

長岡技術科学大学建設系 正会員○前川宏一

佐藤工業 正会員 田畑昌伸

長岡技術科学大学大学院 学生員 李 宝禄

1. はじめに

従来から提案されているコンクリートの構成式（破壊基準を含む。）の多くは、応力速度あるいはひずみ速度がほぼ一定の条件下で行われた実験を基準として構築されているため、高応力を経験し、かつ任意の時間—ひずみ経路に対して応力を正確に評価するまでには至っていない。特に解析的に柱等の復元力特性を得るためには、構成式を時間のパラメータで記述し、適用範囲を拡大することは必須であると思われる。本研究は多次元モデル作成を念頭に置き、基本となる1次元弾性挙動を時間パラメータを含めて議論するものである。

2. 実験とひずみの定義

20x20x5cm の無筋コンクリート板に主応力軸が変化しない状態で圧縮応力を導入し〔1,2〕、1軸応力を固定（クリープ）、あるいは1軸圧縮ひずみを固定（リラクセーション）してひずみ、ならびに応力の変化を測定した。さらに約1秒で急速除荷を行い、応力変動時に回復したひずみと応力ゼロの状態へ回復したひずみをそれぞれ直交2方向に測定した。前者を瞬間弾性ひずみ ϵ_{ei} 、後者を遅れ弾性ひずみ ϵ_{ed} と定義する。なお、ひずみならびに応力の固定後、10分以上経過した後に急速除荷を行った。これは十分遅れ弾性ひずみが回復した状態にコンクリートを設定するためである。

同一の応力状態でも、ひずみ軟化領域にあるコンクリートの遅れ弾性ひずみは、ひずみ硬化領域にあるそれと比較して極めて大きい。そのため、任意の状態の弾性ひずみの時間変化を定式化するには全応力 σ を用いることができない。そこで図1に示す弾塑性破壊則に基づき、以下の要素応力 σ_e を支配変数にとることにした。

$$\sigma_e = E_0 \cdot \epsilon_{ei}, \quad \sigma = K \cdot \sigma_e, \quad \begin{array}{l} E_0: \text{定数} \\ K: \text{破壊パラメータ} \end{array} \quad (1)$$

3. 遅れ弾性ひずみの最終回復量

圧縮遅れ弾性ひずみの最終回復量 $\epsilon_{ed\infty}$ （除荷後10分で回復した遅れ）と瞬間弾性ひずみの関係を、時間—応力経路を変えた実験結果から求めて図示したものが図2である。この図からは両者には正の相関が認められるが、一意的な線形関係は認められない。そこで $\epsilon_{ed\infty}$ の影響要因として塑性ひずみを考え、急速除荷時の圧縮塑性ひずみが、ほぼ 0.1, 0.3, 0.5 ϵ_0 （ ϵ_0 : 1軸圧縮強度に対応するひずみ）のデータについてそれぞれ整理すると、図2より、塑性ひずみが同じ場合は、その塑性ひ

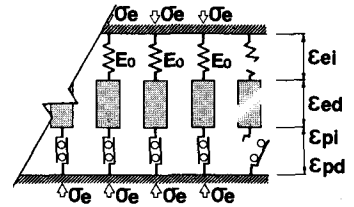


図1 弾塑性破壊モデル

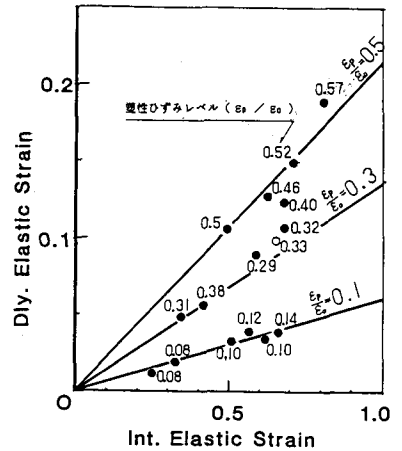


図2 瞬間—遅れ弾性ひずみの関係

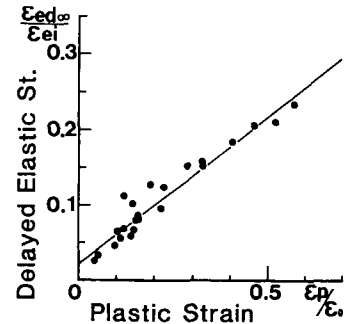


図3 塑性ひずみと遅れ回復の関係

ずみに至る経路が異なっても、瞬間弾性ひずみと遅れ弾性ひずみの最終回復量は比例することがわかる。塑性ひずみと〔遅れ弾性ひずみの最終回復値／瞬間弾性ひずみ〕の関係を図示すると図3のように、両者の間には強い相関関係があることが認められる。

