

第5章 まとめ

5.1 本研究の成果

本研究の成果を以下にまとめる。

- (1) 建築物 58 棟について、周辺地盤 - 建築物同時観測を実施した。これらのうち、本研究期間中(2010~2013 年度)に新たに地震観測を開始したのは、27 棟(うち 4 棟は建築物内のみで地震観測を実施していた建築物の周辺地盤に地震計を設置)である。
- (2) 地震観測建築物につき、整理項目を統一的に定めた上で地震観測記録を収集し、これらの整理結果から、地盤 - 構造物の動的相互作用の様相を、2011 年東北地方太平洋沖地震で地盤及び上部構造が非線形化した者も含め、大局的に把握した。本研究では、観測建築物を階数等に応じて区分したが、総じて、より低層の建築物においてフーリエスペクトル比等に、地盤 - 構造物の動的相互作用の影響が現れ易いことを示した。また、低層建築物として区分された建築物の中でも、地下階を有する建築物(UTM)の場合には入力相互作用の影響が、杭基礎の建築物(EDG, TKS)の場合には慣性の相互作用の影響が大きくなることを観測記録の整理結果から把握できることを示した。
- (3) スウェイまたは SR モデルを用いた同定手法を適用し、観測記録から慣性および入力相互作用による建築物応答の低減効果を推定する方法を提案した。本方法においては入力損失の影響も含めて同定を行っている。また、得られた同定パラメータから定常ランダム応答を用いて、加速度一定又は擬似速度一定の応答スペクトルを仮定した場合の入力及び慣性の相互作用による建築物相対変位の低減効果を、地盤 - 構造物の影響が観測記録の整理結果に現れた建築物について表示した。これにより、地盤 - 構造物の動的相互作用の建築物の地震入力と応答に対する影響度合いが定量的に評価された。
- (4) 既往の基礎入力動の簡易評価式と観測記録とを比較して、これらの簡易評価式の妥当性ととも、入力低減効果に対する基礎構造の違いの影響を検討した。ここで取り上げた 2 つの方法のうち、「基礎構造の根入れ深さと表層地盤の 1・2 次卓越振動数での変位分布に基づく方法」は、現行の限界耐力計算の改良法であるが、観測記録との対応関係から、特に、直接基礎の場合に、現行の方法では考慮していない 2 次固有振動数近傍での入力損失効果を妥当に評価していることが確認された。

2000 年の限界耐力計算法の公布制定を機に、地盤 - 構造物の動的相互作用を建築基準法令上の構造計算で評価することが可能となったが、現在、なお、実際の建築物における地盤 - 構造物の動的相互作用の評価実績は決して多くない。また、観測記録に基づき実現象を検討した事例も極めて少ない。このような状況の中、本研究では、地震観測記録に基づき、複数の建築物について、

その地震入力と応答に対する地盤 - 構造物の動的相互作用の影響の実態を示した。このような観測記録の整理分析結果は、今後、巨大地震等に対する建築物の被害判定や耐震性評価を行う場合において、地盤 - 構造物の動的相互作用により建物応答が低減され得るか否かも含め、その影響を検討するための有益な情報を与え得ると考える。また、第4章では、限界耐力計算での入力損失の評価方法(相互作用係数 β')に関する改良法の妥当性を観測記録に基づき検証、確認した。これを取り込むことで、限界耐力計算はより合理化されると考えられる。ただし、地盤 - 構造物の動的相互作用には地盤の非線形性や基礎構造形式の違い等の多くの因子が影響するため、入力損失も含め地盤 - 構造物の動的相互作用に関する限界耐力計算での技術基準を、より現象に即した合理的なものとしていくためには、今後とも、地震観測と観測記録の分析を継続し実施していく必要がある。

5.2 今後の課題

第2章表 2.1-1 及び表 2.1-2 で示した地震観測建築物については、各実施機関において、今後とも継続して地震観測が実施される予定である。このことを念頭に、本研究及び建築物の地震観測に係る今後の課題を以下に考察する。

