

論文

電気抵抗式水分計の開発による床版上面の水分管理に関する研究

三浦 康治* , 榎園 正義**, 谷倉 泉***, 宮永 憲一****

- * (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第二部 (〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154)
- ** (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第二部 (〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154)
- *** (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第二部 (〒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)

床版防水層の施工には、床版施工面の水分量を適切に管理することが重要である。一方、従来から使用している高周波型水分計では、凹凸のある既設床版面の水分量を把握することが困難な場合がある。本研究では、凹凸のある既設床版面の水分量を正確に測定することを目的として、電気抵抗式の新型水分計を開発し、この水分計を用いた管理手法を導入して、床版上面の含水状態の違いがコンクリートと防水層の付着性に及ぼす影響を検証した。

キーワード: コンクリートの水分量, 含水率, 床版防水工, 水分計, 検量線

1. はじめに

床版防水工の施工において表面処理後のコンクリート表面の水分量が高いと防水層施工前に塗布されるプライマーの浸透が阻害され、防水層施工後に期待する付着が得られず、ピンホール、膨れ、剥がれ等が発生し、作業性及びその品質にも大きな影響を与えている。

土木、建築の防水工の施工現場での水分管理は、市販の高周波容量式水分計^{1),2)}を用いてコンクリート表面の含水率 10%以下^{3),4)}で施工を行うことが目安とされているが、この従来方式によるコンクリートの含水状態の測定では、凹凸の影響を受けやすく、測定箇所の間隙に対応できないため、測定箇所の含水状態が適切に測定することが困難であり、適切な施工条件や時期を決める判断基準とはなっていないのが現状である。

そこで、筆者らは、各種現場の表面仕上げ面に対して、簡便に適用可能な電気抵抗式の新型水分計を開発^{5),6),7)}し、コンクリート表面の水分状態（絶乾状態、乾燥状態、表面乾燥状態、湿潤状態、滞水状態）およびコンクリート床版用の検量線⁸⁾を提案した。

本研究では、防水層の性能試験用のコンクリート平板試験体を対象に、新型水分計を用いてコンクリート表面の含水率を変化させて、床版防水層の付着性能評価手法としての有効性の検討を行ったものである。



(a) 現行の水分計 (高周波容量式) (b) 新型水分計 (電気抵抗式)

写真-1 電気式水分計の例

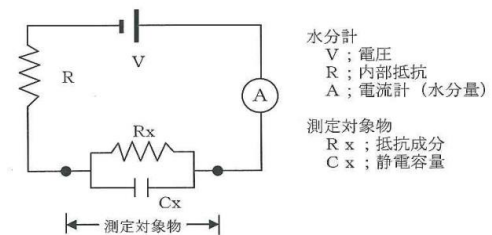


図-1 水分計の等価回路図

2. 実験概要

2.1 新型水分計の原理と特徴

一般に電気式の水分計は、図-1 に示すような簡単な等価回路構成で電気抵抗 (R) と静電容量 (C) の並列回路から表される。この電気抵抗式の新型水分計は、測定対象のコンクリートに含まれる水分量によって電気抵抗が変化することを利用したものである。

本水分計は、従来の高周波容量式水分計と比べて、コンクリート表面の凹凸の影響を受けずに、水分量が測定できるように考案・開発したものである。

2.2 含水率の評価方法と供試体

以下に水分計の仕様、含水率の評価方法、供試体の測定条件等について述べる。

(1) 水分計の主な仕様

新たに開発した電気抵抗式の新型水分計の主な仕様は、次のとおりである。

- ① 測定方式；電気抵抗式
- ② 測定対象；コンクリート床版
- ③ 検量線；含水率，カウント
- ④ 測定範囲；含水率 0～6% に対して 40～990 カウント
- ⑤ センサ；特殊導電性ゴム

(2) コンクリート表面の含水状態と含水率の評価

新型水分計は、特殊導電性ゴムセンサ電極間にあるコンクリートなどの被測定物の電気抵抗が含水状態によって変化するものである。水分計測においては、電気抵抗値の表示値は水分量の多い湿潤状態の数 $10^4 \Omega$ ～ 絶乾状態の数 $10^6 \Omega$ と変化する範囲が非常に大きくなることから、この電気抵抗を図-2 に示す関係で換算する機能を用いた「カウント値」と加熱乾燥法と含水率との校正曲線から求めた「含水率」で評価することとした。なお、含水率は供試体を絶乾状態とした時の質量変化から算出している。

(3) 供試体と測定条件

本研究では、次に示すコンクリート平板供試体を水中養生し、上面のコンクリート表面の上・中・下段の各3点、合計9測点を測定対象として新型水分計を用いて水分条件を変化させた後、防水層を施工した。なお、防水層は、コンクリートの表面水分に敏感で、加水反応等が生じる可能性のあるアクリル系を選定した。

