

(V-15) 破壊力学パラメータを用いた混合モード破壊の数値解析に関する研究

*武蔵工業大学 学生員 中庭 美由紀

*武蔵工業大学 学生員 吉田 絵美 久家 立

*武蔵工業大学 正会員 栗原 哲彦 吉川 弘道

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。しかし現在までに、モードⅠに対する研究については盛んに行われているのに対し、混合モードに対する研究成果はあまり報告されていない。

そこで、本研究では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を分布ひび割れモデルを用いた汎用 FEM コード「Total-RC」により破壊力学パラメータを基に再現することを試みた。

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、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ 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 40.0 N/mm^2 、 3.39 N/mm^2 、 $3.43 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 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 3mm で設けた。載荷点及び支点位置は、切欠きで挟まれたリガメント部において曲げモーメント (N・mm) とせん断力 (N) が 3 : 1、5 : 1、7 : 1 の割合 (計 3 ケース) で作用するように図-1 中 a の値をそれぞれ 3、5、7cm と変化させた。

事前に行った 3 点曲げ試験の結果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。本研究で用いた FEM プログラムは分布ひび割れモデルを採用しており、解析では推定された $G_F (=0.101 \text{ N/mm})$ を用い、破壊エネルギーの等価性から要素寸法の非依存性を導く引張軟化曲線をモデル化した²⁾。

既存の研究³⁾より分布ひび割れモデルにおいて混合モード下のひび割れはある幅をもって表現されることが分かっている。そこで解析では、引張軟化曲線をモデル化する際の要素幅を有限要素 1 要素としたモデル (解析 1) と解析 1 で表現されたひび割れ領域の幅を考慮したモデル (解析 2)、以上 2 つの解析モデルを作成し実験結果との比較を行った。

3. 実験及び解析結果と考察

実験より得られたひび割れ性状を図-2 に、解析より得られたひび割れ性状を例として $M:S=5:1$ について図-3 に示す (最大荷重の 1/2 の点)。実験におけるひび割れは $M:S=3:1$ 、 $M:S=5:1$ 、 $M:S=7:1$ と曲げモーメントの作用が大きくなるにつれ、直線的に進展している。次に、実験結果と解析結果を比較すると切欠きから切欠きへとひび割れが進展している点、ひび割れ経路が若干左側に迂回している点が一致して

表-1 配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				Ad1 (cc)	Ad2 (cc)
		W	C	S	G		
55	47	157	286	833	999	715	28.6

Ad1 : AE 減水剤, Ad2 : 補助 AE 剤

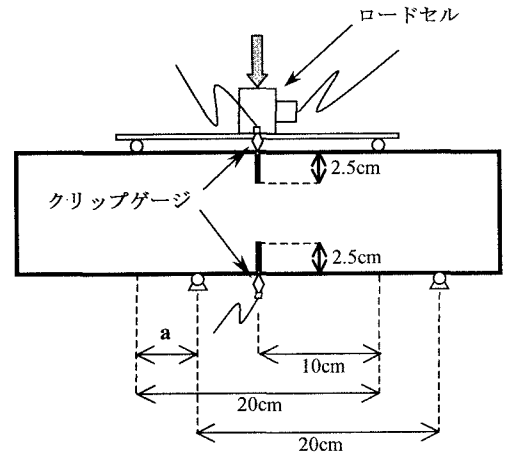


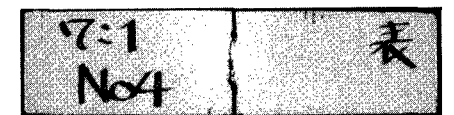
図-1 載荷方法概略図



(a) $M:S=3:1$



(b) $M:S=5:1$



(c) $M:S=7:1$

図-2 実験におけるひび割れ性状

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

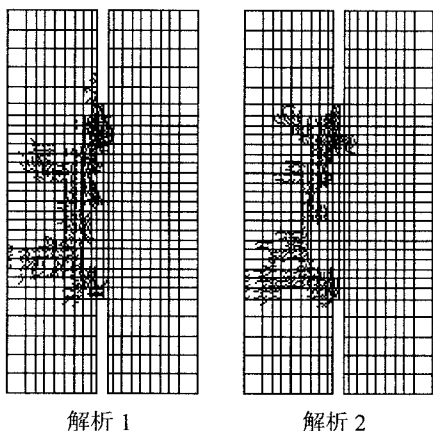


図-3 解析におけるひび割れ性状 (M:S=5:1)

