

3.2.6 超高層建物の強震観測による損傷評価を視野に入れたモニタリング技術の開発

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

南海トラフの巨大地震などにより、首都圏・大阪・名古屋等の大規模堆積平野上では長周期成分が卓越した地震動が予想される。この際に影響を受ける高層建物の耐震性能評価および被害軽減を目指して、本課題では、地震後における構造安全性や補修の可否などを適切に判断するための構造躯体の損傷モニタリング技術に関する基礎的検討を目的とする。具体的には、高層建物に一般的に設置されている強震計等の観測機材を利用し、加速度記録による構造躯体の損傷評価手法の提案、および強震計を用いた構造モニタリングの可能性などの検討を行う。

(b) 平成19年度業務目的

今年度は、基本的なモニタリング機材や分析法の開発を行うとともに、高層建物の E-ディフェンス実験において強震応答観測の検証を行い、基礎的な資料・知見を蓄積することを目的とする。具体的には以下の諸点に関する研究を行う。

1) モニタリングシステム及び解析法の検討

ごく一般的な強震計などの機材を念頭に、既存の観測機器の適切な利用、現存する建物に後付で整備しうる観測システムの提案、目的を達成する範囲で極力安価な観測体制の可能性、さらには新たなひずみセンサーのテストなど、基本的な観測機材・システムに関する検討を行う。またそれらを用いたデータ処理・分析手法・分析用ソフトウェアの検討を行う。これにより、本課題の目的である損傷等のモニタリングとそのためのシステムに関して、具体的な可能性を明らかにする。

2) E-ディフェンス実験の試験体製作過程におけるモニタリング及びデータ分析

高層建物の E-ディフェンス実験における S 造実大試験体の建設過程において、多数の強震計を用いた高密度振動観測、柱ひずみ観測などを行う。これにより、1)で検討した機材による特性把握の感度など、モニタリングの基礎的資料を蓄積する。

3) E-ディフェンス実験時のモニタリング及びデータ分析

高層建物の E-ディフェンス実験において、複数の異なる強震計による応答観測および静的・動的な柱ひずみ計測などを詳細に行い、得られたデータの分析を行う。これにより、強震計の記録が構造躯体の損傷やそれによる固有振動特性の変化とどのように対応しているか、また強震計の性能の相違が特性評価にどのように影響するかなど、強震計によるモニタリング技術の可能性に関する基礎的資料を蓄積する。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名
名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻	教授	福和 伸夫
名古屋大学大学院環境学研究科附属	准教授	飛田 潤

地震火山・防災研究センター		
名古屋大学大学院環境学研究科	准教授	護 雅史
都市環境学専攻	助教	小島 宏章
	技術職員	平塚 義正

(2) 平成19年度の成果

(a) 業務の要約

今年度は、高層建物のモニタリングに関する観測機器・システムの基本的な技術開発を行うとともに、それをを用いて実大試験体の建設時から加振実験まで継続的に観測を行い、今後の検討のための基礎資料を蓄積した。具体的には以下のとおりである。

モニタリング機器・システムについて、現存建物の簡易な計測を念頭に、一般的なスタンドアロン型強震計を LAN 接続によりコントロールするシステムを構築した。また観測記録から Flash アニメーションにより動的なモード特性を表示するシステムを開発した。

実大試験体の建設時から強震計・ひずみセンサー等によるモニタリングを継続して行い、加振実験時には、3種類の強震計で計35台105成分の観測を、また静的・動的ひずみ8箇所の計測を行った。これらにより機器・システムの動作確認、基本的な試験体特性と損傷の影響、センサーによる特性把握の差などに関する基礎資料と知見を得た。

(b) 業務の成果

1) 背景

近い将来の発生が危惧される海洋性の巨大地震では、堆積平野を中心に長周期成分が卓越した継続時間の長い地震動が予測されており、その際の長周期構造物の応答と構造安全性の評価、および室内安全性や機能維持の検討が重要となる。このことは、2003年十勝沖地震など近年の地震における被害事例、強震観測記録の充実、さらには深部地下構造調査の進展や地震動予測手法の発展などにより、明確な問題として認識されてきた¹⁾。特に南海トラフの東海・東南海・南海地震では、名古屋、大阪、さらに比較的震源から遠い首都圏でも、長周期地震動により多数の超高層建物が大きな影響や損傷を受ける可能性がある。

高層建物は、入力地震動の長周期成分が小さいことを前提として共振を避けるように設計されており、減衰定数は経験的な値が用いられてきた。しかし実際に振動を計測してみると、制震などの付加減衰装置がない高層建物では一般に減衰はかなり小さい²⁾。このような建物が長周期かつ継続時間の長い揺れで共振した場合には、設計時の想定を上回る応答となる可能性もある。また南海トラフの地震の過去の発生状況から、3地震が短い間隔での連動する可能性も高く、損傷した構造物が調査・補修される前に再度強い揺れを受けることを想定すべきである。

このような背景から、超高層建物の地震応答を適切に評価するために、既存建物の実測に基づく振動特性の把握が重要となる。筆者らは複数の超高層建物で強震観測を行うとともに、建設途中の振動特性変化に関する連続観測を提案し^{3),4)}、固有振動数や減衰定数などの振動特性に関する検討を継続している⁵⁾。今後は、これらの観測体制と知見をもとに、高層建物の耐震安全性と損傷可能性に関する検討を行うとともに、地震被害や経年変化に

よる構造躯体の健全性の変化や損傷の有無を観測記録から客観的に把握にするための手法と実際的なシステムの構築を行う必要がある。

建築物の構造モニタリングに関する研究開発は近年急速に進展しており、さまざまな手法とシステムの検討が行われている。一方で、現存する多数の建物で、近い将来の被害地震における構造躯体の損傷や使用安全性、さらに修復可能性を適切に評価するためには、高度・詳細なモニタリングシステムの開発と並んで、より一般的かつ簡易な観測システムにより安全確保に必要なレベルでの損傷評価を行うための補完技術が必要と考えられる。

