

ハリケーン・カトリーナによる高潮と物的被害

加藤 敦*

Physical Damage Caused by Hurricane Katrina

Atsushi KATO

*Disaster Prevention Research Group,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
kato@bosai.go.jp*

Abstract

In this paper, we present two perspectives on the basis of on-site investigation regarding the characteristic aspects of physical damage in the Hurricane Katrina disaster of August 24, 2005, which caused economic losses of \$96 billion, making it the worst natural disaster in the nation's history.

First, there was a large extent of building collapse and flood-borne debris due to the external force of floodwater from the storm surge and levee failure in many of the affected areas. Based on an investigation of affected buildings with regard to the degree of foundation fixation, cross sectional area of members, and types of structural materials, evidence was found to suggest that many of the buildings had structures that were very weak with regard to horizontal forces; and this is thought to have been the major cause. The reason for this situation is believed to be the fact that in this region, earthquake forces need not be taken into consideration in building design loads. In addition, a chain reaction of building damage was observed as entire buildings, as well as portions and members of damaged buildings, were carried away by floodwaters and caused damage to other buildings.

Second, there was damage from large-scale flooding as seen in New Orleans, a major city. New Orleans, which encompasses a large area of urban development no higher than sea level, was protected by a levee system that surrounded it two-dimensionally. The levees were broken in multiple locations by the external force of the storm surge, destroying communities and causing wide-area disruption of urban functions. The massive levee system was found to be inadequate in terms of the twofold and threefold failsafe protection of comprehensive flood control systems. In areas that have a high concentration of population and assets and are highly vulnerable to the kind of flooding that occurred in New Orleans, it is necessary to design and plan an overall flood control system in such a way as to avoid levee failure, and also to prevent damage from spreading to a larger area in the event of levee failure.

Key words : Hurricane Katrina, Storm surge, Urban flood, New Orleans

1. はじめに

2005年8月末に、アメリカ南部の各州を襲ったハリケーン・カトリーナは、米国自然災害史上最悪の960億ドルの経済被害をもたらした。未曾有の大災害となった。

ハリケーン・カトリーナは、ルイジアナ、ミシシッピ、アラバマ、フロリダ州など、広域にわたって、豪雨、風などの被害をもたらしたが、特に顕著な被害を及ぼしたのは、アメリカのメキシコ湾岸を襲った高潮であった。

ハリケーン・カトリーナに伴う高潮は、大規模な大陸

棚などの地形的特徴によって、増幅され、被災地域の中核的な都市であるニューオーリンズ市の中心地の8割を冠水させるなどの浸水被害をもたらした。また、同時に、被災地の多くの地域では、住宅の倒壊や流失が多くの地域で発生し、壊滅的な被害となった。

本報告では、自然、物、人、社会などの視点からの災害調査の内、物、すなわち物的被害に着目し、若干の考察を加えながら、被害の概要を報告する。

表1 ハリケーンの強さのカテゴリー分け（サフィア・シンプソンのハリケーンスケール）（NOAA, 2005）

Table1 Saffir/Simpson Hurricane scale.

Category	Maximum Wind		Tide	
	(mph)	(ms ⁻¹)	(ft)	(m)
1	74~95	33~41	4~5	1.2~1.4
2	76~110	42~48	6~8	1.5~2.6
3	111~130	49~57	9~12	2.7~4.0
4	131~155	58~68	13~18	4.0~5.4
5	155~	68~	18~	5.5~

表2 台風の強さの階級分け(JMA, 2005)

Table2 Typhoon scale in Japan.

階級	最大風速（10分間平均）
台風	17ms ⁻¹ 以上～33ms ⁻¹ 未満
強い台風	33ms ⁻¹ 以上～44ms ⁻¹ 未満
非常に強い台風	44ms ⁻¹ 以上～54ms ⁻¹ 未満
猛烈な台風	54ms ⁻¹ 以上

2. ハリケーンの特徴

2.1 ハリケーンの定義とシンプソンスケール

強い熱帯低気圧（Tropical cyclone）には、その存在する地域によって、ハリケーン（Hurricane）、台風、サイクロン（Cyclone）という呼称がある。このうち、ハリケーンは、西経180度から大西洋までの北半球に存在する強い熱帯低気圧の呼称であり、最大風速33m/s以上のものを指す。なお、最大風速17m/sから33m/sのものは熱帯暴風（Tropical Storm）、最大風速17m/s以下のものは弱い熱帯低気圧（Tropical depression）と呼ばれている。

ハリケーンの強さのスケールとしては、サフィア・シンプソンのハリケーンスケールが使われている。サフィア・シンプソンのハリケーンスケールとは、ハリケーン上陸によって惹起される強風や高潮洪水氾濫による想定被害に対応づけた階級分けスケールであり、米国のNOAAによって一般に公表されている（表1）。NOAAは、カテゴリー分けの客観的尺度として観測された1分間平均最大風速を用いており、日本の気象庁の10分間平均風速とは、平均化間隔が異なる。従って、比較するためには最大値の対応関係を定義する必要があるが、Atkinson（1974）は、10分間平均風速は、1分間平均風速の88%程度に相当するとしている（表2）。なお、このスケールには、降雨や地域的特性は考慮されていない。

太平洋でカテゴリー5に達したハリケーンは、1928年～2005年の間（77年間）に28個、平均すると、ほぼ3年に1回のペースである。複数個上陸したのは、1961年（2個）、1962年（2個）、そして2005年（3個）である。発生した28個のうち、上陸したのは25個で、カテゴリー

5の強さを維持し続けたのは、わずか3個である。ほぼ30年に1度のペースである。

カテゴリー5のまま上陸したハリケーンは、レイバーデイ（Labor Day 1935）、カミール（Camille 1969）、アンドリュー（Andrew 1992）である。レイバーデイは、史上最低の気圧892hpaでフロリダに上陸した。カミールは、ミシシッピに上陸し、25フィート（約7.5m）の観測史上最大の高潮を記録した。当時、アンドリューは、2.65億ドルという史上最大の経済損失を引き起こした。

