



平成29年7月20日

都市大原子力シンポジウム「日本の高速炉開発のゆくえ」

高速炉と免震技術

東京都市大学 大学院 共同原子力専攻
工学部 原子力安全工学科
大鳥 靖樹



ガラスコップに熱湯を注ぐと？

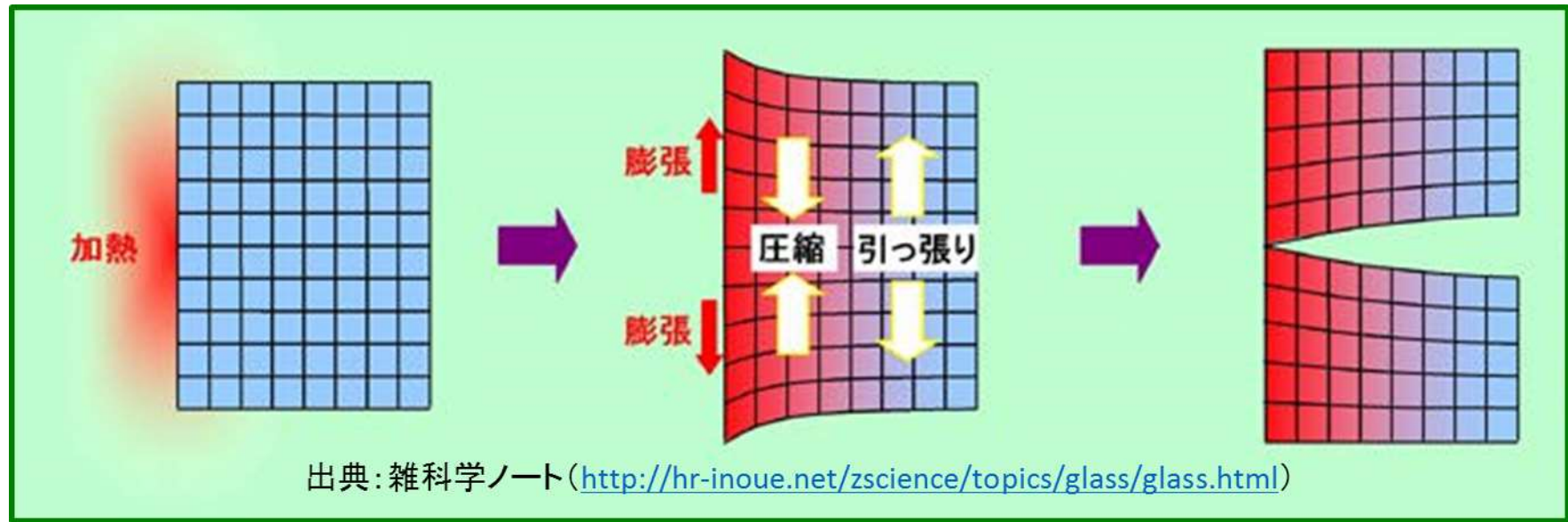


割れる？

割れない？

<http://www.rayes-glass.com/SHOP/RDS-002.html>

コップが熱湯で壊れるメカニズム



薄手のガラスは、熱の伝わりが早いため、厚手に比べて割れにくい。

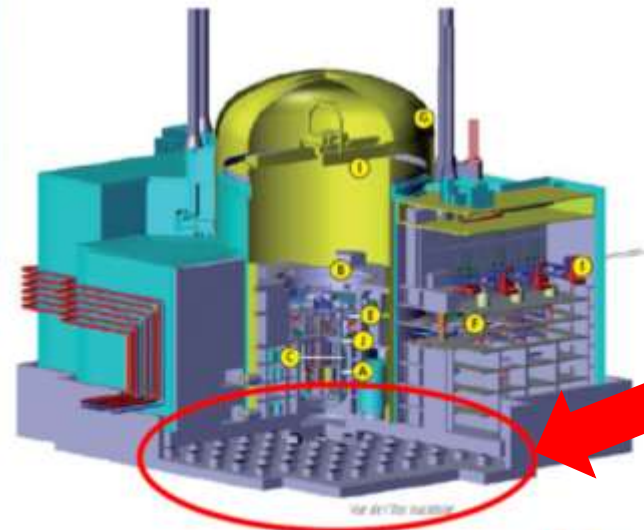
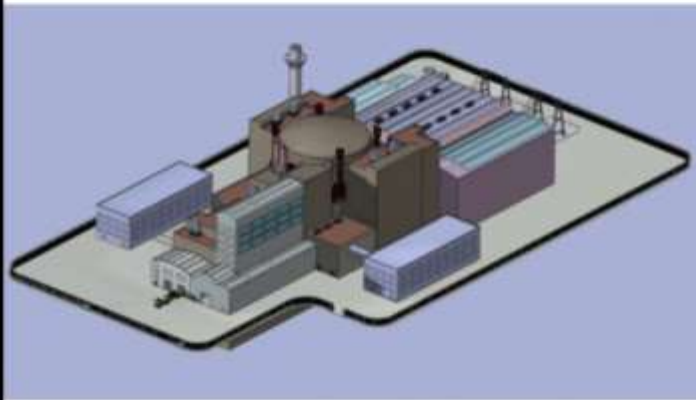
熱応力的には、薄肉構造がよいが、地震等の外力に対しては厚肉の方がよい。

本日の話題

- (1) なぜ高速炉に免震技術が必要か？
- (2) 免震技術の現状
- (3) 今後の課題

ASTRIDの概念図

GEN 4 opportunities:
ASTRID - Advanced Sodium Technological
Reactor for Industrial Demonstration
Under conceptual design (CEA Marcoule, France)