本業務ではこれらの点に関して、高層建物に設置されている一般的な強震計(加速度計)の記録を用いて、強い地震動を受けた際の構造性能の低下や損傷状況を評価する手法を検討する。また関連して、将来的に利用可能性のある各種センサーの検討も視野に入れており、光ファイバーセンサーによる静的・動的柱軸力計測などを試みる。今年度は E-ディフェンス実験を中心として、複数の種類の普及型・簡易型強震計による実用的観測システムを検討し、それらを用いて高層建物の E-ディフェンス実験の強震応答や常時微動を計測して、実際の損傷状況や相対変位計・ひずみゲージなどの出力と対比しつつ基礎的検討を行った。また、多点の応答観測記録から立体振動特性を確認するための可視化ツールを開発した。

2) 地震応答観測システム

a) 強震計

今回の高層建物の E-ディフェンス実験において使用した強震計は、普及型強震計(サーボ加速度計)、K-NET95 強震計(サーボ加速度計)、小型・廉価型強震計(半導体センサー加速度計)の3種で、いずれも単独の筐体にセンサー・収録部・電源などを収めたスタンドアロン型である(写真1)。試験体のセンサー配置を図1に示す。5階は下層鉄骨フレームの最上部の縮約層、6~8階は積層ゴム上の縮約層に当たる。試験体は屋外で5階まで建設され、振動台上に移動してから6~8階の縮約層(各約200トン)が設置されている。屋外建設過程で強震計を設置した時点では5階の縮約層も打設前であったため、1~4階の普及型強震計7箇所のみでモニタリングを行っており、そのほかの強震計はすべて振動台上で試験体が完成したあとで設置した。

表1に、使用した強震計の主要な特性を比較して示す。は現在の標準的な性能の強震計で、ねじれ・ロッキングを含む建物の基本特性を評価する位置に設置されている。微動レベルでもある程度使用できるため、試験体構築中から加振実験前後の微動観測も行った。

は K-NET のリプレースにより回収・廃棄された旧型強震計であり、再利用で多数の建物に設置することを前提に、性能の検証を行う。カタログスペック上の周波数範囲や分解能はと同等であるが、経年劣化によるノイズの増加などの個体差もあり得る。は安価な強震計でセンサー形式が異なり、周波数範囲(特に上下)や分解能は低い。一方で小型・軽量・安価で、ネットワーク接続を標準で装備すること、などの利点を有する。これによりどこまで建物特性や損傷の評価ができるかの確認に加え、多数使える利点を活かして縮約層の回転・ロッキングなど詳細な挙動の把握を目的としている。

加速度を計測する点に関しては、これらはいずれも相応の性能を有しているが、本課題で主要な目標とする変位の精度、ねじれやロッキングなどの詳細な立体挙動に必要な成分

の差を取った際の精度やばらつきなどに関しては、振動台実験で検証する意義は大きい。

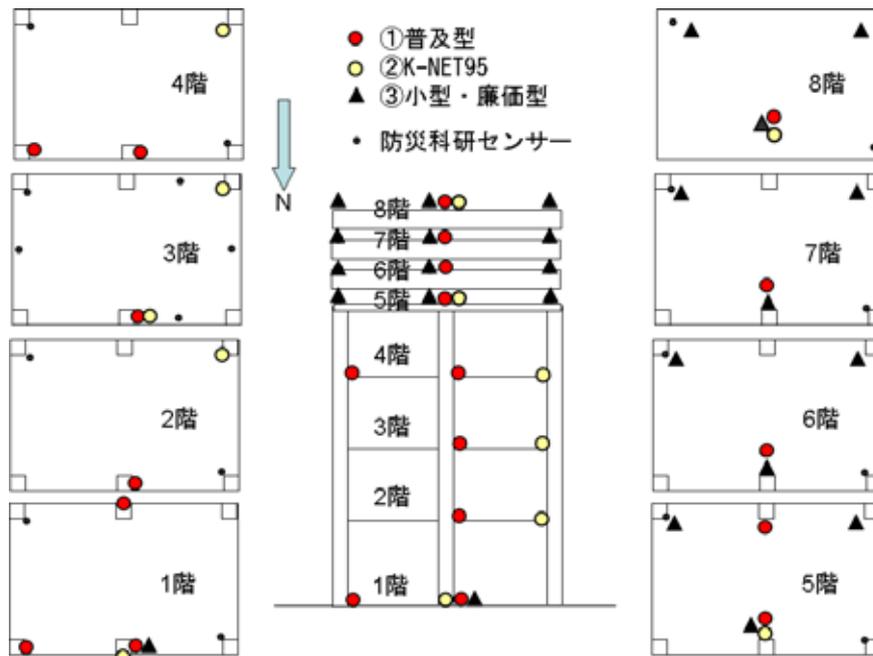


図 1 試験体における強震計の配置



写真 1 使用した 3 種の強震計 (左 : 8 階中央、右 : 1 階北)

表1 使用した強震計の比較

	普及型 (エトナ)	K-NET95	小型廉価 (E-catcher)
センサー	サーボ加速度計	サーボ加速度計	半導体センサー加速度計
測定範囲	±2G (0.25 ~ 4G 設定可能)	±2G	±2G (水平)、1G (鉛直)
周波数範囲	DC ~ 40Hz	DC ~ 30Hz (-3dB)	水平 DC ~ 20Hz、上下 ~ 4Hz
A/D 変換	分解能 18bit 以上	24bit	実効 16bit
ダイナミックレンジ	108dB 以上	114dB	ノイズレベル 2gal
サンプリング	100, 200Hz	100Hz	100Hz
時刻補正	GPS	GPS	NTP
記録媒体・時間	PC カード ~ 512MB	フラッシュメモリ 8MB	100 秒 × 56 記録
通信ポート	RS-232C	RS-232C	RS-232C、イーサネット
電源	AC + 内蔵バッテリー	AC (バッテリー追加可)	AC100V + 乾電池
寸法	256 × 381 × 166mm、9kg	274 × 374 × 178mm、7kg	120 × 170 × 50mm

b) 強震計の接続とデータ回収

建物建設時に設置される強震計は、複数個所に設置したセンサーを1箇所のレコーダーに配線で接続する形式が多い。この方法は多点記録の同時性や電源部の集約などの点で優れているが、高層建物の場合は配線経路が長くなる。今回使用したスタンドアロン型は、建物内に竣工後に設置することも容易である。強震計のコントロールやデータ回収はネットワーク接続を用いており⁴⁾、⁵⁾ のような従来型の強震計ではシリアル - LAN 変換インターフェイスを使用した。ネットワーク接続概要を図2に示す。これにより各階をつなぐ配線はネットワークケーブル1本のみででき、実際の建物の場合は既存のネットワークインフラを利用できる (GPSは各地点に備えるか、別途有線で強震計間を接続する必要がある)。試験体建設期間中は、強震計を接続した試験体内の制御PCをインターネット経由で遠隔地 (名古屋大学) と接続し、リモートデスクトップソフトウェアによりコントロール・データ回収などを行った。