2.2 カトリーナの履歴

カトリーナは、最初はバハマ（Bahama）の首都ナッソー（Nassau）の南東約280km（175mile）で弱い熱帯低気圧（Tropical Depression）として発生した。その後、バハマ中央部を通過しながら発達し、8月24日1200UTC（800EDT）に熱帯暴風（Tropical Storm）となり、カトリーナと名付けられた。その後もゆっくり北西に進みながら発達を続け、フロリダ州上陸の1～2時間前にあたる8月25日2100UTC（1700EDT）にハリケーン（Hurricane）となった。

米国への最初の上陸は、フロリダ州であり、8月25日2230UTC頃（1830EDT）、上陸地点はマイアミデーデュー郡（Miami-Dade County）とブロード郡（Broward County）の境界あたりとされている。最大風速は36m/s（80mph）でありカテゴリー1であった。瞬間最大風速は40m/s（90mph）以上とされている。

最初の上陸時間は約6時間、フロリダ半島の先端を南西に通過した。その間、やや勢力は衰えたものの、メキ

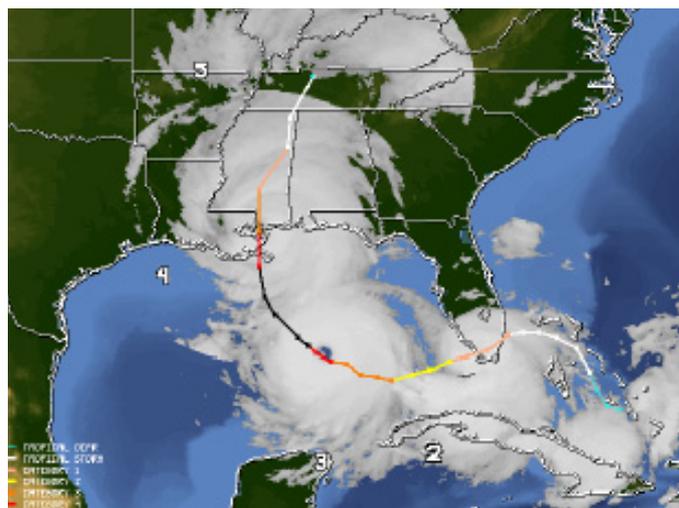


図1 ハリケーン・カトリーナの進路と強度
(NOAA's NCDC, 2006)

Fig.1 Path and Intensity of Hurricane Katrina.

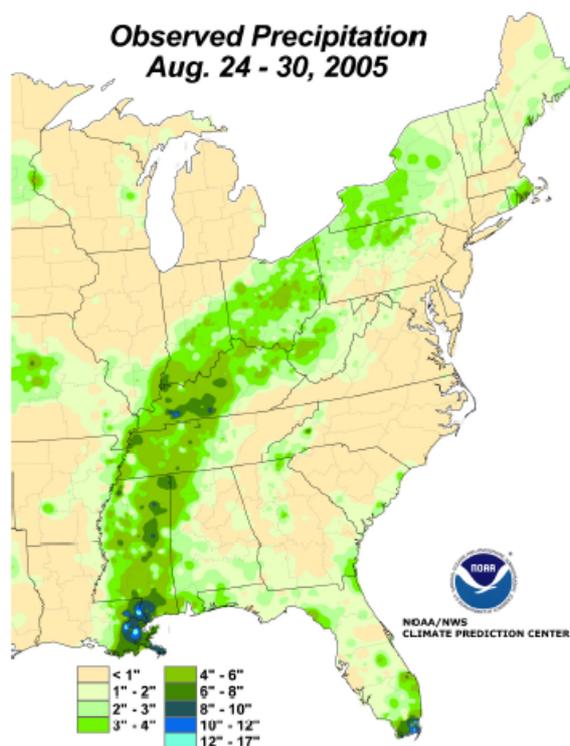


図2 1週間の総雨量の分布 (NOAA's NCDC, 2006) →
Fig.2 Preliminary Estimate of Rainfall Amounts Associated Katrina Provided by NOAA's NCDC.

表3 1週間の総雨量の観測値 (NOAA's NCDC, 2006)

Table3 Preliminary Estimate of Rainfall Amounts Associated Katrina Provided by NOAA's NCDC.

Station Name	LAT	LON	Rain (inch)
PERRINE_5_WSW(FL)	25.58	-80.44	16.3
HOMESTEAD(FL)	25.48	-80.38	14.6
HOMESTEAD_5_W(FL)	25.48	-80.56	14.4
FLORIDA_CITY_8_SSW(FL)	25.33	-80.53	12.3
CUTLER_RIDGE_3_SSE(FL)	25.54	-80.33	11.1
KEY_WEST(FL)	24.56	-81.76	10.4
HOPKINSVILLE_4_SW(KY)	36.85	-87.55	11.9
BIG BRANCH(LA)	30.55	-89.93	14.8
NEW ORILEANS(LA)	29.93	-90.14	13.6
LAPLACE_5_NE(LA)	30.10	-90.42	12.9
HAMMOND_5_E(LA)	30.51	-90.36	11.9
NATALBANY(LA)	30.55	-90.48	10.5
NECAISE_1_N(MS)	30.62	-89.41	10.1

シコ湾に抜けてからは暖かい海水で急速に勢力を回復した。メキシコ湾では、初め西に向かってだったが、テキサスの高気圧によって、北へ方向を変えていった。

その間も急速な発達は続き、8月26日1200UTC(700CDT)、メジャーハリケーン(カテゴリ3以上)となり、8月28日1200UTC(700CDT)には、カテゴリ5となった。

勢力のピークは、ルイジアナ州上陸の約18時間前にあ

たる8月28日1800UTC(1300CDT)頃であり、中心気圧902hpa、最大風速77m/sであった。

そして、8月29日1110UTC(610CDT)頃、ルイジアナ州ブラス(Bras)付記に再上陸した。上陸直前、カトリーナは急激な衰弱をみせ、上陸時の中心気圧920hpa、最大風速57m/sであったが、カテゴリ3の上限近い勢力を保持していた。

