

Hurricane Andrew による被災について

西 隆一郎*・Hsiang Wang**・佐藤 道郎***

1. ま え が き

1992年8月24日未明に、Hurricane AndrewがHomesteadを中心とするFlorida半島南部に上陸した。米国の災害史上最大の被害を引き起こしたこのハリケーンは被害額にして2.5兆円以上(1\$=125円換算)、死者数40人以上、退去勧告に従った人々が75万人以上という数字をフロリダ州に残した。被災の内容を見るとこのハリケーンは、1989年に南カロライナ州チャールストンに上陸し過去最悪と言われたHurricane Hugoとかなり異なる被害特性を示している。

筆者らはハリケーンがMiami市南部を襲った翌日の8月25日から2日間にわたりフロリダ半島南部の海岸と海岸構造物の被害調査を行った。次いで、主に構造物の風による被害を調べるために9月14,15日に2回目の調査を行った。ここでは、これら2回に渡る調査に基づきこのハリケーンの気象・海象データと被災状況について述べることにする。

2. ハリケーン・アンドリューの気象・海象データ

ハリケーンは大西洋から太平洋上の日付変更線までの海域で発生する熱帯低気圧であり、中心気圧、高潮高さ等に応じて、表-1に示されるように分類される。表中カテゴリ5のハリケーンは過去に2個発生しほぼ一世紀に1個の割合といえる。アンドリューはカテゴリ4の

ハリケーンに相当し、その進路、最大風速と最大瞬間風速、波浪データと高潮データについて以下に述べる。

(1) ハリケーン・アンドリューの進路

このハリケーンは8月16日にTropical depressionとしてアフリカ大陸西岸に出現した後、17日12時にTropical stormへ、その後22日12時にHurricaneへと成長した。このアンドリューは1992年度のハリケーンシーズンにおける最初のAtlantic tropical stormであった。ハリケーンになってからの進路を図-1に、そして上陸したDade County付近での進路を図-2に示す。ハリケーンになってからのアンドリューの勢力は北緯25.8度、西経68.3度で気圧981mb、風速36m/sで、23日午後5時頃にBahamas領海に侵入し、時速16kmで移動する途中922mb、70m/sの最低気圧と風速を記録している。西へ移動しながら24日午前5時頃にマイアミ市南部ホームステッドに上陸し、引き続き西へ移動しメキシコ湾へ抜け、その後、北西に向きを変え26日早朝にLouisiana海岸に再上陸した後、勢力を失い同日18時には熱帯暴風に、そして27日6時には熱帯低気圧に変わり気圧も997mbとなった。移動途中、21日の零時から23日の18時までの36時間に、中心気圧が1014mbから92mbも急激に低下し922mbとなっている。

(2) 最大風速と最大瞬間風速

ハリケーンと台風の違いについては、一般に台風は暴風域が広く、一方ハリケーンの方は風の強度が強く狭い地域に集中している事と言われる。このハリケーンの最

表-1 Saffir-Simpsonハリケーンスケール

Scale	Central pressure (mb)	Wild speed (m/s) (mph)	Storm surge (m) (ft)
1	>=980	33-42 74-95	1.2-1.5 4-5
2	965-979	43-49 96-110	1.6-2.4 6-8
3	945-964	50-58 111-130	2.4-3.7 9-12
4	920-944	56-69 131-155	3.8-5.5 13-18
5	<920	>69 >155	>5.5 >18