まず、本研究成果の想定される活用のされ方から見た課題を考える。

前節のまとめで示した通り、地震観測記録の整理結果からは、観測対象の範囲においてであるが、どのような種類の建築物が地盤 - 構造物の動的相互作用の影響を受けやすいかが把握できる。地盤 - 構造物の動的相互作用の影響の程度は、フーリエスペクトル比のピークのずれ等から把握される。地盤 - 構造物の動的相互作用の影響が少ないと見なされる観測建築物及びこれと類似の建築物については基礎固定系として扱っても地震応答は妥当に評価されると判断される。

地盤 - 構造物の動的相互作用の影響が大きいと見なされる建築物については、地震応答に対するその低減効果が大きな関心事となる。これを地震観測記録からより直接的に評価するには、本研究で提案した同定に基づく地震応答低減効果の表示方法が有効であると考えられる。これによると、基礎固定系と比較した場合の相互作用系の地震応答の比率(低減率)が、 S_a 一定又は pS_v 一定を仮定して算出される。建築物の地震力は応答スペクトルで評価される場合が一般的であるが、この場合は基礎固定系の応答が評価されている。これに対する地盤 - 構造物の動的相互作用による建築物の応答低減効果を考える場合には、本方法により得られる低減率が有力な参考情報となり得ると考えらえる。

以上のような活用のされ方を想定すると、本書の出版以降も、地震観測記録の整理結果を閲覧し易い形で公表していくことが重要となる。また、地震観測記録には、第2章3節でも示された通り、建築物特性の経年変化の影響やばらつきが見られるため、地震観測記録が一定以上蓄積された段階で、整理結果を更新する必要があると考えられる。今回、地震観測記録の整理結果を取りまとめたところであるが、更に、3年程度の期間毎、あるいは大きな地震が観測された段階で、

整理結果を更新していくことが今後、取り組むべき課題として挙げられる。

また、同定による方法も適用事例を増やしていき、結果が得られたものから、順次、記録の整理結果と対応させて公表していくことが今後の課題となる。本研究では、建築物を階数等により区分して、地盤 - 構造物の動的相互作用の様相を検討しているが、適用事例を積み重ねることで、より細分化された区分に基づく応答低減効果の提示ができると考えられる。

次に、地盤 - 構造物の動的相互作用一般に係る課題を考える。

本研究期間中には、2011年東北地方太平洋沖地震が発生し、本研究で対象としたいいくつかの地震観測建築物でも非線形の現象を観測することができた。特に観測建築物 TKS では周辺地盤で液状化が発生し、これに伴う地盤の非線形化の建築物応答に対する影響とその後の地盤ばねの剛性の回復現象に関する記録を観測した。非線形現象の貴重な記録が得られたものと考えられるが、レベル的には震度 5 の記録であり、巨大地震時での記録とは言えない。杭周りでの地盤の局部的非線形性、根入れの剥離、浮き上がり等の幾何学的非線形性まで含めた巨大地震時での地盤 - 構造物の動的相互作用の評価は、理論的、解析的研究においても、未だ課題が残されているところであり、これらの現象の解明のためにも、建築物の地震観測は今後とも、継続して実施していくべきものと考えられる。

最後に、地震観測の継続的实施に当たっての課題を考える。

多種多様な建築物への地震入力や地震応答に関する実現象を把握するに当たり、建築物の地震観測点数は、現在でも、必ずしも十分なものではない。今後、観測対象とする建築物や建築物と地盤との組み合わせのヴァリエーションを効率的に増やしていくためには、K-NET 等、既存の地震観測網の活用や、大学等の他機関との共同、既に十分な記録が得られた建築物から他の建築物への地震計の移設等、様々な戦略を考えていくことが重要である。

また、建築物の地震観測体制を維持していくには、観測記録の収集、整理及び分析作業を恒常的に実施していくための各地震観測機関における協力体制の構築も必要であろう。人員の不足から観測機関内のみで観測記録を十分に処理できないという状況が考えられること、また記録の有効活用という点からも、観測記録の公開^{注1)}も進めていくべきである。

注 1) (独)建築研究所(現、国立研究開発法人建築研究所)による強震記録の入手方法については、<http://smo.kenken.go.jp/ja/useofdata> を参照されたい。