

CMI 報告

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

榎園 正義・谷倉 泉

1. はじめに

平成 14 年度の道路橋示方書改訂に伴い、すべての道路橋コンクリート床版には、防水層を施工することが定められた。道路橋コンクリート床版等の防水工において、コンクリート表面の水分量が多いと期待する付着強度が得られないことから、防水工施工前のコンクリート表面の水分管理は、膨れや剥がれといった変状現象を防止する上で重要である^{1), 2)}。そのため、土木、建築の多くの現場での水分管理には、コンクリート専用的高周波容量式水分計^{5), 6)}を用い、含水率 10% 以下^{3), 4)}を目標として管理している事例が多い。しかし、この高周波容量式水分計は、道路橋床版防水便覧では「測定精度の信頼性が劣る」ことが指摘されている。すなわち、防水層の施工管理等に限らず、コンクリート表面の水分を管理する場合には、水分量を正確に評価できる手法の確立が課題となっている。

本研究では、コンクリート表面の水分状態をより正確に把握することを目的として、一般的に使用されている従来タイプの高周波容量式水分計とは原理の異なる新たな電気抵抗式の水分計（特殊導電性ゴム電極との組合せによる新型水分計）による測定方法を考案・開発し、実験的な検証を行ってその有効性を示したものである。

2. 実験概要

本実験では、試験体として JIS 規格のコンクリート平板試験体と現場の橋梁床版コンクリートを想定し、各種のコンクリート仕上げ面を有する模擬床版試験体

を用いて水分計の適用性に関する以下の確認実験を行った。

- 1) コンクリート平板試験体を用いた現行水分計と新型水分計の適用性
- 2) 模擬床版試験体を用いた各種表面仕上げ条件での両水分計の適用性
- 3) コンクリート表面含水状態の定性的評価
- 4) コンクリートの含水率に関する定量的評価

(1) 試験体の種類と測定対象

①コンクリート平板試験体

水分計の基礎実験用の試験体として、防水層の各種要素試験用に採用している市販の JIS コンクリート平板 (□ 300 × 300 × 60 mm; 呼び強度 27) を使用した。この平板試験体の表面は、通常の床版仕上げ処理面と同様にスチールショットブラスト (SS) 処理⁷⁾し、裏面は未処理面とした。また、試験体は長期間気中養生した乾燥状態 (36 体) と水中養生した湿潤状態 (4 体) の合計 40 体を用いた。このコンクリートの配合を表 1 に示す。

表 1 コンクリート平板の配合

呼び強度	w/c (%)	S/G (%)	単位料 (kg/m ³)				混和剤
			w	c	S	G	
27	45	46	157	350	867	1027	1.93
備考	・スランプ: 12 ± 2.0 cm ・粗骨材の最大寸法: 20 mm ・セメントの種類: 普通ポルトランドセメント						・空気量: 1.2%

②模擬床版試験体ヤード

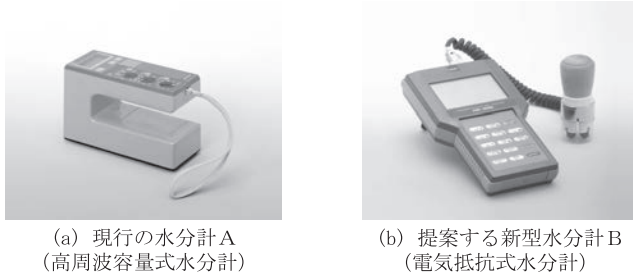
各種コンクリート仕上げ面での水分計の適用性を確認するため、昭和 39 年道路橋示方書に準拠して模擬床版試験体を作製した (8.5 × 35 × 0.22 m)。そのコンクリート表面は一般的なコテ仕上げ、ほうき目仕上げ面、大型切削機やファインミリング切削機による凹凸面、各種表面処理 (SS 処理、ウォータージェット (WJ) 処理等) したコンクリート表面を測定対象とした。

