

## コンクリートのスケーリング評価試験法に関する基礎的研究

# Fundamental Study on Test Method for Evaluating Scaling Resistance of Concrete

吉田 行 安中 新太郎

YOSHIDA Susumu and YASUNAKA Shintaro

近年、積雪寒冷地では、塩化物系凍結防止剤等により凍害が促進されて生じるスケーリング劣化が顕在化しており対策が必要となっている。適切な対策を講じるには、コンクリートのスケーリング抵抗性を適切に評価可能な試験法が必要となるが、現在日本においては、スケーリング抵抗性を評価する標準的な試験法は規定されていない。本研究では、スケーリング抵抗性の評価試験法の確立に向けて、試験前の養生条件がスケーリング量に及ぼす影響と耐凍害性評価の標準試験法であるJIS A 1148 A法によるスケーリング評価の可能性について検討を行った。

その結果、スケーリング試験における試験前の養生条件がスケーリング量に影響を及ぼすこと、およびJIS A 1148 A法による質量減少率は、海外の既存スケーリング試験法によるスケーリング量と比較的高い相関があり、JIS A 1148 A法により既存の試験装置を活用して短期間にスケーリング抵抗性を評価できる可能性があることを確認した。

《キーワード：スケーリング；養生条件；評価試験法；ASTM C672；RILEM CDF；JIS A 1148》

Recently, a scaling deterioration of concrete structures becomes apparent under snowy and cold regions, because the scaling deterioration due to freeze-thaw action is accelerated by chlorides such as anti-freezing agent. Therefore the countermeasures for the salt scaling deterioration are required. To take appropriate measures, a test method that can evaluate properly the salt scaling resistance of concrete is required. However, the standard test method for the salt scaling resistance of concrete dose not regulated now in Japan. In this study, to regulate the standard test method for the salt scaling resistance of concrete, the effect of curing conditions for specimen before the scaling test on the amount of scaling was examined. Besides, a study on the possibility of evaluating scaling resistance using the test method for resistance of concrete to freezing and thawing in accordance with JIS A 1148 A method, which is a standard test method for evaluating frost damage resistance was conducted.

It was found that curing conditions for specimen before the scaling test affects the amount of scaling, and that the mass loss rate by the JIS A 1148 A method has a relatively high correlation with the amount of scaling using the existing overseas scaling test method. From these results, it was confirmed that there is a possibility that the scaling resistance can be evaluated in a short time by JIS A 1148 A method using the existing test device.

《Keywords：Scaling；Curing Condition；Evaluating Test Method；ASTM C672；RILEM CDF；JIS A 1148》

## 1. はじめに

近年、積雪寒冷地では、塩化物系凍結防止剤等により凍害が促進されて生じるスケーリング劣化が顕在化しており、スケーリングを抑制するための対策が必要となっている。実効性の高い対策を講じるには、コンクリートのスケーリング抵抗性を適切に評価する必要があるが、現状においては、スケーリング抵抗性を評価する標準的な試験法がJISで規定されておらず課題となっている<sup>1)</sup>。

スケーリング抵抗性の評価試験法として日本での研究実績が多いASTM C672による試験方法（以下、ASTM法と記述）とRILEM CDF試験（以下、CDF法と記述）は、凍結融解時の温度履歴や試験水の供給方法が異なっているだけでなく、供試体の試験前養生条件や試験対象面も異なる。ASTM法とCDF法によるスケーリング量を比較検討している研究<sup>2), 3), 4)</sup>も行われており、各試験方法によるスケーリング量には直線的な関係があるものの、養生を含めた試験前の供試体の条件を揃えた場合でもスケーリング量には差異が生じ、それぞれの試験法で定められた給水方法の違いや凍結融解の温度条件の違いによるとする報告がある。しかし、どちらの試験方法でスケーリング絶対量が多くなるかについては研究結果により異なっており、必ずしも統一的な評価がなされていない状況にある。

一方、コンクリートの耐凍害性を評価する試験法として標準的に行われているJIS A 1148 A法（以下JISA法と記述）による質量減少率と上記スケーリング試験結果を比較検討する報告<sup>2), 3), 5)</sup>もあり、質量減少率とスケーリング量に一定の関係性が見られるとする報告もある。

本報告では、スケーリング抵抗性を評価する標準的な試験法の確立に向けて、試験前の養生条件が既存試験法のASTM法とCDF法によるスケーリング量に及

ぼす影響と両試験によるスケーリング量の関係を整理するとともに、試験装置の普及の程度や試験の効率性の観点からJISA法によるスケーリング評価手法としての可能性について基礎的な検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2. 1 使用材料および配合

