

# 防災科研ニュース

2013 Spring No.180 (C) 独立行政法人防災科学技術研究所



## 特集

- ◎長周期地震動とは
- ◎E-ディフェンスの長周期地震動対応改造工事
- ◎建物の機能維持を目指して
- ◎E-ディフェンスのデータ公開システム

## 行事開催報告

- ◎つくば科学フェスティバルに出展
- ◎ウズベキスタン非常事態大臣らがつくば本所を視察
- ◎SATテクノロジー・ショーケース2013で講演、ポスター発表等も
- ◎福井文部科学副大臣がつくば本所を視察
- ◎青森市で積雪観測講習会を実施
- ◎第17回震災対策技術展に出展

# 春

## 特集 E-ディフェンスを活用した「長周期地震動」に対する取り組み

東北地方大平洋沖地震の発生当日(2011年3月11日)、私は池袋にあるビルの5階にいました。強い揺れが収まった後、階段を使って屋外に避難しましたが、近くにあった超高層ビルは、壁面がねじれを伴いまだ大きく揺れていたことが強く印象に残っております。更に、特集記事の中でも述べられておりますが、震源から約800キロも離れた大阪市内でも、超高層ビルで長時間継続する大きな揺れが発生し、エレベータの停止や閉じこめ、内装材等の破損が生じました。

一般的に、大きな地震ほど人には感じにくい数秒の周期でゆっくりと揺れる「長周期地震動」が発生しやすいといわれております。また、建物には固有周期という揺れやすい周期があります。高層ビルの固有周期は長いので、「長周期地震動」の周期と一致することも多く、その場合共振して揺れは大きくなり、長時間継続することになります。

社会の発達と共に超高層ビルは年々増加しており、また現在普及しつつある免震装置も「長周期地震動」に対しては、他の周期の地震動に比べるとあまり有効には機能しないようです。

さらに、南海トラフには「長周期地震動」を伝えやすい付加体と呼ばれる層があります。そのため、遠くない将来に発生が懸念されている南海トラフの連動型超巨大地震では、「長周期地震動」に共振する超高層ビルの揺れは、東北地方大平洋沖地震の場合より大きく継続時間もいっそう長くなる可能性が指摘されております。

このような状況を踏まえ、防災科研ニュース春号では、当研究所の兵庫耐震工学研究センターが保有する実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)を活用した「長周期地震動」に対する各種取り組みを紹介致します。

 平成25年度(第54回)科学技術週間 一般公開(つくば)「自然災害を正しく学び備えよう」<sup>4</sup>/<sub>21</sub>(日)

防災科研ニュースに掲載された記事につきまして、ご意見・感想を募集しております。①発行号のNo.、②記事名、③投稿者の所属・氏名、④Web掲載の場合の匿名希望の有無、を明記の上、k-news@bosai.go.jpまでメールにてお送り下さい。お送りいただいたご意見・感想は執筆者にフィードバックいたします。また、当所のWebにて、ご紹介させていただく場合がございます。

## 長周期地震動とは

耐震工学の観点からみて



兵庫耐震工学研究センター 運営監理室長 阿部 健一

### はじめに

1968年十勝沖地震(5月16日、M=7.9、正確には、三陸沖北部地震)における八戸港強震記録で、2.5秒というこれまでにない長い周期の揺れが卓越し、注目を集めました。その後、主に周期2秒から10秒程度の範囲で共振するような大型構造物である超高層ビル、石油タンク、長大橋及び長大トンネル等には、このような周期帯の揺れもそれなりに考慮して設計されていました。これまで耐震工学の分野に携わる者にとって、「やや長周期地震動」という呼び方で馴染んでいましたが、なぜ「やや」がとれて「長周期地震動」となったかについては、2003年十勝沖地震(9月26日、M=8.0)の際に、震源から250km離れた場所で、本来なら大きな被害が発生するほどの揺れではない(気象庁震度階5弱)にも関わらず、石油タンクの大火災が発生し、メディアが「長周期地震動」が原因として大きく報道したことによります。参考文献1)には、この経緯も含め長周期地震動という言葉について記載されていますので、ここでは、Eーディフェンスが長周期地震動対応改造工事を実施せねばならないほど、「長周期地震動」が問題であり、地震防災の観点から重要であるかを説明いたします。

### 長周期地震動の揺れについて

2003年十勝沖地震の石油タンク被災以降、2011年東北地方太平洋沖地震(3月11日、M=9.0、以後「2011年東北地震」と呼ぶ)にいたるまで各種被害を踏まえ、参考文献2)で、これまで長周期地震

動でどのようなことが起こり、今後の新たな防災情報の発表に向け、情報のあり方に係る課題が出されています。興味深いのは、気象庁震度階情報と長周期地震動による被害に整合が見られないと報告されていることです。気象庁震度階級は、三成分の地震動記録に図1に示すフィルターをとおして処理した記録波から、計測震度を計算して震度階級を求めています。過去の被害状況と人の振動感覚を勘案していますが、結果的には図1のように、2.0秒より長周期成分を低下させたものになっています。そのため、一般に広く伝わった震度情報から想定されるより大きな被害や、それに伴う被災者の感覚のズレが注目されています。その最たる事例は、2011年東北地震において大阪府内の震度階は3であったにも関わらず、大阪府咲洲庁舎の最上階(52階)で片側振幅が1mを超える揺れとなり、内装材損傷やエレベータ閉じ込めなどの被害が出たことです。参考文献3)

加えて、これほど長周期地震動が注目されているのは、2011年東北地震という巨大地震を経験し、改めて、東海、東南海、南海さらには日向灘までに及ぶ巨大連動地震についても備えが必要となることです。地震規模が大きくなるほど、震源において長周期成分の揺れを多く含むことになり、伝わる過程でその大きさがあまり小さくなりません。加えて、日本の三大都市圏に代表されるところは数kmの深さの堆積盆地構造のため、その長周期成分の揺れに共振して地表の揺れが大きくなる傾向にあります。さらに、社会の高度化とともに、長周期成分を含む揺れに対して共



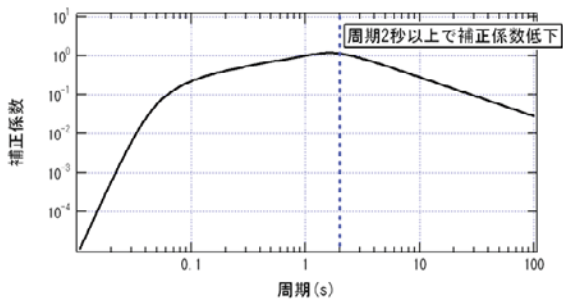


図1 気象庁震度階級算定で用いられるフィルター形状  
(平成8年2月15日気象庁告示第4号のフィルター算式  
を用い周期で表示)

