

I S S N 0386—5878
土 研 資 料 第1980号

土木研究所資料

第 1980 号

RCDコンクリートの締固め実験

昭和58年 3 月

建設省 土 木 研 究 所

機械施工部施工研究室

Copyright © (1 9 8 2) Fiscalyear by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

最近、堤体積の大きいコンクリートダム of 合理化施工法として RCD (Roller Compacted Dam) コンクリート工法が、島地川ダム、大川ダムなどで採用され、従来のコンクリート打設法に比べて大幅な工期短縮、工費低減が可能な工法として関心を集めている。

本工法の特徴は、硬練りの貧配合コンクリートを固定ケーブルクレーンやダンプトラックで運搬し、ブルドーザーなどで敷均し、振動ローラで外部から締固める点にある。このうち、振動ローラによるコンクリートの締固めはダムコンクリートの品質に直接結びつく問題であるため、これまでも数々の実験が行なわれてきているが、今なお本工法に適した締固め条件を模索している状況にある。

施工研究室では、RCD工法における締固め工法の問題点を把握し、今後の工法の改良等に資するべく、55年より3ケ年にわたり、RCDコンクリートの締固めに関して大型供試体（直径80cm、高さ1m）による室内実験及び東北地方建設局玉川ダム工事事務所のダム工事現場における現場実験を実施した。本報告書はこれら実験で得られた知見をまとめたものである。

昭和58年3月

施工研究室	室長	嶋津晃臣
	研究員	見波 潔
		足立 賢一
元施工研究室		木村直紀*
		武田節郎**

* 九州地方建設局耶馬溪ダム工事々事所

** 東北地方建設局玉川ダム工事々務所

目 次

ま え が き

1. 室内実験（締固めエネルギーと密度・強度）	1
1.1 実験目的	1
1.2 実験方法	1
1.2.1 試験用コンクリート	1
1.2.2 練混ぜ機械	1
1.2.3 締固め機械	1
1.2.4 試験用モールドと供試体の作製方法	1
1.2.5 試験条件	2
1.2.6 測定項目	2
1.3 実験結果	2
1.3.1 まだ固まらないコンクリートの品質管理	2
1.3.2 硬化したコンクリートの品質管理	3
1.3.3 締固めエネルギーと圧縮強度及び密度の関係	4
1.4 ま と め	8
2. 現場実験 - 1 - （振動ローラの重量の影響）	9
2.1 実験目的	9
2.2 実験方法	9
2.2.1 実験場所	9
2.2.2 実験条件及び締固め機械の仕様	9
2.2.3 コンクリートの配合	10
2.2.4 実験手順	10
2.2.5 コンクリートの品質管理	11
2.2.6 振動加速度、圧力の測定	11
2.2.7 表面沈下量の測定	12
2.2.8 コアリング及びコア観察	12
2.2.9 採取コアの密度と圧縮強度（ σ_{91} ）	12
2.3 実験結果	12
2.3.1 タイムスタディ	12
2.3.2 コンクリートの品質管理	13
2.3.3 表面沈下量	14
2.3.4 採取コアの観察	15
2.3.5 採取コアの密度と圧縮強度（ σ_{91} ）	18
2.3.6 コンクリート内部の振動加速度及び圧力	34

2.4 ま と め	34
3. 現場実験 - 2 - (振動ローラの振動数の影響)	35
3.1 実 験 目 的	35
3.2 実 験 方 法	35
3.2.1 実 験 場 所	35
3.2.2 実験条件及び締固め機械の仕様	36
3.2.3 実 験 手 順	37
3.2.4 コンクリートの品質管理	37
3.2.5 振動加速度, 圧力の測定	37
3.2.6 表面沈下量の測定	37
3.2.7 コア採取及びコア観察	38
3.3 実 験 結 果	39
3.3.1 タイムスタディ	39
3.3.2 コンクリートの品質管理	39
3.3.3 表 面 沈 下 量	43
3.3.4 採取コアの観察	43
3.3.5 考 察	43
3.4 ま と め	50
4. ま と め	55
4.1 締固めエネルギーとコンクリートの密度・強度	55
4.2 振動ローラの重量の影響	57
4.3 振動ローラの振動数の影響	60
4.4 ま と め	63
5. あ と が き	64
謝 辞	64
参 考 文 献	64

1. 室内実験（締固めエネルギーと密度・強度の関係）

1.1 実験目的

RCD工法は硬練りの特殊コンクリートを使用し、コンクリートを振動ローラで外部から締固めるところに大きな特徴がある。しかし、締固めエネルギーやまき出し厚と密度、強度の関係などについてはまだ十分に解明されていない。本実験はこれらの関係を調べるために小型モールドを用いて特定の配合およびコンシステンシーの硬練りコンクリートを表面型振動機により締固める試験を行ない、このときの締固めエネルギーとコンクリートの力学的強度および密度の関係について調査した。

1.2 実験方法

1.2.1 試験用コンクリート

試験用コンクリートの配合を表-1.1のように定めた。これは我が国でRCD工法により施工された大川ダム、島地川ダムのコンクリートの配合例を参考にしたもので、水セメント比W/Cを85%、粗骨材最大寸法Gmaxを40mmとして、特定のコンシステンシー（ここではV C値が約15秒とする）が得られるよう定めたものである。

表-1.1 室内試験配合

粗骨材最大寸法 (mm)	スランブ範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 $\frac{W}{C+F}$ (%)	混和材率 $\frac{F}{C+F}$ (%)	細骨材率 $\frac{S}{a}$ (%)	単位量 (Kg/m³)					
						水 W	セメント C	フライアッシュ F	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 (ポリス) %8
40	—	4	85	20	42	115	135		901	1272	0.338
							108	27			

※ 5-13mm 229 Kg/m³
5-25mm 534 Kg/m³
20-40mm 509 Kg/m³

1.2.2 練混ぜ機械

試験に用いたコンクリートが貧配合、硬練りコンクリートであるため、練混ぜ機械は二軸強制ミキサ（公称容量100ℓ、35rpm、ブレード数14）を用いた。

1.2.3 締固め機械

締固め機械は表面型振動機とし、起振力1t（起振機A）および起振力3t（起振機B）の2機種を用いた。表面型振動機の外形図および仕様を図-1.1に示す。

仕様

項目	1t起振機 (A)	3t起振機 (B)
振動数 cpm	1810	1900
片振幅 mm	1.2	1.2
起振モーメント kgm	26.6	77.0
起振力 Kg	1000	3000
起振部重量 Kg	230	650
締固め板径 mm	φ480	

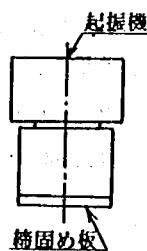


図-1.1 締固め機械の仕様と外形図

1.2.4 試験用モールドと供試体の作製方法

試験用モールドは内径800mm厚さ11mm高さ1000mmの硬質厚紙製円筒型枠を用いた。供試体はモールド内にあらかじめ打設しておいた厚さ200mmのベースコンクリートの上に敷モルタル15~20mmを敷均し、硬練りコンクリートをモールド上面まで(厚さ800mm)まき出した後、表面型振動機で締固めを行なった。締固めは供試体全体ができるだけ均一に締固まるよう配慮し図-1.2に示すようにモールドの線に沿って3ヶ所、中央部に1ヶ所の順序で起振機を置いて締固めた。締固め時間は1ヶ所当り1分、計4分とした。

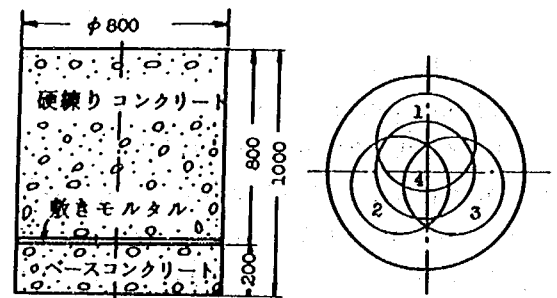


図-1.2 供試体の作製方法

表-1.2 試験条件

ケース No	1	2	3	4	5
配 合	1 種類				
敷モルタル	有り 15 ~ 20 mm				
まき出し厚	800 mm				
締固め機械	B	A	B	B	B
起振力 (Kg)	1100		2100	2600	3100

1.2.5 試験条件

試験に使用した表面型振動機の起振装置は2コの重錘を持っており、重錘の位相差によって起振力を変えることができる構造となっている。

本試験では起振機Aで1種類、起振機Bで4種類の起振力を設定した。試験ケースおよび条件を表-1.2に示す。

1.2.6 測定項目

測定は表-1.3に示す項目について実施した。

試験で使用した硬練りコンクリートのコンシステンシーはスランプによる管理が困難なためVC試験による品質管理を行なった。VC試験とは、振動台式コンシステンシー試験機でコンクリートに振動を与え、振動開始からコンクリートの表面に全面的にセメントペーストが浮かび上がるまでに要する時間を計測するもので、これをVC値として表示する(図-1.3参照)。

締固め機械の振動数および振幅は、起振部に加速度変換器のピックアップを取り付け、その振動波形により求めた。

1.3 実験結果

1.3.1 まだ固まらないコンクリートの品質管理

まだ固まらないコンクリートの品質管理はVC試験によるものとし、1ケース当り2回の試験を実施し、その結果を表-1.4に示す。表のごとくVC値は目標値1.5秒にほぼ近い値となっており、コンシステンシーは一定であるとみなすことができる。また直径1.5cm、高さ3.0

cmの標準供試体をケース毎に3本作製し、材令91日の密度・強度を測定した(表-1.5)。

表-1.3 測定項目

区 分	内 容	頻 度	備 考
品質管理	骨材の表面水量		試験前に測定
	コンシステンシー(V0試験)	2回/ケース	
	標準供試体	3本/ケース	φ15×30 cm
試験中測定	締固め機械の振動数	締固め回数ごと	加速度変換器による
	締固め機械の振幅		
試験後測定	コア写真撮影	ケースごと	
	採取コアの強度、密度(σ_{91})	3本/ケース	
	標準供試体の強度、密度	3本/ケース	

表-1.4 コンシステンシー試験結果

ケース No	V0値 (sec)		
	1回目	2回目	平均
1	16.0	14.0	15.0
2	15.5	16.5	16.0
3	15.0	16.0	15.5
4	12.0	12.0	12.0
5	12.0	14.0	13.0

1.3.2 硬化したコンクリートの品質管理

(1) コアの採取

供試体作製の約4週間後、図-1.4に示すように最終締固め位置から密度、強度試験用のコア(φ118mm)を各ケースごとに3本採取した。なお、採取したコアは、上層、下層の強度差および密度差を調べることができるようコア径×2倍の長さで切断した。切断位置をコア写真-1.1に示す。切断したコアは切断後約9週間(供試体作製後91日まで)水中養生を行なった。

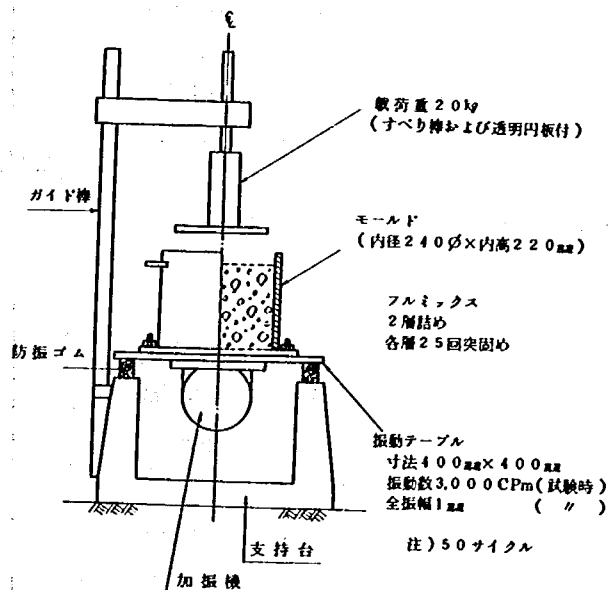


図-1.3 標準VC試験機

(2) 採取したコアの密度および強度(σ_{91})

養生終了後、密度の測定および圧縮強度試験を行なった。密度はコア寸法と表乾状態におけるコア重量から算出した。また、圧縮強度試験はJIS A1108「コンクリートコアの圧縮

強度試験法」に基づき実施した。

表-1.5 標準供試体の密度・圧縮強度 (σ_{91})

ケースNo	区分	単位: 密度 kg/cm^3 圧縮強度 kg/cm^2			
		2B	3B	4B	平均 $\pm$ 偏差
1	密度	2327	2369	2392	2363 ± 0.033
	圧縮強度	178	173	182	178 ± 45
2	密度	2344	2363	2410	2372 ± 0.034
	圧縮強度	131	171	183	162 ± 27.2
3	密度	2403	2393	2407	2401 ± 0.007
	圧縮強度	139	149	177	155 ± 19.7
4	密度	2311	2400	2392	2368 ± 0.049
	圧縮強度	134	170	157	154 ± 18.2
5	密度	2423	2407	2430	2420 ± 0.012
	圧縮強度	157	161	177	165 ± 10.6

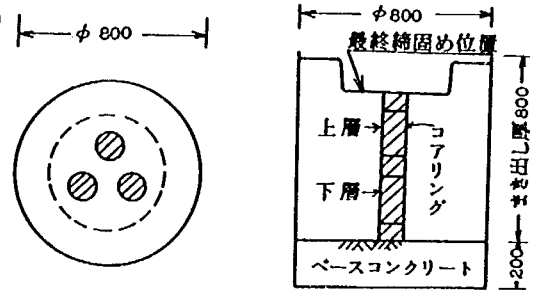
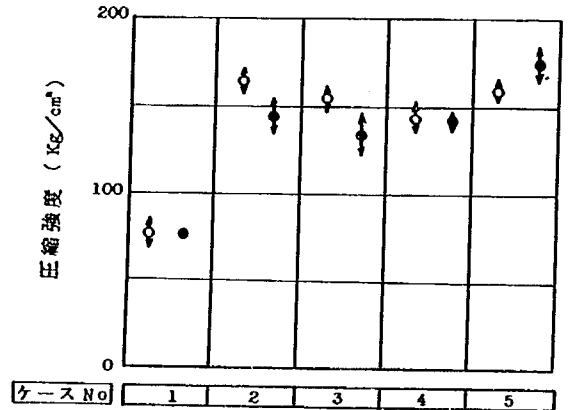


図-1.4 コア採取位置

コアの密度および圧縮強度試験結果を表-1.6及び図-1.5に示す。この図から明らかなように供試体の上層と下層では密度、強度に差が見られるので、以下では上・下層を区別して扱うことにした。また、密度と圧縮強度の関係を図-1.6に示したが相関係数 $r = 0.925$ と両者の間には良い相関があり、密度と圧縮強度は密接な関係にあることがうかがえる。



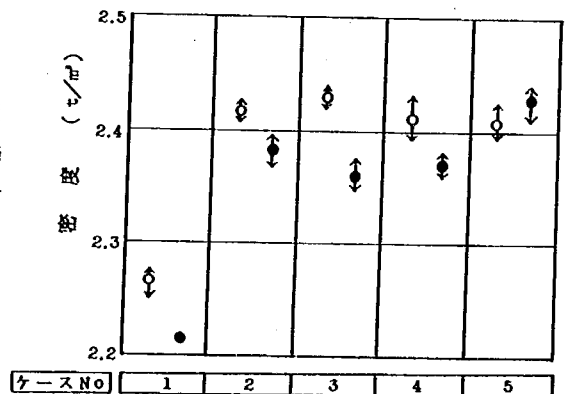
1.3.3 締固めエネルギーと圧縮強度および密度の関係

(1) 締固めエネルギー

本試験は表面型振動機の起振力を変えて行なったものであるが、一般に締固め効果と良い相関を示す指標として締固めエネルギーの概念がある。この締固めエネルギーは起振力の他に起振機の重量、振幅などの関数と考えられ、谷本は次式を提案している。

$$E_0 = 2a \left(W + \frac{F}{2} \right) \dots\dots\dots(1)$$

ここでは E_0 : 1 サイクル当りの締固めエネルギー ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{サイクル}$),



○ : 上層 ↓ : 測定範囲を表す
● : 下層

図-1.5 圧縮強度および密度

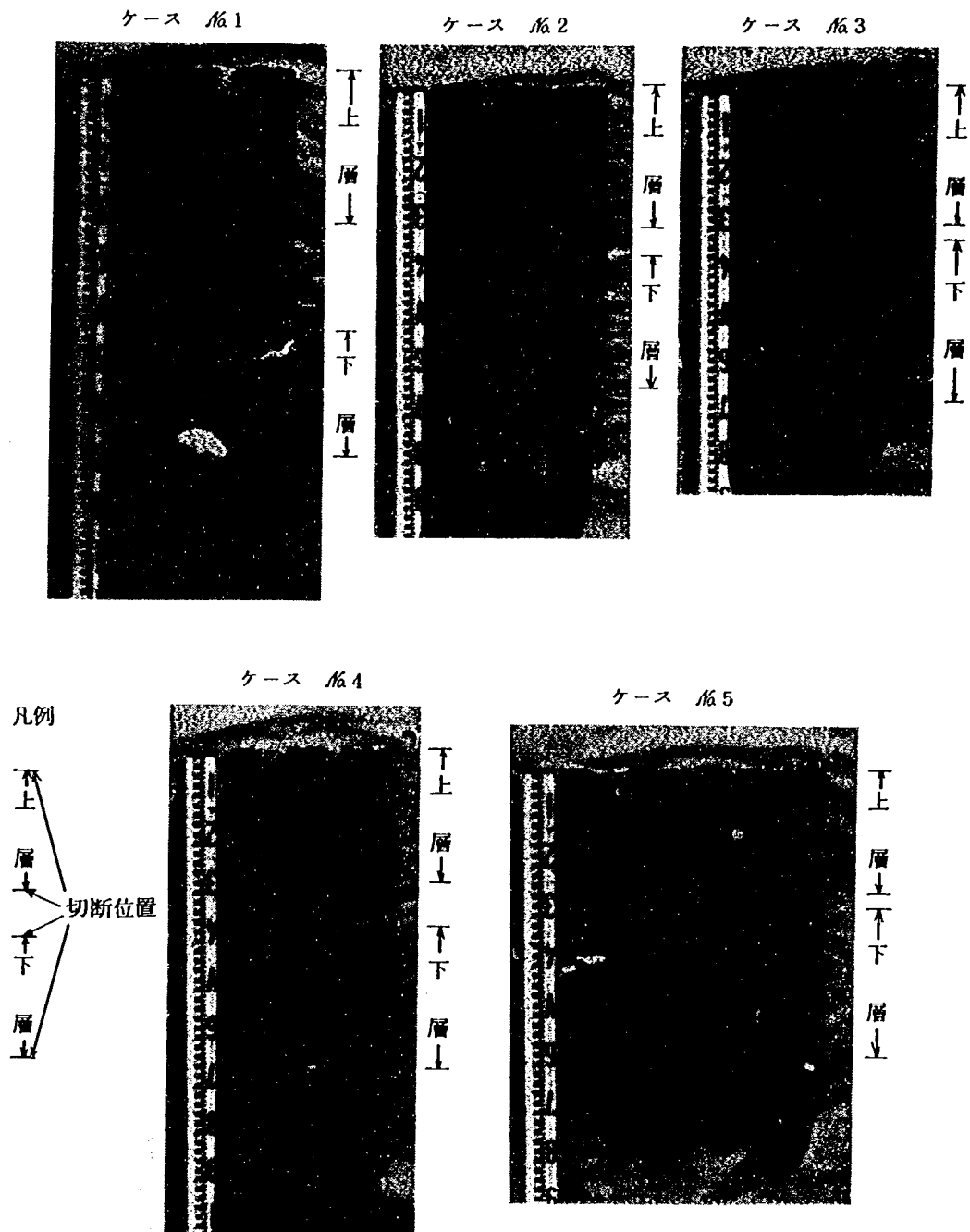


写真-1.1 採取したコアの外観

a : 起振機の片振幅 (cm), W : 起振機の重量 (Kg), F : 起振力 (Kg) である。

(1) 式は振動 1 サイクル当りの締固めエネルギーを表わしているが、ここでは締固め時間を考慮し締固めに費やした総エネルギーを考えることにした。すなわち、締固めが行なわれた全振動数を求め、さらに締固め板の受圧面積を考慮した次式に示す単位面積当りの総締固めエネルギー（ここでは単に締固めエネルギーと呼ぶ）を考えた。

$$E = 2a \left(W + \frac{F}{2} \right) \cdot n \cdot t \cdot \frac{1}{A} \dots\dots$$

.....(2)

ここで、E : 締固めエネルギー (Kg・cm/cm²), n : 振動数 (cpm), t : 締固め時間 (min), A : 締固め板の受圧面積 (cm²) である。

(2) 式により各試験ケー

スの締固めエネルギーを求めると表-1.7 のとおりである。以下ではこの締固めエネルギーと密度、圧縮強度との関係を述べる。なお、計算に用いた振動数および振幅は起振機に取り付けた加速度計により測定した振動波形および加速度から求めた。

(2) 締固めエネルギーと圧縮強度

締固めエネルギーと圧縮強度の関係を図-1.7 に示す。上層では締固めエネルギーが増すにつれて圧縮強度は急激に増すが $E = 1,500 \text{ Kg} \cdot \text{cm/cm}^2$

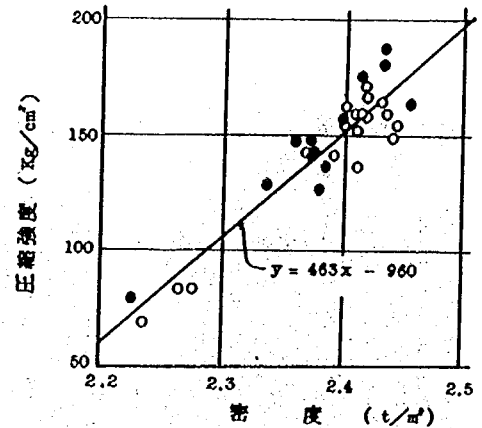


図-1.6 密度と圧縮強度の関係

表-1.6 採取コアの密度・圧縮強度 (σ₉₁)

単位: 密度 t/m³
圧縮強度 Kg/cm²

ケース	区分	1	2	3	4	5	平均 ± 偏差
1	上 密 度	2277	2237	2266			2260 ± 0.021
	上 圧 縮 強 度	83	69	83			78 ± 8.1
	下 密 度	2228					2228 ± —
	下 圧 縮 強 度	79					79 ± —
2	上 密 度	2416	2429	2413			2419 ± 0.009
	上 圧 縮 強 度	171	164	159			165 ± 6.0
	下 密 度	2397	2363	2373			2384 ± 0.012
	下 圧 縮 強 度	157	136	143			145 ± 10.7
3	上 密 度	2434	2439	2442			2438 ± 0.004
	上 圧 縮 強 度	159	149	154			154 ± 5.0
	下 密 度	2337	2370	2379			2362 ± 0.022
	下 圧 縮 強 度	128	148	126			134 ± 12.2
4	上 密 度	2410	2410	2390			2403 ± 0.012
	上 圧 縮 強 度	136	152	141			143 ± 8.2
	下 密 度	2371	2367	2357			2365 ± 0.007
	下 圧 縮 強 度	141	142	147			143 ± 3.2
5	上 密 度	2418	2418	2400	2410	2400	2409 ± 0.009
	上 圧 縮 強 度	158	166	162	159	154	160 ± 4.5
	下 密 度	—	2431	2453	2431	2413	2432 ± 0.016
	下 圧 縮 強 度	—	187	163	180	175	176 ± 10.1

付近でピークに達し、それ以降エネルギーが増しても圧縮強度は増していない。一方、下層では締固めエネルギーが増すにつれて圧縮強度が除々に増加する傾向にある。また、上・下層の圧縮強度差は締固めエネルギー $E=1,000 \text{ Kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ 付近までは上層の強度が大きく、締固めエネルギーが増すと $E=1,500 \text{ Kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ 付近では上・下層の圧縮強度差はなくなり、さらにエネルギーが増して $E=2,000 \text{ Kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ 以上になると逆に上層より下層の圧縮強度が大きくなっている。

表 - 1.7 締固めエネルギー

項目 \ ケース	1	2	3	4	5
締固め機械	B	A	B	B	B
締固め機械重量 $W(\text{Kg})$	650	230	650	650	650
加速度 (g)	0.698	65.4	187	256	430
片振幅 $a(\text{cm})$	0.024	0.228	0.065	0.09	0.147
振動数 (cpm)	1916	1905	1905	1896	1920
起振力 $F(\text{Kg})$	1090	1078	2130	2606	3178
締固め時間 $t(\text{min})$	4	4	4	4	4
振動板面積 $A(\text{cm}^2)$	1810	1810	1810	1810	1810
締固めエネルギー $E(\text{Kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2)$	241	1478	936	1469	2792

(3) 締固めエネルギーと密度の関係

締固めエネルギーと密度の関係を図 - 1.8 に示す。両者の関係は上・下層ともに圧縮強度と同じ上昇傾向を示している。また、締固めの度合を示す一つの指標である密度比 $(\text{コア密度}/\text{理論最大密度}) \times 100(\%)$ をみると、上層は $E=1,000 \text{ Kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ 付近で約 98% のピークを示してい

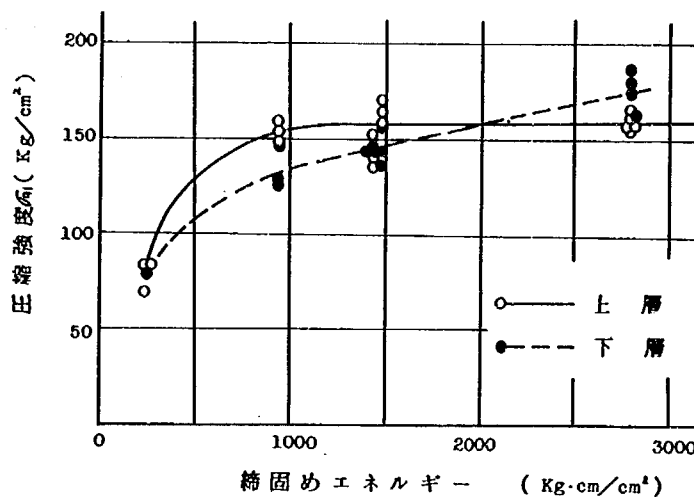


図 - 1.7 締固めエネルギーと圧縮強度

るが、下層では同一エネルギーで約 96% となっている。しかし下層は締固めエネルギーが増すにつれて密度も増加しており、 $E=2,800 \text{ Kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ 付近になると約 99% の密度が得られている。

