

報告

[1201] 表面振動機による締固めエネルギーとコンクリートの充填率に関する研究

上野 敦*1・國府勝郎*2

1. はじめに

これまで筆者らは、転圧コンクリート舗装（以下、RCCP）を対象に、締固めの進行にともなう締固め層内の振動応答挙動の検討を行ってきた[1]。表面振動機による超硬練りコンクリートの締固めには、振動機の起振力と自重との大小関係によって振動締固めと突固めの異なった状態があることを指摘した。すなわち、起振力が自重よりも小さい場合、振動機は試料上を離れずに振動締固めを行い、起振力が自重より大きい場合、振動機は試料上で跳躍して突固めを行うのである。ただし、締固め開始直後やコンクリートが軟らかい場合は、振動締固めの状態が卓越する。

本文は、RCCPを対象とし、表面振動機で締固めを行う際の、層内の締固めエネルギーの評価を目的とした室内試験について述べたものである。具体的には、表面振動機を用いた場合の突固め状態での実測応答加速度から試料の受ける締固めエネルギーを計算し、別途行った締固め性試験[2]結果と比較し、締固めエネルギーと充填率の関係について検討したものである。

表-1 骨材の物理試験結果

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
		表乾	絶乾				
細骨材	鹿島産陸砂	2.62	2.59	1.07	1.791	69.1	2.90
粗骨材	青梅産碎石	2.62	2.60	0.95	1.552	59.8	6.63

2. 実験方法

2.1 使用材料

セメントは比重3.16の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2.90の鹿島産陸砂を使用し、粗骨材は青梅産碎石2005を使用した。骨材の物理試験結果を表-1に示す。

2.2 配合および練り混ぜ

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90および100kg/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。

練り混ぜは、100/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分間練り混ぜを行った。

2.3 締固め条件

(1) 型枠および設置条件

鋼製型枠は50×50×30cmであり、これを剛なコンクリートスラブ上に石膏で固定した。表面振動機を用いる際の締固め層の支持条件は締固め層の振動応答挙動に著しい影響を与えることをすでに指摘[1]した。本実験では締固め層内の加速度の減衰が顕著な剛性支持を対象とした。

表-2 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 G _{max} (mm)	k m	k p	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
20	1.60	1.30	35	40.5	100	286	859	1262
20	1.60	1.10	35	41.9	90	257	909	1262

*1東京都立大学助手 工学部土木工学科 (正会員), *2東京都立大学教授 工学部土木工学科 (正会員)

(2) 表面振動機および振動条件

本実験では、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0～60Hzまで0.1Hz刻みで変化させることができる。

振動機の振動数を60Hzの一定条件とし図-1に示すような装置で、振動応答挙動の測定を行った。試料の受ける締固めエネルギーを広範囲に変化させるため、締固め時間を120秒および15秒の2ケースとし、充填率測定用供試体も同じ条件で作製した。

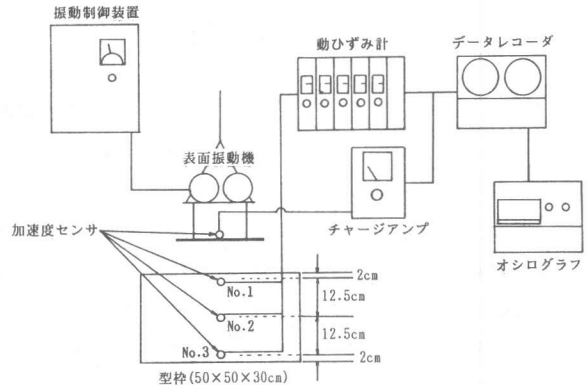


図-1 実験装置の概要

2.4 センサの埋め込み位置

練り上がったコンクリートを4層に分けて、材料分離に注意して均等に型枠に投入し、図示の位置に加速度センサを設置し、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。加速度センサは型枠上面からゲージNo.1～No.3とした。

2.5 コアの採取および充填率の測定

振動応答挙動測定用供試体と同じ条件で別に締固めを行った充填率測定用供試体から、全層にわたる直径10cmのコア2本を材齢3日で採取した。これを3層に等分し、各層の質量を計測し、締固め深さ方向の充填率分布を求めた。4日間の水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質量と、コンクリートの配合から計算されるゼロ空隙の単位容積質量より式(1)によって充填率を求めた。

$$\text{充填率 } \gamma = \frac{\text{コアの質量 (採取時)} / \text{コアの体積}}{\text{配合から計算されるゼロ空隙の単位容積質量}} \times 100(\%) \quad \text{---(1)}$$

