

## PCCV のコンクリート施工性試験

藤井 忠 義\*  
 長瀬 哲 夫\*\*  
 吉森 美 成\*\*\*

日本原子力発電敦賀発電所2号機 PCCV の工事は日本で最初の PCCV であり、過去の原子力発電所工事に前例のない高強度、低スランプのコンクリートを打設するため、事前に実大試験壁の一部を取り出したコンクリートの打設試験およびパイプレタによるコンクリートの振動締めに関する施工性の試験を行い、それらの結果を実際の工事に反映した。ここでは PCCV のコンクリート工事に関して行ったコンクリートの施工性試験について述べる。

### 1. コンクリートの打設試験

#### 1.1 目 的

敦賀原発2号機 PCCV のコンクリートは過去の原発工事に例のない高強度 ( $F_c=420 \text{ kg/cm}^2$ )、硬練り (スランプ 8 cm) のコンクリートであり、実機のコンクリート打設では困難が予想される。そのため、円筒壁部分のコンクリートの打設性を確認し、実際のコンクリート工事の施工管理、品質管理上の基礎資料を得ることを目的に打設試験を行った。

実機の円筒壁脚部から鉄筋、シース、ペネトレーション等が最も混み合い、コンクリート工地上最も入念な作業が要求される幅 10 m、高さ 3 m、壁厚 1.3 m の部分を取り出し、鉄筋、シース、ペネトレーション等を実機相当に組み立てて規定されたワーカビリティのコンクリートを打設し、試験体製作時の作業性、コンクリート打

表-1 コンクリートの調合

W/C (%)	S/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位水量 ( $\text{kg/m}^3$ )	セメント ( $\text{kg/m}^3$ )	フライアッシュ ( $\text{kg/m}^3$ )	細骨材 ( $\text{kg/m}^3$ )	粗骨材 ( $\text{kg/m}^3$ )	混和剤 ( $\text{g/m}^3$ )
44.0	42.2	8.0	4.0	156	284	71	743	1070	888

設時の作業性の検討を行った。

#### 1.2 方 法

##### (1) 試 験 体

実機の円筒壁脚部の一部を試験体とし、長さ 10 m、高さ 3 m でベースマット上端より 2.5 m 上がりの位置を供試体の下端とし、壁厚は 1.3 m である。

この試験体に鉄筋、シース、型枠、ペネトレーション、ライナアンカ等を実機相当に組み立て、規定された強度、ワーカビリティのコンクリートを 1.5 m の高さまで一層 30 cm の 5 層打ちで打設する。試験体の平面、断面図を図-1、2 に示す。

##### (2) 使用材料

##### ① コンクリート

$F_c=420 \text{ kg/cm}^2$ 、スランプ 8 cm の生コン  
 セメント：フライアッシュ B 種  
 骨 材：細骨材 5 mm 木更津産山砂  
 20 mm 大船渡産碎石  
 混 和 剤：ポゾリス No. 8  
 調 合：表-1 に示す。

##### ② 鉄 筋

D 51 太径異形鉄筋 (縦筋、横筋とも)、ほかにラジアルタイヤペネトレーションまわりの補強筋あり。

##### ③ 型 枠

合板 厚さ 12 mm

##### ④ ライナおよびライナアンカ

ライナは合板型枠で代用。ライナアンカは鋼製、T 形

##### ⑤ シ ー ス

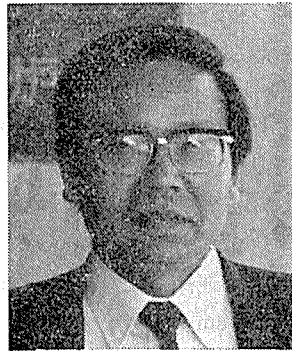
直径 150 mm、厚さ 1 mm の鋼製スパイラルシース (亜鉛メッキ)

##### ⑥ ペネトレーション

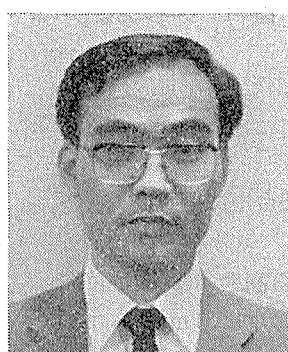
$\phi 150 \text{ mm}$  7 本、 $\phi 300 \text{ mm}$  3



