

## 常時微動計測に基づく大規模構造物の基礎の挙動

正会員 ○奥 祥平\*1  
同 飛田 潤\*3同 都築 充雄\*2  
同 福和 伸夫\*4常時微動計測 大規模構造物 火力発電所  
杭基礎 応答モード形

## 1. はじめに

エネルギー施設のような大規模平面を有する構造物においては、長大な基礎が複雑な挙動を示す可能性がある。しかし、現状の設計では基礎固定としたモデルによって評価されていることが多い。応答解析における基礎の変形の影響を把握するために、大規模な基礎の実挙動を確認しておく必要がある。

本論では、建設中の発電所建屋にて行った常時微動計測の記録を用い、長大な基礎の挙動について、サイトでの地盤卓越振動数と建屋の固有振動数に着目して検討を行う。

## 2. 建屋と周辺地盤

検討対象建屋の配置図とボーリング調査及び PS 検層結果、以前に実施した地盤上での常時微動計測結果を図 1 に示す。対象敷地内は概ね水平成層であり、地点による S 波速度構造や基盤深さに大きな違いはない。上記のボーリング調査以降に、GCP 工法による地盤改良と鋼管杭の打設が行われており、深度 60 m 以浅の S 波速度は上昇していると考えられる<sup>1)</sup>。工学的基盤以浅の表層地盤の卓越振動数は 0.8 Hz と推測され、H/V スペクトルからも確認できる。地点 1 の PS 検層結果から算出した理論分散曲線と常時微動計測によって得られた分散曲線を図 2 に示す。これまでの地盤上での常時微動計測からも 1~2 Hz の振動数帯域でレイリー波が卓越している様子が確認されている。

建屋は鉄骨造 3 階建て、高さ 32 m である。基礎は南北 290 m、東西 58~84 m、厚さ 2.5 m のマットスラブであり、杭基礎である。図 3 斜線部分のみ 5.5 m の根入れを有する。南北端は機器や設備の重量が大きい。

建屋については図 4 に示す 3 次元フレームモデルによる動的解析が実施されている。床開口が多いため剛床仮定ではなくスラブの面内剛性を考慮しており、基礎は固定としている。図 5 に示す解析結果から、1 次モードから 3 次モードまでの固有振動数は 1.4~1.6 Hz の範囲にある。

## 3. 常時微動計測の概要

基礎長辺方向の詳細な挙動と、地盤、基礎、上部の挙動の関連性を把握するため、図 6、図 7 に示すように計測 case1、計測 case2 を行った。計測時、マットスラブはすべて打設済みであった。上部構造は、図 6 の太線枠の範囲に鉄骨の骨組と 2F、3F 床スラブのみがある状態だった。

