

被害状況と対応状況

被害を受けた標識柱の検討

室蘭工業大学

岸 徳 光



被災現場状況



倒壊した道路標識柱

竜巻災害による被災現場状況



被災前の航空写真と被害の方向



道路標識柱の被災状況 1



■ 柱基部

■ 横梁取り付け部



上方に変形

道路標識柱の被災状況 2



■ 全体



■ 柱基部



■ 柱基部拡大

道路標識柱の被災状況 3



■ 横梁取り付け部



■ 上段拡大



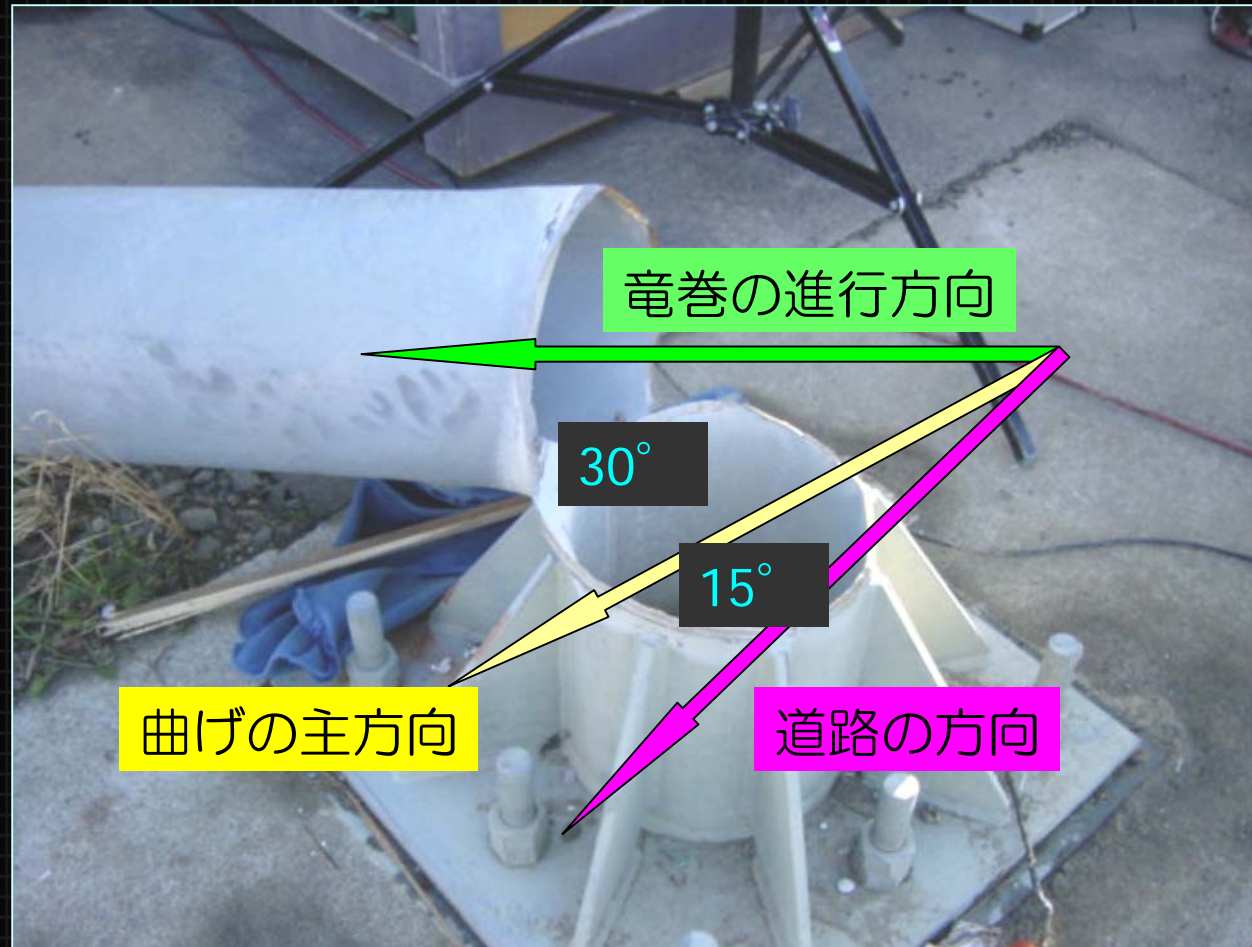
■ 下段拡大

写真による倒壊メカニズムの推定

1. 道路方向（北北西）から時計回りに約15° 方向に曲げ変形
2. 曲げ変形直後、竜巻の進行方向に回転（ねじり）の影響を受け倒壊



■ 全体



■ 柱基部

倒壊メカニズムの推定の難しさ

家屋などは竜巻との相対関係などより、
様々な方向に倒壊



竜巻による影響評価は困難

既往の研究：

- 建造物の被災状況から風速などを逆解析的に検討（多くの仮定が必要）

本報告：

- 風荷重が静的に作用したものと仮定し最大風速等を推定
- 風荷重は標識柱の正面に作用するものと仮定

竜巻によって倒壊に至った道路標識柱の
倒壊メカニズムと作用最大風速の推定

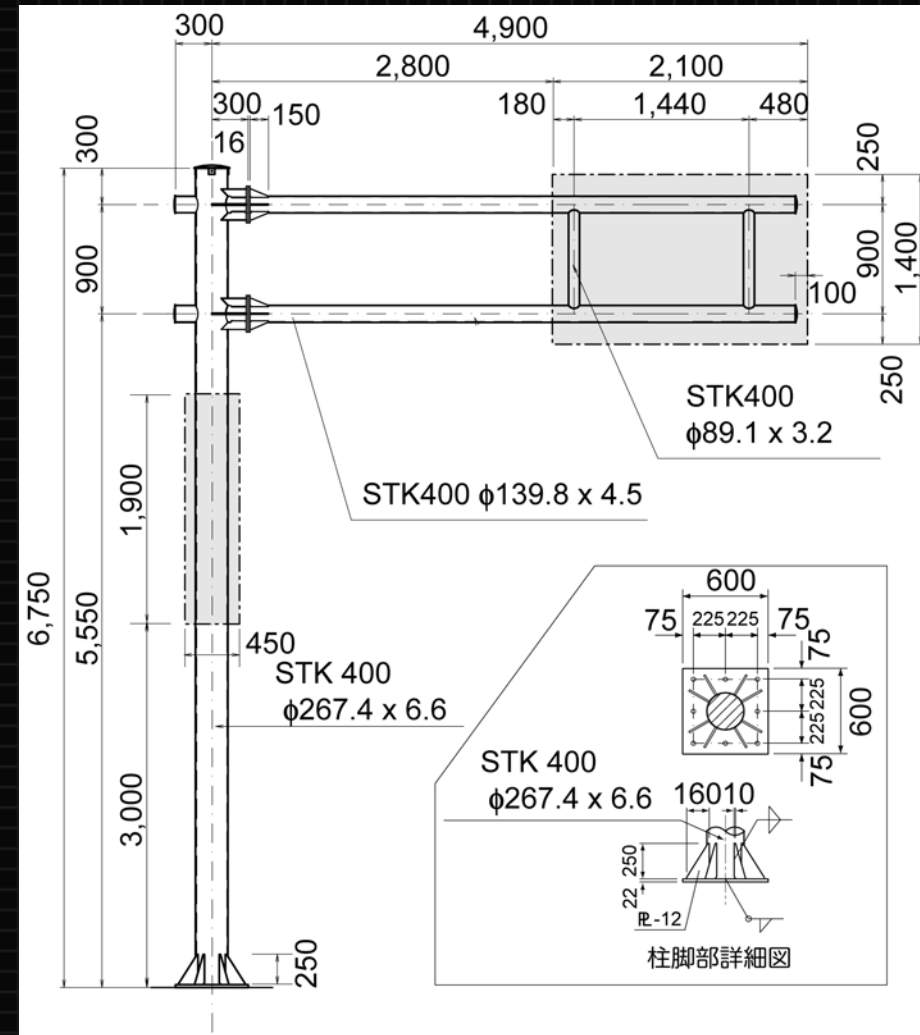
三次元弾塑性有限要素解析を実施

構造解析用汎用プログラムABAQUSを使用

倒壊した道路標識柱の形状寸法



被災前に撮影された道路標識柱

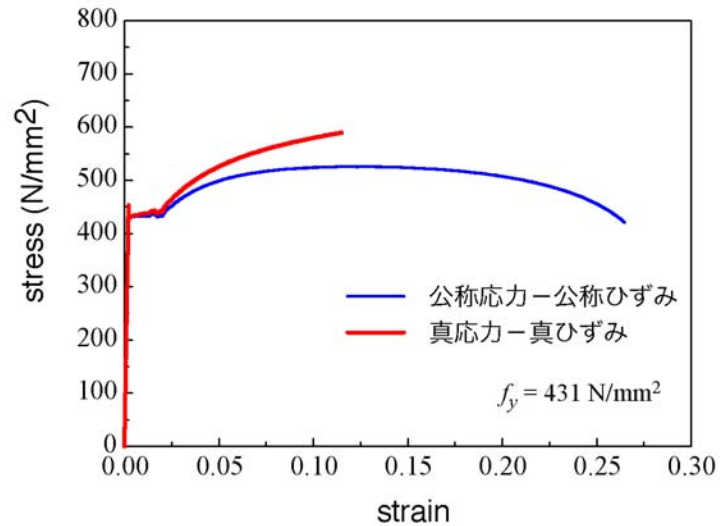


倒壊した道路標識柱の形状寸法

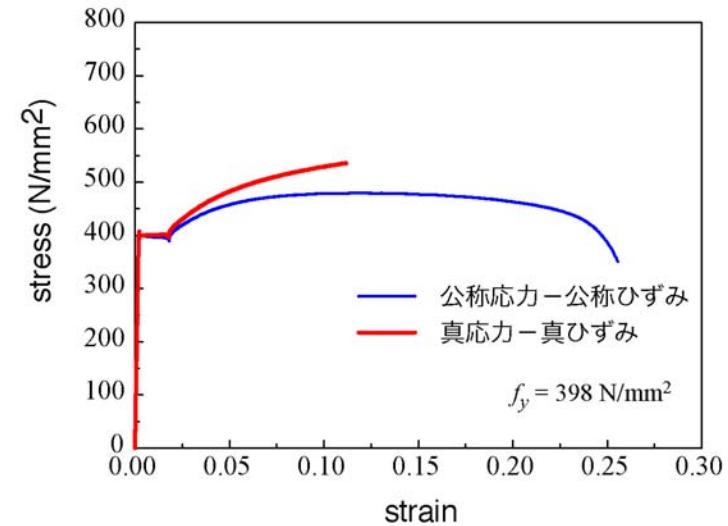
鋼材の力学的特性

倒壊した標識柱から切り出した試験片による板引張試験を実施

	降伏応力 f_y (MPa)	引張強度 f_u (MPa)	弾性係数 E_s (GPa)	ポアソン比 ν_s	伸び %
柱	431	526	2.06	0.3	26.5
横梁	398	479	2.05	0.3	25.7

