農工研技報 210
203～225，2009

水路補修工法の性能評価に関する考察

森　充広＊・奥野倫太郎＊＊・森　丈久＊・渡嘉敷　勝＊・中矢哲郎＊

目　次

Ⅰ　緒　言…… 203
Ⅱ　コンクリート製開水路の補修工法の現状…… 204
1　補修工法の適用事例 …… 204
2　補修工法に見られる変状事例とその要因 …… 204
3　補修工法に要求される性能 …… 208
4　補修工法適用に際するその他の留意点 …… 209
Ⅲ　コンクリート製開水路の補修工法の
性能評価に関する考察と今後の課題…… 209
1　補修工法に使用される材料の性能評価の
ための試験方法の現状 …… 210
2　補修工法の性能評価に関する考察 …… 220
Ⅳ　結　言…… 223
参考文献…… 223
Summary…… 225

Ⅰ　緒　言

戦後の食糧増産時代に建設されてきた多くの農業水利施設は，機能低下が進行し，随時更新の時期が到来している。しかし，農地面積の減少や社会経済情勢の悪化，廃棄物処理問題，さらには国民への説明責任などの面から，農林水産省では，古くなった農業水利施設を取り壊して新たに再建設するのではなく，補修や補強を繰り返しながら農業水利施設を長寿命化し，ライフサイクルコストの低減を目指す“ストックマネジメント”を導入し，平成 15 年度から「予防保全対策事業」や「予防保全対策指導事業」などの取り組みを進めてきた。特にコンクリート製開水路については，土地改良区などの施設管理者や，各都道府県，各土地改良調査管理事務所等が中心となって機能診断を行い，構造的な劣化がない場合，旧躯体を活かした様々な補修技術が適用されている。しかし，これらの中には，施工後早期に変状が発生し，補修工法に期待していた耐久性が確保できない事態が確認されている。

一方，新設の構造物の設計に関しては，これまでの「仕様」に基づく設計ではなく，構造物に求められる「性能」を所有者あるいは管理者との協議の上で明確化し，構造物の保有性能が要求性能を満足していることを確認する設計体系である性能照査型設計への移行が進められている。性能照査型設計の利点として，ISO をはじめとする国際標準への整合が図られる，性能達成の自由度が高まる，新材料，新技術の導入が図りやすく，低コストに貢献できる，などがあげられる。特に内在するリスクについても事前に所有者との協議を十分に行うため，説明責任が果たせることもメリットのひとつである。このような背景から，農業水利施設の補修に関しても，今後補修工法に求める性能を規定し，それを照査することによって工法を選定することになると考えられる。このためには，補修工法に要求される性能，特にその耐久性に関して照査できる技術開発が望まれている。

そこで本報では，まず，コンクリート製開水路に対して適用された補修工法に見られる変状事例を収集し，その変状発生のメカニズムを推測した。これらの変状事例から，コンクリート製開水路の補修工法において要求される性能項目を明確にするとともに，コンクリート製開水路の補修を対象とした材料に要求される性能を照査するための性能評価のあり方について検討した。まず，日本工業規格（JIS），ASTM，日本建築学会，日本下水道事業団，土木学会（JSCE），高速道路（JHS）などの団体で規格として定められている補修材料の性能評価試験をレビューするとともに，その特徴をまとめた。そして，コンクリート製開水路の補修工法として使用実績が多い表面被覆工法および断面修復工法を取りあげ，これらの補修工法の耐久性能を照査できると考えられる性能評価試験を整理して，コンクリート製開水路の補修工法の性能を評価するための手法と今後検討すべき課題について考察した。

＊ 施設資源部　水利施設機能研究室
＊＊ 施設資源部　水利施設機能研究室　講習生
平成21年11月5日受理
キーワード：コンクリート製開水路，補修工法，変状，要求性能，性能評価

Ⅱ　コンクリート製開水路の補修工法の現状

1　補修工法の適用事例

近年，コンクリート製開水路の機能回復を目的とした様々な補修技術が現地に適用されている。現場打ちコンクリート製開水路に見られる特徴的な変状は，大別すると，以下の三種類がある。一つめは，コンクリート躯体そのものに発生する変状，すなわち，ひび割れ，骨材露出，鉄筋露出，断面変形などである。二つめは，コンクリート躯体以外に発生する変状，例えば目地材の脱落，堆砂などである。三つめは，これらの要因に起因して農業用水路周辺環境に発生する変状，例えば目地からの漏水による背面土砂の流亡などである（森ほか，2007）。このうち，コンクリート躯体そのものに発生する変状，例えばひび割れに関してはひび割れ注入材によってひび割れを充填し，劣化因子が侵入しないように補修がなされている。また，断面欠損や摩耗による表面の骨材露出等の変状に関しては，左官塗りが可能な断面修復材や，平滑性を有するパネル材料等によって表面を覆うことにより，通水性の回復を図るような対策がとられている。現地への実施工も進められており，例えば，特殊軽量ポリマーセメントモルタルにビニロン短繊維を混入し，通常局所的に発生するひび割れを複数の微細ひび割れに分散させる機能を有する工法（濱田，2006；内田ほか，2009），仮設道路の確保が難しい住宅密集地において高い施工性を発揮する FRPM 板によるパネル工法（伊藤，2005；廣本，2008），漏水防止機能と通水機能を有するポリウレタン樹脂による表面塗装工法（長嶋，2004），水路トンネルの内面に超高強度繊維補強コンクリートパネルを施工した事例（西場，2008），耐摩耗性とひび割れ追従性に優れる光硬化型 FRP シートによる補修技術（浪花ほか，2008）などが報告されている。また，目地材の脱落などに関しても，既に様々な補修技術が研究開発（例えば，長束ほか，2007，加藤ほか，2008 など）され，現地への適用が進められている。

2　補修工法に見られる変状事例とその要因

コンクリート製開水路の補修のため，各種の補修工法が開発され，現地適用が進められている。しかし，施工後早期に変状が発生している場合も見られる。ここでは，補修工法が適用された現地で確認された変状の事例を示し，その原因について考察する。

a　ひび割れ

（1）旧コンクリートのひび割れ挙動に起因するもの

Fig.1 に現場打ちコンクリート製開水路表面に施工された断面修復材の一種であるポリマーセメントモルタル（以降 PCM と示す）に鉛直方向に発生したひび割れの状況を示す。この水路は目地間隔が 10m あり，旧コンクリート躯体に既に温度の影響あるいは施工後初期の乾燥収縮によると思われる鉛直方向のひび割れが存在していた。その躯体の上から，ひび割れ補修をしないまま表面に PCM を打設したため，旧コンクリート躯体のひび割れの挙動に PCM が追従できず，施工後数ヶ月でその直上でひび割れたものであると推測できる。旧コンクリート躯体の鉛直ひび割れの挙動をコンタクトゲージで測定した結果，目地と同じく，温度による伸縮，すなわち，躯体温度が上昇する日中はひび割れ幅が小さくなり，逆に躯体温度が下がる夜間にひび割れ幅が大きくなる挙動を示した。すなわち，目地間隔が 10m と長い現場打ちコンクリート製開水路では，躯体を貫通している鉛直ひび割れは，目地と同様の挙動を示す可能性がある。したがって，旧躯体の鉛直方向のひび割れを補修する際には，このひび割れ部分を目地として別途処理することを検討する必要がある。**Fig.1** に示した現場も，最終的には旧躯体のひび割れ直上部で補修材料を縁切りし，市販のシーリング材で処理することで対応した。

一方，無機系の PCM 以外の工法，例えば有機系補修工法やパネル工法，目地補修工法においても，ひび割れの発生が確認できる。**Fig.2** に旧コンクリート躯体のひび割れ直上部の有機系被覆材料に発生したひび割れを，**Fig.3** に目地部を跨いで施工したパネル系補修材料に発生したひび割れを，**Fig.4** に FRP 製の目地補修材料に発

Fig.1　PCM のひび割れ
Cracks on the surface of PCM

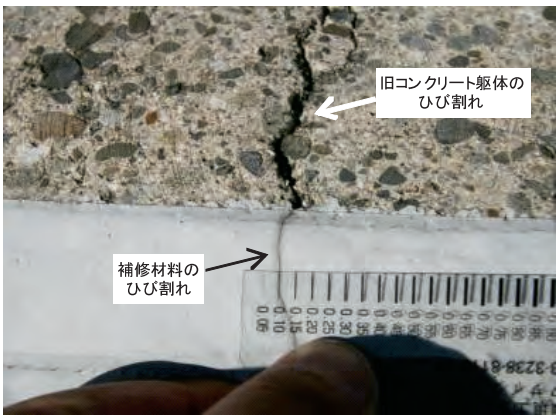

Fig.2　有機系被覆材料のひび割れ
Crack on the organic surface coating repair material

Fig.3　パネル材料のひび割れ
Crack on the surface of the organic panel lining material

Fig.4　目地補修材料のひび割れ
Cracks on the surface of canal joint repair material

生したひび割れの事例を示す。いずれも施工後 1 年未満に旧コンクリート躯体の目地部やひび割れの直上にひび割れが発生している。すなわち，旧コンクリート躯体のひび割れや目地の挙動に補修材料が追従できていないことが原因である。有機系の被覆材の場合，無機系の補修材料に比べると格段に伸び能力に優れている。それにもかかわらずひび割れが発生するのは，局部に引張応力が発生することが原因である。**Fig.5** にそのひび割れ発生メカニズムの概要図を示す。有機系補修工法において，旧コンクリート躯体との一体化性能を確保するため，目地やひび割れ部を跨いで接着してしまうと，**Fig.5** に示

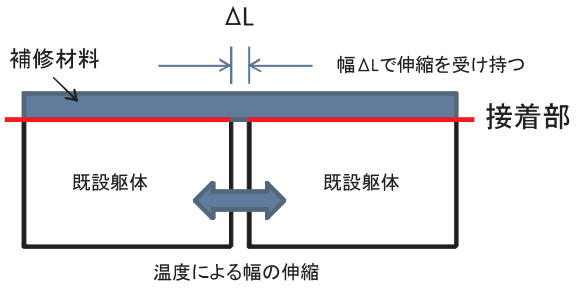

Fig.5　局部引張のメカニズム
Mechanism of cracks of repair materials by partial tension

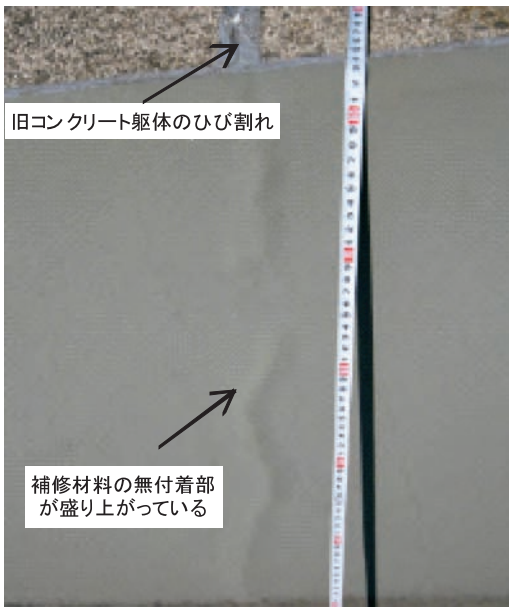

Fig.6　無付着区間の盛り上がり
Peelingof the repair material at the section of unbonded area

す無付着領域幅Δ L でその挙動を吸収する必要がある。しかし，この無付着領域の幅Δ L を限りなく小さくすると，対応できる伸びの絶対量は必然的に小さくなる。例えば，Δ L を 0.2mm とすると，たとえ伸び率 200％の材料であっても 0.4mm の変位にしか追従できないことになる。このことから，有機系材料によって目地やひび割れ部を被覆する場合，目地やひび割れの変動量と，補修材料の伸び率に応じた無付着領域を設けることが必要となる。

しかし，無付着領域を設けることにもリスクがある。一般にコンクリート製開水路の補修は非かんがい期の施工，すなわち気温が低い状態での施工となる。したがって，非かんがい期における施工は，目地やひび割れが開いた状態で補修を行うことになる。このため，夏季に気温が上昇すると，目地あるいはひび割れは，幅が狭くなる方向に挙動し，補修材料に圧縮力が作用する。このため，補修材料が水路内面側に盛り上がったり，剥がれが進行したりすることがある（**Fig.6**）。さらに，引き続く冬季に補修材料には引張力が作用し，このような挙動が年間で繰り返されることによる補修材料の疲労劣化が発

生する可能性がある。また，目地幅は一日の気温の変化に対しても変動することも確認されているため，今後はひび割れ部，目地部において施工される補修材料の疲労耐久性に関しても照査が必要となる。

以上のことから，補修工法には，その伸び能力に起因する変状が発生する可能性がある。したがって，躯体の伸縮挙動への追従性能が要求される。

（2）材料の特性に起因するもの

上述した鉛直ひび割れ以外にも，PCM に **Fig.7** のような亀甲状を呈するひび割れなども見られる。これは，乾燥収縮によって施工後まもなく生じたひび割れと考えられる。PCM はもともと水セメント比 W/C を少なくした配合となっており，気温の上昇，施工時の気象条件（特に風など），旧コンクリート躯体の乾燥などによって，水分が奪われやすい状態となると，乾燥収縮によるひび割れが発生しやすくなる。

