

粘弾性モデルを用いたコンクリートの粘性評価

群馬高専環境都市工学科 学生会員 ○小林 英資

群馬高専環境都市工学科 正会員 田中 英紀

1. はじめに

コンクリートは粘弾性であるためフックの法則が成立せず、粘性により図-1のような膨らみを持った応力-ひずみ曲線を描く。これをヒステリシス曲線と呼び、囲まれる面積は材料減衰を決めるパラメータとなる。したがって応力-ひずみ関係を正確に評価することは重要で、そのために粘性を正しく評価する必要がある。一般に粘性はひずみ速度に関係があると考えられている。そこで本研究では地震荷重のような高ひずみ速度時と低ひずみ速度時で載荷・除荷を行う。簡易的な粘弾性モデルを用い、得られた実験値をモデル化することで粘性係数を決定し、その結果から粘性係数に関して実用的な数学モデルを提示することを目的とする。

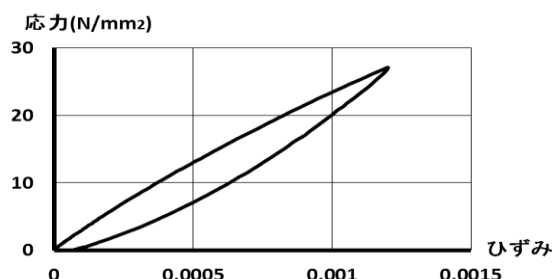


図-1 コンクリートのヒステリシス曲線

2. 実験概要

2.1 粘弾性モデル

粘弾性モデルは弾性項と粘性項の組み合わせで構成される。今回は図-2に示す標準線形モデル¹⁾を用い、固体を並列な2つの要素に分けて考える。

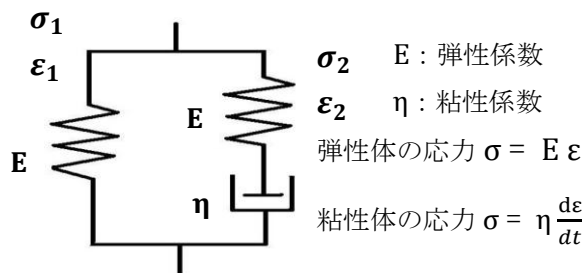


図-2 標準線形モデル

左要素と右要素の応力とひずみにはそれぞれ次の関係式(1)、(2)が成り立つ。

$$\sigma_1 = E \epsilon_1 \quad (1)$$

$$\frac{d\epsilon_2}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma_2}{dt} + \frac{\sigma_2}{\eta} \quad (2)$$

全体の応力 σ は $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$ 、

全体のひずみ ϵ は $\epsilon = \epsilon_1 = \epsilon_2$ となるので、(1)、(2)を代入し次の式(3)を得る。

$$2E \frac{d\epsilon}{dt} + \frac{E^2}{\eta} \epsilon = \frac{d\sigma}{dt} + \frac{E}{\eta} \sigma \quad (3)$$

この微分方程式をひずみ ϵ について解き $t=0$ の初期条件を入れることで、以下の理論式(4)を得る。

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \left\{ 1 - 0.5e^{\left(-\frac{t}{2\eta}\right)} \right\} \quad (4)$$

この理論式(4)は、実験値から得られる割線弾性係数 E 、経過時間 t 、 t に対応する応力 σ 、粘性係数 η を入力し時間 t におけるひずみ ϵ を出力する。(一例を下に示す。)

例) $E = 3.52 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

$\eta = 1.25 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{s}$

$t = 10 \text{ s}$, $\sigma = 1.7357 \text{ N/mm}^2$ のとき

$$\epsilon = \frac{1.7357}{3.52 \times 10^4} \left\{ 1 - 0.5e^{\left(-\frac{10}{2 \times 1.25 \times 10^5}\right)} \right\} = 0.00004332$$

$\epsilon = 4.33 \times 10^{-5}$ となる。

2.2 粘性係数 η の決定

粘性係数 η を決定するにあたり、載荷時の曲線と横軸で囲まれる面積(じん性)が、実験値と理論値で面積比率が1.1以下になると仮定した。

2.3 実験方法

供試体 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ の円柱供試体を用いた。水セメント比は55%とした。粗骨材最大寸法は15mmと20mmの二種類で行ったが実験結果への影響は考えないものとする。以下の表-1に示方配合を示す。

表-1 示方配合

W/C (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	単位量(kg/m³)					シリカヒューム
		水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能AE減水剤	
55	15	165	280	784	1001	4.501	20
	20	170	309	779	959	3.091	

キーワード コンクリート, ヒステリシス, 粘性評価, 粘弾性モデル

連絡先 〒371-0845 群馬県前橋市鳥羽町 580 群馬工業高等専門学校 E-mail:htanaka@cvt.gunma-ct.ac.jp

材齢 28 日の供試体の圧縮強度試験を行い、圧縮強度を求めたのちに載荷・除荷試験を実施する。試験には島津の万能試験機を使用した。この試験は正確な変位を計測できるコンプレッソメーター(図-3)を使用した。載荷荷重は圧縮強度の 30%、50%の応力に対応した荷重を負荷し、ひずみ速度は 8.33×10^{-5} (/sec)、 1.67×10^{-4} (/sec)、 4.17×10^{-4} (/sec)、 8.33×10^{-4} (/sec)の4種類とした。一般に地震荷重におけるひずみ速度は、 $10^{-3} \sim 10^{-1}$ (/sec)程度とされており²⁾、本研究では地震時の低速側のほうのひずみ速度にあわせるように設定した。試験は載荷速度一定で実施したので、ひずみ速度一定の条件で実施した。

