

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

〈特集〉

東日本大震災について考えたこと ~減災に資する試みと復興構想会議~ 河田恵昭氏

東北地方太平洋沖地震および津波について 今村文彦氏

東日本大震災における港湾施設等の津波被害 高橋重雄氏、下迫健一郎氏、
有川太郎氏、辰巳大介氏、根木貴史氏

東日本大震災における津波 -津波の実態把握の重要性- 高山知司氏



Vol.35



表紙写真

読者の皆様に機関誌「CDIT」の発信する情報を、よりダイレクトにお伝えするために、毎号ご紹介する記事内容より写真等を一部抜粋・掲載しております。記事内容ともども毎号変化する表紙写真にもご注目ください。

津波に飲まれる関上港広浦地区

津波に飲まれる
関上漁港

津波に飲まれる
仙台空港

巡視船まつしまの
レーダー（相馬沖
で津波を観測）

写真提供：海上保安庁

3

就任のご挨拶

釜 和明 (財)沿岸技術研究センター 会長

4

特集1 東日本大震災

東日本大震災について 考えたこと

～減災に資する試みと復興構想会議～

河田恵昭氏 関西大学社会安全学部長・教授(京都市名誉教授)
阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター長

8

特集2 東日本大震災

東北地方太平洋沖地震および 津波について

今村文彦氏 東北大学大学院工学研究科附属
災害制御研究センター教授

12

特集3 東日本大震災

東日本大震災における 港湾施設等の津波被害

高橋重雄氏 (独)港湾空港技術研究所
アジア・太平洋沿岸防災研究センター長

下迫健一郎氏 (独)港湾空港技術研究所
アジア・太平洋沿岸防災研究センター長

有川太郎氏 (独)港湾空港技術研究所
アジア・太平洋沿岸防災研究センター長

辰巳大介氏 (独)港湾空港技術研究所
アジア・太平洋沿岸防災研究センター研究官

根木貴史氏 国土技術政策総合研究所
沿岸海洋研究部 沿岸防災研究室長

16

特集4 東日本大震災

東日本大震災における津波 ー津波の実態把握の重要性ー

高山知司 (財)沿岸技術研究センター
沿岸防災研究所長

20

民間技術の紹介

エコガイアストーン

篠崎晴彦氏 新日本製鐵(株)
環境・プロセス研究開発センター 土木建築技術部

22

CDIT News



就 任 の ご 挨 拶

財団法人沿岸技術研究センター
会長 金 和明

先の理事会におきまして、沿岸技術研究センター会長に選出されました^{かま かずあき}金和明でございます。就任にあたり、ご挨拶申し上げます。

まず初めに、東日本大震災により亡くなられた方々のご冥福をお祈りしますとともに、被災された皆様に心よりお見舞い申し上げます。

さて、沿岸技術研究センターは、昭和58年の設立以降、沿岸域の開発、利用、保全及び防災に係る港湾技術、空港技術、造船技術等に関する調査研究や技術の普及啓発活動を幅広く行って参りました。またこの間の社会的要請の変化や多様化するニーズに対応するため、様々な取り組みも行ってきました。

ひとつは調査研究体制の充実です。平成16年には業務の国際化・グローバル化を目指し「国際沿岸技術研究所」を、平成17年には沿岸域の防災課題に適切に対応するため「沿岸防災技術研究所」を設立致しました。

また、新たな業務と致しまして、平成19年から港湾法に基づく技術基準対象施設の適合性に関する確認業務を開始したほか、「海洋・港湾構造物維持管理士」や「海洋・港湾構造物設計士」といった資格制度も創設しております。

このように沿岸技術研究センターが新たな役割を担い、その役割を着実に果たしてきてことができましたことは、関係各界の皆様方の暖かいご支援・ご協力があったからこそであり、改めて厚く御礼申し上げます。

津波に関しましてはインド洋大津波の発生を契機に、我が国の津波防災知識を世界に発信するため平成20年に「TSUNAMI」を、平成22年には「津波は怖い！」を出版しております。東日本大震災では、想像を絶する地震と津波により、甚大な被害が発生したことは、本当に残念でありませんが、一人でも多くの人命が津波から救われることを願って、これからも普及啓発活動に取り組んで参ります。

現在、東北地方太平洋沖地震により被災した港湾施設等の被災メカニズムの究明、及び復旧方針の検討を行っており、沿岸技術研究センターがこれまで培ってきた技術力を結集し、地元産業の復興や地域の防災対策の推進に貢献して参りたいと考えております。

最後になりましたが、沿岸技術研究センターは今後もこれまでに培った知見を活かしつつ、産・学・官と連携を図りながら、社会の期待に応える公益性の高い事業に取り組むことにより我が国の経済・社会の発展に寄与していきたいと考えており、皆様の一層のご指導、ご鞭撻を賜りますよう、お願い申し上げます。



写真1 【宮古港】荷役機械の損壊とがれき

東日本大震災が起こった直後の 地震マグニチュードの計算

3月11日は朝10時から、兵庫県公館の大会議室で、近畿地方を中心とした自治体の防災担当職員約250名の参加を得て、阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター主催の「スーパースポジウム」を開催していた。そして、午後の部に入り、特別講演の後、一般報告の最中に壇上のスクリーンが左右に揺れ出し、天井のシャンデリアも一斉に揺れ始めた。すぐにどこか遠くでプレート境界地震が起こったに違いないと考え、ただちにシンポジウムを中止した。参加者には三重県や高知県の防災担当者もおられたが、地震についての詳しい情報もない間に、直ちに帰途につかれたのはさすがである。阪神・淡路大震災が起こった直後とは大違いであった。私たちは、この16年ですいぶん成長したと思う。何しろ、あわ

特集1

東日本大震災



東日本大震災について考えたこと ～ 減災に資する試みと復興構想会議 ～

河田恵昭

関西大学社会安全学部長・教授（京都大学名誉教授）

阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター長

東日本大震災の教訓を踏まえ、早期の津波情報の提供システムとともに、物流災害への対策として物流体系の見直しが必要とされる。復興構想会議委員の河田先生にご意見をいただいた。

てなくなったのだから。

すぐに神戸市中央区のセンターに全員が帰り、情報収集と現地派遣の要不要を判断することになった。モニターテレビには、仙台市の荒浜地区を飛行中のヘリコプターからの津波はん濫の映像が映し出されていた。まるで、SF映画を観ているようであった。渋滞中の自動車は何台も津波に飲み込まれていく様子が別世界の出来事のように感じられた。2時49分に、地震マグニチュードがM7・9であり、大津波警報が発令され、3m程度の津波が来襲するという気象庁の情報も知った。これを知った時従来から予想していた三陸津波が発生したと判断した。それが、まさか13日の12時55分にM9・0と評価されようとは思ってもしなかった。16時にM8・4と改訂され、17時30分にはM8・8というように増加した。地震直後に被災地の多くは停電したそうであるから、今回犠牲になった住民は、最初のM7・9かつ3mの情報で避難しなかった可能性もある。もしそうであれば、大変残念である。少し専門的になるが、地震マグニチュードの計算は、地震発生直後は、表面波マグニチュードといって、地震計の振幅から直接推定する方法が採用されている。そして、地震のエネルギーは、破壊された断層面の面積とずれた大きさをもとに計算するモーメントマグニチュードの方が正確であることがわかっていて、それは、地震計の針が描く面積の合計と考えてもよい。だから、断層面の破壊が継続している間のすべての地震記録が必要である。

しかし、問題はこの方法がいかに正確で

あるうと、マグニチュードの決定に時間がかかりすぎるという欠点は払しょくできないことである。その間に、今回は10mを超える津波が来襲しているのである。地震研究者は、そのことが津波防災にとって致命的であることに気がつかなければいけない。「想定外」などと言っているところではないのである。そんなことを言っているから、地震マグニチュードから津波を計算する方法を、批判もなく延々と繰り返してきたのである。

至急導入しなければならぬ 津波予警報の発令システム

では、現状でどのように改善できるのだろうか。今回も三陸沖の水深200mに設置していたGPS波浪計は、津波伝播の特徴を観測していた。たとえば、釜石沖では津波の高さが6・6mに達していたことがわかっていて、最大設置水深が63mの釜



写真2 【釜石港】荷役機械とヤードの損壊



石の湾口防波堤は、海面上6mの高さである。そうすると、津波は南北堤防の延長約1・6kmを完全に越流し、湾内に進入したことがわかる。このGPS観測点は金石沖約25kmの洋上であるから、そこを通過した津波は約10分後に市街地に来襲することになる。波高計を水深3000m、離岸距離約160kmの海域に設置しておれば、津波来襲の約20分以上前に正確な津波情報（何mの高さの津波が何分後に来襲するのか）を入手し、直ちに避難勧告や指示を出すことは可能である。

つまり、より波源域に近い海域で、正味の海面変動を直接観測し、これを津波予警報に用いようというものである。GPS津波計はFM電波で記録を送信するシステムゆえに、離岸距離を長くすることはできない。そこでは海洋研究開発機構が開発したケーブル式の地震津波監視システム（DONET）を設置すれば解決する問題である。すでに、試験的に熊野灘沖の水深が1900mから4300mの海域に高精度の地震計と津波計をセットにした複数の計測器を設置している。これらを海底ケーブルのネットワークで地上局とつなぐ仕組みになっている。2010年からは潮岬沖で展開されている。

現状では、このような画期的なシステムを津波減災のために早期に導入しなければならぬという気象庁の気迫がまったく感じられない。このような技術革新による方法の採用は、気象庁が主体となって進めるべきであるにもかかわらず、新規の予算獲得に消極的であることは、防災・減災にま

な姿を見ているようである。だから、防災・減災研究者なら「想定外」などと絶対言わない言葉を発するのである。私はこれまで「最悪のシナリオ」の重要性を指摘してきたが、今回の大震災では図らずもこれが現実のものになってしまった。

なお、このような指摘を復興構想会議で行った前後に、気象庁は津波警報に関する現状と課題をまとめ、とくに後者について、つぎのように改善するそうである。

(1) 正確なマグニチュードの速やかな推定による津波警報の発表
(2) 沖合津波観測データを使った速やかな津波警報の更新

このような観測システムの整備にはかなりの財源が必要であるが、犠牲者を減らすためのものとも基本となる情報であり、ここで切り替えないと、東海・東南海・南海地震の津波では再び未曾有の被害を出しえない。



写真3 【石巻港】泊地の浮遊物(中央水路)

東日本大震災では「何を研究するべきか」が事前にわかっていない

16年前に起こった阪神・淡路大震災との違いはこれである。だから、私たちは忠実に阪神・淡路大震災の復興過程を追跡調査し、それをデータとして残してきた。そして、その成果に基づいて「大都市大震災軽減化特別プロジェクト（大大特）」を2002年から5年間継続した。その内の1つのプロジェクトが私が研究代表者だった「巨大地震・津波による太平洋沿岸巨大連担都市圏の総合的対応シミュレーションとその活用手法の開発」である。余談であるがほかの1つのプロジェクトが「レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発」があったが、当時からロボットを含めることには異議を唱えていた。「そのようなものは役に立たない」という評価である。案の



写真4 【石巻港】岸壁の損壊



写真5 【釜石港】岸壁の損壊

定、福島第一原子力発電所災害に際し、開発したロボットがまったく役に立たなかった現実を見て、当時の評価が間違っていたことが確認した。

私たちの研究成果は科学雑誌「ニュートン」が初めて学術研究成果として2007年3月号で取り上げてくれるほど、質の高いものであった。そして、後半の3年間は成果普及事業が平行して実施された。この事業は阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センターが中心となって、近畿地方の府県と政令市の防災関係者を結集し、複数のプロジェクトとして実施された。そして、2007年に終了後も中核プロジェクトとして人と防災未来センターで継続され、2010年度の成果を中心としたまとめのシンポジウムが冒頭に紹介した3月11日のシンポジウムだったわけである。

