

2. コンクリートの締固めに関する実験的研究

崎山和隆 木村建治 島垣利久^{*1}
中上明義^{*2} 吉野 弘^{*3}

要 旨

高強度コンクリートの使用は増加の傾向にあり、それに伴って、施工上の問題点の解決が急がれている。その中で、締め固めに使用するバイブレーターの効果と使用方法の検討について、 $F_c 420 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートを使用して一連の実験を行うとともに、今後、使用が予想されるバイブレーター機種についても性能確認の実験を行った。その結果をここに報告する。

以下では、その1に棒型バイブレーターによる高強度コンクリートの分離性状、その2にバイブレーターのモーター機構の違いによる効果の比較についての研究結果が述べてある。

キーワード

バイブレーター／高強度コンクリート／加速度／距離減衰／粗骨材ふるい分け／画像解析／マイコン

目 次

その1 棒型バイブレーターによる高強度 コンクリートの物性と分離性状	その2 バイブレーターのモーター機構の違いに よる効果の比較
1.1 はじめに	2.1 はじめに
1.2 実験方法	2.2 実験方法
1.3 実験結果および考察	2.3 実験結果および考察
1.4 まとめ	2.4 まとめ
	3 あ と が き

2. EXPERIMENTAL STUDY ON CONCRETE COMPACTION

Kazutaka Sakiyama Kenji Kimura
Toshihisa Shimagaki Akiyoshi Nakagami
Hiroshi Yoshino

Abstract

High-strength concrete is increasing widely used, which urges solutions to application problems. We conducted a series of experiments using $F_c = 420 \text{ kgf/cm}^2$ high-strength concrete to examine the effect and usage of vibrators used for concrete compaction, and also to confirm the performance of models of vibrators expected to be used. The following are our findings.

Chapter 1 describes the condition of high-strength concrete separated by the rod-type vibrator, and Chapter 2 deals with the results of the research on a comparison in effect among vibrators of different types of motor mechanisms.

^{*1} 東京本店建築部技術課 ^{*2} 東京本店建築部 ^{*3} 東京本店プレハブ工場

その1 棒型バイブレーターによる高強度コンクリートの物性と分離性状

1.1 はじめに

近年、コンクリートは高強度化の傾向を示しているが、打込まれた高強度コンクリートの品質確保については高度な管理が要求される。特に、粘性の高い、高強度コンクリートをどのように締固め密実な充填を図っていくかが重要な管理項目となる。コンクリートの締固め機器としては、通常、バイブレーターが使用されているが、そのバイブレーターの締固め効果を把握して、適正な使用方法を決めることは、施工面で必要とされる項目の一つにあげられる。

本報告では高強度コンクリートを締固める場合、バイブレーターの種別によってどのように振動特性が違つか、また加振時間により、あるいは鉄筋の有無によってコンクリートの物性がどう変化するかを調査した結果について述べる。

1.2 実験方法

(1) コンクリートの調査

使用した高強度コンクリートの調査を表-1に示す。混和剤は高性能A E減水剤を使用した。

表-1 調査表

呼び強度	W/C %	S/A %	スランプリューン cm	空気量 %	W kg/m ³	C kg/m ³	S kg/m ³	G kg/m ³	混和剤
435	40.0	44.3	18±2.5	4±1	165	413	768	980	SP-9HS

(2) 使用バイブレーターの種類

使用したバイブレーターの種類を表-2に示す。

作業所では、一般にインダクションモーター内蔵のインヘッダー型高周波バイブレーターが使用されており、振動筒径は40φ～50φのものが大半を占めている。したがって、本実験ではこの機種に限定することとし、振動筒径50φについては2社のメーカーのものを、振動筒径40φについては2種類の形状のものをを使って比較実験を行った。

表-2 バイブレーターの機種

記号	振動筒径	振動数 (VPM)	形状	メーカー
50H	50φ	12000	棒型	H社
50M	50φ	12000	棒型	M社
40M	40φ	12000	棒型	M社
40B	40φ	12000	槍型	M社

