

建築研究資料

Building Research Data

No. 144

August 2013

超高層建築物等への

長周期地震動の影響に関する検討

-長周期地震動作成のための改良経験式の提案と南海トラフ

3連動地震による超高層・免震建物の応答解析-

STUDY ON LONG-PERIOD GROUND MOTIONS AND RESPONSES OF
SUPER-HIGH-RISE BUILDINGS ETC.

- Proposal of updated empirical equations for long-period ground motions and
evaluation of responses of super-high-rise and seismically isolated buildings under
the hypothetical Nankai-Tonankai-Tokai connected earthquakes -

大川出、佐藤智美、佐藤俊明、藤堂正喜、
北村春幸、鳥井信吾、辻泰一、北村佳久

Izuru Okawa, Toshimi Satoh, Toshiaki Sato, Masanobu Tohdo,
Haruyuki Kitamura, Shingo Torii, Yasukazu Tsuji, Yoshihisa Kitamura

独立行政法人 建築研究所

Published by

Building Research Institute

Incorporated Administrative Agency, Japan

はしがき

近い将来にわが国近海の海溝域において巨大地震が発生することが確実視され、その結果として想像を絶する大災害の発生が危惧されている。地震による津波災害のほか、建築分野では、発生する長周期地震動により、大都市域に多く建設されてきた超高層建築物や、現在広く建設が進められている免震建築物などの固有周期が長い建築物への影響が懸念されている。

長周期地震動については、2003年9月の十勝沖地震（M=8.0）において、共振現象による大型石油タンクのスロッシングに起因する大規模火災が発生したことが契機となり、日本建築学会や土木学会のほか、国土交通省、地震調査研究推進本部、内閣府などの国の機関でも長周期地震動の発生やそれによる長周期構造物への影響などが検討されてきた。

建築研究所では、基盤研究課題として「長周期地震動に対する超高層建物および免震建物の耐震性能評価技術の開発」（平成18-20年度）、続いて個別重点研究課題「長周期建築物の耐震安全性対策技術の開発」（平成21-22年度）を実施し、その中の関連課題の検討において、新たに開始された国土交通省建築基準整備促進事業の一課題「超高層建築物等の安全対策に関する研究」（平成20-22年度）の事業主体と共同研究を実施し、巨大海溝地震による長周期地震動の評価手法の検討と超高層建築物などの応答評価を行ない、成果を建築研究資料第127号として公表した。

国土交通省は、この成果を踏まえて、平成22年12月に、「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」を取りまとめ、これに関する意見募集（パブリックコメント）を実施した。意見募集が平成23年2月末に締め切られ、多くの意見を踏まえて、同試案の見直し作業が始まった矢先に、2011年東北地方太平洋沖地震が発生した。大規模地震でより強く発生する長周期地震動の記録が多数得られたことから、試案で示された長周期地震動の評価方法の妥当性について、この地震により検証を行い、必要に応じて同手法の見直しをすることとなった。

建築研究所は、本検討作業を、平成23年度に着手した個別重点研究課題「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」（平成23-24年度）の関連課題において、建築基準整備促進事業の平成23年度の課題「超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討」の事業主体の（株）大崎総合研究所のほか、（社）日本建築構造技術者協会、（社）日本免震構造協会との共同研究として行った。本資料はその共同研究における検討内容をとりまとめたものである。本作業の実施にあたっては、当該分野を専門とする大学や民間の研究者にもご参加をいただきながら検討を進めた。これらのご協力に対して、厚く御礼申し上げます。

2013年8月

独立行政法人建築研究所
理事長 坂本 雄三

超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討

- 長周期地震動作成のための改良経験式の提案と南海トラフ3連動地震による
超高層・免震建物の応答解析 -
大川出¹⁾、佐藤智美²⁾、佐藤俊明³⁾、藤堂正喜²⁾、
北村春幸⁴⁾、鳥井信吾⁵⁾、辻泰一⁶⁾、北村佳久⁷⁾

概要

平成20-22年度の建築基準整備促進事業「超高層建築物等の安全対策に関する研究」で開発した長周期地震動の予測、作成手法について、2011年東北地方太平洋沖地震及びその余震の観測データを用いて、手法の検証を行い、いくつかの改良を加えた。

改良の第一点は、提案式を $M_w=9$ のマグニチュードまで適用可能としたことである。観測値と評価値との比較で、規模が大きな地震について、何らかの頭打ち効果を導入する必要があることがわかり、 M_w の自乗項を追加した。

