

箱型断面柱の局部座屈強度

東京大学工学部

奥村 敏恵

〃

西野 文雄

〃

○ 長谷川 彰夫

1. 序

圧縮 又は圧縮と曲げを受ける柱を設計する場合には 主として細長比に支配される柱としての座屈に対して安全であると共に 柱断面を構成する板要素が外荷重によって局部的に座屈して崩壊する事に対し、安全である必要がある。もとより各種設計基準においては、そのような局部座屈を防止する為に、板要素の中厚比制限を設けている訳であるが、種々の初期不整(残留応力、初期たわみ、外力不整)を考えた場合の局部座屈による終局耐力は必ずしも明らかにされておらず、従って中厚比規定の安全率は十分な技術的根拠があるものとは言い難い。本研究では純圧縮及び圧縮と曲げを受ける柱の両端拘束の板要素の局部座屈に関して箱型断面柱を考える事により理論的及び実験的に解明する事を目的としてその研究を行った。ここでは特に残留応力が局部座屈強度に与える影響に注目し、既に求められている純圧縮柱の局部座屈曲線の計算²⁾と共に 圧縮と曲げを受ける柱の局部座屈曲線の計算を行った。そして箱型断面柱の局部座屈実験に軟鋼(SM41)、高張力鋼(HT80)を使用して行い、軟鋼及び高張力鋼の局部座屈特性を明らかにして、特に今後、急速に橋梁等の構造に使用されてゆくであろうと思われる高張力鋼の中厚比制限に関し、基礎的な資料を提供しようと思うものである。

2. 解析

解析の対象として考えたものはFig.1に示すような溶接残留応力を有する箱型断面柱が純圧縮、又は圧縮と曲げを受ける場合の局部座屈挙動である。解析上の取り扱いにおいて純圧縮柱の場合と圧縮と曲げを受ける柱の場合には 局部座屈の捉え方が異なることに注意しなければならない。即ち純圧縮柱の場合には正方形箱型断面を対象として考える為に断面を構成する板要素が同一の力学的及び幾何学的条件となり局部座屈も従って同時に発生すると考えられる。それで解析的には単純支持の残留応力を有する板要素の座屈問題に還元できる。(但し純圧縮の場合でも長方形断面の場合には次に述べるように板要素の連成座屈と考えなければならない。) 圧縮と曲げを受ける箱型断面柱を考える場合には 各板要素が独立して座屈することではなく、板要素相互が連成して座屈する。従って解析する場合にも 断面の局部座屈として取り扱う必要がある。又 本研究においては塑性域における局部座屈も含めて考える為に 圧縮と曲げを受ける柱の場合には 当然その外力の負荷経路を問題にする必要がある。即ちFig.2に示すように

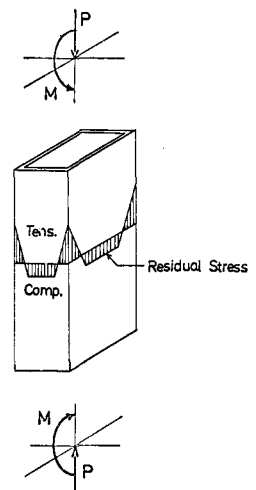


Fig. 1 Box Section Column under Bending and Compression

圧縮と曲げに関して①②③の代表的負荷径路が考えられ、そのどの負荷径路を経るかにより挙動は異ってくる。③の負荷径路は圧縮と曲げの比例負荷を示すもので、例えばこれは偏心圧縮により実現される。本研究においては実験を偏心圧縮により行ったことも考え、解析計算は比例負荷として取扱った。尚、溶接による残留応力は過去の多くの実験結果、及び本研究における実験測定結果から考えても、ほぼ Fig. 1 に示したように溶接部で引張降伏応力、板要素中央部で一定圧縮応力が発生するものとし

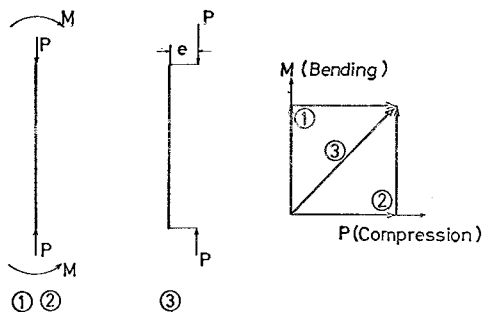


Fig. 2 External Force Path acting on Column

て近似できるので、数値計算においては全てそのような分布形で取り扱い、残留応力の大きさについては板要素中央の圧縮応力をその材料の降伏応力で無次元化した、残留圧縮応力比で表現することにする。

