

即時脱型ブロックコンクリートの品質について

On Properties of Block Concrete Produced by Using Form Vibrator

太田利隆* 岡村 武** 大西弘之***

近年、即時脱型工法によるコンクリートブロックが、河川護岸、土止め擁壁その他土木工事に多用されるようになり、二次製品としてその普及はめざましい。

このため、現在生産されている即時脱型ブロックコンクリートの品質の確認を行うとともに、即時脱型ブロックコンクリートの耐久性向上を目的として、エントレインド・エアを連行させた硬練りコンクリートの空気量の管理方法、強度、耐久性に及ぼす影響などについて実験を行いブロックコンクリートの品質特性について検討したものである。

《コンクリートブロック；AEコンクリート；強度；耐久性》

1. まえがき

コンクリート技術の進歩によって、機械振動締固めによるコンクリートブロックの即時脱型工法が急激に普及してきた。この工法によるコンクリート製品は、一般に超硬練りで水セメント比の小さいコンクリートを加圧振動で強力に締固めるため、一般に強度・耐久性などに優れている。その反面、製品の品質は加圧振動機の振動数、振幅、振動時間、加圧あるいはコンクリートの配合、材料の管理などにより、品質にバラツキが生じやすいともいわれている。本文は即時脱型（以下即脱と略

す）により生産されるコンクリートブロックについて、主としてコンクリートの圧縮強度および凍結融解抵抗性に関する実験を行い、その品質特性について検討したものである。

2. 使用材料と品質

(1)セメント

セメントはN社の上磯工場から直送した普通ポルトランドを使用した。この物理的性質は表-1に示すとおりである。

表-1 セメントの物理的性質

比 重	比表面積 (cm^2/g)	凝 結					安 定 性	酸化マグ ネシウム (%)	三酸化 硫 黄 (%)	強 熱 減 量 (%)
		室 温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)				
3.16	3140	20.2	97	28.2	2-52	3-53	良	1.7	2.1	0.4

けい酸三 カルシウム (%)	アルミン 酸三カル シウム (%)	フロー値 (mm)	曲げ強さ ($\text{kg f}/\text{cm}^2$)			圧縮強さ ($\text{kg f}/\text{cm}^2$)			養生温度 ($^{\circ}\text{C}$)	
			3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日	室 温	水 温
51	8	243	33	43	65	132	226	400	20.2	20.2

(2) 骨材

細骨材、粗骨材は、ともに沙流郡富川町浜厚真の海岸砂および海岸砂利を用いた。これらの物理的性質は表-2に示すとおりである。

(3) 混和剤

混和剤はAE剤ビンゾールを使用した。

3 実験の概要

即脱コンクリートには、エントレインド・エアを連行しない混和剤の使用が強度上また外観上から有効であるとされており、現在市販されているこの工法のコンクリ

* コンクリート研究室長 ** 同室主任研究員 *** 前同室員 現企画課調査係員

表-2 骨材の物理的性質

項 目	細 骨 材	粗 骨 材	項 目	細 骨 材	粗 骨 材
比 重	2.70	2.70	ロサンゼルスによるすり へり抵抗試験 (%)	—	15.6
吸 水 率 (%)	1.56	1.06	安 定 性 試 験 (%)	1.18	5.84
単 位 容 積 重 量 (kg/ℓ)	1.81	1.71	粘 土 塊 試 験 (%)	0	0
実 績 率 (%)	68.1	64.0	比重1.95の液体に浮く粒 子の試験 (%)	0.6	0
洗い試験 (%)	1.92	0.80	軟 石 量 試 験 (%)	—	0.39
有機不純物試験	良	—	海砂中の塩分含有量試験 (%)	0.0094	—

ートブロックは、ほとんどブレンコンクリートで製造されている。実験Aでは、現在製造され広く工事に用いられているブレンコンクリートによる即脱ブロックコンクリートの品質を把握するため、養生条件を変化させて圧縮強度試験および凍結融解試験を行った。また実験Bでは、即脱工法によるAEコンクリートの研究がきわめて少ないことから、AE剤を用いたブロックコンクリ

