

# 地震観測記録に基づく埋込みが深い大規模建築物の

## 応答性状に関する解析的研究

栗田研究室

4108613

小林 和貴

### 1. 研究背景と目的

地盤に深く埋込まれた建築物の応答解析では建物と地盤の動的相互作用の影響が重要となる。しかし、観測記録が少なく、動的相互作用の影響を定量的に把握することが難しいため、設計には考慮されないこともある。特に埋込みが深い建物では、建物底面の地盤に比べて側面の地盤が建物に及ぼす影響を無視することができず、地盤への逸散減衰効果は大きいとされている。

本研究では側面地盤を考慮した解析モデルを使用して側面地盤に関する条件が建物の応答性状に与える影響を把握することを目的として解析的検討を行った。

### 2. 建物概要と地震観測

#### 2-1. 建物概要

対象建物は宮城県内にある大型発電所関連施設である。建物は鉄筋コンクリート造であり、地震力の大半を耐力壁で負担する耐力壁付ラーメン構造である。建物概要を表1に示す。基礎はせん断波速度  $V_s \approx 1.4\text{km/sec}$  の硬質岩盤上に設置されている。

#### 2-2. 建物周辺の地盤概要

建物周辺の地盤(側面地盤)は埋戻土と表層地盤で構成される。そのため、この2つの地盤を合わせた等価な地盤を側面地盤として解析に使用することとした。その地盤物性を表2に示す。

#### 2-3. 地震観測

図1に示すように、対象建物には地上1階と地下3階(基礎底盤上)の2カ所に地震計が設置されている。本研究ではNS方向に着目し、宮城県沖で発生した地震において観測された図2に示す2005年12月17日の地震観測記録を用いて解析を行った。観測記録の地下3階に対する地上1階の加速度応答倍率を図3に示す。

加速度応答倍率では約4[Hz]に1次、約8[Hz]に2次、約10[Hz]に3次の卓越を確認できた。

### 3. 対象建物及び側面地盤の振動特性

#### 3-1. 建物の振動特性

対象建物は表3に示す条件でモデル化した。建物の固有振動数を表4に示す。建物の1次固有振動数は観測記録の2次卓越振動数と近い。

#### 3-2. 側面地盤の振動特性

側面地盤を1次元波動モデルでモデル化し、振

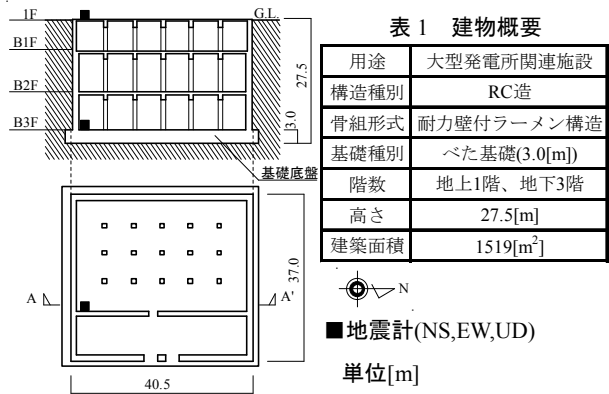


図1 対象建物 A-A'断面図(上)、地下3階平面図(下)

表2 側面地盤の地盤物性

建物位置	基礎底盤からの高さ[m]	層厚 DPTH[m]	単位体積重量 $\gamma$ [t/m <sup>3</sup> ]	ポアソン比 $\nu$	せん断波速度 $V_s$ [m/s]	減衰定数 $h$ [%]
1F	27.50	3.50	2.19	0.445	217	4
	24.00	1.00	2.19	0.445	225	4
	23.00	2.50	2.19	0.445	251	4
	20.50	4.55	2.19	0.445	269	4
B1F	15.95	0.85	2.19	0.445	285	4
	15.10	3.70	2.19	0.445	366	4
	11.40	3.35	2.19	0.445	400	4
	8.05	0.85	2.19	0.445	484	4
B2F	7.20	4.20	2.19	0.445	524	4
	3.00	1.60	2.19	0.445	596	4
	1.40	1.40	2.19	0.445	643	4
基礎底盤	0.00					