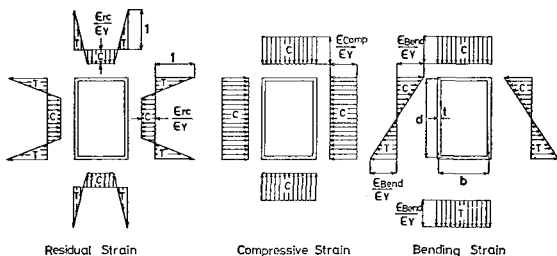


Fig. 3 Residual and External Strain Pattern for Box Section

座屈曲線を計算するにあたっては差分法を適用した。計算に際しては初めに面内歪を与えて、各部分の剛性、応力、断面力等を設定し

板中板厚比相当量を固有値として求める方法をとった。面内歪は Fig. 3 に示すように残留歪、圧縮歪、曲げ歪の三種にパターン化して、それらを重ね合わせる事により種々の計算を実行した。即ち、圧縮と曲げを受ける柱の局部座屈曲線については、圧縮と曲げの大きさについての比が常に一定となるように圧縮歪、又は曲げ歪を Iteration により定めて計算を実行した。数値計算に際しての詳細についてはここでは触れないが、計算上の仮定は次の通りである。

- i) 材料は完全弾塑性体である。
- ii) 塑性理論は変形理論によるものとし、座屈時の歪の逆転を考えない Bijlaard の式⁴⁾を適用する。
- iii) 圧縮方向のたれみ波形は Sin で仮定する。

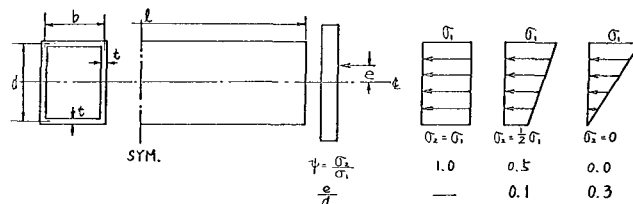
- iv) 残留歪と外力歪は重ね合わせが成立する。

- v) 圧縮と曲げは比例負荷により与える。即ち、塑性域においても応力と歪は 1 対 1 に対応する。

- vi) 連成座屈計算においては箱型断面の 4 端の相対変位はないものとし、フランジ、ウェブ共に等しい残留圧縮応力を有

Table 1 Test Plan

Parameter	ψ	1.0	0.5	0.0	Residual Stress Measurement
Material	b/d	1.0	0.8	0.6	
SM41	Name of Series	41-6	41-10	41-A	41-B
	Number of Specimens	10	4	5	5
HT80	Name of Series	80-6	80-9	80-A	80-B
	Number of Specimens	8	4	5	5
					11 Plates
					7 Plates



するものとする。^{1), 3)}

3. 実験概要

純圧縮及び圧縮と曲げを受ける箱型試験体の局部座屈実験について Table 1 に示すような実験計画を立てた。即ち 軟鋼 (SM41) 及び高張力鋼 (HT80) について純圧縮と二種類の偏心圧縮実験を行った。

i) 純圧縮局部座屈実験

純圧縮を受ける板要素の局部座屈強度を調べる目的で箱型断面の4面が同一の条件となるように正方形箱型試験体を準 Table 2-1 Dimension of Specimens

- Pure Compression (SM41 Series) -

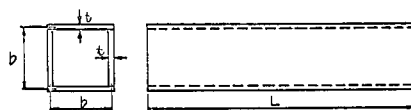
備した。SM41鋼については6mm板厚の試験体10体、10mm板厚の試験体4体、HT80鋼については6mm板厚の試験体8体、9mm板厚の試験体4体である。試験体の寸法はTable 2-1, 2-2に示す通りである。試験体の高さは試験体が柱として

Specimen No.	Length mm	b mm	t mm	A cm ²	L/b	b/t
41-6-26	639.5	153.2	6.79	40.61	4.17	22.60
41-6-30	739.5	178.9	6.76	48.45	4.13	28.40
41-6-32	799.5	192.2	6.78	52.06	4.16	28.45
41-6-34	839.5	203.3	6.72	54.66	4.13	30.25
41-6-38	939.5	229.4	6.87	63.03	4.10	33.39
41-6-40	995.0	241.0	6.67	64.32	4.13	36.13
41-6-42	1040.0	253.5	6.73	68.20	4.10	37.70
41-6-46	1139.0	277.3	6.88	76.83	4.08	40.63
41-6-52	1279.5	314.5	6.80	86.49	4.07	45.75
41-6-60	1480.0	364.2	6.84	99.56	4.06	53.26
41-10-26	1040.0	249.5	10.40	103.70	4.17	24.00
41-10-34	1359.5	329.8	10.26	135.36	4.12	32.14
41-10-42	1678.5	409.8	10.22	167.60	4.10	40.08
41-10-60	2399.5	590.6	10.38	245.39	4.06	56.86