振して、より大きく揺れる大型構造物(構造物の共振する周期が2.0秒～20.0秒)が増えました。そのような構造物施設群には多くの機能が集中しており、もし被災すれば、その人的被害並びに経済損出は極めて大きくなると予想されているからです。それに加え、1995年兵庫県南部地震以降、急速に普及してきた免震建物は、震度階にマッチした揺れに対しては、免震装置がその揺れを遮断し建物の揺れを小さくする効果を発揮しますが、免震装置が共振しやすい長周期地震動の場合、その機能がどこまで維持されるかが問題となります。これまでは、2秒より短い周期の揺れに共振する建物の耐震性に注目されがちでしたが、今後は、2秒より長い周期で共振する構造物の耐震性についてもこれまで以上に向上させなければなりません。

また、地表で捉えられる地震の揺れは、震源で断層がずれる時間より、伝わってくる過程で長くなる傾向にあるため、2011年東北地震においては、170秒間に及ぶ震源での断層のずれ時間に起因して、東日本全体として6分以上もの揺れとして記録されています。また、深い盆地構造を持つ東京圏の観測網で捉えた記録の1例では、揺れ時間は10分以上となっています。そのため、巨大地震であればあるほど、長周期の揺れが多く含まれるとともに、揺れの時間そのものが非常に長くなる傾向にあります。これまで、耐震設計において扱う地震動の揺れの長さは、1分程度でしたが、2011年東北地震では、震源に近い地域でも3分、深い盆地構造に広がる東京圏で10分以上、同様の地層構造である約800km離

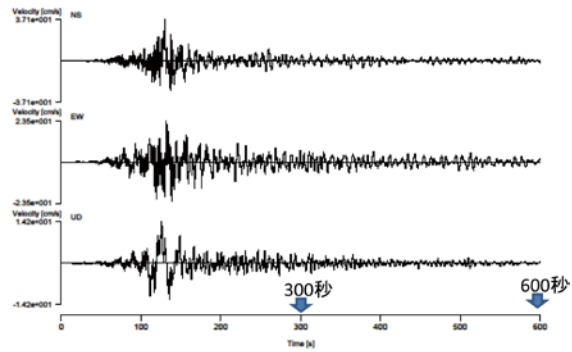


図2 首都圏での観測記録の例  
(K-NET千葉CHB009速度波形)

れた大阪湾地域においても、長周期成分の揺れが卓越して約10分間の揺れとして観測されました。地震が巨大になればなるほど、短い周期の強い揺れの時間も長くなるとともに、長周期成分を含むので全体としてはより長い時間の揺れとなります(図2)。この揺れ時間の長さが、長周期成分で共振する構造物ばかりでなく、短い周期に対して耐震性を持つ構造物においても、揺れ続ける中で損傷の進行とともに、長周期成分に共振するような事態が発生することなども想定され、新たな耐震性向上への課題となります。

## おわりに

「長周期地震動とは」というタイトルで、今後の耐震性向上への課題を述べました。南海トラフに起因する巨大地震の揺れ予想があまり明確でない中、2011年東北地震で観測された揺れの特徴に基づき、少なくとも長周期成分の地震動については、揺れの時間と大きさにある程度の余裕を持って再現することを目指して、E-ディフェンスの長周期地震動対応改造工事に臨んだものです。

参考文献1) 瀨藤一起 NHKそなえる防災

<http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20121013.html>

参考文献2) 気象庁地震火山部 長周期地震動に関する情報のあり方報告書 平成24年4月

参考文献3) 第4回咲洲庁舎の安全性と防災拠点のあり方等に関する専門家会議資料 咲洲庁舎の安全性等についての検証結果(平成23年8月9日一部修正)

# Eーディフェンスの長周期地震動対応改造工事

その背景、工事の概要、改造後の性能

兵庫耐震工学研究センター 運営監理室長 阿部 健一



## はじめに

Eーディフェンスは、1995年兵庫県南部地震を契機に、実規模構造物の破壊過程解明を目的として計画され、最大重量1,200tの構造物を搭載し、三次元の揺れに加えて、三方向の各軸の回転も与えて破壊させることのできる世界最大規模の震動台です。

Eーディフェンスの大きな特徴は、兵庫県南部地震の揺れ、すなわち高速道路や木造住宅等に甚大な被害を与えたキラールス波（周期1.0秒～2.0秒で大きな速度値となる地震波成分）の再現が可能なことです。2005年4月の運営開始以降、数々の実規模構造物の震動破壊実験が行われ、2012年10月末までの7年半で、60シリーズの実験を実施してきました。現在は、運転を停止し2013年3月末の完成を目指して、表題に示す長周期地震動対応改造のための現地工事を実施しています。本稿では、Eーディフェンスの長周期地震動対応改造工事について、その背景と必要性、工事の概要及び改造後の性能について説明します。

