

1972 年夏に起った SEVERE LOCAL STORM による被害について

石崎潑雄・成 仁煥・吉川祐三・藤谷徳之助

ON THE DISASTERS CAUSED BY SEVERE LOCAL STORMS OCCURED IN SUMMER 1972

By *Hatsuo ISHIZAKI, In Whan SUNG, Yuzo YOSHIKAWA*
and *Tokunosuke FUJITANI*

Synopsis

Disasters of stuctures caused by severe local storms are much less in quantity than those by typhoons in Japan, but such storms sometimes bring extreemly severe damages to structures. They must be taken into consideration in designing important structures, such as oil pipelines and atomic reactor plants, whose damages might bring loss of life and serious troubles in public. This paper describes the results of field investigations of three severe local storms occured in summer of 1972, and the recommendation upon the disaster prevention of structures from severe local storms is also presented.

1. ま え が き

日本の構造物の耐風性を考えるとき、主な対象となる強風は台風である。いうまでもなく、台風の日本を襲う頻度が高く、強風領域も広く、強風の継続時間も長いために、強風による構造物等の被害の中では台風によるものが圧倒的な量を占めているからである。しかしながら、severe local storm と総称される規模は小さいが強烈な風による被害も相当量存在している。severe local storm に対応する適切な訳語はないが、この中には回転性の強風である竜巻（たつまき）や、竜巻よりは規模風速共に小さいじん旋風、あるいは雷雲からの冷気の吹き出しに伴う非回転性の thunderstorm などが含まれる。これら severe local storm が台風に較べて軽視されてきた第一の理由は、冒頭にも触れたように被害の絶対量が少ないということである。すなわち、日本における severe local storm の規模は、竜巻の場合を例にとると幅が 100m 長さが 3~4km 程度であり、その被害は比較的狭い範囲に限られている。また日本の中でも特定の地域に集中して発生する傾向にあるため、全体的には大きな社会問題とならなかったのである。ところが現在のように高密度化した社会では、単なる一戸の構造物の被害から二次的な被害が発生することがある。強風時に停電が起ることはよく経験されることであるが、これに類してより大きな危険性や広域に及ぶ影響をもった二次災害は意外に多く存在しうるものである。上記の送電設備の他にも油送管、ガスタンク、爆発物貯蔵庫、原子エネルギー関係の施設、鉄道機関などが破壊または損傷すれば広域にわたって大きな影響を及ぼすことは自明である。従ってこの第一の理由は考え直さねばならないところにきている。第二の理由は、台風に対して安全に設計された構造物は severe local storm に対しては安全側であろうと考えられることである。この点に関してはある程度の妥当性があり、強風域の広さや継続時間と構造物の被害との関係を見る限りは台風の方が強烈である。しかし過去の severe local storm の被害例から、その最大瞬間風速は 50m/s から 100m/s と推定されており^{1),2)}、非常に狭い範囲に限れば台風以上の強い風が吹くことは十分予想される。しかも竜巻など回転性の強風では、構造物に加わる力のメカニズムの点で水平に加わる風の力とはかなり異なると思われ、

特異な破壊が起る危険性が考えられる。このように考察してみると、構造物の耐風性の問題を考えるとき、severe local storm は決して無視できない側面をもっている。この論文では、1972年夏に起った3件のsevere local storm についての被害調査とその考察を述べる。

2. 沖縄県糸満市の竜巻

1972年6月6日20時から21時にかけて、沖縄本島南部の糸満（いとまん）市とその周辺で竜巻が発生し、死者1人を含む多大の被害をもたらした。著者の1人が6月9日から11日にかけて現地調査するとともに、種々の資料を収集した。

2.1 気象概況

糸満市には気象官署ならびにそれに類するものがないので、糸満市の各種気象要素は得られなかった。那覇の沖縄気象台で入手した日記記録と、同気象台が後に発行した異常気象速報とから知られた当時の気象状況は以下の通りである。南支那海北部を東北東に進んだ台風くずれの低気圧が6日の03時に E117°, N23°に達した頃、台湾の北に別の低気圧が発生した。この低気圧から南東に形成された温暖前線の沖縄上通過に伴い、那覇では06時ごろから雨が強まり07時までの1時間で雨量が75mmに達した。前線が通過し終えた11時以降、強雨域は沖縄本島から奄美地方に向ったが16時頃また雨が降り始め、竜巻の発生した20時から21時にかけては40.5mmの雨量を記録した。6日21時の地上天気図は Fig. 1 に示すとおりである。一方、風速は那覇で13時ごろから次第に強まり、17時から18時の間に最大瞬間風速 15.2m/s を記録している。その後

