

繰返しせん断を受ける箱形はりの強度に関する解析的研究

福山大学 正会員 上野谷実 福山大学 正会員 中村雅樹
日本鋼管(株) 山本定弘 中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 ○村中宏行

1. まえがき

本研究は汎用非線形有限要素解析ソフト MARC を用いて、繰返しせん断を受ける箱形はりの弾塑性有限変位解析を行い、解析結果と実験結果の比較を通して低降伏点鋼腹板を有する箱形はりの変形挙動、耐力およびエネルギー吸収特性について調べ、有限要素解析の適用性の評価を行うものである。

2. 解析方法

福山大学で行われている実験の荷重状態を図-1 に示す。解析では強制変位作用方向を含む鉛直面を対称軸とする全体の 1/2 モデルについて、図-2 に示すようにモデル化した。腹板は座屈モードを考慮できるように 8×8 分割とした。解析に使用した要素は、4 節点 6 自由度の四辺形厚肉シェル要素である。有限要素モデルの寸法を表-1 に示す。モデルは低降伏点鋼腹板パネル数が 2 パネル (BG1-2)、3 パネル (BG1-3)、4 パネル (BG1-4、BG1-4M) というパネル数の異なる 3 体とした。パネル名は偶数パネルのモデルでは鉛直方向中央線から西(W)の 1, 2, 東(E)の 1, 2 とし、奇数パネルでは中央(C0)、西(W)の 1, 東(E)の 1 とする。図-3 に低降伏点鋼材 LY100 の応力-ひずみ曲線を示す。低降伏点鋼腹板パネル以外は普通鋼材 SM400 を用いた。表-2 に LY100 の材料特性を示す。表中の 1) は解析での降伏応力(線形限界)、2) は 0.2% 耐力である。ヤング率、ポアソン比については公称値の 200GPa、0.3 を用いた。硬化則としては等方硬化則を採用した。純せん断を受けるパネル (LY100 を用いた) がせん断変形し、図-4 に示すようにパネルが降伏に至るときの対角線方向変位の差 ($\ell_1 - \ell_2$) を 1 パネルの降伏せん断変位 δ_{y0} とし、低降伏点鋼腹板パネルの個数分だけ δ_{y0} を足し合わせたものを部材の降伏せん断変位 δ_y と定義する。この δ_y を繰返し荷重の基本変位とし、 $+1\delta_y$ 、 $-1\delta_y$ 、 $+2\delta_y$ 、 $-2\delta_y$ 、 $+3\delta_y$ …と漸増するように $10\delta_y$ まで荷重点に強制変位を与えた。繰返し変位を図-5 に示す。繰返し荷重の基本変位 δ_y を式(4) から計算すると、BG1-2 は 3.6mm、BG1-3 は 5.4mm、BG1-4 は 7.2mm となる。

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (1) \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2) \quad \delta_{y0} = \frac{\sqrt{2}b\tau_y}{G} \quad (3) \quad \delta_y = n \cdot \delta_{y0} \quad (4)$$

ここで、 σ_y : LY100 の降伏応力(0.2%耐力)、 τ_y : 1 パネルの降伏せん断応力、 G : せん断弾性係数、 E : ヤング率、 ν : ポアソン比、 n : 低降伏点鋼腹板パネルの個数

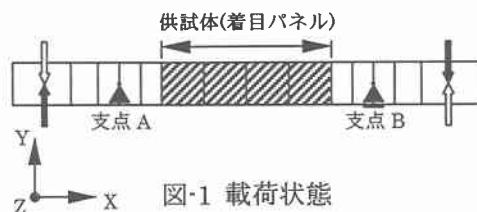


図-1 荷重状態

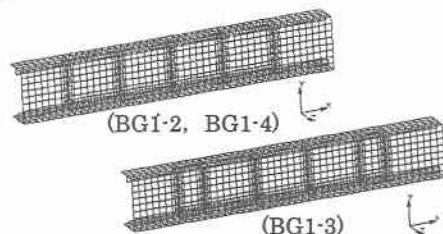


図-2 有限要素モデル

表-1 解析モデルの形状寸法 単位:mm

ウェブ			
パネル幅	パネル高	板厚	幅厚比
600	600	6	100
フランジ		縦リブ	
板幅	板厚	板幅	板厚
600	8	75	8

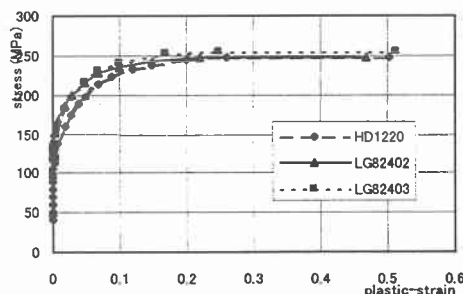


図-3 LY100 の応力-ひずみ曲線

表-2 LY100 の材料特性

モデル	降伏応力 ¹⁾ σ_y (MPa)	降伏応力 ²⁾ σ_y (MPa)	引張強さ σ_u (MPa)
BG1-2, 3	50	148	247
BG1-4	46	138	250

