

台風 7705 号による被害について

石 崎 潑 雄・吉 川 祐 三

ON THE DAMAGES CAUSED BY THE TYPHOON 7705

By *Hatsuo* ISHIZAKI and *Yuzo* YOSHIKAWA

Synopsis

The typhoon 7705 struck Ishigaki Island and Iriomote Island in the early morning on July 31, 1977. The maximum wind speed observed at the Ishigakijima Weather Bureau is 53 m/sec and the maximum peak gust is 70.2 m/sec. The number of the destroyed houses are 449, and the total amount of damages are more than 6 billion yen. The wind speeds estimated from the damages are 60-90 m/sec in the Ishigaki City. The damages to the roofs and the window glass panes are distinct and the roofing practice and the choice of glass thickness must be taken into consideration in the future wind-resistant structure design in Okinawa Islands.

1. ま え が き

昭和52年7月31日の早朝台風7705号が石垣島、西表島などより成る八重山群島に襲来し、その地域に大きな被害をもたらした。この台風は中型規模であったが台風の中心が西表島の真上を通過したため、石垣島地方気象台で観測した最大風速 53m/sec および最大瞬間風速 70.2m/sec はそれぞれ同島の観測史上第1位という強いものであった。著者等は被害の約一週間後に現地調査を行ない被害や台風時の気象要素に関する資料を収集した。被害に関しては石垣市竹富町を合わせて全壊半壊の戸数は449棟を数え被害総額は60億円に達した。本論文はその被害の状況及び気象要素の概況を示すものである。

2. 台風 7705 号および被害の概要

石垣島地方気象台のレーダー写真から解析した台風7705号の軌跡を Fig. 1 に示す。石垣島気象台の発表¹⁾とレーダー解析からわかった台風7705号の発生から消滅までの経過は以下の通りである。7月25日硫黄島の西方海上で発生した弱い熱帯性低気圧は27日18時に南大東島の南西90kmの海上で小型の弱い台風となった。この台風はその後西南西に進み29日15時頃沖縄本島の南々西160kmの海上で速度を毎時15~20kmに速め進路を南西に変えて進んだ。30日03時には石垣島の南東210kmの海上に達した。同日09時から15時にかけて停滞し始め中心気圧は925mb, 最大風速55m/sec, 25m/sec以上の暴風半径は140kmの台風に発達した。同日15時すぎ石垣島の南東180kmの海上から進路を北西に転向し18時頃から速度を毎時15km前後に速めて石垣島に向った。31日00時には石垣島の南東65kmの海上に接近し、06時には南南西15kmに近づいた。同日08時から09時にかけて西表島を北西に横断した。同日14時には与那国島の北50kmの海上を西北西に進みその後台湾北部をかすめた。

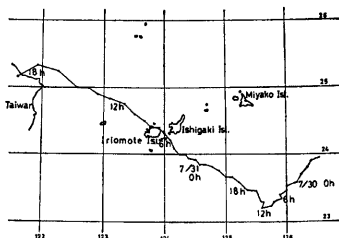


Fig. 1. The track of the Typhoon 7705.

石垣島地方気象台の観測によると最低気圧は 931.7mb (7 月31日06時10分) であり同島の観測史上 3 番目に低いものであり, 10 分間最大風速は 53m/sec (7 月31日07時00分), 最大瞬間風速は 70.2m/sec (7 月31日06時30分) でありおのおの同島の観測史上第 1 位の猛烈な風であった。台風の上陸時の気圧と再現期間の関係の研究は本州, 四国, 九州に関しては若干あるが²⁾³⁾, 沖縄諸島においてはまだないようである。九州全域に上陸した台風の中心気圧と再現期間の関係から 930mb の台風の再現期間は 40~50 年程度である。おそらく沖縄海域に出現する台風の中心気圧はもう少し低いので再現期間は少し短くなると思われる。風速に関しては次章で詳しく述べるが石垣島での再現期間は30~40年となった。規模は中型であるが中心気圧あるいは最大風速は40年に 1 度程度のかかなり強い台風であった。

台風による被害は Table 1 に示すとおりである。この表は 8 月10日現在で沖縄県災害対策八重山地方本部の調べによるものである。死者 6 名は竹富町西表島船浮湾での漁船沈没によるものである。全壊棟数は 182 棟, 半壊棟数は267棟, 床上浸水は121棟, 床下浸水は120棟でその他道路港湾の決壊, 農作物の被害, 水産畜産の被害, 電気通信施設の被害および個人の住宅の被害など被害総額は60億3580万円に達した。

Table. 1 Total damages in the Ishigaki City and the Taketomi Town.

		石垣市	竹富町	非住家	公共建物	35棟	被害額	
人的被害	死者		6 人	田畑埋没	その他	229棟	公立文教施設	108,800千円
	重傷者	4人	1 人	文教施設		8.94ha	農林水産施設	194,498
	軽傷者		1 人	病院		50個所	公共土木施設	367,139
			1 人	河川		2個所	その他公共施設	162,435
住家被害	全壊	76棟	106棟	道路		3個所	農産	1,068,569
		77世帯	108世帯	港湾		91個所	林産	26,631
		246人	320人	水道		17個所	畜産	125,652
	半壊	151棟	116棟	船舶		8個所	水産	195,989
		154世帯	118世帯	通信		48隻	商工	866,337
		627人	371人		2,146回線		電信施設	63,000
	床上浸水	61棟	60棟				電気施設	80,000
		61世帯	61世帯				その他	2,776,753
		273人	185人				被害総額	6,035,803千円
	床下浸水	54棟	66棟					
		54世帯	66世帯					
		226人	178人					

