

コンクリートの時間依存ひずみの簡易予測式について

九州産業大学 正員 宮川 邦彦

1. まえがき

コンクリートの時間依存ひずみ(乾燥収縮及びクリープ)は、構造部材の変形特性だけでなく、強度特性にも重大な影響を及ぼす要因である。従って、コンクリート構造物を合理的に設計するには、これらのひずみ特性値を的確に予測しておくことが大切である。

本研究の目的は、過去5年間の時間依存ひずみに関する実測データを基に、乾燥収縮ひずみ及びクリープ係数の簡易予測式(以下、本予測式と呼ぶ。)を提案することにある。本予測式の特徴は、コンクリートの実測ヤング係数を予測式中に導入することにより、使用骨材の変形特性や施工時の締固めの影響を間接的に考慮できるようにした点にある。これは近年の骨材事情の悪化やコンクリートの急速施工の影響を設計に反映できるようにするためである。

2. 実験概要

実測データの測定範囲は、使用材料として普通ポルトランドセメント(比重 3.14~3.16)、細骨材に海砂(比重 2.56~2.57)及び川砂(比重 2.52)、粗骨材に角閃岩(比重 2.95~2.98)、安山岩(比重 2.73)及び石灰岩(比重 2.70)砕石、配合条件は単位水量(W) 160~200 kg/m³、単位セメント量(C) 300~420 kg/m³、環境条件は温度 20±1℃、湿度(H) 100 及び 65±5%、部材最小寸法(D)は 15~40 cm、測定期間は1~3年間である。なお、時間依存ひずみの測定は供試体中央部に埋設した埋込み型ひずみゲージ(ゲージ長 100 mm)を用い、クリープ試験はフラットジャッキ式油圧載荷装置で供試体に載荷時強度の1/4 程度の圧縮荷重を導入して行った。

3. 簡易予測式の提案

実測結果と既存の簡易予測式との比較検討から、ACI-209 委員会式(以下、ACI式と呼ぶ。)が定性的に妥当であることを先に報告したが、この点を参考に予測式を検討した。ただし、ACI式との基本的な相違点は、本予測式の場合、(1)クリープを回復性の遅れ弾性と非回復性の流動とに分離したこと。(2)収縮曲線を相対湿度と部材寸法の関数で表示したこと。(3)使用骨材の変形特性が時間依存ひずみに及ぼす影響を考慮するため、コンクリートの実測ヤング係数($E \times 10^5$ kgf/cm²)を予測式中に導入したこと。である。本予測式は単位水量 180 kg/m³、単位セメント量 360 kg/m³の配合で、細骨材に海砂、粗骨材に角閃岩砕石を用いた結果を基準にしている。経過日数T日後のクリープ係数(ϕ_t)の予測式を式(1)に、乾燥収縮ひずみ(ϵ_{st})のそれを式(2)に示す。

$$\phi_t = k_1 \cdot (1 - \exp(-0.8 \cdot T^{1.2})) + 1.1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot T^{0.6} / (15 + T^{0.6}) \quad \dots (1)$$

ここに、 $k_1 = 0.4 \cdot T_0^{-0.05}$: 遅れ弾性に及ぼす載荷開始材令の影響

$k_2 = 1 + 2 \cdot (1 - H/100) \cdot (15/D)^{0.5}$: 流動に及ぼす相対湿度及び部材寸法の影響

$k_3 = -1.16 + 0.015 \cdot W - 0.0015 \cdot C$: 流動に及ぼす配合の影響

$k_4 = 1.18 \cdot T_0^{-0.05}$: 流動に及ぼす載荷開始材令の影響

$k_5 = E_c/E$: 流動に及ぼすヤング係数の影響

$E_c = (3.67 + 0.0056 \cdot C - 0.015 \cdot W) \cdot (0.70 + 0.19 \cdot \log(T_0))$: 基準ヤング係数

T_0 : 乾燥あるいは載荷開始材令(日)、

$$\epsilon_{st} = 700 \cdot 10^{-6} \cdot h_1 \cdot h_2 \cdot h_3 \cdot T / (A + T) \quad \dots (2)$$

ここに、 $h_1 = 1.90 \cdot (0.95 - (H/100)^2)$: 湿度の影響、 $h_2 = 2.25 \cdot D^{-0.3}$: 部材寸法の影響

$h_3 = (3.10 + 0.005 \cdot W - 0.004 \cdot C) - E \cdot (0.53 + 0.0038 \cdot W - 0.0018 \cdot C) / (0.70 + 0.19 \cdot \log(T_0))$

: ヤング係数の影響

$A = (-90 + 32 \cdot D^{0.5}) \cdot 0.015 \cdot H$: 終局値の半分に達するまでの必要日数

4. 考察及びまとめ

紙面の関係上、以下では骨材特性の影響だけを考察する。

基準配合を用い、骨材だけが相違するときの強度及び変形特性の測定結果を表-1に示す。骨材特性が相違しても圧縮強度は殆ど変わらないが、変形特性はその影響を顕著に受けることが判る。