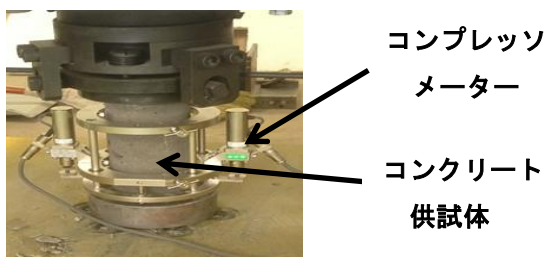


図-3 コンプレッソメーター

3. 実験結果と考察

3.1 実験値と理論値について

実験値とモデルの理論値の比較を、応力 30%ひずみ速度 8.33×10^{-4} (/sec)の結果を例に挙げて、応力-ひずみ曲線および理論曲線を以下の図-4 に示す。

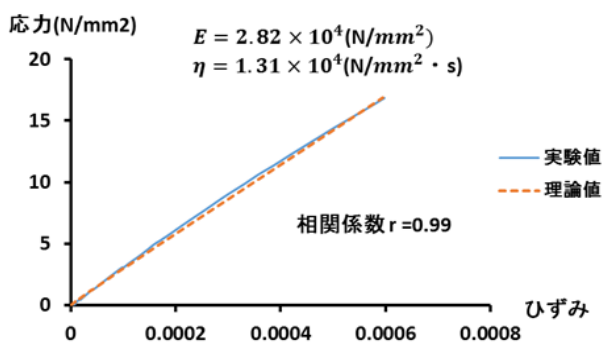


図-4 実験値と理論値の比較の一例

グラフの破線が実験値、実線が粘弾性モデルによる理論値である。応力-ひずみ曲線を直線に近似したときの理論値と実験値の傾きの相関係数で両者を比較する。その結果、相関係数は 30%および 50%のすべてのデータにおいて 0.9 以上の値になっていた。よって、理論値と実験値はよく整合しているといえる。

3.2 粘性係数について

各試験で得られた定数を表-2 に、粘性係数-ひずみ速度グラフを図-5 に示す。

表-2 各定数の値

応力	ひずみ速度 (/sec)	弾性係数 $\times 10^4$ (N/mm ²)	粘性係数 (N/mm ² · s)
30%	8.33×10^{-5}	3.52	1.25×10^5
	1.67×10^{-4}	3.34	7.13×10^4
	4.17×10^{-4}	2.89	3.10×10^4
	8.33×10^{-4}	2.82	1.31×10^4
50%	8.33×10^{-5}	3.42	2.35×10^5
	1.67×10^{-4}	3.49	1.27×10^5
	4.17×10^{-4}	2.49	4.00×10^4
	8.33×10^{-4}	2.49	1.67×10^4

粘性係数 η (N/mm² · s)

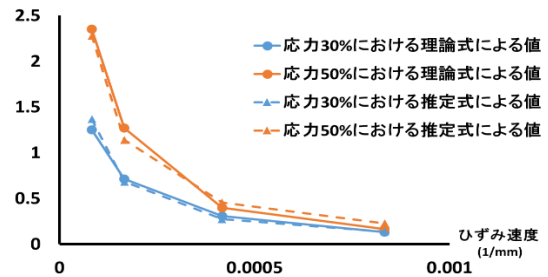


図-5 粘性係数-ひずみ速度グラフ

粘性係数 η は $10^4 \sim 10^5$ N/mm² · s程度であった。一般に、フレッシュコンクリートで $10^5 \sim 10^7$ N/mm² · s程度とされており³⁾、硬化後ではそれに比べ粘性が小さくなると考えられるので、この値は妥当性があるといえる。

図-5 より粘性係数 η は応力が大きいほど大きくなり、ひずみ速度が大きくなるほど小さくなる傾向があると推測できる。応力が圧縮強度の 30~50%、ひずみ速度が $8.3 \times 10^{-5} \sim 8.33 \times 10^{-4}$ (/sec)の範囲において、応力 σ 、圧縮強度 f'_c 、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ を用いて粘性係数 η の値を推定する式(5)を提案する。

$$\eta(\sigma, f'_c, \dot{\epsilon}) = 38 \frac{\sigma}{f'_c} \times \frac{1}{\dot{\epsilon}} \quad (5)$$

式(5)の推定式により算出した粘性係数の値を図-4 に破線で示す。粘弾性モデル理論式による値と推定式による値はよく整合していることがわかる。

4. 今後の課題

ひずみ速度 $10^{-2} \sim 10^3$ (/sec)といった衝撃荷重が作用した場合や、 10^{-6} (/sec)以下の低ひずみ速度時が作用した場合の検討を行う。また、実際の構造物では塑性ひずみが出てくるためそれを考慮した評価式を検討する。

5. 参考文献

- 1) 中村祐三 <http://www.mech.kagoshima-u.ac.jp/~nakamura/bussei/Mater-Mech02.pdf>
- 2) 永峰雅史, 島弘 data.jci-net.or.jp/data_pdf/25/025-01-2023.pdf
- 3) 菊川 浩治: モルタルおよびコンクリートの粘度式に関する研究, 1990.2.