

V—7 海水の作用を受けるコンクリートの耐凍害性に及ぼす空気量の影響(第2報)

北見工業大学 正会員 鮎田 耕一

北見工業大学 正会員 林 正道

北見工業大学 正会員 猪狩平三郎

1. まえがき

連続してあるいは、しばしば飽水されるようなコンクリート構造物で、かつ侵入した水が凍るような場合には凍結融解作用に対して厳しい条件にあるため凍害を受けやすい。このことは古くから明らかにされていて、例えば北海道土木技術会が昭和29年から行なった道内のコンクリート構造物(経過年数3～52年)に対する実態調査結果にすでに報告されている¹⁾。また、海水の作用を受ける構造物は内陸にある構造物に比べるとさらに条件が厳しく、北海道開発局が昭和47年から行なった実態調査²⁾の結果では、海岸・港湾構造物(経過年数1～9年)は、その他のものに比べて2倍以上の凍害発生率を示しているし、また、北海道土木技術会が昭和54年に実施した調査³⁾では施工から1冬経過後に海岸・港湾構造物の70%にスケーリングが発生していることを明らかにしている。

このような被害の状況に対してその対策を図るため筆者らは各種の実験を行なってきたが、空気量の効果については昭和56年度の本論文報告集⁴⁾にプレーンコンクリート及び空気量が4～5%と9～20%の広い範囲にあるA Eコンクリートの場合について検討した結果を報告した。この結果、9%以上の空気を入れることは4～5%の空気量のコンクリートと比べて海水の作用を受ける場合でも効果が少ないことを明らかにしたが、適正空気量を求めるには至らなかった。そこで、さらに空気量4～8%のA Eコンクリートの場合について検討したので、本文ではその結果について報告する。

また、併せて硬化コンクリートの気泡組織をパーソナルコンピュータを用いた画像解析システムによって測定することを試みたので、その結果についても報告する。

2. 使用材料、配合及び凍結融解試験方法

セメントは混合材を加えていない普通ポルトランドセメント(比重3.18、比表面積 $3060\text{cm}^2/\text{g}$)を用いた。細骨材は札内川産の川砂(比重2.64、吸水率2.10%)と川砂利(最大寸法25mm、比重2.68、吸水率1.48%)、A E剤はヴィンソル80を用いた。練りませ水は水道水である。

用いたコンクリートの配合、練りあがり性状及び材令28日(標準養生)の圧縮強度、静弾性係数($1/3$ 割線係数)を表-1に示した。

凍結融解試験は1サイクル4時間(凍結温度 -18°C 、融解温度 $+5^\circ\text{C}$)の海水または淡水中における急速試験で標準養生材令28日から開始した。供試体寸法は $10\times 10\times 40\text{cm}$ であり一条件につき3個用いた。ほぼ30サイクルごとに動弾性係数、長さ、質量を測定し300サイクルまで実験を行なった。

3. 画像解析による硬化コンクリートの気泡組織の測定

硬化コンクリートの気泡組織は一般にはASTM C457によって測定されている。この方法は顕微鏡を用

表-1 コンクリートの性状

配 合				練りあがり性状			硬化コンクリート			
単 位 量 (kg)				W/C	s/a	スランプ	空気量	温 度	σ_{28}	E_s
セメント	水	細骨材	粗骨材	(%)	(%)	(cm)	(%)	($^\circ\text{C}$)	(kgf/cm^2)	(tf/cm^2)
260	138	645	1329	53.1	33	8.0	4.1	18.5	312	278
260	134	631	1300	51.5	33	8.0	6.1	18.0	285	246
260	125	621	1281	48.1	33	9.0	8.0	20.0	308	266

表-2 硬化コンクリートの気泡組織

まだ固まらないコンクリートの空気量	4 %			6 %			8 %		
	A	a	L	A	a	L	A	a	L
A S T M 法	3.1	281	199	6.2	216	164	7.6	237	116
画像解析法	2.9	228	253	5.2	209	199	8.3	235	106

A : 空気量 (%)

a : 比表面積 (cm^2/cm^3)

L : 気泡間隔係数 (μm)

