

常時微動計測に基づく杭基礎中層庁舎建物の振動特性に関する研究

名古屋大学工学部環境土木・建築学科建築学コース
護研究室 天野靖大

1.背景と目的

2016年4月14日及び16日に発生した熊本地震では熊本県益城町、熊本県西原村で震度7が観測された。この地震による被害の内、熊本県宇土市、熊本県益城町をはじめ熊本県内の7つの自治体庁舎が損壊等のため庁舎外への機能の移転が余儀なくされた。またこの被害によって、災害対応が迅速に行えなかったこと、業務機能が一時停止してしまっことが問題となり、庁舎建物の重要性を改めて知ることとなった。

本研究では、実在する愛知県内の某自治体庁舎(写真1)を対象としているが、内閣府が発表した南海トラフ巨大地震の被害想定によれば、対象建物がある市全域において最大震度7の強い揺れが襲うとされており、南海トラフ巨大地震が発生した時のこの建物の被害予測は喫緊の課題である。

そこで、本研究では常時微動の多点同時計測を行い、建物の振動特性を把握することを目的とする。

2.対象建物及び観測体制の概要

表1に建物概要を示す。2000年1月に竣工された地上10階(塔屋8~10階)、地下1階建てで最高高さ59.9m、建物高さ32.9mである。構造種別は柱がSRC造、大梁がSRC造とS造を併用している混合構造である。基礎は杭径1300~2000φの杭72本の杭基礎構造である。平面形状は南北方向については、地下1階から1階までは5スパン、2階は柱が減り3スパン(54.5m)、セットバックした後の3~7階は1スパン(18.5m)、東西方向については9スパン(64.8m)の長方形平面をしており、ラーメン構造をしている。2階には21.6m×18.5m、3階には36m×18.5m、8階には14.4m×18.5mの吹抜を有している。階高は地下1階が6m、1・2階は5m、3~6階は4.25m、7階は4.5mである。この建物の平面形状の特徴としては、途中階からセットバックして東西に細長い形状となること、大きな吹抜が多数存在すること、立体形状の特徴としては東側に3層分の塔屋があることから複雑な振動性状を持つことが予測される。

常時微動計測の観測体制を図1に示す。観測日は2017年10月6日、計測時間は12時10分から13時10分の1時間、天候は曇りのち雨である。微動計は建物内に14地点、周辺地盤に4地点設置し、建物内については建物の並進、ねじれ、弓形変形、ロッキング、高次モードについて分析できるように配置を行った。

3.建物の基本的な振動特性の分析結果

常時微動計測記録から推定した建物-地盤連成系(8F/GL)、スウェイ固定系(8F/1F)、スウェイ・ロッキング固定系(8F/(1F+Hθ))の伝達関数を重ね描いたものを図2に示す。Hは等価高さ、θは1階のロッキング回転角を示す。また設計時の固有周期、計測結果から算出した各系の1次の並進の固有周期減衰定数(1/2h法から算出)をまとめたものを表2に示す。計測結果から得た固有周期は、各系の伝達関数のピークがある振動数を

建物概要	
建築面積	4524.29㎡
延床面積	18008.59㎡
階数	地上10階(塔屋8~10階) 地下1階
最高高さ	59.9m
建物高さ	32.9m
基礎深さ	GL-10.9m
竣工	2000年1月
重要度係数	1.5(目標値2.0)
地盤種別	第2種地盤

表1 計測対象建物の概要



写真1 対象建物(南西から)

