

1. まえがき

近年、川砂利の不足によりコンクリート製品においても碎石が使用されるようになってきているが、その適正な使用については今後十分に研究されなければならない。製品では、一般にスランプが数センチメートル以下のがた練りコンクリートを使用するから、その締固めは製品の品質の良否と関係する重要な問題の一つである。振動締固めについては従来より多くの研究がなされているが、研究者によつて多少ことなつた結果がよられており、がた練り碎石コンクリートについてはほとんど十分に究明されてはいない。したがつて、ここでは振動台による締固めととりあげ、碎石コンクリートの強度におよぼす振動締固め条件の影響、各種混和材料の締固め効果への影響、型わくの形状寸法と材質の影響などについて3つの実験シリーズをわけて検討した。

2. 使用材料

実験シリーズによつて2種の普通ポルトランドセメント (A: 比重=3.14, $\sigma_{28}=414 \text{ kg/cm}^2$, B: 比重=3.15, $\sigma_{28}=413 \text{ kg/cm}^2$) を用いた。

使用した碎石は表-1 に示す3種で、標準

表-1 使用した碎石と川砂利の品質

粗骨材の種類	岩種	最大寸法 (mm)	比重	吸水量 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)	粗粒率 (%)	粒形判定実績率 (%)
松山碎石(M)	砂岩	20	2.62	0.92	1,560	6.60	60.0
高知碎石(K)	石灰岩	20	2.70	0.18	1,600	6.60	59.3
鳴門碎石(N)	砂岩	20	2.60	1.32	1,530	6.61	59.5
吉野川砂利(G)	砂岩片岩	20	2.61	1.28	1,670	6.66	64.7

* 粒形別混合比: 20~10mm: 10~5mm = 7:3

** JIS A 5005 "コンクリート用碎石" によつて求めた値

粒度範囲に入るようにならうに分けて、粒度調整を行つた。なお、比較のために吉野川産の川砂利も用いた。細骨材は実験シリーズによつて吉野川砂 (F.M.=2.81): 微砂と 9:1 の重量比で混合したもの (F.M.=2.83) あるいは吉野川砂単味で用いた。混和材料としては、フライアッシュ (比重=2.16, プレーン比表面積=3370 cm^2/g) のほか、AE剤としてビニル、減水剤としてはエーブルMXとボツリス No.100Nとを用いた。以下、3つの実験シリーズについて、実験方法とその結果の概要について報告する。

3. 振動締固め条件の強度におよぼす影響

(1) 実験方法の概要

表-2 コンクリートの配合

(成形温度: 24~25°C)

使用骨材	松山碎石 (M)				高知碎石 (K)				吉野川砂利 (G)			
配合 No.	M-6	M-2	M-0	M ₁ -2	M ₂ -2	K-6	K-2	K-0	K ₁ -2	K ₂ -2	G-6	G-2
目標スランプ (cm)	5~7	2~3	0~0.5	2~3	2~3	5~7	2~3	0~0.5	2~3	2~3	5~7	2~3
セメント比 (%)	58.4	55.0	51.3	51.9	42.9	56.9	53.4	50.0	50.3	41.4	53.1	50.6
細骨材率 (%)	48.2	48.8	49.9	48.2	46.3	48.9	49.4	50.4	48.9	48.1	43.9	44.6
単位水量 (kg)	187	176	164	166	179	182	171	160	161	174	170	162
単位セメント量 (kg)	320	320	320	320	420	320	320	320	320	420	320	320

普通セメント A, 粗骨材は松山碎石, 高知碎石および吉野川砂利, 細骨材は川砂と微砂と混ぜたものを用いた。

コンクリートは振動締固め

* AEコンクリート: 目標空気量 4~5%, ビニル 0.04 %/cement 使用

製品を対象とし、セメント量とスランプとを主として表-2 に示す配合とを用い、強制練りミキサで練りおこす $5 \phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の円柱形型わくに詰め、同時に3個を振動台にとりつけ所定の条件で締固められた。