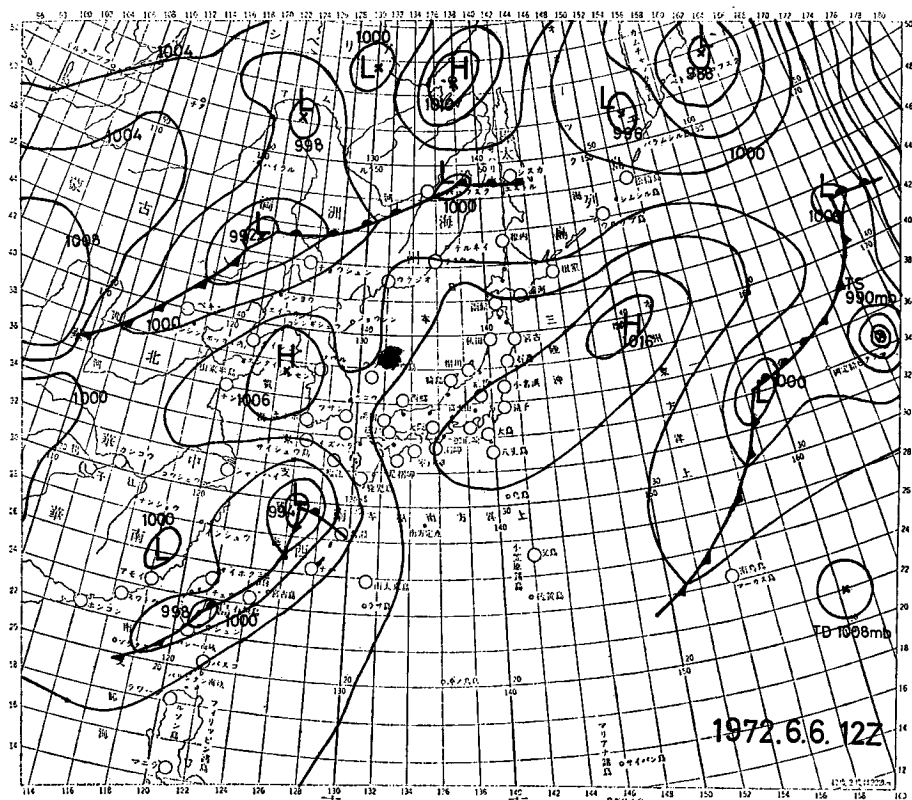


Fig. 1 Surface weather chart, 21:00 JST, June 6th, 1972.

21時ごろまで弱まったが以後激しくなり、この強風は翌日の午前中続いている。この間、風向は南から南々西でほぼ一定であったが、竜巻の発生した20時から21時にかけては南西に変化している。これらの自記記録を Fig. 2 に示す。前述したように、この自記記録は那覇のものであり、竜巻の発生した現場とは約 13km 離れているので、直接竜巻は記録されていないが、風向変化をもたらした何らかの気象変化と竜巻の発生とが関連している可能性は高いと思われる。

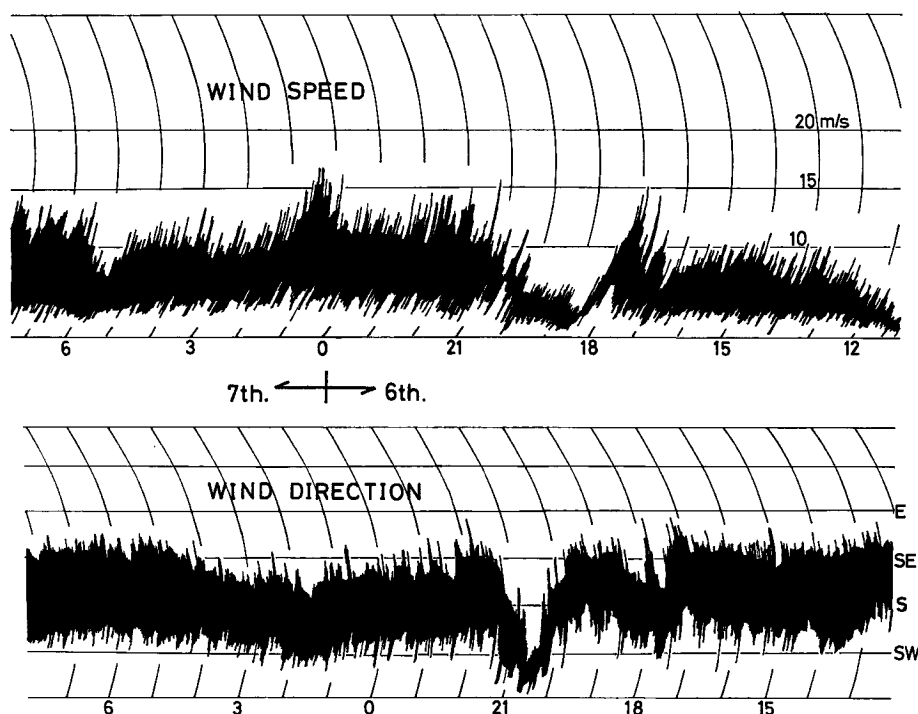


Fig. 2 Time change of wind speed and wind direction observed at Naha, June 6th-7th, 1972.

