

事前載荷と繰返し水圧によるコンクリート砂利化の検証

法政大学大学院 学生会員 ○岡田修哉 正会員 藤山知加子 日本大学 正会員 子田康弘

1. 研究目的

含水状態で動的荷重を受ける道路橋 RC 床版において、セメントペースト分が流出し、骨材のみが残る「砂利化」と呼ばれる劣化現象が報告されている。本研究の目的は事前載荷の有無と繰返し水圧が砂利化現象に与える影響を検証することである。

2. 研究構成

実験ケース及び試験体名を表 1 に示す。本研究は大きく 3 つの実験で構成される。1 つ目の水圧測定実験（ケース A,B）では、既往の研究¹⁾で提案された手法を再現し、さらなる改良を加える。2 つ目は、事前載荷を与えない場合における繰返し水圧による砂利化検証実験（ケース C~F）である。3 つ目は、事前載荷を与えた場合の砂利化検証実験（ケース G~I）である。ケース G~I では、供試体を圧縮強度までの事前載荷を行った後に、繰返し水圧を作用させた。

全てのケースで、水セメント比は 65%とし、非排水状態で 0 回から 10000 回の載荷を与えた。さらに計測された水圧を、ランダム荷重の整理法であるレインフロー法で整理し、大きさと頻度を分析した。

3. 実験方法

ケース G~I の実験概略図を図 1 に示す。水で満たした水槽にφ100mm、高さ 100 mm 程度の供試体を 2 つ重ねて設置した。手動ジャッキを用いて、水中環境下で荷重を与えることで、試験体内部（図 1 の赤色部）に水圧を発生させる。既往の研究¹⁾と異なる点として、上部の供試体をアクリル製にすることで試験体内部の可視化を図った。

水圧の測定は水圧計 1 で行った。載荷前後の水槽の水の pH の計測と目視による濁度変化を観察した。載荷後に下部供試体を割裂し、割裂面の付着物を取得し、5μm 以上 2.5mm 以下の砂利の質量を計測した。その質量を付着物質量と定義し、後述する「砂利化指数」¹⁾との関連を検証した。

4. 実験結果

4.1 ケース C~F（事前載荷を行っていない場合の砂利化検証実験）

図 2 に水圧 1 の例（AC-1000-3）を示す。水圧は正圧と負圧を繰返ししながら作用することが分かった。正圧の最大値は 200~2000kPa 程度であったが、負圧の最小値は-100kPa 程度であり、ひび割れ先端部でキャビテーションが起きた可能性があった。また載荷回数が増加するにつれて水槽の水の濁りが見られた。しかし載荷前後の水槽内の水の pH の変化は小さく、濁った原因がセメントペースト分であると断定できなかった。載荷回数が大きいケースも、割裂面の付着物質量が

表 1 実験ケース及び試験体名

ケース	試験体名	載荷回数	目的
A	CC-1000-1	1000	水圧測定実験
B	CC-3000-1	3000	
	CC-3000-2		
C	AC-0-1	0	事前載荷を与えない状態における繰返し水圧による砂利化検証実験
	AC-0-2		
	AC-0-3		
D	AC-1000-1	1000	
	AC-1000-2		
	AC-1000-3		
E	AC-5000-1	5000	
	AC-5000-2		
	AC-5000-3		
F	AC-10000-1	10000	
	AC-10000-2		
	AC-10000-3		
G	AC-PL-0-1	0	事前載荷を与えた状態における繰返し水圧による砂利化検証実験
	AC-PL-0-2		
	AC-PL-0-3		
H	AC-PL-1000-1	1000	
	AC-PL-1000-2		
	AC-PL-1000-3		
I	AC-PL-10000-1	10000	
	AC-PL-10000-2		
	AC-PL-10000-3		
CC：上下コンクリート AC：上アクリル，下コンクリート PL：事前載荷あり			



図 1 実験概略図

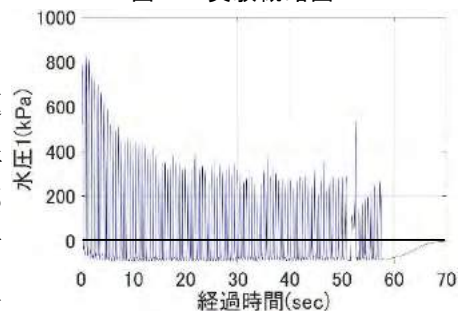


図 2 水圧 1—経過時間図
(AC-1000-3 最初の 70 秒抽出)

連絡先：東京都新宿区市ヶ谷田町 2-33 TEL 050-3136-4675

多い傾向は見られなかった．またコンクリートの平均圧縮強度は 25.79N/mm^2 であった．

4.2 ケース G～I（事前载荷を行った場合の砂利化検証実験）

事前载荷を行った場合において，繰返し水圧を作用させた．载荷回数が増加するにつれてケース C～F と同様に，水槽の水の濁りが見られたが，ケース G～I 载荷前後の水の pH の変化は小さく，ケース C～F と同様に，濁った原因がセメントペースト分であると断定できなかった．写真 1 に割裂面の例（AC-PL-10000-2）を示す．割裂面は内部まで水が浸透したことで，全体が濃い灰色に変色し，全体が湿潤状態であった．

