常時微動計測に基づく仙台平野の地盤震動特性と 東北地方太平洋沖地震における免震戸建住宅の応答変位との関係

名古屋大学工学部社会環境工学科 建築学コース 福和研究室 江上貴成

1.研究の背景と目的

1995 年兵庫県南部地震において、免震建物の地震被害率 低減効果が高く評価され、以後その数は急増し、現在日本 国内に7000棟以上建設されている。その中で戸建免震住宅 は約5000棟を占め(図1)、一社で4000棟以上の免震戸建住 宅を供給する住宅メーカーも存在する。これらは時刻歴応 答解析ルートに基づく一般認定の範囲内で設計され、周期 や減衰といった免震性能がある程度規格化されている。 2011 年東北地方太平洋沖地震において、震度 7 を記録した 宮城県内で高い免震効果を発揮したことが報告がされてい るが、免震層に取り付けられた罫書き装置から読み取った 軌跡は、仙台平野内の場所によって差異がみられ、局所的 に大きく変位した住宅もあった(図 2)。 免震戸建住宅の装置 可動範囲は一般の免震建築物と比べて小さいため、建築 地によって応答変位に大きな差異が生じる要因を解明す ることは、今後懸念される巨大地震に対して可動範囲を 超えそうなエリアを予測し、すでに建設された、或いは 今後建設する住宅に対して具体的な対策を施す上で重要 である。

本研究では、仙台平野に建つ免震戸建住宅の敷地内及び公的強震観測点で60点を越える常時微動計測を実施し、H/V スペクトル形状による地盤の震動特性と、東北地方太平洋沖地震で生じた応答変位との関係について明らかにする。

2.常時微動計測の概要

常時微動計測は 2012/10/19~10/21 の 3 日間、基本的に 9 人 3 チーム態勢で計測を実施した。免震層の罫書き装置から最大応答変位記録が得られた物件の周辺地点と、同様の免震システムを持つ物件の周辺地点、及び強震観測点を含めた 62 地点である。収録機は 3ch 微動計を用い、5 秒計の速度記録とした。収録時間は原則 30 分間とした。

3.微動 H/V スペクトルによる震動特性分析

常時微動記録からノイズの大きい区間を除き各計測地点の H/V スペクトルを算出した。対象建物の固有周期が約3秒であることから、やや長周期側の震動特性について検討するため、観測データを163.84秒のサンプルに分割し、アンサンブル平均した。なお、0.05Hzの Parzen-Window によって平滑化を行った。仙台平野におけるスペクトル形状は、図3に示すように地点によって様々な特徴がみられる。また、図中のB,D地点は3.11本震時に最も大きな応答を示した免震戸建住宅の周辺である。各地点でのやや長周期側におけるピークを読み取り、深部地盤構造による長周期地震動マップとの照合、及び応答変位記録との関係の比較を行った。やや長周期側におけるピーク周期と、長周期地震動マップの表す卓越周期は概ねよく対応し、微動記録から地盤の震動特性を把握するうえでの有用性を示したと言える。

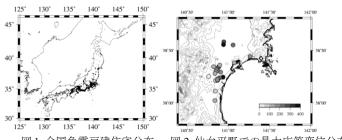


図1 全国免震戸建住宅分布 図2 仙台平野での最大応答変位分布

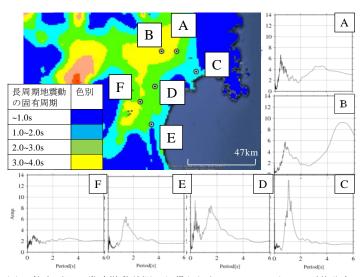


図3 仙台平野の常時微動計測から得られた H/V スペクトルの形状分布

4. 応答変位と各種要因の比較

常時微動計測を行った 62 地点のうち、免震層に取り付けられた罫書き装置から応答変位記録が得られた 25 地点を対象に、大きな応答変位が生じた原因について検討を行った。設計時資料から等価設計周期、等価減衰定数を算定し最大応答変位との比較を行ったものを図 4 に示す。これは免震層において 20cm の変位が生じた際の等価な設計値であり、この図によれば免震戸建住宅の持つパラメータの大小に関わらず最大応答変位が生じている。このことから、各物件での最大応答変位記録に応じて暫定的に 5cm 間隔で分割して近しい値を周期の算定に採用した。これによって得られた免震戸建住宅の等価設計周期と、各物件の敷地周辺における H/V スペクトルのピーク周期との関係を図 5 に示す。この図から、相対的ではあるが変位 10~30cm の建物に対しては共振現象が生じる原因である H/V スペクトルのピークと免震戸建住宅の固有周期との関係に相関がみられた。

