世界に貢献する港湾空港技術

PARI

VOL.36

JULY 2019

Airport

Technology

Port

2 __ Front Line - 特集 -

地震の後、港湾施設利用の可否を迅速かつ適切に判断するために

6 __ Focus On 研究活動の最前線へ

制震部材の追設で港湾施設を耐震補強
地震時の BCP（事業継続計画）を支える
効果的な桟橋の制震化を目指して

8 __ Close Up 現場からの報告

地震発生後に被害状況を自動的に診断
「港湾施設被害度診断システム」

10 __ Front People 研究者の広場 挑戦する研究者たち

地震工学のこれからを考える

14 __ CROSS LINE 国際交流レポート

第８回アジア土木技術国際会議（CECAR8）に参加しました

15 __ TOPICS

港空研が緊急災害対策派遣で国土交通大臣から表彰されました！
構造研究グループの川端 雄一郎 主任研究官が
文部科学大臣表彰で若手科学者賞を受賞しました！

地震の後、港湾施設利用の可否を迅速かつ適切に判断するために

地震防災研究領域
野津 厚 領域長
（地震動研究グループ長）

地震防災研究領域 耐震構造研究グループ
小濱英司 グループ長

地震防災研究領域 耐震構造研究グループ
大矢陽介 主任研究官

地震防災研究領域 耐震構造研究グループ
伊藤広高 研究官

これまで港空研が取り組んできた耐震研究の中心課題は、
いかにして地震で壊れない施設にするかというものでした。
しかし近年はそれに加え、地震が起きてからの対応も肝に。
地震時に港湾施設に求められる役割は大きく、
その利用可否判断が重要なテーマになってきています。
地震防災研究領域の野津 厚領域長と、
同領域 耐震構造研究グループの小濱英司グループ長、
大矢陽介主任研究官、伊藤広高研究官の４名に取材しました。

大規模地震が起こったとき、被災地に向け速やかに、食料品や生活必需品などの緊急支援物資を届けなければなりません。もちろん陸路での輸送もありますが、道路が寸断されて使えないといったケースも考えられます。最も的確な方法は、大量の物資を船で運び、拠点となる大きな港に荷揚げすること。ほかにも、避難者の輸送に利用するなど、地震時に港湾施設に求められる役割は非常に大きいのです。

そこで問題になるのが、船を接岸させようとしている岸壁など、被災した港湾施設が安全に使える状態なのかどうか。利用の可否を正しく判断することが、極めて重要になってくるといいます。

判断の難易度は構造形式次第 鋼部材メインの施設は要注意

野津　地震の際に影響を受けても、その影響が小さい施設であれば、そのまま船舶の係留にも使えます。でも、大きく影響を受けて構造的に不安定になっているような施設は、使ってしまうと危険なので、使用を禁止しなければなりません。そういう判断を地震後に迅速かつ適切にできるかどうかということが、近年、すごく大きな課題に。その背景には、２０１７年に港湾法の一部が改正されたということもあります。従来、国の組織は港湾施設の管理に関わらないのが原則ですが、非常災害が発生した場合は、港湾管理者からの要請に基づいて、国が直接管理を行えるという制度ができたんです。逆に言えば、要請があったら管理

しなければならないということ。管理するにあたっては、施設の利用可否判断を正しく行い、使える施設は使うと決断するのも、国の役割になるわけです。

小濱　岸壁が使用可能かどうかの判断は、実はとても難しい。施設の構造をきちんと知っていることが、まず重要になります。

野津　構造形式によって、難易度はかなり違うんです。土台の上にコンクリートケーソンなどを載せて上部を舗装する重力式係船岸の場合は、変位の大きさや背後にできた段差で比較的判断しやすい。一方、矢板式や桟橋式のように鋼部材を主体とする施設の場合は、それ特有の難しさがあります。

小濱　コンクリートの箱自体が壊れることはまずないので、重力式なら安定さえしていれば、少々ずれたくらいなら大丈夫だと思います。ただ、鉄の矢板を打ち込んで後ろを埋め立てているような岸壁は、その下がどうなっているかわからない。1983年の日本海中部地震の例を挙げれば、秋田港大浜埠頭では、後から調査してみたら矢板が折れていました。もし重いものを載せていたら一気にガサッと水中に落ちる危険性があったということ。下に鋼管杭を挿して造る桟橋式も同様で、1995年の兵庫県南部地震の際に使用していた神戸港高浜埠頭も、パッと見る限りきれいな状態でしたが、実際は2m弱は横に動いていて、その後の引き抜き調査の結果、杭が曲がっているのが確認されました。構造がわかっていて、それがどれくらい変状しているか把握できないと危ない。上から見ただけでは、判断が難しい場合があるわけです。

1983 年日本海中部地震による秋田港大浜埠頭の被害

野津　大丈夫そうに見えた桟橋が、実は水平に2m弱動いていたというのも、後から詳細に測量してようやくわかったことです。現地に行ってもすぐにはわからないこともある。全体が動いてしまうと、係留施設が動いたことにさえ気づかないでしょう。そういうところに気をつけないといけません。

1995 年兵庫県南部地震による神戸港高浜埠頭 杭式横桟橋の被害（左：外観上は大きな変状は見られない　右：杭の引き抜き調査の状況）

スマホを使ってその場ですぐに判断が下せるツールを開発

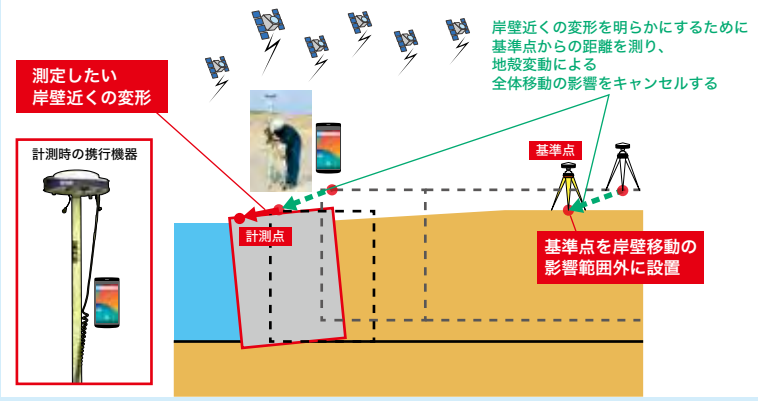
伊藤　構造形式によって異なる変形の仕方は、事前にさまざまな地震動を施設に与えて計算すれば、おおよそのところはわかるんです。それを把握することで、この程度変形したらこういった壊れ方をするというのがつかめる。この数値計算を事前にやっておくと、地震が発生したとき判断材料の一つとして使うことができます。

野津　判断が難しい桟橋式や矢板式について、地震後に部材の上面（天端）がどれだけ動いたのか、天端残留水平変位というのですが、その数字だけは少なくとも現地で把握していただきたい。それがないと、その先に進むこと自体が難しいんです。でもその数字があれば、あらかじめ計算しておいた基準と照らし合わせて使える・使えないの判断ができる。大枠としては、そういうことを考えています。ただ、天端残留水平変位が何cmなのかは、そう簡単にはわかりません。そこで耐震構造研究グループでは、それに適した機材の開発をこれまで進めてきたわけです。

