

コンクリート強度の分布特性を考慮した 施設機能診断-刈谷田川右岸地区の事例-

千代田淳¹・佐藤智之¹・鈴木哲也²

¹株式会社日本水工コンサルタント（〒335-0002 埼玉県蕨市塚越5丁目37番地16号）

²正会員 博士（工学） 新潟大学 自然科学系（農学部）（〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050）

近年、社会基盤施設の長寿命化が重要な公共的課題と認識されることに伴いコンクリート構造物の損傷実態の解明が急務な課題となっている。本報では、農業用コンクリート製構造物を対象に施設機能診断を実施した事例を報告する。調査対象は、農業水利施設の中でも外部環境の影響を強く受けることが広く認識されている。そこで本研究では、損傷実態を力学特性の観点から精査し、農林水産省が提示している技術基準から損傷を考察するとともに、構造部位による損傷度分布を検討した。その結果、農業用コンクリート製構造物では構造損傷が均一に進行するのではなく、局所的損傷の進行が確認された。

キーワード：コンクリート，維持管理，機能診断，圧縮強度試験，反発強度試験

1. はじめに

近年、農業水利施設の多くが更新の時期を迎えようとしている。施設を末永く供用し、活用していくためには、維持管理の実態を正確に把握し、資源を有効利用していく必要がある。これらの農業水利ストックは、食料の安定的な確保に不可欠なばかりでなく、洪水防止や地下水涵養といった多面的機能の発揮においても重要な地域資源であり、施設の総合的な保全管理の確立に向けて技術を発展させていくことが求められている。

ストックマネジメントの本格実施に伴いデータおよび技術的知見の蓄積が進んでいるが、実効的なストックマネジメントの取組みを実施する上でのさまざまな課題および検討事項が明らかとなってきた¹⁾。

本報では農業水利施設の機能診断業務を実施した平成 22 年度 国営造成水利施設保全対策指導事業刈谷田川右岸地区機能保全計画策定業務を基に農業用コンクリート製構造物について施設機能診断事例を報告し、各調査地点毎の調査結果（数値）のばらつきについて検討を行い、評価を試みるものである。

本論の構成は、2章では、施設機能診断方法として、機能診断の考え方（健全度S評価について）・調査の種類・試験方法について述べる。3章では、

調査結果として強度試験結果（圧縮強度・反発度法）・中性化深さ結果・損傷分布についての検討を解説し、4章にて考察とする。

2. 施設機能診断方法

(1) 機能診断の考え方（健全度S評価について）

現地調査は、ストックマネジメントマニュアル²⁾を参照し、目視を中心とした調査診断を行った。施設機能の評価は、工種ごとに定性的評価（S-5～S-1）を中心に行った。以下に各評価値を詳述する。

a) S-5

変状はほとんど認められない。新設時点とほぼ同等の状態である。劣化過程は、潜伏期に分類される。対策は不要となる。

b) S-4

コンクリートに軽微なひび割れの発生や摩耗などの変状が認められ、目地や構造物周辺に軽微な変状が認められるが、通常の使用に支障がない状態である。劣化過程は、進展期に分類される。供用していく中で要観察の対応をとる。

c) S-3

変状が顕著に認められる状態で、劣化の進行を遅らせる補修工事などが適用可能な状態をいう。主な

変状内容は、鉄筋に達するひび割れ、鉄筋腐食によるコンクリートの剝離・剥落、摩耗による粗骨材の剥落、目地の劣化による顕著な漏水（流水や噴水）、等が挙げられる。劣化過程は、進展期から加速期に移行する段階と判断できる。対策には補修工法を適用する他、程度によっては補強工法を適用する。

d) S-2

施設の構造的安定性に影響を及ぼす変状が認められ、補強を伴う工事により対策が可能な状態である。コンクリートや鉄筋断面が一部で欠損しており、地盤変化や背面土圧の増加によりコンクリート躯体に明らかな変形が生じている状態を指す。劣化過程は、加速期又は劣化期に移行する段階と判断する。対策には補強工法を適用するが、変状の程度により補修工法を適用する。

e) S-1

施設の構造的安定性に重大な影響を及ぼす変状が複数認められ、近い将来に施設機能が失われる、又は著しく低下するリスクが高い状態である。補強では経済的な対応が困難で、施設の改築が必要な状態を指す。主な変状は、貫通ひび割れの拡大に伴う、鉄筋有効断面の大幅な縮小が挙げられる。S-2に評価される変状が更に進行した状態で、補強で対応するよりも、改築した方が経済的に有利な状態を指す。劣化過程は、劣化期と判断できる。対策には改築を適用する。