だから「想定していた」災害が起ったのである。ただし、起こった災害は予想し

- ①やや長周期の強震動による社会資本への被害予測と対策の確立
- ②住宅の耐震戦略の構築
- ③広域災害を視野に入れた連携体制の構築
- ④効果的な災害対応を可能にする情報システムの開発
- ⑤要援護者の避難対策を含めた総合的な津波避難対策の提案
- ⑥長期的視野に立った戦略計画の策定と防災事業の推進
- ⑦複数の震災が連続して発生する場合での最適な復旧・復興戦略
- ⑧中山間地域・中小都市の再生を視野に入れた防災の在り方の提案

表1 東海・東南海・南海地震の
三連動発生時の課題

能であった。私たちの先輩研究者は事実、そのように努力して、「日米都市地震防災に関する共同研究プロジェクト」が採択された。しかし、いまは官僚主導から政治主導に変わった。したがって、文部科学省ではなく総理大臣が主導する国際共同のナショナル・プロジェクトとして新しく立ち上げなければならぬ。世界に向かって、何が起ったのか、それが学術的にどのよう位置づけられるのか、経験・体験が語り継ぎのような災害文化として定着することができるのか問われている。採択されるためには、東日本大震災復興構想会議で必要な事業として認知され提案されなければならない。幸い複数の委員の支持を得ているので、早急に態勢作りにかかりたいと考えている。

物流災害

物流体系見直しの必要性

ていた東海・東南海・南海地震ではなかった。しかし、問題になることは継続的な研究で明らかにされてきた。それらは、表1のような課題である。東日本大震災からまだ2カ月余りしか経過していないが、その変わりゆく全貌が現在でもかなりの精度で見渡せることができるのはそのお陰である。とくに、政府、府県および市町村の連携が重要であるとの事前の見解は、余りにものを得た指摘であつたと思われる。

問題は、これが国家的なプロジェクトとして推進できるかどうかということである。阪神・淡路大震災の当時は、文部省が理解すれば大蔵省さえ説得すれば採択可

今回、被災地ではガソリンや軽油が長い間不足した。そして救援物資が円滑に被災地に届かないことが大きな問題となった。それには案も含まれていたから深刻であった。なぜ、このようなことになったのだろうか。最大の問題は、物流が陸上輸送に偏していることが大きい。そして、高速道路網、一般道路が地震と津波によって通行できなくなったから、影響は長期化した。少なくとも、発災後約10日間は大混乱であった。

まず高速道路の無料化とガソリンと軽油の価格差をなくすことである。後者のよう



写真6 【仙台塩釜港(仙台区)】コンテナ散乱

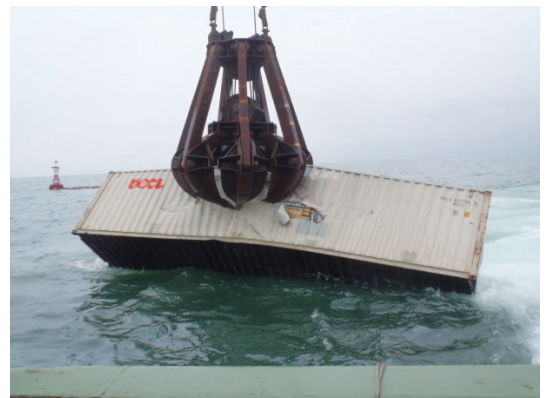


写真7 【仙台塩釜港(仙台区)】港内の啓開作業状況

な政策は、先進国ではわが国だけで採用されている。そのため、鉄道輸送や海上輸送が委縮してしまっている。では、私たちの生活の中で宅急便によって迅速に届けられることが本当に必要なのだろうか。私たちは宅配便会社に過剰なサービスを提供されているのではないだろうか？『早いに越したことはない』程度の要求が、いつの間にか『早くなければならぬ』ということになり替わったのではないだろうか。

日常雑貨輸送など、もっと海上輸送に切り替わってもよいと考えられる。これだけ電子メールが普及すると、押印の必要な書類は現物が運ばれなければならないが、そうでなければ現実にはpdfで十分である。本を注文すれば、翌日届くようなサービスは過剰ではないであろうか。そのため、高速道路を夜を徹して運転して届けられるのはどこかおかしいのではないだろうか。

それこそ電力供給をさらに必要としているから、将来にわたって13基も原子力発電所を新規に作る事が計画されてきたこととまったく同じ事情である。そして、現行の第三期科学技術基本計画には、防災や自然エネルギー開発が重点課題となっているにもかかわらず、研究費は微々たるものである。これでは国の本気度が疑われても仕方あるまい。現在、わが国の発電単価は原子力が圧倒的に安く、水力発電がその約3倍強となっているが、経済産業省はその算定内容を詳しく明らかにしていない。周辺自治体への交付金の大きさなどを考慮すれば、もっとコストが高いはずであるが、この点に関しても自由民主党政権は積極的に情報開示をしてこなかった。民主党政権になつてから原子力発電所は新規に作られていないのであるから、今回の福島第一原子力発電所災害は、歴代の自由民主党政権に責任がある。



東日本大震災復興構想会議における提案の流れ

そして、もし将来、東海・東南海・南海地震が3連動するようなことが起これば、北米航路輸送の90%を占める東京港から神戸港に至る港湾と航路が壊滅的な打撃を受けることは必定である。そして、その時に日本海側の港湾で代行できるかと考えれば、不可能である。マイナス16m級の大水深のコンテナバースがないのである。これでは、神戸港だけが商圏を失った阪神・淡路大震災どころではなくなるのである。そのような大切なことが国において考えられていないのではないだろうか。そして、わが国の大型のコンテナ船には、いざという時に港湾荷役を代行できるようなクレーンが装備されていないのは、情けないことだと思う。コスト追求が、このような冗長性のない仕組みを作ってしまったのである。

首相官邸詰めの政治部の記者は、この会議に関する数少ない情報に基づいて、通俗的なニュース記事を配信している。4月14日に始まったこの会議は、まず、6月末に提案をまとめることを目標に10回程度の委員会を開催することになっている。3回目からは5時間にわたる議論をしており、そこで交わされる議論は、発散することなく、回を重ねるごとに充実してきている。まず、最初の1ヶ月は15名の委員の「状況認識の統一化」を行った。内容のある議論をしようとするれば、各委員の専門分野が異なる以上、あるレベル以上の知識を担保しなければならないのは当然である。そして、5月10日に表2のような復興構想7原則が同意された。これに基づき、委員各位の意見は、つぎの8項目に集約された。①東日本大震災をどう捉えるか、②復興の基本理念、③検討に当たつての視座、④原発事故による被災への対応、⑤まちづくり・地域づくり、⑥地域経済社会の再生、⑦復興を進めるに当たつての課題、⑧復興と我が国の経済社会の再生、である。

これらの8つについて、具体的な課題として内容を具体化する必要があると構想会議で認知されたものについては、構想会議の下に設置された検討部会で、構想会議の任意のメンバーと検討部会担当委員、そして関係各省庁からの担当者を交えてさらに深い検討を行い、その結果を再び構想会議で議論する運びとなっている。それらの議論の根底には必ず被災者を中心に位置づけて考えることになっている。

これらからわかるように、これまでは所管省庁の官僚が第一案をまとめるので、そ

こに相談に行ったり、また族議員に働きかけたりして、復興事業の原案が成立してきた。そこでは、概算要求の前倒しのような内容も含まれていた。今国会で審議中の復興基本法が成立、復興構想会議が復興案を提案する最高位の委員会として、当初の総理大臣の私的諮問委員会が公的に認知されることになる。そうすると、ここにおける検討を経なければ、震災絡みの補正予算や本予算での各省庁の要求も採択されないことがはつきりした。これまで、官僚主導から政治主導への道筋がよくわからないと

いう批判があつたが、やっとそれが明確になったといえる。

なお、ここで指摘したことの一部を含めて「危険社会から安全・安心社会をめざして」と題した論考が、6月21日に岩波新書の緊急出版として、内橋克人編「大震災のなかで 私たちは何をすべきか」に約30名のほかの執筆者のものと一緒に取り上げられることになっているので、ご一読いただきたい。



写真8 【相馬港】岸壁の倒壊

失われたおびたしい「いのち」への追悼と鎮魂こそ、私たち生き残った者にとって復興の起点である。この観点から、鎮魂の森やモニュメントを含め、大震災の記録を永遠に残し、広く学術関係者により科学的に分析し、その教訓を次世代に伝承し、国内外に発信する。

原則1

被災地の広域性・多様性を踏まえつつ、地域・コミュニティ主体の復興を基本とする。国は、復興の全体方針と制度設計によってそれを支える。

原則2

被災した東北の再生のため、潜在力を活かし、技術革新を伴う復旧・復興を目指す。この地に、来たるべき時代をリードする経済社会の可能性を追求する。

原則3

地域社会の強い絆を守りつつ、災害に強い安全・安心のまち、自然エネルギー活用型地域の建設を進める。

原則4

被災地域の復興なくして日本経済の再生はない。日本経済の再生なくして被災地域の真の復興はない。この認識に立ち、大震災からの復興と日本再生の同時進行を目指す。

原則5

原発事故の早期収束を求めつつ、原発被災地への支援と復興にはより一層のきめ細やかな配慮をつくす。

原則6

今を生きる私たち全てがこの大災害を自らのことと受け止め、国民全体の連帯と分かち合いによって復興を推進するものとする。

原則7

表2 復興構想7原則

巨大地震および津波の発生

宮城県沖を震源としたM9・0の巨大地震および津波が発生した。東北地方太平洋沖地震と気象庁により命名され、我が国での歴史上最大の規模であり、沿岸各地で壊滅的な被害を受けた。主な断層活動の範囲は、南北約500km東西約200kmであると推定されている。過去、この地域では、三陸沖、宮城県沖、福島県沖、日本海溝沿い、など個別地域でそれぞれ地震が評価されてきたが、今回、一気に連動し超巨大地震が発生したことになる。本文は、事前での取組や発災から約3ヶ月たつて分かった事項などを紹介したい。

予防・減災の活動

1991年に東北大学大学院工学研究科において災害制御研究センターが発足し、世界で初めて津波工学研究分野が設立された。現在まで、実践的な津波防災および減災に向け、地域の住民や行政の担当者の方々と邁進してきた。地域防災計画立案への支援、被害評価、ハザードマップ作成、その活用への支援、防災教育・啓発など、さまざまな事業を展開してきた。住民だけでなく海岸利用者にも津波に対する注意を喚起し、いざという時に避難出来るように、警戒域を示す看板なども設置した(写真1)。しかしながら、住民の方々とハザードマップを持ち、津波避難行動の1つ1つについて一緒に話し合いをした地区の避難所でさえ、津波により飲み込まれてしまった。このような大震災の姿は、今までの活動や対応を否定されてもおかしくない状態

特集2

東日本大震災



東北地方太平洋沖地震および津波について

今村文彦

東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター教授

未曾有の大震災に対して、復旧・復興の動きが徐々に始まりつつある。
ここでは最前線で活躍されている今村教授にその現状をご報告いただいた。



写真1 仙台市内で津波警戒区域を示す看板

であり、地震および津波の爪痕が残っている沿岸部の多くが地盤沈下している中、防潮堤・防波堤さらには防災無線も機能しておらず、リスクが高い状態になっているので、そこでの対応(2次的な被害を出さない)へも支援させていただいている。

調査・解析の開始

私は多くの津波災害の現場を数々踏んできたが、目の当たりに見る今の被災状況は、従来の知識と想像を遥かに超えたものであった。今までの街並みを一変させ、自然の地形のみが広がる風景に絶句した(写真2)。津波が来襲した面積は500kmを超え、様々な甚大な津波の爪痕を残し、地域を一気に飲み込んでいった。その被害の明暗は、今回の災害の残酷さを際立たせた。

被害の大きかった地域では、今回の津波の実態は把握できていない。験潮所も破壊されたために正確な高さや波形は記録されていないので、全国の研究者・技術者の方々に連携していただき、各地の痕跡調査を展開している。土木学会海岸工学委員会・地球惑星連合等の関係者が、ボランティアで運営する東北地方太平洋沖地震津波に関する調査および情報集約のためのサイト(<http://www.coastal.jp/titi/>)に集約している。

