

円形断面を有する単柱形式鋼製橋脚柱の初期たわみを考慮した弾塑性有限変位解析

大阪市立大学大学院 学生員 岡田 潤
 大阪市立大学工学部 正 員 北田俊行

1. まえがき 薄肉円形断面柱において、弾性局部座屈に及ぼす初期不整(初期たわみおよび残留応力など)の敏感性が極めて大きいことが文献 1)に示されている。しかし、鋼製橋脚に用いられる円形断面柱のように、実構造部材の弾塑性領域における終局強度に及ぼす初期不整の影響を実際に取り扱った研究は少ない。したがって、その影響については十分に明らかにされていないのが現状である。そこで、本研究では、一定軸方向力と漸増曲げとを受ける薄肉円形断面を有する鋼製橋脚柱に及ぼす初期たわみの影響について検討を加えた。

2. 解析モデル 図-1 に示す円形断面を有する片持柱を、解析の対象とした。そして、図-2 に示すように、対象柱の構造形状、載荷荷重、および、たわみ波形の対称性を利用して、対象柱から 1/2 部分を取り出し、解析モデルとした。ここでは、載荷断面内の節点に從属する独立節点 A を剛体要素²⁾上に設け、独立節点 A に上部構造の自重を想定した一定の軸方向圧縮力を載荷したうえ、さらに地震荷重を想定した水平方向の漸増変位を導入した。

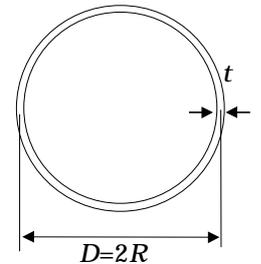


図-1 解析モデル断面

解析ケースとしては、表-1 に示すように、径厚比 R/t (R : 鋼管半径)に着目したパラメトリックな解析を行うため、半径 R を一定に保ったまま、板厚 t を 3 種類に変化させた。そして、それぞれのケースにおいて初期たわみを無視した場合、最大初期たわみを $D/50$ に設定した場合、および $D/100$ に設定した場合の計 9 ケースについて弾塑性有限変位解析²⁾を行った。

その際、対象モデルの諸元は、表-1 のように設定した。また、以下に示す条件を考慮して、モデル化を行った。

) 応力-ひずみ関係: 文献 4)に示されているハイブリッド実験(円形断面 No.12)の際に行われた引張試験結果より得られた応力-ひずみ曲線に適合するように、降伏棚を有し、ひずみ硬化領域をトリリニアとみなすモデルに理想化した。

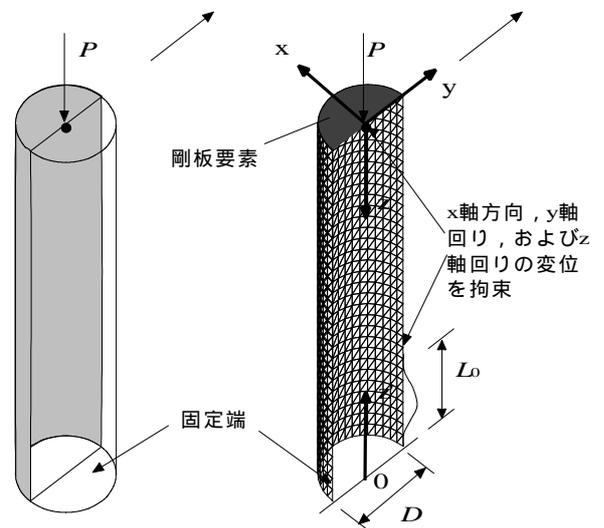
) 初期不整: 今回の解析では、初期たわみ波形は、初期たわみを導入しない解析モデルの変形モードを参考にして、とりあえず次式に示すように設定した($0 \leq z' \leq L_0$)。

$$u_0(x, z) = w_{0max} \frac{x}{D} \left(1 - \cos \left(\frac{P}{45} z' \right) \right) \dots (1)$$

$$v_0(y, z) = w_{0max} \frac{y}{D} \left(1 - \cos \left(\frac{P}{45} z' \right) \right)$$

