

V-29

振動ローによる超硬練りコンクリートの締固め特性について（その2）

機関組技術研究所	丸山浩史	東京電力機関電力技術研究所	堤 知明
東京電力機関電力技術研究所	安田 登	東電設計機関耐震技術部	松島 学
東電設計機関耐震技術部	福田靖大	機関組技術研究所	村上祐治

1. まえがき

超硬練りコンクリートは振動ローによる締固めが行われており、締固め度の評価に用いる超硬練りコンクリートの密度は、RI式密度計により測定されている。これまで行われてきた密度測定結果から、超硬練りコンクリートの密度は締固まるにつれて増加することが分かっており、これに伴って超硬練りコンクリートの振動特性は変化するものと思われる。本研究は、締固め時における超硬練りコンクリート内部の加速度波形と、振動ロー部分の加速度波形から、超硬練りコンクリートの締固めに伴う物性値の変化について検討を行ったものである。

2. 実験概要

超硬練りコンクリートの配合条件、試験施工方法の概要、振動ローならびに取付計器については、本報告（その1）で説明されているため、ここでは省略する。加速度計は振動ローの振動輪軸受け部分と、超硬練りコンクリートの内部に、それぞれ上下方向の加速度が測定できるように設置した。

3. 実験結果

振動ローの加速度波形とFFTによる波形解析結果を図-1に、締固め時における超硬練りコンクリート内部の加速度波形を図-2に示す。振動ローの加速度波形は、ほぼ一定振幅の比較的正弦波に近い形状を示し、スペクトル分布は1次基本周波数成分が大きく卓越したものとなっている。一方、超硬練りコンクリート内部の加速度振幅は加速度計直上で最大となり、遠ざかるにつれて徐々に小さくなっている。図-2の加速度波形から超硬練りコンクリート内部におけるラングマスペクトルを計算し、このうちの1次基本周波数成分の経時変化を図-3に示す。なお、ラングマスペクトルの各計算区間における1次基本周波数は、振動ローの加振周波数とほぼ一致していることが確認されている。同図において、1次の1/2振幅は転圧面から深くなるにつれて小さくなっており、加振点からの距離が増加するにつれて波動が減衰しているものと思われる。

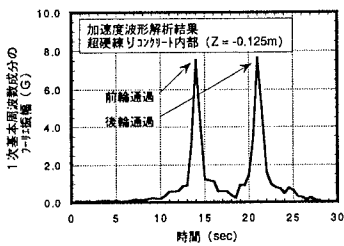


図-3 1次基本周波数成分のラングマ振幅の経時変化

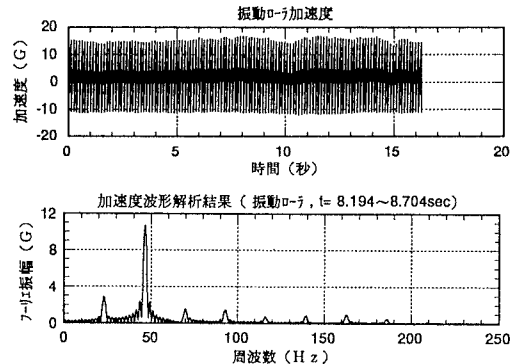


図-1 振動ロー加速度波形と波形解析結果

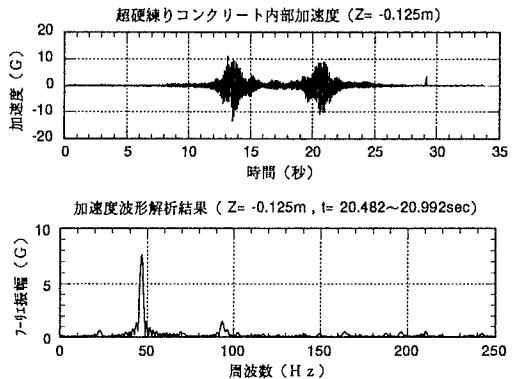


図-2 超硬練りコンクリート内部の加速度波形と波形解析結果

4. 締固め時における超硬練りコンクリートの応答解析

ある深さ Z (m) を持った均一な超硬練りコンクリートを想定し、図-4に示す1自由度系の1質点モデルを仮定する。この質点が、上下方向の強制加振を受けるときの運動方程式と、その変形過程を図-5に示す。最終的に得られる(6)式は、 f_0 、 m 、 ω 、 ω' 、 y が既知の時、減衰定数 h が一義的に得られるものであり、減衰定数 h を(5)式に代入すればバネ係数 k が直ちに得られる。ここに、 f_0 は振動ローの起振力 $23(t \cdot G)$ 、 m は振動ローの輪荷重 $5(t)$ 、 ω は振動ローの加振円振動数 $43 \cdot 2\pi$ (rad/sec)、 ω' は超硬練りコンクリート内部で測定された加速度波形の1次基本円振