一方，事前载荷を行った場合，载荷回数が多いケースほど，割裂面の付着物質量も多い傾向が見られた．また事前载荷前のコンクリートの平均圧縮強度は 18.52N/mm^2 であった．

5. 水圧頻度分析を用いたコンクリート砂利化の検証

測定したコンクリートに作用する水圧の大きさと頻度を，正圧と負圧を分け，レインフロー法で分析し，既往の研究¹⁾で提案した無次元量である「砂利化指数」の算出式 (1) に当てはめる．

$$j = \sum_{i=1}^k (n_i p_i) / f_c \quad (1)$$

ここで j ：砂利化指数， p ：水圧（MPa）， n ：水圧 p の繰返し回数， k ：水圧の分類総数， f_c ：コンクリート圧縮強度（MPa）である．

既往の研究¹⁾とケース C～I で得られた正圧の砂利化指数－割裂面の付着物質量関係を図 3 に，負圧の砂利化指数－割裂面の付着物質量関係を図 4 に示す．これらの結果から，事前载荷を与えた場合，ばらつきはあるものの，砂利化指数の絶対値が増加するにしたがい，割裂面の付着物質量が増加する傾向が見られた．

既往の研究¹⁾と比較して，事前载荷を行った場合は付着物質量が増加する傾向が見られた．これは，事前载荷によってコンクリート供試体にマイクロクラックが発生したところに水が浸透し，载荷されることで，くさび効果が生じ，マトリクス部の損傷が進んだためと考えられる．他の要因としては，ケース G～I はケース C～F と比べて圧縮強度が低いことが影響したと考えられる．

次に正圧と負圧のうち，より影響を与える方を検証するために目的関数に付着物質量，説明変数に正圧・負圧の砂利化指数をとり，重回帰分析を行った．結果を表 2 に示す．ここから付着物質量と砂利化指数の重回帰式を算出式 (2) に示す．正圧の砂利化指数と負圧の砂利化指数の係数比較から，砂利化現象には負圧の影響が大きいと言える．

$$F = 0.0023 \times j(p) - 0.0365 \times j(n) + 0.1931 \quad (2)$$

ここで， F ：付着物質量， $j(p)$ ：正圧の砂利化指数， $j(n)$ ：負圧の砂利化指数である．負圧の影響が大きい要因として，負圧が生じた際にひび割れからのセメントペースト分の吸出しが起きたことが考えられる．

6. 結論

- 1) 事前载荷を行った場合では，砂利化指数と割裂面の付着物質量の間には一定の相関関係が見られた．
- 2) 事前载荷でコンクリートのマトリクス部に損傷が生じ，繰返し水圧が作用することで砂利化現象がより進行したと考えられる．また作用する水圧のうち正圧よりも負圧の影響が大きい可能性がある．

謝辞：本研究は JSPS 科研費 16H04402 により実施された．

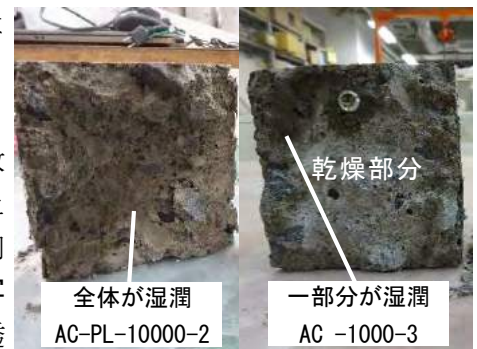


写真 1 割裂面の写真（左）

（AC-PL-10000-2）

（右は一部分が湿潤状態の供試体）

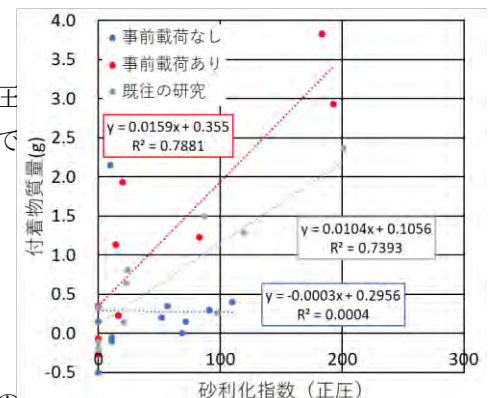


図 3 砂利化指数－付着物質量関係（正圧）

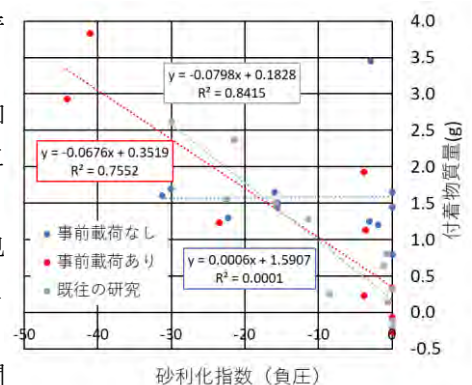


図 4 砂利化指数－付着物質量関係（負圧）

表 2 重回帰分析結果

	係数	P値
切片	0.1931	0.3099
正の砂利化指数	0.0023	0.1460
負の砂利化指数	-0.0365	0.0173