

振動実験及び微動・台風・地震観測に基づく解体高層建物の振動特性に関する研究

名古屋大学工学部社会環境工学科
建築学コース福和研究室 今枝賢志朗

1. 研究の目的と背景

東海・東南海・南海地震の発生確率が高まっており、長周期成分を多く含んだ極めて継続時間の長い揺れが予想されている。1970年代に建設された初期の高層建物は長周期地震動に対し必ずしも十分な配慮がされていないため、甚大な被害の可能性もある。本研究では、解体中の初期高層建物を対象として振動実験及び微動・台風・地震観測を行うことで詳細な動特性を把握する。現状では内装材を除去した状態であり、本論ではそこまでの段階を対象に考察を行う。これによって建物全体に対する2次部材の固有周期、減衰定数への影響が確認できる。今後も計測は継続的にを行い、解体に伴う構造体の動特性の変化を明らかにしていく。

2. 対象建物概要

対象建物は、1973年9月に竣工した地上25階、高さ90mの解体中の高層建物である。表1に対象建物概要を示す。構造種別は比較的階高の高い4階床までがSRC造、4階柱以上はS造である。高層建物を解体する例は極めて少なく、名古屋地区では初めてのこととなる。設計1次固有周期はEW方向2.47秒、NS方向2.44秒、設計減衰定数は鉄骨部分2%、鉄筋コンクリート部分5%である。解体工事は2009年10月から開始し、現在内装撤去はほぼ全階で終了し、石綿除去が3/4程度終了している状態である。2010年3月から8月まで解体予定である。

3. 観測概要と基本的振動性状の分析

振動実験及び微動・台風・地震の観測概要を述べる。表2に観測データの一覧を示す。図1に2009年6月30日の内装解体前の微動計測・振動実験のセンサー配置を示す。振動実験には微動計を使用した。微動計は基本性状の検討のため25F中央、モード形の検討のために17F中央、9F中央、ねじれの検討のために25F東、南、相互作用の検討のためB1中央、東、南を設置した。内装解体後の2009年1月9日～17日に微動・振動実験を行った。センサー配置は工事の関係で25Fを24Fに変更、起振器は6月30日の3倍の規模のものに変更、その他は同条件で行った。この2回の振動実験の間も微動も計測可能な強震計による強震観測を行った。

3.1 微動計測

表1 対象建物概要

建物概要	用途	
	用途	貸事務所
	基準階面積	1500.69 m ²
	階数	地上 25階 地下 3階 塔屋 1階
高さ	最高部	90.00 m
	基準階階高	3.55 m
	地階階高	B1: 5.00 m B2,3: 3.40 m
	基礎底深さ	GL - 15.10 m
基礎	杭	
	φ1,500×106本 φ2,000×22本	
構造概要	骨組種別	
	4階床以下SRC造、 4階柱以上純S造	
	耐震壁 その他	
	4階以上はK型鉄骨ブレース 3階以下はSRC造ブレース RC造地下外壁	
	床形式	
	鉄筋コンクリート造	
固有周期	固有周期	
	EW方向 2.47秒 NS方向 2.44秒	
	減衰定数	
	鉄骨造部分 2% 鉄筋コンクリート部分 5%	

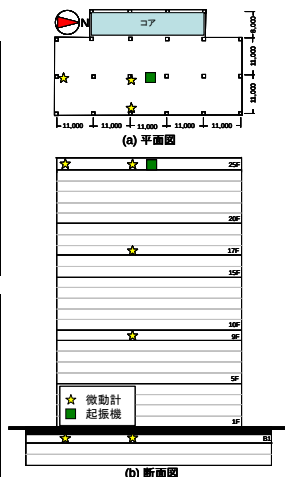


図1 観測地点

解体に伴う建物の動特性の変化を検討するために、強震計を用いて解体工事に合わせて30分程度の計測を行った。その他、強震観測中工事振動により強震計から300秒の微動記録を得た。

以下この節にて6月30日の微動記録を取り扱う。図2に25F中央の速度フーリエスペクトルを示す。高次まで明瞭なピークが確認できる。図3にB1に対する9F,17F,25Fの伝達関数から求めたEW方向の1～3次までのモード形状を示す。図4に並進2方向とEW方向の25F中央から南端を引いた速度波形を用いて求めた速度フーリエスペクトル(以下中央-南)を示す。フーリエスペクトルのピークの位置から25F中央における並進1次はEW方向で0.43Hz、NS方向で0.46Hzである。EW方向の中央-南に0.53Hz付近でピークが見られるのはねじれの固有振動数と推定される。

3.2 解体前振動実験

スイープ加振は固有周期の推定のため、自由振動実験と約10人での人力加振は振幅依存性を検討のため行った。ここでの自由振動実験と人力加振とはそれぞれ起振器、人力による定常加振で加振を急停止した後の自由振動波形のみを取り扱うものとする。今回使用した起振器は可動部重量が1t、最大片振幅20cm、加速度一定である。この振動実験で観測できた建物の応答最大速度は25FでEW方向117.3mkine、NS方向116mkineであった。

