

1969年12月7日、豊橋市を襲った 「たつまき」に関する調査研究

石崎 潑雄・光田 寧・川村 純夫
室田 達郎・木本 英爾・田平 誠

STUDIES OF A TATSUMAKI AT TOYOHASHI,
DEC. 7 th, 1969

By *Hatsuo ISHIZAKI, Yasushi MITSUTA, Sumio KAWAMURA,*
Tatsuo MUROTA, Eiji KIMOTO and Makoto TAHIRA

Synopsis

In the evening of Dec. 7 th, 1969 a Tatsumaki caused severe damage in the city of Toyohashi, situated on the coast of Ise Bay in the central part of the Japanese main island. About 70 persons were killed or wounded, more than 100 houses were damaged. Moreover, the Tokaido and New Tokaido Lines of JNR and highway Route 1 connecting Tokyo and Osaka were stopped for a long time, and therefore indirect social damage extended throughout in the main part of Japan. The authors have surveyed the characteristics of the Tatsumaki and the damage to structures and reported the results in this paper. The characteristics of this Tatsumaki obtained by the survey may be considered to be a first approximation of Japanese Tatsumakis to be applied to the design of wind resistant structures.

1. ま え が き

1969年12月7日夕刻、愛知県豊橋市を「たつまき」が襲った。たつまきがみられたのはわずか5分間余りの短時間であったが、死者1名、重軽傷69名、住家の全半壊約60棟という大きな被害が生じ、さらに東海道新幹線をはじめ、東海道本線、二俣線、飯田線、名鉄線などの鉄道および国道1号線、47号線などこの付近を通る交通機関のほとんどが被害を受けて不通となったために、大きな社会的影響が生じた。著者等はたつまきのあった翌日から数回にわたって現地に調査班を出して、構造物の受けた被害およびたつまき発生当時の気象状況などに関する調査を行なった。本稿はその調査結果の報告である。

たつまきによって生じる被害の範囲は、以下に述べるとおり巾100m、長さ数kmの狭い範囲に限られているが、今日のように複雑化した社会ではその影響は間接的に広い範囲にまで及び、社会的に大きな問題となることは今回の例からも明らかである。今回のたつまきは後述のように、日本で発生するたつまきとしては特に異常に強烈なものとは言えないが、被害の調査結果からもわかるとおり直接襲われた場所では非常に烈しい被害が生じている。今日の建築物の設計においてはたつまきに伴う強風に耐えることは全く考えられていないからこのような破壊が生じることはやむを得ないとも言えよう。また、たつまきの発生についても、本報告で述べているように今日の知識および天気予報の方法によっては、その発生時刻および場所を予測することは不可能であった。したがって今日のところこの種の災害に対して我々は全く無防備であると言える。しかし、たつまきによる被害が交通機関あるいは送電線のようなエネルギー輸送機関の破壊というこ

とを通した、直接破壊の生じた場所のみでなく広範囲の社会活動に障害を生じさせることが明らかとなった以上何らかの対策は必要であろう。

光田¹⁾によれば、わが国の任意の 1 地点をたつまきが襲う確率は年に 10^{-6} 程度であり、たつまきが比較的多く発生する東海地方でも 10^{-4} でしかない。しかし、鉄道や送電線は延長距離が長いから、たつまきによってどこかが破壊される確率は無視できるほど小さくはない。このような発現確率をもつたつまきに対しては、きわめて重要度が高いかあるいは破壊によって周辺地域に及ぼす危険性の高い構造物に限ってたつまきに伴う強風を設計時に考慮するべきであり、鉄道や送電線などの場合はなるべく近接して作らないようにする努力が払われるべきであろう。

しかし、どのような対策を立てるにしても、まずたつまきの現象が良く解っていることが必要であるが、現在の所、そのような知識は甚だ不十分である。今回の豊橋のたつまきは市街地の中に被害が発生したため、その性質を推定しうる材料を比較的多く残しており、本稿ではそれを解析することによってこのたつまきの性質の概貌を知ることができた。

2. たつまき発生当時の気象状況

今回のたつまきの発生した 1969 年 12 月 7 日の気象状況は、Fig. 1 の高層天気図に示すとおりトラフが日本の西にあり、日本上空にはかなり強いジェット気流が存在していた。地上天気図で見るとカムチャッカ半島付近にある低気圧から南西に日本列島にそって走る前線があり、西日本付近にはその前線上に発生した低気圧がありゆっくりと北東進しつつあった。たつまき発生当時の 18 時頃 (Fig. 2) には本州の日本海側と太平洋側の両側に低気圧があり、豊橋は南側の低気圧の温暖前線に近い位置にあったと見られる。

豊橋の南西約 35 km にある伊良湖測候所の気象要素の時間変化は Fig. 3 に示すとおりであるが、13 時

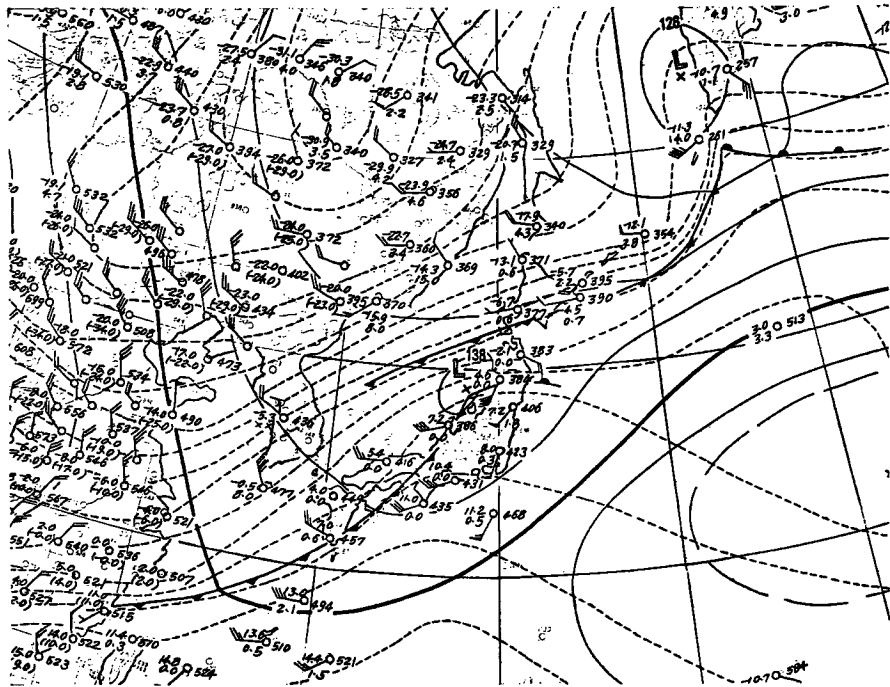


Fig. 1 Upper pressure map at 850 mb, 2100 JST, Dec. 7 th, 1969.

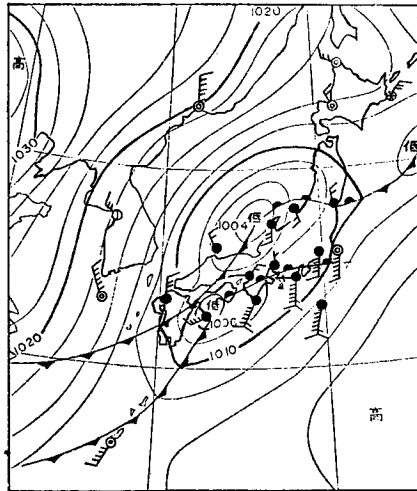


Fig. 2 Surface pressure map, 1800 JST, Dec. 7th, 1969.

