

Epistula

えびすとら



独立行政法人 建築研究所
Building Research Institute
Vol.39 発行：2007.10

特集 建築物の強震観測

地震に強い建物を作る、これは地震の多発国日本では常に直面している課題です。建物の耐震性能を確保するためには、まず地震による地盤の動き（地震動）とそれを受ける建物の揺れを知る必要があります。建築物の耐震安全性の評価のためには、大きな地震動が作用した時の建築物の応答データが必要です。建築物の強震観測では、比較的良好に起こる地震動のほか、まれにしか起こらないが非常に大きな地震動も対象としています。

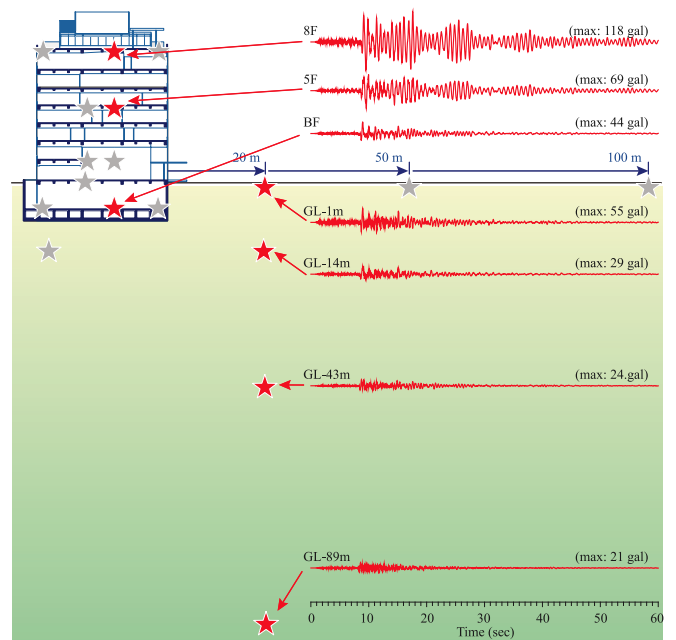
日本の強震観測は約50年前に始まりました。その契機となったのは1948年に発生した福井地震です。この地震では3,700人以上の死者を出し、36,000棟以上の家屋が倒壊しましたが、被災地の地震動はどんなものであったか、建物はどんな揺れ方をして壊れたのか、知るすべはありませんでした。

そのため、大きな地震の揺れを確実に記録するための機器、強震計が開発され、日本の強震観測が始まりました。特に建物の被害は住人に直接危害を与えるため、建物を対象とした観測が重視され、積極的に推進されてきました。

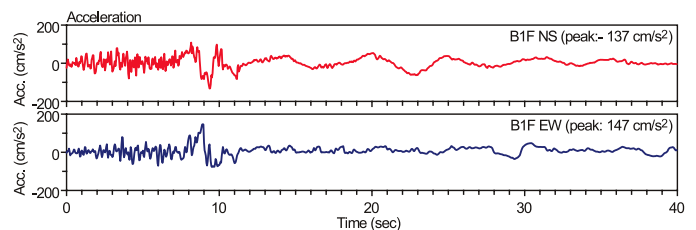
1960年代に登場した超高層建物も強震観測を行うことで、解析手法や設計方法の確認が行われてきました。最近急速に広がった免震や制振などの新しい技術も、強震観測によってその性能の確認が行われて、耐震性向上の上で有効な技術として普及しつつあります。強震観測は耐震工学の発展の上で、重要な役目を果たしています。

平成7年兵庫県南部地震のあと、地震被害の早期把握を目指して、国や地方公共団体によって多数の強震計が全国の地盤上に設置され、その後今日にいたるまで多くの観測データが得られました。それによって、強震動の予測技術が急速に進みました。ただし、この地盤の観測データだけでは建築物の高精度の応答予測はできません。近い将来の大地震の発生が懸念される中、今後より有効な建築物の耐震性能向上技術の完成を目指すには、地盤上のみならず、多くの建物へ強震計を設置して、観測データの更なる蓄積を推進する必要があります。

今回のえびすとらでは、建築物の強震観測について、建築研究所における取組みを例として、分かりやすく紹介いたします。



■ 図1 建築物の強震観測



■ 図2 1964年新潟地震で転倒したアパート(写真1)の隣の建物の地下1階の強震計の記録(上:南北成分、下:東西成分)