免震



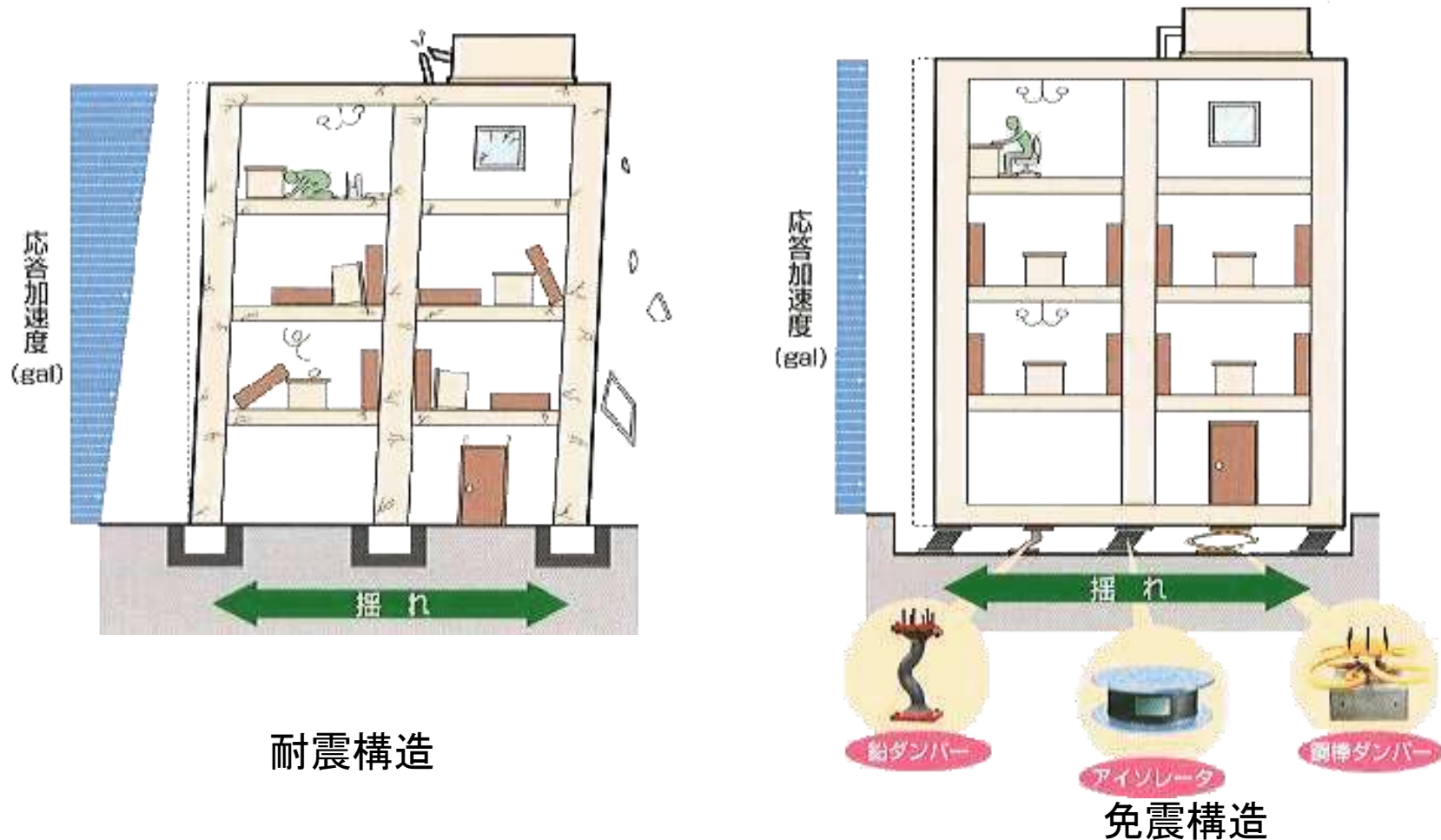
Adapting standards to the site – Example of Seismic Base Isolation
Open for the Future – Paris – 13-16 October 2014



出典 : http://www.sfen.org/sites/default/files/public/atoms/files/2014-emmanuel_viallet_edf_adapting_standards_to_site.pdf

免震構造の概要

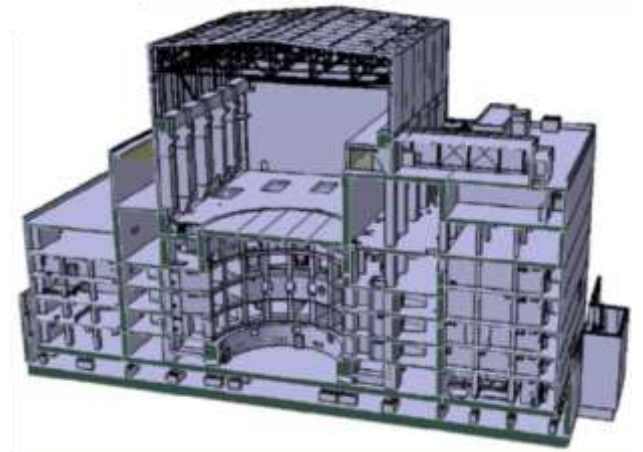
免震構造は、建物と地盤の間に免震装置を設置して、“柳に風”のように地震の揺れを低減する。



原子力発電所への免震の導入状況



Koeberg NPP built in 1976, South Africa



核融合炉 (ITER)

Pierre Sollogoub (2016)



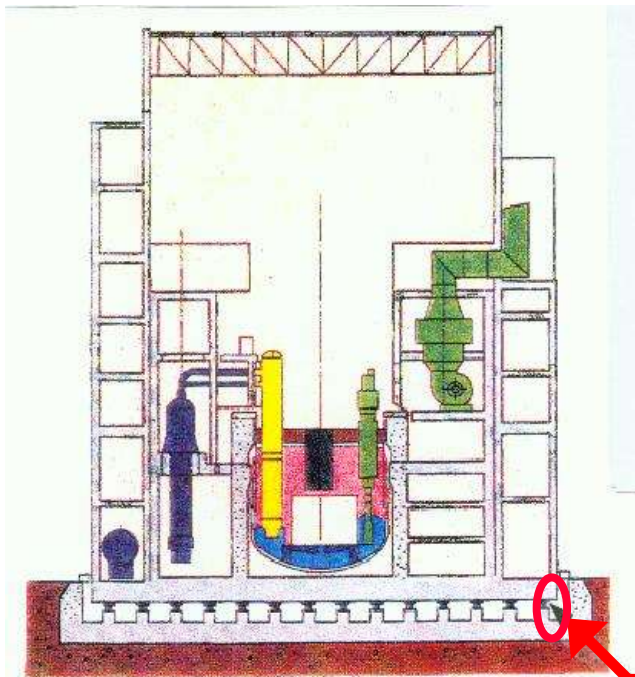
Cruas NPP built in 1978, France

Jenna Wong (2012)

日本では・・・

原子力発電所の緊急時対策所には採用されたものの...

