

函館工業高等専門学校 正員 藤 井 卓
北海道大学 正員 藤 田 嘉 夫

1. まえがき

塩分環境下におけるコンクリートの、凍結融解の繰返し作用による劣化機構を解明するため、基礎研究の一環として、硬化セメントペーストを対象に、空隙中の氷が融解しない範囲の低温域において、塩溶液を含浸した供試体に冷却加熱サイクルを与え、加熱過程における劣化挙動と、これに及ぼす溶液の種類・エントレインドエア・乾燥・吸水などの影響、および微構造変化を検討した。

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4x4x16cmとした。水中のみの場合は210°DDを、塩溶液・海水含浸の場合は水中で120°DD溶液中で90°DDを得た供試体に、空隙内の氷の融解温度が-10℃以上であることを別途行ったDTAで予め確認の上、冷却加熱-10~-50℃を12時間を1cyc.として35cyc.与えた。また水中養生のみの別の供試体については、23cyc.後+1℃の水中で3日間吸水させた後、再び47cyc.まで温度サイクルを与えた。なお、水中養生後30℃・65%RHで3日間乾燥した供試体についても35cyc.まで試験した。所定のサイクル毎に曲げ強さ・圧縮強さを測定し、また微構造変化を観察した。

3. 実験結果および考察

真水または溶液を含浸した供試体では、温度サイクルによって、強さは低下する(図-1)。しかし、圧縮・曲げ強さともにある程度低下した後は、ほぼ一定値となり劣化は停滞する。また、23cyc.後に再吸水させた場合は、圧縮・曲げ強さとも一時期的に増大するが、温度サイクルの負荷により、強さは再び低下する。しかし、この場合もある程度強さが低下した後は、劣化は進行しない。一方、乾燥した場合は、曲げ強さは一時期的に増大するが、その後は圧縮強さと同様に温度サイクルの影響を受けない。以上の結果から、加熱過程において氷の熱膨張係数が硬化セメントペーストのそれより4~5倍大きいため硬化セメントペーストに引張応力を生じ(図-2)、組織が弛緩した後は、新たな水の供給がない場合は相対的に飽水度が低下し氷圧の効果が生じないため、それ以後劣化の進行は停滞する。しかし、新たな水の供給があれば劣化は進行する。したがって、通常の凍結融解の繰返し作用においては、加熱過程の劣化の観点からは、融解温度以上の高温過程は、飽水度回復期間と行うことができる。この意味において、養生直後の約1/2の含水率しか有しない乾燥供試体では、全く劣化が見られないのは当然と考えられる。塩溶液特に海水含浸の場合に、真水に比べて25cyc.程度まで劣化が継続するのは、若材令の硬化セメントペーストでは、塩溶液あるいは海水浸せきにより、圧縮強さが増大するため、組織が弛緩して氷圧の影響を受けない程度の高空隙率になるまでに時間を要するためと思

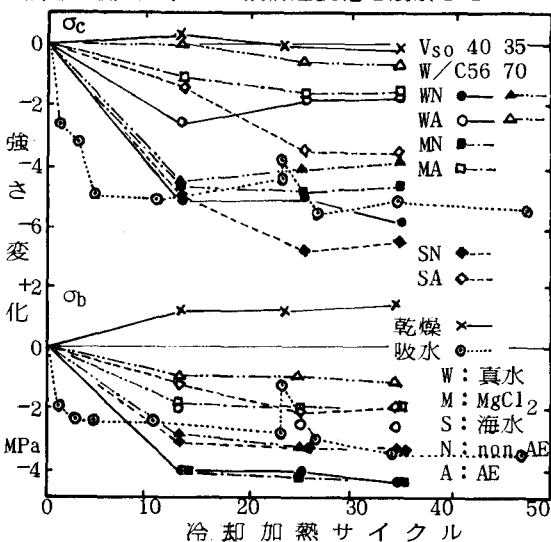


図-1 温度サイクルによる強さ変化

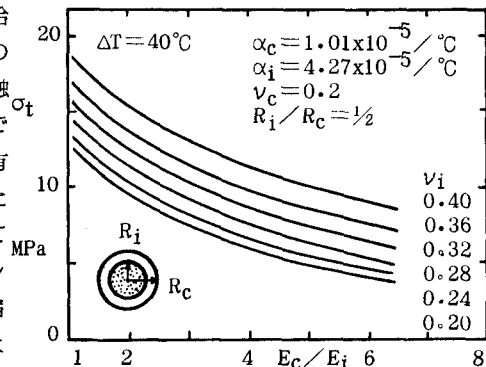


図-2 氷圧による引張応力の一例

われる。このことは圧縮強さでは、初期強さに無関係に、劣化が停滞するときの強さが、ほぼ一定値に収束する傾向があることから推察される。また、AEペーストでは、non AEペーストに比較して、著しく劣化が小さい(図- 1)。これは初期冷却過程で空隙水の一部が、エントレインドエア内に排出されるため空隙水量が減少し、氷圧が大きくならないためと考えられる。特に初期固相率35%では、高空隙率で水の移動が容易なため外部へも排出され、劣化は著しく小さくなっている。35cyc.で供試体表面に微細な網目状クラック、あるいは長手方向に平行に1~2本のクラックが発生したが、試験前後で質量の変化はなく、スケーリングは生じなかった。このことはスケーリング発生条件として、溶液が常に供試体表面を覆い、表層付近の飽水度の高いことが必要であることを示唆している。