小濱　われわれが知りたいのは矢板なら矢板、杭なら杭のみの変位量。地殻変動による全体の変位を差し引いた形で、この部分だけを計る必要があります。そのために、港空研のおすすめとして、RTK-GNSS（Real-Time Kinematic GNSS）を用いる係留施設地震時変形量調査・安定性評価支援システム（Berth Surveyor）を開発しました。あらかじめ座標のわかっている基準点

と測定したいところ（計測点）にGNSS受信機を置き、同時に観測することで、計測点の座標を精度良く計測。基準点の座標情報をもとにした地震前後の計測点の座標の差から、どれだけ動いたかがわかる仕組みです。機材は簡単に使えるものにしたかったので、操作端末はスマートフォンに。地震前の座標を記憶させておき、地震後と比較して岸壁変形量を計測する専用アプリや、実際の運用方法を開発しました。以前『PARI』（29号8～9頁）で紹介した時点では計測するところまでしたが、現在はアプリの中に、あらかじめ数値計算で得た変位量と損傷の関係を情報として入れてあり、それに照らして判定結果が「○×△」で表示されるようになっています。つまり、現場でこれさえ持っていれば、その場で即、判断ができるんですよ。

係留施設地震時変形量調査・安定性評価支援システム（Berth Surveyor）の計測状況



▲ Berth Surveyor の概略図

◀スマートフォン（Android）アプリ上の判定結果の表示例

野津　先の法改正に対応すべく、港湾局でもいままさに、ワーキングなどでさまざまに議論している段階です。港空研としては、このやり方を普及していきたい。これ、機材を導入すればすぐに使えるわけではないんです。まず基準点を決める作業が必要で、そこから今度は、平常時の計測点を測っておかなければいけません。地震時にだけ測るのではダメで、まず地震の前に計測を。そういう作業をこれからやっていかないと。

小濱　この基準点の決め方というのがけっこう大事なんですよ。地盤が岸壁移動に影響されない陸域で、計測点からの距離は約5㎞以内。かつ耐震性のしっかりした建物の屋上などがいい。小さめの港であれば、真ん中の埋め立てないところに1点。東京や大阪、横浜、神戸といった大きい港なら2、3点設置が必要になると思います。

野津　地震時に複数の港が同時に被災する可能性もあるので、機材をどれくらい用意しておかなければいけないのかということも、事前に考えておく必要がありますね。

地震が来てからでは遅い！事前の準備が肝心

大矢　この方法を使わないやり方としては、岸壁の傾きの角度を測ったり、GNSSではなく100mとか200mのメジャーを使って基準点から岸壁までの距離を数人がかりで測ったりして、被災状況を把握している地方整備局も。そういったところにもわれわれのシステムを見ていただいて、導入を検討していただいています。

小濱　事前の計測はある程度行われていると思うのですが、われわれがやっているように細かく鋲を打ってというものではない。それをやってくださいと、いまお願いしているところです。

野津　各地方整備局の方たちが集まって、本省や研究所の人も来て、一緒に議論する場はあるので、そういう場で周知を図っています。事前に測っておかないと、いざ地震が起こったとき何もできないという話はしている。ただ、周知イコール実行とはいかず、そこにはやはりタイムラグが……。とくに港湾管理者が整備した施設については、国が直接タッチできないこともあって進まない。でも私は、そういう施設についても、あらかじめ国側で調べておけばいいと思うんですよ。だって、いざとなったら国が管理しないといけないわけですから。

伊藤　私は中部地方整備局から来ているのですが、いま地方整備局で一番課題になっているのは維持管理の大変さ。港湾管理者に話を聞くと、法律で点検が義務化されていても、なかなか手が回らないのが実情だといいます。日常の点検すらままならない状況で、地震に備える体制はできていないのかなとも……。

野津　最優先にしていただけない状況はあると思いますね。それに、地震が起きてもしばらく経つと、そのときの緊張感を忘れてしまうもの。ですから、そういう注意喚起もまた、私たち研究所の仕事の一つだと思っています。「地震が起こると大変なんですよ！」「だから事前の準備をぜひやってくださいね」ということを、研究所としても言い続けないといけない。大きな施設についてはかなりやられてきていると思うんですよ。でも日本全国を見ると、地方の港もたくさんあるし、小さな施設も多い。そういうところについてどこまでできているかというと非常に心配です。

小濱　東日本大震災の後、要請を受けて被災した施設の利用可否判断に出向きましたが、前提として現場から聞いた変位量がどの程度正しかったかは疑問。そういった反省が、Berth Surveyorの開発へと繋がっているわけです。事前に準備しておけば判断が早い。準備していなくてもできなくはないと思いますが、時間がかかりますし、高い精度は期待できません。

施設の構造形式を見極めつつ UAVの活用も検討

野津　鋼部材を使った施設は、フェリー埠頭とかに多いんですよ。そういう施設の大半は小さな地方自治体が整備していて、例えば島行きのフェリーだったら、それが唯一の交通機関。もし途絶えてしまうと、その島に物資を輸送する手段がなくなってしまうという、ものすごくクリティカルな施設なんです。なので、とくにそういう施設が心配。大きな地震被害にあったとき、使えるか使えないかの判断はすごく難しいものになるでしょう。ですからとくにそういうところで、Berth Surveyorはどんどん取り入れられたらいいと思っていて。国が整備していない施設が多いですが、導入を考えていただきたいですね。

大矢　UAV（ドローンなどの無人機）を使って行う写真測量という方法もあります。空から写真や動画を撮ってどれくらい壊れているかを調べる用途とは別に、写真から座標を計算して施設が何cm動いたかを測るというもの。これにはいろいろ難しさがあって、UAVの位置情報はGNSSでもとっているのですが、たくさん撮った写真を合成して一つの写真にするとき、位置座標の誤差がけっこう含まれるんです。なので通常は、見たい施設の周囲の何カ所かの座標を測り、合成の際にその情報をもとに補正を行います。ただ、災害時に使うことを考えると、津波警報の時などは人が入って測れないので誤差が溜まってしまう。ではどうするか。RTK-GNSSを使い、基準点とUAVの相対距離を測る方法で、そこそこ精度よく測量できることがわかりました。実際に敦賀港で測ってみて、一応検証済みです。近い将来は、地震が発生したら勝手にUAVが飛んで行って港湾をぐるぐる回って帰ってきて、パッと結果が出るようなことができるかもしれません。

野津　もしかしたら、施設ごとの構造形式をいま一度きちんと把握し直しておくことが、一番大事かもしれないですね。古い施設となると記録も怪しい可能性があるので。例えば、重力式だとわかっている部分については、法線がある程度まっすぐならば船は着けるし、背後にできた段差は砂利を敷いて均せばいい。そういう判断であれば、UAVからの画像だけでも十分判断できると思います。

使用者側の意見を取り入れて さらに使い勝手のよいツールに

小濱　関東地方整備局は機材を導入して、川崎港で昨年度、われわれが基準点を設置したり、観測点の鋲を打ったりしたところです。関東地方整備局では地震に限らず災害情報を本局のほうに集めるシステムをつくっていて、そこにこの結果を通信で送れるようにしてほしいといった意見をいただきました。中部地方整備局などでも既に使い始めているので、何か意見が出ているのではないでしょうか。

伊藤　具体的な話は聞いていませんが、マニュアルを詳しいところまで書いてほしいといった要望はあるようです。もともと中部地方整備局では、重要な施設に対しては、地震が発生したら地震動データを入手して自動的に計算を行い、施設がどれくらい変状するか予測するシステムをつくっていたんです。あくまでも数値計算ゆえ不確かな点もあるので、変形量を直接的に測定するためにBerth Surveyorを導入。各港で基準点をどこに設けるかという検討までは、既に終わったと聞いています。

