

# 論文 農業用水路コンクリートに生じる摩耗現象と促進試験方法に関する検討

石神 暁郎<sup>\*1</sup>・森 充広<sup>\*2</sup>・渡嘉敷 勝<sup>\*3</sup>・増川 晋<sup>\*4</sup>

**要旨**：農業用水路コンクリートでは、表面のモルタルが選択的に流出し、粗骨材のみが露出する摩耗現象が多くみられる。筆者らは、その劣化機構を調べるため、EPMAにより、摩耗した農業用水路コンクリートの通水表面を分析した。その結果、一部の試験体でカルシウム濃度の減少が確認された。また、こうした摩耗現象を再現することを目的とした高圧水流による促進試験方法を開発し、摩耗に対する抵抗性向上対策について考察した。

**キーワード**：農業用水路, コンクリート, 摩耗, EPMA, 促進試験, 含浸材塗布

## 1. はじめに

農業用水路コンクリートでは、通水表面においてモルタルが選択的に流出し、粗骨材のみが残存し露出する摩耗現象が多くみられる（図-1参照）。こうした摩耗現象は、コンクリートの侵食、躯体の断面欠損を発生させ、農業用水路の構造機能を低下させる要因になると同時に、表面に生じた凹凸の影響により流速が低下するなど、水理機能をも低下させる要因となる。

農業用水路の現有する機能を診断する場合には、こうした摩耗現象が構造機能や水理機能にどの程度の影響を与えるのかを評価するとともに、その劣化機構を調べ、劣化機構に応じた対策を検討することが重要である。



図-1 農業用水路コンクリートの摩耗現象

本研究では、EPMAにより、摩耗した農業用水路コンクリートの通水表面を分析し、変質の状態を確認した。また、こうした摩耗現象を再現することを目的とした高圧水流による促進試験方法を開発し、摩耗に対する抵抗性向上対策について考察した。

## 2. EPMAによる既設農業用水路の分析

### 2.1 調査対象の概要

調査対象とした農業用水路の概要を表-1に示す。D地区は四国地方に、S地区は中部地方に位置し、いずれも、施工後約40年を経過した現場打ちコンクリート製三面張開水路である。試験体は、D地区では水路底盤面より、S地区では水路側壁面の最下部分より採取した。なお、採取位置は、常時、流水に接する環境にあった。

表-1 調査対象（農業用水路）の概要

地区名	主構造・形式	設計強度	建設年
D地区	無筋コンクリート・現場打ちフリーフォーム型	16N/mm <sup>2</sup>	昭和35年
S地区	RC・現場打ちフリーフォーム型	18N/mm <sup>2</sup>	昭和41年

\*1 (独) 農業工学研究所 造構部施設機能研究室 (ショーボンド建設(株)) (正会員)

\*2 (独) 農業工学研究所 造構部施設機能研究室主任研究官 農博

\*3 (独) 農業工学研究所 造構部施設機能研究室主任研究官 (正会員)

\*4 (独) 農業工学研究所 造構部施設機能研究室長 工博

## 2.2 調査方法

調査では、摩耗した農業用水路の躯体表面より採取したコンクリート片を試験体とし、EPMAによる面分析を行った。分析対象の元素はカルシウム (Ca) およびケイ素 (Si) とし、濃度分布を測定し、変質の状態および深さを確認した。さらに、通水表面付近におけるカルシウム濃度の減少が確認されたため、線分析により CaO/SiO<sub>2</sub> 濃度比 (モル比) の分布を測定した。

なお、深さ確認では、露出した粗骨材の最頂部を初期表面位置とみなした。また、濃度比の分布では、線分析の対象はモルタルのみとし、粗骨材の測定結果は除外するよう補正を行った。

## 2.3 調査結果および考察

D 地区の試験体におけるカルシウムの濃度分

布および CaO/SiO<sub>2</sub> 濃度比 (モル比) の分布の測定結果を図-2 および図-3 に、S 地区の試験体における測定結果を図-4 および図-5 に示す。

D 地区の試験体では、図-2 の濃度分布より、表面から約 10 mm までの範囲においてカルシウム濃度の減少が確認された。さらに、図-3 の CaO/SiO<sub>2</sub> 濃度比 (モル比) の分布からも、表面より約 15 mm までの範囲において濃度比の減少傾向が確認された。この要因としては、水路底盤面のコンクリートが水路内の流水に曝されることにより、通水表面からのカルシウムの溶出が生じたためと考えられる。

カルシウムの溶出に関する既往の研究結果では、コンクリートからカルシウム成分が溶出することによる強度低下が報告されている<sup>1)</sup>。こ

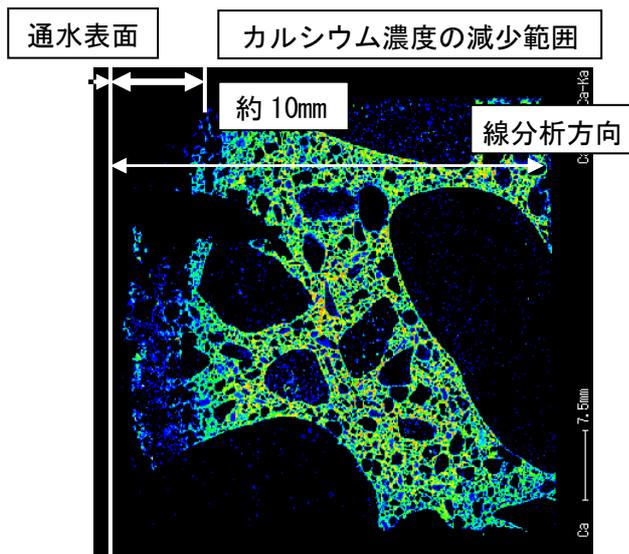


図-2 D 地区試験体の Ca 濃度分布

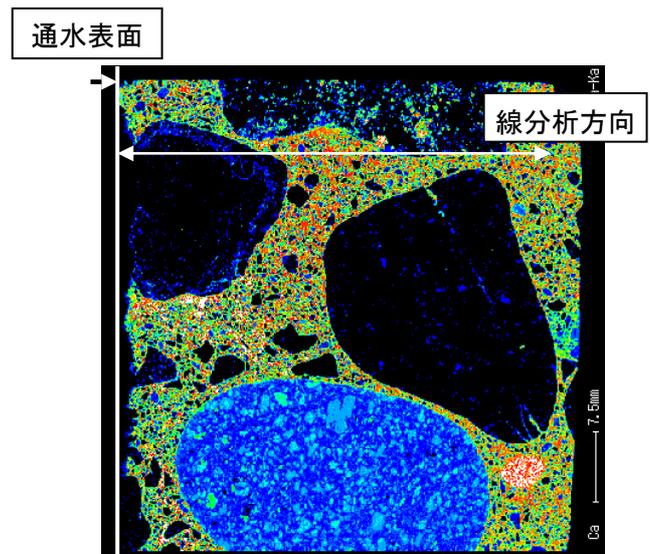


図-4 S 地区試験体の Ca 濃度分布

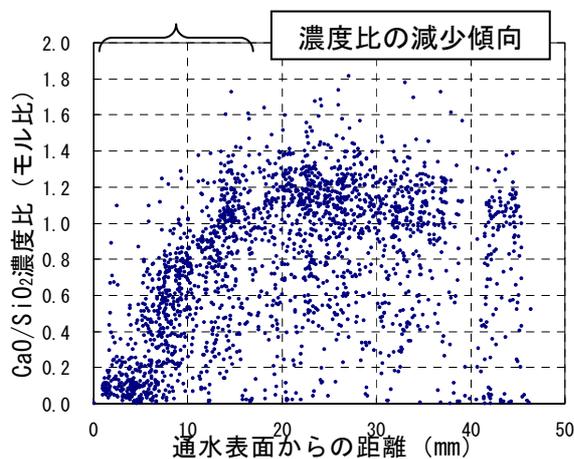


図-3 D 地区試験体の CaO/SiO<sub>2</sub> 濃度比の分布

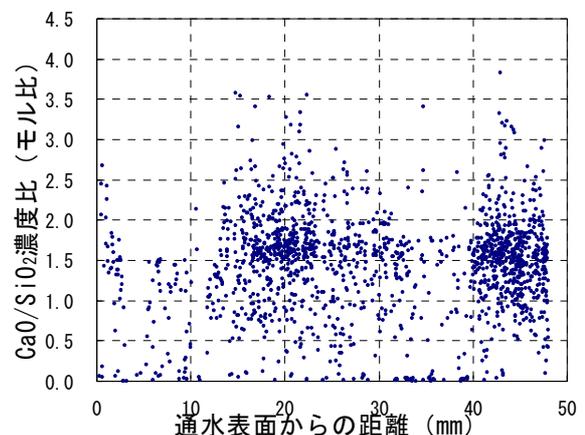


図-5 S 地区試験体の CaO/SiO<sub>2</sub> 濃度比の分布

のことから、D 地区の水路底盤面では、カルシウムの溶出により通水表面付近のコンクリートの強度が低下し、砂礫や流水によるすり減り作用に対する耐性を失い、モルタルが選択的に摩耗したと考えられる。

一方、S 地区の試験体では、図-4 の濃度分布からは、通水表面付近におけるカルシウム濃度の減少は確認されなかった。また、図-5 の CaO/SiO<sub>2</sub> 濃度比（モル比）の分布からも、粗骨材の測定結果を除外した影響によりその傾向は一様ではないものの、表面付近の濃度比の減少傾向は確認されなかった。この要因としては、強度低下を生じたコンクリートが既に摩耗を受けモルタルが消失していること、カルシウムの溶出に至る前に砂礫のすり減り作用を受け消失していること、などの可能性が考えられた。

なお、試験体採取時にフェノールフタレイン法による中性化深さ測定を行ったが、中性化深さは 0~1 mm 程度で、摩耗現象と中性化との相関関係は明確にはみられなかった。

以上の結果より、農業用水路コンクリートにみられる選択的な摩耗現象は、物理的な砂礫のすり減り作用によるものだけでなく、水路内の流水に曝されることによるコンクリートの化学的な変質が、その要因の一つとなり得ることが分かった。

### 3. 高圧水流による促進試験方法の開発

#### 3.1 促進試験方法の具備すべき条件

農業用水路を含む農業水利施設の調査診断では、変状により、施設の現有する機能を定量的に評価する技術が必要とされる。定量的に評価すべき項目の一つに、構造物としての余寿命予測が挙げられる。促進試験は、劣化を促進し変状を再現することにより、構成材料の劣化予測や構造物としての余寿命予測などを可能にするための有効な一手段である。

摩耗に関しても例外ではなく、プラスチックや塗料などでは、JIS などにより耐摩耗性試験方法が一部規定化されている（例えば JIS K 7204

プラスチック-摩耗輪による摩耗試験方法など）。コンクリートに関しても、種々の耐摩耗性試験方法が考案されている<sup>2)</sup>。しかし、既往の試験方法の多くは、コンクリートよりも硬質な材料を摩擦摺動させることにより、試験体を表面から均一に摩耗させるものである。したがって、試験後の試験体は、コンクリート中のモルタルと粗骨材が面的かつ均一に摩耗する。一方、前述のように、農業用水路コンクリートにみられる摩耗は、通水表面においてモルタルが選択的に流出し、粗骨材のみが残存し露出する現象である。したがって、既往の試験方法では、農業用水路に発生している摩耗の劣化過程を再現できないものと考えられる。

また、本研究で行った既設水路の調査結果から、水路内の流水に曝されることによるコンクリートの化学的な変質が、選択的な摩耗現象を発生させる要因として無視できないものであることが分かった。これらのことから、促進試験方法の開発に際し、モルタルのみ選択的に流出させることができること、摩耗させる材料はコンクリートよりも硬質でないこと、水を利用した試験方法であること、を条件とした。

#### 3.2 促進試験方法の開発

##### (1) 開発した促進試験装置の概要

開発した促進試験装置は、摩耗させる材料として高圧水流を利用するものである。試験装置の概要を図-6 に、試験状況の事例を図-7 に示す。本装置は、6 体の試験体を設置し、均等に水流を受けるようにそれらを回転させる「試験体回転装置部」と、その試験体に高圧水流を噴射する「高圧水噴射装置部」の 2 装置部により構成される。

試験体回転装置部は、6 体の試験体を正六角形状に、回転ドラム内部に表面を内側に向けて設置し、ドラム中心部分より噴射される高圧水を、6 体の試験体が均等に受けることができるよう一定の速度で回転する装置である。

高圧水噴射装置部は、高圧ポンプを利用し、一定の条件（噴射圧力、噴射水量）で高圧水を

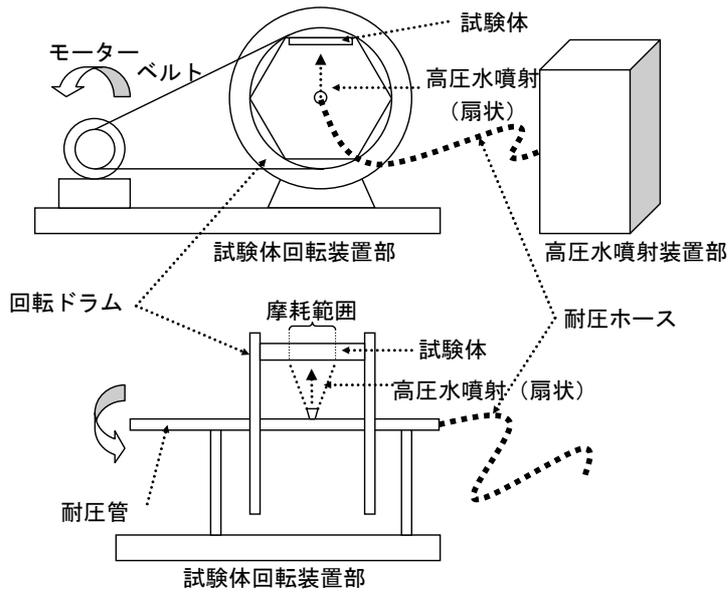


図-6 試験装置の概要



図-7 試験状況

扇状に噴射し、噴射を受けた試験体表面を摩耗させるものである。

なお、試験体間には 10 mm 程度の隙間を設け、噴射水および摩耗により生じたモルタル分は、ドラム外部に排出される構造となっている。

### (2) 試験方法

試験方法は、長さ 296 mm×幅 142 mm×高さ 60 mm の試験体をドラム内面に設置し、ドラム中央回転軸に設置した高圧水噴射ノズルから試験体に、最大噴射圧力 4.9 MPa、最大噴射水量 24.1 l/min の高圧水流を噴射することにより、試験体を促進摩耗させる。評価では、判定指標を試験前後の表面変化、摩耗重量変化、摩耗深さ変化とした。試験条件を表-2 に示す。

### (3) コンクリート試験体における試験結果

試験装置の摩耗促進能力、試験体の条件の違いによる各判定指標の差異を調べるため、コン

表-2 促進試験の試験条件

項目	条件
高圧水噴射圧力	4.9 MPa
高圧水噴射水量	24.1 l/min
試験体回転数	30 rpm
ノズルからの噴射距離	70~86 mm
ノズルの角度	40°
摩耗範囲 (幅)	88 mm (実測)
試験体寸法 (標準)	296×142×60 mm
判定指標	表面変化 摩耗重量変化 摩耗深さ変化

クリート試験体を用いた試験を行った。

試験に用いたコンクリートの配合を表-3 に示す。試験体は、粗骨材の量をほぼ一定とし、水セメント比を変えた 4 種類とした。

表-3 促進試験に用いたコンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A
20	66.5	2	48.5	166	250	912	1003	1.13
20	61.0	2	48.0	166	273	894	1003	1.23
20	56.5	2	47.5	167	296	875	1001	1.33
20	52.5	2	47.0	168	320	855	998	1.44

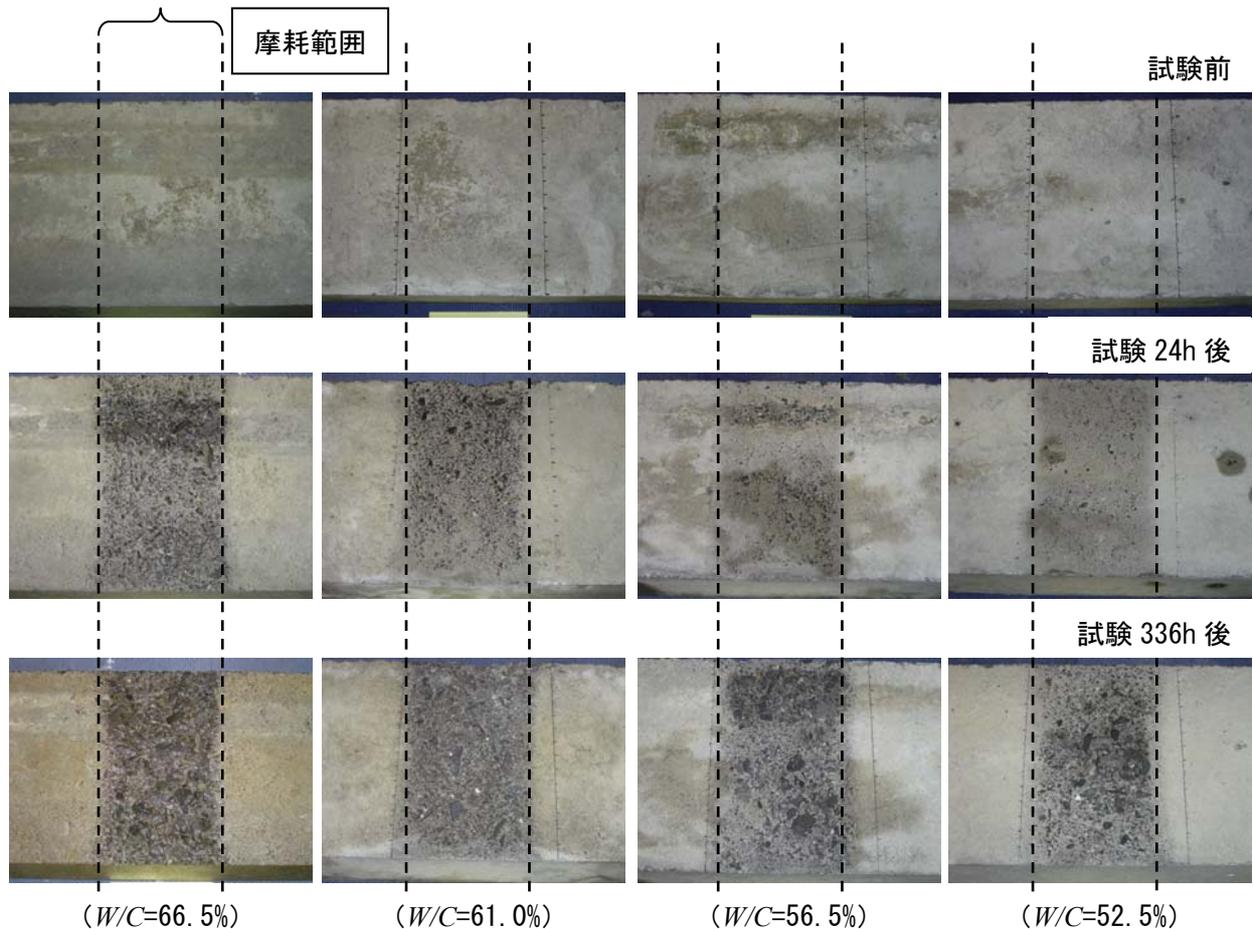


図-8 促進試験前後の表面変化

試験前後の表面変化を図-8に示す。図に示すように、最初に表面付近のセメントペースト分が取り除かれ、次にモルタル分が削り取られ、残存している比較的大きな細骨材分が洗い流された後、粗骨材分が露出する、という選択的な摩耗現象を再現できることが示された。また、試験時間に応じて摩耗状態は進行し、その進行速度は、水セメント比が大きい試験体ほど、摩耗の進行が速いことが確認された。

