

長周期・多数回繰り返し地震動 の地域特性

構造研究グループ
上席研究員 小山 信

1

発表内容

2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震
で顕在化した長周期地震動について、

- 長周期地震動と設計用地震動
- 長周期地震動に対する取り組み
- 長周期地震動を考慮した設計用地震動の作成手法の適用例

⇒長周期・多数回繰り返し地震動の地域特性
を紹介する

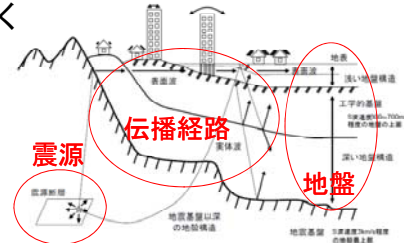
2

長周期地震動と設計用地震動

1)長周期地震動の特徴

長周期地震動とは？

- 長周期成分が卓越する
(建築で対象となる周期は、おおよそ周期2~10秒程度)
- 規模の大きな地震で発生しやすい
- 震源から遠方まで、あまり弱くならず伝播する
- 深い地下構造(堆積盆地)により揺れが増幅され、継続時間が長くなる
- 加速度振幅は大きくない、速度・変位振幅は大きい
→ 加速度計では記録され
 難しい(特に昔の加速度計)



(長周期地震動予測地図2009年試作版に加筆)

3

発端(いつ、注目されるようになったのか)？

- 1968年十勝沖地震(M 7.9)の際に、八戸港湾で観測された加速度波形に、周期約2.8秒で卓越する波が注目された

契機(なぜ、注目されるようになったのか)？

- 2003年十勝沖地震でのタンク火災
- 2011年東北地方太平洋沖地震で、超高層建築物が長時間継続した長周期地震動に共振して大きく応答
- 多数の長周期地震記録(地盤上)が得られた

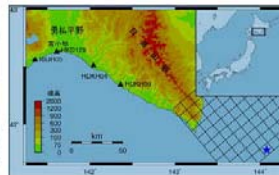


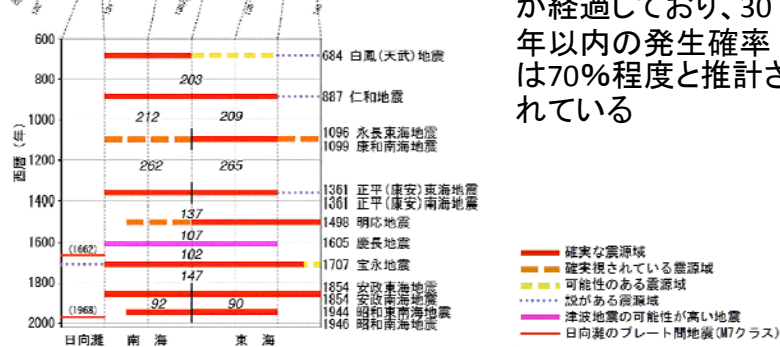
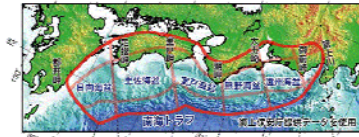
図 2.1 2003年十勝沖地震で発生した長周期地震動による苫小牧の石油タンク火災
左は建研省消防研究センター提供のタンク被災状況の航空写真。右は2003年十勝沖地震の震央(星印)や震源域(黒格子)と苫小牧の位置関係を示した地図 (Koketsu et al., 2005)。

(長周期地震動予測地図2012年試作版より)

気象庁「震度観測点」より

4

南海トラフの過去の地震の発生状況



- 昭和東南海地震及び昭和南海地震が起きてから70年近くが経過しており、30年以内の発生確率は70%程度と推計されている

(http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/kaiko/k_nankai.htm)