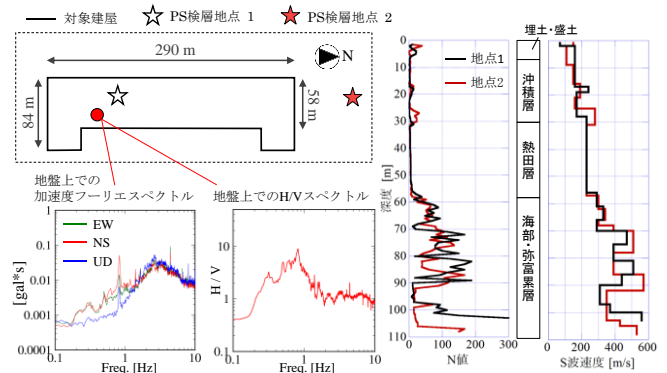


図 1 配置図, 既往の調査結果

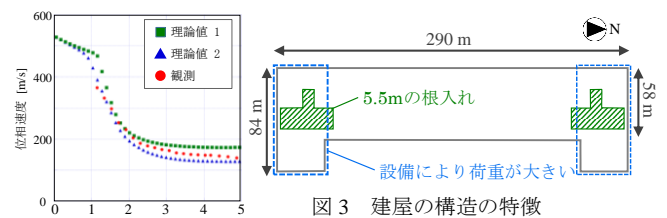


図 2 分散曲線

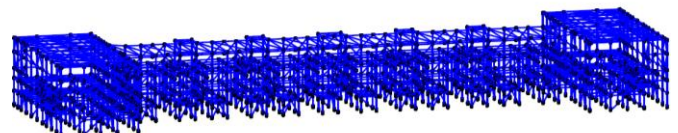


図 4 3次元フレームモデル

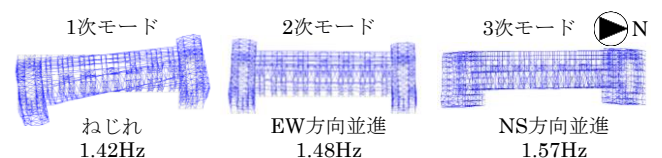


図 5 動的解析結果



図 6 計測 case1 計測点配置

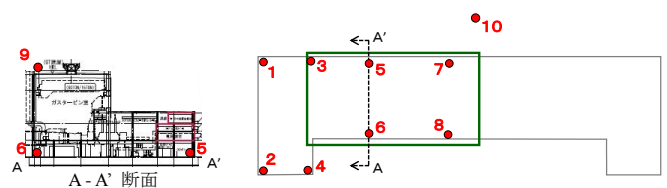


図 7 計測 case2 計測点配置

#### 4. 計測結果

計測 case2 における地盤上, 基礎上, 屋上計測点での加速度フーリエスペクトル, 伝達関数を図 8, 9 に示す. 0~1 Hz 程度まではどの計測点でも各成分のスペクトル振幅が同程度である. 1.3 Hz 以降では水平方向に比べ, 上下方向のスペクトル振幅が大きくなる. 伝達関数から, 水平方向において 1 Hz 以降で入力損失効果が表れている. また, 計測時の上部構造の固有振動数は 2.5 Hz であった.

以上から, 0.8 Hz, 1.4~1.6 Hz, 2.5 Hz に注目し分析を行う.

#### 5. 基礎、建屋の挙動

基礎の立体的な挙動を詳細に把握するため, アニメーションによる可視化ツール<sup>2)</sup>を用いて分析を行った. バンドパスフィルタ処理を行い, 振動数帯域ごとに各計測点の同時刻の変位を出力している. 振幅倍率は図ごとに異なる. 図 10~16 下側は基礎断面を東側から見たものになっている. 図 17 は case2 の建屋断面での挙動を示したものである.

##### 5.1 基礎の挙動

地盤の卓越振動数である 0.8 Hz では, 水平動が大きく基礎全体が東西方向に弓形となる変形が顕著で, 上下動は相対的に小さかった.

1.4~1.6 Hz では case1 の結果から水平方向, 上下方向ともに基礎全体が S 字型となる変形が確認できる. case2 の結果から, 短辺方向のロッキング動が確認でき, 同時刻で各構面において異なるロッキング角を生じることにより, ねじれ挙動が生じている. また, 1.4~1.6 Hz でのレイリー波の波長は 200 m 程度と考えられ, 基礎の変形モードと概ね合致している. したがって, 上部構造の固有振動数が図 5 に示した動的解析の通り 1.4~1.6 Hz となった場合, 基礎の挙動が上部構造の応答に影響を及ぼす可能性がある.

2.5 Hz ではレイリー波の波長は 80 m 程度と考えられるが, case1 の基礎の変形モードとはやや異なる. case2 においては, 1.4~1.6 Hz と同様のねじれ挙動が確認できる.

##### 5.2 建屋の挙動

0.8 Hz では, 基礎と上部が剛体的に挙動しており, スウェイ動が支配的である. 1.4~1.6 Hz でも, 基礎と上部が剛体的な挙動を示すが, 基礎のロッキング動が顕著に表れている. 2.5 Hz では, 上部の水平方向の振幅が基礎部の 30 倍程度に増幅しており, またロッキング動もみられる.

