

# 竜巻影響評価に関する検討状況および課題

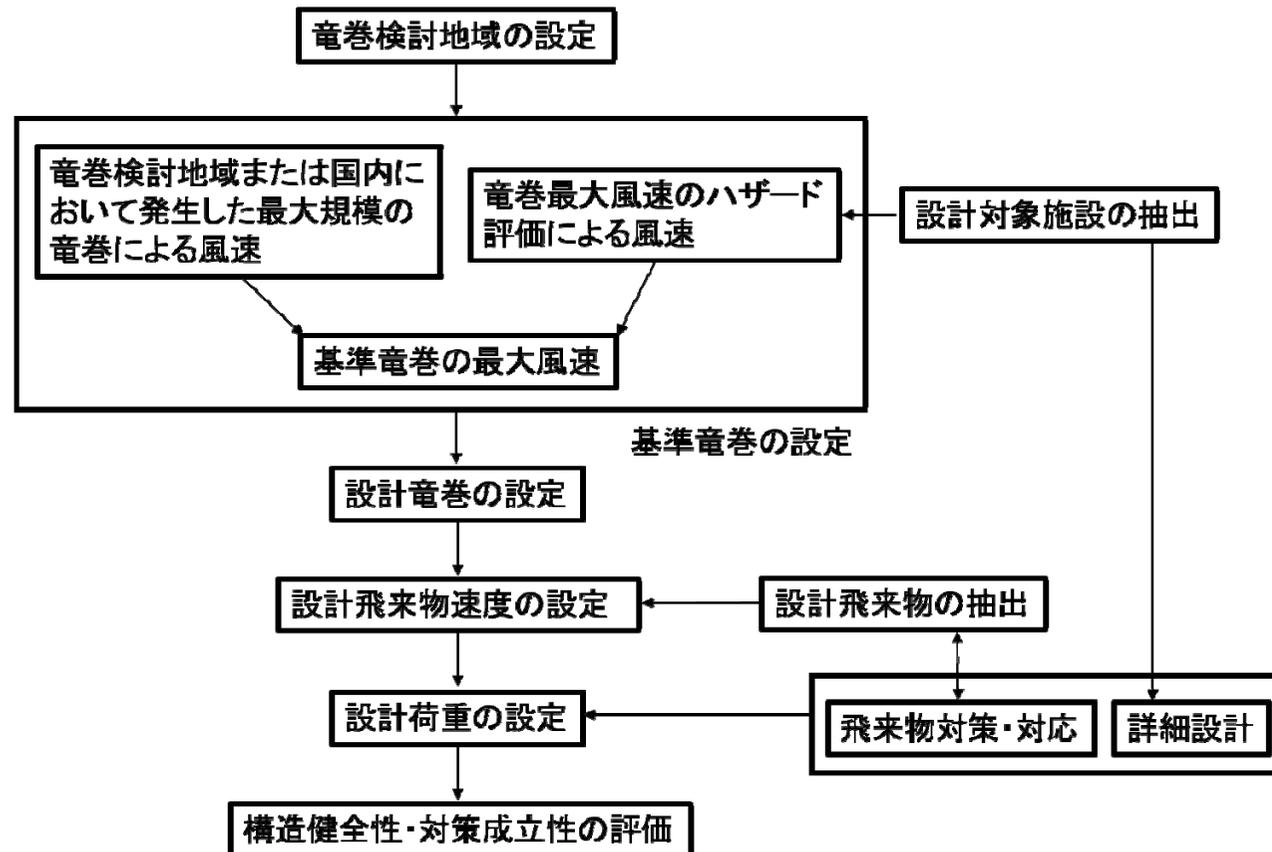
電力中央研究所 原子力リスク研究センター 杉本 聡一郎  
白井 孝治  
江口 譲  
平口 博丸

2016年10月21日

原子力構造工学推進連絡会 国内WS(於:電力中央研究所)

