

V-561

せん断補強筋の無いRC梁の非線形FEM解析

武蔵工業大学 学生員 山口英樹
武蔵工業大学 正会員 吉川弘道
東京電力 技術研究所 正会員 増田和機

1. はじめに

RC梁の非線形FEM解析において、コンクリートの引張りひ割れに関するモデル化が重要なポイントであり、せん断補強筋の無い場合、さらにその考慮は必要となる。そこで本文では、(a) 除荷と再結、(b) 等価エネルギー要素、(c) ひび割れ軸の回転の三項目を併用する形で分布ひび割れモデルに取り入れ、日本コンクリート工学協会の選定供試体¹⁾をもとにその妥当性の検証を試みるものである。

2. 等価エネルギー要素を用いた軟化・除荷・再結モデル

(1) 軟化モデルと除荷・再結²⁾：本文では、ひび割れ後の引張軟化曲線としてPlanas/Elicesモデルを単純化した次式を用いる。

$$\sigma(\epsilon) = f_t \cdot \eta \cdot \frac{\epsilon - \epsilon_{cr}}{\epsilon_f} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 f_t は引張強度を表し、 ϵ_{cr} はひび割れ発生ひずみを表す。また、 η 、 ϵ_f は、基準ひずみ ϵ_f における応力残留率 η の関係にある。さらに、開口したひび割れ要素の応力解放により、その近傍のひび割れ要素で除荷が生じ、その除荷要素のひび割れが閉口（再結）する概念をもつのが除荷・再結モデルである。また、除荷勾配 E_o 、再結勾配 E_r は図1に示す通りである。

(2) 等価エネルギー要素²⁾：次式において式(1)の η を定めれば、分布ひび割れモデルの問題である要素寸法の依存性を回避できる。

$$\eta = \exp \left\{ -\epsilon_f \left(\frac{f_t}{2E_c} - \frac{G_f}{l_e f_t} \right)^{-1} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 l_e は要素幅、 G_f は局所化したひび割れ面で考慮した破壊エネルギーをそれぞれ表す。

3. ひび割れ軸の回転³⁾

曲げ応力とせん断応力が同時に作用するような応力場にある時、主ひずみ軸の回転が起こる。これにより、ひび割れ発生後の固定されたひび割れ軸と主ひずみ軸が乖離し、ひび割れ面にせん断応力が生じる結果となる。したがって、単軸応力下で定義される軟化曲線(1)式において硬化挙動が現れる。そこで、軸を一致させるような回転ひび割れモデルを用いることにより、合理的な軟化挙動に補正するものである。

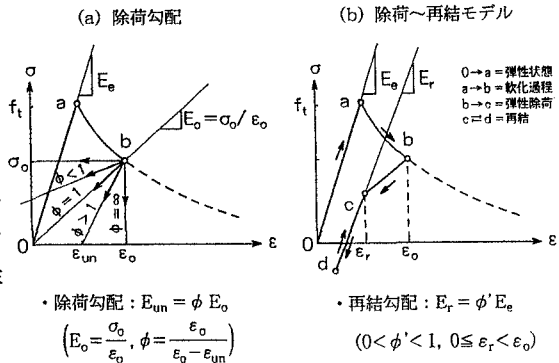


図-1 軟化曲線と再結・除荷

4. 選定供試体と解析モデル

供試体はせん断スパン比が3.5のせん断補強のないRC矩形梁で、載荷方法は単純な二点集中載荷である。なお、最大耐荷力は47.0kNであり、その破壊性状は斜めひび割れ破壊となっている。

モデルは構造の対称性を考慮して、部材の右半分を解析領域とした(図2)。コンクリート部、および載荷板部は4節点アイソパラメトリック平面応力要素、鉄筋をトラス要素、鉄筋及び載荷板の付着をボンド要素でそれぞれ表した。境界条件として、対称条件に伴ない、左端をx方向拘束、支持部をy方向拘束とした。荷重条件としては、強制変位により集中載荷を表わした。本文では非線形求解法として増分繰返し法を用い、Newton-Raphson法を用いて収束計算を行った。これら諸条件のもとで、RC非線形汎用コード⁴⁾を用いて計算を行った。また、軟化・除荷・再結を考慮したものをAモデルとする。同様に等価エネルギー要素についてはBモデル、回転ひび割れについてはCモデルとする。

