繰り返しせん断を受ける鋼桁の強度と変形性能

（株）栗本鐵工所　正会員　内田　裕也　　舞鶴工業高等専門学校　正会員　武田八郎
愛媛県　　正会員　佐々木大輔　　関西大学工学部　　正会員　堂垣正博

1．まえがき　骨組構造が強烈な外力のもとでも致命的な損傷を受けないためには，十分な変形性能を保有しているように設計する必要がある．その解決策の一つとして，門形ラーメンのはり中間部のようなせん断力が卓越する部位に変形を集中させる，いわゆるせん断リンク構造の採用がある．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，これまでにもなされている[1), 2)]．ここでは鋼桁のせん断座屈後の変形挙動に注目し，その耐荷力と履歴挙動を有限要素法で明らかにする．

2．鋼桁モデル　**Fig.1**に示す長さが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の垂直補剛材間の鋼桁一パネルを対象とする．桁の両端は，①剛に支持され，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，と仮定する．

腹板の初期たわみにその最大値がb_w/500の正弦半波を，残留応力にその引張と圧縮の最大値が降伏点応力σ_yと-0.12σ_yの自己平衡の台形分布を仮定する．

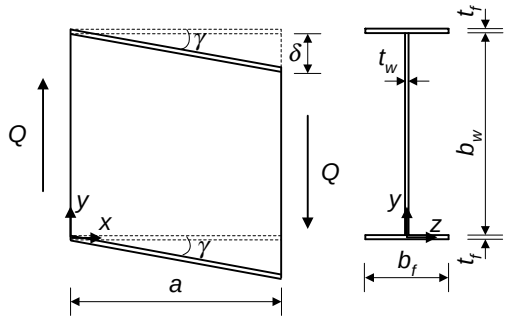


Fig.1 繰り返しせん断を受ける垂直補剛材間の鋼桁一パネル

3．解析手法　数値解析に汎用有限要素解析プログラム“MARC-K6”を用いる．その際，Up-dated Lagrangian法，Newton-Raphson法，弧長増分法を選択した．

Fig.1に示すような上下方向の変位δを桁端に与え，せん断力を作用させた．ただし，降伏せん断応力τ_yに対応する降伏せん断変位δ_yを$\delta_y=a\tau_y/G$とする．ここに，Gはせん断弾性係数である．載荷パターンとして，①漸増載荷と，②一定振幅の変位を正負交番に１サイクル与えた後，振幅を順次増加させる繰り返し変動振幅載荷を採用する．

なお，鋼種をSM490Yとし，σ_y=365MPa($t\leqq$16mm)，σ_y=355MPa($t>$16mm)，ヤング率E=206GPa，ポアソン比ν=0.3である．また，応力-ひずみ関係はbi-linear型とし，ひずみ硬化係数を0.01Eとする．

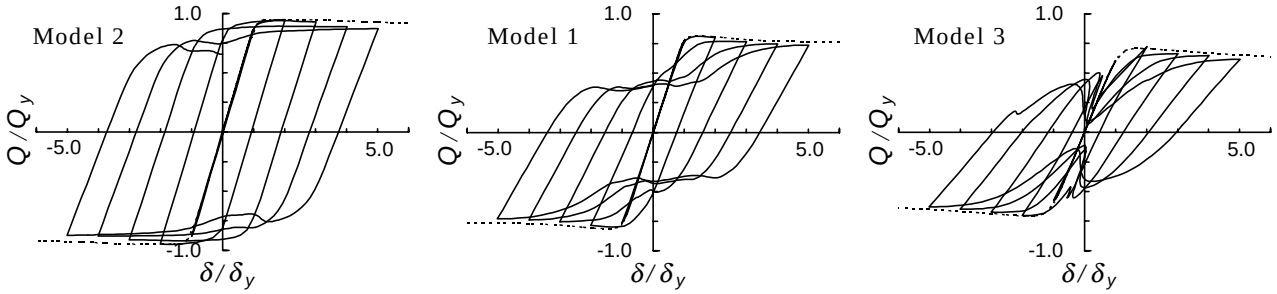
Table 1 鋼桁の寸法諸元

Model	1	2	3	4	5
a/b_w	1.0	0.5	2.0	1.0	
bw/t_w	123			91	200
$b_f/2t_f$	10				
b_w/b_f	3.5				
R_w	1.35	0.82	1.64	0.99	2.20
σ_y(MPa)	365			355	365

4．数値解析結果とその考察　本研究では，**Table 1**のModel 1を基準に，５種類の鋼桁を解析する．ここに，R_wは腹板の幅厚比パラメータである．なお，桁軸方向に14分割，フランジと腹板を桁軸直角方向に６分割，14分割した四辺形シェル要素を用いた．ただし，板厚方向の層数は９である．

