

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

〈CDIT鼎談〉

東日本大震災の教訓を今後に活かす

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〕

高山知司氏〔京都大学名誉教授〕

〈特集〉

港湾施設の復旧・復興について 東北地方整備局港湾空港部 港湾事業企画課／八戸港湾・空港整備事務所

宮城県の復旧・復興への取り組み 宮城県土木部港湾課

東京湾岸の埋立地の液状化－細粒土の液状化に着目して－ 安田進氏



Vol.36



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の一部抜粋・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。

○特集2
東日本大震災
海上保安庁提供

○鼎談
(今村氏)

○鼎談
(岸壁に乗り上げた貨物船)

○特集3
東日本大震災

○特集2
東日本大震災

○鼎談
(高山氏)

○鼎談
(津波により移動した大型バス)

3

CDIT鼎談

東日本大震災の 教訓を今後に活かす

ゲスト

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

高山 知司氏

京都大学名誉教授

10

特集1 東日本大震災

港湾施設の復旧・復興について

東北地方整備局港湾空港部 港湾事業企画課
八戸港湾・空港整備事務所

16

特集2 東日本大震災

宮城県の復旧・復興への 取り組み

宮城県土木部港湾課

18

特集3 東日本大震災

東京湾岸の埋立地の液状化 —細粒土の液状化に着目して—

安田 進氏 東京電機大学理工学部教授

20

民間技術の紹介 1

水中ポジショニングシステム

五洋建設株式会社

22

民間技術の紹介 2

2段タイ材地下施工法

株式会社 大林組
株式会社 日本港湾コンサルタント

24

民間技術の紹介 3

EHDアンカー

弘和産業株式会社
KJSエンジニアリング株式会社

26

沿岸レポート

渦消波型長周期波対策構造物 に関する設計法の共同研究

山下 徹 (財)沿岸技術研究センター 調査部主任研究員

27

CDIT News

東日本大震災の 教訓を今後に活かす

CDIT鼎談
沿岸の未来を見据えて

本年3月11日に発生した東日本大震災。地震の規模の大きさもさることながら、想像を絶するような巨大津波が東日本を襲った。あれから半年以上が経過したが、今回の未曾有の大地震・津波をどう捉えればいいのか。また、その教訓を今後どのように活かせばいいのか。今回は現場に精通しておられる今村、高山の両先生に語っていただいた。



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



高山 知司氏

京都大学名誉教授



小原 恒平

(財)沿岸技術研究センター 理事長

小原▽本日はお忙しいところお集まり頂き有難うございます。3月11日に発生しました東日本大震災は、私たちにいろいろな課題を残しました。規模的に「未曾有」と言っているのか、またわれわれが考えていた構造物や避難の規模を超えていた、と思っ
ているのかどうかということもあります。
沿岸技術研究センターはこれまで構造物の設計、ハード関係、それに先生方からご指導いただき、津波避難の問題をずいぶん勉強しそれなりの成果を出してきたと思っ
ていましたが、今回の震災に活かされたかどう
か、非常に忸怩たる思いがあります。これを
一つの大きな教訓として次に活かしていか
なければいけないと思っております。本日の鼎
談はそうした視点で、今回の大規模地震・
津波をどう捉えればいいのか、またこの教訓

「想定」を超えた
東北太平洋沖地震・津波



を沿岸技術研究センターとして、今後にどう活かしていくべきかなどについてお聞かせ願えればと思っております。

まず今回の地震と津波についてですが、今村先生は現場の状況も含め最初にどうお感じになったか、率直なところをお伺いしたいと思えます。

今村▽われわれはこれまで地域住民、行政の方々と地震、津波に対するいろいろな備え、減災対策を進めさせていただきましたが、大変残念な事に多大な被害を出してしまいました。現在も、対策については様々な議論がされているところではありますが、一つは震災直後に話題になった「想定」という言葉が大変重要であると思っております。わが国にはさまざまな歴史資料があり、過去

を学ぶことができず、地震や津波に関して記録に残っていないきちんと把握できるのは400年くらい前までで、西暦1600

年以降だと思えます。規模の大きいのは明治や昭和の大地震クラスですが、いずれもマグニチュード8〜8.5くらいです。

そうした地震履歴を踏まえ、一番発生確率の可能性が高いのが宮城県沖地震ということ、昨年の時点で「30年以内に99%」ということになっていました。今回の東北地方太平洋沖地震は、まさにその場所であり、これは事前の予想とほぼ合致していました。しかし、エネルギーがまったく違っていました。

たとえば想定エネルギーに対応する断層のすべり量は、推定値ではだいたい3mくら

いでしたが、実際は30m以上でした。10倍以上のエネルギーが開放されて北側、南側に伝播し、トータルとして500km、マグニチュード9に至ってしまいました。

三陸側では既往最大規模と言った場合、今回の津波と明治三陸津波とほぼ並ぶところはありますが、仙台以南になると今回の規模は二桁違う。現実的に、想定はできなかったことになりそうです。今回、想定の高超えた技術を向上させていくと伴に、想定高超えた場合のクライシス・マネージメントをどのように準備していくかが重要であると思っております。

小原▽高山先生は、今回の津波についてどういう印象をお持ちですか。

高山▽2004年12月にインド洋大津波が発生しましたが、その直後に神戸で1990年代の「国連国際防災10年」を受けた国際防災会議がありそれに出席しました。そのとき外国人の記者から、「日本でもマグニチュード9くらいの地震は起きるか」と問われました。そのときは「いや、いままでの歴史ではそういうものは起きたことがないので、たぶん起きないと思う」と言いましたが現実には起きてしまいました。

外国で起きたのだから日本で起きない、とは言えないのかなという感じはしていました。ほとんど考えていませんでした。関西では南海トラフで、東海・東南海・南海の3連動モデルと言われていますが、それもマグニチュード8.7くらいです。われわれはそれを今で言うレベル2くらいと思っております。

たが、今回のような大きいものが起きるとは思っていませんでした。そういう意味で、私自身にとっても日本でこんな大きいものが起きるとは想像だにしていなかったというのが率直な感想です。

従来の地震・津波とは大きく違う規模と被害

小原▽われわれが予想していた津波と今回の津波が最も違うところは何か。規模的には震源域、波原域が大きかった、あるいは断層のずれが大きくなったことがあると思えますが、起こった規模と沿岸部に襲来したときの伝播の仕方、最終的に被害の大きさも含めてですが、いまままで考えていた津波と大きく違うところで何か特徴的なものがありますか。

今村▽一つは三陸側で確認された津波ですが、第1波は比較的ゆるやかでしたが、第2波（場合によっては、津波の第1波の第2成分とも言えますが）がものすごくパワーフルで一気に来ました。海底津波計の記録でもこれを裏付けていますが、このことがまず最初に挙げられます。二点目は仙台平野で記録されたもので、第1波が内陸の深くまで押し寄せたことです。これが今回の甚大な浸水を起こした理由ですが、それが30分、40分もの間続いた。平野部という特徴もありますが、潮の引きがあまり見られず、ずっと水浸しでした。これは三陸沿岸とはまったく違う姿でした。



宮城県女川町での被災したコンクリート建物

小原▽従来、危ないと考えられていたいわゆるリアス式海岸のところは、それなりに大きくなるだろうというところは理解できませんが、仙台空港から南の方にあんな大きなものが来ることは私も想像できませんでした。

今村▽仙台平野では、869年の貞観地震のときに津波堆積を残していたという事実は確かにあります。しかし今は沿岸部には一部ですが多重防御の考えとして防潮堤や防潮林があり、また貞山堀もあるわけなのですが、それをはるかに乗り越えて、仙台東部道路の所まで来ました。

小原▽あそこで止まりましたね。

今村▽本当に考えられない規模でした。

小原▽高山先生が今回の津波の特徴でお感じになったことはどのような点でしょうか。

高山▽私が一番驚いたのは、われわれが港湾構造物として設計している防波堤が壊れたことです。私自身の経験では、北海道南西沖地震の時、奥尻港の防波堤と防波堤の開口部を津波が抜け、その流速でマウンドが洗掘されて両サイドのケーソンが転んで内側に落ちたのが初めてです。またそのあと調べてみましたら、十勝沖地震のとき、八戸港で防波堤の一部が転んだとの報告書も少し出ています。ただ私自身、防波堤は外洋の波に對抗して頑丈に設計していますから津波で壊れることはないだろうと思っていたのです。釜石では波高13・3mで設計している構造物がアツと言う間に崩れました。

壊れることはないだろうと思っていた防波堤が簡単に、無惨に壊れていったのは、私のような技術者にとつては、「いまままで何をやってきたのか」という思いがします。そういう面で、今回の津波は巨大だったという感じがしますが、これからの設計では外洋の波浪だけではなく、津波に対してもある程度考慮した設計を取り入れなければいけないのかと思います。

小原▽先ほど今村先生がおっしゃいましたが、北のほうで1波目が緩やかだった。何となく水没している感じだったものが、ある瞬間からものすごい流れになってくる。なぜあそういうことが起こったとお考えですか。

今村▽海底津波計とGPS波浪計がしっかりと捉えています。最初はゆるやかに上がって、次に急速に盛り上がっています。今回は発生の際、通常われわれが考えている断層

運動に別の力が加わったと思われる。その部分を津波地震タイプというのか、または分岐断層というのか、まだ議論はありますが、いずれにしてもプレート沈み込み帯の入り込みが、非常に幅の狭いところとんでもないすべり量が生じてしまったと言えるのではないかと思います。

高山▽沿岸部に近いところはかなり広く、ゆるやかに上がるような地震であったと考えられている貞観地震と明治三陸のように海溝付近で急激に変動が大きくなったものを重ねると、ゆるやかに上がって急に立ち上がるような波形になる、ということがこれまでに報告されています。

小原▽もしかしたら今後起こりうる地震も、そういうことも含めて頭の中に入れておかな

ければいけないかもしれませんね。

今村▽そのとおりだと思います。巨大地震の連動は西日本でも予想されますが、たとえM8・5でも局所的に大きな部分があると津波の高さの評価は大きく変わります。われわれはこのことに非常に注目して、検討させていただいています。

防波堤は津波の第2波で壊れた

小原▽今回の津波被害でわれわれにとつて非常にショックだったのは、高山先生が仰ったように特に釜石港や大船渡港などの防波堤が壊れてしまったことです。大船渡港の湾口防波堤はチリ地震津波の被害を踏まえて



造ったものですが、今回は設定した外力よりはるかに大きなものでした。このため言葉は悪いですが、倒壊もある程度しかたないかなと思います。しかし釜石港の場合は残っているケーソンもありますが、調べるとマウンドも相当洗掘されている状況がわかっています。釜石港の場合は波圧に対抗した設計で断面が決まっています。素人的に言うと、なぜ残っているものと残っていないものがあるのだろう、ということですね。

高山▽今回GPS波浪計でかなり沖側の津波の波形が観測されました。われわれにとっては、非常に新しいデータが入手できたと思います。そのデータから逆解析して断層をつくり、その断層モデルから津波を発生させてGPS波浪計のそれぞれの地点でどうなっていたかを今調べています。



今回の地震は昼間に起きていますから多くの映像が残っています。映像から防波堤は第1波では残ったが、第2波で壊れたことが判ります。被災する原因を調べるときに、1波目は残ったけれどもなぜ2波目で壊れたのか。その原因をきちんと説明しなければいけません。そのために構造物の近くでの津波の大きさの時系列的な変化をきちんと押さえたいと考えたのですけれど、GPSの観測されたデータと断層モデルによる計算値がなかなか合わない。構造物の被災原因の究明がなかなか進まないのが、一番頭が痛いところです。

