

# RCD用コンクリートのリアルタイム 締固め管理システムの研究開発

舍川 徹<sup>1</sup>・関根 裕治<sup>2</sup>・堤 知明<sup>3</sup>・村上 祐治<sup>4</sup>・井上 慎介<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京電力株式会社 業務管理部業務統括・TQM推進マネージャー  
(〒100-0011 東京都千代田区内幸町1丁目1番3号)

<sup>2</sup>正会員 工修 東京電力株式会社 神流川水力建設所安全・環境・品質管理グループマネージャー  
(〒370-0831 群馬県高崎市新町6-19)

<sup>3</sup>正会員 博士(工学) 東京電力株式会社 電力技術研究所土木グループ 主管研究員  
(〒230-0002 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1)

<sup>4</sup>正会員 博士(工学) 株式会社 間組 技術研究所 技術研究部主任研究員  
(〒305-0822 茨城県つくば市苅間字西向515-1)

<sup>5</sup>正会員 工修 東京電力株式会社 技術部電源計画グループ  
(〒100-0011 東京都千代田区内幸町1丁目1番3号)

葛野川ダムでは、コストダウン、工期短縮の観点から、中高標高部に単位結合材量 $110\text{kg}/\text{m}^3$ の配合を初めて採用するとともに、リフト厚さも $1\text{m}$ と厚くしたRCD工法で施工した。施工に先立ってRCD用コンクリートの施工試験を行い、施工仕様を検討するとともに、締固め中のRCD用コンクリート内の加速度や圧力を計測し、締固め挙動や振動ローラの振動輪加速度の把握を行った。本論は施工試験の結果に基づいてRCD用コンクリートの締固め時の挙動を把握するとともに、RCD用コンクリートの締固めをリアルタイムに打込み面全域に亘って管理できるシステムの開発について述べるものである。

*Key Words* : RCD construction method, construction management, settlement, relative density, acceleration wave

## 1. まえがき

東京電力では、今後増大していく電力需要に対応するために山梨県東部に純揚水式の水力発電所(葛野川発電所)を建設中である。

葛野川発電所の下部ダムとなる葛野川ダムは、堤高 $105.2\text{m}$ 、堤頂長 $263.5\text{m}$ 、堤体積 $62.2\text{万}\text{m}^3$ の重力式コンクリートダムである。この葛野川ダムでは、単位結合材量と単位水量が少ないRCD(Roller Compacted Dam-Concrete)用コンクリートをブルドーザで薄層敷均し、振動ローラで締固める工法により施工した。従来RCD工法では、RCD用コンクリートの単位結合材量は $120\sim 130\text{kg}/\text{m}^3$ 、リフト厚さ $75\text{cm}$ 程度で施工されている<sup>1)</sup>。しかし、本ダムではコストダウン、工期短縮等の観点から、中高標高部に単位結合材量 $110\text{kg}/\text{m}^3$ の配合を初めて採用するととも

に、リフト厚さも $1\text{m}$ としたRCD工法で施工することにした。

RCD工法においてリフト厚を厚くすることにより、コンクリート全層にコンクリート表面からの振動ローラの締固めエネルギーが伝わりにくくなる。さらに単位結合材量を削減することにより、コンクリート中の粉体量が少なくなり、コンクリートのコンシステンシーが低下して締固めが難しくなることが予想された。そのため、以下の課題を解決する必要があった。

- ①コンクリートの配合を工夫し、締固めやすいものにするとともに、厚いリフトでも確実に締固められるような施工仕様を検討する。
- ②単位結合材量の少ない $110\text{kg}/\text{m}^3$ の配合においても、打込み現場でコンクリートが所定の密度に締固められているかをリアルタイムに管理する。

上記課題を解決するために、始めに単位結合材量

表-1 RCD用コンクリート配合

リフト厚 (m)	配 合					敷き均し	最終転圧回数 (回)
	最大骨 材寸法 (mm)	単位結合 材料 (kg/m <sup>3</sup> )	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材率 (%)	フライアッシュ 置換率(%)		
1.00	120	120	90	28	30	27cm 4層	12

120kg/m<sup>3</sup>のRCD用コンクリートの施工試験を行い、施工仕様を検討するとともに、RCD用コンクリートの締固め挙動の把握を行った。本論は施工試験で把握したRCD用コンクリートの締固め挙動について述べるとともに、得られた結果を単位結合材量110kg/m<sup>3</sup>のコンクリートへも反映させることで、これまでになかったRCD用コンクリートの締固めをリアルタイムに打込み面全域に亘って管理できるシステムの開発について述べるものである。

## 2. 試験施工の計測概要

RCD用コンクリートの振動締固めに伴う物性の変化をセンサによる計測値によりリアルタイムに数値的に表わすことができれば、客観的にRCD用コンクリートの締固めを表現することができる。そこで、振動ローラに加速度センサを取付けて施工試験を行い、RCD用コンクリートの密度比との関係を調べた。

加速度センサは前後振動輪の左右にそれぞれ取付けた。また、振動ローラの沈下量はRCD用コンクリートの締固め密度と直接関係すると考えられることから、電子スタッフ・電子レベルにより締固め時の振動ローラの標高も連続して計測し、沈下量を把握できるようにした。図-1に振動ローラに取付けた計測器の種類と位置を示す。

試験施工でのRCD用コンクリートのリフト厚さは先行地点よりも一層の効率化、コストダウンを目指し1m、撤出し厚は2cmの余盛りを考慮して27cm×4層とした。使用したRCD用コンクリートの配合を表-1に示す。振動ローラはRCD用コンクリートの締固め効率が最も良い自重約100kN、起振力230kN、振動数43.3Hzのものを用いた。

一方、コンクリートの計測項目と位置を図-2に示す。試験ヤードは3レーンから構成されており、各々のレーンの中央部4mの区間において振動締固めに伴うコンクリートの物性変化を促えるため各種の計測を行った。振動ローラの加速度センサ、電子スタッフによる沈下計測は3レーンとも行った。また、コンクリートは4層で敷き均されており、第1層が一番下の層に