3. 台風 7705 号にともなった強風について

石垣島地方気象台における台風通過時の風向風速の自記記録を Fig. 2 に示す。風速の自記記録は風速の大きさによりフルスケールのレンジを 4 度変えている。通常 30m/sec フルスケールのレンジを 7 月30日23時過ぎに 60m/sec レンジに31日04時45分ごろに 90m/sec レンジに切り替えた。台風の通過後は08時10分, 13 時40分に 60m/sec レンジ, 30m/sec レンジにもどしている。7 月31日の00時ごろから平均風速が 20m/sec を超えて早朝にかけて次第に風が強まり04時過ぎには平均風速は 30m/sec より大きくなった。そして06時30分から07時30分にかけて最も風は強くなり平均風速は 45m/sec を超えた。最大瞬間風速は 70.2m/sec で06時30分を少し過ぎたところに記録した。08時には 30m/sec まで弱まり以後11時ごろまで平均風速は横ばいになり 25m/sec 程度であった。さらに風速は弱まり13時過ぎには平均風速 15m/sec となった。風向は31日の00時から北東の風であり台風の中心が接近した06時ごろに東の風となり, 中心が通り過ぎた07時には南西の風に変

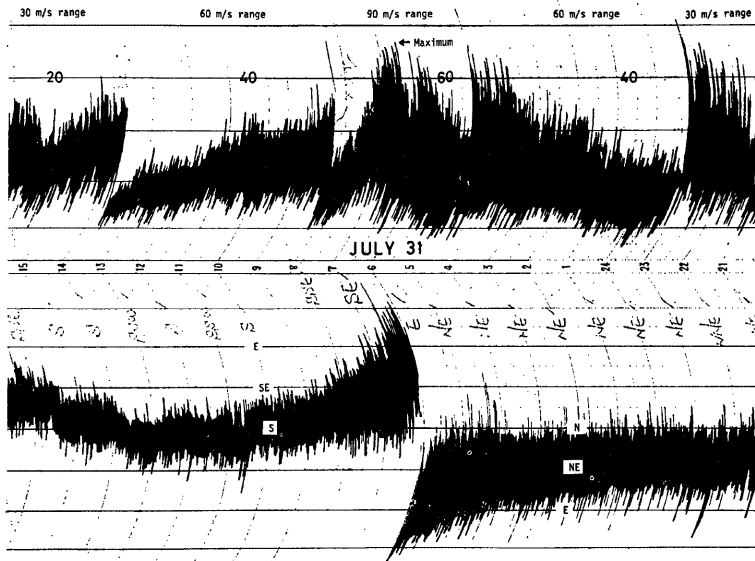


Fig. 2. Anemogram at the Ishigakijima Weather Bureau.

りさらに南の風となった。この風向変化の様子は台風が石垣市の南側を通過したことを明確に示している。

気圧の自記記録を Fig. 3 に示す。気圧はその変動の幅を増大しながら台風の接近と共に降下し30日06時10分には最低気圧 931.7mb を記録し06時30分ごろから再び上昇し始めた。最低気圧を示した時点での10分間平均風速は 44.3m/sec でありその後風速は少し減少しており、最大風速を記録した06時50分から07時にかけては気圧は 945mb まで上昇している。このときの台風中心から石垣島気象台までの距離は 20km 程度であり、これが台風中心から最強風域までの距離ということになる。10分毎の平均風速の値を台風の通過前後 8 時間にわたりプロットしたのが Fig. 4 である。これによると06時50分から07時までの10分間平均風速が最大 53m/sec であり、06時10分から06時30分までの20分間で風速が一度減少している。その減少の時期に石垣島気象台が台風の最強風域より中心側に入っていることを示している。

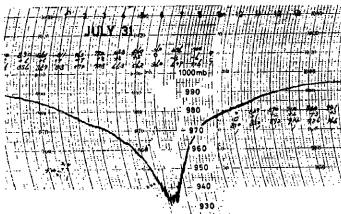


Fig. 3. Atmospheric pressure record at the Ishigakijima Weather Bureau.

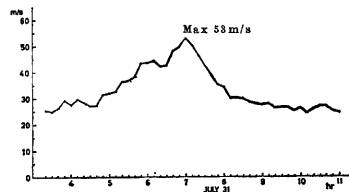


Fig. 4. Mean wind speed fluctuations during the typhoon passage at the Ishigakijima Weather Bureau.

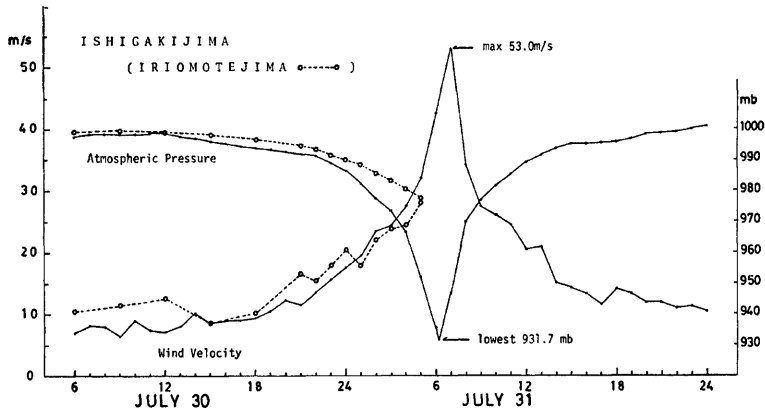


Fig. 5. Hourly changes of mean wind speed and atmospheric pressure at the Ishigakijima Weather Bureau and the Iriomotejima Meteorological Observatory.

