

電気抵抗法による 道路橋床版防水層の健全性評価手法

三浦 康治／橋本 雅行／榎園 正義

(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所

1 はじめに

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、目視などによる直接点検は不可能である。そのため、防水層の健全性評価には、一般に路面上の舗装の変状や、防水層の機能喪失に伴う降雨後の漏水を床版下面から目視で観察する間接的な方法で実施しており、現状では損傷が進行し、床版下面から漏水が生じるまで損傷の有無を判断できないといった課題がある。そのため、防水層の健全性を非破壊で的確に把握できる点検・診断技術の開発および高度化が求められている。

一方、水の侵入が床版の疲労耐久性に及ぼす影響が大きいため、床版内部への水や塩分などの劣化因子の侵入を防止する観点で、実橋施工前に、使用する床版防水層を室内試験などによる性能確認を行うことが重要となる。その中の、(公社)日本道路協会『道路橋床版防水便覧』(以下、防水便覧)に示されるひび割れ開閉負荷試験では、繰返しのひび割れの開閉作用を負荷させた後に、防水性試験Ⅱによる漏水確認を行うこととしている。

この試験では、ひび割れ開閉負荷試験が終了した後に漏水確認を判定することとなり、漏水が生じた開閉回数を定量的に評価することができない。漏水が生じたひび割れの開閉回数を定量的に評価することができれば、床版防水層の疲労寿命について、より詳細な評価につなげる

ことが可能であり、大変有意義であると考えている。

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による床版防水層の健全性評価手法の概要と、防水便覧に規定されるひび割れ開閉負荷試験において、本手法を適用して、漏水する開閉回数を定量的に評価した事例について報告する。

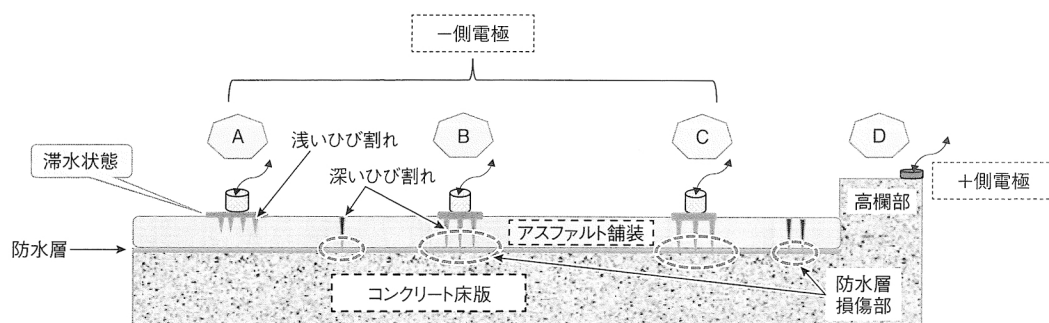
2 床版防水層の健全性評価

2.1 概要

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、既存のコンクリート床版の水分量を凹凸面でも高精度で測定可能な電気抵抗式水分計¹⁾を活用し、舗装とコンクリート床版間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²⁾した。ここでは、実橋から切り出した床版を用いた性能検証結果を報告する。

2.2 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を表1に示す。表中①コンクリート床版④雨水などの水は電気を比較的良く通す伝導体であり、②防水層③アスファルト舗装は電気をまったく通さない絶縁体である。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侵入することで電気の導通が容易となる性質を利用して電気抵抗値の極端な低下をもとに防水機能の喪失を判定できる。



＜防水層の健全性評価・判定の手順＞

- ①A-Dの間は、 ∞ …導通なし
 - ②A-Bの間、A-Cの間は、 ∞ …導通なし
 - ③B-Dの間は、数M Ω 以下…導通あり
 - ④C-Dの間は、数M Ω 以下…導通あり
 - ⑤B-Cの間は、数M Ω 以下…導通あり
- 以上から
- ・A直下付近の防水層は健全部と判断する
 - ・B,C直下付近の防水層は損傷部と判断する

- ・図中Aは、供用時の負荷により、アスファルト舗装上に発生した浅いひび割れ状態の電極を示す
- ・図中Bは、舗装上面からのひび割れが成長し、防水層が損傷した状態の電極を示す
- ・図中Cは、Bと同様に防水層が損傷し、防水性能が低下した状態の電極を示す
- ・図中Dは、高欄部コンクリートに固定設置状態の電極を示す
- ・計測時には、計測箇所をあらかじめ湿潤させた状態で行う

