

I - A 300

圧縮力と曲げを受ける鋼管短柱の極限強度に関する解析的検討

琉球大学 正員 有住 康則
琉球大学 正員 矢吹 哲哉

1. まえがき

阪神・淡路大震災の地震動は、近年まれにみる都市直下型大地震であり、円筒鋼製橋脚部材にも場所によっては設計震度をはるかに上回る地震力を受け、座屈や破断といった被害が発生した。このことから円筒鋼製橋脚部材の耐震設計法の再検討、特に静的及び動的耐荷力特性を把握することの必要性が指摘されている。円筒鋼製橋脚部材の終局挙動を精度良く把握するためには、構造材料の非線形挙動のみならず、部材の全体座屈、局部座屈及びそれらの連性座屈強度特性を明確にする必要がある。しかしながら、円筒鋼製橋脚部材の力学特性は極めて複雑であり、その座屈耐荷力に関する研究は少なく、極限強度把握のための十分な基礎的資料は整っていないのが現状である。そこで本研究では、初期たわみを有するダイヤフラム等で区切られた円筒鋼製橋脚部材の一部である鋼管短柱に圧縮力のみならず、水平力によりもたらされる曲げをも作用した場合の極限強度特性を解明するため、鋼管短柱部材をアイソパラメトリックシェル要素でモデル化し、弾塑性有限変位理論に基づいた解析を行った。先ず初めに鋼管短柱部材の極限強度に影響を及ぼすと考えられる因子を種々変化させてパラメトリック解析を行い、その極限強度特性について検討し、次に、パラメトリック解析結果に基づいて一定軸力下で曲げを受ける鋼管短柱の曲げ耐荷力評価法に関する実用算定式の提案を行った。

2. 解析法及び解析モデル

鋼製円筒橋脚の局部座屈を考慮した極限強度特性を解明するため、円形断面を有する鋼管短柱に圧縮力と曲げが作用した場合について弾塑性有限変位解析を行った。解析に用いたモデルは、図-1に示すダイヤフラム等で区切られた鋼製円筒橋脚の一部である鋼管短柱であり、境界条件は載荷辺の面外変形に対して単純支持とした。解析は鋼製円筒短柱をアイソパラメトリックシェル要素でモデル化し、弾塑性有限変位理論に基づいた数値解析を行った。なお、非線形方程式の解は、変位増分法にNewton-Raphson法を併用した逐次収斂計算によって導出した。解析では2軸対称性から鋼管短柱の1/4部分を解析の対象とし、要素分割は8×6分割とした。なお、要素分割は8×6分割以上を用いれば十分な精度が得られることをパラメトリック解析を行う前に確認した。

解析に用いたパラメータ及びその変動範囲を表-1に示す。なお、径厚比パラメータは次式のように定義される²⁾。

$$R_t = 1.65(\sigma_y / E)(r / t) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 σ_y は降伏応力度及び E はヤング係数である。初期たわみ形状は、軸線中央で最大初期たわみを有する正弦波で仮定した。なお、本解析では同一の径厚比パラメータを有する鋼管について径長比を種々変化させて解析を行い、極限強度が最小値を示す径長比を限界径長比と定義し、以下の解析において用いた。

3. 終局強度特性

(1)変形特性

本研究では、前節で示したパラメータを種々変化させて弾塑性有限変位解析を行い、その結果を用いて荷重と変位の関係を図に描き、それより得られた最大荷重を極限強度と定義した。解析で得られた荷重と変位の関係の一例を、初期たわみを有する鋼管短柱に純圧縮力が作用する場合について図-2に、一定軸力下で曲げが作用する場合について図-3にそれぞれ示す。図中、 N_y は降伏軸力、 ϵ_y は降伏ひずみ、 M_y は降伏モーメント、及び ϕ_y は

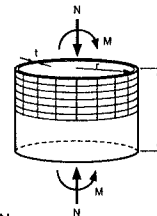


図-1 解析モデル

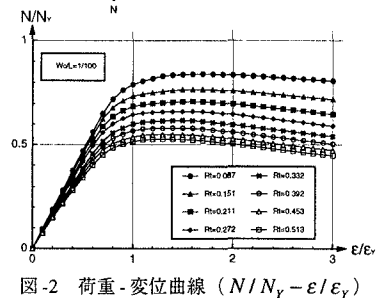


図-2 荷重-変位曲線 ($N / N_y - \epsilon / \epsilon_y$)

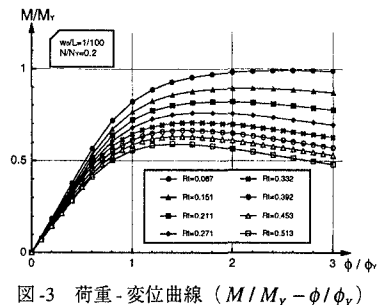


図-3 荷重-変位曲線 ($M / M_y - \phi / \phi_y$)

表-1 解析パラメーター及びその変動範囲

項目 (1)	記号 (2)	変動範囲 (3)
径長比	r/L	3 ~ 12
径厚比パラメータ	R_t	0.093, 0.160, 0.224, 0.288, 0.352
最大初期たわみ	w_0	$L/100, L/250, L/500$
軸力比	N/N_y	0, 0.1, 0.2, 0.3

鋼製円筒橋脚，鋼管短柱，極限強度，局部座屈，弾塑性有限変位解析

〒903-01 沖縄県西原町千原1番地 TEL 098-895-8664 FAX 098-895-6434

M_y に対する降伏時の曲率である。これらの図から明らかなように、荷重と変位の関係は、最大荷重に達した後耐荷力が低下しており、その傾向は径厚比が大きいほど顕著である。また、終局時の変形モードの一例を一定軸力を受ける鋼管短柱に曲げが作用した場合について図-4に示す。図から明らかなように、圧縮部で局部座屈が明確に現われている様子がうかがえる。