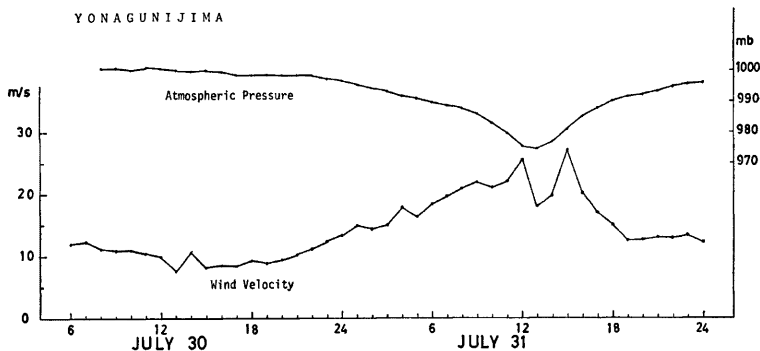


Fig. 6. Hourly changes of mean wind speed and atmospheric pressure at the Yonagunijima Meteorological Observatory.

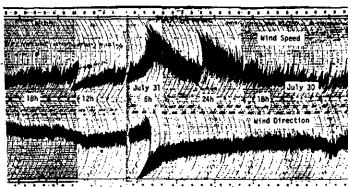


Fig. 7. Anemogram at the Ishigaki Airport.

次に石垣島気象台、西表島測候所、与那国島測候所の1時間ごと(一部は3時間ごと)の気圧、10分間平均風速を示したのが Fig. 5, Fig. 6 である。西表島は台風が接近した31日05時過ぎに気象測器が破損し最接近時は欠測となっているが、気圧は石垣島より2時間半程度の時間遅れて降下しており両気象官署の距離40kmを時速15kmで進んだ事実とほぼ符合する。与那国島は台風の中心の進路から約50km離れており最低気圧は975mbで最大風速もせいせい27m/sec程度であった。石垣空港にある空港気象台の風速、風向の自記記録のトレースを Fig. 7 に示す。ここでの最大瞬間風速は64m/secであり、発現時刻は06時20分ごろである。石垣島気象台の最大瞬間風速値の0.9倍で発現時刻は10分程早い。この差異の起こる原因と

Table. 2 Annual maximum wind speeds at Ishigakijima Island.

年	最大風速	年	最大風速	年	最大風速
1900	26.7m/sec	1926	46.5m/sec	52	18.2m/sec
01	37.7	27	21.9	53	31.1
02	44.4	28	14.7	54	27.0
03	40.7	29	44.3	55	20.0
04	38.9	30	23.6	56	28.5
05	22.0	31	28.4	57	24.8
06	36.4	32	17.8	58	30.3
07	27.9	33	50.3	59	32.8
08	21.7	34	21.8	1960	23.7
09	35.4	35	34.6	61	31.2
1910	23.9	36	17.6	62	29.0
11	41.2	37	18.5	63	32.0
12	35.6	38	17.6	64	17.2
13	37.1	39	13.8	65	27.5
14	48.6	1940	31.3	66	27.3
15	28.5	41	14.0	67	18.0
16	17.9	42	20.1	68	18.8
17	28.9	43	18.5	69	32.8
18	39.6	44	25.0	1970	18.0
19	45.4	45	21.7	71	38.6
1920	47.6	46	24.3	72	22.5
21	22.3	47	21.8	73	21.3
22	21.2	48	44.2	74	15.8
23	35.8	49	22.6	75	19.5
24	23.4	1950	28.5	76	39.2
25	42.0	51	20.1	77	53.0

Table. 3 Annual maximum peak gusts at Ishigakijima Island.

年	最大瞬間風速	年	最大瞬間風速	年	最大瞬間風速
1942	28.6m/sec	1954	34.7m/sec	1966	44.9m/sec
43	29.6	55	30.9	67	28.3
44	38.6	56	35.1	68	36.7
45	28.1	57	38.1	69	56.8
46	32.1	58	42.0	1970	32.8
47	32.9	59	42.7	71	66.9
48	57.2	1960	30.4	72	34.4
49	30.7	61	40.6	73	28.8
1950	44.8	62	40.5	74	23.7
51	31.5	63	50.0	75	29.0
52	24.2	64	28.7	76	59.7
53	44.3	65	46.5	77	70.2

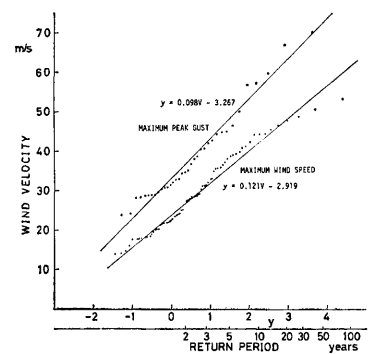


Fig. 8. Annual maximum wind speeds and maximum peak gusts at Ishigakijima Island.

しては風速計の地上高さが石垣島気象台では 22m, 空港気象台では約 5m と異なること, あるいは 2 点が約 2.3km 離れており周辺の地形等に差があることが考えられる。

石垣島の10分間平均風速および瞬間風速の年最大値の記録⁴⁾ から, Gumbel の最少二乗法⁵⁾ により風速の極値と再現期間の関係を求めた。平均風速は1900年から1977年までの記録 (Table 2), 瞬間風速に関しては1942年から1977年までの記録 (Table 3) を採用した。強風の極値の分布は風速の値の二重指数の函数になるといわれているが, 最大風速あるいは最大瞬間風速と再現期間の関係を示したのが Fig. 8 である。最大風速ではその値の大きいところでは計算で求めた近似分布とあまり合わないで実際の風速値が近似分布より小さい。二重指数分布に合うという前提が間違っているのか, 風速の高いところではデータ数が少ないことによるのか不明である。二重指数分布に適合すると仮定

した場合の今回の石垣島での最大風速 53m/sec, 最大瞬間風速 70.2m/sec の再現期間はそれぞれ33年, 38年となった。

4. 石垣市における被害

石垣市の被害の概要は石垣市災害対策本部の発表によると 8月10日現在で Table 4 に示すとおりである。

Table. 4 Total damages in the Ishigaki City.

