

## 論文

## 道路橋 RC 床版の損傷と含水率

大田孝二\*, 鈴木康範\*\*, 前島 拓\*\*\*, 大野 晃\*\*\*\*, 岸良 竜\*\*\*\*\*

\*工博, 部長, 一般財団法人 土木研究センター (〒116-0016 東京都台東区台東 1-6-4)

\*\*工博, 主席技師長, (株) 中研コンサルタント (〒102-8645 東京都千代田区六番町 6-28)

\*\*\*工修, 日本大学工学部土木工学科 (〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1)

\*\*\*\*工修, グループリーダー, 住友大阪セメント (株) (〒274-8601 千葉県船橋市豊富町 585)

\*\*\*\*\*工修, 太平洋セメント (株) (〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

道路橋 RC 床版は, その水分量によって疲労損傷速度が異なると報告されている. 今回, アルカリシリカ反応の進行程度が異なる RC 床版について輪荷重走行試験を行う機会を得た. そこで, RC 床版内の水分量の影響を調査する目的で, コンクリートの含水率と測定計器の測定値をより正確に関連付ける手法について先ず検討した. 次に, RC 床版の作製時から輪荷重走行による疲労破壊に至る期間内に床版中の含水率を定期的に測定し, アルカリシリカ反応と疲労損傷の進行と含水率の変化について検討した.

キーワード: ASR, 床版損傷, コンクリート含水率の変化

## 1. はじめに

現在, 国土交通省や地方自治体が管理している橋梁において, 長寿命化の計画が推進されており, 桁の維持管理だけでなく, 床版の維持管理および更新が大きな課題となっている. 道路橋床版の多くは鉄筋コンクリート床版 (以下, RC 床版) であり, 積雪寒冷地における凍結防止剤の大量散布に伴い, 塩害<sup>1) 2)</sup>, 凍害<sup>3)</sup>, アルカリシリカ反応<sup>4) 5)</sup> (以下, ASR) といった材料劣化と, 輪荷重走行による疲労の複合劣化が指摘されている.

従来, RC 床版の損傷速度を診断するには, 輪荷重によって生じた RC 床版下面のひび割れ発生状況や遊離石灰の滲出状況などの観察によっていたが<sup>6)</sup>, 材料劣化を含めた RC 床版損傷が生じている現状を考慮すると, 上記の観察のみでは十分な判断材料とは言えない.

一方, RC 床版はその水分量によって疲労による損傷速度が大きく異なることが報告されている<sup>7)</sup>. さらに, 床版中の水分は鋼材腐食, 凍害, ASR などの材料劣化の進行速度に深く関係することは言をまたない.

今回, アルカリシリカ反応の進行程度が異なる RC 床版について輪荷重走行試験を行う機会を得た. 本論文では, RC 床版内の水分量の影響を調査する目的で, 含水率の測定時に制御できない誤差要因をなるべく排除した理想的な条件下で, コンクリートの含水率と計器の測定結果を関連付ける手法を先ず検討した. 次に, RC 床版の作製時から輪荷重走行による疲労破壊に至る期間内に

床版中の含水率を定期的に測定し, アルカリシリカ反応と疲労損傷の進行と含水率の変化について検討した.

## 2. 実験概要

## 2.1 コンクリートの含水率と計器の測定結果

(株) ケット科学研究所製の電気抵抗式含水率計 (以下, HI-800) では, 水セメント比 53~70% のコンクリートを対象に求めた測定結果と 105°C 炉乾燥の含水率の関係から, カウント数と孔内温度を測定すると含水率が表示される<sup>8)</sup>. しかしながら, 上記の関係は使用材料, 孔内温度, コンクリートの材齢など種々な要因によって変化する可能性が大きい. 特に, 今回の測定では ASR を促進させるために, コンクリート体積当たりの等価 Na<sub>2</sub>O 量 10kg/m<sup>3</sup> の NaCl が含まれており, この影響も少なからず考えられる.

本研究では, RC 床版と同一材料および配合のコンクリート円柱供試体を打込み直後から, 環境温度を変えて HI-800 によって測定した結果と, 同一供試体から採取したコンクリート塊を用いて測定した恒温質量法による含水率の関係を求めた. 次に, 異なる乾燥状態および環境温度における HI-800 の測定値から含水率を推定する方法を検討した.

