

論文 凍害劣化を受けたRC造構造物の目視による各種性能に関する劣化評価

柿原 巧弥*1・千歩 修*2・長谷川 拓哉*3

要旨: 本研究では北海道旭川市にある凍害劣化を受けた土木構造物を対象として目視を中心とした調査を行い、評価者による違いなどが構造物の劣化度の評価に及ぼす影響を検討するとともに、目視評価と各種測定結果との関係についてスケーリングを対象として検討した。その結果、構造物全体の評価項目である美観・使用性・安全性・維持管理性は同等の劣化度の評価となること、実務者・研究者と学生では評価が異なること、スケーリングの程度は目視によって評価可能であることなどの知見を得た。

キーワード: 目視調査, 劣化評価, 凍害劣化, スケーリング

1. はじめに

北海道などの寒冷地では凍害劣化が問題になっており、適切な調査診断が求められている。凍害劣化の調査診断手法は様々なものが提案されているが^{例え¹⁾}、主な診断方法は目視によるものとなっている。目視による場合、評価者による違いがあると同時に、機器を用いて測定した結果との対応が明らかではないのが現状である。また、個々の部材の劣化が構造物全体の劣化度や性能評価に及ぼす影響についても明らかではない。

そこで、本研究では北海道旭川市にある凍害劣化を受けた土木構造物を対象として目視を中心とした調査を行い、評価者による違いなどが構造物の劣化度の評価に及ぼす影響を検討するとともに、目視評価と各種測定結果との関係についてスケーリングを対象として検討した結果を報告するものである。

2. 劣化調査の概要

2.1 調査構造物の概要

劣化調査の対象とした構造物の概要を表-1に、構造物の模式図を図-1に示す。劣化調査は北海道旭川市周辺にある、様々な竣工年・用途の土木構造物を対象に行った。なお、それぞれの構造物は凍害劣化と考えられる現象がみられたものを選定した。調査は2009年10月16日に実施し、コンクリートに関する経験年数が10年以上の実務者および研究者5名とコンクリートに関する経験

年数が2~3年程度の工学研究科大学院生4名の計9名が評価を行った。なお、評価は、他評価者と相談せずに、評価者個人ごとに行った。

2.2 調査方法

劣化調査の概要を表-2に示す。この調査では、構造物全体と各構造物の部材ごとの2つの観点から評価する。

(1) 構造物全体の評価方法

構造物全体の評価項目は表-3²⁾に示す美観・使用性・安全性・維持管理性の4項目とし、評価基準を表-4のそれぞれの劣化度をI~Vの5段階で目視により評価を行った。なお、劣化度は数値が低いほど健全であり、逆に数値が高いほど劣化が進行していることを表している。劣化度を評価する視点としては、補修の要否としており、それぞれの性能について、I(長期間補修の必要はない)~V(すぐに補修が必要)として評価を行うこととした。

(2) 部材ごとの評価方法

それぞれの構造物の部材ごとの評価項目は、目視による劣化度の評価、スケーリングの評価、ひび割れの評価の3項目とした。

目視による部材ごとの評価基準を表-5に示す。それぞれの構造物の対象となる部材を、文献1)に基づき目視にてi~vの5段階で劣化度を評価した。なお、この劣化度は構造物全体の劣化度の評価と同様に数値が低いほど健全であることを示し、数値が高いほど劣化していることを示している。

表-1 調査対象構造物の概要

記号	用途	竣工年	備考
A	排水樋	昭和57年	平成14年修復・操作台表面被覆
B	橋	昭和33年	平成9年P1橋脚修復・平成11年洗掘防止・平成19年脊座補修
C	水門	昭和22年	旧施設で現在は使用されていない
D	取水樋管	不明	-
E	排水樋門	昭和37年	部分的に補修あり(施工年次不明)
F	跨線橋	昭和37年	昭和46年床版拡幅・平成15年床版補強、地覆補修、支承・伸縮装置取替