# 背景(影響評価ガイド)

- ◆ 新規規制基準において、考慮すべき自然現象として竜巻が新たに追加された。

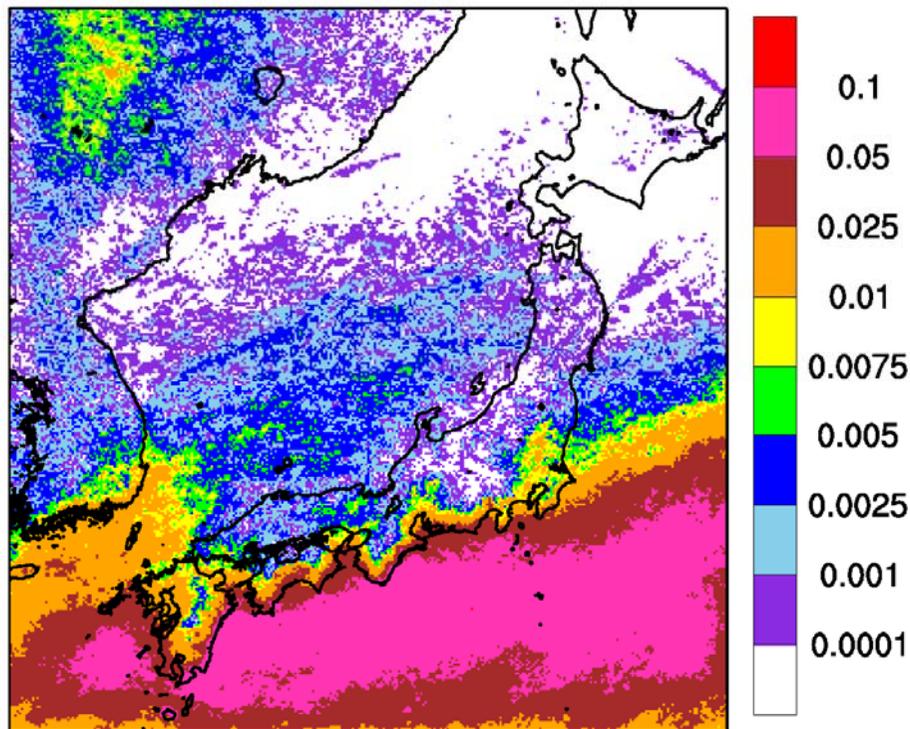


規制委員会による竜巻影響評価ガイドにおいて提示されている評価の流れ

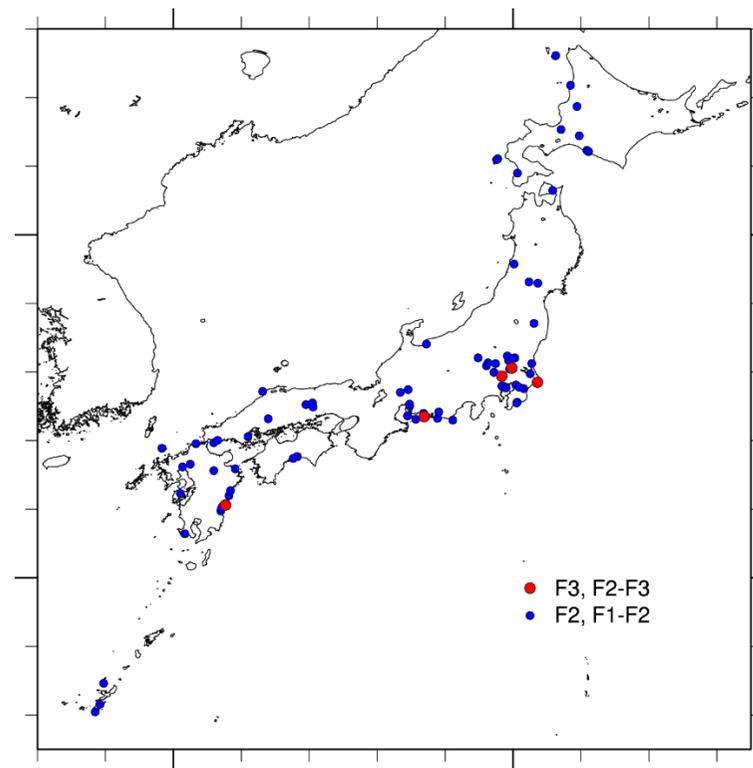
# 当所においてこれまで得られた主な成果

- ◆ 竜巻発生を観点として立地地域の気象条件と類似の地域(竜巻検討地域)の設定方法について、気象学的に根拠のある方法として、突風関連指数の地域性を考慮する手法を提案した(電中研報告 O15007).
- ◆ 気象庁の「竜巻等の突風データベース」をもとに確率論的に竜巻風速を評価する手法として TOWLAを開発した(電中研報告 O15005).
- ◆ フジタDBT-77モデルをもとに、竜巻飛来物挙動の評価ツールTONBOSや気圧場(気圧低下率等)の評価ツールを開発した(電中研報告 N14002).
- ◆ 貫通限界厚さの評価において、ひずみ制限にもとづく破壊基準の考え方の有効性を確認した(電中研報告 N15004).
- ◆ 高強度金網を用いた竜巻飛来物に対する防護方法を提案し、実証試験によりその適用性の高さを確認した(電中研報告 N13014, N14009, N14018, O01等).
- ◆ 日本機械学会の竜巻影響評価ガイドライン策定タスクにおいて、ガイドライン策定に貢献した.

# 長期再解析データを用いた解析例(暖候期)



同時超過頻度(単位は%)



F2およびF3竜巻の発生箇所

