

報告

[1072] 表面振動機による超硬練りコンクリートの締固め性状に関する研究

正会員○上野 敦 (東京都立大学土木工学科)
正会員 國府勝郎 (東京都立大学土木工学科)

1. はじめに

現在、転圧コンクリート舗装 (以下 RCCP という) は、コンクリート舗装の新しい施工方法として関心を持たれている。しかし、RCCPは十分な締固めがなされていなければコンクリート中に空隙が存在しやすく、そのため強度および耐久性が低下する可能性を有している。良好な品質のRCCPを得るには、適切なコンクリートの配合を決定するばかりでなく、表面振動機による締固め機構を明らかにすることが重要である。締固めに関する研究は、土やアスファルトの分野で従来から進展しているが[1]、超硬練りコンクリートの表面振動機による締固め性状は明かでないことが多い。

本文は、転圧コンクリートの締固め機構を明らかにすることを目的とし、表面振動機と締固め層の応答加速度および圧力を測定し、締固めの進行にともなう振動応答挙動の観察結果を述べたものである。また、モデル的な路盤を設定し、締固め層の支持条件の相違や単位水量の変化による締固めへの影響を検討している。

2. 実験方法

2.1 使用材料

セメントは市販の普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は粗粒率2.51の鹿島産陸砂を使用し、粗骨材は青梅産砕石2005を使用した。骨材の物理試験結果を表-1に示す。また細骨材の粒度分布を図-1に示す。

表-1 骨材の物理試験成績

区分	産地・種類	比重		吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	粗粒率 (FM)
		表乾	絶乾				
細骨材	鹿島産陸砂	2.59	2.55	1.63	1.791	70.3	2.51
粗骨材	青梅産砕石	2.65	2.63	0.66	1.580	60.0	6.66

表-2 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 G_{max} (mm)	Km	Kp	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
								5~13mm	13~20mm
20	1.60	1.39	35	40.2	100	286	843	641	641
20	1.60	1.82	35	38.7	110	314	793	641	641

2.2 配合および練りませ

実験に用いたコンクリートの配合は、モルタル粗骨材空隙比(Km)を1.6に、水セメント比を35%に固定し、単位水量は100および110 kg/m³の2種類とした。使用したコンクリートの配合を表-2に示す。

練りませは、50 / 強制練りミキサを使用し、空練り1分の後注水し、その後3分間練りませを行った。

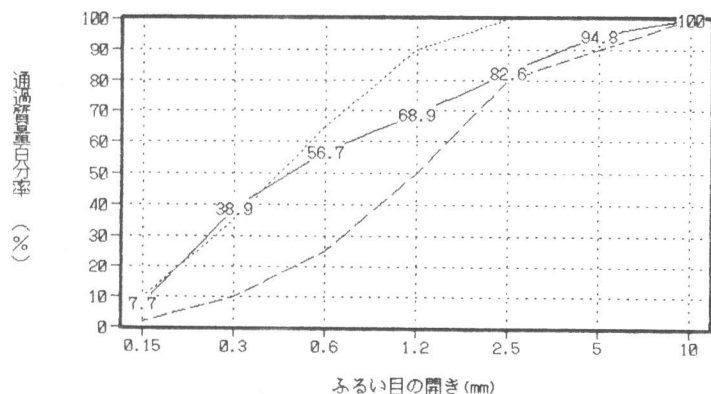


図-1 細骨材の粒度分布

2.3 試作表面振動機の振動特性

締固め実験には重量35kg、底板の直径30cmの試作の表面振動機を使用した。これは振動数を0から60Hzまで0.1Hz刻みで変化させることができる。表面振動機の振動特性はモータの偏心モーメントに基づいて式(1)から(3)によって示される。

$$\text{起振力} : F = 2 m r (2 \pi n)^2 = 0.83757 n^2 \text{ (N)} \quad (1)$$

$$\text{加速度数} : G = F / M_v g \text{ (G)} \quad (2)$$

$$\text{片振幅} : a = 2 m r / M_v = 21.216 \times 10^{-3} / M_v \text{ (m)} \quad (3)$$

