

2023年3月31日

「第7回強震データの活用に関するシンポジウム(2022)」開催報告

振動運営委員会 強震観測小委員会 強震観測成果展開 WG
奥村組 小山 慶樹

1. はじめに

第7回強震データの活用に関するシンポジウム(2022)「強震観測における新技術と将来展望」が下記要領で行われ、会場から29名、Zoomから106名の計135名の参加があった。

- ・ 日 時：2022年12月23日(金) 13:00～17:15
- ・ 会 場：建築会館ホールおよびZoom ウェビナー
- ・ 主 催：日本建築学会構造委員会振動運営委員会強震観測小委員会

過去6回のシンポジウムでは、強震観測の普及展開を目指して、開催時点における様々な課題の分析、実況紹介、将来への提言などを通じて議を重ねてきた。第7回シンポジウムは二部構成とし、一部の司会は、三浦(広島大学)および重藤(九州大学)が担当し、二部の司会は、芝(電力中央研究所)および中村(大林組)が担当した。一部の前半では最近の被害地震における強震観測結果を含む強震観測の現状と活用例を、後半では地盤・建物強震観測における最近の話題および技術動向を紹介した。二部では、一部の紹介内容を踏まえ、それらの活用と普及展開に向けた強震観測の将来展望について討論した。また、参加者を対象にした強震観測に関するアンケートを実施した。

2. シンポジウム概要

2.1 主旨説明

強震観測小委員会主査の大野(東北大学)から、日本建築学会における強震観測関連委員会の変遷、および、建築構造物や地盤上の強震観測の実施、観測データの収集・利活用などの活動内容を説明した。主な取組みとして、強震観測を実施している建物の台帳(強震観測建物台帳)の作成や強震観測の手引きを作成してWeb公開していることを紹介し、過去6回のシンポジウム資料についてもWeb公開していることを紹介した。

強震観測は、今まで入力地震動評価や被害建物での観測結果を基準類に反映させるなど、主に事前対策に用いられてきたが、最近では早期の地震警報や揺れの把握、建物の機能維持など災害時対応への貢献が求められ、強震観測の役割がより重要となってきた。これを受け、第7回のシンポジウムでは、前半4題で強震観測の現状、後半3題で新たな要求に応えるための新技術や枠組みについて紹介し、強震観測の今後の普及推進に向けた方策、および将来展望について討論を行い、活発な意見交換と議論の場としたい旨の説明があった。

2.2 近年の被害地震と強震記録

鹿嶋（建築研究所）から、前回のシンポジウム(2018年12月)以降に発生した被害地震を紹介し、最大震度6強が観測された山形県沖の地震（2019年6月18日）、福島県沖の地震（2021年2月13日）、福島県沖の地震（2022年3月16日）に関する震度分布や被害状況などの概説があった（下表参照）。また、首都圏でライフライン関係の被害が大きかった千葉県北西部の地震(2021年10月7日)についても主な記録を紹介した。

	地盤系	建物系※1)
山形県沖の地震 (2019.6.18, M6.7,PGA 1185cm/s ²)	地殻内で発生、地表面断層は発見されず 卓越周期は0.5秒よりも短周期側 短周期卓越型の地震動	鶴岡合同庁舎
福島県沖の地震 (2021.2.13, M7.3,PGA 1426cm/s ²)	卓越周期は1.0秒未満 最大加速度／最大速度比が大 短周期卓越型の地震動	仙台第2合同庁舎
福島県沖の地震 (2022.3.16, M7.4,PGA 1079cm/s ²)	震度6を観測した点が10点（2021年の倍） 2021年よりも長周期側に卓越周期が移動 最大加速度／最大速度比が大 短周期卓越型の地震動	仙台第2合同庁舎
千葉県北西部の地震 (2021.10.17,M5.9)	首都圏の交通機関停止、EVの閉じ込め、製 油所の火災など、ライフライン関係の被害が 多かった	東京海洋大学 三郷市庁舎

※1）建築研究所から地震速報を発行

次に、6階建て鉄骨造建物(宮古市)の固有振動数と減衰定数の経時変化、および気温が与える影響を説明し、強震計や記憶媒体、インターネット環境の進歩により、常時微動記録の分析が容易となった事例を紹介した。

最後に、2011年東北地方太平洋沖地震以降の東北地方を中心に地震活動が活発になり、地震後10年を超えてもマグニチュード7を超える余震が生じており、日本全国でマグニチュード6弱から7弱の地震が発生し、多くの知見が得られていることを述べた。今後については、構造ヘルスマモニタリングの普及が進み、より多くの知見を得て広く共有できる体制の構築を期待したいとの説明があった。

2.3 建築物における強震観測の活用例

神原（清水建設）から、「強震観測建物台帳」（以下、台帳）は、建築物における強震観測の状況を把握することを目的として、日本建築学会学術講演梗概集（以下、梗概集）に掲載されている観測事例を継続的に調査していると説明があった。

これまで、台帳に関しては、第4回のシンポジウムで筑波建築研究機関研究協議会が1991年から2001年までを対象にした調査結果を報告、第5回のシンポジウムで2002年から2008年までを対象にした119棟の調査結果を報告、更に、技術報告集(2014.10)で2009年から2013年までの調査結果に地震被害調査資料などの公開資料を調査対象として加えた487棟の調査結果を報告してきた。

