



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	一面せん断試験によるジオグリッドと土との摩擦特性
Author(s)	三田地, 利之; Mitachi, Toshiyuki; 柏倉, 博 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 149, 25-35
Issue Date	1990-02-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42218
Type	departmental bulletin paper
File Information	149_25-36.pdf



一面せん断試験によるジオグリッドと土との摩擦特性

三田地 利之 柏倉 博

(平成元年9月30日受理)

Frictional Properties Between Geogrids and Soils Observed by Direct Shear Test

Toshiyuki MITACHI and Hiroshi KASHIWAKURA

(Received September 30, 1989)

Abstract

In order to design the embankment when the geogrid is used within the soil mass as a reinforcement material, appropriate evaluation of mechanical interaction between the banking material and the geogrid is very important.

In this paper, the evaluation of frictional properties between the geogrids and sand or clay is given by performing a series of direct shear tests.

Experimental results show that there exists two key factors influencing the frictional properties, the thickness and the opening size of the geogrid. Suitable combination of these two factors can increase the frictional resistance between the geogrid and soil mass.

1. ま え が き

盛土や擁壁裏込め土の補強,あるいは軟弱地盤上の盛土の沈下,側方流動等の抑制などに合成化学材料のジオテキスタイルが用いられるようになったのは近年のことであるが,その種類と用途は多岐にわたっている。本研究の対象となっているジオグリッドのような高張力・低伸張性の地盤補強材は,開口部を有するというその特殊な形状によって土との間にインターロッキングを起し,急勾配土構造物の施工を可能にするものである。

グリッドを用いる補強土構造物の設計を行う場合にまず検討すべき事項として,2つの項目があげられる。第一に,グリッドが粘弾性体であるため同材料のクリープ変形を考慮しなければならないということ。第二に,盛土材と同材との摩擦特性あるいは引抜き特性などについて評価しなければならないということである。通常,前者についてはクリープ試験の結果に基づいて設計強度が決められている。グリッドのクリープ試験は空中で行われるのが一般的であるが,泰永らは土槽を用いて長期引抜き試験を試み,同一の初期ひずみで空中と土中のクリープを比較した場合,土中の方が伸びにくいと結論づけている。しかし,ジオグリッドの土中におけるクリープ特性はいまだ不明な点が多く,さらなる研究が必要とされる。また後者の特性は,グリッドと盛土材との一面せん断試験や引抜き試験によって求められている。梅沢らは繊維ネットについて一面

せん断試験および引抜き試験を行い、従来から用いられている延伸樹脂ネットと比較して遜色のない摩擦特性が得られたと報告している。繊維ネットとは、ポリエステル繊維に被覆樹脂として塩化ビニール樹脂をかぶせたもので、比較的剛性が小さいため、施工時に巻きぐせによる反りが生じないので固定作業の必要がなく、また施工現場では特別なカッターがなくても切断でき、軽量なので容易に運搬できるなど、現場作業性が良く、取扱いが容易なことなども特徴とされている。

本研究で用いる繊維ジオグリッドは、ポリエステルを素材としてアクリル樹脂で表面加工を施したもので、剛性が小さく取扱いが容易であるという点においては上述の繊維ネットに比較的近い存在といえるが、引張り強度はポリマーグリッド同様軟鋼並みの強さを有し、補強材として将来が囑望されている製品である。

そこで本研究ではこの繊維ジオグリッドを用いて一面せん断試験を実施し、他のグリッドと比較するなどして繊維ジオグリッドと土との摩擦特性について考察を加えたので、ここに報告するものである。

2. 実 験

2.1 試 料

(1) 試 料 土

実験には砂と粘土の両方を使用した。砂試料としては豊浦標準砂を空気乾燥状態で用い、粘土は市販のカオリンを一次的に予圧密(圧密圧力 1.0 kgf/cm², 4.0 kgf/cm²の2種類)して試験に供した。また、それぞれの物理的性質は表-1, 2 に示す通りである。

(2) ジオグリッド

新しく開発された繊維ジオグリッド(A, B)2種類と、在来の未延伸樹脂性ジオグリッド(C, D)2種類、計4種類のジオグリッドをアラルダイトまたはアロンアルファ等の接着剤を適宜用いて塩化ビニール製の円形プレートに接着し、試験に供した。それぞれのジオグリッドの物性は表-3の通りである。

2.2 実験装置

実験には、 $\phi=100(\text{mm})$ の在来型一面せん

表1 豊浦標準砂の物理的性質

比 重	Gs	2.65
10%粒径	(mm)	0.090
30%粒径	(mm)	0.112
60%粒径	(mm)	0.140
均等係数	Uc	1.6
曲率係数	Uc	1.2
細 粒 分	Fc (%)	0
最大間隙比	e _{max}	0.985
最小間隙比	e _{min}	0.623

表2 カオリン粘土の物理的性質

土 粒 子 の 比 重	Gs	2.77
粒 度 特 性	砂 分 (%)	0
	シルト分 (%)	8
	粘 土 分 (%)	92
コンシステンシー	液性限界 W _L (%)	86.7
	塑性指数 I _p	49.1

