

V-457 時間依存性変形を考慮したコンクリートの乾燥収縮モデル

間組技術研究所 正会員 福留和人
 東京大学 正会員 下村 匠

1. まえがき

水分逸散に伴うコンクリートの乾燥収縮はコンクリート構造物の耐久性に影響を与えるひびわれ発生の原因となるため、乾燥収縮ひびわれの予測は、耐久性設計を行なう上で重要である。コンクリートの乾燥収縮を合理的に予測するための材料特性のひとつとして、含水量と収縮ひずみの関係が必要である。本研究では、コンクリートの変形を瞬間変形成分と時間依存性変形成分とに分離することにより、著者らが提案した乾燥収縮モデル¹⁾に時間の影響を導入することを試みた。

2. 時間依存性変形を考慮した乾燥収縮モデル

著者らは、細孔容積分布密度関数に基づく乾燥収縮モデルを提案し、細孔構造と乾燥収縮特性の関係を合理的に説明した¹⁾。一方、長瀧、米倉は、乾燥収縮ひずみは、毛管張力によって生じる瞬間変形と時間依存性変形の和と考えるのが妥当であることを見出ししている²⁾。

乾燥収縮を細孔中の水の表面張力に起因する内部応力 $\sigma(t)$ (t :乾燥期間)による変形とし、瞬間変形として弾性変形、時間依存性変形として線形クリープを仮定すると、時間 t における乾燥収縮ひずみは、以下のようになる。

$$\epsilon_s(t) = \int_0^t f(t, \tau) d\sigma(\tau) \quad (1)$$

$$f(t, \tau) = 1/E(\tau) \{1 + C\tau(t - \tau)\} \quad (2)$$

ここに、 $E(\tau)$: 載荷材令 τ における弾性係数(kgf/cm²)、 $C\tau(t - \tau)$: 載荷材令 τ のときの時間 t におけるクリープ係数(クリープ関数)である。一方、内部応力 $\sigma(t)$ は、細孔構造を細孔容積分布密度関数でモデル化すれば、以下のようになる¹⁾。

$$\sigma(t) = \int_0^{r(t)} \frac{dV(r)}{dr} dr \cdot \frac{2\gamma}{r(t)} \quad (3)$$

ここに、 r : 細孔半径(m)、 $r(t)$: 時間 t に水が存在している細孔の最大径(m)、 γ : 水の表面張力(N/m)、 $\frac{dV(r)}{dr}$: 細孔容積分布密度関数、 $V(r)$: 累積細孔容積分布関数である。

以上から材料特性として細孔構造、変形特性(弾性係数、クリープ関数)を仮定し、含水量の経時変化を与えれば、乾燥収縮ひずみの経時変化を算定することが可能である。

3. 実験による検証

異なる環境条件(乾燥速度が異なる)のもとで乾燥収縮試験を行い、本モデルの妥当性の検証を行った。実験には4×4×16cmのモルタル供試体を用い、環境条件として真空乾燥法³⁾と20℃、相対湿度60%を採用した。

図-1に乾燥期間と単位体積あたりの逸散水量(以下、逸散水量と略)の関係を、図-2に逸散水量と乾燥収縮ひずみの関係を示す。図に示すように、同一の供試体であっても乾燥速度が異なると同一逸散水量に対する乾燥収縮ひずみは異なることがわかる。

以上の実験結果をもとに、2つの環境条件において

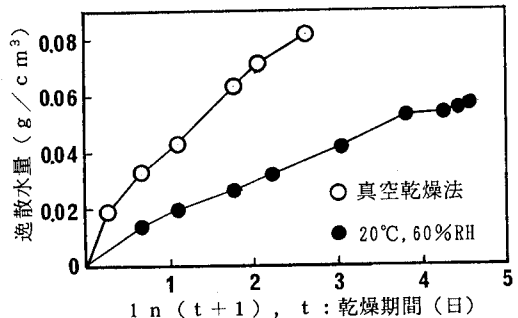


図-1 乾燥期間と逸散水量の関係

乾燥期間と乾燥収縮ひずみの関係が測定結果と一致するように細孔構造およびクリープ関数の同定を行った。弾性係数は、圧縮強度から推定した値を用いた。乾燥期間中の水和の進行および乾燥にともなう細孔組織の変化はないものとし、これらの材料特性は乾燥期間中は一定であるとした。また、供試体内部には水分勾配はないものと仮定した。

