世界最速スパコン「京」を支える最先端建築テクノロジー

2011. 10. 21

株式会社　日建設計
設計部門副代表　五十君　興
構造主管　　朝川　剛

サイエンティフィック・システム研究会 2011/10/21

スーパーコンピュータの建築として
どんな物を連想しますか？

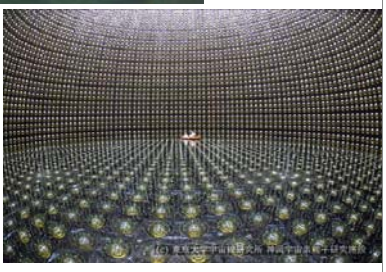
科学技術を支える多くの施設が機能本位、
機能重視で作り上げられてきた

地球シミュレーター

J―PARC

バルセロナの教会

カミオカンデ



主役は　コンピュータ

建築は脇役

↓

そして、いままで建築が主張するスパコン施設は無かった

↓

建築にできること

建築に期待されることは大きい

スーパーコンピュータ
＋
メッセージ性のある建築

スーパーコンピュータ
＋
環境建築

スーパーコンピュータ
＋
シェルターとしての建築

サイエンティフィック・システム研究会 2011/10/21

スーパーコンピュータ
＋
メッセージ性のある建築 → 見せる･魅せる スパコン

スーパーコンピュータ
＋
環境建築 → エコ･スパコン

スーパーコンピュータ
＋
シェルターとしての建築 → 信頼できる 構造計画

見せる・魅せる スパコン

未来を拓くシミュレーション科学
世界最速スパコンを表現する建築でありたい

建築そのものを頭脳や
生命体のアナロジーとして表現

西側外観

皮膚呼吸する外壁

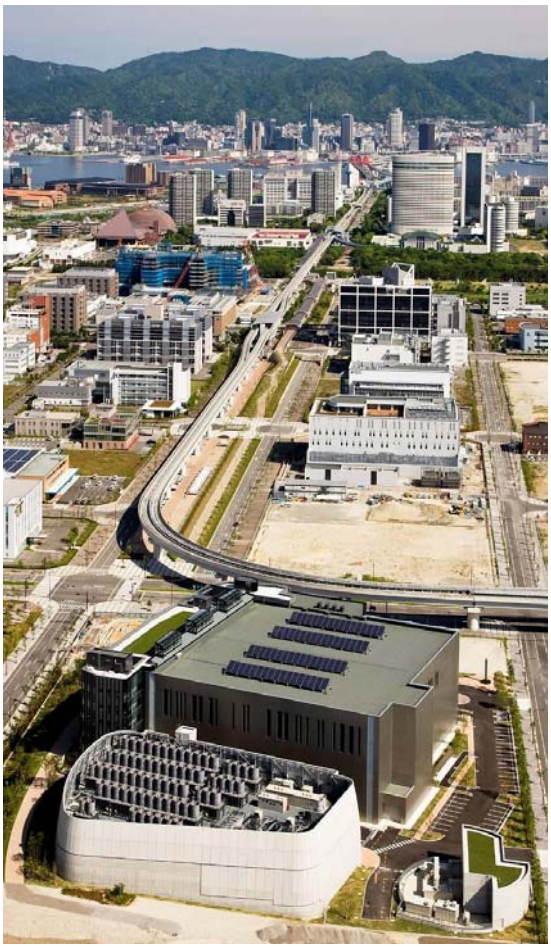
計算機棟外壁

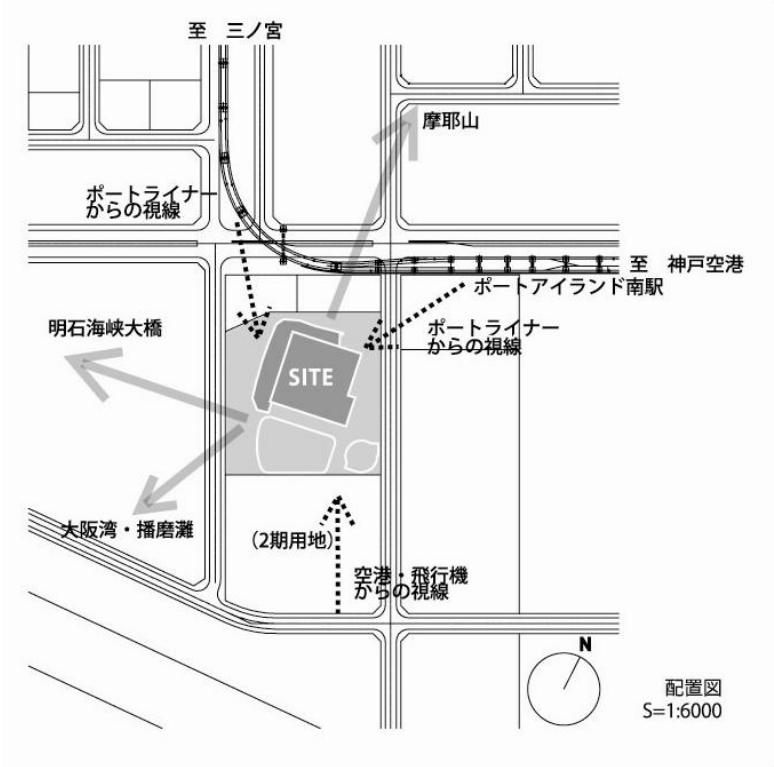
見せる･魅せる スパコン

神戸という都市の中でどうあるべきか
世界に、都市に、開いた建築でありたい

都市軸をあえてずらす
自然な動線計画
調和と破調の緊張感

配置計画　都市とのつながりの中で考える





配置計画
自然な動線計画

見せる・魅せる
スパコン

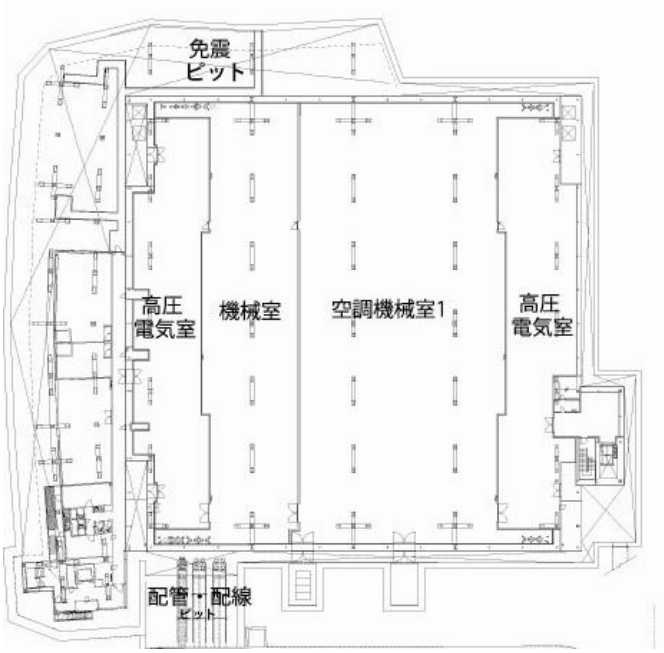
- 計算機棟→京速コンピュータ「京」運用
- 研究棟→「京」を核とした研究拠点

- 計算機棟＋研究棟→COE　center of excellence

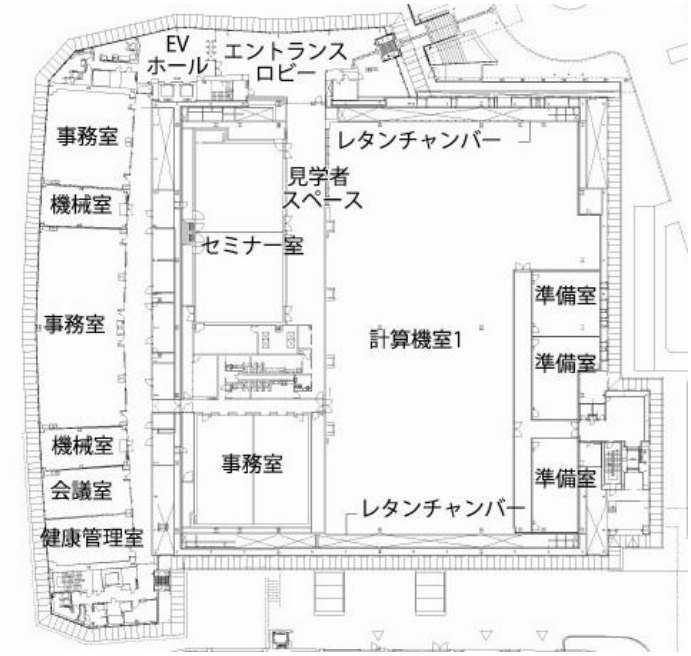
計算機棟と研究棟の合体
アトリウムを介して刺激し合う関係

コミュニケーションアトリウム

平面計画

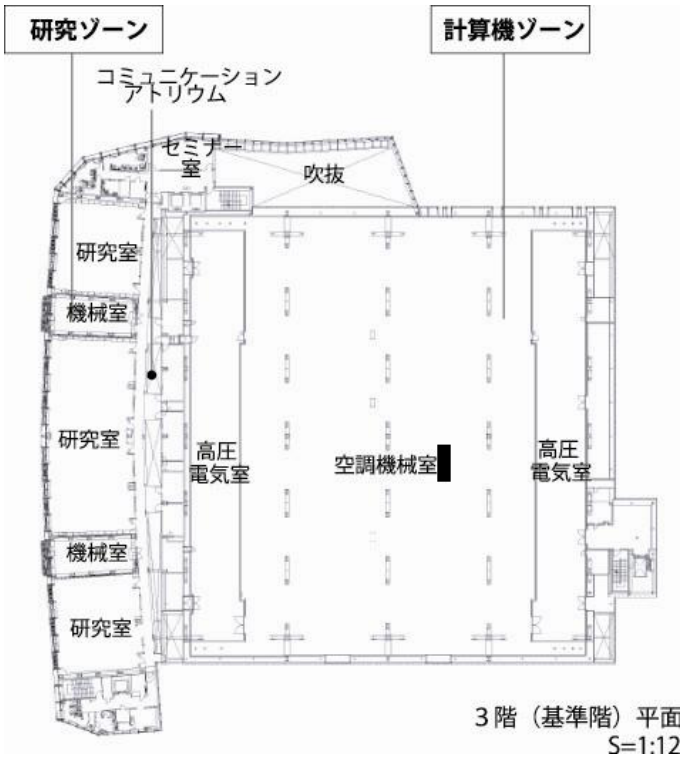


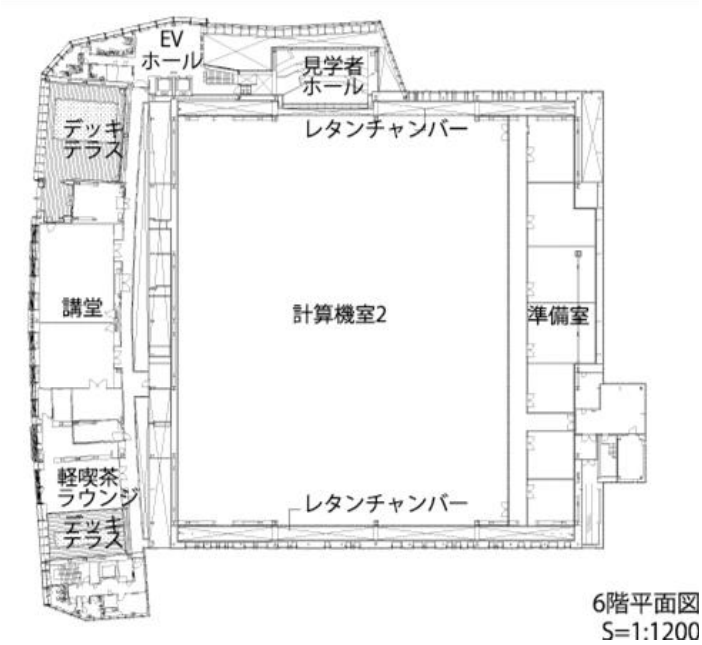
B1階
（空調機械室1）



1階
（計算機室1）

平面計画





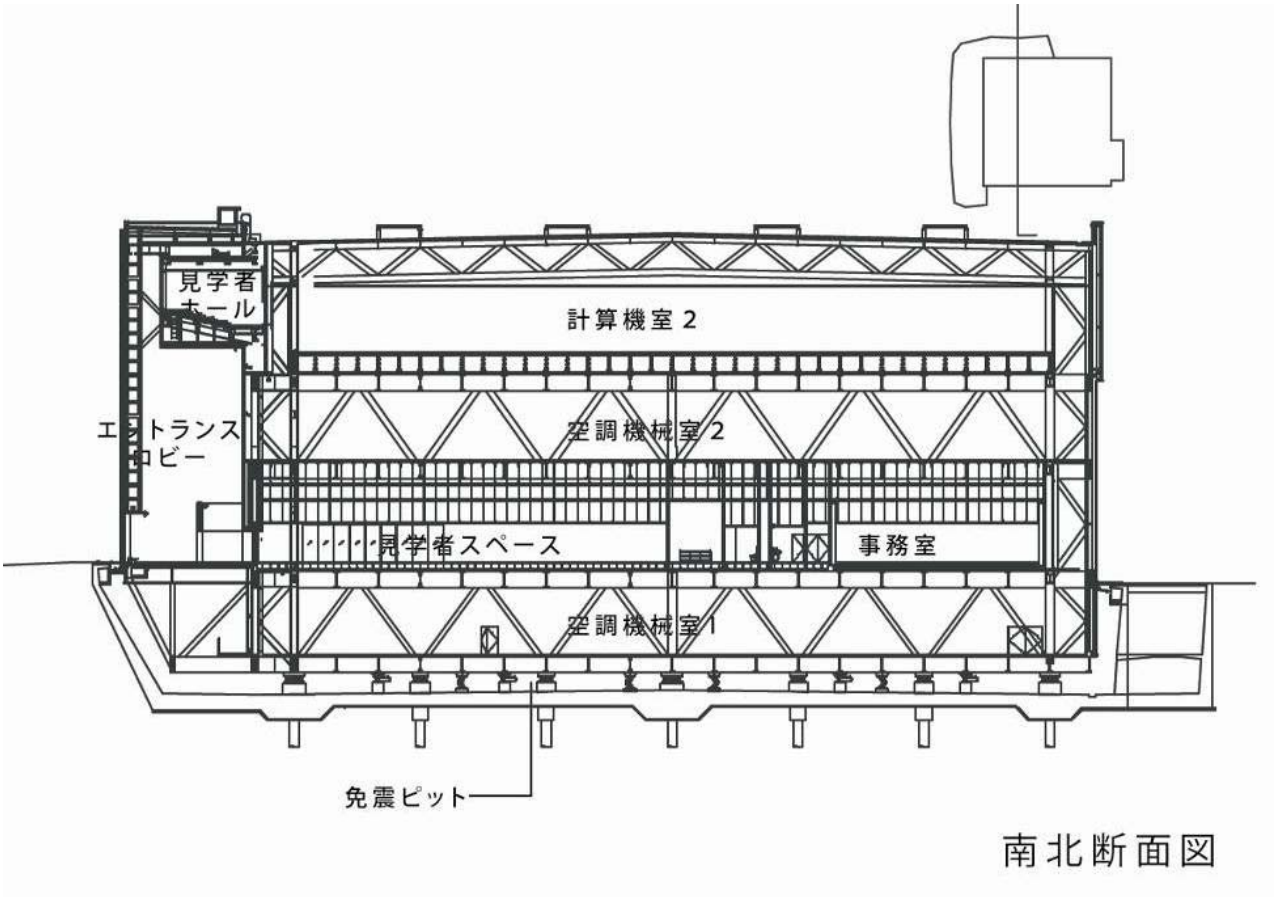
3階
（空調機械室2)

