

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

現在までに、モード II 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。しかし、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り、混合モードに対する解析については、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ひび割れ進展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、 $10 \times 10 \times 40$ cm のはり供試体を作製した。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。載荷方法の概略を図-1 に示す。載荷点及び支点位置は、切欠きで挟まれた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。実験は手動式油圧ジャッキにより載荷し、荷重及び上下切欠き肩口開口変位(以下上下部 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。

解析では推定された $G_F (=0.139 \text{ N/mm})$ を式(1)に代入して引張軟化曲線を式(2)によりモデル化した²⁾(図-3)。

$$\eta = \exp \left\{ -\varepsilon_f \left(\frac{G_F}{l_e \cdot f_t} \right)^{-1} \right\} \quad (1)$$

ここで、 G_F : 破壊エネルギー、 l_e : 分布ひび割れモデルの 1 要素の要素幅

$$\sigma_i = \alpha_n \cdot f_t = \eta^{\varepsilon_f} \cdot f_t \quad (2)$$

ここで、 σ_i : 応力、 α_n : 基準ひずみにおける低減率、 f_t : 引張強度、 η : 低減率、 ε_f : ひずみ、 ε_{cr} : ひび割れ発生ひずみ、 ε_f : 基準ひずみ

表-1 配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				Ad1 (cc)	Ad2 (cc)
		W	C	S	G		
55	46.5	157	286	836	984	715	28.6

Ad1: AE 減水剤, Ad2: 補助 AE 剤

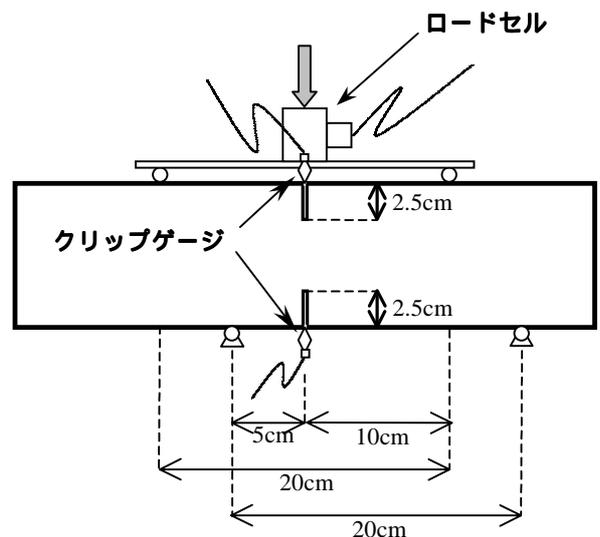


図-1 載荷方法概略図

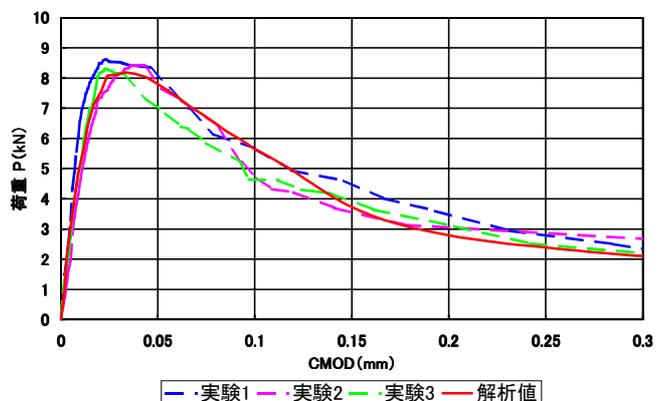


図-2 曲げ試験における実験値と解析値との比較

Key words: 混合モード, 引張軟化曲線, 破壊エネルギー

* 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-3703-3111 (内 3240) 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

表-2 各解析モデルにおける破壊エネルギー

モデル名	モデルパターン	破壊エネルギー (N/mm)
解析 1	1.0G _F	0.139
解析 2	0.7G _F	0.097
解析 3	0.5G _F	0.069
解析 4	0.3G _F	0.042

解析では、載荷点及び支点位置の変更のみで解析の諸条件は通常モードの解析と同じとしたモデル(解析1)、解析1でのG_Fを70%に低減したモデル(解析2)、50%に低減したモデル(解析3)、30%に低減したモデル(解析4)、以上4ケースの解析モデルを作成し解析結果と実験結果を比較した(表-2)。

