

# 免震建物データベースを用いた巨大地震に対する実在免震建物の応答評価

名古屋大学工学部社会環境工学科建築学コース  
飛田研究室 河村 祐樹

## 1. 研究の背景と目的

2010 年末までの国内の免震建物棟数は、大臣認定の建物と告示免震の建物合わせて、ビル系で約 2800 棟、戸建住宅で約 4200 棟、両者を併せると約 7000 棟である。このように免震建物の普及が進む中、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、震源から約 500km 離れた神奈川県西部の足柄平野の一部において、地盤と免震戸建住宅が共振によると思われる応答をし、応答変位が 40cm を超えるという事例が現れた。一方、近年発生が危惧されている南海トラフ巨大地震は、想定される震源域が東北地方太平洋沖地震と比較して都市圏に近く、また長周期成分も多く含むであろうことから揺れが強くなると考えられ、より多くの免震建物で免震層変位が大きくなることが予想される。

以上を踏まえ本研究は、東北地方太平洋沖地震での免震建物の応答を調べるとともに、発生が予想される巨大地震時の応答を、建物の情報と応答解析によって評価し、既存の免震建物データベースを用いて、建物情報との比較を行うことで、免震建物の置かれた状況を把握することを目的とする。

## 2. データベースに基づく国内免震建物の現状分析

本論文で用いる免震建物データベースは、田中らが作成したものに最近 1 年分のデータを追加して用いたもので、総件数は 1806 件である。データベースの対象建物は、免震構造協会発行の雑誌『MENSHEIN』の国内の免震建物一覧表において、2012 年 8 月以前に記載されたもので、告示免震建物は含まない。

### 2.1 設計用実効周期

設計用実効周期の年別割合を図 1 に示す。1995 年以降は実効周期 3 秒未満の建物が年々減少し、1999 年以降はほとんどの免震建物で実効周期 3 秒以上となっている。全体として現在は 8 割ほどの建物が 3~5 秒の実効周期である。実効周期は建物高さによるところが大きく、建物高さが年とともに増加傾向にあることが関係していると考えられる。

### 2.2 クリアランス

クリアランスの年別割合を図 2 に示す。1995 年以降はクリアランス 50 cm 未満の建物が年々減少し、近年ではほとんどの免震建物でクリアランス 50 cm 以上となっていることが分かる。一方、70 cm 以上のクリアランスを設けた建物の割合は 2000 年以降横ばいの状態である。実効周期が増加していることから、想定応答変位が増加し、求められるクリアランスも増加していると考えられる。

## 3. 東北地方太平洋沖地震における免震建物の応答

日本免震構造協会による免震構造地震応答評価部会報告書から、免震建物 21 件の東北地方太平洋沖地震における応答値をまとめる。システム同定によって得られた一次固有周期と減衰定数及び最大応答変位の関係を図 3 に示す。

最大応答加速度は、各建物でばらつきはあるが、免震層下部で 50 gal~400 gal 程度となっている。免震層の最大相対変位は多くの建物で 10cm 以下であり、クリアランスに対する余裕は十分であった。一次固有周期は、概ね 1~3 秒程度となって

いる。減衰定数は 15%~30% 程度の建物が多く、一部は 50% 又はそれ以上の大きな減衰定数となっている建物も含まれている。

## 4. 想定巨大地震に対する実在免震建物の応答評価

### 4.1 応答解析モデル

名古屋市の実在免震建物 46 件を対象として、線形一質点系モデルで応答解析を行った。固有周期は、免震建物データベースに記載された個々の建物の L2 地震時の実効周期の値を用いた。減衰定数は振幅に依存するため、10%、15%、20%、25%、30% と与えることとした。入力地震動は、内閣府が 2003 年に発表した想定東海・東南海・南海地震の地震動と、同じく内閣府が 2012 年に発表した想定南海トラフ巨大地震の基本ケースと陸側ケースの地震動の 3 種類を用いる。いずれの地震においても、開放工学的基盤上の波形を用いる。工学的基盤より浅部の地盤の卓越周期はほぼ 1 秒以下であり、免震建物の固有周期である 2~5 秒には影響が少ないと考えられる。

### 4.2 最大応答変位とクリアランスの関係

応答変位が一番大きかった 2003 年モデルの入力に対する減衰定数 10%、20% 時の建物の応答変位とクリアランスの関係を図 4(a),(b) に示す。図 4(a) のように、減衰定数 10% では、クリアランスを超える応答変位を示すものが複数見られ、応答変位も 40cm