(3) 実験項目

(a) バイブレーターの振動特性

バイブレーターの振動特性値としては、コンクリートの加速度を採用することとし、バイブレーターの種類別による加速度の測定を行った。

実験は、図-1に示すように、試験体(4体)の中央にバイブレーターを挿入し、同図に示す位置に設置した加速度計にてコンクリートの加速度を測定した。挿入開始から引抜き完了までの加速度を連続的に記録して波形解析を行った。加速度は全振幅値(-P～P)を、平均値は挿入後6秒から10秒のパワーレベルの平均値を採用した。(2・1式による)。

$$L = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad \dots\dots (2 \cdot 1)$$

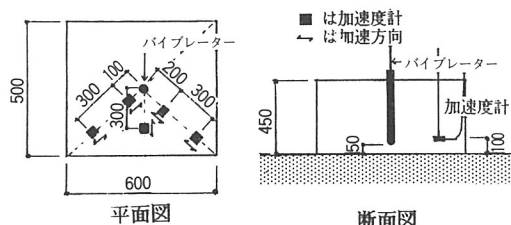


図-1 加速度計の埋設位置

(b) 加振時間によるコンクリートの物性の変化

適切な加振時間を設定するために、コンクリートの1カ所にかかる加振時間を変えて加振が骨材の分布に与える影響を調査した。試験体(ふるい分け試験用5体、コア採取用5体)の中央にバイブレーター(40B)を挿入し、試験体ごとに加振時間を10秒、15秒、20秒、30秒、40秒間とした。加振後、図-2に示す位置で、採取筒によりフレッシュ状態のコンクリート(120×120×450 mm)を採取しその重量を計量した。その後5mmふるいで粗骨材をふるい分け、粗骨材を絶乾状態にした後、その重量を計量した。

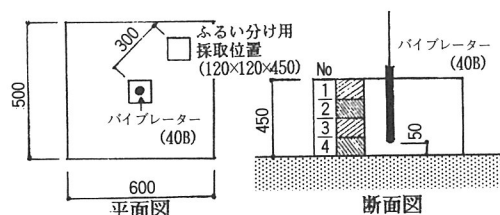
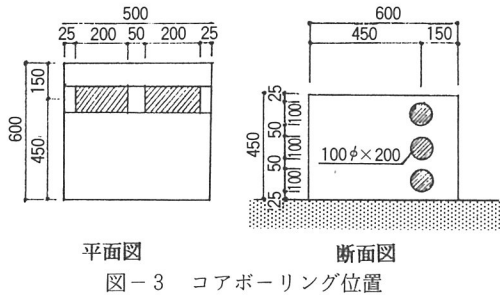


図-2 粗骨材ふるい分け試験位置

分離の傾向をみるためフレッシュコンクリート重量に対する粗骨材絶乾重量の比を求め、さらに材令28日におけるコア供試体(図-3)の比重と圧縮強度を測定し加振時間による影響を調査した。



(c) 鉄筋の有無によるコンクリートの物性の変化

通常、構造用体は配筋されているため、無筋の状態で行う実験値との差異が考えられる。前項では無筋の状態で行った実験を行ったが、有筋の場合、どんな違いが出るか検証するため、同じ形状の供試体で比較実験を行った。

実験にあたり、図-4の実物大の柱試験体(有筋・無筋別にふり分け試験用とコア採取用各1体ずつ、計4体)を作成し、コンクリートの打込みは4層に分けて行い、1層の打込み高さを600mmとした。バイブレーターは槍型(40B)のものを4本同時に使用し、加振時間を1層につき15秒間とした。分離の評価は、採取筒によるふり分け試験およびコア供試体の切断面で計測した粗骨材画像解析結果を用いて、粗骨材の分布の比較を行った。また、材令28日でのコア供試体の圧縮強度および比重を測定し、比較を行った。コア供試体は試験日の4~5日前に採取し、両端面のカットおよび研磨を行い、以後は試験日まで現場気乾養生とした。図-4に試料採取位置を、図-5に供試体の位置と番号を示す。

