

地震を学び・揺れに備える—地震に強い都市を目指して



研究室紹介

宮本 裕司*

Learn Earthquakes and Prepare for the Coming Great Earthquake
— Aim for an earthquake-resistant city

Key Words : Earthquake prevention, Ground motion, Structural engineering

1. はじめに

逼迫する巨大地震への対策が急がれる中、災害に強い強靱な都市を目指すためには、都市を構成する一つ一つの建物の被害を如何に最小に抑えるかが重要となる。このことを使命に、私の研究室では建物の建設地点での地震の揺れを予測し、その揺れによって建物がどのように揺れるのかを解析し、建物や都市・地域の耐震化を高めて防災・減災に役立てることを主な研究テーマとしている¹⁾。

従来の耐震設計では、建物単体の揺れだけに主眼がおかれていた。しかし、阪神・淡路大震災や東日本大震災の被害を目の当たりにして、建物が建っている地盤の揺れの違いも評価し、耐震設計をより緻密にすることの重要性が改めて認識された。いつ起こってもおかしくない南海トラフ巨大地震や上町断層帯地震の発生時に、関西の地盤がどのように揺れ、その揺れが地点によってどれだけ異なるのか、その揺れによって建物がどのような被害を受けるのかを明らかにするとともに、地震の揺れに対して建物被害を軽減させる技術の開発も進めている。

2. 地震の揺れの予測

地震予知が不可能な現在、過去の地震の震源情報と観測記録をもとに、震源から発生した地震波を数学・物理モデルによって如何にシミュレーションで

きるかが重要となる。想定した震源からどのように地震波が伝播してくるかを把握できなければ、建設地点の地震の揺れを予測することはできない。そのため、2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震での地震動シミュレーションを精力的に行っている。特に、これら二つの地震はそれぞれ海溝型地震と活断層地震の典型であり、特性の異なるこれらの地震動を解明することは関西で懸念される南海トラフと上町断層帯での地震の揺れをより正確に予測するために重要となる。例えば南海トラフの地震が四国沖で起こるか、紀伊半島沖で起こるか、大阪の揺れは全く違って来る。あらゆるパターンの震源破壊の可能性を考えて建物への地震力を正確に把握し、耐震設計に反映できるように研究を進めている。そういう意味で研究エリアは広く、まず震源から建物の建っている敷地までの地震動と地盤の研究、そして建物がどう揺れるかをシミュレーションする建物応答の研究が必要となり、研究対象は震源から建物のトップまでをカバーしている(図1)。

3. 敷地地盤の地震動増幅

地震の揺れは建物の敷地地盤の特性によっても全く異なって来る。東北地方太平洋沖地震では大阪此花地区に建っている咲洲庁舎の52階では、左右に



* Yuji MIYAMOTO

1956年3月生まれ
京都大学工学部建築学科卒業(1979年)
現在、大阪大学大学院工学研究科 地球
総合工学専攻 建築工学部門 教授
工学博士
TEL : 06-6879-7634
FAX : 06-6879-7634
E-mail : miyamoto@arch.eng.osaka-u.ac.jp

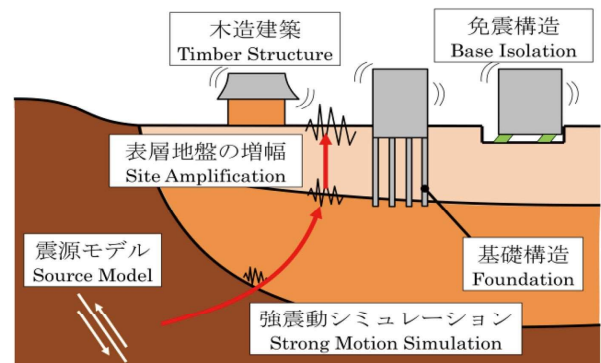


図1 研究テーマ (地盤の揺れと基礎—建物の応答評価)

