農研機構
NARO 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

水路摩耗における健全度評価と構造的機能に関する考察

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 公開日: 2025-05-28 キーワード: 作成者: 本間, 新哉, 北村, 浩二, 加藤, 敬 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/0002001302

(c) 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
National Agriculture and Food Research Organization, Japan

〔農工研技報 207
1～11，2008〕

水路摩耗における健全度評価と構造的機能に関する考察

本間新哉*・北村浩二*・加藤敬**

目　次

Ⅰ　緒　言…… 1
Ⅱ　水路施設の劣化診断調査…… 2
　1　農業用水路（RC）を対象とした劣化診断…… 2
　2　目視による健全度評価 …… 2
　3　計器等を使用した現地基礎調査 …… 4
Ⅲ　計測手法による水路壁面の摩耗評価…… 6
　1　算術平均粗さ（Ra） …… 6
　2　健全度評価と算術平均粗さ（Ra） …… 6
Ⅳ　水路壁面摩耗の健全度評価と構造的機能評価… 7
　1　構造耐力計算の検討条件 …… 7
　2　応力度計算結果のまとめ …… 8
Ⅴ　結言…… 10
参考文献…… 10
Summary…… 11

Ⅰ　緒　言

長い歴史の中で形成・維持されてきた農地・農業用水等の資源は，農業・農村の基盤を支える社会共通資本として，農業者のみならず地域住民等を含めた多様な主体の参加を得ながら，将来にわたって良好な状態で保全管理することが課題となっている。一方膨大な社会資本ストックを形成している農業水利施設の多くが初期建設から相当年数が経過し，順次に更新時期を迎えつつある。しかしながら，補修・更新の時期の集中が予想されることから，これに的確に対応するには補修・更新費用の最小化・平準化を図っていく必要がある。このため，農業水利施設が完全に老朽化し全面更新を迎える前に，予防保全的な対策を含め，適時・適切な維持補修を実施することによって，施設の長寿命化を図るとともに，施設の建設に要する経費に，供用期間中の運転，補修等の管理に要する経費及び廃棄に要する経費を合計した金額であるライフサイクルコスト（LCC）の低減を図って行くことが強く求められている（美濃ら，2005）。

施設の予防保全的な維持補修のためには，施設の点検時点の健全度の把握だけではなく，将来の施設の劣化を予測することが重要であり，この劣化予測の精度や手法の良否が施設の長寿命化とLCCの最小化に大きく影響することとなる。

コンクリート構造物については，材料・施工・構造等の分野で多くの研究が進められ，最新の技術の進歩ならびに世界の趨勢という背景のもと，性能照査型示方書への移行が進み，コンクリート標準示方書［維持管理編］（土木学会，2001）を始めとするコンクリート標準示方書が制定され，劣化機構・診断を含む構造物の維持管理の原則，耐久性照査等についての基本原則及び安全性と使用性の照査の原則が示されているが，力学的メカニズムに基づいた劣化予測手法の中には，今後の研究の蓄積が望まれているものもある。

一方，長束ら（2004）は，農業水利分野のコンクリート構造物の評価については，水利機能の確保，水理的機能および構造的機能の回復・向上といった目的に対し性能が照査されていないこと，農業用水路特有の劣化である摩耗に対し抵抗する性能が要求されることなどを報告している。農業水利分野のコンクリート構造物の中でも，現場打ち鉄筋コンクリート製農業用開水路（以下「農業用水路（RC）」とする）は，地域住民の目に触れる機会も多く，その施設状態が目視でき，長大な延長を有するという特徴をもつ。現在は土地改良区が主体となり施設の維持管理が実施されているが，将来的には，地域住民を含めた多様な主体による維持管理も望まれている。このため，農業用水路（RC）の維持管理においては，目視もしくは簡易な器具を用いた点検を主とする管理手法が有効であると考えられる。

このような背景の下，筆者らは農業用水路（RC）を対象とした，目視による健全度評価項目と健全度評価基準の確立や，簡易な計測調査から求まる各種の劣化機構に対応した劣化予測への指標づくりの取り組みを進めている。

農業用水路（RC）の健全度評価が，一般のコンクリート構造物の評価と異なる点として，流水摩耗による劣化

*農村総合研究部地域資源保全管理研究チーム
**農村総合研究部上席研究員
平成19年11月29日受理
キーワード：農業用水路（RC），算術平均粗さ（Ra），構造耐力，許容応力度

機構があげられている（長束ら，2002）。コンクリート標準示方書［維持管理編］（土木学会，2001）では，劣化機構として中性化や塩害等7項目が例示されているが，摩耗に関する項目はない。コンクリート水路摩耗に関し，佐藤ら（2007）は，摩耗が進行する初期の段階では，骨材露出は劣化診断の指標となりうるが，骨材露出の極めて早い段階では，骨材が露出し始めたとしても部材厚が大きければ問題になりにくいと報告している。

一方，筆者らは，水路壁面摩耗での目視による健全度評価基準を，施設の新規建設時を健全度5（潜伏期），経年による施設の劣化によって健全度を4（進展期），3（加速期前期），2（加速期後期），そして健全度1（劣化期）を鉄筋の腐食により耐荷力が低下する時期とした5段階に設定し，現場の水路で評価を行い劣化予測に関する検討を行った（北村ら，2007b）。また，同時に水路壁面摩耗については，健全度評価の精度向上を目的として，簡易な計測器（型取りゲージ）を用い，水路壁面の凹凸計測を行うとともに，凹凸を数値表現するための算術平均粗さ（Ra）を算出し，水路壁面の健全度評価への適用検討を行った（本間ら，2007）。長束ら（2004）の報告にあるように，現状では，農業用水路の性能照査に基づく施設の劣化度の評価及び将来の劣化予測は困難であると考えられる。コンクリート標準示方書［維持管理編］（土木学会，2001）では，このような場合，施設の劣化の程度を劣化進行に伴う外観変状のグレーディングで評価する方法を代用することを提案している。そのため，水路壁面の摩耗劣化を性能で評価するのではなく，外観変状のグレーディングで評価することを検討するものである。

