

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

石 崎 潑 雄・光 田 寧・室 田 達 郎
成 仁 煥・吉 川 祐 三

ON THE SEVERE STORM AND DAMAGE AT HIKONE ON SEPTEMBER 15th, 1970

By *Hatsuo ISHIZAKI, Yasushi MITSUTA, Tatsuo MUROTA,*
In Whan SUNG and Yuzo YOSHIKAWA

Synopsis

Tatsumaki, thunderstorm and small whirl wind are known as local severe storm in Japan. They occur very rarely and their scale is smaller and the amount of money of damage is less expensive than typhoons. But sometimes they cause severe damage to structures. We must take the wind effects of such local severe storms into consideration in the design of wind resistant structures. We have not sufficient knowledge about them. Only way to understand them is to explore and analyze the damages. We had the chance to explore the damage of severe storm at Hikone City and here report it.

1. 序 論

わが国に発生する小規模気象擾乱のうち、強風によって社会活動に影響を与えるものとしては、たつまき、小旋風、雷雨、じん旋風などがある。これらはその発現確率、規模、あるいは死傷者数、被害額ともに台風の場合と比べて非常に小さい。しかしながら、このような小規模擾乱は、局地的にはきわめて激しい破壊力を示すことがあるので、鉄道、送電線、原子炉などの社会的に重要な構造物の設計においては、このような擾乱に対する対策を十分に検討する必要があると考えられる。ところが現在では、このような擾乱に関する知識は構造物の耐風設計を行なうには甚だ貧弱な状況である。この原因の1つとしては、これらの現象の規模が小さいため現在のような気象観測網にかかることがきわめてまれであることが挙げられる。したがって現状では、このような擾乱によって生じた被害の解析によってその性状を推測する以外に方法がない。以下に述べる強風は、1970年9月15日の16時頃に滋賀県彦根市に発生した thunderstorm (雷雨) によるものであり、著者などの現地調査によって知りえた被害の性状や、被害の解析によって推定した風速などは、前述の知識の不足を補う一つの資料となると思う。

2. 気 象 状 況

2.1 気 象 概 況

強風が発生した1970年9月15日の15時および21時の地上天気図を **Figs. 1, 2** に示す。15時には本州の南方海上に 1016 mb の太平洋高気圧があり、日本海にはシベリア東部の高気圧から南に垂れ下がる寒冷高気圧が東進し、この2つの高気圧にはさまれた秋雨前線は、朝鮮半島南部から山陰沖合いの弱い低気圧を通過して近畿地方北部から中部地方を横断し関東地方に伸びていた。この前線は午後になって南下し始め、

