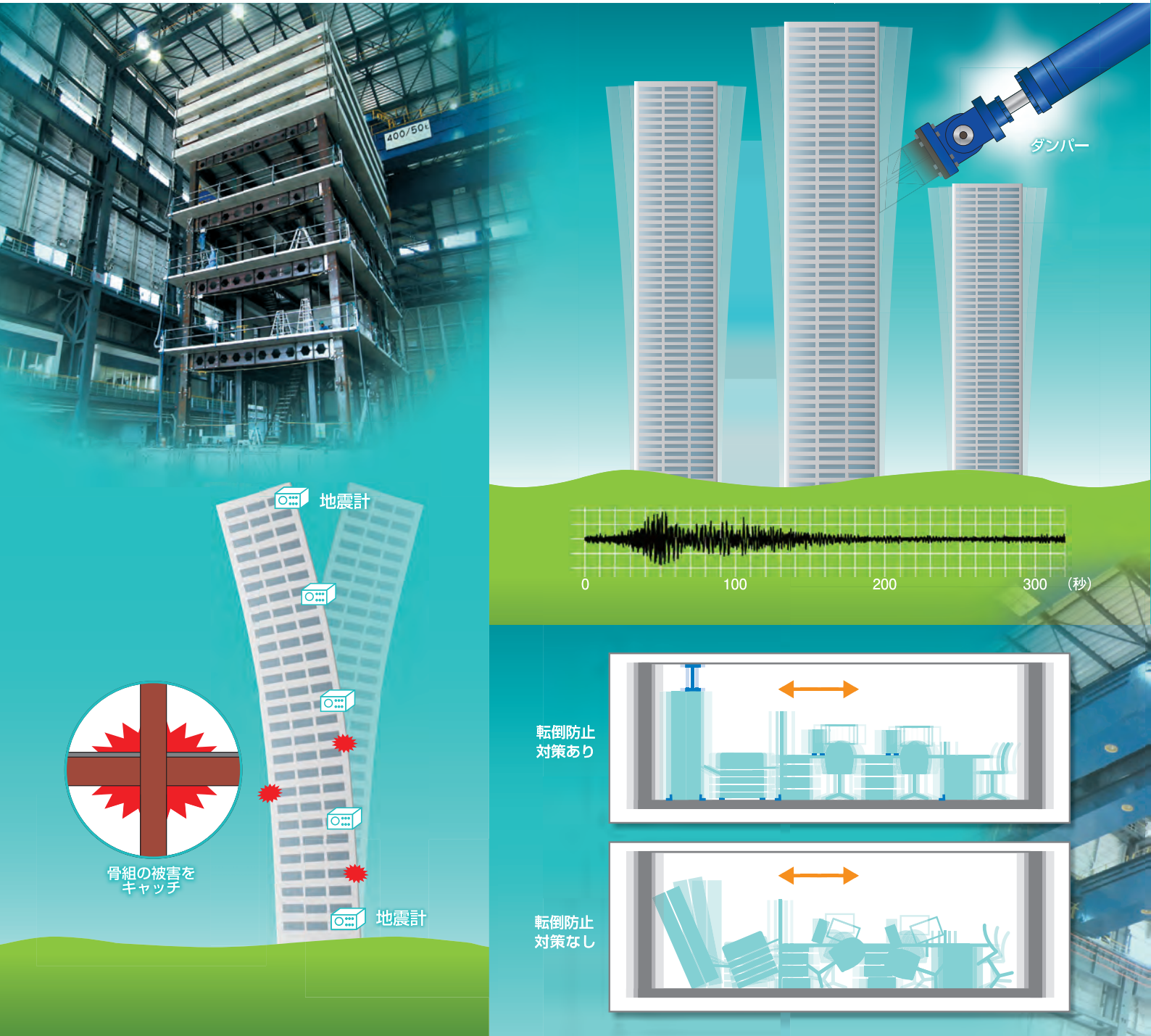


## 安全な高層ビルの実現に向けた 耐震対策のガイドライン Eーディフェンス実験を通して

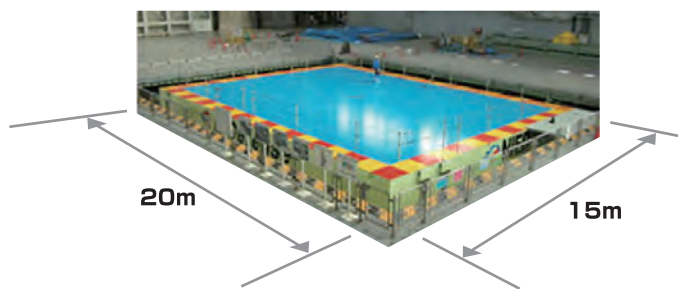


# 大型振動実験によって高層ビルの耐震性を検証

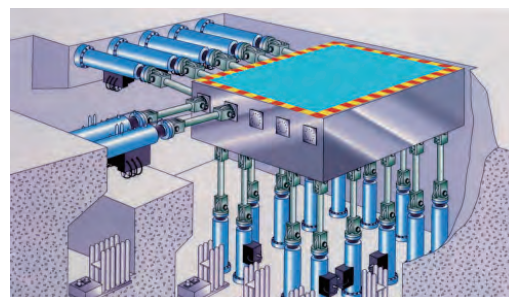
## E-ディフェンス (実大三次元震動破壊実験施設)

E-ディフェンスは、兵庫県南部地震における被害を受けて建設された世界最大の振動台です。

重さ1200tの構造物を震度7の地震動で揺さぶることができ、これを用いて、6階建ての鉄筋コンクリート造建物、4階建ての鉄骨造建物など、実建物に対する実験が数多く実施されています。



E-ディフェンス



加振装置

## 文部科学省による首都直下プロジェクト

文部科学省

文部科学省の主導のもと平成19年度より5ヵ年間の研究開発プロジェクト「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」が実施されました。

「長周期地震動による被害軽減対策の研究開発」では、その一環として、E-ディフェンスを用いた高層ビルの加振実験が行われました。

### 長周期地震動による被害軽減対策の研究開発

#### 運営委員会

研究分担  
防災科学技術研究所: 実験統括  
建築研究所: 機能損失、避難性  
東京理科大学: 入力エネルギー、制振ダンパー  
名古屋大学: モニタリング技術、体感装置  
京都大学: 骨組損傷、骨組補強