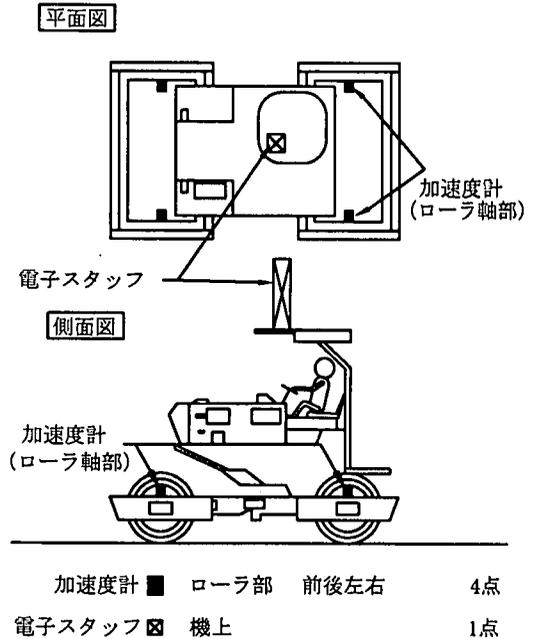


図-1 振動ローラの計測センサと計測位置

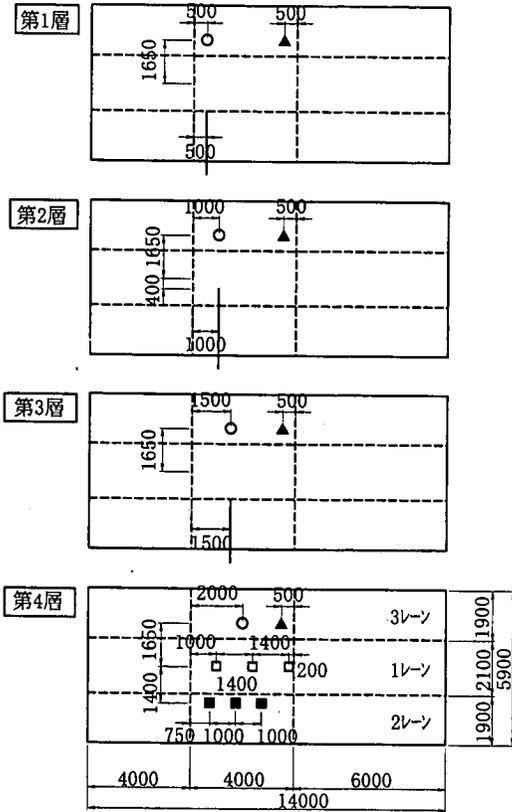
相当し、数字の大きい層ほど上層となっている。第4層になる表層では表面型R I (Radio Isotope)密度計による密度計測を行った。R I密度計は放射線源から発する低レベルのガンマ線をコンクリート中に透過させてその透過率により密度を計測する方法で、試料を採取せずに短時間で密度を測定できる方法である。

表面型R I密度計による計測を行ったレーンでは、各層で深部R I密度計による計測も行った。各層での深部R I密度計の位置は、相互に測定値が影響を受けないように50cmの水平距離でずらしている。

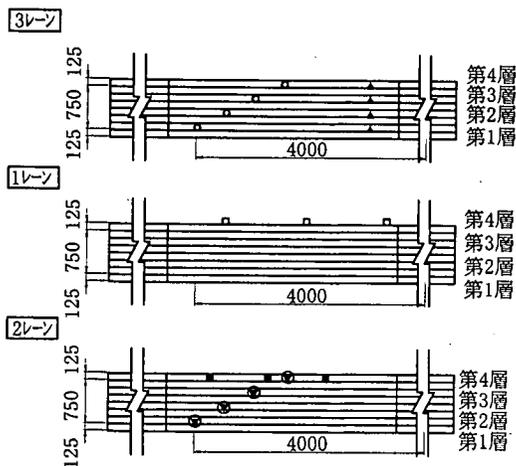
さらに、1つのレーンでは、加速度センサ(測定範囲±20G)、圧力センサ(最大測定圧力2N/mm<sup>2</sup>)ならびに電流計をコンクリート内の各層に埋設した。加速度センサと圧力センサの埋設位置は深部R I密度計と同様に、50cmの水平距離でずらしている<sup>2),3),4)</sup>。また、電流計を図-3に示す。電流計は200mmの区間の銅電極の電流、電圧を測定するもので、先行ダムの計測例<sup>5)</sup>を参考にブルドーザー敷き均しおよび振動ローラ締固め時のモルタルの流動、空隙の充填状況について把握するものである。

凡 例

- 加速度、圧力計
- ▲ 電流計
- 深部RI密度計
- 表面RI密度測定
- 表面沈下量測定位置

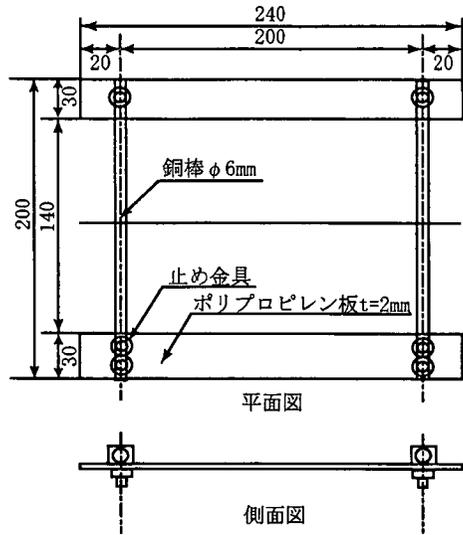


(a) 平面図



(b) 断面図

図-2 コンクリートの計測項目および位置



(単位: mm)