2.6 締固め性試験について

締固め性試験[2]は、振動台上で試料を締固める際の締固めエネルギーによる充填率の変化を式(2)に示す締固め関数で近似することによって、コンクリートの締固め性を評価するものである。具体的には、締固め関数から誘導される初期充填率、達成可能充填率、締固めの効率を示す締固め係数および実用上完全な締固め状態に達するエネルギー「E98」の4指標によって締固め性を評価するものである。

$$\gamma = C_1 + (C_f - C_1) \{1 - \exp(-b E^d)\} \quad \text{---(2)}$$

ここに、 γ ：締固めエネルギー-Eにおける充填率(%)、 C_1 ：試験開始時の初期充填率(%)、 C_f ：締固めエネルギー無限大における達成可能充填率(%)、 b, d ：実験係数

3. 実験結果および考察

3.1 応答加速度の経時変化

単位水量90および100kg/m³のコンクリートの振動開始後5秒の応答加速度波形を図-2、

3に示す。締固め開始直後の約1秒間程度は振動締固め状態を呈する。しかし、図中の○印の部分のように、振動機の振動が締固め層内に伝達されていない部分があり、突固めの状態に変化する。すなわち、エネルギー評価に振動伝達の効率を考える必要がある。振動機が試料上面から全振幅だけ跳躍してから、再び試料上に戻る所要時間は、近似的に $3.1 \times 10^{-2}(\text{sec})$ と計算される。ただし、使用した振動機の(片)振幅は機械定数として $6.1 \times 10^{-4}(\text{m})$ とした。一方、振動の周期は $1.7 \times 10^{-2}(\text{sec})$ であるから、約1.9回の振動につき1回だけ試料に振動機の力が伝達されるので、効率は0.53となる。

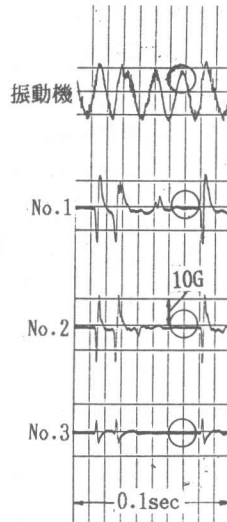


図-2 応答加速度の波形 (W90kg/m³)

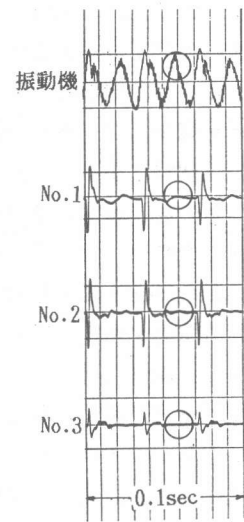


図-3 応答加速度の波形 (W100kg/m³)

単位水量90, 100kg/m³のコンクリートの締固め中に試料の受ける加速度の変化を図-4, 5に示す。これらの図で、振動機の加速度は、宙釣り状態で約8.8Gに設定してあるが、実際は約12Gの加速度になっている。また、今回の実験では、試料の1層目と2層目の加速度は、約8Gで同じ様な値となった。3層目は、単位水量90kg/m³で2~3G、100kg/m³で3~4Gとなっており、単位水量が大きい方が加速度が良く伝達されることを示している。

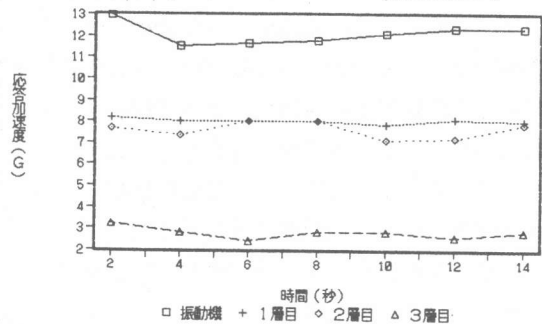


図-4 応答加速度の経時変化 (W90kg/m³)

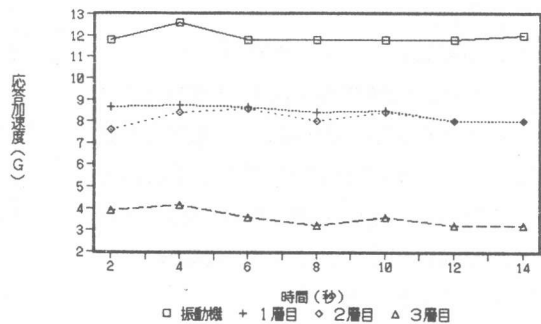


図-5 応答加速度の経時変化 (W100kg/m³)

3.2 充填率

締固め時間15および120秒後の締固め層内の各位置の充填率測定結果を図-6に示す。これから単位水量が小さい方がいずれの締固め時間でも充填率が小さくなり、また、どの条件でも深さ方向に充填率が減少していることがわかる。