■ 写真1 1964年新潟地震で転倒したアパート
砂地盤が液状化し支持力を失い転倒した

建築物の強震観測

私たちのまわりには、さまざまな建築物があり、構造、用途、規模等、それぞれの建築物によって条件が異なるため、地震時の挙動も千差万別です。建築物の強震観測では、これらの多種多様な建築物の振動特性を把握することがポイントとなります。ここでは、各振動特性の把握等、強震観測を行う上で必要となることのほか、強震観測からどのようなことがわかるか、さらに今後の課題について説明します。

建築研究所の強震観測

建築研究所では、日本で強震観測が始まった1950年代から建物を対象とした強震観測を続けています。1964年新潟地震の県営アパートや1978年宮城県沖地震の東北大学の記録など、歴史的な強震観測記録には建築研究所の強震観測網で得られたものがあります。

現在、建築研究所は全国70箇所以上の観測地点に強震計を設置し、地震時の地盤や建物の揺れを計測しています。観測地点の1/3は東京を中心とする首都圏に展開しています。1957年の観測開始以来、観測技術と観測機器の改良を進め、現在全ての観測地点で新鋭のデジタル強震計を導入しています。観測の対象は主として建物で、通常建物の頂部と基礎、及び地盤上に加速度センサーを設置し、複数の観測点の動きを1台のレコーダーで集中的に記録しています。また免震構造のような特殊な建物では、その特徴的な振動特性を考慮してセンサーを配置します。ほとんどの強震計は電話回線によって建築研究所と結ばれており、保守作業の軽減と迅速な記録の収集を実現しています。

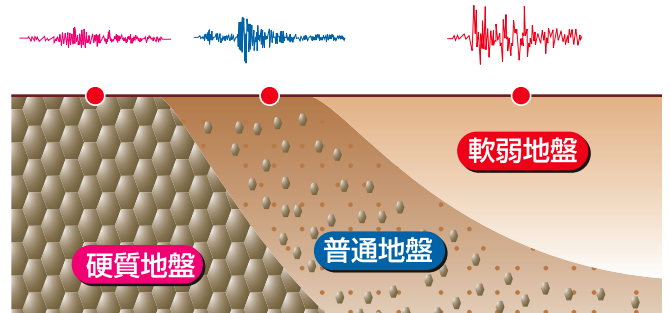
建築研究所敷地内の新館建物では、地盤の中や建物の各部に非常に高密度にセンサーを配置して、強震観測を行っています。これによって、表層地盤による増幅の様子や建物の振動特性とその変化の様子をより正確に知ることができます。



■写真2 強震計の設置例

地盤の増幅特性の把握

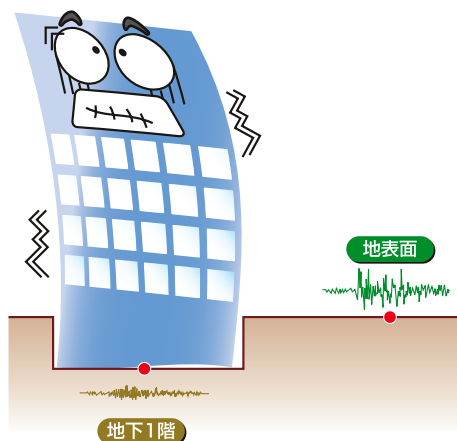
地形や地質の変化に富んだ日本では、地盤条件が地震動の特性に与える影響を正しく把握することが重要です。建築研究所はこのような観点から、地盤上と地中にセンサーを配した強震観測も行っています。例えば、図3は3箇所の異なる地盤、すなわち、硬質地盤（建築基準法のI種地盤）、普通地盤（II種地盤）、軟弱地盤（III種地盤）上で観測された加速度記録を抜き出したものです。それぞれの観測地点は震央からの距離がほとんど変わらないのですが、地盤条件によって揺れ方が大きく異なり、軟弱な地盤であるほど揺れが大きくなっていることがわかります。このような表層地盤による地震動の増幅効果の観測結果は、設計法を向上させるための基礎資料となっています。



