

軸力と繰返し曲げを受ける R C 部材の挙動解析

金沢大学大学院 学生員 ○吉田 直司
 金沢大学工学部 正会員 梶谷 浩
 金沢大学工学部 正会員 梶川 康男

1. はじめに

実際の鉄筋コンクリート (R C) 構造物に作用する外力を考えると、地震や風といった繰返し荷重を受けている場合が多い。また、柱や橋脚などの R C 部材には少なくとも自重分の軸方向圧縮力が作用している。そこで、本研究では軸力と繰返し曲げを受ける R C 部材に対して、材料のモデル化と弾塑性有限要素解析による変形状のシミュレーションを行った。

2. 材料のモデル化

コンクリートの圧縮側については、直交異方性亜弾性構成モデルとした。平面応力状態における構成関係式は次式で表される。

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_1 \\ d\sigma_2 \\ d\tau_{12} \end{Bmatrix} = \frac{1}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} E_1 & \nu\sqrt{E_1E_2} & 0 \\ & E_2 & 0 \\ \text{sym} & & (E_1 + E_2 - 2\nu\sqrt{E_1E_2})/4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\epsilon_1 \\ d\epsilon_2 \\ d\gamma_{12} \end{Bmatrix}$$

ここに、添字 1, 2 は異方性の主軸、 ν は等価ポアソン比 ($\nu^2 = \nu_1\nu_2$)

構成関係式中の亜弾性係数の決定には、Darwin、Pecknold の等価 1 軸ひずみの概念を用いた¹⁾。繰返し載荷における等価 1 軸応力-ひずみ関係を図 1 に示す²⁾。このループの形状は Karsan と Jirsa の実験に基づき決定されており、上昇部分を Saenz の提案式により表し、下降部分を (f_c' , ϵ_c) および ($0.2f_c'$, $4\epsilon_u$) の 2 点を通る直線で表している。ここに、 E_0 は初期弾性係数、 f_c' は圧縮強度、 ϵ_c は f_c' に対するひずみ、 ϵ_u は圧潰時のひずみ、 f_t は引張強度である。除荷曲線の包絡線上のひずみ ϵ_{en} と応力 0 のときの残留ひずみ ϵ_p とのあいだに次の実験式を仮定し、モデル中にその関係を組み込んでいる。

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_c} = 0.145 \left(\frac{\epsilon_{en}}{\epsilon_c} \right)^2 + 0.13 \left(\frac{\epsilon_{en}}{\epsilon_c} \right)$$

引張側については、主引張応力が引張強度に達した時点で応力を解放した。

ひび割れについては、分布ひび割れモデル (Smeared Crack Model) を用いた。繰返し載荷を受ける際のひび割れの開閉は、図 2 に示すような 6 つのパターンを考えた。また、除荷時のひび割れの閉じ過ぎを防ぐために、ひび割れに直交する方向に対して人工的な剛性を仮定した。今回はこの仮想的剛性をひび割れ面の凹凸による骨材間の局所接触効果と考え導入した。

鉄筋については、応力-ひずみ関係を Bi-linear モデルで近似し、初期降伏曲面には von Mises の降伏関数を、硬化則には簡単のため等硬化則を用いた。