野津　地震対策に関して、中部地方整備局はすごく進んでいますよね。

伊藤　昔から東海地震が起こると言われていましたし、備えようという機運は年々高まっていましたから。どういう対策が必要かというところから、迅速に復旧するにはどうしたらいいのかというところまで、いま進めているところです。

野津　やはり港湾関係者を含め、これから広く周知していくことが、最重要だと思います。引き続き、いろいろな形で取り組んでいきたいですね。

制震部材の追設で港湾施設を耐震補強

地震時のBCP（事業継続計画）を支える効果的な桟橋の制震化を目指して

緊急支援物資等の輸送のみならず、背後に立地する企業の事業継続のためにも、港湾施設の地震時の機能維持は重要な課題。
既存構造物を活用した耐震改良の需要が高まりをみせています。
従来「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（港湾技術基準）には盛り込まれてこなかった「制震」にスポットを当て、追設部材や工法の検討・開発に取り組む耐震構造研究グループの近藤明彦研究官に取材しました。

地震防災研究領域
耐震構造研究グループ
近藤明彦 研究官

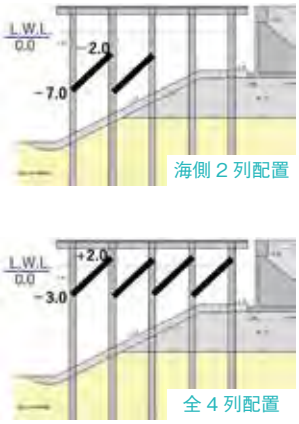
既存桟橋の耐震性を上げる制震工法を徹底検討

現行の港湾技術基準（2018年4月改訂）では、係留施設においてはレベル1地震動に対し、すべての部材が損傷しないことが前提。ただ、その前提では、既存施設の耐震性向上には莫大な費用が必要に。レベル2地震動に対しては一部の部材の損傷が認められていますが、復旧に時間がかかることが懸念されます。

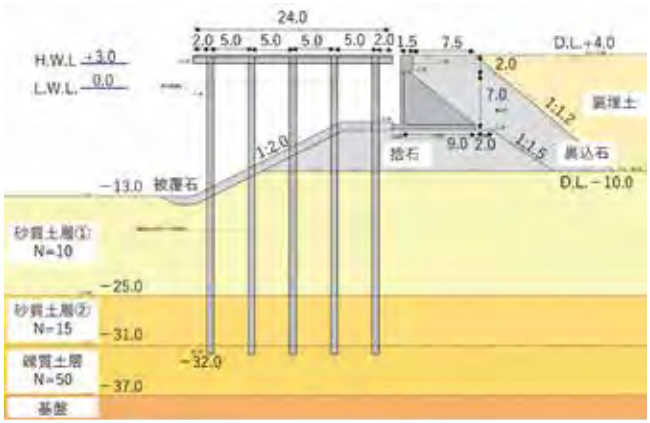
「地震時のBCPが重視されているいま、耐震強化岸壁のような公共の重要港湾施設だけでなく、民間の係留施設などの役割も大きくなります。ところが、それらの施設は老朽化が進む一方で、更新に対する余力は低下しているのが実情。そこでわれわれは、内閣府 総合科学技術・イノベーション会議の官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM:プリズム）の予算をいただいて、小野憲司PD（京都大学客員教授）と富田孝史サブPD（名古屋大学教授）の指導を仰ぎつつ、国交省港湾局と関東地方整備局の協力も得ながら、比較的容易かつ安価に、桟橋式係留施設の耐震改良を実施できる工法を開発しています」と、近藤明彦研究官。

改良の方向性としては、地震の揺れを逃がすことで構造物にエネルギーを伝えない「免震」と、伝わってくる振動を制震部材を用いて変え、エネルギーを低減させる「制震」が考えられますが、今回選んだのは後者です。

「検討しているのは、桟橋上部工を支持する基礎杭の間に、制震部材として斜めに筋交いを増設するという工法。既存施設に限らず、新たに造る直杭式桟橋についても考え方は同じです。ただし、部材を足して構造を強固にするだけではダメ。地震の揺れと補強後の構造物の揺れやすさの周期が一致してしまうと、共振してすぐ壊れてしまうので、そうならないように補強度合いを変えるというのも大事なポイント。工法としてはこれまでにたくさん開発されてきていますが、港湾構造物に適用するために検討を進めているところです」



座屈拘束ブレースの取り付け方法



検討対象の直杭式桟橋の断面図

部材の損傷を許容することで構造全体の変形を軽減

基礎杭間に追設する部材については、剛性（物体の変形しにくさの度合い）をどうするかなど、さまざまなバリエーションの検討が必要で、そこが難しいといいます。

「どこにどの強さのものを何本取り付けたらいいかという答えにスッとたどり着けないといけません。そのための方法を、こちらで固めておく必要がある。これまでに、オイルダンパー（油の粘性を利用して衝撃や振動をやわらげる装置）を設置する方法や、制震部材に加えて鋼管などの水平材を取り付ける工法などを検討してきました。現在は、座屈拘束ブレースを取り付けることによる耐震性向上効果を検討中。座屈拘束ブレースというのは構造部材の一つで、地震の揺れによる圧縮・引張で折れ曲がらないように、周囲を鋼材などで拘束しておくもの。変形によってエネルギーも消費されます」

制震部材を足すことには、その部材が地震の最中に降伏する（変形が急激に増し、元に戻らなくなる）ことが織り込まれており、その変形でエネルギーを使わせる意味もあるのだとか。

「揺れ方を変える役割ももちろんですが、ある程度の大きさの揺れがきたとき制震部材が降伏してくれれば、その変形によってエネルギーが使われることになり、最終的に桟橋本体が受けるエネルギーも下げることができるんです」

数値解析と模型実験を行き来しながら答えを探す

検討は、数値解析と模型実験で。

「模型実験であれば、土があって構造物があって水があってという状態で、揺らしてみたらこうなるという〝一つの答え〟が出てきます。実験は何分の一のスケールで行ったから、実際に換算するとこのくらいの変形が発生しただろう、というのが答えとして示せる。一方、数値解析で出るのはあくまでもモデル化した条件下での答えですが、そのぶん条件を入れ替えるのは容易です。なので、筋交いの斜めの角度や設置する高さなどある程度よさそうな断面をあらかじめ数値解析で出しておいて、それを模型実験にもっていく。その実験の答えと数値解析の答えが合っていれば、モデル化も正しかったという話になります。もし違っていたら、今度は再現解析として、きちんと再現できるモデルに改良していく。で、再現できたらそのモデルを使って、最終的にどういう断面がよいのか、さまざまなケースをあてはめて探していくというのが流れです」

実際の港湾施設の全体系は、桟橋の後ろには護岸があり、背後地盤があってというところまでがワンセット。

「ですが、最初からそれで実験してしまうと、揺らしたとき背後地盤が液状化したら?とか、護岸はどうだったのか?とかいった話に。最終的な変形の結果はわかっても、肝心の制震部材がどれくらい効いたのかがわからなくなってしまいます。ですから昨年実施した実験では、いったん護岸や背後地盤は考えずにシンプルな条件で、制震部材の有無による比較や、部材をいくつか替えてみての効果の違いを、まずきちんとチェックしたところです」