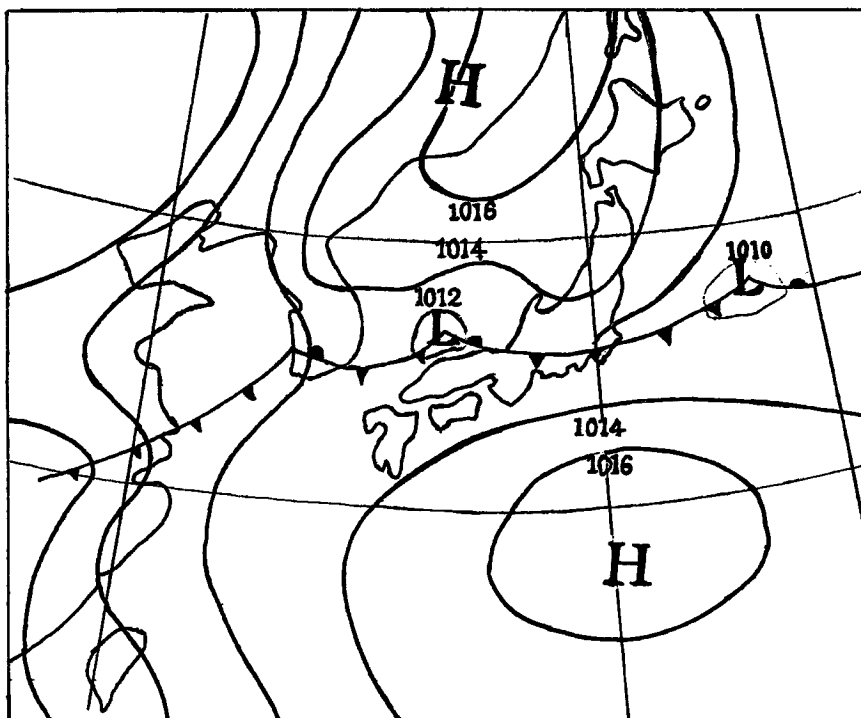


Fig. 1 Weather chart 15: 00, 15 th., September, 1970.

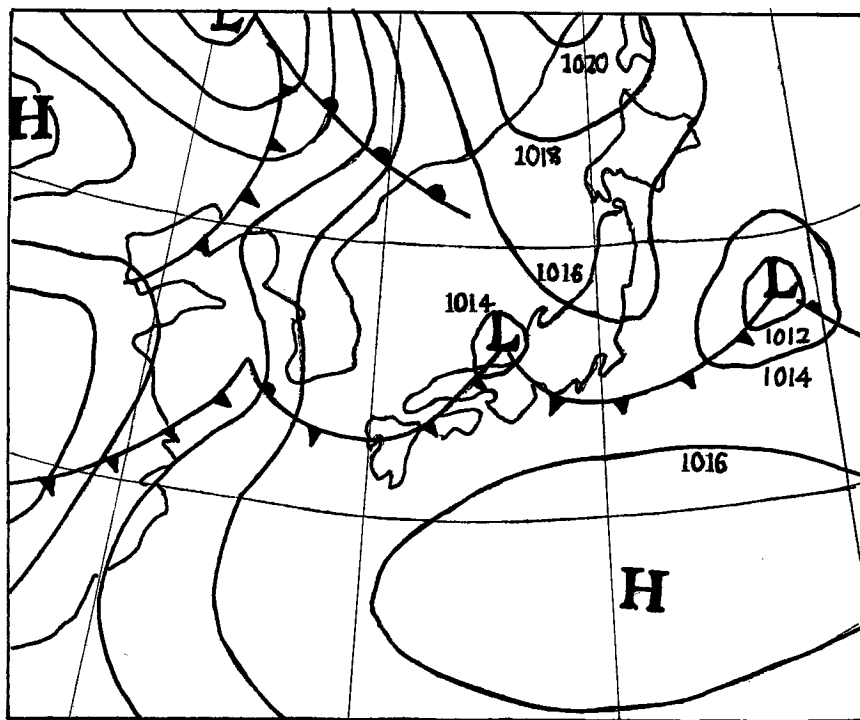


Fig. 2 Weather chart 21: 00, 15 th., September, 1970.

16時頃滋賀県中部においてこの前線の通過に伴って雷雨が生じ、彦根市付近では大豆の大きさ程度のひょうが降った。特に彦根市北部を中心に局地的に強い北西の突風が起った。

2.2 彦根付近の気象状況

彦根付近では、15日は午後から雷雨になり、16時過ぎから雷声と風が強まった。16時10分頃から突風が吹きはじめると同時に雷電も強まりひょうも降り約10分間にわたって暴風雨が続いた。この時刻の彦根地方気象台における各種気象要素（気圧、気温、風向、風速）の自記記録は Figs. 3~6 に示すとおりである。この図からわかるように16時12分頃に1mb以上の急激な気圧の上昇と、約5.2°Cの気温の降下があった。風速は16時16分に瞬間最大33.2 m/s を記録している。一方風向は大きな変化が見られず北ないし北西の風であった。平均最大風速は16時20分に11.3 m/s (N) が記録され、最大降水量（10分間）は16時20分から30分までの間に14.0 mm であった。また彦根地方気象台から約1 km 北にある彦根港水上巡査派出所の風速計は16時過ぎに最大瞬間風速45 m/s (NW) を観測したという。

