

建設時の振動観測に基づく超高層建物の高さと固有周期・減衰定数の関係

正会員 松井政樹 *1 同 福和伸夫 *2
同 小島宏章 *3 同 飛田 潤 *4
同 向野聡彦 *5 同 杉浦盛基 *6

強震観測 常時微動 RD 法
固有周期 減衰定数 軒高

1. はじめに

発生が危惧されている東海・東南海・南海地震などの海洋性巨大地震では、長周期成分が卓越する極めて継続時間の長い揺れが予測されている。このような入力による低減衰長周期構造物の応答の検討は重要である。本論では超高層建物の振動特性、特に建物高さで固有周期・減衰定数の関係を、建設中の連続観測による地震記録と常時微動記録から検討する。

2. 対象建物及び観測概要

対象建物は名古屋市内に建設中の S 造地上 47 階（高さ 247m）地下 6 階建ての建物で、地上部分は鋼板耐力壁および制振ダンパー付ラーメン構造である。ダンパーは高層棟の中間階 3 層及び低層棟との接続部に設置されるが、建設中はロックあるいは切り離されており、本論で述べる結果はダンパーの効果を含まない超高層建物の特性と考えられる。表 1 に建物概要を示す。強震観測は図 1 に示すように、高層棟 1 階に 2 点、頂部に 2 点、地下に 1 点配置し、頂部と地下の観測点は建設と共に上階・下階（逆打ち）へ移設しながら連続して観測を行った。観測期間は約 14 ヶ月である。強震計はネットワーク接続され、リモート操作により地震データ回収や手動トリガーによる常時微動計測を行える。常時微動計測は工事振動が少ない夜間に 1 日につき約 30 分間行った。2006 年 3 月までに地震記録が 5 個、常時微動記録が約 170 得られている。南側には S 造地上 7 階建ての低層棟が同時に施工されるが、高層棟の低次振動への影響は小さいと考えられる。

表 1 建物概要

高さ	地上 247m (47階)	耐震要素	連層鋼板耐力壁
	地下 SGL-29.8m (6階)		アウトリガーダンパー
基準階面積	2880m ² (20階)		連結制振ダンパー
延床面積	約194000m ²	設計周期	TX1=5.92秒
構造種別	地上鉄骨造		TY1=5.75秒
骨組形式	鋼板耐力壁及び制振ダンパー付ラーメン構造	設計減衰	h1=0.01~0.02
		基礎形式	パイルドラフト

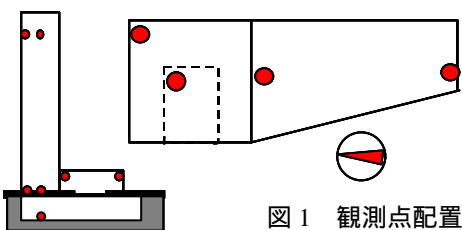


図 1 観測点配置

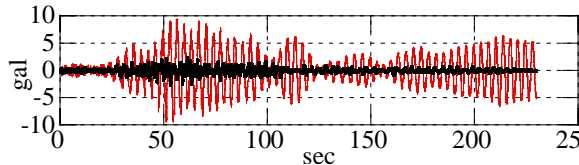


図 3 2005 年 8 月 16 日宮城県沖での地震の加速度波形と加速度フーリエスペクトル

3. 観測記録

図 2 に床スラブ打設部が 10F、15F、24F、47F のときの常時微動記録における頂部の並進 2 方向の加速度フーリエスペクトルを示す。建設の進行に伴い、ピーク振動数が低下している。また EW 方向と NS 方向のピークがごく近接していることもわかる。図 3 に地震記録の一例として 2005 年 8 月 16 日に宮城県沖で発生した地震（Mj.7.2）における頂部と 1 階中央の EW 方向の加速度波形と加速度フーリエスペクトルを示す。この時、建物は鉄骨 40F、床スラブ 33F（162.4m）まで建設され、強震計は 27F に設置されていた。頂部の揺れは 1 階に比べて大きく増幅され、長周期で揺れている様子が明瞭に現れている。また、1 階ではトリガーレベルを下回っても、頂部では揺れが続いていることも分かる。この地震時には、トリガー設定を 1 階で行っていたため、頂部の応答が最後まで記録されていない。十分長い記録を得るためには、頂部のセンサで小さいレベルでストップトリガーをかけることが必要である。

