

2011年東北地方太平洋沖地震において足柄平野に建つ免震住宅で観測された応答変位とH/Vスペクトルの関係
Relationship Between Displacement of Base-isolated Houses and H/V Spectra in Ashigara Basin
during The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

2. 構造 -2. 振動

免震住宅 応答変位 足柄平野
常時微動計測 H/V スペクトル 地盤震動

正会員

○田中 佑治*

Yuji TANAKA

同

高橋 武宏**

Takehiro TAKAHASHI

同

福和 伸夫***

Nobuo FUKUWA

同

飛田 潤****

Jun TOBITA

同

護 雅史*****

Masafumi MORI

1. はじめに

戸建住宅の免震化に関して、2000年以降独自の設計システムを国が認定する、所謂「一般認定」を取得する住宅メーカーが免震市場に参入し、1棟毎の評定が不要となったことで急激に普及が進み、現在一社だけでも約4000棟の免震住宅が建築されている。

免震住宅は基礎と土台の間に免震装置を挟み込み、上部建物を滑らす（すべり支承）又は転がす（転がり支承）ことにより固有周期を伸ばして地震による地面の揺れとの共振を避けると同時に、何らかの復元装置で原点に戻す仕組みで、建物応答を軽減することを可能にしている。その一方で、基礎と上部建物のずれ幅（以降、応答変位）は、非免震住宅に比べて大きくなるため、敷地にはクリアランスが必要となる。

図1は2011年東北地方太平洋沖地震（以降、東北地方太平洋沖地震と呼ぶ）において、K-NET、KiK-net¹⁾で観測された地表における地震波を利用し、仮に各観測点に免震住宅（滑り支承と積層ゴム併用のシステムで固有周期3秒）が建っていた場合を想定した応答変位の推定結果である。大きな応答変位を示す地域は宮城県、福島県や関東北部で、神奈川県より西の地域では小さな値となる傾向が見て取れる。しかし、免震住宅の床下に設置していた野書き装置による実際の応答変位を調査すると、上記の傾向に反し、神奈川県南西部に位置する足柄平野においては、近隣であっても応答変位に大きな差異があり、局所的に非常に大きな応答変位が生じていた事例があることが判明した。

以上の背景から、本論では、震源域から300km以上離れているにもかかわらず局所的に大きな応答変位が生じた現象を、足柄平野内に建築されていた約80棟の免震住宅の敷地内及びK-NETやKiK-netなどの地震観測地点付近で実施した常時微動計測によるH/Vスペクトル形状から検証することを目的とする。

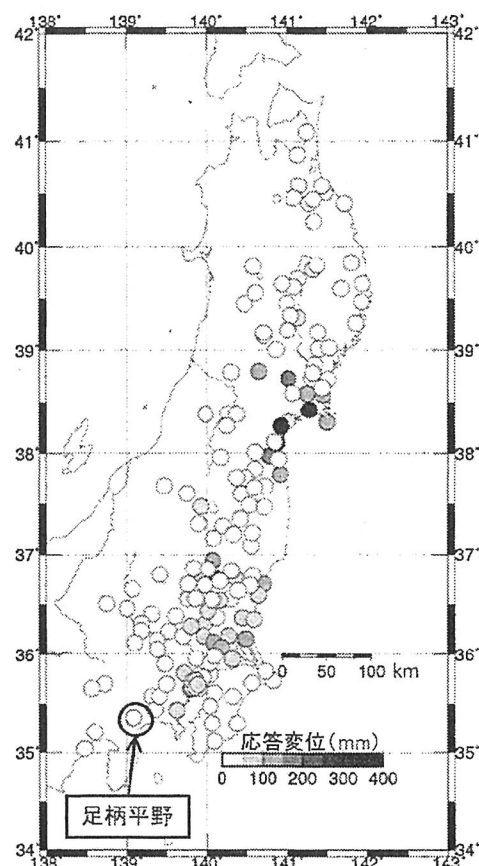


図1 東北地方太平洋沖地震における
東日本での予測応答変位分布

2. 足柄平野の地盤特性と調査対象建物で得られた観測記録について

本論での調査対象である足柄平野は、フィリピン海プレート沈み込み境界とされる相模トラフの延長域に位置し、沈降するトラフが丹沢山地からの碎屑物で埋められ形成された扇状地性沖積平野である。その大きさは長さ約12km、幅約4kmで、東は大磯丘陵、北は足柄山地、西は箱根火山に接している。また、北と東の縁には、国

*名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生

**名古屋大学防災連携研究センター

***名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

****名古屋大学災害対策室 教授・工博

*****名古屋大学大学院環境学研究科 准教授・博士（工学）

Graduate Student, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University
Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University
Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Eng.
Prof., Disaster Management Office, Nagoya University, Dr. Eng.
Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ. Dr. Eng.