第7回のシンポジウムでは、上記以降から2022年までの計571棟を対象に調査し、その結果報告があった。以下に報告概要を記す。

- ・ 発表機関の割合は大学、建設会社・設計事務所、その他はそれぞれ1/3程度
- ・ 発表機関の割合を年代で見ると、2011年東北地方太平洋沖地震のように大きな地震が発生した場合、建設会社・設計事務所からの投稿が多くなる傾向があり、それ以外では大学が多くの割合を占めている。
- ・ 東京都や大阪府では、発表機関の割合は建設会社・設計事務所が高く、宮城県や愛知県では大学が高い。
- ・ 発表年代の割合は、2011年東北地方太平洋沖地震の報告が多いが、その他は同程度で推移している。
- ・ 建設地は関東が4割以上を占めている。
- ・ 階数は地上10階以下が概ね7割を占めているが、2016年以降は20階以上の高層建物が多くなってきている。また、東京都および大阪府では10階以上の割合が大きく、宮城県では低層の建物が多く報告されていた。
- ・ 構造種別は、RC造+S造+SRC造で概ね8割以上を占めており、最近ではRC造に比べS造の割合が増加している。
- ・ 建物の種類としては、免震構造が約2割、制震構造が約1割、残りが耐震構造である。免震構造は1995年兵庫県南部地震以降に増加、制震建物は2000年頃から増加するが、2010年以降は増加割合が減少している。
- ・ 用途は事務所・庁舎、学校、原子力・発電所の順に多く、原子力・発電所は、2007年新潟県中越沖地震や2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録が殆どである。

また、調査を開始してから30年以上が経過しているので、強震観測の継続状況についてアンケートを実施した。調査対象は2019年度までの532棟とし、その内317棟について回答が得られた。回答が得られた内、約3/4では継続して強震観測を行っており、観測を終了した約1/4では、「観測目的達成・契約終了」、「装置を維持できない」などの理由が挙げられ、それぞれ約1/3を占めた。終了までの観測年数は半数以上が11年以上であったが、5年以下が約1/3であった。また、竣工直後からではなく、耐震改修を契機として観測を開

始した建物も多かった。観測装置の所有者は、建物所有者、大学・研究機関、設計・施工会社が 9 割近くを占め、観測装置の管理も同様の傾向を示した。点検は定期的を実施しているものは半数程度であり、修理・交換、若しくは更新したものはセンサよりも収録装置の方が多かった。センサは加速度計が多く、その内約 8 割がサーボ型、約 2 割が MEMS 型であった。2011 年東北地方太平洋沖地震を観測したものは約 2/3 であった。基礎部での最大震度は約 6 割が震度 5 弱以上であった。最大震度は、半数近くが 2011 年東北地方太平洋沖地震で観測され、その他、1995 年兵庫県南部地震、2018 年大阪府北部の地震、2007 年新潟県中越沖地震などで観測されていた。観測データは、「振動特性・応答評価」、「設計モデルの検証」が活用方法として大多数であるが、「被害把握・調査」、「震度情報の発信」、「振動台実験」など幅広い目的で活用されていることが報告された。

会場内から、以下 2 点の質問が挙げられた。

①「階数で集計を算定しているが、概ね 60m 以上になるので 21 階以上で分類したのか。」

②「BCP を重要視するなど用途によって、強震観測を行う傾向はあるか。」

①に対しては、「21 階以上になると棟数が少なくなるので、21 階以上はまとめて集計した。」と回答し、②に対しては、「梗概集では詳細に記載されていない事例が多く、事務所の用途の報告が多かったということまでしか分からない。」と回答した。

2.4 共同住宅における強震観測の活用例

田沼（UR 都市機構）から、UR 都市機構で行っている共同住宅を対象に、強震観測の活用事例について紹介された。UR 都市機構では、主に超高層を中心に強震観測を行っており、その棟数は関東で 23 棟、関西で 6 棟、中部で 2 棟である。観測期間は 20 年以上が 17 棟あり、比較的長期に観測されているなどの紹介があり、以下①から⑥について説明があった。

① 振動特性の把握

1999 年に竣工した地上 30 階 RC 造(埼玉県)の固有振動数と減衰定数の経時変化を示し、2005 年千葉県北西部の地震、2011 年東北地方太平洋沖地震を契機に一次固有振動数が小さくなり、ばらつきはあるが減衰定数が増加していることが分かった。

② シミュレーション解析による解析モデル検証・応答評価

1988 年に竣工した地上 30 階 RC 造(東京都)における 2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震(以下、3.11 本震)と 2011 年 4 月の福島県浜通りの地震(以下、4.11 余震)における加速度応答波形および加速度応答スペクトルの観測値と解析値の比較を示し、4.11 余震は 3.11 本震を含む連続解析を行った方が観測値を精度よく再現できることを示し、他の建物でも同様の結果が得られていることを述べた。また、杭基礎建物において、地表面や建物内のみならず、杭先端部まで強震観測を行っている場合は、地盤・杭・建物の一体モデルによる動的相互作用を考慮した解析ができ、目視では確認が困難な杭の健全性評価を行うことができることを述べた。