自由振動実験と人力加振に建物の1次固有周期を含むバンドパスフィルターを施し、自由振動波形の1自由度のフィッティングを用いて固有周期と減衰定数を求めた。スイープ加振は共振曲線を用いて固有周期と減衰定数を求めた。

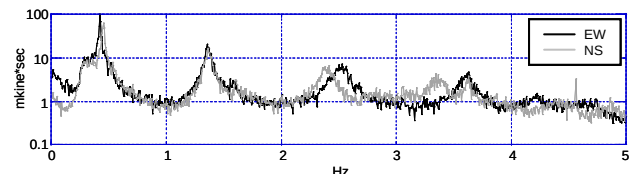


図2 速度フーリエスペクトル

表2 観測データの一覧

観測期間	種類	データ数
2009年06月30日	振動実験	6
2009年06月30日～2010年01月09日	微動	9
2009年10月07日～2009年10月08日	台風	24
2009年08月12日～2009年10月10日	地震	5
2010年01月17日	振動実験	11

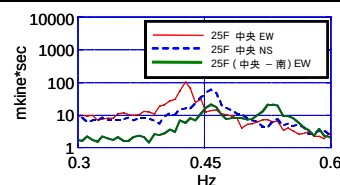


図4 速度フーリエスペクトル

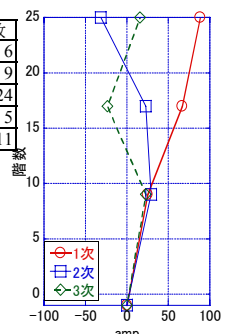


図3 モード形状

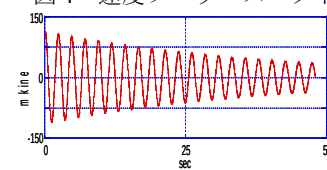


図5 EW方向人力加振速度波形

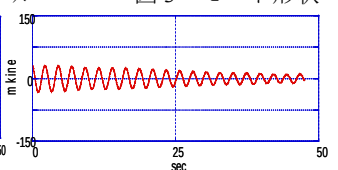


図6 EW方向自由振動実験速度波形

例として、図 5 に EW 方向自由振動実験、図 6 に EW 方向人力加振、図 7 に EW 方向スイープ加振の 25F 中央 EW 方向速度波形を示す。振幅依存性を検討するために、図 8 に X 軸に微動時速度波形の極大値を平均して求めた応答速度と自由振動実験、人力加振の自由振動波形の定常加振時の応答速度、Y 軸に固有周期、減衰定数の関係を示す。図 8(左)より固有周期は応答速度が増加すると増加する傾向にある。図 8(右)より微動時に比べて応答速度が大きいと加振実験時の減衰定数は増加しているが、自由振動実験と人力加振の間にはあまり明確な傾向は見られない。

3.3 台風観測

2009 年 10 月 7～8 日の台風 18 号通過時、15F に設置してあった強震計を用いて 7 日から翌 8 日の間、観測を行った。

24 時間連続で観測を行ったので、データを 1 時間毎に分割して分析した。例として、図 9 に台風接近前の 10 月 7 日 18～19 時と台風最接近時の 8 日 5～6 時の速度フーリエスペクトルを示す。固有振動数が台風最接近時の方が接近前の前より 0.07Hz 程度小さくなる。固有周期と減衰定数の振幅依存性を確認するため、図 10 は 1 時間毎の速度波形の極大値を平均して求めた応答速度と固有周期、減衰定数の関係を示す。図 10(左)より応答速度が増加すると固有周期も増加する傾向がある。図 10(右)より固有周期ほど明確ではないが応答速度が増加すると減衰定数も増加する傾向がある。

3.4 地震観測

強震計を使用し、水平方向 0.6gal、上下方向 0.2gal のトリガーレベルで 2009 年 8 月 12 日から 2010 年 1 月 10 日までに 5 個のデータが得られている。

表 3 に得られた地震のリストを示す。例として、図 11 に 2010 年 1 月 10 日の遠州灘の地震(Mj4.3)における 23F と 1F の EW 方向速度波形、速度フーリエスペクトルを示す。1F より 23F の揺れが主要動での増幅は小さいが、後続の揺れが大きく増幅され、1F の振幅が小さくなった後も 200 秒以上 23F の揺れが続いている。このときのスペクトル比から $1/\sqrt{2}$ 法を用いて求めた減衰定数は EW 方向 2.17%、NS 方向 3.06%である。