府津—松田断層が存在しており、大磯大丘陵はその隆起側、足柄平野はその低下側に形成されている。ここで、足柄平野の地形分類図を図2に示す。足柄平野はその8割程度を扇状地が占めており、さらに南東部には鴨宮段丘、千代台地などの低平な段丘が存在していることが分かる。また、表層地盤については、北部や西部では浅く、南部に行くほど深くなっていくとされている。²⁾

足柄平野の地下構造に関する既往の研究として、植竹ら³⁾が観測地震波の記録から地下構造モデルの検証や、山本ら^{4),5)}田中⁶⁾ら、がボーリングデータを用いて表層地盤の分析を行っている。これらの分析においても、南東

部においては、卓越周期が比較的長周期側となる傾向が見られ、地形や地下構造との関連性が認められる。

東北地方太平洋沖地震において、特に大きな変位応答が生じた地域は、足柄平野中央部に位置している。地形分類としては、箱根火山による火山性丘陵地にあたり、非常に高低差の大きい複雑な地域となっている。

調査対象建物は、足柄平野における約80棟の免震住宅である。これらの建物の免震層には、写真1に示すような野書き装置が設置され、地震時の相対変位応答を記録できる。本地震に関しては、現在、この内の60棟で野書き記録が得られていることを確認している。野書き記録の一例を図3に示す。野書き記録は、直接、基礎に記録されるため、収録用の用紙を重ね、書き写した。これから読み取った全60地点の最大変位応答値分布を図4に示す。これより、多くの地点では変位応答が50mm程度以

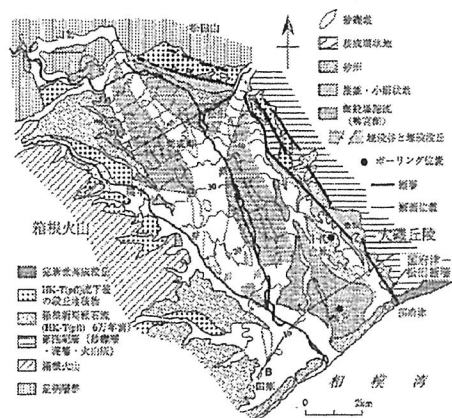


図 3.4.1 足柄平野の地形分類図と建設後、埋没段丘 (山崎, 1994)

図2 足柄平野の地形分類図¹⁾



写真1 免震住宅の床下の様子

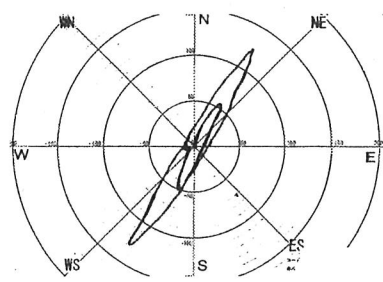


図3 免震住宅の野書き記録例

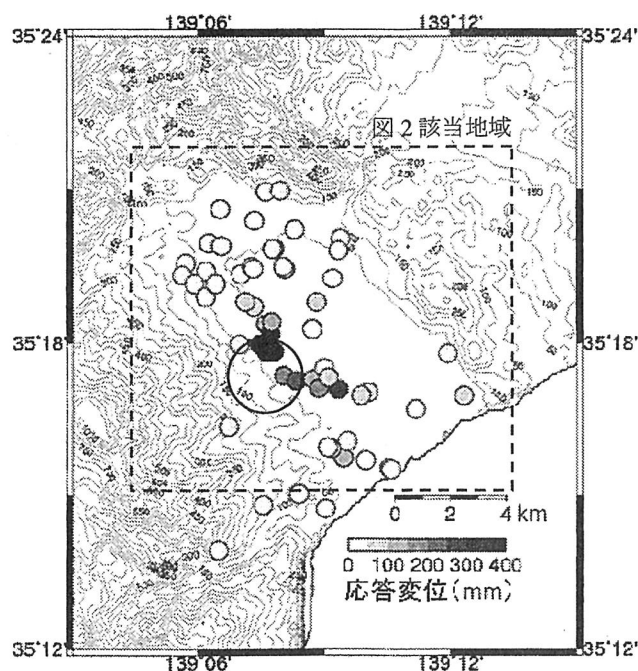


図4 東北地方太平洋沖地震における足柄平野の変位応答値分布と足柄平野付近の標高図 (図2に該当する範囲を点線で図中に示す。)

