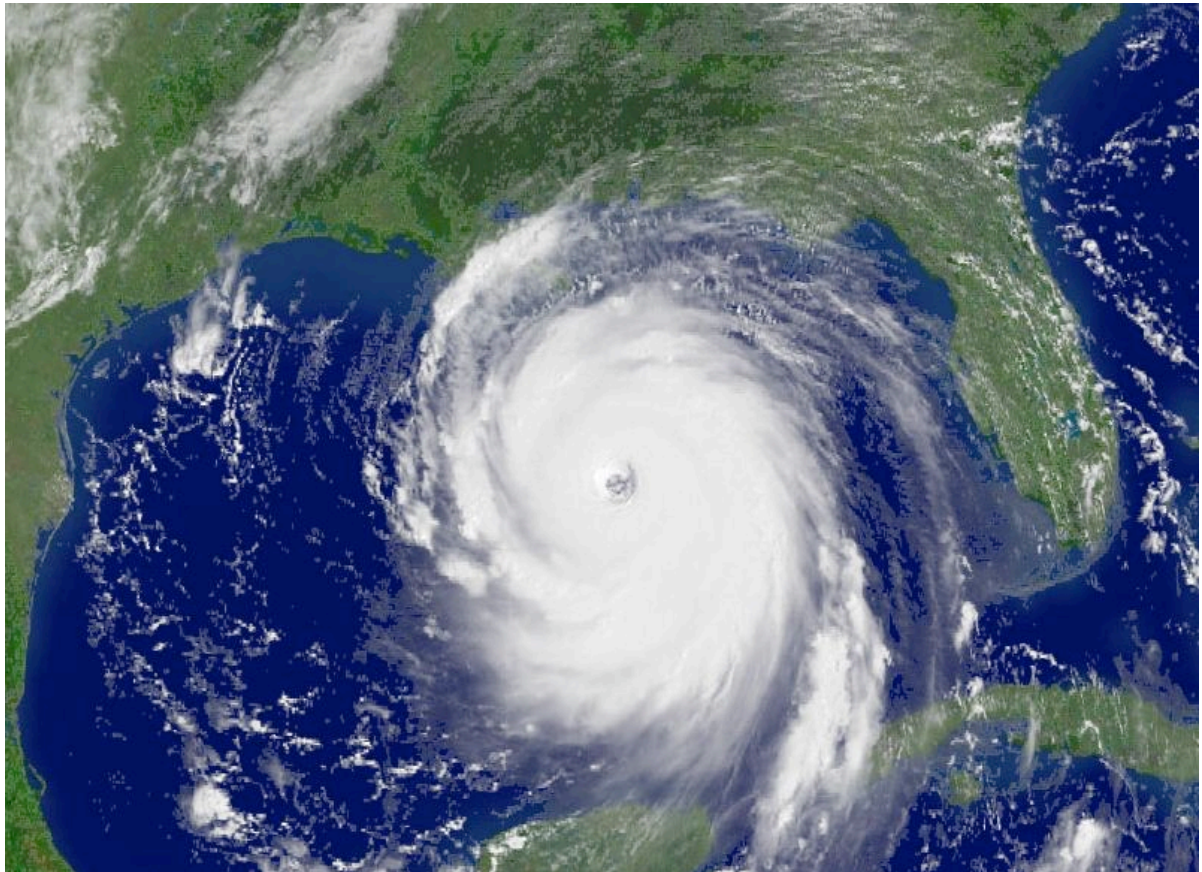


米国New Orleansにおけるハリケーン「Katrina」による 高潮災害とその教訓



<http://www.noaanews.noaa.gov/stories2005/images/katrina-08-28-2005-1545z.jpg>

2005.10.25

独立行政法人 土木研究所 ユネスコセンター設立推進本部

上席研究員 田中茂信

1. はじめに

10月2日から10月9日まで米国ASCEのCOPRI(Coasts, Oceans, Ports, Rivers Institute)チームの一員としてNew Orleansにおける高潮災害を調査する機会を得たのでその概要を報告する。今回の調査はNew OrleansにおけるASCEの調査として日本から1名参加が許されてその調査に加わったものである。

2. 現地の状況

出発の直前まで行程等の具体が決まらずCOPRIの団長とのメール交換の情報を信じて出発することになった。従って事前に知り得た情報は国土交通省からいただいたもの以外はインターネットの情報と団長の情報のみである。日本でNew Orleansの空港が使われているとの情報を得ていたが、団長からBaton RougeでCOPRIのメンバーは集合するようとの連絡がありそれに従った。Baton RougeからNew Orleansへはレンタカーで移動した。

New Orleansへ行ってみるとホテルもあまり営業しておらず調査チームも分かれて宿泊する事態となった。著者が宿泊するホテルでは食事をサービスしていなかったこととミーティングをミシシッピ川左岸にある工兵隊の事務所で行ったため、早朝から夜まで移動を繰り返していた。また、町中に多くの警察官が配置・巡回しており所々で検問をしている状況であり、工兵隊の先導がなければ入れない所もあった。さらに、最初の10月2日～4日は車も街路樹の処理や破堤箇所の関係の工事車両が主で一般車両が動いているのはあまり見られなかった。(写真-1) 5日の夕方にショッピングストアで買い物をすることができたが、24時間営業の店が営業時間を昼間の限られた時間に短縮し、かつ、客が一度にたくさん店内に入らないよう入り口で守衛が入場制限して営業していた。6日に初めて市内にバスが走っているのが見えた。

樹木処理関係者はマスクをして作業を行っていた。

各住宅にはFEMAが避難を確認した状況をペンキで書いてある。(写真-2)



写真-1 ひっそりとした住宅街と被災した街路樹



写真-2 FEMAが避難状況を確認した住宅

3. 調査概要

日米ともに破堤氾濫があった17th Street Canal, London Ave. Canal, Industrial Canalの3つに焦点が当てられているが、どのような高潮で何が起きたかの全貌を把握するため、破堤していない場所も痕跡等を調査した。