## (1) 含水率測定用供試体

反応性粗骨材を用いて, 表 - 1 の配合のコンクリートに等価 Na<sub>2</sub>O 量 10kg/m<sup>3</sup> の NaCl を外割添加して練り上げ

た. 練り上げたスランブ 15cm および空気量 3.8% のコンクリートは、図-1 に示すように、φ6mm のステンレス製 (SUS304) 丸鋼 3 本から成る 1 辺 30mm の正三角形の重心を φ100mm の円形断面中心に、かつ丸鋼下面が高さ 200mm の半分になるように設置された円柱供試体型枠内に打ち込んだ。標準水中養生の材齢 28 日の圧縮強度は、29.9N/mm<sup>2</sup> であった。なお、反応性粗骨材は JISA 1145 の化学法で「無害でない」と判定され、表-1 の配合のコンクリートをデンマーク法によって促進養生すると約 0.6% の大きな膨張を示した。

## (2) 測定条件および測定方法

円柱供試体は表-2 に示す条件で含水率を測定した。型枠取外し直後に測定した円柱供試体は、ブリーディングが収まった後に、10°C、20°C、30°C の各温度で型枠のまま上面をビニールで封かんし養生した。他の円柱供試体は、24 時間後以降に型枠を取り外し、各温度の養生室内で静置した。乾燥 28 日以降の材齢では 50°C での強制乾燥を所定期間行い、その後、各養生温度で 3 日間養生し、含水率の測定を行った。

含水率の測定は、円柱供試体上面から埋め込んだ φ6mm のステンレス製 (SUS304) 丸鋼を引き抜き、熱電対で円柱供試体の各孔の高さ 100mm 位置の孔内温度を測定した後、HI-800 を用いて 3 つの孔のうち隣接する 2 点を選び、高さ 60 から 100mm まで 10mm 間隔で行った (写真-1 参照)。一方、HI-800 の含水率測定が終了した円柱供試体は耐圧試験機によって割裂し、上面から 60 ~100mm 間においてタガネによってはつり出したコンクリート片の湿潤質量と、105°C 下で恒量となったコンクリート片の絶乾質量を測定し、含水率を算出した。

## 2. 2 RC 床版の含水率

RC 床版の含水率は、輪荷重走行の開始時における ASR の進行程度および走行面の水張り有無が異なる 3 体の RC 床版 (厚さ 16 cm) を対象に測定した。そのため、同一材料を用いて同時に作製された 3 体の RC 床版が、表-3 に示すように養生された。また、RC 床版 I、II は乾燥状態で輪荷重走行が行われたが、RC 床版 III は水張り状態で輪荷重走行が行われた。表-3 中の RC 床版 II、III にある ASR 促進養生は、温度 50°C、湿度 80% 一定に制御された大型環境試験装置内に RC 床版を静置し、RC 床版上面に飽和 NaCl 溶液を湛水させ、他の 5 面を養生シールで貼付することによって、ASR が上面から進行させたものである。一方、真水湛水養生または湿布養生は、ASR 促進養生後において常温で RC 床版の上面を真水湛水または湿布養生を行うことによって、鉄筋腐食および ASR の進行を可能な限り抑制するものである。表-3 中の RC 床版 III にある塩水浸漬養生は、ASR 促進養生前に常温で 5%NaCl 溶液中に RC 床版を浸漬し、アルカリイオンの濃度拡散および鉄筋腐食を防ぎつつ

表-1 コンクリートの配合

W/C	sa	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
		W	C	S1 <sup>*1</sup>	S2 <sup>*2</sup>	G	AD <sup>*3</sup>	AE <sup>*4</sup>
65.0	45.0	175	269	413	405	1032	3.23	0.0215

\*1: 硬質砂岩 砕砂, \*2: 花崗岩 砕砂, \*3: AE 減水剤, \*4: 消泡剤

表-2 供試体の乾燥条件

環境温度 (°C)	28 日までの乾燥条件					28 日以降の乾燥条件	
	24hr 型枠取外し時	乾燥 2 日	乾燥 3 日	乾燥 7 日	乾燥 28 日	50°C 乾燥 14 日後、各環境温度で乾燥 3 日	50°C 乾燥 28 日後、各環境温度で乾燥 3 日
10, 20, 30							

