

農業用鉄筋コンクリート製開水路壁面の凹凸評価手法

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: 2025-06-17 キーワード (Ja): キーワード (En): 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/10.24514/0002001328

農業用鉄筋コンクリート製開水路壁面の凹凸評価手法

本間新哉*・北村浩二*・加藤 敬**

目 次	
I 緒 言	17
II 健全度評価基準の設定と水路凹凸の測定法	18
1 これまでの現地調査の概要	18
2 算術平均粗さ (R_a) の測定と算定方法	18
3 供試体計測のための健全度評価基準の設定	19
III 供試体の作成と測定	19
1 供試体の作成	19
2 測定の方法	19
3 算術平均粗さ (R_a) の算定	21
4 凹凸容量の算定	21
IV 供試体を用いた算術平均粗さ (R_a) の特性分析	21
1 算術平均粗さ (R_a) と健全度及び最大骨材寸法	21
2 凹凸容量	21
3 計測間隔の検討	23
4 調査幅の検討	24
5 最大高さ (R_v) の評価指標性の検討	24
V 結 言	26
参考文献	26
Summary	27

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、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、施設の点検時点の劣化状態を評価する健全度の把握だけでなく、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。

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) は長大な延長を有するという特徴をもつ。このため農業用水路 (RC) では、目視もしくは簡易な器具を用いた点検管理が主体となっている。

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劣化状態を判定する健全度の評価基準の確立や、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の指標づくりの取り組みを進めている。

農業用水路 (RC) の診断においては水路構造物に特有の劣化現象 (水路壁面の凹凸や継目劣化) とコンクリート構造物全般における劣化機構 (中性化、塩害、凍害、化学的侵食、アルカリ骨材反応) が対象となる。筆者らは 2006 年に北陸地域の農業用水路 (RC) を対象とし、水路構造物に特有の劣化現象に着目した目視による施設の健全度の評価基準の設定と、診断結果等に基づく劣化予測に関する検討を行った (北村ら, 2007b)。農業用水路 (RC) の目視による劣化診断では、水路壁面の凹凸状態が構造物の劣化状態を判断する指標の一つと考えられるが、2006 年に実施された調査での目視の評価基準は定性的なものである。評価者が異なる場合、診断の熟練度の違いによって健全度評価が異なる可能性があることが指摘されている (北村ら, 2008c)。

定性的な健全度評価結果の相違を回避するためには、健全度評価の定量的な指標が必要とされる。水路壁面凹凸については型取りゲージを用いて凹凸を測定し、粗度係数を計算した例がある (日本水土総合研究所, 2006)。筆者らは、水路壁面凹凸の健全度評価の定量化と精度向上を目的とし

* 農村総合研究部地域資源保管理研究チーム

** 農村総合研究部 上席研究員

平成 20 年 11 月 6 日受理

キーワード：農業用水路 (RC)、算術平均粗さ (R_a)、供試体、凹凸容量、健全度

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に算術平均粗さ（ Ra ）を用い、水路壁面の健全度評価への適用性の検討を行った（本間ら，2007a）。また北村ら（2008c）は、用水路の壁面の粗化（水路壁面の表面の粗化とは、摩耗などによって水路壁面の表面の凹凸が経年的に増大していくことと定義）により凹凸を型取りゲージを用いて数値化し、算術平均粗さ（ Ra ）を用いた定量化と供用年数との関係について提案している。そして水路壁面凹凸の健全度評価と構造的機能の関連については、流水等により水路壁面のコンクリート断面が減少した場合の構造的検討が行われている（本間ら，2008a）。

このように、算術平均粗さ（ Ra ）を用いて水路壁面凹凸を数値化し定量的に表現することが可能なことや、健全度評価基準への指標化の研究が進められている。しかし北陸地域以外の東北地域、近畿地域、中国地域において目視観察を行った水路では、コンクリート表面から骨材が剥離に至るまで劣化が進んだ水路壁面状態を確認できていない。また、目視で観察した水路の中には、地域においては表面露出骨材寸法が40mmに近いものもみられた。このようなことから算術平均粗さ（ Ra ）による、より精度の高い定量的な指標化のためには、コンクリートの骨材寸法の違いが算術平均粗さ（ Ra ）算定におよぼす影響や、粗骨材が剥離する直前までの状態と算術平均粗さ（ Ra ）の適用性について検証する必要が生じた。

しかし古い水路では必要な配合情報を得ることが困難な状況であることや、検討条件に合った水路を現地で見つけることは困難である。このため算術平均粗さ（ Ra ）を用いた評価手法の精度向上及び適用性の検証を目的として供試体を作成し、算術平均粗さ（ Ra ）を用いた凹凸評価手法について検討を行うこととした。

II 健全度評価基準の設定と水路凹凸の測定法

供試体を用いた検討では、健全度の評価基準の設定区分が重要となる。このため、これまでの劣化診断に関する現地調査で用いられた評価基準や、構造的検討結果を基に健全度評価基準の設定を行うこととした。

1 これまでの現地調査の概要

2006年に実施した調査地域は北陸の沖積平野に位置する約19000ha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年の異なる農業用水路（RC）が存在するという特徴を持っている。筆者らはこの農業用水路（RC）のうち、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间）について水路構造物に特有の劣化現象を主たる対象とした目視による健全度調査を実施した。

その際の水路壁面凹凸の目視による健全度評価基準に

ついては、健全度5（コンクリートの表面が滑らかな状態）、健全度4（表面のセメントペースト分が流出し、ざらついている状態）、健全度3（表面の細骨材が流され、粗骨材が見え始めている状態）、健全度2（粗骨材の流出が半分程度露出している状態）、健全度1（粗骨材が剥離し、断面の減少がはっきりわかる状態）を基本とする5段階が設定されている（北村ら，2007b）（本間ら，2008b）。