3.3 振動エネルギーと充填率の関係

単位体積のコンクリートが振動数 f で t 秒間の振動を受ける時の締固めエネルギーは、前述の突固め状態での効率 k を考慮すれば次のようになる。

$$E = m \cdot \frac{(\alpha_{\max})^2}{4\pi^2 f} \cdot k t \quad \text{---(3)}$$

ここに、 E ：締固めエネルギー(J/cm³)、 m ：試料の単位容積質量(kg/cm³)、 α_{\max} ：最大加速度(m/s²)、 k ：振動伝達の効率、 f ：振動数(Hz)、 t ：振動時間(sec)

この式(3)を用いて、図-4, 5に示す加速度の時間分布を直線近似して締固めエネルギーを計算した。このエネルギーに対する充填率(図-6)の関係を、前述の締固め性試験による締固め曲線上にプロットしたものを、単位水量90、100kg/m³ごとにそれぞれ図-7, 8に示す。これらの図から単位水量100kg/m³の場合は、締固め曲線と一致していることがわかる。しかし、単位水量90kg/m³の場合は、エネルギーと充填率の関係の傾向はほぼ合っているが、エネルギー量の小さな所では、充填率が締固め曲線より大きくなっている。これは、単位水量が90kg/m³の硬いコンクリートの場合、両試験における試料投入方法の影響、さらには締固め性試験における型枠寸法(φ10X20cm)が小さいために、試料と型枠側壁の摩擦抵抗によって締固め曲線の充填率が小さくなったことによるものと考えられる。このように表面振動機で締固めを行う際の加速度に基づく締固めエネルギーを計算すれば、締固めの程度を評価できることが示唆された。

4. まとめ

以上の検討によって、超硬練りコンクリートを表面振動機で締固める際の締固めエネルギーと充填率との関係は、締固め性試験によって推定が可能であることがわかった。すなわち、振動締固め状態でのエネルギーと突固め状態のエネルギーがほぼ统一的に評価できるのである。

今後、さらに締固めエネルギーの評価方法の検討を進めるとともに、応答加速度の締固め層内での減衰のメカニズムを検討し、エネルギー分布の推定を行えば、充填率分布の推定が可能になるとと思われる。

参考文献

- [1]上野 敦・國府勝郎：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、コンクリート工学年次論文報告集第14巻第1号、pp.433~438、1992.5
- [2]國府勝郎・近藤拓也・上野 敦：RCCP用コンクリートの締固め性試験方法に関する研究、No.46 セメント・コンクリート論文集、pp.964~969、1992.12

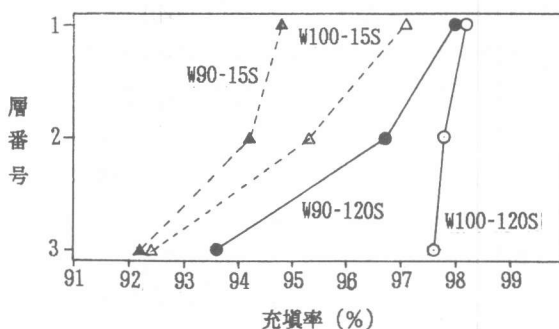


図-6 充填率の分布

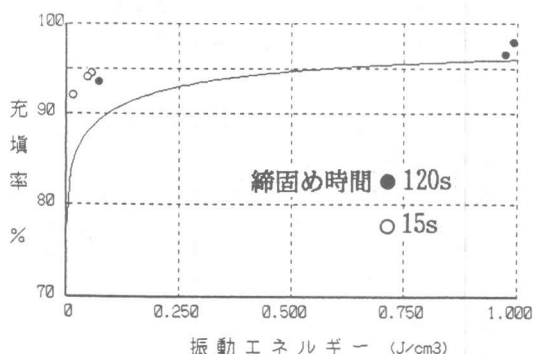


図-7 締固め曲線と計算値 (W90kg/m³)

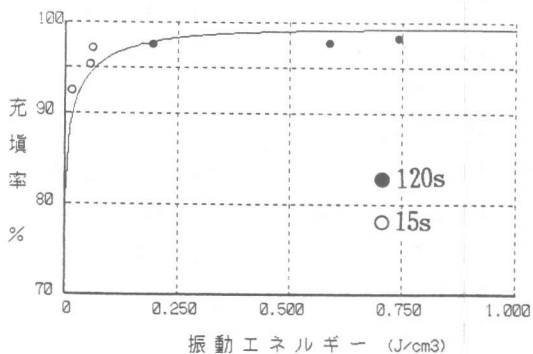


図-8 締固め曲線と計算値 (W100kg/m³)