

1. まえがき

コンクリートの時間依存ひずみ(乾燥収縮, クリープ)は長期的なものであり, しかも, 種々の要因がそのひずみ性状に影響するため, 限られた実験結果だけからこれらのひずみを予測することは極めて困難である。

本研究は, このような観点から時間依存ひずみの生成機構を十分検討した上で, その機構を表示できる力学モデルの助けを借り, そのモデル要素値を従来の研究成果に基づいて一般化することにより, 任意条件下での長期的ひずみ予測を行う方法を検討した。以下に時間依存ひずみの生成機構に関する考え方, ならびにその考えに基づく力学モデル解析とその予測結果について報告する。

2. 時間依存ひずみの生成機構に関する考え方と力学モデル解析

コンクリートの時間依存ひずみの生成機構に関しては, 従来から種々な説が提唱されてきたが, 本研究では特にクリープひずみの生成機構に関し, 次の2点に着目してモデル要素値を決定した。

- (1). 遅れ弾性(回復性クリープ)はコンクリート複合体内での応力平衡化現象に起因するひずみ成分である。
- (2). 流動性(非回復性クリープ)はセメントの水和反応等による化学的要因と力の作用による物理的要因との複合効果により発生するひずみ成分である。

(1)に関しては既に報告済であるので, 本報では(2)に関する考え方を簡単に説明する。現在, 流動の生成機構に関しては Seepage説が最も有力視されている。この説は外力あるいは毛細管張力等の作用でセメントゲル中のゲル水が圧出されるため変形すると考えるものであるが, そのような Seepage作用が実験されたクリープ現象のように数十年間も継続するとは考え難い。そこで本研究ではこのひずみの生成機構を(2)のように推定した。すなわち, セメントマトリックスと骨材粒子との界面で何らかの化学的変化が生じている過程で力の作用を受けた場合, 始めてその力の方向にひずみが助長されるとする考え方である。このように考えれば, ひずみの影響要因やその複雑な挙動をより適確に説明できるように思われる。以上のような考えに基づき, 本研究では図-1に示す力学モデルの要素値を次のように定めた。

腕の長さの決定 … 配合条件から骨材部の容積割合(l_1)とペースト部のそれ(l_2)を求める。ペースト部の容積割合は更に力を受け持てる連結固相(l_{11}), 流動を生じる未連結の固相(l_{12})および力を受け持てない気-液相(l_{13})に分け, これらの経時変化はセメントの水和過程から式-1, -2のように決定する。なお, 低水セメント比($W/C \leq 0.42$)で完全水和に必要な水量が不足するときは, その未水和セメント粒子は骨材と考える。次に骨材部もペースト部と同様に結合程度を考慮して三相に分類する。

バネ定数の決定 … バネ定数 G_1, G_2 はモデルの関係上, $G_1 = l_{11} E_{cp}$, $G_2 = l_{21} E_a$ となるが, 本研究では従来の実験結果を参考にして $E_{cp} = 3.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, $E_a = 6.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ と定める。なお, E_a は使用骨材の特性を考慮して決定すべきものである。

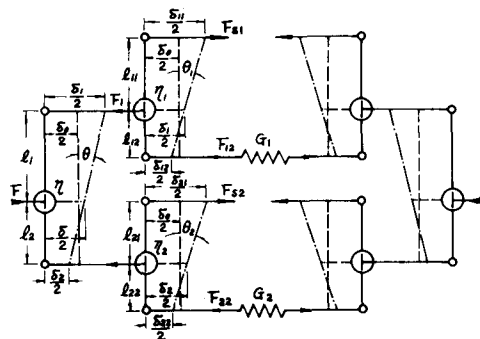


図-1 応力平衡化回転モデル

$$\begin{aligned}
 l_{11} &= CC(1-e^{-AY}) + CC DX \{ (1-e^{-AX}) - (1-e^{-AY}) \} \quad \dots (1) \\
 l_{12} &= CC - l_{11} - CC DX (1-e^{-AX}) \quad \dots (2) \\
 \text{ここに } CC &= (C/V_0 + 0.23C)/1000 \\
 DX &= (D-2X)^2/D^2 \\
 X &= 15(1-RH)e^{-AY} \\
 AY &= A_0(TH-0.25)^{1/4} \\
 AX &= A_0(T-0.25)^{1/4} \\
 A_0 &= -(0.20 + 0.15/\sqrt{C/W}) \\
 AX &= -0.15(T-TH)^{1/5}/HY \\
 HY &= 1 - (1-DX)e^{-AY} \\
 X &: \text{乾燥の深さ, } D: \text{部材幅} \\
 TH &: \text{乾燥開始温度} \\
 T &: \text{任意温度, } HY: \text{水和度}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AY, AX &: \text{セメントの水和速度係数} \\
 A_0 &: \text{乾燥速度係数} \\
 CC &: \text{セメント水和固相の終局値} \\
 \eta_1 &= 2 \times 10^6 \sqrt{C/W} \cdot HY \cdot (l_{11}/CC)^3 \\
 \eta &= 4\eta_1, \quad \eta_2 = 10\eta_1 \quad \dots (3) \\
 F_{s1} &= \beta l_{12} \{ 1 - e^{-\alpha(T-TH)} \} \\
 F_{s2} &= \gamma l_{22} \{ 1 - e^{-\alpha(T-TH)} \} \quad \dots (4) \\
 \text{ここに } \alpha &= -100/(HY \cdot D^2) \\
 \beta &= 1500(1-RH)HY(1-e^{-AY}) \\
 \gamma &= \beta/2 \\
 RH &: \text{相対湿度}
 \end{aligned}$$

