

セメントペーストの凍害に及ぼす水分条件の影響

北海道大学大学院工学院 学生員 ○井上啓樹
 北海道大学大学院工学研究院 正員 志村和紀
 北海道大学大学院工学研究院 正員 杉山隆文

1. はじめに

コンクリート構造物の凍害のメカニズムには種々の説があるが、主に水の移動とそれに伴う応力の発生に帰されることはおおむね共通している。また、劣化の際に膨張を示すことが知られており、これを凍結融解全過程で連続的に把握することは凍害挙動およびメカニズムを明らかにするうえで必要と考えられる。

本報告では、セメントペースト供試体にモールドゲージを埋め込み、凍結融解作用時の内部ひずみを連続的に測定し、水分条件ならびに連行空気がひずみ挙動に及ぼす影響について検討することを目的とした。

2. 実験方法

供試体は普通ポルトランドセメントを用いたセメントペーストとした。水セメント比は 0.6 とし、空気量についてはプレーンおよび AE ペーストの 2 水準とした。以下に供試体の種類及び配合を示す。

表-1 供試体記号および配合

供試体	W/C	空気量(%)
06PL	0.6	1.4
06AE	0.6	4.2

供試体は 40mm×40mm×160mm の角柱供試体とし、モールドゲージを埋め込んだものと質量および相対動弾性係数測定用の埋め込まないものの 2 種を作製した。

含水状態がひずみ挙動に及ぼす影響を把握するため、水分の供給が許される水中凍結融解および含水量を変化させた封緘供試体（飽水:含水率 24%、気乾:含水率 8%、絶乾）の凍結融解試験を行うこととし、水中供試体は鋼製容器内で水に浸漬し、

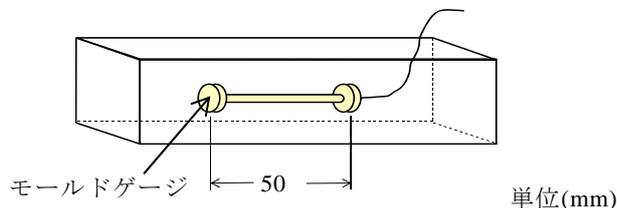


図-1 ゲージ埋設供試体

封緘供試体は厚さ 0.03mm のポリエチレンフィルムで密封した。

供試体は材齢 28 日まで 20℃水中養生を行い、水中凍結融解供試体および封緘飽水供試体は、ただちに凍結融解試験を開始した。封緘気乾および封緘絶乾供試体は所定の含水率になるまで 80℃で乾燥を行った後、ポリエチレンフィルムで密封し、凍結融解試験を開始した。試験は室温が変化する低温室で行った。1 サイクルを 12 時間とし、最高温度を 25℃、最低温度を-25℃とした。

3. 実験結果および考察

06PL 水中供試体のひずみ挙動を図-2 に示す。これによれば、試験開始直後から膨張を示し、残留ひずみが増大しており、10 サイクルで 1000×10^{-6} に達した。また、これ以降は内部ひずみを測定できなくなっており、この時点で大きな劣化を生じていることが示された。

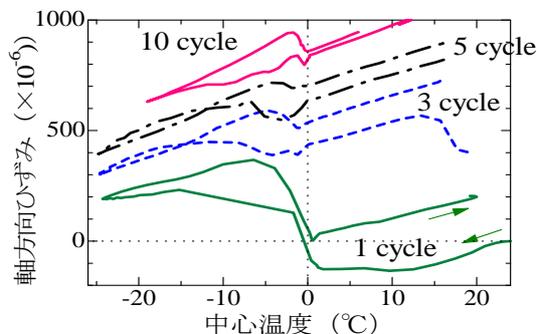


図-2 水中供試体(06PL)のひずみ挙動

キーワード ひずみ挙動 セメントペースト 凍結融解 含水量

連絡先 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目

TEL 011-706-6181

06AE 水中供試体のひずみ挙動を図-3 に示す。これによれば、ひずみの値はサイクル数の増加とともに膨張を示したが、60 サイクルにおける残留ひずみが 200×10^{-6} 程度であり、AE ペーストとすることによって凍結融解に伴う膨張を抑制することができることが示された。