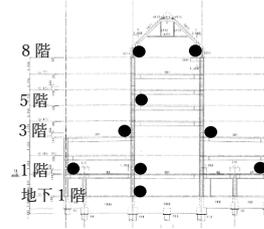


図1 南北方向断面図

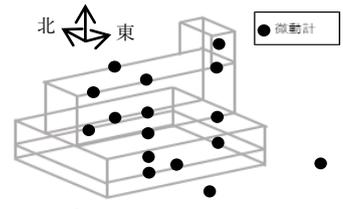


図2 観測体制

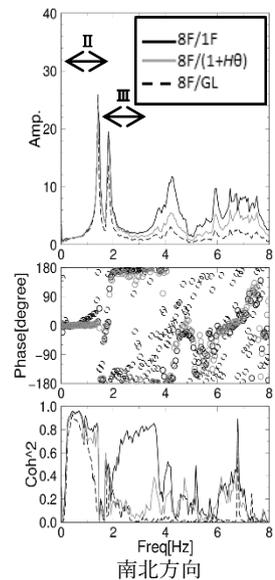
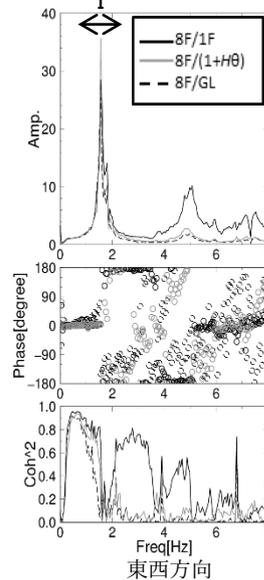


図2 計測記録から算定した伝達関数

表2 固有周期・減衰定数の設計用と分析結果との比較

固有周期	(単位:秒)		減衰定数	(単位:%)	
	東西方向	南北方向		東西方向	南北方向
設計	0.658	0.658	設計	-	-
8F/GL	0.63	0.71	8F/GL	1.96	1.91
8F/1F	0.63	0.71	8F/1F	1.76	2.11
8F/(1F+Hθ)	0.63	0.71	8F/(1F+Hθ)	1.40	2.13

読み取り、その逆数から算出した。設計用固有周期は東西方向・南北方向ともに塔屋を除く建物高さに0.02を乗じたものである。

図2に注目すると、全ての系において東西方向の伝達関数には約1.6Hz、南北方向の伝達関数には約1.4Hzと約1.8Hzにピークが確認できる。後述のアニメーションによる分析(図8のI,II)から東西方向の1.6Hz近傍は1次の並進、南北方向の1.4Hz近傍が1次の並進、1.8Hz近傍が1次のねじれのピークであることが確認できた。また、建物-地盤連成系と基礎固定系で固有振動数が同じであることから、杭基礎ではあるが地盤と建物の動的相互作用効果は小さいと考えられる。表2より、設計時の建物の固

有周期と計測結果から得られた固有周期との比較を行うと、計測結果から得られた固有周期の方が、東西方向は若干短く、逆に南北方向は若干長いことが確認できた。その差は、振動数に直すと約0.1Hzである。

4.固有周期の違いによるAi分布の比較

計測結果から得られた固有周期と設計時の固有周期の差があることを確認したが、ここでは、この差が建物にかかる層せん断力に与える影響について調べる。分析方法として、重量は共通であるとして、Ai分布の比較を行った。

算定式に設計と計測結果の並進の1次固有周期を代入したAi分布の差を比較する。設計時のAi分布と計測結果から得られたAi分布を重ね描いたものを図3に示す。この図からAi分布には大きな差がないことが確認できる。

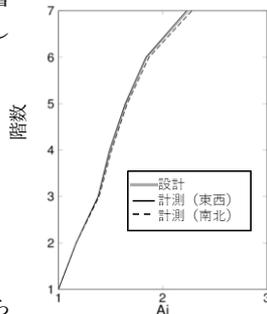


図3 Ai分布の比較

5.ねじれ変形・弓形変形の分析

ここでは、対象建物の特徴的な挙動である南北方向のねじれと弓形変形の詳細な分析を行う。

1・3・5・8階中央の南北方向の加速度フーリエスペクトルを重ね描いたものを図5に示す。各階の1.8Hz近傍に注目すると3階から8階にかけてピークが確認できることから、セットバックする3階から8階にかけてねじれが生じている可能性が示唆される。そこで図6に示すように、1・3・8階の南北成分を用いて2点間の距離の差からねじれ成分の抽出を行った。各階のねじれ回転角の加速度フーリエスペクトルを重ね描いたものを図7に示す。この図から約1.8Hzにねじれモードと推定されるピークが認められる。なお、1.4Hz近傍にもピークがあり、ねじれ成分が含まれていることから、南北方向の1次の並進はねじれを伴った挙動であることが推測され、後述の図8のⅢに示すアニメーションによる分析でも確認できる。ねじれを伴う並進をする原因としては、塔屋が建物東端にあることにより建物東側に重心が偏っていることが一因と推測される。