なお、この調査では中性化、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やひび割れ等は確認されていない。

2 算術平均粗さ（ Ra ）の測定と算定方法

算術平均粗さ（ Ra ）は、粗さ曲線からその平均線の方に基準長だけ抜き取り、この抜きとり部分の平均線の方にX軸を取り、縦倍率の方にY軸を取り、粗さ曲線を $y = f(x)$ で表した時に、式(1)で求められる値と定義され、この値が大きいほど粗いと判断される（Fig.1）。

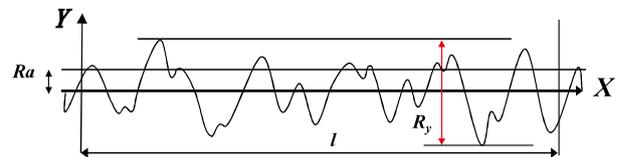


Fig.1 算術平均粗さ（ Ra ）イメージ
Image of arithmetical mean roughness (Ra)

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

水路壁面の凹凸の定量化に当たってはこの考え方を用い、算術平均粗さ（ Ra ）を近似的に求め、この値をあらためて算術平均粗さ（ Ra ）として用いることとした。実際の現場水路における水路壁面凹凸を算術平均粗さ（ Ra ）へ変換する流れは以下のとおりとなる。

最初に型取りゲージを水路壁面に押しあて壁面の凹凸を型取りゲージに写し取る。次に写し取った型取りゲージを方眼紙上に置き、デジタルカメラで撮影し、それをパソコンのプレゼンテーションソフト及び表計算ソフトを連携させ、型取りゲージの形状を方眼紙の目盛りを使って幅1mmピッチ、高さを0.1mm単位で読み取り、凹凸を数値化する（凹凸曲線の作成）。次に数値化された値の平均線を算出し、この平均線から凹凸曲線までの差の絶対値を合計し、これを幅（150mm）で割った値を算術平均粗さ（ Ra ）として求めた。

型取りゲージは、水平幅150mmの間に、直径0.8mmのステンレス針が185本ならんだ形で構成されている。具体的にはFig.2に示すように、型取りゲージの針は平坦な状態(a)から水路壁面の写し取り作業(b)を経て凹凸を写し取った形に変わる(c)。この凹凸をグラフの値として読み取り数値に変換する（凹凸曲線の作成）。



Fig.2 型取りゲージ
Profile Gauge

Table 1 健全度評価基準（水路壁面凹凸状態）
Health index evaluation standards (Canal Wear)

健全度	劣化の状況
5	セメントペーストの流出が開始しておらず、施工完了直後のようにコンクリートの表面が滑らかな状態
4	セメントペーストの流出が進行し、コンクリートの表面がざらついている状態
3	細骨材の流出が進行し、表面の細骨材が流され、粗骨材が見え始めている状態
2	細骨材の流出が進行し、表面の細骨材が流され、粗骨材の粒子が半分程度露出しているが、剥離していない状態
1	粗骨材がほとんど露出し、粗骨材の剥離が始まる状態

3 供試体計測のための健全度評価基準の設定

供試体の健全度評価基準の設定においては、これまでの現地調査では5段階を基本としている点や、小断面水路では水路内壁面厚が一樣に22mm減少すると鉄筋の引張り許容応力度を満たさない条件に達する断面が現れるという報告（本間ら，2008a）を踏まえることが必要と考えた。そこで、これまでの評価段階や構造的な検討結果及び骨材寸法の条件を考慮した上で、粗さが最大と想定される状況を健全度1とする5段階の健全度評価基準を設定した（Table 1）。

III 供試体の作成と測定

1 供試体の作成

異なる健全度と最大骨材寸法（Gmax）の違いによる凹凸評価手法の検討を行うことを目的とし、異なる最大骨材寸法（4種類）毎に、5つの健全度を設定した計20種のコンクリート供試体を作成した。

設計強度は、鉄筋コンクリート水路打設で多く用いられると考えられる21（N/mm²）とした。作成した供試体の設計値を Table 2 に示す。

Table 2 供試体の設計値
Design value of the test specimen

Gmax (mm)	部材厚 (mm)	設計強度 (N/mm ²)	設定健全度
20	100	21	1, 2, 3, 4, 5
25	130	21	1, 2, 3, 4, 5
30	150	21	1, 2, 3, 4, 5
40	180	21	1, 2, 3, 4, 5

供試体作成においてはコンクリートの壁面を想定し、コンクリート打設は型枠の上側から行い、測定面（250mm × 250mm）が壁面環境に近くなるように配慮した。また、部材厚については、最大骨材寸法の4～5倍程度になるように設定した（Fig.3, Fig.4）。

供試体は、コンクリートを型枠に打設した後、湿潤養生を行った。打設から概ね6時間後のまだ完全に固まっていない状態の時に測定面の型枠板を外し、測定面をブラシや水流を用いて、測定面が Table 1 に示す各健全度の凹凸状態になるまで洗い出した。その後再度湿潤養生を行い完成させた（Fig.5）。

