

圧縮応力下のコンクリートのクリープに関する逆解析

東北学院大学 工学研究科 学生会員 ○河合 慎介
東北学院大学 工学研究科 学生会員 西 治郎
東北学院大学 工学部 正会員 遠藤 孝夫

1. はじめに

コンクリートは打設直後から硬化に至る間、その性質は粘性流動体から弾性体へと変化する。この期間では温度応力などの初期応力問題が発生し、硬化後の耐久性に大きな影響を及ぼす。そのため、この間の変形挙動を詳細にモデル化することが必要とされる。

そこで本研究は、既往の実験¹⁾からクリープ挙動を求め、このクリープ挙動を推定するためにコンクリートのモデルを、弾塑性、粘弾性、及び粘塑性体で考え²⁾、材料定数を逆解析により推定する方法の確立を試みたものである。

2. 解析手法

本研究の逆解析に用いる実測データ¹⁾は、電力中央研究所で行われた一軸圧縮強度試験及び、一軸圧縮クリープ試験の結果を用いる。試験に用いたコンクリートの配合は、水セメント比40%、細骨材率31.5%、空気2.5%、スランプ 5 ± 1 cmである。この配合で、 $\phi 15\text{cm} \times 60\text{cm}$ の円柱供試体を作製した。供試体は、材令28日まで21℃の水中養生を行っている。荷重は、一軸圧縮載荷試験に関しては、軸方向に0 tから2.5 t (14.2kgf/cm^2) おきに60 t (424.4kgf/cm^2)まで加えている。一方、一軸圧縮クリープ試験に関しては、圧縮応力 50kgf/cm^2 で140日間一定載荷している。なお、温度条件は20℃一定としている。

次に、コンクリートの構成モデルを考える。ひずみ増分について、弾性・塑性・粘弾性・粘塑性の4つの成分に分解すると以下の(1)式のように示される²⁾。

$$d\epsilon = d\epsilon^e + d\epsilon^p + d\epsilon^{ve} + d\epsilon^{vp} \quad (1)$$

ここで、上付き添え字e, p, ve及びvpは、それぞれ弾性、塑性、粘弾性、粘塑性成分を表している。

また、それぞれのひずみ成分についての構成モデルを以下に示す。

1) 弾性ひずみ成分

$$d\epsilon^e = \frac{d\sigma}{E} \quad (2)$$

ここに、Eは弾性係数である。

2) 塑性ひずみ成分

$$d\epsilon^p = \frac{\frac{\partial f}{\partial \sigma} \frac{\partial f}{\partial \sigma} D^e d\epsilon}{\frac{\partial f}{\partial \sigma} D^e \frac{\partial f}{\partial \sigma} + h} \quad (3)$$

ここに、hは硬化パラメータ、 D^e は剛性マトリックスである。また、fは降伏関数であり、Drucker-Pragerの降伏条件を用いると(4)式のように示される。

$$f(\sigma) = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k, \quad \alpha = \frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)}, \quad k = \frac{6 c \cos \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)} \quad (4)$$

ここに、 I_1 , J_2 は不変量、 ϕ は内部摩擦角、c は粘着力である。

表-1 逆解析に用いる初期値の値

材 料 定 数	一軸圧縮強度試験	一軸圧縮 クリープ試験
弾性定数 (kgf/cm^2)	3.14×10^5	(既知)
ポアソン比	0.19	(既知)
硬化パラメータ (kgf/cm^2)	1.0×10^6	一軸圧縮強度試験 の逆解析による推 定値(既知)
内部摩擦角	30	
Voigt弾性定数(kgf/cm^2)		1.5×10^6
Voigt粘性定数(kgf s/cm^2)		9.0×10^5
粘性係数($1/(\text{kgf/cm}^2)/\text{s}$)		1.5×10^{-7}
粘着力 (kgf/cm^2)		40

3) 粘弾性ひずみ成分

粘弾性ひずみ成分を、粘弾性四要素モデルで表すことにする。
この場合の構成モデルを以下の(5)式に示す。

$$d\epsilon^{ve} = \left[\frac{\sigma}{\eta} + \frac{\sigma}{\eta_i} \exp\left(-\frac{E_i}{\eta_i} t\right) \right] dt \quad (5)$$