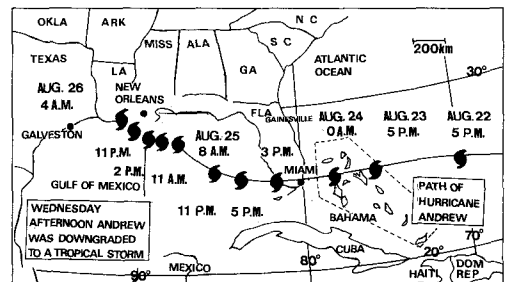


図-1 大西洋とメキシコ湾でのハリケーン・アンドリューの軌跡

* 正会員 工修 鹿児島大学助手 海洋土木工学科

** Prof. Coastal & Oceanographic Eng. Univ. of FL

*** 正会員 工博 鹿児島大学教授 海洋土木工学科

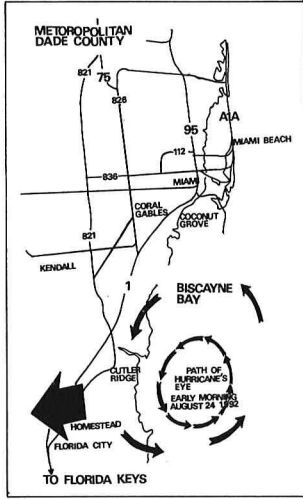


図-2 フロリダ半島南部デード郡におけるハリケーン・アンドリュウの軌跡

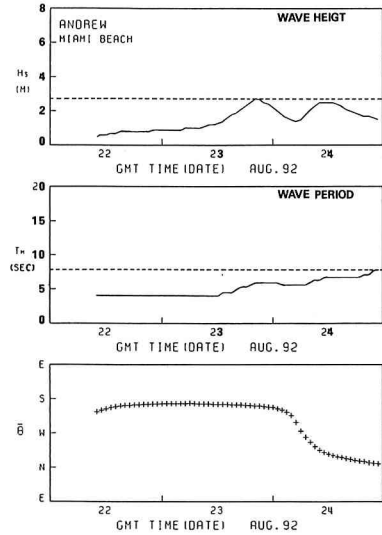


図-4 マイアミビーチにおける入射波の波高, 周期, 方向の推算値

大風速 (地上から 10 m の位置における 1 分間平均速度) は, フロリダ半島への上陸時において 64.6 m/s として同じ高さでの最大瞬間風速 (3-5 秒持続) は 78 m/s であった。これは, Coral Gables にある Hurricane Center による公式記録であるが, 被災の視察に来た一部気象学者によれば 91 m/s, 96 m/s という最大瞬間風速の値も示されていた。ただし, ハリケーンの上陸した辺りの最大風速の記録は得られていない。暴風域はハリケーンがフロリダ半島を進行する途中で狭くなっていったが上陸時の最大風速の分布を図-3 に示す。最大風速の定義に若干の違いがあるので台風と比較するのが難しいが, 図に示されるように進行方向右側の暴風域が広く風速 15 m/s 以上の暴風域は 300 km 強であり, 例えれば中型で猛烈な台風といえよう。

(3) 波浪データと推算値

ハリケーン直後に行った海浜と海岸構造物の被害調査から, マイアミ市付近での来襲波浪は余り大きくなかった事が予想された。しかし, マイアミ市周辺にはここ 10

数年潮位計が稼動しておらず公式な記録は得られていないので, 数値計算により波浪の推算を行った。図-4 にマイアミビーチにおける波浪推算結果を示す。ハリケーンの目が通過したホームステッドの北側にあるマイアミビーチでは最大有義波高は 2.7 m 程度で, 周期も 8 秒程度である。65 m/s の最大風速に比べると小さな波が来襲した事になるが, この原因はマイアミ市前方に広がる浅瀬の Bahamas Bank が波の発達を阻害したためと考えている。波浪データについてはメキシコ湾岸北部のフロリダ州と Alabama の州境に近い Perdido Key より実測記録が得られているが, これによればこの地点では有義波高 2.6 m, 周期 9.8 秒が記録されている。

