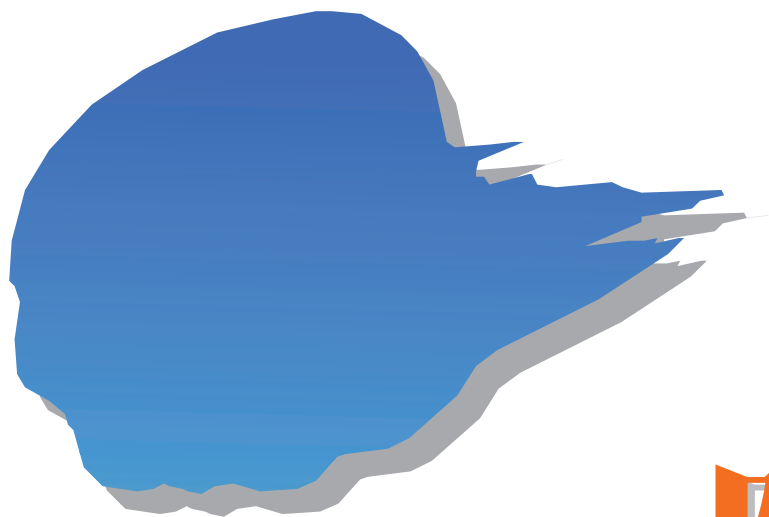


防災

研究



National Research Institute

for

Earth Science

and

Disaster Prevention

防災科研 NEWS

Eーディフェンス

—地震防災への世界的貢献をめざして—

Eーディフェンスの性能検証

木造建物の耐震性能検証

—地震から木造住宅を守るために—

鉄筋コンクリート建物の耐震性能検証

—ビルをより安全にするためには—

地盤・基礎構造の耐震性能検証

—液状化による被害を免れるために—

はじまりは いつもひとつの「なぜだろう？」

—平成17年度「科学技術週間」一般公開—



Eーディフェンス —地震防災への世界的貢献をめざして—



兵庫耐震工学研究センター センター長 中島 正 愛

世界最大の実大三次元震動破壊実験施設（ニックネーム：Eーディフェンス）を管理運営し、この施設を用いた研究開発を遂行するために、防災科学技術研究所は、2004年10月1日付けで兵庫県三木市に、兵庫耐震工学研究センターを開設しました。

1995年の阪神・淡路大震災で露見した建物や各種都市基盤施設に関わる被害から、次の教訓が再確認されました。

- （1）われわれが住む町には、耐震性に劣る古い建物・基盤施設が溢れている。これらの耐震性能を正しく評価したうえで適切に補強し、きたる大地震に備えなければならない。
- （2）現在の耐震設計で想定するより大きな揺れが起こる可能性がある。過大な揺れに建物・基盤施設がどの程度耐えられるかを明らかにするとともに、より耐震性が高い構造や工法を開発し、それを実践に移していかなければならない。

上記の教訓を達成するために、過去幾年にもわたって数多くの研究開発が実施されていますが、建物・基盤施設の損傷や崩壊を予測する技術がどれほどの精度を持っているのか、開発された耐震補強方法がどの程度適切である

のか、より高い機能性や安全性を指向した新しい構造や工法がどれほどの効果を発揮するのか等については、常に実験による検証が不可欠です。実大規模の建物・基盤施設に地震の揺れを直接与えることができるEーディフェンスは、広範な研究開発に対する「究極の検証手段」を提供するもので、これから研究開発成果の防災実践への速やかな移行を飛躍的に促進する役割を担います。

Eーディフェンスは、現在、震動台の制御や計測機能を確認するための予備試験を進めていますが、2005年1月15日には「披露式」、同16日には「披露国際シンポジウム」を開催いたしました。その後さらに標準的な試験体を搭載して負荷試験を実施し、その性能を最終的に確認するとともに震動台の制御・計測に習熟した後、2005年秋からは、木造家屋、鉄筋コンクリート建物、地盤の液状化に対する実大実験を実施する予定です。これら実大実験につきましては、2002年から過去3年間にわたって、震動台建設と平行して準備を進めてきました。

