

Hurricane Katrina による高潮被害の調査

柴山知也¹・安田孝志²・小島治幸³・田島芳満⁴
加藤史訓⁵・信岡尚道⁶・安田誠宏⁷・玉川勝巳⁸

Hurricane Katrina による高潮, 高波被害の実態を調査し, 日本の高潮, 高波被害対策に資する教訓を得た. 被災の全体的な特徴としては広域性 (延長 300 km 以上に渡る被災, 州を越えての長距離避難), 甚大性 (死者 1,300 人余り, 膨大な数の避難者, 都市機能の停止), 長期性 (今も避難を余儀なくされている多数の人々, 都市の衰退への動き) が挙げられる. 自治体ごとに被災時の対応が異なったため, 住民が避難していなかった所と前夜に住民が避難していた所では被害の出現, 復興のプロセスも異なっていた. このような被害の多様性を分析した上で, 防災計画を地域の多様性を前提にして練り上げていく必要がある.

1. はじめに

Hurricane Katrina によって, Mississippi 川下流から Borgne 湖, Alabama 州の Pascagoula に至る総延長 300 km 近いウオーターフロントでは高波を伴う高潮のために家屋の流失・全壊が続く大災害が生じた. 今回の災害は, 高潮に高波が加わった場合の破壊力の大きさを如実に示し, わが国の高潮対策にも大きな教訓を残すものであった. 本研究は, Hurricane Katrina による高潮, 高波被害の実態を土木学会として調査し, 日本の高潮, 高波被害対策に資する教訓を得ることを目的としたものである. Louisiana State University, FEMA (US Federal Emergency Management Agency) などでの聞き取り (FEMA, 2005a,b,c) により, 米国における高潮対策の考え方と日本の考え方との違いを把握した. さらに現地での痕跡測量調査と住民への聞き取りにより, 災害の現実について把握した.

2. 調査の内容

現地調査は図-1 に示す被災地域内で 2006 年 11 月 28 日から 12 月 2 日にかけて行った. 行程は以下である.

- 11/27 成田~Dallas~New Orleans (移動)
- 11/28 Louisiana 州立大学 (Baton Rouge) にてヒアリング, New Orleans 東部 (St. Bernard 郡) の調査
- 11/29 New Orleans 市街地, Mississippi 川下流 (Plaquemines 郡) の調査
- 11/30 FEMA ヒアリング, Biloxi~Gulfport~Long-beach, Wave Land の調査

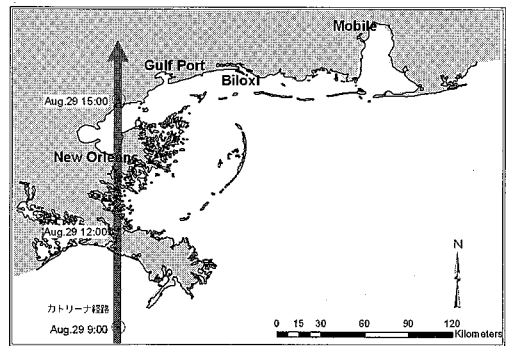


図-1 調査対象地域

- 12/ 1 Borgne湖~Pontchartrain 湖, Waveland, Gulfport, Biloxi の調査, Mobile へ移動
- 12/ 2 Gulf Shores, Pascagoula, Biloxi の調査
- 12/3-4 Mobile~Dallas~成田 (移動)

主要な方法として用いたものは, ①関係機関に対するヒアリング, ②現地での痕跡高さの測量調査と被害状況の観察 (Mississippi 下流部~Alabama 州 Gulf Shores), ③住民へのインタビューである. ヒアリングでは, 多くの地域で既に高潮を想定した災害保険料の区分地図 (例えば FEMA, 1989) があり, 災害に対する備えはそれなりに行われていたにもかかわらず, 今回はその想定を上回っていたことが語られていた. 調査結果について下記に記述する.

(1) Waveland におけるヒアリング

海岸から 2.5~3 mile 離れた家で撮影されたビデオの分析を行った. 分析により, Hurricane 当日 (2005 年 8 月 29 日) の出来事の時系列は以下であった事が解った.