有機系の目地材にも，上述した亀甲状のひび割れを発生しているものがある（**Fig.8**）。これは，紫外線による材料自体の劣化によるものと思われる。特に高分子材料である有機系補修材料は，紫外線による劣化を受けやすく，紫外線によるひび割れやピンホールの発生により，その性能が低下することがあるため，注意が必要である。

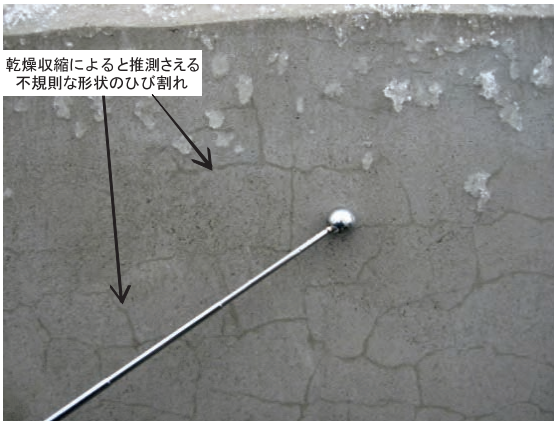

Fig.7　PCM の亀甲状のひび割れ
Map Cracking on the surface of PCM

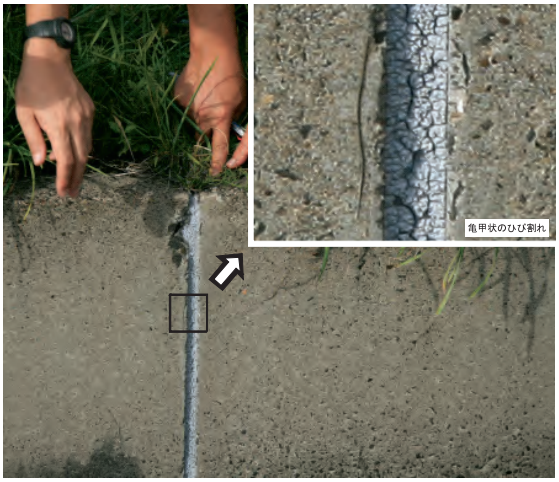

Fig.8　不定形目地材のひび割れ
Cracks on the surface of canal joint sealants

b　浮き，はく離，ふくれ，はがれ

各種補修工法に見られる変状として，旧コンクリート躯体と補修材料が一体化していない，浮き，はく離，ふくれ，はがれなどの変状も散見される。

Fig.9 にコンクリート製開水路に施工した補修材料の底版の浮きの状況を，**Fig.10** に有機系被覆材の表面に発生したふくれの状況を示す。**Fig.9** のチョークでマーキングしている部分は，補修材料を施工して約 1 年後に行ったハンマーによる打音確認によって浮きがあると判断された箇所である。旧コンクリート躯体と補修材料との付着が十分にとれなかった場合，施工後早期に浮きが発生する。このような付着性の性能低下については，様々な要因が考えられているが，施工直後に発生しているものと施工後ある程度時間を経過した後に発生するものとで，原因は異なると考えられる。

旧コンクリート躯体との付着が十分得られない要因については，①旧コンクリートの問題，②施工上の問題点，③コンクリート製開水路の立地上の問題点，の三種類に起因するものが考えられる。

まず，①については，旧コンクリート躯体の表層の脆

Fig.9　補修材料に発生した浮き
（斜線箇所が打音によって確認された浮きの範囲）
Peeling of the surface of repair material
(The oblique line shows the peeling area estimated by hammering test)

Fig.10　表面被覆材のふくれ
Peeling of the organic surface coating repair material

弱化である。健全なコンクリートに対して十分な付着性を有する補修工法であったとしても，表層が脆弱化したコンクリートに対して接着させた場合，旧躯体の脆弱化したコンクリート層で容易にはく離し，補修材料が本来有する付着強度が得られないことがある。長期間供用された農業水利コンクリートの通水表面では，カルシウム成分が溶脱して消失している現象を確認しており（森ほか，2009），溶脱した層の強度は著しく低下している。このような劣化部を十分除去しないまま補修材料を施工した場合などに，十分な付着強度が得られない可能性がある。これまで，コンクリート製開水路の補修においては，前処理としてコンクリート躯体表面の汚れやコケなどを落とす「洗浄」が一般的であったが，さらに高圧の「ウォータージェット」によって，補修前にあらかじめ脆弱部を除去することにより，旧コンクリート躯体の健全部を露出させる必要がある。

次に②として，施工環境によるものが想定される。コンクリート製開水路の場合，地表面よりも低い位置に設置されていることが多いため，補修を行う非かんがい期には周辺の地下水がコンクリート製開水路内に湧水として流入する。補修時には，これらの湧水を処理し，乾燥させた環境で施工することが望ましい。しかし，一般に完全に遮水することが困難であり，補修材料あるいは接着材が硬化する前に湧水などにさらされ，硬化不良となり，付着力が弱まる。

コンクリート製開水路の粗度改善を目的として表面被覆材の施工を行ったある地区で，被覆材のはがれが確認された。はがれた箇所を調査した結果，施工中に目地やひび割れから湧水が発生し，その処理が困難であった施工区間にはがれなどの変状が集中していることが判明した（**Fig.11**）。このことから，十分な付着強度が発現する前に湧水が被覆材と躯体との間に封入され，施工当初から一体化が損なわれていた可能性があることが判明した。このことから，湧水状況は，補修工法選定に大きな影響を与える重要なチェックポイントとなる。

また，コンクリート製開水路では，摩耗による凹凸が著しい条件で施工することが多い。このような条件では，粗骨材と粗骨材との間にきっちり補修材料を充填することが難しく，その部分が気泡として残る。この部分が未付着部分として存在し，水圧が作用したり，あるいは熱（反応熱や太陽熱等）による体積膨張をおこしたりすることで，ふくれが広がる。**Fig.12** に左官仕上げ中に発生した PCM のふくれの状況を示す。左官職人に聞き取ったところ，左官仕上げにおいて，摩耗による凹凸が著しい場合，ふくれが発生しやすく，一度仮仕上げをした段階でしばらく放置し，最終的にこれらのふくれをつぶしながら本仕上げをするとのことであった。無機系の補修材料については，硬化前にこのような処理を施しやすいが，速乾性に優れる有機系の被覆材の場合，施工後の手当は困難である。したがって，このようなふくれを発生させないためには，摩耗した旧コンクリート躯体表面を平滑にするための断面修復を併用する必要がある。

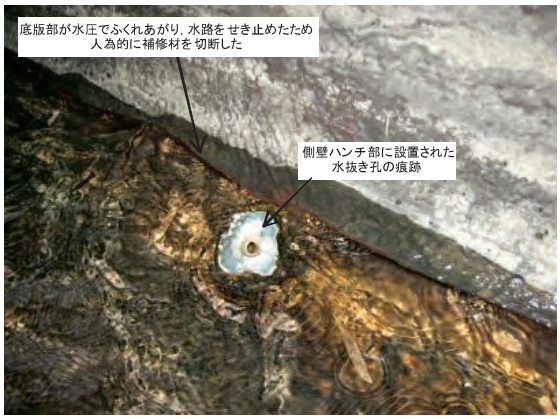

Fig.11　表面被覆材がはく離した箇所に見られた湧水処理の痕跡
Trace of the springwater processing in the canal where the peeling of organic surface coating repair material was shown

Fig.12　PCM 施工時の左官仕上げ中に発生したふくれ
Peeling of the PCM in the process of plaster finishing

最後に，③としては，施工後，かんがい期に使用された水が地下水となって外部から流入したり，あるいは補修材料そのものから水が浸透あるいは欠陥部から流入したりすることにより，接着界面に水圧等の外力が作用し，付着性が失われる可能性がある。特に有機系の被覆材は，材料の伸び率が大きく，また容易にせん断されないため，ひとたびふくれ，はく離が発生すると，界面に引き剥がし力が作用し，全面におよぶ危険性がある。

c　その他の変状

有機系材料の中には，燃えやすい素材のものがある。水路脇で雑草などを野焼きした場合に，それが有機系の補修材料を燃やしてしまうことがある（**Fig.13**）。このため，補修した地区内には注意のための看板を設置している。このような事態を考慮し，補修工法に対して「耐火性」を要求性能として付与することも検討する必要があると考えられる。

コンクリート製開水路には，温度による挙動を吸収するための目地が設けられている。古くは，木片やアスファ

Fig.13 野焼きによる材料燃焼
Burning of the repair material

Fig.14 不定形目地材の脱落
Peeling of canal joint sealants

ルトなどにより，伸縮に耐えていたが，これらが劣化し，空洞化することによって，漏水が発生する。シーリング材などの不定形目地材では，肉やせしたり，あるいは旧躯体との一体化性がなくなったりした場合，流水や，目地背面からの水圧などによって不定形材料が脱落することもある（**Fig.14**）。

あるいは，まだ顕在化している事例はほとんど報告されていないが，無機系の補修工法の場合，流水等による摩耗を考慮する必要があると考えられる。

3 補修工法に要求される性能

これまでの現地調査で確認された変状の事例から，補修工法に要求される性能を考察する。

a 旧コンクリート躯体のひび割れ挙動への追従性

旧コンクリート躯体に鉛直方向に発生しているひび割れは，温度変化により開閉する。例えば，6.5m スパンのコンクリート製開水路の目地において，一日で約 1mm, 年間で約 2mm 伸縮した事例が報告されている（渡嘉敷ほか，2005）。この事例は，目地部の挙動であり，実際のひび割れではないものの，躯体コンクリートに鉛直方向に見られる貫通ひび割れは，同程度に挙動していると考えられる。したがって，ひび割れや目地の補修工法には，躯体コンクリートの温度変化によって生じる伸縮に対して追従できる性能が要求される。通常，無機系補修工法の場合，伸び能力は期待していないため，ひび割れの挙動に対する追従性は，例えば，繊維等を混入することによりひび割れを分散させる工法（平石ほか，2007）など，ごく一部の補修工法に要求される性能であるといえる。一方, 有機系補修工法に用いられる材料は，無機系補修材料と比較すると伸び能力に優れているため，一般的にひび割れ追従性が期待される。これまで，有機系補修材料の性能値として，特に「伸び率」が重要視されてきたが，コンクリート製開水路の補修工法として性能を評価する場合，絶対値として何 mm の動きに追従できるかを照査する必要がある。また，変状を発生させないために，無付着領域を設けるなど，施工における工夫で対応することなども想定されるため，ひび割れ追従性に加え，引張－圧縮の繰り返し状況を想定した疲労試験などによる耐久性評価技術を確立する必要がある。

b 旧コンクリート躯体への付着性

一般に，補修工法は，無機系および有機系補修工法を問わず，旧コンクリート躯体と一体化することによりその効果を発揮する。十分な付着が得られない場合には，浮き，はく離などの変状が発生し，これが進行するとひび割れや断面欠損に至る。したがって，コンクリート製開水路の補修工法には，旧コンクリート躯体との一体化性（付着性）が要求される。特に，背面の地下水位が高い箇所で施工を計画している有機系の補修工法の場合は，注意が必要である。材料自体の伸び能力が大きいため，施工時にわずかに発生した未付着部分に背面からの水が供給されたとき, 容易に水路内面側にふくれを生じ，かつ膨れが全体に広がる危険性がある。また，水路内面の一部にキズなどが発生した場合にも，水流による圧力等によりその部分から侵入した水が補修材料を旧躯体から引きはがす作用を生じる。したがって，無機系補修工法に比べて，有機系補修工法の付着性への依存は大きいと考えられる。ただし，背面からの水を適切に処理することにより，あえて一体化させず，旧コンクリート躯体のひび割れの挙動による変状を発生させない工法（渡嘉敷ほか，2005）なども考案されており，すべての有機系補修工法について要求される性能ではない。

また，目地部については，特に背面からの水圧などを受けやすい部位であるため，水圧に対して脱落しない付着性が要求される。

c 紫外線劣化への抵抗性（耐候性）

有機系の補修材料は，一般に高分子系の材料であり，太陽光に含まれる紫外線により劣化する。したがって，予定供用期間中，紫外線による劣化を受けても，補修材料の性能が要求性能以上に保持されることが要求される。目地部に使用されることの多い，シーリング材料なども有機系材料であり，紫外線劣化に対する抵抗性が要求される。

d　温度変化への抵抗性

ひび割れ部，目地部を問わず，無機系の補修材料では，特に施工初期において，凍結融解などによるひび割れが発生しやすい。したがって，温度変化に対する抵抗性を有する必要がある。これらの変化に対する抵抗性が低い場合には，十分な性能が発揮できるまで養生期間を設ける等，施工上の工夫で対応することになる。

e　乾湿環境への抵抗性

無機系の補修材料では，施工直後の乾燥収縮によるひび割れが懸念される。また，有機系の補修材料では，耐湿試験（JIS K 5600 準拠）10 日後の外観と曝露試験後の外観との間に相関が認められたとの報告（竈本ら，2009）があり，乾湿繰り返し環境への抵抗性が要求される。

f　耐摩耗性・平滑保持性

コンクリート製開水路では，旧コンクリート躯体の表面が摩耗により断面欠損し，凹凸を生じている。このため，水理性能が低下し，水利用に支障をきたしている。したがって，補修工法には，予定した供用期間中，表面が摩耗しにくい，または摩耗しても平滑性を保持する性能が要求される。設計計画基準「水路工」において，コンクリート製開水路の粗度係数は 0.015 で設計することになっている。しかし，補修等により表面の平滑性を改善させる場合，断面縮小を伴う補修工法などもあるため，水理特性を把握する必要がある。

g　劣化因子の遮断性

コンクリート製開水路の多くは，鉄筋コンクリートである。したがって，他の土木構造物と同様，中性化や塩害などの有害劣化因子が侵入することによって鉄筋が腐食し，構造的な安定性が保てなくなる。防潮水門，河口の用排水機場の基礎コンクリート，凍結防止剤が散布される道路脇のコンクリート製開水路を除けば，塩化物イオンの浸透などを考慮する必要はない。