ここに、 η はMaxwellモデルの粘性係数、 E_i はVoigtモデルの弾性係数、 η_i はVoigtモデルの粘性係数である。

4) 粘塑性ひずみ成分

$$d\epsilon^{vp} = \gamma \frac{\partial f}{\partial \sigma} f(\sigma) dt \quad (6)$$

ここに、 γ は粘性係数である。

クリープ挙動を推定するために(1)式についての逆解析を考え、
直接定式化法であるGauss-Newton法を用いて推定する。Gauss-Newton法による評価関数を(7)式のように定義する。

$$F(X) = \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^N \{u_i(t) - T_i(X, t)\}^2 dt \quad (7)$$

また、Gauss-Newton法の定式化を(8)式に示す。

$$\sum_{j=1}^4 \left\{ \int_{t_0}^{t_1} \left(\sum_{i=1}^N \frac{\partial T_i}{\partial X_j} \frac{\partial T_i}{\partial X_k} \right) dt \right\} \Delta X_j = \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^N \{u_i(t) - T_i(X, t)\} \left(\frac{\partial T_i}{\partial X_k} \right) dt \quad (8)$$

この解析におけるパラメータの初期値を表-1のとおりにした。なお、(2)式の E 、(3)式の D^p の中に含まれるポアソン比は一軸圧縮載荷試験の実測値より求めた。

3. 解析結果及び考察

逆解析を行った結果、推定された値は表-2のようになった。

そして、推定された値を用いて解析を行った結果、一軸圧縮強度試験については図-1、一軸圧縮クリープ試験については図-2のようになった。

これらの結果より、解析で得られたクリープ挙動は実験から得られたものと良く近似されていることが分かった。又、この実測データは、提案した構成モデル²⁾が適用可能であることが確認された。

4. 結論

本研究では、コンクリートのひずみ成分を弾塑性、粘弾性、粘塑性の成分に分解しモデル化を行い、含まれる材料定数について実測データ¹⁾を用いて解析を行った結果、次のようなことが言える。

- (1) コンクリートのクリープ挙動において、弾塑性成分、粘弾性成分、粘塑性成分の4つの成分で考えることができる。
- (2) 提案した構成モデル²⁾について材料定数を推定し、他のクリープのデータについての解析が可能である。

参考文献

- 1) 日下野弘：2軸圧縮応力下のコンクリートのクリープ，法政大学工学部土木工学科卒業論文，1970.3
- 2) 安藤直樹，石川靖晃，田邊忠顕：遷移材令時におけるコンクリートの構成則に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol 19, No.1, pp.1363-1368, 1997

表-2 逆解析結果による推定値

材 料 定 数	推 定 値
硬化パラメータ (kgf/cm ²)	7.14×10^5
内部摩擦角	42.5
Voigt弾性定数(kgf/cm ²)	5.28×10^5
Voigt粘性定数(kgf s/cm ²)	6.67×10^5
粘性係数(1/(kgf/cm ² /s))	1.4×10^{-7}
粘着力 (kgf/cm ²)	36

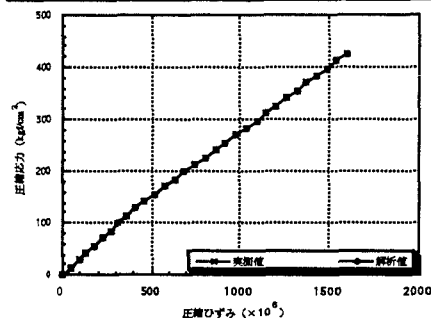


図-1 逆解析結果（一軸圧縮強度試験）

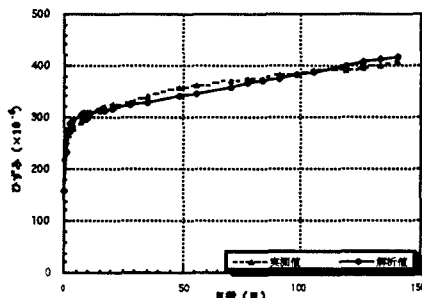


図-2 逆解析結果（一軸圧縮クリープ試験）