図1 防水効果判定システムの原理

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k Ω ～数M Ω
②防水層(塗膜系, シート系)	2000M Ω 以上の絶縁物
③アスファルト舗装	2000M Ω 以上の絶縁物
④雨水などの水	数十k Ω 程度

本システムに使用している電気抵抗式水分計(HI-100)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(以下、カウント値)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820G Ω でカウント値10、最小値10k Ω 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。また、本判定システムは次に示す特徴がある。

- ・レンジ切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k Ω ～2000M Ω 程度)以上であることから表1に示す材料で適用可能
- ・測定のバラツキが小さく、再現性のある安定

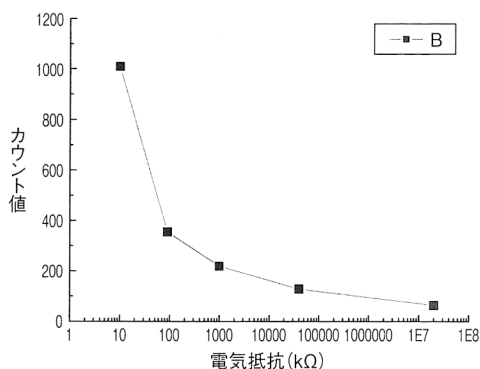


図2 電気抵抗とカウント値の関係

した測定が可能

- ・印加電圧が比較的低く、計測員が安全に使用可能
- ・ポータブルタイプかつ小型な計測器で実橋での取扱いが容易

2.3 防水層が設置されている実橋切出し床版への適用性の検証

試験体は、表2に示す防水層が設置されている実橋切出し床版3体(床版No.1～No.3)を用いてカウント値を測定し、このシステムの適用

表2 切出し床版試験体の種類

試験体	防水層の種別	床版上面の状況
床版No.1	塗膜系 (従来型)	・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)	・ひび割れ部
床版No.3	シート系 (高性能型)	・防水層のみ ・コンクリート部 ・削孔部



床版No.1



床版No.3

写真1 測定状況

性を確認した。測定方法としては、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を測定した。また、計測ではアスファルト舗装の一般部のほか、施工目地部、ひび割れ部、貫通孔およびコンクリート部などに着目した測点を設定した。

切出し床版のカウント値の測定状況例を写真1に、切出し床版No.1～No.3の測線A～Cにおけるカウント値を図3に、各測定位置におけるカウント値の分布を図4に示す。以下に結果を述べる。

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、520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、部分補修した箇所の施工目地部に入ったひび割れ近傍では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：高性能型)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 (A1) 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

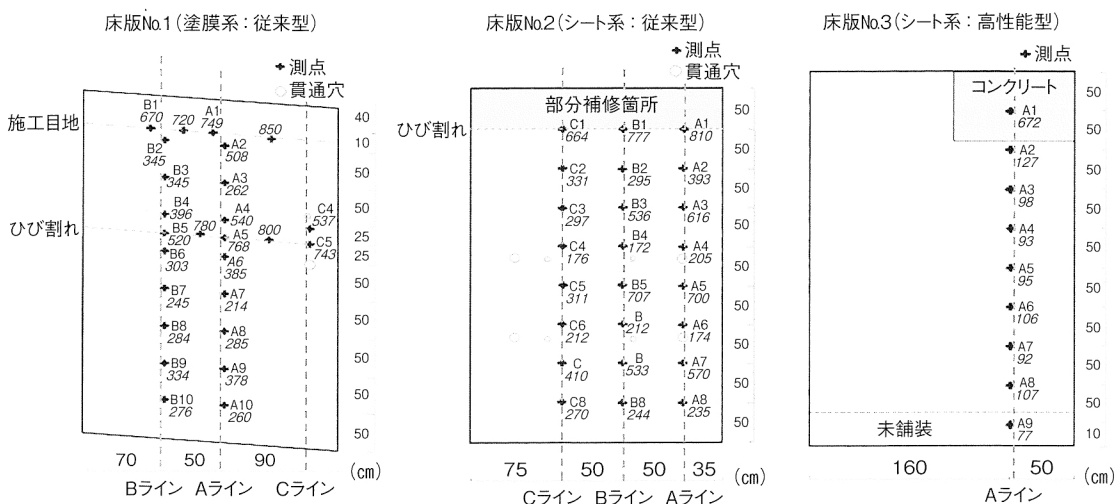


図3 測定箇所と測定結果 (斜体数字はカウント値)