New Orleansのメキシコ湾における位置と周辺の地形を図- 1 に示す。

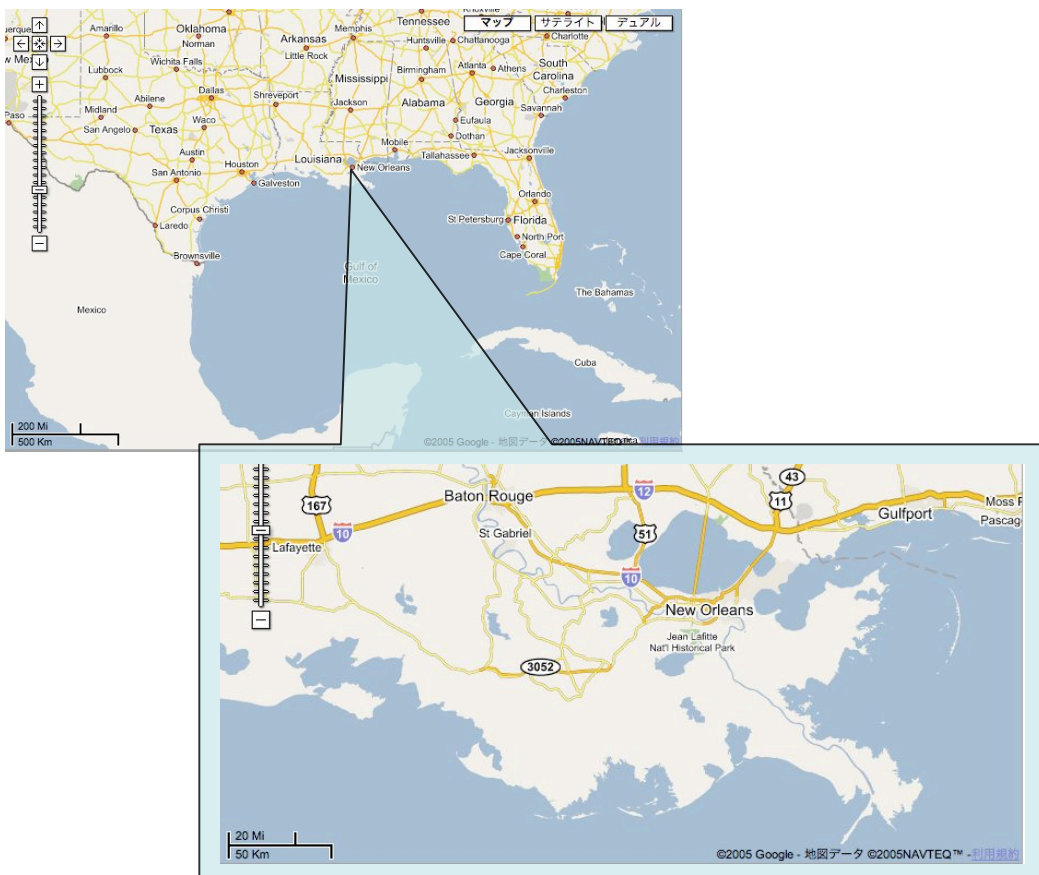


図-1 メキシコ湾におけるニューオーリンズの位置と周辺地形

図-2に今回調査を行った場所を示す。

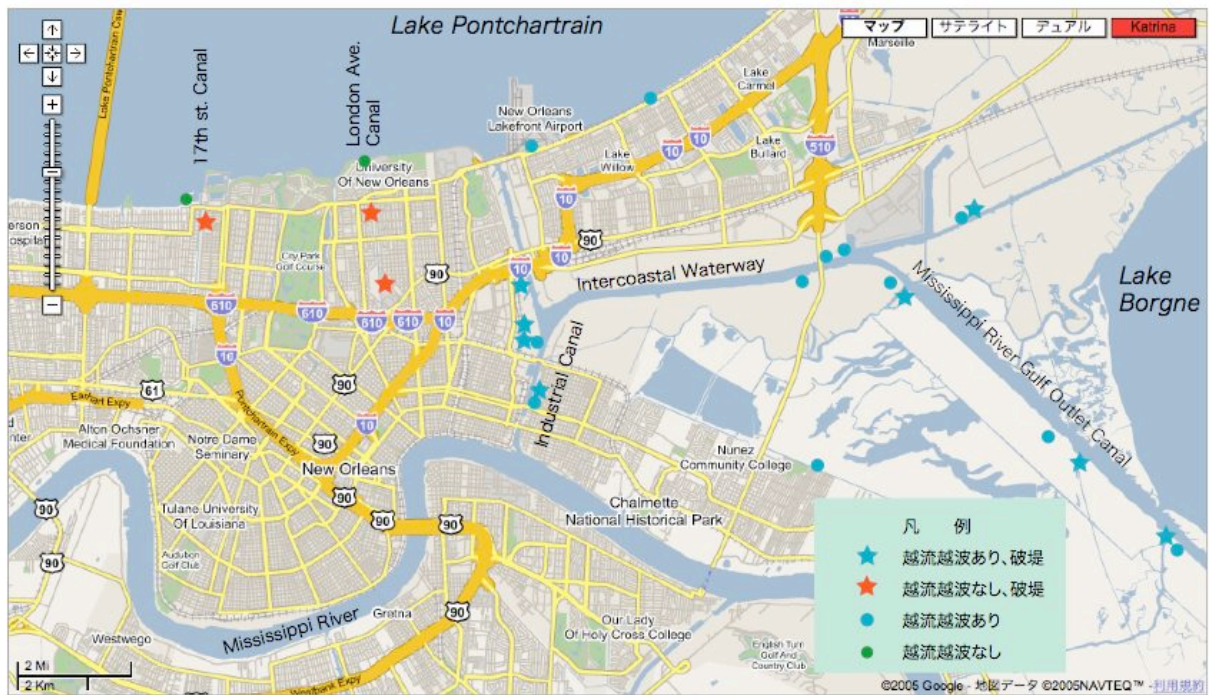


図-2 調査位置図

以下に、17th Street Canal, London Ave. Canal, Industrial Canal, New Orleans Lakefront Airport周辺および東の区域の順に概要を述べる。