表3 ジオグリッドの物性

ジオグリッド	厚さ (mm)	目合い (mm)		引張り強度 (tf/m)		素 材	被 覆 樹 脂
		タ テ	ヨ コ	タ テ	ヨ コ		
A	1.85	16.0	16.9	8.2	8.5	ポリエステル	アクリル樹脂
B	1.55	8.0	7.8	8.4	8.6	〃	〃
C	3.72	25.5	25.3	0.77	0.77	ポリエチレン	—
D	2.32	10.4	10.1	0.80	0.80	〃	—

断試験機を用いた。また、砂試料を用いる場合は砂をせん断箱に直接流し込むので、試料の上端面を平滑化するための簡易な器具（写真-1）を製作し、これを用いて供試体に偏心荷重がかからないよう考慮した。

2.3 実験方法

実験は、前述の一面せん断試験装置のせん断箱のうち、まず下箱にスペーサーを入れ、プレートに接着したグリッドの上端面がせん断面のごく近傍に位置するようにして上箱を載せた後（図-1参照）、砂・粘土のそれぞれの試料土について、以下の手順で行っ

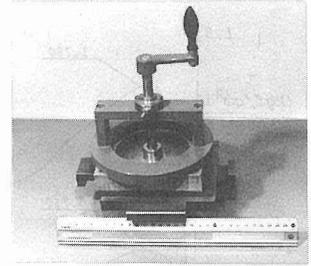
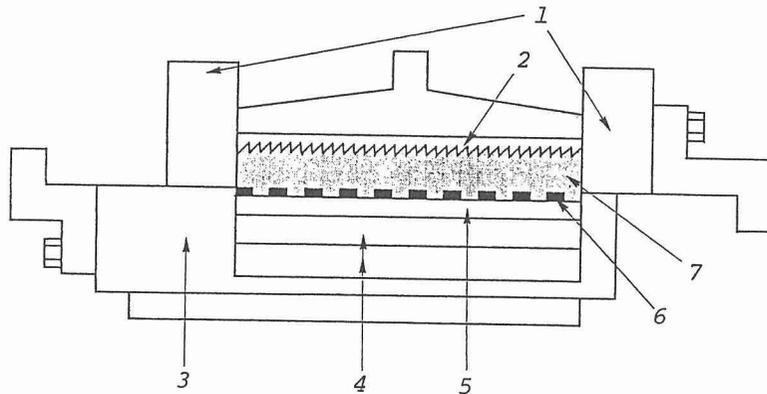


写真1



- | | |
|-----------|----------------|
| 1. 上部せん断箱 | 5. 塩化ビニールプレート |
| 2. 加圧板 | 6. ジオグリッド |
| 3. 下部せん断箱 | 7. 試料（粘土あるいは砂） |
| 4. スペーサー | |

図1 せん断箱および試料状況

た。なお、試料厚は上箱部が常に10（mm）となるように配慮し、また、せん断はひずみ制御方式で行い、ひずみ速度は1.0（mm/min）とした。

(1) 試料土に砂を用いる場合：まず気乾状態の砂をロートを用いてせん断箱の中に流し込み前述の器具を用いて上端面を平らに成形して載荷板を載せ、所定の密度（目標相対密度 $60 \pm 3\%$ および $90 \pm 3\%$ ）が得られるようにバイプレーターで締固めた。載荷重は、 $\sigma = 0.5, 1.0, 2.0$ (kgf/cm²) の3種類で、鉛直力載荷後の沈下量を計測し、せん断開始直前の相対密度を算定した。

(2) 試料土に粘土を用いる場合：予圧密した試料をトリミングリングに収めて両端面をカットした後、試料土をせん断箱に落とし込み、圧密沈下が生じないように素早くせん断を開始した。なお載荷重は、予圧密圧力 4.0 kgf/cm²、せん断開始直前のコンシステンシー指数 $I_c =$ 約70%の試料については砂試料の場合と同じであるが、同 1.0 kgf/cm²、 $I_c =$ 約30%の試料の場合、 $\sigma = 2.0$ (kgf/cm²) を載荷するとせん断前に試料がせん断箱からはみ出してしまうので、 $\sigma = 0.5, 0.75, 1.0$ (kgf/cm²) とした。

