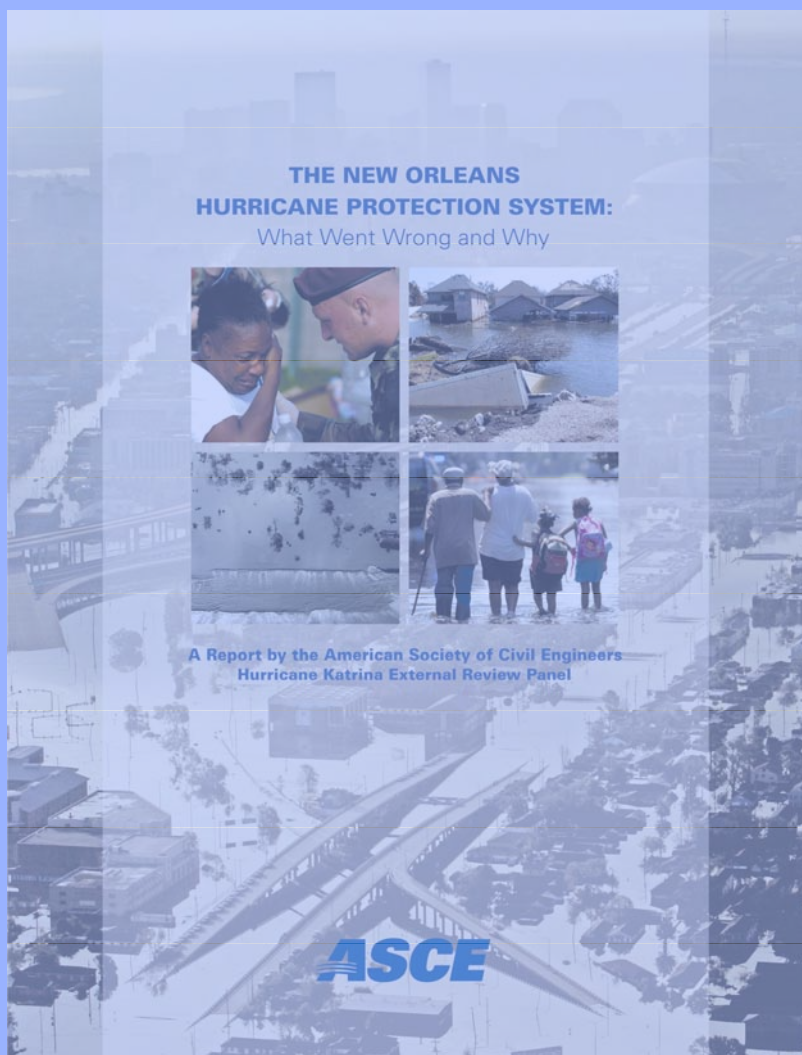


ニューオーリンズ ハリケーン防御システム

どこをどうして失敗したか

米国土木学会ハリケーン・カトリーナ
外部審査委員会報告書



ASCE

米国土木学会 編



国土交通省
国土技術政策総合研究所 訳



ニューオーリンズ ハリケーン防御システム
THE NEW ORLEANS HURRICANE PROTECTION SYSTEM :

どこをどうして失敗したか
What Went Wrong and Why

米国土木学会ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会報告書
A Report by the American Society of Civil Engineers
Hurricane Katrina External Review Panel

Christine F. Andersen, P.E., M.ASCE
Jurjen A. Battjes, Ph.D.
David E. Daniel, Ph.D., P.E., M.ASCE (Chair)
Billy Edge, Ph.D., P.E., F.ASCE
William Espey, Jr., Ph.D., P.E., M.ASCE, D.WRE
Robert B. Gilbert, Ph.D., P.E., M.ASCE
Thomas L. Jackson, P.E., F.ASCE, D.WRE
David Kennedy, P.E., F.ASCE
Dennis S. Miletic, Ph.D.
James K. Mitchell, Sc.D., P.E., Hon.M.ASCE
Peter Nicholson, Ph.D., P.E., F.ASCE
Clifford A. Pugh, P.E., M.ASCE
George Tamaro, Jr., P.E., Hon.M.ASCE
Robert Traver, Ph.D., P.E., M.ASCE, D.WRE
ASCE Staff:
Joan Buhrman
Charles V. Dinges IV, Aff.M.ASCE
John E. Durrant, P.E., M.ASCE
Jane Howell
Lawrence H. Roth, P.E., G.E., F.ASCE



Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

The New Orleans hurricane protection system : what went wrong and why : a report / by the American Society of Civil Engineers Hurricane Katrina External Review Panel.

p. cm.

ISBN-13: 978-0-7844-0893-3

ISBN-10: 0-7844-0893-9

1. Hurricane Katrina, 2005. 2. Building, Stormproof. 3. Hurricane protection. I. American Society of Civil Engineers. Hurricane Katrina External Review Panel.

TH1096.N49 2007

627'.40976335--dc22

2006031634

Published by American Society of Civil Engineers

1801 Alexander Bell Drive

Reston, Virginia 20191

www.pubs.asce.org

Any statements expressed in these materials are those of the individual authors and do not necessarily represent the views of ASCE, which takes no responsibility for any statement made herein. No reference made in this publication to any specific method, product, process, or service constitutes or implies an endorsement, recommendation, or warranty thereof by ASCE. The materials are for general information only and do not represent a standard of ASCE, nor are they intended as a reference in purchase specifications, contracts, regulations, statutes, or any other legal document.

ASCE makes no representation or warranty of any kind, whether express or implied, concerning the accuracy, completeness, suitability, or utility of any information, apparatus, product, or process discussed in this publication, and assumes no liability therefor. This information should not be used without first securing competent advice with respect to its suitability for any general or specific application. Anyone utilizing this information assumes all liability arising from such use, including but not limited to infringement of any patent or patents.

ASCE and American Society of Civil Engineers—Registered in U.S. Patent and Trademark Office.

Photocopies and reprints. You can obtain instant permission to photocopy ASCE publications by using ASCE's online permission service (www.pubs.asce.org/authors/RightslinkWelcomePage.htm). Requests for 100 copies or more should be submitted to the Reprints Department, Publications Division, ASCE (address above); email: permissions@asce.org. A reprint order form can be found at www.pubs.asce.org/authors/reprints.html.

Copyright © 2007 by the American Society of Civil Engineers.

All Rights Reserved.

ISBN 13: 978-0-7844-0893-3

ISBN 10: 0-7844-0893-9

Manufactured in the United States of America.

目 次

要 旨	1
第 1 章 はじめに	5
機関間性能評価委員会（IPET）	5
ASCEハリケーン・カトリーナ外部審査委員会	6
他の調査団体	6
本報告書について	7
第 2 章 ニューオーリンズ	8
川の上の街	9
沼地の開発	9
沈み行くニューオーリンズ	11
ニューオーリンズの人びと	12
文化的財産	12
第 3 章 ハリケーン・カトリーナ	14
ストーム	14
風、水、波	16
第 4 章 ハリケーン防御システム	20
計画基準ハリケーン	23
堤防と洪水防御壁	23
基準点と標高	24
内水排水路とポンプ場	25
第 5 章 堤防の決壊	26
高潮による損壊	26
システムに生じた裂け目	27
その後に発生した氾濫	28
水没した街	31
ポンプ場の閉鎖	33
第 6 章 氾濫の結果	34
悲劇的な死	34
曝露、怪我、病気	36
甚大な経済的損失	37
ハリケーン防御システムが崩壊しなかったら	39
雪だるま式に拡大する経済的影響	40

経済成長の見込み	41
長期的な健康と安全	42
避難者と避難者を受け入れる地域社会	43
ニューオリンズの文化への影響	45
自然環境	45
第 7 章 大災害の直接的原因	47
17th Street Canalの破堤	47
土の強度の過大評価	48
安全率	49
水が充満した隙間	49
London Avenue Canalの南側の破堤	51
過度に単純化された仮定	52
水が充満した隙間一再び	53
London Avenue Canalの北側の破堤	54
Industrial Canal東岸の北側の破堤	54
Industrial Canal東岸の南側の破堤とIndustrial Canal西岸の破堤	55
Industrial Canal西岸の南側と他の全ての堤防の決壊	56
ポンプシステム：ハリケーン・カトリーナ時に機能せず	58
第 8 章 助長要因	59
十分に理解されなかったニューオリンズのリスク	59
断片的に漸次施工されたハリケーン防御システム	61
設計が不十分であったハリケーン防御システム	62
高さ不足である多くの堤防	63
ハリケーン防御に責任を有する単独機関がない	65
外部専門家によるピア・レビューの欠如	67
資金調達方法の不備	68
第 9 章 次に何をすべきか？	70
リスクを理解し安全性を選定する	70
ハリケーン防御システムを再評価し、修正する	72
ハリケーン防御システムの管理を刷新する	75
技術的な質を要求する	76
謝 辞	78
著作権者一覧	79

要 旨

2005 年 8 月 29 日の朝、これまでに合衆国沿岸に來襲した最大級のストーム (storm: 嵐、暴風雨) のうちのひとつ、ハリケーン・カトリーナが強風、豪雨、波、高潮をルイジアナ州、ミシシッピ州、アラバマ州のメキシコ湾岸にもたらした。3 つの州すべてで地域社会が被災したが、本報告書では、それらのうちニューオーリンズと南東ルイジアナでの大災害に焦点を絞る。

ニューオーリンズ市は、ミシシッピ川沿いの低湿地帯の上に築かれた。氾濫防御のため、市およびそれと隣接する郡の周囲に、堤防と洪水防御壁が建設された。カトリーナの來襲時およびその後に、これら堤防と洪水防御壁の多くで越流が生じ、そのうちの幾つかが決壊した。その結果、メキシコ湾、ボーン(Borgne)湖、そしてポンチャトレーン(Pontchartrain)湖から何十億ガロンもの水がニューオーリンズに流れ込み、市の大部分が水浸しとなった。

2006 年 8 月 2 日現在、ハリケーン・カトリーナによってルイジアナ州で 1,118 人の死亡が確認された。さらに 135 人が依然行方不明だが、死亡したと推定される。何千棟もの家屋が破壊された。居住用および非居住用不動産の直接被害は 210 億ドル、公共施設の被害は 67 億ドルと推定される。地域の人口の半数近くが、避難後まだ戻っていない。およそ 124,000 人が職を失い、地域経済は機能を失った。

ニューオーリンズのハリケーン防御システムの壊滅的な崩壊は、これまでに米国が経験した最悪の災害の一つであることを象徴している。米国土木学会 (ASCE) のハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、米国陸軍工兵隊 (USACE) の要請により、USACE が組織した機関間性能評価委員会 (IPET) による包括的調査報告書について詳細な審査を行った。ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会による所見と結論が本報告書に示されている。

ハリケーン・カトリーナ級の強度を有するストームは、大規模な氾濫と災害をもたらすと予測される。ハリケーン・カトリーナによる災害の大部分は、そうしたストームそのものだけではなく、ストームにより露呈した技術的および技術政策的な失敗にも起因している。堤防や氾濫防御壁の決壊は、ほとんど全ての責任段階レベルにおいて、何年にも渡って積み重ねられた不運な選択と決定が組み合わさって生じた。

破堤の直接的な原因は 2 つである；一つはコンクリート製の氾濫防御壁 (I-ウォールと呼ばれる) を有する堤防の設計手法であり、それに起因して幾つかの堤防が崩壊した。もう一つは越流であり、水が堤防や防水壁の天端を越えて流れ込んで、それら構造物を侵食して破壊した。加えて、氾濫水の排除に役立つはずであった既設ポンプ場の多くが、ストームの來襲時およびその後に操作不能であった。

I-ウォールが決壊した原因は、それが生命の安全を守る重要構造物であることを特に考慮すると、設計で使用された安全限界が低すぎたためである。構造設計では、堤防の直下および近接する軟弱地盤の強度の変動性を考慮していなかった。設計者は、高水が及ぼす力を受けて I-ウォールが外側 (堤内側) に撓むために、その背面 (堤外側) に水が充填した隙間が形成されることへの配慮を欠いた。

ある程度の堤防越流は、強いストームの際には起こりうるものである。しかし堤防には、侵食に対するアーマー化 (訳注：地表面の強化) や防御がなされていなかった。これは壊

滅的な結果を招く技術的選択であった。なぜなら、非常に侵食されやすい土で築造された幾つかの堤防が完全に洗掘され、そのためニューオーリンズに水が流れ込むことになったからである。

これらの破堤に関する直接的原因に加えて、他にも災害の拡大を助長した要因が多く存在する。

- ニューオーリンズ市民のリスク（すなわち、システムの崩壊確率とその崩壊が起こった際の健康と安全に対する被害を合わせたもの）は、多くの人びとが概して受容しうるレベルよりはるかに高かった。これらのリスクは、市民に良く理解、伝達されていなかったため、人びとの避難や資産の保護の重要性が過小評価されていた。
- ハリケーン防御システムは、一連のシステムとしてではなく、各部分が相互に無関係に造られていた。そうした部分には、脆弱な箇所と強度の高い箇所が隣接して建設された堤防部、ハリケーンの力に耐えられない幾つかのポンプ場、そして道路、鉄道や公共施設による堤防切り欠き部が含まれていた。さらに、堤防は越流に耐えられるように設計されていなかった。
- ハリケーン防御システムを設計する際の気象条件（例えば気圧や風速）は、気象局(Weather Bureau)と全米気象庁(National Weather Service)が示したメキシコ湾岸の大型ハリケーンの特性を反映した条件より厳しくなかった。
- 堤防施工者が、堤防の標高を計測するのに正確でない基準点を使用したため、結果として高さの不十分な堤防が多く造られた。幾つかの堤防は、設計で意図した標高よりも1~2フィート低く造られた。加えて、ニューオーリンズが地盤沈下している（沈みつつある）という事実が認識されているにもかかわらず、堤防のモニタリングや沈下前の設計標高までの嵩上げといった地盤沈下を補償する対策について、その設計にあたって全く考慮されていなかった。
- ニューオーリンズにおいて、ハリケーン防御に関する単独の責任機関が存在しなかった。むしろ、堤防とポンプ場の維持管理と運用に関する責任が、多くの国・州・郡・市の機関に分散されていた。この機関間の連携の欠如が、ハリケーン・カトリーナによる被害の多くをもたらした。
- ハリケーン防御システムに関する資金は、長年にわたり個々のプロジェクト単位で供給されていた。結果として、システムは漸次断片的に造られた。加えて、品質、安全性および信頼性を譲歩させる結果に繋がるトレードオフや低コスト化を求めるプレッシャーがあった。
- ニューオーリンズのハリケーン防御システムの設計は、それと同様に人命を保護

する構造物やシステムに対してよく行われている、上級専門家による厳格な外部審査を受けていなかった。

ASCE の倫理綱領による倫理規範には、第一に「技術者は、.... 公衆の安全、衛生、福利を最優先する」と明記されている。次の大型ハリケーン直撃の際に、ニューオーリンズ地域における同様な大災害を回避しようと思うなら、南東ルイジアナのハリケーン防御システムの深刻な欠陥を修正しなければならない。

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、一切の妨げなしで安全に焦点を絞れるようにするために、人命を保護する重要施設に対する責任組織を設立、運営すること、およびシステムを構成する各要素の性能がシステム全体としての性能にどう影響するかについて常に熟慮して、技術者が頻繁に設計基準の妥当性を評価することを強く要請する。具体的な提案を以下に示す。

- 低頻度であるが潜在的には壊滅をもたらすハリケーンや洪水に対して公衆の安全、健康、福利を確実に保護するために、全ての責任機関に各機関の方針と業務を再評価させることによって、安全を公共の最優先事項に位置づける。また、ダムについて既に実施されているものと同様に、全国的な堤防安全プログラムの仕組みを確立し、資金を提供することを連邦議会に促す。
- リスク評価を定量的に実施し、定期的に更新する。この手法はハリケーンや洪水による大規模な損害に対して脆弱である合衆国内の全地域に広く適用すべきである。
- ニューオーリンズおよびハリケーンや洪水の脅威にさらされている他の地域において、質の高い双方向の公共リスク伝達プログラムを介して、地域社会の許容可能なリスク水準を決定する。決定されたら、しかるべきリスク管理を行う。
- 変化する情報を取り入れる仕組みを確立すること、越流しても耐えられる堤防にすること、I-ウォールと堤防を強化すること、ポンプ場の性能向上を行うことにより、システムの欠陥を修正する。
- 単独の団体または個人（ライセンスを取得した技術者）に、ニューオーリンズにあるような重要なハリケーン・洪水防御システムの維持管理の責任を付与する。
- 連携と協調のためのより効率的な仕組みを実行する（例えば、システムの管理責任者は、システム設計者と協働しなければならない、システムがハリケーンおよび洪水に対して準備が整っていることを確認するための、管理者による検査・修理・運用手法を向上させなければならない）。

- 安全をより重視するように、工学的設計の手法と慣例を改善する。
- ハリケーン・洪水防御システムを含め、人命保護に関わる全ての重要構造物のハイレベルな審査には、中立の専門家を任命する。

本質的には、本報告書に示した所見と結論は、ニューオーリンズのハリケーン防御システムに留まらず他にも適用可能である。ハリケーン・カトリーナにより引き起こされた技術的および技術政策的な失敗から学んだ教訓には、米国の他の地域社会に対する造詣深い暗示と、国中の人びとに向けた肅然とさせるメッセージが含まれている：我々は、わが国の優先事項の最上位に、安全、健康、福利の保護を据えなければならない。ここまでやらなければ、ニューオーリンズで目撃したものよりも、さらに大きな悲劇を招くことになりかねないであろう。

第 1 章 はじめに

2005 年 8 月 29 日の朝、ハリケーン・カトリーナが南東ルイジアナを直撃し、これまでに米国の都市を襲った最大の災害のひとつを引き起こすこととなった。ストームは南東ルイジアナ全体において堤防や洪水防御壁を乗り越え、ニューオーリンズ地域では 50 箇所以上で堤防の損壊または決壊が生じた。水がニューオーリンズに急激に流れ込み、市の 80% を水浸しにした。幾つかの地区ではその深さは 10 フィート以上にも達した。

ニューオーリンズ地区では 1,118 人が命を落とし、135 人が依然として行方不明であるが、死亡したと推定される。何百億ドルに相当する資産が被害を受けた。40 万人以上が街を離れ、その多くが戻ってきていない。ニューオーリンズ地区の教育・医療システムは機能を失った。荒廃はあまりに凄まじく、残存リスクも不気味に横たわり、1 年半以上が経過した今でも、ニューオーリンズの未来には依然として暗雲が立ち込めている。

米国土木学会（ASCE）の会員は、カトリーナにより亡くなった人々の家族・友人に対し心からのお悔やみを申し上げる。我々の心からの同情は、ニューオーリンズ地域の家屋、地域社会そして職を失った人々、そして将来への不安に直面している人々に注がれている。

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会の委員は、米国陸軍工兵隊（USACE）が組織した機関間性能評価委員会（IPET）による包括的調査報告書の詳細な検討を行った。委員は、カトリーナ後の 1 年半の間でニューオーリンズ地域におけるハリケーン防御システムの崩壊原因を調査してきた 150 人を超える技術者・科学者の献身的な努力に大変感謝している。

この優れた調査報告の結果、我々は現在、どこをどうして失敗したのかをより良く理解している。ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、人々がこの悲劇から教訓を得るとともに、ニューオーリンズだけではなく、ハリケーンや洪水に対して脆弱な全米の他の地域社会においても同様の災害が繰り返されないようにするため、IPET による検討範囲を超えて、外部審査委員会の所見と見識を公開する義務を有する。

機関間性能評価委員会（IPET）

ストームと氾濫の影響が残る中で、工兵隊司令官 Carl A. Strock 中將は、南東ルイジアナにおけるハリケーン防御システムの運用と性能に関する根本的な疑問に対して、信頼性の高い客観的な技術的・科学的回答を与えるための調査を実施するよう命じた。性能評価の結果は、以下の 4 つの質問に答えることを意図したものである。

1. ハリケーン・カトリーナにより引き起こされた高潮と波はどのようなだったのか、そして越流は生じたのか？
2. 一つの統合的システムとして機能する洪水防御壁、堤防および排水路は、ハリケーン・カトリーナの来襲時とその後どのように機能し、また決壊したのか？

3. 一つの統合的システムとして機能するポンプ場、水門、道路閉鎖扉は、ハリケーン・カトリーナによる氾濫の防止と避難に対して、どのように機能したのか？
4. ハリケーン・カトリーナの来襲前後において、ハリケーン防御システムの状況はどのようなであった、またはあるのか。そしてその結果、ニューオーリンズの防御システムは、今後のハリケーンや熱帯性低気圧による氾濫がより生じやすくなっているのか？

IPET の調査目的には、得られた教訓と既存のハリケーン防御システムの性能を、正式に認可された防御水準にまで改善する方法を特定することが含まれている。IPET の調査は包括的最終報告書として文書化され、ウェブサイト <https://ipet.wes.army.mil/> で入手可能である。

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会

工兵隊司令官は、ASCE に対し、IPET 調査報告に関する審査と批評を行う外部審査委員会を設置するように要請した。ASCE は、ハリケーン防御システムの崩壊に関連のある主要な技術・科学分野から 14 人の専門家を集め、ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会を設置した。

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会の審査範囲は、ニューオーリンズおよびその周辺におけるハリケーン防御システムの性能に関する IPET レポートの所見に対して、継続的かつ即時に客観的な技術的評価を提供することであった。ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会の委員は、ニューオーリンズを訪れ、被災地を調査し、かつ大災害とその原因に関する多くの情報を知ることができた。IPET の検討範囲の制定を始まりとして、ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会の委員は、IPET の調査者らと密接に連携し、IPET に対して積極的に非公式なコメントを行い、また IPET の各報告書を詳細にわたって審査してきた。

本報告書に示した所見に関わる事実および技術的根拠は、IPET による広範な調査研究成果に基づくが、さらに本報告書では、他者から示されたアイディアも引用している。IPET の調査研究成果が技術的分析の基礎をなしているものの、本報告書は IPET および USACE から独立して作成され、ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会の見解のみを反映している。

他の調査団体

ハリケーン・カトリーナの後にニューオーリンズを訪れた最初の技術者グループの一つに ASCE の堤防評価チームがあった。このチームは、破堤原因の詳細な検討を支援するために、洪水後の状況を調査し、報告した。その成果は、2005 年 11 月 17 日発刊の報告書番号 No. UCB/CITRIS-05/01 “2005 年 8 月 29 日ハリケーン・カトリーナ来襲時におけるニューオーリンズ堤防システムの機能に関する速報” (Preliminary Report on the Performance of the New Orleans Levee Systems in Hurricane Katrina on August 29, 2005) に公開されている。ASCE 堤防評価チームのメンバーであった 2 名が、ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会に参加している。

国立アカデミー(the Natinal Academies)の全米研究委員会(the National Research Council)は、NRC/NAE プロジェクト (DEPS-L-05-02-A) のもとに、“ニューオーリンズ地区ハリケーン防御プロジェクト” (New Orleans Regional Hurricane Protection Projects)と題し、IPET と ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会の調査報告の審査を実施した。国立アカデミーの審査範囲は以下のとおりである。

1. IPET および ASCE チームにより収集されたデータを精査し、かつこれらデータの妥当性に関して提言を示す。さらに、IPET の研究において重要と考えられ、別途収集されるべきであるデータに関しても提案を行う。
2. IPET および ASCE により行われた分析を審査し、一般的に容認されている技術手法や慣例との整合性を確認する。
3. IPET および ASCE チームによる結論について審査し、意見を示す。
4. カトリーナの経験から教訓を導き出すことと、正式に認可されている防御水準までハリケーン防御システムの性能を今後改善していくことのできる方法の特定を試みる。

本報告書について

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、この報告書を通じて、ハリケーン・カトリーナが来襲した結果として、ニューオーリンズのハリケーン防御システムになにが生じたのか、またなぜそれが生じたのかについて評価する。本報告書は、ハリケーン防御システム崩壊に直結した物理的原因とその助長要因に重点を置く。本報告書は、IPET 報告書に書かれた情報を再掲するためではなく、むしろ、その所見に含まれるより広範な意義を解説するために作成された。広い意味では、この大災害から得られた教訓は、ニューオーリンズまたは堤防や洪水防御壁に限られたものではない。それらは、公共の衛生、安全および福利がリスクに曝されている地域における全ての技術的プロジェクトに適用することができる。ハリケーン前後における避難、救助活動、ならびに復興のための努力に関する事柄は、本検討の対象ではないが、これらは全てハリケーン防御システムの崩壊による最終的な被害状況に影響を及ぼすものである。