\* Tadayoshi FUJII  
 清水建設(株)技術研究所



\*\* Tetsuo NAGASE  
 清水建設(株)原子力本部



\*\*\* Yoshinari YOSHIMORI  
 清水建設(株)建築本部

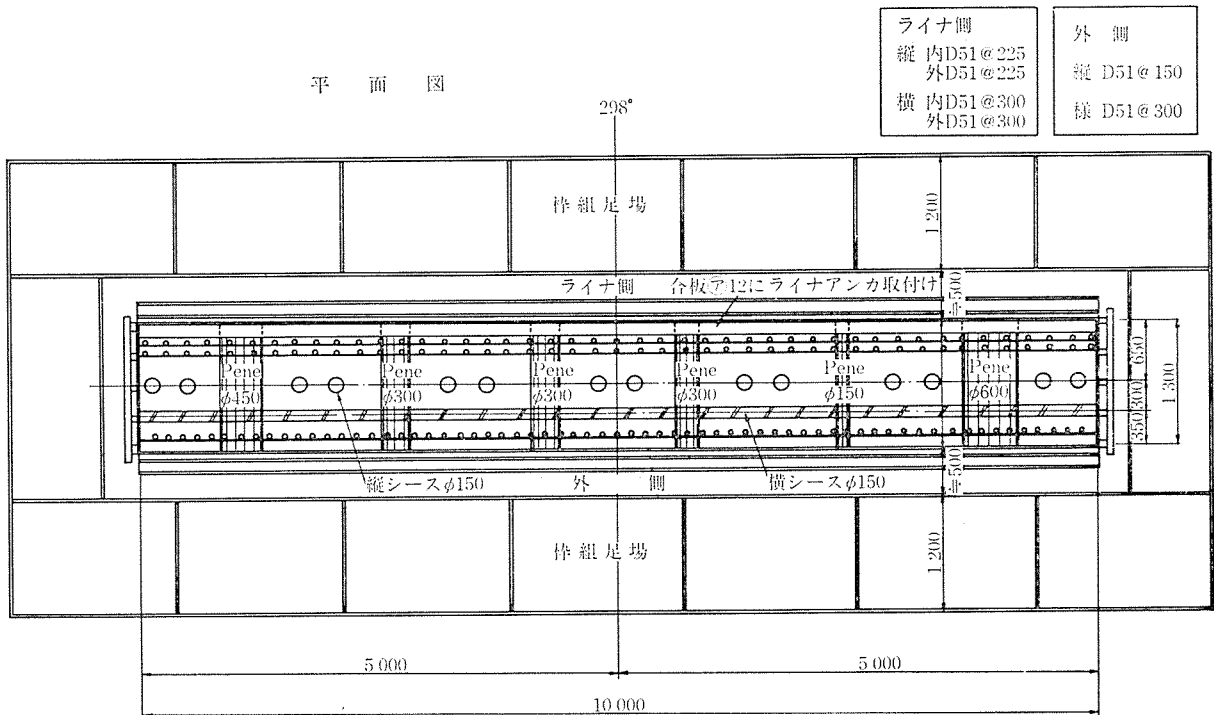


図-1 コンクリート打設試験体概要図

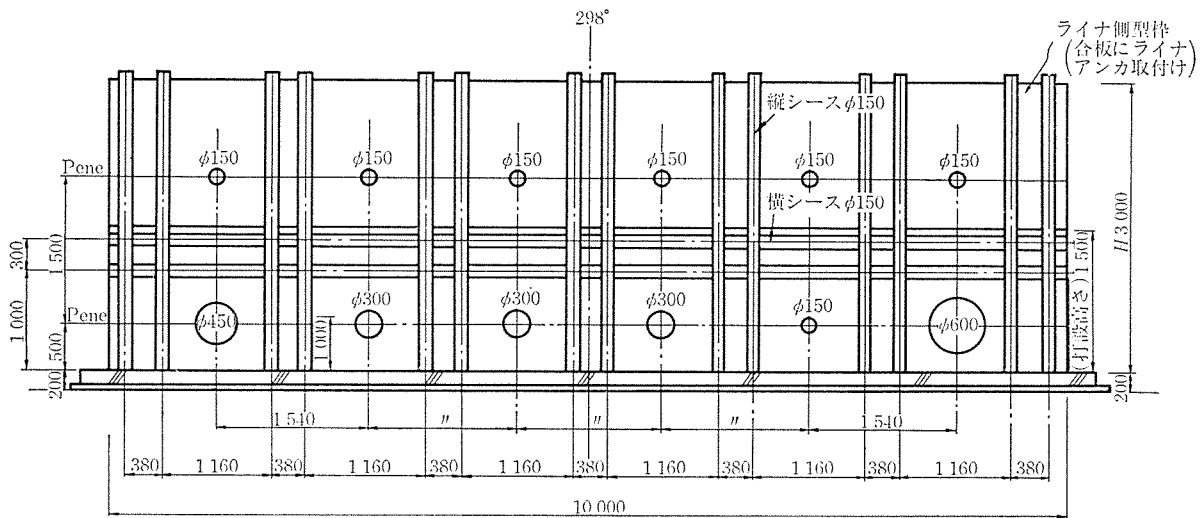


図-2 シースおよびペネトレーション配置立面図

本,  $\phi 450$ ,  $600$  mm 各1本; すべて鋼管で補強リブ付き

⑦ その他

水平シースおよび水平鉄筋受架台用に鋼製アングル

(3) 打設方法

コンクリートはポンプで地上から高さ 6.2 m の位置まで圧送し, 試験体上部の水平配管中に 3 m ピッチで 3 台配置した米国製ゲートバルブからゴム製フレキシブルホースまたは塩ビパイプ半割りの斜めシュートを介し

て高さ 3 m 位置の受けホップに落下させた。ゲートバルブは鋼製配管に直交する形で開口があり, 開口からコンクリートが流れ出る形式のもので米国の原発工事で多く使用されている。受けホップから垂直シュートとして  $\phi 250$  mm のサニーホース中を通してコンクリート打設位置まで運搬した。サニーホース先端からの自由落下高さは 80 cm である。なお, ポンプ圧送用配管は 5 インチで水平換算圧送距離は 159 m である。図-3, 4 参照。

