

関西大学工学部 学生員○荒木 崇

関西大学大学院

学生員 安達昌弘

関西大学大学院 学生員 梅津基義

舞鶴工業高等専門学校

正会員 武田八郎

関西大学工学部

正会員 堂垣正博

1. まえがき

兵庫県南部地震では、構造物の損傷があまりにも甚大であったため、その安全性・信頼性・耐久性が問われた。その結果、構造物の耐震性に関する研究が積極的に行われている。

本研究では、2層構造の鋼製門形ラーメン橋脚を考え、その中間ばりを補助部材とすることで、せん断力の卓越する部分に変形を集中させ、地震エネルギーを消散させることを考える。

2. 鋼製箱形断面ばりのモデル化

フランジの幅と厚さが b_f , t_f , 腹板の幅と厚さが b_w , t_w からなる長さ l の無補剛箱形断面ばりを解析する。これは2層門形ラーメン中間ばりのせん断力が卓越する部分をモデル化したもので、その弾塑性有限変位解析をFig. 1に示すような板要素とはり要素からなる結合モデルで行う。ただし、長さ a の区間が板要素である。なお、断面や荷重の対称性から z 方向に1/2の断面を解析対象とする。

3. 解析手法

鋼製箱形断面ばりの弾塑性有限変位解析に汎用有限要素プログラム“MARC”を適用する。この場合、降伏の判定にvon Misesの等価応力、塑性条件にPrandtl-Reussの流れ則、硬化則に混合硬化則を選択した。また、鋼材の応力-ひずみ曲線にbi-linear型を仮定し、そのひずみ硬化係数を縦弾性係数の1/100とした。幾何学的・材料的非線形性を考慮した数値解析にUp-dated Lagrangian手法を、非線形代数方程式の解

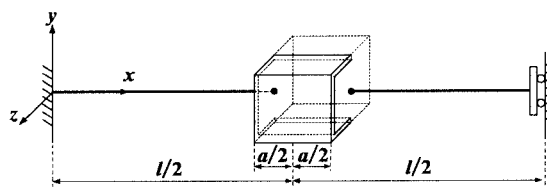


Fig. 1 結合モデルの解析対象

法にNewton-Raphson法と弧長増分法を用いた。

はりの左端を変位拘束し、右端にせん断力に等価な変位 δ を上下の方向に与えた。载荷パターンとして、Fig. 2に示す漸増载荷(点線①)と、一定振幅の変位を正負交番に1サイクル与えた後、振幅を増加させる繰返し変動振幅载荷(実線②)を考えた。なお、降伏せん断力 Q_y に対応する降伏せん断変位 δ_y は

$$\delta_y = \frac{aQ_y}{2Gb_w t_w} \quad (1)$$

である。ここに、 G はせん断弾性係数である。

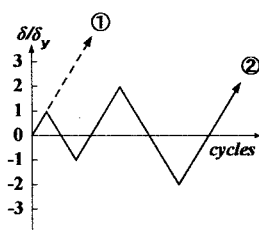


Fig. 2 荷重の载荷形式

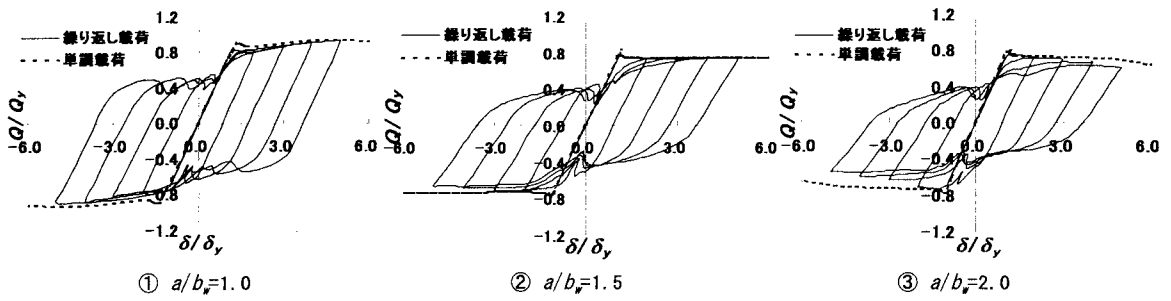
4. 数値解析結果とその考察

部材は鋼種SM490Yで製作されるものとし、降伏点応力を $\sigma_y=365\text{MPa}$ ($t \leq 16\text{mm}$), $\sigma_y=355\text{MPa}$ ($t > 16\text{mm}$), ヤング率を $E=206\text{GPa}$, ポアソン比を $\nu=0.3$ とした。