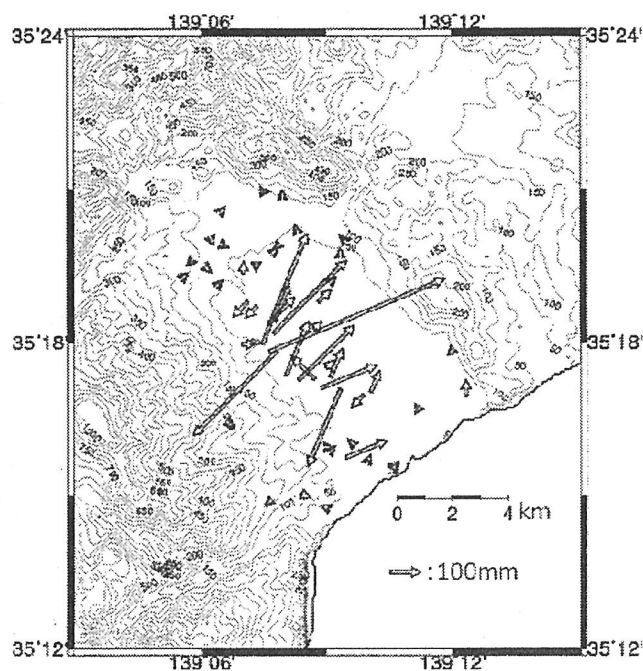


図5 東北地方太平洋沖地震における足柄平野の変位応答値分布とその方向

下に収まっていることが分かる。また、50mm 以上の応答となった地点は、平野中央部の西寄りだけに集中していることが分かる。特に図中に○で囲った地域では、300mm を越える変位応答を記録した住宅も見られた。次に、図 5 に各点における最大変位応答値とその際の方向を示す。これから、多くの地点において足柄平野と震源域を結ぶ方向（北東－南西方向）で、最大応答となっていることが分かる。比較的応答の大きな地点では、図 4 にも示したように野書き記録は楕円型となる傾向があり、明瞭な方向性が見られる。一方、比較的応答の小さな地点では、方向性がばらつく。これは、野書き記録のサイズが小さくなり、それが読み取りづらくなるためである。

3. 常時微動計測の概要と記録の例

足柄平野内における免震住宅の変位応答分布と地盤震動特性との対応について分析するために、常時微動計測を実施した。計測地点は、東北地方太平洋沖地震の野書き記録を取得している地点、比較的応答の大きかった地域に関しては、その付近の地盤震動特性をより正確に把握するために、野書き記録取得地点周辺の数点、さらに

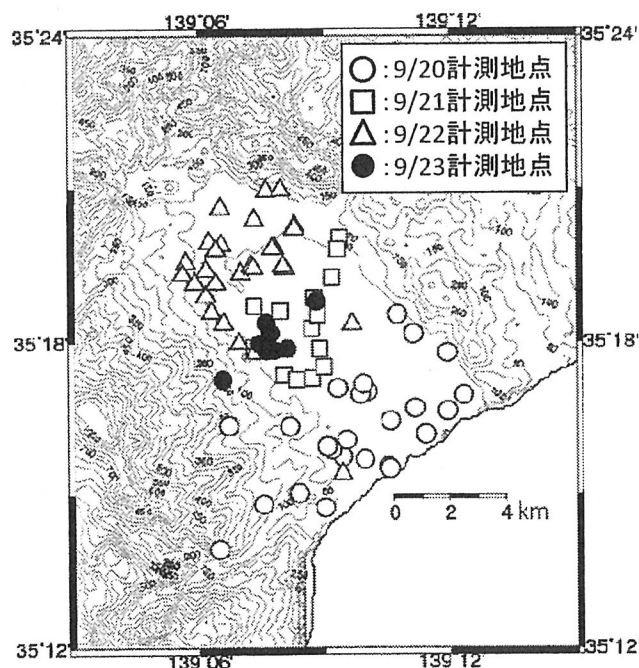


図 6 足柄平野における常時微動観測地点の分布

表 1 計測日の天候について

計測日	天候	台風15号の状況	備考
9月20日	曇りのち雨	接近	計測中は降雨なし
9月21日	雨	上陸、通過	雨風共に非常に強く計測中断
9月22日	晴れのち曇り	-	-
9月23日	曇り	-	-

K-NET、KiK-net などの強震観測点周辺を加えた合計 76 地点である。計測地点の分布を計測日毎に図 6 に示す。微動計測は、2011 年 9 月 20 日から 9 月 23 日の 4 日間で行った。3 チーム 12 人態勢でそれぞれ、動コイル型 3ch 微動計（速度計を 5 秒計として使用）と AD 変換ボックス、ノート PC を用い、電源はバッテリーから供給することにより、短期間で多地点の計測を可能とした。なお、今回の計測において、各点の常時微動記録の収録時間は、30 分間を基本とした。計測期間中の天候や台風 15 号の様子を表 1 に示す。今回、計測期間においては、台風 15 号の接近、通過に伴い、風雨の強い状況で計測せざるを得ない地点が何点か生じた。しかし、そのような地点においては、建物が揺れる影響があまり含まれないようできる限り、建物から離れた場所を計測地点とするなどの工夫を行った。

