

V-52

曲げを受ける超高強度コンクリート
はり部材の非線形有限要素解析

東北大学○学生員 佐藤 潤一

東北大学 学生員 市川賀寿男

東北大学 正 員 鈴木 基行

1. はじめに

近年、シリカヒューム等の混和材料の使用によって、圧縮強度 $1,000\text{kgf/cm}^2$ を超えるようなコンクリートの高強度化が可能になってきており、橋梁をはじめ様々な土木構造物にその利用を拡大しつつある。しかしながら、超高強度コンクリート部材の挙動は、十分に解明されているとはいえず、基礎的な研究が必要である。この見地から、本研究では、有限要素解析によって曲げを受ける超高強度コンクリート（圧縮強度 $1,000\text{kgf/cm}^2$ ）はり部材の変形特性を求め、その妥当性を検討した。

2. 解析方法

まず、コンクリート構造物を連続体として、有限な大きさをもつ微小な要素に分割する。本解析では、長方形に分割した。そして、各単位要素ごとに節点変位と節点に働く力の関係、すなわち、剛性マトリックス $[k]$ を求める。各要素ごとに、要素剛性マトリックスを求めて、局所座標系から全体座標系へ変換し、規則正しく重ね合わせることによって、全体剛性マトリックス $[K]$ を得る。これによって、全体構造の荷重増分 $\{dP\}$ と節点変位の増分 $\{d\delta\}$ の関係は、 $\{dP\}=[K]\{d\delta\}$ と表示される。本解析では、要素形状として、コンクリート要素は8節点の二次元アイソパラメトリック要素、鉄筋要素は3節点の一次元アイソパラメトリック要素を用いた。

3. 材料のモデル化

(1) ひびわれ発生前のコンクリートにおいては、解析モデルとして、DarwinおよびPecknold¹⁾の等価一軸ひずみに基づく直交異方性モデルを採用した。構成関係式は次のように表される。

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_1 \\ d\sigma_2 \\ d\tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 & 0 & 0 \\ 0 & E_2 & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\epsilon_{1u} \\ d\epsilon_{2u} \\ d\gamma_{12} \end{Bmatrix}$$

右辺を、等価増分一軸ひずみと定義すると、等価一軸ひずみ ϵ_{1u} は、前荷重段階の等価一軸ひずみに等価増分一軸ひずみを加えることによって得られる。 ϵ_{1u} は、現在の主応力方向に対してのみ定義できる量である。一般に、主応力方向は荷重に応じて変化する。したがって、 ϵ_{1u} は固定された方向に対するひずみを表すのではなく、連続的に変化する主応力方向に対するひずみを表す。これによって、非線形性が考慮される。圧縮荷重時のコンクリートの応力-ひずみ曲線は、図-1に示したように、等価一軸ひずみを用いた Saenzの式で表した。また、Kupferらの強度包絡線基準とポアソン比から、弾性係数 E_1 、 E_2 を決定した。主軸の回転については、野口ら²⁾の提案を用いた。

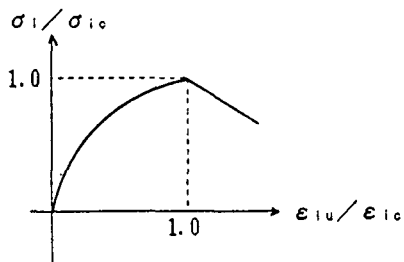


図-1. コンクリートの圧縮応力-等価一軸ひずみ曲線

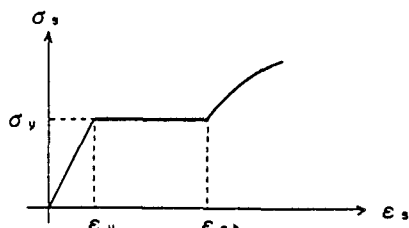


図-2. 鉄筋の応力-ひずみ関係

表-1. 供試体諸元

供試体	引張主鉄筋	圧縮鉄筋	曲げ区間補強鉄筋	せん断補強筋
NO. 1	3D22	2D6	—	D10@100
NO. 2	3D19		—	
NO. 3	3D16		—	
NO. 4	3D13		—	
NO. 5	3D19	3D16	D10@90	D10@100
NO. 8	3D16		—	