2 測定の方法

凹凸の測定には供試体の幅、計測の速さを考慮して、

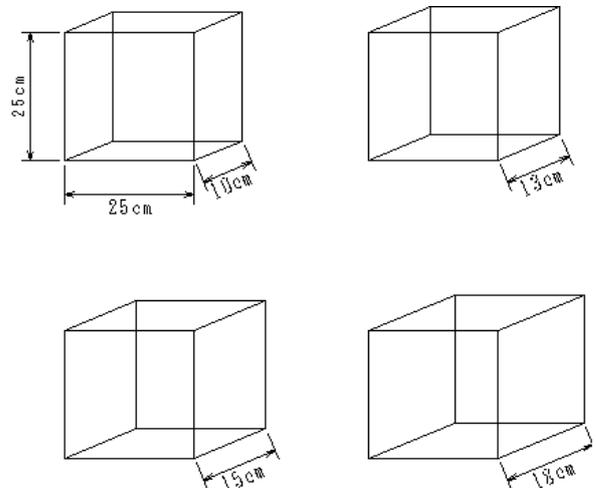


Fig.3 供試体の大きさ区分
Size of test specimen



Fig.4 供試体作成状況
Making situation of test specimen



健全度 5



健全度 4



健全度 3



健全度 2



健全度 1

Fig.5 健全度別供試体の表面状況 (Gmax25 の例)
Test specimen surface situation according to soundness index

農工研で開発された摩耗形状計測装置を使用した。この装置は測定ピッチ 1mm、高さ (凹凸) の測定が 0.1mm の精度で読み取れる。摩耗形状計測装置はレーザー変位計、データロガー、アンプと PC 上の計測ソフトが連結しており、測定値が直ちに PC 上に表示される。測定値は電圧 (V) でデータロガーに記録される。記録された値は 1.0V=50mm で換算する。

この装置を用いて 250mm × 250mm のコンクリート表面の凹凸を、10mm 間隔で設定されたライン上で測定した。

レーザー変位計はレールに固定されており、手動でレール上を移動させるとレーザー変位計が 1mm 移動する毎に変位計からコンクリート表面までの距離を測定する。**Fig.6** に供試体の測定箇所の模式図、**Fig.7** に摩耗形

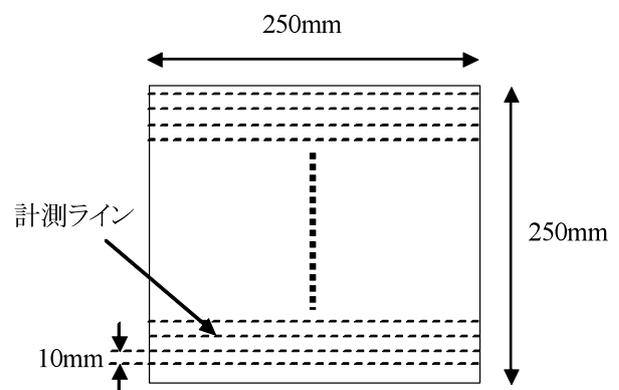


Fig.6 供試体の測定箇所の模式
Measurement points

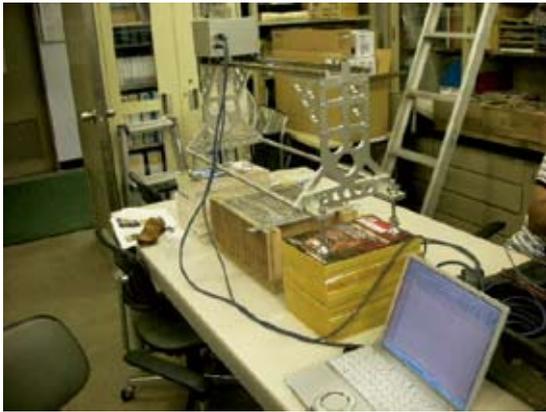
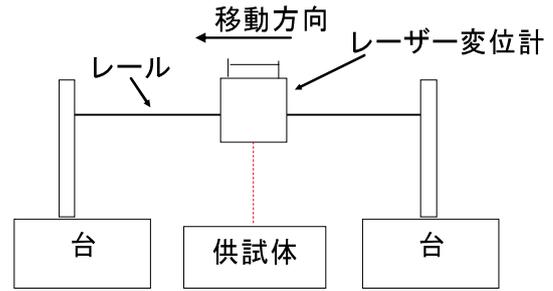


Fig.7 摩耗形状計測装置を用いた測定の様子及び模式図
State of measurement with a measurement device



状計測装置を用いた測定の様子及び模式図を示す。

3 算術平均粗さ (Ra) の算定

供試体の計測より求められた値を算術平均粗さ (Ra) に換算する考え方は、基本的には、II. 2 で示した算定方法と同じである。まず、一つのラインに対し、幅 1mm ピッチ、高さ 0.1mm 単位で測定移動方向に測定された値を mm 値に換算し、それらの値をラインの凹凸曲線とした。次に凹凸曲線の平均線を算出し、この平均線から凹凸曲線までの差の絶対値を合計し、これを幅 (250mm) で割った値をそのラインの算術平均粗さ (Ra) とした。

4 凹凸容量の算定

現場水路における劣化指標の検討として、当初のコンクリート表面から減少した容量 (凹凸容量) を算定した。現時点では劣化を表す指標として確立されていないが、将来的な活用を目的とし、供試体の測定結果を用いて凹凸容量の指標化の検討を行った。

レーザー変位計により測定された値を mm 単位に換算する。次に換算された値を基準面 (コンクリート打設面である枠の高さ) からの距離 y として求める。1mm ピッチで求められた距離 y を幅 1mm を代表する値として用い、 $y_1 \times 1\text{mm} + y_2 \times 1\text{mm} + \dots + y_{250} \times 1\text{mm} = 1$ 計測ラインの断面積 (A) として求めた。次にこの値をそのラインを中心とする直角方向 10mm 幅の平均断面とし、 $A_1 \times 15\text{mm} + A_2 \times 10\text{mm} + \dots + A_{23} \times 10\text{mm} + A_{24} \times 15\text{mm} = 1$ 供試体 (250mm \times 250mm の範囲) の凹凸容量として求めた。