以上の5ランクに分けて判定を行い、同施設内で異なる評価となった場合には、水路などの線施設については、水を通すという機能は同等であることから、構成単位（水路を構成する区間）毎に重要度の差がないと考え、現地調査（定点調査）から水路全体の評価には重み係数を用いず、健全度が低い評価を全体の評価とすることを基本とし、併せて健全度の分布を表示した。

(2) 調査の種類

a) 事前調査

設計図書や施設管理者が有する維持管理記録等の収集及び聞き取りを行い、管理・事故・補修記録等の文献調査、施設管理者からの聞き取り調査等により、機能診断調査にかかる基本的情報を把握し、現地踏査や現地調査をどのように実施する必要があるか等を検討した。

事前調査では施設の概要と問題点を把握するとともに、施設の立地条件を参考に、個別の劣化現象の可能性を評価する目的も含め行った。また、近年では農業水利ストック情報データベースが整備されて

いるため、活用して施設基本情報や補修等の履歴、既往の機能診断結果を参考にするのが有効である。

施設管理者（土地改良区等の担当者）への聞き取りに当たっては、対象施設毎に日常点検（問診）票を準備し、問診票の項目に従って、施設の現況を把握すると効率がよい。現地踏査及び現地調査の実施についてのアドバイスについても施設管理者から受ける事が出来れば、調査が円滑に進む²⁾。

b) 現地踏査(概査)・調査(精査)

事前調査の結果を踏まえ、施設全体について、技術的知見を持つ技術者の遠隔目視によって、施設の劣化の概況を把握するとともに、調査所要の地点において、近接目視、計測、試験等により行う定量的な専門調査を行った。

技術的知見を持つ技術者が遠隔目視により対象施設を調査することにより、施設の劣化状況やその要因を大まかに把握し、調査の単位や定量的な調査項目の決定など、現地調査の実施方法を具体的に検討する。

近接目視による調査のほか、施設の劣化予測や対策工法検討のために必要な指標について、定量的な調査を行った。

「調査」は、農業水利施設の水利利用性能、水理性能、構造性能、社会的安全性能の「評価」に必要な資料を得ることを目的として行うものである。調査の実施に当たっては、入手すべき情報の種類、範囲、精度等を設定し、合理的な調査方法を選定する必要がある。

「評価」は、調査結果に基づき、水利利用性能、水理性能、構造性能、社会的安全性能の性能低下の原因と現状を明らかにした³⁾。

その他、農村地域の混住化といった農業及び社会情勢を取り巻く環境の変化により、施設周辺の土地利用状況に変化が生じることがあるため、機能診断に当たっては、建設当時地形図や住宅地図等を入手し、建設当時と現状との土地利用状況の対比や荷重条件の整合を確認することも重要である。

また、工業地域に近接する地域にある開水路の場合、地下水のくみ上げに起因する地盤沈下や化学工場からの排水に起因する水質変化等にも留意が必要である⁴⁾。

調査種目としては、目視にて、クラック、欠損、鉄筋腐食等を記録する目視調査と、調査機器を用いる事で定量的な結果を得る試験方法がある。

構造物の目視調査は、以下に示す調査を行い展開図および写真撮影により施設状況を取り纏めた。側壁のたわみ、傾斜、沈下、変形、欠損、ブロック目

地、矢板腐食、コンクリートのひび割れ、表面劣化、浮き、剥離、目地ずれなどの外観上の損傷の有無、漏水（湧水）、堆砂状況等を図化した。写真-1に示すような目地部周辺の変状は散見される変状の中でも代表的なものであるため例に示す。

鉄筋コンクリートでは、鉄筋の腐食により劣化が進行するという特徴がある。このため、鉄筋に沿ったひび割れなどの変状は大きなポイントとなることから、鉄筋に起因する変状には十分に留意して調査を行った⁵⁾。現地調査模様を写真-2に示す。

