

個別要素法による脆性はりの衝撃破壊過程

広島大学 学生会員 ○平井 勝志  
広島工業大学 正会員 佐藤 誠

1. はじめに

近年、理論破壊力学および数値シミュレーションの発展により、破壊現象を理論的に解明する研究が急速に進歩している。一方、破壊に対する実験的研究も、実験機器の発達に伴い、破壊過程を追跡できるようになり、数値シミュレーションの結果の妥当性を検証するとともに、破壊現象を精密に観測することが可能となっている。しかし、衝撃力を受ける構造物は、部材内部を伝播する応力波の反射と干渉、さらに破壊が始まると、高速のき裂進展とともに、き裂先端から発生する応力波も加わり、静的な荷重が作用する場合とは異なり、非常に複雑な応力状態となる。

本論文は、はりの横衝撃位置と切欠き位置が同一断面にないはりのき裂進展現象を解明することを目的とする。また、個別要素法により Mode I と Mode II による 2 つの破壊形式が混合するき裂進展現象を表現し、不連続体解析法である個別要素法<sup>1)</sup>による連続体の破壊現象への適用性を試み、き裂進展方向にき裂先端付近のせん断力がどのような影響を与えるか検討する。

2. 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、き裂進展過程解析を行った。剛体質点の集合体である解析モデルの接点要素間に、Fig.1 に示すバネとダッシュポットを法線方向、接線方向に入れることにより、対象とする材料の粘弾性挙動を表現した。

破壊基準について、接点間の法線方向要素バネは接点力が基準値に達したとき、接点結合が切れるようにした。また、接線方向の要素バネには、クーロンの破壊基準を接点解放の基準に使い、き裂先端接点の法線方向、接線方向いずれかの破壊により、き裂が進展するようモデル化した。Fig.2 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  $r=0.1\text{cm}$ 、要素数は 2380 要素である。なお、切欠き位置は両モデルともスパン中央にあり、実験モデルに対応する切欠き位置の 1 接点を外すことで表現した。Fig.3 に本解析に用いた衝撃力を重ねて示す。

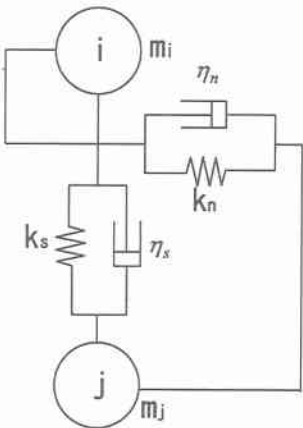


Fig.1 Springs and particles of DEM

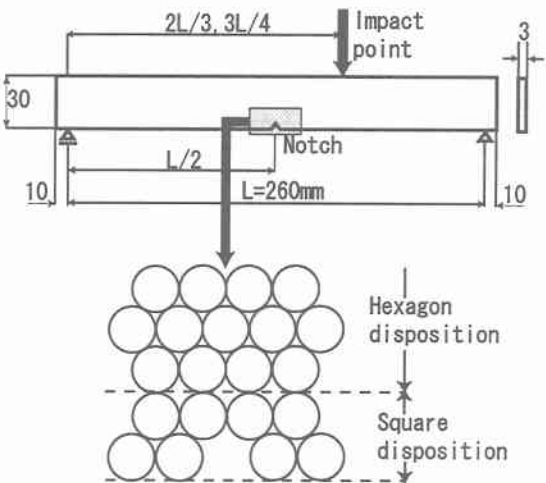


Fig.2 Analytical model

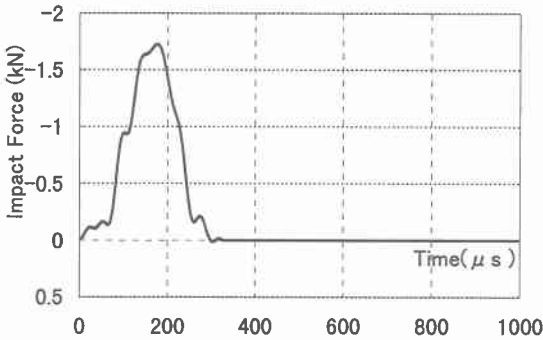


Fig.3 Impact force for analysis

### 3. 解析結果

解析ではエポキシ樹脂の静的破壊靱性値<sup>2)</sup>  $K_{IS}=1.8\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  に対応する接点力を引張破壊接点力(0.436KN)とし解析を行った。

Fig.4 に、Case2/3 においてき裂長さ  $a$  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。

解析値においては、き裂進展後 354  $\mu\text{s}$  で破断する。また実験値においては、解析値より早くき裂進展後 210  $\mu\text{s}$  において、破断する。

