

研究成果報告書

研究課題名	高靱性セメント複合材料を用いた 水路構造物等の補修・補強工法の開発
研究開発組合代表者名	鹿島建設株式会社

1. 研究目的

土地改良事業の進展により造成された農業水利施設のストックは膨大であり、水路構造物に限定しても、現在までに総延長 40,000km 程度の水路が構築されている。これら水路構造物においても、近年では、造成後 40 年以上を経過し老朽化した構造物が多く、構造物の性質上、コンクリート表面の摩耗による損傷や、目地部やひび割れ部からの漏水（写真－1）に対する対策が求められている。従来、これらの劣化に対しては、劣化した構造物を取り壊し、改めて造成する更新が通常であったが、最近では、これまでの事後保全からの確な機能診断に基づく予防保全へ対策を転換し、機能低下の原因・程度に応じた適切な補修を行い、ライフサイクルコストを考慮した維持管理を実施していくことが重要となっている。

水路構造物の補修工法としては、一般に耐久性に優れるとされるセメント系補修材料による断面修復工法が適用されている。しかしながら、目地部やひび割れ部では、その開口幅が温度変化などにより変動するため、補修後早期に補修材料にひび割れが発生し、美観上の問題や、ひび割れからの漏水による水路機能の低下などを生じるケースが多い（写真－2）。

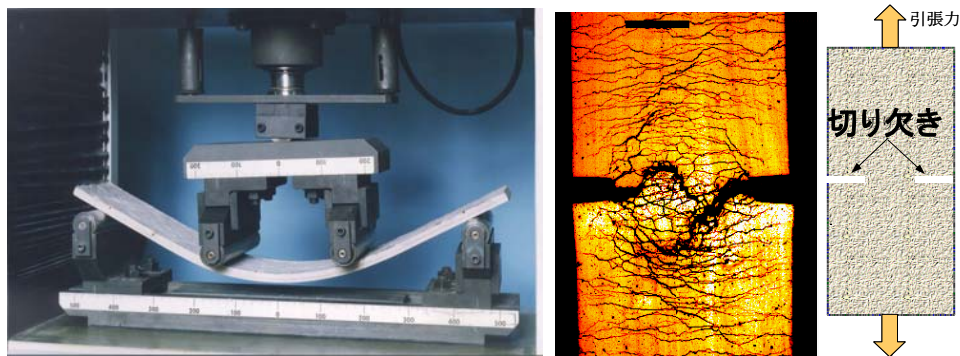


写真－1 目地部からの漏水

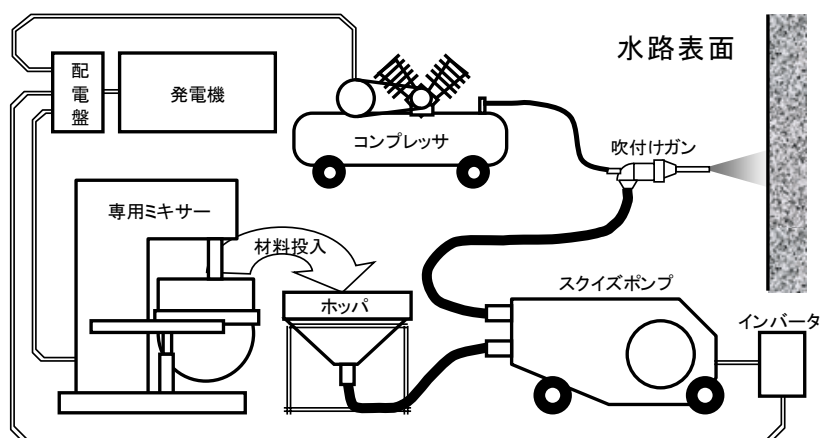


写真－2 目地補修部の再ひび割れ

そこで、本研究開発事業では、主として水路構造物の機能を延命化することでライフサイクルコストの縮減を可能とすることを目的として、セメント系材料でありながら、鋼材に類似したひずみ硬化型の引張応力-ひずみ挙動を示す高靱性セメント複合材料（以下、ECC、写真－3）を湿式吹付け工法により施工する技術を用いた、施工性および耐久性に優れる水路構造物の補修工法の開発を目指す。