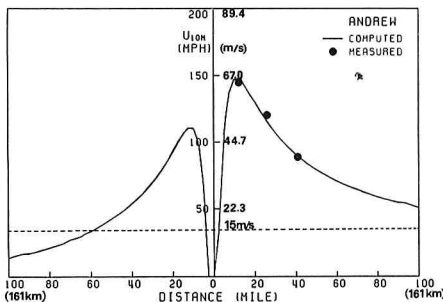


図-3 デード群における最大風速分布

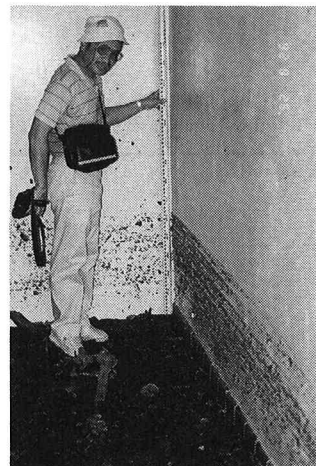


写真-1 キー・ビスケーンにおける高潮の痕跡

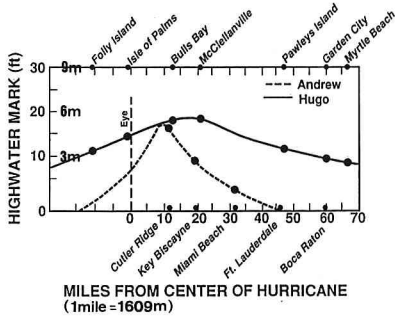


図-5 ハリケーン・ヒューゴとアンドリューの高潮の痕跡記録

(4) 高潮データと推算値

海浜と海岸構造物の被害調査と平行しながら高潮の痕跡を捜した。マイアミビーチとホームステッドの間にある Key Biscayne National Park に広がる森林内の女性用トイレ内で測量した高潮の痕跡 (287 cm) を写真-1 に示す。ここは巨木におおわれた美しい森林公園であったが、測量当時はほぼ全部の樹木が風によりなぎ倒されていた。このような高潮の測量結果と推算値をハリケーン・ヒューゴと比較して図-5 に示す。高潮による被災がめだつたヒューゴに比べて、アンドリューの高潮高さとその範囲が小さい事が分かるが、それでもを 4.5 m を越える高潮の痕跡があり普通のハリケーンと比べると顕著な高潮が発生している事が分かる。

表-2 ハリケーンによる被災の見積

	Hurricane Hugo (1989)	Hurricane Andrew Florida only (1992)
Total estimated Damage	\$7.3 Billion	\$8 to 22 Billion
Loss of lives	41	15 to 50
Area of impact	24 Counties in 3 States (7 counties declared major disaster areas)	4 counties
People affected	1.8 Million	750,000
Structure damage	14,014 units destroyed with estimated cost of \$700 million	63,000 units destroyed with estimated cost of \$3.2 Billion
Beach	140 miles affected	—
Forest	4,453,363 acres of timber land valued at \$1.04 Billion	—
Agriculture	\$350 Million	\$145 Million
Utility	In excess of \$500 million (2385 miles of clogged culverts)	Power lost 1 million (S. FL.)

3. ハリケーンによる被災状況

自然災害によるこれまで最高の被害額はハリケーン・ヒューゴ (1989) の 73 億ドルであったが、このハリケーン・アンドリューは、バハマ諸島、フロリダ州、ルイジアナ州を移動する途中で災害史を書き換える被災を残していった。保険会社等により修正が成されているが被害の予想額はフロリダ州だけで 200 億ドル以上と言われている。またハリケーン直前に退去勧告に従った人々はフロリダ半島南部で 75 万人、ルイジアナ州で 25 万人である。1992 年 8 月 28 日時点の見積で、ハリケーンにより家を失った人々はフロリダ南部で 25 万人で破壊された家屋の数は 6 万 3000 軒、ルイジアナ州では数千人がホームレスと言われる。電力はフロリダ南部で 100 万戸以上、ルイジアナでは最低でも 32 万 2000 戸以上の家で失われている。ヒューゴは高潮を伴う water damage による被害が主で、アンドリューの方は wind damage による被害が主な被災の原因である。このような被災の要覧を表-2 に示すが、ヒューゴと比較するとアンドリューの被害が狭い地域に集中している事が分かる。

(1) 海浜と海岸構造物の被災調査

マイアミ市付近の海岸はほとんどが養浜された人工海浜であり、海岸背後の土地利用度も高いので波浪や高潮による海浜と海岸構造物への被害が特に心配された。そこで water damage を調査するためにマイアミ市の北から南へ North Miami Beach, Central Miami Beach, South Miami Beach, 65 th street 近く、そして Key Biscayne の 5ヶ所で被災調査を行った。予想と反し、海岸構造物、海浜自体の顕著な被害はほとんど見られなかった。海浜にはサンゴの破片や貝殻、海藻が多量に打ち上げられていたが、ハリケーン・ヒューゴの時に見られたような砂丘の侵食 (例えば Wang, 1990) にまでおよぶような激しい海浜侵食はなかった。また、マイアミ市北部の一部においては海岸道路が飛砂により覆い尽くされた所があったが侵食は報告されていない。今回の調査は緊急的なものであったためにために、海浜の幅は歩測