- ① 試験体；JIS コンクリート平板（300×300×60mm）
- ② 表面処理；スチールショットブラスト処理
投射密度 $50\text{kg}/\text{cm}^2$
- ③ 養生；水中養生（7日間以上）
- ④ 防水層；（メタ）アクリル系（1種類のみ）
- ⑤ 水分条件；表-1 参照

(4) 照査試験項目と供試体数量

1) 引張接着試験

試験体は、防水層施工後、採石マスチックアスファルト混合物（SMA(13)）を Nexco 制定の構造物施工管理要領（H24.7）に準拠し、SMA(13)を試験体を常温で舗設温度 140°C 、バインダーはストレートアスファルト(60/80)で舗設した後、各ケース 1～6

の供試体（1体）から $\phi 100 \times 100\text{mm}$ に成形したものの各3体（①～③）を試験に供した。

2) 膨れ抵抗性試験

膨れ抵抗性試験は、Nexco が規定した床版防水品質試験方法（試験法 433,2013）に準拠して実施した。

3) 供試体数量

照査試験項目と供試体数量を表-2 に示す。

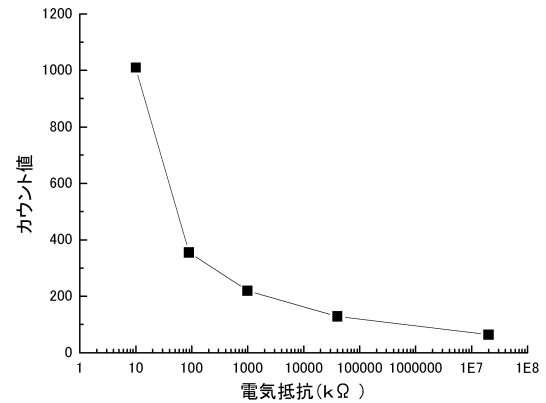


図-2 電気抵抗とカウント値の関係

表-1 供試体の水分条件

試験条件	供試体数量(体)	水分条件		表面状態(目視)
		目標カウント値	換算含水率(%)	
ケース1	4	500(約60kΩ)	5.97	・湿潤状態
ケース2	4	400(約70kΩ)	5.38	・湿潤状態
ケース3	4	350(約90kΩ)	4.92	・やや湿潤状態
ケース4	4	300(約250kΩ)	4.34	・若干湿潤状態
ケース5	4	250(約550kΩ)	3.66	・表面乾燥状態
ケース6	1	200以下(2MΩ以上)	2.86	・乾燥状態
備考	・表中()は、電気抵抗の概略値を示す。 ・防水層施工時の温度は、標準温度 23°C とした。			

表-2 試験項目と供試体数量

試験名	試験条件	数量	小計	試験温度
引張接着試験	ケース1～6	各1体	6体	23°C
膨れ抵抗性試験	ケース1～5	各3体	15体	23°C

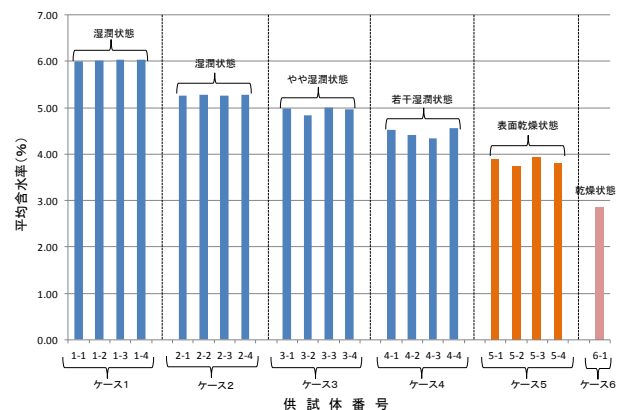


図-3 供試体表面の含水率設定

3. 実験結果と考察

3.1 供試体表面の水分量条件

7 日間以上水中養生した湿潤状態のコンクリート平板試験体を気中に静置し、新型水分計を用いて各水分条件の目標カウント値に調整した結果を図-3 に示す。この図から、各ケースの供試体（4 体）は、目標とした含水率に対するバラツキが少なく、ほぼ同一の水分量条件に設定できているものと判断した。

3.2 引張接着試験結果

(1) 引張接着強度について

各ケース毎の試験体 3 体の引張接着試験結果を図-4 に示す。

試験の結果、構造物施工管理要領(H24.7)に定める引張接着強度の基準値(0.6N/mm² 以上)を全て満足したのは、ケース 3~6 の含水率 4.9%~2.8% の場合であり、湿潤状態の含水率 5.2% 以上では基準値を下回ることが確認された。また、気中養生で十分乾燥した水分条件を模擬したケース 6 の含水率 2.8% 以下の引張接着強度を確保するためには、ケース 4 の含水率 4.5% 以下の場合と考えられる。

