

V-261

コンクリートの複合劣化における凍結融解作用の影響

北海道開発局 開発土木研究所 正会員 西沢隆宏 堺 孝司
 間 組 技 術 研 究 所 正 会 員 喜 多 達 夫 山 下 英 俊

1. まえがき コンクリート構造物は、通常様々な劣化作用を同時に受けている。しかし、このような複合劣化に関する研究は極めて少ないのが現状である。本研究は、コンクリートの複合劣化に関する基礎的な研究として、塩化物イオン浸透による鉄筋の腐食に及ぼす凍結融解作用の影響および凍結融解抵抗性に及ぼす中性化の影響について検討したものである。

2. 実験概要 セメントは、高炉セメントB種（比重3.04）を使用し、細骨材として苫小牧樽前産の海砂（比重2.68、吸水率1.17%）、粗骨材として小樽見晴産の砕石（比重2.68、吸水率1.58）を使用した。また、混和剤としてAE減水剤および空気連行剤を使用した。鉄筋は異形鉄筋D13、SD30を使用した。コンクリートの配合を表-1に示す。目標空気量は $4.5 \pm 1\%$ 、スランブは $8 \pm 2.5\text{cm}$ とした。供試体は、コンクリート打ち込み後24時間 20°C で湿気養生した後脱型し、材齢28日まで 20°C の淡水中で養生した。

シリーズIでは、図-1に示すような鉄筋を埋め込んだコンクリート供試体を用いて、淡水、海水および気中で凍結融解作用を0、100、200、300サイクル繰り返した後塩水浸漬乾燥試験を行い、鉄筋の腐食を観察した。試験は3本1組で行い、打ち込み深さ方向のコンクリートの品

質の違いを考慮して、図-1a)に示す供試体を2本、同図b)に示す供試体を1本用いて行った。凍結融解試験は、土木学会基準のコンクリートの凍結融解試験方法に準拠し、質量およびたわみ振動の一次共鳴振動数を測定した。なお、凍結融解試験は、供試体の上下を変えないで行った。塩水浸漬乾燥試験は、打設時の型枠側面部分2面以外をエポキシ樹脂でシールした供試体を用い、温度 20°C 湿度60%RHで5日間乾燥し、温度 20°C 、5%NaCl水溶液に2日間浸漬する行程を1サイクルとして6サイクル行った。シリーズIIでは、シリーズIと同様に寸法が $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の無筋供試体を用いて、中性化促進試験を0、2、3週間行った後凍結融解試験を行った。中性化促進試験は、温度 30°C 、湿度60%RH、 CO_2 濃度10%の条件で行った。また、曲げ強度試験、細孔分布の測定も行った。中性化させた供試体についてはシリーズIと同様に吸水させた後凍結融解試験を行った。

3. 結果および考察 凍結融解試験結果を図-2に示す。質量減少率は、海水凍結融解試験の場合に最も大きくなった。相対動弾性係数は、海水凍結融解試験の場合に最も低くなっており、淡水凍結融解の場合がそれに続いている。気中凍結融解試験の場合には100%を越えて増加しているのは、材齢に伴う強度の増加の影響である。鉄筋の腐食に及ぼす凍結融解作用の影響を図-3に示す。淡水で凍結融解作用を受けた場合、かぶりが2cmでは、凍結融解0サイクルに比べて100サイクルの方が鉄筋の腐食面積が増加しているが、それ以降のサイクルでは逆に減少している。本実験においては、塩化物イオンの浸透による鉄筋の腐食に影響を及ぼす要因として、凍結融解作用によるコンクリート組織の劣化と凍結融解試験中の水和の進行によるコンクリート組織の密実化が考えられる。すなわち、塩化物イオンの浸透量は、凍結融解作用により増加し、コンクリートの密実化により減少する。両者の影響の程度は定量的には評価できないが、100サイクルまではコンクリート組織の劣化が大きく影響し、その後は組織の密実化が支配的になったものと思われる。海水で凍

表-1 コンクリートの配合

シリーズ	水セメント比 W/C (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
I	60	20	45	150	253	865	1060
II	55	25	44	147	267	846	1079

