

将来の大地震に備えて

＜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

強震観測小委員会および傘下の強震観測成果普及展開ワーキンググループでは、過去5回の「強震データの活用に関するシンポジウム」を開催してきた。これら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、実状紹介、将来への提言などを通じて議論を重ねてきた。

東日本大震災、熊本地震、さらには大阪府北部の地震など、近年頻発している被害地震を契機として、強震観測を取り巻く環境は大きく変化している。前回から10年ぶりの開催となる第6回シンポジウムにおいては、これらの地震における強震観測の成果と課題を改めて確認し、将来の大地震に際して強震観測が果たすべき役割について議論を深める機会となることを期待したい。

日 時 : 2018年12月21日(金) 13:00～17:10

会 場 : 建築会館ホール (東京都港区芝 5-26-20)

【プログラム】 *各講演の題目等は変更になる場合があります。

司会: 植竹富一 (東京電力ホールディングス)
赤澤隆士 (地域地盤環境研究所)

1. 主旨説明 13:00～13:10 : 中村 充 (大林組/小委員会主査)

2. 話題提供 13:10～16:15

2-1 強震観測の歴史と現状 : 飛田 潤 (名古屋大学)

2-2 地盤強震観測における成果と課題 : 高井伸雄 (北海道大学)

2-3 建物強震観測における成果と課題 : 大野 晋 (東北大学)

2-4 建物管理者の視点による強震観測の活用と課題 : 田沼毅彦 (都市再生機構)

2-5 建物設計者の視点による強震観測の活用と課題 : 今枝裕貴 (日建設計)

＜休憩 15:15～15:25＞

2-6 強震観測の応用としての「モニタリング」 : 杉村義文 (NTTファシリティーズ)

2-7 これからの強震観測 : 小阪宏之 (戸田建設)

3. 総合討論 16:15～17:10 司会: 三浦弘之 (広島大学)

記録: 重藤迪子 (九州大学)

定 員 : 150名 (申込み先着順)

参加費 : 会員5,000円、会員外7,000円、学生3,000円 *資料代3,000円含む

申込方法: WEB事前申込み ▶<https://www.aij.or.jp/event/detail.html?productId=615374>

問合せ : 事務局事業グループ 伏見 Tel.03-3456-2057

2019 年 3 月 31 日

「第 6 回強震データの活用に関するシンポジウム（2018）」開催報告

振動運営委員会 強震観測小委員会
九州大学 重藤 迪子

1. はじめに

第6回強震データの活用に関するシンポジウム（2018）「将来の大地震に備えて」が、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の主催で、2018年12月21日（金）13:00～17:10、建築会館ホールにおいて開催された。過去5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、実状紹介、将来への提言などを通じて議論を重ねてきた。第6回シンポジウムは、前回のシンポジウム以降頻発した被害地震における強震観測の成果と課題を改めて確認し、将来の大地震に際して強震観測が果たすべき役割について議論を深める機会として開催された。参加者は合計101名であった。話題提供の司会は植竹（東京電力ホールディングス）、赤澤（地域地盤環境研究所）が、総合討論の司会は三浦（広島大学）が担当した。主旨説明に続き、7題の話題提供の講演後、総合討論が行われた。以下に、本シンポジウムの概要について報告する。

2. 主旨説明

強震観測小委員会主査の中村（大林組）から、本シンポジウムの主旨説明があった。2018年は自然災害の多い年であったが、災害対策の基本は観測にある、と観測の重要性についてまず述べた。続いて、日本建築学会における強震観測関連委員会の変遷・役割について説明があった。本小委員会は強震観測の整備促進の為の技術や戦略の提示を行っており、その活動例として、強震観測の手引きの公開、強震観測建物台帳の整備の紹介があった。前回 2008 年の第 5 回シンポジウム以後、頻発する被害地震を契機として強震観測を取り巻く状況は変化し、特に 2011 年東北地方太平洋沖地震を契機として、強震観測記録を用いた建物被災程度推定への関心の高まりと、近年発展が著しい IT 技術を応用した新しい地震観測技術の展開が見られる、という説明があった。今回のシンポジウムでは、強震観測に関わる様々な立場の講演者に話題提供いただき、強震観測の現状と課題を確認し、今後果たすべき役割について認識を深める機会としたいとの説明がされた。

