

Proceeding of the Japan Seminar  
on Hurricane Katrina Disaster Reports  
ハリケーンカトリーナの高潮・高波災害に関する  
日本セミナー 講演集

—A Follow-Up Seminar of the 2nd International Workshop on Coastal Disaster Prevention—

—第二回国際沿岸防災ワークショップフォローアップ会議—



2006年10月

ハリケーンカトリーナの高潮・高波災害に関する  
日本セミナー 実行委員会

# 目 次

1. はじめに	1
2. Objective of the Seminar (会議趣旨)	2
3. Seminar Program (会議内容)	4
4. Photos in the Seminar (会議風景)	6
5. Addresses (挨拶)	
(1) Opening Address (開会挨拶), Mr. Makoto Owada, President of PARI (独立行政法人港湾空港技術研究所理事長 小和田 亮)	9
(2) Welcome Speech (開会挨拶), Professor Masanori Hamada, President of JSCE (社団法人土木学会会長 濱田政則)	10
(3) Welcome Speech (来賓挨拶), Mr. Narikumi Nakao, Technical Counselor, MLIT (国土交通省大臣官房技術参事官 中尾成邦)	11
(4) Closing Address (閉会挨拶), Mr. Susumu Murata, President of CDIT (財団法人沿岸技術研究センター理事長 村田 進)	12
6. Abstracts and Presentations (要旨・発表内容)	
(1) Disasters in Japan due to Storm Surges and Waves (日本の高潮・高波災害), Professor Tomotsuka Takayama, Kyoto University (京都大学教授 高山知司)	14
(2) Future Storm Surge Control Measures in Areas below Sea Level (ゼロメートル地帯の今後の高潮対策のあり方について), Professor Masahiko Isobe, University of Tokyo (東京大学教授 磯部雅彦)	28
(3) Summary of Hurricane Katrina (ハリケーンカトリーナ災害のまとめ), Professor Billy L. Edge, Texas A&M University (テキサス A&M 大学教授)	38
(4) New Orleans after Hurricane Katrina: A First Look (ハリケーンカトリーナ後のニューオーリンズ: 最初に目にしたもの), Professor Robert A. Dalrymple, Johns Hopkins University (ジョンホプキンス大学教授)	54
(5) Failure of the New Orleans Levees – Geotechnical Issues (ニューオーリンズの堤防の破壊—地盤的な問題), Professor Peter G. Nicholson, University of Hawaii (ハワイ大学教授)	68
(6) South Louisiana Comprehensive Coastal Protection and Restoration (南部ルイジアナの総合海岸防災と復興), Dr. Jeffrey A. Melby, U.S. Army Corps of Engineers (米国陸軍工兵隊技術研究開発センター)	84
7. Panel Discussion (パネル討議)	98
8. おわりに	119



# 1. はじめに

2006年6月8日に東京で「ハリケーン・カトリーナの高潮・高波災害に関する日本セミナー ～第二回国際沿岸防災ワークショップ フォローアップ会議～」を港湾空港技術研究所，沿岸技術研究センター，土木学会の共催，および国土交通省の協賛により開催した．本講演集は，そのセミナーの内容を記録したものである．

ハリケーン・カトリーナによる災害の状況については，同年1月の「第二回国際沿岸防災ワークショップ」で速報として報告がなされたが，その後も米国では多岐に渡る調査が実施され，同年6月1日にはIPET(米国土木学会等による災害調査タスクフォース)から報告書が発刊された．本セミナーは，この機会を捉えて開催したものであり，第二回国際沿岸防災ワークショップのフォローアップ会議である．

本セミナーには，テキサスA&M大学のB. L. Edge教授，ジョンホプキンス大学のR. A. Dalrymple教授，ハワイ大学のP. G. Nicholson教授，米国陸軍工兵隊技術研究開発センターのJ. A. Melby博士を招聘し，IPETの報告書にも掲載された被災原因（気象，高潮，地盤など）の分析から今後の防災計画まで幅広くご紹介いただいた．また，日本国内からも，京都大学の高山知司教授から日本の高潮・高波災害，東京大学の磯部雅彦教授からゼロメートル地域の高潮防災について，それぞれご講演いただいている．

さらにパネル討議（高橋重雄座長）では，上記6名の講演者に加えて国土交通省港湾局海岸・防災課の池田直太課長補佐をパネリストにお迎えし，「将来の沿岸防災について～ワーストケースに備える～」というテーマで議論した．ワーストケースとは，ハリケーン・カトリーナの災害のような甚大な災害をもたらすケースである．そうしたケースでは防災施設の被災とそれによる被害の拡大も考える必要があり，ワーストケースの災害を的確に予測することがワーストケースの災害を防ぐために不可欠である．特に，ワーストケースの災害に備えるためには粘り強い防災施設，二重，三重の浸水対策など粘り強い沿岸防災の重要性が指摘された．

本講演集は，セミナーの同時通訳の日本語訳をもとに講演やパネル討議の要旨をまとめたものである．この講演集が，ハリケーン・カトリーナの災害の実態やそれから学ぶべき点を考え，日本における将来の高潮・高波災害への備えや今後の調査研究の参考になれば幸いである．なお，講演集についてはセミナー実行委員会の責任で作成したものであり，御講演者の意図と必ずしも一致しない部分もあるかも知れないが，ご容赦いただきたい．

## 2. Objective of the Seminar

Hurricane Katrina impacted the southern part of the United States on August 29, 2005, and became the most destructive natural disaster in American history. Comprehensive surveys and reviews of the Hurricane Katrina disaster were made in the United States. The Interagency Performance Evaluation Task Force (IPET) will publish a final report with the review of The ASCE External Review Panel. The lessons learned from the disaster should be shared throughout the world.

Japan is a country where integrated economic activities are concentrated in the coastal areas. The coastal areas have been attacked by typhoons and suffer from many storm surge disasters. The Second Workshop on Coastal Disaster Prevention was held in January, 2006, where comprehensive reports on coastal disasters, including the field surveys on the Indian Ocean Tsunami, were presented. The field surveys on extensive damage caused by Hurricane Katrina at the end of last August were also reported in the workshop. However, the detailed analyses of the disaster were not discussed in the workshop because the surveys had just started.

In this seminar, as a follow-up seminar of the workshop, the results of the survey by IPET will be explained. Dr. Billy L. Edge, Chairman of Coastal, Ocean, Ports and Rivers Committee (COPRI) of ASCE and Professor at Texas A&M University, Dr. Robert A. Dalrymple, Professor at Johns Hopkins University, Dr. Jeffrey A. Melby, Head of Coastal Structures Group of the U.S. Army Engineer Research and Development Center, and Dr. Peter G. Nicholson, Associate Professor at University of Hawaii at Manoa, are kind enough to visit Japan and discuss the matter at the seminar. Dr. T. Takayama, Professor at Kyoto University, and Dr. Masahiko Isobe, Professor at the University of Tokyo will present Japanese experiences of storm surge disasters in the seminar to encourage discussions between U.S. and Japanese sides. Simultaneous interpretation between English and Japanese will be provided.

### Organizers :

Port and Airport Research Institute (PARI)

Coastal Development Institute of Technology (CDIT)

Japan Society of Civil Engineers (JSCE)

### Co-sponsor:

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan (MLIT)

## 会議趣旨

昨年 8 月 29 日に発生したハリケーンカトリーナによる高潮・高波災害は自然災害として米国史上最悪であった。この災害の実態やその原因などについて、米国では種々の調査がなされており、本年 6 月 1 日には、IPET と呼ばれる米国土木学会等による災害調査タスクフォースの報告書が発刊される予定となっている。わが国の沿岸防災にとってもハリケーンカトリーナの災害は、学ぶべきことが非常に多く、本年 1 月 18・19 日に東京で開催された、第二回国際沿岸防災ワークショップでは、ハリケーンカトリーナの災害実態に関する緊急報告がなされた。しかしながら、調査が十分進んでいなかったため、災害の概要の説明だけにとどまっている。

本フォローアップ会議では、米国土木学会の海岸・海洋・港湾・河川委員会の B. Edge 委員長ほかを招き、ハリケーンカトリーナの高潮・高波災害に関するセミナーを開催する。セミナーでは、6 月 1 日に刊行される報告書の説明とともに、日本側から日本の高潮・高波災害に関する報告を行い、これからの沿岸防災のあり方についても意見を交換する。なお、会議は同時通訳によって日本語と英語で行う。

### 主催：

- (独) 港湾空港技術研究所
- (財) 沿岸技術研究センター
- (社) 土木学会

### 協賛：

国土交通省

### 3. Seminar Program

**Time and Date :** 13:00—17:30 June 8, 2006

**Place :** The Sasakawa Hall, 3-12-12, Mita, Minato-ku, Tokyo, Japan 108-0073

1. Opening ceremony 13:00—13:15

Session Chair: Mr. Yoichi Sakai, CDIT

**Opening address** Mr. Makoto Owada, President of PARI

**Welcome Speech** Professor Masanori Hamada, President of JSCE

**Welcome Speech** Mr. Narikuni Nakao, Technical Counselor, MLIT

2. Presentations from Japan 13:15—14:05

Session Chair: Mr. Hiroyasu Kawai, PARI

**Disasters in Japan due to Storm Surges and Waves**

Professor Tomotsuka Takayama, Kyoto University

**Future Storm Surge Control Measures in Areas below Sea Level**

Professor Masahiko Isobe, University of Tokyo

3. Presentations from U.S. 14:15—16:15

Session Chair: Dr. Yoshimitsu Tajima, University of Tokyo

**Summary of Hurricane Katrina**

Professor Billy L. Edge, Texas A&M University

**New Orleans after Hurricane Katrina: A First Look**

Professor Robert A. Dalrymple, Johns Hopkins University

**Failure of the New Orleans Levees – Geotechnical Issues**

Professor Peter G. Nicholson, University of Hawaii

**South Louisiana Comprehensive Coastal Protection and Restoration**

Dr. Jeffrey A. Melby, U.S. Army Corps of Engineers

4. Panel discussion 16:25—17:25

**Future prevention of storm surge disasters ; “Preparedness for the worst case.”**

Coordinator: Dr. Shigeo Takahashi, PARI

5. Closing Ceremony 17:25—17:30

**Closing Address** Mr. Susumu Murata, President of CDIT

# 会議内容

日時： 平成 18 年 6 月 8 日 13:00-17:30

場所： 笹川記念会館 (〒108-0073 東京都港区三田 3-12-12)

## 1. 開会式 13:00-13:15

	司会	沿岸技術研究センター	酒井洋一
開会挨拶	港湾空港技術研究所	理事長	小和田亮
開会挨拶	土木学会	会長	濱田政則
来賓挨拶	国土交通省大臣官房技術参事官		中尾成邦

## 2. 日本側の発表 13:15-14:05

	議長	港湾空港技術研究所	河合弘泰
日本の高潮・高波災害		京都大学教授	高山知司
ゼロメートル地帯の今後の高潮対策のあり方について		東京大学教授	磯部雅彦

## 3. 米国側の発表 14:15-16:15

	議長	東京大学	田島芳満
ハリケーンカトリーナ災害のまとめ	テキサス A&M 大学教授	Billy L. Edge	
ハリケーンカトリーナ後のニューオーリンズ：最初に目にしたもの	ジョンホプキンス大学教授	Robert A. Dalrymple	
ニューオーリンズの堤防の破壊－地盤的な問題	ハワイ大学教授	Peter G. Nicholson	
南部ルイジアナの総合海岸防災と復興	米国陸軍工兵隊技術研究開発センター	Jeffrey A. Melby	

## 4. パネル討議 16:25-17:25

今後の沿岸防災について；ワーストケースへの備え

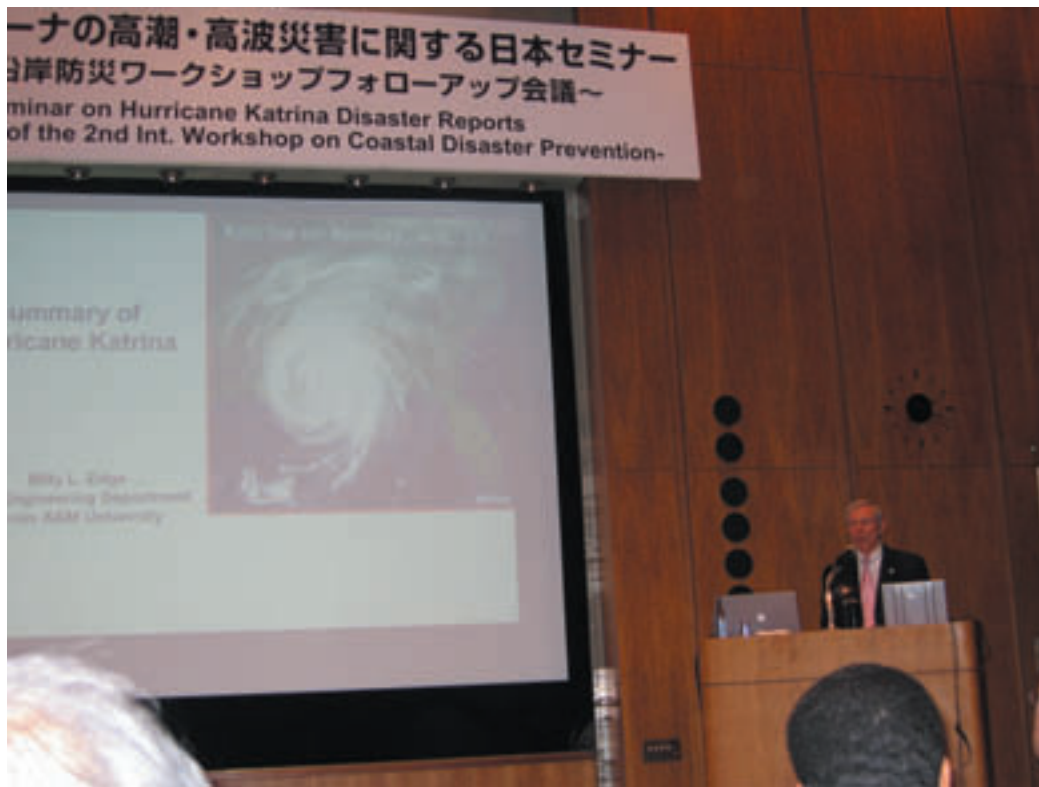
コーディネーター： 港湾空港技術研究所 研究主監 高橋重雄

## 5. 閉会式 17:25-17:30

閉会挨拶	沿岸技術研究センター	理事長	村田 進
------	------------	-----	------



## 4. Photos in the Seminar (会議風景)



テキサスA&M大学 Edge 教授の講演



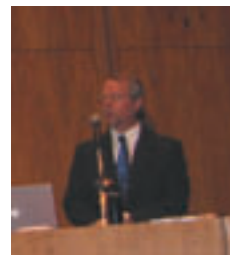
京都大学  
高山教授



東京大学  
磯部教授



ジョンホプキンス大学  
Dalrymple 教授



ハワイ大学  
Nicolson 教授



米国陸軍工兵隊技術  
開発研究センター  
Melby 博士



パネルディスカッション



港湾空港技術研究所  
小和田理事長



沿岸技術開発センター  
村田理事長



土木学会  
濱田会長



国土交通省  
中尾技術参事官



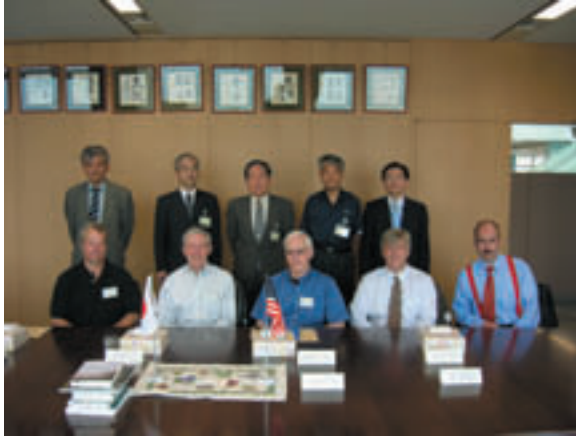
会場の全景（約 300 名が参加）



質疑応答



堀川先生からのコメント



米国研究者による港湾空港技術研究所の視察（セミナー前日）



米国研究者による東京港高潮防災施設の視察（セミナー前日）

## 5. Addresses (挨拶)

### (1) Opening Address(開会挨拶), Mr. Makoto Owada, President of PARI (独立行政法人港湾空港技術研究所理事長 小和田 亮)

港湾空港技術研究所の小和田と申します。ハリケーンカトリーナの高潮・高波災害に関する日本セミナーの開会にあたりまして、主催者の一人として一言、御挨拶を申し上げます。

まず初めに、本日はお忙しいところ、国の内外から多数の研究者、技術者並びに行政担当の方々にお集まりいただき、心から御礼申し上げます。また、御来賓として国土交通省の中尾大臣官房参事官にご臨席を賜り、誠に有り難うございます。

さて、本セミナーは本年1月に東京で開催いたしました、第2回国際沿岸防災ワークショップのフォローアップ会議として位置づけられるものでございます。1月の会議では、米国陸軍工兵隊技術研究開発センターのハーレー・ウィナー教授をお招きし、ハリケーンカトリーナ災害の状況について大変有意義なご報告をいただいたわけですが、時間の関係等がございましたので、十分なご議論を皆さん方にしていただけなかった、ということがございました。そういった事情に加えまして、この6月には米国土木学会等によるハリケーンカトリーナに関する災害調査タスクフォース、これは米国ではIPETと略称しているそうでございますが、そのタスクフォースの報告書が6月に発表されるということもありまして、このタイミングでタスクフォースの主要メンバーとして活躍されました米国土木学会、海岸・海洋・港湾・河川委員会委員長のテキサスA&M大学、Billy Edge教授、ジョンズ・ホプキンス大学、Robert A. Dalrymple教授、米国陸軍工兵隊技術研究開発センター、Jeffrey A. Melby博士、そして、ハワイ大学、Peter Nicolson教授の4名の方々をお招きして、報告書の内容を詳細にご紹介いただきながら議論を深めることとした次第でございます。

また、日本側からもハリケーンカトリーナの被災を契機に検討が始められた国土交通省のゼロメートル地帯の高潮対策検討会において、中心的な役割を担われました東京大学大学院の磯部雅彦教授、京都大学防災研究所の高山知司教授のお二人に、我が国における高潮・高波災害の現状や最新の考え方などにつきまして、お話をいただくこととしております。

さて、近い将来カトリーナに匹敵するような大きなハリケーンや台風が発生しないとは限りませんし、一昨年、2004年の我が国では、ご承知のように上陸台風の数が観測史上最高の10個にも及び、沖縄から北海道に至る広範囲の沿岸域において高潮・高波災害が生じるなど、高潮・高波に係る沿岸防災は、今日の我が国において極めて重要な課題となっているわけでございます。

本日は、このような重要なテーマに対応するため、ご講演とその後に予定されておりますパネルディスカッションを通じて、高潮・高波防災に関する知見を深めていただき、研究者、技術者、行政関係者それぞれのお立場で今後の高潮・高波対策に役立てていただきたいと思います。

最後に、本セミナーのためにお越しいただいた講師の方々、パネリストの方々に改めて深甚なる感謝の意を表しますとともに、会場の皆様からの活発なご発言によって今後の高潮・高波防災について実り多い成果が得られますよう、心からご期待を申し上げ、開会の御挨拶と致します。

## (2) Welcome Speech(開会挨拶), Professor Masanori Hamada, President of JSCE(社団法人土木学会会長 濱田政則)

土木学会会長の濱田でございます。本セミナーの主催機関の一つである日本土木学会を代表しまして、御挨拶申し上げたいと思います。

まず初めに、本セミナーに米国より参加していただきました Edge 教授, Dalrymple 教授, Nicolson 教授, 並びに Melby 博士に心より感謝を申し上げたいと思います。また、日本側からのプレゼンターでいらっしゃる高山, 磯部両先生, パネリストの方々には厚く御礼を申し上げたいと思います。

ハリケーンカトリーナによる被害に関しては、日本の土木学会からも調査団を派遣し、被害の状況、被害が拡大した原因等について、調査させていただきました。土木学会から派遣したチームに対しては、今日、米国からお見えの 4 人の方々に大変お世話になりました。改めて厚く御礼を申し上げたいと思います。

最近 20 年間を見ますと、台風、ハリケーン、サイクロンによる災害及び異常降雨による洪水が世界で急増しているという状況でございます。特にアジアにおける風水害の死者は、全世界の死者の 90% を超えております。被害が増加した原因の一つは、地球規模の気候変動に起因しているのではないかと考えられる、集中豪雨や大規模なハリケーンや台風の発生であります。もう一つの原因は、自然災害に対する社会の脆弱さが進んできたということでもあります。無計画な森林の伐採、農地の砂漠化、都市部への過度の人口集中と貧困層の増大、それに加えて社会基盤の未整備が、災害多発の原因となっていると考えることができます。

自然災害に対して脆弱なのは、日本も例外ではありません。東京、大阪など我が国の大都市圏は、河川の下流域の沖積低地の沿岸部に立地しておりまして、常に高潮、高波、洪水、さらには地震災害の脅威にさらされているわけでございます。

このような状況を受けて日本政府は日本学術会議に、気候変動と自然災害の多発の因果関係及び将来起こり得る自然災害に対する社会基盤整備のあり方について諮問いたしました。日本学術会議では、気象学、海洋学などの理学分野及び土木工学、建築学など工学分野の第一線の研究者、実務者にお集まりいただき、検討を始めたところでございます。一年後にこの検討結果が報告される予定でございます。

本セミナーを通じて高潮と高波の災害に関する情報を日米の研究者が共有し、世界の災害軽減に向けて協力する体制を構築することは、誠に意義のあることだと感じております。何とぞ活発なご議論を交わされることを念願しております。

最後になりますが、本日会場にお集まりになりました参加者の皆様に御礼を申し上げまして、開会の挨拶とさせていただきます。どうも有り難うございました。

### (3) Welcome Speech(来賓挨拶), Mr. Narikuni Nakao, Technical Counselor, MLIT(国土交通省大臣官房技術参事官 中尾成邦)

ただ今ご紹介いただきました、国土交通省の中尾でございます。来賓代表ということですが、来賓がネクタイをとって、皆様方は大部分の方々がネクタイをしています。我々行政側は6月からクールビズでネクタイも上着もとっていいことになっているのですが、今日はたまたま上着を着させてもらっております。

さて、このような会議が開催されるということで、国内外から一流の学者の方々、あるいは行政の方々に来ていただいております。大変嬉しく、お喜び申し上げます。ハリケーンカトリーナは昨年8月に米国南部を襲ったわけでございますけれども、早いものでそれから約10カ月が過ぎております。その間に復興も進んできたと聞いておりますが、改めて被害に遭われた方々にお見舞いを申し上げます。

我々日本でも、先ほど小和田理事長からお話があったように、色々な被害が高潮、津波で起きております。一昨年に台風が10個上陸したと言いましたけれども、沖縄を入れますと12個なのです。特に瀬戸内海では大きな高潮の被害が生じました。広島あるいは高松では市街地が水没しましたし、水島地区ではお一人の方が亡くなられました。さらに、外海に面した高知の室戸の近くにある菜生海岸というところでは、護岸が崩壊して3名の方が亡くなりました。異常気象というだけではなくて、我々国土の防災を担当する国土交通省といたしましても、非常に重要な問題だと思っております。

このような時期にこのような会合が行われるということで、港湾空港技術研究所、あるいは沿岸技術研究センター、土木学会に大いに感謝を申し上げる次第でございます。我々国土交通省としても、一番重要な課題は安心・安全ということで、海岸の防災あるいは津波対策、色々なことに対して一番の課題としてやっていきたいと思っております。これからも国土交通行政に是非とも皆様方のご支援をお願いする次第でございます。

最後になりますけれども、本日のセミナーの場が高潮・高波に対する総合的な沿岸防災、減災を目指す契機として役立つことを祈念いたしまして、私のご挨拶とさせていただきます。

#### (4) Closing Address(閉会挨拶), Mr. Susumu Murata, President of CDIT (財団法人沿岸技術研究センター理事長 村田 進)

本日はたくさんの方々に、大変中身が濃く、また恐らくは相当難しい話題について、このように最後まで熱心にお聞きいただきまして、有り難うございました。心からお礼を申し上げます。

主催者としたしましては、この1月にハリケーンカトリーナとインド洋津波についてセミナーを開いたわけですけれども、ハリケーンカトリーナについては6月に入ってアメリカでの調査報告が大体まとまることが分かりました。そこでその時点で改めて色々お話を聞きしたいということで、今回フォローアップ会議を開いたということでございます。その結果、Edge先生、Dalrymple先生、Nicolson先生、そしてMelby博士、この4人の方々、調査の第一線でまとめられた中心的な方々が、わざわざ貴重な時間を割いて下さって、このように本当に丁寧にご説明いただきました。主催者として大変有り難く感謝している次第でございます。心からお礼を申し上げます。

それから、ハリケーンカトリーナを契機にして、日本でも高潮災害に関心が高まってきているわけですが、我が国の高潮災害対策をレビューし、ゼロメートル地帯の高潮対策について新しい方針をまとめられた磯部先生、そして高山先生にも、お話をいただいたわけでございます。本当にどうも有り難うございました。

先ほどコーディネーターの高橋さんと堀川先生のコメントがございましたので、特段私から申し上げることはないわけでありすけれども、これから米国の研究者と日本の研究者との間で、こうした研究交流、とりわけ高潮災害とその対策について研究交流がもっと進んでいくよう、私どもとしては希望しているところでございます。

今日は実はここに、皆さんの中にもお気づきの方々もいらっしゃるかも知れませんが、JICA、の研修コースで Sustainable Port Development というコースがありますけれども、その研修生約20名が聴講しておられました。コースプログラムの一環として皆さんにも参加していただいたものです。開発途上国においても、こういう災害対策の問題は大変重要な問題でありますから、参考になったとすれば幸いです。

最後になりますが、改めまして、皆さんに心からのお礼を申し上げるとともに、会場の狭さから窮屈な思いをなされたのではないかとということでお詫びしたいと思います。また、ハリケーンカトリーナの災害で大変な被害に遭われたニューオーリンズとその周辺の地域の人々が、1日も早くニューオーリンズにお戻りになり、新しいニューオーリンズを造っていただけますよう、また安定した生活を取り戻されますよう、心から祈念いたしまして、主催者としての締めくくりの挨拶とさせていただきます。本日はどうも有り難うございました。





# 6. Abstracts and Presentations (要旨・発表原稿)

## (1) Disasters in Japan Due to Storm surges and Waves

Tomotsuka TAKAYAMA, DPRI, Kyoto University, Kyoto, Japan, takayama@kaigan.dpri.kyoto-u.ac.jp

### 1. INTRODUCTION

Japan has suffered from disasters caused by storm surges and waves because she is surrounded by seas and located on the tracks of typhoons. The characteristics of storm surges in Japan are described in the paper. The past countermeasure projects against the storm surges are reviewed as an example of storm surge projects in Osaka. Future countermeasures are discussed through the recent storm surge disasters.

### 2. Past Storm surge disasters

The past major typhoons which caused big disasters in Japan are listed up on Table 1. The table shows that the big disasters took place in the three major bays of Tokyo, Ise and Osaka, and in the seas of Ariake and Suou. It also shows that the occurrence of these typhoons is divided into two periods before 1961 and after 1999. This concludes that the typhoons in the period between 1961 and 1999 have relatively small magnitude and create calm sea. The most miserable disaster was caused in the coastal area of Ise Bay by Typhoon No.15. The typhoon has been called Ise-Wan Typhoon since the disaster. After the disaster a permanent countermeasure project was established for each major bay. In the project storm surge barriers in each bay were designed under the assumption that a big typhoon with the magnitude same as that of Ise-Wan Typhoon passed through on the track of the typhoon which caused the past highest storm surge in a bay of interest.

Table 1 Past typhoons which much affected Japan

Name of typhoon	Places	Anomaly (cm)	Death	Inundated houses
Taishou 6th (1917)	Tokyo Bay	230	1,127	302,917
Muroto (1934)	Osaka Bay	310	2,703	401,157
Sou-Nada (1942)	Sou-Nada	160	891	132,204
Makurazaki (1945)	Kagoshima Bay	>200	2,076	217,326
Jane (1950)	Osaka Bay	240	398	301,919
Ise-Wan (1959)	Ise Bay	345	4,697	363,611
2nd Muroto (1961)	Osaka Bay	241	194	384,120
Typhoon 10 (1970)	Tosa Bay	235	12	40,293
Typhoon 18 (1999)	Suo-Nada & Yatsushiro Sea	211	30	18,001
Typhoon 16 (2004)	Seto Inland Sea (Uno & Takamatsu)	160	16	44,935
Typhoon 18 (2004)	Seto Inland Sea (Hiroshima)	180	22	—

### 3. History of Countermeasure Projects for Mitigation of Storm Surge Disasters in Osaka

The coastal area of Osaka bay was much damaged in 1934 by the attack of the storm surge and waves generated by Muroto Typhoon. Though a project for countermeasure was started after the disaster, the project was not executed smoothly because of the plunge of Japan into the world war and the ground subsidence due to pumping-up of underground water. In the waste state by the war Jane typhoon attacked Osaka and generated a large storm surge though the storm surge was smaller than that by Muroto Typhoon. Figure 1 shows the inundation area which reached to 30% of Osaka. A recovery project from the damage was established and seawalls were constructed along the sea front. However, the crowns of the seawalls went down

by 0.4 to 0.8m from their original levels because of the ground subsidence. The reduced potential of the seawall protection enlarged the inundation damage in the following storm surge induced by Second Muroto Typhoon in 1961. However, fortunately the loss of human lives could be avoided because the fear of storm surge forced people in Osaka to refuge to safety places. Information of the storm surge reminded the people of the miserable storm surge disaster in Nagoya by Ise-Wan Typhoon of just two years before.



Fig.1 Inundation area due to Jane Typhoon in 1950

After the second Muroto Typhoon, more compulsory enforcement of the law which prohibited pumping-up of the underground water could stop the subsidence of the ground. The permanent countermeasure project against storm surge for Osaka was established in 1967, and has almost been completed. However, it is disclosed that the barriers constructed in early stage of the project have become old for work and have not been designed with sufficient quake-resistance.

### 4. Future Measure against Storm Surges

Storm surge disasters were much reduced in the three major bays by the execution of the permanent countermeasure project. However, storm surge disasters have recently occurred in different bays from them. Though these bays also have some storm surge barriers, the disasters were caused by the collapsing of the barriers. If the barriers had stood with the storm surge, the disaster would have been reduced. The water overflow rate is more than ten times increased by collapse of the barriers. Therefore storm surge barriers should not be easily broken even in the condition over the design.

### 5. Concluding Remarks

The permanent countermeasure project against storm surge was executed for three major bays. Consequently storm surge disasters were much reduced in the bays, but the storm surge barriers in the bays have become old for work. Furthermore, recent storm surge disasters have occurred in different bays from the major ones and have been enlarged due to the destruction of the barriers.

# 日本の高潮・高波災害

京都大学防災研究所教授 高山知司

## 1. はじめに

日本は海に囲まれ、台風の経路上に位置するため、高潮・高波災害に苦しめられてきた。本論文では日本の高潮の特性について述べるとともに、これまでの高潮対策事業について大阪湾における取り組みを例に紹介したい。また、最近の高潮災害を踏まえつつ、将来の高潮対策についても議論したい。

## 2. 過去の高潮災害

日本に大災害をもたらした主要な台風を表-1に示す。この表によると、大災害は三大湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾）の他、有明海や周防灘にも起きている。また、これらの台風の発生時期は1961年以前と1999年以降の2つの期間に分かれている。すなわち、1961年から1999年の間は、台風が比較的弱く、海も静穏であったと言える。最も悲惨な高潮災害は、台風15号によって伊勢湾沿岸にもたらされたものである。この災害によって、この台風は伊勢湾台風と呼ばれるようになった。また、この災害を契機に、三大湾ではそれぞれ恒久的な高潮対策事業が開始された。その事業では、それぞれの湾において、伊勢湾台風と同じ勢力の台風が、過去に来襲した台風の中でその湾に最大の高潮を発生させたものと同じコースをとった場合を仮定して、高潮対策施設が設計された。

## 3. 大阪における高潮対策事業の歴史

大阪湾の沿岸では1934年の室戸台風による高潮・高波で多大な被害が生じた。この災害後から高潮対策事業が開始されたが、日本が世界大戦に突入し、地下水のくみ上げで地盤沈下が生じたため、あまり進捗しなかった。

戦争で荒廃した状態から抜け出す前に、ジェーン台風が大阪湾に大規模な高潮を発生させた。ただし、その高潮偏差は室戸台風のとく比べれば小さかった。図-1はそのときの浸水域を示しており、その浸水域は大阪市の30%に達した。この被

害から復興する事業が行われ、海岸には護岸が築造された。しかし、地盤沈下で護岸の天端が元の高さから0.4~0.8m沈下した。このような護岸の防護性能の低下は、1961年の第二室戸台風の高潮による浸水被害を拡大させた。しかしながら、大阪の人々には高潮に対する警戒心があったため、安全なところへ避難することで、幸いなことにも死者は免れた。高潮の情報は、人々にちょうど2年前の伊勢湾台風による名古屋の悲惨な高潮災害を思い起こさせた。

第二室戸台風の後、地下水の汲み上げを禁止する法律の施行が強化され、地盤沈下の進行は止まった。大阪湾の恒久的な高潮対策事業は1967年に開始され、今ではほとんど完成している。しかしながら、そこで築造された防潮堤はこの事業の初期の段階で築造されたものであるために老朽化しており、また、十分な地震耐力を持つ設計になっていない。

## 4. 将来の高潮対策

三大湾では恒久的な高潮対策事業の実施によって高潮災害がかなり低減された。しかしながら、最近では三大湾とは別の湾で高潮災害が発生している。これらの湾にも高潮対策施設はあるが、それが破壊されることで災害が発生した。もし高潮対策施設が高潮で破壊を免れれば、もっと小さな災害ですんだであろう。高潮対策施設が破壊すると越流量は10倍以上に増える。したがって、高潮対策施設は、超過外力が作用した場合であっても簡単には破壊しないようにすべきである。

## 5. まとめ

三大湾では恒久的な高潮対策事業が実行されたその結果、高潮災害はかなり低減されたが、高潮対策施設は老朽化している。さらに、最近では三大湾以外の湾で高潮災害が発生しており、高潮対策施設の破壊が災害を拡大している。

## Coastal Disasters in Japan Due to Storm Surges and Waves

Tomotsuka TAKAYAMA  
Disaster Prevention Research Institute  
Kyoto University

ただ今、ご紹介にあずかりました高山でございます。日本の高潮・高波災害について話して欲しいということで、限られた時間の中でどこまでお話しできるかわかりませんが、日本の高潮・高波災害にこのようなものがあるということをお話ししていきたいと思います。

### Past Typhoons which much affected Japan

Name of typhoon	Places	Anomaly (cm)	Death	Inundated houses
Taihou 6th (1917)	Tokyo Bay	230	1,127	302,917
Muroto (1934)	Osaka Bay	310	2,703	401,157
Sou-Nada (1942)	Sou-Nada	180	891	132,204
Makurazaki (1945)	Kagoshima Bay	>200	2,076	217,326
Jane (1950)	Osaka Bay	240	398	301,919
Ise-Wan (1959)	Ise Bay	345	4,697	363,611
2nd Muroto (1961)	Osaka Bay	241	194	384,120
Typhoon 10 (1970)	Toza Bay	235	12	40,293
Typhoon 18 (1999)	Suo-Nada & Yatsushiro Sea	211	30	18,001
Typhoon 16 (2004)	Seto Inland Sea (Uno & Takamatsu)	180	16	44,935
Typhoon 18 (2004)	Seto Inland Sea (Hiroshima)	180	22	—

この表は日本で起きた大きな高潮による災害を示しており、1917年から1961年までに大きな高潮が起きております。1960年以降は1990年ぐらいまであまり大きな高潮は起きておらず、台風としても大きなものが起きていない時期となっております。この表でお分かりのように、日本では高潮が東京湾、大阪湾、周防灘、伊勢湾といった閉鎖的な海岸で起きています。アメリカのように、メキシコ湾に面した海岸に大きな高潮が来襲するというようなことはありません。これは、日本

の海岸が比較的急勾配なので大きな高潮が起きにくい、ということだと思います。

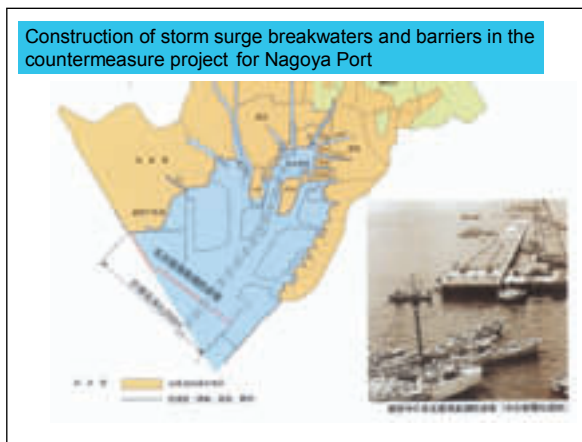
### Inundation area along Ise Bay



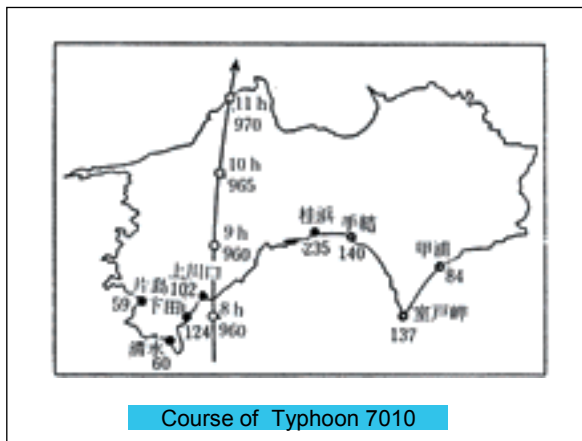
我が国で一番大きな高潮災害は、1959年に起きた伊勢湾台風による高潮災害です。この赤い矢印のところが台風が通って行きました。黄色い部分は浸水域を示しております。名古屋では海岸線から30 km位まで浸水しました。



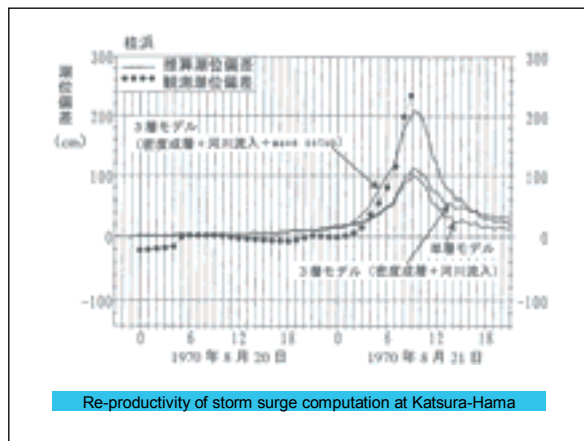
この災害では、名古屋港に積んであったラワン材が流れ出し、多くの民家を壊したことが、一番大きな問題になりました。



この対策として、名古屋港の港口部に高潮防波堤を造る計画が立てられ、この防波堤は今でも使われています。右下の写真は建設している時の状況を示した写真です。当時は、左上の図の黄色い部分だけが陸地だったのですが、現在では黒い点線で囲まれた部分が埋め立てられて、港域が非常に狭くなっています。



もう一つご紹介します。高知の海岸では 1970 年の 10 号台風で大きな高潮が起きました。色々な研究者がこの高潮を計算しましたが、どうしてもこのような大きな高潮は再現できませんでした。



そこで、波によるセットアップを考慮すると、推算値が観測値とほぼ一致しました。つまり、高知における 1970 年の 10 号台風による高潮のかなりの部分はセットアップによるものであり、これと通常の高潮とが重なって起きたものであると考えられます。先ほども示したように、台風が四国を横断して行くコースになっていますので、高知の海岸には非常に大きな波が作用し、それによるセットアップで大きな水位上昇が起きたということです。

### Countermeasure Projects in Osaka

**Past disasters due to three biggest storm surges**

1. Highest storm surge generated by Muroto Typhoon in 1934  
Anomaly : 310cm Highest sea level : T.P. +3.2m
2. Storm surge by Jane Typhoon in 1950  
Anomaly : 240cm Highest sea level : T.P. +2.6m
3. Storm surge by 2<sup>nd</sup> Muroto Typhoon in 1961  
Anomaly : 241cm Highest sea level : T.P. +2.8m

さて、今回は日本の高潮対策についてお話しすることになっております。特に大阪湾では昔から高潮で非常に苦労して対策を講じて来ていますので、ここでは大阪湾を例にお話をしたいと思います。

大阪湾に來襲した三大台風、三大高潮にはまず、1934 年に來襲した室戸台風による高潮があります。その時には 3.1 m という高潮偏差が起き、最大水位は T.P.上 3.2 m に達しました。

この台風の後には、1950 年に、これは第二次世界大戦の後になるのですが、疲弊した日本の国土にジェーン台風が來襲し、高潮偏差は 2.4 m、最大水位は 2.6m に達しました。この高潮は前の室戸台風に比べて小さかったのですが、国土が疲弊していたために、非常に大きな災害になりました。

3 番目が 1961 年の第二室戸台風による高潮災害です。

Tracks of three biggest typhoons



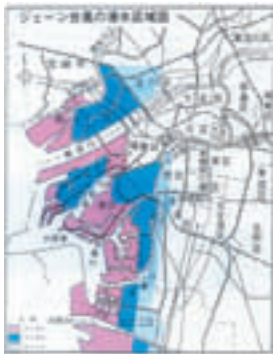
この図は大阪湾を示したのですが、3つとも大阪湾の西を通って行った台風で、このように大阪湾の西を通ると非常に大きな高潮を大阪湾にもたらすことが分かります。

Damages of vessels in Muroto Typhoon



この写真は室戸台風によって高潮が起きた時に、船が陸に打ち上げられた災害の様子を示したものです。

Inundation area due to storm surge caused by Jane Typhoon in 1950



室戸台風の後に対策は始められたのですが、第二次世界大戦に突入したこともあって、ほとんど対策が進まないうちに戦後を迎え、1950年にジェーン台風という台風が来ました。この頃はまだ米国が日本を統治していたので、アメリカにならって台風の名前が付けられました。この台風では、高潮そのものはそれほど大きくなかったのですが、大阪市の30%が浸水するという、非常に大きな災害になりました。この図に示す部分が全部浸水しました。

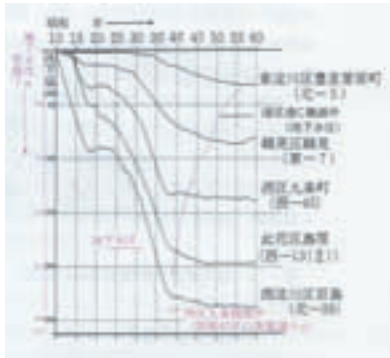
**"Integrated Countermeasure Project against Storm Surge in West Osaka" was established in 1950**

1. Standard crown height of the storm surge barriers: T.P. +3.7m
2. Heap-up of levees
3. Regulation of pumping-up of underground water to reduce ground subsidence

The crown heights of storm surge barriers were lower than those of original plan by 0.4m to 0.8m.  
The effect of the project on protection from storm surge was diminished.