表-3 RC 床版の養生条件と含水率の測定時期

RC 床版 No.	養生条件と含水率の測定時期	測定回数 (回)
I	RC 床版の作製⇒型枠 内で上面を湿布養生⇒○ <sup>*1</sup> ⇒材齢 7 日で型枠の取外し⇒ 21 日間の湿布養生 ⇒○ <sup>*1</sup> ⇒輪荷重走行○ <sup>*1</sup> ⇒疲労破壊時○ <sup>*1</sup>	4
II	RC 床版の作製⇒型枠 内で上面を湿布養生⇒○ <sup>*1</sup> ⇒材齢 7 日で型枠の取外し⇒ 21 日間の湿布養生 ⇒○ <sup>*1</sup> ⇒41 日間の ASR 促進養生⇒○ <sup>*1</sup> ⇒27 日間の真水湛水または湿布養生⇒輪荷重走行○ <sup>*1</sup> ⇒疲労破壊時○ <sup>*1</sup>	5
III <sup>*2</sup>	RC 床版の作製⇒型枠 内で上面を湿布養生⇒材齢 7 日で型枠の取外し⇒ 2 日間の湿布養生⇒○ <sup>*1</sup> ⇒87 日の塩水浸漬養生⇒○ <sup>*1</sup> ⇒59 日間の ASR 促進養生⇒ 20 日間の真水湛水または湿布養生 ⇒○ <sup>*1</sup> ⇒輪荷重走行○ <sup>*1</sup> ⇒疲労破壊時○ <sup>*1</sup>	5

\*1 : ○は含水率の測定時期を示す

\*2 : RC 床版 III は水張り状態で輪荷重走行 (軌道位置は、短辺中央から 300 mm 長辺中央から 2000 mm) を実施

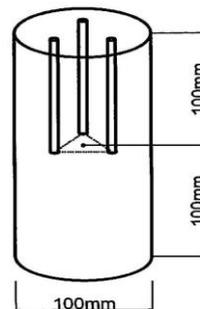


図-1 円柱供試体の含水率 写真-1 HI-800 の測定状況の測定位置

ASR を緩やかに進行させるものである。

輪荷重走行範囲における含水率の測定は、削孔に伴い輪荷重走行試験結果に何らかの影響を与えるおそれがある。そこで、図-2 に示すように、含水率の測定箇所は、輪荷重走行範囲を外した RC 床版短辺近傍の 2 か所

(図-2 中の A と B の 4~5 点) とし、短辺から 210~250mm 離れた位置とした。その 2 か所において、表面からの深さ 20, 40, 60, 80, 100 および 120mm の位置で、表-3 に示す時期に HI-800 を用いて含水率を測定した。疲労破壊時には、輪荷重走行部近傍の 2 か所 (図-2 中の C の 2 点) においても含水率を測定した。なお、RC 床版Ⅲは水張り状態で輪荷重走行を行ったが、含水率の測定位置は水張り位置の外であり、RC 床版上面は基本的に乾燥状態であった。

コンクリート上面が湿潤状態にない場合には、含水率測定箇所をスポンジマットなどで 12 時間程度湿潤状態に保った後、表面水を拭き取り、含水率を測定した。これは、RC 床版の含水率に及ぼす周囲の湿度の影響をなるべく取り除き、なるべく一定の条件下で含水率を測定し、RC 床版内部への微細ひび割れ進展に伴う含水率の変化を捉えようとしたためである。

### 3. 実験結果

#### 3. 1 円柱供試体の含水率

図-3 は、円柱供試体について、孔内温度毎にカウント数と含水率の関係を式 (1) によって近似した結果である。この図より、HI-800 で測定されたカウント数を孔内温度毎に式 (1) で近似することによって、円柱供試体の含水率が適切に評価されることが分かる。したがって、RC 床版の含水率は、HI-800 で測定されたカウント数から、上記の手法によって求めることにした。

$$y = y_0 + A_1 \times \exp((x - x_0)/t_1) \quad (1)$$

#### 3. 2 RC 床版の含水率

##### (1) RC 床版のひび割れ発生状況

RC 床版Ⅰの上下面では、輪荷重走行開始前にひび割れが発生していなかった。RC 床版ⅡおよびⅢの上面は、ASR 促進養生中に NaCl の供給をより多く受けたので、ひび割れが輪荷重走行開始前にその走行方向を中心に発生した。RC 床版の両辺と中央における配筋量に差があることから、内部拘束によって引張応力が作用し、上面のひび割れは両辺近くで多く見られた。一方、RC 床版ⅡおよびⅢの下面では、輪荷重走行開始前に上面と比較して少ないひび割れが輪荷重走行直角方向に発生していた。また、その数は RC 床版ⅡよりⅢで多く発生し、ASR の進行程度の差が現れていた。なお、含水率の測定が RC 床版上面からの削孔で行われることを考慮すると、RC 床版Ⅰを除く測定位置近傍において、輪荷重走行開始前からひび割れが発生したと言える。

