



独立行政法人 防災科学技術研究所  
兵庫耐震工学研究センター



George E. Brown, Jr.  
Network for Earthquake  
Engineering Simulation



University of Nevada

## 日米共同研究による免震技術評価実験

### 1. 背景

2011年8月、独立行政法人防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター（Eーディフェンス）では、日米共同研究による免震技術評価実験を実施しました。

近年免震構造は有効な地震対策技術として注目され、これまでに多数の実験で実証されており、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震でも大きな被害は報告されていません。しかし、コスト面などの点から絶対的棟数は必ずしも多くなく、日本では共同住宅等で約2000棟、戸建て住宅で約3000棟、米国では200から300棟程度しか建設されておらず、普及にまでは至っていないのが現状です。

今回の実験は日米両国での免震技術の発展と免震構造の普及をめざし、独立行政法人防災科学技術研究所と米国ネバダ大学が共同研究として実施したものです。過去の実験に用いた実物大の鉄骨5層建物の基部に免震装置を組み込んだ加振実験および基部を固定した耐震構造での加振実験を実施し、これらの実験結果を互いに比較して、極めて稀に発生する地震動や長周期地震動下での免震構造の性能評価を行うものです。

### 2. 免震技術評価のための震動台実験

#### 2. 1 試験体

試験体は、過去の鉄骨造の制振実験で用いた5階建ての鉄骨造建物（図1，2）を再利用しました。建物の高さは約18m、各階の床面積は120m<sup>2</sup>(12m×10m)、総重量は543tです。

建物と震動台との間に各柱の直下、合計9箇所には、免震装置を設置しています。

また、4階及び5階部分には米国仕様の天井、間仕切り壁を施工し、4階の一部には病院の部屋を、5階の一部にはオフィスの部屋を再現しました。4階の角にはプレキャストコンクリート製の外装パネルを2枚設置しています。



図1 試験体全景

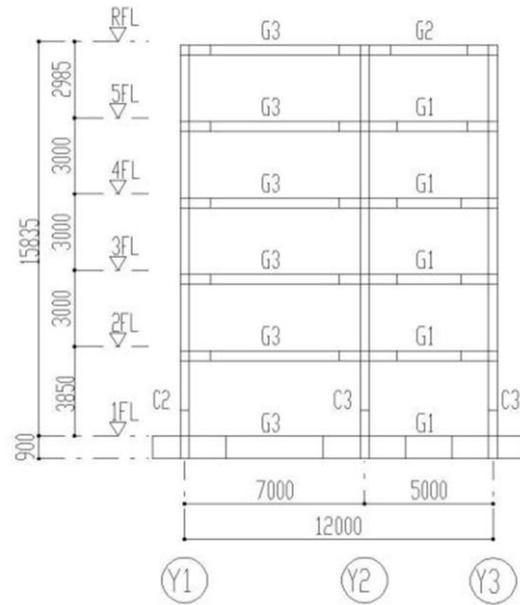


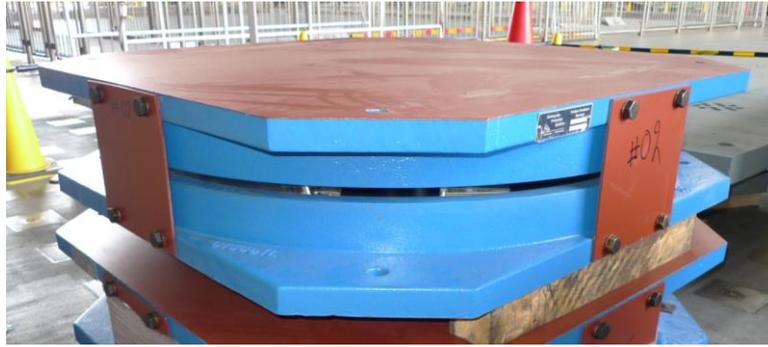
図2 立面図

## 2. 2 免震装置

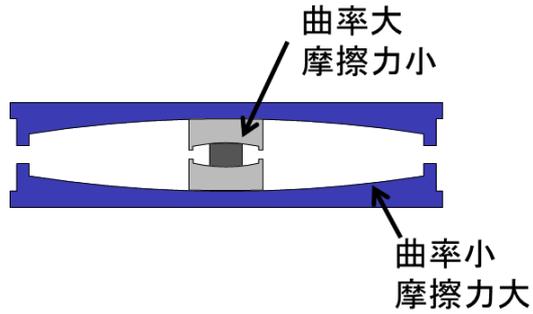
今回の実験では2種類の免震構造を用いました。1つめは米国で開発された多段摩擦振り子免震装置を用いたすべり免震構造(図3)で、もう1つは鉛プラグ入り積層ゴム支承(図4)と直動転がり支承(リニアガイド/リニアスライダとも言います)(図5)を組み合わせたゴム免震構造です。