FBR(高速増殖炉)免震



次世代軽水炉免震

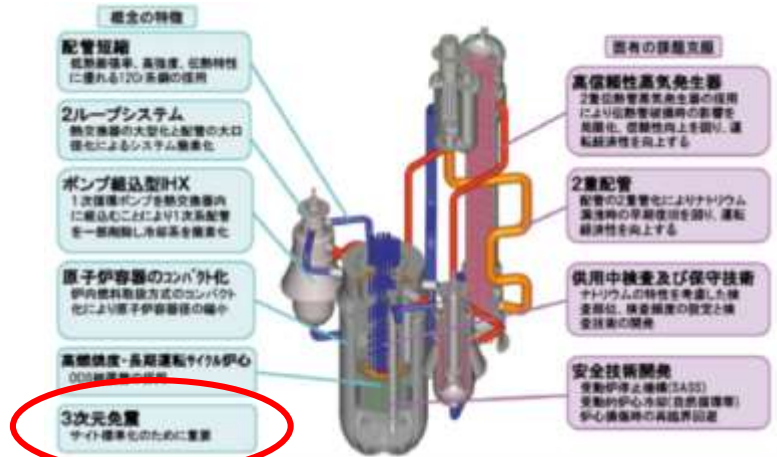


出典: <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2010/siryo43/siryo3-4.pdf>

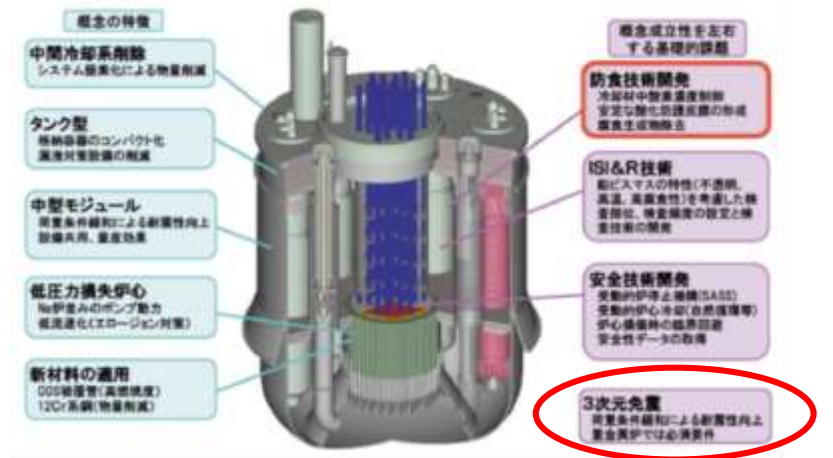


高速炉に関しては？

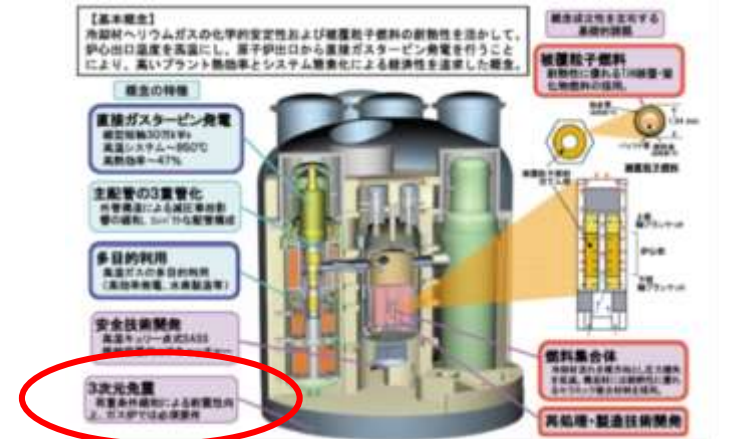
図の出典：大野・他、高速増殖炉サイクルの実用化戦略の調査研究の概要、サイクル機構技報 No.24, 2004



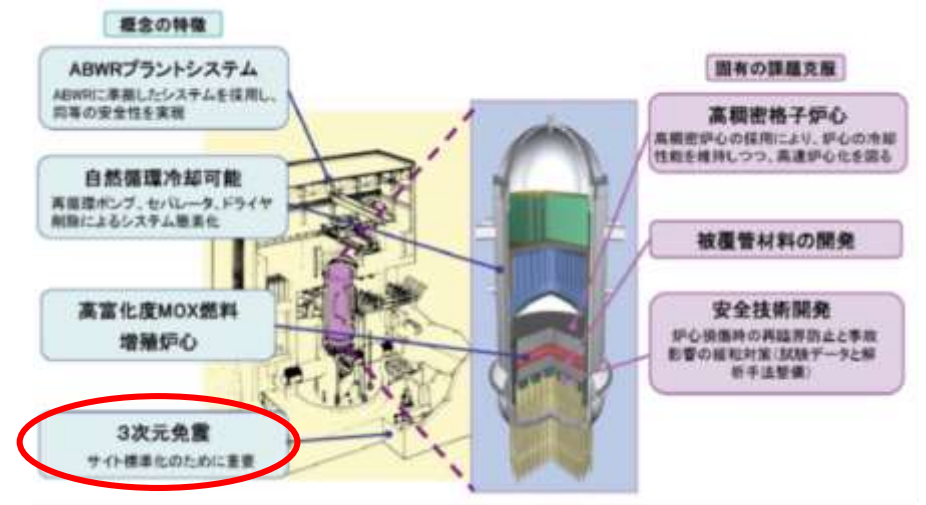
ナトリウム冷却高速炉



鉛ビスマス冷却高速炉



被覆粒子燃料ヘリウムガス冷却炉



BWR型高速炉

高速炉と免震(1)

