

2011年東北地方太平洋沖地震における動的相互作用を考慮した建物応答評価  
その1. 解析概要と鉄骨造建物のマクロ的評価

正会員 ○護 雅史\*1 同 丹羽智是\*2  
同 福和伸夫\*3

|         |         |             |
|---------|---------|-------------|
| S R モデル | 基礎固定モデル | 非線形地震応答解析   |
| 標準モデル   | 鉄骨造建物   | 鉄筋コンクリート造建物 |

### 1. はじめに

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード9.0の日本観測史上最大の地震で、日本の広い範囲にわたって震度6弱以上の強い揺れが観測された。津波による被害は甚大だったものの、揺れの大きさに比べ地震動による建物の倒壊など大きな被害は多くは報告されていない。また、2004年新潟県中越沖地震等においては中低層RC造建物の被害が小さかったことが報告されており、この理由として設計時に評価していない余力や建物と地盤の動的相互作用等が考えられている。

一方、南海トラフでは近い将来同様の大地震の発生が危惧されている。2012年3月31日に、内閣府の中央防災会議から起こり得る最大級の地震を想定した場合のハザード評価結果が公表され<sup>1)</sup>、広範囲で震度6強、一部で震度7が推定されている。

本論では、東海地方における大地震による建物被害を予測することを目的として、同地方で経済活動に大きな影響を与える可能性のある建物や避難所として重要な建物等を対象に、マグニチュード9.0クラスの地震動を想定した場合の建物応答を評価する。

その1では、解析検討対象建物の概要とモデル化、および検討に用いた入力地震動について述べるとともに、基礎固定モデルによる各種鉄骨造建物の応答評価を行う。

### 2. 解析対象建物と地盤条件、及びそのモデル化

対象建物は、鉄骨造（以降、S造）の事務所建物（3階、8階、14階）、工場（1階）、商業施設（5階）、鉄筋コンクリート造（以降、RC造）の小学校建物（3階）とした。本検討で用いる建物の標準モデル<sup>2)~4)</sup>を図1に示す。

解析では、S造建物については、これらの建物の標準的スパンや架構形式、部材断面を設定した<sup>2)</sup>。さらに、図2に示すような多質点系せん断型モデルに置換し、層間変形と層せん断力間に非線形性を考慮した。復元力特性は、ノーマルトリリニアとし、骨格曲線は静的増分解析に基づき設定した。表1に、一例として3階建て事務所建物の解析諸元を示す。減衰定数は、初期剛性に対して2%の瞬間剛性比例型とした。

一方、RC造小学校建物については、文献3)に従い、名

古屋市内に立地する小学校建物の標準的なスパンや架構形式を採用した（図1）。また、解析モデルについては、S造建物と同様に多質点系せん断型モデルとした。復元力特性については、Is値が相対的に低い桁行方向を対象として、文献3)に従いモデル化した。ただし、骨格曲線については、降伏後の耐力低下を考慮していない。降伏耐力は、Is値から層ごとに設定するが、本検討では、最小Is値を、 $Is \leq 0.3$ 、 $0.3 < Is \leq 0.6$ 、 $Is \geq 0.6$ の3タイプに分け、それぞれに分類される複数の建物の平均値を用いた。 $Is \geq 0.6$ の建物についての解析諸元を表2に示す。また、各建物の基礎固定時の1次固有周期を表3に示す。

地盤と建物の動的相互作用効果として、根入れ（1.5m）を考慮する場合や、SRモデルを用いた検討を行った。地盤ばねは、以下の式により算定した。

$$K_h = \frac{8\rho V_s^2 r_h}{2-\nu}, K_r = \frac{8\rho V_s^2 r_r^3}{3(1-\nu)}$$

ここに  $K_h$  は水平地盤ばね剛性、 $K_r$  は回転地盤ばね剛性、 $\rho$ 、 $r_h$ 、 $r_r$ 、 $\nu$  はそれぞれ、地盤の密度、面積等価半径、断面2次モーメント等価半径、ポアソン比である。密度、ポアソン比、 $V_s$  は、各観測地点において値が400m/sに達する深さまでのせん断波速度の平均値とした。また、せん断弾性係数を1/2とした地盤の塑性化を考慮した場合についても検討する。

### 3. 解析に用いる入力地震動

本論では、M9クラスの地震動である東北地方太平洋沖地震において震度6強、7を観測した地点を選定した。観測点と水平2方向最大地動速度分布を図3に示す。また、一例として、その2で用いる5観測点（図1参照）のEW成分の加速度波形、及び減衰定数5%トリバタインスペクトルを図4、及び図5に示す。

