

Ⅲ. 「管理技術部門」の研究成果

Ⅲ-1. 研究の目的と概要

「管理技術部門」では、長期利用する住宅スケルトンの健全性を効率的に確認するための診断技術と情報活用手法に関する研究開発を行う。新たな診断技術として構造ヘルスマモニタリング (SHM : Structural Health Monitoring) に着目し、住宅における技術利用に向けて、技術システムの有効性に関する実験検証及び履歴情報として活用する手法等に関する研究開発を行う。

Ⅲ-2. 研究成果の概要

長期利用の住宅スケルトンに関しては住宅履歴情報の蓄積・管理と活用が図られることを前提とする。既に蓄積すべき住宅履歴情報項目に位置付けられている“技術者の目視等による劣化現象等”の「診断の記録」に加えて、“建築物の振動等の動的な特性”も経年による「状態変化の記録」として蓄積・管理・活用されるべきものとの立場から、構造ヘルスマモニタリングに着目する。こうした観点から、長期の利用期間内における大規模な地震（極めて稀に発生する地震）の際に診断技術として利用するための技術的知見や、長期に渡って技術システムを運用し情報を蓄積・管理・活用するための知見を得ることを目的とし、下記の2つの視点から研究テーマを設定した。

- ①建築分野では、実際の建物で強振動時の有効性を示した例は未だ極めて少ないため、実大建物の加振実験を通じて技術の有効性を検証。
- ②長期の利用期間における管理・流通の場面を想定して、診断結果等の蓄積・管理や情報を活用する手法について研究。

研究成果を以下に取りまとめた。

1. 多世代利用住宅の管理・流通を支える構造ヘルスマモニタリング技術の利用ガイドラインの提示

構造ヘルスマモニタリング (SHM) は、情報通信技術および信号処理技術を利用することにより、構造物の損傷・劣化の状況を推定し健全性を診断する技術である。構造物の強振動（大規模地震・強風）や微小振動（風・中小地震・常時微動）の計測データから「振動特性」を推定し、その経時・経年変化等を踏まえ、構造物の損傷・劣化の有無・箇所・度合い等を把握するものである。部位に現れる現象（変形やひび割れ、中性化の進行等）を診断・把握し構造物全体への影響を推定する従来の手法とは逆のアプローチから、健全性の評価を効率化・高度化する診断技術として期待されている。

建築物への適用に関しては、基礎・応用研究から実用化・事業化の研究技術開発の段階にあり、建築会社や住宅メーカー等の一部において SHM システムの運用やサービス提供の事例がみられる。一方で、技術利用の目的、SHM システムにおけるセンサの種類・数、推定の精度、診断結果の表示方法など内容は様々であり、建築主が診断技術・情報提供サービスとして利用する手法が明確でない。

このため、長期利用の住宅スケルトンの健全性を効率的に確認する新たな診断技術として期待される構造ヘルスマモニタリング技術の効果的な利用に向けて、関係主体の技術利用の効果等に関する共通

理解とシステム運用にあたっての留意点等の認識共有を目的として、「多世代利用住宅の管理・流通を支える構造ヘルスマニタリング技術の利用ガイドライン」を提示した。

ガイドラインの作成にあたっては、実大建物の加振実験を通じて確認された解析手法の有効性、センシング技術等の実用性、技術システムを実装した際の課題等の踏まえ、記述に反映した。

【研究成果】

「多世代利用住宅の維持管理・流通を支える構造ヘルスマニタリング技術の利用ガイドライン」の提示

【成果の活用】

所有者・管理者の建物管理におけるスケルトンの状況把握
診断・情報提供サービス事業者のサービス内容説明
蓄積すべき住宅履歴情報項目への追記（技術の普及状況に応じて）

2. 一般向け技術解説資料の提示

建物管理への技術普及のために、建築の専門家でない一般の住宅所有者、建物管理者にも分かりやすく技術内容を伝える技術解説資料として、「Q&A形式」で、主要用語、SHM技術の概要、SHM技術の住宅所有者等への効果等に関する解説を作成する。

情報通信技術および信号処理技術に専門知識を持たない建築技術者を想定した「構造ヘルスマニタリング技術の用語集」を作成する。※今回の報告は省略

【成果】

「住宅におけるSHM技術活用に関する一般向けQ&A集」の公開
「構造ヘルスマニタリング技術の用語集」

【成果の活用】

一般の所有者・管理者への新たな診断技術に関する情報提供
診断・情報提供サービスを受用する際の「サービス内容」に関するリファレンス
蓄積すべき住宅履歴情報項目としての蓄積・活用の推奨