一方，コンクリート製開水路の補修材料は，漏水防止を目的として実施されることが多い。したがって，主たる漏水の要因となるひび割れや目地からの漏水を防ぐとともに，補修材料自体も遮水性を有することが要求される。

4　補修工法適用に際するその他の留意点

施工後早期に見られる変状の原因として，施工に起因するもの，現場環境に起因するもの，補修材料自体の品質に起因するもの，に類型化できる。ここでは，これらの原因への対応を考察する。

a　施工に起因する変状への対策

施工に起因する変状の原因には，施工時の補修材料の乾燥収縮，接着面の濡れ，接着剤の養生不足，可視時間の超過，塗布量の不足，空気の巻き込みなどが該当する。施工に起因する変状を防ぐためには，使用する補修材料の特性に応じた施工管理を正確に実施する必要がある。また，コンクリート製開水路の補修は，落水後の秋季から冬季に施工されることが多いため，補修材料の低温下での施工性や硬化性を考慮することも必要である。

b　現場環境に起因した変状への対策

現場環境に起因した変状の原因には，進行性のあるひび割れ，水路背面からの浸水，旧躯体のひび割れや空隙からの水や空気の侵入などが該当する。現場環境に起因する変状については，旧躯体を診断する段階で旧躯体が置かれている現場環境や劣化状況を十分に把握出来ていなかったことが主たる原因である。したがって，今後は機能診断において，旧コンクリート躯体の置かれている現場環境について詳細な調査を行い，これらに対応できる補修工法を選定することが重要である。

c　補修材料自体の品質に起因する変状への対策

補修材料自体の品質に起因する変状の原因には，上述した各種性能の不足，例えば旧コンクリート躯体の挙動に対する追従性不足，温度変化による付着層のせん断，温度変化や乾湿の繰返し，紫外線の影響，流水による磨耗による補修材料自体の劣化が該当する。補修材料自体の品質に起因する変状が発生する理由としては，補修材料が農業用水路に要求される性能を満たしていないことが考えられる。したがって，変状を防ぐためには，コンクリート製開水路が置かれる環境下で補修材料が有すべき性能を明確にし，農業用コンクリート開水路の置かれる環境条件を考慮した性能評価手法を確立する必要がある。

Ⅲ　コンクリート製開水路の補修工法の性能評価に関する考察と今後の課題

コンクリート製開水路が置かれる環境は様々であり，補修工法には対象施設の立地環境や管理内容などによって様々な性能が要求される（森，2009）。また，補修工法は，対象とする施設の劣化の状況により求められる性能も異なる。したがって，対象とする施設ごとに要求性能を明確化することが適切と考えられる。コンクリートの劣化因子に対する補修対策については，既にコンクリート工学分野で示されている（日本コンクリート工学協会，2009）ものの，農業水利施設，特にコンクリート製開水路の補修工法に要求される性能は明確に示されていない。このため，コンクリート製開水路の補修に適した工法が選定されず，上述した変状が発生していると考えられる。

そこで，以下では，コンクリート製開水路の補修工法に要求される性能として，先に考慮したひび割れ追従性，付着性，耐候性，温度変化に対する抵抗性，乾湿に対する抵抗性，耐摩耗性，劣化因子の遮断性に着目し，それぞれ性能に関して，日本工業規格（JIS），ASTM，土木学会（JSCE），日本建築学会，日本下水道事業団，高速道路（JHS）などで規定されている補修工法の性能評価に関する現状や，性能を評価するための試験方法を調査

した。これらの結果に基づき，コンクリート製開水路に用いられる補修材料としての性能評価への適用可能性について考察した。

1　補修工法に使用される材料の性能評価のための試験方法の現状

a　ひび割れ追従性評価のための試験方法

（1）試験の概要

ひび割れの挙動に対する補修材料の追従性を評価する試験方法として，土木学会規準（JSCE-K532，ひび割れ追従性試験）がよく用いられる。ただし，この試験方法は，あくまで引張に対する追従性を評価するものであり，コンクリート製開水路のように引張－圧縮を繰り返す環境を想定しているものではない。

（2）試験方法

あらかじめ大きさが規定されている，ひび割れを有するモルタル板に対象とする補修材料を塗布し，モルタル板に引張力を作用させたときの伸び，追従性を確認する方法である。

（3）試験体

中央部にきり欠きを有する 120 × 40 × t10mm のモルタル基板に対象とする補修材料を塗布したものを試験体とする。モルタル基板はあらかじめきり欠き部で切断しておき，これを密着させた状態で鋼板などに固定し，その上に補修材料を塗布する。補修材料を塗布後，固定していた鋼板を取り除き，モルタル基板に引張力を作用させ，補修材料の追従性，伸び状況を評価する。

（4）評価方法

土木学会の表面保護工法設計施工指針（案）では，有機系補修工法のひび割れ追従性試験の結果に基づき，補修材料を低追従（0.15 ～ 0.40mm 未満），中追従（0.40 ～ 1.00mm 未満），高追従（1.00mm 以上）に区分して評価している（土木学会，2005）。

b　付着性評価のための試験方法

（1）試験の概要

付着性は，補修材料と旧コンクリート躯体との一体化性能を確保する重要な性能である。付着力には，一体化させた補修材料を旧コンクリート躯体から垂直に引きはがす単軸引張試験（建研式付着試験）と，旧コンクリート躯体に対して 90° あるいは 180° の角度を保ちながら引きはがすピール試験がある。試験の容易さから，一般に建研式が用いられ，コンクリート製開水路の補修にも建研式付着強度試験による付着強度が施工管理値として指示されることがある。

（2）試験方法

表面被覆材の付着強度試験は，土木学会規準（JSCE-K 531）で規定されている。付着子と呼ばれる金属製の治具（一般に 40 × 40mm）を補修材料表面にエポキシ樹脂等で接着する。付着子の周囲にモルタル基板に達するようにカッターなどで切り込みを入れ，付着子を補修材料に対して鉛直方向に引っぱり，荷重を計測する。

Fig.15　建研式付着試験装置による付着強度測定状況
Measurement of bond strength by the uniaxial tensile appratus

（3）試験体

試験体は，70 × 70 × t20mm のモルタル基板に補修材料を施工したものが用いられる。また，現場での施工管理として付着強度が示されている場合には，現場の補修材料に直接付着子を接着し，**Fig.15** に示す建研式付着試験装置により付着強度を測定する。

（4）評価方法

付着強度は補修工法の重要な性能であることから，様々な指針，規準などで所定の付着強度を要求している。例えば，ひび割れ追従性の項目でも取りあげた土木学会の「表面保護工法設計施工指針（案）」（土木学会，2005）では，この試験に基づいて，一般環境における標準の付着強度を 1.0N/mm^2，柔軟環境においては 0.7N/mm^2（凝集破壊）として区分することを提案している。また，常時水に没する下水道環境においては，補修材料の付着性を 1.5N/mm^2 以上としている（日本下水道事業団，2007）。また，日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建築物の品質管理および維持管理のための試験方法」（日本建築学会，2007）においても，断面修復用 PCM の品質基準として，付着強度を標準時に 1.0N/mm^2，温冷繰り返し後も同じく 1.0N/mm^2 としている。

c　耐候性評価のための試験方法

（1）試験の概要

耐候性は，JIS K 5400（塗料用語）において，「屋外で，日光，風雨，露霜，寒暖，乾燥などの自然の作用に抵抗して変化しにくい塗膜の性質」と定義されている（日本規格協会，2001）。表面被覆材など直接自然の作用や日光に曝されるコンクリート製開水路の補修材料にとって，耐候性は，補修工法の耐久性を示す性能のひとつである。

耐候性を評価する試験方法として，促進耐候性試験がある。これは，人工光源の照射を行いながら，温度，相対湿度及び照射エネルギーの変化を含む周期的実験条件

での曝露試験方法をいい，使用される光源によって，キセノンランプ式耐候性試験，サンシャインカーボンアークランプ式耐候性試験，紫外線蛍光ランプ式耐候性試験，メタルハライド式耐候性試験等がある。

様々な分野で行われている補修材料の耐候性を評価するための試験方法を **Table 1** に示す。調査した範囲において，耐候性試験の光源は，サンシャインカーボンアークとキセノンの 2 種類が規定されている。サンシャインカーボンアークランプ式は，オープンな大気中で直接カーボンアークを発光させ，連続した強い紫外線を放射させる試験機を使用する試験方法であり，1950 年代の後半から実用化されている。日本では，工業用塗料や汎用塗料で膨大な量のデータが蓄積されている。一方，キセノンランプ法は，希ガスであるキセノンガス中でアーク放電させ，励起されたガスが基底状態に戻るときに発光する光が太陽光に近似していることを利用する試験方法であり，1970 年代から実用化されている。照射する光が太陽光に近似しているという特徴と，他の試験方法と比べ光源が安定しており再現性が確保しやすいという特徴から，現在では促進耐候性試験の主流になりつつある（飯田ほか，2006）。

（2）試験方法

各機関で規定されている耐候性試験方法は，サンシャインカーボンアークランプ式もキセノンランプ法も以下の点で統一されている。

・連続照射を行うこと。
・ブラックパネル温度を 63℃とすること。
・120 分間の照射中に 18 分間の水噴射を行うこと。

ただし，補修材料を評価するための総試験時間については，サンシャインカーボンアークランプ式で 250 時間（JIS A 6021）から 700 時間（JHS 417），キセノンランプ法で 300 時間（JIS A 6909）から 3,000 時間（阪神高速道路）と規定されており，各機関により独自に設定されている。

（3）試験体

試験に用いる試験体は，JSCE-K 511 及び JHS 417 で，70 × 70 × t20mm のモルタル版に補修材料を塗布した

Table 1(a)　耐候性評価のための試験方法
weathering test

No.	試験方法名	材料	基板	試験方法	評価項目・方法
1	JIS A 6021-2000 建築用塗膜防水材 6.7　劣化処理後の引張性能 ｂ）促進暴露処理	建築用 塗膜防水材	なし	アルミニウム合金製の支持板に試験片の上下端をくくりつけた状態で，オープンフレームカーボンアークランプ（サンシャインカーボンアークランプ）による促進暴露処理を行う。ブラックパネル温度：63 ± 3℃，スプレーサイクル：120 分間中 18 分，試験時間：250 時間。 暴露試験後の試験片は，引張試験を実施。引張試験機につかみ間が 60mm になるように試験片を取り付け，ウレタンゴム系，クロロプレン系及びゴムアスファルト系は 500mm/min，アクリルゴム系及びシーリングゴム系は，200mm/min の引張速度で，試験片が破断するまで引っ張る。	・引張強さ ・破断時の伸び率 ・杭張積
2	JIS A 6021-2000 建築用塗膜防水材 6.8　伸び時の劣化性状 ｂ）促進暴露処理	建築用 塗膜防水材	なし	保持具を用い，試験片の標線間距離 40mm を 60mm になるように伸長して保持した状態で，オープンフレームカーボンアークランプ（サンシャインカーボンアークランプ）による促進暴露処理を行う。ブラックパネル温度：63 ± 3℃，スプレーサイクル：120 分間中 18 分，試験時間：250 時間。	・試験片に保持具を取り付けたままでの外観観察（観察項目：試験片の変形の有無，8 倍の拡大鏡でのひび割れの有無）
3	JIS A 6909-2003 建築用仕上塗材 7.18　耐候性試験 A 法	建築用 仕上塗材	フレキシブル板	キセノンランプ法。試料面放射照度は，60W/m^2（300 ～ 400nm）の連続照射を基本とする。ぬれ時間：18 分，乾燥時間：102 分，ブラックパネル温度：63 ± 3℃，乾燥期間中の相対湿度：50 ± 5%，試験時間：300 時間。	・ひび割れ及びはがれがないこと。 ・変色の程度がグレースケール 3 号以上であること。
4	JIS A 6909-2003 建築用仕上塗材 7.19　耐候性試験 B 法	建築用 仕上塗材	フレキシブル板	キセノンランプ法。試料面放射照度は，60W/m^2（300 ～ 400nm）の連続照射を基本とする。ぬれ時間：18 分，乾燥時間：102 分，ブラックパネル温度：63 ± 3℃，乾燥期間中の相対湿度：50 ± 5%。試験時間：2500 時間，1200 時間，600 時間の 3 種類。	・塗膜にひび割れ，はがれ及び膨れがないこと。 ・光沢保持率は 80%以上。 ・変色の程度がグレースケール 3 号以上。 ・白亜化の等級が 1 以下であること。