「究極の検証」をめざすEーディフェンスは、世界各国からも注目され、海外との共同研究等への期待も高まっています。わが国のみならず世界の防災に



写真1 披露式時震動台に設置された2階建て木造住宅

も貢献するという立場から、その端緒として、地震学や耐震工学において日本とともに世界をリードする米国との共同研究を推進すべく、Eーディフェンスでは、米国科学財団(National Science Foundation)の支援を受け現在全米で展開する耐震工学プロジェクト(通称: NEES)との包括的研究協力協定を結ぶ交渉に入っています。さらにこの交渉と連携してEーディフェンスを用いた日米共同研究の準備も始めました。

阪神・淡路大震災直後にその計画が始まったEーディフェンスも、10年を経て供用開始直前にまでこぎ着けることができました。その実現に向けて直接ご努力いただいた方々のご支援とご協力に心から感謝いたします。ご承知のようにEーディフェンスの建設には巨額が投資されました。その投資を支えていただいた社会と国民に、地震防災の飛躍的発展への貢献をもって報い

ることが、Eーディフェンスに課せられた使命と受け止め、われわれセンター職員は最大限努力することをここに誓うものです。ただこの使命をまっとうするためには、地震防災に関わる各方面からの絶大なご協力が欠かせません。研究コミュニティ、国や地方自治体、防災技術実践の立役者である産業界を始めとする関連各方面からの継続的なご指導とご支援を、ここに改めてお願い申し上げる次第です。



写真2 シンポジウム開会の辞の様子(中村隆之-文部科学省)

E-ディフェンスの性能検証



兵庫耐震工学研究センター 研究員 佐藤 栄児

実験の目的

E-ディフェンスでは、試験体を搭載しない無負荷状態での総合調整運転が続けられています。E-ディフェンスは1200トンもの試験体を搭載した状態で破壊実験を実現するため、油圧加振機も24台と多く、この総合調整運転ではこれらの油圧加振機を同時に精度よく動かすため、加振制御機器の調整が行われています。その後、E-ディフェンスの波形再現性能や最大加振能力の確認を行います。

E-ディフェンスは震動台テーブルの質量が約770トンで、それに搭載される試験体の質量は最大で1200トンと震動台の質量の約1.5倍となります。そのため、無負荷状態と震動台上に試験体を搭載した負荷状態では、同じ波形を再現させる実験でもそれぞれの加振機が発揮する力の大きさなどが大きく異なってきます。平成17年度中には、木造建物をはじめ、鉄筋コンクリート建物、基礎地盤などの本格的な震動実験が4つ計画されており、これらの実験での試験体の規模は大きいもので約800トン以上となる予定です。これらの実験で震動台を精度よく加振するためには、事前に震動台上に本格実験時と同程度の負荷試験体を搭載した状態で加振制御機器の調整を行い、震動台の性能を把握しておく必要があります。また、

大規模試験体を震動台に搭載する方法など様々な実験技術についても確認しておく必要があります。

そこで、負荷状態での調整運転として、約600トンの標準試験体を震動台に搭載し加振制御機器の調整を行い、その後E-ディフェンスが精度よく目標波を再現できるかどうかを確認することが本実験の最大の目的です。また、E-ディフェンスでは、地震動による構造物の破壊過程を解明するため、実験時に最大960チャンネルの計測データを同時に収録するシステムやそのデータを解析するシステムなど複数のシステムが完備されています。これらのシステムの動作や精度および機能のチェックを行い、予定されている実験時に効率よく実験を遂行させ、より質の高い結果を得るための準備実験としても位置づけています。

標準試験体とは

標準試験体は5層の鉄骨構造フレーム構造で、柱は鋼管、梁はH鋼で構成されています。この試験体は高さ20m、幅12m奥行き9m、総質量が約600トンで計画されています。試験体の仕様を表1に、震動台への搭載イメージ図を図1に示します。この試験体は、ブレースを取り外すことにより固有振動数を変化させることができ、試験体の固有振