### 4. 基礎固定モデルによる各種S造建物のマクロ的評価

図6に各種S造建物の基礎固定とした場合の最大応答層間変形角分布を示す。この図から、事務所3階建物、及び平屋工場で応答が大きいことが分かる。また、事務所8階建物と商業施設は類似した応答分布となっている。

その2では、特定の建物と地震動について、動的相互作用効果を考慮した地震応答解析結果について述べる。

謝辞：本論の検討にあつては、(独)防災科学技術研究所所  
有のK-NETの地震観測記録を用いました。ここに記して謝意

を表します。

参考文献：その2に記載する。

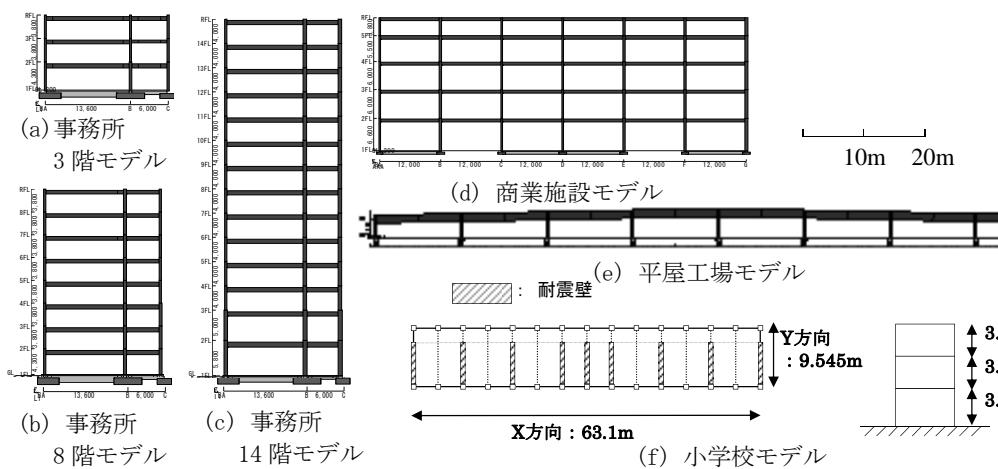


図1 解析対象とした各種建物モデル

表1 事務所3階建てモデル  
(長辺)の解析諸元

| 階数 | 重量   | 階高  | 長辺方向(X方向)          |                    |                    |                |                |                |
|----|------|-----|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
|    |      |     | 剛性(kN/m)           |                    |                    | 耐力(kN)         |                |                |
|    |      |     | K <sub>1</sub>     | K <sub>2</sub>     | K <sub>3</sub>     | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> |
| 3  | 5443 | 3.8 | $1.93 \times 10^5$ | $1.49 \times 10^5$ | $7.23 \times 10^2$ | 3379           | 5511           |                |
| 2  | 4982 | 3.8 | $1.76 \times 10^5$ | $1.13 \times 10^5$ | $4.18 \times 10^3$ | 3515           | 5556           |                |
| 1  | 5383 | 4.3 | $1.76 \times 10^5$ | $5.74 \times 10^4$ | $6.73 \times 10^3$ | 5215           | 7083           |                |

表2 小学校モデル(桁行)の解析諸元( $I_s \geq 0.6$ )

| 階数 | 重量   | 階高   | 桁行方向(X方向) II期 $I_s$ 値: 0.6~ |                    |                    |        |       |  |
|----|------|------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------|-------|--|
|    |      |      | 剛性(kN/m)                    |                    |                    | 耐力(kN) |       |  |
|    |      |      | K1                          | K2                 | K3                 | Q1     | Q2    |  |
| 3  | 5721 | 3.65 | $1.38 \times 10^7$          | $3.32 \times 10^6$ | $2.77 \times 10^4$ | 1777   | 13777 |  |
| 2  | 6504 | 3.65 | $1.46 \times 10^7$          | $3.51 \times 10^6$ | $2.92 \times 10^4$ | 1877   | 14551 |  |
| 1  | 6504 | 3.85 | $1.42 \times 10^7$          | $3.40 \times 10^6$ | $2.84 \times 10^4$ | 1820   | 14111 |  |