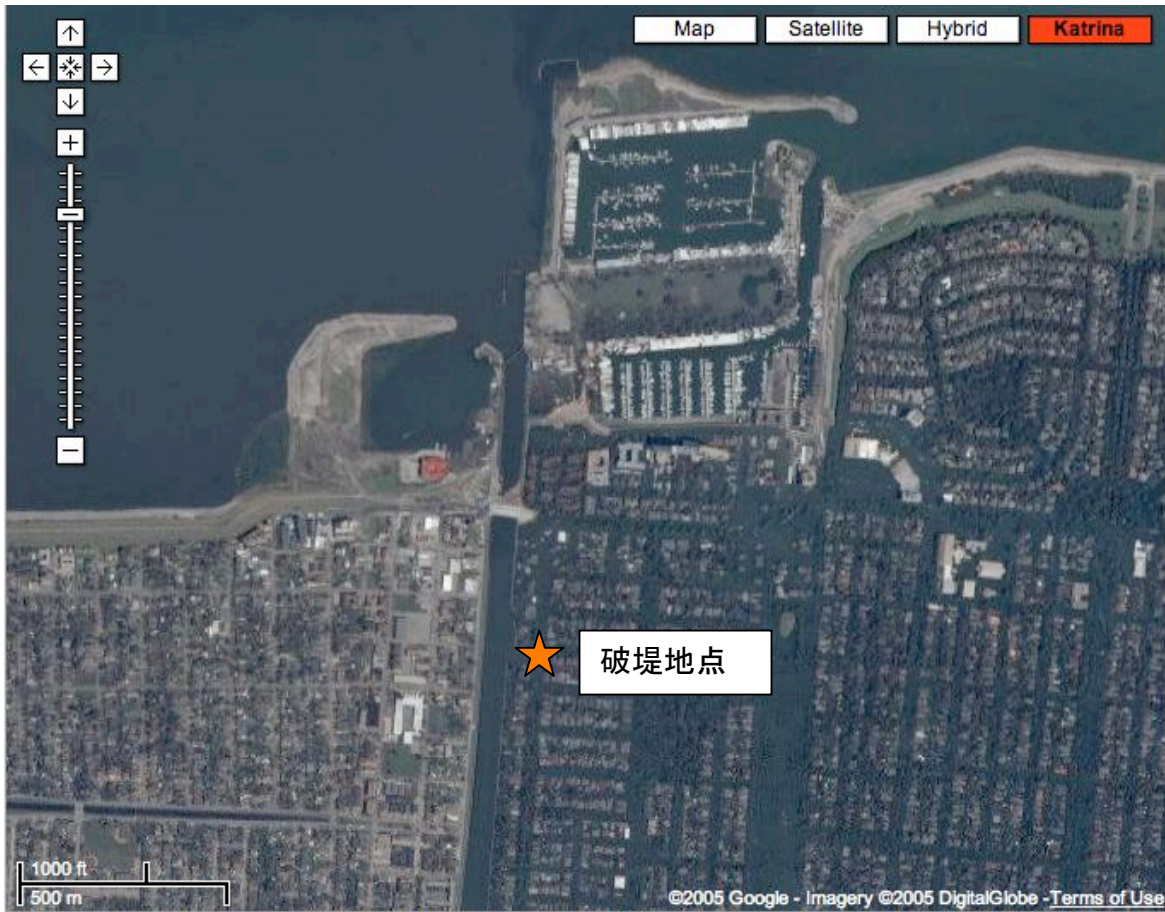
なお、本稿では方位を示していないが、地図や衛星写真は上が北である。

3.1 17th Street Canal

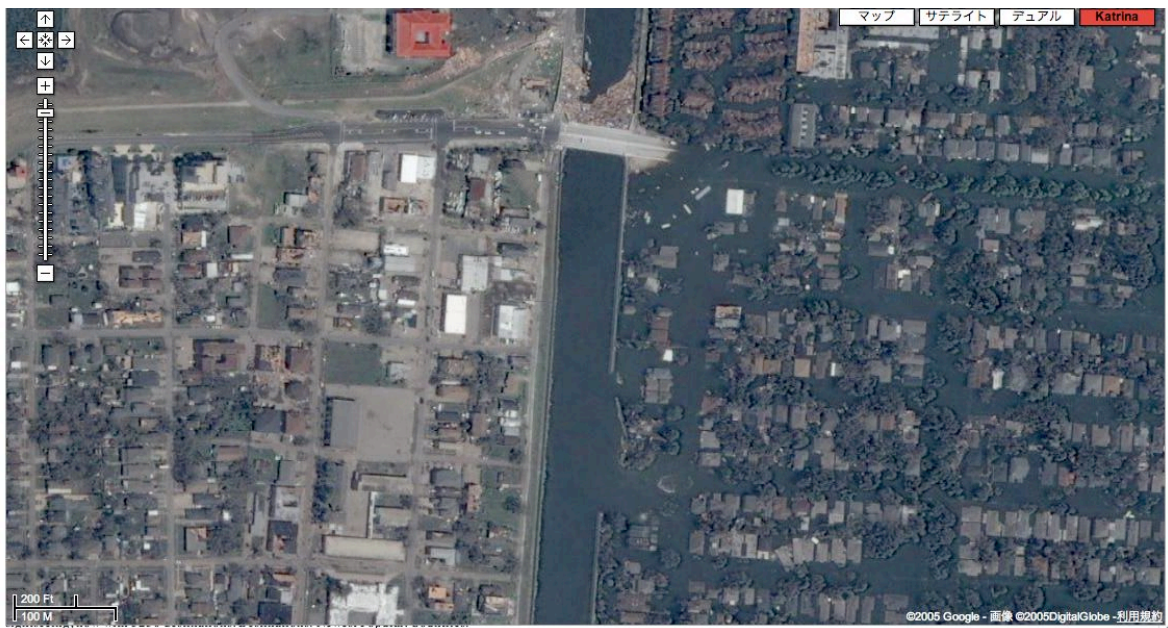
ポンチャートレイン湖に向かって右側（以下、右岸と呼ぶ）が破堤している。このため右岸側での氾濫は浸水深も大きく厳しい状況である。一方、左岸側は破堤していないが、雨水によるものと言われる浸水が発生し、多くの家から浸水後家財道具が出され、道路脇に積まれていた。なお、8月31日の衛星写真では浸水状況は確認できない。

破堤地点は法勾配も急で土堤の比高も小さくなく、低湿地であるなどの条件が重なっている。越流で破堤したとの報道があるが、周辺の踏査結果では越流は見られなかった。

破堤後の状況から判断すると、堤防肩にあったフェンスが堤防法尻よりはなれたところまで移動していることから越流洗掘で断面が欠落して破堤したのではなく、堤体が滑り破壊を起こして破壊したものと推定される。なお、低湿地の表層はピートが約1mあり、その下に弱い粘土が存在しており堤防の安定上は厳しい条件にある。また、堤外水位が非常に高いこともさらに悪条件を重ねている。