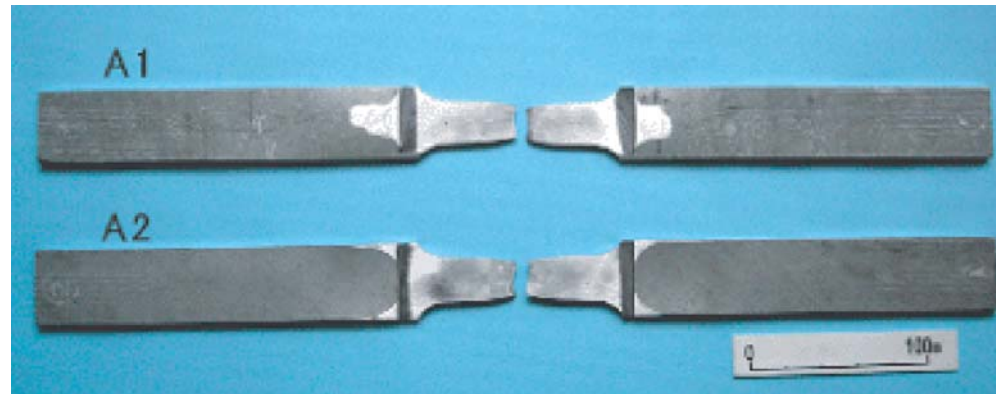


(a) 柱 ($\phi 267.4 \times 6.6$)

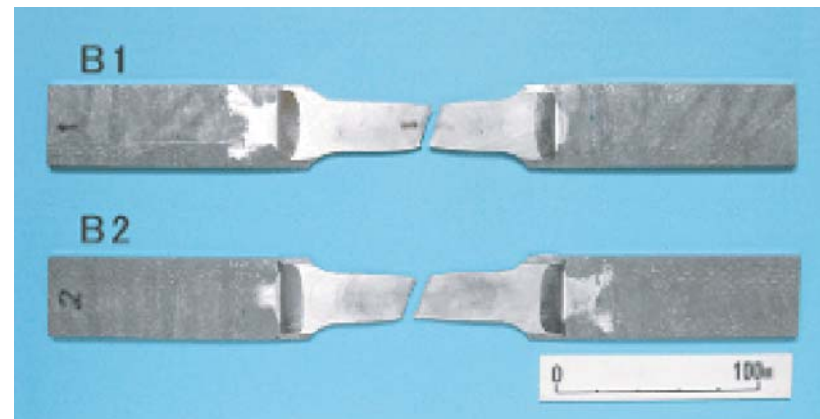


(b) 横梁 ($\phi 139.8 \times 4.5$)

鋼材の力学的特性（板引張試験：破断状況）



(a) 柱 ($\phi 267.4 \times 6.6$)



(b) 横梁 ($\phi 139.8 \times 4.5$)

設計書に基づく最大風速の推定 1

風圧 p と風速 v の関係式

$$p = \rho \cdot v^2 \cdot C_d / 2$$

p : 風圧 (N/m²)

ρ : 空気の密度

$$\rho = 1.225 \text{ (N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2\text{)}$$

C_d : 抗力係数

形状係数 : 標識板 $C_d = 1.2$

柱 / 横梁 $C_d = 0.7$

設計書に基づく最大風速の推定 2

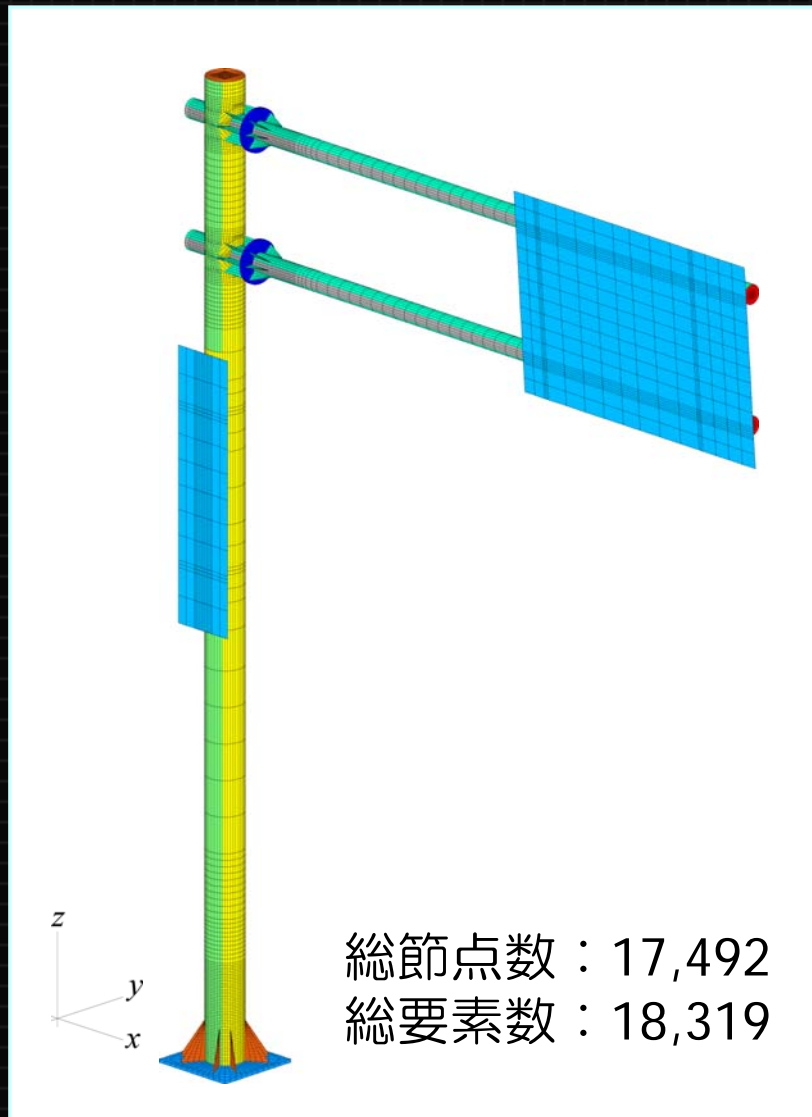
設計計算書#に基づいて計算された最大風速の一覧

着目応力	最大風速 v (m/s)
横梁取付部の曲げ応力	80.8
柱基部の曲げ応力	90.0
柱基部の最大せん断応力	91.9

道路標識柱は横梁取り付け部近傍の座屈によって終局

#道路標識ハンドブック（2004年度版），社団法人全国道路標識・標示業協会

解析モデル



要素分割状況

使用要素：

シェル要素を基本，
底板，横梁取り付け部のみ
固体要素

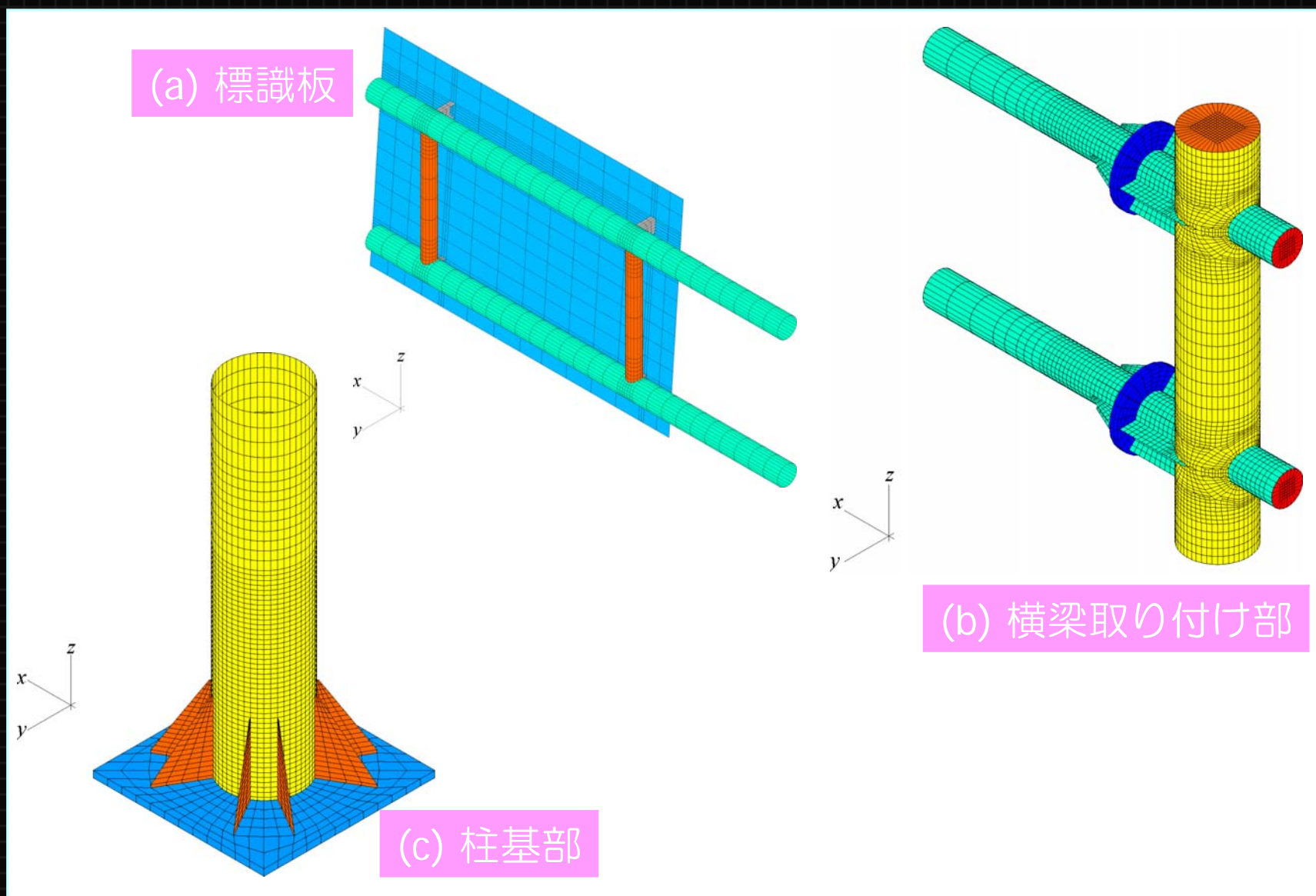
構成則など：

等方硬化則，
von Misesの降伏条件

境界条件：

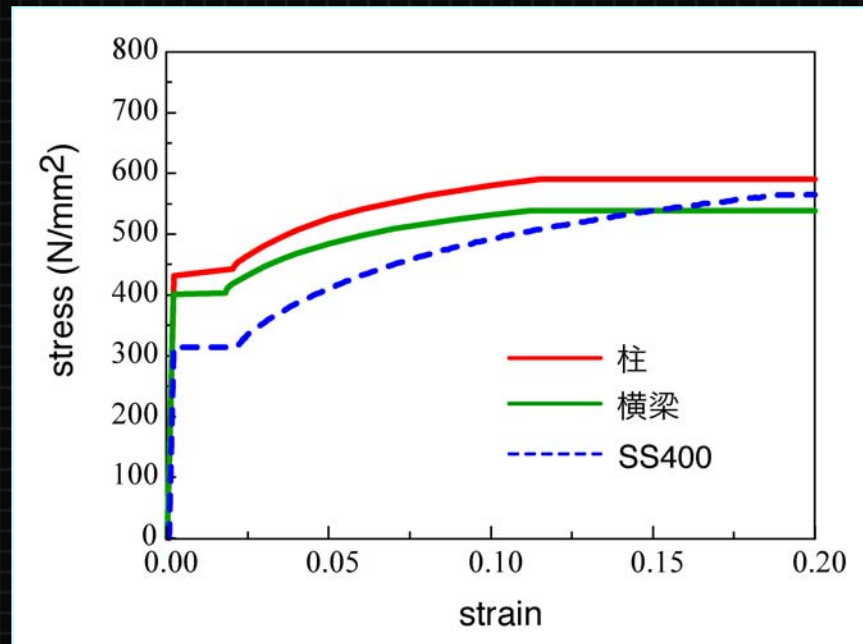
基部底面を完全固定

要素分割状況



鋼材の力学的特性

	降伏応力 f_y (MPa)	引張強度 f_u (MPa)	弾性係数 E_s (GPa)	ポアソン比 ν_s	伸び %
柱	431	526	2.06	0.3	26.5
横梁	398	479	2.05	0.3	25.7
補剛リブ	315	469	2.06	0.3	—



