

き裂曲進を伴う脆性はりの衝撃破壊実験

清水建設株式会社 正員 小野秀平
広島県警 小川拓也
広島工業大学 正員 佐藤誠

1. はじめに

構造物に甚大な被害をもたらした兵庫県南部地震により、特に RC 橋脚をはじめとするいわゆる脆性部材が、ほとんど靱性を発揮しないまま崩壊した例が多く見られた。この災害を契機に、衝撃荷重に対する脆性部材の破壊挙動および耐衝撃力に関する究明と対策が多方面で求められている。本研究では衝撃破壊過程を視覚化できる動光弾性実験と光弾性材料(エポキシ)の脆性性質を利用し、脆性はりの衝撃力破壊過程をスパン長の変化による曲げおよびせん断応力の比の効果に注目し、き裂が曲進する場合の破壊特性を考察する。

2. 実験概要

本研究では、き裂進展方向に対するせん断および曲げ応力の比の効果を検討するため、Fig.1 で示す実験装置およびはり模型に、き裂進展開始時のはりの曲げが様々な状態をとるように Table1 に示す 8 ケースの衝撃条件により実験を行なった。この 8 ケースの動光弾性実験により衝撃破壊過程の可視化を行ないき裂曲進にせん断応力と曲げ応力の比が与える影響を検討した。

3. 実験結果

Fig.2 に M2/3 に作用する衝撃力の例を示す。この Fig.2 には、ケース M2/3 の衝撃力(黒)と、切り欠きを持たない場合の非破壊の衝撃力(灰色)を重ねて示す。本実験で使用した衝撃力は、主パルスの衝撃継続時間および波形が衝撃位置に関わらず一定で、主パルスの最大値は衝撃速度に比例するものを用いた。この M2/3 において、2 種類の波形が異なる部分はき裂進展が進みはりが破断し、入力棒を支持しなくなる影響であると考えられる。

Fig.3 にスパン 260mm の M3/3 と M4/4 の等色線縞模様写真を示す。M3/3 のき裂が曲進を始めるときの縞模様は、衝撃点側の曲げ応力が反対側に比べて大きく、き裂先端がちょうど支点のように働いている。そのため、き裂先端と右支点とがその曲げに対する両支点を形成し、それらの支点間が強く曲げられている状態である。したがって、この支点反力に対応するせん断力の作用で主方向が決まり、その方向の垂直方向にき裂は曲進していると考えられる。

M4/4 は、はり下縁の曲げ応力によりき裂が進展した後、450~480 μ s で欠き位置より左側に衝撃点側より強い曲げが発生している。そのため、き裂は一度左側に振れ、その後衝撃点側の強い曲げの影響でその方向に曲進している。き裂が進展すると切り欠き位置より比衝撃点側の曲げ波の供給が絶たれるので、

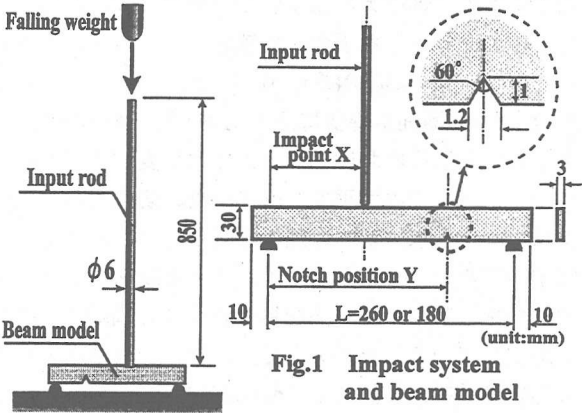


Table 1 Experimental conditions of the beam

モデル	衝撃位置 X	切り欠き位置 Y	落錐重量 (g)	落下高 (cm)	衝撃速度 (m/s)
M2=2	L/2	L/2	250.0	40.0	2.80
M4/2	L/2	L/4	250.0	80.0	3.96
M4=4	L/4	L/4	250.0	40.0	2.80
M2/4	L/4	L/2	250.0	40.0	2.80
M4/4	L/4	3L/4	250.0	100.0	4.43
M3=3	L/3	L/3	250.0	40.0	2.80
M2/3	L/3	L/2	250.0	40.0	2.80
M3/3	L/3	2L/3	250.0	80.0	3.96