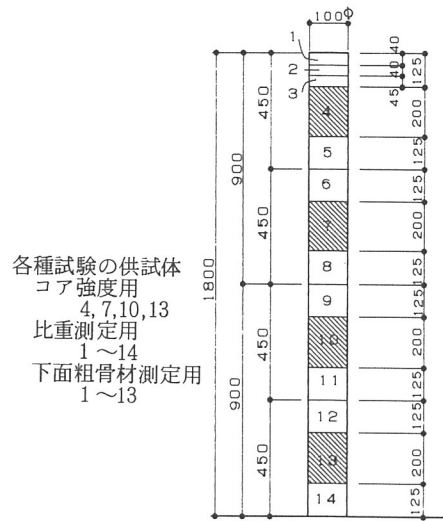
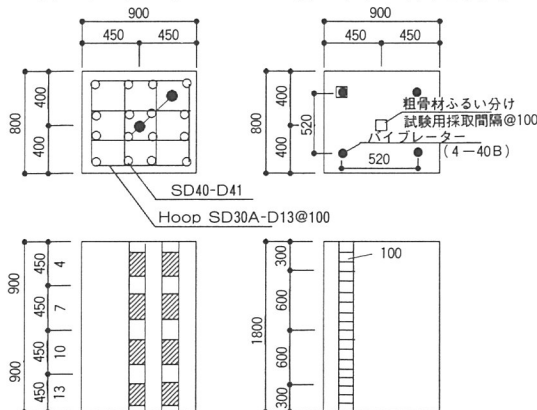


図-5 各種試験に該当する供試体番号

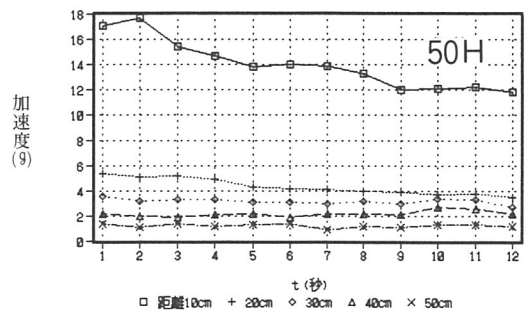
1.3 実験結果および考察

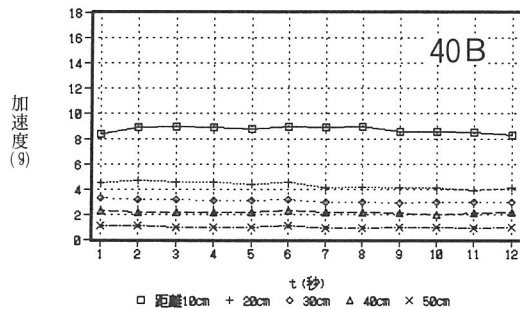
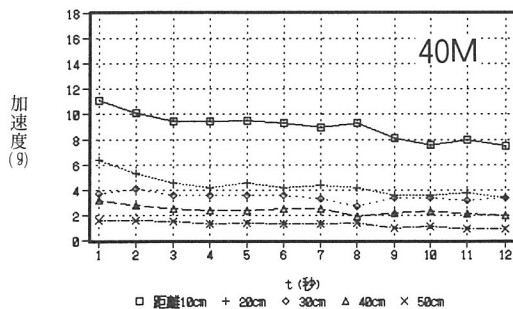
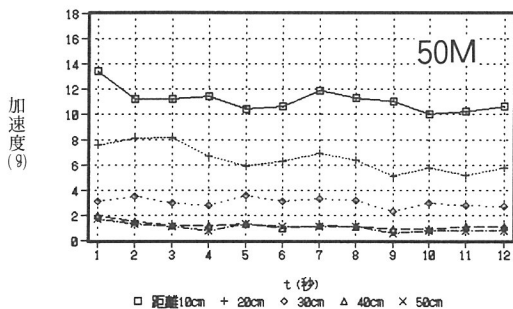
硬化コンクリートの物性値として下表の値が得られた。