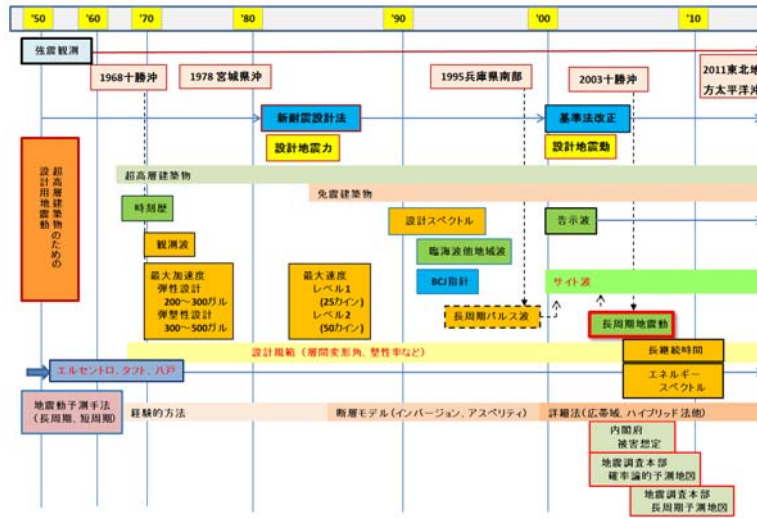
2)設計用地震動と長周期建築物

被害地震と耐震基準法等の変遷

被害地震	耐震規定等
1919年	市街地建築物法制定
1923年 関東大震災(M7.9)	
1924年	市街地建築法改正
1948年 福井地震(M7.1)	
1950年	建築基準法制定
1968年 十勝沖地震(M7.9)	
1971年	建築基準法施工令改正 (鉄筋コンクリート造柱のせん断補強筋規定強化)
1978年 宮城県沖地震(M7.4)	
1981年	建築基準法施行令改正(新耐震設計法)
1995年 兵庫県南部地震(M7.3)	
	建築基準法改正 建物の耐震改修に関する法律制定
2000年	建築基準法改正 (・建設省告示1352号/・建設省告示1460号)
2011年 東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)	

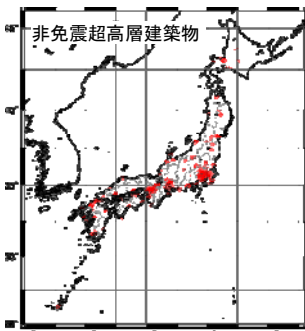
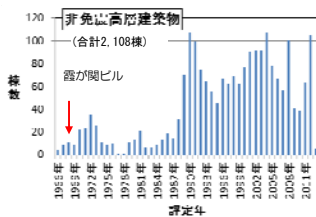
2)設計用地震動と長周期建築物

超建築物のための設計用地震動の変遷

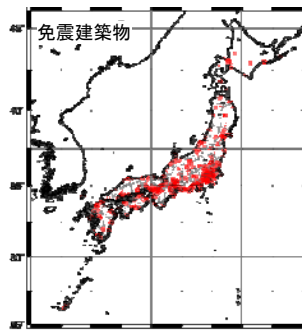


超高層建築物のための設計用地震動の変遷

長周期建築物の評定棟数

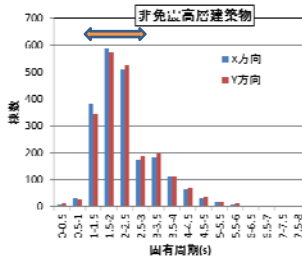


大都市、県庁所在地などに建つ

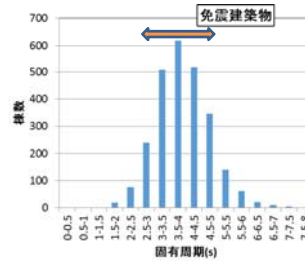


大都市、県庁所在地に限らず建つ

長周期建築物の卓越周期



非免震超高層建築物の1次固有周期



免震建築物の1次固有周期

固有周期帯の地震動

⇒ 長周期帯の地震動 が重要

長周期地震動に対する取り組み

内閣府中央防災会議と 文科省地震調査研究推進本部

- **文科省地震調査研究推進本部**
行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、これを政府として一元的に推進するために設置
- **内閣府中央防災会議**
内閣の重要政策に関する会議の一つとして、内閣総理大臣をはじめとする全閣僚、指定公共機関の代表者及び学識経験者により構成されており、**防災基本計画の作成や、防災に関する重要事項の審議等を行う**



