

農業水利施設の健全度評価の課題と提案

川邊翔平* 浅野 勇* 渡嘉敷勝* 森 充広* 川上昭彦*

*施設工学研究領域施設機能担当

要 旨

農林水産省より農業水利施設の機能保全の手引きが制定され、農業水利施設のストックマネジメントが本格的に導入された。これにより、全国的に共通の健全度指標を用いて機能診断調査が実施されている。一方、ストックマネジメントが実施されている中で、劣化の主要因抽出の過程で情報が欠落するおそれがある等、いくつかの課題も明らかとなってきた。本稿では、現在の施設状態評価表をそのまま活用する新たな健全度評価方法を提案する。提案する方法では、施設の状態を数値による連続指標で表し、施設全体としての状態は各評価項目の加重和として表現する。これにより、各評価項目の優先度の明確化や劣化の主要因の検討等にも活用できる。また、施設の評価が数値で表現されるため、数学的手法の適用が可能となり、様々な活用が可能となるなど、拡張性を得られる。

キーワード：農業水利施設、ストックマネジメント、機能診断、健全度指標

I 緒 言

近年、農業水利施設に限らず、道路、鉄道、下水道等の様々な分野にてストックマネジメントへの取組みが活発になっている。農業水利施設の多くも他の社会インフラと同様に戦後から高度経済成長期にかけて集中的に整備されたものであり、維持管理費の節減のために、施設の長寿命化が望まれている。農業水利施設には、ため池、頭首工、水路、パイプライン、ポンプ場等、様々な施設が存在し、複雑に連結した用水・排水システムを構成している。全国には、基幹的農業用水路は約5万km、貯水池や頭首工は約7,000箇所（農林水産省、2014）と、多くの農業水利施設が存在する。

農業農村整備事業に初めてストックマネジメントの考え方が取り入れられたのは、平成11年に創設された「広域基盤整備計画調査」である（杉山、2008a）。その後、機能診断の実施方法などが全国の現場で試行錯誤的に検討され、ストックマネジメントのノウハウが蓄積されてきた。平成19年3月には「農業水利施設の機能保全の手引き（以下、「機能保全の手引き」という）」としてまとめられ、本格的なストックマネジメントが開始された。現在、全国で基幹的農業水利施設の機能保全にかかわる取り組みがなされており、平成28年度までに、再建設費ベースで約7割の基幹的農業水利施設（受益面積100ha以上）に対して機能診断を実施することを目標とした取り組みが続けられている。

このように、「機能保全の手引き」に基づくストック

マネジメントの本格運用が始まってから8年が経過しつつあるが、その中で見えてきた課題も多い（浅野ら、2014；杉山、2008a, b）。

杉山（2008a）は、機能保全の手引きの導入はストックマネジメントを本格導入するための「措置」であり、ストックマネジメントを高度化するためには、実践を通じた技術の高度化が必要であると述べている。機能保全の手引き制定により、全国同一レベルで目視診断による健全度診断および評価の仕組みが提示された。その一方で、機能保全の手引きでは、内容を分かりやすく、かつ運用し易くすることを目指しているために、診断・評価に準定量的な方法を用いている部分がある。また、施設の健全度を決定する際に技術者の裁量に任されている部分も多くあり、工学的判断や定量的評価が必要な部分も取り残されている。このような部分は、現状の機能保全の手引きのひとつの限界となっており、今後ストックマネジメントを高度化していくうえで解決すべき課題と考えられる。

本稿では、機能保全の手引きにおける健全度評価について現状の問題点および課題を明らかにし、農業水利施設のストックマネジメントの更なる発展と高度化に資することを目的として、機能保全の手引きにおける健全度評価を改善するためのいくつかの提案を行う。

なお、機能保全の手引きでは、ストックマネジメントは、「施設の機能診断に基づく機能保全対策の実施を通じて、既存施設の有効活用や長寿命化を図り、ライフサイクルコストを低減するための技術体系および管理手法

の総称」と説明されている。

II スtockマネジメント導入の経緯と変遷

農業水利施設のストックマネジメントの導入の経緯については、森 (2005)、米田 (2007)、杉山 (2008a) が詳細に報告している。これらの報告では、農業水利施設のストックマネジメントの基本的な考え方をまとめた機能保全の手引きの取りまとめまでの経緯が報告されている。ここでは、これらの報告を基に、機能保全の手引き取りまとめまでのストックマネジメントの導入の経緯について概説する。

先述したように、農業農村整備事業の制度として初めてストックマネジメントの考え方が取り入れられたのは平成11年度に創設された「広域基盤整備計画調査」である。この調査の中で、将来的な整備構想をまとめるために、現況施設の機能診断に取り組むことが初めて盛り込まれた。その後、平成14年度に都道府県営事業により造成された土地改良施設の機能診断と対策事業を行う「農業水利施設保全対策事業」が、平成15年度には国営事業で造成された施設の機能診断を行う「国営造成水利施設保全対策指導事業」と、対策を行う「国営造成施設保全対策事業」が創設された (杉山, 2008a)。これらの事業は、予算規模は小さいものの、農業水利施設の機能診断や対策工法を実践する場となり、その後のストックマネジメントの本格導入に大きく貢献した。