最大で全振幅で3mの揺れを記録した。またその揺れは10分間以上も継続した。震源から遠く離れた大阪市内では建物被害はほとんど出なかったが、55階建ての咲洲庁舎の室内や設備やエレベータに被害が出た。なぜ大きな揺れになったかと言うと、東北で発生し伝播してきた長周期成分を含む地震波が大阪平野の地盤構造の中で増幅し、背の高い咲洲庁舎の長い固有周期と共振したためである。この事例からわかるように、建物の地震対策では建物だけでなく地盤の揺れ方を含めて考えることが大切となる。

現在、このような長周期で長時間の地震動の対策として、国土交通省は南海トラフ巨大地震を想定した際の大阪に建設する超高層建物や免震建物の耐震設計では、図2に示す地震動のレベルによる設計を義務付けている²⁾。図中の黒実線は通常的设计用地震動のレベルであるが、南海トラフ地震では大阪を3つの区域に分けた地震動レベルが設定され、湾岸や東大阪のOS1地域では2倍ほどのレベルを考える必要がある。研究室ではより詳細精密に各地域での地震動レベルを評価するため、強震動のシミュレーション解析法を用いて長周期地震動の周期ごとの発生状況(図3)や、表層地盤での非線形や液状化

現象を取り入れた応答解析法の高度化を進めている。

4. 基礎地盤の耐震性向上

大阪で多くの超高層建物が建っている場所は沖積地や埋立て地の軟弱な地盤のため、直接地面の上に建てるのではなく、杭を地盤深く打つことによって建物を支持している。現在の構造設計では、地上部の建築物の研究については、超高層ができてから50年以上も経ち、地震応答を低減させる制震ダンパーの開発を含めて耐震研究はかなり進んでいる。しかし、地中にある杭基礎の研究はまだ進んでいないのが現状で、耐震規準も旧態依然で、耐震性能を向上させる考え方や設計法は設計者の判断に任されている。杭基礎は表層の軟らかい地盤内にあるため、地震に強い建物を設計するためには、まずこの杭基礎の耐震性を高度化する研究が必要と考え、研究室の主要なテーマの一つとして力を入れている。

杭基礎の研究では、巨大地震での地盤と群杭の非線形挙動を把握することを目的に、振動台を用いた模型実験(図4)や3次元非線形FEM解析を用いて、実証と解析の両面から研究を進めている。さらに先の熊本地震において杭基礎の被害で建物機能を喪失し、取り壊された建物が多くあったこともあり、その被害原因の究明に取り組んでいる。また、杭基礎の耐震性能を評価するためには杭と地盤との非線形連成挙動による地盤抵抗をモデル化する必要がある。そのため、実地盤において実大杭の載荷実験を行い、杭-地盤系の非線形抵抗特性の実証データの蓄積を行い、そのモデル化を進めている。

