

# コンクリートの振動締固め

(2)

尾坂芳夫\*

### (3) 振動締固めの現場調査

前各節では、まだ固まらないコンクリートの振動締固め効果、再振動の効果等について述べた。これらによって、コンクリートにどの程度の振動を作用させた場合、どのような効果が得られるかを概略知ることができた。しかし、どのようにすれば、コンクリートにこのような振動を効果的に与えることができるかということが、これらの基礎的な研究を実際の現場の工事において活用するために、重要な問題である。

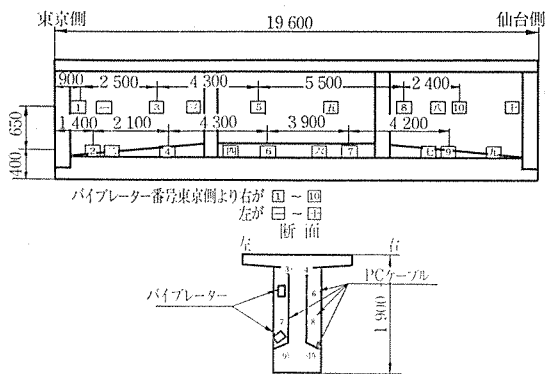
振動の締固め効果に関する基礎的な研究を現場工事に効果的に活用する方法を検討するため、まず筆者は、現在一般に実施されている振動締固め方法では、どの程度の振動が得られているかを調査<sup>1)</sup>した。以下にこれらの概略を説明し、工事の参考に供したい。

a) 調査(その1) PC鉄道橋の工事現場における調査<sup>1),2)</sup>について述べる。

東北本線初田川のPC橋梁は、スパン 19.2 m の 19 連と 20 m の 1 連からなり、総延長は約 400 m である。コンクリートの打設は、まず、腹部コンクリートを型わく振動機により打込み締固め、上部突縁は棒状の内部振動機により締固めた。

図-23 は、桁の形状寸法と、型わく振動機の位置を示したものである。

図-23 初田川橋梁 PC 桁振動機取付け位置



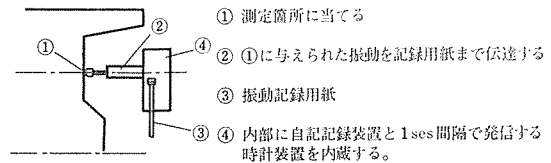
\* 国鉄構造物設計事務所 主任技師

型わく：鋼製型わくで、厚さ 4.5 mm、リブは 10×75×75 mm の L 鋼が用いられている。

振動機：函型 3/4 HP、回転数 2800 rpm (上部突縁の締固め用としては、3/4 HP、8000 rpm の棒状の内部振動機が用いられた)。

振動測定器：手持式のアスカニヤ(図-24)を用いた。

図-24 手持式の振動測定器



この測定器は、その機構上、測定値の精度が高いものではないが、この場合の目的にたいしては実用上十分である。

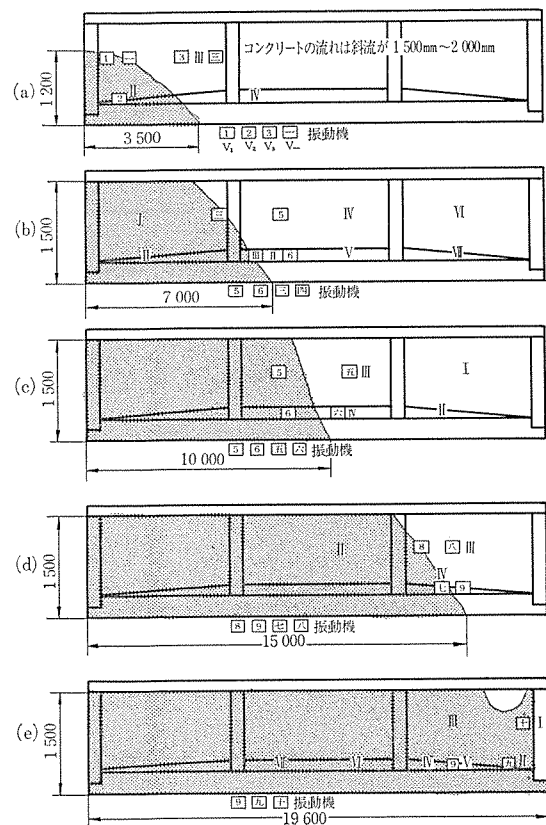
コンクリートの配合：表-5 のとおりである。

図-25(a)~25(e) は 型わく振動の測定時におけるコ

表-5 コンクリートの配合 (初田川橋梁)