回転粘性係数の決定・・・回転ダッシュポットは必ず平衡化や流動を表示するための仮想要素であり、従って、これらの値は必ずみず膨張全般を考慮して定めなければならない。ただし、 η は主に遅れ弾性 η_1 はペースト部の流動 η_2 は骨材部の流動に関連している。なお、本研究では実験曲線等を参考にして式-3のように定める。

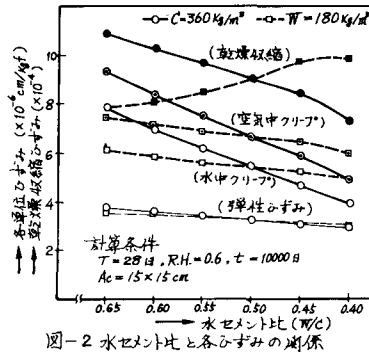


図-2 水セメント比と各ひずみの関係

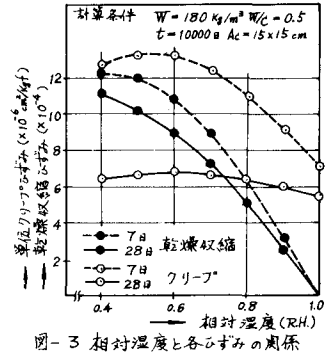


図-3 相対湿度と各ひずみの関係

吸引力の決定・・・モデル中の吸引力 F_{s1} 、 F_{s2} はコンクリートの乾燥に伴う毛細管張力を仮想したものであり、相対湿度(RH)と毛細管張力(ΔP)との関係を単純化して式-4のように定める。

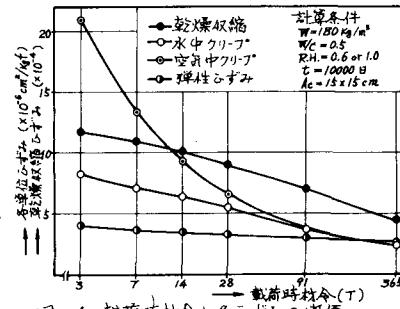


図-4 載荷時材令と各ひずみの関係

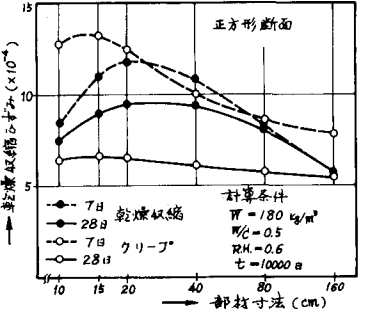


図-5 部材寸法と各ひずみの関係

以上のようにモデル要素値を決定したが、全要素値とも時間の関数であるため、これらの値

を用いて直接モデル解析することは不可能である。そこで、要素値が定数であるとしてモデル解析した後、時間間隔を適当に区切り、各時間間隔毎に要素値が段階的に変化するとし数値計算を行った。力学モデルによる予測結果を図-2～-8に示す。

3. 力学モデルによる予測結果

紙面の関係上、各予測結果についての考察は割愛するが、全般的には従来の実験結果やPc示方書に示されているRüschの予測結果とはほぼ一致している。ただし、Rüschの予測では環境条件に関する流動の基本クリープ係数値(β_{cp})と材令とは無関係に定めているが、図-3、-4のように本予測結果では水中クリープと空気中クリープとの関係が材令で大幅に相違すること、あるいは乾燥収縮量が示方書の2倍以上大きいこと等、今後検討すべき点もある。なお、図-7、-8は長滝等の実験結果と比較したものであり、図示するように、クリープひずみに関してはほぼ一致しているが、乾燥収縮ひずみの場合は、今後更に検討すべきである。

最後に本研究では温度の影響に関しては十分な実験結果がないため、考慮していない。

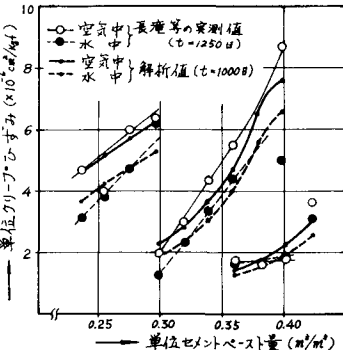


図-7 長滝等の実験値と解析値との比較

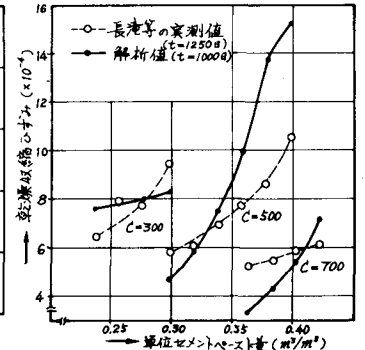


図-8 長滝等の実験値と解析値との比較

* 参考文献：長滝・米倉“高強度コンクリートの乾燥収縮及びクリープの特性”コンクリート工学 Vol.20, No.4, 1982