このように，健全度の評価基準設定と構造的機能との関連については，必ずしも明確になっているとはいえない状態であるが，今後の水路施設の診断指標になりうると考える水路の壁面摩耗の目視による健全度評価の意味合いについて，モデル的なケースについて許容応力度法による構造計算の観点から比較検討したので報告する。今後の水路健全度評価基準設定の際の参考となれば幸いである。

なお，本報告をまとめるにあたり関係土地改良区の方々に多大なるご理解とご協力を賜りましたことを記して感謝申し上げる。

Ⅱ　水路施設の劣化診断調査

1　農業用水路（RC）を対象とした劣化診断

コンクリート示方書で対象とされている劣化機構として，中性化，塩害，凍害，化学的侵食，アルカリ骨材反応，床版の疲労，はり部材の疲労といった7つのものが掲げられ，それぞれについて劣化要因，劣化現象，劣化指標が示されている。一方，農業用水路（RC）を対象とした劣化診断を実施しようとすると，上記の劣化機構のほかに，水路壁のひび割れ発生や，水路継目の劣化（継目の開きや漏水），水路壁面の摩耗，水路自体の変形（水路バレルのずれや沈下等）などが目視で観察される。水路には当然水が流れるため，流水または流水に含まれる流砂による摩耗という現象，また継目の劣化等による漏水が生じるが，これらは水路特有のものといえ，これらを含めた劣化診断が必要となる。この章では，2006年に北陸地域の農業用水路（RC）を対象として，目視による劣化診断調査と簡易な計器等を使用した劣化診断調査の結果について報告する。

2　目視による健全度評価

農業用水路（RC）を対象とし，簡易な現地調査で得られる施設の劣化診断を基に，劣化予測に関する手法開発を目的として，北陸地域の農業用水路（RC）を対象とした現地調査を実施した。この調査対象地域は，北陸の沖積平野に位置する約19,000haの広さを持つ水田地帯であり，土地改良区が総延長約671kmにわたる用水路を長年管理し，供用期間が概ね10年から40年の異なる用水路施設が存在しているという特徴がある。

まず目視による劣化診断を行うため，健全度評価項目と健全度評価基準の設定を行った。目視による健全度評価を行う場合，農業用水路（RC）における劣化機構については，水路構造物に特有の劣化現象とコンクリート構造物における劣化現象を考慮した劣化機構を検討する必要がある。このため，これらを考慮し対象とする劣化機構を以下の通りとした（**Table 1**）。また，**Table 2**に，水路壁面摩耗を対象とした場合の健全度別の評価基準例を示した。

a　対象劣化機構と調査の視点

調査では各々の劣化機構に対し，5段階の健全度評価基準を基本の設定として調査を行った。

Table 1　健全度評価の視点

Viewpoints of health index evaluation

対象とする劣化機構	主な調査の視点
①中性化	外観上の変状及び腐食ひび割れ状況
②塩害	外観上の変状及び腐食ひび割れ状況
③アルカリ骨材反応	外観上の変状及びひび割れ形状
④凍害	外観上の変状及びポップアウトの発生等
⑤継目変状	止水板変状や漏水状況
⑥水路壁面摩耗	骨材や鉄筋の露出状況
⑦構造物変形	構造物の上下のズレ，構造物の水平のズレ，壁面の傾斜，壁面の転倒

Table 2　健全度評価基準（水路壁面摩耗：コンクリート表面が水流等によって損傷している状態）

Health index evaluation standards (Canal Wear)

健全度	定　　義	標準的な状態
5	コンクリートの表面に流水の影響による変状が無い状態	表面が滑らかで健全な状態。施工完了直後のように，コンクリート表面が滑らかで，設計で考慮した粗度係数が保たれている状態。
4	セメントペーストが流出する期間	表面のセメントペースト分が流失し，ざらついている。
3	細骨材の流出が始まった期間	表面の細骨材分が流され，粗骨材が見え始めている。
2	細骨材の流出が進んだ期間	粗骨材の粒子が半分程度露出している。
1	鉄筋の腐食により耐荷力が低下する期間	粗骨材が剥離し，断面の減少がはっきりわかる。部分的に鉄筋露出が観察される。

b　健全度評価結果の概要

Table1に示した劣化機構を対象に水路延長約12200m，総バレル数約1400（1バレルは継目から継目までの一区間）について目視による健全度調査を実施した。この調査では塩害，凍害，アルカリ骨材反応については，目視による外観変状，ひび割れ等が確認できなかった。このためこれらの劣化機構については，劣化が進んでいないか，または劣化要因が極めて少ないため発現していないものと考えられた。また，コンクリート構造物である限り中性化は進行するが，この調査では，中性化の進行については目視による健全度評価が可能な段階（腐食ひび割れが観察され，局部的に浮きがある状態）にまでは達していないと考えられた。水路壁面及び継目については，各バレル及び継目毎の健全度評価結果を得ることができた。

なお，この健全度評価対象の一部には施工不良と考えられる部位もあり，これらについては，劣化機構区分を「施工不良」として評価した。

c　目視による健全度評価結果の適用例と課題

水路壁面摩耗に対する目視の健全度評価結果の適用例を示す。ここでは，調査により得られた健全度評価を劣化曲線に適用した例を示す。この調査では健全度評価区分5段階を基本として設定したが，評価の段階では4.5，3.5，2.5，1.5という評価段階を追加設定した。評価の定義としては，例えば4.5は「5と4の中間」となる。**Fig.1**は，調査した水路壁面の供用年数を横軸に，評価した健全度を縦軸にし，健全度評価点をプロットしたものである。これを基に，劣化曲線設定の検討を試みた。**Fig.1**では，劣化曲線として2次曲線の適用を試みており，また曲線として，プロット点を外側と内側に包括する曲線及び平均の曲線を設定した。曲線の適用にあたっては，「農業水利施設の機能保全の手引き」（農業土木事業協会，2007）の場合を参考として，「$Y=bX^2+a$」の2次式の適用を試みた。

