

溝形断面柱の相関座屈実験

永藤 壽宮*・小林 清**

Interaction Buckling Experiment of Channel Columns

Toshimiya NAGATO and Kiyoshi KOBAYASHI

Channel sections present very interesting properties in the field of compressed elements. The purpose of this experiments is to supply experimental data of interaction buckling (overall and local buckling). Test columns are classified into various types according to those columns' length.

Support conditions are pin-ended type by using new developed bowl shoe.

1. ま え が き

近年、構造解析において、電子計算機の発達に伴い、橋梁本体及び、各部材の力学的合理化断面が、多く用いられ、薄肉軽量化が進められている。しかしながら1969年11月におきた第4 Danube 橋の落橋事故から始まり次々の事故に会い、その中で圧縮板の耐荷力特性について指摘された。近年において耐荷力における大きなファクターである初期不整等を考慮した局部座屈問題や、全体座屈問題についてや、局部と全体座屈の相関性については、取り扱われてきたが、薄形断面については、一般的に扱われなどの問題もあり構造部材として重要視されなかった。しかしながら構造2次部材として広く使用されその有用性は高い。本研究に於いては溝形断面柱の座屈問題における複雑な力学的特性を解明し、より広範囲な使用に供するべく行われた。従って本研究は、相関座屈の耐荷力に対しての影響を3つのタイプつまり(1)局部座屈が先行し、全体座屈を生じるもの(2)局部座屈と全体座屈の同時発生(3)全体座屈が先行し、局部座屈を誘発させるもの3種に分類しそれぞれ供試体を作製し、圧縮耐荷力実験を行い、極限強度と連成強度について考察した結果を報告し、理論適用の材料とする。

また、実験の際の両端ピン支承という条件に対し著者が開発した2軸方向回転可能な経済的な球面支承を使用した。

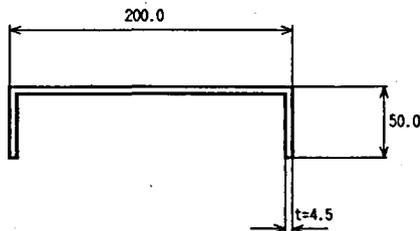


図1 断面諸元

2. 供試体の選定

鋼種は、SS41とし箱形断面についての局部座屈強度は、小松等による圧縮板の耐荷力曲線、全体座屈はE. C. C. S. の複数柱強度曲線を参考にし

* 土木工学科 助教授

** 文部技官

原稿受付 平成3年9月30日

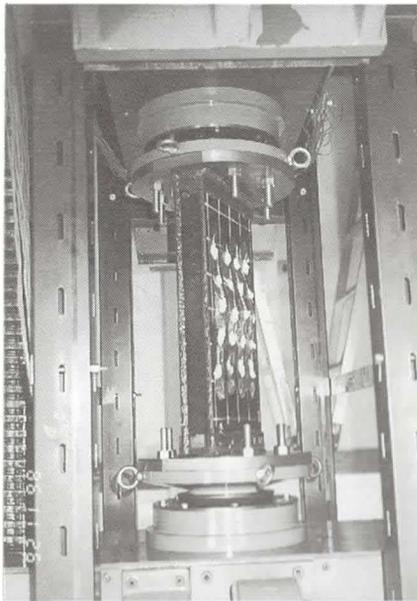


写真1 ピン支承

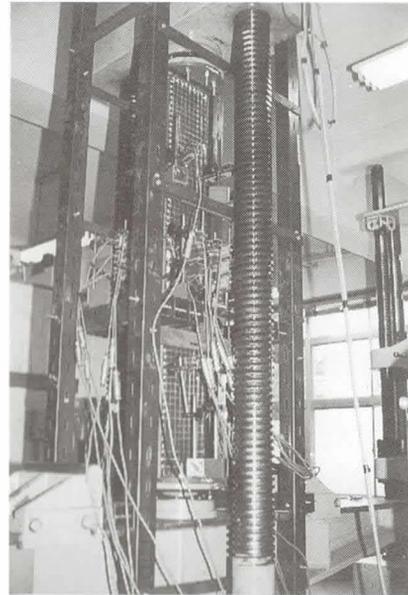


写真2 実験状況

表1 材料試験結果

σ_{yu}	σ_{y1}	σ_t	E	ν	δ
3222	3110	4643	2.02	0.259	36.6

短柱供試体A～Dおよび長柱供試体E～Pを作成して能力100 t、ヘッドクリアランス1.5 mの制約条件を満たす様に、基本供試体の断面構成および長さを決定した。長柱供試体E～Pは、基本供試体と同一断面で長さを90cm、110cm、120cm、130cm、140cm、150cmとして作成した。支持条件は、上述の通り、両端ピン支承で、弱軸、強軸とも回転可能な球面ピン支承を設計荷重100 tとして設計及び作成した。溝形断面諸元を図1に示す。载荷は図心载荷およびせん断中心载荷の2つで行われた。上部、下部支承を写真1に示す。

