

I-75

コンクリートはりの弾塑性有限要素解析への 埋め込み鉄筋モデルの適用

九州大学工学部 正員○黒田一郎、日野伸一、太田俊昭、福岡市 正員 石橋宏典

1. まえがき

コンクリート構造物の材料非線形性を考慮した弾塑性有限要素解析についての研究は従来から多くなされてきた。これらの研究のほとんどでは、コンクリート中の鉄筋のモデル化には、離散鉄筋モデルが用いられてきた。本研究では要素分割が簡便にでき、要素数、節点数の低減が可能となる埋め込み鉄筋モデル¹⁾の弾塑性有限要素解析への適用を初めて試みるものである。

2. 埋め込み鉄筋モデル

従来から用いられてきた離散鉄筋モデルでは、コンクリート中の鉄筋は、コンクリート要素の辺上のみ配置されており、且つ、その端点は必ず節点に結び付いていなければならない(図-1)。そのため、要素分割は鉄筋配置の制約を受け、複雑に鉄筋が配置されている部位では要素数が増えたり、いびつな形状の要素の採用を余儀無くされるといった不便が生ずる。

埋め込み鉄筋モデルでは、コンクリート要素内の任意の位置に鉄筋を挿入することが可能であり、その鉄筋の端点はどの節点にも結び付いている必要が無い(図-2)。この埋め込み鉄筋モデルを採用することによって要素分割は鉄筋配置に依らず自由に行なうことが可能となる。コンクリート構造物の材料非線形性を考慮した弾塑性解析への、この埋め込み鉄筋モデルの適用は既往の研究では全くなされていなかった。

埋め込み鉄筋モデルでは、鉄筋の形状関数として、その鉄筋が埋め込まれているコンクリート要素の形状関数がそのまま用いられる。鉄筋が埋め込まれた要素全体の剛性マトリックス $[K_E]$ は、コンクリート要素自体の剛性マトリックス $[K_C]$ に、鉄筋の剛性マトリックス $[K_R]$ を足し加えたものとして次の式で表わされる。

$$[K_E] = [K_C] + \sum_{j=1}^m [K_R]_j \quad (1)$$

ここで、 m はこの要素に埋め込まれている鉄筋の総数を表わす。

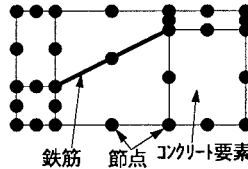


図-1 離散鉄筋モデル

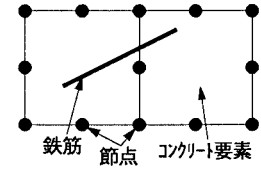


図-2 埋め込み鉄筋モデル

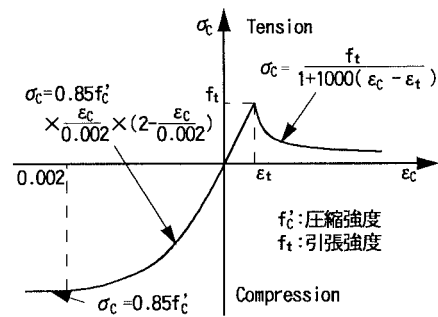


図-3 コンクリートの応力-ひずみ関係

3. 解析例

埋め込み鉄筋モデルを適用した弾塑性有限要素解析の有用性を確かめるために、既往の実験による鉄筋や炭素繊維ネットで補強されたコンクリートはりについて、実験結果と解析結果の比較検討を行なう。

コンクリートの応力-ひずみ関係は図-3に示すようにモデル化する。圧縮域においては、コンクリート標準示方書設計編に示される応力-ひずみ曲線を用いる。引張域においてはひび割れ発生後のテンションスティフニング曲線として、

$$\sigma_c = f_t / (1 + 1000(\epsilon_c - \epsilon_t)) \quad (2)$$

を用いる²⁾。ここで、 σ 、 ϵ_c 、 ϵ_t および f_t はそれぞれ、応力、ひずみ、ひび割れ発生時のひずみおよび引張強度を表わす。コンクリートのひび割れモデルとしては分散ひび割れモデルを採用する。また、鉄筋は完全弾塑性型の応力-ひずみ関係でモデル化する。

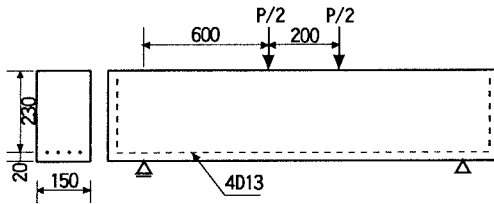


図-4 解析対象のRCはり(RCはり1)