釜石港の湾口防波堤は北と南の二つありますが、付け根の付近はかなり水深が浅くなっています。津波が大きかったので、両サイドの付け根の部分はすぐ破壊されました。北防波堤（以下、北防）は、第1波目は残っている感じですが第2波目でやられた。北防の津波が少し大きく、その間に開口部があつて津波がそこを通るので、南の方の津波が少し小さかった可能性がある。

計算された津波の波力に対して北防があるような状態になるかと言ったら、計算上はなかなかならない。目地からの噴流による洗掘ではないかということ、いま港湾空港技術研究所でいろいろ実験をやつてもらっています。しかし目地からの洗掘だけでは、堤体があれだけ動くほどにはなりません。津波そのものが計算よりも1〜2m大きかったのではないかと。10mくらいの津波が来て、背後の水位差が8・7m程度とされています。



栈橋に乗り上げたフローティングドック



宮城県石巻市雄勝での沿岸保全施設の被災状況



宮城県石巻市雄勝での津波により移動した大型バス



すが、もう少し大きかったら滑る可能性がある。いまのところ原因はつきりしていません。

小原▽目地の問題なのかどうか判りませんが、マウンドの石がずいぶん飛んでいます。特に後ろ側が飛んでいる。それによって構造物が不安定になり、そこに横からの力が入ると動いていく可能性があるのではないかと、いう指摘もできています。

高山▽八戸港の防波堤を見ると背後がかなり洗掘されています。洗掘が大きいところは、ケーソンがみんな後ろに転んでいます。そういう意味で影響があるのではないかと、いうことで、実験等で確認をしています。あの程度、マウンドが取られると支持力がかなり低下しますから、それによって壊されるのか、と思います。

壊された構造物は復旧しなければいけません。マウンドの洗掘が大きな影響があるとなれば、復旧するときに洗掘されないような対策を考えざるを得ない。それをどうするかという大きな問題が出てきます。もしそれがあまり影響ないということであれば、通常の形式で造って何らかの違う対策で滑らないようにすることが出来ます。復旧工法と大きく絡んでいますから、そこをどうするか非常に頭を悩ましているところです。

今村▽高山先生の今のお話に、GPS波浪計のデータを元に被災の原因把握に努めているという事がありました。今回の東日本大震災ではGPS波浪計が大変役立つと思います。GPS波浪計の観測データのお

陰で気象庁の津波情報を引き上げることが出来ました。

またその観測データによって津波の姿を正確に残す事にも繋がっています。ただ陸上基地局の通信回線寸断などで故障し、必ずしもリアルタイムに十分に活かせなかったのは残念です。しかし、今後も余震やそれに伴う津波発生危険性があります。陸上基地局が故障して使えなくなっているGPS波浪計もありますので、早期に機能回復する必要があります。それと、全国的に未整備の海域にも導入することが大事です。

復旧・復興に向けて 求められること

小原▽今回の津波に関しては、原発問題はもちろんですが、地域の復旧・復興がなければいけません。復興構想会議でも、「被災地域の復興がなければ日本の復興はない」と言われています。今後、たとえば地域づくり、あるいはわれわれの専門である港湾施設の復旧・復興があると思います。災害に強い町、コミュニティをこれから考えていく時に、何が一番大事だとお感じになつていますか。

今村▽やはり、ゾーニングだと思います。まちづくりをする際に、津波がもしもまた来て、同じ被害を繰り返すのではまったく意味がない。たとえ津波が来たとしても最低限の被害を抑える。命は完全に守りますが、いろいろな産業もあるし、完璧には難しい。

しかし、ゾーニングをすることによって、津波の大きな影響力を受けるところはできるだけ利用しない。中間的なところは、うまく工夫しながら使っていく。より安全なところに住むという区分けを2次元的にしっかりと示さないといけないと思っています。

もう一つは今後、産業、暮らし、コミュニティ、人々のつながり、さらに歴史的な観点もすごく重要視しています。たとえば今回、昔からの神社、仏閣は残りました。やはり、安全な場所にありました。1年に1回行われる、お祭りは鎮魂の意味もありますし、自然災害に共同で当たるという備えの訓練の意味もあるのではないのでしょうか。皆さんと協働で二つのイベントをやることによって、コミュニティのつながりが強くなる。そういうものが以前にあつたとすれば続けるべきです。無ければ新たにをつくっても良い。つくるきっかけが今回の震災だったということでも良いと思います。

粘り強い構造物と 港湾空間の考え方

小原▽われわれの専門である港湾施設の復旧・復興では、高山先生に委員会の委員長をしていただいています。粘り強い構造物、粘り強い港湾の空間ということ議論されておられますが、粘り強い構造物とはどんなイメージでしょうか。

高山▽粘り強さをなぜ求めるか、ということが一つあると思います。われわれは外力を

決めて設計しますが、外力の中には必ず不確実性が含まれます。それが必ず来るとは限らないが、大きいものが来たら構造物は壊れますが、ある程度の大きさのものを対して十分耐えるものを造ることが粘り強さかなと思います。外力によって構造物が少しずつ変形し始めるけれども、変形することによって抵抗力が増していくようなものを造っておけば、ある程度変形しても壊れず、将来的にはまたそれを修復することが出来ます。

小原▽超えることをシステムの中に入れて、超えても最小限にする。いままではかなりレベルの高い外力を設定していたので、「超えても」の部分がありませんでした。超えていく気がします。



地震の大きさにもよると思いますが、「ハードを超えることもある」と認識したことは大きいと思いますね。技術的、行政的にそれを制度化しようということは、いままでの考え方と違う。われわれ工学者も行政もそうだと思いますが、それを前提にして物事を考えていくことはすごく大事なことではないかと思えます。津波に長く携われておられる今村先生のお考えはいかがですか。

今村▽ハードとソフトの融合という総合防災は20年前に語ってはいたのです。ただ当然ながら、もう地域は出来ており移動できない。まちづくりは限定的です。そこを守るためにはハード整備です。場合によってはそれを超えるかもしれない、そのあとは避難してくださいね、ということでしたが、残念ながらそのときの対応は具体的に考えていなかったの



が現状かと思えます。

今回は本当に大規模なものが起きましたが、これからはハードもソフトも役割をきちんと明確にしてそれを組み合わせる。キャッチボールをするように互いが足りない部分を補う。それを多重に行っていけないといけないと思いますので、それをどう実現するのかが大事です。

津波から如何に 生き延びるか

小原▽今村先生が地域の方々とお話しされている中で、結果として助かった方、不幸にしてお亡くなりになった方がいらつしやると思います。その境界みたいなものをお感じになったところはありませんか。

今村▽今回は複雑です。伝播した時間帯も、三陸沿岸と仙台エリアは違います。また車を使われたり、ご家族を心配して自宅に戻られたとか、残された課題は多い。ただ重要と思われる点は二つあって、一つは基本的に津波の知識、怖さを知っているかどうかです。これは啓発の本や情報が大切だろうと思います。地震があつたら津波を思い浮かべるかどうかで、大きく違っていたと思います。

もう一点は、「じゃあ、逃げよう」と逃げた場合ですが、今回は指定避難場所も流されました。車で移動しようとして渋滞し、または残念ながらルートが正しい方向ではなかった場合もありました。意思があつても、



被災した荷役設備

最終的に正しい行動、正しい場所に到達できなかったケースもあると思います。これは啓発の域を超えて、もつともつと実践的に、地域の防災計画、避難計画として充実させなければいけないということです。

これから復興に向けたまちづくりでは、そこをきちんと入れる必要があります。従来を取り組みから「踏み込み込み」、「どのルート」、「どの場所」、いざというときにそれが足りない場合、二次的な避難場所をどう確保するのか。踏み込んだかたちでやらないといけないかと思いました。

小原▽今回の津波の場合、大きな被害が出たのは概ね地震発生から30分くらい遅れてです。しかし東海沖地震ではそんな時間的な余裕はたぶんないと思います。5分とか10分

です。逃げ方やブラクティカルなことなど事前にいろいろ考えておくべきことも、当然大きく変わるだろうと思います。時間的余裕があるときはできても、想定されている東海沖地震津波のように、恐らく時間的余裕がないケースでは自らも逃げなければいけません。その中でできること、ハードもそうですし、ソフト的なこともやっていかなければいけないだろうと、今回、私自身も強く思いました。

高山▽人というのは、津波を見たときに「怖い」という意識がすつと出てこないのはいかという気がします。津波が来るのを見たときに怖く感じないというか、ちよつとした暴風時の波を見ているイメージなのかもしれません。このことも少し考えておかないと、避難などを将来考えるときに問題になるのかなという気がします。

今村▽心理学の先生が言われましたが、同じものを見たり情報を受けても、怖いと思うか思わないかは知識と経験だそうなんです。個人は、入ってきた情報を受け取って自分の中で判断、処理します。そこには必ず基準がある。基準が高いか、知識があるか。こういう状況ならこうなると連想できるか、ただ傍観しているか、まったく違う。

小原▽ある種の想像力というかイメージネーションですね。

今村▽「次にこうなる」とわかるかどうか大きい。それで怖さを感じるそうです。

応急復旧（航路啓開業務）

平成23年3月11日発生の東北地方太平洋沖地震並びに同津波によって、東北太平洋沿岸の港湾は未曾有の大災害を受けた。

東北地方太平洋側の重要港湾、八戸港、釜石港、大船渡港、相馬港等では津波により防波堤が倒壊。石巻港、仙台塩釜港、小名浜港では想定を超えた地震外力と液状化による岸壁の孕み出し、エプロンの陥没等が発生している。さらには地殻変動によって港全体が沈下し施設機能が損なわれている。外郭施設や係留施設等も数多く存在し、太平洋側港湾全域が甚大な被害となっている。（図1）

また、港湾を直撃した津波により埠頭用地に保管されていたコンテナや木材等が多数散乱し、その一部は海上に流出すると共に港周辺の車両や係留船舶、建築物などと合わせて、航路・泊地内の支障物に姿を変えざる事象となった。

港湾機能が麻痺状態にある一方、マグニチュード9.0の巨大地震は、東北自動車道を始めとする東北管内の主要幹線道路を一時期通行不能とし、救援物資の受け入れや燃料の搬送ルートの確保が急務となっていた。

このため、東北地方整備局では被災地の復旧・復興のための緊急輸送道路網を確保する「くしの歯」作戦を展開し道路啓開を行うとともに、海上輸送による大量の救援物資の受け入れを行うべく、貨物船を接岸できるようにするための海面浮遊物除去、航路内の支障物を揚収する航路啓開を緊急復旧事業として実施した。

特集1

東日本大震災



港湾施設の復旧・復興について

東北地方整備局港湾空港部 港湾事業企画課
八戸港湾・空港整備事務所

今回の地震と津波によって東北地方では港湾施設も重大な被害をこうむったが、ここでは復旧・復興の取り組みについて、具体的かつ詳細に紹介する。



写真1 仙台塩釜港仙台区高砂埠頭

航路啓開は、東北地方整備局長と（社）埋立浚渫協会東北支部長との間で平成16年7月に締結した「災害時における東北地方整備局管轄区域の災害応急対策に関する協定」に基づき、震災発生直後の翌3月12日に同協会に要請し、津波警報が解除された後の14日より仙台塩釜港仙台区を優先港湾として着手し、漂流物除去、水中支障物の確認測量と順次他港へも啓開作業を展開していった。また、協会の精力的な調整により3月14日には近畿地方からの船団が東北被災港湾に向けて出港し、関東地方をはじめとする全国各地からの起重機船、ガット船等の作業船53隻が続々入港し、東北管内の在場船と合わせて37船団で各港湾での啓開作業にあたった。