実験用供試体（長柱）を球面ピン支承に取付け、変位計等を設置した圧縮耐荷力試験状況を写真2に示す。

3. 材料実験

引張試験片は、圧縮実験用供試体と同一鋼材から切り出したJIS 5号片を用いた。その結果は、表1に示す通りである。それぞれの値は、4本ずつ試験を行った平均値である。

4. 残留応力度測定

残留応力度は、試験用短柱供試体で、切断法により、測定した。それぞれ熔接後に、鋼球を打ち込み、切断した後、鋼球の距離をコンタクトゲージ（1/1000mm）で測定し、算出したものである。切断後の供試体を写真4に、また、その結果を図2に示す。

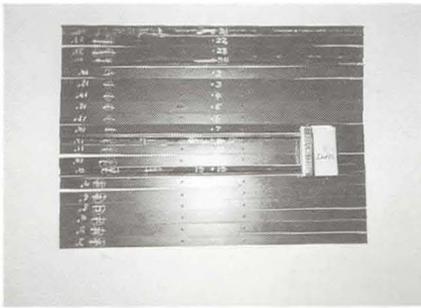


写真3 残留応力度供試体

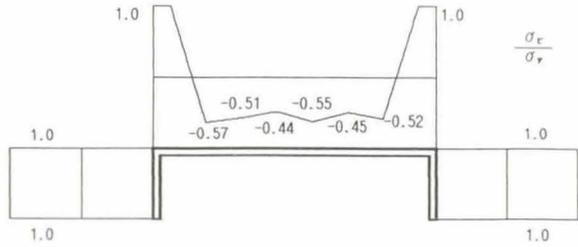


図2 残留応力度分布図

表2 供試体の初期たわみ

供試体 l	板初期たわみmm	柱初期たわみmm	供試体 l	板初期たわみmm	柱初期たわみmm
A (30cm)	2.0(1/100)	3.0(1/100)	I (120cm)	3.1(1/65)	3.4(1/352)
B (30cm)	1.9(1/105)	2.0(1/150)	J (120cm)	3.2(1/63)	3.5(1/342)
C (50cm)	2.3(1/ 87)	2.5(1/250)	K (120cm)	3.8(1/53)	3.4(1/352)
D (50cm)	2.1(1/ 95)	2.3(1/215)	L (120cm)	2.5(1/80)	2.2(1/545)
E (90cm)	3.1(1/ 65)	3.1(1/290)	M (130cm)	3.5(1/57)	2.3(1/565)
F (90cm)	3.2(1/ 63)	2.9(1/310)	N (130cm)	5.1(1/39)	3.5(1/371)
G (110cm)	3.1(1/ 65)	3.1(1/354)	O (140cm)	3.8(1/53)	3.5(1/400)
H (110cm)	2.9(1/ 69)	3.2(1/343)	P (150cm)	3.7(1/54)	3.4(1/441)

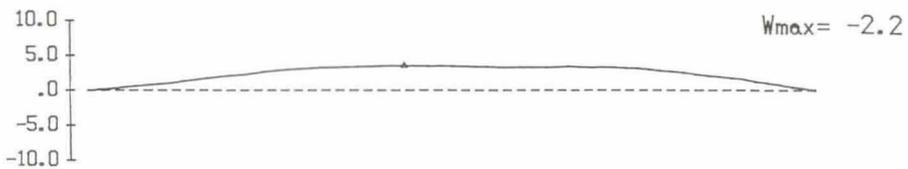


図3 柱初期たわみ分布図 (供試体L)