この劣化曲線設定の手法は，現場調査データを基に，劣化機構に対応した劣化曲線を設定する一つの試みである。供用年数と健全度評価による劣化曲線設定の課題としては，それぞれの調査対象水路において，供用年数，水量，水質，水路施工水準，材料仕様が異なる等の不確定な要素が存在していることがあげられる。当該調査地区の用水路は広がりを持つが地区内でほぼ同一の気象環境であること，流量観測の結果，調査の主要な水路の流量観測調査では概ね同じ流速を示していたこと，水源は同一の河川流域であること，コンクリート仕様等については資料が残されていなく詳細は不明であるが，リバウンドハンマーによる反発度の平均値はほぼ同じ値を示したことから，施設の施工程度及び劣化条件が概ね同じであることを前提として検討を行った。当然供用年数が同

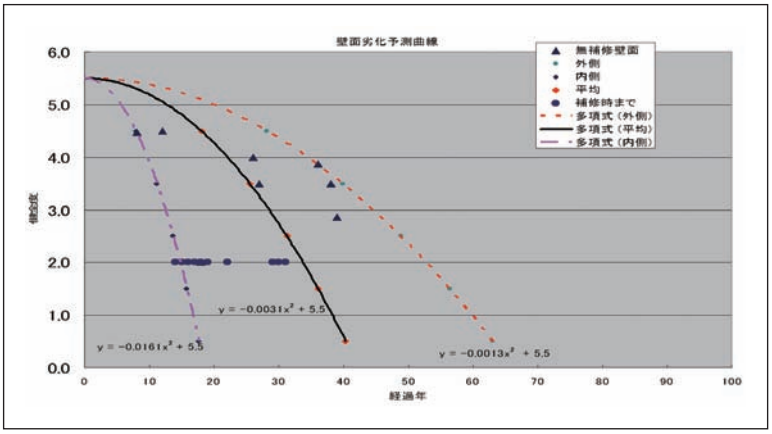

Fig.1　壁面劣化予測曲線

Deterioration forecast curve of wear

じ同一水路内においても健全度評価が異なる施設が存在するが，簡易な手法によるデータ収集から作成可能な劣化曲線の設定を試みたものである。また，本調査では目視の基準を5段階からより細かく設定した区分を用いたが，区分が細かければ細かいほど，健全度評価者による評価の「ぶれ」幅が大きくなることが懸念され，これに対する精度の確保や向上を図ることが課題としてあげられる。その一つの対応策として，簡易な計測計器を用いての観測による，凹凸度合いの定量化が考えられる。

3　計器等を使用した現地基礎調査

目視による健全度評価調査と共に水路壁の劣化状態を定量的な観点から確認するため，目視調査と簡易な計測機を用いた基礎調査を行った。調査対象は目視による健全度評価調査水路の中から，データ収集が可能な点を選定した。

a　計器等を使用した劣化診断基礎調査の内容

① 水路の断面形状，かんがい期の想定水面位置の推定
② 壁面の目視観察（ひび割れの方向，ひび割れ位置と幅，壁の変状）
③ 壁面の凹凸測定（型取りゲージ及びノギスを用いた水路壁面の凹凸測定）

型取りゲージを用いた測定は，現場水路における水路粗度係数の算定として用いられている事例（水土総研，2006）があり，水路壁の凹凸の測定においても有効かつ簡易な観測計器であると判断し，調査にこの方法を用いた（**Fig.2**）。また鉛直方向の壁面の凹凸変化状況を把握するため，ノギスを用いて鉛直線と壁面の距離（ℓ）を測定した。

④ 簡易中性化深さ法による試験

ドリルによりコンクリート粉末を採取しながら，粉末をフェノールフタレインが染みこんだ試験紙に受け，変色したところで削孔を止め，その深さを中性化深さとする試験で，コアを抜く必要がないという利点がある（**Fig.3**）。

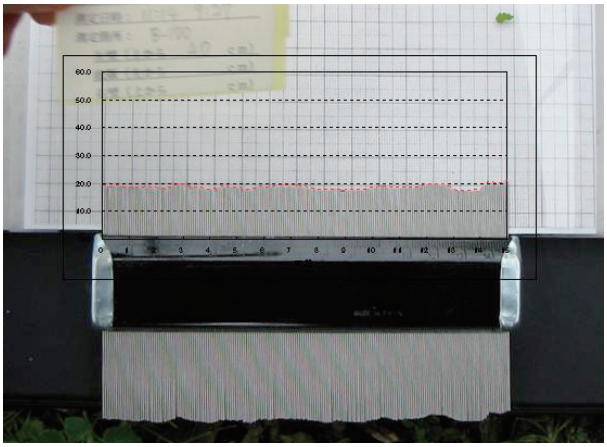

Fig.2　型取りゲージ
Profile Gauge

Fig.3　簡易中性化深さ測定
The simple measurement of neutralization

b　調査結果の概要

① 壁面の目視観察（ひび割れの特徴，ひび割れ位置と幅，壁の変状）

観察されたひび割れの多くは，水路天端部から下方にほぼ垂直に伸びる形態を示した。また調査では，供用年数が多いほど，ひび割れが長く，下方に伸びている状況が観察された。ひび割れが側壁の天端から下方に向かって一本の線で鉛直方向に生じている，そして他に際立った特徴がみられないということから，本調査対象地区のひび割れは，緒方ら（2007）の報告にある環境温度・湿度の変化に起因する環境作用によるひび割れであると推察された（**Fig.4**）。

Fig.4　水路天端からのひび割れ発生状況例
Examples of crack

② 水路壁面の鉛直方向凹凸測定（摩耗状況把握）

水路壁面の凹凸については，健全度評価が5～4，4～3，3～2の各水路において，1）水路壁面の天端から鉛直下方向でのノギスによる凹凸の測定（線上測定），2）水路壁面の天端から鉛直下方向へ一定間隔での型取りゲージによる凹凸の測定の方法により調査を実施した。

