

凍結融解作用を受けるコンクリートの接触水の水素イオン濃度を考慮した 中性化促進の基本メカニズムに関する研究

ケイコン(株) ○長谷川光弘
浅野工学専門学校 加藤直樹
日本大学研究所 加藤清志
日本大学生産工学部 河合紘茲
日本大学生産工学部 山本高義

1. まえがき

現用凍結融解試験法は、材料科学的視点からすれば、供試体寸法や形状や暴露条件、さらには暴露に伴う質量変化は「組織鈍感な物理量」(Structure-insensitive property)であることから、この代替指標として、新規に“表面欠損率”を定義し、“相対動弾性係数”・“暴露サイクル数”・“表面欠損率”の三要因相関関係を明確にし、その有意性を示した。加えて、凍結融解作用はコンクリートを中性化促進させるという現象的事実に気付き、この基本メカニズムを解明した¹⁾。

本報では、さらに、凍結・融解水の水質の pH の範囲に着目し、サイクル数との関係を希薄化のメカニズムの定量化について論じた。

2. 空げき水の初期イオン濃度と微小水循環

セメントペーストマトリクス空げき水中のイオンには、Na、K 等が検出されるが、セメントの水和反応は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の飽和度によって判定される。加水から4～5時間経過後のグリーンコンクリートの間げき水のカルシウムイオン濃度は 0.0133mole/ (530ppm) で、12時間程度で半減する²⁾。

一方、コンクリートマトリクス中には球殻空げきを含む

組織欠陥が存在するが、これらを球殻にモデル化したものが図1である。図1(a)は、容積Vの気泡殻が濃度 C_0 で飽水状態にあるものとする、凍結により $V/9$ の水が押し出される。図1(b)は、球状氷が融解すると、 $8/9 \cdot V$ の水と $V/9$ の真空状態となる。表1は微小水循環を示し、吸水はスポイト作用(Spuit action)による一種の物理的真空吸入により、球殻 $V_c = V/9$ へは容易な吸水が可能となる。

3. 微小水循環による希薄化と中性化

凍結融解試験槽には水道水(水道法第4条に基づく水質基準:性状に関連する項目では $\text{pH} = 5.8 \sim 8.6$)を使用するが、前報¹⁾では中性化($\text{pH} = 7.0$)の場合について解析した。本報では、管理限界 $\text{pH} = 5.8$ および 8.6 についての解析を示すものである。

3.1 試験槽流入水アルカリ性の場合

前述のように C_0 を球殻内濃度、 C_w を環境水溶液濃度とすると、表2のように希薄化が進行する。最終的濃度 C_i は式(1)のようになる。

$$C_i = (8/9)^i (C_0 - C_w) + 80/81 \cdot C_w \quad (1)$$

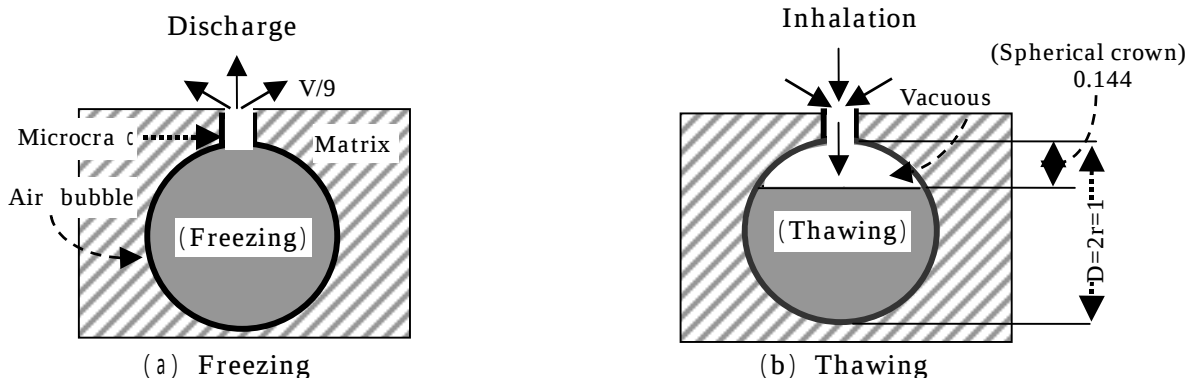


Fig. 1 Schema of spuit action.

Table 1 Water microcirculation due to freezing and thawing action.

Initial inundated state	Freezing state	Thawing state		
		Stage(1)	Stage(2)	Stage(3)
V=Volume of Air void	$V=I_{ce}$ V_c =Discharge of water	V_s =Water due to melting ice	V_c =Vacuous state	Inundated water V_c due to “Spuit action”

“Water microcirculation”

キーワード: 凍結融解作用、接触水、水素イオン濃度、中性化促進、表面欠損率、相対動弾性係数
〒613-0903 京都市伏見区淀本町225 ケイコン建設事業部 Tel(075)631-3651、Fax(075)631-5604

Table 2 Dilution process.