セメント量	415 kg/m <sup>3</sup>
水	154 l
水・セメント比	37%
スラブ	5~7 cm
空気量	4±1%
粗骨材最大寸法	25 mm
細骨材	660 kg/m <sup>3</sup>
粗骨材	1099 kg/m <sup>3</sup>

図-25 振動測定時におけるコンクリート打込み状態



ンクリートの打込み状態を示すものである。図中のⅠ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ, 等は, 稼動した型わく振動機を示している。Ⅰ, Ⅱ, 等は振動の測位位置を示すものである。

表一6(a)~(e) は, それぞれの状態における振動の測定結果を示すものである。

表一6 初田川橋梁型わく振動測定結果  
(図一25 (a)~(e) 参照)

(a)のときの振動測定結果

測点	振 幅 (×1/5 mm)					振動数 (毎秒)
	1	2	3	4	5	
I	(2.5) 1.60	(1.3) 0.825	(3.4) 2.15	(1.8) 1.15	(1.0) 0.65	40
II	(2.1) 1.225	(0.5) 0.275	(2.9) 1.75	(0.2) 0.10	(1.7) 1.00	42
III	(1.6) 1.45	(1.4) 1.25	(0.9) 0.85	(1.7) 1.50	(1.6) 1.40	28
IV	(1.5) 0.95	(1.5) 0.95	(0.4) 0.275	(1.9) 1.20	(0.9) 0.55	40

( ) 内は加速度単位 (980 cm/sec<sup>2</sup>=g)

(b)のときの振動測定結果

測点	振 幅 (×1/5 mm)					振動数 (毎秒)
	1	2	3	4	5	
I	0					
II	0					
III	(2.5) 1.25	(2.7) 1.375	(2.2) 1.225	(2.7) 1.375	(2.5) 1.250	50
IV	(0.35) 0.15	(0.4) 0.175	(0.4) 0.175	(0.4) 0.175	(0.3) 0.125	56
V	(0.4) 0.20	(0.45) 0.225	(0.4) 0.20	(0.45) 0.225	(0.45) 0.225	52
VI	(0.4) 0.175	0	(0.5) 0.20			54
VII	(0.4) 0.15	(0.45) 0.175	(0.4) 0.15	(0.5) 0.20	(0.4) 0.15	58
VIII	(1.5) 0.625	(1.2) 0.50	(0.2) 0.125	(1.5) 0.625	(1.2) 0.55	56
IX	(0.55) 0.225	(0.34) 0.275	0	(0.25) 0.20	(0.3) 0.25	40

( ) 内は加速度 (g)

(c)のときの振動測定結果

測点	振 幅 (×1/5 mm)					振動数 (毎秒)
	1	2	3	4	5	
I	(2.3) 1.75	(0.38) 0.30	(1.6) 1.375	(0.16) 0.175	(2.2) 1.625	42
II	(3.0) 2.10	(0.9) 0.525	(2.2) 1.60	(0.35) 0.275	(2.3) 1.825	42
III	(7.0) 3.525	(5.0) 2.10	(7.0) 3.50	(4.1) 2.05	(5.8) 2.9	52
IV	(6.3) 3.15	(4.0) 1.975	(5.5) 2.750	(3.5) 1.725	(6.0) 3.00	50
V	(3.0) 1.850	(0.6) 0.40	(1.9) 1.150	(3.6) 2.175	(0.5) 0.30	46
VI	0					

( ) 内は加速度 (g)

(d)のときの振動測定結果

測点	振 幅 (×0.05 mm)					振動数 (毎秒)
	1	2	3	4	5	
I	(0.15) 0.075	(0.2) 0.10				51
II	(0.3) 0.15	(0.2) 0.10	(0.3) 0.15	(0.35) 0.175	(0.4) 0.20	48
III	(3.0) 0.15	(3.3) 2.175	(3.2) 2.05	(3.2) 2.075	(3.0) 1.95	46
IV	(3.6) 1.80	(0.85) 0.425	(3.8) 1.875	(0.95) 0.475	(3.2) 1.60	52
V	(0.3) 0.15	(0.4) 0.20	(0.2) 0.10	(0.2) 0.10	(0.2) 0.10	48

( ) 内は加速度 (g)