2.2 被害の状況

沖縄県総務部地方課の集計した今回の大雨及び竜巻の被害のうち、竜巻によるものと思われるものを抜き出してまとめたのが次のとおりである。(1972年7月26日現在)

人身被害	死者	1 名
	軽傷者	9 名
住 宅	全 壊	4 戸
	半 壊	16 戸
非 住 家	全 壊	18 戸
	半 壊	3 戸

他に住宅の部分損壊、ビニールハウスの損壊などの被害があった。

被害のあった場所は Fig. 3 に黒丸で示したとおりであり、糸満市の米須(こめす)、糸満、座波(ざは)、及び具志頭村(ぐしかみむら)、大里村(おおさとむら)の数ヶ所に点在している。このあたりは海拔 183m の八重瀬岳が一番高い程度の低い丘陵地帯である。ここで竜巻の発現時刻に注目すると、米須、糸満では20時30分ごろであり、具志頭村、大里村では21時15分ごろであった。このような時間関係と竜巻の通り抜けて

いった方向とを考慮すると、少くとも 2 つ以上の竜巻が 4km 離れて同時に存在しており北西方向に進んでいたと思われる。米須を襲った竜巻が具志頭村や大里村に到達したと考えられるが、この二点間の時間差は 30 分、距離は 6.5 km 程度であるから移動速度は約 13 km/hr である。以下に個々の被害の様子を順次説明する。



Fig. 3 Distribution of structures damaged by typhoons in Itoman.

(a), 糸満——糸満の市街地は海岸に面しており、海上における waterspout や陸上における竜巻が比較的度々観測される場所である。今回の被害の内容は、小型自動車の横転、民家のガラス戸の破損などであり、市街地の南西から北東に 500 m 程度の間でほぼ一直線上に並んでいる。破損した民家の時計の停止時刻及び停電の時刻から、竜巻の通過時刻は 20 時 30 分ごろと思われる。

(b), 座波——ここは海岸線より約 1.5 km 離れた丘陵地帯である。被害のあった場所は東西 500 m 南北 250 m の集落で、低層の家屋が基盤の目の状態に密集している。破壊された家屋はこの集落の北の端にあったものであり全く局地的な被害といえる。壊れたのは 2 棟で、1 棟は床面積 9.7 m² の木造建物で全壊して北側の畑地に飛散しており基礎だけが残されていた (Phot. 1)。もう 1 棟は床面積 11.2 m² のコンクリートブロック造建物で、木製屋根や出入口は破壊されたがブロック壁は傾いた程度であった (Phot. 2)。付近の樹木がねじ切れていたが、この切断の状況やブロック壁の傾きの様子から、この強風が反時計廻りの竜巻であることがわかる。これらの建物からわずか 3 m 程離れた木造家屋はその側面に取り付けられたテレビ用アンテナを含めて何の異常も見られなかった。



Photo. 1 Ruins of a blown-off house, Zaha, OKINAWA.



Photo. 2 Inclined concrete block walls of a house, Zaha, OKINAWA.



Photo. 3 Blown-away and crashed tin roof of a garage, Ozato, OKINAWA.



Photo. 4 Collapse of green houses with aluminum pipe frame, Gushikami, OKINAWA.

(c), 大里村——コンクリートブロック造の車庫のトタン屋根が吹き飛ばされて壊れた (Photo. 3)。また剪定用のはさみが約 80m 離れた場所まで飛んでいた。現場の人の証言によると竜巻の襲来時刻は 21 時 10 分ごろで雨は小降りになっていたとのことである。竜巻の進行方向は、飛来物の飛散方向から判断して、南西から北東に進んだものと思われる。

(d), 具志頭村——この村の後原(くしばる)が栽培用ビニールハウスに多数の被害があった。ビニールが飛ばされた上に外径 20mm のアルミパイプで作られた骨組が傾いたり全面的に倒壊していた (Photo. 4)。また 185cm×84cm のガラス窓の入った木製の比較的堅牢と思われる扉が破壊されたり、畜舎の切石積壁が転倒したり、スレート屋根が吹き飛ばされるなどの被害があった。

(e), 米須——この場所は沖縄本島南端で海岸より約 1km のところである。今回の被害のうち最も激しく、死者がでたのもこの地点である。被害の詳しい分布を Fig. 4 に示す。この図で◎印で示したのは畜舎、納屋などの非住家の全壊、ブロック壁の倒壊など比較的強度の被害であり、○印で示したのは屋根の一部損傷など比較的軽度の被害である。この被害の広がりには長さ 700m, 巾 30m 程度であった。このうちブロック

