

(V-36) 混合モード下における無筋コンクリーはりのひび割れ進展解析

*武蔵工業大学大学院

学生員 久家 立

*武蔵工業大学工学部

正会員 栗原 哲彦 吉川 弘道

**トータルインフォメーションサービス

正会員 船山 哲

1. はじめに

コンクリート構造物は通常、様々な力が作用した混合モード下にある。現在までに、モードIに相当する曲げ破壊に対しては、引張軟化曲線を考慮することにより精度よい解析が行えるようになった。せん断破壊に対しても近年盛んに数値解析が行われ、成果が報告されている。しかし、曲げとせん断が共に作用する混合モード下の解析については、十分な成果が報告されていないのが現状である。

そこで、本研究では、汎用 FEM コード「Total-RC」により混合モード下にあるコンクリートはりの破壊挙動の再現性について検討した。

2. 実験および解析概要

表-1 に示す配合の普通コンクリートを用い、はり供試体を作製した。供試体寸法は、10cm×10cm×40cm とした、コンクリートの圧縮強度 f_c' 、引張強度 f_t 、弾性係数 E_c はそれぞれ 34.1 N/mm^2 、 2.94 N/mm^2 、 $3.30 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ である。ひび割れ位置を限定するために供試体中央の上下縁から切欠きを深さ 2.5cm、幅約 2.4mm で設けた。载荷方法の概略を図-1 に示す。载荷点及び支点位置は、リガメントにおいて曲げモーメント(N・mm)とせん断力(N)が 5:1 の割合で作用するように設定した(以下、曲げせん断試験とする)。手動式油圧ジャッキにより载荷し、荷重及び上下切欠き肩口開口変位(CMOD)を計測した。

事前に行った 3 等分点曲げ試験の結果(図-2)から多直線近似法プログラム¹⁾を用いて、引張軟化曲線及び破壊エネルギー(以下 G_F)を推定した。Total-RC では推定された G_F を用いて式-1 に代入して引張軟化曲線をモデル化した(図-3)。

$$\sigma_i = EXP \left\{ \frac{\log \alpha_n}{\varepsilon_f} (\varepsilon_i - \varepsilon_c) \right\} \cdot f_t \dots \dots \dots \text{式-1}$$

- α_n : 基準ひずみにおける残留応力率
- ε_f : 基準ひずみ
- ε_c : ひび割れ発生ひずみ
- f_t : 引張強度

表-1 配合表

| W/c (%) | S/a (%) | 単用量 (kgf/cm ²) | | | | Ad1 (cc) | Ad2 (cc) |
|---------|---------|----------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|
| | | W | C | S | G | | |
| 55 | 47 | 157 | 286 | 836 | 984 | 2860 | 2860 |

Ad1: AE 減水剤, 25%溶液

Ad2: AE 助剤, 1%溶液

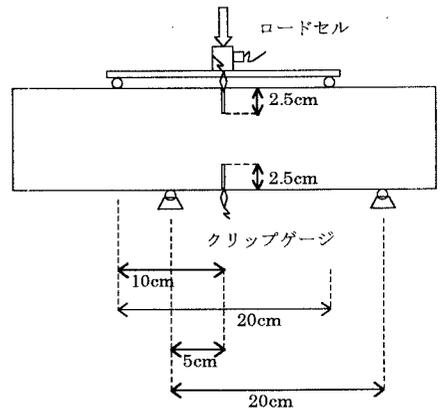


図-1 载荷方法概略図

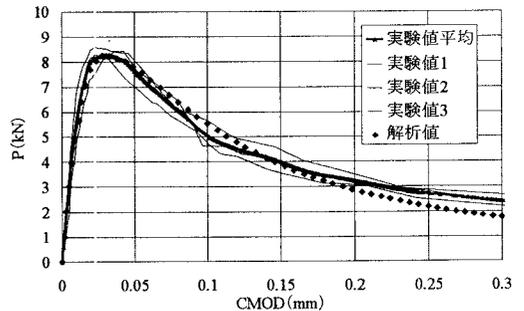


図-2 曲げ試験における実験値と解析値との比較

曲げせん断試験を対象とする解析では、载荷点及

Key words: 混合モード, ひび割れ進展解析, 破壊エネルギー, せん断剛性

* 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-3703-3111 (代表) FAX 03-5707-2125