Table 2-2 Dimension of Specimens

- Pure Compression (HT80 Series) -

Specimen No.	Length mm	b mm	t mm	A cm ²	L/b	b/t
80-6-15	360.0	83.2	7.23	24.05	4.33	11.51
80-6-175	420.0	97.5	7.03	27.41	4.31	13.87
80-6-20	479.5	113.6	7.20	32.72	4.22	15.78
80-6-225	540.0	128.0	7.27	37.23	4.22	17.61
80-6-25	600.5	143.5	7.06	40.54	4.18	20.33
80-6-28	600.5	161.0	7.38	47.53	4.23	21.82
80-6-31	749.8	178.3	7.41	52.85	4.21	24.06
80-6-35	846.0	202.5	7.28	58.97	4.10	27.82
80-9-15	539.5	126.0	9.06	45.68	4.20	13.91
80-9-20	720.0	171.0	9.00	61.56	4.21	19.00
80-9-25	900.0	215.6	8.97	77.36	4.17	24.03
80-9-35	1260.5	305.6	9.03	110.38	4.12	33.04



ヘッドと載荷板の間にテーパのついたディスクを介してその調

Table 3-1 Buckling Test Results

- Pure Compression (SM41 Series) -

Specimen No.	b/t	λ	σ_{cr} kg/cm ²	σ_u kg/cm ²	σ_u/σ_y	σ_y/σ_y
41-6-26	22.60	0.444	2940	2940	1.046	1.046
41-6-30	28.40	0.518	2840	2840	1.011	1.011
41-6-32	28.45	0.550	2780	2780	0.989	0.989
41-6-34	30.25	0.594	2820	2820	1.004	1.004
41-6-38	33.39	0.655	2800	2820	0.996	1.004
41-6-40	36.13	0.709	2840	2840	1.011	1.011
41-6-42	37.70	0.740	2600	2640	0.925	0.940
41-6-46	40.63	0.798	2690	2710	0.957	0.964
41-6-52	45.75	0.898	2400	2440	0.834	0.860
41-6-60	53.26	1.045	1900	1900	0.676	0.676
41-10-26	24.00	0.461	3020	3020	1.124	1.124
41-10-34	32.14	0.617	2540	2550	0.945	0.949
41-10-42	40.08	0.770	2220	2250	0.826	0.837
41-10-60	56.86	1.092	1730	1870	0.644	0.696

Table 3-2 Buckling Test Results

- Pure Compression (HT80 Series) -

Specimen No.	b/t	λ	σ_{cr} kg/cm ²	σ_u kg/cm ²	σ_u/σ_y	σ_y/σ_y
80-6-15	11.51	0.341	7006	8006	0.998	1.140
80-6-175	13.87	0.411	6859	7157	0.977	1.020
80-6-20	15.78	0.467	6815	7032	0.971	1.002
80-6-225	17.61	0.521	6688	7024	0.953	1.001
80-6-25	20.33	0.602	6167	6479	0.878	0.922
80-6-28	21.82	0.646	6333	6505	0.902	0.927
80-6-31	24.06	0.712	6055	6228	0.862	0.887
80-6-35	27.82	0.824	5901	6014	0.841	0.857
80-9-15	13.91	0.412	7290	7770	0.988	1.053
80-9-20	19.00	0.563	7113	7436	0.964	1.008
80-9-25	24.03	0.712	7017	7202	0.951	0.976
80-9-35	33.04	1.002	5505	5733	0.746	0.777

Note

1) Buckling Parameter, λ , is calculated from the following formula

$$\lambda = \frac{b/\sigma_y}{t/E} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}}, \quad k=4.0$$

2) σ_{yst} , which was obtained from Tensile Coupon Test, is adopted for σ_y in the upper Table.