もう一つの大きな改良点は、2つの震源域すなわち東側の太平洋プレートと南西側のフィリピン海プレート（南海トラフ）で起こる地震とで、地震動の距離減衰特性に違いがあること、また、関東地域内での地震基盤が深い観測点では、この2つの震源域間で、増幅率および地震動の伝播に関するサイト係数に違いがあることがわかり、それを反映したことである。

これらの改良を加えた推定式による値と2011年東北地方太平洋沖地震の各地での観測記録とを比較し、改良式がより良く観測値を再現していることを確かめた。

さらに、地震調査研究推進本部の昭和南海地震を対象とした2012年版長周期地震動予測地図との比較も試みた結果、両者に大きな相違がないことも確認している。

このように、改良式に一定の有効性があることが確認できたため、これを連動地震にも適用することを試みた。対象としたのは、南海・東南海・東海の3連動地震で、元々内閣府が設定した震源モデルを、鶴来他(2005)が、いくつかの矩形の断層に置き換えたものである。関東平野、濃尾平野、大阪平野の主要観測地点での地震動を推定した。提案式は観測データに基づいているため、観測値と評価値との乖離度合いを意味する回帰誤差も計算しており、これを標準偏差と考慮して、スペクトル値と群遅延時間それぞれで、その分を上乗せした平均値+標準偏差($\mu + \sigma$)レベルの地震動も作成した。

さらに、これらの地震動に対する超高層、免震各建築物の応答レベルの試算を行った。

超高層建築物は、S造について高さ100mから250mの6棟（純ラーメン構造、ブレース付きラーメン構造、制振部材付きラーメン構造）、RC造について高さ100mから250mの7棟で、すべて曲げせん断棒置換モデルで応答解析を行っている。

上述の3連動地震の地震動のうち、関東平野では西新宿・工学院大学、濃尾平野では愛知県西部の津島、大阪平野では大阪湾岸の此花の各観測点および震源直上で静岡県浜松地点の地表の地震動を対象とし、2レベル（平均、平均+標準偏差）をそれぞれの超高層解析モデルに入力した場合の最大応答を整理した。応答値は、地震動レベル、各地震動の卓越周期、建築物の固有周期の組み合わせでさまざまであるが、大阪此花地点及び浜松地点の地震動に対しては平均+ σ のレベルの入力では、ほとんどの建物モデルで一般的な設計クライテリアを満足せず、津島、新宿地

点の地震動でも一部の超高層建築物で設計クライテリアを満足していないケースがあった。

なお、前述 S 造超高層建物 6 棟とは別に、S 造 80m 級について耐震構造と制振構造の応答比較を部材レベルで行っている。

免震建築物は、実在の建築物から、年代、上部構造形式、高さ、免制振部材の種類により 22 個の解析モデルを抽出し、超高層と同様な検討を行った。平均レベルの地震動に対しては、ほとんど損傷は発生しないが、平均+ σ レベルの地震動に対しては、全体の 15% 程度の建物が弾性限耐力を超える状態であった。

本検討の主要部分は、平成 23 年度建築基準整備促進事業の課題「超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討」による事業主体（(株)大崎総合研究所）と（独）建築研究所との共同研究により実施した。検討を進めるに当たり、当該分野を専門とする大学や民間の研究者のご意見を反映させるため、事業主体が地震動・応答 WG を設置した。さらに、(社)日本建築構造技術者協会及び(社)日本免震構造協会も共同研究に参加し、超高層建築物及び免震建築物の応答解析については、それぞれ SWG を設置して検討を行った。これらの委員リストを後に示す。

参考文献

鶴来雅人・趙伯明・Petukhin A.・香川敬生(2005). 東南海・南海地震による大阪での強震動予測事例—広帯域強震動の予測—シンポジウム論文集, pp. 73-82.

- 1) (独)建築研究所
- 2) (株)大崎総合研究所
- 3) 清水建設(株)技術研究所
- 4) 東京理科大学理工学部
- 5) (株)日建設計構造設計部門
- 6) 鹿島建設(株)建築設計本部
- 7) 清水建設(株)設計本部

STUDY ON LONG-PERIOD GROUND MOTIONS AND RESPONSES OF SUPER-HIGH-RISE BUILDINGS ETC.

- Proposal of updated empirical equations for long-period ground motions and evaluation of responses of super-high-rise and seismically isolated buildings under the hypothetical Nankai-Tonankai-Tokai connected earthquakes -

by

Izuru Okawa¹⁾, Toshimi Satoh²⁾, Toshiaki Sato³⁾, Masanobu Tohdo²⁾,
Haruyuki Kitamura⁴⁾, Shingo Torii⁵⁾, Yasukazu Tsuji⁶⁾, Yoshihisa Kitamura⁷⁾

ABSTRACT

The formula for predicting the long-period motion that was proposed in 2010 were verified with the recorded data collected during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (hereafter referred to as the Tohoku-oki earthquake) and its aftershocks. The formula were revised in the viewpoints that it simulates the Tohoku-oki earthquake i.e., large magnitude earthquake. The results were that the formula needed to introduce the second order terms with the moment magnitude M_w , to accommodate the values for large magnitude earthquakes.