柱，横梁：
倒壊した標識柱から切り出した試験片による結果

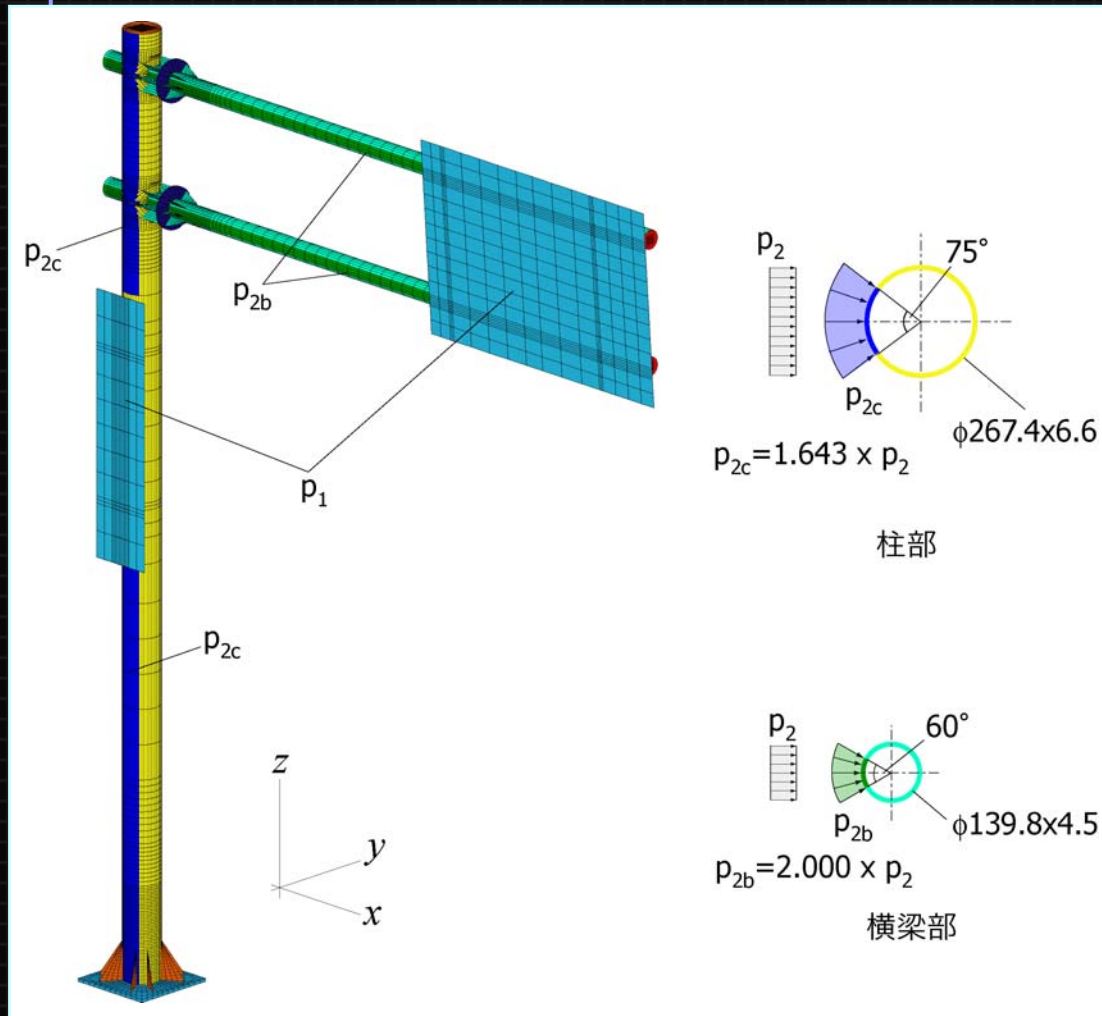
補剛リブ：
既往の研究を参考

多曲線で近似し解析に使用

解析に用いた真応力－真ひずみ関係

解析方法

標識板、柱および横梁に風荷重に相当する圧力を作用



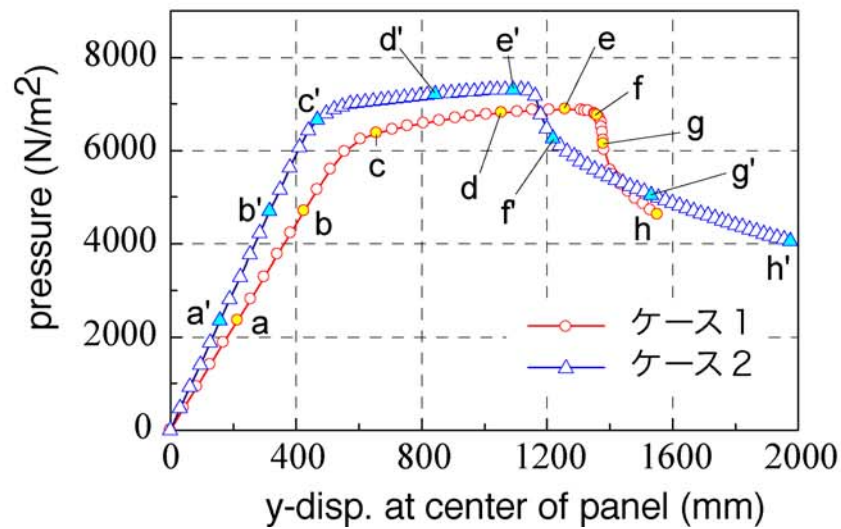
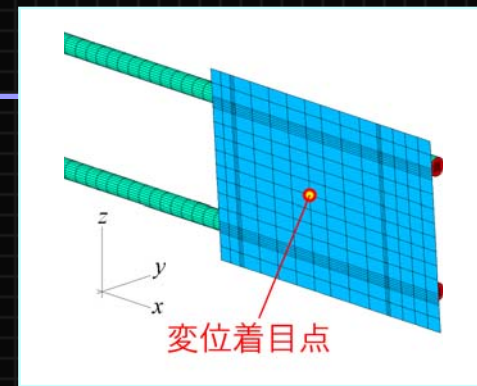
柱基部 / 横梁取り付け部に局部座屈が発生、耐力が低下するまで実施

解析ケース

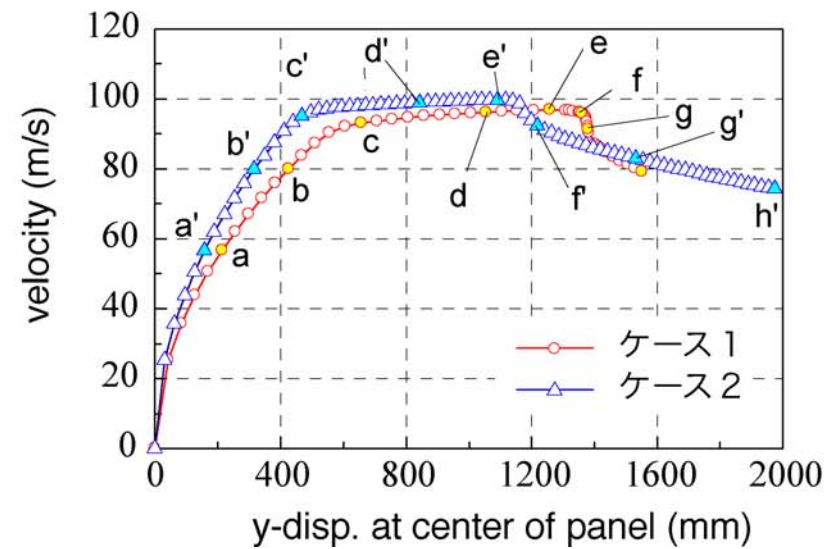
ケース1：全ての部材を弾塑性体でモデル化

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
(横梁部を弾性体でモデル化する場合)

風圧あるいは風速と変位の関係



風圧—変位関係

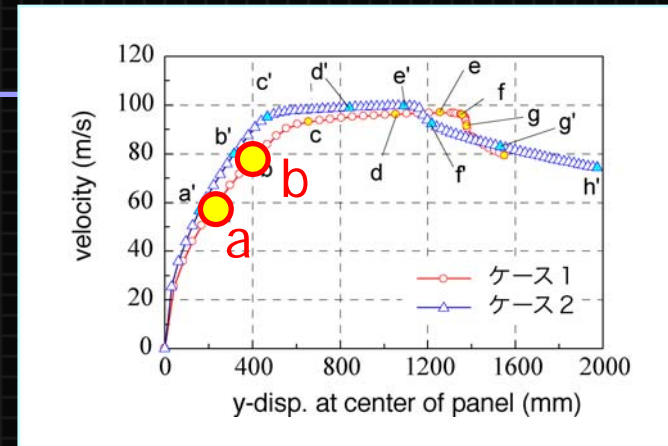


風速—変位関係

変形性状（ケース1）上方俯瞰

～全ての部材を弾塑性体とする場合～

変形倍率：等倍



(a点)
風速 $v = 56.6$ (m/s)