目視調査の他、実施した調査手法には、反発度法によるコンクリート強度推定（以下、反発度法という）、圧縮強度試験、中性化試験が挙げられる。各調査では JIS 規格等の基準に準じた形で調査を行っている。

上記調査の他には、新技術であるコンクリート損傷度評価システム DeCAT を導入し、解析を行った。DeCAT とは、圧縮強度試験時に AE 法を用いた計測を同時に行う事でコンクリートの物性を評価する手法である。

(3) 試験方法

上述した定量的な試験結果を得ることの出来る試験方法（手法）の反発度法・圧縮強度試験・中性化深さ試験の試験方法について以下に述べる。

a) 反発度法

反発度法は、コンクリートの表面をリバウンドハンマーによって打撃し、その反発度から圧縮強度を推定する方法である。リバウンドハンマーの調査位置は、左右側壁1箇所について行い、1箇所あたり9点の測定値の平均を求めるが、今回の調査では、定点として設定した箇所につき1箇所ずつ、9点+補充用打撃5点で測定を行った。なお、リバウンドハンマーによる圧縮強度は、ハンマー角度、コンクリート表面の乾湿を考慮して補正を行っている。コンクリート表面に付着物がある、もしくは表面の摩耗が著しい場合には、砥石等を用いて表面処理を行い、試験を行った。測定状況を写真-3に示す。

b) 圧縮強度試験

コア試験体の圧縮強度試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し実施した。圧縮強度試験に先立ち、搬入されたコアをコンクリートカッターにて切断・整形し、端面は研磨して平滑にしたのち、コア供試体の直径と高さを、それぞれ 0.1mm まで計測した。また、供試体質量を計測し、見掛けの密度（単位容積質量）を算出した。



写真-1 散見される変状例



写真-2 現地調査模様



写真-3 反発度法計測状況

荷重は衝撃を与えないように、圧縮応力度の増加が毎秒 $0.6\text{N/mm}^2 \pm 0.4\text{N/mm}^2$ となるような速度で加え、試験体が破壊するまでに試験機が示す最大荷重を求め、圧縮強度を算出した。

ただし、コア供試体の高さとその直径との比が 1.90 より小さい場合は、試験で得られた圧縮強度に補正係数をかけて直径の 2 倍の高さを持つ供試体の強度に換算した。

また、今回の試験では AE 法を用いた AE 計測を圧縮試験と同時に行うため、AE センサとひずみゲー

ジを側面に設置し、圧縮応力下の AE 発生挙動を計測した。

AE 計測は広帯域型 AE センサを供試体中央部に設置して行なった。周波数帯域は 60kHz～1MHz である。検出された AE 信号は、プリアンプとメインアンプで 60dB に増幅した。しきい値は 42dB に設定し、不感時間は 2ms とした。計測模様を写真-4 に示す。

c) 中性化深さ試験

コア供試体の中性化深さ試験は、JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」に準拠し実施した。中性化深さの測定は、採取コアを割裂し、割裂した面にフェノールフタレイン1%溶液を吹き付け、未着色部分を約10mm間隔ごとに10箇所ノギスにより測定し、測定値の合計を測定箇所数で除して、平均中性化深さとした。試験状況を写真-5に示す。

3. 調査結果

(1) 強度試験結果

採取コアの補正後の圧縮強度は、15.9～38.7N/mm²の範囲にあり平均で22.9N/mm²であった。最も高い値を示したのは中央揚水機場建屋内部内壁から採取した02-16のコアで38.7N/mm²、逆に最も小さい値を示したのは右岸幹線用水路内壁から採取した05-02のコアで15.9N/mm²であった。

現地での計測を行った反発度法の試験値は、7.0～52.6N/mm²の範囲にあり平均で34.8N/mm²であった。最も高い値を示したのは刈谷田川右岸排水機場地下1階で計測を行った測定地点番号03-22で52.6N/mm²、逆に最も小さい値を示したのは中央揚水機場吸水槽で計測を行った測定地点番号02-07で7.0N/mm²であった。

7.0N/mm²の強度については同一箇所にて圧縮強度試験を実施しており、23.6N/mm²の試験数値を得ているため、反発度法の試験値は棄却し、圧縮強度を採用して評価を行っている。