- スーパーセル型竜巻の発生に重要な指数(大気不安定度CAPEおよび高度による風向・速度差SREH)を長期・高解像度気象データをもとに算出.
- F3規模以上のスーパーセル型竜巻の発生ポテンシャルは、茨城県以西の太平洋側および九州の沿岸平野部において高い.

# 竜巻飛来物速度の評価方法の比較

実施機関・ガイド	竜巻風速場	飛来物の運動方程式	飛来物の初期高度, 竜巻との相対位置
①米国NRCガイド: NUREG1.76, 2007 <sup>(1)</sup>	移動ランキン 渦モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外力として、平均流体抗力と重力のみを考慮</li> <li>・回転がない3自由度並進運動</li> </ul>	高さ40m (原子炉建屋相当) 特定の1点
②国内PWR電力 (ゼネコン・電中研 <sup>(2)</sup> )			高さ40m 最大速度となる点
③規制委員会ガイド (東京工芸大学 <sup>(3)</sup> )	非定常乱流渦 (LES解析結果)		実際の位置(地上など) 最大速度となる点
④電中研:TONBOS <sup>(4)</sup>	フジタモデル		

(1) U.S. Nuclear Regulatory Commission: Regulatory Guide 1.76.

(2) 江口ら: 移動ランキン渦モデルによる竜巻飛来物速度の評価, 日本流体力学会 年会2013.

(3) 東京工芸大学: 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書.