図-3 電流計

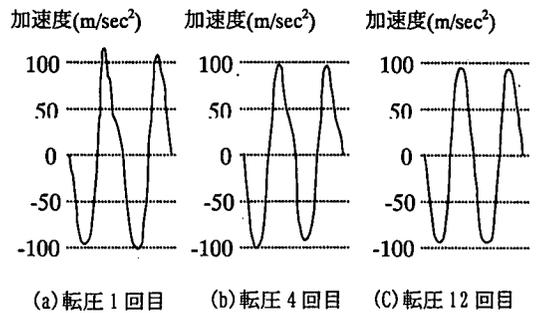


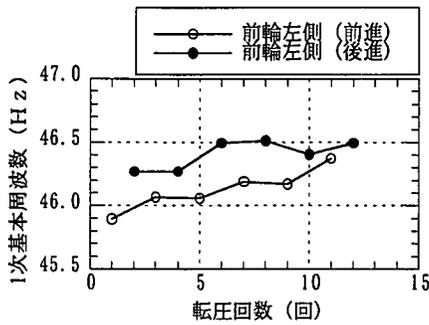
図-4 振動輪の加速度波形計測例

### 3. 振動ローラによる計測結果

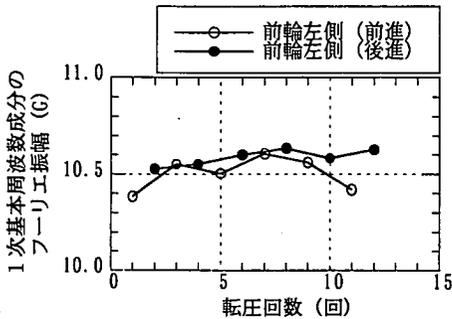
試験施工における計測結果のうち、ローラ前輪左側で計測した転圧回数毎の加速度波形を比較したものを図-4に示す。同図から、転圧回数の少ない時は、加速度波形に尖った箇所が見られ、加速度波形に乱れが認められるが、転圧回数が増加すると波形の乱れはなくなり、加速度波形は正弦波に近くなる傾向にあることが分かる。

図-4と同じ箇所測定された加速度波形を各転圧回数ごとに周波数分析を行った結果を図-5に示す。なお、いずれの図も前進転圧と後進転圧で値に差があるのは、ローラの前輪荷重と後輪荷重に差があるため前進後進の影響が出ているものと考えられる。

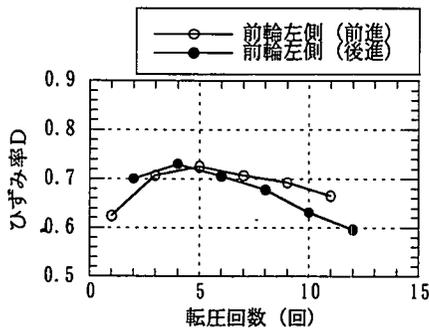
同図(a)より加速度の一次基本周波数は転圧とともに増加する傾向がみられるものの、1回目の転圧



(a) 転圧回数と1次基本周波数の関係



(b) 転圧回数と1次基本周波数成分のフーリエ振幅の関係



(c) 転圧回数とひずみ率の関係

図-5 振動輪鉛直方向の周波数分析結果と転圧回数の関係

から12回目の転圧までに0.5Hz程度の増加でしかなく、転圧によらずほぼ一定となっている。

同図(b)には転圧回数と1次基本周波数のフーリエ振幅の関係を示すが、フーリエ振幅は転圧回数によらずほぼ一定の値となっている。

同図(c)は加速度波形の乱れを転圧回数毎に示したものである。ここで加速度波形の乱れは、式(1)に示

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n S_{0.5 \times i \times f_1} - S_{f_1}}{S_{f_1}} \quad (1)$$

ここに、D：ひずみ率

$S_{f_1}$ ：基本周波数の振幅スペクトル

$S_{0.5 \times i \times f_1}$ ： $0.5 \times i \times f_1$ の周波数の振幅スペクトル

n：n=7

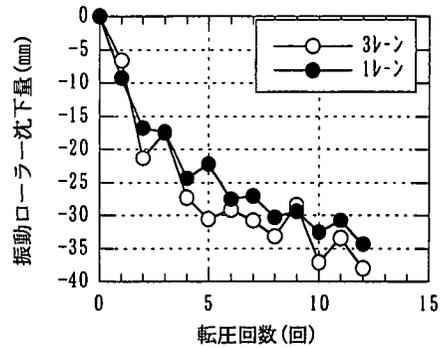


図-6 転圧回数と沈下量の関係

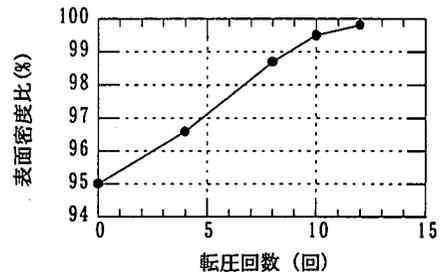


図-7 転圧回数と密度比の関係

すひずみ率で定義した。

ここで、用いたひずみ率は嶋津<sup>9)</sup>によって定義されたものである。嶋津はひずみ率を土の締固めの評価に用い、締固めに伴い土が硬くなると振動ローラの跳ね上がり現象により波形が乱れ大きな値を示し、軟らかくなると小さな値を示すとしている。図-5(c)から、ひずみ率は転圧回数が進むにつれ、低下する傾向にあり、土の場合と逆の傾向となっている。これはRCD用コンクリートの場合、転圧に伴いモルタル分が流動化することによって密度は上昇するもの、見かけ上軟らかくなっていることを示唆しているものと考えられる。

振動ローラに取付けた電子スタッフの計測結果をもとに計算した沈下量と、締固め回数の関係を図-6に示す。沈下量は転圧回数5回までは急激に沈下が生じているが、その後は穏やかな変化となっていることがわかる。

表面型RI密度計により計測した表面密度比と転圧回数の関係を図-7に示す。ここで、密度比はRI密度計により測定した密度をコンクリート配合から求めた理論密度で除した値である。同図より密度比の増加は、転圧回数10回までは急激に増加しているが、その後はほぼ収束していることがわかる。

以上の結果から、転圧に伴い密度比、沈下量の変化が大きかった。しかしながら、振動ローラの加速度波形は、転圧に伴い1次基本周波数、そのフー

リ工振幅が増加する傾向は読み取れるものの変化は小さいことが分かった。

#### 4. 締固めに伴うコンクリートの物性の変化

施工試験では、振動ローラは1km/hの定速度で走行しており、コンクリート中に埋設された加速度計とローラの位置関係が常に把握できている。このため、見かけ上振動ローラを停止させた状態で振動を加えた加速度、圧力のコンクリート中への分布が算定可能である。ローラと加速度計、圧力計の位置関係から算出したコンクリート中の加速度、圧力の断面分布を図-8、図-9に示す。

同図より、転圧の進行に伴い加速度は伝播する範囲が広がり、最大加速度が大きくなる。圧力は伝播する範囲が狭くなり、最大圧力も小さくなる傾向にある。地盤の振動は振動ローラの振動輪の強制振動によるものであるため、振動ローラの起振力が一定であるにもかかわらず、RCD用コンクリートの加速度が転圧の進行に伴い大きくなり、圧力が小さくなっている。これは、コンクリートのバネ係数が低下しているためであると考えられる。

