

論文

道路橋床版防水層の健全性評価方法に関する研究

三浦康治\*, 橋本雅行\*, 榎園正義\*, 小野秀一\*\*, 岩生知樹\*\*\*, 洲崎尚樹\*\*\*\*

\* (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 (〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154)

\*\* 博 (工), (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 (〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154)

\*\*\* (株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

\*\*\*\* (株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

道路橋床版の防水層は、アスファルト舗装とコンクリート床版に挟まれた部分に位置することから直接目視等により点検する事は不可能である。そのため、防水層の健全性の評価には、一般に路面上の舗装の変状や降雨後、防水層の機能喪失に伴う漏水を床版下面から目視で観察する間接的な方法を実施しているが、防水層の健全性を非破壊で的確に確認できる点検・検査技術の開発が望まれる。本稿では、舗装とコンクリート床版との電気抵抗の変化に着目した計測システムを考案し、防水層の防水効果を実験的に検証した結果を報告する。

キーワード： 道路橋床版, 防水層, 健全性評価, 電気抵抗

1. はじめに

近年、橋梁やトンネル等に代表されるインフラ構造物の老朽化が社会問題となっており、モニタリングによる状態監視や健全性の評価が重要な課題となっている。現在は、予防保全の重要性が認識されている中で、課題解決に向けた多くの取り組みが異分野技術の利用を含め活発に行われている。

道路橋床版は、コンクリート床版、防水層およびアスファルト舗装の三層一体の構造となっており、水等の劣化因子をコンクリート床版に到達させないことが基本となっている。床版防水層は、アスファルト舗装とコンクリート床版に挟まれた部分に位置することから直接的に目視等により点検する事は不可能である。そのため、床版防水層の維持管理手法としては一般に、路面（舗装の変状）や降雨後に床版下面の状態（防水層の機能喪失に伴う漏水）を目視で観察する間接的な方法を実施している。ここで一部の現場においては、防水層の損傷による水の浸入がみられることから、供用中の路線において防水層の健全性を非破壊で的確に確認できる点検・検査技術の開発が望まれている。

そこで、床版防水層の防水効果の有無を非破壊で評価する手法として、コンクリート床版の水分量を凹凸面でも精度良く測定可能な電気抵抗式水分計<sup>1)</sup>を応用し、舗装とコンクリート床版との電気抵抗の変化に着目した防水効果判定システムを考案した。本稿では、著者らが

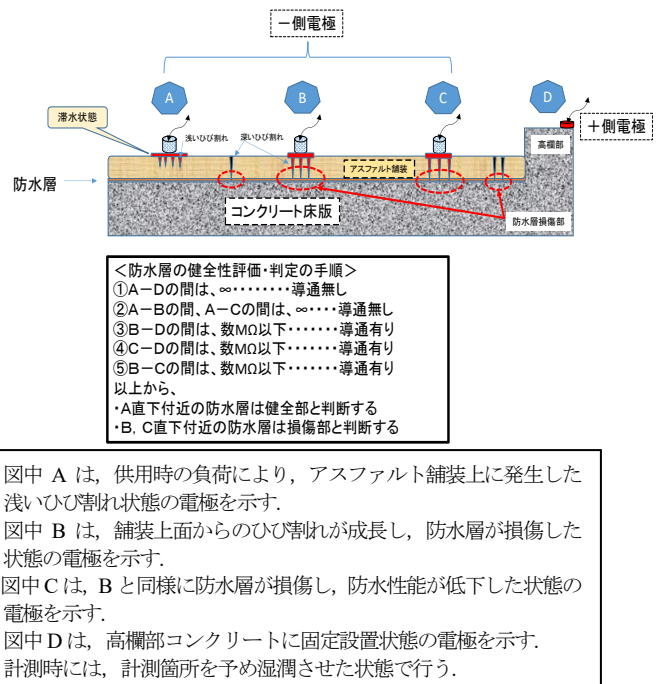


図-1 防水効果判定システムの原理

これまで実施した実験的研究<sup>2)3)</sup>の成果を整理するとともに、実用化に向けて実施した検証実験結果について報告するものである。

2. 防水層の防水効果判定システム

防水層の健全性を判定する防水効果判定システムの

原理を図-1 に、各構成部材の電気抵抗の目安は表-1 に示すとおりである。表中①と④は電気を比較的良く通す伝導体であり、②、③は電気を全く通さない絶縁体である。ここで、アスファルト舗装上面からのひび割れが発生・成長し、次いで防水層が損傷した場合には、損傷箇所から水分が浸入することから、電気の導通が容易となり、電気抵抗値が極端に低下することで防水機能の喪失が判定可能とするものである。

