

沿岸防災技術研究所の活動について

高山 知司*

* (一財) 沿岸技術研究センター 参与 沿岸防災技術研究所長

沿岸技術研究センターは沿岸防災技術研究所を平成 17 年 12 月に設立した。沿岸防災技術研究所では総合的な沿岸防災技術について、調査研究を進めるとともに、セミナーやワークショップを開催するなど沿岸防災に係わる新しい情報の発信に取り組んできている。本稿では平成 24 年度における沿岸防災研究所の取り組みを紹介する。
キーワード: 東日本大震災, 粘り強さ, 被災メカニズム, ハリケーンサンディ, CDIT-KIOST 合同ワークショップ, 国際沿岸防災ワークショップ, 書籍「TSUNAMI」, 絵本「津波は怖い！」

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に東日本大震災が発生してから 2 年半が経ち、被災したインフラ構造物は復旧が進んできている。津波によって大きく被災した八戸港や相馬港の防波堤、更に、釜石湾や大船渡湾の湾口防波堤等は順調に復旧がなされている。しかしながら、大きく町全体が被災したような地域では新たなまちづくりの計画が順調に進んでいるようには見えない。被災地の復興はまだまだのようである。

東日本大震災を起こした、1,000 年に 1 回といわれるような M=9 クラスの地震による津波を最大クラスの津波(レベル 2 津波)と呼び、今まで設計対象にしていた 100 年から 200 年に 1 回といわれる M=8~8.5 クラスの津波を発生頻度の高い津波(レベル 1 津波)と呼んで、構造物で防護するのはレベル 1 津波で、レベル 2 津波については避難で対応するとしている。つまり、防護はレベル 1 津波に対してであり、レベル 2 津波に対しては減災である。ただし、津波防護施設が崩壊すると被害が急激に拡大するために、越流やある程度の変形は許容するが、崩壊しないような「粘り強さ」が津波防護施設に求められるようになった。粘り強さを付加する補強対策がいくつか提案されてきているが、津波の越流や浸透流に起因する現象が防波堤や防潮堤の安定性にどのような影響を与えるかについて不明な点が多く、まだ、確立した対策とはなっていない。

2012 年 8 月に内閣府は南海トラフ沿いの最大級津波として、東日本大震災を起こした地震津波に相当する地震津波断層モデルを発表した。そこでは、2011 年の東北地方太平洋沖地震や世界の巨大地震の特徴を踏まえて、大すべり域や超大すべり域を持つ最大クラスの津波断層モデルを設定している。この断層は駿河湾から日向灘までの広い範囲にわたると共に、南海トラフ沿いまで超大すべり量となっている。その結果、これに伴う津波は 2003 年に発表された東海・東南海・南海

の 3 連動地震による津波より大きく、場所によっては 1.5 倍以上の津波となっている。

このようなレベル 2 津波のモデルが提案されたために、大きな津波が来襲する可能性がある港においては第一線の防波堤が崩壊することが心配された。特に、被災後に緊急物資を搬入しなければならない港においては、防波堤の被災は船舶の係留を困難にし、物資が搬入できない可能性が高くなる。そこで、防波堤を粘り強くさせる補強対策を導入することが検討されるようになってきている。しかしながら、既に粘り強さのための補強対策があたかも技術的に確立しているかのような形で進められているように感じる。十分な技術的検討をしないままに、安易に粘り強さのための補強対策を行うと将来に問題を残すのではないかと危惧している。そこで、東日本大震災における防潮堤や防波堤の被災メカニズムの追及を通して、粘り強さに関してどのような研究がなされているか、最近の土木学会論文集 B2(海岸工学)と B3(海洋開発)に掲載された論文をもとに調べてみたので、その概要を報告する。

また、2012 年 10 月 29 日にハリケーン・サンディ(Hurricane Sandy)がニュージャージー州南部に上陸し、ニューヨーク州とニュージャージー州を中心にして高潮・高波による大きな災害をもたらした。この災害は大都市における典型的な高潮・高波災害となった。そこで、当沿岸技術研究センターは(独)港湾空港技術研究所と協力して調査団を結成し、現地に派遣して、被災状況の調査を行った。この調査結果についても報告する。

更に、沿岸防災技術研究所の平成 24 年度において取り組んだ調査等について紹介する。

2. 津波による構造物の被災メカニズムと粘り強さ化の研究

2.1 越流津波による防波堤背後のマウンドの

洗掘と支持力の低下

東日本大震災において八戸港の北防波堤中央部のケーソンは図-1 に示すように大きく滑動破壊した。この原因として津波波力が主要な原因であると考えられたが、それだけでは説明できないケーソンもあった。滑動したケーソンを背後調べてみると、大きくマウンドが洗掘されていることがわかった。この洗掘が防波堤を越流した津波によって引き起こされ、ケーソンの滑動を助長したのではないかと考えられたが、このような現象は今まで経験したことがなく、模型実験による検討の必要性が叫ばれた。



図-1 八戸港北防波堤中央部の被災状況

(独) 港湾空港技術研究所では、越流津波による洗掘現象とそれに伴う地盤支持力の低下を調べるために遠心模型実験を開始した。越流津波による洗掘には、越流する津波の影響だけではなく、防波堤前後の水位差による捨石マウンドの浸透流によって生じる動水勾配で捨石が動きやすくなることが考えられるために、浸透流のみの影響を検討する場合と津波の越流も考慮する場合の2つに分けて実験を行っている。

高橋ら¹⁾は、防波堤の捨石マウンド内における津波浸透流に関して、模型縮尺 1/50 で模型実験を遠心加速度 50g 場にて実施した。捨石マウンド内の過剰間隙水圧を測定し、有限要素法解析 (FEM 解析) で遠心模型実験結果の再現を測った。その結果、FEM 解析で過剰間隙水圧分布の再現が可能であることがわかった。そこで、図-2 に示すように堤体前面の捨石面から水位差に対応した水圧で浸透流を発生させ、その状態でケーソン中央部に水平荷重を作用させ、捨石マウンドが破壊状態に至るまで水平荷重を増加させた。また、浸透流を作用させない場合には、揚圧力に相当する力をケーソンに別途与えて浸透流による支持力低減効果がわかるようにした。その結果が図-3 である。10m の水位差 (98kN/m²) で 26% の支持力低下が見られ、浸透流による支持力低下は 17% (2 割弱) であった。押さえ盛土がある場合、高さがわずかに