Another improvement was to consider the difference in attenuation properties with distance between the Pacific plate, the eastern side, and the Philippine Sea plate, the Nankai trough case. In addition, the difference needed to be introduced with the site amplification property in case the natural period of the deep ground became quite large for sites within the Kanto plain.

With the revised model, comparisons were made between predicted and recorded values for the 2011 Tohoku-oki earthquake. It was shown, therefore, that the revised model gives better approximations than the older model. In addition the comparison was also made between predicted values and the values with the long-period earthquake motions prediction maps by the Headquarter for Earthquake Research Promotion (HERP), Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). It was also concluded that there were no distinctive differences between the two. Thus, the revised model efficiently reproduces the recorded values, and then the model was applied to the connected earthquake models. The objective source model was the Nankai-Tonankai-Tokai three-connected earthquake model. The model was originally used by Tsurugi et al. (2005) based on the proposed model by the Central Disaster Management Council (CDMC), Cabinet Office in 2003. Using this source model, the earthquake motions for the principal sites, (i) the west of Shinjuku in Kanto plain, (ii) the Tsushima, west of Aichi Prefecture, in Nobi plain, (iii) Konohana, Osaka plain and (iv) Hamamatsu just on the seismic source were computed with the average, and the average plus standard deviation levels, since the prediction equation is based on the recorded motions.

The computed motions were further used as input motions for response computations of high-rise buildings and base-isolated buildings. Variety of analytical models was selected for both classes of buildings. The high-rise buildings include 6 steel and 7 reinforced concrete building models, with the height of 100 m through 250 m.

The base-isolated buildings were selected with respect to the construction periods, types of super structures and height, and also the types of control devices such as rubber and/or dampers. Totally twenty two models were selected to use for analyses. The input motions with aforementioned levels or sites were subjected to each of the structural analytical models.

Most of super-high-rise building cases with input motions of the average plus standard deviation levels showed the computed responses in excess of their design limit. The responses of base-isolated buildings were rarely excessive in case of the input motions of the average levels, however, with "plus standard deviation" level input motions, some portions of the model buildings suffer responses greater than elastic limit.

Reference

Tsurugi, M., et al. (2005), "A Strong Motion Prediction in Osaka Area for Tonankai-Nankai earthquake", Proceedings of the Symposium on the Prediction of the Broadband Strong Motions, JSCE and AIJ. (in Japanese)

- 1) Building Research Institute, 2) Ohsaki Research Institute,
- 3) Institute of Technology, Shimizu Corporation, 4) Tokyo University of Science,
- 5) Nikken Sekkei, 6) Kajima Corporation, 7) Shimizu Corporation

目 次

第1章	はじめに	1-1
第2章	長周期地震動作成手法の改良	2-1
2-1	背景・目的	2-1
2-2	旧経験式による東北地方太平洋沖地震の長周期地震動の試算	2-2
2-3	長周期地震動の経験式の改良	2-19
2-4	改良経験式による東北地方太平洋沖地震の長周期地震動のシミュレーション	2-110
2-5	工学的基盤のパラメータ・地震動と建物入力地震動について	2-131
第3章	長周期地震動の作成	3-1
3-1	背景・目的	3-1
3-2	地震本部の長周期地震動予測地図の計算波との比較	3-2
3-3	東海・東南海・南海3連動地震の長周期地震動波形の計算	3-54
第4章	超高層建築物の地震応答計算	4-1
4-1	はじめに	4-1
4-2	鉄骨造超高層建築物の応答	4-20
4-3	鉄筋コンクリート造超高層建築物の応答	4-160
4-4	考察とまとめ	4-297
第5章	免震建築物の地震応答計算	5-1
5-1	検討用入力地震動	5-1
5-2	検討用建物	5-4
5-3	応答解析	5-5
5-4	戸建住宅に対する検討	5-35
5-5	地震動のばらつきに関する検討	5-38
5-6	まとめ	5-47
第6章	まとめ	6-1

執筆者リスト

- 第1章 大川出((独)建築研究所)
- 第2章 佐藤智美((株)大崎総合研究所)、佐藤俊明(清水建設(株))
- 第3章 佐藤智美(前掲)、藤堂正喜((株)大崎総合研究所)、
佐藤俊明(前掲)
- 第4章 北村春幸、鳥井信吾、辻泰一(日本建築構造技術者協会・長周期地震動 SWG)
- 第5章 北村佳久(日本免震構造協会・長周期地震動 SWG)
- 第6章 大川出(前掲)