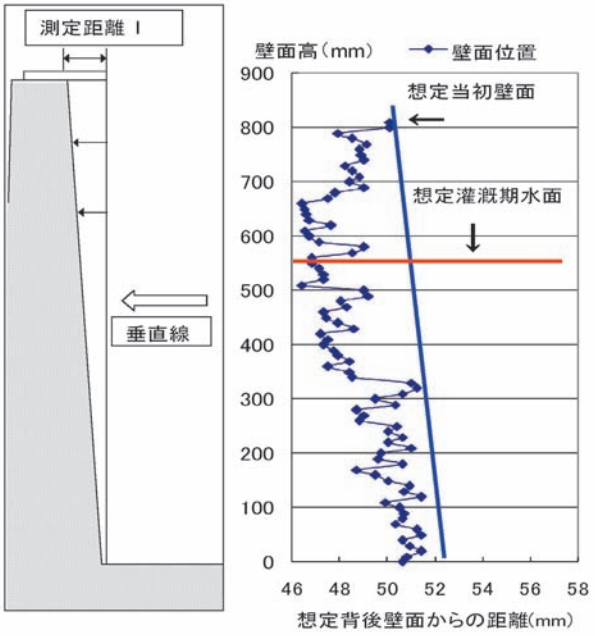

Fig.5　水路壁垂直方向凸凹測定結果例
An example of the unevenness measurement result of canal

Fig.5は，水路壁面の凹凸を，垂直線を基に水路壁面と垂直線の距離（ℓ）をノギスを用いて測定する方法と，その計測結果をプロットしたものを示してある。プロット図には，想定潅漑期水面位置（横線）と図を見やすくするための想定当初壁面（斜線）を入れてあるが，この斜線は仮定のものである。グラフの鉛直方向凹凸の測定による水路壁面凹凸では，潅漑期想定水面の直下で水路壁の浸食と考えられる形状が計測された。なお，この測定手法では，水路壁面の凹凸と水路壁面の傾きが合わされたデータが観測されることとなる。

③　中性化深さ試験

潅漑期想定水面上と水面下における中性化深さ測定結果によれば，潅漑期の想定水面上方のほうが下方より中性化深さの値が大きい傾向が見られた。すなわち，この調査では湿潤状態のほうが，中性化の進行が遅い傾向を示すことが確認されたといえる（**Fig.6**）。

またひび割れのある位置で穿孔した結果では，中性化は60mm以上の深さに達していると考えられる計測点があった。部材厚が170mm程度であったことを考えると，鉄筋配置位置にまで中性化が進んでいると考えられる。ひび割れ上の位置では，ひび割れ上でない部分に比べ，中性化の進行が進みやすいことが確認されたといえる。

中性化深さは摩耗深度による影響を受けやすい（中性化の進行が促進される）と考えられるので，摩耗が進行した場合の中性化への影響度合いを考察する。ここでは壁面の摩耗が進み，部材厚が20mm（コンクリート最大骨材寸法相当）減少した場合を検討対象とする。この構造物のかぶりを50mmと想定すると鉄筋まで残り30mmとなる。ここから中性化が始まると想定した場合，コンクリート標準示方書に示されている鉄筋までの距離10mmまで進むには，あと20mm中性化が進む必要があることになる。北村ら（2007a）の調査では，クラック上以外の点で中性化が20mm以上進んだデータが得られたのは，供用年数が30年以上の構造物とされている。藤本ら（2001）の中性化深さに関する報告においても，中性化が20mm以上進んだ例は，供用年数が20年以上の構造物でしか観測されていない。コンクリート示方書で示されている式を用いて計算した場合においても中性化が20mm進むのは80年後と算出される。いずれの場合も中性化を対象として劣化の進行を考えた場合，摩耗による部材厚の減少が20mmまで進んでも，中性化による影響が出るのは今後さらに20年以上かかるものと判断される。このことから，農業用水路（RC）の場合，湿潤状態の期間が長いという特徴から，摩耗とひび割れがそれほど進行していない水路においては中性化による劣化度合いは小さいものと考えられる。

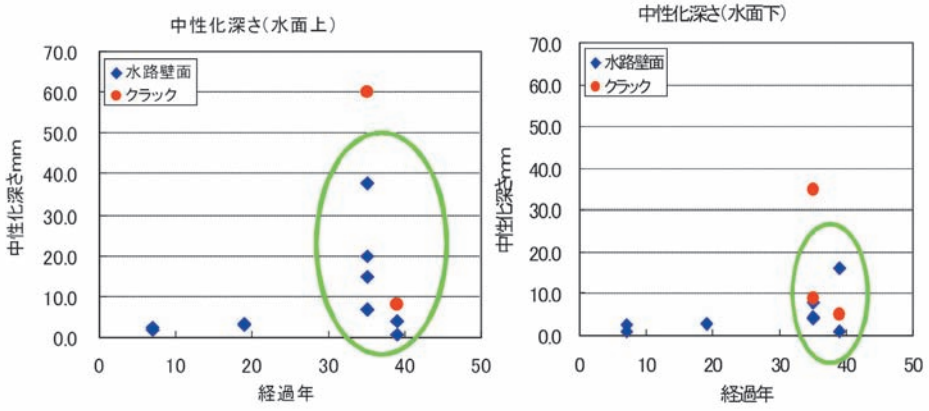

Fig.6　中性化深さ（水面上・水面下）
Neutralization depth (above the water / under the water)