上・下層の密度差については、これまでの施工例から上層より下層の密度が大きくなると言われてきた。しかし、今回の試験から、締固めエネルギーが小さい場合には下層より上層の密度が大きく締固めエネルギーが増加するにつれて密度差は小さくなり、ついには上層より下層の密度が大きくなるという密度上昇の過程が明らかとなった。したがって上・下層の密度差を無くし均一なコンクリートを得るには適正な締固めエネルギーがあるものと考えられ、今回の試験に使用したコンクリートではその値が $E=2,500 \text{ Kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ 付近にあると思われる。

る。

1.4 ま と め

今回の室内試験は配合、コンシステンシーを一定にし、締固めエネルギーとコンクリートの密度および圧縮強度との関係について調べたものである。この結果、締固めエネルギーが増えるにつれて、全般的に密度および圧縮強度は増加する傾向にあることがわかった。

また、上・下層の密度差が生じる原因として締固めエネルギーが関係しており、密度差を無くするための適正な締固めエネルギーが存在することがわかった。

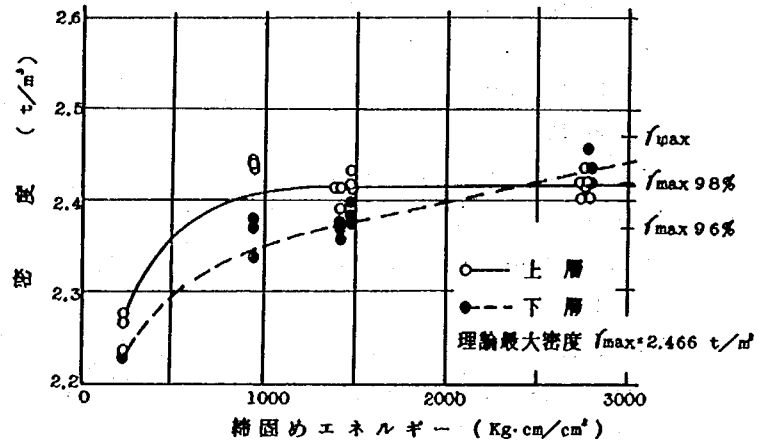


図- 1. 8 締固めエネルギーと密度

2. 現場実験 -1- (振動ローラの重量の影響)

2.1 実験目的

RCD工法におけるコンクリートの締固めに関し、振動ローラの重量、起振力、振動数などの締固め条件とコンクリートの強度、密度などの関係についてはまだ十分に解明されていない。そこで本実験ではこれらの関係を調べ、本工法に適した締固め方法、施工管理手法を見出すことを目的としている。

RCD工法では7tクラスの振動ローラが多く用いられているが、この機種が最適であるかどうかについては確固たる結論は出されていない。そこで本現場実験は振動ローラの機種の違いがコンクリートの品質に与える影響を調べることを目的としている。振動ローラの機種選定に関してはこれまでに7t以上の振動ローラを用いて実験を行なった例があり、有意な差が見られなかったことが報告されている。一方においてRCD工法ではブルドーザ転圧程度では明らかに締固め不足となることが知られている。そこで本実験では7t以下の振動ローラを用いることとした。

また、従来から振動ローラによる締固めの問題点として下層より上層の強度が小さくなることが指摘されている。そこで本実験では振動ローラによる締固めの後にタイヤローラによる静的な締固めを行ない、いわゆる「上弱下強」といわれる現象を少なくする可能性についても調べた。

2.2 実験方法

2.2.1 実験場所

実験は、昭和56年12月9日～12月11日の3日間にわたり、東北地方建設局玉川ダム工事事務所管轄の玉川ダム工事地内の上流仮締切(6リフト)及び細骨材ストックヤード基礎部テストピットにて実施した。実験場所を図-2.1及び図-2.2に示す。

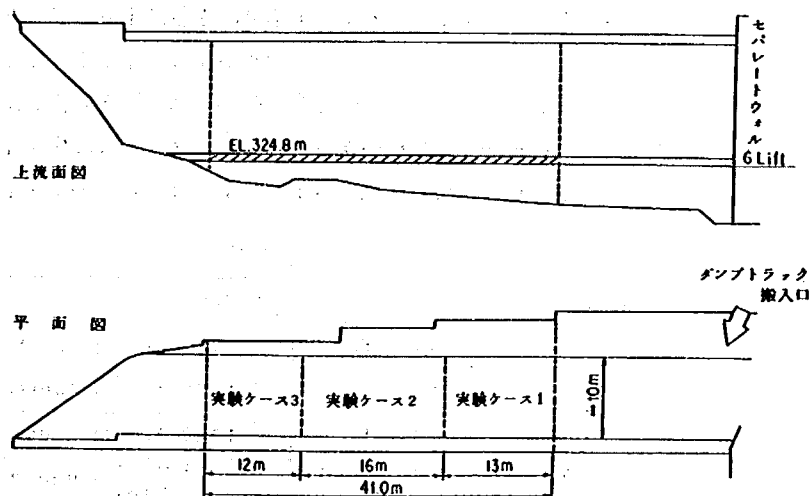


図-2.1 実験場所その1(上流仮締切)

2.2.2 実施条件および締固め機械の仕様

実験ケースは締固め機械の種類により表-2.1に示すように設定した。各ケースの締固め回

数は同表に示すとおりで、層厚(70~75 cm)及びコンクリートの配合は全て同一とした。実験ケース2, 3は、振動ローラ締固めでは上層が下層にくらべて強度が弱いという欠点があるので、これを解消するために実験ケース2で更にタイヤローラで締固める実験を行った。次に実験ケース3では、このタイヤローラ締固めのタイミングがコンクリートの凝結時間との関係で、その効果が異なることが

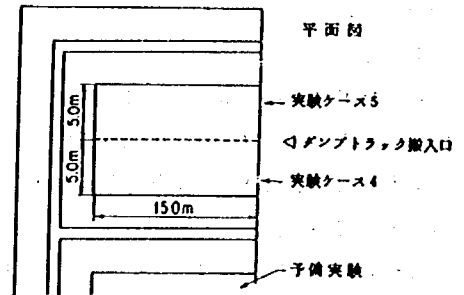


図-2.2 実験場所その2
(テストピット)

予測されるので締固めの時間間隔を他と変えるようにした。実験に用いた機械の主な仕様を表-2.2及び表-2.3に示す。

表-2.1 実験ケース

2.2.3 コンクリートの配合

実験に用いたコンクリートの配合を表-2.4に示す。

2.2.4 実験手順

実験手順を図-2.3に示す。コンクリートの練混ぜはダム建設工事現場に最も近い生コン工場にて行なわれた。また運搬は11tダンプトラック

にて行なわれた。運搬距離は上流仮締切まで約1.1Kmであり、さらに上流のテストピットまでは約1.7Kmであった。ダンピングの後、コンクリートの分離がなるべく少なくなるようにブルドーザにて混合しながら2~3層に分けて所定の厚さ(70~85 cm)にまき出した。締固め後のコンクリートの養生は、上流仮締切では型枠面がジェットヒーターとれん炭により、表面については凍結防止のため水張りが行われた。またテストピットではビニールシートで覆い養生

表-2.2 締固め機械の主な仕様

機種		7t級振動ローラ	4t級振動ローラ	2t級振動ローラ	タイヤローラ
仕様	総重量	7,000 Kg	3,625 Kg	2,490 Kg	8,500Kg (15,500Kg)
	重量配分				
	前輪	3,500 Kg	1,785 Kg	1,250 Kg	3,300Kg (6,310Kg)
	後輪	3,500 Kg	1,840 Kg	1,240 Kg	5,200Kg (9,190Kg)
車輪寸法	前輪	φ800×950mm-2本 振動輪	φ810×1,200mm 振動輪	φ605×1,000mm 振動輪	9.00-20-10-4本
	後輪	φ800×950mm-2本 振動輪	φ810×1,200mm 振動輪	φ605×900mm 振動輪	9.00-20-10-5本
最小回転半径		spin turn	4,500 mm	4,000 mm	6,700 mm
起振性能	振動数	2,600 cpm	3,100 cpm	2,500 cpm	—
	起振力	32,000 Kg (8,000 Kg×4輪)	3,000 Kg	3,000 Kg	—

を行った。

2.2.5 コンクリートの品質管理

練混ぜられたRCD
コンクリートの品質を
把握するために、コン
クリートプラントおよ
び現場にてVC試験
(小型)空気量測定お
よび圧縮強度試験用供
試体の作製を実施した。

(1) VC試験(小型)

40mmフルイ通過
試料についてVC値

の測定を行った。試験要領は「RCD工法技術指針(案)」に従った。

(2) 空気量測定

40mmフルイ通過
試料の空気量を7ℓ
のワシントン型エア
メータを用いて測定
した。なお、RCD
コンクリートは超硬
練りコンクリートで
あるため、容器への
試料詰め込みにはポ
ッシュタンプ(表面振
動機)を用いた。

(3) 圧縮強度試験用供 試体の作製

40mmフルイ通過
試料を用いて直径15
cm、高さ30cmの円
柱形供試体を作製し

た。作製要領は「RCD工法技術指針(案)」に従った。

2.2.6 振動加速度、圧力の測定

締固め時におけるコンクリート内への振動の伝達状況を調べる目的で、実験ケース3、4、

表-2.3 使用機械

区 分	名 称	製造会社・型式	仕 様
コンクリートの運搬	ダンプトラック	—	11 t 車
コンクリートの まき出し 敷均し	ホイールローダ	小松製作所 JH30B	1.2 m ³ 山積
	ブルドーザ	" D50P	
コンクリートの 締 固 め	振 動 ロ ー ラ	ボマーグ BW200	自重7 t
		明和製作所 MV26	" 2.6 t
		" MUS40W	" 4 t
	タイヤローラ	酒井重工業 TS7409	" 8.5 t (実験時 9 t)

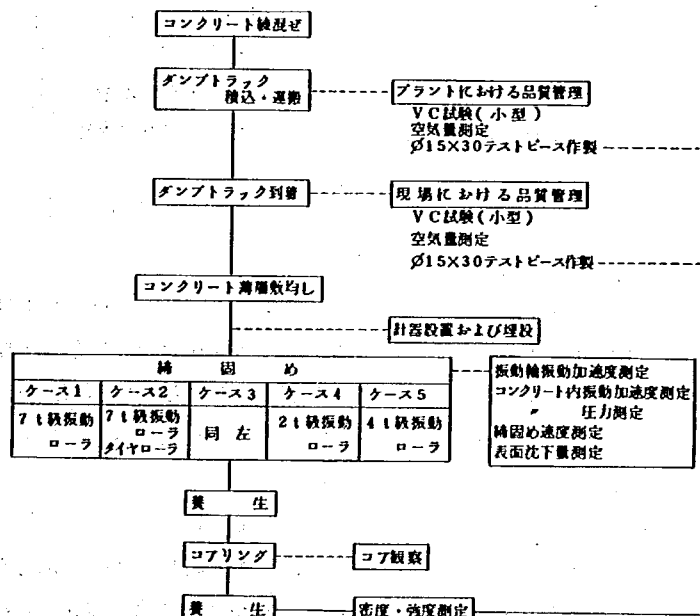


図-2.3 実験手順

表-2.4 コンクリートの配合

粗骨材 の最大 寸法	スラン プの範 囲	空気量 の範囲	水セメン ト比 W/C+F	フライ アッシュ比 F/C+F	細骨 材率 s/a	単 位 量 Kg/m^3								混和剤 ポリリス %10L
						水	セメント	細骨材	粗 骨 材 G (mm)					
						W	C+F	S	150 ~80	80 ~40	40 ~20	20 ~5		
150	—	1.5 ±0.5	67	30	29	90	135	624	1522				0.338	
									365	365	396	396		

5 について、振動ローラ走行中の振動輪振動加速度、コンクリート内の振動加速度および圧力を計測した。加速度変換器、圧力変換器の設置位置を図-2.4 に示す。なお、本実験の計測に関する測定項目をとりまとめると表-2.5 の如く表わされる。

2.2.7 表面沈下量の測定

試験区間内の3点についてローラ締固めによる表面沈下量を1往復ごとにレベルで測定した。なお、実験ケース3では隣接レーンの締固めによる側方盛上がりについても測定した。

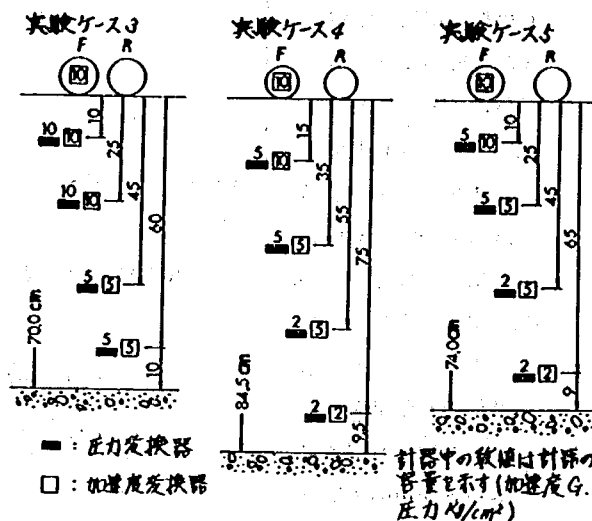


図-2.4 計器の設置位置

2.2.8 コアリングおよびコア観察

実験から4週間経過した後、密度および圧縮強度（材令91日）測定用コアとして、各ケースとも直径312mmのコアを3本、直径200mmのコアを6本採取した。その採取位置を図-2.5 に示す。また、採取したコアの外観の観察からその締固まり状態を判定した。その際の等級区分は表-2.6 のとおりとした。表-2.6 の等級の凡例を写真-2.1 に示す。

2.2.9 採取コアの密度と圧縮強度（σ91）

採取したコアは所定の材令まで水温約10℃で水中養生を行なった。密度、圧縮強度試験は直径200mmのコアについては上層、下層に切断して個々に行ない、直径312mmのコアについては全層を対象に試験を実施した。なお、供試体の高さが直径の2倍より小さいものについてはJISの規定に基づいた補正を行なって圧縮強度を算出した（表-2.7 参照）。

2.3 実験結果

2.3.1 タイムスタディ

図-2.3 のフローチャートについて、コンクリートの練混ぜから運搬、搬出まき出し、（計器設置・埋設）、締固めの一連の所要時間を測定した。結果を図-2.6 及び図-2.7 に示す。

2.3.2 コンクリートの品質管理

コンクリートプラントと現場において、同じダンプトラックの荷台からサンプリングした試料の40mmフルイ通過分について、VC値(小型)、空気量、コンクリート温度を測定した。その結果を表-2.8に示す。またコンシステンシーをVC試験により調べた結果を図-2.8に示す。同図は各ケース7個~12個の試料をサンプリングして行なった

表-2.5 測定項目

区分	測定項目	数 量	備 考
品質管理	V C 試験	プラント、現場にて5台ごと	ダンプトラック荷台から採取40mmスクリーニング試料
	空気量測定	"	"
	圧縮強度試験用供試本作製	実験ケース1 07, 28, 91×各3本	"
		" 2 "	"
		" 3 "	"
		" 45 "	"
実験中の測定	コンクリート温度測定	プラント、現場にて5台ごと	外気温も併せて測定
	締固め速度	締固め回数ごと	ストップウォッチ
	振動輪振動数	"	"
	振動輪加速度	"	前輪のみ
	コンクリート内加速度	"	コンクリート内4点
	コンクリート内圧力	"	"
実験後の測定	表面沈下量	締固め1往復ごと	レベル
	採取コア密度・圧縮強度(0.91)	φ218mm 6本/ケース φ312mm 3本/ケース	上層、下層に分けて測定 全層について測定

試験値を示したものである。また、プラントで練混ぜ直後に採取した試料と現場でまき出し直前に採取した試料を用いて作製した供体による密度及び圧縮強度試験結果を図-2.9に示す。本実験では各ケースとも同一の品質のコンクリートを使用することを意図していたが、図-2.8、図-2.9から明らかなように各ケースのコンクリートの品質に若干の差が見られる結果となった。この原因として、①骨材の含水量管理の精度が不十分だったこと、②ミキサーからの排出時に材料分離が生じ、全体を代表するサンプリングが行なわれなかったことなどが考えられる。

表-2.6 コア観察における等級区分

等級区分	外観の状況
1	良
2	ほぼ良
3	やや不良
4	不良
5	極めて不良

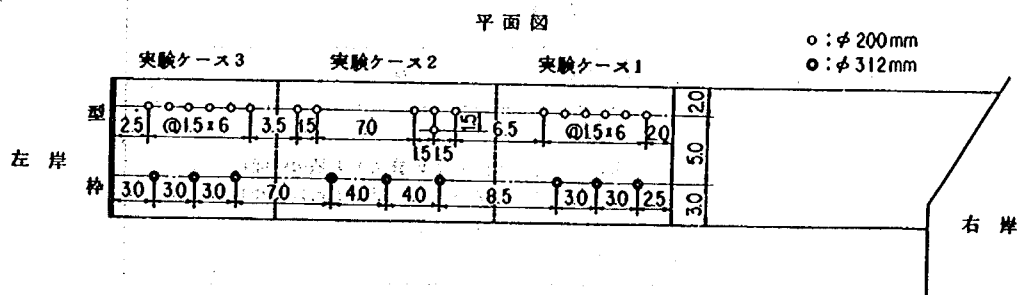


図-2.5 上流仮締切コア採取位置(その1)

2.3.3 表面沈下量

実験ケース3における表面沈下量の測定結果を図-2.10に示す。同図はAレーンの表面沈下量を表わしたもので、図中に示すA～Dレーン上を振動ローラが、その後Aレーン上をタイヤローラが走行したときの表面沈下量を振動転圧開始直前の状態を基準に表わしている。この図から、Aレーン上を振動ローラが走行したときには締固め回数10回で36mmの沈下量が認められたが、その大部分は振動ローラが

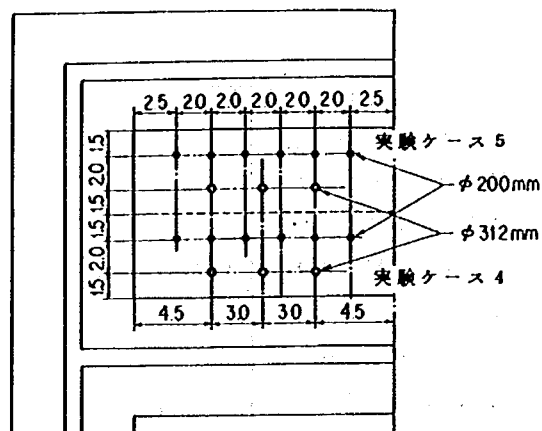


図 2.5 テストピットコア採取位置 (その2)

隣接レーンを走行することにより回復することが明らかとなった。このことから、まだ固まらないコンクリートが振動ローラから与えられる外力によって側方流動を起こしている可能性のあることが推察される。言いかえれば振動ローラがコンクリートに対して与える力は、コンクリートを締固めると同時に側方へ押しやる力としても作用すると考えられ、このことが7モクラスを超える大型振動ローラがRCDコンクリートの締固めに対して必ずしも有効とはいえなかったという過去の実験結果の一要因とも考えられる。したがって、振動ローラの機種選定にあたってはコンクリートの流動性とのかね合いも考慮に入れる必要があると思われる。

表-2.7 圧縮強度の補正係数

A1107-コンクリートからのコア及び
はりの切り取り方法及び強度試験方法

● 試験

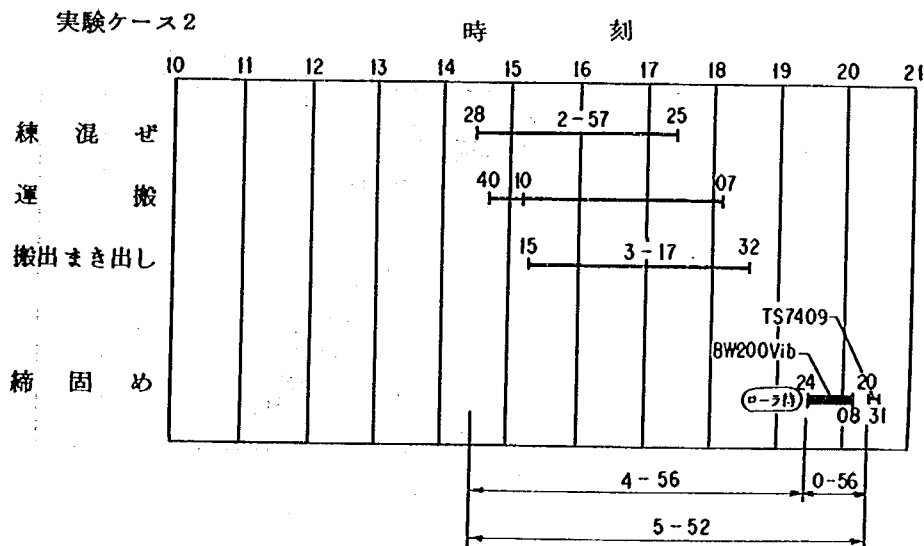
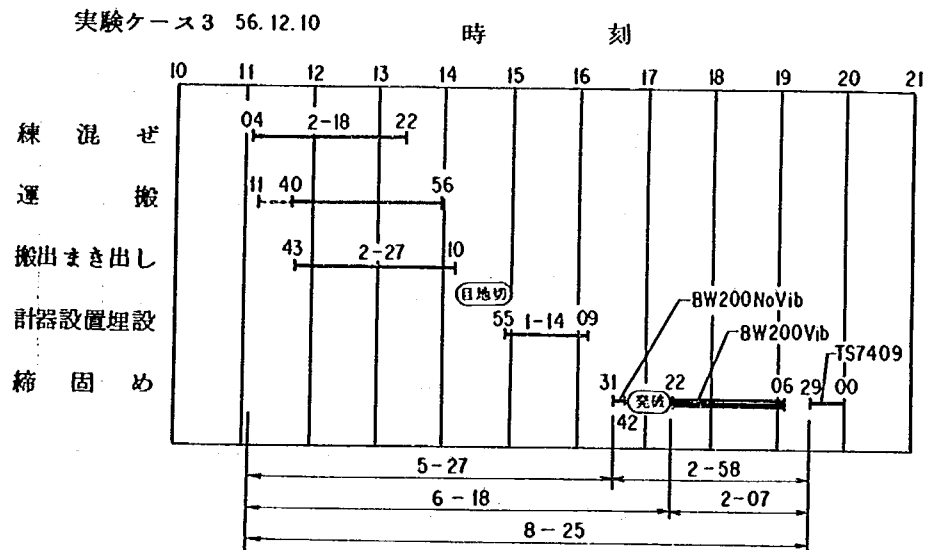
5.1 コア供試体の圧縮強度試験方法は、JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法) による。ただし、供試体の高さがその直径の2倍より小さい場合には、試験で得られた圧縮強度に次の表1の補正係数をかけて直径の2倍の高さをもつ供試体の強度に換算する。

表 1

高さ直径との比 $\frac{h}{d}$	補正係数	備 考
2.00	1.00	$\frac{h}{d}$ がこの表に示す値の中間にある場合は、補正係数は補間して求める。
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.89	

2.3.4 採取コアの観察

採取したコアの外観を前述した等級区分に従って観察した結果を写真-2.2及び図-2.1 1 (その1~その3)に示す。また各コアの中に占める等級を平均したものを表-2.9及び図-2.1 2に示す。

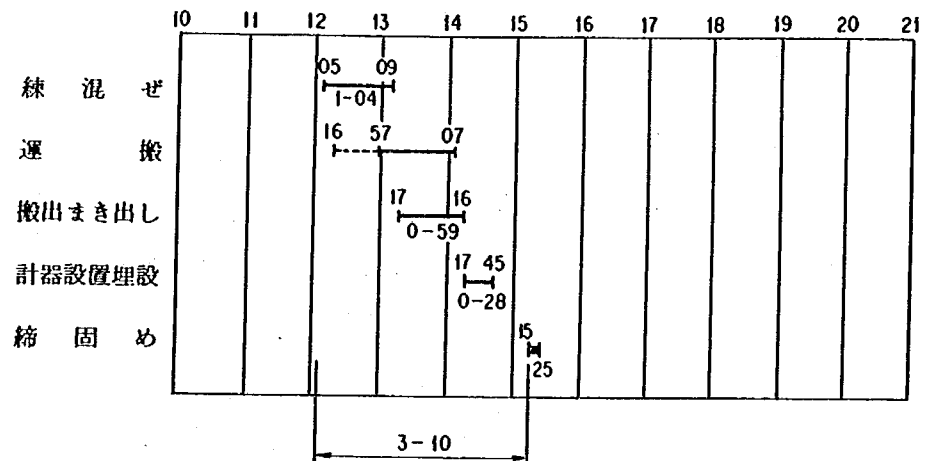


※ブランドから上流仮締切までの距離 1.09km

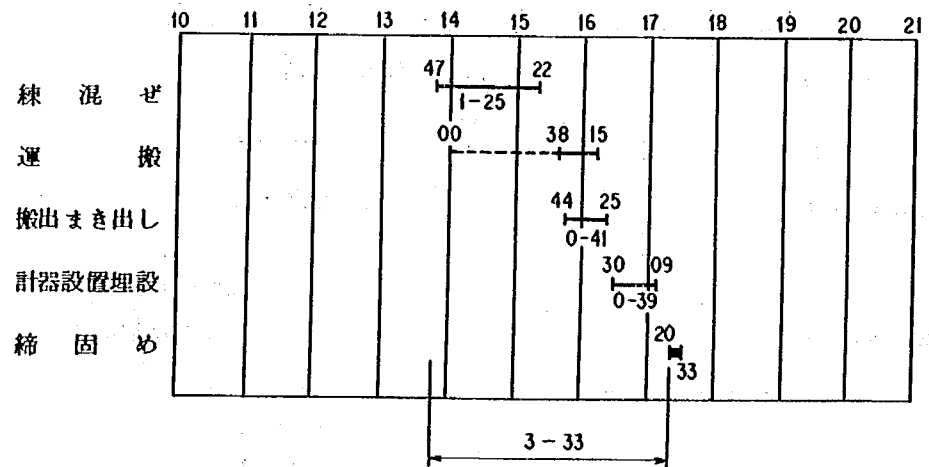
図-2.6 タイムスタディ(上流仮締切)

