

# 既設ダムコンクリートのヤング係数推定法に関する研究

東北学院大学工学部 学生員 ○瀬戸 崇博  
 東北学院大学工学部 布田 学  
 東北学院大学工学部 菅井 友二  
 東北学院大学工学部 フェロー会員 遠藤 孝夫

## 1. はじめに

既設のコンクリートダムは建設後すでに50年以上経過しているものがある。既設ダムの長期安全性を照査するためには、ダムを構成しているコンクリートの長期的力学特性を正確に評価する必要がある。この目的で、コンクリートのクリープ試験が実施されているが、コンクリートのヤング係数についてはほとんど研究がなされていない。

本研究は、コンクリートの静的ヤング係数を求めるため、コンクリートをセメント・ペースト固化体と骨材の二相材料と仮定し、時間依存性を考慮したコンクリートのヤング係数を複合理論により推定することを試みたものである。

## 2. セメント・ペーストのヤング係数の算定法

河角<sup>1),2)</sup>は中庸熟セメントを水中養生したセメント・ペーストの超音波伝播速度(パルス速度)を次式で表した。

$$V_p / COEF = 4924.18 - 5729.98\phi_l - 4283.04\phi_g \quad (1)$$

(m/sec)

$$V_s / COEF = 2610.15 - 3513.92\phi_l - 1927.00\phi_g \quad (2)$$

(m/sec)

$$COEF = \left[ 1 + \left( \frac{1-D}{1+\gamma} \right) \left( \frac{\gamma - W/C}{D + W/C} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$D = \rho_w / \rho_c \quad (4)$$

$$\phi_l(t) = \frac{W - W_B}{\rho_w} = \frac{W - \gamma \cdot C_H(t)}{\rho_w} = \frac{W - \gamma \cdot R_H(t) \cdot C}{\rho_w} \quad (5)$$

$$\frac{C_H(t)}{C} = R_H(t) = \frac{1 - \exp\{(\gamma \cdot C - W) k_0 t^{1-n}\}}{1 - \gamma(C/W) \exp\{(\gamma C - W) k_0 t^{1-n}\}}, \quad (6)$$

(W/C ≠ γ)

ここで、

$V_p$ : 縦波(P波)の伝播速度 (m/s)

$V_s$ : 横波(S波)の伝播速度 (m/s)

$r$ : セメントの完全結合水量=すなわちセメント 1kgを完全に水和させるのに必要な水の質量 (kg/kg)

$W$ : セメント・ペースト 1m<sup>3</sup>当たりの水の質量 (kg/m<sup>3</sup>)

$C$ : セメント・ペースト 1m<sup>3</sup>当たりのセメントの質量 (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_w$ : 水の質量 (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_c$ : セメントの密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$W_B(t)$ : 材齢t日において、1m<sup>3</sup>のセメント・ペースト中でセメントに結合している(水和している)水の質量 (kg/m<sup>3</sup>)

$\phi_l$ : セメント・ペースト 1m<sup>3</sup>中の液体としての水の体積 (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

$\phi_g$ : セメント・ペースト 1m<sup>3</sup>中の空気の体積 (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

$C_H(t)$ : 材齢t日において、1m<sup>3</sup>のセメント・ペースト中で水和しているセメントの質量 (kg/m<sup>3</sup>)

$R_H(t)$ : 全体のセメントに対して材齢 t 日における水和したセメントの重量比 (kg/m<sup>3</sup>/kg/m<sup>3</sup>)

$k_0, n$ : セメントの種類と養生条件による定数

### 2.1 動ヤング係数

パルス速度が求まると、以下の式により動ヤング係数(パルス・ヤング係数:  $E_d$ )と動ポアソン比(パルス・ポアソン比:  $\nu_d$ )が求められる。

$$E_d = 2(1 + \nu_d) \cdot \rho \cdot V_s^2 \times 10^{-7} \quad (N/mm^2) \quad (7)$$

$$\nu_d = (V_p / V_s)^2 - 2 / 2 \{ (V_p / V_s)^2 - 1 \} \quad (8)$$

ここで、

$\rho$ : 媒体の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

#### 2.1.1 静ヤング係数

河角によれば、静ヤング係数( $E_{sp}$ )と静ポアソン比( $\nu_{sp}$ )は次式で求められる。

$$E_{sp} = 0.001628 \times (E_d / 0.0981)^{1.315} \quad (9)$$

$$\nu_{sp} = \nu_d / 1.212 \quad (10)$$

キーワード: 複合理論, ヤング係数, セメント・ペースト, 骨材, パルス速度

連絡先: 〒985-8537 多賀城市中央一丁目 13-1 東北学院大学工学部 遠藤孝夫研究室 TEL 022-368-1115

## 2.2 骨材のヤング係数の算定法

細骨材と粗骨材のヤング係数の算定は、吸水率( $\mu$ )に基づく次式を採用した。

$$E_{sa}, E_{ga} \} = 5.89 / \mu^{0.22} \times 10^4 \quad (N/mm^2) \quad (11)$$

$E_{sa}, E_{ga}$ : 細骨材あるいは粗骨材のヤング係数( $N/mm^2$ )