	出口温度 [°C]*1	炉心直径[m] *1,*3,*4	冷却材の 密度[kg/m ³]*2	3次元免震*1
ナトリウム 冷却高速炉	550	大型炉:4.9m もんじゅ:1.8m 常陽:0.8m	826	サイト標準化のため重要
鉛ビスマス 冷却高速炉	445	約4.5m	10,087	荷重条件緩和による耐 震性向上、重金属炉で は必須条件
被覆粒子燃料 ヘリウムガス 冷却高速炉	850	5.0~5.9m	—	荷重条件緩和による耐 震性向上、ガス炉では 必須条件
BWR型 冷却水炉	287	8.9m	1,000	サイト標準化のため重要

*1: 大野・他、高速増殖炉サイクルの実用化戦略の調査研究の概要、サイクル機構技報 No.24, 2004

*2: 林・他、高速炉型式の変遷と現状、日本原子力学会誌 Vol.49, No.8, 2007

*3: 水野・他、各種冷却材を用いた高速増殖炉の炉心・燃料形態に関する設計評価 —ナトリウム冷却炉、
重金属冷却炉、ガス冷却炉、水冷却炉、小型炉—、サイクル機構技報 No.24, 2004

*4: <https://www.jaea.go.jp/jnc/kaihatu/fbr/shousai.pdf>

高速炉と免震(2)

炉型式

慣性力
 $F=ma$

<

炉容器の
耐力

冷却材の質量
(=体積×密度)

地震動強度

免震構造の導入

↑ 応答低減

炉容器の直径

炉容器の板厚

高温⇒薄肉

↑
出口温度

高速炉と免震(3)

	出口温度 [°C]*1	炉心直径[m] *1,*3,*4	冷却材の 密度[kg/m ³]*2	3次元免震*1
ナトリウム 冷却高速炉	550	大型炉:4.9m もんじゅ:1.8m 常陽:0.8m	826	サイト標準化のため重要
鉛ビスマス 冷却高速炉	445	約4.5m	10,087	荷重条件緩和による耐震性向上、重金属炉では必須条件
被覆粒子燃料 ヘリウムガス 冷却高速炉	850	5.0~5.9m	—	荷重条件緩和による耐震性向上、ガス炉では必須条件
BWR型 冷却水炉	287	8.9m	1,000	サイト標準化のため重要

*1: 大野・他、高速増殖炉サイクルの実用化戦略の調査研究の概要、サイクル機構技報 No.24, 2004

*2: 林・他、高速炉型式の変遷と現状、日本原子力学会誌 Vol.49, No.8, 2007

*3: 水野・他、各種冷却材を用いた高速増殖炉の炉心・燃料形態に関する設計評価 —ナトリウム冷却炉、重金属冷却炉、ガス冷却炉、水冷却炉、小型炉—、サイクル機構技報 No.24, 2004

*4: <https://www.jaea.go.jp/jnc/kaihatu/fbr/shousai.pdf>

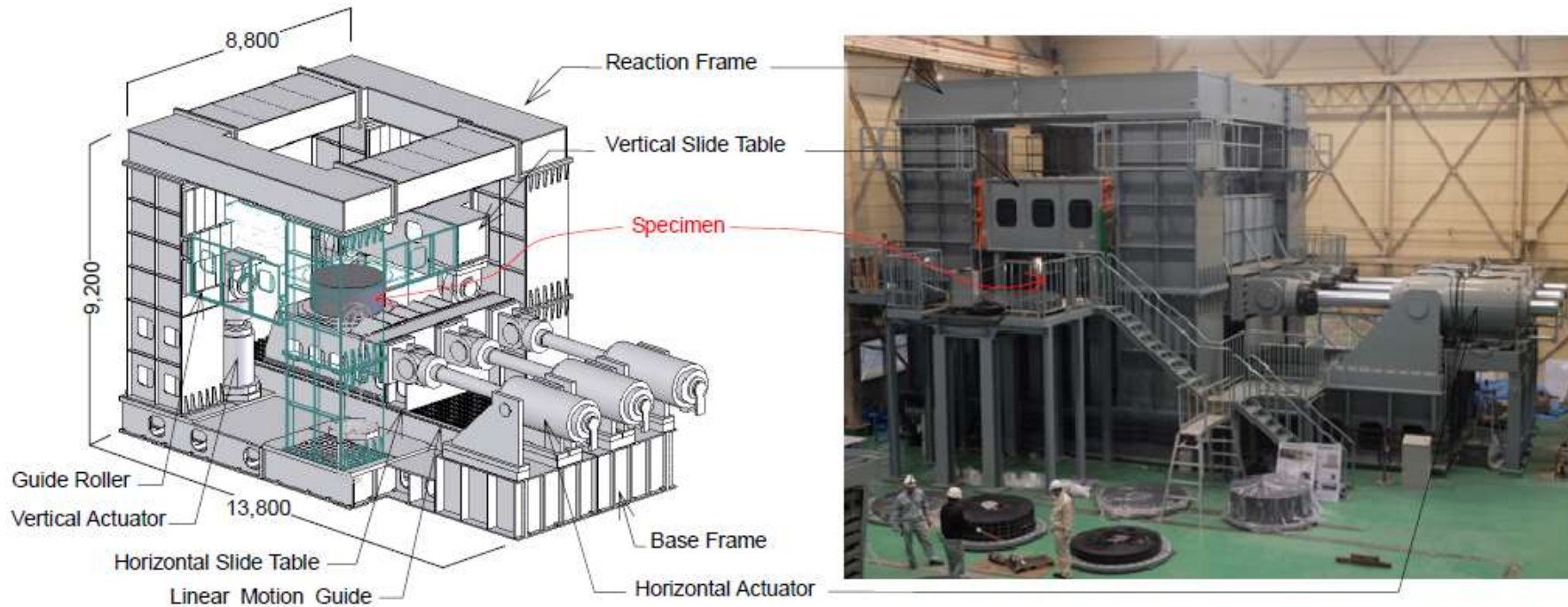
免震技術の現状

(1) 免震要素実験

(2) 振動台実験

(3) 地震観測

実大免震要素実験(1)