なお、同図には本実験に先立って行なわれた予備実験（実験条件はケース1と同じ）のデータを付記した。この図から評価が「良」および「ほぼ良」の割合を加えるとケース1～3では80～100%となっているが、ケース4、5では45～85%となっている。このことから4t級あるいは2t級振動ローラでは、7t級振動ローラに比べて締固めが不十分とな

実験ケース 4 56.12.9



実験ケース 5



※プラントからテストビットまでの距離16.5 km

図 - 2.7 タイムスタディ (テストビット)

表-2.8 品質管理試験結果

実験 ケース	ダンブ 台数	コンクリートプラント				現 場			
		測定時刻	コンクリート温度	V C値 sec	空気量 %	測定時刻	コンクリート温度	V C値 sec	空気量 %
			外 気 温				外 気 温		
12/9 4	1	12:19	$\frac{12.0}{1.0}$	$\frac{14.5}{15.3}$		11:50	$\frac{5.0}{1.0}$	$\frac{3.0}{4.6}$	1.8
	5	12:43	$\frac{13.0}{1.0}$	$\frac{7.6}{10.4}$		13:25	$\frac{7.0}{0.5}$	$\frac{5.0}{3.0}$	2.0
	10	13:20	$\frac{8.0}{2.0}$	$\frac{12.3}{10.9}$	1.8	14:08	$\frac{3.0}{-0.5}$	$\frac{13.0}{6.5}$	3.2
12/9 5	11	14:00	$\frac{16.0}{1.5}$	$\frac{16.3}{18.7}$					
	15	14:29	$\frac{12.0}{1.0}$	$\frac{22.1}{21.6}$		15:35	$\frac{5.0}{-1.5}$	$\frac{17.9}{14.7}$	3.0
	17	14:42	$\frac{11.0}{1.0}$	$\frac{16.8}{5.3}$					
	20	15:28	$\frac{12.0}{1.0}$	$\frac{22.6}{20.5}$		17:00	$\frac{5.0}{-1.0}$	$\frac{13.0}{11.1}$	1.7
12/10 3	2	11:18	$\frac{13.0}{1.0}$	$\frac{22.3}{21.5}$					
	3	11:32	$\frac{13.0}{1.0}$	$\frac{11.8}{11.2}$					
	5	11:42	$\frac{12.0}{1.0}$	$\frac{10.6}{12.5}$		12:12	$\frac{3.0}{0.0}$	$\frac{17.7}{18.8}$	1.9
	6	11:48	$\frac{12.5}{1.0}$	$\frac{11.9}{39.0}$					
	10	12:58	$\frac{14.5}{2.0}$	$\frac{28.6}{31.2}$	1.6	13:30	$\frac{4.0}{2.0}$	$\frac{15.6}{19.7}$	2.8
12/10 2	15	14:35	$\frac{13.0}{1.0}$	$\frac{18.6}{19.7}$		15:09	$\frac{3.5}{0.5}$	$\frac{37.4}{36.1}$	3.5
	19	15:10	$\frac{11.0}{1.0}$						
	20					15:30	$\frac{3.5}{0.5}$	$\frac{50.0}{52.6}$	8.6
	21	15:32	$\frac{8.5}{1.5}$	37.0					
	22	15:39	$\frac{12.0}{1.0}$	12.5					
	25					17:45	$\frac{6.5}{-0.5}$	$\frac{25.3}{22.7}$	3.5
	26	17:13	$\frac{11.0}{0.5}$	21.0					
12/11 1	6	9:59	$\frac{14.0}{0}$	$\frac{35.6}{16.1}$		10:35	$\frac{9.0^{\circ}\text{C}}{0.5}$	16.5	
	9	10:15	$\frac{12.0}{0}$ °C	14.0		10:55	$\frac{5.0}{1.5}$	6.8	
	11	10:37	$\frac{0}{0}$	51.4	1.6	11:07	$\frac{5.5}{2.0}$	23.7	3.6

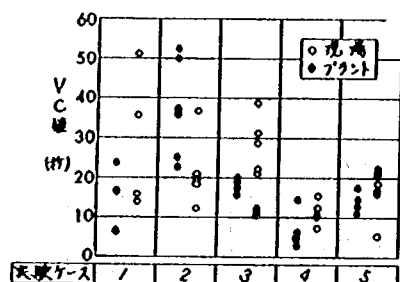


図 - 2.8 V C 試験結果

る可能性があると考えられる。

2.3.5 採取コアの密度、圧縮強度(σ_{91})

採取コアの密度、圧縮強度(材令91日)の測定結果を表-2.10及び図-2.13に示す。また、全実験ケースの採取コアの密度と圧縮強度の関係を図-2.14に示す。この図からわかるように各実験ケースのデータにバラツキがみられる。その原因としては締固め上の問題ばかりでなく、コンクリート材料の含水量管理の問題や積込み・運搬・敷均し時の材料分離の問題などが作用し合っているものと考えられる。しかしながら、これらの要因が密度や圧縮強度のバラツキに対してどの程度の影響力を持つかは明らかではないので、ここでは単に締固め方法の違いと各実験ケースのデータの差異との関係について述べるにとどめる。

振動ローラによる締固めの後にタイヤローラによる静的締固めを行なうことの効果を調べるためにケース1とケース2, 3を比較すると結果に有意な差を認めることができなかった。その理由としては、①タイヤ

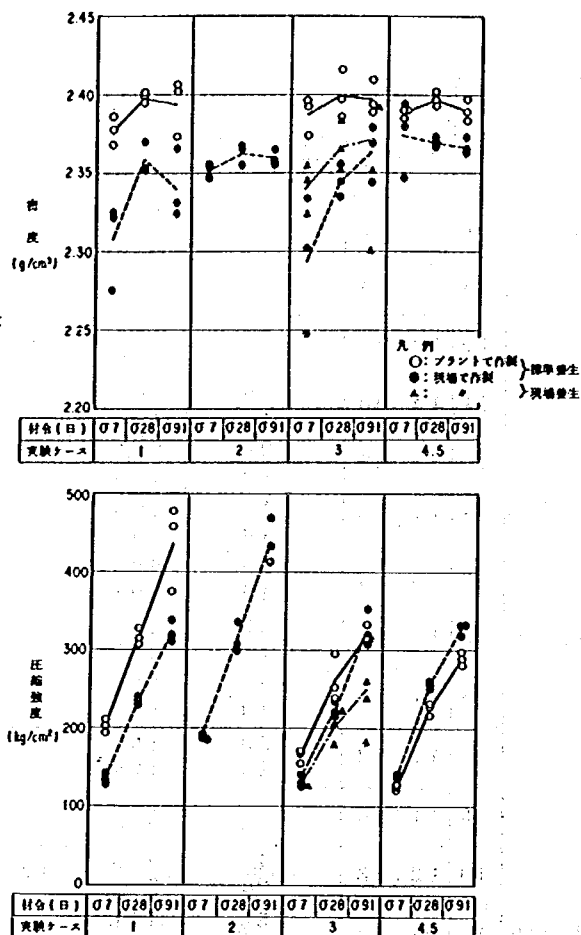


図 - 2.9 標準供試体の試験結果

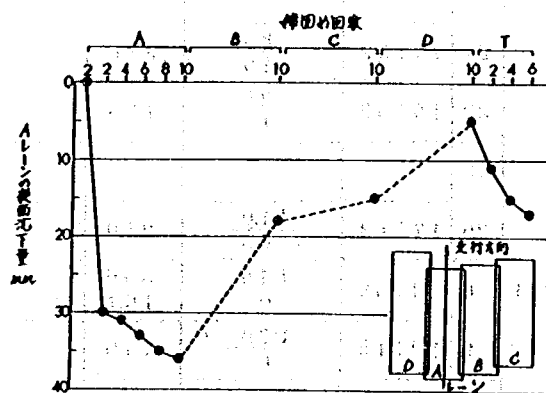


図 - 2.10 締固め回数と表面沈下量

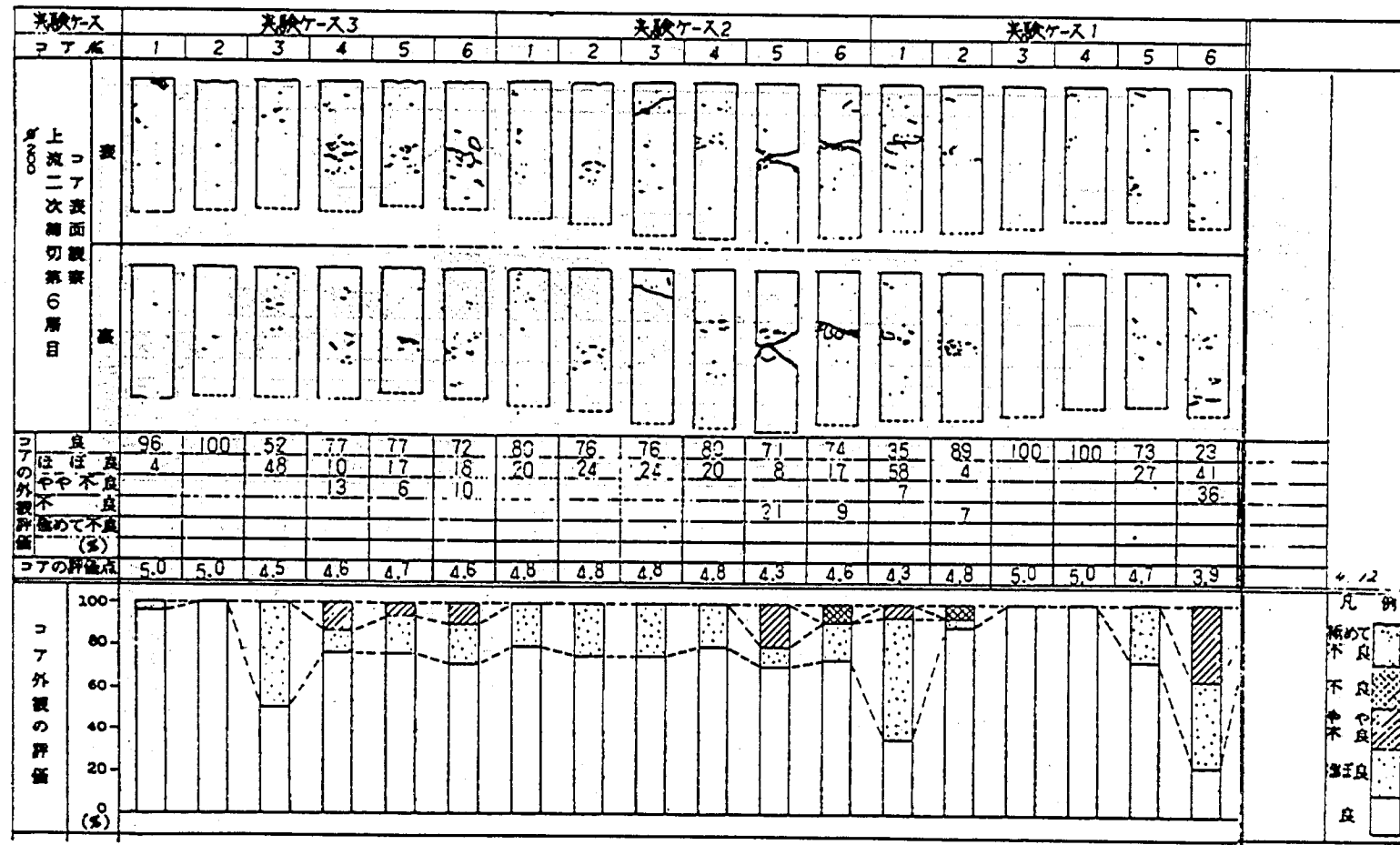


図-2.1.1 (その1) コア観察結果

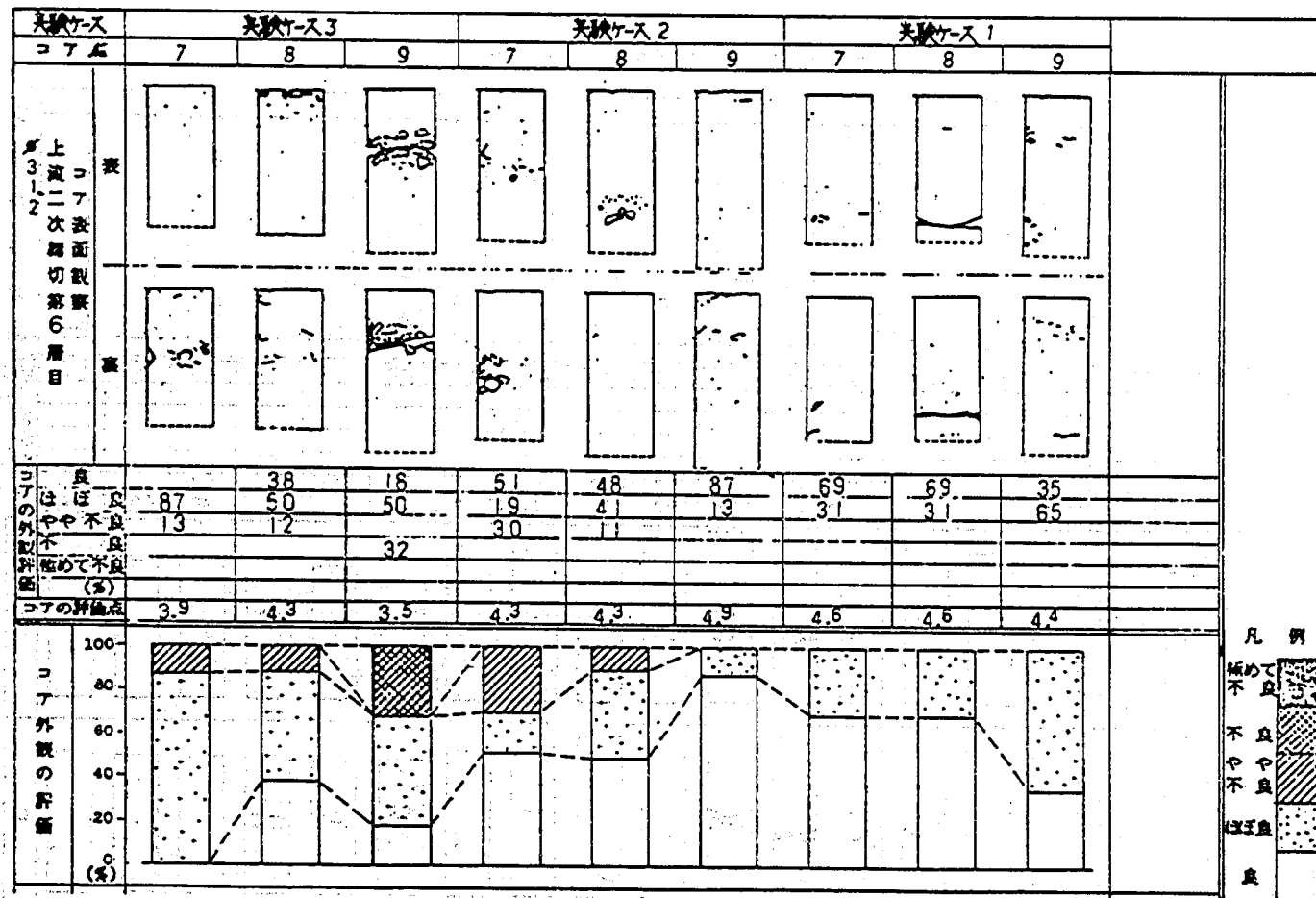


図-2.1.1 (その2) コア観察結果

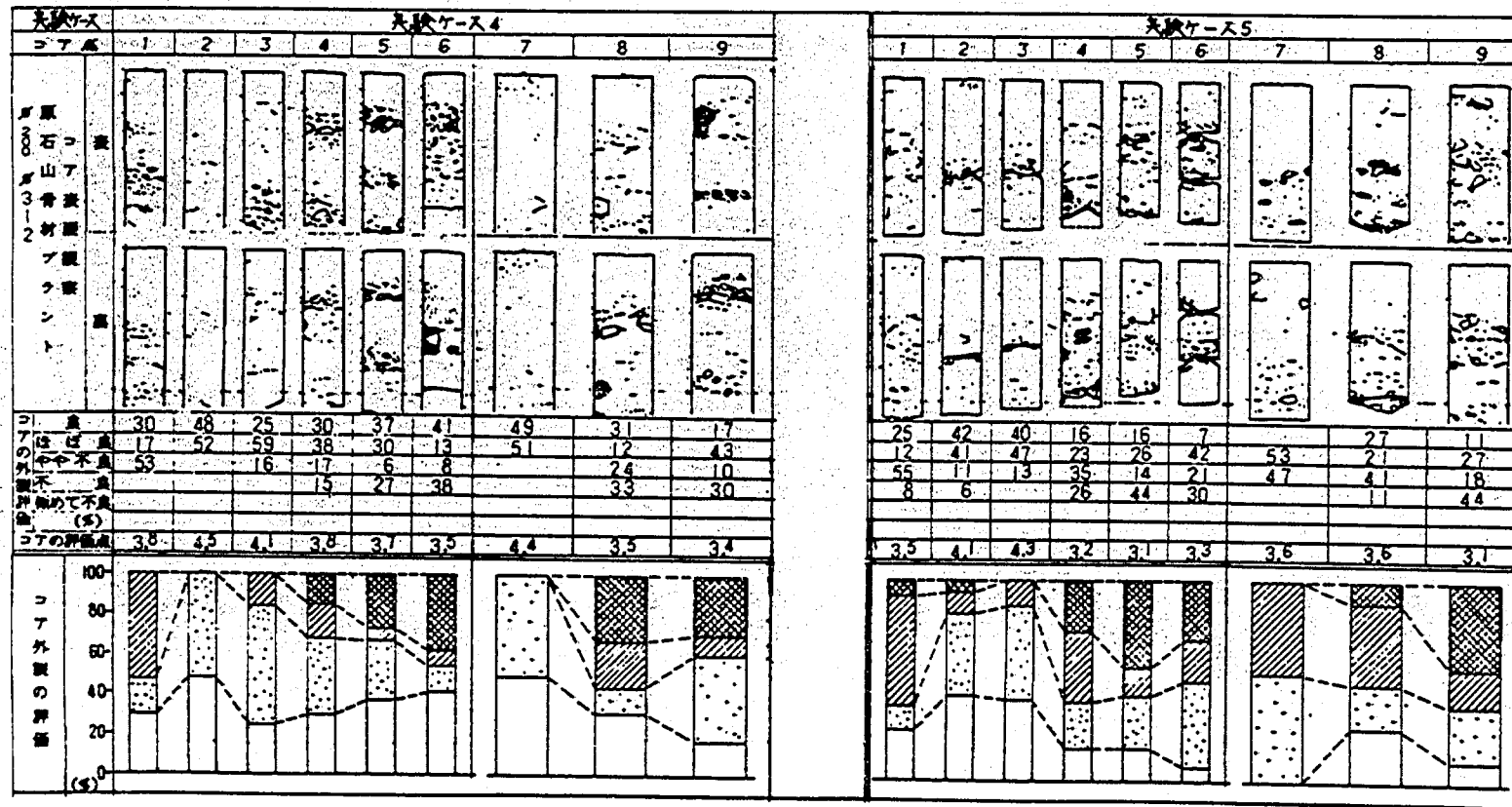


図-2.1.1 (その3) コア観察結果

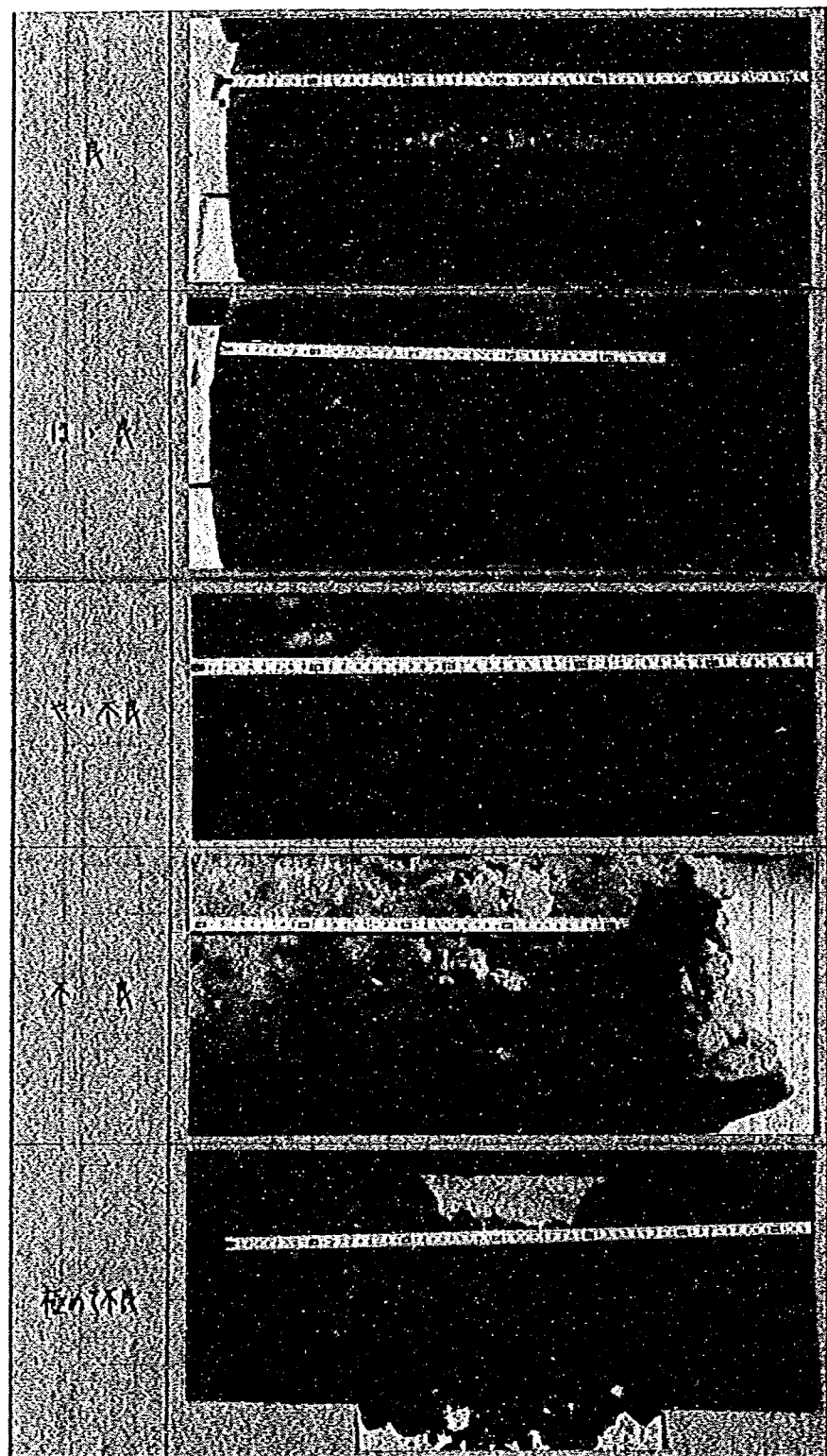


写真 2.1 コア観察凡例

写真：J

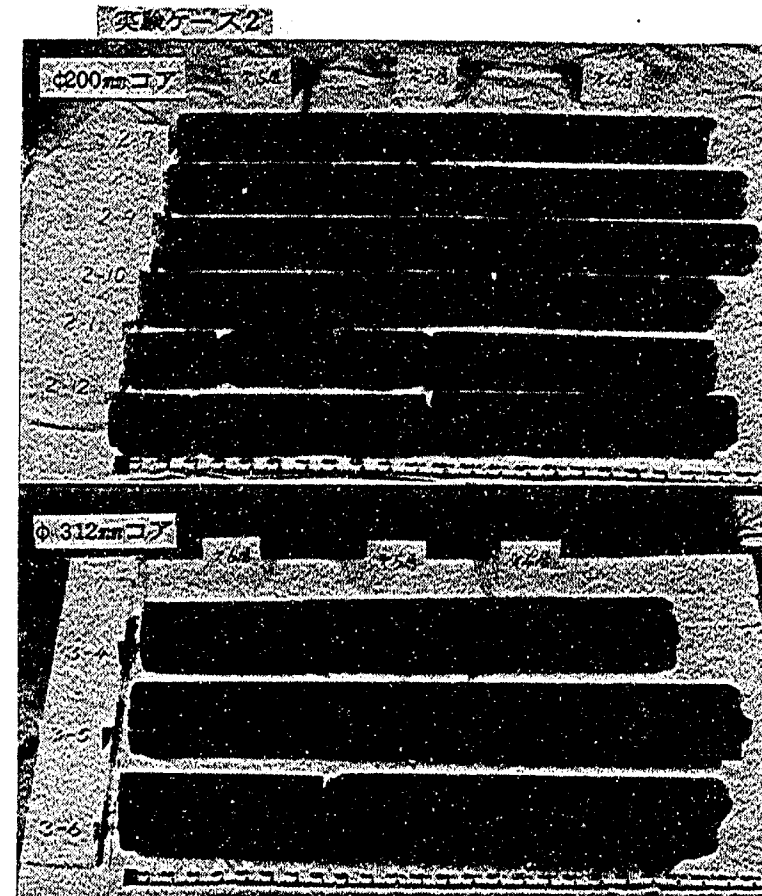
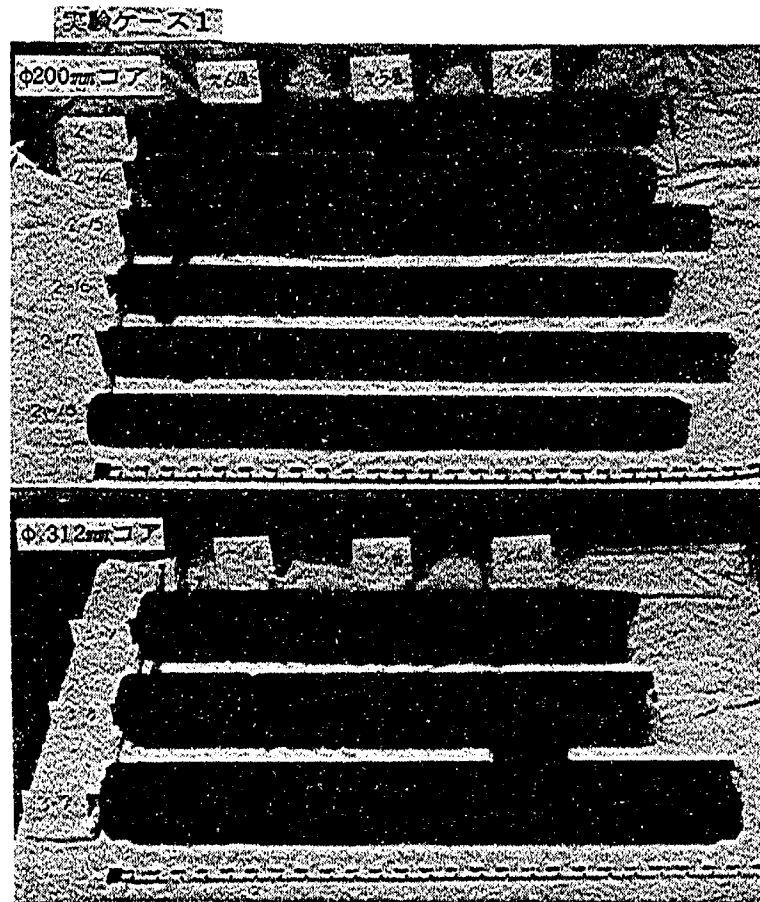


