

水利施設の機能診断および補修・補強における技術的課題

Some Technical Problems on
Performance Examination, Repair, and Renovation of Irrigation Facilities

長 東 勇[†] 石 井 将 幸[†] 森 充 広^{††} 野 中 資 博[†]
(NATUKA Isamu) (ISHII Masayuki) (MORI Mitsuhiro) (NONAKA Tsuguhiro)

I. はじめに

農業水利施設の機能を維持・発展させるための適時・適切な補修・補強に関する設計・施工技術の体系的整備への取組みが本格化してから、数年が経とうとしている。この間、筆者らは、農業水利コンクリート構造物の劣化の現状調査や補修・補強の実態調査の結果^{1),2)}を踏まえて、非破壊調査技術などによる劣化診断手法³⁾や性能照査とリンクした維持管理のあり方⁴⁾などを提案するとともに、レジンコンクリートパネル、製管工法、ジオメンブレン、高韌性セメント複合材料などを用いた現況構造物の躯体を活用した補修・補強工法の開発とその適用妥当性の検証^{5)~9)}を行ってきた。

本報では、こうした補修・補強に関わる現場対応などを通じて明らかになった、調査、診断、設計・解析、補修・補強などの各段階で、今後早急に議論されるべき幾つかの基本的な技術的課題を事例に基づいて報告し、その対応のあり方を提案する。

II. 現場打ち RC 水路に対するひび割れ調査

1. ひび割れ調査の目的

コンクリート標準示方書（以降、示方書という）に記載されたひび割れに関する使用限界状態の照査では、生じるひび割れが有害か否かの判定基準として、許容ひび割れ幅が設定されている。しかし、その値は広範な種類の鉄筋コンクリート構造物を対象としており、水路などの特徴や使用条件を適切に考慮したものではない。性能照査型設計への移行を控え、独自の基準の制定が望まれる。

そこで農村振興局性能規定化技術検討委員会の構造分科会、および全国の土地改良技術事務所（とりまとめは中国四国農政局）により、現場打ち RC 水路のひび割れと鉄筋腐食の状況に関する調査が実施された。水路におけるひび割れ幅と鉄筋腐食の関係を明らかにし、許容ひ

表-1 ひび割れによる鉄筋腐食の状況（気中）

ひび割れ幅 (mm)	断面欠損 なし(本)	断面欠損 あり(本)	欠損あり の割合
~0.2	3	0	0.0%
0.2~0.3	10	1	9.1%
0.3~0.4	4	2	33.3%
0.4~0.5	3	3	50.0%
0.5~	2	3	60.0%

び割れ幅決定の資料とすることが目的である。

2. 調査の概要と結果

水路から採取したコアは、最多頻度流量の水面付近を基準とし、水面より上位（気中）と下位（水中）の2種類に分類した。コアの側面に開口したひび割れに対して鉄筋付近のひび割れ幅を読み取った後、ひび割れと鉄筋が交差・接触しているかどうかを確認した。そして鉄筋を取り出して、腐食や断面欠損の状況を調べた。

気中部から採取された鉄筋の中でひび割れと交差・接触していたものについて、ひび割れ幅と断面欠損の状態を表-1に示す。ひび割れ幅が大きくなるにつれ、断面欠損を受けた鉄筋の割合が増える。表には示していないが、水中部では気中部と比べ、同程度のひび割れでも腐食が進まない傾向がみられた。調査対象となったひび割れの多くは、施工直後に乾燥収縮や温度応力による変形で生じたものであり、発生から30年以上経っていると推測される。

示方書において鉄筋腐食に関する許容ひび割れ幅は、一般の環境でかぶりの0.005倍程度とされている。現時点での検討では、示方書の基準は水中部だけでなく、気中部に対しても過剰に安全側であることが示唆されている。許容ひび割れ幅以外の基準に対しても、同様の調査を通じて水路の状況を適切に考慮した値を順次設定していくことが望まれよう。

[†] 島根大学生物資源科学部

^{††} (独) 農業工学研究所



III. 排水機場基礎コンクリートの機能診断事例

1. 診断調査の方法と結果

海岸近傍のA排水機場基礎コンクリートに多くのひび割れや遊離石灰が見られた。これまでの調査では、これら変状の要因は“塩害”とされていた。塩分の躯体深さ方向の浸透状況を詳細に把握するため、コアの全塩分測定、電子線マイクロアナライザ (Electron Probe Micro Analyzer: 以降, EPMA という) による塩分浸透調査、鉄筋腐食状況を確認するためのはつり調査を実施した。

