

(V-50) 凍結融解作用におけるコンクリートの表面劣化の基本メカニズムと耐久性向上法に関する研究

浅野工学専門学校 正会員 加藤 直 樹

防衛大学校 正会員 加藤 清 志・日本生産工学部 正会員 河 合 紘 茲

1. ま え が き

コンクリート構造物の全世界的な課題のひとつに、耐久性の早期劣化があげられる。とくにわが国の海洋環境条件からその設計コンセプトは厳しく設定されねばならない。すでにコンクリートへの水の浸透遮断が最重要であることを乾湿潤作用について報告したが¹⁾、本報では前報²⁾に引き続き、耐久性試験のうちでもっとも厳しい条件とされている「凍結融解試験」により、コンクリートの表面保護剤を使用し、表面劣化の基本メカニズムと耐久性向上に関する基本コンセプトを明らかにした。

2. 実 験 方 法

(1)コンクリート供試体と配合条件 供試体はJIS A 6204付属書2に準拠し、100×100×400mmの角柱で、7日間標準養生を行った。配合は1:1:2, 1:1.5:3, 1:2:4, 1:3:6の配合比に対し、スランプを3cmと15cmの2種、計8種とした。(2)凍結融解試験装置 1槽式、空冷・温水融解方式で、+5℃～-18℃を3～4hr/cで繰り返される。(3)コンクリート表面保護剤 発水系として多用される高級脂肪酸を主成分とするもの(PFと略記)と遮水系として多用される変性ポリエステルの共重合体を主成分とする油性浸透タイプ(PSと略記)の2種を採用し、いずれも気乾状態で2度塗りした。

3. 実 験 結 果

(1)強度特性 強度的には100～500kgf/cm²(9.8～49.1N/mm²)をカバーするものであった。

(2)重量変化の挙動 凍結融解315サイクルはでの重量減少率を図1に、また、表面劣化の状況を図2に示す。基本的には、単位セメント量の減少とスランプの増大が重量減少率に大きく影響を与えている。また、表面保護剤の使用はきわめて有効であり、その成分にも依存し、本実験ではやや高級脂肪酸型(PF)が良好であった。(3)相対動弾性係数変化の挙動 凍結融解サイクル数の

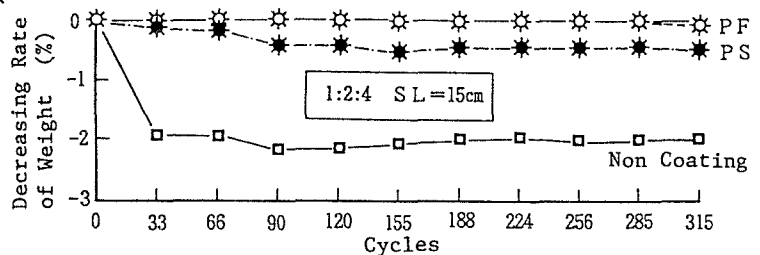


図1 凍結融解作用に伴う重量減少率

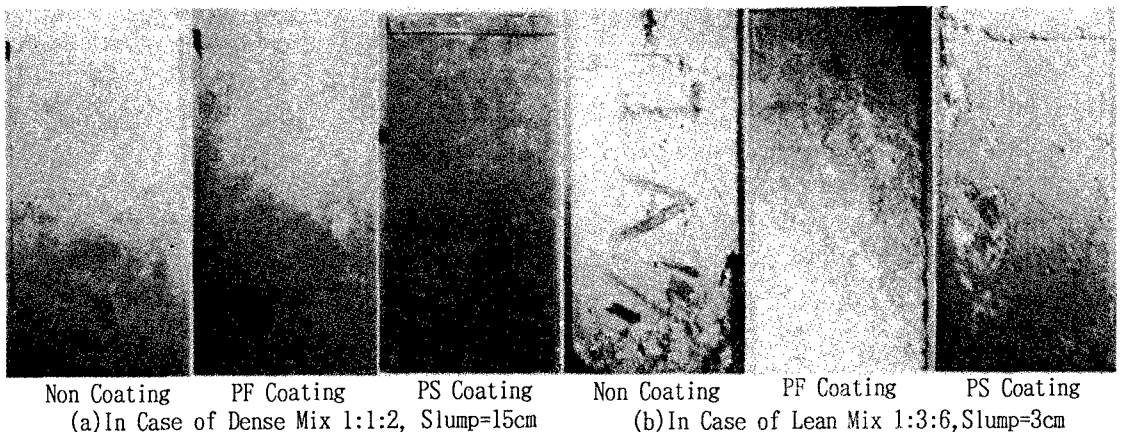


図2 凍結融解作用による表面劣化状況

進行を伴い、無塗布は単調に動弾性係数を低下させ、塗布した場合はその減少は激しくない。

4. 考 察

(1) 既往の研究による劣化のメカニズム 一般に次の要因があげられている³⁾。①粗大孔中の水の凍結膨張(+9%)によるマトリックスの引き裂き、②毛細管水の凍結による他の水の圧力上昇に起因する微細ひび割れの発生。