また、自然地盤は変形に対して脆く耐震性に乏しい。そのため地盤材料そのものを人工改良して、地震に強い基礎地盤を開発することも研究テーマとし

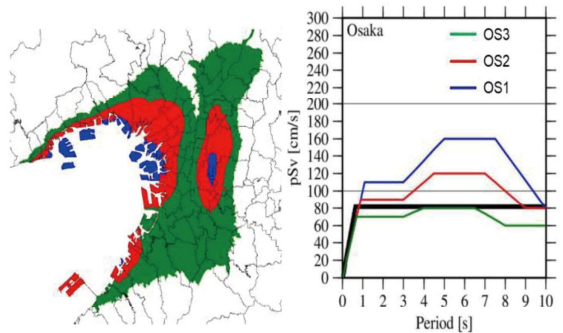


図2 南海トラフ地震での大阪の長周期地震動レベル²⁾

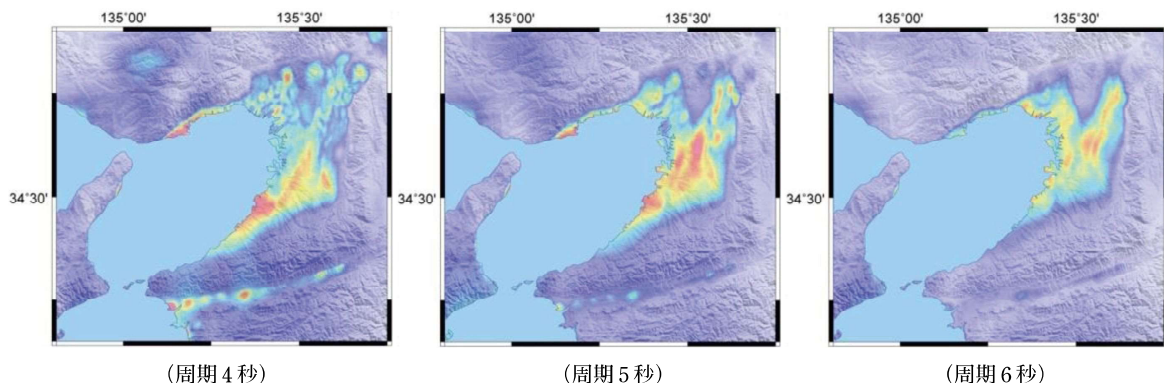


図3 長周期地震動の周期ごとの揺れの強さ分布(疑似速度応答スペクトルNS方向)³⁾

ている。従来の地盤改良はセメント系材料を用いることが多いため、強度はある程度確保できるが、大地震時の変形性能に乏しいことが欠点であった。それを克服するため高分子系材料と地盤材を混合した複合地盤材の開発を行っている(図5)。現在のところ、この材料と杭基礎を併用することによって自然地盤の材料特性の不確実性やばらつきを排除でき、強度と変形性能に富む基礎地盤の実現も可能となっている。

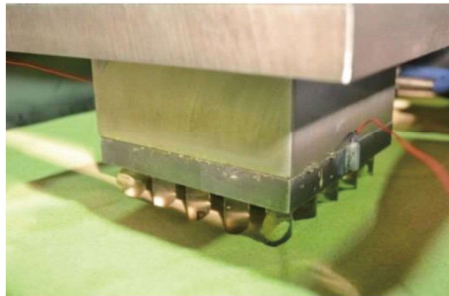


図4 群杭基礎模型の試験体



セメント系改良地盤



新複合地盤材

図5 地盤改良材の一軸圧縮試験

5. 建物の応答解析・応答低減

建物応答の研究では、設計レベルを超える大地震に対して如何に応答を低減し、被害を最小に抑えるかをテーマとして行っている。例えば、免震建物でも設計で考えた以上の地震入力があった場合には建物を囲む外周擁壁と衝突し、免震装置や建物に何らかの被害が出るのが懸念されている。そのため、衝突時の衝撃を緩和する先の複合地盤材のような緩衝材を擁壁に取り付け、免震建物の耐震性を維持できるような方法も研究している。

また、地震の揺れそのものを小さくする研究として、地盤と基礎の間に人工の素材を入れ、そこで地震エネルギーを吸収する基礎工法の開発を目的に振動台実験を行い、戸建て住宅などへの適用の可能性を確認している。さらに、通天閣の免震レトロフィ

ットプロジェクトの設計指導や地震観測、また伝統木造建築物の耐震性能に関しても木と木の接合部の力学特性や、基礎と柱脚間の復元力特性についての要素実験から実大の振動実験までを行っている(図6)。このように、広い建物種別を対象として、精緻な地震応答解析モデルの構築を目標としている。



図6 耐震研究の対象建物

6. 終わりに

耐震研究はある意味時間との闘いである。起こるであろう巨大地震時に研究成果が活かされ、都市や地域の人的、社会的、経済的な損失を如何に抑えるかが鍵となる。研究室でも色々な業種の企業との協同研究を積極的に行い、実用化研究を進めている。また、海外からの留学生と日本人学生とのコラボを積極的に進め、耐震研究の底上げを目指している。地震の恐ろしさは時間とともに気が緩み、地震への対策を怠ってしまう。それに対して警鐘を鳴らしていくことも研究室の役目と考えている。

参考文献

- 1) <http://www.arch.eng.osaka-u.ac.jp/lab0-miyamoto/>
- 2) 国土交通省：超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について、平成28年6月24日
- 3) H. Kawabe, Y. Miyamoto, S. Tanaka: Strong ground motion prediction in the Osaka basin for future Nankai Trough Earthquake, 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, January 9-13, 2017, Paper No:1555.