

論文 RCセグメント型枠加振方法と固練りコンクリート締固め性能

松浪 康行^{*1}・橋本 博英^{*2}・染谷 洋樹^{*3}・長嶋 文雄^{*4}

要旨：RCセグメント作製時の振動締固めには、型枠を振動台と一体化させた加振方法と、分離して型枠を自由に移動させながら加振させる方法がある。本論文は、このような加振方法の違いが固練りコンクリートの締固め性能に与える効果を明らかにすることを目的としたものであり、型枠の振動加速度や型枠内部に作用する圧力分布などの実測、圧力波形の振幅確率密度分布解析を通して、締固め加振効率に関する比較検討を行ったものである。

キーワード：RCセグメント型枠、締固め加振効率、応力分布特性、周波数分析

1. はじめに

RCセグメントの製造には、スランブ 2cm から 3cm の固練りコンクリートが用いられ、締固め振動台により、コンクリートを型枠ごと加振して締固める方法が用いられている。RCセグメント型枠は、鋼製であり、型枠に要求される性能のひとつに、コンクリート締め固め時の振動に対する耐力がある。しかし、RCセグメント型枠の設計手法は、十分に確立されておらず、未だ振動に対する定量的な設計は行われていない^{1), 2), 3), 4)}。

また、固練りコンクリート締固めのための型枠加振方法についても、締固め振動台上で型枠を自由加振させる「分離式」と締固め振動台と型枠を固定して加振する「一体式」の2種類が存在する。分離式は、締固め振動台の上に型枠を載せて加振するため、型枠の大きさ（製造するRCセグメントの大きさ）に比較的自由度が大きい。設備が大型になる。一体式は、締固め振動台と型枠をクランプして一体化するため、締固め振動台の大きさにより、型枠の大きさに制限を受けるが、設備は比較的簡易である。固練りコンクリートの締固め性能を評価するためには、これらの加振方法について、締め固め振

動台の型枠へ伝達する加速度伝達係数、型枠内部に作用する圧力分布特性の比較を行う必要がある。

そこで、RCセグメント型枠加振方法が固練りコンクリート締固め性能に与える効果を把握するために、RCセグメント用鋼製型枠に圧力計、加速度計を取り付け、固練りコンクリートの締め固め性能に関する比較検討を行った。

2. 加振方法

振動試験方法は、一般的にRCセグメント製造に用いられているリブ型・型枠（内径 3200×桁高 200 : 5 分割）と、比較検討用としてフラット型・型枠の2種類を用いた（図-1）。型枠重量は、リブ型およびフラット型ともに約 45kN に合わせ、フラット型は、リブ型との重量調整のため、型枠下段に厚板（23kN）を取付けてある。型枠の特徴は、リブ型では側版にリブで補剛された薄板（ $t=13\text{mm}$ ）を用いているのに対して、フラット型は側版に厚板（ $t=25\text{mm}$ ）を用いていることである。

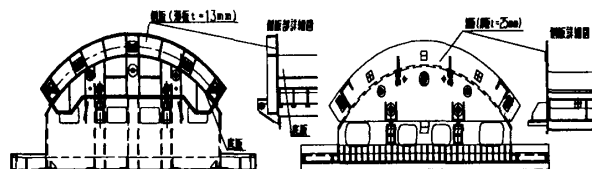
振動試験は、セグメント工場でセグメント製造ラインにて行った。計測に用いた圧力計（PGM-5KC（500kMPa））および加速度計（周波

*1 石川島建材工業株式会社 セグメント事業本部技術部 工修（正会員）

*2 石川島建材工業株式会社 セグメント事業本部技術部次長

*3 石川島建材工業株式会社 セグメント事業本部技術部長

*4 東京都立大学大学院 工学研究科土木工学専攻助教授 工博



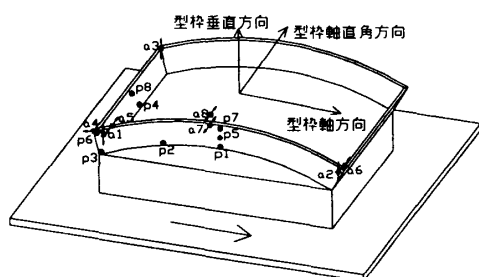
リブ型 (H=575mm) フラット型 (H=248mm)

