

# 世界各国の免震建築物の現状と設計法の国際比較

国際地震工学センター 上席研究員 齊藤 大樹

## I はじめに

我が国では1995年阪神・淡路大震災において神戸に建つ2棟の免震建築物が無被害だったことから免震構造への関心が高まり、急速に普及が進んだ。現在では、戸建て住宅を除く一般建築物で約2700棟、戸建て住宅は約4000棟が免震構造を採用している。2011年東日本大震災でも免震建築物を採用した建築物は無被害であり、高い性能が確認されていることから、今後さらに普及が進むものと考えられる。一方、世界的には免震構造の普及は日本ほど進んでいない。日本に次いで免震建築物の数が多いのが中国とロシアであり、イタリア、米国、フランス、台湾、ニュージーランド、アルメニアが続いている(図1)。この他、韓国やチリなど、少数ではあるが免震構造を採用している国がある。

日本免震構造協会・国際委員会(委員長:齊藤大樹)およびCIB-W114(地震工学と建築、コーディネーター:齊藤大樹)では、免震構造の国際的な普及に向けた取り組みを行っている。普及のためには免震構造の設計法や免震装置の認定などの国際的な調和が不可欠であることから、国際会議の開催やベンチマーク建物を用いた設計法の国際比較などの活動を行ってきた。以下に、各国の免震建築物の現状と設計法の国際比較の取り組みを示す。

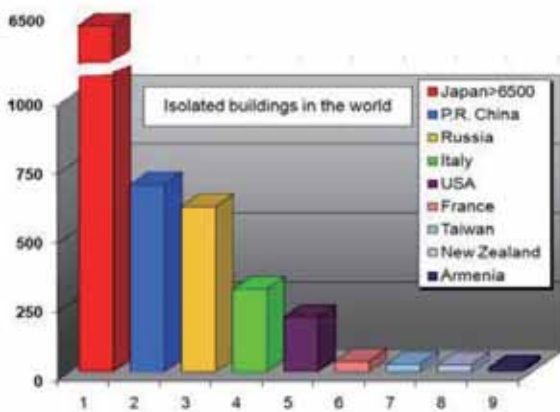


図1 各国の免震建築物の数 (Martelli, 2011)

## II 世界各国の免震建築物の現状

### ① 中国

今まで中国ではおよそ600棟を超える免震構造が建設され、1994年の台湾地震(M7.9)、1995年の雲南武定地震(M6.5)、2008年の汶川地震(M7.9)を経験し、安全と有効性が証明されている。免震層の位置としては、基礎免震が殆どであるが、一階の柱頭免震や中間層免震も採用されている。免震構造を適用した建物の用途は住宅建物、学校、オフィスビル、劇場、デパートなど多岐に渡るが、免震化による既存建物の補強事例はほとんどない。また、上部構造の固有周期が1秒を超える建物の免震設計は振動台実験を踏まえた審査が必要となることから高層建築物への適用事例もほとんどない。

### ② ロシア

ロシアでは、1970年代から免震構造の研究が進み、シベリア、極東、クリミア、コーカサス、中央アジアなど比較的地震活動が活発な地域において、550棟以上の建築物に免震構造が採用されている。その多くは積層ゴムを使わない独自の免震構造であり、代表的なものにKinematic Support Elements (KSE)と呼ばれるロッキング柱を用いた免震構造がある。バルカン湖に近いIrkutsk地域では82棟のアパートが、Kemerovo地域では25棟のアパートが、KSEを採用している。最近では、中国製の積層ゴムを用いた免震構造も多く建設されており、2014年に冬季オリンピックが開催されるソチのホテルなどに適用されている。

### ③ イタリア

イタリアでは、1981年に橋梁に初めて免震構造が採用されたものの、当初は建築審査が複雑で時間がかかるため普及が進まなかった。その後、2002年Molise地震(M5.9)で小学校が崩壊して児童26名が亡くなったことをきっかけに耐震基準が改訂され、免震構造の審査が簡略化された。また、2009年ラクイア地震(M6.3)では300人以上が犠牲になり、建築物にも多数被害が発生したことから、免震構造の採用が一気に進んだ。現在は300棟近くの免震建築物(新築および補強)が存在し、さらに増え続けている。最近の事例としては、ラ

クイア地震で家を失った住民のために建設された184戸のプレハブ住宅がCSS (Curved Surface Slider、曲面すべり支承) を用いた柱頭免震のコンクリートスラブの上に建設されている。この他、被災地のラクイアでは、HDRB (High Damping Rubber Bearing、高減衰ゴム支承) や LRB (Lead Rubber Bearing、鉛入り積層ゴム支承) を用いた新築や補強建物が数多く建設されている。

