

圧縮下でのコンクリートの繰返し変形挙動のモデル化

岐阜大学大学院 学生員 高瀬雄士 中部大学 正員 水野 英二 三重大学 正員 畑中 重光

1. はじめに

コンクリートは、低い拘束圧下(およそ 2MPa)においては、最大応力以降は破壊の局所化を伴うひずみ軟化挙動が支配する。それゆえ、軟化域での繰返し変形特性を如何に合理的にモデル化するか鉄筋コンクリート(RC)構造物の非線形解析を行う上で重要となる。本研究では、筆者らのひずみ軟化型構成モデル(弾塑性モデル)¹⁾を繰返し挙動が再現できるように弾塑性・破壊モデルへと拡張する。

2. 圧縮荷重下でのコンクリートの繰返し挙動

図-1 に示すような繰返し圧縮下でのコンクリートの挙動が、実験結果²⁾より知られており、以下では、ひずみ軟化型構成モデルを拡張して、このような繰返し挙動を再現することを試みる。

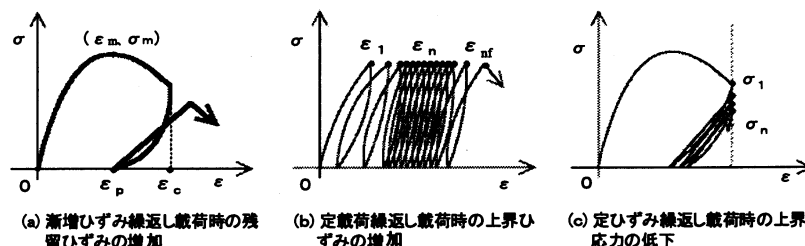


図-1 一軸圧縮下での繰返し応力-ひずみ曲線²⁾

3. ひずみ軟化型構成モデルの概要

ひずみ軟化型構成モデルは、ひずみ空間で定義した塑性理論に基づいており、その特徴は、1)非関連流れ則の仮定の下で負荷関数および塑性ポテンシャル関数をひずみ空間で定義していること、2)塑性仕事量をパラメータとしてコンクリートの硬化および軟化挙動を統一的に評価している点である。図-2 に示すように、本研究で用いる負荷曲面は、強度パラメータ F_p 値の変化に伴い静水圧軸(I_1 軸)を中心としてひずみ硬化域では広がり、ひずみ軟化域では縮小する(等方硬化モデル)。なお、強度パラメータ F_p 値はコンクリートの損傷度を表し、ひずみ硬化域では増加し、破壊時で最大となり、ひずみ軟化の進行に従って減少する。これまでの筆者らのモデルは、除荷領域では負荷曲面は縮小することなく、線形弾性挙動を再現するという特徴があった。それゆえ、本研究では、除荷および再載荷領域において非弾性挙動を仮定することにより生ずる塑性仕事量を用いて負荷曲面を縮小させ、図-3 に示すような非線形繰返し挙動を再現できるように構成モデルを拡張する。

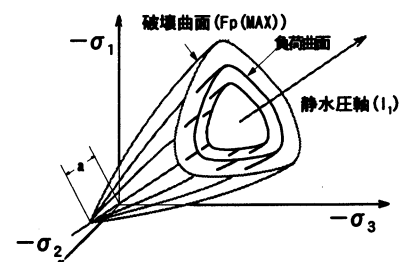


図-2 主応力空間における負荷曲面

4. 一軸応力状態における繰返し載荷実験データによるモデル化

図-3 に示すような除荷時および再載荷時の繰返し実験データ³⁾のみを用いて、一般応力状態下での繰返し挙動をも再現できるように、以下のモデル化を行う。

4.1 除荷挙動のモデル化

図-3 に示す除荷曲線(A-G, B-H, C-I, D-J, E-K および F-L)に対して、A~F 点の除荷時点を原点に取り、軸ひずみ増分 $\Delta \epsilon$ と軸応力増分 $\Delta \sigma$ との関係を調べた結果を図-4 に示す。最小二乗法により、各除荷曲線を $\Delta \sigma / F_c = e^a (\epsilon / \epsilon_m)^b$ なる関係式で再現した。なお、 F_c は一軸圧縮強度、