一方、平成17年3月には「食料・農業・農村基本計画」の中で、「既存ストックの有効活用の観点から農業水利施設の長寿命化を図り、これらのライフサイクルコスト (建設・維持管理に係る全てのコスト) を低減することを通じ、効率的な更新整備や保管理を充実する」ことが示された。これにより、ストックマネジメントが農林水産省の基本施策の一つとして位置づけられ、農業水利施設に対して本格的に実施されることが求められるようになった。

このような中、一部の先進的な地区において試行錯誤的に進められてきた農業水利施設のストックマネジメントを全国同一レベルで本格的に実施するために、ストックマネジメントの基本的な考え方と機能診断・評価に必要な事項が「機能保全の手引き」として平成19年3月に取りまとめられた。機能保全の手引きの制定とともに、県営造成施設を対象に機能診断から対策工事までを一貫して実施できる「基幹水利施設ストックマネジメント事業」、国営造成施設については、その後5年間で全ての基幹的な国営造成施設の機能診断と機能保全計画を策定するよう「国営造成水利施設保全対策指導事業」が拡充された。機能保全の手引きの制定と一連の事業の創出により、平成19年度から本格的に農業水利施設のストックマネジメントが開始されたと言える。

平成19年から現在までは、ストックマネジメントの

本格運用期間と言える。平成19年3月に総論編が制定されてから平成25年11月までの6年間に、新たに8工種の工種別手引き (例えば、機能保全の手引き「頭首工」(2010年6月)、機能保全の手引き「開水路」(2010年6月) など) が追加された (林, 2013)。また、新たな制度として、国営施設の機能診断や劣化予測、補修工法に関する技術について、現場実証を通じてその高度化を図る「ストックマネジメント技術高度化事業」が平成20年度から導入された。

一方、機能保全の手引きおよび制度の拡充が進む中、ストックマネジメントの運用を通じて様々な問題・課題が認識されるようになってきた。例えば、中村 (2010, 2011) は、過去のデータ記録不足に起因するパイプライン、矢板型水路、積ブロック水路等の性能劣化予測の困難さや性能低下曲線に関する問題などを指摘している。また、松宮 (2012) は、機能保全の手引き制定から5年が経過し、機能保全の手引きに基づく機能診断調査のフィールドデータが蓄積されていく中で、さらなるストックマネジメント技術の確立を行うため、蓄積されたデータの分析・評価を行うとしている。その中で、機械的に状態評価表をチェックするだけでは支配的な要因の判定は困難であること、地区や施設毎に劣化予測をすることが必要であること等を報告している。

このように、平成19年から現在までは、ストックマネジメントの本格運用期間でもあるが、実際の運用の中で、ストックマネジメントを推進する上での様々な問題・課題が顕在化した時期とも言える。今後は、これら顕在化した問題・課題を整理し、解決の糸口を見つけることが重要となる。

III 健全度評価に関して現在想定される課題

ここでは、現行の機能保全の手引きに基づく機能診断、および評価方法に関する課題を検討する。

まず、現行の健全度評価手順について簡単に述べる。機能保全の手引きでは、農業水利施設を構成する機能として水利用機能、水理機能、構造機能があるとしている。これらの機能のうち、基礎となる構造機能について、その耐久性を健全度という指標を用いて評価することとしている。健全度はTable 1 (農林水産省, 2007) に示した健全度指標を用いてS-5からS-1の5段階評価で表される。S-5からS-1の定義はTable 1に示すとおりである。数字が小さくなるほど健全度が小さいことを意味する。健全度指標の区分は変状の程度と劣化の進行過程で分類されている。また、対応する対策の目安が示されており、劣化の程度をイメージしやすい。

施設の健全度を評価する過程は、まず目視点検等から変状等の度合いなどを記録し、劣化の程度を健全度として評価する。評価項目は、Table 2に示す施設状態評価表 (農林水産省, 2007) に示されている項目であ

り、各種劣化要因（変状）別に、5段階で健全度が評価される。劣化要因は、主要因として、「内部要因」、「外部要因」、および「その他の要因」に大別され、さらにそれぞれの要因は「中性化」や「不同沈下」等の変状によって細分化されている。なお、Table 2では「内部要因」の一部を省略して示している。それら細分化された評価項目についてそれぞれ5段階のS-5からS-1の健全度で評価する。これらの変状毎に評価された健全度は、Table 2に示されている「評価の流れ」に従って、「変状別評価」、「主要因別評価」へとまとめられる。各主要因において、「変状別評価」の中の最低評価値が、代表値として「主要因別評価」となる。さらに、最終的に施設の総合的な評価として一つの健全度にまとめられ、施設の状態が5段階で表される。その際には、施設の性能低下に対して支配的と考えられる要因の評価が採用される。つまり、施設の構造機能の劣化に対して、現在最も影響を与えている要因が抽出される仕組みとなっている。ただし、支配的要因が別にあると考えられる場合は、技術者の判断により、上記の手順によって得られた健全度をもとに、技術者の判断によって健全度が修正される場合がある。また、水利用機能、水理機能に与える影響が大きい要因がある場合にはこれを別途考慮する必要があることも記されている。

以降では、劣化予測の精度向上等のために必要な、

データの蓄積や新しい知見等を反映しやすくするために、現状の評価方法の課題について述べる。

3.1 施設状態の最終評価の根拠の曖昧さ

先述した現在の評価方法では、各評価項目のうち、最も低い評価が代表値とされることを基本として、性能低下に対して最も支配的と思われる要因が抽出されている。想定される各種要因に対する変状に対してそれぞれ健全度が評価され、相対的に低い評価、すなわち最も劣化が進行している要因の評価をもって施設全体の健全度が決まる。これは安全側の評価ではあるが、細分化されて評価されている他の要因の評価などが残らず、情報が埋もれてしまっている。

