海水中における凍結融解作用がコンクリートの劣化に及ぼす影響

大林組技術研究所　正 会 員　竹田宣典
大林組技術研究所　フェロー　十河茂幸

１．はじめに

コンクリート構造物が，複合的な劣化作用を受ける場合の劣化の進行については，未だ充分に明らかにされていない。特に，塩化物イオンが供給され，凍結融解作用を受ける場合の複合的劣化に関しては，これまでに報告があるものの[1),2),3)]，劣化予測を行える程には定量的に把握されていない。そこで，塩化物イオンが凍結融解作用による劣化に及ぼす影響を定量的に把握することを目的として，海水中で凍結融解作用を受ける場合のスケーリング，動弾性係数および圧縮強度に関して調査を行った。

２．実験概要

凍結融解試験は，土木学会規準(JSCE-G501)に準拠して行い，凍結水を海水(塩素イオン濃度1.8%)および水道水として実施した。試験は材齢14日から開始し，サイクル数は最大300回とし，スケーリングが増加し，動弾性係数が測定できない場合は終了サイクル数を減じた。供試体は断面10x10cm，長さ40cmの角柱とした。コンクリートの配合，試験前の性質および終了サイクル数を**表１**に示す。水セメント比(W/C)は40%,50%,60%とし，空気量の違いの影響についても評価した。セメントは普通ポルトランドセメント，細骨材は陸砂(表乾密度：2.58g/cm^3,吸水率：2.24%)，粗骨材は砕石(表乾密度：2.66 g/cm^3,吸水率：0.86%)を用いた。

凍結融解繰り返し回数30サイクル毎に，コンクリートの質量と動弾性係数を測定し，凍結融解試験終了後にスケーリング深さと圧縮強度を測定した。スケーリング深さは，**図１**に示すように，非接触型レーザ変位計により，コンクリート表面の凹凸を測定し，その平均値を「平均スケーリング深さ」として評価した。圧縮強度は，凍結融解試験終了後の角柱供試体から，10x10x10cmの立方体供試体を切り出し，切断面をセッコウを用いてキャッピングを行い，この面を載荷面として圧縮強度試験を行った。立方体の圧縮強度は，スケーリングによる断面積の減少を計算に入れ，以下の式により，長さ／直径比が2.0の円柱供試体の圧縮強度に換算した[4)]。

$$F = 0.83 \cdot W - 1.71$$

F：円柱圧縮強度(N/mm^2),W：立方体圧縮強度(N/mm^2)

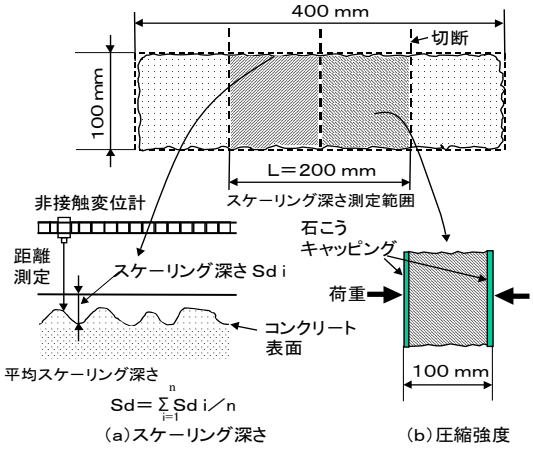

図１　ｽｹｰﾘﾝｸﾞ深さおよ圧縮強度の測定方法

３．実験結果および考察

相対動弾性係数，質量減少率および平均スケーリング深さとW/Cの関係を**図２**に示す。相対動弾性係数(Er)は，いずれの配合も，海水中で凍結融解(以下，海水凍結と記述)を受けた方が，水道水中で凍結融解(以下，水中凍結と記述)を受けた場合に比べて低下する。海水凍結の場合，W/Cが40%の時は，Erは80%以上であり，水中凍結の場合と大差なく，海水がErに及ぼす影響は少ないが，W/Cが50%以上で，空気量が2～3%と少ない時は，Erは50%以下となり，水