ートの圧縮強度試験、凍結融解試験を実施し、実験A、Bについての比較検討を行ったものである。

(1) ブロックの成形

ブロックの振動成形機は、加圧を併用した即脱方式のものであり、その性能、仕様は表-3のとおりである。また試作に用いたブロックの形状、寸法およびコア供試体の採取位置は図-1に示したとおりである。

表-3 振動成形機の性能、仕様

成 形 機 名 称	千代田DE-II型 油圧式振動成形機
形 状 (mm)	D 1550×L 2200×H 2400 2,400kg
振 動 方 式	一軸アンバランスウエイト式上下振動
振 動 数・振 幅	3900~4000v pm 1.3~1.5mm (負荷時)
加圧油圧モーター	3.75K W
操 作 方 法	手動式
製 造 能 力	80~110個/時

(2) ブロックの養生

養生方法は、基本養生として20℃水中浸漬の標準法、ほとんどの生産工場で一般に実施している散水法、蒸気法ならびに脱型後とくに養生を行わず自然放置状態とした気乾法の4種類である(図-2参照)。

(3) フレッシュコンクリートの管理

即脱コンクリートは超硬練りであるため、単位水量のわずかな増減が、ブロックの締固め度あるいは脱型後の変形に敏感に影響を及ぼす。したがって、短時間の振動で密実に成形できるコンシステンシーの設定が製品の品質を左右する。本実験ではコンシステンシーの管理はBS規格の締固め係数試験器を用いるCF値(Compaction Factor)により行い、さらにVF試験装置によりVF値(Vibration, Factor)をあわせて確認することにした。CF試験器およびVF試験装置は図-3,4に示すもので、その測定は次による。

CF値: BS規格の方法であるが、本実験では次によ

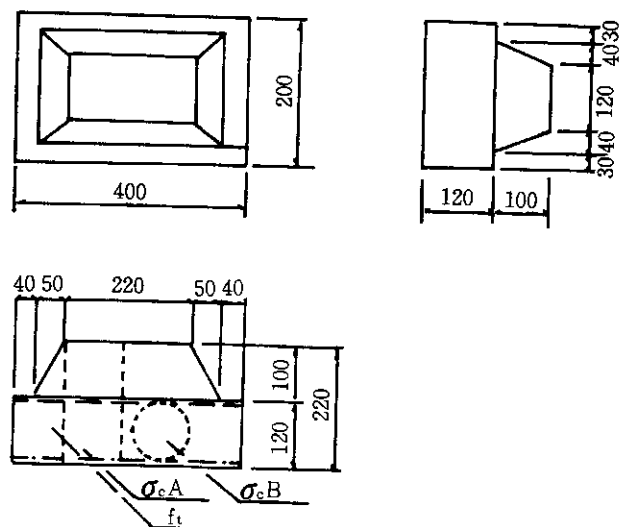


図-1 ブロックの形状寸法およびコア採取位置

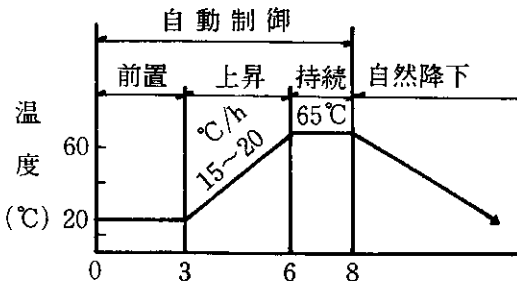
養生名	養生方法
標準	成型後24時間恒湿槽 (20±1℃、RH90%以上)、以後水中20℃)
蒸気	[養生パターン]  [養生槽] D 230×H 150×L 470cm (コンクリート製) にスチーム管を通す 24Hr蒸気槽、以後屋外で散水養生
散水	24Hr屋内放置、以後屋外で散水 (2回/日、7日間)
気乾	24Hr屋内放置、以後屋外で放置し自然暴露

