

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。この際に多大な影響を受けることが想定され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 20 年度業務目的

20 年度は、前年度末に実施した高層建物に関する Eディフェンス実験の詳細な観測結果を用い、強震計の記録が構造躯体の非線形応答や損傷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応答特性や損傷の評価にどのように影響するか等を検討することで、一般的な強震計による構造ヘルスマ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。

具体的な検討項目と達成目標は以下の通りである。

- 1) 強震計の加速度記録により構造躯体の非線形応答や損傷を評価する手法を検討し、また常時微動記録とも対比して、実際的なモニタリングの可能性を明らかにする。
- 2) 複数種類の強震計を併用して記録を比較することにより、極力一般的で安価なモニタリング手法を検討し、目的に応じた機材を明らかにする。
- 3) 強震計に加えて、光ファイバセンサによる柱変形の動的計測などの技術を併用することで、一般的な建物の構造ヘルスマニタリングの新たな可能性を明らかにする。

(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 環境学研究科附属地震火山・防災研究センター | 准教授 | 飛田 潤 |
| 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 | 准教授 | 護 雅史 |

(2) 平成 20 年度の成果

(a) 業務の要約

高層建物に関する E ディフェンス実験（19 年度）で収録した複数種類の多数の強震計の記録、および常時微動計や光ファイバセンサなど補足的なセンサの記録を詳細に分析した。

結果として、大振幅の地震波加振による構造体の応答と、それによる構造躯体の損傷については、固有振動数・減衰定数・固有モード形などから十分評価可能であるが、損傷に伴う振動特性の変化は必ずしも大きくないことを示した。また、加振実験時に並べて設置した普及型あるいは廉価型強震計の記録の分析結果から、ごく一般的な強震計機材、限定された設置点、データ利用体制の制約などによる推定結果への影響を検討し、目的に応じた機材や観測体制の選択が可能であることを示した。さらに、光ファイバセンサによる動的な柱の軸変形・曲げ変形の抽出が可能であることを示し、強震観測と併用することによる長期モニタリングの可能性を明らかにした。

(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、大規模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、超高層建物など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。特に初期の高層建物は、長周期で継続時間の長い入力地震動を設計時に十分に想定していない場合もあり、ダンパーなどで減衰力を付加した最近の建物と比べて、共振による大振幅応答の影響は無視できない。さらに、東海・東南海・南海地震は連動する可能性が高く、前後の活断層地震の発生も懸念されることから、場合によっては建物の損傷の調査や補修がなされる間もなく、複数回の強い揺れを受ける可能性もある。

このような背景から、長周期大振幅の地震動に対する高層建物の応答性状を適切に評価し、真の耐震性能や損傷可能性を明らかにするためには、実在の建物での計測に基づく振動特性の把握が重要となる。さらに地震被害や経年劣化による構造躯体の健全性の変化を、観測記録から客観的に把握するための手法と実際のシステムの構築を行う必要がある。しかし、構造ヘルスマニタリングは現状では技術面・費用面で必ずしも一般的ではなく、多数の建物で実施することは容易ではない。

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の検討も視野に入れており、光ファイバセンサによる静的・動的柱軸力計測などを試みる。

今年度は、平成 19 年度の E ディフェンス実験で得られた構造損傷を伴う加振応答時の観測記録の分析を詳細に行い、一般的な強震計による限定された設置点数の記録により強震応答や損傷をどの程度とらえ得るかを明らかにした。また、強震計の性能の差異による影響や、常時微動観測で評価できる構造体の変化などについて検討した。一方、光ファイバセンサにより柱軸力の動的変動の計測を行い、地震時及び微動時の記録から得られる特性に関して検討を行った。

2) 強震計による強震応答の評価

a) 観測の概要

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、①普及型強震計（サーボ加速度計）、②K-NET95強震計（サーボ加速度計）、③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・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）。試験体のセンサ配置を図1に示す。

使用した強震計の主要な特性を表1に比較して示す。①は現在の標準的な性能の強震計で、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。②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。今後更新が想定される自治体震度計の利活用も想定している。カタログ上の周波数範囲や分解能は①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。③は安価な強震計でセンサ形式が異なり、周波数範囲や分解能は低い。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。

これら3種類の強震計による強震時の記録の比較を行い、並行して常時微動計測等も行って、構造躯体の損傷検出の可能性を確認することが主な目的である。なお、ネットワーク接続など観測の詳細は昨年度報告書に記載した（図1、写真1、表1も昨年再掲）。

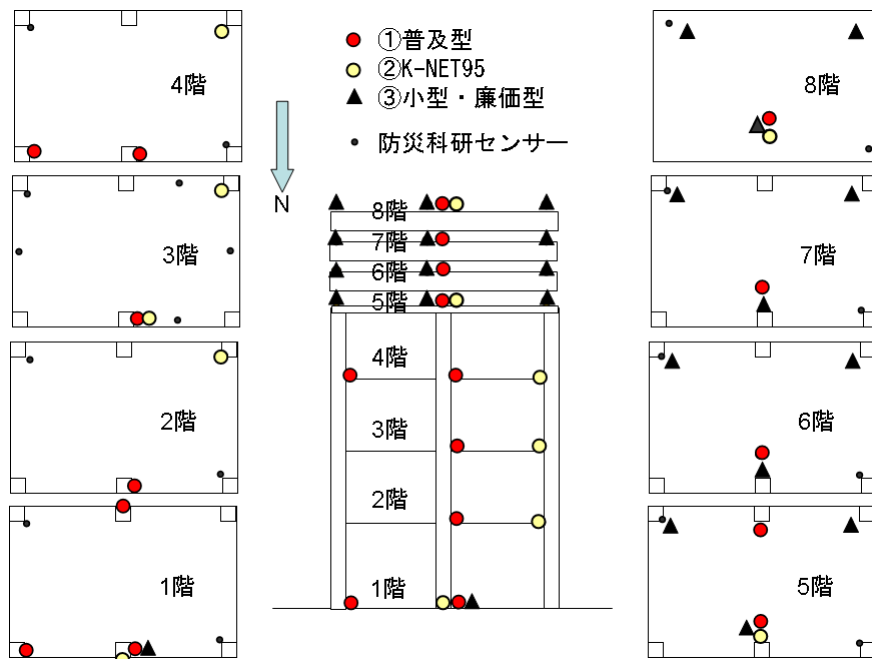


図1 試験体における強震計の配置



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

| | ①普及型（エトナ） | ②K-NET95 | ③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) 大振幅加振時の記録の強震計による差異の比較