## Eーディフェンスの性能と改造に至る経緯

図1に、震動台とそれを動かすための加振機構を示しました。長さ20m、幅15m、高さ5.5mの鋼製箱型震動台（重量775t）を、加振機と

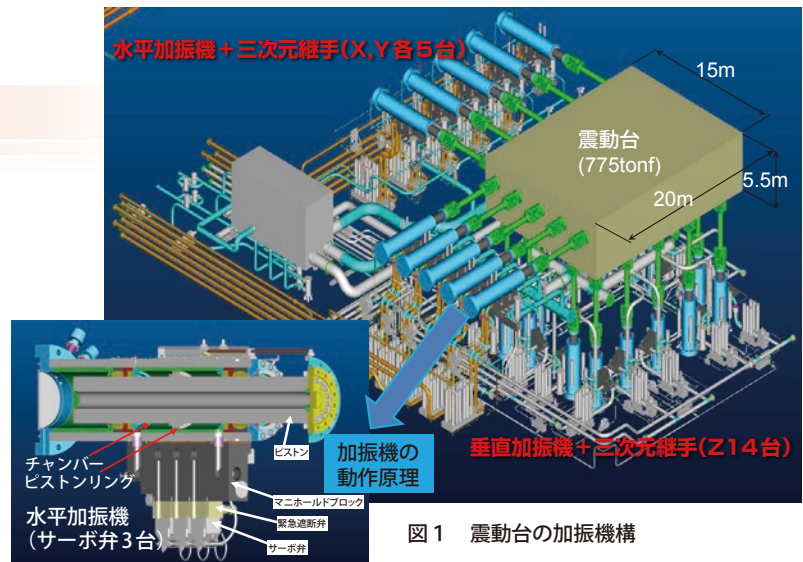


図1 震動台の加振機構

三次元継ぎ手を1セットとして、水平X及びY方向にそれぞれ5セット、垂直Z方向に14セットの合計24セットの加振機と三次元継ぎ手にて支えています。加振機は、ピストンが一方方向に出入りすることにより震動台に揺れを与えるものであり、三次元継ぎ手は、ベアリングのように自由に動きながら、加振機からの力を震動台に伝えるとともに震動台を直接支えています。この震動台に最大重量1,200tまでの試験体を搭載して、水平には変位±1.0mのストローク、最大速度2.0m/sで、鉛直には変位±0.5mのストローク、最大速度0.7m/sにて加振させることが可能です。また、各軸回りには、±2.5度の範囲で回転動を与えることが出来ます。震動台上で試験体が揺れているときには、試験体に加わった力により試験体が倒れたり回転しようとするため、これらの力に抵抗しながら3軸方向の揺れと3軸周りの回転を与えています。

加振機には、水平の場合に1機あたり3台、垂直の場合は1機あたり1台の合計44台のサーボ弁が装備されています。サーボ弁は、電気信号として入ってくる揺れの指令を高圧油の流れの変化に変えて、その高圧油を加振機内のチャンバーに送り出してピストンを動かすものです。

図2に震動台を動かすための油の循環経路を示しました。主油圧ポンプユニットで約28kL/分の高圧油が送り出されますが、高圧油循環システムの維持に約20kL/分が消費されるので、サーボ弁で加振機を動かすため振り分けられる流量は約8kL/分だけとなります。Eーディフェンスの性能を引き出すためには、最大20kLの容量の高圧油が必要であり、常に循環させながら主アキュムレータに高圧油を蓄え、これを放出して震動台を動かしています。この20kLという容量は、兵庫県南部地震の揺れの1.3倍の強さとその揺れの時間長から決まるものです。

ここで、Eーディフェンスの代表的な性能を表すものの例として、水平方向の揺れの周期と揺れの強さである限界の加速度との関係を表す限界性能線を図3に示しました。同時にEーディフェンスの利用領域とかつて存在した多度津の振動台の性能も示しました。

利用領域としては、Eーディフェンスの性能の特徴を生かし、兵庫県南部地震のような内陸直下型地震の地震動を中心に加振実験が実施されてきました。具体的には、0.2～2.0秒の周期範囲で速度が大きく、継続時間が短く概ね1分以内の記録が用いられ、破壊現象解明を目的とした実験が多くを占めています。しかし、近年、長周期地震動の影響について研究を進める必要性から、こうした種類の加振実験も、この性能線上では、可能となっていますが、現実には、アキュムレータ容量の制約などから加振のために必要な油量を供給することが出来ず、水

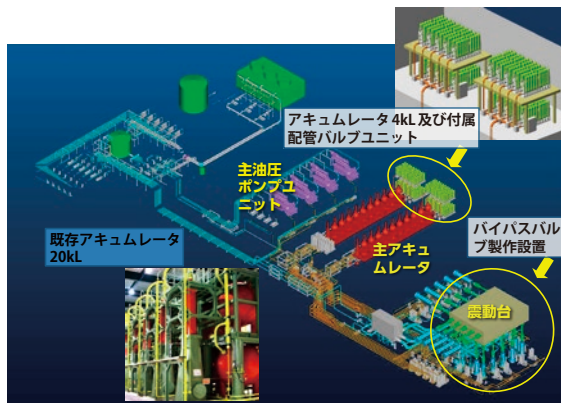


図2 作動油の循環経路と主な改造箇所

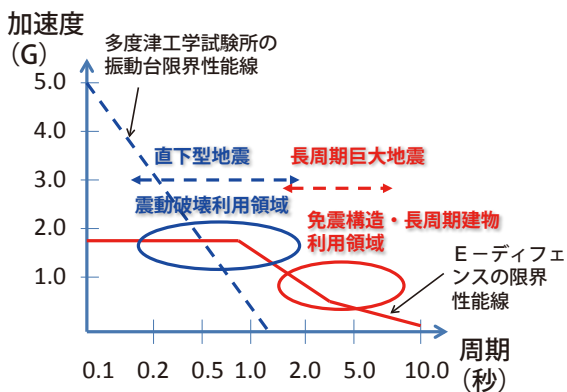


図3 Eーディフェンスの限界性能線とその利用領域

平2方向の加振に限定し、非線形増幅系システムを付加して実験を実施しています。一部、破壊に至るまでの実験も行っていますが、むしろ機能維持の証明をする実験が主となっていました。

しかし、2011年3月11日に、M=9.0の東北地方太平洋沖地震（以降「東北地震」と呼ぶ）が発生し、この時、防災科研の観測網であるK-NET等を中心に数多くの地震動記録が得られ、改めて巨大海溝型地震の揺れの特徴が明らかとなりました。日本海溝下のプレート境界に沿って広範囲に断層のずれが170秒間に渡って発生し、そのため本震の揺れは東日本全域で6分以上継続しました。防災科研では、東北地震後いち早く、この巨大海溝型地震の揺れの再現性について検討を行いました。そして、改めてその揺れを再現する場合、加振機への供給油量が不足することを明らかにし、改造提案に至りました。この改造を行うことにより、震動台の利用領域を図3に示す長周期巨大地震の揺れにまで広げ、南海トラフのずれによる連動型巨大海溝



地震に対する減災対策にも資するものと期待されています。

## 改造工事の概要

供給油量を増やす手段として主アキュムレータの増設が不可欠ですが、このような巨大海溝型地震における記録波や想定波においては、既存のアキュムレータ容量20kLに対して数倍の油量消費が想定されます。この場合、単にアキュムレータ設備容量をそれに合わせるのは、現実的ではありません。許容範囲内の4kLの容量増設を行うと共に、巨大海溝型地震の記録波や想定波の特徴とEーディフェンスの限界性能線を考慮し、より長周期化したとき、巨大海溝型地震の揺れは直下型地震の揺れほど加速度が大きいと見込まれるため、稼働させる必要のない加振機が発生します。それらを休ませ、その分の油量を他の加振機に供給するバイパス機構を付加し、地震動の特性に合わせた加振を目指しました。主な改造箇所は、先の図2に示しています。