このことを図-10に示す1質点系の強制振動としてモデル化して検討する。振動ローラによる強制振動は式(2)で示される。同式からコンクリート表面の変位並びに加速度は式(3)、(4)で与えられる(但し、 $N \geq 0$ の場合)。また、圧力に相当する接地力は式(5)で与えられる。ここで起振力 $F_0$ を一定とし、粘性係数 $c$ の値はバネ係数 $k$ の値に応じて式(6)により設定し、減衰比 $h$ の値は地盤上で振動する基礎の問題を参考に $h = 0.4^{(7),(8)}$ を用いた。

計算結果を図-11に示す。なお、同図においてバネ係数 $k$ は式(7)に示す共振振動数 $f_r^{(9)}$ により表し、振動輪の振動数 $f (=2\pi\omega)$ との比で整理している。また、加速度と接地力についても振動輪の振動数が共振振動数と一致する時で正規化した。

図-4に示したように、振動輪の加速度波形の乱れが小さいことから、振動輪が地盤から離れて飛び跳ねるような挙動はほとんど生じないものと考え、図-11には振動輪が常に地盤に接していると仮定した場合の結果を示した。なお、式(2)、(5)においては、 $N < 0$ のケースを想定していない。なぜなら、 $N$ は振動ローラの接地力であり、 $N < 0$ であるということはローラによってコンクリートが持ち上げられる現象を意味していることになり、実現象にそぐわない。したがって、本論文では想定しなかった。同図からバネ係数 $k$ の低下に伴い加速度は大きくなり、圧力は低下する傾

$$m\ddot{y} = F_0 \sin(\dot{u}t) + mg - N$$

$$\begin{cases} N = kx + cx \geq 0 & (x = y \text{ のとき}) \\ N = 0 & (x \neq y \text{ のとき}) \end{cases} \quad (2)$$

$$x = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\dot{u}^2)^2 + (c\dot{u})^2}} \sin(\dot{u}t - \phi) + \frac{mg}{k} \quad (3)$$

$$\ddot{x} = \frac{-\dot{u}^2 F_0}{\sqrt{(k - m\dot{u}^2)^2 + (c\dot{u})^2}} \sin(\dot{u}t - \phi) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} N &= kx + cx \\ &= \sqrt{k^2 + (c\dot{u})^2} \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\dot{u}^2)^2 + (c\dot{u})^2}} \sin(\dot{u}t - \phi + \phi') + mg \end{aligned} \quad (5)$$

$$c = 2h\sqrt{m \cdot k} \quad (6)$$

$$f_r = \frac{1}{2\delta} \sqrt{\frac{k}{m}(1 - h^2)} \quad (7)$$

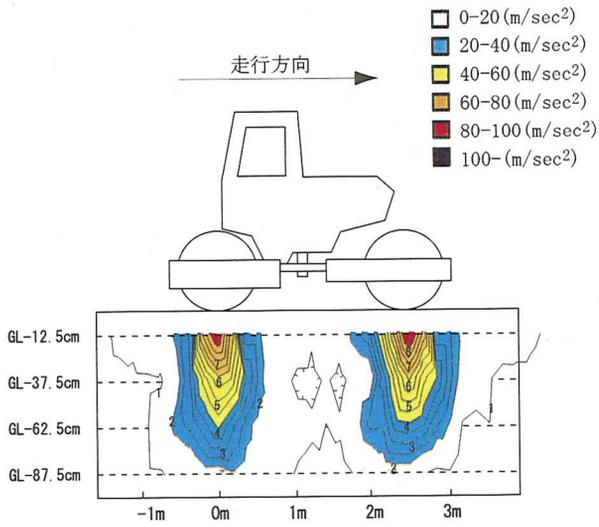
ここで、 $x$ : 地表面変位、 $y$ : 振動輪変位、 $t$ : 時間  
 $\phi$ 、 $\phi'$ : 位相角、 $m$ : 振動ローラの輪荷量、  
 $F_0$ : 振動ローラの起振力、  
 $f$ : 振動ローラの振動数(=2 $\pi\omega$ )、 $N$ : 接地力、  
 $k$ : 地盤のバネ係数、 $f_r$ : 共振振動数、  
 $c$ : 地盤の粘性係数、 $h$ : 減衰比

向にあり実測と同様の傾向となる。

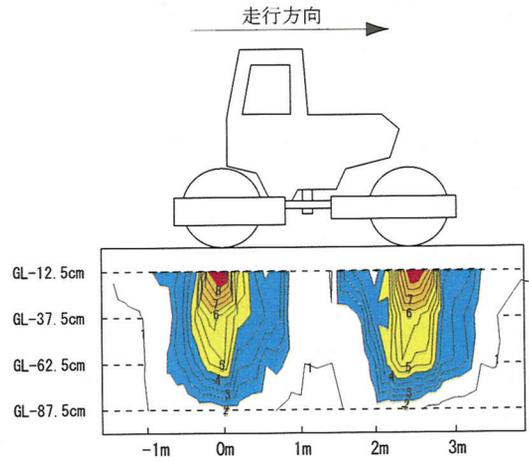
一方、転圧に伴う深度方向の電流値の増加量を図-12に示す。電流値は転圧に伴い増加する傾向にある。電流値の増加は、RCD用コンクリートの電気抵抗が減少していることを示しており、このことはRCD用コンクリート中のモルタル分が流動化し、骨材間に行き渡り、間隙を埋めることにより、電気抵抗が減少したものと考えられる。モルタルが流動化することにより、コンクリートの剛性は低下すると考えられるが、このことは前述の質点系モデルによる検討並びに既往の文献<sup>(10)</sup>とも整合する。

また、コンクリートの密度比の変化についても図-13に示す。同図と電流値の測定結果から、振動ローラの締固めにより40~60cm以浅において、密度比が増加していることがわかる。これは骨材の噛み合わせの変化およびモルタルの骨材間への行き渡りが生じたためと考えられる。またそれより以深で、締固め前で密度比が高くなっているのは、ブルドーザーによる敷き均し時にすでにブルドーザーにより転圧されているためと考えられる。