飛沫部、喫水面付近、水中部からコアを採取し、塩化物量を測定した結果、変状が多い飛沫部の塩化物量は、鉄筋の腐食発生限界 1.2 kg/m^3 に達していなかった。また、EPMAでも飛沫部に塩化物はほとんど認められなかった。はつり調査の結果でも、鉄筋腐食はごく表面的な腐食にとどまっていた。

そこで、再度現地目視調査や試験結果の整理を行った結果、①一軸圧縮試験結果の弾性係数が著しく小さい、②ひび割れには白色析出物が見られる、③ひび割れのパターンが鉄筋に沿うものでなく、無秩序に存在する、④採取したコアの粗骨材に反応環が確認できる、ということが判明し、アルカリ骨材反応 (以降, ASR という) の可能性が浮上した。

新たにコアを採取し、デンマーク法¹⁰⁾による残存膨張量試験を行った結果、まだ変状が現れていない部位から採取したコアにおいて、「膨張性あり」と判定される膨張量 0.4% に近い値を示した (図-1)。また、白色析出物を走査電子顕微鏡で観察した結果、アルカリシリカゲルの生成が確認された。偏光顕微鏡による骨材鑑定の結果でも、ASR 反応性を有する骨材の使用が確認された。

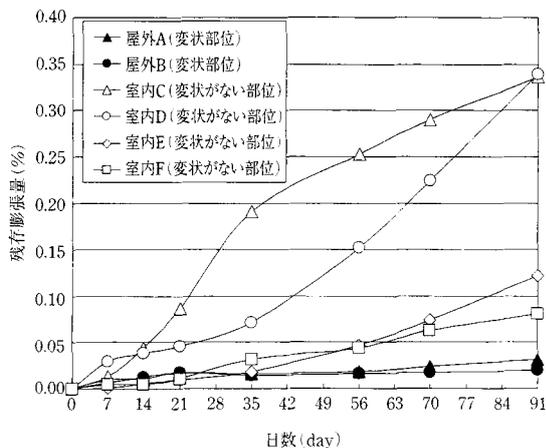


図-1 残存膨張量試験結果 (デンマーク法)

2. 機能診断における留意点

本排水機場基礎コンクリートの変状の主たる要因は、反応性骨材の使用による ASR であり、発生したひび割れに塩分が浸透する複合劣化と診断した。塩害に対する補修工法と、ASR・塩害複合劣化に対する補修 (補強) 工法では、工法に求める性能がまったく異なる¹¹⁾。本事例のように、補修・補強工法を選定するための機能診断に当たっては、先入観にとらわれることなく、さまざまな観点から劣化メカニズムを解明することが重要である。

IV. 補強構造物の強度評価

1. 既設構造物の用途変更と補強

劣化した水路に適用可能な各種の補修工法が開発され、適用事例も次第に増えてきた。補修工法の中には構造耐力を増強させ、用途変更のための補強に用いることも可能なものがある。補強は既存施設を有効に活用する有力な手段であるが、補強効果の評価手法はまだ確立したとは言えない状況にある。B現場では、流量を増大させるためにカルバートの内圧管転用が計画された。しかし、元来内圧管としては設計されていない既設管の頂版には外筋がなく、補強が必要であることは自明であった。

そこで、補修工法のひとつである製管工法を適用し、補強と用途変更を試みることになった。この工法では、塩ビと補強筋からなるプロファイルで内管を形成し、既設管との間にモルタルを充填、硬化させる。その補強効果を実証するために、実構造物を縮小した図-2のような構造に対して強度解析による検討を行い、さらに同条件の耐内水圧試験によって検証した。色の濃い部分が補強用の新設断面、その外が既設管である。