4. 建設段階における固有周期の変化

図 4 は建設段階を追った常時微動記録による固有周期の変化であり、並進 2 方向の 1 次、2 次の固有周期と高さ

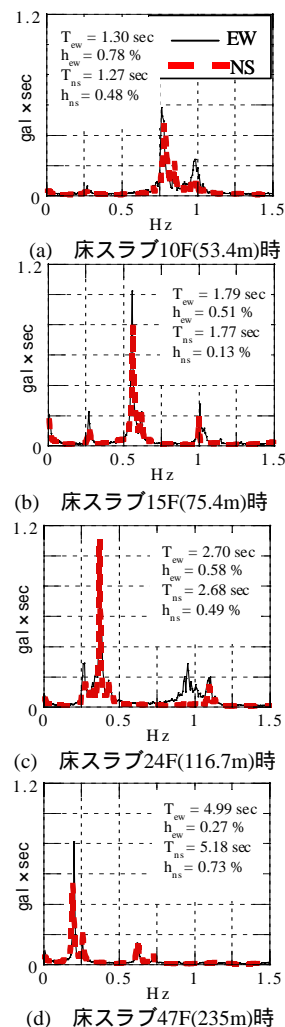


図2 建設段階における常時微動記録の加速度フーリエスペクトル

の関係を示す。固有周期と次節に述べる減衰定数は、頂部並進成分の各方向の 1 次と 2 次の固有周期をそれぞれ含む帯域のフィルタ波形に RD 法を用いて生成させた自由振動波形に、近接した水平 2 方向の周期を考えて 2 自由度の自由振動曲線をフィッティングして求めている。また、地震時の連成系の固有周期をフーリエスペクトルのピーク位置から求め、図中に合わせて示す。横軸は床スラブ打設部分の高さである。図中には原点を通る回帰直線も示す。回帰直線は EW 方向 $T_1=0.0218H$ 、 $T_2=0.0072H$ 、NS 方向 $T_1=0.0225H$ 、 $T_2=0.0072H$ で T_1 については文献 1 の回帰直線よりやや大きな傾きとなっている。本建物については横軸を床スラブ高さとしていることから、先行して立ち上がった上部の鉄骨骨組の重量が影響していることも考えられる。

図 5 に並進 2 方向とねじれの固有周期の関係を示す。ねじれの固有周期は、端部と中央の差をねじれ成分として、並進成分と同じ手法で求めている。平面が整形であるため、並進周期とねじれ周期の差は小さく、回帰直線は $T_{t1}=0.90T_1$ となっている。並進固有周期 4 秒以降ではねじれの固有周期の変化の仕方が変わり、回帰直線から外れている。この理由については今後検討が必要である。

5. 建設段階における減衰定数の変化

図 6、7 に常時微動記録より求めた並進 2 方向 1 次、2 次の減衰定数と高さの関係を示す。振幅との関係を見るために頂部中央の RMS 値によってプロット大きさを区別した。減衰定数はおおむね 1% 以下となっている。建物の高さに関係なく RMS 値が大きくなると減衰定数も大きくなる傾向がやや見られるが、ばらついた結果である。図 8 に固有周期と減衰定数の関係を示す。2 次までの範囲ではあるが、高次でも必ずしも減衰は大きくならないことがわかる。

図 9 に高さとねじれの減衰定数の関係を示す。全体に 1% 程度以下に分布している。

6. まとめ

超高層建物の建設時に継続的に観測を行い、建設に伴う高さの変化が固有振動数や減衰定数に及ぼす影響を検討した。固有周期については文献 1 の結果に近い傾向、減衰についてはダンパーのない状態で 1% 程度以下の値が得られた。今後は、相互作用の影響も含めた数値解析と対比した分析を行う予定である。

謝辞 強震観測において竹中工務店・長谷理氏、応用地震計測・小出栄治氏、その他関係者諸氏に御協力と御配慮を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献 1) 日本建築学会：建築物の減衰、2000