- a) 5:55 頃, Hurricane の接近により, 風雨がひどくなった.
- b) 6:22 頃にはさらに風速が速くなり, 雨は横殴りになった. 風向は SE 方向である.
- c) 6:53 頃には風で倒壊する家が出始めた.

1 フェロー 工博 横浜国立大学教授 工学研究院
2 フェロー 工博 岐阜大学教授 工学研究科
3 フェロー 工博 九州共立大学教授 工学部都市システム学科
4 正会員 Ph.D 東京大学講師 大学院工学研究科社会基盤学専攻
5 正会員 工修 国土技術総合政策研究所 主任研究官
6 正会員 博(工) 茨城大学講師 工学部都市システム工学科
7 正会員 博(工) 京都大学助手 防災研究所
8 学(工) (財)河川環境管理財団 研究員

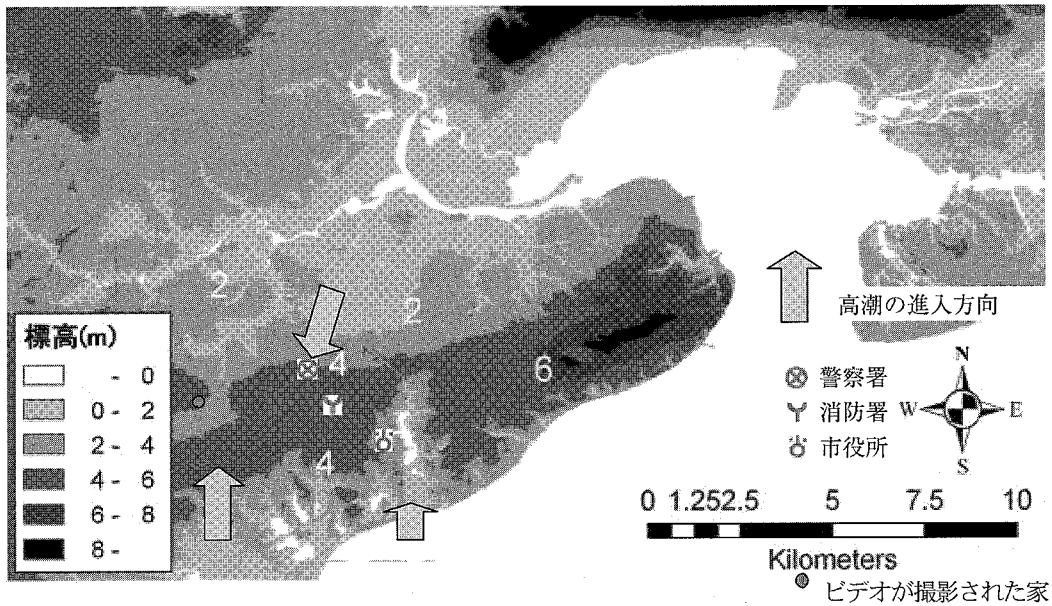
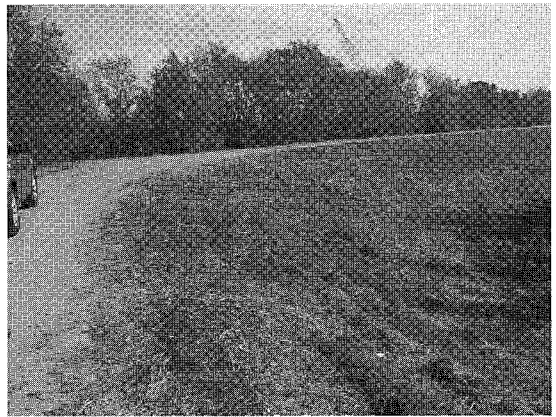


図-2 Waveland におけるヒアリング結果のまとめ



湖岸堤 (上流方向)



湖岸堤 (下流方向)

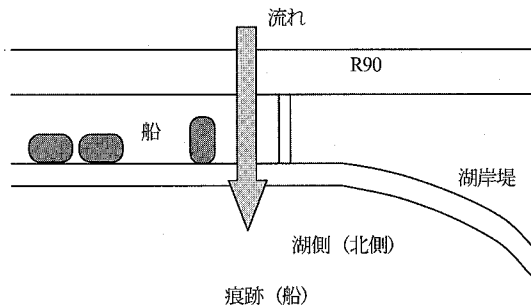


図-3 Lake Borgne 湖岸堤の状況

- d) 9:40頃~10:00頃, 20分間で2.0mまで浸水高が一気に上がった.
- e) 9:59頃, 高潮の水位は屋根のすぐ下まで上昇した. 流れの方向は南から北であった.