この台風による災害を契機として、総合高潮対策というものが立てられております。その対策では、防潮堤の天端高を T.P.上 3.7 m にし、堤防の嵩上げを行い、それから、大きな問題になっていた地下水の汲み上げを規制する、という 3 つの方針がとられました。しかし、地下水のくみ上げ規制は上手くいかず、防潮堤がほぼ完成したときには天端が当初の計画より 0.4~0.8 m も低くなり、高潮を防御する効果が非常に小さくなってしまっていました。

**Time history of ground subsidence in Osaka**



では、地下水の汲み上げによる地盤沈下がどの程度進んでいたのかというと、この図は少し見にくいですが、赤い線が地下水位を示しています。戦争中は水の汲み上げが無かったこともあって、地下水位が元に戻ったのですが、戦後になって工業用水を非常にたくさん汲み上げたために、地下水位はぐっと下がり、地盤の沈下がこのように続いたのです。

それで、先ほども言ったように、ジェーン台風の後に対策を講じたのに地面が沈下して効果が

小さくなってしまったのです。

**Inundation area due to the storm surge by 2<sup>nd</sup> Muroto Typhoon in 1961**



その後、1961 年に第二室戸台風が来襲しました。室戸台風は先ほどお話した伊勢湾台風の 2 年後で、このような浸水が起きたにもかかわらず、高潮を直接の原因とする死者が出ることはなかったのです。

この写真が台風の来襲時の状況です。

#### Storm waves and wind in Osaka Port in 1961



#### Lessons from the storm surge generated by 2<sup>nd</sup> Muroto Typhoon

1. No loss of human lives by direct affection of storm surge because people took refuge sufficiently before the storm surge
2. Ground subsidence reduces the effect of storm surge barriers. Therefore, it was inevitable to prohibit pumping-up of underground water by a law.
3. The crown heights should be increased up to T.P. +4.9m

これは第二室戸台風の教訓なのですが、2年前に伊勢湾台風によって大きな災害があったことを人々が覚えていて、みんな避難できたおかげで、高潮を直接の原因とする死者が一人も出なかったのです。地盤沈下は高潮に対する安全性に非常に大きな影響を与えるため、地下水のくみ上げを完全に禁止する方針になっていました。防潮堤の天端高も前回のジェーン台風のものより少し高くする計画が立てられております。

#### Permanent measure project after 2<sup>nd</sup> Muroto typhoon

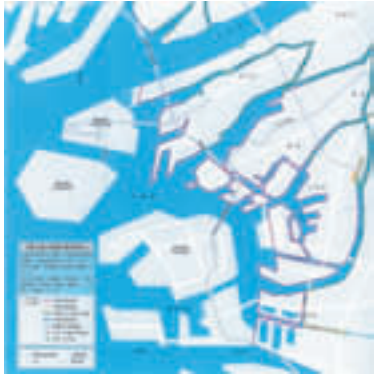
1. Ise-Wan Typhoon, which was assumed to pass on the track of Muroto Typhoon, was employed for the design of storm surge barriers and water gates in Osaka.
2. The crown height of storm surge barrier  $H_c$  was estimated by the following formula :  $H_c = (O.P. + A) + B + C$   
where O.P.: Osaka pale, A: Mean high tide in a typhoon season,  
B: Anomaly of storm surge(3.0m), C: wave height or rise of water level due to water gate
3. Seismic intensity: 0.2
4. Countermeasures against tsunami  
Sea level at tsunami = O.P. + Mean high tide + Chilean tsunami + ground subsidence  
= O.P. + 2.1m + about 0.7m + about 0.7m  
= O.P. + 3.5m

そして、昭和42年、1967年には恒久的な対策が立てられております。伊勢湾台風を室戸台風のコースに走らせることで、防潮堤等の設計条件を決めました。防潮堤の天端高は、大阪湾の基準潮位に台風期の朔望満潮位の平均を加え、さらに高潮偏差、波の影響を加えるという方法がとられています。それから、構造物の設計震度には0.2を用いております。大阪はチリ津波でも被災しているため、津波に対してもこのような方法で天端が決められ、対策が立てられてお

ります。



Protection line from storm surges in Osaka



この図は大阪港の防護ラインを示したものです。この図の赤と黄色の線が大阪市、緑と青が大阪府の担当しているところです。このように防潮堤が造られております。

A sliding gate at Tenpo-Zan



この写真はゲートを示したものです。高潮が来そうな時には、このようなゲートを閉めることになります。

Sluice gate at Sanjikken Horikawa



この写真のような水門も造られており、高潮時には水門が下りるしくみになっております。

Arch type water gate at Aji River



それから、この写真は特殊なものです。このようなアーチ型の水門もあって、このアーチの部分がこちら側に倒れることで、高潮を防ぎます。

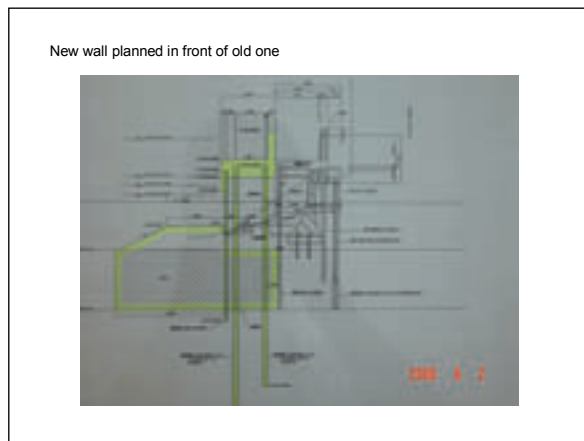


このような看板が事務所の前に貼ってあったので、写真を撮ってきました。

Old sea wall as storm surge barrier



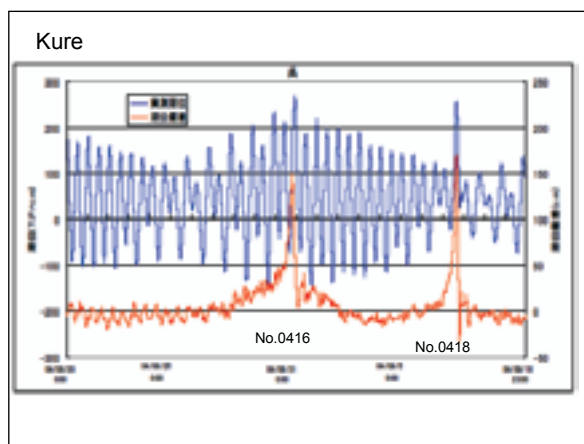
このような堤防で高潮あるいは津波を防いでいます。



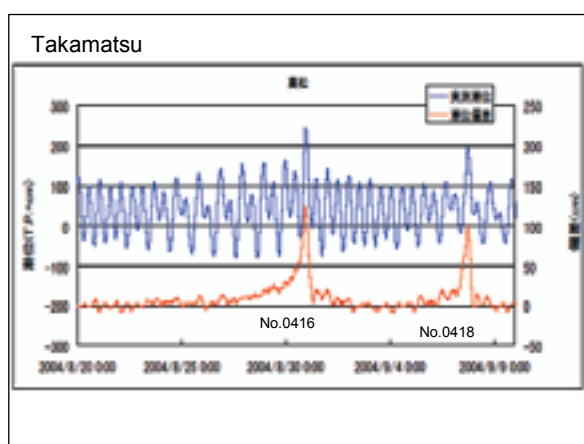
造り直そうとしているもので、震度 0.25 に対応するものを現在あるものの前面に造る計画です。

現在はこのような恒久的な対策がとられているのですが、第二室戸台風後に造られた古い護岸は設計震度が 0.2 であり、現在では 0.25 になっています。この古い護岸をどうするか、ということが大きな問題になっています。

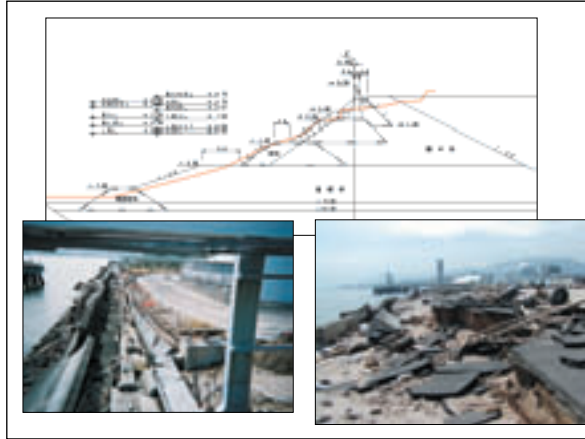
この図はジェーン台風の時に造られた護岸を示したもので、地盤沈下によりこれだけ低くなり、その上に新しい護岸を造りました。つまり、これが第二室戸台風以後に造った護岸です。さらに黄色で塗りつぶしたものは、さらに新しく



ところで、先ほど参事官の話にもあったように、最近もかなり台風が来て、大きな高潮や高波を発生させています。この図の赤い線が 2004 年の台風 16 号と 18 号による高潮偏差で、青い線が天文潮も加えた水位を示しております。呉の場合ですと、18 号台風で非常に大きな高潮偏差が起きております。ただし、この時は天文潮が小潮だったので、水位はそれほど高くならなかった。これがもし大潮と重なっていたら、非常に大きな災害を起こした可能性があります。



それから、これは高松について示したもので、高松では 16 号台風のときに、大潮と高潮偏差のピークが重なって、非常に大きな水位上昇を起こし、浸水するという騒ぎがありました。18 号では小潮だったため、それほど水位上昇は大きくななかったということです。



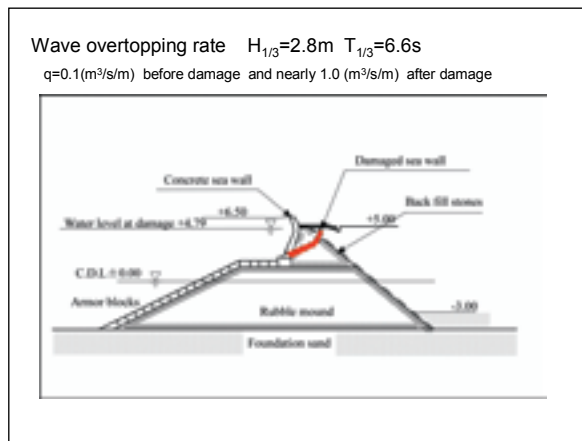
これらの台風によって非常に大きな災害が広島で生じております。この図の黒い線が元の防潮堤、護岸の断面ですが、高潮と波浪によって赤い線で示すように壊されてしまいました。



この写真に示すように、ここでも護岸の背後に普通の人家があったわけですが、護岸が壊され、人家の下の地面が洗掘されるという災害が起きております。



これは、広島港の観音マリーナで護岸の一部が壊されたところです。



そこで、この護岸について検討してみます。例えば、護岸がそのまま残っていたら、どれぐらいの越波量になっていたかと言いますと、高潮によって水位がこの図のここまで、4.79 m まで上昇しており、背後の陸地と同じぐらいの高さになっていました。越波量を算定すると、 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  ぐらいの量が得られます。しかし、この護岸が倒れることによってこの越波量がどうなるかと言いますと、10 倍に増えます。  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  ぐらいになってきます。つまり、このような構

造物が壊れてしまうと、背後にものすごい大きな水が流れ込み、非常に大きな災害を招くということになるわけです。

### Concluding remarks

1. Disasters caused by storm surges have occurred in semi-closed bays in Japan.
2. Big storm surges did not take place between 1960 to 1990. This period was relatively calm. However recently big typhoons have attacked and generated storm surge disasters.
3. The disasters have been occurred in the bays or seas different from major three bays of Tokyo, Ise and Osaka.
4. Big damages are caused by the destruction of the barriers which have the function of protection from the storm surges.
5. Evaluation technology should be developed soon to know the performance of old existing barriers.
6. It may be possible to design the storm surge barriers under different conditions between their crown height and resistant strength in order to construct the barriers which are hard to be yield.

ですから、結論になるのですが、日本では大體半閉鎖的な海岸に高潮が発生していて、1960 年から 1990 年ぐらいまでは穏やかな時期だったわけですが、最近になってまた非常に大きな台風が来襲するようになってきました。

東京湾、大阪湾、伊勢湾では伊勢湾台風をもとに対策が立てられているので、現在ではあまり高潮災害が起きていないわけですが、それ以外の地域では大きな災害が起きています。

大きな災害を起こす原因は、高潮で水位が上がり、大きな波が作用して護岸が被災する。護岸が被災することで、物凄い量の水塊が陸地に入行って、大きな災害を起こす、ということです。

したがって、どこまで護岸がもつのか、ということをしちんと調べる技術が今後必要なのではないかと思ひます。つまり、護岸が既にあるわけですが、古くなった護岸がどこまでもつのかということをしちんと評価する技術がまだないので、今後はそれをしちんと開発していく必要があるだろうと考えています。

もう一つは、護岸の天端高と護岸の強度は、違ふ条件で設計してもいいのではないか。つまり、護岸が壊れると物凄い越波量や越流量となって大きな災害を引き起こすので、天端の高さと護岸の強さの設計外力は変えてもいいのではないかと思ひておひます。



最後に、これは広島で撮られたビデオで、護岸に波が来襲しているときの状況です。前面の護岸がほとんど壊されている状態です。そして、背後では、越波した水が川のように流れている状況です。

このように一旦護岸が壊されてしまうと、物凄く越波量が大きくなって、大きな災害をもたらします。ですから今後は、このような護岸がどういう条件で、どのような壊れ方をするのかということ予測する技術をきちんと開発して

いくことが大事ではないかと思っております。

これで私の講演を終わりたいと思います。どうも有り難うございました。

#### 【質疑応答】

特になし。

## (2) Future Storm Surge Control Measures in Areas below Sea Level

Masahiko Isobe

Department of Socio-Cultural Environmental Studies

University of Tokyo ([isobe@k.u-tokyo.ac.jp](mailto:isobe@k.u-tokyo.ac.jp))

Panel on Storm Surge Control Measures was organized by the Japanese Ministry of Land, Infrastructure and Transport after the attack of Hurricane Katrina. The panel issued a recommendation in January, 2006. In the presentation, it is introduced as shown in the contents below. This indicates the lessons learned from the Katrina disaster and future direction of storm surge mitigation systems in Japan.

### Introduction

#### I. Basic aspects of storm surge control measures in areas below sea level

##### 1. Need of damage minimization against

large-scale inundation

#### 2. Future storm surge control measures in areas below sea level

### II. Specific measures to be taken

#### 1. Measures to fully prevent inundation

through the existing storm surge defense plans

#### 2. Damage minimization measures against large-scale inundation

#### 3. Accumulation and dissemination of storm surge defense knowledge

#### 4. Additional challenge to be undertaken to ensure the security against storm surge disasters

### Closing remark

# ゼロメートル地帯の今後の高潮対策のあり方について

東京大学大学院新領域創成科学研究科長・教授 磯部雅彦

ハリケーンカトリーナの災害の後、国土交通省では「ゼロメートル地帯の高潮対策検討会」を設置した。この検討会は2006年1月に提言を出しており、今回の講演では以下の項目について紹介する。その中には、カトリーナによる災害から学んだ教訓や将来の日本における高潮防災の方向性も含まれている。

はじめに

## I ゼロメートル地帯の今後の高潮対策の基本的方向

1. 大規模浸水を想定した被害最小化対策の必

要性

2. ゼロメートル地帯の今後の高潮対策の進め方

## II 推進すべき具体的施策

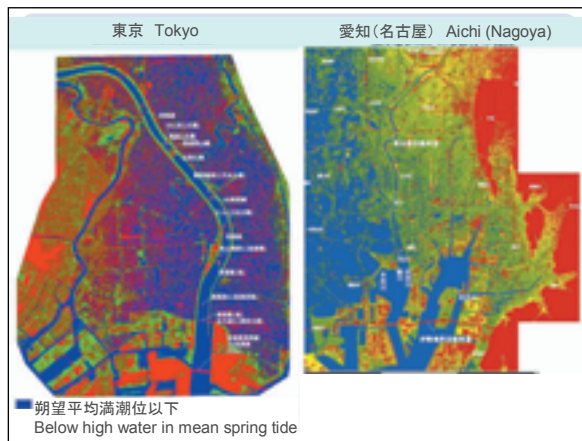
1. これまでの高潮計画に沿って浸水を防止するための万全の対策
2. 大規模浸水を想定した被害最小化対策
3. 高潮防災知識の蓄積・普及
4. 高潮防災に関する更なる安全に向けての検討課題

おわりに





ということがありまして、その直後に国土交通省では日本のゼロメートル地帯の高潮防災をどうすべきかという検討会が持たれました。その報告書がこの1月にまとめられ、国土交通大臣に手交しましたので、その内容の概要についてご紹介をさせていただきます。



地盤高としては朔望平均満潮位以下になりますから、もし高潮防潮堤がなければ満潮時には海水が入ってきて浸水するという所もあるということになります。従って、こういった所で高潮の防災体制が築かれなれば、非常に大きな災害がもたらされることは明らかであり、ハリケーンカトリナに学んで、どこかが破堤する可能性も含めて考えた場合に、どのように日本の高潮防災を考えていかなければいけないのか、という議論をいたしました。

ご紹介いただきました磯部でございます。今日は「ゼロメートル地帯の高潮防災」というタイトルですが、高山先生からの日本のこれまでの高潮災害のご紹介に続いて、今後日本でどのような高潮防災を考えて行かなくてはいけないのか、ということについてお話をさせていただきます。

ご承知のように、今日のメインテーマであるハリケーンカトリナがアメリカに上陸し、ニューオーリンズ等に非常に甚大な災害をもたらすと

### ゼロメートル地帯の今後の高潮対策のあり方について Future Storm Surge Control Measures in Areas below Sea Level

#### はじめに

#### I. ゼロメートル地帯の今後の高潮対策の基本的方向

1. 大規模浸水を想定した被害最小化対策の必要性
2. ゼロメートル地帯の今後の高潮対策の進め方

#### II. 推進すべき具体的施策

1. これまでの高潮計画に沿って浸水を防止するための万全の対策
2. 大規模浸水を想定した被害最小化対策
3. 高潮防災知識の蓄積・普及
4. 高潮防災に関する更なる安全に向けての検討課題

#### おわりに

#### Introduction

#### I. Basic aspects of storm surge control measures in areas below sea level

1. Need of damage minimization against large-scale inundation
2. Future storm surge control measures in areas below sea level

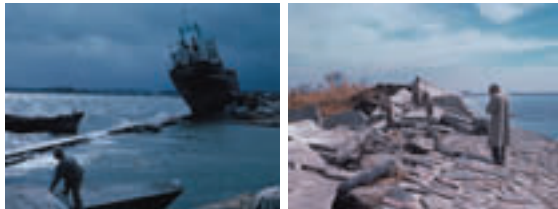
#### II. Specific measures to be taken

1. Measures to fully prevent inundation through the existing storm surge defense plans
2. Damage minimization measures against large-scale inundation
3. Accumulation and dissemination of storm surge defense knowledge
4. Additional challenge to be undertaken to ensure the security against storm surge disasters

#### Closing remark

これは 1 月に出したレポートのタイトルと目次を表しています。大きく分けると、基本的な方向性としてどういうことをするのか、そして、具体的にどんなことをしたら良いのか、という 2 つのことについてまとめています。

### 伊勢湾台風(1959) Typhoon Ise-bay (1959)



岩垣謙一博士の撮影  
Photos taken by Dr. Yuichi Iwagaki

最初にこれまでの高潮の防災体制を簡単にレビューしてみたいと思いますが、高山先生からご紹介がありましたように、日本では室戸台風、ジェーン台風、伊勢湾台風、第二室戸台風のような台風に襲われて被災し、その度に設計外力のレベルを上げる対応をして来ました。特に 1959 年の伊勢湾台風が、それまでの高潮偏差で最大値を記録し、それを機に日本の三大湾（東京湾、大阪湾、伊勢湾）では伊勢湾台風級の台風が来て高潮が起こったとしても、高潮が陸上に

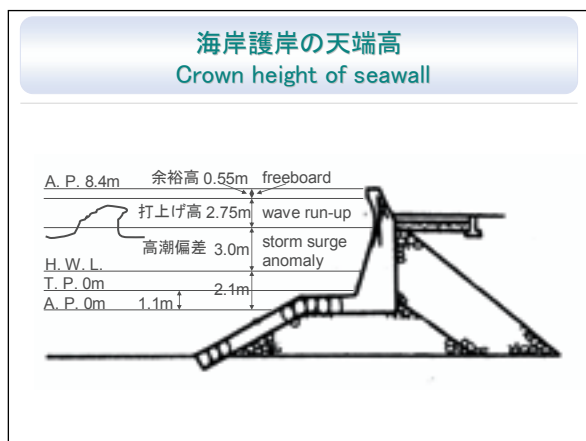
に氾濫することがないように、防災体制を整え、海岸の施設を造ってきました。

### 東京湾における高潮偏差の計算値 Calculated storm surge anomaly in Tokyo Bay



Course	Maximum anomaly (cm)		
	Chiba	Tsukiji (Tokyo)	Yokohama
A	267	178	86
B	244	131	78
C	179	89	62
D	99	59	48
E	199	208	109
F	217	166	111
G	197	131	92
H	146	88	61
I	247	161	72
J	179	147	83
K	82	125	78

例えば東京湾では、実際には伊勢湾台風は来ていないのですが、伊勢湾台風級の台風が東京湾の周辺に来たとして最悪のコースを想定し、高潮偏差を予測しました。例えば、この表で言いますと、千葉であれば 267 cm という高潮が予測されました。これはちょっと古いデータではありますが、こういった値から最大として 3 m ぐらいの高潮が来る可能性があるかと判断しまして、海岸堤防などが築かれたのです。



東京湾では、まず平均海面から大潮の満潮位、ここにはH.W.L.と書いてありますが、そのH.W.L.に高潮偏差の3 mをのせて、さらに波による打上高として2.75 m、さらに余裕高を少しとったところを高潮防潮堤の高さに決める、という基本的な考え方に基づいて、防災体制をとってきたわけであります。



このように伊勢湾台風級の台風による高潮を防げるようにハード整備を行ってきましたが、ハリケーンカトリーナの経験を鑑みますと、この伊勢湾台風級でいいのかという問題があります。当然、アメリカと日本とは地理的な条件が違いますので、同じものが来るとは限りませんが、カトリーナに比べると伊勢湾台風は少し小さめ、逆に伊勢湾台風よりハリケーンカトリーナの方が少し大きめということになるので、既往最大である伊勢湾台風で完全に高潮防災が

できるのかという問題があるのです。特に、将来の地球温暖化による海面上昇、台風の巨大化、あるいは地震の問題などを考えますと、これだけで完全に防災ができるとは限らないわけです。

そこで、今後のあり方としては大きく分けて二つに分けられるだろう、と思います。それは、先ほど高山先生からお話がありましたように、今までは伊勢湾台風級のハード整備を行うことによって大きな被害はなかった。それは、日本の高潮防災として大成功であった、という評価になるだろうかと思います。この大成功してきた防護施設の整備を着実に完成させていこう、ということが第一点であります。三大湾で考えますと、90%以上は伊勢湾台風級の高潮に対する整備が終わっているわけですが、まだ残っているところもありますので、それはきちんとやっていかなければならないということが一点であります。

しかし、それをやったとしても、さらにそれを超えるような、あるいは予期せぬ大規模浸水の起こる可能性が否定できないということです。高潮が氾濫することを前提に被害を最小化することをやっていかななくてはならない、ということが第二点であります。

**防護施設の整備**  
Construction of storm surge defense facilities

- 堤防、護岸、水門、陸こう等の海岸保全施設及び河川管理施設
  - 老朽化した施設や耐震性が十分でない施設を優先
  - 高規格堤防(スーパー堤防)整備
- 防護施設の確実な再点検
  - 施設の高さ、耐震性・老朽化の度合い、水門・陸こう等の開口部の開閉機能等について確実に再点検する
- Levees, revetments, floodgates and locks
  - Priority: deteriorated facilities and seismic resistance
  - High standard levees (super levees)
- Inspection of storm surge defense facilities
  - Inspection of height, seismic resistance and deterioration of facilities and the operability of floodgates and locks

ないだろう、ということでもあります。

そのためには、既に整備したものについてもこれで大丈夫であるかを再点検しながら、必要な補強を行っていくことが肝心だと思います。

**平時の管理体制の強化**  
Enhancing management system in normal days

- 施設点検の強化・データベース化
- 潮位・水位等の情報収集・伝達
- 高潮時の円滑な水防活動(水門・陸こうの操作等)
  - 水防警報海岸の指定
- Inspection and compilation of inspection databases
- Collection and dissemination of data on tide levels
- Smooth flood fighting actions in storm surges (operation of floodgates and locks)
  - Designation of potential storm surge areas by Flood Fight Law

まず一点目の防護施設の整備を完成させるといふ点については、防護施設と一言で言っても堤防、護岸、水門、陸閘などの施設がありますが、これらを築いていないところについてはそれを完成させる必要があります。それと同時に、かなりの年数を経過した海岸保全施設もあり、老朽化したものや従前の耐震設計によるもので耐震性が十分ではないものについては、既に伊勢湾台風級の高潮あるいは地震に対して十分ではありませんので、補修していかなくてはなら

これが今までの考え方の延長上にある海岸保全であります。それに加えてハリケーンカトリナの災害を念頭におきますと、想定を超える大規模な台風がやって来て、被害が生じることもあるわけですから、その被害を最小化することも今後考えていかなくてはならないということでもあります。

## 大規模浸水を想定した被害最小化対策(1) Damage minimization against large-scale inundation (1)

- 浸水区域の最小化
  - 二線堤の整備及び道路・鉄道の盛土部分、河川堤防、連続した建物等の活用
  - 地下空間への浸入水防対策
- 速やかな排水
  - 排水機場の耐水化、自家発電設備
  - 最適な排水計画
- 高潮防護施設の迅速な復旧
  - 復旧用資機材の輸送ルート: 堤防の天端幅及び連続性の確保、高架道路及び港湾等への緊急時のアクセス
- Minimizing inundated areas
  - Constructing secondary levees and utilizing highway and railway embankments, river levees and series of buildings
  - Preventing floodwaters from entering underground space
- Quick removal of floodwaters
  - Water-proofed pumping stations and in-house power generators
  - Optimal drainage plans
- Quick restoration of storm surge defense facilities
  - Route for transporting materials: wide and continuous levees, and access to highways and ports

されるようなシステムにしていく必要があります。

その場合に、一番目と二番目の堤防の間には浸水が起きることになりますが、早く排水して浸水状態から抜け出せる準備をしておく必要があります。そのためには排水機場が十分に機能するように耐水化をしなければなりません。通常排水機場は、そこが浸水することを想定していません。一度浸水してしまうと機能を失うこともあり得ますので、耐水化を行って機能を失わないようにすることが重要です。また、この排水機場は通常は内水を排除する、降った雨水を海側に排除するという設計がなされていますので、高潮が大量の水塊を運んでくる、その大量の水塊を海に排水する、という設計はなされていないわけですから、改めてどのように使ったら最も速やかに排水ができるかという計画もしていく必要があるだろうと思います。

その上でさらに浸水したところを迅速に復旧させることが必要であり、そのためには資材の運搬の確保が非常に重要になります。例えば、堤防の天端を利用して資材を運んで行き、そこから高架道路あるいは港湾にアクセスができるようにすれば、復旧を迅速に行うことができるわけがあります。

## 大規模浸水を想定した被害最小化対策(2) Damage minimization against large-scale inundation (2)

- 浸水被害に遭いにくい住まい方
  - 高潮ハザードマップ作成
  - 市街地内で水位情報(地点の標高、過去の高潮災害における浸水深、電光板等での現況潮位)等を表示
  - 建築のピロティー化、止水壁の設置等
  - 都市計画、災害危険区域の指定、土地利用規制
- Inundation-resistant way of living
  - Hazard maps
  - Message board (elevation of a given point, past floodwater depths) and electric message boards (present tide level)
  - Inundation-resistant buildings (pilotis, water-cutoff walls)
  - City planning, designation of potential hazard areas, and land use regulation

いかと思います。

さらには、建築物をピロティー化するとか、止水壁を造っておくということもあり、最終的には土地利用をよく考えることによって、浸水被害に遭いにくい街づくりをしていかななくてはなりません。

その第一の対策としてはまず、高潮によって浸水するかも知れないけれど、その浸水区域を最小化することが重要であります。我が国、特に三大湾の周辺には道路や鉄道で盛土をしたところも河川堤防もあります。また、建物が連続しているところもありますので、こういったところを上手く活用しながら、内陸側に二番目の堤防を造り、それによって海岸線で越流が起こっても、途中のところで浸水が止まり、それにより内陸部は防護

これらのことが施設面から見た被害最小化対策になるかと思いますが、その上で人の命を守っていくという意味で被害を最小化していくことも大事なことです。ハザードマップを作り、できれば電光掲示板などによって外側の水位をリアルタイムで市民、住民に知らせることができるようになる必要があると思います。ハザードマップを予め知り、現状の潮位を知り、危険が迫ってくることを市民が理解して、避難行動につなげていくことが非常に大事なことでない

### 大規模浸水を想定した被害最小化対策(3) Damage minimization against large-scale inundation (3)

- 迅速かつ確実な避難・救援
  - 避難場所、高い道路、ビル
  - 避難路、ペDESTリアンデッキ、舟艇
  - 情報提供(高潮予警報、ハザードマップ)  
テレビ、ラジオ、インターネット、携帯電話、VICS
  - 地方自治体職員のスキルアップ
  - 危機管理行動計画、防災訓練
- Quick and safe evacuation and relief
  - Shelters, elevated sections of highways and buildings
  - Evacuation routes, pedestrian decks and boats
  - Information (storm surge warning, hazard maps)  
television, radio, the Internet, cellular phones, and Vehicle Information and Communication System (VICS)
  - Improving skills of the staff of local governments
  - Risk management action plans and disaster drills

住民がいざ避難することになった時に、あらかじめ確保しておくべきものとして、避難場所あるいは避難路があります。道路やビルなどを利用して避難場所を確保することもありますし、また、避難路としてはペDESTリアンデッキなどが高いところにあるという場合もありますし、船で逃げるということも計画のうちに入れておくところではないかと思えます。

その上で、高潮が起こったからといって直ぐに避難行動を起こせるというわけでもありません。

ので、高潮予警報をしていくことも非常に大事な要素ではないかと思えます。我が国では既に津波予報というものを出すようになったわけですが、高潮についても今は研究が進んでいて、精度を上げることによって実用化に結びつけていくことも必要であります。

そして、最終的に住民全体が安全に避難行動ができるように、地方自治体の職員のスキルアップをし、防災訓練などしながら、避難に備えていくということが、人命を失わないために非常に貴重なことであります。

### 大規模浸水を想定した被害最小化対策(4) Damage minimization against large-scale inundation (4)

- 施設機能の維持
  - ライフライン(上・下水道施設、電力・ガス供給施設、情報通信施設、廃棄物処理施設)の耐水化
  - 救援路・復旧資機材輸送ルートの確保
  - 係留船等の流出防止
  - 有害物質の流出防止
- 高潮防災知識の蓄積・普及
- Securing facility functions
  - Water-proof lifeline systems (water supply and sewerage, power and gas supply, information communications and waste disposal facilities)
  - Securing routes for relief and material transport
  - Preventing vessels from being washed away
  - Preventing toxic materials spill
- Accumulation and dissemination of storm surge defense knowledge

また、避難した後に、日常生活を取り戻すという観点からは、施設の機能を維持し、復旧させていくことが次のステップでは大事になります。そのためにライフラインなどを耐水化していくとか、救援や復旧に要する輸送ルートを確認することが必要になってくるわけです。

最後に、高潮防災知識の蓄積・普及ということについてですが、なかなか市民のレベルで言いますと、高潮の正確な知識が普及しにくいという事情がありますし、また、住民的な観点で

言えば、ある場所に住んでいてそこに高潮被害が起こるという確率はそれほど高いわけではない、それほど頻繁に来るわけではない、ということですから、その辺りを補うためにも普段から高潮の防災知識を広く普及させる活動を続けていくことが非常に大事であります。これまでのように高潮防災をハードな構造物で行うのであれば、専門家がそれを設計し、施工することですんでいたわけで、非常に大きな意味からすれば、住民は高潮の知識がなくても安全に守られるという体制であったわけです。ところが、大規模浸水を想定し、また被害を最小化するという目的を考えますと、住民が自ら行動することが必須で、そのために防災知識の蓄積・普及は欠かせない要素になるわけです。

私達はこれから来るかも知れない大規模な浸水も想定しながら、高潮の災害を最小化していくことが必要であります。

## 検討課題 Future study

- 高潮防護施設の外力に対する**構造的な耐力の評価**に関する調査研究
- 設計外力としての**高潮の発生確率評価**に関する調査研究
- 高潮防護施設の効率的な維持管理に資する**点検手法の高精度化、補修技術及び老朽化対策**に関する調査研究
- 高潮による破壊箇所の迅速な**復旧工法**の開発に関する調査研究
- 地球温暖化による**海面上昇**に対する防護施設対策及び沿岸域における**土地利用**のあり方に関する調査研究
- 沿岸域の防災に関わる**制度面(税制、保険制度も含む)**での調査検討
- Evaluation of **structural strength** of storm surge protection facilities against external forces
- Evaluation of **probability of storm surge** as a design external force
- Refinement of storm surge protection facilities **inspection methods** for their efficient maintenance, **repair technology** and **deterioration control measures**
- Development of methods for quickly **restoring levees** breached by storm surges
- Protection measures against **sea level rise** due to global warming and **land use** in coastal areas
- Disaster protection systems (including **tax and insurance systems**) in coastal areas

実は、このようなことをするための技術が全てできているかというと、そうではありません。色々なことをこれから検討していかなくてはなりません。その幾つかをピックアップして、ご紹介したいと思います。

例えば最初に書いてある構造的な耐力の評価についてですが、今までですと、高潮が高潮防潮堤、堤防を越えて越波または越流することは基本的には想定していなかったもので、その時に構造物が持ち堪えられるかどうかということは

設計では基本的に考慮されていなかったわけです。しかし、先ほど高山先生のご講演にもありましたように、大規模浸水を念頭に置くと、越流しても、構造物としては破壊しないで機能を発揮していることが必要で、そのときに構造的にどれだけの耐力を持っているかも検討しなくてはなりません。

また、伊勢湾台風に対して日本の三大湾の高潮防災を行ってきましたが、その確率的な評価についてはまだ十分に議論が進んでいないと思います。合理的な高潮防災をやっていくためにも、その高潮の発生確率の評価という研究も必要になってこようかと思えます。

さらに、私のお話の中で、何回か申し上げました点検、補修、老朽化対策といったものは今まであまり力を入れて研究がなされて来なかった分野でありまして、より効率的な技術を開発していく必要があります。

また、今後、地球温暖化によって海面上昇が起こると予想されています。さらには、海水温が上がれば台風のエネルギーも大きくなって、そのことによって台風の巨大化も起こるということが数値シミュレーション等では予測されているわけでありまして、そういうことからしますと、外力のレベルもこれから変わってくる可能性が高いわけです。それがどのくらい変わってくるのか、そして、変わった場合にどのように防護体制をつくっていくのか、ということも与えられた研究課題の一つと言えるわけです。

そして、日本ではあまり行われていないわけですが、最後にご紹介する項目として、制度面で防災体制にどうに取り組んでいくかということも一つ必要なことであろうと考えております。

以上、私たち日本の高潮防災の現状とハリケーンカトリーナの教訓を得たところで、これからどのようにしていかなければならないかというお話をいたしました。一言で縮めて言いますと、今までは海岸線において線的に高潮防災を行ってきたというのが実情かと思いますが、今後は海岸線から海側、さらには陸側も視野に入れて面的に高潮の防災をやっていく、そのことによって高潮防災というものを海岸線という第一線だけで防ぐのではなくて、海域、陸域も含めて、二重、三重にも防いでいくことが、高潮による大規模浸水があった場合の被害の最小化に必要であろうと考える次第であります。

どうもご清聴ありがとうございました。

## 【質疑応答】

特になし。





### (3) Summary of Hurricane Katrina

Billy L. Edge, Ph.D., P.E., Texas A&M University, USA, b-edge@tamu.edu

Hurricane Katrina was one of the most intense hurricanes to ever travel through the Gulf of Mexico and strike the US coastline surpassing hurricane Camille with the largest storm surge ever recorded along the Gulf coast. The City of New Orleans was besieged from all sides with the storm surge and waves. The storm produced wave and storm surge conditions for the New Orleans vicinity that were never before seen or ever expected in the designs for protection. The City is protected by a hurricane protection system (HPS) that is composed of many parts that do not all fit together well nor are they managed as a system.