一方で、図3中のB.Dを含む最大応答変位が30cmを越えるような大きな最大応答変位が生じた物件に関しては、共振域とは離れた値を示したことから、深部地盤の影響を誘因とした共振現象のみならず、他の要因が考えられるとしてさらなる考察を行った。

5. 東北地方太平洋沖地震での観測波の分析

30cmを越える極めて大きな変位を示した図3中のB,Dの 物件について、約 2~3km の範囲内に位置する最寄りの強震 観測点 MYG006(古川), MYG013(仙台)において得られた変位 波形と応答変位履歴(以下、軌跡)、5%疑似速度応答スペク トルを図 6 に示す。また、それぞれの物件から得られた罫 書き記録・写真を図7に示す。図6において時刻歴で軌跡 を辿ったところ、古川においては91~92秒の間で東から西 へかけて約 40cm の最も大きな軌跡を描き、その後は東西・ 南北両方向において大きな振幅がみられるが、Bの物件にお いては図7に示すように明瞭な罫書き記録が得られなかっ たため、免震層の挙動と対比して最大応答変位との関係を 表すことが困難である。トリパタイトスペクトルは 1 秒付 近にピークが見られ、それ以降の長周期側においても大き な応答を示していることから、一つの推測として古川とそ の周辺において観測された変位は地震動の長周期成分によ る共振現象を引きこしたと考えられる。一方、仙台に関し ては 90 秒付近において南から北西にかけて約 30cm の軌跡 を描き、片側に大きく突き出す形状を為すことから、パル ス的な入力があったと考えられ、図 7 の罫書き記録からも 地動と免震層の動きが対応していることがわかる。また、 トリパタイトスペクトルは0.8~1.0秒にかけて応答が大きい 傾向を示している。これらの図から、仙台では K-NET で得 られた応答変位記録と免震層の動きが対応しており、地盤 のパルス的な大きい入力によって大きな応答変位が生じた と推測される。

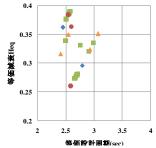


図 4 20cm 変位時の等価減衰・等価 設計周期と最大応答変位の関係

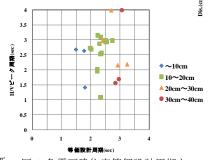


図 5 免震戸建住宅等価設計周期と H/V スペクトルのピーク周期の関係

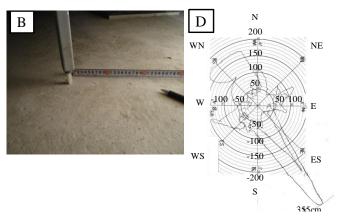


図7 地点B,Dにおいて得られた変位計の写真及び罫書き記録

6. まとめと今後の課題

本研究では東北地方太平洋沖地震によって免震層に許容 変位量を越える大きな応答を記録した、仙台平野に建設さ れている一部の免震戸建住宅を対象として常時微動計測を 行い原因の調査を行った。設計時の資料、微動 H/V スペク トルによる地盤の震動特性との関係などから共振現象に関 する検討を行ったところ、比較的最大応答変位の大きい物 件では異なる要因への検討が必要となった。従って、東海 地方太平洋沖地震本震時における強震記録、免震層に取り 付けられた罫書き装置による変位記録から、仙台平野にお いてはパルス波を含む地震動が原因の一つとして挙げられ た。一方、古川周辺においては計測地点数が少なく、H/V スペクトルや強震記録から相関を見出すには至らなかった ため、今後の原因究明が課題となる。以上のことから、十 分にクリアランスを確保することが難しい免震戸建住宅に おいて、恒常的に免震性能を発揮するためには地盤の卓越 周期と設計周期の共振を避けることは基より、大きな地震 動が生じた際のパルス波を考慮した設計が本研究から得ら れた1つの見解として挙げられる。

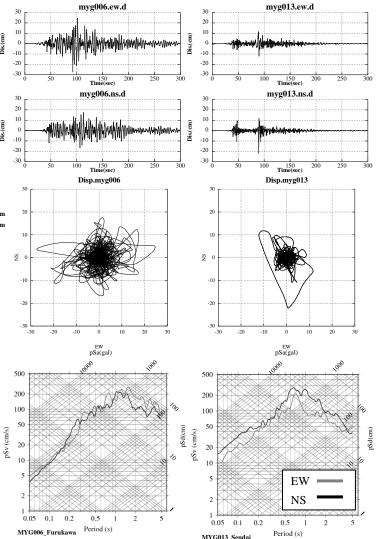


図6強震観測記録から得られた変位波形及び水平面軌跡と トリパタイトスペクトル(左: MYG006古川、右: MYG013仙台)