表１　コンクリートの配合および試験前の性質

記号	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3) 水	単位量 (kg/m^3) ｾﾒﾝﾄ	スランプ (cm)	空気量 (%)	材齢14日圧縮強度 (N/mm^2)	凍結融解終了ｻｲｸﾙ(回) 水道水	凍結融解終了ｻｲｸﾙ(回) 海水
40-2	15	40	45.0	166	415	4.5	2.9	51.8	300	300
40-7						9.5	6.6	40.2	300	300
50-2		50	47.0		332	5.5	2.5	40.3	300	270
50-4						10.5	4.8	35.9	300	300
50-7						18.5	7.4	30.2	300	300
60-2		60	49.0		277	3.5	3.0	28.3	180	90
60-7						15.5	7.2	22.7	300	150

キーワード：凍結融解　塩化物イオン　複合劣化　スケーリング　圧縮強度
連　絡　先：〒204-8558　東京都清瀬市下清戸4-640　TEL:0424-95-0937　FAX:0424-95-0908

中凍結の場合に比べてErの低下が大きくなり，海水がErに及ぼす影響は大きくなる。水中凍結の場合の質量減少率（Mr）は，いずれの配合においても5%以下であるが，海水凍結の場合のMrは，水中凍結の場合に比べて，W/C40%の場合，2～3倍，W/C50%の場合，4～6倍，W/C60%の場合，6～8倍となり，W/Cが高いほど，海水がMrに及ぼす影響は大きい。なお，W/C60%では，海中凍結を行った場合，サイクル数が少ない段階においてMrが増加したために，Mrが約15%以上になった時点で凍結融解試験を終了した。

海水凍結の場合の平均スケーリング深さ（Sd）は，水中凍結の場合に比べて，W/Cが40%では，空気量が2.9%の場合約2倍，空気量が6.6%の場合約1.3倍，W/Cが50%では，空気量が2.5%の場合約3倍，空気量が5%程度以上の場合約2倍となった。W/Cが大きく，空気量が少ないほど，海水がSdに及ぼす影響は大きい。　また，**図３**に相対動弾性係数と平均スケーリング深さの関係を示す。海中凍結を行った場合，水中凍結に比べて，同一相対動弾性係数に対するSdが大きい傾向が認められた。海水中において凍結融解作用を受ける場合，コンクリートの劣化は，スケーリングとして顕著に現れることが確認された。

次に，凍結融解試験終了後の圧縮強度とW/Cの関係を**図４**に示す。海水中で凍結融解作用を受けた後の圧縮強度は，W/Cが 40%では，空気量に関わらず，水道中で凍結融解を受けた場合と同程度であるが，W/Cが50%では，空気量が2.5%の場合，水道水中で凍結融解を行った場合に対して約60%に減少し，空気量が7.4%の場合，約80%に減少した。W/Cが50%の場合は，海水中で凍結融解作用を受けると，水道水中で凍結融解を受けた場合に比べて圧縮強度が低下した。W/Cが60%で海水凍結を行った場合は，終了サイクル数が少なく，Erが低下が小さいために，圧縮強度が低下していないものと考えられる。

