

剛体-バネモデルによる鉄筋コンクリートばりの解析

金沢大学大学院 学○富田 充宏

金沢大学工学部 正 吉田 博

金沢大学工学部 正 前川 幸次

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物は、任意方向に配筋された鉄筋とコンクリートで構成された複合構造物で、コンクリートのひび割れ、圧壊、鋼の降伏など不連続で複雑な塑性現象を呈し、強度を失う。このことより連続体力学に基づく解析手法である有限要素法を用いると、終局状態での挙動を把握するには多くの問題点がある。一方、終局状態での挙動を評価しようと開発された離散化モデルに川井らの提案した剛体-バネモデル¹⁾がある。このモデルは、構造物を幾つかの剛体とそれらを連結する2種のパネによって表し、懸著な非線形問題を取り扱おうとしたものであり、鉄筋コンクリート構造物の極限解析に適用されている²⁾。本研究では、このモデルによりスターラップの有無の2種類の鉄筋コンクリートばりの変形挙動の解析を行い、実験結果との比較により、終局状態での剛体-バネモデルの有効性の検討を行ったものである。

2. 鉄筋コンクリート材料特性

平面問題における剛体-バネモデルは、各要素をその重心点に3自由度を有する三角形の剛体とし、要素間の接触境界面上に連続的に分布した垂直応力とせん断応力に抵抗する2種のパネによって連結され、そのパネに表面力によるエネルギーが集中して蓄えられると考える。そして、鉄筋コンクリートをモデル化する場合、鉄筋をダボ効果を考慮した異方性の等価な薄板と仮定し、コンクリート要素と鉄筋異方性要素の重ね合わせた要素とした。

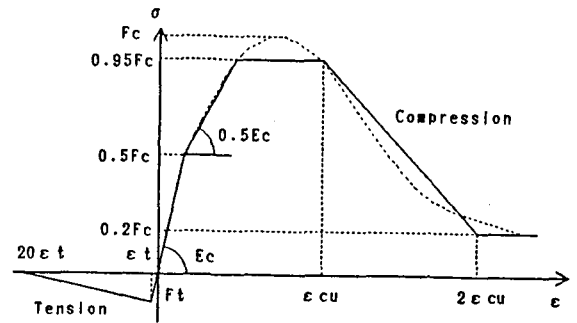


図-1 コンクリートの応力とひずみ関係

また、剛体-バネモデルは要素間の境界に存在するパネに、ひび割れ、鉄筋の降伏、せん断すべり、圧壊等の物理的現象を直接導入する。そこで、コンクリートの引張特性は、鉄筋との付着によるテンション・スティフネス効果を考慮してコンクリートの残存応力を軸ひずみの一次の減少関数とし、圧縮特性は、1軸圧縮試験での応力-歪曲線を近似して表し、一次、二次降伏、歪 ϵ_{cu} (0.3%)に達すると徐々に応力解放し、その後0.2Fcを保持するとした。それらの関係を図-1に実線で示す。そして、コンクリートのひび割れ面でのせん断剛性は、せん断ばねにCedolin and Dei Poliの関係式³⁾を導入し、せん断応力と垂直応力の関係としてのせん断すべりに対しては、Mohr-Coulomb式を採用し、せん断すべり面では完全弾塑性の流れ則を用いた。鉄筋は、完全弾塑性とし歪硬化、軸応力とせん断応力の相関関係は無視し、せん断方向にはダボ効果を考慮した。

3. 解析結果と実験結果の比較

実験供試体は、図-2に示すように矩形断面の単純ばりであり、スターラップの有無の2種類を製作し、主鉄筋にはD-13、スターラップにはD-10を用いた。解析に用いた材料定数を表-1に示す。図-3は荷重と載荷点の変位

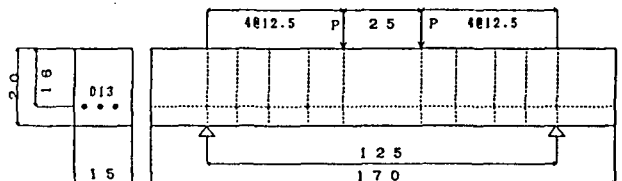


図-2 実験供試体(スターラップ有)