(2) 水分計の選定および質量含水率

①水分計の選定

写真 1 に示すように、現場の水分管理用として一般的に使用されているコンクリート・モルタル・軽量気泡コンクリート専用の高周波容量式水分計 (以下、水分計 A と呼ぶ; 含水率 (%) を表示) と検出原理が異なる新たに提案する電気抵抗式水分計 (以下、新型水分計 B と呼ぶ; 10 ~ 990 のカウント値を表示) の 2 種類とした。

この新型水分計 B の表示（カウント値；電気抵抗換算法）については、既往の研究⁸⁾に示すように最小値 10（約 820 GΩ）はコンクリートが乾燥して水分が無く電気抵抗が大きい絶縁物を示し、最大値 990（約 10 kΩ）はフレッシュなコンクリートのように強アルカリ性の水分を多く含んで電気抵抗値の小さい状態を示す電気抵抗換算値である。



写真—1 水分計の種類

②質量含水率（コンクリート平板の最大含水率）

コンクリート平板試験体が含有できる水分量（含水率）の最大値は、水中養生後の湿潤状態の重量（ w_1 ）と恒温槽（105℃）を用いて質量が一定となるまで強制乾燥させた絶乾状態の重量（ w_2 ）から求めた。

(3) 検量線と含水率

新型水分計 B のカウント値と含水率（%）との関係を把握する目的で、加熱乾燥法によりコンクリート平板試験体の水分調整を行い、各質量含水率とカウント値との定量的な関係（検量線）を求めた。

3. 実験結果と考察

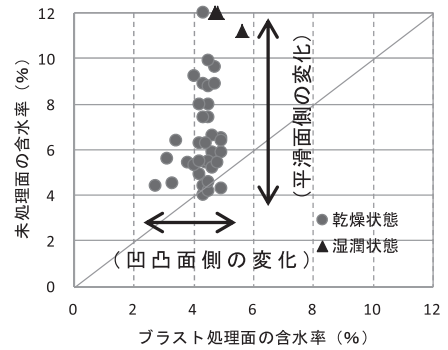
(1) 基礎実験（コンクリート平板試験体）

①気中乾燥状態および湿潤状態の水分量

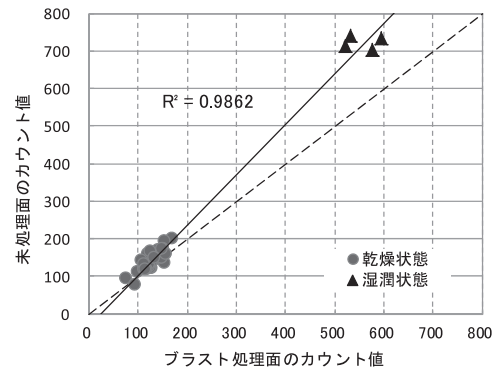
水分計 A による含水率は、図—1 (a) に示すように、乾燥状態および湿潤状態において、SS 処理面は未処理面と比べて含水率が常に小さく表示される傾向（過少評価）が確認された。一方、新型水分計 B によるカウント値では、図—1 (b) に示すように、乾燥状態でのカウント値は 80 ~ 200 (2 MΩ 以上) の範囲を、湿潤状態では 500 (60 kΩ 以下) 以上を示し、両面には正の強い相関が認められた。

②水分量の経時変化

水分計 A による恒温恒湿養生中の含水率の経時変化は、図—2 (a) に示すように湿潤状態の 0 ~ 1 時間に変動が見られるが、2 ~ 24 時間では 4 ~ 6% の範囲で、ほとんど変化が認められない。一方、新型水分計 B によるカウント値は、図—2 (b) に示すように