2m であっても浸透力の有無に係わらず、支持力が大きく増加していた。

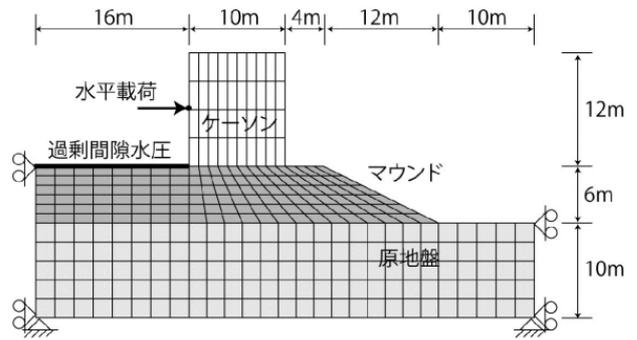


図-2 有限要素メッシュ

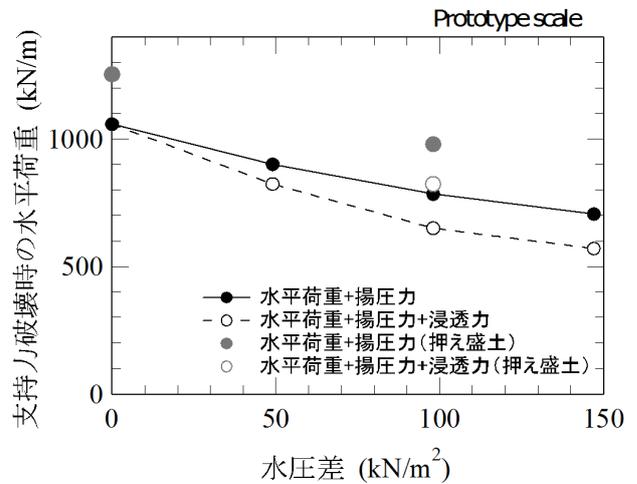


図-3 防波堤前後の水位差と支持力の関係

一方、佐々ら²⁾は、高橋らと同じ遠心載荷実験装置を用いて、越流津波による捨石マウンドの洗掘に及ぼす浸透流の影響について調べている。図-4 は、越流津波によって生じた最大洗掘深の形状を浸透流の有無で比較したものである。最大洗掘深さについては、浸透流の有無によらず同じである。これは、最大洗掘深さがマウンド法肩部から離れた、動水勾配が小さい箇所にかかるため、越流津波による水叩きが支配的な外力になるためである。浸透流による動水勾配の影響が強い法肩部においては、浸透なしの場合には、堤体背面から 1.7m も法肩が残っているのに対して、浸透ありでは、法肩が消失しており、浸透流で洗掘が助長されているのがわかる。このことをさらに判りやすく示したのが図-5 である。図-5 は、横軸に越流作用時間を取り、縦軸に堤体側の洗掘フロントの位置を示している。この図でわかるように洗掘され始めた時の洗掘フロントは浸透流の有無に関係なく同じ位置にあるが、洗掘が進むにつれて、堤体に近づき、最後には堤体に達して、吸出しが発生し、堤体の下に空洞ができる。



(a) 浸透流あり (b) 浸透流なし

図-4 最大洗掘深さの形状

一方、浸透流がないと、洗掘フロントは遅れて堤体に近づくが、途中で移動は止まり、それ以上は進まなくなっている。

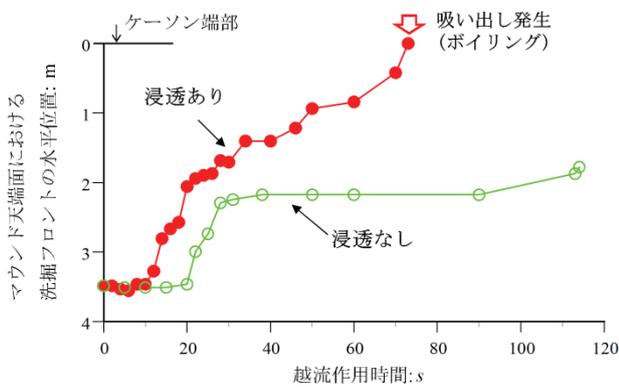


図-5 津波浸透有り無しの場合の洗掘後端部の移動過程の比較

このような洗掘が堤体の安定性にどのように影響するか、また、洗掘量に影響する堤体前後の津波の水位差などの要素との関係など今後明らかにしなければならない課題が多いが、今後の研究に期待したい。

2.2 三面張り防潮堤の被災メカニズムと対策

東日本大震災においては非常に多くの防潮堤が被災した。特に、宮古市田老町の津波対策用防潮堤は、日本の万里の長城といわれていたが、東日本大震災では15mの津波の来襲によって二重防護の海側の防潮堤は大きな被害を被った。この防潮堤は三面コンクリート張りであったが、図-6 のように被災した。これ以外でも、多くの三面張りの防潮堤が被災している。

コンクリートによる三面張りの防潮堤は津波の越流に対しても強いと考えられていたが、比較的もろく、三面張りのコンクリート板がめくりとられて、中詰の土が吸い出されていた。そこで、このような被災のメカニズムを調べるために、多くの水理模型実験や数値計算が行

われた。その結果、三面張りの防潮堤の被災のメカニズムが明らかになって、以下に示すような現象が主たる原因と考えられている。

- ① 越流津波が背面の法尻を洗掘することによって背面法尻部のコンクリート版が剥がれ、中詰材が吸い出されて崩壊してゆく。
- ② 防潮堤の天端と裏法面との隅角部で流線が大きく湾曲するために遠心力がコンクリート版を剥がすように作用する。
- ③ コンクリート版の隙間から侵入した津波によって防潮堤内の空気が圧縮され、その空気圧によってコンクリート版が押し上げられる。