- f) 13:29頃, 風雨は収まったが, 高潮はまだ完全に引いておらず, 室内の水位は約2.7m程である.
- g) 15:14頃, 家の中の水は引いたが, 屋外では車のドア半ばぐらいの水位がある.

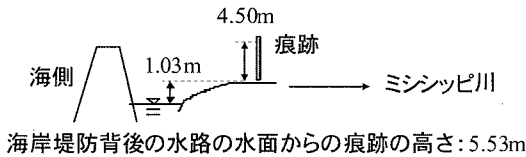


図-4 Narin での痕跡

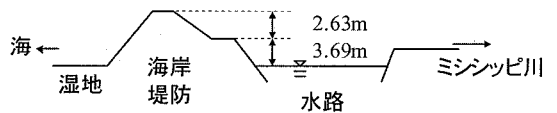


図-5 Tropical Bend での海岸堤防の状況

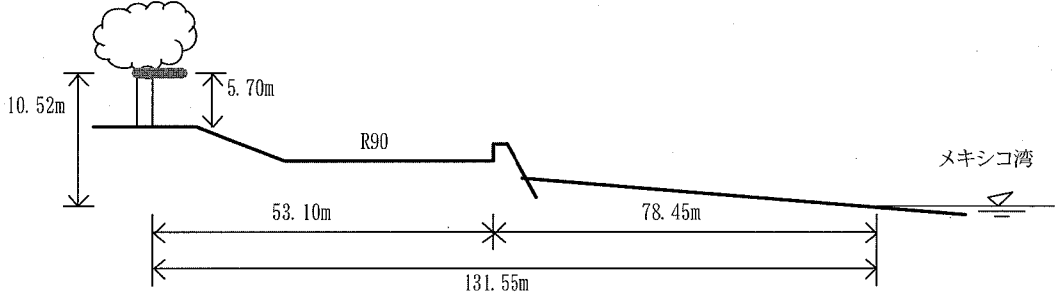


図-6 Gulfport (N30° 22' 12.3", W89° 04' 48.5") での痕跡位置の測定例

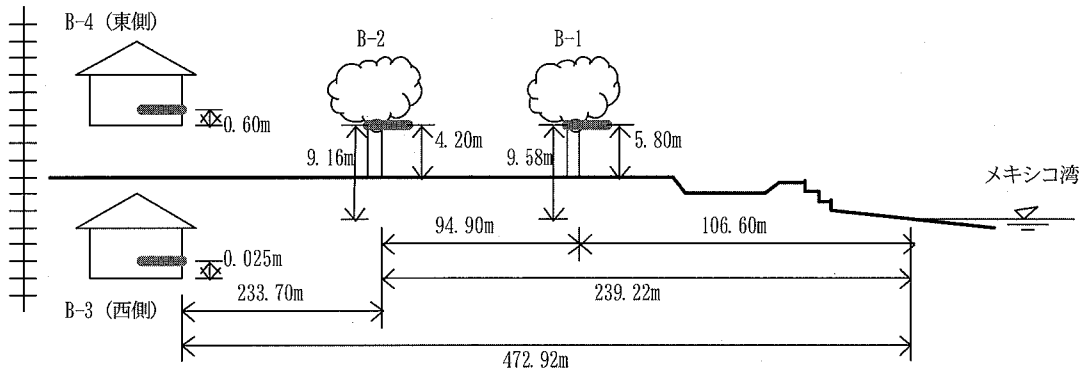


図-7 Gulfport (N30° 21' 18.35", W89° 07' 27.91") での痕跡位置の測定例

h) 15:59頃、道路の浸水はほぼ引いた。

このビデオ記録からは、朝の10時前に浸水高が0から2m程度まで一気に上がり、その後6時間程かけてしだいに引いていった様子が再現できた。この間に住民は自宅の屋根への避難を余儀なくされていた。Wavelandにおけるヒアリング結果をまとめたものを図-2に示す。