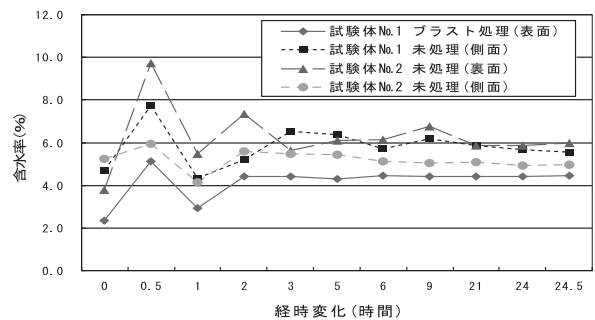


(a) 水分計 A による含水率

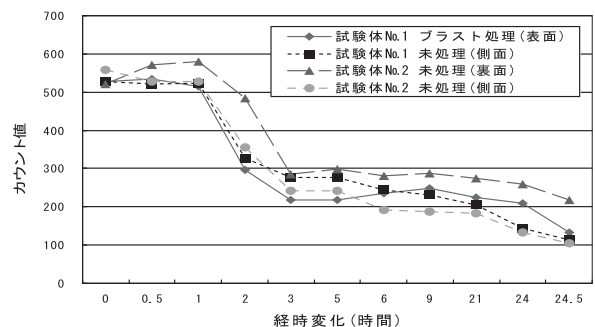


(b) 新型水分計 B によるカウント値

図—1 含水率およびカウント値測定結果



(a) 含水率の経時変化（水分計 A）



(b) カウント値の経時変化（新型水分計 B）

図—2 水分量の経時変化

湿潤状態は 500 ~ 600 (60 ~ 30 kΩ) で、約 24 時間後の表面乾燥状態では 100 ~ 250 (900 ~ 0.6 MΩ) の範囲へと大きく変化しており、表面の含水状態を捉えているものと考えられる。

③コンクリート平板試験体の定性的評価

コンクリート平板試験体と新型水分計 B を用いたカウント値の測定結果を表一 2 に示す。この表から、表面乾燥状態を表す数値は、概ね 200 以下 (2 MΩ 以上) であると考えられる。また、カウント値が 100 以下 (900 MΩ 以上) の場合は、電気的に絶縁物であると判断できる。

表一 2 平板試験体とカウント値のまとめ

表面状態	測定結果 (カウント値)	備考
①絶乾状態	40~63 (或いは LO 表示)	乾燥炉 (105℃、7 日間) 養生
②乾燥状態	76~96	恒温室 (40℃) 養生
③表面乾燥状態	99~168	室内養生
④湿潤状態	500~739	水中養生

(2) 模擬床版試験体での適用実験

模擬床版試験体の各種仕上げ面を対象として、両水分計を用いて測定した結果を図一 3、表一 3 に示し、以下に述べる。

①コンクリート仕上げ面の影響評価

水分計 A による含水率は、図一 3 に示すように表面粗さが大きいと値が小さく、バラツキもあって、仕上げ面の影響が大きく表れた。一方、新型水分計 B のカウント値はバラツキも小さく、コンクリート仕上げ面の影響を受けにくい測定方式であることが判明した。

②各種乾燥条件での定性的評価

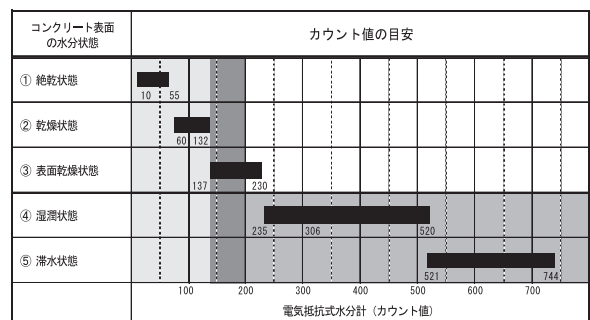
新型水分計 B によるカウント値の測定結果を、コンクリートの表面状態で区分して表一 3 に示す。この表から、カウント値が、概ね 200 以下 (2 MΩ 以上) であれば、模擬床版のコンクリート表面が乾燥状態であることがわかった。