6階
（計算機室2）

計算機室2

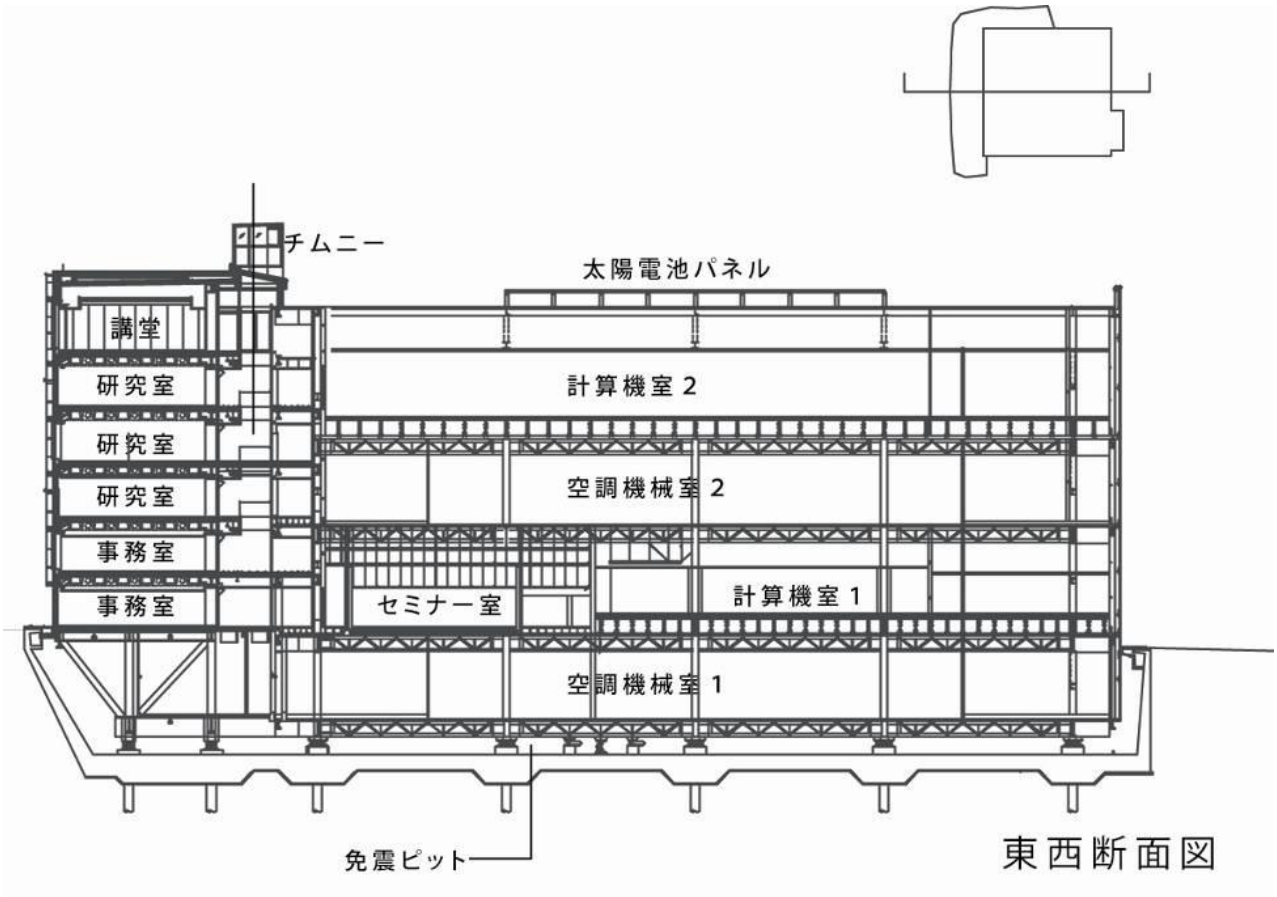
見学者ホール

断面計画



南北断面図

断面計画


チムニー
太陽電池パネル
講堂
研究室
研究室
研究室
事務室
事務室
計算機室２
空調機械室２
セミナー室
計算機室１
空調機械室１
免震ピット
東西断面図

計算機室1

計算機室1

エコ・スパコン

スパコンの稼動電力

消費エネルギーを減らし、かつ排熱をうまく使う

システムを収容する建築全体の省エネルギー性

PUE　Power Usage Effectiveness

$$PUE = \frac{\text{マシンと空調･冷却機器、照明などを含めた計算機室全体の電力}}{\text{マシンのみの電力}}$$

PUE目標　1.3～1.5
地球シミュレーターに比べ
計算速度は240倍
消費電力は3.6倍

■エコ･スパコン　環境配慮の概要

■高断熱化 Low－Eガラス採用

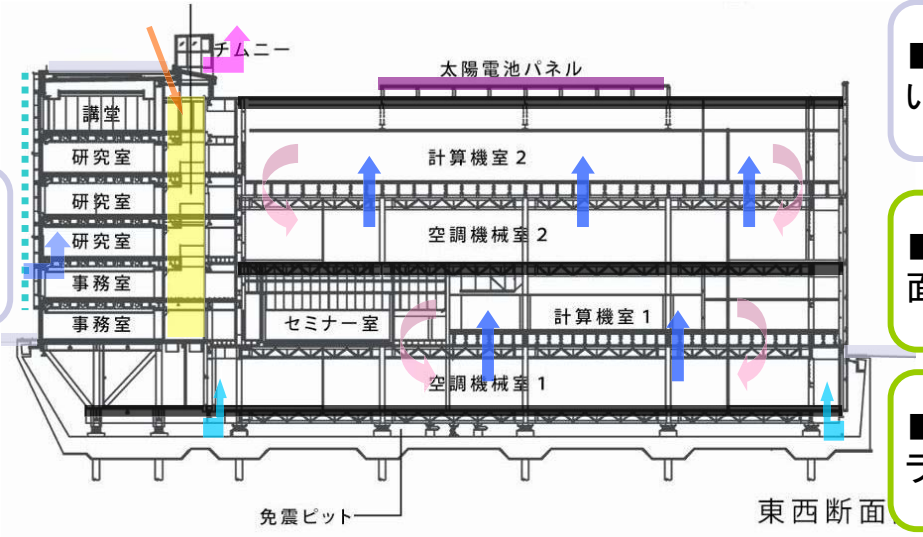
■CPU直下空調機械室配置

■CPU冷却に水冷･空冷併用

■最小限換気で冷気を捨てない計算機室

■高効率空調システム採用

■雨水利用



■メリハリの効いた照明計画

■屋上緑化･壁面緑化採用

■周囲の緑化ランドスケープ

■アトリウムを介した昼光利用

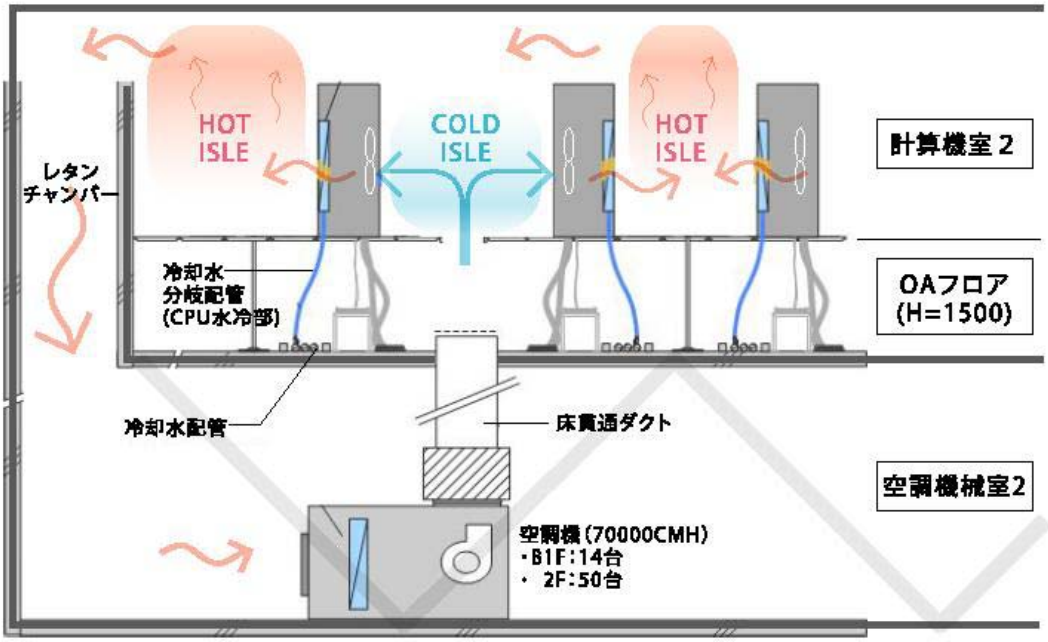
■研究棟の外壁ダブルスキン

■チムニーを介した自然換気

■免震層を活用した新鮮空気取入れ

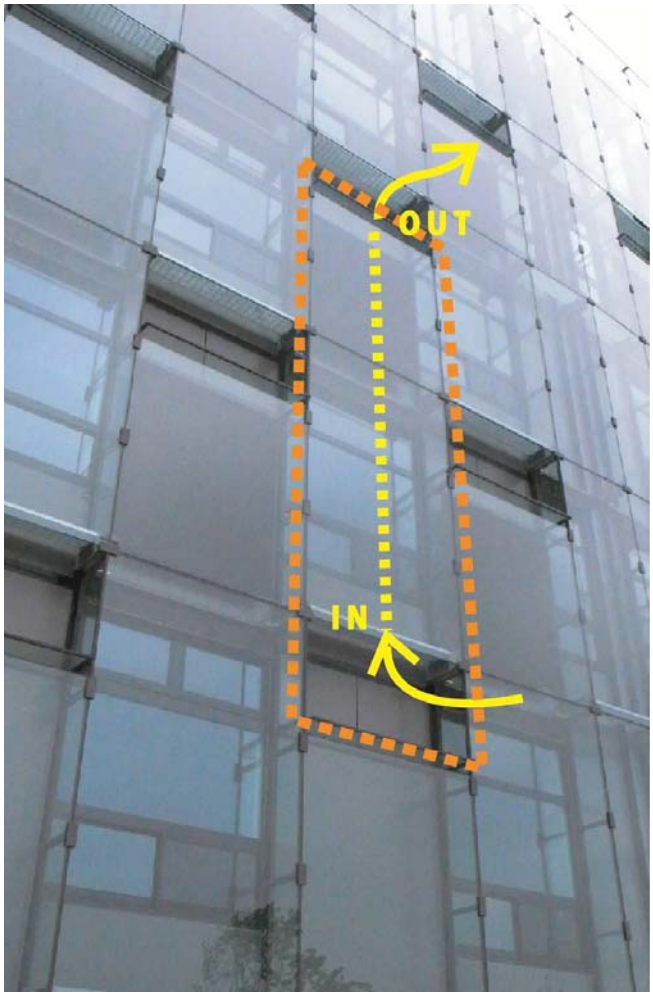
■太陽光発電

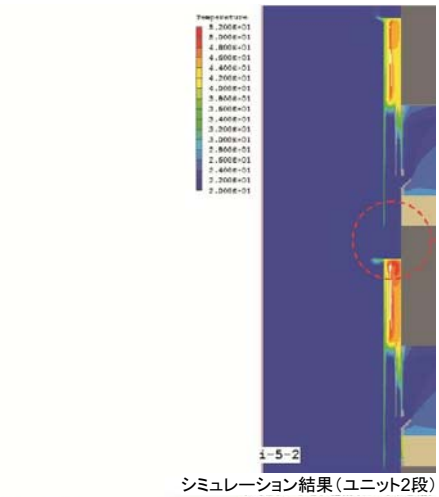
スパコンの冷やし方



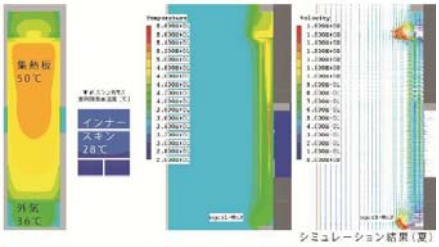
計算機室1

研究棟ダブルスキン　断熱性能＋眺望＋自然の風を入れる

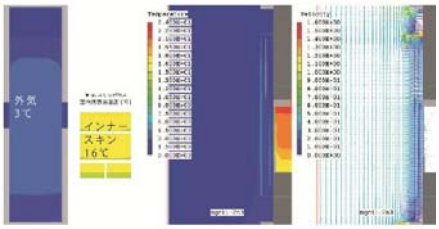




シミュレーション結果（ユニット2段）



シミュレーション結果（夏）



シミュレーション結果（冬）

自然排煙窓：アルミパネル2-ＦＵＣ

ガラス天板：強化合せガラスt8+8

間仕切ガラス：複層ガラスFL8+A12+FL8

壁：押出成型セメント板t60 2-FUE
裏面 吹付断熱材A

集熱パネル：アルミパネルt2.0フラッシュ 2-FUC

アフターガラス受鉄骨：
H-200×200 溶接亜鉛デッキ

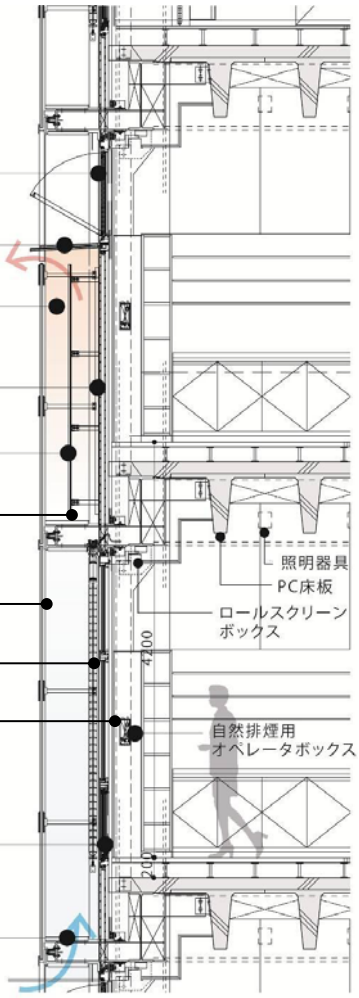
アフタースキン：フロートガラスt25

外付電動ブラインド

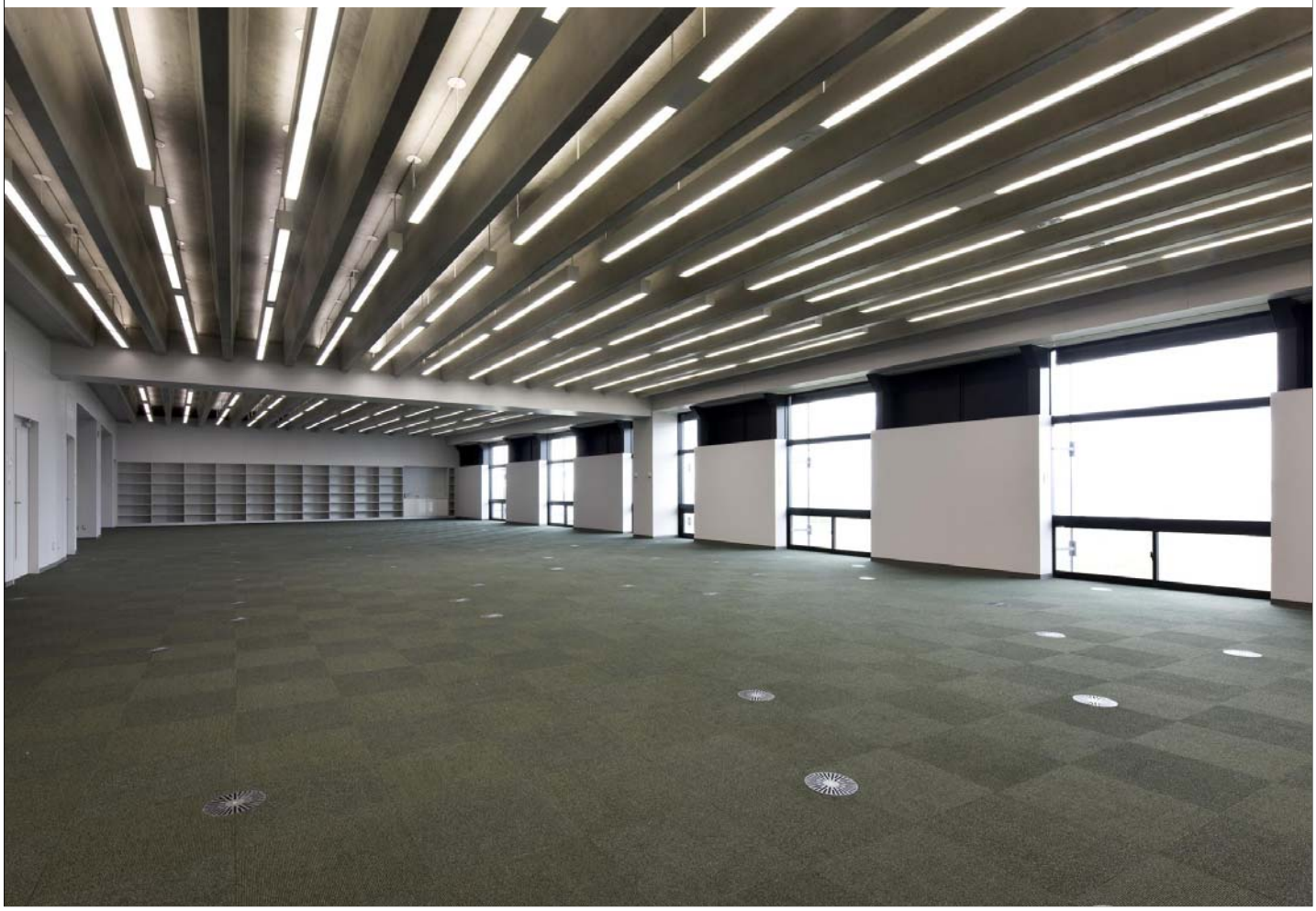
インナースキン：
カーテンウォール 2-FUC
Low-E複層ガラスFL10+A12+FL10