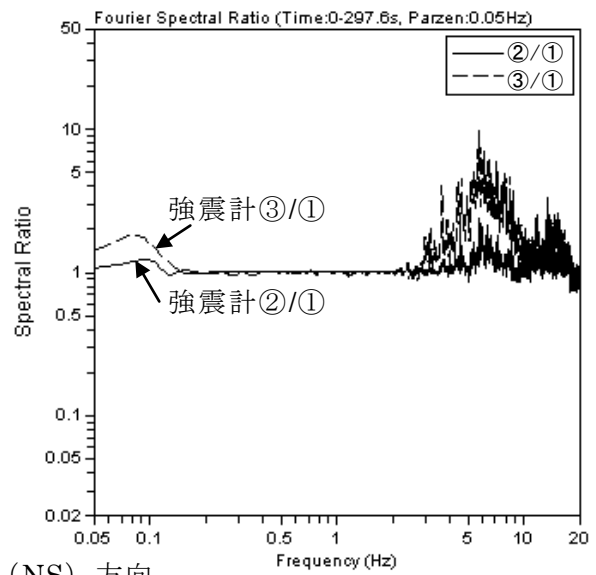
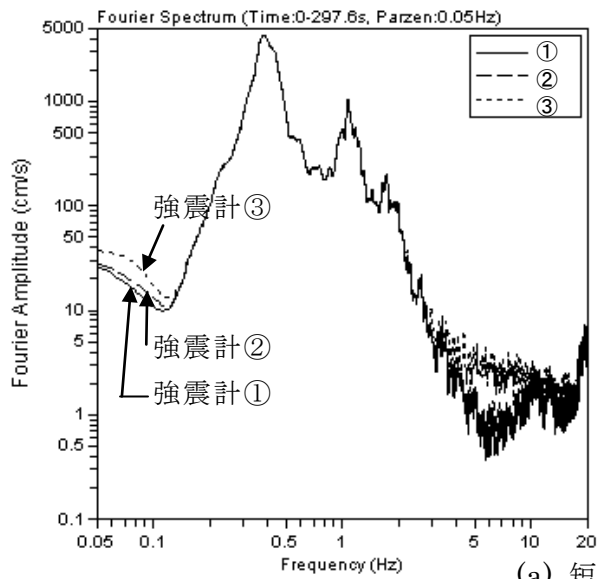
図2・図3に、3種類の強震計で観測された同じ位置の記録のフーリエスペクトルと、地震計①に対する②・③のスペクトル比を示す。図2は三の丸波2方向加振、図3はその直前のホワイトノイズ加振の記録で、いずれも全計測時間300秒を用いてフーリエ変換し、0.05HzのParzenウィンドウで平滑化してある。

この図より、水平2方向に関して振幅の大きい周波数範囲では、3種類の地震計の記録はほぼ同一の特性を示している。一方、0.1Hz（三の丸）～0.2Hz（ホワイトノイズ）より長周期側や、3Hzより短周期側（三の丸）ではスペクトル振幅が小さいため、分解能の影響が明確にあらわれており、強震計①、②、③の順でスペクトル振幅が大きくなっている。これはセンサあるいはAD変換の分解能不足によるノイズの影響と考えられる。また、加振入力のない上下動に関しては、全体に振幅が小さいため、特に強震計③では分解能不足により全体に大きいスペクトル振幅となっていることもわかる。強震計①は、後述するように、加振していない時の微動成分（振動台の機器ノイズなどは含む）でも十分な精度を有しており、これと比較して強震計②は表1のスペック上はむしろ優れているが、経年劣化等のためか特に長周期側のノイズレベルが若干高めであることもわかる。その差が現れる

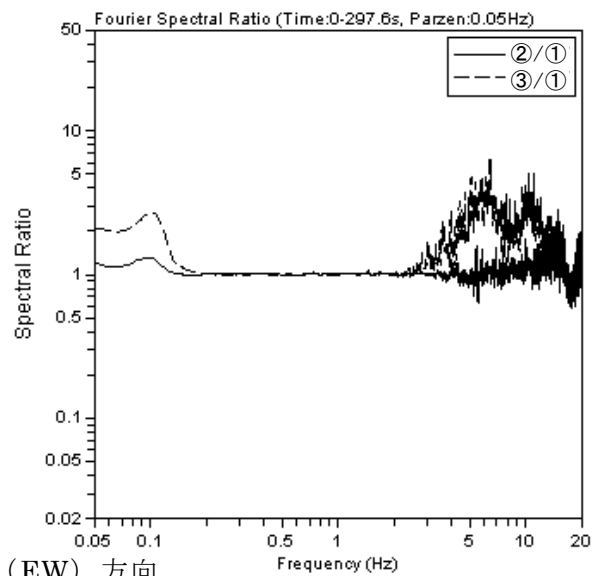
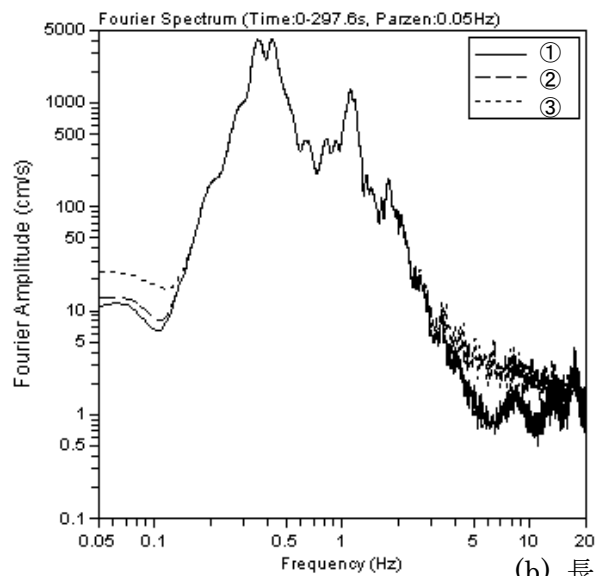
のは 0.2Hz 以下（5 秒以上）の帯域ではあるが、超高層建物の特性評価に当たり、また積分することによる層間変形の評価などにおいて影響があることが予想される。

図 4 に、ホワイトノイズ加振・三の丸波加振時の 5 階／1 階のフーリエスペクトル比を 3 種類の強震計で比較して示す。スペクトルの計算は図 2・図 3 と同様とした。図中に縦に引いた線は、左列のホワイトノイズ加振（ほぼ線形）から特定される固有振動数の位置を示している。

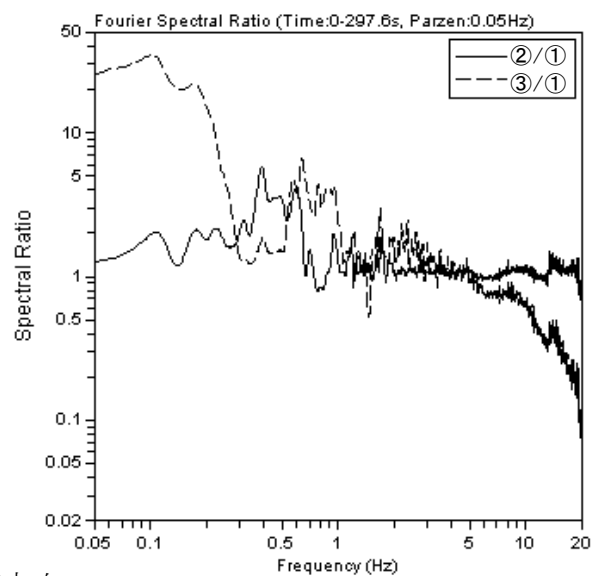
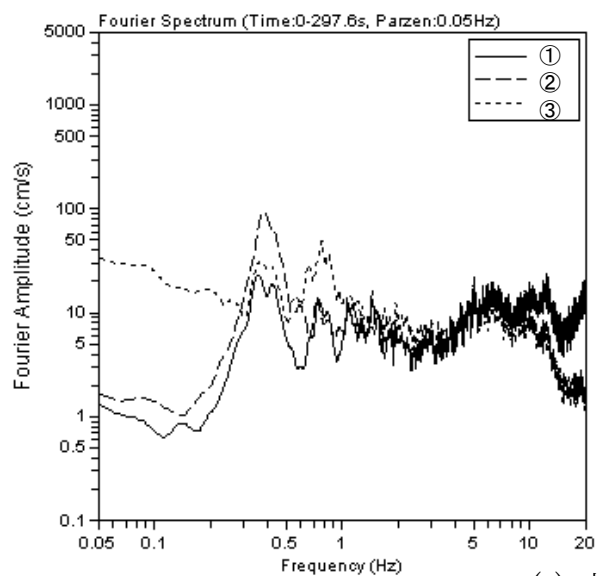
この図より、本試験体の水平方向の応答から固有振動数を評価するに当たっては、3 種類の強震計ともにピーク位置は正確に捉えていることがわかる。強震計③は、ほぼ線形のホワイトノイズ加振でもピーク形状がやや不安定といった程度の差は見られる。また右列の三の丸波加振では、非線形応答や損傷に起因するピークの長周期化とピーク高さの減少が確認できる。この特性は、3 種類の強震計で大きな差はない。以上から、少なくともある程度大きな振幅の応答記録から固有振動数の変化を推定するに当たっては、ここで用いた強震計の差はあまり大きくないといえる。なお、加振入力のない上下動に関しては、3 種類の強震計の記録にはかなり大きな差異がみられる。