##### (2) 含水率の断面内分布

RC 床版Ⅰ~Ⅲについて、表-3 に示す疲労破壊までの測定時期における含水率の断面内分布を図-4~図-6

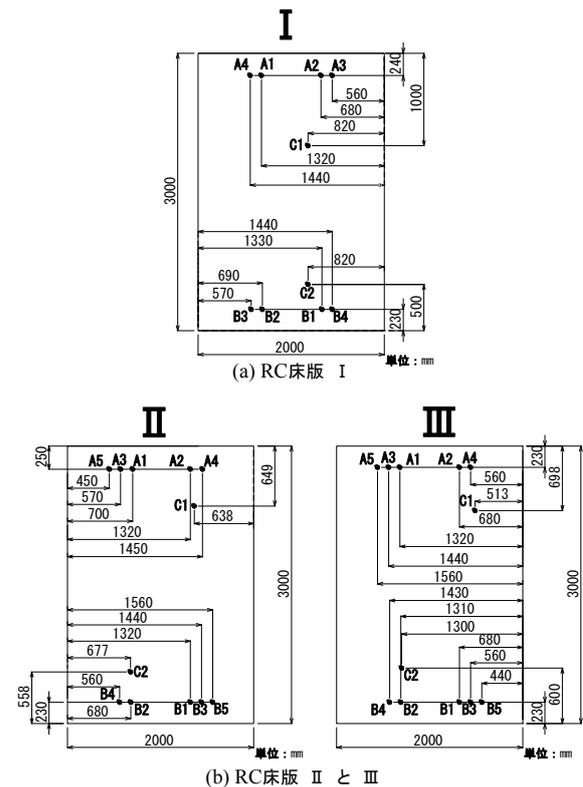


図-2 RC 床版の含水率の測定位置

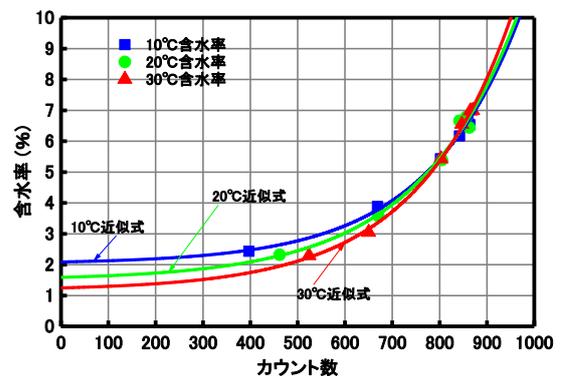
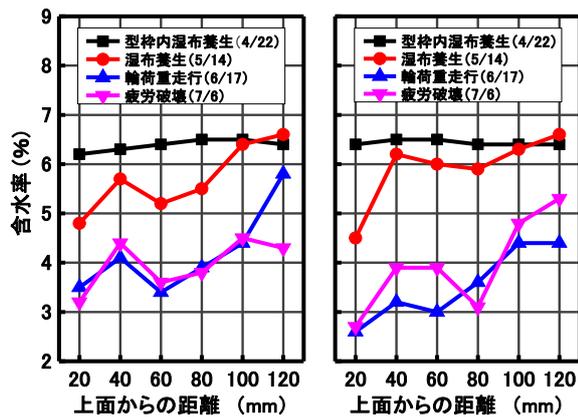