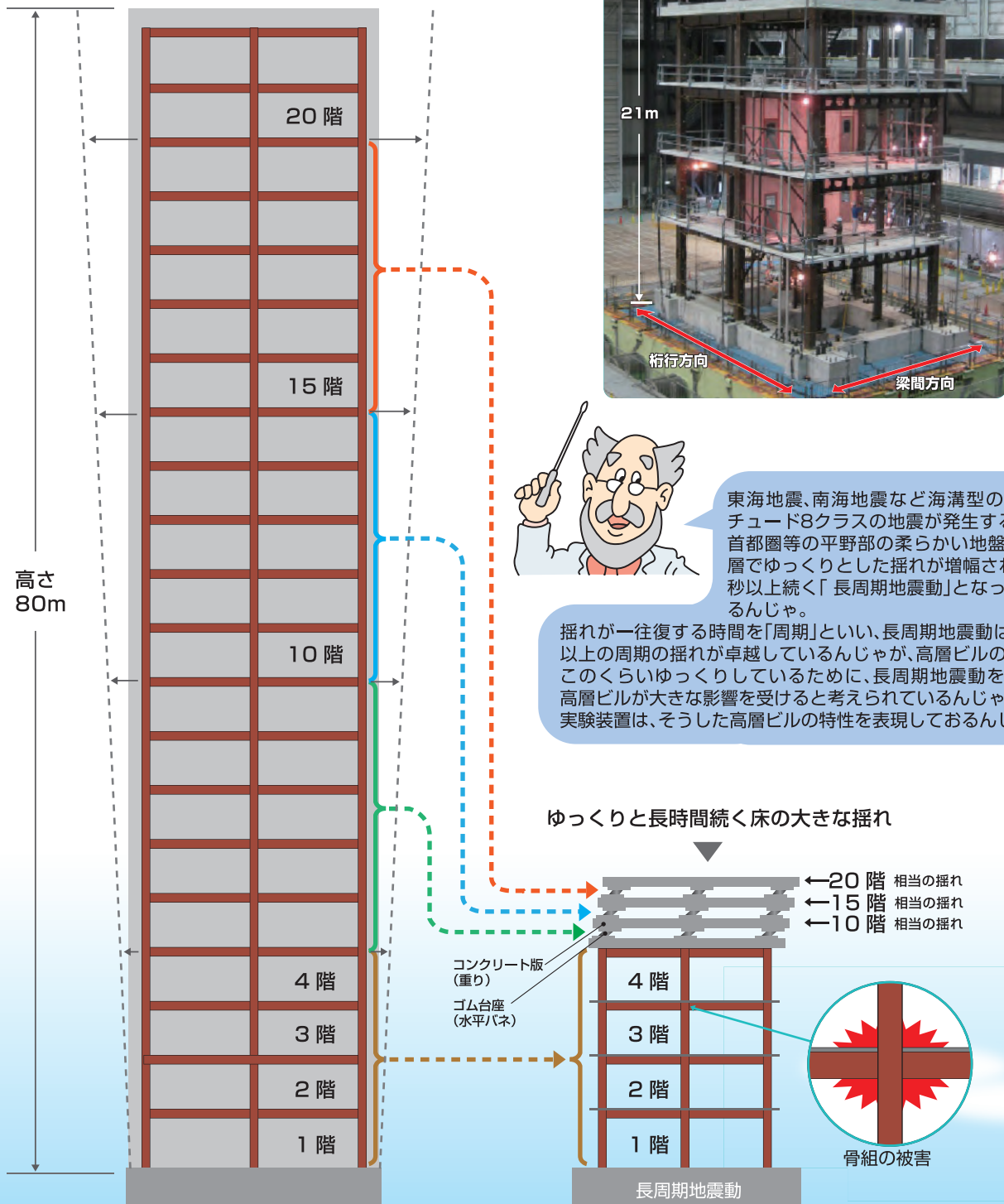
協力機関  
大林組・鹿島建設・清水建設・大成建設・竹中工務店

本研究では、E-ディフェンスを運用する防災科学技術研究所が、防災施策を推進する公的研究所、関連する研究に取り組む大学、実践に取り組む産業界とともにスクラムを組みました。また、研究の進展および成果の展開などの観点から助言を与える運営委員会(委員長: 和田章 東京工業大学名誉教授)が設置されました。

# 高さ約 80m の 21 階建て高層ビルの実験装置

いままでに数多く建設された高さ80m程度の高層ビルを想定し、長周期地震動を受けた際の実骨組の被害を検証できる大型実験装置を造りました。4階建ての鉄骨造骨組の上にゴム台座と4枚のコンクリート版(重さ700t)を重ね、想定するビルと同じ揺れを再現する工夫がなされています。