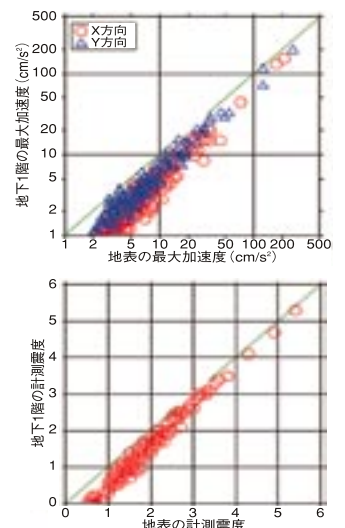
■図3 地盤条件によって異なる地震動

建築物への入力地震動の把握

1995年の兵庫県南部地震以降、大規模な震度観測網が整備され、大きな地震時の地盤上の揺れ（地震動）に関しては多くの記録が蓄積され、様々な知見が得られています。しかし、地表で観測される地震動がそのまま建物へ入力するわけではありません。建物へ作用する地震動は地盤条件だけでなく、建物の規模や特性、基礎形式などの影響を受けて複雑で、その評価が難しく、地震動が建物へどのように入力するか、それが建物の応答にどのような影響を与えるかについては、まだまだ検討が必要です（図4）。強震観測はその解明の有力な手段です。例えば図5は、建築研究所の強震観測地点のひとつ、釧路合同庁舎（図8）の記録を使って、地盤上の最大加速度や計測震度を地下1階の値と比較したものです。地下1階の記録は建物への入力地震動に相当し、基礎部分の平面的な拘束や埋め込み、建物を支えている杭基礎の影響を受けて、地表の地震動に比べて最大加速度も震度も小さくなっています。このような現象を正しく理解することは、耐震設計の合理化につながります。



■図4 建物へ入力する地震動と地盤上の地震動

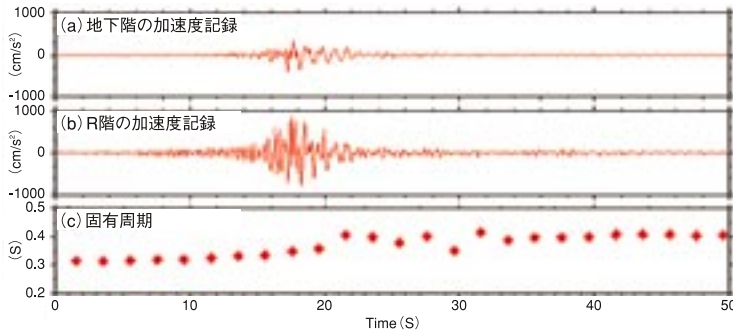


■図5 建物地下と近傍地表の最大振幅の比較
(上:最大加速度、下:最大速度)

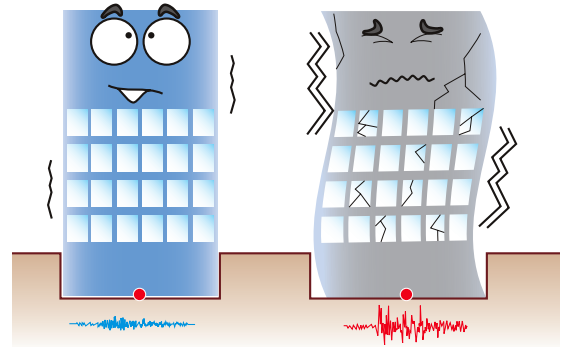
建築物の地震時挙動の解明

実際に建てられる建物は千差万別で、建物の振動特性は建物ごとに異なります。それぞれの建物の揺れ方を観測によって知ることも大切なことです。一部の建物は振動モデルを作成し、地震応答解析を行って耐震性能を検討していますが、その妥当性は完成後の建物の動的な挙動を計測することによって初めて検証することができます。また、大きな地震動を受けた建物が損傷することも想定されていますが、そのような建物の挙動の観測事例は極めてまれです。

図6は、軽微な被害を受けたある鉄筋コンクリート造5階建て建物で得られた強震記録と、強震記録から推定した建物の固有周期の地震中の変動を示しています。上段の波形が建物地下階で得られた加速度記録、中段の波形が建物頂部(R階)で得られた加速度記録、下段が2秒ごとに推定した建物の固有周期です。激しい地震動を受けて何らかの損傷が発生し、建物の固有周期が延びた様子を明瞭に観察することができます。



■図6 建物の地下階と頂部(R階)の記録により推定される固有周期の時間変化



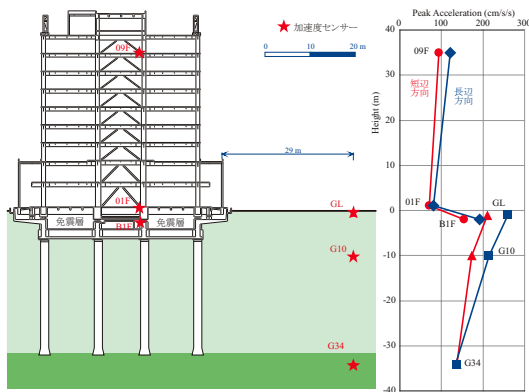
■図7 強震観測によって建物の損傷を把握
地震動で損傷を受けた建物は、健全な建物と比較して、揺れが大きくなる。