打設は長さ 10 m を各ゲートバルブに対応して 3 ブロ

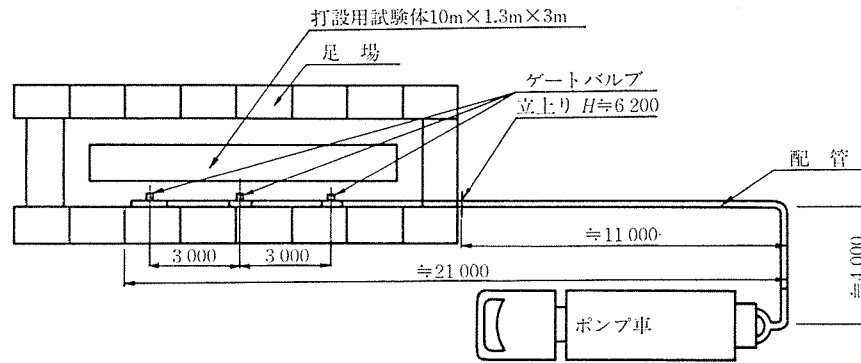


図-3 配管レイアウト

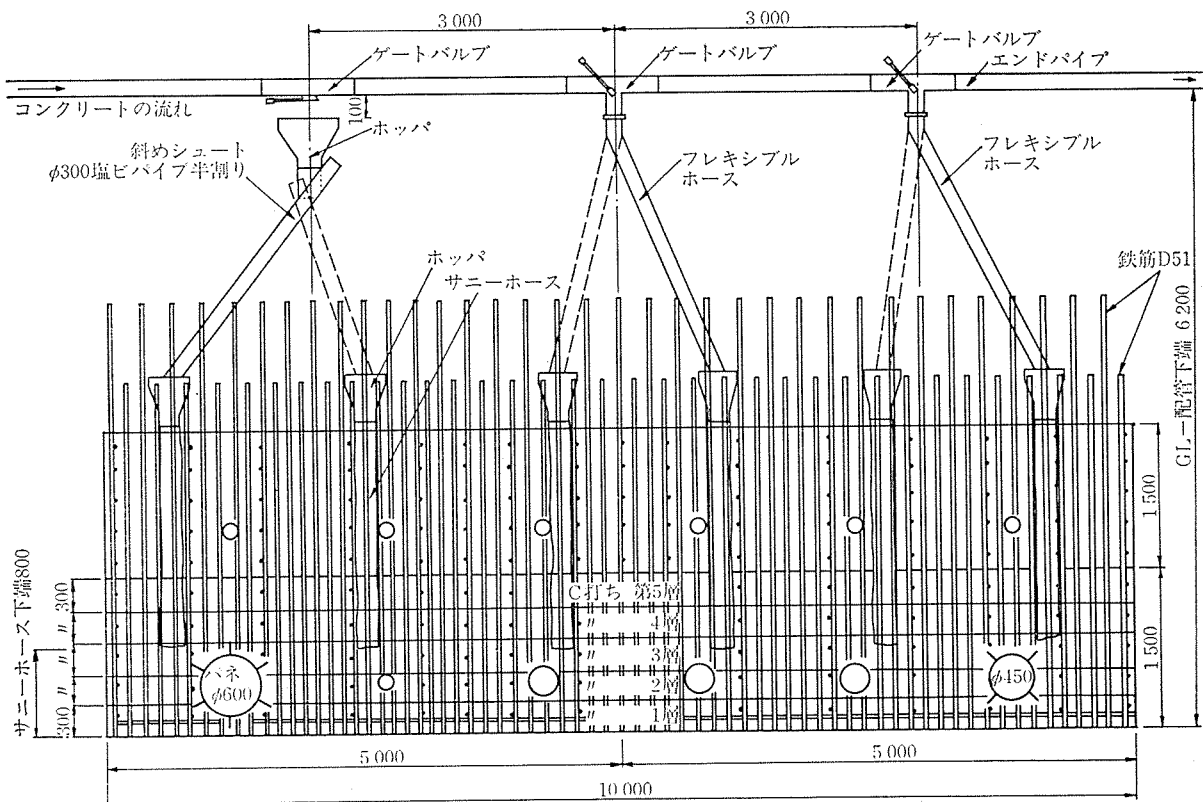


図-4 配管、ホッパ配置立面図

ックに分けて打設し、1層の厚さを30 cmとして5層で計1.5 mを完全層打ちとした。コンクリート打設の進行につれて打設位置が高くなるため、サニーホースを順次切断した。打設スピードは実機の打設を想定して25 m<sup>3</sup>/hrとし、各層間の打重ね時間は40分とした。

振動締固めは各ブロックに対応して3班(各班4人)で行い、高さ3 mの作業足場からパイプレタを落とし込む形で行った。パイプレタは筒先径φ57 mmの棒状パイプレタを各班3台の割合で使用し、φ40 mm、φ80 mmのパイプレタを補助的に使用した。締固め方法は約30 cmピッチでコンクリート中に約10 cmパイプレタの筒先を挿入し、約10秒間締め固めた。

### 1.3 結果

#### (1) 打設性能の把握

本実験からコンクリートの打設に関し、以下の点が明らかになった。

##### ① 層打ち

厚さ30 cmの層打ちで打重ね時間40分で打設することにより、コールドジョイントやジャンカを発生することなく、所定の時間内に十分打設が可能となった。また、ペネトレーションの下部やライナアンカの裏側等のコンクリートの充てんが困難な箇所も、層打ちで十分振動締固めを行うことにより、良好な充てん状況が得られた。

② ゲートバルブの開閉の切替え

ゲートバルブによるコンクリート打設は過去に日本で実施されておらず、その開閉の切替えについて実験で検討した。ゲートバルブの開閉の切替えは圧送配管の先端部から手前に向かって順次開放し、手前に達すると再度先端部に戻り、同様な手順で順次開閉を切り替える方法でコンクリートが打設できることがわかった。

すなわち、常時1台のゲートバルブのみが開放された状態でコンクリートを打設し、配管先端部に留まったコンクリートが硬化しない配慮をし、ゲートバルブコーナーの入りすみ部にコンクリートが詰まらないように配慮することが重要なことがわかった。

③ 打設の所要時間と人数

試験体打設に要した時間を表-2に示す。コンクリート量 19.5 m<sup>3</sup> の打設に 137 分要し、打設スピードは 8.5 m<sup>3</sup>/hr である。今回は実験工事のため、観察やゲートバルブ切替えに時間を要したが、実際の打設では 25 m<sup>3</sup>/hr ぐらいの打設は可能と判断できた。

表-2 コンクリート打設の所要時間

層数	高さ (cm)	コンクリート量 (m <sup>3</sup> )	所要時間 (分)	打設スピード (m <sup>3</sup> /hr)	
1層	0~30	3.9	9:15~9:42	27	8.7
2 "	30~60	"	9:55~10:24	29	8.1
3 "	60~90	"	10:35~11:04	"	"
4 "	90~120	"	11:15~11:44	"	"
5 "	120~150	"	11:55~12:18	23	10.2
計	0~150	19.5		137	8.5

所要人員は計 16 名で、その内訳は以下のようである。

- 締固め工 4人×3班=12人
- ゲートバルブ操作員 2人
- 合図連絡係 1人
- 指揮者 1人

大筋としてはゲートバルブ方式でのコンクリート打設の場合、上記の人員構成を基本として考えれば実施できることがわかった。

1.4 実施工への反映

(1) ゲートバルブ方式の採用

実機の PCCV では、リフト高を主に 3m で円筒壁を 4 分割してコンクリートを打設する。そのため円周状に水平配管を配置し、3m ピッチでゲートバルブを設けポ

ンプ車 4 台でコンクリートを打設した。実験で得られたゲートバルブによる打設方式を適用することにより、無事にコンクリート打設を終えることができた。

(2) 低スランプコンクリートの打設

当初はスランプ 8cm の硬練りコンクリートの打設に不安があったが、実験工事を通して完全層打ちでバイブレータ締固めを行うことで密実なコンクリートが打設できることがわかった。実際の工事でも完全層打ちで振動締固めを十分に行うことで無事にコンクリート打設を終えることができた。

2. バイブレータの振動試験

2.1 目的

敦賀 2 号機 PCCV に使用するコンクリートは高強度、低スランプで、打設に当たってはコンクリートの締固めが重要なことから、バイブレータの振動試験を行い、コンクリートの振動締固め性状に及ぼすバイブレータの種類、径、振動時間、振動伝播範囲に関する基礎的データを得、実機のコンクリート工事の振動締固めに反映した。

2.2 方法

(1) 試験体

試験体は 200×90 cm、高さ 50 cm のコンクリートである。本試験体の型枠中央部で底面より 15 cm の位置にバイブレータをセットし、バイブレータ筒先の振動源から所定の位置に加速度計を多数配置した。振動を与えずにコンクリートを型枠内に打設し、バイブレータの振動開始後のコンクリートの振動加速度を加速度計で測定した。試験はバイブレータ径を変えるごとに新しいコンクリートを型枠内に打設して行った。

(2) コンクリート

コンクリートは打設試験に使用したものと同一 W/C = 44%,  $F_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ , スランプ 8 cm の生コンである。

(3) バイブレータ

実験に使用するバイブレータは西独、ワッカー社製のモーター内蔵型の高周波棒状バイブレータで、振動筒の外径は  $\phi 40$ ,  $\phi 57$  および  $\phi 80$  の 3 種類である。

バイブレータの仕様を表-3に示す。

表-3 バイブレータの仕様

機種	振動筒		締固め範囲 (cm)	能力 (m <sup>3</sup> /hr)	振動数 (vpm)	振幅 (mm)	加速度 (G)	出力 (kW)	消費電流 (AMP)	ボルト (V)	重量 (kg)
	外径 (mm)	長さ (mm)									
IREK 0.5 Y/42	40	365	40	12	10 800~12 000	0.8	120	0.42	5.5	48~55	2.5
IREK 1.1 Y/42	57	453	70	25	"	"	"	0.9	1.3	"	5.4
IREK 1.5 Y/42	80	534	95	50	"	"	"	2.1	2.5	"	12.4

(4) 加速度の測定方法

200×90×50 cm の型枠に振動を受けていないコンクリートを打設し、バイブレータで振動を与え、振動源から各位置にセットした加速度計の振動波形を記録し、加速度の大きさを読み取る。加速度計は 1×1×1 cm, 重量 3 g の一軸加速度計で、振動方向が狂わないよう、水糸でゆるく方向付けをしている。加速度計の配置図を 図—5 に示す。

2.3 結 果

外径のバイブレータによる振動源からの距離と加速度の関係を表—4、図—6 に示す。

(1) 締固めの有効範囲

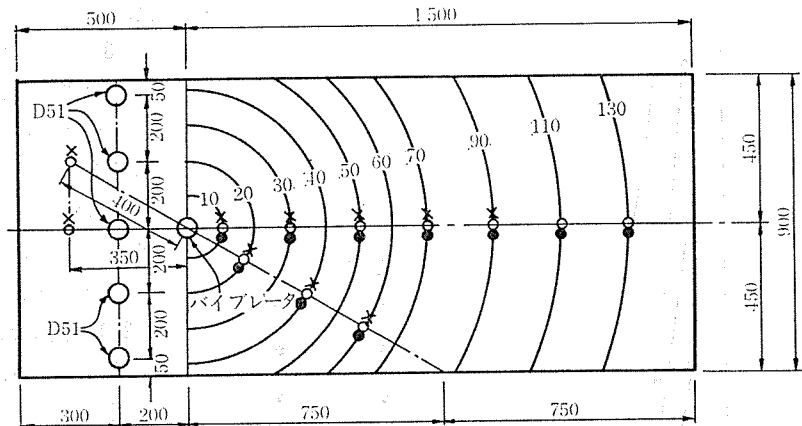
表—5 に各種径のバイブレータによる振動の伝播範囲を示す。振動加速度 1 G を示す範囲は φ80, 57, 40 のバイブレータで各々 75, 48, 19 cm である。1 G を示す範囲はコンクリートが振動を受けて浮き水を生じる範囲と一致し、この範囲内のコンクリートは振動を受けて密実化され、単位容積重量は他より大きく十分な振動締固めを受けていると判断できる。

鉄筋がある場合は無筋コンクリートの場合の 7~8 割の振動伝播範囲を示し、実機の鉄筋を考慮した場合のバイブレータの振動締固め範囲として

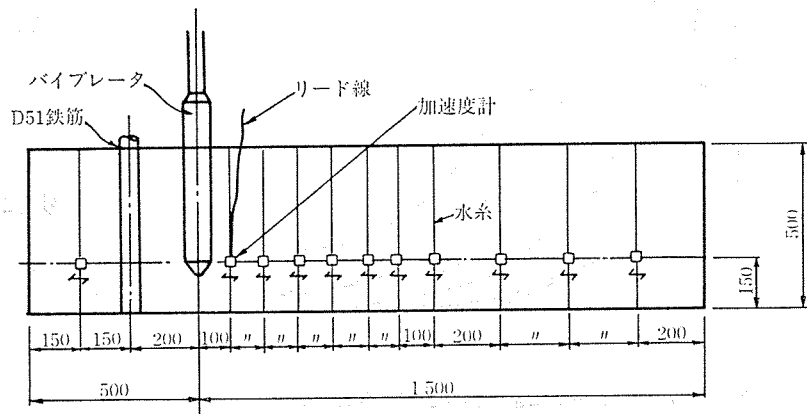
表—4 コンクリートのバイブレータによる最大加速度  
単位: G

コンクリートの種別	バイブレータからの距離 (cm)	バイブレータ径 (mm)					
		φ80			再 振 動		
		φ80	φ57	φ40	φ80	φ57	φ40
無	10	2.0	4.0	13.1	1.3	3.1	5.8
	20	0.9	2.7	4.7	0.7	2.1	3.0
	30	0.5	2.0	3.6	0.4	1.3	2.0
	40	0.4	1.8	2.8	0.3	0.7	1.3
	50	0.2	0.9	2.1	0.2	0.6	1.2
	60	0.1	0.5	1.2	0.1	0.5	1.3
	70	0	0.4	1.3	0.1	0.2	0.9
	90	0	0.2	—	0	0.1	0.3
筋	110	0	—	0.4	0	0.2	0.2
	130	0	—	0.4	0	0	0.1
鉄筋	35	0.3	1.3	—	0.4	0.9	2.1
	40	0.4	1.3	—	0.4	0.7	2.1

再振動は φ40 バイブレータで 30 秒間振動を与えた後、そのコンクリートを用いて φ40, φ57, φ80 の順にバイブレータ振動を 30 秒間与えた。



- : φ40 バイブレータ振動測定位置 (12点)
- × : φ57 " (10点)
- : φ80 " (10点)



← は加速度計検出方向を示す

図—5 加速度計配置図

φ80; 50 cm, φ57; 30 cm, φ40; 10 cm と考えておけば問題ない。

(2) 振動時間

振動による最大加速度は振動開始後 2~3 秒で見られる。また、振動時間が 30 秒と長いと振動源近傍のコンクリートは骨材とモルタルの分離を生じている。しかしこれは振動源の近傍約 10 cm 程度に限られ、実際には分離による強度低下は見られない。今回のような硬練りコンクリートでは逆にジャンカや空隙防止の点から多少

表—5 バイブレータの影響範囲

単位: cm

コンクリート種別	振動加速度 (G)	バイブレータ径 (mm)		
		φ80	φ57	φ40
無筋	2.5 G 以上	43	23	7
	2 G "	51	30	10
	1.5 G "	60	37	13
	1 G "	75	48	19
鉄筋	2 G 以上	41	—	—
	1.5 G "	—	30	—
	1 G "	—	—	—

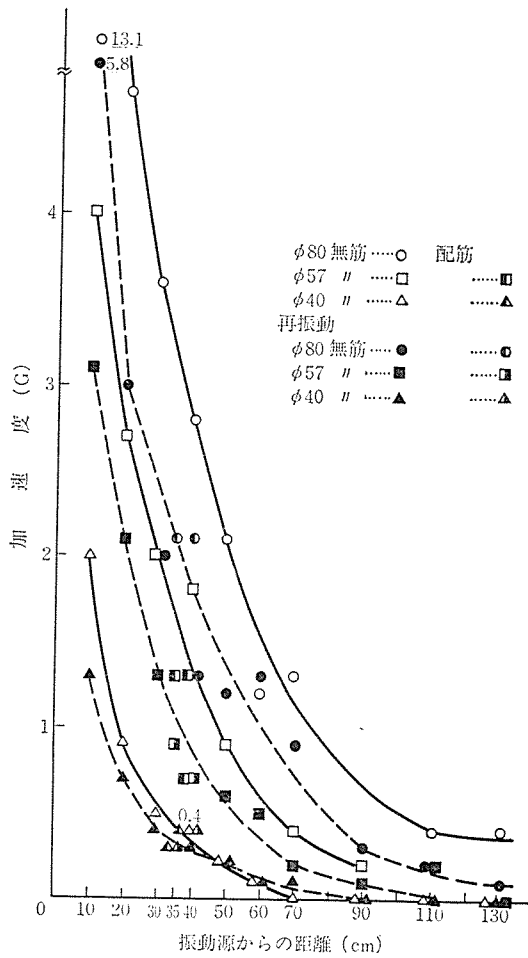


図-6 バイブレータによる距離と加速度の関係

長時間振動を与える方が望ましいと言える。

### (3) バイブレータの径

実験では各種径のバイブレータを高さ 3 m の高所よりコンクリート中に挿入した。バイブレータ径  $\phi 80$  mm が最も締固め効果があったが、重量的に重く、一人で操作するには困難であった。取扱いの点からは  $\phi 57$  mm 径のバイブレータが一人で操作でき、締固め性能もよく、最も望ましいと判断される。

### 2.4 実施工への反映

試験で求めたバイブレータによるコンクリートの最適締固め方法を実機の PCCV のコンクリート打設に反映した。その主な点は、

- 1) バイブレータ径はその効率および取扱いの容易さから  $\phi 57$  mm を主として使用する。
- 2)  $\phi 57$  mm バイブレータの振動伝播範囲は半径 30 cm とし、バイブレータの挿入位置を決める。
- 3) バイブレータの振動締固め時間として最低 10 秒とし、締固め不足の防止の点から十分な振動締固め時間を与える。

### おわりに

今回のコンクリートの施工性試験では多数の方々の協力を得た。誌上を借りて深謝の意を表わします。