図-2 養生仕様

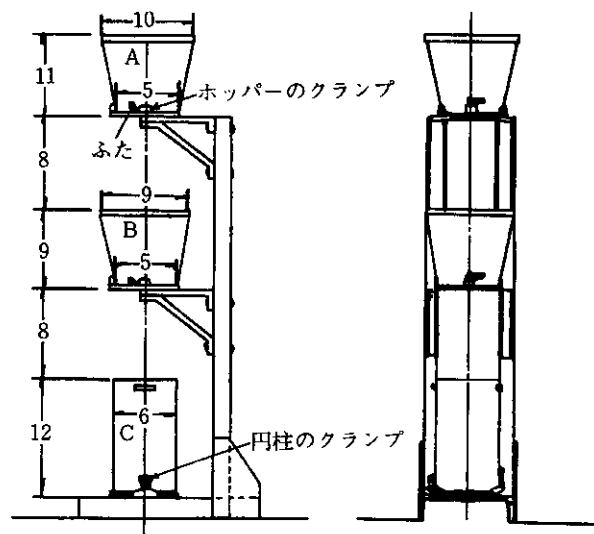


図-3 CF試験器

り求める。

コンクリートを上のホッパーAに静かに入れ、詰終わったらホッパー上面とコンクリート表面を同一レベルにする。上のホッパーの底を開いて、下のホッパーBに落下させる。次に下のホッパーの底を開いてモールド上に落下させる。このときホッパー内面にくっついたコンクリートは突棒などで静かに下に落す。モールド上の余分なコンクリートは、こてによりモールド上面に沿って中央に移動させることによりかきとる。モールド中のコンクリートの重量を測定し、これにより落下したコンクリ

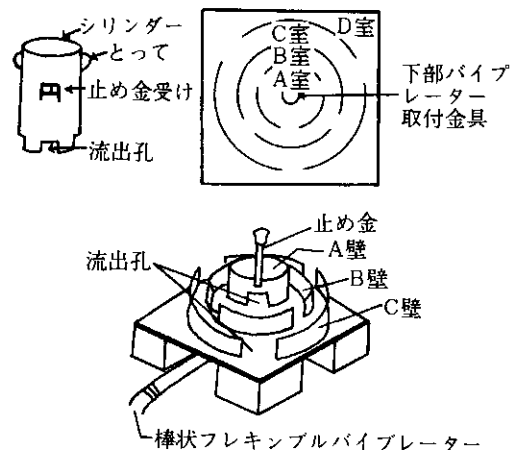


図-4 VF試験装置

ートの単位重量を算出する。次に同じコンクリートの空気をまったく含まない単位重量を配合値から求め、これを理論単位重量とする。CF値は次式による。

$$\text{CF値} = \frac{\text{落下したコンクリートの単位重量}}{\text{コンクリートの理論単位重量}}$$

VF値：コンクリートを振動によりフローさせ、シリンダー内のコンクリートの下がり位置を各流出孔の位置で測定してその平均値をmm単位で表示する。

(4) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JIS A 1107コンクリートからのコアおよびよりの切取り方法および強度試験方法と JIS A 1108コンクリートの圧縮強度試験方法により材齢 3, 7, 14, 28日の4材齢で行った。なおコアの採取は、ブロックの打込み方向 (σ_c A) と水平方向 (σ_c B) の2種類(図-1参照)について実施した。

(5) 凍結融解試験

試験はASTMC-666に規定する水中急速凍結融解法に準じて行い、試験開始材齢は7, 14日の2材齢である。供試体はブロックから切取った10×10×40cmのはり型であり、各々2本1組について、中心部の温度が凍結時-18℃融解時+4.5℃となるよう1日約8回の計300回凍結融解を繰返した。