表1 標準試験体仕様

項目	仕様		
質量	600t		
大きさ [m]	幅	奥行き	高さ
	9	12	20
モード	固有振動数		
	短手[Hz]	長手[Hz]	
1次	5.25	2.5	
2次	14.86	7.1	
3次	25.13	12.7	

動数による震動台再現波形の精度の違いを確認することができます。この試験体を実験棟の中で組み立て、3ブロックに分割し400トンの天井クレーンを用いて震動台に搭載する計画です。この実験では、E-ディフェンスに装備されている複数の制御方法について性能を確認するため、多く加振を実施する計画ですが、各制御方法による実験において同じ条件で加振する必要があり、そのため標準試験体は多くの加振でも変形や破壊されないように設計されています。

実験内容

標準試験体をE-ディフェンスに搭載し、兵庫県南部地震で記録された地震波やその他の地震波、正弦波、ランダム波等の目標波で加振します。加振中には震動台上の加速度や変位、試験体の応答加速度、相対変位等を計測し、目標とした波が震動台上で正確に再現されているかを確認しながら実験を行う計画です。

実験期間

実験期間は平成17年度初夏より約2ヶ月半を予定しています。試験体が大規模であるため、実験準備として、試験体の震動台への搭載、計測センサーの設置などに約20日間、試験体撤去等の後片づけに約10日間程度が必要となり、実験期間中の約1ヶ月が加振日となる予定です。

まとめ

今回の標準試験体による応答確認実験は、大規模な試験体をE-ディフェンスに搭載し加振する初めての実験です。大規模試験体を搭載した時の加振性能の確認をはじめ、試験体の製作方法、試験体を震動台に据え付ける方法などが今後の本格実験の参考となり、そこで起きる様々な問題点やその解決方法が役立つものと考えています。

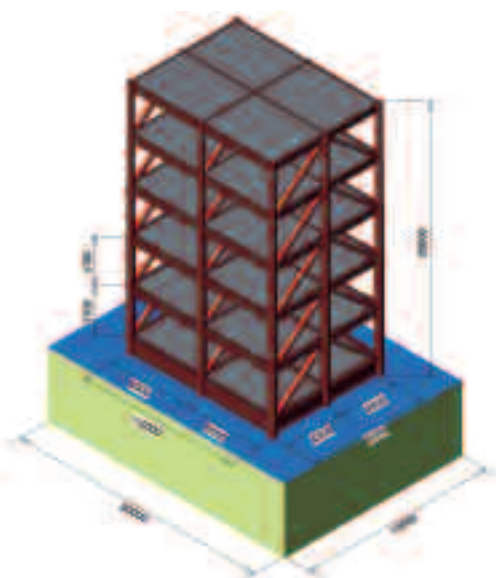


図1 試験体搭載イメージ図

木造建物の耐震性能検証

—地震から木造住宅を守るために—

兵庫耐震工学研究センター 研究員 中村 いずみ



1 はじめに

阪神淡路大震災で亡くなられた6,000人余りの方々のうち、5,000人近くは家屋倒壊等によるものと推定され、そのうちの大部分は木造住宅の倒壊によるものと考えられています。また、倒壊は免れたものの、そのままでは住み続けられないほどの大きな被害を受けた建物が多くありました。木造住宅の耐震性能を良く理解し、どのような対策が効果的なのかを知ることは、地震時の人的被害を少なくすると同時に、地震後の生活再建という点からも重要な課題です。また、日本各地には地域特有の構法で建てられた木造建築物が数多く存在していますが、そのような建築物や構法には文化的に重要で今後も地域で継承していくべきものも多くあります。けれども、そのような建築物の耐震性能についてはまだわからない点が多く、適切な耐震対策を取るためにはその耐震性能を明らかにすることが望まれます。一方、地震被害を軽減・抑制する手段として、従来は建物そのものの強さを強くして地震の力に耐える耐震構法が主流でしたが、最近では免震や制振といった技術が開発され、実際の建物に適用されてきています。そのような新しい技術の効果を実物大の実験により検証することも大切です。このような背景をふまえ、平成17年度には、E-ディフェンスを使用して、以

