

徳島大学工学部 正全員 工博 荒木謙一

徳島大学工学部 正全員 O河野 清

神戸市役所 正全員 伊賀俊昭

I. まえがき

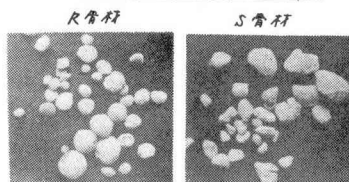
近年、工期の短縮のため土木構造物においても工場生産部材が使用される例が多くなってきているが、人工軽量骨材を用いて製品を軽量化すると、運搬、取扱いなどからみて有利であり、軽量骨材の利用が注目されている。コンクリート製品では、一般にカキ練りの配合を使用し、しかも振動台による機械的締固めを行なうが、これらの影響についてはまだ十分に研究されていない。したがって、人工軽量骨材のコンクリート製品への利用に関して基礎的資料を得ることを目的として、振動台による振動締固め条件の影響、カキ練りコンクリートの硬化後の諸性質について基礎的実験を行なった。

II. カキ練り軽量コンクリートの振動締固めに関する検討

(1) 使用材料とコンクリートの配合

セメントは普通ポルトランドセメント（比重=3.15、28日強度=412 N/cm^2 ）を用い、人工軽量骨材はA社製の造粒型膨脹負石（記号：R）とB社製の非造粒型膨脹負石（記号：S）とを、十分にブレウエツチングして使用した。骨材の試験成績を表-1に示す。コンクリートの配合は、一般の振動締固めの製品と対象とし、単位セメント量 330 kg で、スラン

写真-1 使用した人工軽量骨材



プと3種に oszt 表-2に示すものを使用した。

(2) 実験装置および実験方法

コンクリートの練り混ぜは容量 50 L の強制練りミキヤ（山中JET Mixer）を用い、まず最初の1分間でセメントと練り、ミキヤとめて粗骨材を投入したのちから1分間練り混ぜた。

コンクリートの成形は、写真-1に示す振動台を使用し、 $10 \times 20 \text{ cm}$ の円柱型型わくを1層を詰め、振動台のテーブルの中央部を型わく2個をホルダーで取付け、図-1に示す条件で振動締固めを行なった。なお、比較のため振動機（8000 rpm ）でも成形を行なった。成形後、 $20 \sim 21^\circ\text{C}$ の恒温室に入れ、数時間のキャッチングを行ない、翌日脱型し、所定材料で $20 \sim 22^\circ\text{C}$ の水で養生した。

供試体は、材料の日および28日で、重量、動弾性係数および圧縮強度を測定した。

表-1 人工軽量骨材の試験結果

骨材の種類	粗粒率 (F.M.)	表見比重 (%)	吸水率 (%)	動弾性係数 (N/cm^2)
造粒型 R骨材	2.65	1.92	4.3	1180
細骨材	6.44	1.37	2.0	870
非造粒型 S骨材	2.86	1.90	18.7	1010
細骨材	6.59	1.24	9.6	720

表-2 使用コンクリートの配合*

Mix No.	M _s (mm)	Slump (cm)	W (kg)	C (kg)	W/C (%)	A/C (%)
R-I	15	130.5	164	330	50	48
R-II	15	3 $\pm$ 1	173	330	52	46
R-III	15	6 $\pm$ 1	180	330	55	44
S-I	20	130.5	152	330	46	48
S-II	20	3 $\pm$ 1	161	330	49	46
S-III	20	6 $\pm$ 1	168	330	51	44

*コンクリートの練り上げ温度 28°C の場合

写真-2 振動台

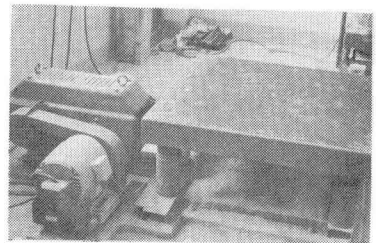
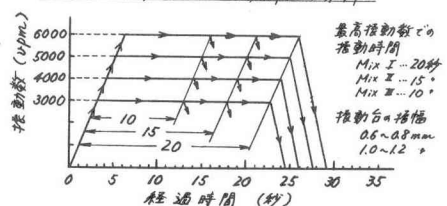


図-1. 振動台による振動締固め条件



(13) 実験結果とその考察

韓国での効果の判定には、種々の方法があるが、主としてコンクリートの品質判定の基準となっている圧縮強度を用いる。なお、供試体数は1種につき3本とし、その変動係数は大多数が6%以内であり、平均3.5%であった。

