

曲げとねじりを受ける道路標識柱等の耐力に関する解析的検討

Numerical Analysis on Power-proof Capacity
of Highway Sign Pillar under Bending Moment and Torque

岡田 慎哉* 石川 博之**

Shinya OKADA and Hiroyuki ISHIKAWA

道路標識柱等の構造物では、風荷重が作用する場合、柱基部には曲げモーメントとねじりモーメントが同時に作用することとなる。しかしながら、このような荷重条件における鋼管柱の耐力については、ほとんど報告がなされていない。このような観点より、本研究では三次元FEMにより曲げとねじりが同時に作用する鋼管柱の耐力の評価を行った。その結果、弾性限界時および最大荷重時における曲げモーメントとねじりの関係を示すことが出来た。

キーワード：鋼管柱；曲げモーメント；ねじり；FEM解析

When wind load acts on a signboard of highway sign pillars, bending moment and torque will act on the pillar base simultaneously. However, about the power-proof of the steel pipe pillar in such load conditions, a report is hardly made. From such a viewpoint, in this report power-proof capacity of a steel pipe pillar by using 3-dimensional FEM analysis was estimated. And the relation between bending moment and torque at elastic limit and maximum power-proof was obtained.

Keywords : Steel Pipe Pillar ; Bending Moment ; Torque ; FEM Analysis

1. はじめに

我が国では、数多くの標識が設置されている。それらの標識の一つである道路標識柱には、標識板を柱材から梁材を介して水平方向に張り出した状態で設置されている形式がある。この場合、標識柱に風荷重が作用すると柱重心に対して偏心荷重が作用するため、柱基部に曲げとねじりが作用する。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、ほとんど報告されていないのが現状である。

このようなことより、本研究では台風などの異常な強風下を想定して、曲げとねじりを受ける道路標識柱の終局耐力の評価を目的に、三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、弾性限界時および最大荷重時における曲げとねじりの関係を示すことができた。なお、数値解析には構造解析用汎用プログラムであるABAQUS¹⁾を使用している。

2. 道路標識柱の概要

北海道開発局が監修・発行している標準設計図集²⁾によると、道路標識柱は標識板の大きさや設置箇所などによって形状寸法が異なり、全24種類が存在する。ここでは、それらの標識柱のうち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、表 - 1 には、主要部材の形状寸法を示している。いずれの場合も主部材の鋼材にはSTK400を、ベースプレートおよび補剛リブにはSS400材を採用している。

3. 数値解析の概要

3.1 解析モデル

本研究では、曲げとねじりを受ける鋼管柱の終局耐力に関する検討を行うために、便宜的に図 - 2 に示すような有限要素モデルを作成した。解析モデルは、基本的に設計標準図集（図 - 1 参照）に準拠し、ベースプレート、補剛リブなどをすべてモデル化している。ただし、標識板に関しては、検討の簡略化のため実際の標識板（2 m × 2.6 m）よりも小さいもの（2 m × 0.5 m）を使用することとし、柱基部に作用する曲げモーメントとねじりの比率を変化させるために、アーム長を変化させることで比率を変えた荷重を作用させている。また、境界条件はベースプレート下端を完全固定としている。