Observed peak water levels along the south shore of Lake Pontchartrain were 10.8 to 11.8 ft, just under the height of the levee system in this location. Peak significant wave heights in this area reached 9.4 ft, exceeding design values by a foot or more. Along the east-facing hurricane protection levees in south Plaquemines Parish, peak water levels reached 20 ft, exceeding design levels by as much as 5.5 ft and design significant waves were exceeded by as much as 4.0 ft. During the storm, the HPS failed in many locations around the City and a very large part of New Orleans was flooded with depths up to 8 ft lasting for several weeks. Nearby the coasts of Mississippi and Alabama also received significant storm surge and waves and suffered near total destruction along the coastline. The storm surge at the coastline has been estimated to be in excess of 24 ft with depth limited waves. After nine months, this area and New Orleans still require significant recovery efforts. Moreover, the whole area impacted by the storm will be rebuilding for many years with a resulting character and population that will be much different than that before hurricane Katrina.

This storm has been described as the worst disaster in the history of the United States

and a significant engineering failure. Approximately 1,577 died as a direct or indirect result from the storm in New Orleans and 170 from Mississippi. Flooding by hurricane Katrina is estimated to have caused over \$25 billion in direct damages to property and infrastructure within the five parishes of greater New Orleans. This includes over \$20 billion in property damages, of which over one-half represents damages to residential structures and the remainder is infrastructure.

Because of the intensity and consequences of the storm, three studies were commissioned by the US Government. The first was conducted by the Interagency Performance Evaluation Team (IPET) which produced a thorough study dealing with the storm, performance of the HPS, consequences and risks. IPET is using the combined skills of over 155 experts from government, academia and industry. The second was conducted by the External Review Panel (ERP) of the American Society of Civil Engineers; the ERP is charged with evaluating and validating the methods and analyses of the IPET. The third study is being conducted by the National Academy of Sciences and the National Academy of Engineering and it was created at the request of the Department of the Army to ensure an open and unbiased review of the study. This presentation will present a detailed analysis of the development of the hurricane and identification of the wave and surge events. It will give a comparison of the observations with the storm and with the design parameters used for the HPS surrounding the City. A brief discussion will also be given of the major findings from the IPET study and the ERP review. And in summary, a highlight of the current status of the City of New Orleans and the impacted Gulf Coast will be given.

## ハリケーンカトリーナ災害のまとめ

テキサス A&M 大学教授 Billy L. Edge

ハリケーンカトリーナは、メキシコ湾を抜けアメリカ沿岸を襲った最大級のハリケーンであり、ハリケーンカミールを凌ぎ、メキシコ湾沿岸に史上最大の高潮をもたらした。ニューオーリンズ市にはあらゆる方向から高潮と高波が迫った。このハリケーンでニューオーリンズ周辺に発生した高波と高潮の状況は、かつて見たことのないものであったが、防御水準からは予期されていたものである。ニューオーリンズはハリケーン防御システム HPS によって守られている。このシステムは多くの施設から構成されているが、全てがつながっているわけではなく、一つのシステムとして制御されているわけでもない。

ポンチャートレン湖の南岸で観測された最高水位は 10.8~11.8 フィートであり、この水位はこの地点にある堤防をわずかに下回るものであった。この辺りの最大有義波高は設計値を 1 フィート以上上回る 9.4 フィートに達した。南のプラークマイズ郡にある東向きのハリケーン防護堤防では、最高水位が設計値を 5.5 フィート上回る 20 フィートに達し、最大有義波高も設計値を 4 フィート上回った。ハリケーンが通過する間に、ハリケーン防御システムはニューオーリンズ市周辺のあちこちで決壊し、ニューオーリンズの大部分が最大 8 フィートの深さで数週間も浸水することになった。ミシシッピ州やアラバマ州の沿岸部でも、激しい高潮と高波に遭い、海岸沿いでは壊滅的な打撃を受けた。この海岸では砕けながら押し寄せる波の影響もあって、高潮は 24 フィート以上に達したと推定されている。カトリーナの来襲から 9 ヶ月たっても、この地域とニューオーリンズでは復旧活動が必要とされている。さらに、ハリケーンの影響を受けた地域ではどこでも、長い年月をかけて復興がなされるであろうが、ハリケーンカトリーナが襲う前とは街の様子も人の数も全く異なった

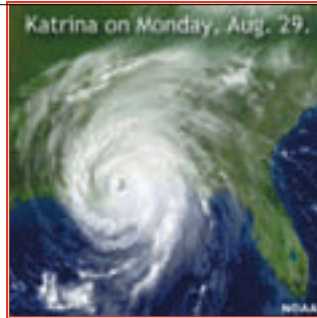
ものになるであろう。

このハリケーンは、アメリカ史上最悪の災害であり、また工学における重大なる失敗とされている。ニューオーリンズではハリケーンの直接的あるいは間接的な影響で 1577 名ほどが亡くなり、ミシシッピ州でも 170 名が亡くなった。ハリケーンカトリーナの洪水による被害は、大ニューオーリンズ市を構成する 5 郡だけの、資産とインフラへの直接的な被害に絞っても、250 億ドルに達したそのうち 200 億ドルが資産の被害であり、その半分以上が住宅の被害、残りがインフラの被害である。

このハリケーンが非常に強く重大なものであったため、米国政府は 3 つの調査を命じている。一つ目は関係機関合同性能照査タスクフォース IPET が担当し、ハリケーンそのもの、ハリケーン防御システムの性能、被害状況、リスクに関して綿密な研究を実施するものである。この IPET には産学官の 155 名を超える専門家の技術を結集している。二つ目は、アメリカ土木学会 ASCE の外部評価委員会 ERP によって運営されているものであり、ERP は IPET の実施する調査の方法や解析結果の評価を担っている。三つ目は米国科学アカデミーと工学アカデミーによって運営されているものであり、陸軍省の依頼でその調査に対する開かれた公平な評価も行われている。この講演では、ハリケーンの発達に関する詳細な解析結果や、高波や高潮の状況について発表したいと思っているハリケーンの観測値とニューオーリンズを取り囲むハリケーン防御システムの設計値との比較もする予定である。IPET による調査と ERP による評価から見いだされた主要な事項についても簡単に議論したい。要するに、ニューオーリンズと被災したメキシコ湾岸の現状に主眼を置くつもりである。

## Summary of Hurricane Katrina

Billy L. Edge  
Civil Engineering Department  
Texas A&M University



まずは何と申しまして、このたびは素晴らしいセミナーを開催して下さいました主催者に対し、御礼を申し上げたいと思います。米国土木学会海岸・海洋・港湾・河川委員会 COPRI, 日本土木学会 JSCE, そして国土交通省に対しても御礼を申し上げる次第でございます。私ども4名をお招きいただき、また、発表する機会をいただき、御礼を申し上げたいと思います。4名の発表内容はなるべく重複を避けるようにしたいと思います。

私はカトリーナそのものの概要について、その次にダーリンプル先生から被災直後の状況について発表があります。続いて、ニコルソン先生からカトリーナによる堤防の破壊に関して地盤的な問題を詳しく発表いたします。そして最後に、メルビー先生から将来に向けてどんなことに取り組んで来たかということについてお話をいたします。

カトリーナは、言うまでもなく、これまでにない規模のハリケーンで、発生させた被害という意味でも最大級でありましたし、人間に対する危害という意味でも最大級でありました。しかし、ミシシッピ州とそれに隣接するアラバマ州だけに被害があったわけではありません。その点についてお話したいと思います。

## Outline

- COPRI Damage Assessment
- Katrina Studies
  - IPET
  - Louisiana
  - UC, Berkeley
  - Others
- The Storm
- IPET/ERP Assessment
- Condition on June 1

私からは、このスライドに示した内容についてお話をしたいと思います。

まず、COPRI の被災調査を実施しましたし、ハリケーンカトリーナについての調査も現在進行中であります。さらに、IPET の報告書が先週発表されましたので、その内容についてもお話ししたいと思います。現在のニューオーリンズの状況についてもご紹介したいと思います。



### The Catastrophe Wasn't Katrina

By Eugene Robinson

Tuesday, May 30, 2006

The evidence, by now, is overwhelming: Beautiful, decadent New Orleans wasn't doomed by Hurricane Katrina but by decades of human incompetence and neglect. ...the greatest natural disaster in the nation's history ...

The mortal threat to New Orleans, as Katrina plowed into the Gulf Coast, was not the powerful winds -- Mississippi took the brunt of those -- but the massive storm surge the hurricane generated. ...

What happened instead was "the single most costly catastrophic failure of an engineered system in history," ...

Washington Post

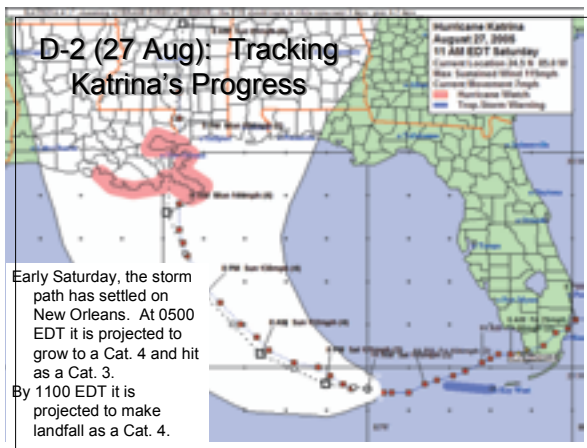
カトリーナの災害が発生して以来、毎日、少なくとも毎週、カトリーナに関する記事が新聞を賑わしてまいりました。しかしながら、技術者にとって、必ずしも良いニュースばかりではありませんでした。そこには非常に重大な技術的な問題があったということが述べられておりました、また、アメリカ史上最悪の自然災害であったということも報道されておりました。



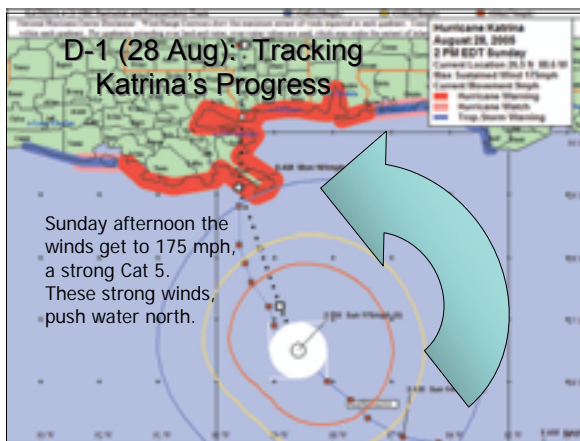
ハリケーンカトリーナの進路は、上陸する3日前にこの図のように予測されておりました。すなわち、過去のほとんどのハリケーンと同じように、メキシコ湾に入ってから右に進路を変え、北東のワシントンやニューヨークの方に向かうと予想されていたわけです。そのため、ニューオーリンズの住民は大丈夫だと思いこんでおりました。しかし、この日の予測コースは、ハリケーンがまだマイアミを通過したばかりの時に発表されたものでありました。メキシコ湾はカリブ湾と続いて

おり、ここから大西洋にも繋がっています。

私どもの経験ですと、カリブ海からの海流がメキシコ湾に入って来ます。この海流は非常に暖かい海流であります。そして、この海流は北東に向かって流れています。これらの流れは、ハリケーンにエネルギーを与えるという、とても大きな役割をしています。



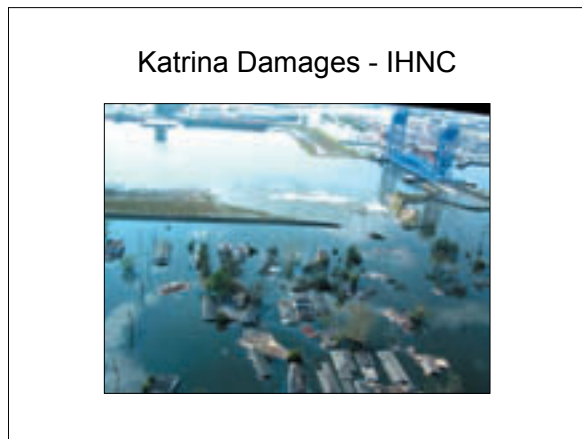
この図は先ほどの予測から1日後の予測です。コースが大きく変わっているのが分かります。ニューオーリンズより東方で上陸するコースはとらず、暖流からエネルギーを得て勢力を増しておりました。つまり、ニューオーリンズの近くに上陸するであろうという予想に変わっておりました。



ここで重要なのはニューオーリンズに上陸する前までの風場であります。3日前から風が東から西に向かって吹いており、海水をニューオーリンズ付近の海岸に持ち上げておりました。ニューオーリンズはここにあります。ハリケーンが上陸する前に、水位が上がっていくのですが、高潮によって水位が突然、予想外に高まるわけがあります。そして、カトリーナはニューオーリンズに上陸し、ルイジアナ州やミシシッピ州を北上しました。



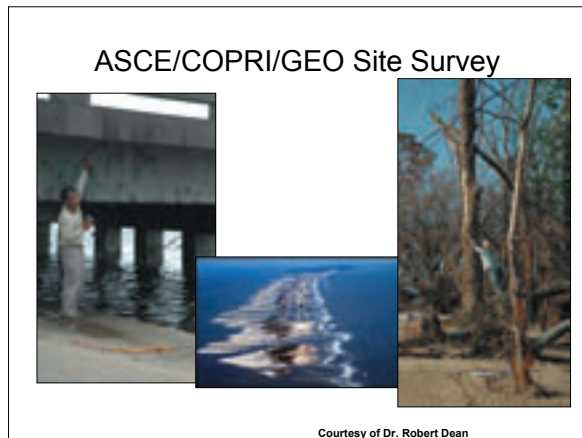
堤防の決壊が生じたのはその頃です。必ずしもハリケーンの上陸の直前後ではなかったわけです。この破堤が被害を拡大いたしました。東京のように、この部分はゼロメートル地帯であります。海拔より高い所もありますが、ゼロメートル地帯が多いのです。ポンプ場には耐水性があるべきだったのですが、実際はそうではなかったのです。



Katrina Damages - IHNC

このような写真をテレビの画像でご覧になったかと思います。

このような浸水が一週間、二週間と続きました。工兵隊が堤防の復旧に取り組んでいたのですが、どんどん水位は高まって行きました。そこで、工兵隊や他の機関は、浸水の痕跡などのデータが消えてしまう前に現場へ行って収集しておこうということになり、幾つかのチームが結成されました。海岸・海洋・港湾・河川委員会 COPRI や地盤工学会 GEO のチームもできました。



ASCE/COPRI/GEO Site Survey

他の人たちも、高橋先生のようにチームに参加いたしました。左側の写真に写っているのが高橋先生です。

この橋がどれほど壊滅的であったかということは、後ほどお見せしましょう。これはバリアアイランドですが、高潮対策の施設も壊滅的な打撃を受けております。それから、ディーン先生がこちらにいらっしゃいますが、高潮による浸水の痕跡を探しているところであります。

Courtesy of Dr. Robert Dean



これはメキシコ湾沿岸の様子ですが、橋梁がこのように破壊されました。船が打ち上げられ、庭もこのように、あらゆる場所が完全に破壊されました。



この写真はカトリーナが上陸したまさにその日の状況であります。まず、ミシシッピ川が閉鎖されました。ミシシッピ川はシカゴからニューオーリンズまで流れている川で、これが閉鎖されたのです。400隻以上のはしけが動けなくなり、閘門も閉鎖されました。ミシシッピ川の沿岸では広い範囲が浸水しました。

カトリーナの高潮で浸水したのはニューオーリンズばかりではなく、広くアラバマ州やミシシッピ州も浸水しました。それに加え、避難所も孤立してしまいましたし、スーパードームにも閉じ込められました。例えば、コンベンションセンターには、多くの人々が何日も閉じこめられ、ようやく救出されるということもありました。このような被害は避けることができたはずであります。

カトリーナの高潮で浸水したのはニューオーリンズばかりではなく、広くアラバマ州やミシシッピ州も浸水しました。



そしてついに、ブッシュ大統領、そして、ルイジアナの州知事が、ハリケーンで浸水した様子を調査し、何らかの対応をしなければならないということになりました。それまでしっかりとした対応はなされておりました。

そして、大統領も、知事も、市長も、これは非常に壊滅的な被害であり、堤防に決壊があったことを確認しました。それで、米国陸軍工兵隊の最高司令官から調査の要請がありました。その内容は非常に詳しく、このハリケーンはどのような性質

のもので、それに対してどのような対策がなされており、実際にどのような対応がなされたのか、ということ調査したいというものでした。

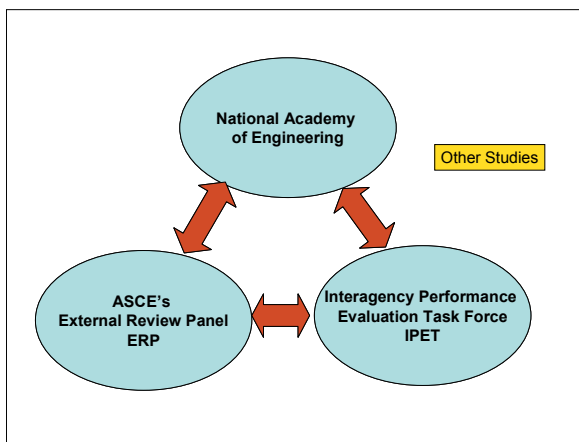
**IPET Study**

**...“to provide credible and objective scientific and engineering answers to fundamental questions about the performance of the hurricane protection... system in the New Orleans metropolitan area.”**

**Chief of Corps of Engineers**

ということになりました。

まず、ハリケーンの被害がどうだったかということについてですが、IPET と呼ばれる関係機関合同性能照査タスクフォースが結成されました。150人で構成され、政府関係者、学識経験者、そして業界関係者が参加いたしました。10カ月間、調査に取り組んできております。それから、外部評価委員会 ERP というものが米国土木学会 ASCE によって組織されまして、先ほど申し上げました IPET の作成した報告書をレビューすると



メルビー先生は IPET のメンバーで、私とニコルソンさんが外部評価委員会 ERP のメンバーであります。これらの結果は米国工学アカデミーに報告するわけでありまして、ダーリンプル博士はその米国工学アカデミーのメンバーでもあります。こういった重要な3つの中核の代表が本日ここに来ていることとなります。

**IPET Study**

**The Flood Protection System:** What were the design criteria for the pre-Katrina hurricane protection system, and did the design, as-built construction, and maintained condition meet these criteria?

**The Storm:** What were the storm surges and waves used as the basis of design, and how do these compare to the storm surges and waves generated by Hurricane Katrina?

**Performance:** How did the floodwalls, levees, pumping stations, and drainage canals, individually and acting as an integrated system, perform in response to Hurricane Katrina, and why?

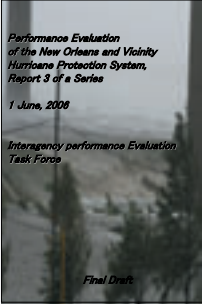
**Consequences:** What have been the societal-related consequences of the Katrina-related damage?

**Risk:** Following the immediate repairs, what will be the quantifiable risk to New Orleans and vicinity from future hurricanes and tropical storms?

どんなことが起きたのか、住民や社会全体にどんな影響を与えたのか、そして、将来的なリスクはどうか、ということでもあります。

さて、IPET の調査内容ですが、一つ目は、洪水対策システムがどのような条件に対して設計されており、そのシステムにどのような外力が作用したのか、ということです。二つ目は、どのようなハリケーンであったか、すなわち、ハリケーンカトリーナによって発生した高潮や波高はどれくらいだったか、ということです。三つ目は、システムがきちんと機能したのか、ということ。そして、四つ目は、実際に堤防が決壊したために

**IPET Study**



- Geodetic Vertical and Water Level Datum
- The Hurricane Protection System
- The Storm
- Physical Performance of HPS
- Consequences
- Risk and Reliability

<https://ipet.wes.army.mil>

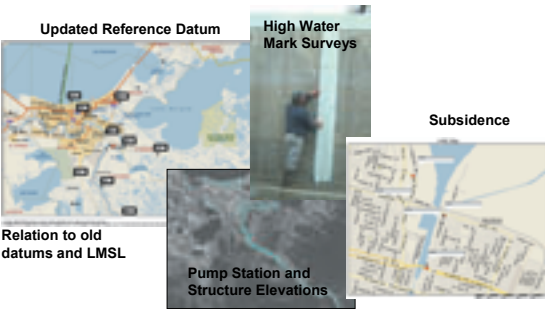
6,100 Pages

IPET の報告書は 6 月、つい先週でございますが、最終的にまとめ、10 カ月にわたる膨大な調査の結果がようやく発表されました。この報告書は 6,100 ページにも及ぶものでありますが、iPod でダウンロードすることもできます。ですから、皆様はお休みになる前にお読みになっても結構でございます。

この中に何が書いてあるかと言いますと、6 つの項目が含まれております。ほとんどのものを今日のお話の中で紹介してまいります。

**Geodetic Vertical Datum and DEM**

Vertical Datum

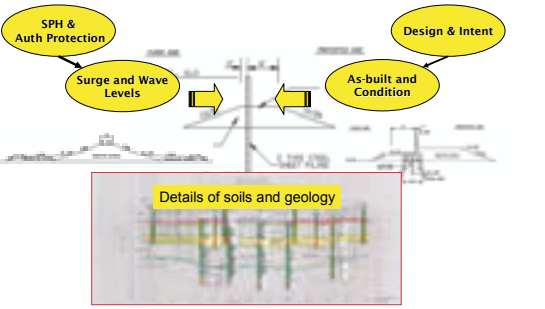


ニューオーリンズという地域は、東京のように地盤が沈下しております。その地盤沈下は非常に速いもので、先週の報告書によりますと年間 0.3 cm となっています。しかしながら、堤防などの設計は、過去の地盤高のデータを基準にしております。したがって、洪水防止システムの堤防は、まちまちなデータを基準に造られているということが分かります。そして、急速に地盤沈下しているので、全てのデータを集めて、現状とつき合

わせなければなりません。

**The Hurricane Protection System**  
*What forces were the structures designed and built to withstand?*

System



ハリケーンの対策システムは三つから構成されています。堤防は I ウォールがあり、その上に T ウォールがあります。この件については、後ほどニコルソン先生から説明がございます。



### Standard Project Hurricane Design Saffir-Simpson Hurricane Scale

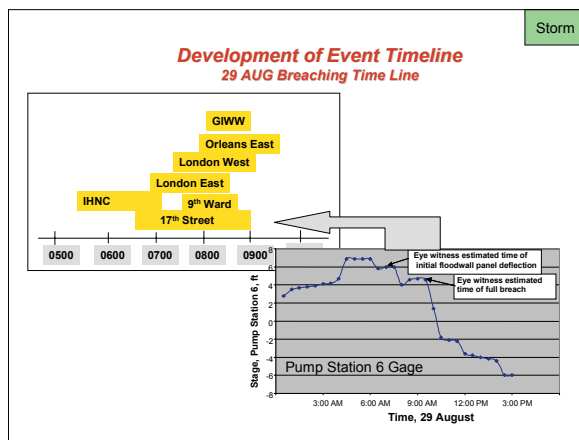
Category	Central Pressure (in)	Winds (mph)	Surge (ft)
1	>28.9	74-95	4-5
2	28.5-28.9	96-110*	6-8
3	27.9-28.5	111-130	9-12*
4	27.2-27.9*	131-155	13-18
5	<27.2	>155	>18
Betsy (1965)	27.8	105	10
Camille (1969)	26.6	200	24.6
Georges (1998)	28.5	105	9
Katrina (2005)	27.1	155	15 (est.)

\* Standard Project Hurricane – “The most severe combination of hurricane parameters that is reasonably characteristic of the area, excluding extremely rare conditions”

ハリケーン対策システムの設計外力は、この表にある3つの指標を元に決めております。これが、標準設計ハリケーンと呼んでいるもので、これらの値は1950年代末期から1960年代中期に設定されたものです。非常に強力なハリケーンの条件であることは確かですが、極端に稀な条件を想定しているわけではありません。

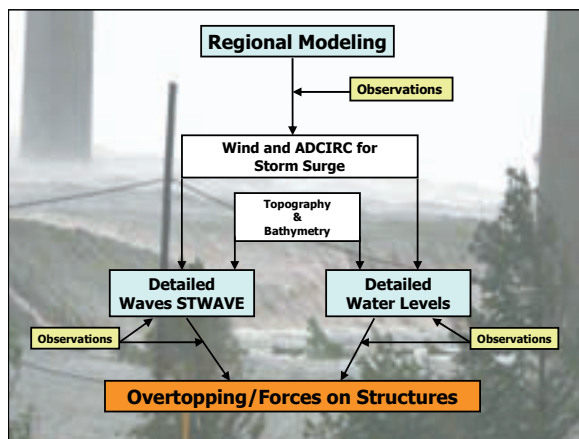
カトリーナの風速は85ノットぐらいだったので、この表の中では必ずしも強い風ではありません。

ん。カテゴリー4や5という風速ではなく、中程度の強さのハリケーンでありました。



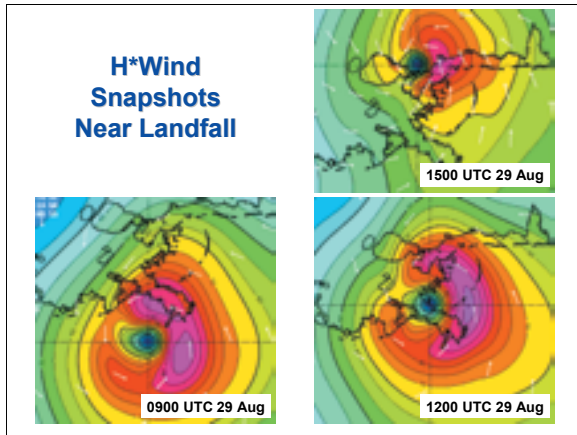
実際にハリケーンが来襲しますと、コース上にあった観測施設は機能しなくなりました。高潮が計測機器を超え、流されてしまったものもありました。唯一作動し続けた計測装置は、深いところに設置してあったものであります。ですから、ニューオーリンズやミシシッピ州に何が起こったのか、実際の状況は目撃者の証言に頼るしかありません。また、樹木に残った水跡、たまたま撮ったビデオといったものしかありません。こういったデータをまとめて、実際に何があったかをまとめようといいました。さらに、それらのデータと比較するために数値計算も行いました。

たデータをまとめて、実際に何があったかをまとめようといいました。さらに、それらのデータと比較するために数値計算も行いました。



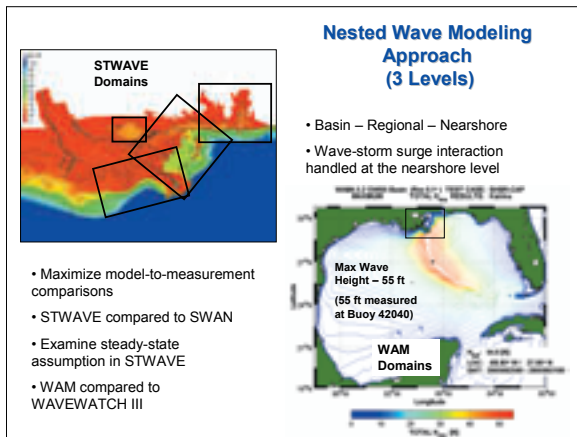
その数値モデルの構成についてご説明します。まずは広域の計算領域としてメキシコ湾全体を考え、さらにポンチャートレン湖等の地形データ、運河の詳細なデータを与えて、何が起きたか、どんな影響があったかを調べました。

数カ月に渡ってデータを収集し、それらを全てつなぎ合わせる努力をしたわけでありました。そして、分かったことは、風速データがないとモデルによってうまく再現できないということでした。

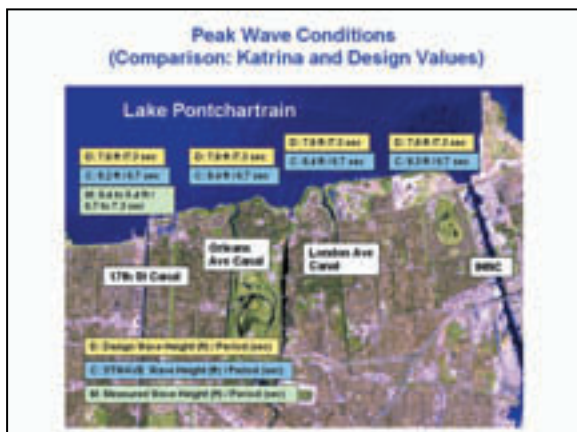


このスライドは風場のスナップショットを3枚並べたもので、ミシシッピデルタに風が吹き込んでいる様子を示しております。これらの風場は典型的な形状になっております。すなわち、ハリケーンの進行方向の右側で風速が大きくなっているわけでありませう。3時間後には右下の図のようになります。ハリケーンが上陸するにつれて、風場が徐々に変化します。これが標準的な風場の形状で、渦巻状の形をしているわけでありませう。

典型的な渦巻き形のモデルが適用できるかどうかについてですが、私どもが取得した気象データ、特に風速データには、飛行機などで計測したものも含まれていませう。それから、陸上の数少ない風速計から得られたデータも全部まとめて、このようなモデル化をしたわけでありませう。そして、ようやく何が起きていたのかが分かってきたわけでありませう。



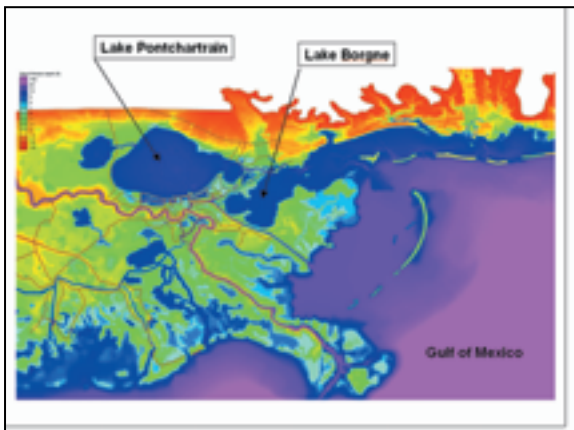
波浪はこのようなモデルを用いて、コンピュータで計算いたしました。



この図で、Dは設計値、Cはコンピュータで計算したカトリーナが来襲時の値でありませう。

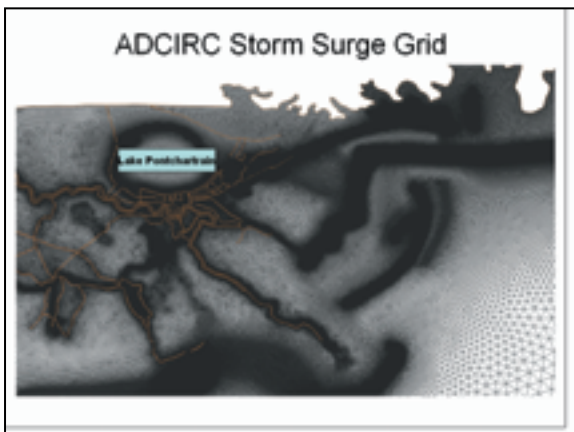


そして、この図の右側がボーン湖で、左側にはニューオーリンズが位置しています。ボーン湖は外海に面しております。計算で得られた値は設計値に近い値になっていることが分かります。この結果から越流が相当発生していたものと考えられます。

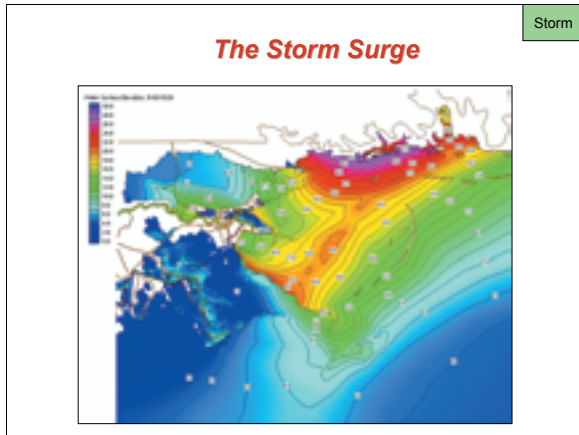


アドバンスサーキュレーションモデルなどを使って高潮の計算も行いました。このモデルはアメリカにおいて長年使われてきたものであります。ポンチャートレン湖の水深は1メートルないし2メートルの深さで、大変浅い湖であります。運河、ポンチャートレン湖、それからボーン湖、カリブ海、メキシコ湾、大西洋も含めて、シミュレーションを行ったわけでありまして。その中で、今お見せしているのはポンチャートレン湖とメ

キシコ湾だけであります。



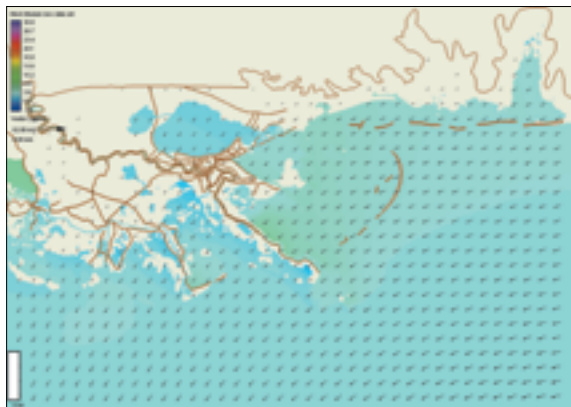
この図のような有限要素で解析をしました。



その結果、高潮はミシシッピの沿岸で発生したことが分かりました。その高さは 28 フィート、すなわち 9 m に達したということが分かりました。これは実測、すなわち樹木についての痕跡とも合致することが分かりました。そして、ポンチャートレン湖における高潮は、2.5~3 m 強であったことも分かりました。つまり、高潮は相当高かったということが分かります。

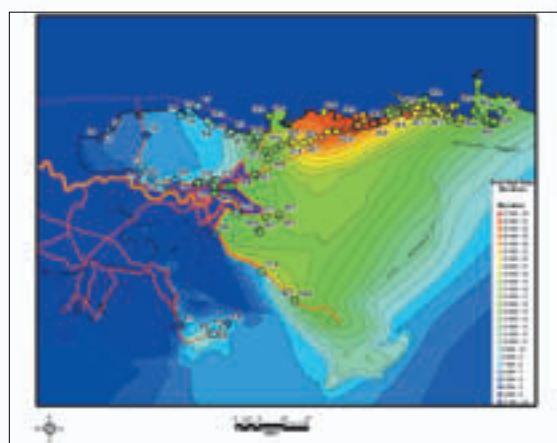
ところで、以前からポンチャートレン湖の入口を水門で閉鎖したらいいのではないかという提

案があったのですが、環境保護団体による反対運動が起こり、その提案や計画は実施されませんでした。高潮から防御する可能性の一つであったわけですが、そのような水門は建設されなかったわけであります。

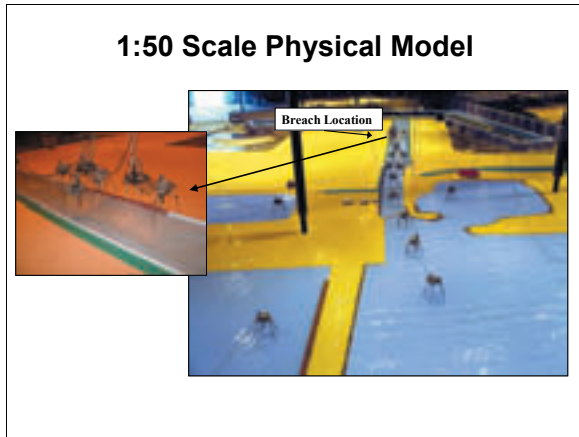


この図はシミュレーションの結果の一つです。徐々に時間を進めていきたいと思います。この矢印は風のベクトル、塗りつぶされた色は水位、すなわち潮位を示しています。ミシシッピ川沿いで水位が高まり、特にミシシッピデルタ側において潮位が高まるのが、色の差でお分かりいただけると思います。そして、ハリケーンの北上とともに、この高潮も対岸へと進むわけです。この計算結果から、ニューオーリンズで浸水が両側から起こっ

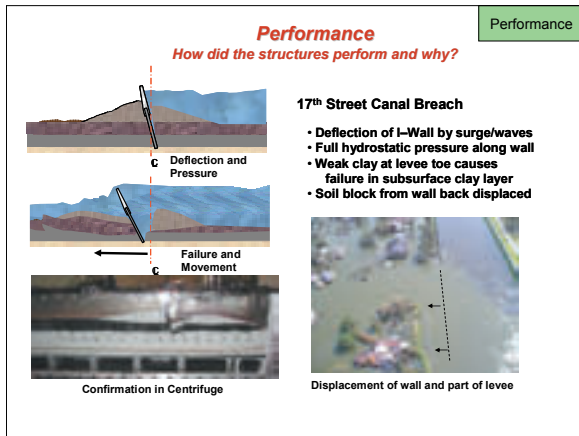
たことがよく分かると思います。



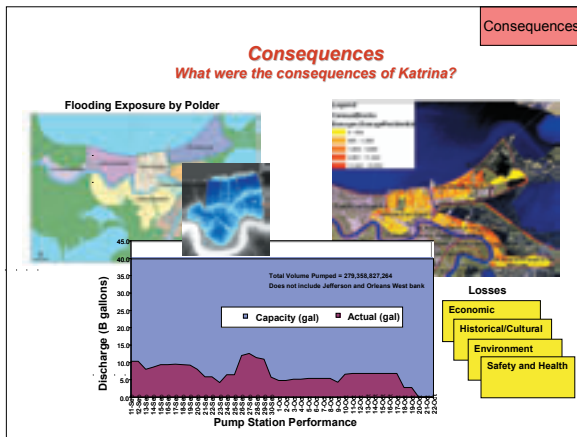
このモデルの結果と、現場で実測したデータを比較してみました。もし小さな丸い円の色と塗りつぶされた色が同じであれば、実測値とモデルによる値が同じであった、色が違うのであれば実測値と違ったということを示しています。



そして、数値計算だけでなく、模型実験も行いました。これは17番街運河を再現したものです。沖合から高波が運河に侵入して、どのようなことが起こったかについて、再現実験をいたしました。



堤防の性能については、ニコルソン先生から後ほど詳細な説明をしていただければと思います。



ところで、カトリーナというハリケーンの被害は、ただ単に経済的な損失をもたらしただけではありません。歴史的な遺産も失われました。また、文化的な面でも損害がありました。環境面での被害もありましたし、治安、衛生、例えば避難が遅くて十分にできなかった、あるいは未だ避難民が元いたところに帰れない、という問題も残っているわけであります。ニューオーリンズにはジャズの伝統があるわけですがけれども、本当にジャズの伝統が復活するのかということについて、確かなことは言えない状況であります。ニューオーリンズの住民のうち半分しか戻って来ておりません。10カ月前と比べれば、人口が半減しているわけであります。

## Consequences - Losses

Direct losses were wide spread and set a new level of natural disasters.

