

東電設計(株)耐震技術部

正会員 松島 学

東京電力(株)電力技術研究所

正会員 堤 知明

(株)間組技術研究所

正会員 村上祐治

1. はじめに

近年、ダム用コンクリートは、その経済性ならびに施工性などの優位性から、RCD (Roller Compacted Dam)用コンクリートと呼ばれる超硬練りコンクリートが用いられることが多い。本研究は、RCD用コンクリートの締固めメカニズムを調べるために、簡単な理論モデルを構築し、既往の試験施工の挙動と比較し、その挙動を明らかにしようとしたものである。

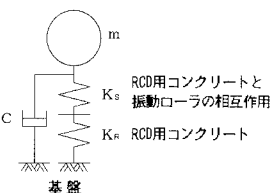


図-1 振動モデル

2. 締固めメカニズムの理論

振動ローラとRCD用コンクリートの振動モデルを図-1に示す。振動ローラの重量 m と振動ローラとRCD用コンクリートの相互作用を表すバネ K_s とRCD用コンクリートのバネ K_R の2つのバネで表される一質点系振動モデルとして仮定できる。従って、RCD用コンクリートの締固めの挙動を表す運動方程式は式(1)で求められる。

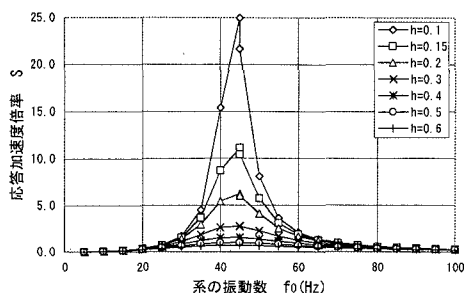
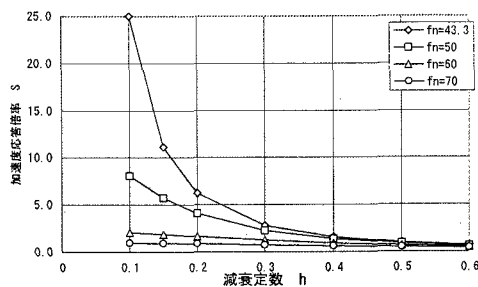
$$m \cdot \ddot{y} + c \cdot \dot{y} + K \cdot y = -f_0(\omega_n) \quad (1)$$

ここで、 $c=2h \cdot \omega_0$ 、 $K=K_R+K_s$ 、 $f_0(\omega_n)$: ω_n の円振動数を持つ振動ローラの起振力である。

上記の解は、 $y = A \cdot e^{i\omega_n t}$ 、 $\omega_0^2 = \frac{m}{K}$ とおくと、 A が求められ、振動ローラの加速度と系の応答加速度の比、応答倍率 S は式(2)のようになる。

$$A = \frac{1}{\sqrt{\left\{1 - \left(\frac{\omega_n}{\omega_0}\right)^2\right\}^2 - 2h^2 \left(\frac{\omega_n}{\omega_0}\right)^4}} \cdot \frac{f_0}{m \cdot \omega_0^2}, S = \frac{m \cdot \ddot{y}}{f_0} = \frac{\left(\frac{\omega_n}{\omega_0}\right)^2}{\sqrt{\left\{1 - \left(\frac{\omega_n}{\omega_0}\right)^2\right\}^2 - 4h^2 \left(\frac{\omega_n}{\omega_0}\right)^4}} \quad (2)$$

このように応答倍率 S は、 $\frac{\omega_n}{\omega_0}$ 、 h の関数で表すことができる。振動ローラの加振振動数は、公称 $f_n=43.3\text{Hz}$ ($\omega_n=272\text{rad/sec}$)であり、この値を式(2)に代入し、応答倍率に対するRCD用コンクリートの減衰定数 h と応答振動数 f_0 の感度を調べる。応答加速度倍率 S とRCD用コンクリートの応答振動数 f_0 の関係を図-2(a)に示す。振動ローラの入力振動数付近では共振し、応答倍率が大きくなっている。その傾向は、減衰定数が小さいほど顕著である。応答加速度倍率 S とRCD用コンクリートの減衰定数の関係を図-2(b)に示す。同じ応答振動数では、減衰定数が大きくなるほど応答倍率が小さくなる。