Ⅲ　計測手法による水路壁面の摩耗評価

Ⅱで述べた型取りゲージを用いた水路壁面摩耗の調査結果を以下に示す。型取りケージで読み取った凹凸は，分析評価のため数値化することが必要となるが，以下の

1　算術平均粗さ（Ra）に示す方法で数値化を行い，

2　健全度評価と算術平均粗さ（Ra）に示す方法で，

健全度評価への適用性の検討を行った。

1　算術平均粗さ（Ra）

算術平均粗さ（Ra）とは壁面の凹凸曲線から，長さ ℓ だけ抜き取り，平均線から凹凸曲線までの偏差 $f(x)$ の絶対値を合計し平均した値で，式（1）で表わされる値である。この値が大きいほど，粗いと判断される（**Fig.7**）。

$$Ra = \frac{1}{l}\int_0^l |f(x)|dx \quad \cdots\cdots (1)$$

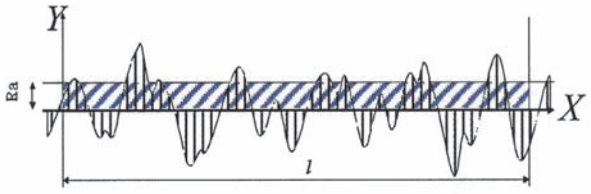

Fig.7　算術平均粗さ（Ra）イメージ
An image of the arithmetical mean roughness (Ra)

型取りゲージを用い計測した凹凸を算術平均粗さ（Ra）で数値化し，健全度評価の異なる水路の深さ方向（鉛直方向）における算術平均粗さ（Ra）をプロットした例を**Fig.8**に示す。**Fig.8**中の横のラインは潅漑期における水位を示す。

Fig.8により，各水路壁面の鉛直方向の壁面粗さ分布の違いを表わすことが可能であるとともに，想定した潅漑期の水面付近の粗さ分布と目視調査により得られた凹凸状況結果から，算術平均粗さ（Ra）が経年の摩耗による凹凸度合いをよく表すことが可能であると判断された。すなわち算術平均粗さ（Ra）を用いた手法により，水路壁面の摩耗による凹凸を数値化し定量的に表現することが可能であることが確認できた。ここで算術平均粗さ（Ra）により凹凸について定量化が可能なことは分かったが，定量化された値により健全度評価区分を適切に表現できるか否かが課題となる。

2　健全度評価と算術平均粗さ（Ra）

水路壁面の摩耗において，目視による健全度評価を行ったが，健全度評価と算術平均粗さ（Ra）との関連がこれまで明確となっていない。このため，目視による健全度評価と算術平均粗さ（Ra）の関連性について検討を行った。

健全度評価の異なる水路壁面の算術平均粗さ（Ra）の度数分布を比較した例を**Fig.9**に示す。これらを比較

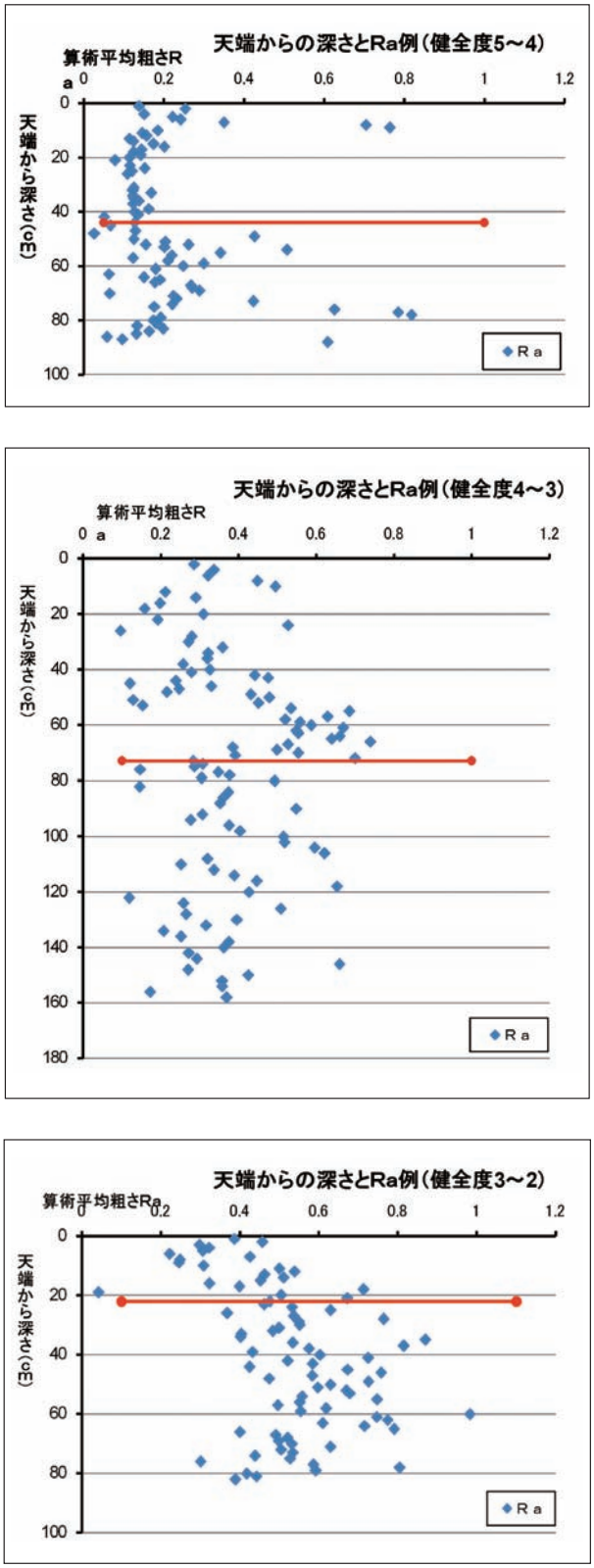

Fig.8　健全度の水路深さ方向における算術平均粗さ（Ra）分布
Arithmetical mean roughness (Ra) distribution in the depth direction of canal