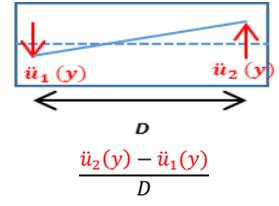
次に図7に8階の弓形変形成分の加速度フーリエスペクトルを示す。なお、弓形変形成分の算出方法は図6に示す。図7より、4.3Hzと7.2Hz近傍にピークが存在することが確認できる。アニメーションツールを用いてフーリエスペクトルのピークを含む振動数域における挙動を確認すると(図8のⅣ、Ⅴ)、Ⅳでは建物端部と中心が同位相で振動する弓形変形、Ⅴでは端部と中心が逆位相で振動する弓形変形が確認された。また両図は同じ表示倍率を用いていることから、変形量としてはⅣのほうがⅤよりも大きいことが分かる。

6.まとめ

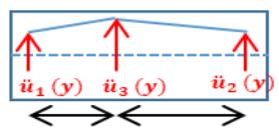
今回の常時微動計測により地盤と建物の挙動を分析した。建物について、南北方向ではねじれを伴った並進をすること、3階から10階にかけて大きくねじれる挙動があること、8階床スラブでは弓形変形が生じていること

が確認できた。また、設計時の固有周期と実際の建物の固有周期とでは差が存在するが、Ai分布の観点では固有周期の影響は小さいことが確認できた。加えて建物-地盤連成系と基礎固定系の伝達関数から読み取った建物の固有周期が同程度であることから、地盤と建物の動的相互作用効果が小さいことを確かめた。

今後の方針としては、より詳細な分析を進めること、その知見を踏まえて対象建物のモデル化を行う予定である。モデル化後には対象建物の被害の推定を行う。



南北方向のねじれ回転角



南北方向の弓形変形

図5 ねじれ回転角
弓形変形

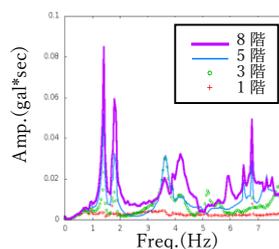


図4 各階の南北方向の
加速度フーリエスペクトル

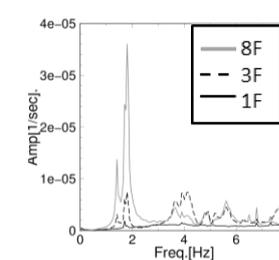


図6 1・3・8階の
南北方向のねじれ回転角の
加速度フーリエスペクトル

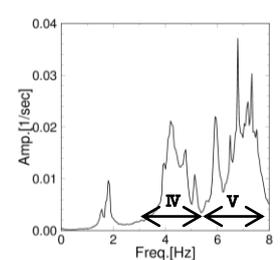


図7 8階南北方向の
弓形変形成分の
加速度フーリエスペクトル

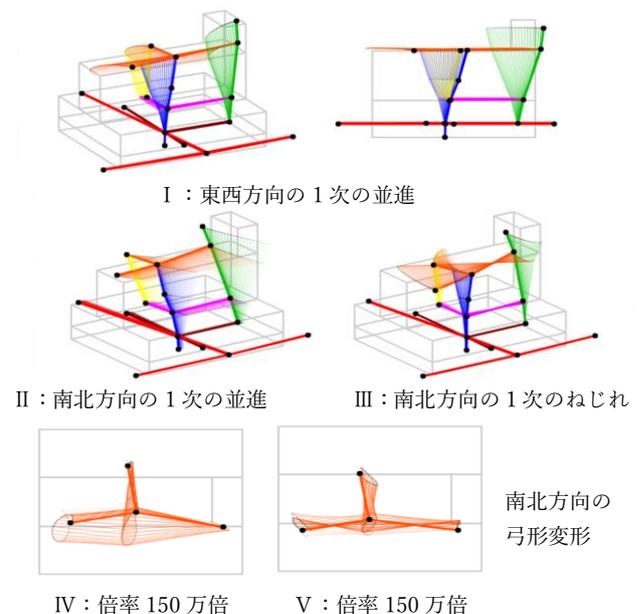


図8 アニメーションによる挙動の確認
(Ⅰ～Ⅲは図2、Ⅳ・Ⅴは図7の振動数範囲を示す)