17th Street Canalの西側は破堤による浸水はしていない。8月31日撮影のこの画像では乾いている。



この画像では堤防が建ったまま東に移動しているのがみえる。



左右岸のFloodwallの高さはほぼ同じである。10月3日時点の仮締め切りの高さは非常に低い。



フェンスの建っている土塊は元の堤防位置から10m余移動している。また、元ののり尻付近が盛り上がったようになっている。



ピートがあり、その下に粘土がある。



周辺には越波越流の痕跡はみられない。

3.2 London Ave. Canal

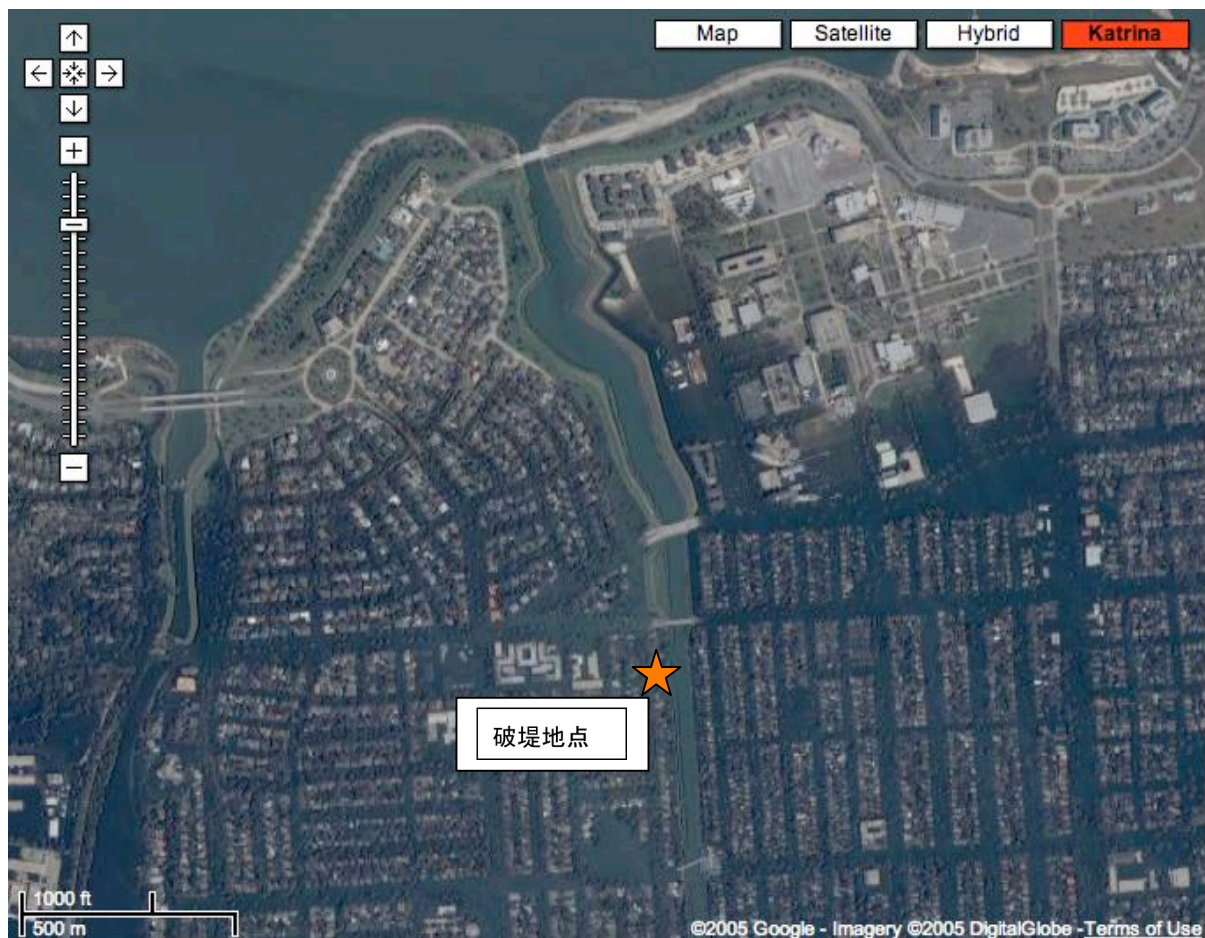
(London Ave. Canal 北側)

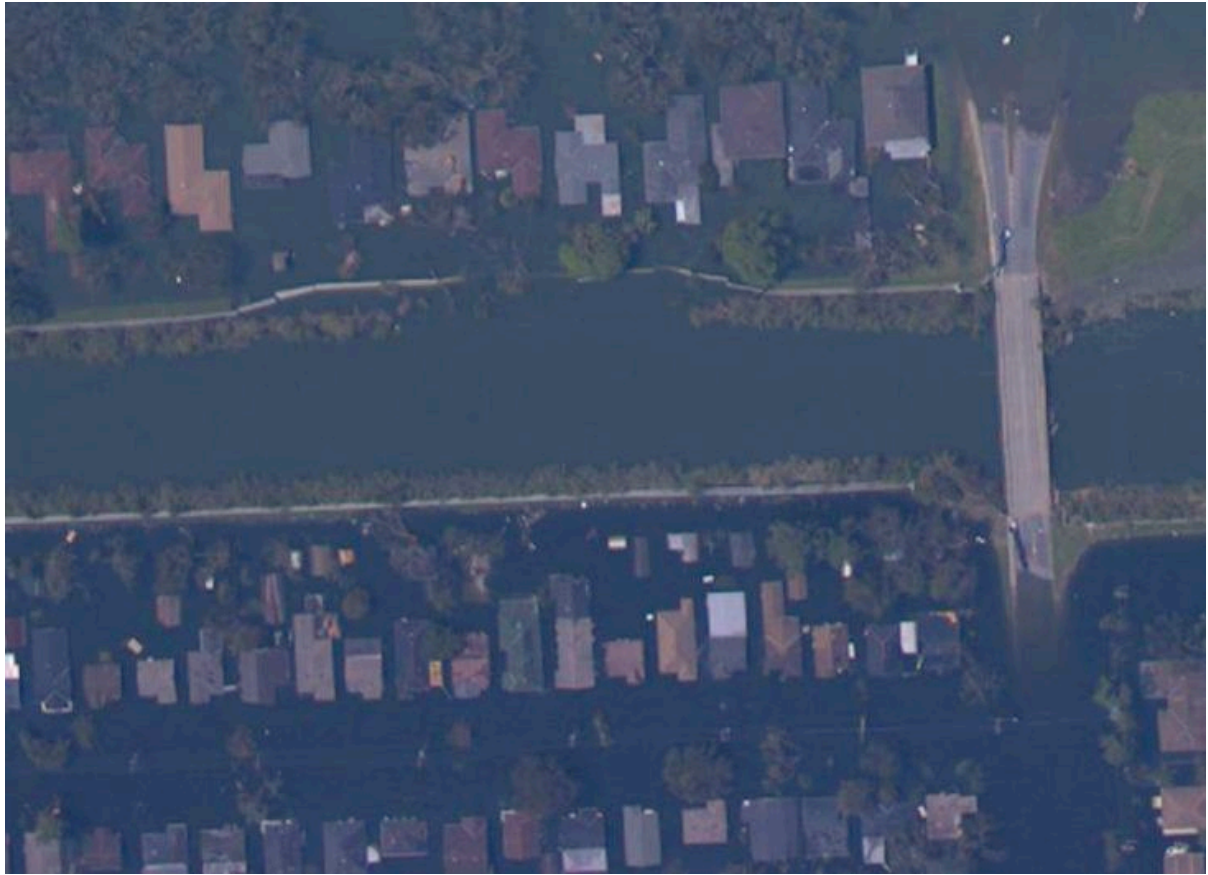
London Ave. Canalには北側左岸のポンチャートレイン湖に近い方と南側右岸の2カ所の破堤地点がある。一部に越流で破堤したとの報道があるが、London Ave. Canalでも越流の根拠となるものは確認されていない。