4. 遅れ弾性ひずみの時間変化とモデル

図4に $\epsilon_{ed\infty}$ で正規化したときの除荷後の遅れ弾性ひずみの経時変化を示す。任意の経路を含むにもかかわらず、ほぼ1つの指数関数で表現することができる。以上の結果を矛盾なく記述するモデルとして、図4に示すバネ定数の変化を許す粘弾性モデルが考えられる。この挙動モデルは以下の微分方程式で表現される。

$$d \epsilon_{ed} = d \epsilon_{ed1} + d \epsilon_{ed2}$$

$$E_0 \epsilon_{ei} = E_1 \epsilon_{ed1} + C_1 \frac{d \epsilon_{ed1}}{dt}, \quad E_0 \epsilon_{ei} = E_1 \epsilon_{ed1} + C_1 \frac{d \epsilon_{ed1}}{dt} \quad \dots \dots (2)$$

このとき、 E_0 一定との仮説から〔2〕、粘弾性剛性 E_1 、 E_2 が遅れ弾性ひずみの収束値の大きさを左右する。したがって、粘弾性剛性が塑性ひずみによって変化することで実験結果に対応することが可能となるのである。そこで図4の結果から粘弾性剛性を式〔3〕で与えることにした。

$$E_1 = \frac{E_0}{1.24} \left(0.23 + 0.39 \frac{\epsilon_p - 1}{\epsilon_0} \right), \quad E_1 = \frac{E_0}{0.76} \left(0.23 + 0.39 \frac{\epsilon_p - 1}{\epsilon_0} \right), \quad E_0 = \frac{f_c'}{0.35 \epsilon_0} \quad \dots \dots (3)$$

粘性係数は瞬間除荷を行った時の遅れ弾性ひずみの変化から求めることができる。式〔2〕を瞬間除荷以降について解析的に積分すると、図4に示された結果の予測式が得られ、最も適合する粘性係数を以下のように得ることができた。

$$C_1 = 12.6 \cdot E_1, \quad C_2 = 136 \cdot E_2 \quad \dots \dots (4)$$

引張弾性ひずみはポアソン比から求められ、図5に瞬間弾性ポアソン比を図示した。瞬間弾性ポアソン比と破壊パラメータの間には強い相関関係が認められる。コンクリート内部にマイクロクラックが発生して破壊パラメータが小さくなるにつれ、瞬間弾性引張ひずみも相対的に大きくなることになるのである。

5. まとめ

- 1) 遅れ弾性ひずみの収束値と瞬間弾性ひずみの比は、塑性ひずみが同じ場合は履歴に依らず一定であるが、その比は塑性ひずみが大きくなるに従って大きくなる。
- 2) 遅れ弾性ひずみの最終回復値に対する遅れ弾性ひずみの時間的变化は、履歴に殆ど依存しない。
- 3) 以上の結果は、Voigt の粘弾性モデルの粘性剛性が塑性ひずみに依存することで統一して記述できる。ただし、これらの結果は瞬間除荷した場合の結果であり、一般の応力経路で成立する保証はない。今後、粘性係数の応力依存性の有無について検討を加える予定である。

なお、本研究は著者の1人が昭和58年度吉田奨励金を受けて行ったものである。

【参考文献】 1) 田畑昌伸、前川宏一 「1軸高圧縮応力下におけるコンクリートの变形特性」、昭和58年度土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅴ部門、1983.10
 2) 前川宏一、岡村 甫 「2軸応力下におけるコンクリートの变形特性」、コンクリート工学 Vol.21, No.3, 1983.3

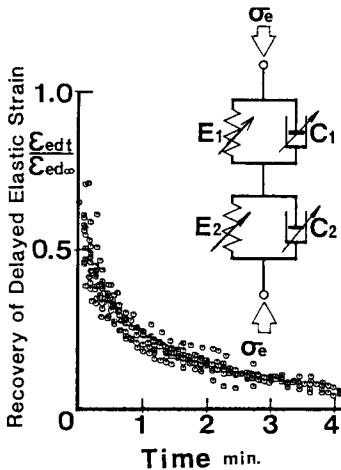


図4 遅れ弾性回復の経時変化

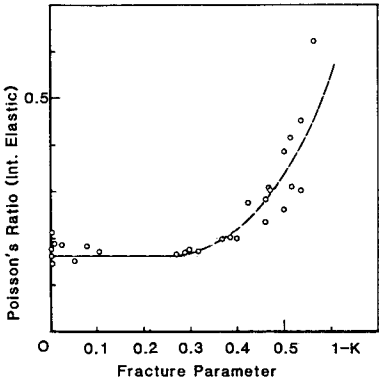


図5 瞬間弾性ポアソン比の変化