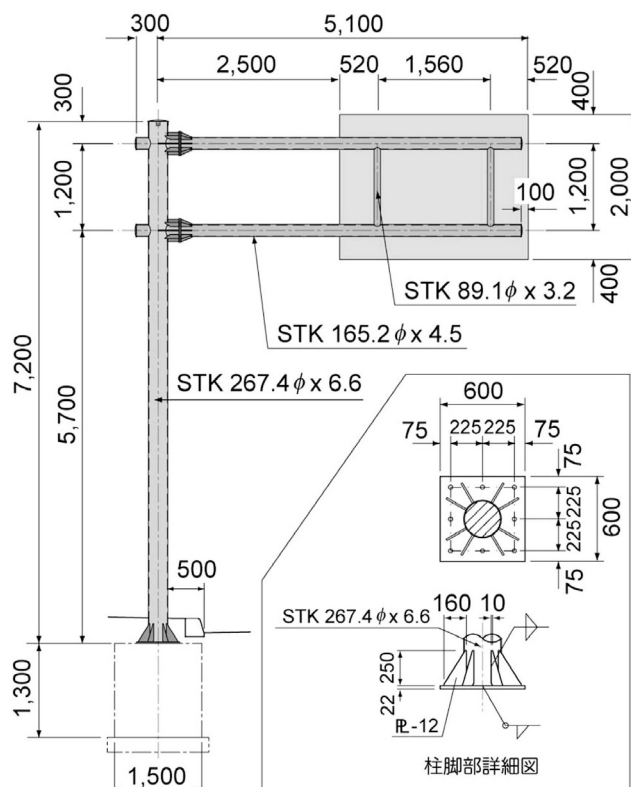


図 - 1 道路標識柱の形状寸法

3.2 物性モデルと材料構成則

前述のように標識柱の部材には、2種類の鋼材が使用されている。ここでは、これらの鋼材の真応力 - 真ひずみ関係として、図 - 3 に示すような曲線を仮定した。表 - 2 には、本解析で使用した鋼材の材料物性値を示している。

材料構成則は等方硬化則を用い、降伏の判定には von Misesの降伏条件を設定した。

表 - 1 主要部材の形状寸法

柱部	梁部
267.4 φ × 6.6	165.2 φ × 4.5

表 - 2 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	206	0.3
SS400	314.7	468.5	206	0.3

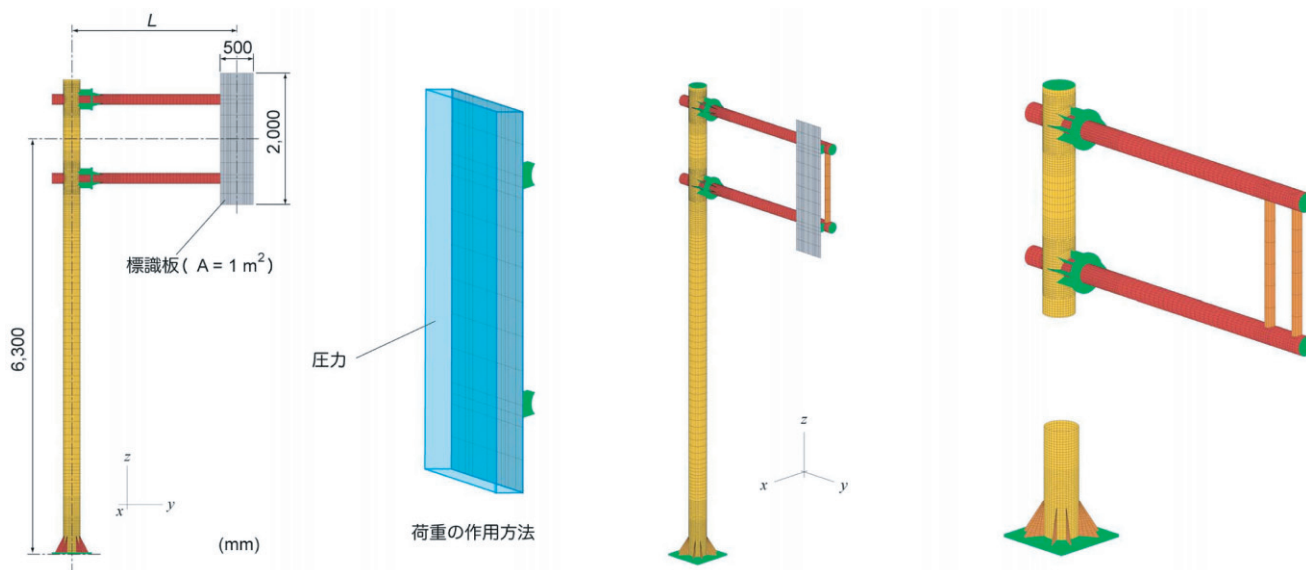


図 - 2 要素分割状況

4. 解析方法

本解析では、図 - 2 に示す標識板に圧力荷重 $p = q \times A$ 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を作用させることとした。ここでは、ベースプレート下端から標識板の重心位置までの高さを $H = 6.3\text{m}$ と固定し、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を変化させている。従って、鋼管基部に作用する曲げモーメント M とねじり T は、次式で計算される。

$$M = q \times A \times H \quad (1)$$

$$T = q \times A \times L \quad (2)$$

ここで、 M ：柱基部に作用する曲げモーメント (N-m)