自然換気窓（アルミサッシ）2-FUC

メンテナンス床：
グレーチングFB-6×65@50
溶接亜鉛メッキ



研究室内観



アートワーク　巨大なそろばん？　鬼門封じ？

スーパーコンピュータ
＋
メッセージ性のある建築
→ 見せる･魅せる スパコン

スーパーコンピュータ
＋
環境建築
→ エコ･スパコン

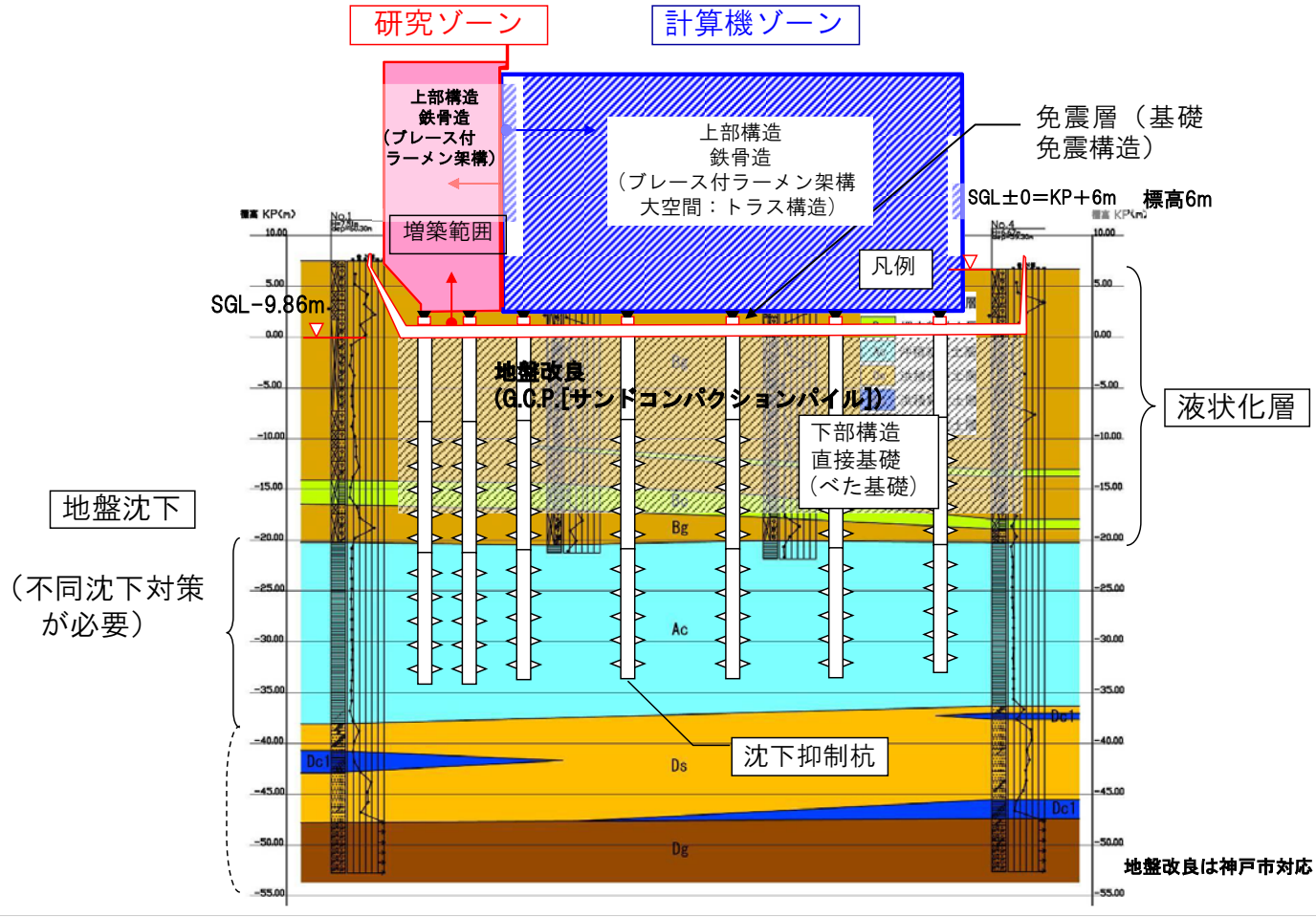
スーパーコンピュータ
＋
シェルターとしての建築
→ 信頼できる 構造計画

■世界最速のパソコン「京」の構造計画
- ･軟弱な地盤対策
  - 建屋を支えるための地盤耐力の確保
  - 液状化対策
  - 不同沈下対策
- ･免震構造

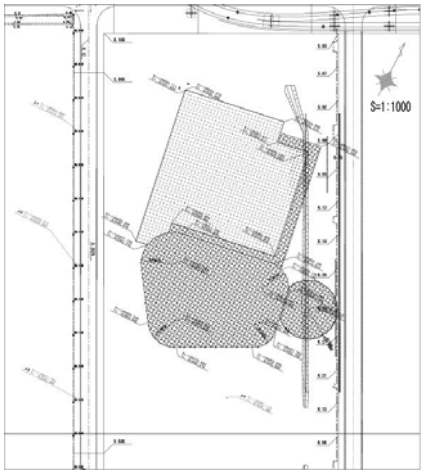
■東京スカイツリー
（制振構造[心柱制振]）

■設計用入力地震動
（東北地方太平洋沖地震を踏まえた検証）

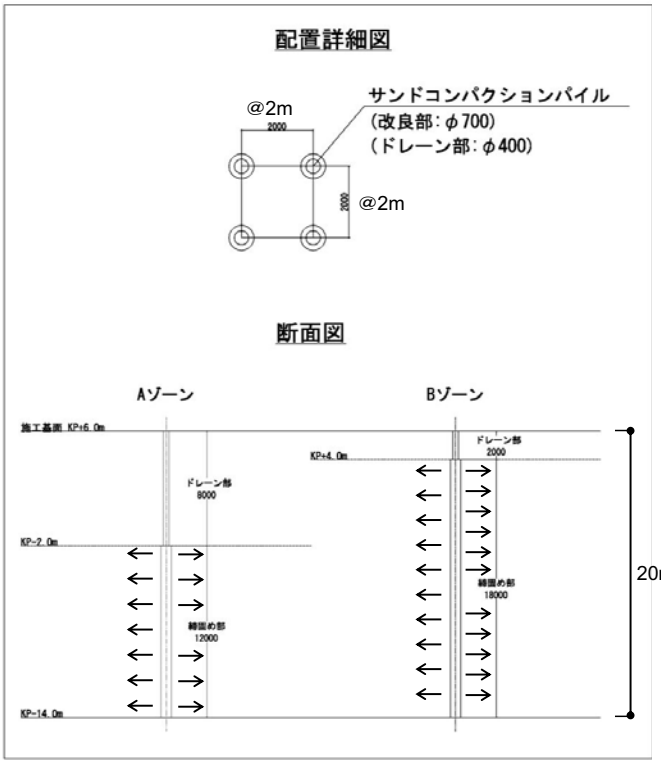
構造概念図



地盤改良（サンドコンパクション）



サンドコンパクション（砂杭）配置図



軟弱地盤を締め固める

地盤改良の目的

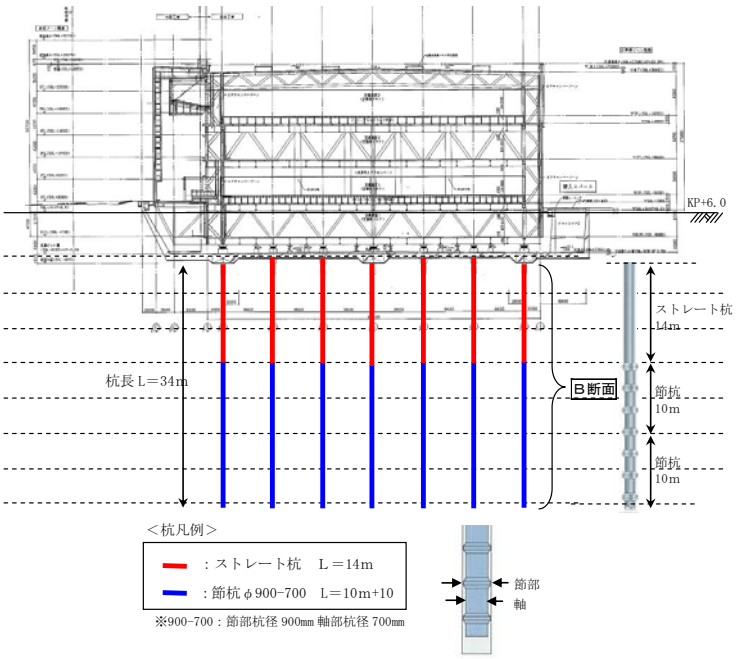
- 液状化対策（暖かい砂地盤を締め固める）
- 地盤支持力の確保（地耐力20tf／m^2）
- 入力地震動の表層地盤における増幅の抑制

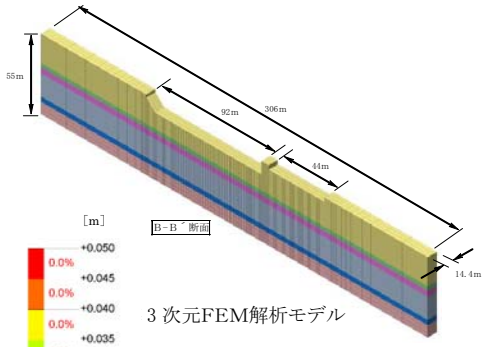
サイエンティフィック・システム研究会 2011/10/21

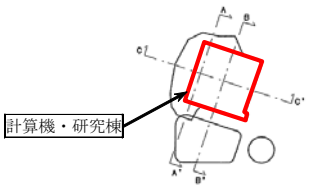
サイエンティフィック・システム研究会 2011/10/21

不同沈下対策

沈下抑制杭の採用
（地盤改良に直接建屋を載せる直接基礎とする
が沈下抑制杭を補助的に設け、不同沈下を防ぐ）

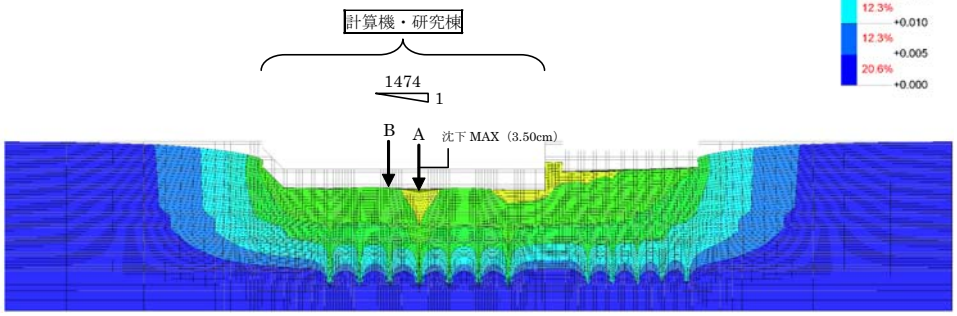






3 次元FEM解析モデル

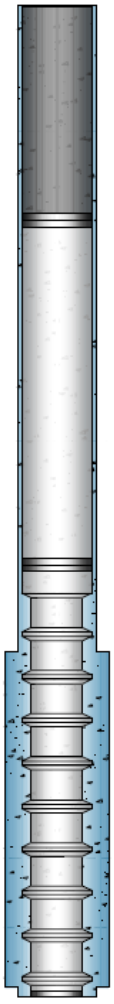
［　B断面　］



$$\text{最大傾斜} = \frac{\text{A 地点沈下量} - \text{B 地点沈下量}}{\text{A-B 地点間距離}} = \frac{3.50\text{cm} - 2.85\text{cm}}{960\text{cm}} = \frac{1}{1474} < \frac{1}{1000}$$