①については加藤ほか³⁾が現地調査から図-7 のような崩壊を明らかにしている。また、裏法尻の洗掘に関して鳩貝ら⁴⁾は模型縮尺 1/25 で水理模型実験を行い、裏法勾配を緩くすることによって洗掘深が小さくなることを示している。



図-6 田老町の防潮堤の崩壊

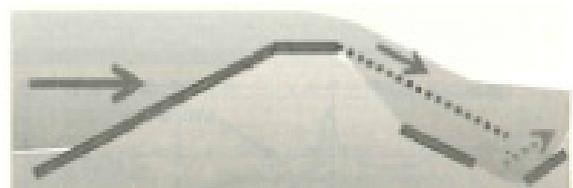


図-7 法尻の洗掘による裏法面の崩壊

②と③については、中尾ほか⁵⁾が津波の越流による

海岸堤防の破壊に関する模型実験を実施して、これらの現象を明らかにしている。堤防内部の空気層を大気に解放する対策は空気圧の上昇に対しては有効であるが他の破壊モードとの関連を明らかにしておくことが重要であるとしている。また、遠心力については、天端法肩において強い流れを発生させないように、二重堤にして堤間に越流水を貯めるのも一つの対策として提案している。

小竹・磯部⁶⁾は海岸堤防の裏面に作用する津波による波圧を水理模型実験で検討しており、ここでは、中尾ほかと同様に堤防内部の空気圧の上昇が法面被覆工の安定性を低下させることを示している。また、天端法肩部の遠心力については、裏法面を緩勾配にすることで低減できることを示している。また、石川ら⁷⁾はCADMAS-SURF/3Dを用いた数値解析によって裏法勾配を緩やかにすることによって、図-8に示すように天端法肩における遠心力による負圧を軽減できることを示している。

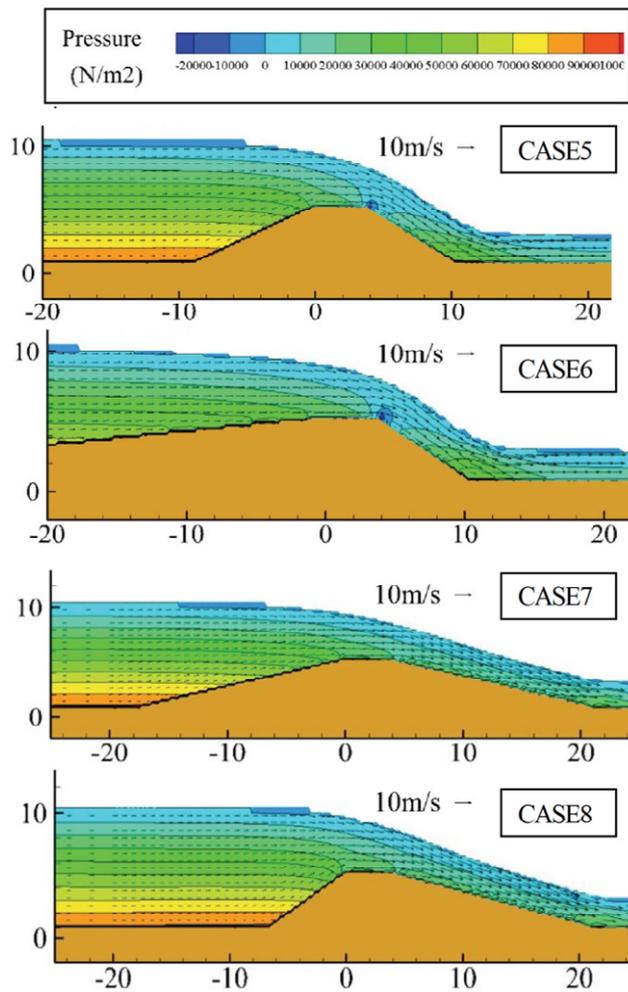


図-8 防潮堤周辺の波圧分布

以上のように海岸堤防の被災メカニズムは津波の越流に伴う上記の①～③であるが、①と②については裏法

勾配を緩くすることによって防ぐことができることが明らかになってきた。しかし、裏法の緩勾配は幅広い空間を必要とするために、人家が密集するような場所に適用することは困難である。また、三面張りの堤防では越流した津波が裏法を流れ下るときに大きな流速になり、堤防背後近くの民家は流出する。図-9は田老町の防潮堤背後の民家の流出状況を示している。今後、レベル2津波に対しては越流を許容するとなると、裏法を流れ下る津波の勢いを減じる対策も考えておくことが重要となる。



図-9 防潮堤背後の民家の流失

2.3 越流津波による防波堤背面水位圧の低下

津波が防波堤を越流して背後海面に打ち込むと、防波堤の背面に作用する水圧は水位から算定される静水圧より小さくなること、釜石湾口防波堤の被災メカニズムを調べる水理模型実験によって明らかになった。

この原因としては、越流した津波によって励起された非定常な渦によって重力加速度とは逆方向の加速度によって重力加速度が低減されることによることが明らかになっている⁸⁾。しかしながら、これらの加速度は津波の越流量や越流高さ、さらには防波堤背後の水深にも依存すると考えられ、これらの要素と圧力低下との関係を明確にしておくことが津波に強い防波堤の設計のためにも重要である。

中村ら⁹⁾は、透過性材料の間隙内部の流体を含む非圧縮性粘性流体からなる気液相の流体運動の解析を構造物の運動を考慮して解析するシミュレーション法を用いて越流津波による防波堤背後の流体運動を解析している。図-10は防波堤背面における波力をシミュレーションから求めた値 F_{bn} (黒線) と防波堤背後の水位から求めた値 F_{ba} (赤線) で比較している。この図からわかるように越流開始の以降では黒線は赤線より最大で15%程度小さくなっており、静水圧より低下しているのがわかる。ケーソンが転倒するような条件における計算では、捨石マウンドの中央粒径によって転倒する場合と転倒しない場合が生じており、これはマウンドの透水性の影響であるとしている。