下に述べるような木造建物の実験を行うこととしています。

2 実験の概要

2.1 木造住宅の耐震補強の効果を検証する実験

阪神淡路大震災では多くの木造住宅に被害が生じましたが、そのほとんどは1981年に建築基準法が改正される前の、古い基準に従って建てられた住宅となっています。従って、木造住宅の地震被害を軽減するには、耐震補強を施すことにより古い基準で作られた建物の耐震性を向上させる必要があります。平成17年度には、耐震補強がどの程度の効果があるのかをはっきりさせるために、耐震補強をした木造建物と補強をしない建物の違いを比較する実験を行います（図1）。ここでは、1980年以前に建設され、耐震診断で補強が必要とされる一般的な木造二階建て建物2棟をE-ディフェンス上に移築し、一方は耐震補強を施した状態で、もう



図1 E-ディフェンスでの実験イメージ

一方は補強しないそのままの状態実験することにより、1980年以前の一般的な木造建物に対する耐震性と、耐震補強した建物の耐震有効性を検証することとしています。この実験を通じ、建物のどの部分を補強する必要があるのか、耐震補強にはどのような効果があるのかといったことがわかります。

2.2 地域に特有な構法の木造建築物の耐震性能を調査する実験

平成17年度には、地域特性の強い木造建物の代表的なものであり、大地震の発生が懸念される京都に多くある京町家の耐震性を調べる計画にしています。この実験では、2.1で述べたものと同様、図2に示すような実際の建物をE-ディフェンス上に移築して実験を行います。ここでは、同等の建物を新築したものを並べ、同時に実験を行うことで、建物の劣化による耐震性能への影響も調査することとしています。このような実験を通じ、京町家のもつ耐震性能、効果的な耐震対策の方法を明

らかにします。この実験は、将来にわたり日本の伝統的町並みを維持するために重要なことと考えています。

これらの実験に加え、免震装置を組み込んだ実物大の住宅模型に対する加振実験を行い、免震装置の効果とその限界、免震装置を組み込んだ木造住宅の挙動なども調査することとしています。

3 おわりに

平成17年度に予定している実験の状況は、報道機関等を通じて公開する予定です。実験を公開することで、一般の多くの方に自分の家や日本の伝統的な建物の耐震性や地震への対策などについて考えていただくきっかけになればと思います。今後もE-ディフェンスでの実験を通じ、身近な建物である木造建物の耐震性向上に役立つ成果を上げていきたいと思っています。



図2 京町家の外観

鉄筋コンクリート建物の耐震性能検証 —ビルをより安全にするためには—

兵庫耐震工学研究センター 研究員 松森 泰造



鉄筋コンクリート構造とは

鉄筋コンクリート造は、木造、鉄骨造など並び、日本における最も代表的な建築構造の一つです。明治維新後、海外から導入されたレンガ造などが明治の大地震や関東大震災で大被害を受けたのに対し、鉄筋コンクリート造は小被害に留まり、日本における耐震建築の主體的な構造としての地位を得ました。それ以来、各種学校、庁舎、病院などの公共建築物の大多数は、経済性、居住性および工期面で優れた構造として鉄筋コンクリート構造で造られてきました。また、遮音性能、耐火性能に特にすぐれ、自由な形態を可能とする鉄筋コンクリート構造は、現在のマンション建築の主流です。

1995年兵庫県南部地震の教訓

1995年兵庫県南部地震では、それまで安全だと信じられてきた多くの鉄筋コンクリート建物で甚大な被害を生じ、多くの人命が失われました。いわゆる新耐震基準による比較的新しい建物においても崩壊あるいは大破したケースもありました。E-ディフェンスにおける震動実験により、建物の崩壊に至るまでのメカニズムを解明し、未知なる大地震に対して最低限人命を失わない建築構造技術の確立が必要です。