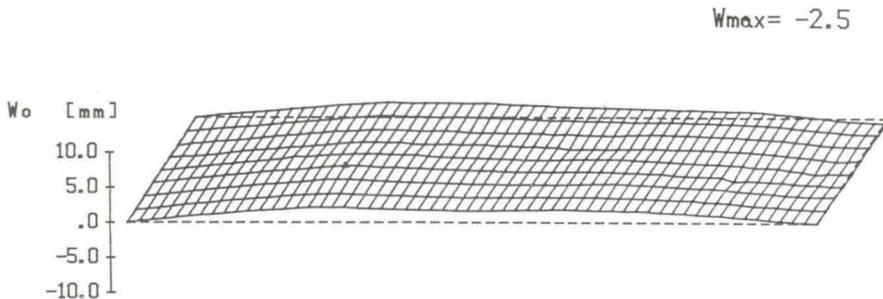


図4 板初期たわみ分布図 (供試体L)

5. 初期たわみ測定

初期たわみ測定は、測定用ジグを開発し、柱の初期たわみ（弱軸，強軸方向）及び、板の初期たわみをそれぞれ変位計（1/100mm）を用いて測定された。その結果を表2に示す。また供試体Lの柱の初期たわみを図3に、板の初期たわみを図4に1例として示す。

6. 本 実 験

荷重偏心が、発生しない様にスペーサーで調整した。局部座屈が、発生する箇所を変位計で、ある程度予測し、その部分に変位計等を集中させ局部座屈性状を観察した。

7. 実験結果及び考察

供試体G, I, K, Lは局部座屈と全体座屈の連成座屈を生じて崩壊し、供試体E, F, Hは局部座屈優先による全体座屈崩壊となり、供試体J, N, O, Pは全体座屈により局部座屈を誘発して崩壊に至った。短柱供試体A, B, C, Dは、局部座屈を生じて崩壊した。それぞれの破壊後の供試体Fを写真4、供試体Iを写真5に示す。

本誌では局部座屈と全体座屈の連成座屈を生じた供試体Lについて考察していく。第4節の残留応力の図2を見ると各断面内にそれぞれ残留応力の平均を取るとほぼ降伏応力に対し0.4~0.5位生じている事がわかる。また第5節の初期たわみの図3, 4で明らかなように供試体作成により板及び柱にそれぞれ正弦波がオーダー的には少ないが生じている事がわかる。

まず荷重—ひずみ曲線についていく。

図5は、溝側のそのゲージが貼ってある部分が凹部に徐々に曲げを生じ $P/P_y=0.70$ に至って大きな曲げ変形、すなわち局部座屈を生じたと観察される。図6は図5の点の近傍にある為 $P/P_y=0.70$ 以降図5の点の曲げ変形に引きずられひずみ反転現象誘発が、観察される。



写真4 座屈後供試体

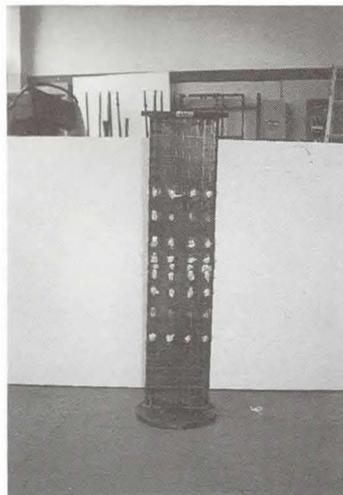
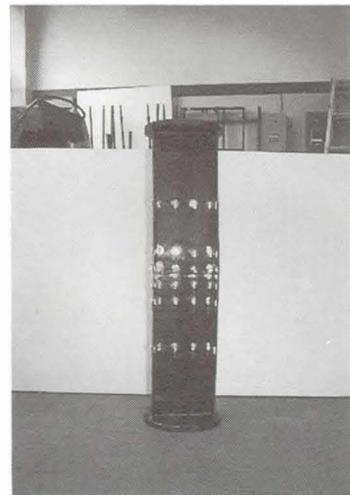


写真5, 6 座屈後供試体



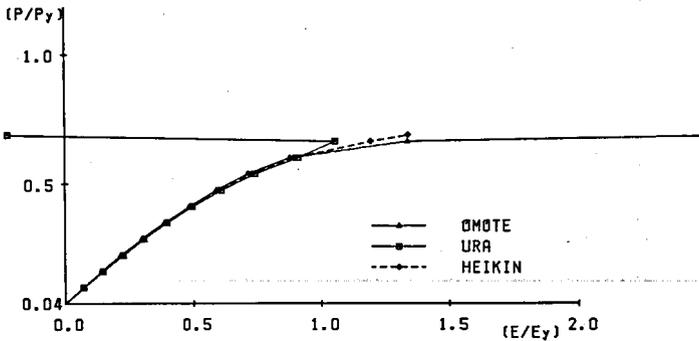


図5 荷重—ひずみ曲線 (供試体L)