本報告書は、科学者・技術者および一般市民の両方を対象に作成された。科学者・技術者は、ハリケーン氾濫防御の科学と技術に関する貴重な情報を得ることができる。一般市民は、まさになにが災害を起こしたかに関して幅広い理解を得ることができる。

おそらく、最も難しい質問は「どこをどうして失敗したのか？」ではなく、ニューオーリンズや他のハリケーン・洪水常襲地域において今後同様の災害を避けるために「次に何をすべきか？」であろう。ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、生命と公共の安全を保護するためには、ハリケーン・洪水防御システムへの資金供給、設計、管理、維持に関わる手法に大幅な変更が必要であると強く確信する。

第 2 章 ニューオーリンズ

ニューオーリンズは、ミシシッピ川がメキシコ湾に流れ込む地点の近く、ルイジアナ州の南東に位置する（図-2.1）。航行量の多いニューオーリンズ港は、石油、鉄鋼、銅、ゴム、セメント、コーヒーそしてコンテナ貨物などの輸入の窓口となっている。主な輸出品目は、合衆国中西部からの穀物と他の食品、そして石油製品である。ヨーロッパ、アジア、ラテンアメリカ、アフリカからの外航船が毎年、ミシシッピ川を通り、ニューオーリンズを航行している。

図-2.1 ニューオーリンズ地域の衛星写真



ミシシッピ川がメキシコ湾に流入する場所の近くに位置するルイジアナ州ニューオーリンズは、米国で最も重要な港湾の一つである。

14,500 マイルにわたるミシシッピ川、ミズーリ川、オハイオ川を含む内陸水路網、または他の輸送手段、例えば港へのアクセスを有する 6 つの鉄道路線、50 の外洋貨物業者、16 のバージ・ライン、75 のトラック運送業者を利用し、ニューオーリンズから米国各地に商品が運ばれる。貨物船に加え、巡航船や川船が年間 70 万人以上を輸送している。

ニューオーリンズは、国内に重油およびその他石油製品を供給する、ルイジアナ州の大規模な石油インフラの一部をなす。ルイジアナは、全米で石油生産量が第 5 位であり、パイプライン網と貯蔵施設に加えて 17 の精製所の拠点となっている。さらに、非常用の石油供給源としては世界最大の石油備蓄システムである 4 つの戦略石油備蓄所のうちの 2 つの拠点となっている（図-2.2）。ニューオーリンズは、BP、シェル、シェブロン、コノコフィリップスといった石油会社のビジネスの中心地でもある。

図-2.2 浸水した石油備蓄タンク地



ニューオーリンズは、米国の石油の最大30パーセントを供給する、地域の石油生産および精製事業の主要中心地である。ハリケーン・カトリナによる石油コンビナートの被害は甚大であった。

川の上の街

何千年にもわたり、ミシシッピ川は何十億トンもの土砂を上流からメキシコ湾に運んできた。ミシシッピ川がメキシコ湾に流れ込む際、土砂が河成デルタを形成し、ニューオーリンズや周辺地域が現在建設されている土地が形成された。河成デルタの中では、川の自然の作用により、ミシシッピ川の近くに高地が位置する傾向がある。ニューオーリンズは、18世紀初期にミシシッピ川に隣接する高地上に築かれた。

主要な河川に氾濫が生じた場合、土砂が混ざった水が堤防を越えて注ぎ込んでくる。粗い土砂（砂や礫）がまず川のそばに堆積し、河岸の近くに自然堤防を形成する。細かい土砂（シルトや粘土）は遠く沼地まで運ばれて堆積する。

何度もの氾濫と河川の流路変更といった自然の作用によって、複雑で変化に富んだ地質が形成された。多くの箇所において、砂利、砂、シルト、粘土の層が有機泥堆積物（しばしばピートと呼ばれる）の層を挟みながら互い入り組んで成層している。

沼地の開発

1849年のニューオーリンズ東岸の地図（図-2.3）には、川に隣接して開発された地域が糸杉沼(cypress swamp)、沼地、市の北側と東側に沿ったバイユー（bayou-訳注：ミシシッピ下流デルタ地帯に広がる水の淀んだ河川、沼地状の入江）とともに示されている。バイユーは、もともと北方向にはポンチャトレーン湖、東方向にはボーン湖に流れ込んでいた。ボーン湖はメキシコ湾に直結する開口部を有する。ニューオーリンズが拡大および繁栄するにつれ、一連の堤防が市の北側の低い沼地の周りに建設され、土地は排水され開発された。

図-2.3 1849 年のニューオーリンズ



1849 年の地図には、ニューオーリンズがミシシッピ川に隣接して、北側に沼地帯とバイユーを伴って、築かれた様子が示されている。

ニューオーリンズの郡と区域を図-2.4 に示す（郡(Parish)は、アメリカの他の地域における county に相当する）。本報告書において特に重要な意味を持つのは、オリンズ(Orleans)郡とセント・バーナード(St. Bernard)郡である。ニューオーリンズのハリケーン防御システムの崩壊により、両郡において大規模な氾濫が生じた。

図-2.4 ニューオーリンズの郡と区域

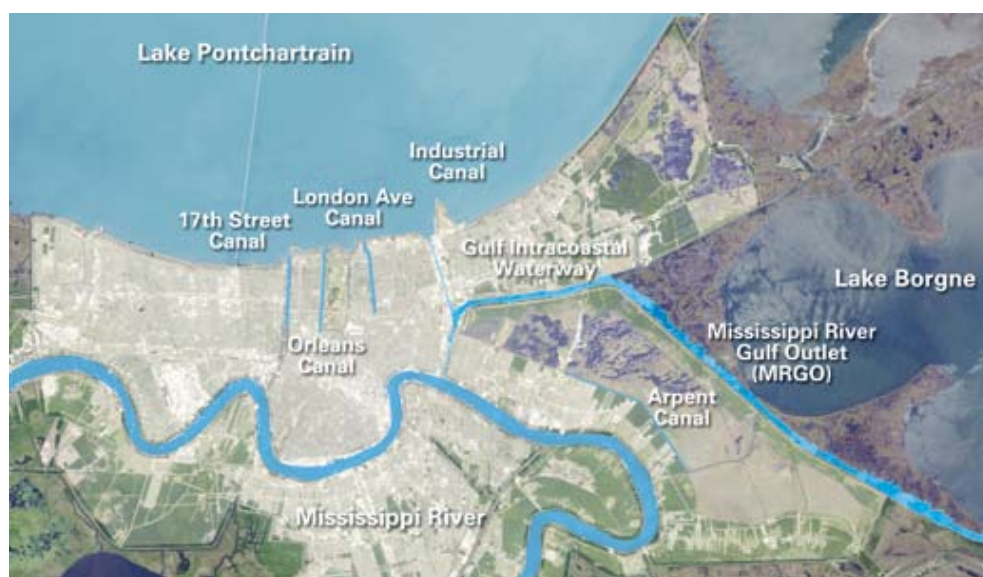


セント・バーナード、ブラックミン(Plaquemines)、オリンズ郡は、ハリケーン・カトリーナ後の氾濫による影響を最も受けた。

堤防と洪水防御壁は、以前にポンチャトレーン湖からニューオリンズ内に向かうバイユーであった幾つかの水路の河岸上にも造られた。本報告書において重要な水路（図-2.5）は以下のとおりである。

- 17th Street Canal
- Orleans Canal
- London Avenue Canal
- Inner Harbor Navigation Canal (Industrial Canal と呼ばれる)
- Gulf Intracoastal Waterway
- Mississippi River Gulf Outlet

図-2.5 ニューオリンズの水路



ニューオリンズは、水（湖、河川、バイユーそして水路）によって囲まれている。また、水が陸地に指状に延びて入り込んでいる。

沈み行くニューオリンズ

オリンズ郡、セント・バーナード郡およびジェファーソン(Jefferson)郡の大部分は、現在、海抜以下であり、沈み続けている。ニューオリンズは何千フィートもの軟質の砂、シルトおよび粘土の上に築かれている。地盤沈下、すなわち地表の沈降は、有機質土壌（ニューオリンズでは“マーシュ” (marsh) と呼ばれる）の圧密と酸化により自然に生じる。過去、ミシシッピ川からの氾濫と土砂堆積が自然沈下と釣り合って、南東ルイジアナを海抜より高く保ってきた。

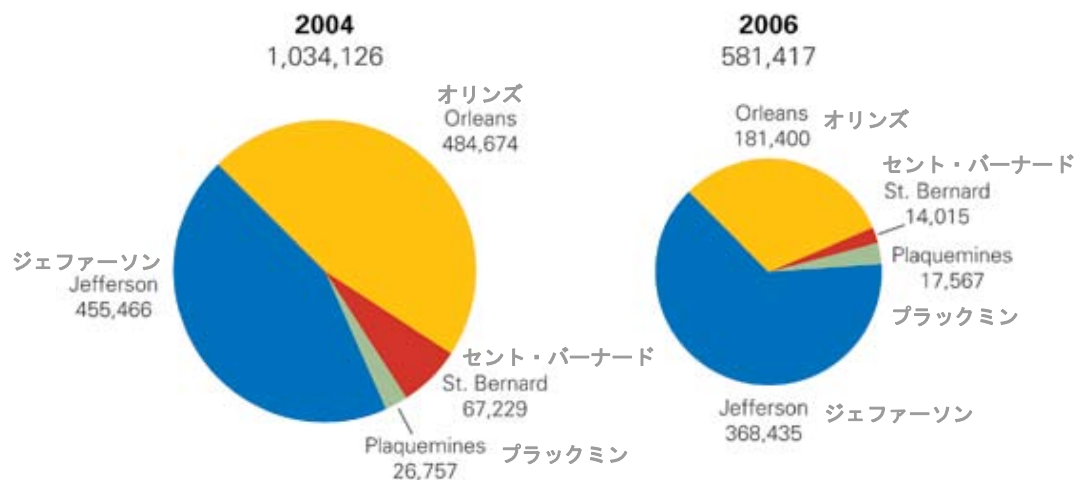
しかし、ミシシッピ川上流の大規模な洪水調節施設と、ニューオリンズの周囲に建設された堤防のために、地盤沈下により失われた地盤が新たな堆積層によって補填されていない。自然沈下は地下水の取水、石油の産出、開発などの要因により、一層激しくなっている。オリンズ郡に最初期に設けられた基準点において米国地質調査所(United States Geological Survey)により取得されたデータ(1951～1995 年)に基づく、沈下は平均して年間 0.15～0.2 インチの速度で生じていると評価されるが、幾つかの地点では年間 1 インチを

超えている。

ニューオーリンズの人びと

2004 年の国勢調査によると、ハリケーン・カトリーナにより被害を受けたニューオーリンズ大都市圏の人口はおよそ 100 万人で、うち 67%がアフリカ系アメリカ人、28%が白人、そして少数のラテンアメリカ系・アジア系の人びと（それぞれ 3%、2%）であった。カトリーナ後の市の人口推計調査では、2006 年の人口はおよそ 58 万人で、44%の減少となっている（図-2.6）。

図-2.6 ニューオーリンズ地区の人口



ジェファーソン、オリンズ、セント・バーナード、ブラックミン郡の合計人口は、ハリケーン・カトリーナ後に 44 パーセントまで落ちた。オリンズ郡の人口は 63 パーセント減少した。

文化的財産

ニューオーリンズは、たった 100 年の間に、フランス、スペイン、そしてルイジアナ買収後にアメリカと統治国が移り変わった。統治国からの影響は、港町にやってくる他の国々の人々（アフリカ人奴隷、カリブ諸島の人々、飢饉から逃れるため、または単にアメリカに新たな生活を求めてやってきたイタリア人、ドイツ人、アイルランド人）からの影響と混ざり合った。結果として、マルディ・グラ(Mardi Gras)、聖パトリックの祭日、聖ヨセフの祭日、そしてブードゥーの儀式は、全てニューオーリンズが発祥の地である。言語の混成もまた、他の地方では聞かれない独特の言葉やフレーズを生み出した。

米国の最も古く歴史のある建造物は、ニューオーリンズにある。アイアン・レースワーク（鉄のレース飾り）と呼ばれる凝った飾りやフランス式、スペイン式の建築物が、ニューオーリンズにヨーロッパの趣きをもたらしている。ニューオーリンズの最も有名な輸出物であるジャズも、ヨーロッパの音楽形式がラグタイム、ブルース、ゴスペルと徐々に混ざっていくようにして、市内の文化の網目の中から生まれた（図-2.7）。

元々は地元の素材を取り入れた伝統的フランス料理であるクレオール料理や、ルイジアナに定住したフランス系カナダ人によりニューオーリンズに紹介されたケイジャン料理が、家庭やレストランで味わえる。

図-2.7 ハリケーン後に街を離れるニューオーリンズ市民



ニューオーリンズは、音楽、建築、料理、言語の観点で、文化的に最も豊潤で多様な街のひとつである。ニューオーリンズは、米国の最も広く知られている特有の音楽様式—ジャズの発祥地である。

第3章

ハリケーン・カトリーナ

ハリケーン・カトリーナは、これまでに米国沿岸を襲った最大級のストームのひとつであった。ニューオーリンズは、ハリケーン・カトリーナの進路上にちょうど位置していた。ハリケーン・カトリーナは、強烈な風、雨、波、高潮をもたらして、ニューオーリンズとルイジアナ、ミシシッピ、アラバマ沿岸地域を広範囲に渡って破壊した。

メキシコ湾岸では、ハリケーンは目新しいことではない。これまで南東ルイジアナ付近のメキシコ湾岸を襲った大型ハリケーンを表-3.1 に示す。

表-3.1 ルイジアナ南東部およびその周辺を通過した大型ハリケーン (1851～2004 年)

ハリケーン	年	上陸時の カテゴリー	最初の上陸時の 中心気圧 (ミリバール)
カミール	1969	5	909
カトリーナ	2005	3	920
アンドリュー	1992	5*	922
LA (ニューオーリンズ)	1915	4	931
LA (ラスト・アイランド)	1856	4	934
SE FL/SE LA/MS	1947	4	940
オードリー	1957	4	945
LA (CHENIER CAMINANDA)	1893	3	948
ベッツィー (SE FL/SE LA)	1965	3	948
LA/MS	1855	3	950
LA/MS/AL	1860	3	950
LA	1879	3	950
LA (GRAND ISLE)	1909	3	952

出典：米国海洋大気圏局 (NOAA) 研究速報 NWS TPC -4、"1851 年から 2005 年までに米国を襲った最も破壊的で被害額が大きい強大な熱帯性低気圧 (およびその他要望の高いハリケーンの実績)" (The Deadliest, Costliest, and Most Intense United States Tropical Cyclones from 1851 to 2005 (and Other Frequently Requested Hurricane Facts))

*ハリケーン・アンドリューは、フロリダではカテゴリー5 であったが、ルイジアナに達した時点ではカテゴリー3 であった。

ストーム

ハリケーンとは、夏と初秋に暖かい海洋上で発生する気圧の非常に低い領域である。海洋上の暖かく湿った空気がその上の冷たい空気中に上昇する際、水蒸気が凝結して水滴と雲を形成する。この凝結で熱が放出され、空気の上昇を促進させ、中心気圧を下げ、より

暖かく湿った空気がストームになる。こうしてエネルギーが増大し、風速が増す。気圧が低くなると、低気圧領域の中心に向かって風がらせん状に吹き込んでいき、ハリケーンが形成される。北半球では、ハリケーンの風はハリケーンの目を中心に反時計回りである。

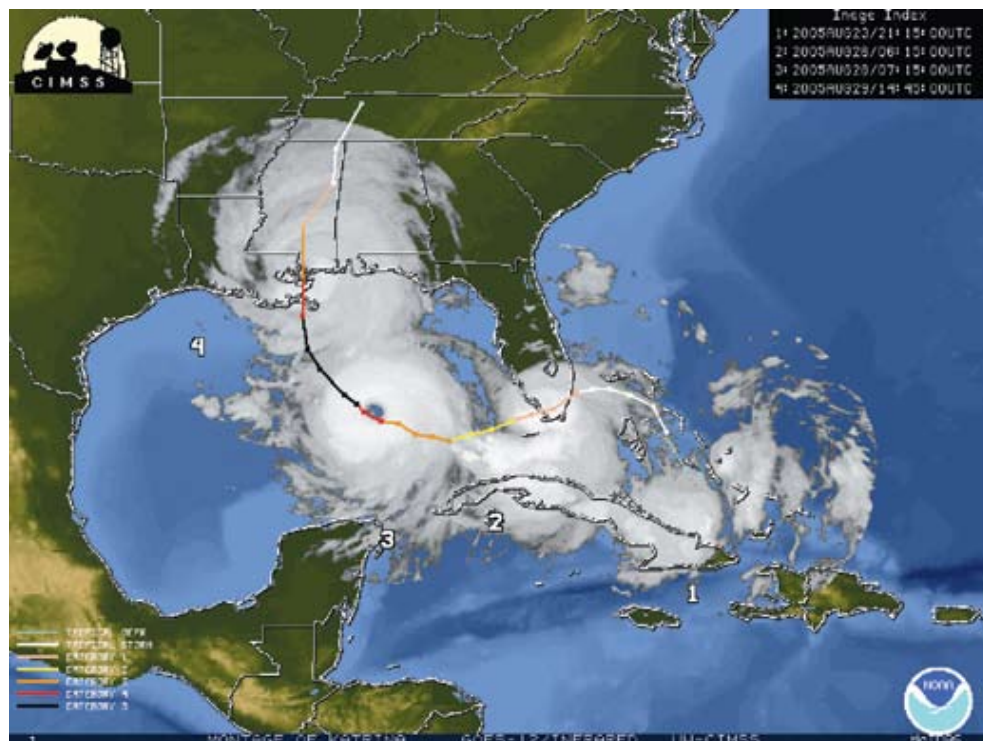
表-3.2 にまとめて示すように、ハリケーンはサファ-シンプソン・ハリケーン・スケール (Sffir-Simpson Hurricane Scale)に従って、最大風速に基づいて分類されている。

表-3.2 サファ-シンプソン・ハリケーン・スケール

カテゴリー	風速 (マイル/時)	標準的な高潮 (フィート)
1	74~95	4~5
2	96~110	6~8
3	111~130	9~12
4	131~155	13~18
5	>155	>18

ハリケーン・カトリーナの経路と強度履歴を図-3.1 に示す。このストームは、2005 年 8 月 23 日にバハマで熱帯性低気圧として発生した。8 月 25 日に南フロリダをカテゴリー1 で通過してメキシコ湾に入った。ストームは西に進むにつれて強くなった。

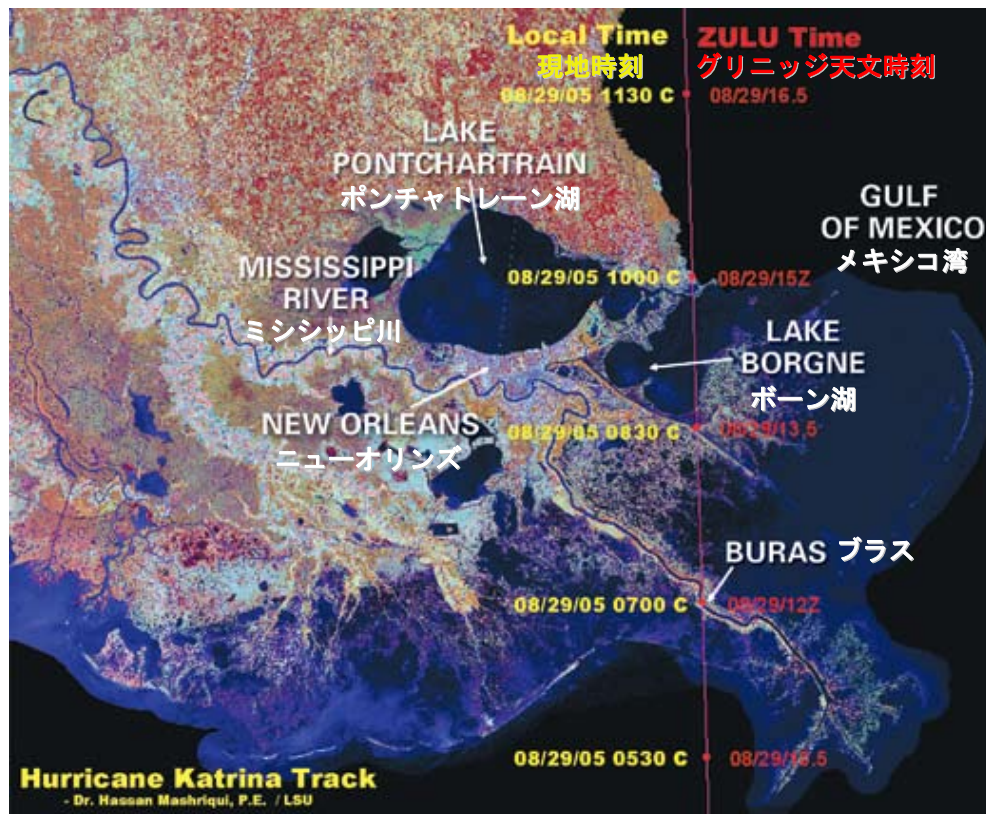
図-3.1 ハリケーン・カトリーナの経路と強度履歴



この図は、ハリケーン・カトリーナが強さを増しながらバハマからメキシコ湾を通り抜けた 2005 年 8 月末に撮影された 4 枚の衛星写真を合成したものである。

8月28日、ストームは進路を北西にとり始め、ちょうど12時間でカテゴリー2から5に勢力を増した。陸地に近づくにつれ、ハリケーン・カトリーナがメキシコ湾から吸い上げられる暖かく湿った空気とエネルギーが減少し、ハリケーン・カトリーナのカテゴリーは3に落ちた。図-3.2は、ストームがルイジアナに差し掛かった時の通過経路を示したものである。

図-3.2 ニューオーリンズ上空までのハリケーン・カトリーナの通過経路



ハリケーン・カトリーナの目は、ルイジアナ州南部を横切り、ニューオーリンズ市街の約30 マイル東をほぼ真北に通過した。

風、水、波

ハリケーンの強風と低気圧は高潮を引き起こす。一般に、高潮は沿岸付近で最も多くの損害を与えるのに対し、風は沿岸から離れた場所で最も多くの損害を与える。高潮の形成と強さには次の3つの要因が寄与している。

1. **風によって引き起こされる水の動き。** 風は海面を引っ張りながら進み、水を潮位よりも高く押し上げて高潮にする。これが大型ハリケーンにより高潮が形成される主要因である。その海水と波が岸に到達すると、一般に氾濫が生じる。風はまた水面上に波を生成し、陸に向かう高潮の運動量を増大させ、高潮の最高水位を上昇させる。カトリーナがメキシコ湾を通過した際、数日間にわたって吹き続けた東風が湾に突き出たミシシッピ川東岸に水を押し上げた。

2. **ストームによる気圧の低下。**大気圧は水銀柱で約 30 インチである。ハリケーン・カトリーナの最低中心気圧は約 27 インチで、大気圧よりも 3 インチ低かった。おおまかには水銀柱が 1 インチ下がるごとに海水は約 1 フィート上昇する。したがって、ハリケーン・カトリーナの低気圧のために、潮位は通常よりも 3 フィートほど高くなった。
3. **満潮と干潮のタイミングの良し悪し。**最悪の組み合わせは、満潮時にハリケーンによって高潮が引き起こされることだが、ハリケーン・カトリーナが陸地を襲った時がまさにこのケースであった。

2005 年 8 月 29 日午前 10 時 15 分に撮影されたハリケーン・カトリーナの衛星写真を [図-3.3](#) に示す。ルイジアナから 200 マイルほど沖合で最大に達した（上陸の 24 時間前）ハリケーン・カトリーナは、最高で毎時 160 マイル（160mph）の風を発生させた（1 分間平均）。ピーク時にはハリケーン・カトリーナの最低中心気圧も、大西洋で発生したハリケーンとしては 4 番目に低い 902 ミリバール（水銀柱 27 インチ）に達した。メキシコ湾の沖合の波は 100 フィートほどの高さに達し、前世紀以降に発生した様々なハリケーンの波と比較しても最大級の部類に入る。