(http://www.jishin.go.jp/main/p_shokai01_info.htm)

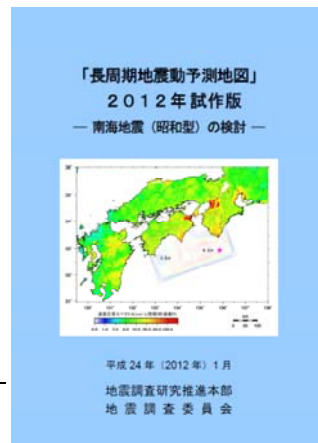
長周期地震動に対する取り組み

1)地震調査研究推進本部の取り組み

地震に関する評価

- 毎月の地震活動に関する評価
- 主な地震活動の評価
- 長期評価
- 強震動評価
- 地震動予測地図
 - 全国地震動予測地図
 - 長周期地震動予測地図
(2009年試作版、2012年試作版)
周期T秒の速度応答スペクトル図、
揺れの速度の最大値(最大速度)分布図、
継続時間分布図)

- 地震の評価に関する参考資料



http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/

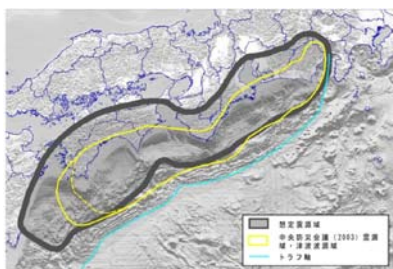
11

長周期地震動に対する取り組み

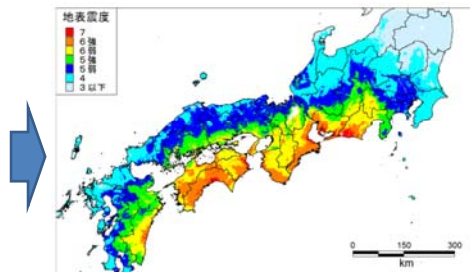
2)内閣府の取り組み

南海トラフ地震対策

- 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ
- 南海トラフ巨大地震対策協議会
- 南海トラフの巨大地震モデル検討会



新たな想定震源
(内閣府中間とりまとめ案、2011.12)



内閣府が公表した南海トラフ地震の震度、
陸側ケース地表震度(第二次報告、2012.08)

12

IV 建築研究所の取り組み

平成23年4月～28年3月の中期目標期間における 研究開発の基本方針

- ①社会的要請の高い課題への重点的・集中的対応
 - ア)グリーンイノベーションによる持続可能な住宅・建築・都市の実現
 - イ)安全・安心な住宅・建築・都市の実現
 - ウ)人口減少・高齢化に対応した住宅・建築・都市ストックの維持・再生
 - エ)建築・都市計画技術による国際貢献と情報化への対応

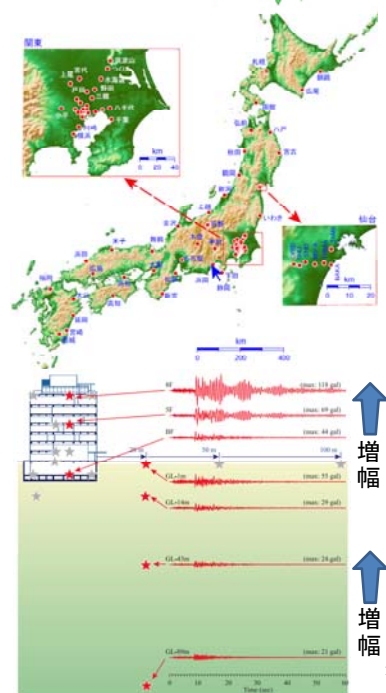
- 建築物の地震災害軽減・防止に関する研究
 - ・強震観測⇒合理的な設計用地震力の設定
 - ・耐震工学⇒建築物の耐震安全性の確保