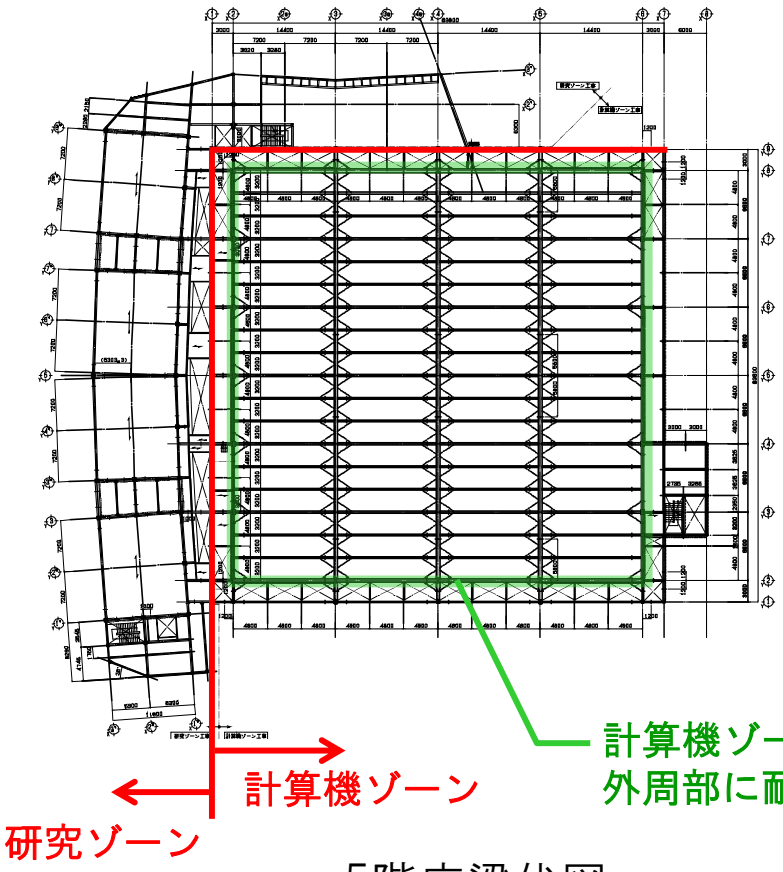
∴OK

鉛直変位と最大傾斜位置



沈下抑制杭（節杭）

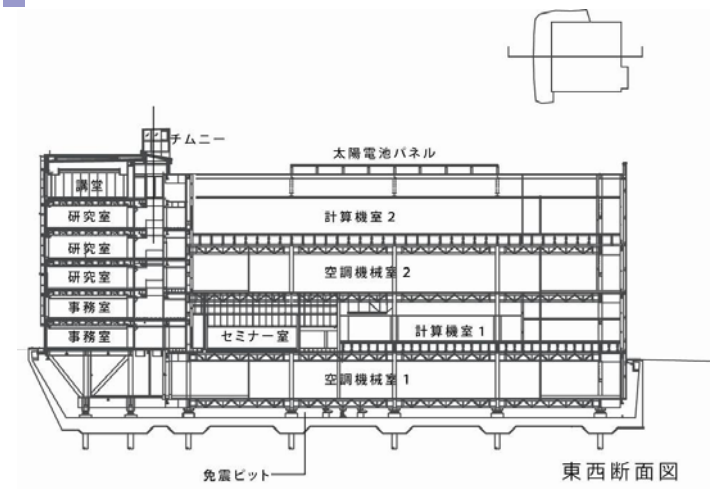
建屋構造概要



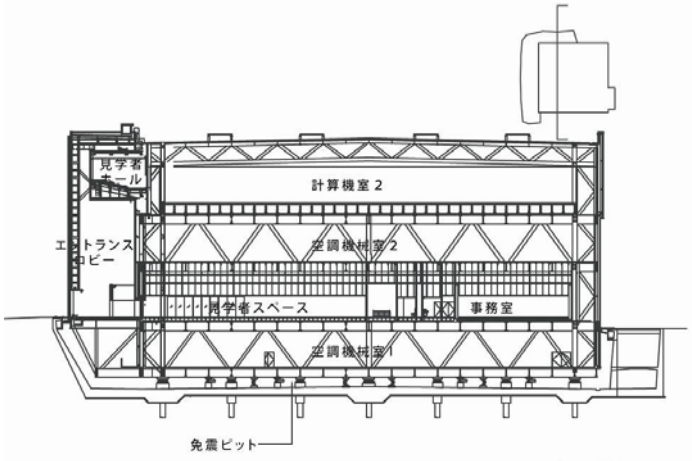
5階床梁伏図

見える見せる
スパンを目指し
当初
別棟（発注年度も
異なる）であった
計算機･研究ゾー
ンを一体化し
魅力ある施設を
目指す

サイエンティフィック・システム研究会 2011/10/21



東西断面図



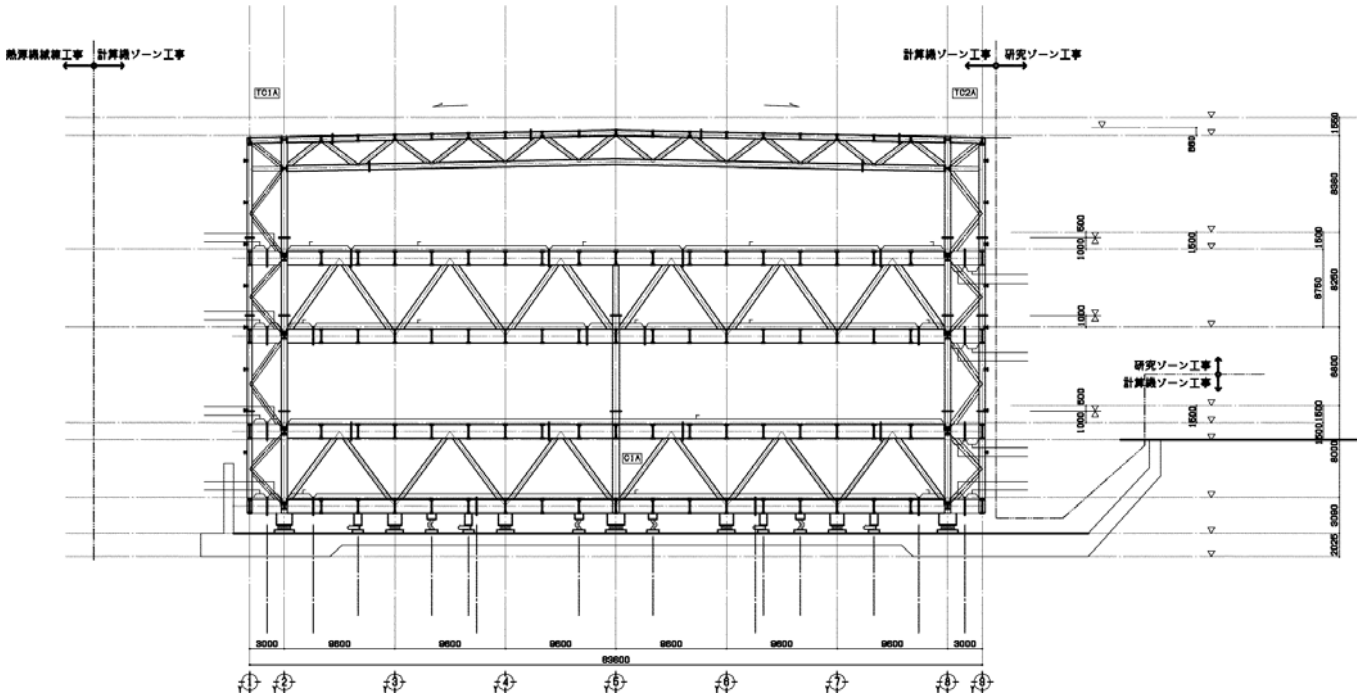
南北断面図

計算機室2は
約60m角の無柱空間

計算機室1は
中央3本の柱のみ

空調機械室は
トラス階とする

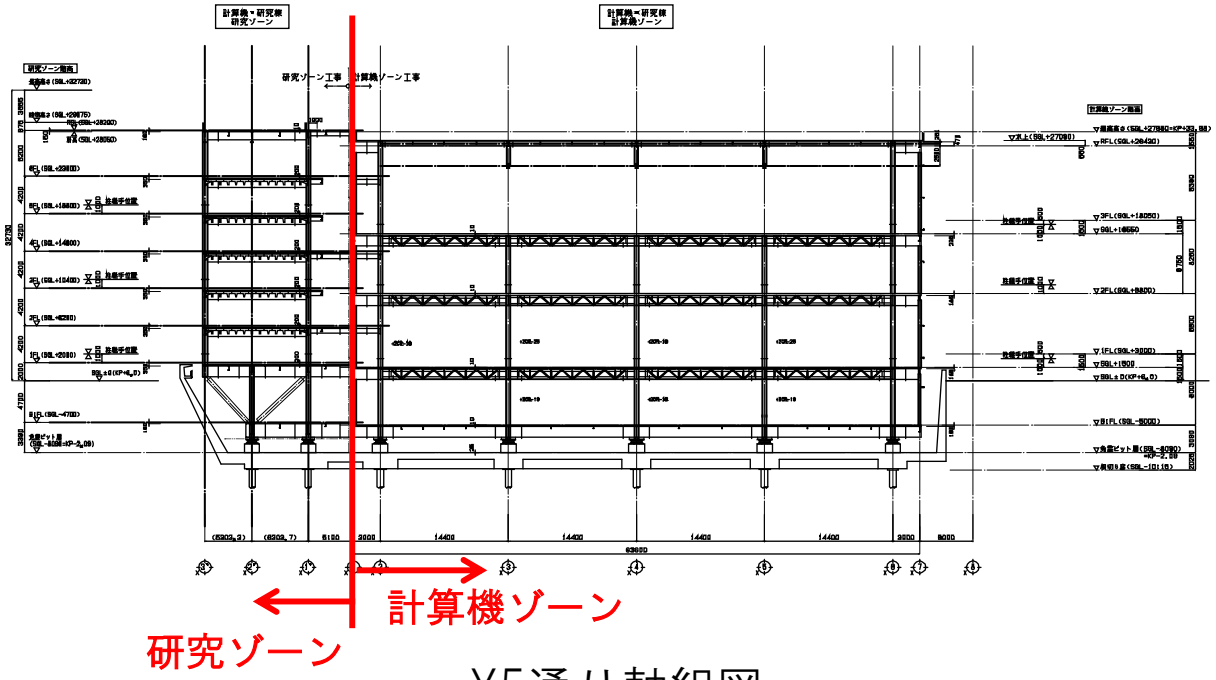
軽量化と大空間の
ため鉄骨構造を採用



X4通り軸組図

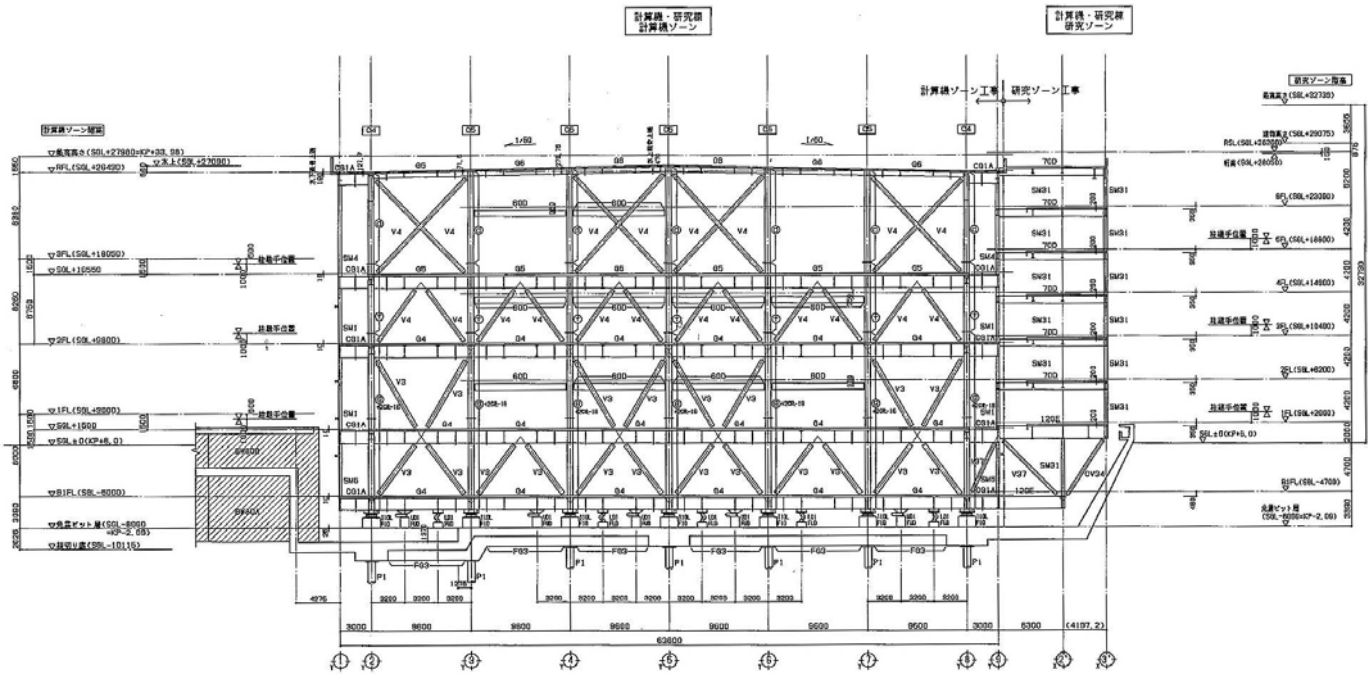
14mスパンの小梁もトラス梁とする

柱はH形鋼（極厚H）
ブレースもH形鋼（一部日の字形断面）

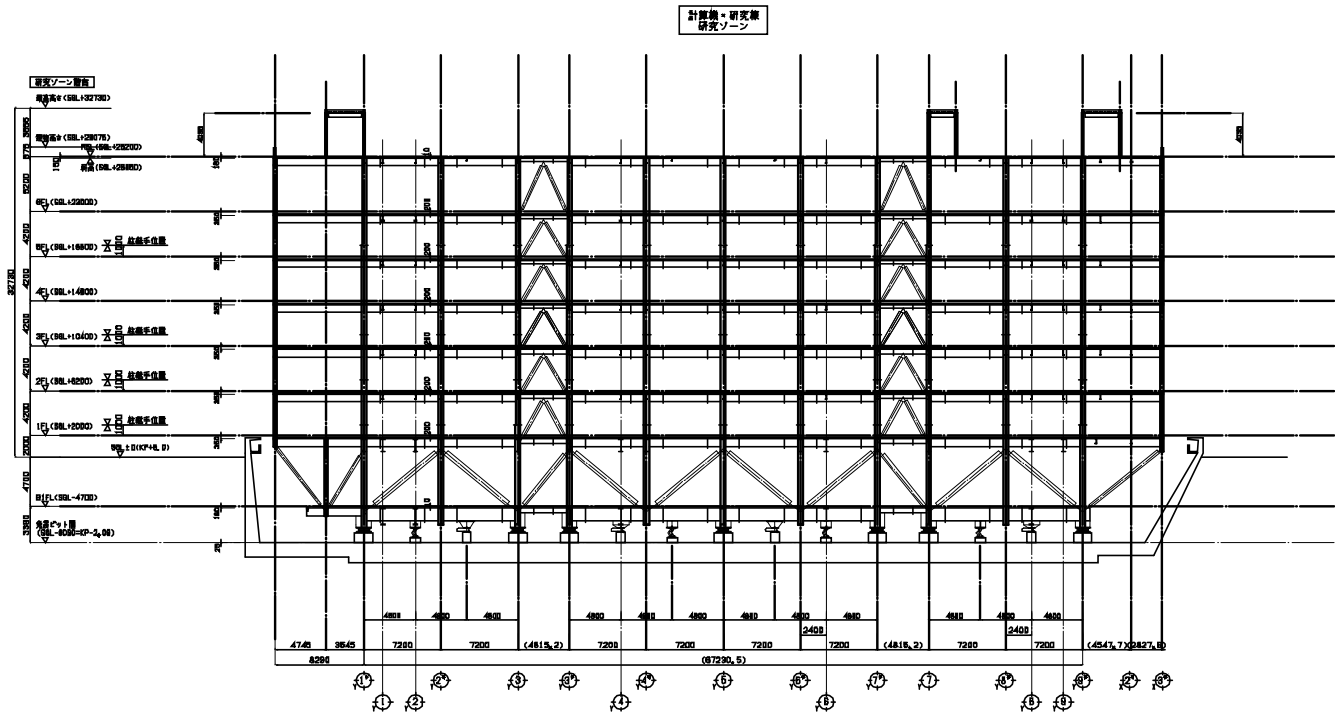


Y5通り軸組図

計算機ゾーン　外周耐震要素

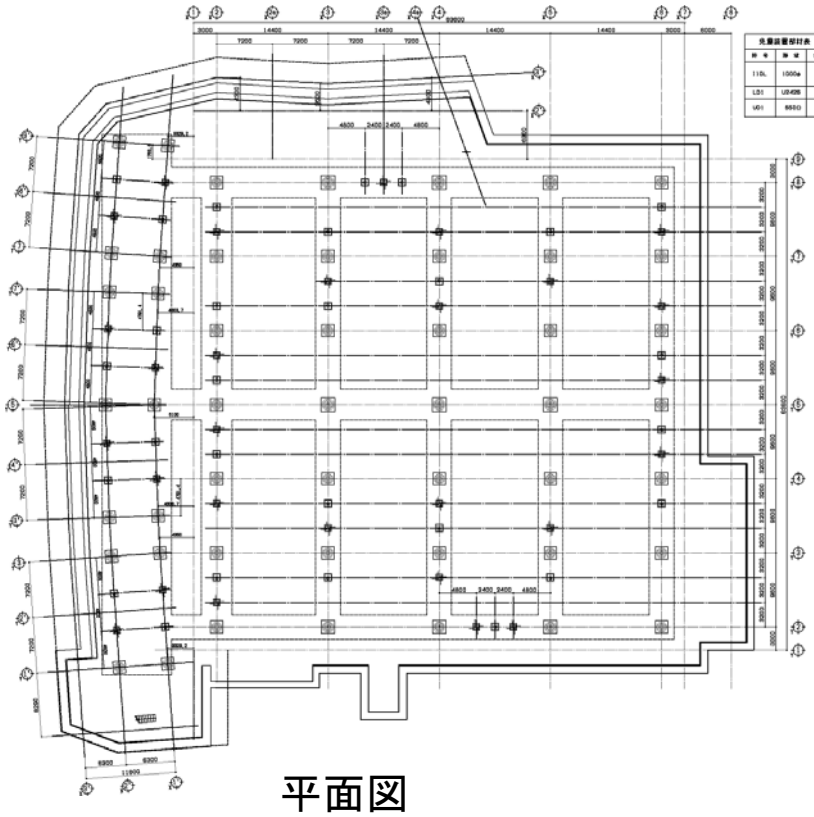


X2通り軸組図



X1’通り軸組図

軟弱地盤における免震構造

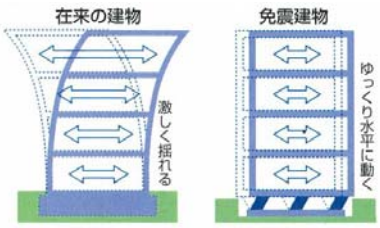


平面図

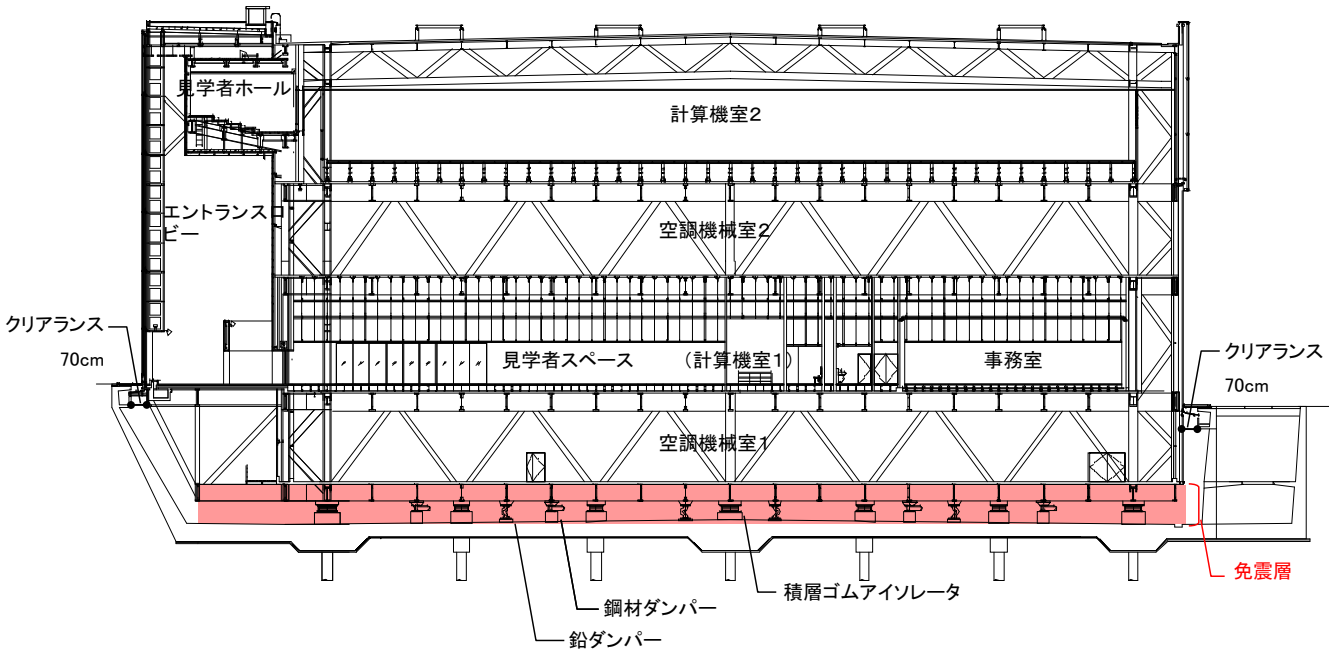
・天然ゴム積層ゴム
　アイソレータ
　　1000φ（低弾性）
　　1100φ（高面圧）
　　1200φ（高面圧）