(2) New Orleans 北東部での調査

Lake Borgne 湖岸堤 (New Orleans 北東), R90 (Route 90 号線) と R11 分岐点より東に約 1.5 km の地点 (N30° 04' 31.10", 89° 50' 44.00") における状況を述べる。この地点は、西で New Orleans の Industrial Canal, 北で Lake Pontchartrain, 南東で Lake Borgne に接するリング状の堤防上に位置し、その東側には Lake Pontchartrain と外洋を仕切る低平地が広がっている。図-3 に示すように、船が湖岸堤斜面上に残されていたが、裏のりは侵食された形跡がなかった。その東の住宅地 (N30° 03' 59.89", 89° 48' 22.12") は堤外地であり、家屋流出は見られないものの、木に掛かっていた漂

流物の高さは海面から 4.8 m (地面から 3.9 m) であった。

次に、R90 (New Orleans 北東), Fort Pike Bridge (R90) を渡り New Orleans (南東) 方向へ進んだ場所 (N30° 08' 19.5", W89° 45' 17.0") について述べる。ここは、Lake Pontchartrain と外洋を隔てる低平地のほぼ中央である。ここでは、ほとんどの家屋が流されていた。外洋側はピロティーが高く、コンクリート製の家屋が少し残存していた。R90 を挟み Lake Pontchartrain 側の家屋は柱のみが残存していた。

以上のように、Lake Pontchartrain では、通常時の水路だけでなく、広大な低平地を冠水させながら海水が流入したことが推察された。

(3) Mississippi 川下流部での調査

ミシシッピ川下流右岸 (Nairn, N29° 25' 00.55", W89° 36' 55.57") での観測について述べる。この辺りは、ミシシッピ川の右岸堤と西の海岸堤防に挟まれている。海岸堤防は破堤したために復旧工事が行われていた。海

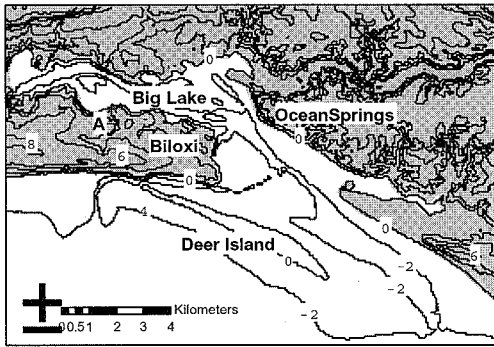


図-8 Biloxi 周辺の地形図

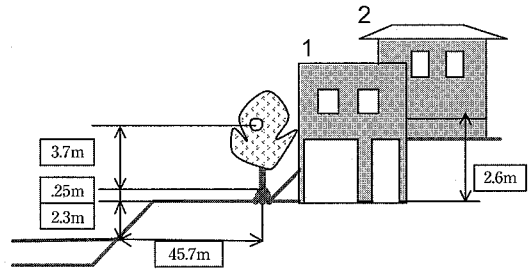


図-9 Biloxi での痕跡調査

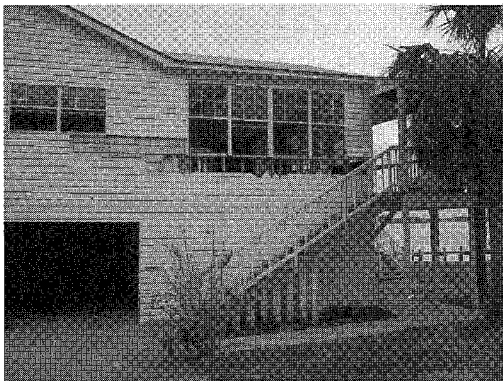


写真-1 Biloxi での痕跡調査(家屋 1)

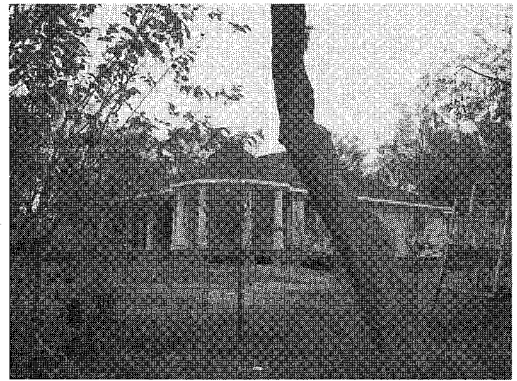


写真-2 Biloxi での痕跡調査(家屋 2)