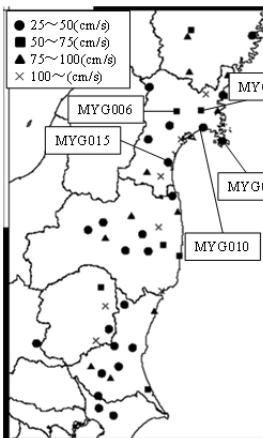


図3 解析に用いた観測点と水平2方向最大地動速度分布

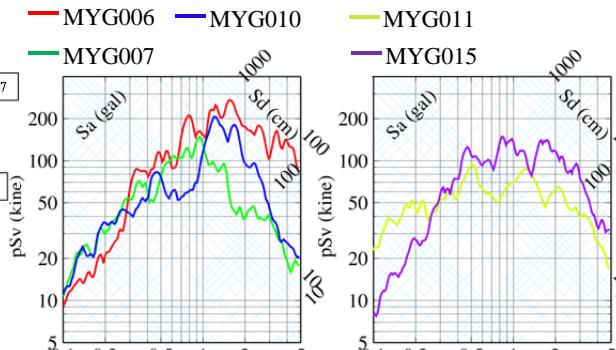


図5 その2で用いる5観測点の減衰定数5%ト  
リパタイトスペクトル(EW成分)

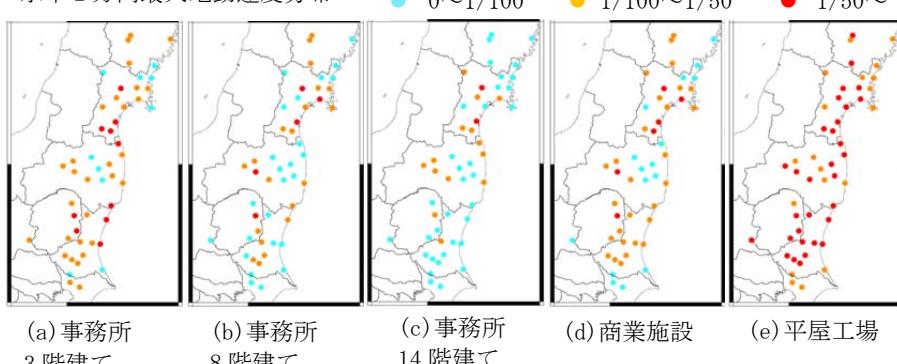
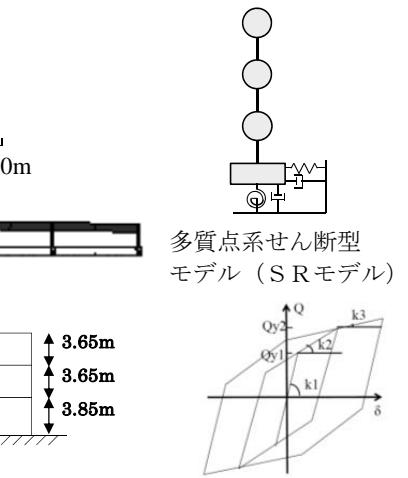


図6 各種鉄骨造建物(基礎固定モデル)の最大応答層間変形角分布



復元力特性(S造建物)  
非線形地震応答解析モデル  
(SRモデル)

表3 各種建物の

1次固有周期(基礎固定)

| 1次固有周期(秒) |
|-----------|
| 事務所3階モデル  |
| 事務所8階モデル  |
| 事務所14階モデル |
| 平屋工場モデル   |
| 商業施設モデル   |
| 小学校モデル    |

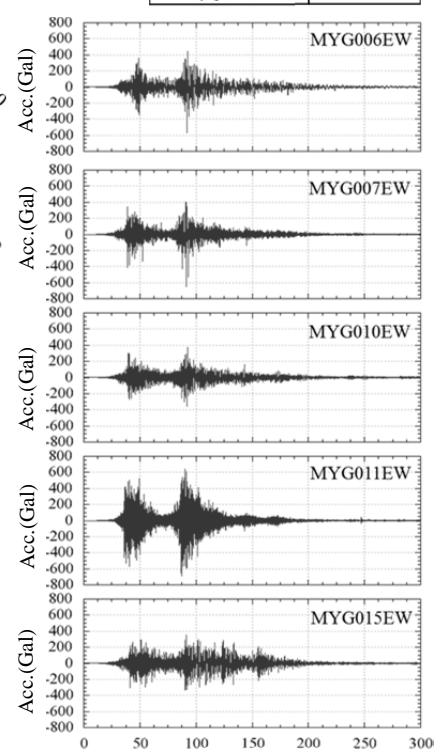


図4 その2で用いる5観測点の  
加速度波形(EW成分)

\*1名古屋大学減災連携研究センター・准教授・博士(工学)

\*2名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生

\*3名古屋大学減災連携研究センター・教授・工博

\*1 Assoc. Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng.

\*2 Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

\*3 Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng.