I－10　鋼道路橋示方書にもとずく柱の最適断面について

東洋大学大学院　学生会員　○山崎利文
東洋大学　正会員　新延泰生
東京電機大学　正会員　松井邦人

1. はじめに

1980年2月改訂のわが国の鋼道路橋示方書では、柱の許容応力度は構成板要素に局部座屈の発生を許した形となっている。改訂前の示方書では、柱の全体座屈に対する基本強度はその構成が局部座屈を起こさないという前提のもとで導かれていた。本文は正方形で2軸対称断面を有する箱形断面柱を例に取り上げ、現行示方書に規定されている許容軸方向圧縮応力および最小板厚を拘束条件にして箱形断面柱の最適断面を鋼種別に求めた。

得られた最適解より、柱の設計に局部座屈の発生を許し、幅厚比の大きい板要素の使用を許すという現行示方書の考え方がどのように反映されているかについて検討することを目的としている。ここで使用した最適化手法は傾斜射影法およびSUMT法である。

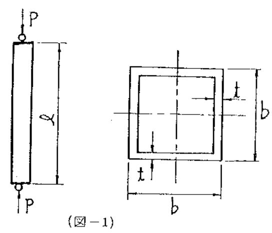
2. 問題の定式化

図－1に示すような正方形で2軸対称断面を有する箱形断面柱について、一様な軸圧縮力の大きさと柱の長さが与えられた場合に柱の最適断面を求める。その際設計条件としては、

1）荷重は軸圧縮力のみとし、柱の両端はピン支持とする。

2）鋼道路橋示方書に規定されている許容軸方向圧縮応力度と板厚の制限を拘束条件とする。

3）材質は一様とし、最適断面は断面積が最小のものとする。



(図－1)

目的関数　$F = A$　(1)

拘束条件　$\sigma = P/A \leqq \sigma_{ca} = \sigma_{cag} \cdot \sigma_{cal} / \sigma_{cao}$　(2)

$t \geqq t^*$　(3)

設計変数　b，t

ただし　A：断面積　P：軸圧縮力　σ：作用応力　t^*：最小板厚

σ_{ca}：許容軸方向圧縮応力度　σ_{cag}：局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度

σ_{cal}：局部座屈に対する許容応力度　σ_{cao}：局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度の上限値

$b \gg t$の関係から、断面積A，断面二次モーメントIはそれぞれ　$A = 4bt$，$I = \frac{2}{3}b^3t$と表わされるから柱の細長比ℓ/rは次式で示される。

$$\ell/r = \ell/\sqrt{I/A} = \sqrt{6}\,\ell/b \qquad (4)$$

ここで設計変数を次のように無次元化する。　$x_1 = \ell/r$　，　$x_2 = b/t$　(5)

したがって、断面積および細長比は、

$$A = 4\ell^2/x_1^2 x_2 \quad (6) \qquad \ell/r = \sqrt{6}\,x_1 \quad (7)$$

目的関数および拘束条件式の一例として鋼種がSS41，SM41，SMA41の場合を示すと以下のようになる。ただしP/ℓ^2を一つのパラメータとしγで表わす。

$$\sigma = P x_1^2 x_2 / 4\ell^2 = \gamma x_1^2 x_2 / 4 \qquad (8)$$

$$\sigma - \sigma_{ca} \leqq 0 \qquad (9)$$

(i)　$\gamma x_1^2 x_2/4 - 1400 \leqq 0$　;　$x_1 \leqq 8.16496581$　，$x_2 \leqq 39.6$

(ii)　$\gamma x_1^2 x_2/4 - 2.2 \times 10^6/x_2^2 \leqq 0$　;　$x_1 \leqq 8.16496581$　，$39.6 < x_2 \leqq 56.0$

(iii)　$\gamma x_1^2 x_2/4 - 1400 + 8.4(\sqrt{6}\,x_1 - 20) \leqq 0$　;　$8.1649658 < x_1 \leqq 37.96709101$　，$x_2 \leqq 39.6$

(iv) $\gamma x_1^2 x_2/4 - \{2.2\times10^6 - 13200(\sqrt{6}x_1 - 20)\}/x_2^2 \leqq 0$;