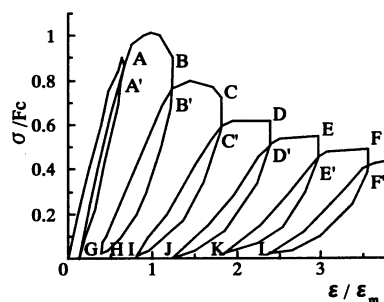


図-3 実験曲線(小坂ら³⁾)

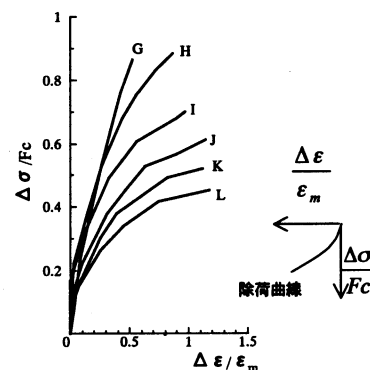


図-4 除荷後の挙動

キーワード: コンクリート, 繰返し変形挙動, ひずみ軟化, 応力-ひずみ関係, 構成モデル

連絡先 〒487-8501 春日井市松本町 1200 中部大学工学部土木工学科 TEL:0568-51-1111 FAX:0568-52-0134

ε_m は一軸圧縮強度時の軸ひずみを示す。a 値および b 値は除荷時点でのエネルギー吸収量によって与えられる値である。この関係式より、除荷時でのヤング係数を逐次求めることにより非線形挙動を再現させることができる。

4.2 再載荷挙動のモデル化

図-3 に示す再載荷曲線 (G-A', H-B', I-C', J-D', K-E' および L-F') に関し、G~L 点の再載荷時点を原点に取り、軸ひずみ増分 $\Delta \varepsilon$ と軸応力増分 $\Delta \sigma$ の関係を調べた結果を図-5 に示す。図-5 に示す各再載荷曲線を直線と仮定して、その傾きと各再載荷時でのエネルギー吸収量との関係より、再載荷時でのヤング係数を逐次求め、再載荷曲線を再現する。

5. 検証解析

以上のモデル化をひずみ軟化型構成モデルに採り入れて、一例として、コンクリート圧縮強度 32MPa およびヤング係数 29.4GPa を有するコンクリート供試体に対して、1) 漸増ひずみ繰り返し載荷、2) 定荷重繰り返し載荷および 3) 定ひずみ繰り返し載荷に対する検証解析を行った結果を以下に示す。図-6 の漸増ひずみ繰り返し載荷の解析では、除荷時および再載荷時に強度パラメータ F_p 値を低下 (すなわち、負荷曲面を縮小) させている。図からも分かるように、除荷および再載荷曲線は、塑性仕事量の増大に伴って、それらの傾きが小さくなる

ことが再現できている。

次に、最大応力の 80% を定荷重とした一軸圧縮および三軸圧縮下での定荷重繰り返し載荷に対する結果を図-7 に示す。

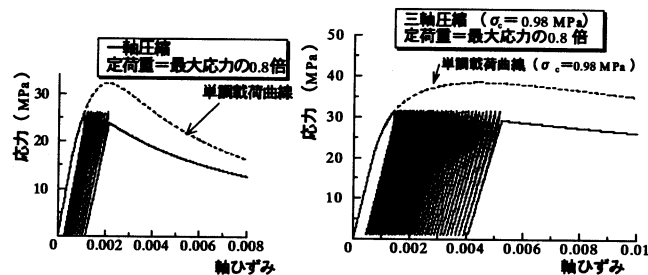


図-7 定荷重繰り返し載荷

検証解析の結果、図-8 に示すように三軸圧縮 (破線) の方が一軸圧縮 (実線) の場合に比べ、破壊に至るまでの繰り返し回数が多くなるという特徴が再現できた。

次に、一軸圧縮下において定ひずみ ε (上界ひずみ) を $1.5 \varepsilon_m$, $2.0 \varepsilon_m$

および $2.5 \varepsilon_m$ として、定ひずみ繰り返し載荷を行った結果を図-9 に示す。また、上界応力の低下と繰り返し回数との関係を図-10 に示す。その結果、繰り返し載荷を行うひずみ量が大きくなるほど上界応力の低下は増大していることが分かる。

