



Title	ポリマーセメントモルタルにより下面増厚補強されたRC床版の寿命予測に関する研究
Author(s)	古内, 仁
Citation	平成17年～平成18年科学研究費補助金（基盤研究(C)）研究成果報告書, 1-77
Issue Date	2007-03
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/52388
Type	article
File Information	2006report.pdf



[Instructions for use](#)

ポリマーセメントモルタルにより下面増厚
補強されたRC床版の寿命予測に関する研究

17560417

平成 17 年～平成 18 年科学研究費補助金
(基盤研究(C)) 研究成果報告書

平成 19 年 3 月

研究代表者 古内 仁
北海道大学大学院工学研究科

平成 18 年度科学研究費補助金 基盤研究(C) 研究成果報告

研究課題

ポリマーセメントモルタルにより下面増厚補強されたRC床版の寿命予測に関する研究

研究番号

17560417

研究組織

研究代表者 : 古内 仁 (北海道大学大学院工学研究科・助手)
研究分担者 : 戴 建国 (港湾空港技術研究所 LCM 研究センター・特任研究官)

交付決定額(配分額)

(金額単位:千円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 17 年度	2,100	0	2,100
平成 18 年度	600	0	600
総計	2,700	0	2,700

研究発表

(1) 学会誌等

- (1) 古内仁, 酒井亮, 上田多門: ポリマーセメントモルタルの付着特性に与える界面粗度および粗骨材寸法の影響, コンクリート工学年次論文集, 第 28 巻, 第 2 号, 1567-1572, 2006 年 7 月
- (2) 川崎裕史, 古内仁, 上田多門: ポリマーセメントモルタルの付着強度に与えるコンクリート表面粗さの影響, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 63 号, CD-ROM 版, 2007 年 2 月
- (3) 古内仁, 川崎裕史, 上田多門: 疲労荷重下におけるポリマーセメントモルタルの付着強度について, コンクリート工学年次論文集, 第 29 巻, (投稿中)

(2) 口頭発表

なし

(3) 出版物

なし

研究成果による工業所有権の出願・取得状況

なし

ポリマーセメントモルタルにより下面増厚補強
されたRC床版の寿命予測に関する研究

研究 成 果

目 次

1. はじめに	1
1. 1 研究目的	1
1. 2 ポリマーセメントモルタルとは	2
1. 3 既往の研究	4
2. 実験概要	11
2. 1 引張付着強度（接着強度）試験	11
2. 2 せん断付着強度試験	14
2. 3 基盤コンクリート	17
2. 4 ポリマーセメントモルタル	20
2. 5 基盤コンクリートの表面粗度計測	21
3. 表面粗度の評価	25
3. 1 表面粗さに対する JIS コード	25
3. 2 粗さパラメータの選定	28
3. 3 粗さ形状パラメータの算出方法	29
4. 実験結果および考察	43
4. 1 基盤コンクリート表面処理面の粗さ評価	43
4. 2 基盤コンクリートおよび PCM の圧縮強度	57
4. 2. 1 基盤コンクリート	57
4. 2. 2 ポリマーセメントモルタル	58
4. 3 ポリマーセメントモルタルの静的荷重下における引張付着強度（接着強さ）	59
4. 3. 1 表面積変化率と引張付着強度の関係	61
4. 3. 2 JIS 粗さパラメータと引張付着強度の関係	64
4. 4 ポリマーセメントモルタルの静的荷重下におけるせん断付着強度	66
4. 4. 1 表面積変化率とせん断付着強度の関係	68
4. 4. 2 JIS 粗さパラメータとせん断付着強度の関係	69
4. 5 ポリマーセメントモルタルの疲労荷重下における引張付着強度	71
4. 6 ポリマーセメントモルタルの疲労荷重下におけるせん断付着強度	73
5. まとめ	77
付録 1 粗さ評価に与えるスキャンピッチの影響	
付録 2 表面データ処理プログラム	
付録 3 表面粗さの測定結果	

1. はじめに

1. 1 研究目的

近年、ポリマーセメントモルタルの施工性能の向上に伴い、湿式吹付け工法による下面増厚補強（右図参照）が注目されており、新幹線高架軌道スラブや自動車専用道路の高架橋床版等で施工事例が増加している。下面増厚補強は、補強される既存構造部材の形式や形状による制限から増設する鉄筋の端部定着をとることは困難であるため、モルタル自身の高い接着性を利用して一体化させることを前提としている。本研究の目的は、静的および疲労荷重下におけるポリマーセメントモルタルと既存コンクリートの界面の付着特性に対して定量的な評価方法を構築し、下面増厚補強された構造物の疲労寿命を予測する手法を構築することである。

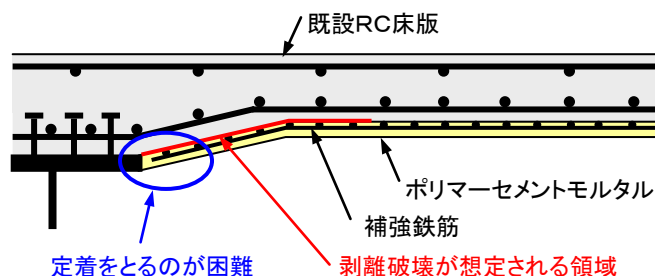


図 1.1 R C床版の下面増厚補強工法

下面増厚工法におけるモルタルの接着性については、これまでに鉛直方向の接着強度のみが指標とされてきた。しかしながら、下面増厚補強された部材では、既往の研究成果よりモルタルの剥離に対しては接着面に働くせん断力が支配的であることが明らかにされてきた。これらに関連する研究として、吹付け面の粗度に着目した研究はいくつかあるが、その粗度面が力学的性能に与える影響を定量的にまとめた研究はない。本研究は、モルタルの接着面、すなわち既存コンクリートはつり面の幾何学的な形状（凹凸面）を数値化し、粗度の機械的付着作用をせん断伝達における力学的特性に結びつけようとするものである。

本研究の成果により、下面増厚補強部の経時変化による劣化度を推定するための有用な情報を与え維持管理技術手法の確立に役立つとともに、下面増厚補強工法の普及が期待できる。

一般に床版等のような支間／有効厚が大きい部材に対しては、想定される荷重作用に対してせん断に対する安全性の検討を省略することが多い。本研究の成果により、モルタル剥離の原因となるせん断力に対する検討手法を提示することができる。また、疲労荷重下における接着面の劣化予測は、構造物の耐用期間を推測することと密接に関連しており、その予測のための有用な資料を提示することができる。

1. 2 ポリマーセメントモルタルとは

コンクリート及びモルタルへのポリマー混和の概念は、すでに 1932 年にはイギリスで天然ゴムラテックス混和による舗装材の特許が公告されている。ポリマー混和剤 (polymeric admixture, polymeric modifier) とは、コンクリートおよびモルタルにそれらの性質を改善する目的で混和されるポリマー (polymer, 重合体の意味で広義には有機高分子材料全般を指す) のことで「セメント混和用ポリマー (polymer for cement modifier)」とも呼ばれている。ポリマー混和剤を混和したコンクリート及びモルタルをそれぞれポリマーセメントコンクリート (polymer-modified concrete または polymer-cement concrete, 略称 PMC または PCC), およびポリマーセメントモルタル (polymer-modified mortar 又は polymer-cement mortar, 略称 PMM 又は PCM) と称すとしている。それらの製造に当たっては、通常の AE 剤や減水剤のような混和剤よりもかなり多量 (セメントに対して 5mass%以上, ただし水溶性ポリマーでは 3mass%以下) のポリマー混和剤が使用されている。ここでは、無機材料に関する部分にしぼり、ポリマー混和剤については概略を説明する。ポリマー混和剤には、下図に示すような種類があり、大別すると水溶性ポリマーデイスパージョン (polymer dispersion), 再乳化形粉末樹脂 (redispersible polymer powder), 水溶性ポリマー (water-soluble polymer) 及び液状ポリマー (liquid polymer) の 4 種類となる。

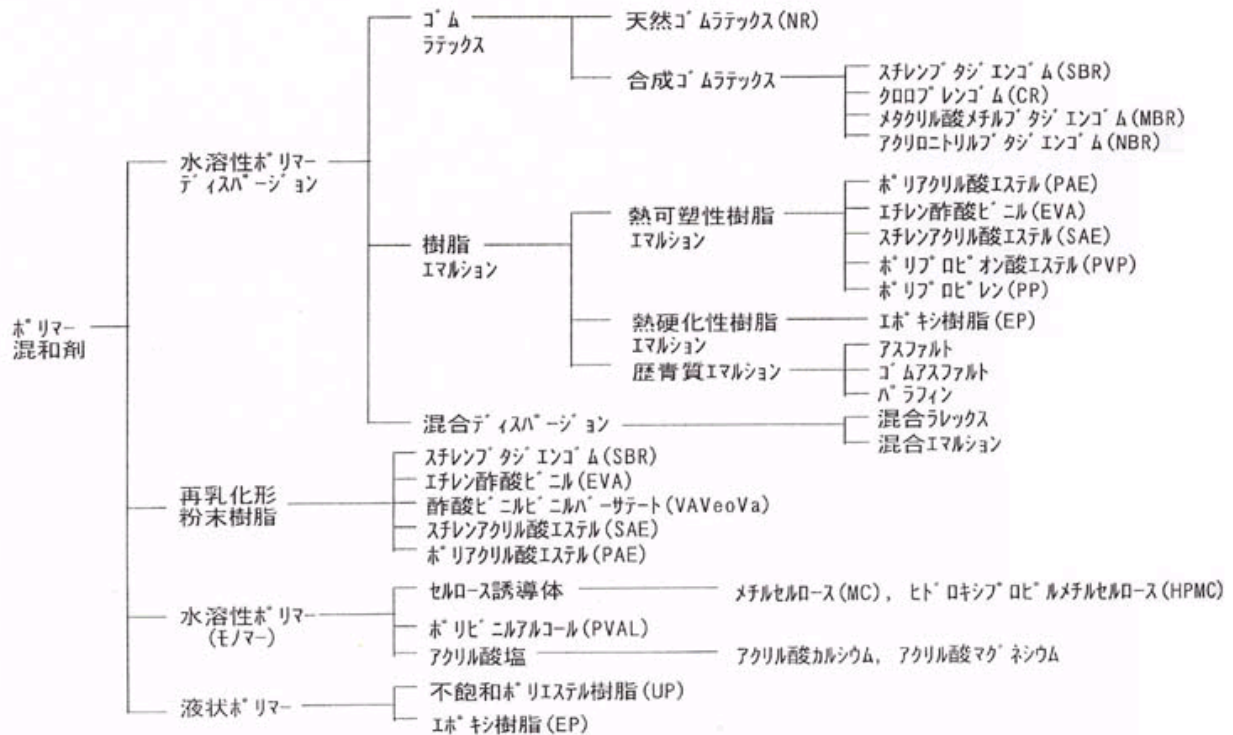


図 1.2 ポリマー混和材の種類

AE 剤や減水剤などの化学混和剤の多くは、コンクリートおよびモルタルがフレッシュであるときに作用し、それらの性質を改善するが、硬化後においては混和剤自体が著しい効果を及ぼすことはほとんどない。それに比べて、ポリマー混和剤を用いたポリマーセメントコンクリートおよびモルタルでは、結合材がセメント水和物とポリマーの 2 成分からなる、いわゆる“co-matrix”相であることに大きな特徴がある。ポリマーセメントコンクリートおよびモルタルの製造に当たっては、前述したとおりかなり多量のポリマーが混和され、フレッシュであるときと硬化したときにおいて、各種の効果を与えることになる。したがって、セメントの水和とポリマーフィルム形成が同時に進行し、ポリマーの網状構造を含む一体化した“co-matrix”相を形成することが重要である。ポリマーセメントコンクリート及びモ

ルタルは、前述したとおり“co-matrix”相を持つことが大きな特徴であり、以下に示すように一般にコンクリート及びモルタルの性質が著しく改善される。

- ① ワークビリティが良好で、所定のコンシステンシー（スランプやフロー）を得るのに要する水セメント比が、ポリマーセメント比の増加に伴い低減できる。このことは、高強度の発現と乾燥収縮の低減にも寄与する。
- ② 適度の空気連行性がある。これは、コンシステンシーの向上と凍結融解抵抗性の改善に良い効果を与える。
- ③ 保水性が向上する。
- ④ ブリーディングや材料分離抵抗性が優れる。
- ⑤ 若干、効果が遅れる場合がある。しかし、実用上差し支えるほどではない。
- ⑥ 長期の水中養生を行わずとも強度発現に優れ、特に引張及び曲げ強度が大きく、伸び能力も増大する。さらに、養生中も保水性が良好なため、長期間に渡ってセメントの水和が進行し、長期強度の増進が著しい。
- ⑦ ポリマーフィルム形成による水密・気密性の組織構造となるため、吸水及び透水に対する抵抗性と凍結融解抵抗性が向上する。また、大気中の二酸化炭素による中性化に対する抵抗性と塩化物イオン浸透に対する抵抗性も優れ、鉄筋の防錆上からも有利である。
- ⑧ コンクリートやモルタルはもちろんのこと石材、鋼材、タイルなどの各種材料に良く接着する。
- ⑨ 減水効果、長期間にわたる良好な保水性と強度増進などの複合効果として、乾燥収縮やクリープが低減される場合が多い。
- ⑩ 耐衝撃性及び耐摩耗性に優れている。
- ⑪ 形成される水密性組織のため、弱酸、アルカリ、塩類、ポリマーの種類を選べば油類に対する化学抵抗性が改善される。
- ⑫ ポリマーの種類とポリマーセメント比を選択すれば、良好な可燃性を与える。

ポリマーセメントモルタルは、普通モルタルに比べて、接着性、曲げ引張強度、水密性、耐薬品性などの各種の性質が優れているので、鉄筋コンクリート構造物の補修などに積極的に利用されている。我が国では右表に示すような用途に使われている。

表 1.1 ポリマーセメントモルタルの用途

用途	施工場所
補修材	鉄筋コンクリート構造物損傷部の断面修復、ひび割れ及び層剥離のグラウト、腐食した防錆コーティングなど
防食材	廃液溝、化学工場床、耐酸タイル目地材、し尿消化槽、機械据付基礎、化学実験室床、薬品倉庫、温泉の浴槽、鋼板を用いたルーフィング、サイトの防錆コーティングなど
床材及び舗装材	一般家屋・倉庫・事務所・店舗などの床、体育館の床、工場の床、通路、階段、プラットホーム、道路、ガレージ、空港、モノレールなど
防水材 (塗膜防水材を含む)	屋根スラブ、モルタルブロック壁体、貯水タンク、プール、し尿消化槽、サイロなど
接着剤	タイル用接着剤、床材用、壁材用及び断熱材用接着剤、新旧モルタルの打継ぎなど
化粧仕上げ材	薄付け仕上塗材、被層仕上塗材、厚付け仕上塗材、軽量骨材仕上塗材、下地調整塗材など
デッキカバーリング材	船舶の内外部のデッキ、橋床版、歩道橋の床版、電車・列車の床など
プレキャスト製品	永久型枠など

1. 3 既往の研究

本研究に関連する既往の研究一覧を表 1.2 に示す。いずれも界面の粗度に着目した研究であるが、必ずしも打継の対するものではなく、またコンクリートと PCM の付着を扱っているものとは限らない。

表 1.2 佐藤貢一（奈良建設）らの研究

<p>キーワード：下面増厚工法，ポリマーセメントモルタル，電動ピック，WJ 法，SB 法，表面粗さ，フラクタル次元，付着特性，剥離破壊エネルギー</p>
<p>2000 年，土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部，55 巻，812-813 頁 高瀬誠司（武蔵工業大学），小玉克己（武蔵工業大学），佐藤貢一（奈良建設），栗原哲彦（武蔵工業大学） <u>ポリマーセメントモルタルの曲げ付着特性</u> 表面処理方法は，サンドブラスト法，ウォータージェット法，遅延材シートを用いた洗出し法の 3 種類とし，各処理方法毎に 2 レベルを与え，計 6 種類の表面粗さを与えた。フラクタル次元が高くなるに従い，曲げ付着強度が増進する傾向が見られた。また，ポリマーセメントモルタルはコンクリートと比較して比較的高い曲げ付着強度を発現している。ポリマーセメントモルタルはコンクリートに比べて軟化曲線の勾配が緩く，ひび割れ進展に対する抵抗性が高い。</p>
<p>2000 年，コンクリート工学年次論文集，22，1，319-324 高瀬誠司（武蔵工業大学），小玉克己（武蔵工業大学），栗原哲彦（武蔵工業大学），佐藤貢一（奈良建設） <u>補修・補強材料としてのポリマーセメントモルタルの付着性状</u> 補修・補強材料としてポリマーセメントモルタルを用い，打継ぎ面(付着界面)の付着性状に影響を及ぼす表面粗さを，フラクタル次元，表面積，中心線平均粗さにより定量的に評価し，付着性状に及ぼす影響を検討した。その結果，各評価方法において処理表面の粗さが粗くなるほど，曲げ，せん断，付着強度は増加した。また，引張軟化曲線，破壊エネルギーを推定することで，材料固有の特性を明らかにすると同時に，補修・補強材料の評価方法として用いることができることを明らかにした。</p>
<p>2001 年，土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部，56 巻，1182-1183 頁 粕谷菜穂（武蔵工業大学），栗原哲彦（武蔵工業大学），小玉克己（武蔵工業大学） <u>ポリマーセメントモルタルの収縮性状と付着強度</u> 母材コンクリート上に打設されたポリマーセメントモルタルの初期の収縮量について，使用材料，打設厚および母材コンクリートの表面粗さをパラメータに実験的に検討した。アクリル系 PCM では，打設厚が高くなると，付着強度が低下し，その程度は SB 法より WJ 法の方が大きく低下する。ポリアクリル酸エステル系 PCM の付着強度は，SB 法においては，打設厚を高くすると，付着強度が増加し，WJ 法では低下する。</p>
<p>2001 年，土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部，56 巻，1184-1185 頁 野田誠（武蔵工業大学），小玉克己（武蔵工業大学），栗原哲彦（武蔵工業大学） <u>打継ぎ部の表面粗さを変化させたポリマーセメントモルタルの曲げ付着性状</u> コンクリートと補修・補強材との打継ぎ部の性能を 3 等分点曲げ載荷試験で計測し，実験あるいは解析で曲げ強度，引張軟化曲線，破壊エネルギー等を求めることを目的とした。SB 法に比べて表面が粗い WJ 法の方が曲げ強度は大きい。SB 法を用いたシリーズではひび割れ幅が小さい領域において急激に応力が低下していく傾向が見られた。WJ 法では，その傾向は見られない。</p>
<p>2001 年，土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部，56 巻，1186-1187 頁 加藤貴祥（武蔵工業大学），小玉克己（武蔵工業大学），栗原哲彦（武蔵工業大学），佐藤貢一（奈良建設） <u>補修・補強材料のせん断方向の付着力に関する研究</u> 本研究では，補修・補強材料のせん断方向の付着力に着目し，せん断付着特性を使用材料と付着面積をパラメータとし検証を行った。また，これまでの試験法では考慮することのできなかつた鉄筋やアンカーボルトなども考慮できるような試験法の確立を目的とした。アンカーボルトが，はく離発生までのせん断方向の付着強度には影響を及ぼさないという結果が得られた。各材料の付着強度のばらつきを変動係数により評価を行った結果，アクリル系ではデータのばらつきが大きいのにに対し，PAE 系ではばらつきが小さく安定したデータが得られた。</p>
<p>2003 年，土木学会論文集 V，732 巻，V-59 号，77-88 頁 佐藤貢一（奈良建設），小玉克己（武蔵工業大学） <u>ポリマーセメントモルタル増厚補強部材の付着界面せん断剥離性状に関する研究</u> ポリマーセメントモルタル増厚工法により補強された部材は，補強構造と荷重の載荷状況により，最終的に剥離を伴う破壊性状を示す。本研究ではコンクリート試験体に補強筋とポリマーセメントモルタルを用いて増厚を行い，接着界面の面内にせん断力を作用させ，この条件で生じる付着性状を実験的に解明し把握したものである。すなわち本工法の応力伝達機構を補強筋と増厚材のひずみ分布から把握し，付着強度算定式の同定を行った。また，ポリマーセメントモルタル増厚工法に関しても付着界面のずれ量と付着応力度から同定した剥離破壊エネルギー算定式により，剥離破壊エネルギーの算定が可能であることを示した。</p>

表 1.3 松田浩（長崎大学）らの研究

<p>キーワード：新旧コンクリートの打継，レーザ光式 3D 計測器，傾斜せん断試験，表面粗度，遅延剤，チップング処理，グラインダー処理，ショットブラスト</p>
<p>2000 年，土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部，55 巻，1152-1153 <u>和田眞禎（長崎大学），松田浩（長崎大学），山本晃，仲村政彦（日本構研情報），鶴田健（小沢コンクリート工業）</u> <u>三次元計測装置を用いたコンクリート表面粗度の定量化と付着強度特性に関する基礎的研究</u> コンクリート打継ぎ部を対象としている。種々の表面処理工法により施工されたコンクリート表面形状を計測し，表面粗度をいくつかの指標を用いて定量的に評価するとともに，これらの表面粗度の評価結果とコンクリート打継ぎ部の付着強度との関係について検討した。表面形状の計測には，スリットレーザ光と CCD カメラを用いた三次元計測装置を用い，付着強度は新旧コンクリートを一体化した試験体の傾斜せん断試験を実施した。試験結果は，圧縮破壊とせん断破壊したものがあるが，粗度が大きくなるにつれて破壊荷重が大きかった。レーザ光式 3D 計測器の有効性を検証した。</p>
<p>2001 年，コンクリート工学年次論文集，23，3，901-906 <u>松田浩（長崎大学），和田眞禎（長崎大学），仲村政彦（日本構研情報），鶴田健（小沢コンクリート工業）</u> <u>3次元計測装置を用いたコンクリート表面粗度の定量化と付着特性に関する研究</u> レーザ光線と CCD カメラを利用した可搬・非接触型 3次元計測装置を開発した。本装置を用いて，コンクリート表面の凸凹形状を計測し，表面粗度の定量化法について検討するとともに，付着強度試験を行った。せん断付着強度に与える表面粗度の影響として大きいのは，表面積と山数である。</p>
<p>2002 年，土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部，57 巻，295-296 <u>荒田新吾（長崎大学），松田浩（長崎大学），蔣宇静（長崎大学），崎山毅（長崎大学），小嶋悟（ショーボンド建設）</u> <u>モルタル接合面の粗度とせん断付着性状に関する研究</u> 鋼モルタル部材と新旧モルタル部材の接合面のせん断付着特性を明らかにすることを目的として，鋼板および旧モルタルの表面形状を 3次元計測し粗度の定量化を求めるとともに，一面せん断試験を実施した。鋼モルタル部材において，鋼板の表面粗度（凹凸の平均間隔，凹凸の高さ）が増加すればせん断付着強度は増加する。新旧モルタル部材において，凹凸を有するモルタルは一体モルタルと無処理モルタル（レイトランス除去）の中間のせん断付着強度を有する。</p>
<p>2003 年，土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部，58 巻，267-268 <u>松田浩，崎山毅，森田千尋，荒田新吾，出水享</u> <u>コンクリート打継部のせん断付着性状に関する研究</u> 一面せん断試験および傾斜せん断試験に共通して平均深さ(d) がせん断付着強度と高い相関を示した。すべての粗度評価法において高い相関は示されなかったが，算術平均粗さ(Ra) や十点平均粗さ(Rz) など表面形状の高さに関する指標が表面粗度とせん断付着強度との関係に影響を及ぼす結果が得られた。</p>

表 1.4 魚本健人（東京大学）の研究

<p>キーワード：トンネル，吹付けモルタル，壁面形状，付着強度，平均深さ，表面積増加率，頂点角度</p>
<p>1998 年，土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部，53 巻，646-647 <u>後藤充志（東京大学），魚本健人（東京大学）</u> <u>吹付けモルタルの付着強度に関する研究</u> 吹付けモルタルと壁面との付着強度が壁面の表面形状の変化に伴ってどのように影響されるかを，実験により検討した。その結果，付着強度は微視的および巨視的な凹凸によって影響される。巨視的な凹凸に関しては，凹凸の微小部分に発生する法線方向の応力の平均が，付着強度と反比例の関係にあることがわかった。</p>
<p>1998 年，コンクリート工学年次論文集，20，2，1171-1176 <u>後藤充志（東京大学），魚本健人（東京大学）</u> <u>吹付けコンクリートの付着強度に関する研究</u> トンネル壁面を対象に，壁面の粗さと吹付けモルタルの付着強度について実験と解析から求めた。実験では直接引張試験治具を考案し，付着強度を測定した。壁面の粗さを定量化し，付着強度との関係を求めた。解析では個別要素法を用いて，付着部での空隙率を求めた。その結果，壁面の平均深さが大きいほど，付着部での空隙率が大きいことがわかった。吹付けられる壁面が平滑な場合，凹凸部がある壁面に比べ，付着強度は大きくばらつく。平均深さが 5mm 以上のときの付着強度は低下した（その理由として，モルタルが奥まで密実に詰まらず空隙を含むため）。付着強度は吹付けられる壁面の凸部の頂点の角度の平均が大きいほど小さい。凹凸形状が複雑なほど付着強度が増加する。</p>

表 1.4 上田正生（北海道大学）の研究

<p>キーワード：レーザービームを用いた光切断法，亀裂面の深さ，2次元形状分析，3次元形状分析，傾斜密度分布関数，深さ密度分布関数，平均深さ，亀裂面積増加率</p>
<p><u>1996年，日本建築学会構造系論文集，第490号，179-188</u> <u>和田俊良，佐藤龍司，石川千温，上田正生</u> <u>レーザービーム光線による亀裂面形状測定手法の開発とデータ2次元分析手法の提案</u> <u>コンクリートの亀裂面の形状特性分析に関する基礎的研究（その1）</u> 実験によって計測されたコンクリート亀裂面の形状特性を，亀裂の発生，伸展，接触などの亀裂形成機構の表現が可能な力学モデルに組み込み，精度の高いコンクリート構成則を構築・開発することにある。第1段階として，コンクリートの亀裂粗面形状を高精度で測定するための「光切断法に基づく新たな測定手法」を開発し，更にコンクリート亀裂面の形状特性を的確に表現するための2次元分析関数の提案を行った。亀裂面の形状を分析するための指標は，①傾斜密度分布関数Ω_s，②深さ密度分布関数K_s，③平均深さd_s^{men}（および無次元化平均深さη_s^{men}），④亀裂面積増加率γ_sとした。分解能を0.114mm/dotと0.125mm/dotにおいてサンプリング間隔0.5mmと1.0mmでは，傾斜密度分布関数Ω_sに大きな差異は認められないが，2.0mmにすると急峻な領域がカットされて，より平坦な微小面の確率密度値を大きくする。深さ密度分布関数，平均深さ（および無次元化平均深さ），亀裂面積増加率に対しては，いずれの分解能においてもサンプリング間隔の影響がほとんどない。以上のことから，分解能を変化させた引張亀裂面の測定・分析結果から，分解能0.125mm/dotに設定し，サンプリング間隔1mm程度をとれば，十分な精度の2次元分析値が得られる。</p>
<p><u>1998年，日本建築学会構造系論文集，第504号，81-86</u> <u>和田俊良，佐藤龍司，石川千温，上田正生</u> <u>種々の応力モード下におけるコンクリート亀裂面の2次元形状分析</u> <u>コンクリートの亀裂面の形状特性分析に関する基礎的研究（その2）</u> 引張，割裂，曲げ，せん断の応力モードごとの亀裂面について，レーザービームを用いた光切断法により形状特性の考察を行った。各応力モードの引張亀裂について，前報と同様に①傾斜密度分布関数Ω_s，②深さ密度分布関数K_s，③平均深さd_s^{men}（および無次元化平均深さη_s^{men}），④亀裂面積増加率γ_sの指標によって検討を行う。傾斜密度分布は，亀裂形成応力モードの影響がない。深さ密度分布は，1つの密度ピーク値を有する上に凸の分布となるが，応力モードによって分布に偏りが異なる。引張と曲げは分布偏差量が小さく，曲げとせん断では大きい場合がある。亀裂の深さ，平均深さ，面積増加率については，引張と割裂が曲げとせん断よりも小さくなる傾向がある。</p>
<p><u>1999年，日本建築学会構造系論文集，第524号，111-118</u> <u>和田俊良，佐藤龍司，石川千温，上田正生</u> <u>レーザービーム光線を用いて測定したコンクリート亀裂面画像データの3次元形状分析手法の提案</u> <u>コンクリートの亀裂面の形状特性分析に関する基礎的研究（その3）</u> 2次元分析関数を拡張し，3次元分析関数の提案を行った。3次元亀裂面を表現するため，隣接する測定点を結ぶ三角形要素の集合体と仮定する。亀裂微小面の傾きは三角形要素の方向余弦とする。亀裂微小面の深さは三角形要素の重心の深さとする。表面積は三角形要素（要素の作成は2パターン）の面積の総和とする。検討項目は，①傾斜密度分布関数Ω_t，②深さ密度分布関数K_t，③亀裂最深値dt^{msd}，④亀裂最高値dt^{mxh}，⑤平均深さdt^{men}および無次元化平均深さη_t^{men}，⑥亀裂面積増加率γ_tとする。傾斜密度分布関数は，サンプリング間隔0.5mmと1.0mmとする分布間に大きな差は無いが，2.0mmでは測定感度が若干低下する。深さ密度分布関数は，サンプリング間隔の違いは分布を大きく変容させることはない。とくに0.5mmと1.0mmの分析結果はほぼ一致する。亀裂面積増加率は，サンプリング間隔が大きくなると減少する傾向を示すが，その差異は小さい。以上のことから，「サンプリング間隔を1.0mmに設定すれば，亀裂面の3次元形状特性の傾向を認識できる」。</p>
<p><u>2000年，日本建築学会構造系論文集，第534号，103-111</u> <u>和田俊良，佐藤龍司，石川千温，上田正生</u> <u>種々の応力モード下におけるコンクリート亀裂面の3次元形状分析</u> <u>コンクリートの亀裂面の形状特性分析に関する基礎的研究（その4）</u> 応力モードを変数とした実験結果に対し，3次元分析関数による考察を行った。傾斜密度3次元分布は，応力モードの影響を受けない。深さ密度3次元分布では，引張モードと割裂モードよりも曲げモードとせん断モードの方がわずかに大きい。平均深さおよび面積増加率は，曲げモードとせん断モードよりも引張モードと割裂モードの方が幾分小さい。一般的に2次元分析の結果と一致している。</p>

表 1.5 その他の主な研究

<p>藤原ら（鉄道総合技術研究所）の研究 キーワード：断面修復，PCM，電動ピック，付着強度</p> <p><u>2003年，土木学会年次学術講演会講演概要集第5部，58巻，247-248</u> 藤原申次（鉄道総合技術研究所），上田洋（鉄道総合技術研究所），佐々木孝彦（鉄道総合技術研究所） <u>吹付け工法により施工したポリマーセメント系断面修復材の付着・充填性状評価</u> 鉄筋腐食により劣化したRC構造物の断面修復工法（ポリマーセメントモルタル吹付け施工）について，施工性および付着・充填性状を検証するため，供試体を作成し断面修復を実施した。はつり面の処理は電動ピックを使用した。その結果，施工において鉄筋近傍の充填性が特に重要であること，また母材コンクリートのはつり状況により付着強度に影響を与えることなどがわかった。母材コンクリート部が付着した割合が多いものほど，付着強度のばらつきが大きくなる傾向にあることがわかる。はつりの際にごく表層部分のコンクリートを弱め，その部分において破断した可能性も否定できない。ちなみに母材コンクリート部に対して同様に付着強度を測定したところ，およそ 3 N/mm^2 であった。</p>
<p>三井ら（茨城大学）の研究 キーワード：プレキャストコンクリート，PCM，ディスクグラインダー，サンドブラスト，付着強度，軟化曲線，破壊エネルギー</p> <p><u>2003年，土木学会年次学術講演会講演概要集第5部，58巻，503-504</u> 三井雅一（茨城大学），福澤公夫（茨城大学），唐沢明彦（太平洋セメント），福田康昭（太平洋セメント） <u>ポリマーセメントコンクリート接合部のはく離付着特性</u> 細分化された部材をポリマーセメントコンクリートで接着して組み上げるプレキャストコンクリートの開発が進められている。本研究では，このポリマーセメントコンクリートのはく離付着特性に関して実験的に検討した。表面処理方法は，無処理，ディスクグラインダー，サンドブラストである。その結果，表面処理によりはく離付着特性は大きく影響することを確認した。サンドブラスト処理を行うことでコンクリート単体の引張性能に近い挙動を示す。また，ポリマーセメントコンクリートおよびモルタルのはく離付着強度は高くなるものの普通コンクリートに比べ，ぜい性的である。</p>
<p>香取らの研究</p> <p><u>1998年，日本建築学会構造系論文集，第507号，107-116</u> 香取慶一，林 静雄，榎谷貴光，牛垣和正 <u>コンクリート接合面の粗さを用いた接合面せん断耐力の推定と滑り変位挙動</u> プレキャスト接合部のせん断挙動に関する研究</p>

参考文献

- 1) 和田俊良, 佐藤龍司, 石川千温, 上田正生: レーザービーム光線による亀裂面形状測定手法の開発とデータ2次元分析手法の提案, コンクリートの亀裂面の形状特性分析に関する基礎的研究(その1), 日本建築学会構造系論文集, 第490号, 179-188, 1996年
- 2) 後藤充志, 魚本健人: 吹付けモルタルの付着強度に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, 53巻, 646-647, 1998年
- 3) 後藤充志, 魚本健人: 吹付けコンクリートの付着強度に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 20, 2, 1171-1176, 1998年
- 4) 和田俊良, 佐藤龍司, 石川千温, 上田正生: 種々の応力モード下におけるコンクリート亀裂面の2次元形状分析, コンクリートの亀裂面の形状特性分析に関する基礎的研究(その2), 日本建築学会構造系論文集, 第504号, 81-86, 1998年
- 5) 香取慶一, 林 静雄, 楨谷貴光, 牛垣和正: コンクリート接合面の粗さをを用いた接合面せん断耐力の推定と滑り変位挙動, 日本建築学会構造系論文集, 第507号, 107-116, 1998年
- 6) 和田俊良, 佐藤龍司, 石川千温, 上田正生: レーザービーム光線を用いて測定したコンクリート亀裂面画像データの3次元形状分析手法の提案, コンクリートの亀裂面の形状特性分析に関する基礎的研究(その3), 日本建築学会構造系論文集, 第524号, 111-118, 1999年
- 7) 高瀬誠司, 小玉克己, 佐藤貢一, 栗原哲彦: ポリマーセメントモルタルの曲げ付着特性, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, 55巻, 812-813, 2000年
- 8) 高瀬誠司, 小玉克己, 栗原哲彦, 佐藤貢一: 補修・補強材料としてのポリマーセメントモルタルの付着性状, コンクリート工学年次論文集, 22, 1, 319-324, 2000年
- 9) 和田眞禎, 松田浩, 山本晃, 仲村政彦, 鶴田健: 三次元計測装置を用いたコンクリート表面粗度の定量化と付着強度特性に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, 55巻, 1152-1153, 2000年
- 10) 和田俊良, 佐藤龍司, 石川千温, 上田正生: 種々の応力モード下におけるコンクリート亀裂面の3次元形状分析, コンクリートの亀裂面の形状特性分析に関する基礎的研究(その4), 日本建築学会構造系論文集, 第534号, 103-111, 2000年
- 11) 粕谷菜穂, 栗原哲彦, 小玉克己: ポリマーセメントモルタルの収縮性状と付着強度, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, 56巻, 1182-1183, 2001年
- 12) 野田誠, 小玉克己, 栗原哲彦: 打継ぎ部の表面粗さを変化させたポリマーセメントモルタルの曲げ付着性状, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, 56巻, 1184-1185, 2001年
- 13) 加藤貴祥, 小玉克己, 栗原哲彦, 佐藤貢一: 補修・補強材料のせん断方向の付着力に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, 56巻, 1186-1187, 2001年
- 14) 松田浩, 和田眞禎, 仲村政彦, 鶴田健: 3次元計測装置を用いたコンクリート表面粗度の定量化と付着特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 23, 3, 901-906, 2001年
- 15) 荒田新吾, 松田浩, 蔣宇静, 崎山毅, 小嶋悟: モルタル接合面の粗度とせん断付着性状に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, 57巻, 295-296, 2002年
- 16) 佐藤貢一, 小玉克己: ポリマーセメントモルタル増厚補強部材の付着界面せん断剥離性状に関する研究, 土木学会論文集V, 732巻, V-59号, 77-88, 2003年
- 17) 松田浩, 崎山毅, 森田千尋, 荒田新吾, 出水享: コンクリート打継部のせん断付着性状に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, 58巻, 267-268, 2003年
- 18) 藤原申次, 上田洋, 佐々木孝彦: 吹付け工法により施工したポリマーセメント系断面修復材の付着・充填性状評価, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, 58巻, 247-248, 2003年

- 19) 三井雅一，福澤公夫，唐沢明彦，福田康昭：ポリマーセメントコンクリート接合部のはく離付着特性，土木学会年次学術講演会講演概要集第5部，58巻，503-504，2003年

参考ウェブサイト

- 1) 株式会社月形 <http://www.tukigata.co.jp/eigyuu/zairyuu/hikagaku/polymer.html>

2. 実験概要

2. 1 引張付着強度（接着強度）試験

(1) 実験変数

JIS A 6916 ポリマーセメントモルタルの試験方法に準拠して、基盤コンクリートとポリマーセメントモルタルの静的荷重下および疲労荷重下における引張付着強度を調査する。着目した変数は、引張付着強度の影響因子である基盤コンクリートの接着面粗度である。静的荷重下の引張付着強度に対する具体的なパラメータとして、2006年度は基盤コンクリートの表面処理（はつり深さ）および基盤コンクリートに使用される粗骨材の最大寸法である（表 2.1 参照）。2007年度は、はつり深さの小さいものについて、補足的なデータを収集した（表 2.2 参照）。さらに2007年度には、静的荷重の強度を基に応力振幅をパラメータとして疲労荷重下における引張付着強度試験が行われた（表 2.3 参照）。なお、接着試験における接着面の大きさは、粗骨材最大寸法の3倍程度を目安として60×60mmとした。

表 2.1 実験変数（静的引張付着強度試験）2006年度

記号	ベースコンクリート		形状寸法
	粗骨材最大寸法	目標はつり深さ	
B10-1-1 B10-1-2 B10-1-3	10 mm	1 mm 以下	H130×B100×D100
B10-3-1 B10-3-2 B10-3-3	〃	1～3 mm	〃
B10-6-1 B10-6-2 B10-6-3	〃	3～6 mm	〃
B10-10-1 B10-10-2 B10-10-3	〃	6～10 mm	〃
B15-1-1 B15-1-2 B15-1-3	15 mm	1 mm 以下	〃
B15-3-1 B15-3-2 B15-3-3	〃	1～3 mm	〃
B15-6-1 B15-6-2 B15-6-3	〃	3～6 mm	〃
B15-10-1 B15-10-2 B15-10-3	〃	6～10 mm	〃
B20-1-1 B20-1-2 B20-1-3	20 mm	1 mm 以下	〃
B20-3-1 B20-3-2 B20-3-3	〃	1～3 mm	〃
B20-6-1 B20-6-2 B20-6-3	〃	3～6 mm	〃
B20-10-1 B20-10-2 B20-10-3	〃	6～10 mm	〃

表 2.2 実験変数（静的引張付着強度試験）2007年度

記号	ベースコンクリート		形状寸法
	粗骨材最大寸法	目標はつり深さ	
5-2, 5-3, 5-14, 5-16, 5-21, 5-24, 5-26, 5-27, 5-28	20 mm	1 mm 以下	H130×B100×D100
5-10, 5-18, 5-20	〃	1～3 mm	〃

表 2.3 実験変数（疲労引張付着強度試験）2007年度

記号	ベースコンクリート		形状寸法
	応力振幅	目標はつり深さ	
5-1, 5-4, 5-5, 5-6, 5-7, 5-8, 5-9, 5-11, 5-12, 5-13, 5-15, 5-17, 5-19, 5-22, 5-23, 5-25	静的強度の50～100%の上限応力	1～3 mm	H130×B100×D100

(2) 載荷試験装置

供試体に載荷治具を設置したときの様子を図 2.1 に示す。

静的引張付着試験の載荷試験には、500kN 万能載荷試験機（島津製）を用いた。図 2.2 に示すように、試験機の固定ヘッドの下部に供試体を設置し、引張治具の端部を上部可動ヘッドに固定した。

疲労引張付着試験の載荷試験機には、50kN 油圧式サーボシステム（Instron1350）を用いた。接着治具および反力枠は、静的試験と同じものを用いたが、反力は油圧シリンダーステージに取り付けた把持金具によりとった（図 2.3 参照）。

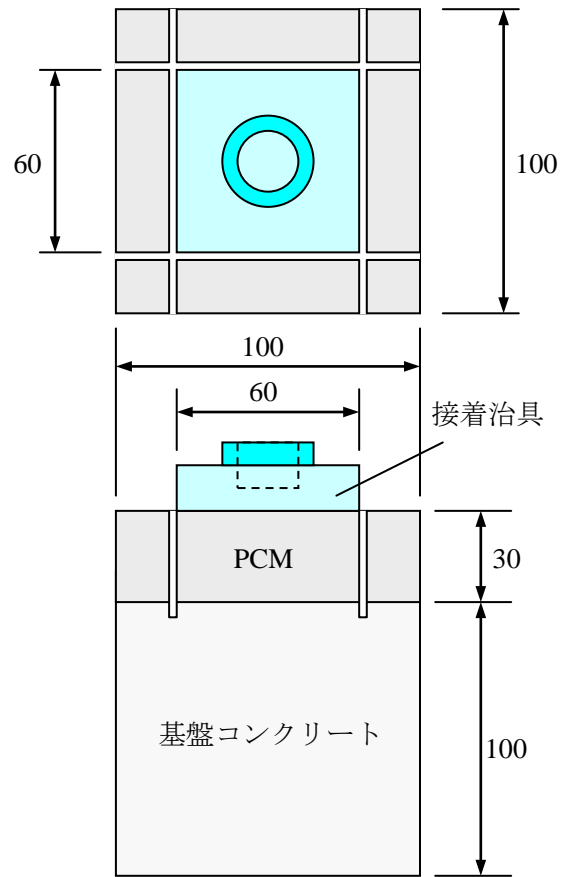


図 2.1 接着試験供試体形状寸法

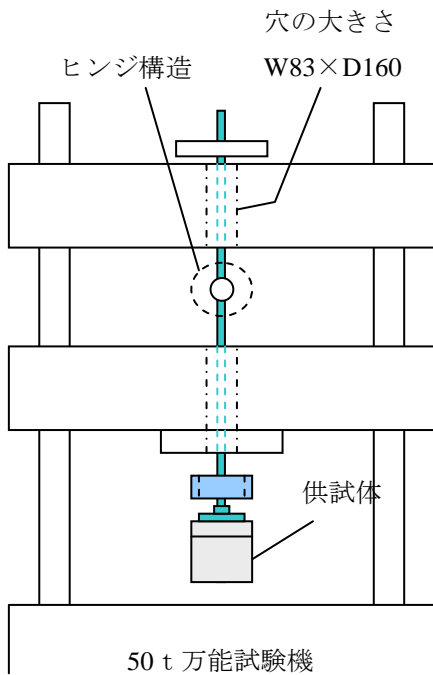


図 2.2 静的試験用載荷装置
(島津 50t 万能試験機)

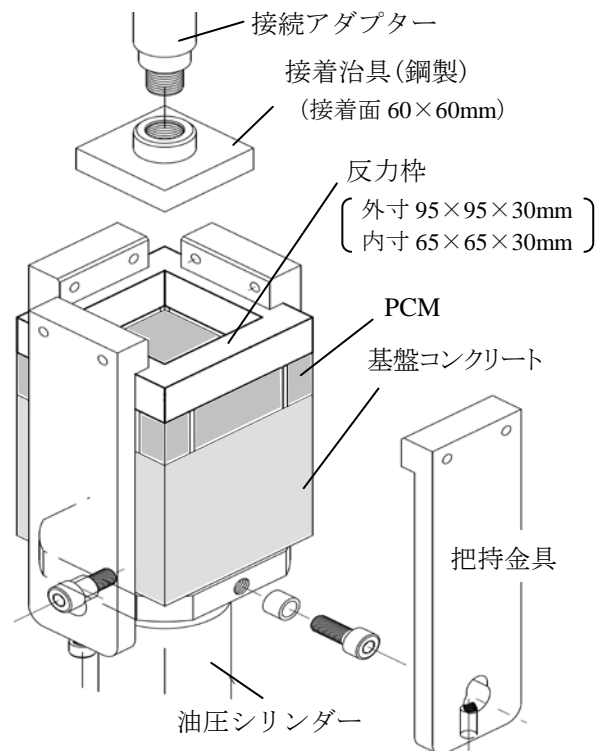
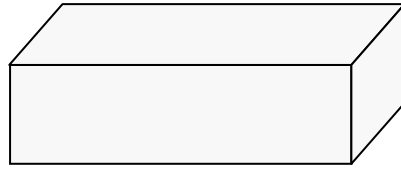


図 2.3 疲労試験用載荷装置
(Instron1350)

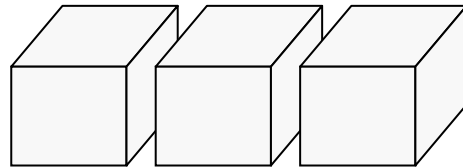
(3) 供試体の作製方法

供試体は、以下の手順により作製した。

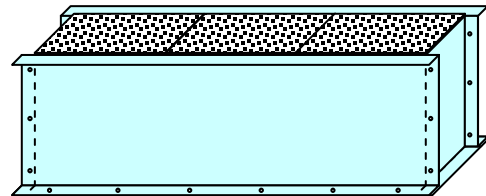
- ① 曲げ強度試験用型枠を用いて、 $100 \times 100 \times 400$ の直方体のコンクリートを作製する。



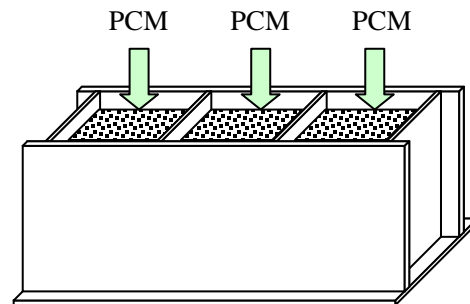
- ② コンクリートカッターにより、100mm 幅に切断する。



- ③ 鋼製型枠に基盤コンクリートをおさめ、ウォータージェット工法およびショットブラスト工法により、接着面を所定の粗度に仕上げる。



- ④ 木製型枠に基盤コンクリートをおさめ、ポリマーセメントモルタルの増厚施工を行う。施工は、コテ塗りにより二層に分けておこなわれた。



- ⑤ 脱型後、増厚部にコンクリートカッターにより切れこみを入れる。

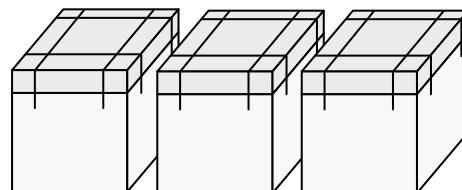


図 2.4 供試体作製手順

2. 2 せん断付着強度試験

(1) 実験変数

JCI-SPC3 ポリマーセメントモルタルの試験方法に準拠した試験方法により、基盤コンクリートとポリマーセメントモルタルのせん断付着強度を調査する。着目した変数は、引張付着強度と同様に、接着強度の影響因子である基盤コンクリートの接着面粗度であり、基盤コンクリートの表面処理（はつり深さ）および基盤コンクリートに使用される粗骨材の最大寸法をパラメータとする（表 2.4 参照）。以下に供試体の一覧を示す。2007 年度は、はつり深さの小さいものについて、補足的なデータを収集し（表 2.5 参照）、さらには、静的荷重の強度を基に応力振幅をパラメータとして疲労荷重下におけるせん断付着強度試験が行われた（表 2.6 参照）。

表 2.4 実験変数（せん断付着強度試験）

記号	ベースコンクリート		形状寸法
	粗骨材最大寸法	目標はつり深さ	
B10-1-1 B10-1-2 B10-1-3	10 mm	1 mm	H70×B70×D200
B10-3-1 B10-3-2 B10-3-3	〃	3 mm	〃
B10-6-1 B10-6-2 B10-6-3	〃	6 mm	〃
B10-10-1 B10-10-2 B10-10-3	〃	10 mm	〃
B15-1-1 B15-1-2 B15-1-3	15 mm	1 mm	〃
B15-3-1 B15-3-2 B15-3-3	〃	3 mm	〃
B15-6-1 B15-6-2 B15-6-3	〃	6 mm	〃
B15-10-1 B15-10-2 B15-10-3	〃	10 mm	〃
B20-1-1 B20-1-2 B20-1-3	20 mm	1 mm	〃
B20-3-1 B20-3-2 B20-3-3	〃	3 mm	〃
B20-6-1 B20-6-2 B20-6-3	〃	6 mm	〃
B20-10-1 B20-10-2 B20-10-3	〃	10 mm	〃

表 2.5 実験変数（静的せん断付着強度試験）2007 年度

記号	ベースコンクリート		形状寸法
	粗骨材最大寸法	目標はつり深さ	
6-8, 6-10, 6-11, 6-14, 6-15, 6-22, 6-24, 6-33	20 mm	1 mm 以下	H130×B100×D100
6-13, 6-19, 6-29, 6-31	〃	1～3 mm	〃

表 2.6 実験変数（疲労せん断付着強度試験）2007 年度

記号	ベースコンクリート		形状寸法
	応力振幅	目標はつり深さ	
6-5, 6-6, 6-7, 6-9, 6-12, 6-16, 6-17, 6-18, 6-20, 6-21, 6-23, 6-25, 6-26, 6-27, 6-28, 6-30, 6-32,	静的強度の 50～100% の上限応力	1～3 mm	H130×B100×D100

(2) 載荷試験装置

供試体に載荷治具を設置したときの様子を図 2.5 に示す。

載荷試験装置は、500kN 万能載荷試験機を用いた。図 2.6 に示すように、試験機のベッド上に供試体を設置し、固定ヘッドにより圧縮荷重を与えた。

疲労せん断付着試験の載荷試験機には、50kN 油圧式サーボシステム (Instron1350) を用いた。載荷治具は、静的試験と同じものを用い、油圧シリンダーステージに固定した (図 2.7 参照)。

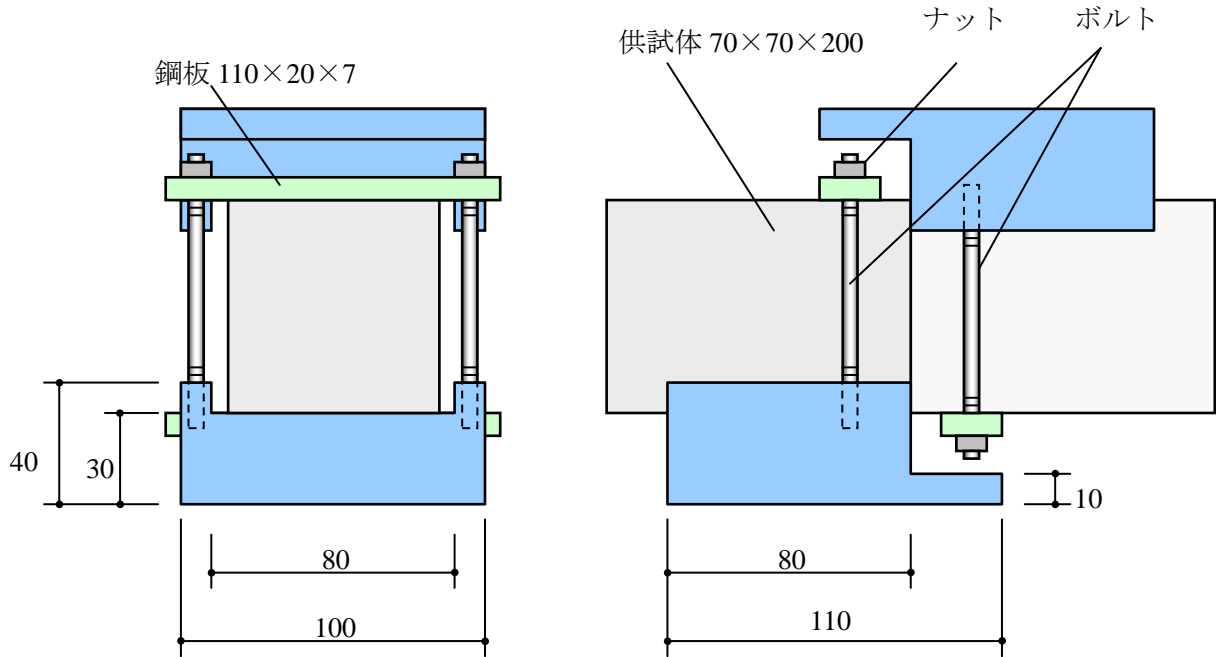


図 2.5 せん断付着試験供試体形状寸法

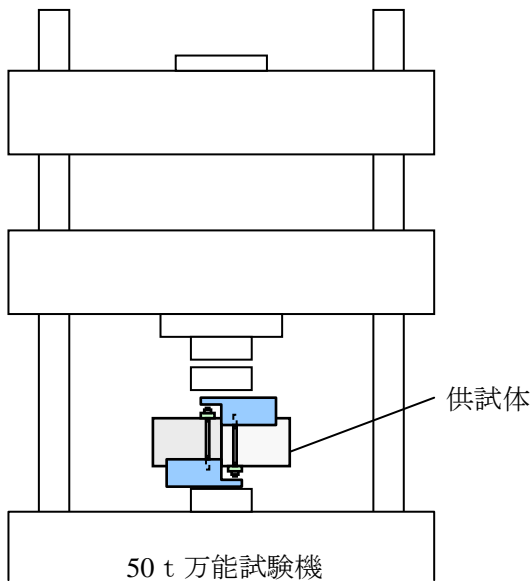


図 2.6 静的試験用載荷装置
(島津 50t 万能試験機)

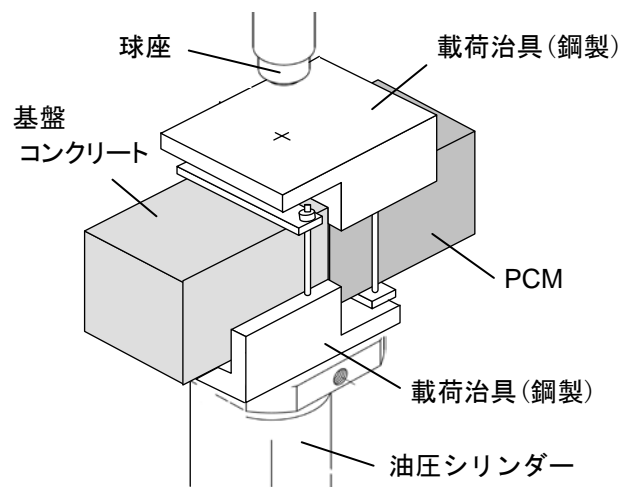
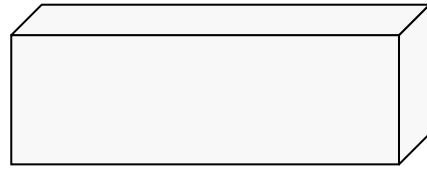


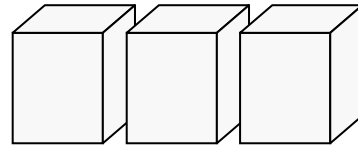
図 2.7 疲労試験用載荷装置
(Instron1350)

(3) 供試体の作製方法

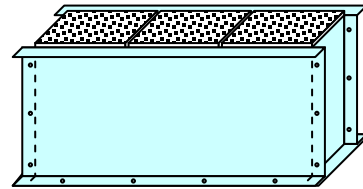
- ① 曲げ強度試験用型枠を用いて、 $70 \times 100 \times 400$ の直方体のコンクリートを作製する。



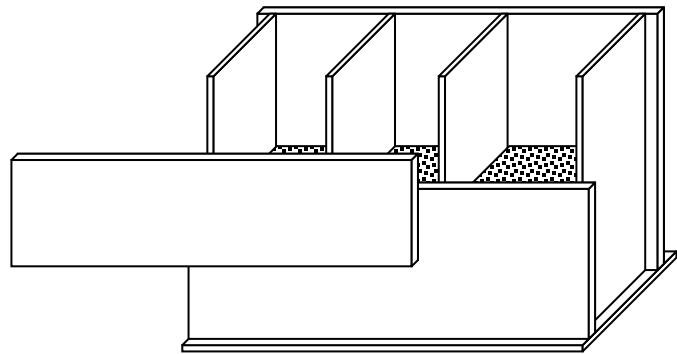
- ② コンクリートカッターにより、70mm 幅に切断する。



- ③ 鋼製型枠に基盤コンクリートをおさめ、ウォータージェット工法およびショットブラスト工法により、接着面を所定の粗度に仕上げる。



- ④ 木製型枠に基盤コンクリートをおさめ、ポリマーセメントモルタルの増厚施工を行う。施工は、コテ塗りにより二層に分けておこなわれた。



- ⑤ 型枠を脱型する。

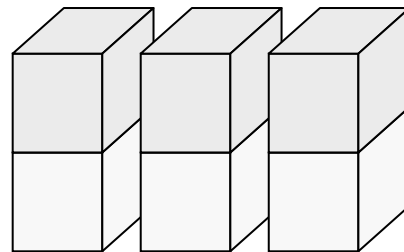


図 2.8 供試体作製手順

2. 3 基盤コンクリート

(1) 使用材料

- ① セメント 日鐵セメント製 早強ポルトランドセメント (比重 3.14 g/cm^3)
- ② 細骨材 鶴川産 (比重 2.67 g/cm^3) 5mm ふるいに留まる量 3.0%
- ③ 粗骨材 静内川産 (比重 2.75 g/cm^3) 5mm ふるいを通過する量 0.0%