3. 話題提供

飛田（名古屋大学）から、「強震観測の歴史と現状」と題して、日本における地盤および建物強震観測の歴史と現状、小委員会のこれまでの活動について紹介があった。

まず、被害地震と耐震基準変遷の歴史について強震観測の観点から説明があり、特に地盤

強震観測では、1995 年兵庫県南部地震を契機に、耐震・防災両面で観測記録の重要性が認識され、一元化された強震観測網の急速な整備・普及とデータ公開により、震度 7 など重要な記録が得られるようになったとの説明があった。一方で、建物の強震観測は個別の機関・建物で実施され、一般的に非公開である。第 3 回シンポジウム「建物の強震観測に関する将来像」(2002) において全国観測網の提案があったものの、建築研究所などの例を除き統一的な建物観測体制は整備されていないのが現状であるとの指摘があった。ただし、2011 年東北地方太平洋沖地震では、高層、免震・制震などの建物で多数の観測記録が得られ、学会発表等で強震観測結果が公開される例が増加した。特に被災建物の損傷度評価の重要性が広く知られるようになり、建物構造ヘルスマonitoring がユーザーへの強震観測のメリットにつながる可能性があるとの指摘があった。最後に、若手の研究者・技術者にこのような経緯や観測に関する技術と知見を伝えることが重要であり、将来の大地震に備えて強震観測で何を捉えて、耐震設計へどう有効活用していくのか活発な議論が行われることを期待するとの話があった。

高井（北海道大学）から、「地盤強震観測における成果と課題」と題して、過去のシンポジウムで扱われた話題を中心に地盤強震観測に関して概観説明があり、公的機関による地盤強震観測における成果、個別機関における強震観測事例と成果についての紹介と、観測に関わる課題について説明があった。

強震観測の意義はより適切な設計用入力地震動の設定にあり、適切な強震動特性を評価するためには地盤強震観測が重要であるとの説明があった。1995 年兵庫県南部地震以降、公的機関の地震観測網が整備され、全国一律の仕様の均質な観測データが公開され、その成果として、地震波伝播の把握、地震動と建物被害との関係性、および観測記録の蓄積により地震動距離減衰式の構築・更新、地下構造モデルの定量的な評価などが可能となったとの説明があった。一方で、高震度が観測された地域における臨時余震観測など、公的機関による強震観測点の記録のみでは密度的に不足で、個別観測が必要となる場合もある。個別機関の強震観測に関しては報告事例が少ないとの指摘と、本小委員会の観測の手引きの紹介があった。機器の選定、電源の利用、設置場所、固定方法について、自身の事例を基に報告があった。さらに、トリガー・連続観測について、2000 年以前は電子記録媒体の制約上の問題からトリガー観測であったが、最近はメモリー容量の飛躍的な向上により連続観測が可能になり、また、ダイナミックレンジの問題から振り切れることもなくなり、振幅の小さい記録も観測可能となったと報告があった。今後は観測のテレメトリー化、費用面から MEMS の性能向上によってはその利用が視野に入ってくるのではないかと指摘があった。

大野（東北大学）から、「建物強震観測における成果と課題」と題して、2011 年東北地方太平洋沖地震における建物強震観測記録の分析結果、最近の被害地震での建物観測事例が紹介され、建物強震観測の意義と課題について指摘があった。

2011 年東北地方太平洋沖地震の被災建物における強震観測記録として、宮城県仙台市の東北大学旧人間環境系建物の事例が紹介された。この建物は、竣工時から耐震改修を経て、度重なる地震で損傷を受け、2011 年東北地方太平洋沖地震本震と余震で全壊して解体するまで、長期の連続観測によるモニタリングが行われていた希な例である。強震観測記録の分析およびシミュレーションにより、被災前後の振動特性の変化の把握が行われたことに加え、連続観測により被災後の応急補強前後の固有周期変化の把握が可能となったと説明があった。また、遠距離の超高層建物での観測強震記録の例として、大阪府咲洲庁舎における長周期地震動の観測例が紹介され、この記録により構造ヘルスマニタリングの重要性が改めて認識されたとの指摘があった。超高層建物、中低層建物、免震・制振建物などでの強震観測の既往研究例について紹介があった。さらに、最近の被害地震として、2016 年熊本地震、2018 年大阪府北部の地震の建物強震観測状況について紹介があった。2016 年熊本地震では免震建物で強震記録が得られておらず、地方では都市部に比べて建物強震観測密度が小さくなるとの指摘があった。

建物強震観測の意義は、建物の地震時挙動の解明と免制震装置効果の確認、将来の地震動挙動を予測するための建物モデルの更新にあり、そのためには長期観測が重要であるとの指摘があった。課題として、地盤強震観測に対して設置数が不十分であること、構造モニタリング目的の観測は 2011 年東北地方太平洋沖地震以降増加しているものの体系化されておらず、その結果の公開が無いことが挙げられた。また、データの散逸防止のために過去のデータのアーカイブは重要であるとの指摘があった。建物強震観測結果の公開事例として、アメリカ、ニュージーランド、トルコなどの海外の事例が示され、地震活動度の高い地域であるカリフォルニア州では、耐震基準においてある規模以上の建物には地震計設置が推奨されており、社会的にその必要性が認識されているとの紹介があった。