これらのことから、コンクリート表面の水分条件（含水率）の違いが付着性に及ぼす影響があることが実験的に確認された。また、本試験で使用した防水層を用いる場合には、NEXCO 構造物施工管理要領(H24.7)に定める引張接着強度の基準値以上の接着性を確保するためには、施工面がやや湿潤状態である水分条件ケース 4（含水率 4.5%）が目安となると考えられる。

(2) 破断面状況について

引張接着強度の基準を満たさなかった含水率 4.9% 以上のケース 1~3 と基準値を満足した含水率 4.5% 以下のケース 4~6 の引張接着試験後の破断面状況の例を写真-2 に示す。この写真からもわかるように、含水率 4.9% 以上の破断面は、コンクリートとプライマーとの界面が 100% となり、両者が一体化していないことがわかった。一方、含水率 4.5% 以下の破断面は、プライマーと防水材の界面、あるいは防水材部やアスファルト部が破断面となっており、これが一体化した傾向がみられた。

以上の結果より、コンクリート表面の水分量が減少するにつれて、コンクリートとプライマーとの接着性が徐々に改善されるものと予測される。したがって、このプライマーを用いる場合には、破断面がコンクリートとプライマーとの界面が 100% にならない含水率 4.5% 以下で防水層の施工を行うことが重要であると考えられる。

3.3 膨れ抵抗性試験結果

膨れ抵抗性試験結果を表-3 に示す。

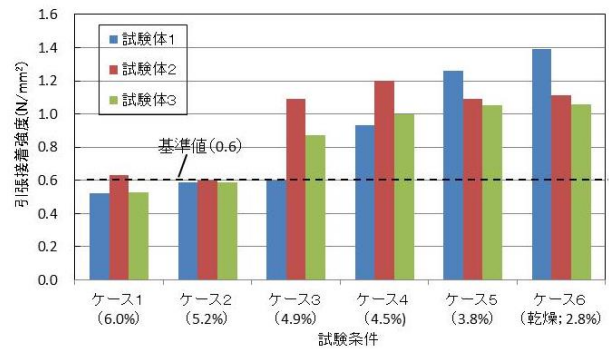
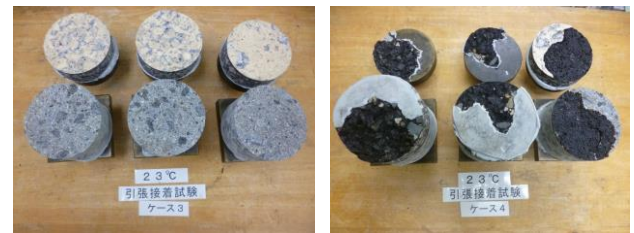


図-4 引張接着試験結果



(a) 4.9% 以上（ケース 1~3） (b) 4.5% 以下（ケース 4~6）

写真-2 供試体破断面状況の例

表-3 膨れ抵抗性試験結果

水分量条件 (平均含水率)	供試体番号	60℃半水浸後		60℃恒温槽負荷後	
		プリスタリング	ピンホール	プリスタリング	ピンホール
ケース1 (6.0%)	1-①	なし	なし	なし	なし
	1-②	あり	なし	あり	あり
	1-③	なし	なし	あり	なし
ケース2 (5.2%)	2-①	なし	なし	なし	あり
	2-②	なし	なし	なし	あり
	2-③	なし	なし	なし	なし
ケース3 (4.9%)	3-①	なし	なし	なし	なし
	3-②	なし	なし	なし	なし
	3-③	なし	なし	なし	なし
ケース4 (4.4%)	4-①	なし	なし	なし	なし
	4-②	なし	なし	なし	なし
	4-③	なし	なし	なし	なし
ケース5 (3.8%)	5-①	なし	なし	なし	なし
	5-②	なし	なし	なし	なし
	5-③	なし	なし	なし	なし

また、温水 60℃ のバケットに供試体を半水浸負荷終了時および 60℃ の恒温槽での負荷終了時に赤外線カメラで撮影した画像を写真-3 に示す。

試験を通して、膨れおよびピンホール等の欠陥が全く発生しなかった水分条件は、ケース 3~5 の平均含水率 4.9% 以下であった。一方、膨れが発生した水分条件はケース 1 のみで、このケース 1（供試体 1-②）については、温水 60℃ のバケットに供試体を半水浸負荷後に膨れが生じていることが確認された。さらに、ピンホールの発生は、温水 60℃ のバケットに供試体を半水浸負荷後には確認されなかったが、60℃ の恒温槽での負荷終了時には、ケース 1 の平均含水率 6.0% およびケース 2 の平均含水率 5.2% の水分条件においてピンホールが確認さ