航路啓開業務は、各港湾とも港湾管理者



写真3 宮古港藤原地区



写真2 漂流コンテナ(仙台塩釜港)

や海上保安部等と調整し、耐震強化岸壁とその航行ルート上にある航路や泊地に優先順位を定め、浮遊物の除去や海中支障物の揚収にあたったほか、除去後の暫定利用（運用水深）についても協議を重ねた。また、水中部の支障物揚収にあたっては、水没車両の中に取り残されている人体の有無



図1 東日本大震災における被災状況(港湾)



やコンテナ内部からの漏出物の確認も必要であったことから、深淺測量並びに潜水調査による慎重な事前調査が求められた。たとえば、津波により埠頭用地に保管していたコンテナ約1700本が散乱し、引き波による流失があった仙台塩釜港仙台港区高松埠頭マイナス12m耐震強化岸壁では、岸壁の暫定水深利用ではあるものの17日には救援物資を積んだ第1船が入港し

ている。その後も定期基幹航路であるフェリーの入港と、東北の主要産業である完成自動車積み出しに備え中野地区雷神埠頭へと異常物の撤去が進められた。3月23日には被災地の重要港湾全てにおいて緊急支援物資船の入港が可能となったことから、水産庁や海上保安庁、海上自衛隊の救援物資輸送船の他、各地方整備局所属の浚渫船「白山」「清龍丸」「海翔丸」が

それぞれの港湾で水・食料等の支援物資を積載し被災地各地への支援活動が行われた。また、各地方整備局所属の各船は、東北管内の港湾に幾度となく入港し救援物資のみならず重油・軽油等の燃料も地元自治体に提供し被災地支援に貢献している。港湾管理者と連携し航路・泊地の水域施設の安全水深確保のみならず、係留施設の

港湾名	埋立浚渫協会船団構成	啓開作業着手日	参考 第1船入港日(貨物等)
八戸港	起重機船 6 船団 (29 隻)	3月15日～	3月19日(救援物資)
久慈港	起重機船 4 船団 (15 隻)	3月15日～	3月26日(救援物資)
宮古港	起重機船 4 船団 (13 隻)	3月15日～	3月16日(救援物資)
釜石港	起重機船 3 船団 (10 隻)	3月15日～	3月16日(発電機)
大船渡港	起重機船 5 船団 (18 隻)	3月19日～	3月23日(救援物資)
石巻港	起重機船 3 船団 (12 隻)	3月19日～	3月23日(救援物資)
仙台塩釜港(仙台港区)	起重機船 4 船団 (13 隻)	3月14日～	3月17日(救援物資)
(塩釜港区)	起重機船 8 船団 (21 隻)	3月16日～	3月21日(燃料)
相馬港	起重機船 3 船団 (12 隻)	3月27日～	3月20日(急患搬送)
小名浜港	起重機船 4 船団 (14 隻)	3月18日～	3月18日(救援物資)

表1 災害協定に基づく航路啓開作業一覧



写真5 大型自動車



写真4 完成自動車



写真7 コンテナ



写真6 漁網



写真9 仙台港救援物資「海翔丸」



写真8 宮古港救援物資「白山丸」



写真11 仙台港陸揚げ(浮遊物)



写真12 仙台港陸揚げ(完成自動車)



写真10 仙台塩釜港「完成自動車」

東北地方整備局では東日本震災で被災した東北4県9港湾について復旧・復興に向けた基本方針を定めるべく、東北工業大学の稲村肇教授を座長に「東北港湾の復旧・復興検討委員会」を開催し検討を進めている。

また、今回被災した港湾毎に港湾利用者、地元関係者からなる復興会議において、新たな港づくりの観点より、産業復興を支える物流機能のあり方や、産業活動・まちづくりと連動した津波防災のあり方を検討し地元関係者の共通指針を策定する中で、各港の自主性を重んじつつも有機的な連携を図ることで、東北地方整備局として

一般利用に向けた陸上啓開（陸上支障除去、清掃）も行い、八戸港では3月18日に鉱産品が、仙台塩釜港仙台区では4月4日にフェリーによる通常荷役が行われ、4月16日には東北地方で生産された完成自動車が名古屋港に向けて出港し、東北地方経済産業の復興第一歩として港湾物流が再開した。

航路啓開作業による揚収物は、コンテナや車両、船舶の外、建物の残骸や漁網、パルプ原材料などの多岐に亘り、揚収量は8月20日時点でコンテナ約380本、車両230台、小型船340隻、その他の揚収物25000m³に達している。その多くは地元自治体などの協力により処分されている。

本格復旧・復興に向けて



写真13 八戸港被災状況(港内全域)

の統一した考え方を示すため取り組んでいるもの。

また一方で、東北地方整備局では、今回の被災事例より技術的な見地から津波・震災対策を検討するため京都大学の高山知司先生を座長に「東北港湾における津波・震災対策技術検討委員会」を開催した。地震及び津波の現象を把握し、被災過程および原因を明らかにした上で、将来を見据えた港湾施設の津波・震災対策を検討した。

これら方針に基づき復旧復興事業に鋭意取り組んでいる具体的事例として八戸港を挙げる。



八戸港湾施設の被害状況と対応

八戸港の被災状況は、写真13に示すように防波堤に集中し、中でも総延長3500mと東北有数の規模を誇る北防波堤の被災程度がきわめて大きく、中央部及びハネ部のケーソン約4割(延長換算)が転倒し港内側に崩れ落ちた。また、転倒ケーソン以外の防波堤部でも消波ブロックの飛散、沈下や基礎マウンドの洗掘等が発生しており、それに加えると北防波堤は全延長にわたる大きな被災となっていた(写真14)。

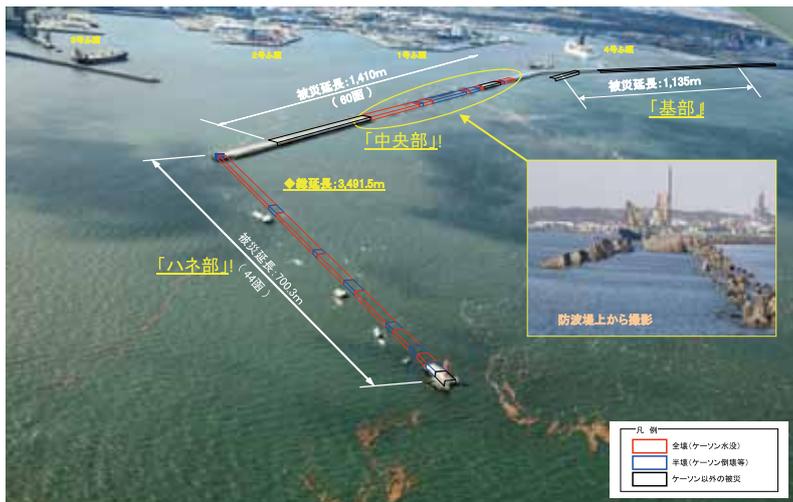


写真14 八戸港北防波堤被災状況

北防波堤は、その被災過程と原因が注目された。

北防波堤の被災原因(映像情報から被災発生タイミングの推察)

北防波堤が津波来襲時のどのタイミングで被災したのかを確認することは、被災原因を把握する上で重要であると考えた。このため、北防波堤の津波来襲時の映像情報を収集し、観測された津波の時刻歴波形に基づき被災タイミングを推定した。

北防波堤中央部は、写真15に示すように津波到達後の相当な時間まで津波が激しく越流しているもののケーソンの移動等が生じず堤体の原形をとどめていたことが写真



写真15 16:35頃の北防波堤中央部の状況



写真16 津波初期段階での北防波堤ハネ部被災状況

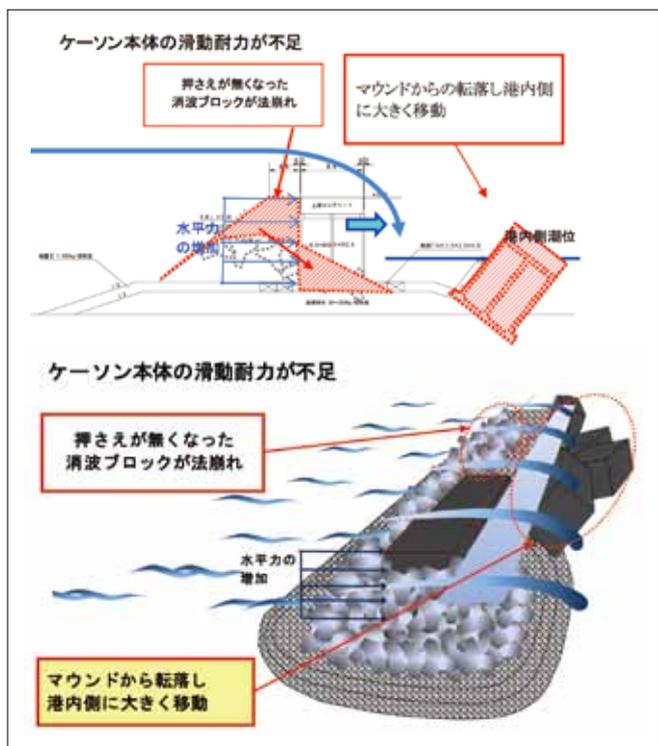


図3 ハネ部幅被災メカニズム

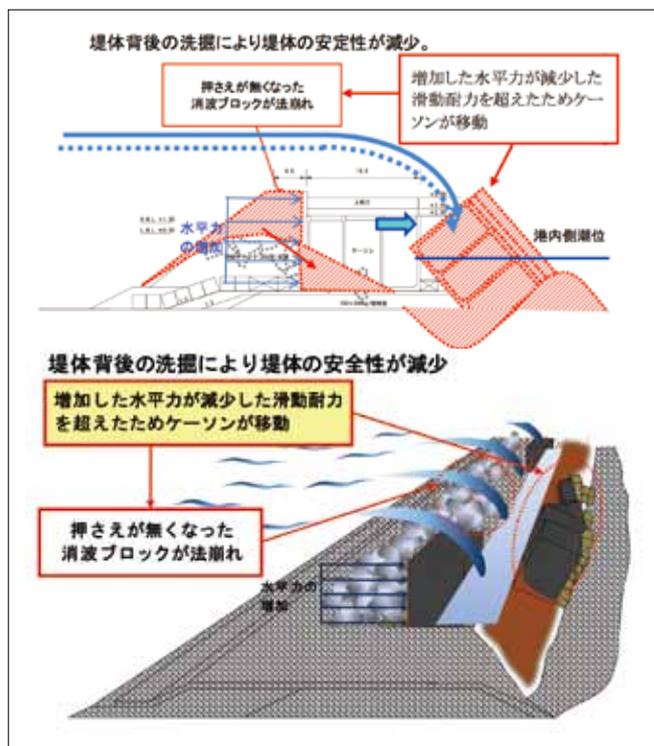


図2 中央部の被災メカニズム

から確認されている。

一方、北防波堤ハネ部は、津波の初期段階をとらえたビデオ映像から比較的津波の小さな段階でケーソンに変状が発生していたことを確認できることを写真16に示す。

八戸港北防波堤は、一見すると同じように被災しているようにみられるが、被災前の断面性能や津波来襲時の被災タイミングにより中央部及びハネ部で被災メカニズムが異なっていることを確認した。