すべり免震構造で使用した多段摩擦振り子免震装置は、お椀状に加工された鉄鋼製のお皿2枚に支柱が挟み込まれており、その外側に2枚のさらに大きなお皿で挟んだ構造をしています。この免震装置の特徴は、振り子の原理を応用した復元力特性にあり、上に載せる構造物(建物)の質量によらず、お椀状に加工したお皿の曲率(お皿のへこみ具合)を変えるだけで、免震構造の固有周期を自由に設定できる点です。このため、上部構造が軽くなりやすい低層鉄骨造建物であっても免震化しやすいというメリットがあります。また、2種類のお皿を組み合わせ、滑る面を複数用意し、頻繁に発生する中小地震動に対しては内側のすべり面(図3(c))が、極めて稀に発生する地震動に対しては外側のすべり面(図3(d))が対応するように機能を分担させることにより、幅広い地震動に対して効果が出るように工夫されています。

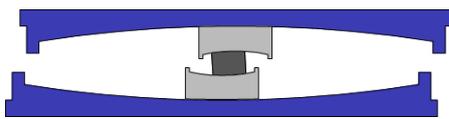
一方、ゴム免震構造では、鉛プラグ入り積層ゴム支承と直動転がり支承を組み合わせで使用しています。鉛プラグ入り積層ゴム支承は柔らかいゴムで固有周期を延ばす機能に、鉛プラグの塑性変形に伴うエネルギー吸収機能を付加したものです。直動転がり支承はボールベアリングを使用してレールの上を滑るようにした装置で、上部構造の重量は支えつつ、水平方向には抵抗しないような構造となっています。今回の実験ではこれら2つの免震装置を組み合わせますが、これは積層ゴム支承だけで免震構造にしようとする、上部構造が軽い場合には固有周期が伸びず、免震の効果が薄れてしまうためです。



