

I-B216 衝撃的荷重を受けるアイバー型耐震連結板の破壊シミュレーション

○武蔵工業大学大学院 学生会員 藤谷 健 武蔵工業大学 正会員 皆川 勝
(株)CRC総合研究所 正会員 小田切 亮 東京都立大学 正会員 長嶋 文雄

1.はじめに

兵庫県南部地震により橋梁構造物への甚大な被害が生じたことにより、改定後の道路橋示方書には、フェイルセーフ機構として桁掛かり長、落橋防止構造、変位制限構造および段差防止構造からなる落橋防止システムを設けることが規定されている。そこで本研究では、従来の耐震連結板に比べてエネルギー吸収性能の面で優れていると思われるアイバー型耐震連結板に焦点を絞り、アイバー型耐震連結板について衝撃破壊挙動解析を行い、その結果を踏まえて、アイバー型耐震連結板の形状・寸法が耐荷力、エネルギー吸収性能、破壊様式にどのように影響するかを数値解析的に検討する。

2.衝撃応答解析の概要

衝撃応答解析にはPC/LS-DYNA-3Dを用い、要素は3次元破壊要素を用いた。この要素は、破壊基準として相当塑性ひずみが限界値を超える場合と、相当応力が限界応力を上回る場合の二つを設定している。これら条件に該当した要素は、解析上削除され、これにより、耐震連結板の亀裂の進展状況をシミュレーションすることができる。

主な材料定数は質量密度、降伏応力、降伏後弾性係数などであり、これらについては文献1)における数値を用いた。また、ひずみ速度効果によって鋼材の材料特性が変化することは一般的に知られている。そこで、本解析においても載荷速度による材料定数の変化を考慮する。文献2)によると降伏応力、引張強度、破壊ひずみに関して静的力学特性に対する動的力学特性の変化率が、表-1のように示されている。それによってスケーリングされた材料定数を表-2に示す。解析対象を図-1、表-3に示す。載荷速度として、文献3)より高さ20mの鋼製橋脚における上部構造の最大応答速度は、139cm/sec～222cm/secとなる。

表-1 鋼材の材料特性に及ぼすひずみ速度の影響²⁾

変化率		係数
降伏点	$\sigma f_{yt}/f_{y0} = a_1 + b_1 \cdot \log \dot{\epsilon}$	$a_1 = 1.202, b_1 = 0.040$
引張強度	$\sigma f_{su}/f_{s0} = a_3 + b_3 \cdot \log \dot{\epsilon}$	$a_3 = 1.172, b_3 = 0.037$
破壊ひずみ	$\epsilon_{su}/\epsilon_{s0} = a_4 + b_4 \cdot \log \dot{\epsilon}$	$a_4 = 1.044, b_4 = 0.013$

る。そして、橋桁が逆位相で運動する場合にこの2倍程度の速度を見込んだ設計が必要であるため、本解析では500cm/secの速度を想定した。

表-3 解析モデルのパラメータ（単位：mm）

種類	主パラメータの値					
	R3	R2(ピン径)	R1	t	B	L
A	75	45	50	25	90	430
	100					
	125					
	150					
	175					
AB	125	45	50	25	97.6	430
	75					
	100					
	125					
	150					
B	75	45	50	25	107	430
	100					
	125					
	150					
	175					
BC	125	45	50	25	118.2	430
	75					
	100					
	125					
	150					
C	75	45	50	25	125	430
	100					
	125					
	150					
	175					
R1-70	100	83.6	70	25	110	430
	125					
	150					
R1-30	75	27.3	30	25	100	430
	100					
	125					
L-480 L-380	125	45	30	25	100	480 380

表-2 ss400のスケーリングした材料定数

質量密度	7.85×10^{-6}	Kg/mm
弾性係数	2.01×10^5	N/mm ²
ポアソン比	0.303	-
せん断弾性係数	7.72×10^4	N/mm ²
降伏応力	3.56×10^2	N/mm ²
降伏後弾性係数	5.51×10^2	N/mm ²
破壊ひずみ	0.322	-
破壊圧力	-5.32×10^2	N/mm ²
体積弾性係数	1.70×10^5	N/mm ²

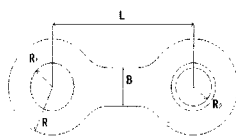


図-1 解析形状

キーワード：耐震連結板、ひずみ速度、衝撃応答解析

連絡先：武蔵工業大学工学部土木工学科 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 Tel&Fax:03-5707-2226

3.解析結果と考察

図-2 に TYPE-A, AB, B, BC, C の $R_3/R_1=2.5$ の場合について荷重-変位関係を示す。なお、荷重と変位は、長さ L 、幅 B 、板厚 t の同材質の銅板を引張った時の降伏荷重と降伏変位で無次元化している。したがって、縦軸で 1 を基準に、これを上回れば連結板中央部で降伏に至り、下回れば連結板中央部では降伏に至っていないことになる。