ただし、 $L_0 (=900\text{mm})$ の区間以外において、初期たわみは、無視した。また、 w_{0max} は、 $D/50$ および $D/100$ の 2 種類に設定した。さらに、残留応力の影響は無視した。

) 要素分割状況: 円形断面の解析モデルの柱基部から 90cm の高さ部分では半円を 40 分割



(a)対象モデル (b)1/2の解析モデル

図-2 解析モデル

表-1 解析モデルの諸元

解析モデル名	RT3	RT2	RT12
直径 D (mm)		3,162.0	
板厚 t (mm)	14.73	22.11	37.70
径厚比 R/t	107.332	71.506	41.936
径厚比パラメータ R_t	0.301	0.201	0.118
降伏水平変位 y (mm)	65.40	65.25	64.93
降伏水平荷重 H_y (kN)	2,472.9	3,703.3	6,284.4
初期たわみ	無視	考慮	無視
最大初期たわみ量 (mm)	-	63.24	31.62
柱高さ L (mm)		14,400	
L/R		9.001	
細長比パラメータ		0.338	
軸方向力比 P/N_p		0.111	
材質		SS400	
ヤング係数 E (N/mm ²)		2.06×10^5	
ポアソン比		0.3	
降伏点 γ (N/mm ²)		347.9	

キーワード: 弾塑性有限変位解析, 鋼製橋脚柱, 薄肉円形断面, 局部座屈, 有限要素法, 初期たわみ

連絡先: 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学工学部土木工学科 TEL:06-6605-2735 FAX:06-6605-2765

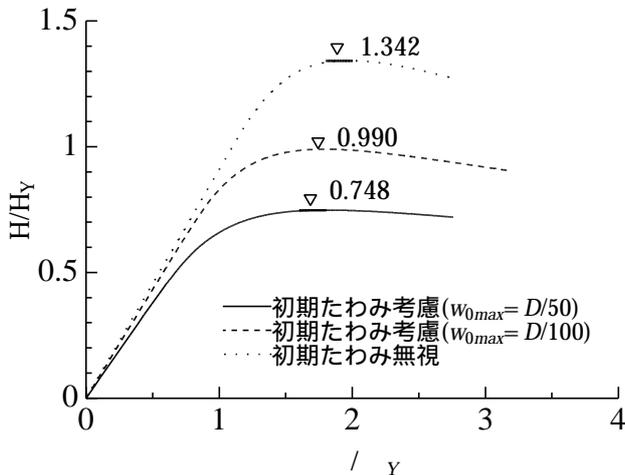


図-3 初期たわみが及ぼす影響($R/t = 42$)

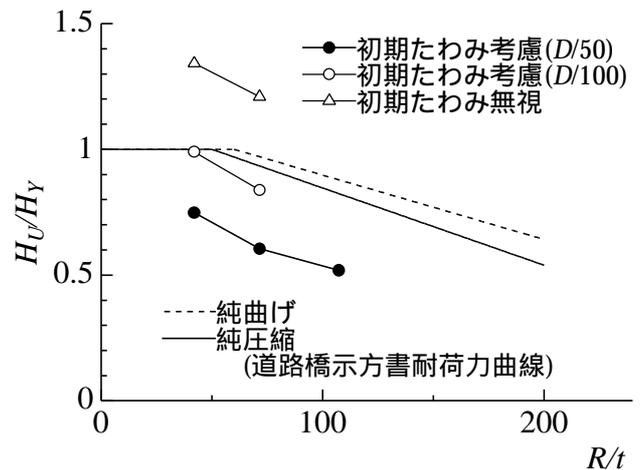


図-4 耐力曲線

し、高さ方向に 5.625cm 刻みの 20 分割，さらに，それ以外の高さ部分では半円を 20 分割し，高さ方向に 45cm 刻みの 29 分割した．それゆえ，節点総計は 1,491 で，また要素は 2,819 とした．