1) 振動数と圧縮強度との関係

図-2の結果を示す図-2(1),(2)にみられるように振動数は高くして5000から6000 vpmとすると、圧縮強度は増加せず、むしろ低下する傾向がある。これは骨材の浮上りによる材料の分離であることは明らかと考えられる。なお、川砂利、川砂を用いた普通コンクリートでは、すでに報告されているが、高振動数のほうがよい結果が得られている。また、造粒型と球形のR骨材と非造粒型のS骨材では多少異なった傾向がみられる。振幅の影響については、振幅の大きい場合は最適振動数の圧縮強度はやや大きくなった。

2) 加速度と圧縮強度との関係

振動の大きさの取付け位置で、振動加速度と測定した圧縮強度との関係を図-3に示す。最適の加速度は明らかに4で15以下、5~10g程度でよいと考えられる。

3) 振動時間と圧縮強度との関係

R骨材コンクリートで振動時間と圧縮強度との関係を示す。振動時間を長くしても強度増加はみられず、むしろ下がる傾向がある。

4) 弾性係数と振動数との関係

図-5に示すように、圧縮強度に比べて弾性係数の変化は小さいので、顕著な傾向はみられなかった。

図-5 振動数と弾性係数の関係

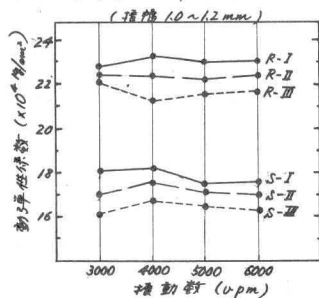


写真-3 供試体の断面の例 (R骨材コンクリート)

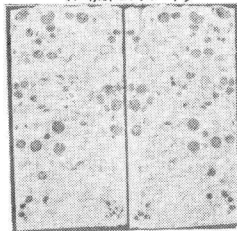


図-2 振動数と圧縮強度との関係

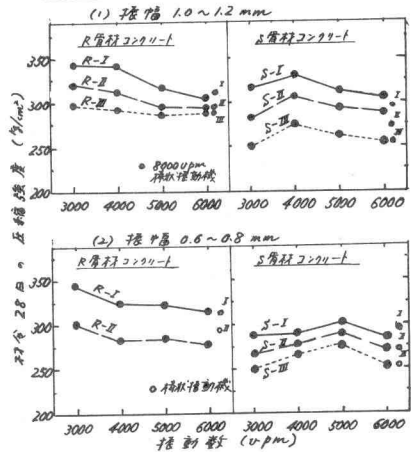


図-3 加速度と圧縮強度との関係

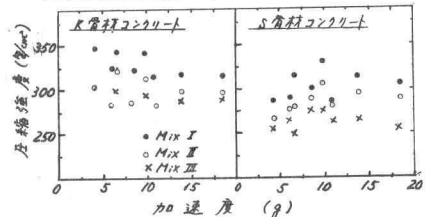
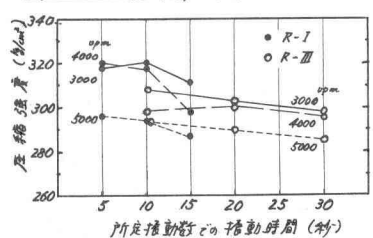


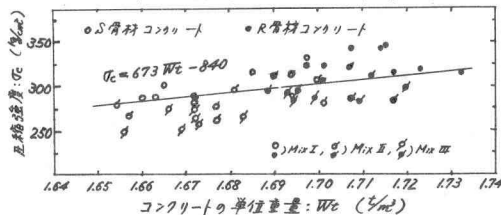
図-4 振動時間と圧縮強度との関係



5) 単位重量と圧縮強度との関係

効果的の振動範囲を定めたところ、エントラップメントによる脱出し単位重量が大きいと考えられる。図-6に示すように、バウンキはバウンキが大きいほど、コンクリートの単位重量が増加すると圧縮強度は大きくなる傾向がみられる。

図-6 単位重量と圧縮強度との関係



Ⅲ. おに練りコンクリートの硬化後の諸性質

(1) 使用材料とコンクリートの配合

軽量骨材は造粒型のR骨材、非造粒型のS骨材を使用し、比較用の普通骨材(記号:N)として吉野川産の川砂(FM-272, 比重2.62)およびU川砂利(最大寸法20mm, 比重2.62)を用いた。セメントは普通セメント(比重3.15, 28日強度40.6 $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$)である。