岸堤防背後の水路と道路の間では、多数のゴミが高さ 5.5 m 程度に掛かっていた (図-4)。工兵隊の資料によると、現在の海岸堤防の高さは 10 フィート (3.0 m)、土囊および砂の投入による応急復旧は 9 月 26 日に開始し 10 月 20 日に完了した。

南西岸海岸堤防 (Tropical Bend, N29° 23' 51.09", W89° 36' 45.02", 図-5) では、道路沿い (Mississippi 川右岸堤の西) から海岸堤防の間で、ほとんどの家屋が壊れていた。トレーラーハウスの一部が海岸堤防背後の水路に突っ込んでおり (西向きの流れによる)、さらに南側に倒れている (南向きの流れによる)。海岸堤防背後の水路の水面からの堤防高 6.32 m であった。

Mississippi 川下流右岸堤 (Port Sulphur, N29° 28' 49.01", W89° 41' 34.02") では、川の水面からの天端高 4.4 m、背後地盤からの天端高 4.01 m であり、破堤箇所は矢板および盛土で復旧されていた。

(4) Gulfport における痕跡高調査

Gulfport は隣接する Biloxi を東端とする砂州地形上に位置し、砂州前面の南側は Mexico 湾から、背後の北側は Big Lake (ラグーン) からそれぞれ浸水を受けている。この地域では、複数の測線について痕跡高の調査を行った。図-6 と図-7 は、それぞれ特徴的な測線にお

ける痕跡高の断面分布を示している。これらの計測を基に平面的に痕跡高の分析を行い、押し寄せた水の運動量は海側が大きく、Big Lake 側は小さかったことを確認した。海側の痕跡高さは最大の断面で 10.52 m、奥行き方向に複数点を計測した断面でも 9.58 m に達しており、高潮と高波浪の影響が大きかったことが確認できた。図-7 に示す断面においては、その影響が汀線から 472.9 m の距離の所に及んでいた。なお、この付近の海岸にはコンクリート製の階段護岸が設置されているが、その破壊やのり先の洗掘は確認されなかった。

(5) Biloxi, Mississippi での調査

Biloxi 周辺の地形図を図-8 に示す。Biloxi は外洋のメキシコ湾と内湾の Biloxi 湾 (湾の奥は Big Lake につながる) に挟まれている。また図-8 の地点 A において実施した痕跡高調査の縦断面図を図-9 に示す。この地点は砂州状に突き出した地形による遮蔽域にあたり、外洋からの波の影響が無かったところであると考えられる。この地点における水面からの痕跡高さは 6.25 m であり、FEMA による報告結果 (6.24 m) と一致した。次に図-9 に示した家屋 1, 2 の写真をそれぞれ写真-1, 2 に示す。これらの家屋は隣接しているものの、その基礎地盤高には 2.6 m の高低差があり、両者の被災程度が明らかに異

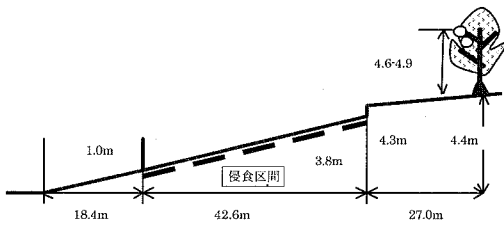


図-10 Graveline Bay での痕跡

なるのが分かる。さらに波浪の影響を大きく受ける外洋側との浸水深および被害程度の比較をする目的で、A地点周辺では他にも数地点で痕跡高を観測した。例えばA地点よりやや東寄りの湾岸砂浜から4.5m上った地点では、木々の枝に複数の白いビニール痕跡があり、その水面からの高さは平均で9m、孤立値として最大11.1mであった。以上より、A地点周辺は外洋からの遮蔽域であったにも関わらず、浸水深は外洋側と同レベルであったことが推測される。しかしながら、その背後の家屋の被害は、壁面が抜けたものが多く見られたものの、外洋側と同程度の痕跡高であった地点と比べると明らかに被害が小さく、1階部分の壁が抜ける程度で、柱が崩れているものは見られなかった。以上より、Biloxiにおける調査では、波による外力が小さい場所では浸水深(地盤高さ)による被害程度の違いが見られたものの、波による外力が卓越する場では、波浪条件が被害程度を支配的に左右することが分かった。