4 実験の結果と考察

(1) 実験A

表一 4 即脱コンクリートの示方配合とCF値・VE値、ブロックの空げき率

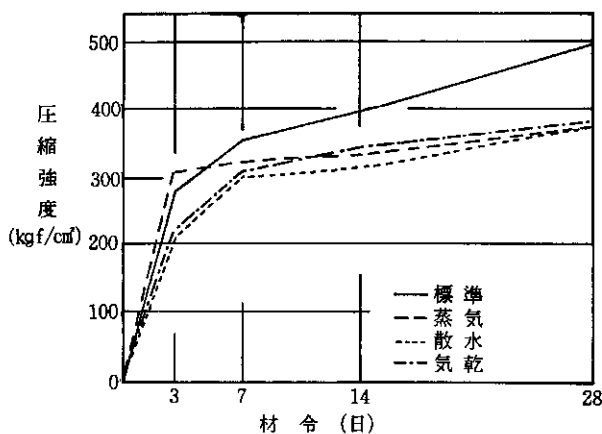
W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				コンクリートの理論重量 (kg/m ³)	養生	落下したコンクリートの単位重量 (kg/m ³)	コンクリートの締固め係数 CF値	VF値 (mm)	コンクリートの練上り温度 (℃)	ブロックの	
		C	W	S	G							単重 (kg/m ³)	空げき率 (%)
39.6	45.0	270	107	989	1,200	2,566	標準	1,842	0.718	54	21	2,532	1.31
							蒸気	1,838	0.716	50	21	2,501	2.57
							散水	1,864	0.726	53	21	2,505	2.36
							気乾	1,830	0.713	65	21	2,514	2.01

イ) 配合

即脱コンクリートの配合は、ブロックの脱型条件および脱型直後の変形あるいは表面仕上がり状態などを考慮して設定しなければならない。このため、生産工場で行っている実績値を参考にして最適締固め条件となるように決定した。示方配合とCF値、VF値およびブロックの空げき率を表一 4 に示す。

ロ) 圧縮強度

ブロックの打込み方向 ($\sigma_c A$) の圧縮強度試験の結果は図一 5 に示すとおりである。各養生の材齢28日強度は標準 498, 散水 374, 気乾 380, 蒸気 375 kgf/cm² であり、かなりの高強度を示した。とくに標準養生したものは、材齢3日のものを除くと他の養生法より高強度であって、十分な湿潤を保つことは効果が大きいといえる。また散水、気乾、蒸気養生では材齢7日以降における強度差が小さく、湿潤養生として十分な効果を期待できないことを示している。



図一 5 強度試験結果(プレーンコンクリートブロック)

一方、コアの抜き取り方向の違いによる圧縮強度比は表一 5 のとおりである。ブロックの打込み方向に採取したAタイプに比較して、水平方向のBタイプは材齢28日で比較すると標準で8%, 他は10~15%低強度である。

したがって、外的条件が一定であっても加圧振動の方向によってブロック内の強度に異方向性のあることが判明した。

表一 5 打込み方向(垂直)と水平方向の強度比 K

	3 日	7 日	14 日	28 日
標準	93.9	98.3	98.3	92.0
蒸気	93.3	93.3	76.8	90.4
散水	90.2	85.2	80.4	84.8
気乾	89.3	84.7	82.7	85.5

$$K = \frac{\sigma_c B}{\sigma_c A} \quad \begin{array}{l} A: \text{垂直方向の圧縮強度} \\ B: \text{水平方向の圧縮強度} \end{array}$$