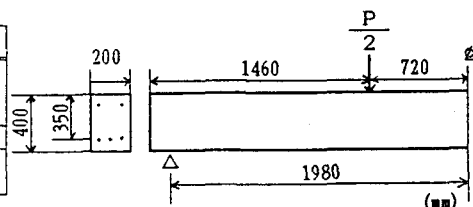


図-3. 載荷方法

(2) ひびわれの発生したコンクリートについては、ひびわれ基準はKupferらの結果に基づいた強度基準、モデルは分布ひびわれモデルを用いた。これにより、ひびわれの影響は、要素内に一様に分布し、ひびわれが発生したコンクリートは直交異方性を帯びるので、新しい接線剛性マトリックス[D]を決定した。

(3) コンクリートの圧縮破壊後の影響は、最大圧縮応力到達後の下降域剛性を1/100に低減して、各荷重段階で内部応力を等価節点力として解放していくことで考慮した(図-1)。

(4) 鉄筋はほぼ一元的であるため、多軸の構成式を導入して、複雑にモデル化する必要はないと思われる。したがって、鉄筋要素はひずみ硬化型の線材とした。この応力-ひずみ関係を図-2に示す。

4. 解析結果および考察

以上述べた解析方法に基づいて、超高強度コンクリート部材の曲げ解析を行った。一方、表-1に示したように、引張鉄筋比が変動因子である供試体6本($f_c=1,000\text{kgf/cm}^2$)を用いて、図-3のような載荷方法で実験を行い、解析値と実験値を比較検討した。図-4に、一部の供試体の荷重-変位関係の比較と、部材降伏時のひびわれ状況を示した。この関係において、NO. 4供試体は、解析値と実験値がよい対応を示しているが、NO. 1供試体は、降伏時において、必ずしもよく対応しているとは言い難い。これは、実験では、引張鉄筋比が大きくなれば、引張域におけるコンクリートの断面積は小さくなるが、本解析方法では、鉄筋を線材としてモデル化しているため、コンクリートの断面積は引張鉄筋比に関係なく一定である。そのため、引張鉄筋比が小さい供試体はあまり問題はないが、引張鉄筋比が大きくなると、コンクリートの引張応力度が実際より小さくなり、それが降伏荷重に影響したと思われる。以上、鉄筋の取扱いについては改良の余地はあるが、本解析方法を用いて、曲げを受ける超高強度コンクリートの变形特性は、十分に予測することができる。

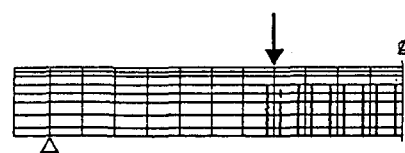
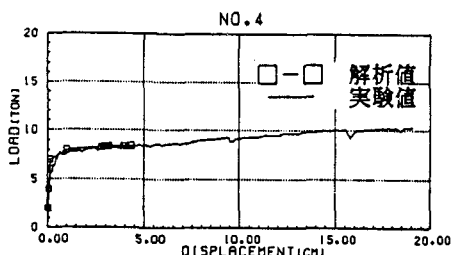
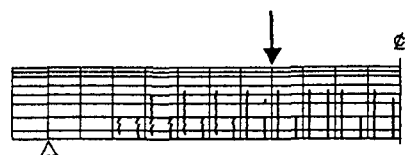
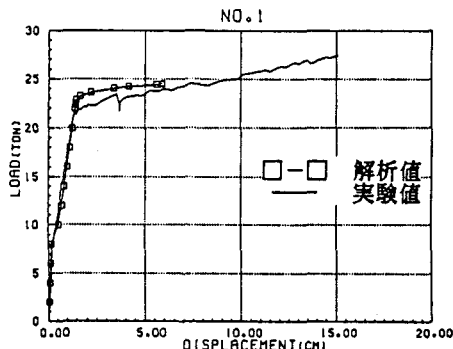


図-4. 荷重-変位関係と
部材降伏時のひびわれ状況

【参考文献】1) Darwin, D. and D. A. Pecknold: Analysis of RC Shear Panels Under Cyclic Loading, ASCE, V0 L. 102, ST2, pp355-369, 1976. 2

2) 野口、長沼：繰返し荷重を受けるRC部材のせん断解析モデル、第2回RC構造のせん断問題に対する解析的に関するコロキウム論文集、JCI, 1983