2.3 強風の原因

この強風はきわめて急激に発生し、しかも短時間で弱まった。この点においては、たつまきによる風と似ているが後述のとおり被害の発生した地域が比較的広いこと、しかもこの範囲内での風向が一様に北西であって風が旋廻していたという証拠が見あたらないこと、彦根地方気象台の気象要素の自記記録において気圧

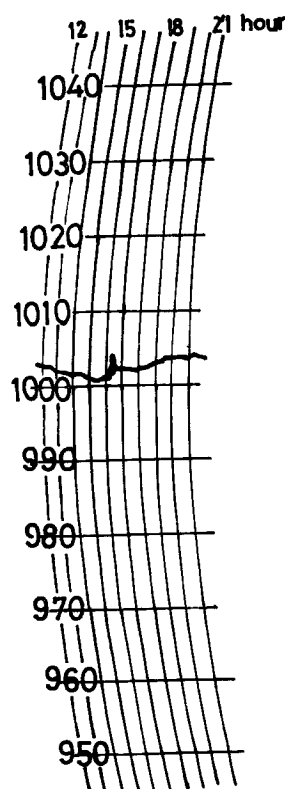


Fig. 3 Atmospheric pressure at the time of severe storm occurrence.

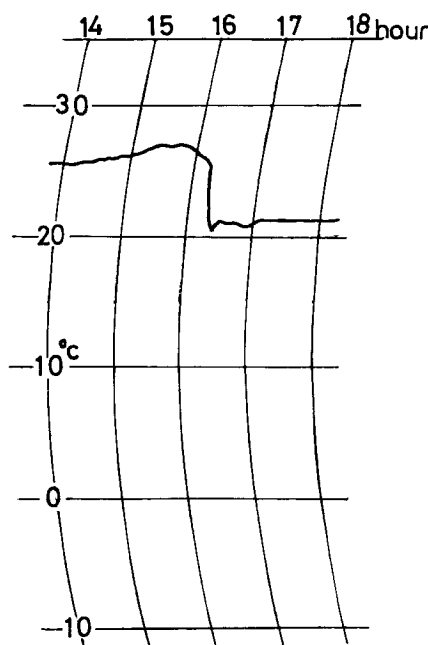


Fig. 4 Air temperature at the time of severe storm occurrence.

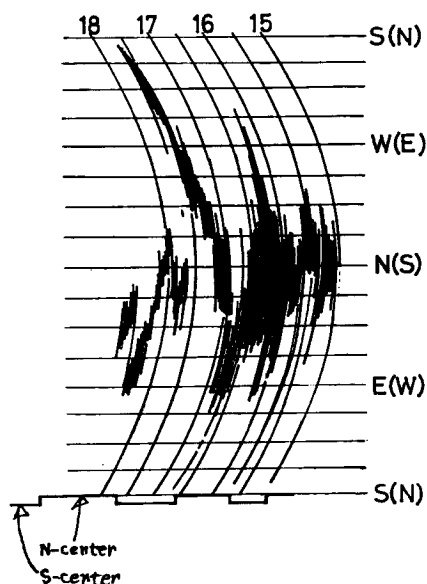


Fig. 5 Wind direction of severe storm occurrence.

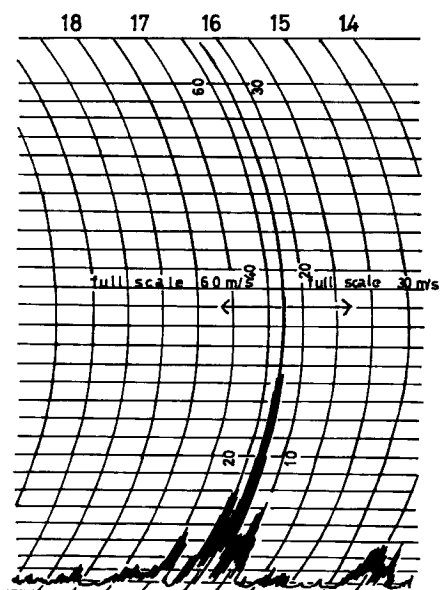


Fig. 6 Wind velocity of severe storm occurrence.