なお、最初と最終のラインは 15mm \times 250mm 分を代表する断面積としている。Fig.8 に 1 ラインの凹凸断面計測の模式図を示す。

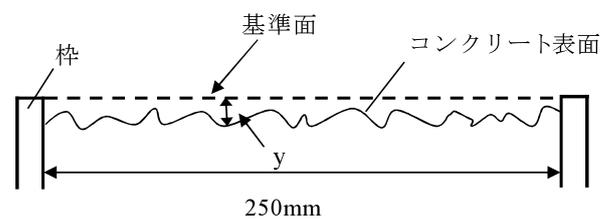


Fig.8 凹凸断面計測の模式図
Measurement of unevenness section

設定した計 20 種の供試体 (25cm \times 25cm) を作成した。それぞれの供試体につき 10mm ピッチで 24 のラインを設定し、1 供試体につき 24 個の算術平均粗さ (Ra) を求め、その平均を条件の異なる 1 供試体の代表値として検討を行った。

Fig.9 に、横軸に健全度、縦軸に算術平均粗さ (Ra) とした分布を示す。左図は最大骨材寸法別の回帰傾向を示し、右図は全データを対象とした場合の回帰傾向を示している。なお、健全度は離散値、算術平均粗さ (Ra) は連続値であるが、回帰分析手法を当てはめ検討を行った。

Fig.10 に、横軸に最大骨材寸法 (Gmax)、縦軸に算術平均粗さ (Ra) とした時の分布と回帰関係を示す。

Fig.9 からは、最大骨材寸法 (Gmax) 別の算術平均粗さ (Ra) と健全度においてリニアな相関があることが分かる。また、全データを用いた場合でも相関がよい (決定係数 $R^2=0.943$) ことが分かる。

一方、Fig.10 に示すように、健全度ごとの算術平均粗さ (Ra) は、Gmax の値によらずほぼ横ばいの傾向を示した。すなわち同じ健全度であれば、Gmax に関係なく算術平均粗さ (Ra) から健全度を判定できるものと考えられる。

供試体計測から求められた健全度に対する算術平均粗さ (Ra) の標準値を Table 3 に示す。

IV 供試体を用いた算術平均粗さ (Ra) の特性分析

1 算術平均粗さ (Ra) と健全度及び最大骨材寸法異なる最大骨材寸法 (4 種類) 毎に、5 つの健全度を

2 凹凸容量
供試体毎の凹凸容量 (250mm \times 250mm における容量)

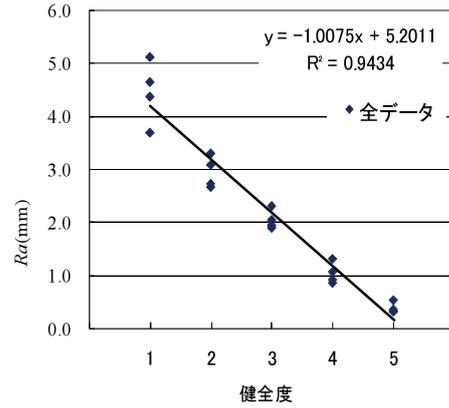
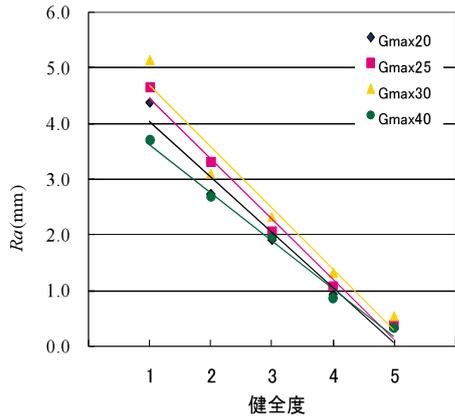


Fig.9 Ra と健全度の関係 (左: Gmax 別, 右: 全データ)
Relation between Ra and soundness index

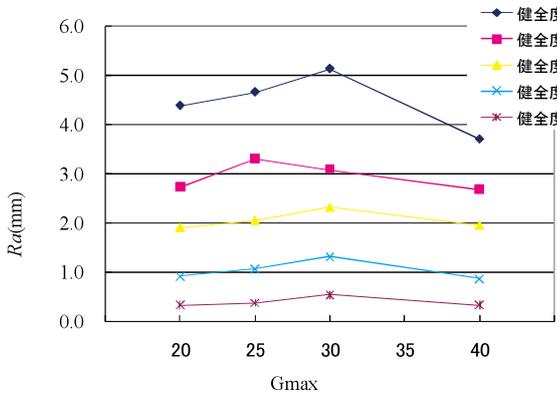


Table 3 供試体計測から求められた算術平均粗さ (Ra) の標準的な値
standard value of Ra

健全度	算術平均粗さ (Ra) (mm)
5	0.6 未満
4	0.6 ~ 1.7
3	1.7 ~ 2.7
2	2.7 ~ 3.7
1	3.7 以上

Fig.10 Gmax と Ra の関係 (健全度別)
Relation between Gmax and Ra

と健全度の関係を Fig.11 に示す。Fig.11 の左図は Gmax 毎の凹凸容量と健全度を表したものである。各 Gmax で、健全度と凹凸容量がリニアな関係にあることが分かる。Fig.11 の右図に示した全データを用いた健全度と凹凸容量の関係から、健全度と凹凸容量の傾向は強い相関関係

にあることが分かる。

Fig.12 に凹凸容量と算術平均粗さ (Ra) の関係を示す。各 Gmax 毎にリニアな関係にあり、全データを用いた凹凸容量と Ra の関係からは強い相関関係 (決定係数 $R^2=0.911$) があることが分かる。このことから算術平均粗さ (Ra) により、凹凸容量の推定が可能であると考えられる。