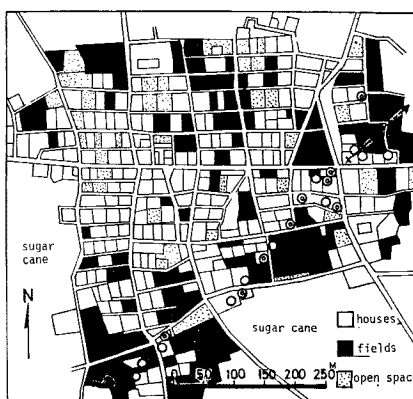


Fig. 4 Distribution of houses damaged by a tatsumaki at Komesu.

塀に亀裂の入った被害 (Photo. 5) から風速を推定した。この亀裂はブロック塀の隅角部に入っており、竜巻の進行方向に直角な塀に加わった風圧力によって、これと直交する塀に引張力が作用してブロックが裂けたと考えられる。コンクリートブロックの引張強度は $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 、抗力係数を 2.0 として風速を求めると $80\text{m}/\text{sec}$ 程度の風は吹いていたものと思われる。

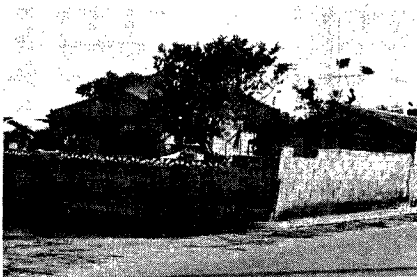


Photo. 5 Cracked concrete block fence, Komesu, OKINAWA.



Photo. 6 Ruins of a blown-away house, Komesu, OKINAWA.

ここで注目されるのは Fig. 4 に×印で示した家屋である。この家屋は床面積 $4.8\text{m} \times 3.5\text{m}$ の木造で、推定重量は $2,300\text{kg}$ であるが、これが約 100m 吹き飛ばされ礎石のみが残されていた (Photo. 6)。落下地点での材木などの飛散状況から、この家屋はほぼ原形のまま持ち揚げられて吹き飛ばされて落下によって破壊したと考えられる。水平な風による揚力で持ち揚げられるためには、揚力係数を $0.2 \sim 0.3$ として家屋の推定重量を 2300kg とすると、水平風速は $85 \sim 105\text{m}/\text{sec}$ 吹かねばならなくなり、これはブロック壁の亀裂からの推定風速にほぼ一致する。しかしこの竜巻の強風域の直径を 20m 程度に仮定すると、進行速度は $3 \sim 4\text{m}/\text{sec}$ と推定されているから、この竜巻の家屋への作用時間は $5 \sim 6\text{sec}$ 程度であり、揚力で家屋が持ち揚げられるには多少短いようである。また家屋の粗雑さから持ち揚げられる以前に相当な破損が起り壁板などが散乱するはずである。従って、この被害には揚力以外に静的な圧力差が作用していたのではないかと考えられる。いまこの家屋を高さ 2m の充実した直方体と考えると、家屋の屋根面と床面の間に 14mb 程度の気圧差が生じればよいことになる。この被害の場所は被害範囲の最後の位置であり、竜巻が地表面から離れようとしていたところである。従って、地上付近での圧力は上昇し始めていたと考えられるから、この程度の気圧の鉛直勾配があったと考えても不思議はない。ただこの家屋はそれほど密閉度の高いものではないから、充実した直方体と考えるには無理があり、この家屋に気圧勾配そのままの圧力差が作用したとは考えにくい。結局のところ、速度圧による揚力と、鉛直気圧勾配による静圧差の両方の作用で持ち揚げられたと考えるのが順当なようである。

このように竜巻など回転性の severe local storm の場合には、水平に吹く風による力に加えて鉛直方向に作用する力の影響も大きいと思われる。

3. 岐阜県関市の竜巻

1972年7月12日15時過ぎ岐阜県関市中心部を竜巻が襲い、多大の被害をもたらした。著者の二人が翌13日に現地向い調査を行った。この竜巻は関東、東海地方を襲った豪雨の期間中に発生したものである。

3.1 気象概況

東京管区気象台の異常気象調査報告、岐阜地方気象台の異常気象速報などによると当時の気象概況は以下のものであった。九州に大雨をもたらした梅雨前線は、7日に北上して東北地方まで被害を拡大した。その後前線は再び南下して停滞し関東以西の全域をおおった。また南方海上には台風6号、7号、8号が発生して活発な前線活動が続いた。この影響で当県には9日朝から雨が降り始め、13日夜半まで断続的に降り続い