長時間加振を可能とするため、加振のための供給油量の蓄油を行う主アキュムレータの吐出容量を20kLから24kLへ増加させるべく主アキュムレータの増設工事を行います。現状では、図2のような1kLのピストン型アキュムレータを20基装備していますが、工期並びにコストを精査し4kLの増設は、主遮断弁等のアキュムレータと同型のブラダ型アキュムレータを360本設置することとしました。

さらに、巨大海溝型地震による揺れの特徴である比較的大きな速度で長時間の揺れを再現するため、長周期地震動の特徴にあわせて加振のため使用する加振機本数を減らすことで消費する油量を節約し長時間加振を実現させています。そのため、24本の加振機のうち震動台4隅8本を除いて、サーボ弁への油の供給をバイパスさ

せ加振機の休止を可能とするバイパスバルブを装着する改造を実施しました。図4に示すように、水平加振機では、X方向、Y方向とも間の3機(X2～X4及びY2～Y4)にバイパスバルブを取り付け、必要に応じてサーボ弁への油の供給を切り替え、推力を生じさせず他の加振機に追従して動くようにしました。垂直加振機では、Z6とZ13にのみこのような切り替え可能なバイパスバルブを装備し、四隅以外の加振機には、必要に応じてバイパスバルブが装着可能なようにしました。その結果、地震波の特徴に合わせて、それぞれの加振機のバイパス機能のオンオフによる組み合わせの加振を準備することで、限界性能線上での長時間加振が可能となりました。このようなバイパスによる加振機の機能切り替えを行うため、震動台の制御系並びに油圧・油量供給制御系の改造を配管増設と併せて実施しています。また、アキュムレータ増設や配管増設に伴い、油の汚れを取り除くフラッシングが必要なことから、新しい油への入れ替えも行っています。なお、震動台の制御機器の性能上の制約から、長時間の加振の限界としては、一回の実験で、17分余りとなります。これに対応して、膨大なデータ収録を可能とする計測システムの改造や長時間の加振実験映像を短時間のうちに変換し再現する映像システム

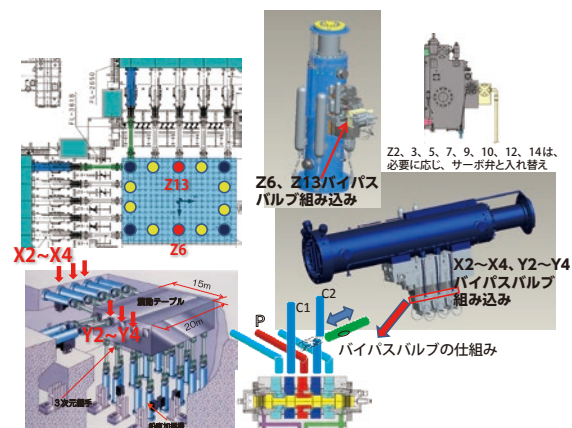


図4 バイパスバルブが追加された加振機

の改造も実施しています。さらに、長周期挙動特性をもつ試験体により性能検証を行い、今後の長周期巨大地震の揺れに対応する実験が可能であることを確認します。

## 改造後のEーディフェンスの性能

長時間加振が可能になったことにより、今後は、大加速度加振での利用を除けば、限界性能線の範囲で短周期から長周期に至る幅広い周期の地震動を模した加振実験が可能となります。

表1に、東北地震の際に防災科研のK-NETで観測された代表的な記録波（仙台波、岩沼波、古川波。いずれも被災県での波）と想定されている東海・東南海地震の際の名古屋三の丸地区の予測波（三の丸波）及び兵庫県南部地震の際にJR鷹取駅において観測されたJR鷹取波について、Eーディフェンス改造の前後で各地震波を再現するために必要な油量を示しました。改造前は、JR鷹取波の1.3倍までの強さの加振が可能でしたが、他の巨大海溝型地震波の再現には、現在のアキュムレータ設備容量（20kL）の倍以上の設備容量となるため現実的ではありませんでした。改造後は、地震波の特徴に合わせてバイパス機構を活用することにより、多量の油量消費をする地震動の加振を可能としています。三の丸波の場合、水平各2本加振機をバ

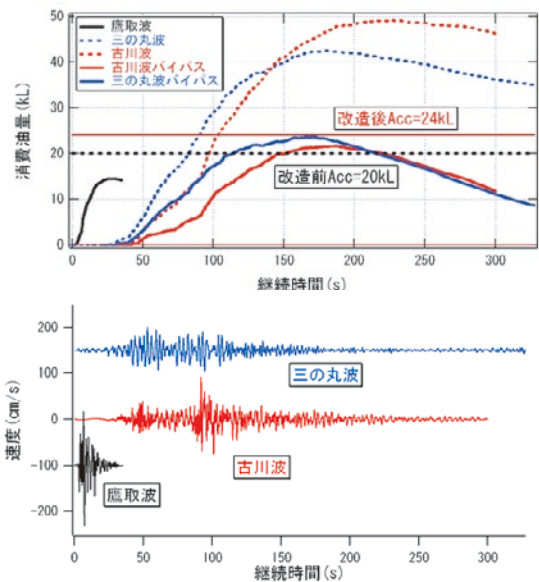


図5 油量消費の時間経過と速度波形  
(バイパス機構の使用により巨大地震の波形が加振可能)

イパスさせるパターン2、古川波の場合、これに加えさらに垂直加振機2機もバイパスさせるパターン2Vを選択することで、消費油量が増設後のアキュムレータ容量以下となり加振可能になることが分かります。図5では、巨大海溝型地震の古川波、三の丸波とJR鷹取波の油量消費と時間経過を比較しました。巨大海溝型地震による記録波の再現には、地震波の特性に合わせて必要な加振機のみを動かせるバイパス機構が有効であることが読み取れます。ただし、有効に働く加振機数を減らすことになるため、これまでも増して実験前に加振機の推力チェックを入念に行う必要があり、油量消費量とともに加振機推力評価を行うシステム整備も行いました。

## おわりに

1995年の兵庫県南部地震以降、日本列島は、活動期に入ったと言われ、2011年に東北地震という連動型の巨大海溝型地震が発生し、さらには、首都直下地震や南海トラフによる連動型の巨大海溝型地震の脅威が叫ばれる地震災害のリスクの大きな時代にあります。そのような中で、改造後のEーディフェンスは、減災研究の非常に重要なツールとしての役割を担うものと確信しています。