最後に、近年では建物が複数回大地震を経験することが実際に起こっており、被災による建物性能の変化を把握するために強震観測は有効であるとの指摘があった。さらに、海外での観測結果の公開例を考慮すると、強震観測の社会的認知度を高める必要があると指摘があった。

田沼（都市再生機構）から「建物管理者の視点による強震観測の活用と課題」と題して、主に大都市周辺に多くの公的賃貸住宅を所有・管理する立場から強震観測の活用と課題について紹介があった。

強震観測の実施、維持管理、観測データの分析・活用に関する体制について紹介があり、観測の実施およびそのデータ活用は、管理者と研究者、設計者間の共同で継続して行う枠組みが重要であるとの指摘があった。強震観測の活用事例として、1995 年兵庫県南部地震、2011 年東北地方太平洋沖地震における、構造解析モデルの妥当性検証・地震被災時の建物躯体の損傷評価について紹介があり、強震観測の実施により、設計から維持管理までの各段階で構造性能・安全性に関して合理的でより適切な判断が可能であるとの指摘があった。ま

た、強震観測の問題点として、観測機器の設置から二十年近く経過しており、近年では老朽化による故障が頻発していること、年間予算の中で対応可能なものから順次対応しているとの説明があった。その他、現在のインターネット環境への未対応事例、少人数により維持しているため、ノウハウを引き継ぐ人材育成が必要不可欠であること、観測対象建物に偏りがあり、保有ストックの大半を占める中低層建物での強震観測事例が少ないことなどについて説明があった。

今後の課題として、地震計を設置した既存建物の耐震性能評価に用いる地震力への反映、安価で更新しやすい強震観測システム、構造ヘルスマonitoringシステム等との一体的運用として、強震観測データの管理、維持管理・保守点検なども建物全体の管理体系の中に組み込んで運用できる仕組みづくり、プラットフォームの必要性が指摘された。

今枝（日建設計）から、「建物設計者の視点による強震観測の活用と課題」と題して、実務を行う一般の構造設計者の立場から強震観測建物の事例紹介と活用のための課題および対策について説明があった。

強震観測の実施数・活用事例は少なく、その数を増やしても現行設計法の妥当性検証だけでは得られる利点が小さいと思われる。一方で、2011年東北地方太平洋沖地震以降、建物健全性への問い合わせが増え、強震観測を利用したヘルスマonitoringシステムは急速に普及しているとの説明があった。

建物強震観測の普及に関する課題として、建築主側には維持管理費も長期間かかり利点が無いこと、観測データは建物資産価値につながり、情報の取り扱いおよび公開が難しいこと、また、観測データが解析結果と一致しない場合、設計者が責任問題に問われる可能性があるとの説明があった。これらの対策として、建築主にとってヘルスマonitoringシステムは、事業継続計画・ライフサイクルデザインの観点から導入の利点は大きく、 $+\alpha$ として建物近傍の地盤の測定を一つ追加したとしても、全体におけるコストは小さいため、双方に利点があるとの説明があった。観測データ公開・活用できる仕組みづくりとして、防災・減災の観点から公共性の高い建物は被災度の判定結果、観測データを公開するなど、情報公開を義務化する仕組みづくりの提案があり、一方で、風評被害防止に対する法的整備など、情報の取扱への配慮が必要であるとの指摘があった。また、既存の性能評価・適合性判定などを利用して、第三者により設計内容に問題が無いことを示す仕組みづくりが必要であるとの指摘があった。

最後に、観測数を増やすことが設計にとって有効かを検証・議論する必要があるとの見解が示された。強震観測の普及に対する課題の克服、法整備などを整理していきながら、設計に活用していくために、日本建築学会、強震観測小委員会の貢献を期待するとの話があった。

杉村（NTTファシリティーズ）から、「強震観測の応用としての「モニタリング」」と題して、構造ヘルスマonitoringの需要高まりの背景、普及状況、導入・運用事例とデータ活用

