

I-A 271 鋼部材の弾塑性破壊挙動解析に関する基礎的研究

東京都立大学工学部 学 内田 光彦
 東京都立大学工学部 正 長嶋 文雄
 防衛大学校土木工学科 正 石川 信隆

1. はじめに 構造物の設計思想の一つに、例えば阪神・淡路大震災クラスの地震などのように供用期間内には殆ど受けたくないような巨大な荷重に対しては局部的な損傷は許して、その部分のエネルギー吸収により構造物全体の安全性を確保するという考え方、「損傷許容設計法」がある。また、巨大荷重に対しては構造物の主要構造もかなりの被害を受けるであろうから、そのような場合においてもライフスペースさえ確保出来れば良いとする設計思想もある。構造物のこのような設計手法を確立するためには構造部材の破壊挙動を解明する必要がある。本報告は、破壊解析におけるモデル化に際して用いるべき適切な材料定数などについて、3種類の鋼部材に対して破断試験を行い、さらに3次元弾塑性破壊モデルを用いたパラメータ解析を行うことによって検討したものである。

2. 破壊解析における材料定数の検討 破壊挙動解析には最も単純な破壊要素(Isotropic elastic-plastic element with failure[文献1])を用いた。当要素は、破壊規準として、有効塑性歪みが最大塑性歪みを超える場合と圧縮応力が最大圧縮応力を上回る場合の2種類を設定している。当要素の主な材料定数としては降伏応力 σ_y 、降伏剛性 E_t 、破壊ひずみ ϵ_u であり、これらに対する適正な値を見出すために次のような方法を行った。

まず、SS400材丸棒の引張試験を行い変位-荷重曲線を得て、これを体積一定の条件から真応力-ひずみ関係曲線に変換する(図1)。この曲線を降伏応力 σ_y 、降伏剛性 E_t 、破壊ひずみ ϵ_u (表1)を用いたバイリニアでモデル化し、破壊要素を用いて有限要素法による弾塑性解析を行った。

この解析によって得られた真応力-ひずみ曲線を図2に示すが、解析は実験よりもやや伸びが大きく、また最大応力は約4%の差であった。また実験の再現とは別に破壊が発生する要素の大きさを変化させその影響を調べたところ、軸方向に長い要素を用いたときほど破壊するまでの伸びが大きくなることが分かった。これは実験では破壊面近傍のみが破壊ひずみに達しているのに対して、解析では、要素は軸方向に長さを持つために要素のひずみが破壊ひずみに達しにくくなるためであると考えられる。 E_t 、 ϵ_u を大きくした場合は破壊時の伸び、応力ともに大きくなることが分かった。

3. 鋼部材の弾塑性破壊挙動解析 ①耐震連結板A(静的荷重)(写真1)、②耐震連結板B(静的荷重)③耐震連結板B(高速荷重・400cm/s)について丸棒の引張試験から得られたパラメータを用いた弾塑性解析を行った。解析モデルはそれぞれ図3、図5に示す。なお、③高速荷重については文献2)を参考にしての次の実験式に従って歪み速度 $\dot{\epsilon}$ による材料定数の変化を考慮した。

$$\sigma_{y,d}/\sigma_{y,s} = 1.202 + 0.040 \log \dot{\epsilon}$$

$\sigma_{y,s}$: 静的荷重時の降伏応力
 $\sigma_{y,d}$: 高速荷重時の降伏応力

解析の結果を図3~9に示す。①では最終的な変位はほぼ等しいが、最大応力で約8%の差がある。②静的荷重では解析がやや伸びが少ないが最大応力は実験の約94%生じていた。③高速荷重では逆に伸びがやや大きいのが実験の約96%の最大応力であった。しかし実験と解析の破壊形態、破壊までの応力形状が比較的似ており、連結板Bでは静的荷重と高速荷重の破壊状態の違いが解析においても再現されている。

4. まとめ 鋼部材の破壊挙動解析を行う際のモデル化に関する基礎的な検討を、鋼棒の静的引張破断試験結果に基づいて行った。最も単純な破壊要素を用いたが、静的荷重・高速荷重とも、荷重-変位曲線および破断挙動は実験結果と良く合致することを確認した。より詳細な解析を必要とする場合は、破壊箇所近傍では平均歪みよりも大きい歪みが生じていることを考慮して、材料定数を換える方法も考えられる。今後、鋼構造物の破壊挙動解析へ発展させる予定である。

[参考文献] 1) Hallquist:LS-Dyna3D Theoretical Manual, Livermore Software Tech., Co., April, 1994. 2) 高橋: 高速荷重試験による鉄筋コンクリートはりおよび鋼板・コンクリート合成はりの耐衝撃性評価に関する基礎的研究、博士論文、平成2年。