いる。しかし、実験ではひび割れが局所化しているのに対し、解析では分散した領域として表現されている。なお、他の実験ケースについても M:S=5:1 の例と同じような結果となった。

次に、実験及び解析より得られた荷重－上部切欠き肩口開口変位(上部 CMOD)曲線を図-4 に示す。実験結果において曲げモーメントの作用が大きくなるにつれ、最大荷重は低下するが、最大荷重点における上部 CMOD の値は、ケース間ではほぼ一致している。

解析結果においては、曲げモーメントの作用が大きくなるにつれ解析 1 と 2 の曲線の差が小さくなった。実験結果と解析結果との比較としては、解析 1 は曲げモーメントの作用が大きいケースでは実験結果を良く再現しているのに対し、解析 2 では M:S=7:1 のケースで実験結果より過小評価している。

4. 結論

混合モード下におけるひび割れ進展挙動を実験お

よび解析より検討した。実験では、曲げモーメントの作用が大きくなるにつれ、ひび割れ性状は直線的となり、せん断力の作用が大きいとひび割れは支点に向かう傾向を示すことがわかった。また、荷重－上部 CMOD 関係では、曲げモーメントの作用が大きい方が最大荷重は低下し、コンクリートの破壊は引張力に依存することがわかった。

解析で得られたひび割れ性状は局所化したものではなく、分散した領域を有するものとなり、局所化を促す新たな手法の確立が必要と考えられる。また、荷重－上部 CMOD 関係では、せん断力の作用が大きいケースについては引張軟化特性を基にした解析では再現することが難しいと考えられる。

【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) 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, コンクリート工学論文集, 第 7 巻第 2 号, pp103-117, 1996
- 3) 久家立, 栗原哲彦, 吉川弘道, 船山哲: 混合モード下における無筋コンクリートはりのひび割れ進展解析, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集, V-316, 2000

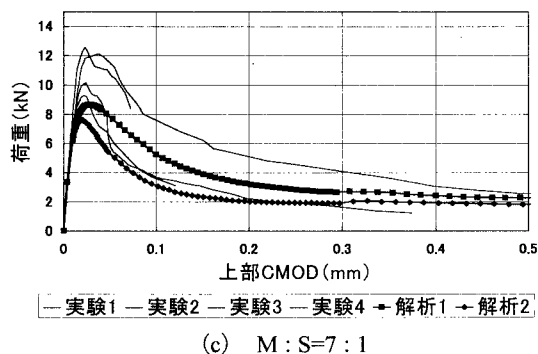
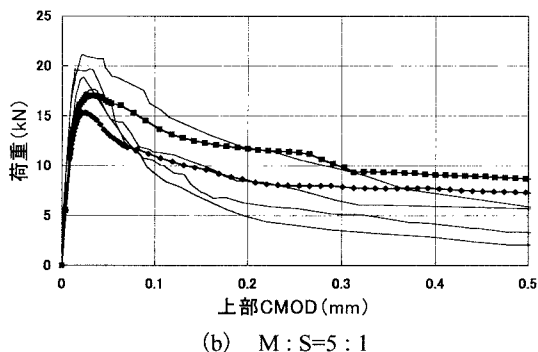
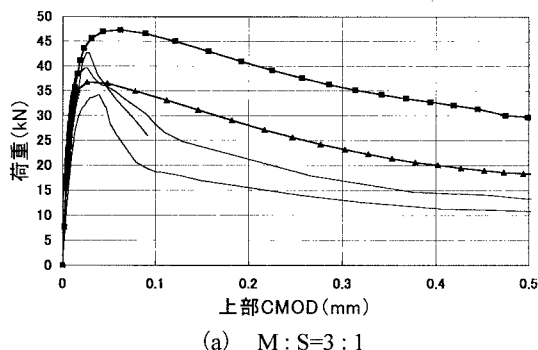


図-4 実験値と解析値との比較