材 令	7 日		28 日		91 日	
	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ³ kgf/cm ²	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ³ kgf/cm ²	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ³ kgf/cm ²
標準養生	488	3.48	581	3.77	582	3.76
現場水中	432	3.23	560	3.65	593	3.80

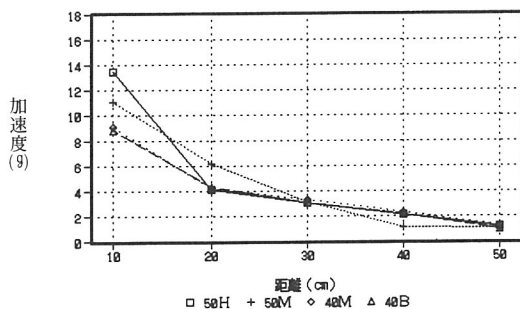
(1) バイブレーターの振動特性

加速度の経時変化を図-6に、距離による伝播減衰を図-7に示す。加速度は、振動筒の径が大きいほど大きい値を示し、加振時間が経過するにつれ小さくなる傾向にあるがその程度は小さい。距離による減衰について、振源からの距離が20cm以内では、径が大きいと大きく、距離が30cm以上になると、径による減衰の差はみられなかった。





図－6 加速度の経時変化



図－7 距離による伝播減衰

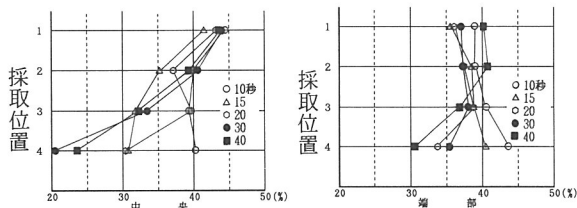
(2) 加振時間によるコンクリートの物性の変化

バイブレーターの加振時間を変化させて採取したコア供試体(100φ×200mm)の比重と圧縮強度結果を表－3に、粗骨材ふるい分け試験結果を図－8に示す。比重・圧縮強度共、高さ方向に対して下部が大きい値を示している。ふるい分け試験では、加振時間の増加と共に分離傾向を示し、特に30秒以上の加振時間では分離が著しかった。

表－3 コアの圧縮強度(kgf/cm²)および比重

(表の数値は供試体2本の平均値)

採取位置	項 目	加 振 時 間 (秒)				
		10	15	20	30	40
上部	圧縮強度	554	506	522	552	542
	比 重	2.36	2.34	2.35	2.34	2.34
中央	圧縮強度	590	573	554	562	582
	比 重	2.36	2.35	2.36	2.36	2.36
下部	圧縮強度	600	548	582	598	527
	比 重	2.37	2.36	2.37	2.36	2.37



図－8 粗骨材ふるい分け試験

(3) 鉄筋の有無によるコンクリートの物性の変化

コア供試体の圧縮強度結果を表－4に、比重を表－5に示す。コア強度、比重とも鉄筋の有無による差は明確にみられなかった。

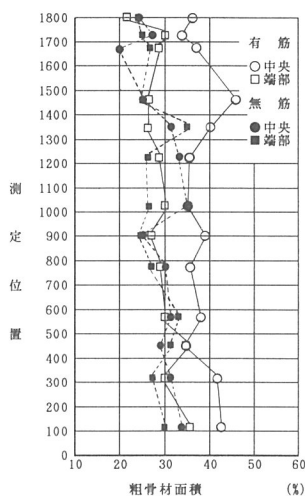
粗骨材画像解析結果を図－9に、粗骨材ふるい分け試験結果を図－10に示す。この両結果からも鉄筋の有無による影響は明確にみられなかった。また、有筋・無筋とも粗骨材の分布は高さ方向にほぼ均一な性状を示し、コア強度、比重についても良好な分布を示している。このことは、標準的な仕様で施工を行えば打込み高さの大きい部材についても問題はないことを示している。無筋での資料も、有筋での資料として十分使用できることが分かった。