今回の被害の実態をしつかりと調査し教訓として残し、今後の対策の見直しや地球システムの中で共生するという我々の生活のあり方を再考することに活かしていくことが、現在の我々の使命であると肝に念じている。さらに、現在も余震活動が活発

今回地域により2つの津波の姿がある。1つは三陸沿岸で最大遡上が39mを超えるような規模であり、過去の明治や昭和地震



写真2 甚大な津波による被害エリアでの捜索活動(福島県新地町)

津波とほぼ同じような浸水範囲であった。ここでは、押し波だけでなく引き波の破壊力も甚大になっている。一方、仙台平野のように、最大規模は15m程度であるが、宮城県沖地震津波(連動)の想定を遥かに上回り、浸水範囲も10倍以上になった。広域な範囲で長期間の浸水が見られている。

沿岸での防潮堤などを始めとした保全施設が整備されている。各地域で整備水準が異なるところであるが、どのように津波に対して被害軽減の役割を果たしたのか評価しなければならない。また、堅固な施設でも被害を受けた事例があった。津波来襲後のどの時間帯でどのように被災したのか、詳細な検討を行う必要がある。岩手県では津波防災専門技術委員会が具体的な検討を行っている(2011)、図1には、陸前

高田市での事例を示す。図右側から侵入した津波は、沿岸構造物がないとそのまま、内陸に遡上後も奥に水位を徐々に増加させ、沿岸から5kmほどに達すると、低下がやっと見られる。浸水深で10mもの値が推定されており、甚大な破壊力が作用していると考えられる。構造物が健全に残っていた場合には、陸上での水位を2〜3割低下させる効果が期待出来る。また、時系列水位データの比較により、津波先端部の到達時間も1分ほど遅延できるようである。なお、防潮堤を遥かに超えてしまったために、この地域では流速の低減効果は期待出来ないようである。このような解析結果は、今後各地で実施され、何が起ったのか?どの程度防災対策の効果があったのか?などの検証のために参照されると期待

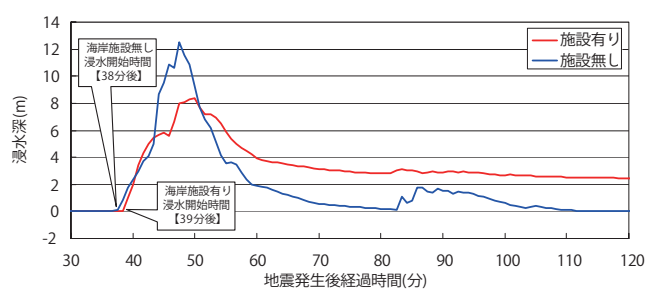
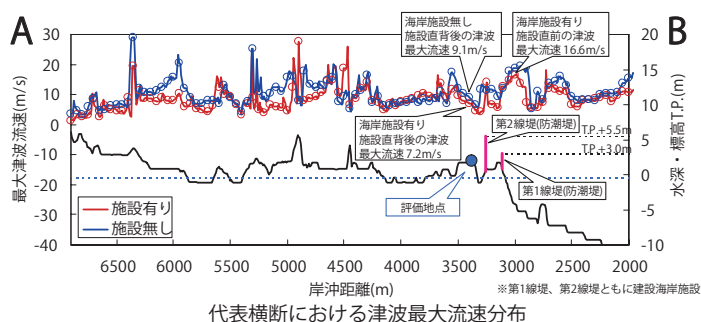
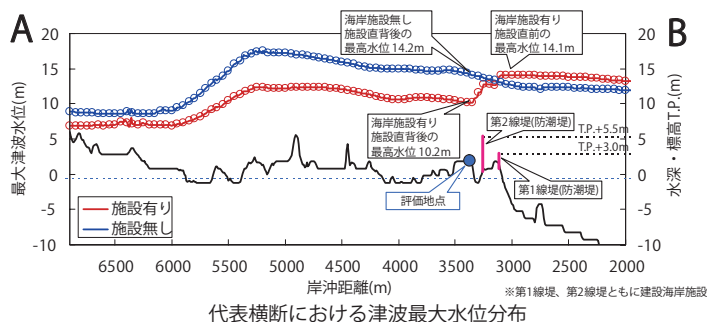


図1 陸前高田市での津波解析事例(構造物の有無)

図1、2出典：第2回岩手県津波防災技術専門委員会、資料4-1、P9

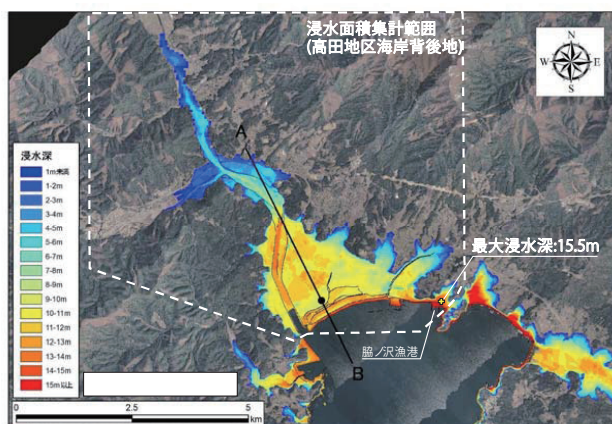
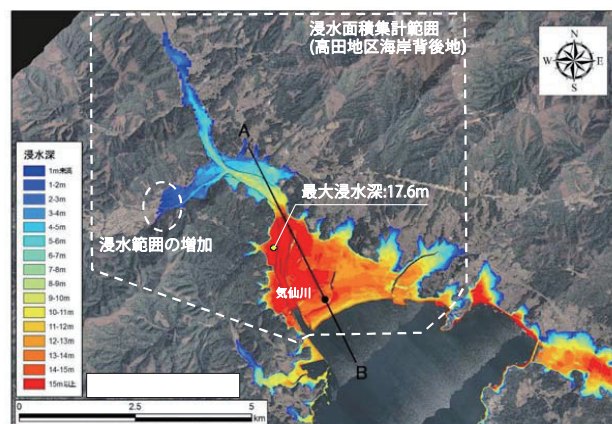


図2 構造物有無による浸水域・浸水深の違い

される。

被災地の姿

今回の東日本大震災を人的・物的被害の面から考えると、津波による被害が圧倒的に広かつ甚大である。現時点で死者・行方不明者は23000名を超えており（6月2日現在）、各地で、犠牲者の9割が水死者と推定されている。津波来襲時に目の前で親族・知人を失った心痛は筆舌に尽くし難いものである。

沿岸平野では、海岸線から約5 km内陸

まで津波が浸水し、地盤沈下も伴い長期浸水しているエリアが広く存在している。さらに、一般の家屋・建物だけでなく、仙台空港・港湾などの重要なインフラ設備を含む道路や鉄道など交通機能にも甚大な被害をもたらした。また、地域での重要な交通手段である自家用車を多数失ったことも、復旧・復興への活動に足枷となっている状況がある。

津波の浸水に伴う沿岸構造物、家屋・建物、インフラ施設、防潮林への被害だけでなく、浸食・堆積による地形変化、破壊さ

れた瓦礫や船舶などの漂流、さらには、可燃物の流出と火災、道路・鉄道（車両も含む）など交通網への被害など、現在想定される津波被害のほぼすべてのパターンが発生したと考えられる。破壊程度は海岸に近いエリアほど大きく、甚大な津波による衝撃力が作用した地域では、漂流した車両が元の形を残さず散乱している様子は想像を超えた姿であった。被災地に立った方々からは、一同に「まるで爆撃された街のようである」との言葉を聞いている（写真3）。



写真3 破壊的な被害を受けた状況（仙台市若林地区と荒浜地区）

原因	誘因	影響	被害パターン
浸水	海水（塩分）	溺死、火災、海水植物枯	地域崩壊、火災、農業被害
流れ	漂流物、土砂、可燃物	構造物破壊、浸食堆積、火災	家屋・施設被害、インフラ被害、環境破壊、水産被害
波力		破壊力（破壊増）	家屋・施設被害、インフラ被害、交通機関への被害

表1 津波被害と原因

漂流物被害

今回の津波に関する特徴の1つが、漂流物である。従来でも、漁船、破壊された家屋の残骸、自動車、タンク、などの移動・漂流があり、被害拡大の一因になると指摘されたが、今回は、その影響の規模が極めて大きかった。

岩手、宮城、福島3県で、津波被害を受けた自動車は少なくとも23万6千台に上ることが推定されている。津波で浸水した世帯数などから台数を推計した数値であり、道路で移動中や勤務地での駐車などを考えると実態としては、さらに多いものと思われる。なお、宮城県では約14万6千台が被災したと算出しており、登録台数の1割に相当している。（河北新報、2011）

漁船の場合には、さらに深刻である。青森、岩手、宮城、福島の東北4県の漁船は計1万9000隻に上る。4県の登録漁船数のほぼ半数に当たり、多くが津波で陸上に押し流されたり、大破したりした。宮城は被災率が87%に達し、4県で最も高かった。被災漁船のうち陸上に打ち上げられた漁船は1400隻確認され、被害拡大の一因となった（写真4）。再利用できる漁船も一定程度あるとみられ、県は近く、詳細な被害実態調査をまとめる。

津波外力の見直し

土木学会東日本大震災特別委員会（委員長 長阪田憲次会長）は、今回の東日本大震災を受けて、特に未曾有の災害となった津波について土木学会として独自の総合的取り組みが必要と判断し、土木学会東北関東大



震災特別委員会のもとに「津波特定テーマ委員会」を設けることとした。ミッションは以下の通りである。

1 既往最大または可能最大津波規模の推定

(1) 今回の津波高さ（遡上高、沿岸での津波高さなど区別）の整理

(2) 過去の津波（貞観、慶長、明治、昭和）などと比較する。また、今回も含めて既往最大の津波評価を行う。↓復興への客観データを作成する。特に、重要施設などの移転先の目安を与える。

2 今回の津波に関する基礎情報整理（暫定と詳細）

(1) 地震の推定と津波発生メカニズム

(2) 被災メカニズムの検証

① 現況堤防と痕跡調査から得た津波高の関係

② 背後地の被災状況・被災範囲

③ 堤防及び裏法面の被災状況

(3) 半壊堤防や機能を發揮した施設の効果検証

① 従来計画

② 半壊堤防の効果検証

③ 機能を發揮した堤防の効果検証

3 今後の津波高潮の対策（ハード・ソフト・地域防災）のあり方の検討・提言（他特別委員会との連携）

(1) 復旧堤防断面の構造検討

① 築堤材料

② 被服工法

③ 減勢処理

(2) 一定の規模を超える津波を想定した避難対策等の考え方の整理

① 地域の生業と居住・生活の安全性確保

保のあり方・都市計画

② 避難のあり方、避難を助ける施設のあり方

いずれも重要な課題であり、各地域で復旧・復興を実施していく際に、必要な内容である。

安心・安全なまちづくりのために

東日本震災による津波被害を受けて、我が国での地震・津波災害に対してまちづくりも含めた対策を考え直す必要がある。従来は、既存の地域を守るためのハード整備が実施され、それを越える場合には、避難体制やまちづくりで対応するという総合防災の基本があった。ハード、ソフト、まちづくりの要素は不変であるが、今回は、まず、第一歩として、災害からつよいまちづくりを行い、多重の防災機能を持たせた施設や体制をとりた。

中規模以下の通常の災害に対しては、ハード対策で対応することが原則となる。この場合、社会基盤整備は新設のみでなく、既存の施設の有効活用、自然力の利用、多重ラインでの対応、という視点も大切である。

一方、巨大災害に対しては、先ず人命被害を最小とすることが災害対策上求められる。そのためには、社会基盤施設、ソフト対策との適切な組み合わせによってカバーする必要がある。つまり、大規模な被災を前提とするものの、影響の部分化、人命被害の最小化、復旧のし易さ、などを考慮した施設の整備・管理が求められる。

地震や津波などの①発生間隔・頻度および

規模や②影響（被害）を考慮し、地域集落ごとの個別の③生活条件・地形条件などから、安全レベルを設定し、減災への対策の④効果および費用を評価して、地域での減災レベルを合意形成する必要がある。①④における個々の合理的な評価を下に、住民および行政の間で目標（レベル）をどう作り上げて行くかが、地域安全の確保のための第一歩である。