(6) Guitier, Graveline Bay での調査

Gautier 中央の外洋に面した海岸 (N30° 21' 38.25", W88° 38' 44.76") は、Gautier と Ocean Spring の中間にある Grave line Bay から南に位置する外洋に面した海岸である。東からの風で水位が押し上げられる可能性がある。Gautier 中央の海岸で、地盤高 3.5m 地点 (海岸線から 46.1m) で痕跡高 8.5m を観測した。木製の護岸の上で洗掘が見られた (写真-3)。基礎以外は流出した家屋が多数存在した。

その地点から岬に近づいた地点 (N30° 20' 45.84", W88° 41' 49.53") で、地盤高 4.4m (海岸線から 99.2m) の点で痕跡高 9.3m を観測した。図-10 に示すように、護岸と浜崖が形成されていた間で大規模な侵食が見られた。また多数の流木や倒木が見られた。

(7) Gulfshore での調査

東から Mobile Bay に突き出た砂嘴にある別荘地 (N30° 13' 51.96", W87° 48' 01.54") では、砂浜の背後に建てられた家屋の1階部分の破壊が多く、一部家屋には2階・3階部分の破損や基礎周囲の洗掘も確認された。このように、ハリケーンの中心から 200 km 程度離れた場所でも、高潮・高波による家屋被害が確認された。こ

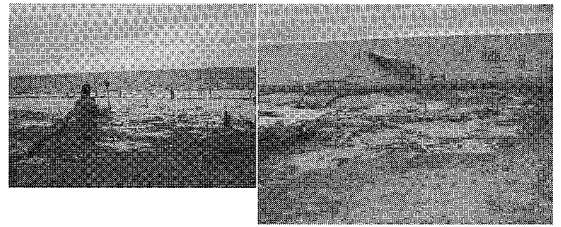


写真-3 護岸の上での洗掘
(Gautier N30° 21' 38.25", W88° 38' 44.76")

の地区では、高潮対策として人工砂丘の造成が進められていた。

3. 結 論

Hurricane Katrina による災害被害調査を行い、被災時の現象を全体として把握するとともに主に差異の出現した理由を考察した。被災の全体的な特徴としては広域性 (延長 300 km 以上に渡る被災、州を越えての長距離避難など)、甚大性 (死者 1,300 人余り、膨大な数の避難者、都市機能の停止など)、長期性 (今も避難を余儀なくされている多数の人々、都市の衰退への動きなど) が挙げられる。住民が戻っていない、あるいは戻ってきてもトレーラーハウスで生活している地区が広域で見られた。大規模災害の防止および早期の生活再建を図るには、家屋の耐水化や避難誘導などのソフト対策だけでなく、一定水準の治水機能の確保が重要である。また、被災の際には自治体ごとにその対応が異なったため、Waveland のように住民が避難していなかった所と Guitier のように前夜に住民が避難していた所では当然ながら被害の出現、復興のプロセスも異なっている。このような被害の多様性を分析した上で、日本における防災計画を地域の多様性の前提に立って練り上げていく必要がある。

本調査は、土木学会受託研究 (河川環境管理財団委託)、横浜国立大学、岐阜大学、九州共立大学の資金補助により実施した。調査に当っては、Dr. Nicholas Kraus (Army Engineer Research and Development Center) に助力を仰いだ。記して謝意を表する。

参 考 文 献

- FEMA (1989) : FIRM (Flood Insurance Rate Map), Sample.
- FEMA (2005a) : Help After a Disaster, Applicant's Guide to the Individuals & Households Program.
- FEMA (2005b) : Reconstruction Guidance Using Hurricane Katrina Surge Inundation and Advisory Base Flood Elevation Maps, DRAFT.
- FEMA (2005c) : Hurricane Katrina Surge Inundation and Advisory Base Flood Elevation Maps (CD-ROM), Hancock & Harrison Counties, MS, Jackson County, MS.