セメントは、普通ポルトランドセメント（密度3.16g/cm<sup>3</sup>、比表面積3,420cm<sup>2</sup>/g、以下、普通セメント（記号N））を主として、試験条件の一部では高炉セメントB種（密度3.05g/cm<sup>3</sup>、比表面積3,750cm<sup>2</sup>/g、以下、高炉セメント（記号B））を用いた。細骨材は、苫小牧樽前産の海砂（密度2.70g/cm<sup>3</sup>、吸水率0.90%、粗粒率2.82）を、粗骨材は、小樽市見晴産碎石（密度2.68g/cm<sup>3</sup>、吸水率1.72%、粗骨材最大寸法25mm）を用いた。また、スランプと空気量を調整するために、AE減水剤（リグニンスルホン酸塩系）とAE助剤（樹脂酸塩系）を適宜用いた。コンクリートの配合を表-1に示す。普通セメントの目標空気量4.5%を中心として、水セメント比は45%、55%、65%の3水準、水セメント比55%では空気量3.0%と6.0%についても検討した。また、比較のため、高炉セメントを用いた水セメント55%、空気量4.5%についても検討した。目標スランプは8.0±2.5cmに設定し単位水量を全配合で統一した。なお、スランプと空気量の実測値は表-1に併記した。

### 2. 2 試験方法と供試体

ASTM法では、-18℃を16時間、23℃を8時間の1日1サイクルで凍結融解作用を与えた。供試体は、220×220×100mmの角柱供試体を用い、1配合当たり3供試体で評価した。ASTM法における供試体の標準的な試験前養生条件は、材齢14日まで湿潤養生（23±2℃）

表-1 配合とスランプ、空気量の実測値

| 記号     | セメントの種類 | 水セメント比 (%) | 目標空気量 (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |        |       |       | AE減水剤 C×% | AE助剤 C×% | 実測スランプ <sup>o</sup> (cm) | 実測空気量 (%) |
|--------|---------|------------|-----------|---------|-------------------------|--------|-------|-------|-----------|----------|--------------------------|-----------|
|        |         |            |           |         | 水 W                     | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G |           |          |                          |           |
| N45A45 | N       | 45         | 4.5       | 43      | 155                     | 344    | 802   | 1056  | 0.05      | 0.0075   | 8.7                      | 4.5       |
| N55A30 |         |            | 3.0       |         |                         | 882    | 1070  | 0.08  | 0.0020    | 8.3      | 2.8                      |           |
| N55A45 |         | 55         | 4.5       | 45      |                         | 282    | 864   | 1048  | -         | 0.0075   | 9.6                      | 4.6       |
| N55A60 |         |            | 6.0       |         |                         |        | 846   | 1026  | -         | 0.0125   | 9.8                      | 6.8       |
| N65A45 |         | 65         | 4.5       | 47      |                         | 238    | 920   | 1030  | -         | 0.0075   | 9.0                      | 4.9       |
| B55A45 | B       | 55         | 4.5       | 45      | 155                     | 282    | 860   | 1044  | 0.07      | 0.0100   | 10.5                     | 5.2       |

後、材齢28日まで14日間気中養生（23±2℃、相対湿度44～55%）である。一方、2017年制定コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕<sup>6)</sup>に示されている湿潤養生期間の標準日数は、15℃以上の場合、普通セメントで5日、混合セメントB種で7日となっている。また後述するCDF法の試験前養生の湿潤養生期間は7日である。本研究では、これら実際の現場における湿潤養生期間とCDF法との比較を考慮し、試験前養生における20℃水中養生期間を材齢7日に統一し、その後温度20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室内で材齢28日まで21日間気中養生することを標準とした。試験面は打込み面（220×220mm）とし、試験面には土手を設けて3%NaCl水溶液を湛水した。スケーリング量は、凍結融解5、10、15、25、35、50サイクルで測定した。

CDF法では、RILEM CDF試験に準じ+20℃から-20℃まで10K/hの定速で4時間冷却し、-20℃を3時間保持後、同じ定速で20℃まで4時間加熱した後、+20℃を1時間保持する、12時間1サイクルで凍結融解作用を与えた。供試体は、100×100×400mmの角柱供試体を中央で切断したものをを用い、1配合当たり2供試体で評価した。供試体の養生は、20℃水中養生を材齢7日まで行った後、温度20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室内で材齢28日まで21日間気中養生した。なお、CDF試験では試験規格に準じて、気中養生後に試験面（打込み面）を下向きにして3%NaCl溶液を7日間吸水（毛管浸透）させてから試験を開始した。試験面はASTM法と同様に打込み面とし、スケーリング量は凍結融解6、14、28、56サイクルで測定した。

