

鋼管柱の座屈後の挙動について、

東京大学

仲 威 雄

//

加 藤 勉

1. 鋼管柱の全体座屈

1.1. 鋼管柱と山形鋼柱との比較

開放形断面特に山形鋼の如き1軸対称断面の柱は座屈后捩れ変形または断面を構成する板要素の局部座屈を起すために耐力の低下が著しい。1)

鋼管柱(角形断面を含む)は閉鎖型多軸対称断面であるから捩れ変形および局部変形に対する抵抗が強く、座屈後の耐力低下という点に関しても有利である。

これらのことが表 1.2、図 1.2 によつて示される。2)

表 - 1

種 別	記 号	材 長 mm	外 径 mm	肉 厚 mm	断 面 積 mm ²	細 長 比	最大荷重 ton
中 空 φ-76.3 砂 コンクリート	1-1						18.2
	1-2	2070	76.4	3.05	702	80	21.7
	1-3						24.2
中 空 φ-101.6 砂 コンクリート	2-1						46.3
	2-2	1380	101.7	4.18	1280	40	47.2
	2-3						87.2
L-130×130×9	3-1	2060	-	-	2274	80	56.0
	3-2	1030				40	72.3

表 - 2

種 別	材 質	降 伏 線 kg/mm ²	抗 張 力 kg/mm ²	伸 び 率 %
φ-76.3	S M 5 0	46.3	51.8	42.9
φ-101.6	S M 5 0	47.8	54.8	27.9
L-130 ² ×9	S S 5 0	40	61	24

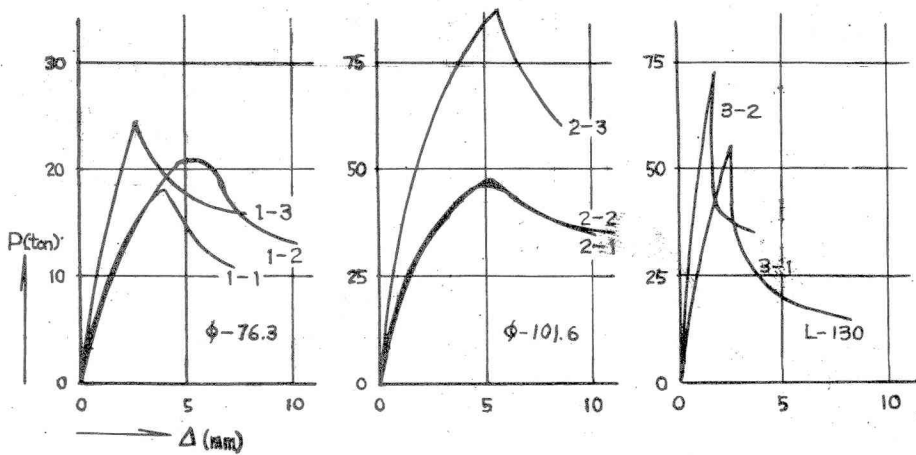


図 - 1

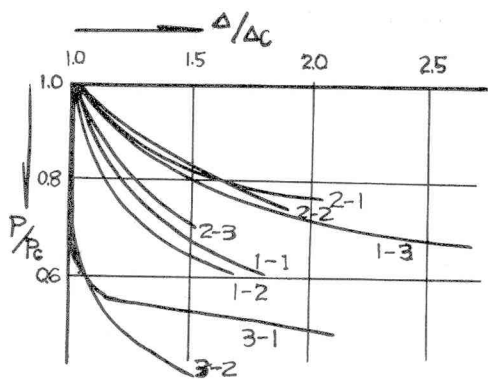


図 - 2

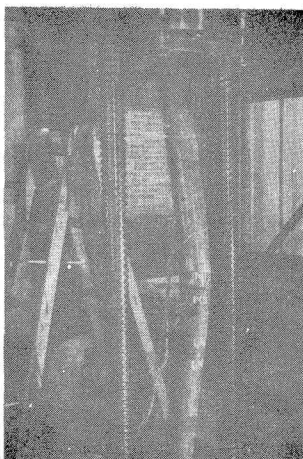


写真 1

図 1.は軸圧縮力 P と柱の鉛直方向の短縮量 Δ との関係を示している。図 2.は比較に便利なように無名数 $P/P_c, \Delta/\Delta_c$ によつて表現したものである。 P_c, Δ_c は夫々座屈時の荷重および短縮量である。