Table 1(b) 耐候性評価のための試験方法
weathering test

No.	試験方法名	材料	基板	試験方法	評価項目・方法
5	JSCE‐K 511‐2007 表面被覆材の耐候性試験方法	表面被覆材	モルタル板	キセノンランプ法。操作:連続運転, ブラックパネル温度：63 ± 2℃を標準とする，ぬれ時間：18 分，乾燥時間：102 分，乾燥期間中の相対湿度：40 ～ 60%。	・暴露試験体と現状試験体を並べ，照射による表面被覆材表面の変化（膨れ，割れ，はがれ，白亜化，光沢，色差）について測定。 ・耐候性試験終了後の試験として， JSCE-K 531 表面被覆材の付着性試験 JSCE-K 532 ひび割れ追従性試験 が規定されている。
6	JHS 429-2004 塗料の促進耐候性試験方法（サンシャインカーボンアーク灯式）	塗料	鋼板	サンシャインカーボンアーク式耐候性試験機により試験。水噴射：120 分間の照射中に 18 分間。 ①試料ホルダーに試験片を取付け，試料の製品規格に規定する時間の 4 分の 1 の時間光を照射する。 ②試料ホルダーから試験片を取り外し，試験片の上下を移し変え，製品規格に規定する時間の4分の1の時間光を照射する。 ③試験片の試料ホルダー取付位置の上下に移し変えを繰返し，試料の製品規格に規定する時間まで光を照射する。	・試料の製品規格に規定する項目の試験を行い，照射による塗面の変化の程度を調べる。
7	JHS 406-2007 塗料の促進耐候性試験方法	塗料	鋼板	JHS 429 に規定するサンシャインカーボンアーク式耐候性試験機により 300 時間照射する。	・塗膜の外観：色むら・われ・はがれがないこと ・白亜化度：白亜化がないこと ・光沢残存率（%），色差：判定基準に適合
8	JHS 417-2008 コンクリート塗装材の品質規格試験方法	塗装材	モルタル板	JHS 429 に規定するサンシャインカーボンアーク式耐候性試験機により 700 時間照射する。	・目視により塗膜の均一性, 流れ, むら, ふくれ，われ，はがれ，白亜化を調べる。 ・促進耐候性試験後の試験体を使用して,「コンクリートとの付着性試験」や「ひび割れ追従性試験」が規定されている。
9	㈳日本道路協会 道路橋の塩害対策指針（案）・同解説（1984 年 9 月）	塗装材	モルタル板	サンシャインカーボンアーク式耐候性試験機により試験。水噴射：120 分間の照射中に 18 分間。試験時間：300 時間。	・塗面を指頭等で軽くこすって白亜化の程度を調べ，塗膜のわれ・はがれの程度について調べる。
10	阪神高速道路 道路構造物の補修要領 第 2 部 コンクリート構造物 第 2 編 コンクリート構造物 表面保護要領（平成 19 年 1 月改定） 表面保護工共通試験	表面被覆材	スレート板	JIS K 5600 7-7（キセノンランプ法）により促進耐候試験を行う。 照射時間は以下とする。 ①表面保護工法 D 種（高耐久）の場合：3000 時間 ②表面保護工法（D 種以外）の場合：1500 時間	・白亜化はほとんどなく，塗膜にわれ，はがれのないこと。
11	東京湾埠頭公社における表面被覆材の品質規格値	表面被覆材	規定なし	サンシャインカーボンアーク灯式。試験時間：300 時間。	・塗膜が均一で，流れ・むら・われ・はがれがないこと
12	JWTCS 4003:2007 構造物用塗膜の耐候性試験評価方法	塗膜	規定なし（試験板）	キセノンランプによる。試験時間：2000 時間。 なお，キセノンランプ照射時間 2000 時間のデータは，㈶日本ウエザリングテストセンター銚子暴露試験場において 2 年間屋外暴露試験を行ったデータと相関がある。	・光沢度 ・色差 A 等級：耐候性が特に優れている，B 等級：耐候性が優れている，C 等級：耐候性がある，D 等級：耐候性が劣る。

ものを規定している。また，JIS A 6909 では，150 × 50 × t4mm のフレキシブル板を，JHS 406 及び JHS 429 では 150 × 70 × t0.8mm の鋼板を，阪神高速道路では，50 × 50 × t4mm のスレート板をそれぞれ基板として規定しており，その基板に対象とする塗材や塗料などを塗布して試験体を作製することを規定している。なお，材料単体を試験体としているのは，今回調査した試験方法の中では JIS A 6021（建築用塗膜防水材）のみであった。

（4）試験の評価方法

評価方法は主として目視による観察であり，外観のわれ，はがれ，白亜化の有無などについて確認することとしている。測定器を用いた測定項目として，JIS A 6909, JSCE-K 511, JHS 406, JWTCS 4003 において「光沢」と「色差」が規定されている。また，モルタル板を基板としている JSCE-K 511，JHS 417 では，耐候性試験後に付着試験とひび割れ追従性試験を行うことを規定しており，促進耐候性試験後の補修材料の性能低下について確認することになっている。材料単体での試験を規定している JIS A 6021 においては，促進耐候性試験前後の引張試験による伸び率の相違を確認したり，試験片を伸ばした状態で耐候性試験を実施したりすることを規定している。ただし，必要とされる性能値については，各機関で独自に定められている。

d　温度変化に対する抵抗性評価のための試験方法

（1）試験の概要

温度変化に対する抵抗性は，気温の変化や太陽光の影響を強く受けるコンクリート製開水路にとって重要な性能である。特に，日本は冬季の寒暖の差が激しく，凍結融解の繰返し数が多いという特徴がある。このため，コンクリート製開水路では，凍結融解の繰返しによる凍害の被害が多く確認されている。このような環境で長期耐久性を確保するためには，温度変化に対する補修材料の抵抗性を評価する必要がある。

温度変化に対する抵抗性に関する各機関の試験方法を **Table 2** に示す。

（2）試験方法

各機関で規定されている温冷繰り返し試験は，水中に 18 時間浸漬後，3 時間冷却し，その後 3 時間加熱するという 24 時間を 1 サイクルとする操作を 10 回繰り返した後, 養生（静置）するという方法で共通している。また，冷却温度については -20℃，加熱温度については 50℃と今回調査した試験方法の全てで共通である。しかし，浸漬する水の温度については，23℃（JIS A 6021，JIS A 6909）と 20℃（JIS A 6916，JIS A 1171，JSCE-K 561）の 2 種類がある。また，温冷繰返し後の養生については，JIS A 6021，JIS A 6909，JIS A 6916，JIS A 1171 では試験室に 2 時間養生するとしているのに対し，JSCE-K 561 では標準状態 1 日間としている。また, 日本建築学会（断面修復用軽量エポキシ樹脂モルタルの品質基準（案））では，試験室に 3 時間以上としている。

（3）試験体

温冷繰返しに関する試験に使用する試験体の全てが，基板にモルタル板を使用し，そのモルタル板に試料を塗布して試験体を作製するものである。基板となるモルタル板の大きさは，JSCE-K 561 は 300 × 300 × t60mm，その他の規格は 70 × 70 × t20mm のモルタル基板となっている。JIS では，試験体の 4 側面をエポキシ樹脂等で塗り包むことを規定している。

（4）評価方法

JIS A 6909 以外の規定では，温冷繰返し試験後の付着試験が規定されている。また, 温冷繰返し試験後に割れ，はがれ，膨れの有無等の目視による表面観察を規定しているのは，JIS A 6909，JIS A 6916，JHS 416，JHS 417 であり，逆に温冷繰返し試験後に表面観察を規定していないのは，JIS A 6021，JIS A 1171，JSCE-K 561，日本建築学会，日本下水道事業団などの試験方法であった。

e　乾湿環境に対する抵抗性評価のための試験方法

（1）試験の概要

コンクリート製開水路は，かんがい期に湿潤状態，非かんがい期に乾燥状態となり，これらの繰り返し作用を受ける。このことから，乾湿の変化に対する補修工法の抵抗性は，コンクリート製開水路にとって重要な性能である。

乾湿環境に対する抵抗性評価のための試験方法を **Table 3** に示す。乾湿繰返し条件を規定している試験には JSCE-K 561 がある。一方，乾湿の繰り返しではないが，JIS A 6909 や JHS 417 で耐湿試験が規定されている。また，土木研究所資料 4042 号において，コンクリートに対する乾燥湿潤試験方法が規定されている。

（2）試験方法

JIS A 6024，JIS A 6909 の耐湿性試験 B 法，JSCE-K 561 における試験条件は，24 時間を 1 サイクルとし，JIS A 6024 および JIS A 6909 の耐湿性試験 B 法においては 3 サイクル（72 時間），JSCE-K 561 においては 10 サイクル（240 時間）を試験時間としている。それぞれの試験方法では，1 サイクルのうち，水中や高湿度状態を 6 時間，乾燥時間を 18 時間としている部分は共通している。しかし，乾湿繰り返しとして試験方法を規定している JIS A 6024 と JSCE-K 561 では，水中温度および乾燥温度を 60℃としているのに対し，JIS A 6909 の耐湿性試験 B 法では, 高湿度状態および乾燥温度を 50℃となっている点で，若干の相違がある。なお，同じく JHS 417 では，時間を規定していないものの，高湿度状態（95% 以上）の温度は 50℃である。

また，試験サイクル数については，JIS A 6024 および JIS A 6909 の耐湿性試験 B 法においては 3 サイクル（72 時間），JSCE-K 561 においては 10 サイクル（240 時間）である。それぞれの試験方法では，1 サイクルのうち，水中や高湿度状態を 6 時間，乾燥時間を 18 時間としている部分は共通である。乾湿繰り返しとして試験方法を

Table 2(a) 温度変化に対する抵抗性評価のための試験方法
Tests for checking of the influence of temperature

No.	試験方法名	材料	基板	試験方法	評価項目・方法
1	JIS A 6021-2000 建築用塗膜防水材 6.9 付着性能 6.9.2 温冷繰返し処理	建築用塗膜防水材	モルタル板（4 側面をエポキシ樹脂などで塗り包む。）	試験体を 23 ± 2℃の水中に 18 時間浸せきした後，直ちに -20 ± 2℃の恒温器中で 3 時間冷却し，次いで 50 ± 3℃の別の恒温器中で 3 時間加温し，この 24 時間を 1 サイクルとする操作を 10 回繰り返した後，試験室に 2 時間静置する。	・付着強度 （評価基準：アクリルゴム系，ウレタンゴム系，クロロプレンゴム系 0.5N/mm^2 以上。シリコーンゴム系 0.3N/mm^2 以上。）
2	JIS A 6909-2003 建築用仕上塗材 7.10 温冷繰返し試験	建築用仕上塗材	モルタル板（4 側面をエポキシ樹脂などで塗り包む。）	試験体を 23 ± 2℃の水中に 18 時間浸せきした後，直ちに -20 ± 2℃の恒温器中で 3 時間冷却し，次いで 50 ± 3℃の別の恒温器中で 3 時間加温し，この 24 時間を 1 サイクルとする操作を 10 回繰り返した後，試験室に 2 時間静置する。	・塗膜のひび割れ，はがれ及び膨れの有無を目視によって調べる。 ・変色及び光沢低下の程度を基準の試験体と比較する。 （評価基準：試験体の表面に，ひび割れ，はがれ及び膨れがなく，かつ，著しい変色及び光沢低下がないこと。）
3	JIS A 6916-2000 建築用下地調整塗材 7.17 仕上げ材が複層仕上塗材の場合の耐久性試験	建築用下地調整塗材（仕上材が複層仕上塗材の場合）	モルタル板（4 側面をエポキシ樹脂などで塗り包む。）	試験体を 20 ± 2℃の水中に 18 時間浸せきした後取り出し，直ちに -20 ± 3℃の恒温器内で 3 時間冷却した後，50 ± 3℃の恒温器内で 3 時間加熱し，この操作を 10 回繰返した後，一般養生室で 2 時間静置する。	・表面の割れ，膨れ及びはがれがないこと。 ・付着強さ （評価基準：セメント系下地調整塗材（C-1,CM-1）0.7N/mm^2 以上，セメント系下地調整厚塗材（C-2,CM-2）1.0N/mm^2 以上，合成樹脂エマルション系下地調整塗材（E）0.5N/mm^2 以上。）
4	JIS A 1171-2000 ポリマーセメントモルタルの試験方法 7.9 接着耐久性試験	ポリマーセメントモルタル	モルタル板（4 側面をエポキシ樹脂などで塗り包む。）	試験体を温度 20 ± 2℃の水中に 18 時間浸漬した後，直ちに温度 -20 ± 3℃の恒温器中で 3 時間冷却し，次いで，温度 50 ± 3℃の恒温器中で 3 時間加温する 1 サイクルを 24 時間とする温冷繰返し操作を 10 回繰り返す。その後，試験室に 2 時間静置する。	・接着強さ
5	JSCE-K 561-2003 コンクリート構造物断面修復材の試験方法 5.8 付着強度 （温冷繰返し条件）	断面修復材	モルタル板（4 側面をエポキシ樹脂などで塗り包む。）	（供試体を 20 ± 1℃の水中に 18 時間浸せきした後，直ちに -20 ± 3℃の恒温器中で 3 時間冷却し，次いで 50 ± 3℃の別の恒温器中で 3 時間加温した状態＝ 1 サイクル）を 10 サイクル，その後，標準状態（温度 20 ± 2℃，相対湿度 50％以上）で 1 日間養生。	・付着強度
6	JHS 416-2004 断面修復材品質規格試験方法	断面修復材	モルタル板	JIS A 6909（建築用仕上塗材）に従って 10 サイクル温冷繰返しを行う。	・目視により断面修復材の均一性，われ，はがれ，ふくれを調べる。 ・付着強さ
7	JHS 417-2008 コンクリート塗装材の品質規格試験方法	コンクリート塗装材	モルタル板	JIS A 6909（建築用仕上塗材）に従って 10 サイクル温冷繰返しを行う。	・目視により断面修復材の均一性，われ，はがれ，ふくれを調べる。 ・付着強さ
8	日本建築学会 断面修復用ポリマーセメントモルタルの品質基準（案） 1997 年 1 月 3.8 温冷繰返し後の付着強さ試験	断面修復用ポリマーセメントモルタル	モルタル板（4 側面をエポキシ樹脂などで塗り包む。）	JIS A 1171（ポリマーセメントモルタルの試験方法）による。	・付着強さ （評価基準：1.0N/mm^2 以上）

