



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	セメントコンクリートの諸問題
Author(s)	森吉, 昭博
Citation	月刊建築仕上技術, 32(383), 50-55
Issue Date	2007
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/43187">https://hdl.handle.net/2115/43187</a>
Type	journal article
File Information	moriyoshi.pdf



### 1. セメントコンクリート床版の砂利化現象

セメントコンクリートの床版やアスファルト舗装の第2層目の基層でいずれもセメントペースト分やアスファルト分が全く見られないで完全に「砂利」化していることが15年以上前から米国で指摘されていた。日本でもセメントコンクリートの床版に急に穴が開いてコンクリートの「かけら」が落下する現象が新聞紙上でも話題となったことは記憶に新しい。米国では特にアスファルト舗装の内部の砂利化について検討したものの、原因が不明とされ放置されてきた。日本では車両の最大荷重が20トンから25トンに変更になったとき、全国で3000橋といわれたセメントコンクリートの床版の増し厚工法が一斉に実施された。ここではこれらの床版の上にあった4cm2層(8cm)のアスファルト舗装を剥ぎ取ったとき、アスファルト層の第2層目の基層およびコンクリート床版が一部砂利化していることが現場でよく観察された。(写真—1参照)

## 砂利化現象



写真—1 セメントコンクリート床版とアスファルト舗装の砂利化現象

このようにセメントコンクリート床版に穴があいたり、砂利化する原因はセメント

の専門家ではセメントコンクリートの押しぬきせん断によって生じたとされ、膨大な実験が行われたが、解決しなかった。押し抜きせん断が真の原因であればセメントコンクリート床版のタイヤの当たるすべての箇所にこの現象が生ずるはずであるが、実際はそうではなく、この現象は水の溜まりやすい橋の両端部（橋は真ん中がせりあがって両端部が低く設計されている）またはサグ部（道路の縦断方向でv字状となった一番低い地点）や右カーブの右、左カーブの左とかの水の溜まりやすい箇所に多く発生している。欧州では施工後に橋の裏側から橋の両端部には水が溜まるやすいため裏側から水抜きの穴（直径 5cm 程度）をドリルで開けている。

九州のあるセメントコンクリート床版の増し厚工法の施工があるとの連絡をうけ、小生が担当者に是非見せていただきたいと電話でお話ししましたところ、来て何もありませんよといわれた。丁度現場に到着したとき正にアスファルト舗装の2層を剥ぎ取ったばかりであった。早速コンクリート床版を見せて頂いたが見た目では全く異常は見つからなかった。せっかく遠いところから来たのだからと思い、ハンマーを借りて延長 800m の床版を叩いていった。すると、ある車線だけ約 5 m 間隔に音が鈍くなり、丁度その範囲が直径 1m 程度の円形状となって、かつ直線の延長線状に次々と異常箇所が見つかった。丁度川の下まできたところ、突然コンクリート床版に穴が開き、下の川を下っていた船にそのコンクリートの破片が落下した。早速そのようなセメントコンクリートを持ち帰り、化学分析をしたところ以下で述べる阪神淡路大震災で起こったと全く同じ現象がここでも起こっていることが確認された。すなわち、セメントコンクリートが車両で使っている洗剤（ウインドウオッシャー液）により中性化し、砂利化したことが確認された。この現象は日本全国および世界各国で起こっている現象である。

洗剤によるセメントコンクリートの損傷は ASCE が 30 年以上前に指摘している膨大なセメントコンクリートの損傷のリストの中にも入っていない現象の 1 つである。考えてみると昔のタイル張りの風呂でよくタイルが剥げ落ちることがあったが、これは石鹼がセメントコンクリートを中性化してタイルが剥がれ落ちた現象であり、セメントコンクリートが石鹼（洗剤）に非常に弱いことを示している。

阪神淡路大震災の 2-3 年前の大阪の高架道路（施工後約 20 年）のコンクリート床版でいつもアスファルト舗装と同じ箇所に穴が開くということでアスファルト層を剥ぎ取って床版の調査をしたところ、厚さ 22cm のコンクリート床版は底部まで亀裂だらけでかつ、フェノールフタレン溶液を採取したコアの断面に噴霧するとすべての断面で中性化が確認された。その後、この原因を調査する委員会が作られ、床版を切り取ってセメント量、空隙量、配合等すべて調査したもののこの原因は全く不明とされた。この床版のシュミットハンマーによる強度の測定ではどの箇所も異常に小さかった。小生もこの現象に興味を持ち、この試料を頂いて分析したところ、このセメントコンクリートの内部から真っ黒い有機物と共にウインドウオッシャー液中の洗剤が検出された。

