

機関番号：32665  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2009～2010  
 課題番号：21760365  
 研究課題名（和文）塩分環境下におけるスケーリングを受けた既設コンクリートの劣化度評価  
 手法の開発  
 研究課題名（英文）Development on evaluation method of existing concrete deterioration  
 subjected to scaling under chloride environment  
 研究代表者  
 子田 康弘（KODA YASUHIRO）  
 日本大学・工学部・准教授  
 研究者番号：40328696

研究成果の概要（和文）：既設コンクリートのスケーリングによる表層部の劣化度評価を目的とし、スケーリングによって劣化した RC 構造物表面コンクリートの劣化度を定量的に評価する手法を開発した。その結果、鉄筋の有無、鉄筋量によりスケーリング劣化の進行が異なること、実 RC 部材のスケーリング測定より平均スケーリング深さが増加すると局所的にも深くスケーリングが進行することを明らかにした。また、平均スケーリング深さと最大スケーリング深さを求めることで将来のスケーリング劣化が予測可能なことを示した。

研究成果の概要（英文）：This study aimed that the evaluation of the deteriorated existing concrete surface subjected to scaling was developed. Therefore, a quantitative evaluation method for deterioration surface of RC structures was devised. The experimental results revealed that a deterioration process of scaling was depended by existence of a reinforcing bar and an area of reinforcement. Further, it was recognized that an average scaling depth and a maximum scaling depth were in proportion to each other by the measurement of scaling for RC members. In addition, it was possible to predict deterioration process of scaling by measuring the average scaling depth and the maximum scaling depth.

#### 交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |
| 2010年度 | 800,000   | 240,000 | 1,040,000 |
|        |           |         |           |
|        |           |         |           |
| 総計     | 2,400,000 | 720,000 | 3,120,000 |

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：凍害、融雪剤、スケーリング劣化、RC部材、スケーリング深さ、劣化予測

#### 1. 研究開始当初の背景

近年、寒冷地の沿岸地域や融雪剤の大量散布を受ける地域の既設コンクリート構造物は、凍結融解の繰り返しと塩化物の供給により、図-1に示すスケーリングが顕在化している。

スケーリングは、コンクリート表面がフレック状にはく離し、粗骨材が露出すると

いう表層部の劣化が特徴である。スケーリングによる表層部の劣化は、深さ方向に進行するもので、まず、表面のモルタル分がはく離し、次いで粗骨材の露出、さらにははく落というように、コンクリートの損失と美観の低下が生じるものである。この劣化を放置すると、断面の欠損や鋼材腐食の加速化といった構造物の安全性能に影響を及ぼす損傷を与

えるまでに進行すると言われている<sup>1)</sup>。このような劣化は、増々加速すると予測され、適切な補修対策を実施することが今後不可欠となる。これを実現するには、塩分環境下の既設コンクリート構造物の劣化状態を把握すると共に、劣化が耐久性に及ぼす影響を適切に評価する必要がある。しかしながら、スケーリングにより劣化した実構造物の劣化状況に関するデータは不足しており、その蓄積が強く望まれる。



図-1 融雪剤による橋台のスケーリング<sup>1)</sup>

スケーリングによる表層部の劣化過程<sup>2)</sup>は、軽度から中程度のスケーリングによって表面のモルタルのはく離および粗骨材の露出が生じ、これ以降では粗骨材のはく落が生じる。我が国では、このようなスケーリングに対するコンクリートの抵抗性に関する評価を RILEM CDF や ASTM C672 といった諸外国で規格化されている凍結融解試験方法を準用し評価を行っている。これら試験法は、スケーリングによる損失質量や粗骨材の露出状況の評価するため、スケーリング量の増加傾向や目視レーティングによる表面の劣化度を評価項目としている。しかしながら、コンクリート構造物のスケーリングによる劣化調査を考える場合、調査時には既に劣化が始まっていることが多く、劣化初期からの評価が困難であり、はく離するモルタル分は風雨等で消失するためこれを回収することも困難である。一方、目視レーティングは簡便な調査方法と言えるが定性的であり、定量的な評価方法とは言い難い。