本システムに使用している電気抵抗式水分計は、電気抵抗値を計測し、図-2 に示す検量線により算出した電気抵抗換算値（以後、カウント値と称す）を表示可能な計測器である。本水分計で計測可能な電気抵抗は最大約820GΩでカウント値10、最小値10kΩでカウント値990の範囲となり、測定範囲のカウント値表示は10～990となる。

本判定システムは以下に示す特長がある。

- レンジ切り替えなしで測定ができ、測定範囲が電気抵抗値の範囲（数十kΩ～2000MΩ程度）以上であることから表-1 に示す材料で適用可能
- 測定バラツキが小さく、再現性のある安定した測定が可能
- 計測員の安全に考慮し、印加電圧が比較的 low、安全に使用可能
- 実橋での計測を考慮すると、ポータブルタイプ、かつ小型な計測器で取扱いが容易

### 3. 測定距離がカウント値に及ぼす影響

開発した判定システムのセンサー間の測定距離がカウント値に及ぼす影響を把握することを目的として基礎実験を実施した。

基礎実験においては、3車線以上の幅員の実橋における適用を想定して、防水層が施工されていないコンクリート構造物上で測点距離10m以内での計測が可能であるかを確認した。

#### 3.1 実験概要

試験体は、実物大のコンクリート構造物として、以下に示す2種類の試験体を対象とした（写真-1参照）。ここでは、コンクリート単体での適用性を確認するため、アスファルト舗装や防水層が施工されていない試験体を使用した。

- PC桁試験体（全長約18m、端部～10mの区間、試験棟内設置、湿潤状態）
- コンクリート舗装（延長10m区間、晴天が3日以上続いた乾燥状態）

測定方法は、片側を固定側の電極（+）とし、もう一方を移動側の電極（-）として1～10mまでの区間を1mピッチで計測した。また、測定条件として、両電極部下面には布を設置した上に界面活性剤入りの水を十分に散

表-1 材料の種類と電気抵抗の目安

材料の種類	電気抵抗の目安
① コンクリート床版	数十kΩ～数MΩ
② 防水層(塗膜系, シート系)	2000MΩ以上の絶縁物
③ アスファルト舗装	2000MΩ以上の絶縁物
④ 雨水等の水	数十kΩ程度

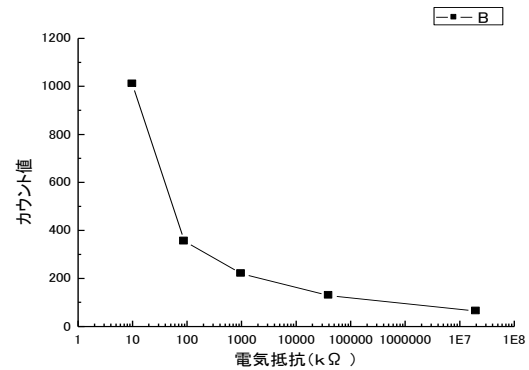


図-2 電気抵抗とカウント値の関係

布させ、測定するコンクリート表面と電極間を湿潤状態とした。

### 3.2 実験結果と考察

#### (1) PC桁試験体

湿潤状態のPC桁試験体コンクリートの桁軸方向のカウント値は図-3 に示すように、測定距離1～10mの間は511～825の範囲と大きく、PC桁のコンクリート表面は通電状態であると考えられる。また、測定距離とカウント値との間には相関は認められない。また、測定距離6～8m区間のカウント値が623～825と局部的に高くなった。この要因としては、この範囲にはひずみゲージ養生用のビニール袋が設置されており、この範囲の表面が部分的に高い湿潤状態となっていたものと考えられる。

以上のことから、湿潤状態にあるPC桁コンクリート表面のカウント値は511～825の範囲となり、測定距離とカウント値との間には相関は無く、測定距離の影響は認められない。