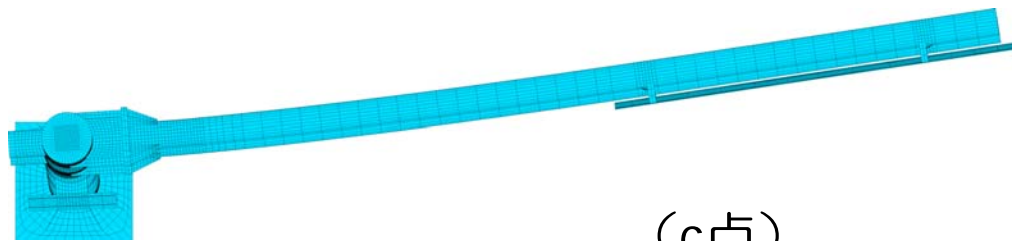
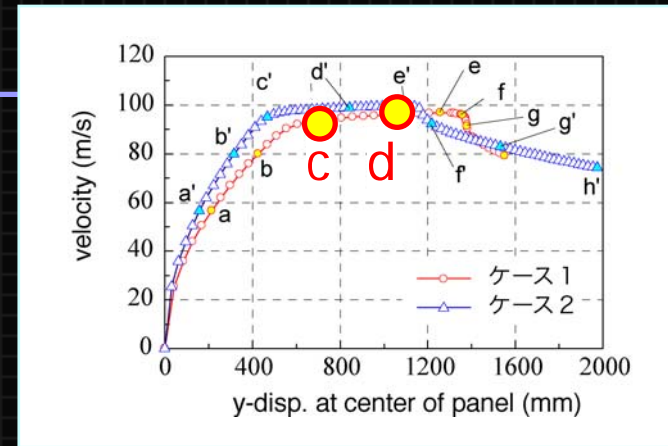


(b点)
風速 $v = 79.6$ (m/s)

変形性状（ケース1）上方俯瞰

～全ての部材を弾塑性体とする場合～

変形倍率：等倍



(c点)
風速 $v = 93.1$ (m/s)

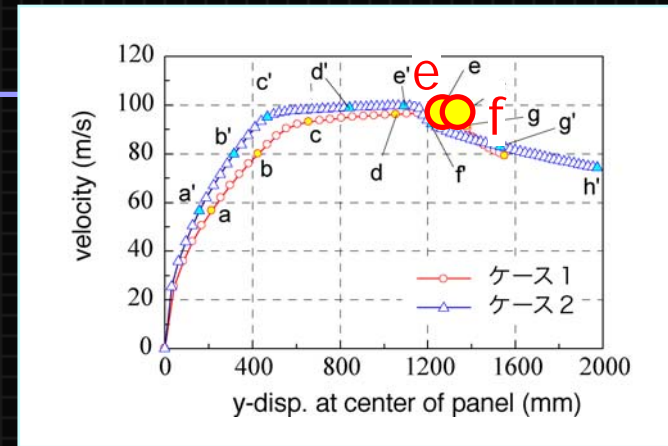


(d点)
風速 $v = 96.2$ (m/s)

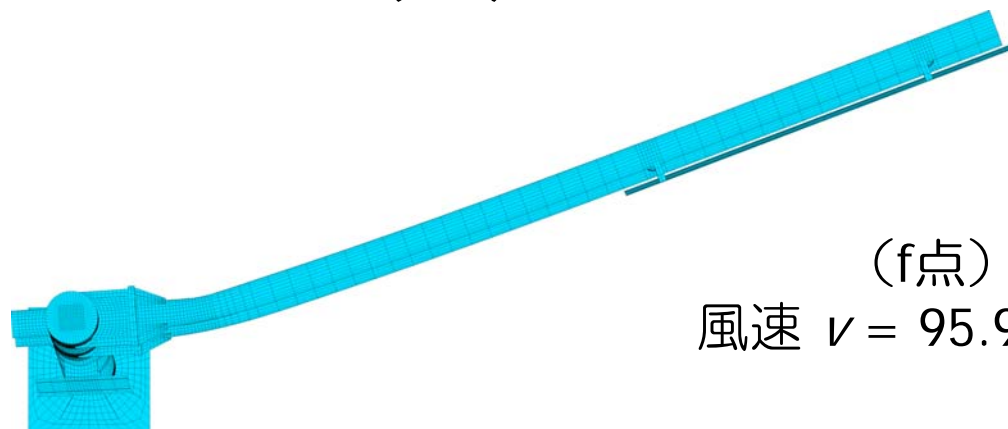
変形性状（ケース1）上方俯瞰

～全ての部材を弾塑性体とする場合～

変形倍率：等倍



最大値 (e点)
風速 $v = 96.8$ (m/s)

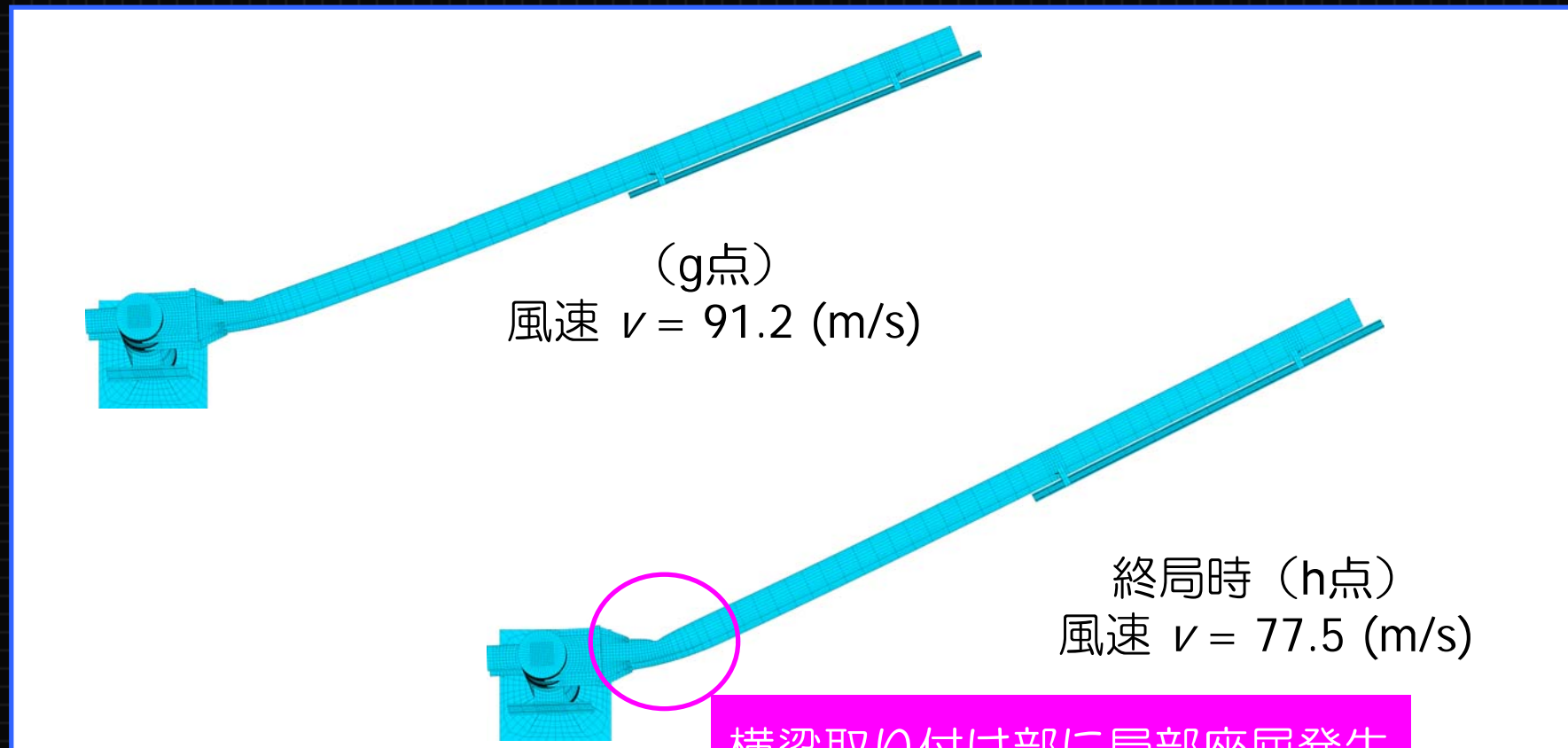
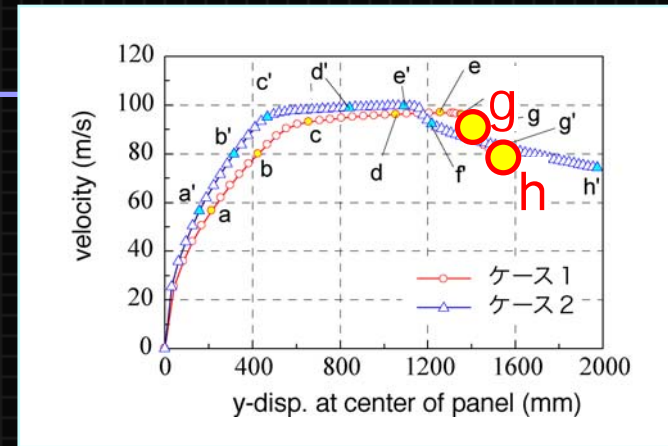


(f点)
風速 $v = 95.9$ (m/s)

変形状状（ケース1）上方俯瞰

～全ての部材を弾塑性体とする場合～

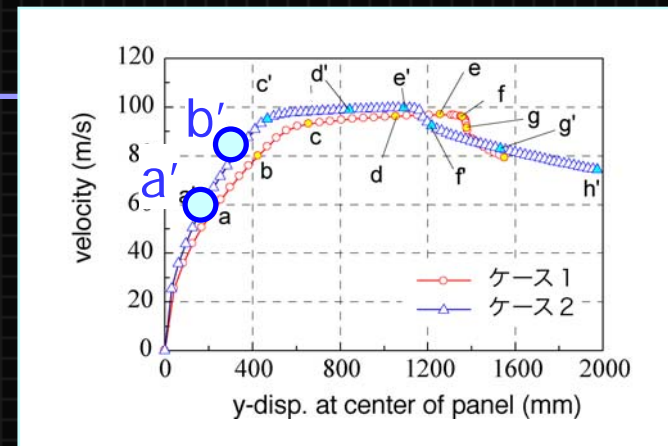
変形倍率：等倍



変形性状（ケース2）上方俯瞰

～横梁部を弾性体とする場合～

変形倍率：等倍



(a'点)
風速 $v = 56.6$ (m/s)

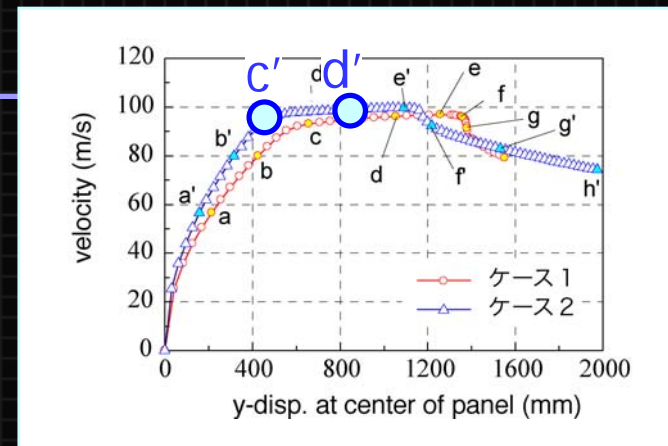


(b'点)
風速 $v = 80.0$ (m/s)