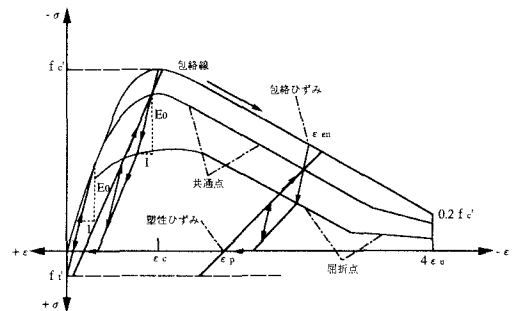


図 1 繰返し挙動に対して提案されたモデル

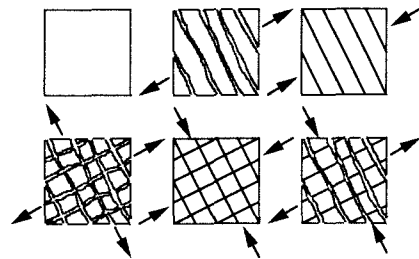


図 2 繰返し載荷時のクラックパターン

3. 解析手法および解析結果

図3に今後行う予定である実験の供試体形状を示す。供試体は左右対称構造であり、載荷点についても対称である。そこで、今回は計算時間の短縮と使用領域の縮小を計るため、スパン中央から左半分を取り出し、解析を行うこととした。その有限要素メッシュを図4に示す。コンクリート、鉄筋については、二次元8節点平面要素で構成し、スターラップについては、一次元3節点トラス要素でモデル化した。なお、コンクリート、鉄筋、スターラップの間は完全付着とした。

解析に用いた材料定数は、コンクリートについては、設計基準強度をもとに土木学会コンクリート示方書およびACI示方書の実験式より決定し、鉄筋、スターラップについては、既往の材料試験結果を採用した。

解析は平面応力状態を仮定し、荷重制御による増分解析で行った。軸圧縮力については、増分回数100回で所定の軸力が与えられるようにし、横力については、荷重増分ステップを載荷時は0.01tf、除荷時は0.02tfとした。除荷は、載荷時と同じ境界条件のもとで荷重を反対方向に加えることにより表現した。

解析結果として、荷重-たわみ（スパン中央）曲線を図5-(a)、(b)に示す。軸力の有無および載荷形式の相違によって4パターンの解析を行った。その種別を下の表に示す。

載荷形式	軸力 (tf)	解析名称
単調載荷 (S)	0.0	SN0.0
	6.0	SN6.0
繰り返し載荷 (R)	0.0	RN0.0
	6.0	RN6.0

4. むすび

以上、RC部材の材料のモデル化および変形性状のシミュレーションを行ったが、今後は図3に示す供試体で実験を行い、解析モデルの問題点を検討していきたいと考えている。

参 考 文 献

1) Dawin D.& Pecknold D.A. :

Nonlinear Biaxial Stress-Strain Law for Concrete, Proc of ASCE, Vol.33, No.EM2, 1977

2) W.F.Chen :

コンクリート構造物の塑性解析, 丸善株式会社, 1985年

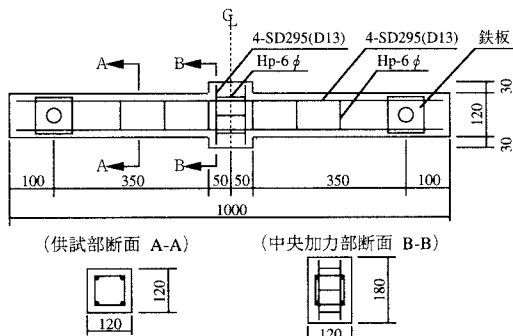


図3 実験供試体

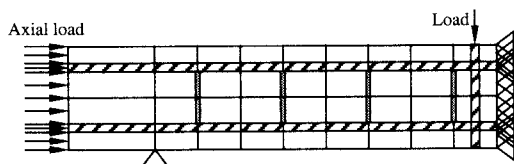


図4 有限要素メッシュ

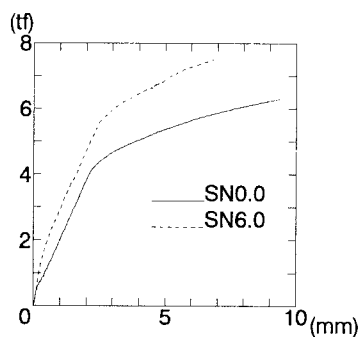


図5-(a) 荷重-たわみ曲線

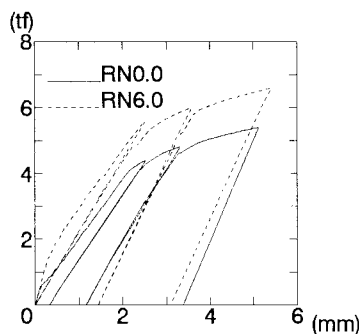


図5-(b) 荷重-たわみ曲線