Approximately 1570 died directly or indirectly due to the storm.

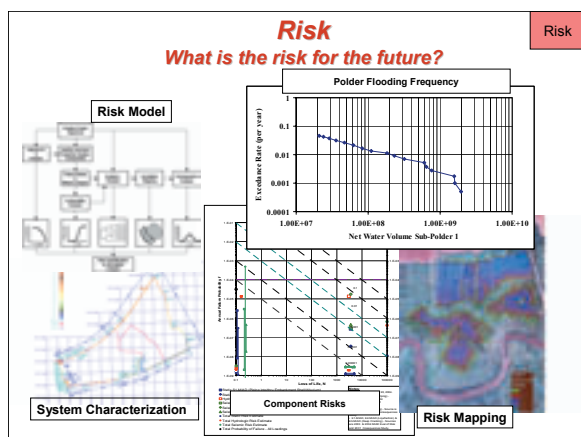
Over \$US 25,000,000,000 in damages due to flooding.

Of that \$US 10,000,000,000 in damages to individual residential properties.

Direct impacts in monetary losses can be quantified but the indirect losses may take many years to understand.

Environmental quality impacts were few.

ただ、確実に言えることは、ハリケーンカトリーナによって1,570名が亡くなったということです。そして、洪水による被害については250億ドルということです。そのうち100億ドルが個人住宅に対する損害でありました。相当巨額な金銭的損失を被っているわけであります。しかしながら、このような損害は、洪水による損害だけではありません。他の原因による損害もこれに含まれているわけであります。



では、今、どうなっているのかということにつきましても、ご紹介していきたいと思います。過去10カ月に渡ってIPETとしても調査を進めてきました。データが十分に無かったために、どのような堤防を築くべきだったのか、地盤の高さはどれくらいだったのか、どのような対策がなされていたのかということについて、正確なデータが得られなかったことは大変残念であります。

## Summary Performance Evaluation

- A misinterpretation of the local MSL and incompleteness of the HPS resulted in losses in protection levels
- The performance was compromised by
  - design deficiencies in the levees on canals
  - lack of scour protection behind floodwalls
  - Levee sections with erodable materials
  - Structural elevations below design levels
- Lack of resilience in the system
- Significant losses resulted from lack of coordination of governmental agencies
- The SPH (Standard Project Hurricane) is not appropriate for risk management

例えば、コンクリートのフラッドウォールの裏側が十分に保護されていなかったために、堤防の裏側が浸食されるようなことが起こったわけであります。

カトリーナの教訓として、防護システム全体として頑丈ではなく、弾力性もなかったことが大きな問題であったと思うわけであります。さらに、政府、関係機関の調整の不十分さ、あるいは連絡の無さによって、その損害金額が大きくなってしまったわけであります。

### Storm Protection Today



さらに、これまで用いて来た標準ハリケーンが、リスク管理のために適切なシナリオではないということも分かったわけであります。一部の堤防については、カトリーナ以前のレベルまで再建されました。しかしながら、ご覧のように、堤防はありますけれども、例えば堤防の一部が切れており、十分に防護されていないところもあるということが分かると思います。

### New Orleans Today



さらに、現在のニューオーリンズ市ですけれども、まだ被災したままという所もあります。この写真は5月3日に撮ったものです。ちょうど1カ月前であります。この家には住民は住んでいません。ただ、ご覧のように、人々がごみを捨てて行ったり、橋や高速道路の下には、何千台もの車が放置されています。多くの方々にとって、大変悲しい状況であったことは確かなわけですが、10カ月経っても、ニューオーリンズは復活しておりません。まだまだ時間がかかるというの

がニューオーリンズの現状であります。

どうもありがとうございました。

### 【質疑応答】

特になし。





## (4) New Orleans after Hurricane Katrina: A First Look

Robert A. Dalrymple, Johns Hopkins University, USA. (rad@jhu.edu)

### INTRODUCTION

After the failure of the hurricane protection system and the flooding of the City of New Orleans during Hurricane Katrina, a joint site visit team comprised of engineers and scientists were the first to examine the failed levees and floodwalls. This joint team, comprised of both civilian and U.S. Army Corps of Engineers members, visited a number of sites in the New Orleans area to gather data on possible failure mechanisms.

### THE TRIP

Beginning on October 2, 2005, two team of engineers from the American Society of Civil Engineers' Institutes, COPRI and GEO Institute, joined a team from the University of California, Berkeley, and one from the Corps of Engineers, primarily from the Engineering Research and Development Center, to examine the failed levees and floodwalls in and around the City of New Orleans.

At the time, the failure of the hurricane protection system for the city was believed to be overtopping, as the system was designed for approximately a Category 3 (Saffir-Simpson Scale) hurricane, and it was believed, at the time, that the Hurricane Katrina storm surge exceeded the design water levels.

The hurricane protection system in New Orleans is comprised of levees, surrounding the city to protect it from Lake Pontchartrain to the north, Lake Borgne to the east, and the Mississippi

River, which passes through the city, and floodwalls along the drainage canals that deliver water pumped from the city to Lake Pontchartrain. These canals are open to the lake.

At the outset of our inspection, which began with the 17th Street Canal, it was clear that the floodwalls had not overtopped at the canal and another mechanism was responsible. This was also true at the London Avenue Canal. Yet, at other locations in the eastern of the city, overtopping clearly occurred, such as along the Industrial Canal, which connects the Mississippi River to Lake Pontchartrain and the Mississippi River Gulf Outlet, a canal that goes directly from New Orleans to the Gulf of Mexico.

This presentation will show many of the floodwall and levee failures and discuss preliminary findings as to the failure mechanisms. It also will show that levees, at the proper elevation, and constructed well, did withstand the severe storm.

### REFERENCE

R.B. Seed, P.G. Nicholson, R.A. Dalrymple, J.A. Battjes, R.G. Bea, G.P. Boutwell, J.D. Bray, B.D. Collins, L.F. Harder, J.R. Headland, M.S. Inamine, R.E. Kayen, R.A. Kuhr, J. M. Pestana, F. Silva-Tulla, R. Storesund, S. Tanaka J. Wartman, T.F. Wol\_, R.L. Wooten and T.F. Zimmie, Preliminary Report on the Performance of the New Orleans Levee Systems in Hurricane Katrina on August 29, 2005, UCB/CITRIS-05/01, Nov 17, 2005.

# ハリケーンカトリーナ後のニューオーリンズ：最初に目にしたもの

ジョンホプキンス大学教授 Robert A. Dalrymple

## はじめに

ハリケーンカトリーナによってハリケーン対策システムが破壊され、ニューオーリンズ市が浸水した後、技術者や研究者からなる合同現地調査隊が初めて、決壊した堤防の調査を実施した。民間人と米国陸軍工兵隊員で構成されたこの調査隊は、ニューオーリンズの周辺のあちこちで、考えられる破壊メカニズムを検討するために必要なデータを収集した。

## 現地調査

2005年10月2日から、米国土木学会の海岸・海洋・港湾・河川委員会 COPRI と地盤工学委員会 GEO-Institute の2つの技術者による調査団は、カリフォルニア大学バークレー校による調査隊、米国陸軍工兵隊の工学研究・開発センターを中心とする調査隊に加わり、ニューオーリンズ市とその周辺で決壊した堤防の調査を実施した。

ニューオーリンズのハリケーン対策施設は、サファ・シンプソン・ハリケーン・スケールでほぼカテゴリー3に位置づけられるハリケーンに対し、設計されたものである。そのため、調査を開始する時点では、この施設が越流で破壊したと信じこんでいた。また、ハリケーンカトリーナによって設計潮位を超える高潮が発生したとも信じこんでいた。

ニューオーリンズのハリケーン対策施設には、北に位置するポンチャートレン湖、東に位置するボーン湖、そして市街地を貫くミシシッピ川から、市街地を守るために市街地をとり囲むように築かれた堤防がある。また、市街地からポンチャート

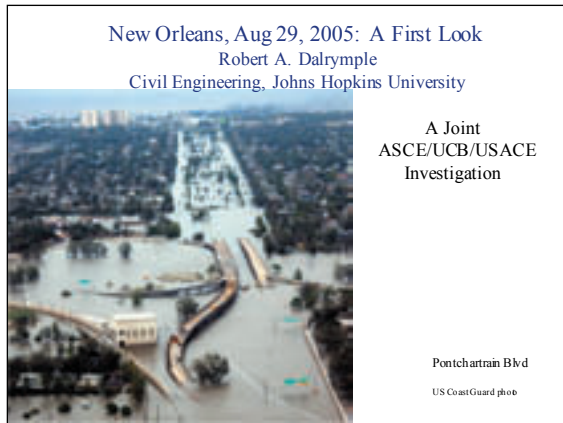
レン湖へポンプで排水する運河に沿っても堤防がある。これらの運河はポンチャートレン湖に開いた状態になっている。

我々の調査は17番街運河から始めたが、そこでまず分かったことは、「この運河では堤防の越流は生じておらず、他に何らかの破壊メカニズムがあるはずだ」ということである。ロンドン通り運河も同じであった。しかし、ニューオーリンズ市の東部に位置する別の地点では、明らかに堤防の越流が生じていた。ミシシッピ川、ポンチャートレン湖、Mississippi River Gulf Outlet（ニューオーリンズからメキシコ湾へ直接出るために掘削された運河）につながる工業運河がその例である。

今回の講演では、多くの堤防の破壊状況を紹介するとともに、破壊メカニズムに関して明らかになったことについて議論する。また、十分な高さでしっかりと築造された堤防は、このハリケーンでも破壊に至らなかったことを示したい。

## 参考文献

R.B. Seed, P.G. Nicholson, R.A. Dalrymple, J.A. Battjes, R.G. Bea, G.P. Boutwell, J.D. Bray, B.D. Collins, L.F. Harder, J.R. Headland, M.S. Inamine, R.E. Kayen, R.A. Kuhr, J. M. Pestana, F. Silva-Tulla, R. Storesund, S. Tanaka, J. Wartman, T.F. Wol\_, R.L. Wooten and T.F. Zimmie, Preliminary Report on the Performance of the New Orleans Levee Systems in Hurricane Katrina on August 29, 2005, UCB/CITRIS-05/01, Nov 17, 2005.



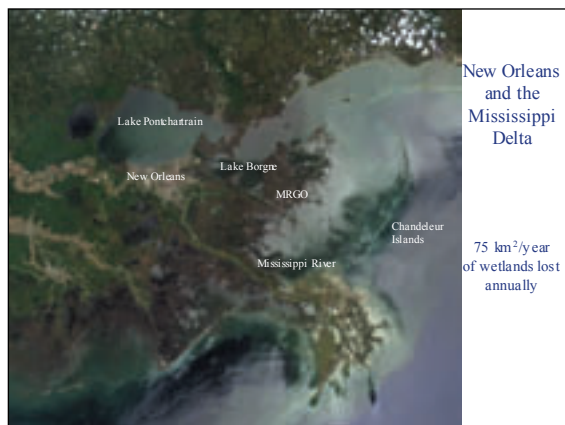
ご紹介ありがとうございました。また、日本に来ることができて、うれしく思います。私どもをご招待していただいた本セミナーの組織委員会の皆さんに御礼申し上げたいと思います。

それでは私から、調査隊がニューオーリンズに入って技術者として初めて調査した時の状況について、ご報告申し上げます。

ご存知のように、この災害の直後にニューオーリンズに技術者が入って、そこでどれくらい

の被害が発生しているかを自ら確認しなくてはならないことになったわけです。そこで調査隊が編成されたわけです。この調査隊には二つの組織が関わっております。米国土木学会からは私とニコルソン先生、それから工兵隊のメンバーも加わっております。また、カリフォルニア大学バークレー校からも加わり、四つの編成隊となっております。このように、民間と軍の技術者が共同して堤防の決壊の原因を調べることになったわけです。

二つ目のハリケーン、すなわちハリケーンリタがその後に来襲しました。そのため、ハリケーンによる被害が同じ地域、被災地で繰り返されたのであります。



それではまず、皆さんにニューオーリンズがどこにあるかをお見せしたいと思います。エッジさんからお話がありましたが、ミシシッピ川がここにあつて、ニューオーリンズはここにあります。それから、ここがポンチャートレン湖であります。こちらがニューオーリンズの東側になり、ニューオーリンズの南側には川が流れています。つまり、ニューオーリンズは三方を水に囲まれているのです。ここでさらに重要なことは、ミシシッピ川に

は、何千マイルも続く堤防が治水のために築造されているということです。この築造によって、確かに氾濫を防ぐ効果はあったわけですが、川の水が湿原の方へ流れて行かなくなったために、湿原がどんどん失われてしまっています。その侵食の速さをここに示しています。何と毎年75平方キロメートルの湿原が失われてしまっているのです。これは、ミシシッピ川を流下する泥が供給されなくなってしまったからであり、堤防による悪影響ということになります。これだけの湿原が毎年失われるという環境の変化があったのです。

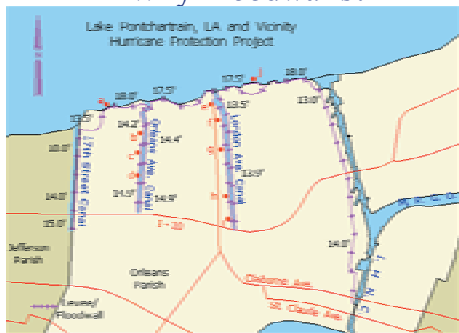
## The Levee System

~125 miles of levees and floodwalls largely in response to Hurricane Betsy in 1965.



この図に示すように、ミシシッピ川はニューオーリンズの街を、横断するように流れています。ニューオーリンズの周辺には3つの運河があり、これらは街を貫いています。この図の右側が東、下側が南です。ミシシッピ川の堤防には決壊がなく、越流もありませんでした。ニューオーリンズの市街地の浸水は、東側と北側にある運河の堤防の決壊が主な原因であったわけです。

## Why Floodwalls?



次に、運河の排水についてですが、この3つの運河は住宅街を貫いております。17番街運河の堤防は決壊しましたが、その隣のオーリンズ通り運河の堤防は決壊しませんでした。さらにその隣のロンドン通り運河の堤防には決壊がありました。こちらが工業運河でありまして、ポンチャートレ湖からミシシッピ川、メキシコ湾につながっています。メキシコ湾につながっている水路はガルブアウトレットと呼ばれ、MRGOの略称で知られ

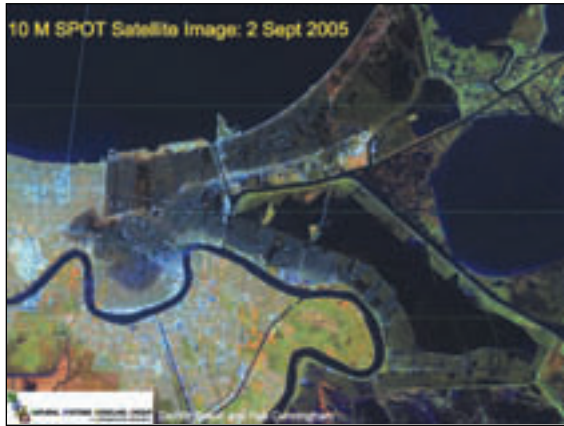
ています。

## New Orleans 1878



こちらは昔のニューオーリンズの地図です。1878年の地図であり、ミシシッピ川がこの図のように流れ、その川沿いにはフレンチクォーターがあります。この部分が旧市街でありまして、1878年当時も排水しなくてはいけなかったところです。したがって、運河が造られ、ポンプ場もここに造られております。このポンプ場で汲み出された水は運河を通じて湖に送り出されていたわけです。そして、今や、この湿原の部分も埋め立てられ、

市街地が広がっていったということでもあります。そして、市街地からの排水はカトリーナが来襲した今回も必要であったわけです。



この写真は地元の新聞にも掲載されたものですが、洪水は東からやって来ました。これが MRGO とさきほど申し上げた運河であります。このように、ニューオーリンズの東部に水が流れ込み、堤防が決壊しました。こちらのいわゆる工業運河の堤防でも決壊がありました。さらには、こちらの運河の堤防も決壊したわけです。そして、この両側から洪水が起きたのです。以上のように、洪水は何日もかかって起きたということではありません。住民達が既に避難していたために、最初はそれに気がつかなかったのです。

### New Orleans: Some Facts

485,000 people (pre-storm)  
 215,000 housing units  
     U.S. Census 2000  
     Avg. price: \$140,000  
     Total: \$ 28 billion in housing alone

27,000 acres flooded: 42 sq. miles (Corps): 80% of city

28.5 billion ft<sup>3</sup> of water were removed (NOAA)

洪水の最終的な状況を衛星写真で確認してみると、水がこのように流れていることが分かります。市街部の 80% が浸水したわけです。フレンチクォーターにはあまり水が押し寄せず、浸水しませんでした。ニューオーリンズにはかなり多くの人々が住んでおりました。東京ほどではありませんが、人口は 50 万人に近く、21 万 5,000 軒の家屋があったわけです。一軒あたり 14 万ドルぐらいの資産価値のものでありました。それが押し流されたということです。ハリケーンの後で、285 億立方フィートもの海水が排水されました。

### ASCE/UCB/USACE Mission: Levee Failure Data Collection Beginning Oct 2, 2005

Not obvious what data was available

Not clear what the failure mechanisms were for the hurricane protection system

    A forensic study

Failure data is ephemeral

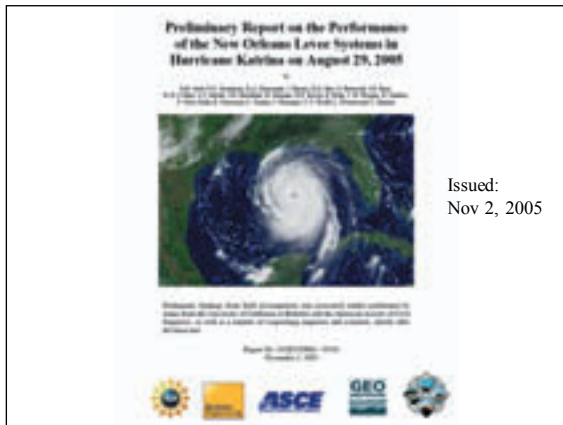
    Repairs cover data  
     Clues about failures are destroyed with time

私どもの調査隊は、堤防が決壊した原因について、ここに示すようなデータを 2005 年 10 月に収集しました。

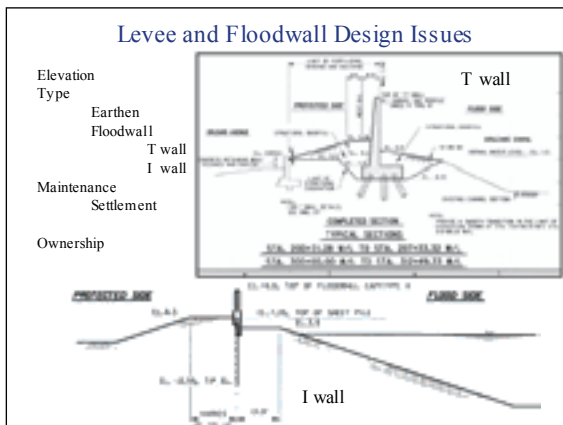
堤防の天端は高潮で生じた水位より高かったのに、何故このような決壊が生じたのでしょうか。カテゴリ 5 のハリケーンに対し、どのような決壊のメカニズムがあったのでしょうか。「堤防はカテゴリ 3 に対して設計していたため、越流が起きたのではないか。」というのが当初の考え方であ

ったわけですが、「必ずしもそうではないのではないか。越流だけが原因ではないのではないか。データを見ながら確認していこう。」ということになりました。

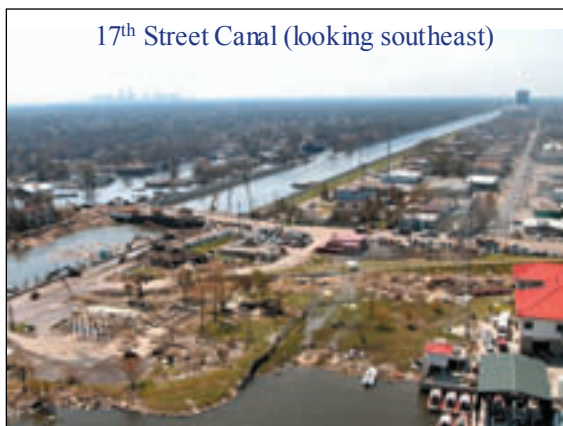
つまり、いわゆる法医学的な観点から、何が起きたのかをしっかりと鑑定していこう、ということになったわけです。この決壊に関するデータは、短時間でなくなってしまいます。気候や天候によって、また、復旧作業を進めていく過程で、何故このような決壊が起きたかを示す証拠は失われてしまいます。ですから、いち早く現地に行くことが重要でありました。証拠が失われる前に確認しなくてはならなかったわけです。



この調査隊は報告書をまとめました。ニコルソン先生のお名前もこちらにあります。私の名前もあります。田中先生も私どもの調査隊の一員でいらっしゃいました。バッチェス先生にも、オランダの先生として、共同調査隊の一員として参加していただきました。ですから、大勢の技術者が関わったわけです。



ここで私どもは様々な形式の堤防を目にしました。アースレビーは、盛土だけでできている堤防です。フラッドウォールはコンクリートの板でできていて、I型壁と呼ばれる縦型のもので、シートパイルか鋼板によって支えられています。小さな堤防でよく使われている構造です。こちらはT型壁で、シートパイルで支持された形式です。



これが、ニューオーリンズの一番西側にある17番街運河のカトリーナ直後の様子です。写真の向かって右側では運河の堤防が決壊していないことが分かります。排水機場は停止していました。左側では市街地には浸水が見られます。そのため、工兵隊はシートパイルを打ち込んで、緊急の修復作業をしたわけです。



この写真は空から撮ったものです。本来であれば、堤防がここに一直線上に、この延長線上にあるべきにもかかわらず、大きく左にずれてしまっています。そして、その両側を見て下さい。盛土の部分から堤防がずれてしまっていることが分かります。



さらに下流側へ行ってみますと、堤防に越流した痕跡のないことが分かりました。ここに越流のできるはずの洗掘がないのです。てっきり越流があったと思い込んでいたのですが、このように芝が全然ダメージを受けていなかったのです。もし越流が起きていたらどういふ状況を引き起こすのか、ということについては後でお見せしたいと思います。



これは17番街運河の近くであります。家屋に損傷が見られます。津波によって破壊されたあのシーンとよく似ているのではないのでしょうか。このように側壁に鉄筋が入っているにもかかわらず、強い水の流れて損傷していることが分かります。いかに強く速い水の流れてあったことが分かります。



そして、このように木の根が抜けて横倒しの状態になってしまい、粘土の層がむき出しになっていました。



これは、決壊したところを緊急に修復しているところです。本来であれば、フラッドウォールのすぐ近くにあるべき盛土が、こんなにずれてしまっています。ですから、越流による破壊ではなかったと言えるわけです。どういふメカニズムで決壊したのかについては、ピーター・ニコルソン先生のお話を聞いて下さい。今後何年にもわたって研究を続けることが必要になると思います。

London Avenue Breach at Robert E. Lee Street (425')



では、お話を次の運河に進めたいと思います。東の方に行くと、二つの運河があります。その一つがロンドン通り運河です。本来であれば、この線にあるべきであった堤防が下（西）の方にずれてしまっておりまして。つまり、ここには強い水流があったことが分かります。堤防のすぐ近くに木があったということも分かります。このように運河に沿って植栽があるのは良くないわけです。

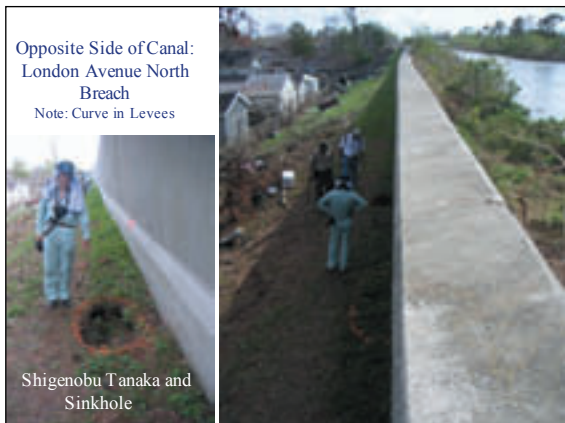
London Avenue Canal (North)



こちらをご覧ください。さきほど少し触れたと思うのですが、裏庭の数メートルぐらいのところまで木がずれて来てしまっています。この木は地盤が持ち上げられることによって根が抜けてしまい、さきほどの写真ではまだ青々としていたのに枯れてしまいました。

以上のように、ロンドン通り運河と17番街運河は、同じような地盤的な破壊が起きたということを示しています。

Opposite Side of Canal:  
London Avenue North  
Breach  
Note: Curve in Levees



Shigenobu Tanaka and Sinkhole

それから、この写真は、同じ運河を反対側から見たものであります。つまり、本来なら真っすぐなのに、堤防のこの部分がずれてしまっています。しかしながら、決壊には至っておりません。水圧に負けていなかったということです。

田中先生が地盤の吸い出された穴を見ております。排水口のようなものです。それからまた、いわゆる噴砂という、水がぼこぼこと吹き出した跡も見られました。

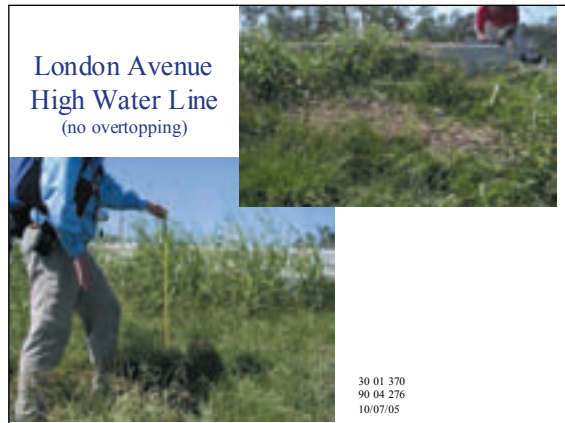
High Water Line at Lakefront



Missing parapet

バッチェス先生が最高水位の跡を見ているところです。ビリーさんが言ったように、観測装置が壊れたり、流失したりしたので、痕跡から最高水位を推定しなければなりませんでした。





この橋をご覧ください。この橋全体にはパラペットがついていましたが、破壊されております。

ロンドン通りで、最高水位の跡が見られましたが、明らかに越流には至っておりませんでした。

二つの運河、西側にある運河については、全く越流は見られませんでした。

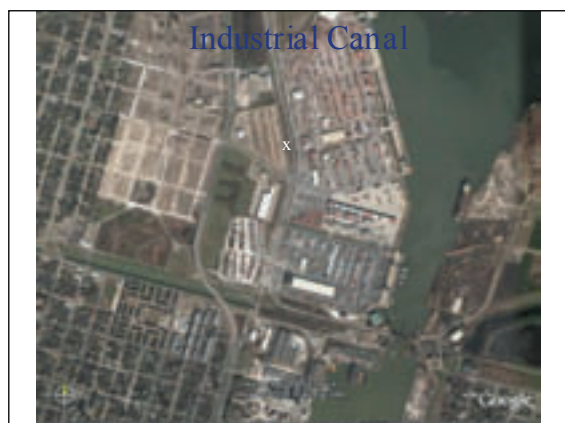


この写真はポンチャートレン湖の堤防です。左側がポンチャートレン湖で、右側は住宅街です。

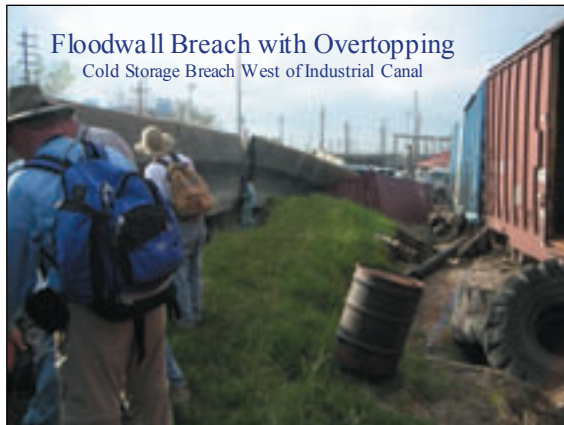
堤防の天端の草ははぎ取られていましたが、盛土はそのまま残っておりました。



ロンドン通りには二つの決壊がありました。堤防が決壊して、大量の水が流れ出した際に、土砂も大量に流れ出しました。このように、車と同じぐらいの高さで、建物の裏に砂が積み上がっておりました。



さらに東には、工業運河という、ポンチャートレン湖とミシシッピ川をつないでいる運河があります。これに沿って堤防があります。ここにあるのが船からコンテナを積み下ろすヤードです。こちらの方にも堤防はありますが、こちらの方が強度の高い堤防です。



この部分を見てみましょう。これがニューオーリンズで初めて見つけた堤防の越流の跡です。ここで決壊し、マウンドにも侵食がありました。



これも同じ場所の写真です。ここでは決壊は免れたのですが、越流によって背後に溝ができ、シートパイルの基礎が露出しております。堤防の基礎に洗掘対策がほどこされていなかったために、このようになってしまいました。

私どもが調査をしているときに盛土の工事が行われておりました。数日後に行っていれば、恐らくこの溝は盛土で分からなくなっていたであります。ですから、このような場合にはいち早く

に調査をしなければなりません。



それから、自動車などを通すためのゲートがあります。これもゲートが決壊した箇所ですが、実はハリケーンカトリーナ以前に列車の事故でこのゲートが壊れてしまい、カトリーナがやってきた時には壊れたままだったわけです。そこで、土嚢を積んで備えたわけでありませぬ。私どもが現地調査をした時には、これはハリケーンリタに備えて積んだものかと思ったわけですが、実はカトリーナが来る前からここは壊れていたわけです。

ゲートは事故によって破壊され、ハリケーンが来た頃はまだ修復されていなかったというわけです。こんなことがあってはいけません。



Industrial Canal (IHNC)

North and South Breach

さて、今度は、9番地区についてお話しします。ここでも二箇所破堤がありました。堤防の背後には住宅があります。赤丸で示しているのはバージです。これはハリケーンが通過した後の状況で、住宅地から運河へ水が抜けています。すなわち、運河から住宅地に流れ込むタイミングではなく、その逆のタイミングで撮影されたものであります。



Industrial Canal Overtopping

この写真は一番南の決壊地点の状況ですが、ここにも堤体の裏側に溝ができており、明らかに越流があったとすることができます。また、ここにバージがあります。スクールバスの上に乗っていますが、幸いも子供たちは既に避難しておりました。



この航空写真から、応急復旧の跡を見ることができます。グレーの部分に応急復旧した部分で、ここが元々の堤防です。そして、これが引き延ばされたシートパイルです。不思議に思うかも知れませんが、ここには全く住宅がありません。コンクリートの基礎だけは残っております。どうしてでしょうか。実は、堤防が決壊したときに、上屋が全て流されてしまったのです。決壊した区間では水の力が非常に大きかったものですから、シート

パイルウォールが平らになるくらい伸び切ってしまいました。シートパイルウォールの長さをよくご覧下さい。決壊した区間よりずいぶん長くなっております。元々はこちらにぴったりとはまるべきものだったのですが、水圧によってこのように伸びてしまっております。

ここに土嚢が見えます。これらの土嚢は応急復旧のために積まれたものです。

## Industrial Canal --Hurricane Rita



A.P. photo, 9/24/05

これはハリケーンリタのときの状況です。私どもがニューオーリンズに行くのが遅れたので、応急復旧した箇所が先に決壊してしまいました。先ほどバージの下敷きになっていたバスはこのバスです。こちらの方にもう一つ決壊箇所が見られません。

## New Orleans East

<http://www.mvn.usace.army.mil/pao/response/amaps.asp>



U.S. Army Corps of Engineers updated July 2003

この図はニューオーリンズの東部の状況を示しています。堤防のあちこちが決壊しています。

## MRGO Canal Overtopping

(north side)



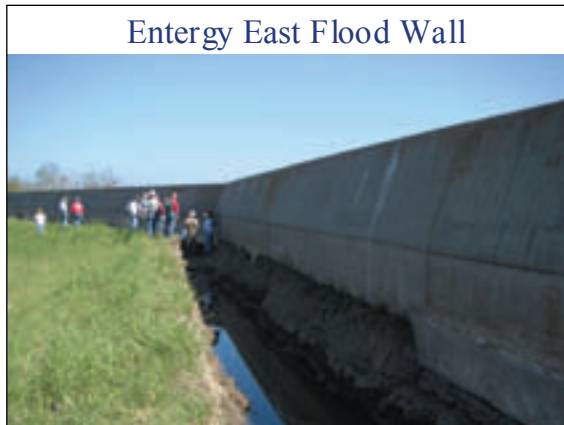
Entergy Levee Overtopping (from their security camera)

ビリー先生から先ほどお見せしましたが、ここには橋が架かっていて、二つの橋脚が見えます。ここには水が流れています。ニューオーリンズに行く前にこの写真を見ておまして、この堤防は恐らく大量の越流によって消失してしまっているのではないかと思いますのでしたのです。

## MRGO LEVEE



ところが、実際に行ってみると、この写真のような状況になっておりました。確かに侵食はあったのですが、堤防としてはよくできたもので、ハリケーンに耐えておりました。



ここには越流による大きな溝ができておりました。しかし、基礎となる地盤はしっかりしておりました。



ニューオーリンズの問題の一つとして挙げられるのは、堤防がバラバラに造られたことです。時にはコンクリート製の堤防、時にはシートパイル、時には盛土だけであったりするのです。この写真には3種類が全てそろっています。後でコンクリート製のI型壁を乗せることを考えて、シートウォールということもあります。何れにせよ、堤防の高さがまちまちなので、水は低い区間から越流し始め、そこから決壊します。



これはMRGOの堤防です。この堤防は砂でできていたわけですが、大量の越水があつて、すっかり削り取られて平らになってしまいました。

### First Week Team Members

ASCE COPRI  
 Robert A. Dalrymple, JHU  
 John R. Headland, Moffatt-Nichol  
 Jurjen A. Battjes, T.U. Delft  
 Shigenobu Tanaka

ASCE GEO-Institute  
 Peter C. Nicholson  
 Francisco Silva, Consulting Engineer  
 Joseph Wartman, Drexel  
 R. Lee Wooten, GEI Consultant

University of California, Berkeley  
 Robert G. Bea  
 Raymond B. Seed  
 Jonathan D. Bray  
 Rune Storesund

現地調査チームのメンバーがここに書いてございます。

それでは、ここでピーター・ニコルソン先生にマイクをお渡して、今申し上げました内容についての分析をしていただきます。

## 【質疑応答】

(質問) 中村(国土技術政策総合研究所)と申します。アメリカに、ニューオーリンズと同様のリスクにさらされている都市は、他にございませんでしょうか。あるいは、ニューオーリンズとは特別な街なのでしょうか。

(回答) ニューオーリンズは特別だと言えると思います。ただ、他にもリスクのあるところがあります。サクラメント・オブ・バレー、つまりカリフォルニアですね。ここにはかなり大規模な堤防システムがあります。たびたび洪水に見舞われておりますので、場合によっては悲惨なことが発生する可能性があります。また、ハリケーンという点ではメキシコ湾沿岸、そしてアメリカ東海岸でもハリケーンによる高潮被害の結構あるところがあります。ただ、ニューオーリンズほどの被害ではないかも知れません。ニューオーリンズはゼロメートル地帯であるのです。ハリケーンリタが来襲したときには、ヒューストンやガルベストンでも警戒しました。テキサスのガルベストンでは、1900年に大規模なハリケーンによって6,000人の死者を出しております。そのため地盤を高くして安全性を高めましたが、リタが襲来した時には大きな被害が出るのではないかという懸念がありました。しかし、地盤を高くしていたおかげで、高潮はありましたが、すぐに排水されました。ところが、ニューオーリンズでは排水されることなく、どんどん浸水していったのです。

(質問) 私(司会者;田島,東京大学)から聞いてよろしいでしょうか。堤防の高さ、特に工業運河の堤防の高さは、ニューオーリンズの西側にある17番街運河のものと同様の高さだと思います。しかしながら、様々な解析によると、高潮は東から西へ流れたということです。つまり、高潮は東側の方が西側より高いと思うわけであります。それなのに、なぜ堤防の高さは西側も東側も同じだったのでしょうか。

(回答) 私には分かりません。先生のご指摘はその通りであります。確かに堤防は東の方が高くなっているべきでありましょう。

## (5) FAILURE OF THE NEW ORLEANS LEVEES – GEOTECHNICAL ISSUES

Peter G. Nicholson, Ph.D., P.E., University of Hawaii at Manoa, peter193@aol.com

### INTRODUCTION

Hurricane Katrina was a major storm for the Gulf of Mexico and the Gulf Coast states of the U.S. However, it was not unprecedented nor was it the maximum storm which could strike the area. In fact, in a number of locations where failures occurred, design levels were in excess of the maximum storm surge created by Katrina.