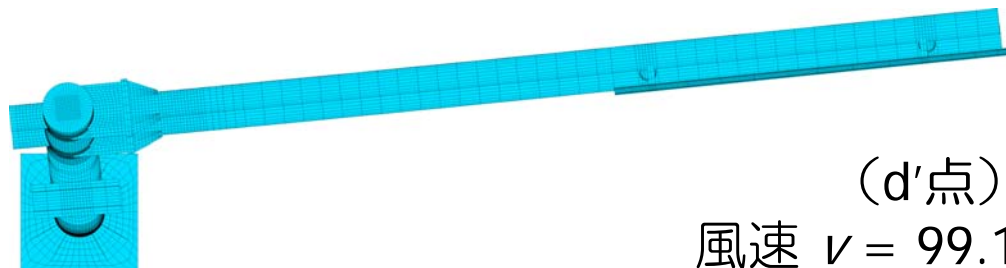
変形性状（ケース2）上方俯瞰

～横梁部を弾性体とする場合～

変形倍率：等倍



(c'点)
風速 $v = 95.1$ (m/s)

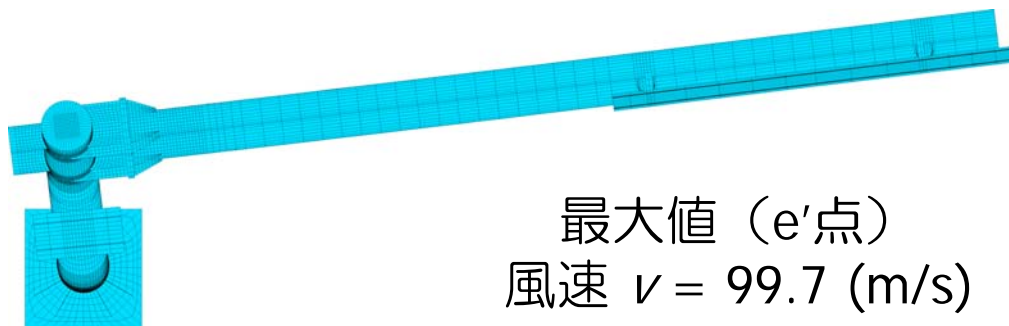
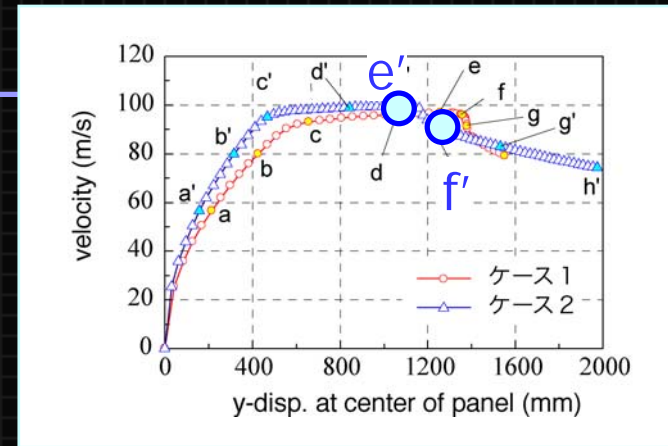


(d'点)
風速 $v = 99.1$ (m/s)

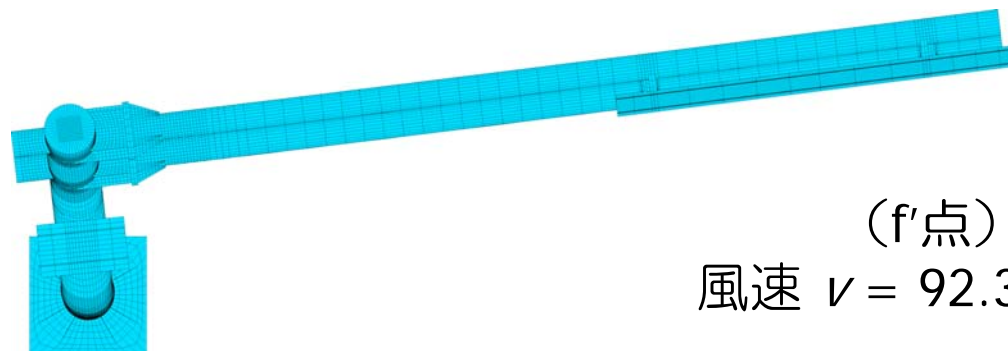
変形性状（ケース2）上方俯瞰

～横梁部を弾性体とする場合～

変形倍率：等倍



最大値 (e'点)
風速 $v = 99.7$ (m/s)

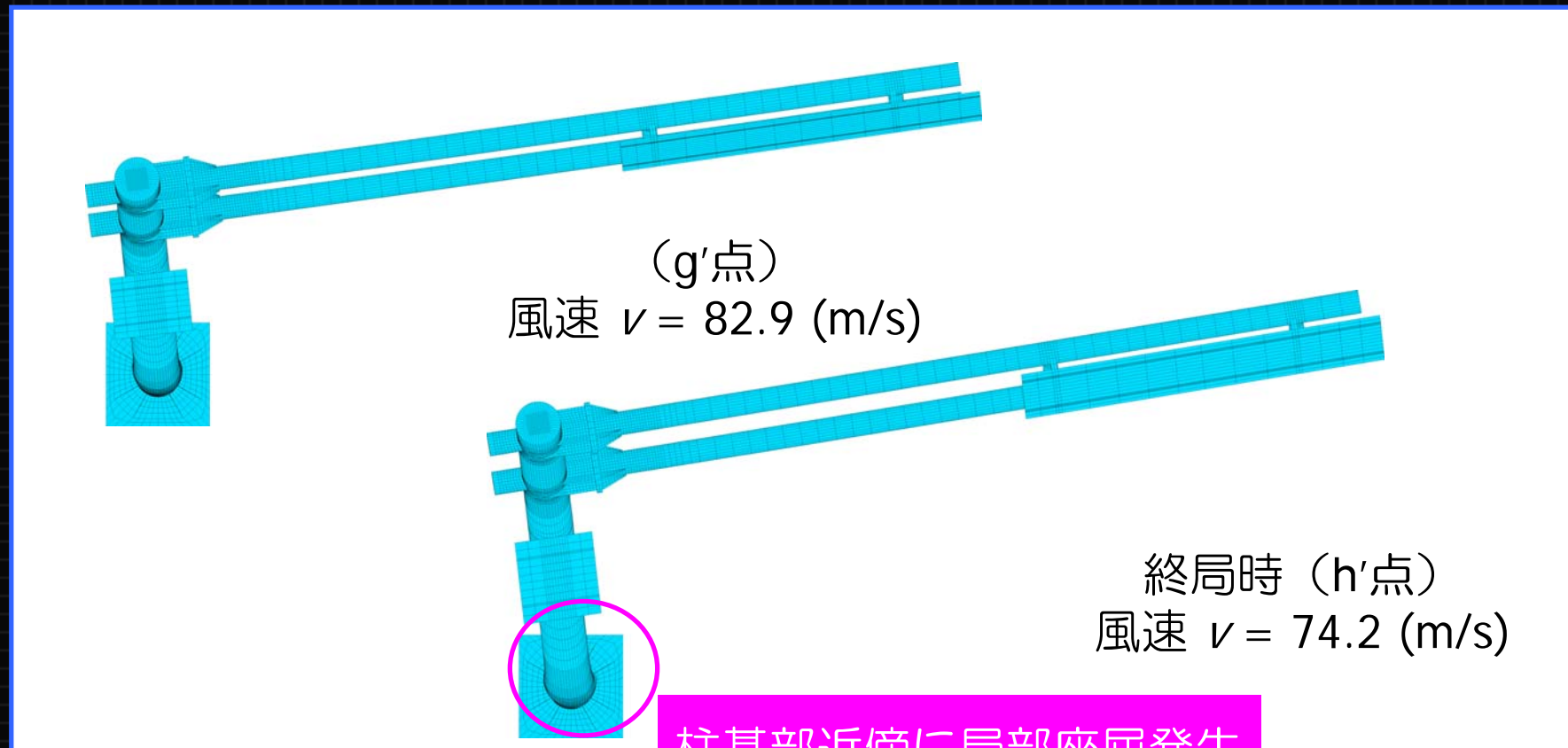
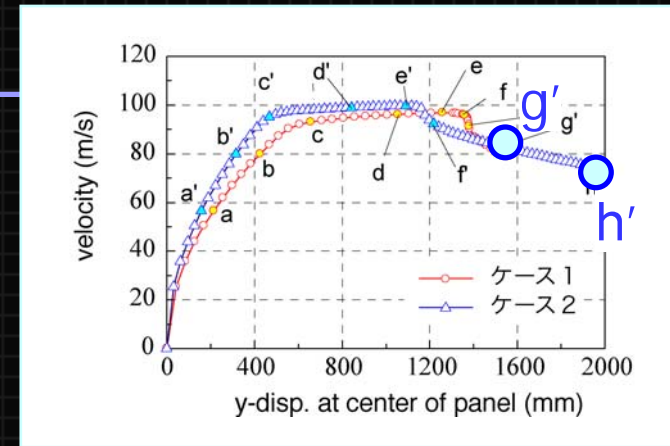


(f'点)
風速 $v = 92.3$ (m/s)

変形性状（ケース2）上方俯瞰

～横梁部を弾性体とする場合～

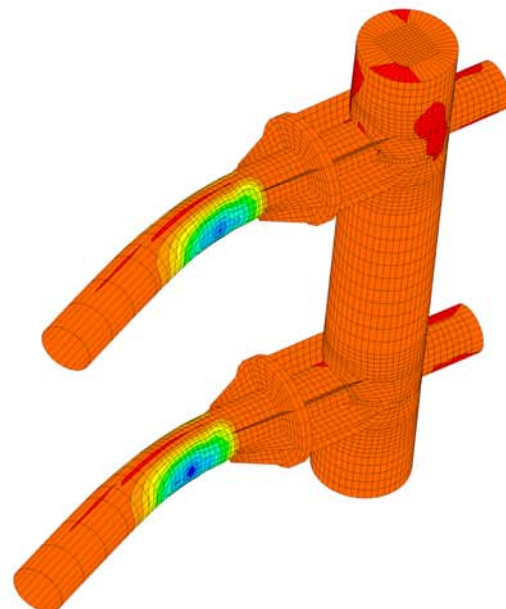
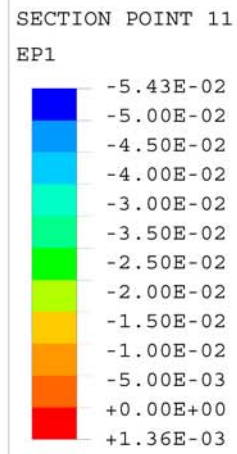
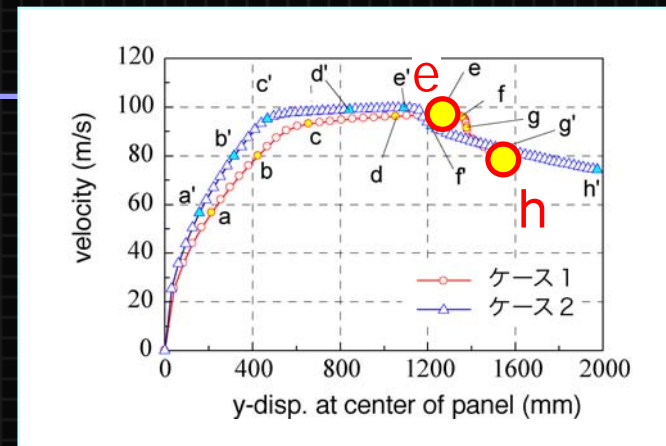
変形倍率：等倍