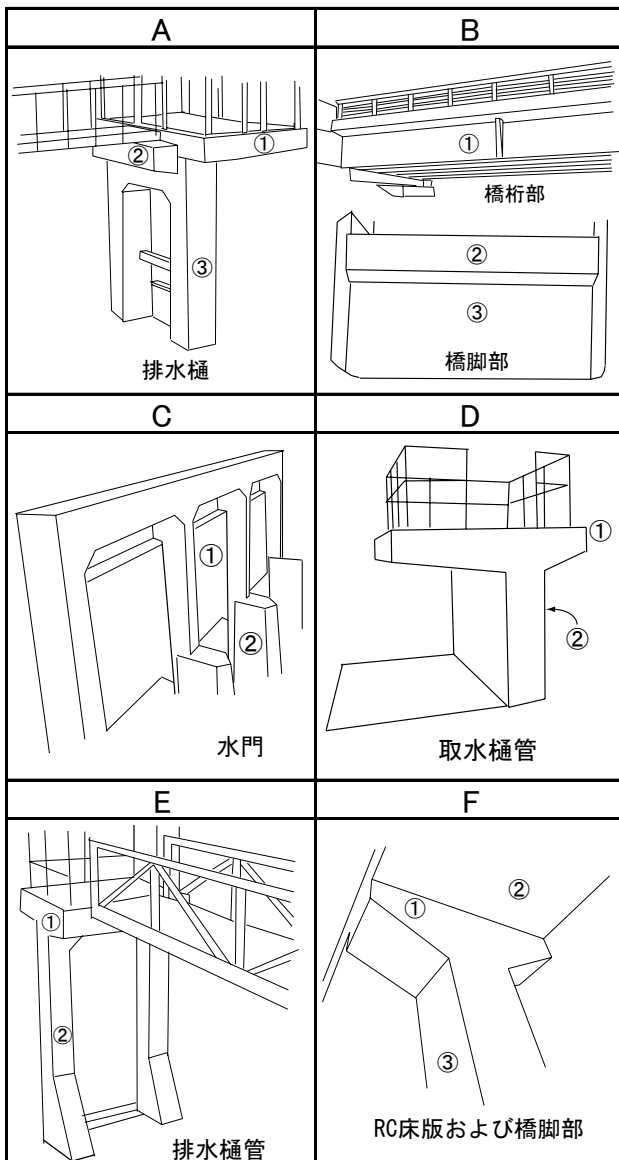
*1 北海道大学大学院 工学研究科空間性能システム専攻 (正会員)

*2 北海道大学大学院 工学研究科空間性能システム部門 教授・工博 (正会員)

*3 北海道大学大学院 工学研究科空間性能システム部門 准教授・博(工) (正会員)

スケーリングの評価は主要な部材の劣化を対象として、表-6 に示す RILEM による評価³⁾と表-7 に示す ASTM による評価⁴⁾を参考にそれぞれ1~4の4段階、0~5の6段階で目視により評価した。なお、RILEM による評価では劣化状況を示す図³⁾を併用して評価した。また、ノギスによるスケーリング深さの測定を行った。この測定では、スケーリングしていない周辺部位を基準面として、そこからノギスを用いてスケーリング深さを測定した。あわせて、文献5)に基づき、光沢度計を用いた表面粗さの測定によるスケーリング量および深さの推定を行った。これは、アルミホイル(厚さ15μm程度)を測定対象箇所に押し付け、見た目の変化がなくなるまで柔らかい布でこすった後、測定角60°の光沢度計で、その表面の光沢度を測定し、光沢度の低下から表面粗さを測定し、スケーリング量および深さに換算した。

ひび割れについてはそれぞれの構造物のひびわれ幅をクラックスケールにより測定した。



※数字は評価した部材を表す

図-1 構造物の模式図

3. 各調査結果および考察

3.1 各構造物全体の評価結果

図-2 に各構造物全体の劣化度の評価結果(評価者全員の劣化度の平均値)を示す。ここでは、表-4 のローマ数字からアラビア数字に置き換えて示してある。どの構造物も劣化度の大小にかかわらず美観・使用性・安全性・維持管理性の4項目に大きな差はみられず、それぞれの評価項目においてほぼ同等の劣化度となった。これは、目視による評価ではひび割れやスケーリングなどの目に見える劣化現象が影響すると考えられる。次に構造物ごとの評価をみると、構造物Aでは、構造物として健全な結果となっている。これは、昭和57年に建設された

表-2 劣化調査の概要

対象	項目	内容
構造物全体	劣化度	目視により表-3の項目について表-4の基準で評価
	劣化度	目視により表-5の基準で評価
部材ごと	スケーリング	ノギスにより深さ測定 光沢度計により表面粗さ測定 ⁴⁾
	ひび割れ	目視によりASTMおよびRILEMの基準で評価
	ひび割れ	クラックスケールによりひび割れ幅の測定