事例の紹介、および現状の課題について説明があった。

構造ヘルスモニタリングの需要が高まった背景として、2011 年東北地方太平洋沖地震時、建物の安全性を早急に判断する必要性があったこと、さらにこの地震以降の行政側のガイドライン・法整備の動きについて説明があった。構造ヘルスモニタリングシステムの活用の利点として、専門家による調査を待たずとも直ちに建物を継続使用可能か、システムの判定結果を参考にして判断することが出来ることにあるとの説明があった。研究用の建物強震観測の導入建物数は微増であるが、2000 年台後半頃からモニタリング用の建物強震観測は急速に普及しているとの紹介があった。また、モニタリング用の強震観測は、当初は超高層のオフィスビル中心であったが、近年は多様化し、一般的な耐震建物に多く、センサ種類は MEMS 等の低コストセンサが主力であるとの説明があった。

2018 年大阪府北部の地震のモニタリング、観測データの活用事例の紹介があり、現地の震度や安全度判定結果のメールが直後に遠隔でも得られる利点、課題としてシステム導入と合わせて運用ルールの策定とその理解が必要であるとの紹介があった。残されている課題として、建物エンドユーザーへの説明方法、判定精度の向上には引き続き取り組む必要があるとの指摘があった。最後に、今後同様のシステムは急激に普及しており、導入実績は当面増え続けるため、研究の推進、本システムの精度向上、さらなるニーズ向上、システムの普及という、良い循環が生まれることを期待するとのまとめがあった。

小阪(戸田建設)から、「これからの強震観測」と題して、現在普及が進むローコスト MEMS センサについて、性能・観測事例、課題や将来性について説明があった。

建物強震観測では特殊建物での観測は進んでいるが、コスト面や導入利点が小さいことから、一般建物、相互作用系の挙動把握は進んで無いのが現況である。一方で、モニタリングの普及に伴い、小型・省電力・安価である、ローコスト MEMS 加速度センサを利用した観測形態が増加してきているとの説明があった。現状のローコスト MEMS センサ性能は、周期帯によらずほぼフラットな自己ノイズを有するため、ノイズの閾値からトリガーレベルを設定することになるが、長周期帯域についても入力が十分に大きければサーボ型地震計同様の計測が可能との説明があった。安価であれば設置数、中低層建物への導入ハードルが低く、どこで発生することが分からない内陸地震時に何がおこったのか捉えるには有効であるとの紹介があった。観測目的によって使用センサを判断することが重要であるとの見解が示された。

最後に、実観測記録とその解析事例の紹介、さらなるローコスト化、省力化として、スマートデバイスの利用、初期導入のローコスト化、省力化、維持管理・データ収録方法として、パブリッククラウドサービスの利用などの可能性について紹介があった。

4. 総合討論

司会の三浦から、本シンポジウムについて振り返り、各講演についてまとめがあった後、会場からの発言があった。

大野：建物の観測を普及させるためにはモニタリングに乗っかって進めるのが基本的には良いと思う。杉村さんのご発表の中で、免震で構造ヘルスモニタリング事例が少ないとあったが、その要因はなにか。免震にしたので上部構造は安心だという判断か。

杉村：設計段階でスペックが上がっているのに、耐震や制震に比べて優先度が低く、導入数は相対的に低い。

大野：2016 年熊本地震では、免震建物において強震観測がされておらず観測記録がない。ヘルスモニタリングシステムの普及に伴い強震観測が増えて行くと考えていたが、免震建物で少ないのは想定外だった。

中村：会場全体への質問として挙手を求めた。強震観測を実施しているか。→会場の大多数が強震観測を実施している。地盤強震観測点数は足りないと思うか。→若干名。建物強震観測数は足りないと思うか？→多くの方が少ないと思っている。建物観測点数が増えるメリットは何か、講演者から意見を募った。

小阪：建物強震観測数は増えた方が良いと思う。観測記録があることで、地震時における現象把握とそれに伴って新たな課題が出てくる。

三浦：今枝さんより、強震観測記録を増やすことが設計にとって有効かを検証・議論する必要があるとの意見があったが、来たる大地震に備え強震観測記録の蓄積は必要ではないか。

今枝：強震観測数を増やすためには、様々な課題の解消が必要であり、労力とコストがかかるが、現状では強震観測記録の利用目的、設計に活かすための具体的な方針が定まっていない。設計の問題点を整理し、そのために強震観測が有効か議論する必要がある。現時点では、強震観測を増やすことに意味があるか、その必要性は判断出来ない。増やすことの必要性から議論すべきだと思う。

三浦：近年観測された強震動は設計にどう活かされているのか。

今枝：自分の周辺では設計に活かされていないのが現況である。自社だけでは対象建物データ数が少なく、強震記録をどう解析していくか定まっていない。観測記録に併せて解析条件やモデルが公開され、観測データと解析結果を検討できる環境が整備されていけば有効だと思う。