表-1 コンクリートおよび鉄筋の力学特性(RCはり1)

	降伏強度	引張強度	ヤング率
コンクリート	264kgf/cm ²	26.9kgf/cm ²	-----
鉄筋	3540kgf/cm ²	5690kgf/cm ²	1.99x10 ⁶ kgf/cm ²

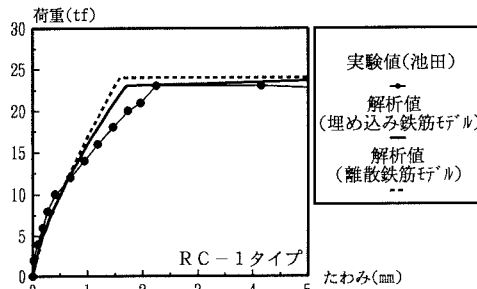


図-5 荷重-たわみ関係(RCはり1)

解析対象のRCはり(RCはり1)を図-4に示す。このRCはりには池田³⁾によって載荷実験に供されたものである。表-1に解析に用いた諸定数を示す。

図-5に解析および実験結果の比較の一例としてはり中央点の荷重-たわみ関係を示す。実験値は、池田²⁾によるものである。埋め込み鉄筋モデルによる解析値は実験値を良く捉えており、離散鉄筋モデルによる解析値に比べて、良好な荷重-たわみ関係を得ている。

次に、炭素繊維ネットでせん断補強されたRCはり(RCはり2)を対象として解析を行なった。解析対象のをはりを図-6に、解析に用いた諸定数を表-2にそれぞれ示す。

図-7に解析および実験で得られたはり中央点の荷重-たわみ関係を示す。ここには、近年多く研究がなされている分布鉄筋モデルによる解析結果も併せて示す。埋め込み鉄筋モデルによる解析結果は実験結果を良く追跡しており、分布鉄筋モデルと比較しても良好な結果が得られている。分布鉄筋モデルでは補強材が要素内に一様に分布していると仮定しているのに対して、埋め込み鉄筋モデルでは、一本一本の補強材の要素内での位置をも考慮して解析に採

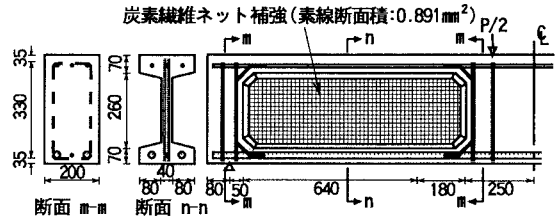


図-6 炭素繊維ネットでせん断補強されたRCはり(RCはり2:炭素繊維ネットでせん断補強されたはり)

表-2 コンクリートおよび鉄筋の力学特性(RCはり2:炭素繊維ネットでせん断補強されたはり)

	降伏強度	引張強度	ヤング率
コンクリート	468kgf/cm ²	30.1kgf/cm ²	-----
鉄筋(軸方向)	3880kgf/cm ²	5630kgf/cm ²	1.95x10 ⁶ kgf/cm ²
鉄筋(スラップ)	2550kgf/cm ²	3260kgf/cm ²	1.83x10 ⁶ kgf/cm ²
ネット素線	3540kgf/cm ²	5690kgf/cm ²	1.99x10 ⁶ kgf/cm ²

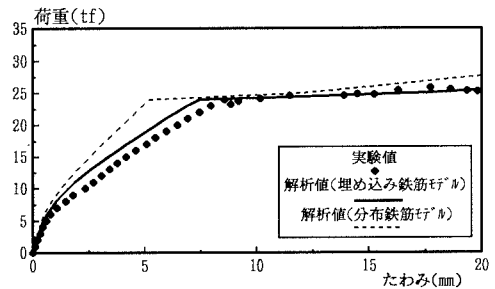


図-7 荷重-たわみ関係(RCはり2)
(炭素繊維ネットでせん断補強されたはり)

り入れることにより良好な結果を得たものと考えられる。

参考文献

- 1) ASCE Committee on Concrete and Masonry Structures : A State-of-the-art report on finite element analysis of reinforced concrete, ASCE Spec. Publ., 1981
- 2) Hsuan-Teh Hu and William C. Schnobrich : Nonlinear Analysis of Cracked Reinforced Concrete, ACI Structural Journal, Vol. 87, No. 2, pp. 199-207, 1990. 3.
- 3) 池田他: RCおよびPC構造物への有限要素法の合理的適用方法に関する研究、土木学会論文集、No. 414, Vol. 12, pp. 137-143, 1990. 2.