表-3 構造物全体の評価項目²⁾

項目	概要
美観	美しさを損なう外観の変化がない
使用性	構造物の使用者・周辺の人に不快感を生じさせない
安全性	人命及び財産を守る
維持管理性	経済的かつ技術的に復旧が可能な損傷を抑える

表-4 構造物全体の評価基準

劣化度	区分の基準
I	新設同様(長期間補修の必要はない)
II	問題なし(近い将来においては補修の必要はない)
III	どちらとも言えない(場合によっては補修が必要)
IV	問題あり(近い将来補修が必要)
V	大変問題あり(すぐに補修が必要)

注:劣化度 I~Vは1~5と表記する

表-5 部材ごとの評価基準¹⁾

劣化度	区分の基準
i (ほとんどなし)	軽微なひびわれ(幅0.2mm以下)、または表面のスケーリングで進行性ではない
ii (軽度)	表面に小さなひびわれ(幅0.3mmぐらいまで)、ポップアウト、または中程度までのスケーリング(深さ10mmぐらいまで)
iii (中度)	ひびわれ幅が大きい(0.3mm以上)、または強度のスケーリング、脆弱化、剥離がある、深さ20mmぐらいまでの劣化
iv (やや重度)	鉄筋付近までのひびわれ、浮き、剥離、脆弱化や激しいスケーリング、深さ30mmぐらいまでの劣化
v (重度)	コンクリートが浮き上がり、剥離も著しく、脆弱部も深い(30mm以上)、鉄筋も断面欠損している

注:劣化度 I~Vは1~5と表記する

表-6 RILEMによる評価³⁾

劣化度	評価点	区分の基準
軽度	1	表面のモルタルのみ損失の場合
中程度	2	粗骨材の間のモルタルも損失の場合
やや重度	3	粗骨材のまわりのモルタルがなくなってコンクリートの表面から骨材が完全に露出している状態
重度	4	粗骨材を含めてコンクリートがなくなった場合

表-7 ASTMによる評価⁴⁾

評価点	評価点表面の劣化状況	(参考)RILEMによる評価点
0	剥離なし	-
1	粗骨材の露出なし、深さ3mm以下の剥離	1
2	評価1と評価3の中間程度の剥離	2
3	粗骨材がいくつか露出する程度の剥離	3
4	評価3と評価5の中間程度の剥離	
5	粗骨材が全面露出する程の激しい剥離	4

※文章から読み取れる対応関係

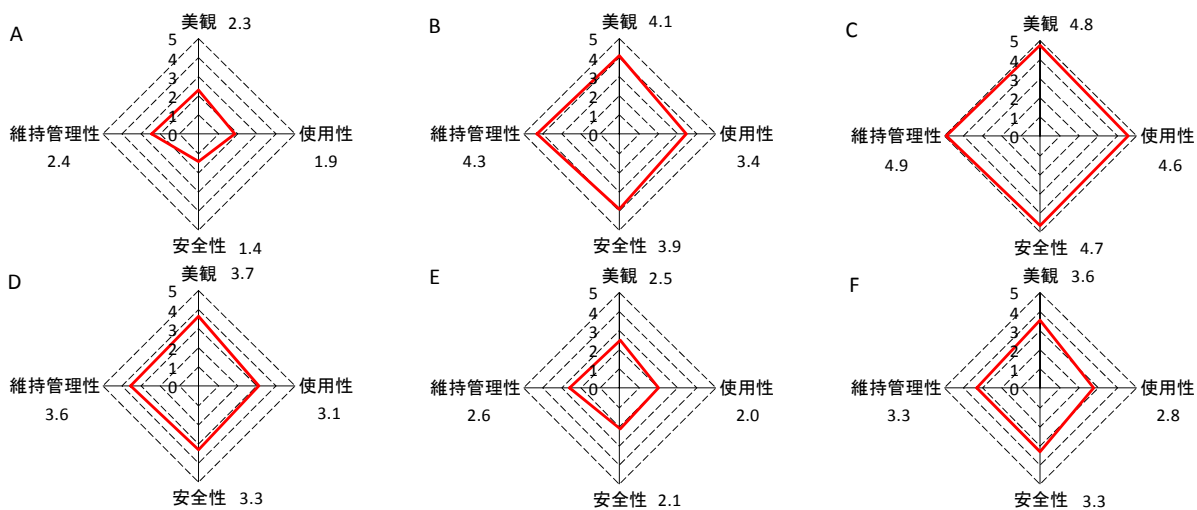
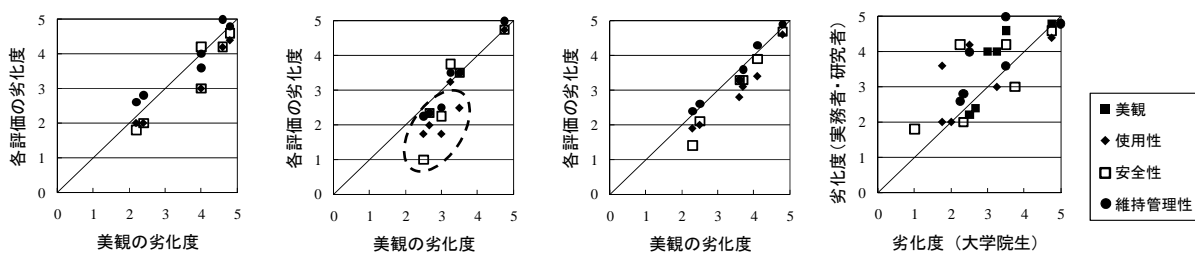