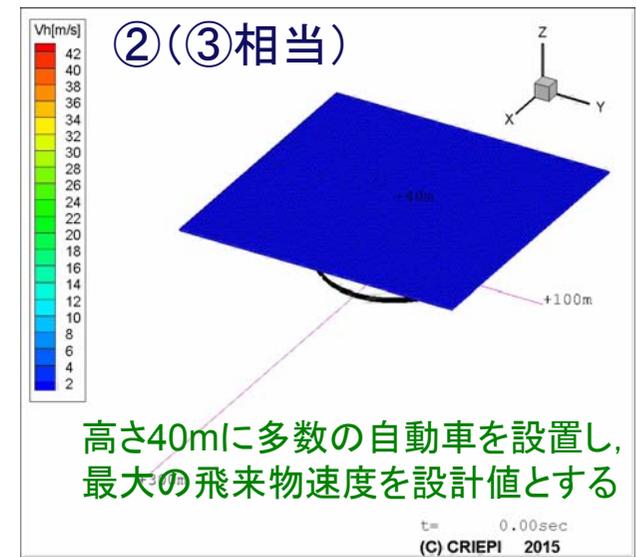
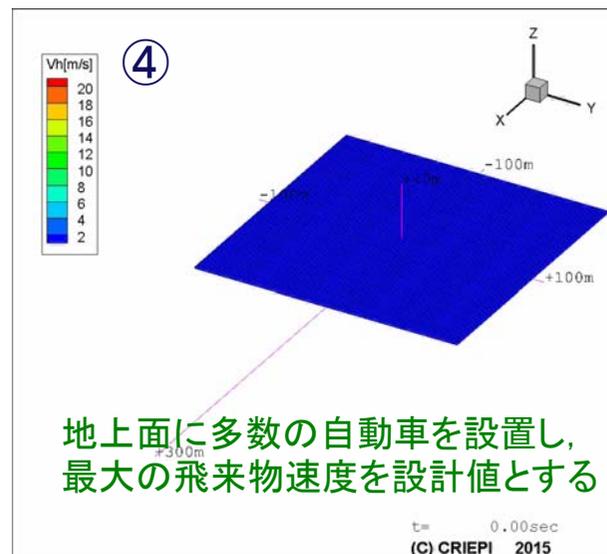
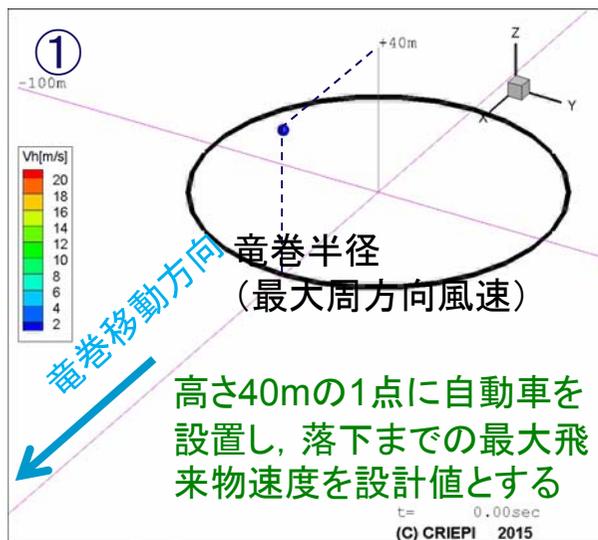
(4) 江口譲ら, 竜巻による物体の浮上・飛来解析コードTONBOSの開発, 電中研報告N14002.

# 自動車を対象とした設計飛来物速度の算定例

米国の竜巻地域区分	①米国NRCガイドの例示値	④電中研モデル	②国内PWR電力のモデル(③相当)
Region-I	41 [m/s]	38 [m/s]	60 [m/s]
Region-II	34 [m/s]	28 [m/s]	52 [m/s]
Region-III	24 [m/s]	21 [m/s]	44 [m/s]

計算条件は  
NRC ガイドと同じ

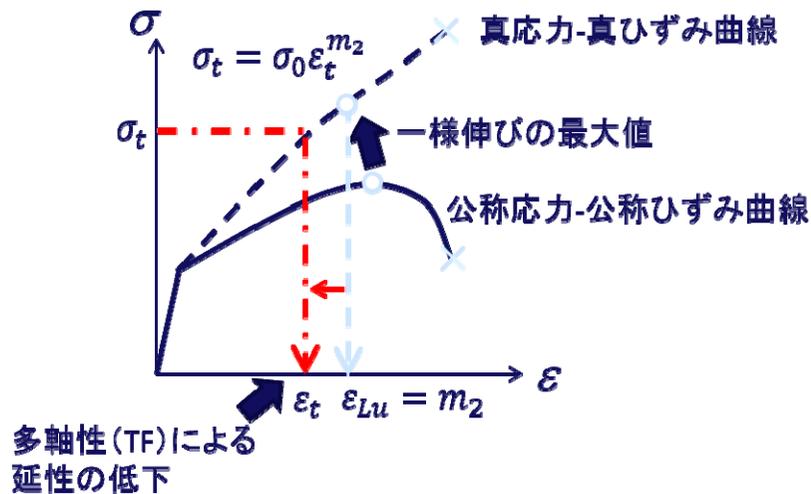
竜巻条件: 最大風速, 移動速度: 米国Region-I~IIIの3種類, 竜巻半径: 45.7m  
物体特性: 自動車 (Region-I, IIでは $C_D A/m=0.0070 \text{ m}^2/\text{kg}$ ; Region-IIIでは $C_D A/m=0.0095 \text{ m}^2/\text{kg}$ )