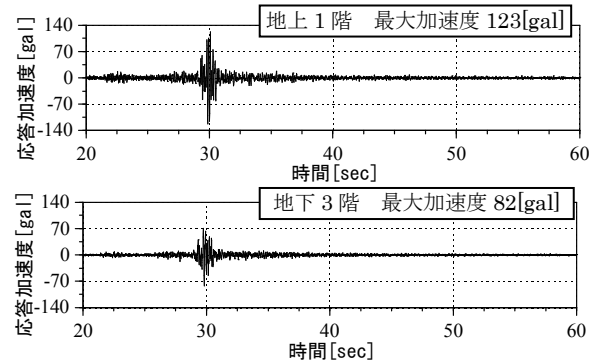


図2 時刻歴絶対加速度波形 (2005年12月17日NS方向)

動特性を把握した。また減衰は履歴型減衰とした。表4に固有振動数を示す。1次固有振動数は観測記録の1次卓越振動数と近く、2次固有振動数は観測記録の3次卓越振動数と建物の1次固有振動数に近い。

### 3-3. 建物と側面地盤の刺激関数の比較

建物と地盤の刺激関数を図4に示す。3-1、3-2より建物の1次固有振動数と側面地盤の2次固有振動数が近いことから2つの刺激関数に着目する。2つの刺激関数は地下3階から地上1階まではほぼ同じ形状をしている。しかし、地下1階から地上1階は大きく離れており、動的相互作用による影響が大きい可能性が示唆される。

## 4. 埋込みSRモデルを使用した地震応答解析

### 4-1. 地盤を考慮した解析モデル

#### 4-1-1. 地盤ばね

地盤ばねは建物と地盤の境界部における力と変位の関係を表す。地盤ばねは複素剛性となっており、実部が剛性を、虚部が減衰を表す。また地盤ばねには振動数依存性があり、振動数に応じてその値が変化する。

#### (1)底面地盤ばね(Sway-Rocking ばね)

底面地盤ばねは建物とその底面の地盤の影響を考慮するための地盤ばねである。底面地盤ばねはSway(水平)ばね、Rocking(回転)ばねで構成される。底面地盤ばねは振動アドミタンス理論に基づき作成した。

#### (2)側面地盤ばね

側面地盤ばねは建物とその側面の地盤の影響を考慮するための地盤ばねである。側面地盤ばねはNovakの方法に基づき作成した。側面地盤ばねの値を図5に示す。側面地盤ばねの剛性は高振動数になるにつれて減少する傾向にある。

### 4-1-2. 解析モデル

解析では側面地盤による影響を検討するため、2つの解析モデルを使用した。

#### (a)SRモデル

SRモデルとは建物底面の地盤の影響だけを考慮した解析モデルである。建物モデルの基礎底面に底面地盤ばねを設定している

#### (b)埋込みSRモデル

埋込みSRモデルとは建物底面だけでなく、側面の地盤も考慮した解析モデルである。上記SRモデルに側面地盤ばねを設定している。

### 4-2. 埋込み考慮による側面地盤の影響に関する検討

埋込み考慮による側面地盤の影響を把握するため、SRモデルと埋込みSRモデルを使用して解析を行った。また地下3階に対する地上1階の加速度応答倍率を観測記録と比較することとした。

#### 4-2-1. 解析条件

解析では地盤ばねの振動数依存性を考慮せず、その値が一定であるとして近似的に使用した。地盤ばねの剛性は0[Hz]時における値を使用し、ま

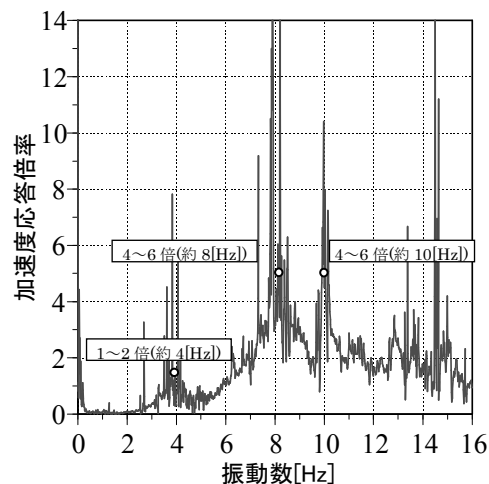


図3 観測記録の加速度応答倍率

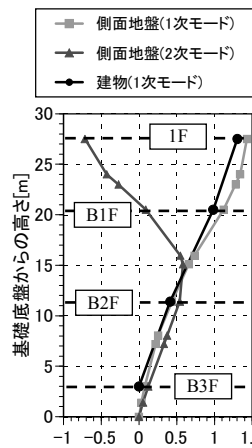


図4 建物と側面地盤の刺激関数

表3 建物モデル

上部構造モデル	多質点系 曲げせん断棒モデル
コンクリートのヤング係数	$2.70 \times 10^4$ [N/mm <sup>2</sup> ]
減衰	各次一定減衰
減衰定数	$h=0.05$ (5%)