以上の現象から、セメントコンクリート床版の補修で底部から樹脂や鉄板で補強し

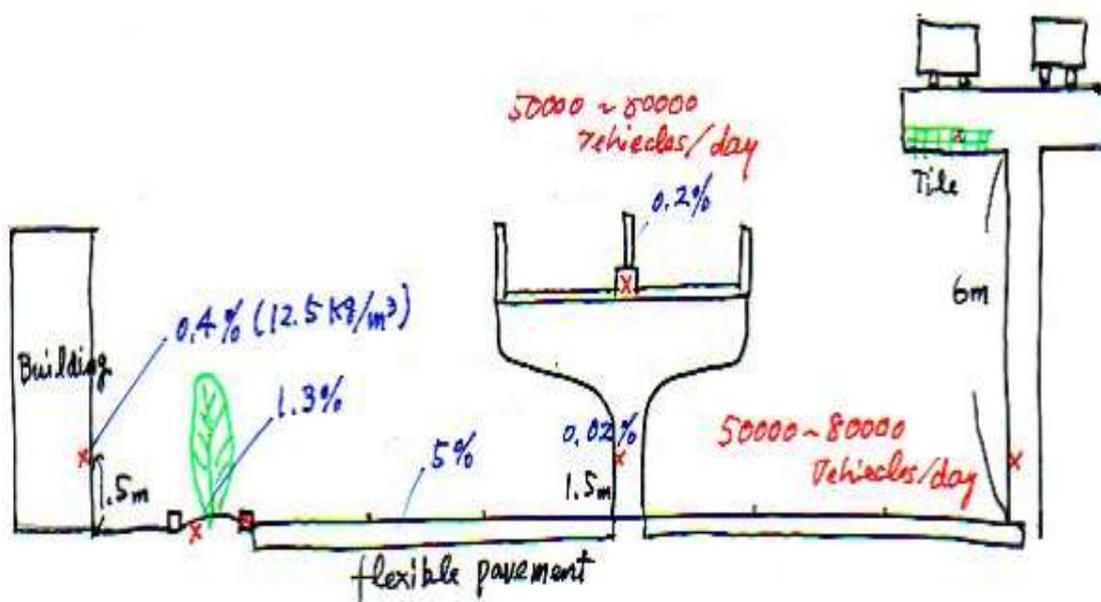
ているのがよく見受けられるが、この工法ではセメントコンクリート内部に浸透した水をさらに閉じ込め、セメントコンクリートの損傷をさらに促進する可能性が高いと思われる。

## 2. 阪神淡路大震災時のコンクリート構造物の損傷

阪神淡路大震災の場合、建物、高速道路、高速軌道等が地震で軒並み破損した。しかし、このときのセメントコンクリートが細かく破損した原因については一切コンクリート研究者から報告されていない。地震が原因のすべてであるため必要ないとされた。小生はこのコンクリート構造物の破損が直径 10cm 程度のブロック状となり、橋脚も上から下まで全面で表面からコンクリートが剥落し、ロスアンゼルスや釧路等で起こった地震時の破損とは全く異なっていることをテレビニュースで知った。後者のコンクリート構造物の損傷はせん断破壊であり、斜め方向に柱が刃物で切られたように分離するのに対して、前者はコンクリートが粉々の状態であった。地元で毎日この橋脚を観察していた方に尋ねたところ、これらの橋脚や構造物は地震前から直径 10cm 程度の細かい幅の亀裂がみられ、それらはアルカリ骨材反応独特の樹枝状形態とは全く違っていたとの報告を小生は受けている。

この方に破損したセメントコンクリートの残骸を 30 箇所程度集めていただき、化学分析したところ、多い箇所ではセメントコンクリート 1 m<sup>3</sup> 当り 12.5kg 相当の有機物が出て、かつその抽出液は真っ黒であった。(図—1 参照) 当然ウインドウオッシャー液中の界面活性剤もすべてのコンクリートから確認された。当時このようなことを言ってもだれも信用して頂けなかったが、その後この論文(石油学会誌、45 巻、第 2 号、pp84-88, 2002 年)は神戸の震災博物館から寄贈要請があり現在ここで保管されている。