[図-3.3](#) 衛星 NOAA から見たハリケーン・カトリーナの目



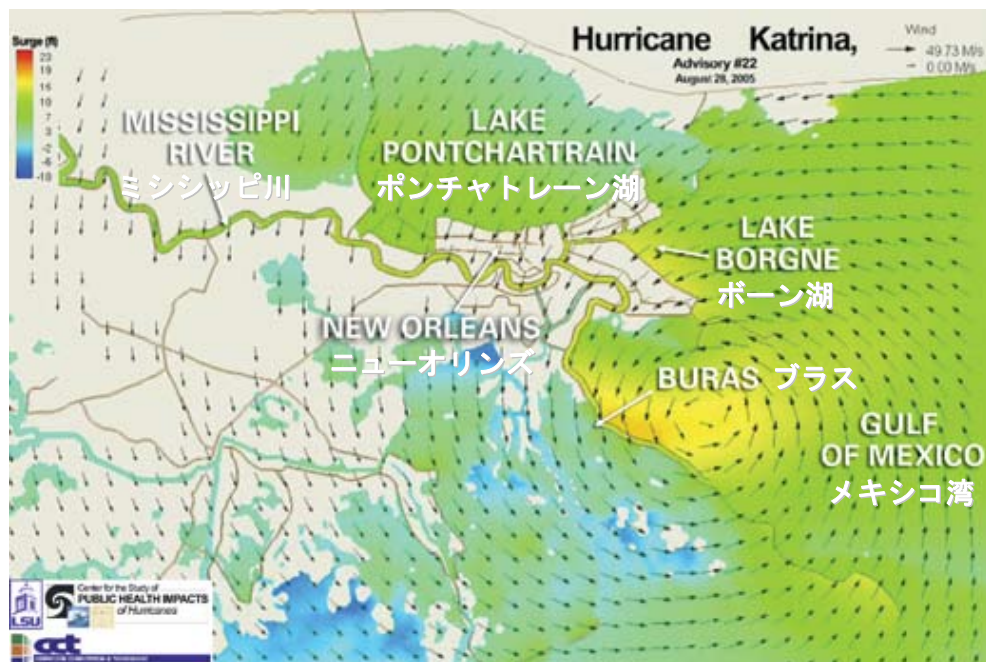
ハリケーン・カトリーナは、合衆国の沿岸を襲った最も激しいストームのひとつであった。写真中央にハリケーン・カトリーナの目が見える。ハリケーン・カトリーナの推定最大風速は 160 マイル／時であった。

2005 年 8 月 29 日午前 6 時 10 分、ハリケーン・カトリーナの先端がルイジアナ州ブラスに上陸した。上陸時の中心気圧は 920 ミリバールであった。これは合衆国に上陸したスト

ームとしては 3 番目に低い記録である。カトリーナがルイジアナを襲ったときはカテゴリー3 のストームであったが、それ以前では強力なカテゴリー5 のストームであり、勢力を増しながら沿岸に接近したため、高潮の規模が大きくなった。ハリケーン・カトリーナの目が午前 6 時 30 分にプラスを襲ったときの風速はおよそ 127 mph であった。

図-3.4 に、ストームの目がちょうどニューオーリンズ市街の南東にあった 8 月 29 日午前 7 時 30 分頃の風のベクトルと高潮の水位を示す。ニューオーリンズ地域の東端は東からの風と水に襲われた。ポンチャトレーン湖沿いにあたるニューオーリンズ地域の北端は、北からの風と波に襲われた。メキシコ湾から押し寄せた水はボーン湖に入って巨大な高潮となった。ニューオーリンズの南東に突き出たミシシッピ川のデルタが、ストームの目のちょうど西側に位置する陸地のバリアになり、このバリアに対しても巨大な高潮が乗り上がった。南ブラックミン郡では、ハリケーン防御堤防に沿って平均潮位を 20 フィート上回る最高水位に達した。

図-3.4 2005 年 8 月 29 日午前 7 : 30 頃の風向ベクトルと計算により求められた高潮

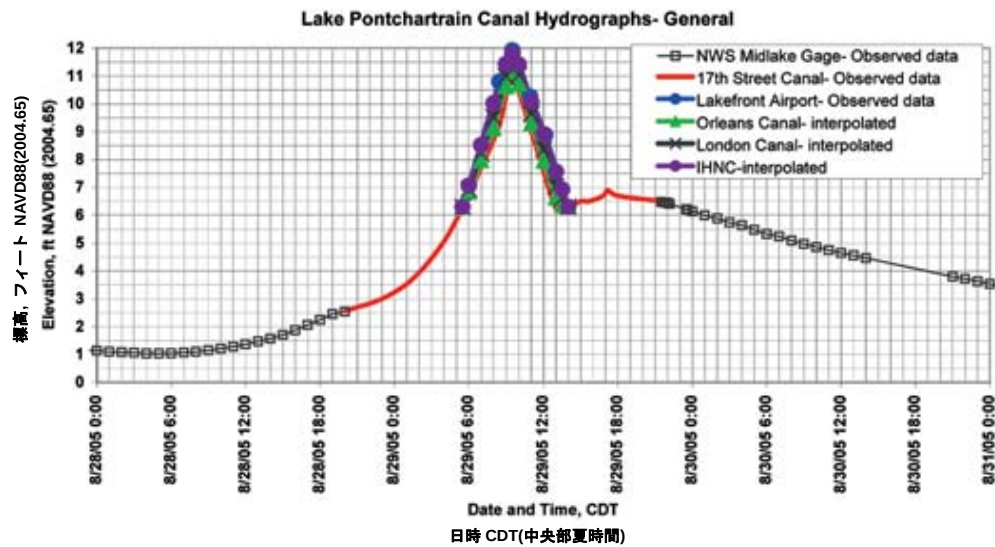


ニューオーリンズの北と東を風と水が襲った。風がメキシコ湾からボーン湖に水を運んだ。ポンチャトレーン湖の水が北からの風によってニューオーリンズの湖岸に向かって運ばれた。

ポンチャトレーン湖上の風は、北から吹いて、湖の南岸に沿って水を押し上げた。ニューオーリンズの湖岸に位置している水路入口での最高水位は、潮位より 12 フィートほど高かった。

高潮の間、高潮の水位は数時間に渡り潮位を大幅に上回る。ハリケーンが過ぎ去り、風向きが変わると、水位は下がる。ポンチャトレーン湖にある水路入口におけるハイドログラフ、すなわち水位と時間の関係を表したグラフを図-3.5 に示す。8 月 29 日午前 9 時 30 分頃に最高水位に達し、その後水位が低下した。

図-3.5 ポンチャトレーン湖にある水路入口におけるハイドログラフ



ニューオーリンズ湖岸では、高潮による水位は午前 9 時 30 分にピークに達した。午前 10 時 00 分までに、ハリケーンの様子はニューオーリンズの北東へとわずかに移動し、水位が下がり始めた。

高潮に加え、ハリケーン・カトリーナはニューオーリンズ地域に激しい雨ももたらした。例えば、オリンズ郡では、レーダー雨量データに基づく推定降水量は、ハリケーン・カトリーナが通過した 24 時間で 13.6 インチに達した地域があったことを示している。米国気象局テクニカルペーパー40（1961 年）に基づく、ニューオーリンズの 100 年確率の降水量（24 時間）は 12.58 インチである。このことは、ある一年の間に 24 時間の累積降水量が 12.58 インチを超える確率は 1 %であることを意味している。

第 4 章

ハリケーン防御システム

USACE は、ミシシッピ川沿いとニューオーリンズ地域の洪水・ハリケーン防御システムの大半の設計と建設を担当している。連邦議会は 1946 年にハリケーンがもたらす氾濫に対処する最初の大型プロジェクトを承認した。それ以後、ニューオーリンズの基幹施設が拡張し、人口が増加したため、連邦議会は多くのハリケーン防御プロジェクトを追加承認した。

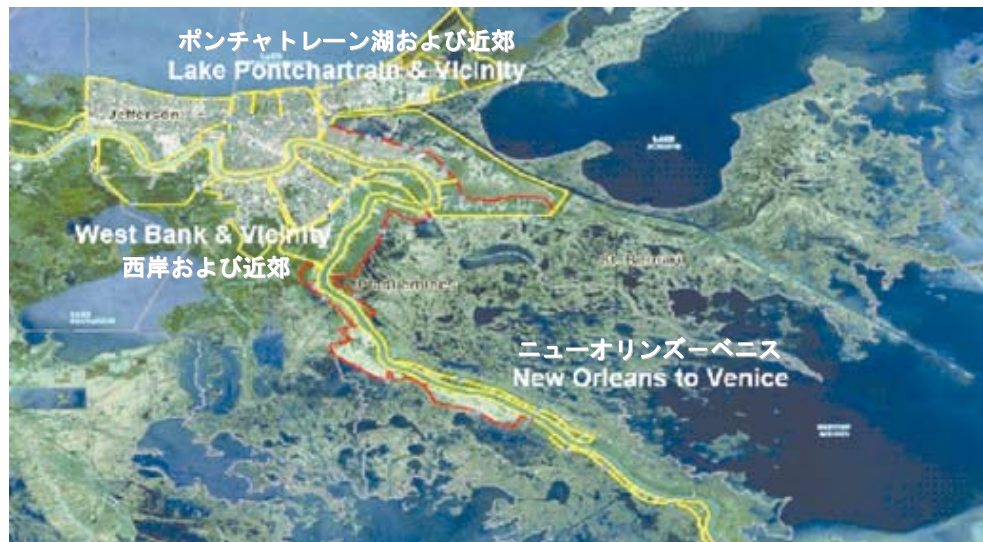
ニューオーリンズとその周辺では、これ以外にも幾つかの洪水防御システムが他の機関によって所有または運営されている。これらのシステムには以下のものがある。

- 内水排水路とポンプ場
- ミシシッピ川堤防洪水防御システム
- USACE 管轄外の堤防施設

ハリケーンと高潮によって生じる氾濫に対する防御に関する USACE の総合的戦略は、ニューオーリンズの諸地域の周囲に堤防や洪水防御壁を建設することであった。図-4.1 に示すように、この USACE のプロジェクトは、一般に次の 3 つの主なユニットにまとめられる。

- ルイジアナ州ポンチャトレーン湖および近郊ハリケーン防御プロジェクト
- ルイジアナ州ニューオーリンズ西岸および近郊ハリケーン防御プロジェクト
- ルイジアナ州ニューオーリンズーベニス ハリケーン防御プロジェクト

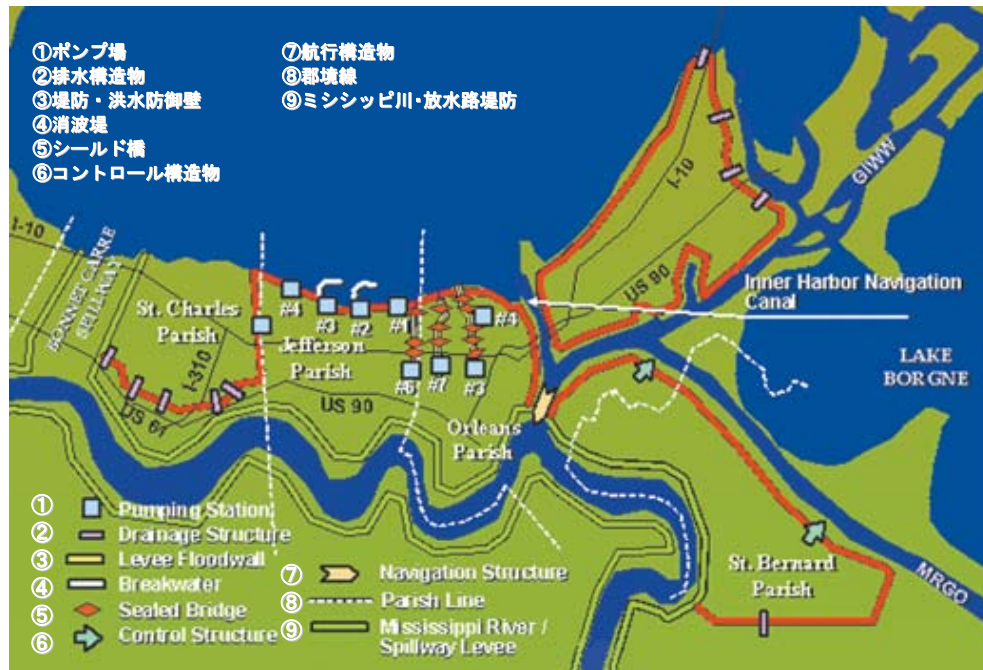
図-4.1 南東ルイジアナにおける USACE の 3 つのハリケーン防御システム



過去の数十年にわたって USACE は、ハリケーンによって引き起こされる氾濫からニューオーリンズと周辺の郡を守るために 3 つの主要なハリケーン防御システムを設計および建設してきた。ほとんどの堤防と洪水防御壁は USACE が設計および建設したが、維持管理は地元の堤防委員会が担当している。それ以外の堤防と洪水防御壁は、地元の堤防委員会が所有および運用している。ポンプ場はすべて地元の機関が所有および運用している。

ルイジアナ州ポンチャトレーン湖および近郊ハリケーン防御プロジェクト（図-4.2）は、ミシシッピ川とポンチャトレーン湖に挟まれたセント・バーナード郡、オリンズ郡、ジェファーソン郡、セント・チャールズ郡の防御を目的としていた。このプロジェクトには、一般的にはポンチャトレーン湖、17th Street Canal、Orleans Canal、London Avenue Canal、Industrial Canal に沿った洪水防御壁を有する土堤が含まれていた。

図-4.2 ルイジアナ州ポンチャトレーン湖および近郊ハリケーン防御プロジェクト



ハリケーン・カトリーナの来襲時とその後の広域の氾濫と損害の大半は、土堤と洪水防御壁で構成されるこのハリケーン防御システムの崩壊によって引き起こされた。

ルイジアナ州ニューオーリンズ西岸および近郊ハリケーン防御プロジェクト（図-4.3）は、ジェファーソン郡のミシシッピ川とサルバドル(Salvador)湖に挟まれた部分のハリケーン防御と洪水調節の改善を目的としたものであった。推奨された計画には、水路からジャン・ラフィット(Jean Lafitte)国立歴史公園付近のV字型堤防に延びて、ウエストウィーゴ(Westwego)郡区の北に戻っていく22マイルの土堤と2マイルの洪水防御壁が含まれていた。

ルイジアナ州ニューオーリンズーベニスハリケーン防御プロジェクトは、ルイジアナ州フェニックス(Phoenix)（ニューオーリンズの南東約28マイル）からルイジアナ州ボヘミア(Bohemia)までのミシシッピ川東岸と、ルイジアナ州セントユダ(St. Jude)（ニューオーリンズの南東約39マイル）からルイジアナ州ベニス(Venice)付近までのミシシッピ川西岸を対象としている。図-4.4に示すように、このプロジェクトは、一般的にはミシシッピ川に沿って造られた土堤で構成されていた。

図-4.3 ルイジアナ州ニューオーリンズ西岸および近郊ハリケーン防御システム



このハリケーン防御システムは、ニューオーリンズの東側に位置するミシシッピ川西岸の土堤と洪水防護壁で構成されている。

図-4.4 ルイジアナ州ニューオーリンズーベニス ハリケーン防御プロジェクト



このハリケーン防御システムは、ミシシッピ川とメキシコ湾に挟まれた低地を高潮から守ることを目的としている。

計画基準ハリケーン

合衆国連邦議会は、「地域の『相応な特性』が考慮された気象条件の最も厳しい組み合わせ」に対してハリケーン防御システムを設計するように、USACE に指示した。メキシコ湾岸の構造物の設計に関して USACE が従来から採用してきた手法は、計画基準ハリケーン、すなわち SPH(standard project hurricane)のコンセプトを用いるものである。

1965 年のハリケーン・ベッツィーの後、USACE による特定地域におけるストームの気象規準の選定においては、1959 年のナショナル・ハリケーン研究プロジェクト報告 33 “合衆国の大西洋沿岸とメキシコ湾岸の計画基準ハリケーンに関する気象学的考察” (Meteorological Considerations Pertinent to Standard Project Hurricane, Atlantic and Gulf Coasts of the United States)を指針としてきた。プロジェクト報告 33 において合衆国気象局 (USWB: United States Weather Bureau、現在は全米気象庁(NWS : National Weather Service)) は、指標として中心気圧を 1 つ、進行速度と最大風速半径についてそれぞれ 3 つ、傾度風の風速を 1 つ、地上風の風速について 2 つを推奨した。これらの規準は、1900 年から 1956 年までの実際のハリケーンに基づいていた。

1959 年と 1961 年に発行された覚書で、USWB は、この地域で「適正な実現性」を有する限界の気象条件の最も厳しい組み合わせから予想されるハリケーンの一つとして、可能最大ハリケーン (PMH : probable maximum hurricane) を定義した。PMH は SPH より低い値の中心気圧指数となった。

ハリケーン防御プロジェクトを始めるごとに、USACE は USWB の推奨に基づいた SPH を包含する設計気象条件を選定した。その上で、施設と構造物は SPH の作用に耐えられるように設計された。ルイジアナ州ニューオーリンズーベニス ハリケーン防御プロジェクトの設計には、プロジェクト報告 33 の SPH 気象規準が用いられた。

1979 年に、NOAA はテクニカルレポート NWS23 “合衆国のメキシコ湾、東海岸における計画基準ハリケーンと可能最大ハリケーンの風の場合に関する気象規準” (Meteorological Criteria for Standard Project Hurricane and Probable Maximum Hurricane Windfields, Gulf and East Coasts of the United States)を発行した。この報告には、ニューオーリンズを直撃したハリケーン・ベッツィーを含めて最近のハリケーンの特徴を組み込んだ SPH の改定規準が含まれていた。NWS23 報告には、さらに PMH の改定規準も含まれていた。

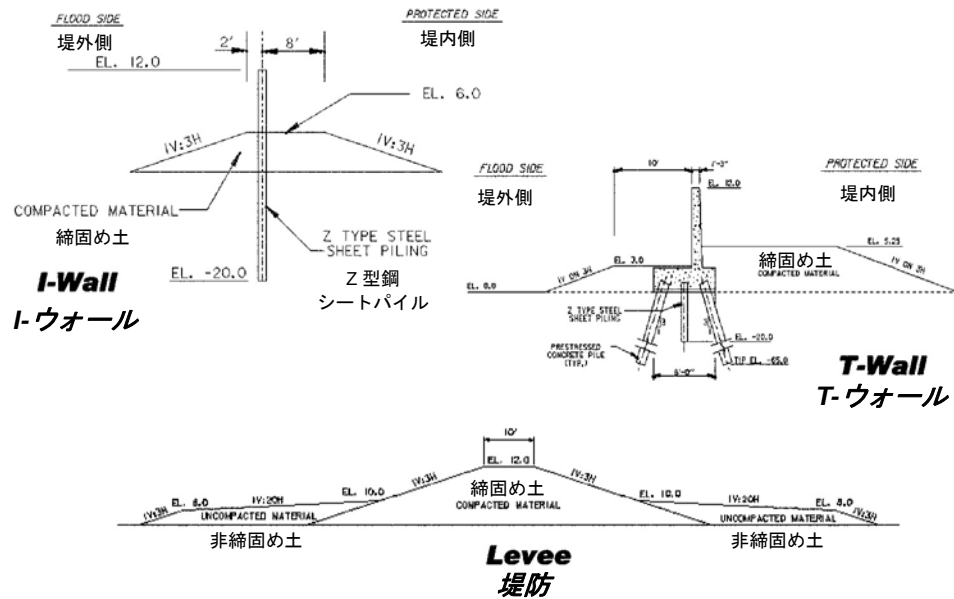
西岸および近郊ハリケーン防御プロジェクトは、NWS23 報告が発行された後に設計、建設された。しかし、USACE は SPH 改定規準を用いていなかったようである。

堤防と洪水防御壁

USACE はニューオーリンズのハリケーン防御システムにおいて、[図-4.5](#)に示す 3 タイプの洪水防御構造物を設計および建設した。このシステムの大半は土堤で構成されていた。

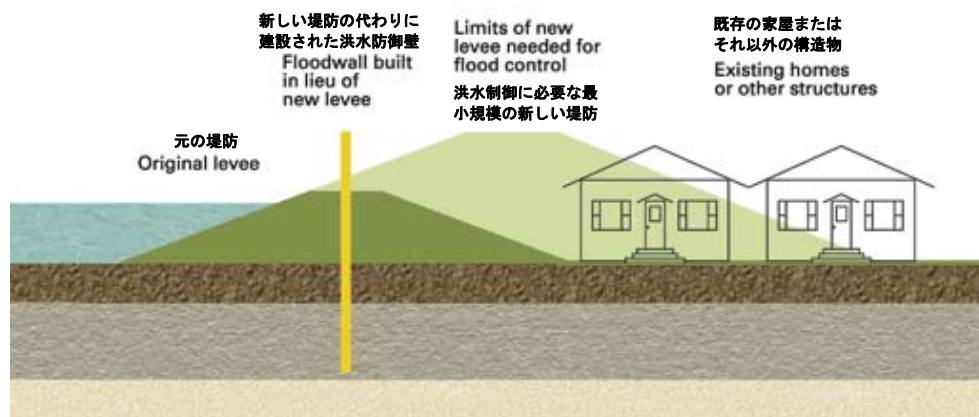
土堤を土盛りを追加によって高くする場合、[図-4.6](#)に示すように、一般的には敷幅を広げなければ高くすることはできない。ニューオーリンズのほとんどの市街地では、堤防基盤の際まで土地が開発されていた。堤防を高く、広くするには、私有地を買収して建物を撤去しなければならないであろう。このような土地利用に対する地元の反対は、たいてい無視できないものである。既存の堤防に洪水防御壁を建設することで、堤防拡幅のために付近の用地を買収する必要なく堤防を高くすることが可能となる。

図-4.5 典型的な USACE 洪水防御施設



USACE の堤防と洪水防御壁は、標準的設計に従った。ただし、ハリケーン防御システム全体で堤防と壁の高さは一様ではない。幾つかの場所では、堤防の建設に締固め土ではなく水締め盛土が使用されていた。

図-4.6 土堤の天端高を高くする



既存土堤の天端高を盛土によって高くするには、堤防の幅も広げなければならない。既存の堤防が建物、水路、その他の構造物に隣接している場合、USACE は近隣への影響を回避するためI-ウォールを使用するという手段を取った。

堤防の一部の区間 —特に堤防法線が道路や鉄道と交差する場所に設けられるゲート閉鎖型構造物において— は、I-ウォールではなく T-ウォールで造られていた。T-ウォールは、逆 T 形のコンクリート構造物で、プレキャストのプレストレスコンクリート杭または H 型鋼杭で支えられている。T-ウォールは I-ウォールよりも堅固だが、建設コストもかなり高い。

基準点と標高

USACE は、水位基準点（例：平均潮位(MSL)、地方 MSL ）を参照して、南東ルイジアナの洪水防御構造物を承認、設計、ひな型化した。MSL には海拔ゼロを採用した。ところ

が、構造物は、（陸上に設置した）測地地盤高基準点に基づき建設されたが、その基準点は水位基準点と同等である、または絶えず水位基準の変化に追従しているという誤った想定がなされた。その結果、排水路の場合では、洪水防御構造物が意図していた標高より 1～2 フィートほど低く建設された。

個々のハリケーン防御プロジェクトは、資金が得られた複数年にわたる一単位のプロジェクトごとに設計および建設された。ハリケーン・カトリーナの来襲時、堤防システムの一部はまだ完成していない、または堤防高が承認された高さにまだ達していなかった。さらに局所的な地盤沈下のために、ハリケーン防御構造物も同じように沈下し、その天端高は当初の設計や建設時よりも低かった。例えば、Industrial Canal の構造物は設計天端高より 2 フィート以上低くなっているが、それはこのプロジェクトの建設後 35 年間にわたる地盤沈下のためである。

