

I - B201

脆性はりの衝撃破壊への個別要素法の適用性

神戸市役所 正会員 高橋江助*
 広島大学工学部 正会員 佐藤 誠**

1. はじめに

最近、衝撃的破壊現象は、地震時の脆性的な破壊などを含めて多くの構造物に対して考慮される趨勢にある。しかし、衝撃力を受ける構造物は、破壊開始に至るまでの波動伝播と破壊開始後の応力波の発生など静的な場合より破壊時の応力状態が複雑で、取り扱いに対して困難な条件が多い。

切欠きを持つ脆性はりのスパン中央を衝撃した場合の衝撃破壊過程についてはすでに発表しているが¹⁾、ここでは、脆性はり任意断面に横衝撃を受ける場合を検討する。特に、衝撃力と切欠き位置が同一断面にない場合、き裂進展領域に曲げ応力のみならずせん断応力が存在するため、亀裂が進展途中に曲進する。この破壊過程を実験的および解析的に解明することを目的とする。実験では動光弾性実験で、はり内の衝撃力の伝播および破壊過程の視覚化を行い、また、き裂進展解析には個別要素法²⁾を適用して実験結果と比較し、その適用性を検討する。

2. 実験方法および実験模型

Fig. 1に動光弾性実験に用いた9個の閃光光源とカメラを有するCranz-Schardin型の光源-撮影系の装置を示す。この装置では、9個のカメラで任意の時間間隔でき裂進展と光弾性縞が撮影できる。Fig. 2にエポキシ樹脂のはり模型および切欠きの寸法と衝撃位置、切欠き位置、衝撃力の入力に用いた入力棒を示す。

実験は、衝撃断面と切欠き位置の組み合わせについて4種類行ったが、ここにはTable 1に示すMODEL1と、MODEL2について考察をおこなう。Table 1に各実験モデルの実験条件を示す。

Table 1 Experimental conditions of beam models

	衝撃位置	切欠き位置	落錘質量(g)	落下高(cm)	衝撃速度(m/s)
MODEL1	L/2	L/2	250.5	40	2.8
MODEL2	L/2	L/4	250.5	40	2.8

3. 解析方法および解析モデル

本解析では個別要素法を用い、き裂先端節点の法線方向、接線方向いずれかの節点の破壊によりき裂が進展するようモデル化した。Fig. 3に本解析で用いた2種類の解析モデルを示す。要素半径は $r=0.15\text{cm}$ 、要素数はそれぞれ670要素、737要素である。

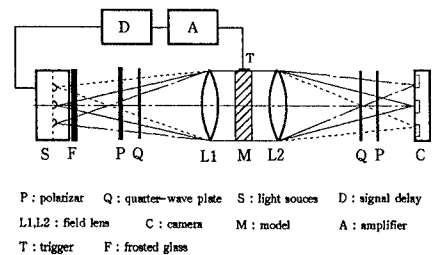


Fig. 1 Diagram of dynamic photoelasticity

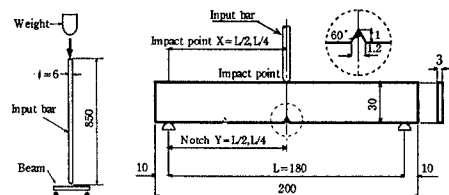


Fig. 2 Beam model and input bar

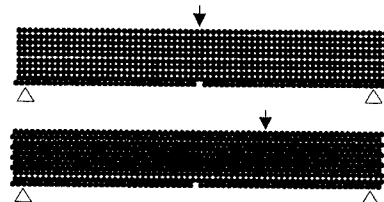


Fig. 3 Analysis beam model

キーワード：はりの衝撃破壊、き裂進展過程、衝撃力、個別要素法

* 〒650 神戸市中央区加納町6-5-1 TEL 078-331-8181

** 〒739 広島市鏡山1丁目4-1 TEL 0824-24-7791 FAX 0824-24-7791

4. 実験結果と考察

Photo. 1に MODEL1と MODEL2の等色線縞模様写真を示す。

MODEL1では、520～540 μ s間に切欠き先端からき裂が進展する。そのときのはりの応力状態は、スパン中央部約2L/3の範囲が下に凸の曲げ応力が大きい状態となっている。き裂は直線的に鉛直上方に向かって進展し破断する。