加振波	改造前		改造後	
	消費油量	Acc容量	消費油量	バイパス機能: Acc容量
仙台波	23.2	20	23.2	バイパス無し
岩沼波	31.7		23.3	パターン1
三の丸波	42.5		23.6	パターン2
古川波	49.1		21.7	パターン2V
JR鷹取波	14.5		14.5	バイパス無し

(単位: kL)

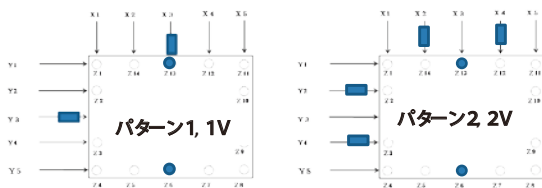


表1 改造前後の消費油量の差



## 建物の機能維持を目指して

### 改造後の震動台を活用した次世代免震構造の開発

兵庫耐震工学研究センター 特別研究員 佐々木智大

#### はじめに

1995年兵庫県南部地震以降、免震構造の優れた機能保持性能が広く認知され、重要施設を中心に多数の免震建物が建設されてきました。2010年末までの免震建物棟数は、ビルで約2,800棟、戸建て住宅で約4,200棟となっています（日本免震構造協会調べ）。2011年3月11日発生の東北地方太平洋沖地震でも、免震構造は有効に機能しました。例えば、免震構造を採用した石巻赤十字病院では、震災直後でも病院機能を維持し、多くの人命を救った事例が報告されています。

しかし、長周期地震動に代表される設計で想定されていない地震動が作用した場合、設計で想定した以上の過大な変形が長時間免震装置に生じることがあります。その結果、建物周囲に配置された擁壁等へ衝突したり、免震装置に異常が発生したりする可能性も指摘されています。長周期成分を多く含む地震動、長時間揺れが続く地震動で建物がどうなるのか、建物の内部環境への影響はどうかなど、これらの影響の評価は免震建物に限らず重要です。

そこで防災科研では、免震建物・鉄筋コンクリート造建物等の様々な構造物に対し、長周期・長時間地震動が作用した場合の安全性評価を行うことを計画しています。例えば免震構造に対しては、万が一擁壁に衝突した場合に生じ

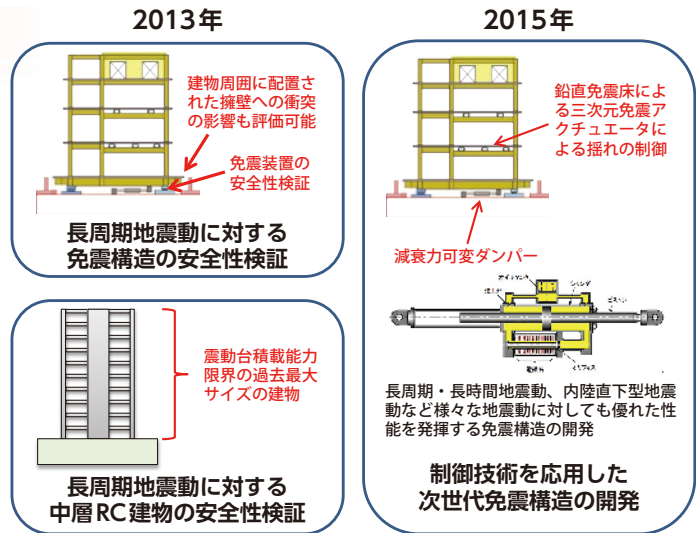


図1 改修後の震動台を活用した実験計画

る衝撃力が機能保持性能に及ばず影響の解明と、共振しやすい長周期地震動に対しても応答変位を低減させることが可能な次世代免震構造の開発に向けた実大建物加振実験を予定しています。

#### 改造後の震動台を活用した研究

改造工事後の震動台を活用した免震建物を対象とする実験研究は大きく分けて3つのステップで進める予定です（図1）。

最初の実験は免震装置の安全性検証および擁壁に衝突した場合の室内環境への影響の評価と衝突の影響を低減させるための技術開発に主眼を置いた実験です。

次の実験は中層鉄筋コンクリート造建物を対象とした実験です。震動台の積載能力の限界である1,200トンの試験体を用いた実験により中



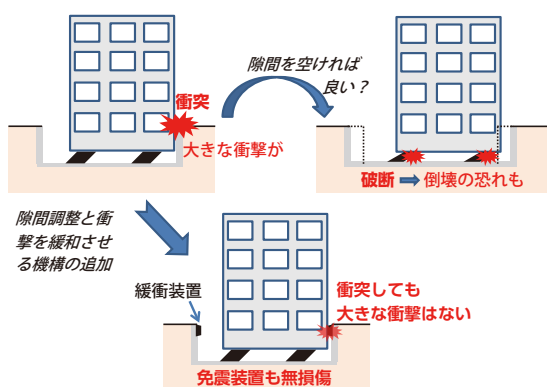


図2 衝突によるフェイルセーフ機能付き免震構造

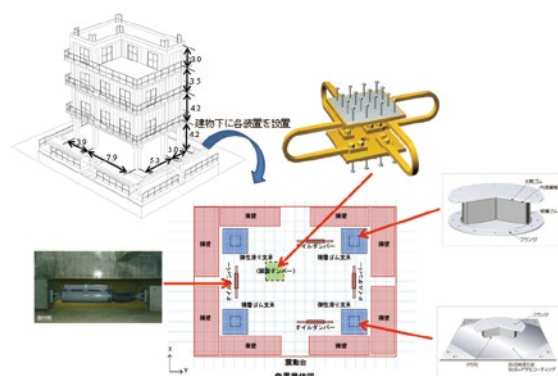


図3 フェイルセーフ機能付き免震構造開発のための加振実験

層免震建物の安全性を検証するとともに、その限界性能を確認します。

最後は制御技術を応用した次世代免震構造の開発のための実験です。免震構造にとって苦手な長周期成分を多く含む地震動などに対しても優れた性能を発揮する次世代型の免震構造開発を進めます。

### 擁壁の衝突によるフェイルセーフ機能付き免震構造の開発

免震構造は建物の重さを支えるとともに地面の揺れを吸収して上の建物に伝えないようにするための支承と、地震のエネルギーを吸収して、大きな揺れを抑えるためのダンパーと呼ばれるエネルギー減衰装置が設置されます。しかし、3分以上も揺れた東北地方太平洋沖地震のように長時間の揺れでも安全性が低下しないか、などの検証はまだ不十分です。