写真－３ ECC の優れた変形性能およびひび割れ分散性能



図－１ 吹付け ECC による補修工法の概要

２．研究内容

本研究開発事業の研究内容を表－１に示す。本研究開発事業では、表－１に示す研究を実施することにより、吹付け ECC を用いた施工性および耐久性に優れる水路構造物の補修工法の開発を目指す。

表－１ 本研究開発事業での研究内容

技術的課題	研究内容
吹付け ECC の基礎物性の把握	・ 付着強度，凍結融解抵抗性，粗度係数など に関する各種物性確認試験
目地部またはひび割れ部の 連続化施工技術の検討	・ ひび割れ分散性に関する検討 ・ ひび割れ部の透水性に関する検討
施工効率の改善	・ 大型製造システムの開発
耐用年数の把握	・ 摩耗抵抗性に関する検討 ・ 目地部を対象とした微細ひび割れ部の 疲労耐久性に関する検討
開発成果の検証	・ 岩手（花巻），茨城（水戸）での試験施工 ・ 茨城（つくば）での実証実験

3. 目標とする成果

3. 1 目標とする成果

本研究開発事業における目標成果は以下のとおりである。

- ・農業用水路の補修材料としての吹付け ECC の基礎物性の把握
- ・吹付け ECC を用いた目地部またはひび割れ部の連続化技術の開発
- ・大型施工システムの開発による施工効率の改善
- ・開発成果の耐用年数の把握と実証実験による検証

3. 2 従来技術との比較

本研究開発事業において開発した吹付け ECC を用いた水路構造物の補修工法と、既存技術であるポリマーセメントモルタルを用いた補修工法の比較を表－2に示す。

表－2 既存技術との比較

項目	ECC	ポリマーセメントモルタル
ひび割れ分散性 (美観)	ひび割れや目地部においても、既設コンクリートの開口幅の変動に微細ひび割れを生じて追従する。	ひび割れや目地部分では、既設コンクリートの開口幅の変動に追従できず、大きなひび割れが生じる。
	◎	×
施工性	吹付け施工のため広範囲の施工に適している。	同左
	○	○
長期的耐久性	目地部・ひび割れ部を一括して耐久性に優れる ECC で補修。	目地部・ひび割れ部に使用する樹脂やゴム系材料は比較的早期に劣化する。
	◎	△
工事費 (仮設は除く)	26,000 円/m ² 別途目地部は 15,000 円/m。	17,000～34,000 円/m ² 程度 別途目地部は 4,000～200,000 円/m
	○	◎～△
総合評価 (LCC)	耐久性に優れるため、 維持管理費用が削減できる。	工事費は安いものもあるが、ひび割れが生じやすく、維持管理費用が嵩む。
	○	△

4. 研究成果

4. 1 研究成果概要

研究成果概要を以下に示す。

(1) 吹付け ECC の基礎物性の把握

- ・吹付け ECC の各種物性について、水路構造物の補修材料として要求される性能を満足することを実験により確認した。

(2) 目地部またはひび割れ部の連続化施工技術の検討

- ・吹付け ECC の目地部およびひび割れ部におけるひび割れ分散性を実験により確認した。
- ・ECC に生じる微細ひび割れは、水密性確保の観点から実用上問題ないことを実験により確認した。

(3) 施工効率の改善

- ・新型ミキサを開発し、施工効率を改善（約 2 倍）した。

(4) 耐用年数の把握

- ・水流摩耗試験により、一般的なコンクリートやモルタルに比べ摩耗抵抗性に優れることを確認した。
- ・目地部の疲労耐久性に関し、室内における検証試験を実施中。

(5) 開発成果の検証

- ・試験施工により、本工法の課題（目地部の疲労、施工厚さなど）を確認した。
- ・試験施工の結果を踏まえ、改善策を講じて実証試験を実施し、開発成果の検証を行い、本工法の妥当性を検証した。