た。竜巻の発生した12日は日中雨も弱まったが夜になって県中部域に強い雨が降った。この豪雨下竜巻が発生している。当日9時の地上天気図を Fig. 5 に示す。なお参考のために岐阜県地方気象台の各種気象要素の自記記録を入手したが、それによると15時過ぎに風向の変化が起っていた。

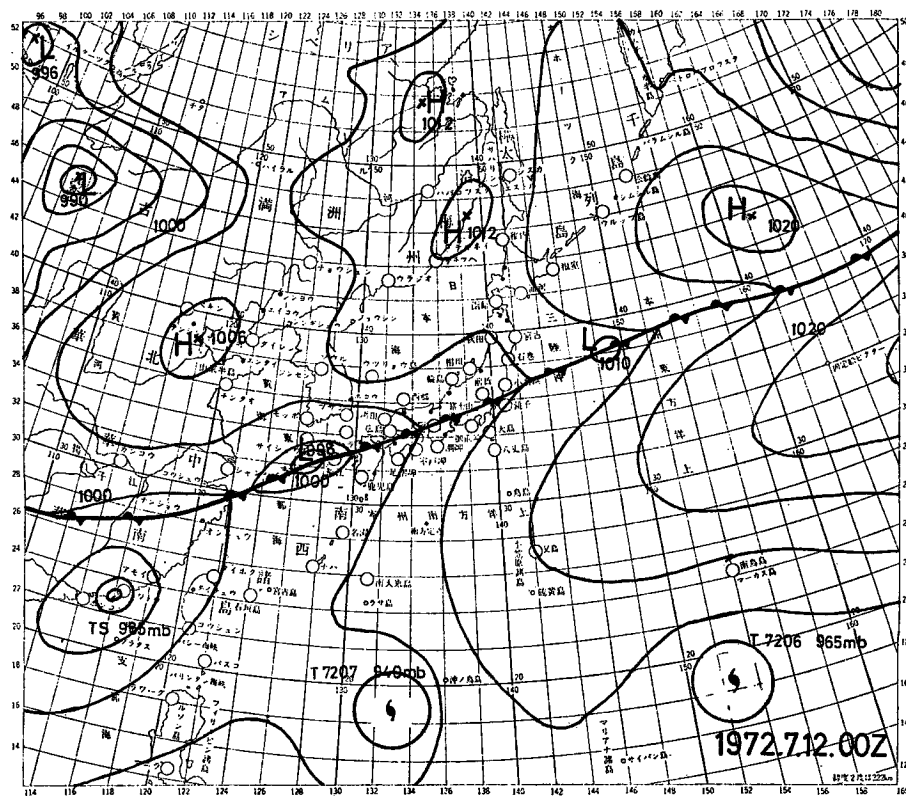


Fig. 5 Surface weather chart, 9:00 JST, July 12th, 1972.

3.2 被害状況

被害の分布は Fig. 6 に示すとおりである。被害の状況からは、この強風が竜巻であるという確証はなかったが、被害の幅がせいぜい 50m と狭いことや、目撃者の証言から、恐らく前線通過に伴う竜巻であろうと思われる。以下に町名別に被害を記述する。

(a) 片倉町——片倉工業の現在使用していない工場の屋根 (Photo. 7) 及び片倉工業正門前の民家の屋根の瓦がめくれたり、テレビ用アンテナが曲がるなどの被害がみられた。この付近では強風とともに電線にシートがあたってショートし停電したが、その時刻は中部電力関営業所の記録から15時14分であり、発現時刻はこの時刻に間違いがないと思われる。

(b) 柳町——今回の被害の中で最もいちじるしく被害の集中している場所である。柳町の巖空山から平和通りのほとんどの民家、工場が被害を受けている。被害の内容は屋根、雨戸の損壊、テレビ用アンテナの曲り (Photo. 8) などである。平和通りに面した平和機工 k.k. のスレート屋根が相当に壊れていた (Photo. 9)。この付近の住民の証言によると、雨は普通程度に降っており空が暗くなると同時にゴーという音がして竜巻が襲ってきたらしい。家が持ち揚げられるような感じがしたとか、小石やごみが鳥が飛ぶように舞っていたという証言もあった。