整により均一な圧縮状態が実現されるようにした。載荷時の測定は試験機ヘッドの低下(試験体の縮み) 試験体要素の面外相対たわみをダイヤルゲージにより測定し、試験体の圧縮歪をストレンゲージにより測定した。測定は全て荷重増加後数分経た静的と想定される読みで考えた。座屈荷重の決定は $P-\delta^2$ 法等を適用しながら行った。しかし必ずしも明確な座屈荷重は決定し得ないので 計算結果との比較、検討においては実験より得られた静的最高荷重を実験値として用いる事にする。以上の純圧縮局部座屈実験結果をTable 3-1, 3-2に示す。

ii) 偏心圧縮局部座屈実験

圧縮と曲げを受ける板要素の局部座屈強度を調べる目的も含め、フランジ巾をウェブ高より小さくとした長方形箱型試験体について偏心圧縮局部実験を行った。圧縮と曲げの大きさについてはTable 1に示すように、ウェブの引張側圧縮縁応力度 σ_2 が圧縮側圧縮縁応力度 σ_1 の $1/2$ になる場合と引張側圧縮縁応力度 σ_2 が 0 になる場合 即ち $\gamma = \sigma_2/\sigma_1$ 、 γ をパラメータ γ を定義すると $\gamma = 0.5, 0.0$ (純圧縮の場合は 1.0)の2通りについて実験を行った。試験体のフランジとウェブの辺比 b/a は圧縮

Table 4-1 Dimension of Specimens
- Bending and Compression (SMA1 Series) -

Specimen No.	Flange Width b mm	Web Width d mm	Thickness t mm	Column Length L mm	Eccentricity e mm	Section Area A mm ²	b/d	γ	γ_0
41-A-35	180.8	219.3	5.83	66.9	22	46.65	0.824	37.6	0.100
41-A-40	205.4	248.0	5.92	75.8	25	53.68	0.828	41.9	0.101
41-A-45	230.0	280.0	5.95	84.9	28	60.69	0.821	47.1	0.100
41-A-50	255.6	309.0	5.83	94.0	31	65.83	0.827	53.0	0.100
41-A-55	280.6	339.7	5.96	102.9	34	73.94	0.826	57.0	0.100
41-B-45	155.3	274.3	5.71	838.8	82	49.06	0.566	48.0	0.299
41-B-52	180.1	319.5	5.87	978.8	96	58.65	0.564	54.4	0.300
41-B-59	205.6	364.4	5.78	1109.0	109	65.89	0.564	63.0	0.299
41-B-66	230.2	410.0	5.82	1239.8	123	74.52	0.561	70.4	0.300
41-B-73	255.1	454.7	5.86	1369.5	136	83.19	0.561	77.6	0.299

Table 4-2 Dimension of Specimens
- Bending and Compression (HT80 Series) -

Specimen No.	Flange Width b mm	Web Width d mm	Thickness t mm	Column Length L mm	Eccentricity e mm	Section Area A mm ²	b/d	d/t	e/d
80-A-21	99.9	118.8	6.39	380.6	12	27.95	0.841	18.6	0.101
80-A-24	114.2	139.4	6.29	430.6	14	31.90	0.819	22.2	0.100
80-A-27	129.4	160.3	6.53	479.8	16	37.83	0.807	24.5	0.100
80-A-30	145.1	179.4	6.44	538.6	18	41.80	0.809	27.9	0.100
80-A-33	159.2	198.9	6.36	600.0	20	45.55	0.800	31.3	0.101
80-B-26	84.0	153.1	6.76	479.5	46	32.06	0.549	22.6	0.300
80-B-30	98.5	178.2	6.73	559.3	54	37.24	0.553	26.5	0.303
80-B-34	114.2	203.0	6.44	629.2	61	40.95	0.560	31.6	0.299
80-B-38	129.0	227.6	6.42	710.1	69	45.79	0.567	35.5	0.303
80-B-42	143.2	257.3	6.59	789.9	78	52.79	0.557	39.0	0.303

Table 5-1 Buckling Test Results
- Bending and Compression (SMA1 Series) -

Specimen No.	$\frac{d}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$	$\frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$	P_r ton	P_{cr} ton	P_{st} ton	P_{dy} ton	P_{cr}/P_r	P_{st}/P_r
41-A-35	1.315	1.084	123.76	101.5	102.8	107.6	0.820	0.831
41-A-40	1.465	1.213	142.40	115.0	116.3	118.7	0.808	0.817
41-A-45	1.647	1.352	161.00	119.0	122.0	129.0	0.739	0.758
41-A-50	1.853	1.533	174.60	110.0	112.8	114.0	0.630	0.646
41-A-55	1.973	1.646	198.20	114.0	119.5	122.0	0.581	0.609
41-B-45	1.643	0.931	130.4	76.1	76.4	79.5	0.584	0.586
41-B-52	1.862	1.051	155.9	91.8	92.0	94.9	0.589	0.590
41-B-59	2.156	1.218	175.1	85.1	86.3	90.5	0.486	0.493
41-B-66	2.409	1.355	198.1	88.5	90.3	94.0	0.447	0.456
41-B-73	2.655	1.489	211.1	88.2	90.4	94.2	0.418	0.428