内水排水路とポンプ場

ニューオーリンズ地域の年間平均降水量は 60 インチである。ニューオーリンズのかなりの部分は海面より低い（実際、堤防に囲まれた大きな“鉢”の集まりである）、氾濫を防ぐために流水をほぼ全て汲み出さなければならない。内水排除システムは、降雨時に雨水流出水を排除するために設計されたものであり、堤防や洪水防御壁の越流や決壊によって地域に流れ込む水を排除するためではない。

ニューオーリンズの内水排除システムは、地表流、雨水管渠、路肩溝、集水溝、内水路、内水ポンプ（揚水）場、排水機場、排水路により構成されている。これら全てが一体となって働き、流出水を集め、ポンチャトレーン湖、ボーン湖、他の付近の水域に汲み出すように設計された。オリンズ郡では、流出水は 17th Street Canal、Orleans Canal、London Avenue Canal などの主要な水路へ汲み出される。幾つかの場所では、ポンプ場から Industrial Canal と Intracoastal Waterway に直接排出している。

ニューオーリンズの排水システムは、世界でも最大級のものである。グレーター・ニューオーリンズ地域には 100 ほどの排水機場がある。最近完成したものもあれば、100 年になろうとしているものもある。ほとんどのポンプ場は、10 年に 1 度程度の 24 時間ストームによる流量、すなわち約 9 インチの降水量を処理するように設計されてきたようである。ポンプ場の設計を目的として、ニューオーリンズの 4 つの郡それぞれにおいて、排水流域を細分した。それらの細分流域は通常、自然の地形線を尊重して定められている。堤防や標高が比較的高い分水線が流域の境界になっていることが多い。

操作電力は様々な方法によって供給される。ディーゼルエンジンに直結したポンプを使用しているポンプ場もある。多くのポンプ場では、通常は電力網によって電力が供給されるが、電力網が使用停止の場合には、バックアップ用のディーゼル発電機や直結駆動ディーゼルエンジンが利用できる。比較的古いポンプ場の中には、中央発電所から供給される 25 ヘルツ（Hz）の電力を使用してポンプを作動させるものがある。こうしたポンプ場は、排水機場操作システムを稼働させるため、周波数変換器を使用して 25 Hz の電力を 60 Hz に変換する。

第 5 章

堤防の決壊

ポンチャトレーン湖および近郊ハリケーン防御プロジェクトによるシステムは、ハリケーン・カトリーナの来襲時とその後に最悪の損壊を経験し、ニューオーリンズの街と住民に最も深刻な被害を及ぼした。ニューオーリンズの甚大かつ破壊的な氾濫は、同市のハリケーン防御システムが 50 箇所ほど決壊したことによって引き起こされた。国管轄の堤防と洪水防御壁 284 マイルー全長は約 350 マイルーの内、169 マイルが被害を受けた。

USACE のルイジアナ州ニューオーリンズーベニス ハリケーン防御プロジェクトの堤防は、堤防を越流して決壊させた強力な氾濫流によって大きな損壊を被った。

USACE のルイジアナ州ニューオーリンズ西岸および近郊ハリケーン防御プロジェクトの堤防は、最小規模の損壊であった。

高潮による損壊

ハリケーン・カトリーナが上陸する以前に、ストームの外側の領域からエネルギーを得た高潮がボーン湖周辺の低地帯に忍び寄り始めた。8 月 29 日の夜明け前に、Industrial Canal で水位が上昇し始めた。大きな高潮と一緒にとなった波が、メキシコ湾に注ぐ Mississippi River Gulf Outlet の堤防を越流するとともに侵食して（[図-5.1](#)）、セント・バーナード郡の一部に氾濫した。

[図-5.1](#) ニューオーリンズ東部パリスロード橋(Paris Road Bridge)の下の高潮



エンタージ社 (Entergy Corporation) の従業員が、ニューオーリンズ東地区のエンタージ発電所付近の堤防を滝のように越えるこの高潮の写真を撮影した。

午前 6 時 10 分、ハリケーン・カトリーナはニューオーリンズ東部のブラスに上陸し、高潮がブラックミン郡の大半に氾濫した（図-5.2）。東から西への強風が Intracoastal Waterway の潮位を著しく高く押し上げた。午前 6 時 30 分までに、ニューオーリンズ東区域の南側を囲んでいた堤防が越流を受けて決壊し、この地域に氾濫が生じた。ハリケーン上陸から 1 時間以内に、Industrial Canal で生じた風波は 4 フィート以上の高さに達し、堤防を乗り越えて Gentilly 区域と Bywater 区域の一部に流れ込んだ。

図-5.2 ブラックミン郡のハリケーン被害



ハリケーン・カトリーナによる高潮はブラックミン郡で堤防（この写真で水面に隣接して見える）を越流し、何百件もの家々を基礎から取り払った。（この写真は水が引いた後に撮影された）。

システムに生じた裂け目

ハリケーン・カトリーナの上陸中と上陸前に、4 つの I-ウォールに裂け目（または破堤）が生じた（図-5.3）。全ての破堤は、隣接する水路内の水位が壁の高さを超える前に生じた。

午前 5 時頃、Industrial Canal 東岸の I-ウォールの破堤によって、セント・バーナード郡 Lower Ninth Ward に最初の氾濫水流入が生じた。午前 6 時 30 分頃、17th Street Canal のオーリンズ郡側の I-ウォールに決壊が観察され、そのために Lakeview の一部に氾濫が生じた。

午前 7 時頃、Gentilly の Mirabeau Avenue 付近で London Avenue Canal の I-ウォールが破堤した（南側の破堤）。それから約 1 時間後に、Robert E. Lee Boulevard 付近で London Avenue Canal の 2 番目の破堤が発生した（北側の破堤）。

図-5.3 ニューオーリンズハリケーン防御システムの主な破堤



ニューオーリンズ内に指状に入り込んだ水路に沿った複数のトウォールと堤防の決壊によって、大量の水がニューオーリンズに氾濫することとなった。

その後に発生した氾濫

Industrial Canal での最初の破堤が観察されてから数時間以内に、水路内の水位が上昇し、その水が堤防を越流するとともに侵食した。激流が街路に勢いよく流れ込んだ。複数の堤防決壊は幾つかの区域において複数の方向からの浸水をもたらしたが、その浸水速度は家屋が数分の内に屋根まで浸かるほどであった（図-5.4）。他の区域では、水位の上昇はもっと緩慢であったが持続的に上昇し続けて、家屋を 10 分間に 1 フィートの速さで浸水していった。Industrial Canal 西岸ではトウォールが破堤したために、水が Upper Ninth Ward 区域、Bywater 区域、Treme 区域に氾濫した。Industrial Canal 東岸におけるもう一つの洪水防御壁の破堤によって、Lower Ninth Ward はたちまち浸水した。目撃者はこのときの状況を「水の壁」と表現している。この決壊による氾濫水（図-5.5 参照）は、Arabi 区域と Chalmette 区域を含むセント・バーナード郡の他の区域にも達した。

ハリケーンが北へ移動するにつれ、セント・バーナード郡の氾濫は Forty Arpent Canal の堤防を越流した高潮によってさらに拡大し、同郡の未浸水範囲を水で満たした。既にニューオーリンズ東部を満たしていた氾濫水にポンチャトレーン湖からの高潮が加わった。高潮は Orleans Canal の下部でも堤防を越流して、City Park 区域に氾濫した。

午前 8 時 30 分までに、London Avenue Canal（図-5.6）の破堤によって、既に氾濫していた Gentilly 地域に、水と砂が流れ込んだ。その直後、17th Street Canal の洪水防御壁が決壊し、大量の水が相次いで Lakeview に流れ込んだ（図-5.7）。

17th Street Canal の長さ 450 フィートに及ぶ破堤によって、ニューオーリンズの南は Mid-City まで、西は Old Metairie まで浸水した。全市に及ぶ氾濫は、London Avenue Canal 西岸のトウォールに起きたもう 1 箇所の破堤によってさらに拡大した（図-5.8）。

図-5.4 Industrial Canal 東岸の北側の破堤



Industrial Canal (上部) からの氾濫水は、東岸のI-ウォール破堤箇所を通り抜けて Lower Ninth Ward (下) に流れ込んだ。Industrial Canal の水は水路西岸の破堤箇所からも Upper Ninth Ward 区域、Bywater 区域、Trem 区域に流れ込んだ。(この写真は氾濫水が引き始め、水が Lower Ninth Ward から Industrial Canal へ戻る流れが生じた後に撮影された。)

図-5.5 Industrial Canal 東岸の南側の破堤



この地点で洪水防御壁を超えて滝のように流れ落ちた水が、洪水防御壁の支持地盤を洗掘し、破堤させた。Industrial Canal (下) からの水が Lower Ninth Ward (上) に流れ込んだ。(この写真は氾濫水が引き始め、水が Lower Ninth Ward から Industrial Canal へ戻る流れが生じた後に撮影された)

図-5.6 London Avenue Canal の南側での破堤



London Avenue Canal 東岸でI-ウォールが破堤し、ニューオーリンズのGentilly 区域に水が流入した。

図-5.7 17th Street Canal の破堤



17th Street Canal の破堤は午前6 時30 分頃に始まった。午前9 時00 分までにポンチャートレーン湖から水が流れ込み始めてLakeview 区域（写真の上）に氾濫し、最終的にニューオーリンズのミッドタウンと周辺地区の多くが浸水した。

図-5.8 London Avenue Canal の北側での破堤



London Avenue Canal 西岸に沿ったトウォールが午前8 時00 分頃に破堤し、ニューオーリンズの City Park 区域が浸水した。

水没した街

トウォールに最も重大な破堤が生じていた時点までには、高潮位のピークは過ぎた。メキシコ湾とポンチャートレーン湖の高潮は低くなったが、堤防と洪水防御壁の多くの損壊部から水は流れ込み続けた。この氾濫は、同市のすり鉢状の地形に入った水がポンチャートレーン湖の水位と一致するまで続いた。

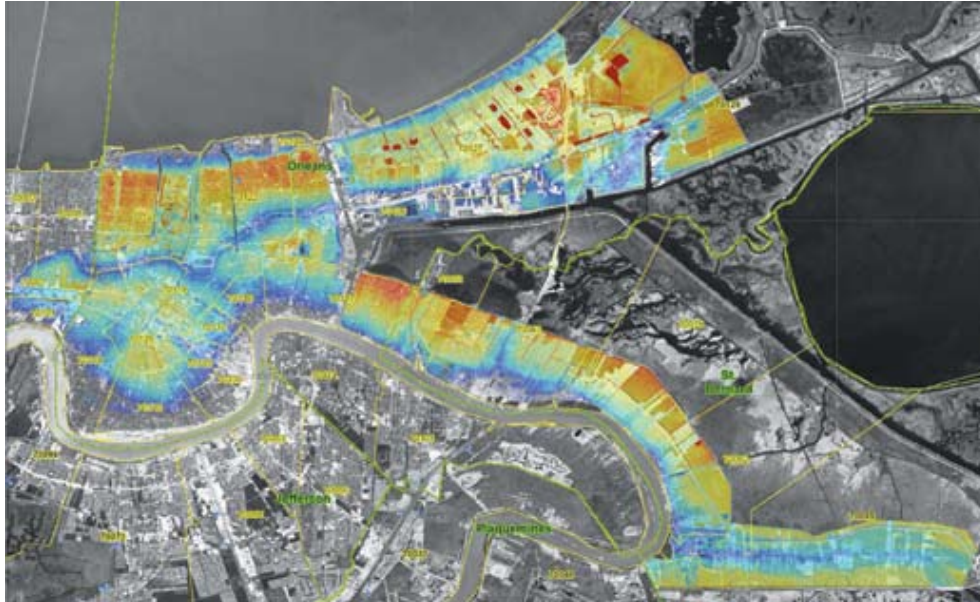
9 月 1 日までに、ニューオーリンズ都市圏の 80%以上が、[図-5.9](#) と [図-5.10](#) に示すように浸水した。この氾濫の約 3 分の 2 が、破堤地点を通して流れ込んだ水によるものであった。残りはハリケーンによる越流と豪雨によるものであった。

図-5.9 水浸しのニューオリンズ



ハリケーン防御システムの約 50 箇所に及ぶ越流と破堤は、ニューオリンズの 80 % 以上におよぶ破壊的な氾濫をもたらした。

図-5.10 最大浸水深



2005 年 9 月 1 日までに、Lakeview、ニューオリンズ東部、Lower Ninth Ward の一部は 10 フィートを越える水に没していた（オレンジと赤に着色された範囲）。同市のかかなりの部分は 6 フィートを越える浸水となった（緑と水色に着色された範囲）。

ポンプ場の閉鎖

ハリケーン・カトリーナの来襲時とその後、地域のポンプ場は水浸しの同市を救うことができなかった。それは、ハリケーン防御システムの崩壊によって、ポンプ場に近づくことや操作することができなかったためである。図-5.11 に、この地域の最大のポンプ場、第 6 ポンプ場が浸水している状況を示す。

図-5.11 浸水した第 6 ポンプ場



ハリケーン防御システムの崩壊により氾濫水が急速に広がったため、大半のポンプ場は第 6 ポンプ場（17th Street Canal に設置）のように操作不能となった。

第 6 章

氾濫の結果

2005 年 8 月 29 日の朝にニューオーリンズに居た人は、歴史の目撃者であるだけでなく、歴史の一部となった。厳しい日々を幾日も過ごした後、生存者はストームの前に南北戦争以来となる米国で最大の集団移動を行った避難者と合流した。その後の数週間で氾濫水が引いて行くと、私財、公共財、商業財の何十億ドルもの損失が明らかとなった。この大規模な物的損害と共に 124,000 人が職を失った。

1 年半以上経った後も、ニューオーリンズ地域は実質的にほとんど居住不可能である。French Quarter と Garden District の多くの名所旧跡はほとんど被害にあわなかったが、日常生活の諸要素は最小限に縮小された。多くの家は居住不能である。居住可能な家もカビだらけで、大規模な修理が必要である。小規模な企業とレストランは、シャッターが閉まったままで、オーナーは修理をする余裕がなく、居住施設が劇的に失われたために従業員の住居を見つけない。医療システムは十分に機能していない。

これらの損失、そしてニューオーリンズに二度と戻ってこない人の損失が、この都市の経済とそのユニークな社会的・文化的基盤の空白を拡大している。2006 年 8 月 2 日現在、1,118 人の死亡が確認され、135 人が依然行方不明だが、死亡したとみられている。ハリケーン防御システムの崩壊がもたらした最も残酷な結果である。

悲劇的な死

8 月 29 日、一部の区域で氾濫水が急速に上昇した。多くの人々はストームの前後に避難できたが、恵まれない人々の多くが襲い掛かる水に溺れた。氾濫の急速な進展は、氾濫水の上昇に伴って人々を家族の手から奪った。他人を救おうとして溺れた犠牲者もいた。オーリンズ郡では、多くの人々が上昇する水から逃れるために屋根裏に逃げ込んだ。そして、屋根に抜ける道を切り開き、立ってられる乾いた場所を見つけ、救助を待たねばならなかった。家からは避難したが、食糧、水、医療を待ちながら死亡した人々もいた。死体は最終的に小高い場所に打ち上げられ、情け深い通行人が防水布や濡れそぼった毛布で覆った。

決壊した堤防と損壊した洪水防御壁からさらに流れ込んだ水は、概ね 10 分ごとに 1 フィート上昇した。幾人かの高齢者や障害者はすばやく屋根裏に行くことができず、他の家族がその溺れ死んでゆく姿を見守ることしかできないケースもあった。一人の女性が、屋根を破って逃げようとしている間に心臓発作で死亡したと伝えられている。家や屋根裏に閉じ込められ、数日間、数週間、数ヶ月後に発見された人々もいた。セント・バーナード郡では、多くの人々が高潮によって溺死した。

最も打撃が大きかったのは病人と高齢者だが（図-6.1）、死因は様々であった。新しい傷や既にあった傷が氾濫水に浸かって細菌感染を起こしたことで 6 人が死亡した。停電中にガソリン動力の発電機を誤って使用したことによって、一酸化炭素中毒で 5 人が死亡したと伝えられている。ストームが過ぎた後に避難しようとしてバスの事故に遭って一人が死亡し、屋根の上からの救助中にヘリコプターのケーブルが切れて女性が一人死亡した。

図-6.1 病人と高齢者が最も大きな打撃を受けた



上：油断しているところを急激に上昇する氾濫水に襲われて多くの人々が死亡した。この写真では、避難者が溺れている犠牲者のそばを通り過ぎている。下：病人と高齢者が氾濫とその余波で死亡する危険性は最も高かった。水位がSt.Rita の高齢者福祉施設の天井付近まで達し、30 人以上が溺死した(左)。病気ですでに弱っていた住民が避難センターで死亡した(右)。

3 人が自殺した。ハリケーン直後に殺害されたのはわずか一人で、ハリケーン・カトリーナ以前のニューオーリンズの非常に高い殺人率（全国の 10 倍）を考えると、注目に値する数字である。しかしながら、救助活動が行き詰まり、住民が略奪の危険に対して武器をとると、殺人のリスクは増大した。病院の薬局は、薬を求める武装した襲撃者に脅かされた。警察は市全域での発砲に応撃し、4 人を射殺した。

判明している死者の内、約 52%がアフリカ系アメリカ人、40%が白人、8%がその他の人種または人種不明である。死亡者の男女比率はほぼ等しい。既に述べたとおり、高齢者は最も大きな打撃を受けた人口グループであった。全ての人種で、70 歳以上の犠牲者が死亡者全体の 60%を占めた。

曝露、怪我、病気

洪水とその直後には、怪我と病気の危険性が蔓延していた。ニューオーリンズ全域で、安全な避難所を求める住民が、泥、水、ごみ、混合した化学物質（浸水した家、事業所、自動車から流れ出した洗浄剤、溶剤、ガソリン）で濁ったぬかるみを掻き分けて歩いた（[図6.2](#)）。この汚泥の他に、洪水によって 7 箇所で大量の石油が流出し、さらにこの地域の米国環境保護庁（USEPA）の 54 箇所のスーパーファンド用地（訳注：連邦政府による有害廃棄物除去プログラムの用地）からの流出もあった。

図6.2 有毒化学物質への曝露



生残者は、浸水した家、事業所、自動車から流れ出した化学物質やガソリンが加わった泥と水のどろどろしたスープの中を掻き分けて歩いた。石油製品が混ざっていることを示す虹が氾濫水の表面にできていた。

氾濫水の中の病原性大腸菌と糞便性大腸菌のバクテリアの水準は、豪雨により流出するこの地域の典型的な雨水排水とよく似ていたが、人体接触に関する基準をはるかに超えていた。この曝露の結果、胃腸病、皮膚感染性、上部気道感染症が増加した。

住民は、浸水した家から逃げようと屋根を破ったり窓ガラスを割ったりして怪我をした。[図6.3](#)に示すように、人々が屋根の上で何日間も救助を待つこともあった。その中には加熱した屋根材に接触して発疹した者もいた。レスキュー隊員の間では、多くの伝染性や非伝染性の発疹は、汚水との接触、ダニ、過度な摩擦によるものと特定された。

狭苦しい場所での人同士の接触により深刻化した病気の発生が、Houston の避難所で報告された。この避難所では避難者の半分以上が 1 週間にわたり下痢と嘔吐に苦しんだ。Dallas では抗生物質に抵抗力を持った感染症が発生した。幸いなことに、病気管理・防止センター（CDC : Center for Disease Control and Prevention）は、赤痢、腸チフス熱、コレラの発生は確認されなかったと報告した。

病院が浸水し、避難所が込み合っていたため、既往症（糖尿病や腎不全）で苦しんでいた避難者、処方薬（がん、発作、ぜんそく、精神疾患）を必要とする避難者の健康状態は

悪化した。その後の数週間は、薬不足が避難所を悩ませた。

図-6.3 屋根の上の救助



氾濫水が急激に上昇した際、住民は上以外に行き場所がなかった。水位が窓とドアを越えた途端、住民は屋根を破り救助を待った。

甚大な経済的損失

ニューオーリンズ都市圏の経済的損失を評価するため、研究者は最近の財産目録と土地利用、失われた資産と推定価値に関する現地調査結果を用いた。個人資産の期待損失額は、区域ごとに報告された浸水深に基づいて決定されると仮定した。ハリケーン防御システムの崩壊によって破壊されたニューオーリンズ都市圏全体の居住用不動産（図-6.4 と 図-6.5）は、商業用不動産の2倍以上となった。

住宅と住宅以外の資産（商業用建物、工業用建物、公共建物）の直接損害は、およそ210億ドルに達した。地域全体では、住宅以外の不動産の資産価値の12%が損害を被ったのに対し、自動車を含む居住用不動産では資産価値の25%であった。

図-6.4 氾濫水が引いた後の Lower Ninth Ward



Industrial Canal 東岸の北側での破堤部（上部右）から流れ込んだ猛烈な水の力で、Lower Ninth Ward では、家が基礎から取り払われて何フィートも運ばれたり、完全に破壊されたりした。（この写真は氾濫水が引いた後に撮影された）

図-6.5 多くの居住用不動産が破壊された



IPET は、一戸建て住宅の直接損害額を 133 億ドル以上と見積もっている。（この写真は氾濫水が引いた後に撮影された）

公共構造物の損失と基幹施設（道路、公共輸送システム、排水設備と下水処理施設、飲料水サービス、遠距離通信システム、電気事業）の損害は、60 億～67 億ドルに達した。飲料水サービスが損害を被った結果、推定 1 日あたり 8,500 万ガロンの処理水が漏水した。数週間続いた電力の遮断によって、大量の食品が腐り、30 万を超える冷蔵庫が台無しになり、すべて廃棄前に特別な処理をしなければならなかった。氾濫水が引くにつれて、広範囲にわたる清掃活動が始まった。図-6.6 は、住民自身による清掃と再建の活動始めるために、住民が戻って来られるようにするため、健康を害する危険物の排除を命じられた広域公的清掃活動の一部である。

図-6.6 大規模な清掃活動



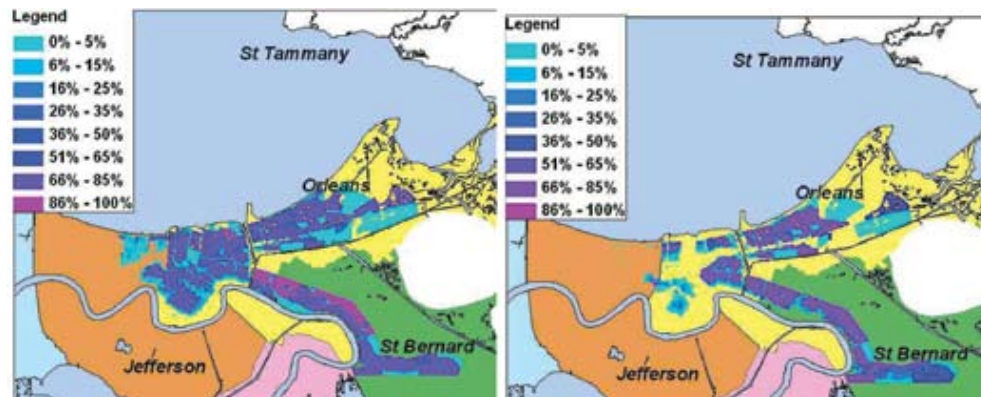
Chalmette（上）では、労働者が街路に厚く堆積した油を掃除機で吸い取った。数週間にわたる停電の後、食品の腐敗によって台無しになった 30 万台を超える冷蔵庫（下）は、廃棄する前に有害物質を除去しなければならなかった。

ハリケーン防御システムが崩壊しなかったら

ハリケーン・カトリーナ規模のストームの場合、豪雨と風害、越流による人命と財産の損失が予想される。USACE が実施したモデル計算により、ハリケーン防御システムが崩壊した場合の期待死亡者数をシステムが崩壊しない幾つかのシナリオの場合と比較した。このモデル計算の結果は、堤防と洪水防御壁が破堤せず、さらにポンプ場が機能していたら、死亡者の 3 分の 2 ほどが助かった可能性があることを示している。

堤防が決壊しなくても、ハリケーン・カトリーナによる降雨と堤防の越流によって、ニューオーリンズはこれまでで最悪の財産損失を被ったであろう。しかし、図-6.7 に示すように、堤防が決壊せずポンプ場が機能した場合には、実際に起きた財産損失の半分以下 一住宅と住宅以外の資産の推定損失 100 億ドル となったであろう。この推定では基幹施設と公共施設の損害は考慮されていないが、氾濫がこれほど広範囲でなかったなら、これらの損害もはるかに少なくなったであろう。

