

# 実在超高層建物の固有周期と減衰定数の設計値と実測値に関する研究

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

山崎 靖典

## 1. 背景と目的

日本の高層建物は30年余の歴史をもつが、その間やや長周期帯域に強い振幅を持つ大地震動を経験していない。兵庫県南部地震(1995年)では神戸市役所、芦屋浜シーサイドタウンなど高層建物に、初めて被害が報告された。兵庫県南部地震は内陸活断層による地震であり、震源近傍では長周期成分は比較的少なく、継続時間も短かったため高層建物は揺れにくい地震であった。一方、将来発生することが予測されている東海、東南海地震は、海洋プレート型の巨大地震であり、継続時間が長く、長周期帯域に強い振幅を持つと考えられる。また、厚い堆積層に覆われている濃尾平野ではさらに継続時間が長くなると考えられ、やや長周期帯域に固有周期を持ち、一般的に減衰定数が非常に小さい<sup>1)</sup>高層建物にとって非常に危険なタイプの地震である。そのため、高層建物の耐震安全性の見直しが必要不可欠である。

建物応答に関わる重要なパラメータには固有周期、減衰定数がある。特に、減衰定数は応答の大小に直接関係するにもかかわらず、その詳細については未解明な点が多い。高層建物の減衰定数は常時微動計測や強震観測記録の分析に基づいて設定されているが、実験方法や分析方法が統一されておらず、測定方法の違いによるデータのばらつきがあると考えられる。そこで本論文では高層評定資料で設計値の傾向、特徴を分析すると共に、名古屋市内のいくつかの高層建物で常時微動計測を行い、設計値と実測値の比較を行うことで、設計値の妥当性について検討を行う。

## 2. 評定資料の分析

分析は1966年2月～2000年4月のビルディングレターに掲載されている、高層建築物構造評定の完了物件を対象とした。調査評定件数は1291件である。

固有周期と減衰定数の設計値の傾向について以下に述べる。図1に高層建物に用いられる設計用入力地震動の利用率を示す。兵庫県南部地震以降、模擬地震動(ART、BCJ波)の利用率が高まっているが、一方で依然として過去の著名な地震動を大部分の建物で採用している。図2では兵庫県南部地震以前と以後の、設計固有周期と主な設計用入力地震動(速度応答スペクトル、 $h=0.02$ )の関係を示す。震災前では、既往波のスペクトルの谷となる周期を狙って設計されていた様子が明確に読み取れるが、震災後には模擬地震動の利用率が高まり、特定の周期帯域に偏りを見せる傾向は多少緩和されてきている。しかし、現在でも既往波の周期特性が設計時に大きな影響を及ぼしている感は否めない。

図3に構造種別毎に設計1次減衰定数の頻度分布を示す。S造は1次を2%、RCは1次を3%とし、図4に示すように高次は剛性比例型としている建物が非常に多い。同じ構造種であっても1次減衰定数が同じ値であるとは考えにくく、建物により減衰を過小、過大評価している可能性が考えられる。

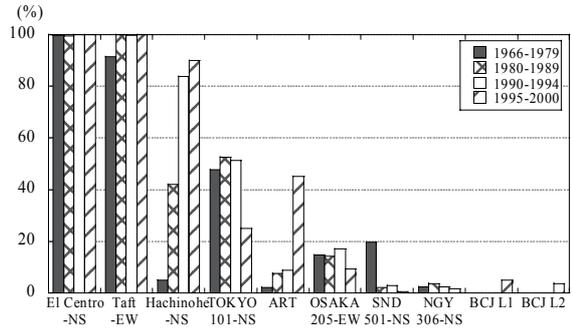
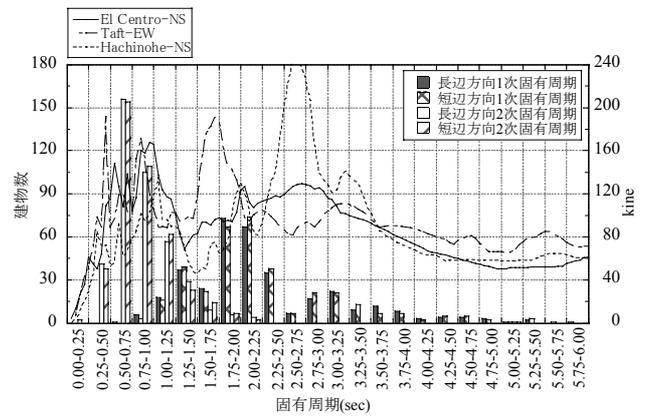
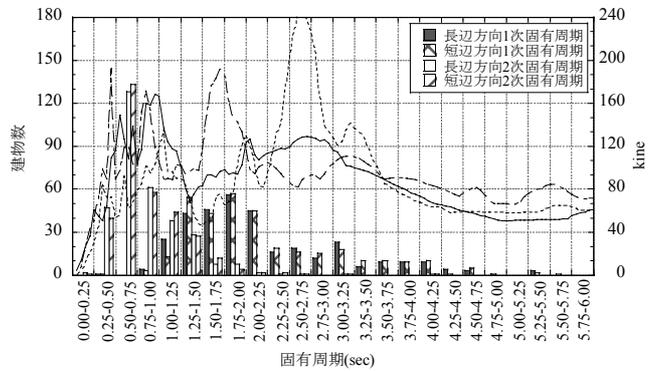