- (a) 最大骨材径 20mm
粗粒率 (F.M.) : 6.51

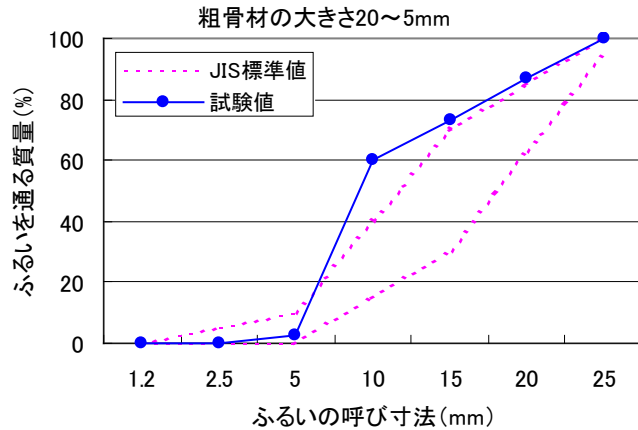


図 2.9 最大粗骨材寸法 20mm の粒度分布

- (b) 最大骨材径 15mm
粗粒率 (F.M.) : 6.50

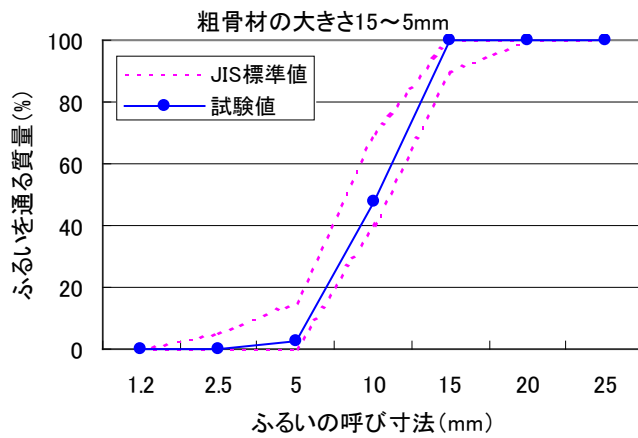


図 2.10 最大粗骨材寸法 15mm の粒度分布

- (c) 最大骨材径 10mm
粗粒率 (F.M.) : 5.98

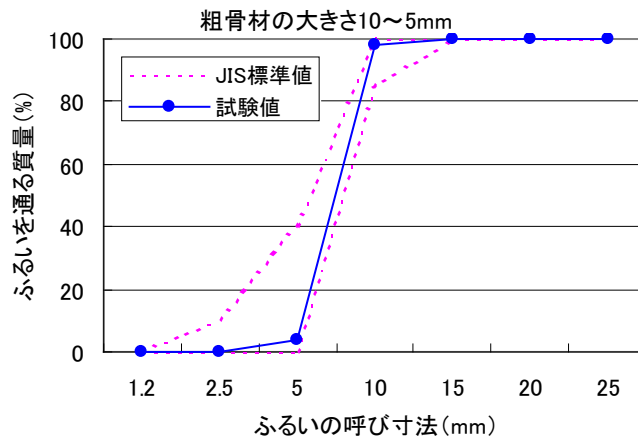


図 2.11 最大粗骨材寸法 10mm の粒度分布

表 2.7 ふるいを通るものの質量百分率

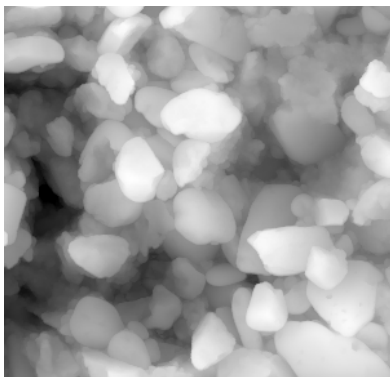
粗骨材の 大きさ	ふるい						
	30mm	25mm	20mm	15mm	10mm	5mm	2.5mm
20～5mm		100.0 (100%)	86.7 (90～100%)		60.1 (20～55%)	2.6 (0～10%)	0.0 (0～5%)
15～5mm			100.0 (100%)	100.0 (90～100%)	47.8 (40～70%)	2.4 (0～15%)	0.0 (0～5%)
10～5mm				100.0 (100%)	98.2 (90～100%)	3.7 (0～40%)	0.0 (0～10%)

(2) 示方配合

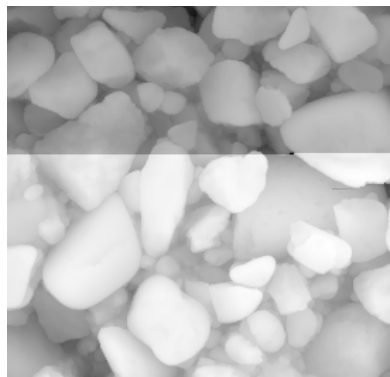
基盤コンクリートの示方配合を表 2.4 に示す。また、供試体底面（表面処理層）付近の粗骨材分布状況の一例を図 2.10 に示す。

表 2.8 基盤コンクリートの示方配合

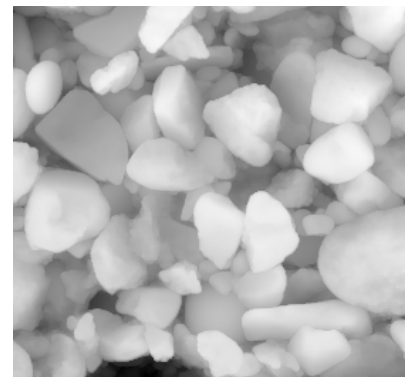
	粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg / m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
2005 年度 B10/S10 シリーズ	10	50	8.0	51.0	178	356	856	853	0.157
2005 年度 B15/S15 シリーズ	15	50	7.0	47.0	173	345	812	943	0.152
2005 年度 B20/S20 シリーズ	20	50	6.0	43.0	163	326	791	1037	0.143
2006 年度 供試体	20	50	6.0	39.0	163	326	701	1138	0.144



S10 シリーズ



S15 シリーズ



S20 シリーズ

図 2.12 表面処理層付近の粗骨材の分布状況

(3) 表面処理

① ショットブラスト工法

はつり深さを 1mm または 3mm を目標とした表面処理に適用する。

方 式：エアースラスト方式

空 気 圧：6 気圧

ブラスト材：スチールグリッド#40（平均粒径 1.0mm） IKK 製 TGE-100

② ウォータージェット工法

はつり深さを 6mm および 10mm を目標とした表面処理に適用する。

方 式：回転ジェット方式

ノズル径：0.35mm (6 穴)

水 圧：手動調整



写真 2.1 ウォータージェット施工（1）



写真 2.2 ウォータージェット施工（2）

2. 4 ポリマーセメントモルタル

(1) 使用材料

製品名：エマコ R83P (デグサ コンストラクションシステムズ)

特 徴：プレミックスタイプで、セメント、砂、粉末ポリマー、アクリル繊維、各種混和材料等からなるポリマーセメント系の吹付けモルタル材料である。使用時に所定量の水のみを加えて練り混ぜるだけで、ポリマーセメントモルタルの特性を兼ね備え、厚塗り性、仕上げ性、ポンプ圧送性等の施工性に優れている。

表 2.5 ポリマーセメントモルタルの性能

物性試験結果例

項 目		測定値	試験方法
水量		4.8kg/袋	
試験室温度		20°C	恒温室
モルタル温度		21°C	棒状温度計
フロー値 (mm)		174	JIS R 5201
圧縮強度 (N/mm ²)	1日	11.9	JIS A 1108 (直径5cm、高さ10cmの円柱供試体)
	3日	23.7	
	7日	30.6	
	28日	41.0	
引張強度 (N/mm ²)	7日	2.50	JIS A 1113 (直径5cm、高さ10cmの円柱供試体)
	28日	3.10	
曲げ強度 (N/mm ²)	7日	5.23	JIS R 5201
	28日	7.90	
静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	7日	1.15	圧縮強度の1/3点における 割線静弾性係数
	28日	1.43	
コンクリートとの付着強度 (N/mm ²)	7日	1.94	建設省建築研究所考案の 接着力試験器を使用
	28日	2.00	

仕様

配 合		1m ³ 当たりの標準使用量	
エマコR83P	使用水量	エマコR83P	水
25kg (1袋)	4.6~5.0kg	1,550kg (62袋)	298kg

注) 高温時では、こわばりが早く可使時間が短くなる場合がありますので、可使時間調整材の「S用助剤」をご使用ください。

2. 5 基盤コンクリートの表面粗度計測

本研究では、はつり施工前およびはつり施工後の基盤コンクリートの表面粗度（写真 2.4 参照）を触針式三次元計測器（ローランド D.G.社製/PICZA-30）（写真 2.5 参照）により計測した。計測器の仕様を表 2.6 に示す。

計測器の制御およびデータの取り込みは、専用ソフトの Dr. PICZA（Windows95/98/Me, Windows NT4.0, Windows2000/XP に対応）を使用した。

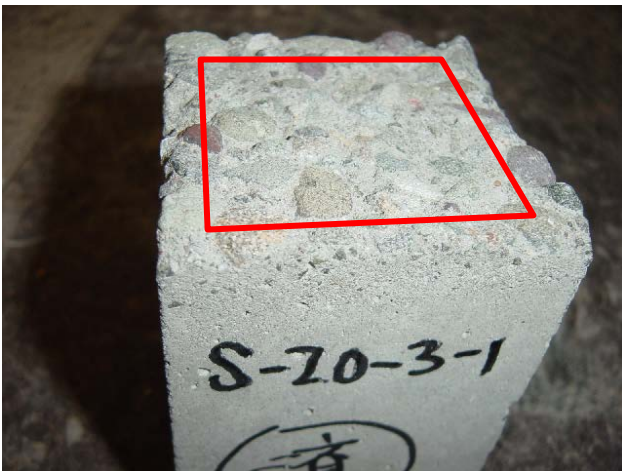


写真 2.4 基盤コンクリートの粗度面



写真 2.5 PICZA-30 の外観

表 2.6 PICZA-30 の仕様

最大スキャン領域	304.8 (X) × 203.2 (Y) × 60.5 mm (Z)
テーブル積載最大重量	5 kg
スキャン方式	接触型メッシュポイント高さ検出方式
スキャンピッチ	X/Y軸方向 0.05～5.00mm (0.05mm きざみで設定), Z軸方向 0.025mm
動作速度	XY軸 30mm/sec., Z軸 9mm/sec.
書き出しファイル形式	DXF, IGES, VRML, STL, 3DMF, グレースケール, BMP (Windows 版), 点群
インターフェイス	シリアル (RS-232C 規格)
消費電力	ACアダプタ 35VA, 本体 16VA
動作音	待機時 40 dB(A)未満, 動作時 50dB(A)未満 (ISO 7779 による)
外形寸法	478 (W) × 465 (D) × 341mm (H)
重量	11 kg
動作温度	5 ～ 40°C (ただし結露しないこと)
動作湿度	35 ～ 80 %

計測条件を以下はとおりである。

1) せん断付着試験用供試体

- Z 基準面の高さ：80mm
- スキャン品質：高速
- スマートスキャン：OFF
- スキャン領域：右図参照
 - (X 軸) 60.0mm
 - (Y 軸) 60.0mm
- X /Y スキャンピッチ
 - はつり施工前：5.00mm
 - はつり施工後：1.00mm
 - (1 変数につき 1 個は 0.20mm)

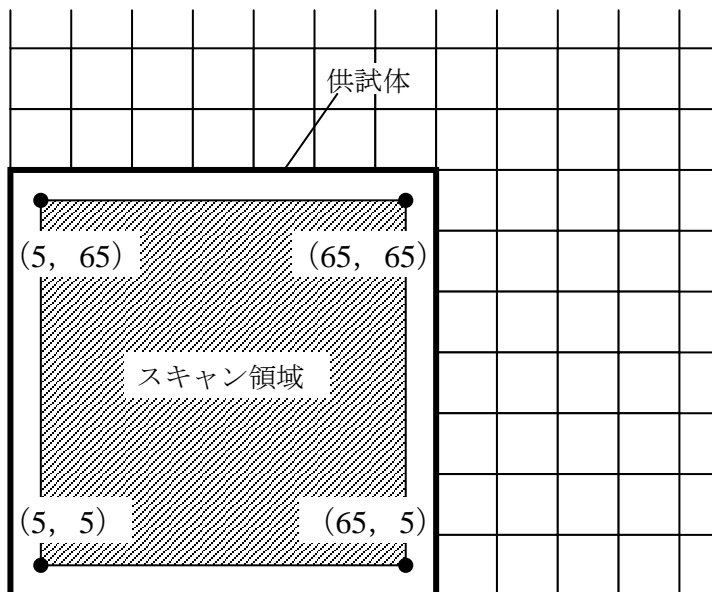


図 2.11 せん断付着試験供試体のスキャン領域

2) 接着試験用供試体

- Z 基準面の高さ：80mm
- スキャン品質：高速
- スマートスキャン：OFF
- スキャン領域：右図参照
 - (X 軸) 70.0mm
 - (Y 軸) 70.0mm
- X /Y スキャンピッチ
 - はつり施工前：5.00mm
 - はつり施工後：1.00mm
 - (1 変数につき 1 個は 0.20mm)

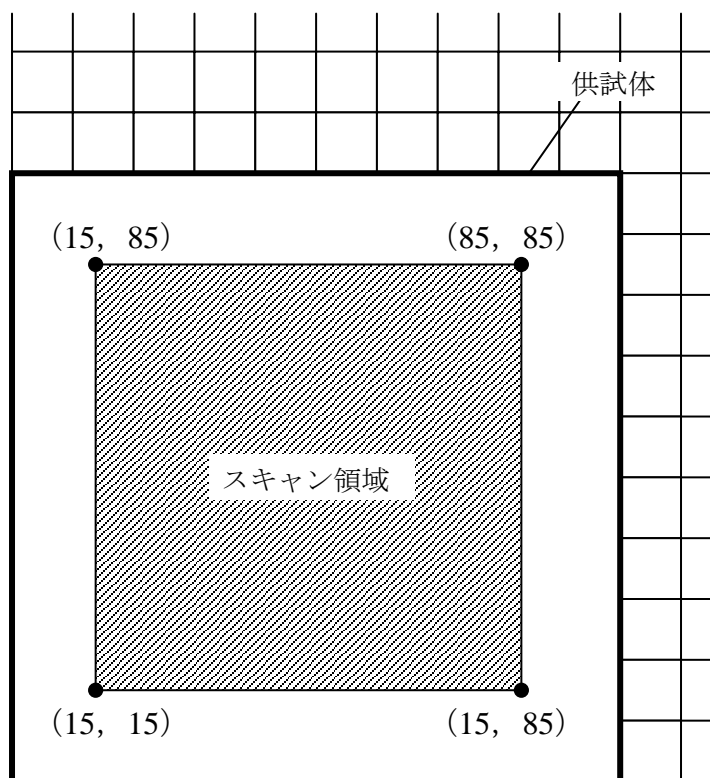


図 2.12 接着試験供試体のスキャン領域

参考文献

- 1) JIS A 1171 ポリマーセメントモルタルの試験方法, 日本規格協会, 2000.3
- 2) JCI-SPC3 ポリマーセメントモルタルのせん断強さ試験, JCI 基準集 (1977~2002 年度), 日本コンクリート工学協会, 2004.4

3. 表面粗度の評価

3. 1 表面粗さに対する JIS コード

(1) JIS 2001 年規格

表面粗さ測定において、最近、測定機のデジタル化が進んだことに伴い、工業製品の表面の多様な評価が可能となった。国際規格 ISO においては、新しい表面粗さパラメータが採用され、新しい概念のフィルタが導入された規格が発行された。これに対し JIS も国際的な整合性を図る必要が生じ、ISO 規格を翻訳し、技術的内容及び規格票の様式を変更することなく表 3.1 の規格が発行された。

表 3.1 表面粗さに関する JIS

	規格名称
JIS B0031 2003	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状の図示方法
JIS B0601 2001	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-用語、定義及び表面性状パラメータ
JIS B0610 2001	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-転がり円うねりの定義及び表示
JIS B0631 2000	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-モチーフパラメータ
JIS B0632 2001	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-位相補償フィルタの特性
JIS B0633 2001	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-表面性状評価の方式及び手順
JIS B0651 2001	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-触針式表面粗さ測定機の特性
JIS B0659-1 2001	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-測定標準-第 1 部：標準片
JIS B0670 2002	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-触針式表面粗さ測定機の校正
JIS B0671-1 2002	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-プラトー構造表面の特性評価-第 1 部：フィルタ処理及び測定条件
JIS B0671-2 2002	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-プラトー構造表面の特性評価-第 2 部：線形表現の負荷曲線による高さの特性評価
JIS B0671-3 2002	製品の幾何特性仕様 (GPS)-表面性状：輪郭曲線方式-プラトー構造表面の特性評価-第 3 部：正規確率紙上の負荷曲線による高さの特性評価

2001 年規格の主な変更点は、以下のとおりである。

- ・ 触針の推奨寸法および測定力が定義された。
- ・ 短波長成分を遮断するカットオフ値 λ_s が定義された。
- ・ パラメータが大幅に増え、 R_z の定義が変更された。
- ・ パラメータの指示値と測定値の比較するための新しいルールが定義された (16%ルール&最大値ルール)。

JIS における曲線の定義およびパラメータの定義を、表 3.2 および表 3.3 に示す。

表 3.2 JIS B0601 で定義される断面曲線と粗さ曲線

	JIS B0601 1982	JIS B0601 1994	JIS B0601 2001
断面曲線	フィルタなし	フィルタなし	カットオフ値 λ_s の低域フィルタ
粗さ曲線	カットオフ値 λ_c の高域フィルタ	カットオフ値 λ_c の高域フィルタ	カットオフ値 $\lambda_s - \lambda_c$ の帯域フィルタ
フィルタ	2CR 特性のフィルタで減衰率 75% になる波長をカットオフ値とする	減衰率が 50% になる波長をカットオフ値とする位相補償型フィルタ	減衰率が 50% になる波長をカットオフ値とする位相補償型フィルタ

表 3.3 JIS B0601 で定義されるパラメータ

規格	JIS B0601 (1982)		JIS B0601 (1994)	JIS B0601 (2001)		
	断面曲線	粗さ曲線	粗さ曲線	断面曲線	粗さ曲線	うねり曲線
最大山高さ	—	—	—	Pp	Rp	Wp
最大谷深さ	—	—	—	Pv	Rv	Wv
最大高さ	Rmax	—	Ry	Pz	Rz ^{注1}	Wz
要素の平均高さ	—	—	—	Pc	Rc	Wc
最大断面高さ	—	—	—	Pt	Rt	Wt
算術平均高さ	—	Ra	Ra	Pa	Ra	Wa
二乗平均平方根高さ	—	—	—	Pq	Rq	Wq
スキューネス	—	—	—	Psk	Rsk	Wsk
クルトシス	—	—	—	Pku	Rku	Wku
平均長さ	—	—	Sm	PSm	RSm	WSm
二乗平均平方根傾斜	—	—	—	PΔq	RΔq	WΔq
負荷長さ率	—	—	—	Pmr(c)	Rmr(c)	Wmr(c)
切断レベル差	—	—	—	Pδc	Rδc	Wδc
相対負荷長さ率	—	—	—	Rmr	Rmr	Wmr
十点平均粗さ	Rz	—	Rz	—	Rz ^{注2}	—
局部山頂の平均間隔	—	—	S	—	—	—

注 1) 1982 年、1994 年の JIS 規格では、記号 Rz は「十点平均粗さ」を指示するために使われていたが、2001 年規格では最大高さを指示するために使用される。

注 2) 2001 年規格では「十点平均粗さ」を指示する記号は RzJIS と付属書に記載されているが、ISO 規格には記載はない。

(2) 表面に要求されるパラメータ

現在、日本工業規格（JIS）には3次元粗さパラメータについては明確な規定がなく、2次元での粗さパラメータが規定されているだけである。一般に、工作物の表面に要求される機能と相関があると言われているパラメータは、表 3.4 のようである。

表 3.4 工作物の表面に要求される機能と相関があるパラメータ例

機能	内容説明	該当工作物	評価パラメータ例
機密度	接触面間の粗さによる隙間からのもれ	バルブ、コック、シリンダ	算術平均高さ、最大山高さ、平均長さ、初期磨耗高さ
摩擦力	粗さの山に引っかかる力	クラッチ、ノックピン	算術平均傾斜、二乗平均平方根傾斜、最大高さ、十点平均粗さ、最大山高さ
摩擦	摺動時、山に荷重集中するため削られていく	軸、軸受、シリンダ穴ピストンリング、案内	最大山高さ、荷長さ率、初期磨耗高さ、スキューネス、 負荷曲線
焼付き・潤滑性	潤滑油を谷に貯める	シリンダブロックボアのプラト一ホーニング面	最大谷深さ、荷長さ率、油溜り深さ、 Hp 、荷長さ率、 V0 、 負荷曲線
密着性	リンギング	ブロックゲージ	平面度、最大高さ、 Rmax
接着性	接着剤にとっての最適形状塗装、メッキの剥れにくさ	プリント基板、接着面塗装下地、メッキ下地	十点平均粗さ、算術平均傾斜、二乗平均平方根傾斜、 Lr
剥がし易さ	型と成型品の剥がし易さ	金型	十点平均粗さ、最大高さ、算術平均傾斜、二乗平均平方根傾斜、 Lr
外観・光沢	光の反射時の散乱、ぎらつき、高級感	メッキ面、虹面仕上げ、シボ仕上、鏡面	二乗平均傾斜、二乗平均平方根高さ、算術平均高さ、 Rku
	鮮映性（塗装面の輝き）	自動車用冷間圧延鋼板	算術平均平方根高さ、ピークカウント、 PPI
光学的性能	光束の屈折の乱れ、散乱	鏡、レンズ、プリズム	二乗平均平方根傾斜、二乗平均平方根高さ、算術平均高さ
耐食性・絶縁性	毛細管現象によるぬれやすさ	耐候部品、電気部品	算術平均高さ、算術平均傾斜、二乗平均平方根傾斜、最大谷深さ、荷長さ率 2
疲れ破壊強さ	切欠き形状による応力集中で疲労破壊する	クランクシャフト	Rmax 、最大谷深さ、油溜り深さ
電磁気特性	傷、粗さで表皮効果阻害	導波管、磁気コア	算術平均高さ、最大高さ、十点平均粗さ
接触面の熱電気抵抗	粗さで実質接触面積が変わり電気抵抗、熱伝達が阻害	リレー、スイッチ、コネクタ、放熱器	荷長さ率、荷長さ率 1、算術平均粗さ、ハイスポットカウント、 Lr
接合面剛性	接合面の一部しか接触せず山頂に荷重集中し撓み増加	ボルト締め部	平行度、荷長さ率、十点平均粗さ、最大山高さ、 Rpk
寸法測定精度	粗さの山による測定誤差測定力による粗さの変形	マイクロメータとエアマイクロメータ、ノギス	平行度、最大高さ、最大山高さ、初期磨耗高さ
肌触り	手触り	ローレット、梨地面	最大高さ、算術平均傾斜、二乗平均平方根傾斜
印刷品位	紙のキメとインクの乗り	印刷用紙	算術平均粗さ、最大谷深さ、油溜り深さ、ピークカウント
騒音、振動	高速で転がる面が振動する	歯車、転り軸受、案内	最大高さ、 Rmax

3. 2 粗さパラメータの選定

表 3.4 より, 接着強度およびせん断付着強度の検討に用いる粗さパラメータを下表のように選定する。なお, 3次元の粗度データを評価するために有効であると考えられる「表面積変化率」もあわせて検討を行う。

表 3.5 評価に用いる粗さパラメータ

		粗さパラメータ	
		接着強度	せん断付着強度
	表面積変化率 A_r	○	○
JIS 基準	十点平均粗さ R_z JIS	○	○
	算術平均高さ R_a	○	
	二乗平均平方根傾斜 $R_{\Delta q}$		○
	最大高さ R_z (旧 R_y)		○
	最大山高さ R_p		○
	負荷長さ率 $R_{mr}(c)$ (旧 T_p)		○
	スキューネス R_{sk}		○

3. 3 粗さ形状パラメータの算出方法

(1) 表面積変化率

① 三角形要素による方法

図 3.1 のように、計測された三次元データより隣接する 3 点を結ぶ三角形要素を作成し、個々の三角形の面積を累積して、全体の表面積を計算する。

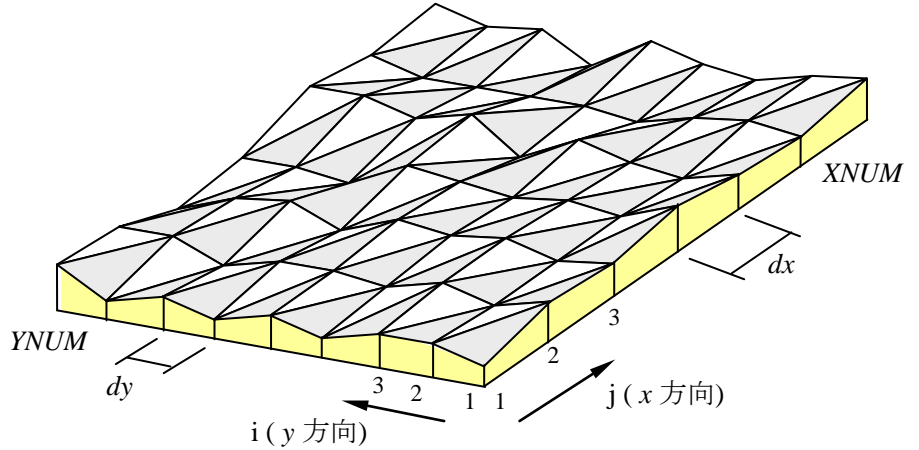


図 3.1 表面積の計算方法

$$\text{表面積変化率 } A_r = \frac{\sum_{i=2}^{YNUM} \sum_{j=1}^{XNUM-1} S_{A(i,j)} + \sum_{i=2}^{YNUM} \sum_{j=2}^{XNUM} S_{B(i,j)}}{\Delta x \cdot (XNUM - 1) \cdot \Delta y \cdot (YNUM - 1)} \quad (3.1)$$

$$\text{ここに, } S_{A(i,j)} = \sqrt{s_{A(i,j)} (s_{A(i,j)} - L_{1A(i,j)}) (s_{A(i,j)} - L_{2A(i,j)}) (s_{A(i,j)} - L_{3A(i,j)})}$$

ただし $i > 1, j < XNUM$ のとき

: 領域 A の面積 (図 3.3.2(1)参照)

$$s_{A(i,j)} = \frac{L_{1A(i,j)} + L_{2A(i,j)} + L_{3A(i,j)}}{2}$$

$$L_{1A(i,j)} = \sqrt{(z_{i,j} - z_{i-1,j})^2 + \Delta y^2}$$

$$L_{2A(i,j)} = \sqrt{(z_{i-1,j} - z_{i-1,j+1})^2 + \Delta x^2}$$

$$L_{3A(i,j)} = \sqrt{(z_{i,j} - z_{i-1,j+1})^2 + \Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$S_{B(i,j)} = \sqrt{s_{B(i,j)} (s_{B(i,j)} - L_{1B(i,j)}) (s_{B(i,j)} - L_{2B(i,j)}) (s_{B(i,j)} - L_{3B(i,j)})}$$

ただし $i > 1, j > 1$ のとき

: 領域 B の面積 (図 3.3.2(2)参照)

$$s_{B(i,j)} = \frac{L_{1B(i,j)} + L_{2B(i,j)} + L_{3B(i,j)}}{2}$$

$$L_{1B(i,j)} = \sqrt{(z_{i-1,j} - z_{i,j})^2 + \Delta y^2}$$

$$L_{2B(i,j)} = \sqrt{(z_{i,j-1} - z_{i,j})^2 + \Delta x^2}$$

$$L_{3B(i,j)} = \sqrt{(z_{i-1,j} - z_{i,j-1})^2 + \Delta x^2 + \Delta y^2}$$

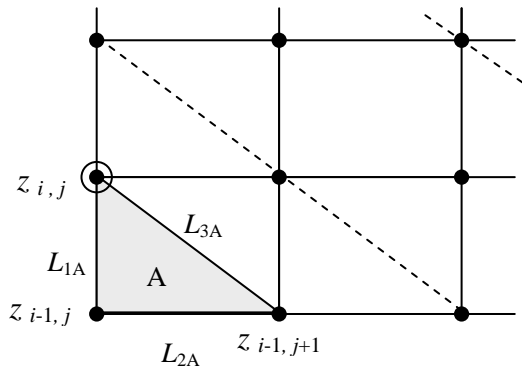


図 3.2 (1) 領域 A の表面積

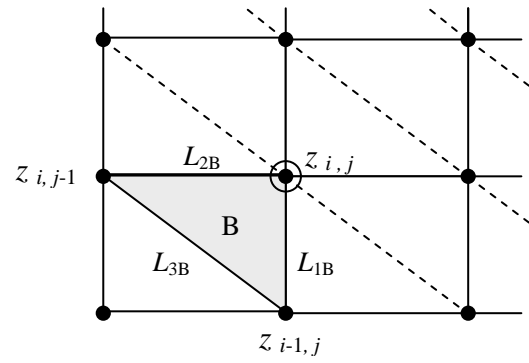


図 3.2 (2) 領域 B の表面積

② 2005 年度修士論文による方法

x 方向についての起伏に対して、 Δy を乗じて総和を求める方法である (図 3.3 参照)。

$$\text{表面積変化率 } A_r = \frac{\sum_{i=1}^{YNUM} \sum_{j=2}^{XNUM} S_{C(i,j)}}{\Delta x \cdot (XSUM - 1) \cdot \Delta y \cdot (YSUM - 1)} \quad (3.2)$$

$$\text{ここに, } S_{C(i,j)} = \sqrt{(z_{i,j} - z_{i,j-1})^2 + \Delta x^2} \times \Delta y$$

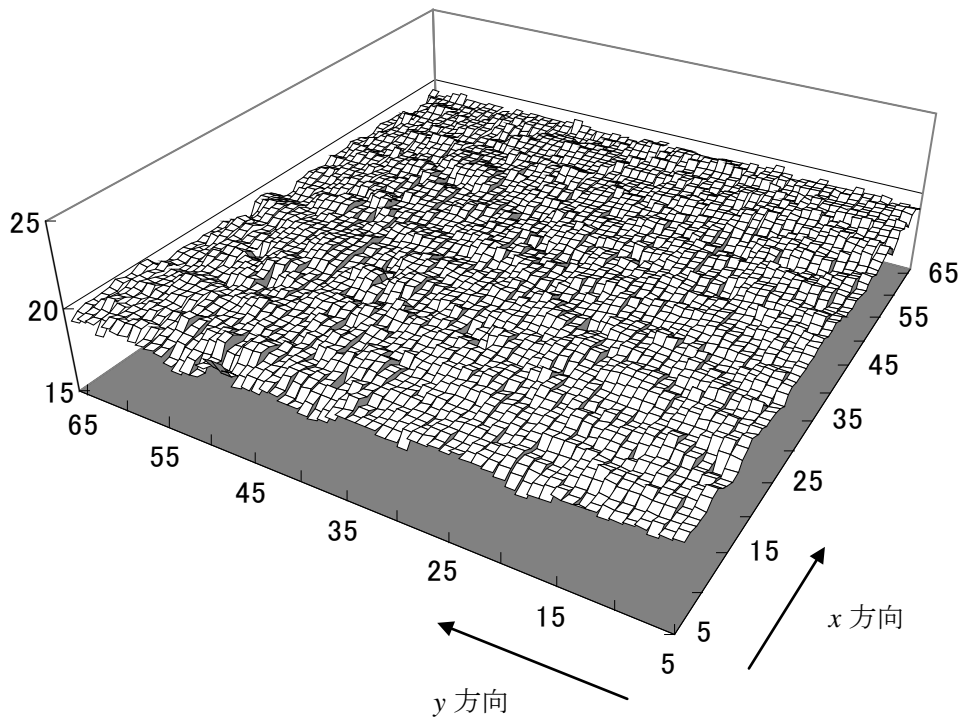


図 3.3 既往の方法による表面積の算出方法

(2) JISの粗さパラメータ

加工品の表面に直角な平面でその表面を切断したとき、その切り口面に現れる輪郭を断面曲線という。この曲線には、種々の波長の凹凸が含まれているが、この断面曲線から所定の波長の短い成分（粗さ成分）を除去した曲線をうねり曲線という。逆に断面曲線から所定の波長より長い成分（うねり成分）を除去した曲線を粗さ曲線という。なお、平均線はうねり曲線を直線に置き換えた線である。

JIS B 0601 (2001)「製品の幾何特性仕様 (GPS) - 輪郭曲線方式 - 用語, 定義及び表面性状パラメータ」では、表面性状パラメータを検討に用いる曲線を下表のように定義している。

表 3.6 JIS に曲線の定義

輪郭曲線 (profile)	測定断面曲線, 断面曲線, 粗さ曲線, うねり曲線などの曲線の総称。
断面曲線 (primary profile)	測定断面曲線にカットオフ値 λ_s の低減フィルタを適用して得られる曲線 (JIS B 0651)。輪郭曲線パラメータを計算する基礎となるものである。
粗さ曲線 (roughness profile)	カットオフ値 λ_c の高域フィルタによって、断面曲線から長波成分を遮断して得た輪郭曲線。粗さ曲線は粗さパラメータの評価の基礎となるものである。
うねり曲線 (waviness profile)	断面曲線に λ_f 値および λ_c の輪郭曲線フィルタを順次かけることによって得られた輪郭曲線。 λ_f 輪郭曲線フィルタによって長波成分を遮断し、 λ_c 輪郭曲線フィルタによって短波成分を遮断する。うねり曲線はうねりパラメータの評価の基礎となるものである。

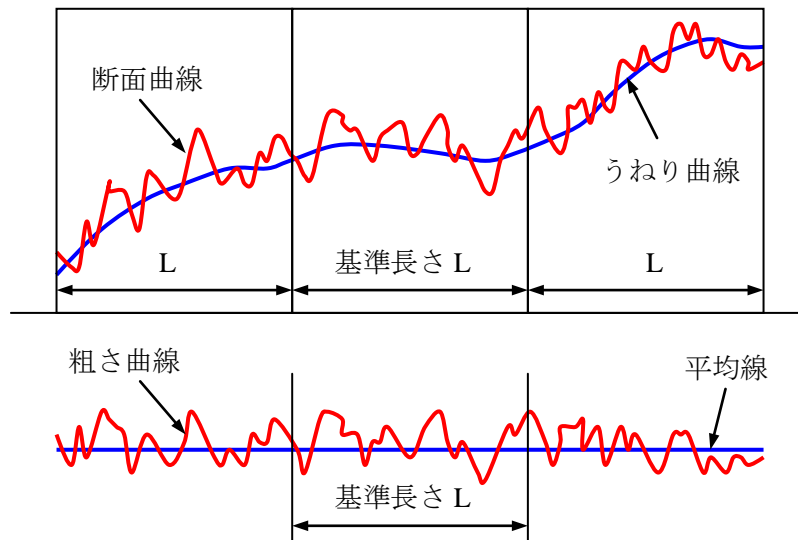


図 3.4 輪郭曲線の定義

JIS B 0601 では、デジタルデータを前提として、ガウス形の位相補償フィルタ (ガウシアンフィルタ) を用いている。このフィルタは、カットオフ値を変えるだけで真円度などの形状測定フィルタにも適用することができるため、独立規格として JIS B 0632「製品の幾何特性使用 (GPS) - 表面性状: 輪郭曲線方式 - 位相補償フィルタの特性」に定められている。また、フィルタの特性値用途別に規定されており、例えば、粗さ曲線に関するカットオフ値は JIS B 0651 (2001)「製品の幾何特性仕様 (GPS) - 輪郭曲線方式 - 触針式表面粗さ測定機の特性」に規定されている。

JIS B 0632 では、輪郭曲線の位相補償フィルタの特性について規定されており、輪郭曲線に含まれている長波長成分と短波長成分を分離する方法について記述されている。この規格で規定されているフィルタは、ガウス形の重み関数をたたみ込み積分するもので、特徴は重み関数が対称であるので周波数に依存した位相遅れが生じないことである。フィルタの規定の対象となる輪郭曲線は、デジタル断面曲線、断面曲線、粗さ曲線、うねり曲線である。フィルタのカットオフ値は、 λ_{co} (co =カットオフの意味)によって表され、用途に応じて λ_s 、 λ_c および λ_f のように使い分ける。

位相補償フィルタの重み関数は、次式のように正規（ガウス）分布の式に一致する。

$$s(x) = \frac{1}{\alpha \lambda_{co}} e^{-\pi \left(\frac{x}{\alpha \lambda_{co}} \right)^2} \quad (3.3)$$

ここに、 x ：重み関数の中央から位置

λ_{co} ：輪郭曲線フィルタのカットオフ値

$$\alpha = \sqrt{\frac{I_n(2)}{\pi}} = 0.4697$$

長波長成分のためのフィルタの振幅伝達特性は、正弦波信号の波長と振幅伝達率の関係によって表され、振幅伝達率は重み関数のフーリエ変換によって与えられる。平均線のためフィルタ（低域フィルタ）の振幅伝達率は次式による。

$$\frac{a_1}{a_0} = e^{-\pi \left(\frac{\alpha \lambda_{co}}{\lambda} \right)^2}$$

ここに、 a_0 ：フィルタに適用する前の正弦波（低域フィルタへの入力）信号の振幅

a_1 ：平均線となる正弦波（低域フィルタの出力）信号の振幅

λ_{co} ：輪郭曲線フィルタのカットオフ値

λ ：正弦波信号の波長

短波長成分のためのフィルタの振幅伝達特性は、長波長成分のためのフィルタの振幅伝達特性と補間関係にある。短波長成分は、輪郭曲線と長波長成分との差になる。この式は、カットオフ値 λ_{co} の関数として次による。

$$\frac{a_2}{a_0} = 1 - \frac{a_1}{a_0} = 1 - e^{-\pi \left(\frac{\alpha \lambda_{co}}{\lambda} \right)^2}$$

ここに、 a_2 ：フィルタに適用する後の正弦波信号の振幅

離散データにガウス形の重みをつけるたたみ込み積分は、図のように有限範囲の重みを対称になるようにして行う。

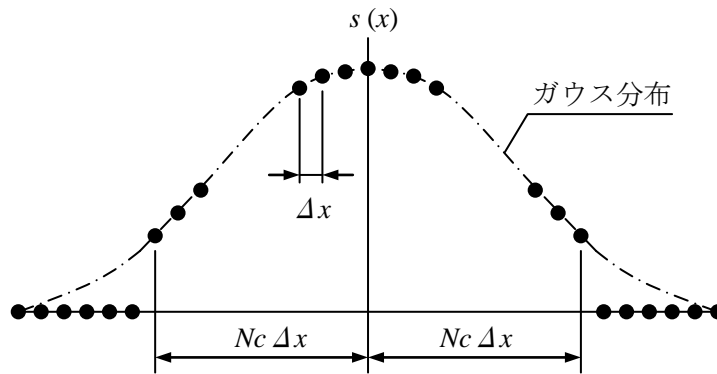


図 3.5 たたみ込み積分に用いる重み関数

データ間隔を Δx とする離散データ $z(x)$ を入力信号、 $a(x)$ を低域フィルタの出力信号とすれば

$$a(x) = \frac{\sum_{k=-Nc}^{Nc} s(k \Delta x) \cdot z(x + k \Delta x)}{K_n} \quad (3.4)$$

ここに、 Nc : たたみ込み積分に用いるデータ数

$k = -Nc, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, Nc$

K_n : 修正係数

$$= \sum_{k=-Nc}^{Nc} s(k \Delta x) \Delta x$$

振幅伝達率の誤差は、 λ/λ_{co} が 0.01 から 100 の範囲で表示する。表示する最小波長は、 $\lambda_{co}/100$ であるので、ナイキスト (Nyquist) 周波数 (識別したい最高周波数の正弦波は 1 周期あたり両端を含めて 3 点で実現できるとするサンプリング理論) に相当する波長は、 $\lambda_{co}/200$ である。これより大きい Δx が採用された場合には、 $2\Delta x$ より短い波長成分はフィルタ処理ができなくなり、 $\lambda/\lambda_{co}=0.01\sim 100$ の範囲で誤差が求められない部分が発生する。

カットオフ値を λ_{co} とし、積分範囲を $2Nc\Delta x \geq 0.9\lambda_{co}$ としたとき、 $2\Delta x$ より短い波長成分は、フィルタ処理ができなくなるので、 $\lambda/\lambda_{co}=0.01\sim 100$ の全範囲にわたる表示は困難となっている。フィルタの誤差 ΔH の最大値 ΔH_{max} が与えられれば、積分範囲が決定される。仮に $2Nc\Delta x \geq 0.9\lambda_{co}$ であれば、 ΔH_{max} は 5% よりはるかに小さくなる。

金属材料の場合、基準長さ l は表面の状態に応じて、0.25 mm (精密仕上げ)、0.8 mm (上仕上げ)、2.5 mm (並仕上げ)、8 mm (荒仕上げ)、25 mm

(生地) が推奨されている。右表は、JIS に示されている R_a を求めるときのカットオフ値と評価長さの標準値である。

コンクリートの表面処理を行った面は、金属に比べると粗度が大きいため、基準長さ l はこれらの値より大きくとる必要がある。コンクリートの粗度面では、 R_a が $100 \mu m$

表 3.7 カットオフ値及び評価長さの標準値

R_a の範囲 (μm)		カットオフ値 λ_c (mm)	評価長さ l_n (mm)
を超え	以下		
(0.006)	0.02	0.08	0.4
0.02	0.1	0.25	1.25
0.1	2.0	0.8	4
2.0	10.0	2.5	12.5
10.0	80.0	8	40

(0.1mm) 以上と予想されるので、上記に倣えばカットオフ値 λ_c は80mmで、評価長さ l_n は400mm程度が妥当であると考えられる。

次に、測定されたデジタルデータを右図に示すように、原点から x 軸方向の直線をすべて連結して1本の線分として表した。このようにすることで、複数の評価長さを取り出すことができる。例えば、 $60 \times 60\text{mm}$ の測定面において、 x, y 方向ともに1mmピッチの測定を行った場合は、 $(61\text{mm} \times 60\text{mm} / 1\text{mm}) + 60\text{mm} = 3720\text{mm}$ となり、評価長さ400mmの線分を9本確保することができる。

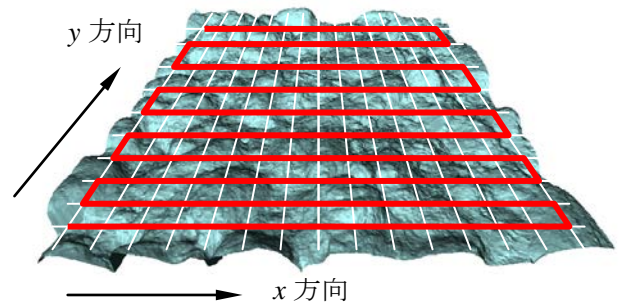


図 3.6 デジタルデータの連続化

一例として、カットオフ値 λ_c を25mm, 40mm, 80mmとしたときのうねり曲線を図3.7に示す。これらの図に見られるようにカットオフ値によってうねりの程度が大きく異なる。結果的には、図3.8に見られるように評価に用いる粗さ曲線の形状が異なることとなる。

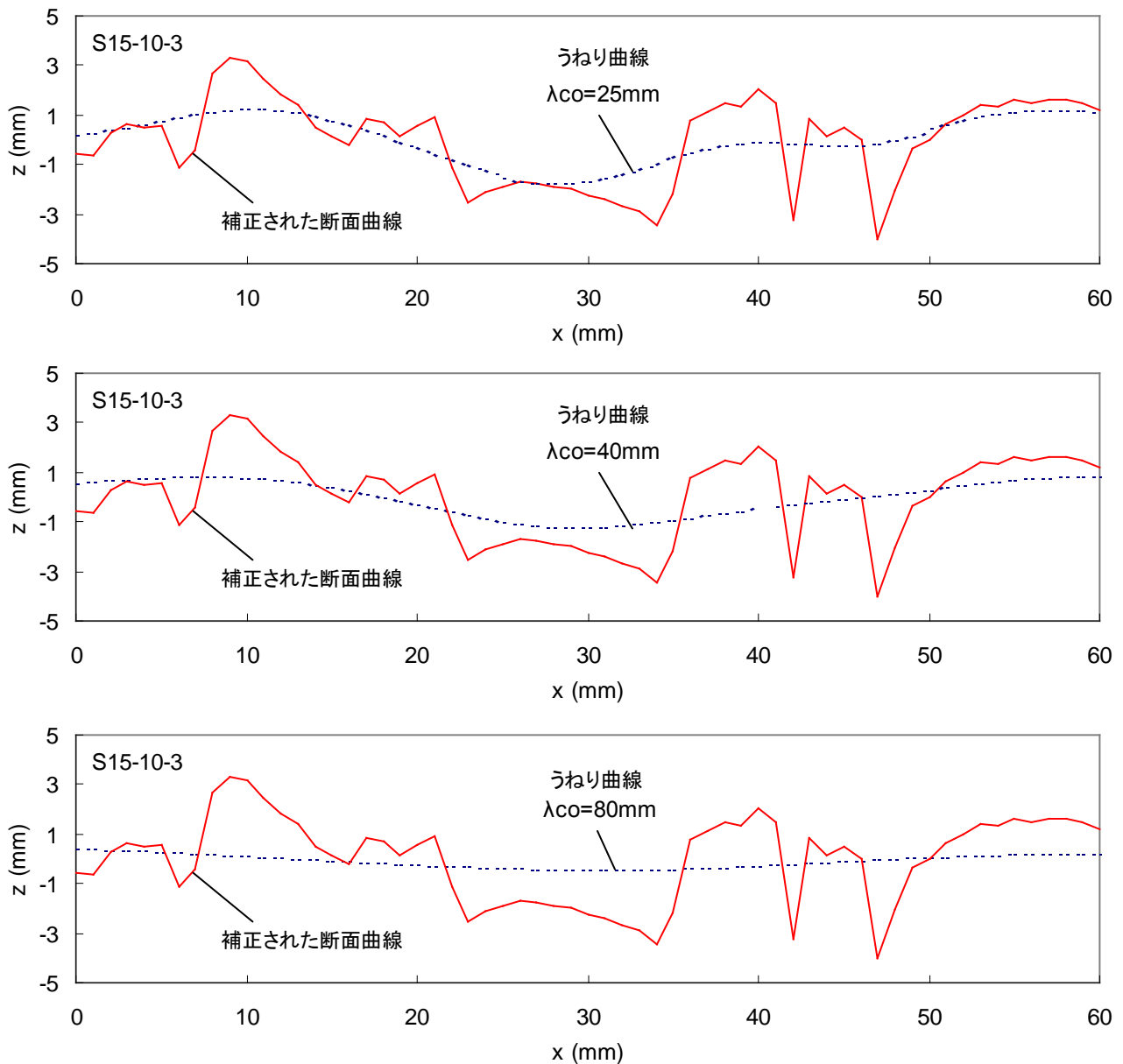


図 3.7 うねり曲線の一例 (S15-10-3)

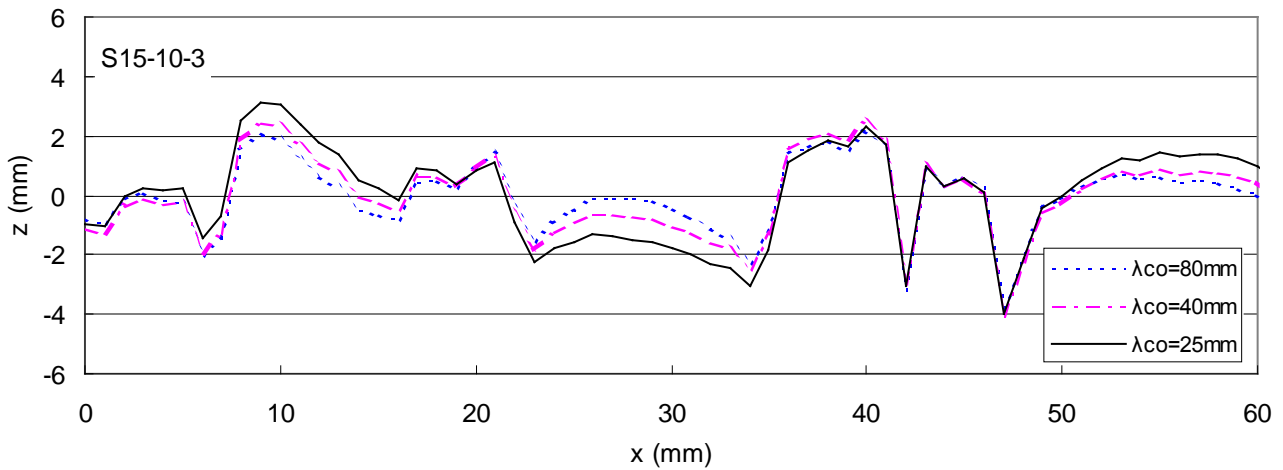


図 3.8 カットオフ値を変化させたときの粗さ曲線の一例 (S15-10-3)

次に、図 3.9 に B10 シリーズについて、はつり深さごとに断面曲線の一例を示す。計測された断面曲線は、供試体の形状の作製精度、表面処理施工の精度、測定機器へ設置レベルの違いから、必ずしも水平度が確保されていない。そのため、測定された x 方向の線分について最小二乗法により勾配をもつ直線で近似を行い、この近似線を基線とした座標値を用いた曲線を「補正された断面曲線 (補正曲線)」とした。

図 3.10 には、補正曲線とうねり曲線を示した。この結果より、カットオフ値 80mm で求めたうねり曲線は、ほとんどうねりが無く、ほぼ直線状と見なせることがわかる。したがって、概ね均等な深さで表面処理を行った面では、実測の断面曲線の勾配を補正して、そのまま粗さ曲線とみなすことができそうである。ただし、本研究では次章の粗さ評価においては、JIS にならい本節で示されているフィルタ処理によって、うねり曲線と粗さ曲線を抽出して検討を進める。

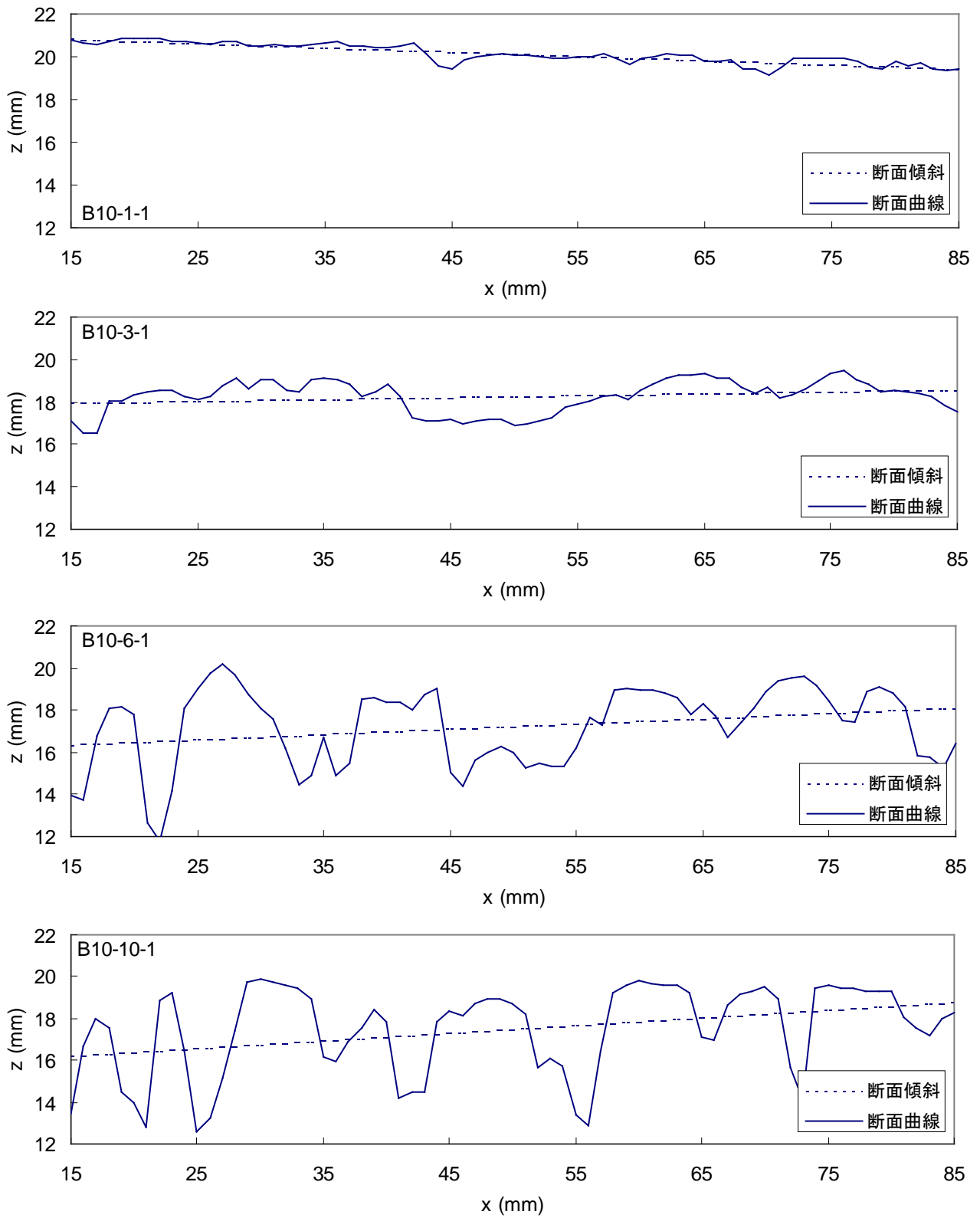


図 3.9 断面曲線の一例

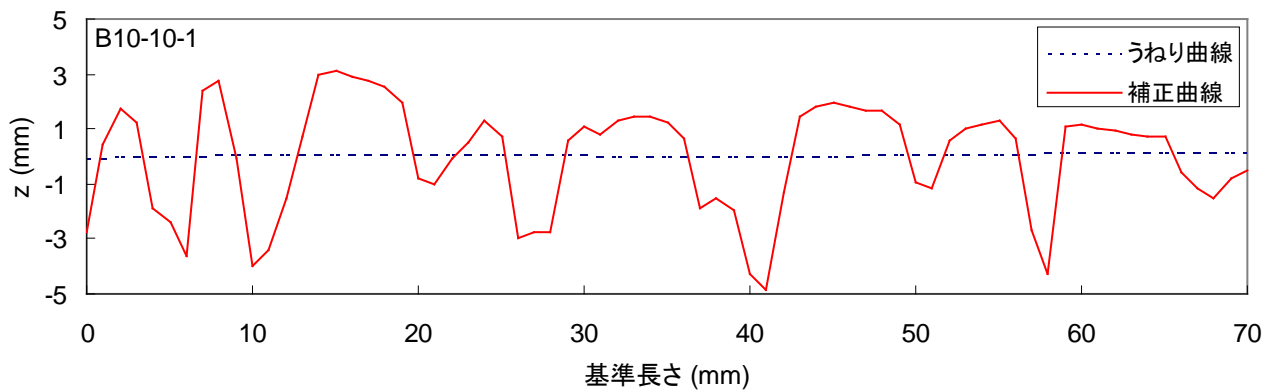
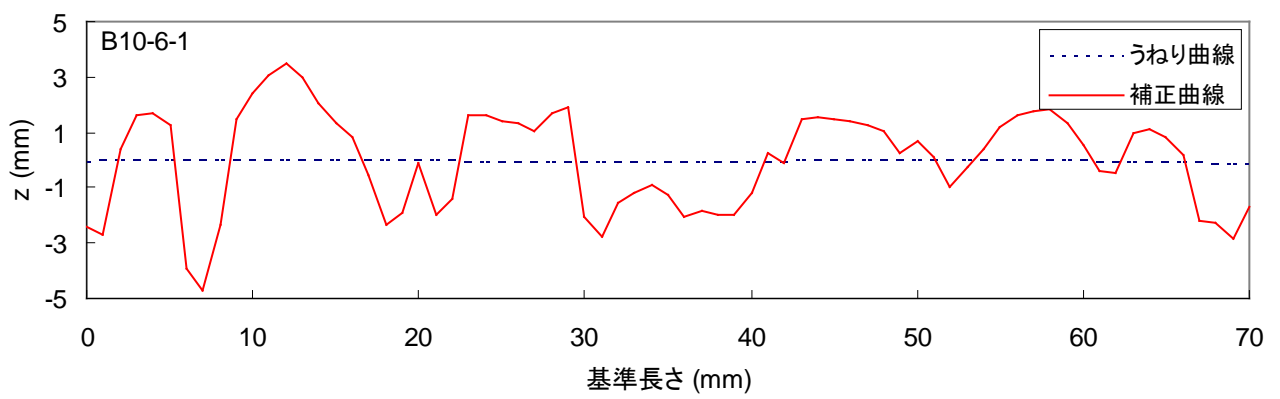
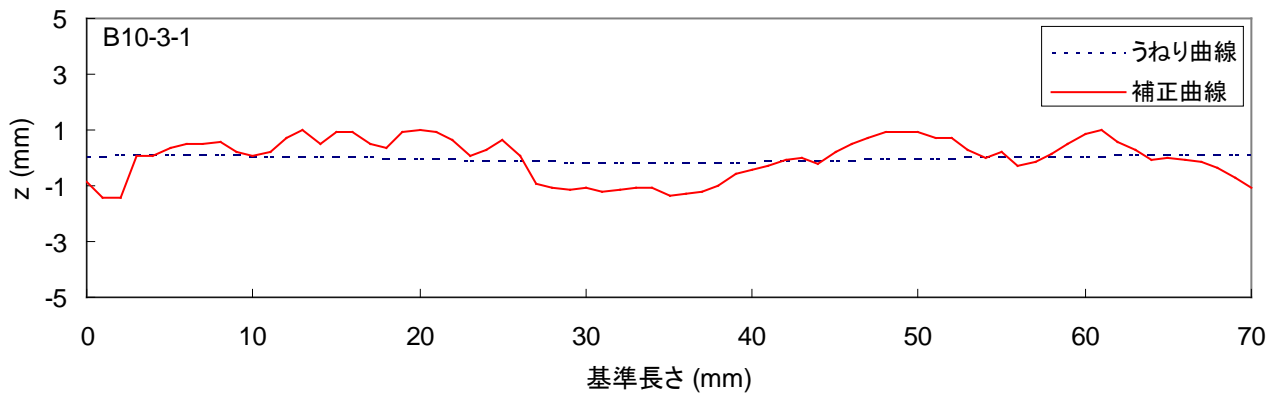
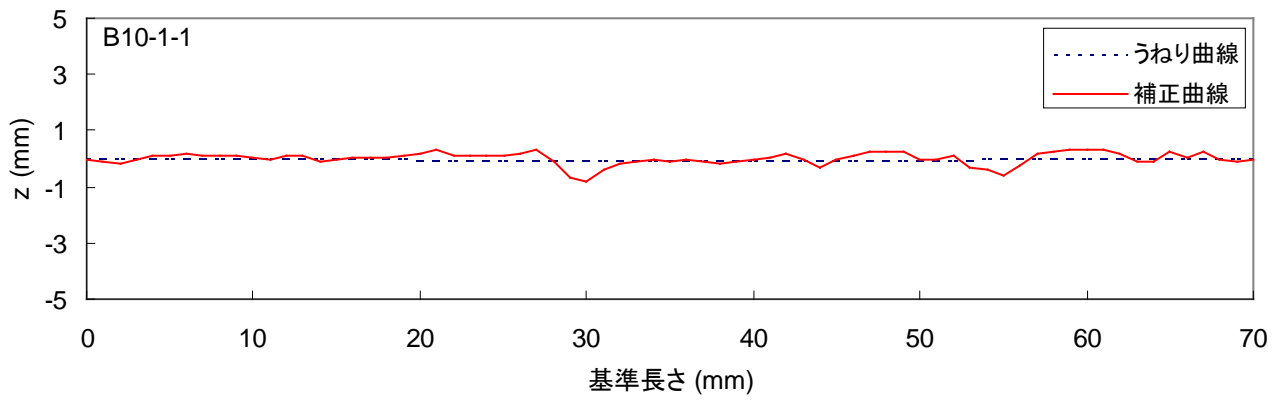


