

# 2006年11月7日に発生した 北海道佐呂間町竜巻被害調査緊急報告

▶▶ 土木学会竜巻緊急災害調査団

## はじめに

2006(平成18)年11月7日午後1時20分頃、北海道佐呂間町若佐地区に大型の竜巻が発生した。この竜巻により国道333号の新佐呂間トンネル工事(長さ4.1km)を施工していた工事事務所兼作業員宿舎が倒壊し、工事関係者9名が死亡、付近住人を含む31名が重軽傷を負った。家屋被害は、住家・非住家合わせて全壊が43棟、半壊11棟、一部破損55棟であった<sup>1)</sup>。さらに電柱7本が倒れ、7時間半にわたり停電し、約630戸に影響があったなど、インフラ施設が被害を受けた。

土木学会では直ちに被害調査団派遣に関する検討に入り、土木学会災害緊急対応部門と協議のうえ、北海道佐呂間町竜巻緊急災害調査団の派遣を決定した。調査は11月8日から現地調査や関係者への聞き取り、資料収集など数度にわたり実施した<sup>2)</sup>。調査団のメンバーを表-1に示す。

## 竜巻の概要

竜巻の発生時には、北海道の北の海上で猛烈に発達しつつある低気圧から南北にのびる寒冷前線が、西か

表-1 土木学会竜巻緊急災害調査団

職区分名	氏名	勤務先名称
団長	大島 俊之	北見工業大学
団員	藤野 陽三	東京大学
	岸 徳光	室蘭工業大学
	木村 吉郎	九州工業大学
	佐藤 昌志	国土交通省北海道開発局
	石川 博之	土木研究所寒地土木研究所
	横辻 宰	北海道電力(株)
	近藤 宏二	鹿島建設(株)
	安江 哲	(株)ドーコン
	三上 修一	北見工業大学
	宮森 保紀	北見工業大学

ら東に通過していた。北海道北東部はフェーン現象の影響で暖かく、寒冷前線付近に雲頂の高い積乱雲が発生した。図-1の13:30の降雨量を示すレーダー画像をみると、赤色で示された強い降雨域(紺色の丸印で囲った部分)が佐呂間付近を通過しているのがわかる。この降雨をもたらし、竜巻を生じさせた積乱雲は、10時50分頃に日高地方で発生し、3時間程度の長寿命を持ち、北北東に進んだ。竜巻の発生前後では、雲の移動速度は70~90km/hであったと考えられている<sup>3)</sup>。

また、竜巻発生時の気象状況を水平解像度250mの雲解像モデルを用いて数値解析により再現実験した結果では<sup>4)</sup>、竜巻をもたらしした積乱雲は、スーパーセルという、巨大で強い上昇流をもち、数時間と長寿命なタイプの積乱雲であったと推定されている。ただし観測データが少なかったことから、スーパーセルであったという確証は、今のところ得られていないようである。

気象庁は、12月15日、この竜巻の強度はF3スケー

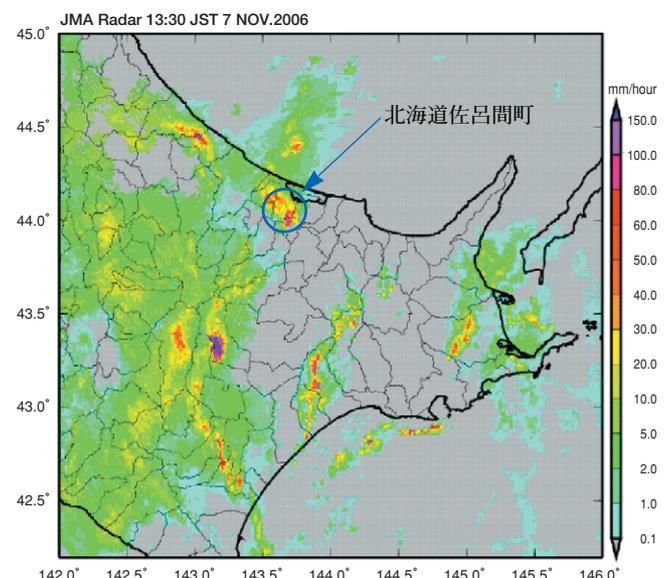


図-1 レーダー図(気象庁、11月7日13:30)



写真-1 吸い上げ渦の痕跡 (提供：防衛大学校小林文明助教授)