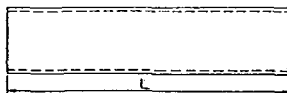
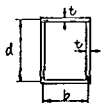
Table 5-2 Buckling Test Results
- Bending and Compression (HT80 Series) -

Specimen No.	$\frac{d}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$	$\frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$	P_r ton	P_{cr} ton	P_{st} ton	P_{dy} ton	P_{cr}/P_r	P_{st}/P_r
80-A-21	1.133	0.951	227.5	192.0	195.5	200.0	0.844	0.859
80-A-24	1.353	1.109	259.7	215.0	221.6	225.0	0.828	0.853
80-A-27	1.493	1.206	307.4	242.0	247.2	251.0	0.786	0.803
80-A-30	1.700	1.371	340.3	258.0	266.2	270.8	0.758	0.782
80-A-33	1.907	1.523	370.8	274.0	287.2	289.5	0.739	0.775
80-B-26	1.377	0.756	261.0	152.0	156.0	160.5	0.582	0.598
80-B-30	1.615	0.890	303.1	174.5	179.5	182.2	0.576	0.592
80-B-34	1.925	1.078	333.3	179.0	185.8	188.0	0.537	0.557
80-B-38	2.163	1.225	372.7	191.0	194.0	196.0	0.512	0.521
80-B-42	2.376	1.322	429.7	205.0	210.1	213.5	0.477	0.489

Note

i) σ_{yst} , which was obtained from Tensile Coupon Test, is adopted for σ_y , P_r in the upper Table

ii) P_{st} : Static Ultimate Load, P_{dy} : Dynamic Ultimate Load



フランジが先行座屈しないように $\gamma = 0.5$ の場合には ρ/d を約0.8 $\gamma = 0.0$ の場合には約0.6としたが、その場合弾性計算で所定の応力分布となる為の偏心量は $\gamma = 0.5$ に対して $e/d = 0.1$, $\gamma = 0.0$ に対して $e/d = 0.3$ である。試験体は $\gamma = 0.5, 0.0$ の場合に対して板厚6mmのSM41鋼及びHT80鋼を使用したものを各々5体づつ合計20体準備した。試験体の寸法をTable 4-1, 4-2に示す。尚、本試験体

に関しても応力焼鈍は全試験体について行っていない。圧縮する際の端部支承は純圧縮柱の場合に述べたテーパのついたデスクを有する一方向半シリンダー状のローラー支承を用いた。偏心を与える方法は始めに中心圧縮状態を実現し、それから所定の偏心量を与えた。

測定方法、及び実験結果の整理方法はほぼ純圧縮柱の場合と同様である。以上の偏心圧縮局部座屈実験結果をTable 5-1, 5-2に示す。尚、以上の実験の状況

についての写真をFig 4-1, 4-2に示す。

局部座屈実験に使用した試験体について材料定数を得る為に素材試験を1号引張試験片により行ったが、その結果をTable 6に示す。軟鋼SM41, 高張力鋼HT80の得られた代表的応力-歪関係をFig 5-1, 5-2に示しておく。尚、これらの実験と共に残留応力の測定を行った。残留応力の測定には箱型試験体に

Table 6. Tensile Coupon Test Results
(Average of Several Coupons)

Series Name	E ($\times 10^4$ kg/cm ²)	σ_{Yst} (kg/cm ²)
41-6	2.04	2610
41-10	2.04	2600
80-6	2.22	7020
80-9	2.33	7379
41-A	2.17	2653
41-B	2.27	2658
80-A	2.18	7062
80-B	2.19	8140

Note: Notation, σ_{Yst} , means Static Yield Stress

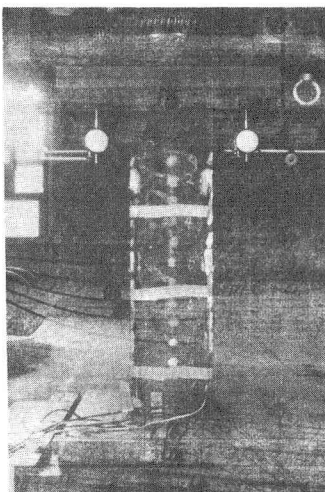


Fig. 4-1 Test Set Up
-Uniform Compression-
(Beginning of Test)

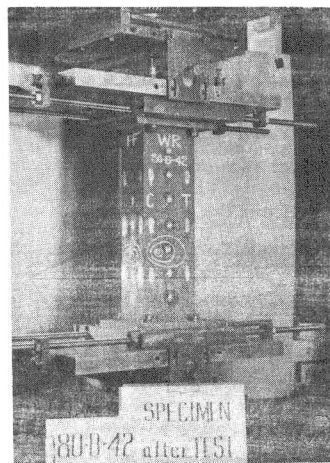


Fig. 4-2 Test Set Up
-Eccentric Loading-
(End of Test)

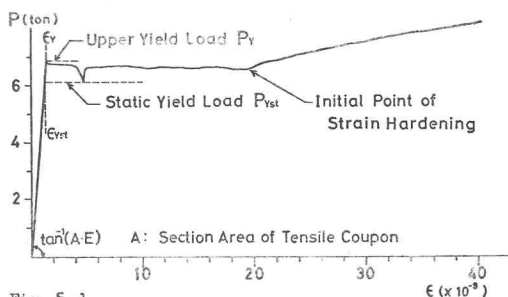


Fig. 5-1 Load-Strain Curve of Tensile Coupon Test (SM41)

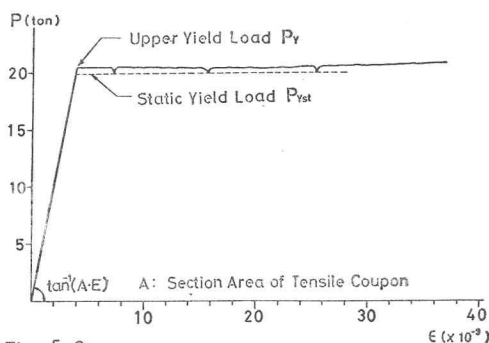


Fig. 5-2 Load-Strain Curve of Tensile Coupon Test (HT80)

使用したと同じ鋼板より切り出した板片の両端に試験体と同じ条件で溶接ビードを盛ったものを準備し、測定は機械的切断による応力弛緩法を採用した。残留応力測定の結果は測定された残留応力分布から板片中央部の圧縮応力の平均を読み取って、材料の降伏応力で無次元化した一定圧縮応力比でまとめた。測定結果をTable 7に示す。

4. 検 討

4-1 残留応力測定結果について

実験結果によれば、バラツキは多少あるものの、今までの多くの測定例により指摘されているように、溶接部付近において降伏引張応力、中央部において一定圧縮圧力が作用している事がわかった。但し高張力鋼HT80は溶接部においては降伏引張応力には達していなかった。しかし理論計算において溶接部で降伏引張応力、板要素中央部で一定圧縮応力として近似する事がSM41, HT80共に可能である事がわかった。残留応力の大きさを中央部の一定圧縮応力比で表わすと残留応力の大きさの絶対量がSM41, HT80でほぼ同程度であるので降伏応力度の大きいHT80が一般に小さな一定圧縮応力比を有する事がわかった。又、残留一定圧縮応力比は材質の他、同一溶接条件のもとにおいては板巾により変化すると思われる。

今、それらの様子を残留一定圧縮応力比と板巾との関係として軟鋼SM41、高張力鋼HT80の測定結果をFig. 6に示した。それによれば板巾が大きくなれば残留圧縮応力比が小さくなる事は明らかで、板巾200mm程度の板で考えれば、残留圧縮応力比は軟鋼SM41で0.25前後、高張力鋼HT80で0.1前後である事がわかる。即ちHT80はSM41に対して、残留圧縮応力比は $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ であると言えようである。HT80の降伏応力はSM41のその約3倍程度であるから、言い換えば、残留圧縮応力の大きさは材料にはあまり関係がないと言える。

4-2 局部座屈実験結果と計算結果の検討

Table 7 Results of Residual Stress Measurements.

Material	Specimen No.	Plate Size b × t × L mm	σ_r / σ_y
SM41	41-6-26R	154 × 6 × 640	0.23
	41-6-34R	204 × 6 × 840	0.23
	41-6-42R	254 × 6 × 1040	0.23
	41-6-60R	364 × 6 × 1480	0.19
	41-10-26R	250 × 10 × 1040	0.23
	41-10-34R	330 × 10 × 1360	0.23
HT80	41-10-42R	410 × 10 × 1680	0.15
	41-10-60R	590 × 10 × 2400	0.12
	41-A-26R	160 × 6 × 640	0.37
	41-A-34R	260 × 6 × 840	0.24
	41-A-60R	460 × 6 × 1480	0.14
	80-6-20R	114 × 6 × 480	0.14
	80-6-25R	144 × 6 × 600	0.095
	80-6-35R	204 × 6 × 840	0.079
	80-9-15R	140 × 9 × 600	0.16
	80-9-20R	190 × 9 × 800	0.14
	80-9-25R	240 × 9 × 1000	0.095
	80-9-35R	340 × 9 × 1400	0.079