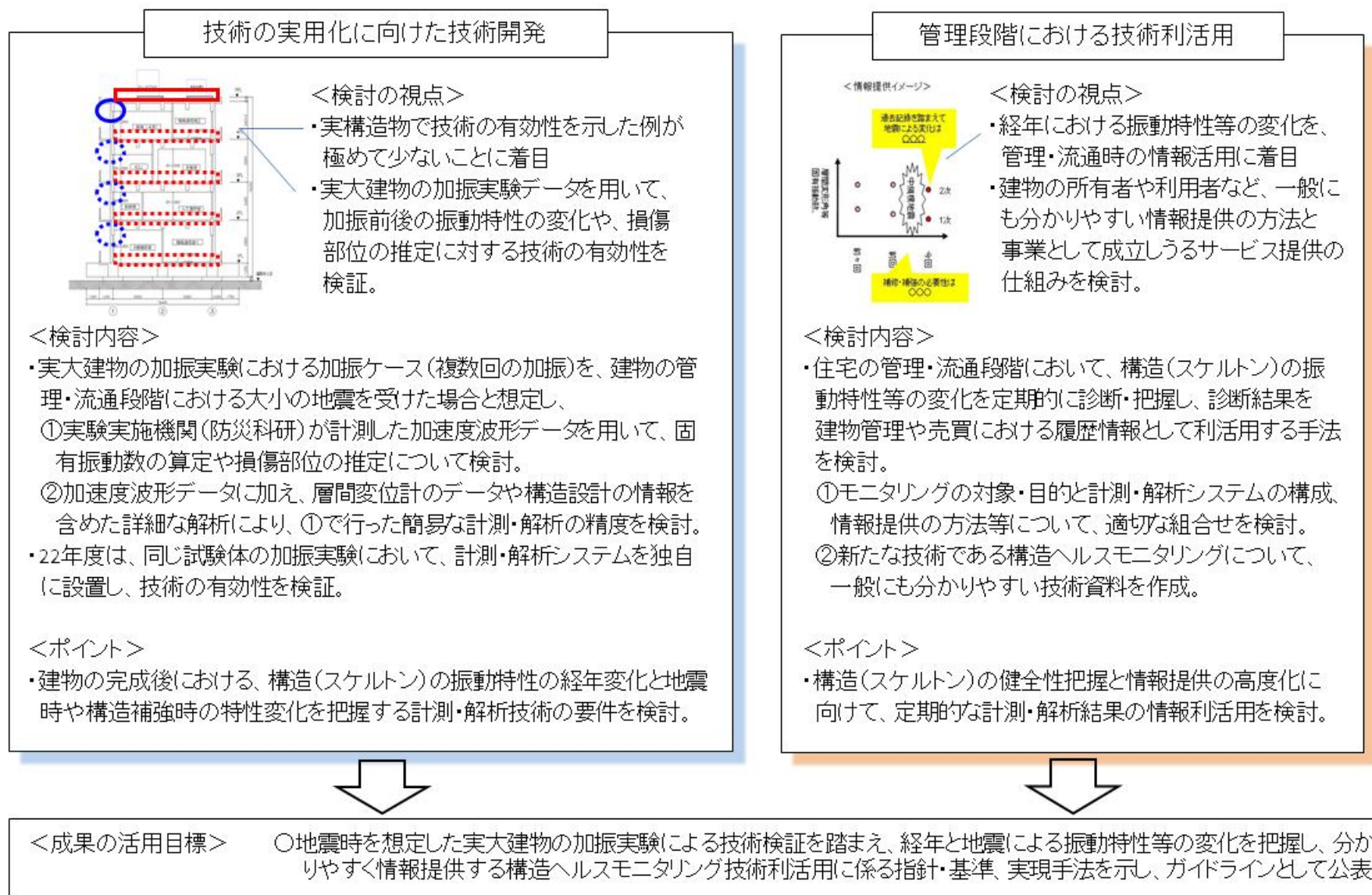
注)

ガイドラインの作成等にあたっては、次の先行研究、既往文献を参考にした。

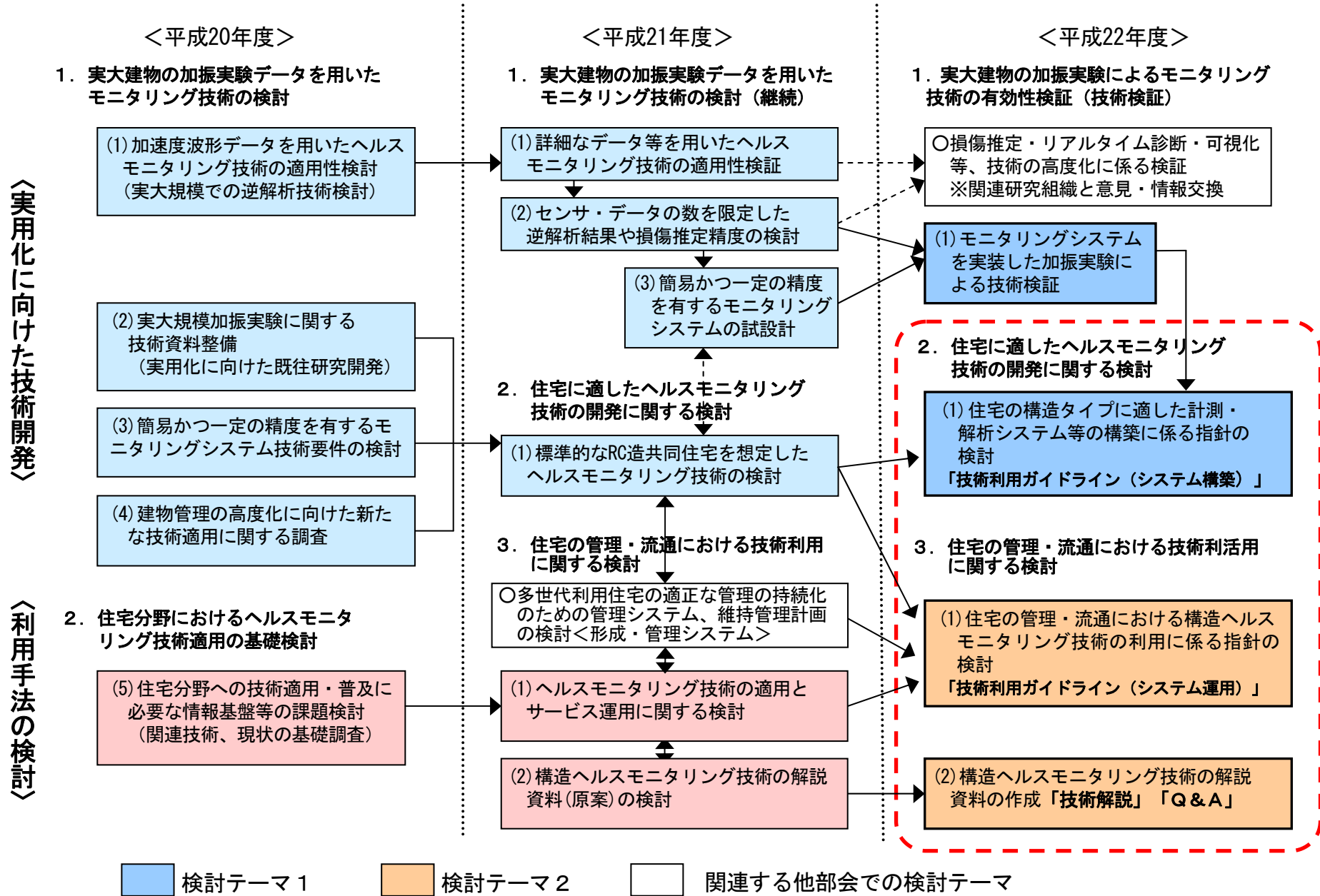
- ヘルスマニタリング技術利用ガイドライン、日米共同構造実験研究、H15.3
- コンクリート構造物のヘルスマニタリング技術、土木学会、H19.4
- モニタリングによる橋梁の性能評価指針（案）、土木学会、H18.3
- 橋梁振動モニタリングのガイドライン、土木学会、H12.10