(a) 短辺 (NS) 方向

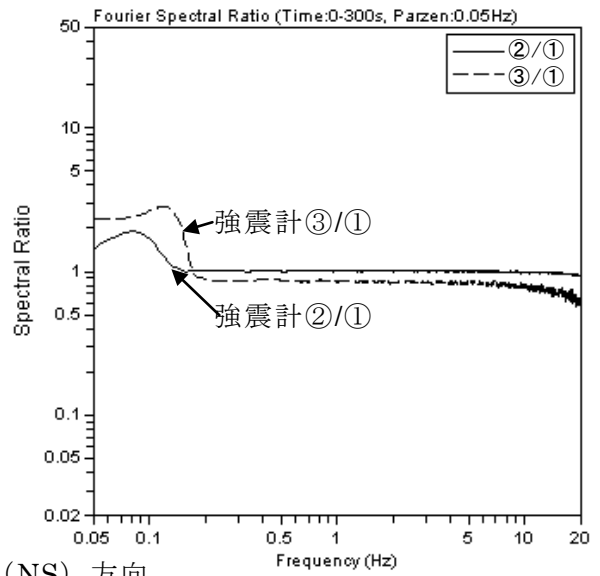
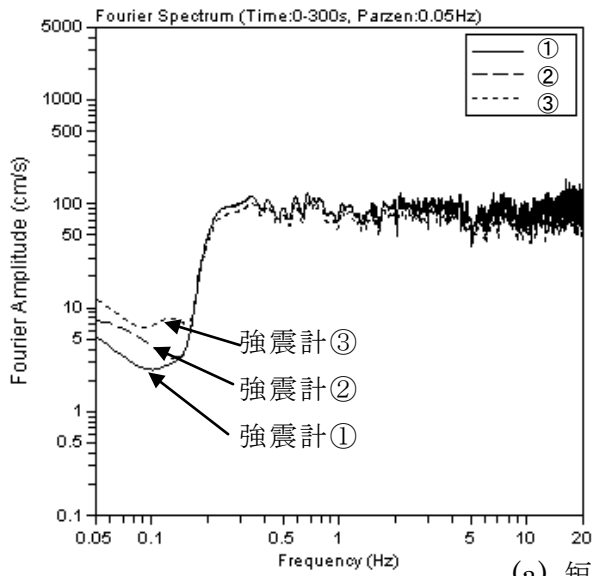


(b) 長辺 (EW) 方向

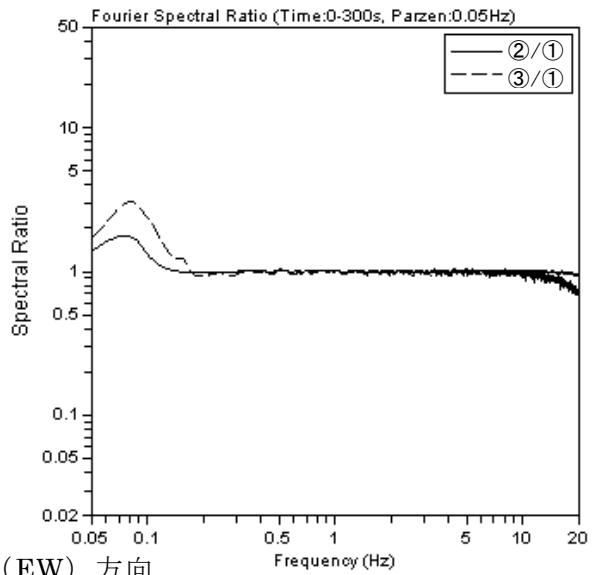
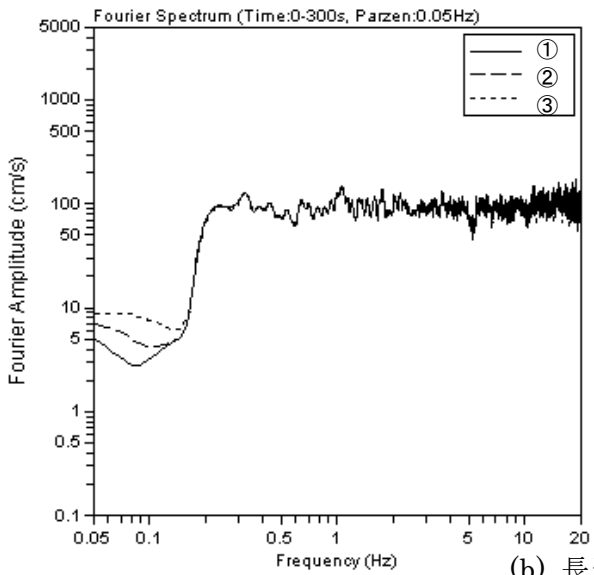


(c) 上下方向

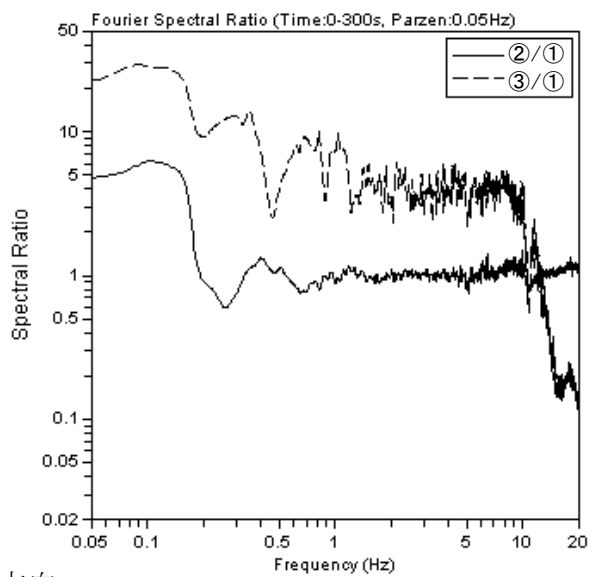
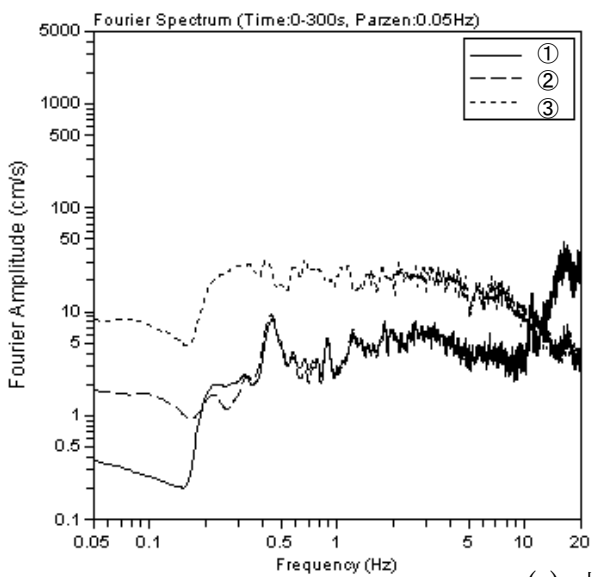
図2 3種類の強震計による同一地点のフーリエスペクトル比較とそのスペクトル比
(三の丸波加振、8階中央の記録)



