



想定南海トラフ巨大地震波を用いた非充腹形SRC造建物の時刻歴応答解析

金田, 航平
藤永, 隆
孫, 玉平

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 18:89-94

(Issue Date)

2014-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCOI)

<https://doi.org/10.24546/81011447>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81011447>



想定南海トラフ巨大地震波を用いた 非充腹形 SRC 造建物の時刻歴応答解析

Time History Response Analysis of Open-web Type SRC Building under the Anticipated Gigantic Nankai Trough Earthquake

金田 航平¹⁾
Kohei Kaneda
孫 玉平³⁾
Yuping Sun

藤永 隆²⁾
Takashi Fujinaga

概要：近い将来、発生が予想される南海トラフの巨大地震で、既存の構造物がどのような被害を受けるか想定することは重要な課題である。特に神戸市では、先の兵庫県南部地震で被害を受けた建物が数多く存在しており、兵庫県南部地震による載荷履歴が建物に及ぼす影響も考慮しなければならない。そこで、本研究では兵庫県南部地震の観測地震波と、南海トラフ地震で想定される地震波を用いて、兵庫県南部地震で被害を受けた事務所ビルを対象に、時刻歴応答解析を行った。兵庫県南部地震の観測地震波と想定南海波を組み合わせることにより、載荷履歴が構造物の層間変形角分布と固有周期に及ぼす影響について検討を行った。

キーワード：非充腹型鉄骨鉄筋コンクリート構造, 層間変形角, 長時間地震動, 固有周期

1. はじめに

南海トラフにおいて、約100～150年間隔でマグニチュード8クラスの巨大地震（東海、東南海、南海地震）を繰り返してきた。これらの地震は同じ海溝で発生するが、地下のプレート構造においてそれぞれ独立した震源域を持っており、別々に発生する場合や数時間から数年の間隔で発生する場合、あるいはほぼ同時に発生する場合がある。これまでも連動地震は多く観測されており、また1946年を最後に60年以上発生しておらず、いつ再来してもおかしくないと言われている。

内閣府の南海トラフの巨大地震モデル検討会は、南海トラフで発生する海溝型巨大地震について、2003年に想定した震源域を修正し、M9クラスの震源断層モデルを発表している¹⁾。神戸の地盤研究会では、2003年の中央防災会議による南海・東南海連動地震を想定した地震シミュレーションを実施し、被害予測を行っている²⁾。内閣府の震源域の想定見直しに伴い、神戸市においては更に大きな被害が想定され、神戸の減災研究会では、神戸市で想定される地震動の特性と建築構造物への影響を検討している³⁾。

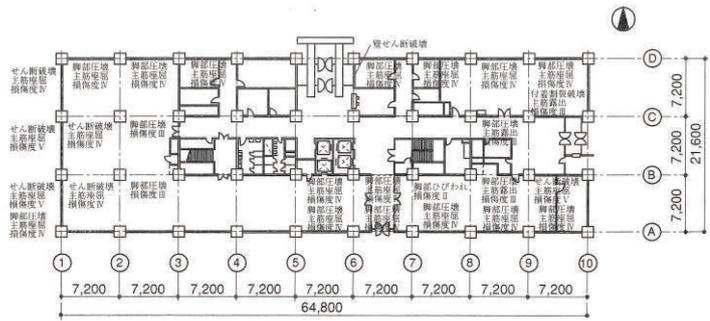
想定される南海トラフ巨大地震は、震源領域が非常に大きく、地震動が長時間続くことが予想される。震源から比較的離れた神戸市においても大きな揺れが長時間生じる可能性がある。また神戸市においては、先の兵庫県南部地震による地震履歴を経験した建物が多くあるため、これらの建物が想定される南海トラフ巨大地震を経験した場合、載荷履歴が建物の挙動に影響を及ぼす可能性がある。