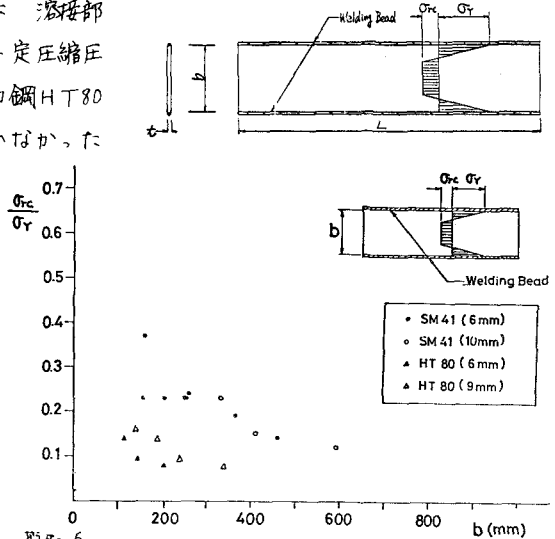


Fig. 6 Relation between Residual Compressive Stress and Plate Width

局部座屈実験より得られた各試験体の静的最高荷重を Fig. 7-1~3 に示し、その各々の場合の計算により求められた座屈曲線と比較する。Fig. 7-1 は純圧縮箱型断面柱の場合の実験値と計算曲線と比較したものである。ここで縦軸は無次元化した座屈荷重 P_{cr}/P_y (実験値は静的最高荷重 P_y/P_y)、横軸は巾厚比を標準化した座屈パラメーター λ である。それによれば実験値のバラツキは問題の性質上避けられないにしても、ほぼ計算曲線に合っている事がわかる。ここで注目される事は残留応力を考慮してもある一定巾厚比以下になると全塑性耐力を保持し、その限界巾厚比は 実験値と計算曲線が比較的よく一致している事である。巾厚比が限界巾厚比より大きく弾塑性域又は弾性域で座屈する場合には 計算の上でもあるいは実験値によっても残留応力による座屈耐力の低下が明瞭なように表われている。特に S M 41 の場合についてそれが著しいのは 前節で述べたように 残留圧縮応力比が S M 41 の場合 H T 80 よりも大きい事に帰因すると思われる。但し、残留応力測定結果は座屈耐力の低下の差異がはきりあらわれないのは 実験値のバラツキの他に試験体の大きさがそれぞれ異なり 一概に残留圧縮応力比を規定できない事に原因していると思われる。

Fig 7-2, 7-3 は偏心圧縮箱型断面柱の場合の実験値と計算値と比較したものである。ここで縦軸は無次元化した座屈偏心荷重 P_{cr}/P_y (実験値は静的偏心最高荷重 P_y/P_y) 横軸はウェブの巾厚比相当量 $\frac{d}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$ である。この場合にも純圧縮柱の場合と同様の傾向がより明瞭なように表われている。即ち ある一定巾厚比以下では断面(板要素でない事に注意)の全塑性耐力を保持し、そこには残留応力の影響は表われない。但しこの場合の全塑性耐力は曲げにより、純圧縮の場合に比較して大きく低下する。それ以上の巾厚比においては残留応力による座屈荷重の低下が著しい。この傾向は実験値にも明瞭に実証されており、特に全塑性耐力を保持し得る限界巾厚比に関しては実験値と計算結果が良く一致している。尚、S M 41 の実験値で $\frac{d}{t} = 0.3$ の場合が