$$I=22.0 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

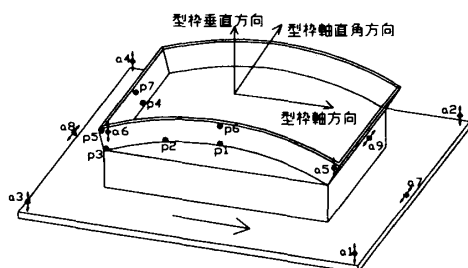
$$I=1.3 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

() 内数値は、重心位置を示す。

図-1 振動試験に使用した型枠



「分離式」



「一体式」

図-2 型枠計測箇所

表-1 計測項目

	加速度計		圧力計	
	分離式	一体式	分離式	一体式
型枠軸直角	a 5~7	a 7~9	p 1~3	p 1~3
型枠軸方向	a 4	—	—	—
打設高方向	—	—	p 1, 5, 7	p 1, 6
側板端部	—	—	p 3, 6	p 3, 5
端板中央	—	—	p 4, 8	p 4, 7
垂直方向	a 1~3	a 1~6	—	—

表-2 振動試験ケース

	鉄筋無し	鉄筋有り
リブ型 (R)	R 1, R 2	R S 1, R S 2
フラット型 (F)	F 1, F 2	F S 1, F S 2

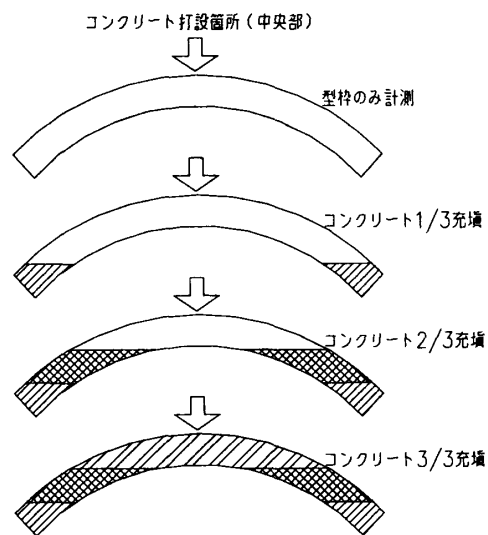


図-3 計測手順

表-3 加振方法の主な特徴

	一体式	分離式
打設できる型枠の大きさ	制約あり	制約なし
加振時、型枠に作業員が近づける。	○	×
騒音	低音大	高音大
設備	比較的簡易	大掛かり

数レンジ 0.2~8000Hz) の型枠設置位置を図-2 に示す。計測項目を表-1 に示す。

分離式の加振機は周波数 50Hz, 一体式は 60 Hz であり、いずれも回転式である。加振機は締め振動台下面に取付けられており、回転方向は型枠軸方向周りに回転するものである。また、加振時に型枠は締め振動台に拘束せず、ストッパーに当たるまで自由にロッキング動と移動が可能なるものであった。

計測は図-3 に示すように、型枠内へコンクリートを 3 回に分けて打設した際の、コンクリート充填締め固め時に行った。

振動試験ケースは、表-2 に示すように、型枠種別のほかに、鉄筋の有無についても試験を行った。試験は、各ケースについて 2 回、合計 8 回の振動試験を行った。両加振方法の特徴を比較したものを、表-3 に示す。

3. 締固め振動台の特性

振動試験に用いた締固め振動機の特徴を把握するため、締固め振動台のみを振動させ、加速度の計測を行った。締固め振動台の概略図を、図-4, 5 に示すが、どちらも 4 隅を空気ばねで支持する構造となっている。計測は、振動台の 4 隅、すなわち EX1, EX2, EN1, EN2, で行った。型枠は EN 側から振動室もしくは振動スペースへ搬入し、振動締固め後に EX 側より搬出した。計測した加速度波より、加速度平均パワーを式(1)より求めた結果を図-6 示す。

$$\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \approx \frac{1}{T} \sum_{n=0}^{N-1} x_n^2 \Delta t = \frac{1}{N \Delta t} \sum_{n=0}^{N-1} x_n^2 \Delta t = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n^2 \quad (1)$$