図-6.7 家屋損壊モデル計算の結果



ハリケーン防御システムの崩壊による家屋損壊（左）と、堤防が決壊せずかつポンプ場が機能していたというシナリオの場合（右）を比較すると、後者の方が家屋損失ははるかに少なかった。同様に、ほぼ3分の2の死亡を回避することができた。

雪だるま式に拡大する経済的影響

研究者は、ニューオーリンズ都市圏について、カトリーナ以前の経済基盤を定量化するデータとカトリーナ以後の事例データを比較した。この比較は限定的なものではあるが、この予備的評価は、堤防の決壊とそれに続く数十万の住民の立ち退きによりもたらされた間接的な経済的影響を評価するのに有用である。しかし、今後の世帯、企業、政策に関する決定が、この地域の長期的な経済予測に大きな影響を与えるかもしれない。

2006年6月現在、ニューオーリンズの人口はまだカトリーナ来襲以前の人口の半分に満たなかった（2004年には100万を超えていたが、2006年には50万強）。顧客ベースが縮小し、事業用不動産、基幹施設、住宅が破壊されたため、まだ多くの仕事が失われたままである。ニューオーリンズ都市圏の総雇用は2005年8月（カトリーナ以前）から9月（カトリーナ以後）の間に25%（512,000件から388,000件の雇用）急落した。

基幹施設の多大な損害が人口と事業活動の回復を遅らせる可能性は高い。この地域全体の修復作業と労働力の回復は不均一であったが、予想どおりであった。氾濫の水深が浅かった場所で復旧はより進んだ。氾濫の水深が深かった地域では、復旧や再投資はほとんど行われていない。図-6.8は、2つの区域 —10フィートにも及んだ氾濫水で破壊されたLakeviewと水深が浅かったChalmetteの一部— の対照的な再建活動を示している。

ルイジアナ州経済への影響は甚大であるが、ハリケーンと氾濫の合衆国経済への影響は長くは続かなかった。2001/2002会計年度において、5つの郡からなる地域の税収とその他の収入源を含む一般歳入は合計34億ドルであって、ルイジアナ州政府の一般歳入の3分の1以上であった。ハリケーン・カトリーナ以後、この税収は急激に減少した。

図-6.8 遅々とした復旧



再建活動は、発生した氾濫の程度に直接関係して異なっている。氾濫水の深さが8～10 フィートに達したLakeview（上）では、住民が戻るつもりかどうかをはっきりさせるため、市の職員が放棄された家に調査カードを郵送した。Chalmetteの一部のように、氾濫レベルがより低い地域（下）では、住民は連邦危機管理庁（FEMA）のトレーラーで生活しながら修復作業を始めた。

経済成長の見込み

IPET 調査のために組まれた地域経済予測モデルにより、カトリーナ以後のニューオーリンズ地域、ルイジアナ州の他の地域、米国全体の経済予測を行った。カトリーナ以前の条件を反映した経済予測を対照値として用いて、2つのシナリオ—人口増加が横ばいのシナリオと人口増加がより活発なシナリオ—について検討した。

いずれのシナリオでも経済成長が生じるが、2010年までの成長はカトリーナ以前の条件で予測された水準に到達するものではない。モデルによれば、ニューオーリンズ地域の経済成長はこの州全体の成長に影響を与えるが、メキシコ湾岸地域と米国の他地域への影響はほとんどない。しかし、人口増加が横ばいのシナリオでは、ニューオーリンズ都市圏に戻ら

ないと選択する避難者の寄与を反映して、米国の成長を促すという影響が予想された。

長期的な健康と安全

ニューオーリンズ地域のほぼ全ての病院が、氾濫水による何らかの損害を被った。2006 年 3 月現在、職員が配置された病院において利用可能なベッドは、わずか 456 床であった。これはカトリーナ以前の 5 分の 1 の数である。業務を続けている成人救急治療施設は、半分以下であった。ニューオーリンズのルイジアナ医療センターは、多大な被害を受けたため閉鎖された。そのため、メディケイド（訳注：米国の低所得者、身障者向けの医療費扶助制度）の患者と保険未加入者への医療サービスには大きな格差が生じ、レベルⅠトラウマセンターがメキシコ湾岸地域から移動された。図-6.9 に示すように、住民は臨時施設で緊急治療やその他の治療を受けなければならない。

失業し医療保険の保護が受けられなくなった労働者は、メディケイドの適用資格があるかどうか分からない。疾患が軽度であるか重大であるかにかかわらず、多くの人々が治療を受けられないままである可能性がある。何千もの医師やその他の医療従事者が全国に散らばったままである。ニューオーリンズの医師数に対する住民数の比は、カトリーナ以前には住民 3,200 人あたり 9.6 人であったが、2006 年 4 月現在、初期治療医は住民 3,200 人あたり 1 人未満、精神分析医は住民 21,000 人あたり 1 人未満になっている。

図-6.9 治療のための前哨部隊



ニューオーリンズのルイジアナ州医療センターとトラウマセンターを含むニューオーリンズのほぼすべての病院が、大規模な被害に遭ったため、住民は仮設医療施設で治療を受けなければならない。上：アーネスト・N・モリアル・コンベンション・センターの外でしばらく開業し、その後、内部がすっかり荒廃したダウンタウンのデパートへ移った緊急医療・歯科施設。

カビの問題を除き、環境が健康に及ぼす影響 一例えば汚染された空気、水、土壌の影響 ー は、広範囲に及ぶとは考えられていない。高レベルでの埃とカビの存在によりもたらされると予想された“カトリーナ喘息”に関する報告は、実証されていない。それでも、医

療保健担当官は、清掃・再建活動中に建築作業員、廃棄物処理作業員、住民に対して防護の通知を行った。

図-6.10 に示すように、カビは数週間水につかっていたほとんどの家で繁殖し、環境衛生に関して潜在的な問題をもたらしている。カビに対する暴露限度は確定されていないが、カビは免疫力が低下した人々に日和見真菌感染症を引き起こす危険性をもたらす。カビによって生じる空中内毒素の CDC 測定は、典型的なカビの繁殖が呼吸器症状と皮膚発疹を伴うレベルに達していることを示している。

図-6.10 はびこるカビ



内壁を覆うカビは、家を復旧することにした所有者にとって大きな課題となっている。

大事故、戦闘、襲撃、自然災害などのトラウマとなる出来事に曝された多くの人々は、恐れ、怒り、不安、悲しみといった感情を経験するであろう。このような痛手を受けた人々の一部は、脳の構造的・機能的変化の結果である心的外傷後ストレス障害を経験する。精神的健康への影響はすでに観察されている。ニューオーリンズの自殺率は、ハリケーン・カトリーナ以前の自殺率のほぼ 3 倍である。ハリケーン後の 6 カ月間、人口がはるかに少なくなったにもかかわらず、市の自殺防止ホットラインへの電話は倍増した。トラウマに曝された人たちの中には、鬱と薬物乱用に陥る者がいるかもしれない。

避難者と避難者を受け入れる地域社会

ハリケーン前後の避難者の数を調べると、ハリケーン・カトリーナによって 100 万を超える人々が移動を余儀なくされた。図-6.11 に示すように、大規模な洪水後の数日間で、避難者は群れとなって飛行機やバスで街を後にした。2006 年 10 月初旬まで、移動した人々は米国の全州にわたる 369 の市に分散していたが、ヒューストン、アトランタ、メンフィス、バトンルージュのような南部の大都市には数千人が集まっていた。

避難者を受け入れる地域社会は、サービスが重荷になることにすぐに気づいた。カトリ

一ナ以前には、ニューオーリンズの住民の 2 分の 1 ほどがメディケイドに加入していたが保険未加入であった。これらの避難者は、他の地域社会の医療制度に予期せぬ負担をもたらした。バトンルージュでは、カトリーナ以前の同市の住民 225,000 人に 100,000 人の避難者が加わったことで、過密、交通渋滞が生じ、サービスを受けるために長い時間待つこととなった。ヒューストンでは、ハリケーン・カトリーナの避難者によって人口が約 7%増加したが、189 件の殺人事件の内 33 件（17%）に避難者が関与していた。

図-6.11 集団移動



ハリケーン・カトリーナ前後のニューオーリンズ住民の避難は、南北戦争以降の合衆国の歴史上、最大の集団移動である。上：ハリケーン直後、ルイ・アームストロング・ニューオーリンズ国際空港は、ニューオーリンズを離れる救助者の手続センターになった。下：何千もの避難者がこの地区からバスで去った。

ニューオーリンズの文化への影響

ハリケーン防御システムの崩壊、大規模な基幹施設の被害、帰還する住民の仕事と居住用不動産の不足によってニューオーリンズの社会構造が崩壊した。多くの犠牲者が家、学校、仕事、店、礼拝の場、家族と友人のネットワークを失った。

ニューオーリンズの 73 の区域の内、氾濫を受けなかったのは 8 つだけだった。34 の区域が完全に浸水した。住宅の損壊のため、多くの区域で居住できないままである。

ニューオーリンズの地域社会のつながりの主基幹である宗教的集会のほとんどは、礼拝を再開していない。多くの教会が浸水して、多大な損害を蒙った。最も被害の大きかった区域では、住民はほとんど戻っていない。

ハリケーン・カトリーナの後、学校（小学校と中・高等学校）の在籍者数は都市圏の 5 つの郡で 52%、オリンズ郡では 86%減少した。学生は転居先である他の郡や市で学校に通っている。ニューオーリンズ大学とディラード(Dillard)大学、ザビエル(Xavier)大学、ロヨラ(Loyola)大学、チュレイン(Tulane)大学では、就学者数は制限されている。

ニューオーリンズの最も有名な商品 ―素晴らしい食べ物とライブ音楽― はひどい被害から回復していない。この街の音楽家はほとんど戻ってきていない（[図-6.12](#)）。洪水の被害を受けた多くのレストランは閉鎖されたままである。この 2 つの領域の損失は、経済の回復だけでなく、ニューオーリンズの社会規範の回復にも影響を及ぼす。

図-6.12 待たれる音楽の回復



Lower Ninth Ward にある伝説的音楽家ファッツ・ドミノの破壊された家から運び出されるピアノ。住宅の不足と演奏場所の損壊のため、多くの音楽家がニューオーリンズに戻ってきていない。

自然環境

ハリケーン・カトリーナによって推定 295 平方キロメートル（114 平方マイル）の湿地が失われたが、これはハリケーン防御システムの崩壊とは無関係であった。観察された湿地の喪失 ―およびこれに伴う動植物の喪失― は、長期的な湿地喪失の傾向に高潮による

喪失が加わったものと合致する。(図-6.13)。

図-6.13 湿地の喪失



およそ 114 平方マイルの湿地喪失が、ハリケーン防御システムの崩壊とは関係なく、高潮と典型的傾向として現れている湿地喪失の進行の結果として生じた。

第 7 章

大災害の直接的原因

他の自然災害と比較して、ハリケーン・カトリナがもたらしたニューオーリンズ地域の破壊が特徴的であるのは、破壊の大半が技術的および技術政策的な失敗の結果だったことである。堤防は高水から人々を保護することを目的とした工学的構造物であったが、まさにその災害を防げなかったのである。ポンプ場は窪地状のニューオーリンズから雨水を排除することを目的とした工学的構造物であったが、必ずしもハリケーンや堤防の決壊に耐えるように設計されておらず、排水できなかった。

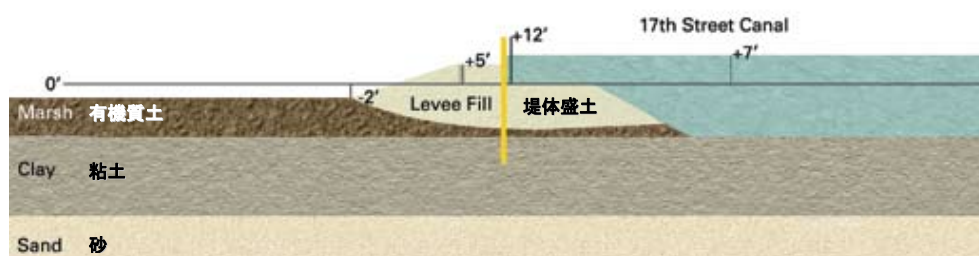
第 5 章で概要を述べたように、ニューオーリンズ地域の堤防は、約 50 箇所で決壊した。大規模な決壊のうち、少なくとも 7 箇所は、I-ウォールを有する堤防の決壊に関連していた。I-ウォールが防御しようとしていた地域は、住宅開発が著しく、標高が低かったため、I-ウォールの決壊は重大な荒廃をもたらした。その他の堤防は、越流によって堤体材料が侵食された場合には決壊した。

17th Street Canal の破堤

8 月 29 日の午前 6 時 30 分頃、17th Street Canal の東側に沿った I-ウォールの長さ 450 フィートの区間が決壊し、ニューオーリンズの Lakeview 区域に激流が流れ込んだ。決壊時の 17th Street Canal の水位は、I-ウォールの天端より約 5 フィート低く、設計水位をはるかに下回っていた。

堤防と洪水防御壁の断面を [図-7.1](#) に示す。堤防と洪水防御壁は、ピートまたはマーシュ (marsh) と呼ばれる有機質土層の上に建設された。この有機質土層は非常に軟弱な粘土層の上に位置している。軟弱地盤上に建設された堤防の主たる課題は、軟弱地盤の強度が低いため、堤防全体が水路側にまたはその反対側にすべり可能性があることである。これは技術者が設計において通常取り扱っている課題である。事実、決壊の機構は、水路反対側への堤防のすべりであった。

[図-7.1](#) 17th Street Canal の堤防と洪水防御壁の断面図



堤防とI-ウォールは、堤防下の強度の低い軟弱粘土内に生じた破壊面に沿って、水路反対側にすべりが生じたため決壊した。

土の強度の過大評価

17th Street Canal に沿った堤防やIウォールの決壊を防ぐには、「耐力」（すなわち、基盤となる土の強度）が堤防に作用する「外力」（すなわち、堤防の自重と水路の水が堤防および洪水防御壁に作用させる水圧）より大きくなければならない。破壊発生に対する「安全率」は、土のせん断耐力を仮想すべり面沿いに生じるせん断力で除した比である。

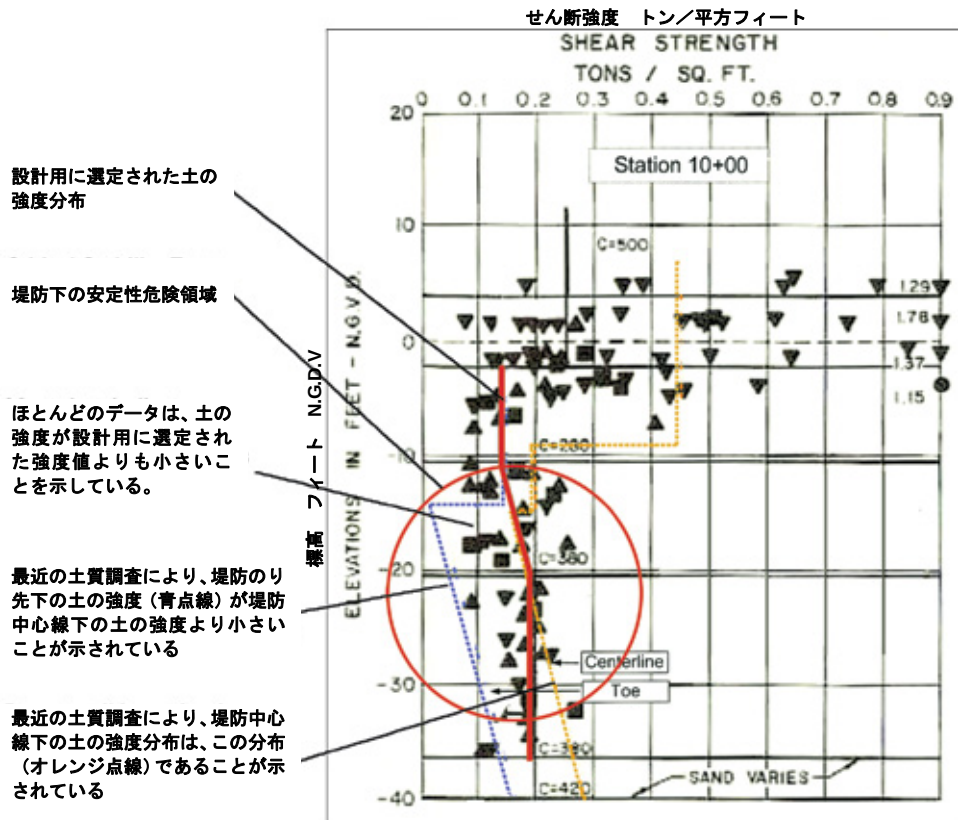
安全率が 1 未満ならば破壊が生じる。安全率は土の強度に比例するため、土の強度の設定は堤防設計において技術者が行う最も重要な決定のひとつである。

堤防とIウォールの設計を担当する技術者は、土の強度を過大評価した。すなわち、設計計算で用いられた土の強度が、ハリケーン・カトリナ来襲時に堤防の下および付近に実在した土の強度より大きかったことを意味する。

図-7.2 は、土質データがどのように誤って解釈されたかを示している。土質調査では、試料をボーリング孔から採取して、実験室において土質特性を測定する試験を行う。土の強度データのプロットから、小さめの数値を設計用に選定しなければならない。

17th Street Canal での破壊の場合、すべりの危険領域は標高-15~-30 フィート間の軟弱粘土であった。設計用に選定された土の強度分布を赤線で強調して表示している。設計せん断強度分布を表す赤線の左側（強度がより小さい側）には右側（より大きい側）に較べて 2 倍のデータ点数がある。技術者はデータを控えめに解釈しなかった（すなわち、危険側となる誤り）。堤防下の土は、Iウォールの設計で使用された土よりも実際には弱かった。

図-7.2 17th Street Canal の堤防下の土の強度



17th Street Canal の堤防の下土質データの誤った解釈は、Iウォール破堤の3つの主要因のうちの1つであった。

さらに2つの重要な要因のために、17th Street Canal の下の土の強度を過大評価することになった。一つは、[図-7.2](#)に示したデータは、堤防の中心線に沿って8,000 フィート（約1.5 マイル）にわたって掘削されたボーリングから得られたものである。全延長のデータをひとまとめにするのは珍しいことではない。しかし、ある場所では土が比較的強く、他の場所では弱いというように、地質にばらつきのある地域（ニューオーリンズ地域）では、注意しなければならない。17th Street Canal の破堤箇所に最も近いボーリングデータによると、破堤箇所における危険領域内の土の平均強度は、実際には1 平方フィートあたり0.13 トン（tsf）であった。この値は、技術者の用いた設計強度0.19tsf と比較すると約32% 小さい。

次に、[図-7.2](#)に示したデータは、堤防中心線に沿って掘削されたボーリングから得られた。ここでのキーワードは「中心線」である。粘土は積載土の重さによって圧密されて、強度を増すことがよく知られている。したがって、堤防中心線の下で軟弱粘土は、堤防端部の下とそのさらに先の土よりも強かった。USACE による最近の土質調査がこのことを実証している。[図-7.2](#) のオレンジ点線は堤防中心線の下での平均強度分布を示し、青点線は堤防のり先の直下とそのさらに先の強度がより小さいことを示している。設計技術者は、このことを考慮せず、そのため堤防基盤より外側の土の強度を過大評価した。

安全率

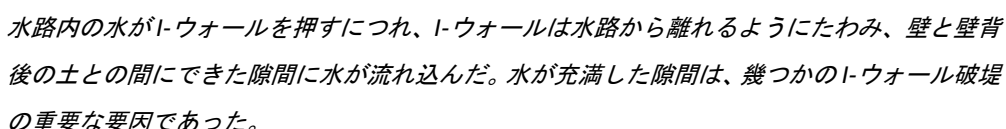
堤防下の土の強度の過大評価がお膳立てをしたが、これが17th Street Canal 破堤の唯一の原因ではなかった。斜面安定性解析やそのような安定解析の安全率（耐力を外力で除した比）は、1 より大きくなければならない。安全率が1 より大きくなるほど、堤防が決壊する可能性は小さくなる。

17th Street Canal の堤防と洪水防御壁の設計で設計技術者が選んだ目標安全率は、1.3 であった。1.3 という目標安全率は、一般に認められている設計値の最下限であり、USACE の現行基準とは合致していない。USACE の主な設計手引き書は、長期的条件下では少なくとも1.4~1.5 の目標安全率を要請している。

目標安全率 1.3 を用いることと土の強度の過大評価の累積的な影響（複合的な誤り）は、非常に危険であった。土質強度の変動や不確実性に対処するための余地をほとんど、またはまったく残さない、安全限界に非常に近い設計であった。

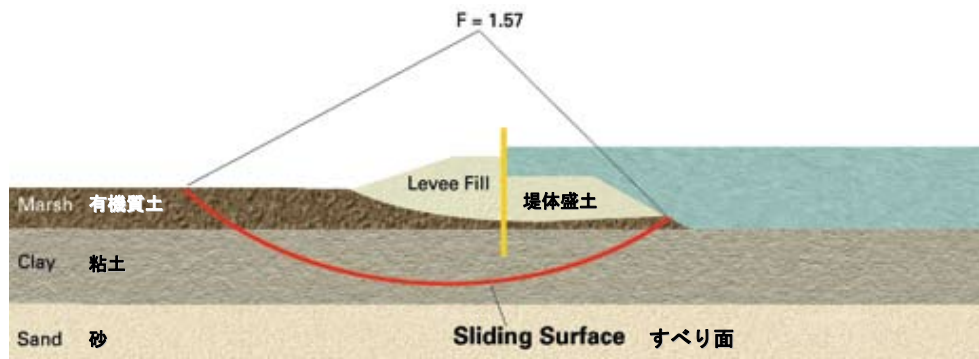
水が充満した隙間

17th Street Canal の崩壊に繋がったもう一つの重大な技術的見落としは、水が充満した隙間が形成される可能性を考慮しなかったことである。この隙間を[図-7.3](#)に示す。水が充満した隙間は、ニューオーリンズの周囲のウォール破堤に関わる非常に重要な観点であることが明らかになった。

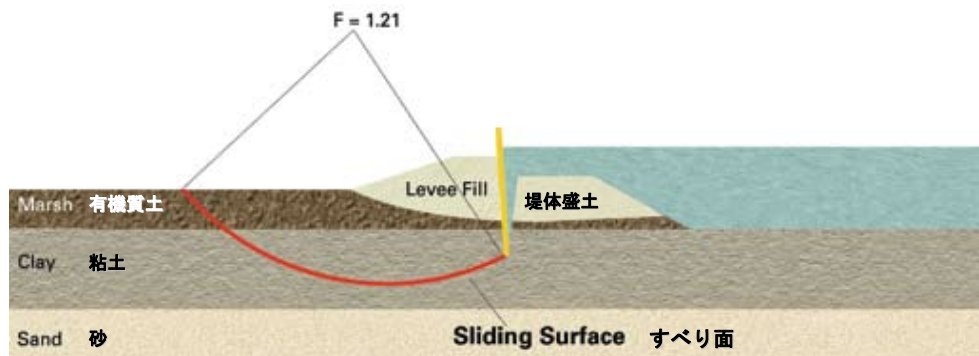


このようにして、USACE の研究者は、水が充満した隙間が形成される可能性を明確に認識した。この知識は、非常に重要であることが、現在、わかっている。1980 年代と 1990 年代に研究が進展し、新たな情報がもたらされたが、新しい情報に照らし合わせて既存の T-ウォールの設計の安全性と安定性を照査することはなかった。

図-7.4 17th Street Canal の崩壊機構



1：水が充満した隙間がない場合のすべり面



2：水が充満した隙間がある場合のすべり面

水が充満した隙間がない場合（上）、限界すべり面が長く、そのため壁の安定性が高まる。水が充満した隙間がある場合（下）、安全率は大幅に小さくなる。水路の水位が上昇するにつれ、安全率は1.21 から1.0 に低下する、すなわち崩壊が生じる寸前となる。