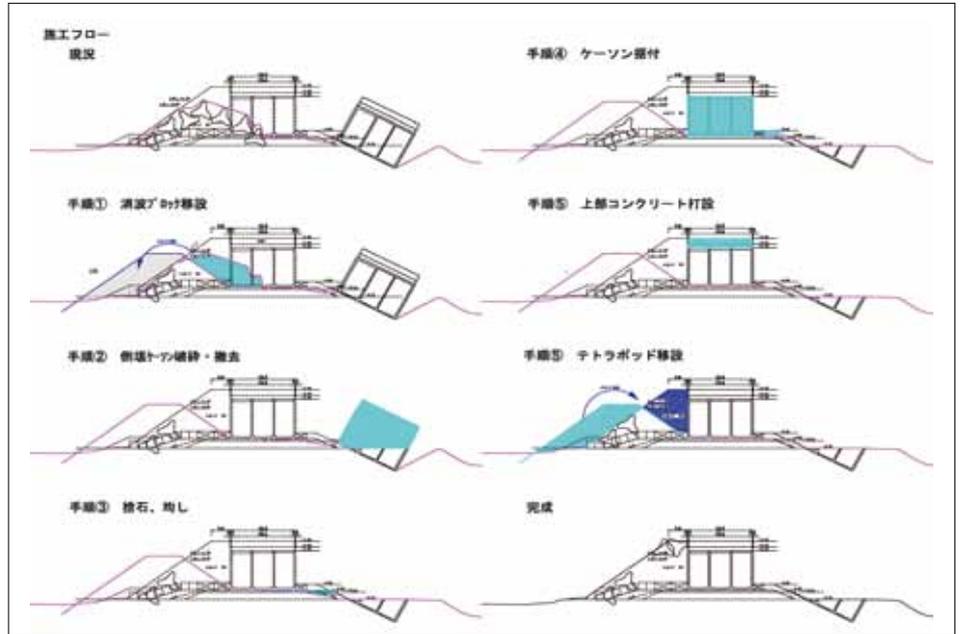


図4 ケーソンの復旧施工フロー

北防波堤中央部では今回来襲した津波に対する耐力は有していたものの津波の長時間の越流により図2に示すように背後が洗掘され堤体の安定が確保されなくなったためケーソンの移動が発生し被災が生じたものと推定される。

一方、北防波堤ハネ部は、消波ブロックが被覆されていたもののケーソン本体の耐波性能が小さく津波の比較的初期段階で図3に示すように津波力によりケーソンの移

動が発生し被災したものと推定している。

北防波堤は、八戸港が昭和39年に新産業都市整備地区に指定されたのを契機に整備が進められ、背後地にはフェリー埠頭やコンテナ埠頭が整備されるとともに、民間企業では昭和42年に三菱製紙(株)八戸工場、昭和57年には飼料穀物コンビナートが操業開始している。北防波堤(中央部)のケーソン被災延長約760mの背後地で操業している港湾利用者にとって、この北防波堤の存在は必要不可欠なものとなっていた。そこで、早期復旧を求める要望活動が随所で活発化し、港湾利用企業や八戸市、青森県など多くの方々から切実な要望が国土交通省に寄せられていた。

早期復旧要望に対応できる施工法と整備途中においても港内静穏度を向上させる施工手順を第一優先として検討を重ね、第一段階として沖側にブロック堤を台風時期までに築造し、その後、被災ケーソンの撤去と新規ケーソンの据付を実施する二段階施工を計画した。その結果、本年度の秋頃までのブロック堤暫定整備により、北防波堤(中央部)の背後圏にあたる係留施設前面では港内静穏度が17%向上する実施断面となっている。

仮消波堤整備後は港内側に滑动したケーソンをそのまま存置した状態で、①港外側にブロック堤を築堤、②ある程度港内側が静穏になってから滑动ケーソンを原地盤まで撤去し、③むつ小川原港等で製作した新規ケーソンの据付、④上部コンクリート打設、⑤最後に消波ブロックの据え直しを実施する。

なお、滑动している防波堤ケーソンのう

ち、再浮上等による転用が出来ないものは新規製作とし、消波ブロック等についても撤去、再設置が不可能なものや散乱等により不足したブロック等は新規製作し補充することとした。

直轄事務所の取り組み

今回の大津波により、八戸港でも4・2m以上(5/27気象庁発表)の津波が来襲している。幸いにも当事務所は庁舎の浸水を逃れたことで、執務体制の堅持による早期な被災調査を実施できた。

地元の期待に応えるために「頑張ろう」を合い言葉に職員7人、業務支援技術者2人の計9人で災害復旧PTを立ち上げた。もちろん他の職員もPTチームをバックアップ。PTチームは、急がれた北防波堤(中央部)をいかに速く復旧出来るか復旧断面の検討に取りかかった。

大被災の北防波堤をどのような調査で行うか話し合い、ナローマルチチームでケーソン、マウンド、消波ブロックの形状を詳しく調べることとし、災害協定に基づいた調査対応支援企業との契約により、東北自動車道の一般車両通行禁止措置を「災害支援車両許可申請」の調整、手続きを進めつ

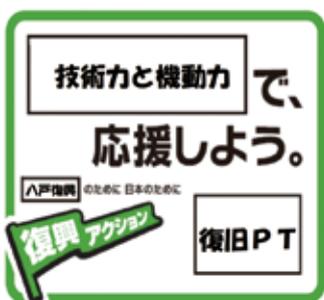


図5 復興ロゴ



つ、支援企業との現地打合せを震災後1週間でいった。被災後18日経った3月29日に第1回会議を開催し復旧断面(案)を提案したので最初の成果である。

4月に入り被災施設毎に任務分担しつつも、北防波堤(中央部)の災害査定資料作成は全員で取りかかった。被災調査結果から被災断面作成と数量算出を行うチーム、施工計画・作業スケジュールを検討するチームに分かれ作業に入ったが、大きな課題は「被災ケーソンの再利用と破砕撤去の判別、それと施工方法の確立」であった。(中央部)被災ケーソン60函と(ハネ部)被災ケーソン42函の早期復旧を考えたときに、安全且つ作業効率を優先した撤去方法の検討が求められ、ケーソンの傾斜が大きいく水没し、上部工が2・5mと厚く、側壁を壊さずに上部工を撤去し中詰め材の撤去が可能か、ケーソンの撤去と据え直しの判断基準と撤去方法について支援企業、他港からのヒアリングやインターネットでの資料収集を行いながら検討を重ね資料作成に時間と労力を費やした。そして、2号災以降の査定対応は工事発注業務が出てきたため、5~6人で行った。

特筆しておきたいのは復旧断面、施工方法決定には仙台技調の協力が必要であったことから、災害復旧PTと局八戸港(災害査定担当と仙台技調八戸港設計担当と「チーム八戸」(自称)を結成、連絡を密に図って連携し情報共有して、どこよりも速く災害査定の実施完了を表現した。1~7号の災害査定は財務協議終了まで緊張感をもってPTチーム一丸となり対応し、「協議完了」の連絡を受けたときの達成感はず

れられない。

東北地方整備局港湾空港部では災害復旧事業の迅速な着手・完了を行うため、契約手続きの簡素化等を行っている。この中で更に工事着手の早期化を図るため、関係者と工夫し事前公告による予算示達日の開札という特例措置を行った。そのために、工事仕様の確立と積算を急ぎ契約担当と準備に追われたが、ブロック製作2件が6月10日、13日に契約できたのは成果であった。同様に消波据付工事2件も実施し6月23日に契約したことにより、7月11日には現地で着工出来た。この日は東日本大震災の発生4ヶ月後あたり、八戸―苫小牧間1日4往復の旅客フェリーが再開し、復旧工事の始まりと八戸港の主要な物流機能が回復した日でもある。

現在、八戸港埠頭用地3箇所約7千個の消波ブロック製作が進められ、据付工事に遅れが出ないよう製作個数の工程管理を行っている。現地では、津波で崩れた消波ブロック約4000個を一つずつ玉掛け作業しながらの移設作業が起重機船4~5船団が集結し急ピッチで進められ、8月17日から製作している消波ブロックの運搬・据え付けが始まった。

台風時期の9月末までに消波ブロックを海面上に出すため、据え付けの作業効率を上げる工夫をして作業に取り組んでいる。
北防波堤消波ブロック据付作業での工夫

● AM 6:30 から朝礼を開始。7:00 から出航し海上作業終了はPM 5:30 (夏季)、据え付け専用起重機船は自腹にブロックを積み込んで翌日の作業の

段取りをしておく。

● 据え付け専用起重機船1隻、運搬専用起重機船2隻の3隻体制で行い、運搬船が据え付け起重機船自腹に現地でブロックを積み変え、据え付け能力の向上を図っている。
● 作業船を作業位置に対し側面配置し、スイング角を90度前後に抑えることでサイクルタイムを縮め作業効率アップを図っている。

請負者の努力もあり1日1000個程度の据え付けの出来高を上げ順調に進捗している。また、施工区域は、漁業区内の航行、作業になるので漁連関係者との調整、設置漁具の回避と大型作業船が密集するのでお互いの連絡を密にして安全には十分な注意を払って工事の完成を目指している。

北防波堤(基部)及び(ハネ部)についても8月初旬に災害査定協議を終え、北防波堤全体の災害復旧事業費は約273億円となった。港湾利用者からは、(ハネ部)



写真17 北防波堤消波ブロック据付状況



写真20 消波ブロック製作状況



写真19 消波ブロック仮置き状況



写真18 防波堤消波ブロック移設状況

も含め北防波堤は一体なものとして早期完成を要望されている。今後、早期の契約を目標に、事務所一体となって施工方法や工程短縮方法などを検討し、引き続き港湾機能の回復に取り組んで参りたい。

巨大地震および津波の発生

平成23年3月11日14時46分頃、三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の巨大地震が発生し、この地震により宮城県栗原市では震度7、仙台市や塩竈市でも震度6強と強い揺れを観測した。そして、14時49分には大津波警報が発令され、地震発生後約40分後には大津波が到達した（写真1）。4月5日仙台管区気象台発表では、痕跡等から推定した津波の高さは石巻市鮎川で7.7m、仙台港では7.2m以上であった。津波警報等は、約2日間続き3月13日17時58分に解除となり、その後本格的に沿岸部の被災状況パトロールを開始できるようになった。

被災状況

地震・津波の被害状況は現在も調査中であり、死者9295人、行方不明者2425人、被害額6兆7千億円（平成23年8月10日現在）に上り、特に沿岸市町での被害は甚大であった（写真2）。また、県内市町村を含む公共土木施設や交通基盤

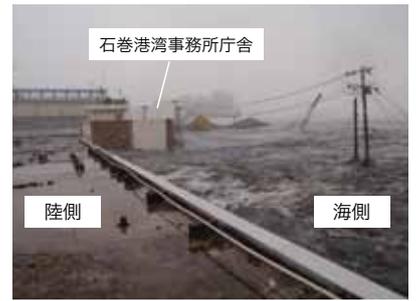


写真1 石巻港津波襲来(2011.3.11撮影)
海上保安庁提供

宮城県の復旧・復興への取り組み

宮城県土木部港湾課

特集2

東日本大震災



業務継続計画(BCP)の策定を平成22年に行った宮城県土木部。

今回はその計画をはるかに上回る東日本大震災だったが、本稿ではその対応を中心に紹介する。

被災前(昭和50年9月撮影)



被災後(平成23年3月12日撮影)



