佐呂間町で発生した竜巻による道路標識柱の倒壊メカニズムに関する数値解析

室蘭工業大学	フェロー	○岸	徳光	室蘭工業大学	正会員	小室	雅人
寒地土木研究所	正会員	石川	博之	寒地土木研究所	正会員	岡田	慎哉

1. はじめに

本研究では、2006年11月7日午後1時30分頃、北海道常呂郡佐呂間町若佐地区 で発生した竜巻によって倒壊に至った道路標識柱を対象に、その倒壊メカニズムの 把握と道路標識柱に作用した最大風速の推定を目的として、三次元弾塑性有限要素解 析を実施した.なお、本解析には、構造解析用汎用プログラム ABAQUS を使用した.

2. 倒壊した道路標識柱の概要

図-1には、倒壊した道路標識柱の形状寸法を示している.図より道路標識柱に は、横梁の先端部に標識板(2.1 m×1.4 m)が、柱部に小型標識板(0.45 m×1.9 m) が設置がされている。使用鋼材は、柱および横梁は STK400 材、補剛リブは SS400 材である。写真-1には、倒壊した道路標識柱の被災状況を示している。写真より、 道路標識柱は基部および横梁取り付け部近傍で破断していることが確認される。

3. 解析概要

3.1 解析モデル

図-2には、本解析で使用した有限要素モデルを示している。要素モデルは、 図-1を参考に詳細なモデル化を行っている。なお、標識板は実構造と同様、水平 に対して約3°下方へ傾斜させている。境界条件は、基部底面を完全固定としてい る.また、鋼材の材料物性値は、被災した道路標識柱の柱部および横梁部から試験 片を切り出し、板引張試験を実施して求めた. 表-1には、板引張試験結果から得 られた柱および横梁の材料物性値を,図-3には、本解析で仮定した STK400 材お よび SS400 材の真応力-真ひずみ関係を示している.

3.2 解析手法

本論文では、道路標識柱の耐荷力を確認するために、 図-2 に示す2 種類の標識 板,柱および横梁に圧力荷重 p を与えることによって数値解析を実施した.なお, 風による圧力荷重 p(N/m²) と風速 v(m/s) には次式に示す関係式が成立する.

 $p = \rho \cdot v^2 \cdot C_d/2$ ここで、 ρ :空気の密度 ($\rho = 1.225 \text{ N-s}^2/\text{m}^2$)、 C_d :抗力係数(形状係数、本解析で は標識板: $C_d = 1.2$, 柱および横梁: $C_d = 0.7$ と設定した)である.

解析は、風圧 p を増加させ、柱基部あるいは横梁取り付け部近傍に局部座屈が発 生し,耐力が低下するまで行うこととした.なお,数値解析において幾何学的非線 形は考慮するものの、初期不整については無視することとした。また、解析ケース は、予備解析結果に基づいて、以下の2種類を行うこととした。

- ケース1:全ての部材を弾塑性体でモデル化する場合
- ケース2:横梁の座屈を抑制するために、その剛性を向上させることに より, 柱基部で局部座屈を発生するようにモデル化する場合

4. 数値解析結果および考察

4.1 風速-変位関係

図-4には、解析結果から得られる風速 v と標識板中央部における y 方向変位との関係を示している.ケース1で は、変位が約1,350 mm 付近から横梁取り付け部に局部座屈が発生している。一方、横梁取り付け部の局部座屈を抑制 キーワード:道路標識柱, 竜巻, FEM 解析, 倒壊メカニズム, 最大風速

連絡先:〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL: 0143-46-5226 FAX: 0143-46-5227



図-1 倒壊した道路標識柱の 形状寸法



写真-1 道路標識柱の被災状況

(1)



図-2 有限要素モデル



図-5 横梁取り付け部および柱基部近傍の変形性状と最小主ひずみ分布(変形倍率:2倍)

するケース2では、変位が約1,150 mm 付近から柱基部近傍に局部座屈が発生し、終局に至っている。また、最大風速に着目すると、ケース1では風速v = 96.8 m/s、ケース2では風速v = 99.7 m/s となっており、数値解析上は、風速 $v \simeq 95.0$ m/s 程度の大きな風速に対しても十分に耐えうる構造となっていることが分かる。

4.2 横梁取り付け部および柱基部近傍の変形状況と最小主ひずみ分布

図-5には、各ケースにおける最大風速時(a, a' 点)および終局時(b, b' 点)における横梁取り付け部および柱基部 近傍の変形性状と最小主ひずみ分布を示している.なお、図中の変形倍率は2倍である.(a)図より、ケース1の場合 には最大風速を示した後、横梁取り付け部に局部座屈が発生したため、柱基部近傍に大きな変形が見られないことが分 かる.一方、ケース2の場合(b図参照)には、ケース1の場合とは異なり、最大風速到達後、柱基部の補剛プレート 上端より柱直径程度上の領域に曲げとねじりの連成による複雑な局部座屈が発生し、終局に至ることが確認される.

- 5. **まとめ**
 - 1) 全ての部材を弾塑性体としてモデル化する場合には、最大風速 v = 96.8 m/s で横梁取り付け部近傍に局部座屈が 発生する.
 - 2) また,横梁を弾性体と仮定して局部座屈を抑制する場合には,最大風速が v = 99.7 m/s で柱基部近傍が座屈して 倒壊に至る.
 - 3) 一方,実現象では,横梁は上方向に折損しかつ柱は基部から倒壊しており,解析結果と異なる.その要因としては,飛来物が柱に巻き付き,柱に作用する荷重が増加したことによる影響や風速・風向が急激に変化することによる動的効果等が挙げられる.