2. 補強効果の解析と評価

補強構造物の強度解析には、補強材料の物性、既設構

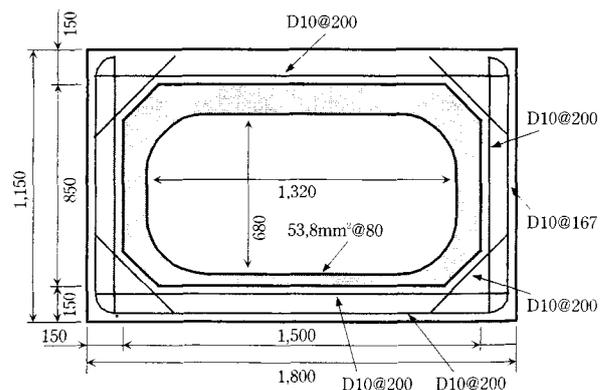


図-2 対象とした補強構造物

造と補強材の一体性など新たに考慮すべき事項があり、既存の手法では十分対応できない。そこでモルタルの材料試験とその結果に基づいた破壊解析により、ひび割れや破壊の生じる水圧を求めた。得られた解析結果は十分な補強効果が得られることを示しており、また耐内水圧試験の結果ともほぼ一致した。解析精度が確認されたと判断し、実構造物に対する解析を実施して、作用水圧を大きく上回る耐内水圧性能が得られることを確認した。

しかし、その過程で、限界状態設計法の部分安全係数のように、性能余裕の大きさを決定する定数が破壊解析には存在せず、安全性が十分であるかを客観的に判断する概念の不足が明らかになった。また鉄筋量の相対的な減少により、補強後は若干脆性的な破壊挙動を示す可能性が示唆され、破壊性状に応じて性能余裕の大きさを定める必要性も示された。補強構造物の強度評価には数値解析が有用であるが、解決すべき問題が残されている。

V. 幹線水路の更新における新工法の採用事例

1. 更新工法の選定

C現場の幹線水路（水路幅13m、水路高さ3m、ピーク流量44m³/s）は、築造後約40年が経過し、水路表面の磨耗による粗度の悪化に起因する水位上昇、目地部の劣化による漏水などの水理・水利用機能の低下が著しい状況であった。そこで、改修と補修の両面から更新工法が検討されたが、特に、従来の目地補修工法では耐久性と施工性に大きな課題があると判断されたことから、全面的な改修工法を採用する設計方針とされた。しかし、詳細設計が検討される中で、現況の鉄筋コンクリート躯体は、①平均圧縮強度：53.8N/mm²、②中性化深度：最大5mm、③磨耗量：平均約5mm、④せん断破壊や進行性ひび割れ：なし、⑤不同沈下の発生：なし、との調査結果が明らかになった。さらに、最近開発された目地補修の新工法“応力機能目地工法”¹²⁾の情報が入手された。そこで、新技術導入農業農村整備事業の認定を受け、本幹線水路更新工事において新技術の実証試験が行われた。その結果、十分な機能の発揮と、工期の大幅な縮減・工事費半減の達成が可能であることが判明した。

2. 新技術に関する情報入手とその評価への挑戦

現場担当者は“調査・設計から施工に至るまで試行錯誤の連続であった”と語っている。このように“歩きながら考える”こそが、本来の技術者の姿勢ではなからうか。弛まぬ技術情報入手への努力とその技術評価への挑戦が、大きな成果を生む源泉となるのである。

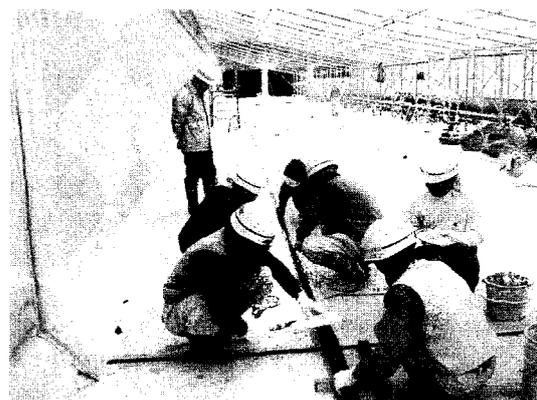


写真-1 C現場における応力機能目地施工状況

VI. おわりに

本報では、①農業水利構造物としてのコンクリート水路の耐久性を反映した許容ひび割れ幅、②沿岸に位置する排水機場基礎の最適な補修・補強工法を選定するための機能診断調査、③内圧管転用など用途変更も含めた既設構造物の補強、④目地など附帯工の更新に主眼をおく既設構造物の補修について述べた。いずれの事例についても根底にある考え方はその合理性であり、それは調査・診断、設計・解析、補修・補強などすべての段階で今後さらに追求されるべき課題である。