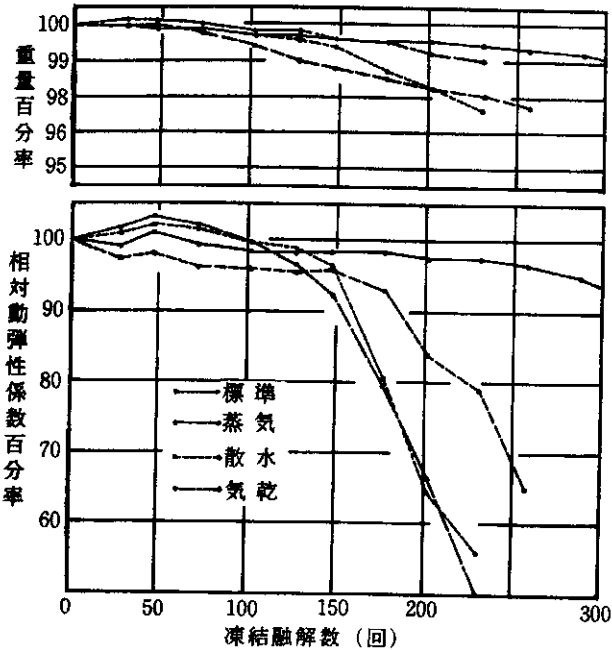
ハ) 凍結融解に対する抵抗性

凍結融解試験の結果を図一 6, 7 に示す。相対動弾性係数百分率の低下は、標準養生したものを除くと普通のプレーンコンクリートに似た傾向である。標準養生したコンクリートは試験開始材齢7, 14日とも300回の繰返しに対して相対動弾性係数百分率は90%以上であるが、他の養生のものは、材齢7日では150回、14日で200回程度から急激にコンクリートの劣化が進行し、蒸気養生の材齢14日の相対動弾性係数百分率61%を除くと、いずれも凍結融解の繰返し300回に耐えることなく一般判定規準の相対動弾性係数百分率60%を下まわっている。一般のコンシステンシーを有するプレーンコンクリートの場合、標準養生を実施しても、凍結融解数150~200回程度で判定規準を下まわるのがほとんどであるのに対し、即脱工法のものは、標準養生により十分湿潤を保った場合、相対動弾性係数百分率が90%以上で良好な品質を有することが判明した。反面、他の散水、気乾養生のものは不安定であり、養生の程度により品質にバラツキがでることを示している。

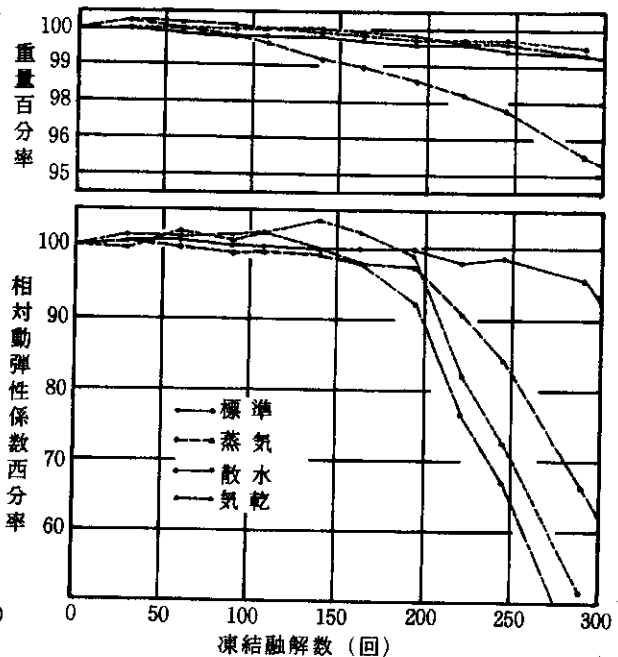
(2) 実験 B

イ) 配合

即脱コンクリートの配合においては、プレーンコン



図一6 凍結融解試験結果（プレーンコンクリート材令7日）



図一7 凍結融解試験結果（プレーンコンクリート材令14日）

表一6 コンクリートの理論配合

区 分	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 $\frac{s}{s+a}$ (%)	単 位 量					コンクリートの 理 論 重 量 (kg/m ³)
			セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	A E 剤 (cc) (C×0.15%)	
プレーン コンクリート	39.6	45.0	270	107	982	1200	—	2559
A E コンクリート	35.9	42.0	270	97	927	1281	405 (C×0.15%)	2575

クリートもA Eコンクリートの場合であってもブロックの製造条件からコンシステンシーを変化せ得る範囲はきわめて小さい。したがって、配合条件は実験Aと同じ値を目標としたもので、その理論配合を表一6に示す。

ロ) 空気量

ブロックに用いた粗骨材の最大寸法は25mmであるので、一般的に連行すべき最適なエントレインド・エアは3.5%と考えられる。一方、生産工場ブロック本体の重量検査から求める空げき率は、およそ3%程度であるので、これらを合わせた6.5%をA Eコンクリートの空気量の目標とした。

ハ) 空気量の測定方法

超硬練りコンクリートの空気量を測定する場合、一般に試料の締固めの程度が異なると空気量の測定値もバラツクので管理の精度が悪くなる。今回の試験においては、下記による3種の方法により行った。

