

1. まえがき

兵庫県南部地震では多くの土木構造物が甚大な損傷を受けた。大地震時に構造物が崩壊しないためには、十分な変形性能を保有するように設計する必要がある。

繰り返しせん断を受ける鋼桁の強度と変形性能に関する研究は今までもなされている^{1), 2)}。ここでは同種の鋼桁を対象に、せん断座屈後の変形挙動に注目し、その耐力と繰り返し履歴挙動を有限要素解析によって明らかにする。

2. 鋼桁のモデル化

Fig.1に示すような長さが a 、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 の2軸対称I形断面桁が正負交番のせん断力 Q を受ける場合の耐力と履歴特性を明らかにする。この場合、鋼桁の左右端をつぎのようにモデル化する。すなわち、

- ①剛な補剛材で補剛され、変形後も直線を保つ。
- ②面外変形に対して単純支持される。

製作時の不可避免的な初期不整として、腹板に最大値が $w_{0max}=b_w/500$ の正弦波の初期たわみを仮定した。また、自己平衡型で台形分布の残留応力を仮定し、その引張と圧縮の値をそれぞれ $\sigma_{rt}=\sigma_y$ 、 $\sigma_{rc}=-0.12\sigma_y$ とした。

3. 解析手法

鋼桁の弾塑性有限変位解析には、汎用有限要素解析プログラム“MARC-K6”を適用した。幾何学および材料的非線形性を考慮し、Up-dated Lagrangian法、Newton-Raphson法、弧長増分法を選定した。

せん断荷重は、Fig.1に示すような変位 δ を上下に与え、変位制御型で載荷した。ここに、降伏せん断応力 τ_y に対応する降伏せん断変位 δ_y はつぎのようである。

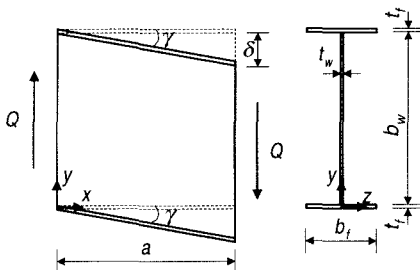


Fig.1 解析モデル

$$\delta_y = \frac{a\tau_y}{G} \quad (1)$$

G はせん断弾性係数である。

載荷パターンとして、

Fig.2に示す漸増載荷(点線)と、一定振幅の変位を

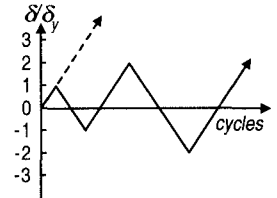


Fig.2 載荷方法

正負交番に1サイクル与えた後、振幅を増加させる繰り返し変動振幅載荷(実線)を考えた。

鋼材の応力-ひずみ関係にはbi-linearな曲線を仮定し、そのひずみ硬化係数を弾性係数の1/100とした。

4. 数値解析結果とその考察

数値解析にあたり、鋼種をSM490Y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。有限要素に4節点厚肉シェル要素を用い、桁軸方向にフランジと腹板を14分割、桁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。

(1) 腹板の縦横比

$b_w/b_f=3.5$ 、 $b_f/2t_f=10$ 、 $b_w/t_w=123$ で腹板の縦横比が $a/b_w=0.5, 1.0, 2.0$ の場合、鋼桁のせん断力-せん断変位の関係はFig.3(a)~(c)のように求められる。図中、縦軸は降伏せん断力 Q_y で無次元化したせん断力 Q/Q_y 、横軸は降伏せん断変位 δ_y で無次元化したせん断変位 δ/δ_y である。点線と実線はそれぞれ漸増載荷と繰り返し載荷による荷重-変位曲線を示す。また、累積エネルギー吸収量-荷重サイクルの関係はFig.4のようである。この図において、縦軸は累積エネルギー吸収量、横軸は荷重サイクルである。ただし、エネルギー吸収量は、Fig.3のせん断力-せん断変位関係において、一サイクルごとに履歴曲線の面積から求めた。

Fig.3から明かなように、いずれの縦横比の場合も、繰り返し回数の増加とともに最大せん断力が漸増載荷の場合に比べて減少する傾向にある。ただし、座屈後に斜張力場が形成されるため、圧縮や曲げの場合のような顕著な劣化現象は曲線に表れず、比較的安定したループを描いている。