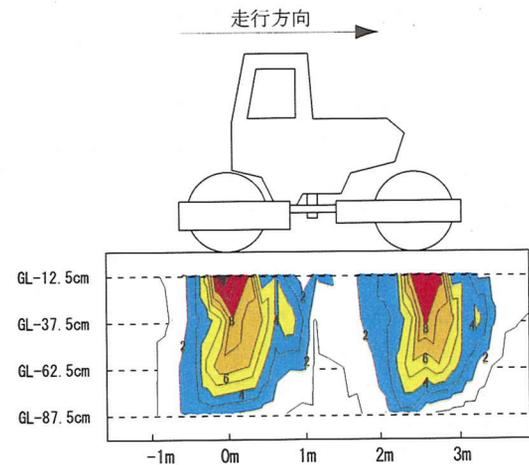
以上の結果から振動ローラの締固め中のRCD用コンクリートは、振動を加えることによりモルタル分が流動化し粗骨材間の空隙を埋めることで密度が上昇



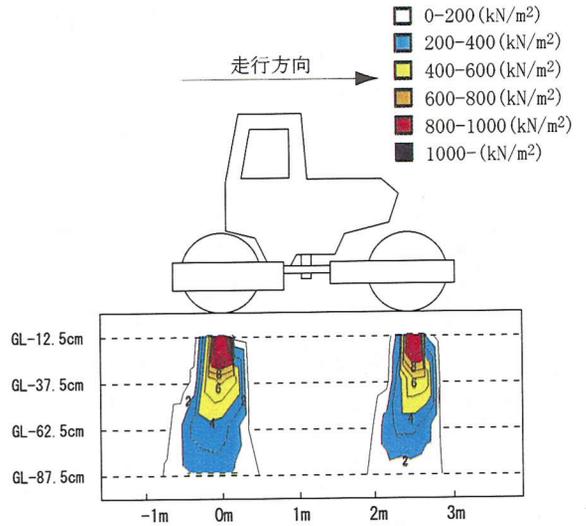
転圧2回目 最大加速度の分布



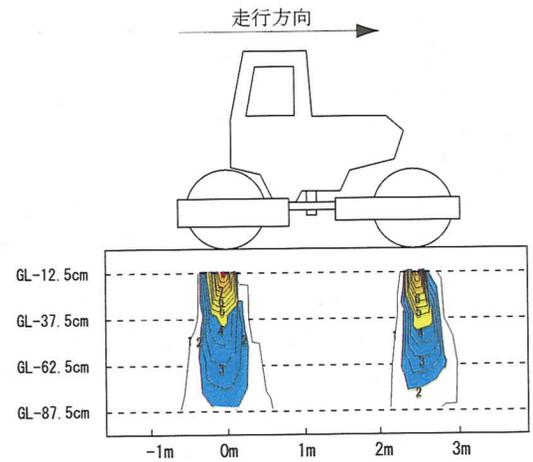
転圧6回目 最大加速度の分布



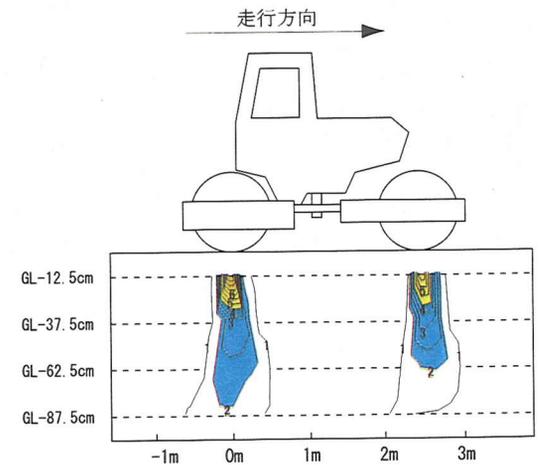
転圧12回目 最大加速度の分布



転圧2回目 最大圧力の分布



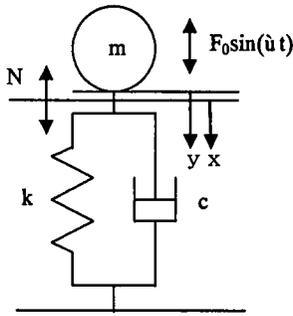
転圧6回目 最大圧力の分布



転圧12回目 最大圧力の分布

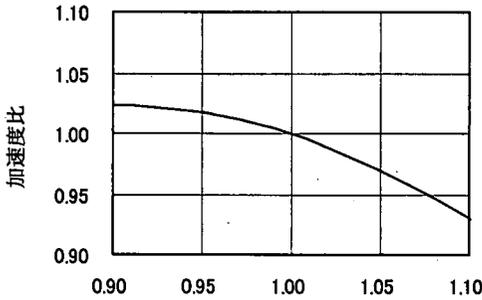
図-8 最大加速度の分布

図-9 最大圧力の分布



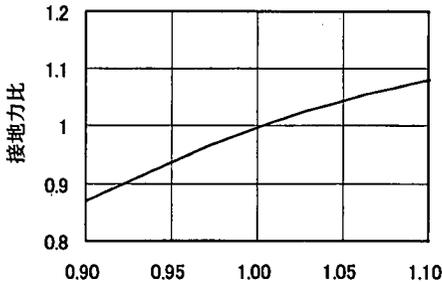
$x$  : 地表面変位,  $y$  : 振動輪変位,  $t$  : 時間  
 $m$  : 振動ローラの輪荷重,  $f$  : 振動ローラの振動数,  
 $F_0$  : 振動ローラの起振力,  $N$  : 接地力,  
 $k$  : 地盤のバネ係数,  $c$  : 地盤の粘性係数