図 3.10 補正曲線とうねり曲線の一例

本実験においては、各供試体について可能な限りの評価長さの本数を取り、それら全てについて粗さパラメータの評価を行うこととする。さらに、各供試体の表面粗さは、複数の評価長さに対する算定値の平均値によって表すこととする。

① 十点平均粗さ RzJIS

粗さ曲線から、その平均線の方向に基準長さ l だけ抜き取り、この抜き取り部分の平均線から、最も高い山頂から 5 番目までの山頂の標高 (Z_p) の絶対値の平均値と、最も低い谷底から 5 番目までの谷底の標高 (Z_v) の絶対値の平均値との和を求め、この値をマイクロメートル (μm) で表したものをいう。

$$R_{zJIS} = \frac{|Z_{p1} + Z_{p2} + Z_{p3} + Z_{p4} + Z_{p5}| + |Z_{v1} + Z_{v2} + Z_{v3} + Z_{v4} + Z_{v5}|}{5} \quad (3.5)$$

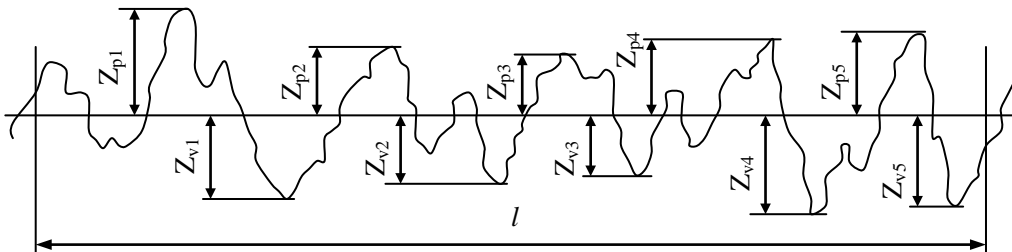


図 3.11 十点平均粗さの定義

② 算術平均粗さ Ra

粗さ曲線から、その平均線の方向に基準長さだけ抜き取り、この抜き取り部分の平均線から測定曲線までの偏差の絶対値を合計し、平均した値。1 つの山あるいは谷が測定値に及ぼす影響が非常に小さくなり、安定した結果が得られる。単位はマイクロメートル (μm)。

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (3.6)$$

ここに、 $Z(x)$: 任意の位置 x における輪郭曲線の高さ平均線の上側を正、下側を負とする。

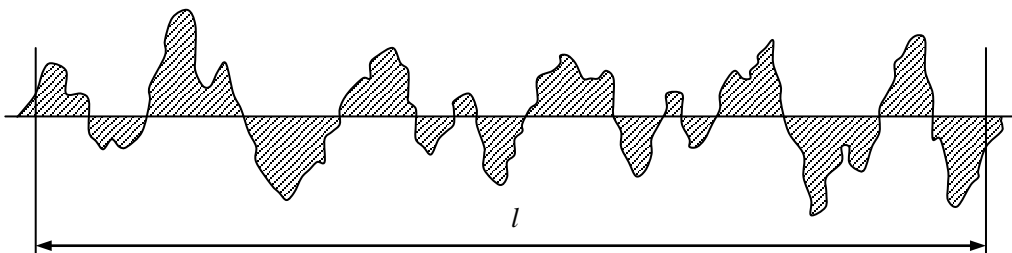


図 3.12 算術平均粗さの定義

③ 二乗平均平方根傾斜 $R\Delta q$

基準長さにおける局部傾斜の二乗平均平方根。 x 方向に等間隔 Δx で測定されたデータから局部傾斜を求め方として、ラグランジェの多項式を当てはめ中央の位置で数値微分する方法がある。JIS B 601 では、次式に示す 7 点公式が示されている。

$$\frac{dz_i}{dx_i} = \frac{z_{i+3} - 9z_{i+2} + 45z_{i+1} - 45z_{i-1} + 9z_{i-2} - z_{i-3}}{60 \Delta x} \quad (3.7)$$

ここに、 x_i : i 番目の点の位置
 z_i : i 番目の点の高さ

二乗平均平方根傾斜は、次式による。

$$R\Delta q = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{dz_i}{dx_i} \right) \right\}^2}$$

ここに、 n : データ数

④ 最大山高さ R_p および最大高さ R_z (旧 R_y)

「最大山高さ」は、基準長さにおける輪郭曲線の山高さの最大値。「最大高さ」は、基準長さにおける輪郭曲線の山高さの最大値と谷深さの最大値との和。輪郭曲線が粗さ曲線の場合は、最大高さは「最大高さ粗さ」と呼ぶ。

$$R_z = z_p + z_v \quad (3.8)$$

ここに、 z_p : 山高さの最大値
 z_v : 谷深さの最大値

⑤ スキューネス R_{sk}

輪郭曲線の二乗平均平方根粗さ R_q の三乗によって無次元化した基準長さにおける $Z(x)$ の三乗平均。スキューネスは、突出した山または谷の影響を強く受け、偏り度（高さ方向の確率密度関数の非対称性の尺度）を表す。

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[\frac{1}{l} \int_0^l Z(x)^3 dx \right] \quad (3.9)$$

ここに、 $Z(x)$: 任意の位置 x における輪郭曲線の高さ。平均線の下側を負、上側を正とする。
 l : 基準長さ

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z(x)^2 dx} \quad : \text{二乗平均平方根粗さ}$$

山に対し谷の部分が広い粗さ曲線では、確率密度関数は谷の方へ偏った分布形となり、スキューネスは正の値を示す。 R_{sk} が正側に大きければ大きいほど確率密度関数が谷側に偏っていることを表し、すべり面などで初期磨耗が大きくなるといわれている。一方、山頂部分が比較的平らな場合には、確率密度関数は山頂側に偏って、 R_{sk} は負の値を示し、すべり面などでは初期磨耗が生じ難い。このように R_{sk} は確率密度関数の非対称を表すのに有効である。なお、確率密度関数が正規分布に従うときは、 $R_{sk} = 0$ である。

参考文献

- 1) 會田俊夫ほか：切削工学，精密工学講座 11，コロナ社，1973
- 2) 日本機械学会編：超精密形状計測技術，超精密シリーズ 4，1996.12
- 3) 山口克彦，沖本邦郎：材料加工プロセス，ものづくりの基礎，共立出版，2000.10
- 4) J.S.ベンダット，A.G.ピアソル：ランダムデータの統計的処理，培風館，1976.1
- 5) 大崎順彦：地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，1971.7
- 6) 谷内俊弥，西原功修：非線形波動，岩波書店，1977.5
- 7) 岡本純三ほか：トライボロジー入門，摩擦・磨耗・潤滑の基礎，幸書房，1990.2
- 8) JIS B 0601 製品の幾何特性仕様(GPS)―表面性状：輪郭曲線方式―用語，定義及び表面性状パラメータ，日本規格協会，2001.1
- 9) JIS B 0632 製品の幾何特性仕様(GPS)―表面性状：輪郭曲線方式―位相補償フィルタの特性，日本規格協会，2001.1
- 10) JIS B 0633 製品の幾何特性仕様(GPS)―表面性状：輪郭曲線方式―表面性状評価の方式及び手順，日本規格協会，2001.1
- 11) JIS B 0651 製品の幾何特性仕様(GPS)―表面性状：輪郭曲線方式―触針式表面粗さ測定機の特性，日本規格協会，2001.1

参考ウェブサイト

- 1) 実教出版 http://www.jikkyo.co.jp/contents_data/jisb031.pdf
- 2) 不二製作所 <http://www.fujimfg.co.jp/benri/roughness.htm>
- 3) 東京精密 www.accretech.jp/products/measuring/sfexplainpdf/download
- 4) ミットヨ http://www.mitutoyo.co.jp/technology/standard/introduction_05/
- 5) 長岡科学技術大学柳研究室 <http://orion.nagaokaut.ac.jp/>
- 6) 日本規格協会 <http://www.jsa.or.jp/>
- 7) 小阪研究所 <http://www.kosakalab.co.jp/arasa/kaisetsu/arasa2.htm>
- 8) 京都大学林産加工学分野 <http://h3news1.kais.kyoto-u.ac.jp/projects/info/Rough-robust/index.html>

4. 実験結果および考察

4. 1 基盤コンクリート表面処理面の粗さ評価

(1) 表面積変化率による粗さ評価

表 4.1 から表 4.4 に、表面処理前および表面処理後の基準高・表面積を示す。実測はつり深さは、表面処理前の基準高の平均値から表面処理後の基準高の平均値を差し引いて求めた。表面積変化率は、3.3(1) ① に示した三角形要素による方法をA法、3.3(1) ② に示した2004年度の尾崎宏喜氏修士論文による方法をB法として示した。なお、この項における検討では、全ての供試体について、X/Y スキャンピッチ 1mm のデータを用いた。

表 4.1 接着試験用基盤コンクリート表面処理前後の表面積 (2005 年度)

供試体	最大粗骨材寸法	表面処理前		表面処理後		表面積変化率(A法)	表面積変化率(B法)	実測はつり深さ(mm)
		基準高(mm)	表面積(mm ²)	基準高(mm)	表面積(mm ²)			
B10-1-1	10 mm	21.060	4903.8	20.565	5034.2	1.027	1.029	0.495
B10-1-2	"	20.232	4900.4	19.716	5072.2	1.035	1.033	0.516
B10-1-3	"	20.398	4900.1	18.874	5228.2	1.067	1.049	1.524
B10-3-1	"	20.973	4900.7	19.519	5276.8	1.077	1.055	1.454
B10-3-2	"	20.947	4901.6	18.532	5488.3	1.120	1.079	2.415
B10-3-3	"	20.249	4900.2	18.278	5267.1	1.075	1.055	1.971
B10-6-1	"	20.745	4900.1	17.834	8024.5	1.638	1.370	2.911
B10-6-2	"	21.069	4900.1	18.061	7800.4	1.592	1.333	3.008
B10-6-3	"	19.763	4900.1	16.814	8015.5	1.636	1.357	2.949
B10-10-1	"	19.915	4900.3	15.027	9492.5	1.937	1.549	4.888
B10-10-2	"	20.742	4900.3	15.676	9396.6	1.918	1.519	5.066
B10-10-3	"	19.575	4900.4	14.407	9915.7	2.024	1.597	5.168
B15-1-1	15 mm	20.973	4900.7	20.166	5200.9	1.061	1.047	0.807
B15-1-2	"	20.947	4901.6	20.218	5227.6	1.067	1.050	0.729
B15-1-3	"	20.249	4900.2	20.188	5245.9	1.071	1.051	0.061
B15-3-1	"	21.887	4901.2	19.102	5884.8	1.201	1.120	2.785
B15-3-2	"	20.152	3602.8	17.692	4092.5	1.137	1.085	2.460
B15-3-3	"	20.991	4901.2	18.844	5670.0	1.157	1.097	2.147
B15-6-1	"	20.457	4901.3	17.119	9418.4	1.922	1.525	3.338
B15-6-2	"	21.056	4900.5	17.328	9045.6	1.846	1.451	3.728
B15-6-3	"	20.457	4902.4	16.910	9645.7	1.969	1.575	3.547
B15-10-1	"	20.000	4901.4	15.049	10072.9	2.056	1.631	4.951
B15-10-2	"	20.746	4901.7	15.618	10372.9	2.117	1.643	5.128
B15-10-3	"	20.939	4901.2	16.319	9529.6	1.945	1.545	4.620
B20-1-1	20 mm	21.200	4901.3	20.645	5077.6	1.036	1.033	0.555
B20-1-2	"	—	—	20.269	5141.7	1.049	1.041	—
B20-1-3	"	20.532	4900.2	19.929	5046.0	1.030	1.030	0.603
B20-3-1	"	21.832	4902.8	20.155	5338.8	1.090	1.059	1.677
B20-3-2	"	21.255	4900.1	19.115	5409.8	1.104	1.066	2.140
B20-3-3	"	20.498	4900.1	18.282	5524.1	1.127	1.082	2.216
B20-6-1	"	19.320	4900.7	16.574	8257.2	1.685	1.402	2.746
B20-6-2	"	20.112	4900.5	17.214	8486.6	1.732	1.403	2.898
B20-6-3	"	19.323	4900.2	16.527	7918.1	1.616	1.341	2.796
B20-10-1	"	19.435	4900.1	12.509	10010.8	2.043	1.573	6.926
B20-10-2	"	20.534	4900.6	10.769	10937.7	2.232	1.741	9.765
B20-10-3	"	20.049	4900.3	11.799	10151.8	2.072	1.590	8.250

表 4.2 引張付着試験用基盤コンクリート表面処理前後の表面積 (2006 年度)

供試体	最大粗骨材寸法	表面処理前		表面処理後		表面積変化率(A法)	表面積変化率(B法)	実測はつり深さ(mm)
		基準高(mm)	表面積(mm ²)	基準高(mm)	表面積(mm ²)			
5-1	20 mm	29.419	4900.3	29.083	5442.5	1.111	1.073	0.336
5-2	"	29.244	4900.2	28.710	5634.6	1.150	1.094	0.534
5-3	"	29.773	4901.5	28.807	5849.4	1.194	1.125	0.966
5-4	"	29.518	4900.4	29.191	5545.8	1.132	1.085	0.327
5-5	"	30.378	4900.3	29.901	5732.9	1.170	1.103	0.477
5-6	"	29.262	4900.3	28.718	5748.7	1.173	1.102	0.544
5-7	"	29.128	4900.4	28.540	5599.4	1.143	1.086	0.588
5-8	"	29.225	4900.5	28.543	5898.2	1.204	1.124	0.682
5-9	"	28.976	4900.2	28.476	5699.1	1.163	1.100	0.500
5-10	"	28.827	4900.1	27.073	7145.8	1.458	1.270	1.754
5-11	"	29.107	4900.1	28.797	5558.6	1.134	1.086	0.310
5-12	"	29.692	4900.1	29.254	5543.8	1.131	1.087	0.438
5-13	"	—	—	29.851	5570.1	1.137	1.088	—
5-14	"	29.391	4900.2	29.013	5677.0	1.159	1.100	0.378
5-15	"	28.863	4900.4	28.327	5586.8	1.140	1.089	0.536
5-16	"	29.992	4900.3	29.812	5405.6	1.103	1.069	0.180
5-17	"	29.146	4909.6	28.508	5574.5	1.138	1.085	0.638
5-18	"	28.780	4902.4	27.488	6573.4	1.342	1.190	1.292
5-19	"	28.905	4900.3	27.230	6867.0	1.401	1.229	1.675
5-20	"	28.718	4901.1	27.524	6485.7	1.324	1.194	1.194
5-21	"	29.531	4900.4	29.031	5630.1	1.149	1.094	0.500
5-22	"	29.392	4943.0	28.011	6767.1	1.381	1.221	1.381
5-23	"	28.401	4900.6	27.840	5671.8	1.158	1.097	0.561
5-24	"	—	—	30.543	5726.9	1.169	1.102	—
5-25 (6-1)	"	29.287	4901.7	28.860	5471.6	1.117	1.076	0.427
5-26 (6-2)	"	28.625	4900.2	27.956	5712.5	1.166	1.103	0.669
5-27 (6-3)	"	28.973	4901.1	28.690	5274.8	1.076	1.053	0.283
5-28 (6-4)	"	—	—	29.471	5497.2	1.122	1.077	—

表 4.3 せん断付着試験用基盤コンクリート表面処理前後の表面積 (2005 年度)

供試体	最大粗骨材寸法	表面処理前		表面処理後		表面積変化率(A法)	表面積変化率(B法)	実測はつり深さ(mm)
		基準高(mm)	表面積(mm ²)	基準高(mm)	表面積(mm ²)			
S10-1-1	10 mm	18.347	3601.0	17.662	3754.2	1.043	1.040	0.685
S10-1-2	"	20.001	3601.7	19.394	3736.3	1.038	1.036	0.607
S10-1-3	"	18.825	3610.5	18.506	3760.6	1.045	1.041	0.319
S10-3-1	"	20.186	3602.8	18.603	3904.5	1.085	1.060	1.583
S10-3-2	"	18.820	3600.2	15.880	4021.6	1.117	1.079	2.940
S10-3-3	"	20.688	3603.5	17.712	3925.6	1.090	1.064	2.976
S10-6-1	"	21.659	3602.2	18.210	6471.4	1.798	1.471	3.449
S10-6-2	"	21.262	3601.6	18.191	6202.4	1.723	1.433	3.071
S10-6-3	"	20.948	3600.6	18.058	6079.5	1.689	1.390	2.890
S10-10-1	"	20.203	3601.1	12.513	7388.0	2.052	1.601	7.690
S10-10-2	"	19.911	3600.4	10.997	8060.6	2.239	1.719	8.914
S10-10-3	"	20.400	3602.2	10.634	7322.2	2.034	1.578	9.766
S15-1-1	15 mm	19.471	3601.6	18.520	3908.0	1.086	1.060	0.951
S15-1-2	"	19.347	3631.1	18.091	4065.0	1.129	1.085	1.256
S15-1-3	"	18.633	3953.3	17.988	4069.7	1.130	1.089	0.645
S15-3-1	"	18.884	3611.3	15.579	4268.5	1.186	1.118	3.305
S15-3-2	"	20.152	3602.8	17.692	4092.5	1.137	1.085	2.460
S15-3-3	"	20.008	3604.1	17.037	4256.8	1.182	1.118	2.971
S15-6-1	"	19.724	3600.7	16.555	6020.2	1.672	1.376	3.169
S15-6-2	"	19.458	3603.8	15.564	6453.1	1.793	1.488	3.894
S15-6-3	"	19.883	3602.8	16.313	6570.1	1.825	1.482	3.570
S15-10-1	"	19.761	3607.3	14.359	6354.3	1.926	1.488	5.402
S15-10-2	"	20.759	3601.2	16.607	7187.0	1.996	1.534	4.152
S15-10-3	"	19.573	3600.3	16.344	6630.7	1.842	1.504	3.229
S20-1-1	20 mm	20.834	3610.6	20.230	3736.2	1.038	1.037	0.604
S20-1-2	"	20.152	3601.1	19.433	3841.7	1.067	1.054	0.719
S20-1-3	"	—	—	20.111	3760.6	1.045	1.040	—
S20-3-1	"	21.832	4902.8	20.155	5338.8	1.677	1.090	1.059
S20-3-2	"	20.092	3606.4	17.415	4142.0	1.151	1.104	2.677
S20-3-3	"	20.927	3602.1	18.311	4094.6	1.137	1.089	2.616
S20-6-1	"	20.956	3604.6	15.892	6208.8	1.725	1.409	5.064
S20-6-2	"	21.309	3601.1	17.964	6414.1	1.782	1.440	3.345
S20-6-3	"	20.882	3600.9	17.584	6206.6	1.724	1.419	3.298
S20-10-1	"	20.879	3611.9	15.372	6255.3	1.896	1.496	5.507
S20-10-2	"	20.037	3600.4	14.793	6741.4	1.873	1.506	5.244
S20-10-3	"	19.671	3601.4	15.149	6766.1	1.879	1.510	4.522

表 4.4 セン断付着試験用基盤コンクリート表面処理前後の表面積 (2006 年度)

供試体	最大粗骨材寸法	表面処理前		表面処理後		表面積変化率 (A 法)	表面積変化率 (B 法)	実測はつり深さ (mm)
		基準高 (mm)	表面積 (mm ²)	基準高 (mm)	表面積 (mm ²)			
6-5		28.835	4900.7	28.428	5361.8	1.094	1.065	0.407
6-6		30.995	3600.4	30.356	4030.6	1.120	1.077	0.639
6-7		30.212	3601.0	29.851	4155.5	1.154	1.097	0.361
6-8	〃	30.161	3600.5	29.301	4119.3	1.144	1.093	0.860
6-9	〃	30.919	3600.4	30.818	3968.0	1.102	1.071	0.101
6-10	〃	28.738	3600.4	28.021	4306.7	1.196	1.117	0.717
6-11	〃	29.547	3600.3	29.172	3994.2	1.109	1.073	0.375
6-12	〃	32.794	3606.5	32.460	4048.1	1.124	1.079	0.334
6-13	〃	30.600	3600.3	29.327	4684.2	1.301	1.182	1.273
6-14	〃	30.183	3601.0	29.486	4265.6	1.185	1.112	0.697
6-15	〃	28.766	3600.6	28.280	4030.4	1.120	1.080	0.486
6-16	〃	30.057	3600.2	29.413	4103.5	1.140	1.093	0.644
6-17	〃	30.098	3600.3	29.839	4008.8	1.114	1.077	0.259
6-18	〃	30.984	3600.2	30.633	3973.8	1.104	1.070	0.351
6-19	〃	30.880	3602.8	29.549	4863.5	1.351	1.213	1.331
6-20	〃	31.491	3600.7	31.133	4072.6	1.131	1.090	0.358
6-21	〃	33.686	3600.4	33.124	4045.4	1.124	1.079	0.562
6-22	〃	29.679	3601.6	28.837	4271.4	1.186	1.111	0.842
6-23	〃	30.900	3600.2	30.600	4041.5	1.122	1.077	0.300
6-24	〃	29.747	3601.3	29.465	4219.1	1.172	1.109	0.282
6-25	〃	29.891	3600.2	29.556	3979.6	1.105	1.072	0.335
6-26	〃	30.289	3600.2	29.711	3954.3	1.098	1.066	0.578
6-27	〃	29.941	3601.7	29.901	4001.0	1.111	1.076	0.040
6-28	〃	31.077	3600.6	30.692	3985.5	1.107	1.074	0.385
6-29	〃	31.038	3601.5	29.473	4795.6	1.332	1.207	1.565
6-30	〃	29.719	3602.9	29.414	3908.7	1.086	1.062	0.305
6-31	〃	30.373	3600.9	28.438	4774.5	1.326	1.195	1.935
6-32	〃	32.006	3642.2	31.655	3901.4	1.084	1.062	0.351
6-33	〃	30.421	3600.1	29.769	4047.4	1.124	1.083	0.652

図 4.1 は、表面積の計算方法による違いを示したものである。この図から、A法（精度の高い計算方法）による計算値は、B法（簡易な計算方法）の計算値の 1.72 倍程度の大きさとなる傾向が示されている。その関係は、表面積の大きさにかかわらず線形の関係にあり、図中の実線のように一次式による関数で近似することができる。したがって、比較的簡便な計算である B 法による計算値から、より真実の値に近い A 法による表面積の値を推定することができる。A 法による表面積の計算値と B 法による表面積の計算値の関係は、以下の近似によって与えることができる。なお、以下の検討では、A 法による表面積の値を用いる。

$$A_{r,A法} = 1.74(A_{r,B法} - 1) + 1 \quad (4.1)$$

ここに、 $A_{r,A法}$ ：A法によって計算された表面積の値

$A_{r,B法}$ ：B法によって計算された表面積の値

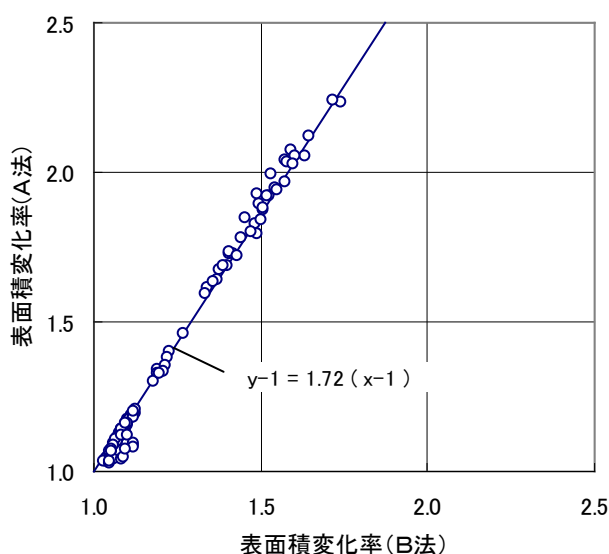


図 4.1 A法とB法による表面積計算値の比較

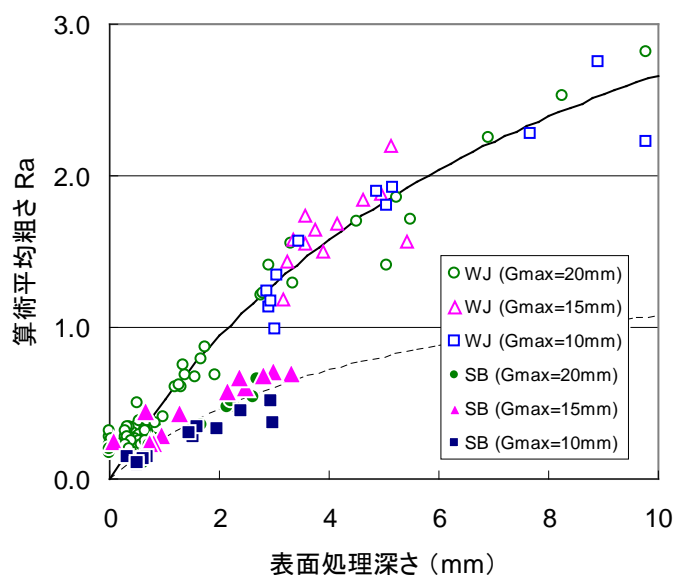


図 4.2 はつり深さと表面積変化率の関係

測定によって得られた平均はつり深さと表面積変化率の関係を図 4.2 に示す。平均はつり深さととは、表面処理前に測定された基準高さの平均値から表面処理後に測定された基準高さの平均値を差し引いて求めたものである。図に見られるように、SB 工法と WJ 工法で表面積変化率の特性が異なることが示されている。すなわち、SB 工法でははつり深さが大きくなっても表面積変化率の増加は鈍いが、WJ 工法では表面積変化率の増加が著しい。ただし、WJ 工法では、はつり深さが 5~6mm 程度以降では表面積変化率の増加が鈍り、定常的な値になるようである。

WJ 工法による表面処理が SB 工法に比べて表面積増加率が大きくなるのは、高水圧によって粗骨材間のモルタルをより深い位置まで除去することができるためであると考えられる。

定常的な値が示された WJ 工法については、以下の仮定に基づいてはつり深さと表面積変化率の関係に対して定式化を試みる。

- ・はつり深さ 0mm で、表面積変化率は 1 とする。
- ・はつり深さがある程度以上の大きさでは、表面積変化率は一定値となる。

この仮定にしたがって、境界条件として $x=0$ で $A_r = 1$ 、 $x=\infty$ で $A_r = b$ とおき、両者の関係には双曲線関数を用いる。

$$A_r - 1 = b - \frac{ab}{a+x} \quad (4.2)$$

ここに、 A_r : 表面積変化率

a : 係数 (未知量)

b : 表面積変化率の収束値 (未知量)

x : はつり深さ

未知量の a および b は、式 (4.1.2) による計算値と実験値の相関が最も高くなる組合せを探索した。相関係数の算出にあたっては、表面積変化率の実測値を y 、式 (4.2) による計算値を y' とすると、以下の式によって与えることができる。

$$\text{相関係数 } R = \sqrt{1 - \frac{\Delta^2}{S_y^2}}$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n-1} \left\{ \sum y_i^2 - n \cdot \bar{y}^2 \right\} \quad \left(\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} : y \text{ の平均値} \right)$$

$$\Delta^2 = \sum (y_i - y_i')^2$$

その結果、本実験供試体に対する値として以下の値を得た。

WJ 工法の場合	SB 工法の場合
$a = 8.4$	$a = 4.9$
$b = 4.9$	$b = 1.6$
$R = 0.984$	$R = 0.858$

したがって、WJ 工法では平均はつり深さが大きくなっていくと、表面積変化率は 5.9 ($=b+1$) 程度に収束すると予想される。同様に、SB 工法では、その値は 2.6 程度ということになる。

(2) JIS 粗さパラメータによる粗さ評価

表 4.5 から表 4.8 に、表面処理前および表面処理後の JIS 粗さパラメータを示す。各粗さパラメータは、3.3(2) ①～⑤ による方法で算定した。なお、この項における検討では、全ての供試体について、X/Y スキャンピッチ 1mm のデータを用いた。

表 4.5 引張付着試験用基盤コンクリート表面処理前後の粗さパラメータ (2005 年度)

供試体	最大粗骨材寸法	十点平均粗さ RzJIS	算術平均粗さ Ra	二乗平方根平均傾斜 ΔRq	最大高さ粗さ Rz	最大山高さ Rp	スキューネス Rsk
B10-1-1	10 mm	0.278	0.095	0.065	0.874	0.303	-0.875
B10-1-2	"	0.311	0.103	0.077	1.101	0.294	-1.470
B10-1-3	"	0.589	0.273	0.155	1.930	0.840	-0.275
B10-3-1	"	0.631	0.300	0.151	1.936	0.888	-0.077
B10-3-2	"	0.850	0.446	0.224	2.850	1.271	-0.161
B10-3-3	"	0.650	0.332	0.158	2.025	0.929	-0.142
B10-6-1	"	2.206	1.136	0.421	6.522	2.633	-0.442
B10-6-2	"	1.971	0.988	0.372	5.408	2.343	-0.223
B10-6-3	"	2.158	1.171	0.412	6.274	2.645	-0.289
B10-10-1	"	3.168	1.890	0.529	9.494	4.174	-0.182
B10-10-2	"	2.978	1.797	0.512	8.831	4.142	-0.069
B10-10-3	"	3.274	1.921	0.544	9.573	4.175	-0.268
B15-1-1	15 mm	0.522	0.237	0.135	1.624	0.578	-0.839
B15-1-2	"	0.554	0.236	0.122	1.663	0.619	-0.751
B15-1-3	"	0.561	0.251	0.138	1.653	0.648	-0.662
B15-3-1	"	1.222	0.691	0.289	3.780	1.787	-0.047
B15-3-2	"	1.082	0.674	0.277	3.495	1.533	-0.233
B15-3-3	"	1.041	0.573	0.254	3.420	1.441	-0.302
B15-6-1	"	2.933	1.585	0.466	8.493	3.365	-0.500
B15-6-2	"	2.805	1.644	0.486	8.540	3.468	-0.430
B15-6-3	"	3.125	1.730	0.484	8.793	3.470	-0.505
B15-10-1	"	3.421	1.877	0.533	10.144	4.116	-0.391
B15-10-2	"	3.481	2.195	0.533	11.097	4.757	-0.333
B15-10-3	"	3.149	1.845	0.495	9.703	4.000	-0.247
B20-1-1	20 mm	0.348	0.132	0.078	1.095	0.382	-0.857
B20-1-2	"	0.441	0.192	0.095	1.273	0.476	-0.697
B20-1-3	"	0.283	0.100	0.071	0.935	0.269	-1.366
B20-3-1	"	0.722	0.359	0.166	2.221	0.938	-0.240
B20-3-2	"	0.797	0.468	0.210	2.648	1.169	-0.202
B20-3-3	"	0.944	0.513	0.225	2.984	1.467	0.084
B20-6-1	"	2.337	1.212	0.424	7.327	2.769	-0.634
B20-6-2	"	2.466	1.405	0.449	7.237	2.935	-0.400
B20-6-3	"	2.202	1.230	0.435	6.655	2.645	-0.483
B20-10-1	"	3.445	2.247	0.547	11.662	4.981	-0.366
B20-10-2	"	4.171	2.818	0.597	13.938	6.293	-0.197
B20-10-3	"	3.554	2.522	0.575	12.442	6.032	0.021

表 4.6 引張付着試験用基盤コンクリート表面処理前後の粗さパラメータ (2006 年度)

供試体	最大 粗骨材 寸法	十点平均 粗さ RzJIS	算術平均 粗さ Ra	二乗平方根 平均傾斜 ΔRq	最大高さ 粗さ Rz	最大山 高さ Rp	スキューネス Rsk
5-1	20 mm	0.581	0.217	0.131	1.647	0.533	-0.935
5-2	"	0.744	0.322	0.182	2.288	0.710	-1.137
5-3	"	0.930	0.408	0.228	2.725	0.856	-1.022
5-4	"	0.668	0.262	0.154	1.948	0.593	-1.121
5-5	"	0.796	0.338	0.179	2.482	0.790	-1.037
5-6	"	0.811	0.378	0.182	2.664	0.893	-1.090
5-7	"	0.682	0.269	0.143	2.008	0.690	-0.847
5-8	"	0.851	0.340	0.193	2.467	0.787	-0.969
5-9	"	0.795	0.500	0.217	2.434	0.773	-1.104
5-10	"	1.690	0.871	0.367	4.556	1.800	-0.485
5-11	"	0.638	0.243	0.158	1.875	0.570	-1.143
5-12	"	0.696	0.300	0.171	2.087	0.657	-1.012
5-13	"	0.684	0.271	0.183	1.996	0.649	-0.989
5-14	"	0.801	0.348	0.193	2.439	0.723	-1.251
5-15	"	0.686	0.265	0.166	2.049	0.624	-1.108
5-16	"	0.579	0.230	0.144	1.747	0.530	-1.172
5-17	"	0.705	0.288	0.162	2.159	0.682	-1.127
5-18	"	1.321	0.608	0.286	3.840	1.463	-0.615
5-19	"	1.501	0.793	0.317	4.225	1.745	-0.453
5-20	"	1.320	0.607	0.268	3.617	1.343	-0.605
5-21	"	0.696	0.278	0.148	1.913	0.619	-0.918
5-22	"	1.473	0.689	0.292	4.419	1.698	-0.533
5-23	"	0.739	0.294	0.162	2.029	0.734	-0.736
5-24	"	0.776	0.319	0.165	2.205	0.742	-0.824
5-25 (6-1)	"	0.641	0.263	0.134	1.862	0.551	-1.131
5-26 (6-2)	"	0.779	0.327	0.183	2.355	0.751	-1.014
5-27 (6-3)	"	0.465	0.197	0.107	1.440	0.393	-1.401
5-28 (6-4)	"	0.611	0.226	0.141	1.791	0.576	-1.038

表 4.7 セン断付着試験用基盤コンクリート表面処理前後の粗さパラメータ (2005 年度)

供試体	最大粗骨材寸法	十点平均粗さ RzJIS	算術平均粗さ Ra	二乗平方根平均傾斜 ΔRq	最大高さ粗さ Rz	最大山高さ Rp	スキューネス Rsk
S10-1-1	10 mm	0.380	0.143	0.071	1.177	0.445	-0.590
S10-1-2	"	0.357	0.135	0.071	1.046	0.436	-0.360
S10-1-3	"	0.386	0.145	0.089	1.336	0.431	-1.053
S10-3-1	"	0.696	0.344	0.149	2.103	1.036	0.061
S10-3-2	"	0.901	0.509	0.213	3.058	1.472	-0.021
S10-3-3	"	0.734	0.373	0.162	2.270	1.113	0.077
S10-6-1	"	2.657	1.559	0.408	8.103	3.386	-0.396
S10-6-2	"	2.424	1.344	0.399	7.574	2.913	-0.585
S10-6-3	"	2.292	1.231	0.356	6.211	2.601	-0.368
S10-10-1	"	3.434	2.279	0.461	11.727	5.828	0.043
S10-10-2	"	4.009	2.756	0.517	13.474	6.298	-0.061
S10-10-3	"	3.358	2.226	0.459	11.389	5.978	0.228
S15-1-1	15 mm	0.614	0.290	0.155	2.216	0.687	-1.369
S15-1-2	"	0.870	0.436	0.163	2.785	0.934	-0.956
S15-1-3	"	0.875	0.454	0.177	3.267	1.150	-0.725
S15-3-1	"	1.212	0.702	0.253	3.723	1.776	-0.016
S15-3-2	"	0.963	0.606	0.218	3.163	1.524	0.029
S15-3-3	"	1.234	0.713	0.224	4.021	1.717	-0.170
S15-6-1	"	2.280	1.180	0.344	6.607	2.781	-0.417
S15-6-2	"	2.869	1.501	0.397	8.327	3.454	-0.407
S15-6-3	"	2.851	1.551	0.394	8.997	3.453	-0.502
S15-10-1	"	2.816	1.560	0.398	8.417	3.076	-0.674
S15-10-2	"	3.009	1.683	0.434	8.666	3.687	-0.249
S15-10-3	"	2.720	1.432	0.389	7.446	3.024	-0.347
S20-1-1	20 mm	0.347	0.130	0.066	1.058	0.410	-0.631
S20-1-2	"	0.539	0.220	0.107	1.875	0.552	-1.376
S20-1-3	"	0.418	0.169	0.077	1.255	0.519	-0.461
S20-3-1	"	0.813	0.470	0.173	2.487	1.232	-0.003
S20-3-2	"	1.087	0.655	0.225	3.611	1.699	-0.019
S20-3-3	"	0.979	0.533	0.177	2.871	1.378	0.001
S20-6-1	"	2.576	1.404	0.363	7.764	2.992	-0.549
S20-6-2	"	2.481	1.291	0.358	7.353	2.817	-0.569
S20-6-3	"	2.451	1.555	0.388	8.569	3.324	-0.559
S20-10-1	"	2.863	1.715	0.413	8.708	3.671	-0.326
S20-10-2	"	3.046	1.860	0.447	10.017	4.323	-0.257
S20-10-3	"	2.929	1.702	0.411	9.139	3.986	-0.262

表 4.8 セン断付着試験用基盤コンクリート表面処理前後の粗さパラメータ (2006 年度)

供試体	最大粗骨材寸法	十点平均粗さ RzJIS	算術平均粗さ Ra	二乗平方根平均傾斜 ΔRq	最大高さ粗さ Rz	最大山高さ Rp	スキューネス Rsk
6-5	20 mm	0.564	0.190	0.135	1.714	0.501	-1.272
6-6	"	0.629	0.270	0.112	1.986	0.569	-1.284
6-7	"	0.721	0.281	0.130	2.322	0.645	-1.408
6-8	"	0.738	0.324	0.158	2.360	0.748	-1.238
6-9	"	0.576	0.221	0.112	1.748	0.451	-1.446
6-10	"	0.883	0.376	0.161	2.728	0.896	-1.015
6-11	"	0.600	0.258	0.124	1.870	0.512	-1.366
6-12	"	0.692	0.336	0.135	2.312	0.700	-1.391
6-13	"	1.300	0.612	0.233	3.833	1.409	-0.780
6-14	"	0.871	0.384	0.167	2.610	0.824	-1.136
6-15	"	0.631	0.257	0.126	1.974	0.572	-1.397
6-16	"	0.745	0.310	0.133	2.231	0.653	-1.194
6-17	"	0.619	0.238	0.131	2.005	0.512	-1.727
6-18	"	0.602	0.246	0.114	1.796	0.572	-1.112
6-19	"	1.467	0.751	0.294	4.283	1.633	-0.605
6-20	"	0.699	0.282	0.150	2.240	0.606	-1.484
6-21	"	0.638	0.252	0.131	1.895	0.559	-1.344
6-22	"	0.849	0.375	0.174	2.514	0.812	-1.001
6-23	"	0.642	0.271	0.165	1.977	0.592	-1.419
6-24	"	0.821	0.321	0.145	2.446	0.786	-1.063
6-25	"	0.628	0.278	0.135	2.040	0.593	-1.414
6-26	"	0.563	0.229	0.113	1.852	0.557	-1.213
6-27	"	0.648	0.258	0.123	1.964	0.568	-1.370
6-28	"	0.604	0.252	0.101	1.839	0.541	-1.309
6-29	"	1.467	0.675	0.263	4.312	1.463	-0.764
6-30	"	0.528	0.220	0.106	1.562	0.512	-1.100
6-31	"	1.378	0.681	0.254	4.037	1.431	-0.794
6-32	"	0.541	0.203	0.109	1.738	0.499	-1.373
6-33	"	0.654	0.254	0.113	2.244	0.521	-1.914

JIS の粗さパラメータとはつり深さの関係を考察する。図 4.3 から図 4.8 は、各粗さパラメータとはつり深さの関係を示したものである。両者の関係には、以下の式を用いる。

$$R = b - \frac{ab}{a + x} \quad (4.3)$$

ここに、 R : JIS の粗さパラメータ

a : 係数 (未知量)

b : 表面積変化率の収束値 (未知量)

x : はつり深さ

各粗さパラメータに対する未知量の a および b は以下の組合せは表 4.9 のとおりである。スキューネスを除き、いずれの粗さパラメータも表面積変化率の傾向とほぼ同様に、WJ 工法と SB 工法によって、はつり深さとパラメータの関係が異なるという結果が得られた。

WJ 工法において、どのパラメータにおいても相関係数が 0.95~0.99 程度あり、両者の関係に比較的高い相関性がある。SB 工法においては、算術平均粗さと最大山高さに比較的良好な相関性があるようである。

WJ 工法と SB 工法の比較においては、十点平均粗さ、算術平均粗さおよび最大高さ粗さでは粗さに 2 倍程度以上の差、二乗平方根平均傾斜および最大山高さではそれらより少し差が小さいが概ね 2 倍程度弱の差が生じるという結果が得られた。

表 4.9 JIS 粗さパラメータを用いた場合の係数

	WJ 工法			SB 工法		
	相関係数 R	係数 a	収束値 b	相関係数 R	係数 a	収束値 b
十点平均粗さ	0.981	3.6	5.3	0.761	1.7	1.6
算術平均粗さ	0.984	8.4	4.9	0.858	4.9	1.6
二乗平方根平均傾斜	0.954	1.9	0.65	0.797	2.1	0.4
最大高さ粗さ	0.992	5.3	19.8	0.782	1.5	4.9
最大山高さ	0.986	12.0	14.0	0.891	4.4	3.9
スキューネス	—	—	—	—	—	—

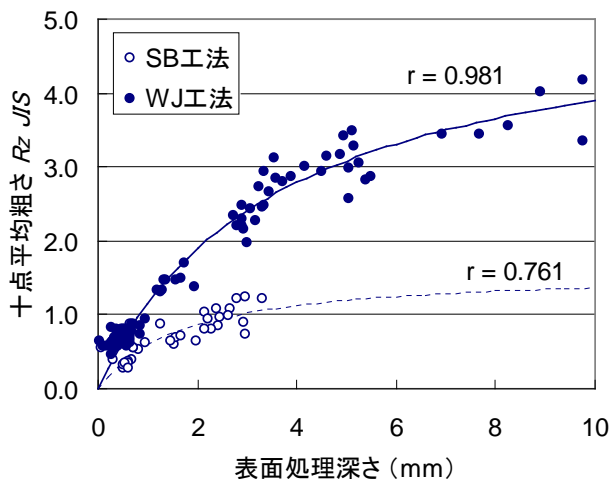


図 4.3 はつり深さと十点平均粗さの関係

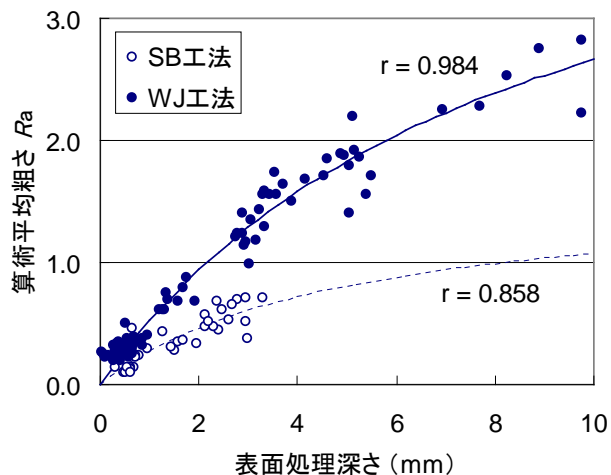


図 4.4 はつり深さと算術平均粗さの関係

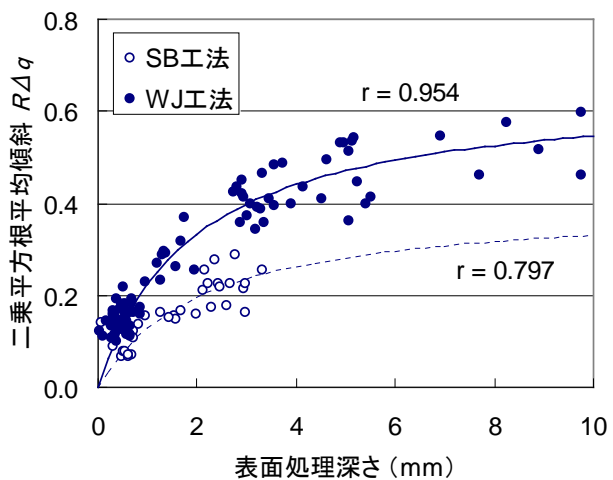


図 4.5 はつり深さと二乗平方根平均傾斜の関係

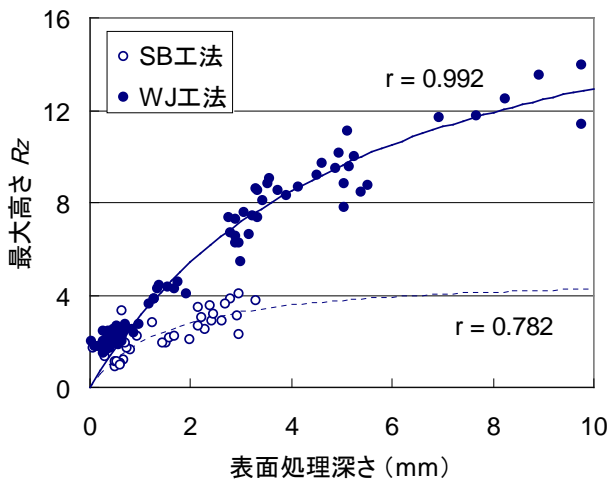


図 4.6 はつり深さと最大高さ粗さの関係

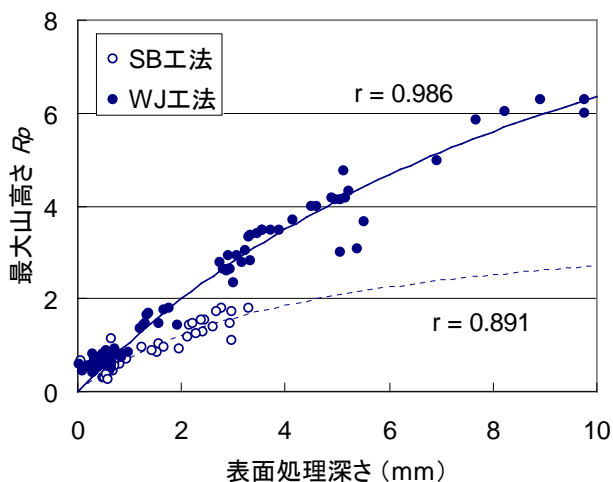


図 4.7 はつり深さと最大山高さの関係

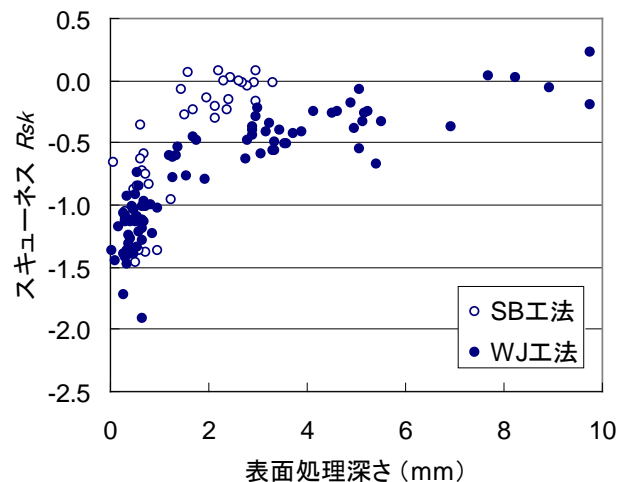


図 4.8 はつり深さとスキューネスの関係

4. 2 基盤コンクリートおよびPCMの圧縮強度

4. 2. 1 基盤コンクリート

表 4.10～表 4.13 に基盤コンクリートの圧縮強度試験結果を示す。

表 4.10 コンクリート圧縮強度（2005 年度：B20/S20 シリーズ）

打設日	試験日	試験材令	No.1	No.2	No.3	平均値
2005/10/19	2005/12/19	62 日	37.8	39.0	41.4	39.4
	2006/01/18	92 日	39.4	39.6	40.9	40.0

表 4.10 コンクリート圧縮強度（2005 年度：B15/S15 シリーズ）

打設日	試験日	試験材令	No.1	No.2	No.3	平均値
2005/10/20	2005/12/16	58 日	34.9	38.2	34.3	35.8
	2006/01/18	91 日	31.4	27.5	39.1	32.7

表 4.11 コンクリート圧縮強度（2005 年度：B10/S10 シリーズ）

打設日	試験日	試験材令	No.1	No.2	No.3	平均値
2005/10/21	2005/12/15	56 日	39.3	35.4	37.4	37.4
	2006/01/18	90 日	38.9	39.9	38.2	39.0

表 4.12 コンクリート圧縮強度（2006 年度：No5 シリーズ）

打設日	試験日	試験材令	No.1	No.2	No.3	平均値
2006/10/5	2006/12/07	63 日	38.1	38.1	40.6	39.0
	2007/01/24	111 日	38.2	35.0	34.6	(35.9)

表 4.13 コンクリート圧縮強度（2006 年度：No.6 シリーズ）

打設日	試験日	試験材令	No.1	No.2	No.3	平均値
2006/10/6	2006/12/01	56 日	37.5	42.7	41.9	40.7
	2006/12/22	77 日	42.6	41.4	39.1	41.0
	2007/01/24	110 日	33.0	42.9	—	(38.0)

4. 2. 2 ポリマーセメントモルタル

表 4.14 および表 4.15 にポリマーセメントモルタルの圧縮強度試験結果を示す。

表 4.14 ポリマーセメントモルタルの圧縮強度 (2005 年度)

打設日	試験日	試験材令	No.1	No.2	No.3	平均値
2005/11/15	2005/12/15	21 日	30.1	37.1	26.2	31.2
	2006/12/20	26 日	29.7	38.8	40.6	36.4
	2006/01/06	43 日	40.7	46.5	36.2	41.1
	2006/01/18	55 日	42.6	44.2	41.2	42.6

※ 材令 26 日における No.1 は試験値から排除した。

表 4.15 ポリマーセメントモルタルの圧縮強度 (2006 年度)

打設日	試験日	試験材令	No.1	No.2	No.3	平均値
2006/11/08	2006/11/30	22 日	25.3	26.0	29.8	27.0
	2006/12/07	29 日	26.8	24.5	32.5	27.9
	2006/12/22	44 日	30.6	34.5	31.7	32.2
	2006/01/24	77 日	31.1	37.9	35.2	34.7

4. 3 ポリマーセメントモルタルの静的荷重下における引張付着強度（接着強さ）

JIS A 6916「ポリマーセメントモルタルの試験方法」に準拠した試験によって、得られた結果を表 4.16 および表 4.17 に示す。なお、各供試体の圧縮強度は、試験日の直近に行われた圧縮強度の試験値を適用した。

表 4.16 ポリマーセメントモルタルの引張付着強度（2005 年度）

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	PCM 圧縮強度 (N/mm ²)	破壊荷重 (kg)	破壊荷重 (N)	引張 付着強度 (N/mm ²)
B10-1-1	39.0	42.6	630	6174	1.72
B10-1-2	39.0	42.6	1035	10143	2.82
B10-1-3	39.0	42.6	870	8526	2.37
B10-3-1	39.0	42.6	810	7938	2.21
B10-3-2	37.4	36.4	1050	10290	2.86
B10-3-3	39.0	42.6	1080	10584	2.94
B10-6-1	39.0	42.6	660	6468	1.80
B10-6-2	37.4	36.4	1065	10437	2.90
B10-6-3	37.4	36.4	780	7644	2.12
B10-10-1	39.0	42.6	1150	11270	3.13
B10-10-2	37.4	36.4	480	4704	1.31
B10-10-3	37.4	36.4	850	8330	2.31
B15-1-1	32.7	42.6	620	6076	1.69
B15-1-2	32.7	42.6	840	8232	2.29
B15-1-3	32.7	42.6	560	5488	1.52
B15-3-1	32.7	42.6	895	8771	2.44
B15-3-2	—	—	—	—	—
B15-3-3	35.8	36.4	620	6076	1.69
B15-6-1	35.8	36.4	680	6664	1.85
B15-6-2	32.7	42.6	710	6958	1.93
B15-6-3	35.8	36.4	950	9310	2.59
B15-10-1	32.7	42.6	225	2205	0.61
B15-10-2	35.8	36.4	595	5831	1.62
B15-10-3	35.8	36.4	400	3920	1.09
B20-1-1	40.0	42.6	350	3430	0.95
B20-1-2	39.4	36.4	825	8085	2.25
B20-1-3	40.0	42.6	510	4998	1.39
B20-3-1	40.0	42.6	580	5684	1.58
B20-3-2	39.4	36.4	950	9310	2.59
B20-3-3	39.4	36.4	540	5292	1.47
B20-6-1	40.0	42.6	1350	13230	3.68
B20-6-2	40.0	42.6	1040	10192	2.83
B20-6-3	39.4	36.4	850	8330	2.31
B20-10-1	39.4	36.4	1110	10878	3.02
B20-10-2	39.4	36.4	675	6615	1.84
B20-10-3	39.4	36.4	250	2450	0.68

注) B15-3-2 は、試験失敗で値を得られなかった。

表 4.17 ポリマーセメントモルタルの引張付着強度 (2006 年度)

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	PCM 圧縮強度 (N/mm ²)	破壊荷重 (kg)	破壊荷重 (N)	引張 付着強度 (N/mm ²)
5-2	39.0	27.9	1095	10731	2.98
5-3	39.0	27.9	965	9457	2.63
5-10	39.0	27.9	858	8404	2.33
5-14	39.0	27.9	840	8232	2.29
5-16	39.0	27.9	730	7154	1.99
5-18	39.0	27.9	485	4753	1.32
5-20	39.0	27.9	663	6493	1.80
5-21	39.0	27.9	973	9531	2.65
5-24	39.0	27.9	225	2205	0.61
5-26	40.7	27.9	623	6101	1.69
5-27	40.7	27.9	1020	9996	2.78
5-28	40.7	27.9	565	5537	1.54

4. 3. 1 表面積変化率と引張付着強度の関係

図 4.9 は、引張付着強度を基盤コンクリート引張強度で除した値と表面積変化率の関係を表したものである。図に見られるように、表面積変化率が小さいときよりもやや大きいところ（表面積変化率 1.6 付近）で引張付着強度が母材コンクリートの引張強度と同等の値となっている。その後、引張付着強度は低下していく様子がうかがえるが、この傾向は尾崎（2004 年度修士論文）による実験結果と同じである。すなわち、はつり深さが大きくなり表面積が大きくなるにつれて、径の大きい粗骨材が表面処理面に剥き出しになる割合が大きくなり、破壊時における基盤コンクリートからの抜け出しが増えるためであると考えられる（図 4.10 参照）。なぜならば、PCM の材料としての接着力に比べれば、通常のコンクリートと粗骨材界面の接着力は小さいためである。

はつり深さが小さく表面積変化率が小さいときでも、径の小さな粗骨材の抜け出しが起こるものと推定されるが、結局のところ抜け出そうとする粗骨材と基盤コンクリートが接していた面積の総和に依存して、強度の低下が生じるものと思われる。

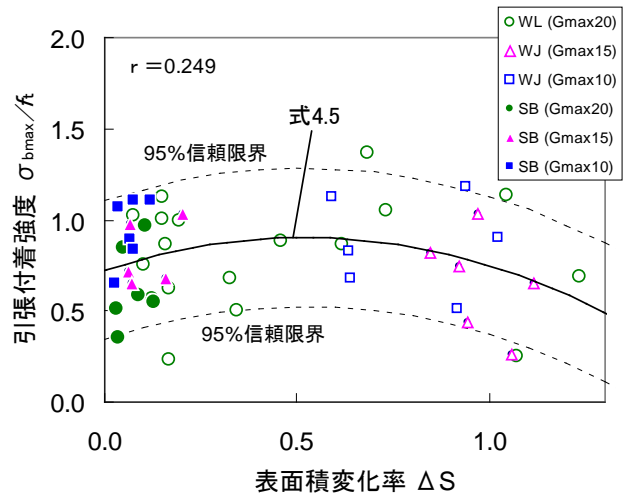


図 4.9 引張付着強度と表面積変化率の関係

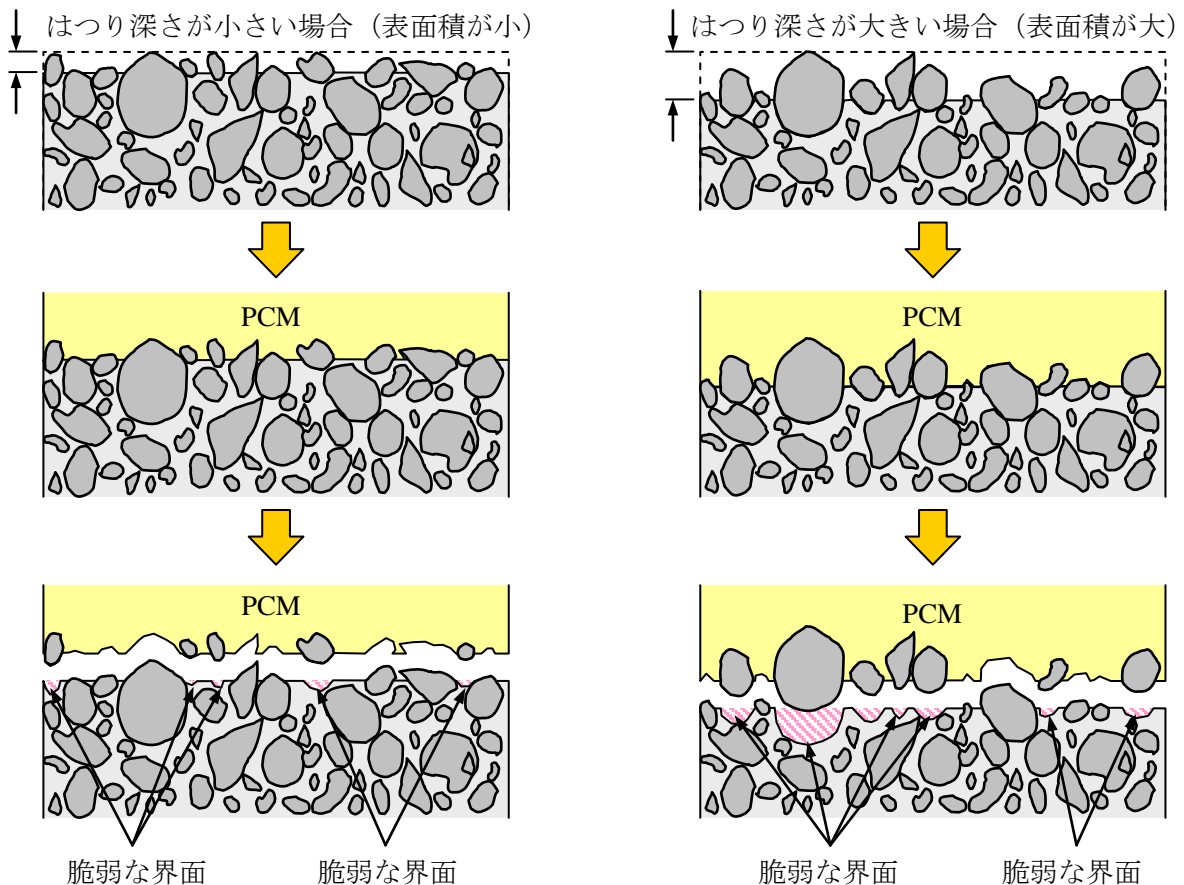


図 4.10 接着強さ試験における骨材の抜け出し

以上の結果に基づき、尾崎（2005 年度修士論文）によって提案されている方法を用いて、表面積変化率と引張付着強度の関係を定式化することを試みる。

$$\sigma_{b\max} / f_t = \Omega_1 \times \Omega_2 \times \sigma_{b0} / f_{t0} \quad (4.4)$$