桟橋模型

桟橋模型に設置する制震部材

幸い、港空研の有する三次元水中振動台は世界一の大きさを誇ります。模型も大きくつくれるため、杭の間に取り付ける部材についてもある程度選びやすいのがメリット。

「後から狂いが出ないように、一つずつステップを踏んで進めているところ。地震にはいろいろな周波数の揺れが混じっていますが、水中振動台では多様な波を再現できるので、特性が異なる波を3つほど用意し、部材のタイプや取り付け方ごとに波を当ててみて応答の確認を。部材を海側だけに配置するのか全部なのか、そこを変えるだけでも杭が分担する力の割合が変わってくる。こういう場合はこういうものが合う、こういうときにこれはやめたほうがいいといったことを知っておくための実験です。で、平行して全体的な構造としての数値解析も行っているので、来年度はいよいよ一度両方を合わせ、全体系としての模型実験をやってみようという、まさにそんなタイミングです」

検討は網羅的に地盤強度の影響の見極めが課題

例えば桟橋に部材を取り付けることでこれくらいの改良効果があると示せても、前述のように、背後の地盤が液状化し、桟橋を横から押し続けるような状態になれば、その効果は減ってしまいます。どこまで適用可能か、地盤についても見極めが必要に。それが最大の課題とのこと。

「地盤が強い場所の桟橋について考えるのであれば、改良効果が得られやすいですから、もしかすると、グレードの低い部材を取り付けても十分効果が得られるのかもしれません。また、桟橋自体に強度があっても背後地盤が弱ければ、部材のグレードをあげなければという話も出てくると思います。あまりにも足りなければ地盤改良も必要になるでしょう。その組み合わせのラインも考えないと」

また、桟橋のあるところの水深の大小によってもベストな方法は変わってくるため、そのスケールも検討対象になります。

「網羅的に検討を進めています。あとは、やはり実際に使っていただけないと意味がありませんから、それに沿って進めれば設計ができるようなマニュアルがあると便利だと思います。桟橋構造や座屈拘束ブレースに知識のある日本製鉄さん、部材追設の施工技術を持つあおみ建設さん、建設コンサルタントの八千代エンジニヤリングさんとの共同研究で、そのようなマニュアルの作成に関しても、いま進めているところです」

何も手をうたなければ地震時には一切ビジネスができなくなってしまう施設があったとして、そこに、あらかじめ適切な部材を取り付けておくことで、ある程度のサイズの船なら着けるようになる。その意義は、非常に大きいといえるでしょう。

「構造物の変形をゼロにするのは難しいかもしれませんが、ビジネスとして成り立つ、BCPは進められるということになるなら、既存施設の改良としても使っていただきやすいのではないかと考えています」

地震発生後に被害状況を自動的に診断
「港湾施設被害度診断システム」

地震発生時に観測データを用いて港湾施設の被害度を自動的に診断する新たなシステム。この診断システムの開発や研究の経緯について取材しました。

国土交通省 中部地方整備局
名古屋港湾空港技術調査事務所
所長 **恩田 充**さん

国土交通省 中部地方整備局
名古屋港湾空港技術調査事務所
技術課長 **村上裕幸**さん

国土交通省 中部地方整備局
名古屋港湾空港技術調査事務所
技術開発課
技術開発係長 **高須貴子**さん

港湾空港技術研究所
地震防災研究領域
野津 厚 領域長

港湾空港技術研究所
地震防災研究領域
地震動研究グループ
長坂陽介 研究官

沿岸部で大規模地震が発生した場合、港湾施設は緊急物資の受け入れやさまざまな復興活動の拠点としての役割が求められます。災害時にどの港湾施設が使用できるかという情報を素早く入手することは、海上輸送の早期再開、その後の救援活動をスムーズに行うために重要なことです。しかし実際に被災直後に現地調査を行うには、津波の危険などいくつかの課題があります。

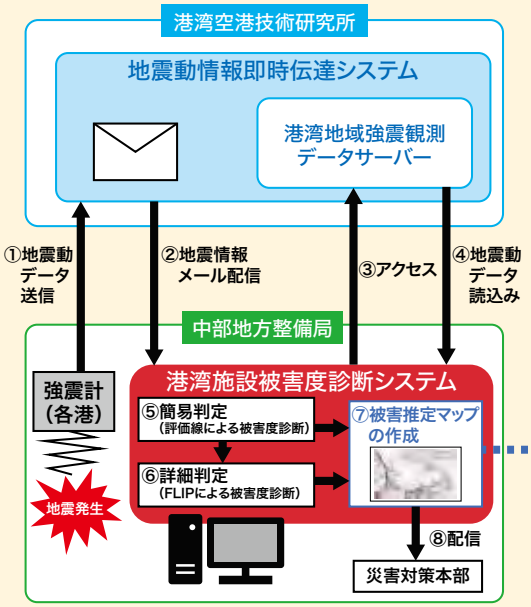
こうした課題を解決するため、国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所（名古屋技調）では、強震計で観測された地震動データを用いて机上で港湾施設（係留施設）の被害度を自動的に診断し、使用可能な施設を把握することができる「港湾施設被害度診断システム」を開発しました。港空研はこのシステム開発における検討委員会に参加し、技術開発に貢献しています。

今回は、港空研の野津厚地震防災研究領域長、長坂陽介研究官と共に名古屋港湾空港技術調査事務所を訪ね、所長の恩田充さん、技術課長の村上裕幸さん、技術開発課 技術開発係長の高須貴子さんにシステムの開発目的や経緯などについてお話を伺いました。

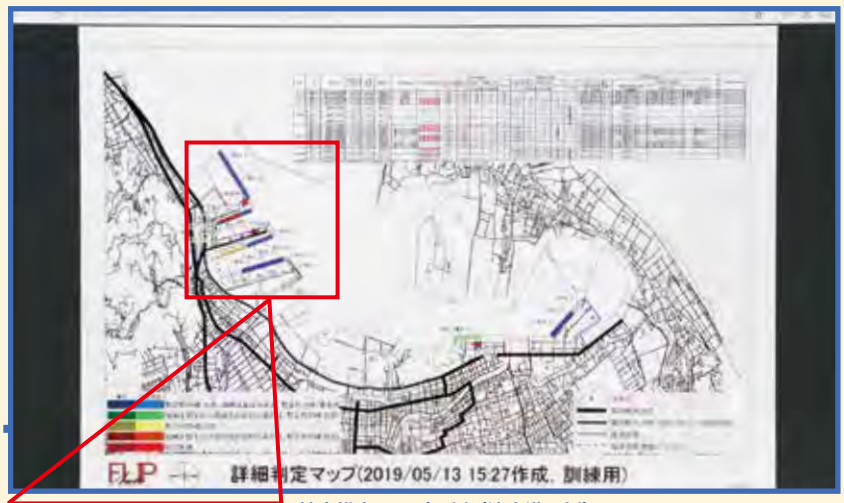
現地調査できない時間帯に自動的にデータを解析

中部地方の港湾は自動車産業をはじめとして国内有数の重要な産業拠点となっています。名古屋港など重要な港がたくさんありますが、残念ながらそうした重要な港湾は同時に地震の危険が迫っている地域でもあります。

「この地域の港湾は面積が広く、岸壁も数多くあります。限られたマンパワーと時間でいち早く港の再開の目処を立てなければなりません。再開に向けて少しでも早く動き出すために、どの施設が使えるかという情報が非常に重要です。使えると