実験では、上部のコンクリート版に20階、15階、10階に相当する揺れが出現し、鉄骨造骨組には高層ビルの下層階に生じる力が加わりました。また、20階の揺れが生じる最上階に居室を用意し、室内空間の被害に関する実験も実施しました。

## 実験装置の概要





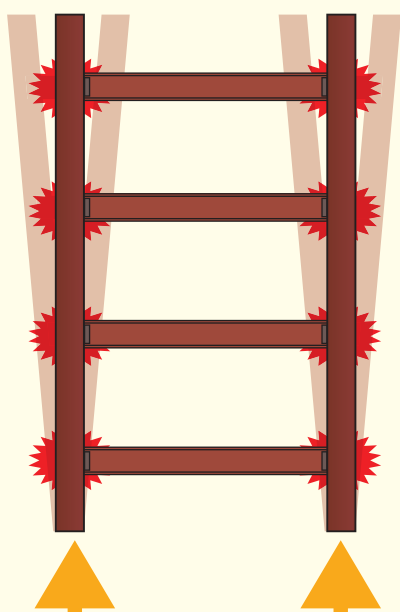
# 多数回の繰り返し変形を受ける骨組の耐震性能評価と補強

長周期地震動を受け、鉄骨造骨組には数十往復以上の層間変形が繰り返し加わりました。骨組の中でも、梁の根本における柱との接合部分に変形が集中しました。そこでは、床スラブの影響により、特に、梁の下フランジに大きな力が加わりました。その結果、1970年代に設計された、現在の設計法で要求される接合条件を満たしていない接合部分に破断が生じやすいことが分かりました。一方、耐震改修を想定して、変形の生じやすい場所に溶接補強を施した場合では、接合部分の変形能力(耐えることのできるエネルギー)が数倍に上昇しました。

