

名城大学大学院	学生会員	○高野 祐介
名城大学	正会員	石川 靖晃
名城大学	正会員	菊川 浩治

1. 序論

遷移材齢時のコンクリートの一軸圧縮試験において、載荷速度が大きいほど、強度が大きくなるということが実験的に確認されている。このような遷移材齢時のコンクリートの短期的な時間依存挙動を検討するため、材料物性値の変化を考慮にいたれた数理モデルを提案した。提案されたモデルでは、主にコンクリートの塑性成分、粘着力、内部摩擦角を載荷材齢によって変化させることにより遷移材齢時のコンクリートの変形挙動を捉えることを試みた。そして、実験値と解析値を比較し遷移材齢時のコンクリートの時間依存挙動について検討した。

2. 遷移材齢時のコンクリートの短期的時間依存に対する数理モデルの構築

2.1 概説

鴻池組で行われた材齢1日のコンクリート供試体で行った一軸圧縮試験の結果を図-1に示す。載荷速度 $20 \mu_{\text{sec}}$ の試験結果は載荷速度 $200 \mu_{\text{sec}}$ で行った結果に比べ 10% ほど強度が低下している。このような遷移材齢時のコンクリートでは短期期間においても時間依存挙動が目に見えて表れるのではないと思われる。以前石川、田辺らがこのような現象を捉えるために考慮に入れた数理モデルを構築したが¹⁾、そのモデルでは塑性ひずみ成分と粘塑性ひずみ成分を一体化させて捉えられていた。本研究では、塑性ひずみ増分を時間による関数として表すことにより塑性ひずみ成分と粘塑性ひずみ成分が区別されるようなモデルを構築することを試みた。

2.2 時間依存性を考慮した塑性ひずみの定式化

今回塑性挙動の判断基準として Drucker-Prager type の破壊基準を用いた。

$$F = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k \quad (1)$$

式(1)において、 F の値が、 $F < 0$ のときは純粋な弾性挙動を、 $F \geq 0$ のときは塑性挙動を表す。また、 α 、 k は材料定数であり次のように表される。

$$\alpha = \frac{2 \sin \phi^*}{\sqrt{3}(3 + \sin \phi^*)}, \quad k = \frac{6C^* \cos \phi^*}{\sqrt{3}(3 + \sin \phi^*)} \quad (2)$$

ここで、 C^* 、 ϕ^* はセメントペーストの変動粘着力、変動内部摩擦角で次のように表す。

$$C^* = c \cdot \exp[-(a\omega^2)] \quad (a \text{ は材料定数}), \quad \phi^* = \begin{cases} \phi \sqrt{2\omega - \omega^2}, & \omega \leq 1 \\ \phi, & \omega > 1 \end{cases} \quad (3)$$

(但し、 c 、 ϕ は材齢および降伏後の時間履歴に応じて変化する。)

塑性挙動の判断基準には、Drucker-Prager type を適用している。それには、まず材齢に応じた粘着力、初期内部摩擦角などの材料定数を決定しなくてはならない。

ここでは名古屋大学で行われた三軸圧縮試験の結果を用いる²⁾。内部摩擦角についてはほぼ材齢によらず一定値をとることが確認されているが(今回は実験結果により 27° を採用)、粘着力については今回粘着力は材齢により変化する関数と見なし、式(3)の変動粘着力で用いられている初期粘着力 c を比例定数 μ を用いて初期粘着力を次式で表した。

$$c = \frac{A \cdot K \cdot e^{\mu t}}{K + A(e^{\mu t} - 1)} \quad (A, K \text{ は任意の値、} t \text{ は時間による変数}) \quad (5)$$

今回の研究では、粘着力と内部摩擦角を材齢（時間）により変化すると仮定することにより、変動粘着力、変動内部摩擦角も時間で変化すると考えることができる。それにより変動粘着力、変動内部摩擦角をそれぞれ用いている材料定数 α 、 k も時間により変化すると考えることができる。それにより式（１）に示す降伏関数も時間で変化する関数であると考えられる。よって式（１）を時間により全微分することで適合性の条件は式（６）のように表すことができる。

$$dF = \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} d\sigma_{ij} + \frac{\partial F}{\partial \varepsilon_{ij}^p} d\varepsilon_{ij}^p + \frac{\partial F}{\partial t} dt = 0 \quad (6)$$

さらに、この式に弾性応力増分式、関連流れ則を用いて整理すると、塑性ひずみを表す式は、最終的に次式のようになる。

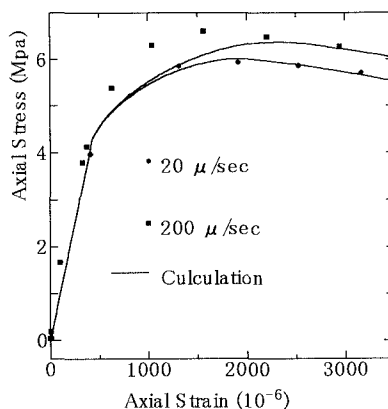
$$d\varepsilon_{ij}^p = \frac{\left(\frac{\partial F}{\partial \sigma_{kl}} \right) D_{klst}^e d\varepsilon_{st} + \left(\frac{\partial F}{\partial t} \right) dt \left(\frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \right)}{\left(\frac{\partial F}{\partial \sigma_{mn}} \right) D_{mnpq}^e \left(\frac{\partial F}{\partial \sigma_{pq}} \right) + h} \quad (7)$$

古典硬化塑性理論では式（７）において $\left(\frac{\partial F}{\partial t} \right) dt \left(\frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \right)$ の項はないが、今回時間依存挙動を考慮に入れた定式化により新たに付け加えた項である。この項により塑性ひずみに時間の影響が及ぶと考えられる。

３．数値解析例

式（７）を用いて有限要素法による増分解析を行い、鴻池組で行った一軸圧縮試験の結果の図－１に重ねて示す。

この結果から今回構築したモデルは遷移材齢時のコンクリート短期間の時間依存挙動の傾向をだいたい捉えることが分かった。また、載荷速度が大きくなると強度も大きくなることが確認できた。式（７）における $\frac{\partial F}{\partial t} dt$ の項がひずみ速度の増加と共に減少することで解析解についてはひずみ速度が小さいほど降伏後の応力ひずみ勾配が低下していく。しかし今回提案したモデルに考慮されている要因だけで、遷移材齢時の時間依存挙動を完全に捉えることは勿論不可能であり、今回構築したモデルについてさらに検討を重ねることが、これからの研究課題の一つであると思われる。



図－１ 鴻池組の一軸圧縮試験結果と増分解析値との比較

４．結論

今回構築した塑性モデルを組み込んだ構成則において、ある程度挙動を捉えることができたと思われる。さらに検討を重ねれば遷移材齢時におけるコンクリートの塑性挙動を捉えることができるものと思われる。

参考文献

- 石川靖晃、大下英吉、田辺忠顕：粘塑性飽和透水材料としての若材齢コンクリートの変形挙動、コンクリート工学年次論文集、Vol.16、No.1、pp.603－6.8、1982
- 石川靖晃、大下英吉、阿部博俊、田辺忠顕：時間依存挙動に対する若材齢コンクリートのモデル化、土木学会論文集、No.520／－28、pp123－133、1995