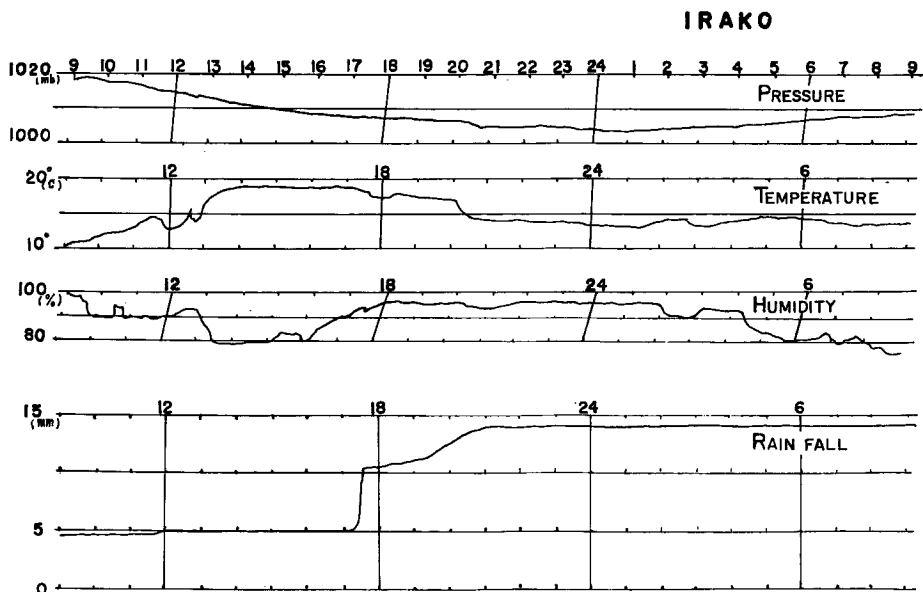


Fig. 3 Time changes of meteorological parameters at Irako Weather Station, Dec. 7-8, 1969.

頃温暖前線が通過し、20時過ぎには寒冷前線の通過が見られ、それらの時刻の間は低気圧の暖域内にあったものと考えられる。同様な変化は豊橋の南東約30kmのところにある浜松測候所にも見られ、ここでは11時半頃に温暖前線が通過し暖域に入っている。また伊良湖の南々西40kmの大王崎も10時から22時頃まで暖域内にあった。しかし、豊橋の西約80kmの名古屋ではこのような気温上昇の現象は見られず低気圧の暖域には入っていない。豊橋市内向山天文台の週巻温度計を見ると時刻は必ずしも正確ではないが11時過ぎに気温の上昇が見られその後夜半まで18~16°Cの比較的高温が持続している。また伊良湖南西の鳥

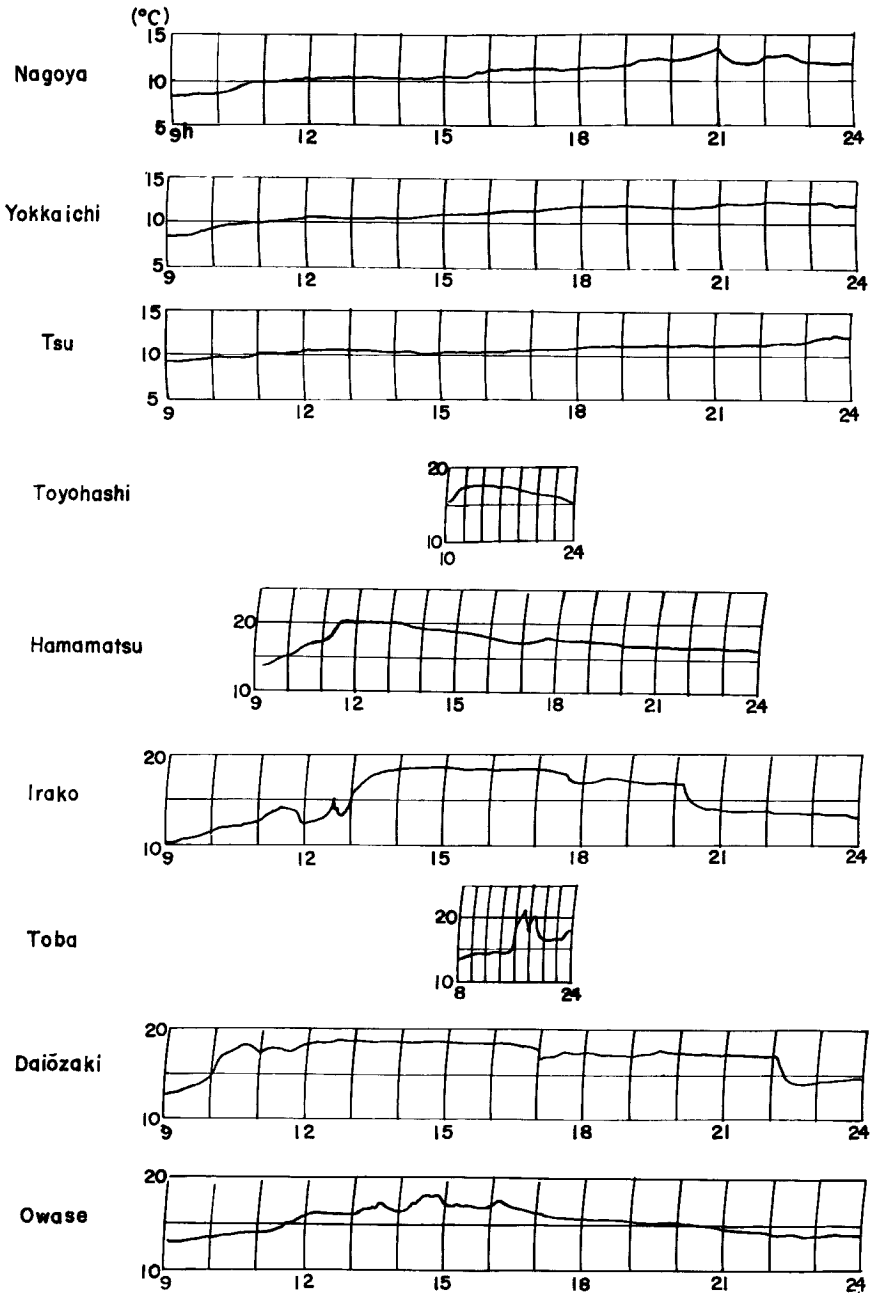


Fig. 4 Time changes of air temperature at weather stations near Toyohashi on Dec. 7th.

羽では気温は16時頃になって約 5°C も急に上昇している。これらの様子は Fig. 4 の各地の気温変化図に見られるとおりである。これからして温暖前線は10時頃大王崎, 11時頃浜松, 豊橋, 13時頃伊良湖そして16時頃鳥羽を通過したことになる。従ってたつまき発生の18時頃には温暖前線は鳥羽・豊橋を結ぶ線よりは北, 津・名古屋の線よりは南にあったことになる。そして前線の南側ではほぼ $17\sim 20^{\circ}\text{C}$ の気温を示して

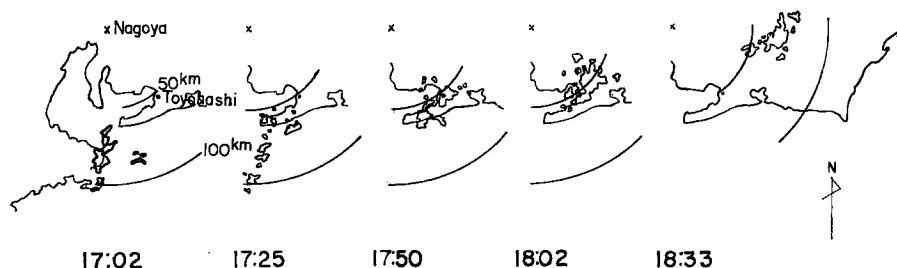


Fig. 5 Time changes of radar echoes at Nagoya Weather Station on Dec. 7th.