コンクリートの配合は表-3に示れよう。目標スランプと3種の骨材単価セメント量330kgのNon AEコンクリートを用い、PC用の高配合2種、AE剤を加えた2種、計4種の配合と各骨材のコンクリートについて選定した。

(2) 実験方法

練り混ぜ方法は前述のとおりで、振動台による振動稀固の条件は、研究結果より、振動数4000rpm, 最高振動数での振動時間10秒(全振動時間約20秒)、振幅約1.0mm、振動加速度9~10gを採用した。普通コンクリートの振動稀固条件は軽量コンクリートの場合より高振動数のほうがよいと比較したため同一条件とした。なお、本実験では、一度 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の円柱形型枠6個とテーブルを取り付け、振動稀固を行なった。供試体は笠皿型とし、以て振動台より高さ0~28日で $20 \pm 3^\circ \text{C}$ の水中で養生した。なお、引張強度試験には $\phi 10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の寸法、引張強度 $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ の寸法を用い、この場合は一度、2個の供試体と稀固した。このほか、 $\phi 10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の寸法を用いて乾燥収縮を測定した。また、圧縮強度試験の前、ヤング率測定器を用いて動弾性係数を測定し供試体側面にベーパーテープを貼付し、経弾性係数も求めた。

(3) 実験結果とその考察

1) 圧縮強度: 普通コンクリートに比べて軽量コンクリートの圧縮強度は、同一セメント比の場合、R骨材では88%、S骨材では68~75%と低く、高配合コンクリートにするともR骨材で480 $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ 、S骨材で420 $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ 程度の高強度が得られる。コンクリートは多少異なるが、おに練りコンクリートでも図-7のようにセメント水比と圧縮強度との関係は一次式で示される。なお、AEコンクリートの強度はNon AEコンクリートの80~95%と低く、単位セメント量100kgの増量による強度増加と比較すると普通コンクリートより軽量コンクリートのほうが小さい(表-4参照)。また、スランプを6cmから1cmへ約5cm下げるのとにより、単位水量は10~15kg減少し、このため圧縮強度はおよそ50 $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ 増加している。

2) 引張強度: 軽量コンクリートの引張強度は普通コンクリートの値に比べて、R骨材で80~83%、S骨材では74~76%と低く、セメント100kgの増量による引張

表-3 使用コンクリートの配合*

Mix No.	M.S. (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W (kg)	C (kg)	W/C (%)	W/C (%)
R-I	15	1285	-	155	330	47	48
R-II	15	321	-	162	330	50	46
R-III	15	621	-	170	330	52	44
Ra-I	15	1285	-	155	430	36	43
Ra-II	15	621	-	168	430	39	39
Ra-III	15	1285	521	141	330	43	45
Ra-IV	15	621	521	151	330	46	41
S-I	20	1205	-	145	330	44	48
S-II	20	321	-	150	330	45	46
S-III	20	621	-	158	330	47	44
Sa-I	20	1285	-	142	430	33	43
Sa-II	20	621	-	153	430	36	39
Sa-III	20	1205	521	129	330	39	45
Sa-IV	20	621	521	135	330	41	41
N-I	20	1205	-	148	330	45	48
N-II	20	321	-	157	330	48	44
N-III	20	621	-	162	330	49	42
Na-I	20	1285	-	147	430	39	41
Na-II	20	621	-	158	430	37	37
Na-III	20	1205	521	132	330	40	43
Na-IV	20	621	521	140	330	42	39

* 成形温度 16~20 $^\circ \text{C}$

図-7 セメント水比と圧縮強度との関係

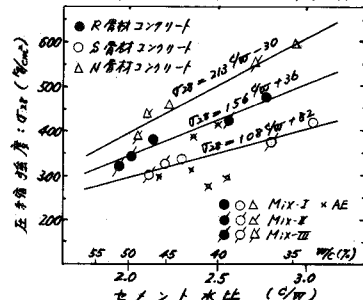


表-4 単位セメント量と圧縮強度

コンクリートの種類	G=330kg	G=430kg	強度差
	$W_a (\frac{\text{N}}{\text{cm}^2})$	$W_b (\frac{\text{N}}{\text{cm}^2})$	$W_b - W_a (\frac{\text{N}}{\text{cm}^2})$
R骨材	Mix I 380	479	99
	Mix II 314	415	100
	Mix I 333	418	85
S骨材	Mix III 303	373	70
	Mix I 454	594	140
N骨材	Mix III 383	545	162