その一方で、兵庫県南部地震を始めとする近年の比較的大きな地震においては、建築物に許容できる損傷の度合に関して新しい問題も提起されてきました。極大地震に対して建物を崩壊させないという設計目標は大部分において達成されましたが、官公庁や病院の地震後の機能維持の必要や、地震後の軽微な補修による継続使用を希望する建築主の要求には、十分対応できたとはいえません。建築構造物の設計においては、どの程度の地震が起これば、どの程度の被害が生じるだろうということを、設計者も建築主も明確に把握すべきです。そのためには、地震により建物の各部位に生じる損傷を如何に精度よく推定できる方法を確認する必要があります。E-ディフェンスにおける震動実験では、入力する地震動の強さと、構造物に生じる損傷の程度の間関係を定量的に明らかにできます。

E-ディフェンスによる鉄筋コンクリート建物実験

E-ディフェンスにおける平成17年度の「鉄筋コンクリート建物実験」では、1970年代建設を想定した6層の試験体1体の実験を行います。E-ディフェンスの能力に合わせて、平面は10×15m(2×3スパン)、総高さ16m、総質量約1000t程度とします。(全体イメージ：図1)。平面の中央に連層耐震

壁があります。一般の建築物によく見られる、壁、長柱、短柱という剛性の異なる部材から構成される構造物の挙動を解明しようというものです。震動実験においては、主に、中小地震を想定した小さいレベルの加振と既往の大地震を再現した加振を行います。各加振における構造物の損傷状況の記録と動的応答性状の検討を行い、最終的には、壁と柱が軸力保持能力を喪失し、試験体が落階するか傾斜するまで加振を行う予定です。特に、壁の下には大型ロードセルを設置し、壁が負担するせん断力と転倒モーメントを検出し、既往の算定式による予測値と比較する予定です。

実験結果は、プロジェクトに参加する関連研究機関の協力のもと、諸学会

が刊行する耐震設計や耐震診断に関する指針等に反映されるよう働きかけます。部材実験や静的実験などを基に半経験的に構築されてきた耐震技術は、Eーディフェンスにおける実大実験結果をもとに検証する必要があります。

また、地震応答シミュレーション解析手法を確立することも大きな目標です。現在でも、地震応答シミュレーションはさまざまな所で盛んに実施されています。しかし、その精度や確かさは甚だ疑問があります。地震時に本物の構造物が時々刻々と破壊していく過程のデータが皆無であるのが事実だからです。Eーディフェンスにおける実験では、これを提供することができます。