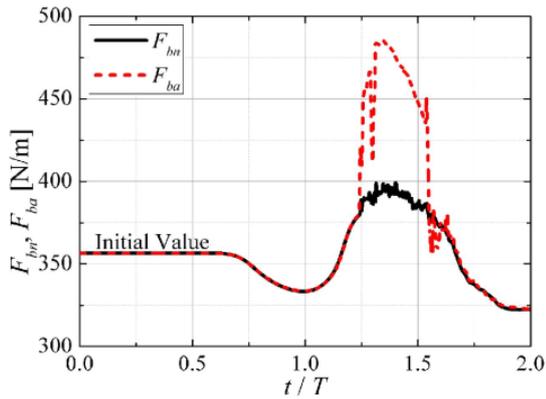


図-10 ケーソン岸側面に作用する単位法線幅あたりの波力（ケーソン固定）

この中村らの研究でも、越流条件を変えたシミュレーションが行われていないので、前述した要素と水圧低下の定量的な関係が十分には提示されていない。これは今後の課題であるが、津波の越流現象に対するシミュレーション手法が確立してきているので、この課題も遠からず解明されるであろう。

3. 沿岸防災技術研究所の業務

沿岸防災技術研究所の業務は、以下の業務について取り組んでいる。

- ①沿岸防災技術に関する情報の収集・整理
- ②沿岸防災技術に関する調査研究の実施
- ③沿岸防災技術に関する政策提言
- ④沿岸防災技術に関する技術の普及
- ⑤大規模災害に関する調査研究

4. 米国東岸高潮災害の現地調査

2012年10月29日夕刻にニュージャージー州南部に上陸したハリケーン・サンディに伴う高潮・高波により、米国東海岸ではニューヨーク州とニュージャージー州を中心に大きな被害が生じた。そこで、(一財)沿岸技術研究センターと(独)港湾空港技術研究所は調査団を結成し、現地における被災状況の調査を行った。図-11の調査団((独)港湾空港技術研究所:高橋重雄・松崎義孝・伴野雅之、(一財)沿岸技術研究センター:高山知司・合田和弘)は、初日にThe Port Authority of New York & New Jerseyを訪問し、港湾部長のRichard M. Larrabee氏らに被害状況のヒヤリングをした。Port Authorityはニューヨーク州とニュージャージー州の港湾、空港のみならず、PATH(鉄道)、橋、トンネル、ワールドトレードセンターを運営しているため、各種の施設や大都市部における被災の情報が入手できた。二日目以降はニューヨーク州、ニュージャージー州沿岸の被災状況調査を行った。



図-11 調査団一行

ハリケーン・サンディの経路を図-12に示す。はじめは南に進み、途中から進路を北に変えてそのまま北上し、勢力を拡大しハリケーンとなった。ハリケーンはカテゴリー1から2の状態でジャマイカ、キューバ、パナマに上陸し、その後、カテゴリー1の状態で大西洋を北西、北、北東、北と進路を変えながら移動した。最後は北西に向きを変えて、10月29日18:00頃米国ニュージャージー州のAtlantic City周辺に上陸した。Atlantic Cityは緯度が高いものの、ハリケーン・サンディが大西洋上を北上してきたため勢力が衰えず、上陸時の風速は約42m/sと大きかった。

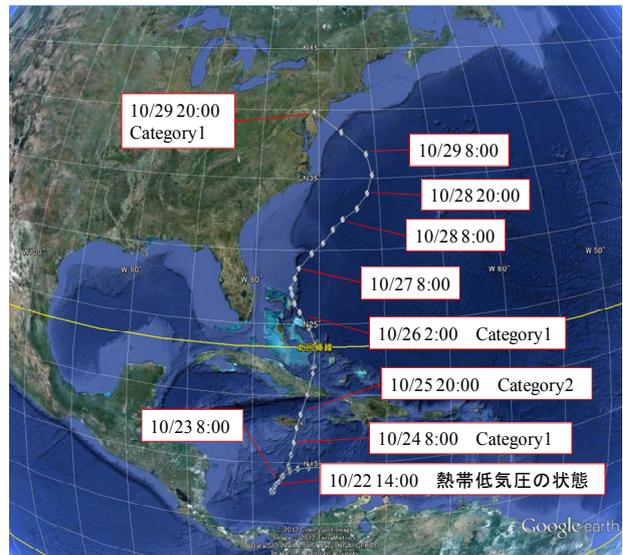


図-12 ハリケーン・サンディ経路(出典:経路NOAA, 地図Google. 時間は米国東部夏時間.)

死者(2次的なものも含む)、行方不明者は8カ国(米国、ハイチ、キューバ、パナマ、カナダ、ドミニカ共和国、ジャマイカ、プエルトリコ)で300名以上とも言われており非常に多い。米国の被害金額は少なくとも500億ドル(約5兆円)と言われており、これは米国東海岸においてハリケーン・カトリーナの1089億ドルに次ぐ被害額である。

図-13はニュージャージー州の沖合で計測された風

向風速および波高波向である。これをみるとハリケーンの上陸した29日は20m/s程度の北東風が吹き続けていることが分かる。この海域では幅が約100km、水深100m未満の比較的水深の浅い大陸棚が続いており、これによって高潮が大きく発達したと考えられる。波は最大で10m近くまで発達しており、この波のセットアップによってニューヨーク州東部のLong Islandやニュージャージー州の海岸において水位が大きく上昇したとも考えられる。