③ 被害把握・調査

1995年兵庫県南部地震で震度7相当とされた地域に建設された地上25階SRC造(兵庫県,1977年竣工)の建物において、観測記録から解析を行い、被害状況の再現を実施した。実被害では、住戸と中廊下間の小梁・RC非構造壁に被害が集中していた。解析結果では、実被害より小梁のせん断破壊がやや多く表れているが、被害状況を概ね再現していることを紹介した。その他として、3.11本震の関東地方における仕上げ材・非構造部材の被害事例を挙げ、解析結果による最大層間変形角との関係を分析した事例を紹介した。

④ 免震・制振効果検証

1999年に竣工した40階建てCFT構造の制震建物(大阪府)に強震計を設け、一部のダンパーに変位計、歪ゲージ、熱電対を取り付け、ダンパーの変位や荷重を計測でき、温度依存性も考慮可能なように強震観測を実施している。2004年9月5日の東海道沖地震(M7.4)や2011年3月の東北地方太平洋沖地震の観測記録から、解析モデルの妥当性を示し、ダンパーの有無による応答低減効果やダンパーの温度依存性が建物応答に与える影響について検証した事例を紹介した。

⑤ 振動台実験

東北地方太平洋沖地震や兵庫県南部地震の観測記録を三次元振動台で再現し、被災者の行動難度と床応答最大加速度の相関性に関する検証事例を紹介した。

⑥ 地盤-建物の動的相互作用効果の評価

1973年に竣工した5階建て壁式構造のRC建物(千葉県)について、東北地方太平洋沖地震の本震、およびその前後における震度2(平均)の観測記録を考察した事例を紹介した。5F/GL、5F/1F、1F/GLのフーリエスペクトル比の比較、および地盤と建物を連成した2次元FEM解析モデルから、周辺地盤の液状化により地盤のせん断剛性が1~2割程度へ低下していたことや上部構造が概ね弾性領域内であったこと、液状化によって剛性低下した地盤のせん断剛性が本震前と同程度まで回復していた事例を紹介した。

会場内から、①振動特性の把握で紹介した事例に対して、2点の質問が挙げられた。1点目は「地震が固有振動数に与える影響がX方向とY方向で異なる原因について」、2点目は「最大相対変位と1次固有振動数の傾向が東北地方太平洋沖地震前後で異なる原因について」質問が挙げられ、「Y方向で観測された最大加速度の方がX方向より大きい傾向があり、建物形状や地盤特性が影響していると考えられる」と回答した。また、「入力を東北地方太平洋沖地震時に観測された地震動としてシミュレーション解析すると、剛性低下して回復しない損傷が生じており、推測ではあるがその影響が考えられる」と回答した。

2.5 構造ヘルスマニタリングシステムと地震時対応

小笠原（小堀鐸二研究所）から、小堀鐸二研究所で開発した構造ヘルスマニタリングシステム（以下、SHM）の概要および導入実績を紹介し、これまでの被害地震の事例に関する説明があった。

大地震後の建物安全性を推定する手段として、SHM が注目されている。開発した SHM は、センサ、HUB、PC、モニタ、UPS から構成され、常時監視する遠隔保守が可能で、かつ単独で機能するシステムとなっている。建物の安全度判定は、層間変形角を指標として安全、要注意、危険の3段階で行い、天井などの非構造部材に対しては、最大加速度を指標として安全、要点検の2段階で判定している。地震直後数分で判定結果がモニタに表示され、インターネットを介して外部からも閲覧することが可能であり、地震後の迅速な対応が可能となる。2015年から本システムを実建物に設置し、500棟以上（関東で約200棟、関西で約100棟）に導入した。用途の割合は、事務所が約8割と多く、テナント向けのサービスとしてビル所有者にメリットがあると考えている。また、70棟程度の超高層建物に対して導入実績があり、低層から超高層まで幅広く設置されている。その構造種別の割合は、SRC造が約50%、RC造が約15%、S造が約35%である。既存建物にも設置が可能のため、約50%が旧耐震建物である。

2015年のシステム運用開始から、1250イベントを超える地震を観測した。ここでは、2018年6月の大阪府北部の地震、2018年9月の北海道胆振東部地震、2021年2月と2022年3月の福島県沖の地震の建物観測と被害状況、地震時対応について紹介があった。

2018年6月の大阪府北部の地震では、大阪を中心に127棟で地震を観測し、最大震度5強を計測した。「要注意」判定の建物は1棟のみであったが、構造躯体に問題となるような損傷は確認できなかった。しかし、間仕切壁や天井などの非構造部材の被害が発生し、間仕切壁は最大変形角1/1000程度から、天井は最大加速度1.5m/s²程度から軽微な被害が生じる傾向が確認され、本システムの有用性が実証できた。

2018年9月の北海道胆振東部地震では、北海道から東北地方を含む全25棟で地震を観測し、最大震度5弱を計測した。地震終了後、北海道で停電が生じていたが、UPSが機能して判定結果を含む観測記録はクラウドサーバーにアップロードされており、本システムに問題は生じなかった。ただし、長時間停電が生じる場合は、UPSのみでは不十分であるため、非常用発電の電源接続を推奨するようになった。