い肉眼で気泡の数などを測定するものであるから大変な根拠が要求されるとともに、しばしば気泡かどうかの判別に測定者の個人差がでてくることがある。

そこで本研究では ASTM 法のほかにパーソナルコンピュータを用い画像解析によって気泡組織を測定する⁵⁾ことを試み両方法の比較を行なった。

試料の作製と処理：供試体を打ち込み面に垂直に切断し 10 cm 角の試料を作製した。ASTM の修正ポイントカウント法による測定後、画像解析用に気泡とその他の部分を区分するための処理を行なった。すなわち、測定面を水性の黒色スタンプ液で着色後約 60 °C の気中で 48 時間温め、白色の ZnO ペースト (ZnO とワセリンを等量混合) を一様の厚さに塗り、大きな気泡には指先で詰めた。常温になった後約 3 °C の気中で 1 時間冷却し、気泡部分以外のペーストをセメントナイフで除去した。さらに、ペーストを完全に除去するために石膏を測定面に散布しペーストとともにセメントナイフで除去した。

以上の処理を行なうことにより気泡を白色に、その他の部分を黒色に色分けした。

画像解析の方法：本実験に用いたシステムでは画像を 160 × 160 ドットに分割できるが、試料の 1 画像の範囲を 3 × 3 mm とし、約 20 μm より大きい直径の気泡が識別できるようにした。

試験結果とこれからの問題点：両方法による試験結果を表-2 に示した。値は同じ配合の供試体 2 個の平均値であり、画像解析の処理画像数は 1 試料につき 300 面である。両方法による測定結果はほぼ同じ値を示しているといえる。一部にやや差が生じているデータもあるがこの原因が ASTM 法、画像解析法のどちらにあるのかは現在のところ不明である。また、画像解析の処理画像数と得られたデータの関係を図-1 に示した。この結果から 200 画像程度を処理すると実用上は十分な値の範囲に結果が収斂するといえよう。

このように画像解析処理方法は試験方法としては有用な方法と思われるが、筆者らが用いた方法の欠点は時間がかかりすぎることである。すなわち、仮に 200 画像処理するとすれば 3 ~ 4 時間かかり ASTM 法では同一面積を半分程度の時間で済むことから、今後測定時間短縮にむけて処理機構の改良をすすめていきたいと考えている。

4. 耐凍害性を得るための空気量

凍結融解試験の結果を図-2 に示した。また、凍結融解試験開始時 (材令 28 日) の圧縮強度と凍結融解 300 サイクル終了時の相対動弾性係数、長さ増加比、質量減少率を図-3 に示した。長さ増加比は内部組織