解析にあたっては、累積細孔容積分布関数は下式を採用した¹⁾。

$$V(r) = V(\infty) \{1 - \exp(-Br^C)\} \quad (4)$$

ここに、 B 、 C ：定数、 $V(\infty)$ ：単位体積当たりの総細孔容積 (m^3/m^3) である。 $V(\infty)$ は、炉乾燥後の逸散水量から算定した。

クリープ関数は、下式を採用した。

$$C\tau(t) = C\tau(\infty) \{t^b / (a + t^b)\} \quad (5)$$

ここに、 $C\tau(\infty)$ ：最終クリープ係数、 a 、 b ：定数である。これらの係数は、載荷材令によって変化すると考えられるが、ここでは載荷材令にかかわらず一定であると仮定した。

図-3、4にそれぞれの環境条件の乾燥期間と乾燥収縮ひずみの関係を示す。図に示すように、いずれの条件下においても測定値と解析値はほぼ一致しており、提案したモデルの妥当性が確認された。

4. あとがき

本研究では、時間依存性変形を考慮することで乾燥速度が乾燥収縮ひずみ挙動に及ぼす影響を定量化することを試みた。今回、かなり簡単な仮定のもとで算定を行なったが、提案したモデルでおおよそ乾燥速度の影響を説明できることが明かとなった。以上から、コンクリートの細孔構造および変形特性(応力-ひずみ-時間関係)を適切に仮定し、水分移動解析で含水量の経時変化を予測すれば、任意の環境条件の乾燥収縮ひずみ挙動を予測することが可能であると言える。

謝辞

本研究を進めるにあたり東京大学岡村甫教授および小沢一雅講師には貴重な示唆を頂きました、深く感謝致します。また、本研究は、建設会社13社、混和剤メーカー1社の共同研究の一部であり、ご協力下さった方々に深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) 下村、陳、小沢：コンクリートの細孔構造と収縮特性，土木学会第46回年次学術講演会第5部，pp. 478~479, 1991.9
- 2) 長瀧、米倉：コンクリートの乾燥収縮およびクリープの機構に関する考察，コンクリート工学，Vol.20, No.12, pp.85~95, 1982.12
- 3) 下村、陳、小沢：真空乾燥法によるコンクリートの乾燥収縮試験とその予測モデル，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13, No.1, pp.391~396, 1991.6

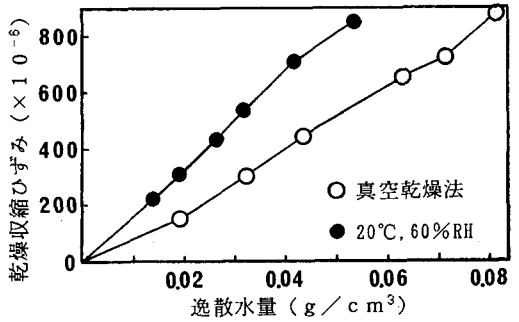


図-2 逸散水量と乾燥収縮ひずみの関係

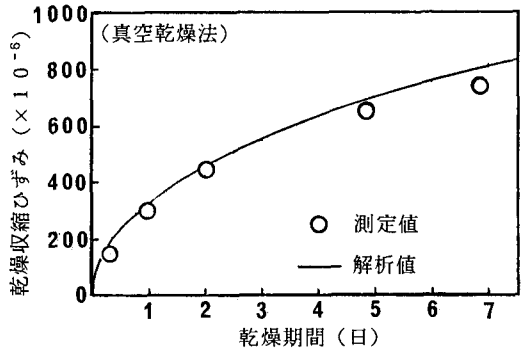


図-3 乾燥期間と乾燥収縮ひずみの関係

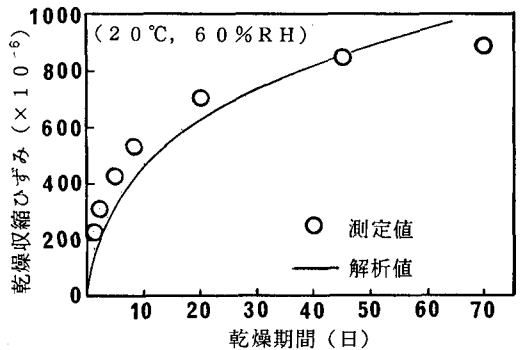


図-4 乾燥期間と乾燥収縮ひずみの関係