

I-80

破壊集中性を考慮したコンクリート構成則モデルの開発

○東急建設 正員 伊藤 誠
 三重大学 正員 畑中重光
 名古屋大学 正員 水野英二

1. まえがき

形状および寸法の異なるコンクリートの三軸圧縮状態下での破壊吸収エネルギー量は、不均質な材料であるコンクリート内部で生じる破壊領域の広がり(集中度合い)に大きく影響されることが知られている。それゆえ、鉄筋コンクリート(RC)構造物などの有限要素解析では、供試体の形状・寸法効果を考慮できる破壊吸収エネルギーモデルを取り入れる必要がある。

本研究では、まず、破壊点からの距離によるエネルギー吸収能の低減モデル¹⁾をコンクリートの圧縮軟化型構成則モデル²⁾に取り入れる。次に、このモデルを組み入れた3次元有限要素解析プログラム(FEAP)を用いて、三軸圧縮状態下のコンクリート挙動の有限要素解析を行う。

2. 圧縮軟化型構成則モデルの概要

本研究で用いた圧縮軟化型構成則モデルは、ひずみ空間で定義した塑性理論に基づいている。すなわち非関連流れ則の仮定の基に、降伏関数および塑性ポテンシャル関数を用いて定式化している。

本研究では、Lade型負荷曲面(応力の不変量で定式化されている)を、ひずみ量で定義したものへと拡張した。式(1)に、ひずみ空間で定義されたコンクリートのLade型負荷曲面を示す。

$$F = (3K \bar{I}_1 + a)^3 - \left[27 + Fp \left(\frac{Pa}{3K \bar{I}_1 + a} \right)^m \right] \times \left[\frac{1}{27} (3K \bar{I}_1 + a)^3 - \frac{1}{3} (3K \bar{I}_1 + a) 4G^2 \bar{J}_2 + 8G^3 \bar{J}_3 \right] = 0 \quad (1)$$

ここで、 $\bar{I}_1, \bar{J}_2, \bar{J}_3$ はそれぞれ弾性ひずみの第1次不変量、偏差弾性ひずみの第2次不変量、第3次不変量である。K, Gはそれぞれ体積弾性係数、せん断弾性係数であり、aはコンクリートの引張強度を表している。

また、Fpはコンクリートの損傷度を表す強度パラメータで塑性仕事量Wpの関数である。ここで強度パラメータFp-塑性仕事量Wp関係の概要を示すと図1のようである。後述するエネルギーの低減モデルは、この強度パラメータFp-塑性仕事量Wp関係に適用することになる。モデルの詳細に関しては、参考文献2)を参照されたい。

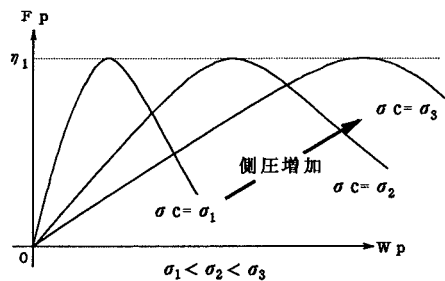


図1 Fp-Wp関係の概要

3. 距離によるエネルギー吸収能の低減モデルの概要

これまでの研究¹⁾で、コンクリートが破壊するとき、供試体の中心ほど単位体積当たりのエネルギー吸収量は大きく、中心から離れるにしたがって単位体積当たりのエネルギー吸収量は小さくなっていくという結果が得られている。そこで、この結果を基に、図2に示すようなエネルギー吸収能の低減モデルを考案した。このモデルでは、エネルギー吸収能の低減状態は3次元的に等方的であるとし、低減率は初期破壊点からの距離に反比例する関数として低減率を表現している。同種類のコンクリート供試体に対しては、低減率を同一の低減曲線で表現する。コンクリートの応力-ひずみ曲線は初期破壊点近傍では、延性的であり、初期破壊点から離れるに従

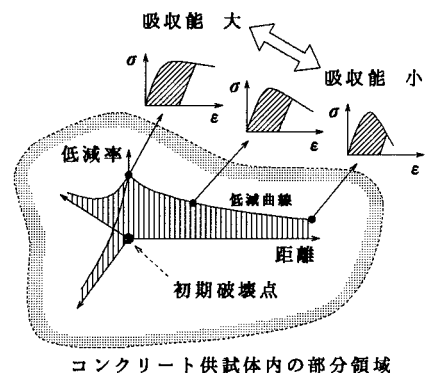
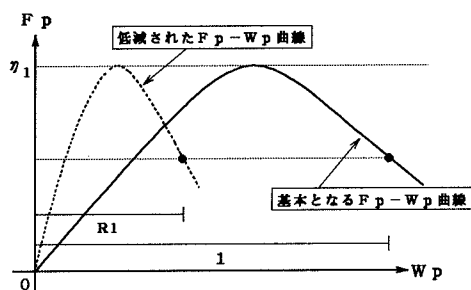