おり，北側では $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ の気温を示している。従ってこの前線の南北の気温差は 5°C 程度もあったことになる。また，この名古屋地方気象台においてレーダー観測が行なわれていたが，そのエコー（迎角 1° ，等エコー装置レベル4）の時間変化を示したものが Fig. 5 である。この図から見ると17時頃志摩半島の東岸に北北東から南南西にならぶ線状のエコーがありそれが次第に北東進して18時頃豊橋上空そして18時半頃には佐久間付近に達している。このエコー群の移動速度は比較的速く 60 km/hr に近い値となる。しかしこれが雲の動きと一致するとは断定できない。このエコーの下での雨は比較的強いもので，伊良湖においては17時10分頃雨が急に降り始め17時20分ぐらまでの間がはげしく，その10分間にほぼ 6 mm の雨が降っている (Fig. 3 参照)。また，豊橋向山天文台においても17時30分頃から雨が降り始め，17時45分から18時15分ぐらまでの間が強く降っている。たつまきは18時頃豊橋を襲っており，このレーダーエコーで示される雲域の中で発生したことはまず間違いない。しかしこの程度のエコーは特に顕著なものではなく，その高さも 5 km 前後で同時に見られたエコーの中で特に目立って高いものでもなかった。さらに米国のトルネードの場合に報告されているような「かぎ (Hook)」のエコー^{2), 3)} はレーダー写真上に見出せなかった。

今日たつまきの発生を予報することは行なわれていないが，今回のたつまきの発生した時の気象条件から，今日までに発表されているたつまきあるいはトルネード発生条件⁴⁾を適用して予報可能であったかどうかを検討して見たが，その結果としてこの日この場所にたつまきが生じるということを適確に予知することができたはずであるという証拠は何も得られなかった。潮岬の高層観測結果が下層で不安定な状態にあり温暖前線がかなり顕著なものであったことを知ったとしても豊橋でこの時刻にたつまきが生じると予報することは不可能であったと考えざるを得ない。従って今後たつまきの予知，予報について研究を行なうとするならば，たつまきのスケールがトルネードより1桁小さいことから考えてもメソないしはそれ以下の観測および解析をも含めてもっと基礎的な研究から進めて行く必要がある。

3. たつまきによる被害

3.1 被害の概要

今回のたつまきは12月7日午後6時に豊橋市の中心部を通過したが，聞き込み調査によるとこの通過に要した時間は5分間余りという短かいものであった。この間にたつまきは巾約 100 m ，長さ約 4 km の細長い地域内の 100 戸以上の住家に被害を与え，交通通信送電施設などにも大きな被害を与えた。被害の発生後設置された豊橋市災害対策本部の調査による12月8日16時30分現在の被害の統計は次のとおりである。

人的被害	死者1人，重傷12人，軽傷57人
住家被害	全壊10棟，半壊46棟，一部破損56棟
非住家被害	全壊8棟，半壊14棟
り災棟数	112棟

り災世帯数	132 世帯	
り災者数	607 人	
		以上被害額 130,000 千円
農業関係の被害	ビニールハウス, 温室ガラス破損 8 件	被害額 2,850 千円
工商施設の被害	店舗, 工場等の破損 41 件	被害額 51,324 千円
電力関係の被害	豊橋発電所 (大村), 特別高圧線切断, 碍子破損, 電柱の傾斜 10 本, 高圧線切断 120 条, 混線 175 条, 障害物 98 個所, 引込線切断 400 条, 停電 20,000 戸	被害額 5,000 千円
鉄道関係の被害	豊橋駅構内架線切断のため東海道本線, 東海道新幹線, 二俣線, 飯田線, 名鉄線 18 時~21 時 30 分不通	被害額 1,000 千円
電話施設の被害	電柱倒壊 1 本, 電柱傾斜 10 本, 電話ケーブル切断 15 本	被害額 1,000 千円
市有施設, ガス施設等被害なし。		
被害総額		191,174 千円

ここに示されたものはたつまきによる直接的な被害のみであって, 停電や鉄道の不通などに伴う間接的な被害はそれをはるかに上まわるものと思われる。

3.2 被害の分布

Fig. 6 は程度にかかわらず被害を受けた建物の位置を豊橋の市街地図に黒丸で示したものであるが, 発生個所は西橋良町を南限にして北北東方向に下地町境田地区まで帯状に分布している。この帯は長さ約 4km, 巾は 50~200 m である。被害発生の南限である西橋良町は西方の伊勢湾まで 5 km, 南方の遠州灘まで 10 km 程の位置にある。

この図からわかるとおり, 被害発生の密度は帯の長さ方向に沿ってかなり不均一である。西橋良町から豊橋駅までの間では約 20 棟の建物が被害を受け, これらは約 50 m 巾の帯状に比較的均等に分布している。この地域は建物が密集しているが, 2 階建程度のものがほとんどある。豊橋駅より国道 47 号線までの約 700 m の間は 8 階建などの高い建物の集まっている豊橋の中心部であるが, ここでは被害はほとんど認められない。国道 47 号線付近からは再び被害の発生が見られ, 豊川の右岸にある下地町では最も被害が多い。この付近での帯の巾は最大 200 m にも達しており, Fig. 7 に巾の最も広い地域の被害分布の詳細を示した。図中の矢印は建具等の飛散方向を表わしている。なお, Photo. 1 は Fig. 7 に示した地域を北東方向に向かって見た写真である。

3.3 被害の形態

今回のたつまきによる建造物の被害を構造別に見ると, 木造および鉄骨造に多く, 鉄筋コンクリート造の被害は少なかった。鉄筋コンクリート造の被害は開口部の被害である。聞き込み調査によると, たつまきに伴う強風は継続時間が非常に短かく, 衝撃的である。しかし, それによる被害の形態は特に台風の場合と比較して異なる点は少ないように思われる。台風の場合とやや異なる点は, 飛散物が多いことで, 今回の被害調査で飛散物によると思われる局部的ではあるが烈しい破壊をしばしば見受けた (Photo. 2)。飛散物には 1 階にあった洗濯機が隣家の 2 階に落下するとか, Photo. 3 のように自動車が数 10 m も吹き飛ばされるというような例があった。

Photo. 4 および 5 はそれぞれ木造および鉄骨造の建物の被害の一例である。

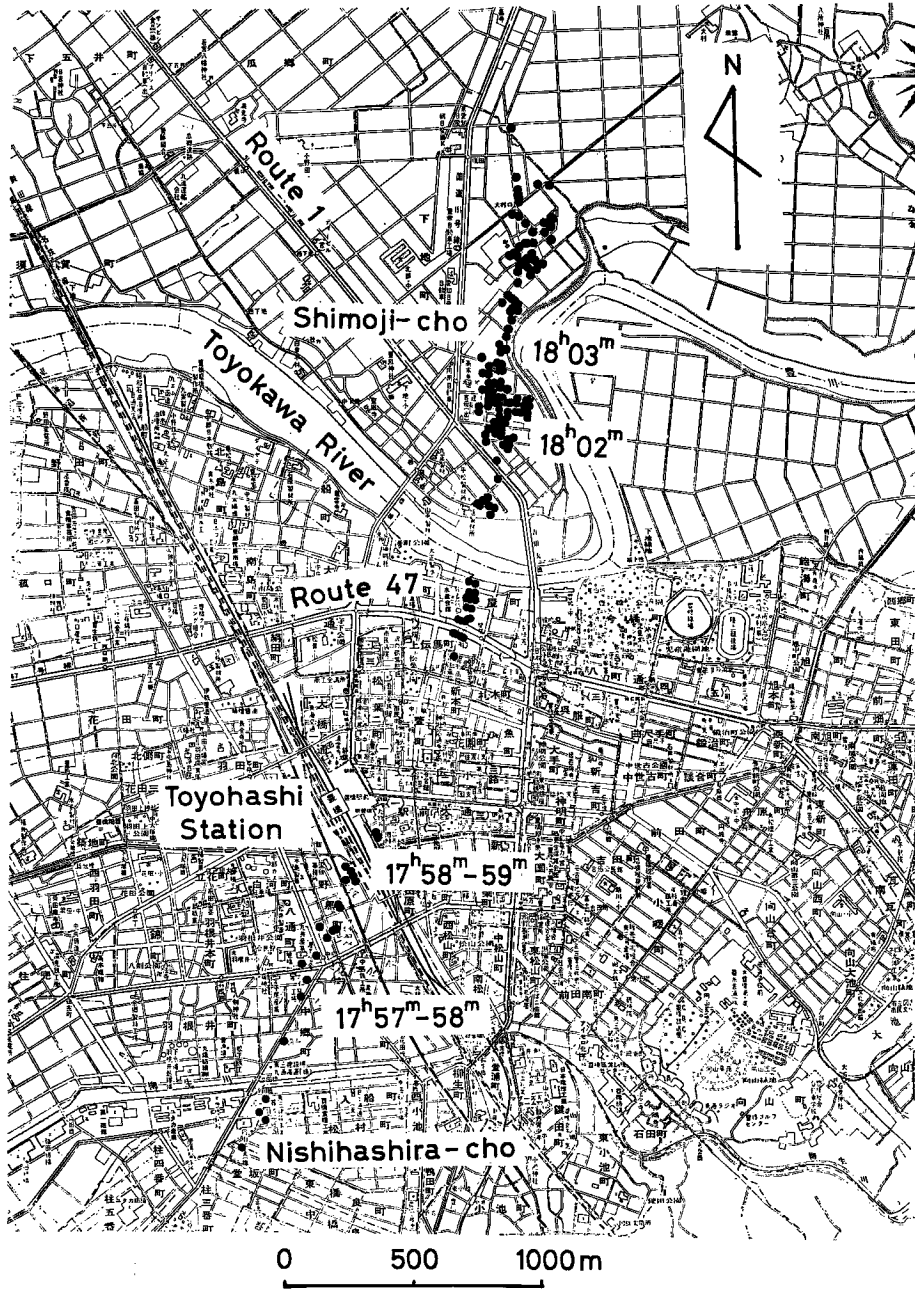


Fig. 6 Distribution of buildings damaged by a Tatsumaki at Toyohashi, Dec. 7th, 1969.

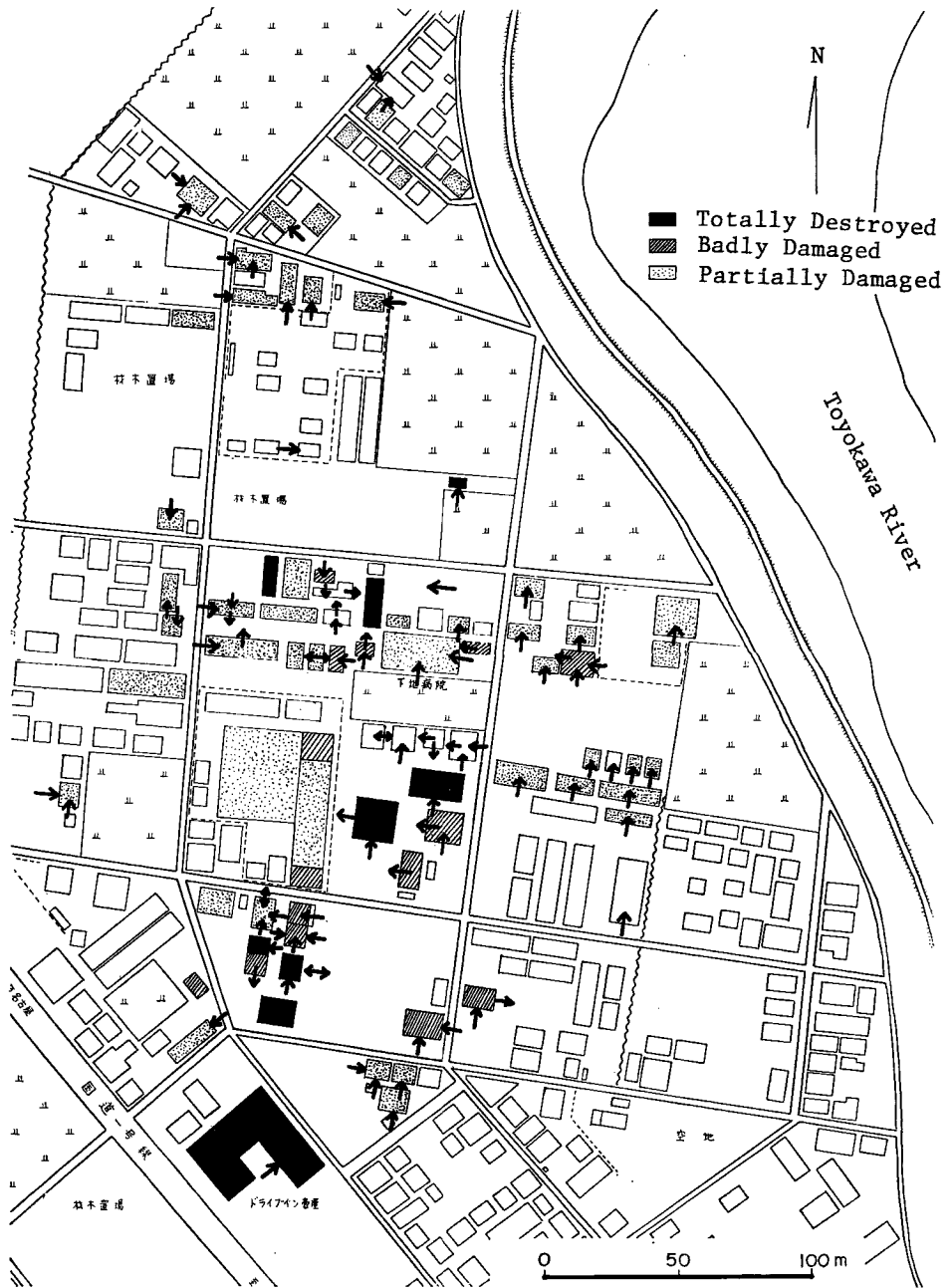


Fig. 7 Distribution of buildings damaged by the Tatsumaki in Shimoji-cho area. Arrows show scattering directions of doors or windows.



Photo. 1 Aerial view of Shimoji-cho area after the Tatsumaki. The Tatsumaki moved from the down-right to the up-left. (1: Toyokawa River, 2: a hospital, 3: Tsuboya and 4: highway Route 1) (Courtesy the Asahi-shimbun)



Photo. 3 Automobiles blown off into rice field by the Tatsumaki. (Courtesy the Asahi-shimbun)

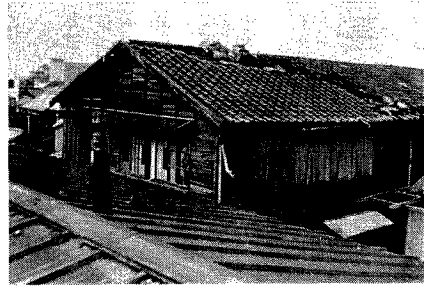


Photo. 2 Local damage to a tiled roof caused by heavy debris. (Courtesy Mr. K. Chikada)



Photo. 4 Damage to a wooden house. (Courtesy the Mainich-shimbun)



Photo. 5 Damage to a steel structure. Complete removal of the roof and collapse of the ceiling (Tsuboya).
(Courtesy the Chunichi-shimbun)

4. 最大風速の推定

たつまきが発生した場合にどの程度の風が吹くかということは、たつまきに対する防災対策を考える上に基本的に重要な問題である。台風のように大規模な現象の場合はその進路にいくつかの気象官署があって風速を観測することができるが、たつまきは非常に規模の小さい現象であるためこのような直接的な観測が行なわれることはきわめて稀であり、したがってたつまきによって破壊された構造物などから推定するのが最も確かであろう。今回の調査によっても、風速の観測記録はいずれもたつまきを直接とらえたものではなく、たつまきの最大風速を知るには構造物などの被害から推定する以外に方法がない。幸い、今回の被害のうちいくつかは、その破壊に要する風速を推定することが可能であったから、以下にそれらを列記する。ただし、この推定は複雑な破壊のメカニズムを簡単に静的なものと仮定して行なっているから、得られた風速は実際にこのたつまきに伴って生じたということを証明するものではなく、推定によって得られた風速の定常な風もつ風力に相当する力がその構造物に作用したというふうを考えねばならない。

風速の推定値の中には、100 m/s を越えるものもあるが、これはわが国を襲う台風のうち最大級のもののもつ風力をはるかに越えるものである。

以下の計算においては特記なき限り風速分布は時間的・空間的に一様で、空気密度は $0.125 \text{ kg}\cdot\text{sec}^2\cdot\text{m}^{-4}$ と仮定した。また、鉄骨の応力-歪関係は理想弾塑性とし、降伏応力度 σ_y は $2400 \text{ kg}/\text{cm}^2$ とした。

(1) フェンス

このフェンスは Fig. 8 に示したように金網張り (充実率 0.103) のもので、Photo. 6 のように支柱の脚部分が西側へ折れ曲がった (フェンスの位置は Fig. 9 参照)。このような状態を生じさせる風速は次のように求まる。

まず、風力係数を

$$\begin{array}{l} \text{山形鋼} \left\{ \begin{array}{l} \text{水平部材} \quad c=1.9 \\ \text{垂直部材} \quad c=1.4 \end{array} \right. \\ \text{金鋼} \quad \quad \quad c=0.7 \end{array}$$

と仮定すれば支柱 1 本当りの脚部の曲げモーメント M_B は、

$$M_B = 0.0131 V^2 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$$

となる。支柱の山形鋼は脚部で縁応力が降伏点を越えているから、

$$M_B / Z_x > \sigma_y$$

となる。 $Z_x = 1.21 \text{ cm}^3$ であるから上式より

$$V > 15 \text{ (m/s)}$$

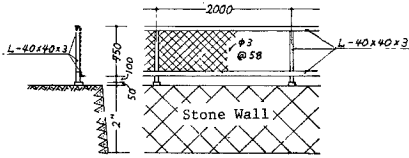


Fig. 8 Fence dimensions.

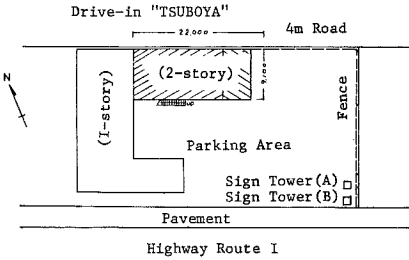
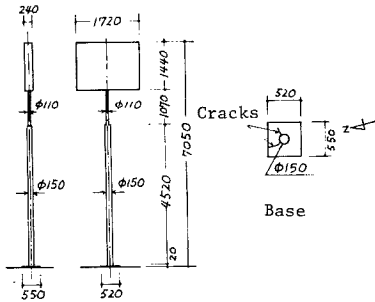


Fig. 9 Site map of a drive-in "Tsuboya".



North Elev. West Elev.

Fig. 10 Dimensions of sign tower (A).



Photo. 6 Damage to a screen fence.

が得られる。なお、このフェンスはたつまきの径路の中心から東側に 50 m 程度の距離にあったと推定される。

(2) 広告塔(A)

この塔の形状は Fig. 10 のとおりで、前項のフェンスの傍にある (Fig. 9 参照)。基礎はコンクリートで基礎より上部が東側へ約 3° 傾いた他、広告板の表面板が破壊されて枠だけになっていた。広告板の破壊はなかったものとして風力係数を 1.2 とし、支柱に加わる風力は小さいので無視すれば、基礎天端での曲げモーメント M_B は、

$$M_B = 1.17 V^2 \text{ (kg}\cdot\text{m)}$$

となる。この位置での支柱の断面の縁応力は降伏点を越えているが、全断面降伏には至っていないとすると、

$$\sigma_y < \frac{M_B}{Z} < s\sigma_y$$

である。 $Z = 84.4 \text{ cm}^3$, $s = 1.32$ であるから、

$$42 < V < 48 \text{ (m/s)}$$

を得る。

(3) 広告塔(B)

これは広告塔(A)に隣接し、形状は Fig. 11 のとおりである。この塔も西側へ約 4° 傾斜した。風向 E、風力係数 1.2 と仮定すると、前項と同様に

$$M_B = 1.30 V^2 \text{ (kg}\cdot\text{m)}$$

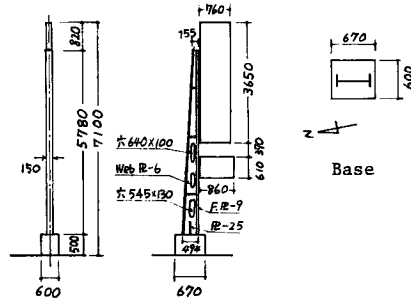
$$\sigma_v < \frac{M_B}{Z} < s\sigma_v$$

より、 $Z=70.4 \text{ cm}^3$, $s=1.67$ を代入して

$$36 < V < 47 \text{ (m/s)}$$

が得られる。

これら 2 つの広告塔はたつまきの中心から東へ 50 m 程度の距離にあったと推定される。



North Elev. West Elev.

Fig. 11 Dimensions of sign tower (B).

(4) ドライブイン「壺屋」

この建物は国道 1 号線沿いのドライブイン食堂で、たつまきの中心から 20~30 m 以内の範囲にあったと推定される。また、これは今回のたつまきで被害を受けた建物のうち最も床面積が大きい。Fig. 9 に見られるようにこれはコの字型の平面形をもち、南北の棟は約 10 m の 1 スパン鉄骨平家建、東西の棟は南北方向に 9 m 1 スパンの鉄骨 2 階建である (Fig. 12 参照)。Photo. 1 に見られるようにこの建物の鉄板葺の屋根はほとんど飛散し、東西の棟ではそれに伴って天井が落ちた (Photo. 5)。また、外に面した窓の大半が破壊された。東西の 2 階建の棟には北方への残留変位が認められ、1 階床位置と 2 階梁位置との相対変位は Fig. 12 の 1 階の平面図に示したとおりである。

壺屋の被害は非常に複雑で、その破壊のメカニズムを推定するための適当な方法を見出し難いが、2 階建部分が他の棟から独立しており、1 階の便所の壁がないと仮定すれば、1 階の柱の変形から風速の推定ができる。この仮定はこの建物の強度を相当程度低下させることになるが、スパン方向の柱の変形から風速を推定すれば、この方向には耐震壁が少ないことから比較的妥当な値が得られる。よって風向を南として計算を行なう。

2 階床の自重は約 170 kg/m^2 で、これによる 1 階柱周りの曲げモーメントは Fig. 13 (a) のようになる。一方、風による曲げモーメントは Fig. 13 (b) のとおりで、両者を重ね合わせると風荷重時の 1 階の柱頭および柱脚の曲げモーメント M_o , M_u が次のように求まる。

$$M_o = 2.23 V^2 \pm 410 \text{ (kg}\cdot\text{m)}$$

$$M_u = 2.23 V^2 \pm 205 \text{ (kg}\cdot\text{m)}$$

1 階柱に残留変形を与える条件は、1 階柱のスパン方向の降伏モーメントを $M_y (=113.3 \times 10^2 \text{ kg}\cdot\text{m})$ とす

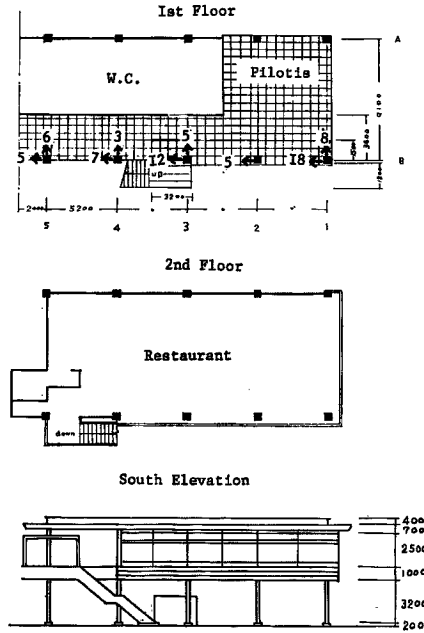


Fig. 12 (a) Plans and elevations of "Tsuboya". Numbers at the heads of arrows in the 1st floor plan are displacements of 1st floor column tops to the direction of arrows in mm.

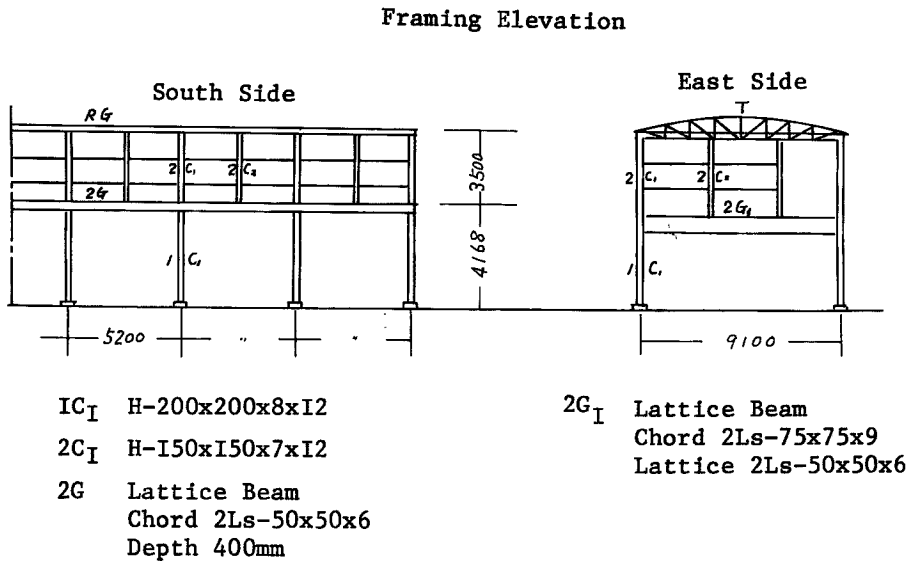


Fig. 12 (b) Framing elevations of "Tsuboya".

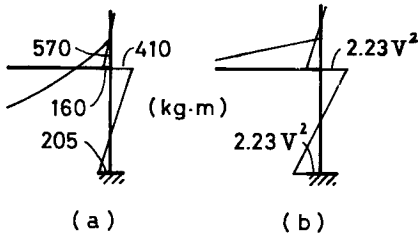


Fig. 13 Bending moment diagram.

れば,

$$2.23 V^2 + 410 > M_y$$

であり, これより

$$V > 70 \text{ (m/s)}$$

が得られる。

(5) 中部電力・豊橋—植田線第 13 号鉄塔

この鉄塔は Fig. 14 に示した支線付きのラチスタである。下地町北部の北村 131 番地にあり, たつまきの中心から 20 m 以内の地点にあったと推定される。

この塔のラチスの多くは面外に座屈しており, 最大

70 mm の残留変形があった。これによって塔全体が大きくねじられた他に, 支線の弛緩が観察された。

この塔の東側および西側には線路方向に平行に 2 階建の住家があり, 南北方向は水田であった。この地形と周辺の被害の状況からしてこの地点での風向は線路方向であったと思われる。風向が線路方向であったこと, この鉄塔の前後の鉄塔には被害がほとんどなかったこと, 支線があったことを考慮すると電線の影響は比較的少なかったと考えられる。

そこで, 地上 h (m) での風速を,

$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^{\frac{1}{8}}, \quad V_{10}: \text{地上 10 m での風速 (m/s)}$$

と仮定し, V_{10} をラチスタ材の座屈荷重から推定してみる。ただし, この鉄塔は Fig. 15 に示したような片持梁 (Model I) と支線の位置でピン支持されたもの (Model II) との中間の性能をもってへるとする。

鉄塔に加わる風力を Fig. 14 に示したような集中荷重に置き換え, 各モデルのせん断力分布を求めると Fig. 16 のようになる。これより各斜材の軸力を求め, Euler 座屈荷重と比較すると Model I および II のい

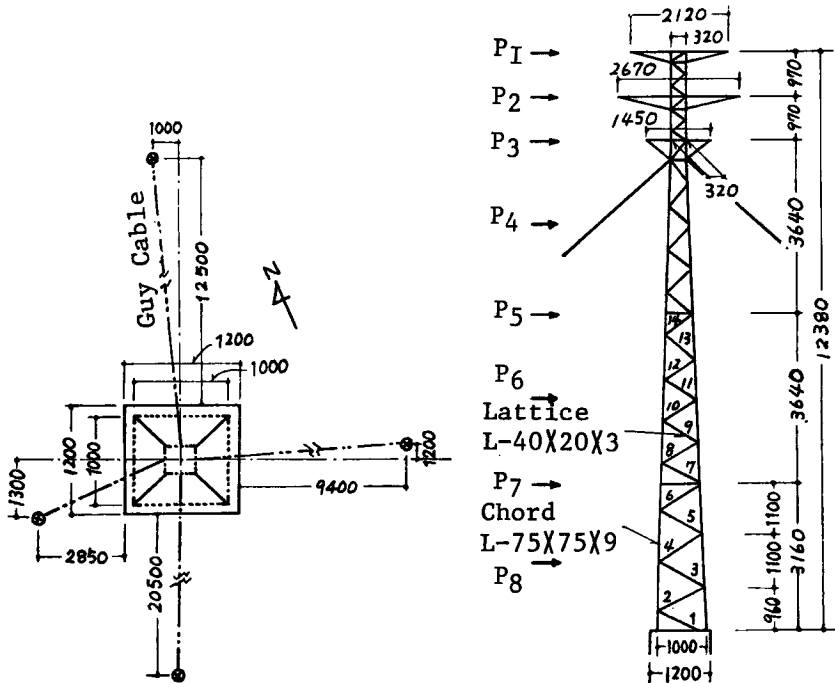


Fig. 14 Dimensions of a guyed lattice tower and assumption of horizontal wind loads.

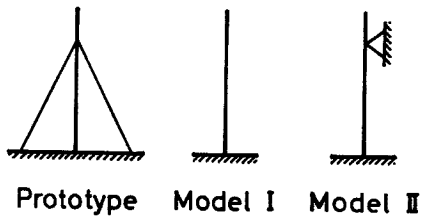


Fig. 15 Simplified models of a guyed lattice tower.

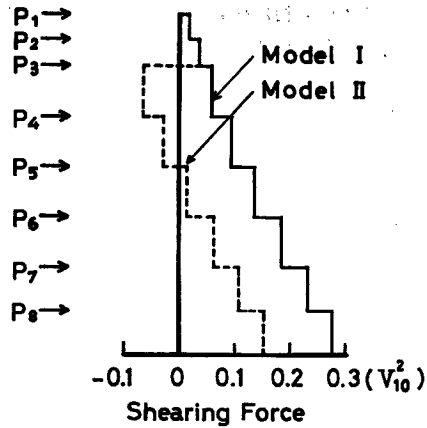


Fig. 16 Shearing force diagrams.

いずれの場合においても，斜材 2 の座屈が他より先行し，Model I の場合は $V_{10}=87$ m/s で，Model II の場合は 117 m/s で座屈する。よって， V_{10} は次のようになる。

$$87 < V_{10} < 117 \text{ (m/s)}$$

(6) 自動車

今回のたつまきの通過に際し，たつまきの進路上にあった走行中あるいは駐停車中の自動車が強風にあって転倒したり吹き飛ばされたりした。そこで現地調査によってたつまきで吹き飛ばされたことを確認しえたスバルサンバー K163 型，トヨエース K32p 型およびコニー AF11V 型の 3 車種について，それらを移動させるに必要な風速を計算してみた。自動車がどのような状態で動き出したかが不明であるので，いくつかの可能性を想定する必要があるが，風力係数の資料が車軸方向と側面方向についてしかないので，その 2 方向の風向について転倒，ずれおよび浮上りに要する風速を求めた。結果は Table 1 に示したとおりで，これらの車種は側面からの風の場合は 30~50 m/s 程度の風速で転倒する。

Table 1 Minimum velocity (m/s) of wind that removes automobiles.

Automobile	Frontal Wind			Lateral Wind		
	Overturn	Slip	Lift	Overturn	Slip	Lift
Subaru K163	76	112	101	32	52	76
Toyo-Ace K32P	82	118	124	51	67	106
Cony AF11V	57	107	87	36	49	77

5. 今回のたつまきの性質

ほとんどのたつまきについてそうであるように，今回のたつまきの場合にも測器による観測からたつまきの性質を知ることの出来るようなものは全く得られなかった。以下に現地踏査による被害状況からこのたつまきの性質について推定を行なってみた。

5.1 たつまきの経路

市街地において被害が発生する以前にたつまきの接近を見ていた人は発見できなかったもので，その経路を

追跡できるのは最初に被害のあった豊橋市西橋良町付近であり、その後被害の発生した場所を結んで行くと西橋良町より北北東に進み、豊川を越えた地点から北に進路をかえ下地町の北端ぐらまで追跡できる。その様子は Fig. 6 の被害分布図のとうりである。この間の経路の長さは約 4 km である。この図からも明らかとなり国鉄豊橋駅付近から関屋町付近までの間ほぼ 700 m ほどの間では被害が全く見られない。しかし、この間、上空を黒雲が通過して行くのを見たという人はいるが、地上での被害は全く見出せなかった。この付近は、豊橋市の中でも最もビル等の建物が建て込んだ場所である。この間で被害のなかったことがたつまきの性質によるものか、それともこの場所の地表面の粗度が大きかったことに関係するのかは明らかでない。

5.2 たつまきの移動速度

たつまきの移動速度についても被害発生の時刻より推定する以外方法はない。比較的正確に時刻を決定出来たのは次のような点においてである。

1) 国鉄豊橋保線区

国鉄保線区(豊橋支区)の被害報告によれば 17 時 58 分頃に豊橋支区(豊橋駅南西側)に被害が生じ同時に停電した。またこの付近の新幹線の停電したのは 17 時 59 分であるという。

2) 下地町神田 33

風でドアが開かれてから停電した。停電した時刻はテレビの定時番組である「アクション大魔王」の始めの部分で「ハッハッ」という所であったという。後に同じ番組によって調べたところこの時刻は 18:02 分頃であったと推定される。

3) 中部電力送電線故障

中部電力の下地町付近を通っている送電線に障害の生じた(断線)のは 18 時 03 分であったということである。この送電線は下地町の北部(下地町北村)を通っている。

4) その他一般住民の報告

その他現地踏査によって聞き出された時刻のうち信頼度の高いものは次のとおりである。

中郷町	17 時 57~58 分	停電
八通町	17 時 58 分	柱時計止る
下地町神田	18 時 02 分	時計止る
下地町神田	18 時 05 分	時計止る

他にこの地区で時計の止った時刻としては 17 時 55 分, 17 時 55 分, 18 時 10 分などがある。

以上を統合して中郷町 17 時 57~58 分, 豊橋駅南西部で 17 時 58 分または 59 分, 下地町神田 18 時 02 分, 下地町北村 18 時 03 分は、ほぼ正確なものと考えて良いであろう。これらは Fig. 17 に示すとおりである。これとさきの経路と組み合わせると時速 30 ないし 40 km であったことになる。

5.3 最大風速

たつまきの通過時の最大風速も全く観測値がないのでこれも被害から推定する以外に方策がない。被害の様子からの最大風速の推定は前章にのべられているが壊されずに残っているものの強度の推定などからして最大風速は、120 m/sec を越えたという証拠は見出されなかった。他の破壊の様子から推定された値などからして最大風速は 100 m/sec 程度であったと考えても大過ないであろうと思われる。

5.4 たつまきの直径

たつまきの大きさの特徴づける量としてはたつまきの回転運動の最大風速を示す部分の直径があるが、これを被害の分布から推定することは非常に困難であるので、普通は被害の生じた帯状域の巾で示されることが多い。今回の被害の分布から見ると屋根瓦が飛んだ程度の被害の生じている範囲は下地町付近において約 200 m であった。これより外側では家屋にはっきりとした被害は認められなかった。この程度の被害の生じるのは、風速 20 m/sec 程度以上であることが今日までの台風の被害調査などから知られている。また全壊家屋が生じた範囲の巾は約 100 m ぐらであった。また最大風速の推定値が 60 m/sec 程度以上になるのは、

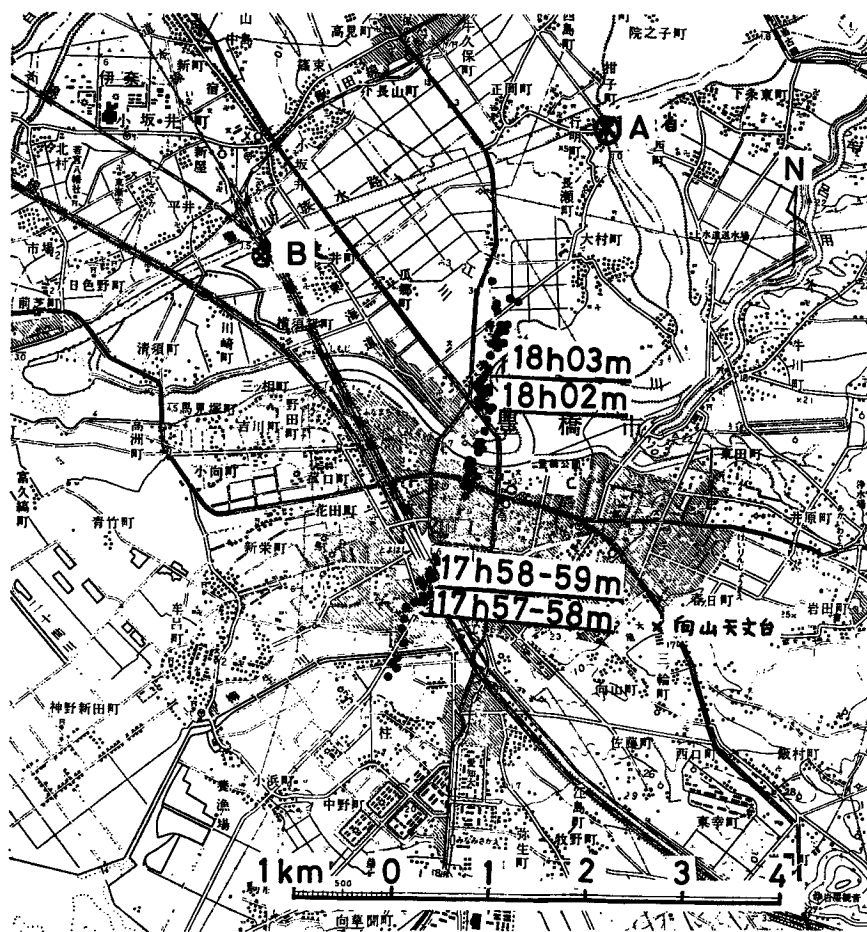


Fig. 17 Path and occurrence time of the Tatsumaki.

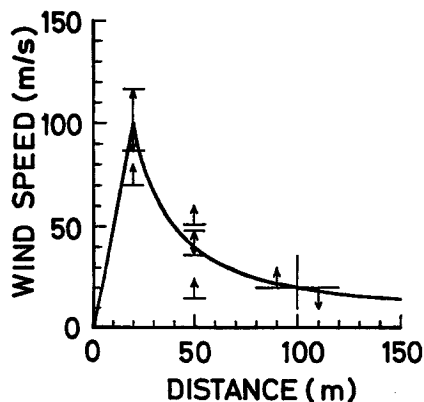


Fig. 18 Relation between wind speed estimates and distance from the Tatsumaki center.

40 m 程度の巾の範囲に入る。この最大風速の推定値と中心の経路からの距離との関係を示した Fig. 18 などから考えて最大風速半径は 20 m, そこの風速は 100 m と推定することができよう。そしてこの範囲での風速分布は中心からの距離に逆比例するようで、たつまきは Rankin 型の渦で近似できそうである。

5.5 気象観測結果

先にも述べたとおりこのたつまきによる強風を直接観測した記録は得られていないが、たつまきの経路から数 km 以内に風の観測が行なわれている点が 2 カ所あった。それは経路からほぼ 2.5 km 西にある国鉄豊川鉄橋と経路の延長上に近く被害が見られなくなった点から、ほぼ 2 km にある豊川分流堤付近の 2 カ所である。これらの点での自己記録は Fig.

19に示すとおりである。いずれの点においても、たつまきの発生した18時頃に風速の急速な増大が見られる。

豊川では、風速が10 m/sec ぐらい増大しており、豊川鉄橋においても同じく、約10 m/sec の増大が見られる。たつまきが Rankin 型の渦をなしていたとすれば、これだけの距離離れば渦の回転速度は数 m/sec 程度にしかならないはずであるから、たつまきの周囲にはかなり大きな範囲に渦度の集中のある部分があったと考えるべきであるようである。

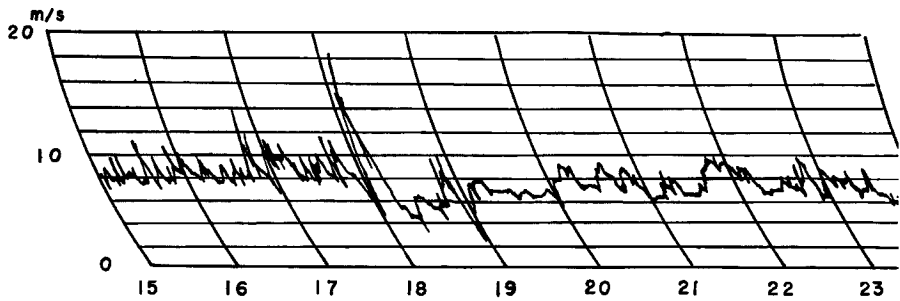
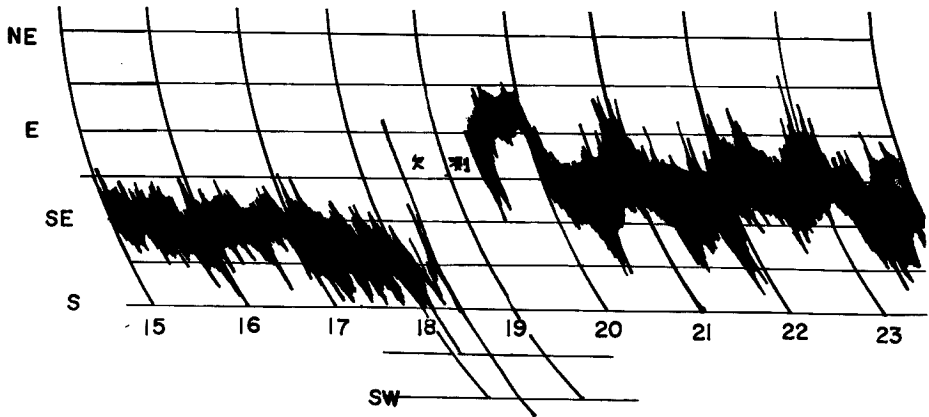


Fig. 19 (a) Anemograph observed at the point A in Fig. 17.

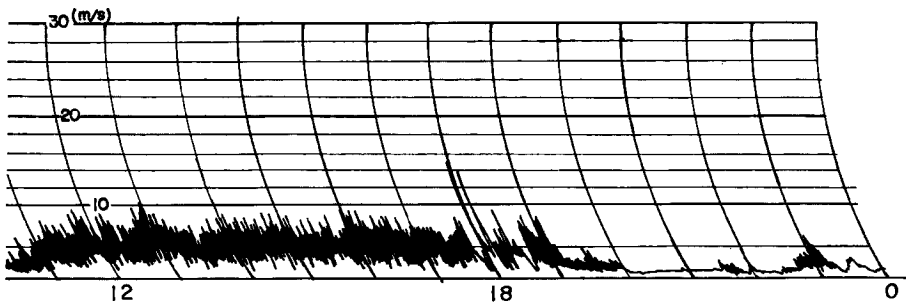


Fig. 19 (b) Anemograph observed at the point B in Fig. 17.

5.6 過去のたつまきとの比較

今回のたつまきの諸性質をまとめて過去の資料¹⁾と比較したものが Table 2 である。この表の1962年7月茨城県の例は、比較的強いものの例である。また次の1955年から1964年までに報告された日本におけるたつまきの平均値である。下段には米国におけるトルネードの例が示してある。この表から見て、今回のたつまきは過去のたつまきと比して特別に強かったとは言えないようである。とくに米国のトルネードに比べれば、そのスケールは非常に小さい。

Table 2 Tatumaki damages in Japan and the comparison with tornado damages in the United States.

	Tatumaki (Japan)			Tornado (U. S.)	
	Toyohashi Dec. 7, 1969	Ibaraki July, 1962	Average per year 1955-1964	Tri-state 1925	Average per year 1916-1958
Occurrence			7.2		213.2
Number of deaths	1	2	1.0	695	214.9
Number of wounded	69	65	15.9	—	—
Number of damaged houses	56	79	62.1	—	—
Maximum wind speed, m/s	100	—	M.T. 60	—	M.T. 250
Radius of maximum wind zone	20	—	—	—	—
Direction of forward motion	NNE	E NE	NE	E NE	NE
Forward motion speed, km/hr	30-40	—	—	100	60
Width of damaged area, m	100	30	45	1300	250
Length of damaged area, km	4	8	3	350	10

6. 結 語

1969年12月7日豊橋を襲ったたつまきの調査を行なったが、被害地が市街地の中であったこともあって比較的是っきりとたつまきの性質を被害から調べることができた。被害から推定したたつまきの最大風速は100 m/secで中心から約20 mのところを生じており、回転の向きは右廻りであった。たつまきは時速30ないし40 kmで北北東の方向に進み被害の生じた範囲は長さ約4 kmで巾は約200 mであるが、経路上一様に被害が生じたわけではなく、高層ビルの密集地帯では通過経路上でも被害はなかった。このたつまきは過去のものと比較してほぼ平均的なものに近いと考えられるので、ここで得られたたつまきの諸要素は今後たつまきの被害に対する対策を考える上で1つの基準として用いることができるであろう。また、今回のたつまきは本州に沿って東進した小さな低気圧の暖域内に発生したものであると判断されるが、その発生を予知するための手がかりになるようなものは見出せなかった。従って、このようなたつまきの発生を予報することは今日の時点ではまず不可能であると言わざるを得ない。このような点からたつまきの被害を最小限に止めるには破壊の影響をできるだけ局所的なものにおさえる努力をする以外にない。破壊されたらどうしても大きな影響の避けられないものはこのような高い風速に対しても破壊されないよう設計する努力は行なわねばならないであろう。また、たつまきの場合自動車さえも吹き飛ばされるから風速そのものと同時に飛散物に対する対策も考えておかねばならない。今回のたつまきで高層ビルの密集した場所で被害が無かったことは興味ある点である。

謝 辞

この調査を行なうにあたり質問に回答頂いた被災地の方々および資料を提供して頂いた豊橋市役所、警察

署, 気象庁各官署, 国鉄, 建設省豊橋工事事務所, 向山天文台ならびに各新聞社に深く感謝する。また, 現地調査にあたっては防災研究所成仁煥, 京都大学大学院生岩島樹也および河井宏允ならびに愛知教育大学の学生諸氏に協力して頂いた。これらの人々の努力に厚く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 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.
- 2) Donaldson, D. J.: Methods for Identifying Severe Thunderstorms by Radar: A Guide and Bibliography, Bulletin Amer. Meteor. Soc., Vol. 46, 1965, pp. 174-193.
- 3) Fujita, T.: Formation and Steering Mechanisms of Tornado Cyclones and Associated Hook Echoes, Monthly Weather Review, Vol. 93, 1965, pp. 67-78.
- 4) 島田守家: 1955~1964 年における日本のたつ巻. 気象庁研究時報, 第 19 巻, 第 1 号, 1967, pp. 1-22.