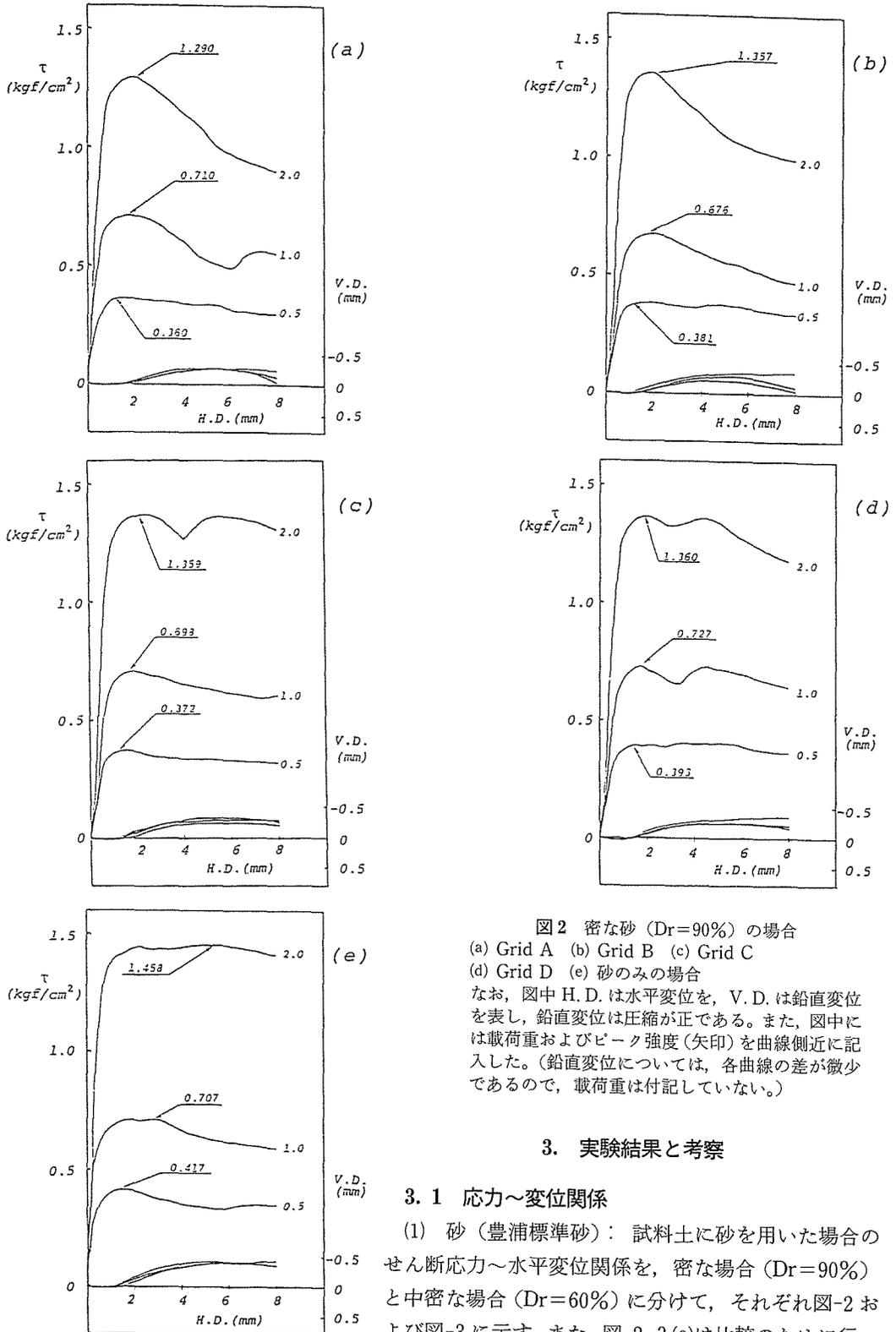


図2 密な砂 ($Dr=90\%$) の場合

(a) Grid A (b) Grid B (c) Grid C

(d) Grid D (e) 砂のみの場合

なお、図中 H. D. は水平変位を、V. D. は鉛直変位を表し、鉛直変位は圧縮が正である。また、図中には載荷重およびピーク強度(矢印)を曲線側近に記入した。(鉛直変位については、各曲線の差が微小であるので、載荷重は付記していない。)

3. 実験結果と考察

3.1 応力～変位関係

(1) 砂 (豊浦標準砂) : 試料土に砂を用いた場合のせん断応力～水平変位関係を、密な場合 ($Dr=90\%$) と中密な場合 ($Dr=60\%$) に分けて、それぞれ図-2 および図-3 に示す。また、図-2, 3(e)は比較のために行っ