2021年2月の福島県沖の地震では、北海道から関西地方までの全328棟で地震を観測し、最大震度6弱を計測した。2022年3月の福島県沖の地震では、北海道から関西地方までの全384棟で地震を観測し、最大震度6弱を計測した。同じ震度だが、2021年の地震では「要注意」が1棟あったのに対し2022年の地震では4棟あり、2022年の地震は2021年よりも「要注意」の棟数が多かった。また、仙台市内の建物を対象に非構造部材の被害を調査したが、同様に2021年より2022年の方が大きな被害が生じていた。建物所有者などに対して、観測記録から建物応答の違いを示し被害原因を説明し、今後の地震対策を行う上で

有用である。

今後は、被害事例と安全度判定値を検証して判定精度の向上を行うことが重要である。また、構造躯体はもとより、外壁や内壁、天井などの非構造部材や照明、配管などの設備の被害推定の精度を向上させるために、実被害データと観測記録との関係を検証することが重要である。さらに、他システムとの連携やシステム未設置建物の被災度推定、地域ごとの建物被災度推定など、地域防災に役立つことが SHM に期待されているとの紹介があった。

会場内から、「観測記録が多く蓄積されているので、AI、例えば機械的学習・進化機能などを用いて、次世代システムとして地震時や起きる前の対策に役立てられないか。」との意見が挙げられた。また、「累積損傷が考慮された建物安全度判定となっているのか。」との質問が挙げられ、「基本的には、その時々での層間変形角で判定している。ただし、オプションとして、S 造については累積損傷も含めて安全度判定を行うことが可能となっている」との回答をした。

2.6 地盤強震観測における近年の話題

赤澤（地域地盤環境研究所）から、地盤を対象とした強震観測の歴史が紹介され、最近の地盤強震観測として、①海底地震津波観測網、②震度情報ネットワークシステムの機能強化、③強震動統一データベース（試作版）の構築についての紹介があった。また、最近の技術動向として、④DAS、High Rate GNSS、⑤ISDN 回線終了に対する取組みについての紹介があった。最後に、陸海域に整備した強震観測網を維持し、今後の観測記録を確実に捉えて後世に残すことが重要であると述べた。以下に、各紹介の概要をまとめる。

① 海底地震津波観測網

海底地震津波観測網は、2010 年以降、海域で発生する地震や津波を常時観測監視することを目的に、南海トラフを対象とした DONET と東北地方太平洋沖を対象とした S-net として整備された。DONET は、過去の南海トラフ地震の破壊開始域である熊野灘と紀伊水道沖に海底地震観測網を国立研究開発法人海洋研究開発機構が開発、設置したものである。2010 年から観測点が構築され、2016 年までに全 51 観測点の構築を終え、防災科研に移管、運用されている。S-net は、東北地方太平洋沖を対象に 2016 年より 125 観測点で運用を開始し、2017 年より全 150 観測点で運用が開始されている。両観測網ともに、各観測点に地震計と水圧計が設置され、観測データはリアルタイムで気象庁に伝送され、緊急地震速報や津波警報・注意報の発表などに利用されている。

防災科研では、全国の陸域に整備した K-NET、KiK-net、F-net、V-net と海域に整備した DONET、S-net を 2019 年 11 月から MOWLAS（モウラス）として総合運用を開始しており、観測網が設置されていない高知県沖から日向灘に N-net（南海トラフ海底地震津波観測網）の開発・整備を行っている。

② 震度情報ネットワークシステムの機能強化

震度情報ネットワークシステムは、全市町村において最低 1 箇所計測震度を観測し、そ

の情報を各都道府県で集約し地震時の初動応急体制の確立を図り、さらに消防庁に震度情報を集約することで広域対応体制の確立を図ることを目的に、1995年度第二次補正予算による消防庁の補助金を利用して、1995年度から1996年度にかけて地方公共団体が整備した。すでに震度計や強震計が設置されていた場合は、それらの観測情報が取得できるように対策を施した。その後、次世代の震度計と震度情報ネットワークに求められる機能、震度計の適正な配置、データの有効活用などについて検討を重ね、2009年度から概ね2010年度にかけて機器が更新された。それからさらに10年以上が経過したため、現在は、安定的かつきめ細やかな震度観測、観測データの確実な伝送、波形データの保存容量の拡充・伝送の自動化、断線時の副回線への切り替え機能の追加、ネットワークの光回線化による伝送データの大容量化などを行い、ネットワーク全体の機能を強化し、令和5年度の運用開始を目指している。

③ 強震動統一データベース（試作版）の構築

強震動予測手法の開発・高度化とそれらの検証には、強震動の生記録だけではなく、様々な地震動強さ指標値、ならびにそれらが震源および観測点の地盤等に関する情報と紐づけられた強震動データベースが必要である。しかし、日本では、個々の研究グループが独自のデータベースを構築してきたため、同一地震による同一観測点の記録であってもデータベース間で値が一致しない、という課題を抱えている。米国や欧米では、すでに統一データベースが構築され、公開されている。日本では、防災科研が国内を対象とした強震動統一データベースが試作されており、今後随時更新される予定である。

④ DAS と High Rate GNSS

分散型音響計測（以下、DAS）は、光ファイバーケーブル全体を多数のセンサーとして利用し、温度、ひずみ、圧力、振動などの物理量を計測する手法であり、2010年頃から、地盤の地震計測へ適用が進められている。従来の広帯域地震計とDASの計測記録から算定した加速度波形を比較し、DASの妥当性を示した事例がある。