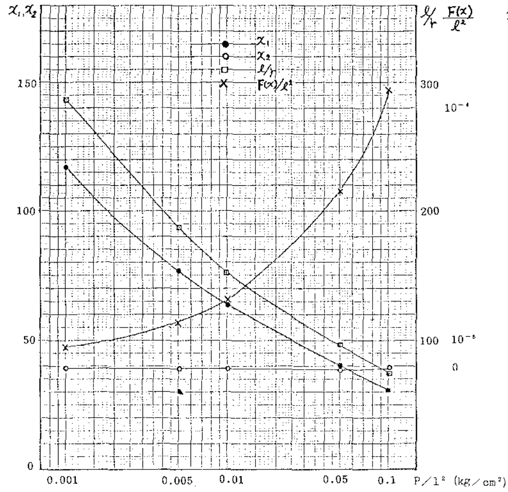
$8.16496581 < x_1 \leqq 37.96709101$, $39.6 < x_2 \leqq 56.0$

(v) $\gamma x_1^2 x_2/4 - 1.2\times10^7/(6700 + 6x_1^2) \leqq 0$; $x_1 > 37.96709101$, $x_2 \leqq 39.6$

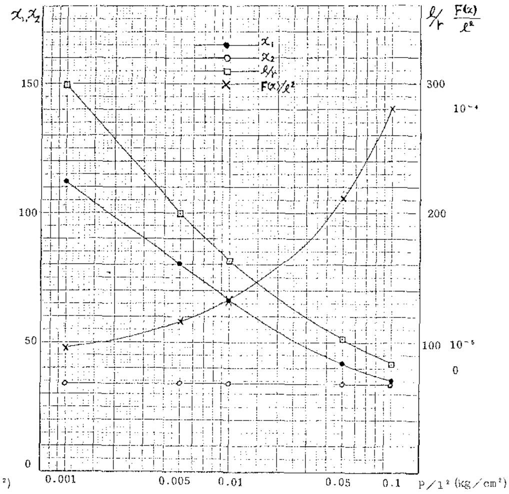
(vi) $\gamma x_1^2 x_2/4 - 6.6\times10^{10}/(23450 + 21x_1^2) \leqq 0$; $x_1 > 37.96709101$, $39.6 < x_2 \leqq 56.0$

3 数値計算結果と考察

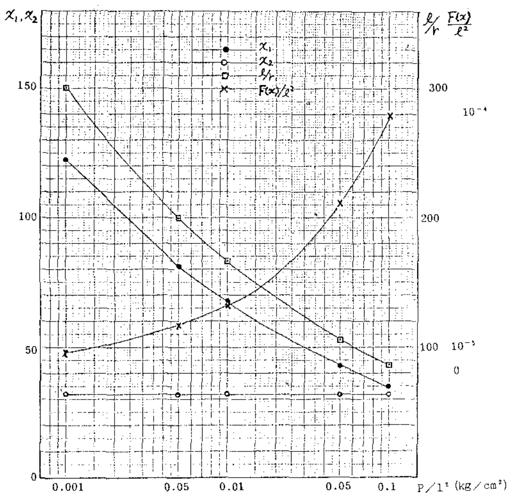
図－2～5に最適断面を与えるx_1，x_2およびそれに対するA/ℓ^2，ℓ/rを$p=P/\ell^2$を変数として鋼種別に表現する。



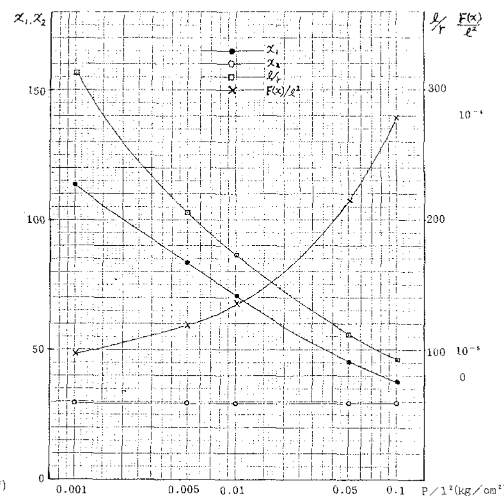
軸圧縮力を受ける箱形柱の最適解 (鋼種・SS41,SM41,SMA41) (図－2)



軸圧縮力を受ける箱形柱の最適解 (鋼種・SM50) (図－3)



軸圧縮力を受ける箱形柱の最適解 (鋼種・SM50Y,SM53,SMA50) (図－4)



軸圧縮力を受ける箱形柱の最適解 (鋼種・SM58,SMA58) (図－5)

図－2～5より次のようなことが判明する。すなわち、P/ℓ^2が0.001～0.1の範囲では、最適断面を与える幅厚比x_2は局部座屈を許容しない限界の値となっている。また、最適断面の面積は鋼種によってほとんど変動しない。

謝辞　数値計算の一部は、佐々木　昭君（東京電機大学），佐々木　義光君（東洋大学卒業）の両君の労によるもので、ここに謝意を表します。