港湾施設被害度診断システムの動作フロー



被害推定マップの例（清水港の例）

港湾ごとの各係留施設の供用可否判定結果が図化され、供用可能な係留施設がどこなのか一目で確認できるように色分けされている。取材時は、デモ機能を用いて診断システムを稼働。阪神・淡路大震災時の神戸港ポートアイランドの地震波を使用した。

★：強震計
■：暫定供用可（長期）：桟橋式及び矢板式、暫定供用可：重力式
■：桟橋上部工の目視調査が良好な場合は、暫定供用可（長期）
■：暫定供用可（短期）
■：桟橋上部工の目視調査が良好な場合は、暫定供用可（短期）
■：供用不可

ころがわかれば、そこに集中的にマンパワーとコストを投資して港の再開を少しでも早めることができます」（名古屋技調 村上さん）

被災を受けた直後は津波警報などで港に人が近づけない状況になっています。「港湾施設被害度診断システム」はこうした課題を克服するために考えられ、現地調査ができない時間帯に診断することが想定されています。各港湾の強震計による地震動観測が常時行われ、港空研が運用している「地震動情報即時伝達システム」により地震動情報を即時に入手することが可能です。

「このシステムによって、まず、どこがどのくらい被災しているかという情報を把握することができます。そうすれば津波警報が解除されて現地に点検に行く際の判断材料になり、施設の復旧も早急に対策が取れるということになります。その結果、ユーザーや一般市民にいち早く施設利用情報や救援物資を提供することが可能になるので、非常に有効なシステムです」（名古屋技調 恩田さん）

この診断システムが開発される以前、2002年頃から、中部地方の重要な施設で地震が起こったとしたらどのようになるのかという耐震検討が行われていました。

「ちょうどその頃に東海地震の震源域の見直しがあり、中部管内の施設について『二次元地震応答解析（FLIP）』による耐震診断を行うことになり各施設のモデルを作り始めていました。この時のモデルをフル活用する方法として、リアルタイムの診断システムというものがあり得るのではないかというのが開発のきっかけになっています」（港空研 野津領域長）

診断中の画面

また、中部管内の重要な港には強震観測網があったということも大きな手がかりとなっています。

「地震が起きるとその強震計が察知し、港空研に地震動データが送信されます。その後港空研から地震情報が配信されるしくみが構築されていて、それを活用して診断するシステムです。ですから、まず強震計そのものが設置されていて、観測網が充実していたというのが大きいですね」（名古屋技調 恩田さん）

非常時には柔軟に対応できる仕組みづくり

「従来から作成している各施設のモデルを使って診断できないかというのが開発の起点ですが、FLIPの解析には非常に時間がかかり、地震後、即時に判定するには問題がありました。その時間の壁をどう乗り越えるかというところに開発の一番の難しさがありました。あらかじめFLIPの解析でさまざまな地震動で解析をしておき、地震動の速度のPSI値と残留水平変位量や、鋼部材の曲率比、船舶接岸時の耐力比などとの関係を線で結んでおけば、どんな地震動がきてもそれらの大きさが推定できます。この複数の数値を推定することによって施設の単なる使用可否だけでなく、長期の使用、緊急物資輸送のための短期使用が可能か不可能かといった細かい判定ができるようになりました」（名古屋技調 村上さん）

非常時に限られた人数で事態を把握するため、各施設ごとに診断カルテも作成されています。

「どのような構造で、どこを重点的に見るべきかなどの必要な情報をまとめたものです。もし診断システムが動かなくてもそのカルテを見るとどの辺が弱点かというのがおおまかにわかるようになっています。また、万が一、港空研からの強震計のデータが途絶えても、別の強震計データがあれば、この診断システムに入れて診断できるような仕組みもあります。それもできない場合はさらに震源位置とマグニチュードあるいは震度階を入力して診断する方法があり、精度は落ちますがとりあえずの判断情報が得られるようになっています。診断システムが1箇所に置いてあると、そこが潰れてしまったら終わりだという話もありますので、中部管内の4つの港湾事務所でも分担して診断を行うようになっています」（名古屋技調 村上さん）

「港空研も内陸部にサーバの予備を設置しておくなど、万が一の時に備えてなんとかできるようにはしたいですね」（港空研 長坂研究官）

「今は新しいシステムの使用を開始した段階で、これから本格的に検証していかなければなりません。万が一の場合でもデータをやり取りできるような通信システムの環境づくりを考えていかなければならないですね」（名古屋技調 恩田さん）

「港湾法が変わったことで、非常災害時には港湾管理者からの要請があれば国のほうで港湾利用者との調整などの管理業務ができるようになりました。港の役割を考えれば、災害時は管理者が誰かということに関係なく対応していかなければなりません。システムを活用していくためにも、今後は対応の仕方や、どういう施設を診断対象としていくかということをきちんと考えていく必要があると思います」（名古屋技調 高須さん）

災害時にシステムが有効に活用できるよう、平常時の港湾施設の構造形式、岸壁法線などの情報や事前の点検が非常に重要だといえるでしょう。研究者らが苦労を重ねて開発した画期的な技術を、いざという時に使えないということがないようにしたいものです。

地震工学のこれからを考える

大学や企業などさまざまな立場で、多様な角度から地震工学にアプローチしている若手研究者たちが集結！現在取り組んでいる研究やその課題、それぞれが考える地震工学の未来について、意見交換していただきました。

新しい技術を駆使し地震被害の軽減を目指す

服部　阪神・淡路大震災で直撃を受けた阪神高速道路は、以来、耐震には非常に力を入れて取り組んできました。なので、兵庫県南部地震と同じレベルの地震が起こっても、損傷しないようになってきていると思います。でもただ倒壊しないというだけではなく、段差ができて車が走れなくなっては橋梁として意味がありませんから、大きな地震のあと速やかに復旧するよう、さらに性能を高めていく必要がある。私のいる部署では中長期的な研究として、いろんな地震を想定し、地震波がどう構造物に伝わり、総延長約260㎞のうちどの区間が危なくなるのか、どこから点検したらいいのか、そういったことをシミュレーションで明らかにしようとしているんです。

宮本　私は防災研究室というところにいて、人工衛星から撮影した画像をもとに、町のどこに被害が起きたかをAI（人工知能）を使って解析・分析するといったような研究を進めています。

小阪　今日のメンバーの中で私だけ建築分野。そして、いちばん実務寄りの仕事をしていると思います。現場で感じることですが、お客さんは「免震にしておけば絶対安全」と思いがち。阪神・淡路大震災以降に免震のブームが起こり、それが東日本大震災で広がって、一方で制震や耐震はあまり良くないというイメージを持っている方もおられるようです。でも良いところと悪いところがあるので、それはちゃんと伝えていかないと。地震の揺れを建物に伝えにくくするのが免震構造ですが、長周期地震動の周期と免震の揺れやすい周期が合ってしまうと共振し、とても大きく揺れてしまう。超高層建物もそうですね。東日本大震災等で、観測記録が得られて初めて明らかになったことも多いんです。なので、観測点を増やしていくことも必要かなと思っています。最近はローコストセンサに注目。安価なぶん設置数を増やし、それで何ができるかといったことをメインに研究しています。

羽場　私は原子力土木の仕事に携わっているのですが、とくに原子力は規制が厳しいので、さまざまな数値解析を行うわけです。その中でも私たちの部署では、大規模計算の手法を開発したり、実際に断層変位の解析をしたりといったことに取り組んでいます。東日本大震災後、原子力の基準は確実に厳しくなって