本報では、南海トラフの巨大地震に備えるために、想定される南海トラフ巨大地震の地震波（以下想定南海波とする）を用い、神戸市に建つ鉄骨鉄筋コンクリート造建物の挙動を把握するために時刻歴応答解析を行った。また、兵庫県南部地震による地震履歴がその後の構造物の挙動に及ぼす影響の検討も行っている。

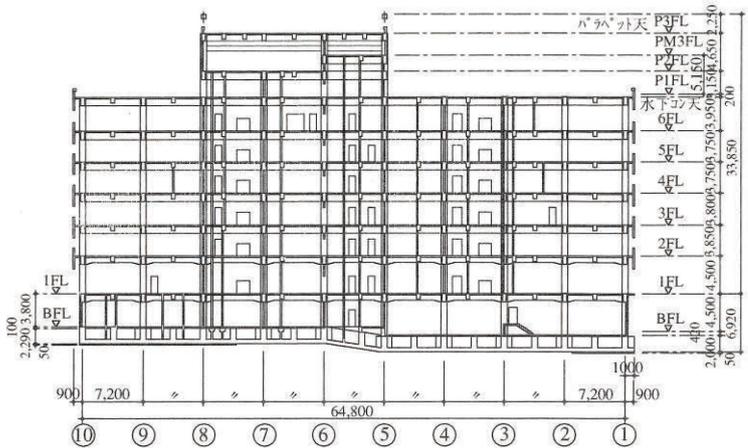
2. 解析概要

(1) 解析モデル

解析対象とする建物は、図-1に示す兵庫県南部地震で被害を受けた鉄骨鉄筋コンクリート造の事務所ビルである⁴⁾。所在地は神戸市中央区で、地下1階地上6階塔屋3階の規模で、基礎形式は直接基礎である。竣工年は1965年であり既存不適格の建物であった。解析対象骨組は、図中⑨通りを取り出した6層3スパンラーメン骨組である。対象建物には地階があるが、本解析ではこれを無視するものとした。主構造は柱梁ともにアングル組み立て材による非充腹型鉄骨鉄筋コンクリート造で、内蔵鉄骨は柱と梁中央部ではタイプレートで接続された格子型、梁端部ではラチス型であるが、解析では充腹材は無視した。部材断面一覧の抜粋を表-1に示す。



(a) 1階平面図



(b) B 通り軸組図

図-1 解析対象建物⁴⁾

表-1 部材断面一覧(抜粋)⁴⁾

| 階数 | 部材 | 断面 | | 鉄筋 | 鉄骨 | D_s |
|----|----|----|-----|-------|----------|-------|
| | | X | Y | | | |
| 6階 | 柱脚 | 断面 | | 4-25φ | 4-65×6 | 400 |
| | | X | Y | | | |
| | | 鉄筋 | 鉄骨 | | | |
| 5階 | 柱脚 | 断面 | | 4-25φ | 4-65×6 | 400 |
| | | X | Y | | | |
| | | 鉄筋 | 鉄骨 | | | |
| 4階 | 柱脚 | 断面 | | 4-25φ | 4-75×6 | 500 |
| | | X | Y | | | |
| | | 鉄筋 | 鉄骨 | | | |
| 3階 | 柱脚 | 断面 | | 4-25φ | 4-90×10 | 550 |
| | | X | Y | | | |
| | | 鉄筋 | 鉄骨 | | | |
| R階 | 4階 | 断面 | | 2-D19 | 4-75×9 | 600 |
| | | 外端 | 中央部 | | | |
| | | 鉄筋 | 鉄骨 | | | |
| 6階 | 3階 | 断面 | | 2-D19 | 4-100×10 | 650 |
| | | 外端 | 中央部 | | | |
| | | 鉄筋 | 鉄骨 | | | |
| 5階 | 2階 | 断面 | | 2-D19 | 4-90×10 | 600 |
| | | 外端 | 中央部 | | | |
| | | 鉄筋 | 鉄骨 | | | |