写真2 石巻市南浜町周辺の被災状況 国土地理院提供

土木部BCPによる対応

今回の地震による被害として、特に地震に伴う地殻変動があり、国土地理院の調査によると石巻市牡鹿にて約1.2mの沈下が観測されており、沿岸部においては大潮や高潮による冠水が発生している。

宮城県においては、平成22年5月に宮城県沖地震を想定した「大規模地震発生時における土木部業務継続計画（宮城県土木部BCP）」を策定しており、計画の啓蒙・訓練を行っていたところである。しかし、今回の津波の規模は想定を遥かに超えるものであった。ここでは、土木部BCPによる港湾の対応を紹介する。



写真3 高砂コンテナターミナル(2011.3.11撮影)



写真4 輸出入コンテナ再開(6.8撮影)

土木部BCPでは、大別すると「初期期（被災～3日後）」「応急復旧期（3日後～3週間後）」「本復旧期（3週間後～）」としている。「初期期」においては職員のみ確認及び港湾施設の被災状況の確認を最優先としているが、各港湾を所管する事務所は沿岸域に位置していることから、すべての事務所が被災を受けており、安否確認が完了したのは、被災後2日目となった。

次に行ったのは、緊急物資受け入れやその輸送のための岸壁や道路の点検であり、津波注意報の解除を待って被災後3日目に行ったところ、各港とも目を覆いたくなる程の被害であった。地震による被災は、岸壁やふ頭用地には、孕み、陥没、沈下、そして港内全体の地盤沈下が発生した。津波による被災は、港湾の外郭施設である防波堤の倒壊・流出と甚大な被害をもたらす、戻り流れにより家屋等の災害廃棄物等が港内外水域に漂流、沈降し、航路や泊地等の水域施設が使用不可能となった。特に、仙台塩釜港の高砂コンテナターミナルにおいては、津波により約4400個蔵置していたコンテナが散乱・流出した。約3500個



写真5 石巻港日和ふ頭(2011.3.14撮影)

復旧作業と復旧状況

は航路や泊地から回収したが、約1700個は海上に流出した(写真3)。
三陸沿岸の地方港湾においても、津波痕跡高から、女川漁港付近で14・8mの津波が発生したと推定され、女川港の湾口防波堤が倒壊沈下し、壊滅的な被害を受けた。

震災後、先ず取りかかったのは、支援物資の受け入れを整えるための航路や泊地のがれき等の浮遊物や臨港道路の障害物を撤去する啓開作業であった。早期での啓開作業により、仙台塩釜港では約1週間後の3月17日に高松ふ頭(耐震岸壁)に緊急支援物資船が入港できた。その後も啓開作業や陥没、段差のあるふ頭用地の応急復旧工事を実施しながら各岸壁の早期供用を図った結果、同月21日には石油運搬船入港、25日にはフェリー入港、4月1日には一般船舶

の利用が可能となり、自動車運搬船やフェリーの定期航路再開など物流活動が再開した。また、平成22年に過去最高のコンテナ取扱量(21万6000TEU)となった高砂コンテナターミナルにおいては、コンテナの散乱はもとより4基あるガントリークレーンにも浸水による電気系統の被害があったため、クローラークレーンを調達し、コンテナ荷役が可能となるようにした。外貿ダイレクト定期航路は再開していないものの、6月8日には自動車用タイヤ等を東京港経由で北米等に輸出するため、高砂コンテナターミナルから内航フェリー船が出航した(写真4)。
一方、被害の大きい石巻港においても啓開作業やふ頭用地の応急復旧工事(写真5)を進め、釜地区を中心に4月1日には一般船舶の利用が可能となり、4月27日に建設資材の合板を積載した一般貨物船が中島ふ頭に入港し、その後外航船も含め7月上旬までに約70隻の船舶が入港し物流機能が着実に回復している。また、三陸沿岸の地方港湾では、外見上は大きな損傷はなかったが地盤沈下が著しく、エプロンに荷重制限をかけるなどして3月下旬から岸壁の利用が可能となった。
震災後5ヶ月経過した現在においての岸壁復旧状況(利用可能岸壁数)は、仙台塩釜港(仙台港区)で13/14(利用可能数/全岸壁数)、仙台塩釜港(塩釜港区)で24/24、石巻港で17/17となっている。そして、外国船舶の入港が少ない原因の一つとして、東京電力福島第一原子力発電所からの放射性物質の放出による寄港への懸念が寄せられていることから、各港湾の空間放

射線量と海水中の放射線量を定期的に測定し、寄港の安全性を外国船舶協会や日本船主協会に説明すると共にHP等の媒体を通して公表している。

宮城の復旧・復興方針

宮城県震災復興計画では、5つの基本理念を掲げ、復興を達成するまでの期間をおおむね10年間とし、平成32年度を復興の目標に定めた(図1)。

《基本理念》

- (1)災害に強く安心して暮らせるまちづくり
- (2)県民一人ひとりが復興の主体・総力を結集した復興
- (3)「復旧」にとどまらない抜本的な「再構築」
- (4)現代社会の課題を解決する先進的な地域づくり
- (5)壊滅的な被害からの復興モデルの構築

そして、沿岸被災市町の津波防災対策を講じるにあたり想定津波の考え方として、「海岸保全施設の復旧と設計方針」(土木学会津波特定テーマ委員会からの提言)において「すべての人命を守る」という理念のもと、「津波防災対策」の観点から2つの津波のレベルを設定した。一つは数十年から百数十年に1度の津波を対象として、海岸保全施設により人命及び資産を守る「津波防護レベル(レベル1)」、もう一つは、津波防護レベルを遥か

に上回り構造物による対策の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処置を行う「津波減災レベル(レベル2)」である。

このような復旧方針のもと、県では、今回の津波に対応した「津波減災レベル」への対策として、被災沿岸市町の「まちづくり」の観点から、津波による浸水被害の恐れが少ない区域に住宅地域を配置する「高台移転・職住分離」、海岸部の堤防だけではなく内陸部の高盛土構造の道路等により多重的に防護する「多重防御」等の復興イメージ(図2)を示し、前述の基本理念及び計画期間に基づき、被災沿岸市町とともに復興計画の具体化に向けた取り組みを進めている。

計画期間：10年間(目標：平成32年度)



図1 復興計画期間

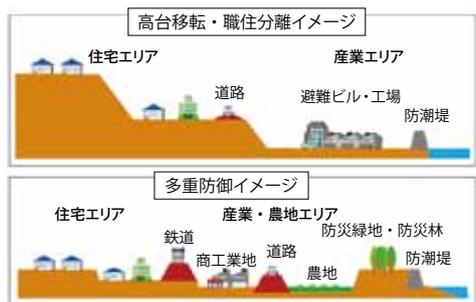


図2 沿岸被災市町・県全体の復興イメージ

はじめに

ニュージーランドのクライストチャーチでは昨年9月の地震で液状化し、本年2月22日の大きな余震でさらに広い範囲で液状化が発生した。筆者はこの報告会で話しをすべく3月11日代々木上原駅のホームに降りた途端に地震に見舞われた。最初はそんなに大きな揺れではなかったが、駅舎の屋根が壊れるのではないかと思うほどどんどん大きくなり、長い間揺すられた。これだと東京でもどこかで液状化したのではないかと思われた。その日は帰宅難民になったので翌朝早速浦安に向かった。というのは1987年の千葉県東方沖地震の際に浦安で液状化が発生したため、まず浦安が頭に浮かんだのである。

クライストチャーチと浦安等の東京湾岸で液状化したのは、細粒分を多く含むシルト質砂や砂質シルトである。細粒分を多く含むにもかかわらず液状化が発生しただけでなく、細粒分を多く含んでいたために噴砂量や沈下量が極端に多かったのではないかと考えられる。そこで、本稿では細粒土の液状化に特に焦点を当てて、東京湾岸の液状化を紹介してみる。

東京湾岸での液状化発生地区 および特徴

東京湾沿いには多くの埋立地が造成されてきている。そのうち、横浜市から川崎市、東京都、浦安市、市川市、船橋市、習志野市、千葉市にかけて広い範囲で液状化が発生した^{※1}。特に、浦安市を中心とした北部の地区では埋立地が一面に液状化し、住

特集3

東日本大震災

東京湾岸の埋立地の液状化 —細粒土の液状化に着目して—

安田 進

東京電機大学理工学部教授



3月11日の大地震によって、液状化が見られた東京湾岸の埋立地。本稿ではニュージーランドのクライストチャーチの例を引きながら、細粒土の液状化に特に焦点を当てて紹介する。



写真1 多量に発生した噴砂(千葉市、地震の2日後)

宅地として利用されている地区だったこともあり、戸建て住宅やライフライン、道路に甚大な被害を与えた。浦安市で液状化した面積は市の80%以上に及んだ。筆者は上述したように地震翌日から現地に出かけ江東区から千葉市にかけて調査して回ったが、この地区の液状化の特徴としては以下のようなものが挙げられるようである。

① 加速度は150〜200Gal程度と大きくなかったが、広い範囲で一面に液状化が発生した。ただし、本震で液状化し噴水が続いていたところに、29分後の余震で噴水が激しくなった箇所が新木場や浦安市にあった。また、千葉市内では本震で液状化した地区と、29分後の余震で液状化した地区とがあった。

② 多数の戸建て住宅が沈下・傾斜した。50cm以上の沈下量や40/1000以上の傾斜

角の家も発生した。2列の家が規則的に並んでいる地区では、お互いに内側に向くように傾斜した。なお、浦安市の調べによると浦安市だけで一部損壊以上の被害数は約8800戸に及んだ。

③ 埋設管の被害が多数発生し、電柱の激しい沈下や傾きも発生した。詳細はまだ明らかでないが、下水道管では抜けや突きが多量に発生しているとのことである。なお、浦安市では、一面に液状化したものの下水道のマンホールでは浮き上がった割合は少なかった。

④ 歩道などで路面が突き上げられたように盛り上がりつつある箇所があちこちで発生した。

⑤ 写真1のように噴砂の量が大変多く、また、地盤の沈下量も大きかった。

⑥ 締固めなどで地盤改良してあった区域は液状化しなかった。また、杭基礎の中層建物や橋脚なども被害を受けなかった。さらに、護岸の被害は発生したものの被災箇所は液状化した面積に比べて少なかった。

さて、既往のボーリング資料をもとに浦安地域の地層断面図を推定してみると図1のようになる。表層に5〜10m程度の厚さで埋立および盛土層があり、地下水位以下のこれらの層が液状化したものと考えられる。江東区から千葉市にかけても同様である。図2は筆者達が採取した噴砂の粒径加積曲線を示す。細粒分が10〜60%と多いシルト質砂または砂質シルトであり、このような細粒土が液状化したと考えられる。実は1987年千葉県東方沖地震では姉ヶ崎市など東京湾岸の東側で広く液状化した^{※2}が、その時の噴砂も20〜80%程度細粒分を