13

IV 建築研究所の取り組み

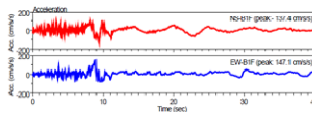
1)強震観測

- 地震に強い建物をつくるために、地震による地盤の動き(地震動)とそれを受ける建物の揺れを知る必要がある
- 1950年代より、建物や地盤に地震計を設置して観測
- 現在、全国の主要都市及び首都圏の83の観測地点(右上)が稼働中
- 建物と周辺地盤での高密度観測(右下)

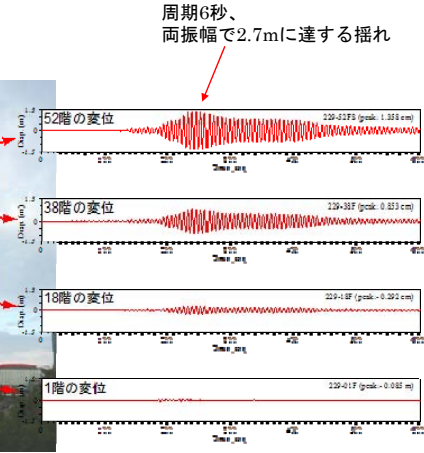
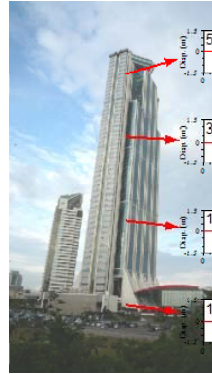


14

貴重な地震記録を取得



1964年新潟地震で転倒したアパートと隣の建物で得られた強震記録



東北地方太平洋沖地震における大阪府咲洲庁舎の強震記録
(建物の52階では両振幅で2.7mに及ぶ揺れが継続し、エレベータなどの設備や内装・仕上げ材の破損が生じた。)

建築研究所の強震観測ウェブサイト (<http://smo.kenken.go.jp/>)



強震観測データの公開(右図)

- 建物上部の強震データ(デジタル値)が申請によって入手可能

2)長周期地震動に係る研究課題

重点的研究開発課題

- 「長周期建築物の耐震安全性対策技術の開発 (H21-22)」
- 「長周期地震動に対する超高層建築物等の応答評価技術の高度化(H23-24)」



- ① 長周期地震動を算定する「長周期地震動を考慮した設計用地震動の作成手法」の開発
- ② 長周期建築物の限界性能の明確化と応答予測技術の高度化

2)長周期地震動に係る研究課題

①長周期地震動を考慮した設計用地震動の作成手法

特徴

1)地震記録に基づいた予測手法

⇒ 建築物に影響を及ぼす地震波の周期範囲(短～長周期)をカバー

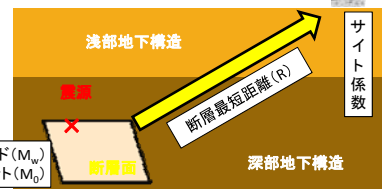
2)地震の規模(マグニチュード)、震源からの距離、揺れやすさ(サイト係数)より地震動の大きさ(振幅特性)と特徴(位相特性)を予測する

⇒ 任意地点の揺れやすさ(地震動の大きさや時間)の評価が可能

⇒ サイト波*1としての適用が可能

*1 サイト波:
建設地周辺における活断層分布、断層破壊モデル、過去の地震活動、地盤構造等に基づいて作成される設計で用いる模擬地震波

モーメントマグニチュード(M_w)
地震モーメント(M_0)



振幅特性を評価 $\log_{10} S_A(T) = a_1(T)M_w + a_2(T)M_w^2 + be(T)R + bw(T)R - \log_{10}(R^{d(T)} + d(T)10^{0.5M_w}) + c_0(T) + c_f(T) + cw_j(T)$

位相特性を評価 $\mu_{tgr}(f) = A_{tgr1}(f)M_0^{1/3} + B_{e1}(f)X + B_{w1}(f)X + C_{1j}(f) + C_{1j}(f) + C_{w1j}(f)$
 $\sigma_{tgr}^2(f) = A_{tgr2}(f)M_0^{1/3} + B_{e2}(f)X + B_{w2}(f)X + C_{2j}(f) + C_{2j}(f) + C_{w1j}(f)$