表4 建物と地盤の固有振動数

	建物モデル (基礎固定モデル)	側面地盤
1次[Hz]	8.8	3.7
2次[Hz]	20.7	9.5

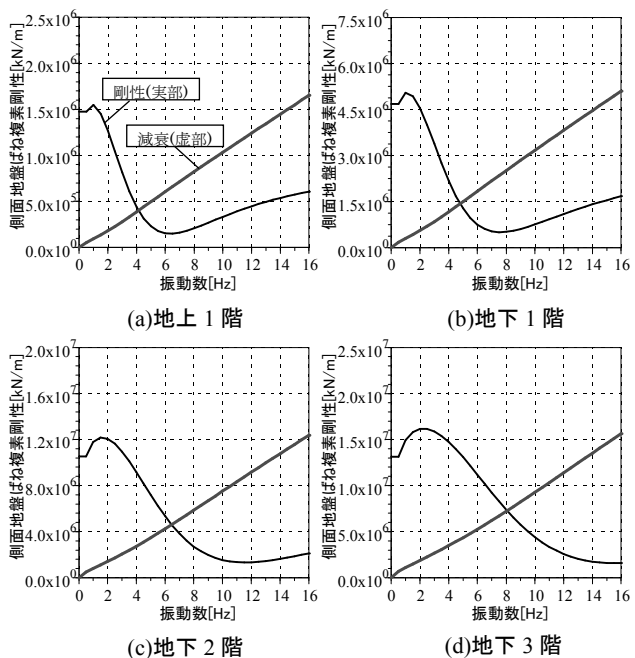


図5 各階の側面地盤ばねの剛性と減衰

た減衰に関しては建物が最も揺れやすい1次モードの応答を低減させるために1次固有振動数における値を使用した。

#### 4-2-2. 解析結果(図7)

表5に固有振動数を示す。解析結果では側面地盤の影響を考慮することで、以下の2つの振動数領域において応答倍率の挙動に差が見られた。

##### ①3~4[Hz]

側面地盤を考慮した埋込みSRモデルにおいて3.8[Hz]に卓越が見られた。これは表4より側面地盤の1次卓越による応答の影響であると考えられる。また観測記録にも同様の傾向が見られた。

##### ②8~10[Hz]

側面地盤を考慮することで卓越振動数が8.4[Hz]から9.3[Hz]に変化した。これは側面地盤ばねの剛性を大きく見積もっているためだと考えられる。また応答倍率が12.6倍から7.9倍へと約40%低減しており、側面地盤への逸散減衰効果の影響が示唆される。

#### 4-3. 地盤ばね定数化の影響に関する検討

4-2では地盤ばねの剛性に0[Hz]時の値を使用していた。ここでは建物の特性に合わせて地盤ばねの剛性を設定した場合の応答倍率の挙動について検討した。

##### 4-3-1. 解析条件

埋込みSRモデルにおいて地盤ばねの剛性を0[Hz]時の値と、その剛性における建物の1次固有振動数の値を使用して解析を行った。また地盤ばねの減衰は共通として、4-2と同じ値を使用した。

##### 4-3-2. 解析結果(図8)

表6に固有振動数を示す。地盤ばねの剛性変化に伴い、4-2と同様に2つの振動数領域において応答倍率の挙動に変化が見られた。

##### ①3~4[Hz]

3.8[Hz]において卓越が見られることは変わらなかったが、地盤ばねの剛性が低下することで応答倍率は2.5倍から1.0倍に約60%低減した。これは地盤ばねの剛性低下が側面地盤からの入力を低減したことによる影響であると考えられる。

##### ②8~10[Hz]

剛性が低下することで卓越振動数が9.3[Hz]から8.6[Hz]に変化した。また応答倍率は7.9倍から7.4倍に約6%低減した。これは①と同様に地盤ばねの剛性低下に伴い、側面地盤からの入力が低減したことが原因だと考えられる。また建物と側面地盤の固有振動数が離れ、建物と地盤の共振による影響が弱まった可能性も示唆される。