北側の破堤地点では一部に矢板が2重に打たれていたが、全く独立しており2重に打っている意味がよくわからないものである。破堤地点から大量の砂が堤内側に流入していた。また、破堤地点の松は枯れていた。構造は矢板の上にI型のコンクリート壁が載っているタイプである。仮締め切り下部からは相当量の漏水がみられる。

破堤地点対岸の堤防の裏にはI型コンクリート壁から30cm～50cmはなれた所を中心に陥没が生じており、I型コンクリート壁が堤内側に少し傾いていた。外水位が高いので陥没孔の土堤天端下40cm程度の所に水面があった。法尻付近にガマが2カ所あった。1カ所は砂の噴出があり、もう一カ所の堤防から少し離れているものは膨らんでいるだけだった。陥没孔の堤外側にも幅50cm程度の水面が現れていた。

また、写真に示すように、I型コンクリート壁と接続する矢板部分および橋は一連の防御壁になっておらず橋の部分が最も低くなっており、水位が上昇すればまず橋で越流しそれが両側の堤内地へ流れる状況になっている。





8月31日撮影の衛星画像(NOAA)。Floodwallが堤内側に移動または傾倒している。







Floodwallの前面に水面に少しだけ矢板が顔を出している。



橋が一番低く、取り付け、矢板、Flood wallの順に高くなっている。





土堤の天端幅は狭い。



プール横にガマがみえる。右の写真では膨らんでいるのがみえる。



Floodwallの外側に幅0.5～1 mの水面ができていた。



右の写真は陥没のみられる部分を上から見たものであるが、外側の水面はfloodwallに沿ってつながっている。

(London Ave. Canal 南側)

London Ave. Canalの南側の破堤地点は北側より規模が大きく、かなり大量の砂の流入をもたらしており、広い範囲に砂の堆積が見られた。破堤部の堤体の体積にくらべて遥かに多いと思われる。また、破堤地点直近の家が押し流され道路の中程に位置していた。破堤地点前後の堤防には変形が見られなかった。また、仮締め切りは下部に大きな礫を用いているため相当量の漏水が見られる。

対岸のFlood wallおよび堤防には変状は見られなかった。



17th Street CanalおよびLondon Ave. Canal北側の破堤地点より仮締め切りの高さが高い。なお、10月7日時点では17th Street Canalもほぼ同じ高さまで盛ってあった。