表－４ コア供試体の圧縮強度結果

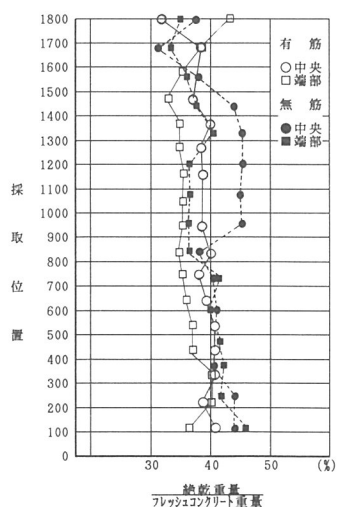
No.	無筋柱の強度 (kgf/cm ²)		有筋性の強度 (kgf/cm ²)	
	端部	中央	端部	中央
4	503	553	551	587
7	468	558	475	551
10	452	523	487	531
13	571	544	525	528
Av	498	544	510	549

表－５ コア供試体の比重

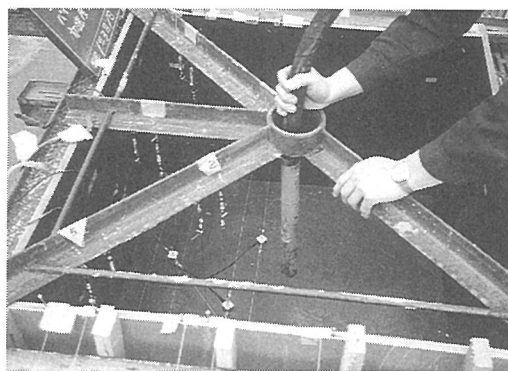
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
無筋 端部	2.31	2.32	2.33	2.35	2.34	2.34	2.35	2.35	2.36	2.36	2.37	2.36	2.33	2.39
無筋 中央	2.33	2.33	2.32	2.38	2.34	2.38	2.39	2.38	2.37	2.34	2.33	2.35	2.36	2.40
有筋 端部	2.32	2.34	2.34	2.35	2.35	2.36	2.35	2.35	2.36	2.36	2.39	2.41	2.41	2.40
有筋 中央	2.34	2.38	2.39	2.30	2.39	2.39	2.38	2.37	2.36	2.36	2.39	2.38	2.37	2.37



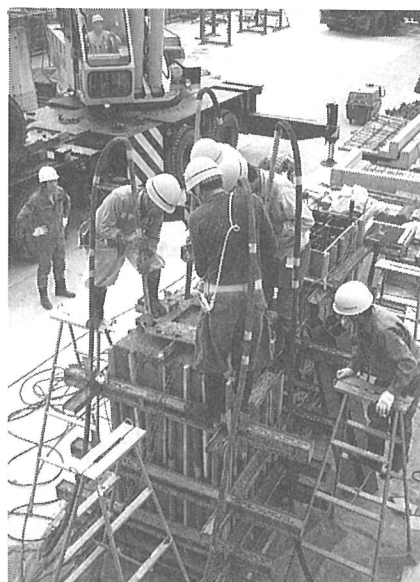
図－９ 粗骨材画像解析結果



図－10 粗骨材ふるい分け試験結果



加速度計と加振方法



試験体のコンクリート打設

1.4 まとめ

本実験結果から概略次のことが分かった。

- ① 振動特性は、メーカーおよびバイブレーターの形状による差異はあまり見られなかったが、振動筒径の違いによる影響が大きく、振動筒径の大きい方が加速度、伝播範囲とも大きい。
- ② 同一場所で30秒以上の加振は材料分離の傾向を示す。
- ③ 振動筒径 40 φ および 50 φ では挿入間隔 60 cm 以下、加振時間は 1 カ所につき 15 秒間前後とすれば良好な品質が確保できる。
- ④ 供試体の鉄筋の有無による差異はほとんど見られない。