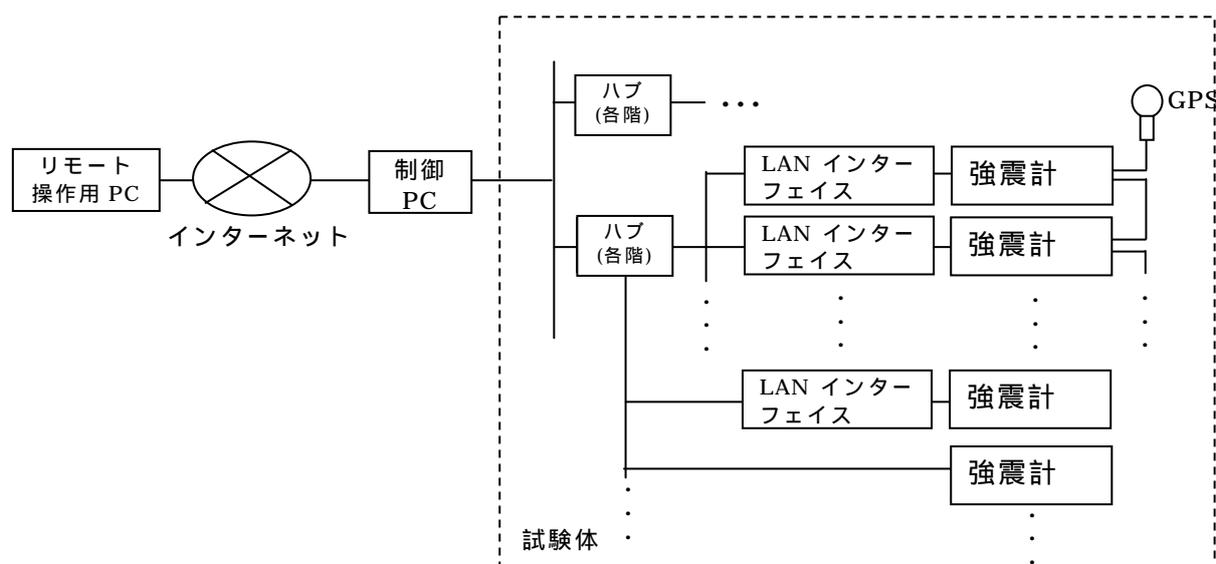


図2 スタンドアロン型強震計のネットワーク接続

3) 試験体建設過程および加振実験中の振動特性計測

a) 観測内容

試験体建設過程については、鉄骨架構が4層まで完成し、デッキプレート配筋まで終了した時点から強震計で7箇所の計測を開始した。その後、2~5階の床スラブ打設、さらに5階の縮約層のスラブの追加打設が行われる過程での振動特性を、約1ヶ月にわたって遠隔操作により継続的に計測した。この間に昼夜の常時微動特性に加えて、E-ディフェンス内の加振実験による地盤震動でトリガー起動した記録も得られている。さらに、試験体を室内に搬入した後の振動台上での設置作業について、縮約層のスラブを順次設置する各段階、および設置後に縮約層間の積層ゴムを固定した条件での常時微動記録が得られている。これらの記録の詳細な分析は次年度の課題としたい。

振動台上での加振実験中には、最終的に両方向の梁端の損傷が生じるまでの各加振において、強震計 〃 の計 35 台による加速度記録が得られている。また、加振終了後の夜間に常時微動観測を行っている。以降ではこれらの基本的な分析について述べる。

b) 加振試験時の固有振動数、減衰定数の構造躯体損傷に伴う変化

ここでは、最終日の加振試験結果から、三の丸波2方向加振（張間方向の梁に損傷）、三の丸波桁行方向加振2回目（桁行方向の梁に損傷）およびそれらの前後のホワイトノイズ加振において、〃の強震計の記録から推定した固有振動特性を表2に、最初のホワイトノイズ加振時の伝達関数の例を図3に示す。これらの推定は、1階中央の2方向を入力とし、各階各方向の応答を出力とする線形多自由度系の伝達関数を用いて、振動パラメータ最適化により行った。したがって、損傷を生じるような加振における弾塑性・非線形挙動は、等価な固有振動数の低下と減衰定数の増加で表現される。また、スタンドアロンの強震計ゆへの観測位置ごとのデータの時刻ずれの問題は、ずれ時間も推定パラメータとして同時に推定することで容易に解決できる。

以上の結果から、各方向の損傷が発生した加振の前後で10%弱の固有振動数の低下が見られ、加振中の見かけの振動数はさらに10数%まで低下していることがわかる。減衰も三の丸波の加振時が大きく、最大で9%程度で、地震前後の比較ではわずかに増加しているようにも見える。これらの値の変化は明確ではあるものの、梁端破断という躯体の損傷程度に対して必ずしも大きいものではなく、一方で実際の建物では二次部材による振幅依存性やその損傷による振動数変化が加わるため、このような鉄骨建物では固有振動数の変化度合に注目した損傷程度の判定は困難であることが予想される。なお、加振中の固有周期や減衰、さらに立体振動モードの変化などに基づく損傷発生時刻の同定の可能性があり、次年度にさらに詳細な分析を行う。