ただし、 f_t : コンクリート引張強度

σ_{b0} : 表面未処理時（表面積変化率が 1 のとき）の接着強度（未知量）

f_{t0} : σ_{b0} 試験時のコンクリート引張強度

$\Omega_1 = 1 + \alpha \cdot \Delta S$: 表面積の増加による見かけ上の強度の増加率

$\Omega_2 = 1 - \beta \cdot \Delta S$: 骨材のゆるみによる有効な抵抗領域の減少率

ΔS : 表面積変化率

α, β : 係数（未知量）

なお、式中における α, β の値は、いずれも基盤コンクリート中の粗骨材寸法に依存するものと想定されたが、本実験結果をみるかぎりはその影響が見られない。したがって、最大粗骨材寸法が 10~20mm 程度のコンクリートに対しては、係数 α, β は同じ値を用いることとする。

回帰式の導入

$$\begin{aligned} \sigma_{b\max} / f_t &= \{1 + \alpha (\Delta S)\} \{(1 - \beta (\Delta S))\} \sigma_{b0} / f_{t0} \\ &= \{1 + (\alpha - \beta)(\Delta S) - \alpha\beta (\Delta S)^2\} \sigma_{b0} / f_{t0} \end{aligned}$$

ここで、 $y = \sigma_{b\max} / f_t$, $x = (\Delta S)$, $c = \sigma_{b0} / f_{t0}$, $b = (\alpha - \beta)\sigma_{b0} / f_t$, $a = -\alpha\beta\sigma_{b0} / f_t$ とおくと次式のような二次式で表すことができる。

$$Y = c + bx + ax^2$$

全データに対する残差の 2 乗和は以下に与えられる。

$$\Delta^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - c - bx_i - ax_i^2)^2 \quad (n : \text{データ数})$$

Δ^2 を最小にするためには、(2) 式を各定数で偏微分し、ゼロとおくことにより求めることができる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta^2}{\partial c} &= 2 \sum_{i=1}^n (y_i - c - bx_i - ax_i^2)(-1) = 0 & \longrightarrow & \sum_{i=1}^n y_i = nc + b \sum_{i=1}^n x_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \frac{\partial \Delta^2}{\partial b} &= 2 \sum_{i=1}^n (y_i - c - bx_i - ax_i^2)(-x_i) = 0 & \longrightarrow & \sum_{i=1}^n x_i y_i = c \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + a \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \frac{\partial \Delta^2}{\partial a} &= 2 \sum_{i=1}^n (y_i - c - bx_i - ax_i^2)(-x_i^2) = 0 & \longrightarrow & \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i = c \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + a \sum_{i=1}^n x_i^4 \end{aligned}$$

上記の 3 元連立方程式を解いて、各係数は以下のように与えられる。

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i - \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^4 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad c = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^4 y_i - \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^4 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

$$\sigma_{b0} / f_{t0} = c$$

$$b/c = \alpha - \beta, \quad a/c = -\alpha\beta \quad \text{であるので,}$$

$$a/c = -(b/c + \beta)\beta \rightarrow \beta^2 + (b/c)\beta + (a/c) = 0$$

$$\therefore \beta = \frac{-(b/c) \pm \sqrt{(b/c)^2 - 4(a/c)}}{2} \quad \alpha = \beta + b/c$$

算定結果は、以下のとおりである。

$$c = 0.725, \quad b = 0.693, \quad a = -0.670, \quad \sigma_{b0} / f_{t0} = 0.725, \quad \alpha = 1.552, \quad \beta = 0.596$$

$$\frac{\sigma_{b\max}}{f_t} = \frac{\sigma_{b0}}{f_{t0}} \{1 + 1.552 (\Delta S)\} \{(1 - 0.596 (\Delta S))\} \quad (4.5)$$

次にばらつきの尺度として、標準偏差を求める。引張付着強度の実測値を y 、式 (4.5) による計算値を y' とすると、以下の式によって与えることができる。

$$\text{標準偏差} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \mu)^2}{n}}$$

ここに、 $\mu = \sum \Delta_i / n$: 偏差の平均値

$\Delta_i = y_i - y_i'$: 偏差

信頼度 95% の信頼区間は $\mu \pm 1.98 \sigma$ で表されるが、表面積変化率の引張付着強度の関係においては、標準偏差は 0.914 であった。図 4.17 に示された実線は、式 (4.5) による計算値で、破線は $\pm 1.98 \sigma$ を加えた計算値である。

以上のことから、引張付着強度と粗さの関係を表面積変化率で関係付けることができると思われる。

4. 3. 2 JIS 粗さパラメータと引張付着強度の関係

図 4.11~4.16 は、JIS 粗さパラメータ（十点平均粗さ、算術平均粗さ、二乗平均平方根傾斜、最大高さ粗さ、最大山高さ、スキューネス）と引張付着強度の関係を表したものである。図に見られるように、スキューネスを除けば、表面積変化率のときと同様に粗度が小さいときよりもやや大きいところで引張付着強度が母材コンクリートの引張強度と同等の値となる。その後、粗さが増すにつれて、引張付着強度は低下していく様子が示されている。そこで、式 (4.5) 中の Ω_1 と Ω_2 を次式のように粗さパラメータで表すことを試みたところ、表 4.18 のような値が得られた。

$$\left. \begin{aligned} \Omega_1 &= 1 + \alpha R \\ \Omega_2 &= 1 - \beta R \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

ここに、 R : 粗さパラメータ

表 4.18 粗さパラメータを用いた場合の係数

	粗さパラメータ R					
	R_{zJIS}	R_a	$R_{\Delta q}$	R_z	R_p	R_{sk}
α	0.586	0.703	5.270	0.162	0.326	—
β	0.184	0.273	1.202	0.055	0.123	—

スキューネスは、せん断付着特性に関連するパラメータであると考えられるが、引張付着強度との関係においては、相関は見られないと判断される。

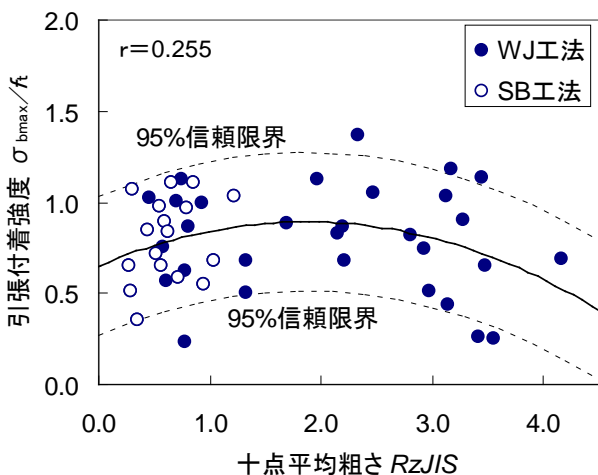


図 4.11 引張付着強度と十点平均粗さの関係

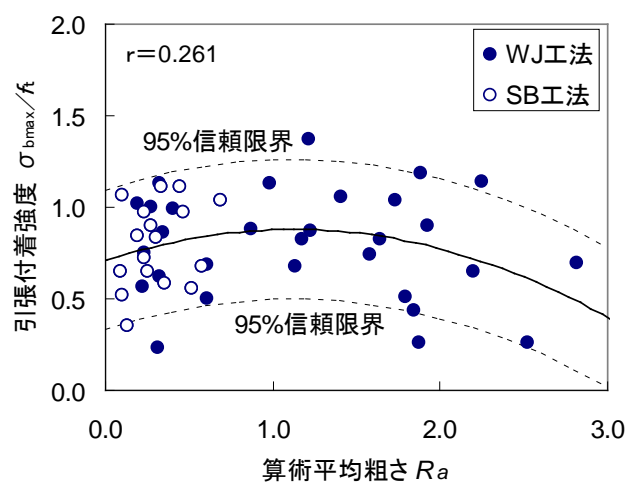


図 4.12 引張付着強度と算術平均粗さの関係

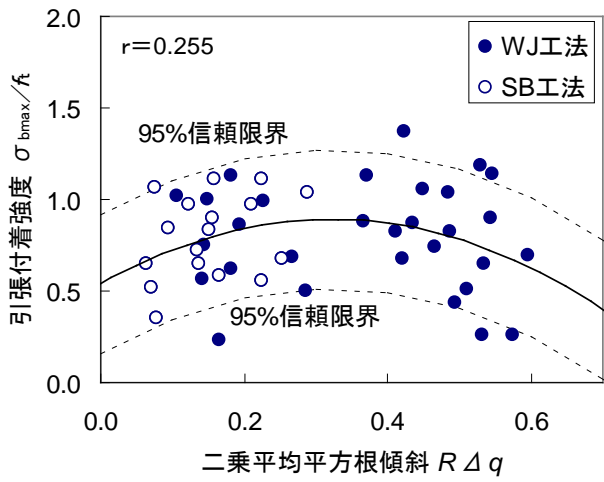


図 4.13 引張付着強度と二乗平均平方根傾斜の関係

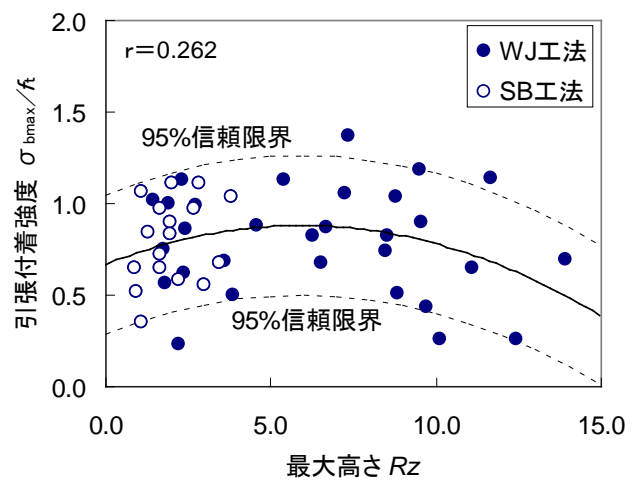


図 4.14 引張付着強度と最大高さ粗さの関係

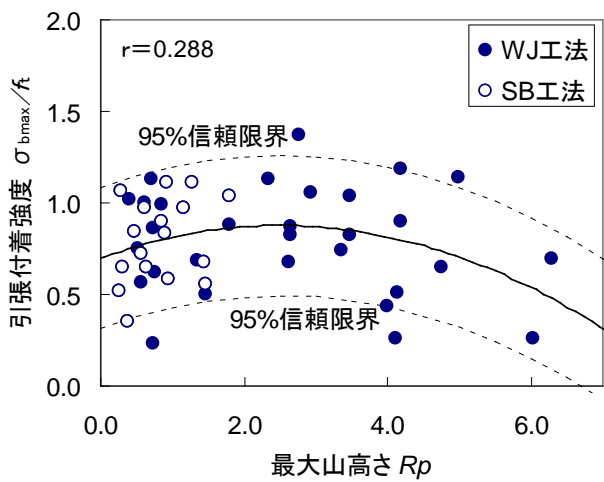


図 4.15 引張付着強度と最大山高さの関係

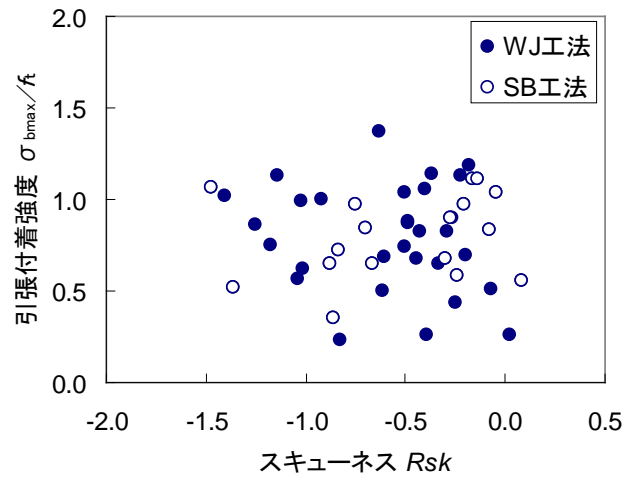


図 4.16 せん断付着強度とスキューネスの関係

4. 4 ポリマーセメントモルタルの静的荷重下におけるせん断付着強度

JCI-SPC3「ポリマーセメントモルタルの試験方法」に準拠した試験方法によって、得られた結果を表 4.19 および 4.20 に示す。なお、各供試体の圧縮強度は、試験日の直近に行われた圧縮強度の試験値を適用した。

表 4.19 ポリマーセメントモルタルのせん断付着強度 (2005 年度)

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	PCM 圧縮強度 (N/mm ²)	破壊荷重 (kg)	破壊荷重 (N)	せん断 付着強度 (N/mm ²)
S10-1-1	37.4	31.2	2470	24206	4.94
S10-1-2	37.4	31.2	1975	19355	3.95
S10-1-3	37.4	31.2	2560	25088	5.12
S10-3-1	37.4	31.2	2450	24010	4.90
S10-3-2	37.4	31.2	2575	25235	5.15
S10-3-3	37.4	31.2	2815	27587	5.63
S10-6-1	37.4	31.2	2515	24647	5.03
S10-6-2	37.4	31.2	3380	33124	6.76
S10-6-3	37.4	31.2	3475	34055	6.95
S10-10-1	37.4	31.2	2620	25676	5.24
S10-10-2	37.4	31.2	2905	28469	5.81
S10-10-3	37.4	31.2	3070	30086	6.14
S15-1-1	35.8	31.2	2610	25578	5.22
S15-1-2	35.8	31.2	2210	21658	4.42
S15-1-3	35.8	31.2	2285	22393	4.57
S15-3-1	35.8	31.2	2240	21952	4.48
S15-3-2	35.8	31.2	3170	31066	6.34
S15-3-3	35.8	31.2	2610	25578	5.22
S15-6-1	35.8	31.2	2830	27734	5.66
S15-6-2	35.8	31.2	3005	29449	6.01
S15-6-3	35.8	31.2	2770	27146	5.54
S15-10-1	35.8	31.2	2720	26656	5.44
S15-10-2	35.8	31.2	2640	25872	5.28
S15-10-3	35.8	31.2	3230	31654	6.46
S20-1-1	39.4	31.2	2830	27734	5.66
S20-1-2	39.4	31.2	3300	32340	6.60
S20-1-3	39.4	31.2	2940	28812	5.88
S20-3-1	39.4	31.2	—	—	—
S20-3-2	39.4	31.2	2910	28518	5.82
S20-3-3	39.4	31.2	3050	29890	6.10
S20-6-1	39.4	31.2	3850	37730	7.70
S20-6-2	39.4	31.2	2200	21560	4.40
S20-6-3	39.4	31.2	2300	22540	4.60
S20-10-1	39.4	31.2	2945	28861	5.89
S20-10-2	39.4	31.2	3430	33614	6.86
S20-10-3	39.4	31.2	3570	34986	7.14

注) S20-3-1 は、接着面から離れた位置(PCM 部)での破壊。

表 4.20 ポリマーセメントモルタルのせん断付着強度 (2006 年度)

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	PCM 圧縮強度 (N/mm ²)	破壊荷重 (kg)	破壊荷重 (N)	せん断 付着強度 (N/mm ²)
10-6-8	40.7	27.0	2290	22442	4.58
10-6-10	40.7	27.0	3820	37436	7.64
10-6-11	40.7	27.0	2370	23226	4.74
10-6-13	40.7	27.0	2930	28714	5.86
10-6-14	40.7	27.0	3250	31850	6.50
10-6-15	40.7	27.0	2870	28126	5.74
10-6-19	40.7	27.0	2560	25088	5.12
10-6-22	40.7	27.0	2060	20188	4.12
10-6-24	40.7	27.0	2760	27048	5.52
10-6-29	40.7	27.0	3200	31360	6.40
10-6-31	40.7	27.0	1870	18326	3.74
10-6-33	37.4	31.2	3070	30086	6.14

4. 4. 1 表面積変化率とせん断付着強度の関係

図 4.17 は、せん断付着強度を基盤コンクリート引張強度で除した値と表面積変化率の関係を表したものである。せん断付着強度については、引張付着強度の傾向と異なり、粗度が増加するにつれてわずかではあるがせん断付着強度が単調に増加する傾向が見られた。松田らよれば、通常のセメントモルタルの場合は、粗度の増加で著しくせん断付着強度が増加することとなっている。例えば、表面未処理時のせん断付着強度がおおよそ 0.5 N/mm^2 程度以下であるのに対して、粗さが大きい場合では 2~3 倍程度の強度が得られている。PCM の場合は、表面が未処理であっても 5 N/mm^2 程度の強度を有しており、接着性が高いがために粗度の影響による強度の増加の程度は相対的に小さくなったものと思われる。せん断付着強度と表面積変化率は、次のように線形関係で近似を行った。

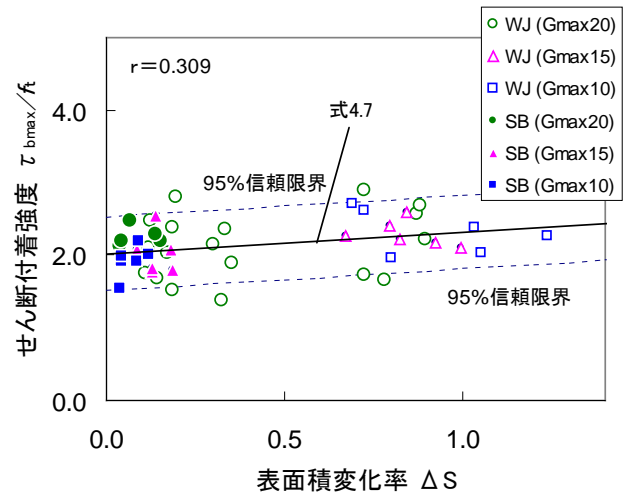


図 4.17 せん断付着強度と表面積増加率の関係

$$\tau_{\max} / f_t = (1 + 0.146 \Delta S) \tau_{\max o} / f_{t0} \quad (4.7)$$

ここに、 ΔS : 表面積増加率

τ_{\max} : せん断付着強度

$\tau_{\max o}$: 表面未処理のせん断付着強度

4. 5. 2 JIS 粗さパラメータとせん断付着強度の関係

図 4.18～4.23 は、せん断付着強度と各種粗さパラメータ（十点平均粗さ、算術平均粗さ、二乗平均平方根傾斜、最大高さ粗さおよび最大山高さ）の関係を示したものである。このうち、スキューネスを除く粗さパラメータについては、表面積変化率と同様に、粗度が増加するにつれてせん断付着強度が単調に増加する傾向が見られた。これらのパラメータについては、次のように線形関係で近似を行った。

表 4.21 粗さパラメータを用いた場合の係数

	粗さパラメータ R				
	R_{zJIS}	R_a	$R\Delta_q$	R_z	R_p
$\tau_{\max o} / f_{to}$	1.974	2.011	1.940	1.988	2.013
γ	0.0548	0.0764	0.4146	0.0160	0.0325

$$\tau_{\max} / f_t = (1 + \gamma R) \tau_{\max o} / f_{to} \quad (4.8)$$

各粗さパラメータを用いた近似式の係数 γ の値は、表 4.21 のとおりである。

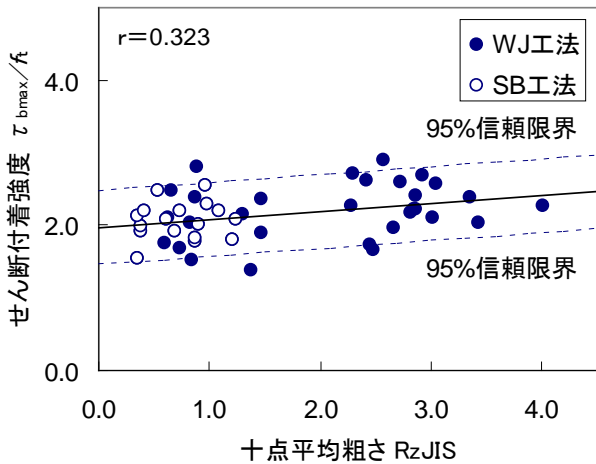


図 4.18 せん断付着強度と十点平均粗さの関係

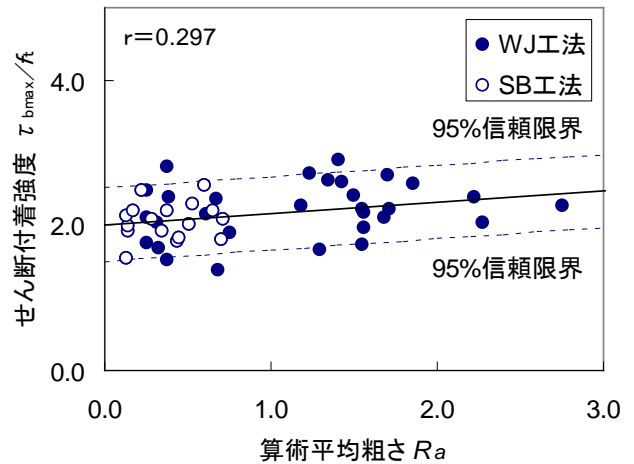


図 4.19 せん断付着強度と算術平均粗さの関係

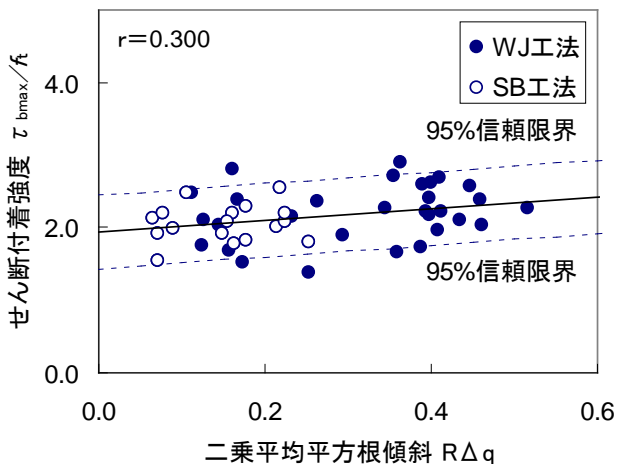


図 4.20 せん断付着強度と二乗平均平方根傾斜の関係

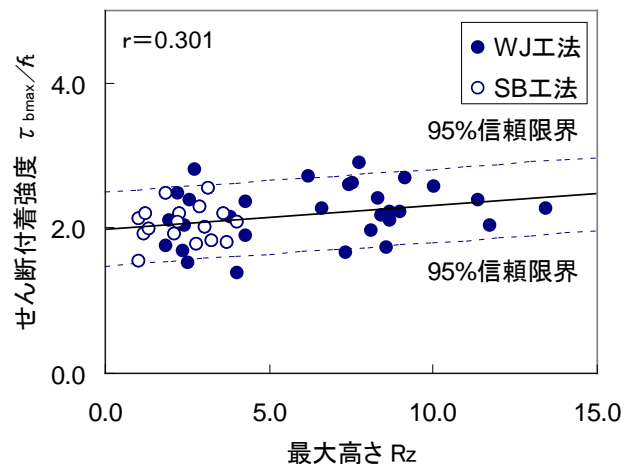


図 4.21 せん断付着強度と最大高さ粗さの関係

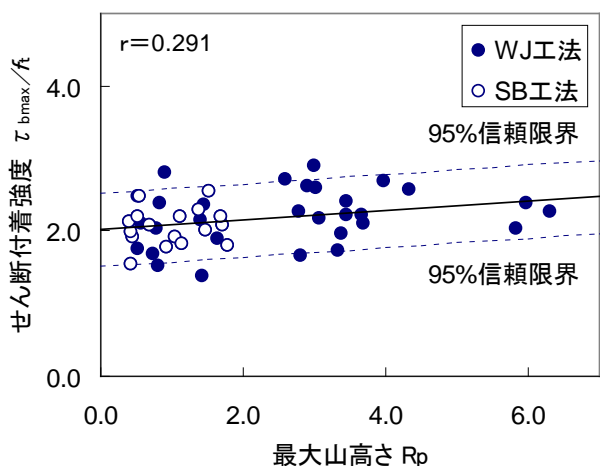


図 4.22 せん断付着強度と最大山高さの関係

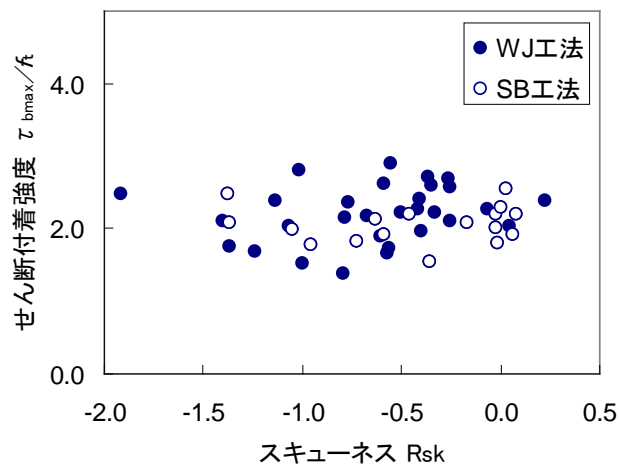


図 4.23 せん断付着強度とスキューネスの関係

図 4.23 は、せん断付着強度とスキューネスの関係を示したものである。スキューネスは、山に対し谷の部分幅広い粗さ曲線では、確率密度関数は谷の方へ偏った分布形となり正の値を示す。山頂部分が比較的平らな場合には、確率密度関数は山頂側に偏って、スキューネスは負の値を示し、すべり面などでは初期磨耗が生じにくいとされている。本実験の供試体では、全般的に負の値をとっており、山頂部分が比較的平らであるという傾向にあるが、スキューネスがせん断付着強度と相関を示すような結果は得られなかった。

以上のことから、スキューネスを除いた JIS 粗さパラメータにおいては、引張付着強度と同様にいずれもほぼ同等の精度でせん断付着強度との関係を表すことができる。

4. 5 ポリマーセメントモルタルの疲労荷重下における引張付着強度

引張付着試験における疲労強度の結果を表 4.22 に示す。試験は、下限荷重を 1.0N/mm^2 に固定し、上限応力を変数とした。表中に示した引張付着強度は、4.4 節で提示した静的荷重下の引張付着強度であり、具体的には、式(4.4)および式(4.6)により算出した（粗さパラメータには算術平均粗さを用いた）。なお、5-25 および 5-22 は、応力レベルの低い試験を行った結果、載荷回数 200 万回に達しても破壊しなかったため、応力レベルを大きくして再試験を実施した。

表 4.22 疲労荷重下における引張付着強度

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm^2)	PCM 圧縮強度 (N/mm^2)	引張 付着強度 (N/mm^2)	下限応力 $\sigma_{b\min}$ (N)	上限応力 $\sigma_{b\max}$ (N)	$\frac{\sigma_{b\max}}{\sigma_{bu}}$	疲労寿命 (回)
5-25(6-1) 再	40.7	34.7	2.24	0.28	2.08	0.931	11
5-22 再	39.0	34.7	2.21	0.28	2.21	0.999	1
5-6	39.0	34.7	2.23	0.28	1.98	0.888	17
5-9	39.0	34.7	2.26	0.28	1.98	0.876	22
5-15	39.0	34.7	2.16	0.28	1.88	0.870	264043
5-12	39.0	34.7	2.18	0.28	1.77	0.812	44264
5-4	39.0	34.7	2.15	0.28	1.67	0.774	161843
5-8	39.0	34.7	2.21	0.28	1.67	0.754	4
5-17	39.0	34.7	2.17	0.28	1.56	0.719	1
5-5	39.0	34.7	2.21	0.28	1.46	0.660	79
5-13	39.0	34.7	2.16	0.28	1.36	0.627	68070
5-1	39.0	34.7	2.11	0.28	1.93	0.951	533
5-7	39.0	34.7	2.16	0.28	1.77	0.855	31195
5-11	39.0	34.7	2.14	0.28	1.79	0.876	4305
5-19	39.0	34.7	2.13	0.28	2.40	1.050	17
5-23	39.0	34.7	2.18	0.28	1.77	0.849	17
5-29(6-5)	40.7	34.7	2.21	0.28	1.83	0.825	300
5-25(6-1)	40.7	34.7	2.24	0.28	1.25	0.559	2000000
5-22	39.0	34.7	2.21	0.28	1.14	0.517	2000000

図 4.59 は、疲労寿命と作用応力の関係を示したものである。縦軸は、応力レベル（静的強度に対する最大応力の比）である。横軸の疲労寿命は、対数で示した。なお、200 万回載荷で、破壊しなかった供試体は、記号に矢印を付した。疲労破壊した供試体に着目すると、疲労強度は載荷回数の指数の値に比例して低下する傾向が示された。

一般に、コンクリートの疲労強度は、最大応力、最小応力および応力振幅のうち、2 つの応力パラメータに依存することが知られている。一定応力の繰返しによる場合には、Goodman 型もしくは Smith 型の S-N 関係として示すことが多いようである。土木学会のコンクリート標準示方書では、前者のタイプを採用しており、次式のような関数形を与えている。

$$\frac{\sigma_r}{f_k} = \left(1 - \frac{\log N}{K}\right) \left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{f_k}\right) \quad (4.13)$$

ここに、 σ_r : 応力振幅
 σ_{\min} : 最小応力
 f_k : 静的強度
 N : 疲労寿命
 K : 係数

引張付着試験結果から、破壊断面が界面より少しコンクリート側が現れる傾向があることから、疲労性状は上記のような関係が適用できるものと仮定した。実験結果を最小二乗法により、近似を行うと、以下のような関係が得られる。

$$\frac{\sigma_{br}}{\sigma_{bu}} = \left(1 - \frac{\log N}{K}\right) \left(1 - \frac{\sigma_{b\min}}{\sigma_{bu}}\right) \quad (4.14)$$

ここに、 σ_{br} : 引張付着応力の振幅
 $\sigma_{b\min}$: 最小引張付着応力
 $K = 21.0$

なお、図中には $(1.65 \times \text{標準偏差})$ を減じた 95% 生存確率も参考値として示した。

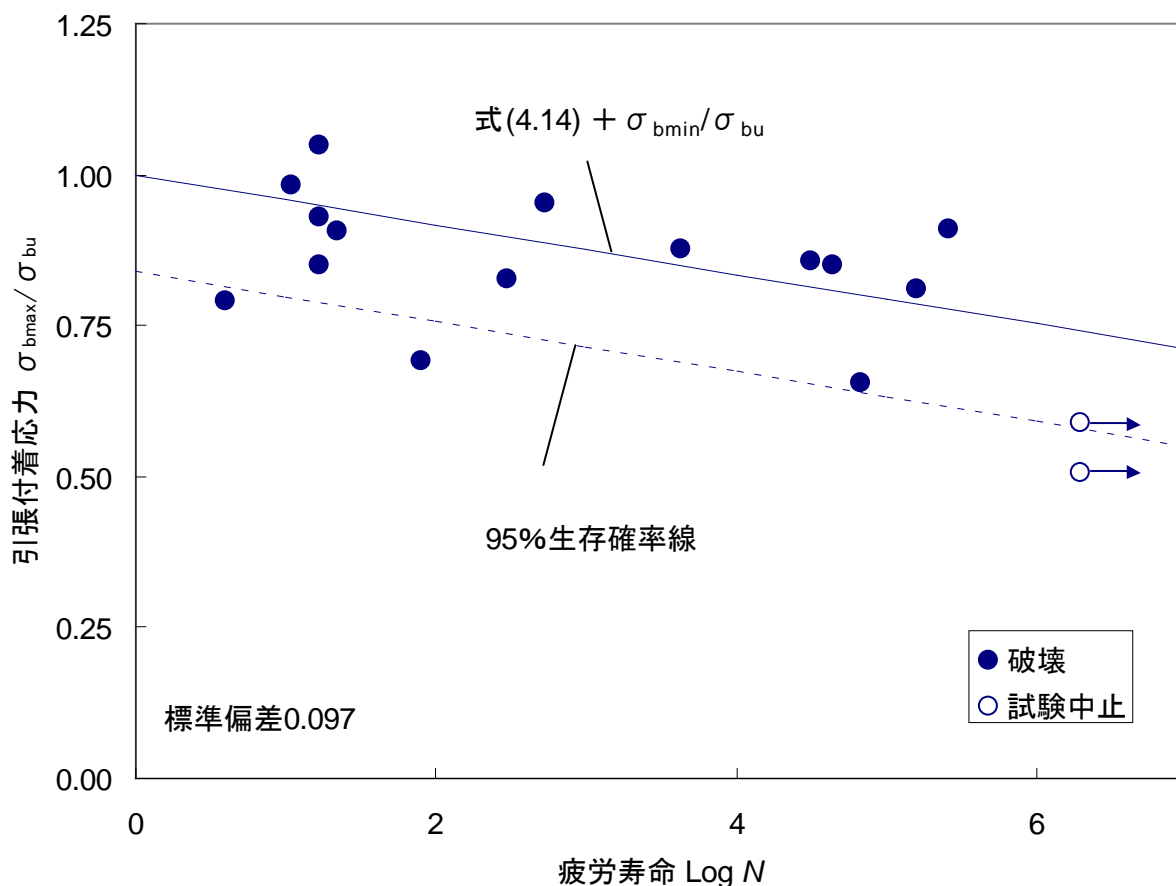


図 4.59 疲労荷重下における引張付着強度

4. 6 ポリマーセメントモルタルの疲労荷重下におけるせん断付着強度

せん断付着試験における疲労強度の結果を表 4.23 に示す。試験は、下限荷重を 1.0N/mm² に固定し、上限応力を変数とした。表中に示した引張付着強度は、4.5 節で提示した静的荷重下のせん断付着強度であり、具体的には、式(4.8)により算出した（粗さパラメータには算術平均粗さを用いた）。なお、6-20 および 6-7 は、応力レベルの低い試験を行った結果、載荷回数 200 万回に達しても破壊しなかったが、このうち 6-7 については応力レベルを大きくして再試験を実施した。

表 4.23 疲労荷重下における引張付着強度

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	PCM 圧縮強度 (N/mm ²)	せん断 付着強度 (N/mm ²)	下限応力 τ_{bmin} (N)	上限応力 τ_{bmax} (N)	$\frac{\tau_{bmax}}{\tau_{bu}}$	疲労寿命 (回)
6-30	41.0	32.2	5.59	0.20	6.10	1.090	1
6-17	41.0	32.2	5.60	0.20	5.61	1.002	1
6-7 再	41.0	32.2	5.62	0.20	5.61	0.999	585
6-18	41.0	32.2	5.60	0.20	5.33	0.951	2161
6-6	41.0	32.2	5.61	0.20	5.33	0.950	1709
6-25	41.0	32.2	5.62	0.20	5.05	0.900	10
6-26	41.0	32.2	5.60	0.20	4.91	0.877	57039
6-28	41.0	32.2	5.61	0.20	4.77	0.851	4416
6-12	41.0	32.2	5.64	0.20	4.63	0.821	69
6-27	41.0	32.2	5.61	0.20	4.49	0.801	58503
6-32	41.0	32.2	5.59	0.20	4.35	0.779	5095
6-16	41.0	32.2	5.63	0.20	4.21	0.747	163843
6-9	41.0	32.2	5.59	0.20	4.07	0.728	4114
6-23	41.0	32.2	5.61	0.20	3.79	0.675	562963
6-21	41.0	32.2	5.61	0.20	3.65	0.651	2777
6-5	41.0	32.2	5.58	—	—	—	—
6-20	41.0	32.2	5.62	0.20	3.37	0.599	2000000
6-7	41.0	32.2	5.62	0.24	2.90	0.516	2000000

前項と同様に、疲労寿命と作用応力の関係を図-4.60 示す。これらの結果についても、式(4.13)の関数形を用いて近似を行うと、以下の式が得られる。

$$\frac{\tau_{br}}{\tau_{bu}} = \left(1 - \frac{\log N}{K}\right) \left(1 - \frac{\tau_{bmin}}{\tau_{bu}}\right) \quad (4.15)$$

ここに、 τ_{br} : せん断付着応力の振幅
 τ_{bmin} : 最小せん断付着応力
 $K = 20.4$

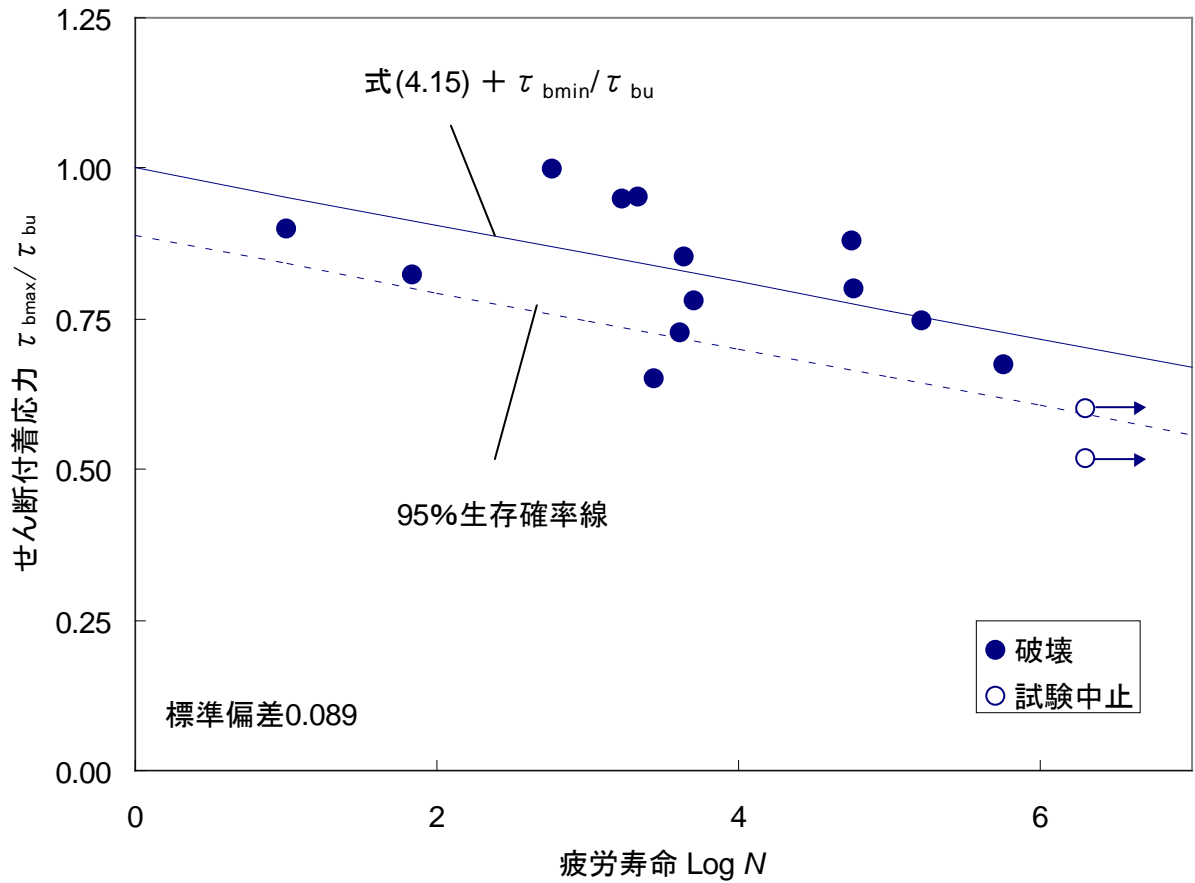


図 4.60 疲労荷重下におけるせん断付着強度

以上のことから，引張およびせん断付着に対する疲労性状を式(4.13)で示した関数を適用すると，式中の係数 K はいずれも 19 前後であり，ほぼ同じ値として示すことができると思われる。

参考文献

- 1) 前野昌弘, 三國彰: 図解でわかる統計解析, 日本実業出版社, 2003.6
- 2) 森真, 田中ゆかり: なっとくする統計, 講談社, 2003.2
- 3) 野村由司彦: 図解 確率・統計入門, コロナ社, 2004.10
- 4) 村上雅人: なるほど統計学, 海鳴社, 2002.10
- 5) 吉川弘道: 鉄筋コンクリートの解析と設計, 丸善, 1995
- 6) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 土木学会, 2002

参考ウェブサイト

- 1) 早稲田大学人間科学部・向後千春研究室 <http://kogolab.jp/elearn/hamburger/chap2/sec3.html>

5. まとめ

- 1) 表面積の計算方法による違いでは、座標データから作成された三角形要素を用いた精度の高い計算方法による計算値と、長方形要素による簡易な計算方法の計算値はほぼ線形の関係にあることが示された。両者を比例関係にあると仮定して、近似式を求めると比例係数は、前者は後者の 1.7 程度であった。したがって、比較的簡便な計算である長方形要素による計算値から、より真実の値に近い三角形要素による表面積の値を推定することができる。
- 2) 基盤コンクリートの平均はつり深さと表面積変化率の関係においては、SB 工法と WJ 工法で表面積変化率の特性が異なることが示された。すなわち、SB 工法でははつり深さが大きくなっても表面積変化率の増加は鈍いが、WJ 工法では表面積変化率の増加が著しい。両者の関係に対して、工法ごとに双曲線関数を用いて近似を行った結果、WJ 工法では平均はつり深さが大きくなっていくと表面積変化率は 2.6 程度に収束し、SB 工法では 1.3 程度に収束するという結果が得られた。
- 3) 平均はつり深さと JIS の粗さパラメータの関係において、スキューネスを除き、いずれの粗さパラメータも表面積変化率の傾向とほぼ同様に、WJ 工法と SB 工法によって、はつり深さとパラメータの関係が異なるという結果が得られた。両者の関係を双曲線関数で近似した結果、WJ 工法において、二乗平方根平均傾斜を除いては、両者の関係に比較的高い相関性が示された。SB 工法においては、算術平均粗さと最大山高さに比較的良好な相関性が示された。また、WJ 工法と SB 工法の比較においては、十点平均粗さと算術平均粗さでは粗さに 3 倍程度の差、二乗平方根平均傾斜では 2 倍程度の差、最大高さ粗さと最大山高さでは 4 倍程度の差が生じるという結果が得られた。
- 4) 引張付着強度は、表面積変化率が小さいときよりもやや大きいところ（表面積変化率 1.6 付近）で母材コンクリートの引張強度と同等の値となっている。その後、引張付着強度は低下していく。この原因は、はつり深さが大きくなり表面積が大きくなるにつれて、径の大きい粗骨材が表面処理面に剥き出しになる割合が大きくなり、破壊時における基盤コンクリートからの抜け出しが増えるためであると考えられる。
- 5) JIS 粗さパラメータ（十点平均粗さ、算術平均粗さ、二乗平均平方根傾斜、最大高さ粗さ、最大山高さ）については、表面積変化率のときと同様に、粗度が小さいときよりもやや大きいところで引張付着強度が母材コンクリートの引張強度と同等の値となる。その後、粗さが増すにつれて、引張付着強度は低下していく様子が示されている。スキューネスは、引張付着強度との関係において相関は見られなかった。
- 6) せん断付着強度については、引張付着強度の傾向と異なり、表面積変化率が増加するにつれてわずかではあるが単調に増加する傾向が見られた。通常のセメントモルタルの場合は、粗度の増加で著しくせん断付着強度が増加することとなっているが、PCM の場合は、表面が未処理であっても 5 N/mm^2 程度の強度を有しており、接着性が高いがために粗度の影響による強度の増加の程度は相対的に小さくなったものと思われる。
- 7) せん断付着強度と各種粗さパラメータ（十点平均粗さ、算術平均粗さ、二乗平均平方根傾斜、最大高さ粗さおよび最大山高さ）の関係においては、スキューネスを除き、粗度が増加するにつれてせ

せん断付着強度が単調に増加する傾向が見られた。スキューネスは、本実験の供試体では、全般的に負の値をとっており、山頂部分が比較的平らであるという傾向にあるが、スキューネスがせん断付着強度と相関を示すような結果は得られなかった。

- 8) 疲労荷重下における引張付着強度試験から、疲労強度は載荷回数の指数の値に比例して低下する傾向が示された。Goodman 型の S-N 関係として、土木学会コンクリート標準示方書のコンクリートの疲労強度式を適用した場合、式中の係数 K は 18.4 となった。
- 9) 疲労荷重下におけるせん断付着試験から、上記と同様に、コンクリートの疲労強度式を適用した場合、式中の係数 K は 20.4 となり、疲労引張付着強度とほぼ同程度の値となった。

付録 1

粗さ評価に与えるスキャンピッチの影響

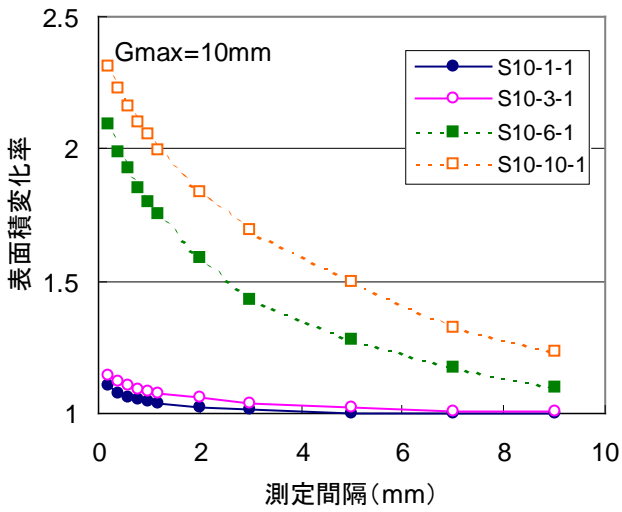
(1) 表面積変化率

せん断付着試験用供試体のうち末尾の No.が 1 (例：S10-1-1) となっている供試体は、スキャンピッチを 0.2mm で粗度面を測定した。これらの供試体の測定データから、さらに 0.4mm、0.6mm、0.8mm、1.0mm、1.2mm、2.0mm、3.0mm、5.0mm、7.0mm および 9.0mm のデータに加工した。なお、前節までの検討ではすべて 1.0mm ピッチによるデータを用いている。

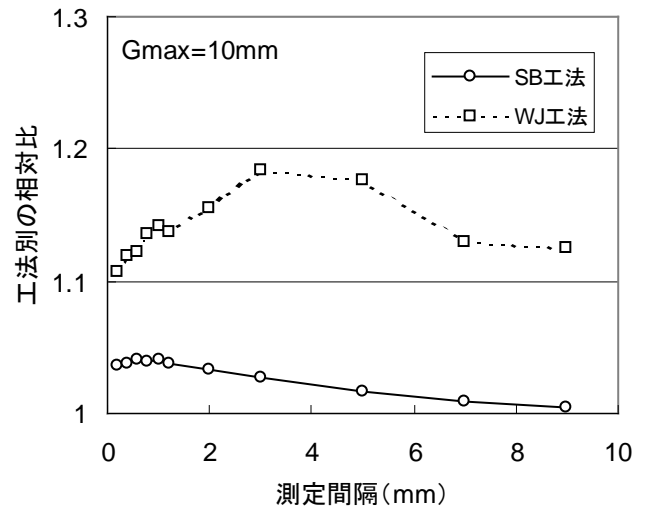
加工されたデータから、スキャンピッチの違いが表面積変化率に対してどのように影響を与えるかを検討する。付図 1.1、付図 1.3 および付図 1.5 は、それぞれ最大粗骨材寸法ごとにはつり深さの異なる 4 種類の供試体について、スキャンピッチと表面積変化率の関係を示したものである。これらの図に見られるように、スキャンピッチを小さくすればするほど表面積変化率の算定値は増加していることがわかる。スキャンピッチが小さいほうが真の表面積をあらわしていることは言うまでもないが、実構造においてはデータを収集する上ではスキャンピッチを小さくすればするほどデータ量が膨大となる。

そこで、本実験結果から、どの程度のスキャンピッチがあれば、表面粗度を満足できる精度で評価できるかを検討する。付図 1.2、付図 1.4 および付図 1.6 は、それぞれ工法別に異なる粗度の表面積相対比を示したものである。具体的には、SB 工法の場合は (S10-3-1 の表面積) / (S10-1-1 の表面積)、WJ 工法の場合は (S10-10-1 の表面積) / (S10-6-1 の表面積) で除した値を示している。スキャンピッチが大きくなると表面積の算定値の精度が落ちるため、相対比は限りなく 1 に近づくこととなる。

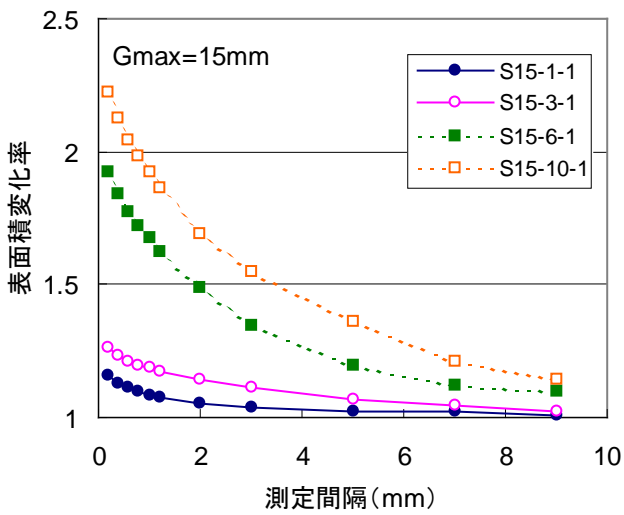
SB 工法については、いずれの粗骨材寸法の供試体においても、スキャンピッチが 1mm より小さい範囲ではほぼ定常値であり、スキャンピッチが 1mm よりも大きくなるにしたがって相対比は 1 に近づいていく。WJ 工法では、必ずしも明確な傾向は現れていないが、3mm 程度より小さいスキャンピッチが妥当であると思われる。



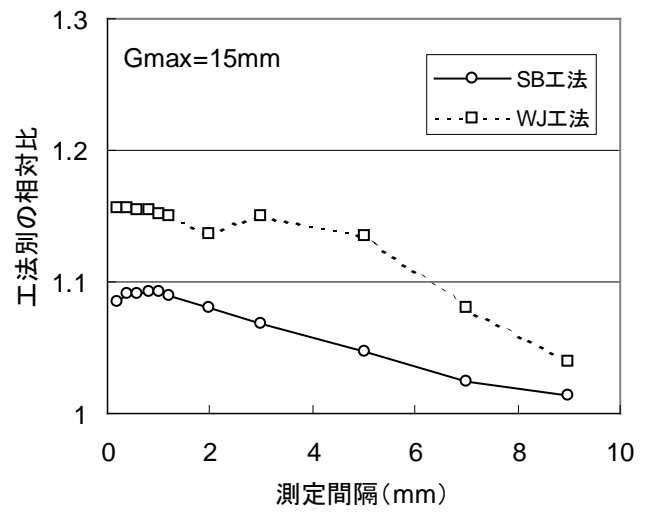
付図 1.1 測定間隔と表面積変化率の関係



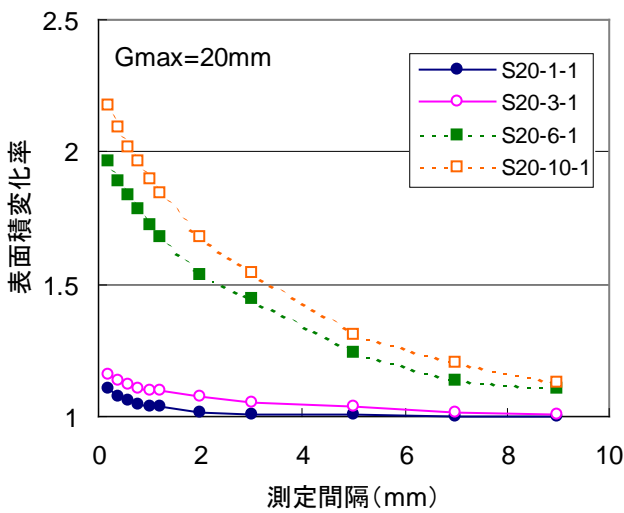
付図 1.2 工法別の表面積変化率の相対比



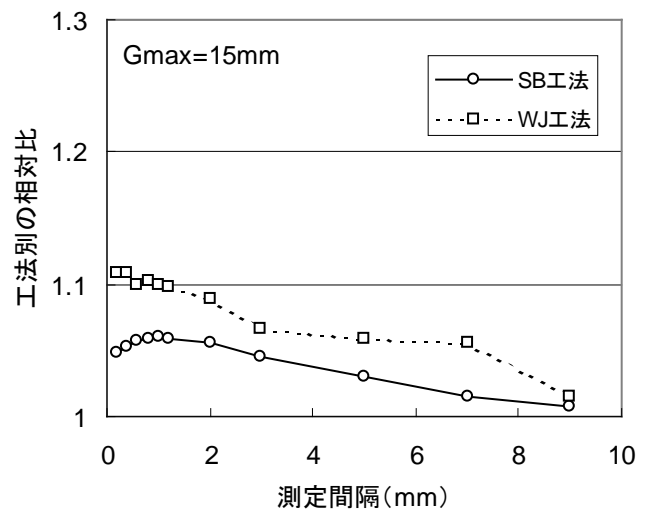
付図 1.3 測定間隔と表面積変化率の関係



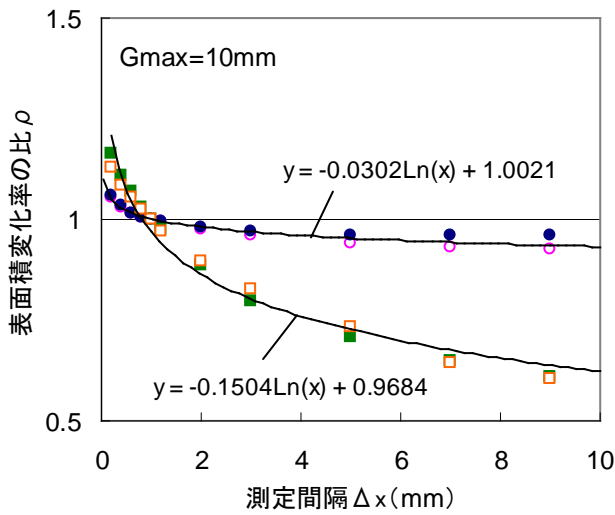
付図 1.4 工法別の表面積変化率の相対比



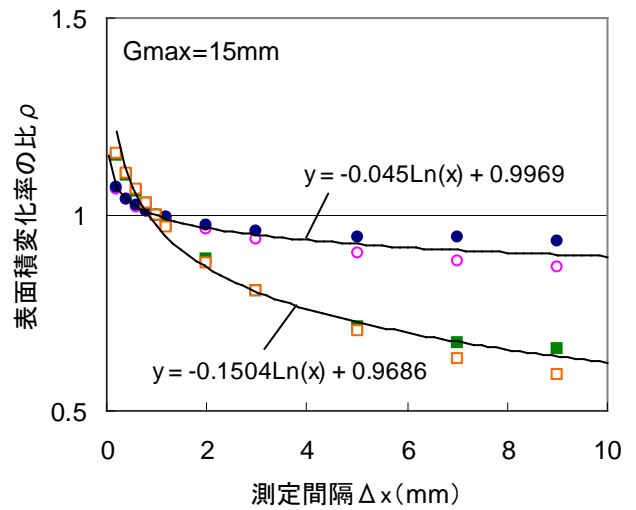
付図 1.5 測定間隔と表面積変化率の関係



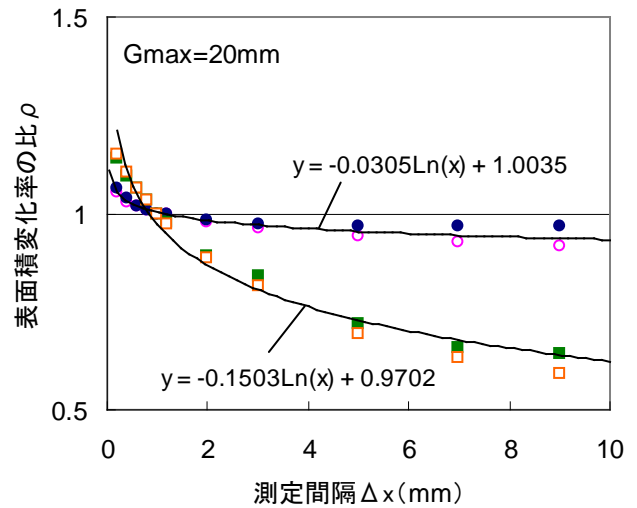
付図 1.6 工法別の表面積変化率の相対比



付図 1.7 測定間隔と表面積変化率比の関係



付図 1.8 測定間隔と表面積変化率比の関係



付図 1.9 測定間隔と表面積変化率比の関係

実構造においては、対象とする領域が大きくなることが考えられ、恒に 1mm のスキャンピッチでデータを収集できるとは限らない。ここでは、スキャンピッチ 1mm を基本とし、他のスキャンピッチにより得られる表面積算定値との違いを調べる。付図 1.7~1.9 は、各スキャンピッチで得られた表面積変化率をスキャンピッチ 1mm で得られた表面積変化率で除したものである。この結果から、この表面積変化率の比は、1mm はつりと 3mm はつりで、6mm はつりと 10mm はつりで各々同程度の値となることがわかる。前者は SB 工法による粗度面であり、後者は WJ 工法による粗度面であるので、工法によって表面積変化率の比の傾向を捉えることができる。図中に示した実線は、工法別に対数による近似式を適用したものである。近似式を以下に示す。

