

V-521

微細ひび割れ挙動に基づくコンクリートの引張クリープモデル

清水建設技術研究所 正会員 熊野 知司

鳥取大学工学部 正会員 西林 新蔵

同 上 正会員 井上 正一

1. まえがき

コンクリート構造物のひび割れの発生に影響を及ぼす引張応力下のクリープのメカニズムは、圧縮応力下のクリープと異なる可能性が指摘されている。著者らは引張持続応力がコンクリートの細孔構造に与える影響に着目した実験的研究を行い、微細ひび割れの発生と考えられる細孔構造の変化を検出した²⁾。さらに、微細ひび割れの発生および進展による引張クリープひずみを簡単なモデルを用いて予測することを試みた。ここでは、一連の検討結果について報告する。

2. 微細ひび割れ挙動に基づく引張クリープひずみ増分の導出

図-1に示すように、単位体積あたり ρ 個の微細ひび割れが存在する二次元板を考える。今、応力 σ_y が一定のまま微小ひび割れが進展し、 $a_0 + \delta a$ となった場合のひずみの増分 $\Delta \epsilon$ を求める。 $a = a_0$ の場合のひずみエネルギー密度を W_0 、ひずみを ϵ_0 とし、微小ひび割れの進展による増分をそれぞれ ΔW 、 $\Delta \epsilon$ とする。応力一定であるので、ひずみエネルギー密度の増分 ΔW は、

$$\Delta W = \sigma_y \Delta \epsilon / 2 \quad (1)$$

外力一定の条件でのひずみエネルギー密度とエネルギー解放率 ζ との関係は、

$$\partial W(\sigma_y, 2a) / \partial (2a) = \zeta \quad (2)$$

であるので、以下のようになる。

$$W(\sigma_y, 2a) = \rho W_0 + \rho \int_{a_0}^{a_0 + \delta a} \zeta d(2a) d\rho \quad (3)$$

従って、微細ひび割れの進展によるひずみエネルギー密度の増分 ΔW およびひずみの増分 $\Delta \epsilon$ は、

$$\Delta W = \rho \int_{a_0}^{a_0 + \delta a} \zeta d(2a) \quad (4)$$

$$\Delta \epsilon = 2 \rho / \sigma_y \int_{a_0}^{a_0 + \delta a} \zeta d(2a) \quad (5)$$

となる。今、微細ひび割れどうしの相互干渉がないと仮定すれば、応力拡大係数 K_I は、

$$K_I = \sigma_y \sqrt{\pi a} \quad (6)$$

で与えられる。応力拡大係数 K_I とエネルギー解放率 ζ との関係は、

$$\zeta = K_I^2 / E \quad (7)$$

で表されるから、式(5)の積分は、

$$\Delta \epsilon = 2 \pi \rho (2a_0 \delta a + \delta a^2) \sigma_y / E \quad (8)$$

となる。つまり、 a_0 、 ρ および δa が既知であれば、微細ひび割れの進展によるひずみの増分を計算することができる。

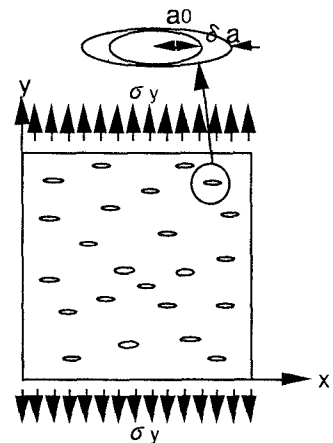


図-1 二次元板の模式図

キーワード；引張クリープ、微細ひび割れ、細孔径分布

〒135 東京都江東区越中島3-4-7 TEL 03-3820-5514 FAX 03-3820-5955

〒680 鳥取県鳥取市湖山町南4-101 TEL 0857-28-0321 FAX 0857-28-7899

3. 引張クリープ試験結果

図-2に引張クリープ試験結果を、図-3に引張クリープ試験を行った供試体の細孔半径（以下、細孔径）分布測定結果を示す。コンクリートは、W/C=0.5、モルタル容積比 $\beta_m = 0.613$ 、スランプ $8 \pm 1\text{cm}$ 、空気量 $4.5 \pm 1\%$ のものを用いた。供試体は水分の逸散を防ぐ目的でアルミ粘着テープでシールし、環境温度 20°C で試験を行った。細孔径分布は水銀圧入式ポロシメータによって測定した。図-3より、引張持続応力が作用した供試体には、微細ひび割れの進展によると考えられる細孔径分 $0.1 \sim 5 \mu\text{m}$ の範囲の容積の増加が確認された。この測定結果を基に、式（8）を用いて引張クリープひずみを算定するためには a_0 、 ρ および δa をコンクリートの材齢に伴う細孔構造の変化も考慮に入れて算定する必要がある。そこで、次節に示すようなモデル化を行った。