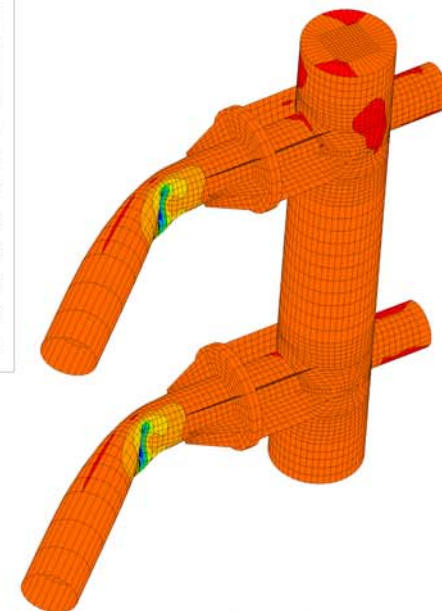
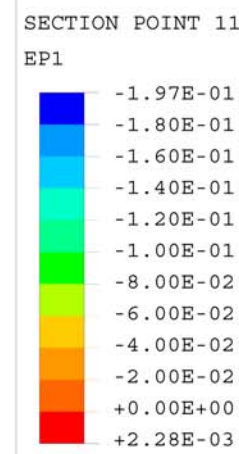
横梁取り付け部の変形状と 最小主ひずみ分布

～全ての部材を弾塑性体とする場合～

変形倍率：2倍



最大風速時 (e点, $v = 96.8 \text{ m/s}$)

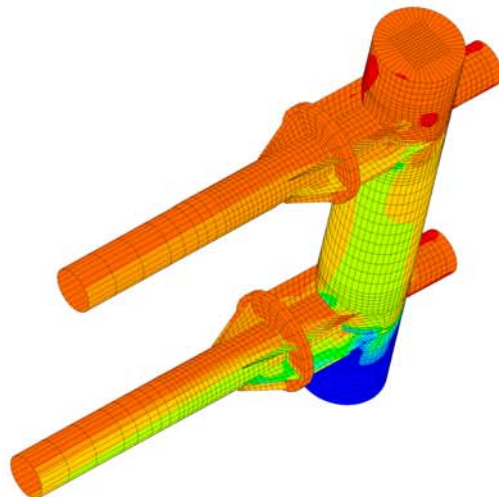
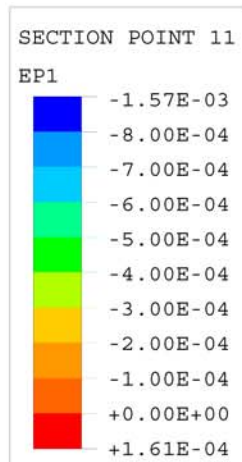
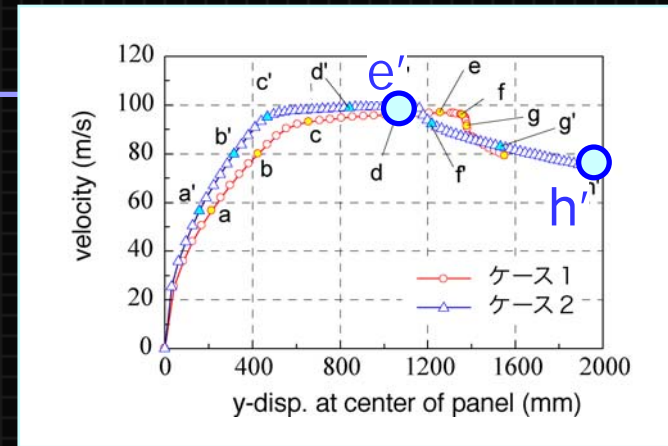


終局時 (h点)

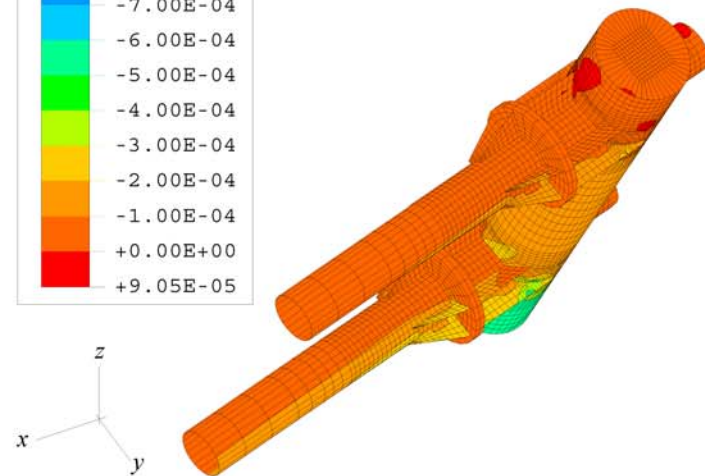
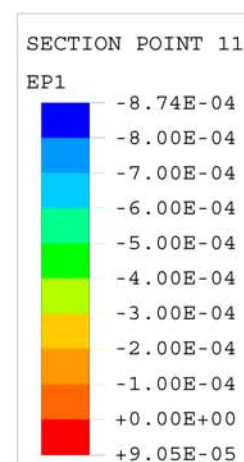
横梁取り付け部の変形状と 最小主ひずみ分布

～横梁部を弾性体とする場合～

変形倍率：2倍



最大風速時 (e'点, $v = 99.7 \text{ m/s}$)

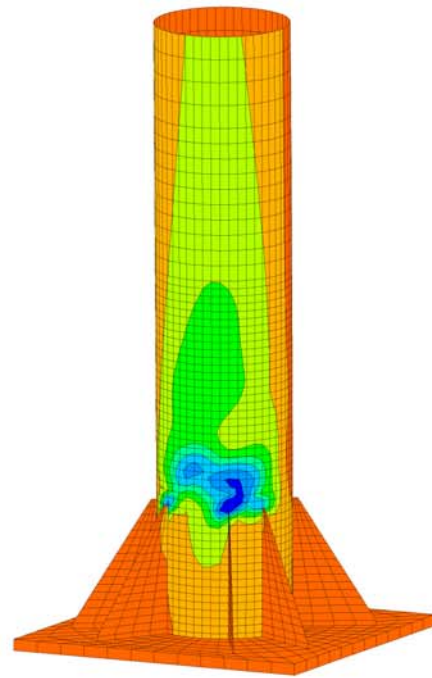
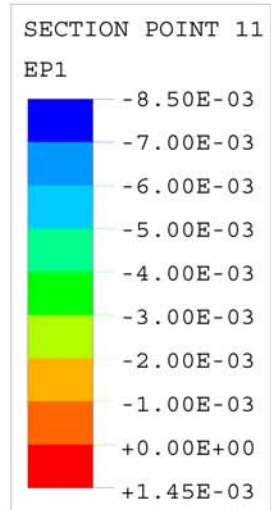
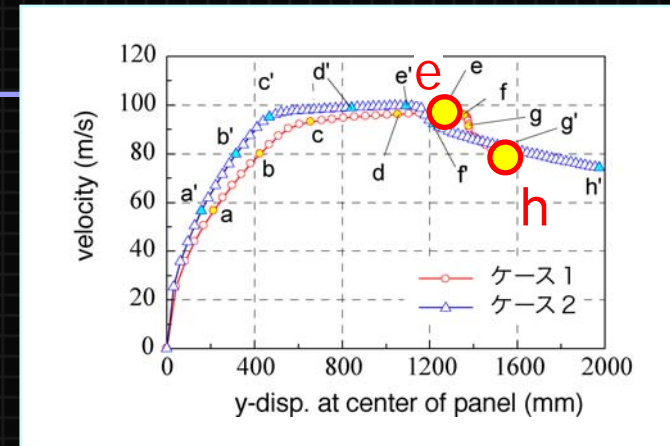


終局時 (h'点)

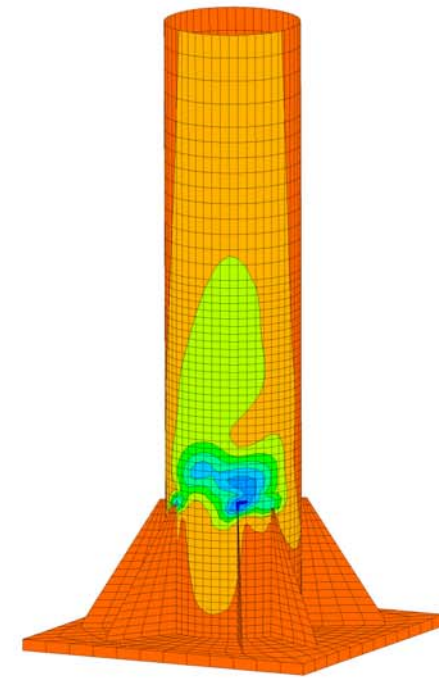
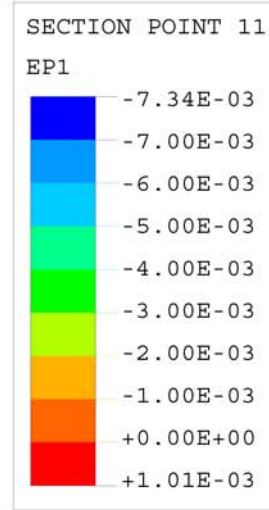
柱基部近傍の変形状と 最小主ひずみ分布

～全ての部材を弾塑性体とする場合～

変形倍率：2倍



最大風速時 (e点, $v = 96.8 \text{ m/s}$)