新しい耐震技術の検証

耐震設計や耐震工学は、過去に経験してきた地震被害を教訓として、発展してきました。建築基準法や関連法規も、大きな地震被害の後に、後の被害を軽減するための改正が行われてきました。

1960年代に登場した超高層建築物も強震観測を行うことで、解析手法や設計方法の確認が行われてきました。最近急速に広がった免震や制振などの新しい技術も、強震観測によってその性能の確認が行われて、耐震性向上の有効な技術として普及しつつあります。

図8は、免震建物である釧路合同庁舎で行っている強震観測のセンサー配置と、2003年十勝沖地震の際に得られた最大加速度の分布を示しています。この観測地点では、表層地盤増幅から免震庁舎の地震応答を把握するために、地中から建物内まで6台の加速度センサーが配置されています。2003年十勝沖地震の際の最大加速度分布には、免震装置の効果によって最大加速度が大きく低減されている様子が明瞭に表れており、免震技術の検証に強震観測が役立っています。



■図8 免震建物における加速度記録
免震層の上下で加速度が急激に変化している

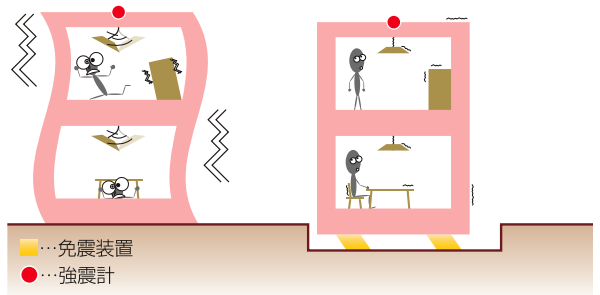


図9 強震観測によって免震効果を確認

強震観測による建築物の揺れの監視

建物はそれぞれ固有の振動特性を持っており、建物の耐震性能を考える時、その振動特性の把握が重要な意味を持ちます。

時が経つにつれて建物は劣化し、その振動特性は変化してゆきます。また建物を改修・改築すればやはり振動特性が変わることになります。あるいは、中小の地震を繰り返し受けることによって建物が損傷を受け、振動特性が変化してゆくことも考えられます。

建物の強震観測を継続的に行えば、このような振動特性の変化を監視することができます。不幸にして大きな地震動に遭った場合は、損傷がなかったか、どの程度の損傷があったのかを観測記録から検証することができます。建物の強震観測によって、対象建物の耐震安全性を精度良く確かめることが可能となります。

今後の課題

強震観測が日本で始まって50年、強震観測の成果は建物の耐震設計技術の向上に大きな役割を果たしてきました。

1995年兵庫県南部地震の後、震度観測網の整備によって地盤上の観測地点は飛躍的に増えましたが、建物の観測地点や観測記録はまだ不足しています。

入力地震動のよりの確な評価や建物の健全性のより正確な判定など、更なる研究開発が必要な課題が多く残されています。

より安全な建物作りに貢献するために、強震観測の一層の普及を目指し、関連する研究開発を進めてゆくことが建築研究所の使命です。

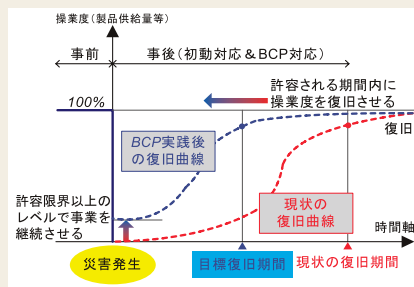
構造研究グループ

建築研究所では、本年度から3年計画で、重点課題「建築構造物の災害後の機能維持／早期回復を目指した構造的評価システムの開発」を開始しました。

これは、建築物が地震等により損傷を受け各機能に障害が生じた状態を対象とし、その状態を予め設計において推定するとともに、低下する機能の復旧に要する時間と費用の算定方法を確立すること等が最終的な目標です。これまでは、安全性に直接関わる終局状態の推定に着目した研究が多く行われてきましたが、終局に至るまでの損傷の経過やそれが機能に及ぼす影響に関する研究成果はまだ不足しているのが現状です。しかも、本課題が対象とする建物やその部位は極めて広範囲ですから、今後長期間に渡って検討を継続していくためのきっかけとなるような成果を得ることを目標とします。具体的には、機能回復性評価指針とそこに用いるデータベースのシステム構築です。このデータベースは、建築物部分の応答を示す工学量各部の損傷度建築物機能へ

の影響補修方法、の関係に関する工学情報で、機能回復に要する期間や金額の算定等に用いられるものです。さらに、一般の方にも被災後のシナリオをイメージし、機能回復性評価の内容や意義について理解して戴くために、さまざまな情報伝達・説明ツールも開発し公表する予定です。