全球測位衛星システム（以下、GNSS）は、受信機の進歩に伴い、2000年初頭から10Hz以上の高速サンプリングのデータ取得が可能となった。2002年アラスカのデナリ地震時や2015年ネパールのゴルカ地震のGNSS記録を強震記録と比較した事例がある。また、2016年熊本地震では、強震記録とGNSS記録を結合して、広帯域強震観測波形の合成を試みた事例がある。

⑤ ISDN 回線終了に対する取組み

NTTのISDN回線は、電話線を利用したデジタル回線であり、専用回線よりも安価であることから、1990年代以降に整備された強震観測網で広く利用されてきた。しかし、ISDNに使用している設備の老朽化により、既存設備をIP網へ切り替える作業が進められており、2024年1月でそのサービス提供を終了する。この問題に対する取り組みとして、防災科研の強震観測網や震度情報ネットワークシステム、関震協などでは、光回線やモバイル回線への切り替えを進めている。

2.7 建物強震観測における近年の話題

小阪（戸田建設）から、ローコスト MEMS 加速度センサの進展や応用例、変位を直接観測する強震観測システムについての紹介や、公的機関の強震観測データの公開に対する取り組みについて紹介があった。

強震観測小委員会としては、これまでのシンポジウム等で建物強震観測における課題は設置台数の不足と都市部への偏り、データ公開が不十分である点を指摘してきたが、前回のシンポジウム参加者を対象としたアンケートからも同様の回答が得られたことが説明された。また、前回のシンポジウムの報告内容のおさらいとして、設置台数の不足に関しては、強震観測の導入および維持管理にかかるコスト減が強震観測の普及に大きく貢献すると考えられることから、ローコスト MEMS 加速度センサに着目し、サーボ型加速度センサよりも自己ノイズレベルが大きいことや自己ノイズのレベルは帯域によらず概ね一定であるなどの特性を示した。今回のシンポジウムでは、設置台数の不足の解消に寄与すると考えられる建物強震観測に関する前回のシンポジウム以降の技術動向の紹介と、データ公開に関する話題として、公的機関による統一データベース策定の取り組み例の紹介をした。

前回のシンポジウム以降、ローコスト MEMS 加速度センサの性能に関する技術的な進展はあまり見受けられないが、ローコスト MEMS 加速度センサは SHM に供される場合が多いことから、システム構成としてセンサチップにボードコンピュータを組み合わせた事例が多く、その処理性能やネットワーク接続を生かした事例に進展が見られた。

一例として、木造 6 階建屋を対象に、温湿度センサとローコスト MEMS 加速度センサによる連続観測を組み合わせた事例を紹介した。24 時間分の観測記録をフーリエ変換した常時微動観測記録から、建屋 1 階の測定点では、常時微動の振幅レベルが全ての帯域で自己ノイズに埋もれてしまうが、建屋 6 階の測定点では、建屋の 1 次モード周辺の帯域で建屋の振動特性を反映していると考えられる信号が自己ノイズレベルを上回る事を確認し、一次固有周波数の同定などの建物振動特性把握に利用できる可能性が示された。また、原位置でローコスト MEMS 加速度計と同期を取りながら計測された温湿度計による温度及び相対湿度のデータを用いた回帰によって、建屋の一次固有周波数が温湿度依存性がある事を示し、ローコスト MEMS 加速度センサと他のデジタルセンサや連続観測の組合せは、比較的システムの構築が容易である点、トリガ観測では不明な指標の取得や、弱震動記録を取り逃さない点等の有用性がある事を示した。

次に、配線工事や電源確保といった強震観測システムの設置に関する課題の解決策の一例として、ローコスト MEMS 加速度センサにワイヤレスの通信・給電方式を組み合わせたシステム例を紹介し、蓄電池が用いられる場合などを紹介した。蓄電池は定期的に現地でバッテリー交換が必要となるため、低消費電力である MEMS センサが採用される傾向にあり、低消費電力の通信方式である LPWA を組合せたシステムも用いられるようになってきた。LPWA は低消費電力、低コストで RC 壁や床などの遮蔽物に対する透過性能が高いなどの特徴がある。しかし、データ転送容量が少ない点や、データ転送速度が低速である点などから、

連続観測には不向きな傾向にあり、筐体内の基盤で FFT 処理を実施して転送容量を小さくしたり、ローカルストレージ内に時刻歴観測記録を保存し、必要なデータのみを転送する場合などが多いことを紹介した。また、データ通信規格に関する話題として、独自にネットワークを構築し、大容量転送が可能な「ローカル 5G」について述べ、今後の適用に期待が持てると紹介した。

また、ローコスト MEMS 加速度センサの従来の強震観測としての活用例だけではなく、傾斜計や積雪荷重を推定するための基礎データとしての利用や、階段歩行者数の推定など強震観測以外へも利用されている事例を紹介した。他の用途におけるローコスト MEMS 加速度センサの適用の進展により、副産物としての強震観測事例が増加することへの期待が示された。

耐震設計や SHM の判定には層間変形角が指標となるケースが多いが、現在主流となっている加速度を測定するシステムでは、変位を算定する際には二階積分が必要となるため、特に SN 比を確保しづらい長周期域においてノイズによる誤差が大きくなり、残留変形がある場合には積分方法に工夫が必要であるなどの問題がある。そのため、前回のシンポジウム以降、直接変位を測定するシステムに関する検討例が増加している。ここでは、画像解析を用いて時刻歴変位計測を行う試みやジャイロセンサを用いたシステム、GNSS を用いたシステム例を紹介した。

