

V-8 締固め方法が異なるコンクリート製品の気泡組織と耐凍害性

北見工業大学大学院	学生員	増岡 宗朗
北見工業大学工学部	正 員	鮎田 耕一
〃	正 員	桜井 宏
〃	正 員	猪狩平三郎

1 はじめに

蒸気養生を行ったコンクリート製品には耐凍害性に優れたものが多いが、中には比較的容易に凍害を起こすものもある。この早期凍害発生の原因については十分に解明されていないがコンクリート製品特有の原因、すなわち①昇温速度などの蒸気養生条件によるもの、②製品製造過程での品質変動等が考えられる。蒸気養生条件に関しては、早期の高温養生や速い昇温がコンクリートの強度発現や耐凍害性に悪影響を及ぼしていることなどが想像され、また品質変動に関しては、配合で定めた適正な空気量が強力な振動締固めなどのためにコンクリート製品中には含まれていないことなどが想像される。

本研究では振動締固め方法を変えたコンクリート製品（以下「製品」という）を製造し、締固め方法とコンクリート製品中の気泡組織の関係について調べた。また、製品製造過程での締固め作業により気泡組織が変化したコンクリートを想定し、そのモデルとして空気量の少ないコンクリート供試体（以下「供試体」という）を作成し耐凍害性と圧縮強度性状を検討した。

2 実験概要

2.1 使用材料

表1に、製品と供試体に用いた材料を示す。

表1 使用材料

製品	セメント	普通ポルトランドセメント	比重 3.16, 比表面積 (ブレーン法) 3320 cm ² /g
	細骨材	陸砂	比重 2.62, 吸水率 1.18 %, 粗粒率 2.69
	粗骨材	碎石	最大寸法 20mm, 比重 2.87, 吸水率 1.62 %, 粗粒率 6.65
供試体	セメント	普通ポルトランドセメント	比重 3.16, 比表面積 (ブレーン法) 3330 cm ² /g
	細骨材	川砂	比重 2.62, 吸水率 2.49 %, 粗粒率 2.67
	粗骨材	川砂利	最大寸法 25mm, 比重 2.66, 吸水率 1.54 %, 粗粒率 6.87

2.2 配合

表2に製品と供試体の配合を示す。

2.3 製品・供試体の形状・寸法

製品の作成には土木型普通緑石（直線）の型枠を使用した。気泡組織試験用の試験体は材齢9日で緑石から切り出した。供試体の作成には100×100×400mmの角柱鋼製型枠とφ100×200mmの円柱鋼製型枠を使用した。図1と図2に製品及び角柱供試体の形状・寸法と気泡組織試験用に切り出した試験体の寸法及びその位置を示す。

Air Void System and Freeze-Thaw Resistance of Steam Cured Concrete
by Muneaki MASUOKA, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI and Heizaburoh IGARI

表 2 配合

	スランプ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W / C (%)	細骨材 率 s / a (%)	単位量			
					水 W (kg)	セメ ント C (kg)	細骨 材 S (kg)	粗骨 材 G (kg)
製品 (a, b)	8.0±2.5	4.5±1.0	41.8	41.0	134	321	772	1217
c		1.5±0.5		36.0			705	1272
d		2.5±0.5		40.0			757	1152
供試体 e	8.0±2.5	3.5±0.5	45.0	43.0	149	330	802	1080
f		4.5±0.5		43.0			791	1064

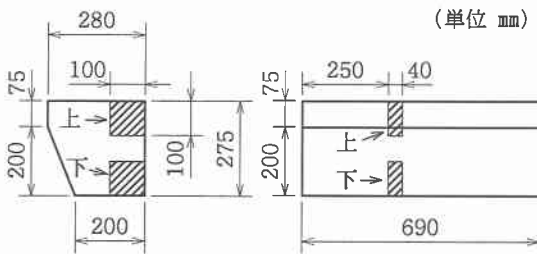
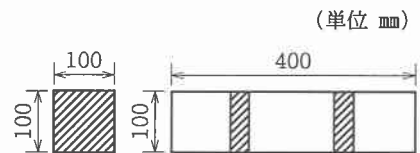


図 1 製品の形状と試験体採取位置 (斜線部)

図 2 供試体の形状と
試験体採取位置 (斜線部)

2.4 締固め

製品、供試体とも締固めには内部振動機を使用した。使用した振動機の種類を表3に示す。

製品の作成には棒径28mmと38mmの振動機を使用し、振動時間をそれぞれ2種類とした。コンクリートは層分けせずに型枠に詰めて振動機をかけた。

供試体の作成には棒径25mmの振動機だけを使用し、振動時間は10秒とした。角柱供試体は層分けせずにコンクリートを詰め振動機をかけ、円柱供試体は2層に分けて振動機をかけた。