また、長周期成分を多く含む地震動では、免震建物も共振により思わぬ変形が生じ、建物の周りの擁壁に衝突、室内に被害が生じる可能性も指摘されています。衝突を防ぐ1つの方法として、クリアランス（建物周囲の隙間）を大きくするという考え方があります。しかし、あまりにも大きな変位を許容すると、免震装置が変形できる限界を超えて破断してしまい、建物

に致命的なダメージを与えてしまいかねません。そのため、クリアランスを調整し、免震装置が限界を迎える前に建物周囲の擁壁が限界以上の変形を押さえるフェイルセーフの機能を持たせるとともに、衝突した場合にも被害を低減させるための緩衝装置を備えたらどうかと考えています（図2）。

防災科研では、2013年8月から9月の予定で免震建物の加振実験を実施する予定です。本実験では、震動台上に積層ゴム支承、弾性滑り支承およびエネルギー減衰のための鋼材U型ダンパーとオイルダンパーを設置し、その上に重量700トンの低層建物を試験体として設置します（図3）。また、建物周囲には擁壁を設置し、建物が擁壁へ衝突した場合の影響を評価するとともに、擁壁への衝突の影響を低減させるため、どこにどのような大きさの緩衝ゴムを設置すればよいか、などの検証を進める予定です。

### 中層免震建物の性能検証

高度な計算が不要で、床面積を多く取ることが可能な中層の建物が多く普及しています。これに対し、免震建物と言えば低層建物が主な対象でした。ところが近年、特に東北地方太平洋沖地震以降、中層以上の建物の免震が注目されています。免震構造の設計では、揺れを十分

低減させ、建物は変形しないように設計を行います。しかしながら、免震装置上に載る建物が高くなると建物の変形が無視できなくなります。低層の建物に比較して、中高層建物は変形しやすいためです。そのため、免震装置で揺れを低減させても上層階では揺れが増幅されてしまったり、建物の変形により免震装置に想定していなかった力が作用したりする可能性があります。また、コンクリートは繰り返し力が作用すると性能が劣化していきます。長時間の地震動により繰り返し大きな力がコンクリートに作用すると、思わぬ被害が出る可能性もあります。

そこで、防災科研では10階建ての中層鉄筋コンクリート造建物を対象とした加振実験を、長江主任研究員、田原特別研究員を中心とした鉄筋コンクリート造建物の実験研究チームで計画中です。

この実験では、震動台の積載能力の限界である総重量1,200トンの試験体を震動台上に設置し、1) 免震建物の1階の揺れを震動台で再現して上層階の挙動を検証するとともに、2) 長周期・長時間地震動によって鉄筋コンクリート部材に繰り返し力が作用した場合の影響の評価と、3) 鉄筋コンクリート造建物の被害が多い内陸直下型地震動で新型高性能耐震壁による鉄筋コンクリート造建物の高性能化の性能検証を行う予定です(図4)。

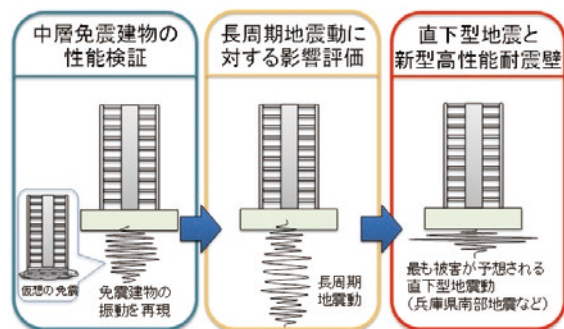


図4 中層RC建物の耐震性能検証実験

## 制御技術を応用した免震構造

図3にあるように、免震構造は支承とエネルギー減衰装置が組み合わされています。このうちエネルギー減衰装置(ダンパー)は、長周期地震動による共振などで免震建物が大きな変形を起こさないように揺れのエネルギーを吸収するための重要な装置です。ダンパーには、適切に揺れを低減させるための最適な減衰力があるのですが、地震動の種類、強さによって最適な値が異なるため、どの地震に対してもそれなりの性能を出すように設計されます。

防災科研では、これに対する次世代免震構造として、セミアクティブ免震の技術開発を進めています。これは、建物の揺れを常時監視し、実際の建物の揺れに合わせてダンパーの最適な減衰力を制御して、どのような揺れに対しても最適な減衰力を発揮できるようにし、様々な地震動に対して優れた性能を発揮できるようにしたものです。また、建物の揺れと逆向きの力を加えることで揺れを抑えるアクティブ免震にも取り組んでいます。

## 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では、病院等の災害拠点、学校等の避難施設が震災後に使用不能になったり、生産ラインがストップしたために物流が滞り、様々な製品に影響が出るなどの問題が各地で浮上し、震災後の機能維持の重要性が広く認知されることとなりました。防災科研では、今回の改造により機能強化された震動台を最大限に活用して機能保持性能向上のための技術開発を進め、これを広く公開することにより、震災による被害の低減を目指して、努力してまいります。

## Eーディフェンスのデータ公開システム

### 長周期地震動対応に向けたASEBIの改修

兵庫耐震工学研究センター 特別研究員 金好昭彦



#### はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震を契機として、2005年にEーディフェンス（実大三次元震動破壊実験施設）が完成しました。Eーディフェンスは兵庫県南部地震のような直下型地震に対して構造物が破壊するプロセスを解明する、また構造物の耐震性能や機能維持を評価するために適した施設です。しかし、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震、また東海・東南海・南海地震やその三連動による巨大地震がもつ長周期地震動への対応も可能にするために、Eーディフェンスの長周期地震動対応改造工事が行われました。その工事では、映像収録・処理装置や計測装置の改造も行われ、Eーディフェンスから得られるデータ量が膨大となることに伴い、データ公開システムもユーザーの利便性向上の観点から改修を行い、2013年4月から改修された新たなシステムとして運用を開始します。

#### これまでの経緯

Eーディフェンスは、その規模・性能において世界に類を見ない震動破壊実験施設で、その実験データは、防災・減災対策を考える上で非常に貴重なデータとなります。Eーディフェンス建設計画の段階から実験データの公開を望む声があり、2005年のEーディフェンス運用開始から実施してきた実験情報を公開するための

データ公開システムが2009年より運用を開始しました。

現在までEーディフェンスで実施された実験件数は63件で、その内データが公開されている実験件数は24件となっております。またユーザー（有効期限：登録後1年間）はデータ公開システム運用初年の約270名から現在は約440名となっております。