本課題は、中央防災会議が提唱する機能継続計画(BCP)の策定にも直接関係する内容です。また、さまざまな分野の方々との連携が必要です。是非、皆様のご協力を頂きますようお願い申し上げます。



Q&Aコーナー

Q：建築研究所の施設見学をしたいのですが、施設の公開は行っていますか？

A： はい。一般の方については総務部総務課にて、専門家の方については企画部情報・技術課にて、随時個別に受け付けておりますので、ご相談下さい。

また、科学技術週間、つくばちびっ子博士事業において、年2回の施設一般公開を行っています。平成19年度は、248名(科学技術週間)、232名(つくばちびっ子博士)の参加者があり、体験をまじえて様々な実験を見学していただきました。また、夏休み期間(7月23日～8月31日までの平日10時～16時)は展示館を随時開放し、自由に館内の見学をしていただきました(見学者999名)。今後も皆様のご期待、ご要望にお応えできるよう一層の努力をいたしますので、ぜひ一度足を運んでみて下さい。



つくばちびっ子博士における建築研究所ツアー見学の様子



- Q&A コーナーは、読者の方から頂いたご質問にお答えするコーナーです。ご質問は、epistula@kenken.go.jp までお願い致します。

編集後記

現在では、地震の直後に、全国各地の震度をテレビで知ることができます。また、大きな揺れが来る前に、緊急地震速報で揺れの到来を知らせるサービスが開始されました。いずれも、地面の揺れの大きさを表すもので、建物の中の揺れを表しているわけではありません。従って、震度が小さくても建物が大きく揺れて被害が発生することもあります。逆に、震度が大きいのに建物がそれほど揺れずに被害がないこともあります。つ

まり、地震に対して建物が安全かどうかを知るためには、地面の揺れだけでなく、建物の揺れも同時に知る必要があります。それが、今回ご紹介した建物の強震観測です。建築研究所では、建物の強震観測を広く普及し、観測されたデータをできる限り公表して、建物の耐震性の向上に役立てたいと考えています。そのためには、観測機器を設置する場所の提供や観測データの公開などについて、建物の所有者の理解と協力が不可欠です。ぜひ建物の強震観測の重要性を理解して頂き、普及にご協力を頂きたいと思っております。(T.S.)

「第48回国際地震工学通年研修」が開講しました

建築研究所では、毎年、開発途上の地震国から若い研究者や技術者を招き、「国際地震工学通年研修」などの地震学・地震工学に関する研修をJICAと協力して行っています。現在までに95ヶ国から1,319名の研修生を受け入れ、国際協力、技術援助の分野で高い評価を頂いています。一昨年度から、「国際地震工学通年研修」は、建築研究所及び政策研究大学院大学、JICAとの連携により、所定の単位を取得すれば、修士号学位の取得が可能な研修として実施しています。

この度、16カ国から26名の研修生を迎え、「第48回国際地震工学通年研修」を開講しました。来日した研修生は、10月3日(水)にJICA 筑波で研修開講式に、翌4日(木)には政策研究大学院大学(港区六本木)で修士課程入学ガイダンスに出席し、5日(金)から建築研究所で1年間の研修を開始しました。

来年9月には、修士号学位を取得した研修生が、母国に帰国し、地震学・地震工学・地震防災対策・津波防災対策の専門家として、地震・津波被害の軽減のため活躍が期待されています。

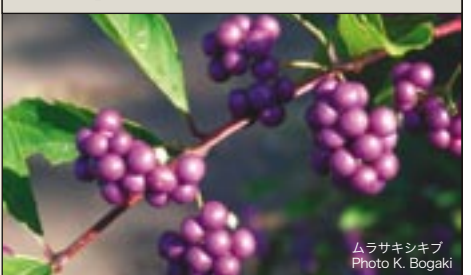


第48回国際地震工学通年研修に参加する研修生

出版のご案内

建築研究資料 No.107

「平成19年(2007年)能登半島地震建築物被害調査報告」



ムラサキシキブ Photo K. Bogaki

Epistula

えびすたら



第39号 平成19年10月発行

編集：えびすたら編集委員会

発行：独立行政法人 建築研究所

〒305-0802 茨城県つくば市立原1

Tel. 029-864-2151 Fax. 029-864-2989

● えびすたらに関するご意見、ご感想は

epistula@kenken.go.jp までお願い致します。

また、バックナンバーは、ホームページでご覧になれます。

(<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/epistula.html>)