# コンクリート中の有機物の量



図一1 各種セメントコンクリート構造物および土中の有機物の含有量 (%)

図一1に示すようにアスファルト舗装中のアスファルト量が通常 5%程度であることを考えると街路樹の土（植樹帯）の 1.3%、および高架道路の中央分離帯のセメントコンクリート構造物中（施工後 30 年）の 0.2%、道路に向けた建物の表面近くでの 0.4%の有機物含有量は異常値といえる量である（いずれもセメントコンクリート 1m<sup>3</sup>当りの有機物量）。ここで x 点として示した箇所 6 箇所のすべてのセメントコンクリートから洗剤成分が検出された。図-1 で示した右側の高架道路の外壁のセメントコンクリートは表面がタイルで全面覆われていたが、内部のセメントコンクリートはすべて 3-4cm の深さまで中性化していた。

ウインドウオッシャー液中には界面活性剤が 0.5%混入されている。この 0.5%の界面活性剤の水溶液に健全なセメントコンクリートをただ漬けるだけで、「瞬時」に透明な水溶液が白濁し、活性剤中のナトリウムがカルシウム分と置き換わってカルシウム分が溶出することは室内でも容易に確認できる。セメントコンクリートの炭酸ガスによる中性化は岸谷式によると 20 年で 5mm とされているが、阪神淡路大震災でのコンクリートはすべてこれより 1 桁大きく 4-5cm（30 年経過）であることを考えると、洗剤によるコンクリー

トの中性化現象の速度が炭酸ガスのそれより1桁または2桁程度(中性化が15cmの箇所も見られた)速く、かつ容易にコンクリートの内部まで中性化が進行すると推測される。雨天時にアスファルト舗装の上に雨が落ち、その上を車両が通行する場合、白い泡と黒い水がすべてのアスファルト道路(外国も同様であり、この現象が同じ洗剤で起こっていることが確認されている)で観測される。この白い泡が洗剤であり、黒い水が洗剤で溶けたアスファルトである。

### 3. ブリスタリングと水の貯留

日本の滑走路はほぼアスファルト舗装で施工され、その厚さはアスファルト層だけで80cm程度である。このアスファルト舗装の中で2つの現象が同時に起こっている。それは第1層の表層と第2層の基層との界面に水が溜まって、この水が夏季に水蒸気に変化して表層部だけが膨れ上がるブリスタリング現象(アスファルトの表層部が直径30-40cmの範囲で高さ3-4cmの高さで夏季に膨れ上がる現象)とアスファルト混合物層の内部で砂利化現象が全面で生じていることである。このようなブリスタリングや砂利化現象は滑走路だけでなく、水利構造物、高速道路、国道等多種の構造物でも発生している。

セメントコンクリートもアスファルト舗装もいずれも水が舗装の上部、または舗装の下部から浸透し、このような現象が生じるとされ、種々の実内実験が国内外で行われた。しかし、アスファルト混合物でこのような現象の発生した混合物の透水係数は $10^{-7}$ - $10^{-8}$  cm/secであり、水が常時この上にあっても水の浸透には2-4年かかることになるため、小生は水そのものが直接混合物内に浸透したとは考えられないと感じていた。

そのころ電力関係の方と話をしていた6000Vのビニールで2重被覆されてケーブル内にも水が溜まっているとか、損傷したMIケーブル(Mineral Insulated Cable: 直径6mm程度の電熱線の1種で内部にニクロム線が6本入ってその周囲に粉末の断熱材その周囲はステンレスで被覆されている)にも水が垂れるぐらい入っているとか、今までの常識では考えられない現象が次々と報告されていた。後者の場合MIケーブルを切断して水中に長期間浸漬してもこのように水が垂れるぐらいケーブル内部に浸透しないことは確認されている。

道路調査で温度測定を1年中行うため計器をボックスに入れ、完全密閉して、土の中に埋め、春先このボックスを開封するとこのボックス内には水がたっぷり溜まっていることがしばしば確認される。これも水が直接ボックス内に浸透したとは思えない。

小生はこれらの種々の現象を踏まえて、水ではなく湿気が浸透した可能性が高いと考え、その考えを応用物理の先生に相談にいったところ、ビニールも湿気は透過しますよ、オングストローク単位の細かい穴を介して湿気は簡単に入りますからねと言われ、小生もこれにより水ではなく湿気がセメントコンクリートに浸透したとの確信を得た。