堆積した砂は細かい。



この土台の所から道路まで流された家屋。



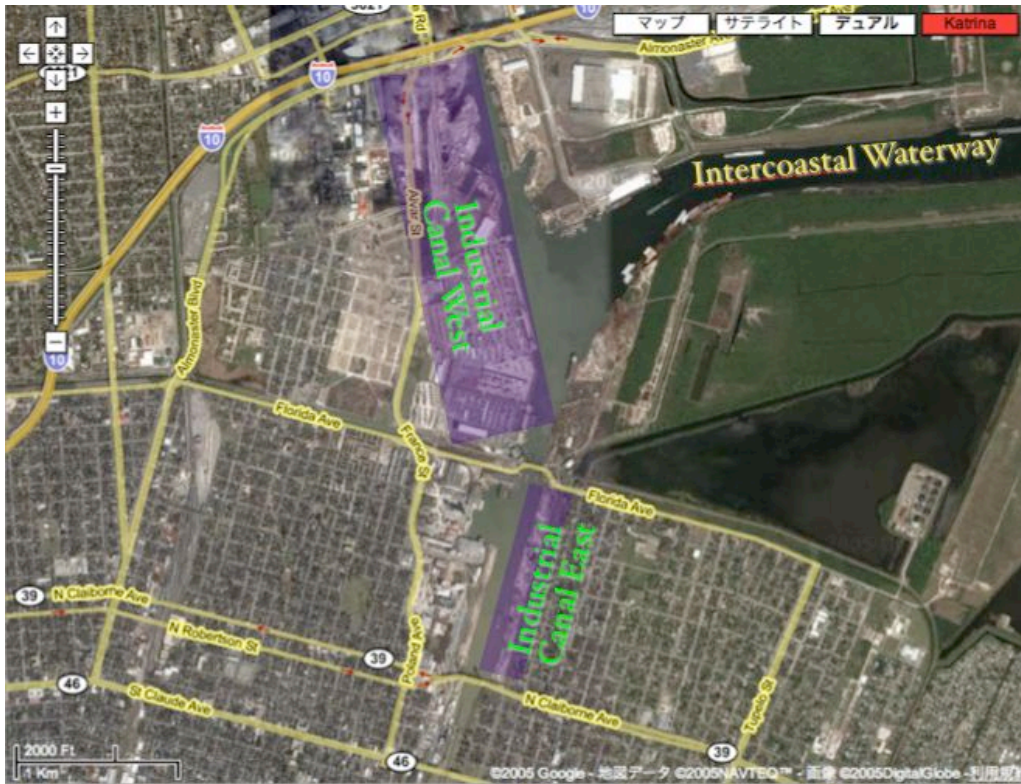
大量の砂の堆積が広い範囲に見える。



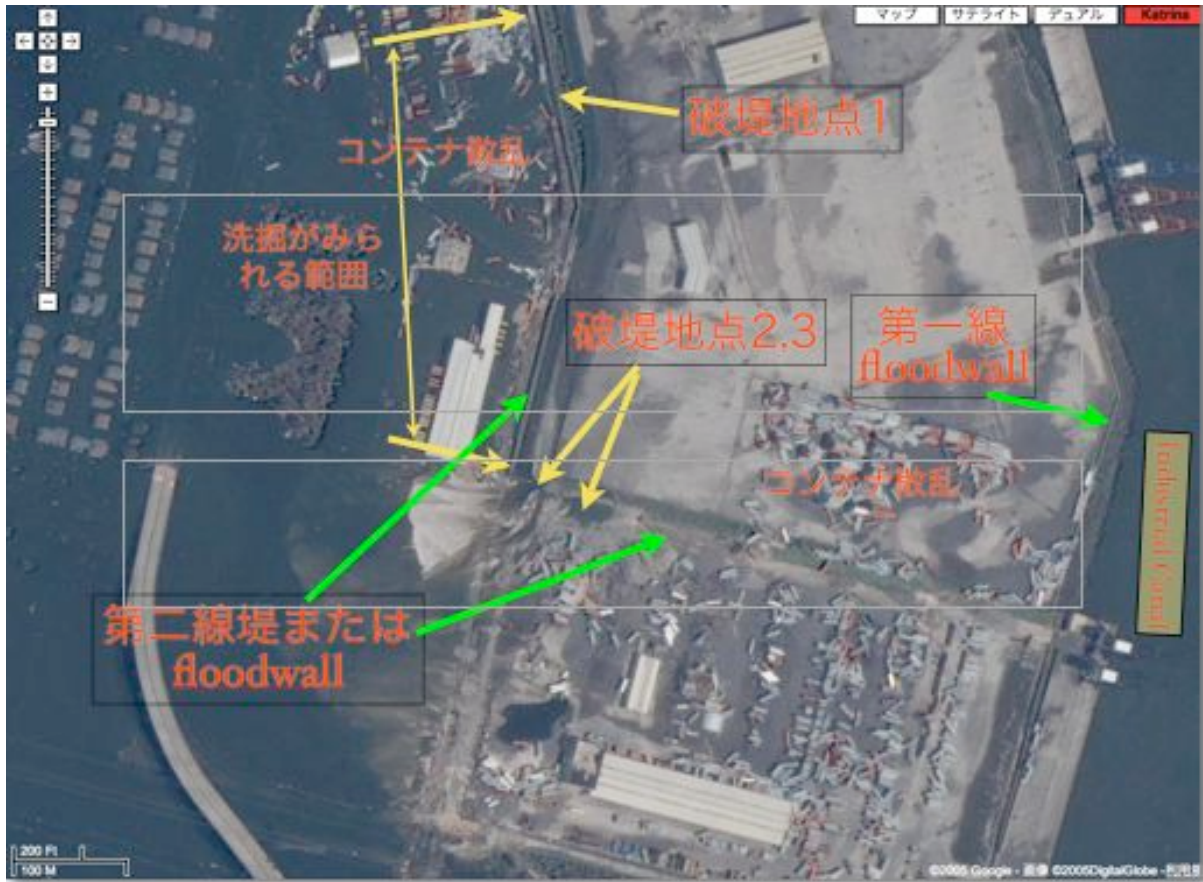
破堤地点対岸の堤防。

3.3 Industrial Canal

Industrial Canalの破堤は東西両側で発生している。この地区では広範囲で越流している。東側は運河に面した施設であり、西側は港湾施設の背後にある二線堤で3カ所破堤している。



(Industrial Canal西側)



Industrial Canalの西側の破堤地点は4カ所あるが、南側に3カ所あり、コンテナの移動など被害が大規模である。また、ここから侵入した水は17th Street CanalやLondon Ave. Canalからの氾濫水と区分されない。

港湾のコンテナヤードの標高が比較的高く、堤内地がまだ浸水しているにもかかわらず氾濫水はみられない。二線堤は盛土部分が小規模またはみられず、矢板の上にI型のfloodwallが載る構造になっている。越流による洗掘がfloodwallの背後に溝状に見られるが、floodwallの背後が洗掘されていて破堤しているのは破堤地点1の1カ所である。他は土堤部分および道路とコンクリートのfloodwallの接続部で破堤している（破堤地点2および3）。