1

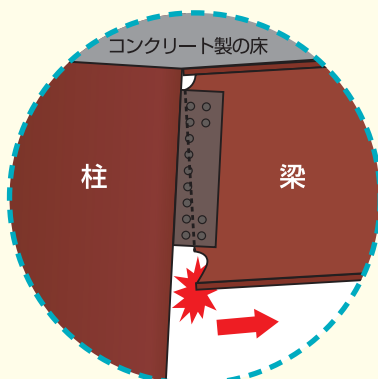
## 揺れが数分以上続くことで骨組が破損する恐れがあります

エネルギーを骨組の梁や柱が負担する



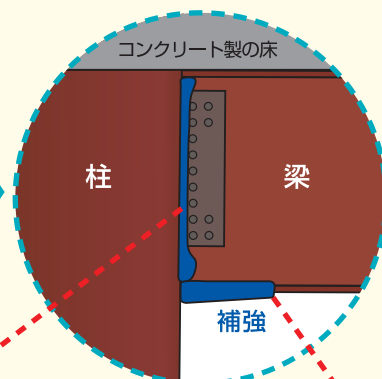
地震のエネルギー

1970年代の古い接合方法

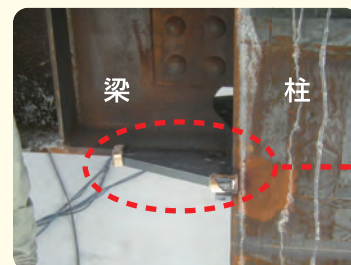


梁の中央部分をボルトで接合する形式

補強工事



● 梁の中央部分を柱に溶接補強



● 梁の下フランジを拡幅補強

変形能力の大幅な向上



実験状況



建物が地震動を受けて揺れているとき、鉄骨造骨組は何度も繰り返し歪むこととなる。このときの状況は、地震のエネルギーが骨組を歪ませているともいえるんじや。

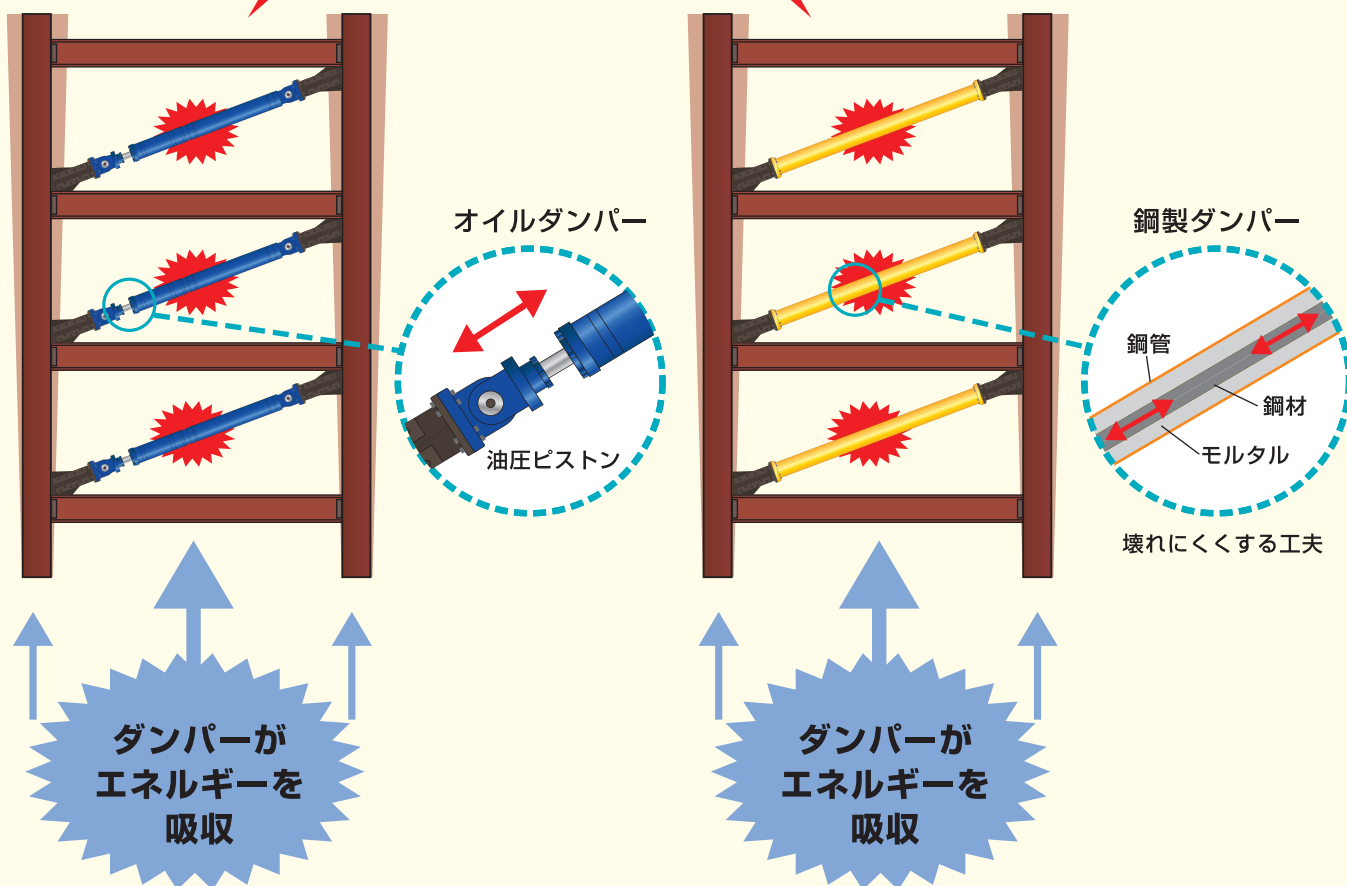
長周期地震動を受けて長時間揺れる高層ビルでは、骨組が歪む回数が多い、すなわち大きな地震エネルギーを受けるんじやよ。  
針金を何度も曲げると切れてしまう。高層ビルの鉄骨造骨組の梁の根本にも同じことが起こる可能性が指摘されたんじや。

## ダンパーを組み込むことによる制振機構の導入

長周期地震動を受ける高層ビルには、大きな地震エネルギーが加わります。それを建物のどこかで吸収する必要があります。柱や梁でエネルギーを吸収することは建物の骨組自体に損傷が生じることを意味します。そこで骨組内に、オイルダンパーを設置した場合、および鋼製ダンパーを設置した場合について、骨組の耐震性を検証しました。いずれにおいても、地震エネルギーの大部分をダンパーが吸収し、骨組の損傷が大きく軽減されました。

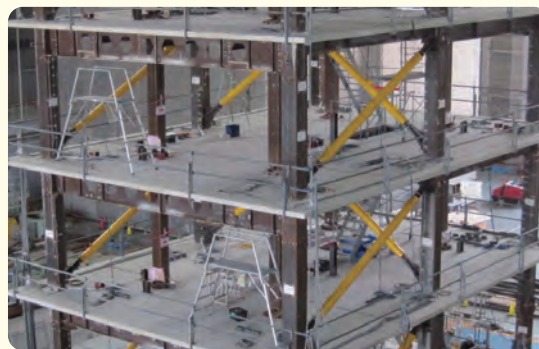
### 2 変形が小さくなり骨組の被害が軽減されます

斜め材として配置されたダンパーが骨組のエネルギー負担を肩代わり



「オイルダンパー」は水鉄砲の仕組みで、揺れる骨組のなかでピストンが出入りするときに抵抗力を発揮して、エネルギーを吸収してくれるんじゃない。

「鋼製ダンパー」は梁や柱が歪んでエネルギーを吸収するのと同じ原理でエネルギーを吸収するんじゃないが、その状況を元々の骨組とは別の場所で、早い段階から起こさせるのがミソじゃ。