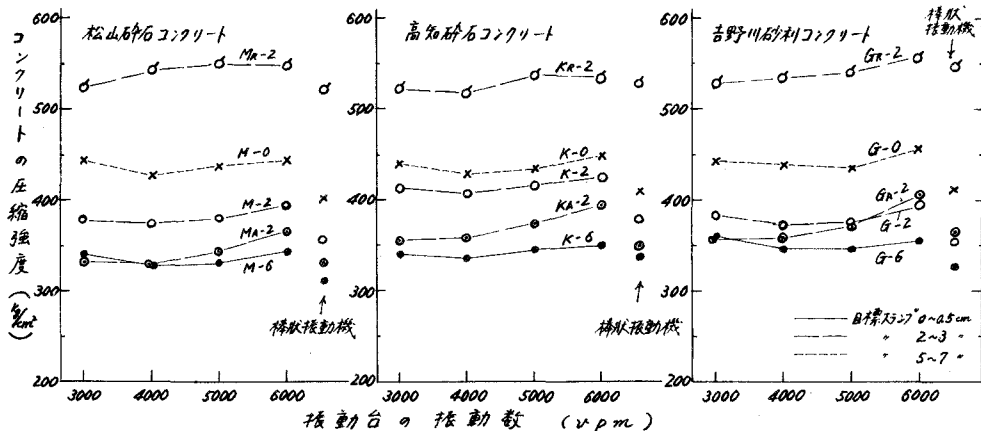
振動台は丸東製作所製の低振動数用の振動台 (不平衡重錘式、振動数は 2000~6000 rpm の範囲で可変) を用い、コンクリートの締固め条件は振動数と 3000, 4000, 5000 および 6000 rpm (加減速度は型わくの取りつけ位置でそれぞれ 6.4, 8.1, 11.7 および 16.4 g) による。その振動時間はこれまでの研究結果を参考としてスランプ 0~0.5 cm のものは 30 秒、2~3 cm のものは 20 秒、5~7 cm のものは 10 秒として締固め成形を行なった。なお、比較のために JIS A 1132 に準じて棒状振動機 (φ28

mm, 振動数 8000 upm) による稀固めと行なった供試体も成形し K。所定の稀固めと終った供試体は表面をならし、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の恒温室に移し、数時間後キャッピングと行なった。翌日脱型し、以後所定割合で水中養生と行なった。材料 28 日で供試体の重量、動弾性係数、コンクリートの圧縮強度を測定し、主として品質判定の基準となっている圧縮強度によって稀固め効果と判定した。なお、供試体 3 個の平均値をとったがその変動係数はほとんど 10% 以内であり、平均は 3.3% であった。

(2) 実験結果とその考察

振動数と材料 28 日の圧縮強度との関係を示すと、図-1 にみられるように、振動数による強度差はそれほど大きくはないが、6000 upm で稀固め K 場合の強度はもっとも高くなる傾向がある。振動数 3000 upm から 4000 upm では強度がほぼ同じか下がる傾向があり、5000 upm とは大差はないが、

図-1 振動台の振動数と圧縮強度との関係



れは稀固め中にコンクリートの回転と生じ易く、気泡の排除が十分に進まないためと考えられる。コンクリートの空気量を測定した図-2 の結果でもこれが明示されている。なお、富配合コンクリートや AE コンクリートでも振動数増加により強度は高くなるが、とくに前者は高振動数を用いると稀固め効果がよくなる傾向がみられる。