また、施設に現れる変状は、材料や、地盤等の周辺環境等に依存していると考えられ、施設が置かれている条件によって、注目すべき要因が異なる。このため、それらを考慮した技術者の判断によって、最低評価値とは異なる可能性もあり、その場合は評価の根拠が曖昧になる場合も生じる。

技術者の判断は施設の状態評価において重要な要素の一つと考えられる一方で、現行の評価方法ではその根拠が不明確なものとなっている。このことから、施設の健全度評価においては、技術者の判断を含んだ評価結果の説明性の改善が今後の課題と考えられる。

Table 1 健全度指標の定義
Definition of soundness index

健全度指標	健全度指標の定義	鉄筋コンクリート構造物における劣化現象	対応する対策の目安
S-5	変状がほとんど認められない状態。	① 新設時点とほぼ同等の状態 (劣化過程は、潜伏期)	対策不要
S-4	軽微な変状が認められる状態。	① コンクリートに軽微なひび割れの発生や摩耗が生じている状態 ② 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。 (劣化過程は、進展期)	要観察
S-3	変状が顕著に認められる状態。劣化の進行を遅らせる補修工事などが適用可能な状態。	① 鉄筋に達するひび割れが生じている。あるいは、鉄筋腐食によるコンクリートの剥離・剥落が生じている。 ② 摩耗により、骨材の脱落が生じている。 ③ 目地の劣化により顕著な漏水（流水や噴水）が生じている。 (劣化過程は、進展期から加速期に移行する段階)	補修（補強）
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る状態。補強を伴う工事により対策が可能な状態。	① コンクリートや鉄筋断面が一部で欠損している状態。 ② 地盤変形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 (劣化過程は、加速期又は劣化期に移行する段階)	補強（補修）
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る状態。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。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。	① 貫通ひび割れが拡大し、鉄筋の有効断面が大幅に縮小した状態。S-2に評価される変状が更に進行した状態。 ② 補強で対応するよりも、改築の方が経済的に有利な状態 (劣化過程は劣化期)	改築

3.2 補修・補強による健全度回復の評価

補修・補強効果を適切に評価することは、対策工法の検討、劣化予測やそれに基づくライフサイクルコスト算定など、機能保全計画検討の上で重要である。各関係機関において、ストックマネジメント技術高度化事業等によって、点検技術の高度化やその効果等が評価されつつある。特に実地試験において、耐用年数や劣化の抑制効果等についての評価も行われているため、長期的な視点のもとで検討がなされており、貴重な知見が得られることが期待される。

現在の健全度の定義に従えば、ある変状に対して補修・補強を実施した後の施設の健全度はS-5に回復するとされている。機能保全の手引きによる「健全度」は、Table 1に示すように、変状の程度を基準に定められているため、施設や各種性能等に関わらず、劣化の進行程度が同様であれば、同じ健全度ランクとなり、補修した場合には健全な状態に戻ると想定している。補修・補強等を実施した場合、仮に性能が建設当時以上に向上したとしても、補修・補強後に評価される状態は「劣化状態にない」ということであり、S-5評価となる。

3.1で述べたように、現在の健全度評価の方法では、

劣化の主要因の健全度が施設全体を代表する健全度として用いられ、その後の劣化予測にも用いられる。例えば、補修等によって施設の健全度である主要因の健全度が回復する状況を考える。その際に、それぞれの評価項目の健全度がどのように変化したかを把握しにくいという欠点がある。補修等の対策を講じて、ある評価項目の健全度が回復したとしても、他の評価項目について健全度が回復しない場合には、施設を構成する性能の一部は回復したが、施設としての総合的な性能は必ずしも大きく向上しない場合も想定される。そのような場合をFig.1に例を示す。図中の評価項目Aの劣化曲線は主たる劣化要因の劣化曲線を表すとす。例えば、開水路を例に挙げると摩耗や中性化であるとする。評価項目Bは他の要因（例えば不同沈下）の劣化曲線とする。また、図中の白抜きの丸は、評価項目Aの健全度を表す。したがって、評価項目Bについて、得られる健全度は「S-整数値」なので、1回目の診断時ではS-4となり評価項目Aと重なるか、S-5のどちらかになる。仮に、評価項目Aに対して実施する対策が評価項目Bの補修の影響を受けない場合、施設の劣化曲線は図中の赤い実線の様になり、施設全体の健全度は必ずしもS-5となら

Table 2 施設状態評価表の例 (鉄筋コンクリート開水路)
An example of table to evaluate states of facility (reinforced concrete open channel)