また、Fig.13 に示すように凹凸容量と Gmax の関係に

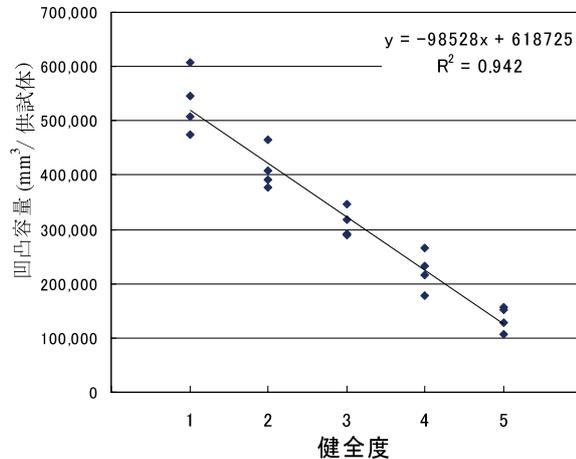
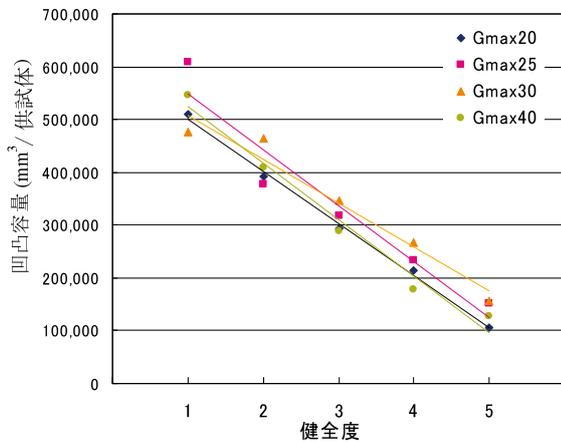


Fig.11 凹凸容量と健全度の関係 (左: Gmax 別, 右: 全データ)
Relation between quantity of unevenness and soundness index

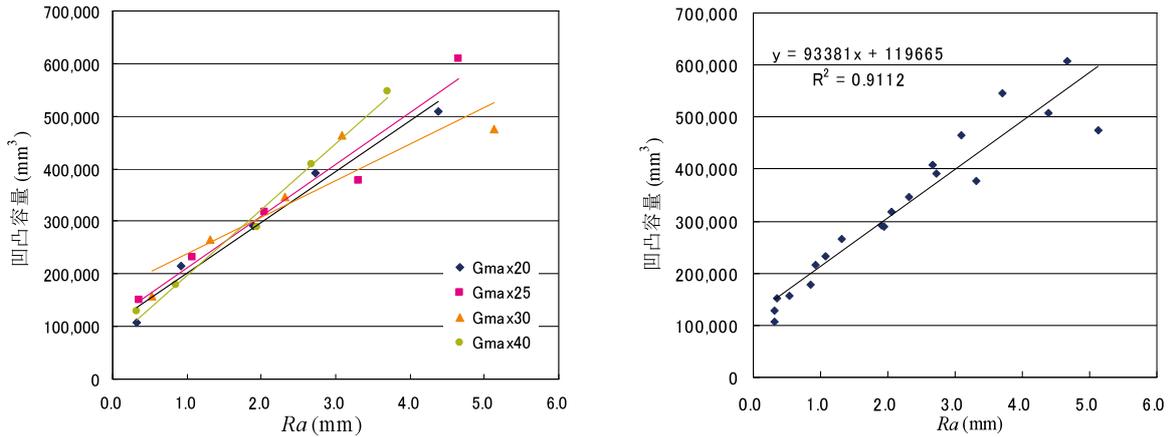


Fig.12 凹凸容量と Ra の関係 (左: Gmax 別, 右: 全データ)
Relation between quantity of unevenness and Ra

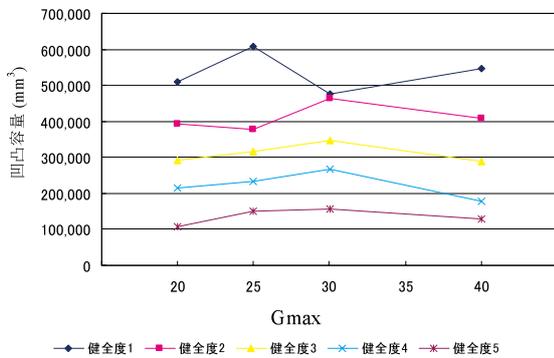


Fig.13 凹凸容量と Gmax の関係 (健全度別)
Relation between quantity of unevenness and Gmax

においては、どの健全度においても相関は見られなかった。凹凸容量が Gmax の大きさによらないで求まる量であると考えられる。

供試体計測から求められた健全度に対する、凹凸容量の標準値を Table 4 に示す。

Table 4 供試体から求められた標準的な値
standard value of quantity of unevenness

健全度	凹凸容量 (mm ³ /10cm ²)
5	28,000 未満
4	28,000 ~ 44,000
3	44,000 ~ 59,000
2	59,000 ~ 74,000
1	74,000 以上