#### システム概要

データ公開システムは、インターネットを介してユーザー登録やシステム利用ができます。登録されたユーザーが入手できるデータは、Eーディフェンスで行われた実験毎にまとめられており、実験の管理情報、試験体情報、波形データ、映像データ、実験報告書、論文などで構成された一連のデータを入手し利用することができます。ただし、データは日本国内での利用に限定されます。

#### システム改修の基本

Eーディフェンスの長周期地震動対応改造工事によって、計測される一加振当たり波形データの最大時間長は、現行の約3.5分から約17.5分に、また撮影には現行カメラの約6倍の画素数をもつHDカメラが追加されるなど集録される波形データ、映像データの容量は膨大になります。そのため、データ公開システムの記憶媒体装置の大容量化は言うに及ばずユーザーの利



便性向上が必要となります。ユーザーが操作しやすいデータ公開システムを目指し、主に次のような改修を行いました。

#### ①処理時間の高速化

現行データ公開システムで課題となっていた「応答が遅い」という声に対して、データ公開システムにアクセスしたユーザーがサーバーにリクエストを投げてからレスポンスが到着するまでの応答時間を改善しました。また、ユーザーの同時アクセスやデータ量の更なる増大などに対して応答時間が劣化しないようにしました。

#### ②映像配信のストリーミング化

現行では、映像データをダウンロードしてから再生するため、データ量の増大に伴いユーザー側での取り扱いがより困難になります。そのため、映像データをダウンロードしながら同時に再生するストリーミング配信機能を追加し、迅速な映像閲覧ができるようにしました。具体的には、各実験の多数集録された映像データのファイル毎に縮小表示したサムネイルを一覧表にして、サムネイルをクリックするとストリーミングが始まり、またファイル名をクリックするとダウンロードが始まります。

#### ③情報絞り込みの簡便化

ユーザーが要望する情報を迅速に入手できるように絞り込み機能を追加しました。絞り込みの仕方は、設定した数種類のキーワードを選択する方法および任意文字列を指定する方法がありますが、片方でも両方でも絞り込みの選定は自由となっています。絞り込み結果は一覧表示され、容易に目的の実験へアクセスが可能となります。また、全文検索機能をもち、アクセス可能なテキスト情報から目的のファイルを絞り込み一覧表示することも可能です。映像データは画像サムネイル（前述②参照）を表示し、検索結果一覧を用いて選択データの一括ダウン

ロードを可能としています。

#### ④耐障害性の向上

データ公開システムの障害対策としてコールドスタンバイの形態で対処しています。すなわち、通常主システムを作動させておき、予備システムを待機状態にしておきますが、主システムに障害が生じた場合、予備システムが作動し処理を引き継ぐことになります。また、波形・映像データなどもデータ公開システムと隔離した領域に複製保存する必要があり、バックアップ機能を追加しました。



写真 耐震補強の有無による木造家屋の震動破壊実験事例

## おわりに

E-ディフェンスの長周期地震動対応改造成事に伴い、データ公開システムの改修も実施し、ユーザーの利便性がかなり向上しました。これまで以上に、沢山のユーザーに利用して頂き、研究者・技術者においては、公開データを様々な観点から検討し、個別の研究成果以上のより大きな成果が創出されること、また一般の方々も含めたより大きなコミュニティにおいても、公開データを利活用し、自己啓発・啓蒙によって地震防災意識がさらに高まることを期待しています。

E-ディフェンスによる実験研究の成果を幅広く利活用し、地域の地震防災・減災に効果的に結び付けて頂くことを節に願います。

## 行事開催報告

### つくば科学フェスティバルに出展

11月17～18日につくばカピオアリーナ(茨城県つくば市)において、「つくば科学フェスティバル2012」が開催されました。このイベントは、青少年が科学の楽しさや大切さを学べる科学の街つくばならではの体験型科学イベントで、つくば



賑わう防災科研のブース

市などが毎年この時期に開催しているものです。今年につくば市制25周年記念事業ということで、多くの研究機関や学校、団体などが参加し、わかりやすい科学実験や観察、工作などの催しを行いました。

防災科研は、「たのしく まなべる 自然災害」のキャッチコピーのもと、5月につくば市に甚大な被害をもたらした竜巻をはじめ、地盤液状化現象など、さまざまな自然災害をミニチュアで再現し、訪れた人々の注目を集めていました。

また、建物の固有振動の理解促進に役立つおもちゃ(ゆらゆら)の作成コーナーでは、多くの子供たちが楽しく工作に取り組み、建物の高さによって大きな揺れを引き起こしやすい地震波の波長が異なることについて学んでいました。

## 行事開催報告

### ウズベキスタン非常事態大臣らがつくば本所を視察

ウズベキスタン共和国のフダイベルゲノフ非常事態大臣が、クドラトフ大統領付属国家保安庁主任コンサルタント、ユヌソフ非常事態省物資・技術供給部長らとともに、さる12月17日に防災科研つくば本所を視察されました。

まず、研究交流棟特別会議室にて岡田理事長から防災科研の概要説明を受け、引き続きつくば本所が保有する2つの大型実験施設(大型耐

震実験施設及び大型降雨実験施設)を見学しました。土砂崩れなどの災害発生機構を解明するための世界最大の散水施設である大型降雨実験施設では、時間あたり200mmの豪雨を体験されました。その後特別会議室に戻り、日本全域にはりめぐらされた3種の地震計で微動から強震動に至る様々な揺れを観測する地震観測網についての説明を受け、最後に研究交流棟の展示物を見



岡田理事長(下段)より説明を受けられるフダイベルゲノフ大臣(上段左)



大型耐震実験施設を視察中の大臣一行

学し視察を終えられました。

ウズベキスタンでは、地震、地すべりなどの自然災害が発生し、国内で問題となっているとのことであり、大臣一行からは多くの質問が出されるなど、研究所の活動に対して関心が高く、予定時間をオーバーしての研究所視察となりました。

## 行事開催報告

# SATテクノロジー・ショーケース2013で講演、ポスター発表等も

1月22日につくば国際会議場において、SATテクノロジー・ショーケース2013～交流による知の触発&科学技術産直フリーマーケットin つくば～が開催されました。SATテクノロジー・ショーケースとは、つくばサイエンス・アカデミー(SAT)がつくば研究学園都市の研究機関の協力のもと、2002年より行っている研究展示会です。

今年度の特別講演及びミニシンポジウムでは、昨年5月6日につくば市に大きな被害をもたらした

た竜巻などの気象災害をテーマとして取り上げ、災害への備えと、地域社会の強靱化との観点から研究者・技術者に何ができるかを議論しました。

防災科研からは、水・土砂防災研究ユニットの前坂主任研究員が「ゲリラ豪雨を観測するXバンドマルチパラメータレーダについて」というテーマでミニシンポジウムでの講演を行ない、パネルディスカッションにも参加しました。