参考文献

- 1) 建設機械と施工法シンポジウム論文集 落合他
昭和 53 年度 No.11

その2 バイブレーターのモーター機構の違いによる効果の比較

2.1 はじめに

コンクリートバイブレーターは、モーター機構によって種別されている。従来から、作業所ではインダクションモーター内蔵の高周波バイブレーターが主として使用されていたが、最近になってマイコン制御のマグネットモーター内蔵の高周波バイブレーターが開発され使用されている。これは使用電圧が100Vで、インバーター内蔵の制御器が軽量小型で、負荷による振動数の低減がないなどに特徴がある。本報告では、モーター機構の異なる上記2種類のバイブレーターを圧縮強度435 kgf/cm²、スランプ18cmのコンクリート（以下これを高強度コンクリートと記す）と圧縮強度270 kgf/cm²、スランプ8cmのコンクリート（以下これを低スランプコンクリートと記す）とを使用して、それぞれのコンクリートの振動伝播特性および強度について調べた結果を報告する。

2.2 実験方法

(1) コンクリートの調合

コンクリートは表－6の調合のレデーミクストコンクリートを用いた。

表－6 調合表

呼び強度	W/C	S/A	スランプ	空気量	W	C	S	G	混和剤
	%	%	cm	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	
435	40.0	44.3	18	4.0	165	413	768	980	SP-9HS
270	54	45.4	8	4.0	162	300	833	1020	Na 70

(2) 使用バイブレーターの種類

使用したバイブレーターの種類を表－7に示す。振動筒径は通常、作業所で使用される範囲の30φ、40φおよび50φのものを使った。

表－7 使用バイブレーターの種類

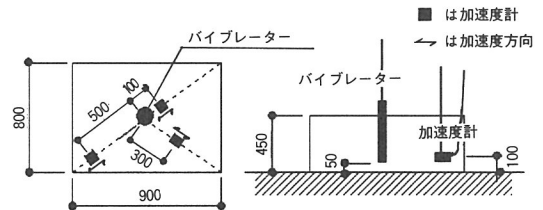
振動筒径	30φ	40φ	50φ	内蔵モーター
記号	30M	40M	50M	マグネット
	30I	40I	50I	インダクション

(3) 使用測定器

- ① 加速度計 (東京測器 AR-C)
- ② 動ひずみ測定器 (共和電業 DPM-6H)
- ③ 電磁オシロ (共和電業 RMV-510A)
- ④ その他 (V, A, W, VPM測定器)

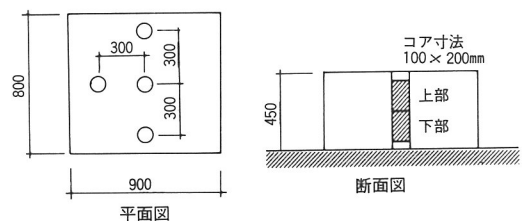
(4) 試験方法

試験体数は図－11に示す大きさのもの（900×800×450）とし、高強度コンクリート用のものを6体、低スランプコンクリート用のものを4体作成した。実験は同図に示すように、コンクリート試験体の中央にバイブレーターを挿入し、15秒間加振して加速度計によりコンクリートの加速度を測定した。加速度は全振幅値（-P～P）で表し、距離減衰は挿入後6～10秒間のパワレベルの平均値を採った。



図－11 加速度計の埋設位置

また、別にマグネット型バイブレーターの効果を確認するために、図－12に示す試験体を高強度コンクリート用3体、低スランプコンクリート用2体作成し、材令28日に試験体から採取したコア供試体（100φ×200mm）の圧縮強度を測定し比較を行った。



図－12 コアボーリング位置

2.3 実験結果および考察

フレッシュコンクリートの荷卸し時の試験結果を表－8に、硬化コンクリートの圧縮強度を表－9に示す。

また、マグネット型バイブレーターを使った試験体のコア圧縮強度を表－10に示す。

表－8 フレッシュコンクリートの荷卸し時試験

呼び強度	スランプcm	温度(℃)	空気量(%)	フロ－(cm×cm)
435	17.0	24.0	3.3	28.0×27.5
270	8.0	22.0	3.0	—