写真-2.2(その1) 採取コア(実験ケース1,2)

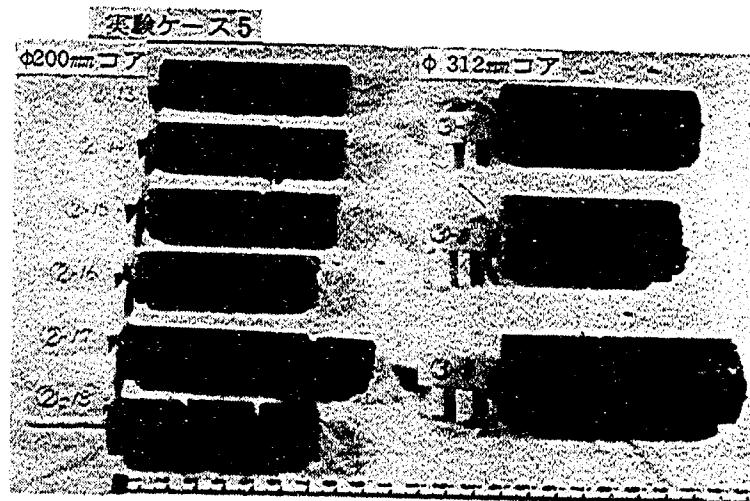
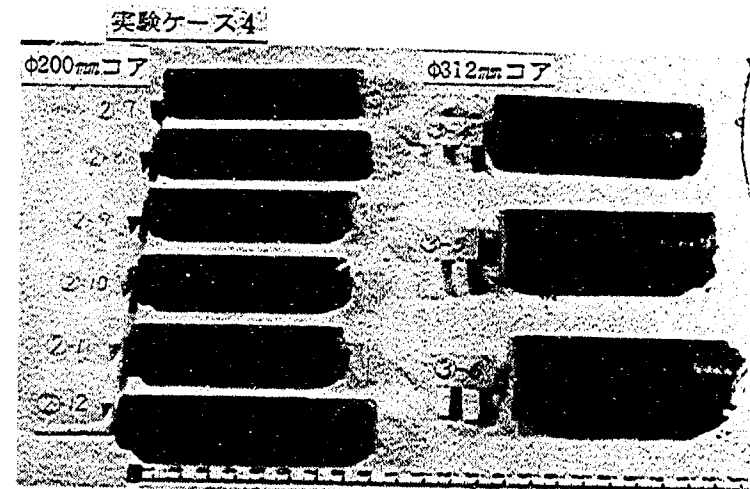
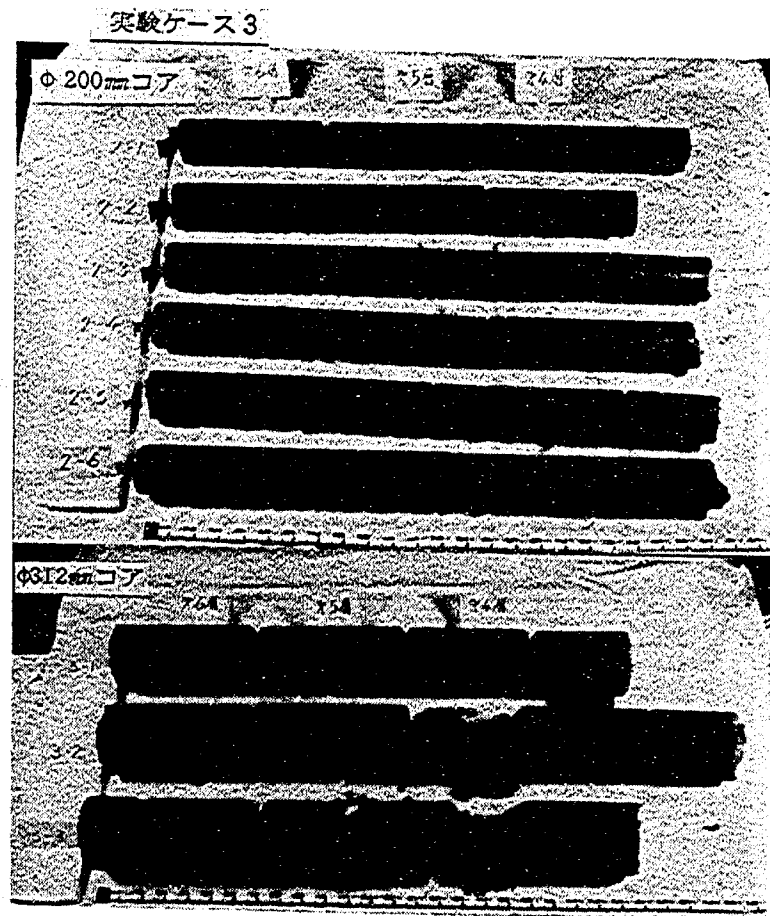


写真-2.2 (その2) 採取コア (実験ケース3,4,5)

ローラによるコンクリート内圧力は7t級振動ローラのそれに比べて上層で27%，下層で17%とかなり小さかったこと，②タイヤローラの効果を見出すには個々のケースでのデータのバラツキが大きいこと，などが考えられる。

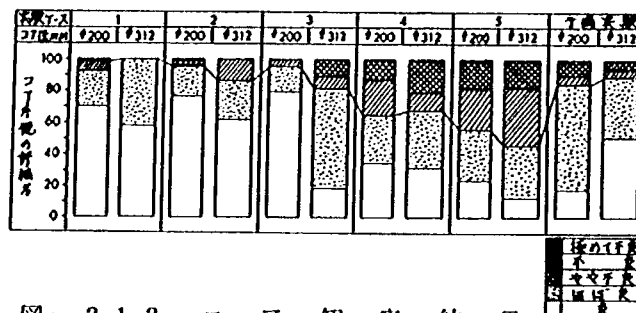


図-2.1.2 コア観察結果

次に，振動ローラの機種の違いがコンクリートの品質に与える影響を調べるために，ケース1，4，5を比較する。図-2.1.5はこれら3ケースの圧縮強度の平均値および測定値の範囲を示したもので，横軸には3種類の振動ローラについて下式で求められる締固めエネルギーをとっている。

$$E = 2a \left(W + \frac{F}{2} \right) \cdot \frac{L}{V} \cdot n \cdot N \cdot \frac{1}{BL} \quad (Kg \cdot cm / cm^3) \quad (1)$$

ここに，N；締固め回数，V；締固め速度，n；振動数，B；締固め幅，W；振動輪軸重
F；起振力，a；振幅，L；締固め区間長

である。なお，各実験条件に対応する締固めエネルギーを表-2.1.1に示す。

この図から明らかなように，圧縮強度の平均値については3つのケースの間に差が認められないものの，圧縮強度のバラツキという観点からみると締固めエネルギーが小さいほどバラツキが大きいこと，また各ケースの圧縮強度の最小値は締固めエネルギーが小さいほど小さくなっていることがわかる。このような結果から，コンクリートの均一性を高め，強度上の弱点をできるだけなくすという立場からみると4t級あるいは2t級振動ローラでは締固めエネルギーが不足であると考えられる。

表-2.9 コア観察結果(平均値)

実験ケース No.	コアの 外観評価 (%)	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
200	良	70.0	76.2	79.0	35.2	24.3
	ほぼ良	21.7	18.8	16.2	34.8	31.9
	やや不良	7.2	0	4.8	16.7	24.8
	不良	1.1	5.0	0	13.3	19.0
	極めて不良	0	0	0	0	0
312	良	57.7	62.0	18.7	32.4	12.7
	ほぼ良	42.3	24.3	62.3	35.3	33.7
	やや不良	0	13.7	8.3	11.3	35.3
	不良	0	0	10.7	21.0	18.3
	極めて不良	0	0	0	0	0

表-2.10 採取コアの密度・圧縮強度

実験 ケース	コアNo		1	2	3	4	5	6	1~6の 平均	コアNo		7	8	9	7~9の 平均	1~9の 平均
	区分									区分						
1	上層	γ	2367	2340	2375	2413	2403	2366	2377	全 層	γ	2398	2415	2385	2399	2388
		σ_{91}	188	151	181	157	184	139	167		σ_{91}	139	154	137	143	153
	下層	γ	2383	2362	2425	2384	2373	2389	2386		γ	2360	2396	2418	2391	2385
		σ_{91}	141	140	186	153	148	121	148		σ_{91}	101	153	134	129	160
2	上層	γ	2400	2382	2383	2349	2474	—	2398	全 層	γ	2411	2410	2398	2406	2394
		σ_{91}	200	190	160	174	190	178	182		σ_{91}	126	173	218	172	170
	下層	γ	2402	2227	2388	2405	2401	2410	2372		γ	2411	2349	2355	2372	2355
		σ_{91}	176	198	164	157	183	251	188		σ_{91}	207	110	124	147	153
3	上層	γ	2416	2390	2224	2398	2428	2410	2378	全 層	γ	2339	2344	上2390 下2281	2340	2331
		σ_{91}	156	161	132	179	178	150	159		σ_{91}	153	106	上214 下115	141	157
	下層	γ	2386	2406	2409	2396	2347	2379	2387		γ	2388	2391	2385	2388	2387
		σ_{91}	190	184	206	137	186	164	178		σ_{91}	119	148	157	141	160
4	上層	γ	2401	2421	2430	2330	2351	2269	2367	全 層	γ	2388	2391	2385	2388	2387
		σ_{91}	214	189	214	142	88	110	160		σ_{91}	119	148	157	141	160
	下層	γ	2262	2375	2381	2380	2331	2231	2327		γ	2388	2391	2385	2388	2387
		σ_{91}	98	186	246	216	96	78	153		σ_{91}	119	148	157	141	160
5	上層	γ	2325	2378	2383	2340	2397	—	2365	全 層	γ	2388	2391	2385	2388	2387
		σ_{91}	118	221	221	172	239	—	194		σ_{91}	119	148	157	141	160
	下層	γ	2239	2341	2293	2323	2246	—	2288		γ	2388	2391	2385	2388	2387
		σ_{91}	91	219	153	85	143	—	138		σ_{91}	119	148	157	141	160
予備 実験	上層	γ	2389	2411	2403	2362	2381	2393	2390	全 層	γ	2388	2391	2385	2388	2387
		σ_{91}	138	126	169	179	160	173	158		σ_{91}	119	148	157	141	160
	下層	γ	2387	2416	2417	2379	2326	2389	2386		γ	2388	2391	2385	2388	2387
		σ_{91}	194	205	187	182	105	221	182		σ_{91}	119	148	157	141	160

注 γ : 密度 (g/cm^3), σ_{91} : 材令91日の圧縮強度 (Kg/cm^2), コアNo1~6は $\phi 200$ mmで, 7~9は $\phi 312$ mmコアである。

表-2.11 振動ローラの締固めエネルギー

項 目 \ ケース	実験ケース3 (ケース1,2)	実験ケース4	実験ケース5
機 種	BW200	MV26	MUS40W
転 圧 回 数 N (回)	10×2輪	8×2輪	8×1輪
転 圧 速 度 V (Km/h)	0.945 (1575cm/min)	1.277 (2128cm/min)	1.251 (2085cm/min)
振 動 数 n (cpm)	2242	2175	3150
締 固 め 幅 B (cm)	190	前100 後 90 95	120
振 動 輪 軸 重 W (Kg)	3,500	1,250	1,800
起 振 力 F (Kg)	11,924	1,800	2,776
振 動 加 速 度 a_{rms} (G)	4.64	1.38	4.97
振 幅 2a (cm)	0.2333	0.0737	0.1266
単位面積当り締固めエネルギー $E=2a(W+\frac{F}{2})\cdot\frac{L}{V}\cdot n\cdot N\cdot\frac{1}{B\cdot L}(Kg\frac{cm}{cm^2})$	330.8	27.3	40.7

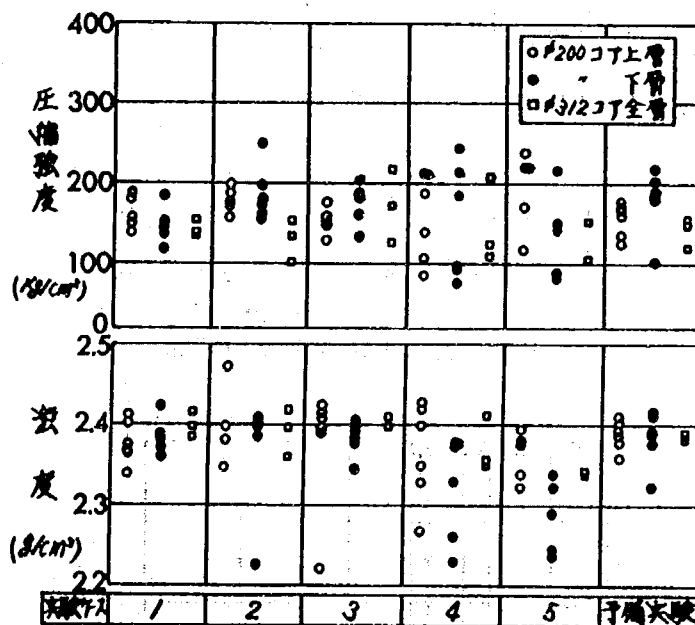
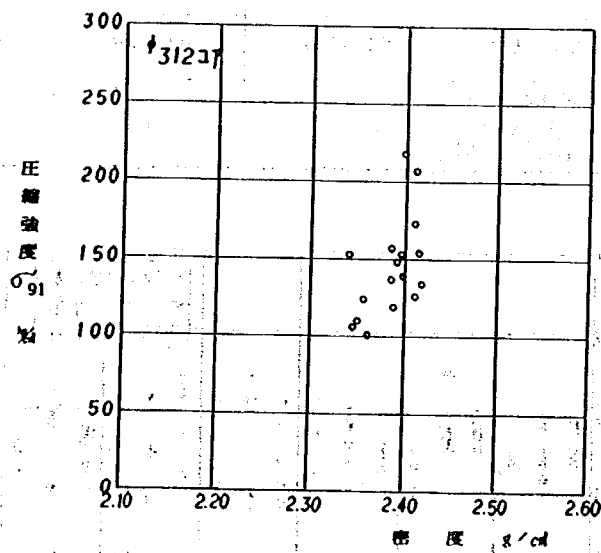
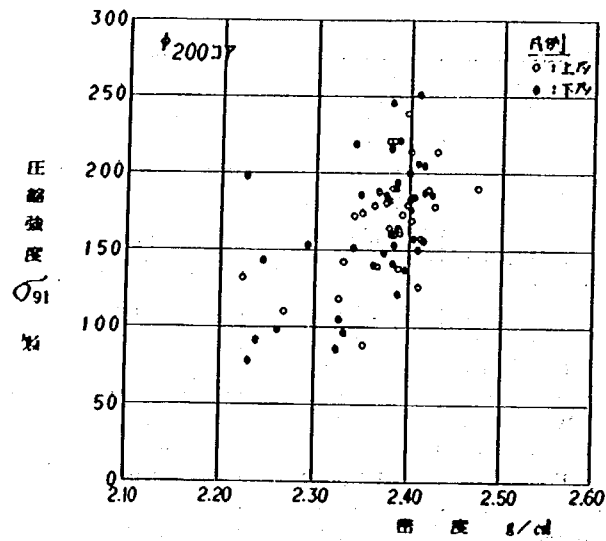
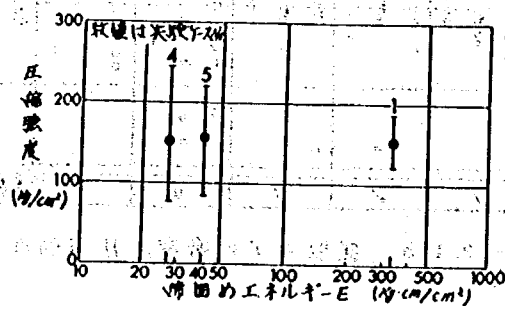


図-2.13 採取コアの密度，圧縮強度

密度～圧縮強度（採取コア）



図－2.14 密度と圧縮強度の関係



図－2.15 締固めエネルギーと圧縮強度

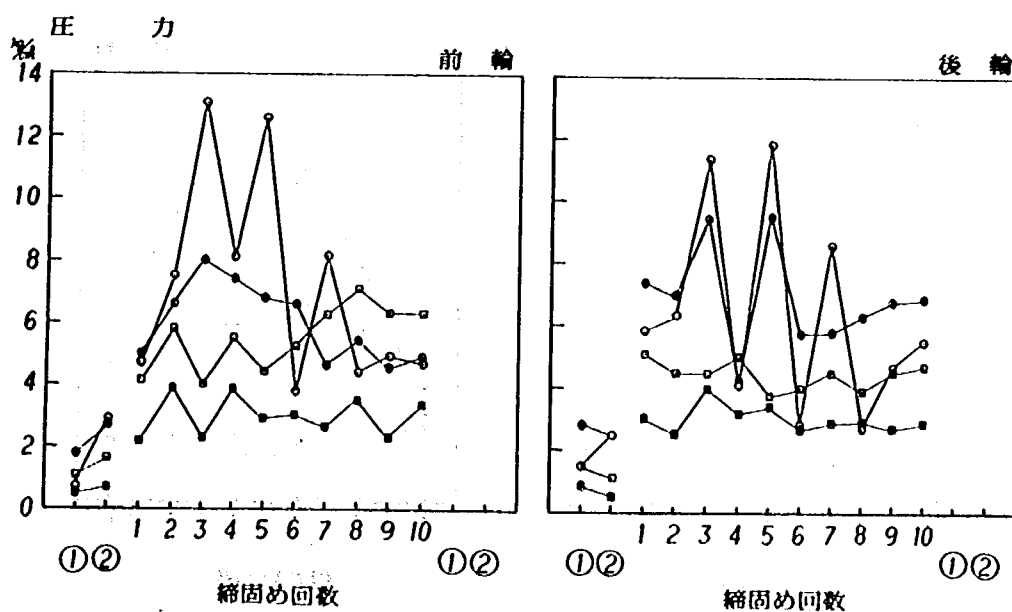
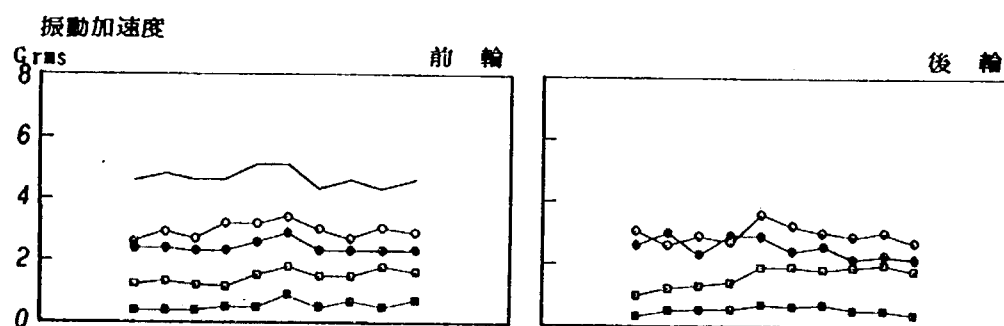
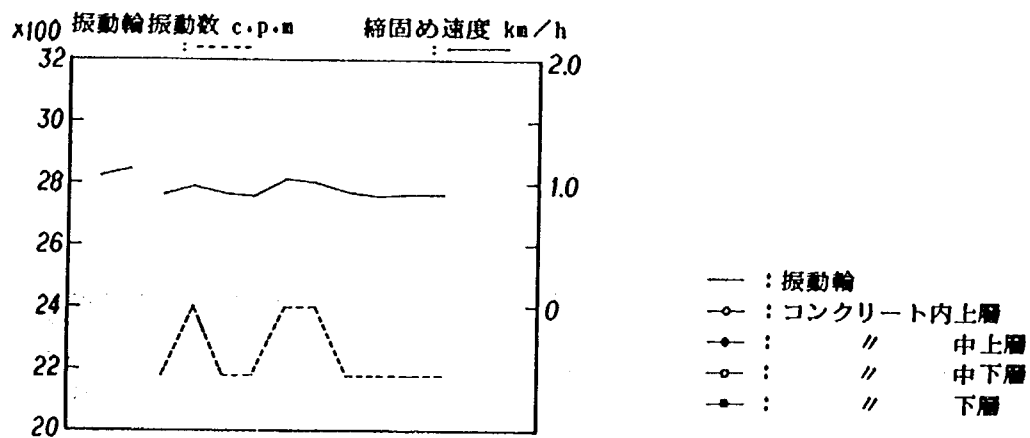


図-2.16 (その1) 振動特性測定結果(実験ケース3: BW 200)

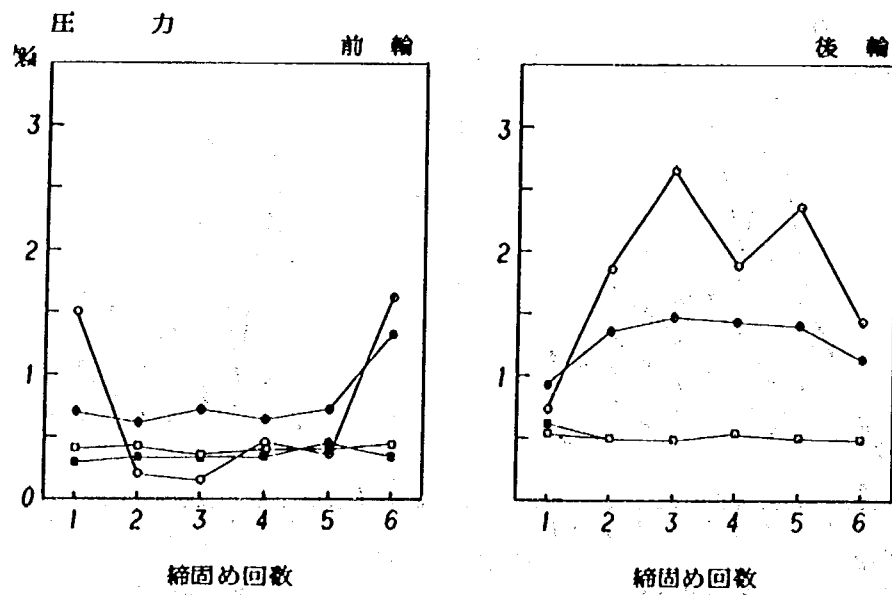
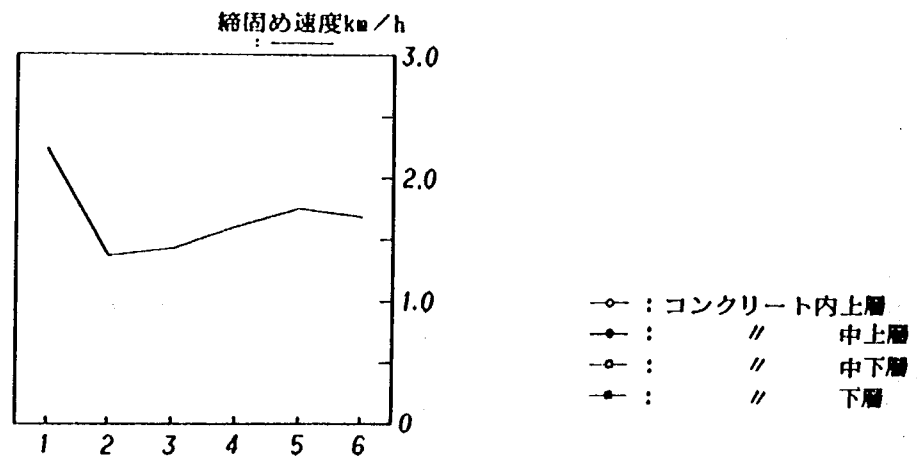
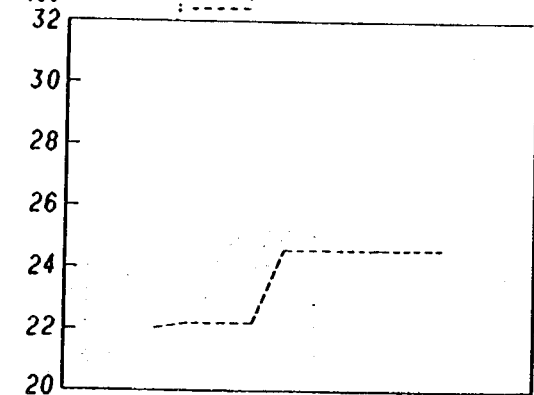


図 - 2.1 6 (その 2) 振動特性測定結果 (実験 ケース 3 ; T S 7409)

