論文　農業用コンクリート水路における断面修復材の耐摩耗性評価

石神　暁郎[*1]・渡嘉敷　勝[*2]・森　充広[*3]・増川　晋[*4]

要旨：近年，農業用コンクリート水路では，摩耗などにより低下した機能の回復・向上を目的とした断面修復材の開発・適用が進められているが，その性能評価方法については確立されていない。本研究では，農業用コンクリート水路にみられる摩耗現象を生じさせる要因を想定した複数の摩耗促進試験方法を検討・選定し，配合の違いによる断面修復材の耐摩耗性の評価を行った。その結果，選定した試験方法の特性を確認するとともに，断面修復材の耐摩耗性は水セメント比，細骨材量およびポリマー含有量により影響を受けることを確認した。

キーワード：農業用コンクリート水路，摩耗，断面修復材，耐摩耗性，摩耗促進試験

1. はじめに

農業用コンクリート水路では，躯体自体の強度は健全に保持されているものの，通水表面において摩耗・侵食が進行し，水路の水理，構造および水利機能が著しく低下している事例がみられる。特に，農業用水路では，水路内の流量・流速の確保が要求されるため，表面の平滑性の低下に伴う水理機能の低下が問題となっている。

近年，こうした機能低下を生じたコンクリート水路に対し，その機能の回復・向上を目的とした種々の断面修復材の開発・適用が進められている。断面修復材は，コンクリート構造物の補修材料として多くの実績を有するものであるが，橋梁，トンネル，建築構造物の断面修復など，主に気中での適用を想定している場合が多く，また，水中で適用する場合は断面修復材の施工後に表面被覆材を施す場合が多い。このため，農業用水路のような流水中に直接晒されることを想定した性能評価方法については，確立されていないのが現状である。

本研究では，最初に，農業用コンクリート水路にみられる摩耗現象を生じさせる要因を想定した摩耗促進試験方法を検討し，複数の試験方法を選定した。次に，農業用水路における適用条件や市販の断面修復材の配合などを参考にして，配合の異なる複数の断面修復材を試製し，摩耗促進試験を行った。さらに，市販の断面修復材の試験を行い，水セメント比，細骨材量およびポリマー含有量が断面修復材の耐摩耗性に与える影響について評価を行った。

2. 摩耗促進試験方法の検討および選定

2.1 農業用コンクリート水路の摩耗現象

農業用コンクリート水路では，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。摩耗した水路の通水表面の分析結果では，摩耗の発生原因は，物理的な砂礫のすり減り作用によるものだけではなく，水路内の流水に晒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報告されている[1)]。一方，砂礫のすり減り作用には，砂分によるすり磨き作用のほか，礫分による転がり摩擦作用が含まれると考えられる[2)]。

酸性水による侵食やキャビテーションなどの特殊な劣化外力を受けていない一般的な農

*1 農村工学研究所　施設資源部水利施設機能研究室（ショーボンド建設（株））　(正会員)
*2 農村工学研究所　施設資源部水利施設機能研究室　主任研究員　(正会員)
*3 農村工学研究所　施設資源部水利施設機能研究室　主任研究員　農博
*4 農村工学研究所　施設資源部水利施設機能研究室　室長　工博

業用水路では，水路側壁面の上部付近において，流水の影響によりモルタルが選択的に流出する摩耗現象が多くみられる。一方，水路側壁面の下部付近や水路底盤面では，これに砂分によるすり磨き作用や礫分による転がり摩擦作用が加わると考えられる（**図－１**参照）。