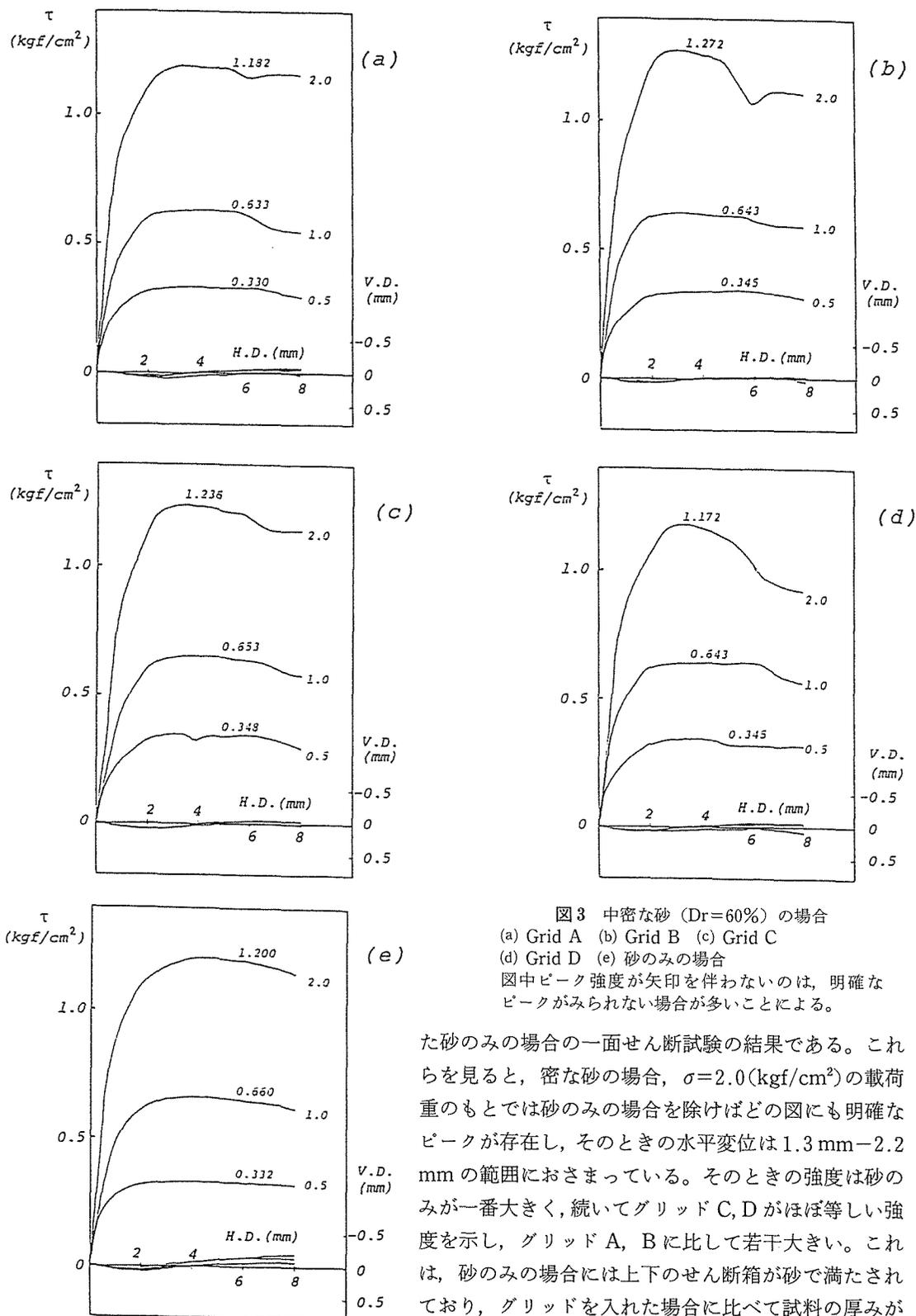


図3 中密な砂 ($D_r=60\%$) の場合
 (a) Grid A (b) Grid B (c) Grid C
 (d) Grid D (e) 砂のみの場合

図中ピーク強度が矢印を伴わないのは、明確なピークがみられない場合が多いことによる。

た砂のみの場合の一面せん断試験の結果である。これらを見ると、密な砂の場合、 $\sigma=2.0(\text{kgf/cm}^2)$ の載荷重のもとでは砂のみの場合を除けばどの図にも明確なピークが存在し、そのときの水平変位は1.3 mm-2.2 mmの範囲におさまっている。そのときの強度は砂のみが一番大きく、続いてグリッドC, Dがほぼ等しい強度を示し、グリッドA, Bに比して若干大きい。これは、砂のみの場合には上下のせん断箱が砂で満たされており、グリッドを入れた場合に比べて試料の厚みが

約2倍になっていることにより、せん断強度中のダイレイタンシー成分が他のケースよりも大きくなり、これによって強度が大きく現れたものと思われる。また、密な試料で一面せん断試験を行う場合、側面摩擦の影響によりせん断強度を大きめに見積ってしまうことが一般に知られている。側面摩擦は側面積に比例して大きくなるであろうことが容易に理解できるので、表-3に示したようにグリッドC、DはA、Bよりも厚いことから、ピーク強度が大きく現れたと考えられる。また、グリッドA、BではC、Dに比してピーク後の強度低下が著しいが、グリッドC、Dではピークが2つあり大きな強度が持続するという特異な現象がみられる。ピークが2つ存在するのは、大きな側面摩擦によって上箱が浮き上がるという在来型一面せん断試験機の構造的欠陥によりせん断面が上方へと移動し、新たなインターロッキング成分が現れることによるものと思われるが、ここで結論を出すのは早急に過ぎよう。

上記の傾向は、 $\sigma=2.0(\text{kgf/cm}^2)$ のときのみ顕著に現れ、その他の上載荷重ではこの傾向はみられない。これは、側面摩擦は載荷重に比例して大きくなるものであるから、これら小さな載荷重においてグリッドの厚みの違いによる側面摩擦の影響度合いが小さくなってこれといった傾向がみられなくなっているものと思われる。