この実験では鋼管に砂、コンクリートを充填したものが同時に試験されているが、座屈後の耐力という点に関しては充填の効果は殆ど認められない。

写真 1、および 2 は夫々鋼管柱および山形鋼柱の座屈後の形を示したものであり、写真 3 はアルミニウム山形材を用いて捩れ変形の様子を型的に明白に示したものである。1)

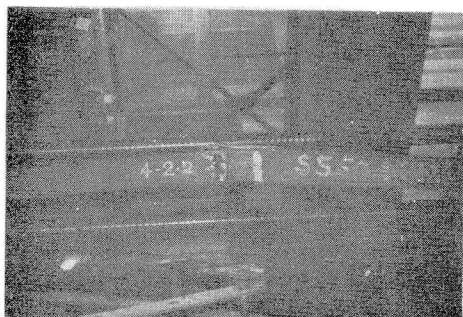
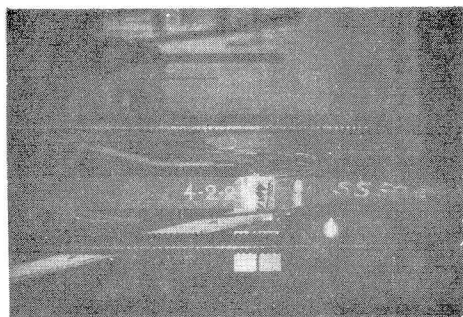


写真 2

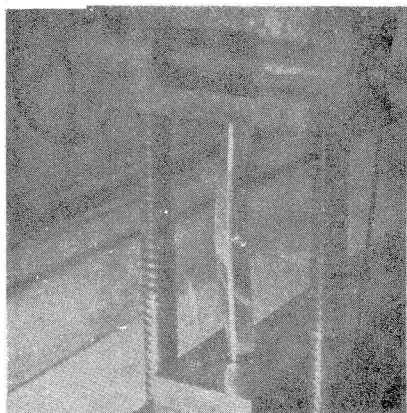


写真 3

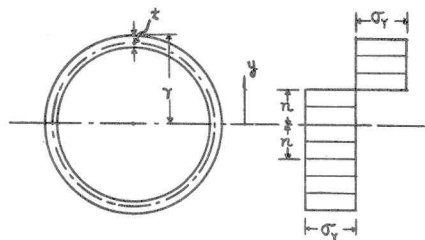


図 - 4

柱の撓み形が座屈波形と同形を保つと仮定すると、

1.2. 鋼管柱の座屈後の変形

比較的厚肉の鋼管の場合は図3に示す Shan-leg 模型のように断面形を変えることなく材中央A点が塑性関節となつて釣合うことができると考えてよい。

このような場合は Parisの方法³⁾によつて座屈変形を追跡することができる。

即ちA点の応力分布状態を図4のように仮定するときは、平衡条件は、曲げモーメント：

$$PW_0 = 4 \int_0^n \int_{-t}^t r^2 y^2 dy - \int_0^n (r-t)^2 y^2 dy$$

軸圧縮力：

$$P = 4 \int_0^n \int_{-t}^t r^2 y^2 dy - \int_0^n (r-t)^2 y^2 dy$$

上2式よりnを消去すればPとW₀との関係を得る。

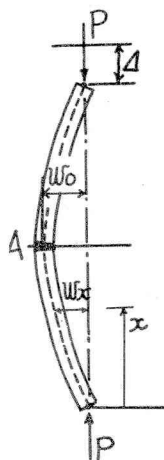


図 - 3

$$W(x) = W_0 \sin \frac{\pi x}{l} \dots\dots\dots 1$$

次に軸方向の圧縮量を求める。即ち、

$$\epsilon x = \frac{du(x)}{dx} + \frac{1}{2} \left(\frac{dw(x)}{dx} \right)^2 \dots\dots\dots 2$$