表2 三の丸波加振前後の固有振動特性の変化

	固有振動数(Hz)						固有振動数(初期値との比)						減衰定数(%)					
	1次		2次		3次		1次		2次		3次		1次		2次		3次	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
ホワイトノイズ	0.45	0.45	1.19	1.20	1.88	1.89	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.7%	4.1%	3.9%	4.0%	4.6%	4.9%
三の丸2方向	0.39	0.41	1.08	1.13	1.69	1.72	0.88	0.90	0.90	0.94	0.90	0.91	9.3%	7.4%	4.3%	6.5%	7.0%	5.7%
ホワイトノイズ	0.41	0.44	1.14	1.18	1.83	1.85	0.92	0.98	0.95	0.98	0.97	0.98	4.5%	3.7%	4.3%	3.8%	5.1%	4.4%
三の丸Y方向		0.39		1.09		1.65		0.87		0.91		0.88		6.9%		6.7%		7.7%
ホワイトノイズ	0.40	0.41	1.11	1.12	1.79	1.79	0.90	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	4.8%	4.0%	4.7%	3.7%	5.6%	4.2%

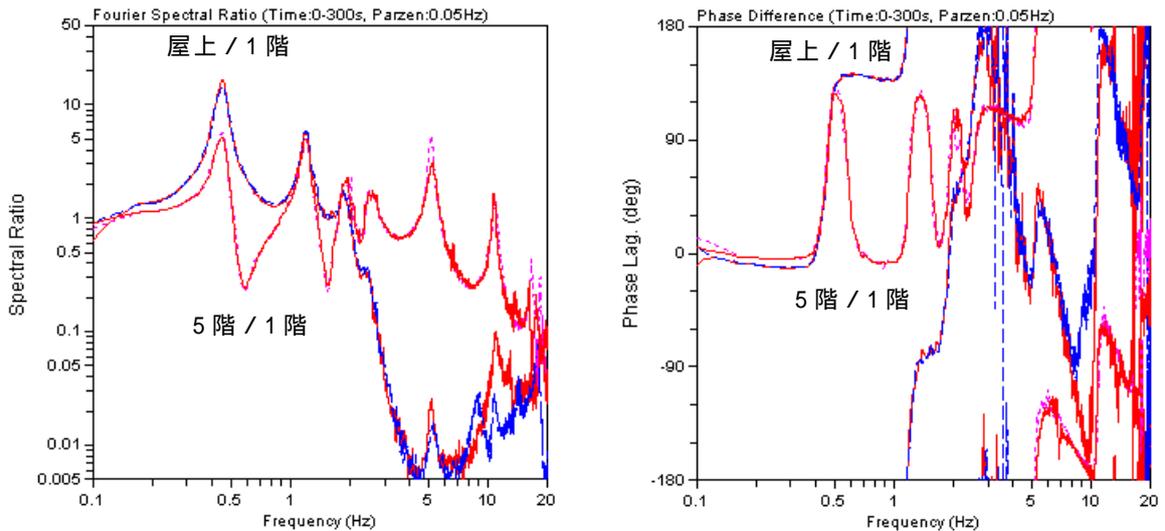


図3 伝達関数の振幅と位相の例（ホワイトノイズ加振）

c) 最大応答、層間変形

三の丸波2方向加振時の最上層の水平変位オービットについて、強震計 と の加速度記録から積分して求めた比較を図4に示す。積分時のドリフトなどを除去するために、0.05Hz以下の成分をローカットフィルタでカットした。このフィルタの設定により、結果は多少異なることを確認している。図4でオービットの形状はほぼ一致しているが、最大変位は両方向ともに約5cmの相違がある。最大応答変位及び最大層間変形は損傷に関連する重要な指標であると考えられ、その正確な評価にむけて、強震計の周波数特性や設置位置、積分法などとの関連でさらに検討が必要である。

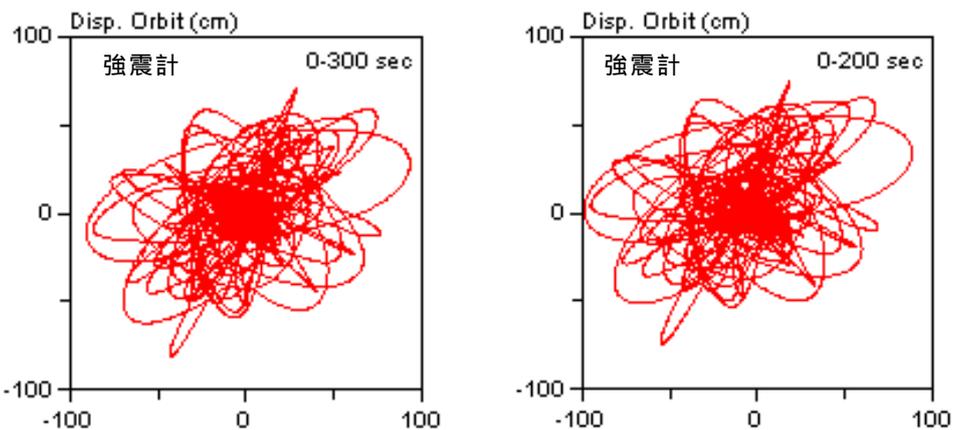


図4 異なる地震計で計測した最上層の水平オービットの相違

4) 多点同時観測記録の可視化による立体振動特性検討ツール

ここまで述べた実験・観測システムのように、近年の振動実験機材の発達により、建物の多点・多成分振動観測を行うことが可能になっている。さらに構造ヘルスマニタリングのニーズから、ネットワークや無線なども活用した高密度・リアルタイム振動モニタリングも普及しつつある。また、常設観測システムでなく、臨時の振動実験や常時微動観測の

場合はさらに多数の機材を投入することが可能である。このような多点・多成分の高密度観測記録から、対象建物の時間的に変化する複雑な立体振動挙動を適切に捉えることは、一般的な波形やスペクトル等の分析のみでは困難であり、高度な分析技術や経験を必要とする。また振動実験現場では、短時間のうちに観測状況の確認を行い、振動特性を効率的に把握するとともに、実験参加者の間での方針検討を行うという情報が必要である。

このようなニーズに合わせて、立体振動挙動をアニメーションにより可視化し、さまざまな分析条件を加えて結果を確認できる観測記録分析支援ツールを開発した。技術的には、動的ウェブコンテンツ作成環境を用いて作成しており、ウェブ環境で特別なソフト/ハードなしに活用できる点に大きな特徴がある⁶⁾。