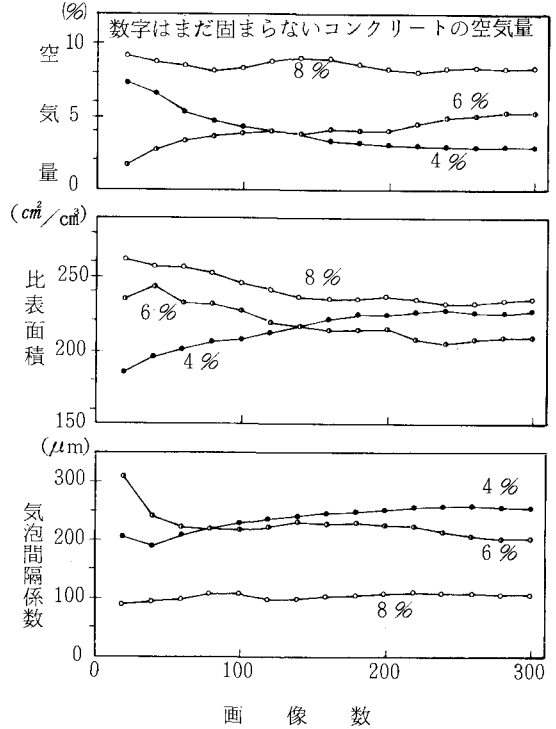


図-1 画像解析の結果

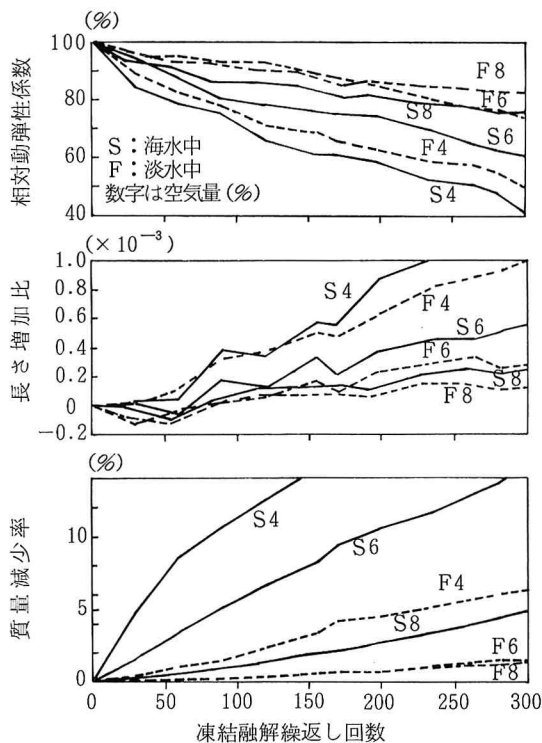
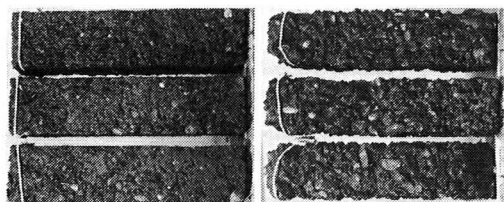
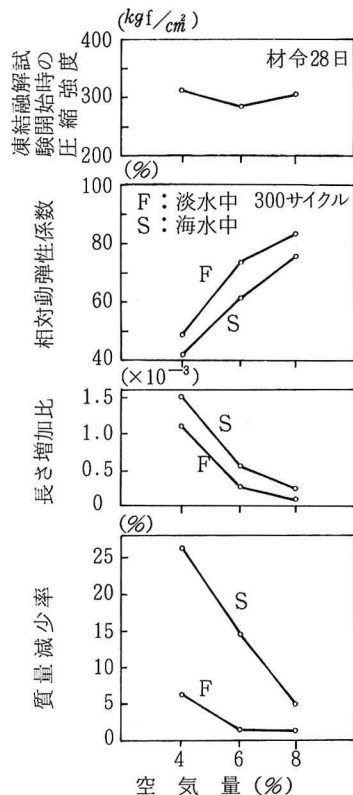
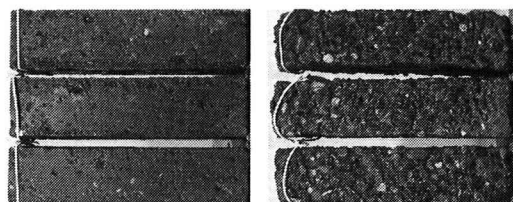


図-2, 図-3 凍結融解試験結果



写真(1) 空気量 4 %



写真(2) 空気量 6 %

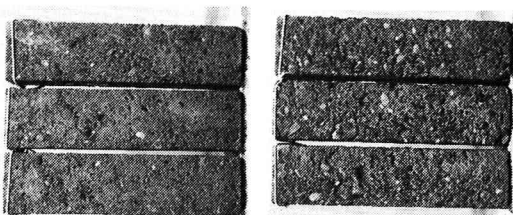
のゆるみを、質量減少率はスケーリングによる影響を主に表している。

実験の結果から明らかになったことは次の通りである。なお、ここでいう空気量はまだ固まらないコンクリートの空気量である。

1) 4～8%の範囲で空気量が増加しても圧縮強度は変わらない。すなわち、エントレインドエアのワーカビリティ改善効果のために空気量が多いほど単位水量が少なく、結果としてW/Cが小さくなり空気連行による強度低下の悪影響を相殺している。

2) 海水中で凍結融解作用を受けた場合には、淡水中に比べて耐久性が劣り特にスケーリングの発生が著しい(写真参照)。これは筆者らがかって明らかにしたように⁶⁾露出面近傍のセメント硬化体中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が海水の侵入によって溶出し毛細管空隙が多くなり、そのため凍結可能水量が増加することが主な原因であると思われる。