温度サイクルによって、内部から表面に達するマイクロクラック(写真- 1)が多数発生し、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ も損傷をうける(写真- 2)。また、多孔部のCSHは、試験前に有していたCSH Type Iの針状結晶を失い、結合部が分離した粒状のCSHに変化(写真- 3)しているのが観察される。写真- 4はCSH Type IIIが部分的に極端に崩壊した例であるが、CSHの緻密な組織では、クラックを生じて組織が弛緩し(写真- 5)、続いてこれが分離して粒状形態(写真- 6)となる。また、写真- 7に示すように、未水和セメント核の崩壊も多数観察される。以上のような $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、CSH、未水和セメント核などの崩壊、および緻密な組織の崩壊による粒状化など、温度サイクルによって生ずる一連の破壊形態は、通常の凍結融解の繰返し作用をうけた場合において観察される形態に、極めて類似している。このことは、加熱過程における氷圧が、凍結融解劣化に及ぼす影響の大きいことを示唆するものである。

以上の劣化挙動と微構造の考察から、凍結融解劣化においては、冷却過程の水圧(Powersの水圧仮説)と同様に、加熱過程における氷圧(Grüblの氷圧仮説)が、重要な因子と考えられる。

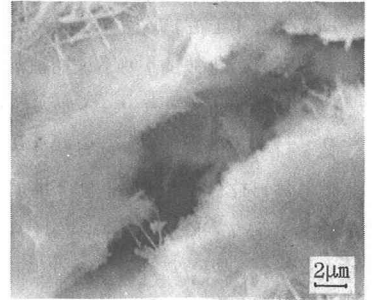


写真-1 表層部クラック WA4035

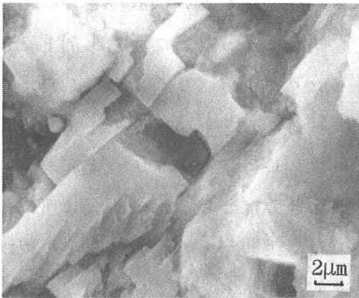


写真-2 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の損傷 WN4035

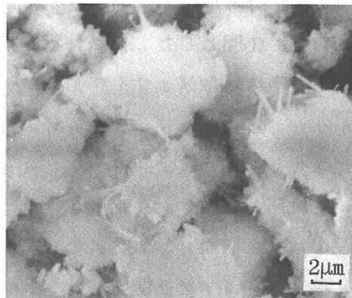


写真-3 CSH(I)の損傷 WA3535

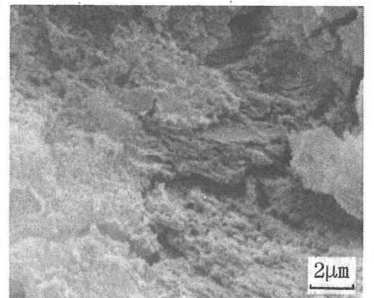


写真-4 CSH(III)の損傷 MA4035

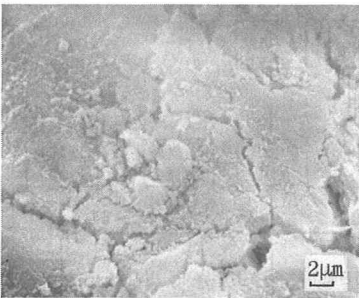


写真-5 緻密組織の崩壊 SA4035

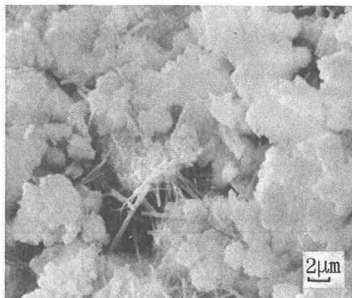


写真-6 粒状形態へ移行 SA4035

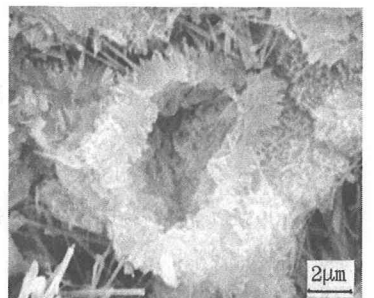


写真-7 未水和核の崩壊 SA4035