Ⅲ. 管理技術部門

■住宅の管理・流通における構造ヘルスマニタリング技術の利活用に関する検討



■「管理技術部門」の研究年次計画・研究テーマの関連



多世代利用住宅の管理・流通を支える構造ヘルスマニタリング技術の利用ガイドライン

目次構成

1. 目的

長期利用の住宅スケルトンの健全性を効率的に確認する新たな診断技術として期待される構造ヘルスマニタリング技術の効果的な利用に向けて、関係主体の技術利用の効果等に関する共通理解とシステム運用にあたっての留意点等の認識共有を目的として、「多世代利用住宅の管理・流通を支える構造ヘルスマニタリング技術の利用ガイドライン」を作成し、公表する。

○目的：

技術利用の効果等に関する共通理解とシステム運用にあたっての留意点等の認識共有

○対象：

建物の上部構造（基礎構造は対象外）。
主に RC 造共同住宅と木造戸建て住宅を想定

○利用者：

所有者・管理者（第1章、第2章）
建築技術者（3章全て）

2. 目次構成

第1章、第2章は、構造ヘルスマニタリング技術（SHM）の共通理解のため、概要、基礎的事項を記述している。

第3章は、目的に即して具体的な技術システムを構築・運用するにあたっての機能要件、留意点等を記述している。主に、診断・情報提供サービスを担う主体を想定している。

(予定)

2月28日 ガイドライン（素案）提示
3月11日 目途 // 修正意見の集約
3月18日 目途 // （素案）第2稿 提示
3月 末日 目途 // （原案）とりまとめ
未定 省内調整が終了次第 公表
※国総研ホームページを想定

多世代利用住宅の管理・流通を支える構造ヘルスマニタリング技術の利用ガイドライン（目次）

第1章 総則	
1.1 本書の適用範囲	1
1.2 本書で取り扱う SHM の対象範囲	1
1.3 本書の構成	6
1.4 関連用語	7
第2章 構造ヘルスマニタリングに関する基礎的事項	
2.1 構造ヘルスマニタリング（SHM）の概要	13
2.2 SHM の特徴	
2.2.1 SHM のメリット	18
2.2.2 建物ライフサイクルにおける SHM 利用場面	19
2.3 SHM によるデータ計測と評価の考え方	
2.3.1 データ計測のタイミング	22
2.3.2 推定のレベル	23
2.3.3 損傷指標とセンサ計測の関係	24
2.4 建物管理における SHM サービスの利用	
2.4.1 SHM サービスの形態の明確化	25
2.4.2 サービスの項目と内容	30
2.5 SHM の設計	39
第3章 SHMの構築・運用	
3.1 データの取得	
3.1.1 センサの種類の設定	45
3.1.2 センサの性能の設定	47
3.1.3 センサの設置箇所・数の決定	47
3.1.4 センサデータの伝送方法の決定	49
3.1.5 センサの実装	49
3.1.6 計測条件の設定	50
3.2 状態の推定	
3.2.1 データの前処理	51
3.2.2 推定手法の選定	51
3.2.3 モデル構造の選択	53
3.2.4 モデルパラメータの推定	54
3.2.5 モデルの妥当性検証	55
3.2.6 損傷指標の推定	55
3.3 診断	
3.3.1 診断の考え方の整理	57
3.3.2 管理指標の設定	58
3.4 診断情報の提供	61
3.5 SHM 情報の蓄積・管理	
3.5.1 システム概念図の整理	65
3.5.2 サーバ構成	66
3.5.3 データモデル	67
3.5.4 アクセス制御	72
3.5.5 セキュリティ対策	73
3.5.6 情報の保管・継承・削除等の基本ルール	73

3. ガイドラインをまとめるにあたっての主な論点

(1) 対象範囲の設定について

①使用性（サービサビリティ）の評価

・ガイドラインでの記述

本書で取り扱う SHM は、建築分野の中でも特に住宅を対象とし、長期利用する住宅の維持管理・流通を支える技術として位置づけている。そのため、構造性能としては「安全性」「耐久性」に加え、「使用性（サービサビリティ）」の評価に資する技術として記述している。（1.2 本文）

・考え方

住宅の長期利用に伴い、災害発生の有無に関らず、建物のたわみ・傾斜・破損・床面の凹凸等が発生し、使用性（サービサビリティ）が低下する。こうした現象は、微小振動（風・中小地震・常時微動）に対する建物応答性状にも影響してくることが考えられる。形状等の静的な変化は、既存の検査技術によって捉えることができるが、振動特性の動的な変化については、SHM によって計測・評価が可能となる。（同、解説）

従来の診断では検知されにくい変化を、計測を続ける中で検知できることから、SHM の特徴として、「使用性（サービサビリティ）」の評価を扱うこととした。

②S 造・木造等、及び、基礎構造の扱い

・ガイドラインでの記述

一般に「構造」ヘルスマニタリングは、建築物の主要構造部を対象とした損傷・劣化の診断技術であり、建築設備の分野で行われているモニタリングとは区別される。適用対象とする構造種別（RC 造・S 造・木造等）やシステムの導入時期（新築・既存）は問わない。

本書で取り扱う SHM は、基礎杭等の下部構造ではなく、上部構造の損傷・劣化の評価を目的としている。また、戸建て木造住宅や RC 造共同住宅を主な適用対象として想定している。（1.2 本文）