いま、議論している2つの津波外力レベルが以下の通りである。

レベル1：海岸線の津波防護レベル（海岸法2条・海岸保全計画・基本方針などに関連）

海岸保全施設の設計で用いる津波の高さのことで、数十年から百数十年に1度の津波を対象とし、人命及び資産を守るレベル

レベル2：地域の津波減災レベル（地域防災計画、津波対策編（災害対策基本法40条などに関連）

津波レベル1をはるかに上回り、構造物対策の適用限界を超過する津波に対して、人命を守るために必要な最大限の措置を行うレベル

対象津波は貞観津波クラスの巨大津波とし、その発生頻度は500年から1000年に一度と

考えられる。

おわりに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震および津波は、その強大な破壊力によって東日本に直接的および間接的に壊滅

的な被害をもたらした。日本のみならず世界を震撼させた。時の流れを変え、以前に戻したい思いであるが、後戻りはできない。このような巨大な自然災害から如何にして復旧・復興するか？今後の備えをどうすれば良いのか？国あるいは地域として、基本的な考え方が問われている。現在、提起されている課題には、「防災」という分野だけでは捉えることのできない、国土や社会構造も含めた総合的な検討が求められている。我々の先人は甚大な災害を乗り越え、かつ、様々な智慧・教訓を今の時代にも残している。いま、我々はこの大震災の経験から何を残せるのであろうか？



写真4 沿岸域での被害状況。船舶などの漂流物により被害の程度は拡大していった

2011年3月11日14時46分、太平洋三陸沖を震源としたM9・0の海溝型巨大地震が発生し、東日本を中心に甚大な地震と津波の被害をもたらした。全国で2万4千人以上の死者・行方不明者となっており、本当に悲惨で残念な結果である。港湾空港技術研究所では、この災害から港湾・空港・海岸を早期に復旧・復興させるため、テックフォース（国土交通省緊急災害派遣隊）による現地調査など、技術的な支援を国土交通省国土技術政策研究所や東北地方整備局等と協力して実施している。また、今後の国際協力を視野に入れて米国土木学会（ASCE）なども協力した調査も行っている。ここでは、港湾施設等の津波被害についてこれまでの調査結果を報告する。

GPS波浪計で捕らえられた 沖の津波と10mの大津波警報

図1の左図は、概略の震源域を示すもので、この南北400km、東西200kmの広大な海底地盤が隆起・沈降して巨大な津波が発生している。この巨大津波を日本列島の沖合いに配置された国土交通省港湾局のGPS波浪計が観測しており、図1の左図にはGPS波浪計の位置とそれによって捉えられた津波高も示している。例えば釜石港の沖合い18kmで水深204mにあるGPS波浪計によって6・7mの津波が15時12分に観測され、広田湾沖でも5・7mの津波が15時14分に観測されている。

図1の右図には、単調な海岸に直角に入射した場合を仮定し浅水変形を考慮した汀線での津波高（換算汀線入射津波高と定義）も示している。換算汀線入射津波

東日本大震災における 港湾施設等の津波被害

特集3

東日本大震災



独立行政法人港湾空港技術研究所

アジア・太平洋沿岸防災研究センター長
高橋重雄

海洋研究領域長
下迫健一郎

有川太郎

アジア・太平洋沿岸防災研究センター上席研究官

辰己大介

アジア・太平洋沿岸防災研究センター研究官

国土技術政策総合研究所

沿岸海洋研究部
根木貴史 沿岸防災研究室長

甚大な被害を受けた港湾および空港設備。ここではその壊滅的な被害の実態とともに、防波堤などの港湾・海岸構造物の効果についても報告する。

高りはGPSでの水深 h_G 、津波高 η_G 、として $\eta = (h_G \eta_G)^{0.2}$ である。水深1000〜2000mから浅い沿岸に来到し浅水変形によって2から3倍の値となり、久慈沖で7・9m、宮古沖で12・6m、釜石沖で13・3m、広田湾沖で11・1m、金華山沖で10・9m、小名浜沖で5・7mである。気象庁は、地震発生後3分以内（14時49分）に大津波警報（宮城県で6m以上）を発令していたが、このデータを基に15時14分に10m以上に変更している。

この津波は、東北・関東の太平洋沿岸の町に壊滅的な被害を及ぼした。特に10m程度の津波の破壊力は巨大であり、過去の津波災害で認められたすべての種類の被害が大規模に発生している。

巨大な津波による多様な 壊滅的な被害

た換算汀線入射津波高も示している。換算汀線入射津波高で明治三陸地震津波と今回の津波を比べても、久慈沖を除き、明らかに今回の津波がかなり大きいことが分かる。なお、明治三陸地震津波によるGPS位置での津波高は、久慈沖で9・2m、宮古沖で6・9m、釜石沖で7・0m、広田湾沖で5・2m、金華山沖で2・6m、小名浜沖で1・2mである。

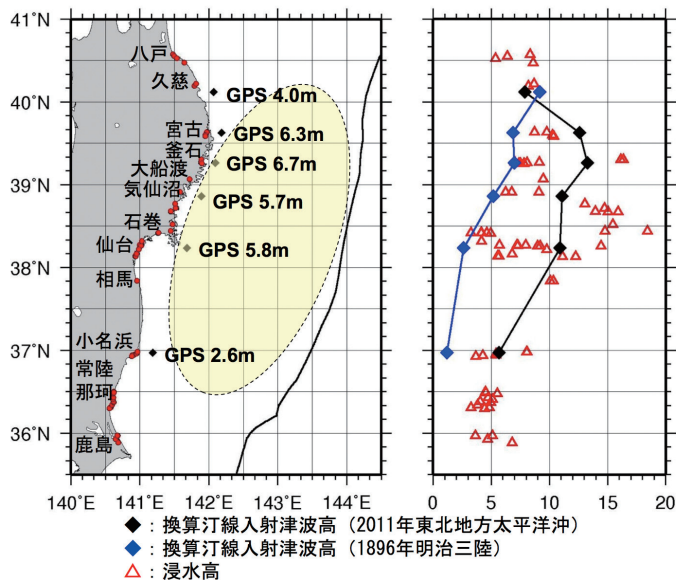


図1 (左図)震源域とGPS波浪計による観測津波高
および(右図)換算汀線入射津波高と津波の痕跡高

高では5mから15mの間に分布し、かなりばらついている。よく知られているように海岸の地形によって浸水高や遡上高は大きく変化している。同図には換算汀線入射津波高も示しているが、計測された津波痕跡高の平均的な傾向に一致しており、岩手県・宮城県の県境付近で10m以上となっている。



写真1 破壊された護岸 (ASCEとの調査：唐丹小白浜地区)



写真2 破壊された護岸 (中央部) と背後の被害 (唐丹小白浜)



写真3 普代村の水門と防潮壁 (Google Earth)

岩手県や宮城県の沿岸では、津波に対する堤防や護岸（防潮堤）・水門や閘門が数多く建設されており、多くの場所ですべてを越えて津波が侵入しており、結果として破壊されているものも少なくない。写真1は、唐丹小白浜漁港の防潮壁（高さ12m、長さ420m）である。15mを越える津波は防潮壁を越えるだけでなく、防潮壁の中央部を倒壊しており、背後の家々が厳しい浸水被害を受けている（写真2）。津波低減効果を発揮するためには、こうした巨大な津波に対しても粘り強い構造で、津波低減効果を発揮する必要がある。越流を許したときの津波低減効果や構造物の安定性に

ついては、さらに検討が必要である。通常の防波堤や護岸、離岸堤や突堤も被災を受けている。例えば防波堤では、八戸港の八太郎地区北防波堤や相馬港沖防波堤などに大きな被害が出ている。日本海中部地震津波などの津波災害では波除堤の滑動や開口部付近の洗掘被害など限定的であったが、この津波では外洋に面した防波堤のケーソンにも滑動が見られる。ただし、消波ブロック被覆堤など比較的ケーソン幅が小さいものがほとんどである。この地方の防波堤などの多くは厳しい太平洋の波浪に対して設計されており、結果的に比較的粘り強く、津波は巨大であったが壊滅的な被害

には至っていない。入射する津波の高さが増大しても越流するために、津波力が津波の高さほどには増大しないことが粘り強さの原因の一つと考えられる。なお、多くの港湾・海岸構造物が被災しているが、残っているものも少なくない。写真3は岩手県の普代村の航空写真であり、ここには普代川の水門（写真4、高さ15・5m、長さ205m）があり、上流部を守っていた。また、南側には太田名部漁港があり、背後に防潮堤（写真5）がある。津波はこの津波水門を数m越えて普代川に流れているが、大きな浸水被害は免れている。一方、津波は太田名部漁港では

10m程度の浸水高さで防潮堤を越えてはいるが、背後の町は無事であった。ほぼ同じ地区で浸水高が大きく異なるのは、主として前面の海岸の地形と津波の波向きによると思われるが、漁港が複数の防波堤で守られていたことも一因と考えられる。

津波防波堤の被害と効果

釜石および大船渡などには、津波と波浪の低減を目的として湾口に防波堤が設置されている。釜石湾口防波堤（津波防波堤）は、明治三陸津波を設計対象にして、港奥で約8mの浸水高を約4mに低減することを目的に建設されている。今回の津波は、設計を大きく上回る津波であり、この防波堤に大きな被害がでている（写真6）。ただし、厳しい太平洋の波浪が設計外力を決めており、撮影されたビデオ映像によると、比較的粘り強く、第一波のピーク時近

くまでは大きな被害には至っていない。

図2は釜石港の津波の伝播計算結果であり、GPSのデータを用いて外洋から湾内への計算を行っている。釜石湾には湾口防波堤があり、その防波堤が有る場合と無い場合を計算している。湾奥の潮位観測所付近では、防波堤が無い場合には13・7 mであるが防波堤がある場合には8 m程度になり、津波高を60%程度に軽減することになる。実際の測定値でも8 m程度の津波の高さとなっており、防波堤がある場合の計算値にほぼ一致している。ビデオ映像から判断されるように、防波堤は、第一波の最大



写真4 普代村の水門(海側)



写真5 普代村太田名部地区防潮堤(右が守られた陸側)

港湾・海岸構造物の被災と津波力

図4は、港湾・海岸構造物の被災原因としての主要な津波の力をとりまとめたものである。すなわち、

①構造物前後の大きな水位差による力が、防波堤や護岸を破壊している。比較的水深が大きな場合の前面と後面の水位差から求められる比較的静水圧的な力であり、それによる揚圧力なども考える必要がある。
②海岸付近で波が碎ける場合などで、碎けた波の切り立った波面が衝突して、胸壁な

どを破壊している。

③流れによる抗力で捨石やブロックが散乱している。

④流れによる大きな洗掘力が構造物周辺に顕著な洗掘を引き起こしている。

ただし、これらの力は押し波時だけでなく引き波時にも作用することに留意する必要がある。引き波で破壊されているものも多い。またこれらの力によって構造物の被災を説明するためには、各構造物にどのような状態(水位波形や流速)の津波が作用しているか、数値計算などで定量的に評価することが必要である。

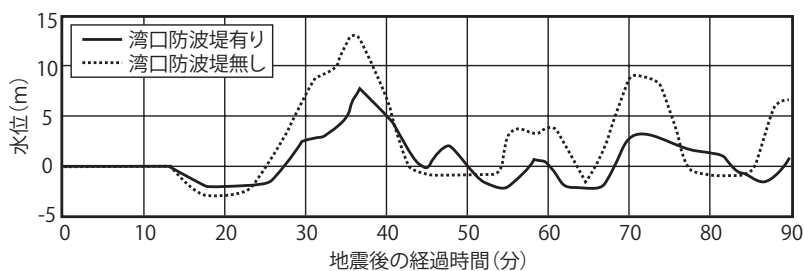


図2 釜石港須賀地区における津波高の計算結果



なお、建物などの構造物に作用する津波力もほぼ同様に考えることができる。ただし、建物に対する速い流れによる力は抵抗力として算定することに留意する必要がある。また、船舶やコンテナなどの衝突力の算定にも津波の水位や流速の評価が重要である。