図-2 各構造物の劣化度



(1) 実務者・研究者

(2) 大学院生

(3) 全体

図-3 美観の劣化度と他の評価項目の劣化度との関係

図-4 劣化度に及ぼす評価者の影響

ものであり、他の構造物と比べると比較的新しいこと、平成 14 年に修復が行われていることなどのためと考えられる。ただし、写真-1 の (1) のように構造物の下部の水がかり部分では若干の汚れ、スケーリングやひび割れなどの劣化がみられた箇所もあった。構造物 B は、平成 9 年、11 年、19 年に 3 回補修が行われたものであるが、全体的に劣化度が高く、劣化が進んでいるとの評価結果となっている。特に写真-1 の (2) にみられるように橋脚の排水管付近において劣化が激しく、スケーリングおよび鉄筋の露出がみられた。この原因として、排水管からの水の供給および融雪剤の使用の影響が考えられる。構造物 C においては、どの評価項目もかなり高い劣化度と評価されており、写真-1 の (3) のように激しいスケーリングや多くの鉄筋の露出および腐食がみられたことからこのような評価となったと考えられる。この構造物は昭和 22 年に建設されて供用開始後 60 年以上経過し、かなり古い構造物であること、現在は使用されていない構造物であるために管理がされていないことが劣化を進行させる原因となったと考えられる。構造物 D では、全体的に中程度の劣化度の評価となっている。しかし、隅角部の損傷が激しく、また写真-1 の (4) にみられるように手すり取付け部分のディテールの不良によるひび割れの発生やスケーリングなどがみられた。構造物 E では、それぞれの劣化度は低く評価されており、構造物として健全であると考えられる。劣化としては、写真-1 の (5) のように表面全体に軽度のスケーリングがみられた。構

造物 F の評価は、どの評価項目も中程度の劣化度となっている。しかし、RC 床版下部では写真-1 の (6) にみられるひび割れや剥落がみられ、部分的には激しい劣化が見られた。また、美観が他の評価項目より高い劣化度となっているが、これは排水管から橋脚へ水が垂れることによる汚れ、および鉄筋の露出がみられたことなどが要因と考えられる。

図-3 に美観の劣化度と他の評価項目の劣化度との関係を示す。(1) に示す実務者・研究者は、美観および他の評価項目に対してほぼ同等の劣化度と評価する傾向が見られた。一方、(2) に示す大学院生は、美観の劣化度が 2~3 の間にある点線で囲まれた部分において、他の評価項目に比べて美観の劣化度を高く評価する傾向が見られた。(3) の評価者全体でみると、美観が他の評価項目に比べやや高い劣化度と評価する傾向となっている。これは、ひび割れやスケーリングなどの構造物の劣化がまず構造物の外観に影響を与えているためだと考えられる。