JISA法では、JIS A 1148試験規格に準じて、凍結融解1サイクル3時間以上4時間以内で-18℃～+5℃を繰り返した。なお、スケーリング抵抗性についての評価の可能性を検討する観点から、試験水は3%NaCl水溶液とした。供試体は100×100×400mmの角柱供試体を用い、1配合あたり3供試体で評価した。試験前養生は材齢28日まで20℃水中養生を標準とした。測定項目は質量減少率と相対動弾性係数とし、凍結融解7、14、28、50、75、100サイクルで測定を行い、以降50サイ

クル毎に300サイクルまで測定を継続した。

### 2. 3 試験前の養生パターン

各試験開始前の養生の影響を確認するため、試験前養生を以下の3パターンに設定した。

[試験前養生①]

材齢28日まで水中養生→試験開始（JIS A 1148 A法の標準養生）

[試験前養生②]

材齢7日まで水中養生→材齢28日まで気中養生（21日間）→試験開始（本研究におけるASTM法の標準養生：CDF法の試験前吸水が無い養生）

[試験前養生③]

材齢7日まで水中養生→材齢28日まで気中養生（21日間）→試験面に7日間塩水吸水→試験開始（CDF法の標準養生）

表-2に各試験と養生パターンの組合せを示す。表中の①、②、③は上記試験前養生のパターンを示している。

### 3. 試験前養生条件とスケーリング量

#### 3. 1 試験前養生が異なる場合のASTM法によるスケーリング量

図-1にASTM法によるスケーリング量について、試験前の養生条件を変えて得た結果を示す。

左端図の養生①材齢28日まで水中養生を行った場合、スケーリングの絶対量が多くなったが、水セメント比の低下とともにスケーリング量は減少し、水セメント比45%ではスケーリングはほとんど生じなかった。また、セメントの種類の違いでは、凍結融解25サイクルまでは差がなかったものの、それ以降は普通セメントより高炉セメントの方がスケーリング量は増加する傾向があった。

中央図の養生②材齢7日まで水中養生後材齢28日まで気中養生を行った場合、養生①に比べてスケーリング絶対量が減少した。普通セメントは、水セメント比

表-2 試験前の養生パターン

| 試験項目  | 普通セメント   |         |      |      | 高炉B     |         |
|-------|----------|---------|------|------|---------|---------|
|       | W/C=45%  | W/C=55% |      |      | W/C=65% | W/C=55% |
|       | air=4.5% | 3.0%    | 4.5% | 6.0% | 4.5%    | 4.5%    |
| ASTM法 | ①②③      | ②       | ①②③  | ②    | ①②③     | ①②③     |
| CDF法  | ①②③      | ③       | ①②③  | ③    | ①②③     | ①②③     |
| JISA法 | ①        | ①       | ①    | ①    | ①       | ①       |

55%以下の空気量4.5%以上でスケーリング量が大きく減少した。一方、高炉セメントは普通セメントよりもスケーリング量が多く、高炉セメントの水セメント比55%と普通セメントの水セメント比65%はほぼ同程度で推移した。また、空気量3.0%のN55A30は凍結融解サイクルの進行と共にスケーリング量は漸増したが、B55A45やN65A45の場合は、凍結融解初期に増加したもののその後の増加の程度は小さかった。

右端図の養生③は養生②の後に7日間吸水過程を加えたものであるが、概ね中央図の養生②と同様の傾向を示した。

### 3. 2 試験前養生が異なる場合のCDF法によるスケーリング量

図-2にCDF法によるスケーリング量について、試験前の養生条件を変えて得た結果を示す。

左端図の養生①材齢28日まで水中養生を行った場合、ASTM法と同様にスケーリングの絶対量が多く、水セメント比65%で特に多い。また、水セメント比45%と55%では差が無く、普通セメントと高炉セメントの違いによる差も無かった。

中央図の養生②材齢7日まで水中養生後材齢28日まで気中養生を行った場合、ASTM法と同様に養生①に比べてスケーリングの絶対量が大きく減少した。また、水セメント比の低減によりスケーリング量は減少した。一方、養生①では差が無かった普通セメントと高炉セメントでスケーリング量に差が生じ、高炉セメ

ントは普通セメントよりもスケーリング量が増加した。

右端図の養生③は養生②の後に7日間吸水過程を加えたものであるが、凍結融解28サイクルまでは養生②と大差無いものの、凍結融解56サイクルで高炉セメントのスケーリング量が増大した。また、水セメント比に関して、水セメント比が低いほどスケーリング量は抑制される傾向があるが、水セメント比55%と65%の差は養生②に比べて小さく、凍結融解56サイクルではほぼ同程度だった。空気量の違いでは、空気量が多いほどスケーリングは抑制された。養生③はCDF試験規格に準じた前養生方法であり、参考として図中1.5kg/m<sup>2</sup>に示したラインはCDF法による凍結融解28サイクルにおけるスケーリング限界量であるが、凍結融解28サイクルでは、いずれの条件においてもこの限界量を下回った。