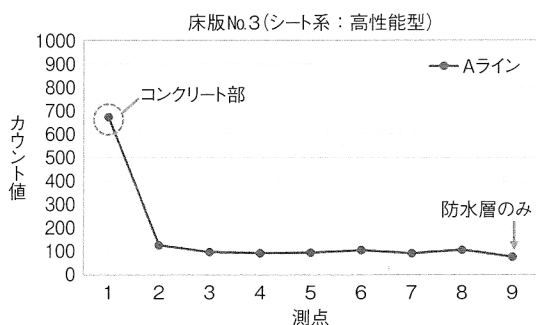
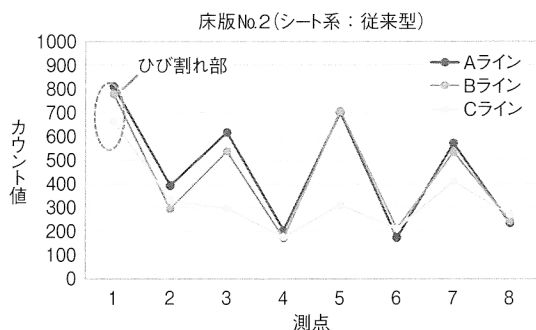
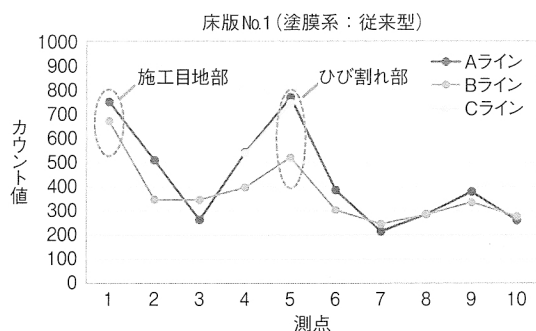


図4 測点位置とカウント値の関係

態のカウント値はおおむね130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。

2.4 防水性試験Ⅱとカウント値の関係の検証

防水層を有する別の撤去床版から、図5に示す位置で採取したコア試験体5体で防水便覧に示される防水性試験Ⅱ³⁾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、その断面の漏水状況を目視確認した。以降、1/2に割

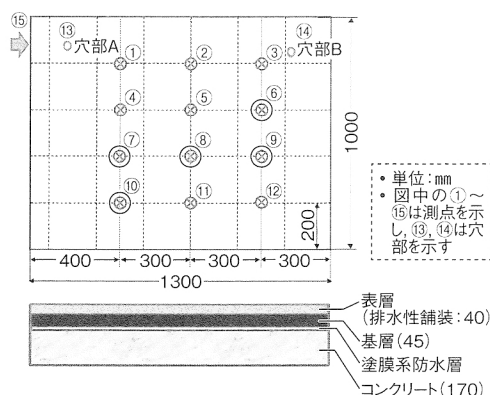
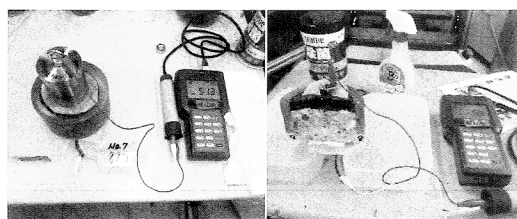


図5 コア採取位置(図中太丸表示)

表3 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	なし	なし	なし	あり	なし
1/4分割	あり	あり	なし	あり	あり



割裂前試験体

割裂後試験体(1/2分割)

写真2 防水性試験Ⅱ後のカウント値測定状況例

裂した試験体を1/2割裂、1/2割裂後、さらに1/4に割裂した試験体を1/4割裂と示す。

防水性試験Ⅱの漏水確認結果を表3に示す。また、本計測システムによるコア試験体の測定状況を写真2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6に示す。各試験体のカウント値は271~990であった。その後、1/2割裂を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。

1/2割裂両面(A側、B側)のカウント値測定結果を図7に示す。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

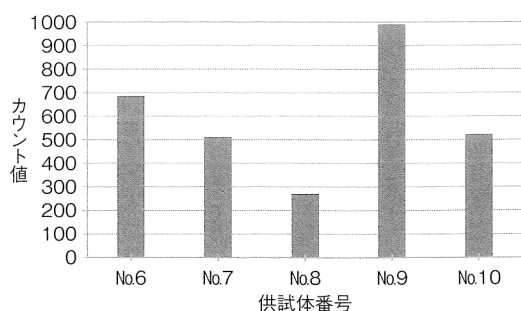


図6 割裂前のカウント値測定結果

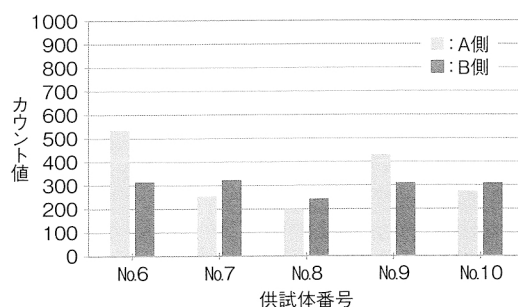


図7 割裂（1/2分割）後のカウント値測定結果

表4 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 (防水機能を保持)	10									
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)										
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
電気抵抗式水分計(カウント値)										