### 4. 透湿度

世界共通の材料の透湿度の測定方法は2つの同じ温度の部屋の境界に未知の物質を

置き、両部屋の湿度を変えて時間経過と共にこの物質の湿度の通過量から透湿度( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ )を測定する。この方法は両方の部屋の温度が一定であるため、実際の建物や構造物ではこのような両側の部屋の温度が等温であるという条件とは全く異なるものである。必ず、上下、または左右の温度か、または湿度が異なっている。この実験方法では透湿度は測定できるが肝心の貯留水分量が測定できない。

建築の分野ではこの透湿度が断熱性を考える上で重要なファクターとされており、透湿度の小さな物質で断熱材の周りを被覆すればよいという「間違った考え」が定着している。透湿度の小さな物質で断熱材を覆うと、断熱材内部に湿気が溜まり、断熱効果は半減することが室内実験ですでに確認されている。これはこの測定法が両部屋共同じ温度でかつ両者の温度の位相差も考えていないこと、ビニールのような素材は水を通さないと信じていることが原因である。事実ビニールは水は通さないが、湿気は簡単に浸透する。実際の建物の場合でも外と内部の温度差だけでなく、位相差もあり、湿度も両者異なることを考えると、大変複雑な条件で建物の断熱材は被覆されて施工されていることになる。

雨天でまたは運動時に蒸れない衣服という宣伝で流行している衣服の素材は透湿度が極めて大きい。この場合、人体の温度（内部）がいつも一定であり、外気温（外部）が異なるという、建物とは全く条件が異なっていることに留意すべきである。

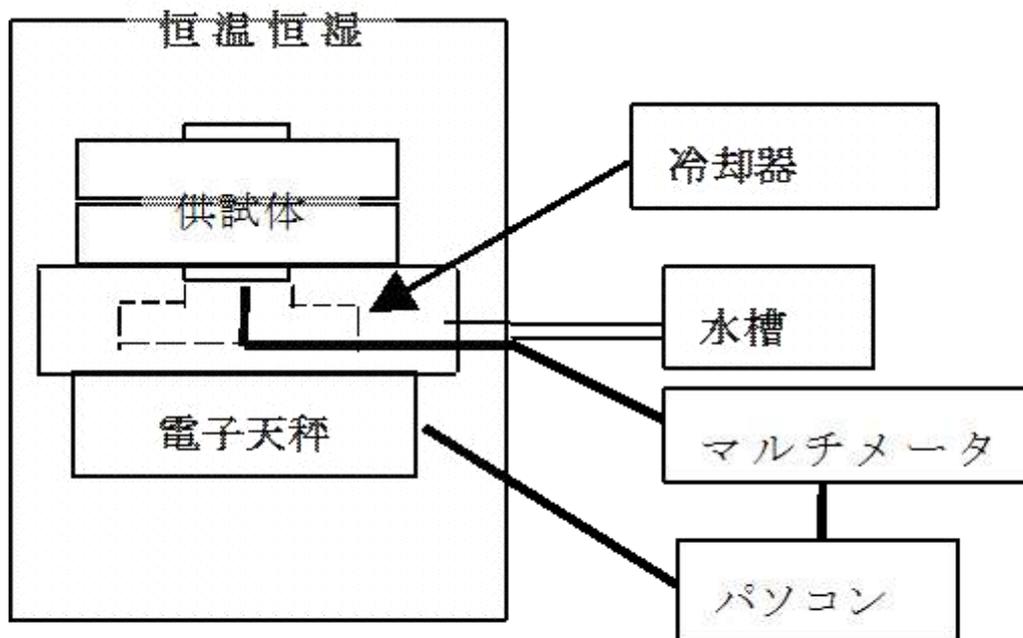
このため新しい装置（非定常透湿試験装置：以下で詳述）を作成するに当たって、滑走路でブリスタリングが発生した外気温、ブリスタリングが生じた舗装の内部温度、外部の相対湿度をすべて現地と同じとして、かつ試料もその現場で採取したものを使用した。種々の実験で分かったことは試料の上下の温度が同じ場合より別々の温度、特に両者に温度の位相差がある場合、この湿度が簡単に試料内部に浸透することが分かった。当然ながら夏季でなく春や秋の条件でも実験したものの、この条件ではほとんど試料内部に水が溜まらなかったが、夏季の条件では1日でも1200gの試料で10g程度の水が溜まることが確認された。日本のように高温かつ高湿度の条件のもとではこの湿度対策は極めて重要な研究の1つと言える。