T ：ねじりモーメント (N-m)

q ：圧力 (N/m²)

A ：表示板の断面積 (= 1 m²)

H ：ベースプレート下面から

標識板の重心位置までの高さ (= 6.3m)

L ：柱中心部から標識板の

重心位置までの距離 (m)

である。なお、標識板までの水平距離 L に関しては、 $L = 0.5, 1.0, 2.5, 5, 10, 15\text{m}$ の 5 種類について検討を行っている。

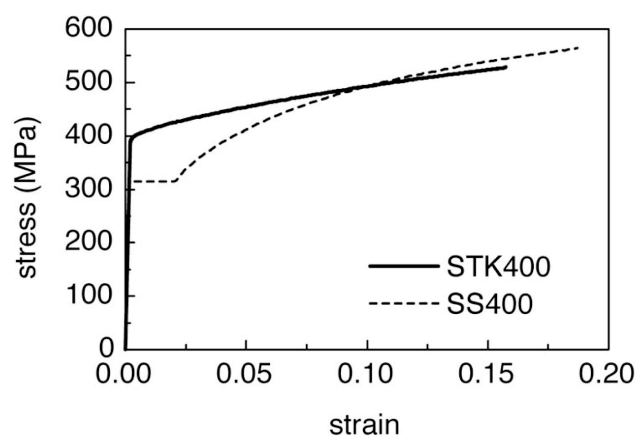


図 - 3 真応力-真ひずみ関係

解析は、弧長増分法を用いて、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 - 4 には、 $L = 1.0, 2.5, 5\text{m}$ 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 方向反力から評価しており、水平変位は柱部天端での x 方向の値である。また、図中の印は、それぞれ弾性限界荷重時および最大荷重時を示している。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での値として算出している。