一方、中密な砂の場合(図-3)、ピーク強度において砂のみの場合が卓越しているということはなく、グリッドは同等かそれ以上の強度を示している。これは、密な砂が正のダイレイタンシー傾向を示すのに対し、中密な場合には初期において負のダイレイタンシーが強く出るので強度を小さめに見積ってしまうことによる影響があるものと思われる。

(2) 粘土(カオリン)：試料土に粘土を用いた場合のせん断応力～水平変位関係を、 $I_c=30\%$ の場合と $I_c=70\%$ の場合に分けて、それぞれ図-4および図-5に示す。また、図-4、5(e)は比較のために行った粘土のみの場合の一面せん断試験の結果である。これらを見ると、 $I_c=70\%$ の粘土では、粘土のみで試験を行った場合のせん断応力の曲線がほぼ重なるのに対し、グリッドを入れたものでは載荷重によって差が生じている。これは、グリッドを入れた場合の粘土試料の厚みが粘土のみのその約半分であることにより、図中の鉛直変位からもわかるように、粘土のみのときには比較的良好な非排水条件が満足されていたが、グリッドを入れた場合には非排水状態が十分に保たれなかったことによるものと思われる。また、 $I_c=30\%$ の粘土では、粘土のみの場合も含めて定性的にあまり大きな差は見られないが、グリッドDの強度が若干大きく出ているのが確認される。さらに、それぞれの場合について非排水条件が満足されているとみられ、各載荷重に対するせん断応力の曲線は、よく一致している。

3.2 摩擦特性

(1) 砂：図-6(a)～(c)は応力～水平変位曲線のピーク時のせん断応力から計算したせん断抵抗角とせん断開始直前の相対密度との関係を示したものである。供試体作製時の相対密度はいずれの場合にも目標密度 $\pm 3\%$ の範囲に入っているが、垂直荷重載荷後の沈下量をもとにしてせん断直前の相対密度を計算すると、図のようになる。グリッドを入れた場合は砂のみの場合に比べて砂試料の体積が小さい関係上相対密度の変化量が大きい。このように、せん断直前の相対密度を一致させるのが困難であるので便宜上、砂のみの場合の2つの密度のデータ間を直線で結び、ジオグリッドを用いた場合と砂のみの場合のせん断抵抗角の値を同一の密度で比較するものとする。図から砂のみの場合のせん断抵抗角がすべてのグリッドのそれを上まわっていることがわかるが、グリッド間ではこれといった傾向はみられない。すなわち、砂のみの場合については試料の厚みの違い(グリッドを入れた場合の約2倍)によって、強度に占めるダイレイタンシー成分