2.2 摩耗促進試験方法

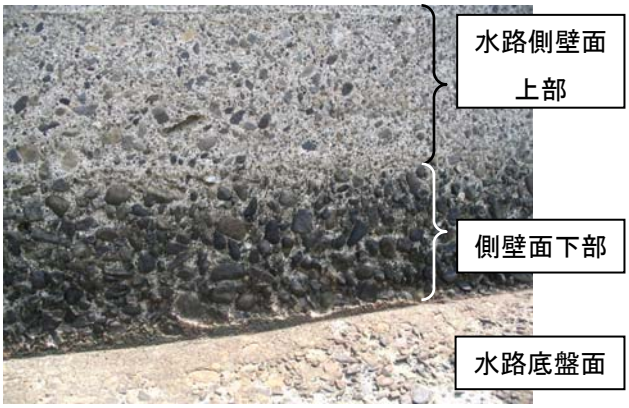
農業用コンクリート水路の摩耗現象の現状を考慮し，前述の摩耗現象を生じさせる要因を想定した複数の摩耗促進試験方法を選定した。試験方法は，流水による摩耗を想定した試験（以下，水流摩耗試験と呼ぶ），すり磨き作用を想定した試験（以下，すり磨き摩耗試験と呼ぶ），転がり摩擦作用を想定した試験（以下，転がり摩擦摩耗試験と呼ぶ）の，3 試験方法を選定して実施した。水流摩耗試験の概要を**図－２**に，各試験の状況を**図－３～５**に示す。

(1) 水流摩耗試験

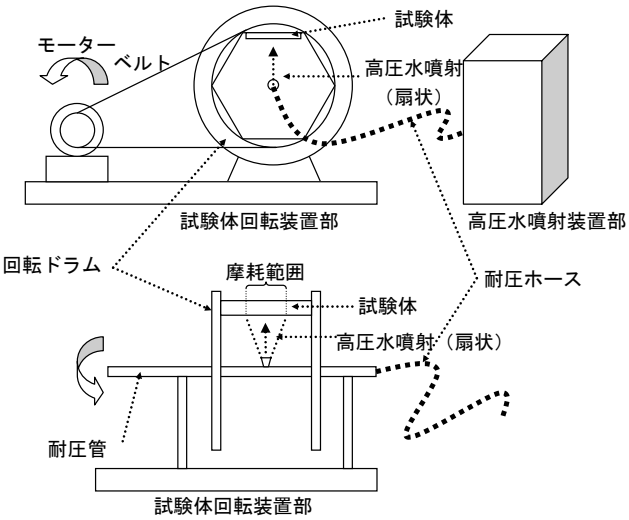
水流摩耗試験は，高圧水流を用いることで，表面のモルタルが選択的に流出し，粗骨材のみが露出する摩耗現象を再現することを目的とする試験方法である。6 体の試験体を正六角形状に，回転ドラム内部に試験表面を内側に向けて設置し，ドラム中心部分より噴射される高圧水を，6 体の試験体が均等に受けることができるよう一定の速度で回転する試験体回転装置部と，高圧ポンプを利用し，一定の条件（最大噴射圧力 4.9 MPa，最大噴射水量 24.1 l/min）で高圧水を扇状に噴射し，噴射を受けた試験表面を摩耗させる高圧水噴射装置部の，2 装置部より構成される [1)]。

(2) すり磨き摩耗試験

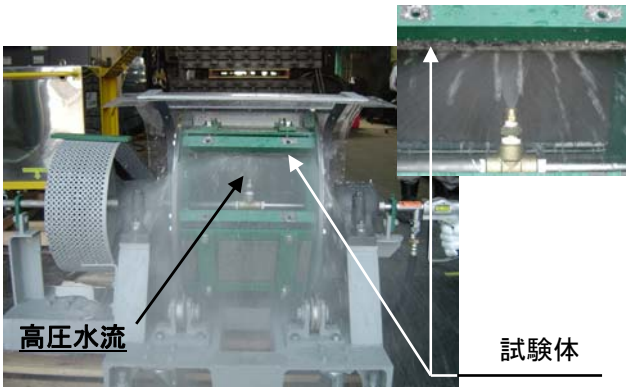
すり磨き摩耗試験は，摩耗輪を用い，硬質な材料を，注水を加えずに摩擦摺動させることで，すり磨き作用による摩耗現象を再現する試験方法である。本試験方法は，一般にテーバー式摩耗試験と呼ばれ，試験は JIS K 7204「プラスチックー摩耗輪による摩耗試験方法」に準拠して実施した。摩耗輪の荷重は 9.8 N とし，摩耗輪タイプは H22 を使用した。