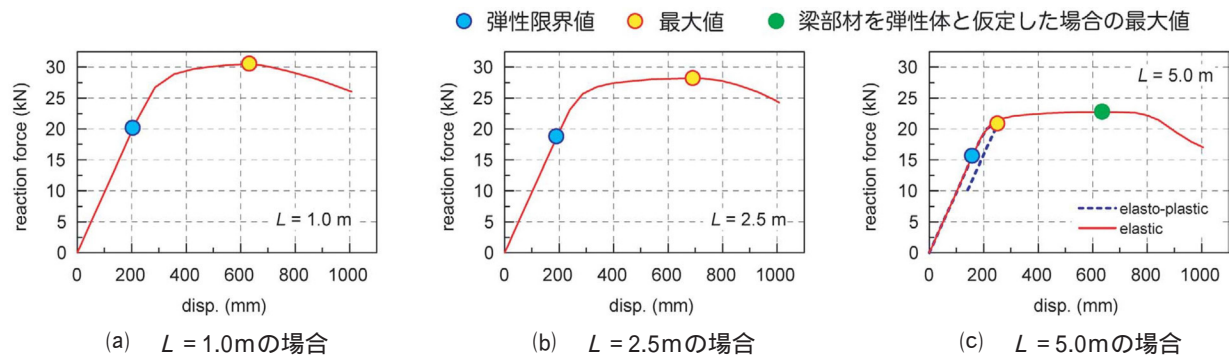


図 - 4 水平荷重 - 水平変位関係

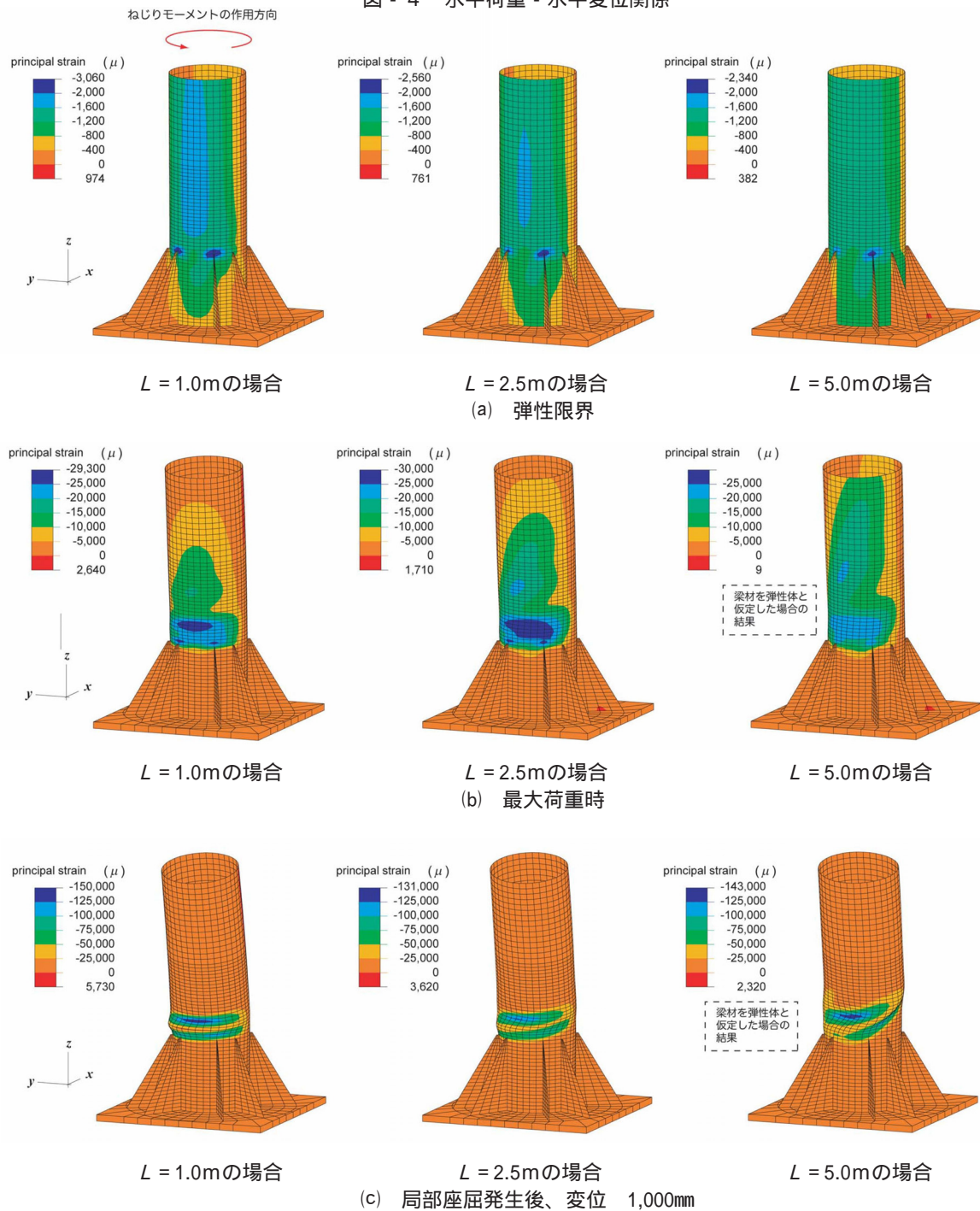


図 - 5 変形状と最小主ひずみ分布 (変形倍率: 2 倍)

