

## 長周期地震動に対する超高層建物の制震設計 その 1. 東北地方太平洋沖地震による長周期地震動

### Response Control Design of High-rise Buildings against Long-Period Earthquake Ground Motion Part1 Long-Period Earthquake Ground Motion by The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

○笠原俊<sup>4</sup>, 古橋剛<sup>2</sup>, 石丸辰治<sup>1</sup>, 郭鈞桓<sup>3</sup>\* Shun Kasahara<sup>4</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>2</sup>, Shinji Ishimaru<sup>1</sup>, Chunhuan Kou<sup>3</sup>

Nowadays, the long-Period Earthquake Ground Motion attracts attention greatly. A Long-Period Earthquake motion resonates with High-rise buildings where those natural periods are long. This paper shows analysis of the Ground motion by The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake which occurred on March 11, 2011, and the damage of a certain building.

#### 1.1 はじめに

今日では短周期成分が卓越する地震動だけではなく長周期成分を含む地震動が大きく注目されつつある。長周期地震動が社会的に大きな注目を集めたのは 2003 年十勝沖地震による震央から約 250 km 離れた苫小牧市内で発生した石油タンク火災事故が契機となった。

長周期地震動は一般の地震動に比べて減衰しにくく震源から遠く離れた場所まで伝わり固有周期の長い超高層建物と共振する性質がある。特に切迫性が指摘されている東海地震や東南海・南海地震により長周期地震動が発生し、ダンピングの小さい超高層建物などの対策が急務となっている。

本報では平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による長周期地震動の分析及び建物の被害について示す。

#### 1.2 地震が建物に影響を及ぼす卓越周期

東北地方太平洋沖地震で震源から近い東北地方では津波による建物の被害は多かったが地震そのものによる被害は少なかった。そこで本報では k-net の観測データを用いて、東北地方太平洋沖地震と新潟県中越沖地震 (M 6.9, 2007/7/16) と兵庫県南部地震 (M 7.3, 1995/1/17) の地震を比較し、Figure1-1 に示す。

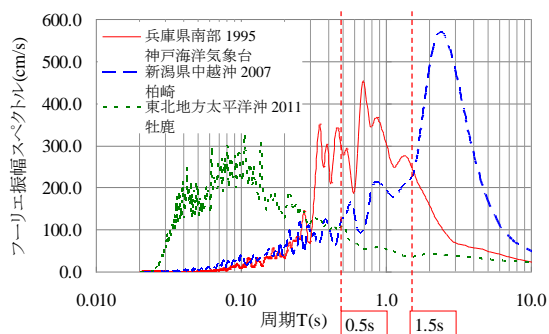


Figure1-1 Fourier amplitude spectrum of Earthquake motion (Band width : 0.28Hz)

地震そのものによる建物被害が一番多かったことが分かった兵庫県南部地震の卓越周期は Figure1-1 より 0.5—1.5 秒で卓越しているのがよく分かる。一般的には建物に多大な被害を与える地震波の周期は 0.5—1.5 秒と言われており、兵庫県南部地震の際に被害が多かったことともつながると考えられる。逆に今回の東北地方太平洋沖地震では 0.1 秒付近で卓越しており建物に多大な被害を与える周期の地震はきていないことが分かる。

しかし、東北地方太平洋沖地震では大阪は震源からの距離が離れているにも関わらず高層ビルなどで大きな揺れを観測した。1.3 ではその原因の長周期地震動の分布について調べる。

#### 1.3 地震による全国の卓越周期

次に k-net の観測データを用いて、今回の東北地方太平洋沖地震による全国の卓越周期による分布を Figure1-2 に示す。なお、本報では 0.5 秒以下を短周期、0.5—1.5 秒を中周期、1.5 秒以上を長周期と設定した。

【東北地方太平洋沖地震】

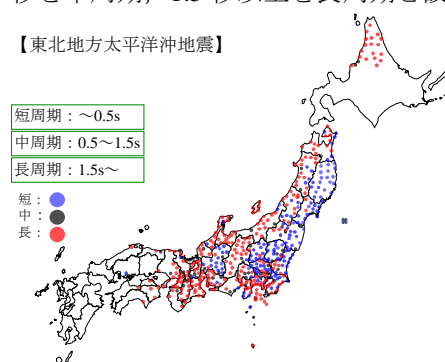


Figure1-2 The distribution map of the dominant period by The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

震源から遠い場所では長周期に卓越した地震波が観測される傾向がみられる。震源から遠い大阪平野ではダンピングのない超高層などの建物に、特に咲洲庁舎では大きな揺れが長く続きエレベータの故障などが相次いだ。

そこで k-net の観測データを用いて、今回の東北地方太平洋沖地震と静岡県東部地震(M6.4, 2011/3/15)と新潟県中越沖地震の 3 つの地震について大阪の羽曳野で観測された地震波をそれぞれ卓越周期で比較した図を Figure1-3 に示す。