表－9 硬化コンクリートの強度 (kgf/cm²)

呼び強度	養生方法	7日	28日
435	標準養生	401	492
	現場水中	370	475
270	標準養生	255	344
	現場水中	229	331

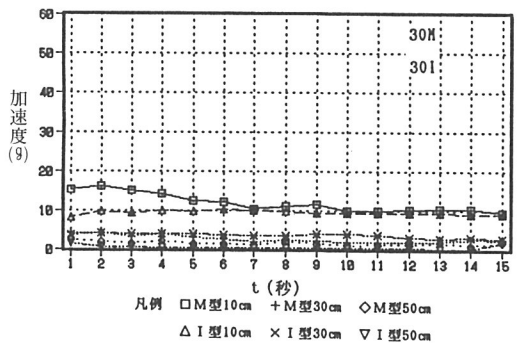
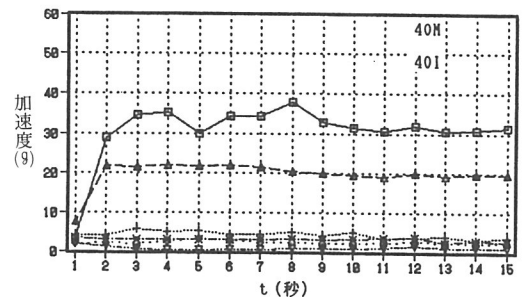
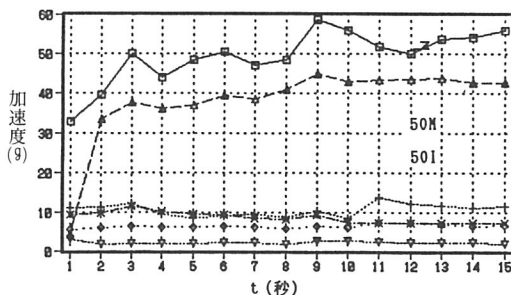
表－10 コア供試体の圧縮強度

(端部については3本の平均値、中央は1本の試験値)

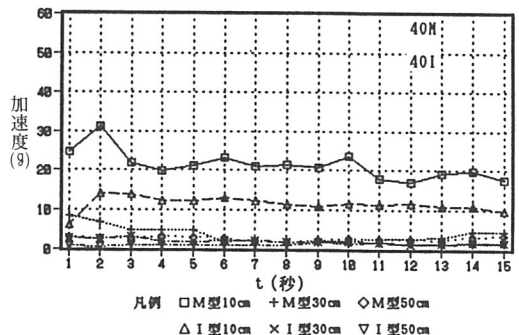
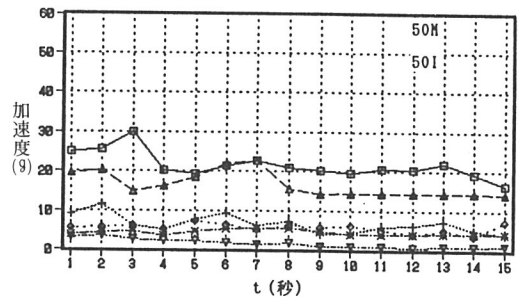
呼び強度	機 種	端部 (kgf/cm ²)		中央 (kgf/cm ²)	
		上 部	下 部	上 部	下 部
435	50 M	542	541	553	582
	40 M	527	511	550	571
	30 M	451	541	546	500
270	50 M	306	316	347	351
	40 M	327	306	346	343

加速度の経時変化を図－13および図－14に、距離による伝播減衰を図－15に示す。振動筒径による効果および経時による加速度の傾向は前項の実験結果と同様であって、バイブレーターの種別による加速度は、マグネット型がインダクション型より各径共大きな数値を示した。特に50φ、40φでその差が大きく、30φでは差が小さい。