その後、カトリーナは、ニューオーリンズ市の西を通

過しながら北上を続け、ポーニュ湖 (Lake Borgne) を通過し、ルイジアナ州とミシシッピ州の州境のパール川 (Pearl river) の河口付近に再々上陸した。

ミシシッピ州南部を通過後、カトリーナは急速に勢力を弱め、8月29日1800UTC (1300CDT) 頃、カテゴリ1になり、その6時間後、ミシシッピ州メディアン市の北西で熱帯暴風になった。その後、加速しながら北上し、8月30日1200TC (700CDT) 頃、テネシーバレー北東で、弱い熱帯低気圧になった (図1)。

2.3 ハリケーン史とカトリーナ

カトリーナは、死者1336名 (2005年12月20日現在) を出し、ハリケーンによる死者数としては、史上3番目 (1851年からの公式記録) となった。1900年にテキサス州ガルベストンに上陸したハリケーン (死者約8000人) や1928年にフロリダ州オケチョピー湖に上陸したハリケーン (死者2500人) に次ぐものである (表4)。

経済損失は、2005年1月現在、200~600億ドルと推定されている。これは、物価上昇を考慮してもアンドリュ (1992年) の経済損失 (265億ドル) を上回るものとされており、史上最大の経済損失となる見込みである。また、これは米国の自然災害史上においても最大のものとなる見込みである (表5)。

上陸時の中心気圧は、920hpaとされており、1935年フロリダ Keys に上陸したハリケーン (892hpa) と1969年のカミール (909hpa) に次ぐ3番目の規模であり、ほぼ1992年のアンドリュと同程度であった (表6)。

2.4 カトリーナによる豪雨

NOAA (National Oceanic and atmospheric administration) の NCDC (National Climate Data Center) は、カトリーナによる降水量観測値を取りまとめている (図1, 表1)。

カトリーナによる豪雨は、カトリーナ災害全体の第1の誘因ではないが、ルイジアナ州のニューオーリンズを含む地域やフロリダ州南部では、局地的にかなりの量の降水量 (300~400mm) が観測されている (表1)。フロリダ州南部の Miami-Dade 郡では、降雨により洪水氾濫が起き、溺死者2名を出す被害が発生している。なお、ニューオーリンズ市を含む地域では、高潮による氾濫が大きかったため、降雨による洪水氾濫の詳細は不明である。また、内陸平野にも降水量の多い地域が帯状に広がり、ケンタッキー州では、11.9inch (約302mm) の降水量が観測されている (図2, 表1)。なお、メキシコ湾岸の多くの観測点では観測不良が生じたということである。

観測点ごとの観測値をみると、最大の降水量が観測されたのはフロリダ州南部の観測点で、14.8inch (約414mm) であった。このときカテゴリは1であったが、ニューオーリンズ付近を通過するときより、移動速度が遅かったことが影響していると思われる。なお、高潮で甚大な被害を受けたニューオーリンズ市の降水量は、13.6inch (354mm) であった (表1)。

2.5 カトリーナによる高潮

2.5.1 高潮の観測結果

カトリーナによる高潮 (観測結果) の CO-OPS (Center of Operation Oceanographic Products and Services) によって取りまとめられている (図1, 表1)。ただし、今回、大きな被害を被ったニューオーリンズ市を含む、ルイジアナ州のミシシッピ川河口部からのミシシッピ州の沿岸部までの範囲の観測点は、ほとんどが観測機器及び通信機器が不良を起こしており、潮位の最大値は観測できていない (図2)。

観測できた記録のなかで、最も大きな数値を示したのは、ミシシッピ州のオーシャン・スプリング (Ocean Spring) の観測点である。途中から通信不良を起こし、それ以後の観測記録は得られていないが、4.043m (29日8時18分 CDT) までの観測をしている (図2)。この付近の観測点では、この観測点より前に通信不良を起こしてしまっている (図3)。最も距離的に近く、データの欠損なく最大値が得られているのは、およそ70km 東にあるアラバマ州のドーファン島 (Dauphin Island) の観測点で、1.942m (29日12:00CDT) であった。約3時間半後のことである (図4)。なお、上陸地点付近の観測点は、Pilots Station East, SW Pass の観測点で2.362m (29日4時30分 CDT) であった。

各機関が行った現地調査や数値シミュレーションによる被災地の潮位に関する推定結果によれば、ニューオーリンズ市 (New Orleans) の北岸にあるポンチャートレーン湖 (Lake Pontchartrain) では、3~3.5m、ミシシッピ川河口から、ポーニュ湖 (Lake Borgne)、ピロキシに至るメキシコ湾岸では、概ね5~7mと推測されている。また、壊滅的な被害を被ったピロキシでは、8m以上の推定値も出ており、1969年かミールが記録した7.4m (ミシシッピ州 Pass Christian) を上回っていた可能性もある。

2.5.2 被災地の高潮の発生機構

米国のメキシコ湾岸は、水深の浅い大陸棚が広がっていて、海岸も東西に広く続いている。この地形的な特徴が大きな高潮を発生させる素因の一つとなったとされている。今回の高潮の発生機構は次のように考えられている。まず、ハリケーン接近に伴う前面の東風によって、大量の海水が西側に寄せられて、集積した海水がポーニュ湖からミシシッピ川河口にかけての海岸に大きな高潮を発生させた。その後、ハリケーン北上に伴う南風によって、大きな高潮を発生させ、ピロキシなどの海岸を襲ったものと推測されている。また、ポンチャートレーン湖の高潮は、西側に引き寄せられた海水が、湖に集積され、台風通過に伴って南側にあるニューオーリンズ市を襲ったものと考えられている。

表4 ハリケーンによる死者 (NOAA's NHC, 2005)

Table4 Mainland United State Hurricane causing greater death 1851~2004.