施設の状態		: S-5; 変状なし S-4; 変状兆候 (監視強化) S-3; 変状あり (補修) S-2; 顕著な変状あり (補強) S-1; 重大な変状あり (更新検討)					
評価項目	健全度ランク	評価区分				評価の流れ→	
		S-5	S-4	S-3	S-2	変状別評価	主要因別評価
ひび割れ	タイプ・初期ひび割れ	最大ひび割れ幅未達	最大ひび割れ幅 [0.2mm ~ 0.6mm]	最大ひび割れ幅 [0.6mm 以上]	S-3に該当するものが全体的		
内部要因	構造物自体の変状	ひび割れ規模	0.2mm 以上) 50cm/m ² 以上		S-3に該当するものが全体的 又は		
	ひび割れ付随物 (析出物、錆汁、浮き)	無	② 有		流水、噴水		
	ひび割れからの漏水	無	③ 滲出、漏水跡、滴水		有		
		無		有			
外部要因	構造物周辺の変状	浮き	鉄筋露出の程度				
		圧縮強度	反発強度法 (圧縮強度換算)	21N/mm ² 以上	15 ~ 21N/mm ²	15N/mm ² 未満	
		中性化	ドリル法 (中性化残り)	残り 10mm 以上		残り 10mm 未満	
		変形・歪み	変形・歪みの有無	無		局所的	全体的
		欠損・損傷	欠損損傷の有無	無		局所的	全体的
不同沈下	構造物の沈下、蛇行	無		局所的	全体的		
構造物周辺の	変状	地盤変形	背面土の空洞化	無	局所的	全体的	
		周辺地盤の陥没・ひび割れ	無	局所的	全体的		
		抜け上がり (目視)	無	20cm 未満	20 ~ 50cm	50cm 以上	
その他の	変状	目地の開き	無	局所的	全体的		
		段差	無	局所的	全体的		
		止水板の破断	無		有		
		漏水の状況	無	漏水跡、滲出し、滴水	流水、噴水		
		周縁コンクリートの欠損等	無	局所的	全体的		

ない可能性がある。このように、各々の劣化の進行の割合に差がある場合、適切な補修・補強対策を立案するために施設の状態を劣化要因毎に詳細に把握する必要がある。施設状態評価表では、既に施設の劣化要因別に細分化されて評価されている。細分化された健全性の情報を可能な限り維持し続けることが、補修・補強対策を検討するため、また、将来的に支配的となる要因を抽出する際には有効であると考えられる。

3.3 劣化曲線と劣化予測に対する課題

機能診断によって支配的要因となった項目を用いてその後の劣化予測が行われる場合、その他の項目の劣化情報が欠落し十分な情報が得られないデメリットがあることを3.2で述べた。補修・補強等による健全度の回復や、長期供用後、または周辺環境の変化によって、例えば地盤変形が主要因となる場合もあり、極端な例では毎回の機能診断時に、種々の事由によって支配的要因が変化してしまう可能性も完全には否定できない。

機能保全の手引きでは「劣化予測は、劣化の原因が明らかであり、その予測手法が確立されている場合は、経験式などの手法を用いて行う。経験式などの手法が確立されていない場合や複合的な要因で特定の劣化要因が不明である場合は、標準的な劣化曲線を設定し、これを機能診断による実測で補正することにより行う。」とされている。標準劣化曲線の設定については、今後のデータ等の蓄積を踏まえて改善を行うこととされているものの、標準劣化曲線の精度は、劣化予測の精度に大きく影響する。劣化曲線には多くの不確実性が含まれており、その精度向上のためには詳細な劣化過程の情報が必要となる。

また、施設の劣化の進行が遅い場合や比較的健全な状態では、劣化曲線の勾配が小さいため、前回と今回の機能診断結果が同評価となる場合がある。単純に劣化曲線に対する補正等を行うと、大きな誤差を含むことになってしまう。このような問題に対して、機能保全の手引きでは「標準劣化曲線はあくまで標準的な劣化の過程を示していることに留意すること」とされ、最終的に技術者の判断にゆだねられているが、評価の根拠が曖昧になる

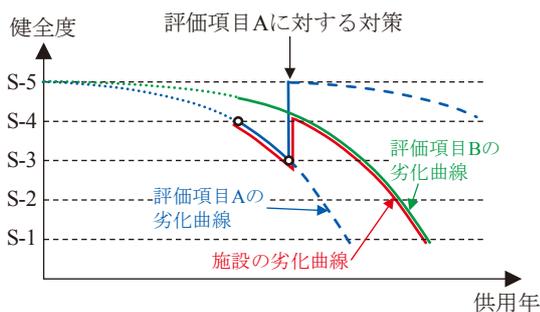


Fig.1 最低評価項目と他項目の劣化曲線
Deterioration curve of minimum and other soundness index

原因の一つと考えられる。

また、「S-4に近いS-3」等も現実には発生していると想定されるが、このような同一の健全度の中でのバラツキは、地域性等の施設が置かれている環境によるバラツキ、調査技術や調査実施者による測定値のバラツキが含まれる。現状では健全度に反映されにくく、同一健全度へ至る年数のバラツキに含まれて表れる。健全度には調査方法等の各種の不確実性が含まれるため、仮に評価結果がS-4であったとしても、他の要因と勘案して、劣化予測を試み、対応を検討しておく方が合理的であると考えられる。このような場合には、複数の要因について、時系列的に過去の経過と将来の予測を行うことが必要である。機能診断の回数が少ない現在では、蓄積された情報が十分でない場合もあり、各地域の各施設について個別の要因に対する劣化予測を行うことは容易ではないが、将来的に、地域毎あるいは施設毎について、要因別の劣化傾向を得ることは可能であると考えられる。

IV 現在の課題に対する提案

今後期待されるデータの蓄積等をより活かすため、また、新たに得られる知見等を受け入れ易くするために、新たな評価方法を提案する。

本稿では、現行の5段階評価（S-5からS-1の5段階評価）に加えて用いる、新たな指標による評価方法を提案する。ただし、この評価方法では、現行の定点調査票や施設状態評価表の項目を用いることとし、現行指標と互換性を有しつつも、将来的な変更、および拡張が容易な指標となるように努めた。