A法：JISA 1128 まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力法）

B法：JISA 1116 まだ固まらないコンクリートの

単位容積重量試験方法および空気量の重量による試験方法（重量方法）

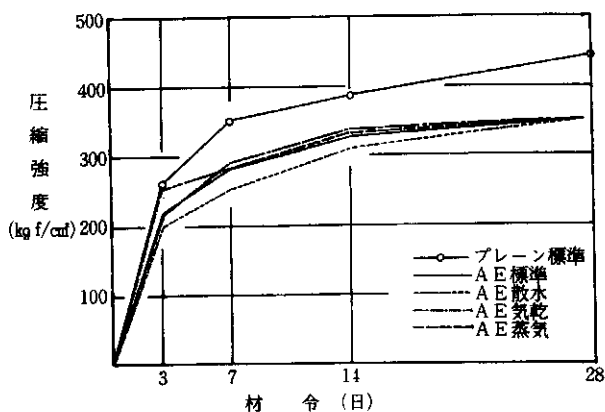
C法：ブロックの本体から求める。

$$\text{空気量} = \frac{\text{理論単位重量} - \text{実測重量からの単位重量}}{\text{理論単位重量}} \times 100$$

超硬練りコンクリートの場合、試料を容器に突棒あるいは棒形振動機で締固める方法では、締固めによる突穴を消すのは困難である。したがって、A法、B法については、容量7ℓのワシントン型エアメーター容器に最初に試料を容器の3/4まで入れ、端面直径6cm、重量2.5kgのランマーで20回均等に突き、次に容器の3/4まで入れ、前回同様な操作を繰返した。次いで容器にあふれる程度に試料を盛り上げ、重量14kgの加圧板を乗せてテーブル振動機で25秒間締固め、最後に上面に調整の試料を乗せて5秒間振動を加えた後、定規で余分な試料をかき取ってならす方法によった。測定した空気量、C F値は表一7に示すとおりである。これによると各測定方法により同一バッチ内で最大1.3%の差が生じている。C法が他の測定方法に比べて小さい値を示しているが、これは、ブロック成形機により加圧振動で締固められた製品その

表一 7 空気量, C F 値, 練上がり温度

区 分	バッチ	空 気 量 (%)			コンクリートの 締 固 め 係 数 (C F)	コンクリートの 練 上 が り 温 度 (℃)	
		A 法	B 法	C 法			
プレーン コンクリート	1	2.9	3.08	1.98	0.734	20.0	標 準
A E コンクリート	1	6.2	6.33	5.59	0.722	18.0	標 準
	2	6.0	6.48	5.20	0.717	18.0	散 水
	3	6.0	6.41	5.09	0.714	18.0	気 乾
	4	5.7	5.96	5.74	0.722	18.5	蒸 気



図一 8 圧縮強度試験結果

ものから求めたものであり, A 法, B 法に比べて, 締固めの程度が良好であったことに起因すると考えられる。

空気量の測定方法については, C 法は操作も比較的簡便であり適当な方法と考える。

ニ) 圧縮強度

圧縮強度試験の結果は図一 8 に示すとおりである。材齢 28 日強度では, プレーン標準養生以外の各養生法による強度の差がない。プレーンコンクリートの場合では, 標準養生したものが, 他の散水, 気乾, 蒸気養生に対し, 約 1.3 倍の高強度であった。また A E コンクリートでは養生による差がなく異なった傾向を示した。ブロックコンクリートの圧縮強度として JISA 5323 に示す 180 kgf/cm² 以上を最低保証強度とすると, いずれの養生法によっても材齢 3 日で満足している。一般に生産工場で実施している養生は, 製造後 7 日間程度の散水養生であり, ブロックの最も早い納入時を 7 日としても 250 kgf/cm² 以上となり, 強度上問題はないといえる。

エントレインド・エア 1% に対する圧縮強度の減少量を表一 8 に示す。各養生法と材齢によって差はあるが, 材齢 28 日の場合では 6.1 ~ 6.8 %, 平均 6.4 % であって今井による超硬練りコンクリートの実験結果とほぼ一致している。

