

中庸熟ポルトランドセメント硬化体のヤング係数の推定

東北学院大学工学部 フェロー会員 遠藤 孝夫

1. はじめに

既設コンクリートダム 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力学特性を正確に評価する必要がある。その目的でクリープ試験が実施されてきた。しかし、ヤング係数やポアソン比の経時変化についての研究は少ないと思われる。

そこで本研究では、コンクリートダム の安全性評価確立に資するため、既往の実験結果をもとに中庸熟ポルトランドセメントペースト硬化体のヤング係数の推定を試みる。

2. セメントペーストのヤング係数の推定法

河角¹⁾は、セメントペーストの動ヤング係数、動ポアソン比を求めているが、これらはセメントペーストのP波とS波の伝播速度より算定されている。河角は、中庸熟ポルトランドセメントペーストについて、水中養生した場合のP波とS波の伝播速度の算定式を実験より定めているが、密封養生した場合については示していない。そこで、著者らは河角のデータをもとに、密封養生した中庸熟ポルトランドセメントペーストの弾性波速度の算定式を前回報告した²⁾。

ここではまず河角のP波とS波の伝播速度の算定式について記述する。

2.1 河角の研究¹⁾

水中養生した中庸熟ポルトランドセメントペースト硬化体の超音波伝播速度（パルス速度）は河角によれば以下の式で求められる。

$$V_p / COEF = 4924.18 - 5729.98\phi_i - 4283.04\phi_g \quad (m/s) \quad (1)$$

$$V_s / COEF = 2610.15 - 3513.92\phi_i - 1927.00\phi_g \quad (m/s) \quad (2)$$

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

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

$$\begin{aligned} \phi_i(t) &= \frac{W - W_B}{\rho_w} = \frac{W - \gamma \cdot C_H(t)}{\rho_w} \\ &= \frac{W - \gamma \cdot R_H(t) \cdot C}{\rho_w} \end{aligned} \quad (5)$$

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

ここに、

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)

γ : 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 1m³当たりの水の質量 (kg/m³)

C : セメントペースト 1m³当たりのセメントの質量 (kg/m³)

ρ_w : 水の質量 (kg/m³)

ρ_c : セメントの密度 (kg/m³)

$W_B(t)$: 材齢t日において、1m³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/m³)

ϕ_i : セメントペースト 1m³中の液体としての水の体積 (m³/m³)

ϕ_g : セメントペースト 1m³中の空気の体積 (m³/m³)

$C_H(t)$: 材齢t日において、1m³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/m³)

$R_H(t)$: 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/m³/kg/m³)

k_0, n : セメントの種類と養生条件により定まる定数

2.2 セメントペーストのS波速度とP波速度の算定式

河角は中庸熟ポルトランドセメントの水セメント比を0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.50, 0.55と変化させ、材齢を7日から732日までの密封養生したセメント硬化体の動ヤング係数と動ポアソン比を表示している。

この実験結果³⁾を基に、試験体の動ヤング係数、動ポ

キーワード：ダムコンクリート，ヤング係数，セメントペースト

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 022-368-7390

アソン比, 密度より, P波速度 (V_p) と S波速度 (V_s) を算定するとともに, 河角の方法にならない水和度を計算し硬化ペースト内の未水和水量 (ϕ) を求め, この未水和水量と $V_p / COEF$ および $V_s / COEF$ との関係前回求めた²⁾. 本来ならペースト中の空気量についても考察すべきであるが, 密封養生の結果では空気量の計測値が示されていないため, やむなく上記の未水和水量のみをパラメータとした. この結果を以下に示す.

$$V_p / COEF = 4660 - 5733\phi_1 \quad (m / s) \quad (7)$$

$$V_s / COEF = 2393 - 3049\phi_1 \quad (m / s) \quad (8)$$

この場合, $\gamma = 0.37$, $k_0 = 0.0009168$, $n = 0.6111$ を用いた.