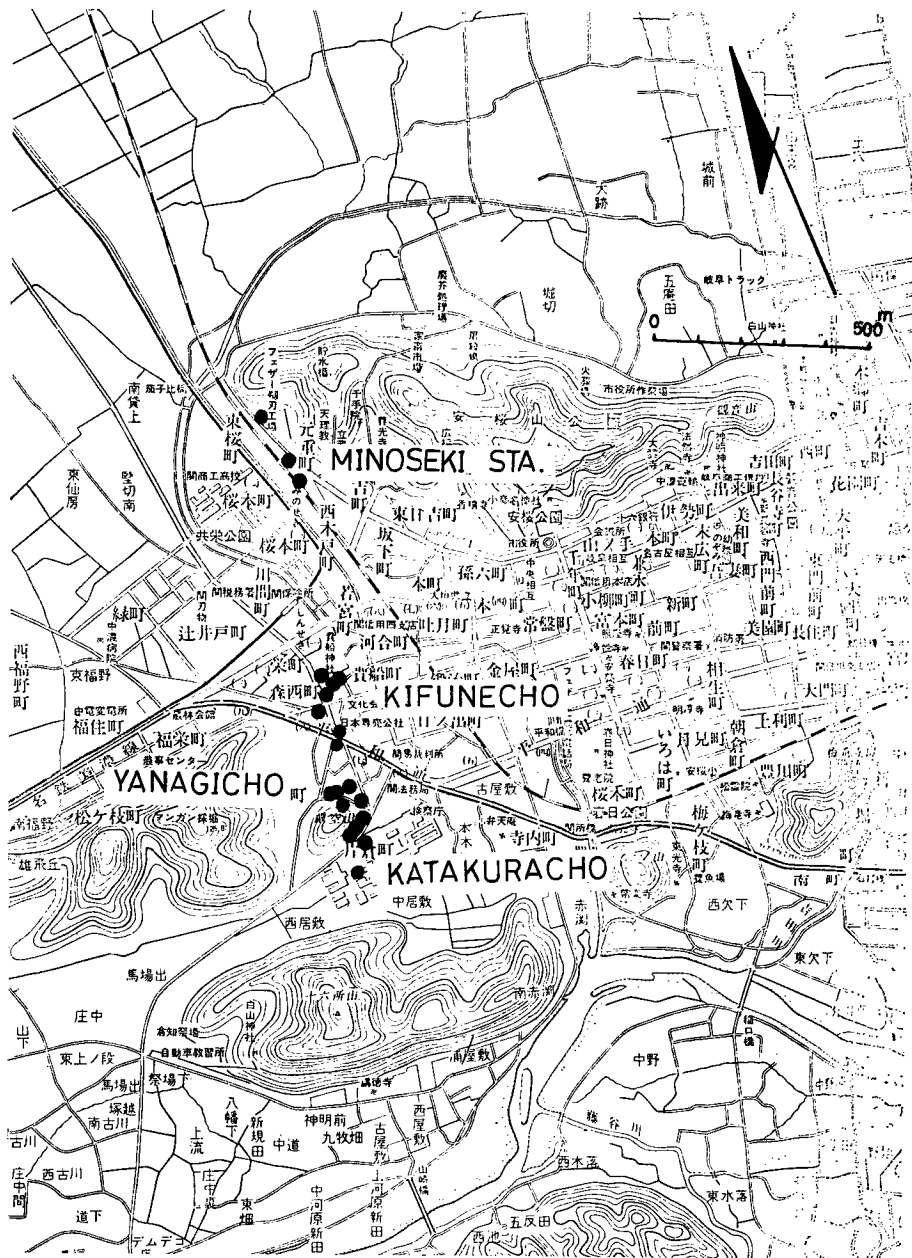


Fig. 6 Distribution of structures damaged by a tsunami in Seki.

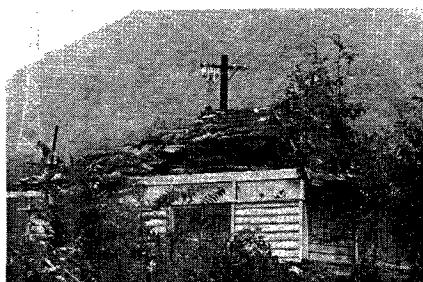


Photo. 7 Broken tiled roof of a 2-storeyed wooden factory, Katakura, SEKI.

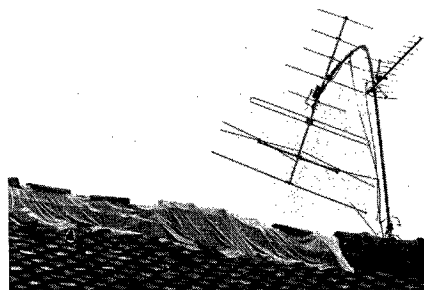


Photo. 8 Bending television antenna on a house, Yanagi, SEKI.

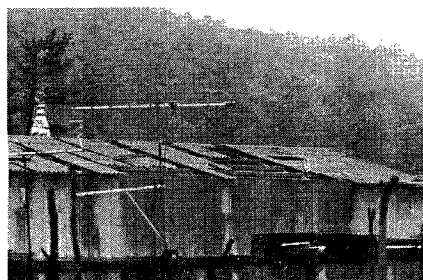


Photo. 9 Damage to slate roof of a factory, Yanagi, SEKI.



Photo. 10 Uprooted oak tree in Kifune Shrine area, Kifune, SEKI.