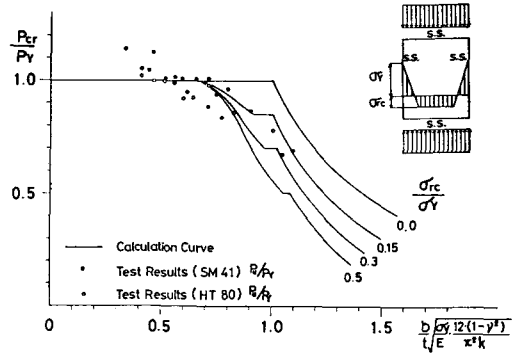


Fig. 7-1 Comparison of Tests with Calculations
— Pure Compression —

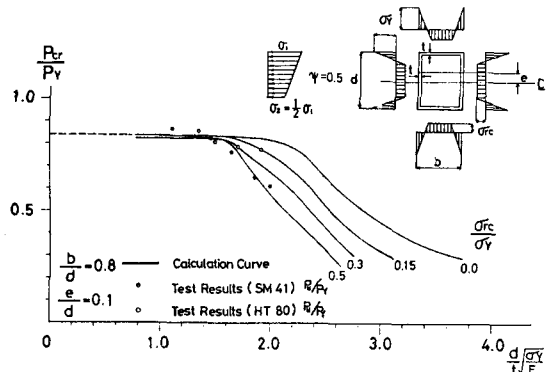


Fig. 7-2 Comparison of Tests with Calculations
— Bending and Compression —

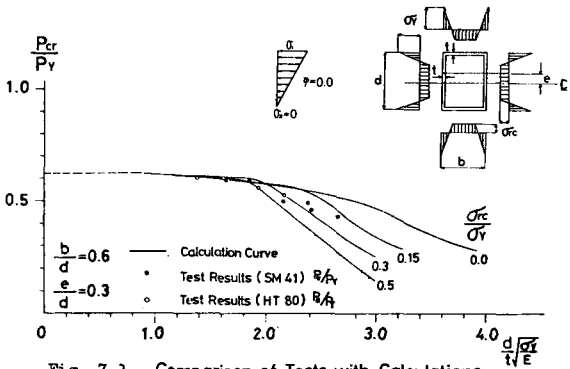


Fig. 7-3 Comparison of Tests with Calculations
— Bending and Compression —

$\%d=0.1$ の場合より実験値が高いのは、試験体の大きさによる残留応力の大きさの違いと $\%d=0.3$ の場合、弾性域での座屈と考えられる為、座屈後の耐力上昇があったことに原因すると考えられる。

又 HT80 の実験値の方が SM41 の実験値に対して、無次元化した座屈曲線上で高く出ているのは、純圧縮の場合と同様に残留圧縮応力比の相違によるものでこの傾向は純圧縮柱の場合よりも、より鮮明にあらわれている。尚、本論文では計算結果を示していないが圧縮と曲げを併ける柱の局部座屈に関して、種々の計算を行った結果、構成板の中厚比が大きく、弾性座屈する場合には、曲げによる座屈荷重の低下はほとんどない事がわかった。

5. 結論

純圧縮、及び圧縮と曲げを受ける溶接箱型断面柱の局部座屈挙動に関して研究した結果次のような結論を得た。

- ① 板要素の巾厚比が大きく、弾性座屈するには残留応力による座屈耐力の低下が大きく、曲げによるその低下は少ない。逆に巾厚比が小さく塑性座屈する場合は、残留応力による座屈耐力の低下はなく、曲げによるその低下は全塑性耐力に関する Interaction Curve により支配される。
- ② 上述の結論は実験結果にもはっきり表われており、両者についての限界巾厚比の実験値と計算曲線が比較的良好に一致した。従ってこれは設計規定において巾厚比を考慮の際の大きな指標を与えるものと思われる。
- ③ 高張力鋼の場合、軟鋼に比較して残留圧縮応力比が小さく、従って無次元化した座屈曲線 $(P_{cr}/P_{pr} \sim \frac{1}{2} \frac{(\sigma_y)}{E})$ で考える場合には軟鋼より完全側である。

6 あとがき

本研究において述べた成果の一部は文献5) 6) に発表している。本研究に使用した試験体は横河橋梁K.K.により入念に製作された。数値計算は東京大学大型計算機センターのHITAC 5020Eを用いた。実験は東京大学工学部総合試験所の大型構造物試験室内の設備(2000 ton 万能試験機)及び同建設系三学科の200 ton 万能試験機を使用して行った。本研究に含まれる実験の一部は卒業研究の一環として 横塚尚志君(現建設省)と共同して行ったものである。ここに記して感謝する。

7. 参考文献

- | | | | | |
|----|-----------------|--|-----------------------|-------------|
| 1) | Bleich, F. | BUCKLING STRENGTH OF METAL STRUCTURES | McGraw-Hill, New York | 1952 |
| 2) | Nishino, F. | Buckling Strength of Columns and their Component Plates
Lehigh Univ. Ph.D. Dissertation | 1964 | Compression |
| 3) | Landquist, E.E. | Local Instability of Symmetrical Rectangular Tubes under Axial
NACA TN 686 | Feb. 1939 | |
| 4) | Bijlaard, P. P. | Theory and Tests on the Plastic Stability of Plates and Shells | J.A.S. 16 | 1949 |
| 5) | 長谷川, 西野, 奥村 | “鋼柱の局部座屈実験” | 才25回土木学会年次学術講演会講演集 | 昭45. 11 |
| 6) | 長谷川, 西野, 奥村 | “圧縮と曲げを受ける鋼柱の局部座屈” | 才26回 “ “ | 昭46. 10 |