また水中養生を行った場合についても以下のように表示された²⁾.

$$V_p / COEF = 5346 - 8196\phi_1 \quad (m / s) \quad (9)$$

$$V_s / COEF = 2831 - 4681\phi_1 \quad (m / s) \quad (10)$$

これらをもとに動ヤング係数 $E_d (N/mm^2)$ と動ポアソン比 ν_d は以下の式で求められる.

$$\nu_d = \frac{V_p^2 / V_s^2 - 2}{2(V_p^2 / V_s^2 - 1)} \quad (11)$$

$$E_d = 2(1 + \nu_d) \rho V_s^2 \times 10^{-3} \quad (N / mm^2) \quad (12)$$

また静ヤング係数と静ポアソン比は河角の実験より以下の式で求められる³⁾.

$$E_s = 0.001628 \times (E_d / 0.09807)^{1.315} \quad (13)$$

$$\nu_s = \nu_d / 1.212 \quad (14)$$

ここに, E_s : 静ヤング係数(N/mm^2)

ν_s : 静ポアソン比

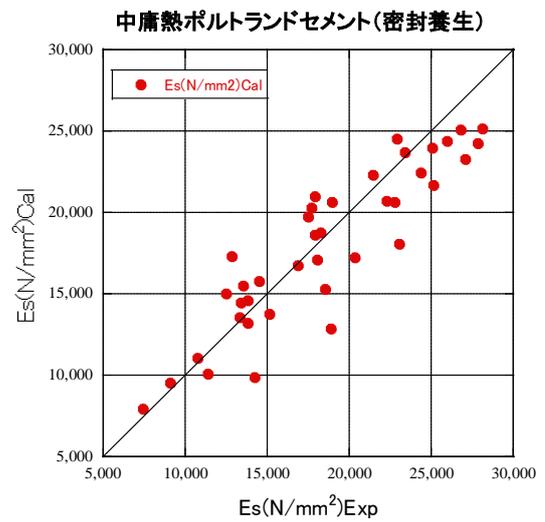
ここで示した方法で, 中庸熟ポルトランドセメント硬化体の静ヤング係数を計算し, 実測値と対比した結果を図-1に示す. これらより, ほぼ良い一致がみられた.

3. まとめ

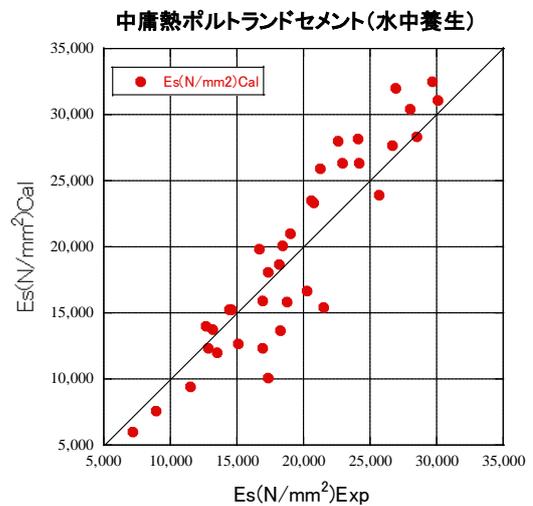
中庸熟ポルトランドセメントペーストで水中および密封養生した場合のヤング係数とポアソン比を算定する方法を示した. これらによって, 任意の水セメント比と任意の材齢における中庸熟ポルトランドセメントペーストで水中および密封養生した場合の弾性波速度, 動ヤング係数, 動ポアソン比, 静ヤング係数, 静ポアソン比が算定できることになった.

今後は, 精度の検証と適用法について検討したい.

本研究では電力中央研究所の貴重なデータを使わせて頂いた. また, 本研究の一部は, 2007-2009年度独



(a) 密封養生時のヤング係数



(b) 水中養生時のヤング係数

図-1 中庸熟ポルトランドセメント硬化体のヤング係数

立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金 (基盤研究 (C)) (代表者 遠藤孝夫) の助成を受けた. ここに記して謝意を表します.

【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(1994.3)
- 2) 大沼克典, 齊藤大志, 遠藤孝夫: ポルトランドセメントペースト硬化体の弾性波速度の推定, 平成 22 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, 2011.3
- 3) 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(1992.7)