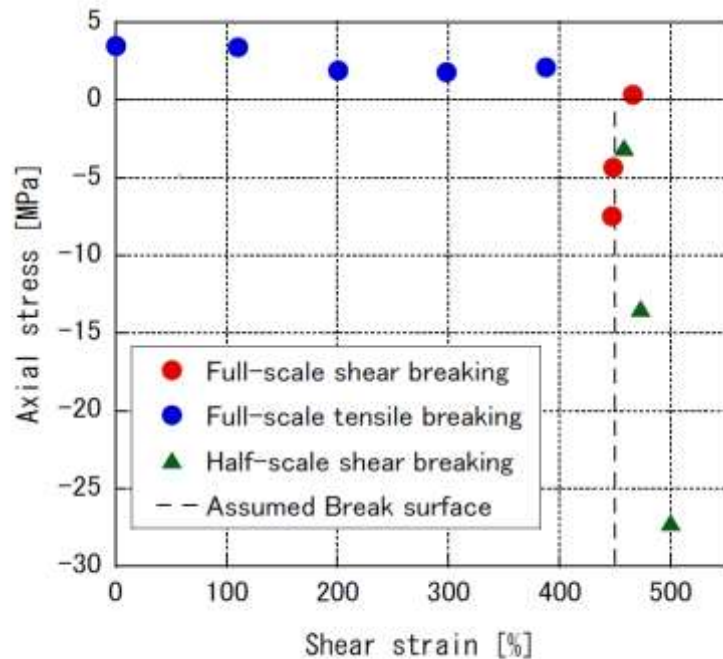
(Ref.) S.Kosugi et al.: DEVELOPMENT OF AN EVALUATION METHOD FOR SEISMIC ISOLATION SYSTEMS OF NUCLEAR POWER FACILITIES (PART 7), BREAKING TEST PLAN AND DEVELOPMENT OF TEST MACHINE FOR FULL-SCALE LEAD RUBBER BEARINGS, Proceedings of the ASME 2014 Pressure Vessels and Piping Conference PVP2014 July 20-24, 2014, Anaheim, California, USA.

実大免震要素実験(2)

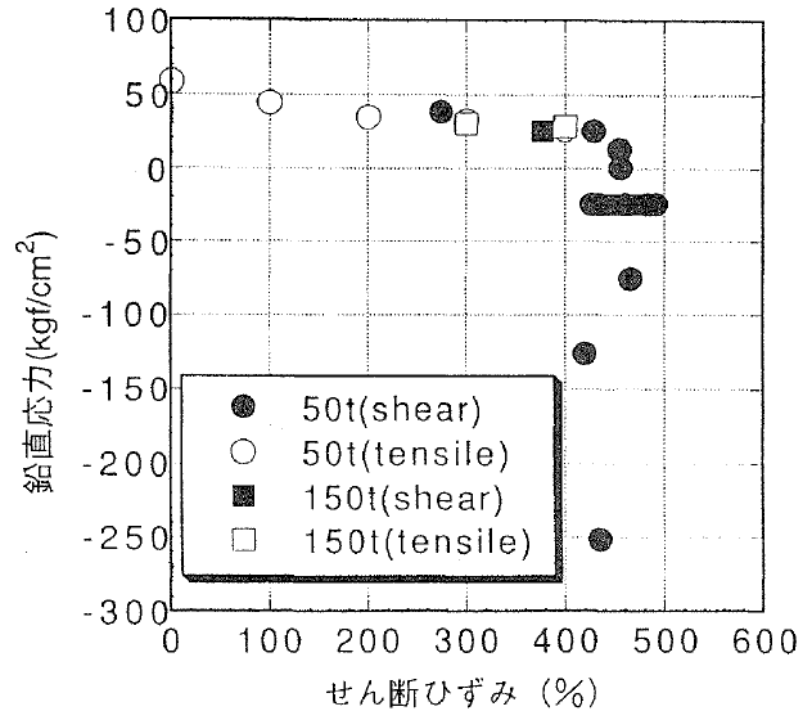
鉛入り積層ゴムの破断実験結果

実大要素: 直径1.6m

50t要素: 直径0.506m



出典: Hiraki et al., ASME PVP (2014)

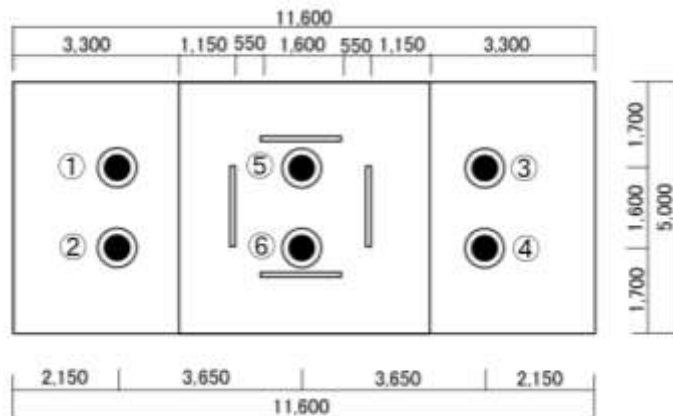
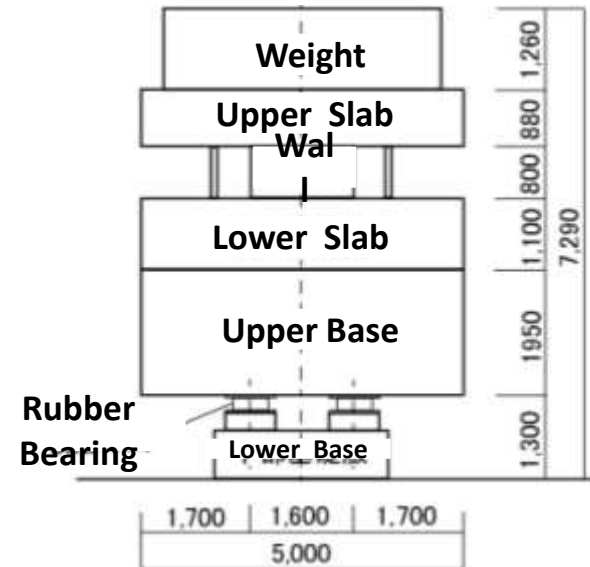
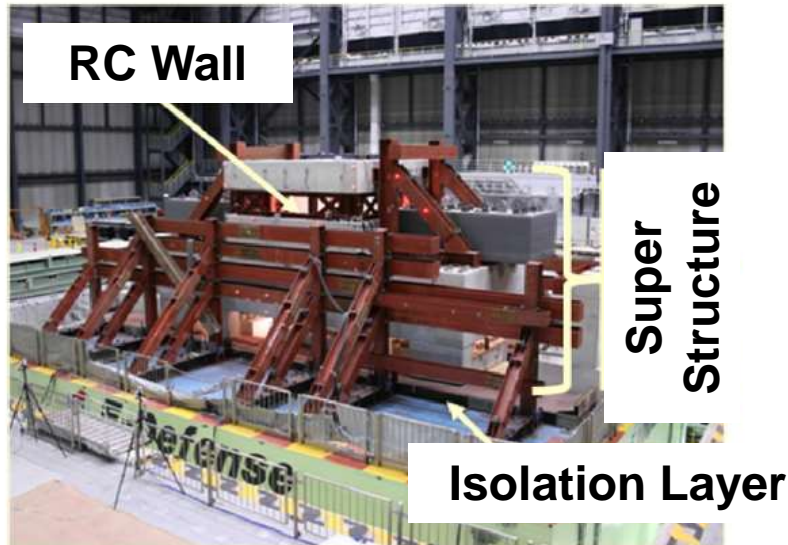