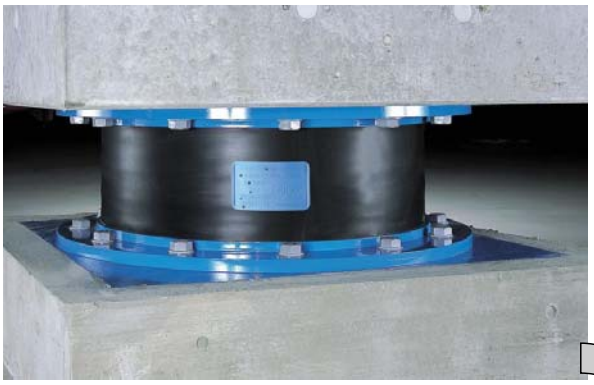
・鉛ダンパー
・鋼材ダンパー

} やや多く配置



計算機室の水平床応答加速度は大地震時でも200cm/s²(gal)程度





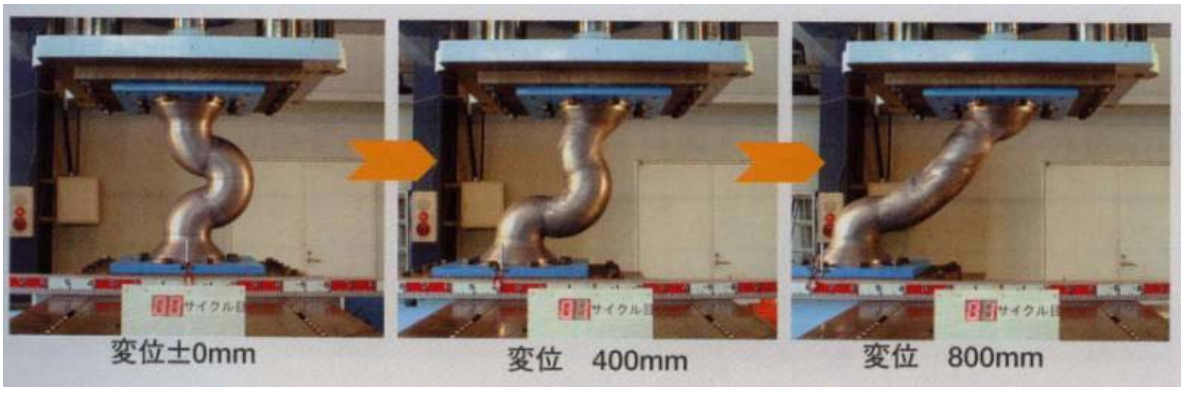
積層ゴムアイソレータ（設置後）

積層ゴムアイソレータ（水平変形時）

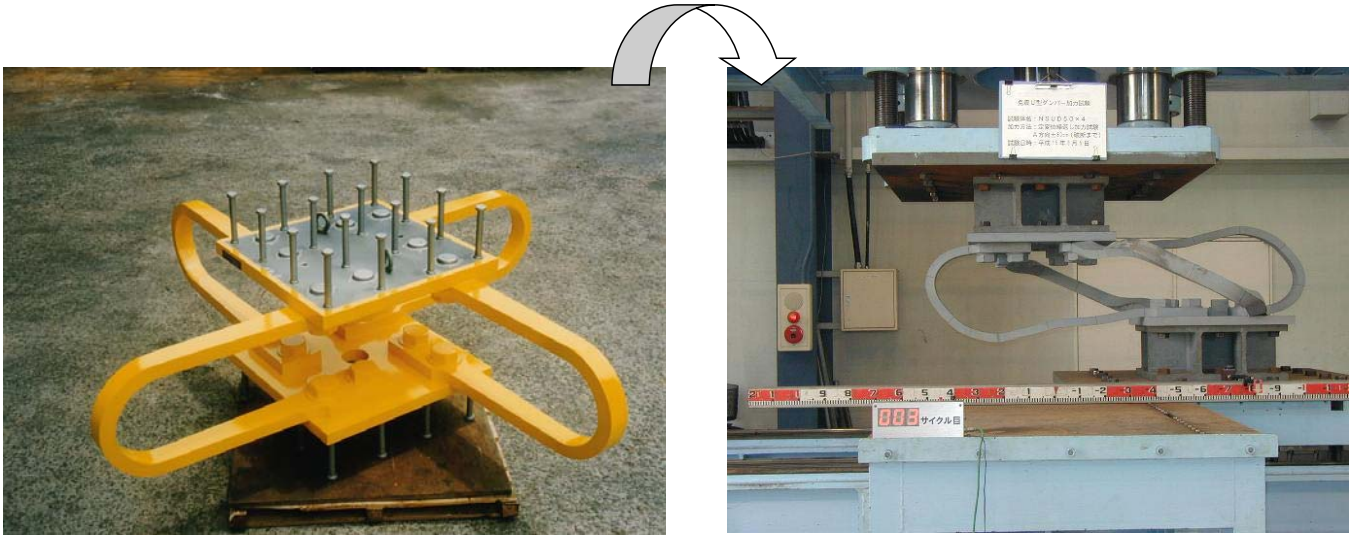
積層ゴムアイソレータ（設置前）

サイエンティフィック・システム研究会 2011/10/21

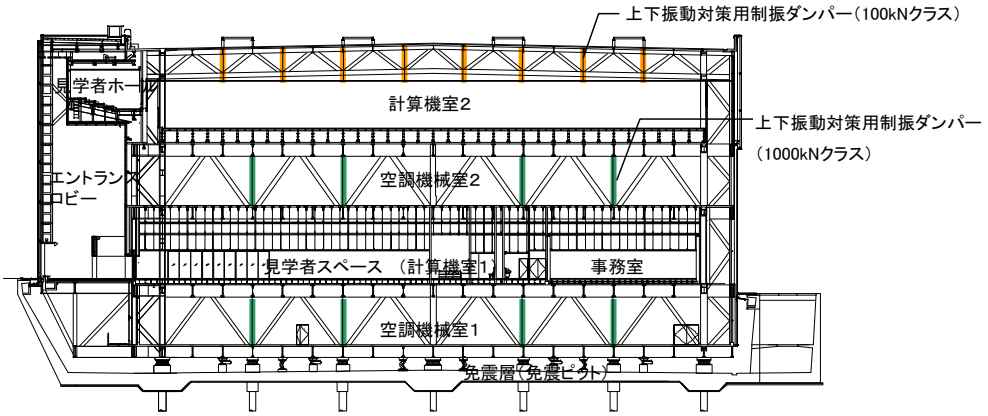
鉛ダンパー

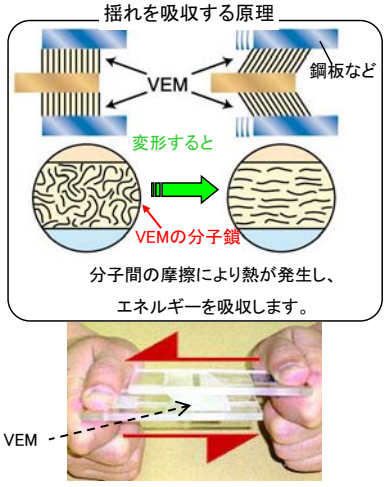


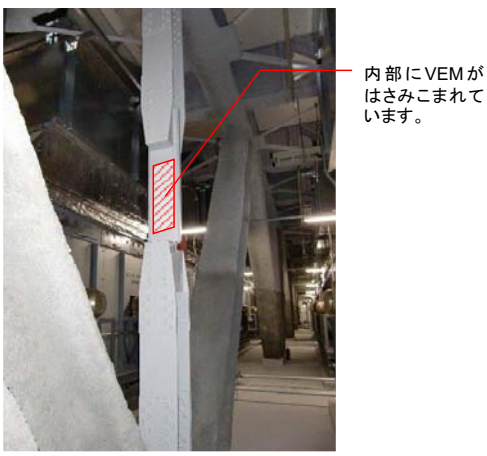
鉛ダンパー（水平変形時）



U型鋼製ダンパー（水平変形時）







設置状況

上下振動対策（免震水平方向の振動にのみ効果有）

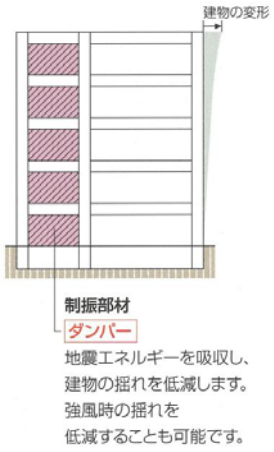
免震構造の採用が難しいケース

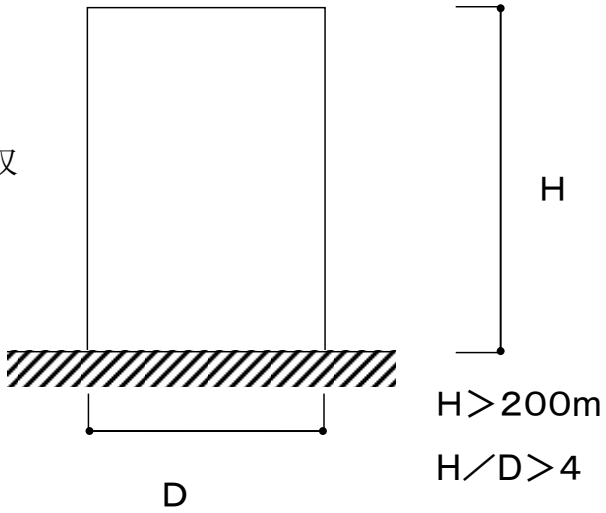
・建物の高さが200mを超えるような場合

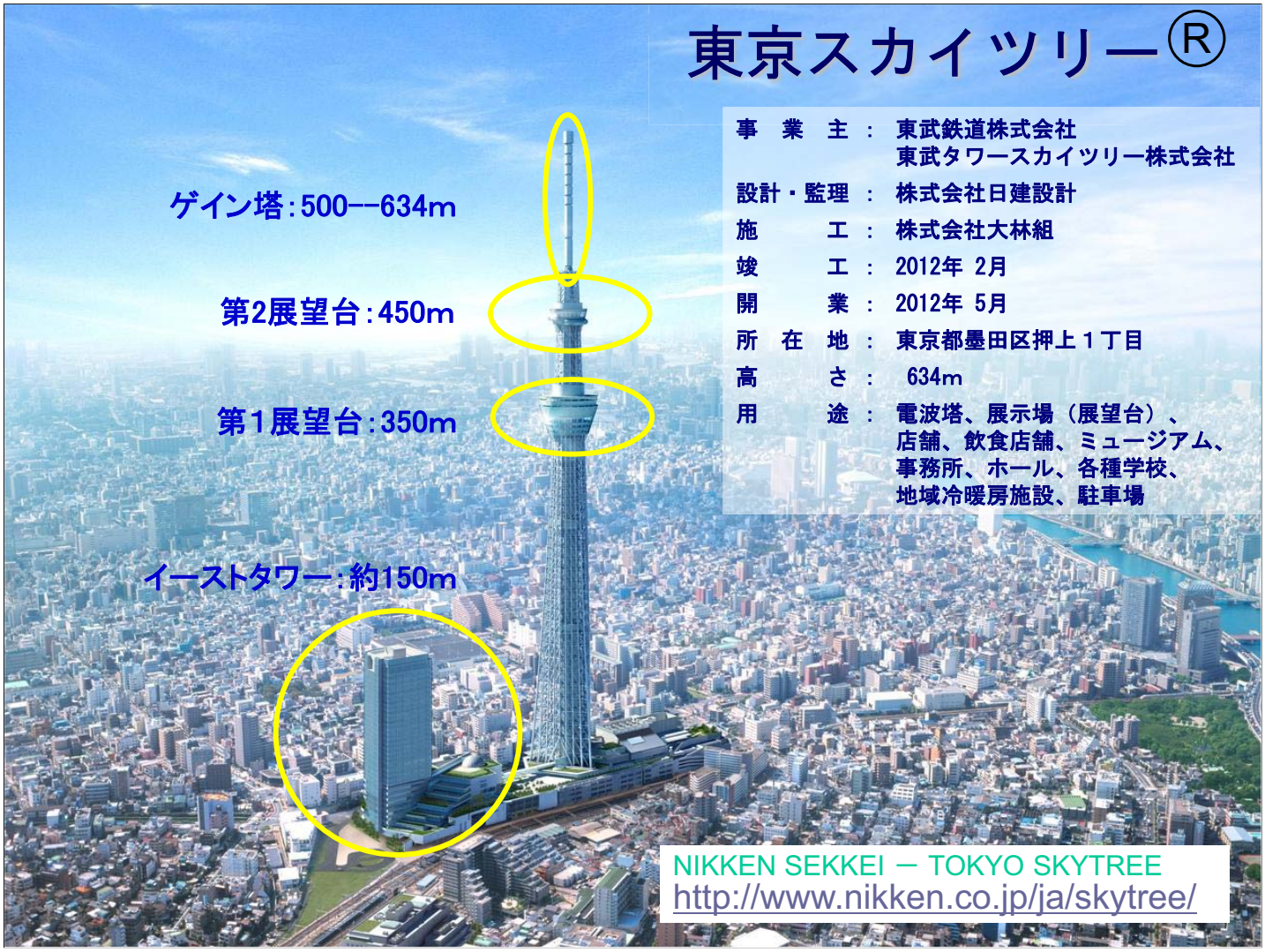
・細い形状の建物（幅高さ比4を超える場合）

制振構造

建物内に配置した制振部材（ダンパー）で地震エネルギーを吸収







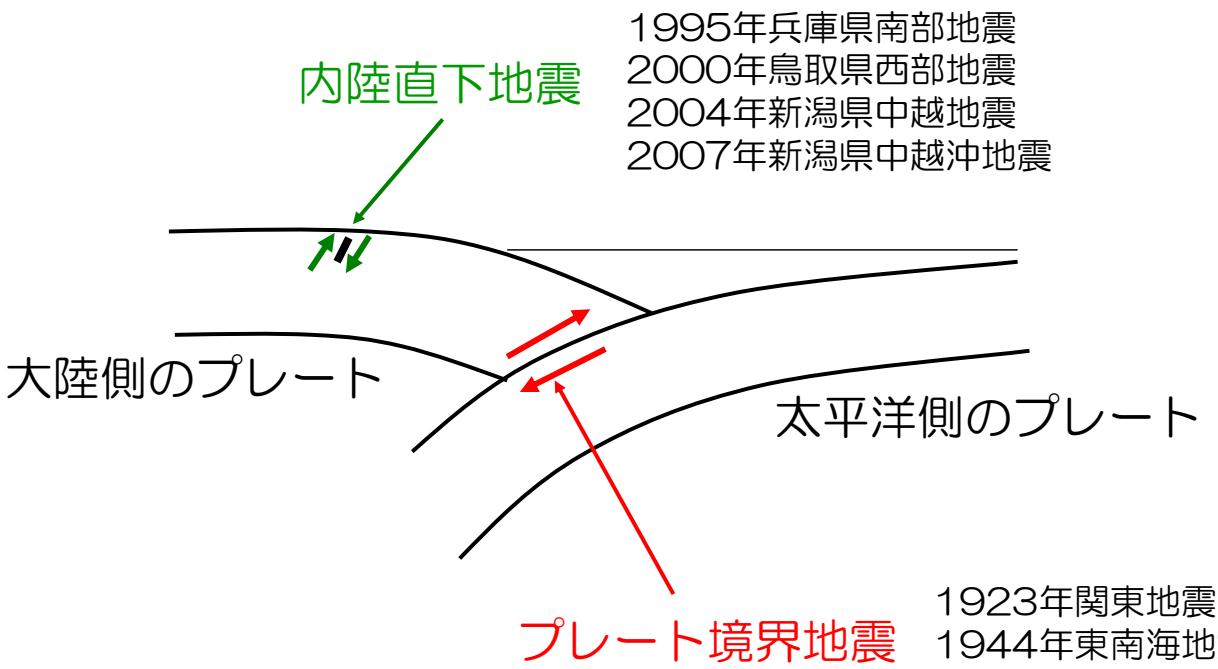
設計用入力地震動

（東北地方太平洋沖地震を踏まえた検証）

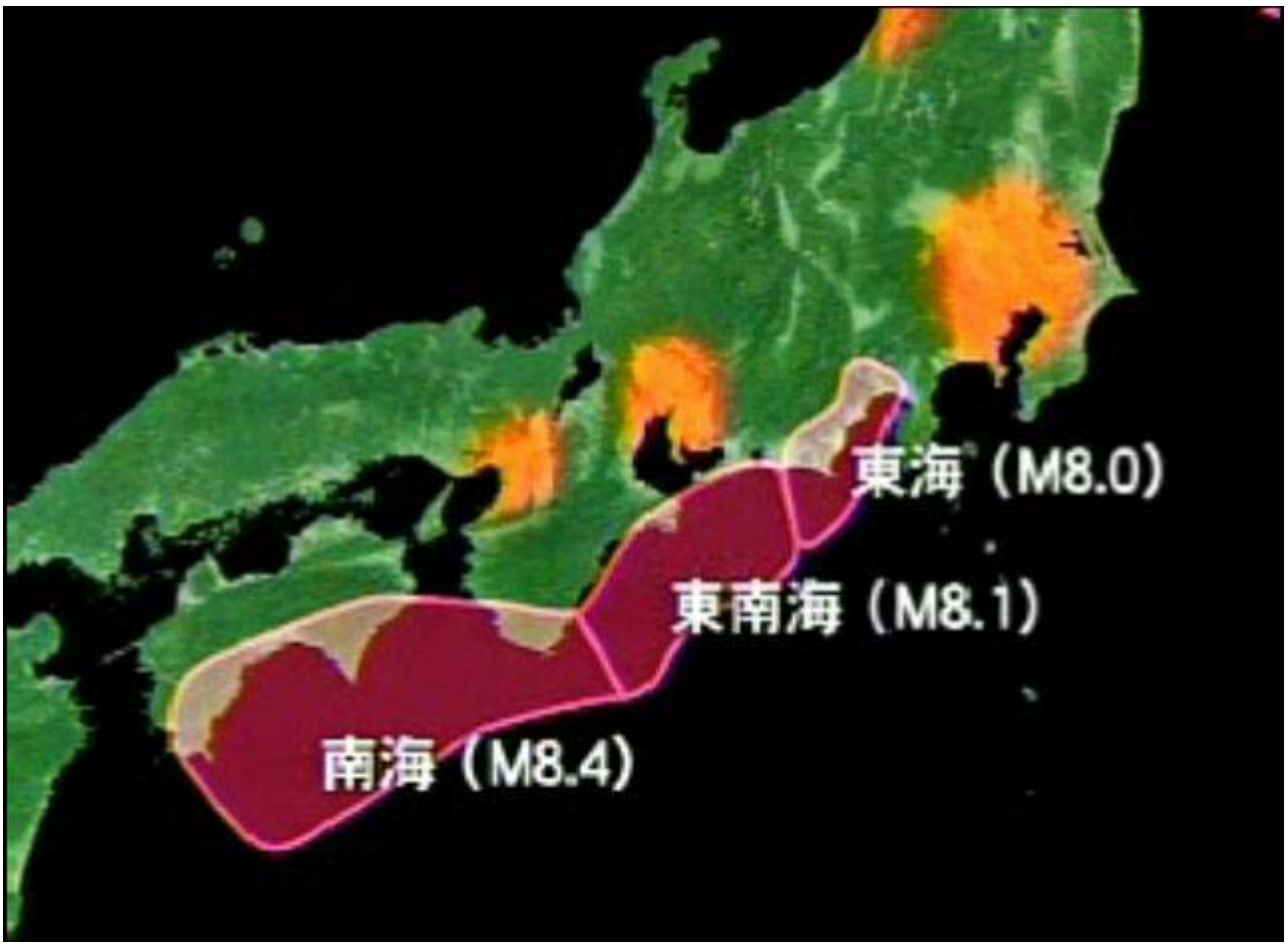
・「日建波」の特徴と検証

・スパコン「京」の設計用入力地震動

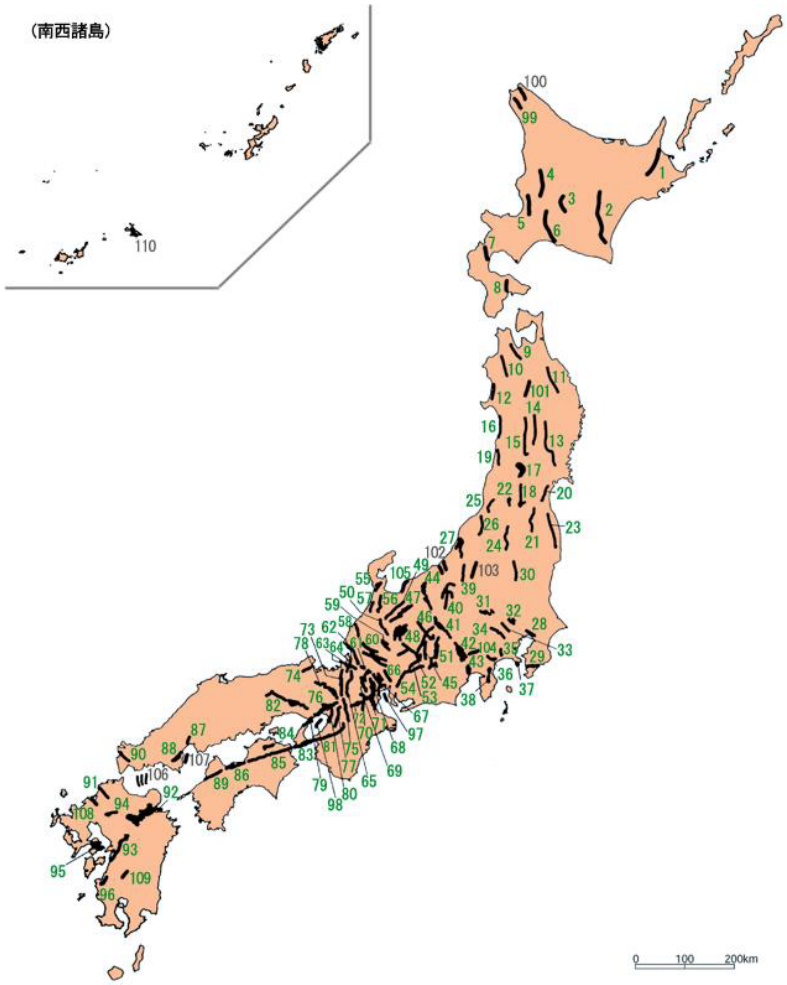
地震発生のメカニズム



NHKスペシャル「地震波が巨大構造物を襲う」(2004.1.18)より



NHKスペシャル「地震波が巨大構造物を襲う」(2004.1.18)より



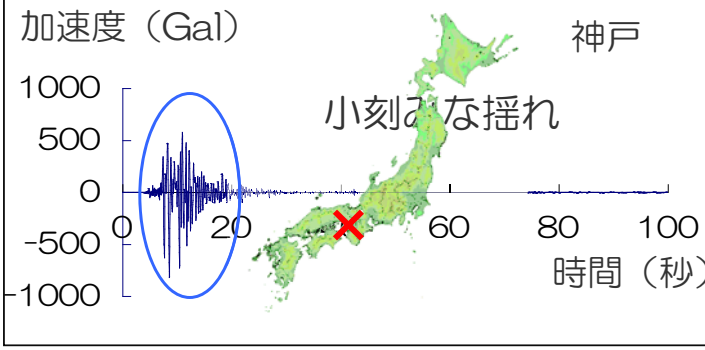
全国の主要活断層帯

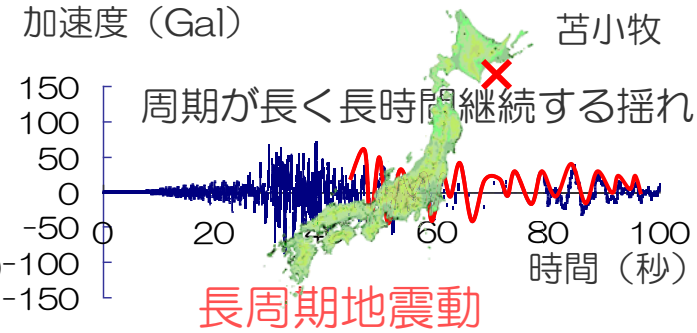
文部科学省地震調査研究
推進本部ホームページより

地震動

1995年　兵庫県南部地震

2003年　十勝沖地震





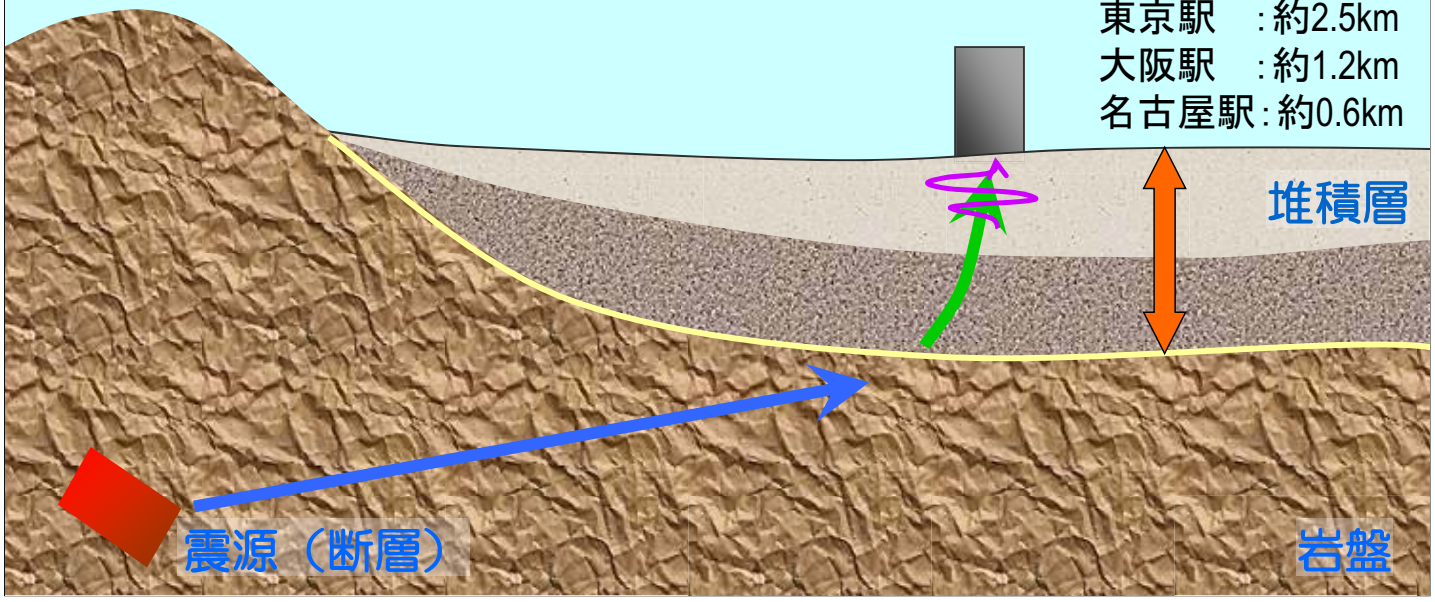
地震動の特性は何で決まるか

1．断層のずれ方(震源特性)