4.1 施設状態の数値化

須藤ら（2010）は、対策実施の優先順位を決定する方法として、「因子」の「重み×評価点」を施設毎に比較することを提案している。須藤ら（2010）の方法では、「因子」としては、「施設の健全度」や「農業生産の重要度」等が挙げられており、それぞれの「因子」について重みを設定している。評価点については、例えば「施設の健全度」という「因子」の場合、水路等の路線施設では上位健全度ランクの占める割合に対して、点施設では健全度ランク自体に評価点が割りあてられている。上記の様に、各「因子」の重み付きの評価点を合計することで施設の「評価値」としており、この「評価値」を施設毎に比較して得られた優先順位は、事業計画で定められた優先順位とほぼ同じになると報告している。また、健全度ランク自体を細分化している例として、例えば北村（2010）は、農業用水路の壁面摩耗の劣化過程を5段階に、それに対応する健全度を11段階に細分化し、壁面摩耗量に基づいて健全度を評価している。

本稿では、これらの事例を参考に、施設の状態を点数で表した新たな評価方法を提案する。評価する項目は、

現行の施設状態評価表の項目をそのまま用いる。

ここでは、Table 2に示した鉄筋コンクリート開水路の施設状態評価表を例にして、提案する評価方法の概要について説明する。鉄筋コンクリート開水路の状態評価表は18個の内部要因、6個の外部要因と5個のその他の要因から成り、合計29個の評価項目がある。評価者は、この29の評価項目に、合計が100点となるように配点する（重みを割りあてる）。例えば、施設状態評価表の「ひび割れ先行型ひび割れ」に7点、「ひび割れ」という項目に合計20点を割りあてる。また、例えば当該施設がある地区において地盤変状に関して安定であると推測されるならば、「不同沈下」という項目に2点という低い配点を与えることもある。したがって、「配点」は各項目に対する重み（優先度、重要度、注目度等）を意味する。配点は、各々の施設が持つ条件（設計、施工、周辺環境等の特徴）、技術者の判断、利用者の要望等を反映し、管理者または利用者により決定されることが望ましい。ただし、施設の健全度を評価する過程において様々な要因を検討する必要があるため、技術者による判断が必要な部分が存在する。したがって現時点では、配点に対する客観性に厳密さを求めることは必ずしも適切ではないと考えられる。また、例えば技術者の判断の根拠を配点として表すことにより、評価者が異なる場合でも技術者の判断の参考になる。あるいは、機能診断が同一地区内の複数施設に対して行われた場合には、配点を分析することで地域性の把握につながると考えられる。そのため本稿では、主観的判断による技術者の判断を、各評価項目の重みを配点という形で表現することとする。

なお、本稿の例では、29の項目に合計が100点となるように点数を割りあてているが、上述の通り配点は重みとして用いるため、合計は100という値である必要はない。この後の処理で小数を用いることを避けるための便宜的なものである。

ここで、施設の各評価項目*i*の配点（重み）を w_i ($\sum w_i = 100$) とし、現行の健全度に相当する値を E_i という数値で表すことにする。 E_i は0から100の間の数値をとり、劣化の進行度や、点検等から得られる計測値と管理水準との乖離から得られる。初期値（設計値や供用直後）を $E_i = 100$ として、S-5に相当し、このとき評価項目の性能は十分満たされており、健全であると評価する。各評価項目*i*の得点 $(P_i)_i$ は式(1)から求める。得点 $(P_i)_i$ は、 E_i が100のとき各項目の配点と一致する。

$$(P_i)_i = w_i (E_i / 100) \quad (1)$$

次に、各評価項目の得点 $(P_i)_i$ の総和を P_F として、 $(P_F)_j$ を施設*j*全体の指標とする。

$$(P_F)_j = \sum (P_i)_i = \sum w_i (E_i / 100) \quad (2)$$

このような積み上げ式の算定方式に基づく得点 P_F を用いると、施設の評価値を0から100の間の数値として

表すことができる。現行の健全度指標である5段階評価と上記指標の対応を取るためには、現行の健全度ランクと新指標の対応関係を明示することが必要となる。例えば、S-5とS-4の境界を $E_i = 90$ と決めれば、提案する方法と現行の健全度との相関をとることができる。