履歴曲線には縦横比による特徴がよく表れている。

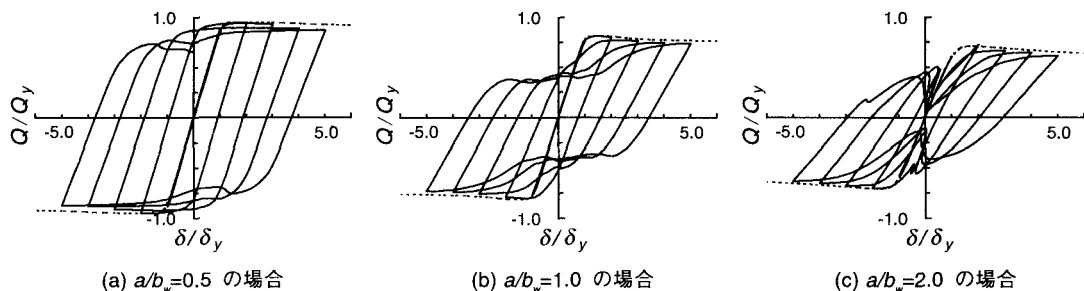


Fig.3 さまざまな縦横比に対するせん断力-せん断変位の関係

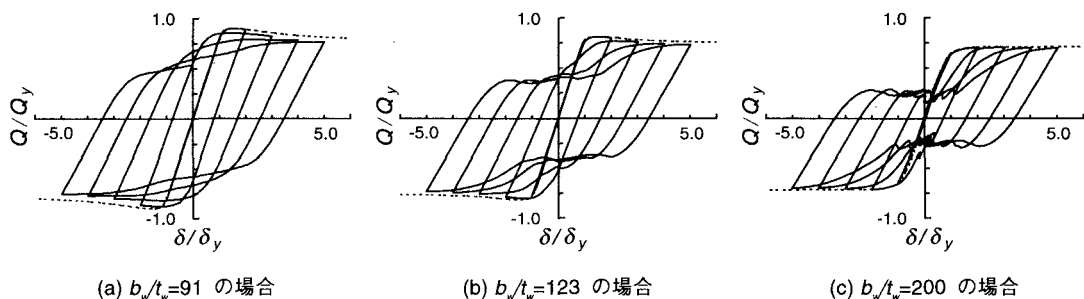


Fig.5 さまざまな腹板の幅厚比に対するせん断力-せん断変位の関係

すなわち、長いパネルほどせん断力が正から負あるいは負から正へと移り変わる過程で、座屈モードが急変し、飛び移りのような現象を呈している。それゆえ、荷重が一時的に激減している。しかし、座屈変形が定まり、斜張力場が形成されると、漸増荷重の場合の曲線に漸近し、安定な挙動を呈するようになる。

(2) 腹板の幅厚比

$a/b_w=1.0$, $b_w/b_f=3.5$, $b_f/2t_f=10$ で腹板の幅厚比が $b_w/t_w=91$, 123, 200の場合、せん断力-せん断変位の関係がFig.5(a)~(c)、累積エネルギー吸収量-荷重サイクルの関係がFig.6のように求められる。

Fig.5からわかるように、せん断力が反転し、除荷されれば、形成されていた張力場が徐々に消滅し、強度も低下する。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。この傾向は幅厚比の大

きい腹板ほど顕著である。

このような履歴特性を骨組構造で再現できれば、薄い腹板からなるはり骨組内に設け、そこでの塑性変形を許容して損傷を集中させ、骨組の崩壊をさけることができる。

5. まとめ

繰り返しせん断を受けるプレートガーダーの耐荷力と変形性能を解析的に明らかにした。垂直補剛材間隔が大きく、腹板厚が薄い場合でも、曲げや圧縮の場合と異なって、耐荷力後の劣化現象が少ない。

参考文献

- 1) 中村・上野谷・福本・小林：土木学会第54回年次学術講演会講演概要集，I-A89，1998-10.
- 2) 河合・藤井：土木学会第54回年次学術講演会講演概要集，I-A127，1998-10.

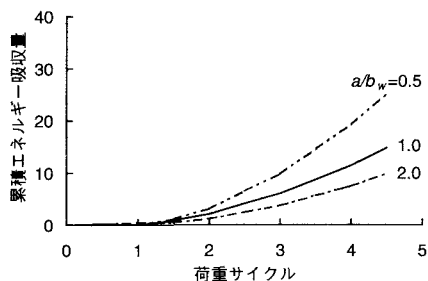


Fig.4 縦横比と累積エネルギー吸収量との関係

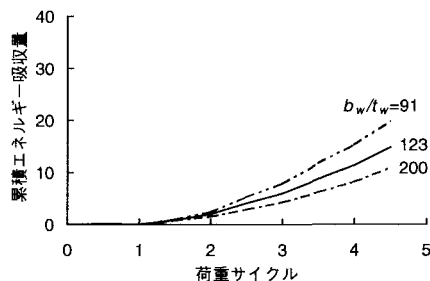


Fig.6 腹板の幅厚比と累積エネルギー吸収量との関係