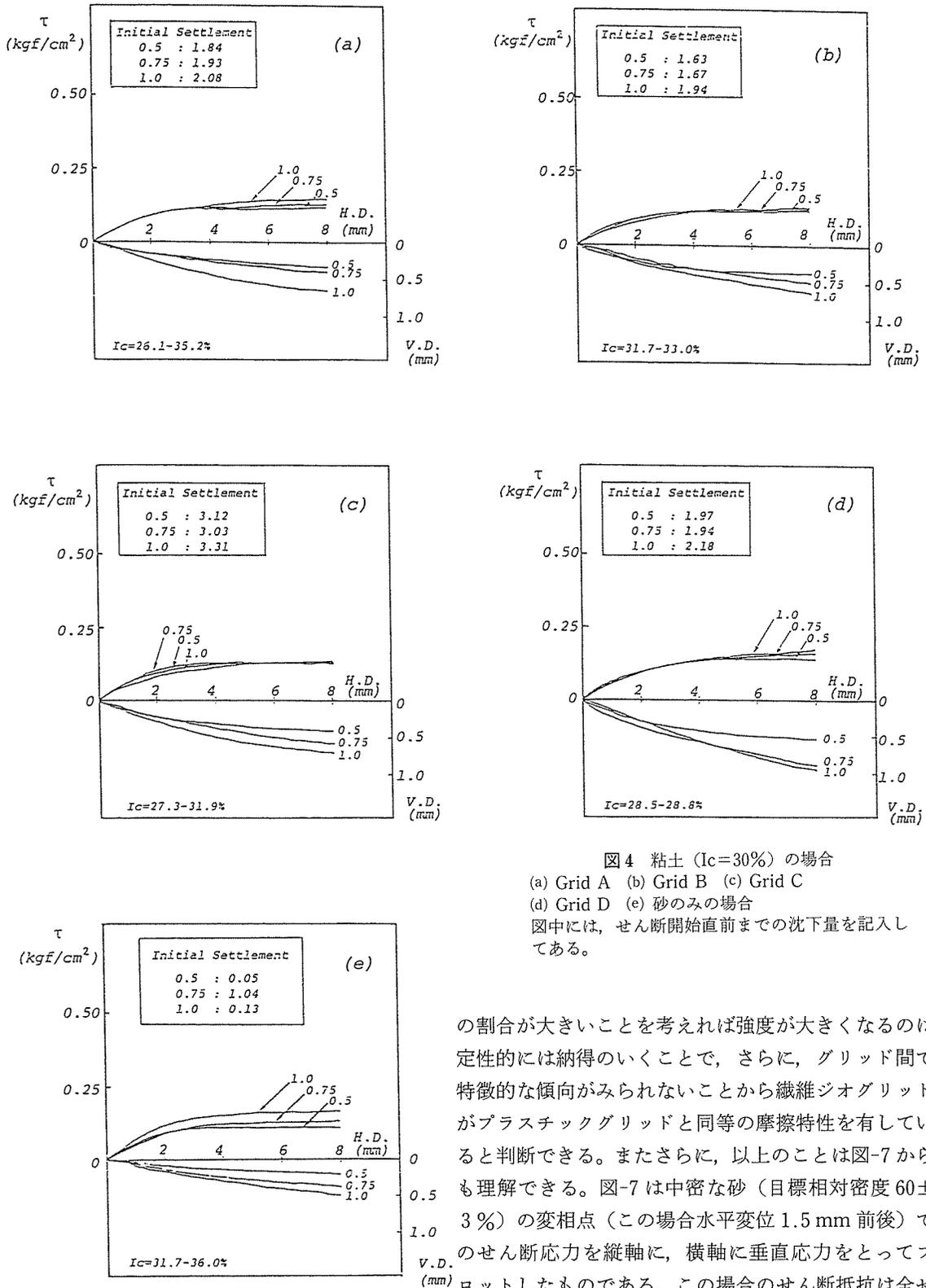


図4 粘土 (I_c=30%) の場合
 (a) Grid A (b) Grid B (c) Grid C
 (d) Grid D (e) 砂みの場合
 図中には、せん断開始直前までの沈下量を記入してある。

の割合が大きいことを考えれば強度が大きくなるのは定性的には納得のいくことで、さらに、グリッド間で特徴的な傾向がみられないことから繊維ジオグリッドがプラスチックグリッドと同等の摩擦特性を有していると判断できる。またさらに、以上のことは図-7からも理解できる。図-7は中密な砂(目標相対密度60±3%)の変相点(この場合水平変位1.5mm前後)でのせん断応力を縦軸に、横軸に垂直応力をとってプロットしたものである。この場合のせん断抵抗は全せ

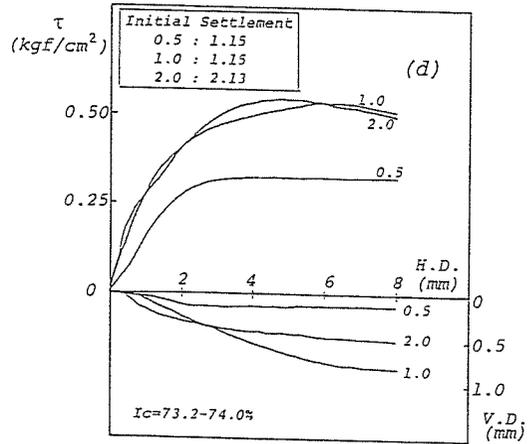
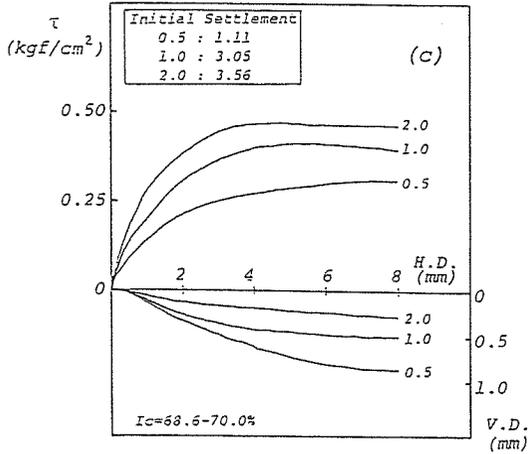
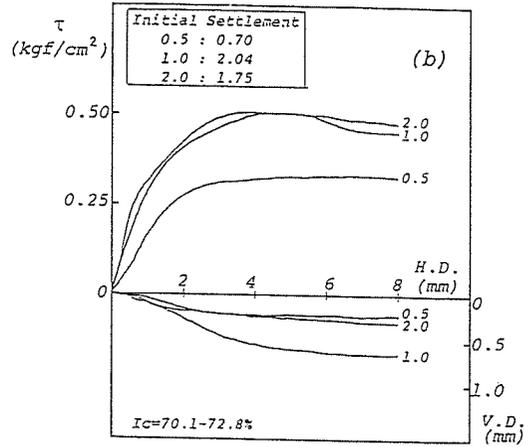
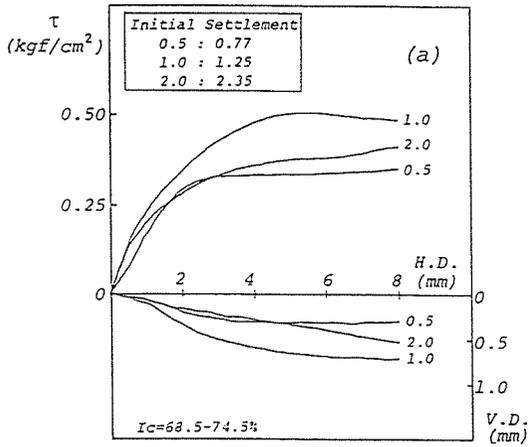
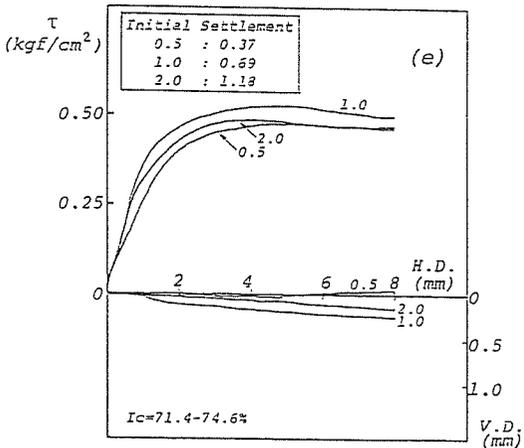