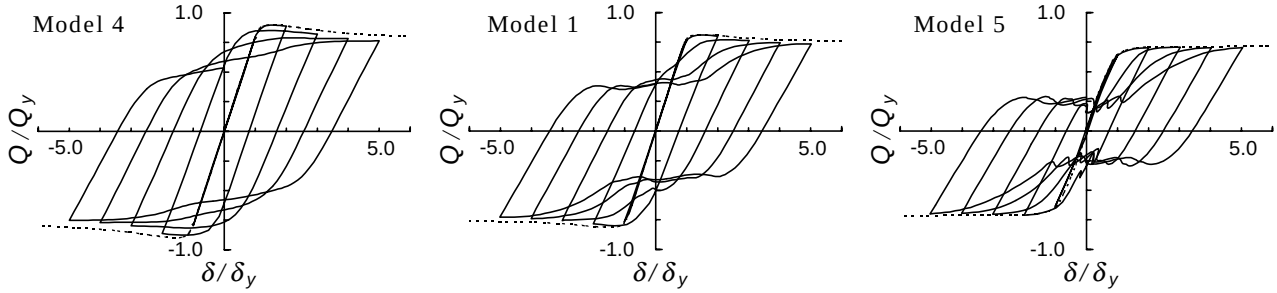
(1)腹板の縦横比　Model 1，Model 2，Model 3に対するせん断力-せん断変位の関係を求めれば，**Fig.2(a)**～**(c)**のようになる．図中，縦軸と横軸はそれぞれ降伏せん断力Q_yと降伏せん断変位δ_yで無次元化したせん断力Q/Q_yとせん断変位δ/δ_y，点線と実線はそれぞれ漸増載荷と繰り返し載荷の荷重-変位曲線である．図から明らかなように，繰り返しせん断力のピークは，縦横比の大小に関わらず，漸増載荷時のピークに比べて，繰り返し数とともに低下する．ただし，座屈後に斜張力場が形成されるため，圧縮や曲げのような急激な劣化には至らず，履歴曲線は比較的安定なループとなる．また，履歴ループの形状は縦横比によって大いに異なる．すなわち，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，長いパネルほど座屈変形の急変による飛び移り現象が明確に現れている．これによって荷重が一時的に激減する．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，桁は安定した挙動を呈するようになる．

Keywords：繰り返しせん断，耐荷力，変形性能，累積吸収エネルギー，鋼桁
連絡先：〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35　　TEL/FAX：06-6368-0882



(a) a/b_w=0.5 **の場合**　　(b) a/b_w=1.0 **の場合**　　(c) a/b_w=2.0 **の場合**

Fig.2 さまざまな縦横比に対するせん断力ーせん断変位の関係



(a) b_w/t_w=91 **の場合**　　(b) b_w/t_w=123 **の場合**　　(c) b_w/t_w=200 **の場合**

Fig.3 さまざまな腹板の幅厚比に対するせん断力ーせん断変位の関係

(2)腹板の幅厚比　Model 1，Model 4，Model 5に対するせん断力-せん断変位の関係を求めれば，**Fig.3(a)**～**(c)**のようになる．この場合，作用せん断力が反転し除荷されれば，一対角線方向に形成されていた斜張力場が荷重の減少とともに徐々に消滅するようになる．その後，もう一方の対角線方向に斜張力場が形成されるようになり，強度が上昇する．この現象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もつ部材要素を骨組に設け，そこに変形を集中させることができれば，骨組全体の壊滅的な崩壊が回避できるであろう．

(3)累積エネルギー吸収量　**Fig.2**と**Fig.3**の履歴曲線から得られる累積エネルギー吸収量-荷重サイクル数の関係を**Fig.4**に示す．ここに，縦軸は累積エネルギー吸収量，横軸は荷重サイクル数である．なお，エネルギー吸収量はせん断力-せん断変位の関係における一サイクルの履歴ループの面積を示す．

図から明らかなように，Model 3とModel 5を除いて，累積エネルギー吸収量は腹板の幅厚比パラメータR_wが小さいものほど多い．しかし，塑性変形によるエネルギーの逸散が構造物の崩壊に対してヒューズ的な役割を果たすことを思えば，エネルギー吸収能の多い構造は好ましくない．限られた解析結果であるが，R_w=1.64(Model 3)付近にエネルギー散逸の限界があるように思われる．

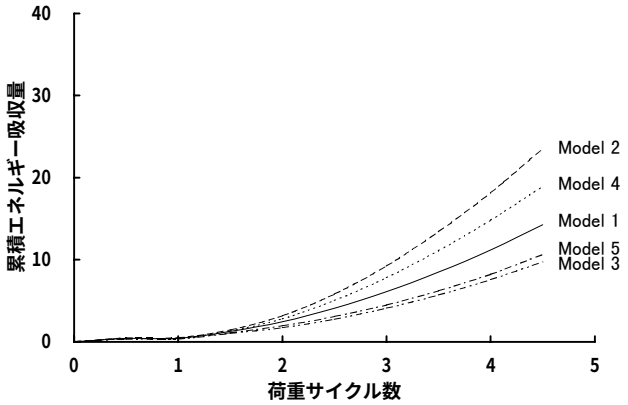


Fig.4 累積エネルギー吸収量と荷重サイクル数の関係

5. **まとめ**　繰り返しせん断を受ける鋼桁の強度特性を解析的に明らかにした．垂直補剛材の間隔が広く，腹板の薄い場合でも，圧縮や曲げの場合とは異なって，最大耐力後の劣化は少ない．せん断特有の履歴特性を有効に利用すれば，骨組全体の変形性能を向上させることができるものと考えられる．

参考文献　1）中村雅樹・上野谷実・福本㈱士・小林泰男：プレートガーダーの繰り返しせん断載荷実験，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，I-A89，1998-10．2）河合輝雄・藤井　堅：プレートガーダーの繰り返しせん断挙動，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集，I-A127，1998-10.