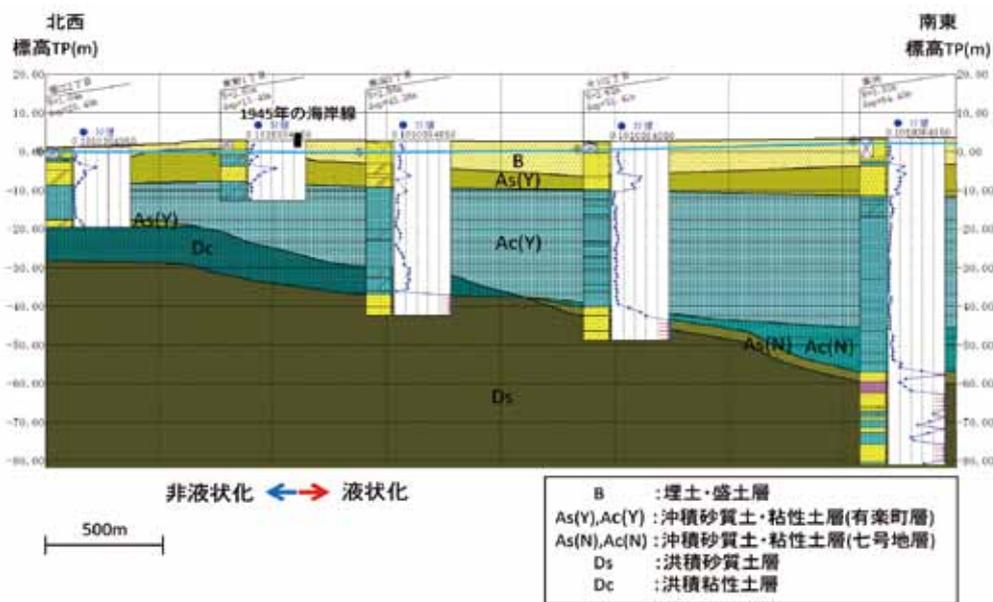


図1 浦安を通る推定土層断面図

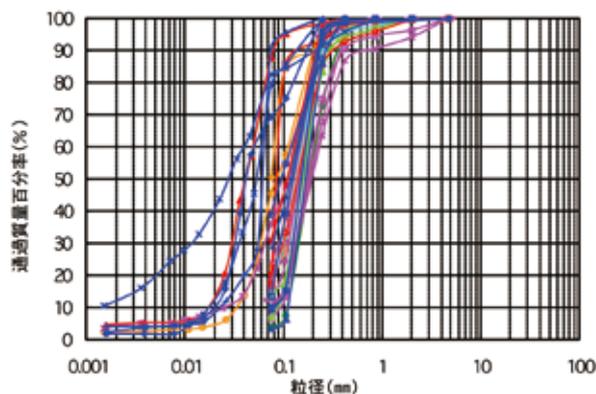


図2 東京都～千葉市間の埋立地で採取した噴砂の粒径加積曲線



写真2 クライストチャーチにおいて2月の余震で発生した多量の噴砂

参考文献

※1安田進・原田健二：東京湾岸における液状化被害、地盤工学会誌、Vol.59、No.7、pp.38-41、2011。
 ※2安田進・陶野郁雄・森本巖：千葉県東方沖の地震の調査報告、地質と調査、pp.54-60、1988年第1号。
 ※3安田進・Cubrinovski Misko・時松孝次・Orense Rolando・渦岡良介・清田隆・細野康代・山田卓：2011年ニュージーランド2011 Christchurch地震による被害に対する災害緊急調査団報告、地盤工学会誌、Vol.59、pp.48-49、2011。

含んでおり、こんなに細粒分を含む土が液化するのだろうか」と議論を呼んでいた。クライストチャーチの噴砂も10〜50%程度も細粒分を含む土である。このような細粒分を多く含む砂が液状化したこと、上記の①〜⑤の関係について考察してみると以下のようになる。

(a)細粒分が多いため透水係数が小さい。したがって過剰間隙水圧が消散するまでに長時間かかり、本震で液状化した状態で2分後の余震を迎え、液状化の程度が激しくなったのではないかと思われる。また、本震の継続時間が長かったため液状化した後に地面全体が大きく揺られたり、さらに余震で揺すられて、歩道の突き上げといった特異な現象が発生したのではないかと思われる。埋設管もこの地面の動きによって大きな変形を受けたのであろう。また液状化

した状態が長く続いたことやさらに揺すられ続けたため家屋や電柱の沈下、傾斜も大きくなったのではないかと思われる。(b)噴水が長く続いたことや、土粒子の比表面積が小さいので噴水によって土粒子が運ばれ易いことにより、多量の噴砂が発生したと考えられる。また、その噴砂を取り除いたため、地表面の沈下量も大きくなったと考えられる。写真2にはクライストチャーチでの噴砂の状況を示すが東京湾岸以上に噴砂の量は多く、ある家では本震の時に40cm程度の噴砂が発生し、それを取り除いていたが、2月の余震で再液状化し、さらに多量の50cmの噴砂が発生した。なお、そこでは6月に発生した余震でもまた液状化し10cm程度の噴砂が発生した。従って、噴砂を取り除いた分だけでも1mも沈下したことになる。

あとがき

細粒分を多く含む砂では液状化が発生し難いと一般に考えられている。確かにそうであり、例えば図1の断面に示す埋立層の下に沖積砂層（AS層）は液状化しなかったのではないかと思われる（現在まだ地盤調査中であるが）。埋立土はこの海底にある沖積砂を浚渫して埋め立てたものであり、もともと同じ土である。それなのに埋立土は液状化し易かった理由としては、埋め立ての過程でエイジング効果が消失したとや緩くなったことがまず考えられる。また、埋め立ての過程で粘土分が分離してしまっただけでも挙げられよう。埋立土と沖積層の液状化強度の違いに留意する必要があると思われる。

民間技術の紹介1

水中ポジショニングシステム

五洋建設株式会社

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10002号を取得した本システムは、潜水士作業など不可欠だった潜水士や吊荷などの測位・監視の安全性に欠かせません。

水中ポジショニングシステムの概要

近年、周辺環境や一般の海上交通の事情から大きな工事エリアを確保することが困難であり、近傍で施工機械が稼働する場所や、一般船舶が往来する航路に近接する場所での潜水士作業が多くなってきました。そこで、潜水士の安全を確保する目的から、これまでの水中作業機械の測位や構造物の誘導据付で実績のある技術をもとに、従来の潜水士作業や構造物据付作業で不可欠であった潜水士や吊荷などの測位・監視を行う水中ポジショニングシステム（以下、本システムと記す）を開発しました。本システムは平成23年7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10002号を取得しました。

従来の水中測位方法

①潜水士の位置把握
潜水士と海上の作業船との連絡方法は、電話用通信ケーブルによる音声での連絡が一般的

的であり、海中での潜水士の位置は船上から繰り出した送気ホースの長さや潜水士からの気泡の位置で見当をつけています。しかし、グラブ船や揚重機台船などの近傍で作業を行う場合、吊荷との接触・挟まれ等の危険がともない、また作業中は濁りによって視界確保が困難な状態が想定されることから、船上の監視員の細心の注意が必要となります。

②水中構造物の据付誘導

水中構造物の据付作業は起重機船などで行います。吊荷はクレーン先端部シブの真下に位置するため、クレーン先端部にGPSや光波用プリズムを設置して算出する吊ワイヤーの中心位置を吊荷の平面位置として誘導・据付を行います。しかし、作業海域の潮流が速い場合は、クレーン先端部シブと吊荷の位置関係が一定に保たれないため、吊荷位置を個別に検出することが必要となります。本システムは潜水士や吊荷などの測位対象物にトランスポンダを設置して、潜水士船や作業台船の船上装置で対象物の位置特定・監視を行うもので、作業の安全性向上を目的と

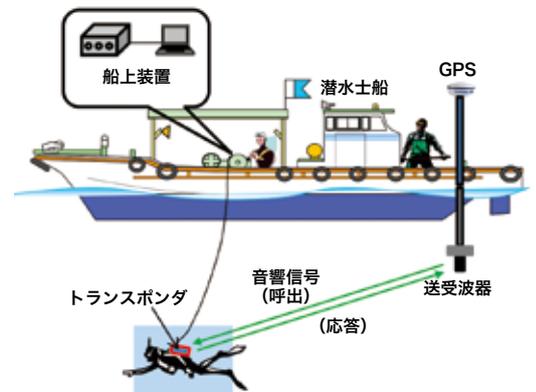


図1 システム構成(潜水士測位)

システム構成

潜水士の位置監視を行う場合のシステム概要を図1に示します。

- ①潜水士は作業船に設置した送受波器からの呼出に応答するトランスポンダを携帯します。作業船に制御ユニットおよびパソコンからなる船上装置、トランスポンダとの通信を行う送受波器、GPSアンテナ、コンパスなどを設置します。
- ②送受波器から所定のトランスポンダを呼出し、応答したトランスポンダの信号を送受波器で受信します。
- ③送受波器で受信した信号の伝搬時間などでトランスポンダの位置を算出します。
- ④GPSアンテナとコンパスなどから、送受波器の位置と方向を求めて潜水士の絶対位置を確定します。
- ⑤潜水士があらかじめ定められた管理区域に侵入した場合、モニタに警報を表示します。

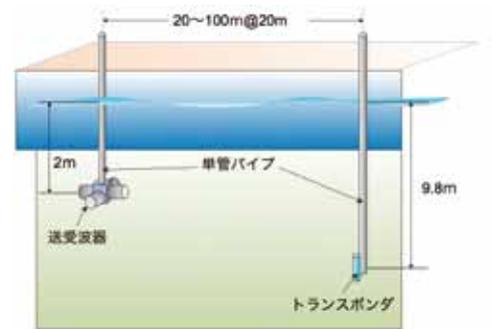


図2 平面精度評価試験概要図

システムの特徴

- ①同時に6つの対象物を作業半径150m x 水深30mの範囲で測位可能
潜水士が行う通常の水中作業全般に適用できます。（ただし、現場ごとの潜水作業中止基準を超える海象気象条件下では適用範囲外）
- ②対象物の水中位置を作業船上のモニタで監視することが可能
管理範囲や指標となる既設構造物などを配した工事エリア図に測位した対象物の位置をプロットできるため、潜水士船の監視員がモニタを見ながら潜水士を誘導することや、ロック据付時の起重機船オペレータが潜水士や吊荷の位置を確認しながら作業を行うことができます。

- ③管理範囲内に対象物が入るとモニタに警告を表示することが可能
航路近傍や吊荷を中心から任意を管理範囲として、進入時にモニタに警報を表示して注意喚起をすることができます。
- ④対象物に取り付けるトランスポンダはワイヤレスのため作業性がよい。
測位のための送受波器の呼出信号、トランスポンダの応答信号は超音波伝送しているため、通信ケーブルなどの養生、管理が不要なので潜水士の通常の作業性を損ないません。

測位精度と留意点

●平面測位精度について
本システムの適用範囲（作業半径150m x 水深30m）における測位精度は以下のように検証しました。

図2のように送受波器とトランスポンダとの距離を20m ~ 150mに変化させた場合の

トランスポンダ設置ポイント	平均測距値	X座標		Y座標	
		誤差 (m)	精度 (%)	誤差 (m)	精度 (%)
20m	22.6	0.39	1.73	0.49	2.17
40m	44.9	0.97	2.17	1.23	2.74
60m	67.3	1.93	2.87	2.50	3.72
80m	94.1	1.84	1.96	2.21	2.35
100m	99.5	1.06	1.07	1.21	1.22
120m	120.0	1.05	0.87	1.14	0.95
140m	139.3	1.34	0.96	1.28	0.92
150m	149.4	0.85	0.57	0.72	0.48