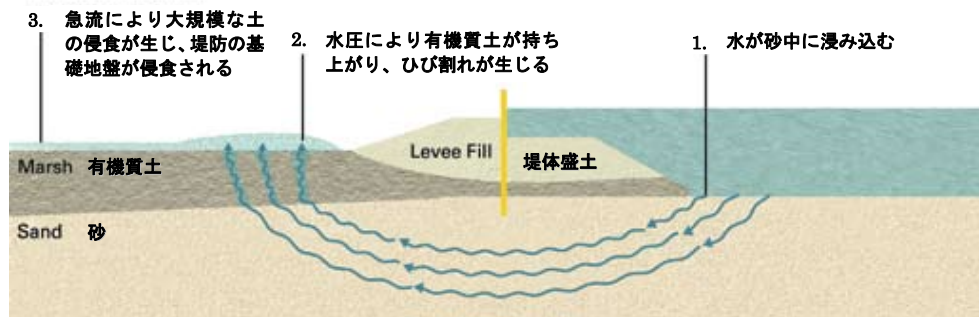
London Avenue Canal の南側の破堤

London Avenue Canal の南側の破堤は、8月29日の午前6～7時頃に生じ、大量の砂と水がニューオーリンズの Gentilly 区域に流れ込んだ。17th Street Canal と同じように、破堤時の London Avenue Canal の水位は洪水防御壁の天端高より5フィートほど低く、設計水位をはるかに下回っていた。

London Avenue Canal の南側の破堤箇所の基礎地盤は、17th Street Canal の破堤箇所の場合のような軟弱粘土ではなく、有機質土層の下にある砂である。破堤機構を図示した断面図を図-7.5に示す。

水路内の水位が上昇するに伴い、水が透水性の高い砂の中に浸透し、壁の陸地側に向かって堤防の下を流れた。有機質土層の底面に水圧が上向きに作用した。この種の条件のもとでの堤防の安定性は、上に重なる材料の重量がそれに上向きに作用する水圧、すなわち揚圧力に抵抗できるだけの十分な大きさがあるかどうかで決まる。正しく設計された構造物では、揚圧力が上に重なる土の重さに近づかないように配慮されている。しかし、London Avenue Canal の南側の破堤箇所では、揚圧力が有機質土層とその上の表土の重量を超えた。

図-7.5 London Avenue Canal の堤防と洪水防御壁の断面図



堤防の下に砂に浸透する水の圧力によって有機質土層に亀裂が生じて堤防とトウォールが崩壊した。そして砂が水とともに流れ出し、堤防とトウォールの基礎地盤を侵食した。

有機質土層が砂層から持ち上げられて亀裂が広がり、亀裂を通して水が流れ出た。亀裂が拡大した後、上向きの強い水流が砂を一緒に運んで孔をえぐりかつ洗掘するため、孔が急激に拡大して堤防の下にまで入り込み、堤防基盤を侵食して破堤した（図-7.6）。

図-7.6 砂に一部埋まった車と家



London Avenue Canal の南側の破堤箇所では、大量の砂が堤防と洪水防御壁の下から押し流され、隣接した区域に流れ込んだ。（この写真は氾濫水が引いた後に撮影された）

過度に単純化された仮定

浸透と地下侵食の機構は、この数十年でよく知られてきた。堤防の下の浸透については USACE 技術マニュアル EM1110-2-1913、“堤防の設計と建設” (Design and Construction of Levee) で詳しく論じられている。同書第 5 章の「浸透の制御」は次のように始まっている。

「制御しなければ、堤防の下の透水性基盤の浸透によって、(a) 陸側の不透水層の下へ

の過剰静水圧の作用、(b) 噴砂、そして(c) 堤防の下のパイピング、が生じる可能性がある。透水性の基層が堤防の下にあり、堤防の陸側と川側の両方向に広がっており、比較的薄い表層が堤防の陸側にある場合、基礎浸透の問題は非常に深刻になる。

London Avenue Canal の堤防と洪水防御壁の設計技術者は、浸透を評価している。しかし、ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会が審査した設計情報からは、有機質土層の浮き上がりの可能性が適切に考慮されたかどうかは明らかではない。流線網が描かれたが、有機質土層を含めたものはなかった。浮き上がりを起こす圧力水頭は評価されたが、計算では有機質土ではなく通常の土に適した限界動水勾配値が用いられた。

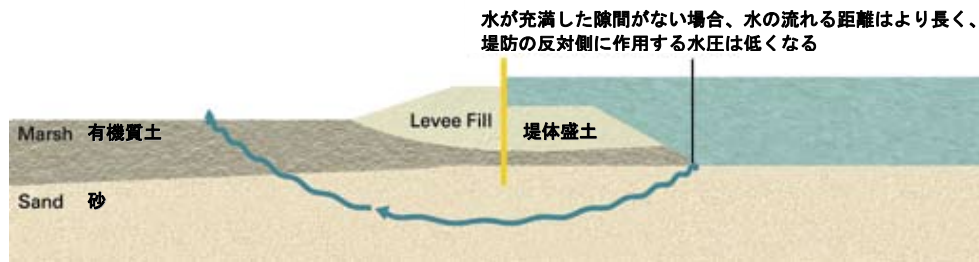
London Avenue Canal に生じたような状況での浮き上がりに関する問題は、非常によく知られているため、ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、有機質土の浮き上がりを起こす圧力水頭に関する十分な解説がなされた詳細な評価が設計書に含まれることを期待していた。設計書にこうした情報が欠落していたことについて、納得のいく説明を見いだすことはできなかった。

London Avenue Canal の南側の破堤に関する最近のコンピュータ分析によると、砂中の水圧は有機質土を浮き上がらせて亀裂を生じさせるには十分であり、その結果生じるクラックの入った状態は直ちに侵食と崩壊に至ると予想された。これが意味するところは、設計時により厳密な分析が実施されていたならば、この圧力水頭の問題は予測され、適正な措置がとられていたであろう、ということである。浸透を制御する予防措置 ―シートパイプ壁を深くする、または減圧井戸を設置する― はとられず、重大な基礎浸透の問題から防御するための冗長性や二次的手段がないまま放置された。残念ながら、第二の防御ラインはなかった。

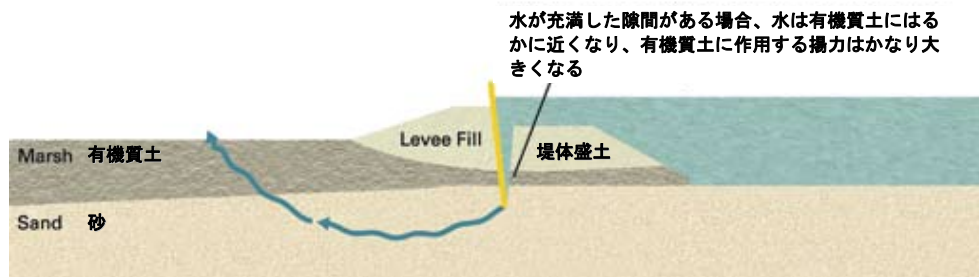
水が充満した隙間―再び

London Avenue Canal のI-ウォールの破堤は、壁の背後に発生した水が充満した隙間によって助長されたか、おそらく実際にそれが原因で発生した。17th Street Canal と同じように、London Avenue Canal の水がI-ウォールを押して水路側から遠ざけ、I-ウォールと堤防の間に隙間が生じさせ、ここに水が充満した。[図-7.7](#)に示すように、堤防の陸側にずっと近い位置に高い水圧が作用するようになり、粘土にかかる揚力を大きく増加させ、状況を悪化させた。17th Street Canal と同じように、London Avenue Canal の堤防と洪水防御壁の設計では、水が充満した隙間は考慮されなかった。

図-7.7 London Avenue Canal の南側の破堤



1：水が充滿した隙間がない状態



2：水が充滿した隙間のある状態

水が充滿した隙間がない場合（上）、有機質土層の底面に作用する圧力は小さくなる。水が充滿した隙間がある場合（下）その水の位置がより近くなったため、有機質土にかなり大きな圧力が作用する。

London Avenue Canal の北側の破堤

London Avenue Canal の北側の破堤は、8 月 29 日午後 7～8 時頃に London Avenue Canal の西岸で発生し、水が隣接した区域に押し寄せた。London Avenue Canal の北側の破堤箇所の基礎地盤の上部 15 フィートほどは、London Avenue Canal の南側の破堤箇所における状況と類似しており、有機質土層とその下に位置する厚い砂層で構成されている。しかし、北側の破堤箇所の砂は、南側の破堤箇所の砂よりもはるかに緩く、強度が小さかった。

堤防と I-ウォールの破堤機構は、おそらく 17th Street Canal の破堤と大体同じであり、外力（堤防の重量と水路の水が壁に作用させる水圧）が耐力（基礎地盤の強度）を超えたために生じた。すべり破壊は、基礎浸透とこれに伴う水圧によって助長された。

London Avenue Canal の北側の破堤に関する最近の分析によると、水が充滿した隙間が形成されなかったら、おそらく破堤しなかったことが示されている。クラックがない場合の破堤に対する安全率は約 2.0 と計算された。クラックがある場合、破堤が生じた水位での安全率は約 1.0 であった。

Industrial Canal 東岸の北側の破堤

Industrial Canal 東岸の北側での I-ウォールの破堤が、Lower Ninth Ward で最も早期の氾濫（午前 5：00 に観測された）の源流となった可能性が高い。Industrial Canal の水位は洪水防御壁の天端高より低かった。この地域の地盤状況は、砂を覆う軟弱な粘土と、その粘

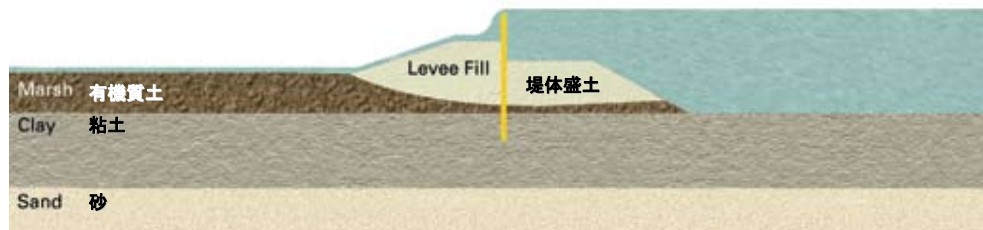
土を覆う有機質堆積物により構成されていた。

Industrial Canal 東岸の北側の I-ウォールは、17th Street Canal の I-ウォールの破堤とほぼ同じような過程で破堤した。すなわち、有機質土内のすべり面に沿ったのり面崩壊によって破堤した。17th Street Canal と同じように、水が充満した隙間があることで（設計では考慮されなかった）安全率が大幅に小さくなった。

Industrial Canal 東岸の南側の破堤と Industrial Canal 西岸の破堤

Industrial Canal 東岸の南側の I-ウォールも、Industrial Canal 西岸の I-ウォールも、ハリケーン・カトリーナにより越流が生じた。最高水位は洪水防御壁および堤防の天端高より 1.7 フィート高いと推定された。明らかにされた破堤機構を 図-7.8 と 図-7.9 に示す。

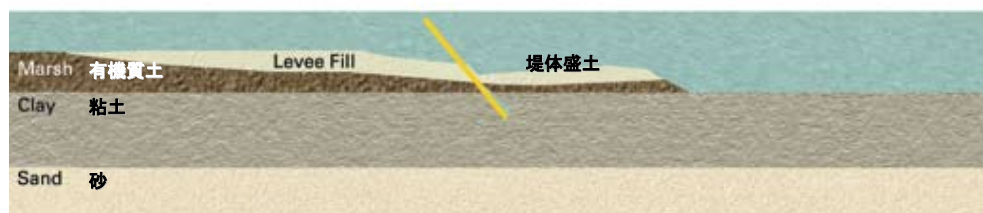
図-7.8 越流を受けた I-ウォールの破堤機構



1：洪水が I-ウォールを越流する。



2：水が I-ウォールの陸側の土を洗掘し、流失させる。



3：基盤の支持が欠如したため、I-ウォールが倒壊する。

堤防を越流した水が、堤防の陸側において壁の基部を洗掘および侵食した。I-ウォールを支えるシートパイルの基盤が侵食される。幾つかの箇所において、シートパイル壁が基盤による支持を完全に失い、I-ウォールの倒壊に至った可能性がある。

図-7.9 Industrial Canal 東岸の南側のトウォールの破堤



滝のように落ちる水がIndustrial Canal の陸側に深い溝を掘った。基盤による基礎支持力を失い、シートパイル壁（上部左）がわきに放り出された。（この写真は氾濫水が引いた後に撮影された）

Industrial Canal 西岸の南側と他の全ての堤防の決壊

ニューオーリンズを取り囲むトウォールなしの土堤 —Industrial Canal 西岸の南側の破堤箇所
の堤防を含む— では、ハリケーン・カトリナの高潮によって越流が生じた。システム
全体の推定 50 箇所の堤防決壊の大半は、越流と侵食によると考えられる。越流による破堤
機構を図-7.10 に示す。

図-7.11 に示すように、適切に締め固められた粘土で造られ、かつ芝生で良好に覆われた
堤防がストームに最もよく耐えたと思われた。シルトと砂の含有率の高い堤体材料の堤防
—または水締め盛土により造られた堤防（水締め盛土とは、堤体材料を水と混合して泥水
として、それをポンプにより流送し、盛土する場所に流し込むものである）— は、侵食に
より大きな損傷を受けており、図-7.12 に示すように完全に流失したケースもあった。

図-7.10 越流を受けた堤防の侵食による破堤機構



1：洪水が堤防を越流する。



2：越流水が堤防の頂部と陸側の土を洗掘して流失させる。



3：砂とシルトで造られた堤防の中には、完全に流失したものがあつた。

堤防の越流によって重大な洗掘と侵食が生じた。完全に流失した堤防もあった。

図-7.11 ニューオーリンズ東部のパリスロード橋(Paris Road Bridge)下の堤防



この土堤は越流を受けたが（その状況を図-5.1 に示した）、損傷は比較的小規模であつた。（この写真は氾濫水が引いた後に撮影された）

図-7.12 跡形もなく流失した Mississippi River-Gulf Outlet の堤防



水締め盛土で造られた多くの堤防は、ひどく侵食されたり、完全に流出したりした。(この写真は氾濫水が引いた後に撮影された)

ポンプシステム：ハリケーン・カトリーナ時に機能せず

ニューオーリンズ全域のポンプ場は、ハリケーン防御システムの一部となりえたはずである。しかし、そうはならなかった。ほとんどのハリケーンと熱帯性低気圧は激しい雨をもたらすが、ポンプ場は降雨流出水と通常時の浸透水を内水排除システムから排除し、ポンチャトレーン湖や他の近隣の水域に排水するためにだけ設計されている。

ハリケーン・カトリーナの来襲時には、12 インチ以上の雨がニューオーリンズの随所で降った。ハリケーン・カトリーナの来襲時とその後、少数のポンプ場が稼働したが、排水量は毎秒約 18,000 立方フィート（この地域の総排水能力の約 16%）であり、最もひどく氾濫した地域にはポンプ場がなかったため、氾濫水を減らすのに大して役立たなかった。

ポンプ場は、多くの理由で稼働できなかった。ハリケーン・カトリーナがジェファーソン郡とセント・バーナード郡に脅威を与えていた時、両郡のほぼ全てのポンプ場操作員が避難していた。なぜなら、ポンプ場はハリケーンの威力に耐えられるように設計されていなかったためである。操作員がいないポンプ場は、休止したままであった。ストームは早期に停電を引き起こし、多くのポンプ場のエンジンは電力なしでは稼働できなかった。堤防の越流や洪水防御壁の決壊によってポンプ場自体が浸水し、広範囲にわたる設備の損傷と故障が生じた。多くの古いポンプ施設を収容する建物は、ハリケーンの風力と水力に耐えることができず、甚大な被害を蒙った。

ポンプシステムがハリケーンをやり過ぎて稼働し続けたとしても、越流や破堤によってニューオーリンズに氾濫した大量の水を排水することはできなかったであろう。皮肉にも、ポンプ場からの排水は、大規模な破堤が既に生じていたまさにその水路の中に確実に送り出された。ポンプが稼働し続けていたとしても、水路に戻した水が破堤箇所を通して還流するので、水を循環させたただけであっただろう。

ジェファーソン郡では、幾つかのポンプで故意ではなく逆流が生じたことによって、氾濫が増したとさえあった。逆流を防ぐ方法は用意されていたが、操作する人員と電力に依存した方法であった。ハリケーン時には、人員・電力のいずれもなかった。ポンプ場に自動式の逆流防止装置がなく、水路の水は幾つかの休止したポンプを通して市内に還流した。

第 8 章

助長要因

第 7 章では、ニューオーリンズのハリケーン防御システム崩壊の直接的かつ物理的な原因について概説した。本章ではそれを助長した要因について説明する。疑問のある技術的決断と管理上の選択、組織内および組織間の不適切な接点、今日、後知恵でもってこれら全てがこの問題を助長したことがわかっている。

ハリケーン・カトリーナは、ハリケーン防御システムを完全に圧倒した。ストームの勢力が、ハリケーン防御システムのストームに耐える能力を超えた。一個人にまたは一判断に責任を負わせるものではない。技術的な失敗は複雑であり、長期にわたる多くの機関に属す多くの人々による多数の決定が関わっていた。

十分に理解されなかったニューオーリンズのリスク

原子力発電所やダムのような大規模な工学的システムの場合、「リスク」の概念は、(a) 故障した場合の人間の健康と安全に対する結果と (b) 故障の可能性の両方を含んでいる。ハリケーン防御システムは、原子力発電所やダムなどと同様に大規模な工学的システムであり、同じように施設と管理に関わる複雑な事項を含んでいる。そのため、そうした構造物の一つとして、リスク定量化というレンズを通してリスクを見ることは有用である。

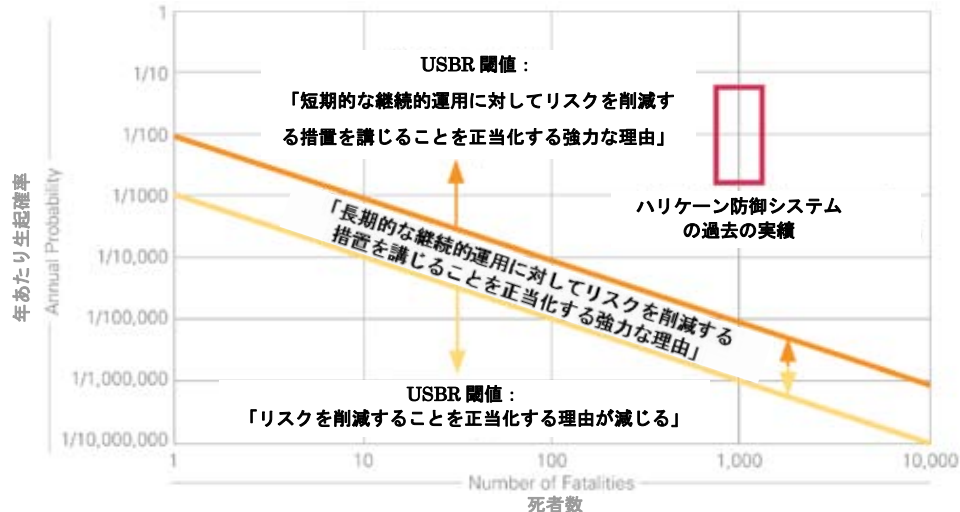
リスクを定量化して比較するための一般的手法は、[図-8.1](#)に示すようなリスク評価チャートを作成することである。このチャートは、合衆国開拓局 (USBR) の主要なダムに関する公共保護のガイドラインを典拠としている。そのようなリスクを請け負うことにより便益を得ようとする目的のもとで、社会が進んで受け入れるリスクレベルを表す「閾値」が一工学的判断に基づいて一 設定された。[図-8.1](#)において上側の線より上に位置する死者数と頻度の組み合わせに対しては、「長期的および短期的な継続的運用の両方に対してリスクを削減する措置を講じることを正当化する強い理由」がある。

ダムに対して人々が一般に進んで受け入れる、または許容するレベルに比べて、ニューオーリンズの住民のリスクレベルは非常に高かった。例えば、ハリケーン防御システムが大型ダムとして扱われたなら、崩壊の確率が概ね運用期間 100,000 年から 1,000,000 年の間に 1 度となるように設計されなければならなかった。[図-8.1](#)に示した赤枠は、ハリケーン防御システムの過去の実績の概略を図化して表したものである。およそ 1,000 人の死者が発生する壊滅的崩壊は、運用期間 40 年の間に 1 度生じている。

社会が進んで許容するダムのリスクは、ハリケーン・洪水防御システムのリスクと必ずしも同じではない。それは主に、規模、レジリエンス(resilience—訳注：設計において意図または想定した力や条件を超えた状況においても、壊滅的な損壊に至らず、耐えることのできる能力)、緊急事態の進行速度、実際の緊急時に利用できる選択肢などの点で、システムが異なるからである。他にも数ある差異のなかで、一般にダムの長さは数千フィートだが、堤防システムの長さは数百から数千マイルであることが挙げられる。一般にダムは、堤防よりレジリエンスが優れている。それは、ダムには過剰な水を放流する非常用洪水吐があり、それによって壊滅的崩壊からダムを守っているためである。貯水位は観測されて

おり、また水位が急激に上昇する高潮とは対照的に、ゆっくりと上昇する傾向がある。ダムの下流域では、下流の住民を守るための緊急行動計画が定められている。さらに、主だったダムが位置する村落地域での避難は、ニューオーリンズのような主要都市の避難よりはるかに容易である。

図-8.1 リスク評価チャート



ダム安全性に関する公共保護を達成するための USBR ガイドラインは、黄線で表されている。

ニューオーリンズのハリケーン防御システムがもたらしたリスク（赤線で表されている）は、人々が一般に進んで受け入れる水準よりはるかに高かった。

米国の主要なダムと異なり、ニューオーリンズのハリケーン防御システムに付随するリスクは、ハリケーン・カトリーナ以前に一度も定量化されたことがなかった。その結果、ニューオーリンズの住民は、自分たちの生活に伴う実際のリスクを知ることができなかった。リスクの定量化により、計画担当者と政策立案者の認識が高められたであろう。その結果として両者に、このシステムは他の人命を守る重要施設の基準と比較して、かなり不十分な設計がなされた可能性があることを理解させたであろう。

このことが、ハリケーン防御システムの設計と建設でリスクを考慮しないことによってもたらされる最も明白な結果の一つである。すなわち、崩壊の結果一壊滅的な人命の喪失が認識されていなかったように思われることである。少なくとも、こういったリスクを理解することで、人々が危機的状況から逃れるための、さらに積極的かつ効果的な避難計画をもたらすことができたであろう。

ハリケーンが引き起こす堤防と洪水防御壁の決壊に関する重大な疑問に答える必要がある。リスクとは何なのか？どの程度のリスクを受け入れることができるのか？どうしたらこのリスクレベルを効果的に伝えることができるか？ハリケーン防御システムはリスクに基づきどのように設計されるべきか？ニューオーリンズにおけるハリケーンの頻度を明示するための作業が進められている。ハリケーン・カトリーナの生起確率に基づく再現期間は50年から500年の範囲であったと思われる。これは、将来、どの年にも、ハリケーン・カトリーナのようなストームが1/50から1/500の確率で発生することを意味する。さらに、ハリケーン防御システムがハリケーンの力によって崩壊する確率を明示するための作業も

進められている。

断片的に漸次施工されたハリケーン防御システム

南東ルイジアナのハリケーン防御システムは、40 年かけて計画、設計、建設され、その間、システム全体を対象とした取り組みがなされず、また土地利用、緊急避難、復旧計画と統合されることもなかった。当初、このシステムは洪水の防御と都市からの雨水排除の必要に応じて発達した。ある時点でハリケーン防御を組み込む決定がなされた。ハリケーン防御システムの建設は、1965 年のハリケーン・ベッツィーの後、本格的に始まった。2015 年以降に竣工の予定であった。

しかしながら、ハリケーン防御システムとは名ばかりである。実際には、漸次個別に立案し建設された多くの独立したプロジェクトのまとまりのない集積物である。各部分が「間に合わせ」の配置で相互に結合された。

例えば、17th Street Canal、Orleans Canal (図-8.2)、London Avenue Canal の南端に位置するポンプ場は、古い石積の構造物で、降水の排除のために 1 世紀ほど前に建設された。これらポンプ場は、ハリケーン防御システムの一部と考えられていたが、強化や改造が行われたことは一度もなかった。その結果として、ポンプ場の壁は高潮によって起きた静水（水圧）荷重に耐えられなかった。