わが国をはじめ先進国は、少なからず少子高齢化（人）、省資源（もの）、財政健全化（金）への対応に直面している。一方で、国民の生活を支える水利施設など社会基盤施設の維持管理への国民的付託は普遍的である。この大きな制約条件の下で円滑に事業を遂行して行くには、いろいろな分野の人材が結集して智慧を出していくしかない。21世紀は協働の時代とはそういうことであり、それを進める規範としては性能規定化がエンジンであり、かつ品質や環境管理などマネージメントシステムの確立が必要である。そのためにはシステムの標準化・規格化、個人の資格化が急務であり、技術・理論に裏付けられた教育による人材育成が肝要である。

引用・参考文献

- 1) 長東 勇・甲本達也・青山威康・野中資博・服部九二雄：農業水利コンクリート構造物の更新と維持管理，農土誌70(12)，pp.3～6(2002)
- 2) 野中資博・石井将幸・石黒 覚・前田弘司：農業用管水路施設の改修工法，農土誌70(12)，pp.25～29(2002)
- 3) 森 充広・渡嘉敷 勝・長東 勇・石村英明：農業

- 用水路機能診断における非破壊調査技術の有効性, 農土論集 230, pp.123~130(2004)
- 4) 渡嘉敷 勝・長束 勇・森 充広・石村英明: 農業水利施設の性能管理へ向けた一考察, 農土誌 72(3), pp.35~38(2004)
 - 5) 長束 勇・直江次男・渡嘉敷 勝・森 充広・田熊 章: 水路系コンクリート構造物の内張り再生工法の開発, 平成 14 年度農土学会大会講要集, pp.414~415(2002)
 - 6) Ishii, M., Nonaka, T., Ishiguro, S. and Nakagawa, H.: Fracture experiment and analyses of renewed RC box culvert, Proc. of the 4 th Asia Symposium on Polymers in Concrete, pp.285~292(2003)
 - 7) 小俣富士夫・竹村浩志・山本晴彦・梅沢敏雄・高橋松善・森 充広・長束 勇: ジオメンブレンを活用した農業用水路の漏水補修, ジオシンセティックス論文集 19, pp.77~80(2004)
 - 8) 佐藤周之・新居 隆・福室順也・石井将幸・野中資博: FRP 板による RC ボックスカルバートの補強効果に関する研究, 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 (日本材料学会), 4, pp.395~400(2004)
 - 9) 坂田 昇・閑田徹志・平石剛紀・渡嘉敷 勝・長束 勇: 高靱性セメント複合材料を用いた吹付け補修・補強工法, 農土学会材料施工研究部会報 43, pp.41~47(2004)
 - 10) (社) コンクリート工学協会: コンクリート診断技術 03', pp.177~178(2003)
 - 11) 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, 202, pp.183~196
 - 12) 長束 勇・渡嘉敷勝・森 充広・石神暁郎・安東祐

樹・中川拓之: ゴム弾性を活用したコンクリート水路目地の補修工法, 平成 16 年度農土学会大会講要集, pp.252~253(2004)

[2005. 6. 16. 受稿]

長束 勇



略 歴
 1974年 京都大学農学部卒業, 農林省入省
 1980年 筑波大学大学院経営・政策科学研究科修士課程修了
 1986年 構造改善局設計課課長補佐
 1989年 農工研・研究室長, 上席研究官を経て
 2004年 島根大学生物資源科学部教授
 現在に至る

石井 将幸



1997年 京都大学大学院農学研究科博士課程退学
 京都大学防災研究所助手
 1999年 島根大学生物資源科学部講師
 2002年 島根大学生物資源科学部助教授
 現在に至る

森 充広



1994年 京都大学農学研究科修士課程修了, 農林水産省入省
 農業工学研究所土木地質研究室
 1999年 東北農政局郡山土地改良建設事業所
 2001年 独立行政法人農業工学研究所施設機能研究室
 現在に至る

野中 資博



1975年 京都大学大学院農学研究科修士課程修了
 1975年 島根大学農学部助手
 1985年 同上助教授
 1995年 同上教授
 1995年 島根大学生物資源科学部教授
 現在に至る