コンクリートの種別による違いは、高強度コンクリートの方が、高い加速度を示し、径別による差が著しい。低スランプのコンクリートでは、径別による差が小さい。距離による減衰は振源に近い範囲内で径が大きいほど著しく、距離が30cm以上になると径別による差は小さかった。また、低スランプのコンクリートでは、径別による差は明確にでなかった。



図－13 高強度コンクリートにおける加速度の経時変化



図－14 低スランプコンクリートにおける加速度の経時変化

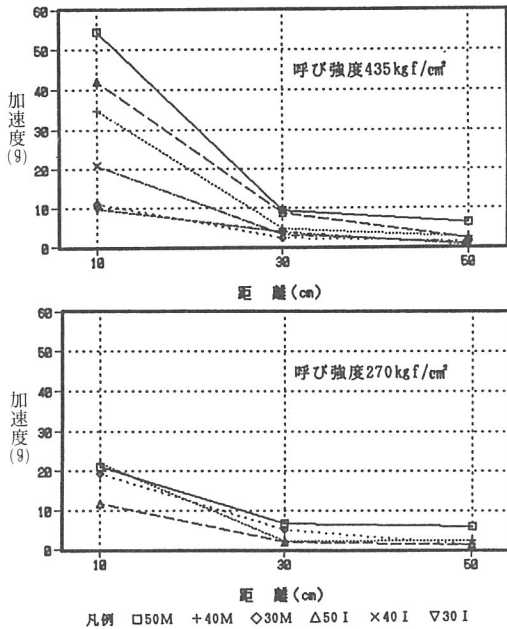
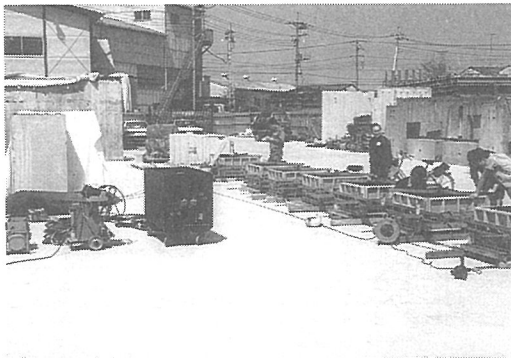


図-15 振動による距離減衰



実験全景



マイコン制御のマグネット型バイブレーター

2.4 まとめ

本実験結果から次のことが分かった。

- ① コンクリート内の加速度はマグネットモーター内蔵のものがインダクションモーター内蔵のものに比べ、各径共高い数値を示す。
- ② 距離による効果についてもマグネット型のものがインダクション型のものに比べ、良好である。
- ③ 振動筒径の大きいものほど効果が大きい。

3. あとがき

一般に、締固めに必要なコンクリートの加速度は、1～2 Gといわれている。本来は、この必要加速度値を検証してから、バイブレーターの性能とコンクリートの関係を調査し、使用方法を検討すべきであるが、今回は、検証は行わずにバイブレーターの性能とコンクリートの品質に限定して行った。

これは、コンクリートの締固めに及ぼす要因が加速度の大きさのみでなく、加振時間、コンクリートの配合、種類、練り置き時間等多岐にわたると考えられること、および施工にとって最も必要なのは有効な使用方法であるとしたためである。

マグネットモーター内蔵のバイブレーターの方がよい結果を得られていることから、これからはこの機種のもの使用が多くなっていくと思われる。性能の優位さだけでなく、作業所の仮設設備が簡易に済むというメリットもある。

今後はさらに $F_c 600 \sim 800 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度なコンクリートについて実験を行い、バイブレーターの効果とコンクリートの物性との関連について調査を進め、高強度コンクリートの締固めに関する仕様の作成を行っていきたいと考えている。

最後に、本実験に際して共同研究していただいた三笠産業(株)技術研究所ならびに御指導をいただいた東京理科大学の清水研究室に心から感謝いたします。