

函館工業高等専門学校 正員 藤井 卓
函館市役所 藤森 悟志

1. まえがき

海水・除氷剤などの塩素イオン環境にあるコンクリートの、凍結融解の繰返し作用によるスケーリング劣化の機構を明らかにするため、基礎研究として硬化ペーストを対象に、塩化物の作用のみをうける場合の強さ劣化、および凍融作用を同時にうける場合のスケーリング劣化に与える初期固相率 V_{S0} ・進行空気・冷却最低温度 T_m などの影響を、内部微構造との関連において検討した。

2. 実験方法

普通ポルトランドセメントを用い、供試体寸法は $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ とした。実験1では所要の養生を終了した供試体を、 20°C の $\text{MgCl}_2 3\%$ 溶液に3日間浸せき後、曲げおよび圧縮強さを測定した。実験2では積算温度 $M 210^\circ \text{DD}$ を得た供試体を、水中および $\text{MgCl}_2 3\%$ 溶液中で凍結融解試験を行ない、所定のサイクル毎にスケーリング量の測定・外部劣化状況の観察を行なった。なおAEペーストではウインソルをセメント質量の 0.03% 混入し、冷却最低温度 T_m は $-10, -20, -30^\circ \text{C}$ の3種、融解温度は $+5^\circ \text{C}$ で12時間を1サイクルとした。また実験1, 2ともにSEMおよびEDXにより、内部微構造の変化を観察した。

3. 実験結果および考察

実験1：曲げ強さの変化は図-1aに示すように、一般に M が小さい場合 V_{S0} が小さい程強さは水中養生よりやや増大するが、 M が大きい場合は V_{S0} が小さい程強さが低下し、 V_{S0} が大きい場合は増大する。 $V_{S0} = 45\%$ の微構造は写真-1, 2に示すように処理前(写真-3)に比較して、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が損傷されCSHもち密ではない。また 840°DD の場合の $V_{S0} = 55\%$ では表層にち密な $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の生成があり、また全体にCSH(II)のち密な網目組織が発達し、繊維がランダムに配向しているためクラックアレスト作用によって、曲げ強さの低下が抑制されているものと思われる。一方 $V_{S0} = 35\%$ では表層付近が Cl^- の侵入により、組織が多孔化かつフレーク化した形態となり、これが曲げ強さ低下の一因と考えられる。圧縮強さの変化は図-1bに示すように、 M の小さい場合は水中養生とはほぼ同程度の強さ発現も見られるが、 M の大きい場合は V_{S0} のいかんにかかわらず強さは低下する。これは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成過程と密接な関係があり、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が発達し大型化した段階で Cl^- の侵入をうけた場合の低下が最も大きいと考えられる。

実験2：一般に V_{S0} が小さい程劣化は大きくなるが(図-2)、同じ V_{S0} の差であっても V_{S0} の小さい領域では劣化への影響が鋭敏であり、特に T_m が高い -10°C の場合にこの傾向が強い。 V_{S0} の差による微構造の相違の一例を写真-7, 8に示す。 $V_{S0} = 40\%$ では 45% に比較して $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、CSHの損傷が著しい。 V_{S0} がある程度大きい場合にはAE効果は期待できるが、 40% 未満では効果がなく T_m が低い程逆効果となる傾向があり、塩溶液浸せきではこの傾向がより強い。これは V_{S0} が小さい程気ほう殻が多孔的になるためと思われる。塩溶液浸せきでは初期表層劣化は急速であるが、その後の劣化進行は緩慢である。これは残存部表層の微構造がち密になり、曲げ強さもやや増大するためと思われる。スケーリング破面の微構造形態は写真-4, 5に示すように、水中および塩溶液浸せきで極わめて相違している。写真-5の粒状生成物は塩溶液浸せきの場合に特有であり、主な組成は多い順に $\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Cl}, \text{Si}, \text{Fe}$ である。一般に塩溶液浸せきでは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の損傷が著しく、表層下 2 mm 付近が極わめて多孔化している。また表層 50μ 程度は $\text{Mg}(\text{OH})_2$ のち密層に覆われているが、その直下から内部にかけて多孔化し表層付近では気ほう殻も崩壊しており、全体に組織のち緩が著しい。 T_m による影響を図-3に示す。一般に凍融の初期段階では Cl^- による化学的劣化が支配的であり、 V_{S0} が小さい程またブリージングにより表層が多孔化している程この影響をうけ、さらに T_m が高い程 Cl^- の活性が強くなり劣化は大きくなる。また最終段階では水圧の増大による物理的劣化も加わり、 T_m が低い程劣化が大きくなる。しかし V_{S0} が小さく極端に多孔的な場合は、水圧の増大よりも化学的劣化が支配的となる。 T_m の相違による微構造変化の一例を、写真-6, 7に示す。この例の場合では T_m の低い方が劣化が著しくなっている。