(2) 解析方法

汎用構造解析プログラム SAP2000 を用い⁵⁾、有限要素法による非線形時刻歴応答解析を行った。骨組の柱梁接合部は剛接とし、最下層柱脚は固定とした。減衰定数は Rayleigh 型を仮定し、周期 1 秒の時に 0.02、0.1 秒の時に 0.05 となるよう設定した。数値積分は Newmark β 法 ($\beta=0.25$) を用い、時間刻みは 0.02 秒とした。ただし、収束が得られない場合はより

小さなサブステップに分解して再計算が行われる。なお、幾何学的非線形効果は考慮していない。

積載荷重は商業施設の地震荷重計算用の積載荷重 0.8kN/m^2 (屋上は 0.6kN/m^2) を想定し、床スラブの荷重 (スラブ厚 150mm と想定) と併せて梁へ等分布荷重として入力した。入力した等分布荷重値は基準階で 32kN/m 、屋上で 30kN/m である。柱頭・柱脚部、梁端部において材料非線形を考慮するため、材端部はそれぞれの断面せい D の長さのファイバー要素とし、ヒンジ位置はヒンジ領域の中央である。それ以外の部分は弾性フレームとし、弾性フレーム部の SRC 断面は等価な RC 断面としている。ヒンジ領域のコンクリートは曲げ軸と直交方向に 6 等分に断面分割し、鉄筋は集中点要素で、鉄筋による面積の欠損は考慮しないものとした。内蔵鉄骨の山形鋼は 3 分割し、こちらも断面欠損は考慮していない。解析上の部材断面では、コンクリートのかぶり厚さを 40mm で一定とし、主筋位置はせん断補強筋の径を考慮してコンクリート表面から 61.5mm とした。ただしヒンジ領域以外の弾性フレームでは主筋位置をコンクリート表面から 40mm に設定している。ヒンジ領域の材料の応力-ひずみ関係は以下の通りである。コンクリートの応力-ひずみ関係は図-2 に示す Mander モデル⁶⁾とし、せん断補強筋による拘束効果による圧縮強度の上昇は考慮しないものとした。コンクリートの圧縮強度は $F_c=20.6\text{N/mm}^2$ (210kg/cm^2) である。鋼材の応力-ひずみ関係は、図に示す多線形モデルとした。降伏後のひずみ硬化係数は 0.005 とし、引張強さで応力を頭打ちにしている。鉄骨および鉄筋にはそれぞれ SS400、SR235 が使用されており、解析において降伏強度と引張強さはそれぞれ、鉄骨は 245N/mm^2 、 400N/mm^2 、鉄筋は 235N/mm^2 、 380N/mm^2 とした。

(3) 入力地震波

入力地震波は、兵庫県南部地震で観察された神戸海洋気象台波 (JMA 神戸 NS 波) と神戸の減災研究会により作成された想定南海波³⁾を用いた。想定南海波は中央防災会議の 2012 年の震源断層モデル¹⁾を元に震源の破壊開始点を設定して工学的基盤レベルの時刻歴波形を計算し、神戸市の地盤データベースである神戸 JIBANKUN⁷⁾を用いて、表層地盤による地震波の増幅を考慮されている。本報では震源地を紀伊半島沖として計算され、表層地盤は都市部と埋立地が想定された 2 波を用いた。また、兵庫県南部地震で被災した構造物が再度地震波を受ける状況を想定し、JMA 神戸 NS 波と想定南海波の組合せ波の入力を行った。図-3 に組合せ地震波の例を示す。一次入力である JMA 神戸波の後揺れの影響を除くため、JMA 神戸波と想定南海波の間に 10 秒間の加速度 0 を挿入した。検討に用いた地震動波形は JMA 神戸波、想定南海波 2 波、組合せ波 2 波の合計 5 種類である。表-2 に入力地震波の諸元を示す。想定波 A (都市部) と想定

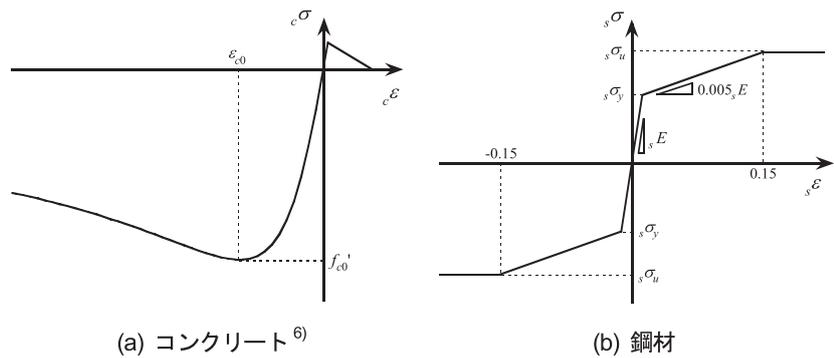


図-2 応力-ひずみ関係

表-2 入力地震波諸元

| | 最大加速度 (cm/sec^2) | 最大速度 (cm/sec) | 備考 |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| JMA 神戸 NS 波 | 808 | 45.1 | 神戸海洋気象台 1995年1月17日 |
| 想定波 A | 390 | 39.4 | 都市部を想定 |
| 想定波 B | 166 | 38.1 | 埋立地を想定 |

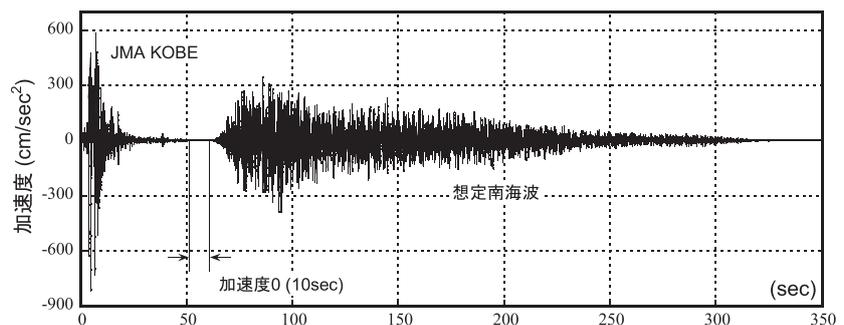


図-3 組合せ地震波

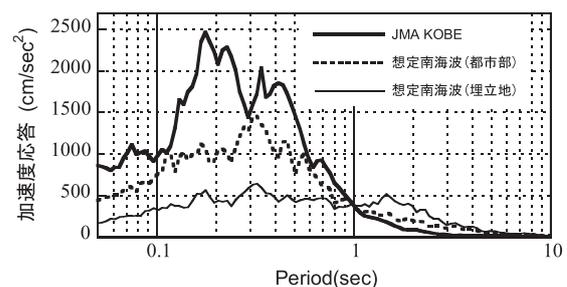


図-4 加速度応答スペクトル

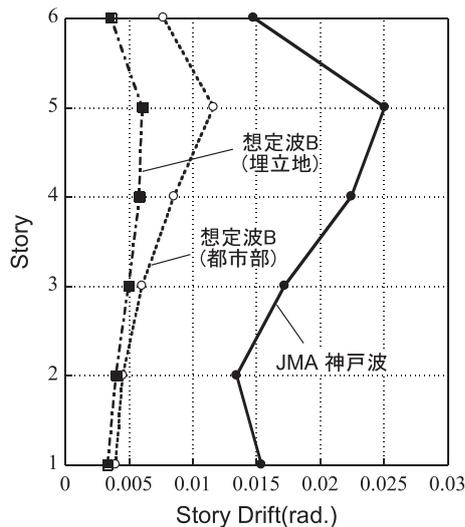
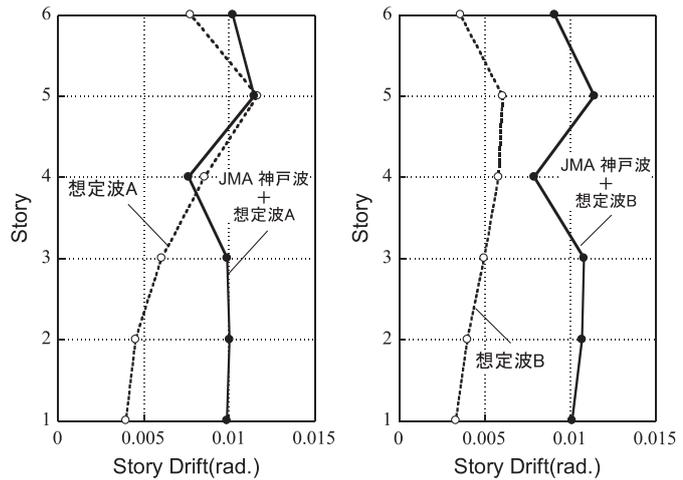


図-5 最大層間変形角分布



(a) 都市部

(b) 埋立地

図-6 組合せ波による最大層間変形角分布

波（埋立地）の最大加速度はそれぞれ JMA 神戸波の 2 分の 1、5 分の 1 程度であるが、振動の継続時間は約 6 倍である。図-4 に減衰定数 $h=0.05$ のときの加速度応答スペクトルを示す。

3. 解析結果

(1) 層間変形角分布

図-5 に JMA 神戸 NS 波と想定南海波を入力した際の最大層間変形角分布を示す。想定南海波の 2 波と比較して、JMA 神戸波では 3～5 倍の層間変形角が生じている。想定波 A（都市部）の最大層間変形角は 1 層 2 層では 1/200 以下であったが、3 層以上では 1/200 を超え、5 層においては 1/100 以上の変形であった。想定波 B（埋立地）の最大層間変形角は想定波 A よりも小さく 1/200 程度であった。

図-6 に JMA 神戸波と想定南海波の組合せ波を入力した際の最大層間変形角を示す。図より、都市部を想定した想定波 A（都市部）では層間変形角の増加が見られた。とくに 1～3 層での増大が顕著で、無損傷時には変形が小さかったが、JMA 神戸波を経験後には低層部においても約 1/100 の変形であった。埋立地を想定した想定波 B においては全層で変形角の増加が見られ、無損傷の骨組で想定される層間変形角のおよそ 2 倍の変形であった。無損傷の骨組においては全層で想定波 A による層間変形角が想定波 B のものを上回っていたが、JMA 神戸波による損傷を想定した組合せ波においては、最大入力加速度の小さい想定波 B による層間変形角の方が大きくなった層もある。この層間変形角分布の変化は、JMA 神戸波による骨組の損傷と、剛性の低下による固有周期の変化によるものと推察される。以上の結果より、JMA 神戸波による損傷の有無は想定波による骨組の挙動に大きく影響することが分かる。

(2) 骨組の固有周期

時刻歴解析の前後での骨組の固有周期の比較を行った。地震波入力前の骨組の固有周期とそれぞれの地震波を経験した後の骨組の固有周期を表-3 に示す。地震波入力前の固有周期が通常想定される固有周期よりも値が大きいが、これは解析対象骨組として耐震壁の無いラーメン骨組を取り出していることが原因と考えられる。想定波 B 以外のすべての地震波で固有周期が伸びていることがわかる。これは部材の損傷によって骨組全体の剛性が小さくなったからであると推察される。想定南海波の 2 波では、地震波の入力加速度が小さいため、骨組への損傷が軽微であり、固有周期の変化が小さかった。JMA 神戸波を経験後に想定南海波を受けた場合、JMA 神戸波のみの時よりも固有周期が伸びており、無損傷時と異なることがわかる。JMA 神戸波経験後では想定波 B の固有周期の方が長くなっており、JMA 神戸波の損傷で変化した骨組の固有周期と埋立地を想定した南海波の卓越周期が同調して大きくなったものと推察される。前節の層間変形角においても想定波 B での層間変形角の増大量の方が大きかった。