$$\Delta = -\int_0^l du(x) = -u(l) = -\int_0^l \epsilon x dx + \frac{1}{2} \int_0^l \left(\frac{dw(x)}{dx} \right)^2 dx$$

に1式のW(x)を代入し、 $\epsilon x = -\frac{P}{E}$ とおくと、積分により、

$$\Delta = -\int_0^l du(x) = -u(l) = \frac{P}{E} l + \frac{1}{4} \frac{\pi^2 W_0^2}{l} \dots\dots\dots 3$$

座屈を生じないときは2式の第1項のみとなり、

$$\Delta = \frac{P}{E} l$$

3式による計算値と実験値との比較を行うと図5のようにになる。

試験体は表1の記号1-1に

対応する中空鋼管で細長比80
のものである。

図中曲線αは材が座屈に至るまで弾性を保つものとして $\bar{E} = E$ をとり、 σ_y は表2に示された公称降伏点($\epsilon = 0.2\%$ に対応するもの)を用いた結果である。曲線βは弾性係数の低下を実験によつて定め、また材料の歪硬化を考慮して材中央A点においては断面内応力は最大強度にまで達していると考えたものである。

曲線βは実験値とよく一致している。

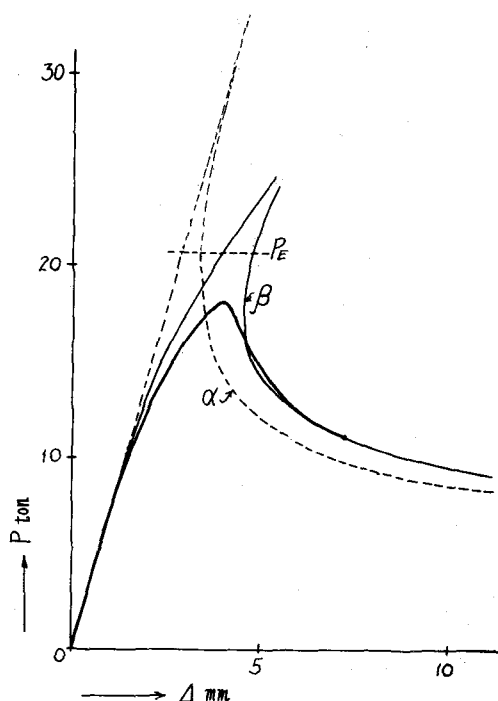


図 - 5

2. 鋼屈柱の局部座屈

2.1 細長比の小さい鋼管柱を圧縮するときは局部座屈を生ずる

が通常構造工学の分野で用いるような r/t の比較的小さい柱では殆ど材料の降伏点に達するまで柱は座屈しない。然し一度局部座屈を起すと耐力は低下し最大荷重にはもどらない。このことは実際の柱が局部的な凹み等の欠陥をもっていた場合、または使用中に之に類する損傷を受けた場合の危険度を知る目安になる。

図6は表3に示す大径鋼管の圧縮試験の結果である。 Δ は柱の圧縮量を示す。

之等の試験体は写真4に示すごとく、正方形の切口を交互にくり返して折りたたまれている。座屈波面は図7に示すような菱形となるが、変形の初期においては母線方向の対角線と円周方向の対角線の長さは等しい。