RANK	HURRICANE	YEAR	CATEGORY (at landfall)	DEATHS	RANK (M.P.)	RANK (costliest)
1	TX (Galveston)	1900	4	8000	13	(over30)
2	FL (Lake Okeechobee)	1928	4	2500	6	(over30)
	Katrina	2005	3	1336	3	1
3	LA (Cheniere Caminanda)	1893	4	1100-1400	32	(over30)
4	SC/GA (Sea Islands)	1893	3	1000-2000	56	(over30)
5	GA/SC	1881	2	700	(over60)	(over30)
6	FL (Keys)	1935	5	408	1	(over30)
7	LA (Last Island)	1856	4	400	10	(over30)
8	AUDREY (SW LA/N TX)	1957	4	390	21	(over30)
9	FL (Miami)/MS/AL/Pensacola	1926	4	372	12	(over30)
9	LA (Grand Isle)	1909	3	350	52	(over30)
12	LA (New Orleans)	1915	4	275	8	(over30)
14	CAMILLE (MS/SE LA/VA)	1969	5	256	2	(over30)

表5 ハリケーンによる経済損失 (NOAA's NHC, 2005)

Table5 The ten costliest mainland United States Hurricane 1851~2004.

RANK	HURRICANE	YEAR	CATEGORY (at landfall)	DAMAGE (Millions)	RANK (M.P.)	RANK (deadliest)
	Katrina	2005	3	96	3	1
1	ANDREW (SE FL/SE LA)	1992	5	26.5	3	(over50)
2	CHARLEY (SW FL)	2004	4	15.0	17	(over50)
3	IVAN (AL/NW FL)	2004	3	14.2	27	50
4	FRANCES (FL)	2004	2	8.9	(over60)	(over50)
5	HUGO (SC)	1989	4	7.0	10	(over50)
6	JEANNE (FL)	2004	3	6.9	41	(over50)
7	ALLISON (N TX)	2001	TS	5.0	(over60)	41
8	FLOYD (Mid Atlantic & NE U.S.)	1999	2	4.5	(over60)	28
9	ISABEL (Mid Atlantic)	2003	2	3.4	(over60)	(over50)
10	FRAN (NC)	1996	3	3.2	56	49
17	CAMILLE	1969	5	1.4	2	14

表6 上陸時に中心気圧の低いハリケーン (NOAA's NHC, 2005)

Table6 The Most Intense United States 1851~2004.

RANK	HURRICANE	YEAR	CATEGORY (at landfall)	MINIMUM PRESURE	RANK (deadliest)	RANK (costliest)
1	FL (Keys)	1935	5	892	6	(over30)
2	CAMILLE (MS/SE LA/VA)	1969	5	909	14	17
	KATRINA	2005	3	920	3	1
3	ANDREW (SE FL/SE LA)	1992	5	922	(over 50)	1
4	TX (Indianola)	1886	4	925	20	(over30)
5	FL (Keys)/S TX	1919	4	927	11	(over30)
6	FL (Lake Okeechobee)	1928	4	929	2	(over30)
7	DONNA (FL/Eastern U.S.)	1960	4	930	31	(over30)
8	LA (New Orleans)	1915	4	931	12	(over30)
9	CARLA (N & Central TX)	1961	4	931	35	(over30)
10	LA (Last Island)	1856	4	934	7	(over30)

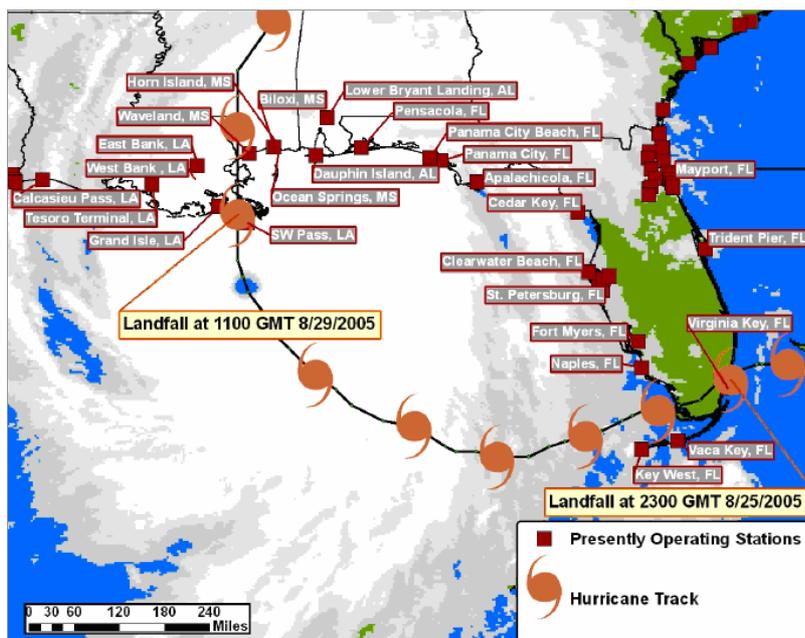


図3 NOAAのCO-OPSが取りまとめている観測点の位置 (NOAA's CO-OPS, 2006)
 Fig.3 Map illustrating the locations of stations of NOAA NOS CO-OPS.