被災世帯数	292世帯	被災総額	3,715,052千円
被災者数	1,146人	(内訳)	
人的被害		公共文教施設	74,243千円
重傷	4人	農林水産施設	124,198
家屋全壊	76棟	公共土木施設	149,673
半壊	151棟	その他公共施設	152,355
一部損壊	901棟	農 産	813,844
床上浸水	61棟	林 産	18,026
床下浸水	54棟	畜 産	107,591
非住家公共建物	30棟	水 産	145,546
その他	63棟	商 工	711,876
その他		通信施設	58,000
田流失埋没	1.0ha	電力施設	50,000
畑流失埋没	7.6ha	その他	1,309,700
文教施設	36個所		
道路決壊	42個所		
港 湾	5 件		
水 道	3 件		
船 舶	21隻		
通 信	7,000回線		

Table 5. The comparison of the intensities and the disasters between the Ishigaki Typhoon (7705) and the Hachijojima Typhoon (7513).

	石 垣 島 台 風	八 丈 島 台 風
最大風速	53.0m/s	35.5m/s
最大瞬間風速	70.2m/s	67.8m/s
最低気圧	931.7mb	947mb
25m/s 以上の風の継続時間	約 8 時間20分	約 1 時間
全壊棟数	76棟 (182棟)	285棟
半壊棟数	151棟 (267棟)	524棟
一部損壊棟数	901棟 (—)	1,268棟
被害額	3,715,052千円 (6,035,803千円)	5,543,082千円
全壊率	0.8% (1.6%)	8%
被害率	2.3% (3.8%)	22.3%
面 積	227km ²	71km ²
人 口	37,360人 (昭52)	10,876人 (昭45)

ただし () の数字は石垣市と竹富町を合わせた場合の集計である

前述したように最大風速、最大瞬間風速ともに石垣島気象台開設 (1896年) 以来第 1 位のものであった強さに加えて、台風のはぼ中心が通過したために強風の継続時間が長かった。平均風速が 25m/sec を超えた期間が 8 時間 20 分、30m/sec を超えた期間が 3 時間 30 分であった。3 年前の八丈島台風 (台風 7513 号) との比較⁸⁾⁷⁾ を Table 5 に示すが、八丈島測候所の最大瞬間風速は 67.8m/sec で今回の石垣島の場合と同程度であるが、最大風速は 35.5m/sec で今回の 3 分の 2 程度であった。また 25m/sec 以上の強風の継続期間は約 1 時間であった。しかし八丈島での建築物の被害は大きくて、全壊 285 棟、半壊 524 棟、一部損壊 1,268 棟にも達しており、石垣市の被害の 3～4 倍、石垣市と竹富町を合わせた被害と比較しても 1.6～2 倍であった。この原因は八丈島の台風が不意打ちで防災対策をとる期間がなかったことにもよるが、やはり建築物のもつ耐風強度に差のあることが想像できる。以下に実際に調査した個々の被害例について述べるが、その被害場所は Fig. 9 に示す。この図において M は海上保安庁石垣航空基地、C は石垣空港管制塔、S は登野城小学校、H は石垣グランドホテルを示す。

(1) 海上保安庁石垣航空基地

石垣空港のターミナルビルに隣接して海上保安庁石垣航空基地の建物およびヘリコプターの格納庫がある。この建物の窓ガラスが割れ格納庫の扉が吹き飛ばされた。この基地長の小杉伸介氏の説明によると被害の起った様子はほぼ次のようであった。「風は北東から南東に変っていく過程で最も強かった。基地の建物の 6mm 厚の金網入りガラスが風圧によって割れ、少し後で格納庫の扉 1 枚が飛んできた。格納庫は北東側の壁面にある明り取り用のプラスチック波板 (ガラス繊維入り、厚さ 0.7mm) が破れ続いて北西側の同じ波板も破れた。その後格納庫全体に風がはらんで屋根がもちあがり 6 枚のスライド式扉が上部の溝からはずれて室内側に倒れてこてきた。しかしそのうちの 1 枚のみは外側に飛んでブロック塀を壊した。」小杉氏の説明を証明するように屋根裏のテンションバーのターンバックルはゆるみ、柱基礎部のボルトはゆるんだり折損

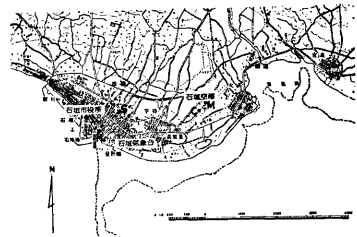


Fig. 9. Positions of the main damages of the buildings in the Ishigaki City.

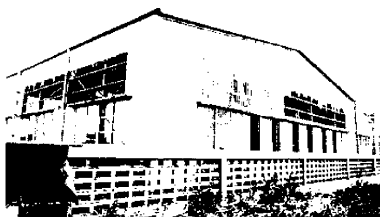


Photo. 1. Damaged hangar in the Ishigaki Airport.

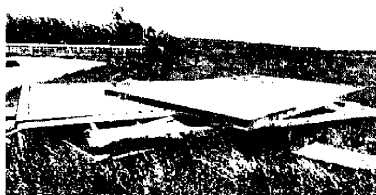


Photo. 2. Damaged steel door of the hangar.