データ公開に関する話題として、建築研究所および国土技術政策総合研究所による官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)の取り組みについて紹介した。PRISM において、応急危険度判定結果(SHM データ)と観測データ(OBS データ)を収集するサーバーの検証が実施されており、パブリックなデータベースの構築を行っている。OBS データの構築については未だ実証段階であり、公開の対象も「限定された研究機関等の技術者」という事から完全にオープンになるものではないが、公的機関によるフォーマットの統一された統一データベース構築の試みという事で、今後の展開に注視が必要である。

最後に、センサ類などの技術や精度革新が進むことで様々な目的に応じて必要な性能を担保した観測システムを選択できる土壌が形成されることが期待されると述べた。

2.8 強震観測及びデータ利用における将来展望

仲野(安藤ハザマ)から、強震観測とデータ利用の現状、課題について説明があり、データ利用の普及・推進に向けた方策や展望について紹介があった。

前回のシンポジウム参加者を対象に行ったアンケート結果から、地盤強震観測はある程度整備が進んでいるが、建物強震観測は整備が不十分と認識されていることが分かった。

建物強震観測の普及が期待できる最近のトピックとして、まず日本建築防災協会のように公的機関が SHM システムの技術評価を行うようになったことが挙げられ、いわゆるお墨付きが与えられることにより、SHM システムの普及が期待できる。一方で、その観測データ管理方法が問題となる。応急危険度判定支援への推定結果と強震観測で得られた生デー

タを集約したものを分けて管理することは重要である。一方で、強震観測の有効利用を目指す立場からすると、どのデータに誰がアクセスできるのか、建物情報をどこまで開示できるのかなど、K-NETのようなデータ公開の仕組みの設計を十分に議論しながら進める必要がある。また、建物側の強震観測データ公開の仕組みが整えば、強震観測データを地盤系観測データに紐づけて活用されることがより一層促進されると期待できる。次に、保険の活用が挙げられる。保険の活用については、建設地での地盤・建物での強震観測に基づいて適切に地震リスクを評価する技術が確立されれば、適切な保険商品の設計と紐づけることも可能になるので、SHMとして強震観測の導入が進む可能性がある。また、広域に影響を与える南海トラフ地震のような大規模災害時には、保険会社による被害状況の調査や保険料の確認作業が膨大になるため、保険金の支払い遅延による災害復興の遅れに繋がる恐れがある。そこで、SHMとして強震観測を活用することで災害時の復興支援に繋げることが保険業界からも期待されていることを紹介した。また、緊急地震速報の導入に対する地震防災対策に関わる税制優遇制度が内閣府主導で制度化されていることが紹介され、それと同様の仕組みで強震観測（SHM）に対しても税制上の優遇が図られれば、強震観測の普及に繋がるものと期待できる。

海外でのSHMの動向として、一定規模以上の建築物を対象に強震観測の義務化が米国カリフォルニア州で行われている事例の他、カナダやトルコ、フィリピン、オーストラリア、中国、ニュージーランドなど、多くの国で強震観測（主にSHM）に関する取組み事例が紹介された。トルコやフィリピン等では、公的機関が主導して、SHMを導入する建物の条件や計測機器の仕様を明確に規定していることが紹介された。

強震観測においては、モニタリング用途としてのメリットを最大限に活かすことで(共存させることで)、普及の活路が開くと考えられる。法的な制度や海外事例にあるように公的な規準が整備されることで、観測の質を維持しつつ広く普及していく可能性がある。また、特定敷地や建物内での強震観測データが、保険や税制上の優遇措置等と直接的にリンクするようになれば、それらによって更なる普及に繋がると期待される。

最後に、強震観測は数年～数十年等の長期的な観測を前提としていること、その維持には機器交換費用だけではなく人の確保も重要であることを、専門家以外の関係者にもよく理解してもらう必要があることが述べられた。

2.9 討論

司会は芝（電力中央研究所）および、中村（大林組）で行われた。司会の芝より、①強震観測に関わる現状とその課題について、②最新動向に基づいた課題解決の方向性と可能性について、③将来展望についての順に討論を進行する旨の案内があった。