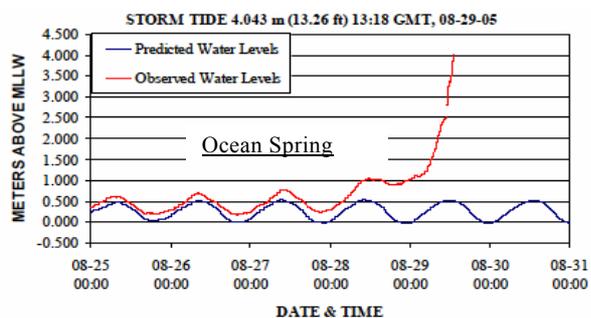


Fig.4 (a)

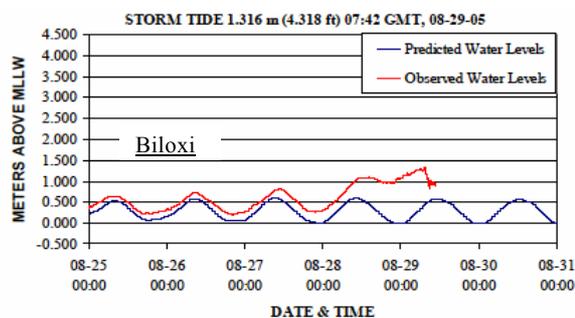


Fig.4 (b)

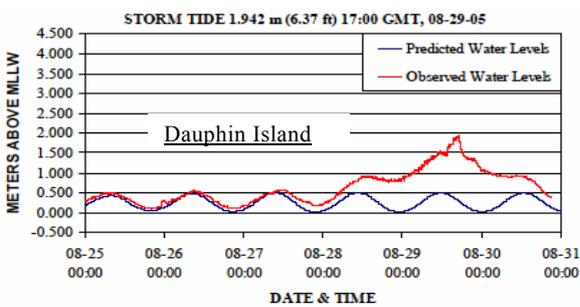


Fig.4 (c)

図4(a)~(c) 潮位の観測値と天文潮位の推定値の時刻歴データ (NOAA's CO-OPS, 2006)
 Fig.4(a)~(c) Time series of observed and predicted water levels above tidal datum, Mean Lower Low Water(MLLW) (During and after Hurricane KATRINA. Station ceased transmissions and did not record a maximum elevation at Ocean Spring and Biloxi).

表7 観測された最高潮位 (NOAA's CO-OPS, 2006)

Fig.7 Maximum water levels in the geographic order for hurricane KATRINA, August 2005.

Station Name	Date and Time (GMT)	MWL
Trident Pier, FL	08-26-05 17:48	1.500
Cedar Key, FL	08-28-05 13:30	1.659
Pensacola, FL	08-29-05 15:24	2.038
Dauphin Island, AL	08-29-05 17:00	1.942
Horn Island, MS	08-29-05 04:48	1.898
Ocean Springs, MS	08-29-05 13:18	4.043
Waveland, MS	08-29-05 09:12	2.737
East Bank, LaBranche, LA	08-30-05 02:30	1.865
Pilots Station, SW Pass, LA	08-29-05 09:30	2.362
Grand Isle, LA	08-29-05 12:42	1.739

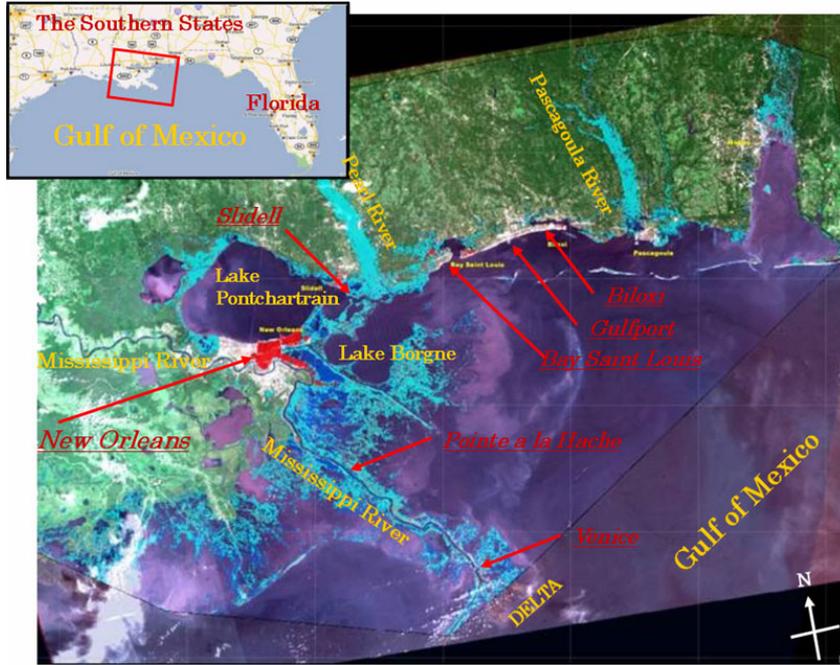


図 5 ルイジアナ州とミシシッピ州の高潮氾濫状況 (2005/9/2) (Disasters charter, 2005 に加筆)

Fig.5 Flood Caused by Hurricane Katrina in LA and MS.

(Color)