4. 2 実験施設における概要、結果、課題等

(1) 吹付け ECC の基礎物性の把握

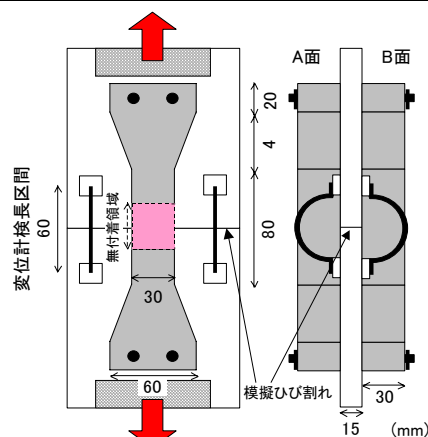
吹付け ECC の付着強度、凍結融解抵抗性、粗度係数などの各種物性について、水路構造物の補修材料に要求される性能を満足することを確認した。

表－3 吹付け ECC の基礎物性

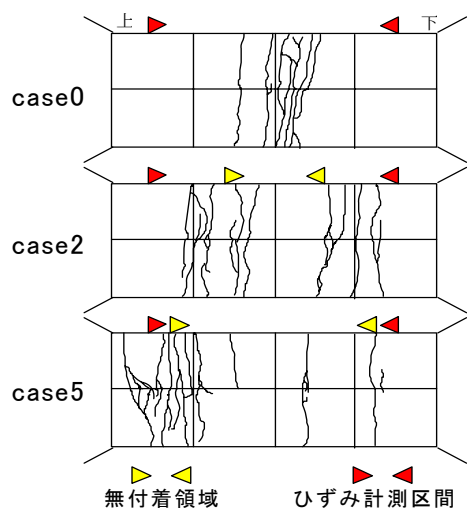
項目	試験方法	目標値	実験値
圧縮強度	JIS A 1108	30N/mm ² 以上	40N/mm ²
引張降伏強度	土木学会 HPFRCC 設計施工指針（案）	2N/mm ² 以上	3.5N/mm ²
引張終局ひずみ		0.4% 以上	2.0%
凍結融解抵抗性	JIS A 1148（300 サイクル）	60%以上	100%
付着強度	建研式引張試験	1.5N/mm ²	2.5N/mm ²
粗度係数	農工研 50m 水路での計測	0.012 以下	0.0104

(2) 目地部・ひび割れ部の連続化施工技術の検討

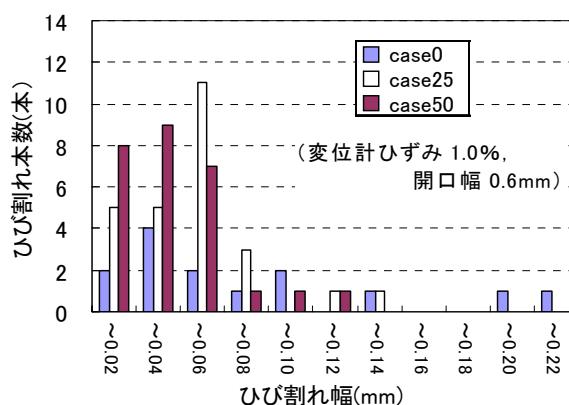
図－2 に示す試験体を用いて、吹付け ECC の目地部およびひび割れ部における優れたひび割れ分散性を確認した。特に、目地部については、開口幅の変動に対し無付着領域を設けることでひび割れ分散性が改善されることを確認した（図－3，図－4）。