表一 8 A E 剤により空気量を 1% 連行することによる圧縮強度の減少量 (%)

	3 日	7 日	14 日	28 日
標 準	4.8	6.2	4.7	6.4
散 水	7.3	8.6	6.0	6.1
気 乾	5.1	5.3	3.9	6.4
蒸 気	1.0	6.4	4.3	6.8

表一 9 供試体採取位置方向による強度比 K

	養生法	3 日	7 日	14 日	28 日
プレーン	標 準	88.1	94.9	92.5	93.2
	標 準	86.9	94.7	94.8	92.0
	散 水	90.0	88.6	84.6	87.6
	気 乾	80.3	90.4	86.1	87.5
	蒸 気	92.5	92.8	94.8	92.0

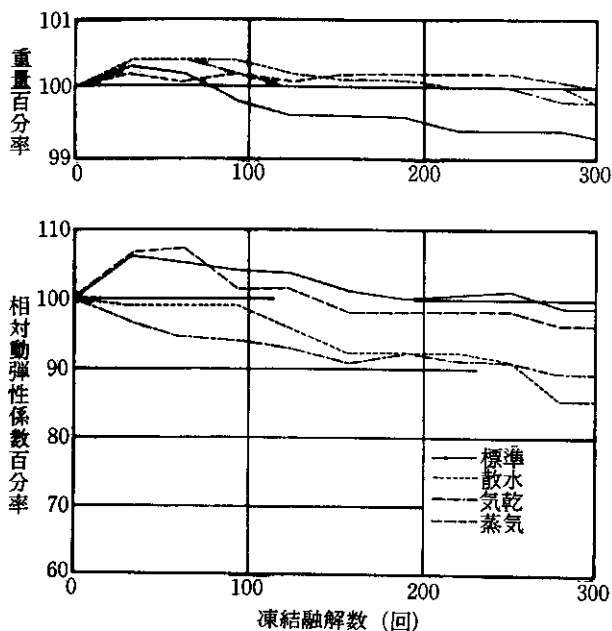
$$K = \frac{\sigma_c B}{\sigma_c A}$$

A : 垂直方向の圧縮強度
B : 水平方向の圧縮強度

一方, コアの抜き取り方向, 位置の違いによる強度比は表一 9 のとおりである。A E コンクリートの場合にはプレーンコンクリートに対し, 打込み方向の A タイプと水平方向の B タイプとの強度比の差が小さくなっているが (表一 5 参照), ブロック内の強度に異方向性のあることは変わらない。

ホ) 凍結融解に対する抵抗性

凍結融解試験の結果は図一 9, 10 に示すとおりである。試験の開始材齢 7 日, 14 日とも, 重量百分率は各養生法において 1% 以内の減少であって, 300 回の凍結融解を繰返しても表面剝離はきわめて軽微である。一方, 試験開始材齢 7 日の相対動弾性係数百分率は, 標準, 散水, 気乾, 蒸気各養生法で, それぞれ 99, 96, 86, 89 % であり, また 14 日のものでは 94, 98, 86, 96 % ときわ



図一 9 凍結融解試験結果 (試験開始材令 7 日)

めて良好な品質を示している。したがって、即脱工法で製造するコンクリートの場合にも、A E コンクリートにすることにより、その凍結融解抵抗性は著しく改善されることを示している。このことから、凍結融解に対する抵抗性を高める大きな要素は、エントレインド・エアの連行であり、気象条件の厳しい地方では、即脱コンクリートブロックの場合にも、A E コンクリートで製造すべきであると考えられる。