4.2 提案する評価方法のメリット

4.2.1 健全度評価の説明性

Fig.2に評価値および得点を用いた場合の施設の評価結果の例を示す。Fig.2aの例では10個の評価項目が、内部要因4項目、外部要因3項目、その他の要因3項目に分類され、それぞれの評価項目の配点と得点が表されている。図中の白抜き棒グラフは配点 w_i を表し、10項目の合計は100点である。それに対する各評価項目の得点 $(P_i)_i$ は色付き棒グラフで表しており、この合計が施設の評価値 P_F となる。すなわち、白抜き棒グラフと色付き棒グラフの差（配点-得点）が大きいほど、重要な評価項目であるにもかかわらず性能が満たされていないことを意味する。簡便ではあるが、各評価項目の配点の大きさと、配点の中での評価値の割合が一目でわかり、施設全体の健全度に対してどの項目が最も影響を与えているか、また、どの項目がどの程度性能低下しているかを明示できる点がこの方法のメリットである。例えば、Fig.2aを見れば、施設全体の得点に最も影響を与える項目は配点が最も大きい内部要因④であり、当該施設において重要視されている項目であることが一目でわかる。また、青い棒グラフの内部要因③は配点 w_i に対する得点 $(P_i)_i$ の低さが顕著であり、補修・補強の際は内部要因③が性能回復の対象として検討すべき項目であることがわかる。また、Fig.2bは各評価項目の配点がS-5と一致するように、各評価項目の得点も相似的に拡大したものである。すなわち、すべての要因について等しい配点（重み）を設けた場合の現行の健全度評価に対応する。図中の白抜きのシンボルは、Fig.2aの得点を四捨五入し整数値化した場合の健全度を表す点である。配点 w_i と得点 $(P_i)_i$ の差が対策検討のひとつの指標となり、差が大きいほど要注意となる。Fig.2の例では上述の通り内部要因③が主要因候補として挙げられるが、例えば内部要因④と外部要因①とを比較する場合を考えると、Fig.2a, bのいずれにおいても外部要因①の得点(Fig.2a)、および健全度(Fig.2b)が小さいが、配点 w_i と得点 $(P_i)_i$ の差(Fig.2a)は内部要因④の方が大きい。つまり、より重要と考えられている内部要因④の方が外部要因①よりも検討される優先順位が高いこととなる。現行の評価方法は、全ての項目の配点が一定、つまりすべての要因の重要度を同等に扱っているため、全体得点に影響を与える要因、重要視される項目が必ずしも評価の基準と一致しない場合もある。

支配的要因を機械的に抽出することは現状では困難であるため、技術者の判断に頼ることとなっている。本稿

で提案する方法では、施設の最終的な評価に至る過程を配点によって表現する。施設状態評価表をもとに得られる最低評価値と、技術者の判断によって得られる最終的な評価値とのミスマッチを説明するための材料となり得ると考えられる。

4.2.2 補修・補強による性能向上の効果

前述の通り機能保全の手引きにおける健全度評価では、劣化要因毎に劣化の程度が評価される。したがって、健全度評価の値が対策工法の検討に直結する。4.2.1で述べたように施設の健全度評価の内訳が明らかになると、健全度に最も影響を与える項目もわかり、どの評価項目の性能を回復すべきか補修・補強対策の目的を明確にすることができる。

また、改修や、補強等によって耐荷性能を向上させるなどした場合には、「健全度」の定義では上限がある。性能の向上を考慮する場合には、劣化の進行度合いで定

義される健全度とは別に、性能水準から規定される性能指標を新たに定義する必要がある。現行の健全度に相当する E_t は、施設の状態を、性能から定量的に表現しようとするものであり、上限を設けていないため、補修・補強の性能の向上を反映させることが可能である。

4.2.3 劣化曲線の表し方について

提案する評価方法における劣化曲線のイメージをFig.3に例示する。Fig.3aはFig.2aの各年次で得られる総得点を要因別に表したものであり、内部要因とその他の要因に対する補修を、図に示す矢印①、②の時点でそれぞれ1度ずつ実施した例である。ただし、それらの補修は、他の要因の健全度回復に寄与しないと仮定している。Fig.3bはFig.3aの各要因の得点を年次毎に積み上げたものである。提案する方法では、施設全体の得点 P_f を各評価項目の得点 $(P_i)_t$ の合計として表している。したがって、施設の劣化曲線は各種要因の劣化曲線の足し合わせて表現される。図では現行の主要因の分類を用いて内部要因を青、外部要因を赤、その他の要因を緑に分

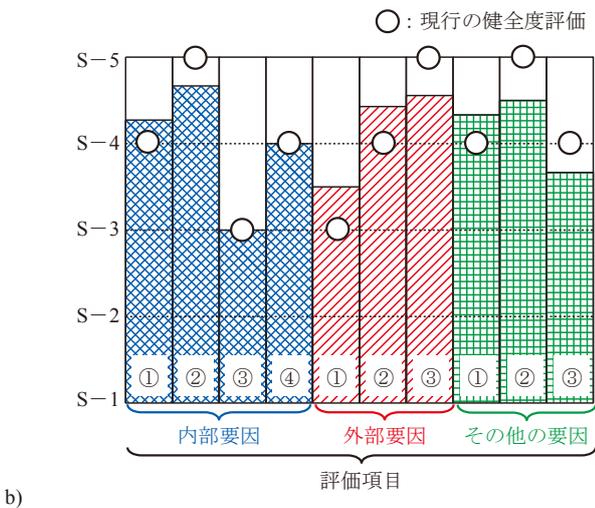
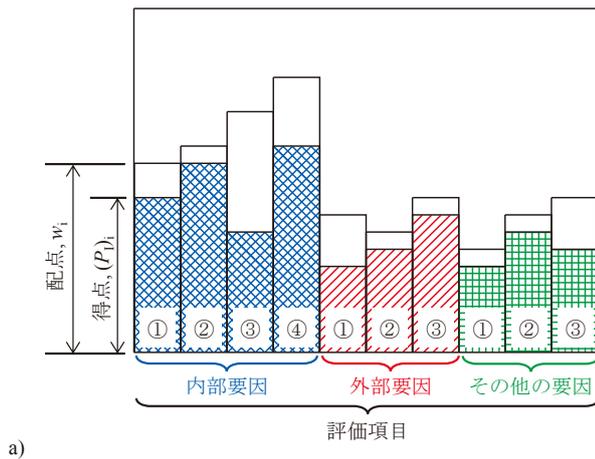