検討 WG 等の設置について

平成 23 年度国土交通省建築基準整備促進事業「超高層建築物等への長周期地震動の影響に関する検討」の検討のため、事業主体である(株)大崎総合研究所が事務局となり、以下の地震動・応答 WG が設置された。また、共同研究に参加した(社)日本建築構造技術者協会及び(社)日本免震構造協会において、超高層建築物及び免震建築物の応答解析を実施するため、それぞれ長周期地震動 SWG が設置された。

地震動・応答 WG 名簿（事務局：(株)大崎総合研究所、平成 24 年 3 月現在）

主査 大川 出 (独)建築研究所
委員 西川孝夫 (社)日本免震構造協会：首都大学東京(名誉教授)
委員 北村春幸 東京理科大学
委員 瀬瀬一起 東京大学
委員 翠川三郎 東京工業大学
委員 久田嘉章 工学院大学
委員 勝俣英雄 (株)大林組
委員 小鹿紀英 (株)小堀鐸二研究所
委員 長島一郎 大成建設(株)
委員 鳥井信吾 (社)日本建築構造技術者協会：(株)日建設計
委員 北村佳久 (社)日本免震構造協会：清水建設(株)
委員 加藤研一 (株)小堀鐸二研究所
委員 吉村智昭 大成建設(株)
委員 佐藤俊明 清水建設(株)
委員 杉本訓祥 (株)大林組
委員 金子美香 清水建設(株)
委員 藤堂正喜 (株)大崎総合研究所
委員 佐藤智美 (株)大崎総合研究所
委員 飯場正紀 (独)建築研究所
委員 五條 涉 (独)建築研究所
委員 小山 信 (独)建築研究所
委員 斉藤大樹 (独)建築研究所
委員 前田 亮 国土交通省住宅局
委員 田伏翔一 国土交通省住宅局
委員 岡野大志 国土交通省住宅局
委員 向井昭義 国土交通省国土技術政策研究所
委員 小豆畑達哉 国土交通省国土技術政策研究所

(社)日本建築構造技術者協会 (JSCA) 長周期地震動 SWG 委員名簿

主査 北村 春幸 東京理科大学
委員 遠藤 文明 (株)大林組
委員 大川 出 (独)建築研究所
委員 片山 貴裕 (株)NTTファシリティーズ
委員 木村 雄一 大成建設(株)
委員 小鹿 紀英 (株)小堀鐸二研究所
委員 小林 光男 (株)織本構造設計
委員 斉藤 大樹 (独)建築研究所
委員 佐藤 智美 (株)大崎総合研究所
委員 須賀 貴之 東京理科大学
委員 溜 正俊 (株)三菱地所設計
委員 田村 和夫 千葉工業大学
委員 辻 泰一 鹿島建設(株)
委員 出水 俊彦 佐藤工業(株)
委員 藤堂 正喜 (株)大崎総合研究所
委員 鳥井 信吾 (株)日建設計
委員 中島 徹 大成建設
委員 長瀬 正 (株)竹中工務店
委員 長谷川 隆 (独)建築研究所
委員 早野裕次郎 (株)山下設計
委員 東野 雅彦 (株)竹中工務店
委員 人見 泰義 (株)日本設計
委員 正月 俊行 (株)構造計画研究所
委員 松井 和幸 清水建設(株)
委員 依田 博基 (株)久米設計

(社)日本免震構造協会 (JSSI) 長周期地震動 SWG 委員名簿

主査	北村 佳久	清水建設(株)
委員	鹿島 孝	(株)竹中工務店
委員	北村 春幸	東京理科大学
委員	公塚 正行	(株) i2s2
委員	近藤 明洋	鹿島建設(株)
委員	高山 峯夫	福岡大学
委員	田村 和夫	千葉工業大学
委員	竹中 康雄	鹿島建設(株)
委員	中澤 昭伸	織本構造設計(株)
委員	中島 隆裕	(株)久米設計
委員	中塚 光一	大林組(株)
委員	西川 耕二	(株)日本設計
委員	長谷川 豊	オイレス工業(株)
委員	花井 勉	えびす建築研究所(株)
委員	早部 安弘	大成建設(株)
委員	山本 裕	(株)日建設計
委員	飯場 正紀	(独)建築研究所
委員	大川 出	(独)建築研究所
委員	斉藤 大樹	(独)建築研究所
委員	西川 孝夫	(社)日本免震構造協会：首都大学東京(名誉教授)
委員	可児 長英	(社)日本免震構造協会