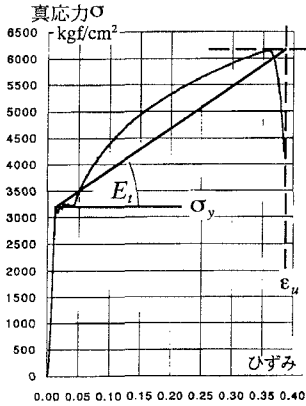


図1 材料定数の決定法

弾性剛性(kgf/cm ²)	2.10×10^6
降伏後剛性(kgf/cm ²) E_t	8.20×10^3
降伏応力(kgf/cm ²) σ_y	3.10×10^3
破断ひずみ	$\epsilon_u: 3.85 \times 10^{-1}$

表1 解析に用いた材料定数

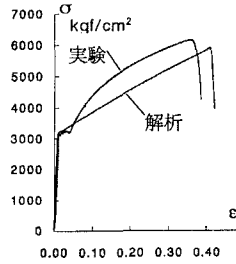


図2 丸棒のσ-ε関係

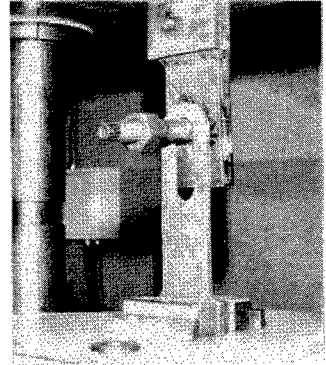


写真1 ①耐震連結板A載荷状況

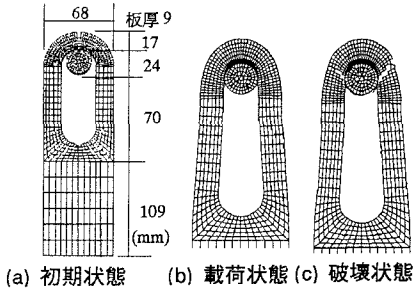


図3 ①耐震連結板Aの解析結果

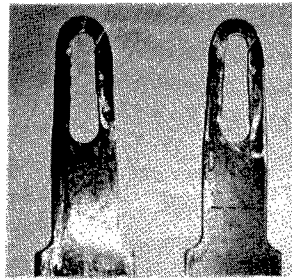


写真2 ①実験破壊状態

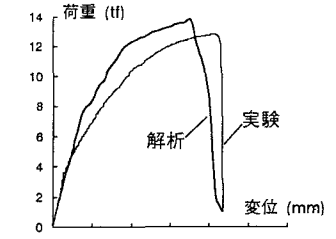


図4 ①耐震連結板AのP-δ曲線

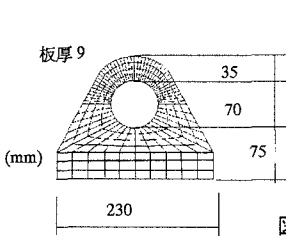


図5 ②③耐震連結板Bの解析モデル

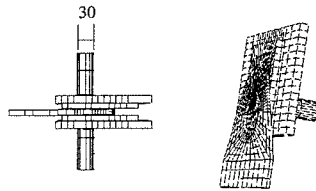


写真3 ②実験破壊状態

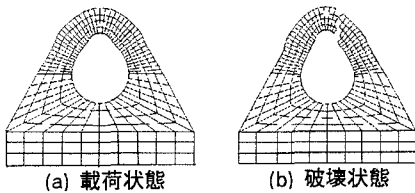


図6 ②耐震連結板B (静的載荷) の解析結果

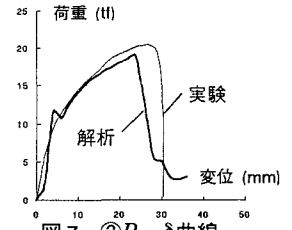


図7 ②P-δ曲線

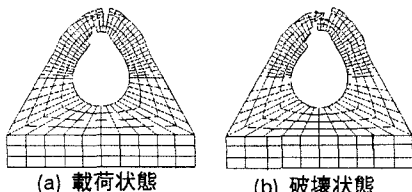


図8 ③耐震連結板B (高速載荷) の解析結果

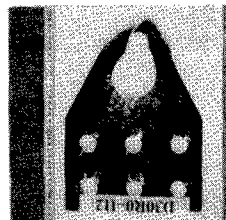


写真4 ③実験破壊状態

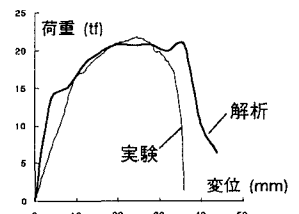


図9 ③P-δ曲線