4. 内装撤去に伴う振動特性の変化

常時微動記録の固有周期と減衰定数は、RD 法を用いて求めた。記録が短いデータの固有周期はフーリエスペクトルのピークの位置、減衰定数はパワースペクトルからハーフパワー法を用いて求めた。地震記録の固有周期はフーリエスペクトルのピークの位置、減衰定数は伝達関数から $1/\sqrt{2}$ 法を用いて求めた。図 12 に 2009 年 6 月 30 日からの経過日数と固有周期、減衰定数の関係を示す。図 12(左)より微動時、地震時ともに内装撤去が進むにつれて固有周期が減少している傾向がある。剛性も変化した重量の変化の方が優位に働いたと考えられる。図 12(右)より微動時減衰定数は EW 方向では 0.8～1.5%に、NS 方向では概ね 1.3%以下にばらついた結果となっていて内装撤去による明瞭な傾向は見られない。

5. 結論

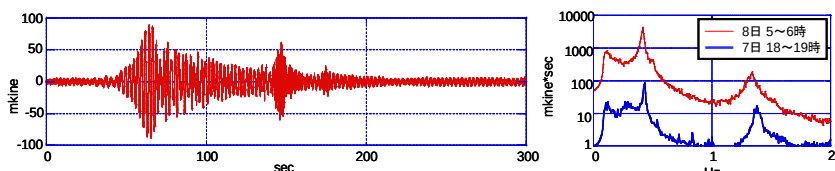


図 7 EW 方向スイープ加振 速度波形

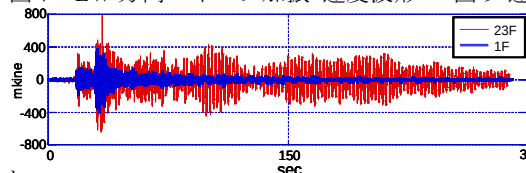


図 9 速度フーリエスペクトル(台風)

図 11 速度波形と速度フーリエスペクトル(遠州灘の地震)

表 3 地震リスト

地震発生日	震源	震源深さ	Mj	25F EW 最大速度
2009年08月13日	八丈島東方沖	57km	6.6	620.70 m/line
2009年09月03日	薩摩半島西方沖	167km	6.0	175.90 m/line
2009年10月12日	長野県南部	9km	3.7	170.37 m/line
2009年10月24日	和歌山県北部	9km	3.6	133.33 m/line
2010年01月10日	遠州灘	26km	4.3	782.00 m/line

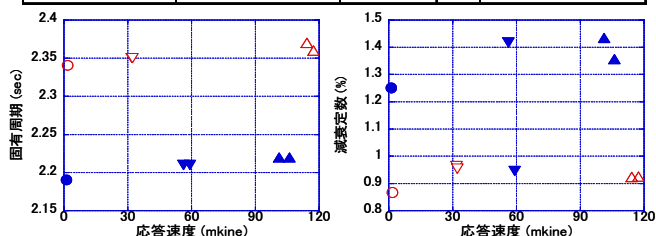


図 8 6 月 30 日 振動実験時の応答速度と固有振動数・減衰定数の関係

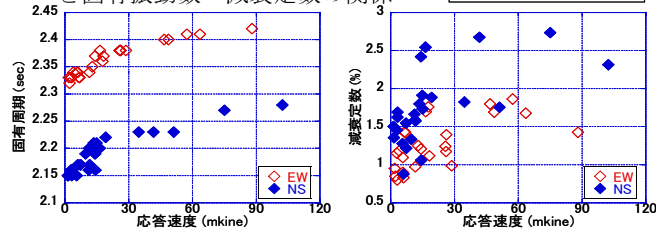


図 10 10 月 7～8 日 台風時の応答速度と固有周期・減衰定数

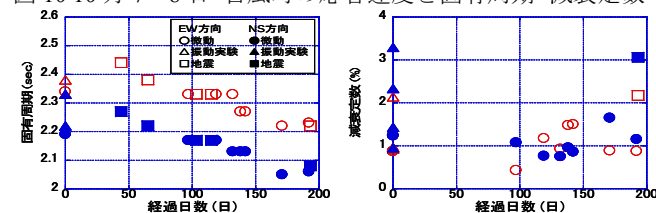


図 12 解体経過日数と固有周期・減衰定数の関係

本論では解体中の高層建物を対象に内装撤去における振動観測を行い、振動実験計測及び常時微動計測・台風観測・地震観測をもとに動特性の変化、固有周期・減衰定数の振幅依存性について検証した。得られた知見を以下に示す。

(1)地震時、対象建物は 23F において後続の揺れが大きく増幅され、1F の振幅が小さくなった後も 23F では継続時間の長い揺れになることが確認できた。(2)同じ日に実施された振動実験と常時微動計測、あるいは台風前後のかぜの強弱による記録から、固有周期と減衰定数に振幅依存性が確認された。(3)内装撤去によって固有周期に減少の傾向が見られ、減衰定数には明確な傾向が見られなかった。この成果は、高層建物の長周期地震動による応答の推定とともに、構造ヘルスマニタリングや損傷評価に有用な知見といえる。