図-2 は、主なスケーリング評価指標の室内試験と現地調査における項目を示した図である。図に示すように、室内試験では、スケーリング抵抗性の評価が可能であるが、現地調査は目視による劣化度の評価に頼る方法に限られる。換言すると、スケーリングによる表層部の劣化評価は、前者が定量的な評価である一方で、後者はまだ定性的な評価の段階にあると言え、両者の評価レベルが乖離していると考える。融雪剤によるスケーリングの劣化機構の究明を行ってきた研究成果<sup>3)</sup>より、美観に影響を

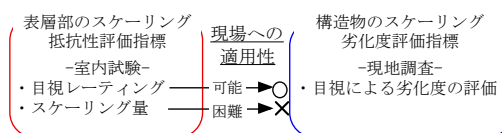


図-2 室内試験と現地調査におけるスケーリング評価指標

与える粗骨材露出面積率とスケーリング量の関係は、打込み方向の影響を大きく受け、美観の低下とコンクリートの損失量は必ずしも一致しないことを明らかにした。つまり、コンクリート構造物の劣化度を評価する場合は、両者の関係の把握が重要であると考えられた。このように、実験室レベルにおけるスケーリング劣化の解明は精力的に行われているものの、既設コンクリート構造物のスケーリングにより劣化したコンクリート表層部の定量的な評価方法は確立されていない現状にある。

## 2. 研究の目的

本研究は、既設コンクリートのスケーリングによる表層部の劣化度評価として、スケーリングによる表層コンクリートの損失を定量的に測定する手法を開発し、既設コンクリートのスケーリング劣化度評価を行うことを目的とした。

具体的には、本学所有の大型環境試験装置を用い、融雪剤散布環境下を想定した RC 部材の凍害促進試験とこの試験により生じるスケーリング劣化性状を定量的に評価するための測定方法の考案を行った。実験では、RC 供試体の試験対象面(以下、試験面と記す)に 3%NaCl 水溶液を湛水させた状態で +20℃ から -20℃ までの凍結融解作用を与える試験を実施した。RC 部材のスケーリング劣化の評価は、従来のスケーリング量に加え、スケーリングにより発生したコンクリート表面の凹凸を新たに考案した装置により測定し、スケーリング深さを求めることで行った。なお、スケーリング深さを指標とした理由は、実 RC 部材のスケーリング劣化性状をスケーリング量で表すことは事実上不可能であり、中性化における中性化深さや、塩害における塩分浸透深さのように、「深さ」に着目し元の断面からの劣化の進行深さを指標にすることを考えたことによる。つまり、スケーリング深さを指標とすることにより、部材の中央部と端部、鉄筋位置等様々な構造的要因がスケーリングに及ぼす影響を明らかにすることができる考えたものである。次に、上記で検討したスケーリング深さ測定手法とその評価方法を実 RC 部材へ適用し、スケーリング劣化の程度を現地で測定する方法の構築と、その劣化度を定量的に評価した。

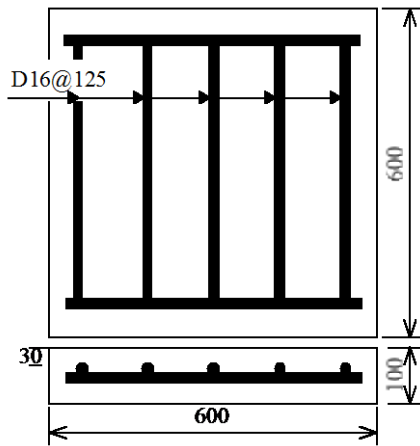


図-3 供試体形状

### 3. 研究の方法

#### 3.1 室内実験によるスケーリング深さ測定手法の開発

##### 1) 供試体の概要

本実験に用いた供試体を図-3に示す。図より、供試体の形状は、長さを600mm、幅を600mm、厚さを100mmとした正方形の版状供試体であり、試験面は600mm×600mmの範囲である。使用した鉄筋は、SD295A D16であり、かぶりを30mmとして、125mm間隔で配置した。コンクリートの配合は、水セメント比(W/C)が64.8%、細骨材率(s/a)が47.2%、粗骨材の最大寸法( $G_{max}$ )が20mmである。なお、材齢28日の圧縮強度は、26.2MPaであった。

実験条件は、鉄筋の有無と打込み方向に対する試験面の位置である。具体的には、打込み面を試験面とした無筋の供試体(以下N)とRC供試体(以下T)、また、試験面を打込み底面および打込み側面としたRC供試体(以下BとS)の計4条件である。なお、本実験開始時の供試体の材齢は、102日である。