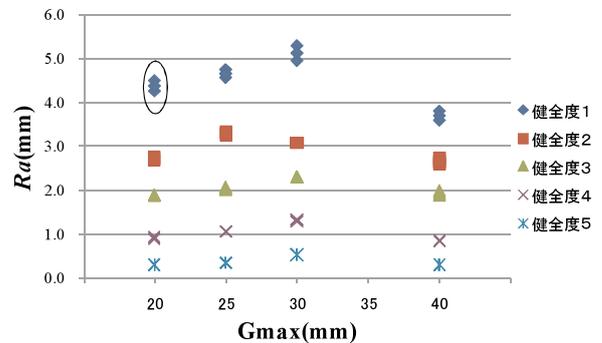


Fig.14 測定グループ別の Ra 分布
Ra distribution according to measurement group

3 計測間隔の検討

現場水路調査では、壁高約 1m の水路に対し 1cm ピッチで型取りゲージによる計測を行っているため、約 100 点もの計測データ収集が必要とされた。長大水路を対象にする場合、一か所の調査の迅速性及び効率化を図るためには、より少ないデータ数で一調査点の計測を行うことが求められる。このため計測間隔について検討を行った。

供試体を用いた解析では、1cm ピッチで測定しているため、一つの供試体につき 24 の測定ラインがある。この測定ラインを奇数ナンバーと偶数ナンバーの 2 つのグループ (以下奇数 G, 偶数 G とする) に分けた。Fig.14 に奇数 G, 偶数 G, 及び全データ (全 G とする) の健全度と Gmax 別の分布を示した。

例えば、Fig.14 中に楕円で囲んだ部分は、Gmax20 で健全度 1 の供試体の奇数 G, 偶数 G, 全 G の Ra 分布を示す。奇数 G, 偶数 G は 2cm 間隔でのデータ収集に相

当する。

これら 2 つの奇数 G と偶数 G のグループ間のデータ比較及びそれぞれのグループと全 G との比較を行った。比較には、等分散を仮定した 2 標本による検定 (*t* 検定) を用いた。

Gmax20 のグループで、奇数 G と偶数 G について *t* 検定を行った結果例を Table 5 に示す。*t* 検定は、奇数 G と偶数 G の組合せ、奇数 G と全 G の組合せ、偶数 G と全 G の組合せの 3 つの組合せで行った。この場合の帰無仮説は、例えば奇数 G の母平均と偶数 G の母平均は等しいであり、95% の信頼度の両側検定を行った。なお、別途等分散性の検定を実施し、グループ間の母分散は等しいとみなしてよいことを確認している。Table 5 に示

Table 5 *t* 検定例 (測定間隔)
T-test example (measurement interval)

G20 (12 データ比較) 健全度 1 t-検定: 等分散を仮定した2標本による 検定 奇数・偶数			G20 (12 & 24 比較) 健全度 1 t-検定: 等分散を仮定した2標本による 検定 奇数・全数			G20 (12 & 24 比較) 健全度 1 t-検定: 等分散を仮定した2標本による 検定 偶数・全数		
	変数 1	変数 2		変数 1	変数 2		変数 1	変数 2
平均	4.5027	4.2551	平均	4.5027	4.3789	平均	4.2551	4.3789
分散	0.4026	1.2095	分散	0.4026	0.7870	分散	1.2095	0.7870
観測数	12	12	観測数	12	24	観測数	12	24
プールされた分散	0.8061		プールされた分散	0.6627		プールされた分散	0.9237	
仮説平均との差異	0		仮説平均との差異	0		仮説平均との差異	0	
自由度	22		自由度	34		自由度	34	
t	0.6755		t	0.4301		t	-0.3643	
P (T<=t) 片側	0.2532		P (T<=t) 片側	0.3349		P (T<=t) 片側	0.3589	
t 境界値片側	1.7171		t 境界値片側	1.6909		t 境界値片側	1.6909	
P (T<=t) 両側	0.5064		P (T<=t) 両側	0.6698		P (T<=t) 両側	0.7179	
t 境界値両側	2.0739		t 境界値両側	2.3022		t 境界値両側	2.0322	

した結果としては、各パターンとも |*t* 値| (0.36 ~ 0.67) < *t* 境界値両側 (2.07 ~ 2.03) となり、帰無仮説は棄却されなかった。すなわち 2cm 間隔で調査した結果は、グループ間の母平均は等しいといえることができた。このような検定を各グループ間 40 ケースで行った結果、いずれも帰無仮説は棄却されない結果となり、2cm 間隔での調査が有効であることが示された。

4 調査幅の検討

現場で使用する型取りゲージ幅が 150mm であることから、250mm 幅で求めた算術平均粗さ (*Ra*) と 150mm 幅で求めた算術平均粗さ (*Ra*) の比較検討を行う。**Fig.15** に幅 250mm と幅 150mm で求めた供試体の平均算術平均粗さ (*Ra*) と健全度の関係を示す。比較のため、供試体で求めた 1 ラインデータ (250mm 幅) の中から、中間部のデータ (150mm) を抜き取り、等分散を仮定した 2 標本による検定 (*t* 検定) により比較検討を行った。

Fig.15 のデータを基にした *t* 検定により、幅 250mm

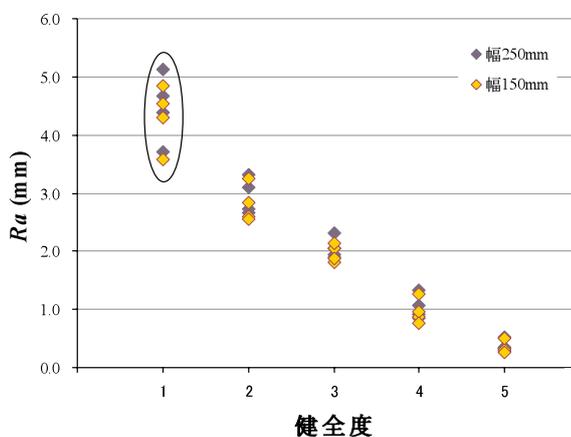


Fig.15 *Ra* と健全度の関係 (測定幅別)