3. 実験及び解析結果と考察

実験及び解析より得られた荷重-上部CMOD曲線を図-4に示す。解析においてG_Fを低減するに従い最大荷重は低下し、それ以降の軟化勾配は次第に緩やかになっている。次に、実験結果と解析結果を比較すると、解析1, 2, 3は実験結果に比べ最大荷重が大きくなり、軟化勾配も急である。それに対し、解析4は最大荷重及びそれ以降の軟化域ともに実験結果の範囲内にあり実験結果を精度良く再現できている。

また、図-5に実験のひび割れ性状、図-6に解析4のひび割れ性状を示す。両者を比較すると供試体中央にひび割れが集中し、ひび割れ形状も良く一致している。

以上より、解析4では実験でのひび割れ進展挙動を精度良く再現できた。解析4におけるG_Fは、モードにおけるG_Fの30%まで低減していることから、混合モード下におけるひび割れ進展解析をモードを基に行う際は、モードの解析よりもG_Fを大きく低減する必要があることが分かる。

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。これは、混合モード下においてはモードの状態よりもひび割れ面における損傷が進行することを示している。今回の実験においては曲げモーメント：せん断力=5：1であったが、この比を変化させた場合にはG_Fの低減量も変化すると予想される。

また、今回の解析では実験結果の再現を第一の目的としたため、モードによるG_Fを低減させるという方法を採用したが、この妥当性については今後更なる検討が必要である。

【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

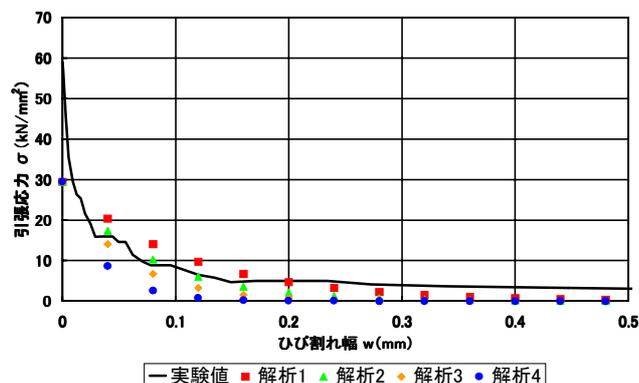


図-3 モデル化した引張軟化曲線

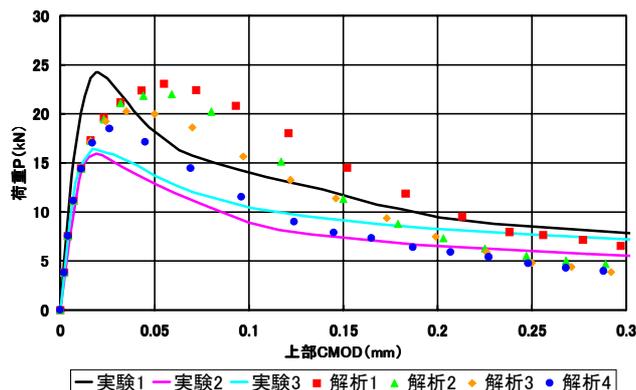


図-4 実験値と解析値との比較

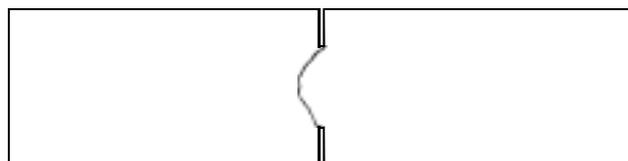


図-5 実験におけるひび割れ性状

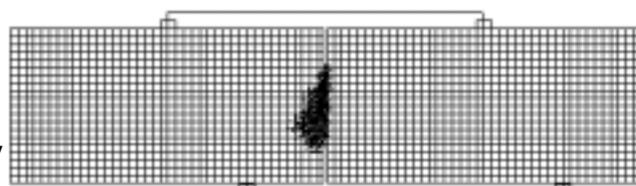


図-6 解析におけるひび割れ性状