(2) 初期たわみの影響

初期たわみが鋼管短柱の極限強度に及ぼす影響を検討するため、最大初期たわみを $w_0 = L/100, L/250, L/500$ と変化させ解析を行った。解析より得られた極限強度と径厚比パラメータ R_t の関係を鋼管に純圧縮力のみが作用する場合について図-5に、純曲げが作用する場合について図-6にそれぞれ示す。それらの図から明らかなように、最大初期たわみの値が大きくなるに従って極限強度は低下している。

(3) 軸力比の影響

初期たわみ $w_0 = L/100$ を有する鋼管短柱について、軸力比を $N/N_y = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3$ と変化させた場合の極限強度と径厚比パラメータの関係を図-7に示す。図-7から明らかなように、軸力比が大きくなるに従って極限強度(最大曲げ耐荷力)が低下している。

4. 一定軸力で曲げを受ける鋼管短柱の極限強度実用算定式の提案

ここではパラメトリック解析結果に基づいて一定軸力を受ける鋼管短柱の曲げ耐荷力に関する実用算定式の提案を行う。なお、本研究では最大初期たわみの上限値として $w_0 = L/100$ を用いた。先ず初めに弾塑性有限変位解析で得られた曲げ耐荷力と径厚比パラメータの関係を図にプロットし、最初二乗法を用いて近似曲線を求めた。解析結果を種々の関数を用いて近似した結果、直線近似がより精度良い一致が得られたので、本研究ではこれを一定軸力を受ける鋼管短柱の曲げ耐荷力に関する近似曲線として採用した。軸力比を変化させた場合の近似曲線の各係数の値を表-2に示す。表から明らかなように、 $0.1 \leq N/N_y \leq 0.3$ の範囲では係数 a はほぼ一定の値($a=0.9$)を示している。一方、係数 b は軸力比の増加に伴って比例して低下しており、最小二乗法を適用すると、係数 b は軸力比の一次関数として表わすことができる。従って、一定軸力を受ける鋼管短柱の曲げ耐荷力に関する実用算定式として次式を提案する。

$$\left. \begin{aligned} M_{\max} / M_y &= aR_t + b \\ a &= -0.9, \quad b = 1.2 - (N/N_y); \quad 0.1 \leq N/N_y \leq 0.3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここで提案した鋼管短柱の曲げ耐荷力算定式の精度を確認するため、更に本弾塑性有限変位解析結果との比較を行った。比較を図-8に示す。図から明らかなように、式(2)で提案した実用算定式は実用範囲において最大初期たわみ $w_0 = L/100$ を有する一定軸力を受ける鋼管短柱の曲げ耐荷力を精度良く評価できるものと考えられる。

5. あとがき

本研究では初期たわみを有する鋼管短柱に圧縮力と曲げが作用した場合について弾塑性有限変位解析を行い、座屈耐荷力特性について検討した。更に、それらの解析結果に基づいて一定軸力を受ける鋼管短柱の曲げ耐荷力実用算定式を提案した。

参考文献：1) Rizal, F. and Nara, S.: Ultimate Strength of Axially Compressed Short Cylindrical Steel Shells with Initial Deflection, J. of Structural Engineering, Vol.42A, 1996.
2) 土木学会：鋼構造設計指針, 1987.

表-2 係数 a, b

N/N_y	a	b
0.0	-0.396	1.15
0.1	-0.874	1.10
0.2	-0.908	1.03
0.3	-0.896	0.93

Note: $M_{\max}/M_y = aR_t + b$

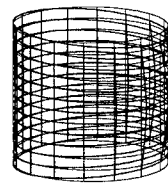


図-4 変形図

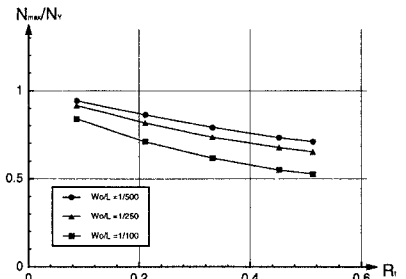


図-5 初期たわみの影響(純圧縮力)

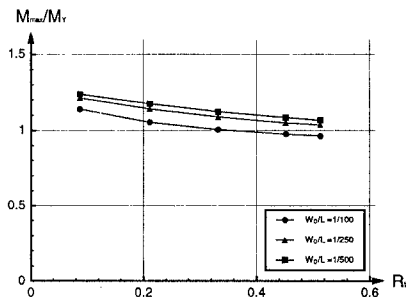


図-6 初期たわみの影響(純曲げ)

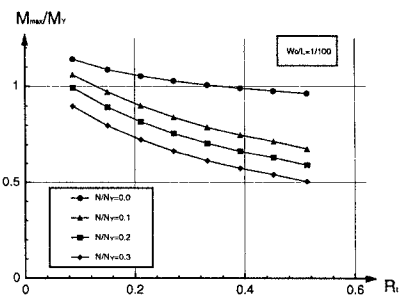


図-7 軸力比の影響

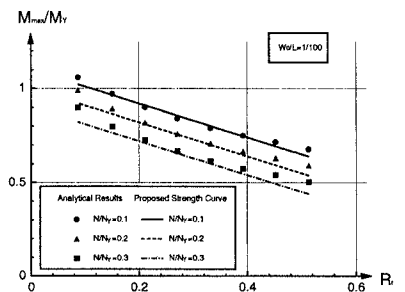


図-8 実用算定式と解析結果の比較