## 5. 非定常透湿試験装置

0.2m<sup>3</sup>程度の大きさの恒温、恒湿槽でかつ、これらの温度および湿度がプログラムで制御できるものを用意し、この槽の内部に電子天秤を置き、この上に薄い冷却装置を置き、その上に直径30cmの直径10cmの穴の開いた厚さ12cm程度の断熱材と試料を挿入したもの、（これら全体を試料を呼ぶ）を用意した。試料底部の冷却装置は外部の冷却装置と連結し、この温度もプログラム制御できるようにしたものが非定常透湿試験装置である。（写真-2、図-2,3参照）この装置は物質の1次元の非定常透湿試験用装置として小生が考案したものである。



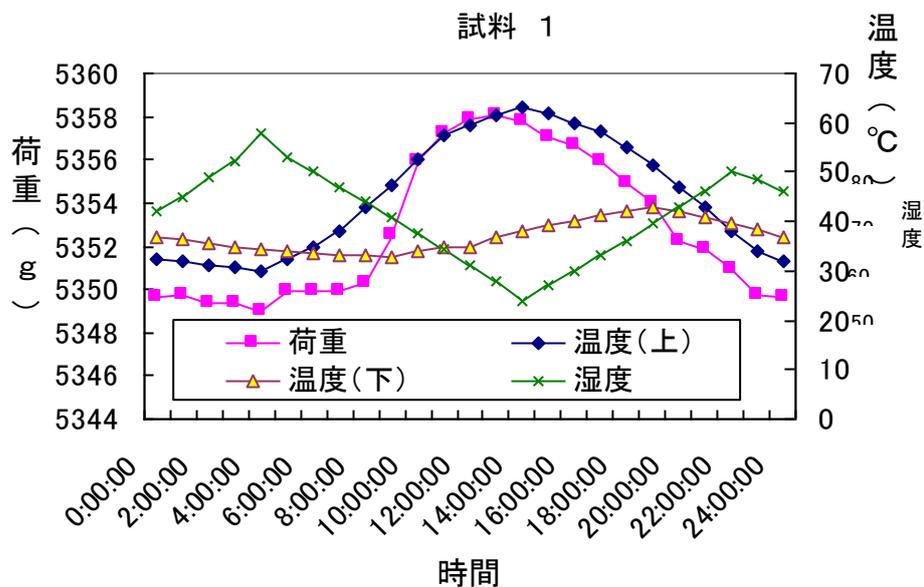
写真一2 非定常透湿試験装置



図一2 非定常透湿試験装置の概要

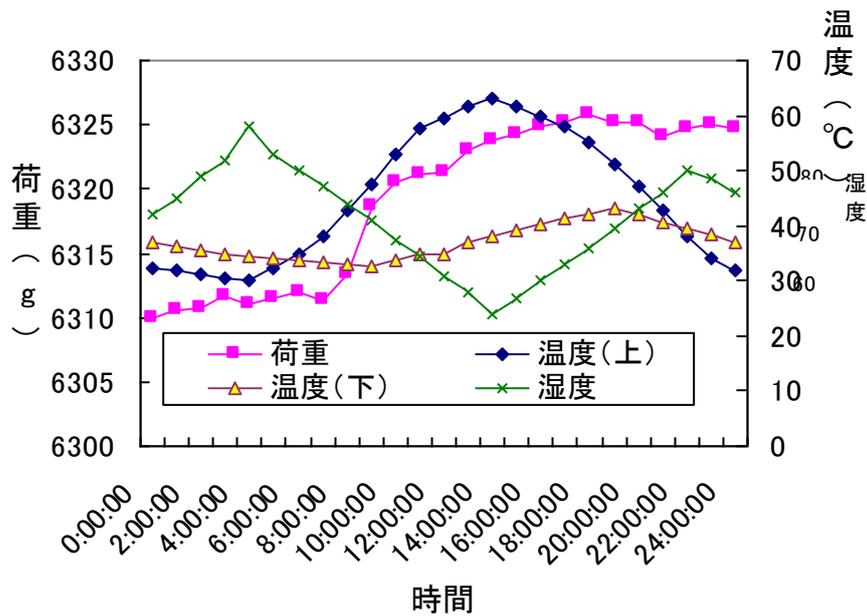
電子天秤の最小読みは 0.01g とし、試料の上部の温度および相対湿度、試料底部の温度はともにプログラム制御し、天秤上の試料の重さ変化は電子天秤で測定し、重さ変化がすべて水分の変化として解析した。(図一2,3 参照)