以上は分子レベルの吸着水は別として、マクロな余剰水は存在しないという現象的事実に反し、内的構造弛緩が先行せず、環境からの水の補給に起因する表面劣化が先行する。

(2) 表面劣化のメカニズム

[1]マトリックスのスケーリング

1) プロセス I (a) (図3) は環境界面近傍にある透水気泡で、厚肉球殻にモデル化すると凍結圧によりスケーリングが生じる。その限界遮水厚さ b_c は式①、図4であたえられる(p_i : 内圧)。

$$b_c = a \cdot \{p_i / (4.08 + 0.04f'_c) + 1\}^{1/3} \dots \dots \textcircled{1}$$

プロセス I (b) は環境界面近傍にある骨材粒子界面で浸透水が局所的に貯留する場合、I (a) と同上的スケーリングを発生させる。

[2]骨材粒子のポップ・アウト

図5に示すようにマトリックスのスケーリングのあと、粒子下面の気泡に水が浸透すると、結氷圧による押し出し力 f_p は界面の付着力 σ_{bo} と断ち切る。

いま、粒子界面上の単位面積あたりの平衡条件は式②で与えられる。

$$\sigma_{bo} = f_p (\equiv A_a \cdot p_i = 1.75 \pi d^2 p_i) \dots \dots \textcircled{2}$$

ここに、 A_a : 気泡附着面積、 d : 気泡直径。

[EX.] $d = 250 \mu m$, $p_i = 1,800 \text{ kgf/cm}^2$ (-18°C で 177 MPa), $\sigma_{cp} = 200 \text{ kgf/cm}^2$ (19.6 N/mm^2) でのポップ・アウトの可能性は?

(Ans.) $f_p = 6.2 \text{ kgf/cm}^2 > \sigma_{cp} = 0.03 \times 200 = 6.0 \text{ kgf/cm}^2$ (589 kPa)。ポップ・アウトの可能性がある。

[謝 辞] ワープロは防大・治部丸 良英事務官の尽力を受けた。付記して謝意を表する。

[参考文献] 1) 加藤清志・加藤直樹: コンクリートの乾・湿潤作用による耐久性劣化とその対策, セ技年報41, 昭62, pp. 359-362. 2) 加藤清志・加藤直樹: コンクリートの凍結融解作用による劣化機構と耐久性向上法に関する実験研究, 21回関支研概要, 平6.3, pp. 452-453. 3) 村田二郎・長瀧重義・菊川浩治: 土木材料・コンクリート, 共立, 平1.3 4) 山宗化学: AECインソルについて, 1978.

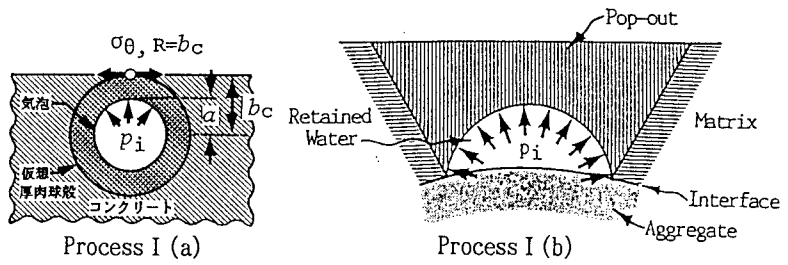


図3 スケーリングのモデル化

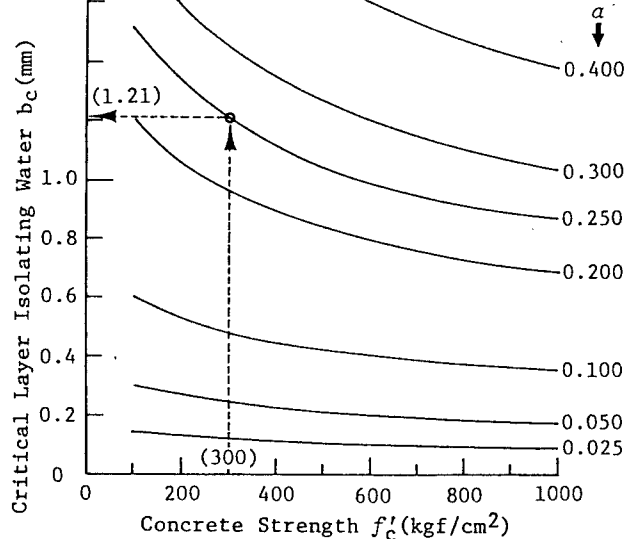


図4 コンクリートの限界遮水厚さと強度との関係

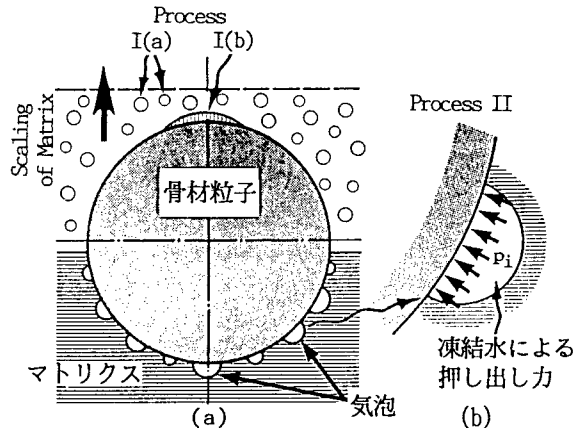


図5 骨材粒子のポップ・アウトのモデル化