図-10 1質点系の強制振動モデル



共振振動数とローラ振動数の比  $f/f$

(a) 加速度の変化



共振振動数とローラ振動数の比  $f/f$

(b) 接地圧の変化

図-11 バネ係数の変化に伴う加速度・圧力の変化

するとともにバネ係数が見かけ上低下するものと考えることができる。

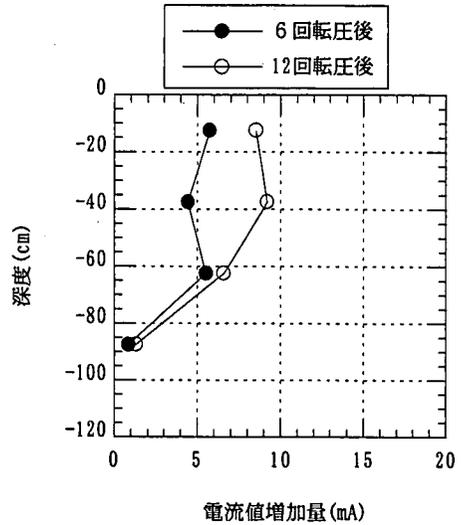


図-12 電流値の分布

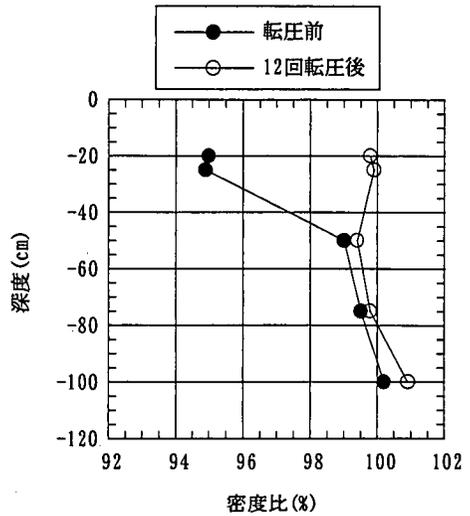


図-13 密度比の分布

## 5. RCD用コンクリートの締固め管理システムの開発

以上のように、締固め時に加えられる加速度、圧力を計測し、それに伴う密度比の増加およびモルタルの流動化状況を測定した。その結果、RCD用コンクリートの締固めの状況を定量的に評価可能な計測項目としてはコンクリート内部の加速度、圧力、密度および振動ローラの沈下量が考えられる。このうち、加速度測定、圧力測定および密度測定は計測機器をRCD用コンクリート内部に埋め込む必要があるため平面的に連続するリアルタイム管理には向

表-2 構成装置の機器仕様

項目	振動ローラ側	位置測定装置側
沈下量測定装置	電子スタッフ：精度0.1mm	電子レベル：水平精度±10秒以下
加速度測定装置	加速度計：容量±20G	—
位置測定装置側	反射板：φ400×550mm	レーザー距離計：精度20mm ミラー回転計：角精度4分20秒
通信	位置測定装置の情報は締固め度評価装置へ無線通信 電波方式：スペクトル拡散方式 無線周波数帯：24Hz	
締固め度評価装置	大容量デジタルメモリーレコーダ演算用パソコン	—
締固め表示	パットライド：赤，黄，青	—

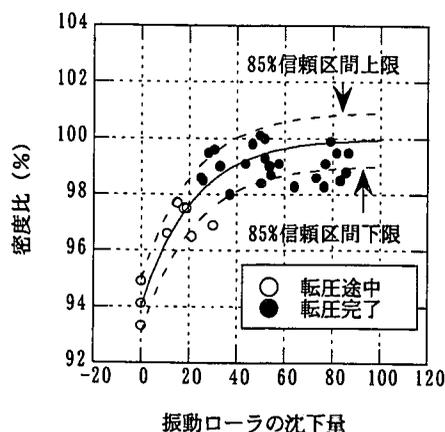


図-14 沈下量と密度比の関係(C+F=120kg/m<sup>3</sup>)

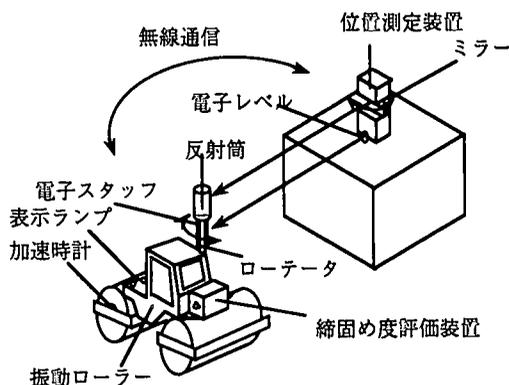


図-15 締固め管理システム

かない。しかし振動ローラの平面的な位置と沈下量の変化を連続的に測定できれば、沈下量からRCD用コンクリートの密度変化を推定し、規定の密度になっていることを確認することにより、平面的に連続リアルタイム管理が可能となる。

図-14は、振動ローラ沈下量とその位置で測定したRI密度計による密度比の関係である。データに若干ばらつきはあるものの、沈下量と密度比はよい相関があることがわかる。

RCD用コンクリートは密度と強度に密接な関係があることが知られており、相対密度が98%以上確保されていれば強度比90%程度となることが示されていることから<sup>1)</sup>密度管理値は98%とした。図-14より密度比98%に相当する沈下量は25mmであることから、管理システム上では振動ローラに青色、黄色、赤色の回転灯を設置し、RI密度比で98%以上に相当する25mmの沈下量が認められた場合は青色、98~96%に相当する沈下量の場合は黄色、96%以下の沈下量の場合は赤色の回転灯がそれぞれ点滅するように設定し、振動ローラのオペレータが沈下状況を一目でわかるようにした。なお、ローラは1km/h以下の低速度で走行しており、2秒間隔に計測しているため、位置の測定精度は55.6cm毎の値である。沈下は電子スタッフの精度

であり、誤差は0.1mmとなっている。

構築したRCD用コンクリートの締固め管理システムを図-15に、その機械仕様を表-2に示す。

振動ローラはコンクリート表面を移動しながら締固めを行うため、どのような方法でその位置(X, Y, Z)をリアルタイムに測定し、沈下量の算定情報を締固め管理に反映させるかが問題となる。そのため、以下のようなシステムを開発した。

①振動ローラの位置(X, Y)を測定するために固定台に設置したレーザー距離計から振動ローラ屋根に取り付けられた反射板に向けレーザーを発射し、自動的に位置を計算できるようにした。

②同時に固定台に電子レベル、振動ローラに電子スタッフを取り付け、沈下量(Z)も自動的に測定できるようにした。

③測定されたデータは無線により振動ローラに取り付けられたマイクロコンピュータに送信され、この中で現在振動ローラが締固めを行っている位置での締固め開始時からの累積沈下量を算定するとともに、事前に得られている密度と沈下量の相関関係からコンクリート密度に変換する。