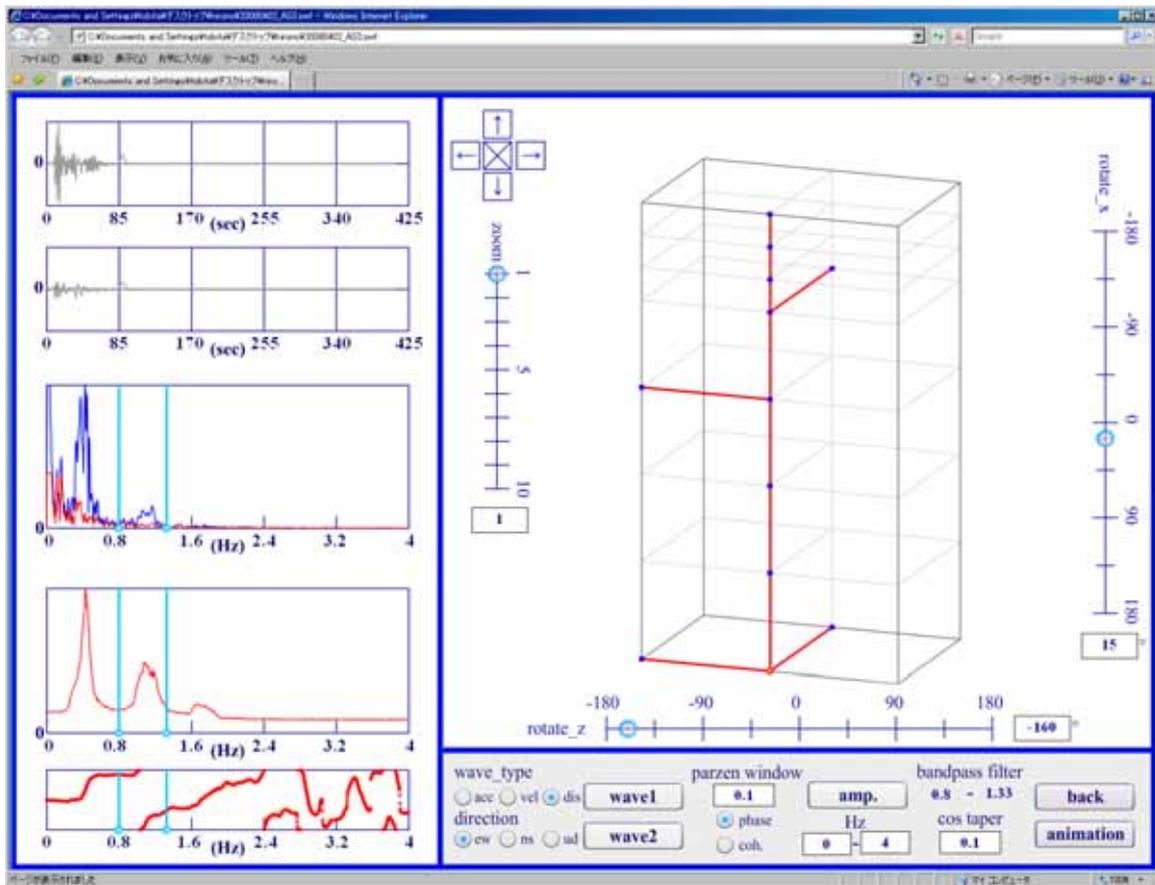


図5 E-ディフェンス実験の立体振動特性分析ツール

右側のウィンドウには、建物形状および観測点の情報を読み込んで建物形状が描画される。下のウィンドウから任意の観測点・成分を指定して左側ウィンドウに2成分の波形を読みこみ、スペクトルと伝達関数が求められる。2次モードのバンドパスを指定したところ。

本ツールは、建物・観測点描画部分、波形分析部分、アニメーション部分により構成されている。ここではE-ディフェンス実験の試験体に関する表示を構築した例を図5に示す。4層の鉄骨増部分の上に、積層ゴムを介して3層の縮約スラブが設置されている状況を簡易に表現している。建物・観測点描画部分では、建物の形状に関する節点座標、観測点座標とそれらを接続する部材の情報を外部ファイルから読み込んで表示する。また各観測点の波形情報は別ファイルで読み込み、波形分析部分でフーリエ変換して任意の点・成分のスペクトルとスペクトル比を表示、さらに画面上でバンドパスフィルタ範囲を指定してア

アニメーション化する周波数帯域の波形を生成する。アニメーション部分では、表示の倍率や視点などを自由に変えながら、振動の様子を3次元アニメーションで見ることができる。

図5から生成した3次元アニメーションのスナップショットを図6に示す。左側の伝達関数で表示されているように、2次モードの周波数帯域を取り出しており、上部のスラブが大きく応答している様子を読み取れる。実際に動かすと、並進だけでなくねじれや水平面内に円を描くような挙動がはっきりとわかる。実際に実験を見た場合、あるいはビデオの再生などにより確認できるのはすべてのモードを含む応答であり、このようなツールにより特定のモード特性のみを選択して動きを表示することは、立体振動性状の把握に極めて有効であることがわかる。

一方、この実験はもともと20階程度の高層建物の上層階を縮約層で表現したものであり、実験ビデオや図6の応答モード形から20階建ての建物の応答をイメージすることは容易ではない。本ツールを使用すれば、図7のように本来の建物形状に容易に変換でき、その応答性状を確認することもできる。以上のように本ツールが、多点同時観測により得られた実験データの分析に極めて有効であることが確認された。