・考え方

一般に、SHM は、構造物の計測データから「動的な変化」を捉え、その経時・経年変化から、構造物の損傷・劣化の有無、箇所、度合い等々を評価する技術であり、長期利用の中で、振動特性の動的な変化を計測・評価する。時間軸で初期状態からの特性変化を自己比較する観点では、構造種別や導入時期を問わず適用できる共通する技術とした。

基礎杭等の下部構造については、研究レベルでは有効性がいわれているものの、実際の建物ではシステムの運用が困難なため、本書の対象から除外している。

また、本書は、別途実施した中層 RC 造実大建物の加振実験を通じて得られた技術知見に即して記述しているが、戸建て木造住宅についても、実際に診断等のサービスを提供している事業者が存在すること、木造住宅を対象とする研究報告も多数発表されていることから、これらを調査・参照し、対象に含めている。

住宅における SHM 技術利用に関する一般向け Q & A 集

＜記述（案）＞

建物管理への技術普及のために、建築の専門家でない一般の住宅所有者、建物管理者にも分かりやすく技術内容を伝える技術解説資料として、「Q&A形式」で、主要用語、SHM 技術の概要、SHM 技術の住宅所有者等への効果等に関する解説を作成する。

ガイドラインにおいても、建物の所有者、管理者の SHM 技術に対する共通理解のための解説を記述しているが、所有者や管理者の立場にある一定の専門知識を有する技術者を想定しているため、ここでは、さらにかみ砕いた表現による解説をしている。

※以下は、平成 23 年 2 月 28 日時点の記述文案であり、取り上げる用語や、記述・表現等については、今後も作業を継続していく。

平成 23 年 2 月 28 日現在の文案

Q 1 SHM（構造ヘルスマモニタリング）とは何ですか？

A 1 :

センサから揺れの状況を計測し、建物の健康診断を行う技術です。

【解説】

大きな地震が発生したときの建物の揺れの状況を計測し、建物の損傷や劣化の位置や度合いを評価します。ユーザにとっては、災害発生直後の対応（安全な避難、事業継続等）や、建物の維持管理や流通の段階で、役立つ情報となります。

センサで計測するタイミングは、必ずしも、不意に発生する地震時だけとは限りません。私たちは普段、建物の中で過ごしているときに揺れを感じることはありませんが、ごく小さな地震、風、また自動車や鉄道等の影響によって、建物は常にわずかに揺れているのです。SHMでは、こうした小さな揺れを捉えて、建物の健康状態を評価することもできます。

Q 2 建物の健康診断はなぜ必要なのですか？

A 2 :

私たちが毎年受診する健康診断や定期的に行う車検制度等と同様に、人間が一生の中で多くの時間を過ごす建物に関しても、建物の使用期間を通じて目標とする性能が確保されているかどうか確認する仕組みが必要です。SHMは、それを実現するための技術の 1 つです。

【解説】

建物は、地震や風を受けると力が加わり、建設された直後の状態から、時間が経つにつれて徐々に変化してきます。またこうした力を受けなくとも、変形・ひび割れ等の現象として現れてきたり、リフォーム・増改築等によって建物に変化が現れてきたりといったことが考えられます。

多世代利用住宅は、多世代に住み継がれていく住宅であり、そのためには、建物に生ずる変化（機能・性能）が適切に把握でき、維持されていく仕組みが必要です。それが、中古住宅の流通の場面において、判断材料や優位な条件となります。

Q 3 技術者による定期点検と比べて、どのような点で異なるのですか。

A 3 :

両者とも、建物の健康状態を評価する仕組みである点で共通しています。

定期点検が、建物の変形・ひび割れ等の現象として現れる「静的な変化」を捉えるのに対して、SHMは、振動特性（揺れ方）として現れる「動的な変化」を捉えることができます。

【解説】

定期点検では、建物が建設されてから5年後、10年後等のタイミングで、主に技術者の目視により、ひび割れの有無等の調査が行われます。しかし、点検時期の間に一定の空白期間があることに加え、ひび割れや亀裂が被覆材等で覆われている場合には検知が難しいこと、ひび割れが建物全体にどのような影響を及ぼすのか（言い換えると、建物全体で見た場合にそのひび割れは補修するに値するかどうか）の評価が難しいとされています。

これに対してSHMは、建物の健康状態を「動的な変化」から捉えます。例えば、揺れ方の違いから、建物内部に発生・進展している損傷を推定し、何階のどの辺りに損傷が発生しているかを評価できます。また、コンクリートがひび割れを起こすときに発生する音をセンサで捉えて、深刻な状態になる前の段階で補修等の対策をとることができます。このようにSHMは、技術者による目視点検を代替あるいは補完しあう新しい診断技術として期待されています。

Q 4 SHMを導入すると、どのようなメリットがありますか？

A 4 :

- ①効果的・経済的な維持管理につながる
- ②地震直後に建物内に居続けてよいか、避難すべきかを把握できる
- ③取引の際には重要な判断材料の1つとして活用できる

【解説】

1点目は、建物の維持管理におけるメリットです。SHMによって目視点検を代替あるいは併用することで、維持管理のための評価の精度が向上すること、時間や手間がかからず効率的に行えることといった利点があります。

2点目は、災害時のメリットです。大きな地震が発生した場合には、応急危険度判定や被災度判定のための人員が不足し、情報が得られるまでに時間がかかる可能性があります。SHMを導入すれば、建物をそのまま継続して使用可能であるかどうか、迅速な情報提供が可能です。大きな変化がないことがすぐに分かれば、オーナーや入居者は安心できますし、特に高層階に住んでいるお年寄りにとっては避難の手間が省けます。

3点目は、流通段階のメリットです。建物の健康状態を評価した結果が長期にわたって蓄積・管理されていると、流通の場面で買い手にとっての判断材料となるとともに、優位性につながります。例えば住宅履歴情報システムで蓄積管理する情報項目の1つとして、SHMによる動的な変化が記録しておくといった仕組みが考えられます。

Q5 建物の健康診断はどのようにして行い、どの程度まで正確なことが分かるのですか？

A5 :