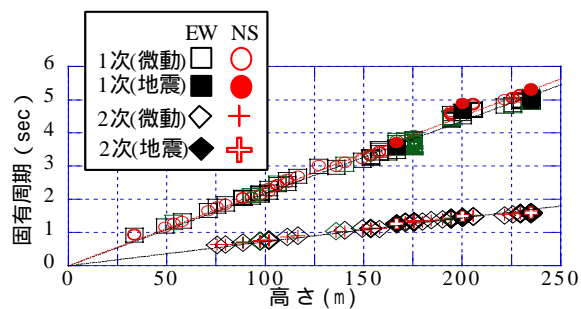


図4 高さと固有周期の関係

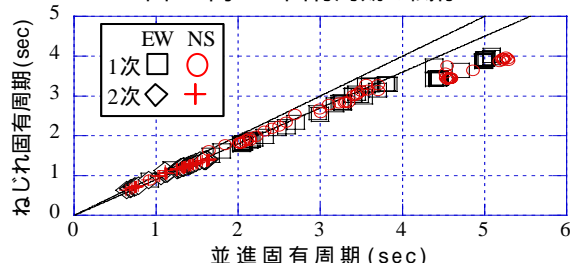


図5 並進とねじれの固有周期の関係

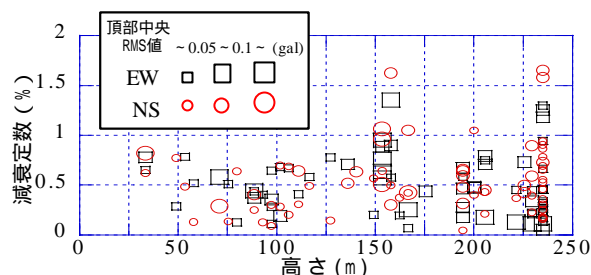


図6 高さと1次減衰定数の関係

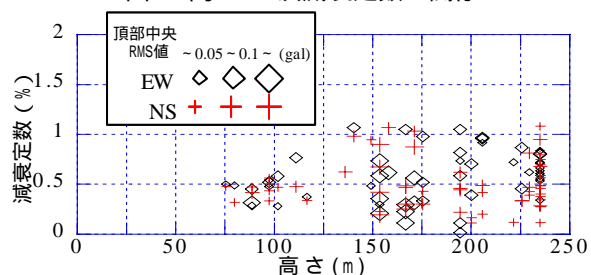


図7 高さと2次減衰定数の関係

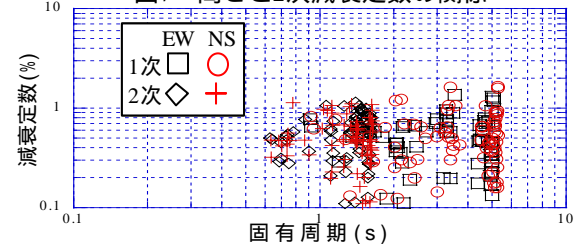


図8 固有周期と減衰定数の関係

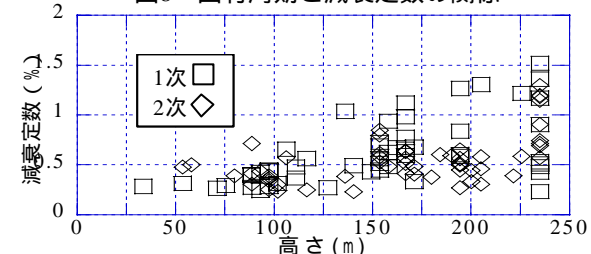


図9 高さとねじれの減衰定数の関係

*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生
*2 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博
*3 名古屋大学大学院環境学研究科・助手・博士(工学)
*4 名古屋大学大学院環境学研究科・助教授・工博
*5 株式会社日建設・構造設計室・工修
*6 株式会社日建設・構造設計室

*1 Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.
*2 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.
*3 Res. Assoc., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.
*4 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.
*5 Struct.Eng.Dept.,Nikken Sekkei Ltd.,M.Eng.
*6 Struct.Eng.Dept.,Nikken Sekkei Ltd.