(a) 短辺 (NS) 方向



(b) 長辺 (EW) 方向



(c) 上下方向

図3 3種類の強震計による同一地点のフーリエスペクトル比較とそのスペクトル比 (ホワイトノイズ加振、8階中央の記録)

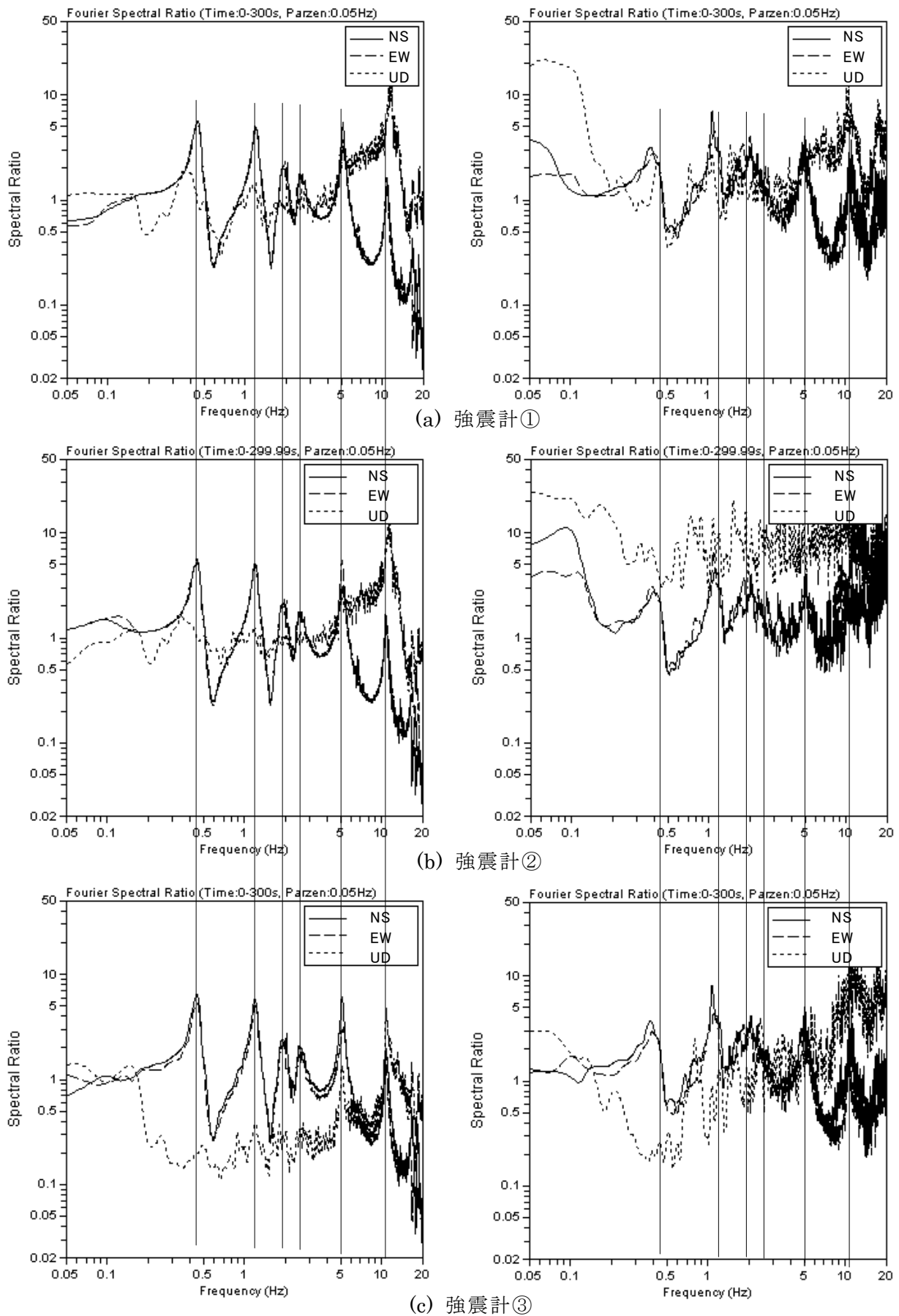


図4 3種類の強震計による5階／1階のフーリエスペクトル比の比較
(左：ホワイトノイズ加振、右：三の丸波加振)

3) 複数の加振入力を受けることによる振動特性の変化の検出

a) 加振と計測のスケジュール

強震記録と常時微動記録を用いて、複数の大レベル入力地震動を受ける試験体の振動特性の変化の検出を試みる。図5は平成19年度のEディフェンス実験の主な加振スケジュールである。

今回の分析対象は、最終日の三の丸波2方向加振（短辺方向の梁に損傷）、三の丸波長辺方向加振の2回目（長辺方向の梁に損傷）、それらの前後3回のホワイトノイズ加振の記録である。同時に、毎日の実験終了後の夜間に、動コイル型常時微動計（固有周期5秒）を設置して計測した常時微動記録も用いる。ただし、初日の加振前の常時微動記録は、試験体の設置スケジュールの関係で収録できていない。

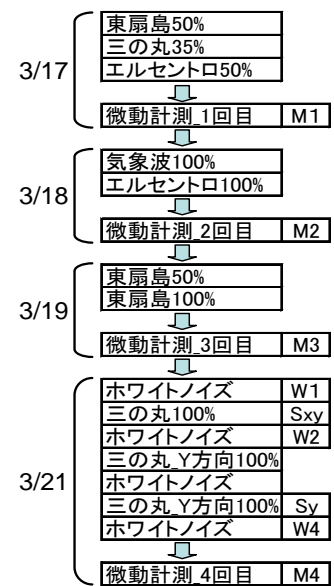


図5 加振と計測のスケジュール

b) 振動特性の推定法

限定された強震観測体制の利用を念頭に、ここでは強震記録は1階、5階、8階の中央、微動記録はそれに加えて3階中央を用いることにする。振動特性の推定には、1階の水平2方向入力に対する上階の1方向応答を表現する線形多モード系の理論伝達関数でフィッティングを行っている¹⁾。従って1回の推定における推定パラメータは、N次まで推定する場合に各次の固有振動数、減衰定数、入力並行方向と入力直交方向の刺激関数の計4N個となる。さらに今回は、1階と上階の地震計が連動していないので、その記録の時間ずれも同時に推定パラメータとして合計4N+1個となる。この方法により、時間ずれのある記録を厳密に時刻合わせしなくてもパラメータ推定精度を確保できるため、スタンドアロン強震計を用いた観測記録の分析に適している。5階と8階を応答としたときのパラメータが別々に推定されるが、固有振動数と減衰定数には大差ないことを確認し、刺激関数はそれぞれの位置でのモード形と判断する。この方法で、三の丸波加振など顕著な非線形応答や損傷を生じた場合には、得られた振動特性は等価な線形系の特性となる。地震応答は、いずれも300秒の記録を用いており、三の丸波やホワイトノイズの加振時間区間をすべて含んでいる。従って加振中の振動特性の時刻歴変化は考慮していないことになる。