SB 工法	(S10-1-1 and S10-3-1)	$\rho = 0.0302 \ln(\Delta x) + 1.0021$
	(S15-1-1 and S15-3-1)	$\rho = 0.045 \ln(\Delta x) + 0.9969$
	(S20-1-1 and S20-3-1)	$\rho = 0.0305 \ln(\Delta x) + 1.0035$

WJ 工法	(S10-6-1 and S10-10-1)	$\rho = 1.504 \ln(\Delta x) + 0.9684$
	(S15-6-1 and S15-10-1)	$\rho = 1.504 \ln(\Delta x) + 0.9686$
	(S20-6-1 and S20-10-1)	$\rho = 1.503 \ln(\Delta x) + 0.9702$

ここに、 ρ : 表面積変化率の比

$$= A_{rx} / A_{r1}$$

A_{rx} : 任意のスキャンピッチで測定したときの表面積変化率

A_{r1} : 1mm のスキャンピッチで測定したときの表面積変化率

Δx : スキャンピッチ (mm)

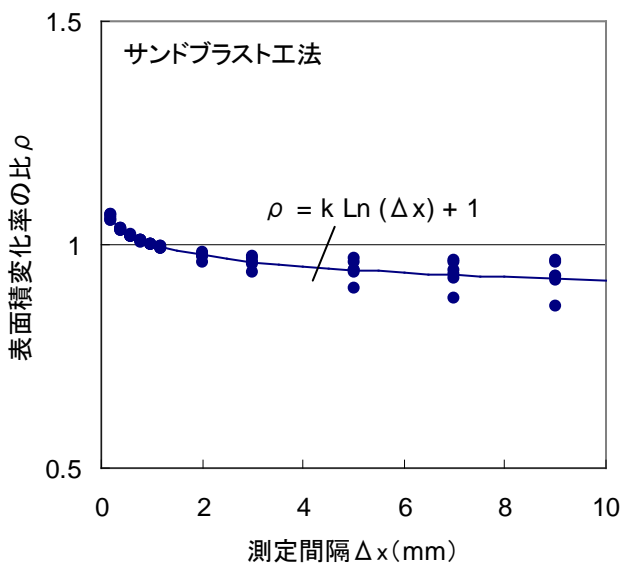
粗骨材寸法別に比べると、近似式における係数はほぼ同じであり、骨材寸法の影響は見られない。そこで、それぞれの工法におけるデータをまとめて描くと付図 1.10 および付図 1.11 のようになる。これらのデータに対してあらためて、近似を行うと次式のようになり、この関係式からスキャンピッチが異なるときの表面積変化率から 1mm ピッチで測定された場合の表面積変化率を推測することができる。

$$A_{r1} = \frac{A_{rx}}{k \ln(\Delta x) + 1} \quad (\text{付 1.1})$$

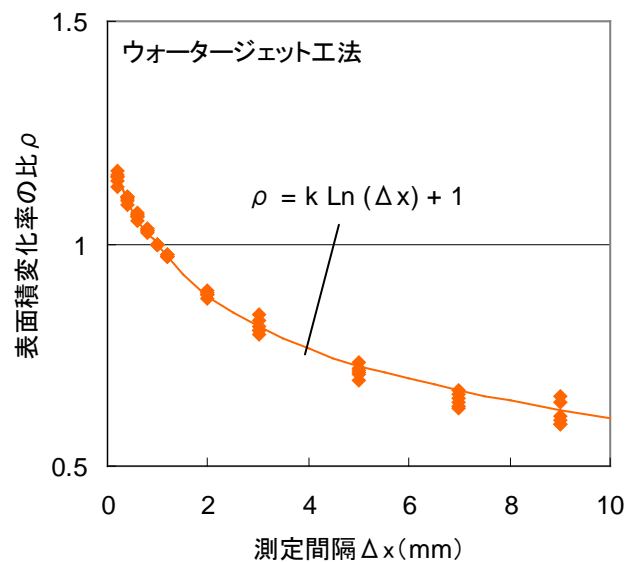
ここに、 $k = -0.035$ (SB 工法の場合)

$k = -0.10$ (WJ 工法でスキャンピッチ 1mm 未満の場合)

$k = -0.17$ (WJ 工法でスキャンピッチ 1mm 以上の場合)



付図 1.10 測定間隔と表面積変化率比の関係



付図 1.11 測定間隔と表面積変化率比の関係

(2) JIS 粗さパラメータに与えるスキャンピッチの影響

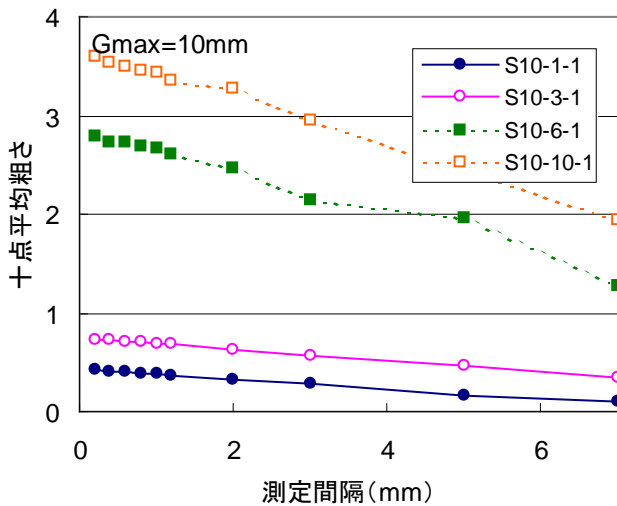
(a) 十点平均粗さ

付図 1.12 から付図 1.14 は、十点平均粗さとスキャンピッチの関係を粗骨材最大寸法ごとの供試体について示したものである。図に見られるように、スキャンピッチが小さくなるにつれて、ほぼ直線的に十点平均粗さが増加していることがわかる。したがって、どのスキャンピッチでも表面粗度の評価は可能であるが、表面積変化率での検討と同様に、スキャンピッチ 1mm のときの十点平均粗さを推定するための式を導く。付図 1.15 は、各スキャンピッチで算定された十点平均粗さを 1mm のスキャンピッチで算定された十点平均粗さで除した値を示している。この図に見られるように、最大粗骨材寸法別の違いはなく、ほぼ同一線上にデータが存在している。すべてのデータに対して、直線による近似を試みると以下のような関係式が得られる。

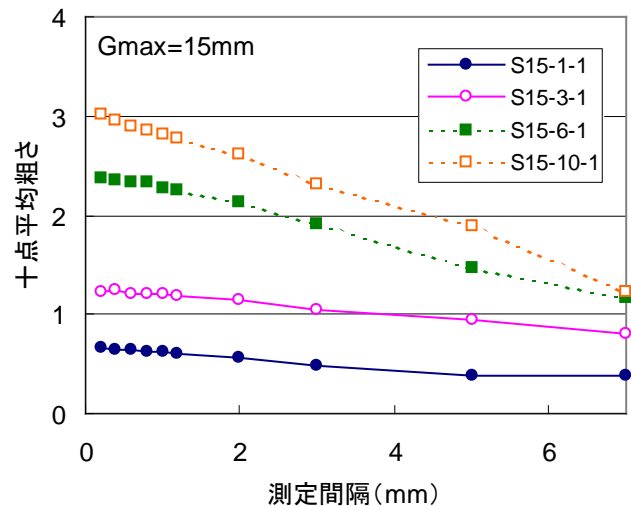
$$R_{zJIS,1} = \frac{R_{zJIS,x}}{0.08(1-\Delta x)+1} \quad (\text{付 1.2})$$

ここに、 $R_{zJIS,1}$: 1mm のスキャンピッチにおける十点平均粗さ

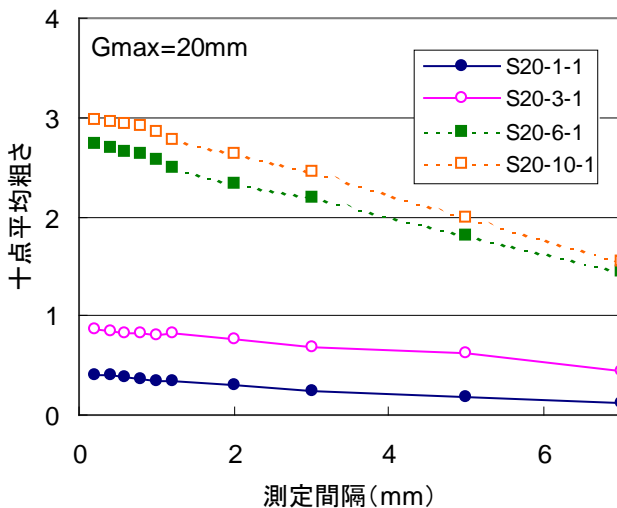
$R_{zJIS,x}$: 任意のスキャンピッチにおける十点平均粗さ



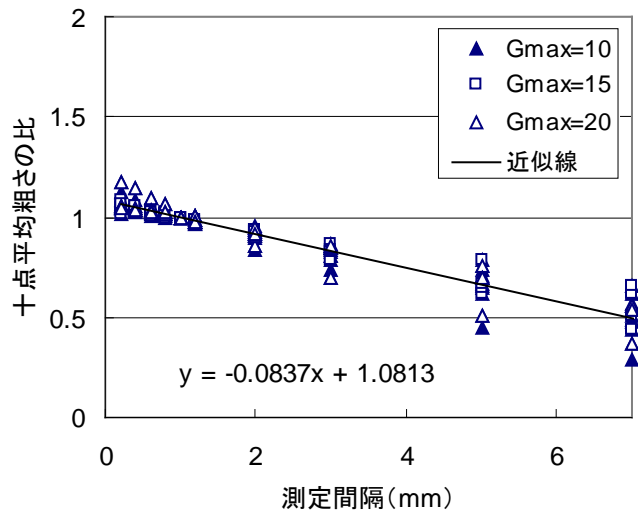
付図 1.12 測定間隔と十点平均粗さの関係



付図 1.13 測定間隔と十点平均粗さの関係



付図 1.14 測定間隔と十点平均粗さの関係



付図 1.15 測定間隔と十点平均粗さの比の関係

(b) 算術平均粗さ

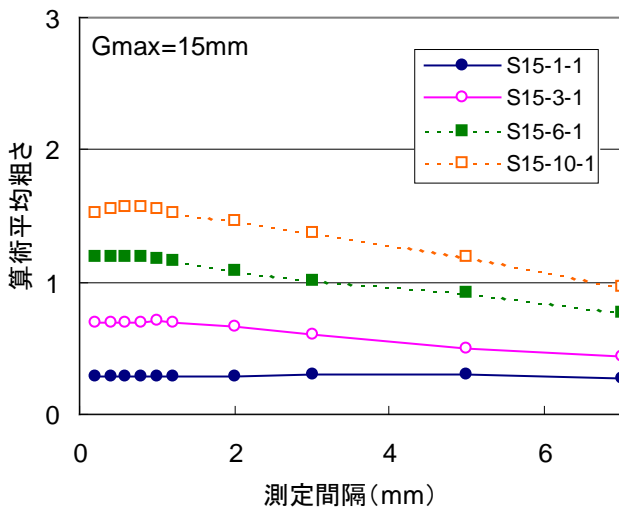
付図 1.16 から付図 1.17 は、算術平均粗さとスキャンピッチの関係を粗骨材最大寸法ごとの供試体について示したものである。いずれの供試体もスキャンピッチが小さくなるにつれて、算術平均粗さは増加する傾向があるが、スキャンピッチが 1mm 程度から小さい場合は、概ね算術平均粗さが頭打ちとなっていることがわかる。したがって、表面粗度を算術平均粗さで評価する場合には、スキャンピッチが 1mm 程度で行うのが合理的であると考えられる。なお、スキャンピッチが 1mm 以下で測定されたデータから、スキャンピッチ 1mm のときの算術平均粗さを推定するための近似式（付図 1.18 参照）は以下のとおりである。

$$R_{a1} = \frac{R_{ax}}{0.05(1 - \Delta x) + 1} \quad (\text{付 1.3})$$

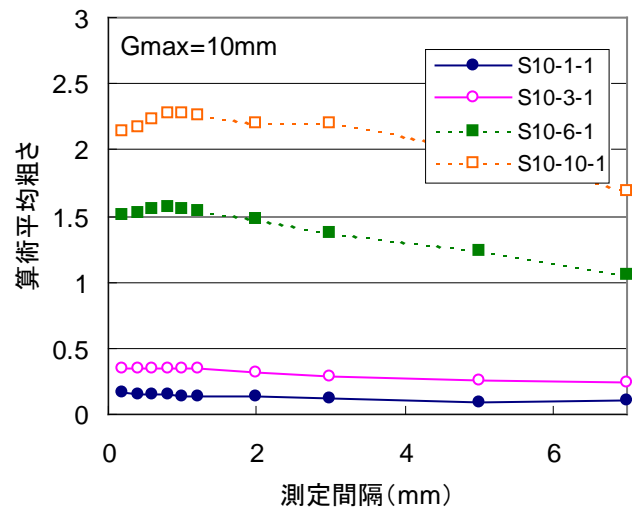
ただし、 $\Delta x > 1.0 \text{ mm}$

ここに、 R_{a1} : 1mm のスキャンピッチにおける十点平均粗さ

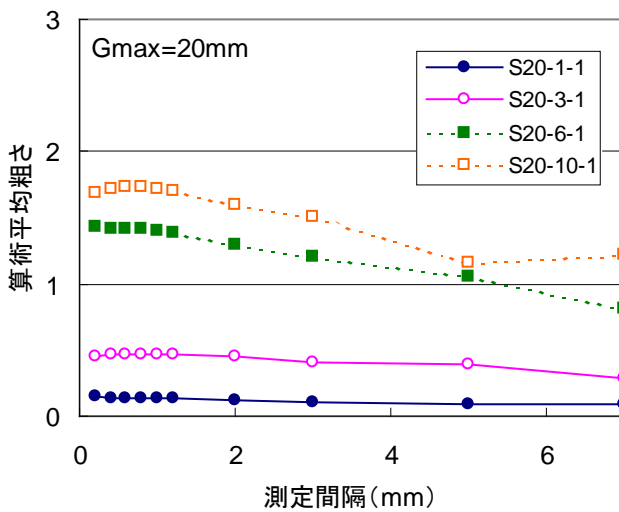
R_{ax} : 任意のスキャンピッチにおける十点平均粗さ



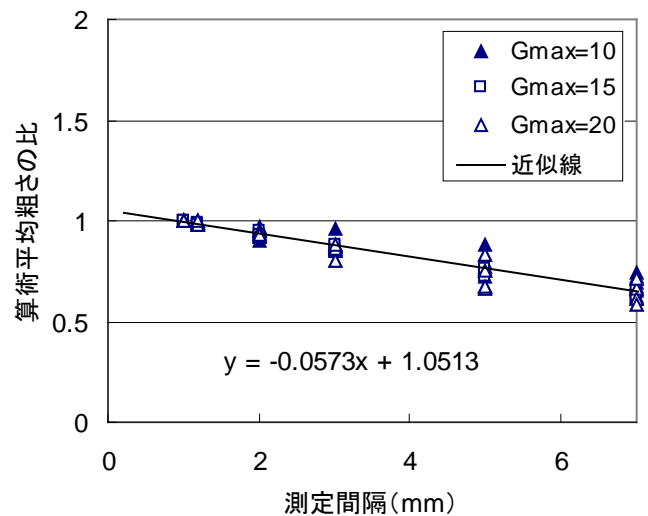
付図 1.16 測定間隔と算術平均粗さの関係



付図 1.17 測定間隔と算術平均粗さの関係



付図 1.18 測定間隔と算術平均粗さの関係



付図 1.19 測定間隔と算術平均粗さの比の関係

(c) 二乗平均平方根傾斜

付図 1.20 から付図 1.22 は、二乗平均平方根傾斜とスキャンピッチの関係性を粗骨材最大寸法ごとの供試体について示したものである。スキャンピッチが小さくなるにつれて、二乗平均平方根傾斜が著しく大きくなる傾向は、表面積変化率と同じである。スキャンピッチ 7mm では、異なる粗度面で二乗平均平方根傾斜が近い値となるケースが多い。比較的、明確に粗度の違いが現れているのはスキャンピッチが 1mm~5mm の範囲である。以下は、スキャンピッチ 1mm における二乗平均平方根傾斜を推定するための近似式である。

$$R\Delta_{q1} = \frac{R\Delta_{qx}}{k \ln(\Delta x) + 1} \quad (\text{付 1.4})$$

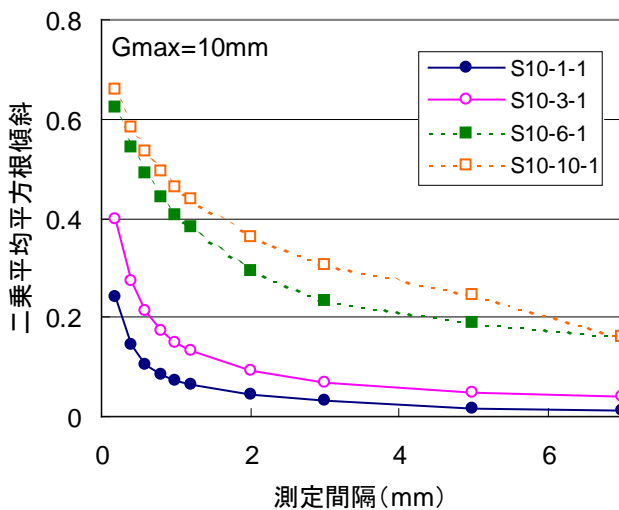
ここに、 $R\Delta_{qx}$: 任意のスキャンピッチで測定したときの二乗平均平方根傾斜

$R\Delta_{q1}$: 1mm のスキャンピッチで測定したときの二乗平均平方根傾斜

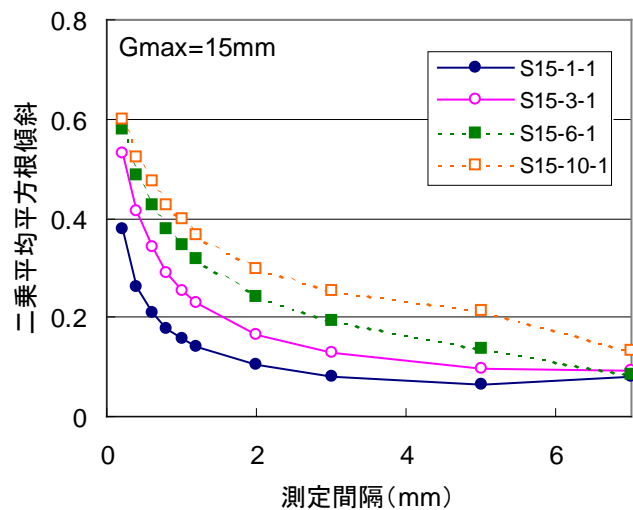
$k = -1.111$ (SB 工法でスキャンピッチ 1mm 未満の場合)

$k = -0.376$ (SB 工法でスキャンピッチ 1mm 以上の場合)

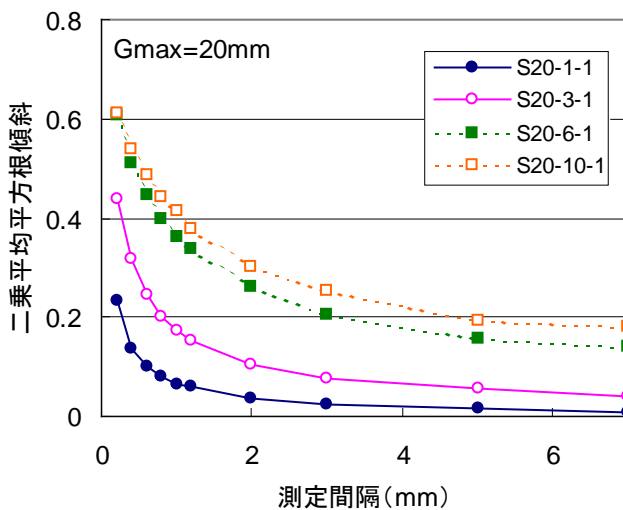
$k = -0.343$ (WJ 工法の場合)



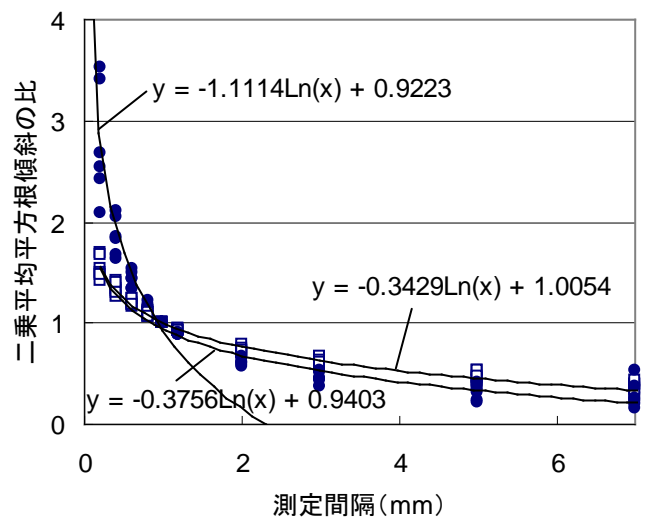
付図 1.20 測定間隔と二乗平均平方根傾斜の関係



付図 1.21 測定間隔と二乗平均平方根傾斜の関係



付図 1.22 測定間隔と二乗平均平方根傾斜の関係



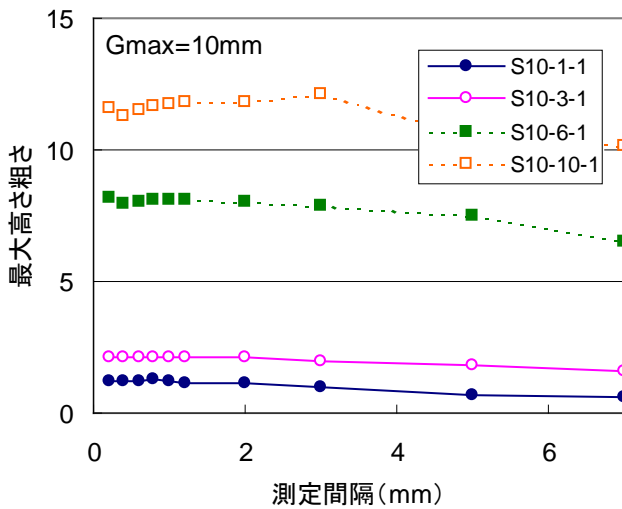
付図 1.23 測定間隔と二乗平均平方根傾斜の比の関係

(d) 最大高さ粗さおよび最大山高さ

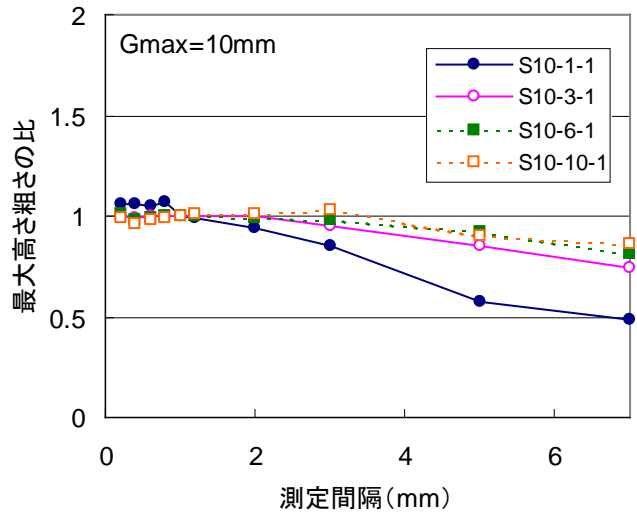
付図 1.24、付図 1.26 および付図 1.28 は、最大高さ粗さとスキャンピッチの関係を粗骨材最大寸法ごとの供試体について示したものである。付図 1.25、付図 1.27 および付図 1.29 は、各スキャンピッチで算定された最高さ粗さを 1mm のスキャンピッチで算定された最大高さ粗さで除した値を示している。後者の図に見られるように、WJ 工法による比較的粗い面では、スキャンピッチが 3mm 程度以下で最大高さ粗さが概ね一定となっている。SB 工法による比較的滑らかな面で、目標はつり深さ 1~3mm の供試体 (S10-3-1、S15-3-1、S20-3-1) でも同様に 2mm 程度以下で最大高さ粗さが概ね一定となっている。

付図 1.30、付図 1.32 および付図 1.34 は、最大山高さとスキャンピッチの関係を粗骨材最大寸法ごとの供試体について示したものである。付図 1.31、付図 1.33 および付図 1.35 は、各スキャンピッチで算定された最大山高さを 1mm のスキャンピッチで算定された最大山高さで除した値を示している。最大高さ粗さにおける傾向とほぼ同様に、目標はつり深さ 1mm (S10-1-1、S15-1-1、S20-1-1) を除いた供試体では、スキャンピッチが 2mm 程度以下で最大山高さが概ね一定となっている。

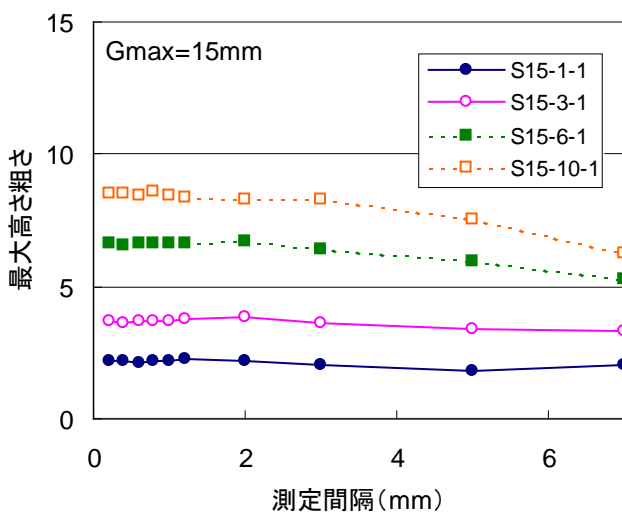
以上のことから、最大高さ粗さおよび最大山高さで、表面粗度を評価するには、スキャンピッチを 2mm 程度以下で行うのが望ましいと考えられる。



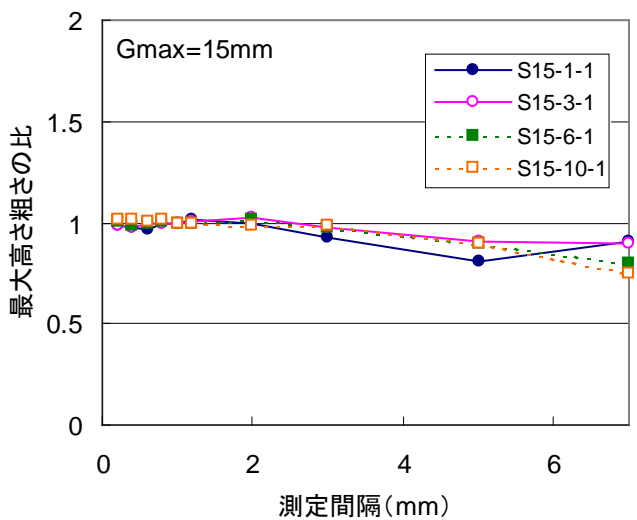
付図 1.24 測定間隔と最大高さ粗さの関係



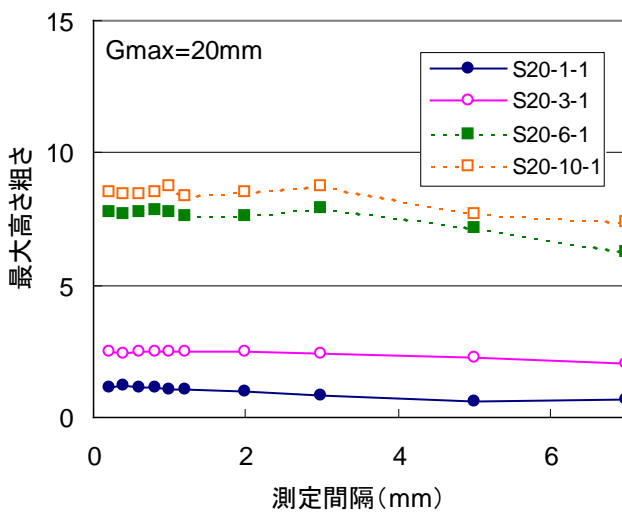
付図 1.25 測定間隔と最大高さ粗さの比の関係



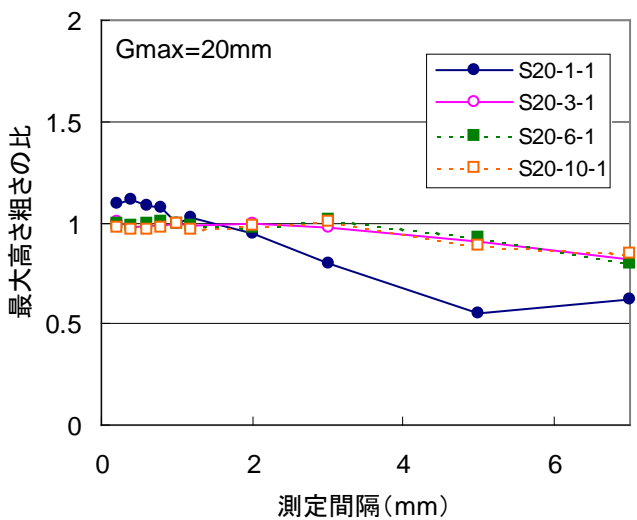
付図 1.26 測定間隔と最大高さ粗さの関係



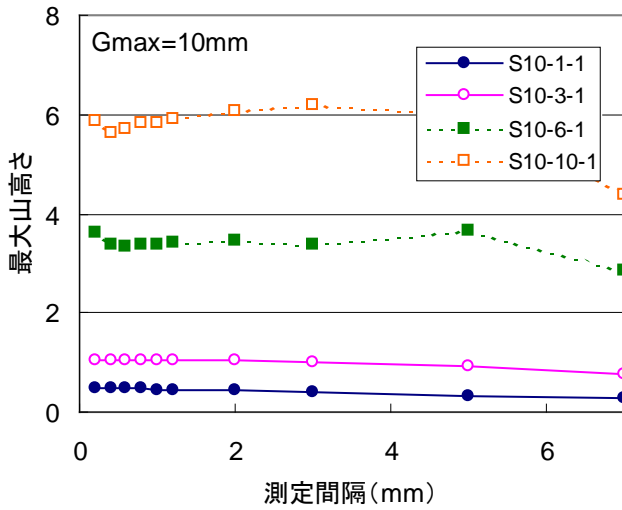
付図 1.27 測定間隔と最大高さ粗さの比の関係



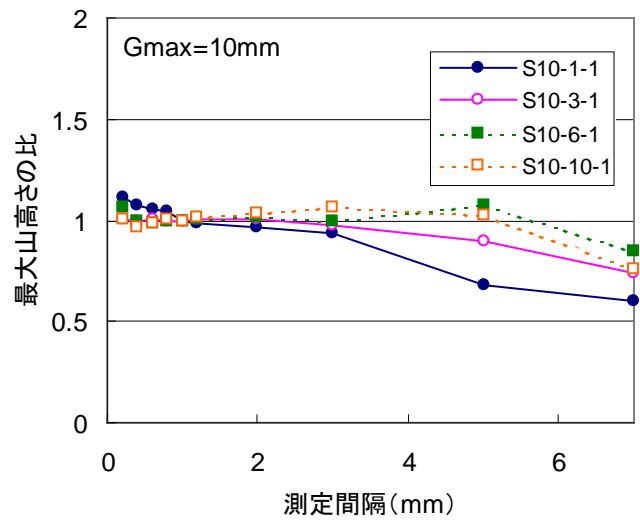
付図 1.28 測定間隔と最大高さ粗さの関係



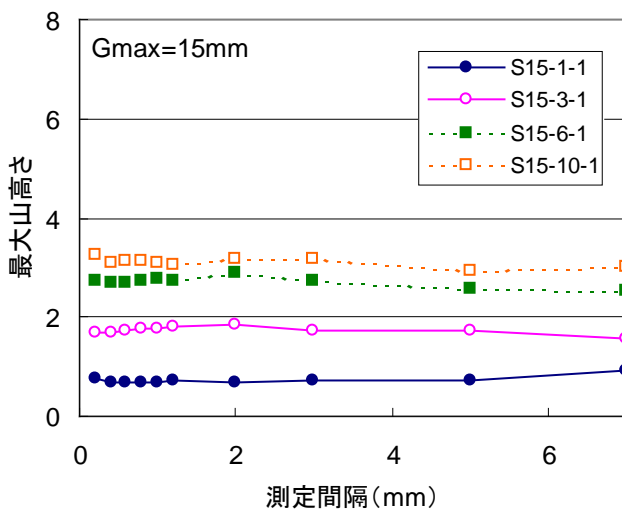
付図 1.29 測定間隔と最大高さ粗さの比の関係



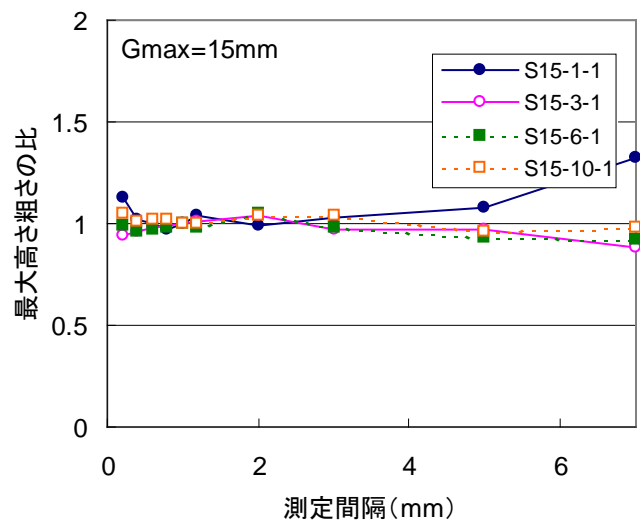
付図 1.30 測定間隔と最大山高さの関係



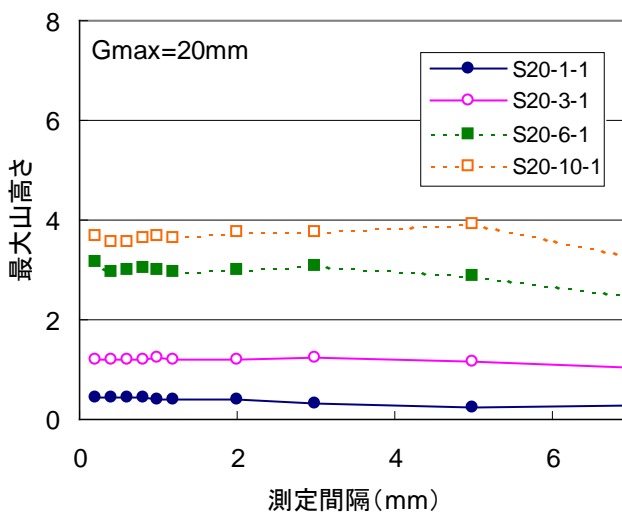
付図 1.31 測定間隔と最大山高さの比の関係



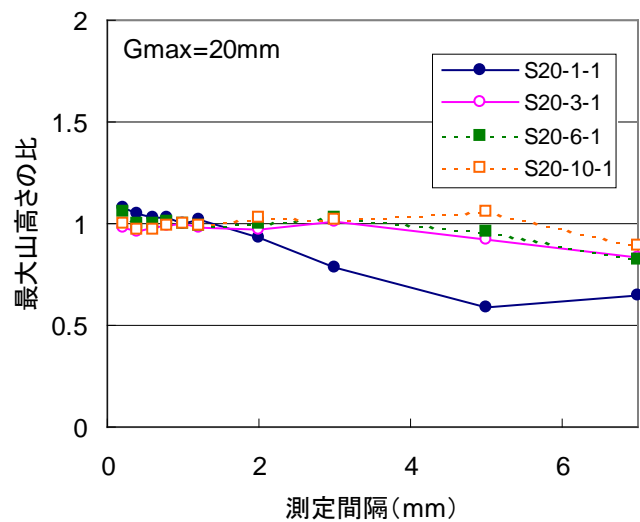
付図 1.32 測定間隔と最大山高さの関係



付図 1.33 測定間隔と最大山高さの比の関係



付図 1.34 測定間隔と最大山高さの関係



付図 1.35 測定間隔と最大山高さの比の関係

(3) まとめ

- 1) 表面積変化率の算定値は、スキャンピッチを小さくすればするほど増加する。実構造においてはデータを収集する上ではスキャンピッチを小さくすればするほどデータ量が膨大となることから、表面粗度を満足できる精度で評価できるかを検討した。各工法別に異なる粗度について表面積の相対比を調べたところ、スキャンピッチが大きくなると表面積の算定値の精度が落ちるため、相対比は限りなく 1 に近づくこととなる。SB 工法については、いずれの粗骨材寸法の供試体においても、スキャンピッチが 1mm より小さい範囲では相対比はほぼ定常値であり、スキャンピッチが 1mm よりも大きくなるにしたがって相対比は 1 に近づいていく。WJ 工法では、必ずしも明確な傾向は現れていないが、3mm 程度より小さいスキャンピッチが妥当であると思われる。
- 2) JIS 粗さパラメータの値に与えるスキャンピッチの影響について、各粗さパラメータごとに得られた知見を以下を示す。
 - (a) 十点平均粗さ
スキャンピッチが小さくなるにつれて、ほぼ直線的に十点平均粗さが増加していることから、どのスキャンピッチでも表面粗度の評価は可能であると思われる。本実験結果から、異なるスキャンピッチで計算された十点平均粗さから、スキャンピッチ 1mm のときの十点平均粗さを推定するための式を導いた。
 - (b) 算術平均粗さ
いずれの供試体もスキャンピッチが小さくなるにつれて、算術平均粗さは増加する傾向があるが、スキャンピッチが 1mm 程度から小さい場合は、概ね算術平均粗さが頭打ちとなった。したがって、表面粗度を算術平均粗さで評価する場合には、スキャンピッチが 1mm 程度で行うのが合理的であると考えられる。スキャンピッチ 1mm 以上の計算された算術平均粗さから、スキャンピッチ 1mm のときの算術平均粗さを推定するための式を導いた。
 - (c) 二乗平均平方根傾斜
スキャンピッチが小さくなるにつれて、二乗平均平方根傾斜が著しく大きくなる。スキャンピッチ 7mm では、異なる粗度面で二乗平均平方根傾斜に近い値となるケースが多い。明確に粗度の違いが現れているのはスキャンピッチが 1mm～5mm の範囲である。異なるスキャンピッチで計算された二乗平均平方根傾斜から、スキャンピッチ 1mm における二乗平均平方根傾斜を推定するための式を導いた。
 - (d) 最大高さ粗さおよび最大山高さ
WJ 工法による比較的粗い面では、最大高さ粗さはスキャンピッチが 3mm 程度以下で概ね一定となっている。SB 工法による比較的滑らかな面で、目標はつり深さ 1～3mm の供試体でも同様にスキャンピッチ 2mm 程度以下で最大高さ粗さが概ね一定となっている。最大山高さは、目標はつり深さ 1mm を除いた供試体では、スキャンピッチが 2mm 程度以下で概ね一定となっている。以上のことから、最大高さ粗さおよび最大山高さで、表面粗度を評価するには、スキャンピッチを 2mm 程度以下で行うのが望ましいと考えられる。

付録 2

表面データ処理プログラム

触針式三次元計測器 PICZA-30 で測定されたデータは、ASCII 形式で以下のように保存される。このテキストファイルを Excel で読み取り、表面積の計算および粗さパラメータの計算をマクロプログラムによって処理する。

```

VERSION=6
X
40                                x 軸方向のピッチ (40 倍の値)
Y
40                                y 軸方向のピッチ (40 倍の値)
Z
3200                              z 軸方向のピッチ (40 倍の値)
D
1
B
0
W
600,600,3400,3400                原点および終点の座標値 (いずれも 40 倍の値)
T
5087
01:24:47
RendObjColor=16776960
RendBkColor=16777215
CustomColors
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
FFFFFF
EyeRot=-20.000000,0.000000,0.000000
Rot=0.000000,0.000000,0.000000
Machine=PIX-30
TriangleMesh=1
L
71
S
600,600,832
640,600,827
680,600,824
720,600,828
760,600,834
800,600,833
840,600,834
880,600,833
920,600,830
960,600,829
1000,600,826
1040,600,822
1080,600,829
:
:
3360,3400,819
3400,3400,807
E
FaceColor
0,9368,FFFF00
E
Sub
0
SubScan
0
[EOF]

```

} 画像の設定値

} データ

(1) データ変換プログラム

テキストファイルのデータを Excel シートに書き込むための実行画面、出力結果画面およびプログラムを以下に示す。

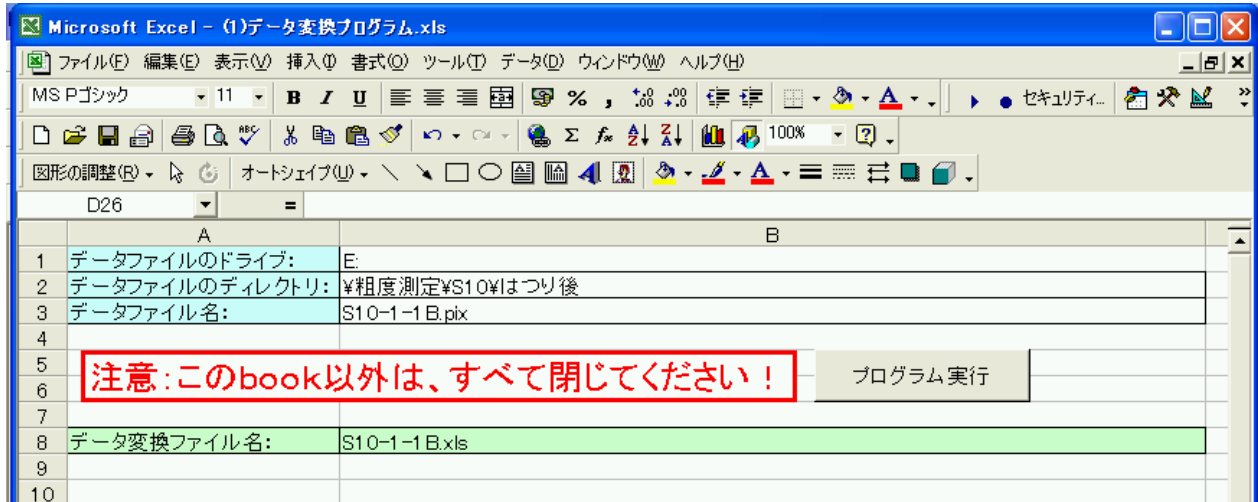


図 3.4.1 実行画面

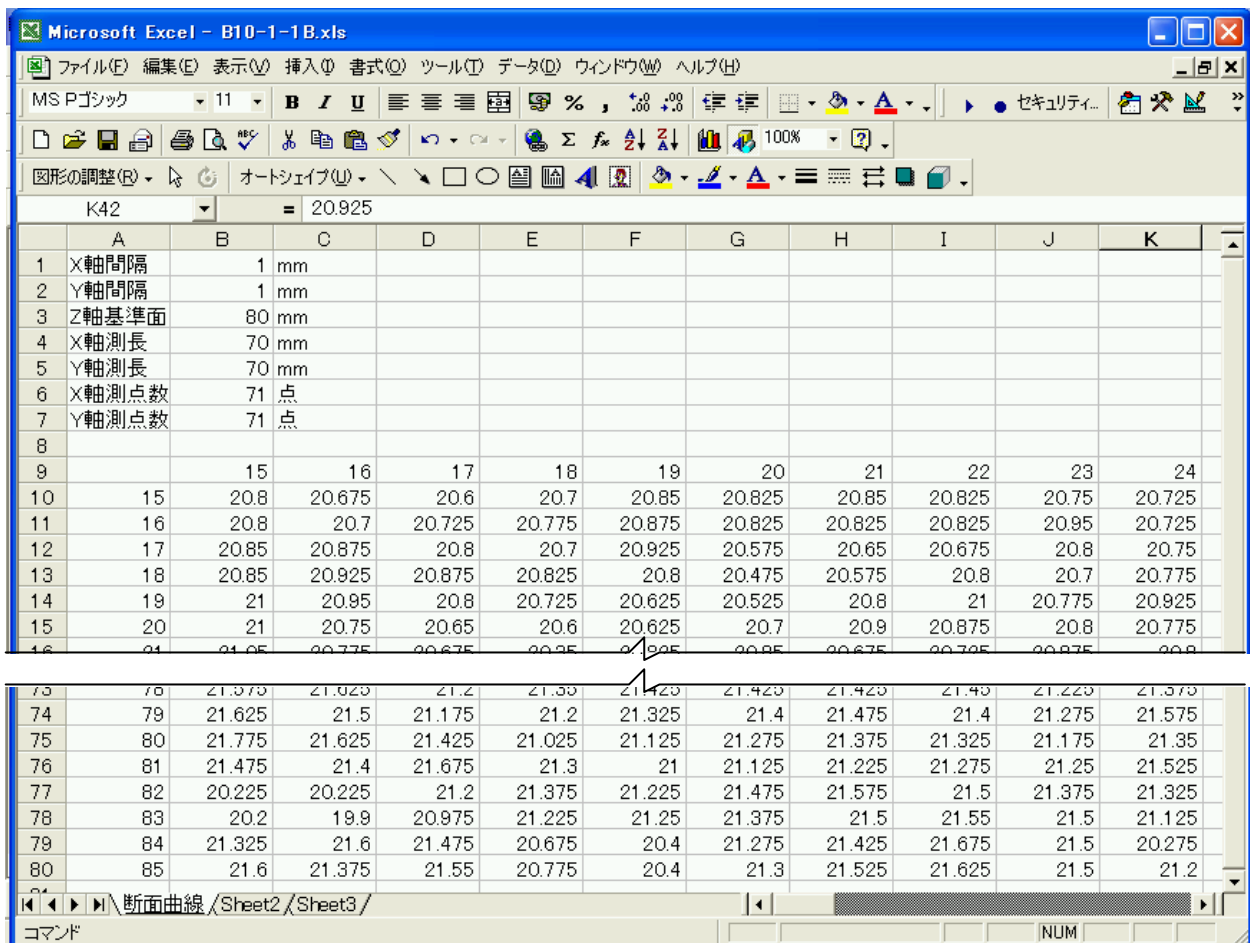


図 3.4.2 出力結果画面

```

Sub データ変換1()

Dim I, J, K, XNUM, YNUM As Integer
Dim DX, DY, ZLEBEL, CPT(4) As Single

CLMAX = 200

'データファイル名の読み取りおよびデータ変換ファイル名の作成

FileDrive = Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
FileDir = Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
DataFile = Worksheets(1).Cells(3, 2).Value
NewName = Left$(DataFile, Len(DataFile) - 4) + ".xls"
Worksheets(1).Cells(8, 2).Value = NewName

ChDrive FileDrive
ChDir FileDir

'出力ファイルを開く
Workbooks.Add
Workbooks(2).Worksheets(1).Name = "断面曲線"

'データファイルを開く（条件設定の読込）

Open DataFile For Input As #1
K = 0
Do While Not EOF(1)
    Input #1, DAT
    K = K + 1
    If K = 3 Then DX = DAT / 40
    If K = 5 Then DY = DAT / 40
    If K = 7 Then ZLEBEL = DAT / 40
    If K = 13 Then CPT(1) = DAT / 40
    If K = 14 Then CPT(2) = DAT / 40
    If K = 15 Then CPT(3) = DAT / 40
    If K = 16 Then CPT(4) = DAT / 40
    If DAT = "T" Then
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(1, 1).Value = "X 軸間隔"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(2, 1).Value = "Y 軸間隔"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(3, 1).Value = "Z 軸基準面"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(4, 1).Value = "X 軸測長"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(5, 1).Value = "Y 軸測長"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(6, 1).Value = "X 軸測点数"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(7, 1).Value = "Y 軸測点数"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(1, 2).Value = DX
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(2, 2).Value = DY
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(3, 2).Value = ZLEBEL
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(4, 2).Value = CPT(3) - CPT(1)
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(5, 2).Value = CPT(4) - CPT(2)
        XNUM = (CPT(3) - CPT(1)) / DX + 1
        YNUM = (CPT(4) - CPT(2)) / DY + 1
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(6, 2).Value = XNUM
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(7, 2).Value = YNUM
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(1, 3).Value = "mm"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(2, 3).Value = "mm"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(3, 3).Value = "mm"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(4, 3).Value = "mm"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(5, 3).Value = "mm"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(6, 3).Value = "点"
        Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(7, 3).Value = "点"
        For J = 1 To XNUM
            If J <= CLMAX Then
                Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(9, J + 1).Value = CPT(1) + (J - 1) * DX
            Else
                Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(YNUM + 14, J - CLMAX + 1).Value = CPT(1) + (J - 1) * DX
            End If
        Next J
        For I = 1 To YNUM
            Worksheets(2).Worksheets(1).Cells(I + 9, 1).Value = CPT(2) + (I - 1) * DY
        Next I
    End If
Loop

```

```

    If XNUM > CLMAX Then Workbooks(2).Worksheets(1).Cells(YNUM + I + 14, 1).Value = CPT(2) +
(I - 1) * DY
    Next I
    End If
    Loop
    Close #1

```

'データファイルを開く (データの読込)

```
Open FilePath + DataFile For Input As #1
```

```

I = 0
Do While Not EOF(1)
    Input #1, DAT

    If DAT = "E" Then Exit Do

    If DAT = "S" Then
        J = 0
        I = I + 1
    End If

    If I > 0 And I = IB Then
        J = J + 1
        If J Mod 3 = 1 Then X = DAT / 40
        If J Mod 3 = 2 Then Y = DAT / 40
        If J Mod 3 = 0 Then
            XP = (X - CPT(1)) / DX + 1
            YP = (Y - CPT(2)) / DY + 1
            If XP <= CLMAX Then
                Workbooks(2).Worksheets(1).Cells(YP + 9, XP + 1).Value = DAT / 40
            Else
                Workbooks(2).Worksheets(1).Cells(YNUM + YP + 14, XP - CLMAX + 1).Value = DAT / 40
            End If
        End If
    End If

    IB = I

Loop

Close #1

```

'虫食い部分を補間する

```
DM = 1: ' (虫食いを補間しますか?: YES→DM=1/NO→DM=0)
```

```

If DM = 1 Then
    For I = 1 To YNUM
        For J = 1 To XNUM
            If J <= CLMAX Then
                RDAT = Workbooks(2).Worksheets(1).Cells(I + 9, J + 1).Value
            Else
                RDAT = Workbooks(2).Worksheets(1).Cells(YNUM + I + 14, J - CLMAX + 1).Value
            End If
            If RDAT = "" Then RDAT = BDAT
            If J <= CLMAX Then
                Workbooks(2).Worksheets(1).Cells(I + 9, J + 1).Value = RDAT
            Else
                Workbooks(2).Worksheets(1).Cells(YNUM + I + 14, J - CLMAX + 1).Value = RDAT
            End If
            BDAT = RDAT
        Next J
    Next I
End If

```

'データ変換ファイルを保存して閉じる

```

Workbooks(2).SaveAs Filename:=NewName
Workbooks(2).Close

```

```
End Sub
```

(2) 表面積算定プログラム

表面積を計算するための実行画面、出力結果画面およびプログラムを以下に示す。なお、参考として昨年度の修士論文における表面積の算定方法による結果もあわせて表示した。

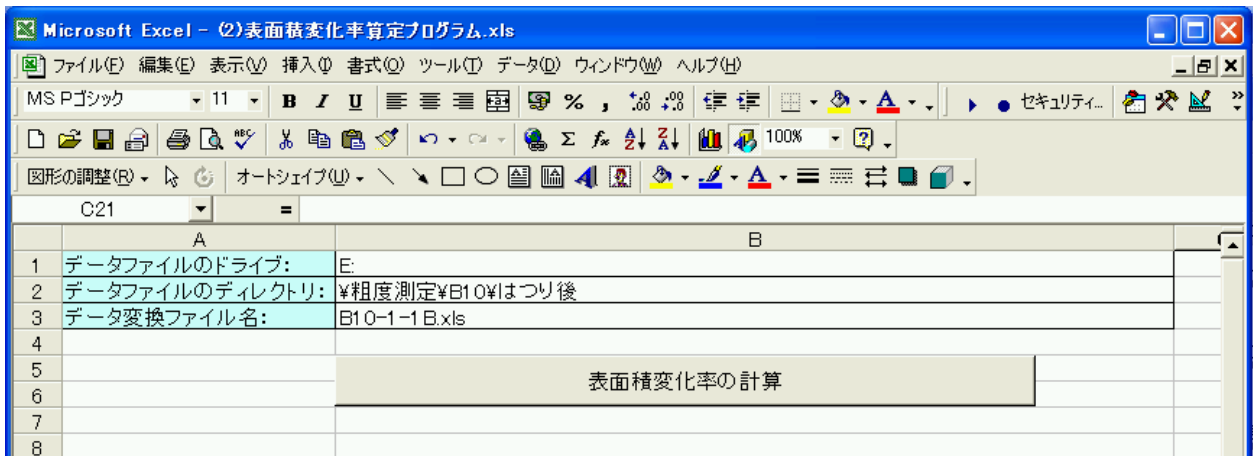


図 3.4.3 表面積の計算実行画面

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	X軸間隔	1 mm	平均高さ	20.56514							
2	Y軸間隔	1 mm	基準面積	4900							
3	Z軸基準面	80 mm	実測面積	5034.155							
4	X軸測長	70 mm	変化率	1.027379							
5	Y軸測長	70 mm	変化率(2)	1.028471							
6	X軸測点数	71 点									
7	Y軸測点数	71 点									
9		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10	15	20.8	20.675	20.6	20.7	20.85	20.825	20.85	20.825	20.75	20.725
11	16	20.8	20.7	20.725	20.775	20.875	20.825	20.825	20.825	20.95	20.725
12	17	20.85	20.875	20.8	20.7	20.925	20.575	20.65	20.675	20.8	20.75
13	18	20.85	20.925	20.875	20.825	20.8	20.475	20.575	20.8	20.7	20.775
14	19	21	20.95	20.8	20.725	20.625	20.525	20.8	21	20.775	20.925
15	20	21	20.75	20.65	20.6	20.625	20.7	20.9	20.875	20.8	20.775
16	21	21.05	20.775	20.675	20.35	20.825	20.85	20.675	20.725	20.875	20.8
17	22	20.975	21	20.85	20.825	21.1	21.025	20.8	20.9	20.75	20.825
18	23	21.1	20.95	21.05	20.9	20.9	20.9	20.875	20.875	20.625	20.725
19	24	20.975	20.875	21	20.95	21.075	20.925	20.925	21.025	20.85	20.775
20	25	20.675	20.8	20.85	20.75	20.95	20.925	20.975	20.9	20.7	20.825

図 3.4.4 出力結果画面

Sub 表面積変化率()

```
Dim DX, DY, XLEN, YLEN, Z, DXX, DYY As Single
Dim XNUM, YNUM, CLMAX, I, J As Integer
Dim L1, L2, L3, s, DLT, MENSEKI, OZAKI As Single
Dim ZB(1000), ZSUM, ZBAR As Single
```

```
CLMAX = 200
```

```
FileDrive = Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
FileDir = Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
```

```

File2 = Worksheets(1).Cells(3, 2).Value

ChDrive FileDrive
ChDir FileDir
Workbooks.Open Filename:=File2

DX = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
DY = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
XLEN = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(4, 2).Value
YLEN = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(5, 2).Value
XNUM = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(6, 2).Value
YNUM = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(7, 2).Value

MENSEKI = 0
OZAKI = 0
ZSUM = 0

For I = 1 To YNUM
For J = 1 To XNUM

If J <= CLMAX Then
Z = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(I + 9, J + 1).Value
Else
Z = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(YNUM + I + 14, J - CLMAX + 1).Value
End If
ZSUM = ZSUM + Z
'三角形要素による表面積の計算=====
If I > 1 And J < XNUM Then
L1 = Sqr((Z - ZB(J)) ^ 2 + DY ^ 2)
L2 = Sqr((ZB(J) - ZB(J + 1)) ^ 2 + DX ^ 2)
L3 = Sqr((Z - ZB(J + 1)) ^ 2 + DX ^ 2 + DY ^ 2)
s = (L1 + L2 + L3) / 2
DLT = Sqr(s * (s - L1) * (s - L2) * (s - L3))
MENSEKI = MENSEKI + DLT
End If
If I > 1 And J > 1 Then
L1 = Sqr((Z - ZB(J)) ^ 2 + DY ^ 2)
L2 = Sqr((Z - ZB(J - 1)) ^ 2 + DX ^ 2)
L3 = Sqr((ZB(J - 1) - ZB(J)) ^ 2 + DX ^ 2 + DY ^ 2)
s = (L1 + L2 + L3) / 2
DLT = Sqr(s * (s - L1) * (s - L2) * (s - L3))
MENSEKI = MENSEKI + DLT
End If
'矩形要素による表面積の計算 (尾崎方式) =====
If J > 1 Then
OZAKI = OZAKI + Sqr((Z - ZB(J - 1)) ^ 2 + DX ^ 2) * DY
End If
'=====
ZB(J) = Z

Next J
Next I

ZBAR = ZSUM / XNUM / YNUM

Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(1, 4).Value = "平均高さ"
Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(1, 5).Value = ZBAR
Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(2, 4).Value = "基準面積"
Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(2, 5).Value = XLEN * YLEN
Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(3, 4).Value = "実測面積"
Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(3, 5).Value = MENSEKI
Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(4, 4).Value = "変化率"
Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(4, 5).Value = MENSEKI / XLEN / YLEN
Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(5, 4).Value = "変化率(2)"
Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(5, 5).Value = OZAKI / XLEN / YLEN

Workbooks(File2).Save

End Sub