おわりに

想定外の想定

港湾空港技術研究所では、海域施設への性能設計の導入を進めてきており（高橋ら2003）、特にインド洋大津波やハリケーン・カトリナの大災害以来、通常の設計を超えるような（想定外の）津波や高潮災害に備えることの重要性を指摘してきた。性能設計では最大級の津波をレベルⅡとして考え、最低限、人命を守る対策を考えることが重要である。すなわち、レベルⅡの津波に対しては、防潮堤などの防災施設で津波を防ぐことはできないが、津波を軽減して避難を的確に行えるようにし、重要施設の壊滅的被害を防止し、甚大な二次災害を防ぐことや早期復旧を可能にすることが不可欠である。そのためには、防災施設自体が粘り強い構造で、レベルⅡの津波に対してもそれを軽減する機能を保持することが必要である。

津波の観測

GPS波浪計などによって沖合いで津波を捉えることは、津波の危険度を正確に把握するのに重要である。現在の技術では、精度の関係から沖合いから20kmの位置までに置かれているが、技術開発によってさらに沖合いで震源に近いところで津波を捉え



写真6 釜石湾口防波堤（沈下・滑動した北堤ケーソン）

ることができる。早い時間に的確な判断ができることとなる。また、沖合いや港付近で津波計やビデオによる観測ができ、関係機関でそれを見ることができれば、緊急避難が推進できる。少なくとも警察官や消防署員が海の近くまで出かけていく危険を回避できる。

鉛直避難

今回の津波で多くの犠牲者が出しまったのは、低い平坦な土地に低層の住宅地が広がった場所であり、避難場所まで遠いところであった。津波避難の基本は、身近の高い場所への緊急避難（鉛直避難）である。できれば、避難しなくてよい中高層のアパートに住み、中高層のビルで仕事ができるようにすれば、安全性は格段に高まる。少なくとも5分程度でこつした緊急避難場所に避難できることが望ましい。すなわち、港周辺であっても、埋立地の地盤のか

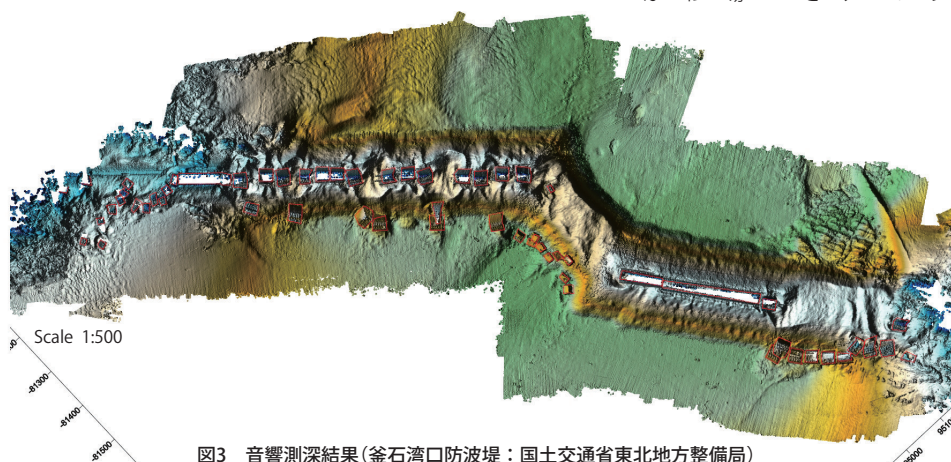


図3 音響測深結果（釜石湾口防波堤：国土交通省東北地方整備局）

さ上げや中高層ビル（事務所、住居など）の適切な配置によって、港周辺の経済活動を確保しつつ、津波に対する安全性を確保できると考えられる。

【謝辞】
この報告は、今回の地震・津波災害の調査速報（港空研資料No.1231）の一部であり、調査にあたっては国土交通省東北地方整備局ほか多くの方々の御世話になっている。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

【参考文献】

港湾空港技術研究所資料No.1231、2011年東日本大震災による港湾・海岸の地震・津波被害に関する調査速報、2011・4。

高橋重雄（2003）：「海域施設の性能設計の考え方とその適用（2003）」、2003年度水工学に関する夏期研修会講義集、土木学会海岸工学委員会、水工学委員会、pp. B111～122。

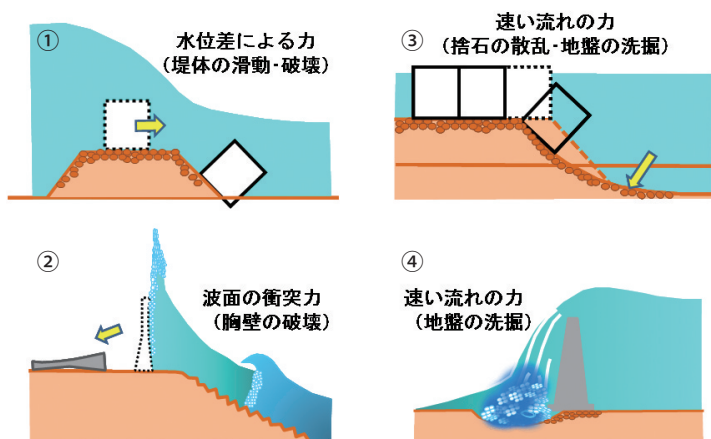


図4 沿岸防災施設の被災のパターン

まえがき

3月11日14時46分にM9・0の東北地方太平洋沖地震が発生した。このような規模の地震がわが国近海で発生するとは誰も予想していなかった。確かに、1960年のチリ沖地震ではM9・5、また、2004年のインド洋大津波を起したインドネシア・スマトラ沖地震ではM9・0にも達する規模の地震が起きていたが、それは他の国の話でわが国近海ではこのような地震は発生しないと思っていた。インド洋大津波直後の2005年1月に国連防災10年の会議が神戸で開催された。その会議に出席したとき、外国の記者から「日本ではM9クラスの地震は起きませんか?」と尋ねられた。「わが国の地震の歴史の中でそのように大きな地震は起きていないから、今後もし起きないだろう」と答えたが、本当にそうかなという反省もあった。

確かに、わが国の地震学者の誰もこのような巨大地震が発生するとは想定していなかったのではないかと思う。特に、今回の東日本大震災は災害の状態から判断すると、地震動災害というより津波災害といえるであろう。特に、今までの地震では地震動によって岸壁や護岸が大きな被災を受けることはあったが、防波堤のような港湾の第一線構造物が津波で壊されることはほとんどなかった。私の知る限りでは、津波で壊された防波堤は、1983年の北海道南西沖地震津波の奥尻港において小さな漁船を通す狭い防波堤開口部で津波の強い流速によってマウンドが洗掘され、開口部端部のケイソンが転倒した事例だけである。この理由として、第一線の防波堤は外洋からの高い風波に耐えられるように設計されており、これを超えるような巨大な津波が発生しなかったからである。しかし今回は、巨大な津波に

特集 4

東日本大震災



東日本大震災における津波 — 津波の実態把握の重要性 —

高山知司

財団法人沿岸技術研究センター沿岸防災研究所長

今回の津波によって引き起こされた防波堤などの復旧については、津波のメカニズムなどの特徴とともに、被災原因の早期の究明が必要とされている。

わが国近海の地形と津波

わが国は今までに数多くの非常に大きな地震と津波に見舞われてきた。災害を受けるような津波については、わが国近海で起きた地震の規模の整理から地震のマグニチュードがM7・0より大きくなるときであるといわれている。M8・0より大きくなるような巨大地震では非常に大きな津波が発生し、大きな被害を被ってきた。巨大地震は海溝型地震と呼ばれ、プレート境界の近くで発生する地震である。わが国の周辺には図1で示すような4つのプレートが重なり合っている。東側の太平洋プレートは西方向に毎年7・8 cmの速度で、その西側の北米プレートの下に沈み込んでいる。また南側にはフィリピン海プレートがあり、それが北の方向に太平洋プレートとほぼ同じスピードで動き、東側のユーラシアプレートの下に沈み込んでいる。また、一部が北側の北米プレートの下にも沈み込んでいる。このようなプレートの沈み込み移動で、プレート境界には深い海溝が生じるとともに、上側のプレートを一緒に引きずり込むために、上側のプレートには歪エネルギーが溜まり、もはや持ちこたえがでなくなると弱い箇所から歪エネルギーの放出が始まり、地震が発生する。地震によって歪が解放されるために地殻は大きく移動する。この地殻

移動によって海底面に変形が生じ、海底面の鉛直変動が海面の変動となって、津波が発生する。津波は、重力の作用で波源域から四方へ伝わる。太平洋プレートと北米プレートの境界には水深が10000 mにも達する日本海溝があり、1896年の明治三陸大津波や1933年の昭和三陸大津波を起した地震がこの海溝沿いに発生している。フィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界に南海トラフがあり、この南海トラフ付近で、1944年の昭和東南海地震と1946年の昭和南海地震が発生している。また、フィリピン海プレートと北米プレートの境界には相模海溝があり、1923年の関東大震災を起した地震が発生している。プレート境界の海溝付近で起きる地震は繰り返して発生している。

北米プレートとユーラシアプレートとの間にも境界があることが1964年の新潟地震以降明らかになってきた。その境界は、図1にも示しているように、日本のフォッサマグナを通り、日本海に抜け、日本海沿岸に平行して北に抜けている。この境界はお互いに押し合っているの、盛り上がりがある。その境界付近で1983年の日

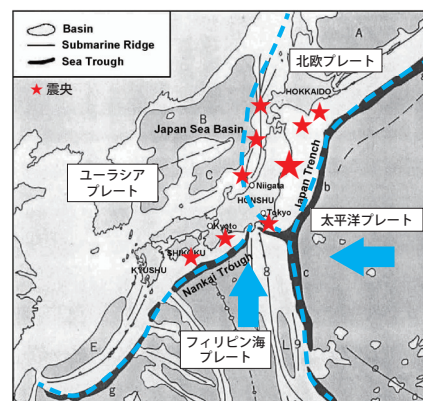


図1 日本近海のプレートと地震

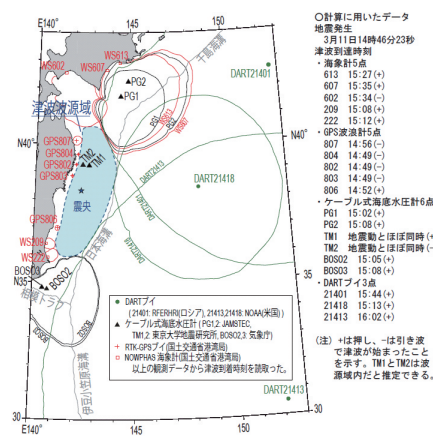
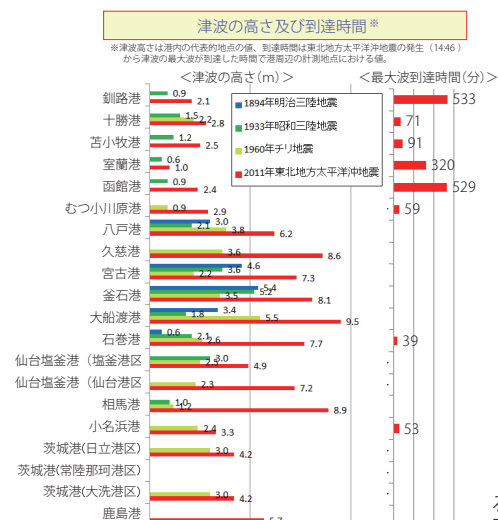