4. コンクリートの細孔構造のモデル化

水銀圧入式ポロシメータで測定される細孔径は、測定における仮定から考えて微小空隙の最小壁間距離であり、 a_0 にただちに結びつけられるものではない。そこで、式（9）で示される単純な幾何学モデルを仮定した。

$$a_0 = 2 \cdot \alpha \cdot b \quad (9)$$

ここに、 b は水銀圧入式ポロシメータにより測定される細孔径である。このようなモデルを設定することにより、材齢 t における微小ひび割れの数 $\rho = \rho_t$ は、各材齢の無載荷供試体の細孔容積を用いて次式により算出される。

$$\rho_t = \beta_m \cdot V_{h,t} / (A_v \times 1) \quad (10)$$

ここに、 $V_{h,t}$ は無載荷供試体の $0.1 \sim 5 \mu\text{m}$ の細孔容積（ cm^3 ）、 A_v は微小ひび割れの面積（ cm^2 ）である。さらに、材齢 t におけるひび割れ長さの増分 δa_t は、各材齢の引張クリープ供試体の細孔容積を用いて次式により算出される。

$$\delta a_t = (V'_{c,t} - dV_i) / (2 \rho_t \pi b \times 1) - 2 \alpha b \quad (11)$$

ここに、 $V'_{c,t}$ は引張クリープ供試体の $0.1 \sim 5 \mu\text{m}$ の細孔容積（ cm^3 ）、 dV_i は載荷直後の細孔容積の増分（ cm^3 ）である。

α の同定は、載荷応力 0.8N/mm^2 の載荷期間28日のデータを用いて行った。この時 b は、 $120\text{nm} \sim 5 \mu\text{m}$ の細孔容積が対数正規分布すると考えて、ほぼ幾何学的平均値にあたる $b = 0.707 \mu\text{m}$ とした。また、ヤング係数としては $E = 36800\text{N/mm}^2$ を入力した。この結果、 $\alpha = 20$ と同定された。

図-4に、引張クリープひずみの実測値と、 $\alpha = 20$ として式（8）を用いた本提案モデルによる計算値との比較を示す。図より、データ数は少ないが、実測値と計算値は概略一致しており、本研究の範囲内では、本提案モデルは妥当であると考えることができる。

<参考文献>

- 1) M.A.Ward et al; The mechanism of tensile creep in concrete, Mag of Con Res, Vol.21, No.68, pp151 ~ 158, 1969.9
- 2) 熊野ら; 引張持続応力の作用がコンクリートの微細構造に与える影響, 第51回セメント技術大会投稿中

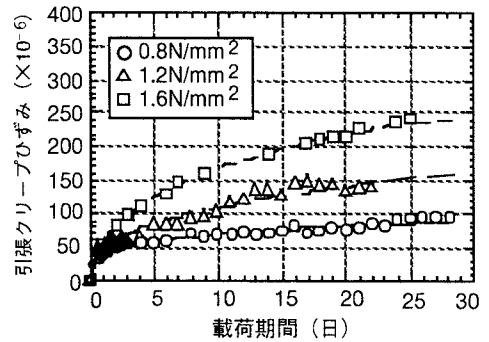


図-2 引張クリープ試験結果

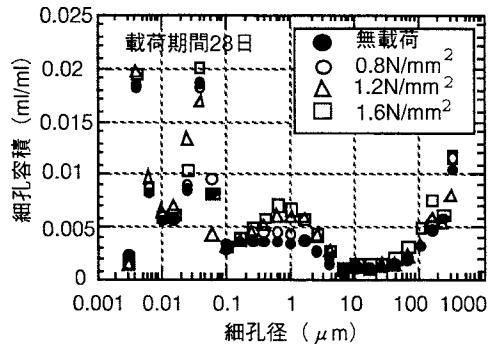


図-3 細孔径分布測定結果

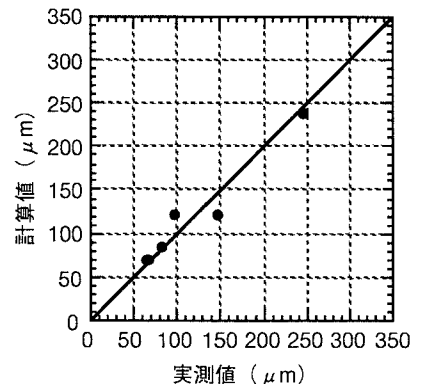


図-4 実測値と計算値の比較