** 〒150-0021 東京都渋谷区恵比寿西 1-7-7 EBS ビル 4F TEL 03-3476-7181 FAX 03-3476-7183

び支点位置の変更のみで解析の諸条件は通常の曲げ解析と同じとしたモデル(解析1), Total-RCではひび割れ面におけるせん断伝達モデルとして伝達剛性の低減を式-2で表していることから、式-2中の β_{nt} を解析1の1/50としたモデル(解析2)、式-1中の α_n を解析2で用いた値の80%に設定したモデル(解析3)の3ケースについて解析モデルを作成した。解析条件を表-2に示す。

$$G = \beta_{nt} \cdot G_0 = B \frac{\varepsilon - \varepsilon_c}{\varepsilon_f} \cdot G_0 \dots \dots \dots \text{式-2}$$

G_0 : 初期せん断剛性
 β_{nt} : 基準ひずみにおける残留剛性率
 B : 低減比

3. 実験及び解析結果と考察

実験及び解析結果として得られたP-CMOD_上曲線を図-4に示す。解析1は、実験値と比較して最大荷重、最大荷重以降ともに、実験値よりも高い値を示した。しかし、最大荷重以降の勾配は実験値とほぼ一致している。これより、混合モード下の最大荷重以降の勾配は引張軟化曲線のみを考慮した解析により再現できるものと考えられる。

次に、解析2は解析1とほぼ一致しており、せん断剛性の低減効果があまり影響していないことがわかる。

次に解析3は解析1及び解析2と比べ、実験値に近づいていることがわかる。最大荷重以降における初期勾配に若干の差が認められるが、最大荷重など全体的な挙動は精度よく再現されている。解析3における G_F は、モードIにおける G_F の約43%にまで低減する必要があった。

図-5は解析3で最大荷重の約80%の時点でのひび割れ図である。ひび割れは、はり供試体中央に集中している。これは、実験により得られたひび割れ性状と良く一致している。

以上より、本研究の範囲内では、混合モード下におけるひび割れ進展解析を行う場合は、せん断剛性よりモードIに対する破壊エネルギー G_F が大きく影響していることがわかった。

4. 結論

混合モード下におけるひび割れ進展解析を行い、実験結果を精度良く再現することができた。その際、モードIに対する破壊エネルギー G_F を大幅に低減させることで表現できることがわかった。

【参考文献】

- 1) 栗原哲彦, 安藤貴宏, 国枝 稔, 内田裕市, 六郷恵哲: 多直線近似法による引張軟化曲線の推定と短繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状, 土木学会論文集, No.532/V-30, pp119-129, 1996
- 2) 汎用FEMコード Total-RC v3.4.1: 理論マニュアル, 1995

表-2 曲げせん断試験における解析条件

| ケース | 破壊エネルギー G_F (N/mm) | 応力残留率 α_n (%) | せん断剛性残留率 β_{nt} (%) |
|-----|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 解析1 | 0.139 | 84.4 | 5 |
| 解析2 | 0.139 | 84.4 | 0.1 |
| 解析3 | 0.060 | 67.5 | 0.1 |

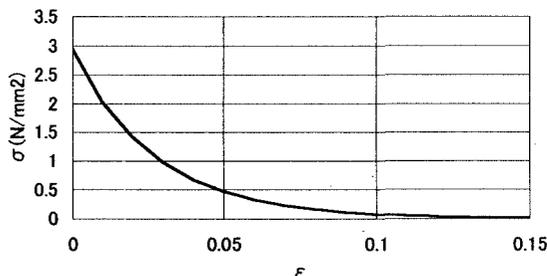


図-3 モデル化した引張軟化曲線

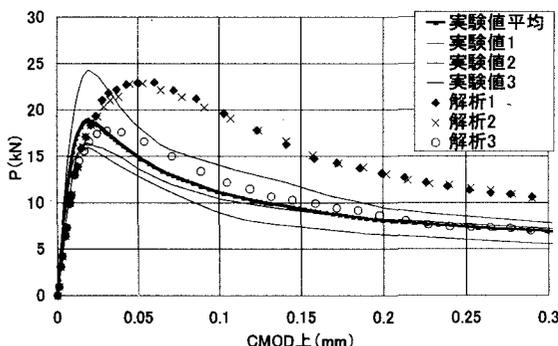


図-4 曲げせん断試験における実験値と解析値との比較

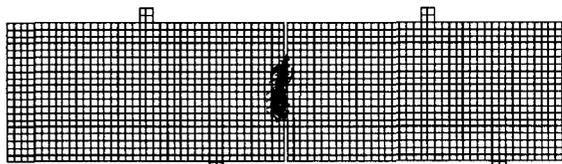


図-5 ひび割れ図