図1 年代別設計用入力地震動利用率



(a) 1990年～1994年



(b) 1995年～2000年

図2 設計固有周期と設計用入力地震動の関係

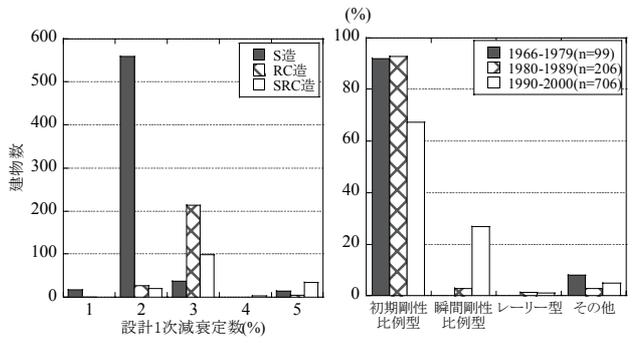


図3 設計1次減衰定数頻度分布

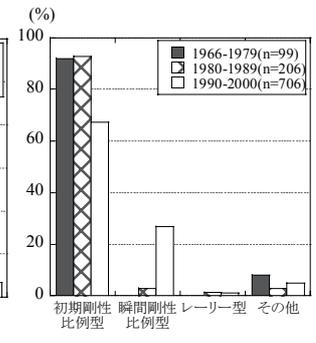


図4 年代別減衰定数評価タイプ

### 3. 設計値と実測値の比較

常時微動計測を行った対象建物は、名古屋市内に存在する高層評定を受けた11棟である。建物平面は長方形またはそれに近い比較的単純な形状のものが多く、いくつか特殊なものも含まれる。主体構造は9棟がS造、1棟がSRC造、1棟が柱が鋼管コンクリート造、梁がS造という形式をとっており、1棟(Kビル)のみ建物頂部に油圧アクチュエータで駆動する多段積層ゴム式制振装置が設置されている。建物用途は4棟が複合施設で、他の7棟はすべて事務所である。計測建物の階数、軒高、測定階を表1にまとめて示す。常時微動計測は可搬型の高精度強震計を用いて加速度を測定した。本論文では1次モードの固有周期と減衰定数の設計値と実測値の比較を目的とし計測を行ったため、測定階は1次モードの影響が大きい最上階またはそれに近い階を基本としたが、状況により中間階で行ったものもある。

振動特性の評価方法として、固有振動数はフーリエスペクトルの卓越振動数から、減衰定数はRD法を用いて生成した自由振動波形から対数減衰率を用いて評価した。

実測1次固有周期と設計1次固有周期の関係を図5に、近隣地盤の微動H/Vスペクトルによる卓越周期の関係を図6に示す。図5には原点を通る回帰直線を相関係数Rと共に記したが、相関性は非常に高く、回帰直線の式の傾向は既往の研究<sup>2)</sup>とほぼ一致した。実測周期は設計周期よりやや短い周期を示し、地盤の卓越周期よりも短周期側に分布している。実測固有周期が設計固有周期よりも短い周期を示す理由として、常時微動の振幅と設計時に通常想定している強震、強風時とは振幅レベルに隔たりがあることが挙げられる。さらに、内装材、間仕