参考文献

- 1) 水野英二, 森本康介, 畑中重光: 中心軸圧縮力を受けるコンファインドコンクリートの拘束効果に関する三次元 FEM 解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20-3, 85-90, 1999.
- 2) 日本コンクリート工学協会: 塑性域の繰り返し劣化性状に関するシンポジウム, 委員会報告書, 2.2.1 繰り返し載荷時の応力-ひずみ曲線 (担当: 畑中重光), 115-128, 1998.
- 3) 小坂義夫・谷川恭雄・山田和夫・畑中重光: 一軸圧縮下のコンクリートの応力-ひずみ曲線に関する研究, セメント技術年報, Vol.37, 272-282, 1983.

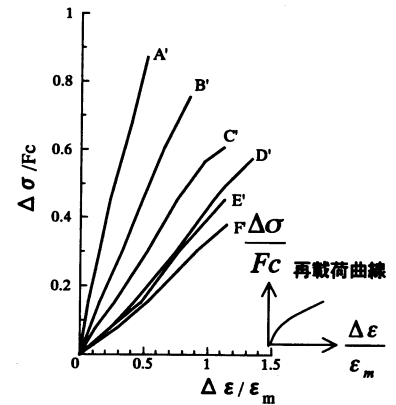


図-5 再載荷の挙動

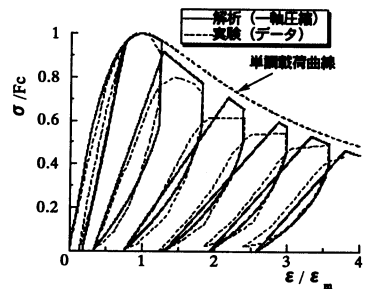


図-6 漸増ひずみ繰り返し載荷

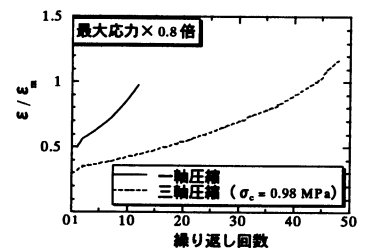
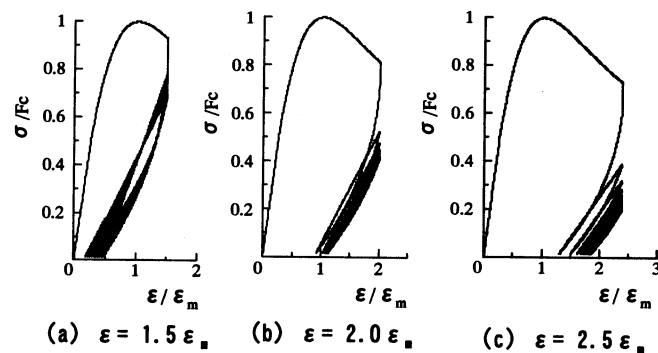


図-8 上界ひずみの増加



(a) $\varepsilon = 1.5 \varepsilon_m$ (b) $\varepsilon = 2.0 \varepsilon_m$ (c) $\varepsilon = 2.5 \varepsilon_m$

図-9 定ひずみ繰り返し載荷

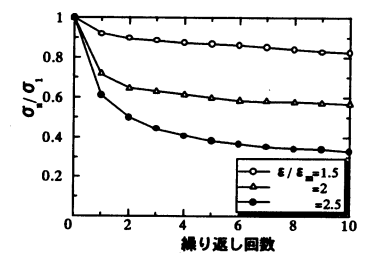


図-10 一軸圧縮下での上界応力の低下