Table 2(b)　温度変化に対する抵抗性評価のための試験方法
Tests for checking of the influence of temperature

No.	試験方法名	材料	基板	試験方法	評価項目・方法
9	日本建築学会 断面修復用軽量エポキシ樹脂モルタルの品質基準（案） 1997 年 1 月 3.7 付着強さ試験 （温冷繰返し試験体）	断面修復用軽量エポキシ樹脂モルタル	モルタル板	温冷水中繰返し（20 ± 2℃の水中に 18 時間浸漬した後取り出し，ただちに -20 ± 3℃の恒温槽内で 3 時間冷却した後，50 ± 3℃の恒温槽内で加温して 1 サイクルとする）を 10 サイクル行った後，試験室に 3 時間以上保存する。	・付着強さ （評価基準：1.0N/mm^2 以上）
10	日本下水道事業団（素地調整材の品質試験方法） 2007 年 7 月 8）耐久性試験	塗布型ライニング工法に用いる素地調整材	モルタル板	JIS A 6916（建築用下地調整塗材）による。	JIS A 6916（建築用下地調整塗材）による。
11	日本下水道事業団（塗布型ライニング工法の防食被覆材（素地調整不要）の品質試験方法）2007 年 7 月 8）耐久性試験	塗布型ライニング工法の防食被覆材（素地調整不要）	モルタル板	JIS A 6916（建築用下地調整塗材）による。	JIS A 6916（建築用下地調整塗材）による。

Table 3　乾湿環境に対する抵抗性評価のための試験方法
Tests for checking of the influence of dry or wet

No	試験方法名	材料	基板	試験方法	評価項目・方法
1	JIS A 6024-2008 建築補修用エポキシ樹脂 6.4 接着強さ	建築補修用エポキシ樹脂	モルタル板	温度 23 ± 2℃，湿度 50 ± 5%で 1 日養生後，温度 60℃ ± 3℃の循環式空気乾燥機中に 18 時間放置し，直ちに温度 60 ± 3℃の恒温水槽中に 6 時間浸せきする操作を 3 サイクル，その後温度 23 ± 2℃，湿度 50 ± 5%で 1 日養生する。	・接着強さ （評価基準：硬質形エポキシ樹脂 3.0MPa 以上，軟質形エポキシ樹脂 1.5MPa 以上）
2	JIS A 6909-2006 建築用仕上塗材 7.24 耐湿性試験 A 法	建築用仕上塗材	フレキシブル版	清水に満たしたビーカーの中に試験体を垂直にして半分を 60 分間浸した後，これを引き上げて浸水させた部分の塗面を軽く指先でこすって塗面の移動状況を調べ，その後，垂直に保持した状態で，60 ± 5℃の恒温器中で 24 時間乾燥させる。	・浸水させた部分とそうでない部分を 1.5m 離れた距離から比較し，表面のひび割れ，はがれ，膨れ，しわ，変色及びつやの変化の有無を目視によって調べる。
3	JIS A 6909-2006 建築用仕上塗材 7.25 耐湿性試験 B 法	建築用仕上塗材	なし	50 ± 3℃に調整した防露性試験装置の所定の位置に，軽量仕上塗材を塗り付けた面（成形時表面）を下側にして載せ，装置内温度を 50 ± 3℃に保って 6 時間経過した後，引き続き 50 ± 3℃の恒温器に入れ 18 時間乾燥する操作を 1 サイクルとし，3 サイクル行った後，試験室に 2 時間静置する。	・表面のひび割れ，膨れ及びはがれの有無を目視によって調べる。
4	JSCE-K 561-2003 コンクリート構造物断面修復材の試験方法 5.7 付着強度 （乾湿繰返し条件）	断面修復材	モルタル板	供試体の養生時:乾湿繰返し（供試体を 60 ± 3℃の恒温器中で 18 時間放置し，直ちに 60 ± 3℃の恒温水槽に 6 時間浸せきした状態＝ 1 サイクル）を 10 サイクル，その後，標準状態（温度 20 ± 2℃，相対湿度 50%以上）で 1 日間養生。	・付着強度
5	JHS 417-2008 コンクリート塗装材の品質規格試験方法	コンクリート塗装材	モルタル板	JIS A 5600 に規定する回転式の湿潤箱に水平に金網を設置し，温度 50 ± 1℃，相対湿度 95%以上の雰囲気で試験片の塗り面を上向きにして水平に置き，所定の期間を試験に供する。	・目視により塗膜の均一性，流れ，むら，ふくれ，われ，はがれ，白亜化を調べる。 ・付着強さ
6	コンクリートの乾燥湿潤試験方法（案） （土木研究所資料第 4042 号）	コンクリート	なし	乾燥は 80℃の炉乾燥によって行い，湿潤は 20℃の水中に浸漬することにより行う。乾燥湿潤 1 サイクルに要する時間は，96 時間（4 日）を標準とする。この場合，乾燥行程は 47 時間とし，1 時間自然放置した後湿潤行程 48 時間を行うことを標準とする。 測定は，水中養生終了後の試験開始前，乾燥湿潤 10 サイクルまでは 1 ～ 3 サイクルごとに，それ以降は 5 サイクルを超えない間隔で行う。 試験終了は，原則として 30 サイクルとする。	・長さ変化 ・たわみ振動の一次共鳴振動数 ・質量

規定している JIS A 6024 と JSCE-K 561 では，水中温度および乾燥温度を 60℃としているのに対し，JIS A 6909 の耐湿性試験 B 法では，高湿度状態および乾燥温度を 50℃としている。なお，同じく耐湿試験として規定している JHS 417 では，時間を規定していないものの，高湿度状態（95％以上）の温度として 50℃を規定している。

（3）試験体

JSCE-K 561 で規定されている試験体は 300 × 300 × t60mm のモルタル板である。一方，耐湿試験である JIS A 6909 の耐湿性試験 A 法においては，フレキシブル板へ対象とする塗材を塗布したものを規定しているのに対し，耐湿試験 B 法では，塗材単体での試験となっている。JHS417 では，モルタル基板への塗布を規定しており，その大きさは 70 × 70 × t20mm である。

（4）評価方法

評価方法は，JIS A 6909 および JHS 417 において目視による観察を規定しており，ひび割れ，膨れ，はがれなどの有無を確認することが規定されていた。また，JIS A 6024 では接着強さ試験を，JSCE-K 561 および JHS 417 では付着性試験をそれぞれ乾湿繰返しや耐湿試験後に規定していた。

f　耐摩耗性評価のための試験方法

（1）試験の概要

農業水利施設を構成するコンクリートは，砂礫を含む流水にさらされるため，モルタル分が流亡し，表面の平滑性が失われる摩耗現象が劣化のひとつとして挙げられる。摩耗によるコンクリート表面の凹凸は，通水性能の低下，かぶりコンクリートの不足などの現象につながるおそれがあるため，現在，摩耗したコンクリート製開水路の表面を補修することによる通水性能の回復などが行われている。したがって，補修工法においても，このような砂礫を含む流水下で極力摩耗しないこと，また摩耗しても表面に凹凸を発生させないことが要求される。材料の耐摩耗性を評価する試験方法を **Table 4** に示す。主に建築材料を対象とした JIS A 1451 ～ 1453，塗料を対象とした JIS K 5600-5-8，5-9，プラスチックを対象とした JIS K 7204，7205，道路やアスファルト等を対象とした ASTM 規格のほか，必要に応じて種々改良された試験方法（スパイクラベリング試験，掃流式摩耗試験，水流摩耗試験（渡嘉敷ほか, 2006）など）が提案されている。

（2）試験方法

いずれも，試験体に何らかの外力を加えて摩耗させるものであるが，JIS，ASTM などの規格化された試験方法は，主にその外力として，研磨剤，砂，摩耗輪などの固体を用いる。それに対し，規格化されていない数多くの試験については，その対象とする材料に実際作用する外力に極力近い条件で外力を与えていることが特徴である。例えば，水流摩耗試験では，コンクリート製開水路の摩耗形状を再現することを目的として，高圧水流を外力としている。

（3）試験体

JIS K 5600-5-8 と同 5-9 については，100mm × 100mm，ASTM C 779 と同 C 944 については，ϕ 150mm，厚さ 50mm の円形供試体が同一であるが，それ以外の試験方法について，試験体の寸法は統一されていない。

（4）評価方法

摩耗による容積もしくは重量を評価値としている。ASTM C 1138 では，摩耗深さ，水流摩耗試験では摩耗深さに加え，骨材の凹凸の形状を示す表面粗さ変化を指標として加えている。

g　劣化因子の遮断性評価のための試験方法

コンクリートの代表的な劣化である中性化や塩害，アルカリシリカ反応などは，二酸化炭素や塩化物イオン，水などの劣化因子が侵入することによって発生する。これら劣化因子の遮断は，表面被覆工法に求められる重要な性能である。コンクリート製開水路の置かれる環境を想定した場合，反応性骨材の使用等の特定の条件がなければ，ASR，塩害などの劣化は想定されないことから，主として漏水を防止する性能が要求される。そこで，水の浸透を防ぐ遮水性に関する性能として，透水性に関する試験方法を整理した。

（1）試験の概要

透水性とは，補修材料の水の透過性能であり，必要な農業用水を目的地まで過不足なく運搬するという機能を有するコンクリート製開水路にとって重要な性能である。また，水を遮断することにより，コンクリートのアルカリシリカ反応や，補修材の浮きを抑制することができ，結果的に施設の長寿命化といった補修工法の目的を果たすことが出来る。

透水性を評価するための試験方法を **Table 5** に示す。透水性に関する試験は，JIS や JSCE，下水道において，規定されており，高速道路関係の機関での規定はない。

（2）試験方法

試験方法には，直接試験体に一定の水圧をかける方法や，試験体に接着した漏斗などに水を入れ一定時間経過後の水頭差を読み取るものなどが規格化されている。直接一定の水圧をかける方法では，作用させる水圧について 9.8kPa（JIS A 1404 の外壁用モルタル），100kPa（JIS A 1171），294kPa および 0.29MPa（JIS A 1404 コンクリート用，日本下水道事業団）の 3 種類が規定されている。水圧を作用させる時間は全て 1 時間となっている。一方，水頭差を読み取る試験方法においては，水頭の高さは 200mm（JIS A 6909 透水試験 A 法）もしくは 250mm（JIS A 6909 透水試験 B 法，JIS A 6916）と規定されている。いずれも，直接一定の水圧をかける方法に比べると試験体に作用させる水圧は小さい。また試験時間については，JIS A 6909 の透水試験 A 法および JIS A 6916 で 1 時間，JIS A 6909 の透水試験 B 法で 24 時間と規定されている。