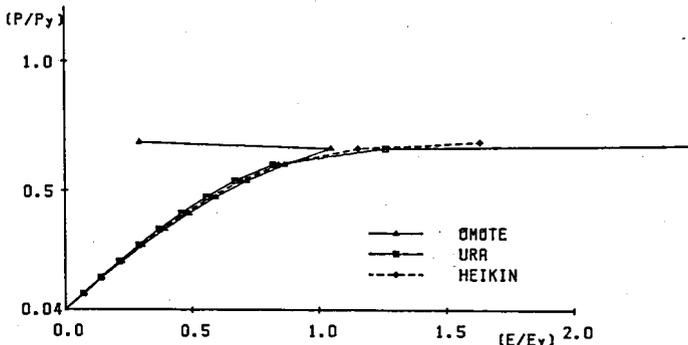


図6 荷重—ひずみ曲線 (供試体L)

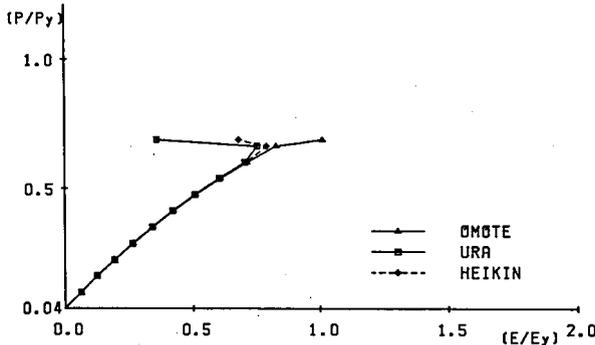


図7 荷重—ひずみ曲線 (供試体L)

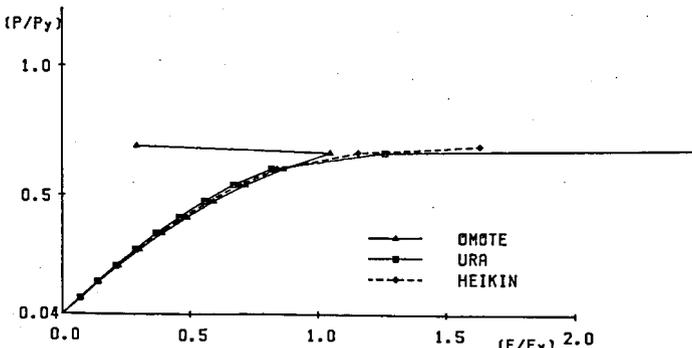


図8 荷重—ひずみ曲線 (供試体I)

図7は、図5の点の張出し部分の点なのでその影響を受けて曲げを生じている事がわかる。したがって、図5の点において局部座屈モードを生じその点の近傍部は、それに連なって図6の様凸状に反転現象を生じ、その変形により張出し部も図7の様に曲げ変形を起こしたものと考えられる。以上の荷重—ひずみ曲線は供試体Lについての図であったが、他の供試体についても同様な性状を示していた。図8も同じく連成座屈現象を起こした供試体Iでの局部座屈を生じ他点での荷重—ひずみ曲線であり、 $P/P_y=0.70$ 付近で発生している事が、観察される。連成現象は、下記の図9および図10で確認する事ができる。

一方、図9は荷重—板変位曲線であるが図5の点すなわち局部座屈を起こした場所に設置されていた変位計で測定された。この図からも $P/P_y=0.70$ 付近から徐々に大きな板の変位の増大を示していることから、局部座屈発生を照査しているものと考えられる。