表-1 使用骨材と強度及び変形特性との関係

使用骨材	細骨材	圧縮強度	ヤング係数	350 日後の	350 日後の
		kgf/cm ²	$\times 10^5$ kgf/cm ²	乾燥収縮(μ)	クリープ係数
角閃岩	川砂	328	1.98	740	2.40
角閃岩	海砂	345	2.31	653	2.20
安山岩	海砂	336	2.60	630	1.97
石灰岩	海砂	330	3.00	367	2.17

注) 圧縮強度は材令 28 日、ヤング係数は材令 7 日の値

図-1~図-3に乾燥収縮ひずみの実測値と予測値との関係を示す。ここでは予測式としてACI式、阪田式及び本予測式について検討する。ACI式の予測結果は石灰岩碎石とは良く一致するが、他の骨材に対しては過小である。逆に、阪田式の予測結果は角閃岩や安山岩碎石とは良く一致するが、石灰岩碎石に対しては過大すぎる。これは予測式の算定基準となる骨材がACI式と阪田式とは相違するためである。一方、本予測式の場合は乾燥開始時の実測ヤング係数が既知であれば、図-3のように総ての実測結果を的確に予測することができる。

図-4~図-6にクリープ係数の実測値と予測値との関係を示す。ただし、クリープ係数はクリープひずみと載荷時の弾性ひずみとの比であり、両ひずみに骨材特性の影響が関連するため、クリープ係数自体はその影響をあまり受けないようである。ACI式の予測結果は全体的に過小であるが、定性的にはほぼ妥当である。ただし、ACI式の難点は回復クリープを予測できない点にある。阪田式²⁾の場合は曲線形状の設定に多少問題があるように思われる。本予測式の場合は石灰岩碎石以外ほぼ的確に予測しているが、これは基礎データ値との比較であり、今後は種々な骨材を用いた測定結果と比較して、その適合性を判断すべきである。

以上、本研究のまとめとして、コンクリートのヤング係数や乾燥収縮ひずみは使用骨材の変形特性の影響を強く受けるため、構造設計の際にはこの点に留意すべきである。

参考文献：1) 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集 2) 日本コンクリート工学会年次論文報告集 第10巻

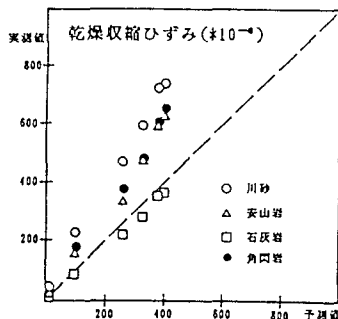


図-1 実測値とACI式との関係

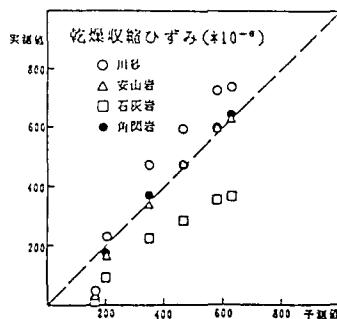


図-2 実測値と阪田式との関係

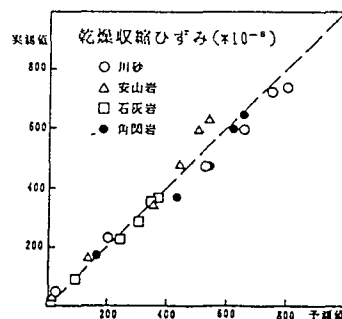


図-3 実測値と本予測式との関係

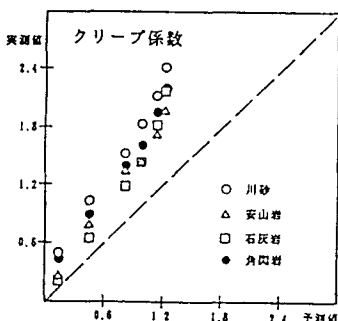


図-4 実測値とACI式との関係

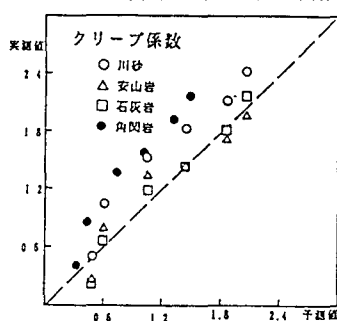


図-5 実測値と阪田式との関係

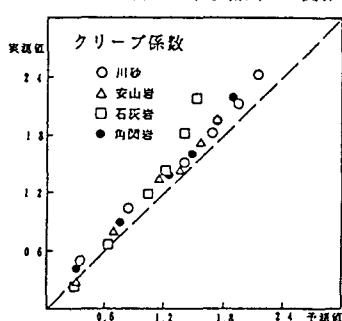


図-6 実測値と本予測式との関係