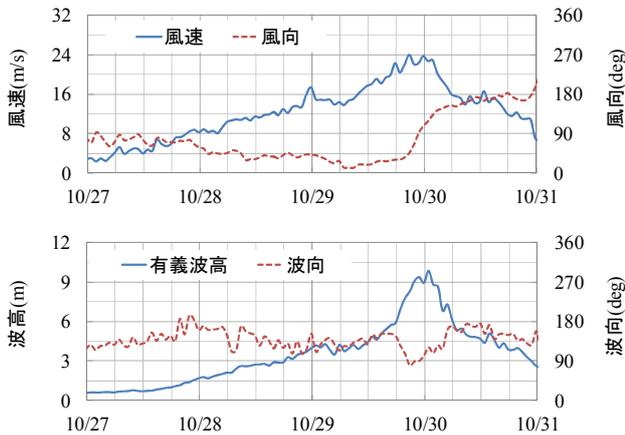


図-13 ニュージャージー州沖における風と波の観測結果

図-14 はマンハッタン島の南側先端にある The Battery と太平洋に面する Atlantic City における天文潮位、観測潮位、潮位偏差の時系列と平均満潮位を示している。The Battery では、天文潮位が高い時に高潮が来襲し、大きな浸水被害が発生した。この図中において紫色の水平線で示す平均満潮位を超える潮位の継続時間は24時間程度で、潮位の高い状況が長時間に及んだ。

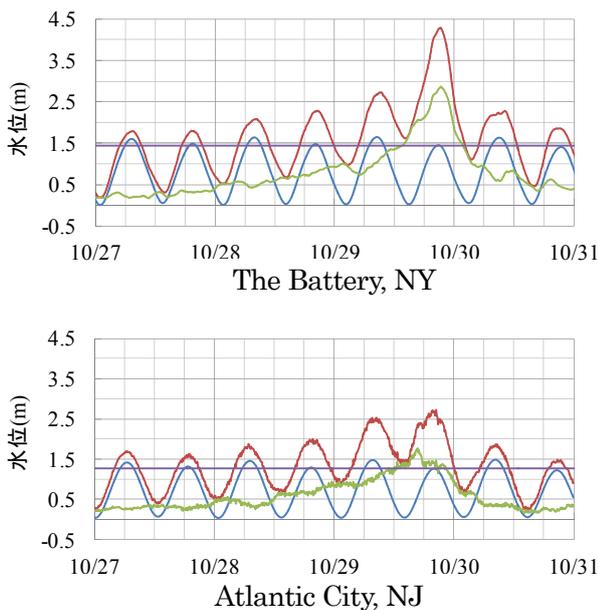


図-14 潮位の時系列。基準は大潮平均低潮位 (M. L. L. W.)

ハリケーン・サンディによる災害の特徴の一つは、Manhattan のような大都市部における社会基盤関係の被害が大きかったことである。今回実施した現地被災調査範囲はいずれも浸水しており、特に地下トンネル、地下鉄、地下街、地下駐車場、発電所施設は深刻な被害を受けた。

図-15 は10月28日午前（ハリケーン上陸1日前）に Bloomberg ニューヨーク市長が発表した、ニューヨークの浸水予想図と指定避難場所を示している。市内に Zone A から C を設け、Zone A については全域に対して強制避難命令を発令している。予測浸水図は実際の浸水場所とよく一致しており、浸水した範囲は Zone A のほぼ全てと Zone B の一部の地域と考えられる。



図-15 ニューヨーク市内周辺のハリケーン・サンディによる浸水予想図（出典：NYC Office of Emergency Management に加筆）

図-16 は被災時の Hoboken PATH Station が浸水している様子である。Manhattan の World Trade Center 駅とニュージャージー州の Hoboken 駅を結ぶ地下鉄は約3ヶ月後の2013年1月30日に運行再開した。Manhattan 南部にある Battery Tunnel も浸水被害を受け、約2週間後に一般車両の通行が再開された。Manhattan へ通勤等する際はトンネルか橋を通らなければならないため市民生活が大変混乱した。

Manhattan の 14th Street には発電所施設があり、被災時には爆発事故を起こして Manhattan 南部が停電した。その他米国北東部で 800 万世帯以上が停電した。Manhattan の停電は1週間以内で回復したが、その他の地域では3週間以上にも渡った地域もあり、災害からの復旧復興を遅らせる原因となった。また、Manhattan 南部では建設中の新しいワールドトレードセンターや地下駐車場が浸水被害を受けていた。



図-16 Hoboken PATH Station へ浸水している様子

Port Authority によると、港湾施設の被害は以下のとおりである。まず、商用電源施設や下水ポンプ、消火ポンプのモーター等が機能しなかったため、排水等の復旧作業に遅れが生じた。また、保安用のフェンスや守衛室が破壊され、瓦礫が道路や水路、バースに散乱した。コンテナ 15,000 個、自動車 9,000 台が浸水し、いくつかの空コンテナは流出し、海底に沈んだ。バージが岸壁へ乗り上げ、道路やレールが破壊するなどの被害もあった。岸壁の大規模な破壊はなかったとのことである。

Manhattan の周辺には JFK 国際空港と Newark 国際空港、LaGuardia 空港、Teterboro 空港といった 4 つの空港があるが、ハリケーンの影響ですべての空港が一時閉鎖した。また、LaGuardia 空港ではターミナルの広い範囲が浸水し、ハリケーン通過後の 11 月 2 日まで営業を再開できなかった。

運河周辺には工場、製油所といった施設が多くあるが、これらも浸水被害を受けた。工場では製品が損害を受け、製油所では軽油、灯油が流失した。ガソリンの供給も滞ったため、ガソリンスタンドで給油待ちの列が発生した。

浸水被害は都市部以外にも、ニューヨーク州、ニュージャージー州の広範囲にわたる海岸、特にバリアー島において生じた。バリアー島は、沿岸砂洲が発達してできたところで、このような場所は地盤が低く、防潮堤などの施設がないところが多いため、被害が大きかった。火災の発生を含めた家屋等への被害が特に甚大であり、一ヶ月以上経っても街中の片付けは済んでおらず、警察が一部立ち入りを制限していた。図-17 は Breezy Point の被災状況で、この辺りは漏電による火災も発生し、100 件以上が焼失する被害を受けた。