表一 3 模擬床版試験体とカウント値のまとめ

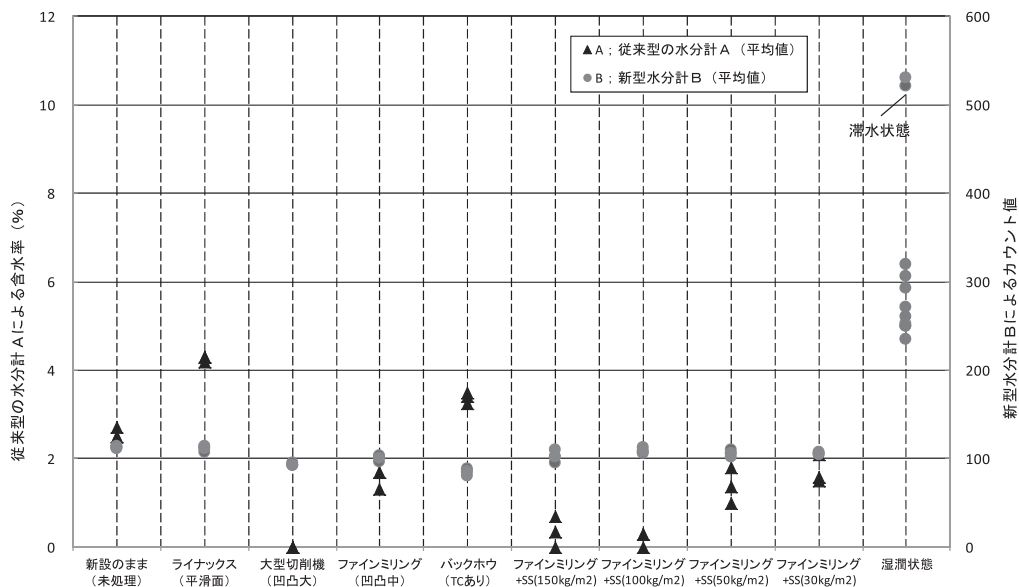
区分	測定条件		測定結果 (カウント値)	備考
	乾燥条件	表面状態		
条件 1	自然乾燥状態 (2 週間以上降雨なし)	乾燥状態	100~109	
条件 2	降雨後の自然乾燥状態	滞水状態	520~530	
		湿潤状態	230~320	
		表面乾燥状態 (乾燥状態)	210~220 130~180	コテ仕上げ面 ライナックス仕上げ面
条件 3	降雨後の強制乾燥状態	滞水状態	580~600	
		湿潤状態	300~530	
		表面乾燥状態	120~250	
条件 4	自然乾燥状態 (1 週間以上降雨なし)	乾燥状態	100~130	
条件 5	防水層の試験施工時の乾燥状態 (前日まで雨天)	湿潤状態	300~400	水抜きを行った直後 (区画 4)
		表面乾燥状態	200~300	上記の湿潤状態からブローによる送風で乾燥 (区画 4)
		乾燥状態	113~200	1~6 ブロックの一般部

(3) コンクリート表面状態と定性的評価のまとめ

平板試験体および模擬床版試験体のコンクリート表面の水分状態とカウント値との関係を図一 4 に示す。この図からも明らかなように、新型水分計 B で測定したカウント値を用いると、コンクリート表面の乾燥状態の評価のみでなく、表面の水分状態を概ね推定することができることがわかった。