2.5 養生

製品、供試体ともコンクリート打込み終了後型枠のまま養生槽に入れ蒸気養生を行った。蒸気養生条件を表4に示す。なお前養生も蒸気養生槽の中で行った。

蒸気養生終了後、製品は気泡組織測定用の試験体を切り出すまで気中に置いた。切り出した試験体は材齢

表 3 使用した振動機

	棒径 (mm)	振動数 (vpm)	時間 (秒)
製品 a	28	11000~14000	90, 180
製品 b	38	9500~12000	90, 150
供試体 (c ~ f)	25	12000~14000	10

表 4 蒸気養生条件

	前養生 期 間		温度上昇 期 間		等温養生 期 間	
	温度 (℃)	時間 (hr)	昇 温 速 度 (℃/hr)	温度 (℃)	時間 (hr)	温度 (℃)
製品 (a, b)	20	2	15	65	3	
供試体 (c ~ f)	20	2	20	85	4	

14日まで室温20±5℃の部屋で湿潤養生を行った。

供試体は凍結融解試験開始材齢あるいは圧縮強度試験材齢まで室温25±3℃の部屋で湿潤養生を行った。

2.6 試験項目

(1)フレッシュコンクリートのスランプ、空気量、温度

製品、供試体ともコンクリートの練上がり直後のスランプ、空気量、温度を測定した。

(2)耐凍害性

供試体は、蒸気養生終了後の養生を14日間行った後、土木学会規準「コンクリートの凍結融解試験方法」に準じ水中急速凍結融解試験を300サイクルまで行い、ASTM C 666に準じて耐久性指数を求めた。なお、製品については耐凍害性を調べていない。

(3)圧縮強度

供試体は材齢0日、1日、14日、28日、91日に試験を行った。材齢0日は蒸気養生の等温養生期間終了時である。なお、製品については圧縮強度を調べていない。

(4)硬化コンクリートの気泡組織試験

ASTM C 457の修正ポイントカウント法に準じて画像解析システム¹⁾を用い、空気量、比表面積、気泡間隔係数を測定した。

3 実験結果

表5に製品のフレッシュコンクリートの性状と硬化コンクリートの気泡組織の結果を示す。記号a、bは使用した振動機の違い(表3参照)を、気泡組織の上側、下側は図1の試験体採取位置を表す。

表6に供試体のフレッシュコンクリートの性状、硬化コンクリートの耐久性指数、圧縮強度、気泡組織の結果を示す。耐久性指数は急速凍結融解試験300サイクル終了後の値である。

表5 実験結果(製品)

	振動 時間 (秒)	フレッシュコンクリートの性状			硬化コンクリート気泡組織						
		スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)	空気量 (%)		比表面積 (cm ² /cm ³)		気泡間隔係数 (μ m)		
					上側	下側	上 側	下 側	上 側	下側	
	製品	a	90	6 . 2	4 . 4	18.0	3 . 4	3 . 8	350	339	153
	180	3 . 4	3 . 3				357	360	150	150	
b	90	3 . 5	3 . 6				331	334	158	156	
	150	3 . 8	2 . 6				360	362	141	169	

表6 実験結果(供試体)

	フレッシュコンクリートの性状			耐久性 指数	圧縮強度 (kgf/cm ²)					硬化コンクリート気泡組織			
	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (℃)		材齢 0日	材齢 1日	材齢 14日	材齢 28日	材齢 91日	空気量 (%)	比表面積 (cm ² /cm ³)	気泡間 隔係数 (μm)	
供試体	c	6.5	1.6	20.0	2	168	206	246	271	342	0.8	305	344
	d	6.0	2.5	22.0	4	167	200	234	275	319	1.5	290	279
	e	6.0	3.9	23.0	7	188	213	273	304	330	2.8	333	191
	f	6.5	4.5	23.0	93	158	202	264	304	357	3.6	306	187

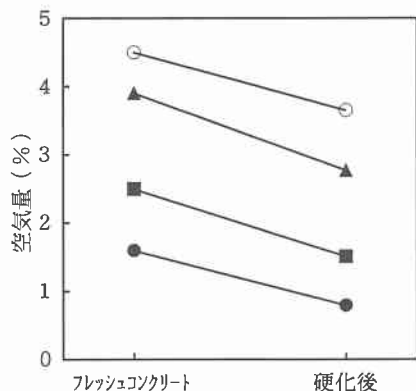


図3 フレッシュコンクリートと硬化コンクリートの空気量

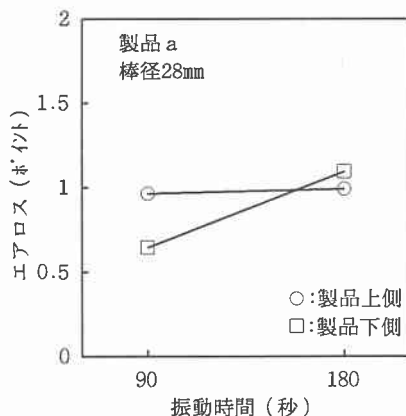


図4 締固めによるエアロス (製品 a)