このように同一の強度指標を計測しても、試験結果（数値）には差異が現れる。圧縮強度と反発度法の関係を図-1に示す。

圧縮試験値の変動範囲は22.8N/mm²であるのに対し、反発度法試験値の変動範囲は45.6N/mm²となっている。反発度法試験値は圧縮強度試験値に比べ、約2倍の揺らぎがある。算出した統計量より標準偏差を比べると、圧縮強度試験が5.3であるのに対し、反発度法試験値では10.4となった。これは反発度法の測定にコンクリート表面の状況が大きく影響を与

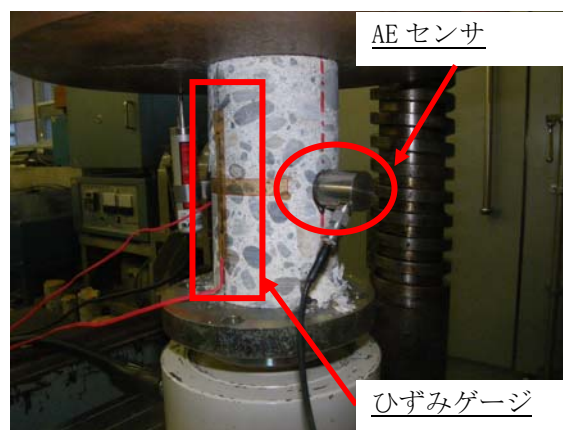


写真-4 AE計測状況



写真-5 中性化深さ測定状況

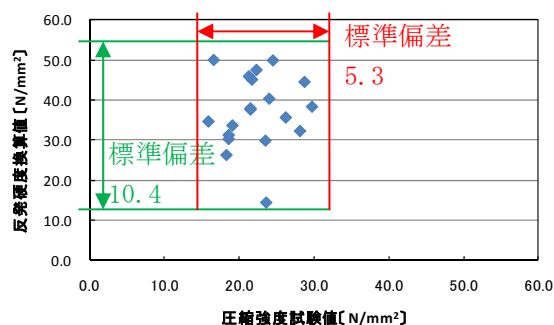


図-1 圧縮強度-反発度法試験値の関係

える事に起因すると考えられる。強度の測定には反発度法に加え、圧縮強度試験を実施し、補正を行う事で、より正確な試験結果を得ることが可能である事が示唆されたと考えられる。

(2) 中性化深さ試験

採取コアの中性化深さは、0～19.1mmの範囲にあり平均で4.28mmであった。もっとも中性化の進行が

進んでいたコアは中央揚水機場建屋内部内壁から採取した02-16のコアで19.1mm進行していた。逆に最も中性化の進行していなかったのは中央管理所（建屋）1F内壁から採取した14-08のコアでまったく中性化が進行していなかった。

コア採取箇所の表面状態は、水路では表面のモルタル分が流出した摩耗状態で、水路以外の建屋内部では乾燥状態が一部見られた。

(3) 損傷分布

圧縮試験結果の標準偏差5.3は同地区内の施設における部位別の損傷進行度の違いであると考えられ、同じく中性化深さ試験においても同地区内での変動範囲は19.1mmとなった。

対象とした施設は大別し、水路と水路以外の構造物とに分けることが可能である。圧縮強度試験結果を水路構造物と水路以外の構造物に分け、検討を行った。水路以外の試験結果をグラフにしたものを図-2に、水路の試験結果を図-3に示す。

統計量を算出した結果、水路以外の標準誤差が0.8であったのに対し、水路の標準誤差は1.8となった。水路に比べ、水路以外のコンクリート構造物は損傷が一樣に進む事が明らかとなった。水路では、灌漑期毎に乾湿を繰り返すため、強度値の標準誤差が大きく、損傷が分布し局所的に進行していくと考えられる。

4. 考察

健全度評価はS-4、もしくはS-3となり全域にわたってほぼ同様な機能低下が進行していると考えられる。しかし、ミクロ的な視点を持って農業用コンクリート製構造物の構造部位に着目し損傷度を検討すると局所的損傷の進行が確認される。