図2 東日本大震災における津波の波源域



津波の高さは気象庁の公表資料、海岸工学委員会調査結果および日本津波被害総覧（1985）より国土交通省港湾局作成。津波到達時間は気象庁及び港湾局の観測による。

図4 過去の津波高との比較

出典：国土交通省HP

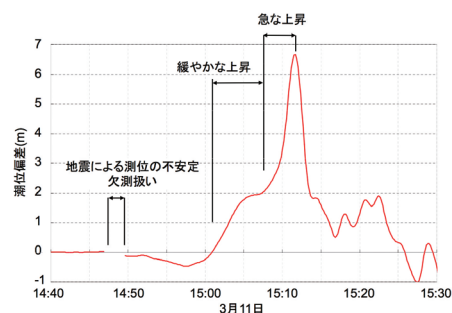


図5 岩手南部沖GPS波浪計による
津波第1波の波形

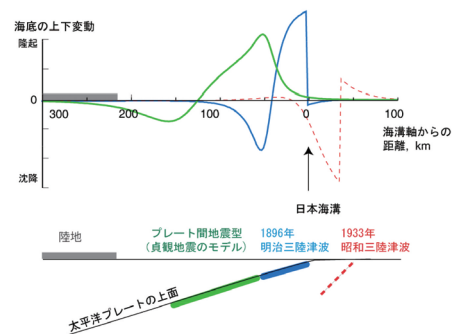


図6 断層位置と海底地盤変動

東日本大震災を起こした
津波の波源域

本海中中部地震や1993年の北海道南西沖地震
 が発生している。
 今年(2011年)3月11日発生した東北地方
 太平洋沖地震は、太平洋プレートと北米プレ
 ートの境界付近で起きた地震で、地震の震央は
 図1の大きな星印で示した場所であったが、時
 間とともに北と南に壊れて行き、断層の長さ
 が450 kmから500 kmにもなり、幅が200 km
 に達したといわれている。地震の規模はM9.0
 である。

各地における津波の到達時刻から逆伝播計算を行って、今回の津波が発生した地域を推定

て求められた津波の波源域である。波源域は海底面が変化した領域を示している。この図からわかるように非常に広い領域から津波が発生しているのがわかる。この図から海底面の変動は長さ500 km、幅200 kmに亘っている。以前に1898年の明治二陸大津波でも断層の長さ・幅



図3 明治三陸津波
地震の断層範囲

出典：『月刊地球』
Vol.25, No.5

とも図3に示すように今回の半分以下で北に偏っていた。その結果、明治三陸大津波において大きな津波が来襲したのは岩手県の沿岸部で、他の沿岸部には大きな被害は与えなかった。これは断層の長さが短かったために断層の中央部に面する岩手県沿岸部には津波は減衰を起こすことなく来襲し、断層の端部から出た津波は伝播するに伴って空間的に広がるために減衰し、宮城県以南の沿岸部には小さな津波しか到達しなかったことに よると考えられる。それに対して今回の津波は断層が非常に長く、断層の幅も広い。そのため、今回の津波は岩手県でも明治三陸大津波より大きく、特に明治三陸大津波では小さな津波しか到達しなかったような宮城県以南では非常に大きくなっている。今回の津波と明治および昭和三陸大津波との浸水高について比較したた

津波波形の特徴

今までの津波対策の中で大きな進歩の一つは、津波の来襲波形がGPS波浪計で観測され、それによって来襲津波の規模に変更が加えられ、津波の規模の推定に寄与したことである。しかしながら、その観測値が直接住民の避難に役立つことがなかったのは残念である。

岩手県南部沖のGPS波浪計による観測で求めた津波の波形を図5に示す。海底地盤の変動は、図2でも示したように非常に大きいためには、津波は長波となつて、その伝播速度は水深だけによっている。通常の風波では周期が長い波ほど速く進むために、周期の長い波は周期の短い波を追いつ越すことが起きるために、観測した波形は場所的に異なる。しかし、津波の場合は、沖で生じた初期波形をそのまま保つために、図5で示した波形と同じ形の海面変動が生じたと考えられる。ただし、水深が深いところほど速く進むために、波形は前後に潰された形を示すと同時に、水深200mのGPS波浪計設置点に到達するまでに浅水変形で津波は1・5〜2・5倍程

度高くなる。図5から最大の津波高が6~7m となっているので、海底面の鉛直変動は最大で3~5m と思われるかもしれないが、海底変動で起きた津波は岸と沖の両側に伝わって行くのでわが国沿岸には半分のエネルギーの津波が来たとすると、4~7m の海底変動があったことになる。この値は平均的に均した値で局所的にはこれを上回る値が出た可能性は十分にある。

図5からわかるように、GPS波浪計地点でも初期に海面が下がっており、海底が沈み込んだことを示している。そして、時間とともに海面はさらに下がってゆき、地震後15分位から海面は上がり始め、約20分で緩やかな波形になり、それから3分後に急激に立ち上がり、26分後に最大津波高6.7mに達する。このような観測波形から海底が沈み込んだ海域は、平均水深を1000mと仮定すると、このGPS波浪計から沖側約100kmまで達すると推定できる。それから沖側で海底が隆起し始め、これより沖側の平均水深を3000mとすると、さらに100km沖側から急激に海底が隆起し始め、大きく隆起した海域は70kmに達する。このような簡便な計算でも隆起した海域を推定することができる。

このような観測津波波形の変化から、東大地震研究所の佐竹教授は、869年の貞観地震と同じような沿岸部に近い地震と1896年の明治三陸地震のような海溝に近い地震とが同時に発生し、それぞれによって起こされた海底地盤変動が重なって緩やかと急な盛り上がり波形になったと推定している。このことを示したのが図6である。他のGPS波浪計で測られた第一波の津波波形がどのようなものになっているか比較したのが図7である。この図は（独）港湾空港技術研究所の河合上席研究官が整理したものである。津波波源域から距離によって第一波のピークの到達時間は波浪計ごとに異なるけれども、福島沖の波浪計を除けば第一波の波形は引き波から始まり、緩やかな盛り上がりがあって、次に急激な盛り上がりが続く形状はどの波浪計でも同じである。一方、福島沖は小名浜沖になるためになり南に位置しており、大きな地殻変動があった

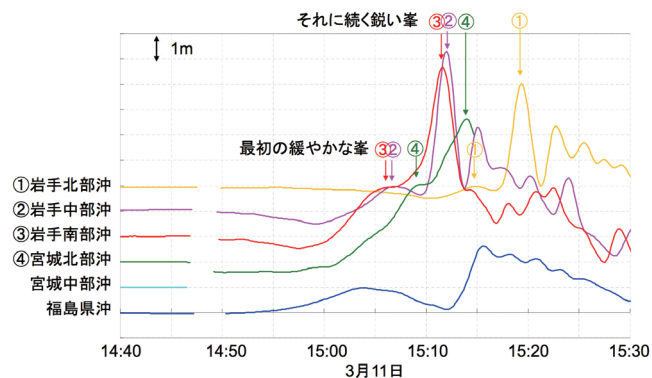


図7 GPS波浪計で観測された津波第1波の波形

場所が岩手南部沖に位置しているために、このような波形になったものと推定できる。このような観測データを用いて建築研究所が逆解析を行い、図8に示すような初期水位分布を求めている。この初期水位分布を用いてGPS波浪計で観測された波形との比較が港湾空港技術研究所で行われており、その結果を岩手南部沖と北部沖について示したのが、図9(a)、(b)である。図中のBRI-1は地殻変動が同時に起きたと仮定した計算値で、BRI-2は地殻変動が移動して伝わったと仮定した計算値である。両者の差は小さく、地殻変動が同時に起きたと考えると問題がないことがわかる。岩手南部沖の観測値と計算値は第一波のピークの到達時間と急激に尖ったようになる波形ともよく合っている。ただし、津波高が少し小さい傾向がある。それに対して、岩手県北部沖では、計算値の第一波のピークは観測値より約7分程度遅く

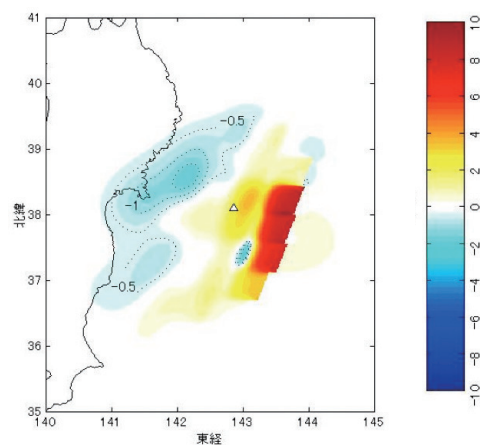


図8 逆解析による津波の初期水位分布

到達しており、津波高もかなり小さい。図8に示した初期水位モデルでは岩手北部に来襲した津波を表現できていないことがわかる。大きな初期水位分布の部分がつまみ北側に広がっているのではないかと想定される。

津波の実態把握の重要性

この東日本大震災は14時46分に発生したこともあって、非常に貴重な映像がビデオや写真に数多く残されていることである。どのような状態で津波が来襲したか、また家屋や構造物がどのようなに壊されたか、映像として残されており、今後の解析が期待される。また一方、今回の津波は規模が大き過ぎて、ほとんどの潮位計が欠測したために港内での津波の実態が把握できていない。被災現場を踏査することで津波の浸水高を測定することはできるが、その値はその地点での最大の値であって、第何波目で発生したかわ

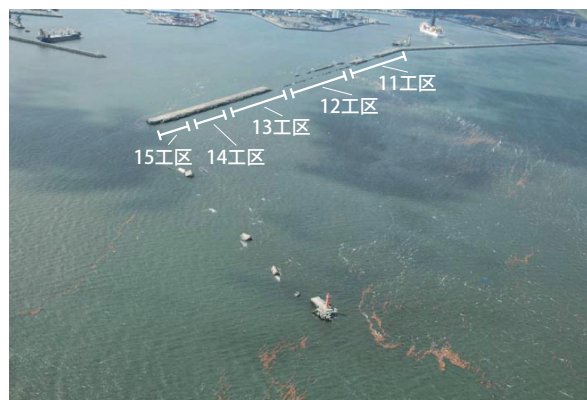
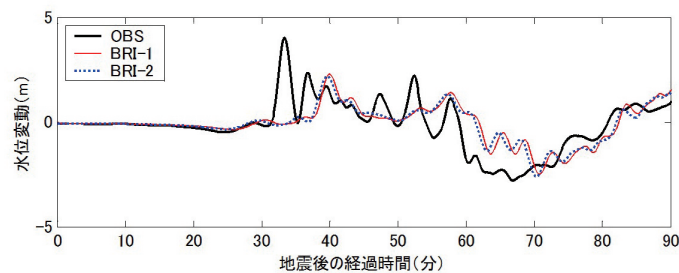
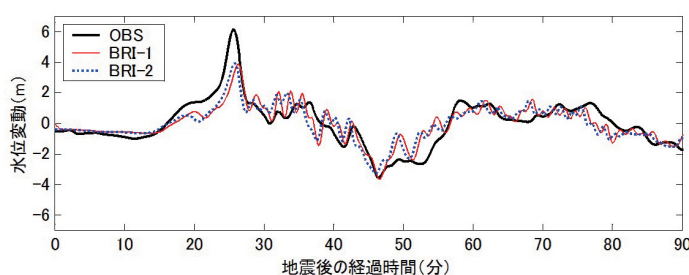


写真1 八戸港の中央防波堤の被災状況



(b) 岩手北部GPS波浪計との比較



(a) 岩手南部GPS波浪計との比較

図9 観測津波波形と計算波形との比較

※1「東北地方太平洋沖地震の津波波源」(佐竹教授他、『科学』5月号(岩波書店)掲載)



からない。このことは、港湾・海岸構造物の被災を検証するときに非常に重要な要素となる。

現場の踏査でよく聞けるのは、「一波目では壊れなかったが二波目で壊れた」とか、「二波目よりも二波目が大きかった」とか、「一波目まではもったが、二波目で壊れた」とかという言葉であるが、どの程度大きかったのか、その定量的な値が言われることは少ない。しかしながら、定量的な値がわからないと、構造物の被災原因の究明が困難になる。