4 考察

4.1 締固めが気泡組織に及ぼす影響

図3に供試体のフレッシュコンクリートの空気量と硬化コンクリートの空気量を示す。硬化コンクリートの空気量はフレッシュコンクリートよりも約1ポイント減少しており、いずれの配合でも減少量はほぼ一定である。

図4に棒径28mmの振動機を使用した製品aのエアロスを示す。エアロスはフレッシュコンクリートの空気量から硬化コンクリートの空気量を引いた値である。製品上側のエアロスは、振動時間にかかわらず供試体とほぼ同じの約1ポイントである。製品下側のエアロスは、振動時間の短い場合は供試体や製品上側より少なくなっている。振動時間によって製品上側の空気量がほとんど変わらないのに対し、振動時間が長くなるにつれて製品下側のエアロスが多くなっているのは、締固めに伴い製品下側の気泡が製品上側に移動したためと思われる。

図5に棒径38mmの振動機を使用した製品bのエアロスを示す。振動時間が90秒の場合のエアロスは、供試体あるいは製品aとほぼ同じの約1ポイントである。振動時間が長くなると製品下側のエアロスは促進され、製品上側のエアロスはむしろ抑制されている。振動時間が150秒の場合に製品上側のエアロスが少なくなるのは、製品から消失する空気量よりも製品下側から上側に移動する空気量が多いためと思われる。

以上の結果、使用した振動機の種類にかかわらず、振動時間を必要以上に長くすると製品下側部分のエアロスが供試体のエアロスより多くなることが明らかになった。

表5に示したように製品上側、下側とも振動機の棒径や振動時間にかかわらず気泡の比表面積はほぼ同じである。このことから製品下側から上側への気泡の移動の際にいくつかの小さな気泡が集合などして大きな気泡となることはなく、気泡は分散したまま移動しているといえよう。

図6に棒径28mmの振動機を使用した製品の気泡間隔係数を示す。試験体の採取位置や振動時間にかかわらず気泡間隔係数はほぼ同じで、いずれも小さい。

図7に棒径38mmの振動機を使用した製品の気泡間隔係数を示す。振動時間を長くすると製品上側の気泡間

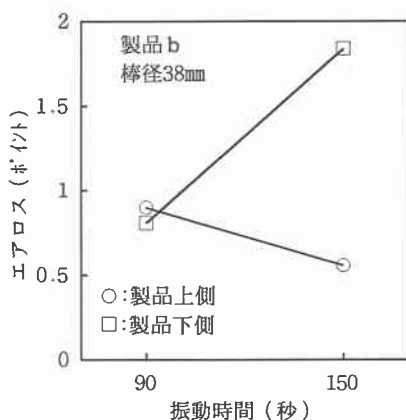


図5 締固めによるエアロス (製品 b)