### 3. 3 各前養生条件におけるスケーリング量の関係

図-3に試験前養生条件を同一とした場合におけるASTM法とCDF法のスケーリング量を図-1と図-2から抽出して比較したものを示す。

左端図の養生①材齢28日まで水中養生を行った場合、N65A45以外は両試験法におけるスケーリング量の乖離が大きく、CDF法の方がASTM法よりもスケーリング量は多い傾向が確認できる。これに対して、試験前養生で気中養生期間を設けた養生②（中央図）と養生③（右端図）では、一部差が生じているケース

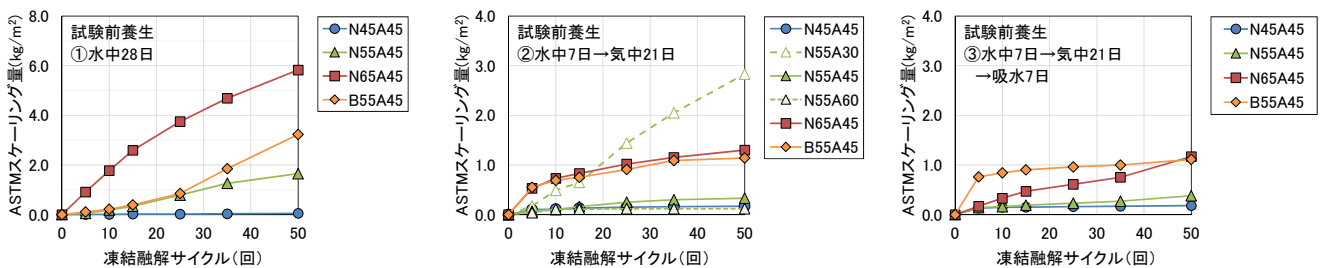


図-1 試験前の養生条件が異なる場合のASTM法によるスケーリング量

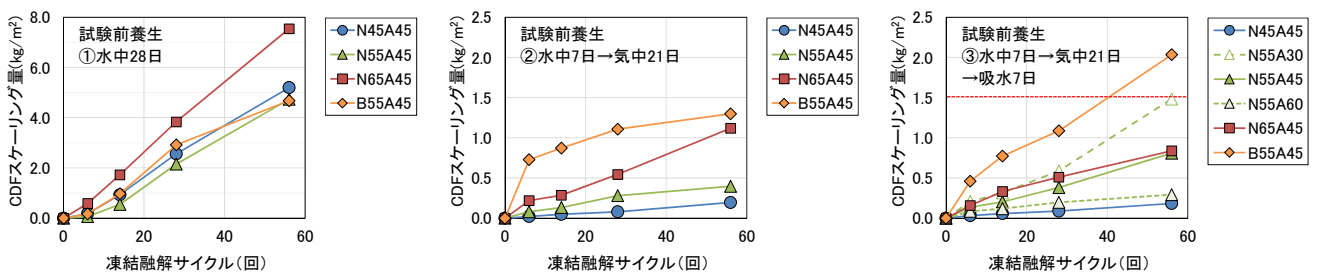


図-2 試験前の養生条件が異なる場合のCDF法によるスケーリング量

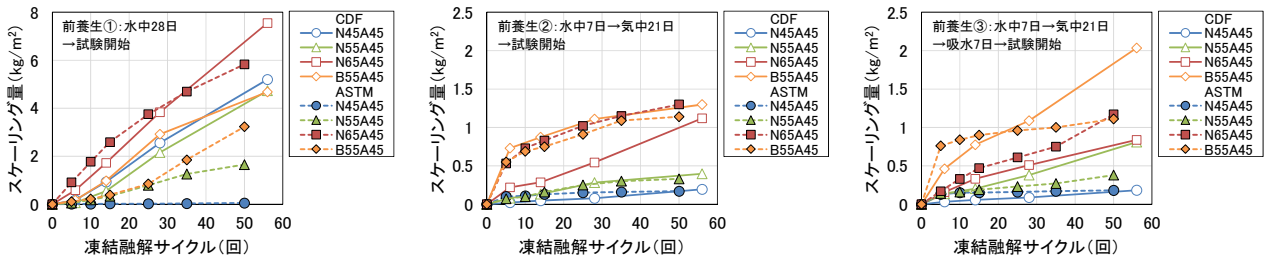


図-3 各試験前養生条件におけるASTM法とCDF法によるスケールリング量の比較

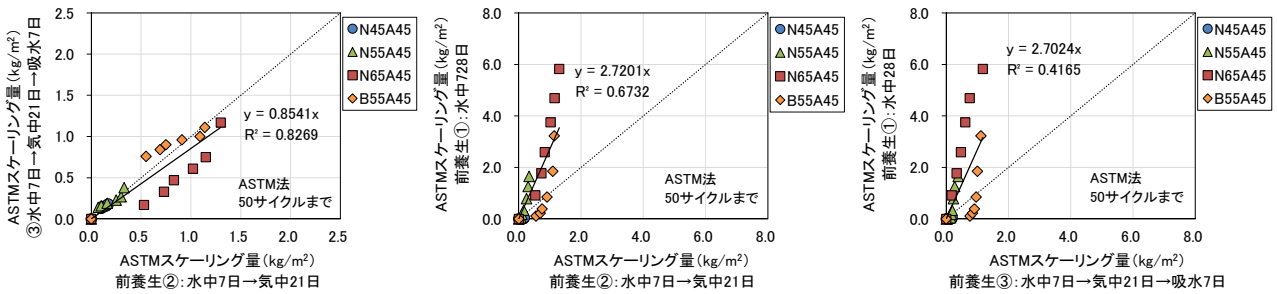


図-4 ASTM法における試験前養生条件が異なる場合のスケールリング量の関係

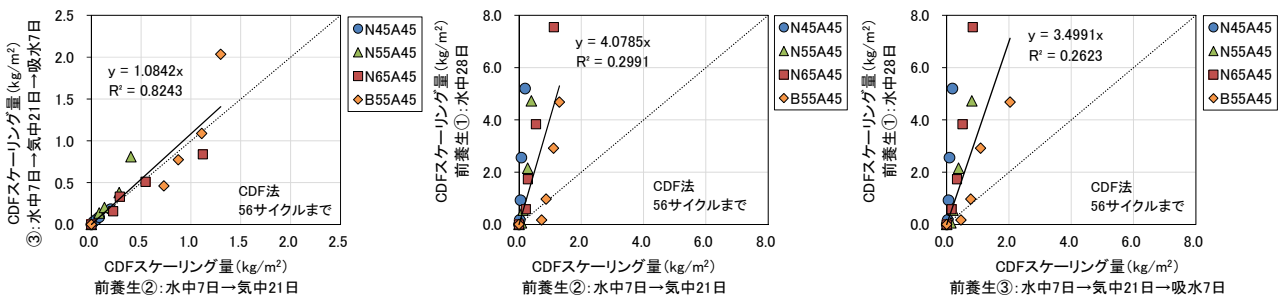


図-5 CDF法における試験前養生条件が異なる場合のスケールリング量の関係