ゴム種: LR-40
形状: 876-4.9-25
98-3.1-8.0
39.4-7.1

ゴム種: LR-40
形状: 506-2.8-25
57-1.6-8.0
39.4-7.1

出典: 電中研報告U34(1997)

振動台実験(1)



Two Type of Model:

- High Rise
- Low Rise

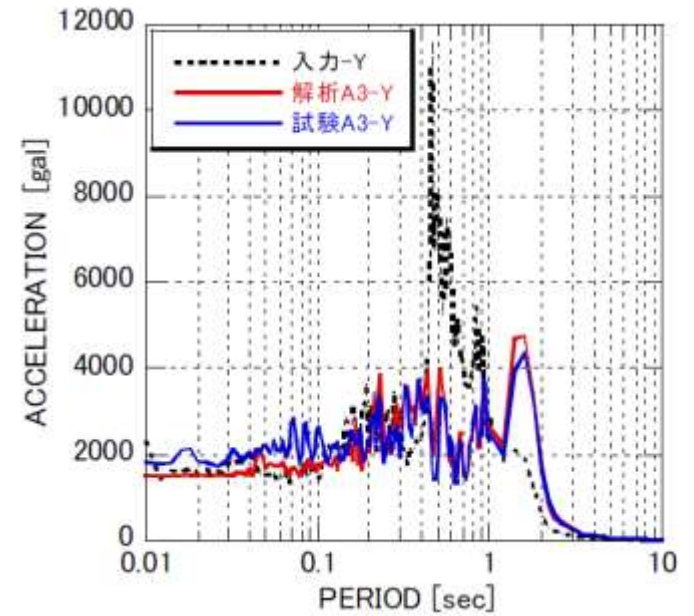
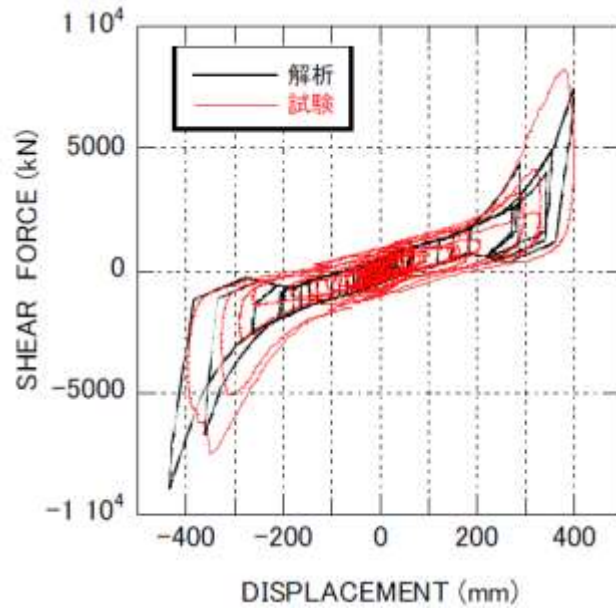
Isolation bearing:

- 6 Lead Rubber Bearing

Ref. Yabana et al., 2011, Report No. N13, CRIEPI

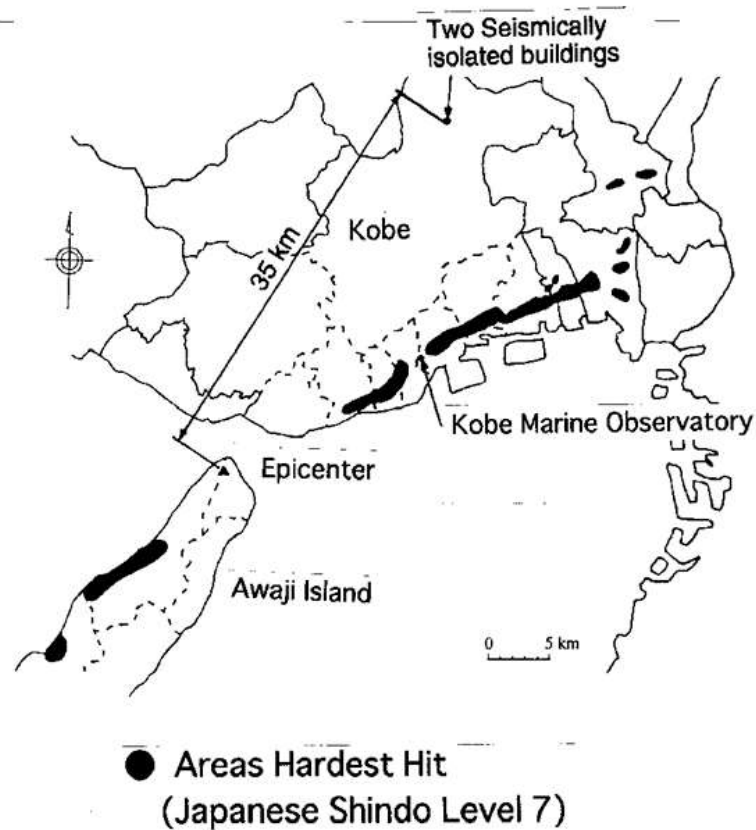
振動台実験(2)