図-3, 4 は滑走路から取り出した試料と国道から取り出した試料の実験結果の比較である。ここで菱形は外気温、三角は試料底部の温度、x マークは相対湿度、四角は試料全体の重量変化をそれぞれ示している。国道から採取した試料 1 の場合は、朝 10 時頃から湿度（水）が増加し、午後 2 時頃極大に達した後、徐々に減少する。これに対して、ブリスタリングが発生した箇所の滑走路から採取した試料 2 では重量の増加する時間は前者と同じであるが、夕方 6 時頃まで重量は増加する。ここでは外気温と試料底部との温度位相差の時間が 6 時間である。この位相差は使用する素材や厚さに依存する。



図一3 国道から採取した試料の夏季の非定常透湿度試験の結果(試料 1)

## 試料 2

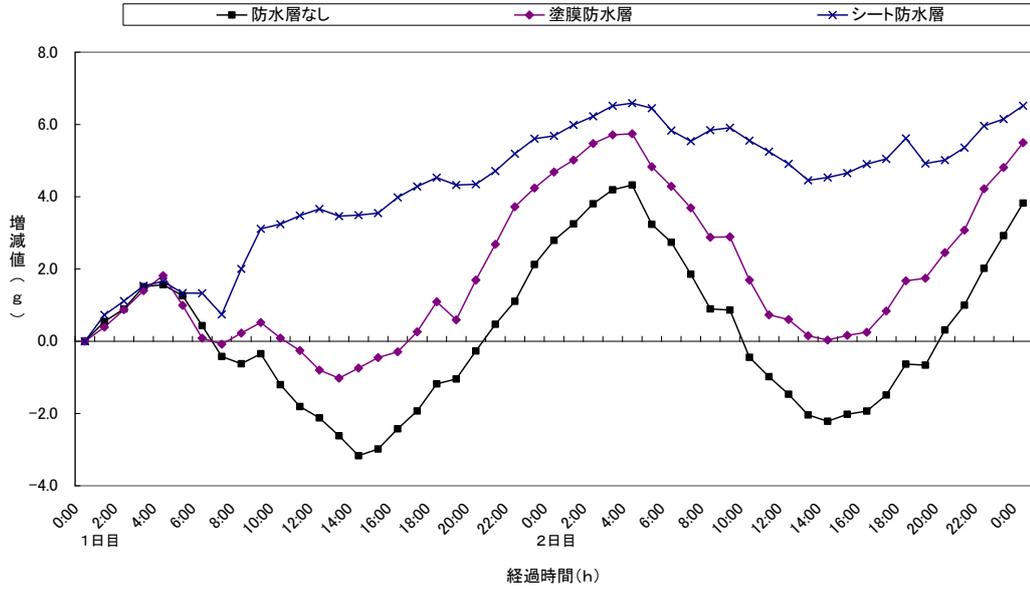


図一4 滑走路から採取し、プリスタリングが酷い箇所の夏季の非定常透湿度試験の結果  
(試料2)

これよりよりアスファルト量の多い滑走路では国道のそれより水が舗装の内部に溜まりやすいことが分かる。水は試料の底部において水滴として溜まっていることが試料底部のビニール越しに観察される。この図面では24時間の1回の実験であるが、この波形を用いて繰り返し実験すると水の量は繰り返し回数に比例して増加する。