があるものの、概ね両試験によるスケールリング量は同程度であり、試験前の養生において気中養生期間を設け同一の養生方法によりスケールリング試験を実施した場合、ASTM法とCDF法で概ね同様の試験結果が得られることを確認した。

図-4にASTM法による各サイクルのスケールリング量を前養生条件で比較したものを示す。図中の直線は、全データを直線回帰したものである。なお、回帰直線の傾向を把握しやすいように、傾き1の対角線も示している。

左端図の前養生②と③のスケールリング量は概ね相関があり、回帰直線の傾きから全体としては試験前の吸水が無い養生②の方が③よりもスケールリング量が多くなる傾向があるものの、N65A45の試験結果が影響したものであり、それを除くと概ね傾き1の直線上にデータがプロットされている。

中央図の前養生②と①の関係については、乾燥期間

を設けない①養生のスケールリング量が極めて多く、コンクリートの飽水度が高い場合にはスケールリング劣化が促進されることがわかる。また、右端図の養生③と①の関係についても、概ね同様の関係がみられた。なお、高炉セメントは凍結融解サイクル初期では、前養生で乾燥過程を加えた養生②や③の方が①よりも多い傾向があり、その原因についてはスケールリングの発生メカニズムに関する詳細な検討が別途必要である。

図-5にCDF法による各サイクルのスケールリング量を前養生条件で比較したものを示す。図-4と同様に全データの回帰直線と傾き1の対角線も示している。

左端図の前養生②と③の関係については、ASTM法と同様に比較的良い相関があり、回帰直線の傾きも概ね1であることから、本研究においては、試験前の吸水の影響は明確とはならなかった。