# ひずみ制限を適用した鋼板衝撃解析の検証

JSME: PWR鋼製格納容器のSA時の構造健全性評価ガイドライン

局部の相当塑性ひずみ < 3軸限界ひずみ  $\varepsilon_L$  → 局部的破壊



$m_2$ : 公称の降伏点と引張強さの比率から予測される加工硬化係数

$\sigma_t$ : 真応力  $\sigma_0$ : 材料定数

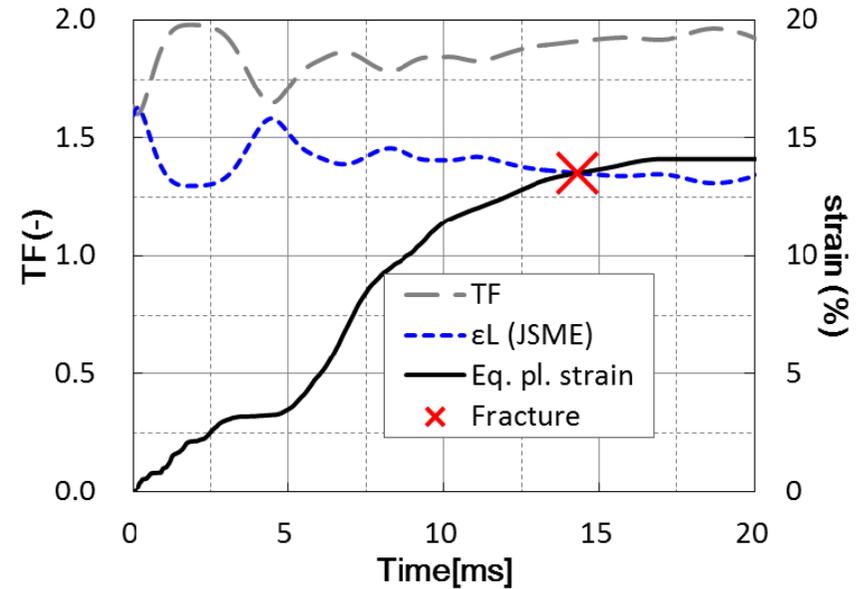
$\varepsilon_t$ : 真塑性ひずみ  $\varepsilon_{Lu}$ : 限界単軸ひずみ

$$\varepsilon_L = \varepsilon_{Lu} \cdot \exp\left[\frac{-\alpha_{sl}}{1+m_2} \left(\frac{1}{3}(TF-1)\right)\right]$$

多軸度係数  $TF = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / \sigma_e$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ : 主応力 (MPa)

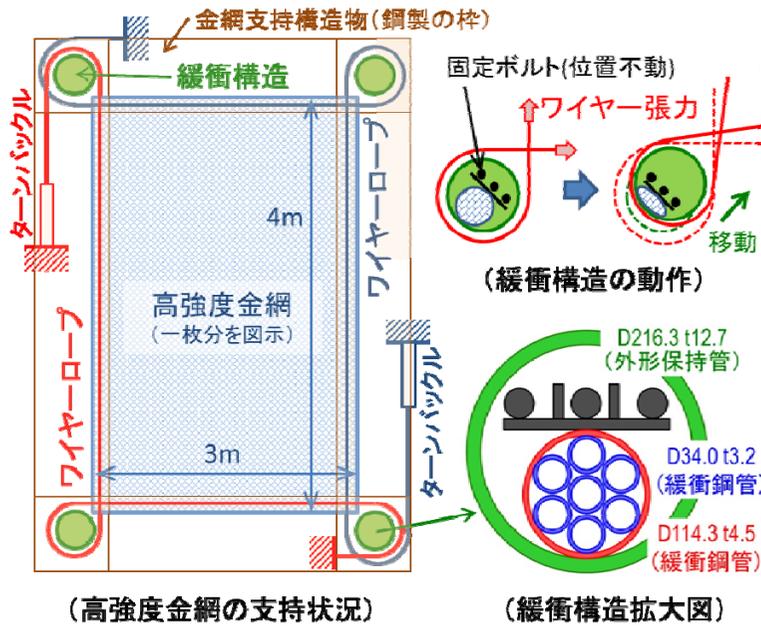
$\sigma_e$ : ミーゼス相当応力 (MPa)



