

埋め込み鉄筋モデルを用いたコンクリートはりの弾塑性有限要素解析

九州大学工学部 正員○黒田一郎
九州大学工学部 正員 日野伸一

九州大学大学院 学生員 石橋宏典
九州大学工学部 正員 太田俊昭

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に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、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。

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 $[K_S]$ を足し加えたものとして次の式で表わされる。

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

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。

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に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。

解析対象のRCはりを図-3に示す。このRCはり

は池田ら²⁾によって荷重実験に供されたものである。図-4(a, b)に要素分割を示す。同図に示す離散鉄筋モデルの要素分割では、要素数98、節点数337となっている。一方の埋め込み鉄筋モデルでは若干少

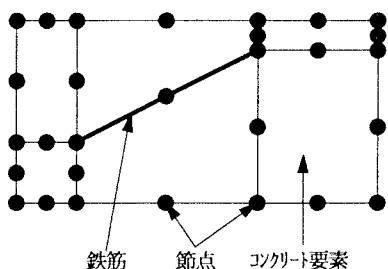


図-1 離散鉄筋モデル

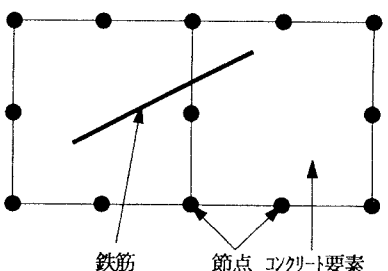


図-2 埋め込み鉄筋モデル

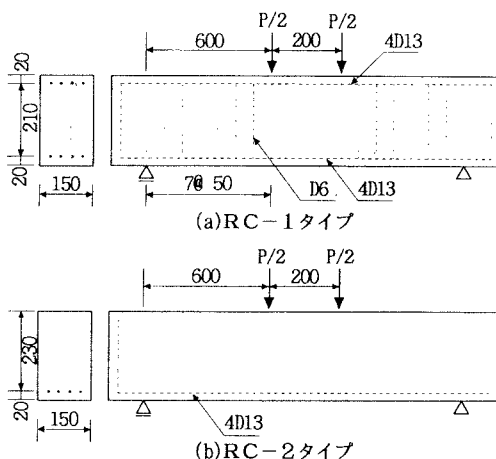


図-3 解析対象のRCはり

なく要素数91、節点数317となっている。表-1に解析に用いた諸定数を示す。コンクリートの応力-ひずみ関係は図-5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イ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³⁾。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-6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、池田ら²⁾ によるものである。解析値は実験値を良く捉えているが、特に、埋め込み鉄筋モデルによる解析値は離散鉄筋モデルによる解析値に比べて、要素数、節点数共に少ないにも係わらず良好な結果を得ている。

紙面の都合もあり、炭素繊維ネットで補強されたはりについては講演時に発表する。

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, Tact Committee on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures, ASCE Spec. Publ., 1981
- 2) 池田他: R C および P C 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.
- 3) 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.

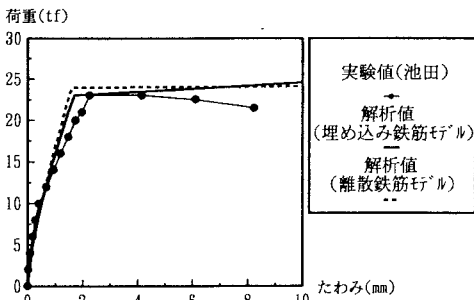


図-6(a) 荷重-たわみ関係(RC-1タイプ)

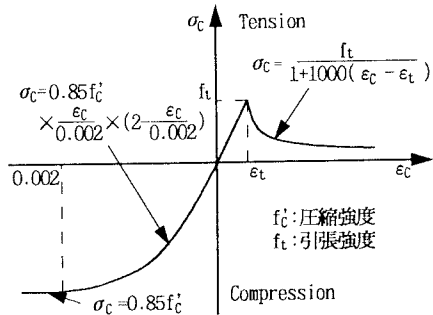


図-4 コンクリートの応力-ひずみ関係

表-1 コンクリートおよび鉄筋の力学特性

	圧縮強度	引張強度	ヤング率
コンクリート	264kgf/cm	26.9kgf/cm	-----

	降伏強度	引張強度	ヤング率
鉄筋(D13)	3540kgf/cm	5690kgf/cm	1.99x10 kgf/cm
鉄筋(D6)	4470kgf/cm	5730kgf/cm	1.83x10 kgf/cm

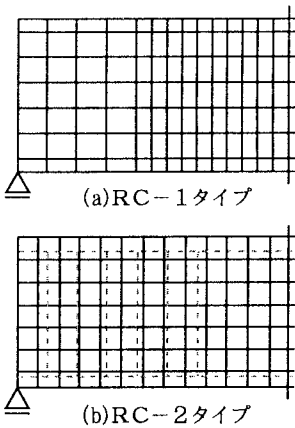


図-5 要素分割

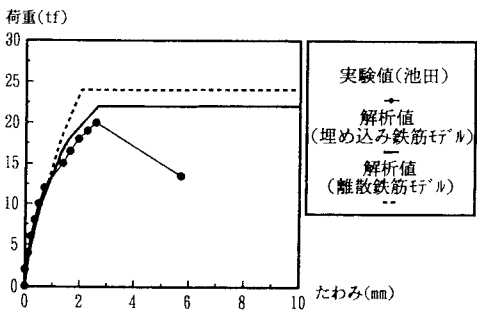


図-6(b) 荷重-たわみ関係(RC-2タイプ)