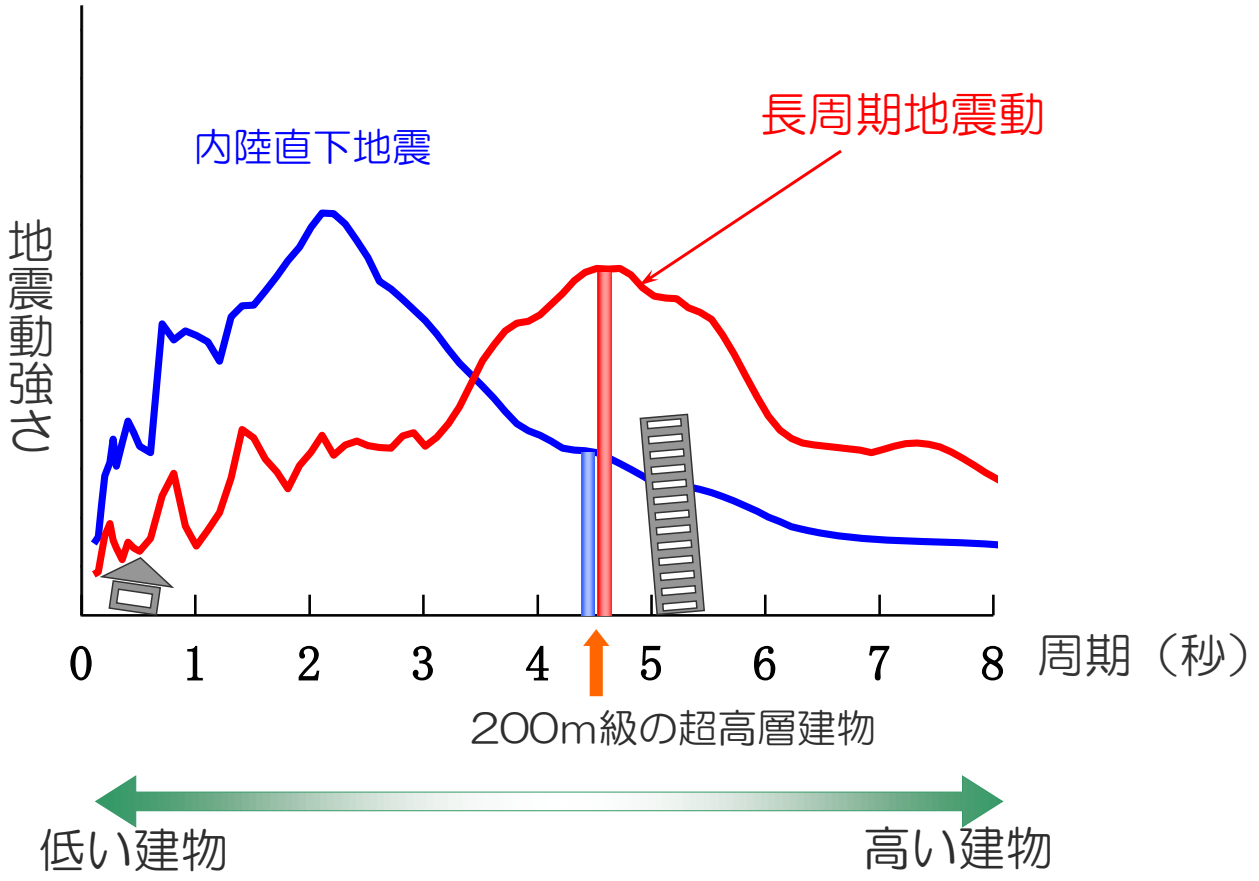
2．震源からの距離(伝播特性)　⇨ 地震動特性の違い

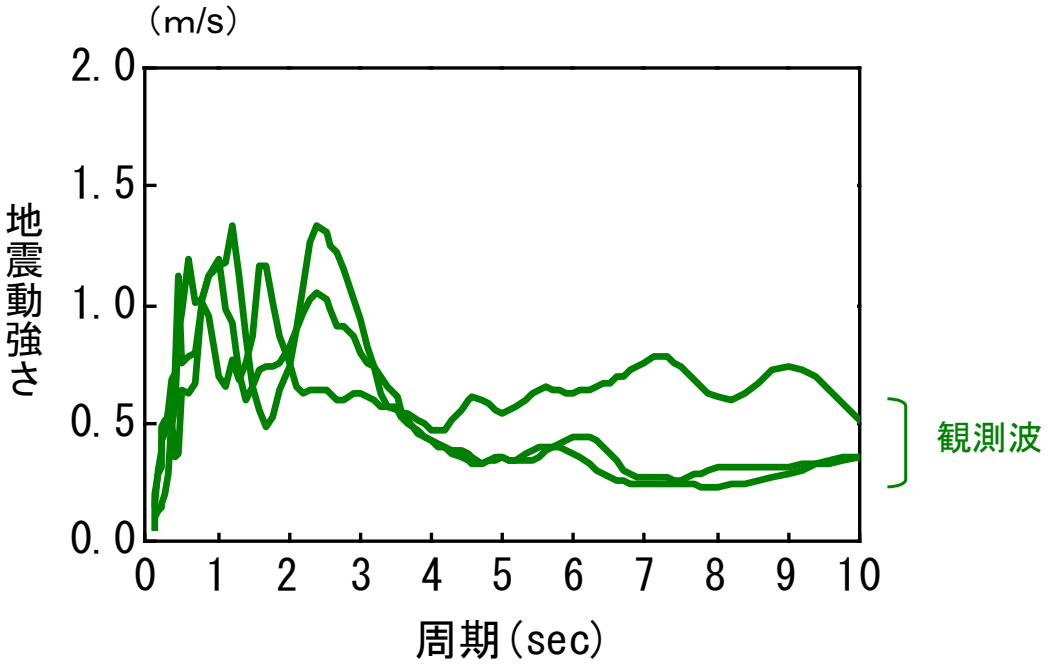
3．堆積層の固さと厚さ(地盤特性)

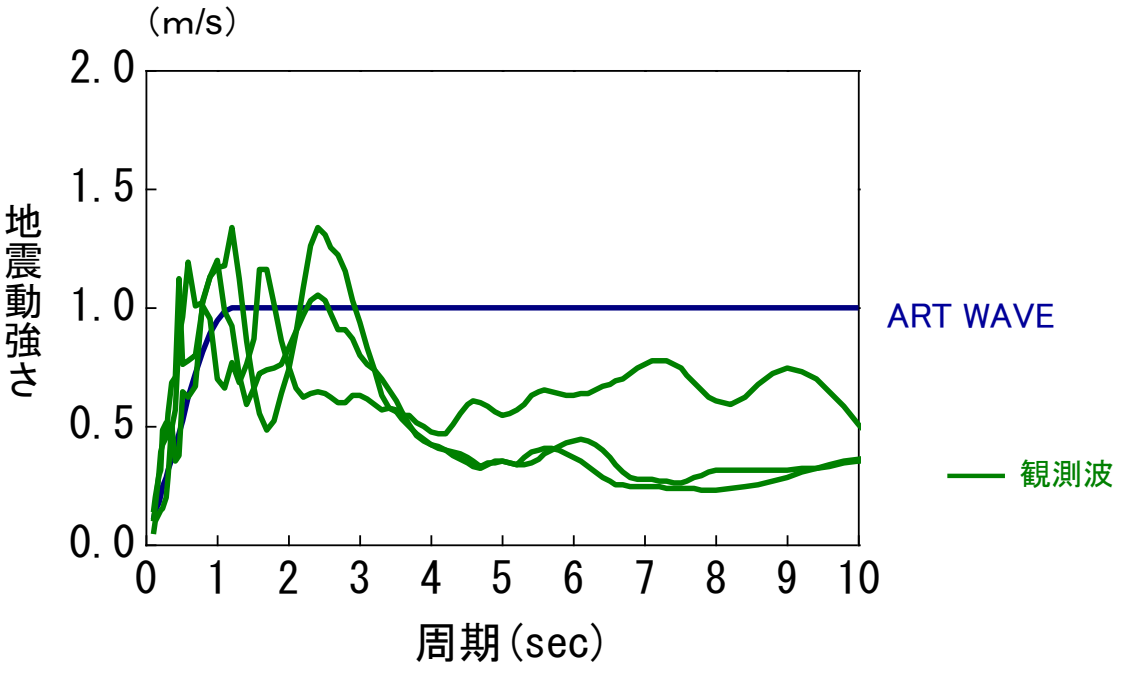
堆積層の厚さ
東京駅　:約2.5km
大阪駅　:約1.2km
名古屋駅:約0.6km

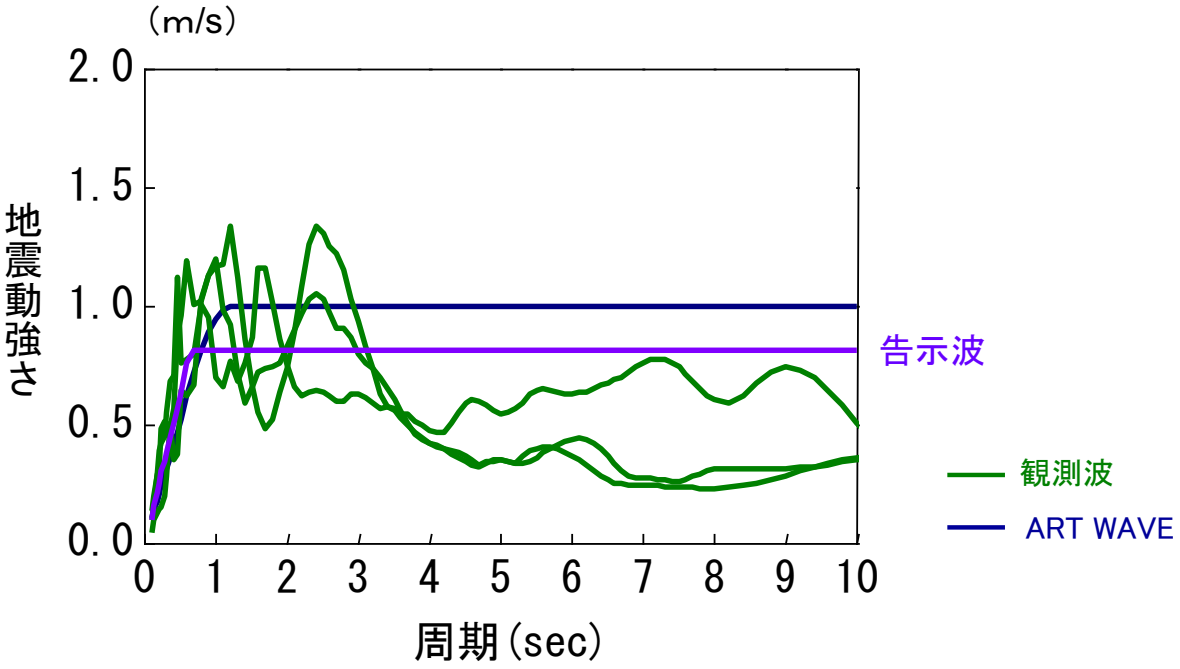


地震動強さ

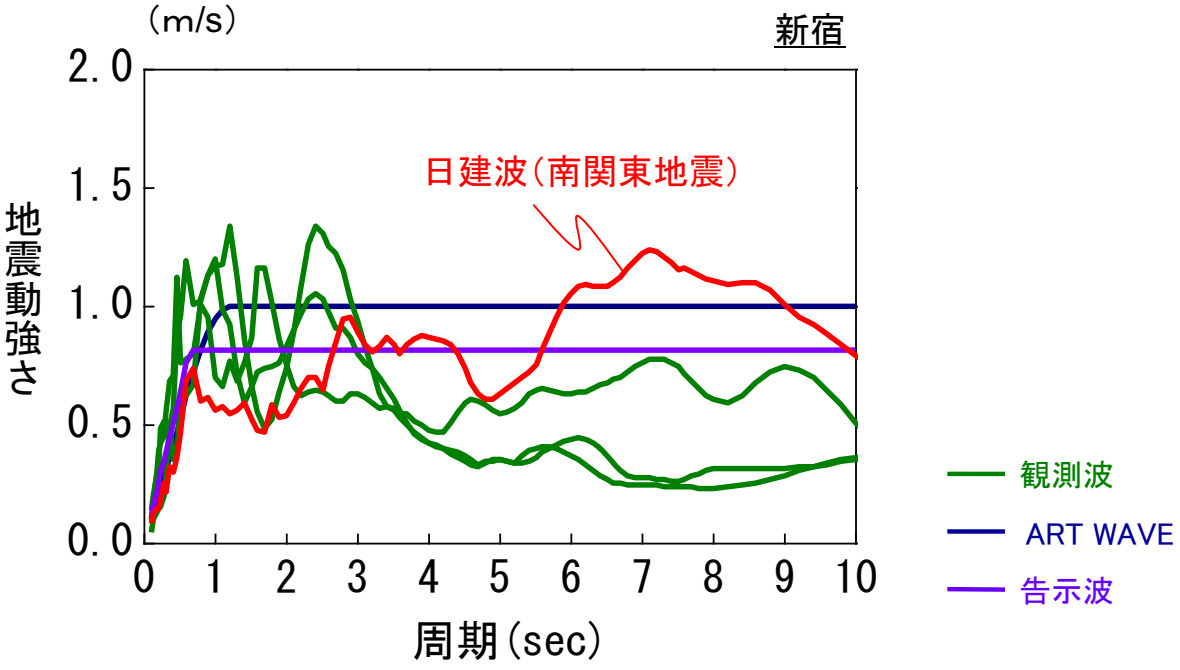



(m/s)
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
地震動強さ
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
周期(sec)
観測波

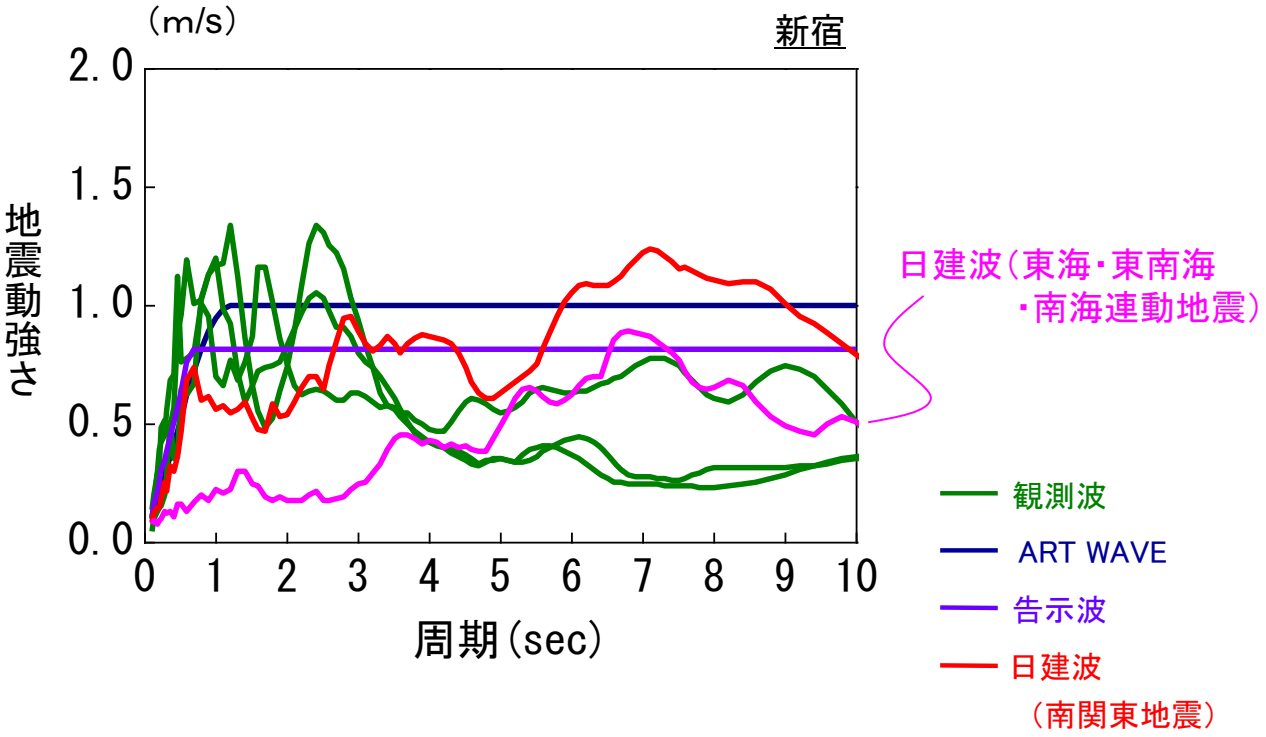

(m/s)
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
地震動強さ
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
周期(sec)
ART WAVE
観測波


(m/s)
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
地震動強さ
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
周期(sec)
告示波
観測波
ART WAVE

東京地区での想定

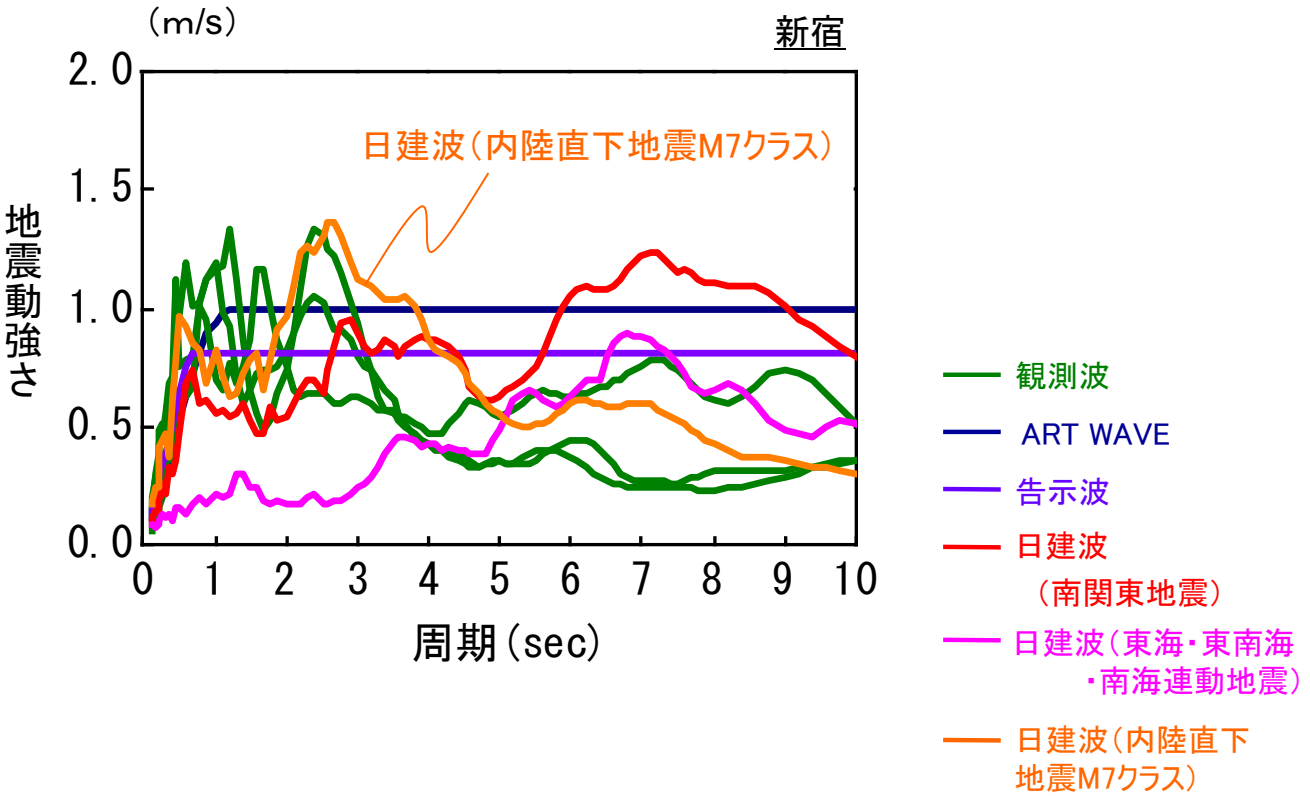

(m/s)
新宿
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
地震動強さ
日建波(南関東地震)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
周期(sec)
観測波
ART WAVE
告示波