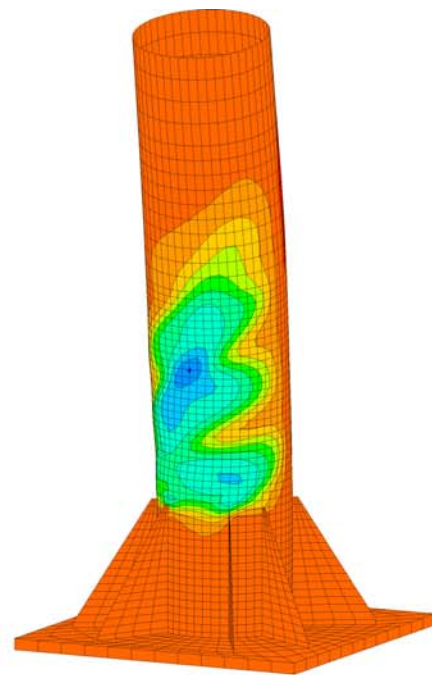
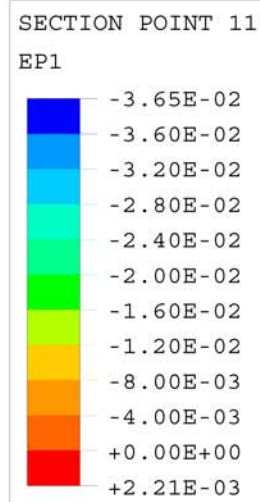
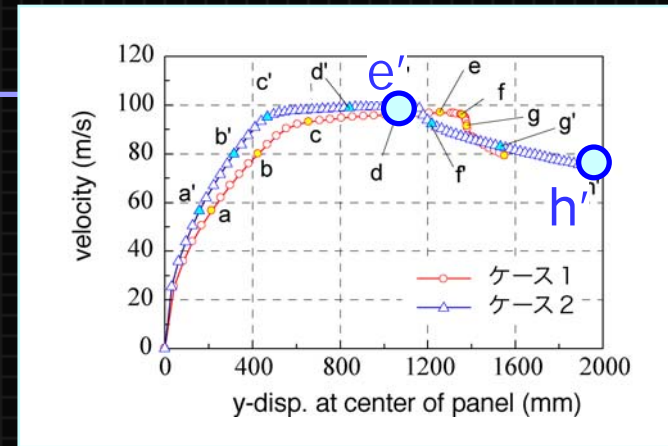


終局時 (h点)

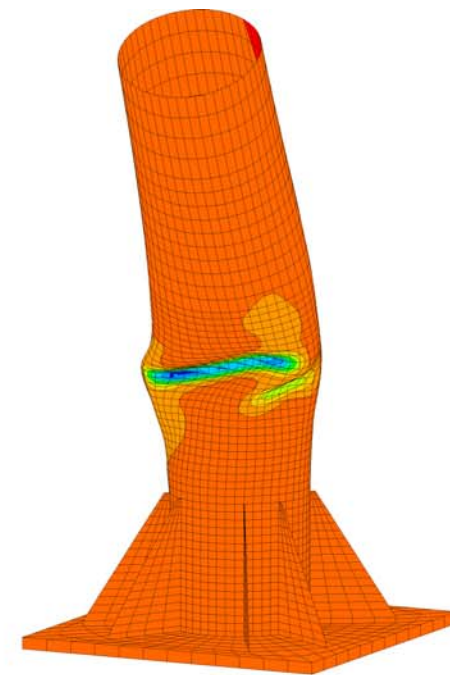
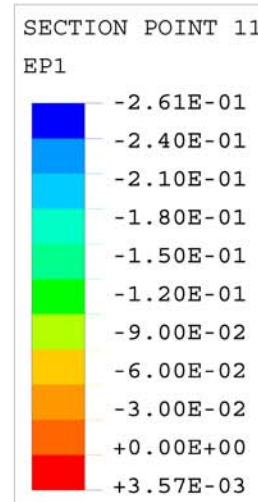
柱基部近傍の変形状と 最小主ひずみ分布

～横梁部を弾性体とする場合～

変形倍率：2倍



最大風速時 (e'点, $v = 99.7$ m/s)



終局時 (h'点)

まとめ 1

- ✓ 全ての部材を弾塑性体とする場合（ケース1）：
最大風速 $v=96.8$ m/s, 横梁取付け部に局部座屈
- ✓ 横梁を弾性体と仮定する場合（ケース2）：
最大風速 $v=99.7$ m/s, 柱基部近傍に局部座屈

弾塑性体とする場合（ケース1）：
実現象と解析結果が異なる

- ☒ 飛来物の衝突, 飛来物の巻き付き等による受圧面積の増加の影響,
- ☒ 風速・風向の急激な変化による動的効果等の影響と推察

被災状況を再整理

1. 柱基部が破断，倒壊
2. 横梁取り付け部の破断，横梁が上方に倒壊

再現不可



被災状況再現のための強制変位解析

3種類の解析を追加

ケース3：横梁取り付け部位置（柱）に強制変位を与える場合（純曲げ解析）

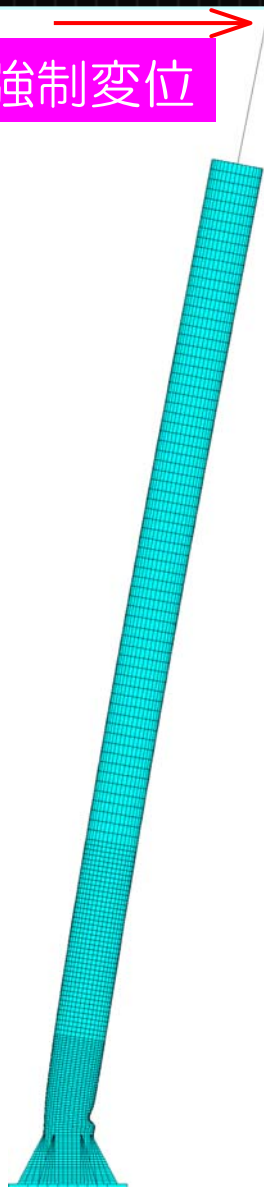
ケース4：標識板中央点を z 方向（上方）に強制変位させる場合

ケース5：横梁取り付け部近傍を z 方向（上方）に強制変位させる場合

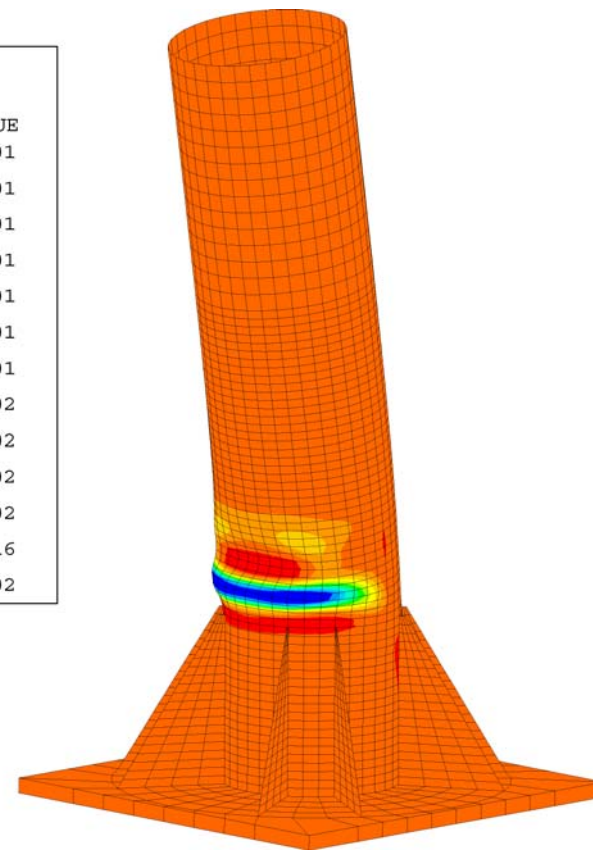
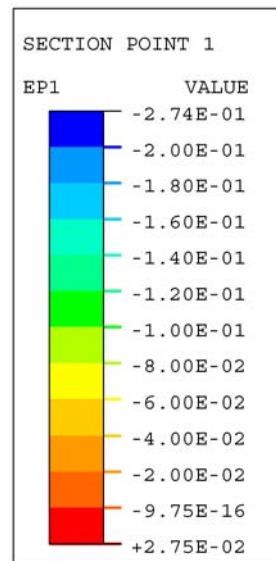
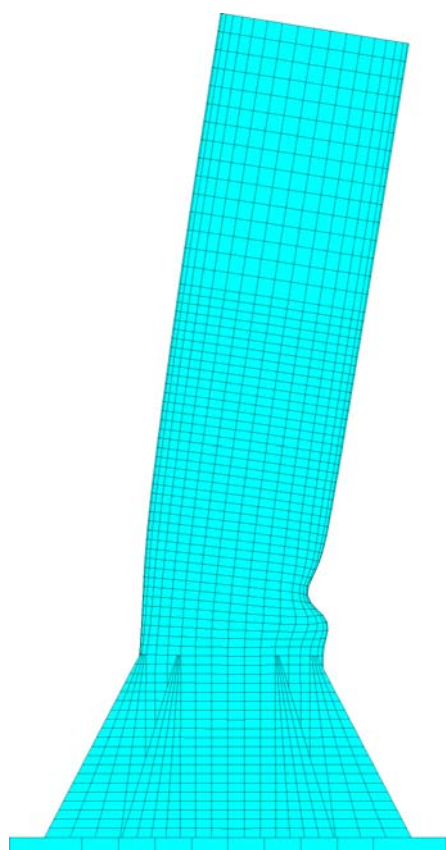
実際の被災状況との比較