図－2 試験体概要

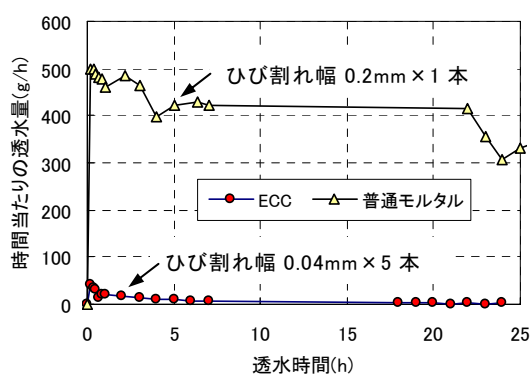


図－３ 試験終了時のひび割れ分散状況



図－４ ひび割れ幅の分布

また、透水試験により、ECC に生じる微細ひび割れ部の透水量は極めて少なく、水密性の観点から実用上問題ないことを実験により確認した。（図－５，写真－４）。



図－５ ひび割れを有する ECC の透水試験結果（総ひび割れ幅 0.2mm）



写真－４ ECC ひび割れ部の目詰まり状況

（３）施工効率の改善

施工効率改善について、課題であった製造時間の短縮を目的とし、ミキサ容量を２倍とし、かつ材料自動投入機を装備した新型ミキサを作製した（写真－５）。また、練混ぜ手順、練混ぜ時間などを水準とした練混ぜ実験を経て、適切な練混ぜ方法を確認した。その結果、新型ミキサでは、現行システムの約２倍（480L/h）の製造能力を確保できることを確認した。



写真－５ 新型ミキサ

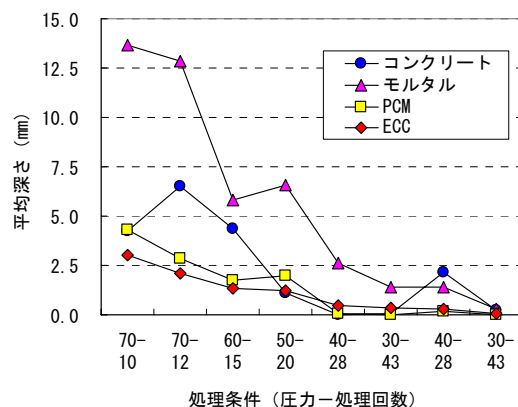
（４）耐用年数の把握

農業用水路での摩耗現象を模擬し、ウォータージェットを用いた摩耗試験（写真－６）を行い、吹付け ECC の摩耗抵抗性を評価した。その結果、吹付け ECC は、一般的なコンクリートやモルタルに比べ摩耗抵抗性に優れ、従来工法（ポリマーセメントモルタル）と同

等であることを確認した（図－6）。また，摩耗後の表面の凹凸についても，コンクリートやモルタルに比べ平滑であり，摩耗による粗度の低下が小さいことを確認した。



写真－6 WJによる摩耗試験概要



図－6 摩耗試験結果

また，目地部の伸縮に対する疲労耐久性を検証すべく，吹付け ECC の圧縮-引張の繰返し载荷試験（写真－7）を実施した。ECC 単体では，100～1000 サイクル（6 ヶ月～3 年に相当）でひび割れが拡大する結果となった。これを受け，目地部の ECC 断面内に補強材（アラミド繊維シート）を埋設する方法を考案し，実証試験および室内試験でその効果を確認中である。



写真－7 疲労試験試実施状況

4. 3 実証試験工事（現場適用）の概要、結果、課題等

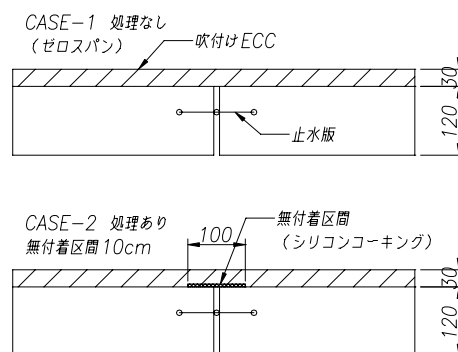
（1）試験施工結果

本工法における，実用上の課題の確認することを目的として，岩手県花巻市（H16 年度：長さ 5m 程度）および茨城県ひたちなか市（H17 年度：15m 程度）の 2 箇所で試験施工を実施した。