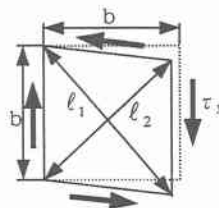


図-4 せん断変位

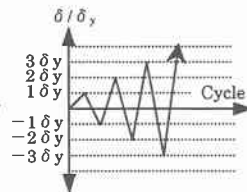


図-5 繰返し変位

3. 解析結果と考察

図-6, 図-7, 図-8 に BG1-4 のせん断力・せん断変位履歴曲線, せん断力・面外たわみ曲線を示す。耐力力は解析, 実験ともにひずみ硬化によってサイクル毎に徐々に増加する。+1 δ_y のピーク耐力力は BG1-2, BG1-3, BG1-4 とともに解析, 実験は大変近似している。この理由としては, 低降伏点鋼腹板パネルが幅厚比 100 と比較的厚いので, 面外変形がほとんど無く, 面内変形が大きく, 材料特性が支配的となる。本研究においては降伏応力として線形限界の値を採用する等, 材料特性に注意を払ったことから良く近似したと考えられる。しかし, -1 δ_y 以降で本解析では考慮していない残留応力および低降伏点鋼の複雑な材料物性を表現しきれない構成則の影響によって差異を生じたと思われる。せん断変位でのピーク耐力力は実験に比べ解析が 1.2~1.3 倍大きい。図-7, 図-8 から支点に近い W2 パネルが中央部の W1 パネルに比べ大きな面外たわみを生じている。この原因は, 支点に近いパネルではせん断座屈によるたわみを曲げ座屈によるたわみが逆方向に生ずるために, せん断の卓越する中央部のパネルに比べ小さな面外たわみを生じたと考えられる。この現象は 3 パネル以上のモデルにおいて同様に生じている。しかし, サイクル後半において支点に近いパネルも面外たわみが増加してくるが, これは中央部のパネルがひずみ硬化によって強度が上昇し, 相対的に強度が小さくなった支点に近いパネルにも崩壊が拡大した結果と考えられる。図-9 に解析と実験の各せん断変位ごとのエネルギー吸収量を示している。エネルギー吸収量は各サイクルの履歴ループの内側の面積と定義する。図-9 から実験に比べ解析がより大きなエネルギー吸収量を示している。この原因としては, -1 δ_y 以降において実験に比べ解析が大きな耐力力を生じることによって履歴ループの面積が大きくなったと考えられる。また, 解析, 実験ともにせん断変位に比例してエネルギー吸収量が増加している。低降伏点鋼材を腹板に用いる場合, 1 パネルのみ崩壊する普通鋼材と違い, パネルの崩壊が隣接パネルに広がる。

4. まとめ

せん断変位が 10 δ_y 以内の範囲における解析結果と実験結果を比較して低降伏点鋼腹板を有する箱形はりの変形挙動, 耐力力およびエネルギー吸収特性について考察し, 結果として以下のことが明らかになった。

- (1) 繰り返し載荷の解析結果は, 箱形はりの挙動をよく表わす。しかし, 強度において実験結果に比べて 1.2~1.3 倍大きくなる。この原因は残留応力および構成則の影響によって -1 δ_y において耐力力の差異を生じ, この耐力力の差がそれ以降においても影響を及ぼしつづけた結果と考えられる。
- (2) 繰り返しせん断を受ける低降伏点鋼腹板パネルはサイクル毎にエネルギー吸収量がせん断変位に比例して大きくなり, 1 パネル当りのエネルギー吸収量はパネル数に影響されずほぼ同じである。従って, エネルギー吸収量は低降伏点鋼腹板パネル数に比例する。

なお, 本研究は福山大学ハイテク・リサーチ・センター「構造物の耐震性能向上に関する研究」の一部である。

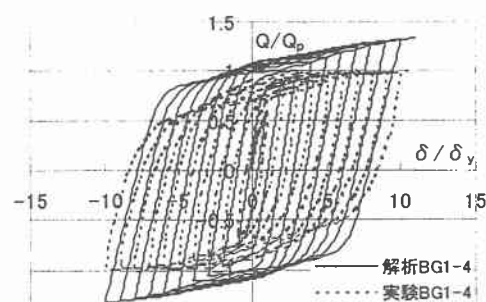


図-6 BG1-4 のせん断力・せん断変位履歴曲線

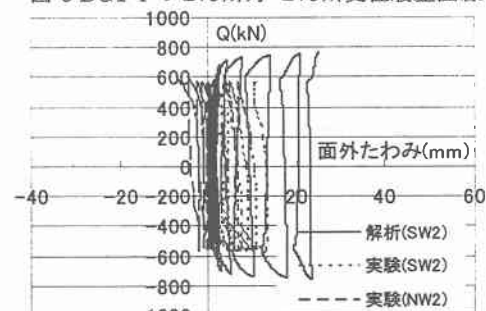


図-7 BG1-4(W2 パネル)のせん断力・面外たわみ曲線

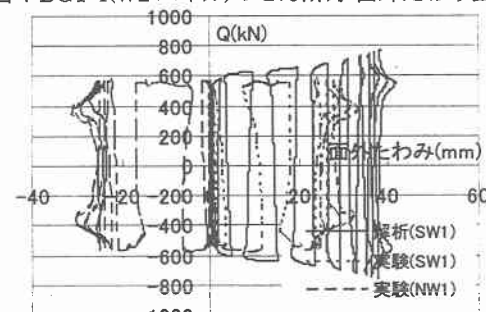


図-8 BG1-4(W1 パネル)のせん断力・面外たわみ曲線

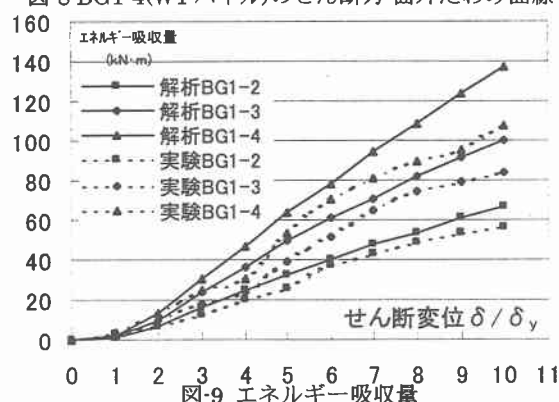


図-9 エネルギー吸収量