↑ 緑字の係数をウェブで公開

予測手法の係数公開、波形例を公開

予測に必要な係数と、
代表的地点(31地点)における南海トラフ巨大地震の予測波形を
建研ウェブサイト公開

⇒ 建設地点(任意)の長周期地震動を設計者が予測評価できるようになる

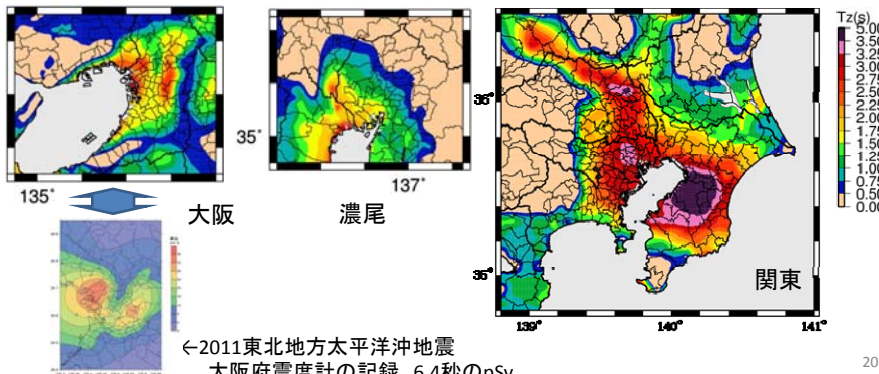


任意地点での長周期地震動を計算する方法

地震基盤上面から工学的基盤面までの堆積層伝播時間 $T_z(s)$ を定義

$$T_z(s) = \sum_{i=1}^n (H_i / V_{s_i}) \quad \text{ここで } H_i: \text{堆積層厚}, V_{s_i}: \text{堆積層のせん断波速度}$$

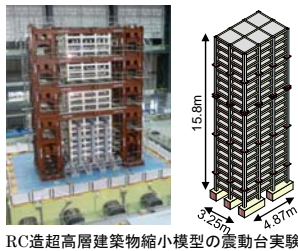
- $T_z(s)$ の値が大きい ⇨ 地震基盤が深い
- ⇨ 卓越周期が長い
- ⇨ 振幅が大きい



IV 建築研究所の取り組み
2)長周期地震動に係る研究課題

②過大な長周期地震動に対する上部構造の挙動

- 安全性・機能性等保有性能の把握、応答解析の高度化
- 応答時の挙動、変形レベルを把握、設計用技術資料への取りまとめ



RC造超高層建築物縮小模型の震動台実験



RC造部分架構実験

RC造
1/4スケール縮小20層建物試験体の震動実験
部分架構実験

- 終局状態(=現行の設計範囲を超える大変形領域)の限界値に関する知見を得た(1/100rad.までは実験とシミュレーションが良く対応、それ以降の大変形では乖離が顕著)

