

「地震時における建築物への実効入力地震動の評価に関する研究」 (平成17年度～平成19年度) 評価書 (事後)

平成20年6月25日(水)
建築研究所研究評価委員会
委員長 松尾 陽

1. 研究課題の概要

①背景及び目的・必要性

2004年新潟県中越地震では、1995年兵庫県南部地震時を上回る、最大加速度1.0G超の記録が複数得られている。これらの大加速度地震記録は、「日本建築センター波」や「El Centro NS」など耐震設計において多用される設計用入力地震動を周期3秒以下の帯域で大きく上回り、また前記1995年兵庫県南部地震の記録と比較しても周期1秒以下で同等またはこれを上回るレベルであった。

一方、同地震でこれらの大加速度記録が得られた観測地点近傍の建物被害は軽微で、その結果、観測された地震動が実際に建物へ作用したものであるかどうかについての疑問が指摘されている。

このような傾向は、近年の他の地震時にも指摘されていて、強震観測網が充実した結果と考えられるが、実際に建物へ作用した地震動(実効入力地震動)は、地盤上で観測された地震動とは異なっている事が推察される。

これまでの地盤と構造物間の動的相互作用に関する検討から、建物への実効入力動は建物の接地面積、基礎形式、建設場所の表層地盤特性に依存することが、理論的検討によって指摘されているが、観測記録に基づいた実証的検討はこれまでのデータの蓄積数が少なく、建物へ作用する地震動(実効入力地震動)を建物・地盤条件に応じて定量的に設定できるまでにはいたっていない。

この実効入力地震動を的確に評価することは、地震動と建物被害の整合性を取る上での前提条件となる。さらに実効入力動評価に基づく設計用地震荷重を設定する手法を開発して合理的設計用入力地震動作成へと発展させるべき課題であり、信頼性の高い構造安全性を確保するための技術開発に欠かせない研究である。

②研究開発の概要

構造種別・規模や地盤条件に起因する建物への実効入力地震動の変化について、既往研究成果のレビュー、既存および新たに収集する地震記録と常時微動測定記録の解析成果に基づき、実効入力地震動の評価方法を検討・提案を行う。

特に2004年中越地震では多くの大加速度記録が得られると共に、顕著な被害建物に関して詳細調査が実施されている。また、余震観測により建物基部、上部、地盤の3点での記録が得られている建物がある。これらの研究資源を活用して、実効入力地震動の評価方法を検討する。また、既往の調査研究や2004年中越地震でも不足する構造種別・規模や地盤条件の組み合わせに関しては、新たに実効入力地震動の評価に資する高密度観測を実施して研究資源を蓄積する。それでも不足する建物の振動特性については、常時微動測定による評価の可能性を探る。

③達成すべき目標

- (1) 実効入力地震動観測のための観測事例と強震データの蓄積。
- (2) 観測データおよび地震応答解析による建築物、地盤、基礎、地震動に関する各種条件を考慮した実効入力動評価法の提案に向けた知見の整理
- (3) 既往設計用地震荷重評価法の検証

④達成状況

(1) 建築物への地震動入力メカニズム解明のための強震記録、常時微動測定記録の蓄積とそれを用いた現象の把握

地盤—基礎—構造物系の同時観測データについては、建研保有のデータが多数あるが、設計レベルの評価に適した強震データはそれほど多くない。地盤のみの観測データが近年急速に拡充されていることから、近傍の建築物での観測と組み合わせて実効入力動が評価可能なデータの増大が期待できる。国内では建研保有データを中心に評価に利用可能であり、本研究ではいくつかのサイトについて実測に基づいた検討を行った。

基本的には構造他の資料が利用できる建研独自の強震観測網における強震データについてその体系的な整理を行いながら、振幅レベルや構造・地盤特性などで不足するデータについて、国内外のデータを補完的に用いることで、本研究を実施した。また、小千谷地区を対象として、まれにしか得られない強震動記録を含めた、各種レベルや構造物と周辺地における地震動分布に関する貴重な地震動データベースを構築することができた。

以上の検討の結果、①構造物に実際に入力する実効入力動については、過去からさまざまな検討が解析中心に実施されてきたが、それらを検証するための強震記録が少なく、特に強震時については検討例も極めて少ない。②最近の大地震時の観測記録による検討を行った結果、強震時には建築物基部と、周辺自由地盤上での地震動は、大きな差があることがわかった。特に小千谷小学校舎1階では、建物の卓越周期付近以下の成分は半分程度に減少しうること、2007年中越沖地震では、計測震度でKNET地点に比べて0.9程度の低減があったことがわかった。③地盤の揺れと比較する相手側の構造物内部の揺れの分布については、小千谷小学校校舎の建物各部の振動の差異について、微小地震の短期間の多点観測に基づいて検討した。これと強震時での校舎1階の記録とを比較し、近地地震については、本校舎の一体となった1階部分は、地震動レベルによらず、ほぼ同等の振動をしていることがわかった。④その他の建研が実施する既存強震観測記録を利用し、建物基部と近傍自由地盤上との観測値の比較を行い、短周期部分で建物の基部の振動が低減されていることを確認した。また長周期領域では、共通に自由地盤上とほぼ同等なレベルであることも確認した。⑤被害地震での被災地建物内の余震観測、およびアレー微動測定を実施し、強震時挙動の評価のための検討に活用した。