Fig.2 提案する方法と現行による評価の例；a) 提案する手法、b) 現行

An example of evaluation based on proposed and current method; a) Proposal method, b) Current method

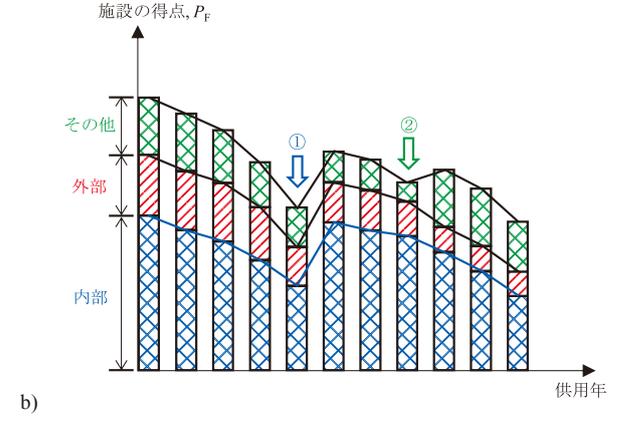
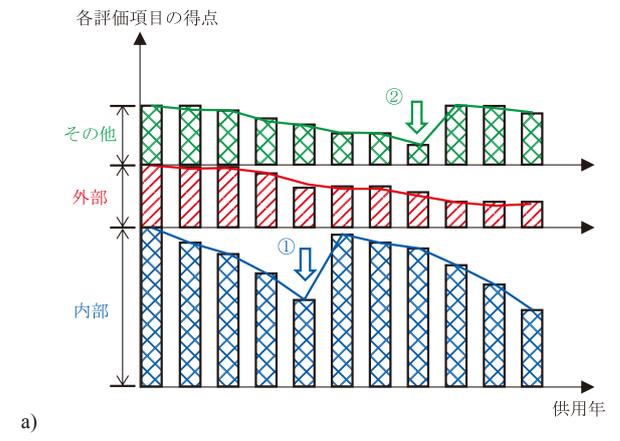


Fig.3 提案する評価方法による劣化曲線の例；a) 要因別の劣化曲線、b) 施設に対する劣化曲線

An example of deterioration curve based on proposed method; a) curves for each factor, b) breakdown of deterioration curves for facility

けて示した。また、Fig.3に示した例では3つの主要因のみに分類されて表示されているが、各主要因の得点の内訳は、さらに細分化されている各評価項目（ひび割れや地盤変状等）の足し合わせで表される。したがって、特定の要因に対する対策が講じられたときに、他の要因の劣化曲線との足し合わせによって、施設全体としての劣化曲線がどのように遷移するか把握できる。国土交通省(2013)においては、Fig.3bと同様の図を用いて長寿命化計画（機能保全の手引きにおける機能保全計画）策定の検討例が示されている。処理場・ポンプ設備を対象として、部品ごとの健全度を積み上げて表されている。各部品の劣化を把握しつつ長寿命化計画を検討することができる。

現在の機能保全の手引きにおいては、劣化予測の手法として、経験式に基づく手法や標準劣化曲線を用いる手法が挙げられており、各種要因に対して予測手法が用意されている。したがって、現在行われているような主要因に対する劣化予測を、すべての要因に対して実施し、それらを足し合わせることでFig.3bは得ることが可能である。また、同様にいくつかの要因を選択して劣化曲線を作成することも可能である。

4.2.4 提案する評価方法の拡張性

提案する方法では、点検・診断や性能評価などの技術の進歩を取り入れやすい。すなわち、点検・診断手法が進歩し、定量的な評価が可能になれば、その結果を直接取り入れることが可能である。点検・診断の精度向上は得点や劣化曲線の精度向上に直結する。前述のように、提案する評価方法による施設の劣化曲線は、各項目の劣化曲線の足し合わせで表現される。したがって、明らかとなった劣化機構に対する劣化曲線を用いたり、精度が改善されたモデルを用いることで高精度化を図ることが可能である。

補修・補強によって構造機能の他の機能が追加、または回復することがある。さらに、対策工法によっては新たに調査項目を設けなければならない可能性もある。その場合にも、すべての要因を個別に評価したうえで構造機能の他の機能に関連する性能を加味していくことが可能である。

また、各劣化要因の全体評価への寄与に対する不確実性も配点に反映できる。すなわち、点検・診断の精度向上は E_i に反映され、評価項目の全体に対する寄与の精度向上は配点 w_i に反映される。双方の技術の向上を評価に取り入れることが可能である。

将来基準等が変更された場合にも互換性があると考えられる。管理水準との関係から E_i を決定するため、満たすべき水準に対する現在の状態が評価されることになる。これは、地域や施設毎に水準が異なる場合についても同様である。

提案する方法では E_i に w_i を乗じることで施設の状態

を表すこととしているが、 E_i のみを用いて劣化の継時変化を追えば、劣化予測の経験式が得られる。また、 w_i を得ることで、職員の入れ替え等に対して技術者の判断の参考資料とすることができる。また、 E_i と w_i のそれぞれの分析から、地域や工種ごとの劣化傾向を把握できる可能性もある。

Fig.3bでは複数の要因の継時変化を把握できるため、将来支配的となり得る要因の進行性の程度を比較することにも利用できると考えている。

V 結 言

本稿では、農業水利施設の機能を将来的に効率よく総合的に維持していくために健全度評価について必要と思われる課題を示し、その課題に対応するための新しい評価方法の一例を提案した。