振動輪振動数 c.p.m



注：隣りのレーンの締固め

— : 振動輪
 ○ : コンクリート内上層
 ● : // 中上層
 ○ : // 中下層
 ● : // 下層

振動加速度
Gms

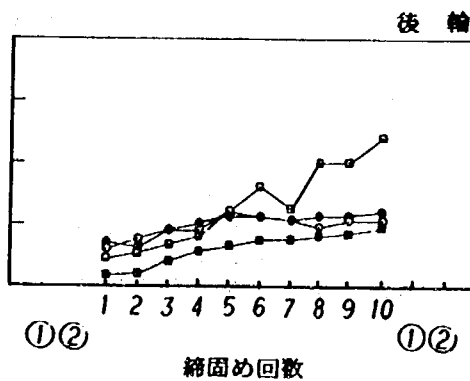
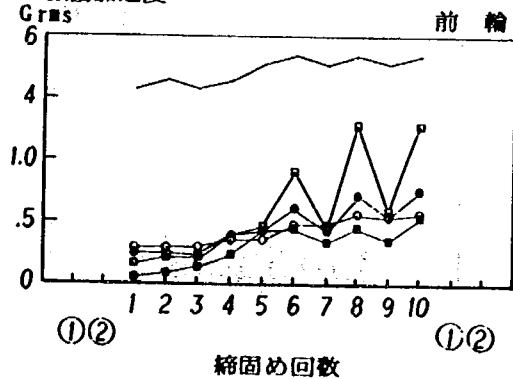


図-2.16 (その3) 振動特性測定結果(実験ケース3:BW200)

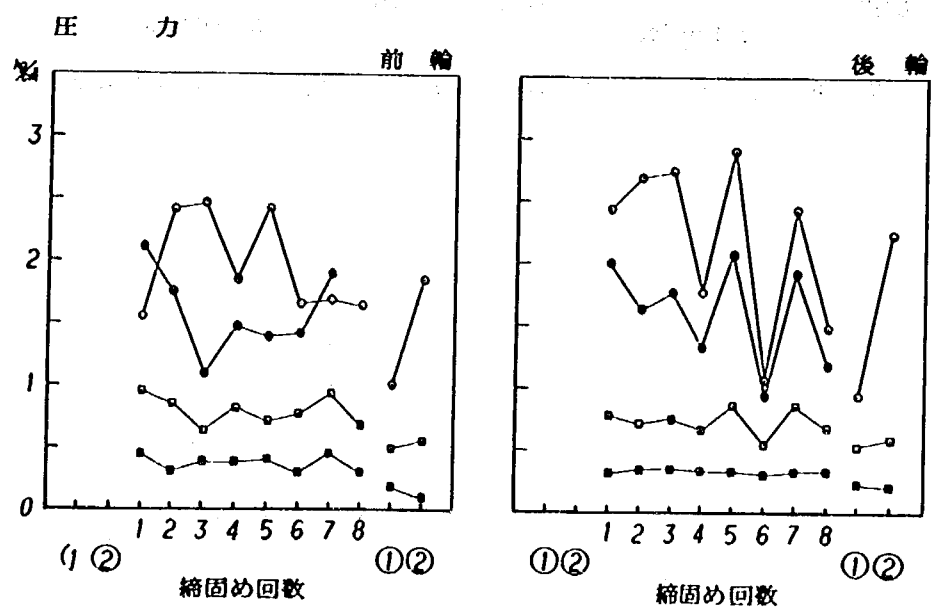
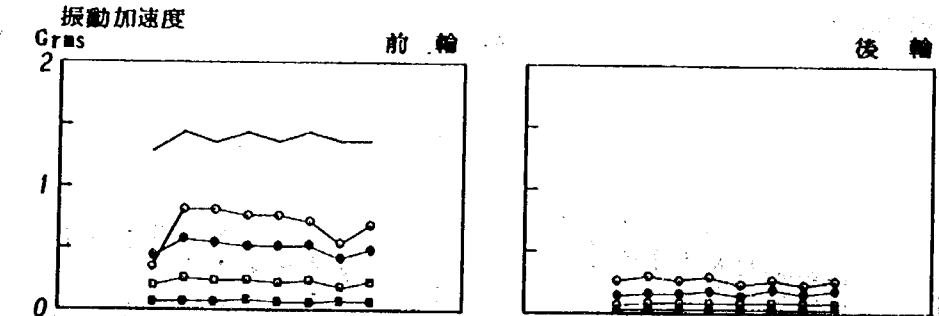
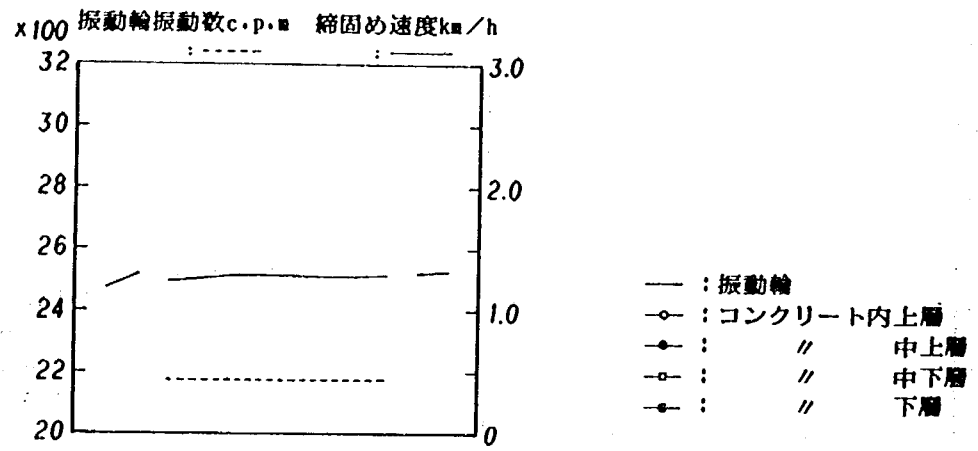


図 2.1.6 (その4) 振動特性測定結果(実験ケース4: MV 26)

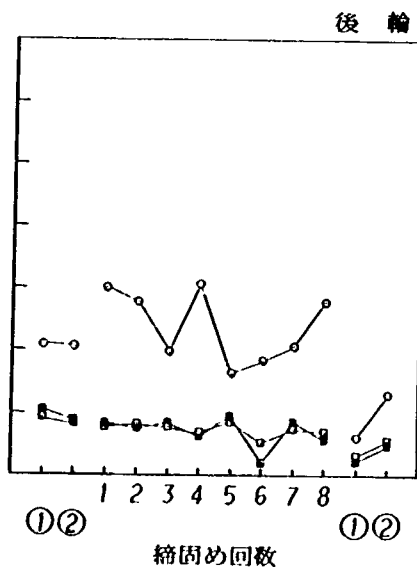
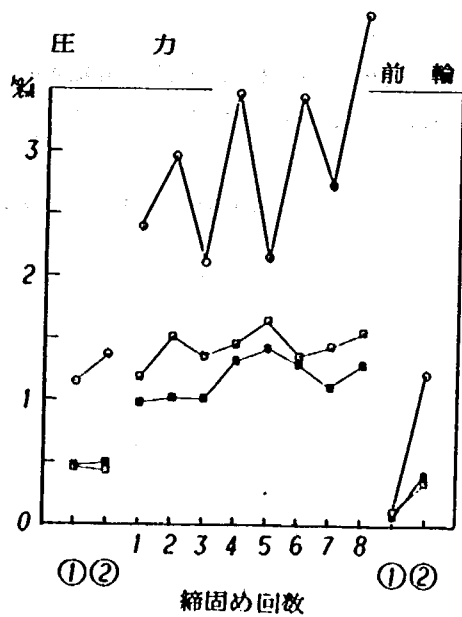
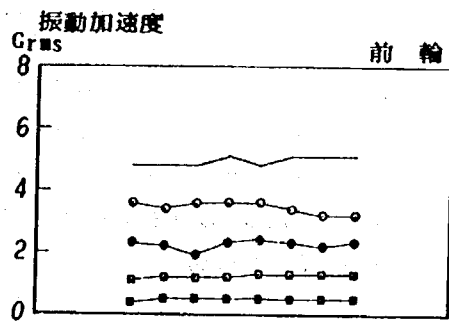
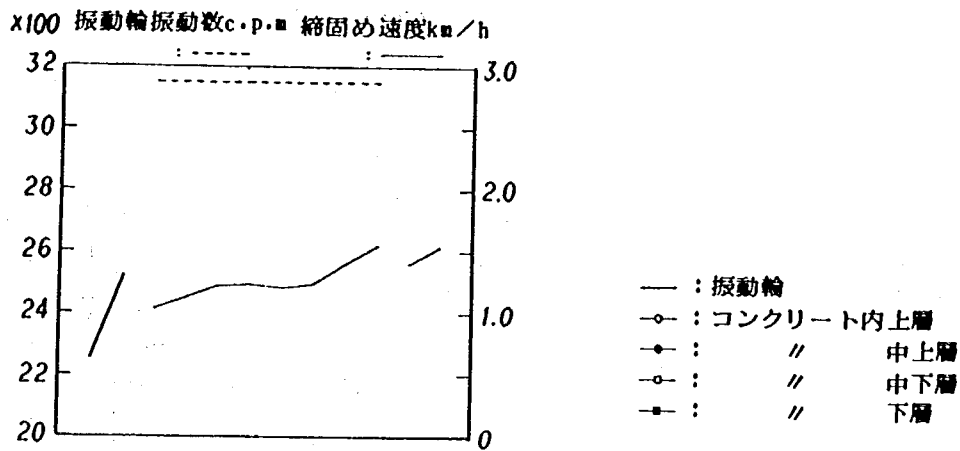


図-2.16 (その5) 振動特性測定結果(実験ケース5: MUS 40W)

2.3.6 コンクリート内部の振動加速度および圧力

実験時における振動加速度等の測定結果を図-2.16に示す。そして実験ケース3, 4, 5における振動ローラ走行時の振動加速度および圧力の深さ方向分布を図-2.17に示す。この図から振動ローラの機種による振動加速度, 圧力の差を読みとることができ, 2t級振動ローラでは振動加速度, 圧力ともかなり小さいこと, 4t級振動ローラと7t級振動ローラとでは振動加速度は比較的

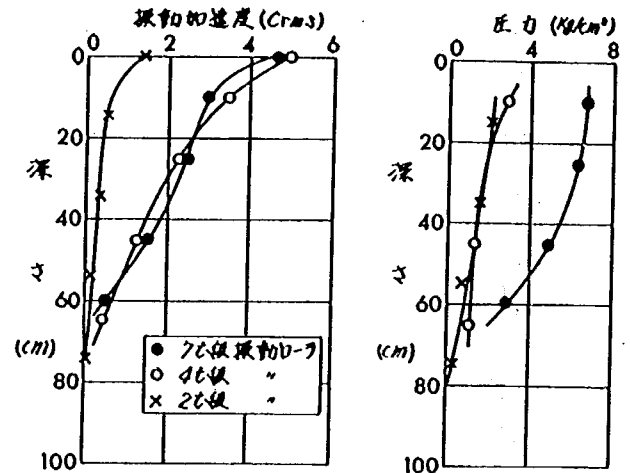


図-2.17 振動加速度, 圧力の深さ方向分布

い値を示しているにもかかわらず圧力には差があること, などが大きな特徴としてあげられる。このような特徴と2, 3, 4及び2, 3, 5に述べた締固め効果を考え合わせると, 締固め効果に影響を与える因子として振動加速度よりも圧力を主体に考える方が良いと思われる。このことは, 今後の振動ローラによる締固め効果を一層高めるためには機械重量と起振力のバランスをどのように設定すべきかという問題につながるものと思われる。

2.4 まとめ

本実験の結果, 次のようなことがわかった。

- (1) 2t級, 4t級, 7t級振動ローラによる締固め効果を, 採取コアの外観, 圧縮強度のバラツキから評価すると, 2t級, 4t級振動ローラは7t級振動ローラに比べて締固め効果が低いと思われる。
- (2) 振動ローラの機種選定の要因として, コンクリートの流動性とのかね合いおよびコンクリート内部に伝達される圧力の大きさを考慮する必要がある。

3. 現場実験－２－（振動ローラの振動数の影響）

3.1 実験目的

過年度の実験などを通して、振動ローラの重量や起振力の影響については相当数のデータが得られてきた。一方、振動数については、現在一般に用いられている汎用振動ローラの振動数がほとんど2,000～3,000 cpmの範囲に設定されていることから、RCDコンクリートの締固めに対する振動数の影響については十分に把握されているとはいえない。

そこで本年度は、玉川ダムにおいて、RCDコンクリートの締固めに対する振動ローラの振動数や起振力の影響を現場実験を通して調べ、締固めに際しての最も効率的な振動数範囲を把握することを目的とした。

3.2 実験方法

3.2.1 実験場所

実験は、昭和57年10月28日（実験ケース3,4）及び4日後の11月2日（実験ケース1,2）に、東北地方建設局玉川ダム工事事務所管轄の玉川ダム工事地内のダムサイト水叩基礎部で実施した。実験場所を図-3.1に示す。

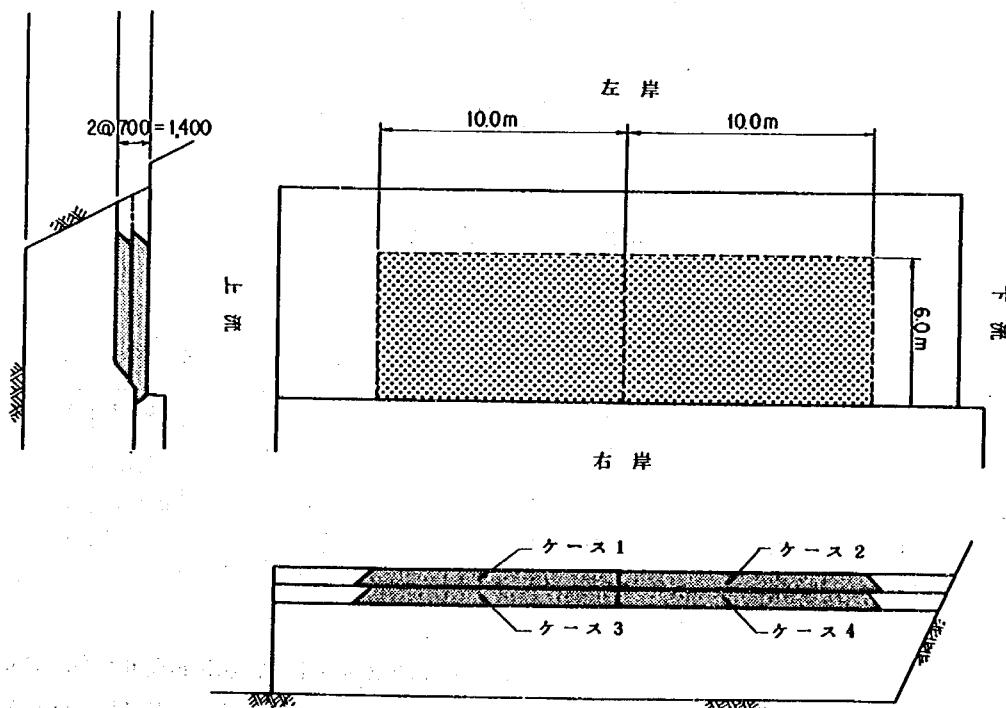


図-3.1 実験場所

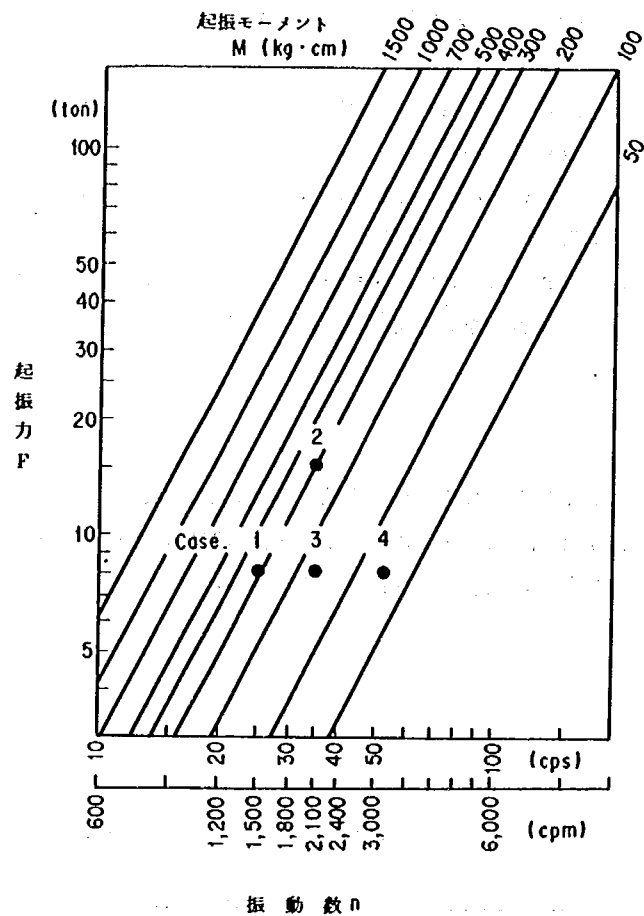


図-3.2 起振特性

3.2.2 実験条件及び締固め機械の仕様

実験条件は表-3.1に示すように振動ローラの起振力及び振動数の組み合わせの異なる4ケースを設定した。RCDコンクリートのリフトは75cmとし、表-3.2に示す諸元の振動ローラを用いて、各ケース共、幅6mを3レーンに分け、各レーン

表-3.1 実験条件

ケースNo	層厚 cm	振動条件		転圧回数 回	転圧機械
		振動数 cpm	起振力 t		
ケース1	75 cm	1500	8	無振動2	表-3.2の 振動ローラ
ケース2		2100	15	振動12	
ケース3		2100	8	無振動2	
ケース4		3200	8		

について1往復ずつ多少ラップしながら、初めに無振動1往復、次に振動6往復、終りに再び無振動1往復の転圧を行った。起振力・振動数は表-3.2の実機の仕様に示す振動能力内で起振モーメントを変更して設定した。(図-3.2参照)。なお実験に用いたコンクリートの配合を表-3.3に示す。

表-3.2 振動ローラの諸元

総重量		10,500 kg				
重量配分		前輪(鉄輪) 5,600kg		後輪(タイヤ) 4,900kg		
締固め幅		2,100mm				
起振力		速度段	振動数	起振力 t		
			cpm	1	2	3
		低速	1000~2100	1.1~4.6	1.5~6.6	1.9~8.5
		高速	1000~2600	1.1~7.0	1.5~10.0	1.9~13.0
走行性能	走行速度	前後進共 km/h	1 速	2 速	3 速	4 速
			0~5.5	0~6.6	0~8.2	0~11.0
	最小回転半径	5.800mm				
	最大登坂能力	18 度				
機関定格出力		73 PS/2,000 rpm				

表-3.3 コンクリートの配合

Gmax mm	VC値 sec	Air %	W/C+F %	F/C+F %	S/a %	W	C+F	S	G	pozo No 8
150	15±5	1.5±1	76.9	30	29	100	135	660	1509	1.44 g

G:粗骨材 S:細骨材 C:セメント F:フライアッシュ W:水 S/a:粗骨材率

3.2.3 実験手順

実験手順は概ね昨年度のものと同じである。コンクリートの練混ぜはダム建設工事現場に最も近い(約1.1 km)生コン工場にて行われた。運搬は1.1 t積ダンプトラックにより行われ、現場でダンプの後、コンクリートの分離がなるべく少なくなるようにブルドーザにて混合しながら2~3層に分けて、所定の厚さ(7.5 cm)にまき出した。

3.2.4 コンクリートの品質管理

練混ぜられたRCDコンクリートの品質を把握するために、昨年度と同様に、プラントおよび現場にてVC試験(小型)、空気量測定および圧縮強度試験用供試体の作製を実施した。

3.2.5 振動加速度、圧力の測定

振動ローラ締固め走行中の振動の伝達状況または減衰状況を調べるために、振動輪加速度およびコンクリート中の加速度・圧力を計測した。ケース毎の計器の埋設位置を図-3.3に示す。なお振動輪加速度計は前輪(鉄輪)の裏側に直接貼り付けた。

3.2.6 表面沈下量の測定

転圧した表面の沈下量は、各ケース共、転圧区間内の4点について、振動ローラ締固め1往復毎にレベルにて測定した。

3.2.7 コア採取及びコア観察

実験から3ヶ月経過した後、図-3.4に示す位置より、密度及び圧縮強度（材令91日）測定用コアとして、各ケース共、直径200mmのコアを6本採取した。また、採取したコアの外観の観察からその締固まり状態を判定した。密度、圧縮強度試験は上層、下層について別々に計画していたが、結果的には図-3.9に示すようなコアの乱れから上下層に分離することは出来なかった。なお、供試体の高さが直径の2倍より小さいものは、JIS A1107の規定にもとづいた補正を行って圧縮強度を算出した。

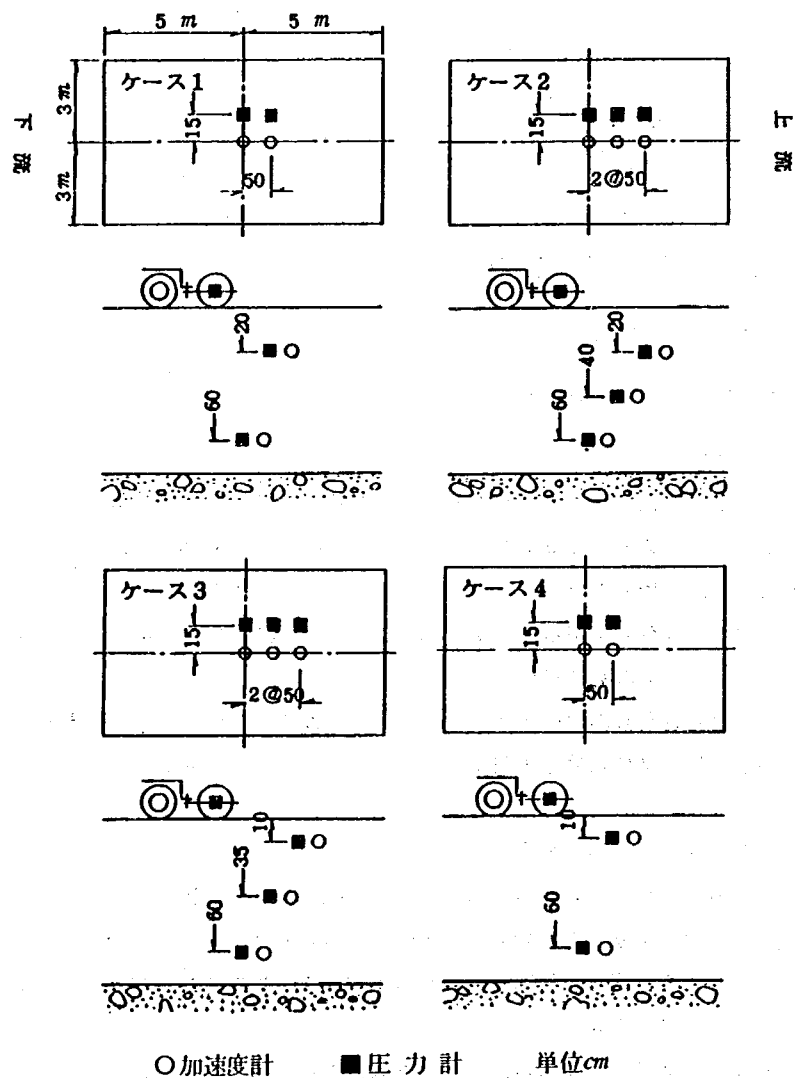


図-3.3 計器の設置位置

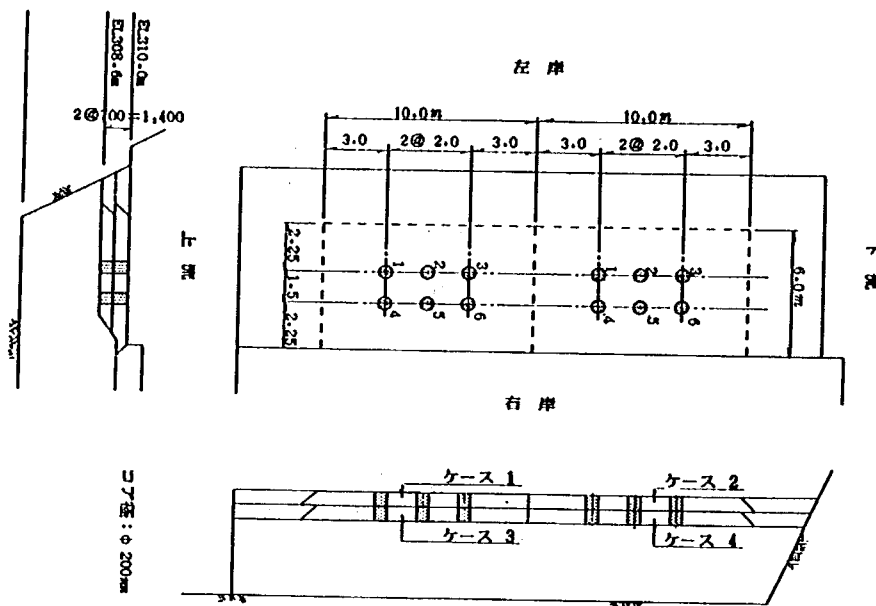


図-3.4 コア採取位置

3.3 実験結果

3.3.1 タイムスタディ

コンクリートの練混ぜ開始から締固め開始までの時間は、ケース1が5時間51分、ケース2が4時間23分、ケース3が6時間30分、ケース4が4時間39分であった。締固め所要時間は各ケース共、概ね一定で約45分程度であった。各実験ケースの所要時間を図-3.5に示す。また実験時の転圧面の様子を写真-3.1に示す。

3.3.2 コンクリートの品質管理

プラントと現場において、同一ダンブトラックからサンプリングを行い、VC値（小型）、空気量、コンクリート温度を測定した。この結果、20～30分程度の運搬によるRCDコンクリートの品質変化は、外気温4～14℃、コンクリート温度9.5～13℃の状態で、VC値が約10～20秒の増加となっている。（表-3.4及び図-3.6参照）。また直径15cm高さ30cmの標準供試体の試験結果を表-3.5及び図-3.7に示す。

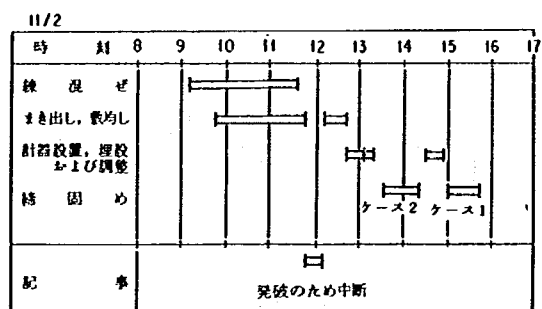
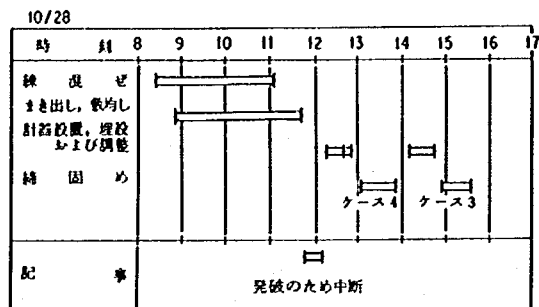