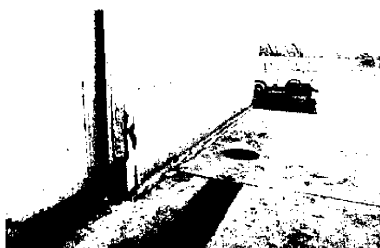


Photo. 3. Crack of mortar floor at the base of the hangar.

しており、基礎の周囲のモルタル床はほとんどクラックが入っていた。また扉の上の梁の中央部は塑性変形してもとの状態より数 cm 上方に曲っていた。Photo. 1 に被害を受けた格納庫、Photo. 2 に飛ばされた扉、Photo. 3 にモルタル床のクラックを示す。

建物の割れた窓ガラスの寸法は最初に割れたものが縦 100cm×横 74cm で 2 枚目に割れたものが縦 80cm×横 74cm であった。ガラスの耐圧強度に関しては石崎等の研究による実験式がある³⁾。その式は以下のように表わす。

$$P(T) = f \times S \times \frac{h}{a} \times \left(1 + K \times \frac{h}{b} \times \log_{10} \frac{10^n}{T} \right) \dots\dots\dots (1)$$

- $P(T)$: 板ガラスの単位面積あたりの破壊荷重 (kg/m²)
 f : 強度係数
 S, K, n : 実験定数
 h : ガラスの板厚 (cm)
 a, b : ガラスの短辺, 長辺の長さ (cm)
 T : 載荷時間 (sec)

実験定数については $S = 3.5 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$, $K = 60 \sim 70$, $n = 7$ である。またガラスは鉄などと異なりその強度にはかなりばらつきのある材料であるから、その強度はある確率のもとに定まる。そこで破壊確率と関連した強度係数というパラメーターが入ってくる。2 番目に割れた窓ガラスでその強度を計算する。 $a = 74 \text{ cm}$, $b = 80 \text{ cm}$, $h = 0.6 \text{ cm}$ であり $f = 0.5$ (破壊確率 1% に相当する), $S = 2.5 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$ (網入りガラスなので軽減する), $K = 60$ と仮定すると風圧力は次のようになる。

$$P(T) = 0.5 \times 2.5 \times 10^4 \times \frac{0.6}{74} \times \left(1 + 60 \times \frac{0.6}{80} \times \log_{10} \frac{10^7}{T} \right)$$

ここで載荷時間 T を決めることは難しいが石崎等の研究によると 0.5 秒から 2 秒程度として計算すればよいとしている。 $T = 1 \text{ sec}$ とすると $P(1) = 420 \text{ kg/m}^2$ となる。次にガラス面に加わる風圧は $c \times 1/2 \rho V^2$ [c : 風圧係数, ρ : 空気密度, V : 風速] で表わせる。このときの気温 26°C, 気圧 935 mb から空気密度は 1.089 kg/m^3 であり風圧係数を 1 とすると風速を計算する式は次のようになる。

$$1 \times \frac{1}{2} \times \frac{1.089}{9.8} \times V^2 = 420 \quad \therefore V \approx 87 \text{ m/sec}$$

しかし網入りガラスは作成時にひずみが入りやすくあまり強い強度は期待できないのでこの風速値の信頼度

は小さい。

(2) 石垣空港管制塔

石垣空港の管制塔のすべての窓ガラスが割れた。この管制塔の地上高さは約 14 m である。風圧で割れたのか、飛来物により割れたのかは管制員がすでに退避していたので不明であるが、地上高さが高いことと風上側が滑走路側であったことから風圧のみで破壊したと考える方が妥当なようである。この管制塔および窓ガラス破損の状態を Photo. 4, 5 に示す。管制塔の平面図および窓ガラスの寸法を Fig. 10 に示す。この窓ガラスの厚さは 8 mm で偏光ガラスである。既に述べた実験式に従ってガラスの強度を求める。矩形ガラスについては $a=92$ cm, $b=185$ cm, $h=0.8$ cm であり各定数は前と同様に定めると



Photo. 4. Damaged control tower of the Ishigaki Airport.



Photo. 5. Damaged glass panes in the control tower room.

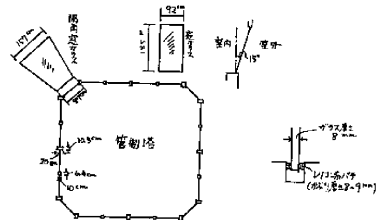


Fig. 10. Plan of the top floor of the damaged control tower at the Ishigaki Airport and the dimensions of the destroyed glass panes.

$$P(T) = 0.5 \times 3.5 \times 10^4 \times \frac{0.8}{92} \times \left(1 + 60 \times \frac{0.8}{185} \times \log_{10} \frac{10^7}{T} \right)$$

$V=1$ sec とすると $P(1)=429 \text{ kg/m}^2$ となりこれに相当する風速は 88 m/sec である。台形のガラスについては面積が等しくなるような矩形ガラスに置きかえて計算すると $a=122$ cm, $b=180$ cm となり

$$P(T) = 0.5 \times 3.5 \times 10^4 \times \frac{0.8}{122} \times \left(1 + 60 \times \frac{0.8}{180} \times \log_{10} \frac{10^7}{T} \right)$$

$T=1$ sec とすると $P(1)=329 \text{ kg/m}^2$ となりこれに相当する風速は 77 m/sec である。

(3) 飛行場金網フェンス

飛行場周辺の金網フェンスの一部が転倒していた。このフェンスは柱ごとに独立したコンクリートブロックを基礎として立っているものでその概略は Fig. 11 に示し傾斜している状況を Photo. 6 に示す。この金網フェンスの 1 スパンの重量は基礎のコンクリートブロックを含めて 160 kg 程度と推定できる。金網の充実率 10% から抗力係数を 0.1 として風速を 60 m/sec とすると金網の受ける風圧力は 72 kg 程度になる。基礎のブロックの転倒に抵抗する土圧は不明確であるが 0.5 kg/cm^2 と仮定してラフな計算をするとこのフェンスは風速 60 m/sec の風圧力による転倒モーメントには耐えうるようである。従って地表面近くでも 60 m/sec 以上の風が吹いていたものと推定できる。