砕石コンクリートと川砂利コンクリートの傾向はほぼ同様であるが、川砂利ではスランプが大きくなると、高振動数の 6000 upm で

図-2 振動数と最大固まらないコンクリートの空気量

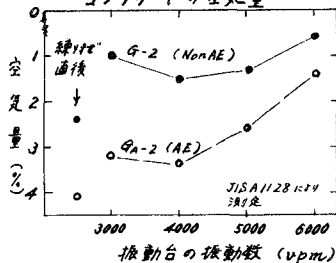
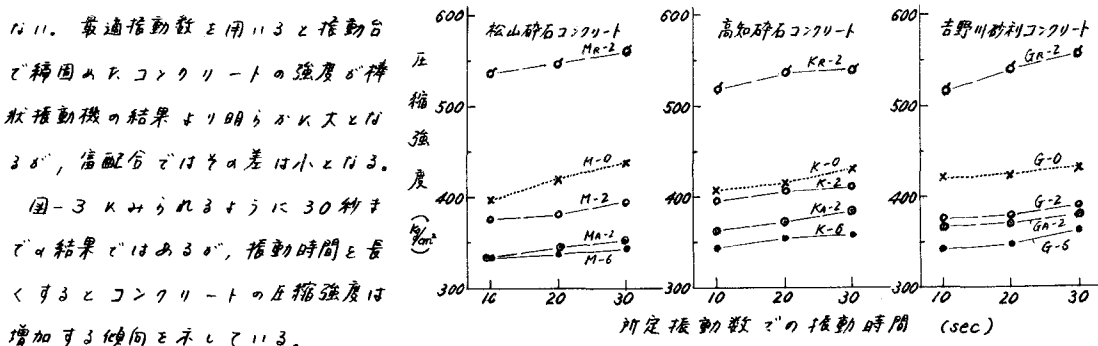


図-3 振動台の振動時間と圧縮強度との関係



稀固めでもその効果はあまりみられない。最適振動数を用いると振動台で稀固めしたコンクリートの強度が棒状振動機の結果より明らかに大きくなるが、富配合ではその差は小となる。

図-3 からみられるように 30 秒までの結果ではあるが、振動時間を長くするとコンクリートの圧縮強度は増加する傾向を示している。

4. 各種混和材料を用いたコンクリートの振動締固め

(1) 実験の概要

表-3 コンクリートの配合

(最大寸法: 20 mm)

普通セメント B, 粗骨材は
鳴門砕石と吉野川砂利, 細骨
材は吉野川砂を使用した。

単位セメント量は前実験と
同様に 2 種とし, 目標スラン
プは 6 cm および 2 cm とした。

粗骨材の種類	砕石										川砂利			
配合 No.	NP-6	NR-6	NF-6	NA-6	NA-6	NM-6	NR-6	NP-2	NA-2	NM-2	GP-6	GR-6	GA-6	GA-6
目標スランプ (cm)	6±1	6±1	6±1	6±1	6±1	6±1	6±1	2±1	2±1	2±1	6±1	6±1	6±1	6±1
水セメント比 (%)	53.6	56.9	53.1	51.6	44.0	50.0	53.1	53.1	47.8	46.3	46.0	39.3	46.2	46.0
細骨材率 (%)	49.6	47.2	49.7	48.8	46.2	49.2	50.4	50.5	48.8	50.1	44.6	41.9	43.8	41.1
単位水量 (kg)	180	181	170	165	168	160	170	170	153	148	163	165	148	150
単位セメント量 (kg)	320	420	320	320	320	320	320	320	320	320	320	420	320	420
混和材料の 使用量	—	—	fly Ash 64 kg	Vinsol 128 cc	Vinsol 189 cc	Mool MX 320 cc	fly Ash 64 kg	—	Vinsol 144 cc	Mool MX 480 cc	—	—	Vinsol 128 cc	Vinsol 160 cc

単位粗骨材容積: 砕石 = 0.599, 川砂利 = 0.619.