港湾空港技術研究所
地震防災研究領域
地震動研究グループ
長坂陽介 研究官

山梨大学
工学部 土木環境工学科
助教
宮本 崇 さん

います。これまでは二次元計算が一般的でしたが、より現実的な評価を行えるように、より詳細な三次元計算を実施できるよう検討・開発を進めています。

長坂　伺っていると、みなさんけっこう最近の技術を使って、新しいことに取り組んでいるんですね。AIや大規模計算、ローコストセンサも、港湾の地震動の分野ではまだまだ活用がないので、今後使えるものは吸収していきたいと思います。新しい情報をいただきつつ、実務で取り入れていけるように、研究を進めていきたいです。

シミュレーションで被害を想定 詳細なデータが高精度化の鍵に

宮本　防災の分野で重要なことの一つは、災害が起きたとき、いかに適切に対応をとるかということ。いま私が研究しているような、災害が起きた場所の情報をいち早く入手することもそうですし、また、その情報を関係者全員でどのように共有し、伝達していくかという問題もあります。AIを用いて一般の方や地方自治体に使っていただけるような形にしたいと私自身も考えていますし、国の研究機関などでも同様の目標をもって技術研究はされているはず。私も、そこに至るまでの基礎技術的な研究を進めているところです。

服部　われわれがシミュレーションを使って事前に被害を想定する研究をしているなかでは、やっぱりその精度を示さないといけません。ですが、阪神高速の中でもなかなか数多くのセンサを入れられるわけではなくて、重要な箇所にしか置けていない。多数配置できれば、もう少し実際の地震データをもとに精度検証が行えて、シミュレーションの高精度化につなげられる情報になるのですが……。

長坂　もっと小さくて手軽で安いものを、ということですよね。

小阪　安いセンサって、いまはアプリをダウンロードしたらすぐ地震が測れるくらい手頃なものが出てきている。精度はあまりよくないけど、大きな地震はちゃんととれます。記録をとって、あとはその記録がどうみなさんの役に立つかを説明することが大事ですね。

服部　これから造るものもそうですし、既にできているものについても、事前に段差ができそうなところがわかれば、そこに土嚢などを準備しておけるし、壊れやすいところがわかればそこからまず点検しにいくことができる。人手も限られていますから、事前に知っておいて、そこに重点的に人員をつぎ込むというのは重要なことです。

羽場　服部さんが現在やられている計算も、まさにそんな意図ですか？　危ないところを数値計算で事前に求め、そこを補強するという……。

服部　そうです。完全に実現できているわけではなく、いま構築している段階ですけどね。

宮本　構造物の形を強度も含めて再現して、軟らかい地盤・硬い地盤がどこにあるかきちんとわかっていて、どんな地震が来るかがわかっていれば、原理的には物理的に計算できますね。

服部　阪神・淡路大震災を受けてそういう情報が重要だという認識で、いろんなデータベースを先人の方々がつくってく

ださった。それが、いまになって生きています。

羽場　例えば段差が何cmずれるかという計算をしようとしたらものすごく難しいけど、相対的にどこが危ないかということなら、ある程度ざっくりした情報でも計算できるように思います。

服部　私たちがやっているのもそうです。いろいろな仮定のもと、いまあるデータの中でできるもので濃淡をつけて、実際に危ないというところがわかればさらに詳細な情報を調べて検討を進めるというやり方。レベルの高いところを目指しつつ、段階を踏みながら近づけていく感じですね。

宮本　シミュレーションでどこが危ないかを明らかにするということを町とか都市のレベルでやろうとすると、本当にたくさんの情報が必要になります。とくに地盤構造の情報は必須。ところが地盤構造というのは目に見えないので、測ることが非常に難しいんです。港空研の野津領域長が研究しているような常時微動測定の方法も開発されて、いままでに比べれば格段にラクになりましたが、それでもまだ町レベルのスケールを考えると、本当に欲しい情報を得るのはなかなかむずかしい。今後開発を期待したいのは、なんとかその地盤構造を広い範囲で詳細に調べる技術。そういう革命的なことがあると非常に嬉しいと、個人的に思いますね。

小阪　常時微動観測は私もやりますが、少ないマンパワーで測定できる範囲は限られていて、外注するとなるとけっこうな額になってしまう。まだお手軽な技術というところまではなっていませんね。

長坂　地震計を設置して観測するのと比べれば、圧倒的に手軽ではあるんですけどね。

宮本　観測技術の革命なのか、データ処理のほうの革命なのか。少なくともやる余地はあるし、できたときのインパクトは大きいと思います。

小阪　どちらかがあると劇的に進むでしょうね。

「想定外」があることを認め わかるところを確実に

羽場　数値計算の話になりますが、三次元化という方向になったとき、正しく計算できているかとか計算手法の適用範囲を超えていないかといったチェックをどうするかは大きな問題です。二次元計算であれば全チェックも可能でしたが、そんな数ではなくなるので。計算機はどんどん進歩しているので、三次元計算ができるようには絶対になっていくんですけど、やりっぱなしになる可能性があるのはちょっと怖い。そういう観点でもAIが使えればいいなと思います。けっこう使えるような気がするんですよね。

宮本　地震だと、三次元でも動的だから、実質四次元みたいなものですよね。めちゃくちゃ大変！

羽場　数値計算は、必ずしも完璧に再現するというのではなく、目的のものを目的の品質で計算するという手法ですから。どうしても簡略化しているところがある。

長坂　実際に起こっていないことを計算するには限界があって。これから起こる地震の断層がどうなるかといったことは、やっぱり検証できないですよね。

羽場　最終的には予測という方向に使うのが数値シミュレーションの一つの目的だと思うので、その場合どうするか……。

長坂　私が研究している強震動シミュレーションもそうですけど、やっぱり「過去の例をこれだけ説明している」というところでいくしかない。手法として、ちゃんとしたパラメータを使えばこれだけ揺れているということは示せます。

羽場　パラメータをチューニングするノウハウは、予測に裏返せる気がしますね。

長坂　将来的にはそういうことも。パラメータ設定の予測式みたいなものは、一つひとつの地震データの積み重ねだと思っています。

小阪　強震動予測となると、ばらつきを考慮しないとだめでしょうね。地震工学が始まってまだ100年しか経っていないわけで、全部わかっているということはないので。

長坂　三次元の強震動シミュレーションを港湾の実務にというのはもう少し先かなというイメージです。

羽場　「わからないものはわからない」という自覚をもとにやるというのは、そうとう大事なこと。

小阪　「想定外は許さない」みたいな話もありますが、科学は万能じゃありませんからね。

宮本　地震現象はそもそも不確実で、わからないことが多いというのは大前提。たぶん絶対に想定外をゼロにすることはできないというのも、われわれみんな思っていることじゃないですか。大事なのは、どこまでを考えるかで、ここまでは安全だと言えること。そこはちゃんと

明確に言えるという仕組みが必要だと思います。地震で確率を出すのはなかなか難しいので、そうじゃないところをどう仕組みとしてつくるか。考えられそうで考えられていない部分ですよね。

羽場　それは、原子力だとリスク評価ということになりますね。発生確率だけじゃなく、それが現象にどういう影響を与えるか。さまざまなケースを計算することで対応しています。

ニーズとシーズを連携させ社会的に重要な研究を

羽場　地震の現象自体は防げませんが、建物を倒壊させないとか、被害を防ぐことはできる。レベルに応じて、例えば弱い地震であれば機能もそのまま担保させるとか、強い地震なら機能は多少損なわれても倒壊させないとか。いろんな考え方があるので、そういう意味での「防ぐ」ことはできるわけです。