図-3.5 タイムスタディ

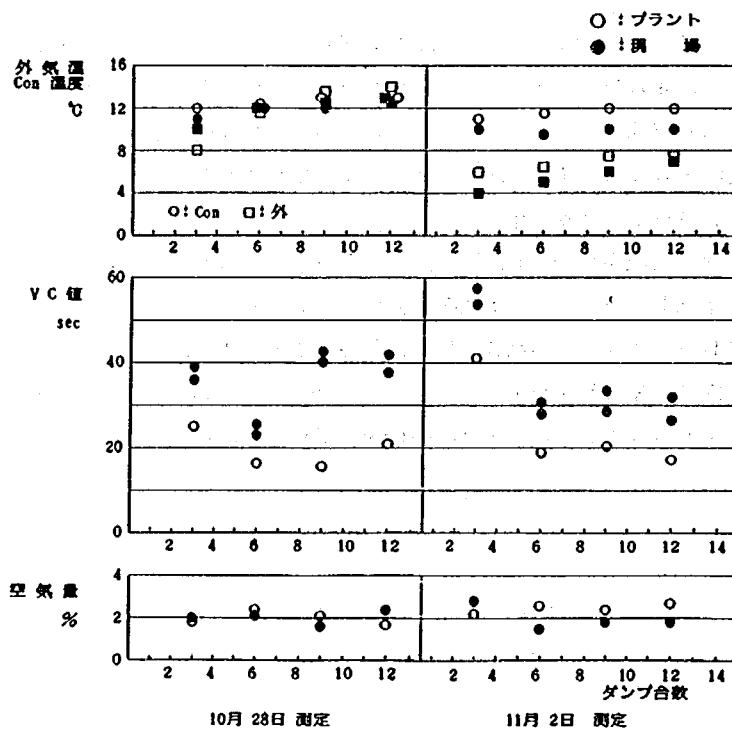


図-3.6 品質管理試験結果

表 - 3. 4 品質管理試験結果

ケース 期 日	試料採取 ダンプNo	プラント				現 場			
		時 刻	Con/外	VC値	Air	時 刻	Con/外	VC値	Air
Case 4 10/28	3台目	8.45	12.0 8.0	25.2	1.8	9.11	11.0 10.0	35.8 39.0	2.0
	6台目	9.30	12.5 11.5	16.3	2.4	9.57	12.0 12.0	25.4 23.0	2.1
Case 3 10/28	9台目	10.08	13.0 13.5	15.7	2.1	10.28	12.0 12.5	40.2 42.6	1.6
	12台目	10.35	13.0 14.0	21.1	1.7	11.01	12.5 13.0	37.8 41.9	2.4
Case 2 11/ 2	3台目	9.32	11.0 6.0	41.2	2.2	9.51	10.0 4.0	106.1 86.1	2.8
	6台目	10.15	11.5 6.5	18.9	2.6	10.38	9.5 5.0	28.1 30.6	1.5
Case 1 11/ 2	9台目	10.35	12.0 7.5	20.3	2.4	10.54	10.0 6.0	28.6 33.4	1.8
	12台目	11.20	12.0 7.5	17.2	2.7	11.42	10.0 7.0	26.6 32.1	1.8

表 - 3. 5 標準供試体試験結果 単位: 密度 t/m^3
圧縮強度 Kg/cm^2

ケース No	区 分	プラント			現 場		
		7日	28日	91日	7日	28日	91日
ケース 1	密 度	2.386			2.390		
	圧縮強度	69	113	242	81	143	184
ケース 2	密 度	2.396			2.390		
	圧縮強度	76	137	238	80	142	216
ケース 3	密 度	2.390			2.404		
	圧縮強度	84	152	231	83	140	222
ケース 4	密 度	2.414			2.398		
	圧縮強度	73	130	223	81	142	214

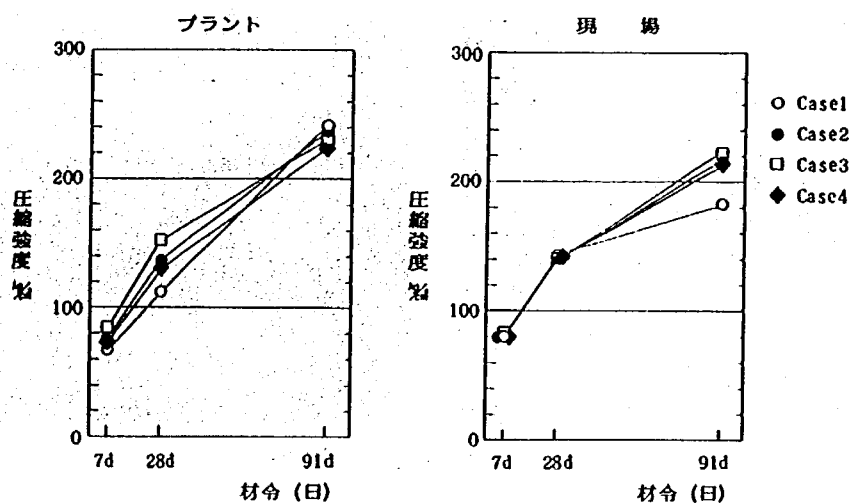


図 - 3. 7 標準供体の材令と圧縮強度

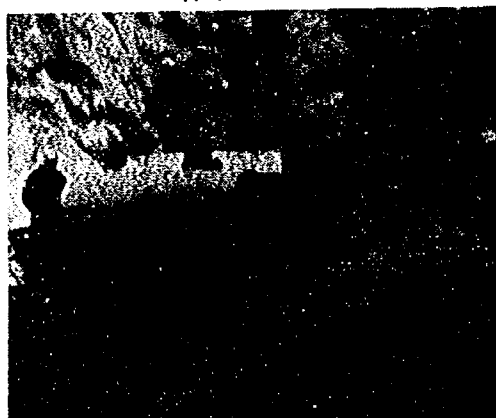
ダンピング



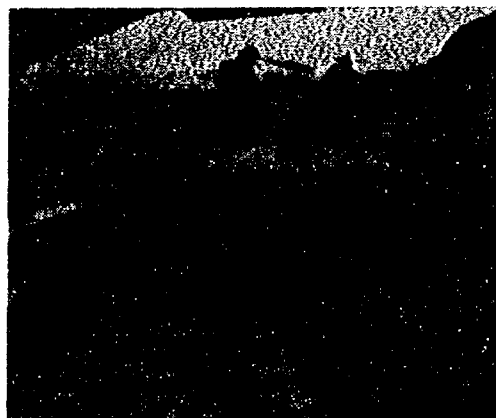
まき出し



締固め ケース1



ケース2



ケース3



ケース4



写真-3.1 施工性の観察

3.3.3 表面沈下量

測定した表面沈下量と締固め回数との関係を図-3.8に示す。

3.3.4 採取コアの観察

昨年度と同様に5段階の等級区分で評価したコア観察結果と採取コアの写真を図-3.9及び写真-3.2に示す。さらに各ケース共、6本の平均値として表-3.6及び図-3.10に示す。また採取コアの密度及び圧縮強度を表-3.7及び図-3.11に示す。

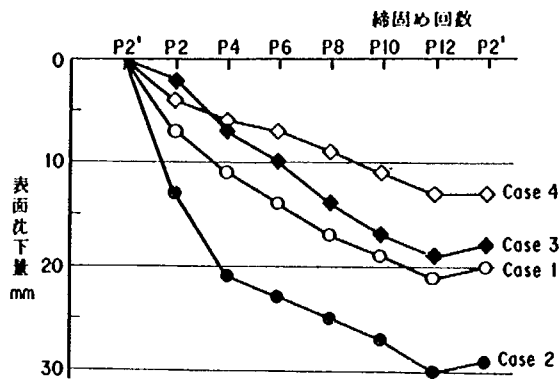


図-3.8 表面沈下量

3.3.5 考察

実験結果について、振動締固めに関する機械諸元、振動特性値、締固めエネルギー等と締固め後のコンクリート密度、圧縮強度、コア観察結果、表面沈下量などについて、実験ケースごとにまとめると表-3.8の如く表わされる。なお表中の〔 〕書きの数字は表-3.1の設定条件である。ここで締固めエネルギー E は下式より求めた計算値である。また実験時の振動測定記録は表-3.9に示す通りである。

$$E = 2a \left(W + \frac{F}{2} \right) \frac{L}{V} \cdot n \cdot N \cdot \frac{1}{BL}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$F = \frac{M \omega^2}{g}$$

$$a = \frac{\sqrt{2} \alpha_{RMS}}{\omega^2} g$$

ω : 角速度 (rad/s)

n : 振動数 (cpm)

F : 起振力 (kg)

M : 起振モーメント (kg cm)

g : 重力加速度 (980 cm/s²)

a : 片振幅 (cm)

α_{RMS} : 振動加速度実効値 (G)

E : 締固めエネルギー (kg cm/cm²)

W : 振動輪軸重 (kg)

L : 単位転圧距離 (cm)

V : 締固め速度 (cm/min)

N : 締固め回数 (回)

B : 締固め幅 (cm)

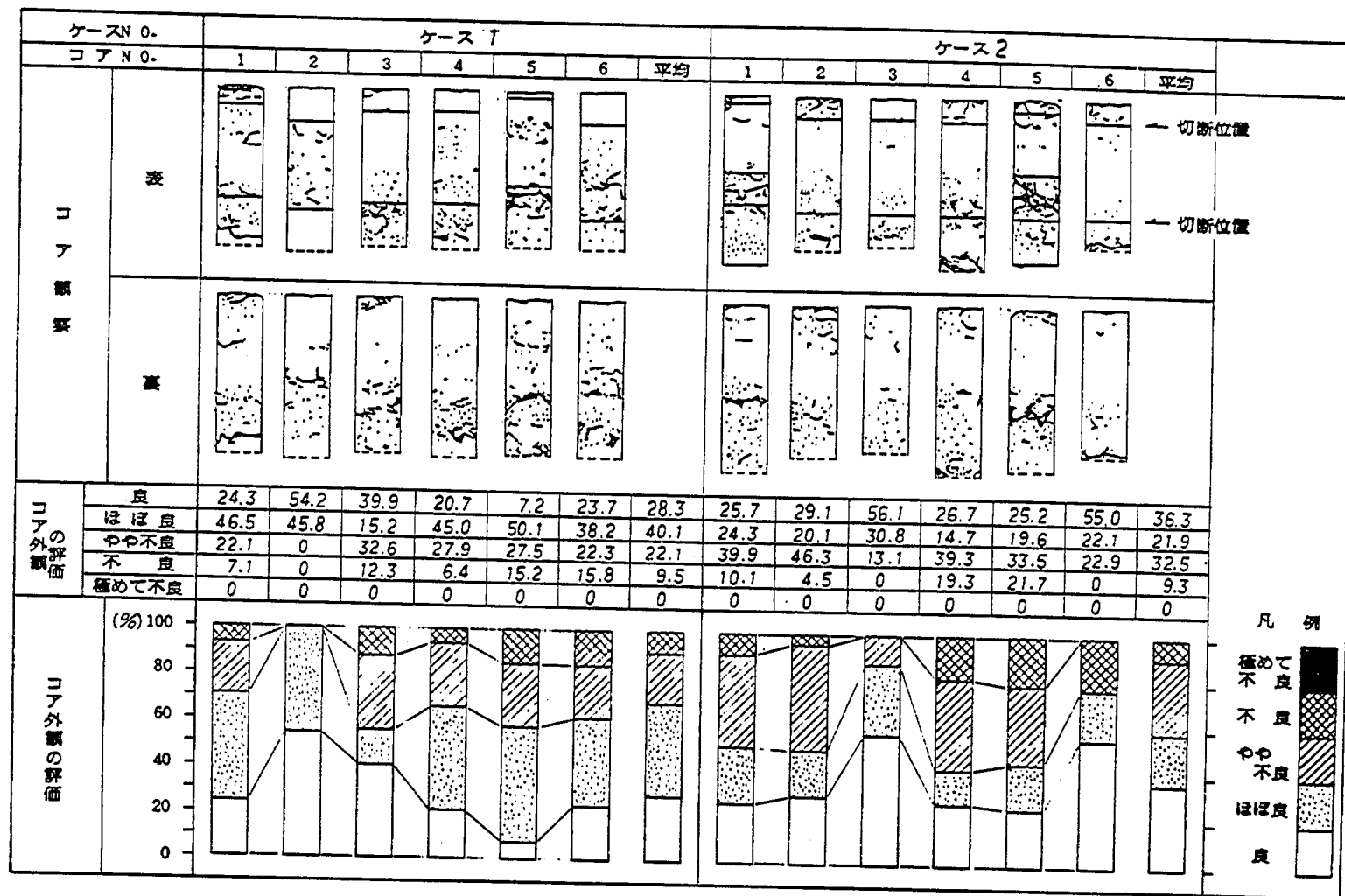


図 - 3. 9 (1) コア観察結果

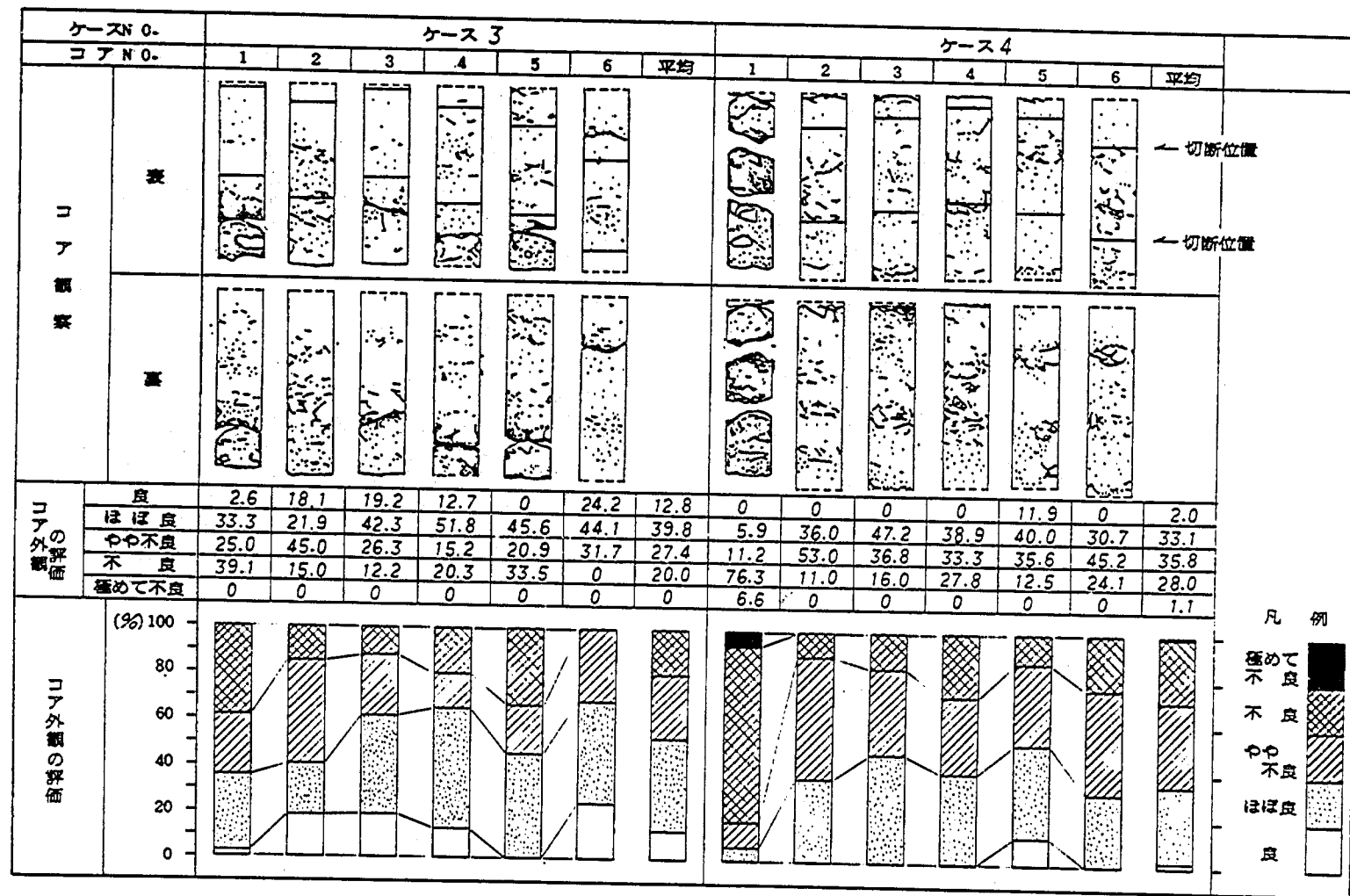


図-3.9 (2)

コア観察結果

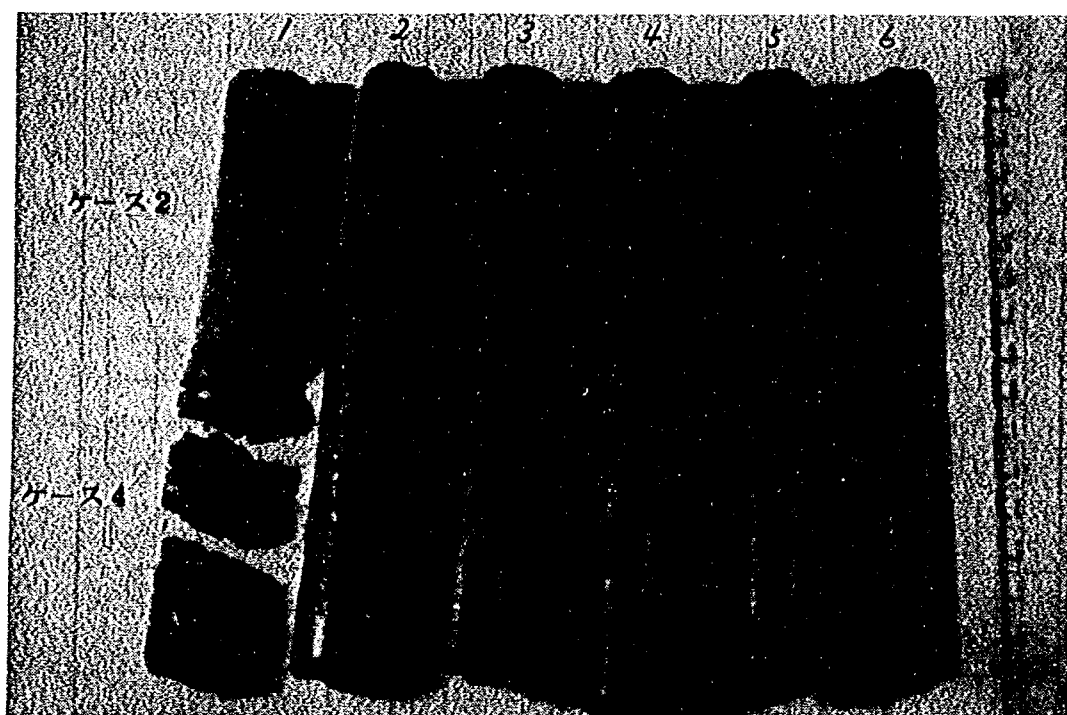
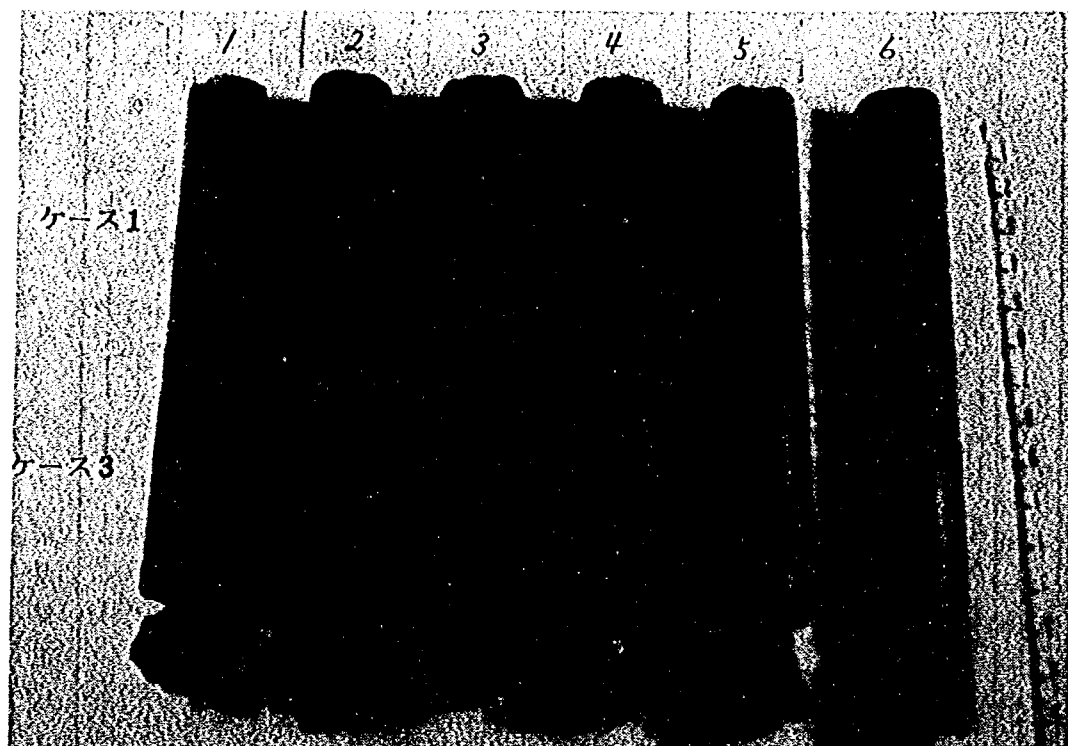


写真 - 3.2 採 取 コ ア

表-3.6 コア観察結果

単位：%

ケース No		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
外観の 評 果	良	28.3	36.3	12.8	2.0
	ほぼ良	40.1	21.9	39.9	33.1
	やや不良	22.1	32.5	27.4	35.8
	不良	9.5	9.3	20.0	28.0
	極めて不良	0	0	0	1.1

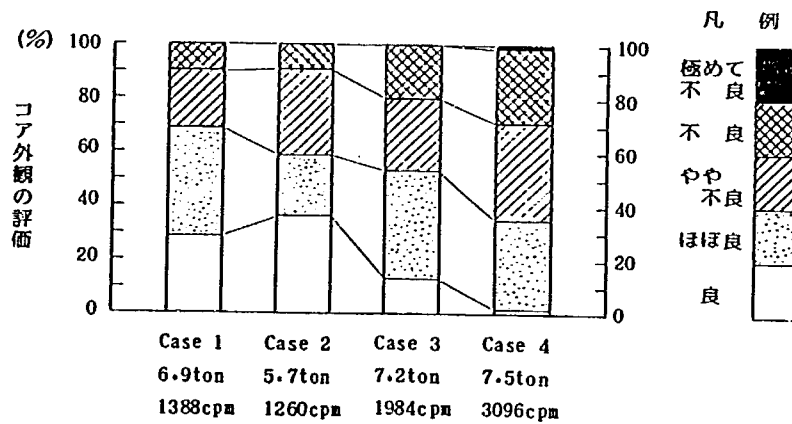


図-3.10 コア観察結果

表-3.7 採取コアの密度・圧縮強度

上段：密度 t/m^3

下段：圧縮強度 Kg/cm^2

コアNo	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
1	2.399 138	2.368 156	2.372 155	— —
2	2.395 167	2.382 155	2.371 168	2.331 114
3	2.411 166	2.390 164	2.404 152	2.352 122
4	2.361 126	2.371 136	2.392 163	2.372 139
5	2.375 130	2.349 152	2.355 147	2.384 156
6	2.376 124	2.392 169	2.391 159	*2.223 *86
平均	2.386 142	2.375 155	2.381 157	2.360 133
標準 偏差	± 0.019 ± 20	± 0.016 ± 11	± 0.018 ± 8	± 0.023 ± 19

*印は、平均、偏差より除く。

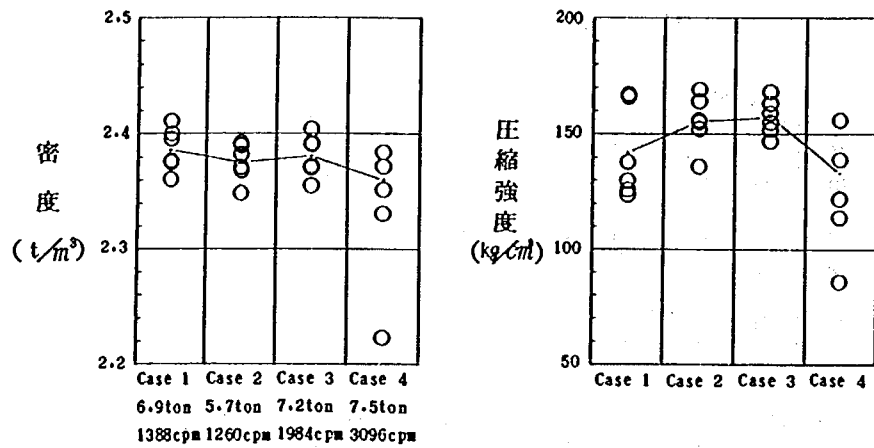


図-3.1.1 採取コアの密度・圧縮強度

表-3.8 測定結果まとめ

ケース No	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
締固め振動ローラ	SV 100			
締固め回数 N (回)	12	12	12	12
締固め速度 V (km/h)	1.402	1.195	1.209	1.129
(cm/min)	2337	1992	2015	1882
振動数 n (cpm)	1388(1500)	1260(2100)	1984(2100)	3096(3200)
角速度 ω (rad/s)	145.35	131.95	207.76	324.21
ω^2	21126.9	17410.0	43165.9	105113.7
ロール直径×幅 D×B (cm)	130×210			
振動輪軸重 W (Kg)	5600			
起振モーメント M (Kg·cm)	318.4	318.4	162.6	70.0
起振力 F (Kg)	6864.1	—	7162.0	7508.1
	(8000)	(15000)	(8000)	(8000)
$\beta = F/W$	1.226	—	1.279	1.341
	(1.43)	(2.68)	(1.43)	(1.43)
振動加速度 α_{RMS} (G)	5.45	4.35	4.16	3.24
振幅 2a (cm)	0.7150	0.6926	0.2671	0.0854
締固めエネルギー E (Kg·cm/cm²)	219.2	—	138.0	75.1
理論最大密度 γ_{max} (t/m³)	2.400			
採取コア密度 γ (t/m³)	2.386	2.375	2.381	2.360
±偏差	±0.019	±0.016	±0.018	±0.023
密度比 R (%)	99.4	99.0	99.2	98.3
±偏差	±0.8	±0.7	±0.8	±1.0
採取コア強度 σ_{91} (Kg/cm²)	142	155	157	133
±偏差	±20	±11	±8	±19
コア観察[ほぼ良以上] (%)	68.4	58.2	62.7	35.1
表面沈下量 (mm)	20	29	18	13