Table 4(a)　耐摩耗性に関する試験方法
Tests for the residence of abrasion

No	試験方法名	材料	基板	試験方法	評価項目・方法
1	JIS A 1451-1994 建築材料及び建築構成部分の摩耗試験方法（回転円盤の摩擦及び打撃による床材料の摩耗試験方法）	建築材料及び建築構成部分（床材料）	石綿セメント板の平板もしくはセメントモルタル板	上底 93・下底 300・高さ 250・厚さ 10 ～ 30mm（下地材含む）の台形型試験体 8 体を，回転円盤上に試験面を同一平面上に水平に取り付け，散布砂を落下させつつ，摩擦鋼板，摩擦ブラシおよび打撃びょうの順序で，回転円盤上の試験体の摩耗を行う。摩擦鋼板荷重：71.5N，摩擦ブラシ荷重：14.7N。	・摩耗量（厚さ）変化量（mm） ・外観観察
1	JIS A 1451-1994 建築材料及び建築構成部分の摩耗試験方法（回転円盤の摩擦及び打撃による床材料の摩耗試験方法）	建築材料及び建築構成部分（床材料）	石綿セメント板の平板もしくはセメントモルタル板	上底 93・下底 300・高さ 250・厚さ 10 ～ 30mm（下地材含む）の台形型試験体 8 体を，回転円盤上に試験面を同一平面上に水平に取り付け，散布砂を落下させつつ，摩擦鋼板，摩擦ブラシおよび打撃びょうの順序で，回転円盤上の試験体の摩耗を行う。摩擦鋼板荷重：71.5N，摩擦ブラシ荷重：14.7N。	・摩耗量（厚さ）変化量（mm） ・外観観察
2	JIS A 1452-1972 建築材料及び建築構成部分の摩耗試験方法（落砂法）	建築材料及び建築構成部分	なし	50 × 50mm の試験片を，角度 45° に調整した試験片支持台に取り付け，試験片の上に研削材を高さ 650mm の位置から落下させ，試験片表面の摩耗を行う。研削材：炭化けい素研削材。研削材毎分落下量：200 ～ 400g，研削材落下総量：2000g ～下地が露出するまで。	・光沢度 ・透明度 ・摩耗抵抗度（下地が露出するまでの落下回数）
3	JIS A 1453-1973 建築材料及び建築構成部分の摩耗試験方法（研摩紙法）	建築材料及び建築構成部分	なし	φ 120mm の円形試験片を，回転する水平円盤上に取り付け，これに研摩紙を取り付けた摩耗輪を試験荷重とともに加えて，円盤上の試験片の摩耗を行う。研摩紙：溶融アルミナ研削材をクラフト紙ににかわにより接着させたもの。試験荷重：280 ～ 530g。試験総回転数：500 回転。研摩紙を用いたテーバー型摩耗試験。	・外観変化 ・重量変化 ・摩耗深さ
4	JIS K 5600-5-8-1999 塗料一般試験方法－第 5 部：塗膜の機械的性質－第 8 節：耐摩耗性（研磨紙法）	塗料	なし	100 × 100mm の試験片を，回転盤に取り付け，これに研磨紙を取り付けた摩耗輪を試験荷重とともに加えて，試験片の摩耗を行う。研磨紙：FEPA 標準 43-GB-1984。試験荷重：最大 1kg。回転数：任意，または下地に達するのに必要な回転数。研磨紙を用いたテーバー型摩耗試験。	・摩耗減量（mg） ・下地に達するまでの回転数
5	JIS K 5600-5-9-1999 塗料一般試験方法－第 5 部：塗膜の機械的性質－第 9 節：耐摩耗性（摩耗輪法）	塗料	なし	100 × 100mm の試験片を，回転盤に取り付け，これに摩耗輪を試験荷重とともに加えて，試験片の摩耗を行う。摩耗輪：任意，研磨機能を一定水準に維持。試験荷重：最大 1kg。回転数：任意，または下地に達するのに必要な回転数。摩耗輪を用いたテーバー型摩耗試験。	・摩耗減量（mg） ・下地に達するまでの回転数
6	JIS K 7204-1999 プラスチック－摩耗輪による摩耗試験方法 テーバー型摩耗試験	プラスチック	なし	φ 100mm の円板か側長 100mm の正方形のコーナーを切り取った八角形板試験片を，回転盤に取り付け，これに摩耗輪を試験荷重とともに加えて，試験片の摩耗を行う。摩耗輪：小さな研削といし，試験片材質により選択。試験荷重：2.5 ～ 9.8N。回転数：任意。摩耗輪を用いたテーバー型摩耗試験。	・質量減少 ・体積減少 ・光学的な変化
7	JIS K 7205-1995 研磨材によるプラスチックの摩耗試験方法	プラスチック	なし	縦 50・横 76・厚さ 2mm 以上の試験片を，上下に間欠運動をする回転盤に取り付け，これと平行に回転する円板上に研磨材を落下させ，試験片を円板に平均に圧着させ，試験片と円板の間に研磨材を介在させながら試験片の摩耗を行う。研磨材：白色アルミナ質研削材。試験荷重：44.1N。試験片と円板の回転速度は異なる。	・摩耗質量（mg） ・摩耗量（mm^3）
8	ASTM C 418	規定なし	コンクリート等	任意寸法の試験体に，吹付け装置によりシリカ砂を試験体表面に直接吹き付け，試験体の摩耗を行う。	・容積の減少量（摩耗によって生じた空隙に粘土を充填し，その量を測定する）
9	ASTM C 779 ドーリー型摩耗試験	規定なし	なし	φ 150・厚さ 50mm（例）の円形試験体に，ドリルプレス型構造の試験装置を用い，ドレッシングホイール（B 法）やボールベアリング（C 法）により荷重を加えながら連続的に回転させることで，すべり作用，ころがり作用を加え，試験体の摩耗を行う。四角形型試験体を用いることもある。	・容積の減少量 ・質量の減少量 ・摩耗深さ（すりへり深さ）

Table 4(b) 耐摩耗性に関する試験方法
Tests for the residence of abrasion

No	試験方法名	材料	基板	試験方法	評価項目・方法
10	ASTM C 944 Rotating-Cutter 試験	規定なし	なし	φ 150・厚さ 50mm（例）の円形試験体に，ドリルプレス型構造の試験装置を用い，小型ドレッシングホイールにより荷重を加えながら連続的に回転させることで，ころがり作用を加え，試験体の摩耗を行う。	・容積の減少量 ・質量の減少量
11	ASTM C 1138	規定なし	なし	φ 305・厚さ 102mm の円形試験体を，試験容器（高さ 457mm）の底面に設置し，容器内に注水した後，直径が異なる 3 種類の鉄球と攪拌羽根を配置し，この羽根を回転させ容器内の水に流れを起こし，鉄球を動かすことで，試験体の摩耗を行う。回転数：1200rpm。	・容積の減少量 ・摩耗深さ
12	スパイクラベリング試験 日本道路公団 北海道開発局 金沢大学，岩手大学　等	規定なし	なし	φ 100mm（例）の円形試験体に，ドリルプレス型構造の試験装置を用い，鋼製スパイクにより荷重を加えながら連続的に回転させることで，転がり摩擦作用を加え，試験体の摩耗を行う。試験荷重：294N（例）。回転数：2000 回転（例）。	・摩耗量（cm^3） ・摩耗重量（g）
13	掃流式摩耗試験 三重大学 電力中央研究所	規定なし	なし	内径 130・外径 250・高さ 100mm（例）の半円環状の試験体内面に，砂を含んだ水を入れ，回転翼によって攪拌し，掃流作用を加え，試験体の摩耗を行う。回転数：1740rpm（例）。試験時間：8 時間（例）。全円環状の試験体を用いることもある。	・単位摩耗量（cm^3/cm^2） ・摩耗体積 ・摩耗重量
14	衝撃摩耗試験 落下衝撃試験 電力中央研究所 岐阜大学，香川大学，九州産業大学，関西大学　等	規定なし	なし	150 × 150 × 200mm（例）の試験体を，角度 20°（例）に調整して設置し，試験体の上に 536g（例）の鋼球を高さ 1000mm（例）の位置から落下させ，試験体表面の摩耗を行う。鋼球径：51mm（例）。鋼球落下総回数：800 回（例）。複数の鋼球を位置を変えて 2500 回以上落下させる例もある。	・摩耗体積 ・摩耗重量 ・衝撃損失量（cm^3）
15	ロッド式すりへり試験 衝撃すりへり試験 奥田式すりへり試験 電力中央研究所	規定なし	なし	150 × 300 × 60mm の試験体 6 体を，ドラム回転保持枠に取り付け，内部にロッド（シルペップ）を投入後，注水しながらドラムを回転させ，試験体表面に衝撃作用を加え，試験体の摩耗を行う。ロッド（シルペップ）重量：φ 20 × 40mm × 21 個＝約 2kg。試験時間：5 時間。回転数：90rpm。	・摩耗量（g） ・摩耗深さ（cm）
16	ドラム式摩耗試験 九州電力総合研究所	規定なし	なし	内径 500・外形 740・高さ 200・内曲面長さ 390mm の試験体 4 体を，傾胴式ドラム内面に沿って取り付け，摩耗材（シルペップ）と水を入れてドラムを回転させ，試験体内曲面にすりへり作用およびころがり作用を加え，試験体の摩耗を行う。摩耗材（シルペップ）：φ 20 × 40mm，水：5kg。回転数：60rpm，30000 回転。	・単位摩耗量（cm^3/cm^2）
17	表面疲労摩耗試験 北海道大学	規定なし	なし	φ 150・厚さ 50mm の円形試験体を，試験容器の底面に設置し，φ 9/16 インチの鋼球 8 個を入れ，振動周波数 8Hz にて振動を与えて表面疲労作用を加え，試験体の摩耗を行う。試験時間：60 分間。	・摩耗損失量（g）
18	水流摩耗試験 農村工学研究所	規定なし	なし	長さ 296・幅 142・高さ 60mm の試験体 6 体を，回転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，4.9MPa，24.1l/min の高圧水流を噴射することにより，試験体の摩耗を行う。試験時間：28 日間。回転数：30rpm。	・表面変化（外観観察） ・摩耗重量変化（g） ・摩耗深さ変化（mm） ・表面粗さ変化（Ln/50）
19	選択的摩耗試験 島根大学	規定なし	なし	長さ 195・幅 145・厚さ 40mm の試験体 6 体を，回転ドラムに取り付け，上部に設置された噴射口からの圧力水（砂混入水，2.0MPa，88.9l/min）により，試験体の摩耗を行う。混入砂の粒径：0.61 ～ 1.18mm。試験時間：20 時間。回転数：30rpm。	・摩耗体積（mm^3）

Table 5　透水性評価のための試験方法
Tests for the permeability

No.	試験方法名	材料	基板	試験方法	評価項目・方法
1	JIS A 1404-1994 建築用セメント防水剤 11 透水試験	建築用セメント防水剤	なし	試験は，防水剤を混合したものと混合しないもので実施する。 ①試験体を約 80℃で一定質量となるまで乾燥する。 ②試験体の上下両面の中央に，径 5cm の透水円孔をもつ厚さ約 1cm 以上のゴムガスケットを当て，均一に締め付けた後，成形の場合の上面から外壁モルタル用では 9.8kPa，コンクリート用では 294kPa の水圧を 1 時間かける。	・透水量（g）＝水圧をかけた直後の質量（g）- 試験体を乾燥後 1 時間保存後の質量（g） ・透水比＝防水剤を混合したものの透水量（g）/ 防水剤を混合しないものの透水量（g）
2	JIS A 6909-2003 建築用仕上塗材 7.11 透水試験 A 法	建築用仕上塗材	フレキシブル板	試験体を空洞ブロック（390 × 190 × 100mm）に載せ，試験体に透水試験装置を取り付けた後，シリンダー内に 23 ± 2℃の清水を 200mm の目盛りまでいれその時の水頭高さと 60 分経過した後の水頭高さとの差を求める。	・透水性（mm）＝初期の水頭高さ（mm）-60 分経過後の水頭高さ（mm） ・評価基準：シリカリシン系の外装薄塗材で 20mm 以下，その他の外装薄塗材で 10mm 以下
3	JIS A 6909-2003 建築用仕上塗材 7.12 透水試験 B 法	建築用仕上塗材	フレキシブル板	①試験体を水平に保持し，透水試験器具（φ 75 の漏斗とメスピペットをゴム管等で連結した器具）をシリコーンシーリング材などによって止め付ける。 ② 48 時間以上放置した後，23 ± 2℃の水を試験体の表面から高さ約 250mm まで入れる。 ④そのときの水頭高さと 24 時間後の水頭の高さの差を求める。	・透水量（ml）＝初期の水頭高さ（ml）-24 時間後の水頭高さ（ml） ・評価基準：0.5 ｍｌ以下
4	JIS A 6916-2000 建築用下地調整塗材 7.15 透水試験	建築用下地調整塗材	なし	①試験体を水平に保持し，研磨面の中央に透水試験器具（水頭 250mm を保持できるもので，口径約 75mm の漏斗と 1 目盛 0.05ml のメスピペットをゴム管又は塩化ビニル管で連結した器具）をシリコーンシーリング材などによって止め付け，48 時間以上放置した後，試験体が水面下になるように水盤に沈める。 ②水盤に沈めてから 24 時間経過後，引き上げて試験体の下面が水盤の水面と一致するようにして固定して，透水試験器具の中に 20 ± 2℃の水を水面から高さ 250mm まで入れ，メスピペットの水頭の目盛を読み取る。 ③ 1 時間放置後のメスピペットの水頭の目盛を読み取る。	・透水量（mm）＝初期の水頭高さ（mm）-1 時間放置後の水頭高さ（mm）
5	JIS A 1171-2000 ポリマーセメントモルタル	ポリマーセメントモルタル	なし	① 80 ± 2℃で 48 時間乾燥し，デシケーター内で冷却してから質量を量る。 ②その両面の中央部径 5cm 以上を軽くブラシをかけて表皮部を除き，質量を量る。 ③試験体の上下両面の中央に，径 5cm の透水円孔をもつ厚さ約 1cm 以上のゴムガスケットを当て，均一に締め付けた後，成形の場合の上面から供試験体に 100kPa の水圧を 1 時間加えた後，質量を量る。 （JIS A 1404 に準拠）	・透水量（g）＝透水後の質量（g）- 乾燥後の質量（g）
6	JSCE-K 523-2005 表面被覆材の透水量試験方法	表面被覆材	モルタル板	試験体の上下両面の中央に，径 5 ｃｍの透水円孔をもつ厚さ約 1cm 以上のゴムガスケットを当て，均一に締め付けた後，成形の場合の上面から 294kPa の水圧を 1 時間かける。 （JIS A 1404 に準拠）	・透水量（g）＝透水後の質量（g）- 乾燥後の質量（g）
7	JSCE-K 571-2005 表面含浸材の試験方法	表面含浸材	モルタル板	① JIS A 6909 の 7.13（透水試験 B 法）に準じて，試験体の含浸面および現状試験体の試験面に透水器具を止め付けて，透水量試験を行う。なお，試験水が蒸発しないようにパラフィン等をたらして試験する。 ②試験開始時から 7 日後の水頭の高さを読み取る。	・透水量（ml）＝試験開始時から 7 日後のメスピペットの読み（ml）- 試験開始時のメスピペットの読み（ml） ・透水比（％）＝試験体の透水量 / 現状試験体の透水量× 100
8	日本下水道事業団 塗布型ライニング工法の防食被覆層の品質試験方法（2007 年 7 月）	塗布型ライニング工法の防食被服層	フレキシブル板	試験体の上下両面の中央に，径 5cm の透水円孔をもつ厚さ約 1cm 以上のゴムガスケットを当て，均一に締め付けた後，成形の場合の上面からコンクリート用では 294kPa の水圧を 1 時間かける。（JIS A 1404 に準拠） ※試験前，並びに，294kPa の水圧を 1 時間かけた後，清潔な布で試験片の付着水等を拭き取った後の質量をそれぞれ測定する。	・透水量（g）＝試験直後の質量（g）- 試験前の質量（g） （評価基準：A 種 0.3g 以下，B 種 0.25g 以下，C 種 0.2g 以下，D 種 0.15g 以下）