図5 粘土 (Ic=70%) の場合

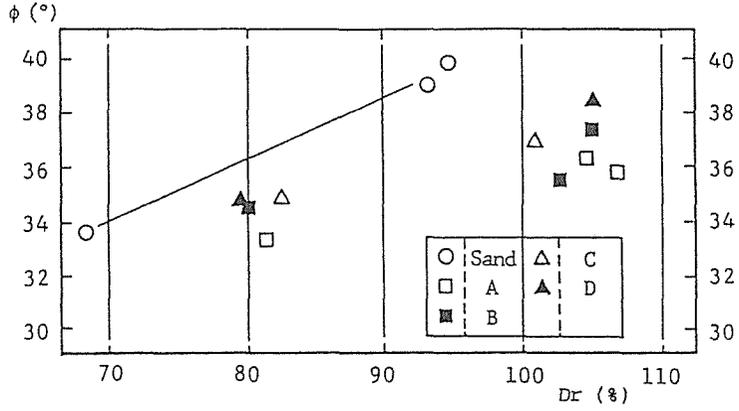
(a) Grid A (b) Grid B (c) Grid C
(d) Grid D (e) 粘土のみの場合

図中には、せん断開始直前までの沈下量を記入してある。

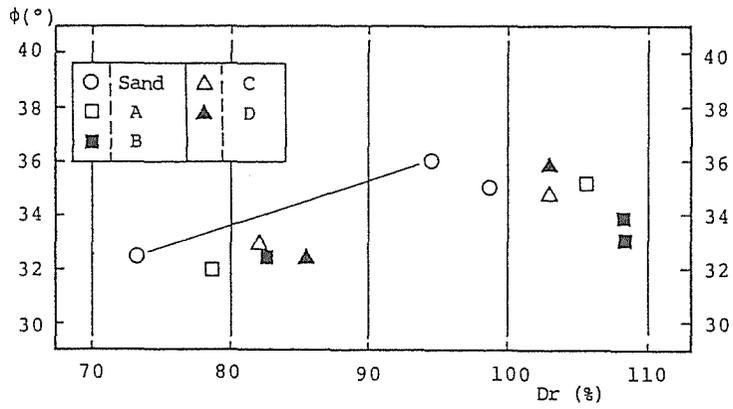


せん断抵抗からダイレイタンス成分を除いた摩擦成分のみであると考えられ、したがって、図から明らかのように摩擦力は砂だけの場合が一番小さく、4種のグリッド間では大きな差はみられない。これは、上記の判断の妥当性を裏づけるものである。

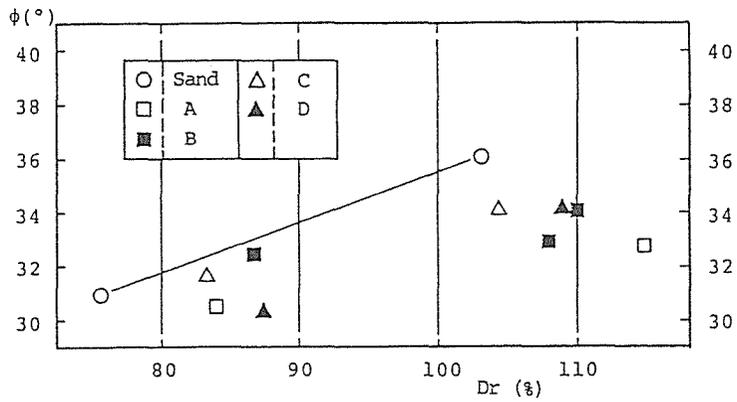
(2) 粘土 : Ic=30%, 70%の粘土について実験した結果をそれぞれ図-8(a), (b)に示す。これらは縦軸にピーク時のせん断応力、横軸に垂直応力をとったものである。図-8(b)で $\sigma=0.5$ (kgf/cm²) における A, B,