ダンパーを配置した骨組部分

## 室内空間の家具・機器類の固定対策

高層ビルが大きく揺れ続けることによって、室内空間はさまざまなダメージを受ける可能性があります。対策の無いオフィスでは、書棚の転倒、内容物の飛散は免れません。また、キャスター付きの機器などは長い間、移動と衝突を繰り返し、重量の大きいコピー機などは衝撃力も大きくなります。転倒や移動するものは、人に危害を加えるだけでなく、避難の妨げにも繋がります。一方、高層ビルは、ゆっくり揺れるので、家具等に加わる慣性力は直下型地震を受ける低層の建物よりも小さく、対策の効果が出やすいことも分かりました。

# 3

### 対策を施した室内では被害が大幅に減ります



対策の無いオフィスの状況(揺れ始めから90秒後)

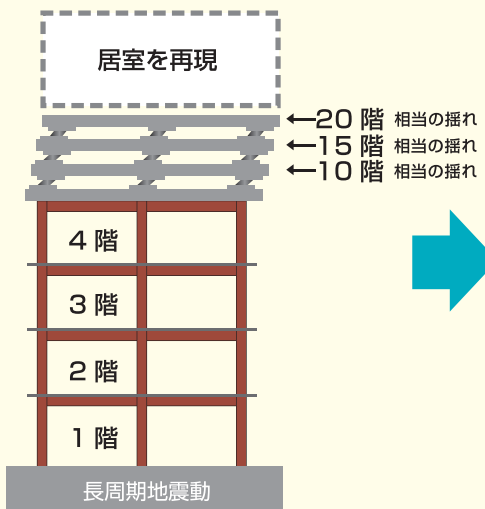
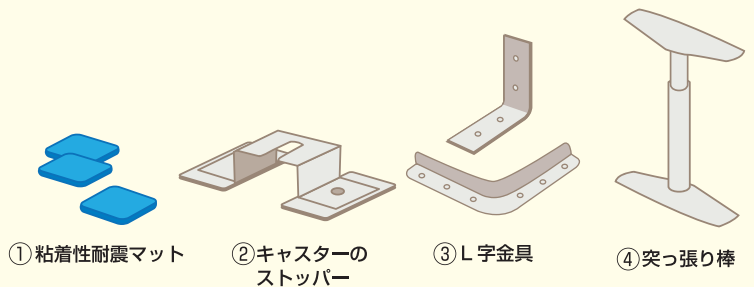


対策されたオフィスの状況(揺れ始めから90秒後)

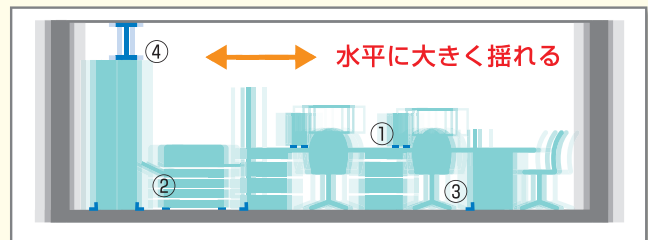
長周期地震動を受ける高層ビルの室内は、水平にゆっくりと大きく移動するんじゃが、その揺れは数分以上も続き、また、上層階にいくほど大きくなるんじゃ。



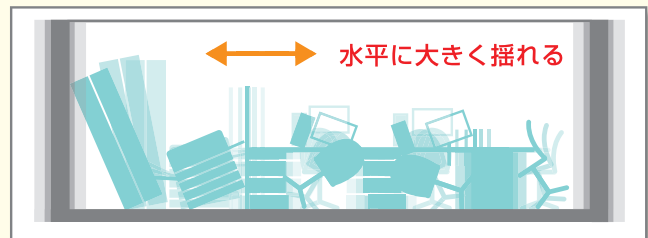
オフィスの家具には、長時間にわたって力が加わり続けることで、背の高い書棚が転倒したり、キャスター付きの機器などが暴れ回ったりする。これらを適切に固定しておけば、室内の被害は抑えられるんじゃよ。