##### 2) 凍害促進試験方法

凍害促進試験は、融雪剤の供給方法にASTM C-672の湛水法を採用し、試験面に3%のNaCl溶液を深さ6mmまで注いだ状態で行った。また、凍結融解サイクルは、RILEM-CDF法に準じて+20°C~-20°Cの範囲で1日2サイクルとし、120サイクルまで行った。

測定項目は、従来の供試体表面から離したコンクリート片を供試体断面積で除して求めたスケーリング量と、本研究で新たに考案した試験面の凹凸測定より求めるスケーリング深さである。

##### 3) スケーリング深さ測定装置の概要

スケーリングによる凹凸は、図-4に示すように、本研究のために開発した装置を用いて測定した。その仕組みは、Z方向(鉛直)

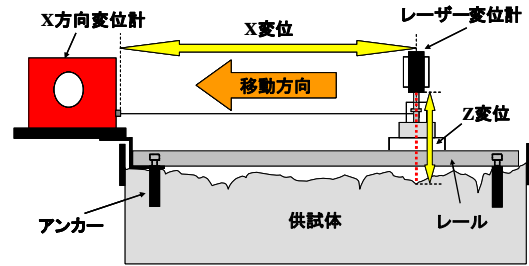


図-4 スケーリング深さ測定装置の概要



図-5 調査対象の凍害橋梁

の変位をレール上のレーザー変位計(精度1/1000mm)で、移動量をX方向(水平)の変位計(精度1/100mm)により測定した。なお、凹凸の測定は、各供試体とも5測線で実施し、測線の間隔を125mmとした。

#### 3.2 スケーリング劣化を受けた実RC部材の劣化度評価

##### 1) 調査対象橋の概要

今回調査を行った橋梁は、図-5に示す1935年に建設され、76年経った現在も凍結融解による凍害の影響を受け続けている橋梁である。橋梁形式は、上部構造形式がRCのT桁橋で3径間からなり、下部構造形式は壁式橋脚である。

##### 2) スケーリング測定方法

現地調査では、図-4に示したスケーリング深さ装置を図-6に示すように、調査橋梁の橋台に取り付けスケーリング深さを測定した。スケーリング深さ計測は、スケーリングが発生していない箇所を通るように測定長470mmで5測線(L-1~L-5)を行った。なお、現地調査はこの他にシュミットハンマーによる推定圧縮強度の測定とトレント法による透気試験を行った。

### 4. 研究成果

#### 4.1 RC供試体のスケーリング劣化評価

##### 1) 凍害促進試験結果

図-7は、スケーリング量とサイクル数の関係を示した図である。図より、TとBは、共に初期のスケーリング進行が遅く次第に増加する傾向であった。一方、Sは、40サイクルまでは他の供試体よりもスケーリングの



図-6 スケーリング深さ測定状況

進行が著しいが最終的には T, B と同程度のスケーリング量になった。また, N は, 30 サイクルまで T, B と同様の傾向であったが, 40 サイクルを境にスケーリング量の増加が著しくなり, 最終的に他の供試体よりもスケーリング量が多くなる結果であった。これより, RC 供試体は, 無筋供試体よりもスケーリング劣化の進行の程度が遅くなることが明らかになった。

2) スケーリング深さによるスケーリング劣化評価

図-8 に, 凍結融解サイクルの増加に伴うスケーリング深さの変化を示す。この図は, 1 測線の変化を示している。ここで, スケーリング深さは, 0 サイクルの測定値を一律 0mm とし, これを基準にした同一点の変位量で表している。なお, Y 方向(奥行き方向)でスケーリング深さに極端な違いはなかった。図より, まず, 今回考案したスケーリング深さの測定装置により, スケー