破堤地点1 Floodwall破堤部の堤外側。



破堤地点1 破堤部の応急復旧状況。



破堤部周辺の堤内側洗掘状況



破堤部付近で洗掘等により転倒した貨車



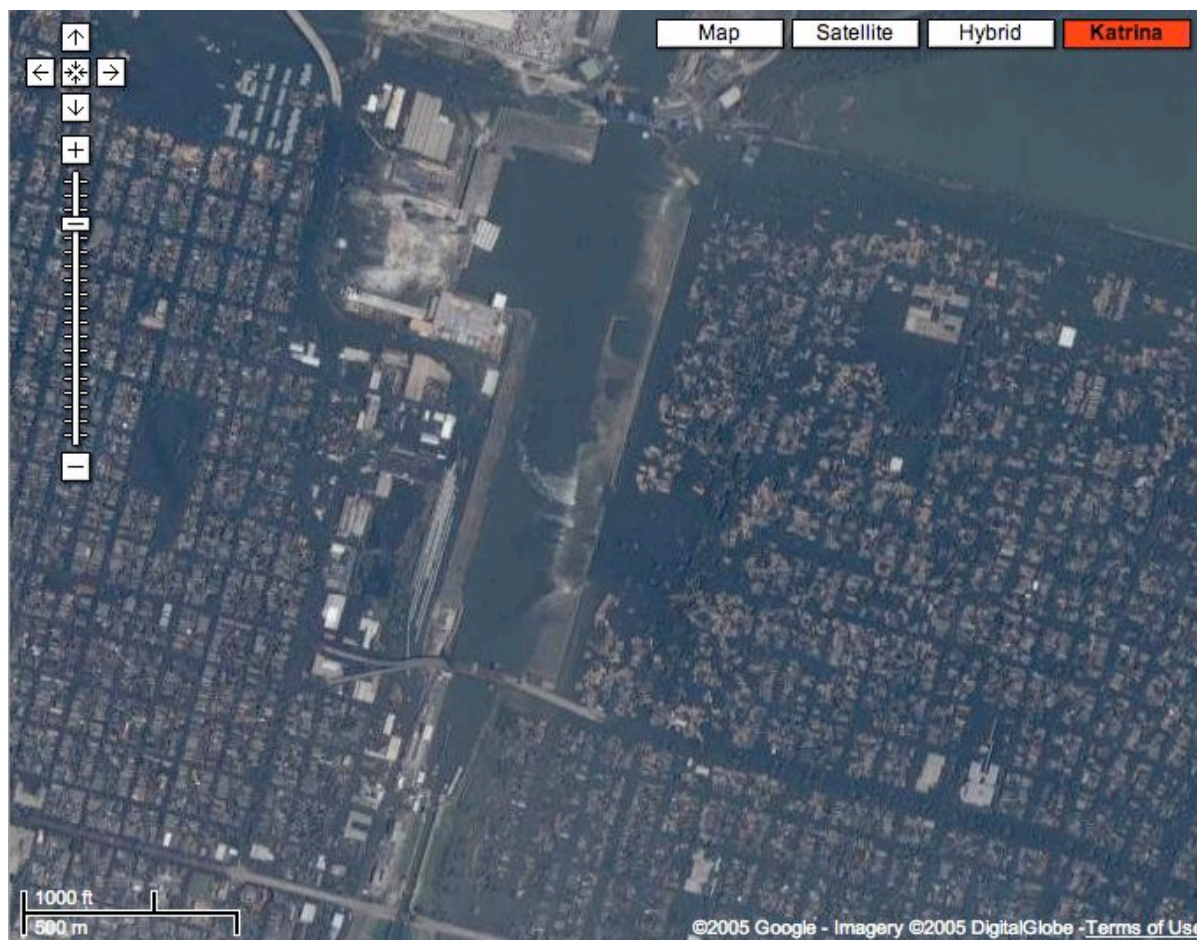
破堤地点2 コンクリートのfloodwallとそれより低かった道路との接続部の破堤状況

(Industrial Canal東側)

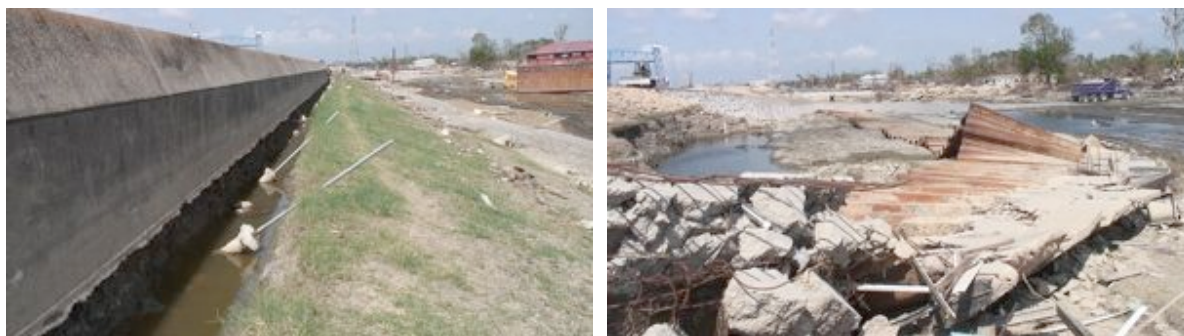
Industrial Canalの東側の破堤地点は2カ所あるが、南側のものが大規模である。北側のものは現地へのアクセス道路がまだ水没していたため行けなかった。

南側の破堤地点はこれまで述べてきたものに比べかなり大規模である。矢板の上にI型のコンクリート壁が載っているのは同じであるが、これがまるで水圧で倒されたようになっていた。また、残っている破堤地点前後のFlood wallの堤内側には越流により洗掘されたとみられる溝が一様にみられた。この破堤地点の堤内側少し南側にバージがみられた。これはGoogle mapsでも確認できる。なお、Google mapsでみられる8月31日時点の映像には南側の破堤地点のほぼ中央にまだFlood wallがみえるので、破堤は中央からではなく2カ所で発生し、後に連続したものとみられる。この破堤地点の堤内側の多くの住居が流失している。

破堤により破壊されたFlood wallは矢板とI型コンクリート壁が接続したままで屏風を倒したような形態で堤内地側に横たわっている。I型コンクリート壁下端から矢板の下端までの長さは15ft(4.5m)である。



運河東側に2カ所氾濫水が運河へ戻っている状況が見える。また、南側の破堤地点のすぐ南側にバージが見える。また、破堤地点の堤内側の多くの住居が流失しているのがわかる。



I型Floodwallの背後が洗掘されている。フェンスの支柱が所々に残っている。





住居がことごとく流失し基礎だけが残っている。

3.4 New Orleans Lakefront Airport周辺



中央左下、鉄道の南側に白く見えるのが越流した高潮で線路の堤内側の堤防が欠けて堆積した砂である。高架橋を挟んで北側にfloodwallがほぼ直角に曲がっているのが見える。



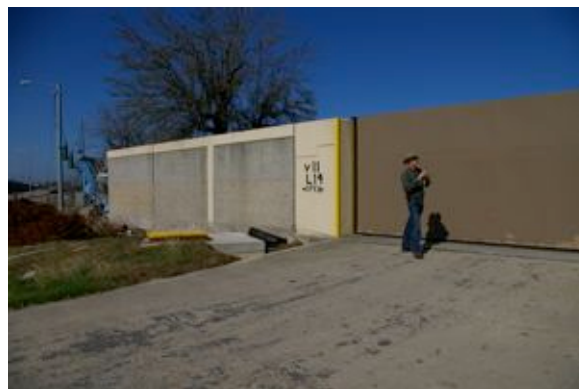
このfloodwall背後の洗掘状況。



Floodwall背後の洗掘状況。



Floodwallの上に流木が乗っている。



線路背後のfloodwallまで漂流してきたタンク、コンテナ。





コンテナの近くでfloodwallに残されたごみ。堤内地側は洗掘されていない。

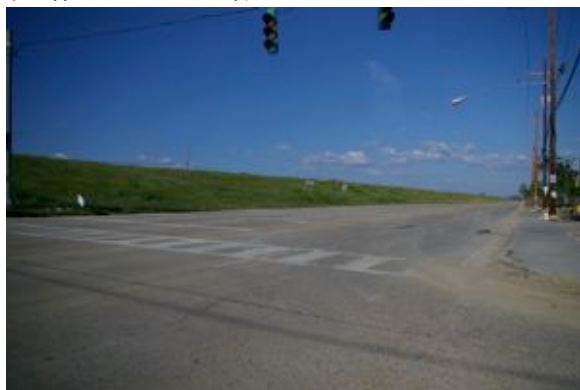
空港より東側は鉄道の陸側に堤防が有り、湖岸から順に捨て石、複線の鉄道、堤防、道路、住宅というようになっている。