常時微動記録は、深夜に1時間連続でデータ収録を行い、なるべく静かな区間を81.92秒で40区間程度切り出し、アンサンブル平均でスペクトルを求めて、同様の振動特性推定法を用いる。試験体は室内にあるため風の影響はなく、また周辺ノイズも少ない立地のため、常時微動レベルはかなり低いですが、安定した推定は十分可能であった。

c) 推定結果の考察

図6に、複数の大レベル加振入力を受けた際の地震応答・常時微動の振動特性の変化をまとめて示す。常時微動の結果から、複数回の大レベル加振を受けて固有振動数が低下する過程が明確に読み取れる。三の丸波2方向加振では短辺方向(X)の固有振動数の低下が大きく、三の丸波の長辺方向(Y)加振ではその方向の損傷による固有周期の低下が明確で

ある。しかし全体の低下幅は、大きな損傷を生じたあとの4回目の微動計測でも2~5%程度である。常時微動と加振時との比較では振幅依存性が明確に現れており、ホワイトノイズ加振では約10~15%、地震動加振で約20~25%程度、常時微動での固有振動数から低下している。一方、躯体の損傷による固有振動数の低下（元に戻らない変化）は数%である。今回の試験体は二次部材が少ないが、それでも固有振動数の振幅依存性はかなり大きく、一方で損傷による変化はあまり大きくない。以上の結果から、固有振動数の変化のみに着目して実建物の損傷を検出することは必ずしも容易ではないと思われる。減衰定数については、振幅が大きくなるほど大きい値となり、損傷を生じた地震波加振では最大8%程度となった。次数や方向による傾向は明確ではない。

モード形については、上層階の縮約スラブの位置を本来の階の位置にして表示した結果を図7に示す。左列は損傷の過程での変化、右列は2方向の損傷が生じた加振の比較を意図している。全体に差は小さいが、損傷を生じた低層の変化は高次モードで顕著な傾向がある。

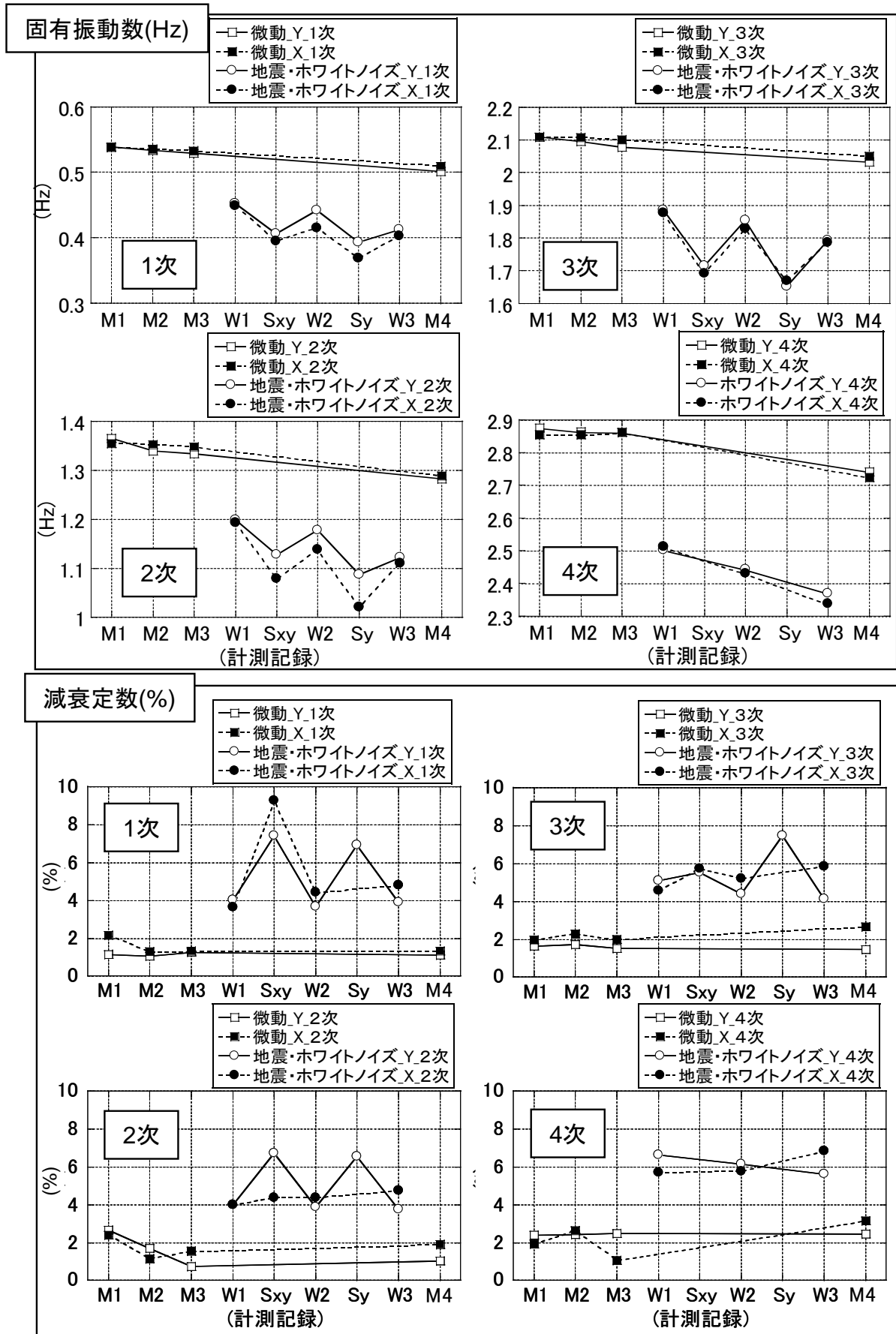


図6 複数の大振幅入力をうけた試験体の固有振動数と減衰定数の変化
(M1~M4: 常時微動、W1~W3: ホワイト加振、Sxy: 三の丸2方向、Sy: 三の丸1方向)