暫定設計地震動の
4倍入力



Ref. Yabana et al., 2011, Report No. N13, CRIEPI

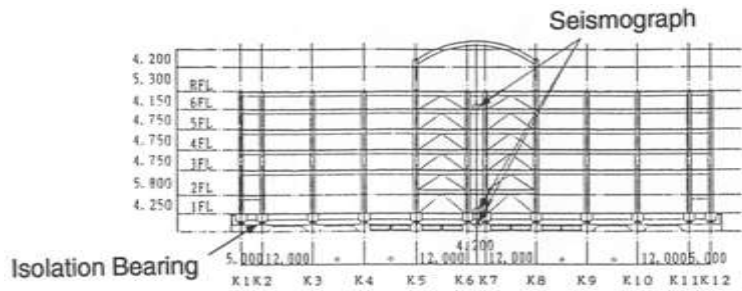
地震観測データ



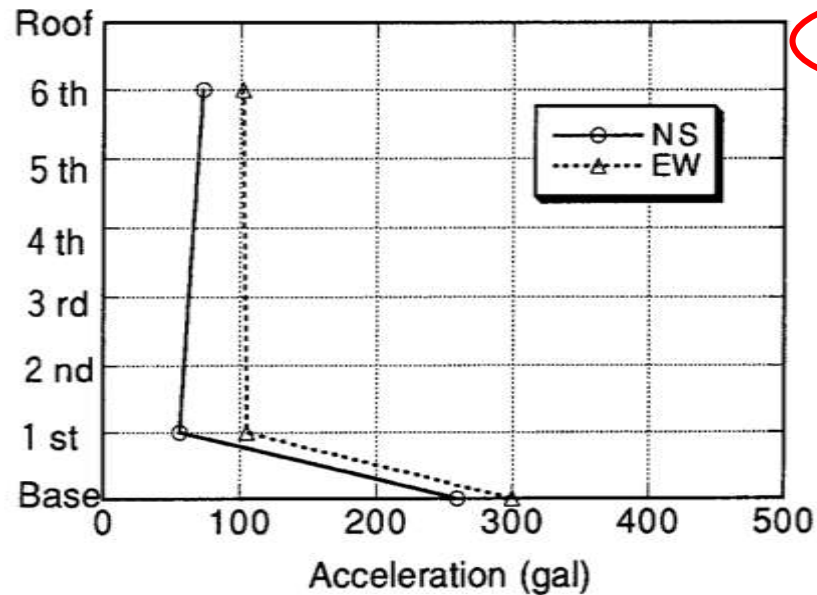
WESTビル



地震観測データ(2)

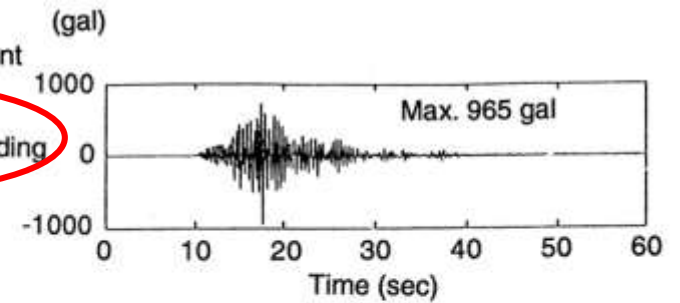


Cross-Section of the Building

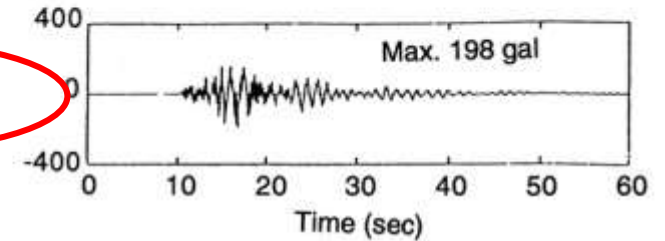


Response Acceleration

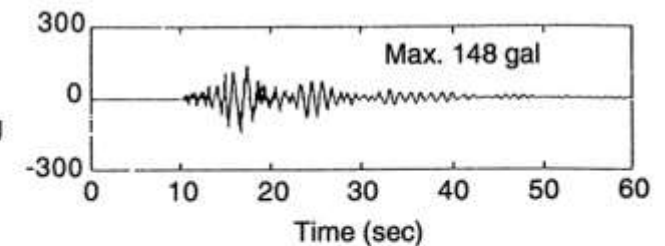
At the Roof of the Conventional Building



