

I-18 鋼はりおよびはり・柱の連成座屈特性

建設省 正員 吉田信博
大阪大学工学部 正員 西村宣男

1. まえがき 鋼I形断面はりのフランジおよびウェブの局部座屈とはりの横ねじれ座屈の弾塑性領域における連成座屈挙動を、板要素ブロックと骨組要素の結合解析プログラムを用いて解析した。数値解析結果による連成座屈強度特性に関する考察ならびに強度評価式の試みについて報告する。さらに、はり・柱についても同様な考察を試みた。

2. 解析モデル 図-1に示すように強軸回りの等曲げモーメントを受ける溶接I形断面はりのスパン中央部に立体板要素ブロックを挿入した結合解析モデルに、実測データに基づいた平均値の板初期たわみ、骨組初期たわみおよび図-2の残留応力を与える。解析モデルの断面諸元は表-1に示す5種類とし、このような断面について、表-2に示すように部材長を変化させて16個の解析モデルを作成した。またBFタイプについては製作規定に相当する初期たわみと圧縮残留応力 $\sigma_{rc}=0.4\sigma_y$ を考慮した下限値強度の解析も行なった。

3. 連成座屈強度特性 図-3に荷重とはり中央断面の水平変位関係の一例を局部座屈を含まない骨組解析結果と比較して示す。はりにおける連成座屈の特徴として、最高荷重状態における変位が局部座屈を考慮した場合の方が、これを無視した場合よりも大きいことである。図-4はフランジ座屈タイプBFの極限状態における中央断面の変形状態を表わしている。部材が長くなるにつれ、局部座屈

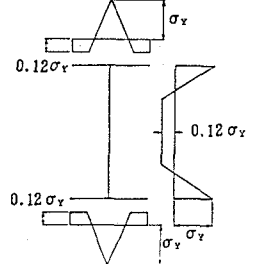


図-2 残留応力分布

表-1 I形断面はりの解析モデル断面諸元

Model	b(cm)	t _f (cm)	h(cm)	t _w (cm)	$\bar{\lambda}_f$	$\bar{\lambda}_w$	$\bar{\lambda}_f/\bar{\lambda}_w$	b/h	A _w /A _f
BF1208	45.03	1.000	112.83	1.025	1.228	0.801	1.534	0.399	2.568
BF2008	74.66	1.000	144.95	1.318	2.036	0.800	2.545	0.515	2.559
BW0512	34.89	1.840	164.98	1.000	0.517	1.200	0.431	0.211	2.570
BW0516	40.18	2.130	219.97	1.000	0.514	1.600	0.322	0.183	2.570
BC1412	52.21	1.000	143.21	0.870	1.424	1.197	1.189	0.365	2.386

表-2 解析モデルの細長比パラメータ

Model	部材長(cm)	$\bar{\lambda}_b$	Model	部材長(cm)	$\bar{\lambda}_b$
BF1208-04	378.9	0.4	BW0512-06	440.2	0.6
BF1208-06	572.9	0.605	BW0512-08	588.8	0.8
BF1208-08	780.4	0.8	BW0512-10	739.2	1.0
BF1208-10	954.8	1.0	BW0516-06	506.2	0.6
BF1208-12	1152.0	1.2	BC1412-06	666.7	0.6
BF1208-16	1558.0	1.6	BC1412-10	1116.0	1.0
BF2008-10	1581.0	1.0	BC1412-12	1343.0	1.2
BW0512-04	292.8	0.4	BC1412-16	1804.0	1.6

BF1208-04 ... BF:モデル区分(BF, BWおよびBCは局部座屈に関して、それぞれフランジ座屈先行タイプ、ウェブ座屈先行タイプおよびフランジ・ウェブ同時座屈タイプを表わす), 12:フランジ幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{f,r}=1.2$, 08:ウェブ幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{w,r}=0.8$, 04:部材細長比パラメータ $\bar{\lambda}_b=0.4$

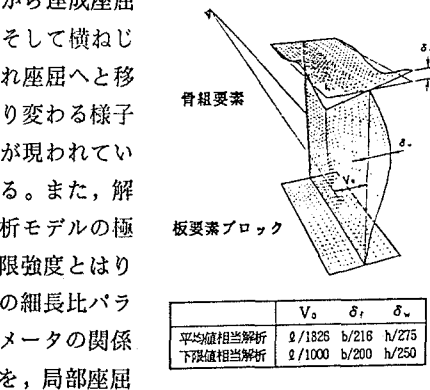


図-1 解析モデルと初期不整

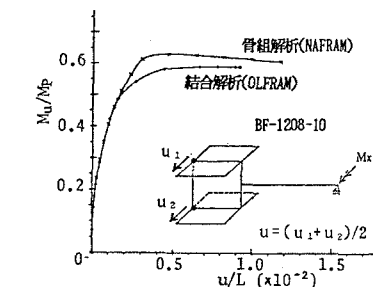


図-3 モーメントと部材中央点水平変位の関係

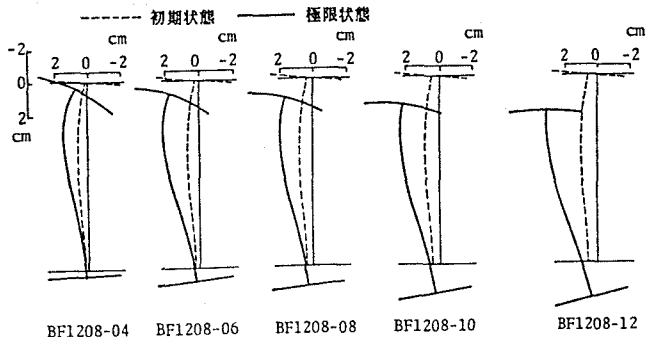


図-4 極限状態における部材中央断面の変形

りの基本強度曲線と比較して、BF、BWおよびBCタイプごとに図-5に示す。局部座屈によるはりの基本強度¹⁾からの強度低下はウェブ座屈先行タイプでは比較的僅少である。