MODEL2についてもき裂進展前の700 μ sの応力状態は切欠きのあるスパン中央部が局所的な曲げの状態である。そして700 μ sから730 μ sの間にき裂が切欠き先端から垂直上方へと進展を開始している。き裂先端は730 μ sから760 μ s間に緩やかに衝撃点方向へと曲進する。この間、スパン右半分の応力状態は曲げ状態を維持している。このスパン中央を対称軸とする左右のはりの応力状態の違いにより、き裂進展方向はせん断力の影響によって主応力方向が変化するため曲げが強い方向へ曲進する。

5. 解析結果と考察

解析ではエポキシ樹脂¹⁾の静的破壊靱性値 $K_s=1.8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ に対応する節点力を引張破壊節点力とし解析を行った。

Fig. 4に、実験モデル MODEL1についての解析結果である、き裂長さ a をはり高 W で割り無次元化した a/W の変化の図を実験結果とともに示す。 a/W はき裂進展後40 μ sではり高の半分である $a/W=0.5$ 付近まで伸びる、この区間は解析値と実験値がよく一致する。その後 a/W は傾きを小さくしながら110 μ sで $a/W=0.7$ に達する。全体の傾向としては、き裂進展開始初期にき裂進展速度は増加し、き裂がはり高の半分を超えるとき裂速度が減少する傾向が現れ、この傾向は実験値と一致する。

実験モデル MODEL2についての解析結果 a/W の変化を実験結果とともに Fig. 5に示す。解析での a/W は12 μ s以降の傾きが実験値と比べ小さいが、 a/W の変化が直線的である実験値の性質は解析においても現れた。

6. まとめ

(1) 本論文で行った実験および解析の全てのケースについて、はりなき裂進展開始時の応力状態は、切欠き断面を中心とする曲げ状態が現れ、切欠き先端には引張力が卓越した形でき裂進展が開始する。

(2) 衝撃点と切欠き位置が同一断面になくき裂が曲進する破壊実験について、曲進する方向のはりは曲げ状態にあり、その影響によりき裂先端にせん断応力が作用する。せん断応力の影響によりき裂先端の最大主応力方向が変化し、き裂は曲進する。

【参考文献】 1) 佐藤誠：衝撃力特性を考慮した脆性はりの衝撃破壊、構造工学論文集, Vol. 42A, 1996

2) 目黒公郎, 佐野元彦：粒状シミュレーションによるコンクリート構造の破壊解析, 地震研究所集報, Vol63, pp409-468, 1988

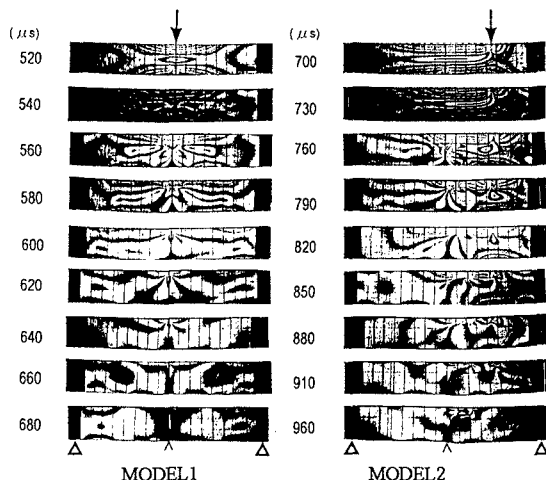


Photo. 1 Isochromatic fringe patterns

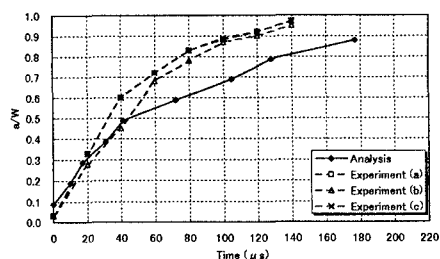


Fig. 4 Crack length and experimental data MODEL1

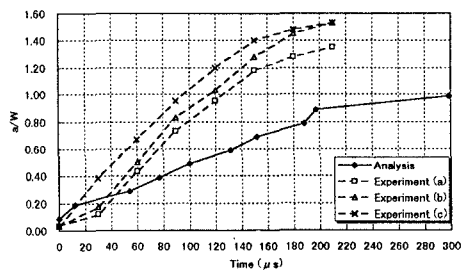


Fig. 5 Crack length and experimental data MODEL2