ル(約5秒間の平均風速で70～92m/sの風速にほぼ対応する)であったと発表した。F3スケールの竜巻は、1990(平成2)年の茂原竜巻、1999(平成11)年の豊橋竜巻に次いで、3個目の記録である。これらの竜巻と比べて、佐呂間の竜巻の被害範囲は、長さ1.4km、幅は最大で300m程度と小さいが、一部では非常に強い風が吹いたものと推定される。竜巻の移動速度が20m/s程度と大きく、竜巻自身の風速に移動速度が加えられたことも、強い風速が作用した原因と考えられる。

なお、竜巻発生地点付近の農地には、直径10～20m程度の吸い上げ渦の跡(写真-1)のようなものが見られ、地上付近の上昇気流の大きい、強い竜巻であったことが推測される。また、被害を受けた領域が複数あることや、目撃証言から2～3個の竜巻が同時に発生していたものと考えられ、竜巻の親雲の規模が大きかったことを示唆している。

## インフラ施設の被害

インフラ施設の被害を表-2に示す。写真-2、3は佐呂間町若佐地区の被災前後の空中写真である。被害範囲は最大幅約300m、長さ約1.4kmの带状で、建物が密集している地域であり、飛散物は15km以上離れたサロマ湖まで到達していた。インフラ施設の被害を図-2、表-2に示す。図-2中の赤色の建物は倒壊した新佐呂間トンネルの工事事務所で、ここから北側の若佐地区に被害が集中している。被災地域にある道路施設においては、幅2.1m、高さ1.4mの標示板を有する高さ6.75mのF型道路標識が支柱基部のリブ先端部で破断し倒壊した(写真-4)。支柱にはわずかに擦り傷が見られる程度



写真-2 空撮写真(9月12日撮影 被災前)(提供：(株)シン技術コンサル)



写真-3 空撮写真(11月8日撮影 被災後)(提供：(株)シン技術コンサル)



図-2 インフラ施設の被災状況

表-2 インフラ施設の被害

道路標識	折損 1 基(国道)	
電力	電力柱	折損 7 基 傾斜 12 基
	電線	高圧 8 条 低圧 20 条
	変圧器	損傷 4 台
電話	故障 140 回線 <sup>3)</sup>	
ガス	ガスボンベ飛散	
水道	被害なし	



写真-4 道路標識の支柱および横梁



写真-5 道路標識の標示板

で、破断部以外に大きな損傷は見られない。標示板取付け用の横梁は上側に折れ曲がった状態で、標示板は50m程離れた位置に住宅などの飛散物とともに堆積していた(図-2、写真-5)。

電力施設の被害については、電力柱7基の折損倒壊をはじめ、電線および変圧器が破損した。この影響により、被災直後から佐呂間町、北見市、留辺蕊町で停電となったが、7時間半後には倒壊家屋を除いて全戸復旧した。電柱の折損状況を写真-6 および写真-7 に示



写真-6 電力柱の倒壊



写真-7 電力柱基部の破壊状況

す。写真-8 は飛来物が住宅外壁を貫通した様子、写真-9 は住宅に木材が突き刺さったものであり、竜巻の脅威を伺わせる。

## 土木系構造物の損傷状況の詳細

### (1) 被災状況の詳細

今回の竜巻では、写真-4、写真-7 などのように道路標識や電力柱などの柱状構造物の倒壊が発生した。倒壊した道路標識は基部のリブ先端部で破断し、柱主材が倒れた側の破断面は曲げ座屈が発生している。曲げの主方向は道路方向から約  $15^\circ$  偏角しており、柱本体の倒壊方向は約  $45^\circ$  偏角している。前述の横梁や標示板の損傷状況が示すように、倒壊に至るメカニズムは単純ではないが、家屋などに比べ部材の推定強度の算出が比較的容易であり、破壊・破損状況から風速の推定がある程度可能と考えられた。倒壊した道路標識における使用鋼材の公称値(公称:  $267.4 \phi \times 6.6$ , STK400)を用いて、現行の設計手法<sup>5)</sup>の考え方を参考に風荷重を逆算したところ、設計風速を超える  $83\text{m/s}$  以上の風が作用したと考えられる結果となった。