強度の増加量は $2 \sim 4 \text{ } \%/ \text{cm}^2$ である。軽骨体数 (V_v/V_c) は普通コンクリートで $11 \sim 14$ 、R骨材コンクリートで $11 \sim 15$ 、S骨材では $11 \sim 14$ である。なお、AEコンクリートの引張強度は Non AEコンクリートの $8 \sim 96\%$ である。

3) 曲げ強度：普通コンクリートの曲げ強度はセメント水比の増加とともに大きく増大するが、軽量コンクリートでは $45 \sim 47\%$ 以上 $\times 1.6$ と頭打 $\times 1.6$ と傾向がみられる (図-9 参照)。 V_v/V_c は普通コンクリートで $1/9 \sim 1/9$ 、R骨材コンクリートで $1/9 \sim 1/10$ 、S骨材では $1/9 \sim 1/9$ である。AEコンクリート $\times$ Non AEコンクリートの曲げ強度は大きな差がみられ $1.5 \sim 2$ 。

4) 弾性係数：3種骨材を用いたコンクリートについて、弾性係数と圧縮強度との関係を図-10に示す。普通コンクリートに比べて、R骨材コンクリートの弾性係数は約 65% 、S骨材では約 50% である。なお、弾性係数と静弾性係数の比 (E_0/E_s) は表4図-11に示す。軽量コンクリートで約 1.1 、普通コンクリートで約 1.3 であり、奥島ら²⁾の研究結果と比較的よく一致している。

5) 乾燥収縮：6カ月までの乾燥収縮を示す図-12にみられるように、軽量コンクリートの収縮は普通コンクリートの $1/3$ 程度である。なお、単位セメント量 330 kg より 430 kg の富配合コンクリートほどセメントペースト量が多いから、収縮の値は小さくなると思われる。

IV. まとめ

振動台による軽量コンクリートの振動稀固の実際は、 $3000 \sim 4000 \text{ rpm}$ の振動数で 2 分ほど比較的短時間で十分な稀固が可能である。軽量骨材の種類によって多少異なるが、強度は普通コンクリートの $75 \sim 90\%$ の値が得られ、弾性係数はかなり小さくなる。今後、橋かけ、スラブなど土木用製品への利用も多く見られると見られる。稀固の仕方について型枠の形状や注ぎの影響を調べる必要がある。(参考文献) 1) 高木・河野豊見、徳大研報、No.13 p.1~7 (1968)。

2) 奥島・小原・大井、セメント技術年報 XIX, p.460~463 (昭和40年)。

図-8 セメント水比と引張強度との関係

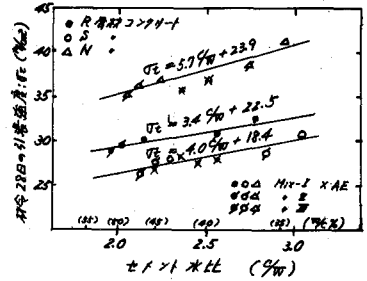


図-9 セメント水比と曲げ強度との関係

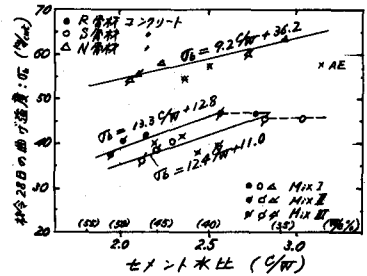


図-10 弾性係数と圧縮強度との関係

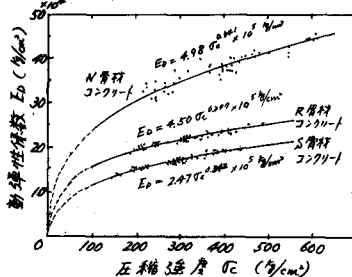


図-11 静弾性係数と弾性係数の関係

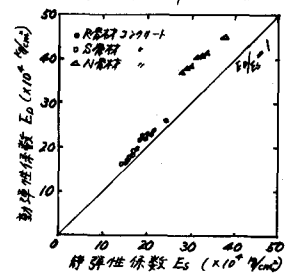


図-12 コンクリートの乾燥収縮測定結果

