

正会員 河野 清 (徳島大学工学部)

藤崎 茂 (愛媛県庁土木部)

1. まえがき

コンクリート製品は、軽量化されると運搬、取扱などの点できわめて有利であり、また、構造部材として遮音性、耐火性など普通コンクリートに優る特性を有している。わが国では、品質のよい人工軽量骨材が製造、市販され、建築工事や土木の橋げた、スラブ等にもかなりの使用例があり、工場製品でも一部が実用されている。

人工軽量骨材の製品用から練りコンクリートへの利用については研究結果が報告されているが、^{1), 2)}一オブロック類のみられる超お練りコンクリートを用いる即時脱型製品への利用については、研究結果が十分に報告されていない。とくに、即時脱型工法は型わく費を低減し、製品を量産する経済的方法として注目されるものであり、今後、軽量ブロック、軽量遮音壁、軽量プレハブ板等の使用の増大を考えると十分に研究する必要がある。

したがって、小型ブロックの製造できる即時脱型型わくを用いて、単位水量、単位セメント量、細骨材率、混和剤などの配合要因を変え、人工軽量骨材を用いた即時脱型用コンクリートの基本となる適正配合とコンシステンシー、圧縮強度、はた面などにかかる影響について基礎的検討を行った。

2. 使用材料とコンクリートの配合

(1) セメント

セメントは普通ポルトランドセメント(比重=3.15, 28日圧縮強度415 kg/cm²)を用いた。

(2) 骨材

人工軽量骨材としては、粗・細骨材とも造粒型膨張頁岩のライオナイトを使用し、比較用は吉野川産の砂利、砂を用いた。骨材の試験成績を表-1に示す。

表-1. 使用骨材の物理試験結果

骨材の種類	ふるいを通るものの重量百分率(%)										比重	粗率率 (FM)	吸水率 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)	空隙率 (%)		
	25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15							
粗骨材	人工軽量	100	100	99	57	2	0	0	0	0	1.31	1.45	6.47	10.58	851	35.0	
	川砂利	100	99	89	43	4	0	0	0	0	—	2.61	6.54	1.54	1640	37.2	
細骨材	人工軽量	—	—	—	—	100	98	68	50	40	19	1.86	1.94	2.25	3.88	1130	39.3
	川砂	—	—	—	—	100	85	71	42	10	2	—	2.61	2.90	1.26	1710	34.5

表-2. 実験用に用いたコンクリートの配合

実験シリーズ	使用骨材の種類		単位水量 W (kg)	単位セメント量 C (kg)	細骨材率 %a (%)	混和剤 (CC)
	粗骨材	細骨材				
単位水量	人工軽量	人工軽量	125, 133, 141	300	50	—
	人工軽量	川砂	105, 113, 121	300	48	—
細骨材率	人工軽量	人工軽量	133	300	45, 50, 55	—
	人工軽量	川砂	113	300	43, 48, 53	—
単位セメント量	人工軽量	人工軽量	133	250, 300, 350	54, 50, 46	—
	人工軽量	川砂	113	250, 300, 350	52, 48, 44	—
混和剤	川砂利	川砂	138	300	50	7%-
			125	270, 300	48, 47	減水剤L, 675, 750
			125	300	47	AE剤V, 120
	川砂利	川砂	110	300	46	7%-
			100	270, 300	44, 43	減水剤L, 675, 750
			100	300	43	AE剤V, 120

注) 単位セメント量を増加した場合、細骨材率を低減し組合せを使用。(例) 250-54, 300-50, 350-46, 等。試験結果の表中では、人工軽量粗骨材×人工軽量細骨材と用いたコンクリートは軽・軽、人工軽量粗骨材と川砂とを用いたコンクリートは軽・砂、川砂利と川砂とを用いたコンクリートは砂利・砂と由記す。

(3) 混和剤

超お練りコンクリートのワーカビリティを改善する製品用減水剤ルブリリスLとAE剤ビソソルとを用いた。

(4) 使用コンクリートの配合

超お練りの軽量コンクリートと即時脱型する場合には、配合がまず問題になるので、単位水量、細骨材率、単位セメント量などを表-2に示す配合を用いて検討した。

3. 即時脱型ブロックの作成と実験方法

(1) コンクリートの練りませ

練りませには、超お練りのパサパサ状態のコンクリートであるから、山中シャフトKK製の強制練りミキサ(容量50ℓ)を用い、最初の1分間でモルタルと練り、粗骨材を投入してさらに1分30秒練りませを行なった。

