

大阪市立大学工学部 学生員○平野修司 大阪市立大学工学部 正会員 北田俊行
大阪市立大学工学部 正会員 山口隆司 大阪市立大学工学部 正会員 松村政秀
高田機工株式会社 正会員 森下泰光

1. 目的 一般に、薄肉構造物の終局限界状態以降の変形性能は、連成座屈現象に依存している。つまり、局部座屈と部材座屈とが連成する薄肉構造物の耐荷力・変形性能の特性を明らかにし、その挙動を把握することができれば、地震時などに通常想定される外荷重を遙かに上回る大きな荷重により、構造物が弾塑性状態に至ったとしても、その構造物の崩壊を防げる有効な手段を講じることも可能となる。本研究では、これらの特性を、耐荷力実験¹⁾と弾塑性有限変位解析とにより検討した。

2. 耐荷力実験および弾塑性有限変位解析 実験供試体は、幅厚比パラメータ R と細長比パラメータ λ とを変化させ、異なった座屈モードが再現できるように設計した。また、これらをもとに同様の諸元を有する解析モデルを設定した。供試体に使用した鋼板の機械的性質を表-1 に、実験供試体および解析モデルの主要パラメータを表-2 に示す。なお4体の供試体は

表-1 使用鋼板の機械的性質

下降伏点 σ_y N/mm ²	実測板厚 t mm	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 N/mm ²	ポアソン比 μ	伸び率
343.9	5.908	460.5	2.11×10^5	0.286	41.2

補剛板の局部座屈が目視できるように補剛材は全て外側に配置した。また、座屈発生位置が供試体中央部となるように供試体中央部の横補剛材間隔を広くとった。これらの断面図を図-1 に示す。解析は、補剛板構造の弾塑性有限変位解析のための専用プログラム USSP²⁾を用いた。解析モデルは3節点の三角形板要素でモデル化し、初期不整として、初期たわみおよび残留応力を導入した。

表-2 供試体および解析モデルの主要パラメータ

実験供試体	L3R5	L3R10	L11R5	L11R10
解析モデル	L3R5 _u	L3R10 _u	L11R5 _u	L11R10 _u
両端の支持条件	固定		ピン	
有効座屈長	2.53m		5.06m	
供試体長さ	5.06m			
補剛板の幅厚比 パラメータ R_p	0.59	1.1	0.59	1.1
板パネルの幅厚比 パラメータ R_p	0.56	1.1	0.56	1.1
補剛材の幅厚比 パラメータ R_p	0.7	0.4	0.7	0.4
細長比パラメータ λ	0.3	0.3	1.1	1.1
想定した崩壊状況	全塑性	局部座屈	全体座屈	全体座屈+局部座屈

3. 実験・解析結果 作用軸方向圧縮力 P を降伏軸方向圧縮力 P_y で無次元化したものを y 軸に、軸方向変位 δ を降伏軸方向変位 δ_y で無次元化したものを x 軸にとり、図-2 にプロットした。同図(a)より全塑性状態に至り崩壊すると想定される解析モデル L3R5_u では、実験結果と解析結果とは良好な一致を示している。

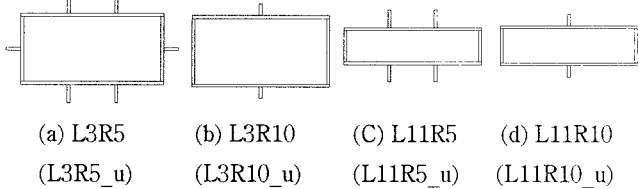


図-1 供試体および解析モデル断面図

また、 P/P_y が 0.7 の荷重レベルで直線の傾きが変化しているのは、板パネルに導入した $0.3\sigma_y$ の圧縮残留応力の影響で断面の一部が降伏し、柱の剛性が小さくなったためである。また板パネルの座屈により崩壊すると想定される解析モデル L3R10_u では、実験結果に比して終局荷重に約 10% の差異が生じたが、これは、実験供試体の板パ

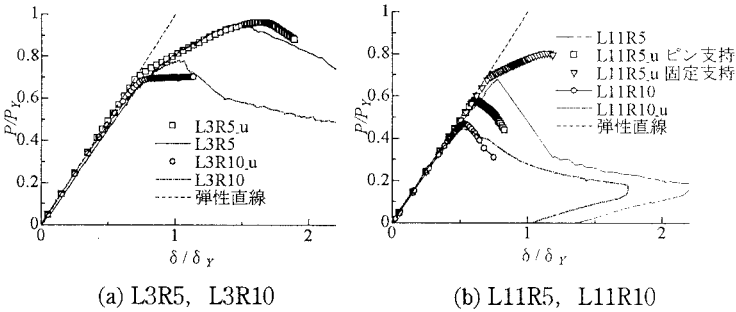
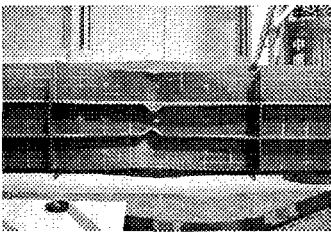


図-2 $P/P_y - \delta/\delta_y$ 曲線

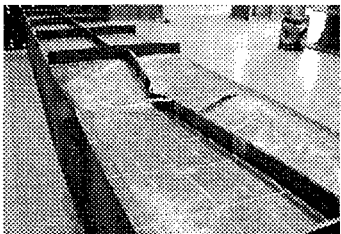
ネルの圧縮残留応力が解析モデルに導入したものと違った分布をしているためと考えられる。同図(b)の全