（3）試験体

それぞれの試験における試験体は，JIS A 1404，JIS A 6916，JIS A 1171 で材料単体での試験を，JSCE-K 523，JSCE-K 571 ではモルタル板に材料を塗布又は含浸した試験体での試験を，JIS A 6909，日本下水道事業団ではフレキシブル板に材料を塗布した試験体での試験をそれぞれ規定している。

（4）評価方法

評価方法は，直接試験体に一定の水圧をかける試験方法では，水圧をかけた後の質量と水圧をかける前の質量との差を透水量（g）として求める方法を規定している。また，水頭差を読み取る試験方法では，水頭高さを ml で読む場合には透水量（ml），mm で読む場合には透水性（mm）として試験前後の水頭差を求める方法を規定している。

2 補修工法の性能評価に関する考察

a 他分野における補修工法の性能評価の事例

他分野においてもその施設が置かれている環境を考慮した補修工法の性能評価に関する考察が進められている。例えば，下水道分野では，硫化水素に起因する下水道コンクリート構造物の腐食・劣化に対する塗布型ライニング補修工法の品質規格に「耐酸性」および「硫黄侵入深さ」を規定している（日本下水道事業団，2007）。これらの試験における試験体は，モルタル板（150 × 70 × t20mm）に対象となる材料を塗布したものであり，「耐酸性」の品質試験は，所定の濃度の硫酸水溶液に所定日数浸漬後，目視観察により膨れやその他の損傷を確認することによって行う。また，「硫黄侵入深さ」の品質試験は，耐酸性の試験終了後の試験体を 10％硫酸水溶液に 120 日間浸漬した後，試験体の中央部をモルタル用カッターによりサンプルを切り出し，切断面を EPMA（Electron Probe Micro Analyzer：電子線マイクロアナライザー）により分析する。

また，海水による塩害を受ける港湾施設においては，補修材料に「遮断性」が求められている。例えば，東京湾埠頭公社では，表面塗装材の品質規格値として「耐海水性」や「塗膜の塩化物イオン透過量」を規定している（東京湾埠頭公社，1994）。なお，耐海水性試験とは，塩化ナトリウムの 3％溶液に 30 日間浸漬しても塗膜に変状がないことを確認する試験である。

鉄道や道路の分野では，補修に用いる表面被覆材料や断面修復材に要求する性能を評価するための JIS 試験方法，あるいは土木学会の試験方法を指定し，満足すべき値を規定している（土木学会，2003）。その一例を **Table 6** に示す。ただし，これらの性能値の設定根拠について検証できていない。しかし，このような性能評価試験方法と性能値を設定することにより，発注者としては要求性能を満足する補修工法を選定しやすくなる。一方，補修工法の開発メーカーにとっても，達成すべき性能値が明確に示されていることで，開発目標が定まる。このように，補修材料を評価するための試験方法を統一化することによる発注者・受注者間の相互メリットは大きいと考えられる。

b コンクリート製開水路に適用可能な性能評価試験に関する検討

コンクリート製開水路の変状事例を参考に，補修材料に求められる性能として，数種類の性能を取りあげ，それを確認するために各機関が規定している試験方法を調査した。ここでは，これらの性能評価試験に関するコンクリート製開水路への適用上の留意点を述べる。

（1）旧コンクリート躯体のひび割れ挙動への追従性

本試験は，あらかじめふたつの基板をまたぐように補修材料を施工し，基板自体を引っ張ることにより，ひび割れが開いた場合にも裂けることなく追従できるかを確認している。しかし，コンクリート製開水路の補修は一般に非かんがい期となる秋～冬の時期に実施されることから，ひび割れや目地間は開口した状態で施工されると考えられる。このため，夏には，間隔が施工時よりも縮まり，圧縮力を受ける。通常，無機系の補修工法の施工厚は，10mm 程度であり，圧縮力が作用すると強度が高くても破壊する危険性がある。また，ひび割れや目地の挙動は温度によって繰り返し伸び縮みし，疲労的な作用を受けることになる。今後，このような伸縮繰り返しによる疲労試験耐久性評価を取り入れる必要があると考えられる。

（2）旧コンクリート躯体への付着性

各機関の試験は，原則鉛直方向の引張試験であるが，コンクリート製開水路では，流水による引き剥がし力が作用する。特に有機系被覆材料の場合，キズなどにより流水が接着界面に作用すると，被覆材全体を引き剥がすことにつながるため，引き剥がし力による評価も必要となると考えられる。

（3）紫外線劣化への抵抗性（耐候性）

特に有機系の被覆材，目地材に要求される性能である。コンクリート製開水路の被覆材は，上述したように温度による挙動を受けるため，例えば JIS A 6021-2000「建築用塗膜防水材　6.8　伸び時の劣化性状」にあるような引張力を作用させた状態で紫外線に曝露する，などの手法が活用できると思われる。有機系の被覆材表面には，耐候性を増すためのトップコートなどが施されている場合がある。しかし，コンクリート製開水路では，砂礫を含む流水によってトップコートが傷つくことも想定される。したがって，トップコートによる耐候性の性能向上をあらかじめ見込むのか，あるいはトップコートを考慮しない耐候性で評価するのかを明確にする必要がある。

（4）温度変化への抵抗性

コンクリート製開水路の補修材料にも凍結融解に対する抗性が要求される。コンクリート製開水路の表面は，その色にもよるが夏場直射日光により 50℃以上となる。

Table 6　補修材料の性能評価の一例（土木学会，2003 より抜粋，加工）
Example of the performance evaluation of repair materials

	鉄道総合研究所	日本道路公団
塗膜の外観	JIS K 5400 7.1 塗膜が良好で，つぶ・しわ・ふくれ・われ・むら・あな・はがれがないこと	JHS 417 塗膜は均一でながれ・むら・ふくれ・はがれのないこと
耐候性	JIS K 5400 9.8.1，JSCE-K 511 サンシャインウェザオメータ促進耐候性試験を 300 時間行ったのち，白亜化等塗膜に異常のないこと	JHS 417 促進耐候性試験を 700 時間行った後，白亜化はなく，塗膜にふくれ・われ・はがれのないこと
温冷繰り返し試験	–	JHS 417 10 サイクルの試験で塗膜にふくれ・われ・はがれのないこと
耐アルカリ性	JIS K 5400 7.4 30 日間飽和水酸化カルシウム水溶液に浸漬して塗膜に異常のないこと	–
耐水性	JIS A 6909 6.10 30 日間水中に浸漬して塗膜に異常がないこと	JHS 417 10 日間水中に半没し，塗膜にふくれ・われ・はがれのないこと
遮塩性	–	JHS 417 5×10^{-3}mg/cm^2・日以下
酸素透過阻止性	10^{-5}g/cm^2・日未満	JHS 417 5×10^{-2}mg/cm^2・日以下
水蒸気透過阻止性	JIS K 5400 8.17，JIS Z 0208 20 g/m^2・日 m 未満	JHS 417 5mg/cm^2・日以下
透水性	JIS A 6909 6.13 0.4ml/ 日以下	–
中性化阻止性	60 日間で 3mm 以下	JHS 417 1 ヶ月で 1mm 以下
コンクリートとの付着性	JIS A 6909 6.10 JSCE-K 531 標準養生後界面破壊がないこと	JHS 417 標準養生後，促進養生後，温冷繰り返し後，耐アルカリ性試験後，1.0N/mm^2 以上
ひび割れ追従性	RC はり曲げ試験 部材に生じるひび割れ幅が 0.2mm まで塗膜に欠陥が生じないこと	JHS 417 標準養生後 20℃で 0.4mm 以上，-20℃で 0.2mm 以上，促進耐候性試験後 20℃で 0.2mm 以上

また冬季には，気温と同程度以下に下がることから，今回調査した試験の -20 ± 3℃～ +50 ± 3℃の条件（JIS A 6916 や JIS A 1171 など）は，コンクリート製開水路の性能評価試験として活用できると考えられる。ただし，現在行われている性能評価試験における評価サイクル数は 10 サイクルと少なく，40 年の供用年数が期待されるコンクリート製開水路の耐久性を評価するためのサイクル数を考慮する必要がある。

（5）乾湿環境への抵抗性

コンクリート製開水路の補修では，非かんがい期の施工ということもあり，十分な養生期間を確保できない可能性もある。特に無機系の補修材料では，施工初期の乾燥収縮が初期欠陥として発生する可能性がある。したがって，養生期間を短くした場合の乾燥収縮試験などを考える必要がある。

（6）耐摩耗性・平滑保持性

摩耗は，コンクリート製開水路特有の劣化であり，補修材料にも耐摩耗性が要求される。コンクリート製開水路の摩耗のメカニズムは，詳細には解明されていないが，流水もしくは流水中に含まれる砂分によるアブレーション摩耗が主と考えられる。今回の調査で得られた摩耗試験は，摩耗される供試体よりも固い材料をこすり付けたり，あるいは衝撃力として作用させたりすることによって，供試体を摩耗させる方法が大半である。しかし，コンクリートや補修材料についてこれらの試験を活用した場合，骨材の影響を大きく受ける。すなわち，骨材が強いほど耐摩耗性が良くなることになる。コンクリート製開水路では，粗骨材のみが残り，モルタル部分が欠損するような摩耗形状となることから，摩耗後の再現性の観点からは，水流摩耗試験，選択的摩耗試験などがメカニズムとリンクすると考えられる。しかし，頭首工エプロンのように巨礫が流下するような施設を対象とする場合には，衝撃による耐摩耗性を把握する必要がある。すなわち，対象とする補修材料の用途に応じて試験方法を決定する必要があると考えられる。

（7）劣化因子の遮断性

一般の土木構造物の補修材料と同様，劣化因子の遮断性が要求される。コンクリート製開水路の被覆材料に関しては，水路内面からの漏水だけでなく，地下水の浸透による水路内面への膨れも想定されるため，付着性など

と合わせて評価する必要があると考えられる。

c　コンクリート製開水路の性能評価試験の確立に向けて

コンクリート製開水路には，水利用性能，水理性能，構造性能，社会的安全性能が求められる。このうち，コンクリート製開水路の補修工法に要求される性能は，安全に水を流下させ，水を漏水することなく配水する水理性能や，性能を経年にわたって持続させる構造性能などが挙げられる。さらに細分化すると，水理性能については，必要な粗度係数が経年にわたって持続されること，補修によって通水断面が阻害されないこと，計画取水位を維持できること，などが考えられる。また，構造性能に関しては，想定される劣化因子の侵入を予定供用期間にわたって防止すること，上述した性能を予定供用期間にわたって維持する耐久性能などが挙げられる。