の関係を示している。また、図-4は荷重とスパン中央の鉄筋およびコンクリートのひずみの関係を示しており、実線および記号△は鉄筋の、他の2つはコンクリートの、荷重-ひずみ関係である。図-3、図-4よりある程度妥当な解析結果が得られたと思われるが、解析結果の方が、剛性がやや大きく崩壊荷重が高いものとなった。解析によって得られたクラックの発生状況を図-5に示すが、スターラップの有無による破壊形態の違いを良く示している。要素分割、荷重増分量などの解析における詳細については、当日示す。

表-1 材料定数

コンクリート	
ヤング係数(kg/cm ²)	2.62550×10^5
ポアソン比	0.17
圧縮強度 (kg/cm ²)	322
引張強度 (kg/cm ²)	26.9
内部摩擦角	37°
粘着力 ¹⁾ (kg/cm ²)	80.178
鉄 筋	
ヤング係数(kg/cm ²)	2.02000×10^5
降伏強度 (kg/cm ²)	3538

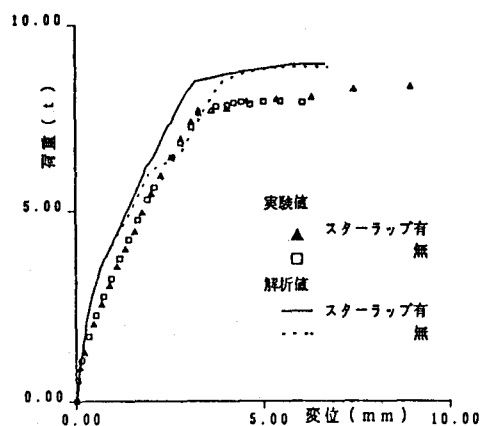


図-3 荷重-変位曲線

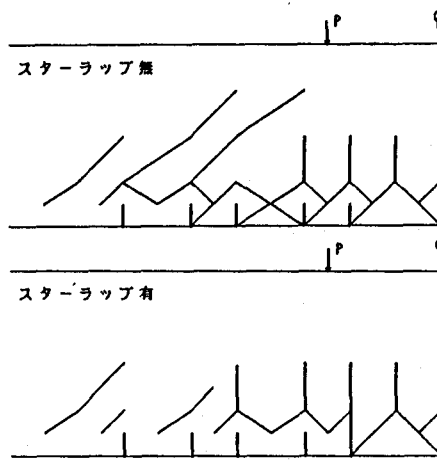


図-5 クラック発生状況

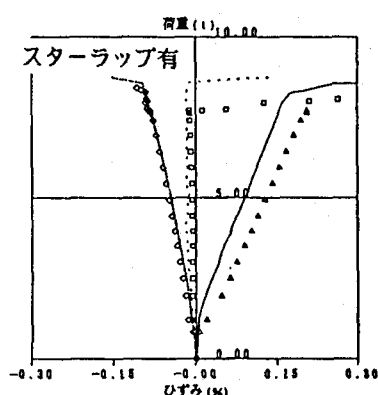
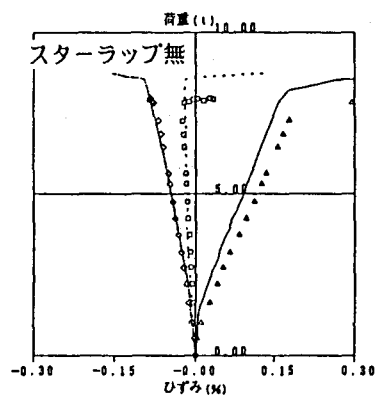


図-4 荷重-ひずみ曲線

参考文献

- 1) 川井忠彦：物理モデルによる連続体力学諸問題の解析（その3），1980。
- 2) 川井他：鉄筋コンクリート構造物の離散化極限解析（その1），生産研究，38巻4号，PP181-PP184，1986.4。
- 3) Cedolin, I. and Dei Poli, S.: Finite Element Nonlinear Plane Stress Analysis of Reinforced Concrete, Studi e Rendiconti, Costruzioni in Cement Armato, Vol. 13, Politecnici di Milano, pp3-33, 1978.
- 4) 末永・石丸：組合せ応力を受けるコンクリート材の動力学的解析，日本建築学会論文報告集，No. 220, pp1-7, 1974.8。