```

(3) フィルタ処理プログラム

実測された断面曲線に対して、各直線（x 方向）について最小二乗法による直線近似を行い、傾きの補正を行った。補正值は、近似直線からの差であらわした。次に x 軸方向にすべてのデータを連結し、評価長さに区切り、それらに対して λ_{co} によってフィルタ処理をすることにより、うねり曲線と粗さ曲線を抽出した。以下にフィルタ処理を行うための実行画面、出力結果画面およびプログラムを示す。

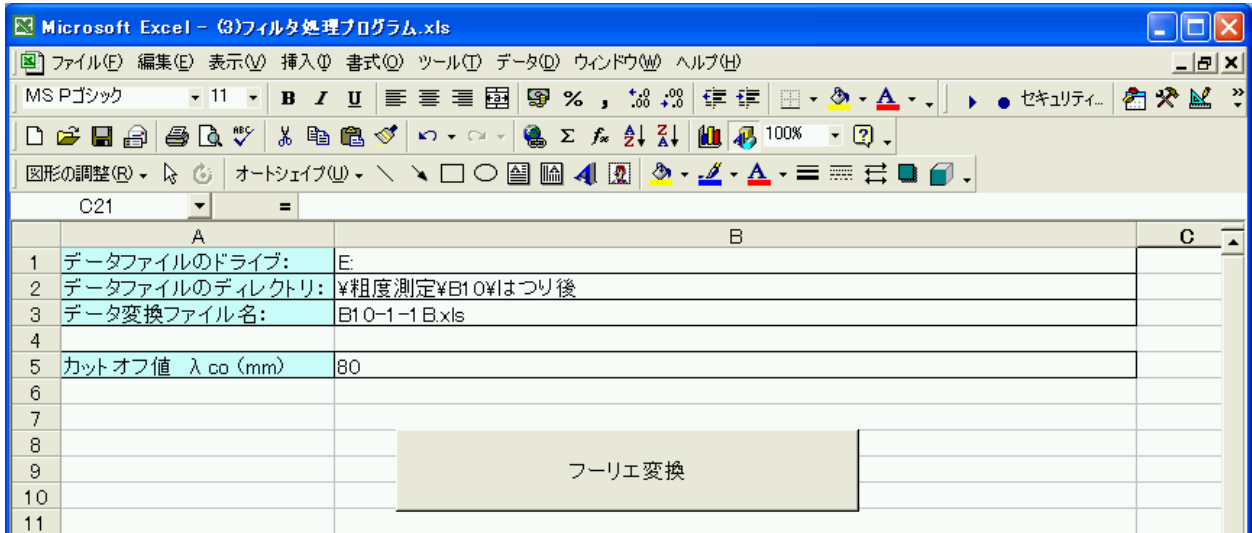


図 3.4.5 フィルタ処理の実行画面

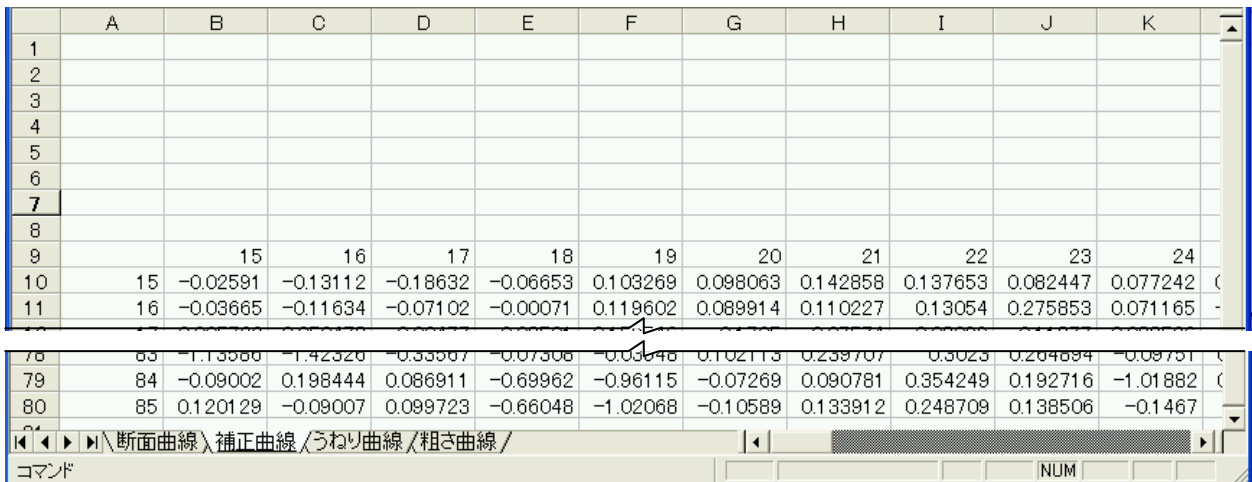


図 3.4.6 補正曲線の出力結果画面

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	△x=	1	mm								
2	λc=	80	mm								
3	Nc=	40	個								
4	基準線本数	62	本								
5	データ数	81	個								
6											
7											
8											
9		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
10	0	0.025375	0.011935	0.004322	0.013604	-0.01548	0.003008	-0.00128	0.014009	0.012672	0.015028
11	1	0.025392	0.009809	0.004084	0.01366	-0.01537	0.001381	0.000286	0.014027	0.008915	0.013253
12	2	0.025512	0.007526	0.003734	0.013789	-0.01516	0.000412	0.001912	0.014042	0.007089	0.011759
13	3	0.025632	0.005243	0.003482	0.013914	-0.01495	0.000027	0.003312	0.023969	0.020036	0.011429
14	4	0.025752	0.003060	0.003230	0.014039	-0.01474	0.0005709	-0.00371	0.013637	0.022788	0.01875
15	5	0.025872	0.000977	0.002978	0.014164	-0.01453	0.0004899	-0.00307	0.01397	0.01956	0.017491
16	6	0.026000	0.000000	0.002726	0.014289	-0.01432	0.000000	0.000000	0.01397	0.01956	0.017491
17	7	0.026120	0.000000	0.002474	0.014414	-0.01411	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
18	8	0.026240	0.000000	0.002222	0.014539	-0.01390	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
19	9	0.026360	0.000000	0.001970	0.014664	-0.01369	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
20	10	0.026480	0.000000	0.001718	0.014789	-0.01348	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
21	11	0.026600	0.000000	0.001466	0.014914	-0.01327	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
22	12	0.026720	0.000000	0.001214	0.015039	-0.01306	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
23	13	0.026840	0.000000	0.000962	0.015164	-0.01285	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
24	14	0.026960	0.000000	0.000710	0.015289	-0.01264	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
25	15	0.027080	0.000000	0.000458	0.015414	-0.01243	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
26	16	0.027200	0.000000	0.000206	0.015539	-0.01222	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
27	17	0.027320	0.000000	0.000000	0.015664	-0.01201	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
28	18	0.027440	0.000000	0.000000	0.015789	-0.01180	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
29	19	0.027560	0.000000	0.000000	0.015914	-0.01159	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
30	20	0.027680	0.000000	0.000000	0.016039	-0.01138	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
31	21	0.027800	0.000000	0.000000	0.016164	-0.01117	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
32	22	0.027920	0.000000	0.000000	0.016289	-0.01096	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
33	23	0.028040	0.000000	0.000000	0.016414	-0.01075	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
34	24	0.028160	0.000000	0.000000	0.016539	-0.01054	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
35	25	0.028280	0.000000	0.000000	0.016664	-0.01033	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
36	26	0.028400	0.000000	0.000000	0.016789	-0.01012	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
37	27	0.028520	0.000000	0.000000	0.016914	-0.00991	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
38	28	0.028640	0.000000	0.000000	0.017039	-0.00970	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
39	29	0.028760	0.000000	0.000000	0.017164	-0.00949	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
40	30	0.028880	0.000000	0.000000	0.017289	-0.00928	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
41	31	0.029000	0.000000	0.000000	0.017414	-0.00907	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
42	32	0.029120	0.000000	0.000000	0.017539	-0.00886	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
43	33	0.029240	0.000000	0.000000	0.017664	-0.00865	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
44	34	0.029360	0.000000	0.000000	0.017789	-0.00844	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
45	35	0.029480	0.000000	0.000000	0.017914	-0.00823	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
46	36	0.029600	0.000000	0.000000	0.018039	-0.00802	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
47	37	0.029720	0.000000	0.000000	0.018164	-0.00781	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
48	38	0.029840	0.000000	0.000000	0.018289	-0.00760	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
49	39	0.029960	0.000000	0.000000	0.018414	-0.00739	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
50	40	0.030080	0.000000	0.000000	0.018539	-0.00718	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
51	41	0.030200	0.000000	0.000000	0.018664	-0.00697	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
52	42	0.030320	0.000000	0.000000	0.018789	-0.00676	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
53	43	0.030440	0.000000	0.000000	0.018914	-0.00655	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
54	44	0.030560	0.000000	0.000000	0.019039	-0.00634	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
55	45	0.030680	0.000000	0.000000	0.019164	-0.00613	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
56	46	0.030800	0.000000	0.000000	0.019289	-0.00592	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
57	47	0.030920	0.000000	0.000000	0.019414	-0.00571	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
58	48	0.031040	0.000000	0.000000	0.019539	-0.00550	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
59	49	0.031160	0.000000	0.000000	0.019664	-0.00529	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
60	50	0.031280	0.000000	0.000000	0.019789	-0.00508	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
61	51	0.031400	0.000000	0.000000	0.019914	-0.00487	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
62	52	0.031520	0.000000	0.000000	0.020039	-0.00466	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
63	53	0.031640	0.000000	0.000000	0.020164	-0.00445	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
64	54	0.031760	0.000000	0.000000	0.020289	-0.00424	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
65	55	0.031880	0.000000	0.000000	0.020414	-0.00403	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
66	56	0.032000	0.000000	0.000000	0.020539	-0.00382	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
67	57	0.032120	0.000000	0.000000	0.020664	-0.00361	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
68	58	0.032240	0.000000	0.000000	0.020789	-0.00340	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
69	59	0.032360	0.000000	0.000000	0.020914	-0.00319	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
70	60	0.032480	0.000000	0.000000	0.021039	-0.00298	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
71	61	0.032600	0.000000	0.000000	0.021164	-0.00277	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
72	62	0.032720	0.000000	0.000000	0.021289	-0.00256	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
73	63	0.032840	0.000000	0.000000	0.021414	-0.00235	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
74	64	0.032960	0.000000	0.000000	0.021539	-0.00214	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
75	65	0.033080	0.000000	0.000000	0.021664	-0.00193	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
76	66	0.033200	0.000000	0.000000	0.021789	-0.00172	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
77	67	0.033320	0.000000	0.000000	0.021914	-0.00151	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
78	68	0.033440	0.000000	0.000000	0.022039	-0.00130	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
79	69	0.033560	0.000000	0.000000	0.022164	-0.00109	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
80	70	0.033680	0.000000	0.000000	0.022289	-0.00088	0.000000	0.000000	0.014027	0.01956	0.017491
81	71	0.033800	0.000000	0.000000	0.022414	-0.00067	0.000000	0.000000	0.014027		


```
Workbooks(File2).Worksheets(4).Activate
```

```
DX = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(1, 2).Value  
DY = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(2, 2).Value  
XLEN = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(4, 2).Value  
YLEN = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(5, 2).Value  
XNUM = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(6, 2).Value  
YNUM = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(7, 2).Value
```

```
'補正曲線の算出=====
```

```
'断面曲線に対し最小二乗法により傾斜線を計算する  
'傾斜線と実測断面曲線の差を補正值とする  
'ZO(J):補正值
```

```
For I = 1 To YNUM
```

```
SIGX = 0: SIGZ = 0: SIGXZ = 0: SIGX2 = 0
```

```
For J = 1 To XNUM
```

```
If J <= CLMAX Then
```

```
XCL = 0
```

```
YCL = 0
```

```
Else
```

```
XCL = -CLMAX
```

```
YCL = YNUM + 5
```

```
End If
```

```
X = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(9 + YCL, J + XCL + 1).Value
```

```
Z = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(I + YCL + 9, J + XCL + 1).Value
```

```
SIGX = SIGX + X
```

```
SIGZ = SIGZ + Z
```

```
SIGXZ = SIGXZ + X * Z
```

```
SIGX2 = SIGX2 + X ^ 2
```

```
Next J
```

```
XBAR = SIGX / XNUM
```

```
ZBAR = SIGZ / XNUM
```

```
C2 = (SIGXZ - XNUM * XBAR * ZBAR) / (SIGX2 - XNUM * XBAR ^ 2)
```

```
C1 = ZBAR - C2 * XBAR
```

```
For J = 1 To XNUM
```

```
If J <= CLMAX Then
```

```
XCL = 0
```

```
YCL = 0
```

```
Else
```

```
XCL = -CLMAX
```

```
YCL = YNUM + 5
```

```
End If
```

```
X = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(9 + YCL, J + XCL + 1).Value
```

```
Z = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(I + YCL + 9, J + XCL + 1).Value
```

```
ZO(J) = Z - (C1 + C2 * X)
```

```
Workbooks(File2).Worksheets(2).Cells(9 + YCL, J + XCL + 1).Value = X
```

```
Workbooks(File2).Worksheets(2).Cells(I + YCL + 9, J + XCL + 1).Value = ZO(J)
```

```
If I = 1 Then Workbooks(File2).Worksheets(2).Cells(5, J + XCL + 1).Value = C1 + C2 * X
```

```
Next J
```

```
Y = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(I + 9, 1).Value
```

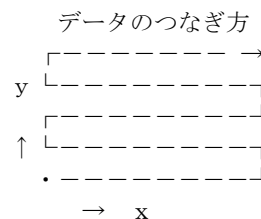
```
Workbooks(File2).Worksheets(2).Cells(I + 9, 1).Value = Y
```

```
If XNUM > CLMAX Then Workbooks(File2).Worksheets(2).Cells(I + YNUM + 14, 1).Value = Y
```

```
Next I
```

```
'補正值データを1直線状に並び替える=====
```

```
'ZA(N):並び替えた深さデータ
```



```

For I = 1 To YNUM

  For J = 1 To XNUM
    If J <= CLMAX Then
      XCL = 0
      YCL = 0
    Else
      XCL = -CLMAX
      YCL = YNUM + 5
    End If
    If I Mod 2 = 1 Then
      N = XNUM * (I - 1) + J
    Else
      N = XNUM * I - J + 1
    End If
    ZA(N) = Workbooks(File2).Worksheets(2).Cells(I + YCL + 9, J + XCL + 1).Value
  Next J

Next I

DNUM = N

```

' うねり曲線&粗さ曲線=====

```

' 1 直線状に並び替えられた補正值データに対してフィルタ処理を行う
' RAMCO:カットオフ値
' A(I):うねり曲線データ
' B(I):粗さ曲線データ

```

```

NC = RAMCO / DX / 2
ALPHA = Sqr(Log(2) / 3.1415968)
For I = 1 To DNUM
  A(I) = 0: KN = 0
  For K = 0 To 2 * NC
    KK = K - NC
    If (K > NC - I) And (K < NC - I + DNUM + 1) Then
      S = 1 / ALPHA / RAMCO * Exp(-3.141596 * (DX * KK / ALPHA / RAMCO) ^ 2)
      A(I) = A(I) + S * ZA(I + K - NC)
      KN = KN + S * DX
    Else
      S = 0
    End If
  Next K
  A(I) = A(I) / KN
  B(I) = ZA(I) - A(I)
Next I

```

' 基準長さ毎にうねり曲線と粗さ曲線を書き出す=====

```

' EXCEL Sheet 上で、縦方向を「基準長さ」に、横方向を「基準長さの数」として書き出す
' LLEN:基準長さ(=カットオフ値)
' LNUM:基準長さ本数
' PNUM:基準長さ内のデータ数

```

```

LLEN = RAMCO
PNUM = LLEN / DX + 1
LNUM = Int(DNUM / PNUM)
For I = 1 To LNUM
  For J = 1 To PNUM
    N = (I - 1) * PNUM + J
    Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(J + 9, I + 1).Value = A(N)
    Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(J + 9, I + 1).Value = B(N)
  Next J
  Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(9, I + 1).Value = "No." + Str$(I)
  Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(9, I + 1).Value = "No." + Str$(I)
Next I
For J = 1 To PNUM
  Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(J + 9, 1).Value = (J - 1) * DX
  Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(J + 9, 1).Value = (J - 1) * DX
Next J

```

```

=====
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(1, 1).Value = " Δ x="
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(1, 2).Value = DX
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(1, 3).Value = "mm"
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(2, 1).Value = " λ c="
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(2, 2).Value = RAMCO
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(2, 3).Value = "mm"
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(3, 1).Value = " Nc="
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(3, 2).Value = NC
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(3, 3).Value = "個"
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(4, 1).Value = "基準線本数"
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(4, 2).Value = LNUM
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(4, 3).Value = "本"
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(5, 1).Value = "データ数"
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(5, 2).Value = PNUM
Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(5, 3).Value = "個"
=====
Workbooks(File2).Save

End Sub

```

(4) 十点平均粗さ算定プログラム

フィルタ処理プログラムによって抽出した粗さ曲線を用いて、十点平均粗さを算出した。以下に十点平均粗さを求めるための実行画面、出力結果画面およびプログラムを示す。

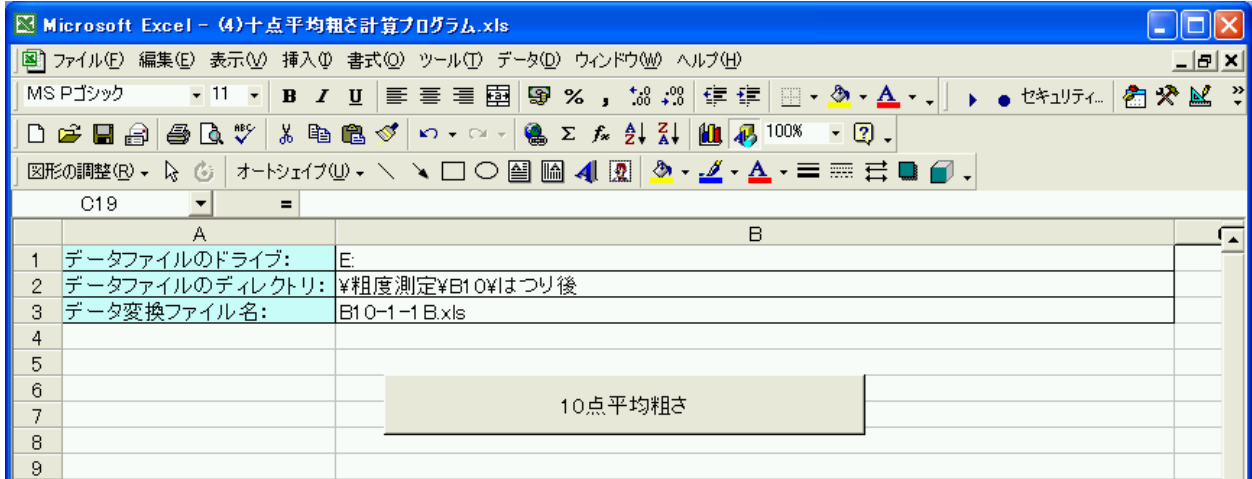


図 3.4.9 十点平均粗さの計算実行画面

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	十点平均粗さ		RzJIS	0.277898							
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
10	0	-0.05128	0.245178	0.02152	0.184937	0.169162	-1.20946	-0.14922	-0.05025	0.219381	0.21633
11	1	-0.15651	0.276991	-0.00849	0.140103	-0.01134	-0.45242	0.018664	0.080515	0.128635	0.062514
12	2	-0.21183	0.233952	-0.03838	-0.05472	-0.21694	-0.09603	0.012183	-0.04814	-0.01187	-0.04158
13	3	-0.09178	-0.00927	-0.01814	0.100585	-0.41275	0.060142	0.030781	0.073318	0.172629	0.079572
88	78	0.17419	0.116054	0.23626	0.01314	0.050699	0.16012	0.13266	0.092771	0.04362	0.05519
89	79	0.032104	-0.09371	-0.10039	-0.17022	0.10282	-0.13631	-0.1304	0.176497	0.025049	-0.09951
90	80	0.163529	0.026464	0.054704	0.074631	-0.34099	-0.01758	-0.00289	-0.13969	0.070566	-0.04373
91											

図 3.4.10 十点平均粗さの出力結果画面

Sub 十点平均粗さ()

```
Dim DX, DY, RAMCO, LLEN As Single
Dim I, J, K, KP, KR, DNUM, LNUM, PNUM As Integer
Dim ZB(500, 500), ZPEAK(100), ZRAVI(100), ZMAX(10), ZMIN(10) As Single
Dim N, MM, MR As Integer
Dim RZ, RZJIS, SUMZ As Single
```

```
FileDrive = Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
FileDir = Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
File2 = Worksheets(1).Cells(3, 2).Value
```

```
ChDrive FileDrive
ChDir FileDir
```

```
Workbooks.Open Filename:=File2
```

```
If Worksheets.Count < 4 Then  
    MsgBox "データをフィルタ処理してください", vbOKOnly  
End  
End If  
Worksheets(4).Select
```

```
DX = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(1, 2).Value  
DY = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(2, 2).Value  
LLEN = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(2, 2).Value  
LNUM = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(4, 2).Value  
PNUM = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(5, 2).Value
```

```
'粗さ曲線データの読み出し=====
```

```
' LLEN:基準長さ(=カットオフ値)  
' LNUM:基準長さ本数  
' PNUM:基準長さ内のデータ数  
' ZB(I,J):粗さ曲線データ
```

```
For I = 1 To LNUM  
For J = 1 To PNUM  
    ZB(I, J) = Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(J + 9, I + 1).Value  
Next J  
Next I
```

```
'10点平均粗さ=====
```

```
' ZPEAK(MM):山頂の値  
' ZRAVI(MR):谷底の値  
' RZ:評価長さ毎の10点平均粗さ  
' RZJIS:10点平均粗さ(平均値)
```

```
RZJIS = 0  
For I = 1 To LNUM
```

```
'山頂と谷底の抽出
```

```
For J = 1 To PNUM  
    If J = 1 Then  
        If ZB(I, J) > 0 Then  
            MM = 1  
            MR = 0  
            ZPEAK(MM) = ZB(I, J)  
        Else  
            MM = 0  
            MR = 1  
            ZRAVI(MR) = ZB(I, J)  
        End If  
    Else  
        If ZB(I, J) * ZB(I, J - 1) < 0 Then  
            If ZB(I, J) > 0 Then  
                MM = MM + 1  
                ZPEAK(MM) = ZB(I, J)  
            Else  
                MR = MR + 1  
                ZRAVI(MR) = ZB(I, J)  
            End If  
        Else  
            If ZPEAK(MM) < ZB(I, J) Then ZPEAK(MM) = ZB(I, J)  
            If ZRAVI(MR) > ZB(I, J) Then ZRAVI(MR) = ZB(I, J)  
        End If  
    End If  
Next J
```

```
'並び替え
```

```
For K = 1 To 5  
    ZMAX(K) = 0  
    ZMIN(K) = 0
```

```

Next K
For J = 1 To MM
  KP = 0
  For K = 5 To 1 Step -1
    If ZPEAK(J) > ZMAX(K) Then KP = K
  Next K
  If KP > 0 Then
    For K = 5 To KP + 1 Step -1
      ZMAX(K) = ZMAX(K - 1)
    Next K
    ZMAX(KP) = ZPEAK(J)
  End If
Next J

For J = 1 To MR
  KR = 0
  For K = 5 To 1 Step -1
    If ZRAVI(J) < ZMIN(K) Then KR = K
  Next K
  If KR > 0 Then
    For K = 5 To KR + 1 Step -1
      ZMIN(K) = ZMIN(K - 1)
    Next K
    ZMIN(KR) = ZRAVI(J)
  End If
Next J

'10点平均粗さの算定

SUMZ = 0
For K = 1 To 5
  SUMZ = SUMZ + ZMAX(K) - ZMIN(K)
Next K
RZ = SUMZ / 10
RZJIS = RZJIS + RZ
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 3, I + 1).Value = RZ

Next I

RZJIS = RZJIS / LNUM

'=====
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(1, 1).Value = "10点平均粗さ"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(1, 3).Value = "RzJIS"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(1, 4).Value = RZJIS
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 3, 1).Value = "RzJIS"
'=====

Workbooks(File2).Save

End Sub

```

(5) 算術平均粗さ算定プログラム

フィルタ処理プログラムによって抽出した粗さ曲線を用いて、算術平均粗さを算出した。以下に算術平均粗さを求めるための実行画面、出力結果画面およびプログラムを示す。

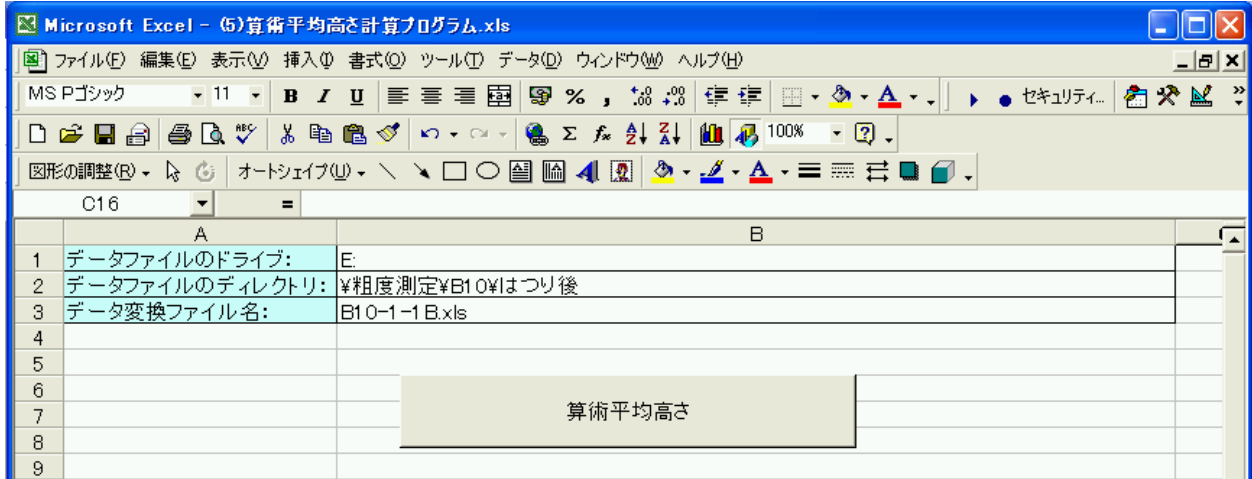


図 3.4.11 算術平均粗さの計算実行画面

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	10点平均粗さ		Rz JIS	0.277898							
2	算術平均高さ		Ra	0.094519							
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
10	0	-0.05128	0.245178	0.02152	0.184937	0.169162	-1.20946	-0.14922	-0.05025	0.219381	0.21633
11	1	-0.15651	0.276991	-0.00849	0.140103	-0.01134	-0.45242	0.018664	0.080515	0.128635	0.062514
12	2	-0.21183	0.233952	-0.03838	-0.05472	-0.21694	-0.09603	0.012183	-0.04814	-0.01187	-0.04158
13	3	-0.09178	-0.00927	-0.01814	0.100585	-0.41275	0.060142	0.030781	0.073318	0.172629	0.079572
88	78	0.17419	0.116054	0.23020	0.01314	0.050399	0.10012	0.13200	0.092771	0.04302	0.05519
89	79	0.032104	-0.09371	-0.10039	-0.17022	0.10282	-0.13631	-0.1304	0.176497	0.025049	-0.09951
90	80	0.163529	0.026464	0.054704	0.074631	-0.34099	-0.01758	-0.00289	-0.13969	0.070566	-0.04373
91											

図 3.4.12 算術平均粗さの出力結果画面

```

Sub 算術平均高さ()
Dim DX, DY, LLEN As Single
Dim LNUM, PNUM, I, J As Integer
Dim AREA, ZB(225, 401), DA, RA, RABAR, RASUM As Single

FileDrive = Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
FileDir = Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
File2 = Worksheets(1).Cells(3, 2).Value

ChDrive FileDrive
ChDir FileDir
Workbooks.Open Filename:=File2
    
```

```

If Worksheets.Count < 4 Then
    MsgBox "データをフィルタ処理してください", vbOKOnly
End
End If
Worksheets(4).Select

DX = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
DY = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
LLEN = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(2, 2).Value
LNUM = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(4, 2).Value
PNUM = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(5, 2).Value

'算術平均高さ=====
' LLEN:基準長さ(=カットオフ値)
' LNUM:基準長さ本数
' PNUM:基準長さ内のデータ数
' ZB(I,J):粗さ曲線データ
' RA:算術平均高さ

RASUM = 0
For I = 1 To LNUM
    AREA = 0
    For J = 1 To PNUM
        ZB(I, J) = Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(J + 9, I + 1).Value
        If J > 1 Then
            If ZB(I, J) * ZB(I, J) > 0 Then
                DA = Abs((ZB(I, J) + ZB(I, J - 1)) * DX / 2)
            Else
                DA = (ZB(I, J) ^ 2 + ZB(I, J - 1) ^ 2) * DX / (Abs(ZB(I, J)) + Abs(ZB(I, J - 1)))
            / 2
            End If
            AREA = AREA + DA
        End If
    Next J
    RA = AREA / LLEN
    RASUM = RASUM + RA
    Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 4, I + 1).Value = RA
Next I
RABAR = RASUM / LNUM

'=====
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(2, 1).Value = "算術平均高さ"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(2, 3).Value = "Ra"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(2, 4).Value = RABAR
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 4, 1).Value = "Ra"
'=====

Workbooks(File2).Save

End Sub

```


(6) 二乗平均平方根傾斜算定プログラム

フィルタ処理プログラムによって抽出した粗さ曲線を用いて、二乗平均平方根傾斜を算出した。以下に二乗平均平方根傾斜を求めるための実行画面、出力結果画面およびプログラムを示す。

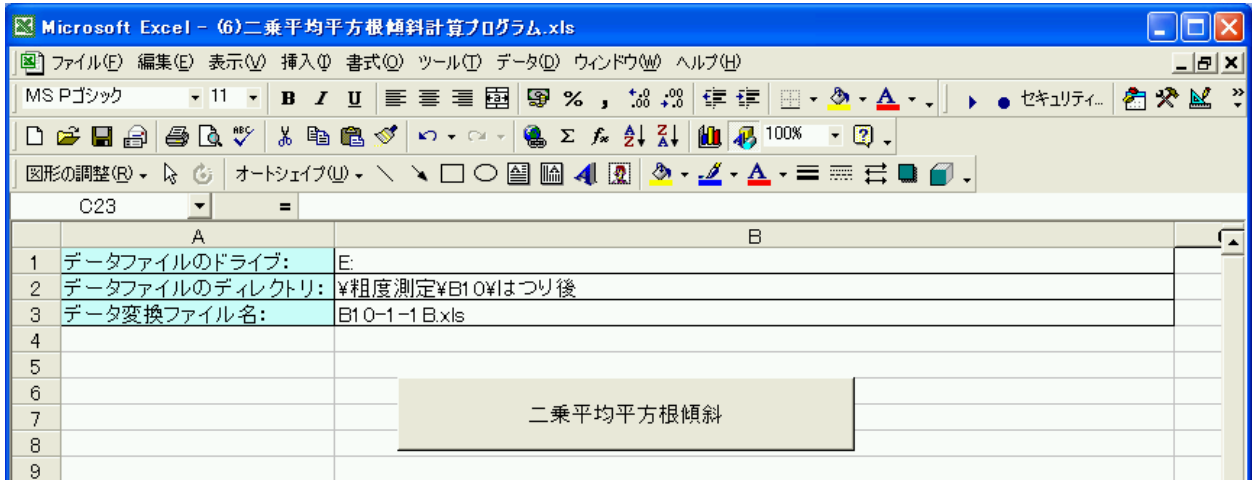


図 3.4.13 二乗平均平方根傾斜の計算実行画面

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	10点平均粗さ		Rz JIS	0.277898							
2	算術平均高さ		Ra	0.094519							
3	二乗平均平方根傾斜		RΔq	0.064638							
4											
5											
6											
7											
8											
9		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
10	0	-0.05128	0.245178	0.02152	0.184937	0.169162	-1.20946	-0.14922	-0.05025	0.219381	0.21633
11	1	-0.15651	0.276991	-0.00849	0.140103	-0.01134	-0.45242	0.018664	0.080515	0.128635	0.062514
12	2	-0.21183	0.233952	-0.03838	-0.05472	-0.21694	-0.09603	0.012183	-0.04814	-0.01187	-0.04158
13	3	-0.09178	-0.00927	-0.01814	0.100585	-0.49275	0.060142	0.030781	0.073318	0.172629	0.079572
88	78	0.17419	0.116054	0.25020	0.01314	0.050099	0.10012	0.13200	0.092771	0.04502	0.05519
89	79	0.032104	-0.09371	-0.10039	-0.17022	0.10282	-0.13631	-0.1304	0.176497	0.025049	-0.09951
90	80	0.163529	0.026464	0.054704	0.074631	-0.34099	-0.01758	-0.00289	-0.13969	0.070566	-0.04373
91											

図 3.4.14 二乗平均平方根傾斜の出力結果画面

Sub 二乗平均平方根傾斜()

```
Dim DX, DY, LLEN As Single
Dim LNUM, PNUM, I, J As Integer
Dim ZB(225, 401), SUMDQ, DZX, DQ, DQR, DQRBAR As Single
```

```
FileDrive = Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
FileDir = Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
File2 = Worksheets(1).Cells(3, 2).Value
```

```
ChDrive FileDrive
ChDir FileDir
Workbooks.Open Filename:=File2
```

```

If Worksheets.Count < 4 Then
    MsgBox "データをフィルタ処理してください", vbOKOnly
End If
Worksheets(4).Select

DX = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
DY = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
LLEN = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(2, 2).Value
LNUM = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(4, 2).Value
PNUM = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(5, 2).Value

' 二乗平均平方根傾斜=====

' LLEN:基準長さ(=カットオフ値)
' LNUM:基準長さ本数
' PNUM:基準長さ内のデータ数
' ZB(I,J):粗さ曲線データ
' DQR:二乗平均平方根傾斜

SUMDQ = 0
For I = 1 To LNUM
    AREA = 0
    For J = 1 To PNUM
        ZB(I, J) = Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(J + 9, I + 1).Value
        If J > 3 And J < PNUM - 3 Then
            DZX = ZB(I, J + 3) - 9 * ZB(I, J + 2) + 45 * ZB(I, J + 1)
            DZX = DZX + -45 * ZB(I, J - 1) + 9 * ZB(I, J - 2) - ZB(I, J - 3)
            DZX = DZX / 60 / DX
            DQ = (Atn(DZX)) ^ 2
            SUMDQ = SUMDQ + DQ
        End If
    Next J
    DQR = Sqr(SUMDQ) / (PNUM - 6)
    SUMDQR = SUMDQR + DQR
    Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 5, I + 1).Value = DQR
Next I
DQRBAR = SUMDQR / LNUM

' =====
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(3, 1).Value = "二乗平均平方根傾斜"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(3, 3).Value = "RΔq"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(3, 4).Value = DQRBAR
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 5, 1).Value = "RΔq"
' =====

Workbooks(File2).Save

End Sub

```

(7) 最大高さおよび最大山高さ算定プログラム

フィルタ処理プログラムによって抽出した粗さ曲線を用いて、最大高さおよび最大山高さを算出した。以下に最大高さおよび最大山高さを求めるための実行画面、出力結果画面およびプログラムを示す。

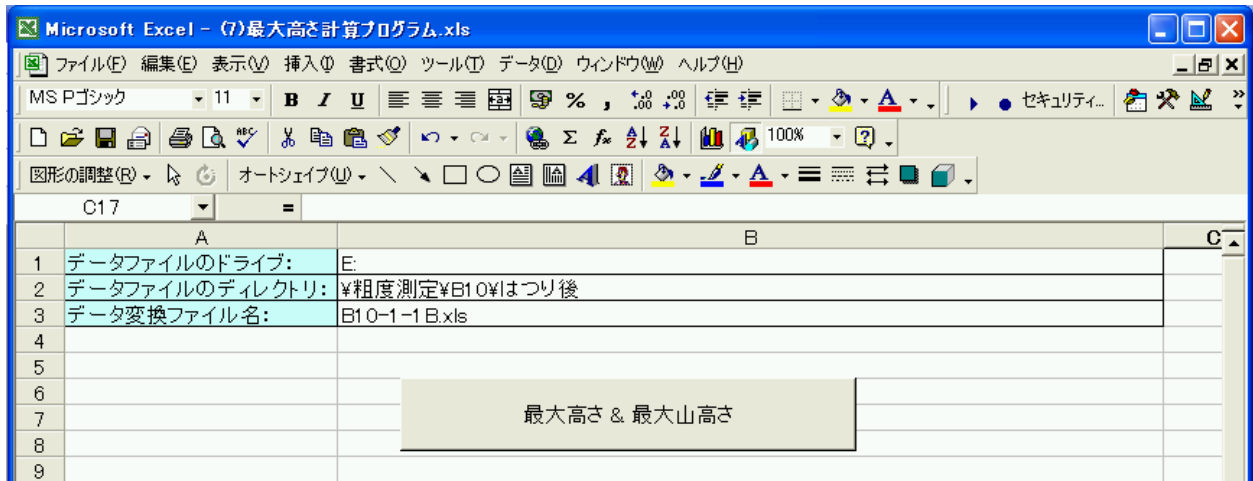


図 3.4.15 最大高さおよび最大山高さの計算実行画面

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	10点平均粗さ		Rz JIS	0.277898							
2	算術平均高さ		Ra	0.094519							
3	二乗平均平方根傾斜		RΔq	0.064638							
4	最大高さ		Rz	0.874469							
5	最大山高さ		Rp	0.303282							
6											
7											
8											
9		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
10	0	-0.05128	0.245178	0.02152	0.184937	0.169162	-1.20946	-0.14922	-0.05025	0.219381	0.21633
11	1	-0.15651	0.276991	-0.00849	0.140103	-0.01134	-0.45242	0.018664	0.080515	0.128635	0.062514
12	2	-0.21183	0.233952	-0.03838	-0.05472	-0.21694	-0.09603	0.012183	-0.04814	-0.01187	-0.04158
13	3	-0.09178	-0.00927	-0.01814	0.100585	-0.49275	0.060142	0.030781	0.073318	0.172629	0.079572
88	78	0.17419	0.116054	0.23020	0.01314	0.050699	0.16012	0.13200	0.092771	0.04302	0.05519
89	79	0.032104	-0.09371	-0.10039	-0.17022	0.10282	-0.13631	-0.1304	0.176497	0.025049	-0.09951
90	80	0.163529	0.026464	0.054704	0.074631	-0.34099	-0.01758	-0.00289	-0.13969	0.070566	-0.04373
91											

図 3.4.16 最大高さおよび最大山高さの出力結果画面

Sub 最大高さ()

```
Dim DX, DY, LLEN As Single
Dim LNUM, PNUM, I, J As Integer
Dim ZB(225, 401), SUMRZ, SUMZP, ZP, ZV, RZ, RZBAR, ZPBAR As Single
```

```
FileDrive = Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
FileDir = Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
File2 = Worksheets(1).Cells(3, 2).Value
```

```
ChDrive FileDrive
ChDir FileDir
Workbooks.Open Filename:=File2
```

```

If Worksheets.Count < 4 Then
    MsgBox "データをフィルタ処理してください", vbOKOnly
End
End If
Worksheets(4).Select

DX = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
DY = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
LLEN = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(2, 2).Value
LNUM = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(4, 2).Value
PNUM = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(5, 2).Value

'最大高さ&最大山高さ=====

' LLEN:基準長さ(=カットオフ値)
' LNUM:基準長さ本数
' PNUM:基準長さ内のデータ数
' ZB(I,J):粗さ曲線データ
' RZ:最大高さ

SUMRZ = 0: SUMZP = 0
For I = 1 To LNUM
    ZP = 0
    ZV = 0
    For J = 1 To PNUM
        ZB(I, J) = Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(J + 9, I + 1).Value
        If ZB(I, J) > ZP Then ZP = ZB(I, J)
        If ZB(I, J) < ZV Then ZV = ZB(I, J)
    Next J
    RZ = ZP - ZV
    SUMRZ = SUMRZ + RZ
    SUMZP = SUMZP + ZP
    Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 6, I + 1).Value = RZ
    Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 7, I + 1).Value = ZP
Next I
RZBAR = SUMRZ / LNUM
ZPBAR = SUMZP / LNUM

' =====
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(4, 1).Value = "最大高さ"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(4, 3).Value = "Rz"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(4, 4).Value = RZBAR
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 6, 1).Value = "Rz"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(5, 1).Value = "最大山高さ"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(5, 3).Value = "Rp"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(5, 4).Value = ZPBAR
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 7, 1).Value = "Rp"
' =====

Workbooks(File2).Save

End Sub

```

(8) スキューネス算定プログラム

フィルタ処理プログラムによって抽出した粗さ曲線を用いて、スキューネスを算出した。以下にスキューネスを求めるための実行画面、出力結果画面およびプログラムを示す。

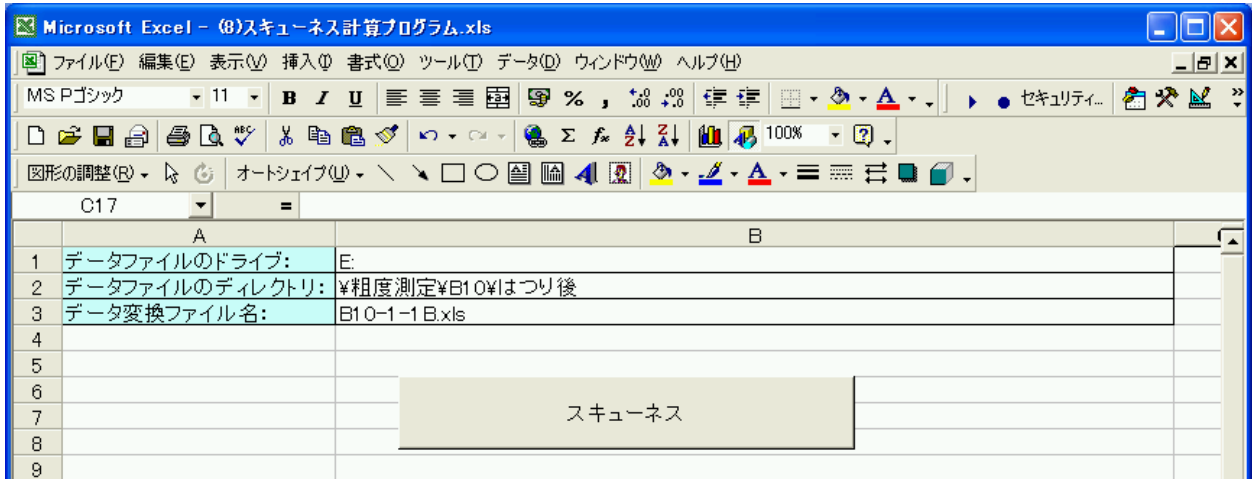


図 3.4.17 スキューネスの計算実行画面

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	10点平均粗さ		RzJIS	0.277898							
2	算術平均高さ		Ra	0.094519							
3	二乗平均平方根傾斜		RΔq	0.064638							
4	最大高さ		Rz	0.874469							
5	最大山高さ		Rp	0.303282							
6	スキューネス		Rsk	-0.87503							
9		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
10	0	-0.05128	0.245178	0.02152	0.184937	0.169162	-1.20946	-0.14922	-0.05025	0.219381	0.21633
11	1	-0.15651	0.276991	-0.00849	0.140103	-0.01134	-0.45242	0.018664	0.080515	0.128635	0.062514
12	2	-0.21183	0.233952	-0.03838	-0.05472	-0.21694	-0.09603	0.012183	-0.04814	-0.01187	-0.04158
13	3	-0.09178	-0.00927	-0.01814	0.100585	-0.47275	0.060142	0.030781	0.073318	0.172629	0.079572
88	78	0.17419	0.116054	0.23020	0.01314	0.050393	0.10012	0.13200	0.092771	0.04302	0.05519
89	79	0.032104	-0.09371	-0.10039	-0.17022	0.10282	-0.13631	-0.1304	0.176497	0.025049	-0.09951
90	80	0.163529	0.026464	0.054704	0.074631	-0.34099	-0.01758	-0.00289	-0.13969	0.070566	-0.04373
91											

図 3.4.18 スキューネスの出力結果画面

```

Sub スキューネス()
Dim DX, DY, LLEN As Single
Dim LNUM, PNUM, I, J As Integer
Dim ZB(225, 401), SUMRSK, RQ, RSK, RSKBAR As Single

FileDrive = Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
FileDir = Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
File2 = Worksheets(1).Cells(3, 2).Value

ChDrive FileDrive
ChDir FileDir
Workbooks.Open Filename:=File2
    
```

```

If Worksheets.Count < 4 Then
    MsgBox "データをフィルタ処理してください", vbOKOnly
End
End If
Worksheets(4).Select

DX = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(1, 2).Value
DY = Workbooks(File2).Worksheets(1).Cells(2, 2).Value
LLEN = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(2, 2).Value
LNUM = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(4, 2).Value
PNUM = Workbooks(File2).Worksheets(3).Cells(5, 2).Value

' スキューネス=====

' LLEN:基準長さ(=カットオフ値)
' LNUM:基準長さ本数
' PNUM:基準長さ内のデータ数
' ZB(I,J):粗さ曲線データ
' RQ:二乗平均平方根粗さ
' RSK:スキューネス

SUMRSK = 0
For I = 1 To LNUM
    RQ = 0: RSK = 0
    For J = 1 To PNUM
        ZB(I, J) = Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(J + 9, I + 1).Value
        RQ = RQ + ZB(I, J) ^ 2
        RSK = RSK + ZB(I, J) ^ 3
    Next J
    RQ = Sqr(RQ / LLEN)
    RSK = RSK / LLEN / (RQ ^ 3)
    SUMRSK = SUMRSK + RSK
    Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 8, I + 1).Value = RSK
Next I
RSKBAR = SUMRSK / LNUM

' =====
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(6, 1).Value = "スキューネス"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(6, 3).Value = "Rsk"
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(6, 4).Value = RSKBAR
Workbooks(File2).Worksheets(4).Cells(PNUM + 9 + 8, 1).Value = "Rsk"
' =====

Workbooks(File2).Save

End Sub

```

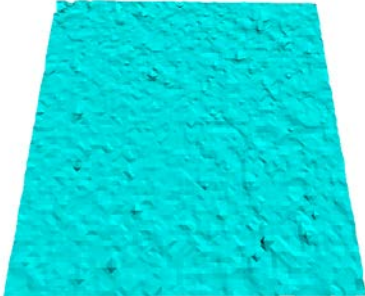
付録 3

表面粗さの測定結果

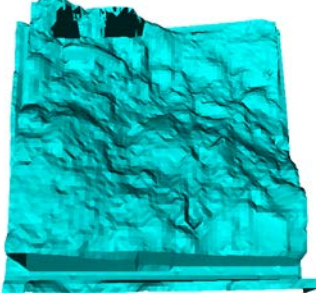
[B10-1-1]

表面処理後

はつり深さ : 0.495 mm
 表面積 : 5034.2 mm²
 RzJIS : 0.278 Ra : 0.095
 RΔq : 0.065 Rz : 0.874
 Rp : 0.303 Rsk : -0.875



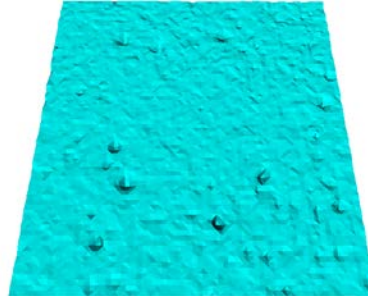
接着試験終了後



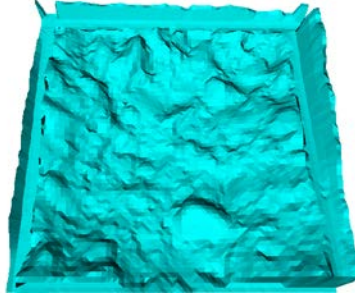
[B10-1-2]

表面処理後

はつり深さ : 0.516 mm
 表面積 : 5072.2 mm²
 RzJIS : 0.311 Ra : 0.103
 RΔq : 0.077 Rz : 1.101
 Rp : 0.294 Rsk : -1.470



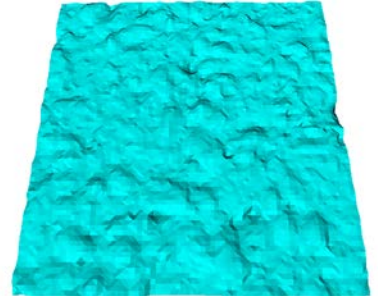
接着試験終了後



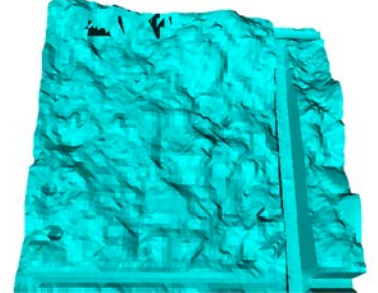
[B10-1-3]

表面処理後

はつり深さ : 1.524 mm
 表面積 : 5228.2 mm²
 RzJIS : 0.589 Ra : 0.273
 RΔq : 0.155 Rz : 1.930
 Rp : 0.840 Rsk : -0.275



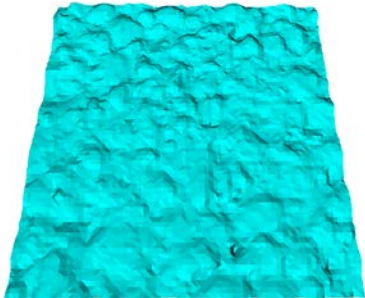
接着試験終了後



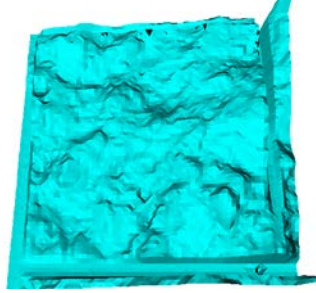
[B10-3-1]

表面処理後

はつり深さ : 1.454 mm
 表面積 : 5276.8 mm²
 RzJIS : 0.631 Ra : 0.300
 RΔq : 0.151 Rz : 1.936
 Rp : 0.888 Rsk : -0.077



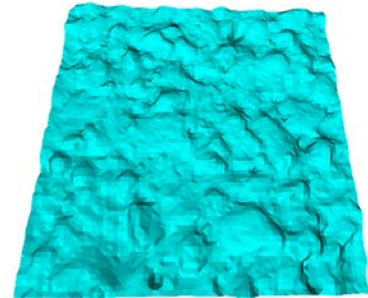
接着試験終了後



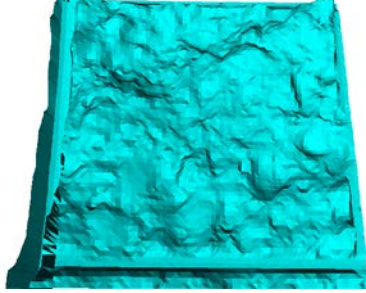
[B10-3-2]

表面処理後

はつり深さ : 2.415 mm
 表面積 : 5488.3 mm²
 RzJIS : 0.850 Ra : 0.446
 RΔq : 0.224 Rz : 2.850
 Rp : 1.271 Rsk : -0.161



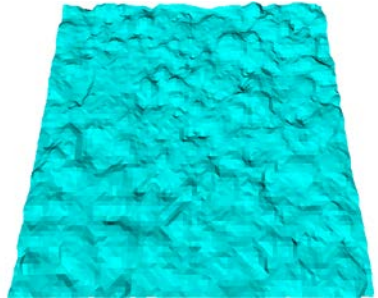
接着試験終了後



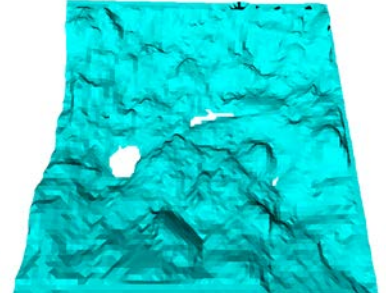
[B10-3-3]

表面処理後

はつり深さ : 1.971 mm
 表面積 : 5267.1 mm²
 RzJIS : 0.650 Ra : 0.332
 RΔq : 0.158 Rz : 2.025
 Rp : 0.929 Rsk : -0.142



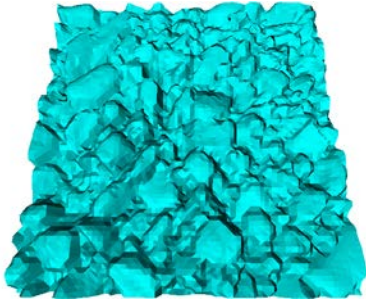
接着試験終了後



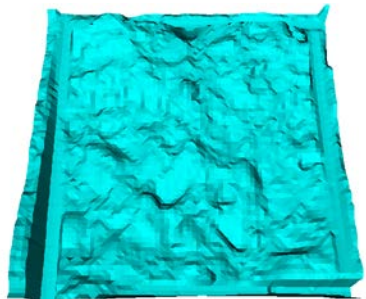
[B10-6-1]

表面処理後

はつり深さ : 2.911 mm
表面積 : 8024.5 mm ²
RzJIS : 2.206 Ra : 1.136
R Δq : 0.421 Rz : 6.522
Rp : 2.633 Rsk : -0.442



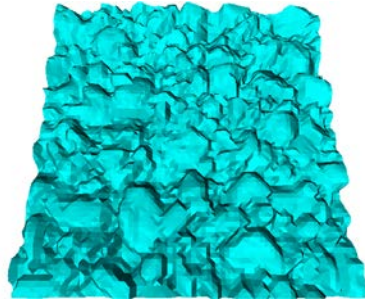
接着試験終了後



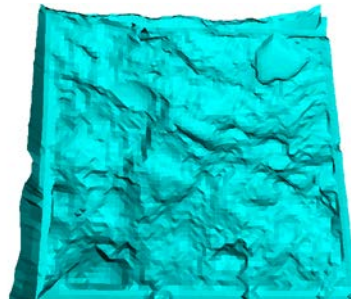
[B10-6-2]

表面処理後

はつり深さ : 3.008 mm
表面積 : 7800.4 mm ²
RzJIS : 1.971 Ra : 0.988
R Δq : 0.372 Rz : 5.408
Rp : 2.343 Rsk : -0.223



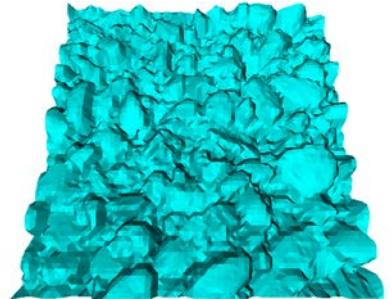
接着試験終了後



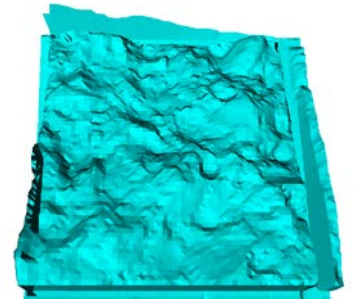
[B10-6-3]

表面処理後

はつり深さ : 2.949 mm
表面積 : 8015.5 mm ²
RzJIS : 2.158 Ra : 1.171
R Δq : 0.512 Rz : 6.274
Rp : 2.645 Rsk : -0.289



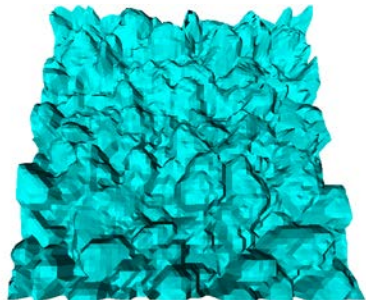
接着試験終了後



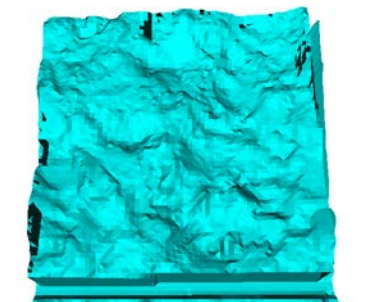
[B10-10-1]

表面処理後

はつり深さ : 4.888 mm
表面積 : 9492.5 mm ²
RzJIS : 3.168 Ra : 1.890
R Δq : 0.529 Rz : 9.494
Rp : 4.174 Rsk : -0.182



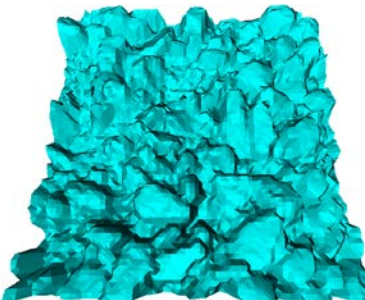
接着試験終了後



[B10-10-2]

表面処理後

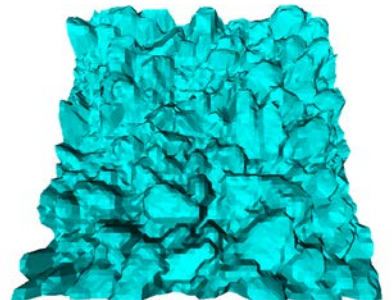
はつり深さ : 5.066 mm
表面積 : 9396.6 mm ²
RzJIS : 2.978 Ra : 1.797
R Δq : 0.512 Rz : 8.831
Rp : 4.142 Rsk : -0.069



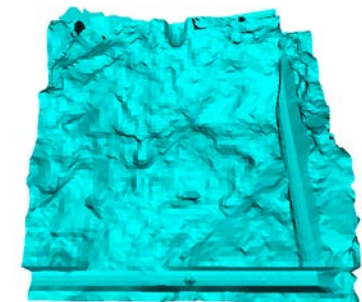
[B10-10-3]

表面処理後

はつり深さ : 5.168 mm
表面積 : 9915.7 mm ²
RzJIS : 3.274 Ra : 1.921
R Δq : 0.544 Rz : 9.573
Rp : 4.175 Rsk : -0.268



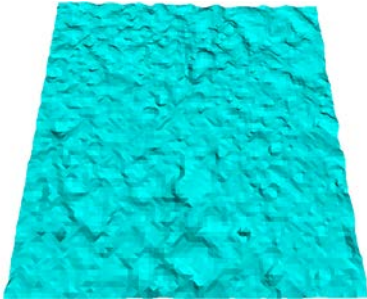
接着試験終了後



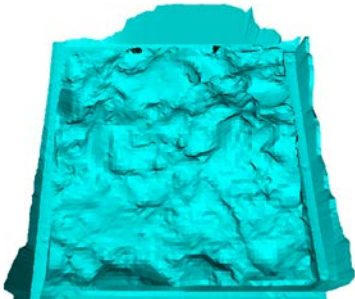
[B15-1-1]