この災害の特徴として、地下トンネル、地下鉄、地下街の浸水、停電、港湾・空港施設の被害、発電所、工場、製油所の浸水被害、油流出など、大都市特有の高潮災害であったことが挙げられる。日本の東京や大阪などの大都市で高潮災害が起きた場合、ニューヨーク州やニュージャージー州で発生したのと同じような大都市の主要

社会基盤の機能喪失が考えられる。そのため、この災害を教訓として我が国の大都市における高潮対策を再度考えておくことが非常に重要である。



図-17 Breezy Point における高潮浸水で生じた漏電火災による家屋の焼失

5. シンポジウム等の開催

沿岸防災の重要性についての啓発や防災技術の情報交換のため当センターでは国内外でシンポジウムやセミナー等を開催しており、ここでは沿岸防災関連のものについてのみ紹介する。

5.1 コースタル・テクノロジー-2012 における 防災関連論文の発表

2012 年 12 月 3 日、海運クラブ 2 階ホールにおいて「コースタル・テクノロジー-2012」を開催し、18 編の論文を発表しているが、その内、防災関連については以下のような 9 編の論文発表を行っている。論文の詳細については、「沿岸技術研究センター論文集 No. 12 (2012)」を参照してほしい。

1) 防波堤の粘り強さに関する一考察

前 調査部 主任研究員 山下 徹

東北地方大震災では、全半壊した防波堤の背後地では、津波の流入が格段に増大し、浸水高が高くなって被害が顕著になった。そのため、これらの施設には「減災効果」が期待できる程度の損傷に留まるように「粘り強さ」の付加が求められるようになった。本報告では、粘り強さについてこの 1 年間に業務を通じて著者が学んだことをまとめている。

2) 最大クラスの津波に対する防波堤の津波減災効果について

調査部 調査役 金正富雄

調査部 主任研究員 笹井 剛

国土技術政策総合研究所 港湾研究部

港湾研究室長 宮田正史

港湾局 技術企画課 技術管理室 技術基準

第 2 係長 青木伸之

(株) ニュージェック 港湾・海岸グループ

沿岸防災チーム 主任 佐藤広章

港内の静穏度を確保するための防波堤は、津波に対す

る減災効果も期待できる。そこで、本報告では、最大クラスの津波来襲時に防波堤の存在によって背後陸域における浸水量どのように変化するか、10港をモデル港として検討している。

3) 和歌山下津港海岸(海南地区)津波防波堤の技術課題とそれへの対応

前 調査部 主任研究員 小野寺隆柔
参与 高山知司
近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所
所長 水谷雅裕
同上事務所 技術開発課 課長 河崎尚弘
同上課 技術開発課第二係長 竹田 晃

和歌山下津港の海南地区においては、近い将来、南海トラフ付近に起きる可能性が高い巨大津波で大きな被害の発生が予測されている。本報告では、津波対策の一つである直立浮上式防波堤に係わる技術課題について検討した結果と経緯について述べている。

4) 東日本大震災を踏まえたGPS波浪計観測情報の活用について

調査部 調査役 菊地洋二
前 調査部 主任研究員 小野寺隆柔
東北地方整備局 港湾空港部
港湾空港防災・危機管理課長 佐藤峰夫
同上課 課長補佐 三浦 匠
同上課 施設維持管理係長 工藤雅春

東日本大震災では津波被害による通信トラブル等によってGPS波浪計データが一時途絶えることがあったものの、GPS波浪計の観測情報の有効性が認識されることになった。本報告では、これを踏まえて、東北地方の自治体における防災行動の実態調査を行い、情報システムに対する意見と要望を把握して、必要なシステムの改良について述べている。

5) 新潟港海岸(西海岸地区)における海浜安定化対策の効果について

前 調査部 研究員 山本高士
調査部 調査役 菊地洋二
北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所
海岸課長 佐藤敏文
同上事務所 海岸課 海岸係長 水内邦夫

本報告では、新潟西海岸で行われている海浜安定化対策において、対策後1年目の調査結果を踏まえ、2011年度の現地計測結果をもとに海浜安定化対策工法の効果について述べている。

6) 三池港及び博多港における航路埋没について

前 調査部 主任研究員 松岡義博
参与 高山知司
調査役 岸良安治
九州地方整備局 博多港湾・空港整備事務所
所長 酒井浩二
いであ(株) 沿岸・海岸事業部 沿岸解析部

水野博史

本報告は、三池港の航路において高波浪時の浮泥流動による埋没メカニズムを把握し、埋没対策の検討をすると共に、博多港の航路における埋没現象の特性や埋没実態の把握を行っている。

7) 直立護岸前面に設置した離岸堤(潜堤)周辺の地形変化

調査部 主任研究員 松本典人
調査役 池内章雄
北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所
前任建設管理官 奥田 聡

本報告は、福井海岸において直立護岸前面に潜堤を設置したが、このような例が過去にないために、現地観測を行い、観測データを解析して潜堤周辺における地形変化の要因を検討している。

5.2 第10回国際沿岸防災ワークショップ

本ワークショップは2004年12月26日のインド洋大津波の直後の2005年1月に神戸で第1回を開催して以来、ほぼ年に1回の割合で開催しており、今回が10回目である。日本での開催を基本にしていたが、2004年12月26日にインド洋大津波が発生して、インド洋周辺国で30万人近くの犠牲者が出たこともあって、第3回(2006年)をスリランカ、第5回(2008年)をインドネシア、そして第6回をタイといったように、インド洋大津波で多くの犠牲者をだした国を回った。2011年3月11日に東日本大震災が起き、我が国の東北地方が未曾有の大災害になったことから、第8回は「レベル2津波災害からの復旧・復興」と題して、また、第9回は「豊かな海との共生を考えた自身・津波防災に向けて」と題して、わが国で開催した。