(2) 即時脱型装置とブロックの作成、養生

日本ワッカーKK製の即時脱型装置を使用して口15×15×54 cmのはり状試体を作成した。この即時脱型装

置は、写真-1に示すように即時脱型型枠の側面を高振動外部バイブレーターと取り付けられるので、これとコンバーターと接続して振動数10800 rpmでコンクリートの振動締固めと行なうものである。

即時脱型型枠に超かき練りコンクリートを層々盛り込み、所定の振動数に達してから1分30秒間締固めと行なう。振動締固め中、コンクリート上面を平らにするため、写真-2のような鋼製ならし板で叩くように強く叩いて成形し、成形後、表面をこてで仕上げ、型枠上面の木板をあてて型枠を 180° 回転し、両側のハンドルを持ち上げて、型枠を垂直に上方へ引き上げ即時脱型と行なう(写真-3参照)。

即時脱型と行なう $15 \times 15 \times 54$ cm 10個の試体は、木製の底板のせきまき 20°C の恒温室に移し、翌日から $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の水中に入れて所定研令の28日まで標準養生と行なう。

(3) 試験方法

i) まだ固まらないコンクリートの試験：超かき練りコンクリートのコンシステンシー試験は、スランプ試験ではすべてゼロとなって比較ができないので、普通コンクリートの研究³⁾によつてある程度超かき練りを通してると考えられる締固め係数試験により、CF値は次式で算出し。

$$CF \text{ 値} = \frac{\text{落下直後のコンクリートの重量 (kg)}}{\text{十分に締固められた後のコンクリートの重量 (kg)}}$$

なお、十分に締固めは振動数5000 rpmの振動台に型枠を取り付け60秒間締固められた後の重量とし、また、混和剤を用いたコンクリートの空気量の測定は、JISA 1128の空気室圧力方法に準じて行ない、超かき練りコンクリートは通常の振動台を用いて締固めと行ない、コンクリートを詰めて試験し。

ii) 硬化コンクリートの試験： $15 \times 15 \times 54$ cmの即時脱型10個の試体と所定研令の28日で養生水槽より取り出し、コンクリートカッターで18 cmの長さで切断して3個のブロックを作り、加圧板(150x150x7 mm厚)を上下面に置いて、10個の切片によるコンクリートの圧縮強度試験に準じて、圧縮強度を求め、なお、圧縮試験の前は試体の寸法と重量をはかって実測単位容積重量($W_m: \text{g}/\text{cm}^3$)を求め、配合より決まるコンクリートの理論単位容積重量($W_c: \text{g}/\text{cm}^3$)とから、充てん率($F: \%$)を次式より求め。

$$F = (W_m / W_c) \times 100$$

また、即時脱型コンクリートでは、断面も重要視されるので即時脱型後は断面を観察し、配合要因の影響を考察し。

4. 実験結果とその考察

(1) 即時脱型用コンクリートのコンシステンシー

配合要因と締固め係数試験によつて与えられるCF値との関係を図-1～図-4に示し、単位水量、細骨材率、単位セメント量、混和剤の有無による水セメント比などの影響について考察し。