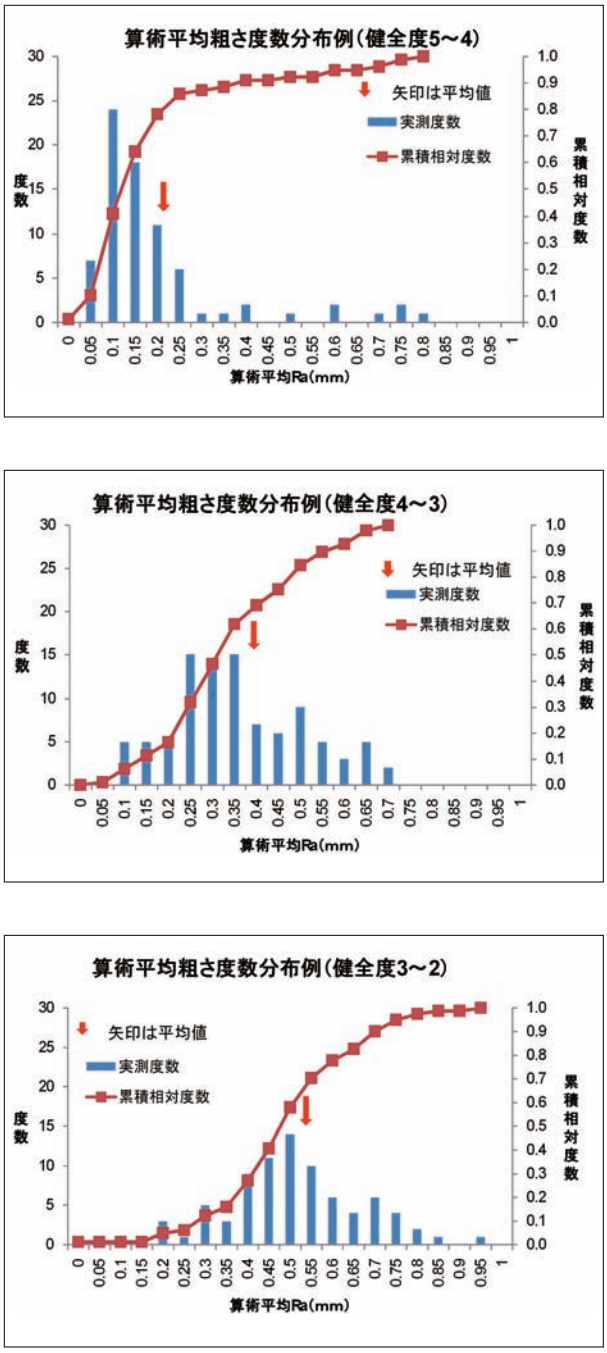

Fig.9　健全度別の水路の算術平均粗さ(Ra)の度数分布
Frequency distribution of arithmetical mean roughness (Ra) of canal according to health index

すると，異なる健全度評価の水路で度数の分布形状が異なることがわかる。この例では，健全度評価が低くなる（評価値が小さい値になる）にしたがい，分布全体が右方向，すなわち算術平均粗さ（Ra）の分布が値の大きい方へ移動していることが分かるとともに，健全度評価基準の標準的な状態を算術平均粗さ（Ra）によって，区分可能なことが示唆された。

今後，算術平均粗さ（Ra）で水路壁面の摩耗劣化状況を判断することが可能であることが明らかになれば，今後の農業用水路（RC）の劣化評価において，目視での評価の際に避けられない担当者の熟練度による判定誤差を小さくすることが可能となり，全国レベルでの水路の健全度評価での比較が効率的に行いうると考える。

Ⅳ　水路壁面摩耗の健全度評価と構造的機能評価

水路壁面摩耗の状態を算術平均粗さ（Ra）で求め，水路壁面の健全度評価を数値表現できる可能性は示唆されたが，摩耗の健全度評価と構造的機能との関連についての解明が十分でない。この関連について検討を行うことにより，水路壁面の摩耗における健全度評価の役割がより明確になるものと考える。

水路構造物を対象とした場合の性能としては，水利的機能，水理的機能と構造的機能に大別され，水理機能を表すものとして粗度係数が挙げられ，構造的機能については構造物性能照査（構造耐力）が挙げられる。

コンクリート水路の骨材露出の劣化度診断性能指標に関して，佐藤ら（2007）は，摩耗が進み骨材が露出したとしても，部材厚が大きければ構造耐力的には問題になりにくいと指摘しているが，40年前の構造物の中には，近年施工された同程度の水路と比較した場合，部材厚が薄い場合も見られる。これは建設当時と現在の設計基準の考え方に変更があったものと理解される。したがって現在供用年数がある程度進んでいる構造物の中には必ずしも部材厚が十分とはいえない場合もあると考える。

1　構造耐力計算の検討条件

ここでは，摩耗が進んだときの構造物の状態を仮定し，許容応力度法を用い構造耐力の検討を行った。水路は同一地域内でもさまざまな形状があるため，この研究で対象としたのは，限界状態設計法（農林水産省，1992）の中の検討で，施工例が最も多いと考えられることから使用されている小断面水路（側壁高1.5m，幅2.5m）を対象とし，許容応力度法計算により比較検討を行った。検討に使用した設計の考え方は，同書で使用している「設計基準・水路工（その1）」にしたがった。

鉛直支持に対する検討及び浮き上がりに対する検討については，張り出し部があることや地盤が良好であるという基本的設計条件が満たされているものとして省略した。検討で考慮した荷重条件は，①活荷重，②湿潤土の土圧，③水中土圧，④外水圧で，水路外側の地下水位は，水路上端から75cm下がった位置としている。検討に用いた開水路の検討断面を**Fig.10**に示す（数値の表示単位はmm）。

計算に使用した許容応力度等の数値は，旧単位で使用されていたものをSI単位系に換算して計算を行った。このため，一部現在の基準値表示と異なる数値を使用している（例えば単位体積重量）。