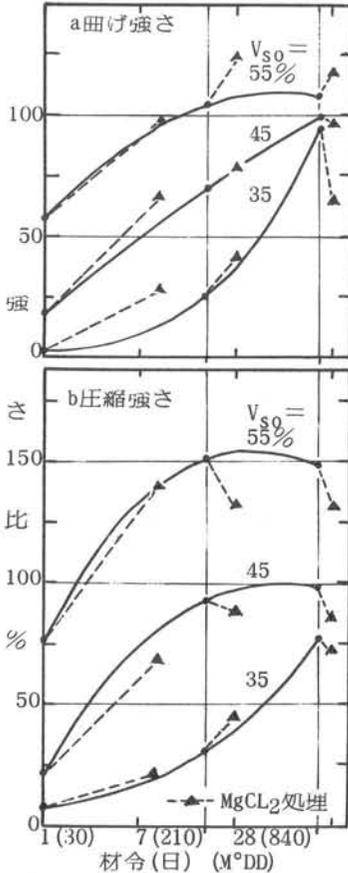


図-1 $MgCl_2$ 処理による強さ変化

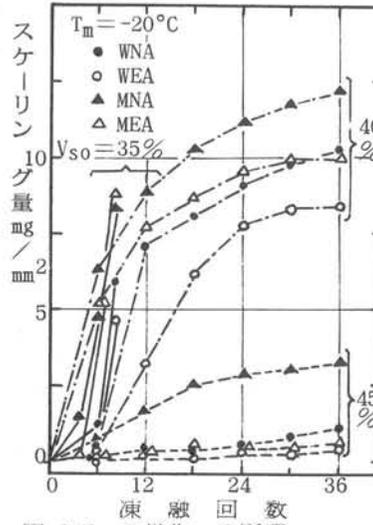


図-2 V_{so} の劣化への影響

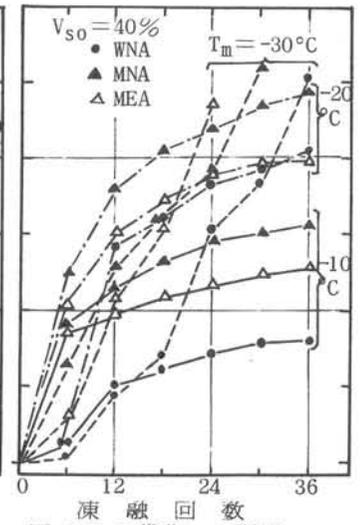


図-3 T_m の劣化への影響

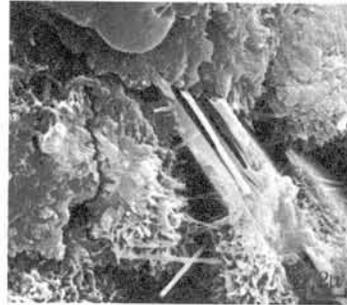


写真-1 MND 45% 28d (840°DD)

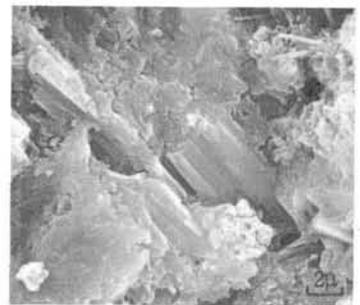


写真-2 MND 45% 7d (210°DD)

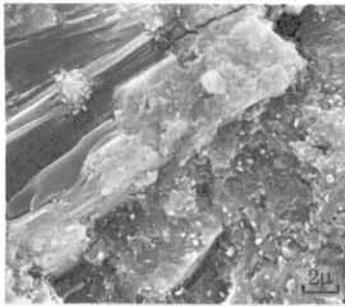


写真-3 WND 45% 28d (840°DD)

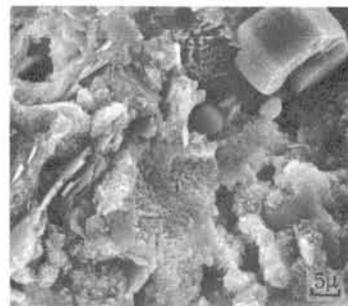


写真-4 WNA 40% -20°C 12cyc

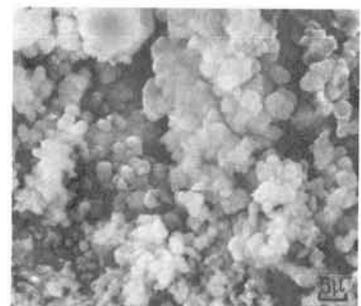


写真-5 MNA 40% -20°C 12cyc

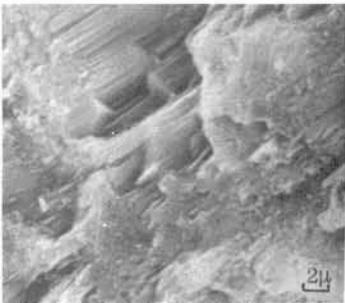


写真-6 MNA 40% -10°C 36cyc

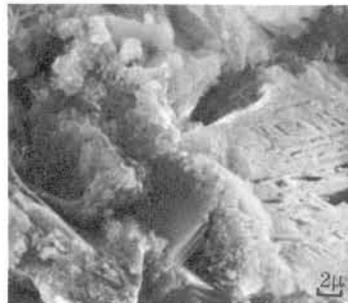


写真-7 MNA 40% -20°C 36cyc

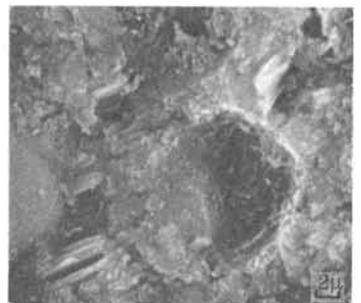


写真-8 MNA 45% -20°C 36cyc