柱基部近傍の損傷再現のための純曲げ解析

強制変位



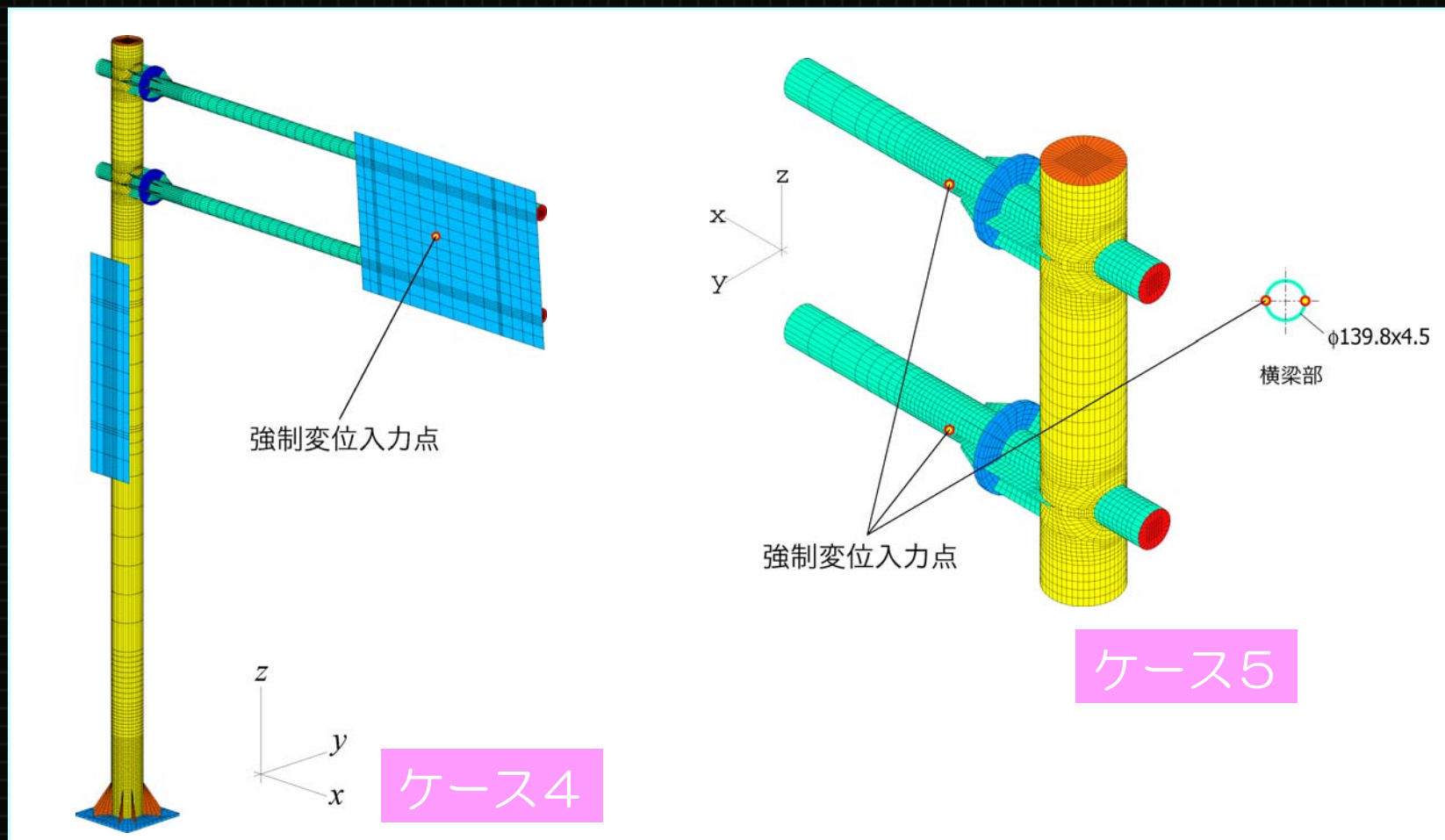
ケース3：
横梁取り付け部に強制変位を与え、純曲げ解析を実施



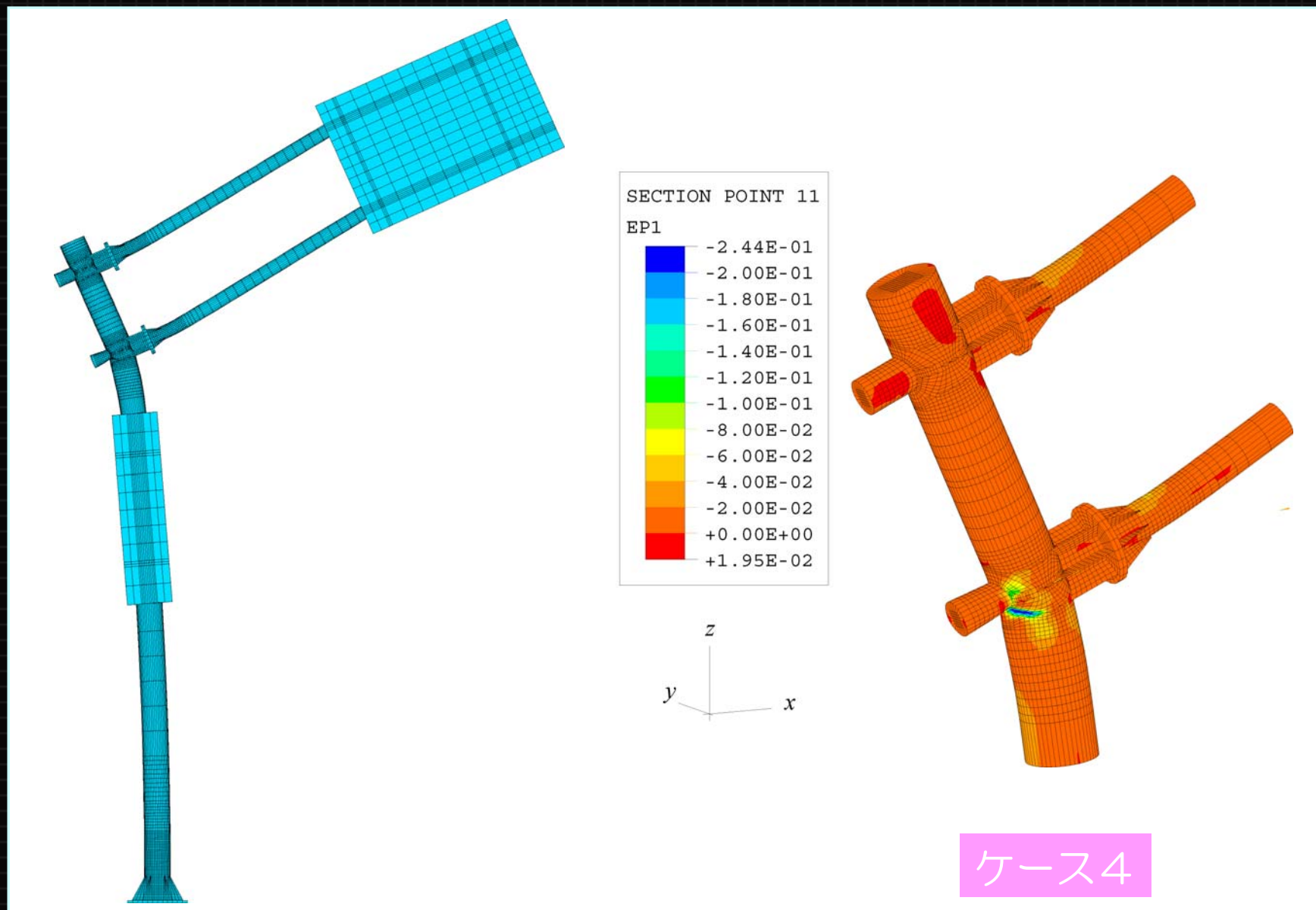
横梁取り付け部の損傷再現のための強制変位解析

ケース4：標識板中央点を上方に強制変位させる場合

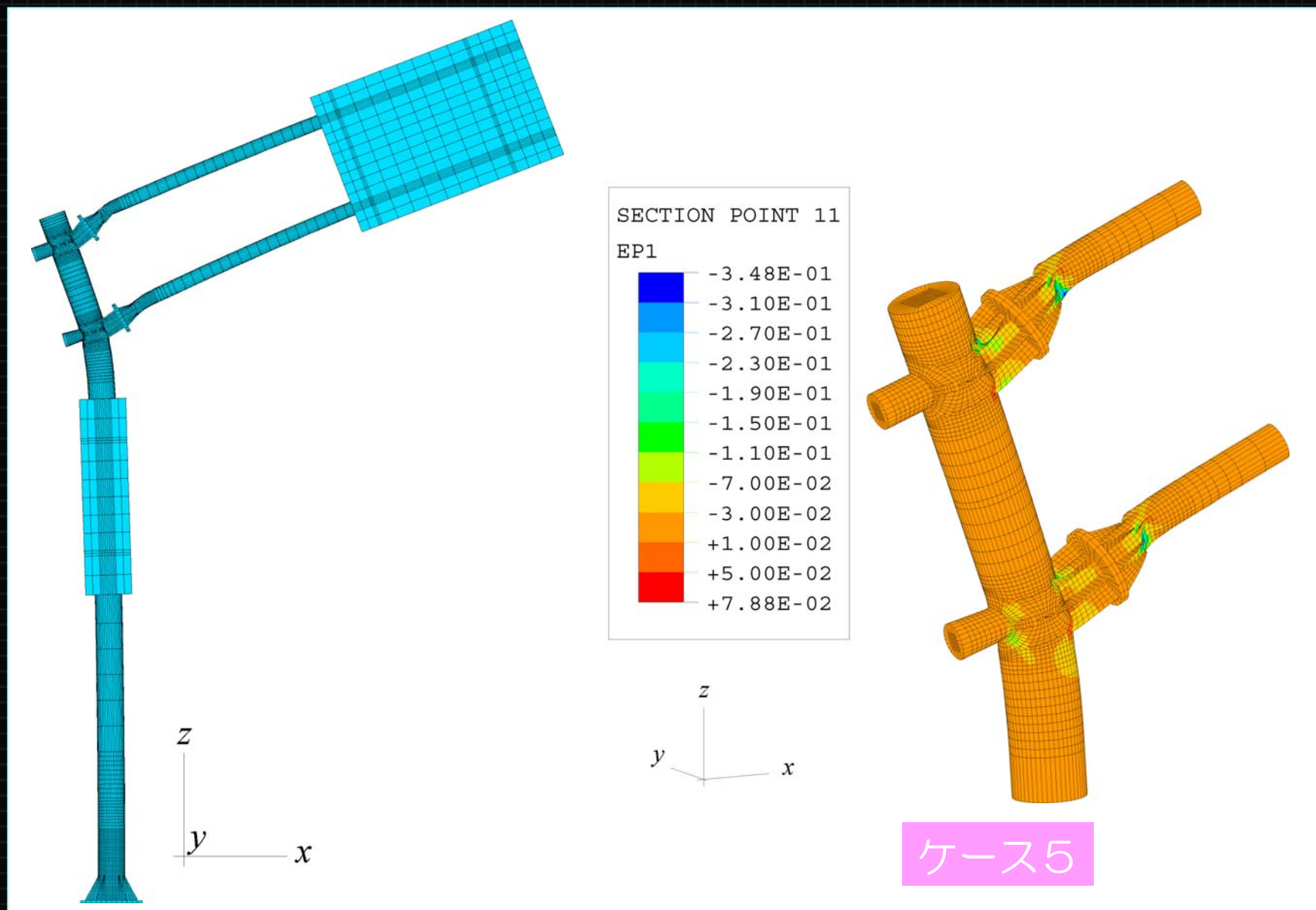
ケース5：横梁取り付け部近傍を上方に強制変位させる場合



標識板中央点を上方に強制変位させる場合



横梁取り付け部近傍を上方に強制変位させる場合



まとめ 2

- ✓ 横梁取り付け中心位置に強制変位を与え、**純曲げ状態を再現**する場合（ケース3）：
柱基部近傍に局部座屈が発生，実際の被災状況に近い？
- ✓ 標識板**中央部に上方（ z 方向）の強制変位**を与える場合（ケース4）：
標識柱全体が大きく変形，実現象とは異なる
- ✓ 横梁**取り付け部近傍に上方（ z 方向）の強制変位**を与える場合（ケース5）：
横梁取り付け部近傍に変形が集中，実現象に近い？

総括

倒壊した道路標識柱を対象に、

1. 破壊状況や構造，材料特性を詳細に調査，
2. 風荷重が標識柱に静的に作用したと仮定し，倒壊時の風速を三次元弾塑性有限要素解析により推定
(ただし，飛来物の衝突，飛来物の巻き付き等による受圧面積の増大などは無視)

実際の被災状況を適切に再現するまでには至らず

- ✓ 設計以上の風速，風の動的な影響，飛来物の衝突および巻き付きなど，設計で想定していない現象により倒壊に至ったものと判断される