高井：今枝さんのご発表で、建物主にとって強震観測点設置へのインセンティブが明確でないといけなとあった。また、杉村さんのご発表で、2011 年東北地方太平洋沖地震でエンドユーザーの強震観測への関心の低さは解消されたと仰っていたが、例えば、中古車の記録・点検簿のように、地震時の応答を記録しておくことで、中古建物の価値を定量的に評価できるようにすれば、強震観測を増やしていく発憤材料にならないだろうか。

田沼：現状では強震観測による評価結果に対する補修・補強などの対応方法や資産価値評価

について社会的合意が未だ無い。強震観測による損傷状況の把握とその対応方法についてはセットで考える必要がある。建物維持管理上、経年劣化のモニタリングは、補修の判断材料となる。建物価値の評価であれば、地震と経年劣化を組み合わせて考えていくのが良いと思う。

植竹：東北大学の建物の様に、地震を受けて補強した際の周期の変化を経年的に確認した評価事例は意外にない。

大野：強震観測は耐震改修前後の性能把握に有効であった。強震観測を実施していたことにより、東北大学の建物の大破の要因が、連続観測により詳細に分析・説明できた。

三浦：カリフォルニアの建物観測の義務化について、データの公開はどうなっているのか。

大野：データ公開されている。ノースリッジ地震、弱震でも公開されている。

三浦：研究に強震記録が使用されているか。

中村：ノースリッジ地震では多くの記録が公開され、建物応答計算などに利用されている。

一方で、日本で建物への地震計設置を義務付けるのは反発があると思う。モニタリングを契機として、増えていくのが良いのでは。

三浦：建物の損傷発生とシステムの判定結果（安全・要注意・危険）の関係について、ケース1～3とあるが、一般の方のイメージはどのケースに近いのか。

杉村：安全側に考えるケース1が多いと感じる。

仲野：別の視野として、社会インフラという点から整備していくと考えると、土木は維持管理の面で地震計を設置しており、その動向やシステムは参考になると思う。また、現在施策として耐震が進んでいない木造建物の状況把握の方法を考える動きがあるが、強震観測により建物の状態がわかれば、リスク評価や全体のストックの評価につながり、それが民間に降りていって、中古建物の流通に強震観測を用いる展開につながるのではないか。

三浦：中村さんより、観測に向けた雰囲気醸成するとの話があったが、何か案はあるか。

中村：割合は少なくともデータは公開されている。観測データの公開の問題は常にあるが、建物を強制・義務化するのではなく、絶対数を増やすことが重要ではないか。

中村：地震現象の再現期間と比べて、強震観測の歴史はまだ浅い。特に、建物において強震観測が実施されていて中破・大破した例は極めて少ない。耐震設計・耐震構造を考えていく上で、本当の地震に遭遇したときに実力が発揮できるのかどうかは検証出来ていないのではないか。観測記録が検証・蓄積されていかないと、耐震構造の進化は望めないのではないかと思う。

飛田：阪神・淡路大震災では建物被害の悉皆調査が行われており、新耐震の被害率が低かった。しかし観測された地震動は二次設計レベルを大きく超えたものもあり、壊れなかったのは余力なのか。安全側になっているだろうという判断は良いのだろうかという問題がある。モニタリングでも、応答が設計値を超えたらただちに危険かという議論があり、観測記録に基づいて建物の真の性能を把握する必要がある。2011年の東北地方太平洋

沖地震の大阪府咲洲庁舎の大振幅応答など、観測していたからこそ重要な課題が明らかになった例も多くある。そう考えると、南海トラフ、首都直下などの将来の大地震による地盤・建物の挙動を取り逃してはいけないのではないか。そのためにもモニタリングと強震観測を上手く組み合わせて普及することが大事である。

平戸（清水建設）：環境振動の計測や地震動のデータをハンドリングした業務に携わっている。強震観測により、100 m 程度の高さの建物の固有周期が竣工時 2.4 秒、その後使用時 2.5 秒、2011 年東北地方太平洋沖地震後に 3.0 秒に変化していったデータを見た。地震時の周期の変化を確認でき、モニタリングの重要性、観測の意義を実感した。1995 年兵庫県南部地震以降、地盤強震観測が普及したが、未だに JMA 神戸の記録を使用している。観測記録をその地域の位相特性としての告示スペクトルに利用出来ないか。

吉田（大林組）：制震建物について、観測記録を基にその効果を説明できれば、普及につながると期待している。データの公開・共有が課題であるが、統計的なデータでも制震の有効性を説明するようなものが集まれば良い。



シンポジウムの様子