(e)の振動測定結果

測点	振 幅 (×0.05 mm)					振動数 (毎秒)
	1	2	3	4	5	
I	(1.6) 1.05	(1.1) 0.825	(1.6) 1.075	(1.1) 0.80	(1.6) 1.025	46
II	(1.5) 0.60	(0.9) 0.375	(0.8) 0.325	(0.8) 0.30	(0.95) 0.40	54
III	(0.4) 0.20	0	(0.5) 0.25	(0.5) 0.20	(0.2) 0.10	50
IV	(1.8) 0.90	(1.9) 0.95	(2.2) 1.10	(1.8) 0.875	(1.9) 0.95	48
V	(2.3) 1.15	(1.3) 0.625	(2.1) 10.5	(1.8) 0.875	(1.9) 0.95	48
VI	(0.3) 0.15	(0.3) 0.15	(0.3) 0.15	(0.3) 0.15	(0.3) 0.175	46
VII	(0.3) 0.15	0	(0.3) 0.15	0	(0.15) 0.075	50
I'	(4.9) 2.45	(4.1) 2.05	(4.2) 2.10	(4.2) 2.10	(4.1) 2.05	48
II'	(6.0) 4.40	(5.8) 4.25	(6.5) 4.75	(6.2) 4.60	(5.0) 3.75	42

( ) 内は加速度 (g)

I', II' は図一25 (e) に示した十, 九において, 振動機の振動を直接測定した値

測定の結果は, 記録用紙から任意の5区分をえらび, 20倍の眼鏡で振動数と振幅をよみとり, これより加速度を計算で求めた。

これらの振動波形には明らかに共鳴現象がみとめられる。この測定自体から, 共鳴現象が型わくの共鳴か, 測定器内のバネの共鳴かが明らかでなかったが, 別に行なった測定<sup>2)</sup>によると, 型わく振動に共鳴現象が認められることがわかった。この測定結果では, 共鳴振動の節付近で振動が事実上消失しており, 測定用紙からの読みとりが困難となっている。図一26 はこれらの結果から, 型わく振動が, 型わく振動機からの距離により, どのように相異なるかを示したものである。これにより, 内部にコンクリートが打設されている部分と空の部分とで, 型わく振動に大きい差の認められることがわかる。

**b) 調査(その2)<sup>3)</sup>** 鋼製型わくを用いる場合, 型わく振動機による振動は, 型わくの剛性と打設されたコ

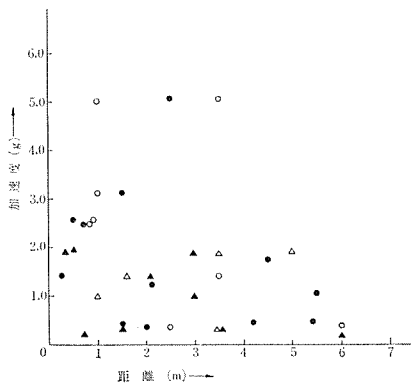
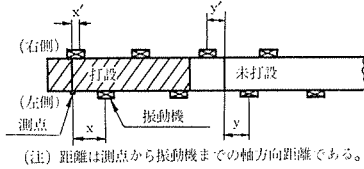
図-26 コンクリート打設中の型わくの振動加速度と測点から最短距離にある振動機までの距離との関係

コンクリート打設部分
 

- ▲ 測定面（左側）の振動機から測点までの距離（ $x$ ）の場合
- △ 反対側（右側）の振動機から測点までの距離（ $x'$ ）の場合

 コンクリート未打設部分
 

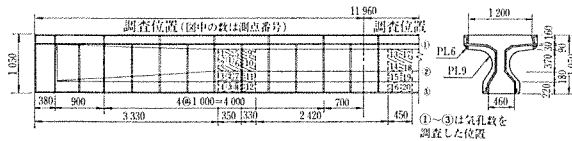
- 測定面（左側）の振動機から測点までの距離（ $y$ ）の場合
- 反対側（右側）の振動機から測点までの距離（ $y'$ ）の場合



コンクリートの質量により低減され、振動加速度が1~5gあるいはそれ以下となっていることが多い。したがって型わくの剛性を小さくするために、鋼製型わくのリブの一部を型わく鋼板から切り離し、コンクリート打設時の型わく振動を測定した。図-27は、この調査に使用した桁と鋼製型わくとを示すものである。