### 6. セメントコンクリート床版の防水

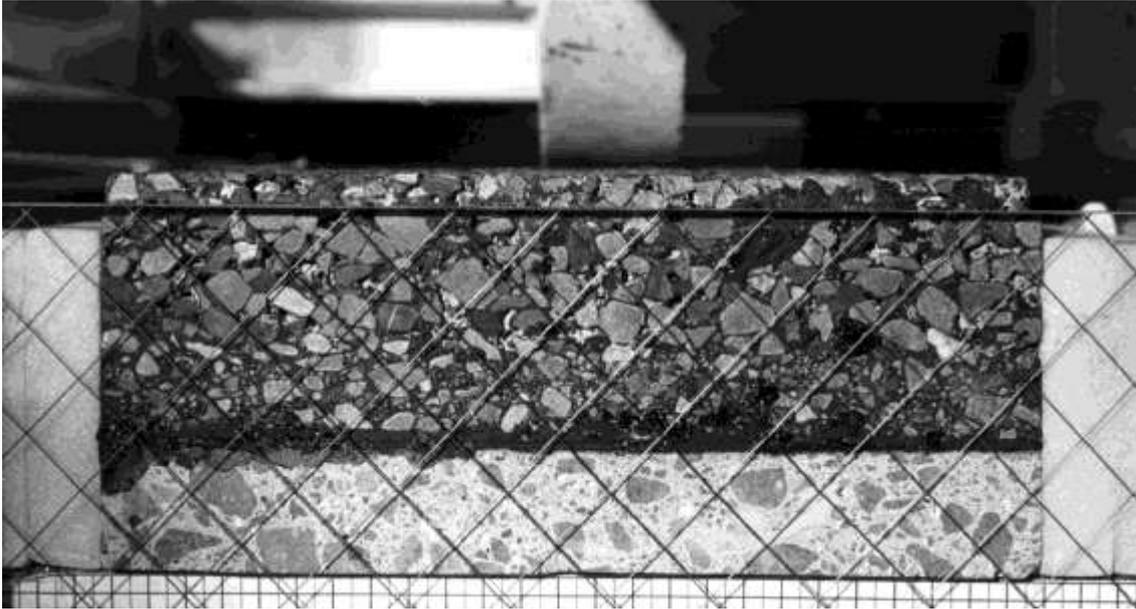
コンクリート床版上に2層のアスファルト舗装があり、かつその境界面で防水層がある場合(2ケース)、ない場合の3ケースについて同じ実験をしたところ図一5が得られた。ここでの実験条件は先に述べたと同じ夏季の条件であり、ここではセメントコンクリート床版の厚さは実験上4cmとした。シート防水や塗膜防水の場合は水が溜まりやすいことがこの実験から実証されたので、セメントコンクリート上の防水工法は再検討の必要があると思われる。



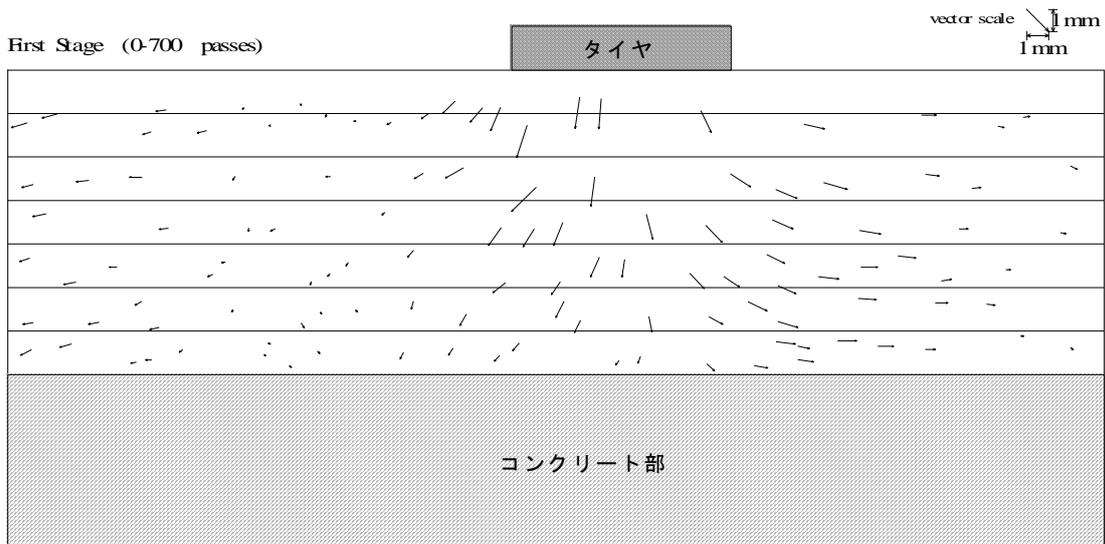
図—5 3種類のコンクリート床版の防水工法に於ける水分の貯留の程度

これより防水層が境界に設置されるとこの界面には水が溜まりやすいことがわかった。また、この試料で室内実験で 45°Cの表面温度、セメントコンクリート床版の底部で 30°Cと上下面での温度差で混合物内の温度勾配を付けて側面から 35mm カメラで写真を取り（写真-3参照）、この断面で見える 2mm 以上の大きさの骨材の動きを画像処理を用いて測定すると、防水層がある場合、境界でのアスファルト層底部の動きが大きく、防水層が破れる可能性があると思われるほど骨材の移動量（図-6の右上に移動量を表示）が大きかった。（図—6参照）ここではタイヤ走行が 700 回のごく短い実験ではあるが、短時間でもこのような結果が得られている。防水層を施工した場所で数年経過した現場ではこの防水層