Blue : Flooded Surfaces

Red Font : Place Names

Light Blue : Very Wet Areas

Yellow Font : Lake, River or Gulf Names

Red : Affected Urban Zones

Navy Blue : Water Bodies

Green : Forests

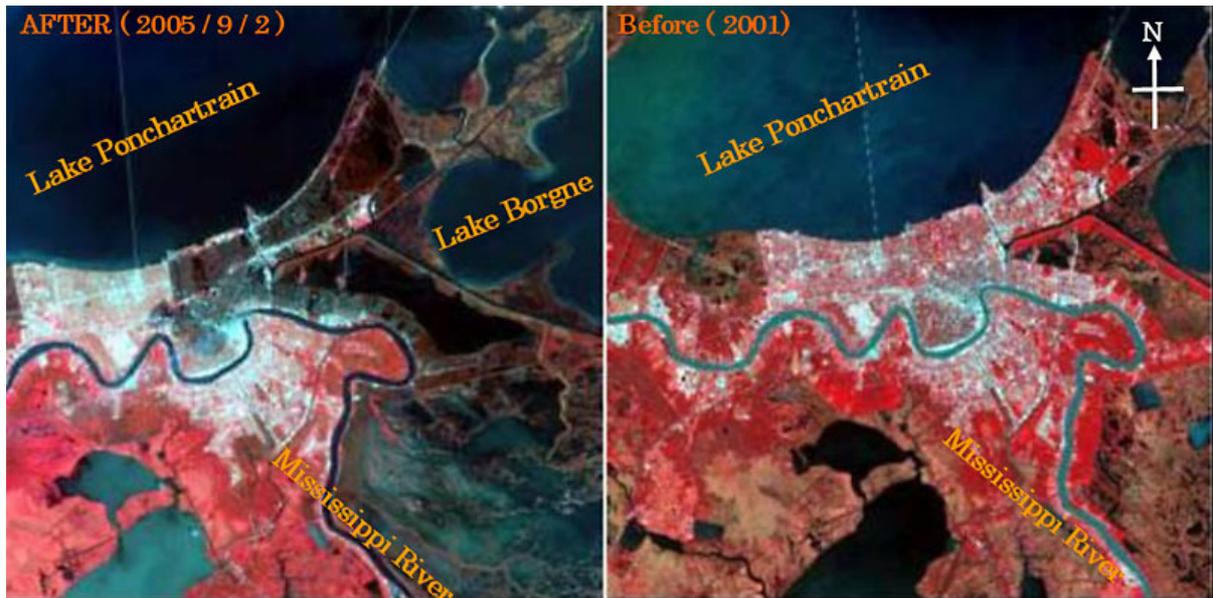


図 6 ニューオーリンズ市の高潮氾濫状況 (SPOT 画像, 2005&2001)

Fig.6 Flood caused by Hurricane Katrina in New Orleans.

(Color)

Navy Blue :Water Bodies or Flooding Zones

White :Urban Areas

Red :Forests

(解説)左図：氾濫 3 日後の衛星画像である。都市圏の多くの部分が氾濫している。

右図：氾濫以前の衛星画像である。ミシシッピ川とポンチャートレイン湖の間を中心に都市域が形成されていることがわかる。これがニューオーリンズ都市圏 (人口 120 万人) である。

3. 高潮氾濫と物的被害

3.1 高潮氾濫

ハリケーン・カトリーナによる被害は、アメリカ南部の各州に及んだが、特にルイジアナとミシシッピ両州のメキシコ湾岸の高潮氾濫被害は甚大かつ広域となった。

衛星画像により、高潮氾濫の浸水状況の把握ができるが (図 5)、これによると、ミシシッピ川河口からニュー

オーリンズ市に至る広域な領域の浸水状況や、ポーニョ湖やポンチャートレイン湖の湖岸の浸水状況がわかる。

なお、ベイ・セントルイス (Bay Saint Louis) からピロキシ (Biloxi) にかけての海岸線は、2005 年 9 月 2 日時点の広域衛星画像では、浸水状況の確認は出来ないが、住宅地に大きな高潮氾濫被害が起こっている。

この地域の中心的な都市として、ニューオーリンズ市

があるが、ニューオーリンズ市の中心部では、市内の8割の地域で、最大浸水深6m以上といわれる大規模な浸水被害が生じた。市域全体をカバーしている衛星画像(図6)においても、都市圏の多くの地域の浸水状況が確認できる。

3.2 破堤がもたらした大規模な浸水(New Orleans City)

ニューオーリンズ市(New Orleans City)の北部の住宅地は、最大浸水深6m以上を記録したとされる地域である。この地域は、1920年代から開発が始まり、1950年に降に急速に発達した地域で比較的高級な住宅が多い。構造的にはブリック構造の建物が目立っていた

この地域の地形は、市内を横断する旧河道沿いの微高地とポンチャートレイン湖(Lake Pontchartrain)の湖丘に挟まれた低平地であり、そのほとんどがゼロメートル地帯である。また、同地域には、横断する多数の運河堤防があり、堤防、湖丘、微高地に囲まれた地域となっている。

この地域では、3箇所の運河堤防が破堤した。氾濫地域の西端にあたる17番通り運河(17th Street Canal)で1箇所、中央やや東のロンドン通り運河(London Avenue Canal)で2箇所の計3箇所である(ニューオーリンズ市では、他にポーニュ湖側の工業運河(Industrial Canal)で2箇所の破堤が確認されている)。この2つの運河には防潮水門はなく、高潮が運河を遡上し、水位が上昇したことが、破堤の主たる原因となったと考えられる。氾濫水の多くは、この破堤箇所から流入したと見られる。

湖岸堤防から越流した痕跡もみられたが、その量は破堤箇所からの流入量に比べて多くないとみられることから、この地域にこれほどの大規模な浸水をもたらした主たる原因は、この運河堤防の破堤にあると考えられる。ゼロメートル地帯の破堤による外水氾濫がもたらす被害の大きさを改めて示した結果となった。

3.3 治水施設の計画の差異(New Orleans City)

高潮、津波などの海からの外力に対する治水施設の計画を大別すると2つになる。防潮堤方式と防潮水門方式である。防潮堤方式とは、河川や運河に、高潮の遡上に対して十分な強度を持った堤防を築造する方式であり、防潮水門方式とは、河口部などに水門を設け、高潮や津波の遡上を防止する方式である。

ニューオーリンズ都市圏において、高潮の来襲したポンチャートレイン湖の北岸には、ニューオーリンズ郡(Orleans Parish)のように壊滅的なダメージを負った地域とジェファーソン郡(Jefferson Parish)のように軽微な損傷にとどまった地域が存在する。これらの地域は、上述の治水施設の計画が異なっており、堤防が破堤し、壊滅的なダメージを負ったニューオーリンズ郡では、防潮堤方式を採用し、軽微な損傷にとどまったジェファーソン郡では、防潮水門方式を採用していた。

3.4 高潮や破堤氾濫水による住宅地の被害(Lower Ninth Ward など)

高潮や破堤氾濫水による住宅地の被害は、各地で見られた。特に、Lower Ninth Wardでは、住宅の倒壊や流失を伴う大規模な被災がみられた。住宅の屋根の変形状態から判断して、少なくとも平屋の屋根レベルを上回る水位があったものと推測される。ルイジアナ州立大学(Louisiana State University)などの各機関が解析している高潮レベルもこの地区(正確にはこの地区の堤防位置)では非常に大きく、これら壊滅的被害を生じさせるに十分なレベルの外力があったものと判断できる。