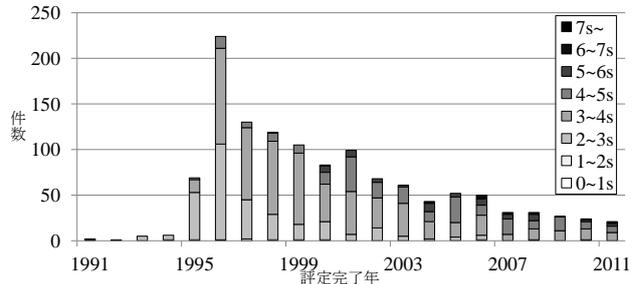


図 1 設計用実効周期の年別割合

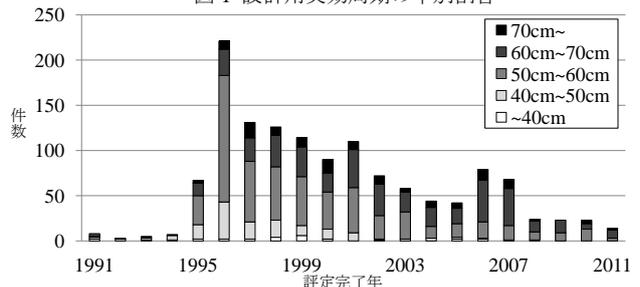


図 2 クリアランスの年別割合

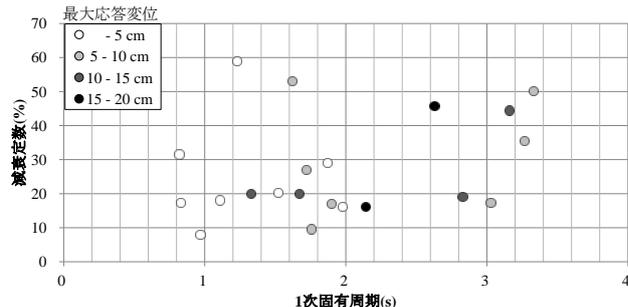


図 3 最大応答変位と固有周期、減衰定数の関係

以上の大きいと値をとる。減衰定数 20% の場合、図 4(b) より 8 割以上の免震建物が応答変位の 1.5 倍以上のクリアランスを有すると推定される。ただし、依然として 1 件の建物ではクリアランスを超える応答を示しており、より大きい減衰定数が必要である。

### 4.3 最大応答変位と深部地盤周期・設計用実効周期の関係

図 5 に 2012 年モデル陸側ケース EW 方向の入力地震動に対する減衰定数 10% 時の建物の応答変位と建物立地地点の深部地盤周期、建物の実効周期の関係を示す。深部地盤周期は、建物の建設地と近接した小学校の微動記録の H/V スペクトルから推定した値を用いた。図中には、推定深部地盤周期と設計用実効周期が一致する直線と、その直線±1 秒の直線も示している。図 4 より、深部地盤周期と設計用実効周期が近接する場合に、建物応答が大きくなっている傾向がみられる。

## 5. 想定巨大地震に対する免震建物の面的な応答評価

### 5.1 応答解析モデル

建物を線形一質点系モデルとして応答解析を行った。固有周期は 2s~7s、減衰定数は 10%、20%、30% とした。愛知県内の 1km メッシュごとに、2003 年内閣府発表の想定東海・東南海・南海地震の地震動を入力した時の応答計算を行った。

### 5.2 免震建物の応答評価

一例として、固有周期 4 秒、減衰定数 10% の建物と固有周期 7 秒、減衰定数 30% の建物の最大応答変位マップを図 5 に示す。また、地点 A、B、C の入力波のトリパタイトスペクトルを図 6 に示す。

図 5 より、減衰定数 10% で固有周期 4 秒では、最大応答変位が 50cm を超える地域があることが分かる。特に、地点 A では最大 110.2 cm の応答変位と推定された。