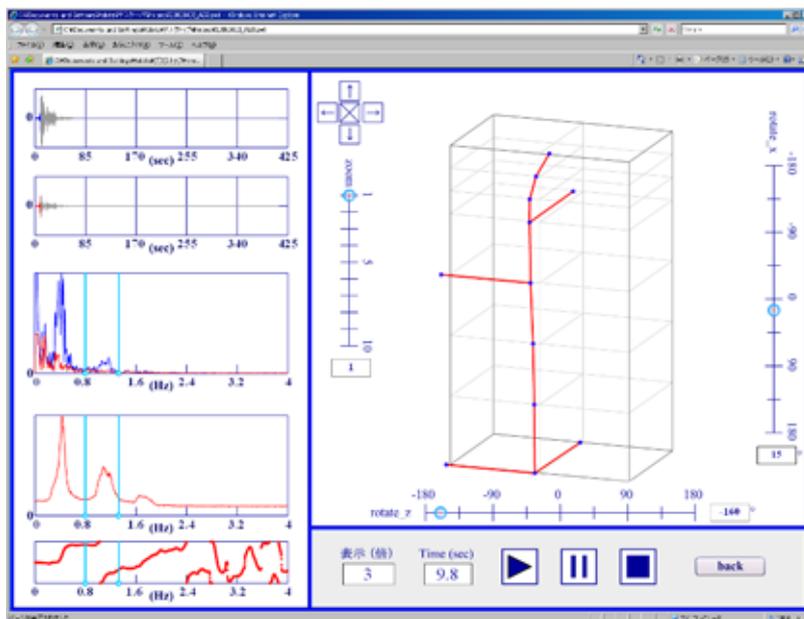
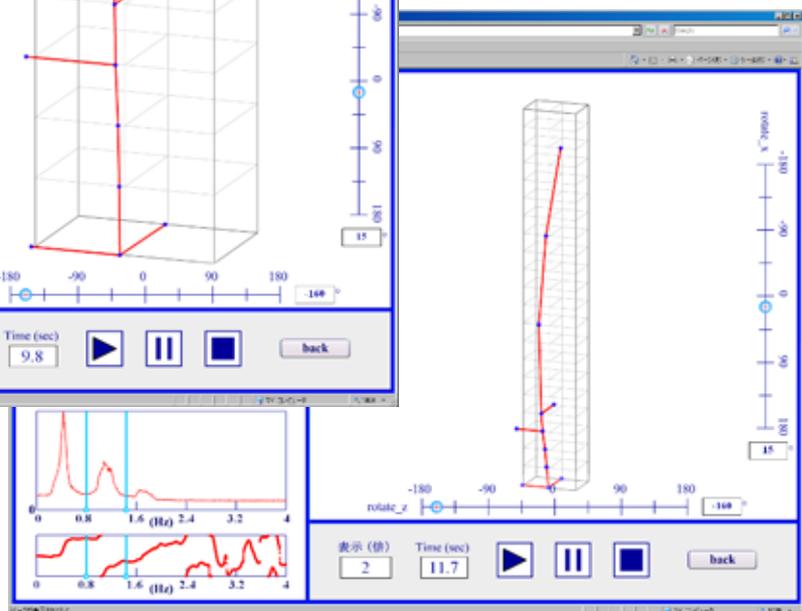


図6 2次モードの応答のスナップショット。縮約層のモード形状が不自然で、わかりにくい。

図7 想定した高層建物の形状で表現したモード形。2次モードとして適切であることが理解できる。



5) 光ファイバーセンサーによる柱変形と軸力の計測

光ファイバーセンサーは、構造物のヘルスマモニタリングに使用されている例も多く、特に長い区間の変位（ひずみ）評価に用いられる。長期にわたって安定した特性を示すとされ、静的・動的観測も可能なため、構造物の荷重や変形を長期的に監視する目的に適する可能性がある。ここでは比較的短い SOFO 型光ファイバーセンサー（300mm）を写真2のように鉄骨柱表面に設置し、試験体の建設中から連続的にひずみを計測して、柱軸力のモニタリングを試みた。対象は1～4階の中柱と隅柱の計8箇所である。また加振中は1～2階の柱の両面に設置して、動的な柱軸力+曲げの計測を行った。計測結果は温度変動による柱の伸縮の影響を受けるため、温度計測による補正が必須となる。

図8に、屋外での試験体製作過程から屋内での縮約スラブ設置まで、8箇所の柱の軸変形の変化（初期値0）を表示した。また同じ時間軸で気温の変化も示した。気温は2箇所で計測したが、ほとんど相違はなかった。これを見ると、気温の日変動に対応した軸変形の変動が明確に見られるため、温度の影響を補正できる可能性がある。一方で詳細にみると、観測場所（センサー）により異なる特性を示しており、スラブの荷重増に必ずしも対応しない。そこで各地点の気温と変形の相関を図9に示す。