一方、中央図と右端図から、ASTM法と同様に養生①で劣化が促進される傾向は確認できるが、CDF

法においては、各配合で直線的な関係性はみられるものの全体としては広がっており、一つの回帰直線では評価できないことを確認した。

以上のとおり、試験前養生条件がスケーリング試験結果に及ぼす影響について検討した結果、スケーリング評価試験における標準的な前養生条件である気中養生期間を設けない場合、スケーリング量は著しく増大し、異なる試験法間でスケーリング量を直接比較して配合等の違いを論じることが不適切となる場合があることを確認した。

#### 4. JISA法によるスケーリング評価に関する検討

##### 4.1 JISA法による凍結融解試験結果

図-6に塩水を使用したJISA法による質量減少率を示す。また、スケーリング試験とほぼ同じ凍結融解サイクル49サイクルまでを拡大したものを図-7に示す。なお、質量減少率の測定は凍結融解50サイクルで設定していたが、実際の凍結融解サイクルのタイミングから49サイクルでの測定となった。

普通セメントに着目すると、空気量が多く、水セメント比が小さいほど質量減少率は小さくなっており、ASTM法やCDF法と同様、スケーリング抑制対策の効果を評価することは可能と考えられる。しかし、セメントの種類に着目すると、水セメント比55%のみではあるが、普通セメントと高炉セメントでは特に凍結融解49サイクルまでは質量減少率の差が小さくほぼ同程度であり、ASTM法やCDF法でみられた高炉セメントのスケーリングが多くなる傾向は確認できなかった。これについては、図-3に示したように、試験前養生として材齢28日まで20℃水中養生を行った養生①では、ASTM法やCDF法においてもセメントの違いによる差が小さかった傾向と類似しており、いずれも試験開始時の飽水度が高いことが影響していると考えられる。

図-8にJISA法による相対動弾性係数を示す。

相対動弾性係数は凍結融解サイクルの進行とともに減少し、空気量が少ない場合や水セメント比が大きいものは、相対動弾性係数の低下が大きく、概ね質量減少率と対応している。しかし、相対動弾性係数は、凍結融解作用により生じるひび割れ等の内部劣化を表したものであり、コンクリート表面のスケーリング劣化現象に着目しているものではない。また、JISA法では、凍結融解作用によるコンクリート表面の剥離とともに、内部劣化が増加した場合、コンクリート内部のひ

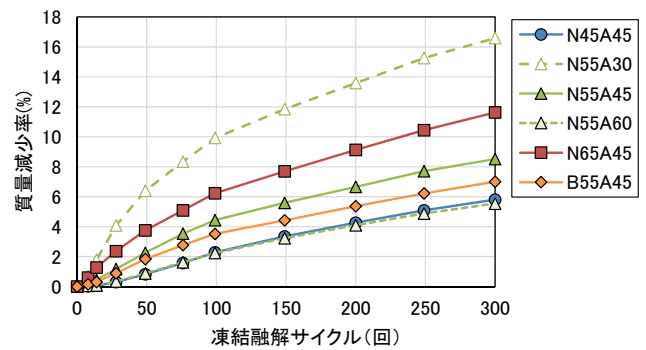


図-6 JISA法による質量減少率 (凍結融解300サイクル)

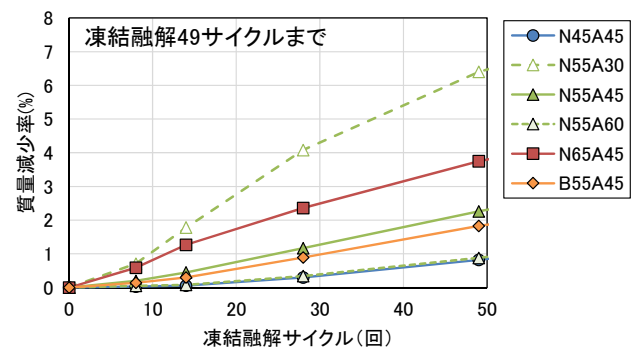


図-7 JISA法による質量減少率 (凍結融解49サイクルまでを拡大)