- ・ コスト縮減，工期短縮のため，はつり作業を極力伴わない工法とする必要がある。
- ・ 目地部については，既設コンクリートの伸縮の繰返しにより，ひび割れ幅が拡大してしまったことから，補強対策を講じる必要がある。



写真－8 試験施工箇所（茨城県）



図－7 目地部補修概要（茨城県）

（２）実証試験結果

実証試験は、茨城県つくばみらい市にある農業用水路で実施した（写真-9, 10, 図-8）。実証試験では、一連の検討結果を踏まえ、目地部を除く一般部の被覆厚を 10mm とし、目地部の疲労耐久性対策として、断面内にアラミド繊維シートを埋設し ECC を補強する方法を採用した（図-9）。



写真-9 実証試験箇所全景

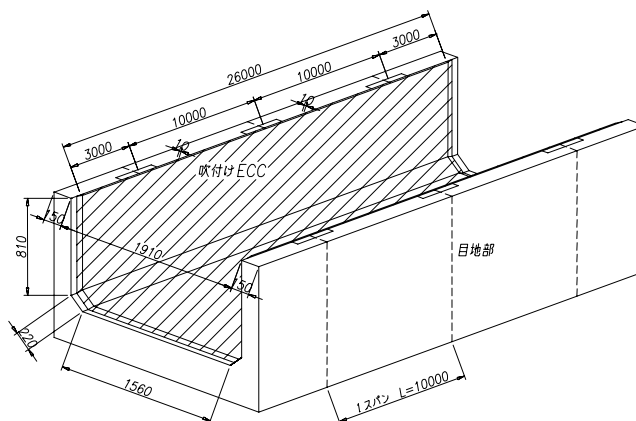


図-8 実証試験概要



写真-10 吹付け施工状況

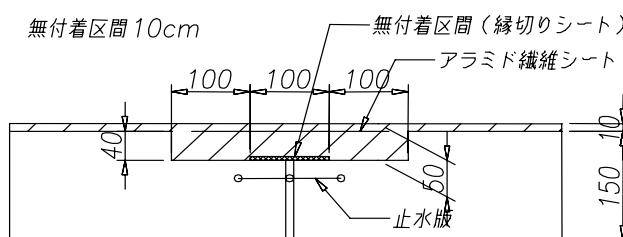


図-9 実証試験目地部概要

実証実験の結果、以下のことを確認した。

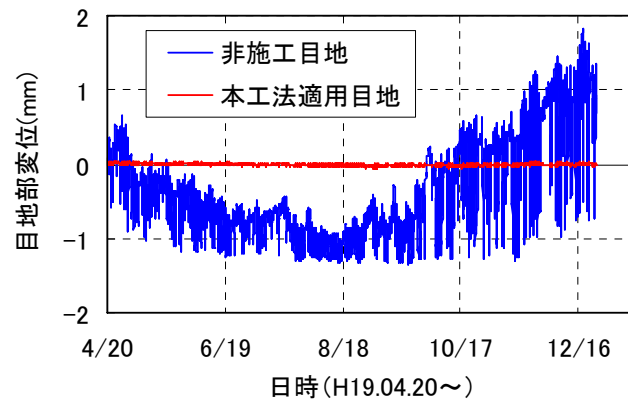
- ・ 歩係り調査の結果、材工単価を確認した。（施工面積 100m² 程度とした場合の仮設費を除く直工単価：一般部 26,000 円/m²，目地部 15,000 円/m）。
- ・ 施工後 9 ヶ月を経過した時点での目視調査では、目地部を含め 0.04mm 以下のひび割れは確認されたが、ECC 特有の微細ひび割れであり、大きなひび割れは生じておらず、補修箇所が健全であることを確認した（写真-11, 12, 図-10）。