4. 強度評価式 鋼はりの局部座屈を含む横ねじれ座屈強度を修正Q-factor法によって評価する。

細長比パラメータ： $\bar{\lambda}_b = M_y / M_E$

限界細長比パラメータ： $\bar{\lambda}_{bcr} = 0.2$

修正細長比パラメータ： $\bar{\lambda}_q = Q \cdot \bar{\lambda}_b$

修正限界細長比パラメータ： $\bar{\lambda}_{qcr} = \bar{\lambda}_{bcr} / Q^2$

$$\frac{M_u}{M_F} = Q \frac{1}{2 \bar{\lambda}_q^2} (S - S - 4 \cdot \bar{\lambda}_q) \quad (1)$$

ここに、 $S = 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_q - \bar{\lambda}_{qcr}) + \bar{\lambda}_q^2$ 、 M_y ：降伏モーメント、 M_E ：弾性横ねじれ座屈モーメント、 Q ：局部座屈を考慮した断面強度²⁾、初期不整係数： $\alpha = 0.3$ 。

図-6は上式によって評価した連成座屈強度と有限要素解析の結果を比較している。平均値相当の初期不整を与えたモデルの極限強度の解析値（●印）は提案式によって精度よく評価されている。また、強度の下限值対応の初期不整を与えたモデルの極限強度の解析値は○印で表わされている。初期不整による強度の平均値からの変動のほか、降伏応力度並びに断面寸法の変動を包括的に評価する抵抗係数は、今回の解析結果から $\phi = 0.9$ が推奨されるが、等曲げ以外の荷重状態や断面形状の影響を調査するとともに、連成座屈実験との照合など設計規準としての信頼度を確立することが今後の課題である。

5. はり・柱の連成座屈強度特性 図-7にモデルBF1208-06における相関強度解析結果を局部座屈を含まない骨組解析結果と合わせて示す。また、図に示した曲線は、次式で表される相関曲線である。

$$\frac{N}{N_{uz}} + \left[\frac{M_y}{M_{uy} \left(1 - \frac{N}{N_{ey}} \right)} \right]^{6/5} = 1.0 \quad (2)$$

ここに、 N ：圧縮力の設計用値、 M_y ：強軸まわりの曲げモーメントの設計用値、 N_{uz} ：局部座屈を考慮した柱強度、 N_{ey} ：強軸に関する弾性座屈荷重、 M_{uy} ：局部座屈を考慮したはり強度（ z ：弱軸、 y ：強軸）。

はり・柱の強度は式（2）のような相関強度式により、評価できると考えられる。

参考文献 1) 西村、久保、西井、福本：鋼はり部材の横ねじれ強度の統一評価、土木学会論文集、No.416、1990。
2) 西村、吉田、福本：鋼薄肉断面の極限強度評価法の比較、土木学会関西支部年次講演会要覧集、1990。

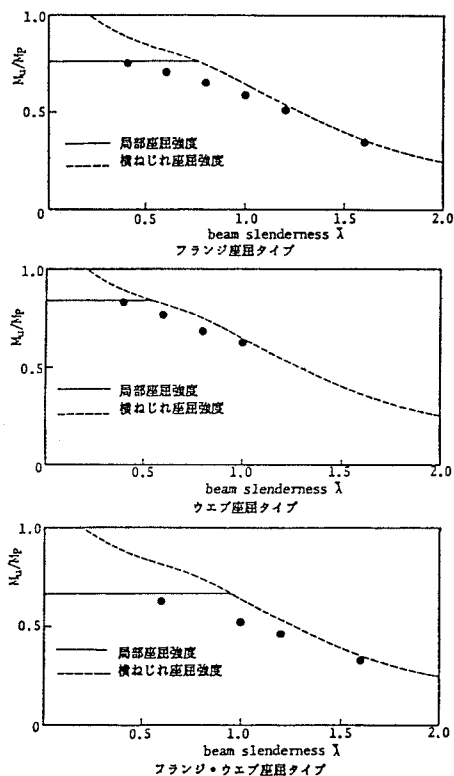


図-5 連成座屈効果による強度低下

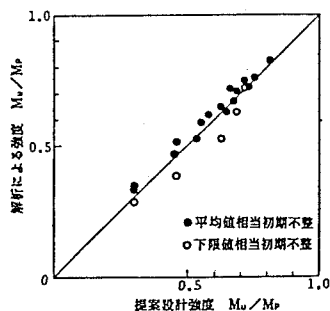


図-6 提案評価式と解析値の比較

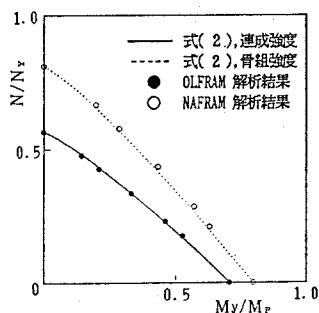


図-7 解析値と相関曲線との比較