現行の評価方法の場合、対策を実施することを見据えて健全度が評価されているため、主要因を抽出する過程で他の要因の状態が不明確となる。このため、最終的な施設の評価の根拠が曖昧になるなど、情報の欠落が生じているおそれがある。

これに対し、数値によって健全性の評価を行い、評価項目すべてを用いて施設の健全性を評価することを提案した。各評価項目に重みを設け、項目の健全度に関する得点を足し合わせることで、主要因のみでなく、施設の総合的な劣化の程度を表すこととした。重みを設けることで、技術者の判断が含まれる診断結果の説明性の向上が見込める。また、数値を用いることで数学的手法の適用が可能となり、拡張性が保持できる。

ただし、現時点では本稿で提案した評価方法の有効性を具体的に示すには至っておらず、部分的にでも有効であるかは今後精査が必要である。特に評価項目の配点（重み）を決定する際には、農業土木に関する知識や経験だけでなく、当該地域の事情にも精通している技術者の意見が望まれる。また、どの程度の主観的判断を許容するか等検討される課題は多い。

現在多数の対策工法、診断技術が研究・開発されており、その評価に対する活動が、ストックマネジメント技術高度化事業としてなされている。他分野を含め、我が国は調査点検の技術、補修補強などの技術に長けており、個別施設の状態を把握するためのモニタリング技術や、施設の状態を定量化する調査点検技術について今後の発展が期待される。そのため、それらの技術の発展等を柔軟に取り入れていくことが重要と考えられる。

また、農業水利施設群としての機能保全計画では、対策実施優先度を得ることが必要になる。農業水利施設は多種多様な施設から成り、その機能も多岐にわたる。そのため個別施設の健全度のみではなく、施設が所有している機能、災害リスク等から総合的に優先度を検討する必要がある。提案した方法では、全ての劣化要因によっ

て施設の健全度を得ているため、特定の劣化要因の健全度に大きく影響されない。また、異なる施設同士、あるいは健全性の他の指標（災害リスク等）と健全性を併せて比較する際にも、数値としての意味を持つため、数学的処理が可能であるため扱いやすいと考えられる。

引用文献

- 浅野勇, 渡嘉敷勝, 森充広, 西原正彦 (2014) : 農業水利施設の機能保全の課題と将来的な取り組み, 水土の知, **Vol.82, No.1**, 3-6.
- 林 活歩 (2013) : 利根調・保全技術センター通信 (第6回), JAGREE, **No.86**, 28-31.
- 北村浩二 (2010) : 農業用水路のストックマネジメントにおける劣化予測に関する研究, 農村工学研究所報告, **No.49**, 201-289.
- 国土交通省 (2013) : スtockマネジメント手法を踏まえた下水道長寿命化計画策定に関する手引き (案) .
- 松宮直樹 (2012) : 利根調・保全技術センター通信 (第5回), JAGREE, **No.84**, 16-19.
- 森丈久 (2005) : 農業水利施設へのストックマネジメント導入に向けた取り組み, 農業土木学会誌, **第73巻**, 第11号, 3-6.
- 中村昌孝 (2010) : 利根調・保全センター通信 (第3回), JAGREE, **No.79**, 31-34.
- 中村昌孝 (2011) : 利根調・保全センター通信 (第4回), JAGREE, **No.81**, 17-19.
- 農林水産省 (2007) : 農業水利施設の機能保全の手引き, 食料・農業・農村政策審議会農村振興分科会農業農村整備部会技術小委員会
- 農林水産省 (2014) : 農業生産基盤の整備状況について, 農林水産省農村振興局
- 須藤勇次, 中村和正, 川辺明子, 菅睦三, 林保慎也 (2010) : 農業水利施設の補修・改修優先順位決定のための指標, H22 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 632-633.
- 杉山一弘 (2008a) : 農業水利施設のストックマネジメントのあゆみと今後の展望, 農業農村工学会誌, **Vol.76**, No.3, 197-200.
- 杉山一弘 (2008b) : スtockマネジメント技術高度化事業の創設 JAGREE, **No.75**, 12-13.
- 米田博次 (2007) : 農業水利施設のストックマネジメント, ARIC 情報, **No.85**, 12-16.

受理年月日：平成26年10月29日

Problems and Proposals on Evaluation of Soundness in Irrigation Facilities

KAWABE Shohei*, ASANO Isamu*, TOKASHIKI Masaru*, MORI Mitsuhiro*,
KAWAKAMI Akihiko*

*Facilities Engineering, Facilities and Geotechnical Engineering Research Division

Abstract

The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries has enacted the Handbook on Maintenance of Functions of Irrigation and Drainage Facilities, and stock management of irrigation and drainage facilities has been introduced in earnest. Based on the Handbook, a common national soundness index has been used to functionally diagnose individual facilities. Actual stock management has revealed several problems, for example, the danger that information will be lost during the process of extracting the main cause of the damage. This report proposes a new soundness evaluation method that uses the present facility performance evaluation table. The proposed method is used to evaluate the state of a facility using numerical continuity indices and to represent the state of the overall facility as the weighted sum of each evaluation item. This can be applied to clarify the priority of each item and to study the major factors causing the deterioration. And because the proposed method represents the evaluation of the facility numerically, a mathematical approach can be applied obtaining extensibility that, for example, permits a variety of applications.

Key words: Irrigation facilities, Stock management, Functional diagnosis, Soundness index