#### (2) コンクリート舗装

図-3 に示すように、屋外にある乾燥状態のコンクリート舗装上のカウント値は、コンクリート舗装の測定距離1～10m区間では、カウント値は324～373の範囲でほぼ均一な値となり、測定距離とカウント値との間に相関は認められない。また、コンクリート舗装の測定距離4.8m、9.7mの2箇所にコンクリート打継ぎの目地部があるが、カウント値に及ぼす影響は認められない。これらの結果から、乾燥状態では、370以下のカウントとなった。

### 3.3 まとめ

以上より、以下の2点が確認された。

○湿潤状態の PC 桁試験体コンクリートのカウント値は 511~825, 乾燥状態のコンクリート舗装のカウント値は 324~373 となり, カウント値は, 湿潤状態になるほど大きくなることが確認された。

○両試験体ともに, 測定距離とカウント値 (電気抵抗換算値) との間には相関が無く, 測定対象がコンクリートであれば, 電極間の測定距離の影響を受けず, 計測が可能であることが確認された。



(a) PC 桁試験体 (b) コンクリート舗装全景

写真-1 試験対象

#### 4. 欠損寸法とカウント値の関係

供用下の防水層は, 局部的に大小様々な損傷 (ピンホール, 劣化等) が生じる場合があり, 定期点検時にその変状範囲を特定することは, 維持修繕計画を計画する上で重要な情報となる。

本研究では, 切出し床版上の健全な防水層に, ドリル削孔によりサイズの異なる欠陥部を設け, その位置を湿潤させてカウント値を測定し, 欠損寸法とカウントの関係の確認を行った。

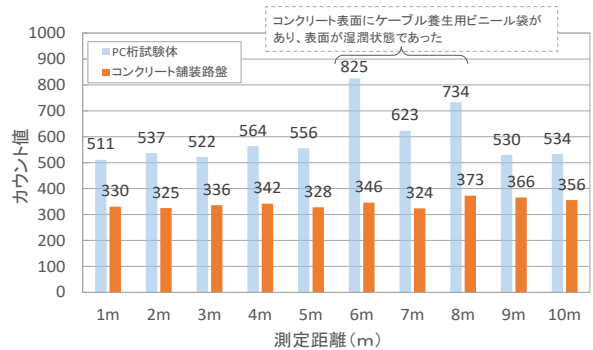


図-3 測定距離とカウント値の関係

##### 4.1 実験概要

本実験では, 欠陥部のサイズがカウント値に及ぼす影響を把握するため, 欠損のない健全な防水層が設置されている切出し床版上面から, 防水層にドリル削孔 (孔径  $\phi 1.0 \sim \phi 5.0\text{mm}$ ) により損傷を与え, その位置を水で濡らした状態でカウント値を測定した。

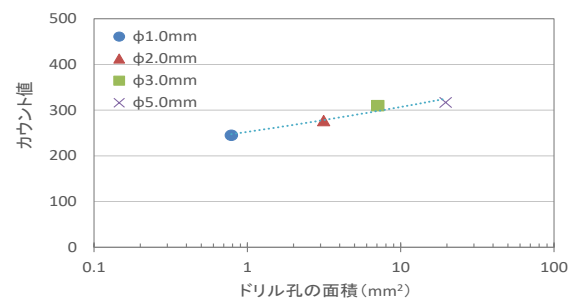


図-4 ドリル直径 (孔の面積) とカウント値の関係

##### 4.2 実験結果と考察

防水層を削孔したドリル径とカウント値の関係を図-4 に示す。この図から, ドリル径  $\phi 1.0\text{mm}$  でカウント値は 245,  $\phi 2.0\text{mm}$  で 277,  $\phi 3.0\text{mm}$  で 310,  $\phi 5.0\text{mm}$  では 311 と, ドリル径が大きくなるにつれてカウント値も増大し, 片対数グラフ上, ドリル孔の公称面積とカウント値には, 正の相関が認められる。従って, 防水層に 1mm 以上の欠損がある場合, カウント値の測定により, 防水層の損傷の大小を把握することが可能であると考えられる。

表-2 切出し床版試験体の種類

試験体	防水層の種類	負荷の履歴	床版上面の状況
床版 No.1	塗膜系 (従来型)	供用後 (負荷有り)	・施工目地部 ・ひび割れ部 ・貫通穴部
床版 No.2	シート系 (従来型)	供用後 (負荷有り)	・ひび割れ部
床版 No.3	シート系 (高性能型)	防水工 試験施工 (負荷無し)	・防水層のみ ・コンクリート部 ・削孔部