長坂　コストとの兼ね合いもあるので、どこまでやるかという問題が大きいと思いますね。

小阪　そういう性能設計という話がようやく着目され始めたところです。耐震設計基準は徐々に変わっていて、免震や超高層の建物は一昨年から、長周期地震動への対策が求められるようになった。さらに、内閣府や国交省、東京都では、帰宅困難者対策として、大地震時でも建物は機能を継続し、人を内部に残すという方針を打ち出しています。

長坂　原子力の分野では、活断層があるかどうかということが最近話題になっていますが、それでけっこう想定などがガラッと変わってきたりしませんか？

羽場　建てたときに一度は調査してクリアしている問題なんですけど、改めて調査すると断層の活動性が疑われることも。詳細な地質調査を行って説明していくことが第一ですが、その際、補助的に数値計算が活用できるのではないかと思い、そういうアプローチをとっています。

宮本　地震工学の分野には、AIとかIoT（モノに通信機能を搭載し、インターネットに接続・連携させる技術）のような情報学技術が応用できる余地がけっこうあると思うんですよ。地震のときどこで被害が起きているか、どこで人が倒れているかといった情報も、いまの私の研究では人工衛星を使っていますが、いわゆるドローンみたいなもので町を撮影してもいいかもしれない。そのあたりには人工知能のデータ処理技術というのが生かせるんじゃないかと思っています。あと、人工知能は言語処理機能が強いので、情報を電話で受けて集約整理してくれたりとかも。そうなると、そこに割り当てていた人材を別のことに割けるので、被害対応がかなり変わるんじゃないかということは期待できます。あと、個人的には、携帯電話の情報はうまく使えるんじゃないかと思っていて。一人ひとりを見守る技術のニーズは高いと思うし、時間はかかるかもしれませんが、いずれは社会に取り入れられるのではないかと。各人に1つは難しくても、1つの建物に1つっていうのは実現しそうな気がします。

小阪　維持管理についてはどうですか？　いまあるものをどう保全していくかが今後の肝かなと思うんですが。

服部　50年くらい道路を供用している間には、劣化もすれば地震動も受ける。そういうのを丸ごとシミュレーションできるモデルをつくっておいて、劣化すればその情報を、センサで得た情報があればそれを、モデル上に反映していくとか。そういうことができていけばどんどんシミュレーションの性能が向上し、実際の構造物に対しても非常に良い対応ができると思います。

羽場　働き方改革の影響もあって、担い手が不足し労働時間も限られるなか、人の代わりにAIとかも使いながら機械が施工するというのが、ゼネコンでいま取り組んでいることの一つ。維持管理についてもそういう方向はあると思います。

宮本　学術的な立場から地震工学を今後どうしていくか考えるとき、ニーズとシーズという二つのキーワードがあります。地震工学はニーズがすごく明確。地震が起きたときに建物を壊さない、人を亡くさないというニーズがまずあって、そのニーズに対応する研究がずっとなされてきた。一方で、ここ数十年とかで急激に伸びたIoT技術やAI技術、計算技術のような、無視すべきでないシーズ技術がある。たぶんいまの時代、どちらかだけではダメなんですよ。求められるニーズに対し、いま使える最大限のシーズを適用するというアプローチが望ましいと考えます。そうすればもしかするとその二つはうまく連携し、そこから新しいニーズが出てくるかもしれないし、新しいシーズの発見につながるかもしれない。ニーズとシーズ両方を正しい意味で理解した研究というのが社会的にも重要であり、分野の発展においても大事なのではないでしょうか。

第8回アジア土木技術国際会議（CECAR8）に参加しました

4月16日～19日、東京で行われた「第8回アジア土木技術国際会議（CECAR8）」に港空研も参加し、研究内容の発表や展示ブースでの情報発信を行いました。

「アジア土木技術国際会議（CECAR）」は、アジア土木学協会連合協議会（ACECC）※が主催し、アジア各国の産官学の研究者・技術者らが専門分野の枠を越えて一堂に会する国際会議で、1998年から3年に一度開催されています。その第8回目となる今回は、最新技術（ICT、BIM）、環境、防災・減災、インフラ維持管理、レジリエンス、ダイバーシティー、人材教育、政策など約40のテクニカルセッションが行われ、日本をはじめアメリカ、台湾、韓国、フィリピン、インド、ミャンマー、アフリカ、ヨーロッパ他 約40ヵ国・地域から800名以上が参集して議論を交わしました。

そのうち初日の「波浪・潮位の観測・解析」のセッションでは、港空研の河合弘泰 海洋情報・津波研究領域長が座長を務め、波浪研究グループの平山克也グループ長、海象情報研究グループの藤木 峻研究官の他、バングラデシュ・韓国から各1名、台湾から2名の研究者による発表が行われました。平山グループ長は「日本のうねり性波浪による沿岸災害の特徴」について、藤木研究官は「日本の港湾における波浪観測の現状と課題」について発表。発表後の質疑応答では参加者から多くの質問が寄せられ、活発な情報交換が行われました。

期間中は、国や研究機関、東京都、建設、鉄道、道路など各分野の企業が約50のブースを出展し、最新の土木技術や研究活動、プロジェクトが紹介されました。港空研のブースでは、主要な実験施設、ブルーカーボン、液状化、音響画像システムの研究を紹介するポスターを掲示し、来場者に説明を行いながら最新の研究活動や研究成果を発信。海外からの見学者も多く、港空研の研究活動を海外に向けてアピールする貴重な機会となりました。

※ ACECC は、アジア地域の土木学協会をコーディネートする連合組織として1999 年に発足。アジア土木技術国際会議（CECAR）を継続的に主催するとともに、多国間連携のもとアジア地域が抱える社会資本整備や土木技術に関する課題を討議し、問題解決することを目的としている。現在は 14 ヵ国（日本、米国、フィリピン、台湾、韓国、オーストラリア、ベトナム、モンゴル、インドネシア、インド、バングラデシュ、パキスタン、ネパール、ミャンマー）の学協会が加盟。