東京地区での想定

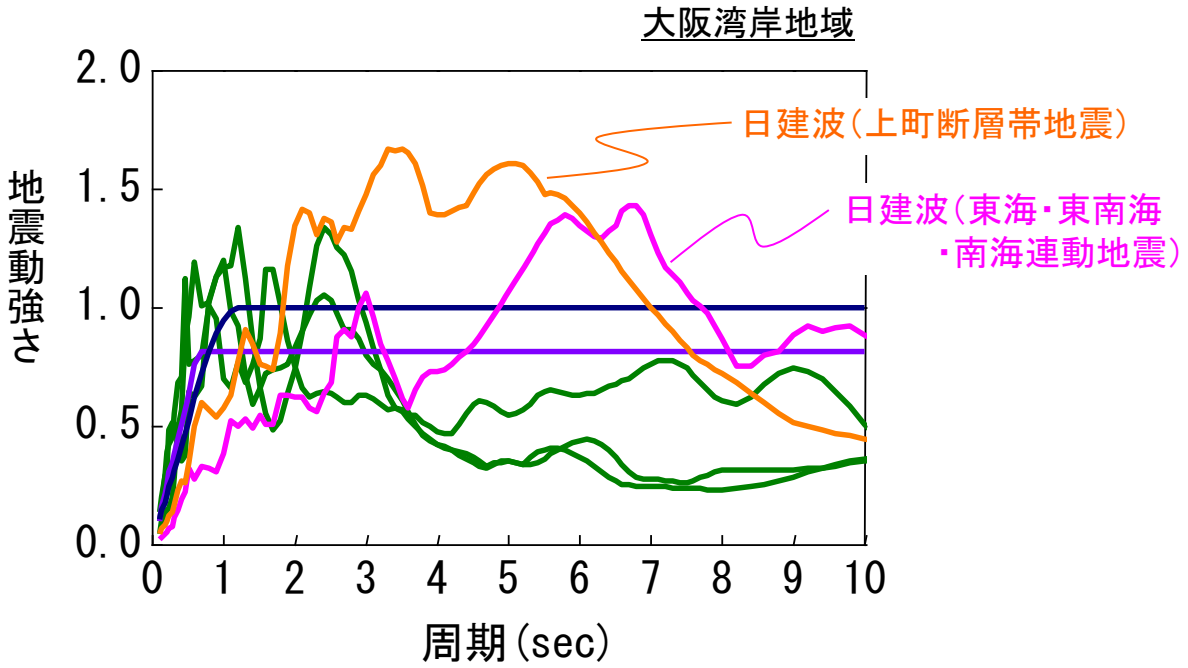


サイエンティフィック・システム研究会 2011/10/21

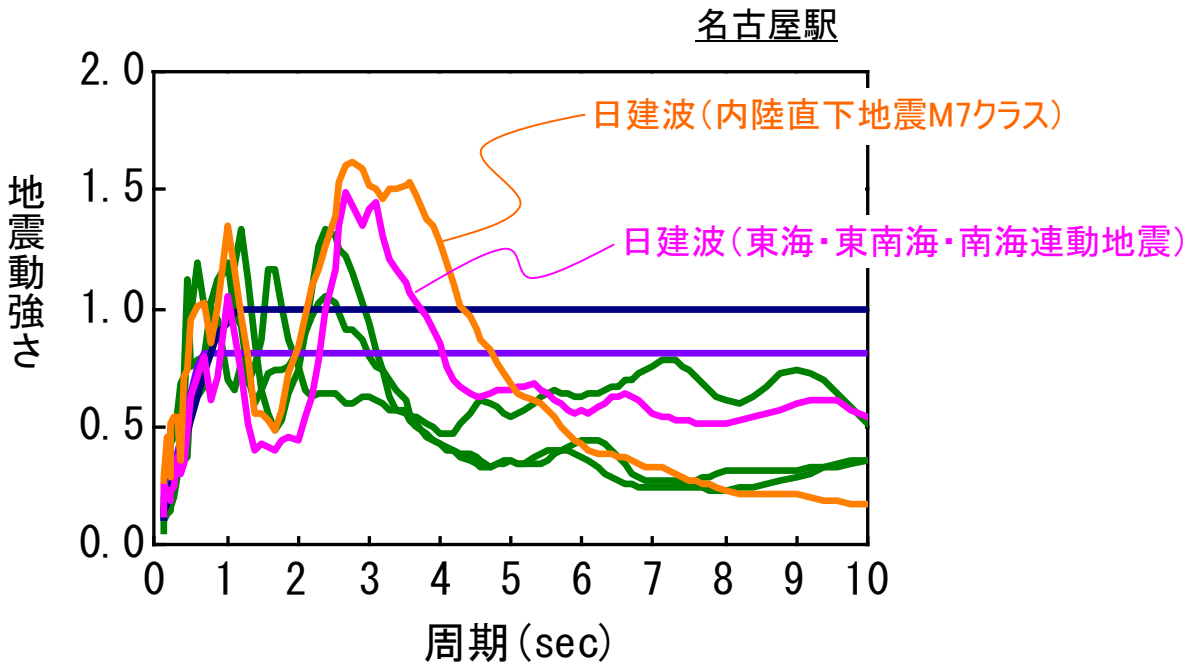
東京地区での想定



大阪地区での想定



名古屋地区での想定



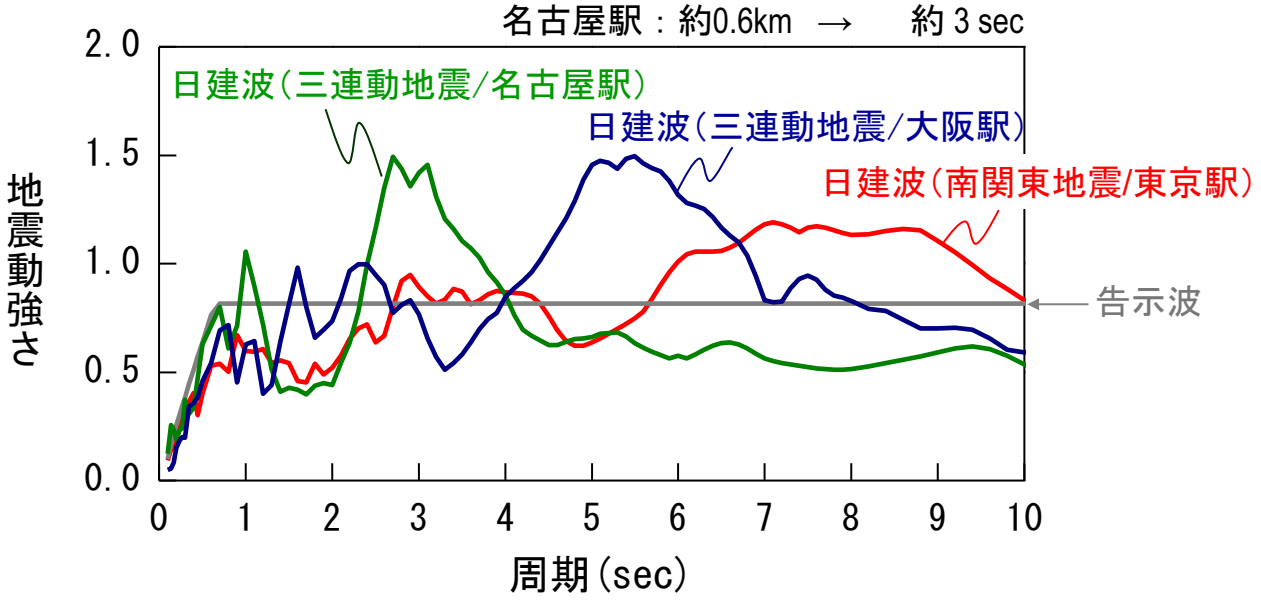
地域による地震動強さの違い

堆積層の厚さ　　地盤の卓越周期

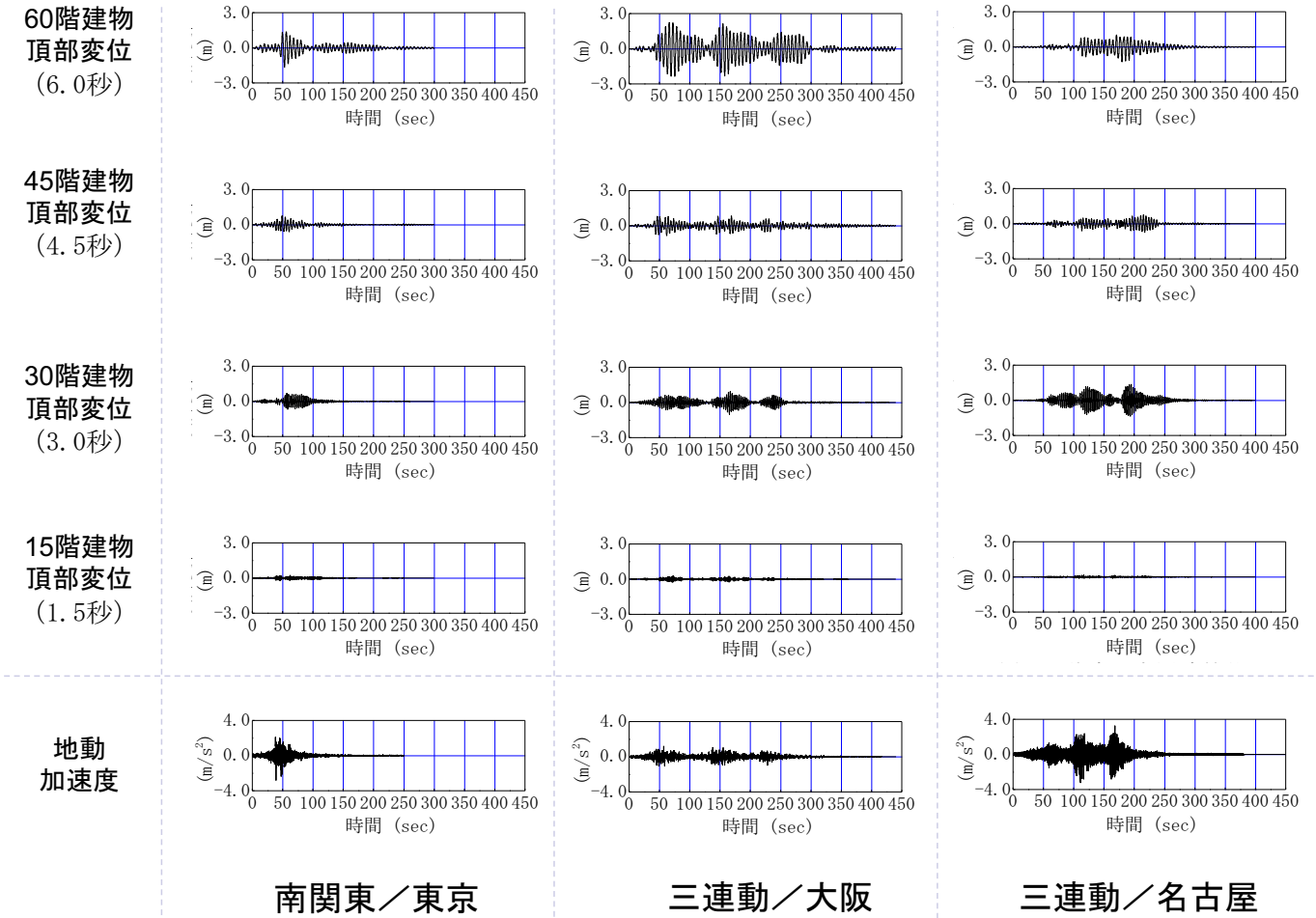
東京駅　：約2.5km　→　7～8 sec

大阪駅　：約1.2km　→　約 5 sec

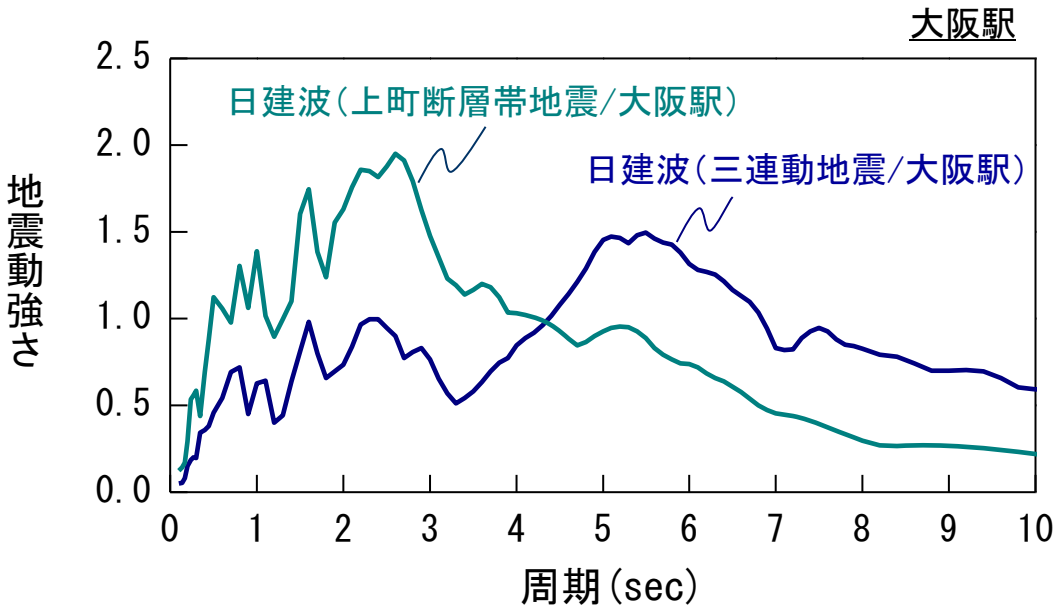
名古屋駅：約0.6km　→　約 3 sec



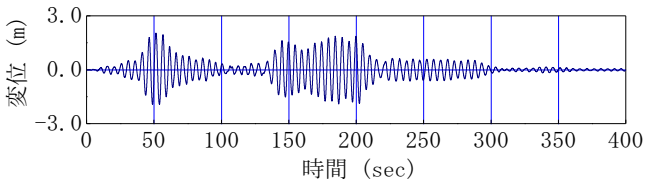
地震動特性の違いがモデル建物の揺れに与える影響



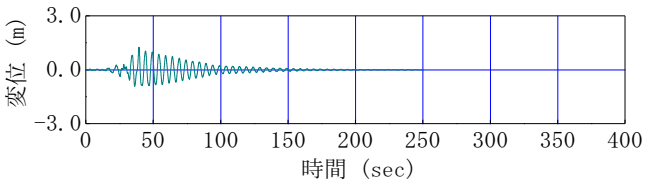
地震タイプによる地震動強さの違い



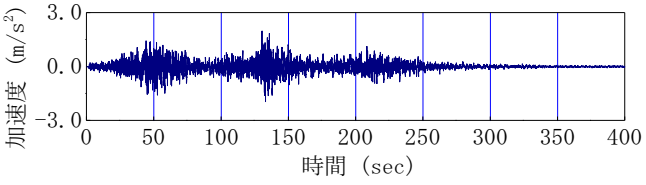
地震動特性の違いがモデル建物の揺れに与える影響



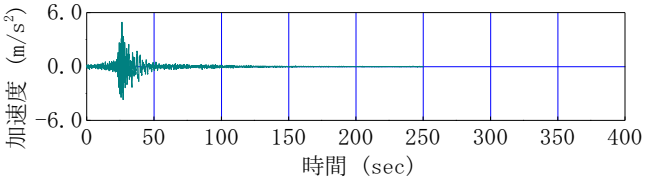
60階建てモデル建物の頂部変位
(三連動地震)



60階建てモデル建物の頂部変位
(上町断層帯地震)



日建波(三連動地震/大阪駅)



日建波(上町断層帯地震/大阪駅)

“「日建波」の特徴”に関するまとめ

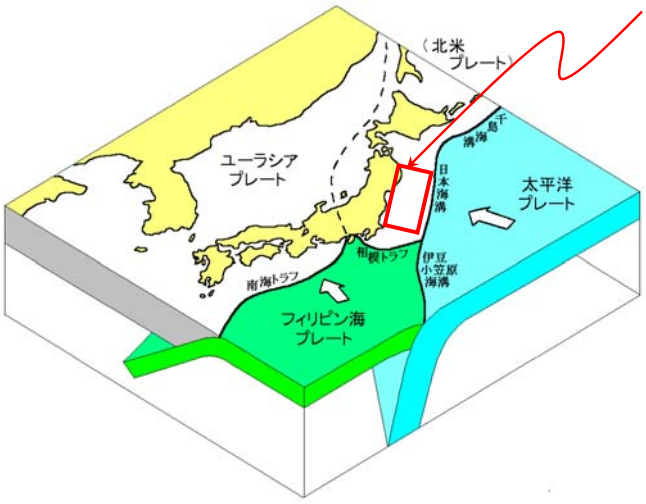
（1）サイト固有の地盤条件を反映。

（2）同一サイトでも地震のタイプによって
揺れの特性は異なる。

（3）長周期地震動も評価。

平成23年東北地方太平洋沖地震の特徴

日本海溝で発生したプレート境界地震



活断層による地震と異なり、
①震源域が大きいため強い揺れとなる地域が広い。
②断層の破壊に時間がかかるため揺れの継続時間が長い。

図1 日本列島近傍におけるプレートの沈み込み

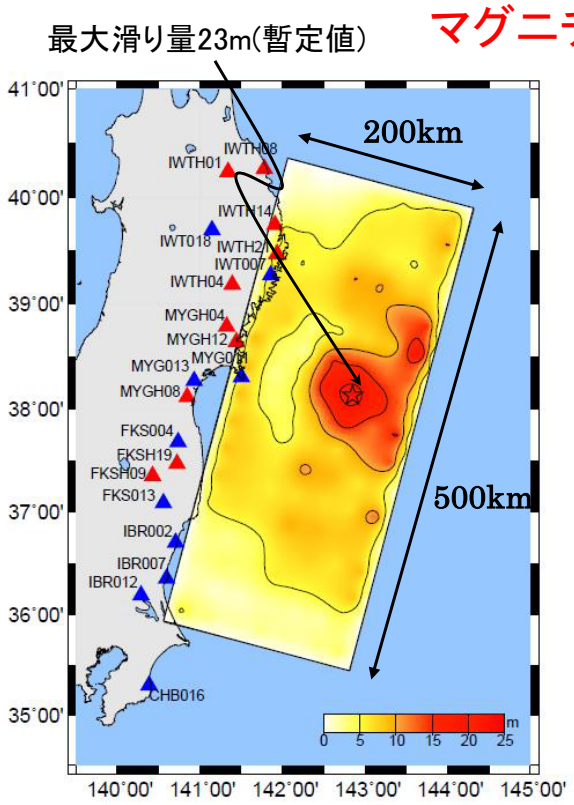


図2 平成23年東北地方太平洋沖地震に関する推定震源断層(防災科学技術研究所暫定版)