建物の柱・梁・床等に設置したセンサから得られたデータを解析して、振動特性（揺れ方）を推定します。その結果を前回以前の推定結果と比較することで、建物の健康診断を行います。

振動特性（揺れ方）の推定に関しては数多くの研究が行われ、高い精度で推定できるようになってきました。ただしそれが補修・補強を必要とするレベルかどうかを示すためには、より多くの建物で計測と評価を積み重ねながら、診断の精度を高めていく必要があります。

【解説】

建物に損傷や劣化が生じると、その位置や度合いに応じて、振動特性（揺れ方）に「動的な変化」が現れます。例えば、既に一部の事業者が、地震時に最大層間変形角（上下階の変位量の差の最大値から算出）が閾値を越えたかどうかを計測するといったサービスを提供していますが、この方式であればかなり正確に推定できるといえます。また、戸建住宅等であれば最低1個の加速度センサを設置しておけば、固有値（その建物固有の揺れやすい周波数領域）を高い精度で推定して、動的な変化を捉えることができます。

ただし現時点の技術レベルでは、それらが本当に補修・補強を必要とするレベルなのかどうかの最終的な判断基準が不足しています。人間の体の健康診断に関しては、BMIやメタボリックシンドロームなど、病気のサインとなる症例を積み重ねて、その診断基準が確立されてきました。SHMも同様に、今後普及が進み、より多くの建物で計測と評価を積み重ねながら、進歩していく部分が大きいと考えられます。

Q 6 SHM で取得された情報は、どこに保管され、誰がどのように活用するのですか？

A 6 :

SHM で取得された情報は、セキュリティの施されたネットワークを介して SHM の情報管理者と認定された事業者の管理下にあるサーバに保管されます。このサーバに保管されたデータは、情報を預けているオーナーが ID とパスワードを用いることでいつでも閲覧することができます。一方で、不正アクセスやデータの改ざんがないよう厳重に管理されます。

このデータの活用方法としては、建物の売買時に、買主へ説明する資料にすることなどが挙げられ、建物の健全性を客観的に示すこともできます。

また大規模地震の発生時には、あらかじめサービス事業者と契約することで、データを解析して建物の応急危険度を判定・通知してもらうことにも活用できます。SHM で取得された情報を蓄積して同一建物の構造の状況変化を把握することにも活用できます。

また保管されたデータは、あらかじめサービス事業者と契約することで、Q5 に記載されているように、建物の健康状態の推定精度を上げるために研究用に利用されることがあります。利用されるときは、匿名化されてどの建物のデータか特定できないように配慮されます。

Q 7 SHM の導入を検討してみたいのですが、費用はどの程度かかるのですか？

A 7 :

SHM の利用目的や建物の構造・規模等に応じて、センサの種類・性能・個数、サーバ及び周辺機器等は異なってきます。

あくまで参考ですが、一部の事業者では、比較的規模の大きな共同住宅やオフィスビルを対象として、1棟あたり数百万円で設置するサービスを提供しています。

Q 8 SHM を導入したいのですが、どこに相談すればよいのですか？

A 8 :

大手不動産会社、ゼネコンなどでサービス提供が開始されていますので、これらの会社にお問い合わせいただければ情報が得られます。ただし、分譲タイプの共同住宅にお住まいの方は、マンション管理組合とご相談ください。

Q 9 今後センサの設置は義務化されるのでしょうか？

A 9 :

事業者による先導的な取組みとしての普及が期待される技術であり、現時点では義務化までは予定されていません。しかし将来的には、住まいの履歴書と言われる住宅履歴情報（いえかるて）の中に「動的な変化」を捉えるための情報項目の1つとして、SHM による計測・評価結果を位置づけることが検討されています。

実大建物の加振実験を通じた技術の有効性検証

1. 研究の目的

新たな診断技術として期待されるヘルスマonitoring技術については、実際の建物で強振動時の有効性を示した例が極めて少ない。本研究では、実大建物の加振実験を通じて、多世代利用住宅の長期の利用期間内における大規模な地震（極めて稀に発生する地震）に遭遇した場合における診断技術としての有効性を実験検証する。

実験検証を通じて得られた技術的知見に基づいて構造ヘルスマonitoring技術の利用に関するシステム構築、運用における機能要件、留意事項等を整理し、技術利用のためのガイドラインに反映する。

なお、本研究は、国土技術政策総合研究所と独立行政法人防災科学技術研究所（防災科研）が、共同研究「建築物スケルトンの健全性評価へのモニタリング技術適用に関する共同研究」（平成 20～22 年度）を締結し実施するものである。加振実験は、防災科研 兵庫耐震工学研究センター（E-ディフェンス）が実施した。

2. 研究内容と成果の概要

実大建物の加振実験は、中層 RC 造建物の実大規模構造物を用いた一連の加振実験の内、平成 20 年度、平成 22 年度の耐震実験（基礎を震動台に固定した実験）における大規模地震波加振を対象とする。

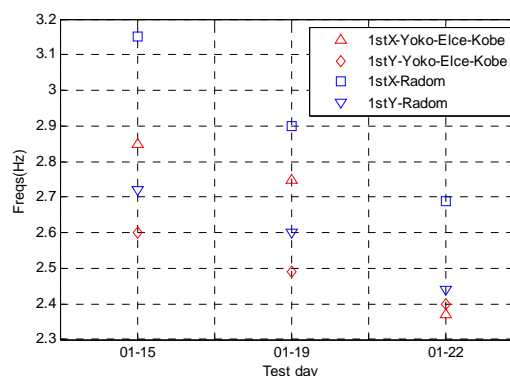
平成 20 年度は、構造ヘルスマonitoringのプロセスの内、データ取得は防災科研が設置したセンサの記録とし、損傷状態の推定と診断に関する逆解析手法の有効性の検証を行った。平成 22 年度は、データ取得から逆解析、診断結果の提供、履歴管理にいたるプロセスの全てを通して行う、一連の技術システムの有効性・実用性を検証した。