(c) 貴船町——貴船神社周辺に被害が生じている。広告用のポールが曲ったり、工場のスレート屋根が壊れたりしている。貴船神社前の車庫が倒れた軽自動車飛ばされた。また神社の境内では国旗掲揚用のポールが継ぎ目で折れたり、榎の木が数本倒れていた (Photo. 10)。

(d) 国鉄美濃関駅付近——駅の跨線橋の屋根及び駅の北側の国鉄官舎の屋根がめくれるなどの被害を受けた。この場所での被害が発生した時刻は国鉄の記録によれば15時20分であった。片倉町の通過時刻との差は6分で距離が約900mであることから、竜巻の移動速度は約9km/hrであり一般の竜巻の平均移動速度よりは相当遅いようである。

4. 京都市の thunderstorm

1972年8月14日14時45分ごろ京都市の南区の一画を強風が襲い、新築中の木造二階建家屋10戸が次々に倒れ全壊した (Photo. 11)。これらの住宅は瓦を葺く作業が終った状態で壁塗りの作業にかかる前であり、水平風向の力には比較的弱い状態であった。目撃者の話によると、将棋倒しのように南の端の家屋から瞬時のうちに倒れたということである。またこの事故に遅れること5分、14時50分ごろ下京区のビル街にある8階建ビル（高さ20m）の屋上にあったビア・ガーデンのテント（面積4m×10m）が南からの強風にあおられて、フレームと基礎の重錘が吹き飛ばされて約30m北側に離れた民家の屋根を壊し室内に突き出した



Photo. 11 Collapse of ten wooden houses in construction, KYOTO (by the courtesy of the Kyoto Shimbun).

(Photo. 12, 13)。電話機や金庫なども吹き飛ばされた。



Photo. 12 Tent frame blown-away from the top of a 8-streyyed building, KYOTO (by the courtesy of the Kyoto Shimbun).

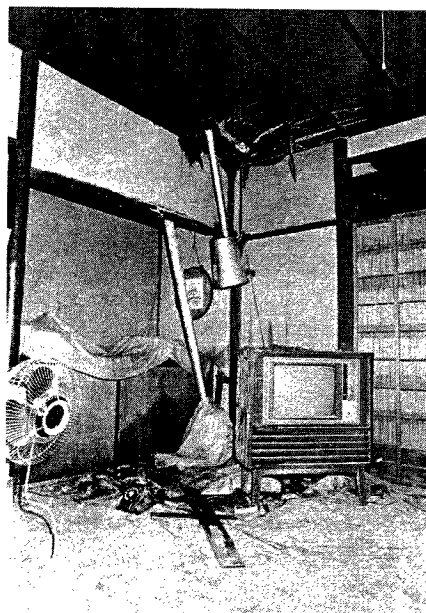


Photo. 13 Tentframe breaking the roof and ceiling of a house, KYOTO (by the courtesy of the Kyoto Shimbun).

当時の京都地方気象台の自記記録によれば、この被害の発生した時刻に約 1mb の気圧上昇がみられ、風向が南東から北東に変化している。風速に関しては、この気象台と被害現場とに隔りがあるため 5m/sec しか記録されていなかった。そのころ京都市内は激しい雷雨があったことを考えあわせると、この強風は積乱雲中に生じた寒冷気塊が降下して地表面上で吹き出すいわゆる thunderstorm であったと思われる。

この両方の事故では幸いにも死者及び負傷者はでなかったが、非常な危険性を含んだ事故であり今後に大きな課題を与えたと思われる。この 2 つの事故のうち、1 つは建築中の建物であり十分な強度が与えられていないものであり、もう 1 つは仮設構造物であるために一般構造物よりも小さい強度で設計されているものであった。しかしこれを放置しておいたのでは、同様の事故が起り人命にかかわる事態を招く可能性が存在していることは注目すべきことである。

5. 考 察

ここに述べた3つの severe local storm の例のうち、2つは竜巻で1つは thunderstorm であった。これらの竜巻は幅が40~50mで、長さが1km前後であり、光田の調べた日本における竜巻の平均的規模（幅45m、長さ3km）³⁾と較べて、長さにおいて少し短い、中程度のものと考えてよいであろう。進行方向はNEないしNNEであり、推定風速は糸満の場合で80m/secであった。また thunderstorm の方も、先年石崎等が調査した彦根の場合¹⁾と較べて、規模、最大風速共に小さいものであった。

今回の3つの severe local storm による建造物の被害のうち、特に壊滅的な被害を受けたものはすべて基準以上の強度をもっていなかったといえる。すなわち、沖縄でのものは標準以下に粗雑な木造家屋、トタン葺きに類するものがほとんどであり、関での被害は老朽化したものに多く、京都での被害は仮設建造物や建築中のものであった。従って壊れるべくして破壊したという側面もあるが、早急に改善しなければならない点に関する幾つかの示唆を与えていると思われる。まず第1に標準以下の強度しか持っていない建造物はできるだけ早急に建て直すべきである。沖縄では過去被害の教訓から鉄筋コンクリート造の建物が奨励されており現実に建てられてはいるがまだまだ不十分である。もちろんこのような対策は理想的であり、現実にはいろいろな障害があって実施できない。そのような場合にも、支線を張って強化するなり、基礎あるいは地面と家屋との間の付着をより堅牢にすることはそんな難しいことではないから是非やるべきである。また仮設建物に関しても、基礎の重量を増すなり床面あるいは地面との締め付けを強化すべきであり、現に今回のピアガーデンでの被害も容易に避けることができたと思われる。建設中の建造物には作業終了後ネットでおうなどとして、もしも突然の強風で破壊しても飛散物の散乱を防ぐというような手段も有効であろうと思われる。建設中の鉄骨建造物や足場が風で倒壊したというような事故もあることから、仮設建造物や建設過程の建造物に対する安全規準や現場管理なども考え直す必要があるようである。

一方風による力の加わり方という点では、通常の水圧力に加えて鉛直方向の力を十分考える必要があると思われる。いうまでもなく揚力はいまままでに考慮されているが、それは水平もしくは多少の吹きあげ角をもった風による揚力についてであった。しかしながら竜巻のような回転性の風の場合どの程度の吸引力が建造物に働くかはあまり明らかにされていない。C. C. Chang は実験室内で空気の渦をつくりだして建造物に及ぼす影響の研究を進めている⁴⁾が十分には明らかにされていないようである。建造物全体が持ち上げられるというような事態はむしろ希であるとしても、局部的にはこのような吸引力あるいは振りの力で破壊する危険性は多い。特に油送管や化学プラント工場の配管などは入り組んだ形状をしており、耐風構造的に不確定要素が多いだけにこのような危険をはらんでいる。また気圧の鉛直勾配など短い区間での気圧差は、高圧ガスタンク、液体貯蔵庫を破壊する危惧がある。冒頭にも述べたように、その破壊による影響が広範囲に及ぶ建造物、あるいは人体に危険をもたらすような危険物を保有する建造物などについては、特に十分な安全性を確保する必要があるから、鉛直方向の気圧差の問題を含めて回転性の強風による建造物に加わる力の十分な理解を進める努力が必要である。

その他、severe local storm の規模が小さい点に注目して、上述したような意味での重要性をもつ建造物、あるいは同種の機能をもつ建造物がある程度の距離を離して建設するようにすれば、建造物の破壊による危険性がある範囲に食い止めることができる。

最後に severe local storm の予測の問題である。severe local storm は台風と異なり襲来の予測ができないために、徒に被害を大きくしている面が多い。現状ではこの予報は一応不可能といえるが、竜巻に関しては島田が竜巻の発生時の天気図から、竜巻の起こりやすい気象配置、あるいは原因の分類をしており⁵⁾、このような研究を進めればある程度の予測ができるのではないと思われる。thunderstorm に関しても同様のことがいえる。この予報に関する研究が進み、ある程度の確率をもって警報がだせるようになれば、被害の大半は防ぐことができると思われる。

以上のようなことが、今回の被害調査からの考察であり、防災対策に対する提言である。

謝 辞

これらの調査を行なうにあたり質問に御回答頂いた被災地の方々、および沖縄での調査にあたって有益な助言および資料、被害写真を提供して下さいった沖縄県庁総務部久手堅憲信、沖縄気象台富川盛八、沖縄タイムズ国場幸輝の諸氏、関市での調査にあたって気象資料を提供して下さいった岐阜地方気象台、京都市での調査にあたって気象資料、被害写真を提供して下さいった京都地方気象台、京都新聞社に深く謝意を表する。また執筆にあたって適切な助言を頂いた京都大学防災研究所助教授光田寧氏に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 石崎潑雄・光田 寧・室田達郎・成 仁煥・吉川祐三：1970年9月15日彦根付近を襲った強風とそれによる被害について，京大防災研究年報，第14号A, 1971, pp. 469-480.
- 2) 石崎潑雄・光田 寧・川村純夫・室田達郎・木本英爾・田平 誠：1969年，2月7日，豊橋市を襲った「たつまき」に関する論査研究，京大防災研究所年報，第14号A, 1971, pp. 481-500.
- 3) 光田 寧：暴風災害を考える際の小規模擾乱の重要性，京大防災研究所年報，第11号A, 1968, pp. 499-506.
- 4) C. C. Chang: Tornado Wind Effects on Buildings and Structures with Laboratory Simulation, Proceedings of the Third International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Tokyo, 1971, pp. 231-240.
- 5) 島田守家：1955～1964年における日本のたつまき，気象庁研究時報，第19巻，第1号，1967, pp. 1-22.