i) 単位水量の影響について：単位セメント量一定で単位水量を変えた場合、超かき練りの普通コンクリートでは単位水量とともCF値が増加して

締固めやすくなると報告されているが、人工軽骨材コンクリートで単位水量がごく少ない場合は締固め係数

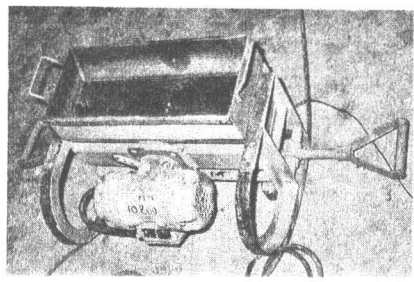


写真-1. コンクリートブロックの即時脱型装置

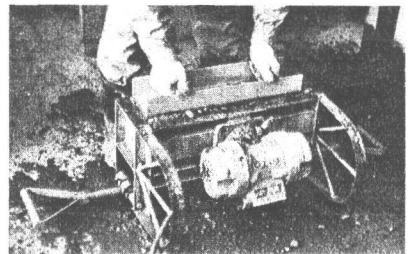


写真-2. コンクリートの振動締固め成形

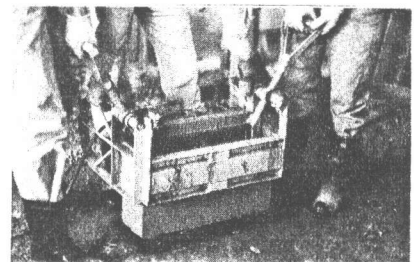


写真-3. コンクリートブロックの即時脱型状況

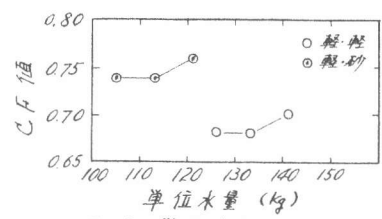


図-1. 単位水量とCF値

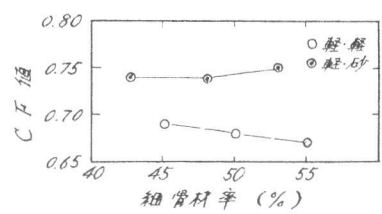


図-2. 細骨材率とCF値

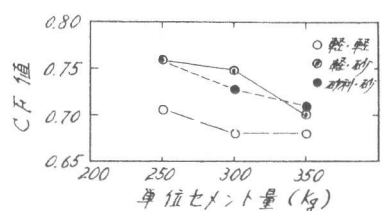


図-3. 単位セメント量とCF値

に顕著な差がみられず、水量をいくぶん多目にするとCF値がぐとなる傾向がえられてはいる。なお、稀固め成形と実際に行なってみると、即時脱型型わくへの成形性は大差はないが、粗・細骨材とも人工軽量骨材を用いる場合は、川砂を用いるよりもCF値が0.05~0.06程度低くなっている。

ii) 細骨材率の影響について：粗骨材、細骨材とも人工軽量骨材を用いると、川砂の場合に比べてCF値は漸減の傾向がみられる。これは、単位水量を一定としているので細骨材量を増やすとパカパカ状態がより顕著

くなり、モルタルが軽いので撻動稀固めとなり強力が低下して話り具合が川砂に比べて劣るためと思われる。

iii) 単位セメント量の影響について：図-3に示すようにセメント量の増加とともにCF値が低くなる傾向がある。人工軽量骨材を用いる場合は配合での低減が顕著で、細骨材率の影響もあると考えられる。

iv) 混和剤を用いる場合の影響について：混和剤を加ふ配合ではプレ-ンコンクリートより単位水量を減少したにもかかわらずCF値は高くなる(図-4参照)。なお、単位セメント量を10%低減したもののほうで、CF値はぐとなっているが水セメント比の影響と思われる。AE剤は標準使用量としたが、使用量を増せばCF値の増加が期待できる。

v) 水セメント比とCF値：超が練りの普通コンクリートの場合、水セメント比30~50%の範囲ではCF値と密接な関係があることが指摘されている³⁾。本実験に用いたプレ-ンコンクリートについて水セメント比とCF値との関係を示すと、図-5のようになる。人工軽量骨材を用いると勾配はゆるくなるが同様増加傾向を示す。

結局、即時脱型を行なう場合の最適CF値としては、川砂利・川砂あるいは人工軽量粗骨材・川砂コンクリートは0.74±0.02程度の値であるが、粗・細骨材とも人工軽量骨材を用いると0.69±0.02程度となり、CF値を多少低くする必要がある。また、超が練り用混和剤を用いると、CF値が川砂を用いたコンクリートに近くなり、即時脱型型わくへの成形も容易になる傾向がある。

(2) 即時脱型したコンクリートの充てん率と圧縮強度

Kaplan⁴⁾は、一般のコンクリートで空げき率を1%までと圧縮強度を5%、曲げ強度を4%低下すると報告している。超が練りの普通コンクリートでは充てん率1%の増加で圧縮強度が平均5%増大するという結果をえているが、即時脱型した人工軽量骨材コンクリートの充てん率、圧縮強度に及ぼす配合要因の影響を図-6~図-12に示し、考察した。

i) 単位水量の影響について：人工軽量粗骨材・川砂コンクリートでは、単位水量113kgのとき充てん率、圧縮強度とも最大になっており、充てん率と高め強度と最大にする最適単位水量が存在することわかる。一方、粗・細骨材とも人工軽量骨材を用いるコンクリートでは、本実験の単位水量の範囲では充てん率、圧縮強度とも増加の傾向がみられるが、成形し即時脱型を行なった状況から判断すると141kgが最適単位水量に近い値と考えられる。なお、