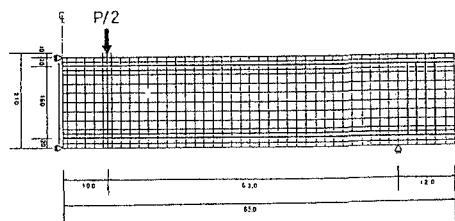


図-2 供試体構造図

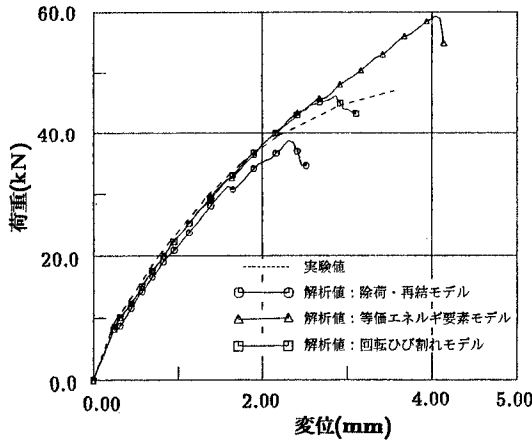


図-3 荷重～変位曲線

5. 解析結果と考察

解析結果について、図3に荷重～変位曲線、図5に解析によるひび割れ図、図6に主応力図を示す。

変形特性としては、Aモデルと比べると、Bモデルの方がわずかながら剛性を持つ結果となり、曲線型も実験値に近付くことが認められた（図3）。このことは、Bモデルにおいて、適当とされる破壊エネルギー $G_f=0.1(\text{N/mm})$ を考慮して $\eta=0.293$ と定めたのに対し、Aモデルは G_f をほぼ0としている結果である。しかしながら、Bモデルは実際の最大耐荷力より過大に評価される結果となった。これに対し、さらにひび割れの回転を考慮したCモデルでは、最大耐荷力に達する変位量は実験値より小さいものの、最大耐荷力に関しては、ほぼ同値となっている。また、せん断応力による斜めひび割れの発生期に、図3において前半合致していたBモデルとCモデルの曲線型に変化が現れることも認められた。

6. まとめ

本解析の結果、従来の分布ひび割れモデルに除荷・再結機能を加えることにより、曲げひび割れ、せん断ひび割れを再現することができたとと言える。また、せん断補強の無いRC梁において、 G_f を考慮することは曲げひび割れ期に、さらには、ひび割れの回転の導入はその後のせん断ひび割れ期にそれぞれ有効であると言える。

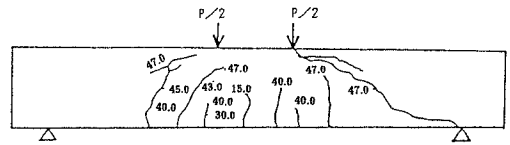


図-4 実験によるひび割れパターン

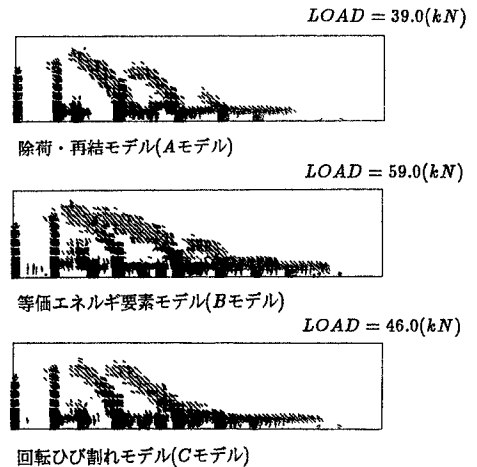


図-5 解析によるひび割れパターン

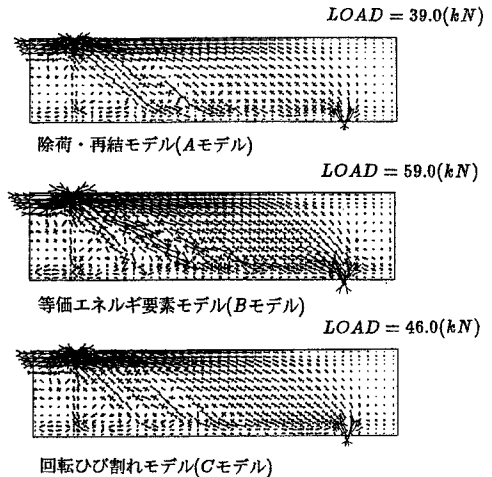


図-6 解析による主応力分布

参考文献

- 1) 「第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するワークショップ」解析モデル検証用試験体の実験データ集 1983.10
- 2) 吉川弘道, 西藤厚, 金刀督純: 引張強度の空間的変動を考慮したコンクリートのFEM破壊シミュレーション, コンクリート工学協会 投稿中, 1996.7
- 3) Rots, J. G.: 「Computational Modeling of Concrete Fracture」
- 4) 材料非線形コード Total-RC v. 3: 理論マニュアル, 1995