写真2 光ファイバーセンサー

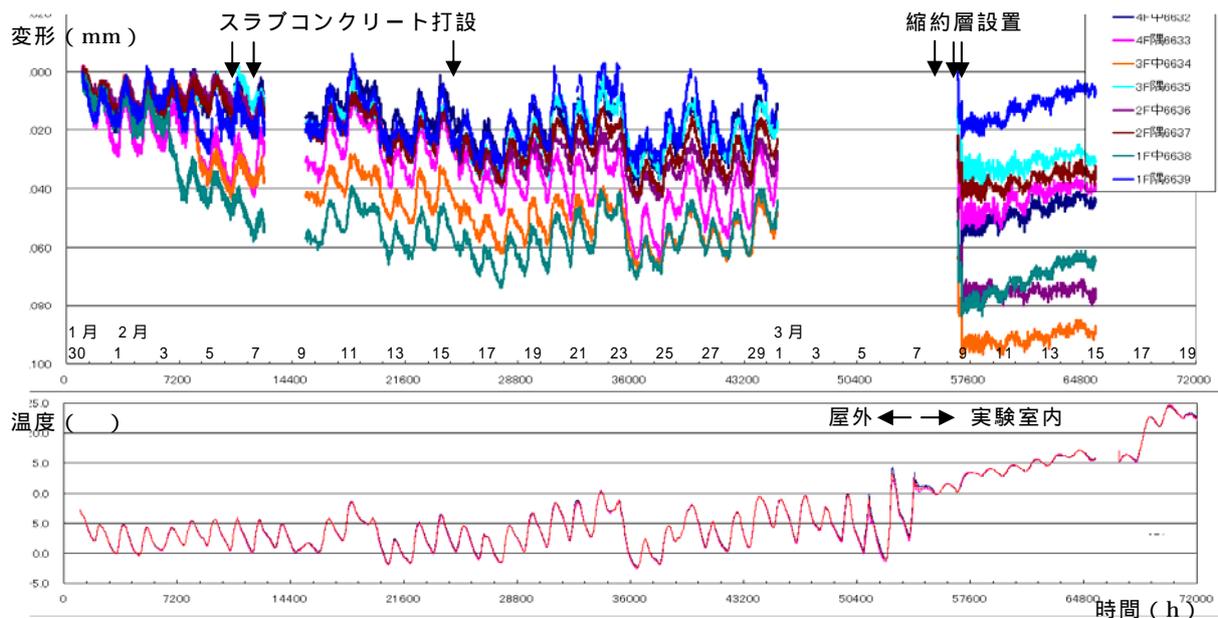


図8 光ファイバーセンサーによる柱軸変形（横軸は時間）

図9では、各階の中柱と隅柱について、横軸が温度、縦軸が光ファイバーセンサーの変形（長さ300mmのセンサーあたり、単位mm）を示している。また、プロットした点は5～30分ごとの値で、屋外から屋内搬入、縮約スラブ載荷までの記録が含まれている。左上のほうが最初の状態、そこから2～5階スラブの打設で圧縮を受けて下に移動、屋内搬入後は温度が上がり、縮約スラブを3枚載せたため右下に移動する。図中の直線は、おおむね傾向を示すように手で引いたもので、縦軸が300mmのセンサーあたりの変形であることを考慮すれば、直線の傾きからみかけの線膨張係数を求めることができる。

結果として、地点（センサー）により傾きが異なること、同じ地点でもスラブ打設前後で傾きが変わる場合もあることがわかる。また、傾きから求めた見かけの線膨張係数は、 $0.6 \sim 1.5 \times 10^{-5}$ 程度の範囲にあり、鋼材の線膨張係数 1.2×10^{-5} よりかなり小さい値となる場合が多い。この原因として、センサーの両端を固定しているアルミ製のL型ブラケットの伸縮の可能性がある。アルミは鉄に比べて線膨張係数が大きく、気温の上昇にしたがって柱鋼材の伸びを打ち消すように内側に変形することで、柱の鋼材の見かけの線膨張係数が小さくなったと考えられる。またセンサーによって傾きが異なることは、ブラケットを固定している接着剤の状態などにより、温度変化によるブラケットの伸びの度合いが異なることで説明できる。さらに、3階中柱と1階中柱のように、ある時点で大きく縮んでいるものは、ブラケットの固定が大きくずれるなどの影響が考えられる。

このようなセンサーの固定状況による影響は正確な温度補正を困難にするが、図9のように温度との関係で表示することで、回帰直線の間隔から温度の影響を除いた軸圧縮変形を読み取ることができる。また、異常な変形の傾向も発見しやすくなるなどの利点がある。いずれにしても、気温の日変動が大きい屋外での計測は細心の注意が必要であることがわかる。一方、振動台上で縮約層のスラブ（約200t）を連続して2枚設置した際の柱の縮み（センサー長300mmあたり）を図10に示す。変形量はスラブ重量とほぼ対応し、中柱の変形が隅柱の約1.5倍になっている。実験室内の作業のため温度変化が少なく、安定した傾向が得られている。