の上昇と温度の降下が見られたなどの理由により、この強風はたつまきではなく thunderstorm にともなう風の吹き出しであったと考えられる。これは積乱雲中に生じた寒冷気塊が降下し、地表で前方に吹き出すもので非常に発達した対流活動に伴って生じるものである。南北アメリカ大陸ではこれによる被害の報告例があるが、日本では陸上でこのような現象が見られるのは比較的珍らしくこれに関する研究はほとんど行われていない。従って現在この現象を予測することは非常に困難である。

3. 被害の概要

彦根地方気象台の異常気象報告によれば今回の thunderstorm による被害は次のとおりである。(10月15日現在)

家屋	全壊	5戸
	半壊	9戸
	一部損傷	4戸
農作物	水稻	69 ha 倒伏
	ビニールハウス	30 棟倒壊
	秋野菜	1.3 ha 被害

著者等の調査では被害の分布は、Fig. 7 に示すとおりである。shade された部分が被害の見られた地域であり、黒点の部分が主な被害個所である。被害地域は約 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ で彦根市の北東部、琵琶湖岸から東部山麓へかけての水田地帯を中心に広がっている。彦根市街地には大きな被害はなかった。なお W 点は彦根地方気象台の位置を示し、ここでは最大瞬間風速 33.2 m/s を記録した。水上警察は P 点にありここでは 45 m/s が観測された。W 点および P 点はともに被害の発生した地域から少し離れている。被害の個々の様子から風向は全体として、北から北西方向であって、風が旋廻していた形跡はない。