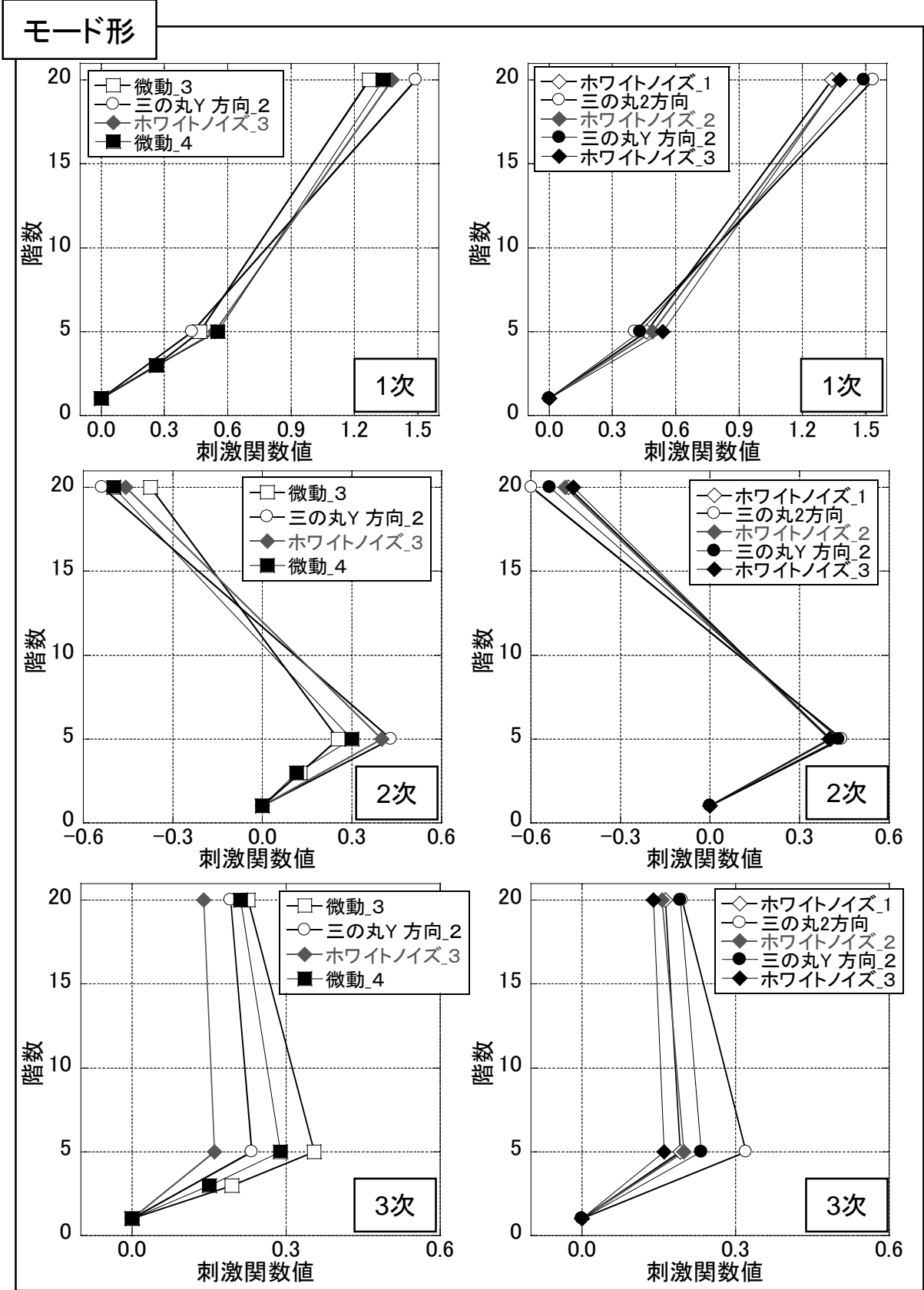


図7 複数の大振幅入力をうけた試験体の固有モードの変化

4) 光ファイバセンサによる動的な柱軸変形の計測

a) 光ファイバセンサによる計測の概要

光ファイバセンサは比較的長い期間で安定してひずみ（変形）を計測でき、収録装置を計測時のみ接続しても前回からの変化を安定して捉えられるなど、構造ヘルスマonitoringに適した特性を持っている。昨年の報告書では、試験体制作時の柱変形の静的な計測を試み、温度依存性を適切に考慮することで精度を確保できることなどを示した。今年度の報告では、動的な観測が可能な光ファイバセンサによる柱の変形計測

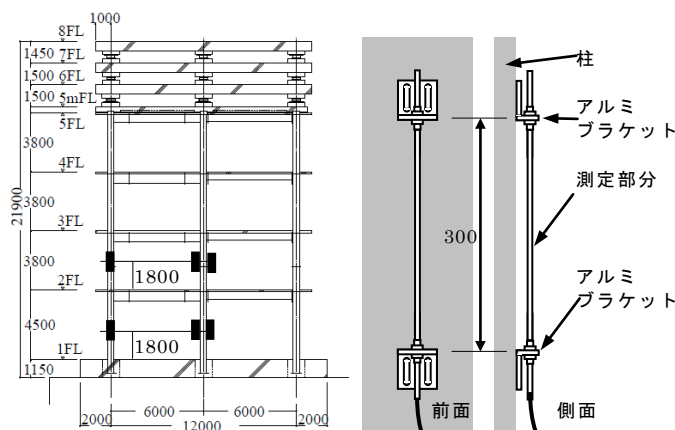


図8 光ファイバセンサの設置位置と設置状況

により、建物の常時微動特性や、顕著な損傷を含む構造体の変化を捉える可能性について検討を行う。

ここでは計測長さ 300mmのSOF0型光ファイバセンサを用いる²⁾。図8に試験体への設置位置と設置方法の概要を示す。1層と2層の隅柱と中柱の中間高さで、相対する2面に設置されている。ひずみゲージやFBG型光ファイバセンサよりやや広い範囲での柱の平均的な軸変形特性を捉えていると考えられ、分解能は静的計測で $2\mu\text{m}$ 、動的計測で $0.01\mu\text{m}$ である。本論では分解能の高い動的計測の利用を検討する。

b) 地震計・常時微動計と光ファイバセンサの記録の比較

光ファイバセンサにより計測されている柱変形成分の特性について、建物応答との関係を検討する。図9に地震計・常時微動計による水平方向応答と、光ファイバセンサによる柱軸変形のスペクトルを比較して示す。

普及型サーボ加速度計（強震計①）によるホワイトノイズ加振時の(a)5階の加速度応答のフーリエスペクトルや、(b)5階/1階の伝達関数から、5~6次の固有振動数まで容易に特定できる。一般的な地震計の分解能（20bit程度）があれば、(c)常時微動（振動台作業などで振動レベルはやや高い状態）の特性も十分評価できる。一方、図は省くが、廉価型の地震計③では分解能が不足である。また夜間静寂時では強震計①でも十分ではない場合がある。このような場合の計測には(d)動コイル型常時微動計を用いればよいが、精度が高く、大きな加振で壊れやすいため、設置したまま放置できないなどの制約が大きい。(e)光ファイバセンサで計測された動的な柱軸変形は、微動計とほぼ同等の分解能やスペクトル特性を示し、ピーク位置から固有振動数を読み取ることも可能である。

以上の検討結果から、光ファイバセンサをあらかじめ柱に設置しておき、必要な際にアンプとロガーを接続して計測すれば、常時微動計測と同様に固有周期やその変化を容易に評価できる。必ずしも連続計測を行わなくても、随時のモニタリング手段として活用できる可能性がある。ここで用いたSOF0の動的計測に対応したアンプ・ロガーは数千万円と高

価であるが、センサは約 10 万円であり、あらかじめ躯体に設置あるいは埋め込んでおいて、長期に当たって安定したデータを収録できる。

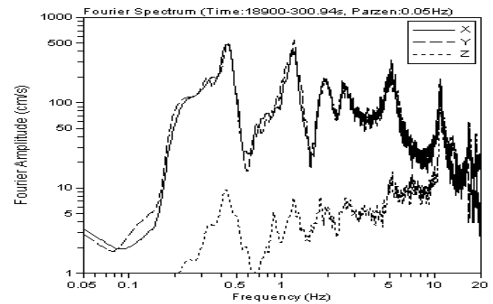
c) 光ファイバセンサによる強震応答と損傷の評価

柱の相対する 2 面に設置した光ファイバセンサ出力の和と差を求め、図 10(a)に微動時の結果を示す。図 9 (e)に比べて、差(曲げ)はほぼ同様のスペクトル特性を示しており、一方、和(軸変形)は 1 次固有振動のピークが明確で 3~4 次の高次成分は少なくなっていることがわかる。