コンクリート製開水路の補修工法の性能評価においては，これら個々の性能について，まず，発注者が要求する性能と必要な性能値を明示する必要がある。したがって，補修対象とするコンクリート製開水路の状況を機能診断によって十分把握し，土地改良区等にも聞き取りをしながら，補修材料に要求する性能を明確にする必要がある。その上で，補修工法に要求する性能を決定しなければならない。一方，受注者は，発注者が明示している性能が確保できているかどうかを照査する必要がある。こうした発注者と受注者とのバランスを考慮すると，現時点では，**Table 6** に示した補修材料の性能評価試験の一例のように，求める性能とその試験方法を選定し，明示することが第一段階として必要である。そのためには，農業水利施設の補修においても，補修材料に要求される性能を明らかにするために，具体的な試験方法とその試験において達成すべき目標を示すことが必要である。今回整理した各機関の試験のほとんどは，農業水利施設の補修材料の性能評価方法として流用できる。しかし，その達成基準については，未だ明確でない。したがって，現時点では，ある程度先行して性能値が決定されている事例を見ながらそれを暫定値として流用し，各地で進められている補修工法の追跡調査を行うことにより，その性能値を決定することが第二段階である。この場合，コンクリート製開水路では，常に流水に晒される環境にあること，第三者に対する影響度が小さいこと，などを考慮して，要求性能を高める，低減する，あるいは別の要求性能を掲げるなどの工夫が必要となる。

d　補修技術の性能評価における今後の課題

一方で上記の性能評価試験を行う場合，①補修材料そのものを対象として行うか，②補修材料を基板に付着させた複合体として試験を実施するか，③数種類の試験方法のうち，どの条件の試験を採用するか，④予定供用年数と総試験時間との対応をどのように仮定するか，などを検討する必要がある。農業水利施設においては，常に流水に晒されるなど，一般の土木構造物とは異なる環境条件において，長期間性能を発揮しなければならない。しかし，現在，このような環境条件を考慮した補修材料の耐久性試験方法は確立されていない。構造物の延命効果の評価が困難である理由として，渡嘉敷らは，現行の性能照査（性能評価試験）の対象の大部分が **Fig.16** に示す A および F であるためと述べている。つまり，現時点では，①補修・補強材料自体の強度や耐候性を照査することのみで，その工法の耐久性を照査したこととする状況にある，②補修・補強の対象となる構造物は，竣工後，既に 30 ～ 40 年経過しているため，工法適用後は，新旧複合材料で構成された構造物となり，その挙動については未知の部分が多い，③現在も種々の対策工法により農業水利施設の長寿命化が図られているが，補修材料の浮きやひび割れなどの再損傷が早期に発生しているケースも見受けられる，という状況にある。したがって，今後はこれらの現象の解明も含めて，**Fig.16** の G 領域，つまり，補修・補強材料，既設構造物，環境の相互作用の条件下にある工法の耐久性などを適切に評価できる試験の開発が必要であるとしている（渡嘉敷ほか，2007）。このためには，補修工事を行った直後からの経過をモニタリングすることが重要である。何らかの不具合がある場合には，施工中もしくは施工後早期に変状が発生することが多い。したがって，この時期には高い頻度で点検することが重要である。そのような場合には，原因を究明するとともに，その情報を広く農業土木技術者に情報提供することが重要である。こうした取り組みにより，同様の失敗を繰り返すことがなくなるとともに，選定した補修工法の適用範囲がより明確になると考えられる。

現在，中国四国農政局四国調査管理事務所，岩手県盛岡地方振興局（岩手県盛岡地方振興局，2009），関東農政局利根川水系土地改良調査管理事務所（利根川水系土地改良調査管理事務所，2009）などが主体となり，実規模の農業用水路を使った多数の補修工法の実証試験や PR 施工が行われている。さらに，ストックマネジメント技術高度化事業により，実証試験を通した新工法の性能評価を行う取り組みが進められているとともに，実証試験中の追跡調査結果も報告されている。このような現地実証試験による補修工法の性能評価が今後期待される。

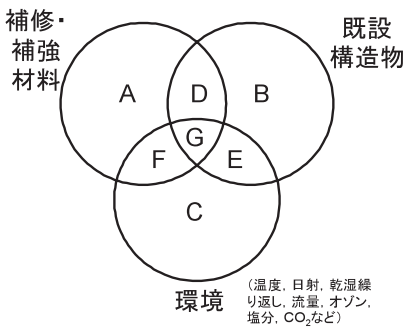

Fig.16　補修材料の性能評価の領域
Region to evaluate the performance of repair materials

Ⅳ 結 言

本報では，現在コンクリート製開水路の補修工法に焦点をあて，発生している変状とその要因について考察するとともに，無機系，有機系補修工法，目地補修工法に要求される性能を示した。さらに，現在，各分野で規定化されている補修材料の性能評価試験を収集し，コンクリート製開水路の補修工法としての性能規定化，性能評価試験等への適用性について考察した。その結果，以下のことが明らかとなった。

①補修工法に見られた変状は，ひび割れ，浮き，はく離，ふくれ，はがれ，紫外線劣化，目地材の脱落等であった。

②補修工法の変状を防ぐためには，主として以下の性能が要求されることが示された。

無機系補修工法：旧コンクリートとの付着性，温度変化・乾燥収縮への抵抗性，耐摩耗性・平滑保持性など

有機系補修工法：旧コンクリート躯体のひび割れへの追従性，旧コンクリートとの付着性，紫外線劣化への抵抗性など

目地補修工法：目地挙動への追従性，紫外線劣化への抵抗性，旧コンクリートとの付着性など

③補修工法に見られた変状から，コンクリート製開水路の補修工法に対する性能として，旧コンクリート躯体のひび割れ挙動への追従性，付着性，耐候性，温度変化に対する抵抗性，乾湿環境に対する抵抗性，耐摩耗性・平滑保持性，透水性があげられた。

④日本工業規格（JIS），ASTM，土木学会（JSCE），日本建築学会，日本下水道事業団，高速道路（JHS）等で規定されている性能試験の現状を調査し，ひび割れ追従性試験，付着試験，耐候性試験，温度変化に対する抵抗性試験，乾湿環境に対する抵抗性試験，耐摩耗性試験，透水性試験，吸水試験などが規定されていることが明らかとなった。また，耐候性試験における運転条件に代表されるように，試験体，温度条件などがほぼ統一されている試験もあることが確認された。

⑤コンクリート製開水路の補修工法の性能評価として，補修工法に求める性能とその試験方法を選定，統一することが必要である。また，これらの性能試験結果と，実際補修工法が発揮している性能との対応を図るため，現地における試験施工による検証を行うとともに，モニタリングデータを活用して，コンクリート製開水路の性能値を決定していく作業が必要である。

なお，性能評価試験による結果と，実際の現地における追跡調査結果とを比較検証するため，現在，平成19年度に整備した複合劣化促進試験装置を用いて，各種補修材料の促進試験を実施しており，補修工法に見られる変状を再現できるような新たな試験方法の開発や，耐候性試験など促進効果が期待される性能評価試験に関して，その試験の「促進係数」を明らかにするための研究に着手し，有機系補修材料の耐候性については，評価が行える見通しが得られている（奥野ほか，2009）。

謝 辞

本研究は，「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発研究」により行った研究成果の一部である。また，耐摩耗性に関する試験方法の調査については，前水利施設機能研究室講習生石神暁郎氏の協力を得た。記してお礼申し上げます。

参考文献

1）土木学会（2003）：コンクリート標準示方書［維持管理編］に準拠した維持管理マニュアル（その1）および関連資料，p.203

2）土木学会（2005）：表面保護工法　設計施工指針（案）［工種別マニュアル編］，p.39

3）濱田秀徳（2006）：複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルを使用した水路ライニング工法について，水と土，No.146，p.55-61

4）飯田眞司・高柳弘道・矢部正実（2006）：促進耐候性試験法，関西ペイント㈱　塗料の研究，No.145，p.22-23

5）伊藤美紀雄（2005）：FRPM板を用いた住宅密集地域における水路再生の施工事例，水と土，No.144，p.31-36

6）岩手県盛岡地方振興局農政部農村整備室ホームページ：http://www.pref.iwate.jp/~hp1013/sec02/tech1.html，2009.10

7）竈本武弘・野島昭二・藤田庫雄（2009）：コンクリート表面被覆材の耐久性向上に関する検討，コンクリート工学，Vol.47，No.2，p.30-36

8）加藤智丈・岸本達也・森　充広・森　丈久・長束　勇（2008）：ジオメンブレンを活用した目地補修工法の開発，ジオシンセティックス論文集，23，p.253-258

9）平石剛紀・坂田　昇・渡嘉敷勝・増川　晋・長束　勇（2007）：高靱性セメント複合材料のひび割れ追従性に関する基礎実験，農業農村工学会大会講演要旨集，p.772-773

10）廣本淳史（2008）：新工法（FRPM板ライニング工法）による水路改修事例について，水と土，No.153，p.64-70

11）森 充広・石神暁郎・渡嘉敷勝・増川 晋（2007）：農業水利コンクリート構造物に見られる変状とその要因，ARIC 情報，No.82，p.53-59
12）森 充広・渡嘉敷勝・山﨑大輔・加藤智丈（2009）：長期供用された農業用水路コンクリート通水表面の変質，コンクリート工学協会年次論文集，31（1），p.919-924
13）森 丈久（2009）：水利施設補修材料の品質確認試験について（第 1 回），JAGREE，No.77，p.33-39
14）長嶋滋則，崎山佳孝（2004）：特殊塗装ライニング工法によるコンクリート開水路の改修について，水と土，No.139，p.43-49
15）浪花直人・三浦信隆・長束 勇・上野和広（2008）：光硬化型 FRP シートを用いた三面水路更正工法の開発，農業農村工学会大会講演要旨集，p.466-467
16）長束 勇・渡嘉敷勝・森 充広・石神暁郎（2007）：ゴム弾性を活用した水路目地補修工法の開発，農業農村工学会論文集，249，p.31-37
17）西場 猛（2008）：超高強度繊維補強コンクリートパネルによる水路トンネルの補修について，水と土，No.152，p.38-42
18）日本コンクリート工学協会（2009）：コンクリート診断技術 ’09，p.228-243
19）日本下水道事業団（2007）：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル，p.38
20）日本建築学会（2007）：鉄筋コンクリート造建築物の品質管理および維持管理のための試験方法，p.285
21）日本規格協会（2001）：JIS A 6021 建築用塗膜防水材
22）東京湾埠頭公社（1994）：大井埠頭桟橋劣化調査・補修－マニュアル（案）－，p.40
23）奥野倫太郎・森 充広・森 丈久・渡嘉敷勝・中矢哲郎（2009）：促進耐候性試験による有機系表面被覆工法の耐久性照査に関する検討，第 64 回農業農村工学会中国四国支部発表講演会要旨集，p.70-72
24）渡嘉敷勝・石神暁郎・高橋 晃・森 充広・増川 晋・長束勇（2005）：ジオメンブレンを用いた農業用水路の漏水補修工法の性能評価，ジオシンセティックス論文集，20，p.171-176
25）渡嘉敷勝・森 充広・増川 晋・石神暁郎・高橋晃・中川拓之（2005）：ゴム弾性を活用した水路補修目地の追随性，農業土木学会大会講演要旨集，p.604-605
26）渡嘉敷勝・石神暁郎・森 充広・増川 晋（2006）：水流摩耗試験機を用いたモルタルおよびペーストの摩耗試験，コンクリート工学年次論文集，28（1），p.695-700
27）渡嘉敷勝・森 充広・増川 晋・中矢哲郎・石神暁郎（2007）：農業水利施設のマネジメント，ARIC 情報，85，p.73-80
28）利根川水系土地改良調査管理事務所ホームページ：http://tonecho.st.wakwak.ne.jp/tonecho/osirase/consaisei.html，2009.10
29）内田雄士・平石剛紀・坂田 昇・渡嘉敷勝・森 丈久（2009）：高靱性セメント複合材料を用いた吹付け補修工法の農業用水路への適用，農業農村工学会大会講演要旨集，p.472-473

Study of Performance Evaluation Method for Repair Materials of Concrete Open Canals

MORI Mitsuhiro, OKUNO Rintaro, MORI Takehisa,
TOKASHIKI Masaru and NAKAYA Tetsuo

Summary

Most of concrete canals were constructed many years ago, and they have now deteriorated and no longer function well. In the case that the concrete canal does not have structural problems, some of concrete repair methods that can improve the function are adapted without the destruction of the old concrete canal. But some defective events are seen in the repair materials which were caused by the lack of the performance as the repair materials of concrete open canals.

In this study, the authors collected many defective events in the repair methods of concrete open canals, and considered the reason why the defective events were occurred. And through these samples of the defective events, both the required performances for repair methods of concrete open canals and the evaluation methods for repair materials were considered. About the evaluation methods of repair materials, we reviewed and summarized some domestic standards, such as Japanese Industrial Standard (JIS), Japan Society of civil Engineers (JSCE), Nippon Expressway Company, Japan Sewage Works Agency, and so on. After that, we proposed the test methodology to evaluate the performance of repair methods as the repair materials for concrete open canals.

Keywords : concrete open canal, repair method, defective events, required performance, performance evaluation