表6 地盤ばね剛性近似値における固有振動数の比較

	埋込みSRモデル		側面地盤
	0[Hz]	1次固有振動数	
地盤ばねの剛性	0[Hz]	1次固有振動数	側面地盤
1次固有振動数[Hz]	8.6	8.1	3.7
2次固有振動数[Hz]	19.5	19.3	9.5

#### 4-4. 地盤ばねの振動数依存性考慮に関する検討

埋込みSRモデルにおいて、地盤ばねの振動数依存性が建物の応答に与える影響について検討

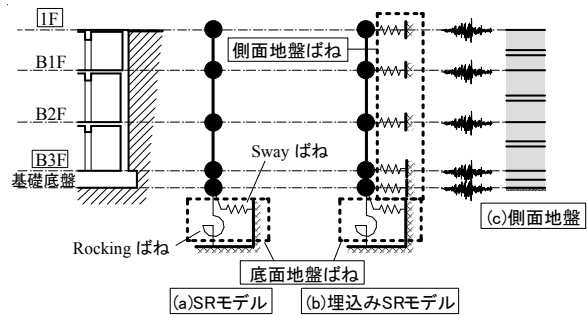


図6 対象建物の解析モデル

表5 側面地盤考慮による固有振動数の比較

	SRモデル	埋込みSRモデル	側面地盤
1次固有振動数[Hz]	8.0	8.6	3.7
2次固有振動数[Hz]	19.3	19.5	9.5

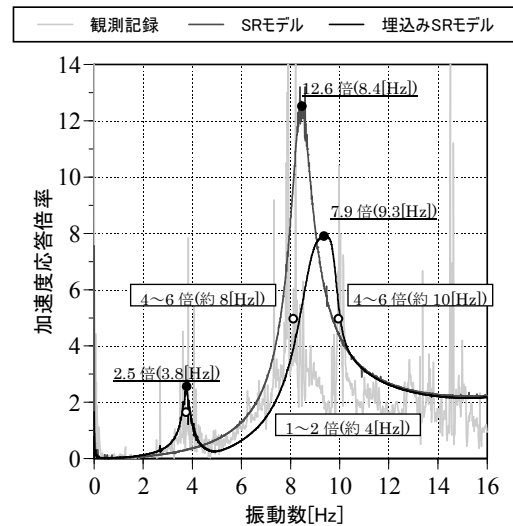


図7 埋込み考慮による側面地盤の影響

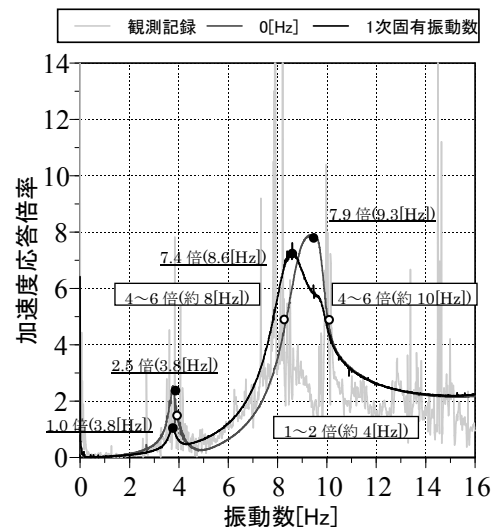


図8 地盤ばね定数化の影響

するため、地盤ばねの値を振動数に応じて変化させて解析を行った。

#### 4-4-1. 解析条件

埋込み SR モデルを使用し、地盤ばねの振動数依存性の考慮の有無に応じて2つの解析条件を設定した。振動数依存性を考慮しない場合は4-2の解析モデルを使用した。

#### 4-4-2. 解析結果(図9)

地盤ばねの振動数依存性を考慮することで、以下の2つの振動数領域において応答倍率の挙動に差が見られた。

##### ①3~4[Hz]

地盤ばねの振動数依存性を考慮した解析モデルでは3.8[Hz]における卓越が見られなかった。これは地盤ばねの振動数依存性を考慮することで地盤ばねの剛性が低下し、側面地盤からの入力が低減した可能性が示唆される。しかし、観測記録にも同様の卓越が見られることから振動数依存性を考慮した場合でも地盤ばねの剛性の大きさを検討する必要があると考えられる。