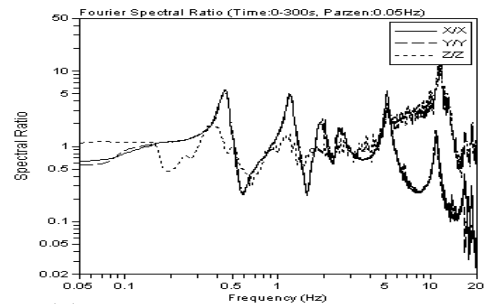
同様に、構造に損傷を生じた地震波加振の際の計測例を図 10(b)、(c)に示す。差の成分は、高次固有振動ピークまで明確に現れ、建物の水平応答による柱の曲げモーメントに対応すると考えられる。一方、和の成分では主に 1 次固有振動のピークのみが現れ、1 次モードの転倒モーメントによる柱軸力に対応すると考えれば説明できる。

図 10(b)は三の丸波を水平 2 方向で入力した場合で、和の成分の波形が 90 秒以降で明確に変化し、固有振動に対応する周期成分が小さくなっている。この時刻は 2・3 層の張間方向の柱梁溶接部が破断した時点にほぼ等しい。さらに上記の波形の特徴は、損傷のあった張間方向の 2 面にセンサが設置されている隅柱でより明確になっている。

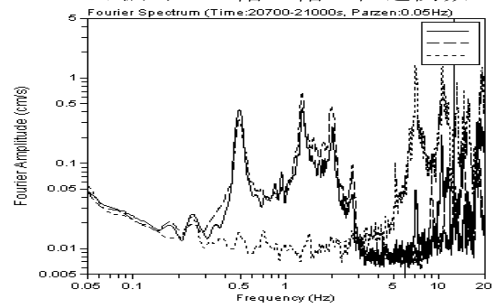
一方、図 10(c)は最後に三の丸波を桁行方向のみ入力して、桁行方向 2 階で梁端溶接部が破断した時の記録である。今度は桁行方向の 2 面にセンサが設置されている中柱で、1 階の曲げ成分(差)と軸変形成分(和)が片側に寄った特徴的波形になっている。以上から、構造被害による骨組の動的応力状態の変化を、当該層あるいは下層の柱の変形挙動からモニタリングできる可能性が考えられる。



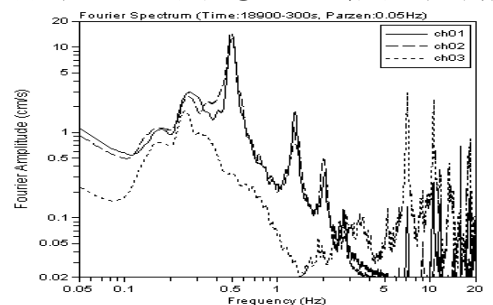
(a) 普及型地震計①によるホワイト加振時の 5 階のフーリエスペクトル



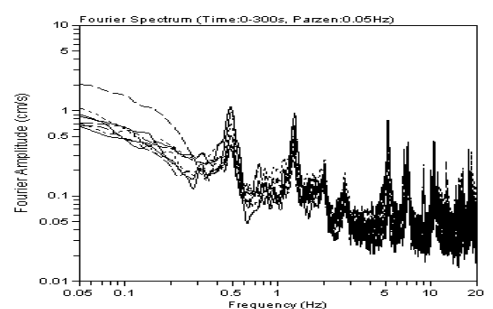
(b) 普及型地震計①によるホワイト加振時の 5 階/1 階の伝達関数



(c) 普及型地震計①による微動(昼間)

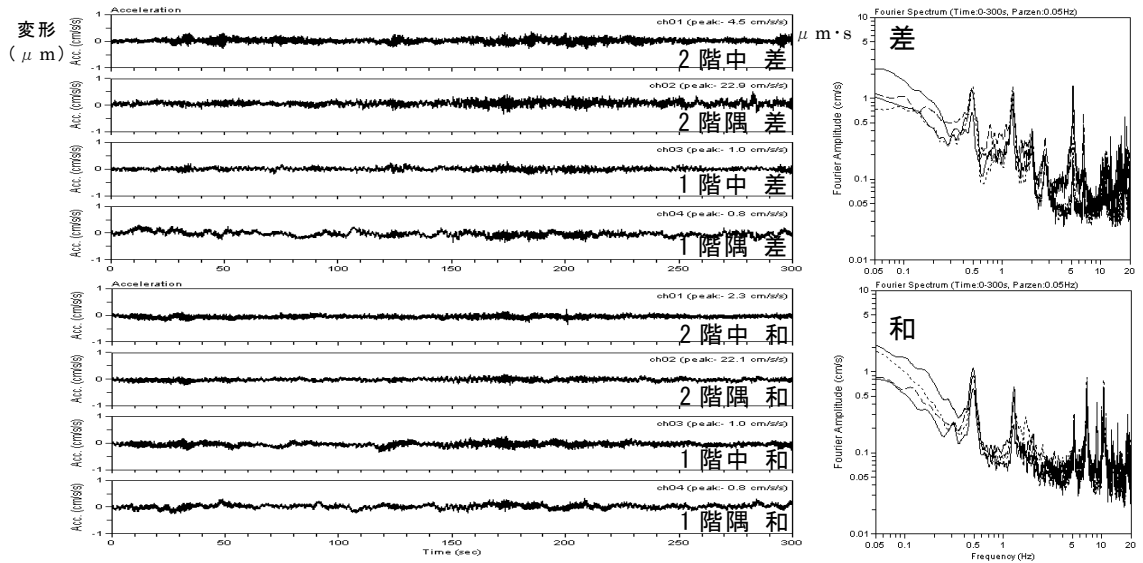


(d) 動コイル型常時微動計(夜間)

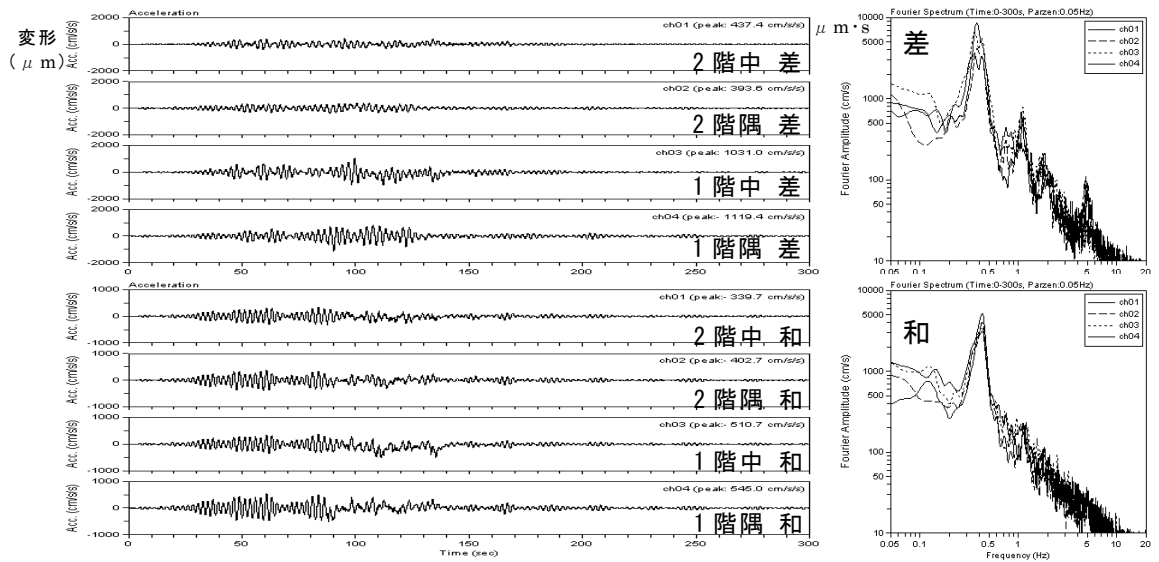


(e) 光ファイバセンサによる微動(夜間)