今後より精度の高い汎用的な地震入力評価法を構築していくためにも、さまざまな構造(基礎)形式の建築物内への強震計の設置を推進し、実効入力動評価のための資料を蓄積していく必要があるという認識を深めた。その際、地盤上の強震観測点が急速に拡充されたことを踏まえて、KNET観測点などの近傍の建物に地震計を設置することも有効である。

(2) 実効入力動に基づく各種入力地震動評価法の比較検討

実効入力動の評価には、構造や地盤データを用いることで、基本的に構造応答データが説明できる入力動の特定と、地盤上の観測データとの比較が基本的であると考えられる。このためのモデル化とそれに合った解析プログラムや評価法を用いて、地震応答解析を行い、基礎埋め込み効果などの種々の条件下における既往提案評価式や解析結果と実測値、観測値の比較を行い、それぞれの条件における実効入力動を推定するとともに、評価方法の妥当性の検討を行った。本検討においては、詳細モデルによる解析は行わなかったが、既往の簡略評価式によれば、個々の地震ごとにばらつきはあるが、ほぼ安全側の評価がされていることが確認できた。

目標に掲げた観測データおよび地震応答解析による建築物、地盤、基礎、地震動に関する各種条件を考慮した実効入力動評価法の提案に向けた知見の整理については当初目標を達成できたものと考ええる。

(3) 設計用地震荷重評価のための新しい地震動指標の検討と提案

今回の課題の発端となった中越地震時のK-NET小千谷観測記録など、わが国で現在までに得られている振幅レベルの大きい観測記録を用いて、地震動の評価指標に関する検討を行った。

いわゆる相互作用評価に関する検討では、最大振幅、最大加速度、応答スペクトル、フーリエスペクトルなどの既往の地震動指標での評価を行っている。地盤の非線形性や、構造物の累積損傷などを視野に入れた場合には、地震動の時刻歴(特に経時)特性に関する指標が、今後重要になると考えられ、そのための基礎的な検討として、観測データを用いた検討を行った。今後地震動の重要な特性として、継続時間や、累積パワー、エネルギースペクトルなどを取り上げて、震源特性や地盤の非線形性を考えた場合、具体的な強震レベルの時刻歴をイメージすることが重要であり、そのために基本となる地震動指標の基礎的な検討および提案をした。

2. 研究評価委員会(分科会)の所見とその対応(担当分科会名: **構造分科会**)

①所見

- (1) 小千谷地点での観測データは貴重なもので、これに基づく実効入力地震動の評価は、地域が特定されれば、この研究成果を基にある程度の実効入力を推定できる体制が出来そうである。
- (2) 実務設計者との連携を強くして、少しでも役立つことがあれば、設計者の判断材料としたい。
- (3) この研究はこれで終了するものではなく、地震観測を含めて建築研究所の重要な研究課題として継続して欲しい。
- (4) 興味深い成果が得られているようなので、成果・結論を整理し、公表されることを期待する。
- (5) 相互作用については以前から研究が行われ、規準にも取り入れられるようになってきた。この研究成果を整理し、実際の設計に用いられるような形で公表されるならば、研究者・実務者からの意見が得られやすく、次のステップに進むよい指針が得られるのではないか。
- (6) 少ない観測機会を精力的に活かして成果をあげている。
- (7) 研究成果は、設計用地震力を設定するには、さらに継続して蓄積する必要があるが、各調査での地表面の地震動と建築物に入力があつた実効地震動の比率を、周期帯を限定した範囲で明確にし、各種構造物の設計情報として発信されることを期待する。
- (8) 限られた中での検討結果は評価できる。
- (9) 建研手持ちのデータでは広範にわたつての分析が難しそうなので、各種の協会や研究会、また民間に上手働きかけて、データの収集にも力を入れていただきたい。
- (10) 耐震設計を行う際の多く残されている問題、決めごとの中にある不確実な問題に関する研究に力を入れて欲しい。たとえば、地震時の地下の無い建物の水平方向の滑り、入力地震動の決め方、実効入力など。

②対応内容

- (1), (2) に対して
事例の数を増やしていくことと、それぞれの条件を明確にしながらその結果を公表していくことが重要であり、そうすることで、実務者の利用やフィードバックが期待できると考える。
- (3) に対して
「建築物の強震観測」関連の別テーマの中でも、実効入力の評価は重要な課題であり、データの取得等の検討作業は継続していく。
- (4), (5) に対して
本研究については、指摘事項等を踏まえて、整理して別途報告書として公表したい。
- (7) に対して
前記(4)、(5)に記述したように、実施事例について評価結果をまとめたいと考えています。その中でご指摘の点(各種構造の設計情報の発信)について対応したい。
- (9) に対して
地盤との比較を可能とする建物での観測については、今後も推進していく予定であるが、加えて、諸機

関が保有する既存の関連データの収集と整理にも力を注ぎたい。

(10)地盤との接触部分でのすべり現象や地震動に影響する要因等の明確にするために、地震観測による実測データを蓄積し、現象を解明したい。

3. 全体委員会における所見

記録された地震と建物の被害との解明について、地道な研究であるが、積極的に進めたことから、目的を達成することができたという分科会の評価を、全体委員会の評価とする。基礎的なデータは耐震設計に非常な重要なものなので、取得したデータを公開できるよう努め、民間等の機関とも連携されたい。

4. 評価結果

- 1 本研究で目指した目標を達成できた。
- 2 本研究で目指した目標を概ね達成できた。
- 3 本研究で目指した目標を達成できなかった。