写真-2 キー・ビスケーンにおける森林被害

にて調べたが、この実測結果と10年ほど前の航空写真より読み取った海浜幅と比べると、一部地域においては海浜幅が増加しておりハリケーンによる侵食を顕著に示すようなデータは得られなかった。キー・ビスケーンにおいては写真-2に示すように海岸背後の自然公園は倒木で満たされていたが、海浜は被害の痕跡をとどめていない。直後に位置する自然公園の壊滅的被害と比較すると不自然とも思えるが、これは海浜に顕著な侵食を引き起こすにはハリケーンの通過時間が短かったこと、水位の上昇速度が速く海浜自体が水没しており波の直接的作用を受ける時間が短くてすんだ事などが現因と考えられる。

(2) 内陸部の構造物の被災状況

このハリケーンの被災額のかなりの部分を内陸の構造物被害が占めていたので、9月15、16日の2日間、Mobilehome, Apartment complex, Concrete structure等の被災調査を行った。以下にそれぞれについて述べる。

a) モービルホームパークの被災 マイアミ市を含むデード郡では全米一といわれる風に対する建築基準を採用しているにもかかわらず、建築物の被害は甚大であったために、現在、フロリダ州では建築基準の見直しが進められている。その中でも特にモービルホームの設置に関する議論は激しく、一部では完全禁止という提案も成されている。そこで、ほぼ壊滅状態ともいえるモービルホームパークを訪れ、構造物自体の強度が問題なのか、各パーツのジョイント部が問題なのか、基礎部分が問題なのかについて調べる事にした。この調査地点は、ハリケーンの目が通過した地点のほぼ13km程度南に位置するGold Coaster Mobile Home Parkである。被災調査はこの居住地域の一区画を抽出し、項目をモービルホームが(1)Shifted(2)Damaged(3)Destroyedの3つに分け○×式で行った。ここで、項目(1)はモービルホームが基礎との接合面で移動させられている場合(2)は2/3未満程度壊れている場合、(3)は2/3以上破壊されている場合である。写真-3に一棟建てのモービルホームの構造例を示すが、構造は普通に言われる2×4(ツ-

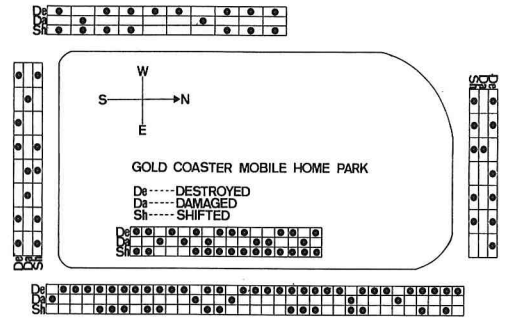


図-6 モービルホームの被害

バイフォー) インチを採用し、工場生産したトレーラーで運び込んだ建物をコンクリートブロックの上に設置した後、ハリケーンストラップと呼ばれる薄い金属ベルトで地面に固定される。図-6に示された調査結果から分かるように78%以上の家が破壊の項目に属し、残りの22%強の被害と分類されたものもそのほとんどは破壊の項目に近いものであった。実際、人が住めるような形で残った家はこの調査区域では皆無でありハリケーンの風の強さを示していた。この結果は、現在のモービルホームの構造強度自体がカテゴリー4、5規模のハリケーンには耐え難い事を示しているようである。また、モービルホームと基礎部との接合も不適切であり6割弱のモービルホームが基礎上で移動していた。少なくともアンドリュウ規模のハリケーンが来襲した場合にはモービルホームの住民に対しては退去勧告が選択肢でなく、最初に実行されるべき計画である事が分かる。ハリケーンによる直接の死者は15人と考えられ、その内の2人はモービルホームが破壊されるときに死亡したものと推測されている。

b) アパートの被災調査 アパートの被害を調べるために、ハリケーンの目の通過した地点の少し北側において目視調査を行った。このアパート群の構成は写真-4に示すような木造2階建ての造りである。この地域では2階部分のほとんどの部屋が被害を受けていたので、