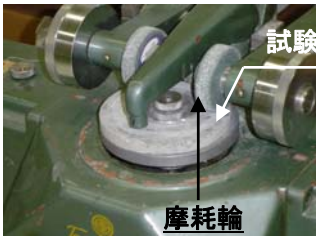
図－１　農業用コンクリート水路の摩耗現象



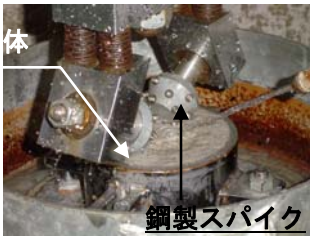
図－２　水流摩耗試験の概要 [1)]



図－３　水流摩耗試験の状況



図－４　すり磨き摩耗試験の状況



図－５　転がり摩擦摩耗試験の状況

(3) 転がり摩擦摩耗試験

転がり摩擦摩耗試験では，鋼製スパイクを用い，294 N という比較的大きな荷重を，注水（0.4 l/min）を加えながら連続的に回転させることで，転がり摩擦作用による摩耗現象を再現することを目的としている。本試験方法は，一般にスパイクラベリング試験と呼ばれ，道路舗装材料のスパイクタイヤによる摩耗に対する抵抗性を試験・評価する試験方法として採用されているものである。

3. 実験概要

3.1 使用材料

農業用コンクリート水路の補修では，断面修復材の施工範囲は面的かつ広範囲となり，摩耗や欠損状態による種々の打設厚への適応性（薄層仕上げへの適応性，付着性，施工性など）が要求される[3)]。そのため，断面修復材には，寸法安定性，付着性，強度発現性，施工性などに優れるポリマーセメントモルタルが適用される場合が多い。そこで，水セメント比，細骨材量およびポリマー含有量において配合の異なる複数の試製断面修復材の試験を行い，併せて市販断面修復材の試験を行った。

(1) 試製断面修復材の配合および性状

試験に用いた試製断面修復材の配合および性状を**表－１**に示す。各配合は，市販断面修復材の配合などを参考にして選定した。セメントの種類は普通ポルトランドセメントとし，細骨材は ISO に規定される粒度分布に調整した混合けい砂を使用した。また，ポリマーの種類はアクリル系エマルションとした。試製断面修復材は，消泡剤，増粘剤，流動化剤を用いて，練混ぜ直後の単位容積質量 2.1±0.1，JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に規定されるフロー値 180±20 になるように調整した。なお，水セメント比および骨材量を変えた試験体では，その影響を明確にするため，ポリマーを含有しない配合とした。試験体は，水セメント比 *W/C*=40%，砂セメント比 *S/C*=2.0，ポリマーセメント比 *P/C*=0%の試験体 W4 を基準として，*W/C*=50%，60%とした 2 種類（W5，W6），*S/C*=1.0，3.0 とした 2 種類（S1，S3）および *P/C*=10%，20%とした 2 種類（P10，P20）の合計 7 種類とし，養生条件は水中で 28 日間とした。

表－１　試製断面修復材の配合および性状

記号	*W/C* (%)	*S/C*	*P/C* (%)	単位容積質量 (g/cm³)	圧縮強度 σ28 (N/mm²)
W4	40	2.0	0	2.10	64.5
W5	50	2.0	0	2.05	33.8
W6	60	2.0	0	2.09	32.7
S1	40	1.0	0	2.02	56.4
S3	40	3.0	0	2.14	57.3
P10	40	2.0	10	2.01	20.4
P20	40	2.0	20	2.01	14.0

表－２　市販断面修復材の配合および性状

記号	*W/C* (%)	*S/C*	*P/C* (%)	単位容積質量 (g/cm³)	圧縮強度 σ28 (N/mm²)
M	40	2.2	5	2.21	51.9

(2) 市販断面修復材の配合および性状

試験に用いた市販断面修復材の配合および性状を**表－２**に示す。試験体は，補修材料として適用されているポリマーセメントモルタルから選定した。細骨材の種類は混合けい砂で，ポリマーの種類は再乳化型粉末樹脂であった。養生条件は水中で 28 日間とした。

3.2 試験条件および判定指標

各試験の試験条件および判定指標を**表－３**に

表－３　摩耗促進試験の試験条件および判定指標

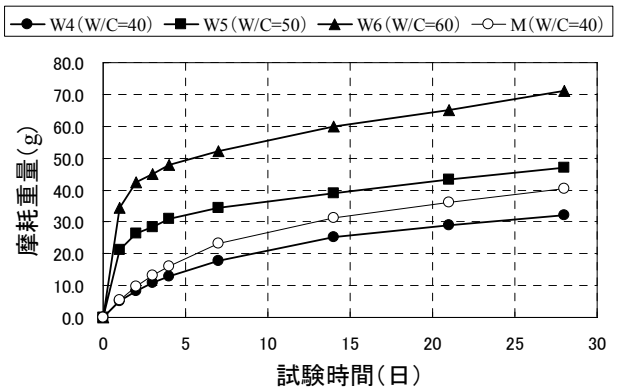
試験種類	試験条件			判定指標
	試験体寸法	噴射圧力・荷重	試験時間･回転数	
水流摩耗試験	296×142×60 mm	4.9 MPa（24.1 l/min）	28 日	摩耗重量変化・摩耗深さ変化
すり磨き摩耗試験	φ100×10 mm	9.8 N	1,000 回	摩耗重量変化
転がり摩擦摩耗試験	φ100×60 mm	294 N	2,000 回	摩耗重量変化

示す。水流摩耗試験では，判定指標を試験前後の摩耗重量変化および摩耗深さ変化とし，すり磨き摩耗試験および転がり摩擦摩耗試験では，判定指標を摩耗重量変化とした。

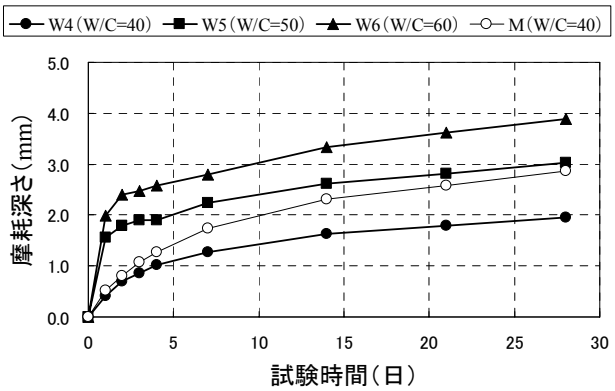
水流摩耗試験の摩耗深さの測定では，試験表面の中央部分(50×50 mm)における平均深さを，摩耗深さとした。

4. 結果および考察

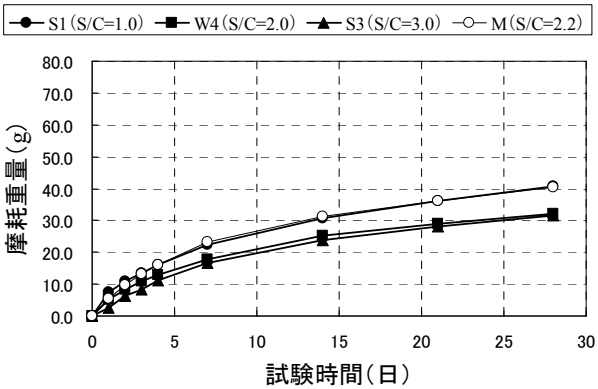
水流摩耗試験の摩耗重量変化を図－６～８に，摩耗深さ変化を図－９～11 に示す。また，すり磨き摩耗試験の摩耗重量変化を図－12～14 に，転がり摩擦摩耗試験の摩耗重量変化を図－15～17 に示す。なお，図中では，試製断面修復材および市販断面修復材の試験結果を併せて示した。



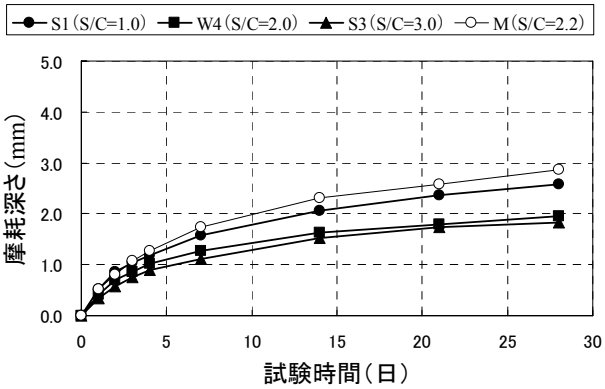
図－６　水流摩耗試験の摩耗重量変化
（水セメント比の影響）



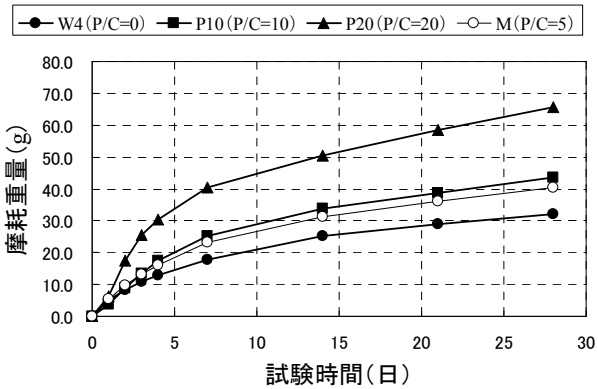
図－９　水流摩耗試験の摩耗深さ変化
（水セメント比の影響）



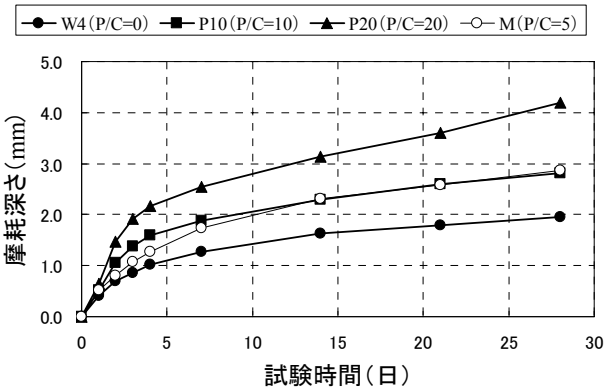
図－７　水流摩耗試験の摩耗重量変化
（細骨材量の影響）



図－10　水流摩耗試験の摩耗深さ変化
（細骨材量の影響）



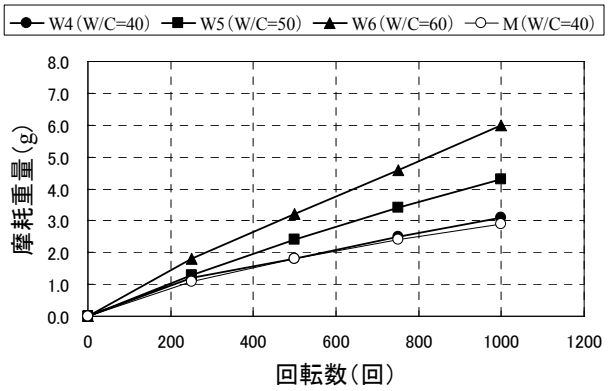
図－８　水流摩耗試験の摩耗重量変化
（ポリマー含有量の影響）



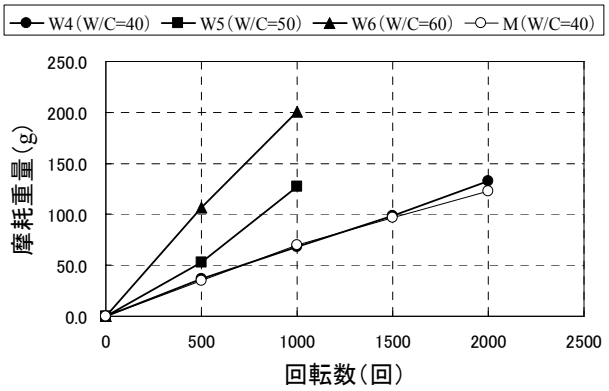
図－11　水流摩耗試験の摩耗深さ変化
（ポリマー含有量の影響）

4.1 摩耗促進試験方法の特性

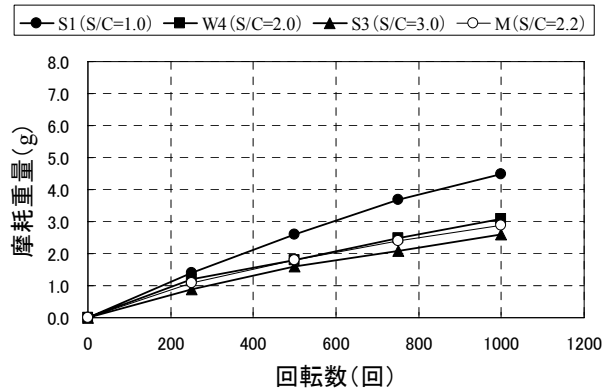
水流摩耗試験では，摩耗の進行速度は試験開始後初期の段階で大きくなり，一定時間経過後に徐々に小さくなるという傾向を示した。コンクリートの試験では，試験開始後，最初に表面付近のセメントペースト分およびモルタル分が除去された後，粗骨材が露出し始めるのと同時に，摩耗の進行速度は小さくなることが報告されており[1)]，断面修復材の試験においても，この傾向がみられることが明らかになった。すなわち，表面付近のセメントペースト分が除去された後，モルタル中の比較的大きな細骨材が露出し始めるのと同時に，摩耗の進行速度は小さくなった。これらの傾向はいずれも骨材の露出に



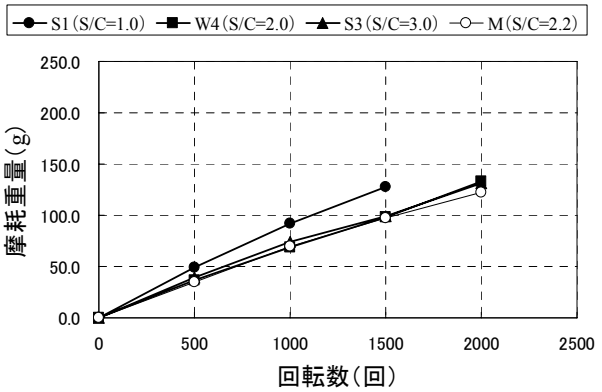
図－12　すり磨き摩耗試験の摩耗重量変化
（水セメント比の影響）



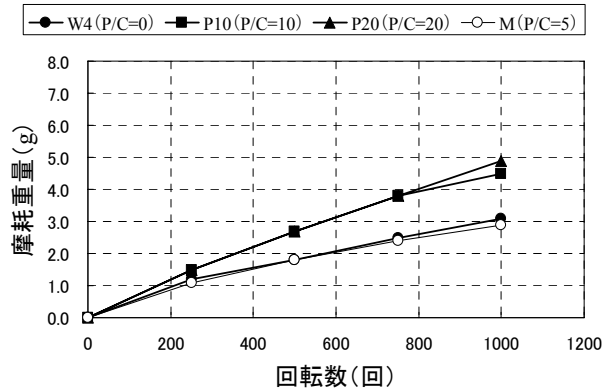
図－15　転がり摩擦摩耗試験の摩耗重量変化
（水セメント比の影響）



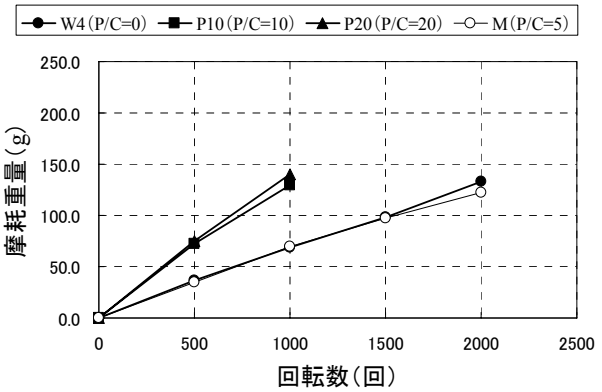
図－13　すり磨き摩耗試験の摩耗重量変化
（細骨材量の影響）



図－16　転がり摩擦摩耗試験の摩耗重量変化
（細骨材量の影響）



図－14　すり磨き摩耗試験の摩耗重量変化
（ポリマー含有量の影響）



図－17　転がり摩擦摩耗試験の摩耗重量変化
（ポリマー含有量の影響）

起因するものと考えられるため，骨材が露出する摩耗現象を生じる農業用コンクリート水路における断面修復材の耐摩耗性評価方法として，本試験方法は有効であると考えられる。一方，試験時間が 28 日と他の 2 試験に比べ長く，品質管理試験など短期に性能を確認したい場合には，十分な検討を要する。

すり磨き摩耗試験および転がり摩擦摩耗試験では，セメントペースト分と骨材分が表面から均等かつ面的に除去され，摩耗は一定の速度で進行した。これらの試験方法では骨材が露出する選択的な摩耗現象を再現することは難しく，断面修復材の耐摩耗性評価方法としては，砂礫によるすり減り作用が支配的になる，水路底盤面および側壁面下部における適用が妥当であると考えられる。一方，試験時間は水流摩耗試験に比べ短く，短期に性能を確認したい場合や，材料相互間の相対比較への活用が考えられる。

また，水流摩耗試験において，摩耗重量変化と摩耗深さ変化は，ほぼ同様の傾向を示した。摩耗重量の測定では，試験体の吸水状態に著しく影響を受けるため，測定の際の安定化対策として，試験体は水中養生を余儀なくされる。これにより，断面修復材の種類によっては悪影響を受ける可能性もあるため，判定指標では，摩耗深さ変化を選択することが妥当である。

4.2 断面修復材の耐摩耗性に与える配合の影響