調査・診断の結果、用水路での目視調査では、摩耗による細骨材の露出が全体的に確認された。また、縦目地で漏水の発生している箇所が見受けられ、10mmの段差の確認された箇所もある。圧縮強度は15.9～38.7N/mm²であり、中性化深さは0.0～19.1mmであった。機能診断調査結果に基づく健全度評価では、右岸幹線：S-3、小古瀬江・大面江：S-4となった。この判定は基準に則り、補修もしくは要観察の対策を行う事となる。本事例には当てはまらなかったものの、「健全度S-3=補修」との固定的な考え方に縛られず、前歴事業の整備水準との整合にも配慮し、劣化要因に応じて継続監視（無対策）とするよ

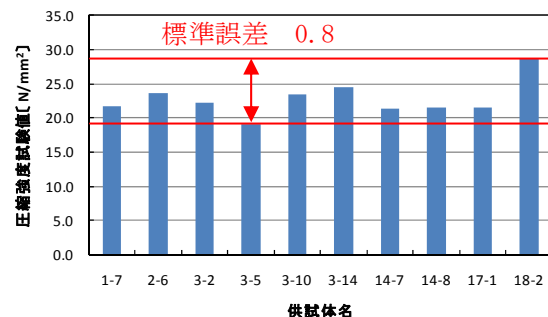


図-2 圧縮強度試験結果(水路以外)

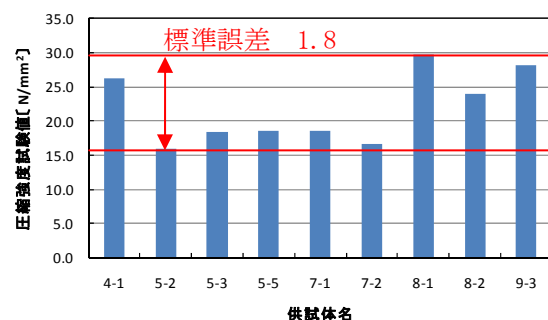


図-3 圧縮強度試験結果(水路)

うな柔軟な対応が重要である⁶⁾。

今回、圧縮試験の実施に伴い新技術である DeCAT システム⁷⁾での試験を同時に行った。結果、同施設内で「耐久性係数が低く損傷の可能性がある」と判断された部位も散見される。

診断・判定の際の大きな相違点は、コンクリートの定量的評価に用いる指標となる。

現基準と新技術との調査・試験結果の擦り合わせ、新技術による試験結果をどのように判定に用いるかの検討が今後、必要である事が示唆された。

5. おわりに

本論では、農業用コンクリート製構造物を対象に施設機能診断を実施した事例を報告し、定量的な強度試験結果を用いて強度特性の損傷分布について検討を行った。その結果、同一地区内の施設における損傷は一樣に進行するのではなく、局所的に進行することが確認された。また、他の構造物と比べ水路構造物では乾湿を繰り返す等の厳しい供用環境のため、局所的な損傷の進行が顕著であることが確認された。

謝辞

本報告は、北陸農政局信濃川水系土地改良調査管理事務所より株式会社日本水工コンサルタントへの委託業務である『平成 22 年度 国営造成水利施設保全対策指導事業 刈谷田川右岸地区機能保全計画策定業務』での調査結果についてまとめたものである。貴重な調査結果の開示について快諾いただいた北陸農政局信濃川水系土地改良調査管理事務所に記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 野々村圭造，鈴木隆善，加藤公平，栗田徹：実効的なストックマネジメントの実施へ向けた諸課題，農業農村工学会誌，第 77 巻，4 号，pp. 3～6，2009.
- 2) 保全対策センター：農業水利施設ストックマネジメントマニュアル，2007. 03.
- 3) 農林水産省農村振興局整備部設計課 施工企画調整室：農業水利施設のコンクリート構造物 調査・評価・対策工法選定マニュアル，2007. 03.
- 4) 食料・農業・農村政策審議会 農業農村振興整備部会技術小委員会：農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」，2010. 03.
- 5) 農林水産省農村振興局整備部水利整備課施設管理室：農業水利施設の機能保全の手引き，2007. 08.
- 6) 伊納昭彦：農業水利施設のストックマネジメントの実務的な課題と対応，農業農村工学会誌，第 77 巻，第 4 号，pp. 257-260. 2009.
- 7) 鈴木哲也，中達雄，大津政康：AE 法を用いたコンクリート損傷度評価システム DeCAT の開発，ARIC 情報，第 99 巻，pp. 15-19，2010.