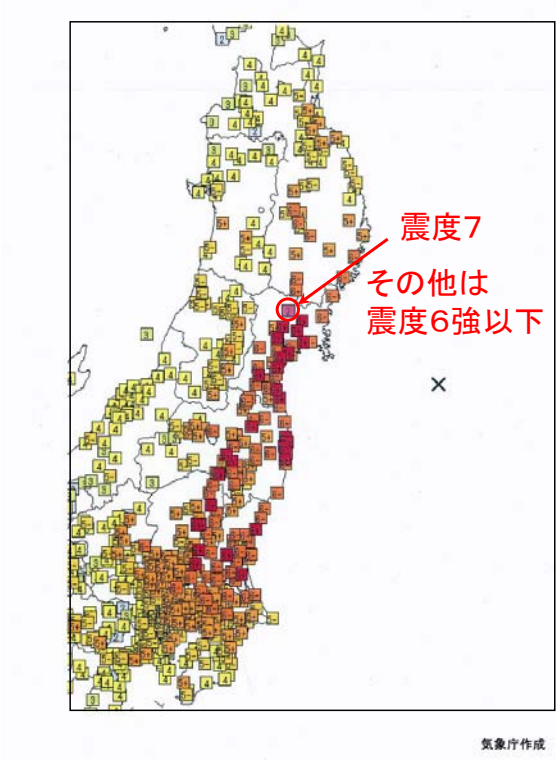
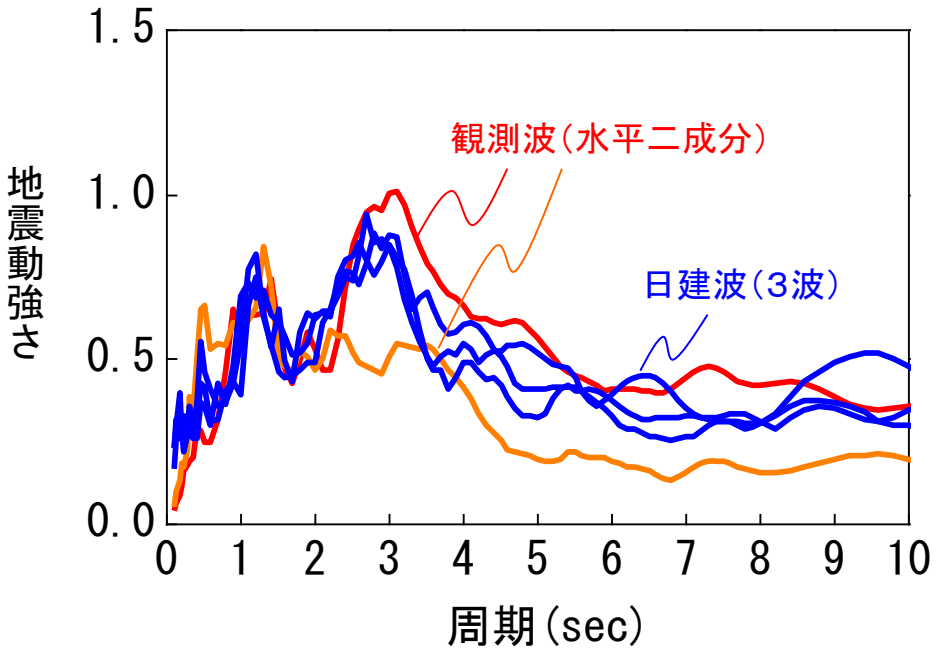
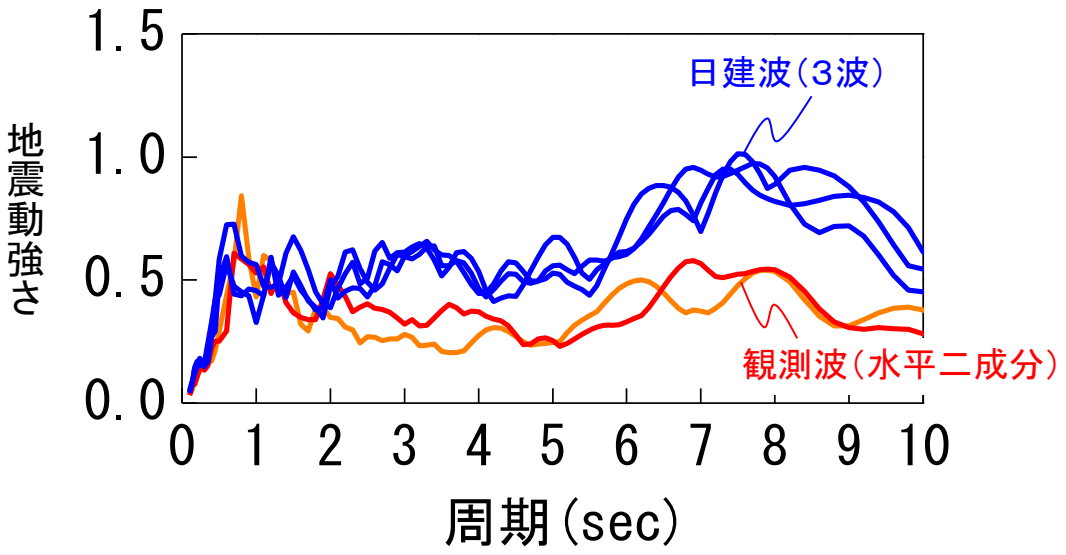


図3 平成23年東北地方太平洋沖地震の震度分布(気象庁)

仙台市青葉区における観測記録と日建波の比較



東京都墨田区における観測記録と日建波の比較



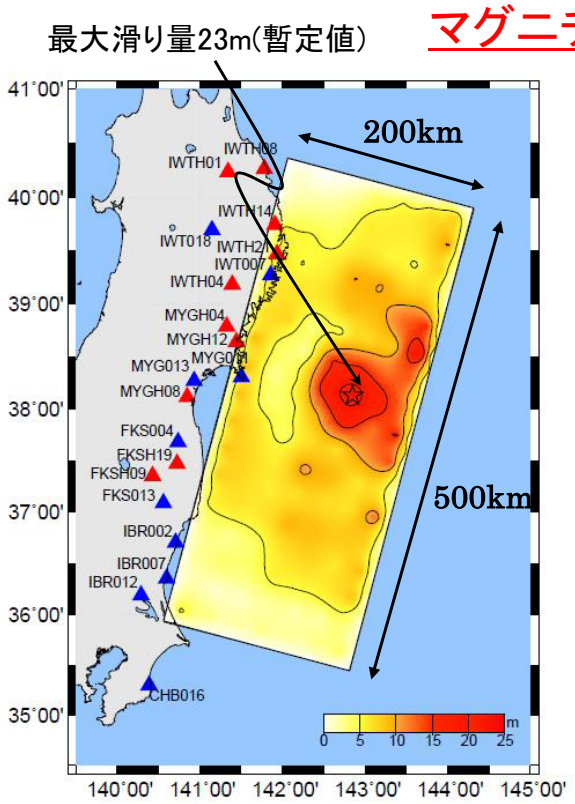


図2 平成23年東北地方太平洋沖地震に関する推定震源断層(防災科学技術研究所暫定版)

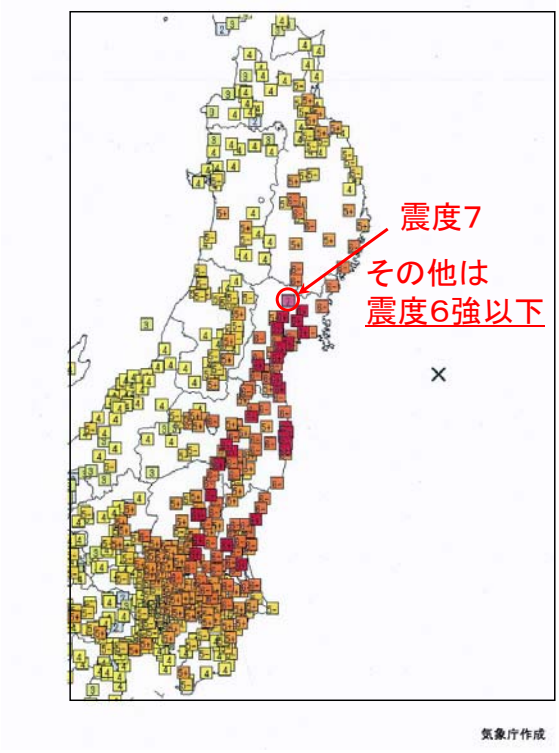
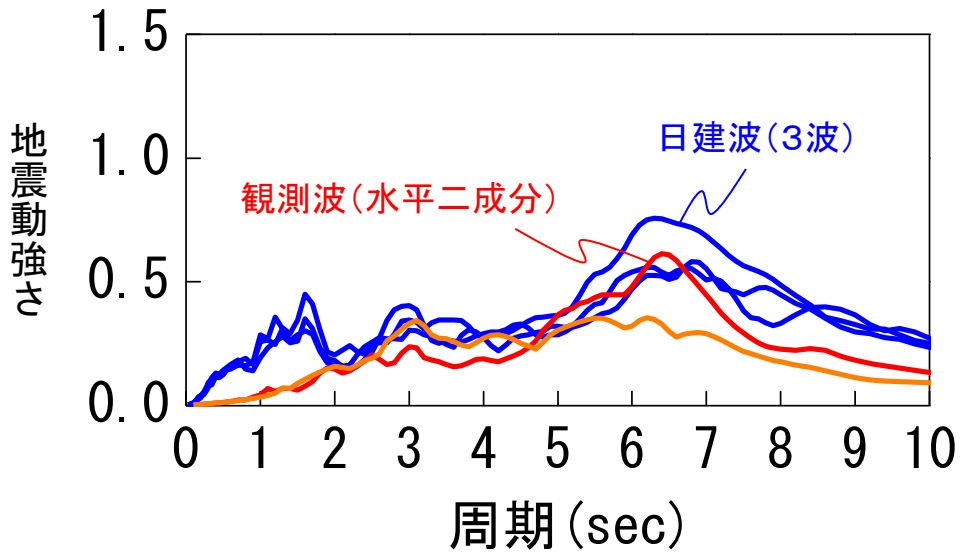


図3 平成23年東北地方太平洋沖地震の震度分布(気象庁)

大阪湾岸地域における観測記録と日建波の比較



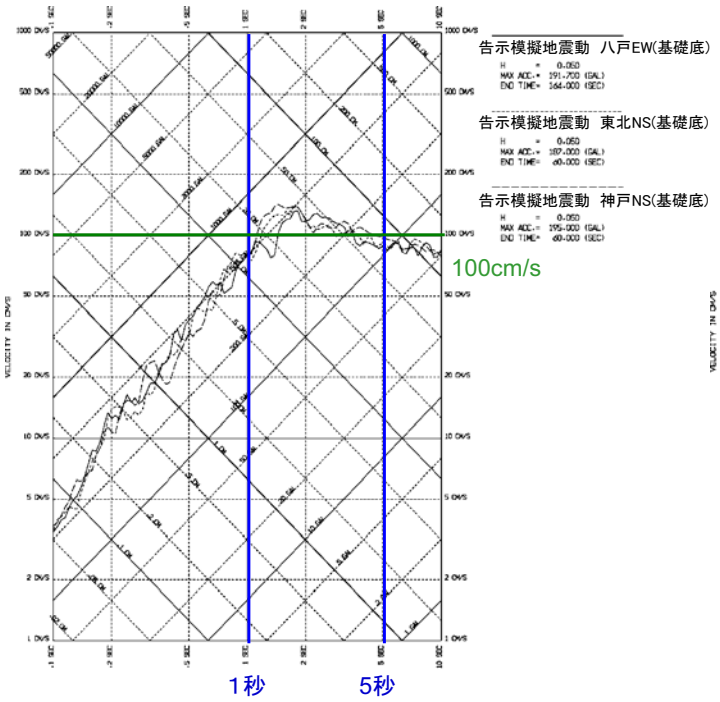
“「日建波」の検証”に関するまとめ

（1）震源に近いサイトで作成した「日建波」:
- レベル・周期特性が観測記録と整合。

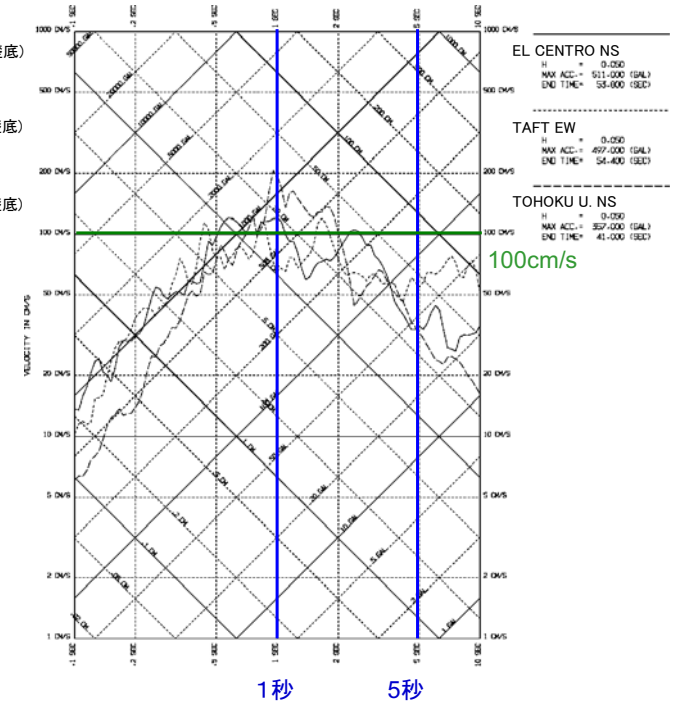
（2）東京地区で作成した「日建波」:
- 周期特性は整合。
- レベルは観測記録より高い。
（設計における安全側の設定）

（3）大阪湾岸地域で作成した「日建波」:
- 周期特性は整合。
- レベルと地盤増幅は今後の検討課題。

スパコン「京」の設計用入力地震動



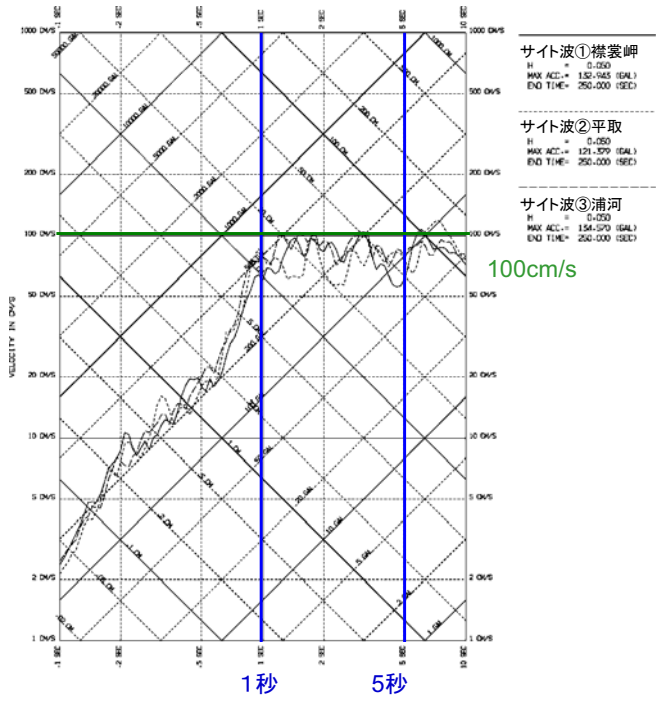
設計用模擬地震動（告示波）
のレスポンススペクトル　　（h＝5%）



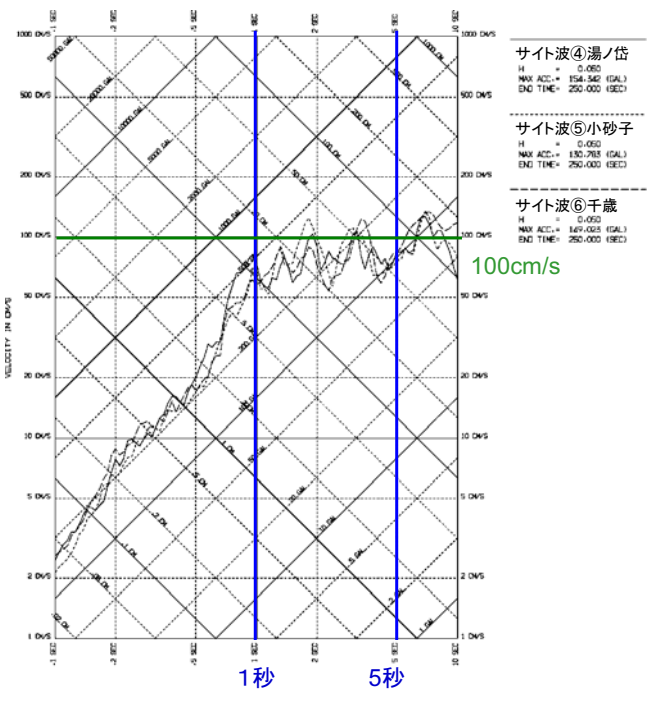
観測地震動のレスポンススペクトル　（h＝5%）

スパコン「京」の設計用入力地震動

告示波、観測波に加え、以下のサイト波、観測波を採用



設計用模擬地震動（サイト波・水平動・東南海地震）
のレスポンススペクトル　　（h＝5%）

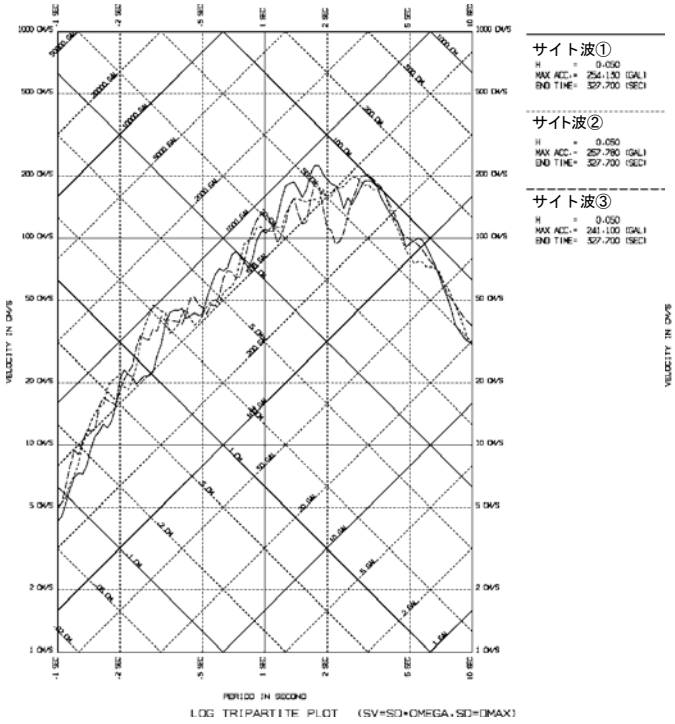


設計用模擬地震動（サイト波・水平動・南海地震）
のレスポンススペクトル　（h＝5%）

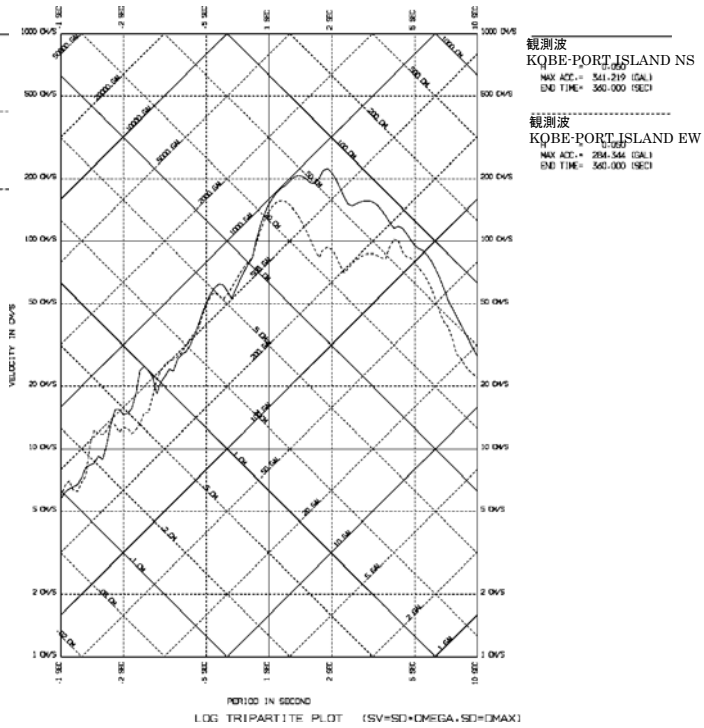
設計用入力地震動

告示波、観測波に加え、以下のサイト波、観測波を採用

全予裕度レベル



内陸直下地震（サイト波）のレスポンススペクトル
（h＝5%）



内陸直下地震（観測波）のレスポンススペクトル
（h＝5%）