#### 5. 切出し床版における防水効果判定の試行

防水層が設置されている実橋からの切出し床版を用いて, アスファルト舗装上面と床版コンクリートとの間のカウント値の変化を測定することで, 防水効果の有無を判定可能かどうかの確認実験を行った。



(a) 床版 No. 1 (b) 床版 No. 3

写真-2 カウント値の測定状況

##### 5.1 実験概要

試験体は, 表-2 に示す種類の異なる防水層が設置されている切出し床版試験体 3 体とし, カウント値を測定した。カウント値の測定では, コンクリート面を固定側の電極とし, もう一方を移動側の電極として, アスファルト舗装上面を横断方向に 0~4.5m までの測定区間を 0.5m ピッチでカウント値の測定を行った。また, 計測で

はアスファルト舗装の一般部の他に, 施工目地部, ひび割れ部, およびコンクリート部等に着目した測点を設定した。

さらに, カウント値測定後, カウント値の大小異なるコア 3 本を選定し, 防水性試験 II<sup>4)</sup> を実施した。

## 5.2 実験結果と考察

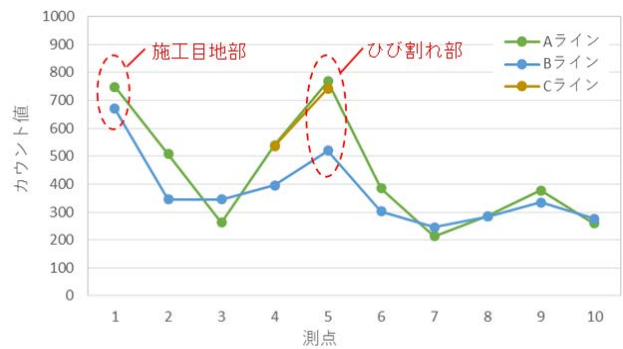
### (1) カウント値計測結果

切出し床版のカウント値の測定状況例を写真-2 に、切出し床版No.1～No.3の測点A～Cラインにおけるカウント値を図-5に、各測定位置におけるカウント値を図-6に示す。

- ①床版 No.1 (塗膜系；従来型) で測定されたカウント値は、舗装一般部では214～540、施工目地部では670～749、ひび割れ部では520～768であった。つまり、ひび割れが生じているような変状部のカウント値は、420以上になると考えられる。
- ②床版 No.2 (シート系；従来型) で測定されたカウント値は、舗装一般部では174～707、部分補修箇所施工目地部に入ったひび割れ箇所では664～810であった。なお、舗装一般部のカウント値のバラツキは、防水層の防水性能が保持されている箇所と喪失した箇所が混在しているためと考えられる。一方、ひび割れが生じている箇所のカウント値は、試験体 No.1と同様に大きくなることが確認された。
- ③床版 No.3 (シート系；高機能型) のカウント値は、舗装されていない防水層上 (測点 A9) では77、舗装一般部でも92～107 (端部 A2は127)であった。一方、防水層が施工されていないコンクリート部のカウント値は672であった。このことから、防水性能が保持された健全な状態のカウント値は概ね200以下、防水層が設置されていない、つまり、防水性能が完全に喪失した状態のカウント値は670程度であると考えられる。

表-3 コア試験体とカウント値の測定結果

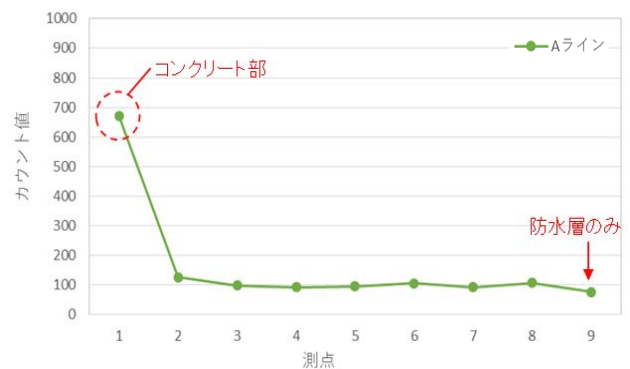
試験体	コア(位置)	カウント値	漏水確認結果
No.2	No.16 (C4)	176	漏水無し
	No.17 (A3)	616	漏水有り
No.3	No.19 (A7)	92	漏水無し



(a)床版 No.1 (供用後；負荷有り)