図-3 含水率と電気抵抗式含水率計の測定値の近似

に示す。

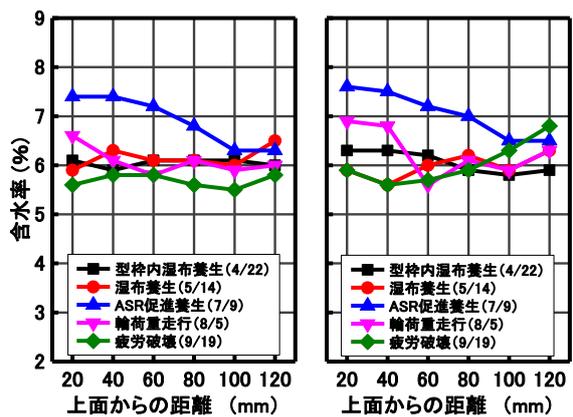
RC 床版Ⅰの含水率の断面内分布は、型枠内の湿布養生終了時 (4/22) ではほぼ一定であった。しかし、21 日間の湿布養生終了時 (5/14) では、上面からの乾燥が進行しているようであり、多少のばらつきがあるが、上面に近いほど含水率が低下した。その後の輪荷重走行は乾燥状態で行われているので、輪荷重走行中 (6/17) では上面に近いほど含水率が低下する傾向は同様であるが、断面内の含水率が全体的に低下した。疲労破壊時 (7/6) では、含水率の断面内分布の傾向は輪荷重走行中とほぼ同様であったが、含水率が輪荷重走行中よりやや増加する傾向が一部に認められた。

RC 床版Ⅱの含水率の断面内分布は、RC 床版Ⅰと異なる



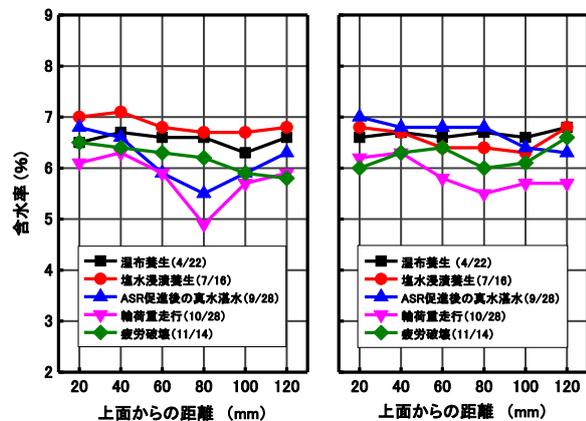
測定位置 A\*                      測定位置 B\* (\*: 図-2 参照)

図-4 RC 床版 I の含水率分布



測定位置 A\*                      測定位置 B\* (\*: 図-2 参照)

図-5 RC 床版 II の含水率分布



測定位置 A\*                      測定位置 B\* (\*: 図-2 参照)

図-6 RC 床版 III の含水率分布

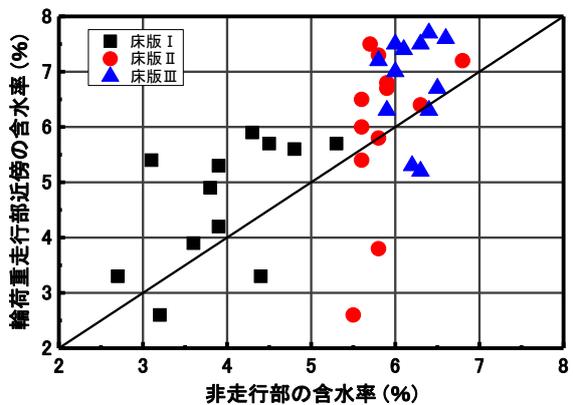


図-7 非走行部と輪荷重走行部近傍の含水率

り、型枠内の湿布養生終了時 (4/22) および 21 日間の湿布養生終了時 (5/14) とも含水率はほぼ一定であった。しかし、41 日間の ASR 促進養生終了時 (7/9) では、断面内の含水率が全体的に増加するとともに、上面に近いほど含水率が増加した。輪荷重走行中 (8/5) においても、上記の含水率の断面内分布の傾向は認められたが、含水率は全般的に低下した。しかし、疲労破壊時 (9/19) では、測定位置 A の断面内分布がほぼ一定で、測定値 B の内部の含水率が増加する傾向を示した。

RC 床版 III の含水率の断面内分布は、型枠内の湿布養生終了時 (4/22) では、含水率はほぼ一定であった。87 日間の塩水浸漬養生終了時 (7/16) および 59 日間の ASR 促進後の真水湛水養生終了時 (9/28) では、含水率は上面に近い部分で増加しており、凹な分布形状が測定位置 A (図-2 参照) で認められた。水張り状態の輪荷重走行中 (10/28) において、上記の含水率の断面内分布の傾向は測定位置 A, B とも同様であった。疲労破壊時 (11/14) において、含水率が試験中より全体的に増加したが、含水率の断面内分布の傾向は測定箇所により異なった。