②過大な長周期地震動に対する上部構造の挙動



鉄骨造3層実大架構試験体の多数回繰り返し載荷実験



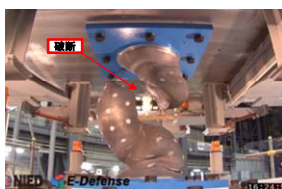
鉄骨造3層実大架構試験体の実験後の梁端部下フランジの破断状況

S造
実大鉄骨造架構の多数回繰返し載荷実験

- 疲労曲線(限界繰返し性能)の妥当性が確認された
- 多数回繰返し載荷での挙動を把握した



実大免震装置の多数回繰返し載荷実験



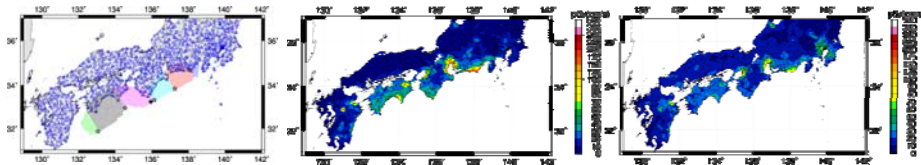
鉛ダンパーの長時間加振による破断

免震
実大免震部材の多数回繰返し加振実験

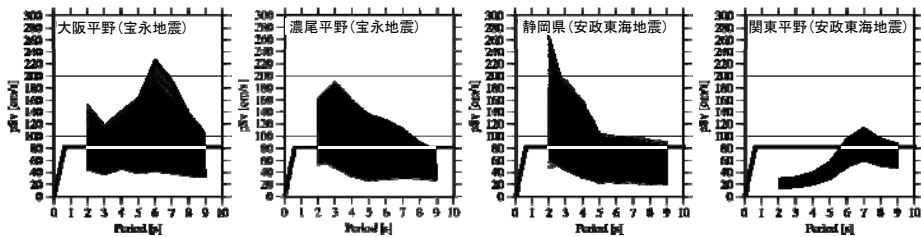
- 温度、エネルギー吸収性能等の限界性能を把握した
- 地震応答解析で限界性能の影響を確認した

V 長周期地震動を考慮した
設計用地震動の作成手法の適用例

1) 振幅レベルの特徴



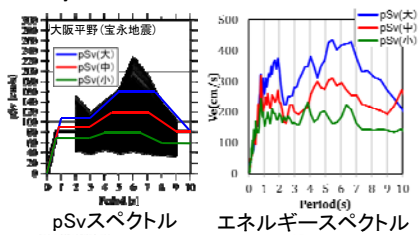
宝永地震断層と観測点(△) 周期3秒のpSv分布(宝永地震) 周期6秒のpSv分布(宝永地震)
振幅が大きな地点は、御前崎半島、高知県安芸平野、濃尾平野、大阪平野、徳島平野、大分平野、関東平野に分布



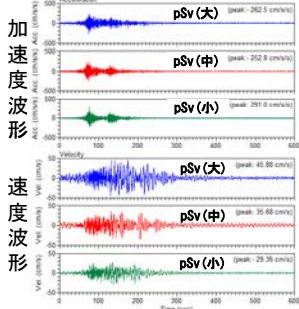
$T_x(s)$ 等を用いて計算された長周期地震動(黒太線[一部白線])は、告示スペクトル

V 長周期地震動を考慮した
設計用地震動の作成手法の適用例

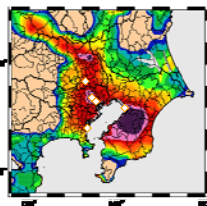
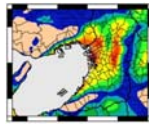
1) 振幅レベルの特徴



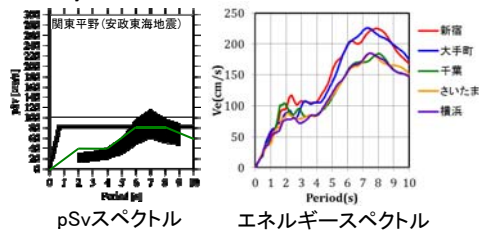
pSvスペクトル エネルギースペクトル



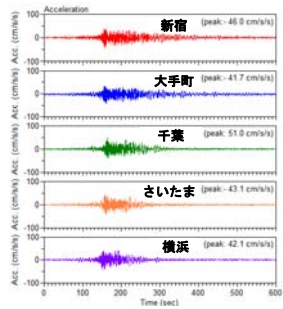
大阪平野の地域特性



2) 位相特性の特徴



pSvスペクトル エネルギースペクトル

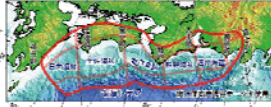


関東平野の地域特性

加速度波形

VI おわりに

- 30年以内の発生確率が70%程度と推計されている南海トラフに発生する巨大地震は、長周期建築物が建設されるようになってから発生していない



- サイト固有の長周期地震動特性を評価し、適切な対策が取られることが期待される