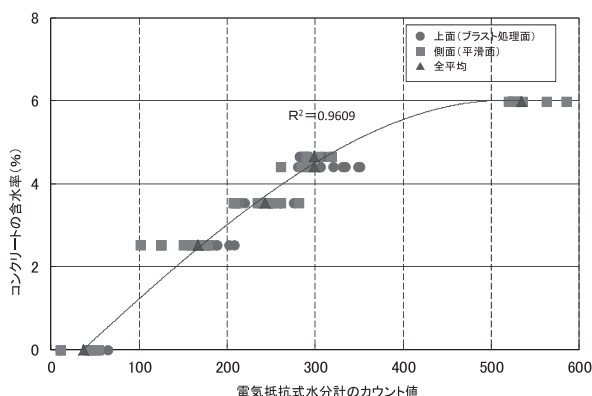
図一 4 コンクリート水分状態とカウント値との関係



図一 3 仕上げ条件の違いと水分量測定結果

(4) 検量線と含水率のまとめ

図一5にカウント値と含水率の関係（検量線）を示す。カウント値は含水率の増加に伴って大きく変化する。両者の間には強い正の相関（ $R^2 = 0.96$, $n=84$ ）が認められた。すなわち、コンクリート平板の検量線としてカウント値を用いて評価を行えば、コンクリート表面の含水率を定量的に把握でき、その結果として表面の乾燥状態の判断が可能になる。



図一5 含水率とカウント値の関係（検量線）

4. まとめ

本実験研究の結果によって得られた結論は次のとおりである。

- ①コンクリート床版表面の水分は、新しく開発した電気抵抗式の新型水分計Bを用いることによって、多少の凹凸があっても正確に測定できることがわかった。従来から用いられている高周波容量式の水分計Aは、コンクリート表面の凹凸の影響を受けて凹凸面では含水率を過小評価する。
- ②新型水分計Bを用いて測定したカウント値と、質量変化から求めたコンクリート表層部の含水率との間には、強い正の相関（ $R^2 = 0.96$ ）が認められた、すなわち、新型水分計Bのカウント値を用いて換算すれば、コンクリート表面付近の乾燥状態の判別および含水率を推定することが可能である。
- ③新型水分計Bによって測定されるカウント値（10～990）を利用すれば、コンクリート表面の水分状態を、絶乾状態、乾燥状態、表面乾燥状態、湿潤状態、滞水状態として定性的に判別することが可能である。

5. おわりに

本研究においては、コンクリート表面の凹凸形状および水分状態の違いに着目し、新しく開発した電気抵

抗式の新型水分計と、従来用いられてきた高周波容量式の水分計の適用性の検証を行った。その結果、電気抵抗式の測定手法を用いれば、簡便かつ正確にコンクリート表面の乾燥状態の判別や含水率を推定することが可能であることがわかった。その一方で、高周波容量式では適正な水分状態を測定できないケースがあることが実証できた。

今後は、防水工に使用されるプライマーや接着剤について、コンクリート表面の水分量（含水率）が接着強度に与える影響等についても研究を継続していきたい。さらに、防水工施工前のコンクリート床版表面の含水状態のあり方だけでなく、生コンクリート打設直後からの硬化過程における水分管理への適用性等についても、客観的な判断基準の確立に向けて、ここで開発した水分計の活用を図りたいと考えている。

なお、本実験研究の成果を踏まえ、(株)ケット科学研究所からコンクリート表面の含水状態をカウント値（電気抵抗換算値）表示、あるいは含水率を直読できる「道路橋床版水分計 HI-100」が販売されることになったことを付記しておきたい。



《参考文献》

- 1) (株)高速道路総合技術研究所、(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所、(財)防災科学研究所社会基盤維持管理研究会：欧州床版防水システム調査報告書、2009。
- 2) 公益社団法人土木学会：道路橋床版防水システムガイドライン（案）、2012。
- 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) 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。
- 6) 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、Vol.27、No.1、pp.49-54、2005。
- 7) 構造物施工管理要領、東・中・西日本高速道路(株)：2011。
- 8) 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.59A、PP.1112～1123、2013。

【筆者紹介】



榎園 正義（えのきぞの まさよし）
（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
研究課長



谷倉 泉（たにくら いずみ）
（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
部長