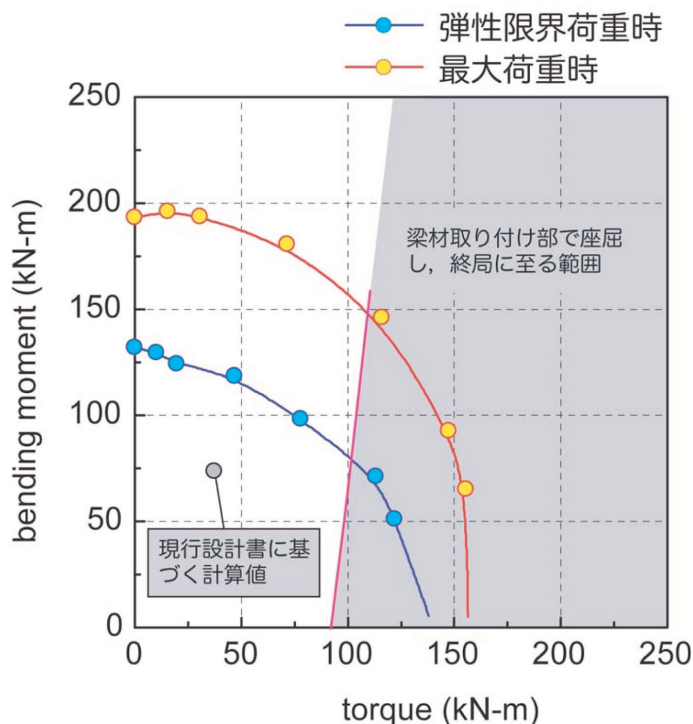


図 - 6 相関関係式

図より、標識板の位置が柱側に近い (L が小さい) ほど、弾性限界荷重および最大荷重が大きくなる傾向が見られる。しかしながら、(c)図に示すように $L = 5\text{m}$ の場合には、最大荷重に到達後、反力と変形がともに減少する傾向が見られる。これは、ねじりモーメントの作用によって、柱基部よりも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。また、このような傾向は $L > 5\text{m}$ のすべての解析ケースで生じた。従って、ここでは柱基部の耐荷性状について検討を加えるため、このような梁材の取り付け部で座屈が生じる場合においても、便宜的に梁材を弾性体として解析を行った。

5.2 変形状と最小主ひずみ分布

図 - 5 には、図 - 4 に示す 3 ケースについて、弾性限界時、最大荷重時および局部座屈発生時の変位 1,000 mm における変形状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)図に示す弾性限界状態に着目すると、 L の大きさにかかわらず補剛リブの先端で大きなひずみを示していることが分かる。また、 L が小さい場合には、ほぼ左右対称なひずみ分布を示しているのに対し、 L の増大とともにねじりモーメントの影響によって偏心

したひずみ分布となっていることが分かる。

次に、(b)図に示す最大荷重時に着目すると、 L が小さな場合には、弾性限界状態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 が増大するとともに、柱基部の広い範囲にひずみが分布しており、 $L = 1.0\text{m}$ のように局所的なひずみの分布は見られないことが分かる。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を意味しているものと推察される。

最後に、(c)図に示す局部座屈の発生状況を見ると、 L の増加とともに、その形状の非対称性が強くなる傾向にあることが分かる。すなわち、 $L = 1.0\text{m}$ 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 の増大とともに標識板側の局部座屈発生位置が低く、反対側が高くなる傾向が見られる。特に、 $L = 5.0\text{m}$ 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形状となっている。

これより、道路標識柱のような曲げとねじりが作用するような鋼管柱の場合には、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形状が大きく異なることが明らかになった。

5.3 曲げモーメントとねじりとの関係

図 - 6 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分かる。一方、最大荷重時に対して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、対象とした標識柱の場合には、ねじりモーメント量が約 100 kN-m 程度よりも小さい場合には柱基部、それ以上の場合には梁取り付け部において座屈が生じる可能性の高いことが明らかになった。

なお、図中には、参考値として現行設計図に基づいて算出される値をプロットしている。図より、本解析で設定した鋼材を用いる場合には、設計値は弾性範囲内に位置することが分かる。

6. まとめ

本研究では、曲げとねじりを受ける道路標識柱の終

局耐力の評価を目的に、三次元弾塑性有限要素解析を実施した。本解析により得られた結果を整理すると、以下のようなものである。

- 1) 道路標識柱のような曲げとねじりが作用するような鋼管柱の場合には、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形状が大きく異なることが明らかになった。
- 2) 道路標識柱に関する曲げモーメントとねじりの関係を示すことができた。

- 3) また、本解析で仮定した鋼材を使用する場合には、現行設計に基づいて算出される結果は、弾性範囲内に位置することが確認された。

参考文献

- 1) ABAQUS/Standard user's manual, Ver. 5.8, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc., 1998.
- 2) 「北海道開発局道路設計要領第6集標準設計図集」, 北海道開発局建設部道路建設課監修, 平成16年4月.



岡田 慎哉*
Shinya OKADA

北海道開発土木研究所
構造部
構造研究室
研究員



石川 博之**
Hiroyuki ISHIKAWA

北海道開発土木研究所
構造部
構造研究室
室長