表-3 骨組の固有周期

| | 1次 | 2次 | 3次 |
|------------|-------|-------|-------|
| 入力前 | 0.818 | 0.303 | 0.172 |
| JMA神戸NS波 | 1.006 | 0.361 | 0.203 |
| 想定波A(都市部) | 0.839 | 0.310 | 0.175 |
| 想定波B(埋立地) | 0.818 | 0.303 | 0.172 |
| JMA神戸+想定波A | 0.964 | 0.343 | 0.195 |
| JMA神戸+想定波B | 1.021 | 0.374 | 0.209 |

4. まとめ

本報では、近い将来発生することが予測されている南海トラフの巨大地震に備えるために、想定される南海トラフ巨大地震の地震波を用い、神戸市に建つ鉄骨鉄筋コンクリート造建物を対象とした時刻歴応答解析を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 無損傷骨組に想定南海波を入力した場合、想定波A（都市部）では1/100を超える変形が見られたが、想定波B（埋立地）では最大層間変形角は1/200程度であった。建物の固有周期を地震波入力の前後で比較すると、想定波Aを入力した場合には固有周期の増加が見られたが、想定波Bではほとんど変化は見られなかった。
- 2) 兵庫県南部地震による地震履歴を考慮するため、JMA神戸波と想定南海波の組合せ波を用いた解析結果では、無損傷骨組に想定南海波を入力した場合と比較して、最大層間変形角と固有周期に増加が見られた。最大層間変形角分布において、埋立地を想定した想定波Bでは無損傷骨組の場合と比較して変形量が2倍以上となる層も見られ、最大入力加速度の小さい想定波Bによる層間変形角の方が大きくなった層もあった。

謝辞

本研究で用いた想定地震波は、神戸市・神戸の減災研究会で算定された地震波を使用させていただきました。ここに記して感謝の意を申し上げます。

参考文献

- 1) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会，<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/>
- 2) 神戸の地盤研究会：平成 14,15 年度神戸の地盤研究会成果報告書，2004.3
- 3) 神戸の減災研究会：神戸の減災研究会研究成果報告書 中間とりまとめ，2013 年 8 月
- 4) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会 日本建築学会：阪神・淡路大震災調査報告／建築編-2 プレストレストコンクリート造建築物，鉄骨鉄筋コンクリート造建築物，壁式構造・組積造，1998.8
- 5) COMPUTERS & STRUCTURES INC.: CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, and SAFE, Apr. 2007
- 6) J. B. Mander, M. J. N. Priestley, R. Park: THEORETICAL STRESS-STRAIN MODEL FOR CONFINED CONCRETE, Journal of Structural Engineering, Vol.114, No.8, pp.1804-1826, Aug. 1988
- 7) 沖村孝，鳥居宣之：地盤データベース「神戸 JIBANKUN」の構築，都市安全研究センター研究報告，第 11 号，pp.197-206，2007 年 3 月

筆者：1) 金田 航平：工学部建築学科，学生；2) 藤永 隆：都市安全研究センター，准教授；3) 孫 玉平：工学研究科建築学専攻，教授

TIME HISTORY RESPONSE ANALYSIS OF OPEN-WEB TYPE SRC BUILDING UNDER THE ANTICIPATED GIGANTIC NANKAI TROUGH EARTHQUAKE

Kohei Kaneda
Takashi Fujinaga
Yuping Sun

Abstract

The gigantic Nankai Trough Earthquake is expected to occur in near future. It is important to assess the structural damage of existing buildings when hit by the earthquake. In particular, many buildings in Kobe experienced the shake of Kobe Earthquake. It is necessary to consider the influence of the loading experiences on their dynamic response under the Nankai Earthquake.

In this paper, time history response analysis was conducted using seismic waves of the Gigantic Nankai Trough Earthquake and Kobe Earthquake. The target building is an office building which was damaged by Kobe Earthquake. The distributions of story drift ratio and change in the natural period of the building were discussed.

©2014 Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, All rights reserved.