この他空港ではターミナルビルの窓ガラスが 30 枚以上破損したり南西航空の格納庫のシャッターが破損した。また各種やしの木が 30 本近く倒れたり、駐車場に停めてあった自動車か風で浮きあがり滑って道路の端で転倒した被害があった。

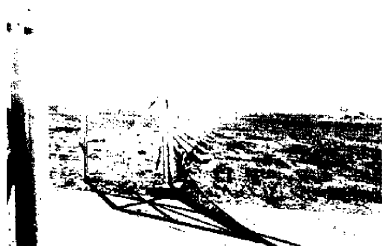


Photo 6. Inclined wire net fence in the Ishigaki Airport.

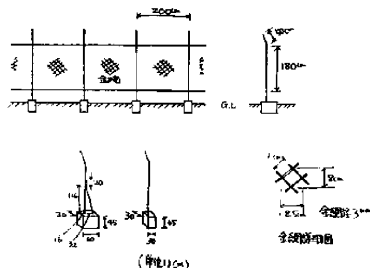


Fig. 11. Sketch of the inclined wire net fence at the Ishigaki Airport.

(4) 登野城小学校

石垣市の中心部近くにある登野城小学校の体育館の屋根が一部吹き飛ばされて同建物の扉のガラスや窓ガラスが大量に割れた。被害を受けた建物の内部からの状況を Photo. 7 に示す。この体育館の主構造は鉄骨造であるが、屋根は断熱材とトタン屋根を屋根組に取り付けたものである。吹き飛ばされた部分は切妻の妻側約 5m のけらば付近である。この屋根の勾配は 0.20 であり一般的にはけらば付近に風による強い吸引力が作用すると考えられる。しかしこの被害は屋根葺き材の強度よりトタン屋根の取り付けの強度が弱かったことにより被害が発生したとおもわれる。

(5) 石垣グランドホテル

石垣グランドホテルは石垣島で最も高い RC 造 8



Photo 7. Damages to the roof of Tonoshiro Elementary School.



Photo 8. View of the Ishigaki Grand Hotel.

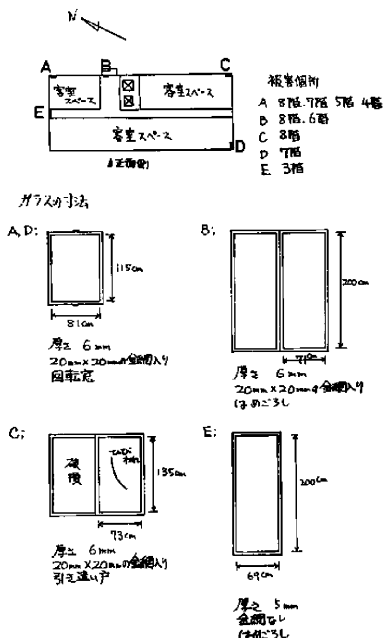


Fig. 12. The plan where the window glass panes were destroyed at the Ishigaki Grand Hotel and the dimensions of the destroyed window glass panes.

階建の建物であり、正面側からの外観を Photo. 8 に示す。このホテルの窓ガラスが10枚以上割れたが、建物の隅角部に近いところに集中しているのが興味深い。平面図に対して破損した場所と割れた窓ガラスの寸法を Fig. 12 に示す。Fig. 12 の A の位置にある窓ガラスは8階7階5階4階と4枚も割れていた。ホテルのフロント主任の上地勝氏の説明によると「まず8階のBの場所の窓ガラスが割れ、続いてAの場所が割れた。その後Cの場所が割れた。特にCの窓に関しては廊下に面した客室扉が客室側に強い力で引っ張られており部屋に入るために扉を開けることに危険を感じた。」とのことである。建物の方角から考えて南東の強風が吹いたときCの場所は風向に対して風上側側面となり強い負の風圧力が作用していたものと思われる。

前述の板ガラスの強度の式を用いて圧力の載荷時間を 0.5, 1, 2 sec と変えて各窓ガラスの強度 $P(T)_{A,D}$, $P(T)_B$, $P(T)_C$, $P(T)_E$ を求めると次のようになる。

載荷時間	$P(T)_{A,D}$	$P(T)_B$	$P(T)_C$	$P(T)_E$
0.5 sec	426 kg/m ²	342 kg/m ²	424 kg/m ²	266 kg/m ²
1	414	334	412	260
2	401	326	401	254

台風時の風向とホテルの方位から考慮して窓ガラスの A, B, D は正の風圧力で割れたものと推定できる。風圧係数を1とすると相当する風速 $V(T)_{A,D}$, $V(T)_B$ は次のようになる。

載荷時間	$V(T)_{A,D}$	$V(T)_B$
0.5 sec	88 m/sec	78 m/sec
1	86	78
2	85	77

Cの場所にある窓ガラスは吸引力によって割れたもので風圧係数は負の値でその絶対値は1より大きかったことも考えられる。風圧係数を -1.0, -1.2, -1.5 としたときのおおのの推定風速は以下のようになる。

載荷時間	風圧係数 -1.0	風圧係数 -1.2
0.5 sec	87 m/sec	80 m/sec
1	86	79
2	85	78

風圧係数 -1.5

71 m/sec
70
69



Photo. 9. Damaged tiled roof of a typical Okinawa house.



Photo. 10. Damages to the wooden window frame.

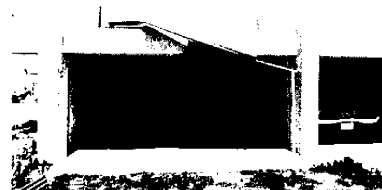


Photo. 11. Damaged steel shutter of the garage.

ホテルの位置は石垣島気象台から 500m 程度の距離にありホテル 8 階の高さは石垣島気象台の測風塔の高さとはほぼ同じであるにもかかわらず、窓ガラスの強度から推定した風速は 69~88m/sec であり気象台の最大瞬間風速 70.2m/sec より 10% 程度大きかった。この他同ホテルでは 1 階フロアの厚さ 6mm の偏光ガラスを使った縦に細長い窓ガラス (縦 310cm×横 93cm) が 3 枚壊れたが、これは飛散物によるものとも考えられる。

現地調査した台風後一週間の市街地域にも大破した木造民家、窓ガラス、屋根がわら、木製窓枠、車庫の鋼製シャッターなどの被害が数多く見られた。(Photo. 9, 10, 11) 沖縄の古い木造家屋は寄せ棟で赤がわらが敷かれ漆喰で固めてある。永年の台風の被害に対する防災対策としてそのような形態になったのかもしれないが、やはり耐風効果はある。漆喰が古くなりもろくなったりはがれたりしている屋根に被害は多かった。

5. 竹富町の被害

竹富町というのは竹富島、西表島、波照間島およびその周辺の小さな島を含んでいる。竹富島を除いて現地調査は行なわなかったのでここでは被害集計などについて簡単に記述する。部落別の被害の集計を Table 6 に示すが、全壊率というのは全壊戸数を世帯数で割ったものであり、被害率というのは全壊戸数と半壊戸数の和を世帯数で割ったものである。石垣市の全壊率が 0.8%, 被害率が 2.3% (Table 3) であったことと比較すると竹富町の各率は 10.2%, 22.4% で圧倒的に大きかった。これまでの経験的な事実として、建築物の被害特に全壊率は最大瞬間風速の 5 乗に比例するといわれている。Fig. 13 は全壊率と最大瞬間風速の関係を示すが、この図には伊勢湾台風⁹⁾、第 2 宮古島台風¹⁰⁾、第 3 宮古島台風¹¹⁾、八丈島台風¹²⁾、そして今回の被害を含んでいる。今回の台風被害に関しては石垣市での最大瞬間風速 70.2m/sec に対して石垣市と竹富町の全壊率を区別してプロットしている。竹富町の被害は過去の統計とよく合うが石垣市の被害は強風の割には比較的軽微であったといえる。竹富町の部落ごとの被害率を示したのが Fig. 14 である。戸数が少ない部落の統計的有意性は疑問であるが、台風の中心が通過した区域では被害が大きかった。西表島西部の白浜、

Table. 6 Statistics of damage in every district of the Taketomi Town.

地区名	全 壊	半 壊	世帯数	全壊率	被害率
	棟	棟	世帯	%	%
竹 富	8	14	137	5.8	16.1
黒 島	1	22	92	1.1	25
小 浜	3	3	158	1.9	3.8
大 原	5	13	81	6.2	22.2
豊 原	1	1	39	2.6	5.1
大 富	3	4	68	4.4	10.3
古 見	2	1	18	11.1	16.7
美 原	2	1	14	14.3	21.4
新 城	1	2	5	20.0	60.0
鳩 間	3	6	25	12.0	36.0
上 原	7	9	114	6.1	14.0
西 表	38	30	101	37.6	67.3
白 浜	17	7	59	28.8	40.7
舟 浮	4	1	24	16.7	20.8
(波照間)			231		)
計	95	114	935	10.2	22.4
			(波照間は除く)		

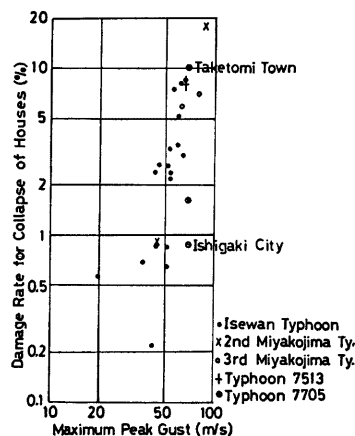


Fig. 13. Relation between damage rate for collapse of houses and maximum peak gust.

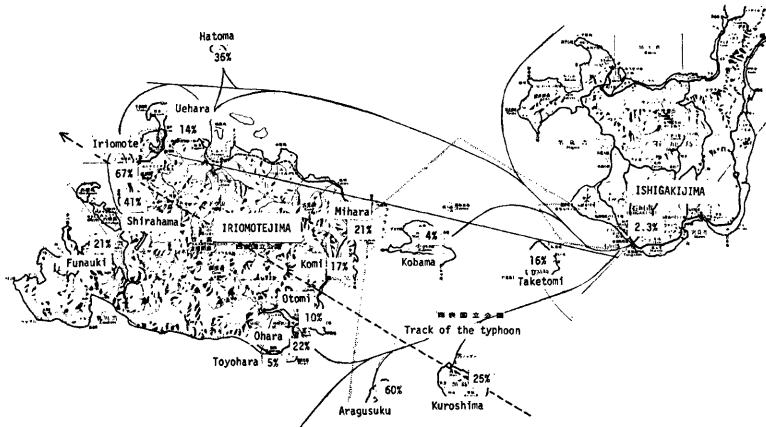


Fig. 14. Distribution of the damage rates for houses.

舟浮地区では強風による家屋倒壊の他、高潮による浸水被害が多く出た。現地踏査を行なった竹富島では屋根がわらの破損、簡易プレハブ建物の破損、植物の転倒などの被害が目立った。

6. ま と め

台風 7705 号は石垣島観測史上最大の強風をもたらしたが、石垣島から約 70km 離れた多良間島では最大瞬間風速で 32 m/sec であり石垣島の記録の半分以下であった。このように台風の規模は中型であったが、西表島の真上を台風の中心が通過したため石垣島、西表島に多大の被害をもたらした。この台風被害の調査結果をまとめると以下のようである。

- (1) 石垣島地方気象台の観測によると最大風速は 53m/sec、最大瞬間風速は 70.2m/sec であった。同島の過去の風の記録から得た最大風速の再現期間は 33 年、最大瞬間風速の再現期間は 38 年であった。
- (2) 石垣市、竹富町の被害集計の概要は死者 6 名、重軽傷者 6 名、全壊家屋 182 棟、半壊家屋 267 棟、床上床下浸水家屋 241 棟に達し被害総額は 60 億円を超えた。
- (3) 石垣市における家屋の全壊率は 0.8%、被害率は 2.3% であり、竹富町では全壊率 10.2%、被害率 22.4% であった。過去の台風による被害と比較して最大瞬間風速 70.2m/sec に対して竹富町の全壊率は平均的な値であるが石垣市の被害は軽微であった。
- (4) 石垣市と竹富町の被害率が異なる理由は石垣市の北部にあまり被害が及ばなかったこともあるが、建築物の耐風強度の差があることや石垣市では建物が密集していて風あたりを弱くしたことが考えられる。
- (5) 石垣市の被害から推定した風速は 60 m/sec から 90 m/sec であり石垣気象台や空港気象台の風速記録より大きい。被害から正確に風速を推定することは現状では困難であり若干の誤差をとまうが、地形や建物の配置で風速は増減するから被害を起した風が気象台の風よりも強かったことは充分考えられる。
- (6) 管制塔やホテルの 6mm 厚あるいは 8mm 厚の窓ガラスは強風頻度の高いこの地域では少し不適当と思われる。公共性の高い建物では 12mm 厚程度が望ましい。
- (7) 建築物の基礎が一般に十分でなく、地盤のあまり良好でないこの地域では特に留意すべきである。また基礎と上部構造の接合部の施工管理もおろそかにできない重要なことである。
- (8) 屋根葺き材が軽量でしかも止め方が弱くて被害を受けたものが多かった。

以上調査結果の要点を述べたが、今後強風によりしばしば起る一般住宅の耐風性を向上させることが急務と思われる。プレハブ住宅を除いて在来工法の住宅は耐風性は検討せず経験的な手法で建てられるのがほとんどである。従ってこれらの住宅の主構造および各部位の風力に対する強度を概略にでも判断する方法を検討し、同時に不十分な部位を簡単に補強できる方法を定めていく必要があると思われる。また施工不良による強度低下を防ぐために、住宅を規格化プレハブ化することが必要ではないかと思われる。

謝 辞

現地調査の際被害現場の案内や説明をしていただいた海上保安庁石垣航空基地長小杉伸介氏、石垣グランドホテルフロント主任上地勝氏、風の資料を提供していただいた石垣島気象台技術課長宮良孫好氏、技術専門官屋良善福氏、技術課員石原氏に謝意を表します。また被害資料の提供を受けた石垣市役所、竹富町役場、八重山支庁、八重山毎日新聞に感謝致します。本被害調査の際に同行し気象資料の収集を行ない台風の進路の解析を行ってくれた京都大学防災研究所研修員(当時)浅井東洋君に深く謝意を表します。最後に本被害調査の一部は文部省科学研究自然災害特別研究「台風 5 号および 9 号による南西諸島の暴風雨に関する研究」(研究代表者坂上務)の経費で行なったものであることを記す。

参 考 文 献

- 1) 石垣島地方気象台：昭和 52 年 7 月 31 日石垣島地方を通過した台風 5 号に関する異常気象速報，昭和 52 年 8 月 6 日。
- 2) 光田 寧：標準計画台風について (1)，京都大学防災研究所年報第 8 号，昭和 40 年，pp. 605-612。
- 3) 光田 寧，藤井 健，川平浩二：被害台風の構造のモデル化について (2)，京都大学防災研究所年報第 18 号 B，昭和 50 年，pp. 227-243。
- 4) 琉球政府：石垣島の気候表，昭和 43 年 4 月，pp. 183-190。
- 5) 岡田 功，伊藤 学，宮田利雄：耐風構造，昭和 52 年，pp. 74-95。
- 6) 石崎澄雄他：台風 13 号による八丈島の暴風災害の調査研究，文部省自然災害特別研究成果報告書，昭和 51 年。
- 7) 石崎澄雄，桂 順治，吉川祐三，河井宏允：台風 7513 号による八丈島の構造物の被害について，京都大学防災研究所年報第 19 号 B-1，昭和 51 年，pp. 279-292。
- 8) Ishizaki, H. S. Miyoshi & T. Miura: On the design of glass pane against wind loading, Proc. of the 4th. International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, 1975, pp. 655-662。
- 9) 石崎澄雄，川村純夫，許昌九：伊勢湾台風による建築物の風害分布について，京都大学防災研究所年報第 4 号，昭和 36 年，pp. 95-104。
- 10) 石崎澄雄，桂 順治，室田達郎：第 2 宮古島台風による建築物の被害について，京都大学防災研究所年報第 11 号 A，昭和 43 年，pp. 517-534。
- 11) 石崎澄雄，山元龍三郎，光田 寧，室田達郎：第 3 宮古島台風による家屋の風災害について，京都大学防災研究所年報第 13 号 A，昭和 45 年，pp. 449-461。