ここで、T:総振動時間、 Δt :単位時間(2ms)、N:分割数である。

加速度平均パワー（型枠垂直方向と型枠軸直角方向の平均値）は、分離式で 4.75 (G^2)、一体

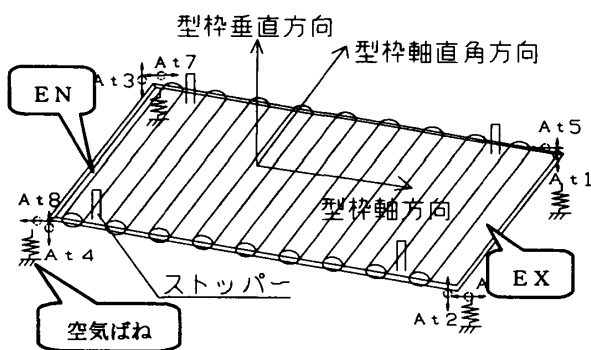


図-4 締固め振動台「分離式」

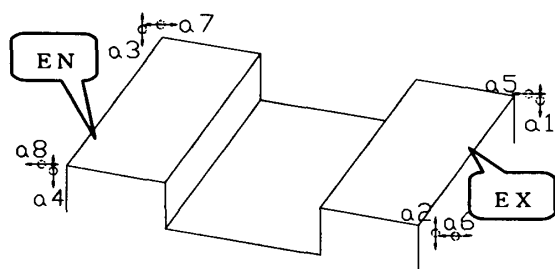


図-5 締固め振動台「一体式」

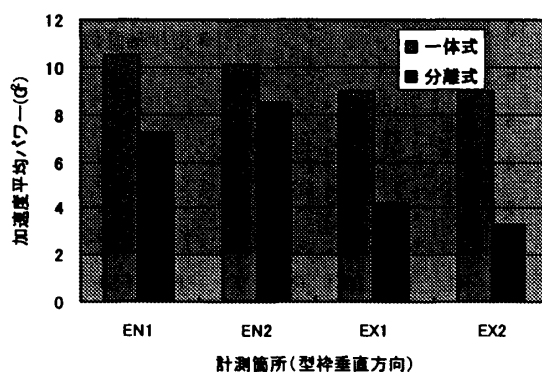
式では 4.95 (G^2) であり、ほぼ同じ入力エネルギーを示した。

4. 固練りコンクリート締固め性能

4.1 加振方法による振動伝達係数

計測された加速度波と振幅確率密度分布解析した結果を、図-7 に示す。計測された波形は、定常的な波形でなく、加速度分布および振動台からの加速度伝達係数を把握するため、統計的处理を行った。確率密度分布分析から式(2)を用

(型枠垂直方向)



(型枠軸直角方向)

