

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*3S 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¹⁾、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^{2)~4)}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²⁾。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、 I_s 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、 I_s 値から層ごとに設定するが、本検討では、最小 I_s 値を、 $I_s \leq 0.3$ 、 $0.3 < I_s \leq 0.6$ 、 $I_s \geq 0.6$ 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。 $I_s \geq 0.6$ 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、 ρ 、 r_h 、 r_r 、 ν 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% トリパタイトスペクトルを図 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たことが分かる。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。

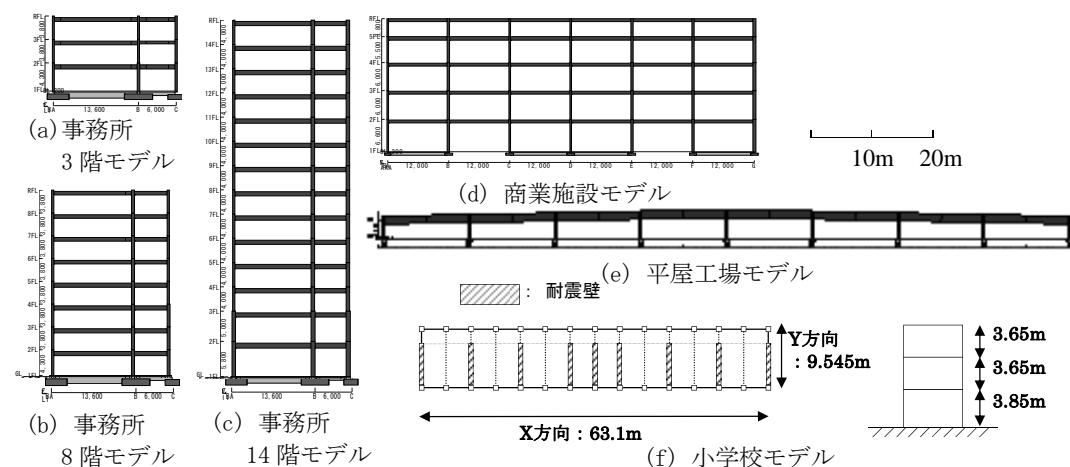


図 1 解析対象とした各種建物モデル

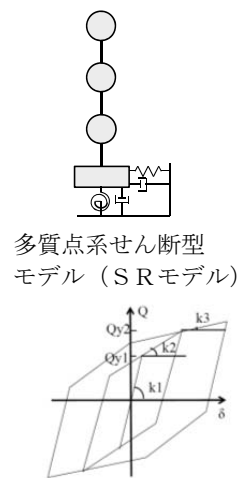


図 2 非線形地震応答解析モデル (SRモデル)
復元力特性 (S 造建物)

表 1 事務所 3 階建てモデル (長辺) の解析諸元

階数	重量 (kN)	階高 (m)	長辺方向(X方向)				
			剛性(kN/m)			耐力 (kN)	
			K_1	K_2	K_3	Q_1	Q_2
3	5443	3.8	1.93×10^5	1.49×10^5	7.23×10^2	3379	5511
2	4982	3.8	1.76×10^5	1.13×10^5	4.18×10^3	3515	5556
1	5383	4.3	1.76×10^5	5.74×10^4	6.73×10^3	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 (kN)	階高 (m)	桁行方向(X方向) II 期 I_s 値 0.6 ~				
			剛性(kN/m)			耐力(kN)	
			K_1	K_2	K_3	Q_1	Q_2
3	5721	3.65	1.38×10^7	3.32×10^6	2.77×10^4	1777	13777
2	6504	3.65	1.46×10^7	3.51×10^6	2.92×10^4	1877	14551
1	6504	3.85	1.42×10^7	3.40×10^6	2.84×10^4	1820	14111

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	0.78
事務所 8 階モデル	1.18
事務所 14 階モデル	1.79
平屋工場モデル	0.65
商業施設モデル	1.47
小学校モデル	0.15 ~ 0.18