当初、含水率が疲労破壊直前では増加すると予想したが、図-4 と図-5 に示すように、RC 床版 I と II では上

面からの距離が 100 mm 以深の位置の一部で、疲労破壊時で含水率が増加したに過ぎない。一方、水張り状態で輪荷重走行試験を行った RC 床版 III では、図-6 に示すように、上記位置だけでなく全般的に含水率が増加した。RC 床版 I ~ III の含水率の断面内分布は、周囲の湿度の影響も受けるので、ASR および輪荷重走行による疲労損傷の程度を直接関係づけることはかなり困難である。しかし、水張り状態で輪荷重走行試験を行い、ASR 劣化および疲労損傷が進んだと思われる RC 床版 III では、他の RC 床版と比較して疲労破壊時に含水率が増加する傾向がより明確に認められた。

疲労破壊時において、輪荷重走行部近傍 (図-2 中の C の 2 点) と非走行部 (図-2 中の A, B) の含水率を図-7 に比較して示す。輪荷重走行部近傍の含水率は、ばらつきがやや大きいものの、図-7 中の直線から左上に偏っており、非走行部に比べて全般的に大きくなる傾向であった。この傾向は、輪荷重走行部近傍における疲労損傷によるひび割れの進展の影響によるとも考えられる。

### (3) RC 床版の湿気移動解析

本解析の目的は、RC 床版を取り巻く温度や湿度の環境条件から予想される内部の含水率分布を解析した時

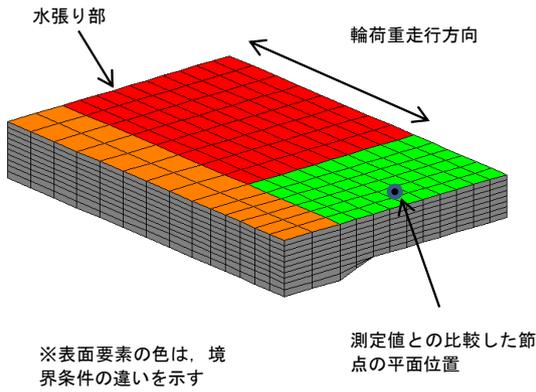


図-8 RC床版の要素分割

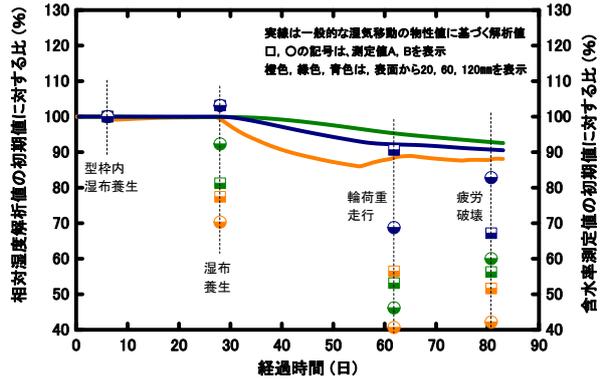


図-9 RC床版Iの相対湿度解析値と含水率測定値

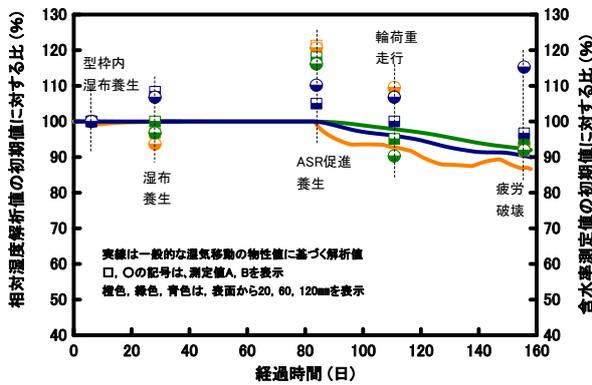


図-10 RC床版IIの相対湿度解析値と含水率測定値

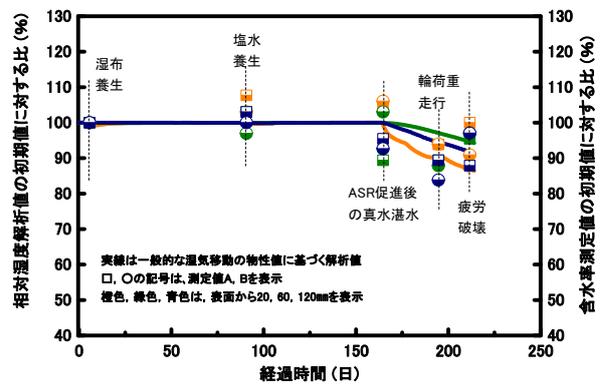


図-11 RC床版IIIの相対湿度解析値と含水率測定値

に、疲労破壊時に含水率が増加傾向にあるかを探るためである。

コンクリート中の含水量(率)と湿度(蒸気圧)には関連があるので、一般的な湿気移動の物性値<sup>9)</sup>を用いて3次元FEMによってRC床版の湿気移動解析を行った。