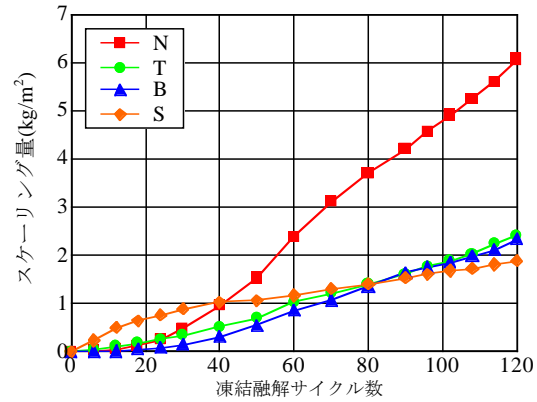
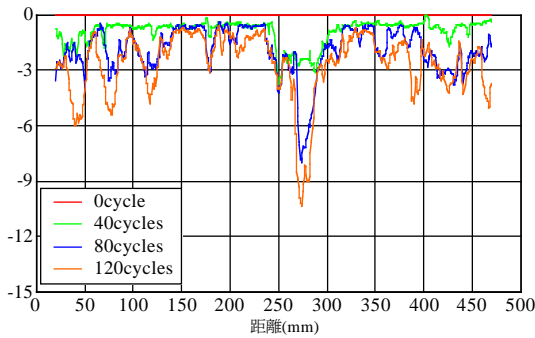
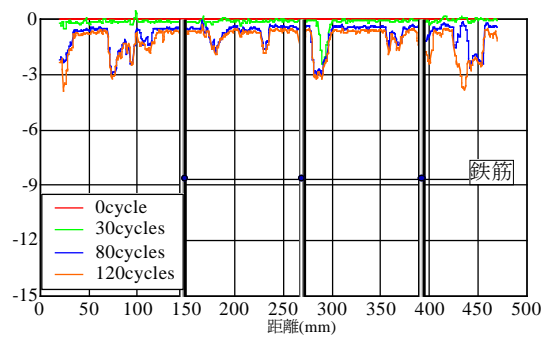


図-7 スケーリング量の測定結果

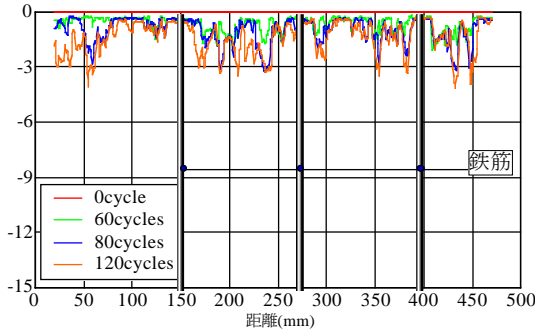
リングの進行によるコンクリート表面の凹凸の変化を詳細に捉えることができている。この測定結果より, 打込み面を試験面とした供試体(N と T)を比較すると, 前述の通り, T は N に比べ, 明らかにスケーリングが抑制されており, 特に鉄筋上においてスケーリングが抑制される傾向を示した。同様に, B においても鉄筋上でスケーリングが抑制される傾向にあった。一方, S については, T, B ほど鉄筋上のスケーリングの抑制は見られなかった。また, N と T は, 図-8 より所々深くスケーリングが進行しているところとほとんどスケーリングが進行していないところに分かれる傾向を示したのに対し, B と S は, 全面に渡りほぼ均等にスケーリングが進行する傾向を示した。これらの傾向は, 試験面を打込み面とした場合, プリーディングの影響で表面はモルタル分が卓越し, 骨材がほとんどないため凍結膨張に伴う膨張圧が



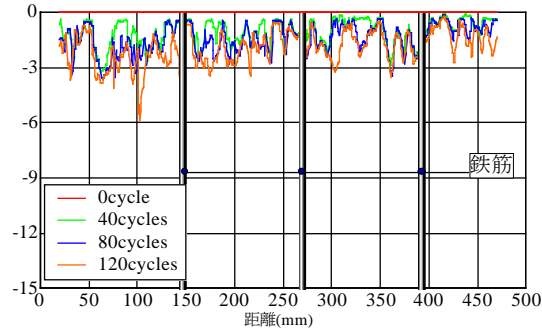
(a) N



(b) T



(c) B



(d) S

図-8 スケーリング深さの測定結果

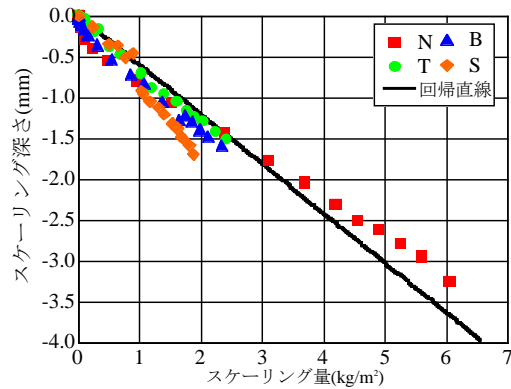


図-9 スケーリング深さとスケーリング量

骨材による反力を受けないこと、一方、打込み底面および側面では締め固め時に骨材が表面付近に集中するため、供試体表面と骨材との間のモルタル分が凍結膨張によりはく離しやすい状態になっていることが一因と解釈している。