写真-11 9 ヶ月経過後の水路表面



写真-12 9 ヶ月経過後の目地部表面



図－10 目地部の変位計測結果

今後も、機能監視として実証試験箇所の調査・計測を行い、本工法の妥当性について検証をしていく予定である。

4. 4 普及活動状況等

(1) 執筆論文

- ・ 日本コンクリート工学協会，コンクリート工学年次論文集（2006）1 編，「高靱性セメント複合材料のひび割れ分散性能に関する基礎実験」
- ・ 土木学会，年次学術講演会（2006）2 編，「高靱性セメント複合材料のひび割れ追従性に関する一実験」「高靱性セメント複合材料のひび割れ部における透水性の検討」
- ・ 鹿島技術研究所年報（2006）1 編，「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」
- ・ 材料学会，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（2006）1 編，「農業用水路の補修における高靱性セメント複合材料の適用性検討」
- ・ 農業土木学会，年次講演会（2007）3 編，「高靱性セメント系繊維補強複合材料を用いた水路補修工法の開発」，「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」，「高靱性セメント複合材料のひび割れ部における透水性の検討」

(2) その他

- ・ 特許出願：目地部を有するコンクリート製水路の補修工法，特出願済み
- ・ 農林水産省実用新技術説明会ポスターセッション展示：農林水産省，2007.09.12.
- ・ 農業土木学会大会講演会ポスターセッション展示：農業土木学会，2007.08.
- ・ 近畿農政局紀伊平野農業水利事業建設所への技術説明，2007.11
(試験的に，採用決定。)

5. 今後の課題

- ・ 実証試験箇所の継続的な機能監視
- ・ 普及工法とすべく更なるコスト低減の検討
(例：既設コンクリート表面の処理の簡略化，目地部を除く部分のみへの適用など)
- ・ マニュアル等の資料の整備

6. 試験研究機関（農工研、大学等）総括者による意見・評価等

項 目	評価結果	備 考
研究計画の効率性・妥当性	A	研究は、効率的に進められており、また、事業現場で求められている技術に高靱性セメント複合材料の特長が生かされており、妥当である。
目標の達成度	A	工法としてはほぼ完成の域にあり、実証試験地区における機能監視と更なるコスト低減のみが今後の課題である。
研究成果の普及可能性	A	既存工法に無い技術的特長を有していること、また、工事費は一般のポリマーセメントモルタル工法に比較すると若干高めであるが、下地処理の省力化によるトータルコストの低減や高耐久性による LCC の低減が見込めることから、普及の可能性は極めて高い。
研究成果の出来栄	A	セメント系材料であるため、施工後は新設コンクリートに遜色なく、また、ひび割れが生じても微細であるため、美観上も問題ない。

総合コメント

本工法は、ひび割れ分散性に優れた材料を水路構造物の補修・補強に適用する工法であり、既存工法の課題であった目地部やひび割れ部における再劣化を抑制した工法である。また、本工法は、施工表面の脆弱化が進行している既設水路躯体においても、高靱性およびアンカー効果により、水路躯体と補修材料との一体化が図られる工法である。本工法が有するこれらの技術的特長は、これまでの既存工法には例の無いものであると同時に事業現場で求められているものである。そのため、今後の農業水利施設のストックマネジメントに寄与することが大変期待される工法である。

注）評価結果欄は、A、B、Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入する。

7. 研究総括者による自己評価

項 目	評価結果	備 考
研究計画の効率性・妥当性	A	既存工法の問題点を把握した上で、効率的に研究開発を遂行した。
目標の達成度	A	全ての実施項目について、目標をほぼ達成した。
研究成果の普及可能性	A	既存工法での課題を解決した画期的な工法であり、普及の可能性は極めて高い。
研究成果の出来栄	A	連続的な補修が可能な本工法は、ひび割れの補修跡などが残らず、補修後の美観も改善される。
総合コメント 本工法は、これまでの補修材料の課題（目地部・ひび割れ部の再劣化）を解決した画期的な工法である。本工法は、農業用水路の補修工法として実用段階にあり、実証試験箇所の機能監視、マニュアル等の整備を行い、今後技術の普及に努めたい。		

注）評価結果欄は、A、B、Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入する。