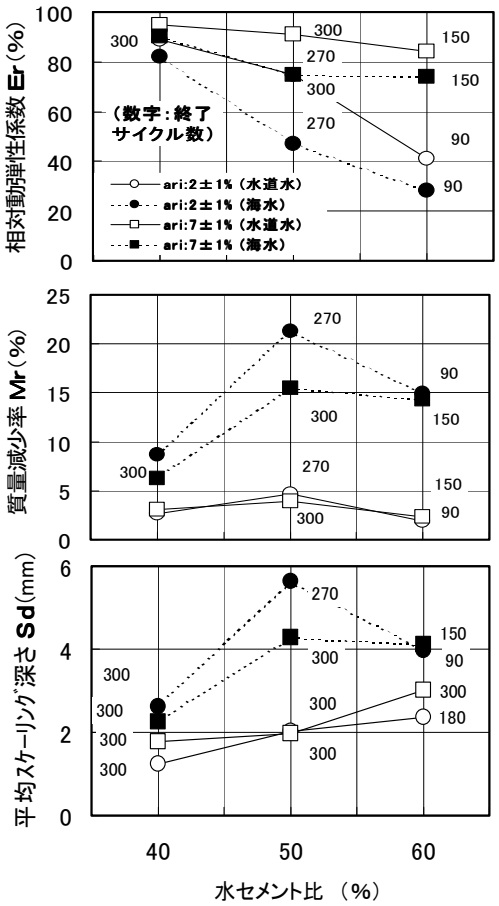

図２　W/Cと相対動弾性係数，質量減少率およびスケーリング深さの関係

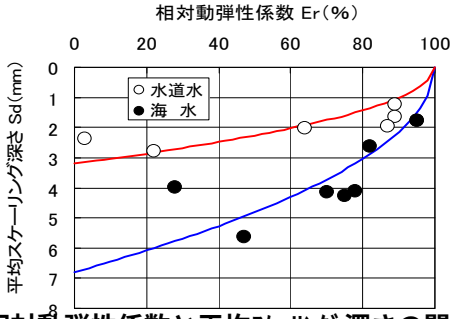

図３相対動弾性係数と平均ｽｹｰﾘﾝｸﾞ深さの関係

４．まとめ

海水中で凍結融解作用を受ける場合，W/Cが50%以上のコンクリートでは，相対動弾性係数の低下，スケーリングの増大，圧縮強度の低下が顕著になる場合がある。したがって，凍結融解作用を受ける海洋環境や凍結防止剤を用いる環境における耐久性照査を行う場合，塩化物イオンの影響を含んだ相対動弾性係数，スケーリング深さおよび圧縮強度の変化を考慮する必要があると考える。

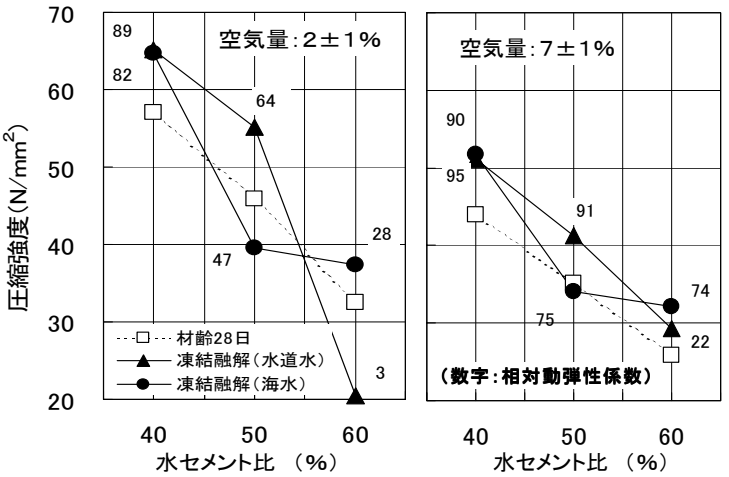

図４　凍結融解終了後の圧縮強度

［参考文献］

１）鮎田耕一他：海水の作用を受けるｺﾝｸﾘｰﾄの凍結融解に対する耐久性，セメント技術年報35,1981
２）月永洋一他：塩化物が作用したｺﾝｸﾘｰﾄの凍害劣化に関する研究，ｾﾒﾝﾄ・ｺﾝｸﾘｰﾄ論文集No.47，1993
３）三浦尚他：凍結防止剤の影響を受けるｺﾝｸﾘｰﾄの凍害劣化に関する基礎的研究，JCI融雪剤によるｺﾝｸﾘｰﾄ構造物の劣化研究委員会論文集,1999
４）坂静雄，松井敏夫：表面硬度法による実施コンクリート強度判定方法，セメント技術年報IX，1955