

曲げとねじりを受ける道路標識柱の終局耐力に関する数値解析的検討

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○鈴木 健太郎 (独) 北海道開発土木研究所 正会員 岡田 慎哉
国土交通省北海道開発局 正会員 佐藤 昌志 室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光
(独) 北海道開発土木研究所 正会員 西 弘明

1. はじめに

我が国の一般国道には、数多くの標識工が設置されている。それらの標識工の一つである道路標識柱に風荷重が作用する場合には、柱基部に曲げとねじりが連成して作用することとなる。しかしながら、このような荷重条件下における鋼管柱の終局耐力に関する検討は、ほとんど実施されていないのが現状である。このような観点より、本研究では台風などの異常強風下を想定して、曲げとねじりを連成して受ける道路標識柱の終局耐力の評価を目的に、3次元弾塑性有限要素解析を実施した。また、標識板の偏心量が異なる場合を想定し、曲げとねじりによる相関関係式の提案を試みている。なお、数値解析には構造解析用汎用プログラムであるABAQUSを使用している。

2. 道路標識柱の概要

現在、北海道の一般国道で運用されている道路標識柱は、全26種類である。ここでは、それらのうち1つを例にとり、その耐荷性状に関する検討を行うこととする。図-1には、対象とした標識柱の形状寸法を示している。また、主部材の鋼材にはSTK400材、ベースプレートおよび補剛リブにはSS400材を用いている。

3. 数値解析の概要

本研究では、曲げとねじりを受ける道路標識柱の終局耐力に関する検討を行うことより、設定したねじりモーメントを発生させるために、便宜的に図-2に示すように標識板設置用梁の長さを変化させて、有限要素モデルを作成した。柱部の解析モデルは、基本的に図-1に準拠しモデル化を行った。ただし、標識板に関しては、柱基部に作用する曲げモーメントとねじりモーメントを効率よく変化させるために、実際の標識板よりも小さいものを使用することとした。また、境界条件はベースプレート下面を完全固定としている。モデルに用いている2種類の鋼材には表-1に示すような物性値を仮定した。なお、材料構成則には等方硬化則を用い、降伏判定には von Mises の降伏条件を設定した。

4. 解析方法

本解析では、標識板に圧力荷重を与えることにより、鋼管柱の基部に曲げモーメントとねじりモーメントを連成して作用させることとした。ここでは、標識板の重心位置を柱中心部より水平方向にLだけ移動させて設置することにより、曲げモーメントとねじりモーメントを変化させている。なお、標識板までの水平距離Lに関しては、L=0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10, 15 mの6種類について検討を行っている。解析は、柱基部に局部座屈が発生し耐力が低下するまで行っている。なお、数値解析には幾何学的非線形を考慮している。

5. 解析結果および考察

5.1 水平荷重 - 水平変位関係

図-3には、L=1.0, 5.0 mとする場合の解析結果から得られる水平荷重-水平変位関係を示している。ここで、水平荷重はベースプレート底面におけるx方向反力、また、水平変位は柱部天端でのx方向の変位を用いて評価している。また、弾性限界荷重は、各試験体から得られる水平荷重-水平変位曲線を用いて、初期勾配が減少し始める点における値として算出している。

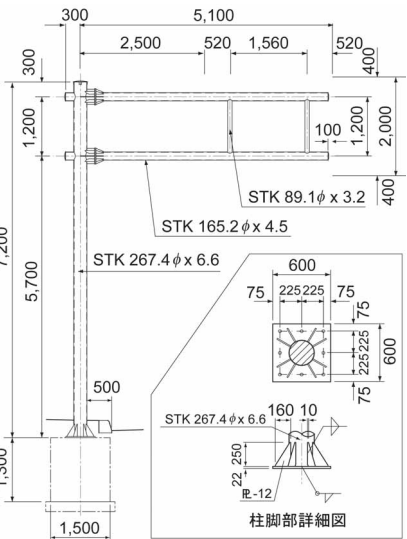


図-1 道路標識柱の形状寸法

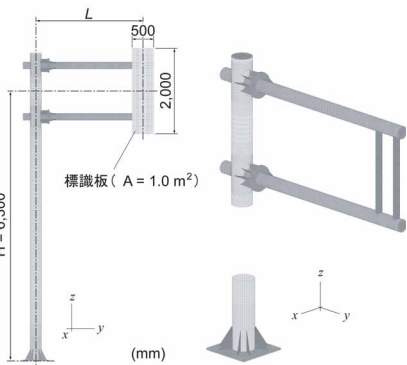


図-2 要素分割状況

表-1 鋼材の材料物性値

	降伏 応力 f_y (MPa)	引張 応力 f_u (MPa)	弾性 係数 E_s (GPa)	ポア ソン 比 ν_s
STK400	385.3	451.5	2.06	0.3
SS400	314.7	468.5	2.06	0.3