図-9は、スケーリング量と平均スケーリング深さの関係である。図より、実験条件に関わらず、多少のばらつきはあるものの両者の関係は、ほぼ直線上にある。これより、本研究で考案したスケーリング深さ測定方法は妥当であると判断され、従来のスケーリング量による評価と同様にスケーリング劣化を評価する指標になり得ると判断された。

#### 4.2 実RC部材のスケーリング劣化評価

まず、調査対象橋梁のコンクリートの状態を述べる。現地調査で実施したシュミットハンマーによる推定圧縮強度は、橋脚が23N/mm<sup>2</sup>、橋台は35N/mm<sup>2</sup>であった。つまり、極端にコンクリート強度が低いためにスケーリングが顕在化していたとは言い難いと判断された。しかし、透気試験の結果は、2.39~55.4(×10<sup>-6</sup>m<sup>2</sup>)とバラつきはあるがその値は透気性グレード5(極劣)<sup>4)</sup>であり、表層付近の物質透過抵抗性が劣るという結果を得た。この透気係数は、供用開始時点からの値かは判断できないが、現時点のコンクリートは水分を吸収しやすくスケーリングがより進行する状態と考えられる。

図-10は、スケーリング深さ測定の結果を示す一例である。この図では、スケーリングが発生していない箇所をスケーリング深さ0mmとしている。図より、スケーリング深さは、最大で約25mmに達する箇所もあり、20mm以上のスケーリング深さが測定距離で150mm生じるような激しいスケーリング劣化であった。また室内実験と同様の精度でスケーリング深さが測定可能なことを確認した。

図-11に、スケーリング深さ測定データ

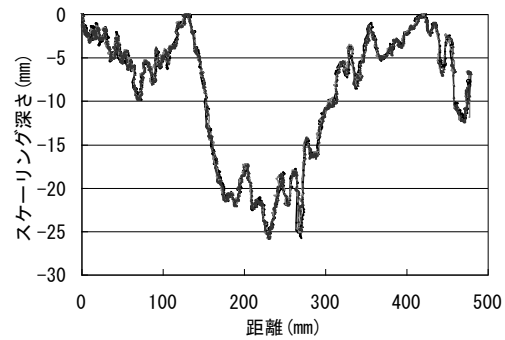


図-10 スケーリング深さ測定結果(L-2)

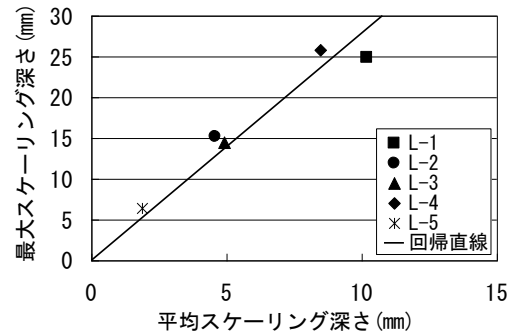


図-11 平均スケーリング深さと最大スケーリング深さの関係

を基に求めた各側線の平均スケーリング深さと最大スケーリング深さの関係を示す。図より、平均スケーリング深さと最大スケーリング深さの関係は、ほぼ比例関係にあり、平均スケーリング深さが10mm程度で深さ25mmにスケーリングが進行している箇所もあることがわかる。つまり、平均スケーリング深さが増加するとこれとともに局所的にもスケーリングが深く進行すると言え、かぶりコンクリートからの塩化物といった劣化因子の侵入を考えるとスケーリング劣化の評価は両者の進行の程度を評価することが重要であると考えられる。