図2 エネルギー低減モデルの概念図

い、脆性的なものとなる。次に、低減モデルの適用についてであるが、いま、初期破壊点から距離 d_1 のところにあるコンクリート供試体内の点の低減率 R が、 $R = R_1$ と求められたとする。このコンクリート供試体内の点の強度パラメータ $F_p - W_p$ 関係は図3の点線で示されるように、基本となる $F_p - W_p$ 曲線を R_1 倍する事によって得られる曲線である。この点線で示された $F_p - W_p$ 関係を用いることにより、エネルギー吸収能の低減を考慮したことになる。

図3 低減された $F_p - W_p$ 関係

4. 有限要素解析例

コンクリート供試体における材料不整（内部欠陥）を考慮した不完全供試体を対象に、有限要素解析を行った。解析対象のコンクリート供試体の寸法は $20\text{cm} \times 20\text{cm} \times 20\text{cm}$ とし、軸対称を考慮して $1/4$ 領域を考慮し、その領域を 16 要素に分割した。また、負荷は変位制御（Z 軸方向の一軸圧縮荷重）で解析を行った。材料定数として、一軸圧縮強度 $f_c' = 34.8\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数 $E = 2.06 \times 10^4\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.2$ を使用した。設定した内部欠陥の圧縮強度は一軸圧縮強度の 80% で位置は図4に示しておりである。解析は、内部欠陥のある場合について、エネルギー低減モデルを用いた場合と用いない場合の2ケース、および内部欠陥のない完全体について行った。解析結果を図5に示す。

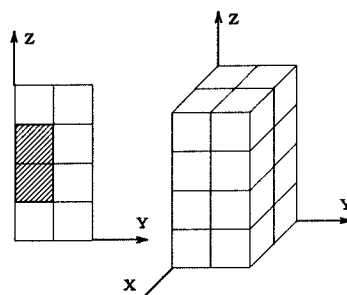


図4 欠陥要素の位置

図5を見ると、欠陥要素を設定した解析結果では、完全体の解析結果と比較して、圧縮強度がおおよそ 2N/mm^2 ほど低下しており、圧縮強度の低下という点においては、コンクリートの欠陥の影響が現れている。しかし、ピーク以降の軟化域における挙動を比較してみると、エネルギー低減モデルを考慮していない場合の解析結果は、完全体の解析結果とあまり挙動に差が見られない。次に、エネルギー低減モデルを考慮した場合の解析結果は、考慮しない場合に比べ、軟化域の挙動がより脆性的なものとなっており、欠陥要素、すなわち破壊の集中性の影響が適切に（定性的に）評価されていると考えられる。

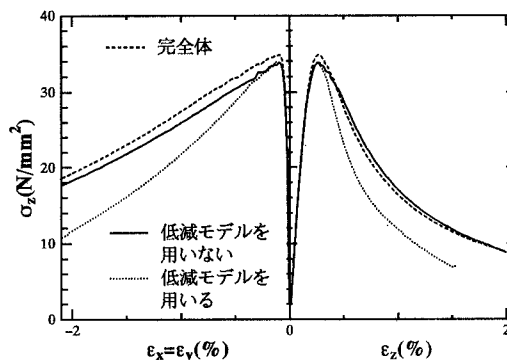


図5 欠陥要素を考慮した場合の解析結果

5. まとめ

エネルギーの低減モデルを取り入れた圧縮軟化型構成則モデルは、コンクリート内部の破壊集中性に依存する形状・寸法効果を再現するに当たり、有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 前田欣昌・水野英二・畑中重光・伊藤 誠：吸収エネルギーパターンを考慮したコンクリートの圧縮破壊シミュレーション，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 16，No. 2，1994，pp. 153-158.
- 2) 水野英二・畑中重光：塑性理論によるコンクリートの圧縮軟化特性のモデル化，コンクリート工学論文集，Vol. 2(2)，1991，pp. 85-95.