図-8.2 Orleans Canal の第7 ポンプ場



ポンプ施設を収容する建物は、高潮の高い水圧に耐えられるように強化されなかった。第 7 ポンプ場では、ポンプ場を損壊させないために、その周りを水が流れていくようにトウォール（上）とポンプ場（下）の間に意図的に堤防の空白部が残された。

ポンプ場における堤防の空白部に加え、堤防システム全体に道路、鉄道線路、パイプラインの切り欠き部が何百箇所もある。これらの切り欠き部の多くはゲートを有しており、洪水状況下で自動的または手動で閉鎖されることになっている。ところが、閉鎖システム

の多くが紛失したか操作不能であって、氾濫をほとんど防げなかったことがわかった。

堤防切り欠き部のゲートは、多くの場合、コンクリート・鋼構造物で支持され、隣接する堤防よりも数フィート高く造られる。堤防の決壊の多くは切り欠き部に設置された構造物のすぐ横で発生した。その場所は、越流が卓越する低い土堤部であり、そのため隣接する切り欠き部構造物よりもはるかに侵食されやすい。堤防を分割して建設した結果、天端高などが急変する不連続部が生じた。例えば、コンクリート製トウォールが突然途切れる堤防区間が幾つかある。天端高が低い鋼製シートパイル壁が続き、最終的にさらに数フィート低い土堤に変わる。上述の切り欠き部構造物の場合と同じように、天端高が低いため、相対的に弱く侵食されやすい部分から越流し始め、その結果、多くの場所で破堤することとなった（図-8.3）。

図-8.3 トウォールと堤防の破堤部



堤防とトウォールはばらばらに建設され、天端高が異なり、材料も土、鉄鋼、コンクリートと異なっていた。氾濫水はまず相対的に低く、侵食されやすい土堤を優先的に攻撃し、その結果として大きな破堤が生じた。

設計が不十分であったハリケーン防御システム

USACE は、計画基準ハリケーン（SPH）を、ある特定地域の相応な特性が考慮されたハリケーン気象パラメータの最も厳しい組み合わせを表すことを意図した、仮想のハリケーンと定義している。「相応な特性」の定義は、SPH が極度のハリケーン事象ではない — 特に可能最大ハリケーン（PMH）と比較した場合 — ことを示唆している。全米気象庁（National

Weather Service) は、PMH を「特定の海岸域で発生する可能性がある持続的な風の最高風速をもたらす気象パラメータの組合せ」と定義している。

気象パラメータ（中心気圧指数、前進速度、風向と風速）間には相関があり、その関係は複雑である。USACE は次のように対処しているようである。

- 1959 年に USWB（現在の全米気象庁）がリストアップした 101~111mph の範囲の下限を与える SPH 気象パラメータを、ニューオーリンズを襲ったハリケーンの代表的最大風速として選択する。
- ハリケーン防御システムの PMH のような、より激しいストームの影響に関する評価は行われなかった。
- 全米気象庁が 1979 年に改訂数値を公表したとき、SPH 気象パラメータは更新されなかった。
- 以前に設計および建設されたハリケーン防御システムの構成部を、更新された設計規準に適合するように改善しなかった。

首尾一貫して SPH を用いたことによって、一さらに厳しいハリケーン気象パラメータがすでに定義されていた時点で、ハリケーン・カトリーナの力に耐えられる十分な強さや高さのないハリケーン防御システムとなった。その一例として、1959 年に示された SPH の地上風速は 101mph（中）と 111mph（高）であるにもかかわらず、ポンチャートレーン湖および近郊ハリケーン防御プロジェクトでは 100mph で設計された。1979 年に全米気象庁が示した PMH の地上風速は 151mph（中）と 160（高）mph であった。ハリケーン・カトリーナがメキシコ湾を横切ったときの最大風速は 161 mph と観測された。

より強い風速場を用いれば推定潮位がより高くなるのは明白であるが、広範囲を対象としたモデル化を行わなければ、SPH に換えて PMH を用いた場合でも堤防をどれだけ高くするかを予測する方法はない。実際にそうした数値がどうであるかにかかわらず、ハリケーン防御システムが PMH 基準を用いて評価されていたのなら、より激しいストームをもたらす結果を取り入れることができたはずである。例えば、越流や侵食が生じやすい堤防をアーマー化すること、ポンプ場を強化すること、より包括的な避難計画を設けることができたはずである。USACE による明らかに設計上安全側ではない設計ハリケーンの選択は、ハリケーン・カトリーナのような甚大な自然力に襲われる際の公衆の安全を守るために必要とされる選択としては矛盾している。

高さ不足である多くの堤防

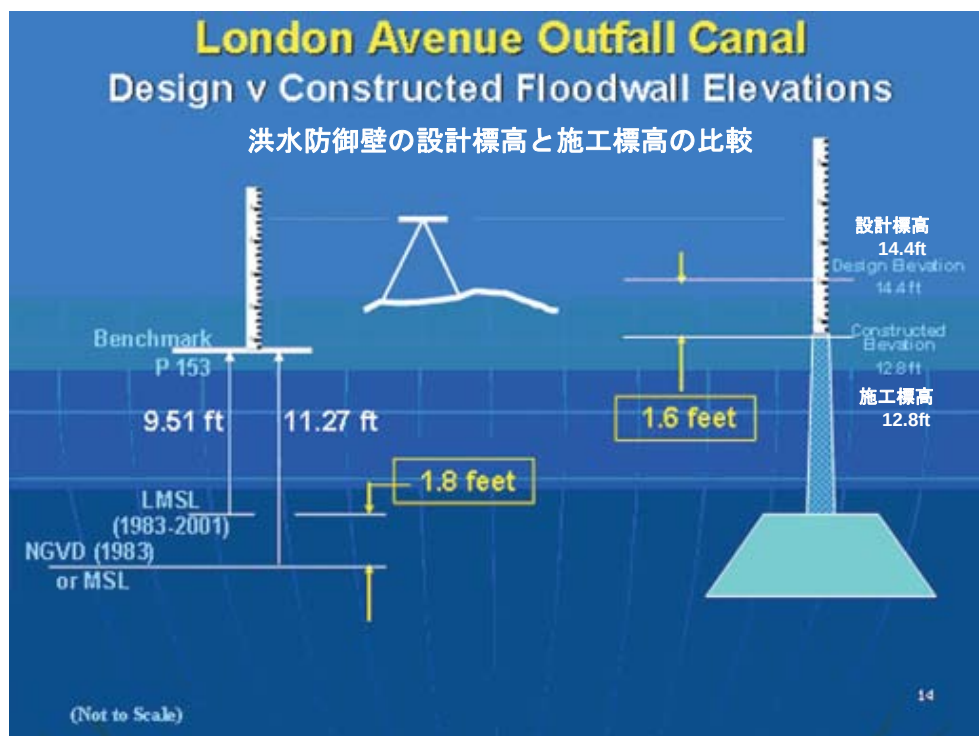
SPH とそれに対応した気象条件を用いることによって、結果的にハリケーン防御システムの設計が不十分となった。しかし、ハリケーン・カトリーナによる高潮に耐えることができないという堤防の問題を深刻化した要因は他にもあった。

あらゆる工学的構造物の設計と建設に必要とされる第一段階は、正確な標高基準点（全

での標高測量の基準) を設けることである。長期にわたり、ニューオーリンズの堤防と洪水防御壁は、地先の平均潮位と比較して設計されてきた。しかし、幾つかの構造物は、地先の平均潮位基準点と同等である、または絶えず水位基準の変化に追従していると誤った想定がなされた基準点に基づいて建設された (図-8.4)。

ニューオーリンズ全地域が地盤沈下していることは、よく理解されている。平均沈下速度は1年あたり約0.2インチであるが、幾つかの場所では沈下速度が1年あたり1インチを超えている。設計者と技術者がハリケーン防御システムの設計において沈下に対する余裕を組み込まなかったことが、不適切な基準点の使用という問題を深刻化させた。思慮深い技術的検討がなされていれば、堤防と洪水防御壁を要求された高さよりも高く造ることを指示したであろう。そうすることによって、時間の経過とともに地盤沈下が進行しても、堤防と洪水防御壁が氾濫を防御するのに必要な高さをなお維持できるからである。しかし、そうになっていなかった。

図-8.4 設計標高と建設標高の不一致



基準点の誤差のため、ハリケーン防御システムには天端高が設計で意図した高さよりも低く建設された部分がある。

「余裕高」(壁最上端に波を収めるためのスペースとして余分に与えた高さ) は組み込まれていたが、余裕高は沈下の影響を埋め合わせを意図したものではなかった。多くのプロジェクトにおいて、地盤沈下によって余裕高は完全に失われている。堤防システムの比較的古い部分、例えば Industrial Canal (35 年以上前に建設) に沿った堤防では、沈下の影響と不正確な基準点の使用の結果、堤防と洪水防御壁が当初の設計より最大で 3 フィート低くなっていた。高潮のピークは、多くの場合、堤防と洪水防御壁の天端より 1~3 フィート高かった。したがって、堤防と洪水防御壁の天端が適切な標高であったなら、越流

と破堤の発生がより少なかったであろう。

連邦議会は SPH から評価した「承認レベル」を超える水位を考慮に入れることを USACE に許可していない、と USACE 職員が言明している。この論理によって、USACE は地盤沈下の可能性を考慮した承認レベルより高い堤防天端高を指定しなかった。同様に、USACE は越流による侵食を防御するためのアーマー化を要求しなかった。

このような分別のない決定の結果 — この地域の地盤沈下が今なお進行しているという事実と相まって — として、幾つかの堤防と洪水防御壁の天端高は本来の目的とした高さよりも数フィートほど低くなっている。これら堤防は、ハリケーン・カトリーナによる越流をより生じやすくした。土質工学で扱われる破壊（第 7 章で説明している）によって堤防が決壊し、また I-ウォールが倒壊したという事実がなかったと仮定したら、洪水防御壁が低すぎたために生じた越流がニューオーリンズの氾濫の主たる水源となったであろう。

ハリケーン防御に責任を有する単独機関がない

断片的に漸次建設されたことおよび標高の誤りによってハリケーン防御システムが物理的に不連続であったことに加えて、ハリケーン防御システムに対する組織の責任も支離滅裂であった。ハリケーン防御システムの管理は、無秩序で機能していない。

表-8.1 に示すように、連邦、州、市といった様々な機関が、ハリケーン防御システムの分割部分に対して建設、運用、維持管理の責任を有している。より必要性の高いシステム全体の監督の実施に関する権限、および生命保護の重要問題に焦点を絞ることに関する権限を与えられた単独の機関や組織はない。戦略的目的を与え、役割と責任を決定し、重要な建設・維持管理・運用の調整を行うための、諸機関の正式な連携はない。事実、ハリケーン防御システムによって実際に達成しようと意図した事項の見込みについて、相互に十分に合意し、明確に定義した機関や諸機関の集まりはないようである。

表-8.1 ニューオーリンズのハリケーン防御システムの一部に責任を負う機関・組織

機関名	役割と責任
合衆国連邦議会	承認と資金提供
USACE 本部	USACE の指導と監督
USACE 技術研究開発センター	新しい設計方法の支援を行うための研究
USACE ニューオーリンズ支部	ニューオーリンズ都市圏の独立した 5 つの堤防組合の各々に対する「技術者」としての設計と建設の監督
東ジェファーソン堤防組合	東ジェファーソンの市民をポンチャトレーン湖とミシシッピ川の氾濫から守るための、東ジェファーソン郡周囲の洪水防御堤防システムの維持管理と運用
ボーン湖流域堤防組合	13 マイルのミシシッピ川の堤防、26 マイルの後方防御堤防、23 マイルのポンチャトレーン湖および近郊ハリケーン防御堤防、Bayou Dupre 調整構造物、12 の水門、Violet Freshwater サイフォン、55 マイルの排水路と 8 つの主要な排水ポンプ場の維持管理と運用

機関名	役割と責任
オリンズ堤防組合	ポンチャトレーン湖の南岸とミシシッピ川沿いのニューオーリンズ市のハリケーンおよび洪水改修工作物の維持管理と運用。129 マイルの堤防と洪水防御壁、189 の水門、97 の洪水弁、2 つの洪水調節構造物の点検と維持管理を含む。
ポンチャトレーン堤防組合	ポンチャトレーン湖の南岸、Bonnet Carré 放水路、ミシシッピ川沿いを含むセント・チャールズ郡のハリケーン・洪水防御改修工作物の維持管理と運用。関連する数マイルの堤防と洪水防御壁の点検と維持管理を含む。
西ジェファーソン堤防組合	Harvey Canal の東西各サイドに沿った堤防システム、ミシシッピ川に沿った堤防システムを含むジェファーソン群の西岸のハリケーン・洪水防御改修工作物の維持管理と運用。50 マイルを超える堤防と洪水防御壁および関連する水門の点検と維持管理を含む。
ジェファーソン郡排水ポンプ場部	主要な排水・洪水調節計画の管理、指揮、調整、実施および 340 マイルの水路、排水溝、横断排水口、暗渠、内陸の堤防システム、1,465 マイルの街路地下排水システムの直営の建設・運用・維持管理、52 の排水ポンプ場の運用と維持管理
ニューオーリンズ上下水道委員会	主要な排水・洪水調節計画の管理、指揮、調整、実施および 90 マイルの開水路、排水溝、横断排水口、暗渠、90 マイルの直径 36 インチ以上の街路地下排水システムの直営の運用・建設・維持管理、22 の排水ポンプ場の運用と維持管理。 上下水委員会は、オリンズ郡東西岸の全排水ポンプ場の運用・維持管理も行う。さらに、水路の除塵と草刈りの責任を有する。

機関間連携がないことの結果の例は豊富である。例えば、オリンズ郡で France Road の洪水用ゲート（ニューオーリンズ Public Belt 鉄道との交差部）を担当する機関には、ニューオーリンズ港、ニューオーリンズ堤防組合、ニューオーリンズ Public Belt 鉄道、USACE ニューオーリンズ支部が含まれる。ハリケーン・カトリーナの来襲時、ゲートは修理のために使用不可であって開いたままであった。そのため、水がゲートで妨げられることなく氾濫した。

別々の組織が設計と維持管理を監督している。当然、USACE は堤防が長期にわたり適切に維持管理されると想定した。実際には、堤防は常に適切に維持管理されていなかった。例えば、堤防上に木を生やすことが認められ、プールと温水浴槽が堤防の公道用地を占拠していた。機関間に非公式または半公式な意思疎通の場があったようだが、諸機関はニュ

ーオリンズ地域がハリケーンの災害から守られるようにするために協力しなかった。

ハリケーン・カトリーナのような緊急事態の間には、あらかじめ計画と連携をしていなければ、緊急対応に大きな欠陥が生じる。ジェファーソン郡では、どこよりもこのことが歴然としている。ジェファーソン郡知事は「明らかにポンプ場操作者の安全と福利への懸念から」、ストームの前に操作者に避難を命じた。大型ハリケーンの間にはポンプ場の安全かつ継続的な運転を可能とする計画や基幹施設がなかったのは明白である。**ジェファーソン郡東岸の 5 つのポンプ場が稼働可能であったなら、ジェファーソン郡東岸の氾濫は、はるかに少なかったであろう。**

USACE は、堤防組合のために「技術者」を務めている。しかし、USACE の立場は、地元のスポンサー（この場合、堤防組合）が承認しなければ何もできないというものである。システム全体の解決策を実施しようとする USACE の幾つかの重要な試みは、地元の激しい反対に遭い、承認されなかった。例えば、ハリケーン・ベッツィー以降、USACE は排水路に沿ってではなく、ポンチャートレーン湖の湖岸に沿ってハリケーン防御施設を設けることを提案した。この提案はニューオーリンズ上下水道委員会とオリンズ堤防組合の激しい反対に遭い、最終的に USACE により撤回された。

このように、お粗末な意思決定「ニューオーリンズの大災害の根本的原因」に繋がった問題は、主要組織の文化の中にある。生命を脅かすリスクからの保護は、公共の優先事項の中で後回しになった。おそらく、壊滅的な堤防の決壊がどのようなものであるかを現実のものとして真に理解した者はいなかった。おそらく、適度に安全な堤防システムを造るために必要な代価を進んで払おうとした者はいなかった。おそらく、堤防委員会は、堤防の手入れという第一の職務より優先されていた開発計画、空港、公園、カジノその他のために、注意が散漫になっていた。おそらく、合理的なハリケーン防御システムを実現するために必要な政治的意志は、非常に重大であって獲得できなかったのであろう。しかし、将来に別の結末を得るには、こういった文化を変えなくてはならず、人々の命を守ることにより重点的に取り組み、「お定まりの仕事」はほどほどにしなければならない。

外部専門家によるピア・レビューの欠如

大型技術プロジェクトの設計の期間には、多くの場合、適切な工学分野の上級専門家に外部ピア・レビュー（訳注：同分野の専門家による審査）の実施を依頼する。概してこういったピア・レビューは、プロジェクトの全体的方向性、仮説の有効性、分析手法の正確さ、設計手法についてアドバイスを与える。設計のピア・レビューは、公共事業プロジェクトを完全に中立に評価するために実施される。

ニューオーリンズのハリケーン防御システム・プロジェクトに関する外部ピア・レビューは、たとえ実施されたとしても、ごく僅かであった。実際、USACE の内部指令は、水資源プロジェクトの壊滅的崩壊から公衆の健康、安全、福利を保護するために ASCE が推奨した方針にはほど遠い。

USACE のピア・レビューは、任意であり、適切な工学的理念に端を発するのではなく、レビューの正確さを評価する仕組みがなく、審査者の選定方法が曖昧である。その結果、ニューオーリンズのハリケーン防御システムに関して、疑問の残る技術的決定が下された。堤防の設計においては、安全限界が低すぎた。建設では、不適切な基準点が用いられた。

計画基準ハリケーンは、更新されなかった。

技術的意思決定のプロセスは、「自己参照的」であった。自己参照的とは、設計者が決定のかじ取りをするのを手伝えるために、広く工学界ではなく、設計者の属する組織に目を向けることを余儀なくされたことを意味する。自己参照的な組織内の個人は、技術進歩についていけず、かつ代替の解決案を失う可能性がある。組織の文化（例えば「いつもこうしてきた」）が、ハリケーン防御システムが設計および建設されていた長年にわたって、組織の行動に影響を及ぼした。適切で効果的な外部ピア・レビューは、このような判断の誤りが生じるのを防げたはずである。

資金調達方法の不備

連邦機関である USACE とそのプロジェクトには、連邦政府からの資金とともに、地元スポンサーが負担する費用配分も供給される。USACE は毎年、資金提供を要請する。連邦の予算策定プロセスによって、行政部（行政管理予算局を経由する）と合衆国連邦議会がプロジェクトを承認して資金を割り当てるが、割り当てられる金額が要求額や必要額と同一であるとは限らない。

連邦議会の予算策定プロセスのため、ニューオーリンズのハリケーン防御システムのための資金の提供動向は、良い状態であっても不規則であった。プロジェクトに十分な資金が供給されない場合、USACE はしばしばプロジェクトの実施を延期したり、規模を縮小したりしなければならなかった。

ニューオーリンズのハリケーン防御システムのような生命の安全を守る重要な構造物の資金調達のための「綱引き関係」の仕組みは、本質的に不備なものである。このプロセスは、設計および建設を決定する責任者と財政管理責任者の「断絶」をもたらす。おそらく、歩み寄りと低コスト策を求めるプレッシャーが、質、安全性、信頼性を危うくした。

プロジェクトごとのアプローチ — 資金の供給力に応じてプロジェクトが長い時間をかけて建設される — がとられた結果、ハリケーン防御システムは漸次個別に建設され、全体として「システム」問題への注意がおざなりになった。実際には、プロジェクトごとの手法は、連邦議会による制限と関係があったようである。USACE は「縮小主義者」の考え（問題を所定の権限と予算内で解決できるものに縮小する）を取ることを余儀なくされた。解決すべき主要な問題にのみ焦点を絞ると、必然的にリスク、冗長性、レジリエンスに関する問題の優先度は低くなる。

例えば、高リスク地域の洪水防御壁や堤防の堤内地側をアーマー化しないという決定が下された。このアーマー化が実施されていたら、ハリケーン・カトリーナのように稀なストームによる氾濫被害を制限することができたかもしれない。USACE はこの選択肢が連邦議会の承認の範囲外だと考えていたであろう、と言う者もいた。なぜなら堤防のアーマー化は USACE が「承認レベル」を超える高潮に対して設計していたことを明確に認めることになるからである。

生命の安全を守る重要なシステムの設計と建設は、執行部や合衆国連邦議会の専門知識を超えている。しかし、連邦議会は出費、さらには設計基準を厳しく統制した。USACE は、関連する問題、リスク、トレードオフに十分対処することなく、この統制を受け入れた。理由の如何を問わず、USACE とその地元スポンサーは、ニューオーリンズの公衆の安全に高

水準の保証を提供するために最低限必要とされる資金調達について、積極的に議論していなかった。

第 9 章

次に何をすべきか？

次の大型ハリケーンが直撃した際に、ニューオーリンズ地域における同様な大災害を避けるためには、南東ルイジアナのハリケーン防御システムの深刻な欠陥は修正されなければならない。ハリケーン防御システムの構想、予算編成、資金提供、設計、建設、運用、管理の方法には不備がある。

この複雑な問題は、すぐには修正できない。ニューオーリンズのハリケーン防御システムの欠陥を克服するには、—そして、技術、管理、ガバナンスを真に改革するには—、指導力、勇気、信念、資金が必要であろう。

ハリケーン・カトリーナから学んだ教訓には、米国の他の地域社会に対する意味深い暗示と国中の人びとへの肅然とさせるメッセージが含まれている：**我々は、わが国の優先事項の最上位に公衆の安全、健康、福利の保護を据えなければならない**。何事かに手を抜けば、ニューオーリンズで目撃したものをはるかに超える悲劇を招くことになりかねないであろう。

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会が必要と考える 10 の重要な行動を以下に挙げる。それぞれの行動は、考え方および取り組み方に要求される次の 4 つの転換のうちのひとつに該当する：リスクを理解し安全性を選定する；ハリケーン防御システムを再評価し、修正する；ハリケーン防御システムの管理を刷新する；技術的な質を要求する。我々は、ひとつひとつの行動を不可欠なものと考え、全てを実施することを強く推奨する。

リスクを理解し安全性を選定する

ハリケーン・カトリーナが上陸したとき、ハリケーン防御システムが崩壊し、悲劇的な結果をもたらした。ニューオーリンズを襲ったこの大災害の一因は、ハリケーン・カトリーナ規模のストームに直面した堤防システムのもろさを認識していなかったことである。崩壊の結果がどれほど壊滅的な被害となるかを評価した者はほとんどいなかった。政府のあらゆるレベルの政治指導者、設計者と運用者、そしてハリケーン防御システムで守られる人々が、このシステムに与えていた優先性または緊急性ははるかに小さかった —このことは、このシステムの建設に何十年もかかり、今日なお完成していないという事実が証明している。

ニューオーリンズの人々 —そして全米のハリケーンおよび洪水の常襲地域で生活する全ての人々— は、自身の暮らしの中に潜むリスクを理解し、認識しなければならない。こうした認識から、地域社会および国が許容できるリスクがどのようなものかについての見識が得られる。

実施要請その 1：

常に安全を公共の最優先事項にする

氾濫と人命喪失からの保護に関して、ニューオーリンズのハリケーン防御システムに何が

求められたのかを明晰に、詳細に、曖昧でない言葉使いで定義する責任を、単独の機関が負ったことはこれまでなかった。ニューオーリンズのハリケーン防御システムが、USACE と州および市の利害関係者の間で設計され、話し合われていた時、コスト、土地利用、環境問題、その他相反する優先事項に基づいた妥協がなされた。公衆の安全の保護がかならずしもこうした妥協の産物であったとは限らない。