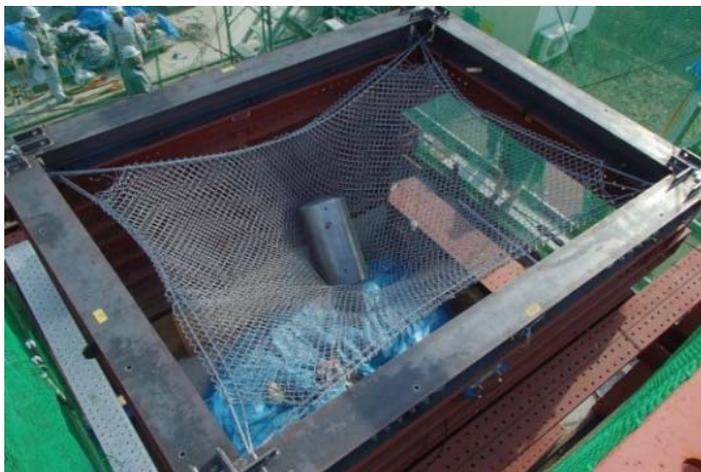
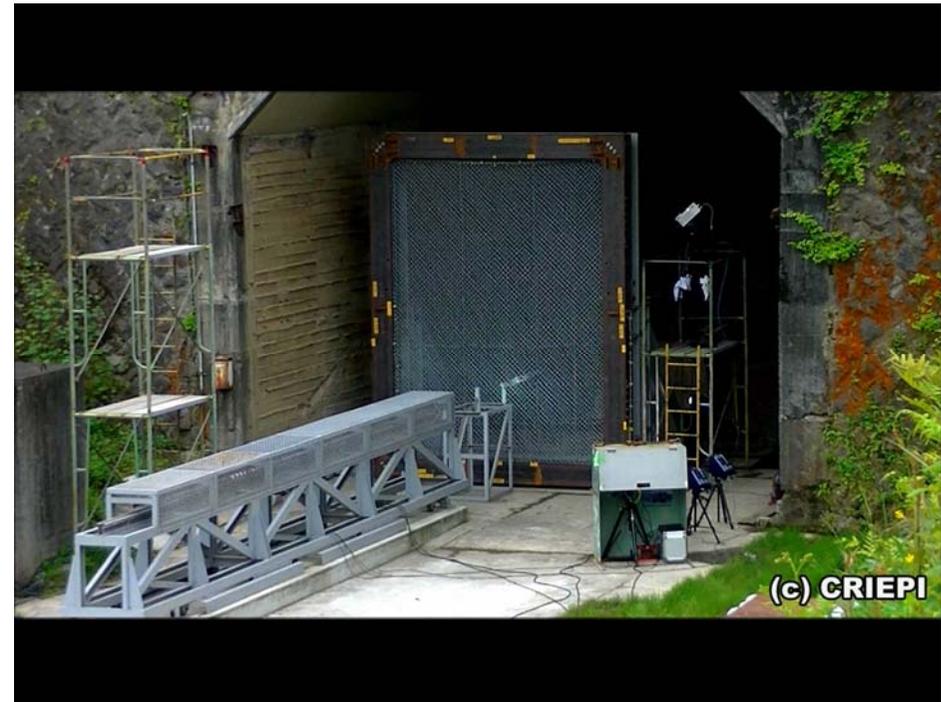
落下衝撃解析による評価例



# 高強度金網を用いた竜巻飛来物防護



電中研報告 N13014



提案手法は各サイトで適用されている。

## 今後の課題

- ◆ (竜巻検討地域) 竜巻発生ポテンシャルの地域性に対する地球温暖化による影響を明らかにする.
- ◆ (竜巻ハザード評価) 今年4月から運用開始された「日本版改良フジタスケール」による竜巻データの活用方法を検討する.
- ◆ (設計竜巻風速) 非定常乱流解析手法(ラージ・エディ・シミュレーション LES)を用いた, 竜巻旋回流に対する地形影響評価の数値的アプローチを確立する.
- ◆ (竜巻飛来物評価) 確率論的なアプローチについて検討する. (第二回安全性向上評価に求められている竜巻PRAの可能性とも関連.)
- ◆ (貫通・裏面剥離評価) 高速度条件におけるBRL式の適用性確認, 衝突面形状・衝突角度等による影響検討, 複数枚の鋼板による耐貫通性能に関する評価を検討する.
- ◆ (竜巻防護対策) 対策効果検証のための数値的解析モデルについて検討する.