注) 振動数 n は、振動輪に取付けて測定した振動加速度の振動波形から求めたものである。また () 内数値は実験条件の設定値を示す。

表一 3.9 振 動 特 性 値 一 覧 表

	神岡の目数 回	無 振 動		振 動												無 振 動		振 動	
		1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2		平均
1	神岡の速度 m/h	1344	1466	1200	1706	1483	1264	1600	1461	1202	1269	1187	1337	1604	1505	1404	1124	1402	
	振動輪振動数 cps			1278	1302	1284	1332	1338	1308	1314	1314	1656	1944	1278	1308			1388	
	振動輪加速度 GRMS			5.11	5.11	5.41	5.73	5.11	5.41	5.41	5.73	5.73	6.43	5.11	5.11			5.45	
	Con内	上 層		3.22	2.16	3.62	1.36	3.62	4.06	—	—	—	—	—	—			3.01	
	加速度																		
	G RMS	下 層		1.14	0.96	1.08	1.08	0.72	1.36	1.28	1.14	0.81	1.02	1.02	1.14			1.06	
	Con内	上 層	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	故障	
	圧 力																		
2	kg/cm ²	下 層	0.76	1.49	8.84	9.04	8.23	9.07	9.12	8.97	8.84	8.94	8.94	6.70	7.81	8.81	0.50	0.60	8.62
	神岡の速度 m/h	1076	889	930	857	1089	965	1292	1210	1450	1372	1200	1329	1446	1200	1254	912	1195	
	振動輪振動数 cps			1248	1278	1248	1266	1236	1272	1236	1260	1254	1284	1248	1284			1260	
	振動輪加速度 GRMS			4.55	5.11	4.55	4.55	4.06	4.55	4.06	4.30	4.30	4.06	4.06	4.06			4.35	
	Con内	上 層		3.04	4.06	(0.86)	3.62	2.56	2.16	2.16	2.28	2.28	2.03	2.16	2.56			2.63	
	加速度	中 層		1.28	1.81	(0.57)	1.28	0.81	1.08	0.91	0.96	0.96	0.81	0.91	0.96			1.07	
	G RMS	下 層		0.91	0.46	0.48	0.61	0.46	0.57	0.41	0.51	0.48	0.43	0.43	0.51			0.52	
	Con内	上 層	0.78	0.95	7.73	10.27	—	5.14	(2.30)	5.27	7.98	9.49	7.41	10.16	8.54	12.81	1.38	1.78	8.48
3	圧 力	中 層	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	故障	
	kg/cm ²	下 層	1.46	1.70	6.76	7.24	(2.67)	3.67	5.49	5.52	4.72	4.16	5.83	4.35	5.71	4.74	0.49	0.46	5.29
	神岡の速度 m/h	1636	1538	1538	1250	1176	1200	1417	1295	1146	1364	947	870	1047	1259	1417	1343	1209	
	振動輪振動数 cps			1980	1980	1944	1950	1992	1998	1968	1974	2016	2010	1992	2004			1984	
	振動輪加速度 GRMS			4.06	4.30	4.06	4.06	4.30	4.30	4.06	4.06	4.30	4.30	4.06	4.06			4.16	
	Con内	上 層		3.22	3.42	3.22	3.42	3.42	3.42	3.42	3.22	3.62	3.62	3.42	3.42			3.40	
	加速度	中 層		1.44	2.28	1.92	2.03	2.16	2.42	2.03	2.16	2.16	2.28	2.03	2.16			2.09	
	G RMS	下 層		0.51	0.68	0.61	0.64	0.51	0.68	0.57	0.68	—	—	—	—			0.60	
4	Con内	上 層	1.85	2.60	20.75	20.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20.75	
	圧 力	中 層	0.50	0.38	3.45	5.84	10.96	10.38	10.53	11.49	13.48	11.97	11.91	15.24	15.49	13.10	1.34	1.13	11.15
	kg/cm ²	下 層	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	故障	
	神岡の速度 m/h	1837	1304	1233	1364	720	1017	1146	1353	923	1146	994	1104	1324	1224	1440	1480	1129	
	振動輪振動数 cps			3168	3174	3120	3126	3090	3096	3066	3072	3066	3066	3048	3060			3096	
	振動輪加速度 GRMS			2.87	3.04	3.04	3.22	3.22	3.22	3.42	3.42	3.42	3.42	3.22	3.42			3.24	
	Con内	上 層		1.62	1.81	2.56	2.16	2.42	2.56	2.28	2.56	2.42	2.56	2.42	2.56			2.33	
	加速度																		
5	G RMS	下 層			0.23	0.29	0.41	0.38	0.41	0.41	0.46	0.46	0.46	0.46	0.43	0.51		0.41	
	Con内	上 層	—	—	2.10	(0.98)	2.62	2.12	4.12	2.60	3.28	4.40	3.60	4.58	3.38	4.55	0.75	0.75	3.40
	圧 力																		
	kg/cm ²	下 層	—	—	2.11	1.95	2.03	1.93	2.28	2.08	2.01	2.01	2.28	2.03	1.78	1.90	0.66	0.69	2.03

注：() 内数字は平均値から除く。

(1) 振動数(振幅)と締固め効果

図-3.12によると、振動数の少ない即ち振幅の大きい方が締固め効果も大きいことを示している。ただしここでは起振力が一定の条件であり、次の(3)で述べる締固めエネルギーが一定ではないことに注意を要する。この傾向は、過去に実施したRCDコンクリート締固め実験で、締固め層厚35cmの場合、締固め密度 2.4 t/m^3 以上、締固め度98%以上を期待するには、振動ローラの振動輪振幅は両振幅で2mm以上必要であるという結論と一致する。また振動数が少なくなると、コア観察の評価も良く、表面沈下量も締固め効果を反映して大きくなる傾向を示している。

(2) 起振力と締固め効果

表-3.1に示すように振動数2,100 cpm一定の条件で起振力8tと15tについて比較する予定であったが、15tについては機械能力の上限の振動条件の設定となったため、実際の締固め条件では所要の起振力が得られず、初期の目的を達するまでには至らなかった。

(3) 締固めエネルギーと締固め効果

図-3.13によると締固めエネルギーの増加にともなって圧縮強度、密度比、コア観察評価値、表面地下量ともにすべて大きくなっている。また図-3.14は、これまでのRCD工法による締固め施工試験の中で、骨材最大径80、150mmの配合、薄層まき出し1層75cm締固め工法における密度比と締固めエネルギー増加に対する密度比増加の傾向とほとんど等しい。また今回実験の密度比が2%程高いのは単位水量が少ないことと、今回のコア密度は図-3.9のコアの観察からもわかるように締固められた全層の密度(または強度)にくらべて大き目に表わされていることが原因としてあげられよう。

(4) 振動加速度、圧力の深さ方向分布

図-3.15によると、振動加速度は4ケース共あまり差が認められないのに対して、圧力は各ケース間で大きな差があることがわかる。この結果は、昨年度の成果と同じもので締固め効果に与える要因として振動加速度よりも圧力主体の考え方がより良いという結論と一致する。なお本図を分析した結果、図-3.16に示すように圧力は起振力にはあまり左右されず、起振力によって生ずる振動輪の振幅に関係することが分った。この事は(1)で述べた振幅(図-3.12)とも関連する。

3.4 まとめ

本年度の実験によって、起振力が一定のもとでは振動数が低い程(振幅が大きい程)、締固め効果が大きいことが明らかとなった。これは結果的には振動数が低い程振動輪の振幅が大となり、締固めエネルギーも増加することに対応する。締固めエネルギーそのものは機械条件と締固め対象物条件やこれらの締固め経過にともなう状態の変化などが複雑にからむので、当初から特定あるいは設定することは困難である。しかしながら今後は、締固めエネルギー、振動数、振幅の締固めに及ぼす総合的な影響を更に検討し、最も効率的な締固め条件を見出し、締固め機械の開発に資する必要があると思われる。

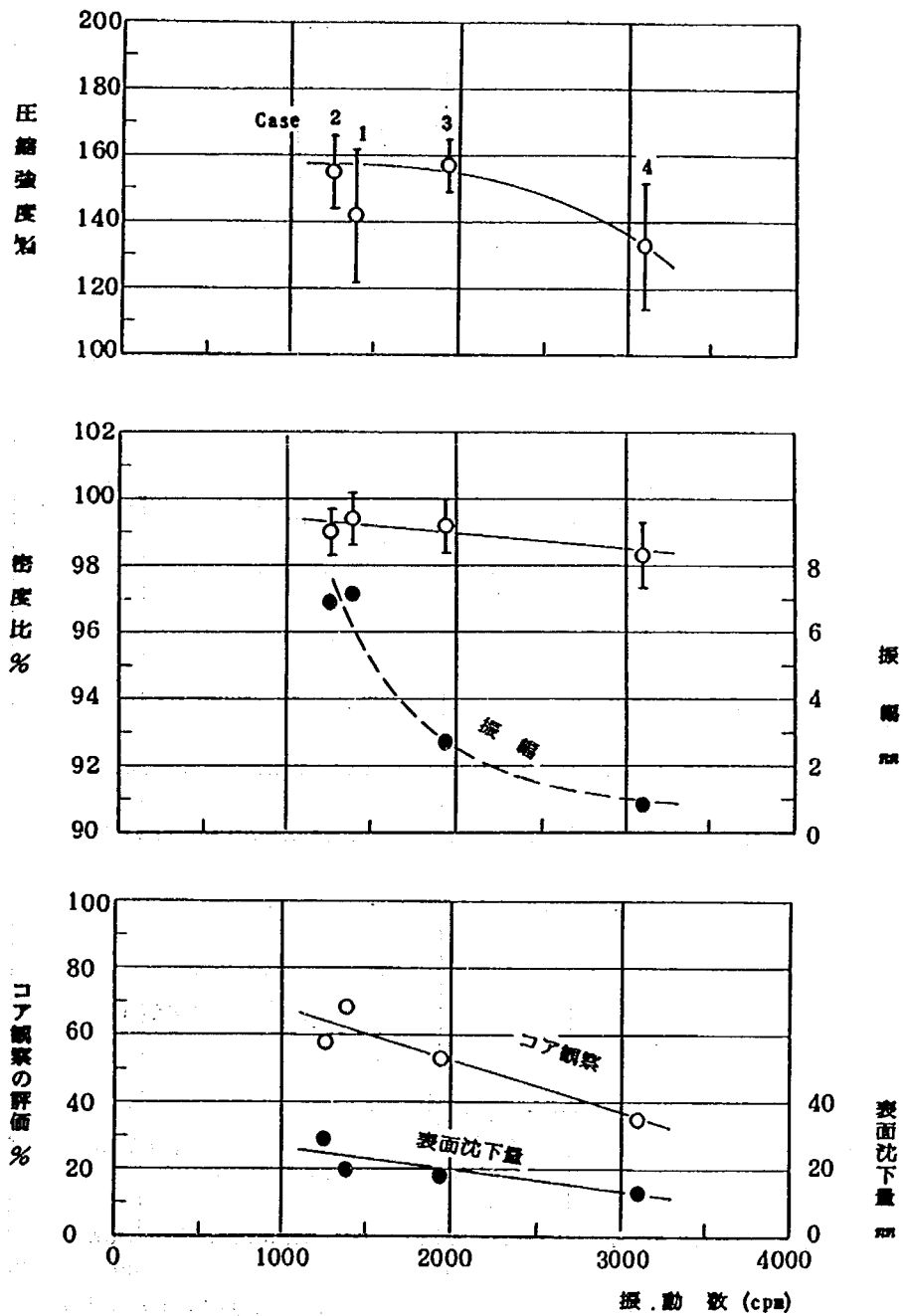


図-3.1.2 振動数と締固め効果

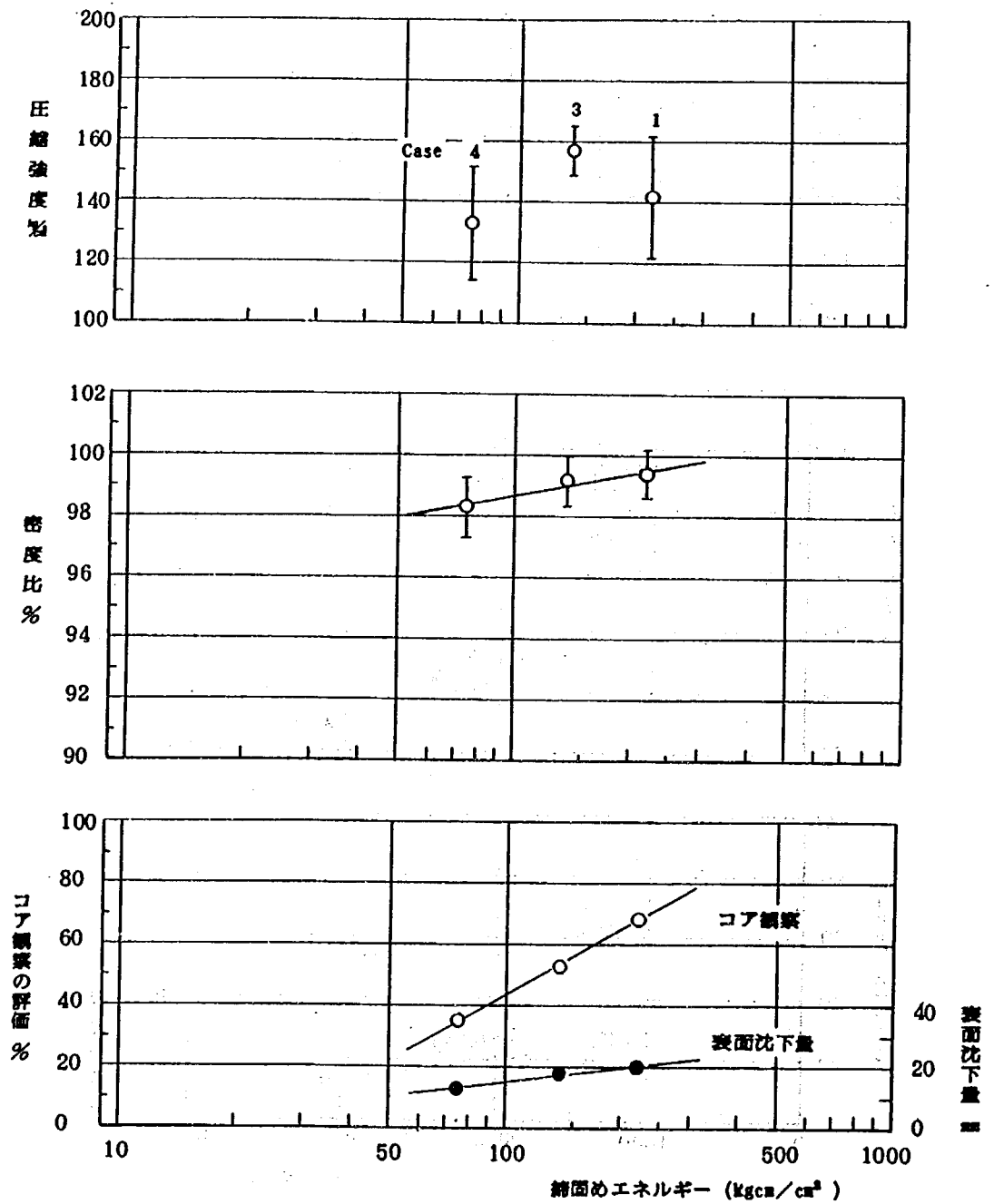


図-3.1.3 締固めエネルギーと締固め効果

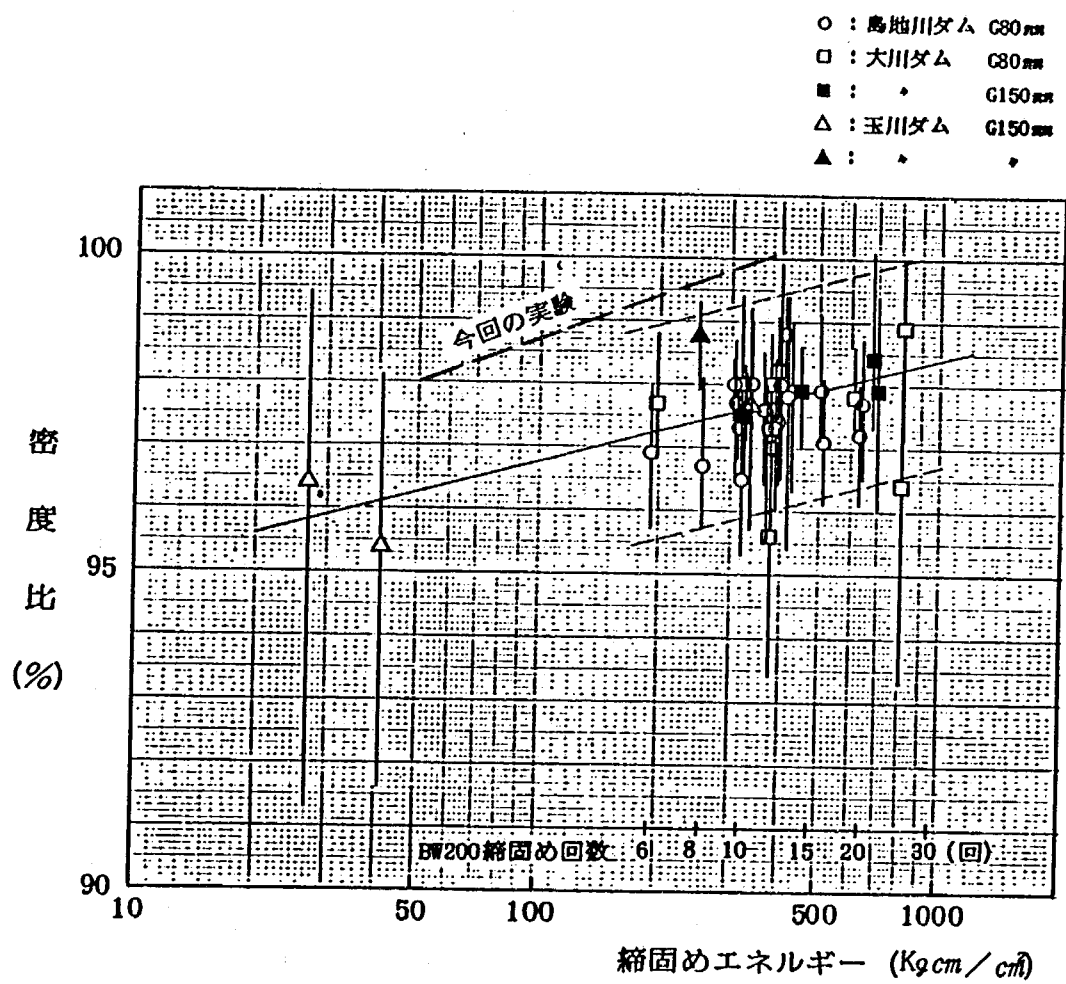


図-3.14 締固めエネルギーと密度比

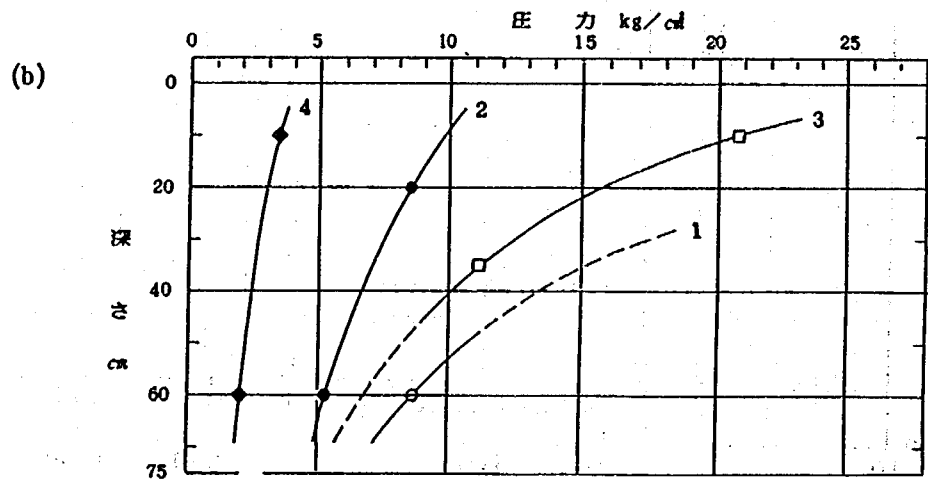
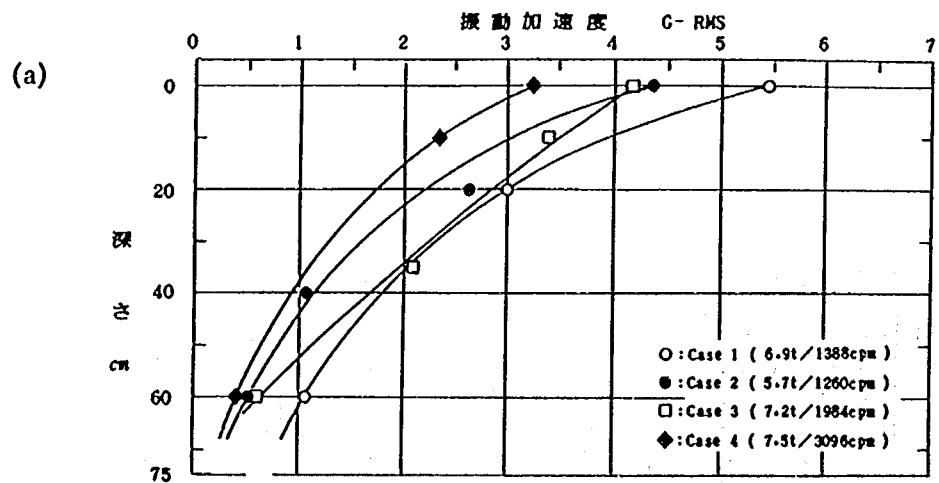


図-3.15 深さ方向の振動加速度と圧力

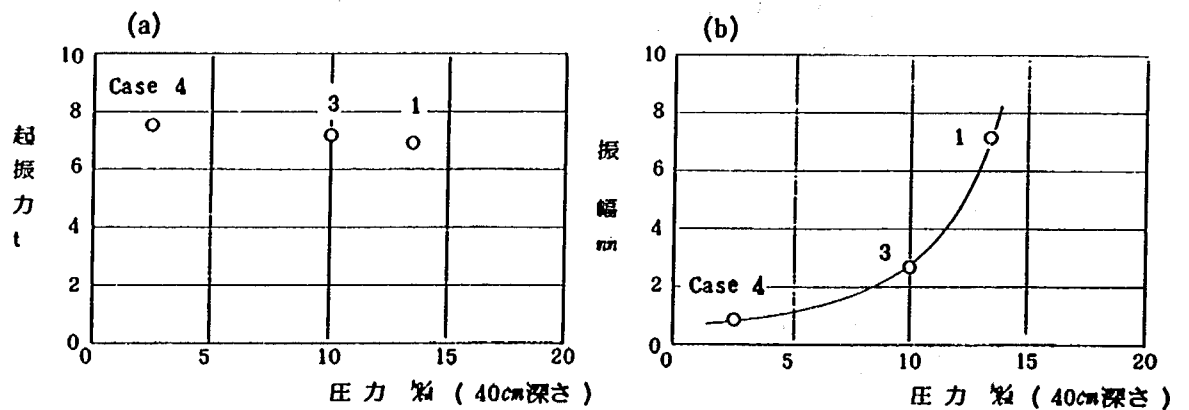


図-3.16 起振力, 振幅(全)と圧力の関係

4. ま と め

4.1 締固めエネルギーとコンクリートの密度・強度

現行のRCDコンクリート配合設計(案)による単位水量は、およそ $100\text{kg}/\text{m}^3$ であるが、この単位水量を境に水量の多い配合では、締固めた層厚の上層下層に強度差が生じて上層が下層より弱くなることが分っている。この原因が何によるものか、また、どうしたらこの差をなくすことができるかについて究明が急がれていた。

そこで、この初年度の実験では、表-4.1に示す配合についてコンシステンシー、締固め時間を一定にし、図-4.1、図-4.2に示すモールドおよび表面振動機を用いて、重量、起振力(振幅)を変えた表-4.2に示す条件の試験を行い、締固めエネルギーとコンクリートの密度、強度の関係、並びに上弱下強の現象を検討した。

表-4.1 配 合 表

G _{max}	S L	Air	W/C+F	F/C+F	S/a	W	C	S	G	混和剤
mm	cm	%	%	%	%	kg/m ³				
40	—	4	85	20	42	115	135	901	1272	0.338