水流摩耗試験では，試製断面修復材の試験において，水セメント比が大きくなるほど，細骨材量が少ないほど，ポリマー含有量が多いほど，摩耗の進行速度は大きくなった。特に，水セメント比が大きい場合とポリマーが過剰に含有される場合において，進行速度が著しく大きくなる傾向が確認された。この傾向は，他の 2 試験においても同様であった。一方，市販断面修復材の試験においては，水流摩耗試験では試製断面修復材と同様の傾向を示したが，すり磨き摩耗試験および転がり摩擦摩耗試験ではポリマーの影響はほとんどみられなかった。断面修復材に含まれるポリマーは，断面修復材の硬化過程において，その種類により種々の反応形態を持っている。そのため，ポリマー含有量と耐摩耗性との関係は，ポリマーの種類や養生条件などに依存する場合が多く，一概に判断することは困難であると考えられる。

5. まとめ

本研究の結果から，以下の結論を得た。

(1) 水流摩耗試験では，断面修復材の摩耗の傾向はコンクリートの試験時の傾向と同様であり，骨材が露出する選択的な摩耗現象を再現できることが示された。これより，断面修復材の耐摩耗性評価方法として，本試験方法は有効であると考えられる。

(2) 水流摩耗試験では，断面修復材の耐摩耗性は，水セメント比，細骨材量およびポリマー含有量により影響を受けることが確認された。また，この傾向は，すり磨き摩耗試験および転がり摩擦摩耗試験においても同様であった。

なお，農業用コンクリート水路の補修に適用する断面修復材の選定に際しては，本研究で実施した耐摩耗性の評価結果だけではなく，寸法安定性，付着性，強度発現性，施工性などのその他の性能・条件も総合的に検討することが重要である。また，農業用水路の通水表面には平滑性が要求されるため，耐摩耗性の評価においても，今後は，表面粗さと試験時間との関係の把握が重要であると考えられる。

参考文献

1) 石神暁郎，森充広，渡嘉敷勝，増川晋：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，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.805-810，2005.6

2) 日本コンクリート工学協会編：コンクリート診断技術'01，基礎編，pp.24-26，2001.3

3) 長束勇，石神暁郎，石村英明，渡嘉敷勝，森充広：コンクリート構造物の補修技術の現状と農業水利分野に適用する際の留意点，農業工学研究所技報，第 202 号，pp.183-196，2004.3