④ 米国

米国で最初の免震構造は、1985年に建設されたカリフォルニア州のLaw and Justiceセンターである。1994年には、世界で最初の免震構造による補強がサンフランシスコの裁判所建物になされた。免震構造の歴史は長いものの適用事例は少なく、マンションなどの住居建物にはほとんど適用されていない。その理由として、免震構造にしても上部建物には耐震構造と同等以上の性能が要求されることや、建築審査が複雑なことが挙げられる。免震層は1種類の装置だけで構成されることが多く、鉛入り積層ゴム、高減衰積層ゴムおよび曲面滑り支承 (Friction Pendulum) が主に使われている。

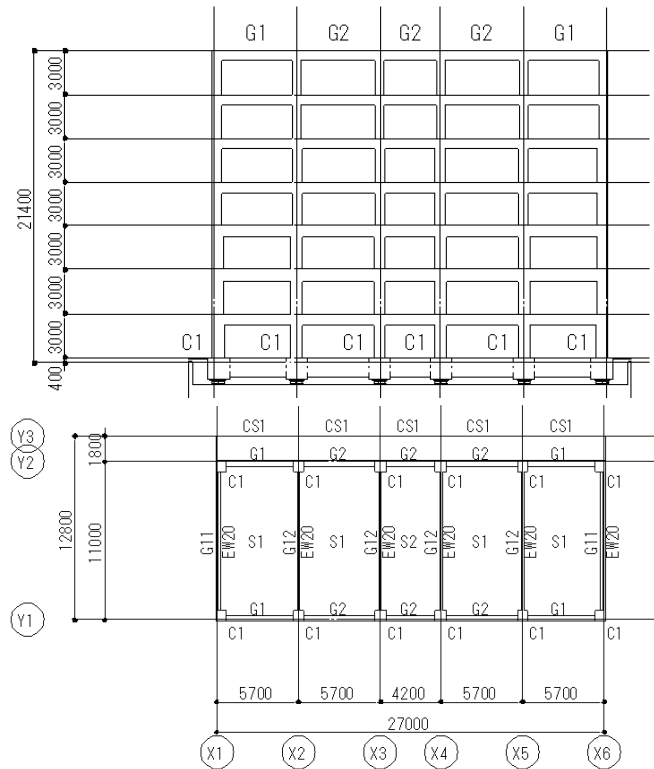


図2 ベンチマーク建物

III 免震設計基準の国際比較

図2に示す7階建て鉄筋コンクリート造建物を、ベンチマーク建物として共通の上部構造とし、免震層の設計を各国の研究者に依頼した。回答は、日本以外に、中国、台湾、米国から寄せられた。中国は時刻歴応答解析法、それ以外の国は応答スペクトルに基づく等価線形化法を用いている。建物の敷地条件を表1に、設計用の地震加速度応答スペクトル (減衰定数5%) を図3に示す。米国の地震力が最も大きい。

解析結果を整理したものを表2に示す。米国はTFP (曲面すべり支承) を用いているが、それ以外はLRB (鉛入り積層ゴム支承) である。国によって免震層変位や上部建物のベースシアが異なる結果となっている。日本と台湾は設計法が極めて似ており、結果の差は地震力の差に対応している。中国は7種類の地震波を用いた応答解析結果の平均値である。

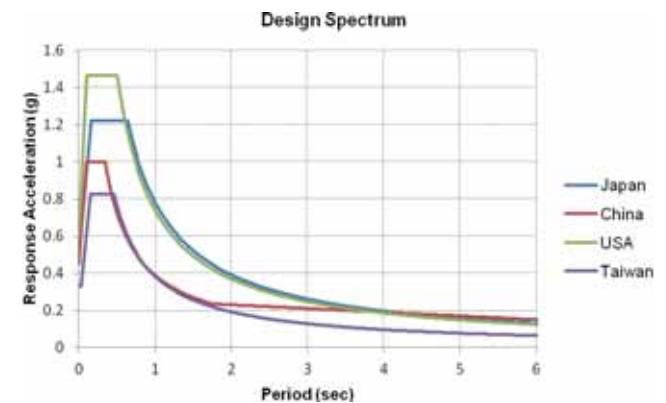


図3 設計用地震応答スペクトル (減衰定数5%)

表1 敷地条件

	日本	中国	台湾	米国
都市名	東京	北京	嘉義	ロサンゼルス
地震地域係数	Z=1.0	列度8 (0.20g)	再現期間 2500年	再現期間 2475年
地盤	第1種	II (良質)	II (良質)	岩盤

表2 解析結果

	日本	中国	台湾	米国
設計法	ELM	THA	ELM	ELM
免震装置	LRB	LRB	LRB	TFP
上部建物 C <sub>B</sub>	0.18	0.1	0.12	0.109
免震層変位	55 cm	25.5 cm	36.5 cm	71 cm

(ELM:等価線形化法、THA:時刻歴応答解析、LRB:鉛入り積層ゴム、TFP:曲面すべり支承、C<sub>B</sub>:ベースシア係数)

参考文献

- 1) A. Martelli et.al, "Recent Development and Application of Seismic Isolation and Energy Dissipation Systems", 12th WCSI, 2011.9
- 2) CIB-W114 ホームページ: www.cibw114.net