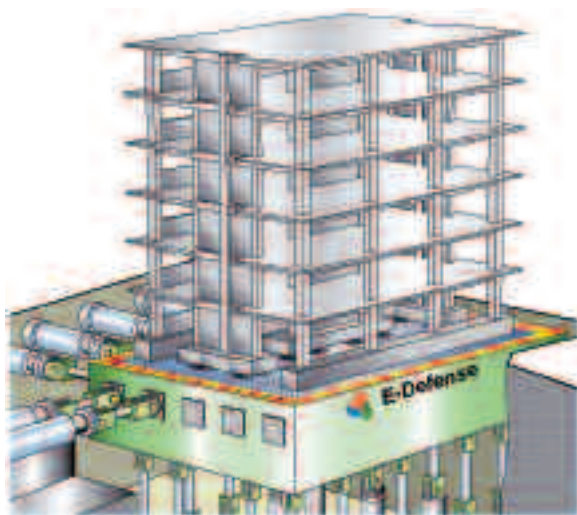


図1 実験のイメージ図

地盤・基礎構造の耐震性能検証 —液状化による被害を免れるために—



兵庫耐震工学研究センター 副センター長&研究チームリーダー(地盤・基礎実験担当) 佐藤正義

地震災害は地盤災害といっても過言でないほど、大地震では地盤の問題が直接的・間接的に要因となっている被害が多い。兵庫県南部地震では沿岸地域の埋め立て地盤で液状化による側方流動で大規模な港湾施設や高速道路の基礎損傷、ビルディングの不同沈下などの被害が発生した。これは、我国における大都市は海に面しているとともに大きな川のそばに位置しており、このような地域はほとんど軟弱地盤に類する場所であるために現れた顕著な例である。一般に、建築構造物としてのビルや土木構造物の橋梁等をこのような軟弱地盤に建設する場合、地盤の上に直接建設することができず、地盤中で構造物を支持するための基礎構造が必要となる。基礎として用いられるのは、経済的・工期的なメリットから杭基礎が多く70～80%を占める。しかしながら、杭基礎は横方向に剛性の高い構造ではないため、地盤や構造物が水平に大きく振動する大地震に対しては、建物慣性力や地盤の変形により大きな損傷を受ける。地震により建物基礎が大きく損傷すると大きな沈下や傾斜が発生し、建物そのものは健全でも使用できなくなる。杭で支持された建物は膨大な数に上るため、地震時における杭基礎の健全性を保証することは、地盤地震工学の分野において重要な課題である。特に、地盤の液状化に関わる

課題は護岸・岸壁、堤防などの水際地区では地盤に高低差があるため地震時に地盤が高い方から低い方へと流れて護岸構造物等の破壊をまねくとともに、その背後の杭等の地盤中にある構造物に及ぼす被害が非常に広範囲にわたり、発生件数が多いということから今や国民的関心事となっている。

これらの背景から、E-ディフェンスで取り組む地盤の液状化に関わる研究として、①側方流動に伴う護岸とその背後杭基礎の実験研究および②水平地盤における杭基礎の実験研究の2つの課題に取り組むこととした。①のテーマに関しては、護岸の側方流動に関しては、液状化に伴い地震中の変形と地震後にもゆっくりと変形が進行するという現象があるといわれており、新潟地震において昭和大桥の落橋に関する目撃証言などからその現象は広く認識されてきた。しかしこれまで、この種の実験的な研究がいくつかなされてきたが、そのような地震後に地盤がゆっくりと変形するという現象は、わずかな例を除いて土槽による液状化実験では再現できていない。そのため、側方流動に伴う杭基礎の被害に関しては、杭基礎が地震中に被害を受けたのかそれとも地震後の流動による大きな地盤変形によるものなのかは、その実証データが十分でなく依然として解明されたとは言い難い。この問題を解決する

ためには、実現象として認識されている液状化に伴う側方流動による地盤変形が地震後だけでなく地震後にも発生する実大の実験を行い、それによる杭基礎の破壊過程を解明することが必要である。②に対しては、杭基礎が地震で被害を受けた例は過去の地震で非常に数多いが、それがどのような力を受けて壊れたかについては、過去にその現象を観測したことがないためデータがなく十分把握されているとは言い難く、実大実験によるこの現象解明による杭基礎の地震時における合理的な耐震設計法の確立が望まれる。また、基礎としてある程度破壊が生じて、杭が建物を支えることができるための方法を開発するため、既存の液状化対策

の流動対策への適用性を検討することと、新たな対策工の検討のために実験を実施する。これらの実験のイメージを図1、2に示す。

これまでのH14年度からH16年度では地盤と基礎に関する三次元入力場における地盤と構造物の破壊メカニズムの解明をE-ディフェンスによる実験で行うため、既存施設でE-ディフェンスでの実験を想定した中小規模の土槽実験や土槽設計、模型地盤の作製方法、地盤材料についての検討を進めてきた。来年度すなわちH17年度はそれを実施するのであり、このE-ディフェンスの実験が、大地震における地盤と基礎に関連する構造物の被害軽減につながるものと考えている。