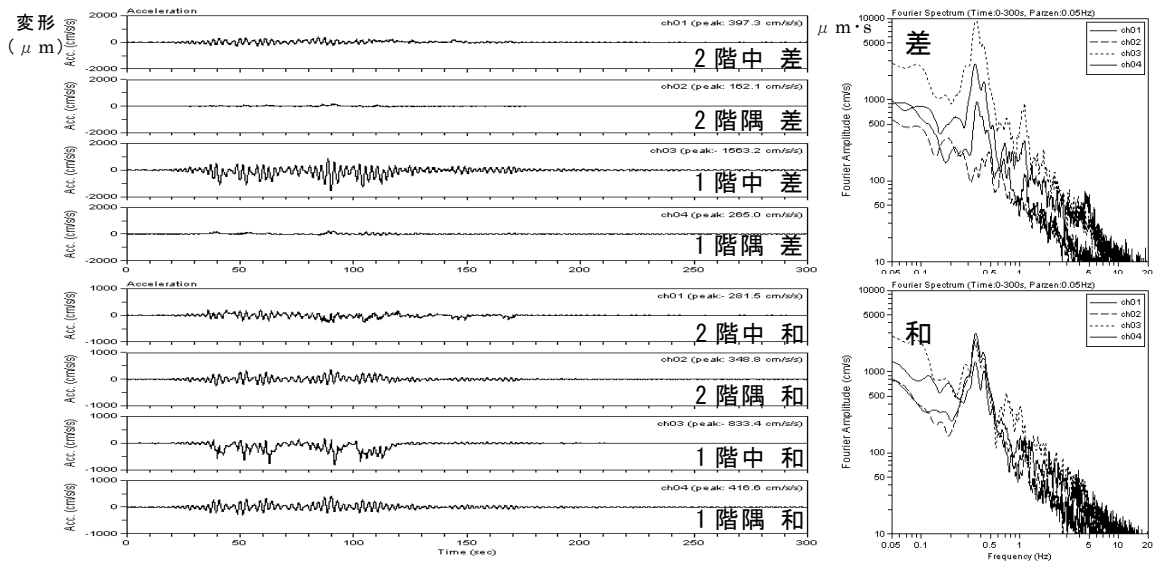
図 9 強震計・常時微動計の水平方向記録と光ファイバセンサの動的計測の比較



(a) 常時微動 (夜間静寂時)



(b) 三の丸波水平2方向入力の加振時



(c) 三の丸波桁行方向入力の加振時

図 10 光ファイバセンサによる柱曲げ・軸変形の波形とフーリエスペクトル

(c) 結論ならびに今後の課題

今年度は、19年度Eディフェンス実験で得られた高層建物の強震応答記録を用い、一般的強震計による比較的点数の少ない簡易な計測体制に基づいた高層建物の強震応答特性と損傷の評価の可能性を検討した。結果として、地震計の種類や性能による差は存在するが、大振幅の記録を用いてスペクトル解析や固有振動特性のシステム同定を行う際にはさほど大きな影響はなかった。複数の強震入力を受けた構造物の応答特性と、それによる躯体の損傷の検出については、固有振動数やモード形の変化と明確に対応していることが確認されたが、絶対的な変化量は損傷程度に比して必ずしも大きくないことを確認した。一方、光ファイバセンサによる動的な柱軸変形の計測結果から、躯体損傷に伴う構造体の応力状態の変化を明確にとらえ得る可能性を示した。また、常時微動レベルの変形特性も評価でき、強震計と併用して長期のモニタリングに利用できる可能性を示した。これらの結果の検証は、次年度のEディフェンス実験で行いようものと考えている。

(d) 引用文献

- 1) Tobita, J.: Evaluation of Nonstationary Damping Characteristics of Structures under Earthquake Excitations, J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 59, Nos. 2, 3, pp. 283-298, 1996.
- 2) 飛田潤, 福和伸夫, 西澤崇雄: 光ファイバセンサーによる鋼構造試験体の静的・動的柱軸変形の計測, 構造工学論文集, Vol. 55B, pp. 577-582, 2009. 3

(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 |
|--|-----------------------------|--------------------------------|---------|--------|
| 不整形超高層建物の建設時観測に基づく柱歪・振動特性変化に関する研究、口頭発表 | 西澤崇雄、大野富男、飛田潤、福和伸夫、護雅史、小島宏章 | 日本建築学会学術講演梗概集 pp. 273-274 | 2008. 9 | 国内 |
| 常時微動計測による高層建物試験体の振動特性とその変化、口頭発表 | 平田悠貴、飛田潤、福和伸夫 | 日本建築学会東海支部研究報告集 pp. 189-192 | 2009. 2 | 国内 |
| 光ファイバセンサーによる高層建物試験体の静的・動的な柱変形の計測、口頭発表 | 飛田潤、福和伸夫、西澤崇雄 | 日本建築学会東海支部研究報告集 pp. 185-188 | 2009. 2 | 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 |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------|--------|
| 光ファイバーセンサーによる鋼構造試験体の静的・動的柱軸変形の計測 | 飛田潤、 福和伸夫、 西澤崇雄 | 構造工学論文集 Vol.55B pp.577-582 | 2009.3 | 国内 |

マスコミ等における報道・掲載

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

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 21 年度業務計画案

今年度の限定された観測点に関する分析に加えて、比較的多点の観測体制を想定した場合に評価できる応答特性について、詳細な検討を行う。具体的には、ねじれなどの立体振動を含む詳細なモード形の抽出、各階絶対変位や層間変形の評価、多点同時最適化による振動特性推定の精度向上の可能性、それらの検討に強震計の精度が影響する可能性などの検討が挙げられる。またこれらの知見をもとに、年度中に行われる 2 回目の E ディフェンス実験において観測を行い、強震計活用に関するこれまでの成果を検証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（一部は今年度から継続的に検討中である）。

1) 強震計によ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、詳細な立体モード特性など）の同定を試みる。あわせて多点同時最適化手法の検討を行う。
- 2 回目の E ディフェンス実験において、制震改修がなされた構造体の振動特性の変化を検出できるか否かを検討する。
- 加速度記録の適切な積分法の検討と、積分による各階絶対変位や層間変形推定精度の検証を行う。
- 上記の特性評価結果に及ぼす地震計の特性の影響の検討を継続する。特に、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を、地震計の

位相特性やフィルタ特性に注目して検討を加える。

- 最終的には、十分な応答特性と損傷の推定を行うために得るために必要な地震計特性を示すことを目標としている。

2) 2回目のEディフェンス実験を例題としたモニタリング体制の検討

- 目的に応じて必要な強震計の観測位置・観測点数の検討を行う。
- 既存ネットワークによる接続の利用など、既存建物に容易に追加設置できる強震観測システムの検討を継続する。
- 光ファイバセンサによるモニタリングの活用可能性について、検討を継続する。