これらをもとに、細骨材と粗骨材をあわせた骨材全体のヤング係数( $E_a$ )は、細骨材および粗骨材の絶対容積比を用いた次式で表される。

$$E_a = S_a \cdot E_{sa} + (1 - S_a) \cdot E_{ga} \quad (12)$$

ここで、

$S_a$ : 細骨材絶対容積の全骨材絶対容積に対する比率

## 2.3 コンクリートのヤング係数の算定法

コンクリートを二相モデルと仮定して得られた複合理論式のうち、ここでは式(13)に補正係数( $k$ )を導入した次式を用いることとした。

$$E_c = E_{sp} \cdot \frac{(1 - V_a)E_{sp} + (1 + V_a)(k \cdot E_a)}{(1 + V_a)E_{sp} + (1 + V_a)(k \cdot E_a)} \quad (13)$$

ここで、

$E_c$ : コンクリートのヤング係数 ( $N/mm^2$ )

$E_{sp}$ : セメント・ペーストのヤング係数 ( $N/mm^2$ )

$V_a$ : 骨材の容積比

## 3. 既設ダムコンクリートのヤング係数の算定

ここでは、中庸熟ポルトランドセメントを用いたダムとして、既設の黒部第四ダムと殿山ダムのコンクリートを選び静ヤング係数、静ポアソン比を算定した。

これらの結果をもとにコンクリートのヤング係数を求めるが、その前に $k$  値を決める必要がある。そこで、ここでは実測値に対応する  $k$  を求めた。係数  $k$  に影響する因子として $V_m/V_a$ や $E_{sp}/E_a$  が考えられる。 $V_m$  は二つのダムコンクリートでは 0.21~0.24 程度であるため、ここでは $E_{sp}/E_a$  と  $k$  との関係より以下のような回帰式を求めた。なお $V_m$ ,  $V_a$ はそれぞれ全容積に対する母材(モルタル)と骨材の容積比、 $E_{sp}$ はセメント・ペーストのヤング係数、 $E_a$ は骨材のヤング係数である。

黒四ダム  $k = 0.231 + 1.168 \cdot E_{sp} / E_a \quad (14)$

殿山ダム  $k = 0.075 + 2.017 \cdot E_{sp} / E_a \quad (15)$

## 4. コンクリートのヤング係数算定結果

これらの  $k$  値と式(13)を用いて算定したコンクリートの静ヤング係数と実測値を図-1 に示す。これらより、コンクリートの静ヤング係数の計算値と実測値が良く近似していることが示された。

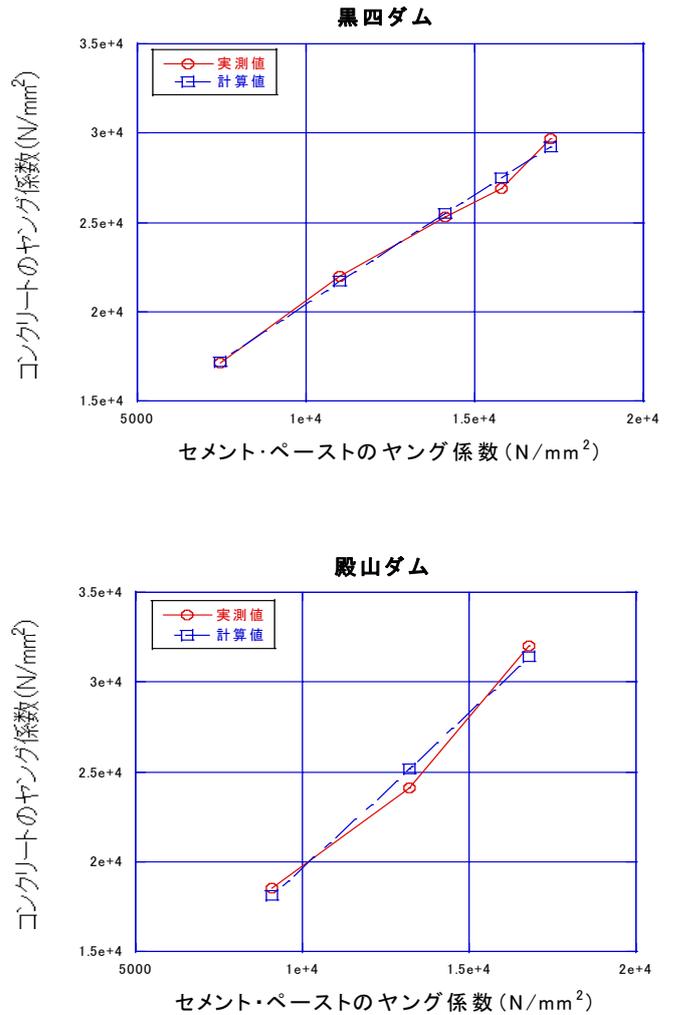


図-1 コンクリートの静ヤング係数と実測値

## 5. 結論

既設ダムコンクリートのヤング係数を算定する手法を確立するため、中庸熟ポルトランドセメント・ペーストのヤング係数推定法をもとに式(13)を用いてコンクリートのヤング係数の推定を試みた。この結果、実測値と計算値がほぼ近似し、本手法でコンクリートの長期的なヤング係数の算定できることが示された。

## 参考文献

- 1) 河角 誠: コンクリートのクリープ予測式における瞬間ひずみ成分の決定—任意の配合・材令におけるセメント・ペーストの静弾性定数の予測—, 電力中央研究所報告, 研究報告 U93043, 平成 6 年 3 月
- 2) 河角 誠: コンクリートのクリープ予測式における瞬間ひずみ成分の決定—セメント・ペーストの動弾性定数と静弾性定数の関係—, 電力中央研究所報告, 研究報告 U92004, 平成 4 年 7 月