Relation between *Ra* and soundness index (different measurement width)

のグループの母平均と幅 150mm のグループの母平均とは等しいとの帰無仮説のもと、95%の信頼度の両側検定を行った。なお、別途等分散性の検定を実施し、グループ間の母分散は等しいとみなして良いことを確認している。

Fig.15 中に楕円で囲んだデータを対象に、検討結果例を **Table 6** に示す。この結果からは、各パターンとも |*t* 値| (0.5128 ~ 1.7538) < *t* 境界値両側 (2.0129) となり帰無仮説は棄却されなかった。すなわち 150mm 幅で調査した母平均は、250mm 幅で測定した母平均と等しいといえる。このような検定を各グループ間 20 ケースで行ったところ、全て帰無仮説は棄却されない結果となり、150mm 幅で十分な調査結果が得られる有効性が示された。

5 最大高さ (*Ry*) の評価指標性の検討

粗さを表す値として、最大高さ (*Ry*) がある。これは粗さ曲線の山頂部と谷底線の間隔を粗さ曲線の縦倍率の方向に測定したものと定義される (**Fig.1**)。

Fig.16 に供試体の平均値より求められた最大高さ (*Ry*) と健全度 (*Gmax* 別) 及び最大高さ (*Ry*) と健全度 (全データ) との相関を示す。これから最大高さ (*Ry*) は、健全度とリニアな関係であるとともに、強い相関関係を示している (決定係数 $R^2=0.891$) ことが分かった。

次に最大高さ (*Ry*) の評価指標としての適性の検討を行った。検討には、算術平均粗さ (*Ra*) の調査幅の検討で用いたものと同様の手法を用いた。すなわち、供試体で求めた 1 ラインデータ (250mm 幅) の中から、中間部のデータ (150mm) を抜き取り、*t* 検定 (等分散を仮定した 2 標本による検定) により比較検討を行った。**Fig.17** に幅 250mm と幅 150mm で求めた供試体の最大高さ (*Ry*) と健全度の関係を示す。

20 のケースで分析を行った結果、14 のケースで帰無

Table 6 t 検定例 (測定間隔)
t-test example (measurement interval)

t- 検定：等分散を仮定した 2 標本による検定 G20-1			t- 検定：等分散を仮定した 2 標本による検定 G25-1		
	変数 1	変数 2		変数 1	変数 2
平均	4.3789	4.5296	平均	4.6565	4.2963
分散	0.7870	0.7578	分散	0.3623	0.6498
観測数	24	24	観測数	24	24
プールされた分散	0.7724		プールされた分散	0.5061	
仮説平均との差異	0		仮説平均との差異	0	
自由度	46		自由度	46	
t	-0.5942		t	1.7538	
P (T<=t) 片側	0.2776		P (T<=t) 片側	0.0431	
t 境界値片側	1.6787		t 境界値片側	1.6787	
P (T<=t) 両側	0.5553		P (T<=t) 両側	0.0861	
t 境界値両側	2.0129		t 境界値両側	2.0129	

t- 検定：等分散を仮定した 2 標本による検定 G30-1			t- 検定：等分散を仮定した 2 標本による検定 G40-1		
	変数 1	変数 2		変数 1	変数 2
平均	5.1283	4.8525	平均	3.6992	3.5891
分散	0.3756	0.6484	分散	0.4473	0.6587
観測数	24	24	観測数	24	24
プールされた分散	0.5120		プールされた分散	0.5530	
仮説平均との差異	0		仮説平均との差異	0	
自由度	46		自由度	46	
t	1.3353		t	0.5128	
P (T<=t) 片側	0.0942		P (T<=t) 片側	0.3053	
t 境界値片側	1.6787		t 境界値片側	1.6787	
P (T<=t) 両側	0.1883		P (T<=t) 両側	0.6105	
t 境界値両側	2.0129		t 境界値両側	2.0129	

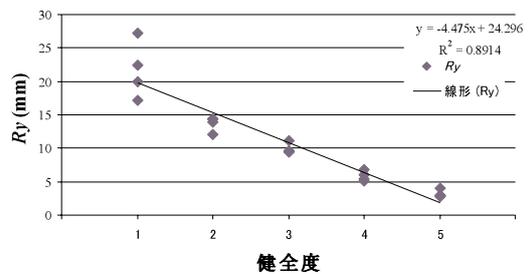
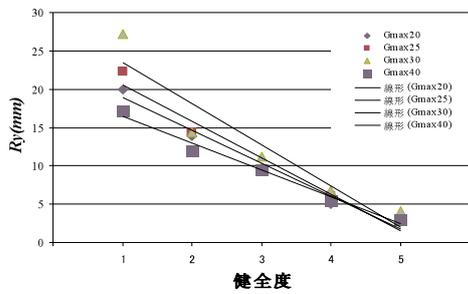


Fig.16 Ry と健全度の関係 (左：Gmax 右：全データ)
Relation between Ry and soundness index

仮説が棄却された。すなわち、多くのケースで、150mm 幅で調査した母平均と 250mm 幅で測定した母平均が等しいといえることができないと判断された。これは最大高さ (Ry) の定義が凹凸の最小値と最大値の幅という点から、測定区間内の一地点で大きな凹凸が測定されることにより最大高さ (Ry) の値が大きく変動する特徴を持つという点からも理解される。

すなわち供試体を用いた健全度と最大高さ (Ry) の t 検定結果からは、Ry は測定幅の違いにより異なる値を示す傾向が強いことが分かった。このため、現場で用いる指標としての適性を考えた場合、測定幅の違いにより同程度の