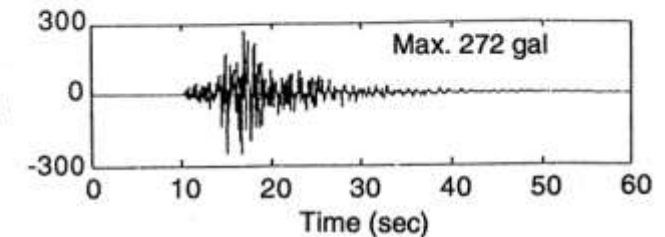
At the Roof of the Isolated Building



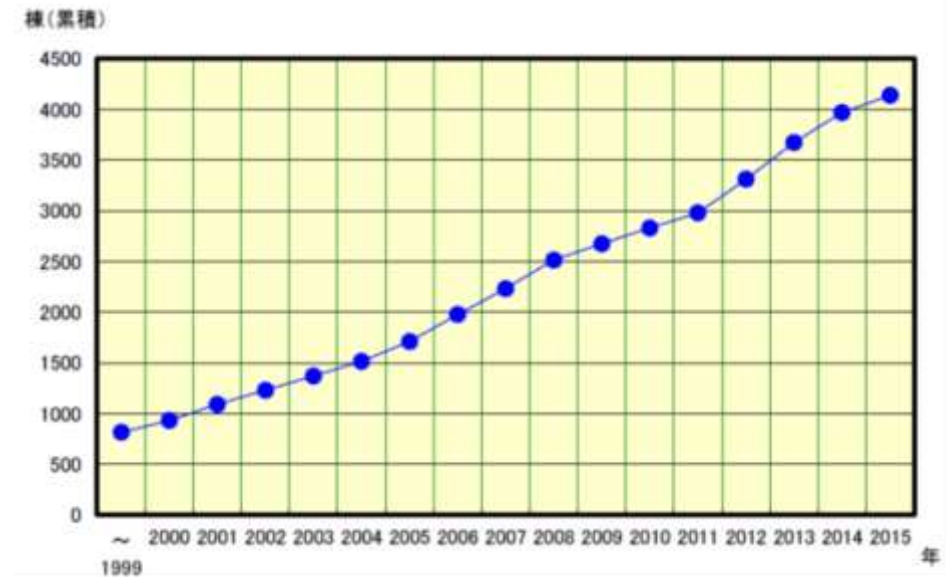
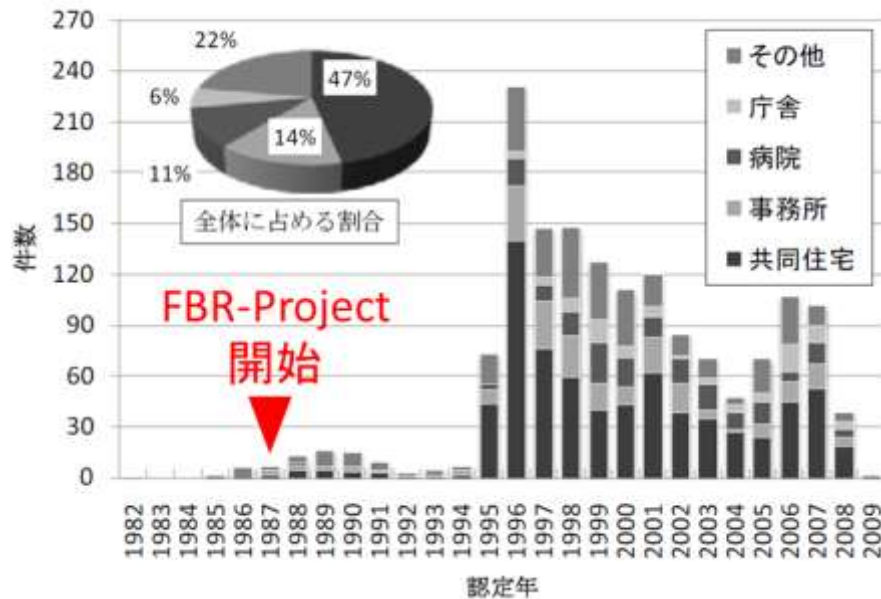
At the 1st Floor of the Isolated Building



At the Base of the Isolated Building (Ground Motion)



免震構造物の実績

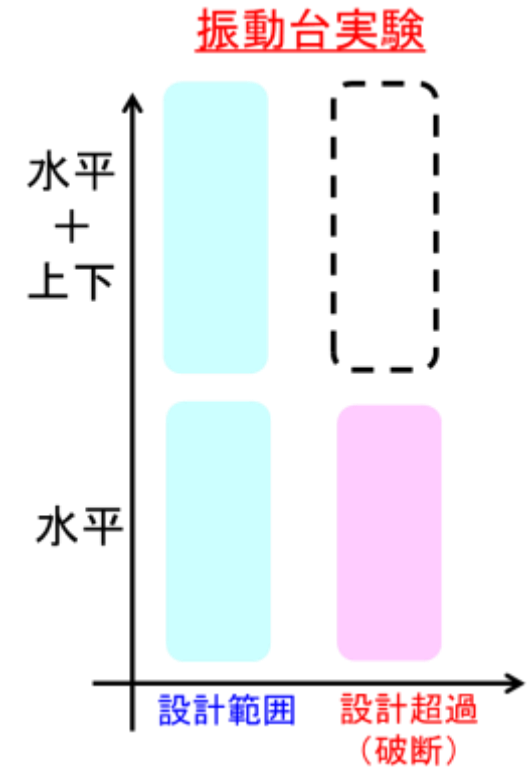
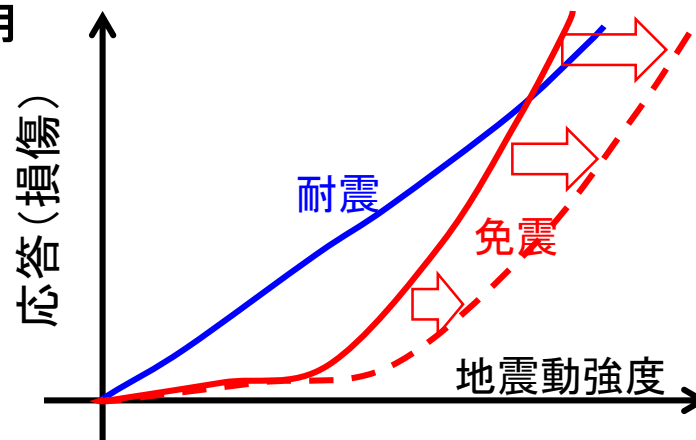


出典: 田中・福和・他: 性能評定・評価資料のデータベース化に基づく国内免震建物の現状について、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、pp.303-304、2010年9月

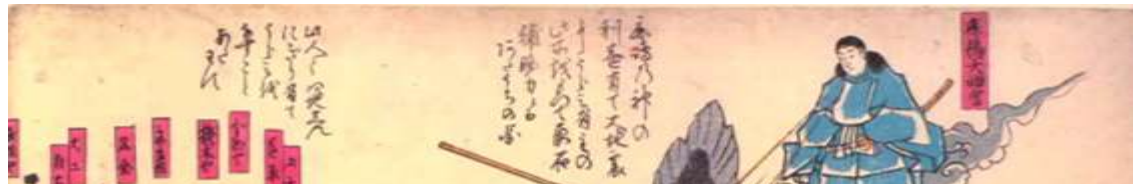
出典: 免震制震データ集積結果、日本免震構造協会
http://www.jssi.or.jp/menshin/doc/ms_ss_data.pdf

免震に関する今後の課題

- 長周期地震動
- 上下動に対する応答増幅
⇒ 振動台による上下方向の
応答(設計範囲・設計超過)の把握
- 設計を超える地震動に対して脆弱
⇒ ダメージ・コントロールの概念を導入
する必要が有



制するから共生へ！



ご清聴
ありがとうございます。



出典：<http://www.volcaneshistoricos.com/la-leyenda-de-namazu/>