表面処理後

はつり深さ : 0.807 mm
表面積 : 5200.9 mm ²
RzJIS : 0.522 Ra : 0.237
R Δq : 0.135 Rz : 1.624
Rp : 0.578 Rsk : -0.839



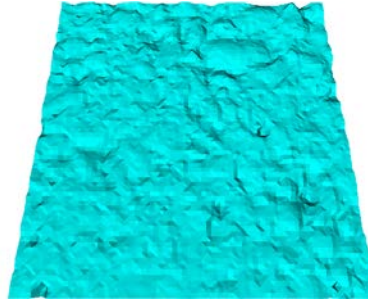
接着試験終了後



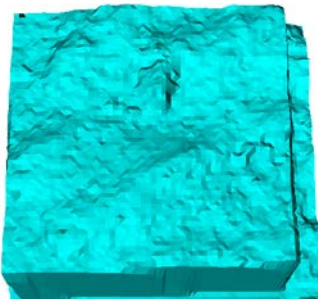
[B15-1-2]

表面処理後

はつり深さ : 0.729 mm
表面積 : 5227.6 mm ²
RzJIS : 0.554 Ra : 0.236
R Δq : 0.122 Rz : 1.663
Rp : 0.619 Rsk : -0.751



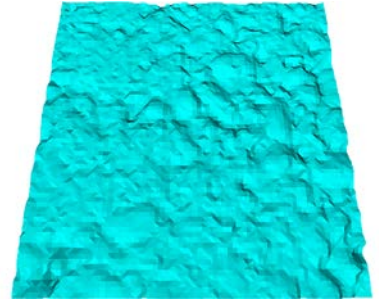
接着試験終了後



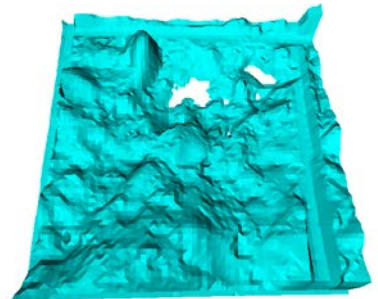
[B15-1-3]

表面処理後

はつり深さ : ——— mm
表面積 : 5245.9 mm ²
RzJIS : 0.561 Ra : 0.251
R Δq : 0.138 Rz : 1.653
Rp : 0.648 Rsk : -0.662



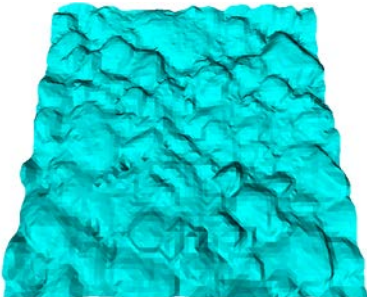
接着試験終了後



[B15-3-1]

表面処理後

はつり深さ : 2.785 mm
表面積 : 5884.8 mm ²
RzJIS : 1.222 Ra : 0.691
R Δq : 0.289 Rz : 3.780
Rp : 1.787 Rsk : -0.047



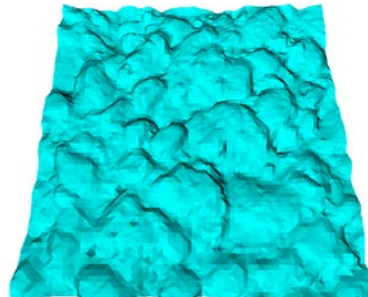
接着試験終了後



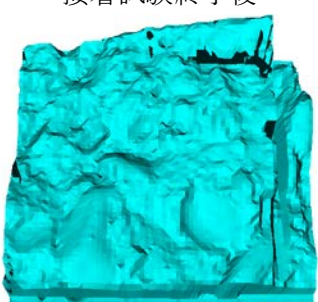
[B15-3-2]

表面処理後

はつり深さ : 2.380 mm
表面積 : 5684.2 mm ²
RzJIS : 1.082 Ra : 0.674
R Δq : 0.277 Rz : 3.495
Rp : 1.533 Rsk : -0.233



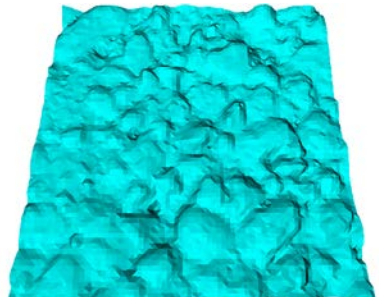
接着試験終了後



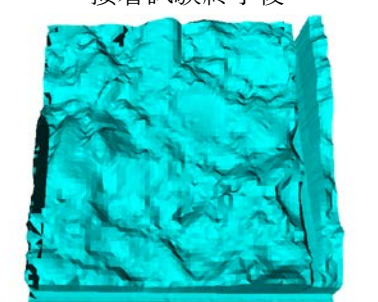
[B15-3-3]

表面処理後

はつり深さ : 2.147 mm
表面積 : 5670.0 mm ²
RzJIS : 1.041 Ra : 0.573
R Δq : 0.254 Rz : 3.420
Rp : 1.441 Rsk : -0.302



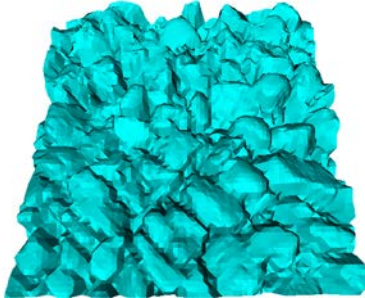
接着試験終了後



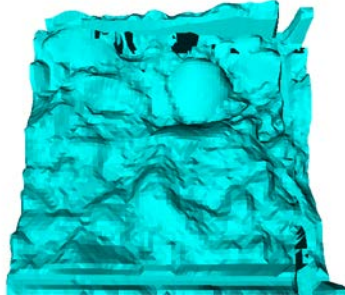
[B15-6-1]

表面処理後

はつり深さ : 3.338 mm
表面積 : 9418.4 mm ²
RzJIS : 2.933 Ra : 1.585
RΔq : 0.466 Rz : 8.493
Rp : 3.365 Rsk : -0.500



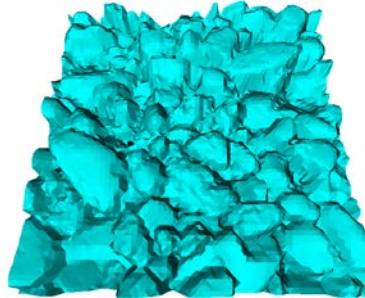
接着試験終了後



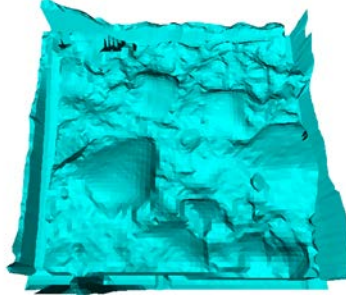
[B15-6-2]

表面処理後

はつり深さ : 3.728 mm
表面積 : 9045.6 mm ²
RzJIS : 2.805 Ra : 1.644
RΔq : 0.486 Rz : 8.540
Rp : 3.468 Rsk : -0.430



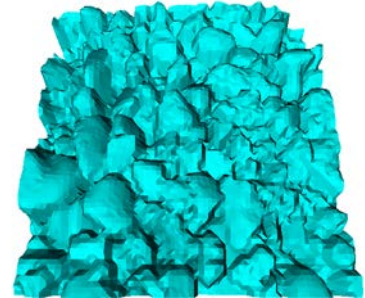
接着試験終了後



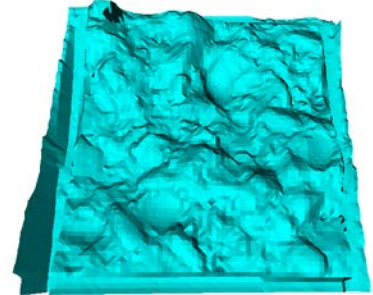
[B15-6-3]

表面処理後

はつり深さ : 3.547 mm
表面積 : 9045.6 mm ²
RzJIS : 2.805 Ra : 1.644
RΔq : 0.486 Rz : 8.540
Rp : 3.468 Rsk : -0.430



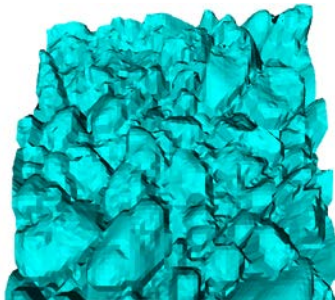
接着試験終了後



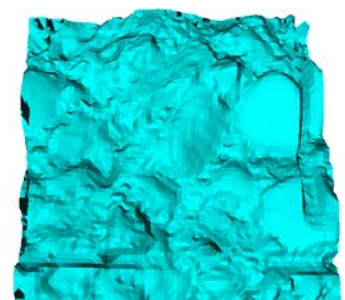
[B15-10-1]

表面処理後

はつり深さ : 4.951 mm
表面積 : 10073 mm ²
RzJIS : 3.421 Ra : 1.877
RΔq : 0.533 Rz : 10.144
Rp : 4.116 Rsk : -0.391



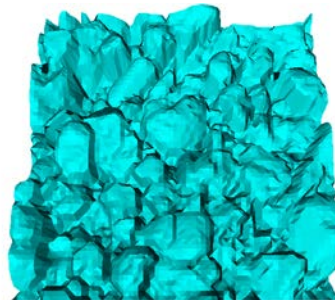
接着試験終了後



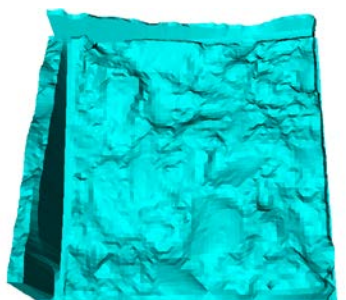
[B15-10-2]

表面処理後

はつり深さ : 5.128 mm
表面積 : 10373 mm ²
RzJIS : 3.481 Ra : 2.195
RΔq : 0.533 Rz : 11.097
Rp : 4.757 Rsk : -0.333



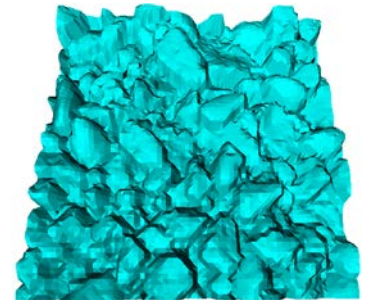
接着試験終了後



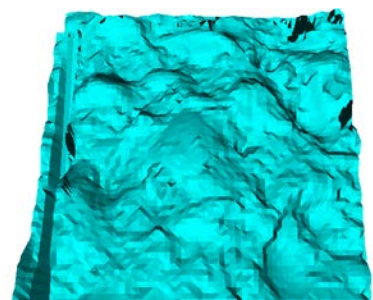
[B15-10-3]

表面処理後

はつり深さ : 4.620 mm
表面積 : 9529.6 mm ²
RzJIS : 3.149 Ra : 1.845
RΔq : 0.495 Rz : 9.703
Rp : 4.000 Rsk : -0.247



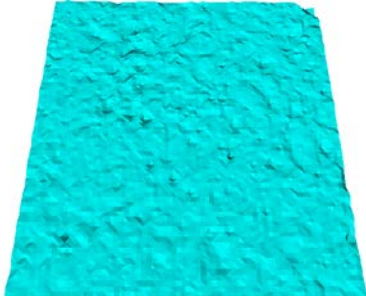
接着試験終了後



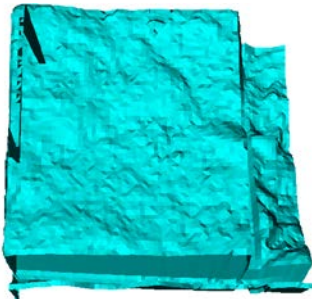
[B20-1-1]

表面処理後

はつり深さ : 0.555 mm
 表面積 : 5077.6 mm²
 RzJIS : 0.348 Ra : 0.132
 R Δ q : 0.078 Rz : 1.095
 Rp : 0.382 Rsk : -0.857



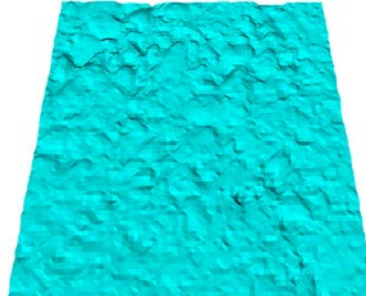
接着試験終了後



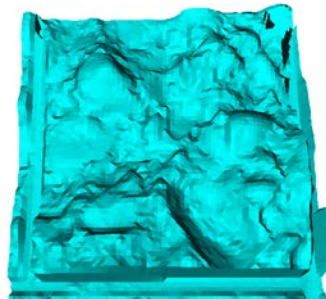
[B20-1-2]

表面処理後

はつり深さ : ——— mm
 表面積 : 5141.7 mm²
 RzJIS : 0.441 Ra : 0.192
 R Δ q : 0.095 Rz : 1.273
 Rp : 0.476 Rsk : -0.697



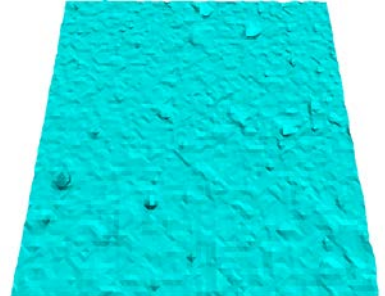
接着試験終了後



[B20-1-3]

表面処理後

はつり深さ : 0.603 mm
 表面積 : 5046.0 mm²
 RzJIS : 0.283 Ra : 0.100
 R Δ q : 0.071 Rz : 0.935
 Rp : 0.269 Rsk : -1.366



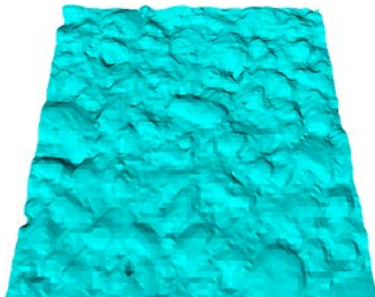
接着試験終了後



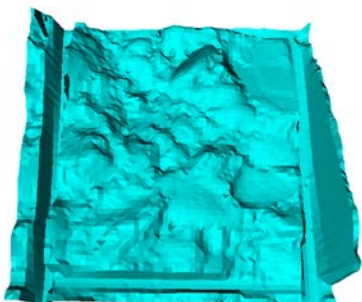
[B20-3-1]

表面処理後

はつり深さ : 1.677 mm
 表面積 : 5338.8 mm²
 RzJIS : 0.722 Ra : 0.359
 R Δ q : 0.166 Rz : 2.221
 Rp : 0.938 Rsk : -0.240



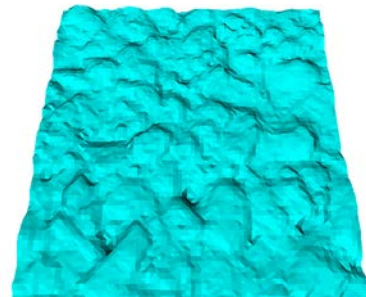
接着試験終了後



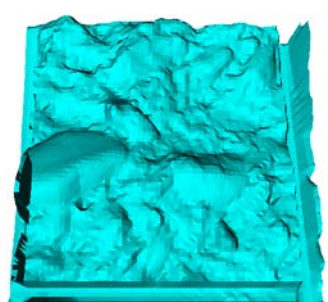
[B20-3-2]

表面処理後

はつり深さ : 2.140 mm
 表面積 : 5409.8 mm²
 RzJIS : 0.797 Ra : 0.468
 R Δ q : 0.210 Rz : 2.648
 Rp : 1.169 Rsk : -0.202



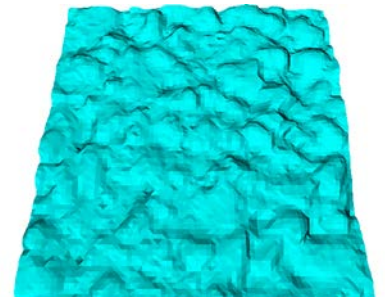
接着試験終了後



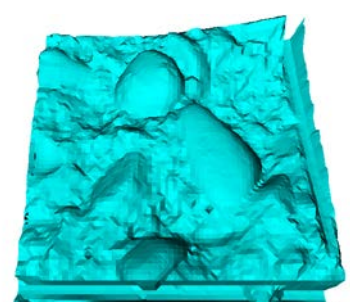
[B20-3-3]

表面処理後

はつり深さ : 2.216 mm
 表面積 : 5524.1 mm²
 RzJIS : 0.944 Ra : 0.513
 R Δ q : 0.225 Rz : 2.984
 Rp : 1.467 Rsk : 0.084



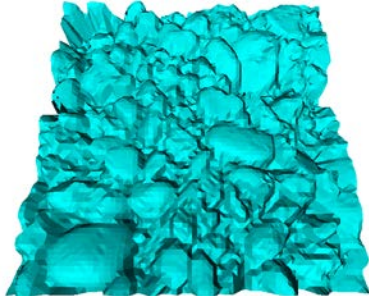
接着試験終了後



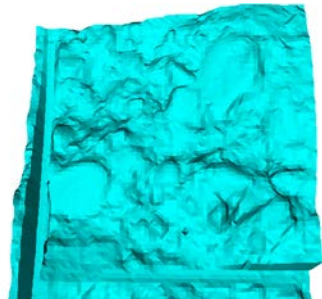
[B20-6-1]

表面処理後

はつり深さ : 2.746 mm
表面積 : 8257.2 mm ²
RzJIS : 2.337 Ra : 1.212
R Δ q : 0.424 Rz : 7.327
Rp : 2.769 Rsk : -0.634



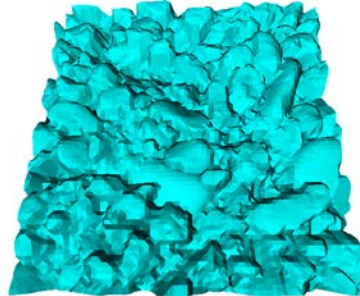
接着試験終了後



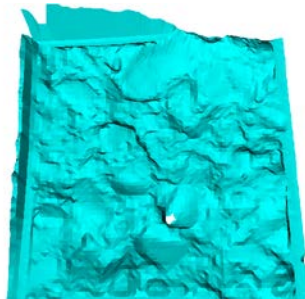
[B20-6-2]

表面処理後

はつり深さ : 2.898 mm
表面積 : 8486.6 mm ²
RzJIS : 2.466 Ra : 1.405
R Δ q : 0.449 Rz : 7.237
Rp : 2.935 Rsk : -0.400



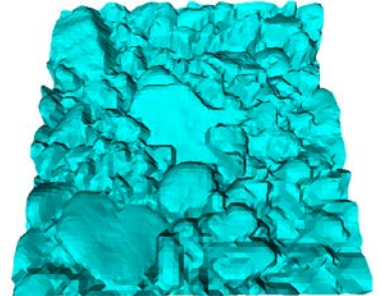
接着試験終了後



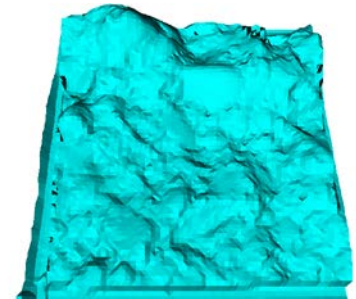
[B20-6-3]

表面処理後

はつり深さ : 2.796 mm
表面積 : 7918.1 mm ²
RzJIS : 2.202 Ra : 1.230
R Δ q : 0.435 Rz : 6.655
Rp : 2.645 Rsk : -0.483



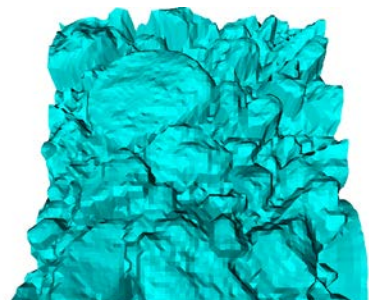
接着試験終了後



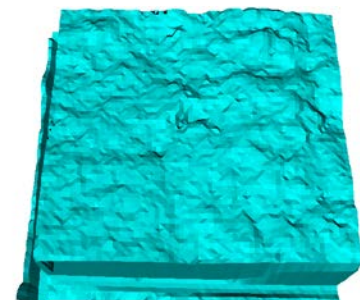
[B20-10-1]

表面処理後

はつり深さ : 6.926 mm
表面積 : 10011 mm ²
RzJIS : 3.445 Ra : 2.247
R Δ q : 0.547 Rz : 11.662
Rp : 4.981 Rsk : -0.366



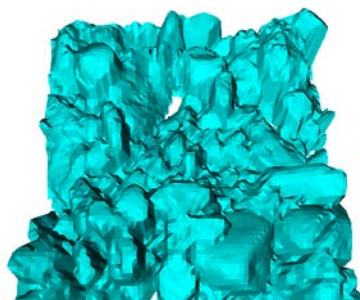
接着試験終了後



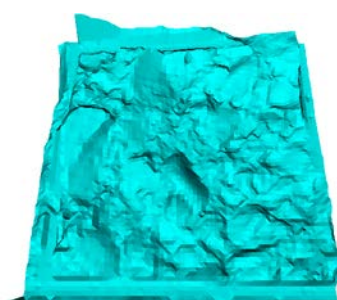
[B20-10-2]

表面処理後

はつり深さ : 9.765 mm
表面積 : 10938 mm ²
RzJIS : 4.171 Ra : 2.818
R Δ q : 0.597 Rz : 13.938
Rp : 6.293 Rsk : -0.197



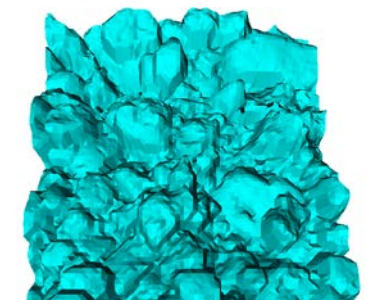
接着試験終了後



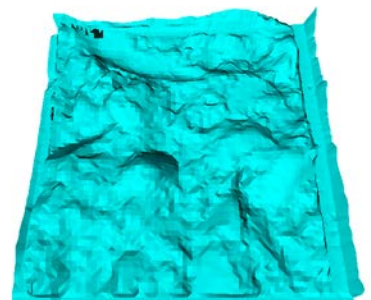
[B20-10-3]

表面処理後

はつり深さ : 8.250 mm
表面積 : 10152 mm ²
RzJIS : 3.554 Ra : 2.522
R Δ q : 0.575 Rz : 12.442
Rp : 6.032 Rsk : 0.021



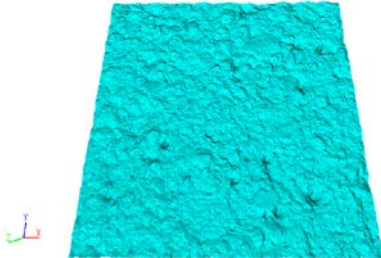
接着試験終了後



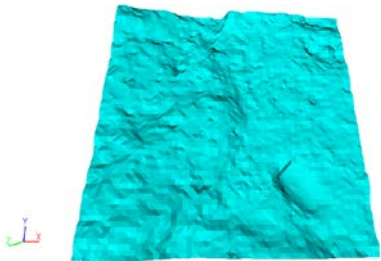
[S10-1-1]

表面処理後

はつり深さ : 0.685 mm
表面積 : 3754.2
RzJIS : 0.380 Ra : 0.143
RΔq : 0.071 Rz : 1.177
Rp : 0.445 Rsk : -0.590



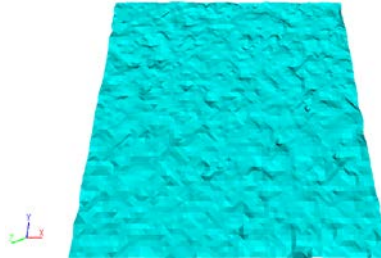
接着試験終了後



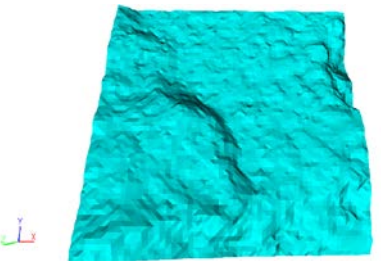
[S10-1-2]

表面処理後

はつり深さ : 0.607 mm
表面積 : 3736.3 mm ²
RzJIS : 0.357 Ra : 0.135
RΔq : 0.071 Rz : 1.046
Rp : 0.436 Rsk : -0.360



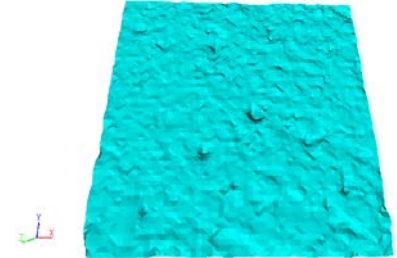
接着試験終了後



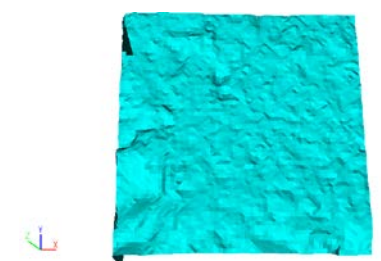
[S10-1-3]

表面処理後

はつり深さ : 0.319 mm
表面積 : 3760.6 mm ²
RzJIS : 0.386 Ra : 0.145
RΔq : 0.089 Rz : 1.336
Rp : 0.431 Rsk : -1.053



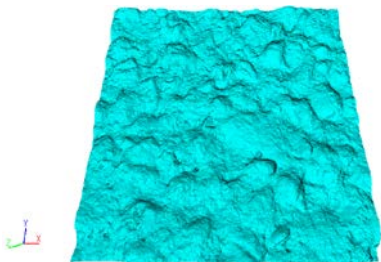
接着試験終了後



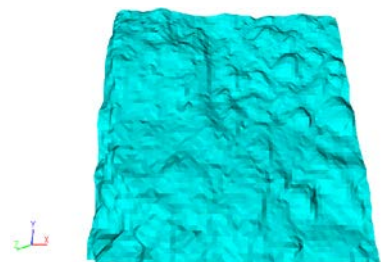
[S10-3-1]

表面処理後

はつり深さ : 1.583 mm
表面積 : 3904.5 mm ²
RzJIS : 0.696 Ra : 0.344
RΔq : 0.149 Rz : 2.103
Rp : 1.063 Rsk : 0.061



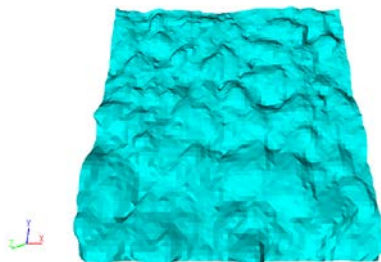
接着試験終了後



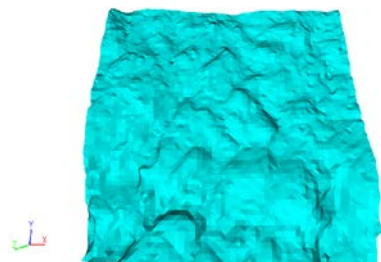
[S10-3-2]

表面処理後

はつり深さ : 2.940 mm
表面積 : 4021.6 mm ²
RzJIS : 0.901 Ra : 0.509
RΔq : 0.213 Rz : 3.058
Rp : 1.472 Rsk : -0.021



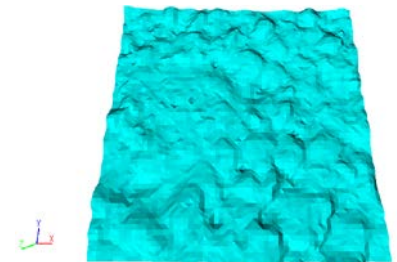
接着試験終了後



[S10-3-3]

表面処理後

はつり深さ : 2.976 mm
表面積 : 3925.6 mm ²
RzJIS : 0.734 Ra : 0.373
RΔq : 0.162 Rz : 2.270
Rp : 1.113 Rsk : 0.077



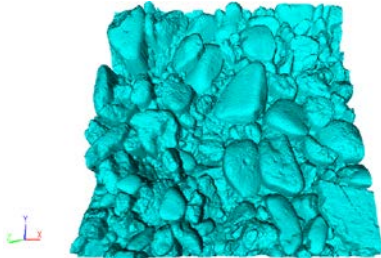
接着試験終了後



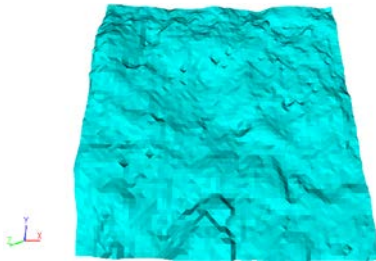
[S10-6-1]

表面処理後

はつり深さ : 3.449 mm
表面積 : 6471.4 mm ²
RzJIS : 2.657 Ra : 1.559
RΔq : 0.408 Rz : 8.103
Rp : 3.386 Rsk : -0.396



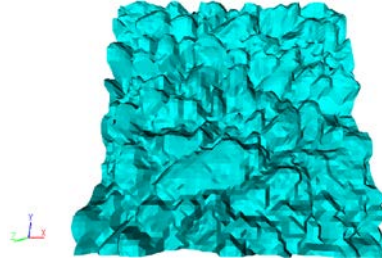
接着試験終了後



[S10-6-2]

表面処理後

はつり深さ : 3.071 mm
表面積 : 6202.4 mm ²
RzJIS : 2.424 Ra : 1.344
RΔq : 0.399 Rz : 7.574
Rp : 2.913 Rsk : -0.585



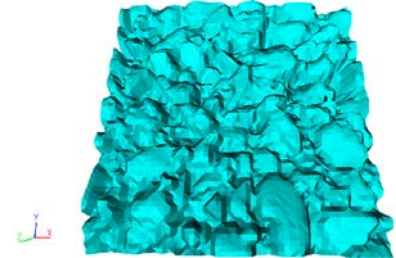
接着試験終了後



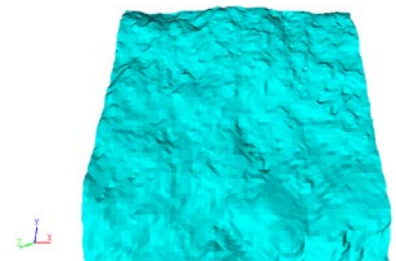
[S10-6-3]

表面処理後

はつり深さ : 2.890 mm
表面積 : 6079.5 mm ²
RzJIS : 2.292 Ra : 1.231
RΔq : 0.356 Rz : 6.211
Rp : 2.601 Rsk : -0.386



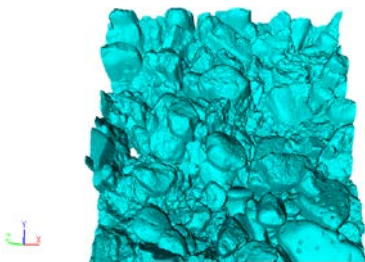
接着試験終了後



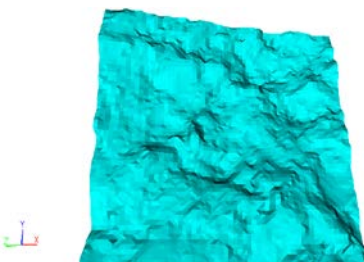
[S10-10-1]

表面処理後

はつり深さ : 7.690 mm
表面積 : 7388.0 mm ²
RzJIS : 3.434 Ra : 2.279
RΔq : 0.461 Rz : 11.727
Rp : 5.828 Rsk : 0.043



接着試験終了後



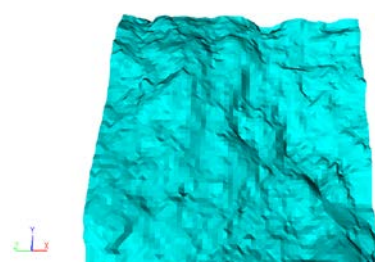
[S10-10-2]

表面処理後

はつり深さ : 8.914 mm
表面積 : 8060.6 mm ²
RzJIS : 4.009 Ra : 2.756
RΔq : 0.517 Rz : 13.474
Rp : 6.298 Rsk : -0.061



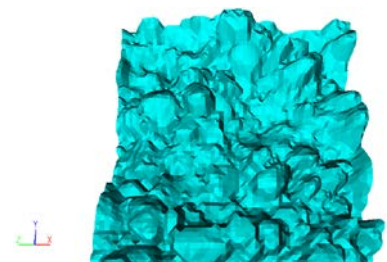
接着試験終了後



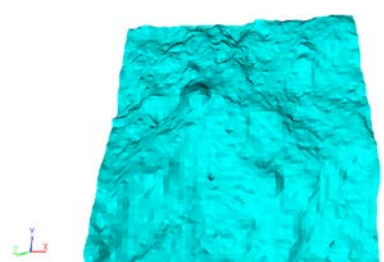
[S10-10-3]

表面処理後

はつり深さ : 9.766 mm
表面積 : 7322.2 mm ²
RzJIS : 3.358 Ra : 2.226
RΔq : 0.495 Rz : 11.389
Rp : 5.978 Rsk : 0.228



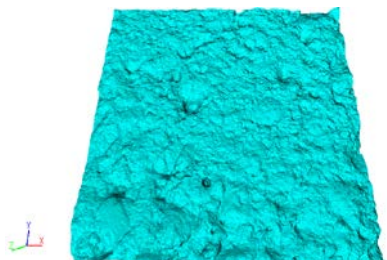
接着試験終了後



[S15-1-1]

表面処理後

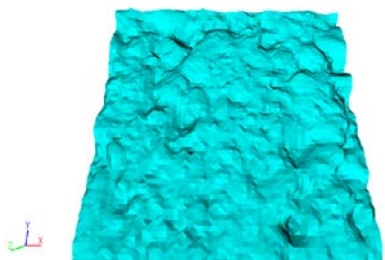
はつり深さ : 0.951 mm
表面積 : 3908.0 mm ²
RzJIS : 0.614 Ra : 0.290
RΔq : 0.155 Rz : 2.216
Rp : 0.687 Rsk : -0.857



[S15-1-2]

表面処理後

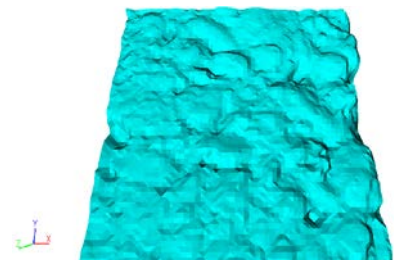
はつり深さ : 1.256 mm
表面積 : 4065.0 mm ²
RzJIS : 0.870 Ra : 0.436
RΔq : 0.163 Rz : 2.785
Rp : 0.934 Rsk : -0.956



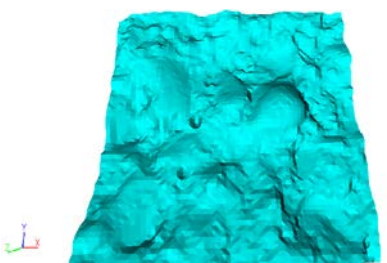
[S15-1-3]

表面処理後

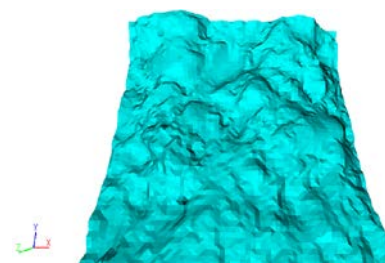
はつり深さ : 0.645 mm
表面積 : 4069.7 mm ²
RzJIS : 0.875 Ra : 0.454
RΔq : 0.177 Rz : 3.267
Rp : 1.150 Rsk : -0.725



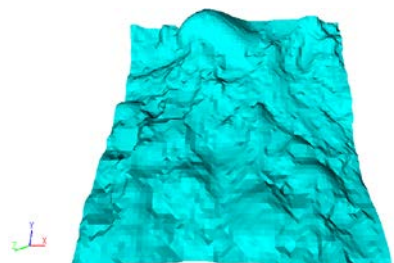
接着試験終了後



接着試験終了後



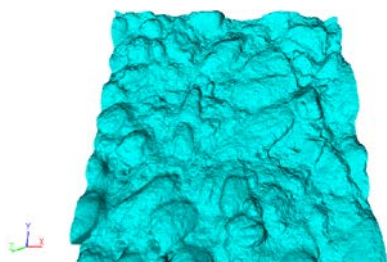
接着試験終了後



[S15-3-1]

表面処理後

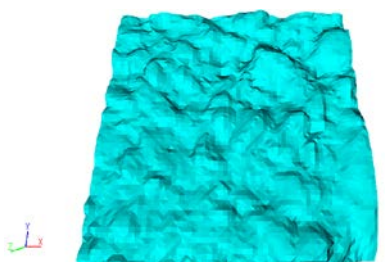
はつり深さ : 3.305 mm
表面積 : 4268.5 mm ²
RzJIS : 1.212 Ra : 0.706
RΔq : 0.253 Rz : 3.723
Rp : 1.776 Rsk : -0.016



[S15-3-2]

表面処理後

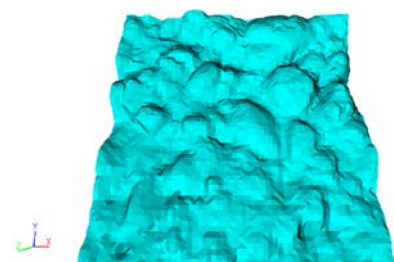
はつり深さ : 2.460 mm
表面積 : 4092.5 mm ²
RzJIS : 0.963 Ra : 0.606
RΔq : 0.218 Rz : 3.163
Rp : 1.524 Rsk : 0.029



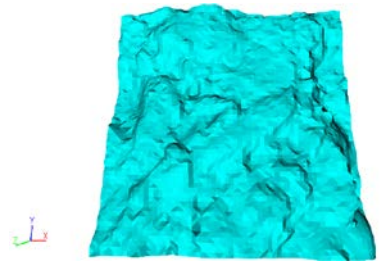
[S15-3-3]

表面処理後

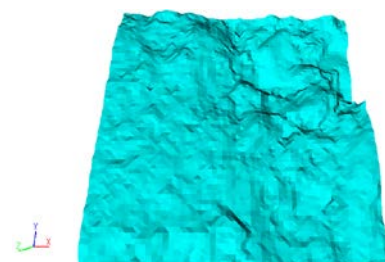
はつり深さ : 2.971 mm
表面積 : 4256.8 mm ²
RzJIS : 1.234 Ra : 0.713
RΔq : 0.224 Rz : 4.021
Rp : 1.717 Rsk : -0.170



接着試験終了後



接着試験終了後



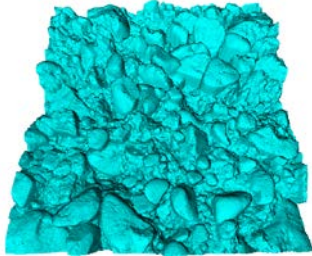
接着試験終了後



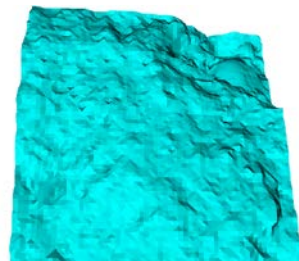
[S15-6-1]

表面処理後

はつり深さ：3.169 mm
 表面積：6020.2 mm²
 RzJIS：2.280 Ra：1.180
 RΔq：0.344 Rz：6.607
 Rp：2.781 Rsk：-0.417



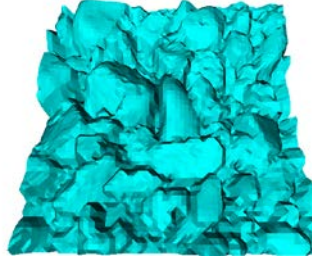
接着試験終了後



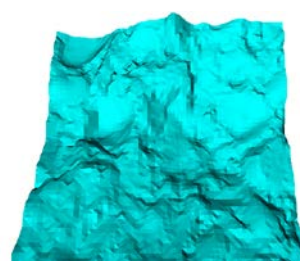
[S15-6-2]

表面処理後

はつり深さ：3.894 mm
 表面積：6453.1 mm²
 RzJIS：2.869 Ra：1.501
 RΔq：0.397 Rz：8.327
 Rp：3.454 Rsk：-0.407



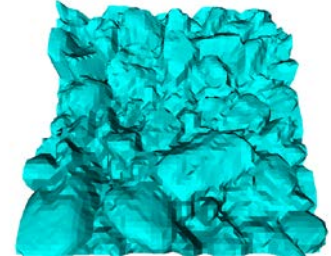
接着試験終了後



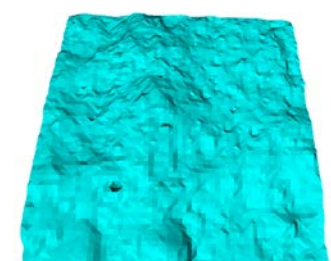
[S15-6-3]

表面処理後

はつり深さ：3.570 mm
 表面積：6570.1 mm²
 RzJIS：2.851 Ra：1.551
 RΔq：0.394 Rz：8.977
 Rp：3.453 Rsk：-0.502



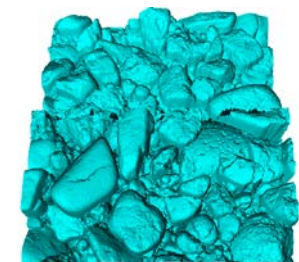
接着試験終了後



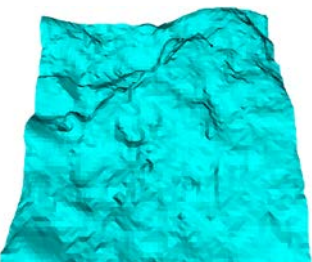
[S15-10-1]

表面処理後

はつり深さ：5.402 mm
 表面積：6354.3 mm²
 RzJIS：2.816 Ra：1.560
 RΔq：0.389 Rz：8.417
 Rp：3.076 Rsk：-0.674



接着試験終了後



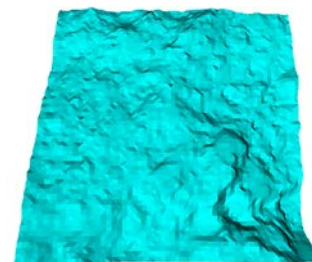
[S15-10-2]

表面処理後

はつり深さ：4.152 mm
 表面積：7187.0 mm²
 RzJIS：3.009 Ra：1.683
 RΔq：0.434 Rz：8.666
 Rp：3.687 Rsk：-0.249



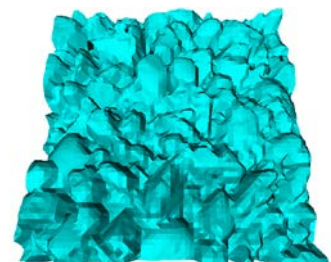
接着試験終了後



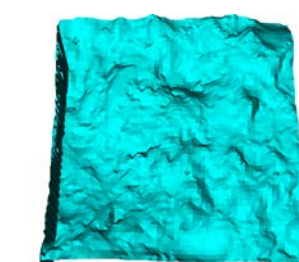
[S15-10-3]

表面処理後

はつり深さ：3.229 mm
 表面積：6630.7 mm²
 RzJIS：2.720 Ra：1.432
 RΔq：0.389 Rz：7.446
 Rp：3.024 Rsk：-0.347



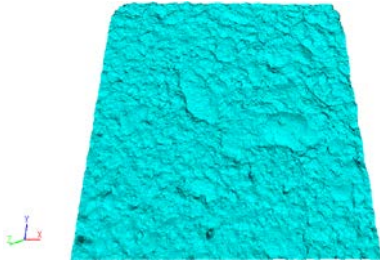
接着試験終了後



[S20-1-1]

表面処理後

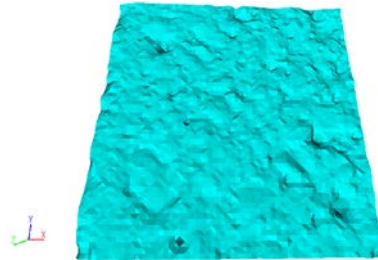
はつり深さ：0.604 mm
 表面積：3736.2 mm²
 RzJIS：0.347 Ra：0.130
 RΔq：0.066 Rz：1.058
 Rp：0.410 Rsk：-0.631



[S20-1-2]

表面処理後

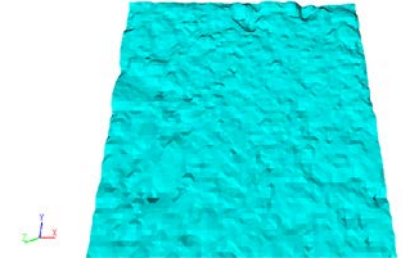
はつり深さ：0.719 mm
 表面積：3841.7 mm²
 RzJIS：0.539 Ra：0.220
 RΔq：0.107 Rz：1.875
 Rp：0.552 Rsk：-1.376



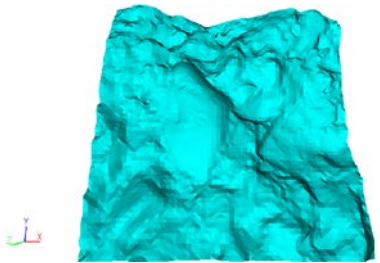
[S20-1-3]

表面処理後

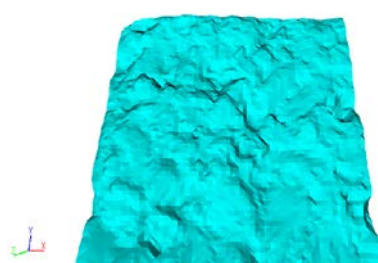
はつり深さ：— mm
 表面積：3760.6 mm²
 RzJIS：0.418 Ra：0.169
 RΔq：0.077 Rz：1.255
 Rp：0.519 Rsk：-0.461



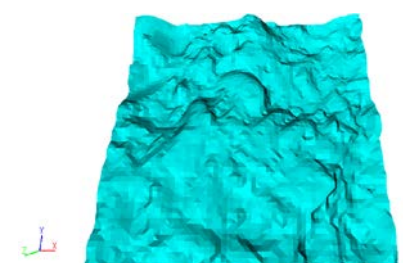
接着試験終了後



接着試験終了後



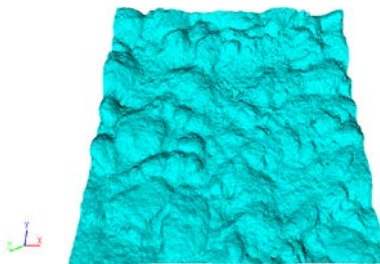
接着試験終了後



[S20-3-1]

表面処理後

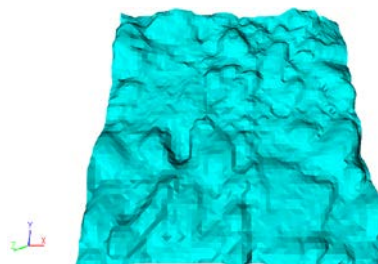
はつり深さ：2.298 mm
 表面積：3961.7 mm²
 RzJIS：0.813 Ra：0.471
 RΔq：0.173 Rz：2.487
 Rp：1.232 Rsk：-0.003



[S20-3-2]

表面処理後

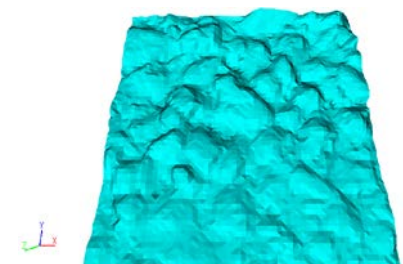
はつり深さ：2.677 mm
 表面積：4142.0 mm²
 RzJIS：1.087 Ra：0.655
 RΔq：0.225 Rz：3.611
 Rp：1.699 Rsk：-0.019



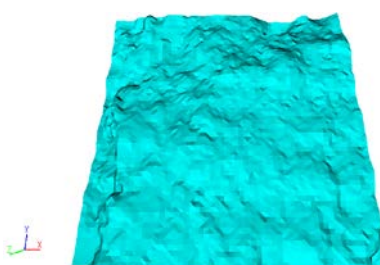
[S20-3-3]

表面処理後

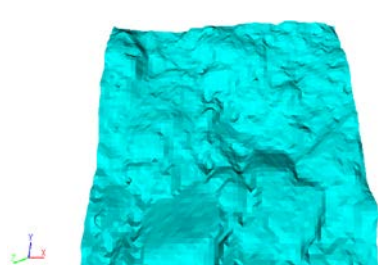
はつり深さ：2.616 mm
 表面積：4094.6 mm²
 RzJIS：0.979 Ra：0.533
 RΔq：0.177 Rz：2.871
 Rp：1.378 Rsk：0.001



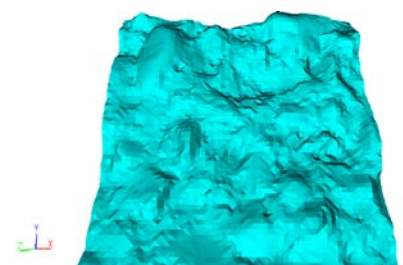
接着試験終了後



接着試験終了後



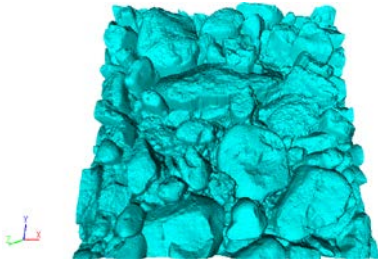
接着試験終了後



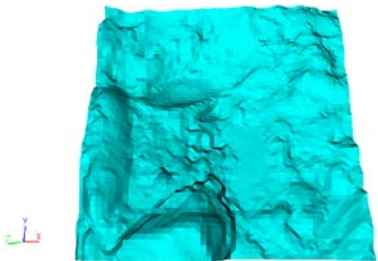
[S20-6-1]

表面処理後

はつり深さ : 5.064 mm
表面積 : 6208.8 mm ²
RzJIS : 2.576 Ra : 1.404
R Δq : 0.363 Rz : 7.764
Rp : 2.992 Rsk : -0.549



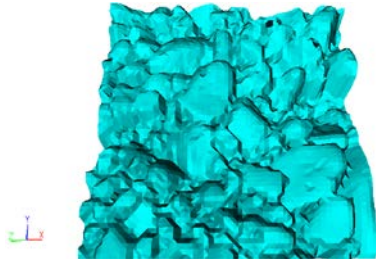
接着試験終了後



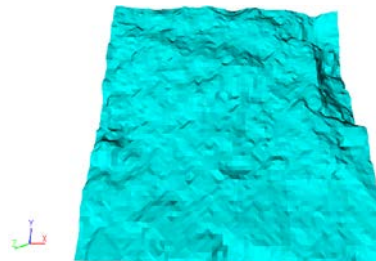
[S20-6-2]

表面処理後

はつり深さ : 3.345 mm
表面積 : 6414.4 mm ²
RzJIS : 2.481 Ra : 1.291
R Δq : 0.358 Rz : 7.353
Rp : 2.817 Rsk : -0.569



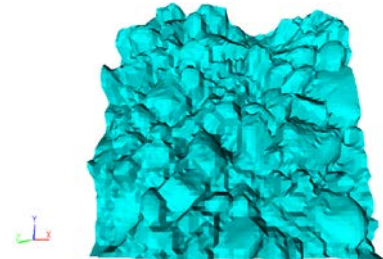
接着試験終了後



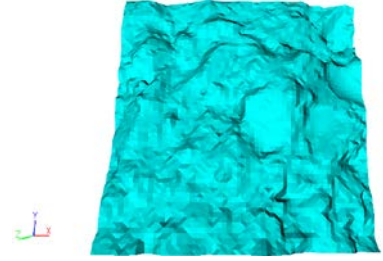
[S20-6-3]

表面処理後

はつり深さ : 3.298 mm
表面積 : 6206.6 mm ²
RzJIS : 2.451 Ra : 1.555
R Δq : 0.388 Rz : 8.569
Rp : 3.324 Rsk : -0.559



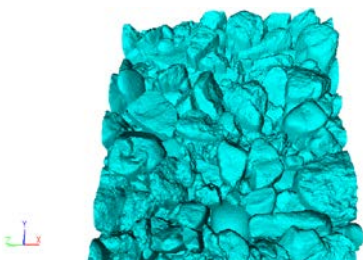
接着試験終了後



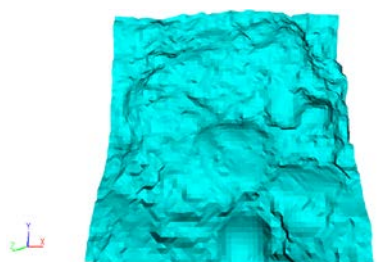
[S20-10-1]

表面処理後

はつり深さ : 5.507 mm
表面積 : 6255.3 mm ²
RzJIS : 2.863 Ra : 1.715
R Δq : 0.413 Rz : 8.708
Rp : 3.671 Rsk : -0.326



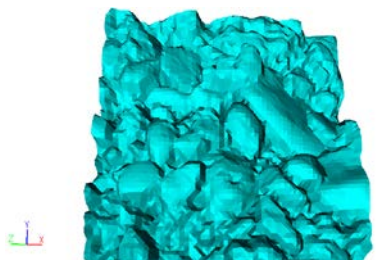
接着試験終了後



[S20-10-2]

表面処理後

はつり深さ : 5.244 mm
表面積 : 6741.4 mm ²
RzJIS : 3.046 Ra : 1.860
R Δq : 0.447 Rz : 10.017
Rp : 4.323 Rsk : -0.257



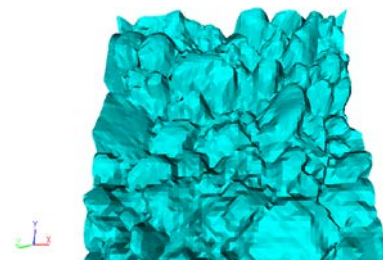
接着試験終了後



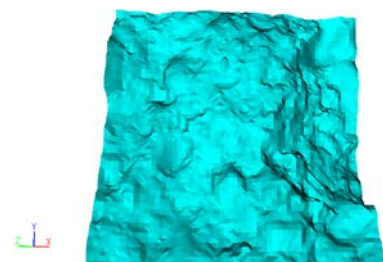
[S20-10-3]

表面処理後

はつり深さ : 4.522 mm
表面積 : 6766.1 mm ²
RzJIS : 2.929 Ra : 1.702
R Δq : 0.411 Rz : 9.139
Rp : 3.986 Rsk : -0.262



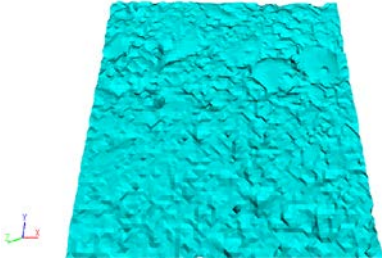
接着試験終了後



[5-1]

表面処理後

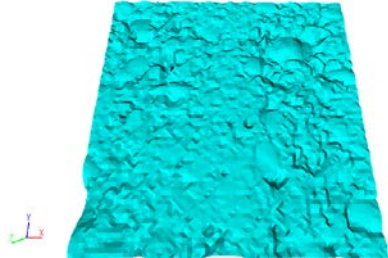
はつり深さ : 0.336 mm
表面積 : 5442.5 mm ²
RzJIS : 0.581 Ra : 0.217
R Δ q : 0.131 Rz : 1.647
Rp : 0.533 Rsk : -0.935



[5-2]

表面処理後

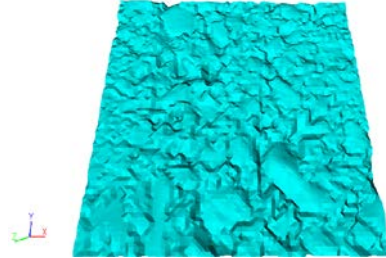
はつり深さ : 0.534 mm
表面積 : 5634.6 mm ²
RzJIS : 0.744 Ra : 0.322
R Δ q : 0.182 Rz : 2.288
Rp : 0.710 Rsk : -1.137



[5-3]

表面処理後

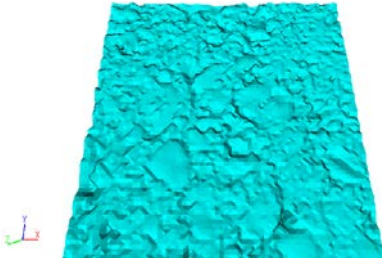
はつり深さ : 0.966 mm
表面積 : 5849.4 mm ²
RzJIS : 0.930 Ra : 0.408
R Δ q : 0.288 Rz : 2.725
Rp : 0.856 Rsk : -1.022



[5-4]

表面処理後

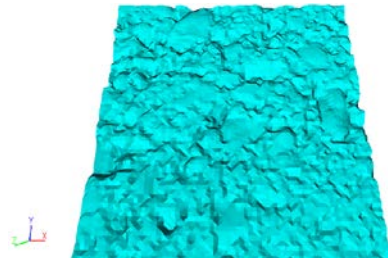
はつり深さ : 0.327 mm
表面積 : 5545.8 mm ²
RzJIS : 0.668 Ra : 0.262
R Δ q : 0.154 Rz : 1.948
Rp : 0.593 Rsk : -1.121



[5-5]

表面処理後

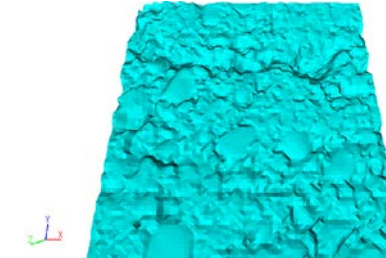
はつり深さ : 0.477 mm
表面積 : 5732.9 mm ²
RzJIS : 0.796 Ra : 0.338
R Δ q : 0.179 Rz : 2.482
Rp : 0.790 Rsk : -1.037



[5-6]

表面処理後

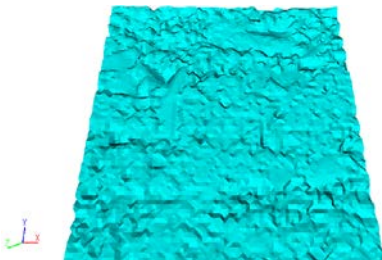
はつり深さ : 0.544 mm
表面積 : 5748.7 mm ²
RzJIS : 0.811 Ra : 0.378
R Δ q : 0.182 Rz : 2.644
Rp : 0.893 Rsk : -1.090



[5-7]

表面処理後

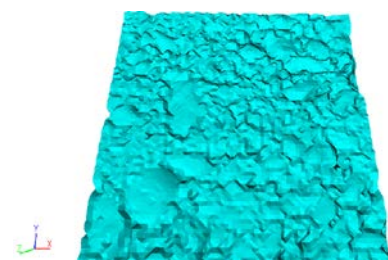
はつり深さ : 0.588 mm
表面積 : 5599.4 mm ²
RzJIS : 0.682 Ra : 0.269
R Δ q : 0.143 Rz : 2.008
Rp : 0.690 Rsk : -0.847