のシートが破れていた。



写真—3 防水層のある場合のホイールトラッキング試験中の骨材移動量の測定



図—6 防水シートを設置した場合のアスファルト混合物の骨材移動状況

ドイツではコンクリート床版の上面は緩やかなV字型とし、このVの先端部では5m置きに、直径2cm程度の水抜き穴がコンクリートスラブを貫通して開いている。またこの設計はドイツの橋では標準仕様であった。この話をベルギーの土木の教授にしたところそれはヨーロッパでは常識ですよと言われ、日本では聞いたことがないという日本はアメリカの真似をし過ぎていると厳しく批判され、カルチャーショックを受けたことを覚えている。日本では力学的および経済的合理性に優れたものが優れた設計としてもてはや

されているが、構造物は 50 年以上メンテナンスフリーであり、かつ長寿命となるものが本来の設計であると筆者は考えている。しかし、一般論でいえば橋の補修費で嵩むのは橋のペンキ代ではなく、橋の上のアスファルト舗装の補修費であり、一般土工部の舗装の補修費の 3 倍以上の経費（30 年）が掛かり、その費用は橋のタイプによって極端に違っていることは発注者はよく認識すべきであり、この考えを今後の橋の設計に活かすべき時期であると筆者は考えている。

セメントコンクリート床版の上に必ずアスファルト舗装を 2 層で施工する。経年変化と共にこの境界層に水分が貯留することとなり、アスファルト層は剥離しやすくなる。当然施工直後ではアスファルト舗装とセメントコンクリート床版は接着されているが、時間経過と共に湿気と水の影響で表面の素材が剥がれやすくなる。このことはセメントコンクリートの補修材として種々の樹脂や他の素材を使用する場合、初期に接着強度があっても時間経過と共に剥離する可能性が高いため、単に初期の接着強度だけでなくこのような補修材の「呼吸」の程度も考慮すると、長寿命の構造物の補修ができることとなる。

図-5 で述べたセメントコンクリート床版とアスファルト舗装の境界に何も設置しない、いわゆる無処理の試料から直径 10cm のコアを採取し、この試料の表面のアスファルト混合物の表面に洗剤を置いて、図-3, 4 と同じ条件で繰り返し実験を行い、50 回の繰り返し後に試料を取り出し、セメントコンクリート床版にフェノールフタレン溶液を吹きかけたところ、コンクリートの一部で中性化が観察された。これより洗剤が 4cm 2 層のアスファルト混合物層を通してセメントコンクリート内部まで浸透し、セメントコンクリートの中性化を引き起こすのは湿気が介在して生じると考えられる（石油学会誌、49 巻、第 6 号、pp315-320,2006 年）。

## 7. セメントコンクリートおよびアスファルト舗装の「呼吸」

広島原爆ドームは約 20 年前に損傷したセメントコンクリートの上を樹脂で接着し、補修したものの、最近この樹脂が剥がれ落ちて困っているということを聞いているがこれもセメントコンクリートが補修材の樹脂のため「呼吸」できなくなり、セメントコンクリートと樹脂の界面に湿気または水が溜まり、樹脂が剥離したと考えられる。

元来、木材は「呼吸」することでよく知られているが、アスファルト舗装やセメントコンクリート構造物も「呼吸」して内部に湿気を浸透させたり、吐き出したりし、これがある場合には水分の貯留に繋がることを示した。現在都市のヒートアイランド現象をシミュレーションで行い、都市の高温化の原因がアスファルト舗装等の夏季の加熱作用として一般に理解されている。しかし、このシミュレーションではアスファルト舗装がこのような「呼吸」をしていることは全く考慮されていないため、この作用を考慮するとまたシミュレーションの結果が異なってくると想像される。

最近アスファルト舗装を突き破って大根が生えてきたとか植物が目を出したというニュースが新聞を賑わしている。これはアスファルト舗装から見ると、アスファルト舗

装は氷のような粘弾性体であるため、ゆっくりした力にはほとんど抵抗力がないことと、また「呼吸」すること、すなわち、空気も水もアスファルト舗装の底部にこれらが浸透することで存在し、温度も適当にあることなどが原因でこのようなことが起こっていると想像される。