(b)床版 No.2 (供用後；負荷有り)



(c)床版 No.3 (未供用；負荷無し)

図-5 測点位置とカウント値の関係

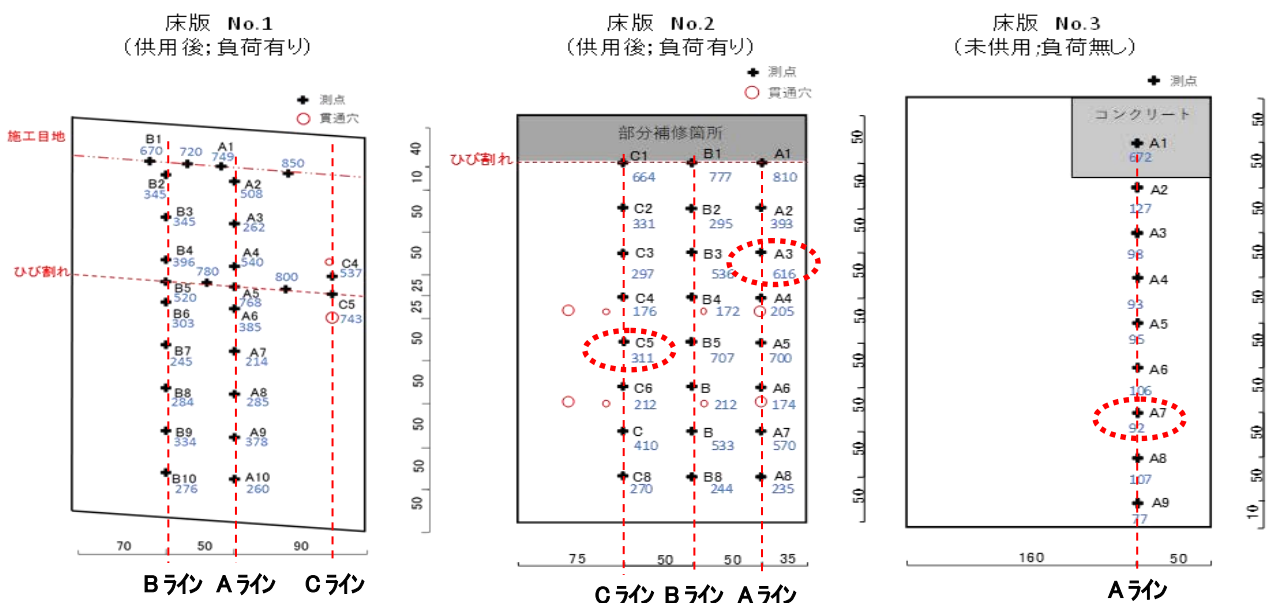


図-6 測定箇所とカウント値 (青数字はカウント値、赤丸はコア試験体による防水性試験Ⅱの実施箇所)

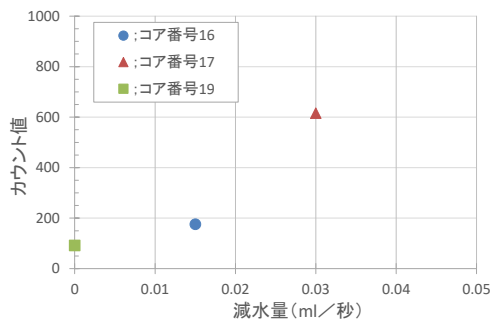


図-7 減水量とカウント値との関係

## (2) 漏水の有無とカウント値の関係

採取したコアの防水性試験Ⅱ<sup>4)</sup>の結果を表-3に、試験時に計測した減水量から時間(秒)当たりの減水量に換算し、減水量(ml/秒)とカウント値との関係を図-7に示す。コア番号16(カウント値176,漏水無し)の減水量は10分間で約9mlであり0.015ml/秒,コア番号17(カウント値616,漏水有り)の減水量は5分間で約9mlであることから0.03ml/秒となる。また,コア番号19(カウント値92,漏水無し)の減水量は短時間であれば0ml/秒と考えられる。その結果,サンプル数は少ないものの減水量とカウント値との間には,正の相関が見られ,カウント値が小さいと漏水が無く,カウント値が大きいと減水量も増加し,漏水有りとなる傾向が確認された。これらの結果から,防水性能をカウント値により判定することが可能であると判断できる。