(a) $\sigma = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$



(b) $\sigma = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$



(c) $\sigma = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$

図6 相対密度と(砂-グリッド)のせん断抵抗角

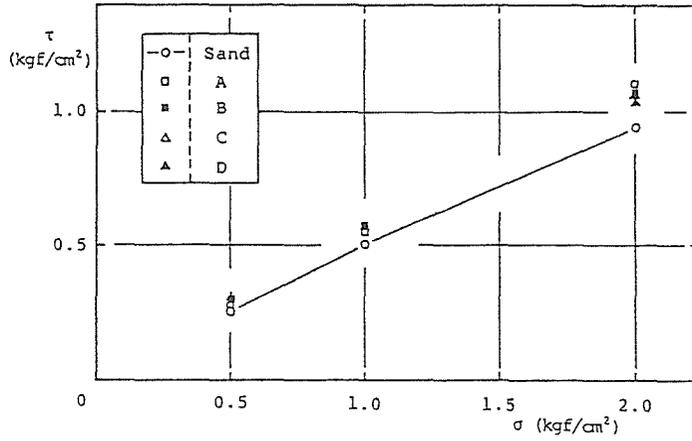
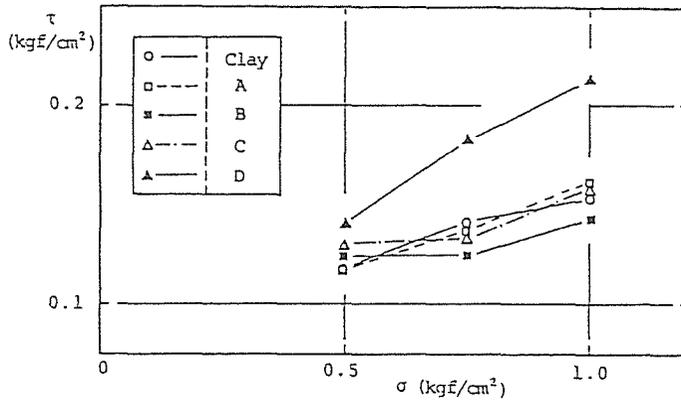


図7 変相点での(砂-グリッド)のτ-σ図



(a) 予圧密圧力 1.0 kgf/cm²

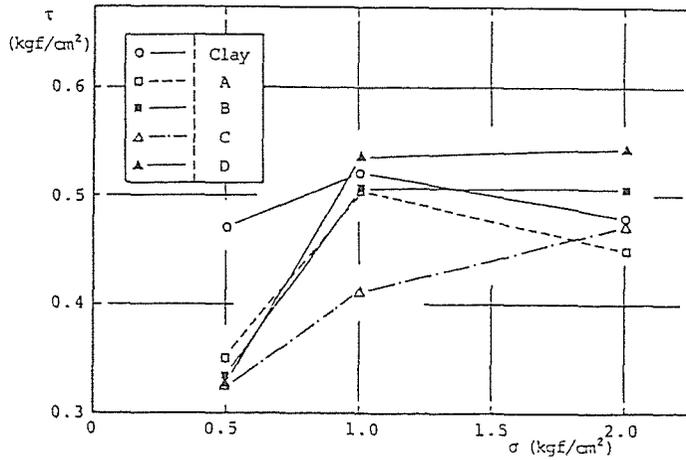


図8 (粘土グリッド)のτ-σ図

C, Dの強度が著しく低下しているのは、粘土が硬いため、グリッドとの噛み合わせが良くないからである。これら2つの図を見ると、ジオグリッドDが常に(予圧密圧力 4.0 kgf/cm^2 , $\sigma=0.5 \text{ kgf/cm}^2$ を除く)一番大きな強度を示し、他の3種類のグリッド間ではほとんど差がみられない。さらにここで表-3を見るとグリッドDは比較的小さな目合いとある程度の厚みを兼ね備えていることがわかる。厚みはCが一番厚く、目合いはBが一番小さいことを考えれば、粘土とグリッドの摩擦抵抗を増大させる影響因子としてどちらか一方が卓越しているわけではなく、双方の兼ね合いが重要であると言える。

4. あとがき

本研究を進めるにあたり、繊維土木開発株式会社より実験材料の提供を受けた。また、本学土岐祥介教授、三浦均也講師には貴重な御提言を頂いた。ここに付記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 青山憲明, 泰永裕之ら: 第23回土質工学研究発表会講演集(昭63), pp. 2163-2164.
- 2) 村田 修, 梅沢俊雄ら: 第23回土質工学研究発表会講演集(昭63), pp. 2169-2172.
- 3) 土質工学会編: 土質試験法第2回改訂版(昭54), pp. 433-458.
- 4) 井上広胤: 土木学会論文集(昭39), Vol. 101, pp. 15-24.
- 5) 岩崎高明: 土と基礎(昭60), Vol. 33, No. 5, pp. 9-13.
- 6) 西形達明, 山岡一三: 第23回土質工学研究発表会講演集(昭63), pp. 2165-2166.
- 7) Robert H. Swan Jr: Geotextiles and Geomembranes 6 (1987), pp. 81-87.
- 8) 宮森建樹, 岩井茂雄ら: 第30回土質工学シンポジウム発表論文集(昭60), pp. 59-62.
- 9) 土質工学会編: 土質基礎工学ライブラリー29 補強土工法(昭61), pp. 235-253, 271-284, 300-310.