れた。

以上の結果から、本試験で設定した水分量の違いによって膨れやピンホールの発生の有無に違いが見られることがわかった。本試験で使用した防水層については、膨れ抵抗性を保持するためには、平均含水率 4.9%以下へ水分量を調整することが必要であると考えられる。

4. まとめ

本実験で得られた主な結果を表-4にとりまとめ、以下に述べる。

- (1) 電気抵抗式の新型水分計は、コンクリート床版上面の水分状態を高精度に把握・評価でき、水分量管理方法として有効な手段となる。
- (2) 本実験で使用したようなコンクリート表面に敏感な防水層については、表面の水分量が 4.4%以下を超える場合には防水層として良好な性能を確保できなくなる可能性がある。

5. あとがき

本研究では、従来の水分計では床版表面の含水状態や水分量の計測が不可能であったが、新型水分計を用いることで正確な計測が可能となり、水分量条件が防水層の付着性に及ぼす影響を把握・照査することが可能となった。今後、各防水メカは使用するプライマーについて、適用可能な水分量条件も異なることが想定されことから、各プライマーに適した水分量を各社ごとに確認して、施工要領書に示すことが望ましい。本水分計については、今後もコンクリート中の鉄筋かぶりや SFRC 中の鋼繊維の影響、さらにフレッシュコンクリート硬化時の水分量の変化に着目した研究を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 湯浅 昇, 笠井芳夫: 非破壊による構造体コンクリートの水分測定方法, コンクリート工学, Vol.32, No.9, pp.49-55, 1994
- 2) 岩瀬裕之: 高周波容量式水分計による細骨材の表乾判定に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.49-54, 2005
- 3) (社)日本道路協会: 道路橋床版防水便覧, 2007
- 4) (社)日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 (JASS23) 吹付工事, P.96, 2006
- 5) 谷倉 泉, 榎園正義, 後藤昭彦, 宮永憲一: 床版防水工における水分計の適用性に関する実験的研究, 土木学会年次学術講演会概要集 (平成 24 年 9 月), V-010

写真-3 赤外線カメラによる膨れ状況の例
(60° 恒温槽に静置, 負荷時間 4 時間以上)

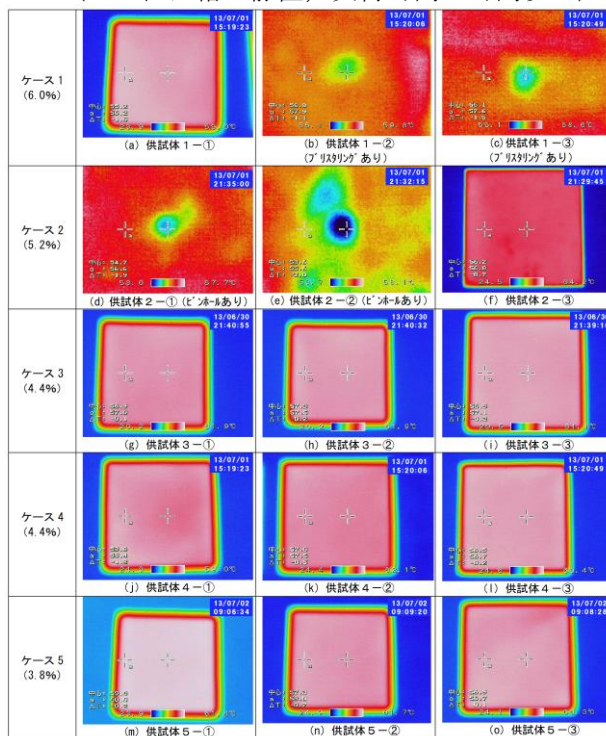


表-4 照査試験結果のまとめ

試験条件 (平均含水率)	ケース 1 (6.0%)	ケース 2 (5.2%)	ケース 3 (4.9%)	ケース 4 (4.4%)	ケース 5 (3.8%)	ケース 6 (2.8%)
①引張接着強度	×	×	○	◎	◎	◎
②引張接着試験後の破断面	×	×	×	◎	◎	◎
③プリスタリングおよびピンホール	×	×	◎	◎	◎	—
評価	否	否	否	合	合	合
備考	※表中の凡例は以下のとおりである。 ◎: 評価基準を満たす ○: 評価基準相当 ×: 評価基準を満たさない					

- 6) 谷倉 泉, 榎園正義, 後藤昭彦, 宮永憲一: 床版防水工における水分計の適用性に関する実験的研究 (その 2), 土木学会年次学術講演会概要集 (平成 25 年 9 月),
- 7) 榎園正義, 谷倉 泉: コンクリート床版表面の水分管理に適した水分計の開発, (一社)日本建設機械施工協会 建設機械施工, Vol.65, No.8, pp.82-85, 2013.
- 8) 谷倉泉, 榎園正義 他: 床版防水工における水分計の適用性に関する研究, 構造工学シンポジウム論文, Vol59A, 2013.