### (2) 標識柱の FEM 解析

倒壊した標識柱について、鋼材の特性を踏まえて詳細な倒壊条件を検討するために、3次元有限要素法を用いて倒壊に至るまでの弾塑性解析を実施した。図-3(a)には解析に用いた有限要素モデルを示している。風荷重は、標示板と鋼梁・柱の抗力係数をそれぞれ  $C_d=1.2$ 、 $0.7$  として、標識柱全体にかつ標示板に対して直角に作用させた。なお、各鋼材の材料定数は、倒壊し



写真-8 飛散物による住宅外壁の被害状況



写真-9 住宅に突き刺さった木材

た標識柱の値を用いている。

解析結果、図-3(b)に示すように風速 96.9 m/s で横梁が座屈する。また、横梁を弾性体と仮定して座屈を抑制する場合には、図-3(c)に示すように風速 100.2m/s で柱基部が座屈して倒壊に至る。

一方、実現象では、横梁は上方向に折損し、かつ柱は基部のリブ先端から曲げ破壊して倒壊しており、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くなどの影響や風速・風向が急激に変化することによる動的効果などが挙げられ、実際に作用した風速はこれらよりも小さいと推測される。

## おわりに

今回の調査は2006(平成18)年11月8日から数度にわたってさまざまな角度から調査された。調査期間中、災害直後にもかかわらず、現地の国土交通省北海

道開発局網走開発建設部の関係各位には、現場における状況説明、写真データ提供など、大変お世話になりました。深く感謝申し上げます。

今回の緊急災害調査にかかわる報告は2007(平成19)年3月12日(月)15時より土木学会にて行います。また3月上旬には土木学会より調査報告書を発行するとともに、ホームページにも詳細を掲載いたします。今回の災害調査により得られた、竜巻の際の住民避難において注意すべき教訓なども掲載します。

### 参考文献

- 1) 北海道：北海道の公式ホームページ  
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/NR/rdonlyres/B0D01228-91B5-42F1-92A5-7B3BA4CC9B1D/954720/tatumaki24.pdf>
- 2) 土木学会：土木学会誌、Vol. 91, no 12, pp2-5, 2006
- 3) 札幌管区气象台：災害時気象調査報告、平成18年11月7日から9日に北海道(佐呂間町他)で発生した竜巻等の突風、災害時自然現象報告書2006年第1号, 2006
- 4) 気象庁：気象庁ホームページ  
<http://www.jma.go.jp/jma/press/0611/17a/mri20061117.html>
- 5) 全国道路標識・表示業協会：道路標識ハンドブック、2004

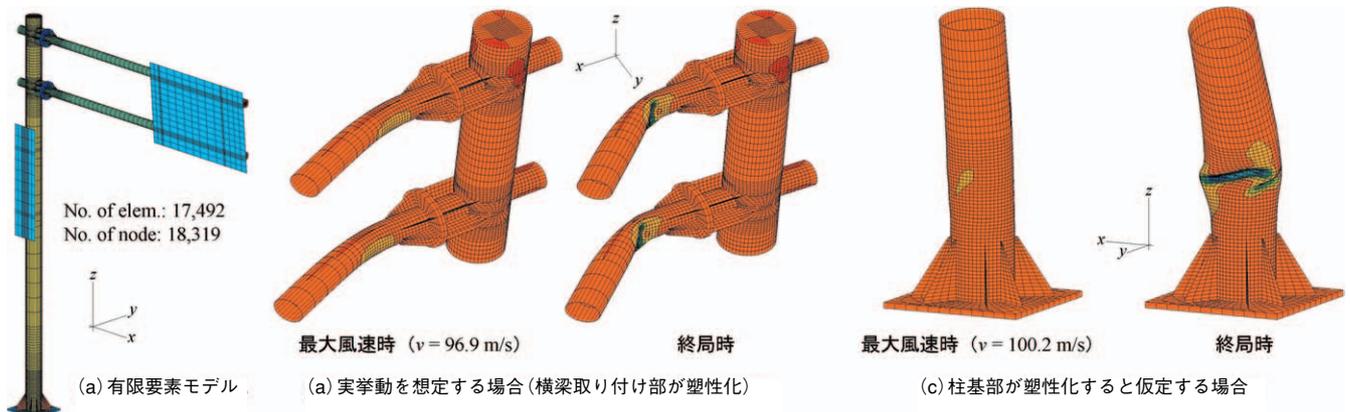


図-3 最大風速時および終局時の変形状況と最小主ひずみ分布