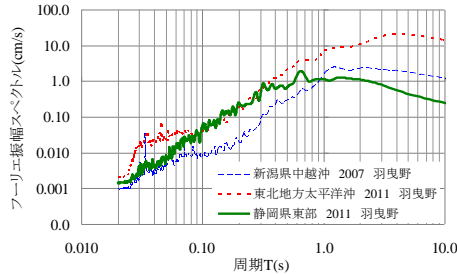


Figure1-3 Fourier amplitude spectrum of each earthquake in a Habikino, Oosaka (Band width : 0.28Hz)

3 波とも遠距離から来ており、長周期成分が優勢な地震動である。しかし、伝播経路の違いによって卓越する周期が若干異なることが分かる。

#### 1.4 NS-EW 平面上における応答スペクトル

東北地方太平洋沖地震では、大阪府咲洲庁舎において、長周期地震動の影響とみられる大きな揺れが生じたことは 1.3 でも述べたが Figure1-4 に今回、建築研究所のデータ<sup>[4]</sup>を用いて咲洲庁舎で観測された長周期地震動の加速度時刻歴を示した(以下咲洲波と呼称する)。

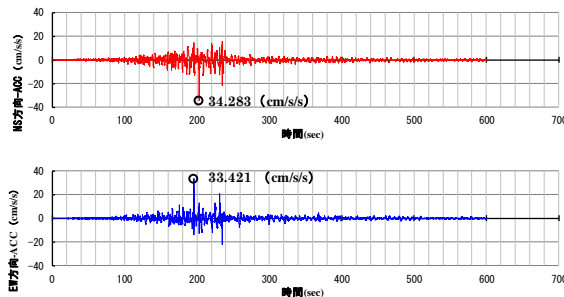


Figure1-4 The acceleration time history observed at Sakisima government building

NS, EW 方向とも最大加速度はともに約 34[cm/s<sup>2</sup>]となっており観測された地震動自体は大きくないことが分かる。

次に、観測された加速度を用いて作成した応答スペクトルと告示で規定される極めて稀に発生する地震動の応答スペクトルを Figure1-5 に示す。両者を比較してみると、咲洲波の応答スペクトルが低くレベルが低い地震動であり、長周期側(6-7秒)が卓越していることが分かる。しかし、実際には咲洲庁舎では大きな揺れが観測されている<sup>[4]</sup>。これは Figure1-4 より長時間の揺れが続いた為になんげ建物への影響が出てきたと考えられる<sup>[1]</sup>。

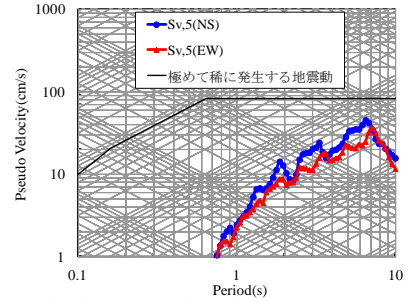


Figure1-5 Velocity (Pseudo Velocity) Response spectrum

更に咲洲庁舎のような超高層構造物の場合を考えると高次モードによる応答の影響は無視できない。また、構造物の減衰性能が低く、地震の継続時間が長いと共振現象が起きる恐れが十分にある<sup>[2]</sup>。

#### 1.5 長周期地震動が来る際の懸念

大阪に長周期地震動が来る際の懸念としては高層建築物の多さと大阪平野の地盤特性が挙げられる<sup>[1]</sup>。

高層建築物では固有周期が長くなりそれが長周期地震動の周期と共振し、建物の揺れを増幅する。

地盤特性では大阪平野は柔らかい堆積層から成り立っているが、その下の深部の基盤に多くの凹凸が存在するため(堆積層の厚さの変化)により局所的に長周期の地震動が増幅される可能性がある<sup>[3]</sup>。

これらより大阪などの大規模平野では長周期地震動が生じやすく、それによる超高層建物やその居住者への影響が懸念されている。長周期地震動では建物への被害よりも生活やビジネスを継続するのが困難となるような室内被害をもたらす。

#### 1.6 まとめ

震源から遠くなるにつれて長周期地震波が観測される傾向があることを示した。

大阪では長周期成分が優勢な地震が観測されることが多く、高層建築物などでは長周期地震動を考慮しなければならないことを示した。

その 2 ではどのような設計にすれば良いか、実際に建物をモデル化して模擬地震動をつくり建物の応答を確かめる。

#### 【参考文献】

- [1] 太田外気晴, 座間信作: 巨大地震と大規模構造物, 共立出版, 2005.6
- [2] 大崎順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 2008.5
- [3] 東大地震研資料: 新潟中越沖地震 揺れ続ける関東平野, 2009
- [4] 建築研究所強震観測, <http://smo.kenken.go.jp/ja> (2011/9/28 アクセス)