図-4 に劣化度に及ぼす評価者の影響を示す。全体として実務者・研究者は大学院生に比べ劣化度を高く評価する傾向が見られた。このことから実務者・研究者は大学院生に比べ、構造物の劣化に関して厳しく評価しており、評価者のコンクリートに関する経験などにより構造物の劣化に対する評価が変化することが考えられる。しかし、今回の調査では評価者の人数が少なく明確なことが言えないため、今後さらにデータを蓄積する必要があると考えられる。



写真-1 各構造物の劣化状況

3.2 部材ごとの評価結果

図-5 に構造物の部材ごとの評価について示す。ここでは構造物全体の評価のときと同様に劣化度は表-5 のローマ数字からアラビア数字に置き換えて示してある。それぞれの構造物についてみていくと、構造物 A の各部材については、劣化度が低く評価されており、構造物全体の評価と同じように補修がされていること、他の構造物に比べ新しいことなどから構造物として健全であると考えられる。構造物 B の部材では、部材 1 と部材 2、部材 3 では劣化度の評価に差があり、部材 2、部材 3 ではかなり劣化が進んでいると考えられる。これは、部材 2、部材 3 が写真-1 の (2) の橋脚部に位置しているため、排水管からの水分などによって劣化が進行したと考えられる。構造物 C の部材の劣化度は、かなり高く評価されており、写真-1 の (7) にみられるスケーリング、鉄筋の露出やコンクリートの剥落などが影響していると考えられる。構造物 D は、部材により劣化度の評価にかなりの差が出ている。これは評価した部材がスケーリングにより写真-1 の (8) に示す隅角部が剥落した部材と北側に面した軽度のスケーリングが起きた部材の 2 か所としたため劣化度が異なる評価となったと考えられる。構造物 E では、補修された部分を評価したため比較的低い劣

化度の評価となっている。構造物 F では、どの部材も低い劣化度の評価となったが、写真-1 の (9) にみられるように排水管から流れてくる水によってその付近の汚れが目立つ、鉄筋の露出がみられる、また RC 床版下部ではコンクリートが剥落しているなどの劣化もみられた。これは、劣化が認められるものの、それぞれの部材は部材として健全であると評価されたと考えられる。

図-6 に部材の劣化度と美観・安全性の劣化度との関係について示す。(1) の実務者・研究者、(2) の大学院生において、それぞればらつきはあるものの、一般に部材の劣化度が高いほど美観および安全性の劣化度も高くなる傾向が見られた。また、部材の劣化度が比較的低い場合でも構造物全体となると劣化度が大きい傾向が見られた。構造物全体の評価には、劣化度の最も高い部材が影響を与えていることが原因であると考えられる。(3) の評価者全体において、美観の評価と安全性の評価の比較をすると、一般に同じ部材の劣化度であっても構造物全体の評価では、美観の方が安全性よりも大きな劣化度となった。これは、今回の構造物全体の評価は、補修の可否の視点で行っており、同じ部材の劣化度でも美観の観点からは補修の必要性がより高く評価されるためと考えられる。