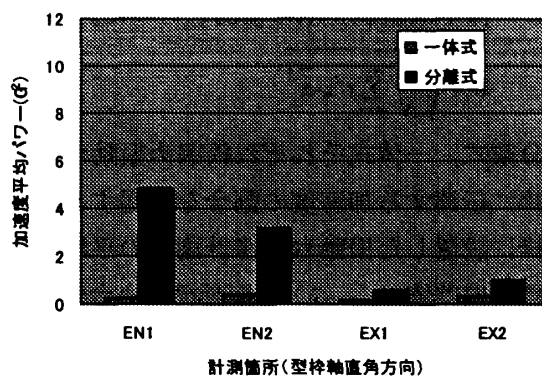


図-6 締め固め振動加速度平均パワー

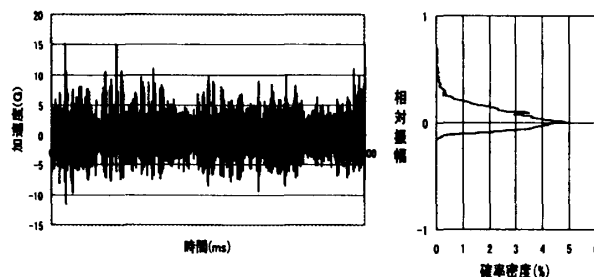


図-7 加速度波形と振幅確率密度分布例

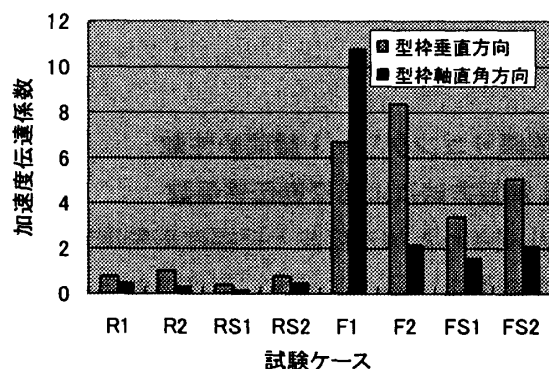


図-8 加速度伝達係数（分離式）

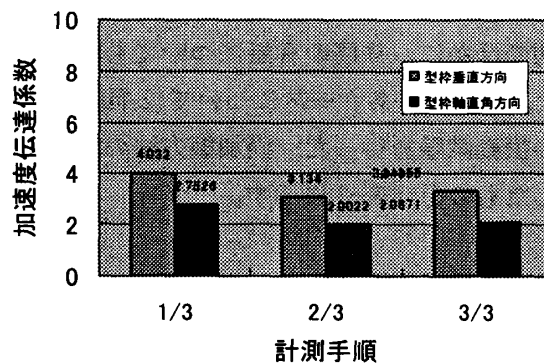


図-10 加速度伝達係数（分離式・打設量）

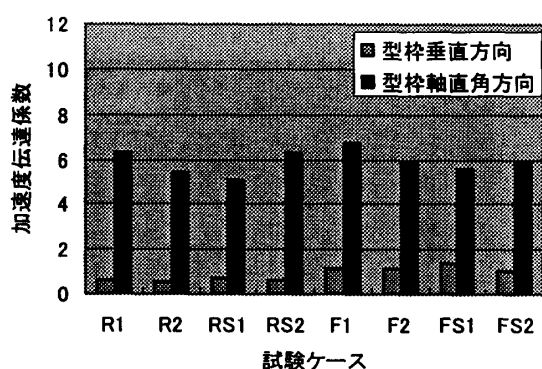


図-9 加速度伝達係数（一体式）

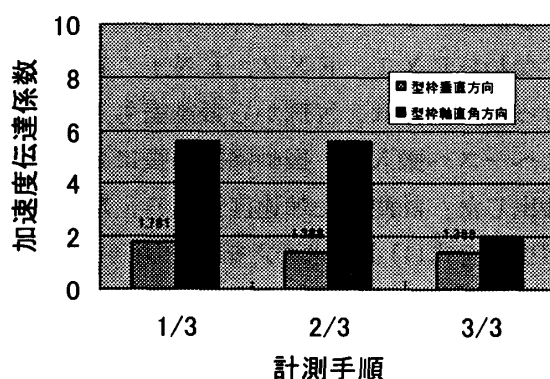


図-11 加速度伝達係数（一体式・打設量）

いて、標準偏差値を求め検討を行った。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x_m^2 - \bar{x}^2} \quad (2)$$

分離式、一体式それぞれ締固め振動台からの型枠に伝達する加速度の割合を把握するため、型枠に設置した振動台近傍計測点の平均加速度の標準偏差値（ $\sigma_{a, out}$ ）を振動締固め台各計測点の平均加速度標準偏差値（ $\sigma_{a, in}$ ）で除した値（加速度伝達係数 $\alpha = \sigma_{a, out} / \sigma_{a, in}$ ）を求めた（図-8～9）。

分離式は、型枠垂直方向および型枠軸直角方向のいずれについても、リブ型（型枠垂直方向 0.7）よりフラット型（型枠垂直方向 5.9）が大きい加速度伝達係数を示していた。これは、既往の研究¹⁾に示したように、フラット型がリブ型より重心位置が下回り、フラット型の方がロッキング動を起しやすいためと考えられる。型枠軸直角方向についても同様である。鉄筋の