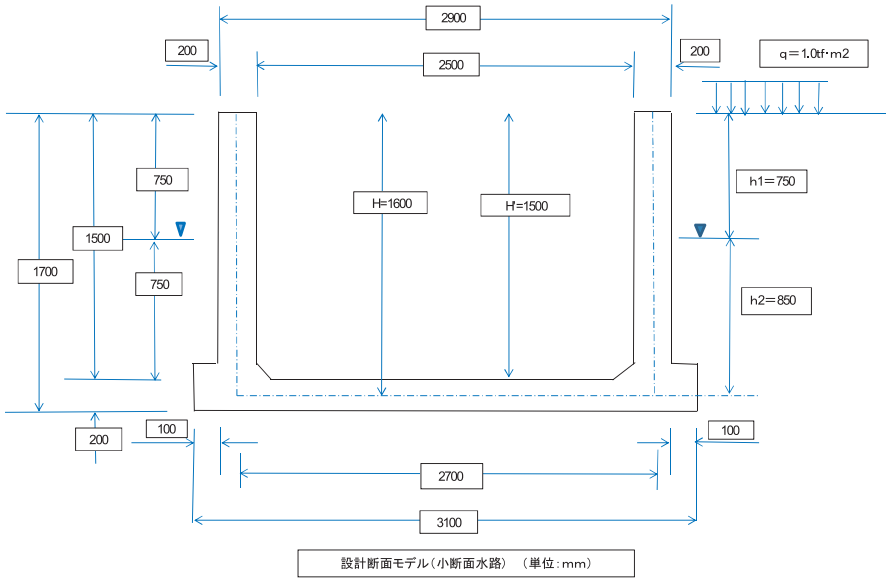

Fig.10　開水路検討断面
An examination section of canal

検討に使用した基礎諸元数値及び基本となる設計強度の値を**Table 3**，**Table 4**に示す。

Table 3　土およびコンクリートの基礎諸元数値
Soil and foundations of concrete specifications numerical value

項　目	記号	単位体積重量	単位
湿潤土	γ t	17.70	kN/㎥
水中土	γ ws	9.80	kN/㎥
水	γ w	9.80	kN/㎥
鉄筋コンクリート	γ c	23.70	kN/㎥
土の内部摩擦角	ϕ	30	°
壁背面の傾斜角	θ	0	°
クーロンの主動土圧係数	Ka	0.333	

Table 4　許容応力度
Allowable stress

項　目	項　目	記号	特性値	単位
鉄筋コンクリート	設計基準強度	σ_{ck}	20.6	N/㎟
〃	許容曲げ圧縮応力度	σ_{cs}	7.8	N/㎟
〃	許容せん断応力度	τ_{1a}	0.4	N/㎟
〃	許容付着応力度	τ_{0a}	1.5	N/㎟
鉄　筋	許容引張応力度	σ_{sa}	176.5	N/㎟
鉄筋とコンクリートの弾性係数比		n	15	

上記基礎諸元を基に，基本設計状態，水路水面側壁厚が全体に10mm減少，20mm減少，21mm～50mm減少の場合について，側壁付け根部断面の応力度検討及び底版端部断面の応力度検討を行った。

20mm減というのは，コンクリート配合で最大骨材寸法が20mmであるとき，水路壁面摩耗の健全度評価基準1に該当する。すなわち，「粗骨材が剥離し，断面の減少がはっきりわかる」という状況に該当すると考えている。また50mmとは，かぶり厚が50mmのとき，「部分的に鉄筋露出が観察される」という状況に該当すると考えている。

計算して求められた断面における応力度と，許容応力度を比較し，求められた応力度＜＝許容応力度の場合は，判定でOKとし，これを満たさない場合はNOとした。応力度計算結果一覧を**Table 5**に示す。

2　応力度計算結果のまとめ

この検討結果によれば，摩耗による壁面厚の減少が壁面全体に22mm進むと，鉄筋の引張許容応力度の点から，許容応力度を満たさない条件に達することが分かった。一方，摩耗が50mmまで進んでも，許容応力度を満たさない条件は，鉄筋の引張許容応力度の項目だけであることが分かった。このことから，水路摩耗における目視による健全度評価1とは，鉄筋の引張許容応力度の点から，鉄筋引張応力が許容応力度を越える少し前の段階であるといえる。

この計算結果は，施工例の多い小断面の開水路モデルを対象としたものであり，各現場によりそれぞれ設計条件が異なるため，他の事例で計算を行っても同じような結果になるとは限らない。しかし，水路の更新が必要とされる水路の多くは，ここで用いた形状寸法が多いとさ

れていることから，本検討は水路摩耗と構造耐力に関する健全度評価の一般的事例として有効な位置づけがなされたものと考える。

今回の検討では許容応力度法による検討を行った。今後，限界状態設計法に基づく構造性能照査手法が計画基準等において整備されれば，使用限界状態や疲労限界状態などの観点からの検討も行えると考える。