(1) 平成 20 年実験を通じた技術検証

建物全体のグローバルな損傷推定を目的として、計測データから固有振動数を推定する逆解析について、3つの解析手法により振動特性を検討し、固有振動数の変化の状態が把握されることを確認した。部分空間法に基づく加振日別の 1 次固有振動数（薛委員による推定結果）を示す。並進 X・Y の両方向とも実験日程の経過に伴い固有振動数が低下したのは、地震動入力を受け、建物内部の損傷が進行したことを示している。

表 複数の方法による逆解析検討の概要

手法概要	検討主体
フーリエ進行スペクトルに基づく卓越周期の算定	国総研
ARX モデルに基づく固有振動数の推定	三菱総研
部分空間法に基づく固有振動数の推定	近畿大学薛准教授



平成 20 年度、平成 22 年度の加振実験における SHM システムの枠組み

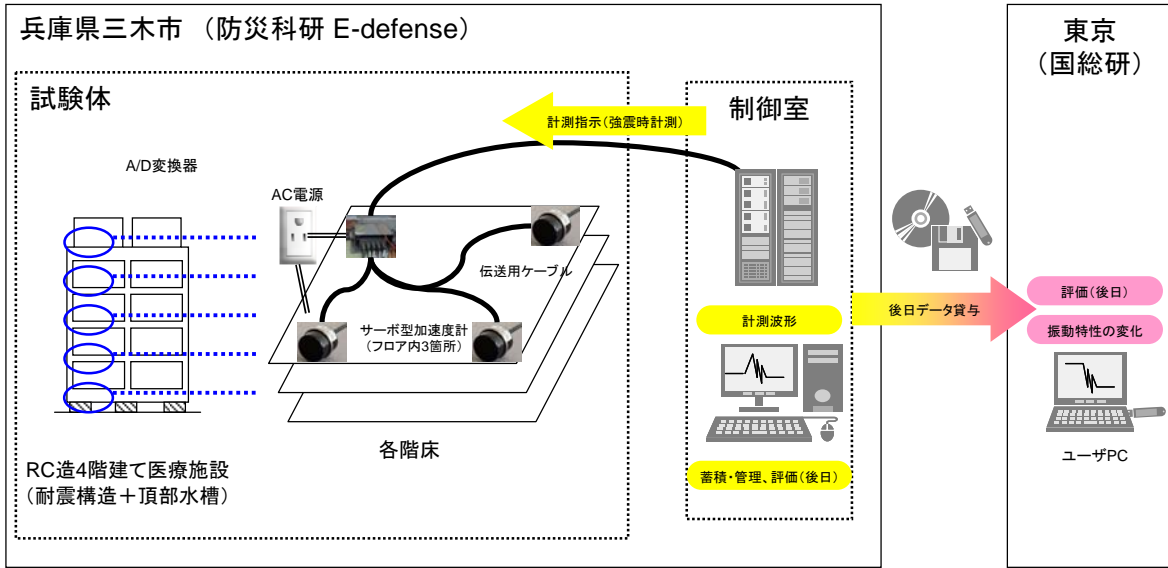


図 平成 20 年度に行われた防災科研 E-defense 実験における
国総研との共同研究に基づく検証の枠組み

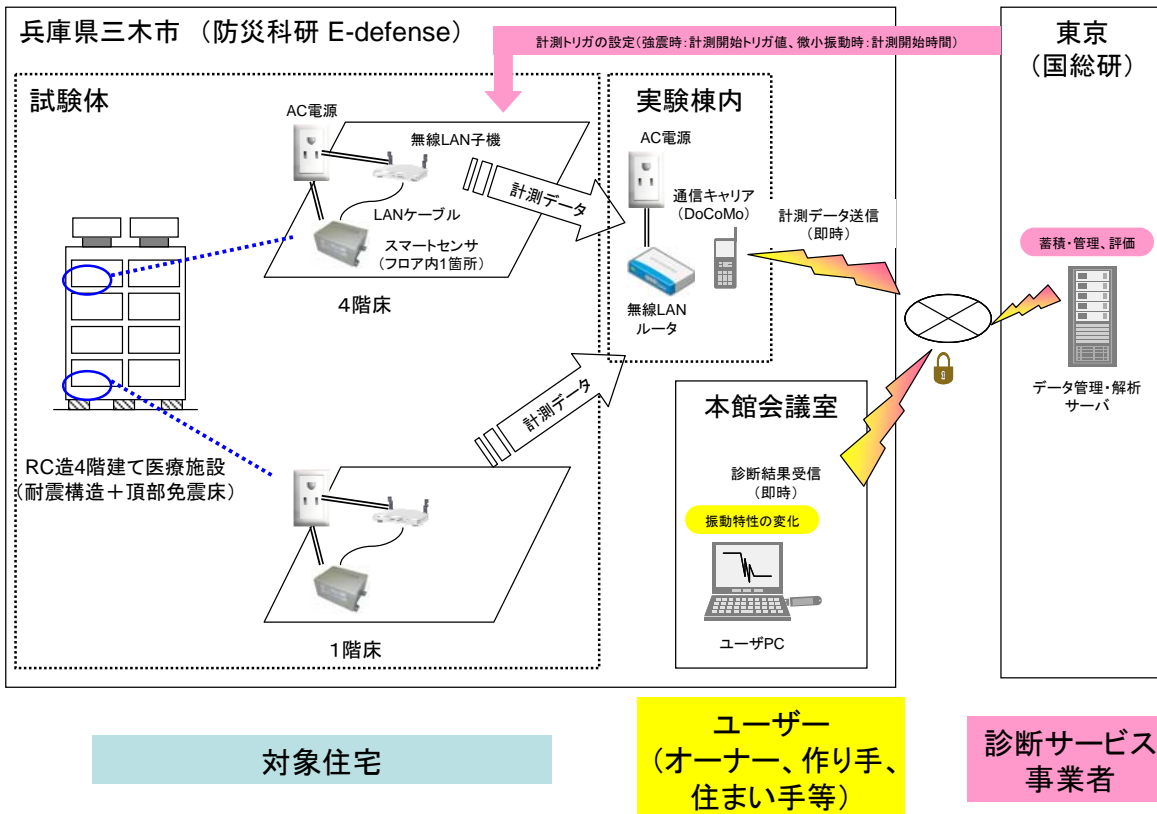


図 平成 22 年度に行われた防災科研 E-defense 実験における
国総研との共同研究に基づく検証の枠組み

(2) 平成 22 年実験を通じた技術検証

平成 22 年度実験では、防災科研が加振実験のために設置したセンサに寄らず、国総研が仮想的な診断・情報提供サービスの提供者の立場で、一般にも利用可能な SHM システムを実装し、技術システムとして実用性を検証した。