## 5.3 まとめ

防水性試験Ⅱの減水量とカウント値との関係には正の相関が見られ,カウント値が小さいと漏水は少なく,カウント値が大きいと減水量が増加する傾向が確認された。

また,防水層の防水性能が低下し,コンクリート間と導通している湿潤状態のカウント値は300~400で,カウント値が176では,漏水は確認されなかった。さらに,防水性能が喪失して滞水状態の場合は400~990の範囲と考えられる。

## 6. 防水性試験Ⅱとカウント値の関係

本研究で開発した防水層の防水効果判定システムで計測されたカウント値の判定しきい値を設定するため,防水性試験Ⅱを行い,試験結果とカウント値を比較した。

### 6.1 実験概要

本研究では,防水層を有する撤去床版(前章で示した床版と異なる)から,コア試験体を図-8に示す位置で5本採取し,防水性試験Ⅱを行い,目視確認による漏水状態および漏水確認時(試験体割裂前後)に計測したカウント値と比較した。なお,試験後の目視による漏水確認では,試験直後とコアを1/2またはさらに1/4に割裂して,ブラックライトを照射させて,その断面の漏水状況を目視確認した。

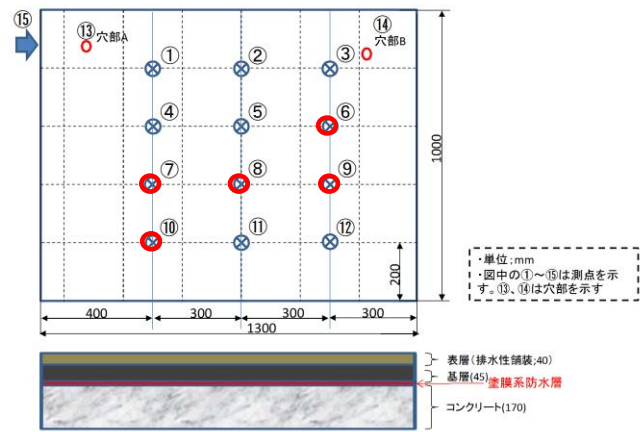
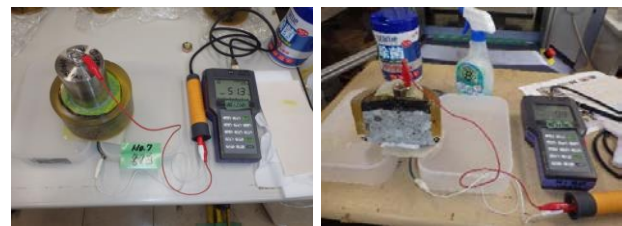


図-8 コア採取位置(図中赤丸表示)



写真-3 防水性試験Ⅱ状況



(a) 割裂前試験体 (b) 割裂後試験体(1/2分割)

写真-4 防水性試験Ⅱ後の電気抵抗測定状況例

## 6.2 実験結果と考察

防水性試験Ⅱの試験状況を写真-3に,本計測システムによるコア試験体の測定状況を写真-4に,防水性試験Ⅱの加圧負荷直後のカウント値の計測結果を図-9に,漏水確認結果を表-4に示す。

各試験体のカウント値は,271~990となり,全5体の試験体にピンホール等の欠陥部が存在する可能性が高い結果となった。その後,コア試験体の割裂(1/2分割)後に目視による漏水確認した結果,全5体中1体の断面から漏水が確認された。

割裂した1/2分割のコア試験体両面(A側,B側)のカウント値測定結果を図-10に示す。割裂(1/2分割)した各試験体のカウント値は,コア番号No.8(A側;199)を除き,255~535となり,割裂した10体中9体の試験体で漏水が疑われる結果となった。そこで,割裂した断面に漏水が確認されなかったA側,B側試験体のカウント値が大きい方の試験体(1/2分割)4体について,数日後にさらに割裂(1/4分割)し,目視による漏水確認を行った。その結果,新たに4体中3体から漏水が確認された。

### 6.3 まとめ

防水性試験Ⅱにおける漏水の有無とカウント値を比較すると、カウント値が300以上になると、漏水している状態であるが、カウント値が270程度の場合でも漏水しない場合もある。すなわち、カウント値200～300は、防水機能を喪失している可能性のある範囲であると推察される。