八戸港の中央防波堤は写真1で示すように、約900mが被災した。中央防波堤を撮影した写真から防波堤は第一波目では壊れなかったけれども、第二波目で壊れたことははっきりわかっている。そこで、数値計算で求めた第二波目における港内外の最大水位差（これが津波における最大の水位差）による津波波力を計算した結果では、防波堤は被災しないことがわかった。そこで、写真2が示すように第二波目の津波が砕波しながら来襲したのがわかったため、ソリトン分裂による砕波波力の計算を行った。この力は通常の津波波力の1・6倍以上になるために、この津波力では被災することになるが、中央防波堤は消波ブロックで被覆されているために、ソリトンの砕波力のような衝撃的な力は作用しないと推定されるために、これが直接の原因とは考えられない。八戸港では検潮記録に欠測はあるものの運よく残っていた。この検潮記録を数値計算で再現したが、計算値は記録から大きくずれ、計算の信頼性に問題が生じた。

防波堤周辺における深淺測量の結果、防波堤背後が大きく洗掘されていることがわかった。洗掘の原因としては、防波堤を越流した津波が防波堤背後に落水してマウンドの捨石を移動させたと考えられる。そこで、防波堤前面における津



写真2 八戸港の中央防波堤に來襲する津波第2波
2011年3月11日16:24

波高から越流量と越流速度を求め、運動量の保存則から防波堤背後における海水の平均流速を算定した。そして、イシユバッシュ公式を用いて移動限界重量を求めると、1・5kgとなった。これは捨石の重量より軽く、捨石は動かないことになった。捨石マウンドの法尻は海底砂地盤であり、法尻にある砂がまず洗掘され、それが捨石マウンドを壊すことになったのではないかと推定できる。そこで、これについては、越流量の打ち込みによって大きな渦ができた可能性もあり、実験で検証することになった。

あとがき

東日本大震災では、昼間に起きたこともあり非常に多くの映像が残されるときに、技術の進歩で沖合いの津波の来襲波形がGPS波浪計で観測された。津波の観測値によって津波の規模が補正されるという効果もあった。このように情報がより正確なため、未だに津波の観測波形を精度よく再現するような断層モデルが提案されていない。このことが、構造物の被災原因を究明し、復旧を加速させることができない要因ともなっている。今回の津波の実態を明らかにすることができると新たな断層モデルの提案に期待するものである。

3月の終わりに韓国海洋研究所(KORDI)のKang See-Whan博士からメールが届き、韓国ソウルでTsunami ForumをKASTI(Korean Academy of Science and Technology)の主催で4月8日に開催するので、Keynote Speakerとしてきて欲しいとの要請があった。東日本大震災も起きたばかりで、津波の実態についても十分に調べられてはいない状況にあるために、沿岸技術研究センター理事長と相談して断る方向で検討したが、「話すのは、今までの日本における津波対策でもよいから」と懇願されて、参加することにした。本震災についてそれまでに得られた情報をできるだけ集めて、4月7日にソウル入りした。当日、ソウルは雨であったが、日本からの放射能の影響を考慮して、小学校の40%が休校になったと聞いて驚いた。Tsunami Forumはソウル市庁舎の直ぐ前のホテルで開催された。出席者は200人以上で、立ち席ができるほどに非常に盛況であった(写真3)。韓国科学技術庁の元長官といわれる人や政治家も参加していた。私以外にHanyang大学のYoon Sung-Beom教授とKORDI



写真3 Tsunami Forumにおける講演状況

のKang See-Whan博士が話された。その後、パネルドスカッションがあった。私以外は皆韓国語であったので、内容については詳細には理解できなかった。韓国も原子力発電所を現在20基既に建設しており、今後も数基建設する予定であるとのことであった。これらの原発はほとんどが韓国東海岸にあり、日本海で発生した津波の影響を受ける場所である。活発な議論の中で、私にも英語による沢山の質問があり、その中には「東京電力の初動体制に遅れがあったのは、それは日本の官僚的組織に起因するのではないのか」とあるいは「自家発電装置を津波の来ない高い場所においておくことが重要ではないか」といった質問があった。大変有意義な時間を過ごすことができた。KORDIは韓国周辺の海水の放射能調査で忙しくなったと聞いた。招聘していただいたSung-Tae KORDIの皆様には感謝申し上げます。

エコガイアストーン

新日本製鐵株式会社

沿岸技術研究センターの確認審査・評価を経て評価書を得た、海上での軟弱地盤改良および陸上での液状化対策向けコンパクションパイル材。ここではその特長を紹介する。

エコガイアストンの概要

エコガイアストーンは、転炉系製鋼スラグ単体もしくは高炉スラグ（高炉徐冷スラグまたは高炉水砕スラグ）の混合材であり、以下の2種類のサンドコンパクションパイル工法用中詰材です。

●軟弱地盤改良用スラグコンパクションパイル材料「エコガイアストーン（固結タイプ）」

転炉系製鋼スラグに高炉徐冷スラグまたは高炉水砕スラグを質量混合比で15%から50%の範囲で混合して製造された材料で、一軸圧縮強さ（材令28日）60kN/m以上の材料。

●砂地盤改良用スラグコンパクションパイル材料「エコガイアストーン（摩擦タイプ）」

転炉系製鋼スラグ単体または、転炉系製鋼スラグに高炉徐冷スラグもしくは高炉水砕スラグを質量混合比で1%から50%の範囲で混合して製造された材料で、せん断抵抗角35以上の材料。

エコガイアストーンは、最初に陸上での液状



写真1 エコガイアストンの固結状況
（締固め施工・養生後の状況）



写真2 施工前の材料（粒状）

化対策用のコンパクションパイル材として、平成18年11月に沿岸技術研究センター・港湾関連民間技術の確認審査評価証第06001号を取得致しました。

その後、評価証第06001号の更新と合わせて、鉄鋼スラグ特有の固結特性（cの特性）を重力式ケーソン等の直下の軟弱地盤改良として用いる場合の常時の安定性向上および地震時の残留変形低減等に関する有用性について、同センターでの審査を経て、評価証第10001号を取得致しました。

「エコガイアストーン」の特性

●「エコガイアストーン（固結タイプ）」の特性

表1に「エコガイアストーン（固結タイプ）」の材料特性を示したものです。エコガイアストーン（固結タイプ）は、材令28日で一軸圧縮強さ60kN/m以上を保証した材料で、実施工現場でも固結することを確認しております。（写真1…締固め養生後の施工杭の杭頭部の状況）

また、実施工杭から採取した試料を用いた三軸圧縮試験結果より、せん断抵抗角 $\phi_d=41^\circ$ 、粘着力 $C_d=37 \sim 115 \text{ kN/m}^2$ の強度を確認しております。エコガイアストーン（固結タイプ）はcの特性としての強度特性を示すことから、評価委員会では、固結特性（粘着力c）の効果をせん断抵抗角に反映して、設計値として $\phi_d=42^\circ$ として、従来の砂杭に比べて大きなせん断強度であることが評価されました。

さらに、エコガイアストーン（固結タイプ）は静的なせん断強度と同様に、動的せん断強度や剛性率が大きく異なります。以上より、エコガイアストーン（固結タイプ）は重力式構造物の基礎地盤（粘土地盤）を置換率70%以上で改良する場合において、以下に示す優れた特長があります。

- ・従来の砂材料より大きなせん断抵抗を發揮し、必要地盤改良幅の低減等により経済的な改良断面が得られます。（図1）
- ・地震時の残留変形を抑制することができま

	エコガイアストーン （固結タイプ）	比較： 天然砂
粒度範囲	40～0	4.75～0
単位体積重量kN/m ³	24～28	20
せん断抵抗角	42°（設計値）	30～35°
一軸圧縮強さ	60kN/m ² 以上	—
三軸圧縮試験結果 （現場採取試料）	$\phi_d=41^\circ \sim 54^\circ$ $C_d=37 \sim 115 \text{ kN/m}^2$	—

表1 エコガイアストーン（固結タイプ）
物理特性

以上の特長については、単体ならびに複合地盤での要素実験ならびに地盤・構造系一体の模型を用いた遠心力載荷実験により確認済みです。

特に、地震時の残留変形抑制効果については、従来の砂杭の場合に比べて60～80%に低減できることから、平成19年7月に改定された港湾の施設の技術上の基準・同解説で新たに規定された重要港湾施設でのレベルⅡ地震動に対する変形照査に対して、十分性能を満足する安価な工法として期待されます。

●「エコガイアストーン（摩擦タイプ）」の特性

エコガイアストーン（摩擦タイプ）は、液状化対策として従来の砂杭と同等な締固め改良効果があります。（図3）

また、評価証第06001号取得のために実施した試験施工では、施工能率および施工時の振動、騒音、地中変位について、従来の砂杭と同等であることを確認致しました。また、材料の膨張安定性に対して、道路路盤材（JIS A 5015）と同等に品質管理

(80℃水浸膨張率 $\leq 1.5\%$) することにより、施工後の杭周辺の膨張影響がないことを確認しており、陸上での液状化対策用コンパクションパイルとして安心して利用できる材料です。

エコガイアストンの環境適合性

エコガイアストンの有害物質の含有、溶出に関しては「土壌環境基準」「海洋汚染防止法水底土砂基準」の各種環境基準に適合した材料供給のための出荷管理がなされており、また、原料となる鉄鋼スラグはセメントと同様にアルカリ材料でありませんが、陸上工事、海上工事ともに施工時および施工後の周辺へのアルカリ溶出に関して、問題ないことを確認しております。

さらに、副産物である鉄鋼スラグの有効利用は、天然資源の保護の推進に大きく寄与致します。

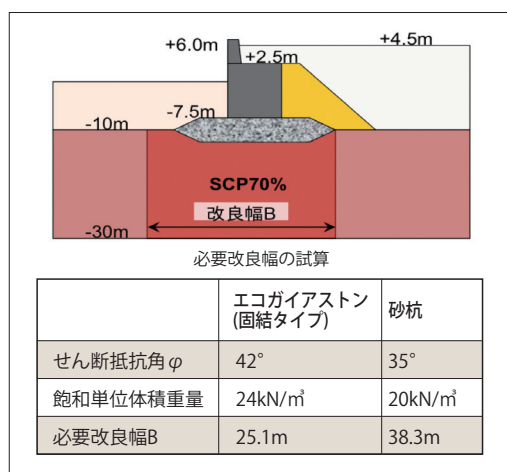


図1 護岸安定計算における改良幅の試算例

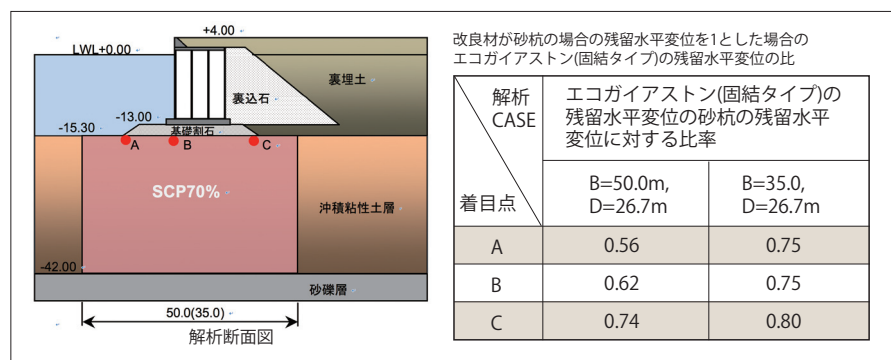


図2 エコガイアストーン(固結タイプ)の残留変形抑制に関する解析事例

エコガイアストンの適用事例

エコガイアストーンは、表2に示すように評価証第060001号の取得以降、主に陸上の液状化対策工事に採用されております。平成21年8月には、国土交通省のNETSに登録され(登録番号HK07001A)、国土交通省北海道開発局施行申請型発注工事においてその有用性が確認されました。また阿翁浦地区広域漁港整備工事において、初めて海上施工での軟弱粘土地盤改良工事に採用され、固結特性を反映した設計法の導入により改良