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。なお、カウント値に差が生じた理由として、床版防水層にピンホールなどの欠陥部が存在する可能性が高いと推察される。

以上の結果により、1/2割裂および1/4割裂ともに漏水が確認されなかったコア番号No.8の測定から、漏水が生じていない状態のカウント値は255以下であった。また、割裂（1/4分割）で漏水が確認されたコア供試体のカウント値はすべて300以上であったが、コアNo.6B側の割裂（1/2分割）のカウント値が300以上であったが漏水が確認されない。このことから、カウント値300近傍は、漏水の有無が混在する区分となると考え

られる。

2.5 防水層の健全性評価におけるしきい値の設定

これまで実施してきた性能検証を整理すると、本システムで得られる出力であるカウント値から、防水層の健全性の状態をしきい値案として表4に示すように提案する。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」、あるいは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充分に取りきれていないのが実情である。このようなことから、しきい値の目安については、

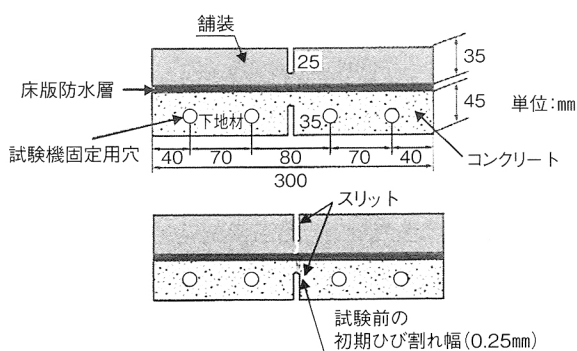


図8 供試体の形状・寸法例

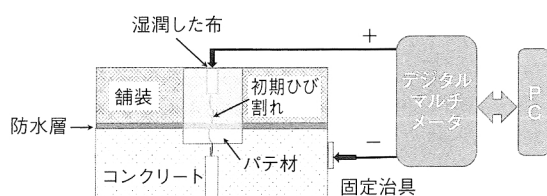


図9 漏水検知システムの原理

現時点では四つの区分を設定している。

3 ひび割れ開閉負荷試験における漏水検知手法

3.1 概要

ひび割れ開閉負荷試験における漏水検知手法として、インターバル計測に対応可能な電気抵抗測定器（デジタルマルチメータ）を適用し、ひび割れ開閉負荷試験時の舗装とコンクリート床版間の電気抵抗の変化に着目した新たな漏水検知手法を考案⁴⁾した。

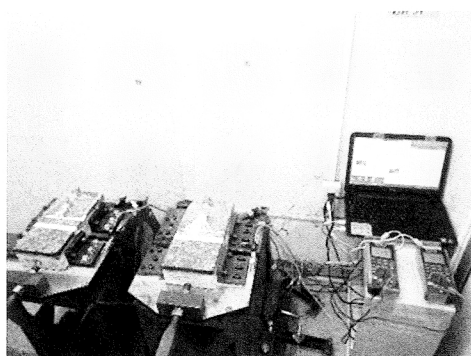


写真3 検証状況

表5 ひび割れ開閉負荷試験の条件

項目	試験条件
初期ひび割れ開口変位	0.25mm
ひび割れ開口変位全振幅	±0.15mm
振動周波数	10Hz
繰返し回数	480万回

ここでは、ひび割れ開閉負荷試験時に、この漏水検知システムを設置して実施した検証結果を報告する。

3.2 床版防水層の漏水検知手法の原理

ひび割れ開閉負荷試験に用いる供試体は、コンクリート、防水層およびアスファルト舗装の三層で構成され、図8に示すように上面のアスファルト舗装に25mm、下面のコンクリート部に35mmのスリットを入れ、そのスリット内にひび割れを発生させたものである。

ここで、図9に示すように防水層が健全な場合には、電氣的に絶縁された状態であるが、負荷試験によって徐々に損傷が進行した場合にはアスファルト舗装部のひび割れから侵入した水によって電気の導通が可能となり、電気抵抗が大幅に変化する現象を捉えることで、防水層の防水機能が喪失した状態（漏水）を検出可能としたものである。