Fig.5 に Case2/3 における切欠き先端の要素間の水平方向および鉛直方向の開口量 (COD) を示す。

Fig.5 より鉛直方向の COD は水平方向の COD のおよそ 1/2 であり、Mode I とせん断力による Mode II の破壊形式で破壊していると推定される。

Fig.6 に、Case2/4 においてき裂長さ  $a$  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。

解析値において、 $a/W$  は 4 角形配列と 6 角形配列の境界において Case2/3 に比べ大きな差が現われた。また、き裂進展後 299  $\mu\text{s}$  で破断する。また実験値においては、解析値より早くき裂進展後 240  $\mu\text{s}$  において、破断する。

Fig.7 に Case2/4 における切欠き先端の要素間の水平方向および鉛直方向の開口量 (COD) を示す。

Fig.7 より鉛直方向の COD は水平方向の COD のおよそ 1/2 であり、Mode I とせん断力による Mode II の破壊形式で破壊していると推定される。

### 4. まとめ

- (1) Case2/3 の実験で現われた、き裂が衝撃点と反対方向へ進展する破壊ケースについては、本解析においても表された。また、 $a/W$  (き裂進展速度) に関しては実験における性質をほぼ再現できた。
- (2) Case2/3, Case2/4 において COD の鉛直方向成分から、き裂進展に伴いせん断変形が進行することが確かめられ、Mode II の効果が含まれることが判明した。

#### [参考文献]

- 1) 伯野元彦, 破壊のシミュレーション: 拡張個別

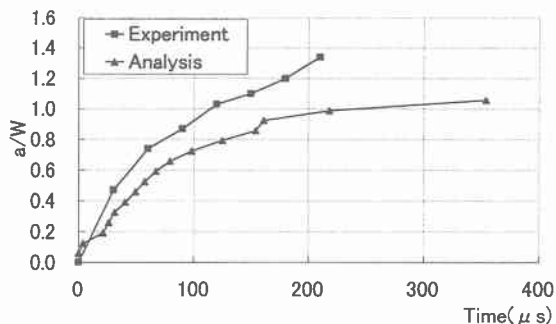


Fig.4 Crack length  $a/W$  of Case2/3

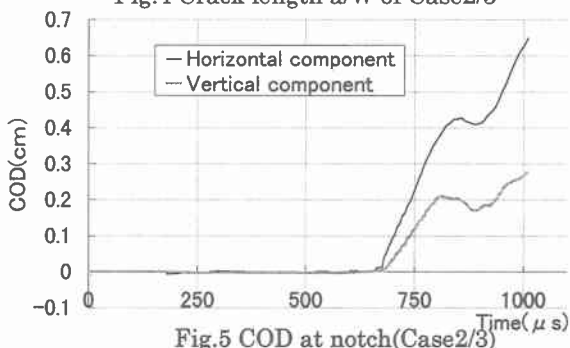


Fig.5 COD at notch(Case2/3)

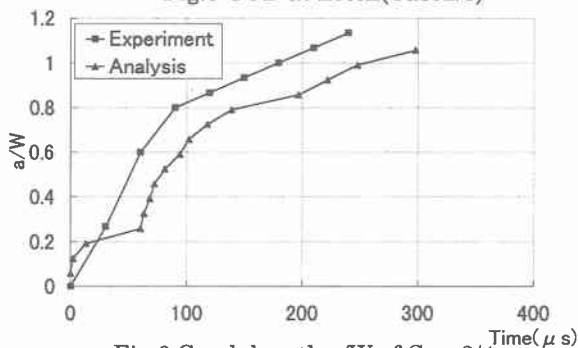


Fig.6 Crack length  $a/W$  of Case2/4

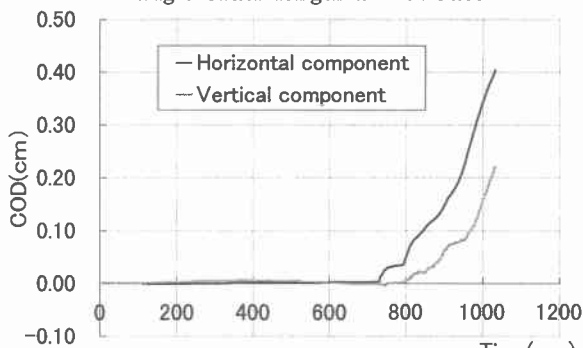


Fig.7 COD at notch(Case2/4)

要素法で破壊を追う, 森北出版, pp.10~52, 1997.

- 2) 高橋江助, 脆性はりの衝撃破壊現象への個別要素法の適用性, 土木学会第 52 回年次学術講演会概要集第 1 部 B, pp.402~403, 1997.