また、運河堤防の破堤地点周辺では、ほとんどの住宅がなくなっている様子が、直後の航空写真からも確認されている。

この地区は低所得者層の住宅が多いと言われている。Regional Planning Commissionが公表している住宅の資産価値マップでもそのことが裏付けられる。住宅の構造もきわめて簡素であり、ブロックで嵩上げされ、地面とはほとんど固定されていない建物や、基礎があるものでもその定着が極めて簡素なものが多数みられた。これら住宅は、水圧からくる水平力に極めて弱く、これら構造の簡素さも被害の増大につながったものと考えられる。

3.5 防潮施設のない沿岸住宅地域の高潮被害(Biloxi など)

ミシシッピ州のメキシコ湾岸には、海岸線に住宅地区がある。ビロキシ(Biloxi)、ガルフポート(Gulfport)、ベイ・セントルイス(Bay Saint Louis)などの地域である。これらの地域は、別荘などの用途にも用いられ、比較的裕福層の住宅が多い地域であった。しかし、今回の高潮災害により、海岸線にあった住宅は、数十キロにわたって基礎のみとなっており、被害の甚大さを示していた。

この地域には、多くの住宅や観光施設が存在するが、一見したところ防潮施設はほとんどなく、高潮はほとんど減衰されることなく、この地域を襲ったものと思われる。ルイジアナ州立大学(Louisiana State University)の解析では、8m以上の高潮が発生したとしている。

この地域の住宅の構造は、その残骸から推測するに、ブリック構造が多かったと推察される。一般にブリック構造は水平力に対してあまり強い構造ではない。基礎の定着アンカーの数も確認したが、非常に少なく、この地区にあった建物は、水平方向に作用する流体力に対して、対しては極めて弱い構造と推測できる。

また、同地区では、住宅以外でも、単純桁の鉄筋コンクリート橋の落橋や中層の鉄筋コンクリート建物の柱やスラブに被害が見られたが、部材断面等から判断するに、建物同様、構造は、日本のものくらべ非常に弱いものであると推測できる。



写真1 17th Street Canalの破堤地点付近の浸水 (NOAA, 2005)

Photo 1 Flood around 17th Street Canal.

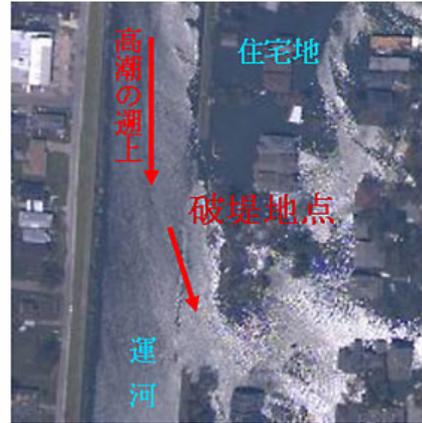


写真2 17th Street Canalの破堤 (NOAA, 2005)

Photo2 Levee Brake Point in 17th Street Canal.



写真3 17th Street Canalの堤防断面 (M.Rohbok氏提供)

Photo 3 Levee of 17th Street Canal.



写真4 破堤地点付近の住宅内部

Photo4 A House near Levee.



写真5 ジェファーソン郡の防潮水門

Photo5 Floodgate of Jefferson Parish.



写真6 ジェファーソン郡の運河の河口部 (NOAA, 2005)

Photo6 Mouth of Canal in Jefferson Parish.



写真7 17th Street Canalの河口部 (NOAA, 2005)

Photo7 Mouth of 17th Street Canal in New Orleans Parish.

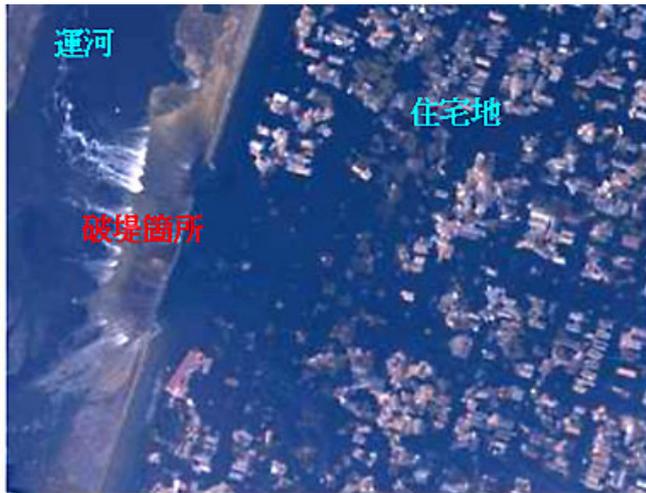


写真8 Lower Ninth Ward の破堤氾濫 (NOAA, 2005)
Photo 8 Levee Brake in Lower Ninth Ward.



写真9 Lower Ninth Ward の被害
Photo 9 Damage in Lower Ninth Ward.



写真10 ブロックでかさ上げされただけの住宅
Photo 10 Houses on Blocks.



写真11 ビロキシの家屋被害
Photo 11 House Damage in Biloxi.



写真12 ビロキシの建物被害
Photo 12 Building Damage in Biloxi.



写真13 ビロキシの海岸線と被災した建物
Photo 13 Seashore in Biloxi and Damaged Building.



写真14 落橋した橋
Photo 14 Damaged Bridge.