第10回国際沿岸ワークショップは「南米における津波に強い地域づくり」をテーマにして、チリ国のサンチャゴで2012年12月11日に開催した。わが国とチリは、環太平洋地震帯に位置し、両国ともこれまでに多くの地震津波災害を経験している。最近においても、チリでは2010年にコセブシオン沖合いで発生したM8.8の地震と津波で大きな被害を受け、また、わが国では2011年にM9.0の地震と津波で東日本大震災が発生した。このような災害からの教訓を踏まえ、津波に強い地域をつくるために最新の研究成果や情報を共有することを目的に開催されるものである。そのために、本ワークショップは第一回日本・チリ津波防災ワークショップとしての位置づけにもなっている。

本ワークショップの主催者は、日本側が(独)港湾空港技術研究所、(独)国際協力機構、(独)日本科学振興機構、当沿岸技術センター、国土交通省である。また、チリ側が公共事業省(MOP)、カトリック教皇大学(PUC)、内務省国家緊急対策室(ONEMI)、海軍水路・海洋部(SHOA)である。

開会式における日本とチリ両国の代表による挨拶の後、(独) 港湾空港技術研究所とチリ公共事業省との間で技術協力協定に関する調印式があった。開会式に引き続き、3つのセッションが行われた。図-18は調印式の様子を示している。



図-18 開会式における日本とチリ代表による調印の様子

最初のセッションは2010年チリ地震津波と題してチリ側による発表があった。ここでは、被害の概要、チリにおける地震の特徴、津波発生モデリング、タルカワノにおける津波変形のシミュレーションによる再現についての発表があった。

2番目のセッションは、日本側代表による発表で、2011年東日本大震災について、地震と津波の特徴や被害の概要、津波警報システム、市民の避難に対するソフト対策についての発表があった。このセッションで発表した日本側代表は、2012年1月から実施している「津波に強い地域づくり技術の向上」プロジェクトに参加しているメンバーである。このプロジェクトは、科学技術振興機構と国際協力機構による地球規模課題対応国際科学技術協力(SATREPS)の1つで、2016年まで実施される。

最後のセッションでは、これからの取り組みと題して国際協力機構(JICA)や米国大気局(NOAA)、沿岸技術研究センター(CDIT)、港湾空港技術研究所(PARI)のメンバーからの発表があった。

活発な質疑応答があつてワークショップは終了した。図-19はワークショップの様子を示したものである。



図-19 ワークショップにおける発表の様子

5.3 第4回 CDIT-KIOST 共同沿岸防災ワークショップ

2009年10月7日に当沿岸技術研究センターと韓国海洋研究院(KORDI:Korean Ocean Research & Development Institute)との間で研究交流に関する協定書が調印された。韓国海洋研究院は2012年6月1日に韓国海洋科学技術院(KIOST:Korean Institute of Ocean Science and Technology)として名称変更することによって新たな歴史を開始している。研究協力協定の調印を記念して釜山で第1回沿岸防災ワークショップを開催した。そして、隔年ごとにそれぞれの国で開催することになっている。2012年の第4回共同ワークショップは日本での開催である。

韓国も日本海で起きた津波では大きな被害を受けている。特に、1983年の日本海中部地震津波では韓国東側の日本海に面する港で大きな被害を受けた。また、韓国も原子力発電所を20基程度保有しているが、これらすべての発電所が冷却用取水の関係で日本海側沿岸に位置している。そのために、東日本大震災における津波被害には強い関心を示していた。そのこともあつて、韓国代表団は東日本大震災で大きな被害を受け、復興に取り組んでいる地域を視察した。

11月5日(月)の来日初日は、相馬港において津波で倒壊した沖防波堤の被災状況を海上から確認するとともに、沖防波堤の復旧に使用するケーソンの製作現場や護岸の復旧工事現場を見学した。図-20は、ケーソン製作現場を見学している時の様子である。2日目は、女川町に行き、高台の町立病院から町全体の被災状況を視察したのち、石巻港に移動して高台の日和山公園から被災地一帯を眺望したのち、雲雀野地区に移動して、岸壁の復旧工事を見学した。



図-20 ケーソン製作現場における見学の様子

韓国代表団も時間の許す限り現地に留まり、説明者に多くの質問を投げかけていた。東日本大震災の被害の規模の大きさと、それに伴う新たな技術的課題の解明の緊急性や波及性について韓国代表団に理解して頂けたと

想像している。ワークショップ会場のある東京へ移動する。

3日目の11月7日10:00からKFCホールにおいてワークショップが開催された。当研究センターの関田理事長とKIOSTの姜院長の開会挨拶ののち来賓としてお越しの国土交通省港湾局の山縣局長から挨拶を頂いた。当センターの関田理事長による「日本における海洋再生可能エネルギー開発の展望」と題する基調講演から始まった。

その後、4つのテーマに分けて、5つのセッションが連続して行われた。発表者は、韓国側がKIOSTの6名と港湾空港技術研究所在籍の韓国人研究者の1名、日本側が関東地方整備局の1名、港湾空港技術研究所の1名、当センターの6名で、計15名の発表があった。

テーマ「沿岸防災」では2つのセッションに分かれて行われた。東日本大震災があったこともあって、津波防災対策や防波堤の津波低減効果、津波観測情報の活用、津波の数値モデルの活用といった津波関連の発表であったが、韓国側から高潮浸水氾濫システムの活用に係る発表が1件あった。テーマ「沿岸管理」のセッションでは、別府港海岸における里浜づくりと韓国東海岸の侵食状況等に関する発表があった。テーマ「波浪解析」では、第3世代のCOMEINSの紹介と韓国における最近の沿岸災害とその低減対策について発表され、テーマ「技術開発・普及」では風力発電の現状と韓国のサクシオンパイル基礎について発表された。

各研究者の発表後における質疑応答の時間では、活発な質問や意見が述べられ、日韓の意見交換の場としての本ワークショップの役割が十分に発揮されたと感じている。図-21はワークショップ関係者一同の写真である。今回は韓国での開催である。