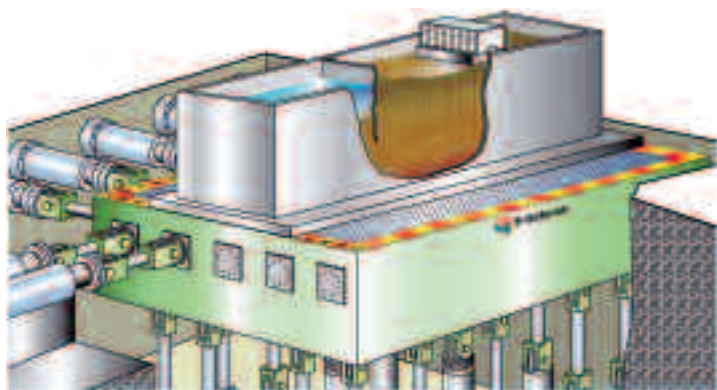


図1 側方流動に伴う護岸とその背後の杭基礎の実験イメージ

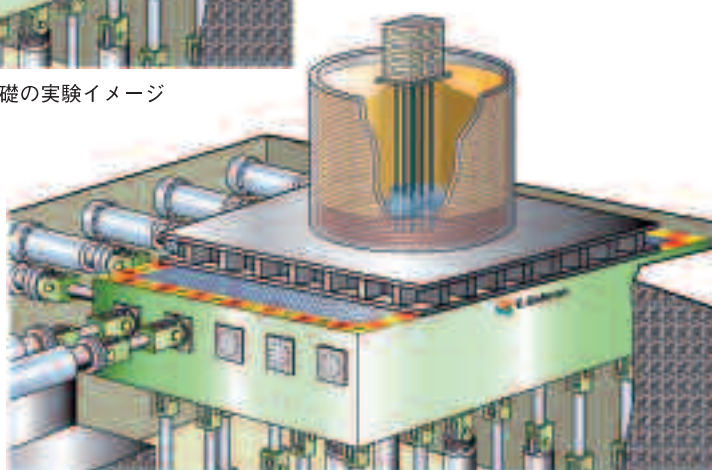


図2 水平地盤における杭基礎の実験イメージ

はじまりは いつもひとつの「なぜだろう？」

—平成17年度「科学技術週間」一般公開—

★つくば本所：茨城県つくば市天王台3-1

実施日程：平成17年4月23・24日（土・日）10:00～16:00

内 容：土曜日、日曜日で、実施内容が異なりますのでご注意ください。

4月23日（土）「災害を見てみよう！」	4月24日（日）「災害を体験しよう！」
・科学実験教室 場所：研究交流棟 和達記念ホール 災害に関する実験教室を実施	・地震体験 場所：耐震施設 振動台に座って地震体験 ・降雨体験 場所：降雨施設 世界最大降雨施設で豪雨体験 ・サバイバル飯炊き体験 牛乳パック、空き缶でご飯を炊いてサバイバル体験
両日とも 自然災害に関する展示、講演会を実施	

★長岡雪氷防災研究所：新潟県長岡市栖吉町前山187-16

実施日程：平成17年4月23日（土）10:00～16:00

内 容：中越地震とその後の雪害コーナー、低温室（-20℃、-5℃）内の各種実験、模擬雪崩実験（ナダレンジャー）、人工雪結晶作り、ミニ樹氷他

★兵庫耐震工学研究センター：兵庫県三木市志染町三津田西亀屋1501-21

実施日程：平成17年4月23日（土）10:00～16:00

内 容：世界最大の震動台見学、ビデオ上映、パネル展示他

★地震防災フロンティア研究センター：兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2

人と防災未来センター防災未来館1Fセミナールーム

実施日程：平成17年4月24日（日）10:00～16:00

内 容：“どうしたら地震災害を小さくできるのだろうか？”最先端研究の紹介（お勉強コーナー、パネル展示コーナー、体感コーナーなど）

★地震防災フロンティア研究センター川崎ラボラトリー：神奈川県川崎市川崎区南渡田町1-2

実施日程：平成17年4月23日（土）10:00～16:00

内 容：最先端地震防災システム、災害レスキューロボット見学
起震車による地震体験、サバイバル飯炊き体験他

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 ☎029-851-1611(代)

企画課直通☎029-863-7789 Fax.029-851-1622

E-mail◆toiawase@bosai.go.jp インターネット◆http://www.bosai.go.jp

発行日／2005.4.1