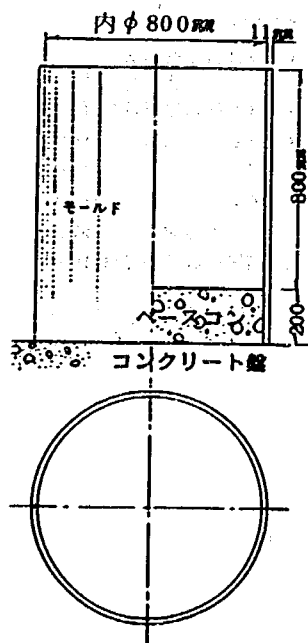


図-4.1 試験用モールド

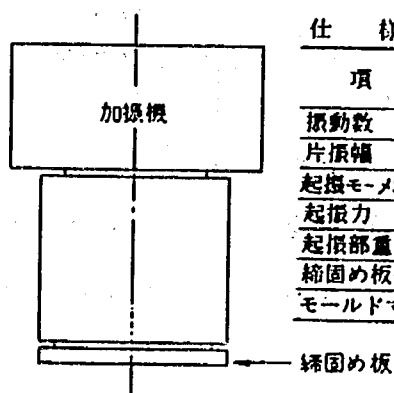


図-4.2 締固め機械の仕様と外形図

仕 様

項 目	A 1t起振機	B 3t起振機
振動数 cpm	1810	1900
片振幅 mm	1.2	1.2
起振モーメント kg cm	26.6	77.0
起振力 kg	972	3109
起振部重量 kg	230	648
締固め板径 mm	480φ	
モールド寸法 mm	500φ×内高450	

表-4.2 試験ケースと条件

ケースNo	1	2	3	4	5	備考
配合	1種類					表4.1
敷モルタル	有り 15~20mm					
まき出し厚	80cm					
締固め機械(目盛)	B(2)	A(2)	B(4)	B(5)	B(6)	
片振幅 a (cm)	0.04	0.12	0.08	0.10	0.12	$a=M/W$
起振力 F (Kg)	1072	1072	2118	2623	3112	
締固めエネルギー (KgcM/cm ²)	95	184	273	392	529	谷本式

この結果、次の結論を得た。(図-4.3 参照)

- ① 締固めエネルギーが増すにつれて、全般的に密度、圧縮強度共増加する。
- ② 上層の圧縮強度は、ある締固めエネルギーで上限に達し、以後エネルギーを増しても圧縮強度の増加は少ない。
- ③ 一方、下層の圧縮強度はこの試験範囲内では、エネルギーの増加に伴ない徐々に増えている。
- ④ ②③の関係から、締固めエネルギーが不足していると「上強下弱」であるが、或るエネルギー以上になると「上弱下強」の現象が現われている。

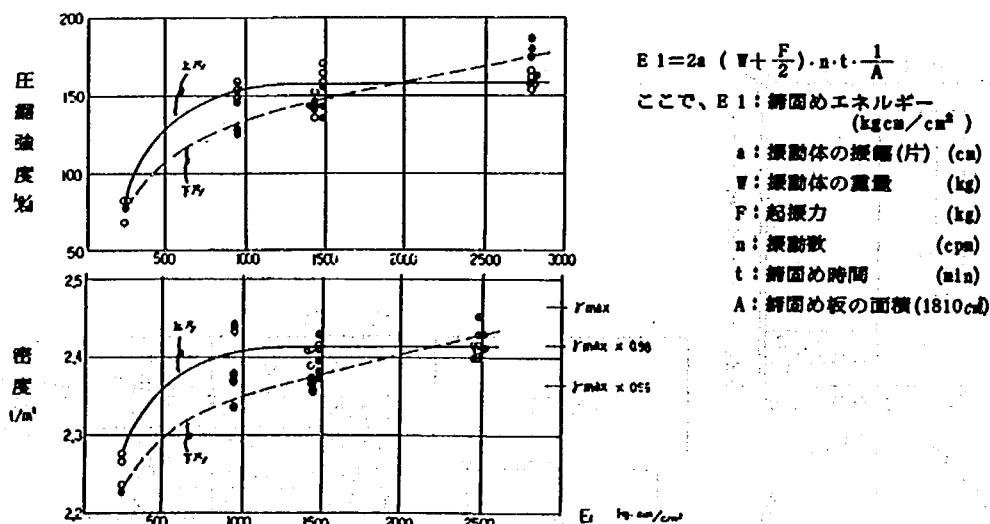


図-4.3 締固めエネルギーと密度、圧縮強度

4.2 振動ローラの重量の影響

RCD工法では7 t級の振動ローラが用いられているが、この機種が最適であるかどうかについては確固たる結論は未だなく、そのために実験が積み重ねられてきた。

その中の一つに、島地川ダム、大川ダムの実験でRCDコンクリートのフレッシュな状態での締固め特性は、プロクターの土の締固め密度曲線同様の性状を示すことが大型供試体試験で確かめられた。図-4.4は、大川ダムの実験で得られた単位水量と締固め密度、圧縮強度の関係を示す1例である。

次に、現行のRCDコンクリート配合設計(案)による単位水量 100 kg/m^3 もしくはこれ以上の単位水量では、総重量13 t級と7 t級振動ローラでその締固め性能にほとんど差がないことも確かめられている。図-4.5参照。

一方、RCD工法では、ブルドーザ転圧程度では明らかに締固め不足となることも調べられ

ているので、この実験では、その中間を狙った2 t、4 t級振動ローラがRCDコンクリートの締固めにどこまで追従できるかについて、玉川ダムの現場施工試験(上流仮締切り6リフトとテストピット)で調べたものである。また、振動ローラの締固め後にタイヤローラによる静的な締固めを行い、いわゆる「上弱下強」といわれる現象を少なくする可能性について試験すると共にコンクリートは凝結開始前に再締固めを行うと強度が増加するといわれているので、タイヤローラを用いた再締固めの実験も併せて実施した。

実験に用いた締固め機械、実験ケース、コンクリートの配合等を表-4.3～表-4.4に示す。

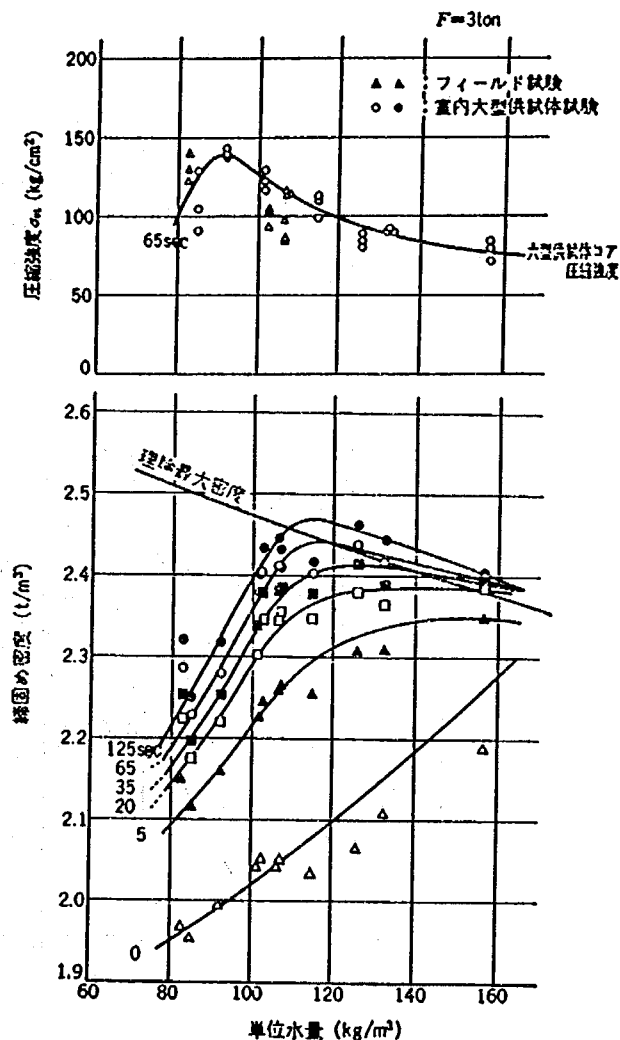


図-4.4 単位水量と締固め密度、圧縮強度

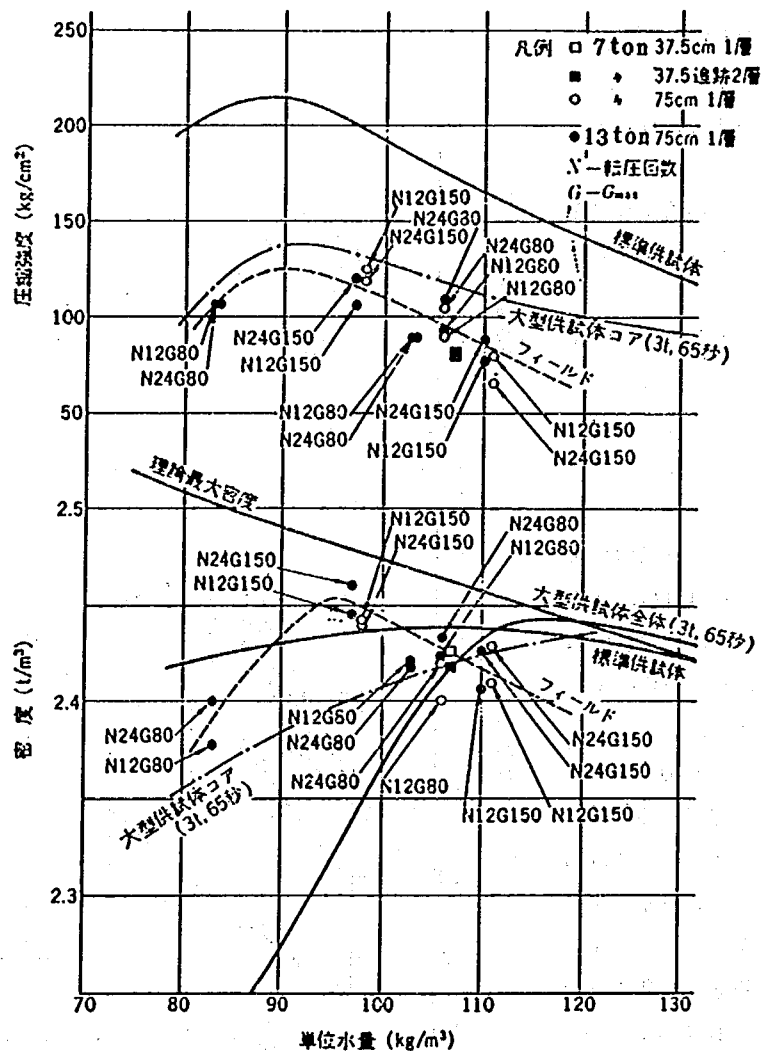


図-4.5 単体水量と密度，圧縮強度の関係

表-4.3 実験ケース

ケース	配合	層厚	締固め機械		備考
			振動ローラ	タイヤローラ	
1	一定	70~75cm	BW200	—	上流仮締切り
* 2			BW200	TS7409	"
** 3			BW200	TS7409	"
4			MV2.6	—	テストピット
5			MUS40W	—	"

* 実験ケース2は、振動締固め直後にタイヤローラにて締固める。

** 実験ケース3は、振動締固め後数時間においてタイヤローラにて締固める。

表 - 4.4 配 合 表

Gmax	S L	Air	W/C+F	F/C+F	S/a	W	C	S	G	混和剤
mm	cm	%	%	%	%	Kg/m ³				
150	—	1.5	67	30	29	90	135	624	1522	0.338

G の混合割合は 150 : 80 : 40 : 20 = 24 : 24 : 26 : 26 である。

図 - 4.6 は、振動ローラの機種、重量の違いがコンクリートの圧縮強度にどのように影響するかをみるために、圧縮強度（平均値と範囲）と締固めエネルギーの関係を表わしたものである。図から明らかなように、圧縮強度の平均値についてはケース間に差が認められないが、圧縮強度のバラツキからみると、締固めエネルギーが小さい程バラツキが大きいこと、また、各ケースの圧縮強度の最小値は締固めエネルギーが小さい程小さくなっていることがわかる。

このような結果から、コンクリートの均一性を高め、強度上の弱点をできるだけなくすには、4 t 級あるいは 2 t 級振動ローラは締固めエネルギーもしくは振動力が不足であると考えられる。また、図 - 4.7 に示す採取コアのコア観察結果からも、2 t、4 t 級振動ローラは 7 t 級振動ローラに比べてその評価が悪いため締固め効果が低いといえる。

また、この実験成果も含めた骨材最大径 80、150 mm 両者の配合について、薄層まき出し 1 層 7.5 cm 締固め工法における締固めエネルギーと密度比（コア密度 / 理論最大密度 × 100 (％)）の関係は、前記図 - 3.14 の如くで、重量 7 t 級以上の振動ローラを用いれば、平均密度比でほぼ 96 ~ 98% の締固めが可能のようである。しかし、7 t 級振動ローラにあっても 2 t、4 t 級

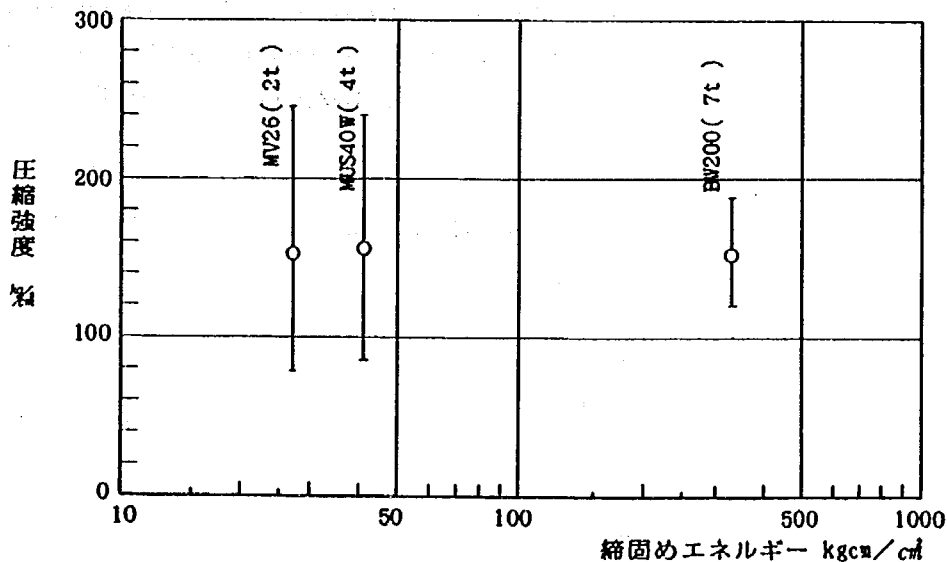


図 - 4.6 締固めエネルギーと圧縮強度

振動ローラほどではないがかなりのバラツキが認められる。

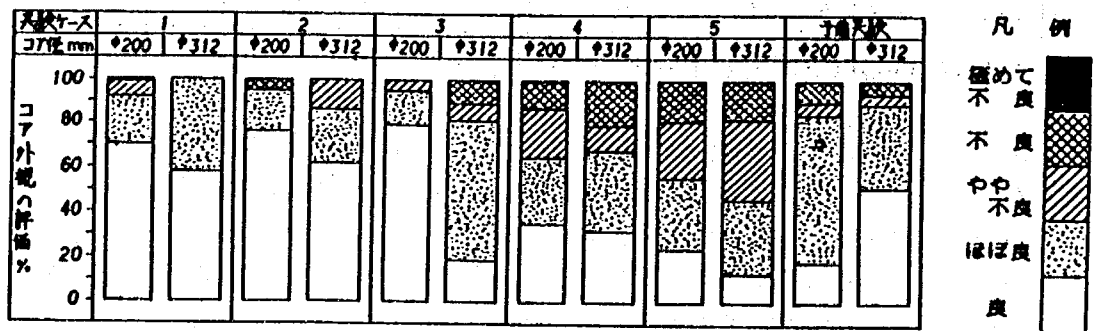


図 - 4.7 コア観察結果

次に、図 - 4.8 は、振動ローラ転圧中の振動加速度および圧力の深さ方向分布を示す。

この図から振動ローラの機種による振動加速度、圧力の差を読みとることができ、2 t 級振動ローラでは振動加速度、圧力ともかなり小さいこと、4 t 級振動ローラと 7 t 級振動ローラとでは振動加速度は比較的近い値を示しているにもかかわらず圧力には差があることなどが大きな特徴としてあげられる。

このような特徴および前記の締固め効果を考え合せると、締固め効果に影響を与える因子として振動加速度よりも圧力を主体に考える方が良いと思われる。このことは、今後振動ローラによる締固め効果を一層高めるためには、機械重量と起振力のバランスをどのように設定すべきかという問題につながると思われる。また、タイヤローラを用いた再締固めの実験結果についてはその効果を認めるまでには至らなかった。

4.3 振動ローラの振動数の影響

土を主体とする土木材料の締固めに関する各種実験から、振動ローラの純機械側から見た締固めに関する要因として下記が考えられる。

1. ローラ重量 W
2. 線 圧 P
3. ロール径×幅 $D \times B$
4. 速 度 V
5. 転 圧 回 数 N
6. 起 振 力 F
7. 振 動 数 n
8. 振 幅 a
9. 加 速 度 α

10. 締固めエネルギー E

一方、締固められる材料側の要因として下記があり、理論計算上では質量 m 、ばね常数 k 、減衰係数 c で置き換えて解析されている。

1. 地盤条件

- 土(土質, 含水比)
- 粒調材 (G_{max} , 粒度, 含水比)
- アスコン(合材の種類)
- コンクリート(配合)

2. 厚 さ S

この実験は、これらの要因の中からコンクリートの配合、締固め厚さ75cm一定の条件のもとに振動数、起振力が締固め効果に及ぼす影響について言及しようとして試みたものである。

使用した締固め機械は、SV100形11t級振動ローラ(表-3.2参照)で、設定した起振性は図-3.2、表-3.1に示すケース1~4の4ポイントの振動条件である。また、コンクリートの配合は表-3.3に示すもので、VC値で15秒±5秒のコンシステンシーであるが、実際には表-3.4、図-3.6に示すようにプラントで20秒前後、現場で30~40秒であった。このコンシステンシーを、ローラ転圧後の仕上り表面の状態で表現すると、施工性の観察写真-3.1の如くで全ケース共水の浮上は全く見当らず、前年度実験の締固め性状とはかなり違ったものである。

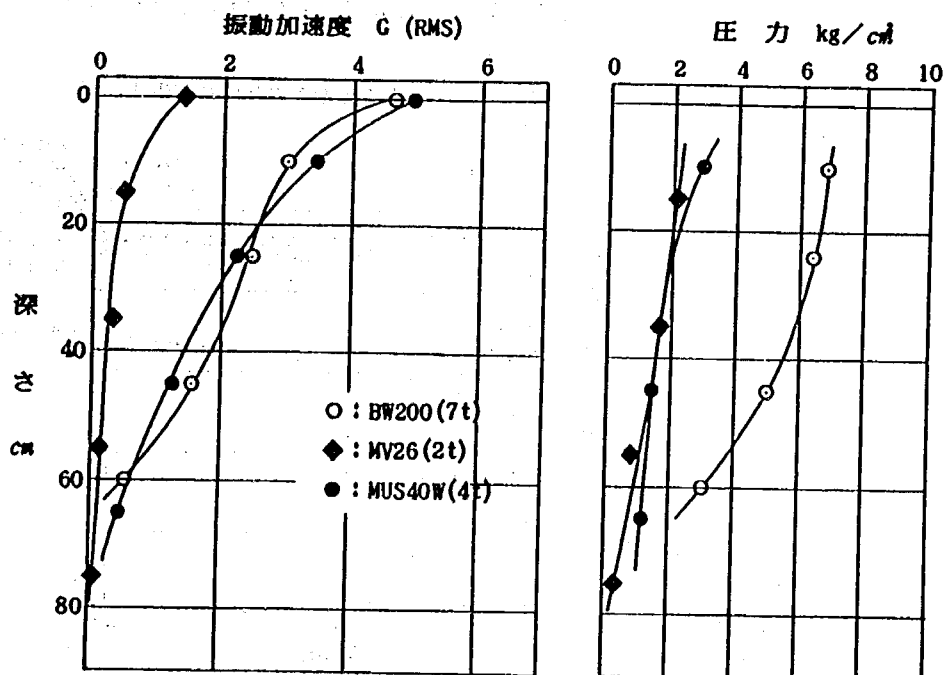


図-4.8 振動加速度、圧力の深さ方向分布

実験結果を要約すると、

(1) 振動数が締固め効果に及ぼす影響

同一機種で起振力一定（ほぼ加速度一定）に保つ場合には（ケース1，3，4の比較），振幅と振動数の2乗とは逆比例の関係にある。従って、振動数を小さくして振幅を大きくした方が、締固めエネルギーが増大し締固め効果が大きくなる。

(2) 起振力と振動部重量の比が締固め効果に及ぼす影響

ケース2の実験で、振動数が不明確なために起振力を求めることができないので、初期目的を達成するまでには至らなかったが、計画した条件で実験が行なわれたとしても、今回のコア密度（密度比で99%），強度の成果からはその影響差を見出すまでには至らなかったものと思われる。

(3) 締固めエネルギーが締固め効果に及ぼす影響

この実験においても、初年度室内実験の成果およびこれまでの各種現場施工試験での成果と同様に、配合が変わっても密度比または圧縮強度は、締固めエネルギーの増加と共に大きくなる事が再確認された。

(4) その他

今回実験のコンクリート配合は、結果的に硬めのコンシステンシーを与えていたようである。

この考え方は、理論上では図-4.4からも説明されるように、分離も少なく締固めも充分行うことができるなら理想的であるが、単位水量が少ない配合では図-3.9のコア観察またはコア観察またはコア写真-3.2からも分るように、下層にジャンカが生じやすくなるという欠点がある。

また、単位水量を変えてコンシステンシーを変化させたときの締固め時間と密度の関係は図-4.9の如くで、単位水量が多い配合では所定密度までの立ち上がり時間が少なくて済むのに比べて、単位水量が少なく硬いコンクリートでは密度の立ち上がりがゆるやかで、その上所定密度までかなりの時間があるので、これが実際の場合には転圧回数で不利になると思われる。

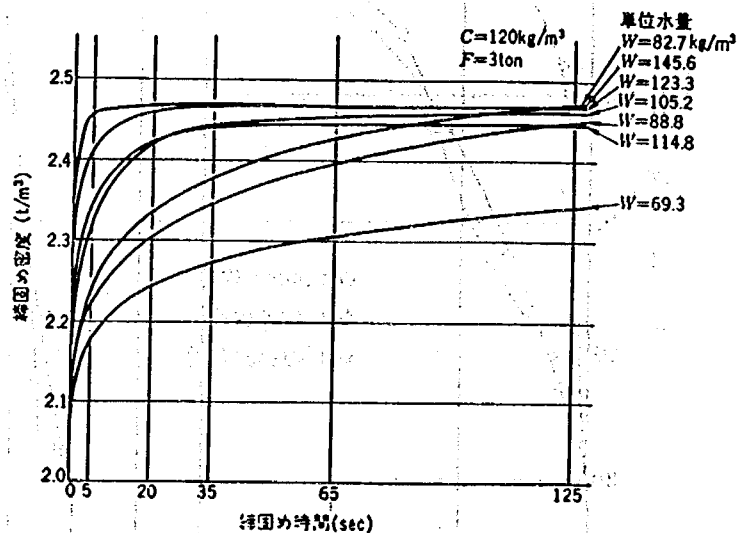


図-4.9 締固め時間と密度（大型供試体試験）

4.4 ま と め

以上の実験を通して次のような締固めに関する特性が明らかとなった。

- (1) 締固めエネルギーが増えるにつれて、RCDコンクリートの密度・圧縮強度共増加する。
- (2) 振動ローラの起振力が一定のもとでは振動数が低い程（振幅が大きい程）、締固め効果が大
きい。これは結果的には振動数が低い程振動輪の振幅が大となり、締固めエネルギーも増加す
ることに対応する。
- (3) 締固めに際し、まき出し層内部の加速度及び圧力の深さ方向の伝播特性から見れば、締固め
を左右するのは加速度よりも圧力である。また圧力は起振力にはあまり左右されず、起振力に
よって生ずる振動輪の振幅に関係する。
- (4) 70～80cmのまき出し厚さの場合、締固めエネルギーが不足していると締固められた層の
強度は下層がやや弱いいわゆる「上強下弱」であるが、あるエネルギー以上になるとこの現象
は解消され、下層の強度が上層を上まわるようになる。
- (5) 軽重量の振動ローラ（4t級以下）を用いると、RCDコンクリートの品質（圧縮強度）に
ばらつきが大きくなる。

すなわちRCDコンクリートの密度・強度を増加し、その品質のバラツキを一定の水準に保つ
には、一定以上の締固めエネルギー（試験施工では実機として7t級程度以上がこれに相当）が
必要であり、締固め効果に最も影響を与える要素は、振動輪の振幅である。

あ　と　が　き

理論上では、単位水量を減らすことにより上層下層が等しい強度のRCDコンクリートの締固め領域があると思われるが、配合上その管理面で非常に厳しいことと、施工上においても施工エリアの広さ、天候、日照等によりかなり限定されること、また大形振動ローラの開発において純機械的な要素の面でも限界があることなどもはっきりしているので、RCDコンクリートの配合も自ずから施工性の有利な方向に進まざるを得ないものと思われる。その方面での懸案となっている不明確な点から逐次解消して行くことに努めるべきだと思われる。

また、一方では、締固め不十分よりもむしろまき出し時の分離が原因と思われる強度のパラツキがあり、現行のブルドーザによるまき出し工法では限界があると思われるので、締固めの問題以前にコンクリートを均一にまき出すことのできる機械の開発も必要と思われる。

謝　　辞

RCDコンクリートの現場における締固め特性を把握するためには、コンクリートの品質、施工条件などを考慮しなければならない。そのため実際の現場での実験が必須となるが、昭和56年度と昭和57年度の2ケ年にわたる現場実験において、東北建設局玉川ダム工事事務所には強力な御支援・御協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表したい。また大型供試体による室内実験の実施（建設機械化研究所構内）及び現場実験の計測等は日本建設機械化協会建設機械化研究所に御協力いただいた。

*参 考 文 献

- 1) 谷本喜一：動的締固め特性，土と基礎 Vol22，No4，Apr，1974，P.11
- 2) RCD工法技術指針(案)：(財)国土開発センター

土木研究所資料第1980号
昭和58年3月(1983年)

建設省土木研究所施工研究室

キーワード RCD, RCDC, 締固め, 振動ローラ, 起振力,

要 旨

本報告はRCD工法に適した振動ローラの締固め条件や施工管理方法を見出すことを目的とし、大型供試体による室内締固め実験及びダム工事現場における現場実験を実施し、RCDコンクリートの締固めに関する実験の成果をとりまとめたものである。



郵便はがき

305-□□

郵便切手
は
い
つ
て
下
さ

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

施工研究室
行

No. 17

配布先氏名

配布先住所



No. 17



土木研究所資料第1980号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