有無についても、型枠垂直方向の鉄筋有りの伝達係数が鉄筋無しの約 6 割に減少しており、これもコンクリート内に鉄筋を配置することにより、型枠内の重心位置が上昇し、ロッキング動が抑制されるためと考えることができる。型枠軸直角方向については、鉄筋の有無による減少が小さかった。

一体式については、型枠垂直方向の伝達係数について、型枠構造形式について分離式と同様にフラット型の伝達係数が幾分大きい傾向が見受けられたが、型枠軸直角方向については、殆どその差が見られなかった。一体式の加振方式では、締固め振動台と型枠が、機械的結合で一体化しているため、ロッキング動や自由移動がなく、型枠構造の影響が少ないものと考えられる。ただし、型枠を載せることにより、重心位置にずれが生じ、そのために特に型枠軸直角方向加速度成分が増幅されたものと思われる。す

なわち、加速度伝達係数を求める式において、除数である振動台の型枠軸直角方向加速度が、元々小さかったためである。

4.2 打設量による振動伝達係数

型枠内にコンクリートを全容積の1/3, 2/3, 3/3 打設した場合の振動伝達係数（加速度）の一例を、図-10, 11 に示す。

分離式では、型枠構造の種類によらず、コンクリートの打設を進めていくと、伝達係数が下がる傾向にある。これは、型枠垂直方向、型枠軸直角方向いずれについても述べることができる。これは、締固め振動台上で型枠がロッキング動をするとき重量が大きいと、ロッキング動が抑制されるためと考えることができる。このことから、分離式は、型枠構造がコンクリート締固め性能に影響することが確認できた。

一方、一体式では、コンクリート打設に伴い型枠垂直方向の伝達係数があまり下らない。これは、型枠が締固め振動台に固定され、型枠重量が変化しても締固め振動台と型枠が一体化しているため振動台の能力に依存すると考えられる。

また、一体式では、型枠垂直方向の伝達係数が小さい結果を示しており、分離式と異なる挙動を示した。

4.3 平均圧力値と標準偏差

圧力値の振幅確率密度分布解析結果から、式(3)により求めた平均圧力値を、図-12 に示す。

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x_m \quad (3)$$

分離式は、フラット型がリブ型の約 1.3 倍の平均圧力値を示していたが、概ね試験ケースごとの平均圧力値のばらつきは少ない。一体式は、分離式より幾分大きい値を示すが、フラット型とリブ型との差は殆ど見受けられない。なお、平均圧力値は、コンクリート打設による型枠内壁の静圧値に近く、その理論値は各計測位置の平均で約 0.01MPa である。