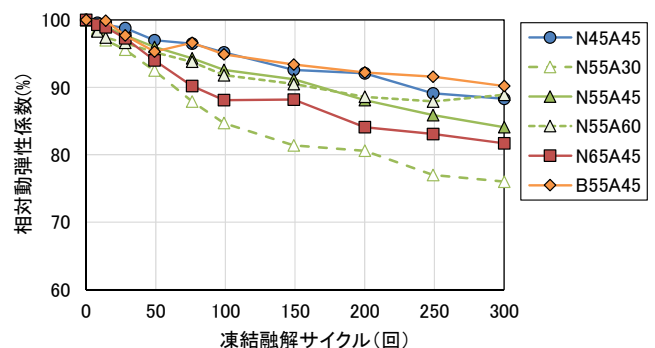


図-8 JISA法による相対動弾性係数

び割れに入り込む水が質量増加に作用するため、質量減少率はスケーリング量と必ずしも一致しなくなる。

このため、スケーリング抵抗性をASTM法やCDF法によるスケーリング量と関連づけてJISA法の質量減少率で評価するには、ひび割れに浸入する水による質量増加の影響を出来るだけ排除する必要がある、その観点からは相対動弾性係数の低下が小さい状態で評価するべきである。図-7に示した質量減少率は凍結融解49サイクルであるが、このサイクルでは相対動弾性係数が90%以上と内部劣化が比較的小さく、スケーリング抵抗性を相対的に評価することが可能と考

えられる。また、JISA法による凍結融解50サイクルでの評価が可能になれば試験期間は7日程度であり、ASTM法で50日、CDF法でも25日必要となることを考慮すれば試験の効率性も高く、試験機器の普及面の観点からも有用と思われる。

#### 4. 2 JISA法による質量減少率と各試験法によるスケーリング量の関係

JISA法と各スケーリング試験の関係を確認するために、JISA法による質量減少率と各スケーリング試験方法によるスケーリング量の関係を調べた。なお、3章で示したように、スケーリング量は試験前養生の影響を受けるため、前養生条件毎にスケーリング量と比較した。

図-9にJISA法による質量減少率と試験前養生①の時のスケーリング量の関係を示す。凍結融解はいずれも50サイクル程度だが、原点を通る直線近似で右肩上がりの傾向はあるものの、検討したケースも少なく、ばらつきがみられた。

図-10にJISA法による質量減少率と各スケーリン

グ試験の標準的な前養生方法（ASTM法は養生②、CDF法は養生③）を行った時のスケーリング量の関係を示す。CDF法、ASTM法それぞれのスケーリング量とJISA法による質量減少率には比較的高い相関がある。

図-11にJISA法による質量減少率と試験前養生②で統一した場合の各スケーリング量の関係を示す。図-10に示した関係と同様、CDF法、ASTM法それぞれのスケーリング量とJISA法による質量減少率には比較的高い相関がある。

図-12にJISA法による質量減少率と試験前養生③で統一した場合の各スケーリング量の関係を示す。前養生②と同様いずれも相関は高く、前養生③の場合、直線近似によりスケーリングの試験法によらず一つの直線で表せる可能性がある。

以上より、JISA法による質量減少率は、スケーリング試験としての検討実績が多いASTM法やCDF法によるスケーリング量と比較的高い相関があり、特にスケーリング試験における供試体の試験前養生条件を統一することにより、異なる試験方法を一つの近似直