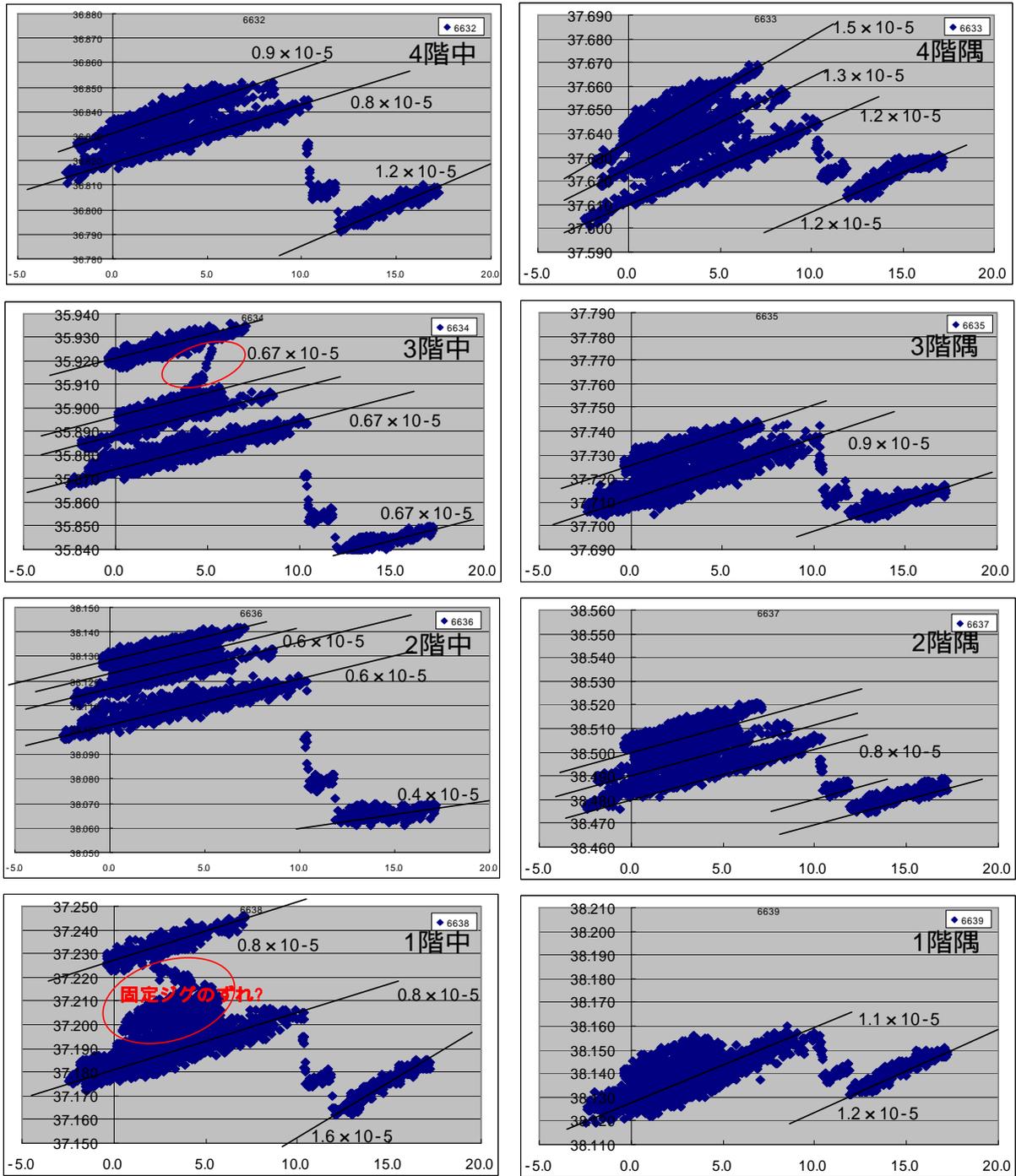


図9 各柱の光ファイバーセンサーの変形と温度の関係

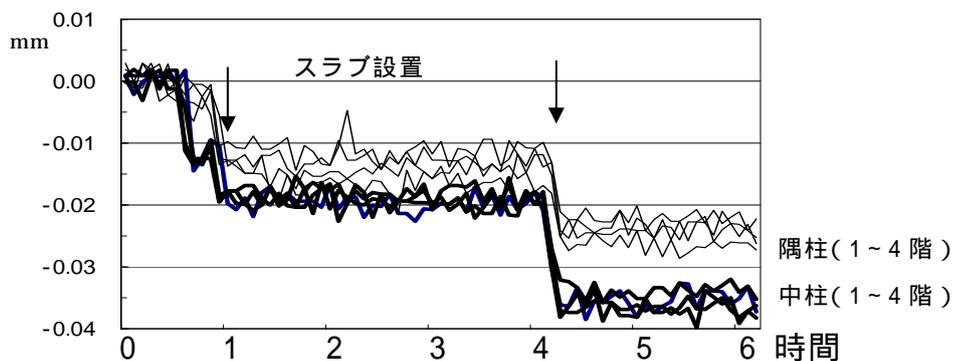


図10 振動台上での縮約スラブ設置時の柱軸変形の変化

(c) 結論ならびに今後の課題

以上のように今年度は、高層建物のモニタリングに関する観測機器・システムの基本的な技術開発を行うとともに、それを用いて高層建物の E-ディフェンス実験における実大試験体の製作過程から加振実験まで継続的に観測を行い、今後の検討のための基礎資料を蓄積した。複数の地震計によるデータは、本課題の目的である強震計の活用の検討に適したものであることを確認した。また、光ファイバーセンサーに関して、温度補正について詳細な検討を行い、軸力の変化によるひずみを分離できる知見を得た。最後に、多点同時記録を利用する際に有効な立体振動可視化ツールを開発し、E-ディフェンス実験の分析に有効であることを示した。以上の基礎データの詳細な分析は次年度の課題となるが、多様な分析結果が期待できる。

(d) 引用文献

- 1) 日本建築学会・東海地震等巨大災害への対応特別調査委員会：巨大地震時に予測される長周期地震動とその耐震問題、建築学会大会研究協議会資料、2005.9
- 2) 日本建築学会：建築物の減衰、2000.10
- 3) N. Fukuwa, J. Tobita and H. Kojima : Proposal of Strategic Seismic Observation of Soil-Structure System and Data Publication through Web, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Paper No. 483, 10p., 2004.8
- 4) 飛田潤、福和伸夫、小島宏章、浜田栄太：地盤・建物系の高密度強震観測の展開と建物動的挙動の検討、日本地震工学会論文集、第7巻、第2号、pp.37-56、2007.3
- 5) 飛田潤、福和伸夫、松井政樹、小島宏章：建設時の継続的な振動観測に基づく高層建物の振動特性、日本建築学会構造系論文集、第625号、pp.391-398、2008.3
- 6) 鶴田庸介、福和伸夫：耐震・振動論学習のための能動型振動シミュレーション教材の開発、日本建築学会技術報告集、第25号、pp.327-330、2007.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果	発表者氏名	発表場所	発表時期	国内・外の別
高密度強震観測に基づく免震建物の立体振動特性の分析と分析支援ツールの開発、口頭発表	広野衣美、福和伸夫、飛田潤、小島宏章	日本建築学会大会（福岡）学術講演梗概集、Vol.B-2、pp.965-966	2007.8	国内
高層建物の強震応答と損傷のモニタリング 高層建物の耐震性評価に関するE-ディフェンス実験 - その10 口頭発表	飛田潤、福和伸夫	広島大学 2008年度日本建築学会大会（中国）	2008年9月	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文	発表者氏名	発表場所	発表時期	国内・外の別
なし				

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果	対応者氏名	報道・掲載機関	発表時期	国内・外の別
なし				

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

名称	機能
高層建物 E-ディフェンス実験の立体振動特性可視化ソフトウェア	高層建物 E-ディフェンス実験の試験体における多点応答観測データから、モードごとの立体振動特性を可視化し、インタラクティブに条件を変更して検討できる。集約スラブを、想定した高層建物の形状に戻して表示する機能も有する。

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 20 年度業務計画案

平成 20 年度は、19 年度に実施した高層建物 E-ディフェンス実験で得られた多点の観測データを詳細に分析し、強震計の加速度記録が構造躯体の非線形応答やそれによる固有振動特性の変化とどのように対応しているか、また強震計の性能が評価にどのように影響するか等を検討することで、強震計によるモニタリング技術の可能性を実証的に明らかにすることを目標とする。具体的には、以下の各項目の実施を予定している。

・ 加速度記録の詳細な分析

- 多点同時記録による建物固有振動特性(高次モードまでの固有振動数、減衰定数、モード特性など)の同定。試験体製作過程の変化にも着目して、各層の特性を詳細に同定できるかを検討する。
- 固有振動特性の加振実験による変化。複数の加振過程での変化と、損傷を生じた加振中の変化の検出を検討する。
- 立体振動特性とその変化の評価。
- 加速度記録の積分法の検討と、積分による層間変形推定精度の検証。

- 地震計の特性とデータ処理に関する検討
 - 上記特性評価結果の地震計による相違
 - 加速度記録を積分して変位を推定する際の地震計特性の影響に関する検討。特に、地震計の位相特性の影響や、因果性を考慮した積分法の検討を行う。また十分な推定を得るために必要な地震計特性を検討する。
- モニタリング体制の検討
 - 目的に応じて必要な加速度観測位置・観測点数の検討を行う。
 - 光ファイバーセンサーの活用可能性を発展させる。
 - 既存のネットワーク等を用いた観測システムを発展させる。
 - 立体振動特性を可視化するソフトウェアの改良を行う。