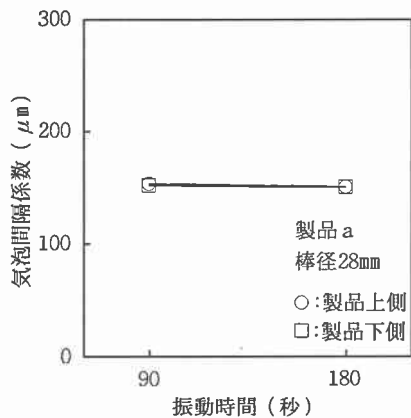


図6 振動時間と気泡間隔係数の関係（製品a）

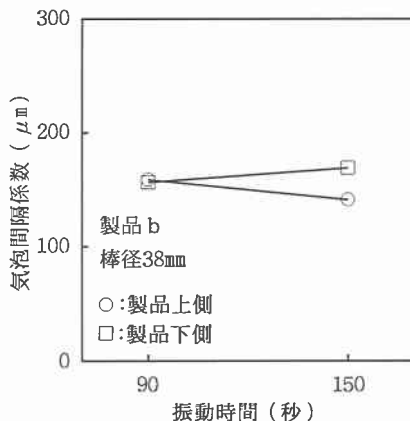


図7 振動時間と気泡間隔係数の関係（製品b）

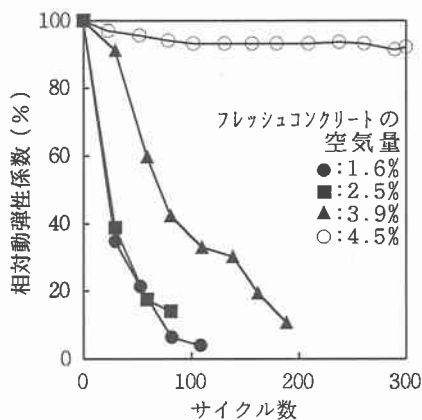


図8 凍結融解試験結果

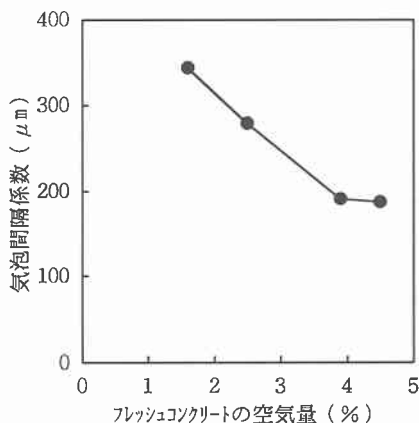


図9 空気量と気泡間隔係数の関係

隔係数はやや小さく、下側はやや大きくなっているもののほぼ同じ値を示し、いずれも気泡間隔係数は小さい。

4.2 気泡組織が耐凍害性に及ぼす影響

図8に供試体の急速凍結融解試験から求めた相対動弾性係数の結果を示す。フレッシュコンクリートの空気量が1.6～3.9%の供試体は凍結融解繰返し回数が300サイクルになる以前に破壊した。

図9に供試体のフレッシュコンクリートの空気量と硬化コンクリートの気泡間隔係数の関係を、図10に供試体のフレッシュコンクリートの空気量と耐久性指数の関係を示す。フレッシュコンクリートの空気量が1.6%から4.5%になるにつれて気泡間隔係数が小さく

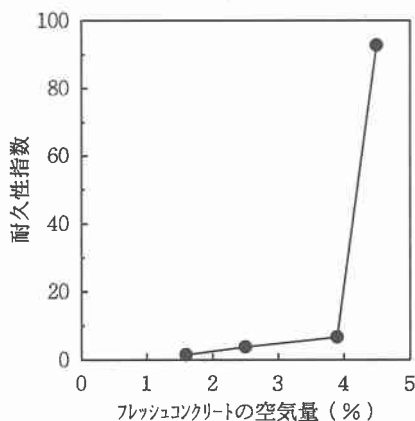


図10 耐久性指数

なり、耐凍害性が向上している。

以上から、フレッシュコンクリートに空気量が適正に含まれていれば、気泡間隔係数が小さくなり蒸気養生コンクリートであっても耐凍害性が確保されることが確認された。

図11に供試体の気泡間隔係数と耐久性指数の関係を示す。気泡間隔係数が小さいほど耐久性指数が高くなっている。製品の気泡間隔係数は表5から明らかなように169よりも小さいので、蒸気養生条件が異なるものの製品の耐久性は締固め方法にかかわらず良好であると考えられる。

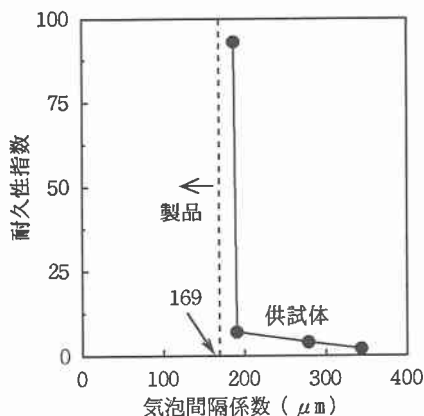


図11 気泡間隔係数と耐久性指数

5 おわりに

振動締固めがコンクリート製品の耐凍害性に及ぼ

す影響を明らかにすることを目的として振動機、振動時間を変えたコンクリート製品を作成し、その気泡組織を調べた。また、それと比較することを目的として別に空気量の異なる供試体を作成し、その気泡組織と耐凍害性を調べた。その結果、明らかになったことは次のとおりである。

1) 使用した振動機の種類にかかわらず振動時間を必要以上に長くすると製品下側部分のエアロスが多くなった。

2) 製品の気泡組織試験の結果、エアロスの最も多い所での気泡間隔係数でも耐凍害性に優れた供試体の気泡間隔係数より小さく、この実験で用いた締固め方法による製品の耐凍害性は優れていることが推測された。

本研究の実施にあたりご協力いただいた網走管内コンクリート製品協同組合、山上高圧コンクリート㈱に感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 鮎田耕一、桜井宏、田辺寛一郎：硬化コンクリート気泡組織の照度差による画像解析、土木学会論文集、第420号/V-13、pp. 81-86、1990. 8