測点は、桁断面の拡幅部およびスパン中央部に限定した。測定は同一の型わくで3回行なった。用いた振動測

図-27 調査に使用した鋼製型わく



定器は、チタン酸系磁器の圧電効果を利用した加速検出器（国際機械振動研究所，VM 3 700，IMV-VM 4 200）である。

図-28(a)と図-28(b)は、それぞれ拡幅部、スパン中央部において測定した振動加速度の分布である。

図-29(a)と図-29(b)は、それぞれ拡幅部、スパン中央部における振動加速度の分布をコンクリートの打設状態ごとに示したものである。これらによって、初田川橋梁工事におけると同様、型わく内部に打設されたコンクリートの量が多いほど振動加速度が減ることが認

図-28 振動加速度の度数分布

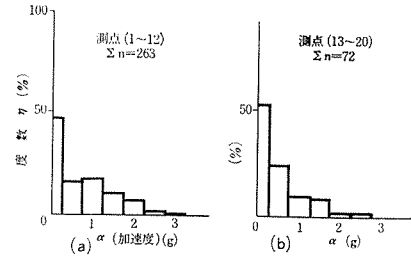
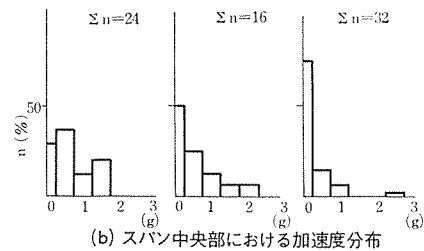
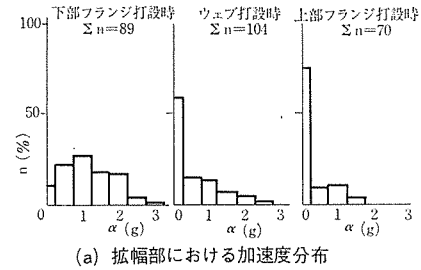
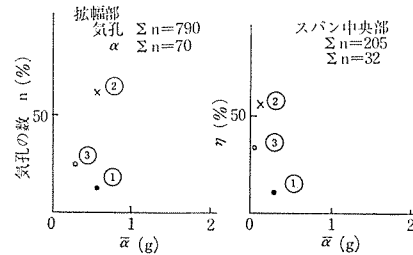


図-29 コンクリート打設状態別の振動加速度分布



められる。図-30は、測定された3回の桁製作時のおのにおける平均加速度と脱型後測定した表面気孔の数との関係を示すものである。図

図-30 平均加速度と気孔の数



には、桁の拡幅部とスパン中央部とを一緒にして示してある。この図からは、型わく振動の加速度の大きさと、コンクリートの表面気孔の数との間には明らかな相関性がない。

e) 調査(その3)<sup>3)</sup> 同様の調査を上面型わくの場合について行なった。部材は工場の屋根板で、その形状寸法および型わくの構造は図-31のとおりである。

図-32は、型わくがうけた振動加速度の分布を示す。図-33は、コンクリート表面の気孔の大きさと数との関係を示すものである。

図-34は、平均加速と気孔の数との関係を、図-35は平均加速と気孔の平均的大きさとの関係を示すものである。コンクリート表面の気孔の大きさは、型わくの振動加速度の大きさが大きいほど、小さくなっていることが

図-31 調査に使用した型わく（上面型わく）

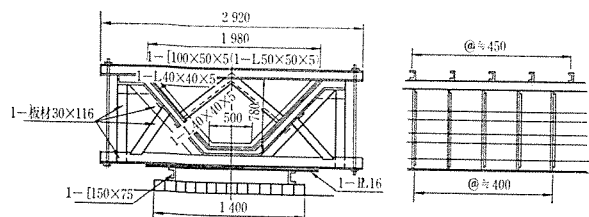


図-33 表面気孔の大きさ

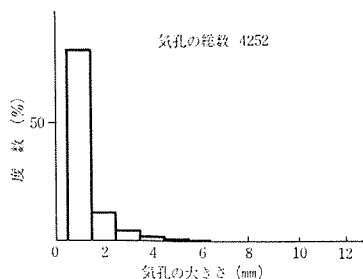


図-34 加速度と気孔の数

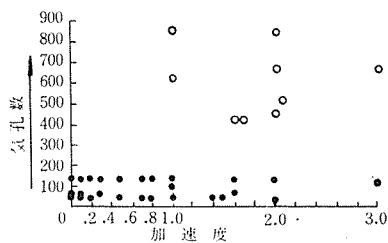


図-32 型わく振動加速度の分布

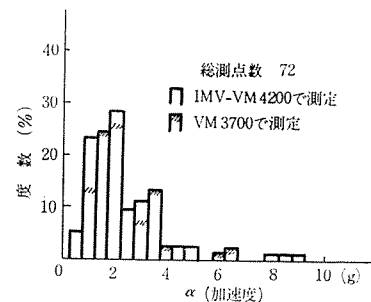
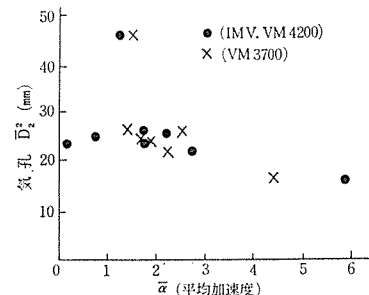


図-35 平均加速度と気孔の大きさ



認められる。しかし、気孔の数は、振動加速度と明瞭な相関性が認められる。このことは、コンクリート表面の気泡は、大きい振動をうけた場合、分散して小さくなる傾向があるが、型わくの外へ散逸する傾向はあまり顕著でないことを示すものと思われる。この桁製作の場合は、部材厚さが比較的うすく、型わくが薄板であるためその剛性が大きくない、などによって、型わくの振動が比較的大きい。また、気孔の大きさは比較的小さい。

d) 再振動の効果の調査(その1) P C 鉄道橋の施工において行なった再振動の影響の調査の例は、小丸川橋梁の場合、荒川橋梁の場合などがある。荒川橋梁の場合については別の機会にふれることとし、ここでは、小丸川橋梁の場合について述べることにする。

小丸川 P C 鉄道橋の施工に際して行なった試験<sup>22)</sup>では P C 桁からコアを採取し、これによって再振動の効果を試験することが困難であるため、供試体により試験が行なわれた。すなわち、鋼製型わくの外側に 10×20 cm の円柱供試体用のモールドを緊結し、桁型わくと同じ振動がこれに伝わるようにした。桁のコンクリート打ちの進行に併行し、型わくに取付けたモールドにコンクリートを充てんし、供試体に働く振動の振動数および振幅をモールド表面において測定した。これによれると、0.3 mm 以上の振幅を有する振動が約 10 m 後方にまでおよんでおり、コンクリート打ち始点付近においては打込み後 3 時間程度、スパン中央付近では約 1 時間、終点付近ではわずか数分の間、それぞれ振動をうけている。コンクリートの強度は、いずれの断面においても材令 14 日で 400 kg/cm<sup>2</sup> 以上の強度に達している。

この試験の結果では、モールド中のコンクリートに、全く再振動の影響がみとめられていない。この試験の場

合は、型わくにとりつけたモールドが小さいため、型わくとモールドとの振動がかりに等しいとしても、モールド中のコンクリートが、モールドと同じ位相で振動し、そのためコンクリートの各分子の相互に変位があったかどうかは明らかでないと思われる。

#### 4. おわりに

構造物に打込まれたコンクリートは、供試体のコンクリート、養生条件がことなるのみでなく、現場作業のうち、運搬、打込み、締固め等の条件が相違している。したがって、現場コンクリートの品質管理の管理特性として用いられている円柱供試体の圧縮強度には、現場作業の運搬、打込み、締固めの状態が反映されていないのである。なかでも締固めの良否は、構造物内のコンクリートの品質に大きい影響を有するので、工事現場では、締固め作業が適切に行なわれるよう注意することが大切である。そのために、締固めの程度がどのようにコンクリートの品質に影響するかをよく理解して、作業を監視あるいは実施していただきたい。最後に、筆者等が吉田研究奨励金の補助をうけて行なっている「コンクリート用型わくの構造と振動締固め効果に関する研究」<sup>2)</sup>の中から、その調査の一部を紹介した。現場で実際に行なわれている締固め作業が、十分な締固めを行なうに必要な振動締固めにいたして、必ずしも適当でない場合もあるので、工事におけるトラブルまたは事故を防ぎ、いたずらに、資材を失なうことのないよう注意すべきであろう。

#### 参考文献

- 22) 和仁・川口・菅原・野口・羽田野：小丸川 P C 鉄道橋の架替え工事ならびに関連して行なった実験的研究報告，土木学会論文集 No. 79, Sept. (1961).