- 芝： 地盤強震観測は建物強震観測に比べ進んでいる印象があるが、必ずしも十分ではないとのアンケート結果がある。新しい強震観測網の報告があったが、今以上に観測点数を一律に増加させるやり方にはコストの面などで限界があると考えられる。今後の地盤強震観測の拡充はどのように進めていくべきか。
- 赤澤： 前回シンポジウムのアンケート結果にある利用目的のうち、地盤強震観測に関するものは震源メカニズム推定、震源インバージョン、地盤構造同定である。地盤構造同定では、強震観測記録からではなく、多地点による微動観測を緻密に行うことで地盤構造を推定し、被害が大きいと分かっている箇所に集中的に観測点を設ける、震源メカニズム推定では、活断層周辺に特化して観測点を設ける、などがある。費用の面から、ローコスト MEMS 加速度計の適用も視野に入れ、検討を進める。
- 高井： 大学の研究者の立場から言うと、震源域には高密度に観測点を設けることによって 2000 年に起きた鳥取西部地震のメカニズムが得られた事例や被害事例の解明などがあるので、均一配置ではなく現象を理解するために観測点を設ける必要がある。
- 芝： 建物強震観測を行っていく上で、参考として地盤強震観測を用いるが、現状で有効活用できているのか。できていないならば、どのような条件が必要か。
- 鹿嶋： 建物強震観測には、地盤強震観測が重要で利用している。MeSO-net(首都圏地震観測網)は高密度に観測点があるが、どのように利用しているのか。
- 小阪： 局所的な被害が生じた場合や、自治体震度計とオンサイトで計測された値が違う等で顧客から問い合わせがあった場合に、近傍に MeSO-net 観測点が存在する場合は参照することがある。
- 植竹： MeSO-net は約 20m の縦孔の底に設置されているので、埋設地点の地盤状況などを踏まえて利用する必要がある。
- 中村： 強震観測建物台帳（以下、台帳）を作成・調査して様々な知見が得られたと思うが、建物強震観測の展開を阻害する要因は何があるのか。
- 神原： 費用や設備更新を含む維持管理が要因として挙げられる。
- 中村： その要因を解決するようなヒントはあるか。
- 神原： 台帳を作成するにあたり、費用や維持管理に関して論じたものがないので難しいが、SHM の導入が居住者にとってメリットがあると感じ、管理組合

が所有・管理している事例があった。

中村：建物強震観測の目的のひとつに設計検証があるが、その目的を果たしているか。

田沼：観測されたものに対する設計検証は十分にできていると考えている。ただし、構造部材が降伏するような大地震レベルの強震観測事例が少ない。また、杭が損傷したときの上部構造の応答に与える影響についての検証などが不十分だと考えている。

中村：地盤－建物の相互作用の検証で不足していることはないか。

田沼：建物ごとの個別解は検証できているが、一般解を導くまではまだ出ていないと思われる。

飛田：田沼氏と同意見である。赤澤氏が述べたように後世に観測記録を残していくことが重要で、今後、建物情報を含む様々な観測条件の記録を一元化して、一般解を導くための個々の纏め方が重要になると思う。

中村：強震観測を通じて、建築基準法などが改定されてきた経緯がある。それらに携わってこられた北川先生が会場におられるが、今後の強震観測の在り方はどのようにあるべきかご意見をお聞かせ願いたい。

北川：東北大学で 1040cm/s^2 が観測され、新耐震においてベースシア係数が 1.0 に変更されたことなどに強震観測は役立ってきた。
これからは、建物の資産価値を高めるための強震観測の在り方を考えていけばよいと思う。

中村：大きな地震や経年などによる影響で建物の振動特性が変化し、設計した当時の構造モデルとは異なる特性になっている。現状の建物の耐震性能を再評価して、どう対処していくのかが重要となる。
(広島大学)

中村：SHM が今後の建物強震観測の課題を解決するキーワードの一つになってくると思われる。建物強震観測という観点から SHM の普及はどのようなメリットがあると考えているか。

小笠原：SHM を導入する顧客は長期に観測を続けており、建物の耐震性能を長期的に把握することに貢献できると考えている。

中村：SHM は広島大学の中村先生からご指摘の懸念事項の解決にも繋がる。SHM の普及が進んでいるが、台帳作成から得られた知見から維持管理が難しいなどの課題がある。SHM を適用するときにも問題となっているのか。

小笠原：SHM を導入するとき、保守費用も含んで販売している。建物のライフサイクルコストを鑑みて、保守費用も考慮した SHM の導入の可否を検討しているので、導入した際には途中で止めることが少なくなると考えている。

中村：顧客にとって役立つことを示し続けることが重要ということが分かりました。

会場に、モニタリング小委員会の前主査佐藤様がおられるので、SHM や強震観測についてご意見をお聞かせ願いたい。

佐藤： SHM という観点で、建物固有振動数が変わった原因が、上部構造の剛性変化のみなのか、それとも地盤状況も含めた影響なのかを明らかにしていくことが課題の一つだと考えている。二つ目は、什器も含めた建物被害について考える必要がある。次年度に建物健全性モニタリング小委員会が行うシンポジウムでは、その点について議論したいと考えている。

芝： SHM は地震直後の被災度判定に利用されているが、固有周期や減衰定数などの振動特性の恒常的な変動もモニタリングすることが可能か。

小笠原： 開発した SHM に用いたセンサはコストに配慮して、常時微動を対象としていないので、恒常的な変動についてはセンサを変更する必要がある。

芝： 将来的に、恒常的な変動のモニタリングに着手することは考えられるか。

小笠原： まずは、地震時の被災度判定を含めて固有周期や減衰定数が算定できるものを提案した。恒常的な変動を評価できることが理想である。

芝： 強震観測の現状と課題について議論を進めてきた。これからは、最新動向に着目して議論を進めていきたい。まずは、地盤系強震観測に関する最新動向について議論を進める。

陸域における強震観測は MeSO-net などが例にあるように密度が高くなってきている。一方で、海域では S-net や DONET が進められ、東北地震や南海トラフの地震など、今後の海溝型巨大地震に対して有用なツールになりうると考えている。しかし、陸域の強震計に比べ、海域の強震計は設置状況や回転などの問題があるとの指摘がある。今後、海域に広がっている強震観測網は研究面や地震防災、建物防災などに対してどのように活用されていくべきか。