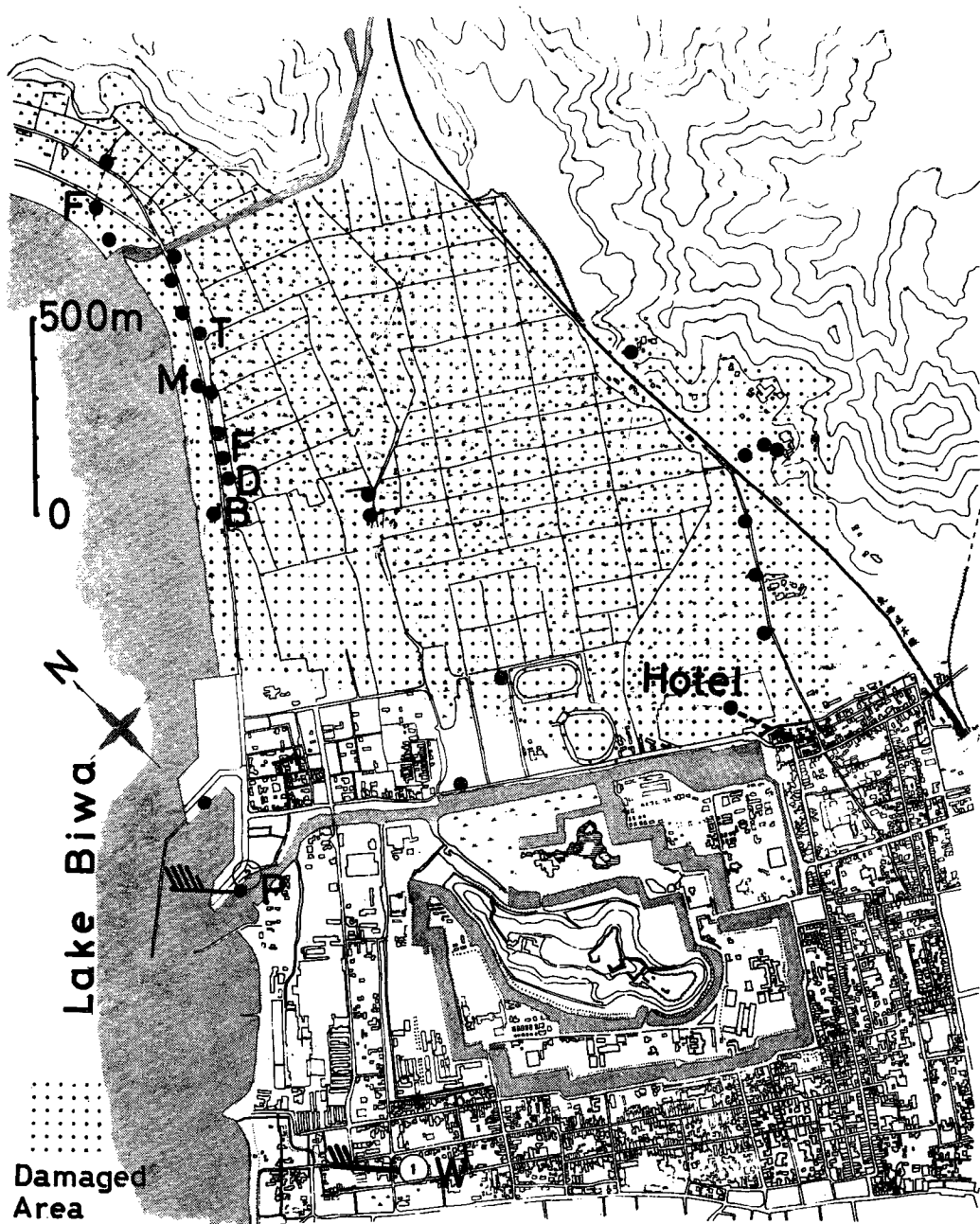


Fig. 7 Damaged zoning map in Hikone City.

4. 被害状況

4.1 積石塀の転倒

分布図に F_1 , F_2 で示した場所で、大谷石あるいはコンクリートブロックの積石塀が転倒していた。これら

は基礎定着の不完全であったことと無鉄筋であったことによるものと思われる。

4.2 R. C. 造

分布図に **Hotel** と示した地点の近江プラザホテル (R. C. 造 3 階建) の屋根が、約 100 m 吹き飛ばされた。この屋根は鉄板瓦棒葺で小屋組の一部は軽量鉄骨で面積は約 1000 m² であった。

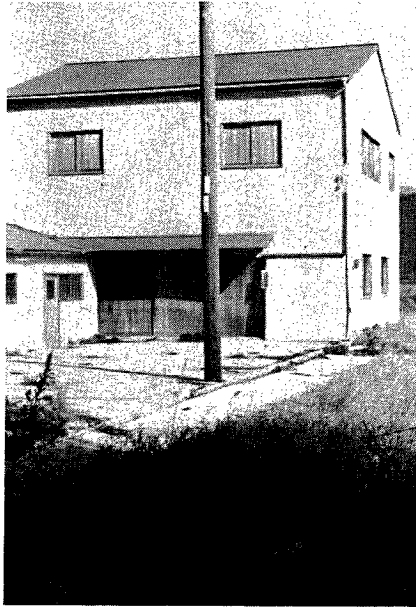


Photo. 1 Fallen concrete-block fence.



Photo. 2 Ruin of the blown away roof of Ōmi Plaza Hotel.

4.3 湖岸の松林、墓石、木造家屋

彦根市松原町水泳場沿いの記号 **M** で示した地点で松の木（直径約 50 cm）が約 40 本折れたり倒れたりしていた。また **T** で示した墓地の墓石が倒れ、水泳場一帯の売店、湖の家、便所などが半数以上全半壊した。

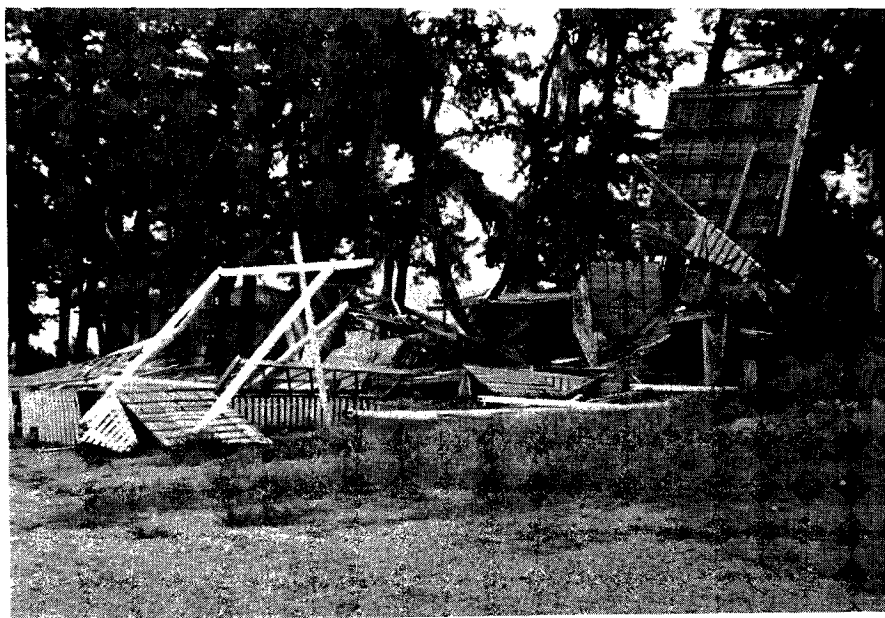


Photo. 3 Collapse of a wooden hut by the lake-side.



Photo. 4 Broken pine trees.

個々の被害からは、他の強風であるたつまきや台風との大きな相異点はないように見える。しかし全体としては、せまい範囲内で比較的短時間強風が吹くことがこの thunderstorm の特色である。さらに旋廻風系を形成しないで進向方向に吹き出すこと、激しい降雨をとまなうことがたつまきとは異なる点である。

5. 風速の推定

thunderstorm の最大風速はこれまで観測された例はないが、被害の状況から推定してたつまきの場合ほど大きくないようである。日本のたつまきの最大風速は 100 m/s 以上という推定値が報告されており、米国のトルネードでは被害からの推定で 250 m/s, レーダー観測によって 125 m/s などの値が報告されている。さて今回の thunderstorm による風速を推定することは気象学的方法では困難であり、以下に示すような構造物などの被害の解析によって推定する以外にない。この計算においては空気密度を $0.125 \text{ kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$, 風速の分布は垂直水平方向共一様と仮定している。

(1) 墓石の移動および転倒

計算上次の記号を約束する

h, b, d : 墓石の寸法 [m]

γ : 墓石の密度 [kg/m^3]

W_g : 墓石の重さ [kg]

V : 風速 [m/s]

ρ : 空気密度 [$\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$]

C : 風力係数 [—]

μ : 静止摩擦係数 [—]

g : 重力加速度 [m/s^2]

計算の前提として墓石の基礎部の定着は無視して、滑り面は滑らかであるとして滑動開始時の風力を求めた。

移動した場合

$$c \times \frac{1}{2} \rho V^2 \times (\text{見付面積}) > \mu \times W_g$$

転倒した場合

$$c \times \frac{1}{2} \rho V^2 \times (\text{見付面積}) \times \frac{h}{2} > W_g \times \frac{d}{2}$$

計算例 1. 600×240×240 mm の墓石をずらすのに要する風速

$h=0.6\text{m}, b=d=0.24\text{m}, c=1.2$

$\gamma=2.6 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$1.2 \times \frac{1}{16} V^2 \times 0.6 \times 0.24 > \mu \times 0.6 \times 0.24^2 \times 2.6 \times 10^3$$

$\mu=0.3$ とすると $V > 48.0 \text{ m/s}$

$\mu=0.4$ とすると $V > 57.7 \text{ m/s}$

この墓石は転倒していなかったので

$$1.2 \times \frac{1}{16} V^2 \times 0.6 \times 0.24 \times \frac{0.6}{2} \leq 0.6 \times 0.24^2 \times 2.6 \times 10^3 \times \frac{0.24}{2}$$

$V \leq 57.7 \text{ m/s}$

計算例 2. Fig. 8 に示した墓石の最上段の石が落下しており、下二段の石が重なったまま移動していた。

。三段とも一体で移動したのならば

$$1.2 \times \frac{1}{16} V^2 \times (\text{見付面積 } 0.516) > \mu \times (\text{全重量 } 0.61 \times 10^3)$$

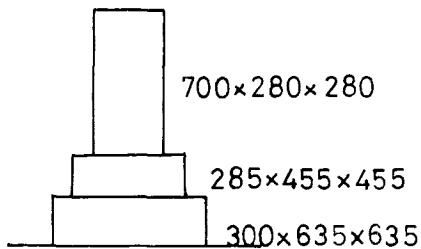


Fig. 8 Dimension of slided tomb stone.

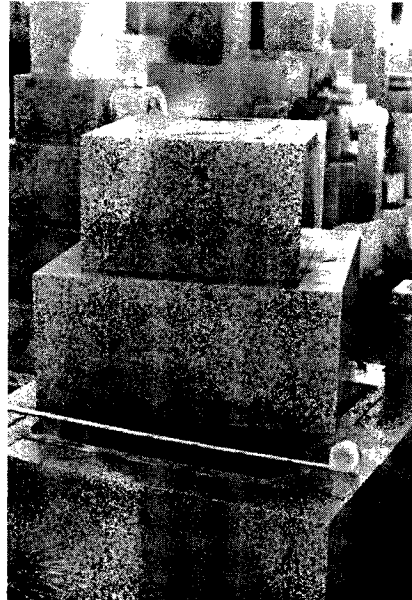


Photo. 5 Slided tomb stone.

$\mu=0.3$ とすると $V>68.8 \text{ m/s}$

$\mu=0.4$ とすると $V>79.5 \text{ m/s}$

。上段の石が転倒後、下段2個が一体で移動したのならば

$$1.2 \times \frac{1}{16} V^2 \times (\text{見付面積} 0.321) > \mu \times (\text{全重量} 0.468 \times 10^3)$$

$\mu=0.3$ とすると $V>76.5 \text{ m/s}$

$\mu=0.4$ とすると $V>88.3 \text{ m/s}$

。上段の石の転倒に要する風速は

$$1.2 \times \frac{1}{16} V^2 \times (\text{見付面積} 0.196) \times \frac{0.7}{2} > (\text{重量} 0.143 \times 10^3) \times \frac{0.28}{2}$$

$$V>62.3 \text{ m/s}$$

計算例 3. Fig. 9, Photo. 6 に示す石碑の転倒に要する風速を計算する。

$$c=1.2, \gamma=2.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$1.2 \times \frac{1}{16} V^2 \times (\text{見付面積} 1.064) \times 1.20 > (\text{重量} 0.947 \times 10^3) \times 0.30$$

$$V>54.5 \text{ m/s}$$

(2) **Fig. 10, Photo. 7** に示す湖岸の家の金網の門の鋼棒のかんぬきが曲っていた。このことに要する風速を求める。

金網戸の全体の充実率は 0.18

$$\text{風荷重は } 1.2 \times \frac{1}{16} V^2 \times 1 \times 0.18 = 0.0135 V^2 \text{ kg/m}$$

鋼棒にかかる最大モーメントは

$$\frac{1}{2} \times 0.0135 V^2 \times 1.9^2 = 0.0244 V^2 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

鋼棒の応力分布は全断面降伏と仮定し、歪硬化を無視する。降伏強度は 25 kg/mm^2 、半径は 9.5 mm であ



Photo. 6 Fallen stone monument.

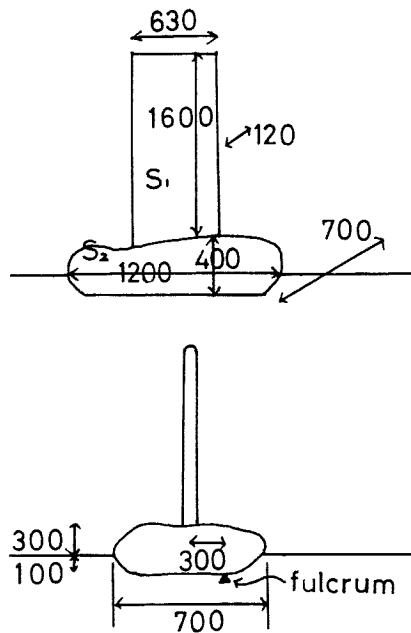


Fig. 9 Dimension of fallen stone monument.

る。そこで抵抗モーメントは

$$-\frac{8}{3} \times \left(\frac{1.9 \times 10^{-2}}{2} \right)^3 \times 25 \times 10^6$$

この場合の風速は $V=48.5 \text{ m/s}$

- (3) $\mathbf{F}_1$ の位置での積石塀の転倒に要する風速を計算する。6 段 $\times$ 6 個の大谷石の積石塀であり基礎部のモルタル付着を無視する。

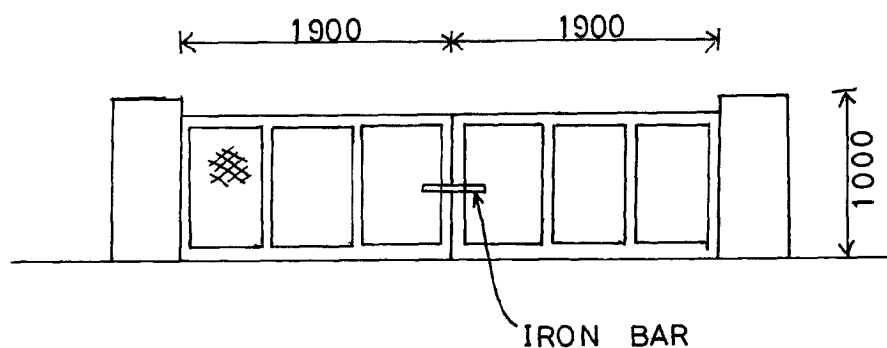


Fig. 10 Dimension of damaged iron door.



Photo. 7 Bended iron bar of the door of the house.

$$h=1.80 \text{ m}, b=5.40 \text{ m}, d=0.18 \text{ m}, c=1.2, \gamma=1.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$1.2 \times \frac{1}{16} V^2 \times 1.8 \times 5.4 \times \frac{1.80}{2} > 1.8 \times 5.4 \times 0.18 \times 1.7 \times 10^3 \times \frac{0.18}{2}$$

$$V > 20.20 \text{ m/s}$$

- (4) F_2 の位置でのコンクリートブロック塀の転倒に要する風速を計算する。5段×50枚のブロック塀で一体転倒していた。

$$h=1.07 \text{ m}, b=20.00 \text{ m}, d=0.10 \text{ m}, c=1.2, \gamma=1.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$1.2 \times \frac{1}{16} V^2 \times 1.07 \times 20 \times \frac{1.07}{2} > 1.07 \times 20 \times 0.1 \times 1.8 \times 10^3 \times \frac{0.10}{2}$$

$$V > 14.98 \text{ m/s}$$



Photo. 8 Collapse of a block fence.

6. 結 論

今回の調査により 1970 年 9 月 15 日彦根市を襲った強風について以下の結論が得られた。

(1) 被害が広い幅に分布しており被害範囲は細長くないこと、旋回性の風でなかったこと、気圧が上昇していたこと、これらを総合的に判断して今回の強風は thunderstorm の吹き出しによるものであったと考えられる。

(2) thunderstorm の風速推定例は過去になく、今回も最も強い風の吹いた地域における測定記録は得られなかった。気象学的にこれを推定することは困難であったから、被害状況よりこれを推定した。その結果地表付近で 50 m/s 前後の風が吹いたと思われる。

謝 辞

本報告に述べた調査は 1970 年 9 月 24 日行なったが、資料を提供していただいた彦根地方気象台、調査の便宜を与えてくださった竹中工務店 k. k., 現地調査、資料整理等に協力した京都大学防災研究所技官、羽野淳介、杉政和光、京都大学大学院理学研究科の学生岩嶋樹也の諸氏に深く感謝の意を表する。