線路はほとんど傷んでいない。



越流があったと考えられる天端



空港からさらに東側にポンプ排水の水路がある。このような構造でうまく機能するのであれば、Industrial Canal以外は橋桁のクリアランスが小さく船舶の航行ができない構造になっているので、こういう形への転換も一案である。



ポンプ排水の放水口。



堤防中心に設けられた樋管ゲートとその背後の道路を隔てて設置しているポンプ場



ポンプ場につながる水路。Floodwallはない。

3.5 Intercoastal WaterwayおよびMississippi River Gulf Outlet Canal沿岸



この節の説明に図中の番号を引用している。

この図に示した位置1の地点で高潮が越流して堤防裏法面を洗っている写真が近くの企業のCCTVで撮影されている。



ASCEより

Industrial Canalに接続して東のBorgne湖に接続する幅広いIntercoastal WaterwayとMississippi River Gulf Outlet Canalの南側に一連の堤防とゲートがある。NASAのヤードに近いゲートの部分から（位置4）ボートに乗って被災地点に向かった。

乗船地点に行くまでに、バージがfloodwallに横付けになっているもの（位置3）、コンクリートバージが堤防法面に乗り上げているもの（位置4）がみられた。なお、この区間は堤防を越流しているものの草で覆われた堤体には変状はほとんど見られなかった。この理由の一つとして堤外側に木の林があることも影響していると思われる。

乗船地点のゲートすぐ西側に打ち上げられたバージは迫力がある。ゲート上面の高さが16.93ftであるので、それと同じ高さのコンクリート壁の上に吃水数ftのバージがまさに越そうとする位に乗りかかっている。（空のバージなので吃水は2ft位ではないかといわれている）これだけのものが運河側から乗りかかっても壊れないfloodwallなのに他の部分でこれが壊れているので比較してみる必要がある。

乗船後、ボートから見ると所々で堤防上部が欠けているのが見られた。また、堤防を越えてバージが中に入っている所も見られた。背後地はNational Geographics誌の2004年版の写真に見られるような湿地帯に枯れた林が広がる。土地の広さは十分にあり、一見してどうして矢板を用いているのか理由が分からないが所々に矢板が堤防上部に顔を出しているのがみられた。

矢板が堤防のセンターに打ち込まれているところがあり、矢板の部分で破堤しているものがある。かなり遠くまで砂の堆積が見られるところがあった。ここでも矢板の高さと堤防の高さは同じではない。また、なぜか、倒れかかっている矢板の上面の高さが不均一になっており、何が原因でこうなるのか見当がつかない。パイプラインが通っているCanalに接した被災箇所（位置5）では矢板は堤外側に傾いている。

位置6のゲートの上に操作小屋が載っており、その中に発電機が備え付けられていたがそれがもぎ取られていた。その小屋の窓の上段まで高潮および波浪が来たと考えられる痕跡があった。ゲートの上面は16.93ftであるとのことであったので、22ft位の高さまで来たことになる。



ゲートの部分が少し低いため洗掘が大きくなっている。バージの先端が当たったところはコンクリートが一部欠けている。（位置3）



（位置3と4の間）



（位置4）Floodwallに乗ったバージ。



コンクリートI型floodwallの背面が洗掘されているにもかかわらず、バージの乗り上げに抗して倒れてはいない。（位置4）



（位置4）



（位置4）



（位置4） 矢板が決壊。



（位置4）



（位置4と5の間）



（位置4と5の間）



(位置5) 矢板の高さがバラバラになっている。



(位置5) 背後にPipeline Canalがみえる。



(位置5)



(位置5)



(位置6)



(位置6)



(位置6) もぎ取られた緑色の発電機。



(位置6)

4. おわりに

今回の調査ではASCEのCOPRIチームの一員として現場を見ることになっていたが、現地入りしてからASCEのGEO instituteのメンバーおよびNSFのメンバーとともに工兵隊の案内で現地を見ることになり、5～7台の車で移動した。基本的にCOPRIのメンバーは団長の運転で移動した。

今回の調査で気づいたことをまとめると以下の通りである。

- ・ 17th Street CanalとLondon Ave. Canalは越流無しで破堤している。
- ・ 原因は特定できないが、土塊の横移動がみられる。
- ・ Industrial Canal, Intercoastal Waterway, Mississippi River Gulf Outlet Canalでは施設規模を超える高潮に遭遇している。
- ・ 高潮防御の第一線となる構造物の高さがまちまちであり、越流している場合は低い部分の背後の洗掘が大きく、破堤に至っているものもある。特に土堤が最も低い場合は接続部が弱点となりやすい。
- ・ どこから水が入っても広範囲に広がる一連の市街地となっている。

さて、今回の調査で見聞きしたことをわが国に照らしてわが国の津波高潮対策の教訓となるべき事項を考えてみたい。

- ・ 計画規模を超える高潮が発生する可能性がないわけではない。
- ・ 基礎が十分でない施設において、潮位が高くなったときに不安定となる可能性の検証が必要である。
- ・ 万が一、越流が起きる場合には堤防高の不整合により特定の場所に集中し、のり面破壊や洗掘等を起こす可能性があるかもしれない。計画の整合がとれている場合、低い部分は古い施設の可能性がある。
- ・ 高潮堤防を特殊堤や天端幅の狭い堤防で守っている場合、何らかの原因で破堤、浸水すると復旧や救援用の車両がたどり着けず、復旧に長期間を要する。
- ・ 海や大河川に面した所以外も水でつながっていれば要注意。
- ・ 漂流物が大規模化しておりその外力の作用を考慮する必要がある。
- ・ 一カ所からの水の侵入で大規模に浸水しない工夫が必要である。
- ・ 日常の維持管理と訓練の充実。

計画を超える外力や思いもしないことが発生してゼロメートル地帯が大規模に浸水し、壊滅的な被害を受けることだけは避ける工夫が必要である。万が一の場合に大規模かつ壊滅的な被害が予想されるゼロメートル地帯について、今一度、早急に危機管理上問題はないか点検・検証が必要である。