減衰定数 30% の場合は、応答変位が 50 cm を超えるような地

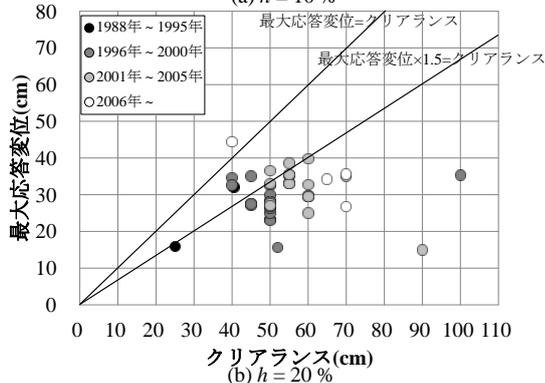
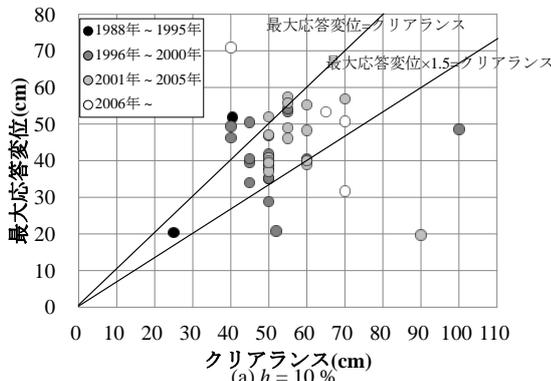


図 4 応答変位とクリアランスの関係

点はほとんど見られない。ただし、地点 B 等では固有周期 7 秒では 70 cm を超えるような応答変位が推定された。一方、地点 C 等の愛知県の北東部に関しては、どの固有周期の免震建物も減衰定数によらず最大応答変位 20 cm 以下程度であった。

図 6 から、各地点で免震の周期帯域である 2~7 秒程度の入力レベルが大きく異なることが分かる。以上より、免震建物は地盤の卓越周期や建物の固有周期・減衰定数と応答変位が深く関係することが分かる。

## 6. まとめと今後の展望

本研究では国内の免震建物のデータベースを用いた分析、東北地方太平洋沖地震の免震建物の応答のまとめ、及び南海トラフ巨大地震時における応答評価を行った。本検討では、減衰定数 20% 以下では名古屋市内の実在免震建物でクリアランスを超えるような最大相対変位を示した。また、愛知県内の応答解析結果より、建設地点によっては減衰や周期を大きくしても大きな応答変位を取り得るため、地盤周期や地震動の検討を行うとともに、クリアランスを大きく

とることや、減衰を大きくすることが求められる。

今後の課題として、表層地盤での地盤増幅を考慮した地震応答解析や、整合性の高い免震建物の非線形時刻歴応答解析の応答解析結果の確認等を行い、より精度の高い免震建物の応答予測を行いたい。

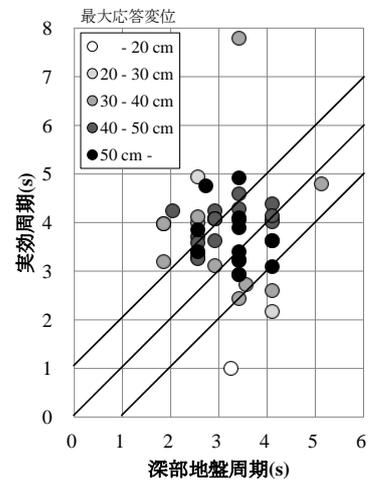


図 5 最大応答変位と深部地盤周期・実効周期の関係 ( $h = 10\%$ )

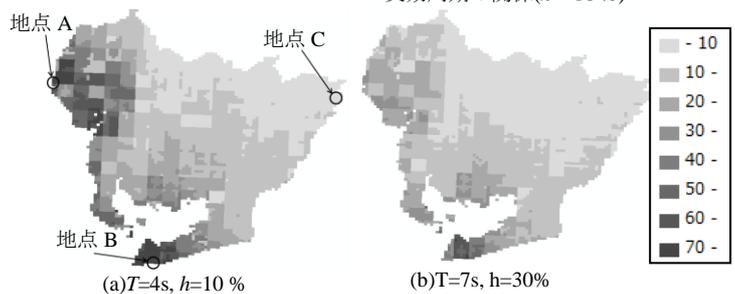


図 6 最大応答変位マップ

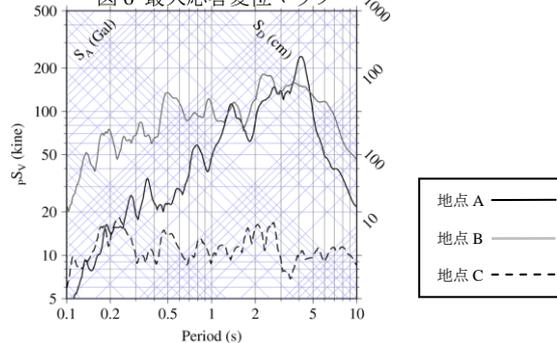


図 7 トリパタイトスペクトル ( $h = 5\%$ )