Shuji HIRANO, Toshiyuki KITADA, Takashi YAMAGUCHI, Masahide MATSUMURA, Yasumitsu MORISHITA

体座屈により崩壊すると想定される解析モデル L11R5_u では、終局荷重に約 10% の差異が生じた。そこで解析モデルの支持条件を変更して両端固定で解析を行ったところ、実験結果の終局荷重が柱両端の支持条件を変えた 2 つの解析結果の中間に位置したことから、実験での支持条件が回転バネ支持のような状態になっ



(a) L3R5



(b) L3R10

写真-1 耐力試験終了後の供試体崩壊状況

ていたと考えられる。局部座屈と全体座屈との連成により崩壊すると想定される解析モデル L11R10_u では、解析結果と実験結果とは良好な一致を示した。また、耐力試験終了後の供試体 L3R5 および L3R10 の崩壊状況を写真-1 に示す。同写真(a)より断面の全塑性により終局限界状態に至った後、縦補剛材の横ねじれ座屈が発生しており、補剛板全体の座屈も確認できる。同写真(b)から供試体 L3R10 は板パネルの座屈により終局限界状態に至った後、縦補剛材の局部座屈を伴い補剛板全体の座屈が発生していることが確認できる。

次に、図-3 に示す着目点のひずみの値を用いて、局部座屈、全体座屈、および、それらの連成座屈の判別を行った。局部座屈の判別には ϵ_a と ϵ_b の差である板曲げひずみを 2 乗したものの、全体座屈の判別には ϵ_a と ϵ_b の平均値と ϵ_c と ϵ_d の平均値の差である柱断面の曲げひずみを 2 乗したものの、補剛材の座屈の判別には ϵ_{sr} と ϵ_{sl} の差である補剛材の曲げひずみを 2 乗したものの、補剛板の座屈の判別には、 ϵ_{sr} と ϵ_{sl} の平均値と ϵ_e の差を 2 乗したものをそれぞれパラメータとして用いた。結果を表-3 に、また L11R10_u の軸方向圧縮力-2 乗曲げひずみ曲線を図-4 に示す。同図より解析モデル L11R10_u では板パネルの座屈が先行し、その後、全体座屈との連成座屈が起こっていることがわかる。

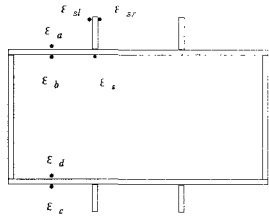


図-3 着目するひずみ位置

表-3 ひずみ差による判別の結果

解析モデル	L3R5_u	L3R10_u	L11R5_u	L11R10_u
卓越している座屈モード	全塑性	板パネルの座屈	全体座屈	連成座屈

次に縦補剛材の局部座屈が耐力力に与える影響を調べるために、補剛板の座屈が顕著な解析モデル L3R5_u の縦補剛材を横ねじれ座屈を考慮することができない補剛材要素を用いて解析を行った結果を、図-5 に示す。同図より、終局荷重には変化が見られなかったが、終局限界状態以降の荷重の低減が縦補剛材を板要素でモデル化した場合の方が大きくなっていることがわかる。このことより補剛材の局部座屈は終局限界状態以降の変形性能に大きく影響していることがわかる。

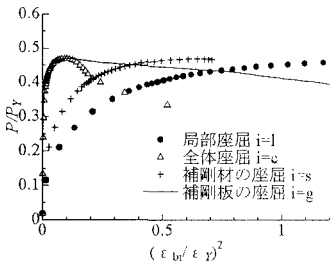


図-4 L11R10_u の軸方向圧縮力-2 乗曲げひずみ曲線

4. まとめ 得られた結論と今後の課題を以下に示す。(1)縦補剛材の横倒れ座屈が無視できない場合には、縦補剛材を板要素でモデル化することが必要である。そうすることにより、 $P/P_y - \delta/\delta_y$ 曲線を終局限界状態に至るまで、およびその後の崩壊過程が精度よく再現できる。(2)板曲げひずみおよび断面曲げひずみにより局部座屈、部材座屈の判別、また連成座屈の場合どの座屈が先行しているかの判別ができることを確認した。

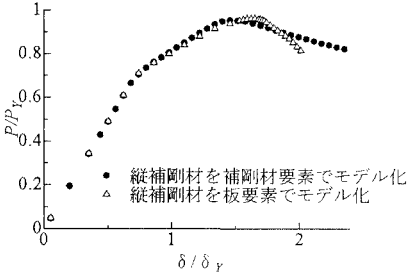


図-5 $P/P_y - \delta/\delta_y$ 曲線

参考文献 (1) 北田俊行, 山田靖則, 狩野正人, 森下泰光, 平瀬隆宏: 局部座屈と部材座屈との連成を考慮した薄肉箱形断面柱の耐力試験, 平成 12 年度関西支部年次講演会概要集, 土木学会関西支部, pp. I-80-1~2 (2) USSP 研究会: USSP ユーザーズマニュアル, 入力編, Ver.4.0, 日本鋼研情報(株), 平成 11 年 9 月 (3) 土木学会: 座屈設計ガイドライン, 昭和 62 年 10 月