次に、試験前後の摩耗重量変化を図-9に示す。試験時間が比較的長い範囲では、水セメント比が大きくなるにしたがい、摩耗重量は増加する傾向がみられた。しかし、試験時間が比較的短い範囲では、重量変化が表面変化に対応せず、安定的な試験結果が得られない場合があることが分かった。この原因としては、試験体毎に吸水状態が異なることが考えられる。試験体の吸水状態は、促進試験終了後の重量測定までに要する時間や、測

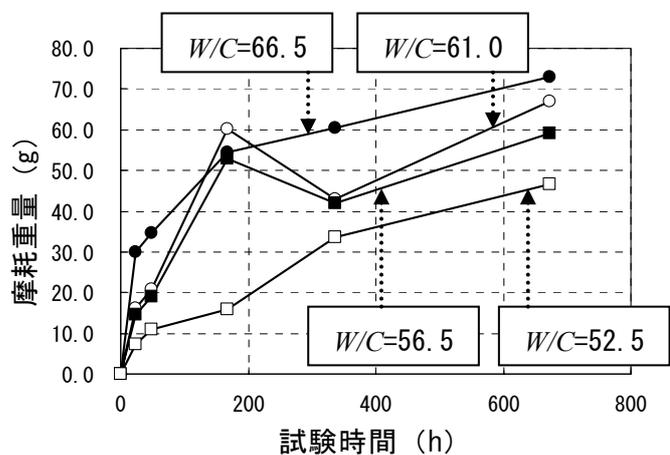


図-9 促進試験前後の摩耗重量変化

定の際の温湿度にも影響を受けるため、促進試験終了後に直ちに重量測定を行うことや、測定環境の安定化などの対策が必要である。

最後に、試験前後の摩耗深さ変化を図-10に示す。摩耗深さの測定では、摩耗範囲内において、縦方向に10 mm 間隔、横方向に4 mm 間隔のラインを記し、ラインの交点毎に深さを測定した。測点は1回1面あたり345点とし、その

平均値を摩耗深さとした。結果は、水セメント比が大きくなるにしたがい、摩耗深さは増加する傾向がみられた。また、重量変化のように試験体毎の吸水状態に影響を受けることなく、安定的な試験結果が得られた。

#### (4) 摩耗に対する抵抗性向上対策

表面に含浸材（浸透性吸水防止材：シラン系発水剤（塗布量  $0.4 \text{ kg/m}^2$ ））を塗布した試験体について、本装置による促進試験を行った。図-11 に摩耗深さ変化を示す。図に示すように、試験時間 336 h で、約 6~25% の抵抗性向上効果が得られた。