テクニカルセッション

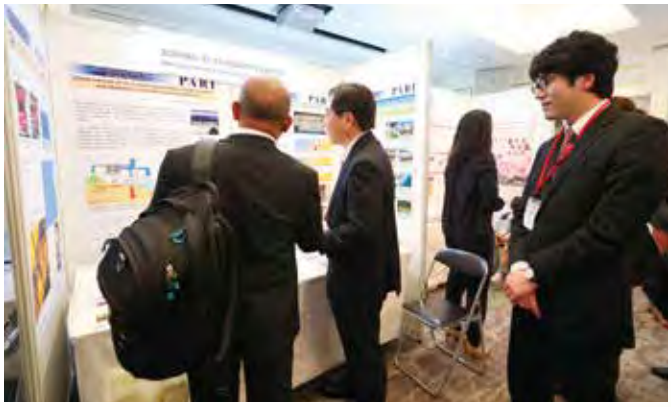
座長を務める河合領域長（右）

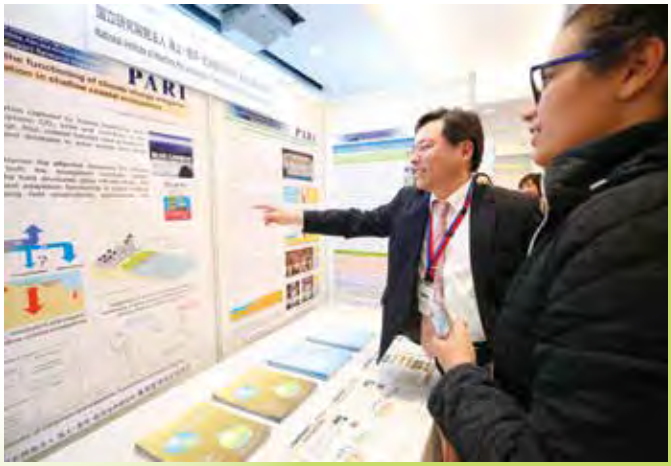
発表を行う平山グループ長（左）と藤木研究官（右）

発表者に質問をする栗山善昭所長

セッションの様子

ブース展示





港空研のブースの様子

News

港空研が緊急災害対策派遣で国土交通大臣から表彰されました！

2月8日に行われた「平成31年国土交通大臣表彰式(緊急災害対策派遣隊(TEC-FORCE) 表彰)」で、平成30年7月豪雨、同年北海道胆振東部地震において災害応急活動に従事した21団体が表彰され、石井大臣から表彰状が授与されました。港空研からは受賞代表者として地盤研究領域動土質研究グループ 佐々真志グループ長が出席しました。

港空研は、平成30年北海道胆振東部地震で苫小牧港の被害調査を実施。被災状況の把握や復旧に必要な技術支援を行い、これらの活動の功績が称えられて今回の受賞に至りました。石井大臣は表彰式の式辞で「これまでに培ってきた高い技術力と豊富な経験を生かし、他の模範となるべく、今後も災害対応にご尽力くださいますようお願いします」と述べられました。

ここ数年、国内では地震や津波、水害、土砂災害など自然災害が頻発しています。港空研では、今後もさまざまな自然災害の被害拡大の防止や、現地の復旧を支援する活動に貢献していきます。

表彰式集合写真（下から３列目左から５人目が佐々グループ長）

News

構造研究グループの川端 雄一郎 主任研究官が文部科学大臣表彰で若手科学者賞を受賞しました！

構造研究領域構造研究グループ 川端 雄一郎 主任研究官が、「機構解明に基づくコンクリートの膨張劣化の制御に関する研究」において「平成31年度科学技術分野の文部科学大臣表彰」で「若手科学者賞」を受賞し、4月17日に授賞式が行われました。

受賞した川端主任研究官にお話を伺いました。

――受賞した研究内容はどのようなものですか？

コンクリート構造物の劣化の一つとして、コンクリート特有の膨張劣化があります。これらは使用材料や施工方法(温度)に起因する劣化現象です。これらを合理的に制御するためには、劣化メカニズムを十分に理解する必要があります。今回受賞した研究は、コンクリートの膨張劣化に対する体系的な制御技術を研究したものです。材料科学的な観点から膨張劣化とその制御メカニズムを明らかにし、膨張劣化の長期予測法などを提案しました。

――今後はどのような研究に取り組みたいですか？

これまでの研究は主に室内実験や暴露実験を中心に進めてきたもので、基礎研究に近いものです。実際にコンクリート構造物で膨張劣化を合理的に制御するためには、まだ多くの課題が残っています。特に本当の構造物の挙動は解明されていない点が多く、室内実験とはギャップがあります。このギャップを埋められるように、現場での観測やモデル実験など、より現場に役立つ研究を進めていきたいと考えています。またこの研究成果をさらに発展させて、港湾空港分野だけでなく社会基盤全般の長寿命化や安全性確保に向けても貢献できるよう精進したいと思います。

※「若手科学者賞」は、萌芽的な研究、独創的視点に立った研究など、高度な研究開発能力を示す顕著な研究業績をあげた 40 歳未満の若手研究者を対象としたもの。

PARI 世界に貢献する港湾空港技術
VOL.36 JULY 2019

もっとよく知ろう 港湾空港 海や空の豆知識

研究者が解説します！

断層変位とは何か

地震防災研究領域
地震動研究グループ
吳（ウ） 双蘭（シュアンラン）
専任研究員

図1に示すように、地下の岩盤がある面を境にずれているとき、これを「断層」と言います。断層はそのずれの向きにより「横ずれ断層」（図2(a)）と「縦ずれ断層」（図2(b)(c)）に分けられます。縦ずれ断層はさらに引っ張り力によって生じる「正断層」（図2(b)）と圧縮力によって生じる「逆断層」（図2(c)）に分けられます。

地下の岩盤には常に圧縮・引っ張り等のさまざまな力が働いており、その力が限界に達したとき、地下の岩盤が断層面を境に急激にずれ動くことがあります。このことを「断層運動」と言います。このとき解放されたエネルギーは波となって地下の岩盤を伝わっていき、それが地表に達したとき揺れとして感じられます。これが「地震」です。

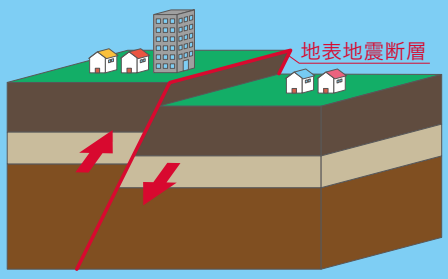


図 1　断層運動と地表地震断層

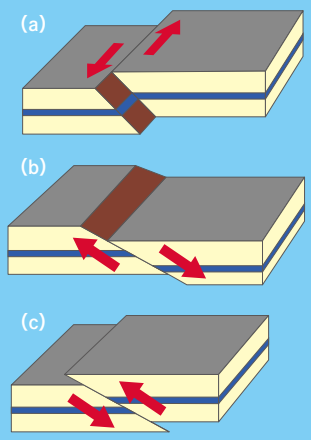


図 2　断層の種類

小規模な地震では断層のずれは地表面まで現れませんが、大規模な地震では断層のずれが地表面まで顔を出すことがあります。これを「地表地震断層」と言います。また「断層変位」という言葉も、地下深部でのずれというよりは、ずれが地表まで現れたものを指す場合が多いようです。2016年熊本地震では地表に明瞭な断層変位が現れ（写真1）、それによる被害も生じました（写真2）。断層変位は規模の大きな地震では5m～10mに達する場合もあります（1999年台湾集集地震の例）。重要な構造物の設計では、地震の揺れだけでなく断層変位にも注意を払う必要があると考えられます。

断層のずれが地表まで現れるとき、その周辺で観測される地震波形は、遠方で観測される地震波形とはかなり異なるものとなります。これを「フリングステップ」と言います。港湾空港技術研究所ではフリングステップを考慮した地震動シミュレーション手法の開発にも取り組んでいます。

写真1 熊本地震の際に現れた断層変位（数字は鉛直成分）

写真 2 断層変位による道路と建物の被害（数字は鉛直成分）

企画・発行　国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所　Port and Airport Research Institute（PARI）
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1　TEL:046-844-5040　FAX:046-844-5072　URL:http://www.pari.go.jp
編集・制作　（株）ホライジン

本誌の定期送付・送付中止・送付先変更のご依頼、ご意見・ご感想などはこちらまで

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
Port and Airport Research Institute（PARI）

〒 239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1　TEL：046（844）5040　FAX：046（844）5072　URL：http://www.pari.go.jp

VEGETABLE OIL INK
グリーン購入法に基づいた
用紙を使用しています。