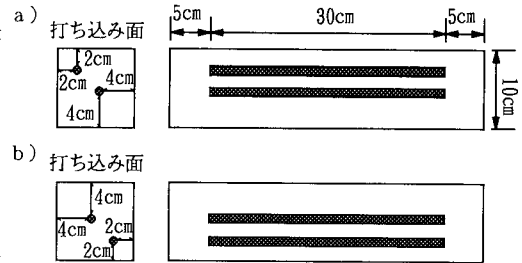


図-1 供試体の鉄筋の配置

結融解作用を受けた場合、100サイクルにおいて淡水で凍結融解作用を受けた場合と比べて鉄筋の腐食面積が減少しているが、これはコンクリートの表面における海水とセメント水和物との化学反応による緻密化が原因と考えられる。それ以降のサイクルでは腐食面積が増加しているが、凍結融解作用の影響が徐々に大きくなったものと考えられる。気中で凍結融解作用を受けた場合は、鉄筋の腐食は認められなかった。また、かぶり4cmでは、淡水で凍結融解作用を受けた場合には200サイクル以降で、海水で凍結融解作用を受けた場合には300サイクルで腐食が認められた。

なお、腐食面積に対する鉄筋の配置方法の影響はみられなかった。

中性化供試体の曲げ強度を図-4に示す。中性化期間が2週の場合の曲げ強度は0週の場合より低下しており、中性化収縮によりコンクリート表面部に発生した引張応力が原因と考えられる。その後中性化期間が5週までは曲げ強度は増加している。これは、中性化の進行とともに表面部の引張力が小さくなることやコンクリート自体の強度が増加したことによると考えられる。中性化期間が7週の場合、曲げ強度が著しく低下したが、この原因については不明である。中性化供試体の細孔分布を図-5に示す。中性化したコンクリート表面部では、中性化のない場合と比べて 10^2

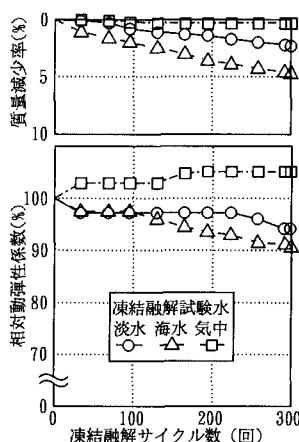


図-2 凍結融解試験結果

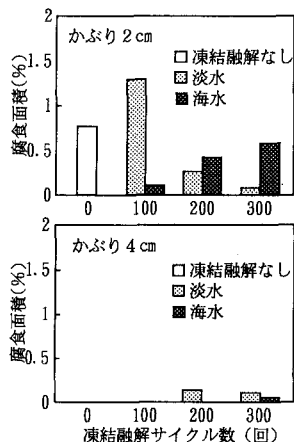


図-3 鉄筋の腐食に及ぼす

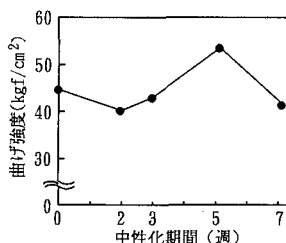


図-4 中性化供試体の曲げ強度

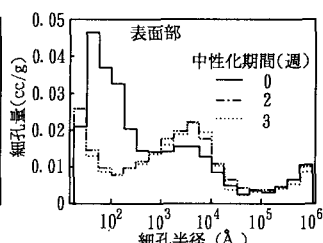


図-5 中性化供試体の細孔分布

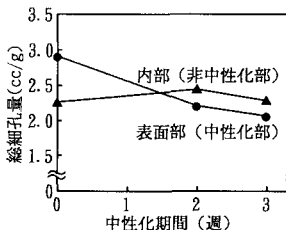
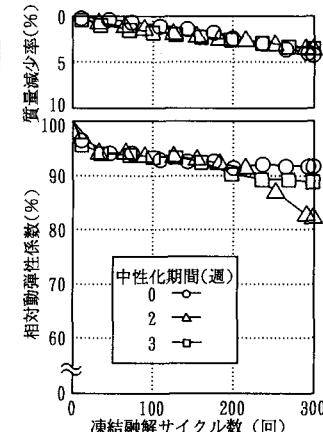


図-6 中性化供試体の総細孔量

図-7 凍結融解抵抗性に及ぼす
中性化の影響

それ以降では、中性化期間が2週の場合大きく低下しており、中性化期間が3週の場合も中性化のない場合と比べて若干低下している。これは、コンクリート表面において中性化収縮により引張力が生じ、ひびわれが発生したかあるいはひびわれが発生するほどの引張力ではないが凍結融解作用によって発生した引張応力の増大によりひびわれが発生したためと考えられる。また、コンクリート表面部において細孔組織が密実になり、浸透した水の凍結によって生じる内部圧力が外に抜けずらくなるためとも考えられる。凍結融解抵抗性に及ぼす中性化の影響についてはこれまでいくつかの検討を行ってきたが、中性化が凍結融解抵抗性に悪影響を及ぼす条件はコンクリートの品質、中性化期間および中性化深さによって微妙に変化するため、凍結融解抵抗性を低下させる中性化の条件を定量的に明らかにすることは難しい。