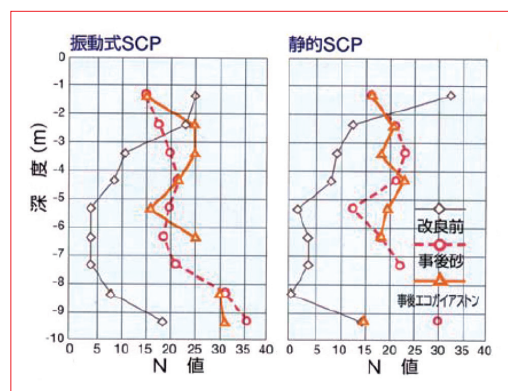


図3 エコガイアストーン(摩擦タイプ)の締固め改良効果

今後の課題および展開

エコガイアストーンは、沿岸技術研究センターでの技術評価を受け、適用事例を積み重ねてまいりました。エコガイアストンの供給元である、製鉄所は臨海部に位置することから、海上での大量輸送が可能なことから、大量の建設資材が必要な港湾・空港施設での利用推進は、特に有効です。今後は、特に施工杭の品質調査実績の積み重ねにより、信頼性向上や品質向上、性能設計に対応可能なデータの蓄積が望まれます。

工事名称	施主	施工時期	目的	数量 (t)
室蘭港入江地区岸壁(-8m)耐震化工事	国土交通省北海道開発局 室蘭港湾事務所	H18.10 ~ H20.2	液状化対策	11,000
プロロジスパーク市川川新築工事	プロロジス	H20.6 ~ 8	液状化対策	54,000
平成20年度品川内質ふ頭岸壁(-8.5m)改良整備工事	東京都港湾局	H21.5 ~ 6	液状化対策	7,852
鍋田第4埠頭地盤改良工事(その1 ~ 4)	名古屋港管理組合	H21.12 ~ H22.11	液状化対策	181,600
阿翁浦地区広域漁港整備工事(阿翁浦漁港10工区)	長崎県東北振興局	H21.11 ~ 12	岸壁支持力	34,200
君津共同火力6号発電機建設工事	君津共同火力(株)	H22.2 ~ 3	液状化対策	7,000
東京電力千葉火力発電所タービン増設工事	東京電力(株)	H23.4 ~ 6	液状化対策	120,000

表2 エコガイアストンの施工事例

NEWS 01

海洋・港湾構造物維持管理士資格認定試験の実施について

平成23年度海洋・港湾構造物維持管理士資格認定試験を以下の要領にて実施いたします。

本資格認定試験は、海洋・港湾構造物の適切な維持管理に貢献するため、維持管理業務に係わる技術者に対して、その専門的知識、技術、技能について審査の上、維持管理に関する資格を認定するものです。

【受験資格】

沿岸技術研究センターのホームページをご覧ください。

【受験申込受付】

8月下旬から沿岸技術研究センターのホームページにて受け付けます。

【試験会場】

◎大阪会場

日時：平成23年10月30日（日）

場所：大阪商工会議所

◎東京会場

日時：平成23年10月30日（日）

場所：タイム24ビル

【試験内容】

「択一式」（注）および「記述式」とも出題範囲は以下の通りです。

- ・海洋・港湾構造物とその維持管理全般に関する知識
- ・関係法令に関する知識
- ・海洋・港湾構造物の変状に関する知識
- ・技術者倫理
- ・点検診断を計画実施する知識、技術
- ・点検診断を判定する知識、技術
- ・総合評価を実施する知識、技術
- ・維持・改良工事を計画（設計）する知識、技術
- ・維持・改良工事を実施する知識、技術

（注）平成21年度～平成23年度に実施の海洋・港湾構造物維持管理講習修了検定合格者は択一式試験が免除されます。

NEWS 03

東北事務所を開設しました

沿岸技術研究センターは、仙台市に東北事務所を開設しました。東北事務所では、関係の方々の様々なご要望に迅速に対処し、東日本大震災による甚大な被害の復旧・復興を支援することを目的としております。

所在地等につきましては、以下のとおりです。

【場所】

仙台市青葉区花京院1丁目1番6号

Ever-i 仙台駅前 701号室

【アクセス】

JR「仙台駅」徒歩5分

【電話・FAX】

022-302-4334



NEWS 02

固定式荷役機械及び軌道走行式荷役機械に係る確認業務を始めました。

沿岸技術研究センターは、港湾の施設の技術上の基準への適合性を確認する業務（確認業務）を行う機関として、港湾法に基づき国土交通大臣の登録を受けています。これまで外郭施設、係留施設等の確認業務を行っていましたが、港湾計画において大規模地震対策施設として定められている固定式荷役機械及び軌道走行式荷役機械については確認業務を行っていませんでした。

これら荷役機械について確認業務を実施するため、国土交通大臣に対し登録事項及び確認業務規程の変更申請を行ったところ、平成23年3月28日に認可が得られました。これにより、平成23年4月1日より、これら荷役機械に係る技術基準への適合性に係る確認業務を開始しております。

改正後の確認業務規程や手数料一覧表については、ホームページのリンク「港湾の施設の技術上の基準との適合性を確認する業務（確認業務）」からご確認ください。

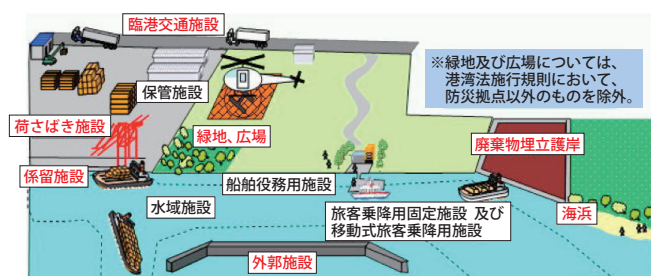


図 技術基準への適合が必要となる施設(赤字で表示)について
(国土交通省港湾局HPより)

沿岸技術ライブラリー No.36

浸透固化処理工法技術マニュアル(2010年度版)

地震時に発生する液状化現象は、港湾、空港、道路等の土木施設や建築施設等に多大なる被害を与えます。

1995年の兵庫県南部地震により構造物の耐震基準が大きく見直されました。その結果新基準に適合しない構造物や液状化対策が実施されていない構造物が数多く残されたことから、既設の構造物に影響をあたえず施設を使用しながら液状化対策を施工することができる新しい技術開発の要請が高まり、「浸透固化処理工法」が開発されました。本工法は、小型のボーリングマシンを使用して構造物直下に注入管を建て込み浸透性のよい恒久型薬液を注入し、地盤内の間隙水をゼリー状の固結物で置換することで地震時の過剰間隙水圧の発生を抑制する工法であり、沿岸域・都市部において広く利用することが可能です。

本工法は実用化以降、多くの施工実績に加え、2007年に石狩湾新港で実施された「実物大の空港施設を用いた液状化実験」より多くの技術的知見が得られました。これらを踏まえ、沿岸技術研究センターでは、これまでの本工法の研究から得られた多くの知見や最新の研究成果、現地での施工実績をもとに新たな検討を加えるとともに、滑走路等の空港土木施設を対象とした設計について改めて、沿岸技術ライブラリー No.36「浸透固化処理工法技術マニュアル(2010年度版)」として発行することとなりました。

浸透固化処理工法の設計・施工に携わる技術者の方々にとって、この工法の適用にあたり、本マニュアルが有効に活用されるものと確信しております。

沿岸技術ライブラリー No.38

ゴム防舷材の維持管理ガイドライン

港湾の施設は、わが国の物流を支える海上輸送の拠点として、その機能を維持して社会に貢献していかなければなりません。平成19年4月に改正された「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」には、技術基準対象施設の維持に関する事項が明記されました。これを受けて、港湾の施設の維持管理に係る基本的な考え方をとりまとめた「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」が、平成19年10月に刊行されました。

防舷材は係留施設の附帯設備の一つとして、船舶の安全な接岸と安定的な荷役に重要な役割を果たしています。しかし、防舷材が損傷・劣化した場合には、係留施設の供用停止や供用制限等による経済的損失が発生し、施設全体の運用や維持管理にも影響を及ぼすおそれがあります。そのため、防舷材の損傷・劣化を早期に発見し、適切な機能評価に基づく対策を施す必要があります。そこで、防舷材の維持管理に関する現状の技術的知見を整理し、「ゴム防舷材の維持管理ガイドライン」としてとりまとめ、発行することとなりました。本ガイドラインには、点検診断の方法、損傷・劣化を受けた防舷材の機能評価方法、その結果に基づく対策の選定に至る一連の維持管理の方法を、具体的にわかりやすく示しています。

本ガイドラインが、上記の維持管理技術マニュアルとともに、港湾の施設等の維持管理に携わる関係者の方々に広く普及し、防舷材の維持管理に活用されることを期待します。

沿岸技術ライブラリー No.37

PC栈橋技術マニュアル(2010年度版)

近年、港湾構造物へプレストレストコンクリート(以下、「PC」という)技術を導入している事例も増加傾向にあります。その代表的な構造物がPC栈橋であり、プレストレスを導入することによるひび割れの抑制は、海洋環境下によっても優れた耐久性を有しております。

また、型枠・支保工やコンクリート工などの現地施工が短縮されるため、施工中の気象・海象の影響を受けることも少なく、急速施工が可能で安全面でも優れた特徴があります。海洋立国を目指す日本において、良質な社会資本を整備し後世に残すためにも、PC栈橋のさらなる普及が望まれます。

平成19年4月に施行された「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」では、設計体系が仕様規定から性能規定に大きく改定されました。また、性能は供用期間中全てに維持することが要求されるため、構造物の維持管理の重要性も強調されました。

上記技術基準に準拠するよう平成15年10月刊行のマニュアルを全面的に改訂するとともに、維持管理に関しても詳述することとしました。さらに、資料編では設計実務者に役立つように2例の設計例を掲載し、技術基準に準拠した設計法が容易に理解できるように記述するとともに、計算の詳細はCDに収録しております。また、PC栈橋の製作・施工に関しても、新たな知見や施工事例を追加しており、既にPC栈橋の設計・施工において本マニュアルが有効に活用されています。

沿岸技術ライブラリー No.39

CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発

海洋構造物の耐波設計を行う際、従来から水理模型実験やそれを基にした設計公式が用いられてきました。水理模型実験を行うには多くの費用と時間が必要であり、設計公式は条件によって精度に問題があります。

そこで、これらに代わる方法として、自由表面の運動をコンピュータ上で精度よく追跡できるVOF (Volume of Fluid) 法に着目した数値計算法(数値波動水路)の開発を行いました。この数値計算法については、1998年に設置した官・学・民からなる研究会の中で、様々なケースについて耐波設計への適用を試みた後、その研究成果を多くの方々に活用していただくために、2001年に、基本プログラムと併せて沿岸技術ライブラリー No.12として「CADMAS-SURF 数値波動水路の研究・開発」を発刊したところです。

その後、「数値波動水槽の耐波設計への適用に関する研究会」を設置し、すでに実用化している2次元の解析理論を基に、3次元構造物へ適用できるように、プログラムの改良、各種構造物への越波・伝達波・波力の計算事例の整備等を行ってきました。

この度、その研究成果を多くの方々に活用していただくために沿岸技術ライブラリー No.39として「CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発」を発刊することになりました。

2001年に発刊した「CADMAS-SURF 数値波動水路の研究・開発」と併せて、本書を参考にさせていただくことにより、海洋構造物の設計・研究に携わる方々が、より身近にCADMAS-SURFプログラムを活用していただけるものと確信しています。

沿岸技術研究センターは、今後の誌面づくりに反映させるため、皆様のご意見ご感想をお待ちしております。詳細は沿岸技術研究センターHPをご覧ください。

URL:<http://www.cdit.or.jp/>

【編集後記】

この度の東日本大震災により被害を受けられた皆様に心よりお見舞い申し上げます。今回はこの大震災に関し、各専門の方々から貴重なご投稿を頂きました。ちょうど1年前の機関誌第32号でも、2月に起きたチリ地震と津波をとりあげ、沿岸域の防災に関する情報発信を行っています。津波に対する防災技術の向上や情報発信は沿岸技術研究センターの重要な使命だと考えており、これからも様々な取り組みを進めていきます。今後ともよろしくお願い致します。(T.K)



Coastal Development Institute of Technology

発行 財団法人 沿岸技術研究センター
〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16 住友半蔵門ビル6F
TEL. 03-3234-5861 FAX. 03-3234-5877
URL <http://www.cdit.or.jp/>
2011年6月30日発行