オペレーターは運転席の回転灯の色の変化を見な

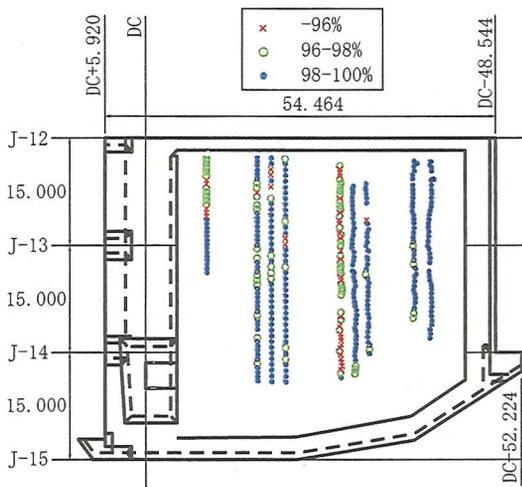


図-16 転圧2回目に関するRCD用コンクリートの密度比の平面分布図

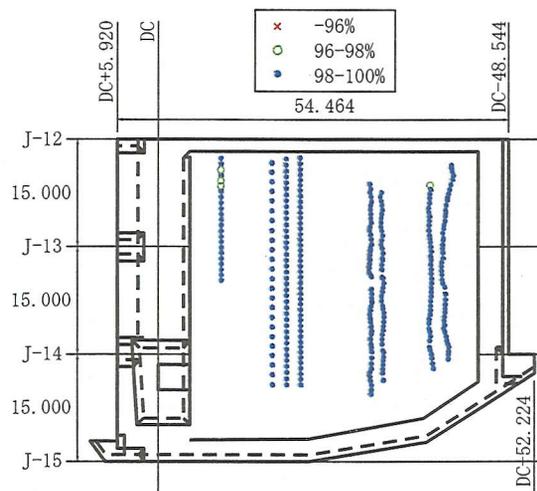


図-17 転圧12回目に関するRCD用コンクリートの密度比の平面分布図

がら締固め不足の部分については青色になるまで締固めを行うこととした。

施工状況を写真-1に示す。

## 6. 締固め管理システムの実施工への適用結果

締固め管理システムを用いた振動ローラの転圧2回目に関するコンクリートのRCD用コンクリートの密度比の平面分布図を図-16に、転圧12回目の密度比のそれを図-17に示す。転圧2回目では、RCD用コンクリートの密度比が98%以下の部分が多いことがわか

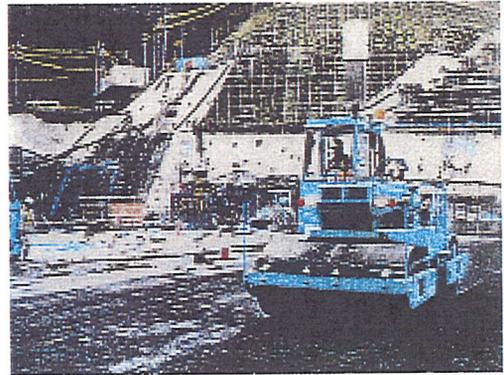


写真-1 施工状況

表-3 コア外観の評価基準

評点	コア外観の評価基準
5	表面が緻密で通常のダムコンクリートに比べさほどそん色がない部分
4	表面がややポーラスな部分、砂分が少し現れている部分
3	表面がポーラス部分、モルタルがややはげ落ちている部分
2	モルタルが粗骨材の周りにゆきわたっておらず、豆板状になっている部分
1	粗骨材がバラバラな部分、またはモルタルが大きく欠損していてコンクリートコアの外観をなしていない部分

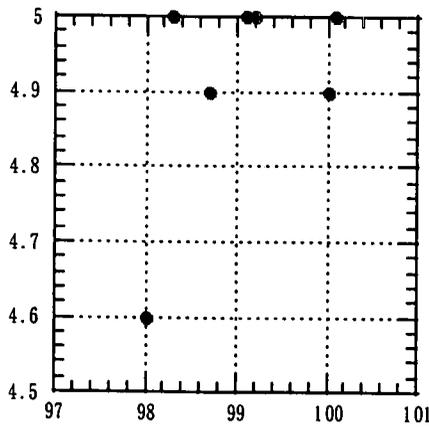
る。転圧12回目になると、RCD用コンクリートの密度比が98%以上を示しており、振動ローラの締固めにより沈下が増大していることがわかる。

実施工において推定した密度比と施工後コアを採取して測定したコア評価点の関係を図-18に示す。

管理システムで98%以上と推定された地点のコア評価点はいずれも4.5以上となっており管理システムが精度よく作動していることがわかる。なお、コア評価点は表-3に示すようにRCD用コンクリートの品質を外観で5段階で採点するもので、長さの加重平均を評価点として算定されるものである。

葛野川ダムでは、単位結合材量 $120\text{kg}/\text{m}^3$ の他に $110\text{kg}/\text{m}^3$ での施工も行っている。単位結合材量 $110\text{kg}/\text{m}^3$ の場合の沈下量と密度比の関係を図-19に示す。 $120\text{kg}/\text{m}^3$ の場合に比べて、バラツキは大きいものの、沈下量と密度比の関係は同様の傾向を示す。このため、実施工では $110\text{kg}/\text{m}^3$ に配合が変わったときも管理基準値は同様の値を用いた。

単位結合材量の違いが転圧特性に及ぼす影響を把握



締固めシステムによる推定密度比 (%)

図-18 コア評価点と密度比の関係

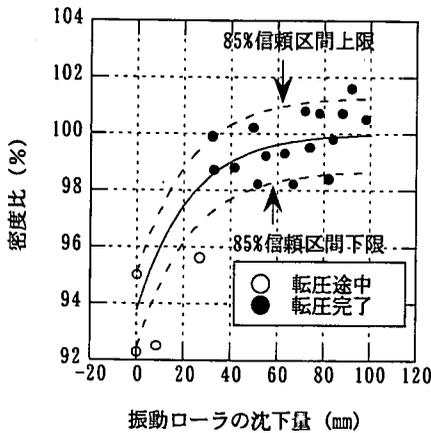


図-19 沈下量と密度比の関係 ( $C+F=110\text{kg/m}^3$ )