本試験で用いたシラン系発水剤は、表面強化を目的としたケイ酸塩系含浸材などの浸透性固化材とは異なり、発水性、防水性による遮水効果の特徴とするものである。本試験結果から、コンクリート中への流水の浸透を防ぎ、コンクリートの変質を防止することが、摩耗に対する抵抗性向上対策における有効な一手段であると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究の結果から、以下の結論を得た。

- (1) 既設農業用水路の分析において、一部の試験体で通水表面付近におけるカルシウム濃度の減少が確認された。これより、農業用水路コンクリートにみられる選択的な摩耗現象は、物理的な砂礫のすり減り作用によるものだけでなく、水路内の流水に曝されることによるコンクリートの化学的な変質が、その要因の一つとなり得ることが分かった。
- (2) 開発した高圧水流による促進試験方法は、農業用水路コンクリートにみられる選択的な摩耗現象を再現できることが示された。また、本試験方法における評価では、摩耗深さ変化において、安定的な結果が得られた。今後は、構成材料の劣化予測や構造物としての余寿命予測、あるいは構成材料相互間の相対評価などへの活用と、そのための現場調査結果との定量的比較、さらに、試験方法の標準化が重

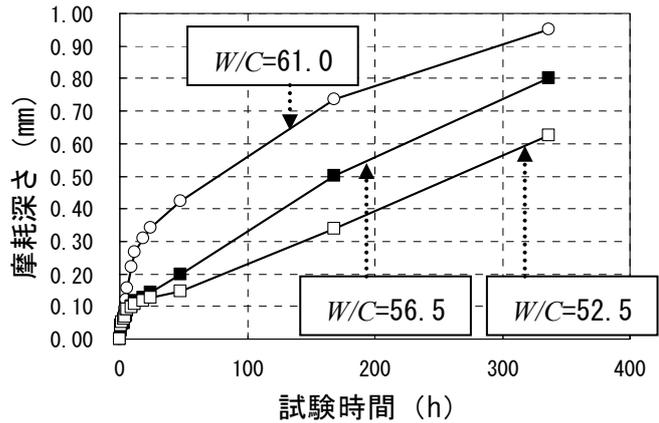


図-10 促進試験前後の摩耗深さ変化

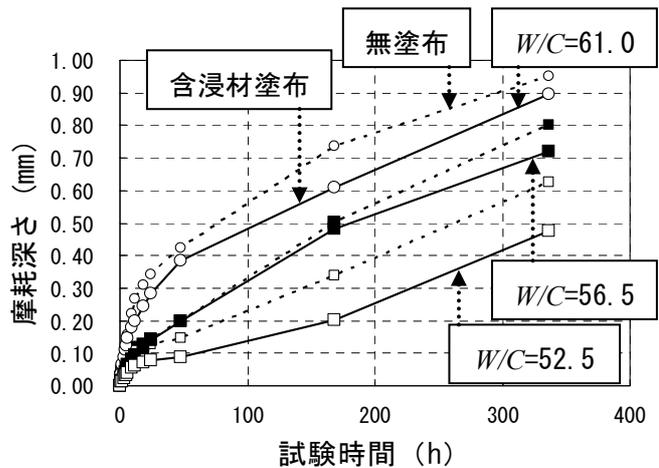


図-11 含浸材による摩耗に対する抵抗性の向上

要であると考えられる。

- (3) 本試験方法の試験結果からは、摩耗の進行速度は、水セメント比が大きくなるにしたがい、増加する傾向が確認され、また、含浸材を塗布した試験体を用いた試験では、流水によるコンクリートの変質を防止することが、摩耗に対する抵抗性向上対策における有効な一手段であることが示された。

#### 参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会 化学的侵食・溶脱研究小委員会編：コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状，土木学会，pp26-33，2003.6
- 2) 例えば，堀口 敬，猪又 稔：コンクリートに関する各種の摩耗試験法の特長について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.1，pp.685-690，1992