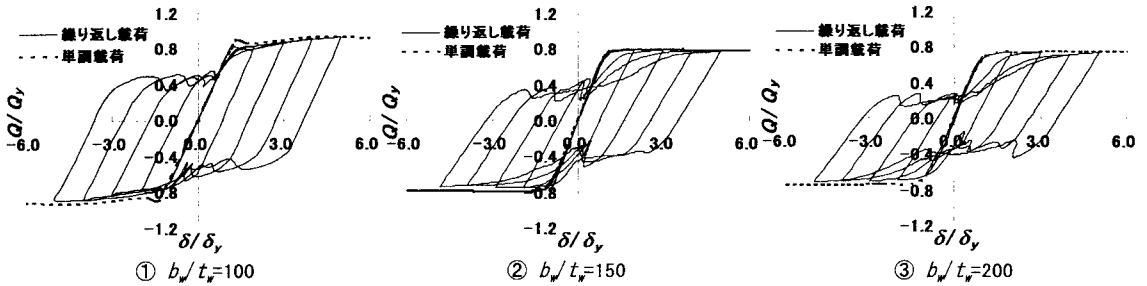
はり要素には1節点3自由度のはり/柱要素を、板要素には1節点6自由度の四辺形厚肉線形シェル要素を用いた。この場合、はり要素部分を6分割、板要素部分ではフランジと腹板を部材軸方向に14分割、部材軸直角方向にフランジを6分割、腹板を14分割した。板厚方向の層数は9である。また、はりの細長比パラメータを $\bar{\lambda}=0.4$, フランジと腹板の幅厚比パラメータを $R_f=0.632$, $R_w=0.654$ とした。ただし、はり中央部の腹板の幅厚比パラメータはその限りでない。初期不整として、初期たわみのみを考慮した。

(1) 腹板の縦横比

$b_w/b_f=1.0$, $b_w/t_w=100$, $t_f/t_w=1.67$ で、腹板の縦横比が $a/b_w=1.0, 1.5, 2.0$ の場合、箱形断面部材のせん断力-せん断変位の関係はFig. 3(a)のようである。図中、縦軸は降伏せん断力 Q_y で無次元化されたせん断力 Q/Q_y , 横軸 δ/δ_y は降伏せん断変位 δ_y で無次元化された

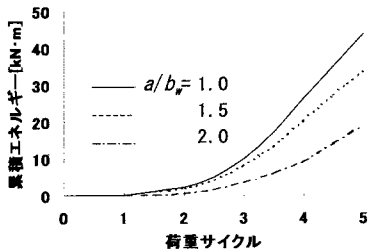


(a) 縦横比を種々変化させた場合

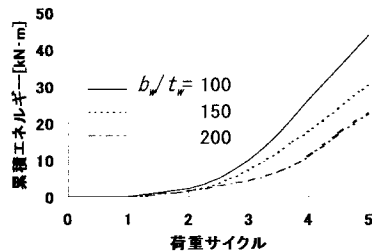


(b) 腹板の幅厚比を種々変化させた場合

Fig. 3 箱形断面材のせん断力-せん断変位の関係



(a) 縦横比と累積エネルギー吸収量との関係



(b) 腹板の幅厚比と累積エネルギー吸収量との関係

Fig. 4 荷重サイクル-累積エネルギー量の関係

せん断変位 δ である。点線と実線はそれぞれ漸増載荷時と繰り返し載荷時の履歴曲線を示す。また、累積エネルギー吸収量-荷重サイクルの関係はFig. 4(a)のようである。ちなみに、Fig. 4のエネルギー吸収量は、Fig. 3の1サイクルの履歴曲線で囲まれる面積をサイクルごとに足し合わせたものである。

Fig. 3(a)から明らかのように、累積エネルギー量は縦横比の増大とともに減少する。しかし、せん断強度は繰り返し荷重下でもあまり低下せず、エネルギー逸散型に有利な特徴を示している。

(2) 腹板の幅厚比

$a/b_w=1.0$, $b_w/b_f=1.0$, $t_f/t_w=1.67$ で、はり中央部での腹板の幅厚比が $b_w/t_w=100, 150, 200$ の場合のせん断力-せん断変位の関係と累積エネルギー吸収量-荷重サイクルの関係をFig. 3(b), Fig. 4(b)に示す。

この場合、せん断荷重の除荷とともに腹板内の斜張力場が徐々に消滅し、強度が低下する。その後、逆の対角線方向に張力場が形成され、再び強度が上昇するようになる。この現象は、幅厚比が大きい腹板ほど顕著である。累積エネルギー吸収量を比較すれば、幅厚比が比較的大きくても変形能は遜色ない。

5. まとめ

繰り返しせん断を受ける箱形断面ばりの強度と変形性能を解析的に明らかにした。中間ばりはその腹板を薄肉化することによって、その部分に塑性変形を集中させ、エネルギー逸散を果たすことができる。

なお、本研究の一部は、平成12年度関西大学工学部共同研究費によった。

参考文献 1) 渡辺・宇佐美：土木学会第55回年次学術講演会講演概要集，I-B206，2000-9。