3.3 検証方法

床版防水層の防水効果を判定評価するシステムの適用性を検証するため、表5に示す試験条件で高性能防水、従来防水の各1製品について、2供試体ずつひび割れ開閉負荷試験を実施した。その際、写真3に示すように、漏水検知システムに用いる電極を供試体の舗装側（上面の切欠き部）に+極を、コンクリート側に-極を設置し、電気抵抗値の経時変化を計測した。また、試験時に計測された電気抵抗値が基準値を下回り、かつ床版防水層下面のコンクリート面から明らかな漏水が確認できた場合には、床版防水層の防水効果を喪失したと判断して試験を中止した。なお、電気抵抗値による床版防水層の防水効果の基準値は、各種供試体の実験結

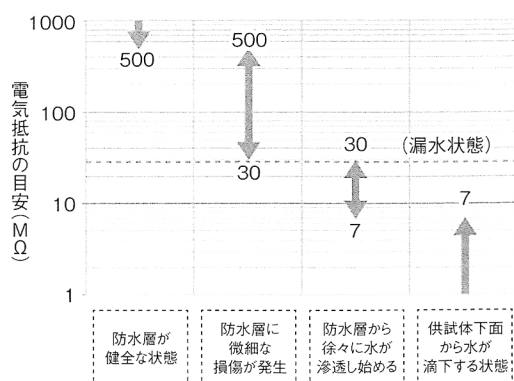


図 10 防水効果の評価基準

果をもとに図10に示すとおりとした。

3.4 検証結果

検証結果を図11および図12に示す。供試体1（高性能防水）の電気抵抗は、両供試体ともに試験開始直後の600MΩからひび割れ開閉負荷480万回後において約250MΩとやや低下する傾向となり、防水層はひび割れ開閉負荷試験後において極微細な損傷が発生してはいるものの、防水効果を有する比較的健全な状態と判断された。その後、負荷試験後の防水性試験Ⅱにおいても漏水は確認されなかった。

供試体2（従来防水）の電気抵抗は、供試体2-1が約1.3万回、供試体2-2が約0.96万回以降で急激に低下する結果となった。その後、目視でも下面からの漏水による滲出しを確認し、負荷試験を6.5万回で中止した。

以上のことから、この電気抵抗の変化に着目した非破壊試験手法により、ひび割れ開閉負荷試験による防水性能の低下が検知できたと考えられる。

4 おわりに

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、防水層の健全性評価手法および、ひび割れ開閉負荷試験時の防水層の漏水検知手法の二つの新たな非破壊検査方法の検証を行い、双方の手法とともにその適用性が確認で

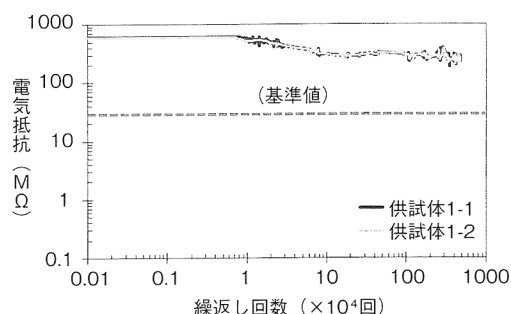


図 11 検証結果（供試体1：高性能防水）

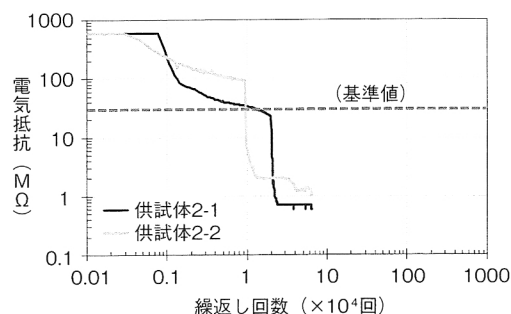


図 12 検証結果（供試体2：従来防水）

きた。

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などの標準化を行うことで、より精度の高い健全性評価が可能となり、道路橋床版の長寿命化に寄与していきたい。

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, 2013.3
- 2) 三浦康治, 橋本雅行, 榎園正義, 小野秀一, 岩生知樹, 洲郷尚樹: 道路橋床版防水層の健全性評価方法に関する研究, 第11回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 2020.10
- 3) 社団法人日本道路協会: 道路橋床版防水便覧, 2001.3
- 4) 三浦康治, 榎園正義, 小野秀一: ひび割れ開閉負荷試験における新しい簡易漏水検知手法に関する研究, 土木学会第75回年次学術講演会講演, 2020.9