次に図10は、荷重—柱たわみ曲線であるが荷重

による柱のたわみを変位計を使用して測定されたものである。

前と同様に終局段階の一步手前すなわち $P/P_y = 0.70$ で3次モードの全体座屈を生じている事が観察される。

以上の様に供試体 G, I, K, L は、局部座屈と全体座屈の連成座屈現象を生じた。

また供試体 E, F, H は、始めに局部座屈を生じてそれによる剛性低下により全体変形すなわち全体座屈を発生させて崩壊した。

また供試体 J, N, O, P は、全体座屈を優先して全体変形を生じて、中央部の曲げにより、局部座屈を生じて崩壊に至った。

今までは、載荷点が図心上にあるケースのみであったが、本研究では更にせん断中心上で載荷しても行わ

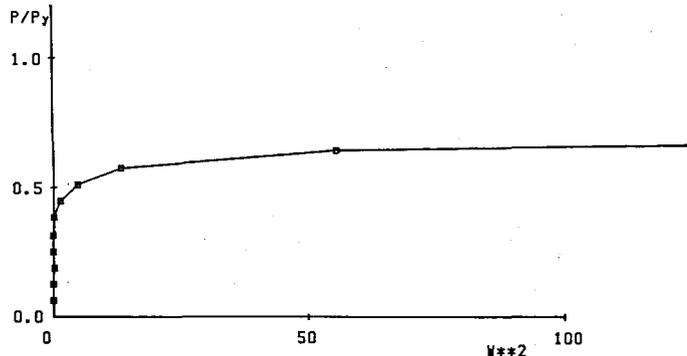


図9 荷重—板変位曲線 (供試体L)

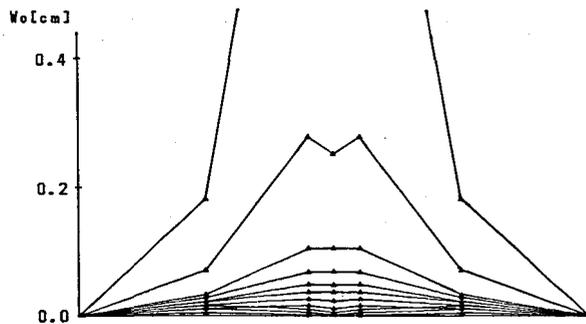


図10 荷重—柱たわみ曲線

$W_{max} = 15.5$

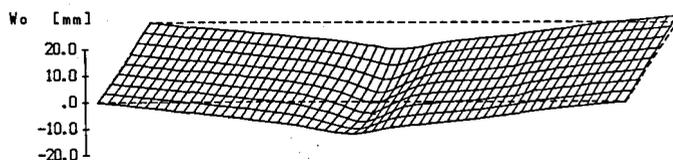


図11 残留たわみ図 (供試体L)

表3 座屈強度比較表

供試体 l	荷重載荷点	座屈荷重(t)	状態	供試体 l	荷重載荷点	座屈荷重(t)	状態
A (30cm)	重心載荷	27.60	局部—全体	I (120cm)	重心載荷	26.00	連成
B (30cm)	剪断中心載荷	19.30	局部—全体	J (120cm)	重心載荷	27.50	全体—局部
C (50cm)	重心載荷	26.40	局部—全体	K (120cm)	重心載荷	25.58	連成
D (50cm)	剪断中心載荷	17.10	局部—全体	L (120cm)	重心載荷	25.50	連成
E (90cm)	重心載荷	27.10	局部—全体	M (130cm)	重心載荷	27.95	全体—局部
F (90cm)	剪断中心載荷	14.00	局部—全体	N (130cm)	重心載荷	27.51	全体—局部
G (110cm)	重心載荷	25.58	連成	O (140cm)	重心載荷	31.63	全体—局部
H (110cm)	重心載荷	27.35	局部—全体	P (150cm)	重心載荷	32.70	全体—局部

れた。しかしながら、支点上に曲げがかかる為に、かなりの大きな耐荷力不足になり、かつ挙動性状が非常にセンシティブな為に報告するには至らなかった。

今後は、そのセンシティブな挙動と載荷条件との関係性について新たにそれを考慮した形で進行中である。

図11に残留たわみ図を示すが、正弦の全体座屈波形を全体的に示し中央部に局部座屈波形性状を示していることがわかる。

表3に供試体A～Pの短柱や長柱供試体の座屈の最終強度比較とそれぞれの座屈性状の比較を示す。供試体A～Dは短柱供試体である。

8. 結 論

- (1) 全体座屈と局部座屈との連成座屈問題の理論適用データを提供した。
- (2) 本研究室で開発した全方向回転可能ピン支承は、有効的に稼働した。
- (3) 本供試体において局部座屈と全体座屈の連成により8%の座屈強度低下が認められた。
- (4) 局部座屈優先の供試体は、局部座屈発生後直ちに全体座屈につながらず、5～11%の後局部座屈強度を有している。

参 考 文 献

- 1) 小松定夫, 北田俊行: 初期不整を有する圧縮板の極限強度特性に関する研究, 土木学会論文報告集 第270号 昭和53年2月 P1～P14
- 2) 永藤壽宮, 小林 清: 薄肉箱形断面柱の相関座屈実験及び固有値計算法の比較, 長野工業高等専門学校紀要 第21号 平成2年8月 P23～P33