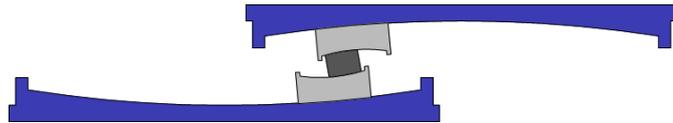
(a) 全景



(b) 静止状態の断面



(c) 中小地震

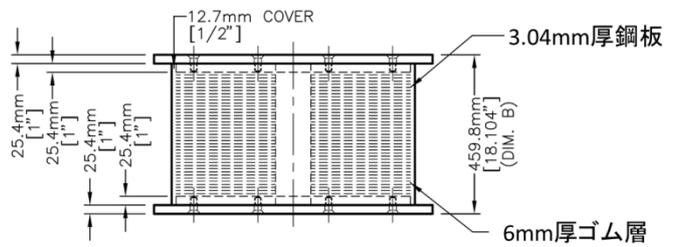


(d) 極めて稀に発生する地震

図3 3段摩擦振り子免震装置



(a) 全景



(b) 断面

図4 鉛プラグ入り積層ゴム支承



図5 直動転がり支承

### 2. 3 室内環境の再現

試験体内 4 階及び 5 階には、間仕切り壁、天井、配管を米国の仕様で施工しました (図 6)。

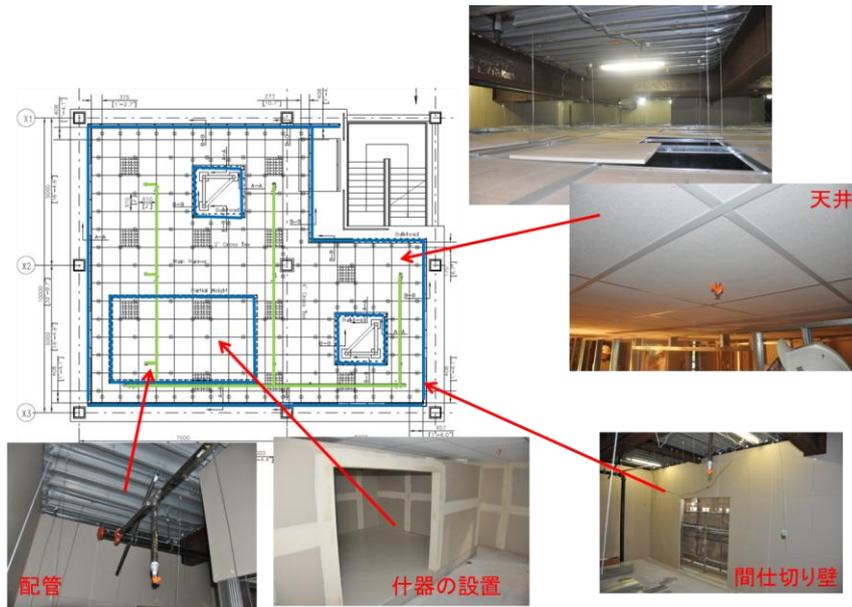


図 6 設備設置状況

また、4 階は病院の部屋を再現し、ベッド、スタンド、ライト等 (図 7) を、5 階はオフィスを再現し、机、いす、コピー機等をそれぞれ設置し (図 8)、地震動による挙動観察および被害調査を行っています。

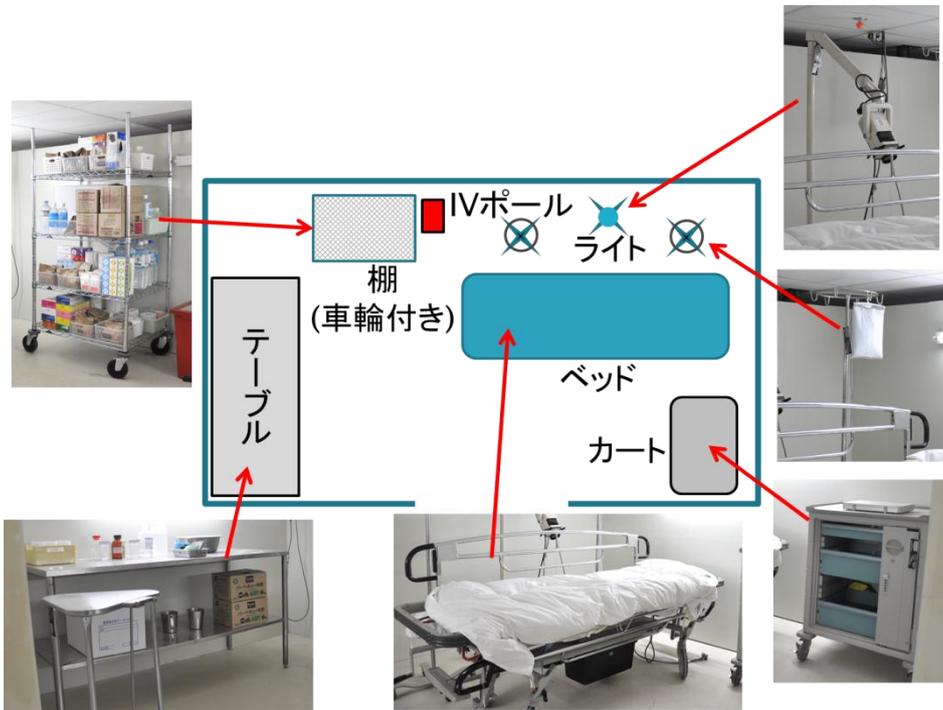


図 7 4 階の主な機器 (病院の部屋)