破壊様式は二つに分かれ、連結板中央部が広い TYPE-BC, C においてはピン孔内周の亀裂発生から破壊に至っている。そして、連結板中央部が狭い TYPE-A, AB, B は、連結板中央部で破壊に至っている。そして、図-2 より最もエネルギー吸収性能が高い TYPE-B のピン孔内周と連結板中央部の相当塑性ひずみの増加を図-3 に示す。同図より、それぞれのひずみは、ほぼ同じ値を示し、どちらから破壊してもおかしくない状況であったことが分かる。また、図-4 には吸収エネルギーと $(R_3-R_1)/B$ の関係を示す。TYPE-B の $(R_3-R_1)/B=0.7$ において吸収エネルギーは明らかに最大となっていることがこの図から分かる。このことから、ここで得られた 2 種類の破壊形態のどちらであるかということは、耐荷特性、エネルギー吸収性能に対して大きく影響を及ぼすものではないが、2 つの破壊形態が混在するような、ピン孔内周、連結板中央部双方でバランス良くエネルギーを吸収できる TYPE-B がもっとも優れた形状であると言える。

図-5 に耐荷力と $(R_3-R_1)/B$ の関係を示す。ここからも $(R_3-R_1)/B$ の値が小さくなるにしたがって、耐荷力が低下しているのが見て取れる。また、 $(R_3-R_1)/B=0.7$ 付近を境界としてそれ以上では連結板中央部での破壊、それ以下では、ピン孔内周において破壊し、急激に耐荷力がすることが分かる。

4.結論

アイバー頭部及び平行部で顕著に塑性変形することにより、バランス良くエネルギーを吸収できる形状が、耐荷特性、エネルギー吸収性能の両面から望ましいことを明らかにした。また、アイバー型耐震連結板において、 $(R_3-R_1)/B$ をパラメータにすることにより、その破壊様式をほぼ正確に予測することができ、最も望ましい形状は、 $(R_3-R_1)/B=0.7$ 前後であると言える。

＜参考文献＞1) 鈴木, 後藤, 松浦, 石原: 鋼道路橋の落橋防止装置連結板の耐荷力実験, 構造

工学論文集, Vol.35A, pp.1011-1018, 1989.3. 2) 後藤, 松本, 高橋, 大野: 高速載荷を受ける鋼材の動的応力-ひずみ関係モデル, 土木学会第 45 回年次学術講演会, I 部門, pp.486-487, 1990.9. 3) 長嶋: 落橋防止装置の衝撃応答特性および設計法に関する研究, 文部省科学研究費補助金基礎研究, 1997.2.

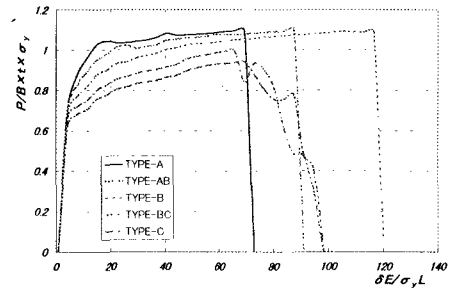


図-2 荷重変位関係

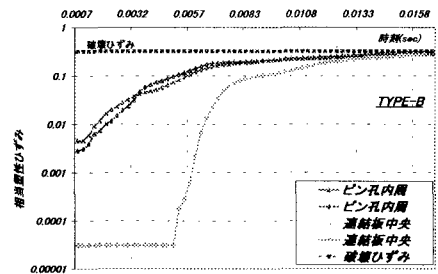


図-3 TYPE-B 相当塑性ひずみの様子

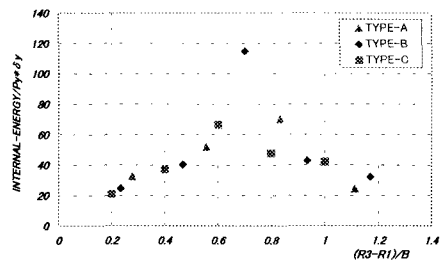


図-4 エネルギー吸収量と $(R_3-R_1)/B$ の関係

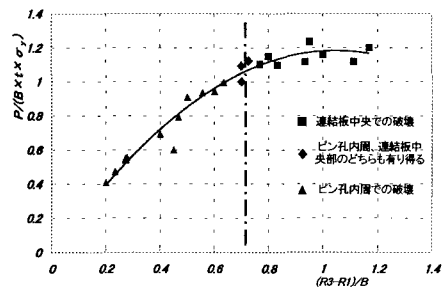


図-5 耐荷力と $(R_3-R_1)/B$ の関係