動数(rad/sec)で、 y は ω' 成分の7-11振幅(G)とした。また、 ω' と y に代入する数値は、振動ローラが内部加速度計の真上に達した時点における7-11振幅と1次基本円振動数を用いた。以上のようにして計算された減衰定数 h 、バネ係数 k の締固め回数による変化を図-6に示す。締固めの進行に伴って減衰定数 h は若干の減少、バネ係数 k は若干の増加を示しており、締固めに伴って超硬練りコンクリートの剛性が増加していると考えられる。

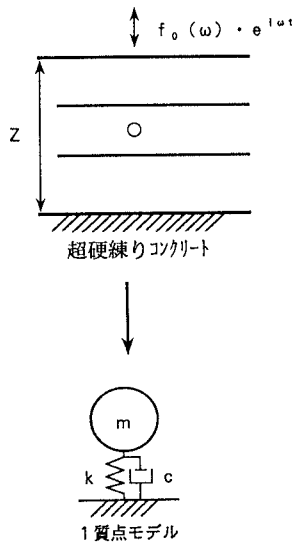


図-4 超硬練りコンクリートの振動モデル

運動方程式 $m \cdot \ddot{y} + c \cdot \dot{y} + k \cdot y = f_0(\omega) \cdot e^{i\omega t}$ (1)

上式の解を $y = A \cdot e^{i\omega t}$ とおくと

$$A = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + 4 \cdot h^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \cdot \frac{f_0}{m \cdot \omega_0^2}$$
 (2)

式(2)より、質点の応答加速度は、次式で示される。

$$\ddot{y} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + 4 \cdot h^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \cdot \frac{f_0}{m}$$
 (3)

また、 $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ を用いると、(3)式は以下のように書き換えられる。

$$k = \frac{f_0 \cdot \omega_0^2}{\ddot{y}} \cdot \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + 4 \cdot h^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$
 (4)

ここに、 k : 系のバネ係数、 h : 系の減衰定数、 f_0 : 強制加振力、 ω : 加振振動数、 ω_0 : 非減衰の場合の系の固有円振動数、 $\ddot{y}$: 質点の応答加速度である。

減衰がある場合の系の固有円振動数は、 $\omega' = \omega_0 \cdot \sqrt{1-h^2}$ であらわされ、さらに

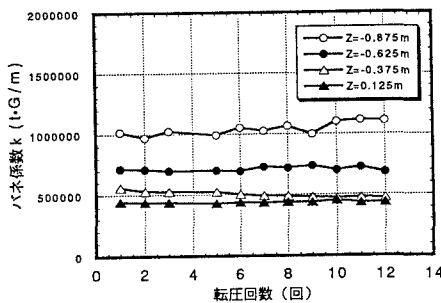
$$k = m \cdot \omega_0'^2 = \frac{m \cdot \omega^2}{1-h^2}$$
 (5)

を用いて、(4)式を整理すると

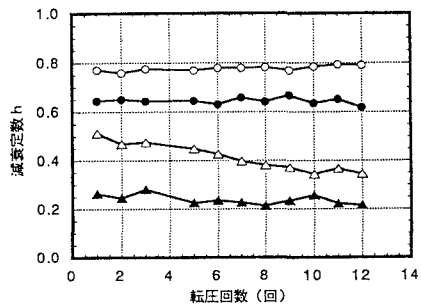
$$\ddot{y} = \frac{f_0 \cdot \left(1-h^2\right) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega'}\right)^2}{\sqrt{1+2(2h^2-1)(1-h^2) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega'}\right)^2 + (1-h^2)^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega'}\right)^4}}$$
 (6)

が得られる。

図-5 強制加振時における運動方程式とその変形過程



(a) バネ係数 k の推定値と転圧回数の関係



(b) 減衰定数 h の推定値と転圧回数の関係

図-6 超硬練りコンクリート物性値の推定結果

5. まとめ

超硬練りコンクリートを1自由度系の1質点モデルと仮定し、振動ローラによる締固め時の超硬練りコンクリート内部の物性値の推定を試みた。全体的な傾向として締固めに伴い減衰定数 h は減少、バネ係数 k は増加を示すことが分かった。すなわち、締固めに伴って超硬練りコンクリートの剛性が増加していると判断し得る結果となった。一方、RI式密度測定結果や表面沈下量の結果からは、締固めによる超硬練りコンクリートの高密度化が認められた。従って、超硬練りコンクリートの密度増加に対して剛性が増加しているものと考えられる。ただし、モデル自体が非常に簡単なものであるため、今回行った試計算の結果はいずれも概略値としてとらえるべきである。今後はモデル化の再検討も含めて、より詳細な検討を行ってきたい。