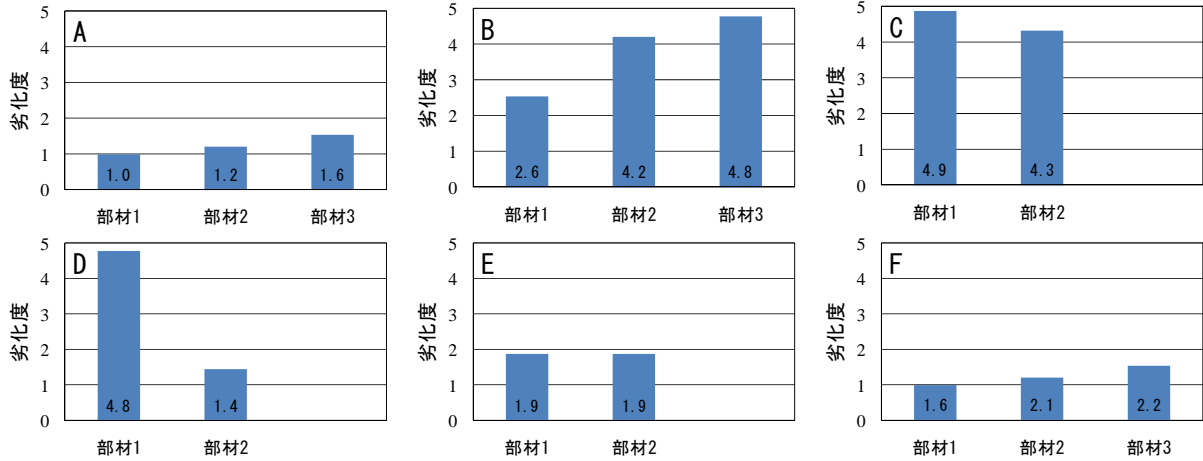


図-5 部材ごとの評価

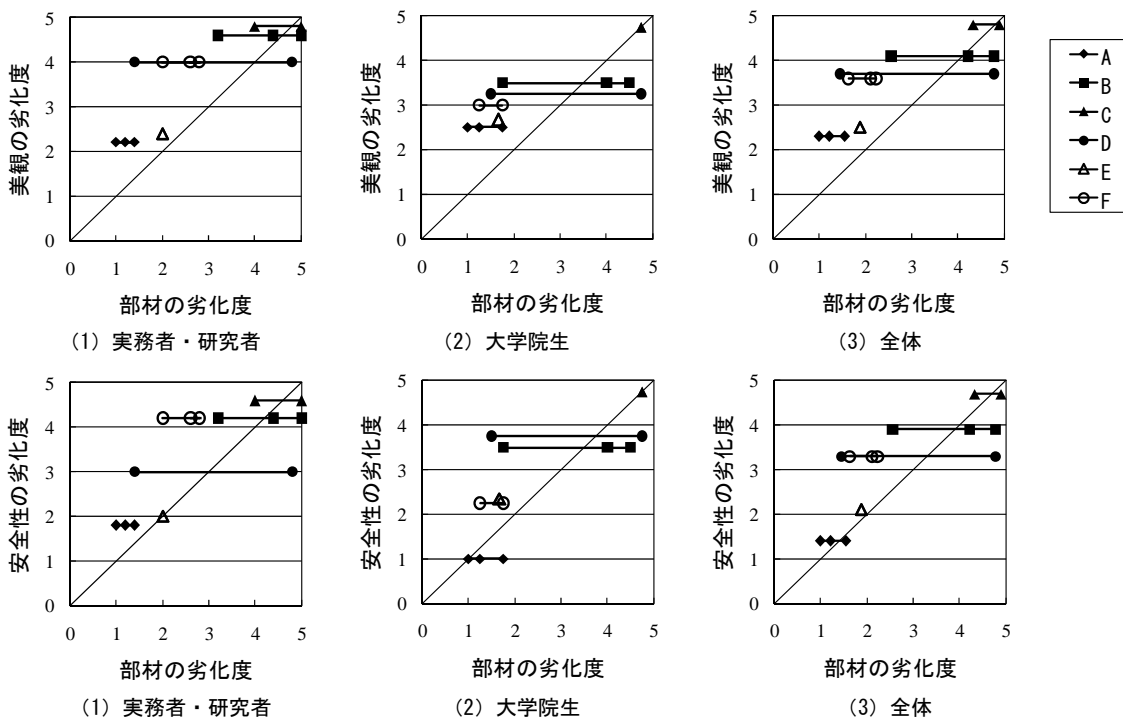


図-6 部材の劣化度と美観・安全性の劣化度との関係

3.3 スケーリングに関する評価

図-7にスケーリングの評価について示す。RILEMによる評価点とASTMによる評価点の間には良好な相関がみられ、表-7に示すRILEM・ASTMによるそれぞれのスケーリングの劣化の程度における評価はほぼ対応していることがわかる。

図-8にスケーリング深さの推定値と実測値との関係を示す。また、推定スケーリング深さは光沢度から推定するものとして式(1)、式(2)によった⁵⁾。

$$\text{LN}(S_m) = (\text{LN}(X) - 9.6) / 0.74 \quad (1)$$

$$S_d = 5.3S_m \quad (2)$$

ここに、X：光沢度 (%)

S_d：平均スケーリング深さ (mm)

S_m：スケーリング量 (g/cm²)

なお、点線で囲まれた2点はスケーリング深さではな

く、コンクリートが剥落したことによる損傷部分だと考えられるため今回の考察から除外している。光沢度から求めた推定スケーリング深さと実測スケーリング深さは、比較的よい相関がみられた。このことから、今回用いたスケーリングの測定方法によれば、実用上十分にスケーリング深さを把握できると考えられる。