Table 5　応力度計算結果一覧

Results of stress intensity calculation

計算条件			標準（摩耗0）		摩耗10mm		摩耗20mm		摩耗22mm		摩耗50mm	
部位 / 単位			側壁下端	底版端部	側壁下端	底版端部	側壁下端	底版端部	側壁下端	底版端部	側壁下端	底版端部
①配筋計画												
鉄筋径		mm	D13	D13	D13	D13	D13	D13	D13	D13	D13	D13
ピッチ		mm	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
配筋量（1m当たり）	As	mm²	422.3	422.3	422.3	422.3	422.3	422.3	422.3	422.3	422.3	422.3
周　長（1m当たり）	U	mm	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3
②断面力												
曲げモーメント	M	kN・m	8.95	8.95	9.05	9.05	9.12	9.12	9.14	9.14	9.32	9.32
軸　力	N	kN	7.58	15.26	7.23	15.45	6.87	15.54	6.80	15.57	5.78	15.83
せん断力	V	kN	15.36	7.59	15.45	7.22	15.54	6.87	15.57	6.79	15.83	5.78
③部材寸法												
断面幅	B	mm	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
断面全高	H	mm	200	200	190	190	180	180	178	178	150	150
引張鉄筋まで距離	d1	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
圧縮鉄筋まで距離	d2	mm	50	50	40	40	30	30	28	28	5	5
有効高さ	D	mm	150	150	140	150	130	150	128	150	100	145
④諸係数												
ヤング係数比	N		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	K		0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399
	J		0.867	0.867	0.867	0.867	0.867	0.867	0.867	0.867	0.867	0.867
⑤応力度計算												
1）コンクリート圧縮応力度												
	σ_c	N/mm²	3.52	3.50	3.92	3.50	4.31	3.40	4.38	3.40	5.58	3.30
許容圧縮応力度	σ_{ca}	N/mm²	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80
判　定			↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK
2）鉄筋引張り応力度												
	σ_s	N/mm²	140.8	132.0	157.0	137.0	173.5	139.0	**176.6**	140.0	**230.4**	147.0
許容引張応力度	σ_{sa}	N/mm²	176.5	176.5	176.5	176.5	176.5	176.5	176.5	176.5	176.5	176.5
判　定			↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑**NO**	↑OK	↑**NO**	↑OK
3）コンクリートせん断応力度												
	τ	N/mm²	0.12	0.06	0.13	0.06	0.14	0.05	0.14	0.05	0.18	0.05
許容せん断応力度	τ_a	N/mm²	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
判　定	τ_a		↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK
4）コンクリート付着応力度												
	τ_0	N/mm²	0.89	0.44	0.95	0.42	1.03	0.4	1.05	0.39	1.37	0.34
許容付着応力度	τ_{0a}	N/mm²	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
判　定			↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK	↑OK

V 結 言

以上の検討を基に，水路摩耗に関する健全度評価及び構造耐力について，現時点で明らかになったこと及び課題を以下に整理する。

（1）水路摩耗における目視による健全度評価の区分を，型取りゲージを用いた算術平均粗さ（Ra）により表すことが可能であることが示唆された。

（2）水路摩耗における目視による健全度評価区分を構造耐力の観点から見た場合，小断面水路においては，健全度評価1とは，鉄筋の引張許容応力において，鉄筋引張応力が許容応力度を越える少し前の段階であるといえた。

以上のように，目視による水路摩耗の健全度評価が簡易な計測器を用いた算術平均粗さ（Ra）により表される可能性が示されたが，さらなるデータ収集を行うとともに，健全度評価と算術平均粗さ（Ra）との関係の確立に努める必要がある。また今後，限界状態設計法に基づく構造性能照査を行うことにより，使用限界状態の検討や疲労限界状態の検討などより多くの観点からの検討が可能となり，健全度評価と構造耐力との関連がより明確になることが期待される。

参考文献

1）土木学会（2001）：コンクリート標準示方書（維持管理編），p.9-156

2）濵田秀徳（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　第146号，p.55-61

3）藤本直也，長束勇（2001）：農業施設構造物のコンクリート劣化の現状分析と補修の試み，農土誌　69（5），p.7-11

4）本間新哉，北村浩二，今泉眞之，加藤敬（2007）：農業用鉄筋コンクリート製開水路の壁面の凹凸評価手法，H19 農業農村工学会大会講演会講演要旨集，p.312-313

5）北村浩二，本間新哉，今泉眞之，加藤敬（2007a）：インフラ資産のアセットマネジメントに関する研究レビューと農業水利施設を対象とした研究の方向性，農村工学研究所技報　第206号，p.83-104

6）北村浩二，本間新哉，今泉眞之，加藤敬（2007b）：農業用水路（RC）の劣化予測曲線とLCC算定システムの構築，H19 農業農村工学会大会講演会講演要旨集，p.314-315

7）構造改善局建設部　設計課施工企画調整室（1992）：限界状態設計法，p63-77

8）美濃眞一郎，大内毅（2005）：今後の農業水利施設の維持管理の方向，農土誌73（10），p.19-22

9）長束勇，甲本達也，青山咸康，野中資博，服部九二雄（2002）：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），p.3-6

10）長束勇，石神暁郎，石村英明，渡嘉敷勝，森充広（2004）：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，農工研技報202，p.183-196

11）（財）日本水土総合研究所（2006）：水利施設の機能評価，「水土の知」を語る（性能設計を考える-その3），p.95-116

12）野中資博（2001）：コンクリート水利施設の劣化機構と老朽化診断，農土誌69（5）p.13-17

13）農林水産省農村振興局（2001）：土地改良事業計画設計基準　設計「水路工」基準書　技術書，p.208-349

14）緒方英彦，伴道一，田中資博，石井将幸，佐藤周之（2007）：現場打RC開水路に生じるひび割れの形態分析，H19 農業農村工学会大会講演会講演要旨集，p.756-757

15）佐藤周之，緒方英彦，伴道一，田中資博（2007）：コンクリート水路における骨材露出に関する基礎的研究，H19 農業農村工学会大会講演会講演要旨集，p.760-761

16）（社）農業土木事業協会（2007）：農業水利施設の機能保全の手引き，p.1-86

Consideration about health index evaluation in the canal wear and the structural function

HONMA Shinya, KITAMURA Koji, and KATO Takashi

Summary

The main objective of this thesis was development of the health index evaluation technique about irrigation canal made by steel reinforced concrete.

First of all, about irrigation canal, health index evaluation items and the health index evaluation standards that were necessary for visual investigation were set.

Next, health index evaluation research was carried out by the evaluation standards that were set.

After that, roughness measurement investigation of the canal by the profile gauge was performed.

About canal wear, the points arranged about the health index evaluation and the structure proof stress were as follows:

(1) About canal wear, the possibility that health index evaluation by the viewing was expressed by arithmetical mean roughness (Ra) was shown.

(2) At the point of view of the structural proof stress, as for health index evaluation 1 of the wear, the tensile stress of the reinforcing rod was degree before a little more than the allowable stress in the case of small canal.

Keywords：Irrigation canal (RC) , arithmetical mean roughness (Ra) , structural proof stress, allowable stress