##### ②8~10[Hz]

地盤ばねの振動数依存性を考慮することで卓越振動数は9.3[Hz]から8.6[Hz]へ小さくなった。これは地盤ばねの振動数依存性を考慮することで地盤ばねの剛性が低下したことが原因だと考えられる。また応答倍率は7.9倍から6.9倍に約13%低減した。応答倍率の減少は建物と側面地盤の固有振動数の差が大きくなっただけでなく、地盤ばねの8~10[Hz]の剛性の著しい低下に伴う側面地盤からの入力低下の影響も考えられる。

側面地盤を考慮することで応答倍率は低減したが、観測記録と比べると十分な減衰効果を得られていない。

#### 4-5. 側面地盤の逸散減衰効果に関する検討

4-4 より地盤ばねの振動数依存性を考慮しても十分な減衰効果を得られなかった。そこで側面地盤への逸散減衰を小さく見込んでいる可能性を考え、側面地盤ばねの減衰を大きくした時の応答倍率の挙動について検討した。

#### 4-5-1. 解析条件

4-4 で使用した地盤ばねの振動数依存性を考慮した埋込み SR モデルを再度使用した。解析ではその側面地盤ばねの減衰のみを2倍、3倍と大きくした。

#### 4-5-2. 解析結果(図10)

側面地盤ばねの減衰を大きくすることで8~10[Hz]における応答倍率は低減したが、同時に卓越が1つから2つに増えた。これは側面地盤ばねの減衰を大きくすることで建物の応答が低減し、建物に対する側面地盤の2次卓越による影響の割合が大きくなったためだと考えられる。これより観測記録の約8[Hz]の2次卓越は建物の1次卓越によるものであり、観測記録の約10[Hz]の3次卓越は側面地盤の2次卓越によるものであることが示唆される。

#### 5. まとめ

(1)側面地盤の影響を考慮することで建物の応答倍率が低減することを確認した。また側面地盤の応答が建物の応答に影響を与えていることを確認した。

(2)側面地盤ばねの減衰を大きくすることで建物の応答倍率を低減することはできたが、観測記録を説明することはできなかった。

(3)今後は建物1次固有振動数と側面地盤の2次固有振動数が近接していることを考慮し、地盤ばねの剛性変化に伴う建物の応答倍率の挙動の変化について検討する必要がある。

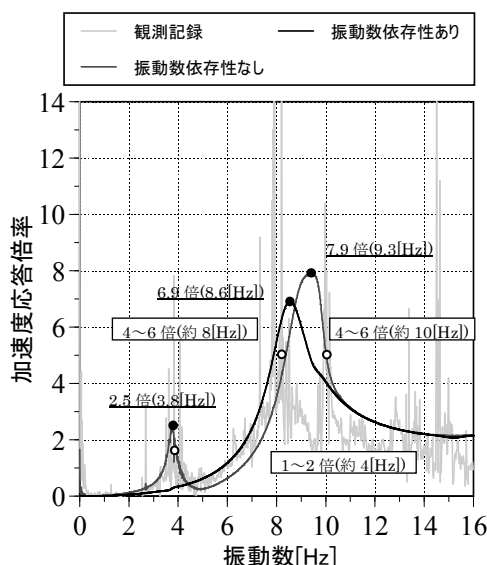


図9 地盤ばねの振動数依存性考慮の影響

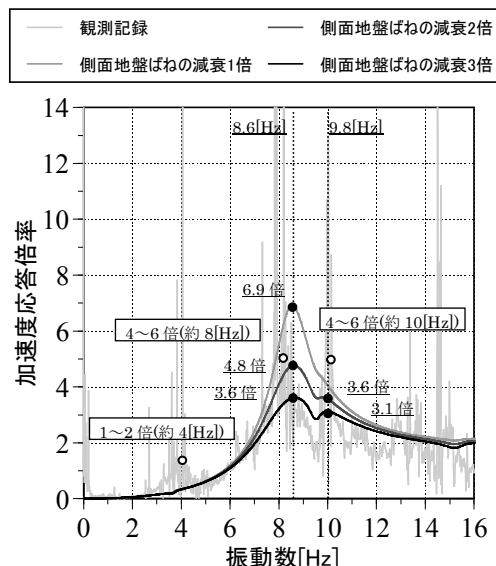


図10 側面地盤ばねの逸散減衰効果の影響 (地盤ばねの振動数依存性あり)

#### 【参考文献】

- 1)柴田明徳:「最新耐震構造解析<第2版>」,森北出版,2003
- 2)社団法人 日本建築学会:「入門・建物と地盤との動的相互作用」,1996
- 3)社団法人 日本建築学会:「建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」,2007