ここに、 m :振動機の偏心質量(kg)、 r :偏心距離(m)、 M_v :振動機の質量(kg)、 n :振動数(Hz)

これらの式による起振力および加速度数の計算値、および宙釣り状態で表面振動機を振動させたときの加速度の測定値を図-2に示す。起振力は実測加速度と振動機の質量の積として求めた。この図から、振動機の起振力がその自重に相当する加速度は1Gであり、この時の振動数は、20.2Hzと計算さる。これを境界振動数と呼ぶことにする。

2.4 締固めおよび支持条件

締固め試験は、58.7Hz (8.4G) で120秒間の締固めを行った。一部の試験では、この締固め後に振動数を50, 40, 30, 20, 15Hzに変化させ、締固め層内の応答加速度の挙動を検討した。また、締固め層の支持条件の相違による締固めへの影響を検討するため、剛性支持および弾性支持条件を想定し、前者はコンクリートスラブ上、後者は厚さ2cmの発泡スチロール板上で締固め実験を行った。

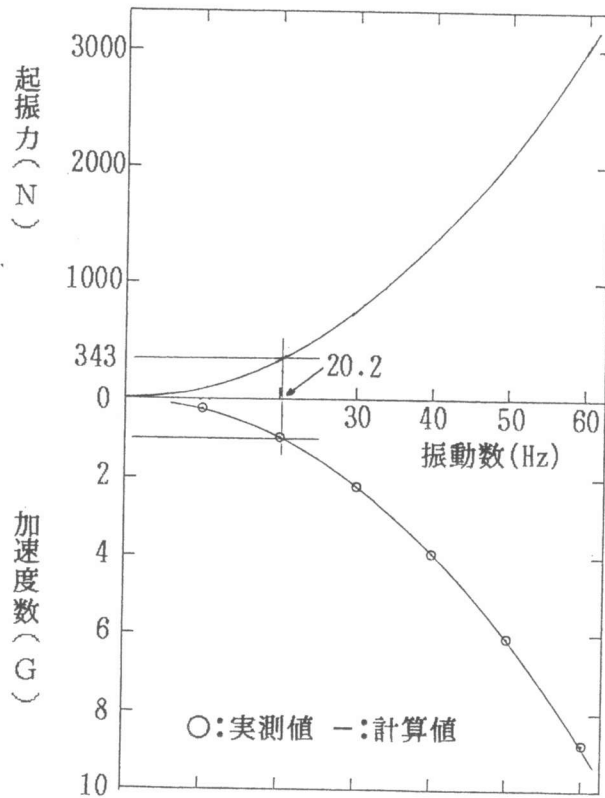


図-2 表面振動機の振動特性

2.5 コンクリートの打込みおよびセンサの埋設

実験装置の概要を図-3に示す。コンクリートスラブ上に石膏で固定した50×50×30cmの型枠中に、練り上がったコンクリートを5層に分けて、材料分離に注意して均等に型枠に投入し、1層厚6cmごとに金ゴテで敷き均した。各層ごとにその境界に加速度センサを中央に設置し、最終的には型枠上面まで試料を投入して層厚30cmに均した。加速度センサは上からゲージNo.1～No.4とし、No.2およびNo.4の位置には、直径3cmの圧力センサも埋設した。これは、振動機による加圧力の性状を明らかにするためである。

2.6 コアの採取および充填率の測定

応答加速度測定用供試体と同じ条件で別に締固めを行った供試体から、全層にわたる直径10cmのコア3本を材令3日で採取した。これをコンクリートカッターで4等分して、各層の気中重量を計測し、締固め深さ方向の充填率を測定した。4日間の水中浸漬後の気中および水中重量の計測値から試料体積を求め、コア採取時に計測しておいた気中重量と、コンクリートの配合から計算されるゼロ空隙の単位体積重量より式(4)によって充填率を求めた。

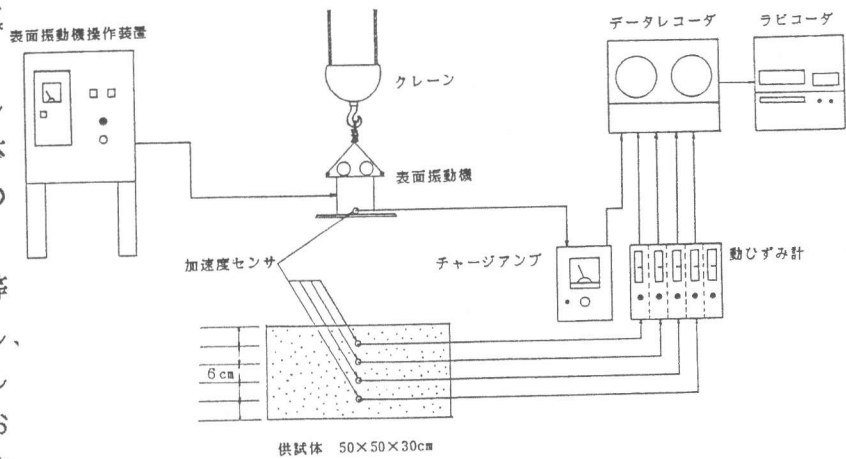


図-3 実験装置の概要

$$\text{充填率 } \gamma = \frac{\text{コアの気中重量 (採取時)}}{\text{配合から計算されるゼロ空隙の単位体積重量}} \div \frac{(\text{浸漬後気中重量} - \text{水中重量})}{\text{配合から計算されるゼロ空隙の単位体積重量}} \times 100(\%) \quad (4)$$

3. 実験結果および考察

3.1 締固め初期の挙動

振動機を空中で58.7Hzで始動してから試料上に静かにおろした時の締固め開始直後の各層の応答加速度の波形を図-4に示す。これから、層厚30cmで最下層のゲージNo.4が振動開始から応答し始めるまで、約0.2秒程度の遅れがあることが分かる。これは振動機を試料上に下ろす操作上の影響も考えられるが、締固められていない試料中では振動の伝達がなされることが推察される。次に、コンクリートが締固めにとまって沈下する間に、振動機の正弦振動のピークが全ての層に伝達されるようになり、コンクリートがさらに締め固められるにつれて振動機の正弦波形が乱れる傾向を生じる。

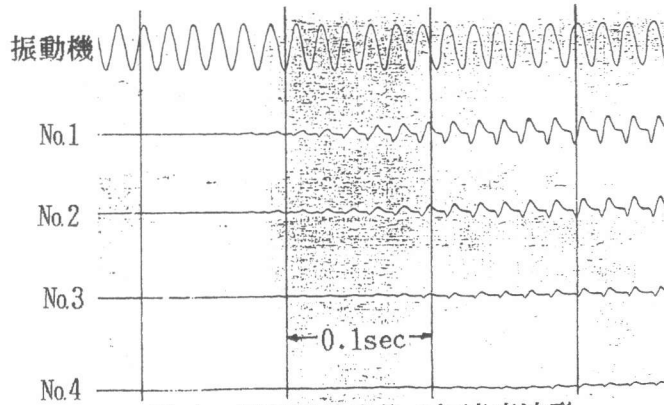


図-4 振動開始直後の加速度波形

3.2 応答加速度の経時変化

図-5に示す剛性支持の場合、各層ごとに応答加速度が異なるとともに、締固めを継続しても応答加速度の変化がほとんど認められない。しかし、図-6に示す弾性支持の場合には、時間の経過につれて振動機の加速度は小さくなり、一方応答加速度は徐々に大きくなる傾向を示し、また各層で同等の値を示している。そして、最終的には振動機と締固め層の応答加速度が近似した値になってくる。

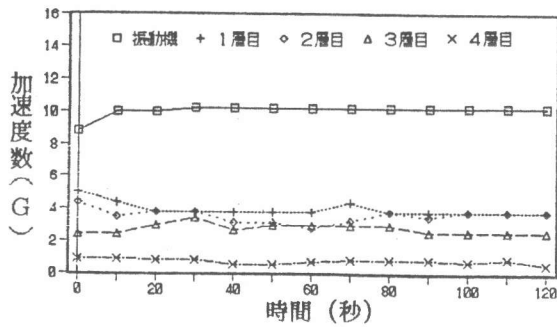


図-5 応答加速度経時変化
単位水量100kg-剛性支持

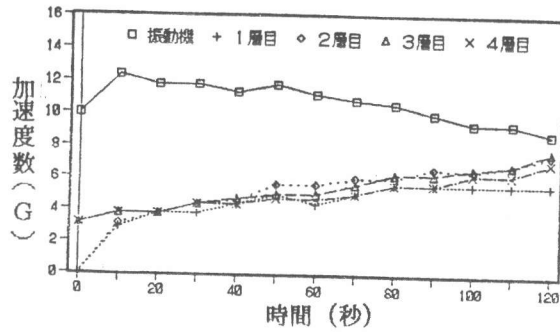


図-6 応答加速度経時変化
単位水量100kg-弾性支持

なお、振動にともなう反射波の影響が指摘されているが[2]、本実験ではいずれの支持条件においても反射波の存在については不明である。

3.3 振動締固めと突固め

図-7および8は、120秒締固めた後の試料上で、振動数20 Hz (1.0G) および40 Hz (3.9G) で振動機を振動させたときの振動機の加速度波形および締固め層内のゲージNo.2の位置の加圧力の波形を示したものである。図-7に示す振動数20 Hzでは、振動機の振動ピークは全て締固め層に伝達されている。一方、図-8に示す振動数40 Hzでは、振動機の振動ピークが締固め層に伝達されていない部分があり、締固めを行っていない遊びの時間があることが分かる。この理由は、振動機で発生する加速度が1Gより大きい場合に起振力が自重より大きくなり、試

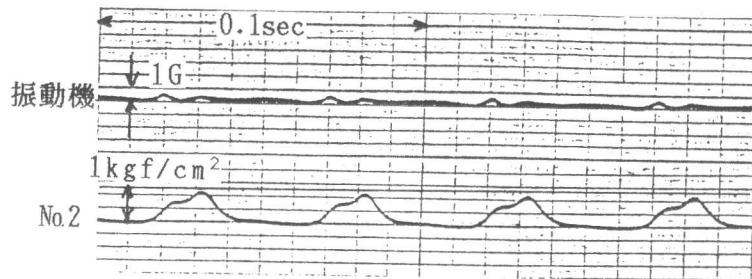


図-7 加圧力の波形
単位水量100kg-剛性支持, 20Hz

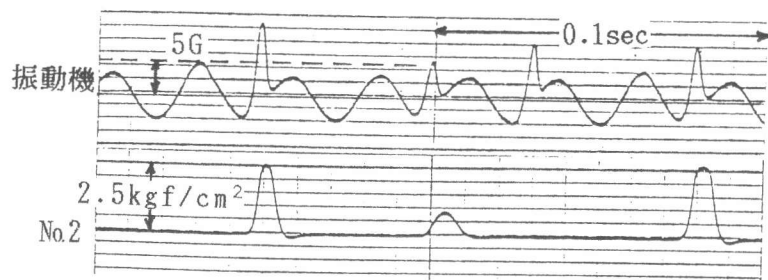


図-8 加圧力の波形
単位水量100kg-剛性支持, 40Hz

料が剛であると飛び跳ねて突固め状態になることによると考えられる。一方、加速度が1Gより小さい場合には、振動機は試料上を離れることなく振動締固め状態となる。このように境界振動数以上で締固める場合には、振動機が跳躍している間に次の振動ピークが現れ、落下した時に波形の乱れを生じるとともに圧力を生じているものと推察される。このような突固めの状態では、振動機のエネルギーが全て締固めに寄与しておらず、今後さらに締固めエネルギーの定量的な検討が必要であると思われる。

3.4 締固め層底面の支持条件の影響

振動数58.7Hzで剛性支持の場合の応答加速度波形を図-9に示す。これから応答加速度の波形は深さ方向に顕著な減衰が認められる。また振動機の波形が乱れた場合に各層の加速度センサが応答している。これは表面振動機が突固めを行っているので、振動の衝撃反力が振動機に反映されているものと考えられる。

弾性支持の場合の応答加速度波形を図-10に示す。この応答加速度波形には、深さ方向の減衰はほとんど見られず、境界振動数を越える振動数であっても振動は全層に伝達されている。これは、締め固まったコンクリート全体が弾性支持層の上で剛体として振動するため、応答加速度に分布を生じていないものと思われる。

振動数58.7Hz

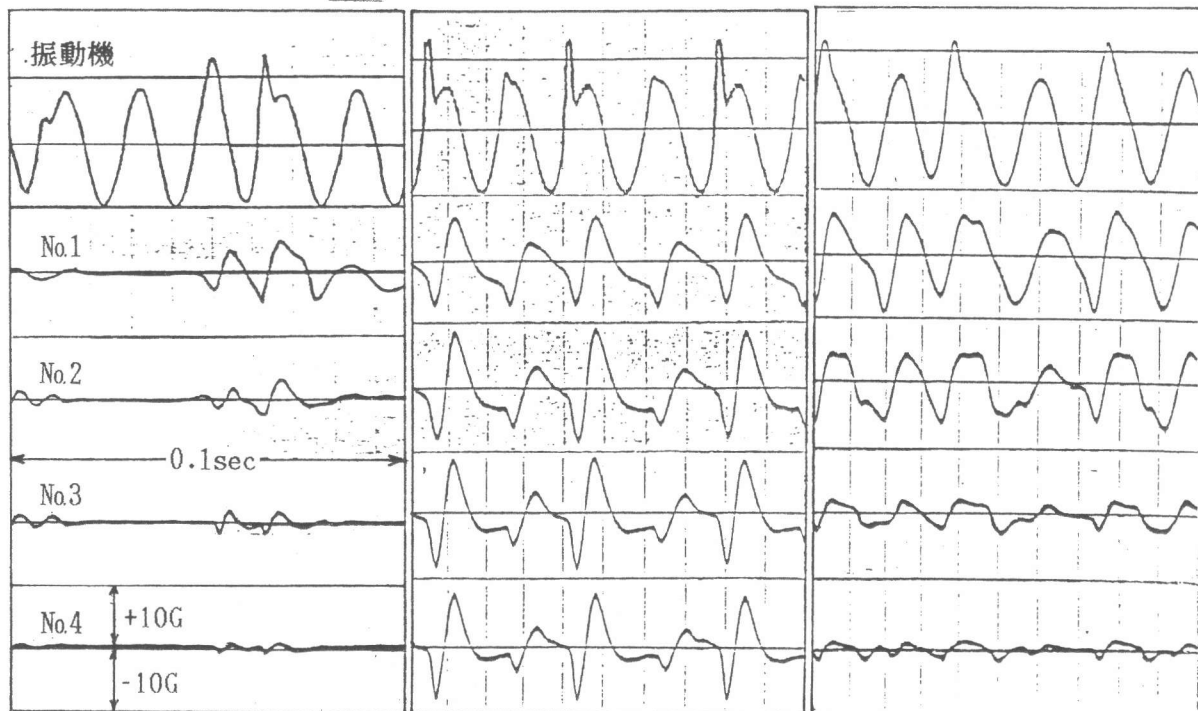


図-9 応答加速度波形
単位水量100kg-剛性支持

図-10 応答加速度波形
単位水量100kg-弾性支持

図-11 応答加速度波形
単位水量110kg-剛性支持

3.5 単位水量の影響

単位水量110kg/m³の配合で剛性支持の場合、振動数58.7Hzのときの応答加速度波形を図-11に示す。前に述べた図-9に示す単位水量100kg/m³の配合の応答波形と相違し、剛性支持であってもコンクリートが軟らかい場合には応答加速度は大きく、振動機の振動と締固め層の振動応答とが対応しており、振動締固めを行っている。これは、コンクリートが軟らかいことに起因するモルタルの粘着力のため、振動機の平らな底板が試料から離れにくく、またコンクリートが流動的で振動機に追従した挙動を生じやすいためと思われる。

3.6 充填率による締固めの評価

単位水量100kg/m³の配合の剛性支持および弾性支持の場合、および単位水量110kg/m³の配合の剛性支持の場合の充填率分布を図-12に示す。この図から、充填率の深さ方向の減少が一般に認められる。この充填率の減少は、剛性支持の方が弾性支持より著しく、3.4に述べた応答

加速度の減衰と対応している。しかし、締固め後期の応答加速度は、図-5および図-6で示したように剛性支持の場合より弾性支持の場合の方が大きくなっていったが、充填率は必ずしも弾性支持が大きいわけではない。すなわち、表層部の充填率に着目した場合、図-12のBに示す弾性支持よりも、Aに示す剛性支持の方が大きくなっているのである。

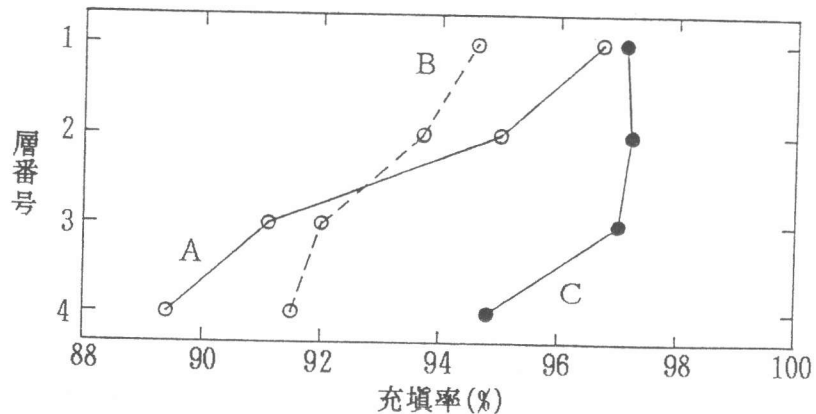


図-12 充填率分布

- A: 単位水量100kg-剛性支持
- B: 単位水量100kg-弾性支持
- C: 単位水量110kg-剛性支持

単位水量の影響を剛性支持の場合で検討すれば、単位水量の

多いCに示すコンクリートがAよりも全体的に充填率が高くなっていることがわかる。これは、3.5に述べた加速度の応答性状と同じ傾向を示している。

このように超硬練りコンクリートの表面振動機による締固め度は、一般に応答加速度に比例すると考えられるが、振動締固めと突固め状態の締固め度への影響を明らかにする必要があると思われる。

4. まとめ

試作の表面振動機による超硬練りコンクリートの室内締固め実験によって、次の事柄が分かったと思われる。

- 1) 表面振動機による超硬練りコンクリートの締固めは、振動条件によって振動締固めおよび突固めという異なった状態がある。突固め状態は、表面振動機の加速度が1G（境界振動数）以上の範囲で原理的に生じる現象である。
- 2) 振動条件が境界振動数以上の場合でも、コンクリートが締固めによって沈下できる範囲では、突固め状態にはならず、振動締固め状態となる。
- 3) 路盤が剛性支持および弾性支持の両者を比較すると、表層部の応答加速度は剛性支持が大きいが、応答加速度の深さ方向の顕著な減衰が生じる。
- 4) 単位水量が大きくコンクリートが軟らかい方が良く締め固まるが、ローラによる転圧工法であることを考えると適度な硬さが必要であろう。

今後、振動締固めと突固めの状態を含んだ表面振動機の締固め機構を理論的に解明する必要があると思われる。

参考文献

- [1] 例えば、村山朔郎・谷本喜一・松野三郎：側方拘束土の振動締固めに関する実験的研究、土木学会論文集、第43号、pp.59~63、1957.2
- [2] 福川光男・山口達也：振動ローラ締固め作業における反射波の影響と対策、道路建設3/7、pp.55~61、1991.7