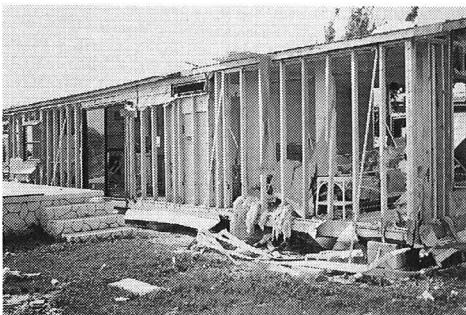


写真-3 モービルホームの構造例



写真-4 木造2階建てアパートの構造例

表-3 被災の主な原因

No.	Poor construction
1.	Poor construction
2.	Inadequate roof
3.	Inadequate structure (particulaly mobile homes)
4.	Inadequate joint
5.	Inadequate window protection
6.	Trees and debris

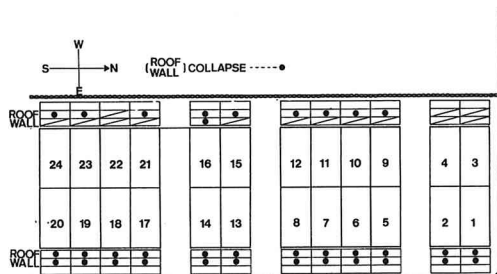


図-7 アパートの被害



写真-5 疑似コンクリート構造物の被害

安全と考えられ緊急避難所として用いられる事の多いコンクリート構造物の簡単な被災調査を行った。写真-5に疑似コンクリート構造物の被災例を示す。ここで、疑似コンクリート構造物としたのは柱と床がコンクリート造りであるが、外壁は2-3mm程度のセメント壁でその内側に発泡スチロールの断熱材、そしてファイバー性の膜が1層あるだけだからである。外壁に物があたると簡単に穴が空きそうなほど脆弱な造りであり、外見から与える信頼感を考慮すれば、非常に危険な構造と考えられ、隣接するコンクリート構造物の被害が窓に集中しているのとは大きく異なっていた。

さてこのような構造物の被災調査を通して、大被害をもたらした原因と考えられるものを表-3に示す。

4. あとがき

このハリケーンアンドリューは場所により4.5mを越える高潮をともなっていたが被災の面からみると風災害で特徴づけられるハリケーンといえる。また、海中構造物やマリナー等では被害が大きかったが、対照的に人工海浜や海岸構造物の水による被害は少なく不幸中の幸いといえた。ほぼ完璧と思われる避難計画に対して、無いに等しいとまで言われた災害復旧計画は今後再評価せざるを得ないと思われる。実際、マイアミ市を含むデード郡の住民の75%程が主要なハリケーンを経験した事の無い人々であり、災害の教訓を後世に伝える事が如何に大事か身を持って知る事となった。ここでは災害復旧については述べなかったが、復旧過程においてアメリカ人の示したGood Willは最も印象に残る物であった。

参考文献

Wang, H., (1990): Water and Erosion Damage to Coastal Structures-South Calolina Coast, Hurricane Hugo, 1989, Shore and Beach, pp. 37-47

1階の部分については無視し2階部分の屋根と壁の被害を主に○×式で調べた。結果は図-7に示されるが、東側に面する各アパートは総て壁、屋根ともに破壊されているが、西側の各アパートでは屋根に被害があるものの壁については倒壊を免れたアパートが多い。これはハリケーンの卓越風がこの地帯では東風だったためである。これら2階建てのアパート群とは対照的に小さな通りを隔てて風上側(東側)に存在する平屋の一戸建て住居群は屋根に被害が出ているものの構造物自体の被害は少なく、修理にきている住民が見られた。その他のアパートも調べたが、屋根が風により吹き飛ばされている建物は屋根による支持力を失い壁が倒壊しているケースが多く、屋根が残っているものについては壁を含めた構造物の被害が少なく済んでいるケースが多かった。また、ほとんどのアパートでは屋根とその下の構造物の接続は、ホッチキスの針のようなもので止めてあるだけで、釘や凹凸の噛み合わせは見当たらなかった。

c) コンクリート構造物の被災調査 風に対し最も