#### 6. まとめ

基礎は必ずしも剛体的な挙動を示しておらず, 地盤の挙動に大きく影響を受け, 建屋の固有振動数では基礎の変形やロッキング動が生じていた. 基礎の規模と建屋の固有振動数によっては, 基礎の変形や挙動が上部構造の応答性状に及ぼす影響を考慮しておく必要があると考えられる.

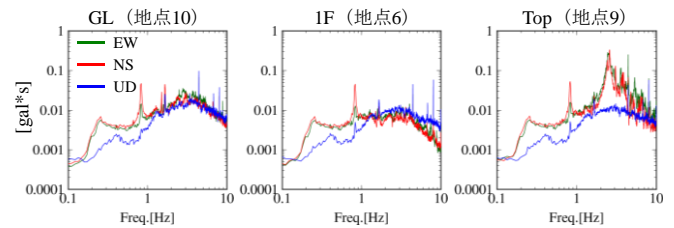


図 8 case2 の加速度フーリエスペクトル

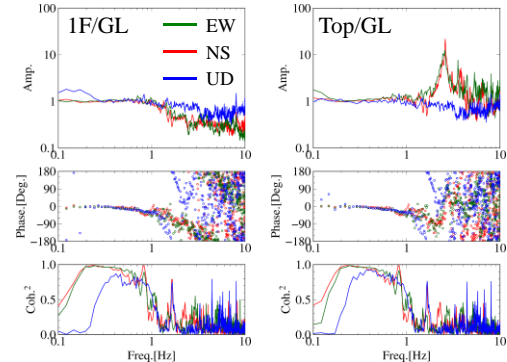


図 9 case2 の伝達関数

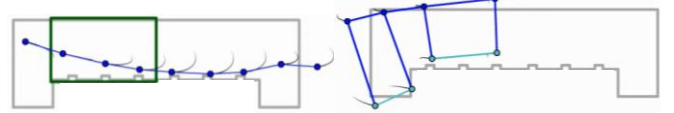


図 10 case1 0.8 Hz の挙動



図 11 case2 0.8 Hz の挙動

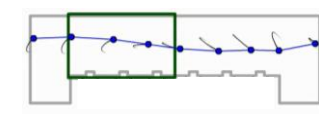


図 12 case1 1.4~1.6 Hz の挙動

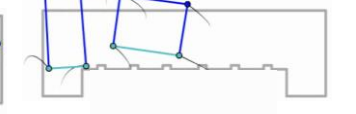


図 13 case2 1.4~1.6 Hz の挙動

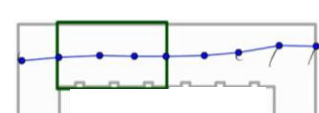


図 15 case1 2.5 Hz の挙動

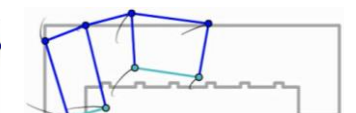


図 16 case2 2.5 Hz の挙動

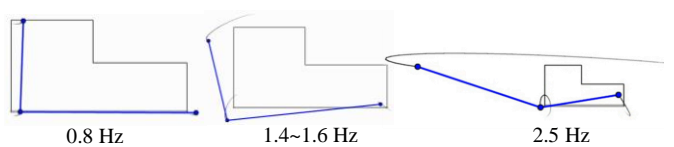


図 17 case2 建屋断面の挙動

#### 参考文献

- 1) 奥祥平・他：発電施設の振動性状に及ぼす周辺地盤の影響 その 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015
- 2) 廣野衣美：立体振動分析支援アニメーションツールの開発と効果的分析のための多点観測体制の提案, 名古屋大学大学院修士論文, 2008

#### 謝辞

常時微動計測実施にあたり, 対象発電所の現場関係者の皆様に多大なるご協力をいただきました. 記して謝辞を申し上げます.

\*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生

\*2 名古屋大学減災連携研究センター・准教授

\*3 名古屋大学災害対策室・教授・工博

\*4 名古屋大学減災連携研究センター・教授・工博

\*1 Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ

\*2 Assoc. Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ.

\*3 Prof., Disaster Management Office, Nagoya Univ., Dr. Eng.

\*4 Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr. Eng.