同様に、圧力値から標準偏差値を求めた結果を図-13 に示す。分離式については、標準偏差値

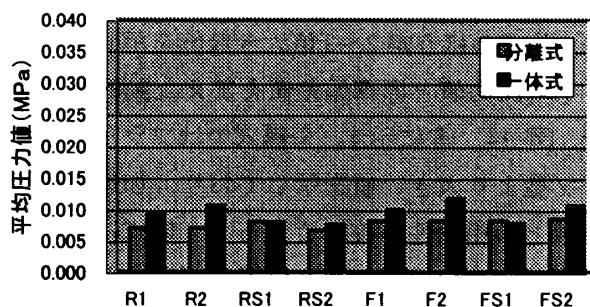


図-12 平均圧力値

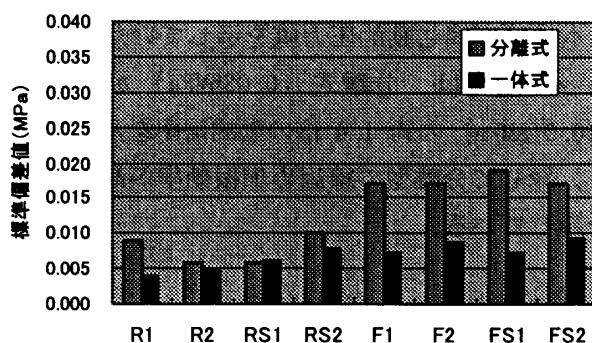


図-13 標準偏差値

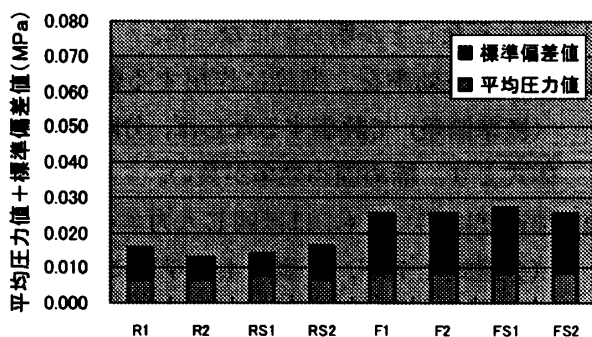


図-14 動的圧力値（分離式）

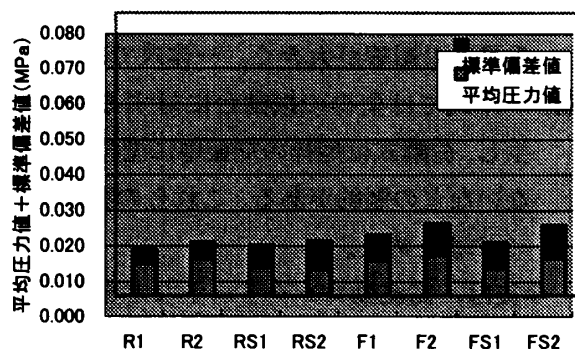


図-15 動的圧力値（一体式）

についても同様な結果を示しており、分離式より一体式のほうが2～3倍大きな値を示している。

平均圧力値と標準偏差値を加えた動的圧力値を、図-14, 15に示す。分離式ではフラット型がリブ型より大きい値を示しており、加速度伝達係数との相関性が確認できる。一体式においても明確ではないが、重心位置などによる同様な傾向が見られ、型枠構造、鉄筋の有無による違いを確認することができた。また、リブ型では分離式(0.015MPa)および一体式(0.014MPa)ともにほぼ同じ動的圧力値を示していたが、フラット型では、分離式(0.026MPa)が一体式(0.018MPa)の約1.4倍の動的倍率を示しており、総じて分離型の締固め加振効率が高いことを示している。

5. おわりに

実際のセグメント製造ラインにて、「分離式」と「一体式」の型枠振動実験を行い、加速度や固練りコンクリートからの圧力を計測した結果、以下のようなことが明らかになった。

- (1) 締め固め効率を、型枠に作用する動的圧力(標準偏差)で評価するならば、分離式は一体式より、締め固め効率が良い。
- (2) 加速度に関しても、ほぼ同じ入力エネルギー(分離式 $4.75G^2$ 、一体式 $4.95G^2$)に対して、一体式の垂直方向加速度伝達係数は0.9であり、分離式の垂直方向加速度伝達係数は3.3であった。
- (3) 分離式では、型枠構造(型枠重心位置、型枠重量)の影響が大きく、一体式では少ない。
- (4) 一体式では型枠の振動台に対する制約が発生し、分離式は型枠の加振中に型枠に近づけないなどの制約がある。これらの特徴を、表-3にまとめた。

今後は、高流動コンクリートなどを適用した場合の実験や、RCセグメント型枠に取り付く付属金物のモデル化をして、型枠構造の合理化を追求していきたい。

「参考文献」

- 1) 松浪康行, 阿部義, 染谷洋樹, 長嶋文雄: RCセグメント鋼製型枠に生じる圧力分布特性に関する検討
コンクリート工学年次論文集第25巻: pp. 1447-1452
- 2) 若林正憲, 橋本博英, 大関宗孝, 田中努, 國府勝郎: セグメント振動締固め製作時の合理的な加振方法の研究: トンネル工学研究論文報告書第7巻 1997年11月報告(41): pp. 325 - 330, 1997
- 3) 尾上好夫他: セグメント振動締固め製作時の発生加速度の予測: 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集IV: pp. 182-183, 1997
- 4) 橋本博英, 若林正憲, 大関宗孝, 田中努, 國府勝郎: 振動台による締固めにおける硬練りコンクリートの動的挙動: 超硬練りコンクリート技術に関するシンポジウム論文集, 1998-6: N045. pp. 35-42, 1998