[5-8]

表面処理後

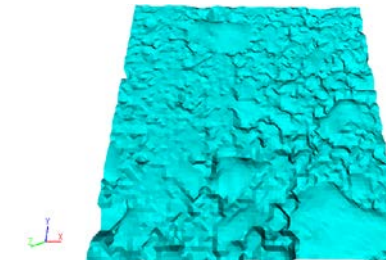
はつり深さ : 0.682 mm
表面積 : 5898.2 mm ²
RzJIS : 0.851 Ra : 0.340
R Δ q : 0.193 Rz : 2.467
Rp : 0.787 Rsk : -0.969



[5-9]

表面処理後

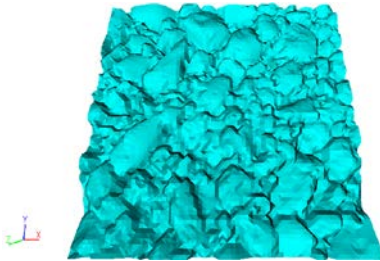
はつり深さ : 0.500 mm
表面積 : 5699.1 mm ²
RzJIS : 0.795 Ra : 0.500
R Δ q : 0.217 Rz : 2.434
Rp : 0.773 Rsk : -1.104



[5-10]

表面処理後

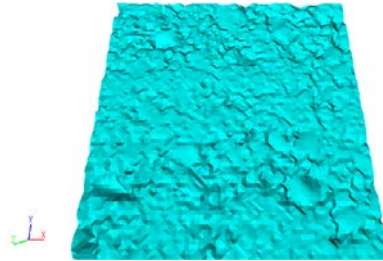
はつり深さ : 1.754 mm
表面積 : 7145.8 mm ²
RzJIS : 1.690 Ra : 0.871
R Δ q : 0.367 Rz : 4.556
Rp : 1.800 Rsk : -0.485



[5-11]

表面処理後

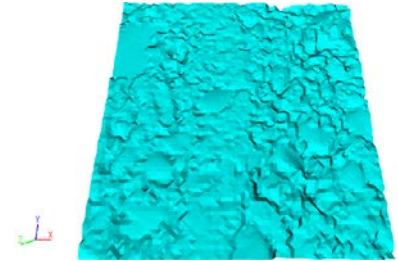
はつり深さ : 0.310 mm
表面積 : 5558.6 mm ²
RzJIS : 0.638 Ra : 0.243
R Δ q : 0.158 Rz : 1.875
Rp : 0.570 Rsk : -1.143



[5-12]

表面処理後

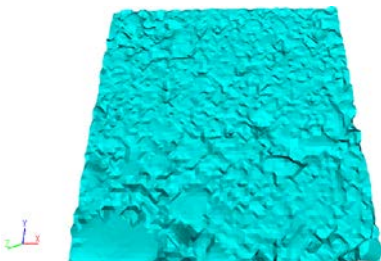
はつり深さ : 0.438 mm
表面積 : 5543.8 mm ²
RzJIS : 0.696 Ra : 0.300
R Δ q : 0.171 Rz : 2.087
Rp : 0.657 Rsk : -1.012



[5-13]

表面処理後

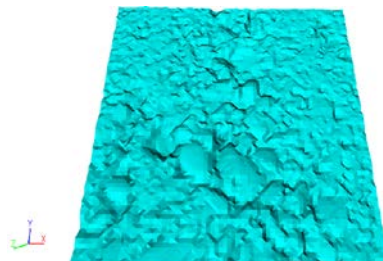
はつり深さ : — mm
表面積 : 5570.1 mm ²
RzJIS : 0.684 Ra : 0.271
R Δ q : 0.183 Rz : 1.996
Rp : 0.649 Rsk : -0.989



[5-14]

表面処理後

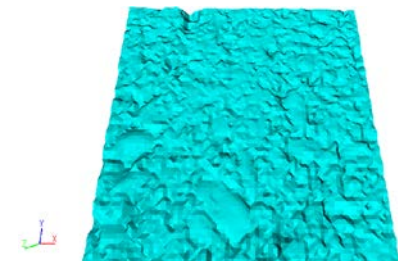
はつり深さ : 0.378 mm
表面積 : 5677.0 mm ²
RzJIS : 0.801 Ra : 0.348
R Δ q : 0.193 Rz : 2.439
Rp : 0.723 Rsk : -1.251



[5-15]

表面処理後

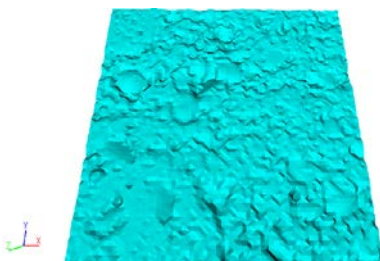
はつり深さ : 536 mm
表面積 : 5570.1 mm ²
RzJIS : 0.686 Ra : 0.265
R Δ q : 0.166 Rz : 2.049
Rp : 0.624 Rsk : -1.108



[5-16]

表面処理後

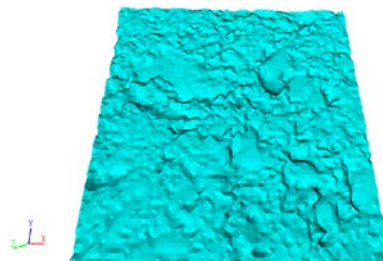
はつり深さ : 0.180 mm
表面積 : 5405.6 mm ²
RzJIS : 0.579 Ra : 0.230
R Δ q : 0.144 Rz : 1.747
Rp : 0.530 Rsk : -1.172



[5-17]

表面処理後

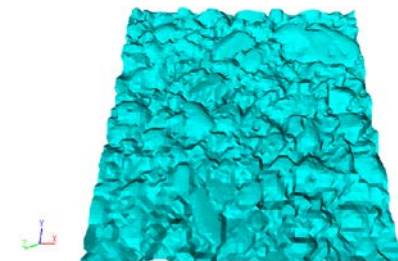
はつり深さ : 0.638 mm
表面積 : 5574.5 mm ²
RzJIS : 0.705 Ra : 0.288
R Δ q : 0.162 Rz : 2.159
Rp : 0.682 Rsk : -1.127



[5-18]

表面処理後

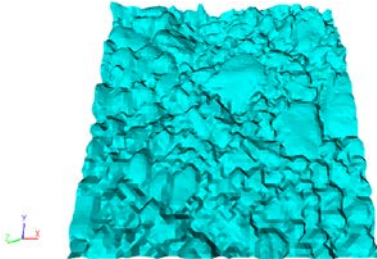
はつり深さ : 1.292 mm
表面積 : 6573.4 mm ²
RzJIS : 1.321 Ra : 0.608
R Δ q : 0.286 Rz : 3.840
Rp : 1.463 Rsk : -0.615



[5-19]

表面処理後

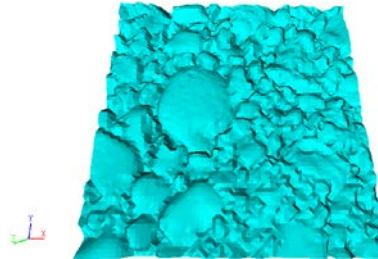
はつり深さ : 1.675 mm
表面積 : 6867.0 mm ²
RzJIS : 1.501 Ra : 0.793
R Δ q : 0.317 Rz : 4.225
Rp : 1.745 Rsk : -0.453



[5-20]

表面処理後

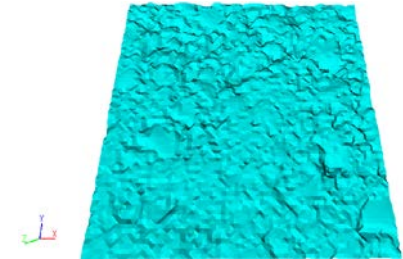
はつり深さ : 1.194 mm
表面積 : 6485.7 mm ²
RzJIS : 1.320 Ra : 0.607
R Δ q : 0.268 Rz : 3.617
Rp : 1.343 Rsk : -0.605



[5-21]

表面処理後

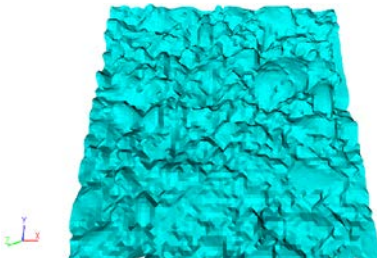
はつり深さ : 0.500 mm
表面積 : 5630.1 mm ²
RzJIS : 0.696 Ra : 0.278
R Δ q : 0.148 Rz : 1.913
Rp : 0.619 Rsk : -0.918



[5-22]

表面処理後

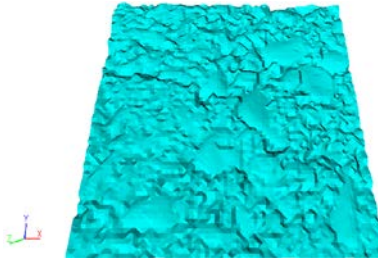
はつり深さ : 1.381 mm
表面積 : 6767.1 mm ²
RzJIS : 1.473 Ra : 0.689
R Δ q : 0.292 Rz : 4.419
Rp : 1.698 Rsk : -0.533



[5-23]

表面処理後

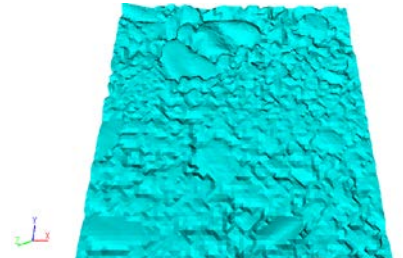
はつり深さ : 0.561 mm
表面積 : 5671.8 mm ²
RzJIS : 0.739 Ra : 0.294
R Δ q : 0.162 Rz : 2.029
Rp : 0.734 Rsk : -0.736



[5-24]

表面処理後

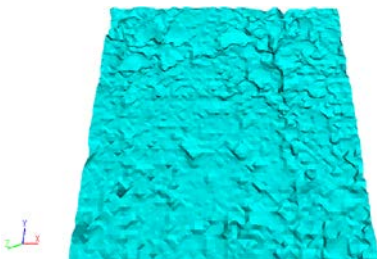
はつり深さ : — mm
表面積 : 5726.9 mm ²
RzJIS : 0.776 Ra : 0.319
R Δ q : 0.165 Rz : 2.205
Rp : 0.742 Rsk : -0.824



[5-25] (6-1)

表面処理後

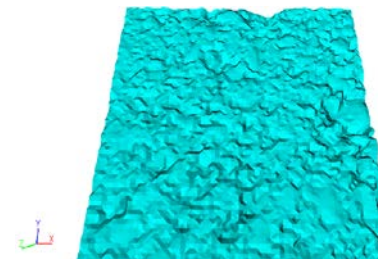
はつり深さ : 0.427 mm
表面積 : 5471.6 mm ²
RzJIS : 0.641 Ra : 0.263
R Δ q : 0.134 Rz : 1.862
Rp : 0.551 Rsk : -1.131



[5-26] (6-2)

表面処理後

はつり深さ : 0.669 mm
表面積 : 5712.5 mm ²
RzJIS : 0.779 Ra : 0.327
R Δ q : 0.183 Rz : 2.355
Rp : 0.751 Rsk : -1.014



[5-27] (6-3)

表面処理後

はつり深さ : 0.283 mm
表面積 : 5274.8 mm ²
RzJIS : 0.465 Ra : 0.197
R Δ q : 0.107 Rz : 1.440
Rp : 0.393 Rsk : -1.401



[5-28] (6-4)

表面処理後

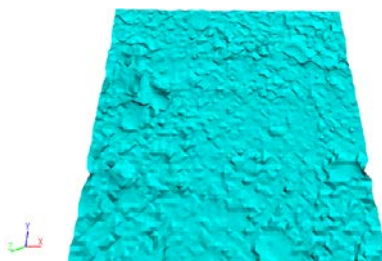
はつり深さ：— mm
 表面積：5497.2 mm²
 RzJIS : 0.611 Ra : 0.226
 R Δ q : 0.141 Rz : 1.792
 Rp : 0.576 Rsk : -1.038



[6-5]

表面処理後

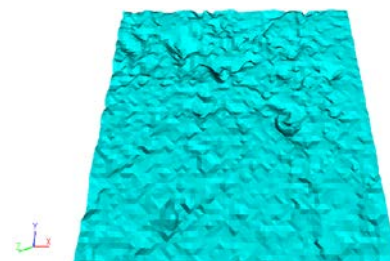
はつり深さ：0.407 mm
 表面積：5361.8 mm²
 RzJIS : 0.564 Ra : 0.190
 R Δ q : 0.135 Rz : 1.714
 Rp : 0.507 Rsk : -1.272



[6-6]

表面処理後

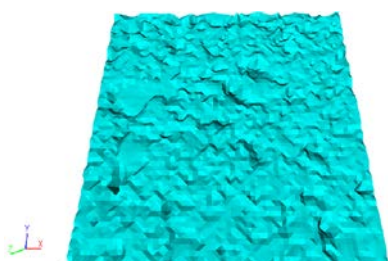
はつり深さ：0.639 mm
 表面積：4030.6 mm²
 RzJIS : 0.629 Ra : 0.270
 R Δ q : 0.112 Rz : 1.986
 Rp : 0.569 Rsk : -1.284



[6-7]

表面処理後

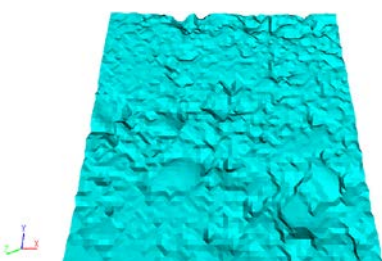
はつり深さ：0.361 mm
 表面積：4155.5 mm²
 RzJIS : 0.721 Ra : 0.281
 R Δ q : 0.130 Rz : 2.322
 Rp : 0.645 Rsk : -1.408



[6-8]

表面処理後

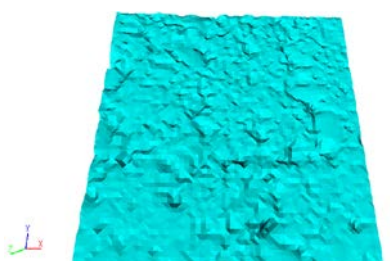
はつり深さ：0.860 mm
 表面積：4119.3 mm²
 RzJIS : 0.738 Ra : 0.324
 R Δ q : 0.158 Rz : 2.360
 Rp : 0.748 Rsk : -1.238



[6-9]

表面処理後

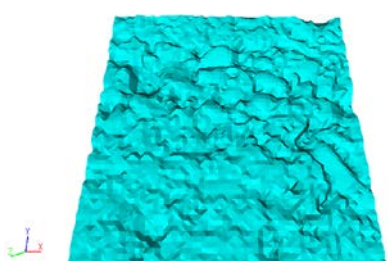
はつり深さ：0.101 mm
 表面積：3968.0 mm²
 RzJIS : 0.576 Ra : 0.221
 R Δ q : 0.112 Rz : 1.748
 Rp : 0.451 Rsk : -1.446



[6-10]

表面処理後

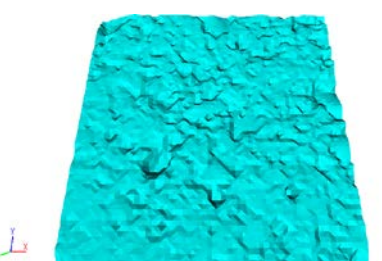
はつり深さ：0.717 mm
 表面積：4306.7 mm²
 RzJIS : 0.883 Ra : 0.376
 R Δ q : 0.161 Rz : 2.728
 Rp : 0.896 Rsk : -1.015



[6-11]

表面処理後

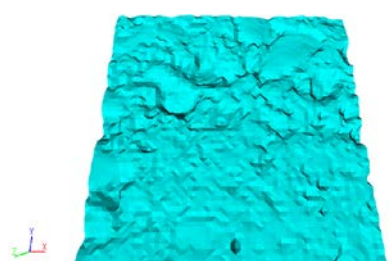
はつり深さ：0.375 mm
 表面積：3994.2 mm²
 RzJIS : 0.600 Ra : 0.258
 R Δ q : 0.124 Rz : 1.870
 Rp : 0.512 Rsk : -1.366



[6-12]

表面処理後

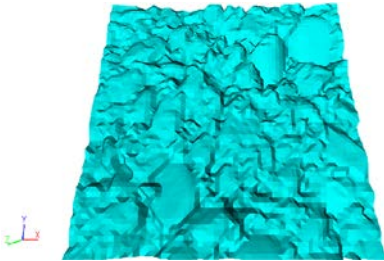
はつり深さ：0.334 mm
 表面積：4048.1 mm²
 RzJIS : 0.692 Ra : 0.336
 R Δ q : 0.135 Rz : 2.312
 Rp : 0.700 Rsk : -1.391



[6-13]

表面処理後

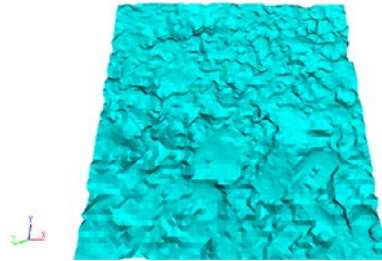
はつり深さ : 1.273 mm
表面積 : 4684.2 mm ²
RzJIS : 1.300 Ra : 0.612
R Δ q : 0.233 Rz : 3.833
Rp : 1.409 Rsk : -0.780



[6-14]

表面処理後

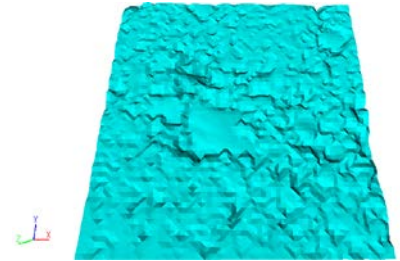
はつり深さ : 0.697 mm
表面積 : 4265.6 mm ²
RzJIS : 0.871 Ra : 0.384
R Δ q : 0.167 Rz : 2.610
Rp : 0.824 Rsk : -1.136



[6-15]

表面処理後

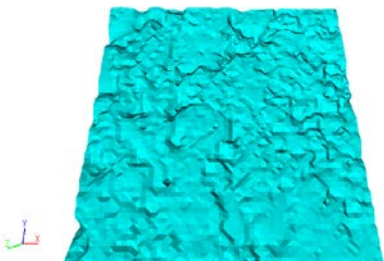
はつり深さ : 0.486 mm
表面積 : 4030.4 mm ²
RzJIS : 0.631 Ra : 0.257
R Δ q : 0.126 Rz : 1.974
Rp : 0.572 Rsk : -1.397



[6-16]

表面処理後

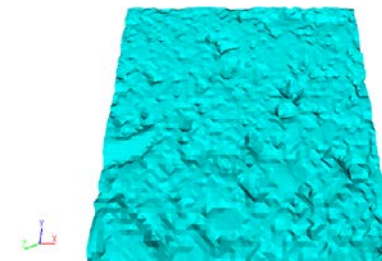
はつり深さ : 0.644 mm
表面積 : 4103.5 mm ²
RzJIS : 0.745 Ra : 0.310
R Δ q : 0.133 Rz : 2.231
Rp : 0.653 Rsk : -1.194



[6-17]

表面処理後

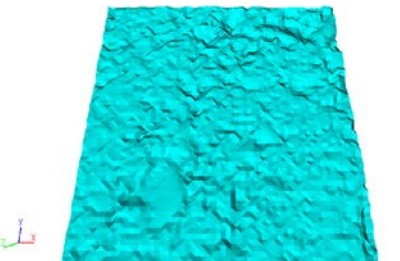
はつり深さ : 0.259 mm
表面積 : 4008.8 mm ²
RzJIS : 0.619 Ra : 0.238
R Δ q : 0.131 Rz : 2.005
Rp : 0.512 Rsk : -1.727



[6-18]

表面処理後

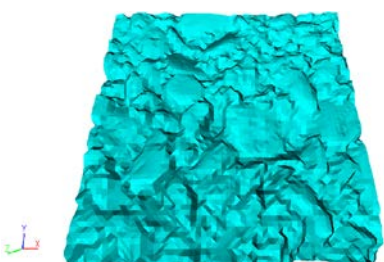
はつり深さ : 0.351 mm
表面積 : 3973.8 mm ²
RzJIS : 0.602 Ra : 0.246
R Δ q : 0.114 Rz : 1.796
Rp : 0.572 Rsk : -1.112



[6-19]

表面処理後

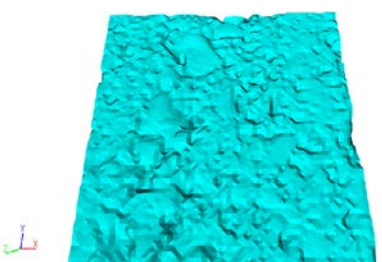
はつり深さ : 1.331 mm
表面積 : 4863.5 mm ²
RzJIS : 1.467 Ra : 0.751
R Δ q : 0.294 Rz : 4.283
Rp : 1.633 Rsk : -0.605



[6-20]

表面処理後

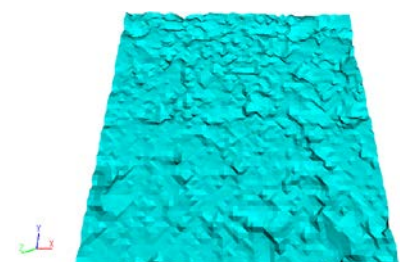
はつり深さ : 0.358 mm
表面積 : 4072.6 mm ²
RzJIS : 0.699 Ra : 0.282
R Δ q : 0.150 Rz : 2.240
Rp : 0.606 Rsk : -1.484



[6-21]

表面処理後

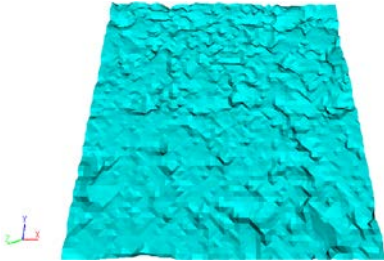
はつり深さ : 0.562 mm
表面積 : 4045.4 mm ²
RzJIS : 0.638 Ra : 0.252
R Δ q : 0.131 Rz : 1.895
Rp : 0.559 Rsk : -1.344



[6-22]

表面処理後

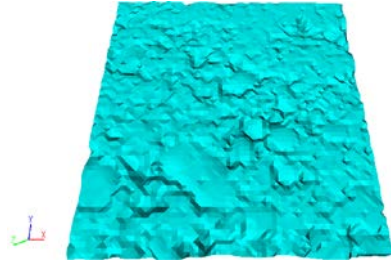
はつり深さ : 0.842 mm
表面積 : 4271.4 mm ²
RzJIS : 0.849 Ra : 0.375
R Δ q : 0.174 Rz : 2.514
Rp : 0.812 Rsk : -1.001



[6-23]

表面処理後

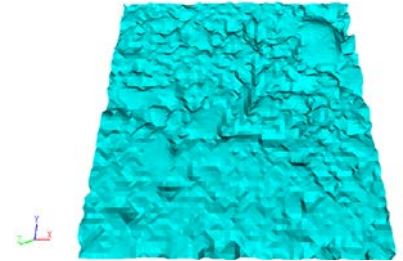
はつり深さ : 0.300 mm
表面積 : 4041.5 mm ²
RzJIS : 0.642 Ra : 0.271
R Δ q : 0.165 Rz : 1.977
Rp : 0.592 Rsk : -1.419



[6-24]

表面処理後

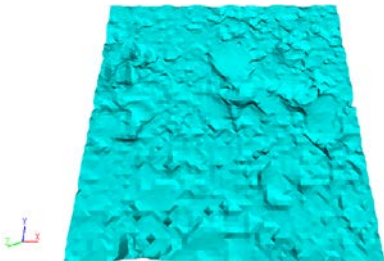
はつり深さ : 0.282 mm
表面積 : 4219.1 mm ²
RzJIS : 0.821 Ra : 0.321
R Δ q : 0.145 Rz : 2.446
Rp : 0.786 Rsk : -1.063



[6-25]

表面処理後

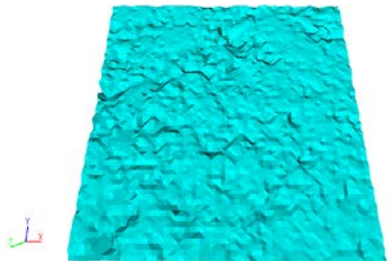
はつり深さ : 0.335 mm
表面積 : 3979.6 mm ²
RzJIS : 0.628 Ra : 0.278
R Δ q : 0.135 Rz : 2.040
Rp : 0.593 Rsk : -1.414



[6-26]

表面処理後

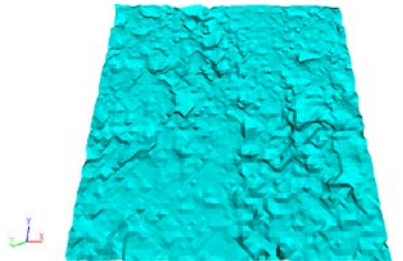
はつり深さ : 0.578 mm
表面積 : 3954.3 mm ²
RzJIS : 0.563 Ra : 0.229
R Δ q : 0.113 Rz : 1.852
Rp : 0.557 Rsk : -1.213



[6-27]

表面処理後

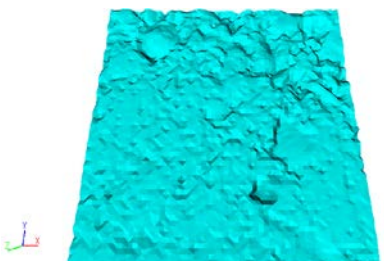
はつり深さ : 0.040 mm
表面積 : 4001.0 mm ²
RzJIS : 0.648 Ra : 0.258
R Δ q : 0.123 Rz : 1.964
Rp : 0.568 Rsk : -1.370



[6-28]

表面処理後

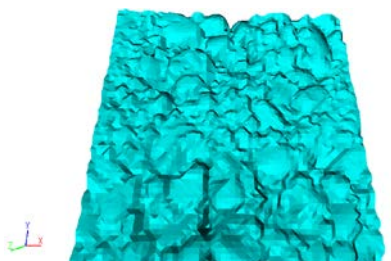
はつり深さ : 0.385 mm
表面積 : 3985.5 mm ²
RzJIS : 0.604 Ra : 0.252
R Δ q : 0.101 Rz : 1.839
Rp : 0.541 Rsk : -1.309



[6-29]

表面処理後

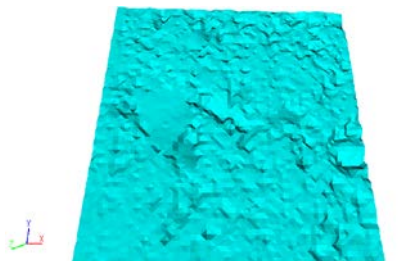
はつり深さ : 1.565 mm
表面積 : 4795.6 mm ²
RzJIS : 1.467 Ra : 0.675
R Δ q : 0.263 Rz : 4.312
Rp : 1.463 Rsk : -0.762



[6-30]

表面処理後

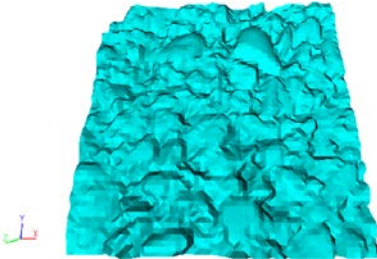
はつり深さ : 0.305 mm
表面積 : 3908.7 mm ²
RzJIS : 0.528 Ra : 0.220
R Δ q : 0.106 Rz : 1.562
Rp : 0.512 Rsk : -1.100



[6-31]

表面処理後

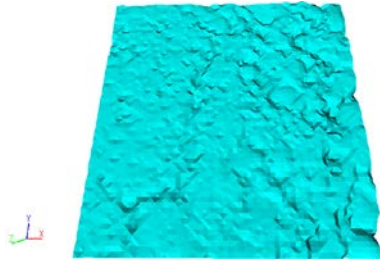
はつり深さ : 1.935 mm
表面積 : 4774.5 mm²
RzJIS : 1.378 Ra : 0.681
RΔq : 0.254 Rz : 4.037
Rp : 1.431 Rsk : -0.794



[6-32]

表面処理後

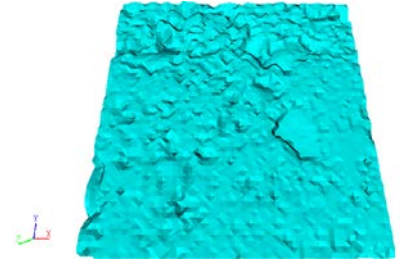
はつり深さ : 0.351 mm
表面積 : 3901.4 mm²
RzJIS : 0.541 Ra : 0.203
RΔq : 0.109 Rz : 1.738
Rp : 0.499 Rsk : -1.373



[6-33]

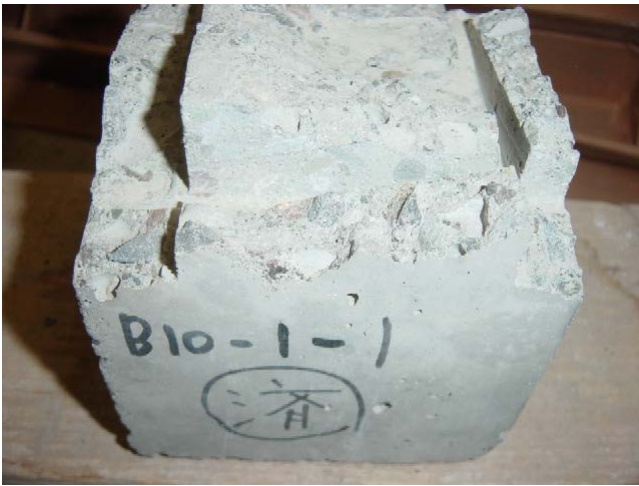
表面処理後

はつり深さ : 0.652 mm
表面積 : 4047.4 mm²
RzJIS : 0.654 Ra : 0.254
RΔq : 0.113 Rz : 2.244
Rp : 0.521 Rsk : -1.914



付録 4

写真集（破壊状況）



B10-1-1



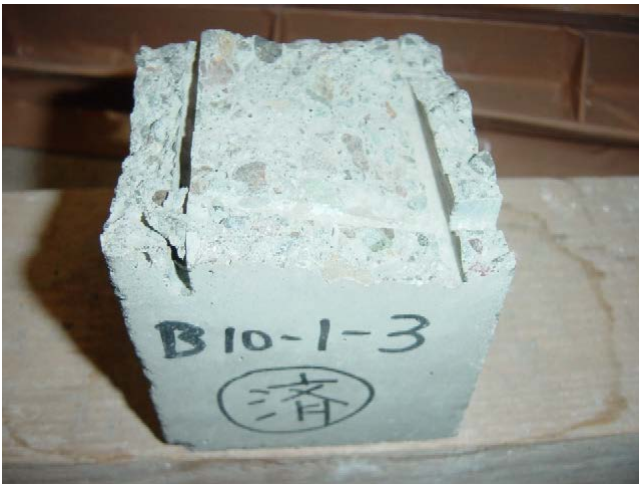
B10-3-1



B10-1-2



B10-3-2



B10-1-3



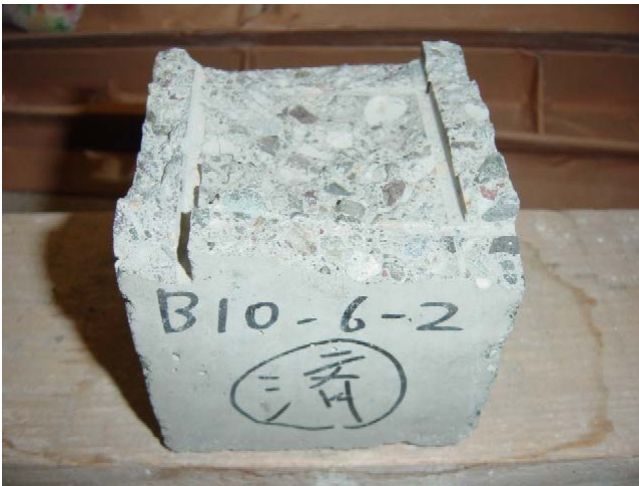
B10-3-3



B10-6-1



B10-10-1



B10-6-2



B10-10-2



B10-6-3



B10-10-3



B15-1-1



B15-3-1



B15-1-2



B15-3-2



B15-1-3



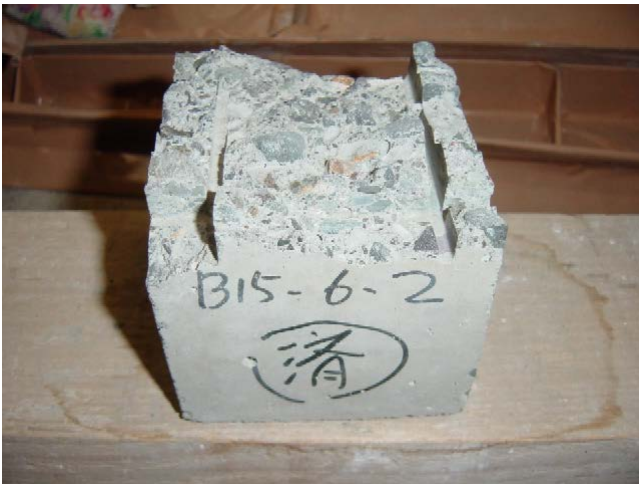
B15-3-3



B15-6-1



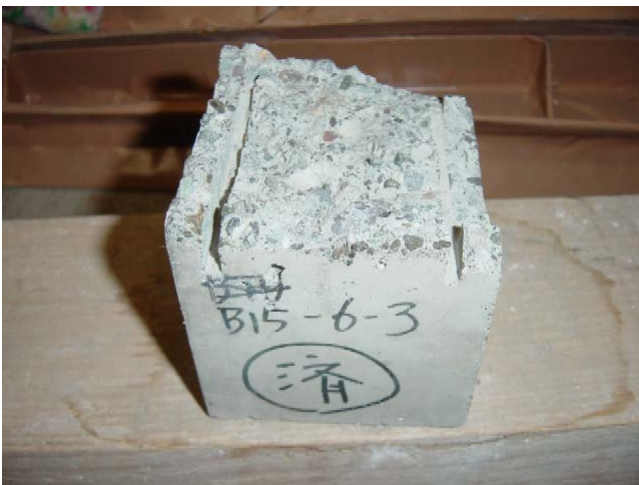
B15-10-1



B15-6-2



B15-10-2



B15-6-3



B15-10-3



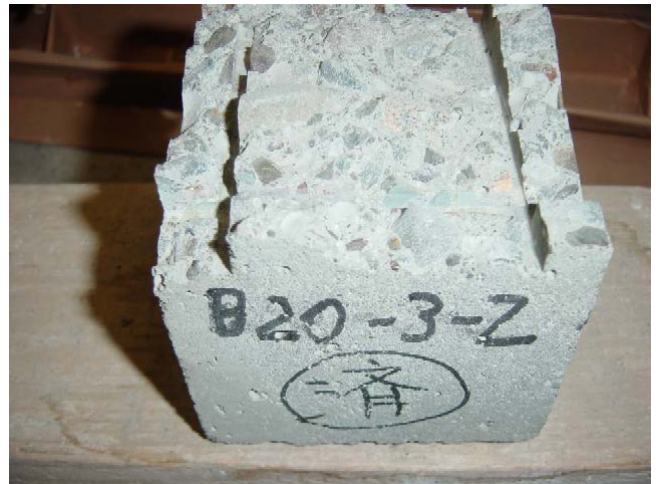
B20-1-1



B20-3-1



B20-1-2



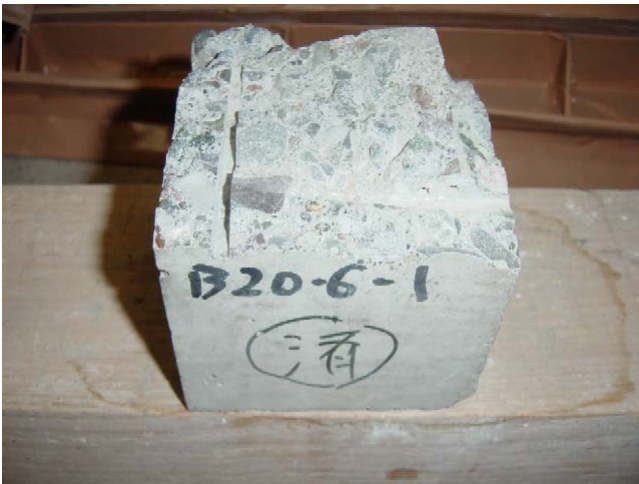
B20-3-2



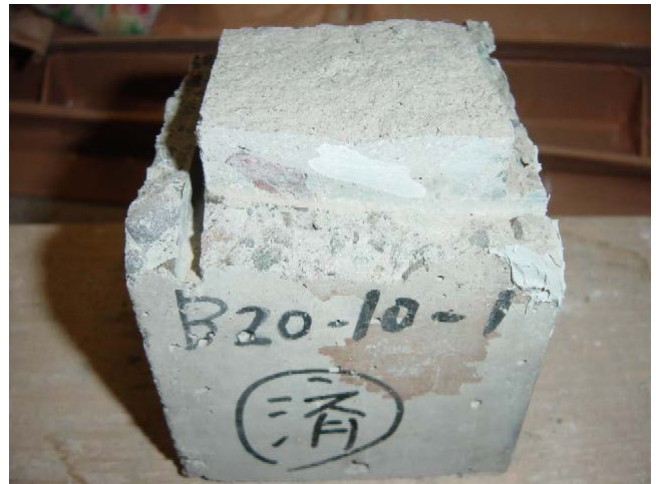
B20-1-3



B20-3-3



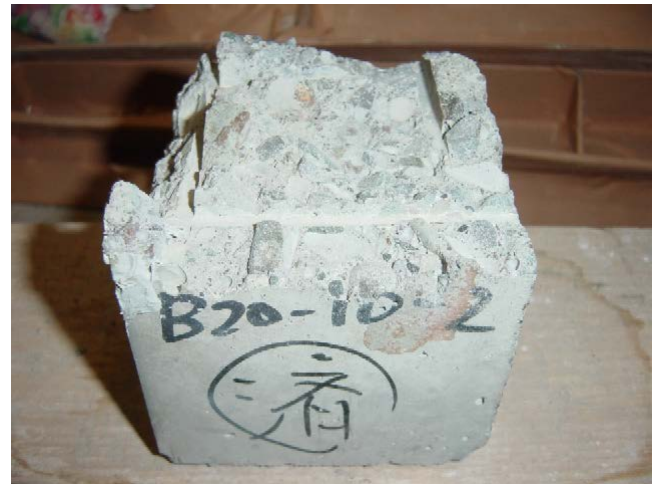
B20-6-1



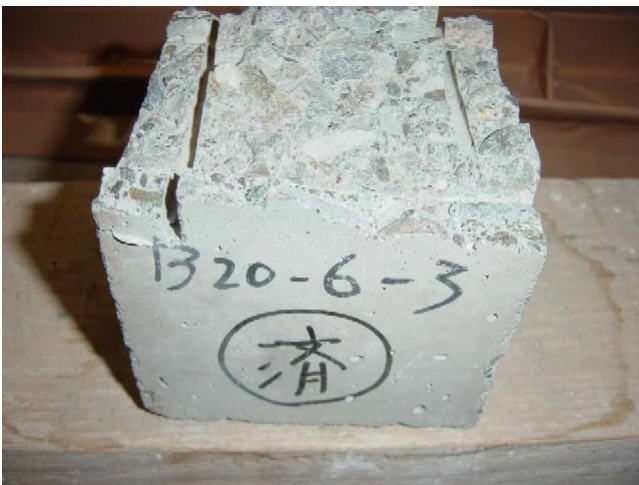
B20-10-1



B20-6-2



B20-10-2



B20-6-3



B20-10-3



S10-1-1



S10-3-1



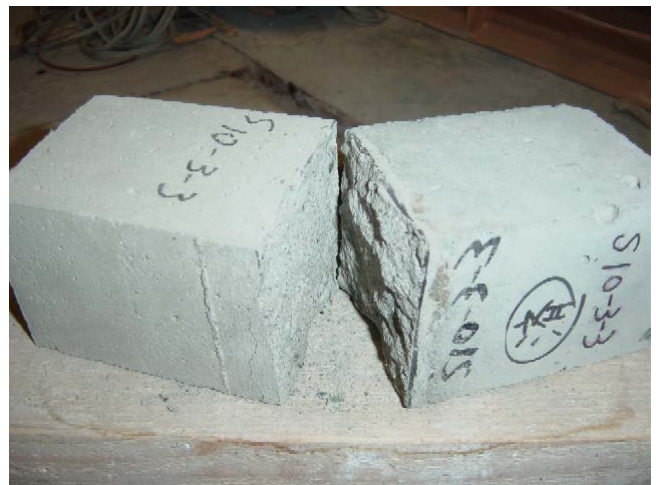
S10-1-2



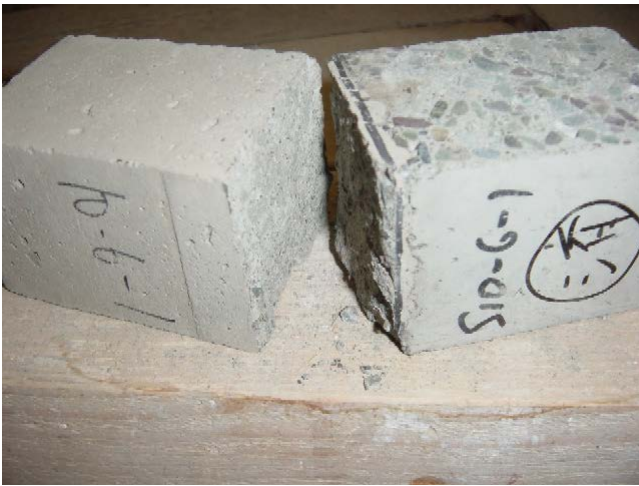
S10-3-2



S10-1-3



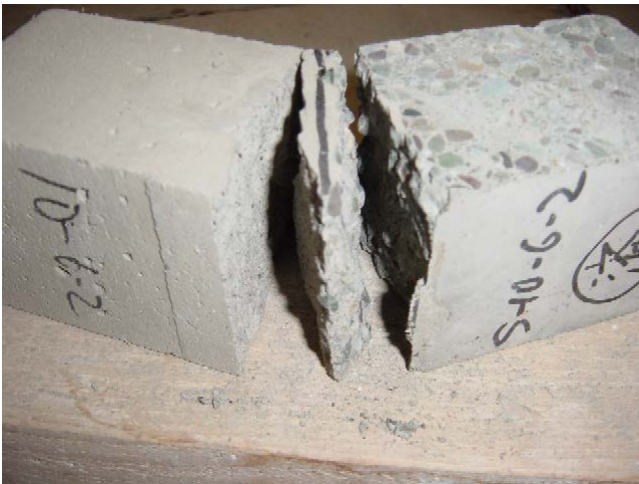
S10-3-3



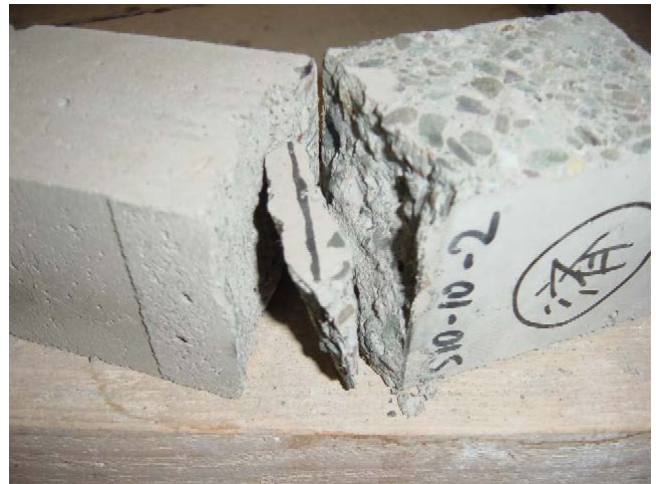
S10-6-1



S10-10-1



S10-6-2



S10-10-2



S10-6-3



S10-10-3



S15-1-1



S15-3-1



S15-1-2



S15-3-2



S15-1-3



S15-3-3



S15-6-1



S15-10-1



S15-6-2



S15-10-2



S15-6-3



S15-10-3



S20-1-1



S20-3-1



S20-1-2



S20-3-2



S20-1-3



S20-3-3



S20-6-1



S20-10-1



S20-6-2



S20-10-2



S20-6-3



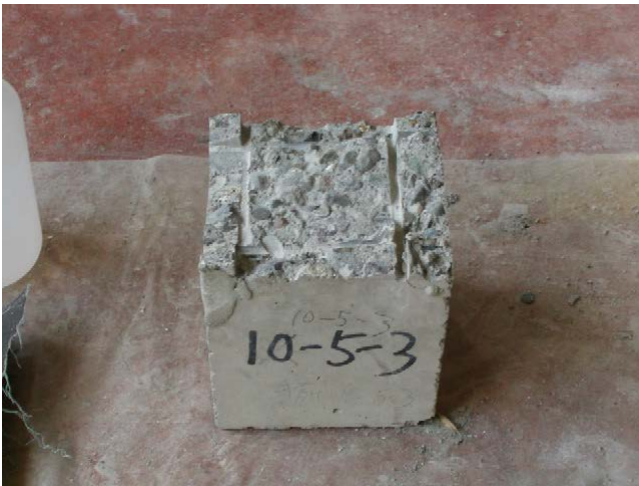
S20-10-3



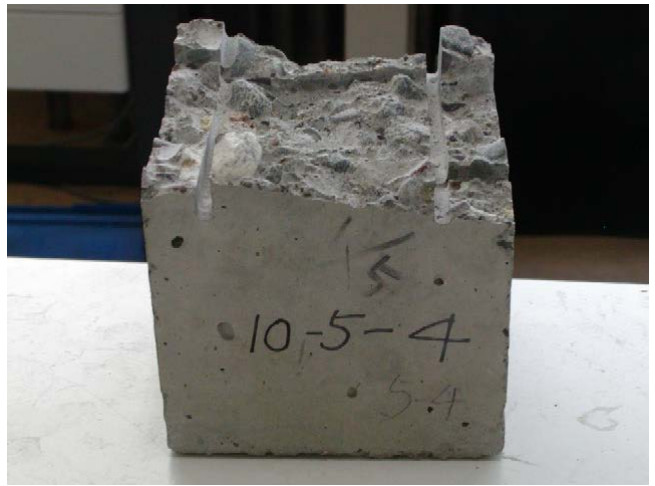
5-1



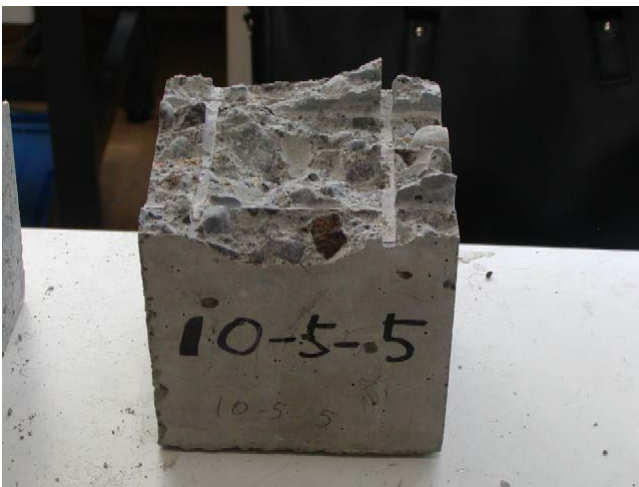
5-2



5-3



5-4



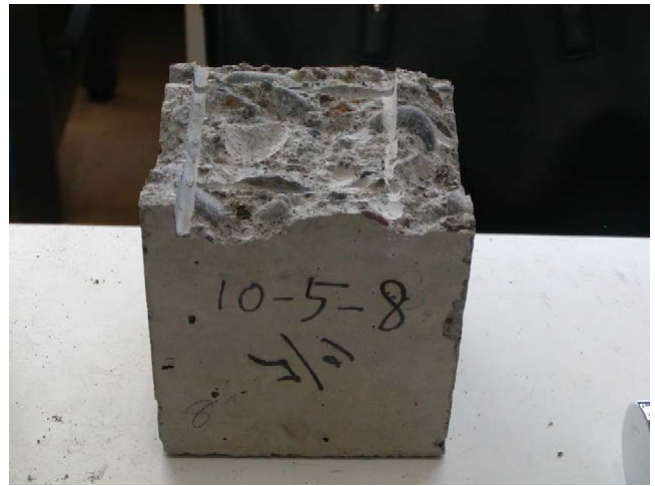
5-5



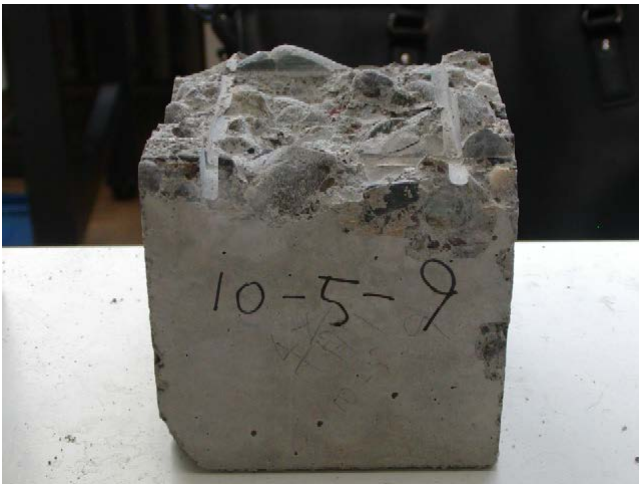
5-6



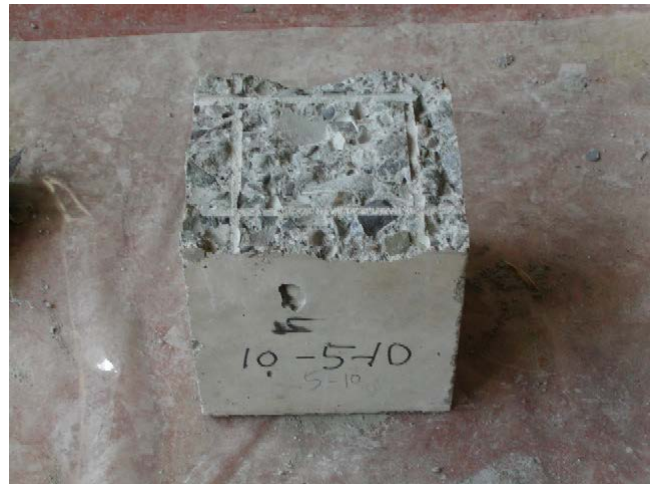
5-7



5-8



5-9



5-10



5-11



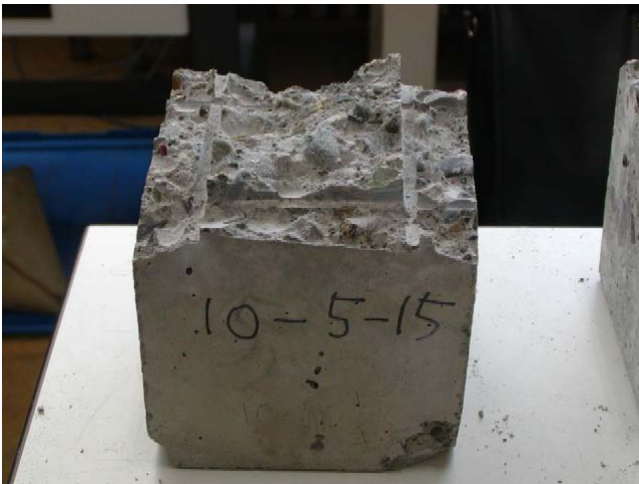
5-12



5-13



5-14



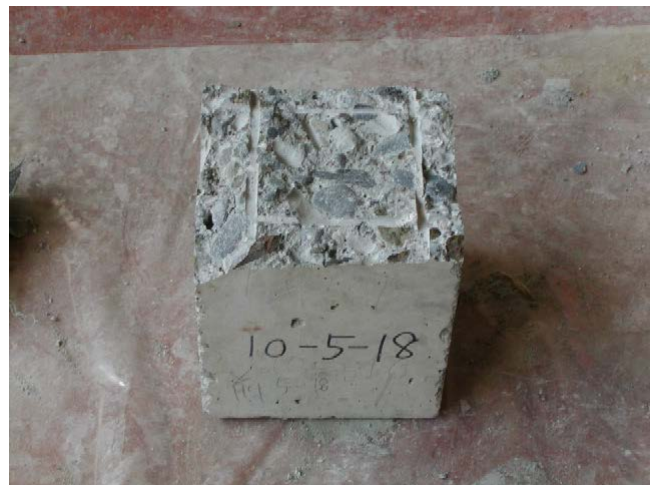
5-15



5-16



5-17



5-18



5-19



5-20



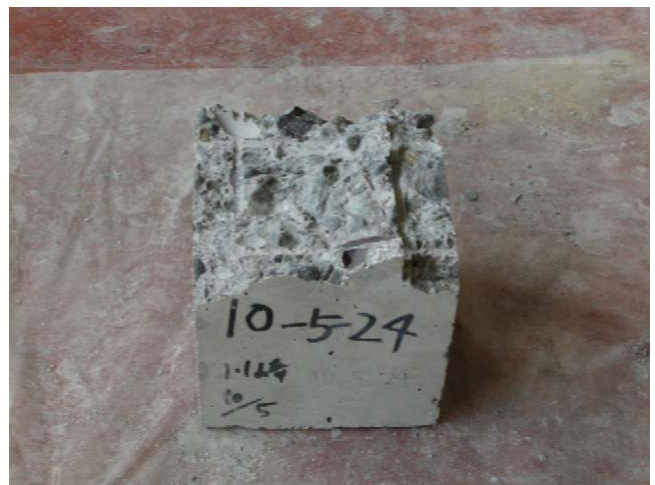
5-21



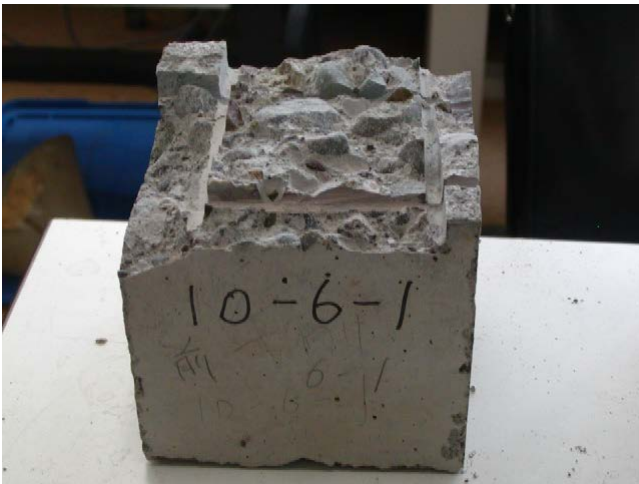
5-22



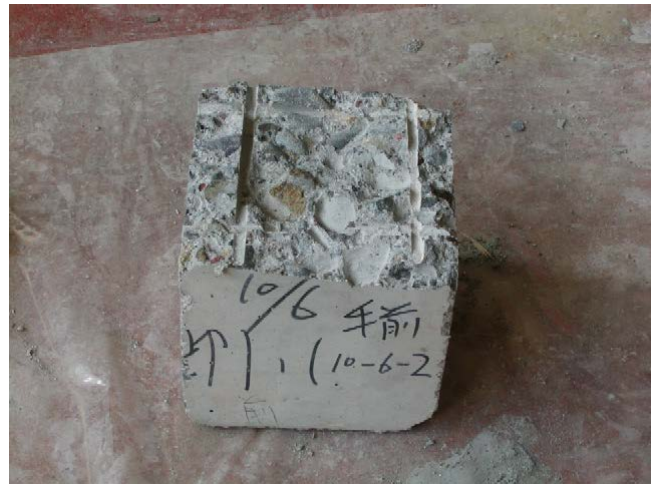
5-23



5-24



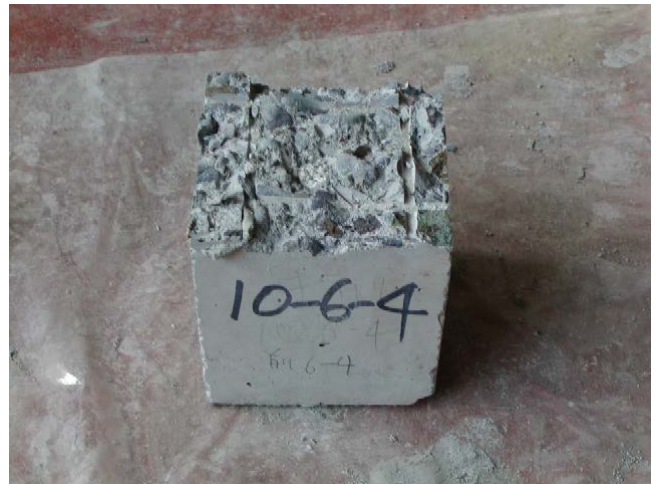
5-25 (6-1)



5-26 (6-2)



5-27 (6-3)



5-28 (6-4)



5-29 (6-5)



6-6



6-7



6-8



6-9



6-10



6-11



6-12



6-13



6-14



6-15



6-16



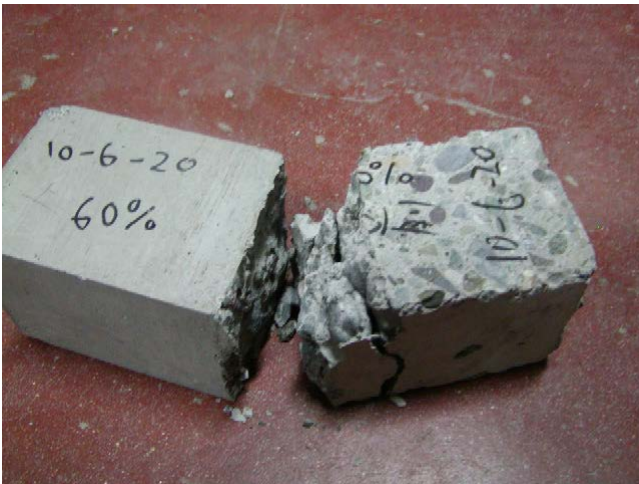
6-17



6-18



6-19



6-20



6-21



6-22



6-23



6-24



6-25



6-26



6-27



6-28



6-29



6-30



6-31



6-32



6-33