成形温度: 15~18°C

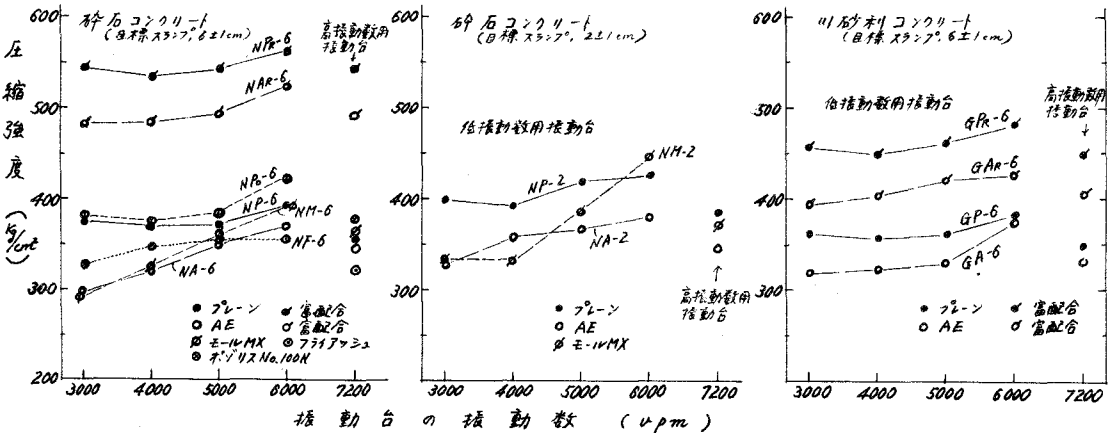
混和材料はフライアッシュ, ビンソル, モール MX, ポゾリス No.100 N などを用いた (表-3 参照)。

振動台は前述した低振動数用振動台のほか, 日本ワッコー等で振動数 7200 upm (加速度 8.3 g) の不平衡重錘式の高振動数用振動台も用いた。強制練リミキを用いてコンクリートを練り混ぜた後, $\phi 10 \times 20$ cm の円柱形型わくに詰め, 低振動数用のものでは前述の 4 種, 高振動数用振動台では 7200 upm の振動数を採用し, 最高振動数での振動時間を 20 秒として締固めを行なった。なお, 締固め時間の影響を検討する場合には, 5000 upm を用いた振動台では 10, 20, 30, 45, 60 および 90 秒, 8000 upm の静置振動機では 10, 20 および 30 秒とした。締固めと終了した後試体は脱型後標準養生し, 材令 28 日でコンクリートの単位重量, 動弾性係数と求めたのち, 圧縮強度試験を行なった。

(2) 実験結果とその考察

各種混和材を用いたコンクリートの圧縮強度における振動数の影響を示した図-4 にみられるようにプレーンコンクリートでは, 3000~4000 upm ではほぼ同程度のやや低下の傾向を示すものもあるが, 5000~6000 upm になると強度は高くなる。一方, 連行空気を含むコンクリートでは 4000~6000 upm

図-4 各種混和材料を用いたコンクリートの強度における振動数の影響



へと振動数による強度増加率が大きい。フライアッシュコンクリートでは混和剤を用いた場合ほど強度の伸びは小さい。また, 7200 upm では振幅が小さく, 加速度も低くなるので, 加速度が同程度の低振動数の 4000 upm の結果とほぼ同じ値であり, 振動加速度が締固め効果とみられる一つの要因となっていることを示している。図-5 に示したように振動台の振動時間の増加とともに強度は明らかに増大するが, その増加率がみても AE コンクリートでは普通コンクリートに比べて振動時間を 11 くらい

短くできる。これは30秒までの空気の排除が多いなめと思われる(図-5参照)。また、碎石コンクリートは川砂利コンクリートに比べて振動時間と11ぶん長くする必要がある。棒状振動機では図-6のように振動台に比べると時間を長くする効果は少ない。

振動数と高くし、振動時間を長くすると動弾性係数も大きくなり、これによってある程度、稀固め効果の判定が可能である。動弾性係数(E_d)と圧縮強度(σ_c)との関係を求めると、
 鳴門碎石: $E_d = 1.000 \sigma_c^{0.214} \times 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
 吉野川砂利: $E_d = 0.592 \sigma_c^{0.320} \times 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
 となる。なお、単位重量と強度との関係は変動が大きい。