FEMプログラムは、(株)計算力学研究所のASTEAMACSである。湿気移動解析は、幅2000mm、長さ3000mm、厚さ160mm(ハンチ部210mm)のRC床版の1/4を対象として、図-8に示すように節点数1860、要素数1442に要素分割し、解析時間刻みを2時間として行った。測定値との比較した節点の平面位置は、輪荷重走行方向において短辺より250mm離れ、かつ床版支間方向においてハンチ部を除いた長さの1/4に固定した。相対湿度は観測データが存在する白河測候所の値を、また温度は輪荷重走行を実施した日本大学工学部の所在地である郡山測候所の値を用い、10日間毎の平均値として入力した。含水率と相対湿度の直接的な関係を導くのが困難なので、その比較には値そのものでなく、初期値に対する比によって検討した。

各RC床版の上面から20, 60, 120mmの位置の含水率測定値と相対湿度解析値を、代表例として図-9~図-11に示す。図中のプロットは、含水率測定値の初期値

に対する比であり、右軸目盛で表示される。一方、実線は相対湿度解析値の初期値に対する比であり、左軸目盛で表示される。

RC床版Iの相対湿度解析値は、湿布養生終了時までほぼ初期値と同じであるが、大気湿度の影響を受けやすい上面から20mmを除いて、それ以降単調減少した。一方、含水率の測定値は、初回測定以降輪荷重走行中まで単調に減少したが、疲労破壊時に増加する場合が多かった。RC床版Iの相対湿度解析値と含水率測定値にはかなりの乖離が見られる。RC床版Iは養生期間が短く、コンクリートの緻密化が進まず、ひび割れの影響も加わり、一般的な湿気移動の物性値に基づく解析以上に乾燥が進み、断面内の含水率分布の勾配が大きくなったと思われる。

RC床版IIの相対湿度解析値は、ASR養生終了後まで初期値と同じであり、上面から20mmを除いて、それ以降の乾燥状態での輪荷重走行中にほぼ単調減少した。一方、含水率の測定値は湿布養生終了後まで初期値とほぼ同じであり、ASR促進養生後に増加した。それ以降の乾燥状態での輪荷重走行中において減少し、疲労破壊時に増加に転じる場合が見られた。

RC床版IIIの相対湿度解析値は、ASR促進後の真水湛

水養生終了時まで初期値と同じであり、水張り状態での輪荷重走行中にほぼ単調減少した。含水率の測定値もばらつきはあるが、ASR 促進後の真水湛水養生終了時まで初期値とほぼ同じであり、それ以降の水張り状態の輪荷重走行中に一旦減少し、疲労破壊時にやや増加に転じた。

RC 床版ⅡとⅢでは養生期間が長く、コンクリートの緻密化が進んだので、ひび割れが含水率に及ぼす影響が軽減され、含水率の分布は一般的な湿気移動の物性値に基づく解析によって解釈できる範囲であった。

今回の湿気移動解析では、試験中の温度および湿度データを測定しておらず、入力値の信頼性が劣り、断定的な結論は出せない。しかしながら、一般的な湿気移動の物性値を用いると、含水率測定値の経時変化のうち、疲労破壊時に増加する傾向を再現しておらず、疲労損傷・ASR 劣化に伴う微細ひび割れの進行が RC 床版の湿気移動解析結果に何らかの影響を及ぼす可能性は否定できない。