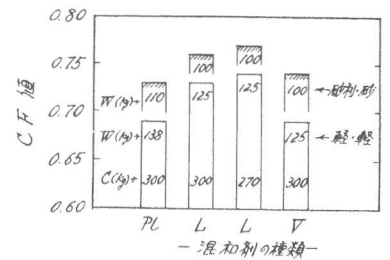


図-4. CF値に対する混和剤の影響

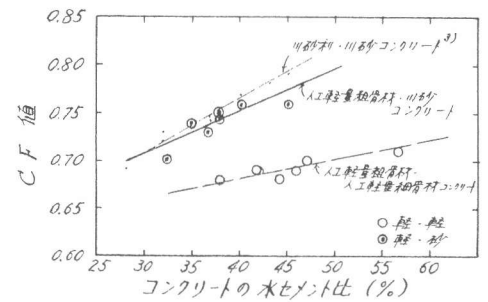


図-5. 水セメント比とCF値

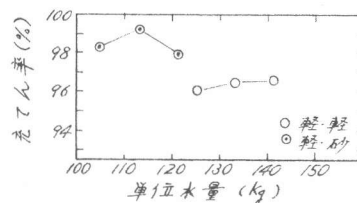


図-6. 単位水量と充てん率

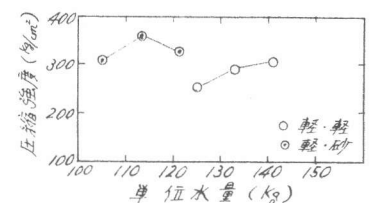


図-7. 単位水量と圧縮強度

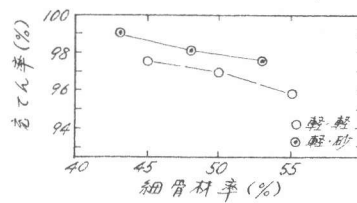


図-8. 細骨材率と充てん率

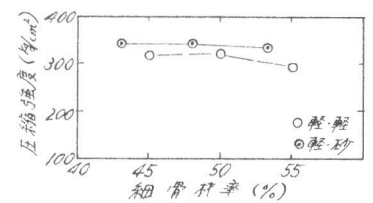


図-9. 細骨材率と圧縮強度

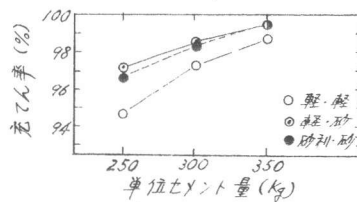


図-10. 単位セメント量と充てん率

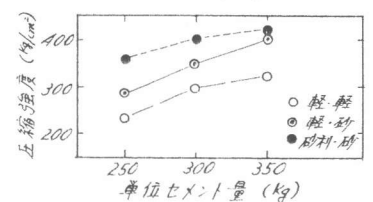


図-11. 単位セメント量と圧縮強度

即時脱型可能な範囲で充てん率がもっともよく得る単位水量と与うべし、人工軽量骨材コンクリートでは300%程度の圧縮強度が容易に与えられるので、即時脱型製品へのTFKを使用することが可能である。

ii) 細骨材率の影響について：細骨材率の増加とともに充てん率は低下の傾向を示すが、10%程度の範囲内であれば強度への影響はごく僅かである。人工軽量粗・細骨材の場合、細骨材率を大きくするとパカパカ状態が顕著になり充てん率が低下してくるので、単位水量を少し増加してCF値や充てん率を高める必要がある。

iii) 単位セメント量の影響について：セメント量の増加とともに充てん率が上昇し圧縮強度は高くなる。TFKが、セメント水比法則の適用も可能になる。即時脱型製品の強度改善はセメントの増量が効果的といえる。

iv) 混和剤の影響について：図-12のように、製品用混和剤を用いると単位水量を低減できるが、川砂利コンクリートの結果とは逆に空気が運行されて圧縮強度は低くなっている。空気運行の原因については、今後さらに検討する必要がある。