表1 計測建物及び計測概要

件名	階数	軒高(m)	測定階
Aビル	地上15階、地下2階、塔屋3階	52.35	13階
Bビル	地上16階、地下4階、塔屋2階	59.50	15階
Cビル	地上18階、地下1階、塔屋1階	69.20	18階
Dビル	地上15階、地下3階、塔屋1階	71.40	13階
Eビル	地上17階、地下2階、塔屋1階	72.20	16階
Fビル	地上19階、地下1階	75.00	17階
Gビル	地上18階、地下2階、塔屋1階	76.45	18階
Hビル	地上26階、地下3階、塔屋1階	96.00	24階
Iビル	地上23階、地下4階、塔屋3階	96.80	18階
Jビル	地上31階、地下4階、塔屋1階	132.70	12階
Kビル	地上51階、地下4階、塔屋3階	232.60	34階

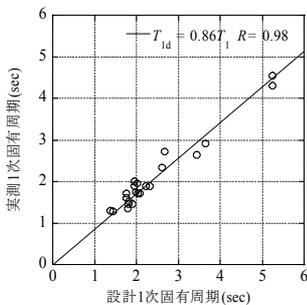


図5 設計1次固有周期と実測1次固有周期の関係

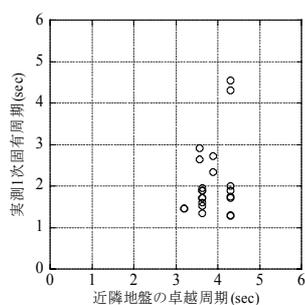


図6 近隣地盤の卓越周期と実測1次固有周期の関係

切など2次部材による影響が考えられる。地盤のやや長周期帯域の卓越周期は3~4秒程度であり、多くの建物で実測固有周期のほうが短周期側に分布しているが、100m級の建物ではかなり近接しているものもあり、共振現象が起こる可能性がある。

次に、図7に設計1次減衰定数と実測1次減衰定数の関係を示す。3%を採用している1棟を除くと、すべての建物で2%を設計減衰定数として採用しており、その傾向は全国と同様である。微動振幅レベルではあるが、実測減衰定数で設計減衰定数を上回ったのは制振装置を設置している1棟のみであり、他の建物は設計減衰定数を下回る結果となり、1%を下回る建物も多く存在する。減衰定数の振動数依存性を見るため、図8では実測1次固有振動数と実測1次減衰定数の関係を示す。ばらつきが大きいが見ると固有振動数が高振動数になるほど減衰が大きくなる傾向が見られる。また、ここでも制振装置を設置している建物のみ他と異なる傾向を示しており、微動振幅レベルにおいて制振装置が有効に働いていることが分かる。

### 4. 結論

高層評定資料に基づく固有周期と減衰定数の設計値の分析と、高層建物における常時微動計測に基づく固有周期と減衰定数の実測値との分析を行い以下の知見を得た。

高層建物の設計固有周期には設計用入力地震動の周期特性が大きな影響を及ぼしていることを明らかにした。これは高層建物の設計時、適切な入力地震動を利用する必要があることを示している。また、やや長周期帯域に固有周期を持つ高層建物でも、地盤条件によっては共振する可能性があることを示した。実測1次減衰定数は固有振動数と、ある程度相関性があることを示したことで、大部分の建物で構造種毎に採用している設計1次減衰定数が妥当性に欠ける可能性があることを示した。今後は、さらに多くのデータを収集するとともに、固有周期と減衰定数の高次モードにおける傾向など、より詳細な検討を行う。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会編：建築物の減衰、2000
- 2) 森田高市・神田順：常時微動測定に基づく鉄骨建物の1次減衰定数の評価、日本建築学会構造工学論文集、Vol.44B、pp333-340、1998.3

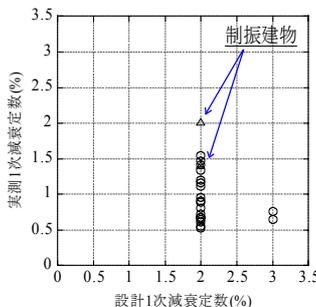


図7 設計1次減衰定数と実測1次減衰定数の関係

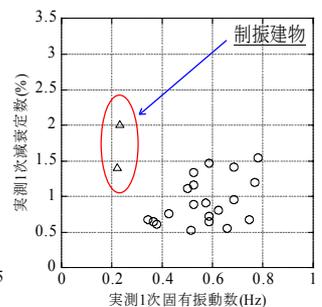


図8 実測1次固有振動数と実測1次減衰定数の関係