図-2(a) 系の振動数 f_0 と応答加速度倍率 S 図-2(b) 系の減衰 h と応答加速度倍率 S

3. 施工試験での検証

施工試験での転圧回数と応答加速度の最大値の関係を図-3 に示す。ばらつきはあるものの転圧回数が多くなるにつれて応答加速度の最大値は大きくなる傾向がある。転圧回数と RI 密度の関係を図-4 に示す。図から転圧回数が多くなるにつれて RCD 用コンクリートの密度が大きくなっているのがわかる。また、図-5 に見られるように、転圧回数が増加すると、応答振動数は大きくなる傾向にある。従って、密度が大きくなることは、剛性も大きくなることであり、減衰定数を一定と考えると、振動ローラの応答加速度は小さくなるはずである。しかし、図-3 に見られるように応答加速度の最大値は転圧回数が増加するに従い、大きくなり、理論解と一致しない。振動数が大きくなると言っても、わずか 1.0Hz 程度であり、この程度の変化で応答値に影響を与えるとは思えない。応答振動数と加振振動数との関係を図-6 に示す。振動ローラの振動数は変化するが、締め固まるにつれて応答振動数も加振振動数も大きくなり、その関係は線形である。このように加振振動数は、振動ローラが RCD 用コンクリートの締め固め状態により影響を受けるために変化する。従って、図-2(b)に見られるように、減衰定数が締め固まるにつれて、小さくなっていることを裏付けている。

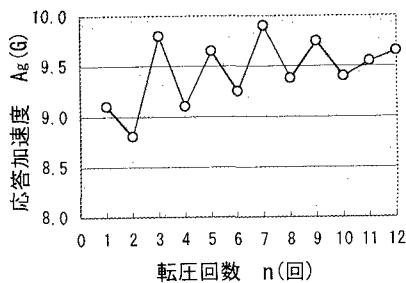


図-3 転圧回数 n と最大応答加速度 $\ddot{A}_{\max}$

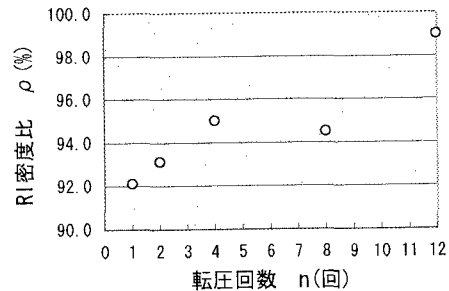


図-4 転圧回数 n と RI 密度比 ρ

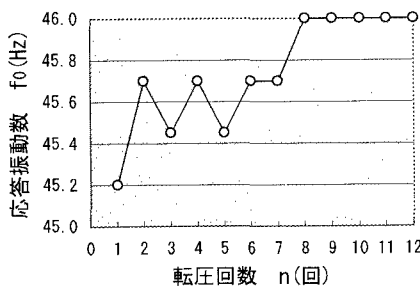


図-5 転圧回数 n と応答振動数 f_0

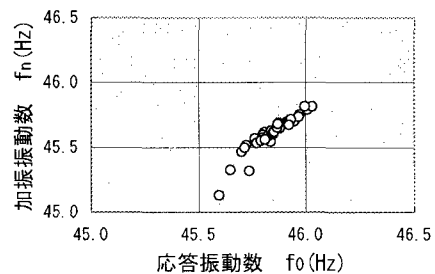


図-6 加振振動数 f_n と応答振動数 f_0

4. まとめ

このように減衰定数が締め固まる状態に対する影響の方が大きいと考えられ、減衰定数が大きくなると応答値は小さくなることから応答加速度の現象を説明できる。締め固めの挙動を観察すると、はじめ粘性体であるものが締め固められるにつれて固体になっているのが見られる。このことから減衰定数の変化は大きいものと判断される。従って、振動ローラにより締め固まる RCD 用コンクリートの支配される要因は、剛性の変化よりも、減衰定数の変化によるものが支配的であると判断される。