図-9にRILEM・ASTMによる評価とスケーリング深さとの関係を示す。RILEMの評価におけるスケーリングの劣化の程度とスケーリング深さの推定値および実測値はほぼ対応しており、目視によってスケーリングの評価が可能であると考えられる。ここで、スケーリングの評価は、部材の劣化度評価である表-5の中に含まれているが、以上の結果より物理量を比較的精度よく評価できていると、目視だけでも実用上十分に劣化度評価が可能であると考えられる。

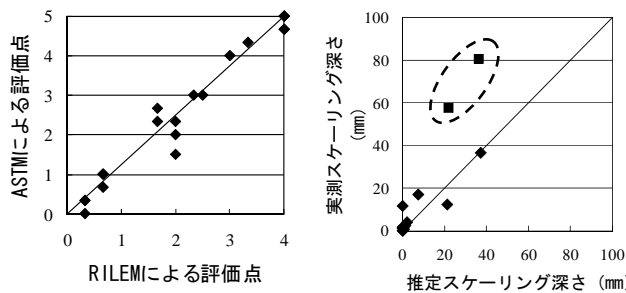


図-7 スケーリングの評価

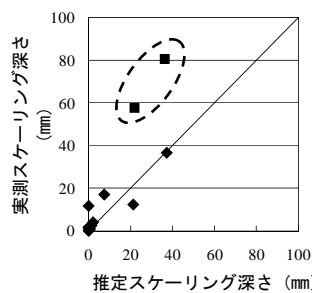


図-8 スケーリング深さの推定値と実測値との関係

4. まとめ

- (1) 構造物全体の劣化度について、劣化度の大小にかかわらず、美観・使用性・安全性・維持管理性は同様の評価となる。
- (2) 構造物全体の劣化度について、実務者・研究者は大学院生に比べ劣化度を高く評価しており、経験によって評価が変化する。
- (3) 同じ部材の劣化度であっても、構造物全体の評価では、安全性よりも美観の劣化度が高い評価となる。
- (4) 機器を用いて測定したスケーリング深さと目視による評価は良好に対応しており、目視によってスケーリングの評価が可能である

謝辞

本研究は、J C I 北海道支部「凍害と耐久性設計研究委員会」の活動の一環として行われた。協力いただいた委員各位、特に林田宏、遠藤裕丈、内藤勲、梅木宏也、朝倉啓仁、田畑雅幸、および調査に参加した北海道大学大学院生各位に謝意を表します。

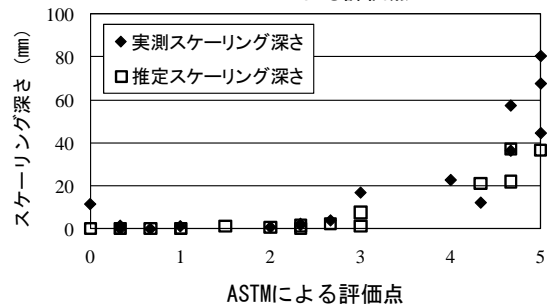
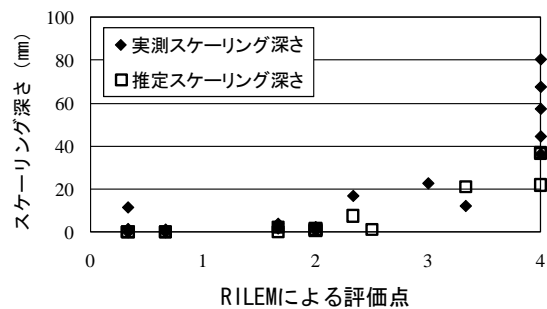


図-9 RILEM・ASTMによる評価とスケーリング深さとの関係

参考文献

- 1) 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術, 技報堂出版, 1986.6
- 2) 凍害と耐久性設計研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会北海道支部, pp.42-56, 2008.10
- 3) 洪悦郎: コンクリートの凍害, コンクリート工学, Vol.13, No3, pp.33-44, 1975.3
- 4) ASTM Standard C672, Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, pp.341-343
- 5) 長谷川拓哉ほか: 光沢度計によるスケーリング測定手法の検討, 日本建築学会北海道支部研究報告集 No.82, pp.1-4, 2009.7