短期的な需要を熟考していると長期的ニーズの視点を失うのは 一個人レベルでも機関レベルでも 一人の習性である。大型ハリケーンは稀であるため、社会は気を緩めて無視したり行動を起こさなかったりする傾向があるが、長期的な安全は優先されなければならない。安全の優先順位が著しく上昇しなければ、ニューオーリンズで、そして全米で、ハリケーン・洪水防御システムは低い優先順位に戻ってしまう可能性がある。ニューオーリンズと全米の責任機関は、稀ではあるが壊滅的な影響をもたらす可能性のあるハリケーンと洪水からの公衆の安全、健康、福利の保護を最優先事項とするように、政策と事業を再評価すべきである。

ハリケーン防御システムの一貫した点検、維持管理、修理が不可欠である。我々はハリケーン・洪水防御システムが劣化するのを放置することはできない。合衆国連邦議会は、主要なダムに対して実施しているように、全国的な堤防の安全と修復のためのプログラムを策定し、資金を供給するべきである。堤防安全プログラムは、堤防本体およびその周辺構造物 — ニューオーリンズおよび全米の — が、生命の安全を守る重要なシステムに向けられるべき水準の注意を引きつけることを実現するのに役立つであろう。

実施要請その 2 :

リスクを定量化する

リスク評価（リスク・アセスメント）は、工学の重要な役割のひとつである。技術者は、リスク・費用・便益間のトレードオフが性能と安全性にどのような影響を与えるかを評価し、意思決定者と公衆に明確に伝えなければならない。技術者は、政府のあらゆるレベルにおいて、公共政策の策定と意思決定に積極的役割を果たさなければならない。

IPET は、ニューオーリンズのハリケーン防御システムに付随するリスクを定量化するための非常に重要な試みを実施した。IPET は、洗練されたリスクモデルを用いて、様々なストーム・シナリオから生じる結果を分析している。検討対象になった変数は、ハリケーン強度、ハリケーン的位置と進行方向、堤防の高さと強度、ポンプ場の排水能力、堤防切り欠き部におけるゲート閉鎖の有無、土地の標高と氾濫の起こりやすさである。

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、ニューオーリンズ地区の地勢に応じた範囲ごとにリスクを定量化する IPET の作業を奨励している。この作業を完了させることをなによりも最優先にしなければならない。この作業完了後に初めて、この地域の未来について、十分な情報に基づく決定を下すことができる。

リスクレベルは、自然環境および人為的環境の変化に依存して、時間経過に伴って変化する。したがって、新しい情報が利用できるようになったら、リスク分析を更新する必要がある。

USACE はリスクを定量化して効果的に伝達するのに必要な作業をできるだけ早く完了しなければならない。さらに、リスク評価は変化するものなので、リスク評価を定期的に更新しなければならない。リスク評価手法は、米国内のハリケーンや洪水による大規模な損害に対して脆弱である全地域に広く適用すべきである。

実施要請その 3 :

公衆にリスクを伝達し、リスクをどの程度まで 許容できるかを決定する

ニューオリンズとルイジアナ州の未来は、ハリケーン防御システムに対する人々の信頼にかかっている。市、州、連邦の指導者は、一工学界と協力して、計画策定と意思決定のための、リスクに基づいた決定支援のための公的ツールを選定する必要がある。これら指導者は、ハリケーン常襲地域に居住することのリスクについて、全ての主だった利害関係者と誠実かつ率直な対話を始めて、続けていく必要がある。

ニューオリンズの人々、そして洪水およびハリケーンの常襲地域に居住している全国の人々、は、自分たちが暮らしている状況に関わる決定について、発言権を持たねばならない。大きな影響を及ぼす可能性のある決定は、知識、洞察力、そして時宜を得た体系的討論に基づく最も善のものとなる。

市、州、連邦の機関は、ニューオリンズとハリケーンや洪水の脅威に曝されている他の地域において、質の高い公共リスク伝達プログラムを策定し、継続すべきである。公共リスク伝達プログラムは、方法と内容の実践が最新技術を駆使した最良なものであることを基本とするとともに、全ての関連テーマに対処しなければならない。例えば、市民は大型ハリケーンが特定の地域に襲来する確率、およびその地域のハリケーン防御システムがもたらす防御レベルを知る必要がある。人々は市民による緊急時への備えと緊急時対応の選択肢、および避難計画を知る必要がある。

リスク伝達プログラムの最終目標は、知識を有するとともに積極的に参加する市民を作り出すことでなければならない。ニューオリンズでのリスク伝達の先導的試行の模範として、多くの事例を用いることができると思われる。例えば、1980 年代のパークフィールド (Parkfield) 地震予知実験の一環としてのカリフォルニア州緊急サービス局 (the State of California's Office of Emergency Services) が実施した研究、1989 年のロマ・プリエタ (Loma Prieta) 地震の後にサンフランシスコ湾地区で米国地質調査所が実施した研究が挙げられる。

カトリーナ規模の大型ハリケーンの発生頻度は低い。効果的なリスク伝達プログラムがないと、人々はリスクのことを徐々に忘れていく。そうすると、次に襲来するハリケーンのもたらす結果を知らず知らずのうちに過酷なものにするであろう。

ハリケーン防御システムを再評価し、修正する

ニューオリンズのハリケーン防御システムの第 1 の防御線は、高水を押しとどめる堤防および洪水防御壁をその一部として含むが、ハリケーン・カトリーナの襲来時に 50 箇所

上で壊滅的な破堤が生じた。第 2 の防御線はポンプ場の他にはなかったが、それも無効果だった。

ハリケーン防御システムには、多くの弱い部分 ― 堤防切り欠き部、低標高部、空白部 ― があるだけでなく、「冗長性」がなかった。すなわち、システムのある構成部分が崩壊すると、それを代替する構成部分や、被害を減じるために実施する戦略がなかった。内陸の堤防は、同市を多数の小区域に分離し、氾濫水の広がりを妨ぐためにあったが、十分に機能しなかった。ポンプ場は、比較的迅速に市内から水を排除していたかもしれないが、大型のハリケーン時に機能する、または堤防の越流や決壊が生じた場合に氾濫を緩和するようには設計されていなかった。この「システム」は、本来の意味でシステムではなかった。

実施要請その 4 :

ニューオーリンズの土地利用を含めて システム全体を再考する

米国は大規模な災害のたびに教訓を得る。意思決定、構造物の完全性、災害への対応、伝達についての教訓である。米国は、現在、ニューオーリンズのハリケーン防御システムの過去の誤りを学び、訂正することができる、またとない転機にある。

IPET は、ハリケーン防御システムの欠陥を特定する仕事を著しく進展させた。IPET の仕事を基に前進するためには、まだすべきことが多くあり、我々はこの仕事に資金が提供され、完成まで続けられることを強く求める。IPET の分析から得た情報、それに市民の期待の明確な記述（実施要請その 3 に示されている）を合わせることで、ハリケーン防御システム全体を再考するための基礎が形成されるであろう。

まず、計画ハリケーンと計画高潮位を再評価し、リスクに基づいた手法を用いて更新しなければならない。計画ハリケーンの条件は、変化することのない計画基準にはなりえない。リスクと許容可能なリスクレベルは、時間の経過とともに変化する ― ストーム基準の基礎となった知識も同様である。

将来のシステムは、既存のインフラ（堤防やポンプ場など）を組み入れるだけでなく、ほかの適切なツールや戦略も含めなければならない。土地利用に関する思慮深い決断（例えば、浸かる頻度が最も高い氾濫常襲地域の開発制限や、一階の最低高さの設定）によって、リスクに曝される人や財産を減らすことができる。建設要件をより厳しくすると、氾濫が構造物に及ぼす影響を減じることができる。より効果的なハリケーン警報、対応、避難の実施要項を設けることで、定期的な訓練演習を実施することができる。予め計画を立案しておくことで、大型ハリケーン後の復旧と再建を早めることができる。

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、ニューオーリンズと米国の全てのハリケーンおよび洪水常襲地域に、ハリケーン・カトリーナから得た教訓を生かし、安全と防御のためのロードマップを作成するように要求する。**市、州、連邦の指導者は、戦略とシステムへの取り組みの全体を見直し、ハリケーン防御方策、土地利用の考慮事項、緊急対応戦略を統合して、一貫性のある考え抜かれたシステムにすべきである。**

実施要請その 5 :

欠陥を修正する

ハリケーン・カトリーナは、多くの重要なハリケーン防御構造物を完全に破壊し、それ他の構造物にも多大な損壊をもたらした。また、この災害は、既存システムの多くの弱点と欠陥も顕在化させたが、これらを修正しなければ、システムは将来やってくるハリケーンに対して脆弱なままとなる。実施すべき作業には、損壊に対するレジリエンスを高めるために、過去の設計の欠陥を埋め合わせるだけでなく、システムの既設構成部分の強化も行うことが含まれる。

ハリケーン・カトリーナは、他のハリケーン常襲地域に、教訓的な話と次の指図をもたらした。今こそ、意図した水準の防御を提供するため、全米の既存の洪水・ハリケーン防御システムの欠陥部分の修正と損壊部分の補修を行う時である。**市、州、連邦の指導者は、ハリケーン防御システムの欠陥を修正するのに必要な作業を続け、この作業を至急完了させるべきである。**ニューオーリンズ地域の「なすべきこと」は以下の事項である。

- **変化する情報を取り入れる仕組みを確立する。**ハリケーン防御システムの変動 — 堤防高や気象学および海洋学的な状態など — を常時モニタリングする必要がある。地盤沈下のような変化が生じることが知られている場合には特にそうである。最新の調査技術を全面的に活用して、測地標高基準点と水位基準を設置し、定期的に更新する必要がある。堤防の設計、建設、維持管理においては、ニューオーリンズに対して意図した洪水・ハリケーン防御水準を正確に提供しうる標高と一致させるようにしなければならない。
- **越流が生じても堤防を機能させる。**ハリケーン・カトリーナの来襲時、堤防を越える激流が堤防の本来の状態を損ない、危うくした。ハリケーンによる堤防の越水は回避できない。損壊を防ぐために、堤防は非侵食性の保護材でその表面を新たに覆うことにより、アーマー化する必要がある。
- **洪水防御壁と堤防を強化またはアップグレードする。**堤防と洪水防御壁について十分な調査と分析を行い、それらが生命と安全を守る重要な構造物に相応の、損壊に対する適度な安全限界を有することを確認する。カトリーナ以前にそのようであったことはなく、現在も依然としてそうではないかもしれない。
- **ポンプ場をアップグレードする。**ハリケーン防御システムに完全に組み込まれていない排水システムだけでなく、ポンプ場の多くがハリケーンの威力に耐えられるほど強くはなかった。ポンプ場はハリケーンや予期せぬ堤防の決壊によって氾濫が生じても、存続できるようにする必要がある。そうしなければ、ニューオーリンズは無用に脆弱な状態が続くことになる。

ハリケーン防御システムの管理を刷新する

ニューオーリンズのハリケーン防御システムの管理は、機能していなかった。なぜならば、システムの個別部分の管理にあまりにも多くの組織が関わっていたためである。単独の機関や個人が担当していなかった。多くの機関が部分的に重複した任務に付き、機関間の連携が効果的に行われていなかった。

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会の委員は、ハリケーン防御システムの管理に関わる欠陥の修正は、物理的な欠陥の修正と同じくらい重要だと考えている。ハリケーン防御に対するより統合化された手法は、効果的な管理をもたらす。—その手法はニューオーリンズでは大いに必要とされている。

実施要請その 6：

責任者を置く

優れた指導力、運営力、責任者がなければ、複雑な計画やシステムが成功を収めることはできない。ニューオーリンズのハリケーン防御システムは、数十年にわたって多くの機関の主導と管理の下で発展してきたが、どの機関も相反する優先事項について裁定を下す決定的な権限を持っていなかった。総括管理責任者が置かれ、説明責任が課せられるまで、組織の機能不全は続くであろう。

市、州、連邦の指導者は、ニューオーリンズ地区にあるような重要なハリケーン・洪水防御システムの運営責任を単独の個人に付与することに同意すべきである。 ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、「責任者」や「オーソリティー」またはコミッショナーは、ライセンスを持つ上級技術者（または、もう一つの方法として、ライセンスを持つ技術者を含む委員会）が務めることを推奨している。我々は、オーソリティーが知事の直接任命であり、資金および自由裁量を持つべきであることを提案する。

オーソリティーには、全ての責任機関の相互の承認により、これらの機関に深く関与するための権限と許可が与えられなければならない。オーソリティーの包括的な責任は、ハリケーンに関連した安全を公共の最優先事項に常に留めておくことにあるであろう。オーソリティーは、指導力、戦略的ビジョン、役割と責任の定義、正式な伝達経路、資金調達優先順位の決定、重要な建設・維持管理・運営の調整を提供することになる。

2006 年に有権者により承認されたニューオーリンズ地区の堤防委員会の組織構造の変更は、連絡を能率的にすること、および堤防管理のためのより強固な技術的基盤を確立することに役立つであろう。ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、オーソリティーの任命が発効するまでの優れた第一段階となる、上記の努力を支持する。

実施要請その 7：

機関間の連携を改善する

市、州、連邦の全てのレベルで従来から機関間の連携が欠けていた。この組織的な混乱

を克服する唯一の実際的な方法は、伝達、協力、連携の持続可能な強力な仕組みを導入することである。我々はコミッショナー（実施要請その 6 において定義した）が全体的な指揮をとることができ、かつ全関係者の協力を確保できると想像している。

ハリケーン防御システムに関係している全機関は、連携と協力のためのより良好かつ効果的な仕組みを導入すべきである。資金調達の責任を負う機関は、実施の責任を負う機関と連携し、かつ擁護しなければならない。ハリケーン防御システムの責任者は、緊急対応の責任者と鉄壁の協定を確立しなければならない。ハリケーン防御システムの維持管理責任者は、システムの設計者および建設者と協働しなければならない、それによって防御システムがハリケーンや洪水に対応可能であることを確認するためのシステムの検査、修理、運用をアップグレードする。洪水ゲートの操作責任者は、ハリケーンが迫っているとき、緊急準備の責任者から指示を受け、堤防切り欠き部のゲートを閉鎖しなければならない。

技術的な質を要求する

ASCE ハリケーン・カトリーナの外部審査委員会は、ニューオーリンズのハリケーン防御システムの崩壊はこの国でこれまで起きた最悪の大災害のひとつであると考えている。ハリケーン・カトリーナによって顕在化した欠陥は、あらゆる技術者に自分の仕事が生死と密接に関わっていることを肅然と思い起こさせるものとして役立たせなければならない。制約がどのようなものであろうと—コスト、スケジュール、政治的抵抗または惰性のいずれにかかわるものであろうと—技術者は、人の命がかかっているということを意識し、技術者という専門的職業の最高水準を維持していかなければならない。

実施要請その 8：

工学的設計手法をアップグレードする

USACE とそのコンサルタントは—ASCE とそのメンバーと同じく—、安全をさらに重要視して、ハリケーン・カトリーナから学んだ教訓を考慮に入れて、そして最近の研究成果と最良の技術的慣例を組み込んで、設計手法をアップグレードしなければならない。**工学界はハリケーン・洪水防御システムに関する工学的設計手法の再検討とアップグレードを行うべきであり、そうすることによって、更新された手法が、公衆の安全、健康、福利を守るために、全て妥当な手段を採用していることを確実にする。**

USACE—そして全米の工学研究機関—は、より優れたハリケーン防御システムの設計と建設に関する研究を増やすべきである。最新の技術進歩を活用して、ニューオーリンズと米国の他の地域のハリケーン防御システムのモデル、設計、改修、維持管理を改善すべきである。

実施要請その 9 :

中立の専門家を参加させる

ASCE には、以下に示す全ての公共事業プロジェクトに関して中立の外部ピア・レビューを推奨している積年の政策がある：その性能が公衆の安全、衛生、福利にとって非常に重要であるプロジェクト；緊急的状況下での性能の信頼性が非常に重要であるプロジェクト；革新的な材料や技術を利用するプロジェクト；設計に冗長性がないプロジェクト；独特の建設手順がある、または設計と建設のスケジュールが短い重複しているプロジェクト。

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、技術的な計画と設計が外部専門家によるハイレベルな中立の技術的審査を受けていたなら、ニューオーリンズのハリケーン防御システムの主要な欠陥の多くが回避できたはずだと考えている。

ハリケーン・洪水防御システムと生命の安全を守る他の重要な構造物の設計を担当する機関は、全てのプロジェクトのハイレベルな審査に中立の専門家を関与させるべきである。

実施要請その 10 :

安全第一

ニューオーリンズの大災害につながった状況は、他に類のないものであるが、どのプロジェクトであろうと技術者にかかる根幹的な制約はない。どのプロジェクトにも、資金とスケジュールの双方またはどちらかの制限がある。どのプロジェクトも自然環境と人為的環境を融合させなくてはならない。どの大型プロジェクトにも政治的な影響がある。

資金を節約したり急がされたりする圧力に対し、技術者は強くあらねばならず、職業倫理原則の要件に当てはめねばならず、公衆の安全を危うくしてはならない。組織は、この安全重視を妨げるのではなく、可能とするように構築されなければならない。技術者は継続的に設計基準の適切性を評価しなければならない。個々の構成要素の性能がシステム全体の性能にどう影響するかを考慮しなければならない。

ASCE の倫理綱領による倫理規範には、第一に「技術者は、.... 公衆の安全、衛生、福利を最優先する」と明記されている。技術者は、この原則をニューオーリンズのハリケーン防御システム再建の指針としなければならない。そしてこの原則は、ニューオーリンズ、米国、全世界の技術者の仕事のあらゆる側面に等しく厳格に適用されなければならない。ASCE は、USACE および他の工学者の団体と協力して、公衆の安全、衛生、福利を第一とする必要性を高め、公衆の安全は常に最優先事項であるということを伝えるべきである。

謝 辞

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、Sybil E. Hatch, P.E., M.ASCE と同氏の Convey の同僚の皆様、この報告書を構成する原稿、図、写真のまとめ作業への多大な尽力に対して、心から感謝の意を表します。Sybil の著述と編集の注目に値する技術は、ニューオーリンズのハリケーン防御システムのどこをどうして失敗したのかを、よりよく説明するのに役立つ極めて貴重なものでした。

ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、この活動中に時宜を得た効果的な支援をしてくださった ASCE のスタッフの皆様、特に ASCE の副常任理事である Lawrence H. Roth, P.E., G.E. の指導力に対しても、心から御礼を申し上げたいと思います。さらに、John E. Durrant, P.E., M.ASCE, Charles V. (Casey) Dinges IV, Aff.M.ASCE, Jane Howell, および Joan Buhrman は、我々の審査活動の支援、後方支援の実施、広範囲に及ぶメディア広報の手際よい対処に昼夜を問わず手を貸してくれました。我々の作業はこれらの方々の献身的な支援とすばらしい貢献なしでは不可能でした。

最後に、そして最も重要なこととして、ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、陸軍工兵隊（USACE）と工兵隊司令官 Carl A. Strock 中將による機関間性能評価委員会（IPET）の作業についての包括的な即時評価を求める決定に深く感謝いたします。このように注目度の高いプロジェクトの詳細な外部ピア・レビューを求めるにはかなりの勇気が必要であり、USACE はこの措置に対して賞賛を受けるべきです。また、USACE は、我々の審査で採用した建設的でプロ意識の高い展開の仕方についても賞賛を受けるべきです。特に、USACE 設計・建設主任 Donald L. Basham, P.E.、IPET プロジェクトディレクター Lewis E. (Ed) Link, Ph.D.、IPET 技術ディレクター John J. Jaeger, Ph.D., P.E. に対し、この膨大な活動に関して健全な技術的枠組みを設定し、仲間意識と協力の雰囲気を生み出してくださったことに感謝いたします。

国は、ニューオーリンズと南東ルイジアナのハリケーン防御システムの再建に有意義な情報をもたらすために長期にわたり懸命に作業を続けた 150 人を超える技術者と科学者の献身的努力に対して深く感謝しています。有用な所見と非常に重要な教訓に通じるこのような包括的評価と分析にかかわることは、我々一人一人にとって本当に名誉なことでした。ASCE と ASCE ハリケーン・カトリーナ外部審査委員会は、USACE と米国の役に立てるこの機会に対し深く感謝いたします。

著作権者一覧

表紙 *Background*: The Dallas Morning News/Smiley N. Pool; *Inset top left*: Photo by Ted Jackson © 2006 The Times-Picayune; *Inset top right*: Photo by Ellis Lucia © 2006 The Times-Picayune; *Inset bottom left*: The Dallas Morning News/Smiley N. Pool; *Inset bottom right*: Photo by David Grunfeld © 2006 The Times-Picayune.

タイトルページ *Satellite view of Hurricane Katrina*: courtesy of NASA, found at Visible Earth (<http://visibleearth.nasa.gov/>)

第2章 図-2.1, 2.4, 2.5: base photos courtesy of NASA, found at Visible Earth (<http://visibleearth.nasa.gov/>); 図-2.2: original public domain photo by FEMA edited, displayed, and delivered by IllinoisPhoto.com. The photographer and agencies that provided this photo, as well as any subjects depicted in this photo, are not endorsing any products, services, conclusions, or findings contained within this report; 図-2.3: courtesy of the University of Texas Libraries, The University of Texas at Austin; 図-2.7: The Dallas Morning News/Irwin Thompson.

第3章 図-3.1: courtesy of University of Wisconsin-CIMSS; 図-3.2: courtesy of Dr. Hassan Mashriqui, Louisiana State University Hurricane Center; 図-3.3: courtesy of National Oceanic & Atmospheric Administration; 図-3.4: courtesy of the Louisiana State University Hurricane Public Health Center; 図-3.5: courtesy of the U.S. Army Corps of Engineers Interagency Performance Evaluation Task Force.

第4章 図-4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5: courtesy of the U.S. Army Corps of Engineers Interagency Performance Evaluation Task Force.

第5章 図-5.1: courtesy of Don McCrosky, Entergy; 図-5.2: courtesy of Robert G. Traver, Ph.D., P.E., D.WRE, Associate Professor, Villanova University; 図-5.3: base photo courtesy of NASA, found at Visible Earth (<http://visibleearth.nasa.gov/>); 図-5.4, 5.5, 5.6, 5.7: courtesy of U.S. Army Corps of Engineers; 図-5.8, 5.10, 5.11: courtesy of the U.S. Army Corps of Engineers Interagency Performance Evaluation Task Force; 図-5.9: AP Photo/David J. Phillip.

第6章 図-6.1 上: John Pendency, St. Petersburg Times/WpN; 図-6.1 左下: Photo by Chris Granger © 2006 The Times-Picayune; 図-6.1 右下, 6.11 上: Photo by David Grunfeld © 2006 The Times-Picayune; 図-6.2: AP Photo/Bill Haber; 図-6.3: The Dallas Morning News/Smiley N. Pool; 図-6.4, 6.5 左: Robert G. Traver, Ph.D., P.E., D.WRE, Associate Professor, Villanova University; 図-6.5 右, 6.8 下, 6.12: Photo by Chris Granger © 2006 The Times-Picayune; 図-6.6 上: The Dallas Morning News/Tom Fox; 図-6.6 下: Photo by Eliot Kamenitz © 2006 The Times-Picayune; 図-6.7: U.S. Army Corps of Engineers Interagency Performance Evaluation Task Force; 図-6.8 上, と 6.10: Photo by John McCusker © 2006 The Times-Picayune; 図-6.9: Photo by Ellis Lucia © 2006 The Times-Picayune; 図-6.11 下: AP Photo/Dave Martin; 図-6.13: Photo by Bob Marshall © 2006 The Times-Picayune.

第7章 図-7.2, 7.6, 7.9, 7.11, and 7.12: U.S. Army Corps of Engineers Interagency Performance Evaluation Task Force.

第8章 図-8.1: Robert B. Gilbert, Ph.D., P.E., M.ASCE, ASCE/ERP; 図-8.2: Google Earth™ mapping

service; -8.3 : Peter G. Nicholson, Ph.D., P.E., F.ASCE, ASCE/ERP & University of Hawaii; -8.3 : Photograph by Joseph Wartman, Drexel University; -8.4: U.S. Army Corps of Engineers Interagency Performance Evaluation Task Force.

.....

米国土木学会
ニューオリンズ ハリケーン防御システム
どこをどうして失敗したか

2007 年 9 月

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

.....

本資料は、米国土木学会(ASCE)より日本語
訳版の発行に関する許可を得て、出版され
たものである。

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地
企画部研究評価・推進課
TEL 029-864-2675