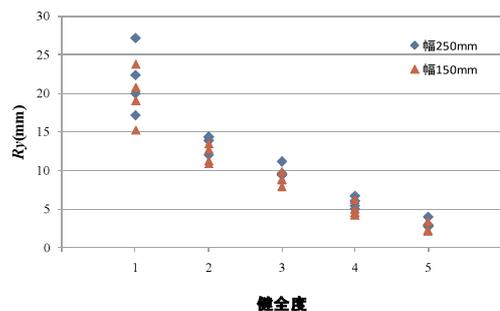


Fig.17 Ry と健全度の関係 (測定幅別)
Relation between Ry and soundness index (different measurement width)

傾向を示せないことから、 R_y は算術平均粗さ (R_a) に比べ評価指標としての安定性が劣っていると判断された。このため現場で使用する際には、調査地点の選定において制約があることが確認された。

V 結 言

供試体を用いた算術平均粗さ (R_a) の特性について明らかになった点を整理する。水路壁面の凹凸を評価する場合、算術平均粗さ (R_a) と健全度評価や凹凸容量は供試体を用いた検討でもリニアな関係にあることが示された。一方、供試体を用いた分析結果からは、算術平均粗さ (R_a) は測定幅や骨材寸法 (G_{max}) の大きさに左右されずに値を求められることが分かった。このことは、150mm幅で計測すれば調査対象水路の骨材寸法によらず算術平均粗さ (R_a) が適用可能であることを示すものである。更に基準断面 (水路新設時の表面) が不明である水路の凹凸容量 (すり減り量) についての推定を可能にするものと考えられる。

この評価手法を用いることにより、健全度評価者の熟練度の違いから生ずる評価結果のばらつきを極力小さくすることが可能となるとともに、異なった地域間での水路壁面凹凸評価を定量的に比較することが可能となる。

以上のように、壁面の凹凸を定量的に評価する手法は、型取りゲージを用いた簡易な壁面診断手法でも有効と考えられる。目視調査と重要ポイントで行う算術平均粗さ (R_a) を用いた定量的な評価を組み合わせることにより、迅速かつ高精度な壁面の凹凸の評価ができるものと考えられる。すなわち改修等が必要となる以前の段階で、水路壁面の凹凸状況を簡単にかつ実用的な精度で定量的に評価し、健全度を判定することができる。また長大水路の区間ごとあるいは局所のすり減り状態も把握できることから、定期的な調査により劣化の進行度が定量的に把握できる。

農業用水路 (RC) における壁面診断の場で活用されることを期待する。

参考文献

- 1) 土木学会 (2007) : コンクリート標準示方書 (維持管理編), p.1-228
- 2) 本間新哉, 北村浩二, 今泉眞之, 加藤 敬 (2007a) : 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
- 3) 本間新哉, 北村浩二, 今泉眞之, 加藤 敬 (2007b) : 農業用水路における劣化予測手法について, ARIC 情報 86 号, p.20-26
- 4) 本間新哉, 北村浩二, 加藤 敬 (2008a) : 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, 農工研技報 207, p.1-11
- 5) 本間新哉, 北村浩二, 加藤 敬 (2008b) : 農業用鉄筋コンクリート製開水路壁面の凹凸評価手法 H20 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, p.202-203
- 6) 石村貞夫 (1998) : 統計解析のはなし, 東京図書, p.1-340
- 7) 石村貞夫 (1999) : すぐわかる統計解析, 東京図書, p.1-204
- 8) 加藤 敬, 本間新哉, 北村浩二, 今泉眞之 (2008) : 開水路における壁面の凹凸から水路の粗度係数を求める試み, 農工研技報 (技術資料), p.183-193
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 北村浩二, 本間新哉, 加藤 敬 (2008a) : 農業水利施設へのインフラ会計導入の必要性と諸課題, 農工研技報 207, p.13-23
- 12) 北村浩二, 本間新哉, 今泉眞之, 加藤 敬 (2008b) : 農業用水路の壁面の摩耗劣化と継目劣化の予測, 農業農村工学会論文集 254, p.39-50
- 13) 北村浩二, 本間新哉, 加藤 敬 (2008c) : 農業用水路における壁面粗化による劣化予測の定量的評価, 農業農村工学会誌 76 (9), p.35-40
- 14) 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
- 15) 森 丈久, 森 充広, 渡嘉敷勝, 中矢哲郎 (2008) : 農業水利施設の構造機能診断のための調査手法, 農業農村工学会誌 76 (3), p.19-22
- 16) 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
- 17) 財団法人日本水士総合研究所 (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
- 18) 社団法人農業土木事業協会 (2007) : 農業水利施設の機能保全の手引き, p.1-86
- 19) 高橋順二 (2006) : IT を活用した農業水利システムの高付加価値化, JACEM43, p.5-12

Evaluation technique about the unevenness of open canal wall surface made by steel reinforced concrete for agriculture

HONMA Shinya, KITAMURA Koji, and KATO Takashi

Summary

The main objective of this paper is to clarify characteristics of arithmetical mean roughness (Ra) evaluating of canal wall surface with test specimen.

The points that became clear were shown below.

- (1) The result of this analysis indicates that the soundness index evaluation had a linear relation with arithmetical mean roughness (Ra).
- (2) It was shown that the quantity of unevenness had a linear relation with arithmetical mean roughness (Ra).
- (3) It was indicated that the arithmetical mean roughness (Ra) was not affected by the greatest dimension of the aggregate.
- (4) It was suggested that the estimate of the quantity of unevenness of the canal wall surface was possible in arithmetical mean roughness (Ra).

It was shown that this evaluation technique reduced the dispersion of rated results of open canal wall surface.

Keywords : agriculture irrigation canal (RC), arithmetical mean roughness (Ra), test specimen, quantity of unevenness, soundness index