4. 考察

3.2節から3.5節で報告した特徴的被害を大きく二つに分けて考察する。

第1に、多くの被災地で目立った、高潮や破堤による氾濫水の外力による建物の倒壊や流失の被害である。この主要な素因の一つとして、個々の建造物の特性が挙げられる。

今回の被災地の現地調査では、基礎の定着度、部材断面積、構造材料等に注目して、目視調査を実施し、以下のような特徴があることがわかった。

(1) 被災地の建物の基礎の定着度は、日本のものに比べ、非常に弱いものが多かった。ブロックの上に置いてあるだけのものや、しっかりとした基礎があったとしても、アンカーの数は極めて少ないものが多かった。

(2) ビロクシなどの被災地では、鉄筋コンクリートの建物や橋梁構造物はあるが、その多くが被害を受けていた。それらの部材断面などを目視調査してみると、構造が日本のそれに比べて貧弱なものが多いことがわかった。

(3) 被災地の建物の構造材料については、木造のほかに、ブリック構造のものが多くみられた。ブリック構造の建物は、鉄筋コンクリートなどのような補強がされておらず、水平力に対して、極めて弱い構造物である。また、ビロクシなどの被災地では、ブリックの破片が散乱している様子が見られた。

以上のように、現地調査の結果、被災地の構造物は、水平力に対して、想像以上に弱い構造物が多いことがわかった。

被災地でみられた建物の倒壊や流失の主たる原因として、その流体力の大きさに加えて、被災地の水平力に対する耐力が極めて小さかったことがあげられるだろう。

また、このような水平力に対して弱い構造物がめだつたのは、設計外力として、地震荷重が、被災地では考慮する必要がないことがあげられる。アメリカでも日本と同様に、多種の自然リスクを抱えるが、その大きな違いは、アメリカにおいては、災害のある地区が地域的に分かれているのに対し、日本では、ほとんどすべての地域で、複数の災害リスクを抱えている点である。

次に、二つめの特徴的な被害の様相は、被災地域の中核的な都市であるニューオーリンズでみられた大規模な冠水による被害である。

ニューオーリンズ市は、広大な海拔ゼロメートル地帯に展開する都市域を抱え、2次元的に囲まれた堤防システムによって守られていたが、高潮による外力によって、数カ所の堤防が破堤し、広範な都市機能やコミュニティの破壊が発生した。

長大な堤防システムの中のわずか数点の破堤が、広域にわたる外水氾濫を引き起こし、後背地の都市機能を完全に破壊してしまったのである。

堤防システムを設計外力に対して十分な耐力を持つように、設計および維持管理されることは第1であるが、すべてを完全に管理することはほとんど不可能である。

この長大な堤防システムには、総合的な治水システム

による二重、三重のフェールセーフ的な考え方が必要であろう。

ニューオーリンズのように水災害に対して脆弱性が高く、しかも人口資産の集中する地域においては、治水システム全体の設計計画には、破堤しても被災域の拡大を阻止するという視点が必要であろう。

謝辞

現地調査にあたっては、米国陸軍工兵隊 Dr. H. S. Winnerをはじめ、The Port of New Orleans の Ms. Cynthia, Regional Planning Committee の Mr. J. W. Roesel, Tulane 大学の Prof. J. A. McLachlan, Prof. C.E. Allen, Prof. R. Campenella, Louisiana 州立大学の Prof. P. Templet, Prof. H.J. Walker, Prof. J. C. Pine, Prof. C.E. Colten らの研究者の方々、AMDA の保志門澄江氏にはお忙しい中、調査に協力いただきました。Miki Rohbok 氏には、効率のよい現地案内をしていただきました。また、日本国ニューオーリンズ領事館蒔苗美則副領事、ルイジアナ州立大学加茂義昌先生、名工大秀島栄三先生には、調査のため有益な情報をいただきました。

現地調査にあたっては、防災研究フォーラムのご支援をいただきました。

最後に、被災者の方々の一日も早い復興を祈っております。

参考文献

- 1)NOAA NCDC (2006) : Hurricane Katrina, A Climatological Perspective.
- 2)NOAA TPC NHC (2005) : The Deadlist, Costliest, and Most Intense United States Tropical Cyclones from 1851 to 2004 (And Other Frequently Requested Hurricane Facts).
- 3)NOAA CO-OPS (2006) : Hurricane Katrina Storm Tide Summary.
- 4)FEMA (<http://www.fema.gov/>)
- 5) Louisiana State University (<http://www.lsu.edu/>)
- 6)USGS (<http://www.usgs.gov/>)
- 7)Richard Campanella (2002) : Time and Place in New Orleans, Pelican Publishing Company.
- 8)NOAA (<http://www.noaa.gov/>)
- 10)US Army Corps of Engineers(<http://www.usace.army.mil/>)
- 11)Disasters charter (<http://www.disasterscharter.org/>)
- 12)SPOT IMAGE (<http://www.spotimage.fr/>)
- 13)JMA(<http://www.jma.go.jp/>)

(原稿受理：2006年3月10日)

要 旨

本稿では、米国自然災害史上最悪の960億ドルの経済被害をもたらした2005年8月24日に発生したハリケーン・カトリーナ災害における物理的被害の特徴的な様相を、現地調査にもとづき2つの視点から考察した。

まず第1は、多くの被災地で高潮や破堤による氾濫水の外力による建物の倒壊や流失の被害が目立ったことである。この主要な要因の一つとして、被災した建物の基礎定着度、部材断面積、構造材料を調査から、多くの建物が水平力に対して極めて弱い構造を持つことが推定できた。これは、この地区の建物設計荷重として地震力を考慮する必要性がないことによるものと考えられる。また、建物全体、または破壊された建物の一部や部材が流失し、他の建物の破壊を招いた様子も確認でき、建物破壊被害の連鎖が認められた。

第2は、被災地域の中核的な都市であるニューオーリンズでみられた大規模な冠水による被害である。ニューオーリンズ市は、広大な海抜ゼロメートル地帯に展開する都市域を抱え、2次元的に囲まれた堤防システムによって守られていたが、高潮による外力によって、数カ所の堤防が破堤し、広範な都市機能やコミュニティの破壊が発生した。この長大な堤防システムには、総合的な治水システムによる二重、三重のフェールセーフ的な考え方が必要であると思われた。ニューオーリンズのように水災害に対して脆弱性が高く、しかも人口資産の集中する地域においては、治水システム全体の設計計画には、破堤を引き起こさないような、また、破堤しても被災域の拡大を最小限に留めるといった視点が必要であろう。

キーワード：ハリケーン・カトリーナ、高潮、都市水害、ニューオーリンズ