表1 平面測位結果

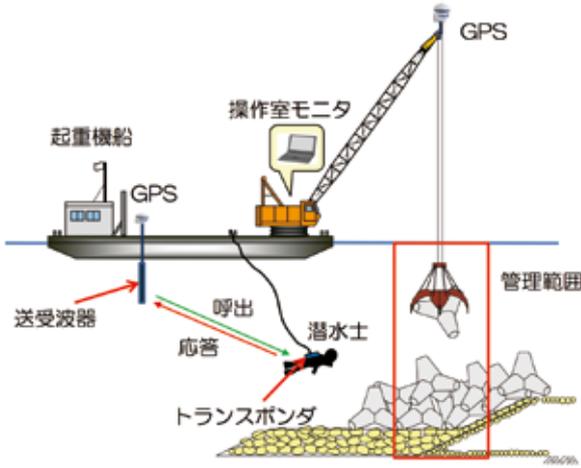


図3 潜水士位置監視概要図

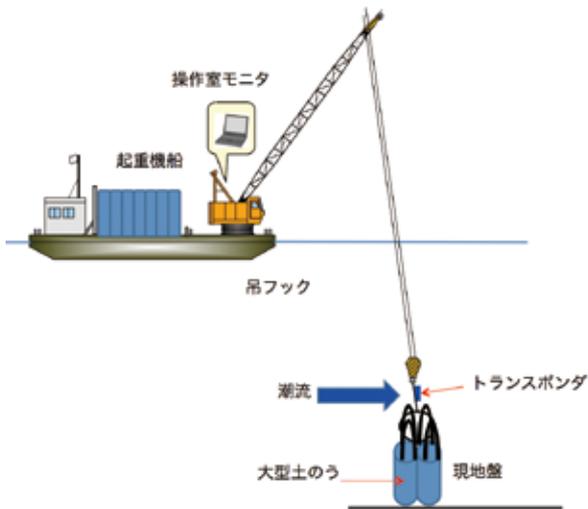


図4 土のう据付概要図

システム測位値の精度を検証しました。

送受波器とトランスポンダは防波堤からそれぞれ2m張り出して、各設置ポイントで10分間測位を行いました。各トランスポンダ設置位置における測位データを確率分布としてまとめ、平均値からの±2σ (95%) 以内のバラツキを誤差としました。また、平面測位精度は誤差の10分間の平均測距値に対する比で評価しました。表1に統計結果を示します。これより、平面測位は送受波器とトランスポンダ間の距離に対して±4%以内の精度で行なえることが検証できました。

●測深精度について

測深精度については試験を行える海域がないため、耐圧容器を使った室内試験にて評価しました。試験は圧力容器内にトランスポンダをセットして試験深度に相当する圧力をかけ、耐圧容器外壁に送受波器を密着させ測位を行いました。

1〜32mまでの水深相当の水圧をかけた計測したところ、±50cmの精度で測深できることが確認できました。

●留意点

前記の試験は、トランスポンダを固定した状態での検証です。実際は、トランスポンダを携帯した潜水士は作業のために移動し、作業船は気象海象状況によって動揺します。システム信頼性の確保とより安定した測位のために以下の留意点があげられます。

①管理区域設定の考え方

本システムにおける平面測位精度が送受波器とトランスポンダ間の距離の±4%であるため、管理区域を設定する際にこれを考慮する必要があります。例えば、起重機船と対象物との距離が50mにおいて、半径10mの管理範囲を設定する場合は精度から考慮すべき距離は50m×0.04=2.0mを加えて半径12.0m以上を管理範囲として運用します。

②測位不安定になった時の対処法

特に浅い海面や岸壁が近い海域において水面や海底からの反射波が直接波と時間差なく到達する場合があります。この場合、直接波に反射波が重なって信号が減少したり打ち消しあうことで欠測や不安定になることがあります。この対策として、あらかじめ計測位置でのキャリアレーションを行い、反射波が到達しにくい配置をつかむことが必要です。

導入事例・実績

①潜水士の位置把握

ブロック据付・撤去作業では潜水士が吊荷位置の誘導を行ったり、吊荷の玉掛け・玉外しを行ったりしますが、クレーンオペレータは直接潜水士の位置を確認することはできません。そこで、クレーンブーム先端部を吊荷中心とした任意の半径範囲を管理範囲として、潜水士位置と同時にクレーンオペレータ席に

取り付けたモニタに表示しました。クレーンオペレータはこのモニタで潜水士位置を確認して吊荷作業が行えます。水中電話と合わせて視覚的に潜水士位置を確認できるので上下作業の防止、挟まれ・接触事故防止が図れます。図3にブロック据付時の潜水士位置監視概要を示します。

②水中構造物の据付誘導

大深度や潮流のある海域での構造物据付では、吊荷が流されてしまい、起重機船のブーム先端を吊荷位置として管理することができないため、個別に吊荷の測位が必要となります。そこで、図4の土のう据付概要図のように吊荷の真上にトランスポンダを取付けてクレーンオペレータが吊荷位置を確認しながら精度のよい据付作業をすることができます。

今後の課題と展開

水中ポジショニングシステム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います。

システムは超音波を使った水中音響測位装置がコアとなっていますが、海上工事ではケーソンや他の作業船での音響反射や干渉があり、劣悪な水中音響環境といえます。そのため、信号処理方法や時間調整の試行錯誤を重ねて、より安定した測位ができるシステムの確立に継続して取り組んでいます。構造物や吊荷、作業船などが輻輳する現場ほど潜水士の安全確保のために位置監視は重要な技術となります。

今後も現場導入とシステムの安定性を高めるデータの蓄積を行い、大深度や狭隘な施工場所への導入など適用範囲の拡大やシステム信頼性の向上に努めたいと考えています。

岸壁として改良整備するものです。

雷神埠頭は、1日おきに大型自動車運搬船が入港して、新車の荷降ろしや積み込み作業が行われることから岸壁供用を前提として各種の増深・耐震補強工法が比較検討されましたが、供用性、経済性の点で優位な「2段タイ材地下施工法」が国内外で初めて採用されました。

当工事の設計対象岸壁の構造を図3に示します。V型矢板を用いた岸壁（B区域）と直立消波ブロックを有するⅢ型矢板を用いた岸壁（C区域）の2タイプです。

構造設計は、永続状態・変動状態に対して従来の控え式矢板岸壁の設計法に準拠し、仮想梁法とフリーアースサポート法で実施、偶発状態に対しては動的応答解析「FLERP」で照査しています。

B、C区域ともに、増設タイ材の取付高は



写真2 仙台塩釜港 雷神埠頭 位置図

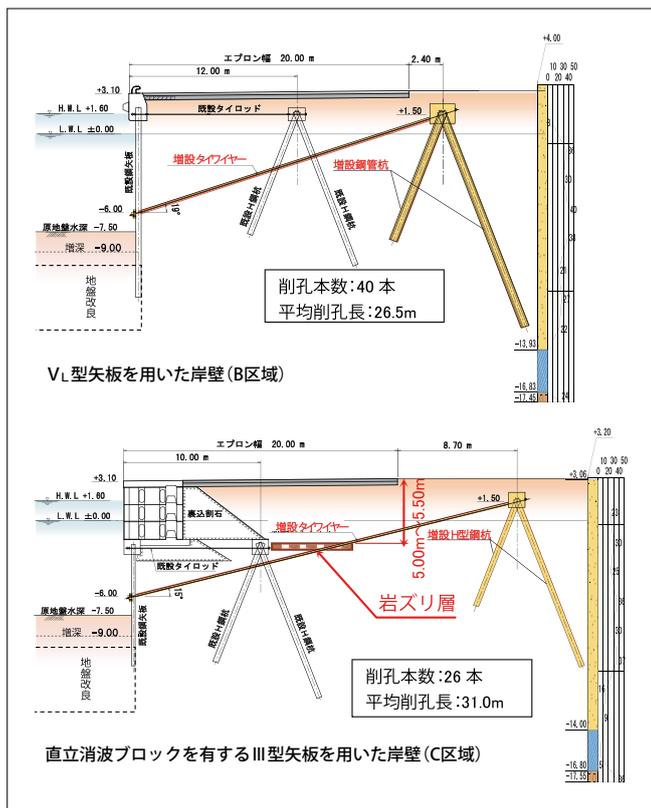


図3 雷神埠頭 岸壁補強断面図



写真3 船舶の接岸荷役作業状況



写真4 仮囲い内での小口径推進削孔状況



写真5 仙台塩釜港 雷神埠頭 震災後の状況 (平成23年3月14日撮影)

原稿執筆：中村 泰
(株式会社 大林組 土木本部 営業推進第一部)

マイナス6・0m、増設控え工は、B区域が鋼管杭による組杭、C区域がH形鋼杭による組杭構造です。なお、増深に伴い既設矢板の根入れ長が不足するため、既設矢板の海側を一部地盤改良し、根入れに対する安全性を確保しています。

小口径推進による削孔は、現地実証試験（平成18年6月、仙台塩釜港高松木材埠頭）で開発した、株式会社関電工保有の小口径推進機（スーパードリフト改良型）を使用し、構造設計上の要求削孔精度である±50mm以下の±20mm以内の高い削孔精度を確保しました。

雷神埠頭のB区域は、比較的締まった均質な砂地盤でしたが、C区域には、エプロン直下の深さ5・0〜5・5m付近に、層厚0・3m程度の岩スリ層が存在しました。均質な砂地盤は、本工法の適用範囲ですが、岩スリ

層に対しては、補助工法の採用や先端ヘッドに改良を加えることで、削孔精度±20mm以内を確保しました。

また工事期間中は、1日おきに新車運搬用の大型自動車運搬船が入港し、その荷役作業中は、仮囲い外での工事は一切行うことができないという施工条件（写真3・4）でありましたが、本工法により岸壁を供用しながら荷役作業に支障を与えることなく、無事工事を完了することができました。

●東日本大震災直後の仙台塩釜港 雷神埠頭
平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、港湾施設に甚大な被害をもたらしました。国際拠点港湾である仙台塩釜港雷神埠頭の周辺も、震度6強の揺れと約8mの津波に見舞われました。

しかし雷神埠頭は、平成22年11月に「2段タイ材地下施工法」によって、耐震強化岸壁

の改良工事が完成していたため、大きな被害はありませんでした（写真5）。大震災直後に、緊急物資運搬用の巡視船等が接岸し、震災支援活動を実施しており、あらためて本工法の耐震補強効果が確認されました。

今後の課題および展開

2段タイ材地下施工法は、仙台塩釜港での適用事例で実証したように、既設岸壁を有効に活用し、かつ岸壁を供用しながらの改良工事が可能な工法として、沿岸技術研究センターの民間技術評価認定を受けました。2段タイ材地下施工法は、岸壁の改良に伴う稼働休止ができない場合に、特に有効な工法です。

雷神埠頭の実工事において、地中障害物の出現による施工技術的な課題も見つかリ、今後は施工実績を積み重ねることで、技術的な課題を解決し、更なる施工性の向上を図ることとしています。また、これから本格化する東日本大震災後の港湾復興計画における太平洋沿岸の有効な岸壁補強対策として、本工法が一助となれば幸いです。

ます。摩擦引張型は荷重集中が少なく、地盤が不均質な場合や軟質な場合に適していると言われており、港湾地域における軟質な地盤でも十分な支持が得られると考えられます。

●モニタリング機能

グラウンドアンカーは維持管理が必要な構造物であるとされており、特に荷重管理は重要となります。EHDアンカーにおいてはディスクセンサーを併用することで、長期にわたり、計測器本体を交換することなく荷重管理が可能です。

●経済性

沿岸地域におけるインフラ整備は緊急性があり、少ない予算で大きな効果が求められています。グラウンドアンカーを用いた耐震補強は従来工法に比べ経済性に優れているとされており、さらにEHDアンカーは従来のグラウンドアンカーより経済性が優れた工法です。