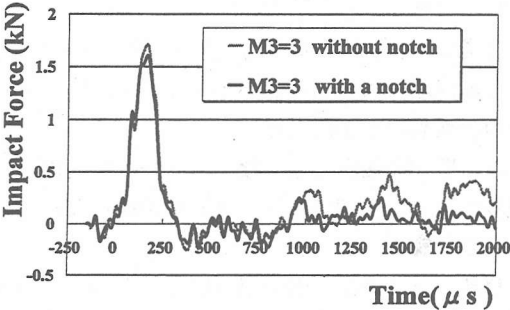


Fig.2 Impact force of M3=3

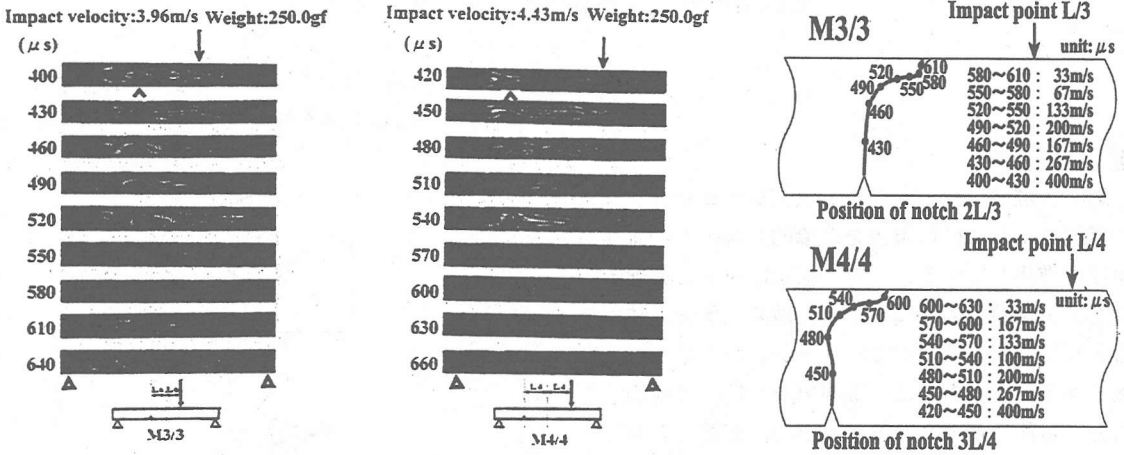


Fig.3 Isochromatic fringe patterns and failure process of M3/3, M4/4

き裂の進展開始時刻と密接な関係がある。はりの支点付近にほとんど曲げが発生していない時刻にき裂進展が開始すると、常に衝撃点方向に曲げの強い区間が形成されるため、き裂は鉛直上方に進むことはほとんどなく、緩やかに衝撃点方向に曲進する。

き裂先端部の応力状態は、き裂進展の方向を決定する大きな要因となっている。そこで、き裂先端部のせん断応力 τ_{MAX} と曲げ応力 σ_{MAX} の比 $\tau_{MAX}/\sigma_{MAX} = \kappa$ を、き裂進展過程を撮影した等色線縞模様写真をもとに構造力学的に考察した。Fig.4(A)のような、き裂進展に影響を与えている曲げ区間について、き裂と曲げの関係を示すメカニズム Fig.4 (B)を考えた。これには、以下を仮定している。1)き裂先端部は固定端、2)曲げ区間の他端はせん断断面で単純支持的支点、3)固定端と単純支持的支点間の曲げモーメントは、Fig.4 (C)のような直線的分布、4)はりの断面の応力分布は静的な場合と同様中立軸に対称、と考える。以上の仮定と等色線縞模様写真の縞次数と主応力差が比例していることをもとに、固定端の支点反力 R_A を求め、き裂先端部のせん断応力と曲げ応力の比 κ を求めた。その結果を Table 2 に示す。

これは複雑に動的変化をする応力状態を簡単なモデルに

置き換えたものであるが、曲進開始時と曲進途中の κ を比べると、曲進中の方が κ が大きい。これは、せん断応力の占める割合が増加したことを意味し、せん断応力がき裂曲進に大きな影響を与えているといえる。

4. 結論

- 1) はりスパンが長くなると、はり中央部および衝撃点付近に大きな曲げ応力が形成され、はり軸方向に大きくき裂曲進する場合が多い。
- 2) 破断までのき裂進展時間は、スパン長の増加とともに増加する。
- 3) き裂曲進途中のせん断応力と曲げ応力の比はき裂曲進前と比べて増加しており、き裂進展方向にはせん断および曲げ応力の比が大きく影響することが確かめられた。

参考文献

- 1) 佐藤 誠：動光弾性実験の地盤内の波動挙動解析への適応性に関する基礎的研究, pp.67~92, 1989
- 2) 中屋 幸久：脆性はりの衝撃破壊におけるせん断力の効果, 広島大学卒業論文, 1998

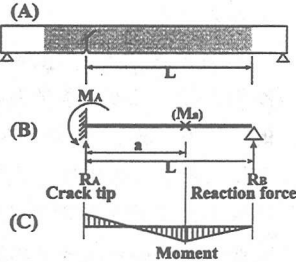


Fig.4 Mechanism of bending division

Table 2 Crack propagation and τ_{MAX}/σ_{MAX}

MODEL	$\kappa = \tau_{MAX}/\sigma_{MAX}(260mm)$		
	曲進開始時	曲進途中	静的状態
M2/4	0.065(650 μs)	0.195(680 μs)	0.115
M4/4	0.074(480 μs)	0.107(510 μs)	0.087
M3/3	0.108(460 μs)	0.728(490 μs)	0.057
M2=2	0	0	0.057