1st cycle: $8/9C_0 + 1/9C_w = 8/9C_0 + 1/9\{(8/9)^0 + 1 \times 0\}C_w$
2nd cycle: $(8/9C_0 + 1/9C_w) \times 8/9 + 1/9C_w = (8/9)^2C_0 + 1/9\{(8/9)^1\} + 1\}C_w$
3rd cycle: $[(8/9)^2C_0 + 1/9\{(8/9)^1 + 1\}C_w] \times 8/9 + 1/9C_w = \{(8/9)^3C_0 + 1/9\{(8/9)^2 + (8/9)^1 + 1\}C_w$
4th cycle: $[(8/9)^2C_0 + 1/9\{(8/9)^2 + (8/9)^1 + 1\}C_w] \times 8/9 + 1/9C_w = (8/9)^4C_0 + 1/9\{(8/9)^3 + (8/9)^2 + (8/9)^1\}C_w$
i th cycle: $[(8/9)^iC_0 + 1/9\{(8/9)^{i-1} + (8/9)^{i-2} + \dots + (8/9)^1 + 1\}C_w$
General Equation: $(8/9)^i(C_0 - C_w) + 80/81 \cdot C_w$

ここに、 C_L C_w C_U ; $C_U(8.6)$ 、 $C_L(5.8)$ は、それぞれ上方および下方管理限界とする。

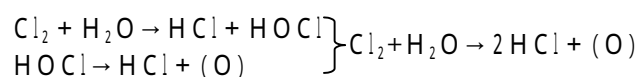
いま、 $C_i = C_w \equiv C_U$ とすると、式(1)より

$$i = \log\{1/81 \cdot C_w / (C_0 - C_w)\} \quad (2)$$

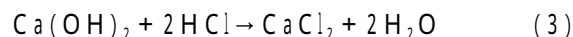
すなわち、球殻内は環境水濃度となり、じ後、アルカリ性のまま持続することになる。コンクリートの厳密な水中養生の場合には、石灰水溶液中に静置するが、このことは少しでも真水による中性化(脱アルカリ)を防止する手法として採用されるのである。図2は暴露に伴うアルカリ度の変動を示す。

3.2 試験槽流入水酸性の場合

浄水場では、細菌とくに病原菌除去のため塩素消毒をするが、塩素ガスを注入すると、水と反応し



この(O)が活性酸素で殺菌力をもつ。いずれにしてもHClに伴い酸性を示す。したがって、空げき内のアルカリ濃度 C_0 は式(3)のように中性化する。



1 cycleでの反応率を α とすると、 $\alpha = 2\text{HCl}/\text{Ca}(\text{OH})_2 = 2 \times 36(\text{g})/74(\text{g}) = 0.986$ 。したがって、1 cycleの反応量 ΔM は、i cycleでのアルカリ量を M_i とすると、式(4)により求まる。

$$C_0 : M_0 = C_i : M_i \quad M_i = C_i / C_0 \cdot M_0 \quad (4)$$

よって、濃度 C_i にいたるサイクル数は、式(5)により与えられる。

$$\begin{aligned} i &= M_i / \Delta M = C_i / C_0 \cdot M_0 / (M_i \alpha^9) \\ &= (9/\alpha) M_0 / C_0 \cdot C_i / M_i \end{aligned} \quad (5)$$

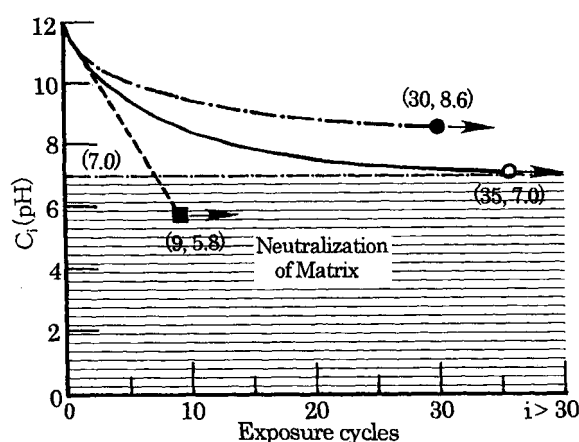


Fig. 2 Concentration vs. exposure relation.

[EX.] $\alpha = 0.986$, $M_0 = 530 \text{ ppm}$, $M_i = 261$, $C_0 = 11.8$, $C_i = 5.8$ とすると、下方管理限界にいたるサイクル数はいくらか。

$$i = 9/0.986 \times 530/11.8 \times 5.8/261 = 9.1 \quad 9 \text{ サイクル}$$

4. まとめ

コンクリートマトリクスは凍結融解作用により中性化が促進されるが、空げきへのスポイト作用により吸水が行われ、水道水の上・下方管理限界に対し、前者にはアルカリ性の保持サイクル数を、後者には9サイクル程度で中性化を開始することを示した。

【参考文献】

- 1) 加藤直樹ほか、凍結融解作用を受けるコンクリートの半透膜現象を考慮した中性化促進機構に関する研究、第45回材研連講演論文集、pp. 300-301(2002)
- 2) 小早川真ほか、圧縮抽出したセメント硬化体中空隙水の化学成分、コンクリート工学、Vol. 38、No. 10、pp. 51-55 (2002)