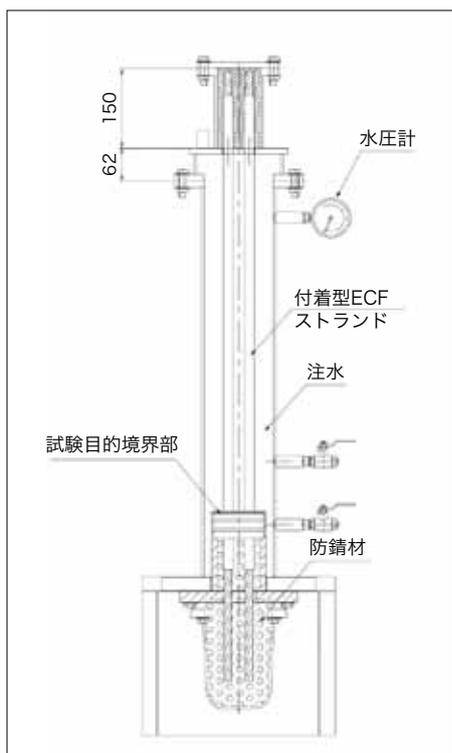


図2 水密性試験体構造図

実証試験

●水密性試験

早稲田大学において、海水や風雨に直接さらされる、頭部・頭部背面の水密性試験を実施しています。鋼管内で0.2MPa、1.0MPaまで順次水圧を上げ、漏水がないことを確認し、最終的には1.0MPaで1ヶ月の水密性試験を実施しました。試験結果、大きな水圧低下もなく、内部にも水が浸入していないことが確認され、金属材料の腐食も見られませんでした。海中に深く沈んでしまうような環境でもEHDアンカーが十分な防食性能を有していることが証明されています。

●促進試験

(独) 港湾空港技術研究所において2010年4月より2011年7月の16ヶ月間、EHDアンカー試験体の促進試験を実施しました。60℃の塩水において3日間暴露、3日間乾燥を繰り返すという過酷な環境においても頭部材および付着型ECFストランドに腐食は確認できず、高い防食性能があることが証明されました。

●ディスクセンサーの疲労試験

(社) 日本建設機械化協会においてディスクセンサーの疲労試験を実施しました。500kN、800kNの繰返し載荷を6万回実施した場合においても正確な荷重計測が行

えることが確認されました。最終的に10万回を超える載荷においても破損することなく、高い耐久性が証明されました。

今後の展開および課題

東日本大震災における教訓より、港湾整備は緊急性を要しています。EHDアンカーもこれらの一助となるよう協力していく予定です。

また、沿岸地域での施工実績を増やし、現場からフィードバックされる情報を基にさらなる施工性、防食性、経済性の優れたアンカーとなるよう情報収集が望まれます。



写真2 解体後の試験体



写真3 疲労試験状況

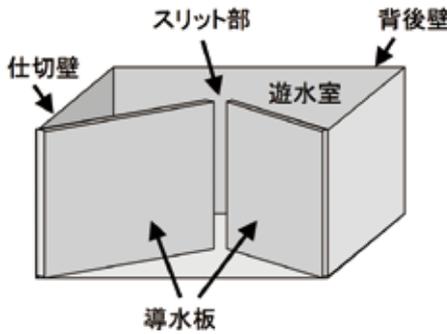


図1 渦消波型長周期波対策構造物の基本形状

渦消波型長周期波対策構造物に関する設計法の共同研究

(財) 沿岸技術研究センター
調査部主任研究員 山下 徹

はじめに

国内の多くの港湾では船舶が大型化するに伴い、港内係留船舶の長周期動揺の発生が顕在化しており、荷役の中断、係留索の切断、防舷材や船体の損傷の発生が報告されています。

港内の長周期波を低減する構造物としては、レキ・ブロックタイプの幅50m程度の消波構造物が実用化されていますが、航路や泊地のスペースを圧迫するといった短所も同時にかかえています。新しく開発された「渦消波型長周期波対策構造物」はその構造物幅が25m程度と従来の構造物に比べて所要幅が狭く、省スペース型の構造物です。しかしながら、本構造物は設計法などに不明なところがあったこともあり、今のところ実用までには至っていません。そこで、当センターと五洋建設(株)、東亜建設工業(株)、東洋建設(株)の4者により多様な長周期波対策構造物を提供することを目的として渦消波型長周期波対策構造物の設計法を中心とした共同研究を行いました。

渦消波型長周期波対策構造物について

渦消波型長周期波対策構造物は、1ユニットにつき、1対の導水板とその導水板により構成されるスリット部、および仕切壁と背後壁に囲まれた遊水室により構成されています。

本構造物は、波の非線形性と構造物の形状効果によって、長周期波の波エネルギーの一部が流れエネルギーへと転化されるというメカニズムを利用して消波しています。

設計手法

渦消波型長周期波対策構造物は、既往の構造物とは異なる消波メカニズムを有していることから、目標とする消波性能を満足させるために適切な諸元の設定が必要となります。図3に示す構造物諸元を設定するにあたり特徴的なのは、図4を用いて、目標性能(反射率 K_r)を満足するように「遊水室幅りと遊水室半長さ W_0 の積」を算出する点です。遊水室幅

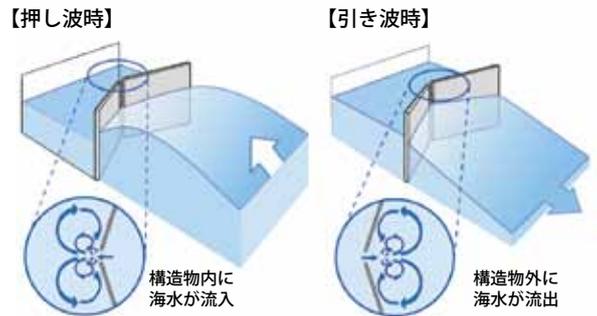
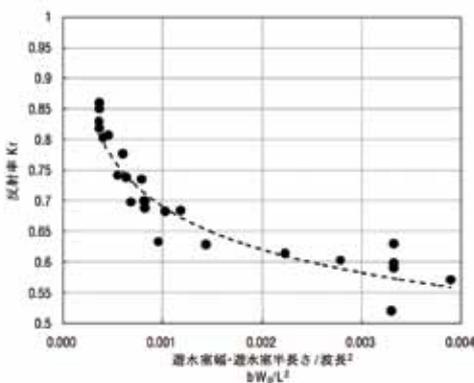


図2 消波メカニズムの概念図



$$(1) \frac{W_0}{\delta} \leq 0.3 \frac{L}{h} + 10 \quad (2) 0.6 \leq bW_0 \leq 2.4$$

図4 遊水室幅・遊水室半長さ/波長2と反射率 K_r の関係

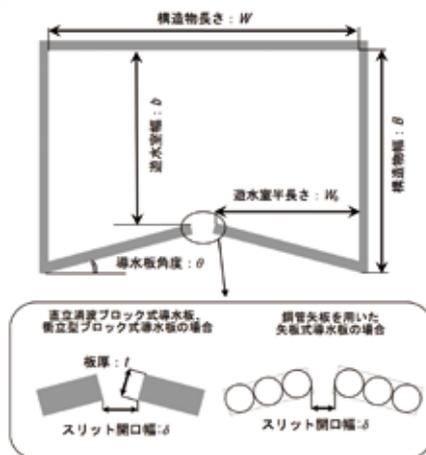


図3 構造物諸元

おわりに

今回紹介しました共同研究の成果については、京都大学の高山知司名誉教授、京都大学防災研究所の平石哲也教授にアドバイザーとして貴重なご意見を頂きました。ここに厚くお礼申し上げます。

bと遊水室半長さ W_0 それぞれについては、式(1)および式(2)の制約条件を考慮し、決定します。これらの制約条件は、構造物の消波性能が低下しないような範囲から諸元を選択できるようにするための条件となっています。



NEWS 03

第13回 国土技術開発賞の表彰式について

国土技術開発賞は、建設分野における技術開発者に対する研究開発意欲の高揚と建設技術水準の向上を図ることを目的として、建設分野における優れた新技術及びその開発に貢献された技術者を対象に表彰する事業です。本賞は、平成10年度に(財)国土技術研究センターにより「建設技術開発賞」と称して創設され(11年度から表彰を開始)、その後、平成13年1月の国土交通省発足を機に、「国土技術開発賞」と改称されるとともに、当センターとの共催で実施されており、今回で13回目となります。平成23年7月8日、今年度の表彰式が行われました。

第13回国土技術開発賞 受賞技術一覧

賞	受賞技術名称	応募者名/[共同開発者名]
優秀賞 5件	バケットクラッシャー (FU-70)	株式会社古垣建設 ウエダ産業株式会社
	空港アスファルト舗装の層間剥離現象に関する赤外線を用いた検知手法	独立行政法人 港湾空港技術研究所 [横浜国立大学大学院 工学研究院]
	連続SSRT	株式会社フジタ [株式会社地球科学総合研究所]
	サブマリנקリーナー (SMC) 工法	大石建設株式会社 [長崎大学工学部] [有限会社ラスエンジニアリング]
	ハーフプレキャスト工法を適用した鉄道ラーメン高架橋の構築方法	東急建設株式会社 川田建設株式会社 [公益財団法人鉄道総合技術研究所]
入賞 1件	厚層化盛土管理用ラジオアイソトープ密度・水分計の開発	東亜建設工業株式会社 ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社 [五洋建設株式会社] [東洋建設株式会社] [若築建設株式会社]
地域貢献 技術賞 [1件]	無灌字型多機能緑化基盤「グリーンビズ-G」	株式会社トーケン [小松精練株式会社] [株式会社アースエンジニアリング]

(注) 記載は応募の受付順、会社名は応募書類の記載順による。
青着色は、港湾・空港等関係技術

NEWS 01

第8回国際防災沿岸ワークショップの開催について

沿岸技術研究センターでは、平成23年9月5日横浜開港記念会館にて、世界の防災・減災の向上を目指し、(独)港湾空港技術研究所、国土交通省港湾局と共同で、「第8回国際沿岸防災ワークショップ ～レベル2津波災害からの復旧・復興～」を開催しました。

本ワークショップでは、アジア・太平洋諸国の津波・高潮の被災国から実務者、有識者を招聘し、国内および海外にお



るこれまでの津波・高潮災害や被災後の復興、防災の取り組みの紹介を通じて、災害からの復興を含めた今後起こりうる津波災害への対応を議論しました。

NEWS 02

和歌山県海岸防災セミナーの開催について

平成23年8月8日(月)、和歌山市内において、近畿地方整備局主催で、「みんなで考えよう 津波・高潮の備え!～和歌山県海岸防災セミナー～」が開催され、地元行政関係者や住民など約130名が参加しました。

丸山国土交通省海岸・防災課長の来賓挨拶に続き、小野近畿地方整備局副局長から、「和歌山県沿岸域の防災課題について」、山本沿岸技術研究センター理事から、「長寿命化計画策定の趣旨と成果の概要」について話題提供がありました。

セミナーの後半では、「自助・共助・公助の連携」をテーマにパネルディスカッションが行われ、ハード・ソフトの両面からバランスのとれた沿岸防災行政の推進について議論が行われました。



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】

東日本大震災によりお亡くなりになった方々のご冥福をお祈り申し上げるとともに、被害に遭われた方々にお見舞いを申し上げます。

今号(36号)は、35号に引き続き大震災に関連して、震災からの復旧・復興をテーマに、現場最前線の状況や震源より遠く離れた東京湾で発生した液状化についての情報などをお届けします。中でも鼎談の内容は興味深く、読み応えがありますので、是非ご一読下さい。今後ともよろしく願ひ致します。(T.A)

CDIT

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10月1日発行