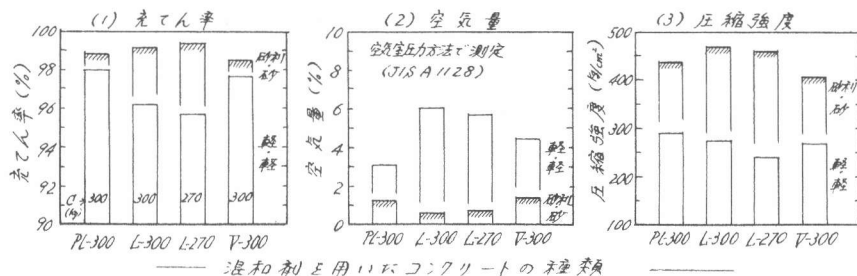


図-12. 混和剤を用いたコンクリートの充てん率、空気量および圧縮強度

v) 充てん率と圧縮強度との関係：本実験の結果より充てん率と圧縮強度との関係を示すと図-13のとおりで、ばらつきはあるが充てん率が高くなると強度は増大する。粗・細骨材とも人工軽量骨材を用いた場合、充てん率1%の増加に対して約6%の強度増となり、普通コンクリートの結果と大差はないが、川砂利では範囲も狭いのでやや大々としている。

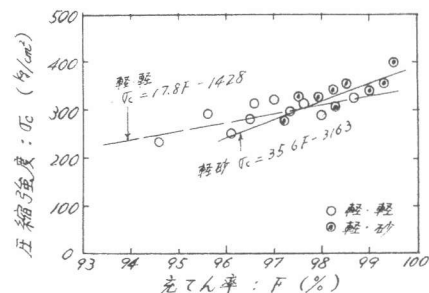


図-13. コンクリートの充てん率と圧縮強度との関係

結局、人工軽量骨材を用いた即時脱型コンクリートの品質向上には、最適な単位水量その他の配合を考案し、充てん率を高めるのが効果的である。

(3) 即時脱型を行なったコンクリートのほけ面

即時脱型製品では、その表面状態の良否も問題になるのでほけ面を調べた。粗・細骨材とも人工軽量骨材を用いたコンクリートのほけ面は及ぼす配合の影響を写真-4に示す。単位水量については、はっきりした傾向はみられないが133kgの配合がややよいように思われる。細骨材率は低目だとやや粗目になり、高すぎると表面の5密さがややあつてくる傾向がある。セメント量は少ないと全体のむらが多く、砂が多すぎると1次接触があり、多くなると表面にセメントが出るので気泡が残ることがあり、300kg程度がよい。混和剤を用いると表面状態は比較的良好である。

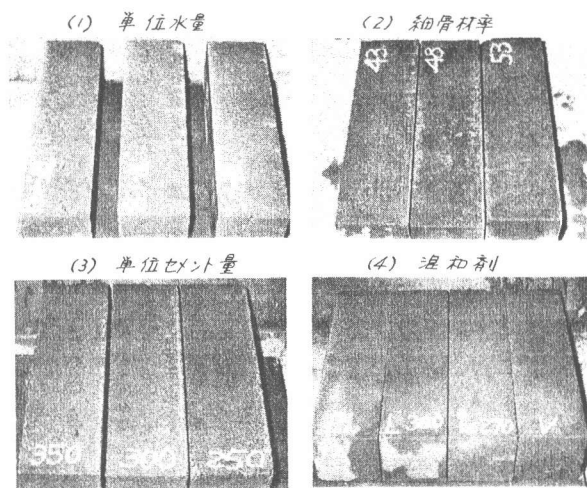


写真-4. 即時脱型コンクリートブロックのほけ面の例

5. まとめ

造粒型人工軽量骨材を使用し、超小粒コンクリートを用いて小型ブロックの即時脱型について、配合ととめて検討を行なった。本実験の範囲では、単位水量133~141kg、単位セメント量300kg、細骨材率4.8%前後の配合を選べば、圧縮強度300%程度程度のブロックが容易に製造することができ、即時脱型に通じ、超小粒コンクリートのCF値は0.69前後であり、川砂を用いると0.05程度は高くなる。また、即時脱型ブロックの品質を高めるには即時脱型に通じ、最適な単位水量、その他の配合要因を選び充てん率をよくする必要がある。

参考文献 1) 河野清, "人工軽量骨材コンクリートの解明" 材料 Vol.18, No.185, pp.59~65 (1969).
 2) 河野清, 荒木謙一, "人工軽量骨材のコンクリート製品への利用に関する基礎的研究" コンクリート Vol.18, No.4, pp.1~13 (1970)
 3) 河野清, 林寿生, 竹村和夫, "即時脱型コンクリートの配合と強度" セメントコンクリート No.222, pp.31~38 (1970)
 4) M.F. Kaplan, "Effects of Incomplete Consolidation on Compressive and Flexural Strength ..." Proc. Am. Conc. Inst., Vol.56, pp.853~867 (1960).