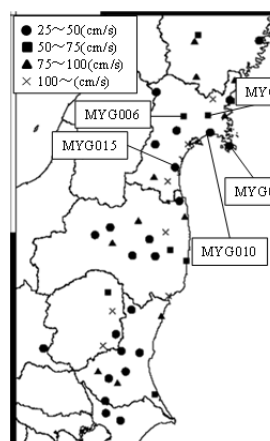


図 3 解析に用いた観測点と水平 2 方向最大地動速度分布

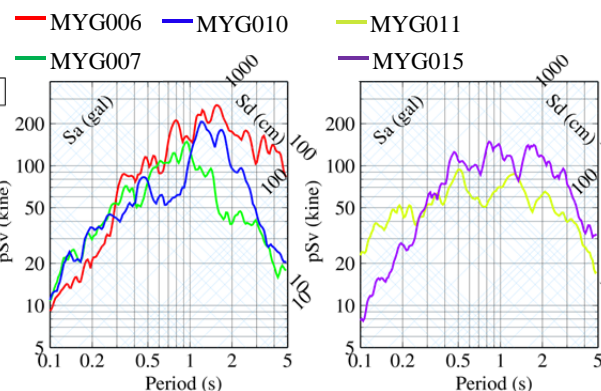


図 5 その 2 で用いる 5 観測点の減衰定数 5% トリパタイトスペクトル (EW 成分)

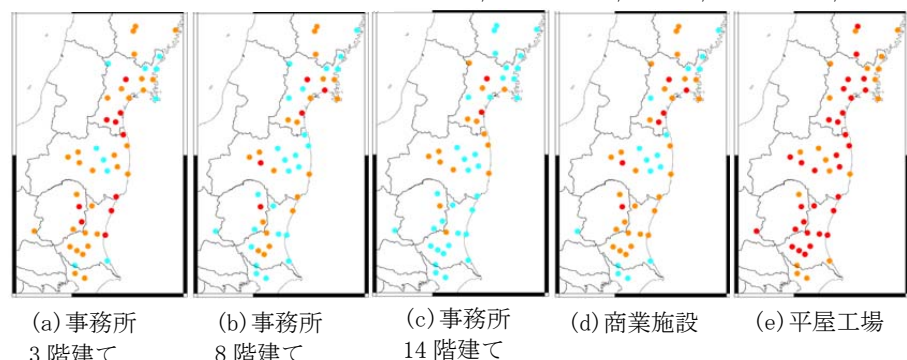


図 6 各種鉄骨造建物 (基礎固定モデル) の最大応答層間変形角分布

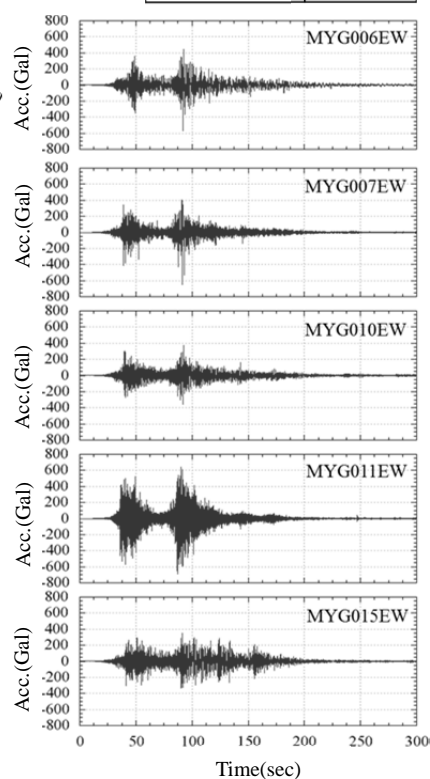


図 4 その 2 で用いる 5 観測点の加速度波形 (EW 成分)

*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.