It was expected and predicted that the high winds and anticipated storm surge would cause some damage and flooding as the storm made landfall and pushed inland. What was not fully appreciated was the consequences of a widespread failure of the Southeast Louisiana flood control system including New Orleans and surrounding areas.

### INITIAL FIELD ASSESSMENT

The American Society of Civil Engineers (ASCE) organized an independent team of experts to travel to New Orleans to conduct early reconnaissance of the affected area and establish ties with the U.S. Army Corps of Engineers' (USACE) investigative team. The team from ASCE's Geo-Institute was joined by members of the Coasts, Oceans, Ports and Rivers Institute (COPRI) and a National Science Foundation-sponsored team, predominantly from the University of California at Berkeley. The initial objective of all of the teams was to collect data and make observations to be used to assess the performance of the flood control levees in an attempt to determine why certain sections of the levee system failed while others did not.

What was found in the field was very different than what was expected given what was reported in the media. Rather than a few breaches through the city's floodwalls caused by overtopping, the teams found literally dozens of breaches throughout the many miles of levee system. From a geotechnical perspective, it was very interesting that many of the levee problems

involved significant soil-related issues. A number of different failure mechanisms were observed, including overtopping scour erosion, seepage and piping, and soil foundation failures.

The preliminary findings of the field assessment were presented to the US Senate Committee on Homeland Security and Governmental Affairs in November 2005 with a simultaneous release of a joint report by the ASCE and NSF teams.

### TECHNICAL INVESTIGATIONS

Over the past several months a number of investigations have been undertaken to assess the technical details of the levee failures and to establish the current condition of the entire hurricane/flood control system. The largest of these investigations, the Interagency Performance Evaluation Taskforce (IPET) was organized by the U.S. Army Corps of Engineers (USACE), and combined the efforts of a wide range of experts from government, industry and academia. Additional independent investigations were conducted by the NSF/UC Berkeley team and Team Louisiana, sponsored by the State of Louisiana and spearheaded by members from Louisiana State University's Hurricane Center.

While each of these investigations had various goals and objectives, all have concluded that a number of the failures and subsequent resulting damage should have been preventable given the state of engineering knowledge. A number of systemic flaws have been identified and many lessons have been learned from this disaster, which will assist in improving the practices of critical hurricane protection for New Orleans and other developed regions around the world.

Technical reviews of these investigations are now being undertaken to validate the findings and then present to the general public.

## ニューオーリンズの堤防の破壊—地盤的な問題

ハワイ大学教授 Peter G. Nicholson

### はじめに

ハリケーンカトリーナは、メキシコ湾や米国メキシコ湾沿岸の各州を代表するハリケーンであった。しかしながら、このハリケーンの強さは予期せぬものではなく、この地域を襲った最強のハリケーンでもない。実際、被災地の多くでは、設計潮位がカトリーナによる最大高潮偏差よりも高かったのである。

「ハリケーンが上陸して内陸に進むと、強い風が吹いて高潮が発生し、それが破壊や浸水を引き起こすであろう」ということは予期されていたし、予測もされていた。あまり喜ばしくないことに、ニューオーリンズとその周辺を含む南東ルイジアナ洪水防止システムが広範囲で機能しなかったことが問題になった。

### 初期の現地調査

米国土木学会 ASCE では、被災地の踏査と米国陸軍工兵隊 USACE の調査隊との連携を目的として、ニューオーリンズへ向かう、自主的な専門家チームを素早く組織した。ASCE の地盤工学会の調査隊には、カリフォルニア大学バークレー校を中心に、海岸・海洋・港湾・河川委員会 COPRI のメンバーや全米科学財団 NSF が後援する調査隊も合流した。何れの調査隊でも、洪水防止堤防の性能の照査に用いるデータの収集や観測を行うことを当初の目的としていた。そこには、「堤防が決壊したところとしなかったところがあるのは何故か」を突き止める意図があった。

現地に着いて分かったことは、メディアで報道され、思っていた状況とは、まるで違うということであった。調査隊が目当たりにしたものは、市街地の堤防が数カ所で越流によって決壊したことよりはむしろ、何マイルも続く堤防が本当に数十もの地点で決壊していたことである。地盤工学

の視点に立つと、この堤防の問題点の多くが土質に関係したものであり、非常に興味深かった。越流による洗掘、浸透とパイピング、土質基礎の破壊を含む、様々な破壊メカニズムが見られたのである。

現地調査ですぐに判明したことは、2005 年 11 月の上院国家安全保障・政府問題委員会に報告され、それと同時に ASCE と NSF の調査隊による共同報告書としても発行されている。

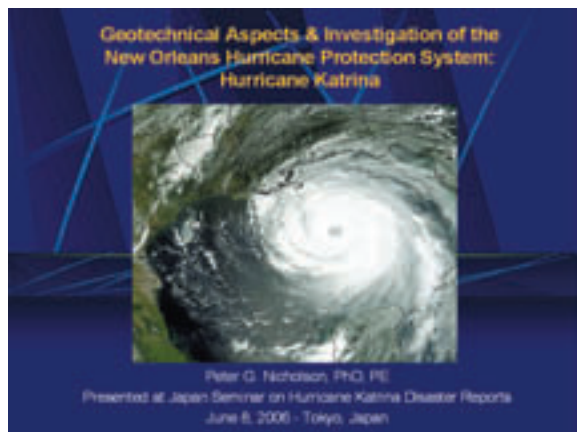
### 専門的な調査

この数ヶ月間に、堤防の決壊を専門的に詳細を評価し、ハリケーン／洪水防止システム全体の現状を確かめるために、多くの調査が開始されている。その中で最大のものは関係機関合同性能照査タスクフォース IPET によるものであり、この組織は米国陸軍工兵隊 USACE によって組織され、産学官の様々な分野の専門家を結集させたものである。その一方で、NSF/カリフォルニア大学バークレー校の調査隊やルイジアナ調査隊によっても補足的な現地調査が行われているが、これらはルイジアナ州が後援し、ルイジアナ州立大学ハリケーンセンターの先導によって行われているものである。

これらの調査は、それぞれ色々な目標と目的をもって行われたが、「工学的な知識があれば、おびただしい数の被害やそれによる二次的な被害は防げたはず」と結論づけている。多くの弱点が明らかにされ、この災害から多くの教訓が得られた。ニューオーリンズや世界の他の発達した地域には際どいハリケーン対策を行っているところもあるが、この対策を見直す上で役立つだろう。

以上の調査の結果に対する技術的評価は現在行われており、それが終われば一般にも公開されるだろう。





ご紹介ありがとうございます。そして、私の方からも、このようなセミナーに招聘して下さったことを、心から御礼申し上げます。

私は、先にご発表のあったダーリンプル先生とともに、現地調査隊の一員を務めましたし、ここ数カ月にわたり、アメリカ土木学会のチームの一員として研究を続けてきました。ある意味、継続的な形で、カトリーナというハリケーンによる被害について研究を進めてまいりました。

ご説明があったかと思いますが、私は地盤工学的な観点から色々と説明を進めていきたいと思えます。今までの構造物の設計、施工において何が問題だったのか、あるいは、ハリケーン防災システムにどのような欠陥があったのか、ということについて、お話をしていきたいと思えます。



南東ルイジアナのハリケーン防災システムは、人工構造物として、設計、施工されたわけであり、ニューオーリンズ、それからその周辺地域の人命と財産を保護するためのシステムであったわけですが、ハリケーンカトリーナという最初に遭遇した試験で不合格になってしまったわけであります。

不合格になったのは何故でしょうか。このシステムは、橋梁等の一般的な土木構造物と同じような方法で設計されたわけではありません。100年にわたって、建設が進められてきたものでありま

す。1908年の建設当時は人力で行われました。土で造られた堤防は、既存の堤防の上にさらに盛り上げる方法で、上手くいった時も失敗した時もあったわけです。

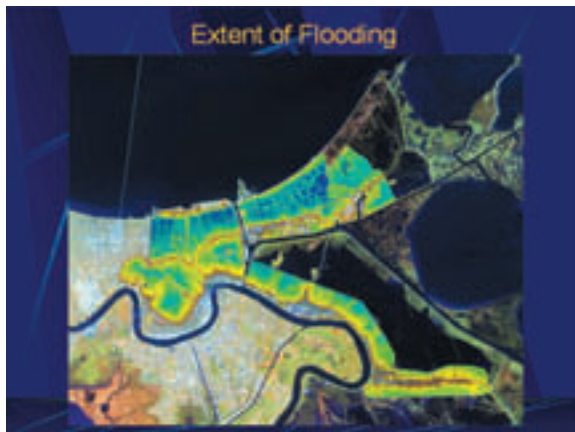
シートパイルをその上に打ち込んだという時もありました。特に1965年には洪水があったわけですが、それ以降の建設はまだ竣工していません。つまり、40年経った今でも1965年の洪水を機に始められた対策は完成していないという状況なわけであります。



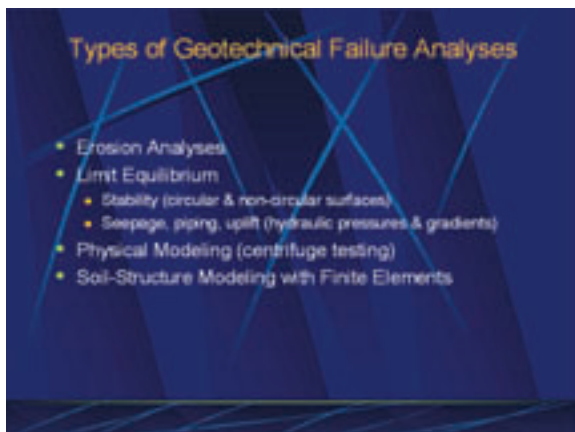
この図はカトリーナの進路を示しています。カトリーナが来襲する前から、若干の洪水はあるだろう、越流も起こるのではないか、と思われていました。



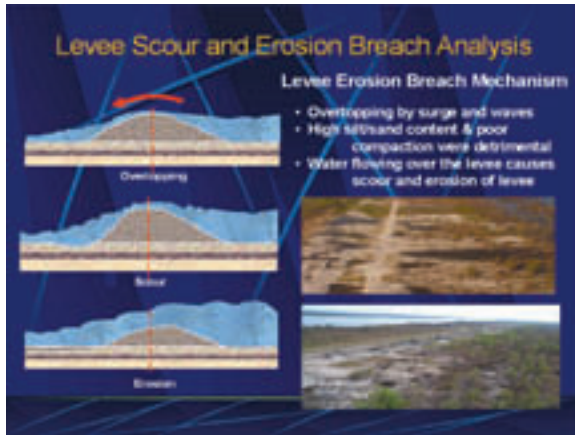
しかし、何故これだけ大きな被害になったと言いますと、決壊の箇所があまりにも多かったためであります。決壊によって、これだけ広い地域が浸水しました。



これは航空写真に浸水の範囲を示したものであります。今さっきも写真をご覧になったと思いますが、浸水の大半は堤防の決壊によるものであります。



被災現場の調査の後に、IPET としては、堤防がどのような地盤工学的な欠陥によって決壊したのかについて、研究を進めました。例えば、侵食の程度、円形滑りに対する安定性、砂であればどれぐらいの透水性であったかについて、縮尺 1/50 で遠心载荷試験などを行って物理的なモデリングをし、有限要素法で数値解析をしたわけがあります。



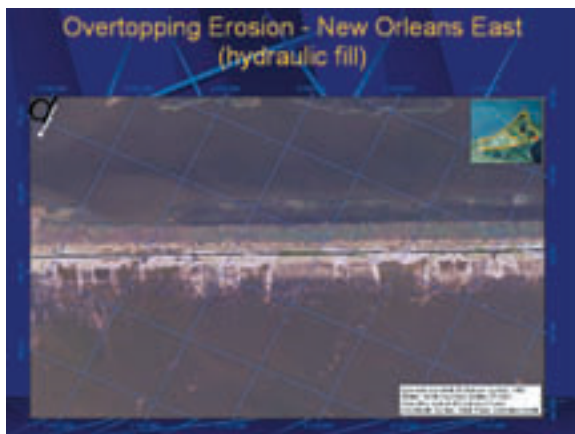
ではまず、堤防の洗掘について見ていきたいと思ひます。堤防を上回るような高潮が発生し、越流が生じて、その堤防の裏法面ではこのように洗掘が生じたわけです。そして、完全に洗い流されて、消えてしまった堤防もありました。



エッジ先生の写真でもご覧になったかと思ひますが、高潮は東の方からやって来ましたが、これが堤防の設計に用いた潮位です。これに対してカトリナの時の潮位が記されているわけですが、この潮位の方がはるかに高いことが分かります。2 m も差のある所もあったわけです。このように、高潮がほとんど全ての堤防を乗り越えて陸地に流れ込んだのです。



同じような写真を既にご覧になっていると思ひます。この写真は MRGO の南岸の状況です。



それから、さらにこのような状況も見られました。この部分はサンドコアです。この堤防は水締めめの堤防であったわけです。ポンプで水締めをしてもあまり締め固まっておらず、土の密度は低かったのです。



そして、このようなサンドコアの堤防も、ハリケーンカトリーナという試験に対して、それほど良い成績ではありませんでした。前にもお見せした通り、これは盛土による堤防であったわけです。



ただし、この堤防については水締めではなく、良質な砂などを用いて締め固めたものであったため、決壊しておりません。

**Findings and Lessons Learned**

**Levee Scour and Erosion:**

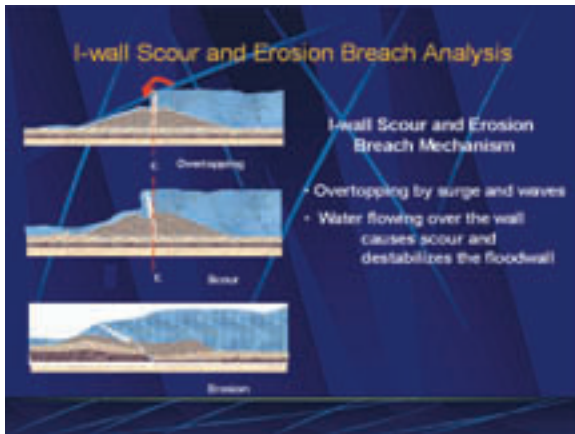
- **Failure Mechanisms:**
  - Overtopping from surge and waves
  - Hydraulically filled levees (uncompacted) performed poorly
  - Levees with high content of silts and sands performed poorly
- **Lessons Learned:**
  - Need to assess the erodibility of the emplace levee materials
  - Avoid silts and sands and hydraulic fills for levee construction
  - Increase the compaction effort for levee materials
  - Provide overtopping protection

それでは、洗掘について分析した結果をご紹介します。お伝えしたいことが二つございます。これは現場で撮ったもので、透水性の高いところから低いところを記しています。材料が砂であると透水性は高く、粘土であると透水性は低くなり、さらに締め固めがどれだけ行われているかによっても、堤防の強さは左右されません。水締めに比べて、砂や粘土を用いて締め固めをすると頑丈な堤防ができるわけでありませぬ。

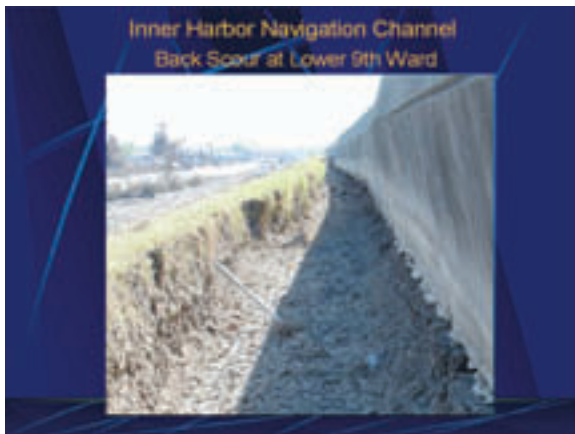
その結果として分かったことは、特に盛土の堤防に高潮や高波で越流が生じた場合に、水締めの堤防はあまりいい成績を取っていないということです。ところが、シルトや砂の堤防でも成績は悪かったわけです。カトリーナで得られた教訓は、材料によって透水性が違うということです。なるべくシルトや砂、水締めの堤防を避け、圧密性の高い材料を用いて、ローラーなどでしっかりと締め固めることが必要なわけでありませぬ。



ここに示す範囲で浸水が起きました。水締め  
の堤防でも、それ以外の堤防でも決壊したのです。  
色々なパターンの決壊が起きました。



この図は堤防の上に I 形壁のある場合の破壊  
過程を示したものです。これもまた、高潮と高波  
によって越流が生じ、I 形壁が倒れてしまっ  
たのです。I 形壁の裏側は洗掘され、支持力を失  
って倒れました。



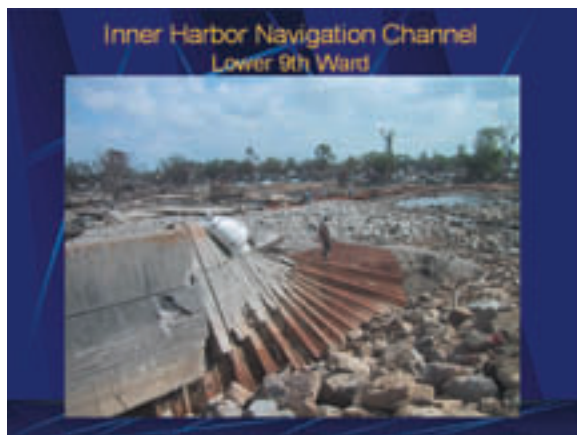
この写真がその証拠であります。この I 型壁が  
傾いているのが分かります。



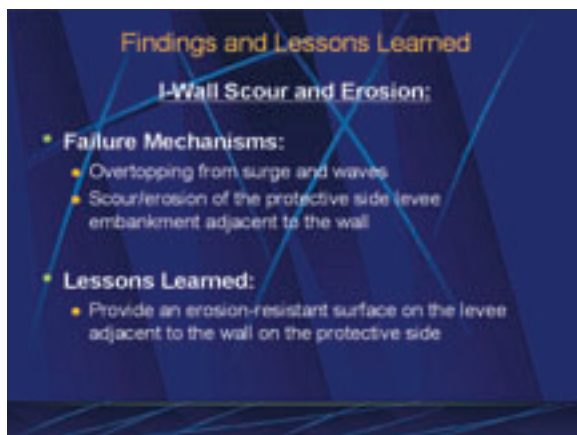
ここが元々の地盤の高さでした。洗掘によって  
この壁を支持できなくなり、傾いたということ  
であります。



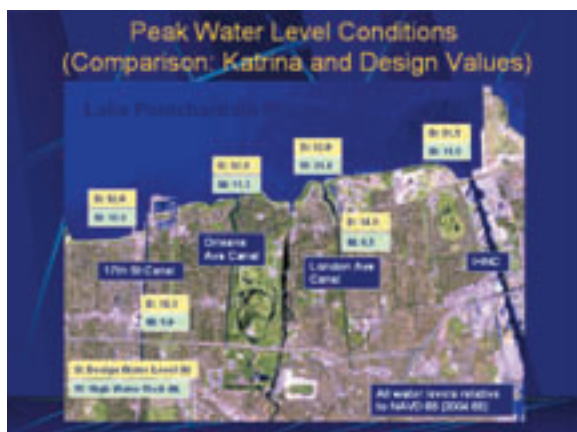
こちらにも洗掘で I 型壁が傾いた現場です。



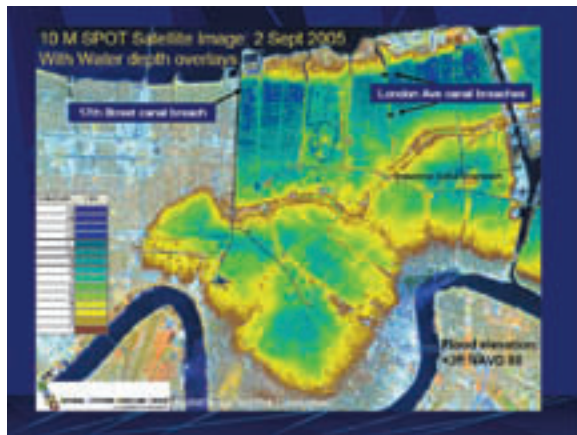
最後に、最悪のケースをお見せしましょう。堤防が完全になくなってしまっています。これは第 9 区の南の方で起きたもので、I 型壁の裏が洗掘され、法面が削られました。



これらのことから得られた教訓は、堤防の法面の保護が必要だということであります。越流による洗掘に耐えられる堤防にしなければなりません。



この図は堤防の設計に用いた水位とカトリナが来たときの水位を比較したものです。ご覧のように、ポンチャートレン湖に面した堤防では越流はありませんでした。実測値が全て設計値を下回っているのが分かると思います。高潮は堤防を下回るレベルであったわけであります。



しかし、決壊が3カ所、17番街運河、オーリンズ通り運河、ロンドン通り運河で生じたわけであります。

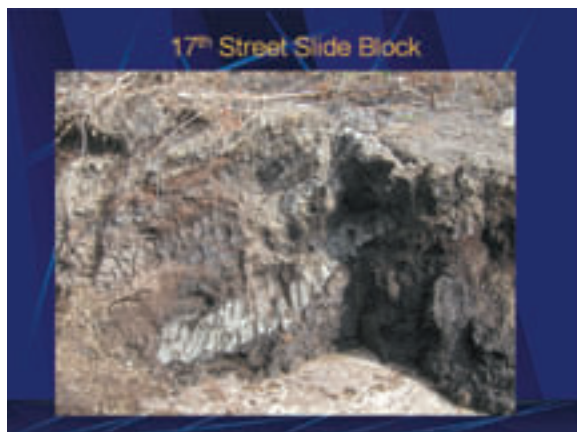


17番街運河のスライドは既にご覧になっているかと思いますが、ここで決壊しております。これはハリケーンの翌日に撮影されたものですが、まだ洪水が続いております。

堤防の法線が直線ではなく、ずれていることが分かります。50 m 以上も横にずれています。



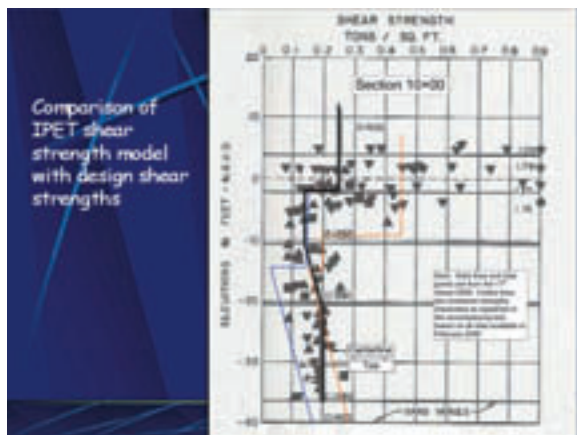
この堤防は締め固めた土で造られたものですが、PEATと呼ばれる極めて軟弱な地盤の上に乗っているために、堤防が滑ってしまったわけです。



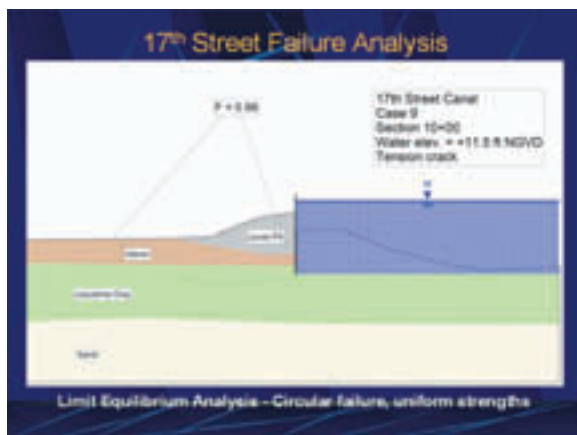
さらに、地盤の発掘調査も行って、堤防や基礎地盤がどれぐらいずれたのかを調べました。真ん中にあるのが粘土の層で、その上下にPEATの層があります。



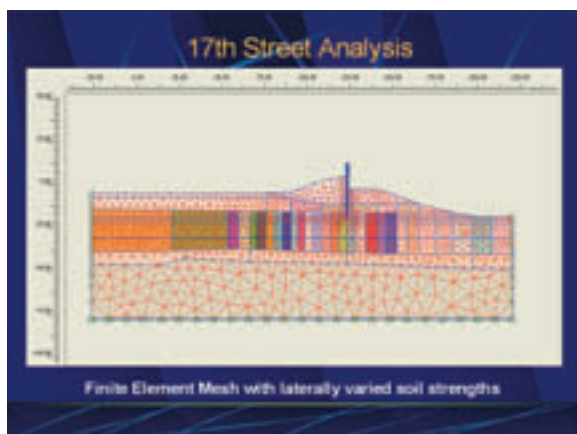
このような成層のできかたを分析した結果をこの図に示します。粘土が徐々にピートの真ん中に入り込み、一番上の層がピート、真ん中が粘土、そして、またピートという成層になったということが明らかになりました。そして、どうしてこのような地盤の破壊、あるいは堤防の決壊があったのかと言いますと、設計に問題があったからであります。



これは現地で得られた土質のデータです。黒い線は剪断応力を示しており、安定解析をする際に使われるものです。堤防の地盤の強さは一様ではなく、真ん中に比べて両端では強度が十分ではありません。これが大きな問題でした。

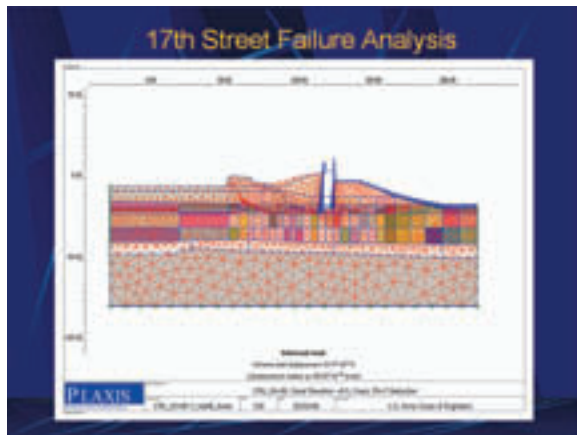


さらに、この決壊地点について地盤の安定計算をすると、このような円弧滑りが起きるという結果になりました。これが堤防の決壊の原因であります。



これを有限要素法で解析すると、真ん中から端に行くほど弱くなっていることが再現されました。そうすると、堤体のところで水位が上がり、隙間が生じ、決壊の原因になるのです。つまり、中央より端が脆弱であることが、堤防決壊の一つの原因であることが分かります。

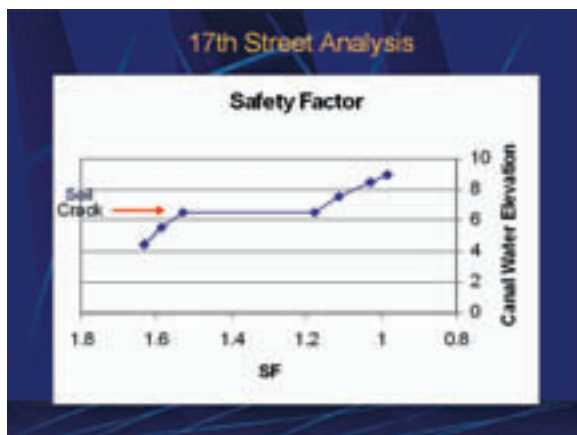




この図も応力の状態を示しております。



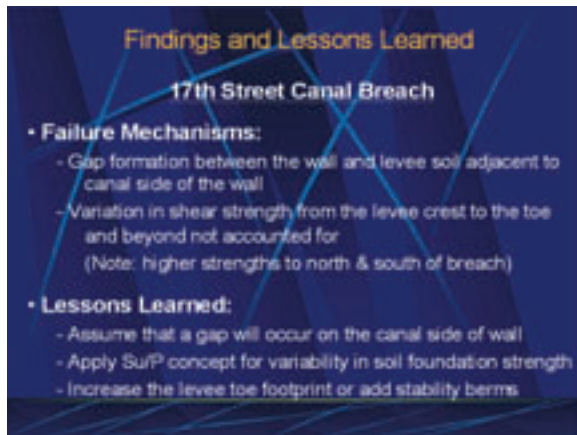
運河の水位が徐々に上がっていくと、地盤にひび割れが生じますが、これは水圧によって生じたものではありません。



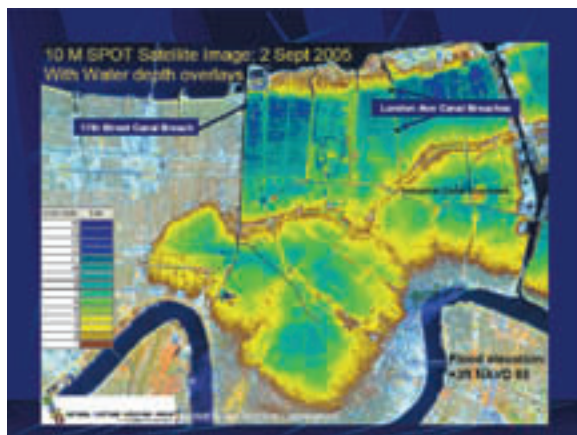
この図は運河の水位と安全率の関係を示したものです。堤防に割れ目があると、このように安全率が急激に低下し、8 フィート以上の水位になると安全率が1未満になって、決壊の原因になることが分かります。



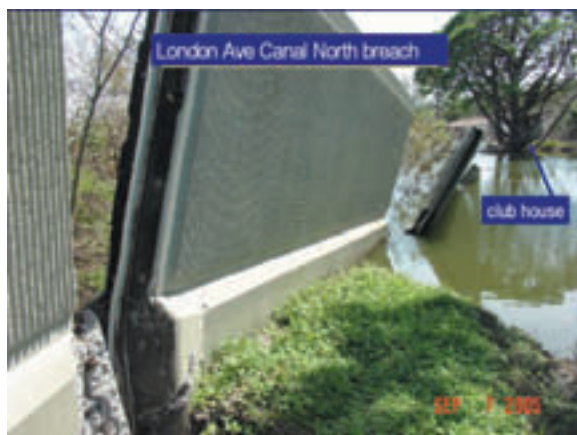
実験室で行った小縮尺の模型実験の結果は、先ほどの数値計算による結果を裏づけています。ここに隙間生じて、側面が変形するのが見られます。ですから、17 番街運河には、粘性土があつて、水位が上がると水圧が堤体と盛土の間の隙間に集中し、この堤体が横にずれたということが分かります。



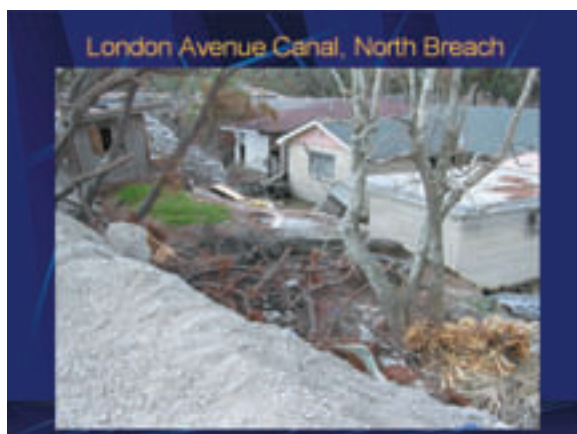
以上のことから、色々なことが分かりました。堤体と盛土の間に隙間のできることが問題なのです。それから、盛土の天端から法尻までの剪断力にばらつきがあることも問題なのです。したがって、このように隙間が生じるということを想定しておかなくてはならないということ、また、基礎地盤の強度のばらつきを是正しなくてはならないということが分かりました。



ロンドン通り運河の決壊の原因はまた違っております。



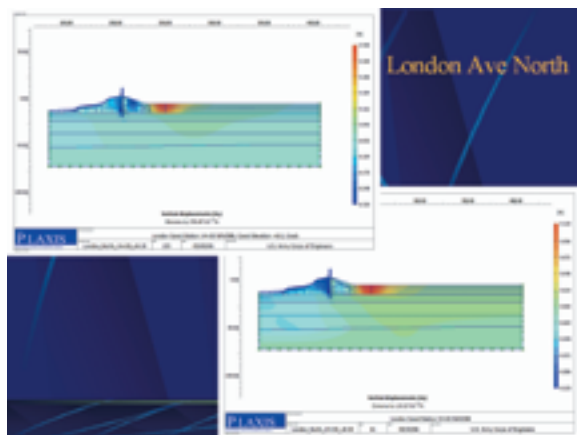
こちらをご覧ください。さきほど申し上げたクラブハウスがここにあります。明らかに決壊しております。



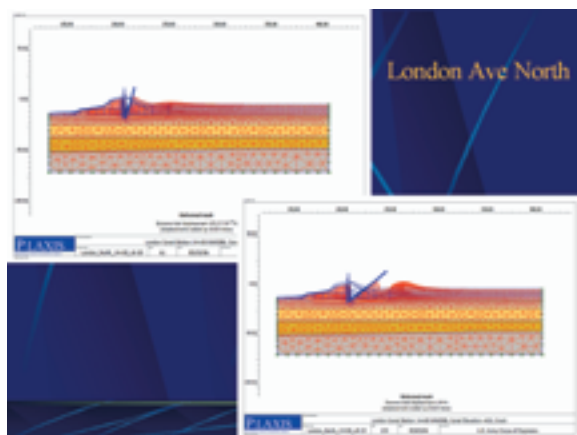
これは、被災直後の状況であります。クラブハウスは元々この家と同じ高さであったのに、このように隆起してしまっていることが分かります。そして、大量の砂があることが分かります。運河の反対に、このような砂はありません。土質的には、これが粘土で、これが弱い部分ということになるわけです。



こちらはロンドンブリッジのところですが、その下には砂の基礎地盤があり、パインイズビーチリッジと呼ばれております。そもそも基礎地盤の材料が全然違ったわけです。



そこで、この断面に対して、土質分布を調べ、有限要素法による数値解析を行いました。この図のような応力分布になります。



この図は、堤体が傾き、地盤が横にずれて、堤防が決壊する過程を有限要素法の数値計算モデルで再現した結果です。ここにクラブハウスがあると考えて下さい。少し地盤が隆起しております。



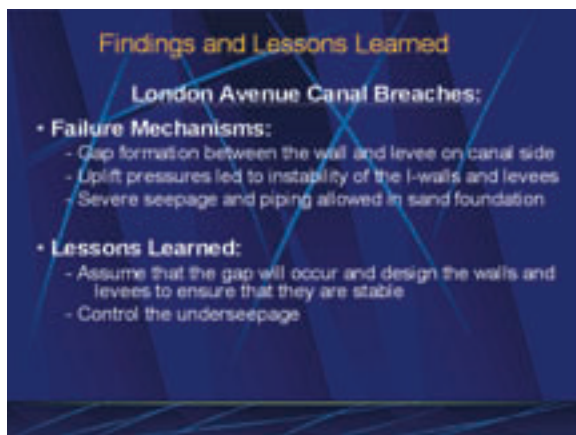
そして、隙間が開いて、この壁が傾いています。ロンドン通り運河の北部にあるノースブリッジのところの決壊は、運河の水が堤防と盛土の間の隙間から砂の基礎地盤に侵入し、これが反対側の盛土を下から上に持ち上げる圧力になり、堤防の決壊に至った、という過程が模型実験によっても確認されました。

ロンドン通り運河の堤防の二つ目の決壊は、別

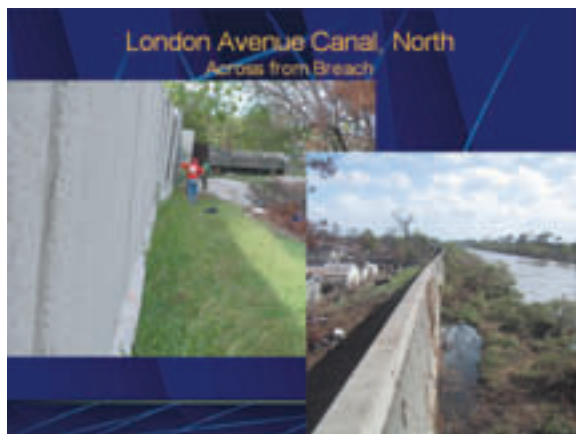
のメカニズムによるものです。ここでは土嚢を投入して、緊急の締め切りをしようとしたわけですが、大きな穴が開いておりました。

隣接部では、下にあった土質が吹き出したものと考えられます。この現象についてはさらに調査が必要です。これは車が吹き出した砂で埋まっている様子を示したものです。これだけの量の砂がここあるということは、この砂が堤防の決壊に何らかの関係を持っていると考えるべきでしょう。

それから、シーページの解析をすると、水がこのように砂層に入り込み、その動水勾配によって急激なパイピングエロージョンが起きたと考えられます。最初のうちは小さな動水勾配だったのですが、間隙水圧が上昇し、エロージョンが起き、さらにそれが進んだ結果、堤防が決壊したのです。これがロンドン通り運河の南部における決壊の原因であります。すなわち、シーページパイピングエロージョンと安定性の低下という二段階によるものであると言えるわけです。



ロンドン通り運河の堤防の決壊では、隙間ができており、圧力の変化を見ていく必要があります。砂層では非常に大きなシーページやパイピングが発生し、地盤の安定性が損なわれたということがあります。そして、大きな圧力が下から上に向かって作用し、安定性が損なわれたというメカニズムも存在しています。この隙間を防ぐように設計することが必要であります。それから、アンダーシーページを防ぐことも必要であります。



これはちょうど決壊した箇所で、先ほどもお見せしたように、法線が曲がっているのが分かります。盛土には隙間や割れ目が見られます。堤体は5度ぐらい傾いてしまっています。

ここで、何故一方の岸だけが決壊して対岸は決壊しなかったのか、について考えてみましょう。こちらでは応力が作用して既に割れ目ができる状況になっています。つまり、対岸ではすぐに決壊し得る状況になっていたわけです。地盤の安定性

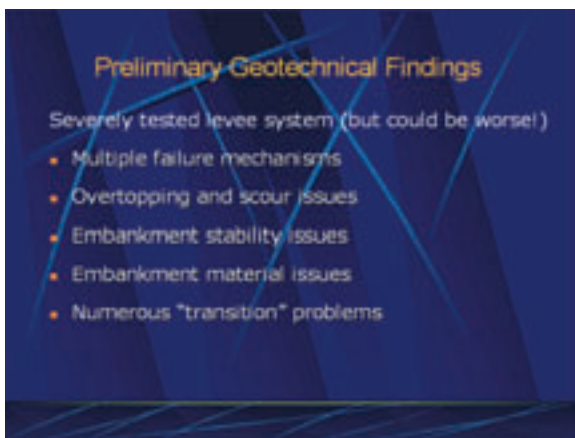
に関して見ていきますと、こちらが決壊した側です。青い点線で示しているのが水位で、この水位まで上がると安定率が1を切ります。この安全率が1を切ると決壊します。一方、対岸では盛土に割れ目はあるけれど、決壊には至っておりません。こちら側が決壊を免れたのは、対岸が先に決壊したからだということが分かります。



3つ目は、オーリンズ運河についてです。何故この運河は決壊した2つの運河の間に位置するにもかかわらず、大丈夫だったのでしょうか。この堤防の構造を見てみたいと思います。

実は、この運河は決壊した他の2つの運河より後に造られたものなのです。そのため、堤防の構造がしっかりしていたわけです。バームも入っているので安定性は高く、強度も強いのです。堤防の幅がこれだけ確保されているわけです。このよ

うな理由があって、この運河の堤防は生き残ったということです。



どこが決壊し、どこが決壊しなかったのか、ということは非常に良い教訓になると思います。越流がどのように起き、どのように決壊に至ったのか。このような堤防のテストをしたことによって、様々な決壊のメカニズムが絡み合ったものであり、一つの原因で起きたものではないことが分かりました。そして、越流で洗掘が起きていることは、重要な問題であると分かりました。

それだけではありません。堤防の盛土の安定性にも問題があったということです。盛土の土質材料についても、砂質で侵食されやすいものを使うと、天端が削られるという問題になり得るということです。

そしてまた、様々な材料をどの高さまで盛り上げるのかということは、地盤工学的な観点からだけでなく、建設費用も考慮して、総合的に判断していかななくてはいけないということです。

ご清聴ありがとうございました。

## 【質疑応答】

(質問) 杉本（新日本製鐵）と申します。ご質問させて下さい。将来の対策に関して、特にその中でも堤防の構造について、お伺いしたいと思います。この質問に対する答えの一部は、次の講演者からいただけるのかも知れませんが、どのような技術や工法を使うとこのような堤防の決壊を防ぐことができるのか、災害の対策を講じることができるのか、ということをお聞きしたいと思います。フラッドウォールに関して分かってきたことも色々あるようですが、それ以外にも何か改善点はあるのでしょうか。単に高さを高くするという以外に、構造をどうするのか、材料として何か他のものを使うのかとか、考えていらっしゃいますか。

(回答) その点について私は何もフォローしていません。工兵隊のメルビー先生からこの後に再建計画に関するお話をしていただくことになっていますので、是非お聞き下さい。それから、この災害では、色々なことを教訓として学びました。例えば、越流をいかに防ぐか、バーミングをどうするか、それから、越流が生じたときに浸水が広がるのを防ぐのにどうしたら良いのか、ということも分かりました。アースエンバンクメントの材料が良くなかったので再考しています。もっと良い材料を使ったり、しっかり圧密したりする工法も考えられています。すなわち、堤防の材料に砂粒分の多いものを使って、大きく頑丈な堤防に改良していくことが考えられています。

(質問) 高橋（港湾空港技術研究所）と申します。私の方からは、地盤工学の技術に関してお伺いしたいと思います。現在持っている地盤工学の技術で、堤防の耐力や破壊のしかたを予測し、防災性能としての性能を評価することは可能なのでしょうか。

(回答) 現在ある技術は、このような堤防の設計がなされてから 20 年の間にかなり進歩してきたものではないかと思えます。ただし、残念ながら、その技術の一部には 20 年前から変わっていないものもあります。設計に使われているものも使われていないものもあります。模型実験、数値計算、現地試験など色々な解析方法の結果を突き合わせてみると、これらの結果はかなり似ている、というのが私どもの理解です。つまり、現象の再現性はかなり高く、結果の信頼性も高いということです。ただし、何が起こるかということについて、例えば決壊に関する実際のデータが必ずしもあるわけではありません。全く決壊しなかった区間について、決壊しなかった原因を証明するデータを集めることは容易ではないのです。堤防はかなりの応力を受けましたが、耐え切って決壊に至らなかった区間もあります。このような場合に、他の区間の安定性を予測することは、なかなか困難です。しかしながら、これらの技術は今後さらに改善する余地があり、まだまだ進歩させることができると思えます。

(6)

## **South Louisiana Comprehensive Coastal Protection and Restoration**

Jeffrey A. Melby, PhD

Hurricanes Katrina and Rita devastated Southern Louisiana during the Fall of 2005. The high level of destruction was partially due to long term sediment supply constraints and related coastal erosion. Local constituencies demanded that the Federal, State, and local Governments take action in order to provide coastal protection for their communities. Immediately following Hurricane Rita, The United States Congress formally directed the U.S. Army Corps of Engineers, in partnership with the State of Louisiana, to develop a full range of flood control, coastal restoration, and hurricane protection measures for South Louisiana. This study, called the South Louisiana Comprehensive Coastal Protection and Restoration, or LACPR, included conceptual design of a levee system that would span the Louisiana coastline from the Louisiana-Texas border to Slidell. The levee system was in direct response to the congressional directive for a “comprehensive category 5 hurricane protection system”. The study was conducted and a preliminary report was drafted that is presently under review.

The study included developing a suite of Category-5 hurricanes. As part of this effort, a team of internationally renowned hurricane experts were assembled to define the criteria for developing the design storm suite. For preliminary design, a storm similar to Hurricane Camille in size, minimum central pressure, maximum wind speed, and forward speed was identified as being reasonable and representative of the “category 5” directive. The hurricane tracks were varied to follow tracks of historical hurricanes. Hurricane winds, wind-wave development, storm surge, and wave transformation numerical models were employed to determine surge and wave conditions along the 5 levee alignments. The maximum surge and coupled wave conditions and wave setup were applied along the coast using some engineering judgment in order to develop design conditions for the levee protection system.

Five levee alignments were selected from many alternatives. The differences between the alignments included planform location of the levee to provide varying strategies of protection. The minimal alignments left some communities without protection. Two of the levee alignments included large cutouts to provide open exposure for tidal wetlands.

A workshop was held in Vicksburg to define potential structural and foundation alternatives. Primary problems addressed included deep soft foundation materials and high-cost shallow-sloping levee cross sections. A number of very innovative structure cross section and foundation alternatives were proposed. Most of the alternatives will require significant engineering analysis that could not be completed for the preliminary design. Therefore, the preliminary analysis only included conventional trapezoidal earthen levees with varying armoring alternatives and simple foundation treatment, such as deep-soil mixing. The final design of the levee system will be summarized in this presentation.

## 南部ルイジアナの総合海岸防災と復興

米国陸軍工兵隊技術研究開発センター Jeffrey A. Melby

2005年の秋に、ハリケーンカトリーナとリタはルイジアナ州南部に被害をもたらした。その甚大な被害は、一つには長時間の強制的な土砂供給と海岸侵食によるものであった。各地域の人々は、連邦政府、州政府、地方の政府機関に対し、彼らの地域の海岸を守る施策の実行を求めた。ハリケーンリタの直後に、アメリカ合衆国議会は米国陸軍隊に対して公式に、ルイジアナ州と協力し、南部ルイジアナのできる限りの氾濫防止、海岸の復興、ハリケーン対策に努めるよう指示を出した。この調査は南部ルイジアナ総合海岸防災・復興LACPRと呼ばれ、テキサス州との境界からスライデル市に至るルイジアナ州沿岸をまたぐ堤防システムの概略設計も含んでいる。この堤防システムは、議会の「カテゴリー5のハリケーンに対する総合防災システム」に関する指示に応じたものである。この調査は終了し、暫定報告書が作成されて、その内容の吟味が行われているところである。

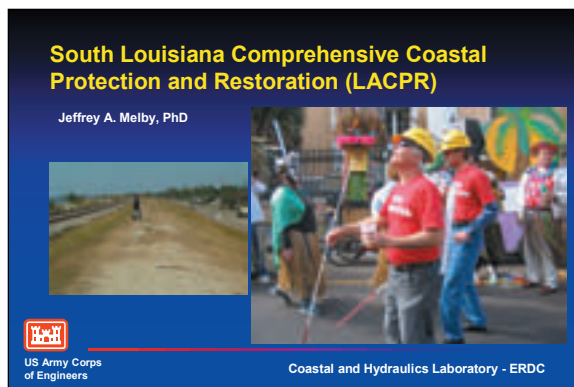
この調査ではカテゴリー5のハリケーンの特性を明確にすることも行った。その一環として世界の著名なハリケーンの専門家による委員会が組織され、設計に用いるハリケーンの性質を明確にする基準を定めたのである。そして、概略設計では、ハリケーンカミールと同じ規模、最低気圧、最大風速、進行速度のハリケーンが、カテゴリー5に対応する合理的で現実性のあるハリケーンとされた。ハリケーンのコースは、過去のハリケーンのコース

の中から選んだ。そして、ハリケーンの風、風波の発達、高潮、浅海波浪変形に関する数値計算モデルを駆使して、堤防の5つの区間における高潮と波浪を推算した。こうして求めた各海岸における最大の高潮偏差、波浪諸元、ウェーブセットアップを、工学的な判断も踏まえながら、堤防システムの設計条件に定めた。

堤防の多くの区間から5つを選ぶことにした。これらの区間は場所によって防護の状況に違いがある。このうち最小の区間には、堤防の外側にもいくつかの集落がある。また、2つの区間には、干潟から水が抜け出るための大きな切り欠き部がある。

ビックスバーグでは、実現可能な堤防の構造と地盤の候補を選定するために、ワークショップが行われた。そこで提起された最初の難問には、地盤が深いところまで軟弱な材質であることや、なだらかな傾斜堤の断面では建設費が高いということがあった。様々な革新的な構造断面や地盤の候補も提案されたが、そのほとんどは概略設計だけで詰めることのできない重要な工学的な検討が必要になると思われるものだった。したがって、概略的な検討においては、一般的な台形の盛土堤を対象とするものとし、被覆材は変えるが、地盤改良は深層混合処理のような簡単な工法を採用する場合に絞った。今回の講演では、その堤防システムの最終設計の概要を紹介したい。

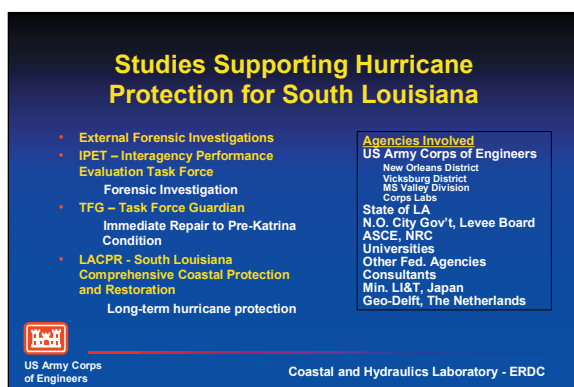




ご紹介有り難うございました。そして今回のセミナーを企画された方々、有り難うございます。私にとって今回は3回目の来日でございます。日本が大好きでございます。また来ることができて嬉しく思います。

さて、IPET の調査から視点を変え、南ルイジアナに目を向けたいと思います。私は、こういった南ルイジアナの調査のほとんどに関わっており、構造物の設計にも携わってまいりました。

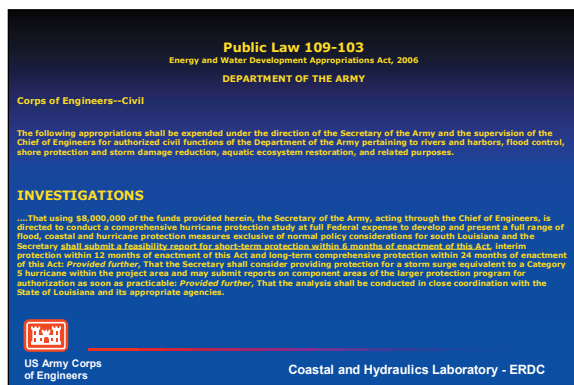
そこで、今日の私の話は、南ルイジアナの堤防システムの再構築についてであります。現在まだこういったものはできておりません。ニューオーリンズ周辺には堤防システムが既にありますが、私がこれからお話しするのはこれとは別に建設することを検討しているもの、現在のものを補うものでありまして、いずれはこちらが中心となるはずのものです。その時点で、今ある堤防は第二線のシステムという位置づけになることでしょう。



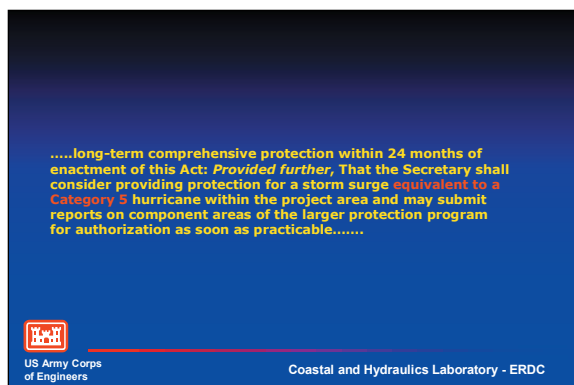
このスライドの左の方に書いてあるのは、カトリーナに関係してどういう調査が行われてきたかということです。外部の科学的な調査、IPET、これらは科学的な調査であります。それから、TFG、タスクフォースガーディアンというものもあります。これはニューオーリンズ地方局が実施しているものでありまして、カトリーナが来襲する前の状態へ修復させるためのものであります。最後に、LACPR と呼ばれるもので、この名前は

変わってしまったのですが、このスライドでは古いままにしております。現在は南ルイジアナ総合海岸防災復興調査というものであります。

右側には関係する機関を示しております。様々な学問分野から色々な組織が参加しております。日本からもいらしておられます。また、オランダも関係しております。以上のように、多岐に渡るプロジェクトに幅広い分野の方々が参加していらっしゃいます。



LACPR の調査は、沿岸水理研究所が中心となっております。工兵隊は自ら設計をしなくては行けない立場にあり、ニューオーリンズ周辺の施設は、ニューオーリンズ地方局が元々の設計をしております。例えば、設計、製図、その他様々なことに携わってございました。この調査の実施には法律が必要であり、議会はカトリーナの直後に法律を制定し、私どももこれを了承しております。

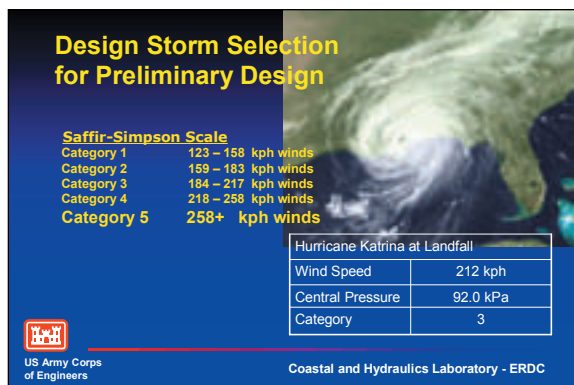


ここでは詳細は申し上げませんが、議会が私どもに求めていることは、カテゴリー5のハリケーンに相当する高潮にも対応できる防災システムを確立することです。ここで、カテゴリー5とは一体どういうものなのかということですが、私どもにとっては、まずそれが明確になっておらず、少なくともこの点から検討を始めるように言われたわけです。



これが最初に作成した地図です。ブルーで示したものが既存の堤防で、ピンクの線で示す堤防はまだできておりません。ピンクの線の堤防ができると、これが第一線の堤防となり、ブルーで示した既存の堤防は第二線の堤防になります。

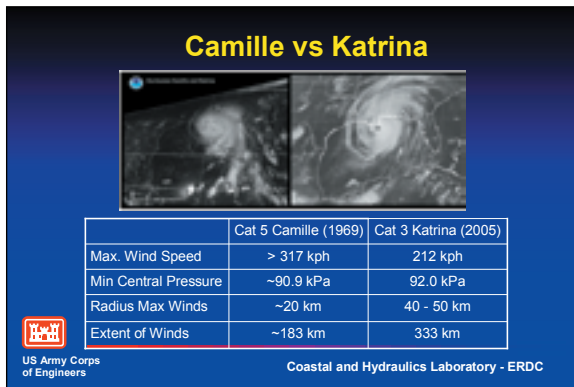
この図の南の方にメキシコ湾、東にミシシッピがあります。ライトグレーの部分は南ルイジアナで、堤防によって防護する対象地域です。左にテキサスがあります。ピンクの線で示す堤防がテキサスからミシシッピの州境に至る沿岸を全部カバーしております。その両側をどう守るかという課題は残されておりますが、まだそこまでは検討を行っておりません。



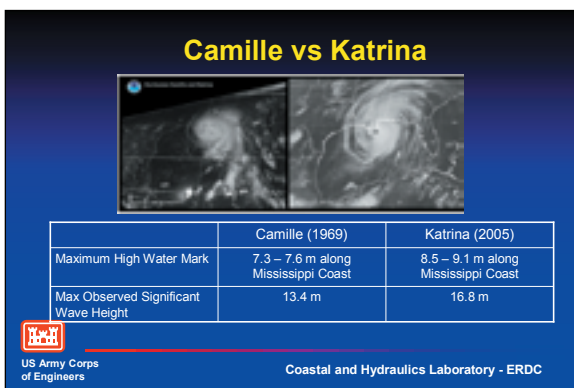
最初の問題は、設計ハリケーンをどう定義するのかということです。私どもでは通常、ハリケーンを定常的に解析し、その構造を明らかにしております。議会からはカテゴリー5のハリケーンに対し堤防を設計するように求められたわけであり、ところが、サファ・シンプソン・スケールは単に風力だけを規定したもので、中心気圧や進行速度について何も規定してはいません。ほとんどのハリケーンは、上陸の前に減衰するのです

が、そういった時間変化の概念もありません。

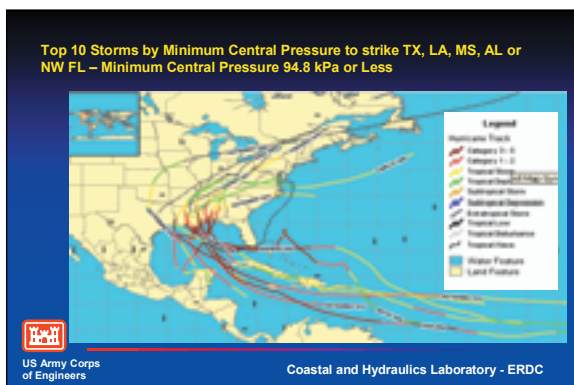
ハリケーンカトリーナは、これまでで最も破壊的なハリケーンだったわけですが、風速でみる限りはカテゴリー3と4の間で、中心気圧はそれほど最悪のケースではありません。とりあえずカテゴリー3と呼ばれてはおりますが、厳密にはカテゴリー3と4の間であって、カテゴリー5のハリケーンではありません。



そこで、1969年のカミールとカトリーナを比較してみます。カミールはカテゴリー5に達したハリケーンで、この地域だけに大きな影響を及ぼしております。当時の記録によると、風速は非常に速かったようです。カミールは、カトリーナと同じような進路をとりましたが、その規模は非常に小さく、例えば最大風速半径も非常に小さかったわけでありませぬ。



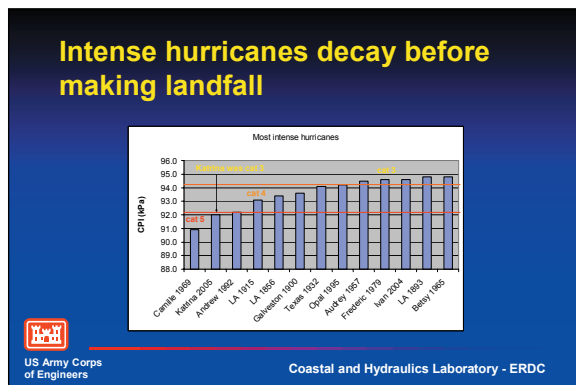
カミールは大きな高潮を発生させましたが、有義波高は13 mしかありませんでした。カトリーナの場合には17 mの有義波高が発生したので、これら2つのハリケーンには大きな差があります。ところが、このようなハリケーンの発生確率はよく分かっておりませぬ。



それでは歴史的な熱帯性低気圧、特にハリケーンについて見てまいりませぬ。過去にどういふハリケーンがあったのかということです。ここにプロットしているのは、最低中心気圧によって10位までの強いハリケーンです。

大体のハリケーンは海上で発生した後、ユカタン半島のフロリダとキューバの間を通過します。その他に共通している特徴としては、エッジ先生がおっしゃったメキシコ湾の循環流、すなわち、カリブ海から流れ込み、ルイジアナの沿岸の大体この辺りに到達する暖流の影響を受けていることです。このように共通点があるのです。

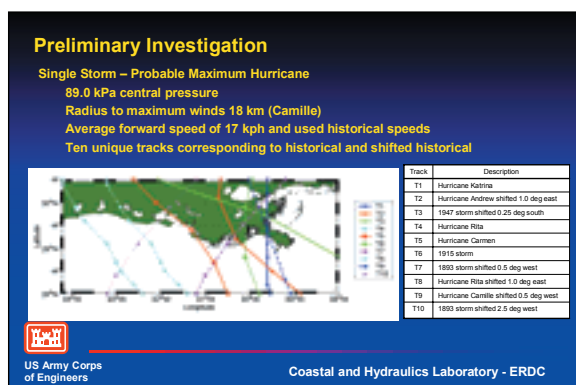
低気圧の定義もはっきりしませぬ。対象外として解析されていない低気圧もあります。



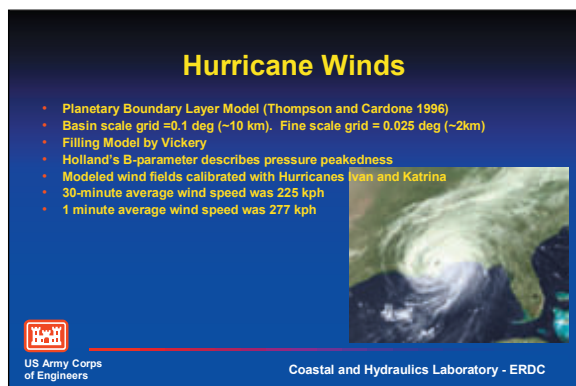
この図では、中心気圧でトップ 10 のものを挙げております。カミールはカテゴリ-5 のハリケーンで、中心気圧は非常に低かったのですが、勢力が強いからといって、最も破壊力が大きかったというわけではありません。カトリーナも中心気圧ではカテゴリ-5 に相当します。ただし、風力でいうとカテゴリ-5 ではありません。他のハリケーンもたくさん示してありますが、カミールやカトリーナに比べれば、何れも弱いハリケーンとなっております。

ほとんどのハリケーンは上陸してからも強力であります。メキシコ湾から上陸して、ほとんどがカテゴリ-5 でありました。しかし、カトリーナは上陸する前に衰退しております。大気と海洋との間には複雑な相互作用があるわけで、メキシコ湾ではそれが顕著なようです。以上のような事情があって、設計ハリケーンの設定はなかなか簡単にはできません。

議会から 6 カ月間の猶予が与えられ、堤防システムの設計をしなければなりません。しかも、波浪や高潮の追算をした結果を用いて行うわけであります。これは可能最強ハリケーンと呼ばれるもので、中心気圧は非常に低く、ハリケーンカミールに相当するものであります。この設計ハリケーンは、最大風速半径も非常に小さく、風力も大きく、そんなに大きな問題にはなりません。

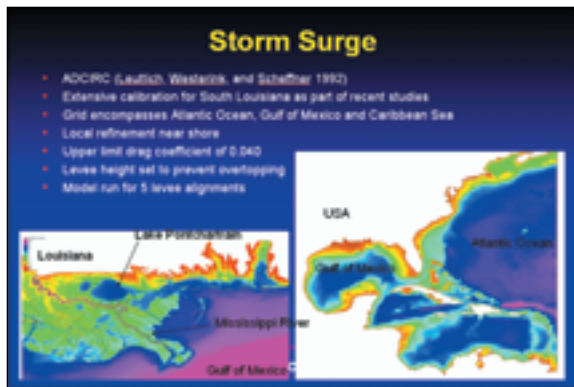


ここに 10 個の代表的なハリケーンのコースをまとめたものがあります。カトリーナもこの中に含まれています。これらのハリケーンによって、この地域に襲った代表的なコースは網羅されていると思っています。ここではサファ・シンプソン・スケールで選んだハリケーンを対象としておりますが、これがワーストケースになるかどうか分かりません。

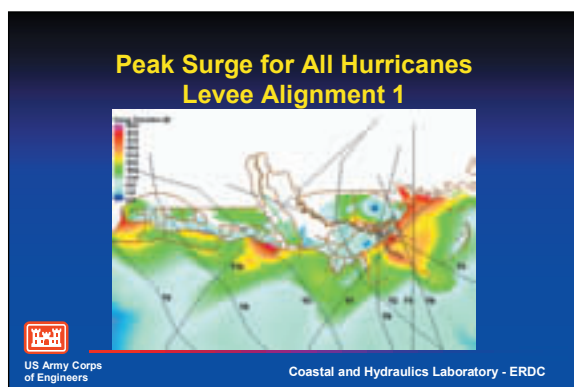


ハリケーンの風場は境界層モデルを使って計算しております。0.1 度間隔の格子で構成された計算領域の中に、0.25 度間隔の格子による領域も設けてあります。ファイリングモデルは新しくできたビッコリーによるもので、気圧のピークについて検討いたしました。このモデルを用いて、アイヴァンとカトリーナの風場が正しく得られているか調べました。30 分平均風速は 225 km/h、1

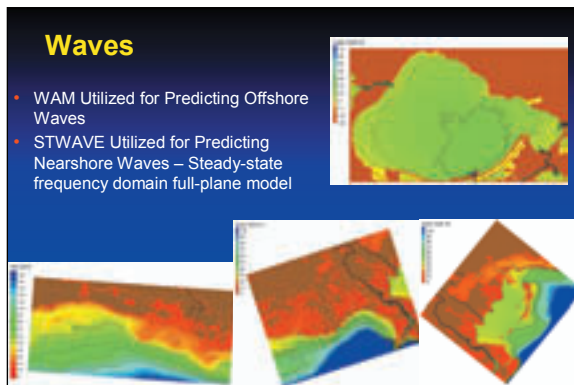
分間平均風速は 277 km/h と、非常に強力なハリケーンです。



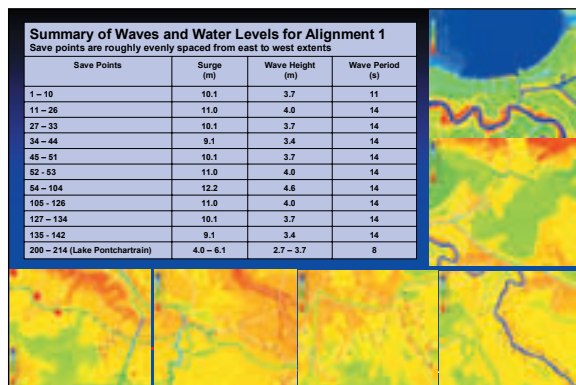
それから、高潮についてですが、IPET の調査と同じモデルを使って、モデルの精度を確認いたしました。また、計算格子も、エッジ先生が紹介されたように、非常に細かなものであります。計算領域は大西洋、太平洋の一部、カリブ海、メキシコ湾と非常に広範囲を網羅しております。また、南ルイジアナの周辺については、計算格子を非常に細かくしております。流れの計算に用いる海面抵抗係数については、まだ検討の余地があるでしょう。堤防の高さは越流を防止できる高さにしてあります。そして、この数値計算モデルを5つの堤防計画に対して実行させました。



ここでお見せしているのは、ルイジアナ南部における最大高潮偏差の分布です。ニューオーリンズはこちら、ポンチャートレイン湖はこちらです。赤の部分は高潮偏差が非常に大きなところ、緑色の部分はハリケーンの進路にあたっていないために高潮偏差がそれほど大きくならなかったところであります。赤の部分は、ハリケーンが真上を通ったわけではないのですが、近くを通ったために高潮が顕著になったところであります。さらに、堤防がこちらにありますので、堤防を挟んで反対側では赤と違う色になっているわけです。



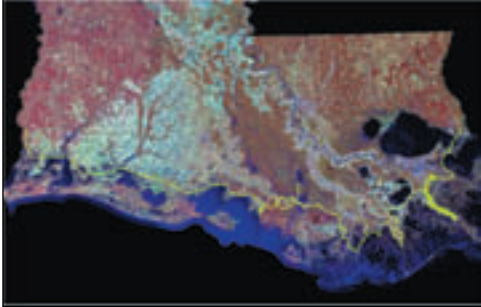
ハリケーンによる沖合波浪の計算にはWAMモデルを使いました。そして、沿岸部についてはSTWAVEモデルを使いました。沖合と沿岸部の間では、WAMモデルからSTWAVEモデルに波浪の計算値が引き継がれるわけでありませう。



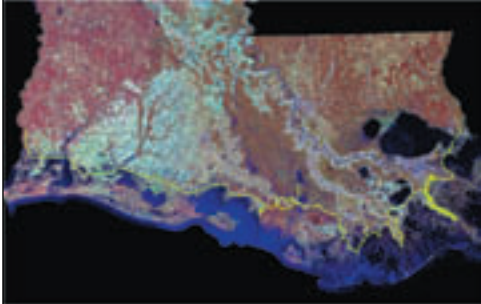
この図がその結果であります。堤防の工区ごとに、様々なハリケーンによる高潮偏差の中で最大の値を地図上に整理していき、堤防のどの工区で最も高潮が厳しくなるのかということについて推測したわけであります。この推測では、様々な進路や上陸箇所を持つハリケーンが仮定されました。

この値が波高の最大値です。これら波高も高潮もメートル単位で記されております。この黒い数字は小さ過ぎて残念ながら読みにくいのですが、ポンチャートレイン湖の西から東に向かったの数値が 200~214 という意味で、相当細かく値を整理しております。135~142 はミシシッピの近くです。1~10 の区間では高潮が 10 m 程度、高波が 3.7 m です。

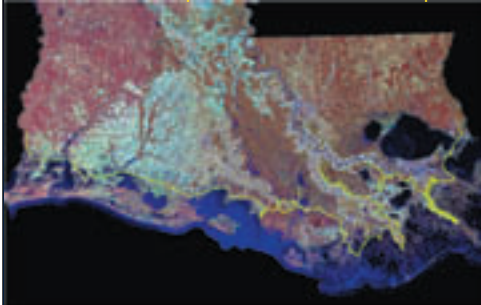
Model Alignment 1  
Follows GIWW and Encloses all Communities



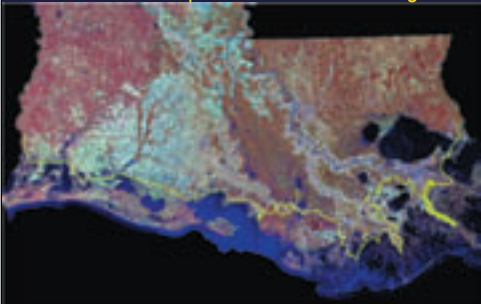
Model Alignment 2  
Same as 1 Except Passes Open



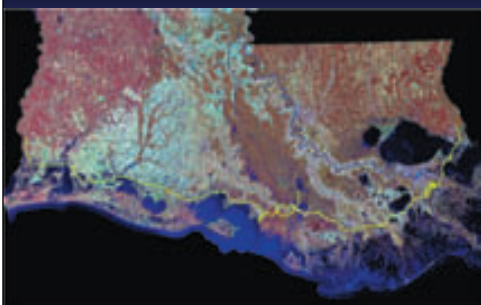
Model Alignment 3  
Same as 1 Except Barataria Wetland is Open



Model Alignment 4  
Same as 3 Except Shorter Barataria Region



Model Alignment 5  
Follows GIWW and Leaves Communities Out



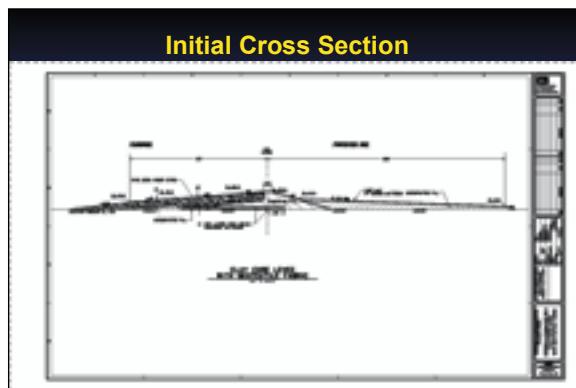
これから5枚のスライドで5つの堤防計画をご紹介しますと思います。

これは堤防で囲んでしまう方法で、ポンプ場を何か所か造り、洪水した場合に陸側から水を汲み上げて外に排水するものです。堤内地にあらゆる村々、町々を含める必要があるため、堤防の法線はこのようなギザギザな線になってしまうわけです。単純に直線を描くわけにはいきません。その結果、第一線と第二線の堤防の法線はこうになるわけです。これらはポンチャートレイン湖、ボーン湖で、その湖水はこの堤防の間を流れることになります。

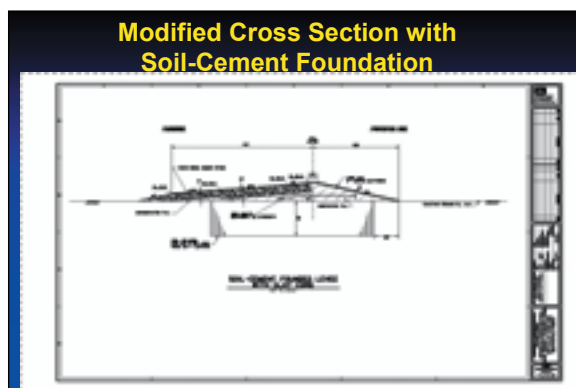
1の場合にはバラタリアの湿原に高潮が流れ込みます。これが4の場合になると、バラタリア地域はそれほど洪水にさらされないことになるわけであります。そして、5では、堤防より海側にある村々が堤外地になります。



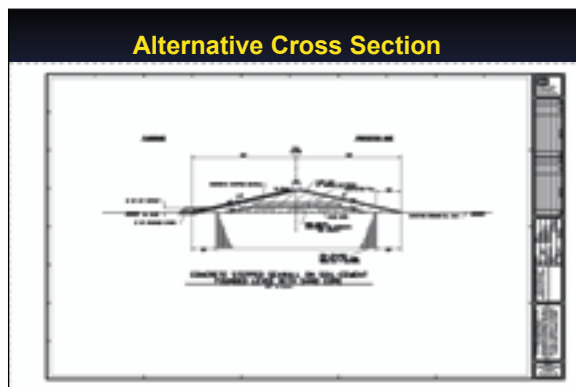
さらに、沿岸部の再生を含んだ計画もあります。何故このような堤防を建設するかというと、これらの地域は何年にもわたって相当激しい侵食に苦しんでいた経緯があるのです。このことは、他の先生方も説明した通りです。したがって、沿岸部の再生も考慮した計画を立てることが重要となるわけであります。具体的には、このようなバリアアイランドというものを復元するということでもあります。これによって、防御レベルが高められるということでもあります。



あと何枚かスライドがございます。これは堤防の断面図です。今でも堤防の断面については、色々と設計をしているわけであります。真ん中が空洞のもの、コンクリートあるいはゴム製のものなど、色々な発想に基づいて設計されているわけであります。ただ、今回ここで示すものは、伝統的な形式の堤防です。この地盤は、含水率の高い大変軟弱な粘土やシルトで構成されているわけであります。堤防の材料としては極めて弱いものでしかありません。このような構造の堤防を造るといふことになるとう、断面を相当巨大にしない限り安定性を保つことはできません。



また、次の断面は、セメントを使って基礎を造るといふものであります。



3番目は、堤防全体にセメントを用いて階段型にするものであります。通常の堤防と比べて急傾斜な堤防です。これ以外の形式の堤防も提案されているところであります。



## Structure Cross Section Design

- Wave runup (Hughes, Coastal Eng, 2004)
- Wave overtopping (TAW manual based on van der Meer and Janssen, 1995)
- Stone armor size (Melby and Hughes, Coastal Structures 2003)  
Median Armor Mass for stone armor  $M_{50} = 2 - 6 \text{ t}$
- Investigated armoring alternatives
- Stone armor layer thickness
- Non-overtopping crest elevation
- Crest elevation corresponding to varying levels of wave overtopping



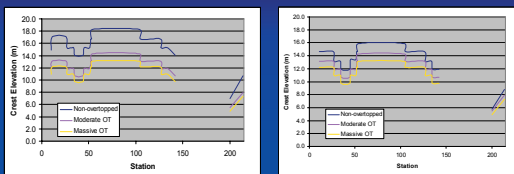
US Army Corps  
of Engineers

Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC

所属する研究所のホームページにさらに詳しいことが記されておりますのでご覧下さい。もちろん被覆が厚いほど建設コストがかかるということでもあります。

さらに、堤防の高さをどのくらいにすると、どれぐらいの越流や越波が生じるのかということを検討し、それに対応するような高さに設計しなければならないわけでもあります。それから、越波がない場合にも高さをどうするかということでもあります。

## Final Design is Expensive!



US Army Corps  
of Engineers

Alignment 1, 1:4 structure slope

Alignment 1, 1:8 structure slope

Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC

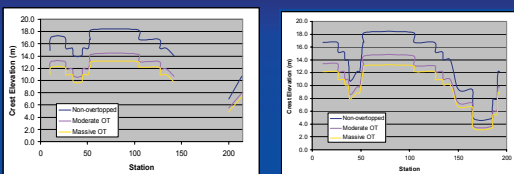
という天端高は 10~13 m という値になります。

このような構造物の断面設計が、通常の海岸土木工学基準に基づいて行われたわけであります。2004年にヒューズが「海岸工学」に書いた波の打ち上げ式を始め、幾つかの方法を用いており、私とヒューズの被覆石の必要重量に関する式も使っています。そして、海側の被覆石の重量は2~6 tで良いことが分かりました。これについてご関心のある方は、私のホームページ、あるいは私の

こちらは最終的に求めた天端高を示したものです。横軸のゼロはミシシッピ州境のすぐそばで、東から西に向かうようにとっています。42がテキサスの州境のすぐそば、ポンチャートレイン湖は200~214であります。

青の線は越流がないだろうと考えられる天端高で、18 m ぐらいの高さになるかと思います。そして、越流はしないが越波はあるかも知れない

## Final Design is Expensive!



US Army Corps  
of Engineers

Alignment 1, 1:4 structure slope


Alignment 3, 1:4 structure slope

Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC

堤防計画1の越流がない場合ですと、少し天端高は下がります。堤防計画3では、バラタリアに対して開放されていることになりませんが、堤防の高さということになりますと、それほど大きな差はありません。

## Conclusions

- Preliminary design of southern LA Levee system completed
- Design storm selection required Cat 5 storm based on Hurricane Camille on historical tracks
- Levee design followed traditional coastal engineering methods
- Extreme storm simulation requires further study before risk analysis can be done
- Designs with 10-18 m crest heights are too expensive



US Army Corps of Engineers

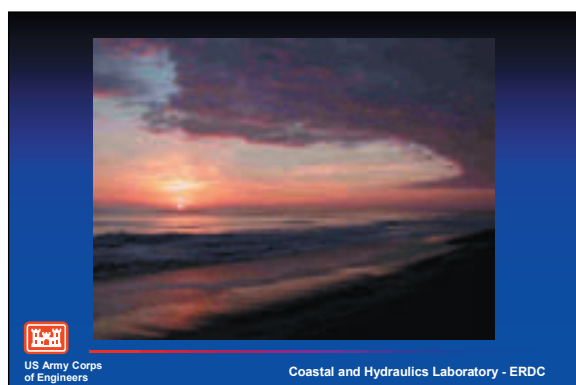
Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC

結論としては、とりあえず設計案は完成いたしました。ただ、今回は相当急いだ検討しかできなかったわけであります。議会に対しては、堤防の建設日が1マイル(1.6 km)につき5,000万ドルはかかると報告しました。これは到底予算のつくような金額ではありません。したがって、どういう地域を保護しなければいけないのか、あるいはどういう地域は保護しなくてもいいのかということ

ことについて、議会で決めてもらう必要があるのです。報告書を6月1日に提出したばかりでありますので、それに対する回答はまだいただいております。

さらに、カミールというハリケーンに対して堤防を建設していくということであれば、リスク分析もしなければいけないわけであります。まだこれは研究をし始めたばかりの段階での結果ではありますけれども、10 mとか18 mの天端高であれば高過ぎるということになると思います。極限に強いハリケーンや台風のシミュレーションについてはさらに研究を進める必要があり、リスク分析ができるところまでは進んでいないのが実情だと思います。

我々が行いました調査研究に基づきますと、例えば10~18 mの天端高というような設計値に到達するわけでありますけれども、これでは予算はつかない、あまりにもコストが高過ぎるということになってしまうわけであります。



私の発表は以上でございます。何かご質問がございましたら喜んでお答えさせていただきます。

### [質疑応答]

(質問) 間瀬(京都大学防災研究所)と申します。2つの質問がございます。まず、沖合の波の予測にWAMを使ったそうですが、WAMを使って17mというカトリーナの高波を予測できたのでしょうか。それとも、メキシコ湾にはブイが数多く設置されておりますので、高波の予測にはそのデータを使ったのでしょうか。

(回答) 今まで来襲したハリケーンに対して計算した数値を用いています。それから、IPETだけでなくFEMAでも100年間に来襲したあらゆる大型ハリケーンのデータを収集して解析を行いました。このような研究は、大体同じような顔ぶれの研究者が担当しました。その結果、グループの間の連携が相当進んだところもあります。アイヴァンとカトリーナに対するIPETの調査もこのような方法で進められました。

(質問) もう一つの質問です。堤防の断面の設計についてですが、ファンデルメアやヤンセンによる TAW の越波量公式を使うときには、波形のパラメタが必要になってくると思います。堤防のマウンドのところでは、どのように与えれば良いのでしょうか。

(回答) 堤防の周辺では 50m 格子を使って波の計算を行い、堤防のマウンドの端に一番近い格子点の値を用いて越波量の計算をしました。堤防のすぐそばと言うよりは、近くと言った方が良いでしょう。ただし、この付近の地形は堤防のあるところまでほとんど平坦です。沖合 250m あるいは 100~120m の波と堤防に入射する波はほとんど同じだと考えております。それから、STWAVE にはローラーモデルも含まれており、波の減衰も STWAVE で考慮されます。

(質問) 中村（国土技術政策総合研究所）と申します。2 つの質問があります。将来の防災計画にあたって、リスクの信頼性解析、ハリケーンの出現確率の解析などをされたのでしょうか。

(回答) 工兵隊では全ての実施計画に対してリスク分析をしなければならないことになっていますが、正直なところ、これまではそれを行う時間が十分にありませんでした。まだ調査研究の段階でありまして、ドン・レシオのグループが確率などを計算した結果を我々の方に提供していただいています。このように、並行して研究を進めているところです。どのくらいのリスクがあり、どれだけの信頼性があるのかについては、色々な施設の老朽化ということも含めて、研究を進めているところであります。

(質問) 第二の質問ですが、沿岸部の都市、特にメキシコ湾沿岸の都市には、ハリケーンに対する防災システムがあまりないと思います。カトリーナの災害を契機に、この辺りの対策は変わってきたのでしょうか。

(回答) 大変素晴らしい点を指摘されたと思います。この点については何時間でも議論できそうです。アメリカはとても奇妙な国なのかも知れません。連邦政府は沿岸防災について責任や管轄を持たず、州政府や各都市が持っています。工兵隊にも沿岸防災の任務は与えられていません。ところが今回に関しては、ニューオーリンズから特別な命を受けて防災に携わっているのです。繰り返しますが、アメリカでは州あるいは都市が、運河や海岸線の防災を行うことになっているのです。これで今のご質問に対する答えになったのでしょうか。このような背景があるため、沿岸部の防災システムに対して連邦政府は予算を持っておらず、都市や村々などが自衛しなければいけないのです。でも、小さな村にそんな予算はないでしょう。

このような状況にありますので、アメリカ議会の議員、代議士の中には、このような堤防の建設に予算をつけたい者もいるわけです。一方、大統領としては、このような個別の地域のための建設プロジェクトを予算から排除しようと、いつも必死になるわけです。そこでいつも綱引きになります。ただ、カトリーナというハリケーンが来襲して、沿岸部も内陸部もおびただしい箇所で堤防が決壊したことで、堤防についてもう一回見直しをしなければいけないという機運は高まったと思います。

最初に申し上げませんでしたでしたが、工兵隊の研究所ではプロジェクトサイエンスはやっておらず、地方部局が担当しています。

(質問) 廣田と申します。一つ質問がございます。波浪予測では波の伝播速度を考慮してい

るのでしょうか。また、ハリケーンが移動している場合には、その移動速度も考慮しているのでしょうか。

(回答) 考慮しています。この波浪推算モデルを実行させるときには、確か3時間間隔の値を与えていたと思います。このモデルについては、エッジさんの方が詳しいかも知れません。

(質問) 風速の変化や風向、ハリケーンがどれくらいの速度で移動するのかは、重要なことだと思います。もう一つの質問ですが、ハリケーンが停滞している場合に、水位が上がることにはなりますが、その影響は考慮していますね。

(回答) この点については私どももリスク解析において非常に重要なことであり、様々な感度分析を行う必要があると思っています。リスク解析ではあらゆる台風の進行速度を網羅しなければいけないと思っています。波浪推算をどのようにやったのかについては、エッジ先生からお話ししていただきたいと思っていますので、マイクを振りたいと思います。

水位は一定ですね。ハリケーンは経路に沿って動かしています。つまり、時々刻々と波浪が変化する状況を計算しています。

## 7. Panel Discussion

### @Coordinator and Panelist

Coordinator:	Dr. Shigeo Takahashi, PARI
Panelist :	Mr. Naota Ikeda, MLIT
	Professor T. Takayama, Kyoto U.
	Professor M. Isobe, U. Tokyo
	Professor Billy L. Edge, Texas A&M University
	Professor Robert A. Dalrymple, Johns Hopkins University
	Professor Peter G. Nicholson, University of Hawaii
	Dr. Jeffrey A. Melby, U.S. Army Corps of Engineers

### @ Theme of the Panel Discussion :

**Future prevention of storm surge disasters ; “Preparedness for the worst case.”**

Hurricane Katrina became the most destructive natural disaster in American history. Comprehensive surveys and reviews of the Hurricane Katrina disaster were made in the United States. One of the major lessons learned from the disaster is that we have to prepare for the worst case and that the scenarios for the worst case are essentially important to mitigate such devastating disaster.

The coastal areas in Japan have been attacked by typhoons and suffer from many storm surge disasters. The design system of the coastal defenses in Japan was developed and used after the Isewan Typhoon disaster in 1959, which is relatively simple based on the possible worst case as the design storm surge and the design storm wave. However a worse case than the worst case may happen. Especially, the current design level in Japan is not sufficient for the worst case.

In the panel discussion we like to discuss the coastal disaster prevention in the future focusing on “preparedness for the worst case.” The worst case defined here is a worse case than the current design level by one rank, for example, with the return period of more than one thousand years. The worst case causes devastating results as the Hurricane Katrina Disaster including the failures of the coastal defenses. Although it may be almost impossible to prevent the disaster with structural countermeasures against such the worst case, we can mitigate it with non-structural countermeasures considering the possible scenario of the worst case disaster.

The following subjects will be discussed to consider the preparedness for worst case.

1. What is the worst case?
2. Is the Katrina disaster the worst case?
3. How to prepare for the worst case?
4. Present situation in the U.S.
5. Present situation in Japan.
6. What is the problem for actual use of the worst case scenario?
7. What should be studied further?

# パネル討議

## @コーディネーターとパネリスト

コーディネーター：	港湾空港技術研究所	高橋重雄
パネリスト：	国土交通省	池田直太
	京都大学教授	高山知司
	東京大学教授	磯部雅彦
	テキサス A&M 大学教授	Billy L. Edge
	ジョンホプキンス大学教授	Robert A. Dalrymple
	ハワイ大学教授	Peter G. Nicholson
	米国陸軍工兵隊技術研究開発センター	Jeffrey A. Melby

## @パネル討議のテーマ： 将来の沿岸防災：ワーストケースへの備え

ハリケーンカトリーナは米国の自然災害史上最悪であった。米国ではハリケーンカトリーナの災害について総合的な調査が行われている。この災害で学ぶべき重要なことの一つは、カトリーナの災害のようなワーストケースに備えることが不可欠であり、そうした非常に厳しい災害を防ぐには、こうしたワーストケースに対してその災害を具体的に想定したシナリオが必要であることである。

日本の沿岸域は毎年台風に襲われ、これまで多くの高潮・高波災害を経験している。日本の沿岸域の高潮防災施設的设计体系は、1959年の伊勢湾台風以降整備され今日まで使われている。それは比較的簡潔なもので、ワーストケースの高潮や高波を想定しそれを設計高潮・高波として、それに対して防災施設的设计を行うものである。しかしながら、そのワーストケースより更に厳しいケースも起こりうる。特に日本の設計レベルはワーストケースとしては不十分なのかもしれない。

今回のパネル討議では、将来の沿岸防災を考えるため、「ワーストケースへの備え」について討議したい。ここでワーストケースというのは、現在の設計レベルより一段と厳しいもので、例えば再現期間が1000年程度のものを考えている。ワーストケースとは、ハリケーンカトリーナのような甚大な災害をもたらすケースであり、こうしたケースでは防災施設の被災とそれによる災害の拡大も考える必要がある。防災施設などハードによってこうしたワーストケースの災害を防ぐことはできないが、ワーストケースのシナリオ（ワーストケースの時の災害の具体的な状況を示すシナリオ）を考えることによって、ソフト的な対応が可能となり、災害を低減することができる。

パネル討議では、パネリストによって以下のテーマについて議論することにより、ワーストケースに備えることについて考える。

1. ワーストケースの定義は？
2. カトリーナはワーストケースであったか？
3. どのようにワーストケースに備えるのか？
4. 米国の現状
5. 日本の現状
6. ワーストケースやワーストケースのシナリオの実用化の問題点
7. 更に研究すべき課題

## PANEL DISCUSSION

Theme of the Panel Discussion:

Coastal disaster prevention in the future ;

“Preparedness for the **worst case**”

将来の高潮防災；**ワーストケース**に備える

Coordinator and Panelists

Coordinator: Dr. Shigeo Takahashi, PARI

Panelists: Mr. Naota Ikeda, MLIT

Professor T. Takayama, Kyoto University

Professor M. Isobe, University of Tokyo

Professor Billy L. Edge, Texas A&M University

Professor. Robert A. Dalrymple, Johns Hopkins University

Professor Peter G. Nicholson, University of Hawaii

Dr. Jeffrey A. Melby, U.S. Army Corps of Engineers

【高橋】 それでは時間になりましたので、本セミナーの最後のプログラムであります、パネルディスカッションを行いたいと思います。私の隣りに座っているのは港空研の河合です。パネリストの皆さんは、既に発表されている日本側の2名と米国側の4名の先生です。よろしくお願ひします。これらの先生方については既にご講演の時にご紹介させていただいておりますので、ここではご紹介を省かせていただきます。さらにもう1人、国土交通省の池田直太さんにもパネルディスカッションに参加していただいております。池田さん、自己紹介をお願いします。

【池田】 国土交通省港湾局海岸・防災課の課長補佐をしております、池田でございます。本日はこのような場にお招きいただきまして、有り難うございます。皆様、よろしくお願ひします。

【高橋】 それでは、パネルディスカッションに入りたいと思いますが、スクリーンに表示してありますように、本日のパネルディスカッションのテーマは「将来の沿岸防災について」で、副題が「ワーストケースに備える」です。カトリーナでは多くのことを学びました。今日は色々なお話を聞かせていただきました。この教訓を生かして、将来の沿岸防災のあり方について考えていきたいと思っております。このテーマの説明は、概要集の最後の方に趣旨などを書いております。それを見ていただくと分かると思いますが、簡単に説明させていただきます。

本日のご発表、特に米国の皆様からカトリーナの災害についてお聞きしていると、ニューオーリンズのような高潮災害を我々は絶対防がなければならないと思いました。日本の防災については、高山先生や磯部先生からお話がありましたように、かなり高いレベルにあり、安全性は高いと思います。特に、設計高潮位としてはかなり高いレベルを考えていると思います。ただし、それを超えるケースもあり、それに備える必要もあるのではないかと思います。

私どもは、これまでの設計レベルより一段厳しい高潮のレベルを考え、それに対してハードではなくソフト的な対応をすることが必要であると主張してきました。私どもはこれまでより一段厳しいケースを「ワーストケース」と呼んでいますが、このワーストケースで実際にどのような災害が発生するかを予測し、それに対してはハードだけでなくソフト的な対応を構築する必要があると思っております。しかし残念ながら、ワーストケースを合理的に設定することは、実際には

なかなか難しいと考えています。また、特に防災施設の破壊やそれによって拡大する災害の状況を予測することは、非常に困難なことだと思います。

さて、パネルディスカッションは全体で1時間しかありません。パネリストの皆様から5分ずつ意見をいただいて、その後、討議に移りたいと思います。パネリストの皆様から、カトリーナの災害の経験を踏まえて、将来の沿岸防災のあり方について色々ご意見をいただければと思います。特に「ワーストケースに備える」ということについてもご意見を賜れば幸いです。その他にも是非付け加えたいこと、講演で言いそびれたことがあれば、それも話していただければ幸いです。皆様に5分ずつお願いします。

それではまず、国土交通省の池田さんをお願いしたいと思います。

【池田】 それでは、5分程度、行政担当の者として幾つかコメントさせていただきます。その前に、本日はアメリカから4名の世界的な権威の方々に来ていただきまして、かつ、生々しく

### “Worst case”

The disaster level more severe than the design tidal level for present storm surge barriers

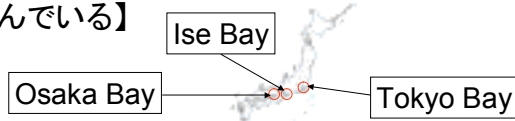
【既存施設の計画水準を上回る規模の高潮による災害水準】

### Essential areas below sea level in Japan

The biggest 3 urban areas are located along “3 Major Bays”, Tokyo-Bay, Ise-Bay, and Osaka-bay.

4Mil people lives in the areas below sea level along these bays.

【東京湾、伊勢湾、大阪湾のゼロメートル地帯には人口が集中し、約400万人が住んでいる】



Present prevention measures along “3 major bays”  
【既存の災害対策】

Disaster should be prevented by the facilities.

【施設(ハード)による防護が前提】



“Worst case” is not assumed .

【“Worst case”は想定していない】

興味深い被災調査の結果をお見せいただきまして、誠に有り難うございました。本日初めて見るデータもあって、「非常に感動している」と言う用語がありますが、「なるほど、こういうことがあるのか」という、技術者としてのある種の感動を覚えております。改めてワーストケースというものが実感できたと思っています。今までの防災、特に高潮防災については、ハードウェアで守ることに取り組んできて、計画水準はかなり高いと思って来たわけですが、計画水準を上回るような災害水準も考えなければならなかった次第です。

さきほど、チェアマンからワーストケースをテーマにしたいというお話がありましたが、この言葉を直訳すると、最悪の事態ということになってしまいます。それでは趣旨に合わなくなってしまうと思いますので、そのまま英語でワーストケースという言葉はこの発表の中で使いたいと思います。すなわち、既存の施設の計画水準を上回る規模の高潮による災害水準という意味です。

先ほど高山先生からもご紹介があったように、日本では伊勢湾、東京湾、大阪湾という3つの湾に上位3都市が存在し、特にゼロメートル地帯には400万人が住んでいて、高潮の危険にさらされています。今までの日本の防災の考え方では、ハードで防護することを前提しており、



—Main Topics—

1. Policy issues under “Worst case ”  
(in term of my personal opinion)

【“Worst case ”を考慮した場合に  
行政上想定される課題】

2. Drills against a similar situation to  
“Worst case ”.

【“Worst case ”と類似の状況を想  
定した訓練の事例】

Issue1: To establish the concept of  
“Worst case ”.

【課題1：“Worst Case”の概念の確立】

—the purpose and effects

【目的と効果】

—the difference from the present concept  
of disaster prevention

【現在の防災の概念との違い】

—the framework of essential measures

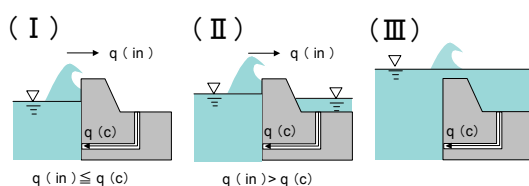
【必要な対策の全体像】

—the method to determine each disaster  
prevention measure

【個別対策を立てる手法】

Issue2: How to identify the scenario  
concept for “Worst case ”?

【課題2：“Worst Case”のための事態  
想定をどのように設定するか】



ワーストケースは想定して来なかったわけです。

その中で、本日、私の方からお話ししたいことは、大きく言って2つあります。1つ目は、ワーストケースというものを考えた場合に行政上どんな課題があるのか、ということでございます。2つ目は、これまであまりワーストケースというものを考えて来なかったわけですが、それと類似した訓練を最近始めておりますので、簡単にご紹介させていただきたいと思っております。

まず課題の1つ目ですが、これまでワーストケースというものを考えて来なかったので、この概念を確立する必要があるだろう、ということです。特に、市民に対しどう説明していくかが行政の担当者として大きな問題でありまして、市民に説明するときどういう目的と効果があるのか、それから、今までの防災の概念とどう違うのか、という説明が問題になります。また、実際に実務としてやっていく上においては、どんな全体像になるのかを設定しないとはいけません。それから、個々の対策をどう立てていくのかという手法を明らかにしていく必要があります。

課題の2つ目として、先ほど米国の4人の方々からの説明でも非常に悩ましい問題としてご紹介がありましたが、ワーストケースとしてどのような状態を想定するかが問題になるかと思います。例えば、この図に示すIのケースは、現在の防護のケースでございますが、海岸護岸に波が押し寄せても越波した波による越波流量が排水流量よりも下回る、すなわち排水能力の方が高い、という場合です。この場合には陸地は浸水しないこととなります。計画水位よりさらに水位が高くなると、排水能力より越波流量が多くなるので、陸地で浸水が始まります。IIIになると、完全に護岸が水没してしまいます。陸地が水没するだけでなく、陸地に波が直接入ってくる状態になって、先ほどニューオーリンズの写真の例にもあったように、波が直接入っ

**Issue3:How to determine the necessary performance of facilities for countermeasures?**  
**【課題3:対策のために必要な施設の能力をどのように設定するか】**

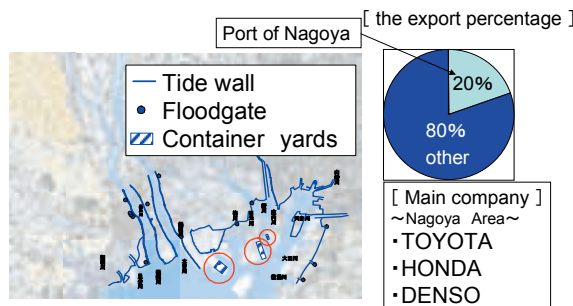
- evacuation routes
- shelter (location, space, height, stores of foods and water etc)

**Issue4:How to inform citizens of their refuges and how to lead them?**  
**【課題4:避難場所を住民にどのように知らせるか、またどのように誘導するか】**

**Issue5:How to keep requested social and economic functions?**  
**【課題5:社会的、経済的に必要な機能をどのように継続するか】**

- Electric power supply
- Tele communications
- Water supply
- Administrative service
- Logistics through shipping service

**Logistics through shipping service**  
**【海上物流】**



て来ることで陸上の構造物が次々と壊されていく状態になります。このような状態のどれを想定していくか、あるいは、それぞれがどれくらいの確率であるのか、ということを考えないといけないと思います。その他、台風の数と速度というか、水位が上昇するスピードも問題になると思います。例えばどのぐらいで水位が上昇し、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲという状態に変わっていくのかを把握しておかないと、避難警報のタイミング、情報伝達、住民の避難誘導をどのぐらいの段階でやらなければならないかといった問題は解決されないと思います。

3 番目ですが、ワーストケースを想定する場合、ハードでは守り切れないから避難するわけですが、避難ルートをどうするのか、それから、避難所そのものにも問題があります。避難場所の位置、どれくらいの広さが必要か、どのくらいの高さに設定するか、あるいは、食料や水をどのくらい備蓄しておくのかといったことです。

4 番目の課題としては、避難勧告を住民にどう通知して、どう誘導していくのか、ということがあります。

5 番目は、社会的、経済的に必要な機能をどう保つかということで、電力、通信、水、行政サービスなどについて考える必要があるかと思いますが。特に日本では、先ほど申し上げたように、上位三大都市が全て危険な地帯にあります。ここにある日本の経済、行政の中核機能が破壊されてしまうと、我が国全体の社会・経済的な被害に結びつく可能性があるということです。例えば、海上物流機能というのにも考えないといけないと思います。この図は伊勢湾を示したものでございますが、伊勢湾の海上コンテナターミナルは赤丸で示す場所にあり、高潮のリスクが非常に高い場所にあります。この地域は我が国の港湾からの輸出の中でも、金額で言えば No.1 で、全国の 20%を受け持っています。この周りにはトヨタとか、ホンダとか、我が国

## Ex.1 Storm surge drill by Tokyo Metropolitan government

### 【例1：東京都総合高潮防災訓練】



## Ex.2 Drill against the combination of an earthquake and storm surges held by Chubu Regional Bureau

### 【例2：中部地方整備局：複合型災害を想定した防災訓練】



の非常に重要な代表的な企業があって、これが長期間ストップすることになると、大きな経済的なダメージを受けることになります。これをいかに長期間閉塞しないようにするかといった問題があると思います。以上がとりあえず、私が今日の発表を伺って、個人的に考えた問題点でございます。

最後に、2つほど事例として、「ハードで守ることが前提ではありますが、最近ではこういった訓練もやっていますよ。」ということをご紹介させていただきたいと思います。

東京の場合も護岸はほとんどできていて、ほぼハードで守れることになってはいますが、こういった訓練は行っており、その他にも、住民とか、場合によっては子供たちも参加していただいて、高潮が起るリスクがあることを住民に伝えるような努力をしているところです。

次に、これは先月、名古屋で国土交通省が行った訓練でございますが、地震と高潮がほぼ同時期に来ることを想定したものです。日本では地震がございますので、地震で護岸が壊れたところに高潮が来るというリスクもあります。先ほど磯部先生からご紹介があったように、高潮施設の耐震強化を進めているところではあるのですが、それが終わらないうちに被災する可能性もありますので、こういった訓練もしているのです。

以上、雑駁ですけれども、行政担当の者として色々な課題を考えていかなければならないと、まさに実感したところでございます。是非、皆様から色々なご示唆をいただければ有り難いと思つた次第でございます。

【高橋】 どうも有り難うございます。最初に発表いただいた順番で、先生方に少しずつお話しただければありがたいと思います。まず高山先生からお願いします。

【高山】 私も伊勢湾台風の話をしたのですが、伊勢湾台風が今も日本の三大湾において防災の基準になっています。それぞれの湾で、台風が過去に大きな高潮を起こしたコースに伊勢湾台風を走らせ、それに対して推算された高潮や波に対して守るように構造物を設計してきたわけです。その中でも、特に大阪湾では伊勢湾でやった場合に比べて再現確率が小さく、200年に1回と言われており、東京湾はもっと小さいと言われております。こういった構造物で守っているのですが、最近ではかなり老朽化し、過去に造ったものがかなり弱くなっている可能性もあります。

それから、先ほど私の発表の時にもお話ししましたが、震度0.2で設計しています。最近では0.25に変えなければいけないという方針で新しい構造物を造るようになっているわけですが、このような構造物がどこまでもつかということが一番重要だと思っております。

それで、今までの海岸災害を色々と調べたのですが、構造物がそのまま残っていて越波するぐ

らいであれば、それほど大きな被害になっていないのです。ただし、構造物が壊れてしまうと、越波量はワンオーダー大きくなって、10倍とか20倍近くになります。そうすると、ものすごく大きな災害になるわけです。ですから、ワーストケースというものを考える場合に、守るべき構造物が壊れるという状態を予測することは、先ほどもニコルソン先生が言われましたけど、難しいと思います。特に壊れたものについては色々と理由づけできますが、壊れなかったものをなぜ壊れなかったかと説明するのは非常に難しいことです。守るべき構造物が壊れた時はものすごく大きな災害をもたらす、構造物が壊れなければ高潮の少しくらい大きいものが来ても被害はそれほど大きくなるのではないかと、ということが我々の過去に経験したことだと思っています。私の発表の時に、広島の被災を紹介したのですが、構造物が壊れたことによって越波流量が10倍になったということです。つまり、護岸の天端が下がってしまうと、護岸の能力が急激に低下し、一遍に越波量が増えてくるので、護岸が大きな高潮に壊れずにもちこたえた場合より大きな災害になる可能性があります。

ですから、予測は非常に難しいのですが、構造物が壊れるということが1つのワーストケースかな、と思います。そういう状況になるような外力条件の時が1つのワーストケースになるのではないかと、と思っています。現在各地域を防護している構造物がどこまでもつかについて、ある程度は把握しておかないといけないうらう。そうでないと、避難とか、色々な問題につなげていけないのではないかと、と思っています。できるだけ正確に判定する技術を確立することは重要なのですが、今ある技術でもある程度の判定はできるのではないかと、と思っています。そして、壊れたときに何が起きるのかということも、ある程度推定できる技術を持っているのではないかと、と思っています。伊勢湾台風、あるいはそれ以上のものが来たときにどういうことが起きるのかということは、きちんと押さえておく。そして、構造物が壊れる状態で急激に被害が大きくなる状態がワーストケースではないかと、私自身は、と思っています。

まだ、技術的な課題はあるのですが、どういう状況になった時にどういうことが起きるかをきちんと評価できる技術をこれからしっかりと開発していかなければいけないし、今ある技術でもかなり評価できるのではないかと、と思っています。そういう方向で進んでいく必要があるのかな、というのが私の意見ですけれども。

**【高橋】** どうも有り難うございます。「ワーストケースとして、構造物が破壊すると状況を考えよう」ということだったと思います。それでは続きまして、磯部先生からお願いします。

**【磯部】** 私も高山先生と同じ結論になるのかも知れませんが、恐らく皆さんも感じておられることは、ワーストケースというものが本当にあるのかということだと思っています。要するに、ワーストケースよりもワースなケースがあり得るので、何を考えてもそれ以上というものはあるわけです。実際、私たちは場所は違うわけですが、伊勢湾台風で「まあいいだろう」と考えてずっとやってきたものが、カトリーナを見てみると、上陸時の中心気圧にしても、伊勢湾台風が929 hPaであるのに対しカトリーナが920 hPaというように、ワーストだと考えていた伊勢湾台風よりワースなカトリーナがあったので、なかなかワーストケースの決め方は難しいと思います。

ただ、実は地震についてはご存知のようにレベル2という考え方があって、理論的に最大である、これ以上はあり得ない、という考え方があるわけです。台風についても海水温が決まっていると、か、気象条件が決まっている、という条件の下で理論的な最大値を想定できないことはない

と私は思っています。ただし、問題は、それをやってしまうと、非常に大きな台風になってしまうので、なかなか実際的ではありません。もし本当にそれに対して対策を行うと決意しても、今日、ニコルソン先生からお話があったように、実際の構造物の破壊形式を考えてみると、色々な形式があります。外力レベルのワーストケースが設定できたとしても、それに対する応答の方もワーストケースがきちっと定義できるのか、決められるのかという問題が残ります。

このようなことを考えていくと、文字通りの意味でのワーストケースというものは設定できなくて、私たちが通常的设计レベルとして考える外力に対し、それを超えた場合、あるいは構造物についても、信頼性の問題で考えているような性能を発揮しない場合とか、色々な組み合わせを考えて通常的设计の条件を超えるような場合を想定し、それぞれの結果と言いますか、出てくる現象をしっかり把握していくことが、このワーストケースに備えることのように思えます。

先ほど、構造物の破壊については越波とかパイピングとか、色々なことがあるというお話がありましたし、私たちの身近で言いますと、今、高潮堤防の設計では朔望平均満潮位に高潮偏差、波の打上高を加えて設計しているだけで、実は河川の洪水のことは入っていないのです。これに洪水が加わると、河口からの遡上によって陸に向かって水位が上がることもあるのに、それは入っていない。逆に、河川の方から言いますと、洪水の時の水位は朔望平均満潮位を河口の水位として水位を計算していくので、洪水は考えているけど高潮は考えてない。こういう状況なわけですから、両方組合わさったらどうなるのかを考える必要があります。特に台風は雨をもたらしますので、高潮と洪水が同時に起こることが全くないとは言い切れないのです。

その他に、地震によって海岸構造物が破壊し、その後に高潮が起きたら、という話も出ました。先ほど私が図面でお見せしたように、実は高潮堤防が壊れると、その後に高潮が来なくても、朔望平均満潮位だけでも相当な浸水が発生し得るわけで、このようなことは可能性としても十分あり得ることなのです。

こういったことを含めて色々な可能性を探り、どんな問題が起きるのかということを中心に把握した上で、さらに対応をとっていくことが当然必要になってくるわけで、それがワーストケースに備えるということではないかと思えます。

さらに言いますと、そういうことをやると、海岸工学という1つの分野に限ってもまだやらなくてはならないこと、逆に言えば技術開発に余地のあることが明らかになってくるように思います。例えば、先ほどの講演のときも述べましたが、現状では伊勢湾台風に対して海岸線で高潮を防げば良いということであったわけですが、ワーストケースに備えるということからすれば、海岸線で防げないときに海に何かを設けてあまりひどい災害にはならないようにするとか、あるいは陸に引いた格好で災害を抑えられないかを考える必要があります。波の打上高も高潮防災では考慮されていますが、これは水位そのものが上がるわけではなくて、波がやって来たときに周期的に水位が上がるというだけの話ですから、陸に引いてやることによってその影響は消え、防災はしやすいということもあるわけです。こういったことを含めてワーストケースを考え、ワーストケースに対してどんな技術開発があり得るのかということを考えていくことが、今後の課題として非常に大事なことではないかと思っています。

**【高橋】** どうも有り難うございます。ワーストケースを決めるのはなかなか難しいですが、合理的に決めるための重要な示唆をいただきました。それでは次に、エッジ先生、お願いいたし

## Panel Discussion

Billy Edge, Texas A&M University

- Is Katrina the maximum hurricane?
- Location, location, location
- Resilience
- Consequences
- Hurricane intensity
- What is the maximum?

ます。

【エッジ】 ありがとうございます。昨日、私は仲間と一緒に東京港の防災システムを拝見し、とても感心いたしました。構造物、メンテナンスの方法についても印象深く拝見いたしました。

疑問がございます。ハリケーンカトリーナが最悪のケースというご意見が出ていますが、私は違うと思います。なぜ違うかと言いますと、

ハリケーンカトリーナはある一つのコースを通り、ある一つのハリケーンに過ぎません。すなわち、恐らく二度と来ないハリケーンだと思います。ハリケーンカトリーナがなぜ注目されたかと言いますと、メキシコ湾に原因があります。当時の水温はどのくらいだったのでしょうか。これほど被害が大きくなったのは、ミシシッピ、ルイジアナ州沿岸の地形の影響で、海水の動きが妨げられていたからです。つまり、場所によるわけですね。カトリーナが10 km 西を通ったら、もっと被害が大きかったでしょう。その他のシナリオをシミュレーションしておりませんので、これが最悪のケースではないかも知れません。このようにコースが大切です。

もう1つは、ハリケーンの寿命そのものが大きな違いを生み出すということです。カテゴリー1から2, 3, 4, 5, 4, 3と変化して上陸したわけです。4から3へと変化するだけでもハリケーンの勢力は大きく変わります。上陸したときにカテゴリー3だったということは、必ずしも高潮がカテゴリー3であって、他のハリケーンのカテゴリー3と同じというわけではありません。カテゴリー5だったものが、4になって、3になって、勢力が変わったのです。

一方、堤防についてですが、陸側からの浸水があった場合にも対応できるか、ゲートをしっかりと閉鎖できるか、ということが重要になります。これらを実行するためには排水機場のメンテナンスをしっかりとやる必要があります。そして、排水機場の位置を浸水レベルに対して適切に配置することです。

それから、ハリケーンの強さが今後どのようなパターンで増えて行くかということです。日本、アメリカ、その他様々なところで調査や研究が行われており、ハリケーンの強度は年々増加しているということです。30年後に現在より海面が上がっても現在の堤防が残っているか、ということも考えなければなりません。

もう一つですけれども、「What is the maximum?」という最後のところですが、私の考えるワーストケースは、再現年数で規定されるものではなく、ハリケーン自体のパラメータがどういう結果をもたらすかでもないと思います。どんな被害が生じ、どれだけの死傷者が出て、経済の損失がどれくらになるのか、これこそがワーストが何かを規定するパラメータだと思います。

【高橋】 数多くのことを考えて行かなければならないと思います。特にワーストケースかどうかは被害によって決まる、ということが重要なご指摘かと思えます。では、ダーリンプル先生、お願いします。

【ダーリンプル】 前にも申し上げましたが、私はカトリーナの災害が発生してからニューオーリンズに初めて入った調査隊の一員です。日本からは田中先生もいらっしゃいました。オラン

## Panel Discussion

Robert Dalrymple, Johns Hopkins University

- Poor civil engineering led to the disaster

- Worst Case
- Design for Failure

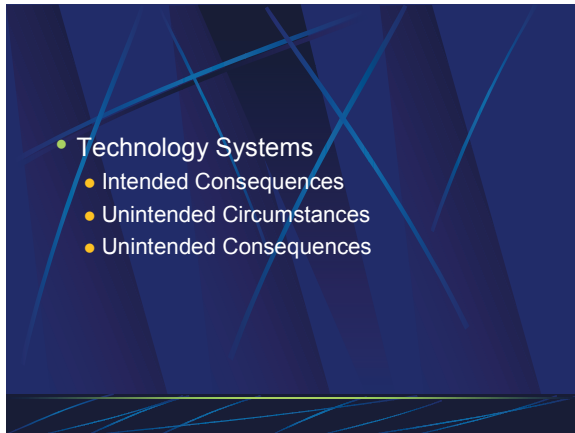
ダのバッチェスさんも参加して下さったわけです。バッチェス先生は海岸工学の権威です。皆様もご存知の通り、オランダという国はほとんど全ての地域がゼロメートル地帯で、そのためにオランダでは国家を守るために堤防を建設し続けてきたわけであります。

バッチェス先生がニューオーリンズを視察しているときに、色々なものを見たわけですが、高さの違う2つの堤防を見て、「何でこんな設計をしたのか」というコメントをしました。ニューオーリンズでは、100年に1回のハリケーンに対して設計していますが、オランダでは1万年に1回の強さの低気圧に対して設計しているわけです。そして、視察を続けると、堤防も防潮堤も管轄している役所がバラバラということを知ったのです。連邦政府だったり、州だったり、市だったり、郡だったりしたのです。そして、水門が閉まっているものもあれば、開いたままのものもあったのです。そして、技術レベルが低いことを彼に説明するしかなかったわけです。

4日目になって先生に「何で今日はそんなに静かなのですか？」と尋ねたところ、「オランダでは1万年に1回の出来事に対して設計し、築造している。だから、オランダは安全である。だか、実際問題そうではないかも知れないと気がついた。我々は、堤防が決壊した場合にどうなるかという設計まではしていないし、対策も

とっていない、ということに気がついた。堤防の決壊箇所を修復する部隊が待機しているわけでもない。もし人為的なミスで水門を開けてしまったときに、そこで何らかの対策がとれるようにはなっていない。何らかの構造物や機械が壊れた場合にも、それに対応できる態勢になっていない。」と、先生は大変寡黙になりました。

これこそがカトリーナの災害から得られた教訓ではないかと思います。ニューオーリンズを訪れて、どこかが決壊する、何か破綻する、と想定した設計をしなければならないことに気がついたわけであります。もちろん、ハリケーン防災システムのプロジェクトに対して予算が十分になかった、あるいは予算が色々なところからとられてきたために、あまり天端の高い堤防を造ることができなかったわけです。その結果、堤防は決められた高さで整備され、高潮はそれを上回ることはない、という前提に立っているのです。ところが、このような前提こそが判断の過ちだ



ったと思います。経済的な問題あるいは予算の制約がこのような結果を招いたのです。

土木工学の専門家のおごりに対し、自ら反省をしなければいけないと思うわけであります。何かを設計して、建設して、これで絶対決壊しないと思い込んではいけません。設計値を上回るような大きなハリケーンが来襲するかも知れない。人為的なミス、事故、あるいはニューオーリンズでは列車が壊した水門があって、

ハリケーンが襲来する前に修理することができなかったということもありました。このような人為的なミスもあるわけです。そして、思いもよらないような結果をもたらすこともあるわけです。ミシシッピ川の堤防についてですが、ミシシッピ川では洪水が毎年発生するため、農耕地が洪水にさらされないようにするために堤防を造りました。ところが、湿地帯に堆積物が供給されなくなってしまい、ニューオーリンズでは自然な堤防、自然な防御施設というものが徐々に消えていってしまったのです。このように、我々技術者が土木工学の専門家として目指していたものと、意図していなかった副産物あるいは影響とがあるわけです。副作用もあるという意識を持たなければいけないと思います。

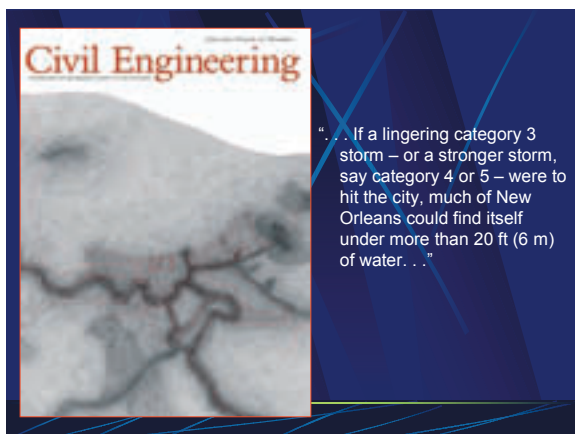
以上で私のコメントを終わらせていただきたいと思います。非常に興味深いお話をバッチェス先生からお話しいただきましたが、バッチェス先生には私がこのような話をしたということをお話しないでください。



【高橋】 防災施設が壊れること、堤防が決壊することに対して備えをしておくことは重要だと思います。それでは、ニコルソン先生にお願いしたいと思います。

【ニコルソン】 私の講演でも説明したように、私は幾つかのかなり重要な欠陥を指摘したつもりです。ハリケーンの防護システムが設計され築造されるにあたっては、当然技術的なことが考慮されていたわけですが、色々と欠陥があったのです。さらに悪いことに、その欠陥がニューオーリンズのシステムだけでなく、他の地域の防護システムにもあるかも知れないのです。

こちらのスライドを1つ出してお話をしたいと思います。こういった種類の災害はニューオーリンズにおいて予測され、長年にわたって言われてきたわけであります。これは6月号ですが、こういった洪水があり得ることを予測した





## Questions

- How best to insure safety in rebuilding New Orleans?
- What lessons were learned to help prevent disasters elsewhere?
- Why did the failures occur where they did? (issue of adjacent and "non-failed" sections)
- What was the nature of water/levee/floodwall interaction?
- Why did some heavily scoured walls not fail?
- Should the levees be built to a higher protection level?

ものです。さすがに堤防の決壊までは予測していませんでしたが、洪水が起きることは予測していたわけです。つまり、カトリーナがワーストケースではないと言えると思います。堤防が決壊しなくてもこのような災害が予測されるということは、さらに大きなハリケーンが来ると、もっと大きな被害になることもあり得るということなのです。非常に大きなハリケーンかも知れないし、違うコースかも知れない。カテゴリ

ー5のまま直撃することもあり得るのです。

ニューオーリンズの一部の地域で私どもが気づいたことは、風速も高潮も設計値より低かったことです。そして、設計値の再現期間は100年となっていたわけですが、1,000年などもっと長い再現期間の値を設計値に用いることが必要であると思います。そして、ワーストケースのハリケーンに対してどれだけの備えが必要かを考えるわけですが、そのワーストケースのハリケーンを最大の洪水を予測したり最大の地震を推定するのと同じ方法を用いて外挿で予測するときには、メルビー先生がおっしゃられたように確率論的に言って多くのデータが必要になるわけですが、まだデータは限られています。大型のハリケーンに関しては、特にメキシコ湾において、まだまだデータの蓄積が不足しております。北大西洋でもデータが限られています。しかしながら、これらのデータを外挿してより大型のハリケーンを推定し、それを設計に用いることはできます。そうすれば、カテゴリー5にも耐える強固な防護システムを設計することはできるでしょう。

しかし、ワーストケースとは何なのかという話に戻りますが、いくら大型のハリケーンに備える設計をしたとしても、また、工学的に決壊しないと考えられる堤防を設計したとしても、さらに大型のハリケーンというものがあり得るわけです。カトリーナによる災害は最悪の事態ではないかも知れません。より大きな破壊、さらに多くの人命が失われる可能性があったかも知れません。このような観点からすると、経済的には妥当ではないかも知れませんが、最悪の事態、ワーストケース、可能最大のハリケーンを想定してシステムを構築する必要があります。もちろん、経済的な妥当性も忘れてはなりません。

カトリーナの場合にはリードタイムというものがありませんでした。つまり、地震と違ってある程度の予測がついていた。何日間という余裕があったわけです。津波もほんの少しですがリードタイムがあります。地震は突発的なのでリードタイムはありません。このように、ハリケーンの場合には避難する時間の余裕がある、また、準備して対応する時間の余裕もあるのです。それ以外の災害では時間の余裕はないというわけです。したがって、我々は時間の余裕もあるのだから、その間に最大限の色々な準備をする体制が必要なのだと思います。

昨日見学させていただいた東京湾の防災システムは素晴らしく、非常に感心しました。保守もよくなされているし、バックアップもしっかりできています。俊敏性もよく、モニタリングのシステムもよくできています。防潮壁、水門の監視システムもよくできており、遠隔で操作もできるということですから、最大級の災害があっても日本は耐え得るでしょう。もちろんワーストケース、さらにその上を考えなければならぬわけですが、カトリーナから我々が学んだ教訓を生

かしてこのような意見交換をするということは、大変意味のあることであると思います。今後ともさらなる対策をしていくためにも意見交換は必要だと思えます。


【高橋】 カトリーナは設計条件としてはワーストケースではないこと、さらに設計条件を超えたケースを考えることが重要である、とのご指摘だと思います。次はメルビー先生、お願いします。

【メルビー】 私は最後に話すのが嫌いなのですが、仕方ないですね。私どもの立場から申し

**Risk Analysis of Coastal Structures**

**Simulating Future Wave and Water Level Climate**

Jeffrey A. Melby, PhD



US Army Corps of Engineers Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC


上げることは、構造物の設計をしなければならない、破壊も考えなければいけない、これからどういう対策をとるかも考えていかなければならない、ということです。最後に発言させていただくのちょうど良いかも知れませんが、最後はなかなか難しいです。

問題は、波にも潮位にもあります。また、構造物のリスクも考えなければなりません。私どもの研究所では資金が不足しています。両方の研究を行っていますが、研究資金が不足しているのです。ですから、こういった課題ではお互いに協力し、情報を集約すべきだと思っています。

それから、構造物と外力の作用時間についてですけど、越波があった場合にこういった堤防がどのように変形するかは分かっておりません。潮位と波の両方を組合せた定式化は、私の知る限り、ありません。堤防以外の構造物についても言えることだと思います。

波や潮位の出現確率を評価する際の課題について申し上げたいと思います。このスライドは前にもお見せしましたが、カテゴリー5のカミールとカテゴリー3のカトリーナを比較しております。これら2つのハリケーンは、ルイジアナで上陸したハリケーンです。カテゴリー5はカミールだけです。カミールの規模は小さかったけれど、進行速度は速かったのです。ハリケーンの強さの上限はどれだけか、再現確率がどれだけかということは、なかなか分かりません。これが高潮の分布です。こうして見ると、カミールは最悪ではなく、カトリーナが最悪だということが分かります。カトリーナが上陸する前


**Camille vs Katrina**



	Cat 5 Camille (1969)	Cat 3 Katrina (2005)
Wind Speed	> 317 kph	212 kph
Min Central Pressure	~90.9 kPa	92.0 kPa
Radius Max Winds	~20 km	40 - 50 km
Extent of Winds	~183 km	333 km

US Army Corps of Engineers Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC

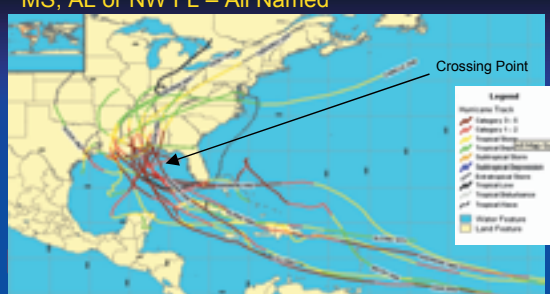
**Camille vs Katrina**



	Camille (1969)	Katrina (2005)
Maximum High Water Mark	7.3 - 7.6 m along Mississippi Coast	8.5 - 9.1 m along Mississippi Coast
Max Observed Significant Wave Height	13.4 m	16.8 m

US Army Corps of Engineers Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC

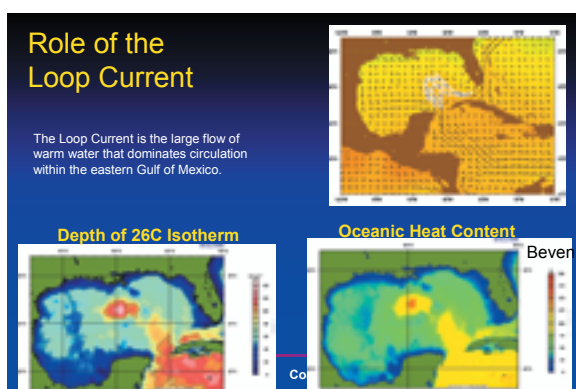
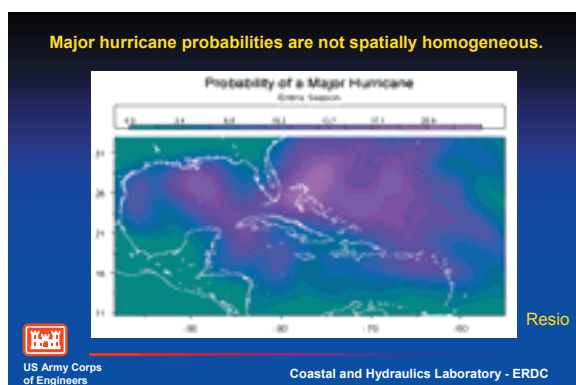
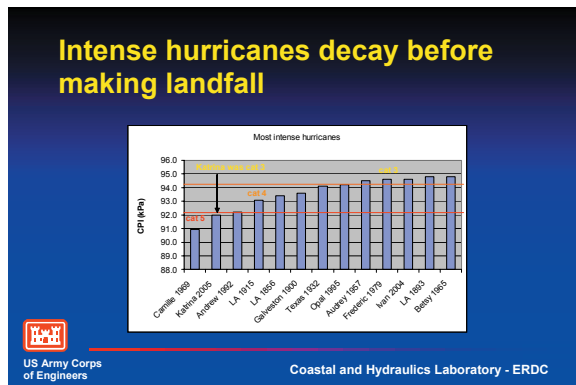
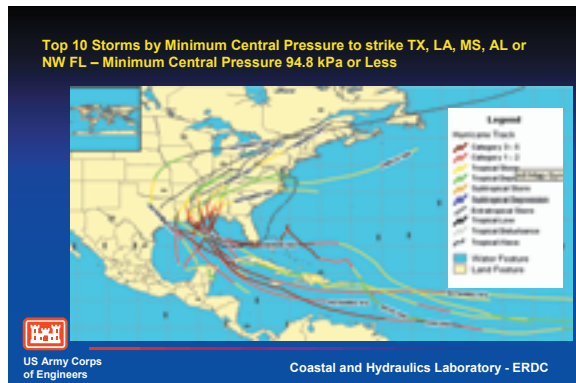
**Top 15 Storms by Damage to strike TX, LA, MS, AL or NW FL - All Named**



Crossing Point

Legend

- Hurricane Tracks
- Category 5
- Category 4
- Category 3
- Category 2
- Category 1
- Category 0
- Non-tropical Storms
- Non-tropical Storms
- Non-tropical Storms
- Non-tropical Storms
- Non-tropical Storms
- Water Features
- Land Features



には、カミールが我々にとって最強のハリケーンだと思われていました。今ではカトリーナが最強のハリケーンとなり、カミールは大したことがないと思われています。

これが被害で 15 位までのハリケーンです。これらのハリケーンは、アメリカのメキシコ湾沿岸に上陸したもので、暖流の循環流の上で停滞しています。均一な分布にはなっていません。極値分布を描き、1 万年に 1 回なのか、どのくらいの確率なのかも考えて設計します。結合分布を考えることもありますが、これではあまりにも単純で、だめなのです。もっと精緻で、もっと複雑な定義になるはずですが、リスクの定義は何なのか、潮位のレベルをどうすべきか、波のレベルをどうすべきか、もっと精緻にしなければなりません。空間的にどのような違いがあるのかは分かっていません。分かっていることは、リスクがあり、ハリケーンの強度が影響する、ということだけです。それだけです。

これも中心気圧から見た 10 位までのハリケーンです。

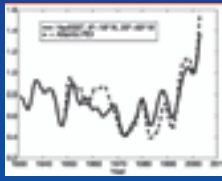
これは先ほどお話した、超過確率分布の図であり、ハリケーンの遭遇確率を示したものであります。ピンクが一番高い確率、グレーが一番低い確率です。ルイジアナで強いハリケーンの出現確率の高いことが分かります。それに加えて、様々な確率を変化させる要因があり、元々確率が低くても様々な要因で高くなってしまいうわけです。しかし、こういった情報は手元に十分にはありませんので、研究しなければなりません。他の地域についても同じことが言えます。フロリダ沖合についても、同じことについて検討する必要があります。これが循環流です。エ

ッジ教授が詳しくご説明下さいました。暖流がカリブ海から北上して、カーブして、ルイジアナ沿岸を通り、大西洋に流れる。そうすることで、ルイジアナ沿岸には暖流が流れることとなります。このような条件で、強いハリケーンの発生する可能性がより高まってまいります。

次に、将来についてです。これについては未だ全くリスク解析がなされておりません。やっていると言うなら、それは口先だけであります。技術者がこういったものを検討するような手法は

### Future Hurricane Intensity

Emanuel (Nature 2005) showed that annual power of Atlantic hurricanes has increased 100% over last 30 years

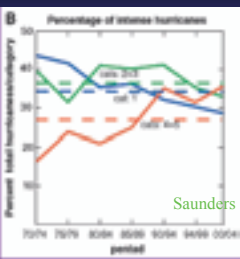


Saunders

US Army Corps of Engineers  
Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC

### Future Hurricane Intensity

Webster et al. (Science 2005) showed that the number of Cat 4 and 5 strength hurricanes worldwide has increased from about 11 per year in the 1970's to 18 now.



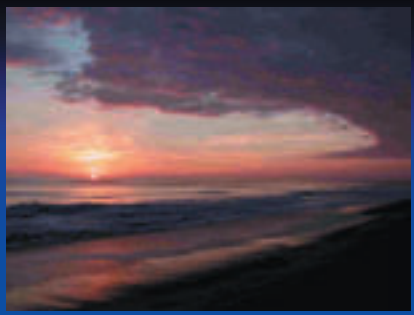
Saunders

US Army Corps of Engineers  
Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC

### Potential Discussion Topics

- Prediction of future wave climate is difficult – distributions of extremes not resolved
- Extreme hurricanes have unique physics and upper maxima
- Hurricane intensity has local 'hotspots' and potential future increase
- What is role of sea level rise and how should we include this in the design process?
- Significant research required

US Army Corps of Engineers  
Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC



US Army Corps of Engineers  
Coastal and Hydraulics Laboratory - ERDC

まだ持ち合わせておりません。それを考え出さなければならぬのです。現在、米国では設計に考慮する方法を検討しつつありますが、皆様方も同じ状況かと思えます。ここ30年間で大西洋のハリケーンの勢力は100%増加しております。1970年代に強いハリケーンは年1個でしたが、今では18個です。これははっきりしたトレンドなのでしょうか。米国では強いハリケーンが1950年代にありましたが、その後は少なくなり、そして最近はまだ増えています。これが単なる繰り返しなのか、それとも長期的なトレンドなのか、分かりません。私も分かりませんし、気象の専門家の方たちも分からないという状況です。

このような状況を踏まえて申し上げたいことがあります。極値分布については今も検討をしているのですが、強いハリケーンには特異的な物理特性があると思うのです。それを定義しなければなりません。その頻度は現に増えているわけですが、それが永久に増え続けることはないと思います。ハリケーンの強さには、現在ようやく検討を始めたばかりですが、ホットスポットの強さに上限があるからです。そして、海面上昇の影響については、少なくとも米国では設計にまだ取り入れておりません。リスク解析にどう盛り込んでいくかについては、まだ明確には定められておりません。また、様々な重要な調査が行われていますので、その結果を結集していく必要があると思います。

【高橋】 有り難うございました。メルビーさんからは、ワーストケースのハリケーンやそれによる波浪や潮位を確率論的に考えることについて、コメントをいただきました。また、技術者としてさらに研究や調査を進めなければならぬこと、そして、幅広く色々な学術的な調査を行い、お互いに協力していかなければいけない、というご指摘であったと思います。

それでは、先生方から今色々発表していただいたことについて、付け加えるようなことがあれば、是非追加して下さい。これから10分か15分ぐらい議論したいと思います。パネリストの先

生からご意見があればお願いします。

**【磯部】** パネリスト全員に共通だったことは、皆さんがワーストケースに備えることの必要性を感じており、それに関係するお話をされたということだと思います。専門家の立場から、ハリケーンカトリーナにせよ、伊勢湾台風にもせよ、ワーストケースとは言えないということから出発しています。

専門家の立場を離れ、市民として高潮に対し自分の住んでいるところが安全なのかということを考えてみると、日本語の「安全」と「安心」は少し違う使われ方をされているように思います。客観的に安全性が確保されていても、感覚的に安心であることが必要で、特に見かけ上だけではなく本当に安心して暮らしているという感覚が、住民の方には必要なのだろうと思います。そういう立場からすると、ワーストケースに備えるということは、海岸に高潮堤防ができていて、それに守られているのだけれど、万が一それが機能しなかった場合でも、次善の策として他の手でも考えられている。そして、陸側、海側も含めて色々な構造物を造って、二重にも三重にも守られている。さらに、その守りが破られたときでも、きちんと危険だという情報が伝わり、そこに住んでいる人たちが避難できることなのだろうと思います。そういう意味で、社会に対する説明責任と言われていることが今大事になって来ているわけで、専門的な立場からワーストケースに備えることは、住民の立場からみても安心を実感できることにつながっていくのではないかと感じました。

**【高橋】** 住民の安心につながるワーストケースとその対策に関する非常に重要なご指摘であると思います。有り難うございます。

**【エッジ】** 私は壇上に専門家、科学者という立場で座っているのでしょうか。メルビー先生が最後におっしゃったように、調査や研究がもっと必要なわけです。自己満足のためだけに、我田引水のために、やっているものではありません。米国政府では研究予算を削減しております。しかし、ある意味では、カトリーナというハリケーンが来襲したことによって、この分野における研究に対する関心や興味が高まったわけです。そして、気象学全体に対する関心も高まりました。

ただし、もちろん、そのような関心は徐々に覚めてきているわけであります。ですから、一般の方々に対してもメッセージを発信しなければなりません。一般の方々には、どれくらいこの分野において研究が行われているのかということについて、是非関心を持っていただきたいと思えます。多くの研究が、オランダであれ、日本であれ、米国であれ、連邦政府、中央政府が予算を確保して進められているわけです。最大の台風やハリケーンに対して研究を進める。気象学、土木、あるいは社会学といった、色々な側面から研究を進める必要があるわけです。物理学の観点から、そして社会的な影響がどんなものかということについても、研究が進められる必要があるかと思えます。

**【高橋】** さらにコメント、意見は、ございませんでしょうか。

**【ニコルソン】** 最後のコメントです。やはり議論を進めなければいけないと思います。壇上の全ての講演者は意見が一致していると思います。そして、皆様方から大変素晴らしい有意義なコメントを頂戴したと思います。互いに多くのことを学ぶことができました。今回の会議に参加することによって色々なことを学んだと思います。

最後のお二方のコメントに対してですけれども、技術者でない方々、市民の方々に對し、啓蒙

活動をしなければならないと思います。例えば、ニューオーリンズの市民は堤防の裏に住んでいれば安全だと思い込んでいたわけです。本当のリスクがどれくらいあるのか、決壊する可能性、危険性がある、決壊したらどんな被害が生じるのかについて、伝えるべきだったと思います。そして、そのような啓蒙は教育活動を通じて、どの程度の防護性能があるのか、その防護はどういう意味合いを持つのか、ということ伝えなければなりません。そして、エッジ先生がおっしゃった通り、継続的な研究調査が一般市民の合意の下に進められるべきであると思います。

【高橋】 まさにこれが論点だと思います。日本では現状の実際の防災レベルがどの程度かを評価することについても議論が進められています。他にいかがですか。フロアからもご意見いただければ有り難いのですが、よろしいですか。高山先生、何かありますか。

【高山】 1つは、2004年の台風18号で被災したところに行ったのですが、立派な護岸ができたなら非常に近くまで人家ができていますね。そのため、護岸が壊れるとすぐに家も壊れてしまう。つまり、先ほどもお話があったように、我々は住民に対して、どれだけ危険な情報なのか、「こういうふうになったら、こういうことが起きますよ」という情報をあまり伝えてないのではないかと思います。構造物ができたら守られているような見かけ上の感覚を市民に与えて、それがどの程度のもので、「こういう状態になったら、こんなことが起きますよ」という危険度を明確に説明していないというか、出していないのではないかという気がするのです。最近、ハザードマップを描くようになって来てはいますが、例えば、「この程度、伊勢湾台風を超えるようなものが来たら、高潮でこんなことが起きますよ。だから、こういうところは危険ですよ。」という情報を、なかなかきちんとは出せていないのかなと感じています。

先ほども安全、安心という話がありましたが、安心というのは、多分市民の側からすると、自分たちは守られているという意識だと思うのです。ところが、実際には守られていないという可能性もあって、見かけ上だけ守られていたということが多いのではないかと思います。それだけ我々は、色々な情報を市民に出していかないといけないのではないのでしょうか。それによって、市民からこうして欲しいという要望が出てくるのではないかと思います。これから我々の技術レベルなり、その辺りのことをきちっと明らかにして、市民にも知らせていくというのが一番重要だし、こういう状態の守られ方だと困るという意見が出てくれば、我々もまたそれに応じていかなければならないのかなと感じているのですが。

【高橋】 どうも有り難うございます。時間が少し過ぎてしまったのですが、最後に堀川先生から少しコメントをいただければ有り難いのですが。

【堀川】 ご指名でございますから、感想を若干申し上げようかと思います。私は第一線を退いた人間であるため、あまり色々な情報には触れておりませんでした。今回このシンポジウムを開催するというご案内をいただき、大変有り難く思っております。皆さん方のお話をお聞きして、昔のことを色々と思い出したりいたしました。

それは、再三話に出ております、日本では昭和34年、1959年の伊勢湾台風であります。その直後、私は災害の状況を視察しまして、惨たんたるものであるということが身にしみたわけですが、昨年のカトリーナの被災状況がテレビで放映され、まことに大きな影響を及ぼした災害であるということ認識いたしました。そこでの防災について色々な問題も論議されているようにお聞きしました。日本では伊勢湾台風の災害を思い浮かべ、その対応に努めてきたわけであり

ますが、今回、米国でカトリーナの被害があり、調査や研究が進められ、これまでの防災のどこに欠陥があったかを色々と考えておられると思いますが、両者の経験をこのような場で交換し合っ  
て、お互いに学ぶことができたということは、大変有意義なことであったと思っております。

確かに話題に出ておりましたワーストケースというものは、とらえることが大変難しいと思  
っておりますが、要は市民に対して安全をいかに確保するかということになると思います。最後に  
高山教授からお話が出ましたが、市民はえてして何らかの防災の施設を造ってもらおうと、そ  
れによって自分たちは安全になっていると錯覚する可能性があります。そのため、いよいよ土壇  
場になるまで避難せず、大きな災害になったという話も聞きましたし、最近では、特に津波に関  
連してではあります、市民は避難する前に NHK からの情報を聞いて、それによって行動をす  
るようになってきています。これは大変由々しい問題ではないかと言われております。要は、市  
民に対する防災の意識を高めることが非常に大事でありますので、多くの専門家の方々が色々  
検討を進めておられることが大事であり、その結果を市民にいかに伝えていくかが非常に重要な  
問題かなと思っているわけでございます。

感想を申し上げましたけれども、皆様方の熱心なご討議に対して大変うれしく、敬意を表する  
次第でございます。

**【高橋】** 先生、どうも有り難うございます。まさにワーストケースを考え、それによって予  
測される災害、すなわちワーストケースのシナリオを考えることが非常に重要であり、さらにそ  
れを市民に適切に伝えることが重要ではないかと思っております。非常に短い時間でしたが、本  
当に有意義なパネル討議となりました。パネル討議の結論としてサマリーを一応まとめて来たの  
ですが、私の準備してきたサマリーでは不十分であり、この会議のプロシーディングを作らせて  
いただいて、そこに皆さんの意見をまとめさせていただきたいと思っております。

本日は皆さん、どうも有り難うございました。これでパネル討議を終わります。

## [Summary of Panel Discussion パネル討議のサマリー]

Hurricane Katrina became the most destructive natural disaster in American history. In the panel discussion we explored future coastal disaster mitigation focusing on “preparedness for the worst case.” The worst case defined here is a case worse than the current design level and anticipated consequences considering huge disasters like the one by Hurricane Katrina.

By making worst-case scenarios we should be able to predict the actual disaster including failures of coastal defenses, the necessary evacuation and rescue, and the way to restore the affected areas and resources. Governments and citizens should work together to establish resilient disaster prevention measures by embracing the worst-case scenarios.

The technologies to determine rationally the worst case and to make the scenarios should be developed further by collaboration of all engineers and researchers in the world.

ハリケーンカトリーナは米国史上最悪の自然災害をもたらした。パネル討議では、「ワーストケースに備える」というサブタイトルのもとに将来の沿岸防災について議論した。ここで定義するワーストケースは、カトリーナの災害のように巨大な災害でこれまでの設計レベルをワン・ランク超えるものである。

ワーストケースのシナリオを考えることによって、防災施設の被災を含めた実際の災害の様子や、必要とされる避難や救助、復旧方法などを予測することになる。市民や行政は、このワーストケースのシナリオを共有することによって協力して粘り強く回復力の高い防災を確立する必要がある。

合理的なワーストケースを決める方法やシナリオの作成技術については、世界の技術者・研究者が協力してさらに発展させる必要がある。

### [解説]

ニューオーリンズの災害のような大都市の高潮災害が将来発生することはぜひ防ぐべきであり、巨大な台風・ハリケーンなどの発生や、防災施設の崩壊などワーストケースを想定した対策が必要である。

そのためにはまず、合理的な「ワーストケースの外力条件の設定方法」が必要である。ここで設定する台風あるいは高潮の条件は、現在ある堤防や護岸などのハード対策で想定するレベルより一段高いものであり、これらの施設が破壊して後背地に大きな被害が及ぶものとすべきである。このレベルを設定するにあたっては、気象学的見地から台風・ハリケーンの理論的な発達限界や地球温暖化に伴う将来のトレンドを究明する一方で、大地震の後に発生する高潮や高潮と河川洪水の重畳など、これまで想定して来なかった複合外力にも目を向けていく必要があるだろう。

次に、この外力によって具体的にどのような災害が発生し、どのように避難し、発生した災害



からどのように復旧・復興する必要があるのか、ということ予測する「災害シナリオの作成技術」の確立も不可欠である。このシナリオをリアルに描くためには、老朽化した既存建造物の耐力診断はもちろん、高潮や高波の超過外力や人為的ミスなどこれまで想定しなかった原因による、建造物の破壊や後背地の浸水を予測する必要がある。そのためには、建造物の変形を照査する技術に磨きをかけていかなければならない。また、被害拡大、特に人的損失を防ぐためには、粘りの強い建造物、フェイルセーフを考えた二重・三重のソフトとハードの防災対策、早急な復旧・復興のため基本インフラの確保なども有効であり、具体的な手法やこれらを防災計画に生かす方法について検討する必要がある。

ただし、専門家や行政担当者が適切なワーストケースのシナリオを描いたとしても、それが市民に理解されなければ、シナリオを描いた意味は半減してしまう。専門家や行政担当者は常日頃から積極的に、自然現象としての台風や高潮の性質、ワーストケースにおいて予測される災害の具体的な状況をシナリオに基づいて市民に啓蒙する機会を設けるべきである。また、復旧・復興のシナリオをあらかじめ考えておき、それを市民と行政担当者が共有しておくことも重要である。そうしたことから、行政的に何をすべきかを市民と話し合うことも可能になる。

なお、ワーストケースの選定やそれによる災害の予測などには、技術的に困難な課題が多い。日本と米国だけでなく世界の技術者や研究者の協力が必要になっている。さらに、技術者・研究者だけでなく行政や市民も協力して、防災のための具体的な手段を確立していく必要がある。

## 8. おわりに

2005年8月26日、ハリケーンカトリーナは、米国のメキシコ湾沿岸に甚大な高潮・高波災害をもたらした。ニューオーリンズの市街地が浸水し、メキシコ湾の海岸で橋梁や住宅が無惨に破壊された衝撃的な映像は、日本でも広く報道された。

港湾空港技術研究所では、災害直後から米国内の関係者と連絡をとり被災状況に関する情報収集を行っており、米国土木学会の海岸・海洋・港湾・河川委員会（COPRI）のご厚意により COPRI が9月に派遣した第一次調査隊には、港湾空港技術研究所から高橋研究主監が参加できた。その調査結果に基づいてさらなる調査が必要であると判断し、10月には、港湾空港技術研究所、京都大学防災研究所、国土技術政策総合研究所、沿岸技術研究センターの専門家が「沿岸防災技術調査団」（団長：高山知司 京都大学防災研究所教授）を組織し、現地調査を実施した。その後も日本からは土木技術者だけでなく数多くの調査隊が現地を訪れ、様々な角度から調査を行っている。国土交通省でもこの災害を踏まえ、「ゼロメートル地帯の高潮対策検討会」（委員長：磯部雅彦 東京大学大学院教授）で今後の対策に対して議論を実施している。

防災はまず災害を知ることから始まる。限られた防災関係の技術者や研究者が現地を調査して自らの目に焼き付けるだけでなく、その周りにいるより多くの技術者や行政関係者に災害の実体を伝えて理解してもらうことが重要である。日本からの調査団の調査結果については、すでにくつかの報告会が開催されている。その一方で、米国では災害の直後から組織的な調査が行われており、現地の事情を熟知している米国の研究者・技術者から直接お話を聞きし、意見や情報を交換することも重要である。港湾空港技術研究所、沿岸技術研究センター他は、2006年1月に「第二回国際沿岸防災ワークショップ」を開催し、Harley S. Winer 博士にその時点での最新の情報について御講演いただいている。

今回のセミナーはこのワークショップのフォローアップ会議であり、IPET（米国土木学会等による災害調査タスクフォース）の報告書が6月に発行されるタイミングを狙って開催したものである。米国からは COPRI のメンバーである Billy L. Edge 教授、Robert A. Dalrymple 教授、Jeffrey A. Melby 博士、そして地盤工学を専門とする Peter Nicolson 教授、日本国内からは高山知司教授、磯部雅彦教授、さらに行政担当者として池田直太課長補佐をお招きして、御講演やパネル討議に御参加いただいた。本セミナーでは、カトリーナ災害のようなワーストケースに備えることの重要性を再認識でき、半日という非常に短い時間ではあったが、実り多いものであったと思う。

本セミナーの開催、及びそれに至るまでには、上述した方々を含め数多くの方々にお世話になっている。例えば、COPRI の調査団に関しては、特に Nobuhisa Kobayashi デラウェア大学教授、Robert A. Dalrymple ジョンホプキンス大学教授、Robert Dean フロリダ大学名誉教授、Scott L. Douglass 南アラバマ大学教授などからご支援をいただいた。沿岸防災技術調査団の調査でも、米国陸軍工兵隊の Harley S. Winer 博士や Jeffrey A. Melby 博士に随行していただき、Douglas C. Otto 博士にはメキシコ湾岸の調査に大変なご協力をいただいた。また、本セミナーの開催にあたっては、国土交通省の中尾成邦技術参事官、内村重昭港湾局海岸・防災課長、鈴木 勝港湾局国際業務室長、梶原康之港湾局海岸企画官、土木学会の濱田政則会長、川嶋康宏副会長、古木守靖専

務，稲垣 一調査役，東京大学の堀川清司名誉教授，佐藤慎司教授，田島芳満講師，横浜国立大学の柴山和也教授他，非常に多くの方々にご協力いただき，セミナー前日の米国側参加者による東京港の高潮対策施設の視察では，東京都港湾局の滝野義和部長，光富正敏東京港防災事務所長他にお世話になった．さらに，本セミナーには当初の予定を大きく上回る約300名の皆様にご来場いただき，狭く窮屈な会場の中で長時間，熱心にご静聴，また質疑応答に加わっていただき，とても実り多いセミナーにすることができた．ここに記して深甚なる感謝の意を表します．最後に，セミナー実行委員会を支えていただいた，港湾空港技術研究所および沿岸技術開発センターの各位にも厚く御礼申し上げます．

ISBN 4-900302-67-8

### セミナー実行委員会

独立行政法人港湾空港技術研究所

研究主監	高橋重雄
海洋・水工部海洋水理・高潮研究室長	河合弘泰
海洋・水工部主任研究官	川口浩二
企画管理部総務課	榎 弓子

(<http://www.pari.go.jp/>, tel: 046-844-5049)

財団法人沿岸技術研究センター

専務理事	岩瀧清治
前専務理事	宍戸達行*
企画部長	酒井洋一
企画部企画課	斉藤美智代

(<http://www.cdit.or.jp/>, tel: 03-3234-5862)

\* 2006年6月に国際臨海開発研究センターへ異動