#### 4. まとめ

本研究で得られた主な結果を以下に示す。

- (1) RC 床版と同一材料・配合の  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  コンクリート供試体を打込み直後から 3 水準の環境温度で電気抵抗含水率計 (HI-800) によって測定した結果と、同一供試体から採取したコンクリート塊を対象に  $105^\circ\text{C}$  恒量法によって測定した含水率の関係から、各環境温度において両者の関係を式  $y = y_0 + A \times \exp((x - x_0)/t)$  に当てはめ、各係数を孔内温度の二次式で近似することによって、HI-800 の測定結果から含水率を推定することができた。
- (2) ASR 劣化と輪荷重走行による疲労損傷を受ける RC 床版の含水率を経時的に測定したところ、その含水率は ASR 劣化および輪荷重走行による疲労損傷の他に環境湿度の影響を受け、含水率の経時変化または断面内分布と ASR 劣化・輪荷重走行による疲労損傷の程度を直接関係づけることは困難であった。しかしながら、疲労破壊時の含水率の増加傾向が一部に認められた。
- (3) 疲労破壊時における輪荷重走行部近傍の含水率は、ばらつきは大きいものの、非走行部と比較して全体的に大きくなる傾向であった。この傾向は、疲労損傷によるひび割れの進展の影響によるとも考えられる。
- (4) RC 床版の 3 次元 FEM による湿気移動解析では、試験中の温度および湿度データを測定しておらず、入力値の信頼性がやや劣り、断定的な結論は出せない。しかしながら、一般的な湿気移動の物性値を用いると、(2) で示す疲労破壊時の含水率の増加傾向再現できなかった。したがって、疲労損傷・ASR 劣化に伴う微細ひび割れの進行が湿気移動解析結果に何らかの影響を及ぼす可能性は否定できないといえる。

以上のように、本実験範囲内では、RC 床版の ASR

と疲労損傷の進行速度と含水率の間に直接的な関係を見出せなかった。これは、RC 床版が ASR 促進のために多量の NaCl を含み、しかもその分布も一様でないこと、輪荷重走行試験への影響を避けるため、含水率が輪荷重走行位置を離れた RC 床版端部で測定していること、その位置が RC 床版の弾性支持の近傍で、載荷治具の関係で負曲げの影響をうけることなど、データの解釈が難しい面があった。一方、RC 床版近傍の環境条件 (温度・湿度) を測定し、湿気移動解析に反映することも必要である。今後、上記の点を踏まえて、実験的な検討に留まらず現場における RC 床版の ASR と疲労損傷の進行速度と含水率を検討していきたい。

#### 謝辞

本研究は日本大学工学部 岩城一郎教授、子田康弘准教授、金沢大学 久保善司准教授との共同研究により実施しました。また、実験遂行に当たり、日本大学工学部土木工学科コンクリート工学研究室の学生諸君に多大なご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 戸出秀明, 新銀武, 竹内栄太郎: 積雪寒冷地域における橋梁床版劣化に及ぼす塩分供給の影響について, 土木学会東北支部技術研究発表会, pp.56-87, 2006.
- 2) 本荘清司, 中野将宏, 藤原規雄, 葛目和弘, 牧博則: 凍結防止剤によって塩害劣化した鋼橋 RC 床版の詳細調査, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 10 巻, pp.51-56, 2010.
- 3) 小野貴之, 三田村浩, 林川俊郎, 松井繁之: 積雪寒冷地 RC 床版の疲労耐久性に関する研究, 第 6 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.75-80, 2008.6
- 4) 横山広, 川崎文義, 堀川都志雄, 渡邊悠輔, 久保善司: 凍結防止剤の影響を受けた構造物の実態調査, 平成 19 年度土木学会中部支部研究発表会概要集, pp.423-424, 2008.3
- 5) 子田康弘, 岩城一郎, 大田孝二, 井戸康清, 島田守, 岸良竜: ASR 劣化が生じた実道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐力に関する実験的検討, 土木学会第 68 回年次学術講演会概要集, 第 V 部, pp., 2013.9
- 6) 国土交通省 国道・防災課: 橋梁定期点検要領 (案), 2004.
- 7) 松井繁之: 移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.9, No.2, pp.627-632, 1987
- 8) 建設大臣官房技術調査室 監修: 塗り仕上げ外壁・補修・改修技術, 日本建築センター, pp.347-342, 1992.11
- 9) 箆橋忍・小澤満津雄・森本博昭: コンクリートの湿気移動解析における基礎的研究, コンクリート工学論文集, Vol.22, No.2, pp.655-600, 2000