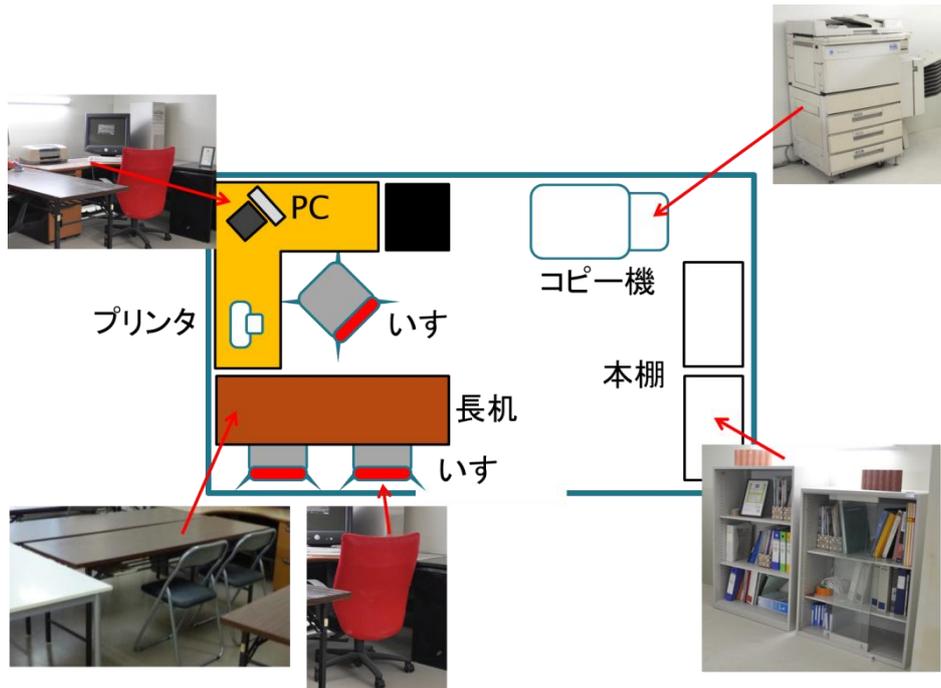


図8 5階の主な機器（オフィス）

## 2. 4 入力地震

入力地震動には、これまでの多数の実験で用いられてきた 1995 年兵庫県南部地震に加え、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震で、K-NET 岩沼(MYG015)で観測された地震動を E-ディフェンスで初めて用いました。この記録は防災科学技術研究所の強震ネットワークでデータベース化された記録の一つです。

また、日米共同研究と言うこともあり、1994 年ノースリッジ地震等の米国の強震記録等も入力しました。すべり免震構造に対しては 21 回、ゴム免震構造に対しては 15 回、耐震構造に対しては 5 回の加振実験を実施しています。

## 2. 5 東北地方太平洋沖地震での結果

岩沼記録で加振実験を行った結果、すべりおよびゴム免震構造ではキャスター付きのいすが移動する程度でしたが、耐震構造では、米国製システム天井のパネルが落下し、棚やコピー機が大きく移動して一部が破損する等の被害が生じました（図9）。屋上階の応答加速度は、入力加速度に対して、すべり免震構造では 54%に、ゴム免震構造では 63%に低減しましたが、耐震構造では加速度が 3.3 倍に増幅したことから、今回の実験で使用した二種類の免震構造は少なくとも同等の効果を発揮したことがわかりました。



(a) 天井



(b) オフィス

図9 岩沼記録による5階の被害（耐震構造の場合）

## 2. 6 鉛直地震動を入力した結果

1994年ノースリッジ地震においてリナルディ変電所で観測された記録の場合、すべり免震構造、ゴム免震構造、耐震構造のいずれの構造でも天井が落下する等大きな被害が発生しました（図10）。この記録は、鉛直成分が最大  $8.1\text{m/s}^2$  と水平成分とほぼ同等であることに特徴があり、この大きな鉛直加速度が室内環境に多大な損傷をもたらしたと考えられますが、今後さらに詳細な検討をすすめていきたいと考えています。



(a) すべり免震構造



(b) ゴム免震構造



(c) 耐震構造

図10 リナルディ記録による5階天井の被害

### 3. 研究体制

#### 【研究主体】

独立行政法人防災科学技術研究所 (<http://www.bosai.go.jp>)

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 (代表)

University of Nevada, Reno

Reno, Nevada 89557-0258, U.S.A.

#### 【研究参加機関】

京都大学, 北海道大学, University of California, Berkeley, University at Buffalo, University of Connecticut, San Francisco State University, San Jose State University, 東京工業大学

#### 【研究協力機関】

Earthquake Protection Systems, 株式会社竹中工務店, Ceilings and Interior Systems Construction Association