①仮想 SHM サービスの形態

「計測のタイミング」及び「推定のレベル」の 2 つの観点から、SHM サービスの形態を模擬し、検証を行った。サービスの項目と内容は、「多世代利用住宅の管理・流通を支える構造ヘルスマニタリング技術の利用ガイドライン（素案）」の、SHM サービスの項目・内容に基づく表現としている。今回の技術検証の位置づけを確認した。

【強振動時】 強震動 に基づき 全体レベル の評価を行う SHM サービス

【平時】 微小振動 に基づき 全体レベル の評価を行う SHM サービス

表 SHM サービスの項目・内容と本検証の位置づけ

サービスの項目		サービスの内容
A データの取得	データはいつ計測するのか？	<input checked="" type="checkbox"/> 被災時計測 <input checked="" type="checkbox"/> 定期計測 <input checked="" type="checkbox"/> 被災後計測
B 状態の推定	対象建物のモデル特性についてどのレベルまで推定できるのか？	<input checked="" type="checkbox"/> 全体 <input type="checkbox"/> 層 <input type="checkbox"/> 部材
C 診断	推定結果をどのような考え方に基づき解釈するのか？	<input checked="" type="checkbox"/> 自己評価 <input type="checkbox"/> 相対評価
D 診断結果の提供	ユーザに対してどのような情報を提供するのか？	<input checked="" type="checkbox"/> 基本情報 <input checked="" type="checkbox"/> 被災直後の安全行動の支援情報 <input type="checkbox"/> 被災後の安心情報 <input type="checkbox"/> 判断・対応の支援情報 <input type="checkbox"/> 使用性に係る情報 <input type="checkbox"/> その他
E SHM 情報の蓄積・管理	記録として管理するためのデータ項目やアクセス権限はどうなっているか？	※次表参照

A センサの計測開始条件をサーバ側で設定することにより、強震動及び微小振動の双方の計測を可能とするため「被災時計測」「定期計測」「被災後計測」を対象とした。

B 推定のレベルとしては、必要最低限のセンサを用いて「全体系」を対象とした。

C 診断の考え方は、強震動を受ける前後で推定結果を比較する「自己評価」を基本とした。

D 情報提供内容としては、スマートセンサによる計測データ、伝達関数等の「基本情報」に加え、被災直後に固有振動数等の指標の推定結果を迅速に情報提供可能であるかどうかを検証した。

実験を通じ、大きな地震入力を受けた建物の全体系の損傷評価、及び2地点間の迅速な情報提供が成立しうることが確認された。以下、実験結果の一部を示す。

②データ計測の検証

i) 強震時におけるデータ計測の検証

強震時（JMA 神戸波入力時）は、1階床のスマートセンサで、X,Y,Z 方向のいずれかで 50gal を超えた場合に計測を開始し、その 10 秒前から 3 分間のデータをセンサゲートウェイへ伝送する仕組みとした。JMA 神戸波入力時、下図に示す通り、1階 Y 方向でトリガ値を超えた 10 秒前からのデータが正常に計測・収録されており、4階床のセンサも含め、センサゲートウェイに伝送されたことを確認した。

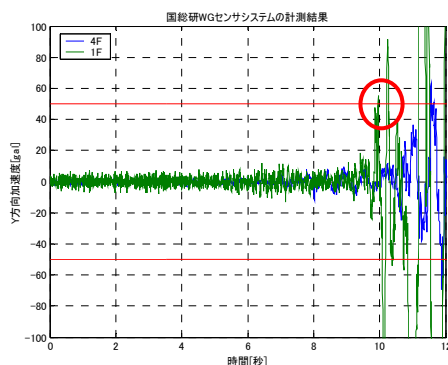


図 強震時におけるデータ計測の検証結果

ii) 微小振動時におけるデータ計測の検証

微小振動時（JMA 神戸波入力の前後、E-defense 施設の油圧印加・非加振状態）については、時刻指定による計測開始トリガをかける仕組みとした。センサゲートウェイ側で NTP サーバとの時刻合わせを 10 分おきに行っており、この場合においても、指定日時に併せて正常に計測が行われることを確認した。

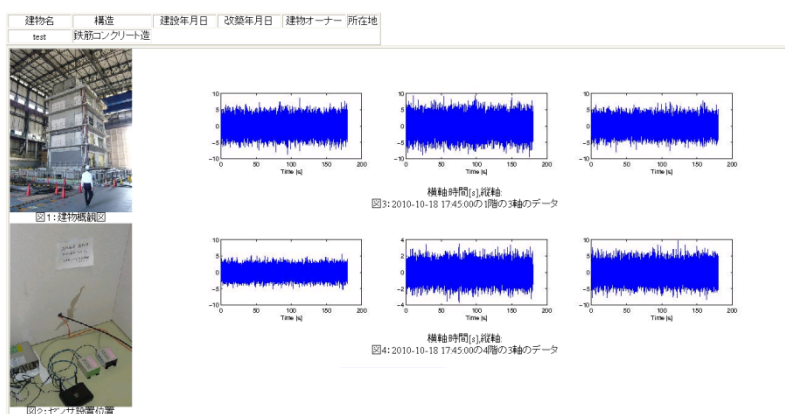


図 微小振動時におけるデータ計測の検証結果

②強震時におけるデータ解析の検証

スマートセンサにより計測された JMA 神戸波加振時の 1 階 X 方向（入力）・4 階 X 方向（出力）加速度データに基づく、伝達関数の算出結果を示す。1.7Hz 付近に 1 次のピークが認められる。（この図は、10.805[s]～45.805[s]の主要動約 35 秒間のデータを全て使用したもの）

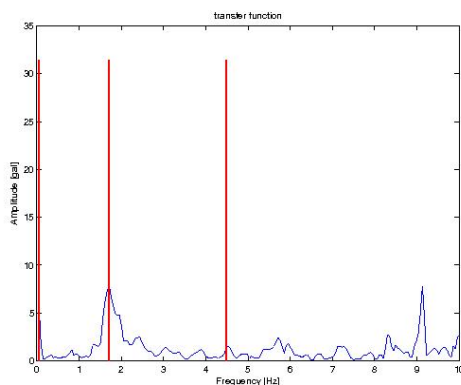
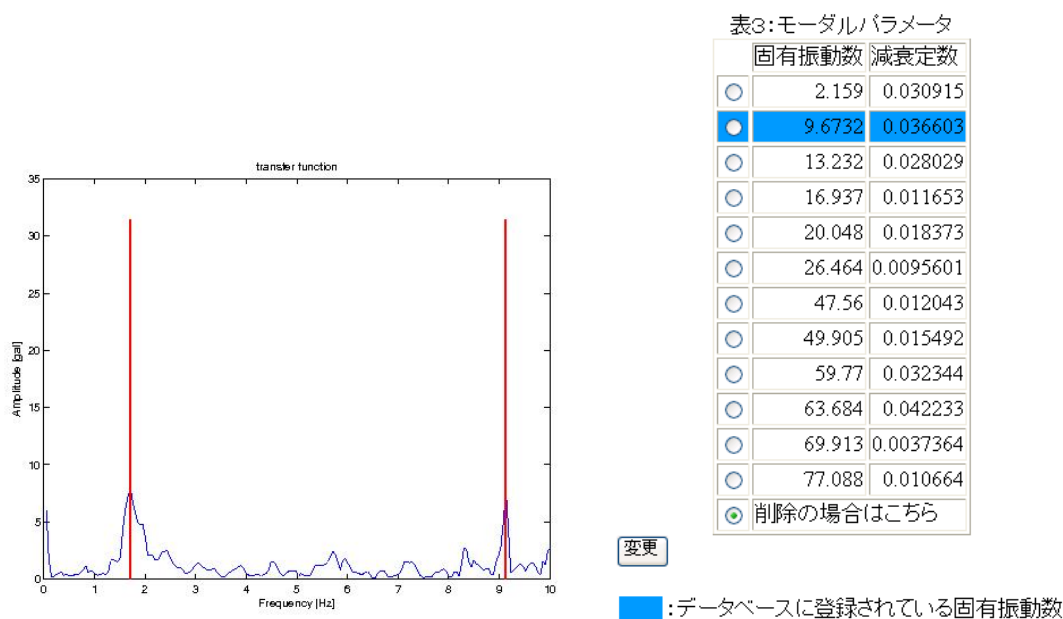


図 10/18 JMA 神戸波 100%入力時における X 方向伝達関数

部分空間法によるモーダルパラメータの推定結果を示す。推定された極情報からモードを自動推定するシステムのため、表に掲載されたパラメータは必ずしも正しく抽出されていない。グラフ上は 1.7Hz 付近に 1 次のピークが認められる。



※本研究に関する実験結果等の詳細は、国土技術政策総合研究所と独立行政法人防災科学技術研究所（防災科研）の共同研究「建築物スケルトンの健全性評価へのモニタリング技術適用に関する共同研究」（平成 20～22 年度）の報告書として取りまとめる予定である。

3. 実大建物の加振実験を通じた SHM 技術の到達点と課題

構造ヘルスマニタリング技術の利用に関するシステム構築、運用における機能要件、留意事項等に関して、実験検証を通じて得られた知見を以下に示す。

凡例：SHM の技術的な到達点（●）と課題（▼）

(1) 強震時（大規模地震、強風等）

●応急危険度判定に代わるサービスとして提供できること

→実験において、遠隔地での診断、結果のフィードバックが実現可能なことを実証。また、診断技術者による被災度判定のためのひび割れ等の計測・診断との結果の整合性を確認。

▼確実な稼動を担保すること

→人命に係るサービスを提供することになるため、センサを多数設置して冗長性を確保すること、通信環境の確認、センサの稼動状況の確認、キャリブレーション等について定期的に行う仕組みが重要。

(2) 微小振動時（中小規模地震、風、常時微動）

●動的な変化を捉えるパラメータを高い精度で推定できること

▼推定結果の解釈の仕方を明確にすること

→固有振動数等のモーダルパラメータがどの程度低下した場合に、補修・補強等を検討すべきかについて、実測データに基づく知見が不足している。

→SHM による記録は、センサデータだけでなく、技術者の目視による結果も併せて蓄積・管理し、実現象と照らし合わせて効果的な知見が蓄積されるような仕組みが必要。

→データは所有者のものであることが基本だが、情報を匿名化し、二次活用者も含めて限定的に閲覧できるような共通基盤の構築も検討を要する。

▼推定結果の位置づけを明確にすること

→自ら設計・施工した建物の確認を目的とした、微小振動時の SHM 利用のニーズがある。

→一般ユーザを含めて広く SHM が普及していくには、微小振動時の評価結果が建築構造物の要求性能の中でどのように位置づけられ、建物の管理・流通段階において自らの建物の状態を説明するパラメータとして活用できるか、明確にする必要がある。

（例）固有振動数等のモーダルパラメータと使用性（サービスバリエティ）

(3) 強震時・微小振動時に抛らず共通

●小型で高精度なセンサ、高精度な推定手法、大容量のデータ管理等の技術は成熟しつつある

▼センサシステムの初期コスト・運用コスト

▼利用目的やニーズに即したサービスの項目・内容の考え方が曖昧

▼一般の利用者向けの分かりやすい情報提供

▼データベース構造の標準化、共通基盤の整備