### 7. 防水層の健全性評価におけるしきい値の設定

以上の検討結果により、本システムで取得するカウント値から防水層の健全性を概ね評価できると考えられ、しきい値の目安を表-5のように提案する。なお、しきい値については、本来であれば、防水機能を有している状態を「健全」、機能が喪失している状態を「不良」とするいずれかの判断となるものである。しかしながら、現時点ではデータ数が少ないこともあるが、防水層にアスファルト舗装の粗骨材が食い込み、防水層に少なからず変状が生じている状態においては、カウント値と防水性試験Ⅱによる漏水判定との整合性がとりにくいのが実情である。このようなことから、しきい値の目安については、現時点では4つの区分を設定している。区分の目安の詳細を以下に示す。

- ①健全 : 防水機能を保持
- ②やや不良 : 防水機能を喪失している可能性あり
- ③不良 : 防水機能を部分的に喪失
- ④損傷大 : 防水機能を完全に喪失

### 8. おわりに

本研究においては、道路橋床版のアスファルト舗装上面とコンクリート床版との間の電気抵抗(カウント値)を測定することで、防水層の防水効果(健全性)を評価する新たな非破壊検査方法を提案した。その結果、現地から切出した床版アスファルト舗装上面から非破壊で防水層の防水効果を調査することが可能であり、防水層の健全性評価に有効であることを確認した。また、供用下での適用性を確認するため、実橋床版においても、この判定システムを用いた測定を試行している<sup>5)</sup>。

今後は、データの蓄積を行うとともにここで開発した防水層の評価システムを既設、あるいは新設の実橋梁において活用し、現場における測定方法や測定条件等の標準化を行うことによって、より精度の高い健全性評価を行うことが可能となり、防水層の性能向上に寄与するものとする。

### 謝辞

本研究の実験にあたり、(株)ケット科学研究所より、専用の電極を試作・提供していただいたことに、記して感謝の意を表す。

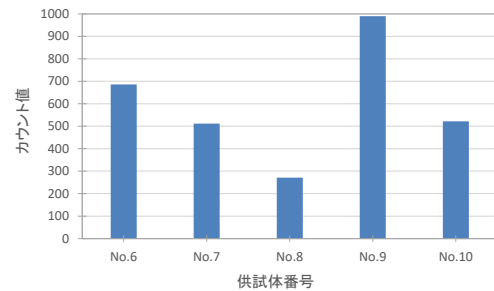


図-9 カウント値測定結果(割裂前)

表-4 防水性試験Ⅱ後の漏水確認結果

試験体の状態	試験体				
	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
1/2 分割	無	無	無	有	無
1/4 分割	有	有	無	有	有

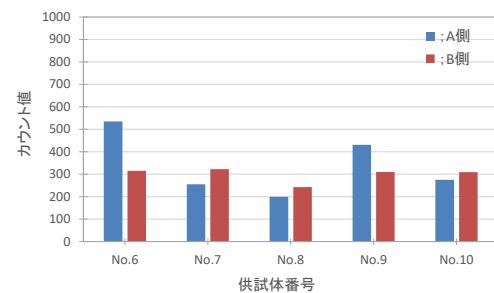


図-10 割裂(1/2 分割)後の電気抵抗測定結果

表-5 防水層の健全性評価のしきい値(暫定)

防水層の状態	カウント値の目安									
①健全	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
②やや不良			200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
③不良(湿潤状態)				300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
④損傷大(帯水状態)					400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	電気抵抗式水分計(カウント値)									

### 参考文献

- 1) 谷倉泉, 榎園正義, 後藤昭彦: 床版防水工における水分計の適用性に関する研究, 構造工学論文集, vol.59, pp.1112-1123, 2013.3
- 2) 榎園正義, 橋本雅行, 長尾千瑛, 豊田雄介: 床版防水層の防水性評価に関する実験的研究, 日本非破壊検査協会平成30年度秋期講演大会, 平成30年11月
- 3) 三浦康治, 榎園正義, 米来哲之: 道路橋床版防水層の健全性評価システムに関する実験的研究, 土木学会第73回年次学術講演会, 令和元年9月
- 4) (社)日本道路協会: 道路橋床版防水便覧, 平成19年3月
- 5) 長尾千瑛, 豊田雄介, 榎園正義, 松本政徳: 実橋における床版防水層の健全性調査結果, 土木学会第73回年次学術講演会, 平成30年8月