3) 4～8%までの範囲で空気量が増すほど、淡水中でも海水中でも耐凍害性は改善される。これはこの範



写真(3) 空気量 8 %

囲の空気量では前述のように空気量の増加に伴う強度低下がないのに加えて、空気量が多い硬化コンクリートでは気泡間隔が表-2に示したように狭く、それが凍結水による膨張圧を緩和しているためといえよう。

以上の実験結果からコンクリートの耐凍害性確保のための適正空気量について次のことがいえよう。

1) 海水の作用を受けるコンクリートの耐凍害性を確保し、特にスケーリングの抑制を図るためには空気量は8%が望ましい。

2) 淡水の作用を受ける場合の耐凍害性も空気量が多いほど改善されるが、内部組織のゆるみ及びスケーリングを抑制するには空気量6%ではほぼその目的が達せられる。

3) 土木学会のコンクリート標準示方書(昭和55年版)では、耐久性確保のための空気量として3~6%を、同示方書解説では配合のための概略値として5%(粗骨材の最大寸法25mmの場合)をそれぞれ推奨し、またレデーミクストコンクリートの標準品(JIS A5308-78)では通常で4%、寒冷地で4.5%(粗骨材の最大寸法20~40mm)と定めている。これらはいずれも淡水、海水の作用の区別はされていない。前述の筆者らの実験の範囲からいえば連続してあるいは、しばしば飽水されるような構造物・部材の場合には、現行の土木学会の標準示方書やJISの値より多い空気量の方が望ましいことになる。ただし、実験は水中で行なったものなので、飽水されないような構造物・部材ではこれより少ない空気量であっても耐久性の確保は可能であろう。したがって耐凍害性確保のための適正空気量は構造物・部材の露出条件によって区別することが望ましい。ちなみに、ACI 211.1-81(Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete)では露出条件をMild, Moderate, Extremeに分けて推奨空気量をそれぞれ3.0, 4.5, 6.0%(粗骨材の最大寸法25mm)としている(海水の作用については触れていない)し、ACI 201.2R-77(Guide to Durable Concrete)でも同様の措置をとっている。我が国の規準もこのような露出条件による区分が必要と思われるし、さらに、海水の作用を受ける構造物を対象とした規準が必要となろう。

5. まとめ

コンクリートの耐凍害性を確保するために必要な適正空気量に関する実験と、それに付随して硬化コンクリートの気泡組織測定システムに関する検討を行なった結果、以下のことが明らかになった。

1) 連続してあるいは、しばしば飽水される構造物・部材の耐凍害性を得るための空気量(粗骨材の最大寸法25mm)は海水の作用を受ける場合で8%、淡水の作用を受ける場合で6%が望ましい。

2) 耐凍害性確保のためのコンクリートの適正空気量を定めるにあたっては、構造物・部材の露出条件(海水か淡水かの違い、飽水の程度の違い)ごとに区分することが必要であろう。

3) パーソナルコンピュータを利用した画像解析によって硬化コンクリートの気泡組織の測定を試みた結果、特性値(空気量、比表面積、気泡間隔)はASTM法とほぼ同じ値が得られたものの、処理時間がASTM法に比べて約2倍かかったため今後さらに処理機構の改善を図る予定である。

参考文献

- 1) 横道英雄: コンクリート構造物の腐食状況調査について、北海道土木技術会研究資料第10号、1957.2
- 2) 今井益隆: コンクリート構造物の凍害調査、コンクリート工学、Vol. 14, No.11, 1976.11
- 3) 佐伯、鮎田、前川: 北海道の海岸および港湾コンクリート構造物の凍害による表面剥離損傷、土木学会論文報告集、第327号、1982.11
- 4) 鮎田、林、猪狩: 海水の作用を受けるコンクリートの耐凍害性に及ぼす空気量の影響、土木学会北海道支部論文報告集、第38号、1982.1
- 5) S.Chatterji, H.Gudmudsson: Characterization of Entrained Air Bubble Systems in Concretes by Means of an Image Analysing Microscope, Cement and Concrete Research, Vol.7, 1977.7 (魚本、武若抄訳、コンクリート工学、Vol. 18, No.10, 1980.10)
- 6) 鮎田、林: 海水にさらされたコンクリート露出面の強度性状、セメント技術年報36、1982