するために、管理基準値とした沈下量25mmに達するまでの転圧回数を単位結合材量毎にまとめた。結果を図-20に示す。同図から振動ローラの転圧回数が増加するにしたがって、沈下量25mm超過率が増加していることがわかる。単位結合材量 $120\text{kg/m}^3$ では、振動ローラの転圧4回で25mm超過率は90%以上となっているのに対し、 $110\text{kg/m}^3$ では振動ローラの転圧8回で90%以上となっている。転圧12回では単位結合材量 $120\text{kg/m}^3$ 、 $110\text{kg/m}^3$ 双方とも25mm超過率は100%となっている。

このように単位結合材量が減少した場合は締固めにくくなる傾向が認められるが、入念に施工することにより所要の品質を満足するダムコンクリートが建設できることが明らかとなった。

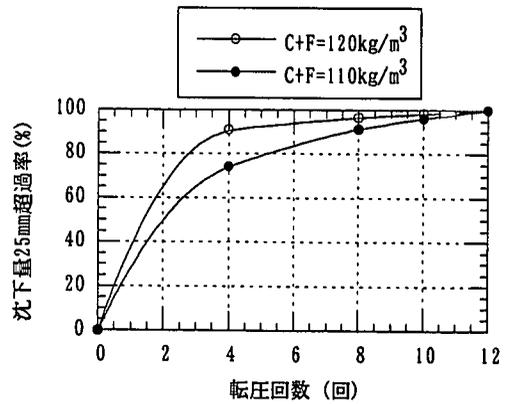


図-20 転圧回数と沈下量が25mmを超える割合の関係

## 7. 結論

ダムコンクリートのコストダウン、施工合理化の観点から、単位結合材量の削減、リフト厚さの増加を実現するため、RCD用コンクリートの締固めに関する試験施工を行いRCD用コンクリートの沈下によるリアルタイム締固め管理システムを開発した。得られた成果を以下に示す。

- (1) 振動ローラの振動締固め時に観測した振動ローラの加速度、沈下量のうち、締固めに伴う変化が顕著なものはローラ沈下量である。
- (2) 試験施工時に測定したRCD用コンクリート内部の加速度、圧力分布によると、締固めが進むにつれ加速度の伝播範囲が広がり、最大加速度も大きくなる傾向にある。一方、圧力は伝播範囲が小さくなり、最大圧力も小さくなる傾向にある。電流値、密度比は締固めが進むにつれ大きくなる傾向を示した。
- (3) これら計測結果と1質点系のモデル計算からRCD用コンクリートは締固めに伴いモルタル分が流動化することで軟らかくなる傾向にあることが推測された。
- (4) 振動ローラの沈下量と密度比は密接な関係があり、この関係を用いて、RCD用コンクリートの締固め管理システムを開発した。
- (5) 締固め管理システムにより、リアルタイムにRCD用コンクリートの打設面全域に亘って密度比を求めることができ、所要の密度を満足する施工が可能となった。
- (6) 単位結合材量が $110\text{kg/m}^3$ と少なくなると $120\text{kg/m}^3$ に比べ相対的に締固めにくくなる傾向にあるものの、リフト高さ1mで施工しても本手法を適用することで所要の品質を確保することが確認でき、管理基準値と

した沈下量25mmを満足する結果が得られた。

このことから、入念な施工、リアルタイムによる品質管理により、単位結合材量 $110\text{kg}/\text{m}^3$ 、リフト高さ1mの採用のRCD工法は良好な成果が得られた。

謝辞：葛野川ダムのRCD工法については、(財)ダム技術センターを事務局とした「ダム構造・設計等検討委員会発電ダム分科会(葛野川ダム関連)」を設置し、國分正胤委員長ほか委員、幹事各位のご懇篤なるご指導を賜りました。

ここに深甚なる感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会編：超硬練りコンクリート研究委員会報告書，p. 6, 1998. 6.
- 2) 丈達俊夫，吉田等，及川隆：竜門ダムにおけるRCD工法とその改良，ダム工学，No. 9, pp. 51~65, 1993. 3.
- 3) 舍川徹，関根裕治，赤松英樹：葛野川発電所葛野川ダムRCD工法の施工試験結果について，ダム工学，No. 20, 1995. 12.
- 4) Tonegawa, T., Sekine, Y. and Akamatsu, H.: Experimental Field Study for Increasing The Lift Thickness of The RCD Construction Method, Dix-neuvieme Congres des Grands Barrages Florence, Commission Internationale Des Grands Barrages, pp. 415-455, 1997.
- 5) 丈達俊夫，吉田等，及川隆：竜門ダムにおけるRCD工法とその改良，ダム工学，No. 9, pp. 51-65, 1993. 3.
- 6) 嶋津晃臣：振動ローラによる盛土の締固めに関する調査，土木研究資料，第2184号，1985.
- 7) 岩崎敏男・嶋津晃臣訳：「土と基礎の振動」，pp. 207-263, 鹿島出版会，1975.
- 8) 建山和由，中島聡，藤山哲雄：振動式締固め機械の振動特性を利用した地盤の締固め度の評価手法について，土木学会論文集，No. 487/III-26, pp. 237-245, 1994. 3.
- 9) 振動工学ハンドブック，pp. 121-127, 養賢堂，1985.
- 10) 遠藤孝夫：ローラコンパクトドコンクリートの締固め挙動に関する基礎的研究，東北大学博士論文，1993. 3.
- 11) 永山功，渡辺和夫，日向正：標準供試体を用いたRCD用コンクリートの配合設計に関する検討，ダム技術，No. 80, pp. 21-30, 1993. 5.
- 12) 舍川徹，関根裕治，赤松英樹：葛野川発電所葛野川ダムのRCD工法の施工試験結果について，ダム工学，No. 20, 1995. 12.

(2000. 5. 31. 受付)

## DEVELOPMENT OF REAL-TIME QUALITY CONTROL SYSTEM FOR COMPACTION OF ROLLER COMPACTED DAM-CONCRETE

Tohru TONEGAWA, Yuji SEKINE, Tomoaki TSUTSUMI,  
Yuji MURAKAMI and Shinsuke INOUE

To reduce the cost and shorten the construction period in the Kazunogawa Dam project, we applied for the first time  $110\text{ kg}/\text{m}^3$  of reduced binding materials in concrete mix proportion and 1 m of thickened layer in the RCD construction method.

Before starting the concrete work, we measured the acceleration or pressures inside the concrete during compaction with vibrating rollers, and determined the work method and specifications.

This paper clarifies the behavior of concrete for RCD during compaction based on field tests and describes a real-time control system that covers all areas of compaction work.