3. 解析結果 まず，初期たわみ量が薄肉円形断面を有する片持柱の終局限界状態に至るまでの挙動に及ぼす影響を調べるため，板厚 $t=3.77(\text{cm})$ で $R/t = 42$ の解析モデルを対象にして，初期たわみを無視した場合，ならびに最大初期たわみ量を $D/50$ および $D/100$ に設定した場合について検討してみた．得られた水平荷重-水平変位曲線を図-3 に示す．図-3 よりわかるように，いずれのモデルにおいても異なる挙動を示し，最大初期たわみ量を $D/50$ に設定したモデルにおいては，初期たわみを無視したモデルに比較して，44.3%の終局水平荷重の減少が見られた．

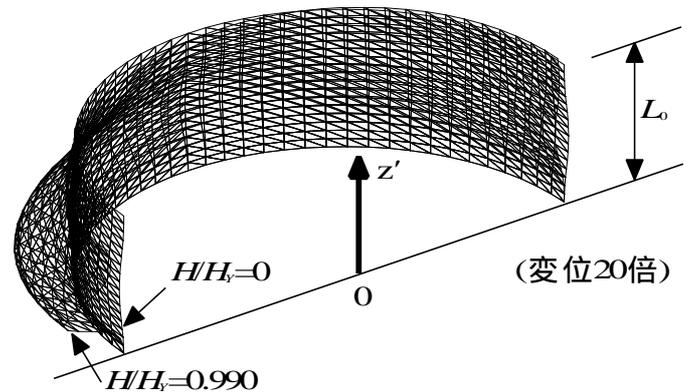


図-5 終局状態における変形図($w_{0max}=D/100$)

つぎに，径厚比 R/t を 41.9, 71.5, および 107.3 に変化させ，その終局水平荷重 H_u を降伏水平荷重 H_y で無次元化し，道路橋示方書³⁾に示されている鋼管の軸圧縮力あるいは曲げを受ける場合の耐力曲線と比較して図-4 に示す．文献 3) に示されている耐力曲線と比較して，初期たわみを無視した場合には，その終局強度は，かなり大きな値をとり，また，最大初期たわみ量を $D/100$ に設定した場合には，終局水平荷重が道路橋示方書の耐力曲線付近にある．さらに，最大初期たわみ量を $D/50$ に設定した場合には，著しく小さな値をとった．なお，径厚比を 107.3 に設定した際のモデルにおいて，初期たわみを無視した場合，および $D/100$ に設定した場合には，解が発散し，終局水平荷重が得られなかった．また，図-5 に径厚比が 42 で初期たわみ量を $D/100$ に設定したモデルの終局時の変形状況(20 倍に拡大)を示す．この図より，基部において，著しい変形が生じていることがわかる．

4. まとめ 本研究より得られた主な結論および今後の課題は，以下に示すとおりである．

- 1) 薄肉円形断面を有する鋼製橋脚モデルにおいて，初期たわみの大きさが弾塑性を考慮した終局強度に及ぼす影響が非常に大きいことが確認された．
- 2) 初期たわみ波形については，初期たわみを導入していない解析モデルの変形モードを参考にして決定した 1 つのモードについてのみ検討した．しかし，今後，終局強度が最小となるモードについて検討する必要がある．
- 3) 本研究では，径厚比を 3 ケースに変化させて解析を行ったが，径厚比のもう少し小さい円形断面，および縦補剛材で補剛された円形断面を有する橋脚柱など，今後，より多くの解析ケースについて検討する必要がある．

参考文献 1) 土木学会座屈設計ガイドライン作成小委員会：座屈設計ガイドライン，技報堂，1987 年 10 月．

2) USSP 研究会：USSP ユーザーズ・マニュアル，理論編，Ver.3.0，日本構研情報．

3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，鋼橋編，1996 年 12 月．

4) 建設省土木研究所・首都高速道路公団・阪神高速道路公団・名古屋道路公社・(社)鋼材倶楽部・(社)日本橋梁建設協会：道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書()，pp.303-388，1997 年 4 月．