円管の塑性座屈に関する研究成果は殆ど無いが、その性状は弾性座屈に関する従来の研究成果の示すところとは大分異なるようである。

2.2. 局部座屈発生後の耐力を検討するためにA. Pugleyが薄肉管の考察によつて得た仮定4)をそのまま用いて解析を行う。

a, 円筒の長さは座屈后においても殆ど変化しない。即ち実験で得られた正方形のくり返しの場合について言

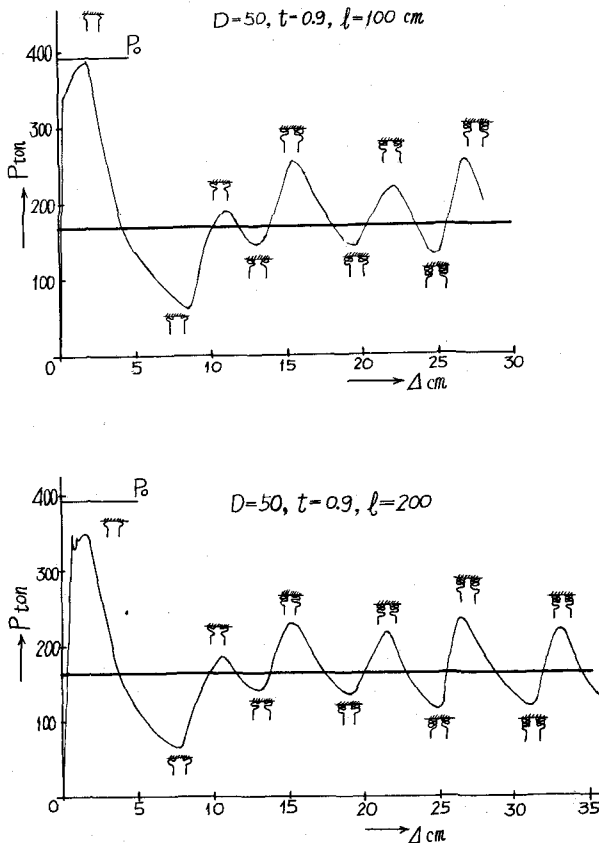


図 - 6

えば、図8において、 $4\alpha = 2\pi r$ である。

b, 管壁は外側に突出せず内側に折れ込む、即ち材の伸び縮みは殆どなく、せん断変形が非常に大

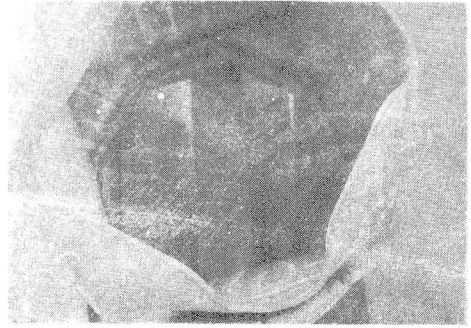
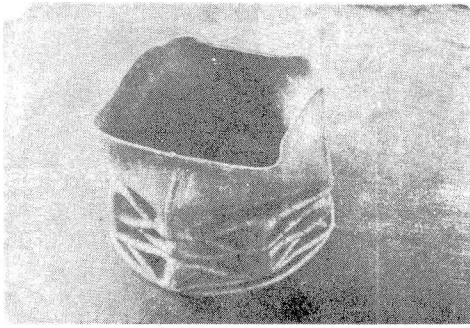