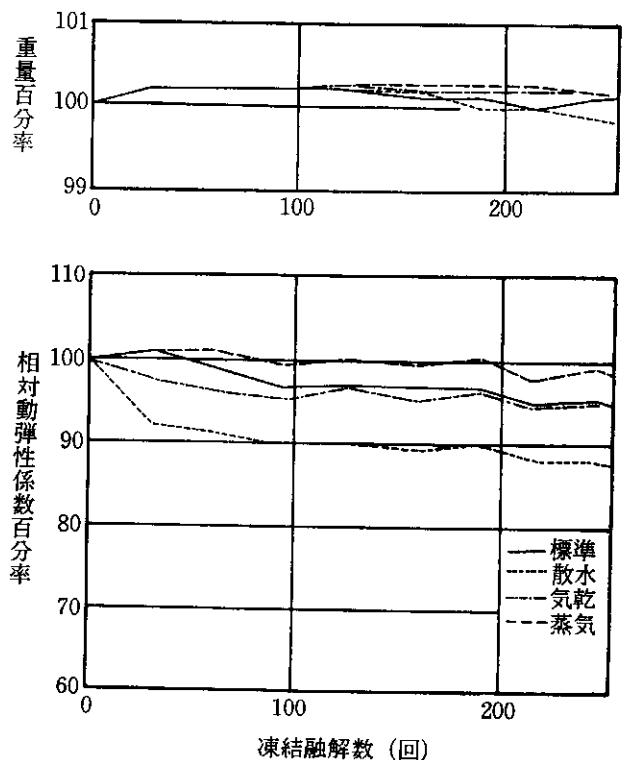
おわりに

即脱ブロックコンクリートについて、実験した結果を要約すると次のとおりである。

1) 現在生産されている即脱ブロックは、ほとんどプレーンコンクリートであって、28日の圧縮強度は標準、散水、気乾、蒸気養生の場合、それぞれ 498, 374, 380, 375 kgf/cm² であり、かなりの高強度を示す。とくに標準養生は他の養生法に比し約 1.3 倍高強度で、一般に行われている散水の表面湿潤に対し十分な水中浸漬の湿潤状態に保つことは強度を増大させる効果が大きい。一方、A E コンクリートは、エントレインド・エア約 3.5% の連行によって、プレーンコンクリートに比べ約 20% 圧縮強度が減少する。

2) 即脱コンクリートブロックの成形において、その加圧振動方向によって締固めの程度に異方向性があり、強度の発現性状が異なる。

3) 凍結融解の繰返しに対して、プレーンコンクリー



図一 10 凍結融解試験結果 (試験開始材令 14 日)

トの即脱ブロックは、十分な湿潤養生を 7 日間程度行えば、良好な凍結融解抵抗性を有する。一方散水、気乾、蒸気養生では、試験開始材令 7 日の場合、凍結融解の繰返し約 150 回、14 日で約 200 回からコンクリートの劣化が急激に進行し、14 日の蒸気養生の 300 回の繰返しに対し相対動弾性係数の 61% を除くと、他はいずれも判定規準を下まわった。これに対し A E コンクリートの即脱ブロックは試験開始材令 7 日、14 日とも、また各養生法とも 300 回の凍結融解の繰返しにおいて、相対動弾性係数は 85% 以上できわめて良好な品質を示している。

4) 凍結融解の繰返しに対する抵抗性を高める大きな要素は、エントレインド・エアであって、プレーンコンクリートに比し、凍結融解抵抗性は著しく改善される。

5) A E コンクリートの空気量の測定は、ブロック本体の単位重量から求めるのが操作も比較的簡便で適当な方法であろうと考える。

以上、現在生産されている即脱ブロックコンクリートの品質の確認と A E 剤を用いた場合について検討した。

実験の結果エントレインド・エアを連行することにより、凍結融解抵抗性を著しく改善できることが判明したが、さらに A E 剤量と空気量の連行性あるいは気泡の分布状態あるいは空気量の違いが凍結融解に及ぼす影響について検討する必要がある。最後に本実験を行うに当たり協力をいただいた共和コンクリート技術研究所の方々に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 林 正道, 今井益隆; 超硬練りコンクリートの強度および耐久性についての考察, 第4回(昭和35年度)北海道開発局技術研究発表会論文集, 昭和36年11月
- 2) 大西弘之, 岡村 武, 太田利隆; 即時脱型コンクリートブロックの耐久性について, 第24回(昭和55年度)北海道開発局技術研究発表会論文集, 昭和56年10月
- 3) 森茂二郎; 実用コンクリート技術(建築技術)
- 4) 超硬練りコンクリートの研究(共和コンクリート工業KK技術研究所)

*

*

*