図-21 ワークショップ関係者一同

6. 調査研究の実施

6.1 調査研究

沿岸研究センターにおいて受託・共同・自主研究を合わせて、71件の調査研究を昨年度に行っている。そのうち防災関連の研究が33件で、46%の占有率で、普段の年よりも10%以上増えている。南海トラフ沿いの最大ク

ラスの津波のモデルが昨年8月に内閣府から発表されたこともあって、近畿地整や四国地整、九州地整では津波防災関連の調査が大きく増えている。

これらの調査業務を災害の予測、被害想定、減災対策、新技術に関する研究に分けて、その主なものを示す。

- ① 災害の予測技術に関する研究
 - ・ 偶発波浪の検討
 - ・ 海象観測データの活用
 - ・ 埋没対策の高度化
- ② 被害想定に関する研究
 - ・ 地震・津波安全性評価手法の検討
 - ・ 港湾測量システムの構築
- ③ 減災対策に関する研究
 - ・ 効率的・効果的な地震・津波対策
 - ・ 長周期波対策
 - ・ 港内埋没対策
 - ・ 海岸安定化の検討
- ④ 新技術に関する研究
 - ・ 津波防波堤等の技術検討

7. 出版物の刊行

わが国は津波の常襲地域であり、津波に対する知見や経験が豊富である。津波に関するわが国の技術的知見を広く世界に情報発信することは当センターの業務の一つとして考えられることから、「沿岸防災技術研究所」の設立1周年記念事業として、津波災害の危険性が高い国内外諸地域における人的被害軽減に貢献することを目的とし、津波に関する被害、現象、予警報及び被害軽減策等の技術的知見を紹介する書籍「TSUNAMI」と絵本「津波は怖い！」を出版してきた。

7.1 書籍「TSUNAMI」

書籍「TSUNAMI」は、津波に襲われたときに生き延びるために必要な知識を伝えることを主たる目的とし、数式等はほとんど使わないで、できるだけ読みやすい平易な本にした。このTSUNAMI本は、日本語版(2008年11月)で最初に出版され、引き続いて、インドネシア語版(2009年6月)、英語版(2009年10月)、韓国語版(2009年12月)を出版している。英語版については2011年3月11日に発生した東日本大震災を踏まえて、表紙の写真とまえがきを書き直している。英語版とインドネシア語版については平成21年度土木学会出版文化賞を受賞した。2011年3月11日にM=9.0という大地震とそれによる大津波で東日本大震災が起こった。この災害による教訓を取り入れた改訂版を現在校正中である。

7.2 絵本「津波は怖い！」

上記のTSUNAMI本はできるだけ平易に書いたとは言っても、200頁を越えるような厚みがあり、また、読む

ためには、ある程度の学力が必要である。そこで、小学生や中学生でも簡単に読め、尚且つ、正確な津波知識が身に付く簡易本として「津波は怖い！」と題する絵本を出版してきた。難しい漢字には読み仮名を付けるとともに、写真や挿絵、漫画をできるだけ取り入れて、わかり易くすることを心がけた。このようにすることによって、津波記述の正確さが落ちないように心がけている。

「津波は怖い！」と題する絵本は、日本語版を2010年4月、インドネシア語版を2010年10月に出版した。2010年2月27日にM=8.8のチリ沖地震が発生し、その災害調査団員として派遣した職員によって本簡易本がチリ側に提供され、スペイン語に翻訳された。2011年の東日本大震災が起こったこともあって、この津波災害から得られた教訓や写真画像を採用して、絵本「津波は怖い！」を大改訂した。この絵本には津波や災害の実像、更には現在の津波研究の一端を映像として示すDVDも添付している。図-22は改訂版の絵本を示している。



図-22 絵本「津波は怖い！」の改訂版

8. その他

これまでに紹介した取り組みのほか、当センターが実施している「沿岸気象海象情報発信システム(COMEINS)」の運用など、沿岸防災に関連する情報提供、東日本大震災を契機とした防護レベルや減災レベルの津波モデルの設定と提供、港湾・空港の土木施設やその他の土木施設の耐震性能の評価に必要な技術の普及も実施している。これらも、沿岸域における防災対策に関する検討にとっても不可欠なもので、今後も充実を図るつもりである。

参考文献

- 1) 高橋英紀他：津波による浸透作用下の防波堤基礎マウンドの支持力発現特性，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol. 69, No. 3, 2013.
- 2) 佐々真志他：津波越流—浸透連成遠心実験システムの開発とマウンド洗掘への適用，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol. 69, No. 3, 2013.
- 3) 加藤史訓・野口賢二・諏訪義雄・木村 晃・河合雅史・高木利光・小俣雅志：東北太平洋沖地震津波による仙台平野南部での海岸堤防被災・洗掘に関する調査，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 68, No. 2, pp. I_1396 - I_1400, 2012.
- 4) 鳩貝 聡・諏訪義雄・加藤史訓：津波の越流による海岸堤防の裏法尻の洗掘に関する推理模型実験，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 68, No. 2, pp. I_406 - I_410, 2012.
- 5) 中尾秀之・佐藤慎司・Harry Yeh：津波の越流による海岸堤防の破壊メカニズムに関する研究，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 68, No. 2, pp. I_281 - I_285, 2012.
- 6) 小竹康夫・磯部雅彦：津波越流時に海岸堤防の法面に作用する圧力特性に関する実験的研究，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 68, No. 2, pp. 891-895, 2012.
- 7) 石河雅典・上月康則・中山亮一・大久保陽介：津波越流時の海岸堤防への「作用が威力と構造形式との関連性に関する数値的考察，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol. 69, No. 2, 2013.
- 8) 有川太郎ら：釜石湾口防波堤の津波による被災メカニズムの検討—水理特性を中心とした第一報—，港湾空港技術研究所資料，52p.，2012.
- 9) 中村友昭・安藤康平・水谷法美・小竹康夫：津波の越流による混成堤ケーソン岸側での水圧の低下機構に関する研究，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol. 69, No. 2, 2013.