写真 4

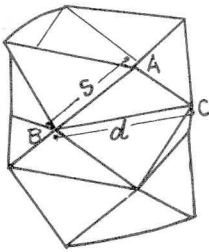


図 - 7

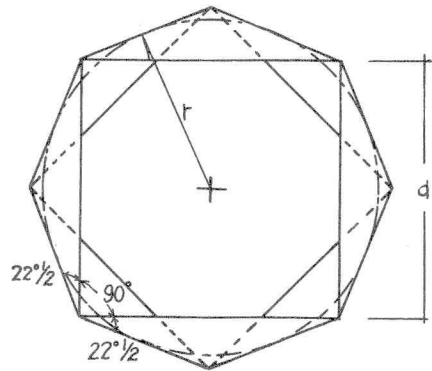


図 - 8

きい。管側に生ずる菱形は図 9 に示すごとときせん断変形を行うものとする。

以上の仮定を用いて内部仕事を外力仕事との釣り合い条件を求める。

柱を長さ $\frac{1}{2} \alpha$ だけ押しつぶす場合を考える。

図 7 に於いて三角形 ABC の周長は $(\alpha + 2S)$ 、この稜線が π だけ回転して折りたたまれる。材料の降伏点を σ_B とすると、板の全塑性モーメントは $\frac{1}{4} \sigma_B t^2$ 、縦つてこの三角形を完全に折りたたむのに要する曲げ仕事は、

$$U_1 = 4 \times \frac{1}{4} \pi \sigma_s t^2 (4S) = (d+2S) \pi \sigma_s t^2$$

ここでSは図9(b)の如くせん断変形を受けていないときはS=0.707d、(b)の如きせん断変形を受けるとS=0.54d、平均値S=0.62dをとれば

$$U_1 = 2.24 \pi \sigma_s t^2 d$$

次にせん断変形による仕事は、

$$U_2 = 4\theta q_s t S^2$$

ここで $\theta = \pi/4$ であるから、

$$U_2 = 1.2 q_s t d^2$$

外力の仕事と内力の仕事とを釣り合わせると、

$$\frac{1}{2} p d = U_1 + U_2 = 2.24 \pi \sigma_s t^2 d + 1.2 q_s t d^2$$

$$p = 4.48 \pi \sigma_s t^2 + 2.4 q_s t d$$

全断面を降伏させる荷重 $P_0 = 2\pi r t \sigma_s$ を導入すると、

$$\frac{p}{P_0} = 2.24 \frac{t}{r} + 0.6 \frac{q_s}{\sigma_s}$$

$$q_s = \frac{1}{3} \sigma_s \text{ を仮定すると、}$$

$$\frac{p}{P_0} = 2.24 \frac{t}{r} + 0.35 \dots\dots\dots 4$$

4式に表3の数値を代入すると $P = 169 \text{ ton}$ を得る。

表 3

試験体 D×t×l(cm)	r/t (r:半径)	λ	材料の機械的性質			断面積 (cm ²)	降伏点強度 (ton)	最大荷重 (ton)
			降伏点 (t/cm ²)	引張強度 (t/cm ²)	伸び (%)			
50×0.9×100	2.73	5.75	2.9	4.6	2.6	135	392	377
50×0.9×200		11.50						348

図6にこの数値が水平線で示されているが、妥当な平均値を与えている。

試験体によつては写真5に示される如く殆ど円形をなして折りたたまれるものもある。この場合Pの値はより高くなることが予想されるが実験結果はさほど大きな増大をみなかった。

註) 1) 仲、加藤、1軸対称開断面材の座屈実験。日本建築学会論文報告集第60号、昭和33年10月

2) 仲、加藤、鈴木他、鋼管の座屈と座屈後の挙動。日本建築学会関東支部第28回学術研究発表

表会。(1960年6月)

3) P.C.Paris, Journal of
Aero.Sci.vol 21, No.1,
Jan.1954

4) A.Pugsley, The Quar-
terly Journal of Mec.
& Applied Mec., vol13,
Part1, Feb.1960,

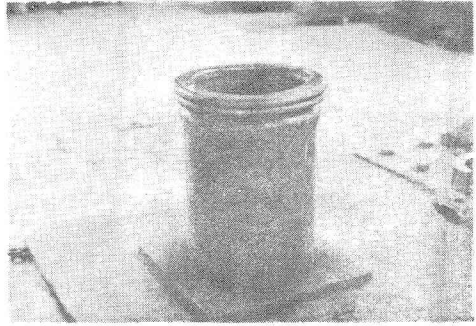


写真 5