5. 型わくの形状・寸法および材質の影響

前実験での配合 NP-6, NP-2, GP-6, GP-2 を用い、鋳鉄製の $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ と $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ 円柱形型わく、 $15 \times 15 \times 54 \text{ cm}$ と $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ のはり型わくおよび同じ寸法で木製のはり型わくを用い、5000 vpm と 7200 vpm (円柱形型わくのみに) で20秒間稀固め、圧縮強度と曲げ強度とをそれぞれの影響を調べた。この結果、円柱状試体で $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ と $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ との強度比は 100:96~105 (平均 99%) で既往の研究結果とはほぼ同じである。鋳鉄製はり型わくでも図-7 のような大差なく、木製では小型になるとやや大となる。また、鋳鉄製と木製との結果を比べると表-4 のようなほぼ同じ値がえられている。

6. おわりに

碎石コンクリートの最適稀固め条件は川砂利コンクリートと大差なく、振動数 6000 vpm、振動時間 45~60 秒が適当であり、AE コンクリートでは振動時間を多少短縮できる。

本研究を行なうにあたり京都大学岡田教授、徳島大学荒木教授より御指導を賜わり、徳島大学コンクリート研究室の諸君には実験に多大の御援助を頂き、また本研究に対し昭和42年度土木学会吉田研究奨励金を授けられたいと厚く御礼申し上げます。

(文献) 1) 荒木, 河野, 里見, 徳島大学工学部研究報告 No. 13, pp 1~7 (1968)

図-5 振動台の振動時間と圧縮強度との関係

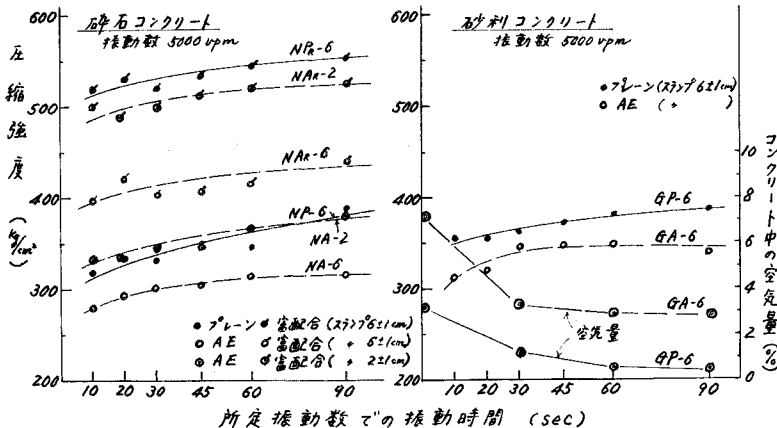


図-6 棒状振動機の振動時間と強度との関係

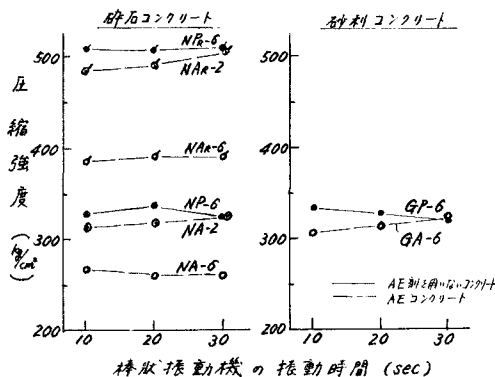


図-7 型わくの寸法による強度比較

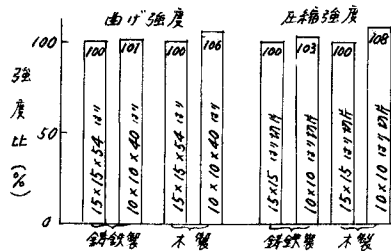


表-4 型わくの材質によるコンクリートの強度比較

型わくの寸法	15x15x54 cm	10x10x40 cm	平均
材質	鋳鉄製	木製	鋳鉄製
型わく上面の加速度(g)	6.6	7.2	6.5
曲げ強度比*	100	98	102
圧縮強度比*	100	99	104

* NP-6, NP-2, GP-6, GP-2 4配合コンクリートの平均値