#### 転倒防止対策あり



#### 転倒防止対策なし



# 揺れ方の変化から被害状況を評価する地震計の設置

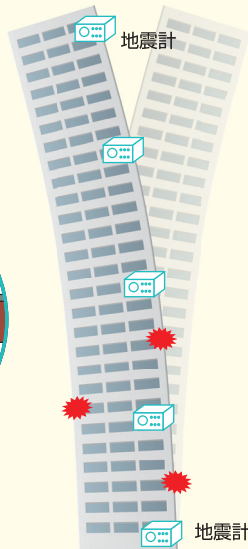
高層ビルが大地震の揺れを受けた際に、構造上重大な被害の程度や使用上の安全性を迅速に評価することが、復旧にむけて大変重要です。一般には構造技術者による調査が行われますが、特に都市部の高層ビル群が対象となると、多大な時間が必要になります。これに代わるモニタリング技術として、地震観測に用いられている加速度計により、強い揺れを受けた際の骨組損傷の位置や程度を評価する手法の有効性が確認されました。

## 4

### 地震後に建物使用の可否が迅速に判断できます



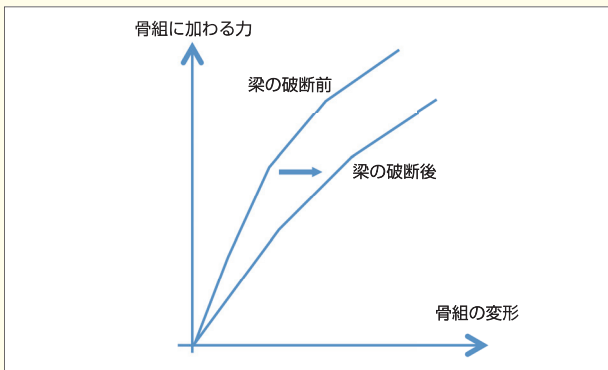
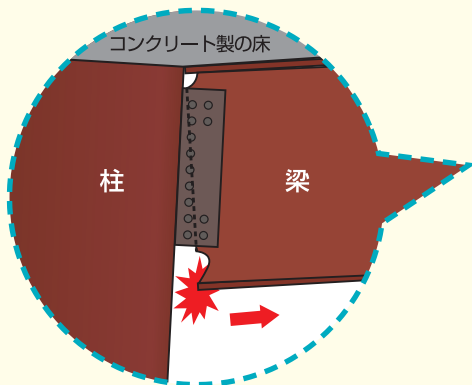
骨組の被害をキャッチ



実験において設置された地震計

揺れの波形を記録する地震計を建物の中に設置しておき、そのデータを分析することから、建物がどのくらい壊れているか、そのまま使っても安全かどうかを判断するんじゃ。

建物の損傷によって、揺れの周期は伸びる特性がある。また、力と変形の関係における傾きを剛性というんじゃが、建物の剛性は損傷によって低下する特性がある。そうした特性から生じるわずかな変化をキャッチして、建物の損傷の程度を判断するんじゃ。右に示すのがその作業のイメージじゃ。



複数の階に設置された地震計の記録を分析

建物の損傷による周期の伸び  
骨組の剛性の低下をキャッチ



本研究の成果については、1.設計者が建物の所有者および使用者に被害様相を説明する、2.設計者が所有者および使用者に改修による補強効果を説明する、3.防災機関が一般市民に被害様相を伝えることができる、4.防災機関が一般市民に対策による被害軽減効果を伝える、等の場面において有用な資料として防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センターのウェブサイトにおいて公開されています。



**独立行政法人 防災科学技術研究所**

**E-ディフェンス 兵庫耐震工学研究センター**

〒673-0515 兵庫県三木市志染町三津田西亀屋 1501-21

TEL : 0794-85-8211 FAX : 0794-85-7994

URL : <http://www.bosai.go.jp/hyogo/index.html>