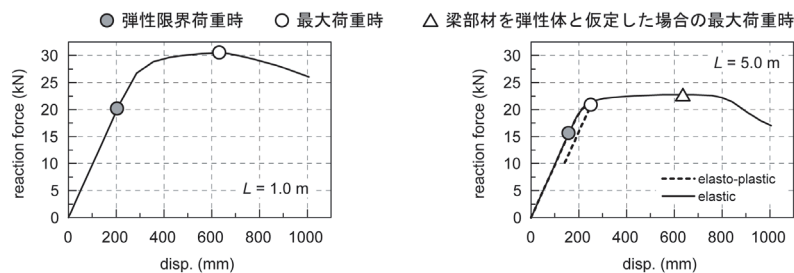


図-3 水平荷重—水平変位関係

解析結果より、標識板の位置が柱側に近いほど弾性限界荷重および最大荷重は大きくなるものの、 $L=5.0\text{ m}$ の場合には、最大荷重に到達後、作用荷重と変形がともに減少する傾向にあることがわかる。これは、ねじりモーメントの作用によって、柱基部より先に梁材と柱材の取り付け部に局部座屈が発生してその部分が塑性化し終局に至ることにより、柱基部への作用力が減少するためと考えられる。この傾向は、 $L>5.0\text{ m}$ の解析においても発生した。そのため、梁材は弾性体と仮定し、柱基部の耐荷性状に限定して検討を加えることとした。

5.2 変形状と最小主ひずみ分布

図-4には、図-3に示す2ケースについて、弾性限界荷重時、最大荷重時および局部座屈発生時の変位 $1,000\text{ mm}$ における変形状態と最小主ひずみ分布を示している。なお、変形倍率は2倍である。

まず、(a)図に示す弾性限界荷重時に着目すると、 $L=1.0\text{ m}$ の場合には、ほぼ左右対称なひずみ分布を示しているのに対し、 $L=5.0\text{ m}$ の場合にはねじりモーメントの影響によって非対称なひずみ分布となっている。次に、(b)図に示す最大荷重時に着目すると、 $L=1.0\text{ m}$ の場合には、弾性限界荷重時の場合と同様にほぼ左右対称なひずみ分布を示している。一方、 $L=5.0\text{ m}$ の場合には、柱基部の広い範囲に比較的大きなひずみが分布していることがわかる。これは、柱基部の耐荷性状が曲げ支配型からねじり支配型に移行していることによるものと推察される。

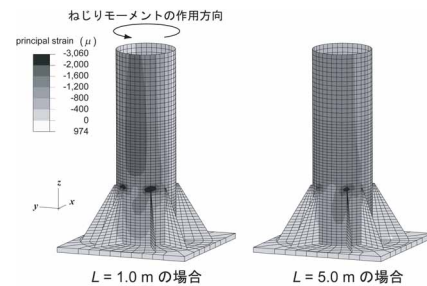
(c)図に示す局部座屈の発生状況を見ると、 $L=1.0\text{ m}$ の場合には、左右でほぼ等しく外側に凸状となる局部座屈が発生しているのに対し、 $L=5.0\text{ m}$ の場合には、標識板側の鋼管が内側に入り込み、反対側が外側に凸状となる座屈モードを示している。これより、道路標識柱のような曲げとねじりが連成して作用する鋼管柱の場合には、その外力の支配的な成分によってひずみ分布および座屈モードが大きく異なることが明らかになった。

6. 曲げモーメントとねじりによる相関関係式

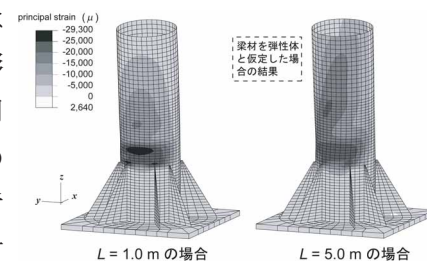
図-5には、前節の水平荷重—水平変位関係から得られた弾性限界荷重時および最大荷重時における曲げモーメントとねじりモーメントの関係を示している。図より、弾性限界荷重時より算出される値には多少のばらつきが見られるものの、ほぼ四半円状の相関関係にあることがわかる。一方、最大荷重時には曲げモーメントを長辺、ねじりモーメントを短辺とする楕円状になっている。また、図中、灰色の領域は、柱基部に先行して梁材の取り付け部に座屈が発生する領域を示している。これより、着目した標識柱の場合には、ねじりモーメントが $100\text{ kN}\cdot\text{m}$ 程度より小さい場合には柱基部、それよりも大きい場合には梁取り付け部において座屈する可能性の高いことが明らかになった。

7. まとめ

- 1) 道路標識柱のような曲げとねじりが連成して作用する鋼管柱の場合には、その支配的な成分によってひずみ分布および座屈モードが異なることが明らかになった。
- 2) 弾性限界荷重時および最大荷重時における道路標識柱に関する曲げモーメントとねじりモーメントの相関関係式を提示することができた。



(a) 弾性限界荷重時



(b) 最大荷重時

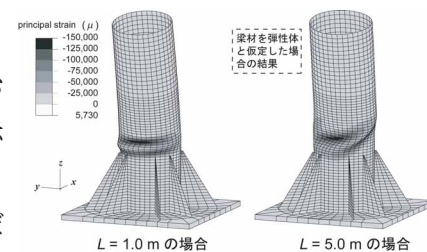
(c) 局部座屈発生後、変位 $1,000\text{ mm}$

図-4 変形状と最小主ひずみ分布（変形倍率：2倍）

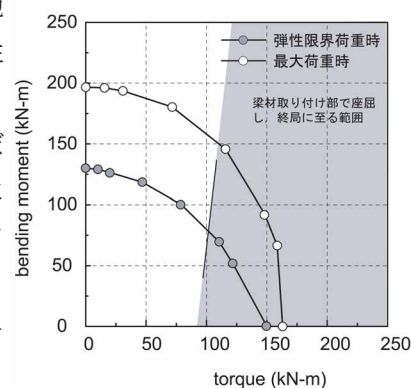


図-5 相関関係式