図-12には、今回の測定結果より、調査橋梁のスケーリング劣化の進行を推定するため、平均および最大のスケーリング深さと供用年数の関係を示した。ここでは、供用年数0年をスケーリング深さ0mmとし、供用現在の76年目の測定結果と線形関係にあると仮定している。なお、調査橋梁のかぶり厚が不明なためスケーリング深さの鋼材位置到達年数は評価ができない。図より、かぶり厚を30mmとした場合、平均スケーリング深さは供用年数100年を過ぎても30mmには達しないが、最大スケーリング深さは供用年数約80年で鋼材位置に到達するということがわかる。このように、スケーリング深さを実RC部材に適用することで現在や今後の劣化状況の評価することが可能になり、測定を定期的実施することでRC部材のスケーリン

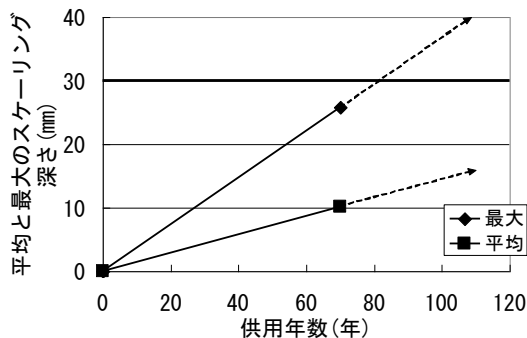


図-12 平均および最大スケーリング深さと供用年数の関係

劣化予測がより正確に行なえると考えられる。

#### 4.3 まとめ

本研究成果を要約すると下記の通りである。

- (1) 大型環境試験装置を用いて RC 部材の凍害促進試験方法を考案し、RC 部材のスケーリング劣化を従来のスケーリング量に加え、スケーリング深さにより定量的に評価した。
- (2) 新たに考案したスケーリング深さの測定方法は、スケーリング量の変化と比例関係にあり、この方法の妥当性が示された。
- (3) 鉄筋の有無や試験面の違いは、RC 部材のスケーリング劣化の進行に影響を及ぼした。
- (4) 本実験の範囲では、RC 部材のスケーリング劣化性状が局所的な劣化と比較的均等な劣化に大別されることが示された。
- (5) 実 RC 橋梁のスケーリング劣化状態を現地で測定し、その劣化度を評価した。
- (6) 室内実験同様の精度でスケーリング深さが測定できることを確認した。
- (7) 測定値を基に平均スケーリング深さと最大スケーリング深さを求めることで、将来のスケーリング劣化の進行が予測可能と判断された。

今後は、3次元レーザー変位測定によりスケーリング深さ測定方法を合理化し、実用的な手法に発展させる予定である。

#### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究委員会報告書，2008
- 2) 洪悦郎：コンクリートの凍害，コンクリート工学，Vol.13，No.3，1975.
- 3) 子田康弘，岩城一郎：融雪剤によるコンクリートのスケーリング劣化評価に関する一検討，セメント・コンクリー

ト論文集，No.60，pp.367-373，2006

- 4) 岸利治・秋山仁志・井上翔・吉田亮：現地調査による歴代既存コンクリート構造物の表層品質相互比較，生産研究，Vol.60，No.5，pp.508-511，2008

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ①子田康弘，岩城一郎，中村 晋：大型環境試験装置を用いた RC 部材の凍害促進方法の考案に関する実験的検討，日本大学工学部紀要，Vol.1，pp.1-4，2009(査読有)
- ②子田康弘，岩城一郎：大型環境試験装置を用いた RC 部材のスケーリング劣化に関する実験的検討，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.383-390，2010(査読有)

[学会発表] (計 2 件)

- ①子田康弘，岩城一郎，中村 晋：大型環境試験装置を用いた RC 部材のスケーリング劣化評価に関する検討，土木学会第 64 回年次学術講演会，pp.469-470，2009.9
- ②大野孝明，子田康弘，岩城一郎：大型環境試験装置による RC 部材のスケーリング劣化に関する検討，平成 21 年度土木学会東北支部技術研究発表会，V-5，2010.3.6
- ③子田康弘，溝口知広，岩城一郎，若林裕之：凍害を受けた実 RC 部材のスケーリング評価手法の構築に関する検討，平成 22 年度土木学会東北支部技術研究発表会，V-13，2011.3.5

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

子田 康弘 (KODA YASYHIRO)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：40328696