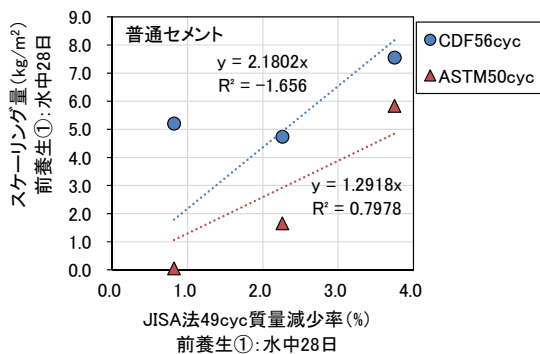


図-9 各試験方法によるスケーリング量と質量減少率の関係（試験前養生①）

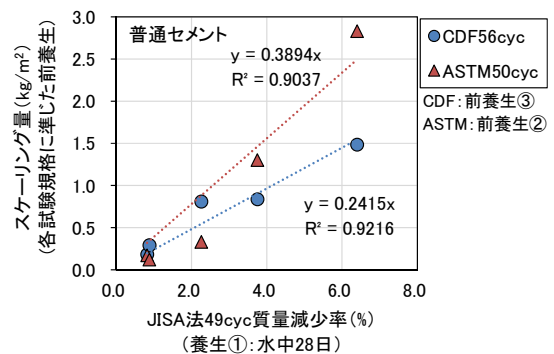


図-10 各試験方法によるスケーリング量と質量減少率の関係（各スケーリング試験の標準養生）

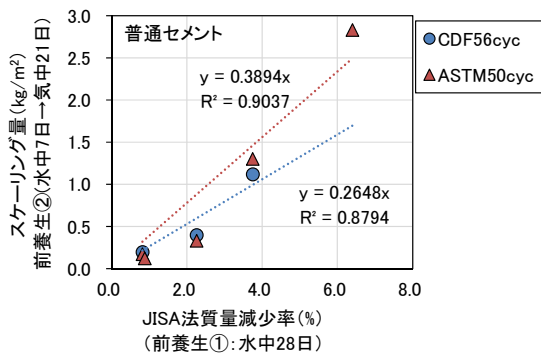


図-11 各試験方法によるスケーリング量と質量減少率の関係（試験前養生②）

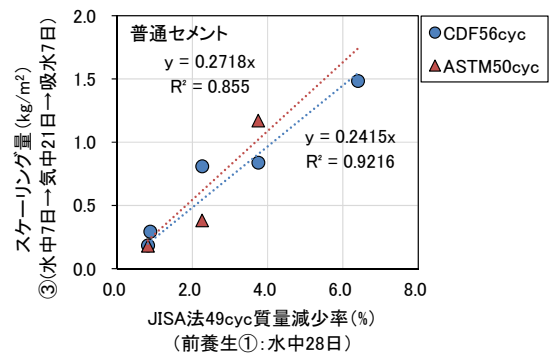


図-12 各試験方法によるスケーリング量と質量減少率の関係（試験前養生③）

線で表せる可能性が示唆された。これが可能となれば、例えば図-12から得られる関係性を利用することで、いずれの試験法でもスケーリング抵抗性を評価できる可能性があり、ASTM法における目視レイティング評価やCDF法におけるスケーリング限界量と関連づけて評価することも可能になると思われる。しかしながら、本研究におけるJISA法の検討では、試験前養生方法として材齢28日まで水中養生を行った場合しか実施しておらず、前節でも述べたように既存スケーリング試験法で確認されたセメントの違いによるスケーリング量の差を評価できていないこと、および3章の検討において、試験前養生の一環として気中養生を設定した場合にスケーリングに及ぼす影響が大きいことを考慮すると、スケーリング抵抗性を評価する標準的な試験法の確立に向けては、JISA法における試験前養生の影響を確認して試験条件を整理するとともに、試験結果のばらつきについても確認する必要がある。

## 5. まとめ

本研究では、スケーリング抵抗性を評価する標準的な試験法の確立に向けて、スケーリングに及ぼす試験前の養生条件の影響と、JISA法によるスケーリング評価手法としての可能性について基礎的な検討を行った。本研究で得た知見をまとめると以下のようになる。

- 1) 既存スケーリング評価試験において、試験前の養生方法によりスケーリング量は大きく異なるが、試験前養生において気中養生期間を設け同一の養生方法でスケーリング試験を実施した場合、試験法が異なるASTM法とCDF法によるスケーリング量は概ね同様となる。
- 2) スケーリング評価試験の試験前養生において気中養生期間を設けない場合、スケーリング量は著しく増大し、異なる試験法間でスケーリング

量を直接比較して配合等の違いを論じることが不適切となる場合がある

- 3) JISA法による質量減少率は、既存ASTM法やCDF法によるスケーリング量と比較的高い相関があり、JISA法を用いることで既存の試験装置を活用して短期間にスケーリング抵抗性を評価できる可能性がある。
- 4) スケーリング抵抗性を評価する標準的な試験法の確立に向けては、JISA法における試験前養生の影響を確認して試験条件を整理するとともに、試験結果のばらつきについても確認する必要がある。

## 参考文献

- 1) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書 [設計編：標準]、pp.165-167、2018.3
- 2) 権代由範、庄谷征美、月永洋一、子田康弘：塩化物環境下におけるスケーリング抵抗性の評価試験法に関する基礎的研究、コンクリート工学論文集、第20巻第1号、pp.59-70、2009.1
- 3) 山口裕貴、澤部智子、中村拓郎、堀口敬：凍結融解作用によるコンクリートのスケーリング試験方法に関する研究、土木学会第65回年次学術講演会講演概要集、V-436、pp.871-872、2010.9
- 4) 高橋幹雄、宮里心一：RILEM CDFとASTM C 672の温度条件がスケーリングに及ぼす影響、土木学会第65回年次学術講演会講演概要集、V-437、pp.873-874、2010.9
- 5) 服部健作、今井益隆、中村拓郎、堀口敬：実環境を考慮したコンクリートの凍結融解抵抗性の評価、コンクリート工学論文集、第20巻第3号、pp.11-20、2009.9
- 6) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書 [施工編：施工標準]、pp.124-128、2018.3



吉田 行  
YOSHIDA Susumu

寒地土木研究所  
寒地保全技術研究グループ  
耐寒材料チーム  
主任研究員  
博士（工学）



安中 新太郎  
YASUNAKA Shintaro

寒地土木研究所  
寒地保全技術研究グループ  
耐寒材料チーム  
(現 寒地構造チーム)  
上席研究員