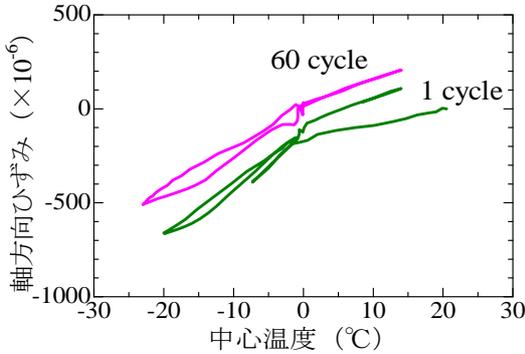


図-3 水中供試体(06AE)のひずみ挙動

06PL 気乾供試体については、図-4 に示すように、凍結融解サイクルの経過に伴い収縮の残留ひずみを示し、60 サイクルで -500×10^{-6} 程度となった。これは、凍結融解の過程で供試体外縁部と中心部の間に水分の移動が生じ、局所的な乾湿繰返しが生じ、それに伴う収縮と推測される。06AE 気乾供試体についても同様の傾向が見られた。

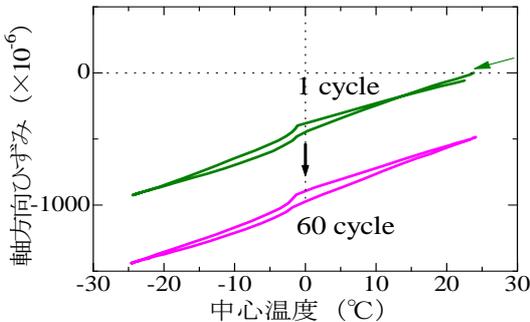


図-4 気乾供試体(06PL)のひずみ挙動

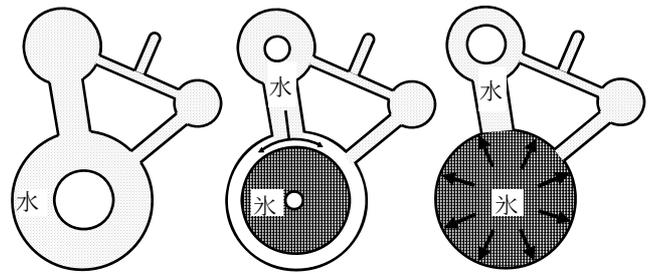
4. 凍害機構の検討

PL 水中供試体では、図-2 に示したように、凍結過程に比べ、融解過程に大きな膨張が見られた。ここでは、融解時 (0°C 以下) の氷の熱膨張に基づく凍害機構^{1),2)} がこの現象に適用できると考えられ、その概略を示す。

ほぼ水で飽和されたセメントペースト内の気泡と毛細管空隙を考える(図-5(a))。

[凍結過程]

① $T=0^{\circ}\text{C}$ において、気泡中の水が凍結する。



(a) $T<0^{\circ}\text{C}$ (b) $T<0^{\circ}\text{C}$ (凍結過程) (c) $T<0^{\circ}\text{C}$ (融解過程)

図-5 氷の熱膨張による凍害機構¹⁾

② $T<0^{\circ}\text{C}$ になると、気泡内の水は氷となるが毛細管空隙内の水は氷点降下のため液体を保つ。

③ $T \ll 0^{\circ}\text{C}$ の時、マトリクスおよび気泡内の氷は熱変形により収縮するが、マトリクスの線膨張係数は $10 \sim 15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるのに対し、氷では $56 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり氷の収縮量が大きくなり、気泡内に間隙ができる。毛細管空隙中の水は液体であるため、発生する負圧および毛管現象により、気泡内の間隙に水が浸入する。(図-5(b))

④間隙に侵入した水は凍結し、気泡は再び氷で満たされる。

[融解過程]

⑤ $T<0^{\circ}\text{C}$ において温度上昇による熱膨張が生じるが、マトリクスに比べ氷の線膨張係数が大きいいため、気泡内に氷による膨張圧が生じる(図-5(c))。氷は、凍結過程のように液体として他の空隙や毛細管に移動できず、回復不能のひび割れが生じる。

5. おわりに

(1) 水中凍結融解を受けるプレーンペーストは、初期から膨張が生じ、10 サイクル程度で大きな劣化を示した。AE ペーストでは、その膨張量は小さく抑えられることが示された。

(2) 気乾封緘供試体(含水率 8%)は凍結融解サイクルの経過に伴い収縮を起こした。これは凍結融解に伴い、内部の水が移動することによって生じたと考えられる。

参考文献

1) V.P. Grübl: Über die Rolle des Eises im Gefüge Zementgebundener Baustoffe, Beton 31, H.2, 54-58, 1981
 2) J.P. Kaufmann: Experimental identification of ice formation in small concrete pores, Cement and Concrete Research 34, 1421-1427, 2004