赤澤： 例えば、気象庁が 2 年ほど前から S-net を活用して地震速報の精度などが向上したとの報告がある一方で、陸域と違う地盤特性のため、推定されたマグニチュードが小さく評価される傾向があることも指摘されている。これは、地盤増幅や地震計の回転などが影響していると考えられ、課題の一つである。気象庁の研究グループにより、上下動成分のデータは地盤増幅や回転の影響が小さいとの知見も得られている。今後は、上下動に着目して精度を向上させるなどの方法が考えられる。

芝： 新しい観測ツールである DAS や GNSS は既存の強震計に比べ、どのような点がメリットとして挙げられるか。

高井： DAS に関しては、1 次元の観測であり 3 次元で計測することも可能であるが、コスト高となる。ただし、GNSS は高速サンプリングが実現できれば、変位量は微分のみなので、従来の加速度データよりもメリットがあり、加

速度計を上回るものとなりうると考えている。

芝： 設置も容易にできるということで宜しいか。

小阪： 2点間の相対変位を取得したい場合に、衛星さえ補足できていれば、2点の間に遮蔽物があっても使用可能である点などから、従来型の変位計測システムと比べて比較的設置は容易であると考えられる。現状、高速サンプリング対応のシステムはアンテナサイズも大きなものとなり、取り付けには工事が必要であるが、低レートのものであれば極小型で両面テープ等で設置可能な物も登場している。

芝： DASは断層沿いをモニタリング用に配置した例はないのか。

高井： すでに実例がある。特に、火山地帯に分布する断層で行われている。

DAS用の光ケーブルもあるが、一般的な光ケーブルである程度の精度を出すことが可能なので、土木構造物の周辺などへの利用増加が見込まれる。

中村： 通信系ではローカル5Gなどの最新動向の紹介があったが、建築系の測定・観測に関する注目すべき新しい技術はあるか。

小阪： いろいろ開発されてはいるものの、今回紹介した技術も含めて、現状では大きな地震は従来型のシステムと同等に計測が可能であるものの、中小地震時等のSN比が低い記録ではノイズ等が載ることによる誤差が大きくなるものが多いという印象がある。これらは、適用例の増加によって精度・コスト共に改善していくと考えられる。PRISMやSIPなどの大きなプロジェクトで基礎研究や強震観測・SHMへの適用可否の検討が実施されている技術が多数あるため、それらの報告や成果については注視しておく必要がある。

中村： AIを用いた最新技術の動向についてはどうか。

小阪： 風応答や環境振動などの振動制御の分野でAIを用いている事例がある。地震動を対象とした場合は、被害地震時のデータが不足していることにより、外挿になってしまう点や、大臣認定の取得等のハードルが高い点などから、あまり適用例は見られない。

中村： 日本建築防災協会が行っている建物健全性評価に関するモニタリングシステムの技術評価のようにSHMを用いた技術が注目されている。SHMの評価が進む中で強震観測に与える影響はあるか。

仲野： SHM目的であっても、強震観測と機器は同じである。観測されたデータを蓄積して基準類に反映する活用も可能なので、強震観測にとってメリットがあると思われる。

中村： SHMの保険への活用は、強震観測にとってどのようなメリットがあると想定されるか。

仲野： 現状は、地震が起きた時の気象庁震度階に対応して保険金が支払われる。

強震観測の普及が進み、個別の建物に対応した納得性が高い保険金が支払われるシステムが構築されれば、保険業界のみならず強震観測の観点からも活用の幅が広がるのでメリットがある。

中村： PRISM は SHM ベースで展開されているが、一方で、強震観測の課題の一つに観測データの共有が挙げられている。データ共有の観点から、PRISM に課題はないか。

仲野： 公表されている資料を見る限り、応急危険度判定データを蓄積することに主眼を置いている。今後は K-NET や KiK-net のようにデータを一般公開する枠組みに取り組む必要があると思うが、データの維持管理やどこまでの情報を付与して公開できるのかが課題になると考えられる。

中村： SHM や建物強震観測について、海外では法律や基準があるが、日本では整備されていない。一方で、SHM については日本では数百棟に導入した実績があり、海外よりも日本の方が棟数が多いと思われる。

日本と海外のこの差は何が原因で生じているのか。

大野： 海外は法律や基準類で定めているが法改正が多い印象がある。一方、日本は大きな被害が出ないと法改正しないので、そのような文化の違いが影響していると思われる。日本では強震観測を義務付けることは難しいと考えられるので、PRISM は SHM を官庁営繕のようにレコメンデーションしているが、効果があり現実的と思われる。日本建築学会の委員会活動としては、データ公開に繋がるようにレコメンデーションする方法がよいのではないかと考えている。

中村： 小委主査の大野先生に、今後の強震観測小委員会の方向性をお示しいただきたい。

大野： 今回のシンポジウムは「新技術と将来展望」とした。強震観測小委員会としては、今後の新技術動向に注意し、検証して水平展開していきたい。

中村： 来年度から主査を担当する三浦先生からも、今後の活動方針をお願いしたい。

三浦： 今回のシンポジウムを通して、今後の活動方針を考えている。例えば、建築系の強震観測を普及させるために保険業界など外との繋がりについて考える、技術革新するハードウェアの利用方法、蓄積された既存データを用いてデータがない地域への活用方法など検討を進めていきたい。