また、ポスターに関しては、社会防災システム研究領域から3名の研究員がそれぞれ「携帯情報端末を利用したクラウド型地震センサネットワークの構築」(内藤研究員)、「日本における夏季降水量の将来変化と地形との関係」(常松研究員)及び「東京都市圏における水害リスク評価手法の開発」(平野研究員)について発表を行いました。

なお、防災科研はSATテクノロジー・ショーケース2013の実行委員会協力機関として、講演・ポスター発表のみならず、防災科研の概要や大地震に対する備えなど防災に関するブース展示・映像放映、更には施設見学者の受け入れを行うなど今年度の開催に多大な貢献をしたことにより、主催者のSATから感謝状が贈られました。



感謝状を手にする岡田理事長(右は江崎SAT会長)



講演を行う前坂主任研究員





## 福井文部科学副大臣がつくば本所を視察

福井文部科学副大臣が、さる1月18日に防災科研つくば本所を視察されました。副大臣は、物質・材料研究機構、宇宙航空研究開発機構 筑波宇宙センターとともに、防災科研を訪れました。

視察は、研究交流棟特別会議室にて岡田理事長により防災科研の概要説明を受けた後、各部門の担当者から研究内容の説明を受けつつ所内の施設を見学されました。

まず、水・土砂防災研究について、水平格子解像度500mで降水強度を観測できる精度の高い降水レーダであるMPLレーダの説明を受け、屋外に移動して車載型MPLレーダの実物をご覧になりました。

次に、防災研究データセンター棟にて、地震・

火山防災研究について、全国の地震観測網の観測結果が集められている監視モニタ設備をご覧になり、地震観測、火山観測、海底地震・津波観測等について説明を受けました。

その後、研究交流棟アトリウムにて、展示用の地震計(高感度地震計、強震計)や実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)模型、地すべり地形分布や観測点などを研究交流棟の床一面の日本地図(約165畳)に記した巨大床地図などをご覧になりました。

最後に、研究交流棟特別会議室に戻り、減災実験研究について実物大の建物等施設を実際と同様の地震動で揺らして破壊実験を行える兵庫県三木市にある三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)の詳細、および社会防災システム研究について、これまでの地震研究成果を統計的に取りまとめた全国地震動予測地図やその総合情報公開システムである地震ハザードステーション(J-SHIS)などの説明を受けました。

視察後は所内で3機関の視察について5社の報道機関による取材が行われました。



巨大床地図で地すべりを確認される副大臣

## 青森市で積雪観測講習会を実施



野外における積雪断面観測の実習

雪氷防災研究センター新庄支所は、日本雪氷学会東北支部、日本雪工学会北東北支部と共催で、豪雪地として知られる青森市の八甲田山麓(会場：酸ヶ湯温泉)にて2月4日に積雪観測講習会

を開催しました。開催地の青森県をはじめ秋田県や東京都から気象・環境・計測関係の仕事に携わる方や学生など11名の受講者が集まりました。講習会では初めに、降雪のしくみや積雪の性質などに関する講義を行い、次に近くの雪原において積雪断面観測の野外実習を実施しました。快晴に恵まれた当日の積雪深は約3.5mもあり、その半ばまで垂直な雪の断面を掘り出すことから実習は始まりました。受講者は、積雪の温度、密度や硬度などの測定を行い積雪観測の基本を学びま

したが、雪質の判断に迷うことが多かったようです。この講習会の特徴の一つは、こうした場合に講師からその場でポイントを説明してもらえることです。興味深かったのは、気温が氷点下の日が続く厳冬期の積雪中にざらめ雪の層があったことです。最後に、測定したデータを室内で計算・整理してグラフを描く実習を行いました。これによ

り、理解が深まることを実感できるのもこの講習会の特徴です。積雪の温度は概ね-5℃程度でしたが、表面付近では0℃近くに急上昇していました。その原因は直射日光であることを学び、野外実習時に見られたざらめ雪の層はこのような条件下でできたことを体験を通じ納得することができたようです。

## 行事開催報告

### 第17回震災対策技術展に出展

2月7～8日にパシフィコ横浜で、「第17回震災対策技術展—自然災害対策技術展—」が開催され、防災科研は地震動予測地図や地盤に関する情報をウェブ上で閲覧できる「地震ハザードステーションJ-SHIS」および「ジオ・ステーション」、「携帯端末の加速度センサーを利用したi地震」などのアプリケーション類を紹介するとともに、パソコンや携帯端末を用いたデモや使い方の説明を行いました。また、実大三次元震動破壊実験施設(Eーディフェンス)による実験研究成果については、ポスター展示に加え、会場入口では病院建物実験の映像資料が放映されました。さらに今年90周年となる関東大震災に関するコーナーでは、当時の状況を伝える新発見資料「日本電報」や、横浜近辺の被害写真をポスターで紹介しました。多くの来場者がブースに立ち寄り、研究員の説明に熱心に耳を傾けていました。

同技術展では、並行して地震をはじめとする



賑わう防災科研のブース

様々な災害への対応や行政・民間の取り組みに関するシンポジウム・セミナーが多数開催されました。防災科研でも、2月7日の午後、「第12回国土セーフティネットシンポジウム」をNPO法人リアルタイム地震情報利用協議会と共催しました。本シンポジウムでは、岡田義光理事長による開会挨拶の後、津波に関連する7件の講演が行われました。防災科研からは、金沢室長が「日本海溝海底地震津波観測網の整備」、藤原領域長が「津波ハザード評価」と題して講演を行いました。また、展示会場内の講演会のコーナーでは、吉澤研究員が「地震時の建物機能損失と室内安全性/Eーディフェンス実験を通して」と題する講演を行い、Eーディフェンスを用いた最新の研究成果について説明しました。

東日本大震災を契機とした震災対策への関心のさらなる高まりを背景に、今回は15,045名もの来場がありました。



満員の聴衆の前に講演する吉澤研究員

編集・発行



独立行政法人

防災科学技術研究所

〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1 アウトリーチグループ

TEL.029-863-7768 FAX.029-851-1622

URL : <http://www.bosai.go.jp> e-mail : [k-news@bosai.go.jp](mailto:k-news@bosai.go.jp)

発行日

2013年3月29日発行 ※防災科研ニュースはWebでもご覧いただけます。