4. 分析結果

得られた常時微動記録からノイズが大きい区間を除いて各計測地点の H/V スペクトルを計算した。H/V スペクトルは、対象建物の固有周期が 3 秒程度であることから、深部地盤構造に関連すると考えられるやや長周期側の震動特性について議論するため、観測データを 163.84 秒のサンプルに分割し、それらをアンサンブル平均することにより算定した。なお、そのスペクトル形状を整え見やすくするため、0.05Hz のパーツェンウィンドウによって平滑化を行っている。

全地点における H/V スペクトルを算定した結果、その形状は、大きく 3 つに分類されることが分かった。それぞれの形状の例を図 7 に示す。また、H/V スペクトルの形状の分布、及びピーク周期の分布を図 8 に示す。なお、スペクトル形状 C では、明瞭なピークが見られないため、これに該当する地点のピーク周期は示していない。3 つの分類についてそれぞれ説明する。まず、形状 A は、平野内で最も多く見られる形状で、1 秒付近から短周期側にスペクトルの大きなピークがある。このタイプは、平野南部の沿岸部から平野東部において多く見られる。形状 B は、緩やかな山形で、2 秒から 3 秒付近にピークを持つものである。このタイプは、平野中央部の西に多く見られる。形状 C は、スペクトルの明瞭なピークが見られない形状で、平野西部の山間部に多く見られる。また、同図から、平野南東部における周期は、1 秒付近となっており、平野北部、南西部の山間部では、0.5 秒以下となっていることが分かる。一方、2 秒から 3 秒の比較的長い周期となった地点は、平野中央部の西に分布していることが分かる。

図9にH/Vスペクトルのピーク周期と最大応答変位の関係を示す。これから、ピーク周期が1秒以下の短周期側となる形状Aの地点の多くは応答変位が100mm未満となっていることが分かる。一方、ピーク周期が2秒から3秒付近となる形状Bの地点では、半数の地点で300mmを超える大きな応答変位となっていることが分かる。これから、相対的ではあるが、ピーク周期が1秒以下の地点よりもピーク周期が2秒から3秒付近である地点の変位応答が大きくなる傾向が認められた。詳細な分析は今後の課題である。

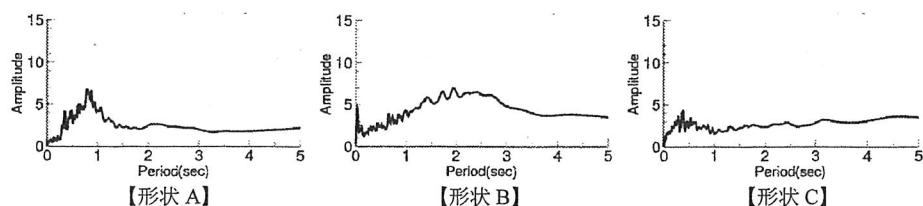


図7 足柄平野におけるH/Vスペクトルの形状分類

6.まとめ

本論では、2011年東北地方太平洋沖地震において、足柄平野で局所的に大きな応答変位が生じた原因を追及するために、足柄平野で観測された応答変位記録や、足柄平野で実施した常時微動計測記録の分析を進めた。今回、得られた知見を以下に記す。

- ① 大きな応答変位が生じた地点は、足柄平野中央部の西に分布し、その地域以外での変位応答値は50mm程度以下と小さな値となっている。
- ② 足柄平野における最大応答にはおおよその方向性が確認でき、北東-南西方向となっている。
- ③ 足柄平野内の常時微動計測記録から求めたH/Vスペクトル形状は、主に3つに分類できる。
- ④ H/Vスペクトルのピーク周期は地域差があり、足柄平野南東部は1秒付近、北部、南西部山間部は0.5秒以下、中央部西は2秒から3秒となっている。
- ⑤ 東北地方太平洋沖地震の応答変位分布と、H/Vスペクトルのピーク周期の分布は類似しており、ピーク周期が2秒から3秒となる地点で変位応答が大きくなる傾向がある。

今後、本論で得られた知見や記録を元に、さらに検証を進める予定である。

参考文献

- 1)防災科学技術研究所, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 2)貝塚爽平ほか：日本の地形4 関東・伊豆小笠原
- 3)植竹富一ほか：足柄平野南部の地下構造モデルと後続波の特徴, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 117-118, 1998
- 4)山本俊雄ほか：微動観測による南足柄市の表層地盤振動特性評価に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 213-214, 2002

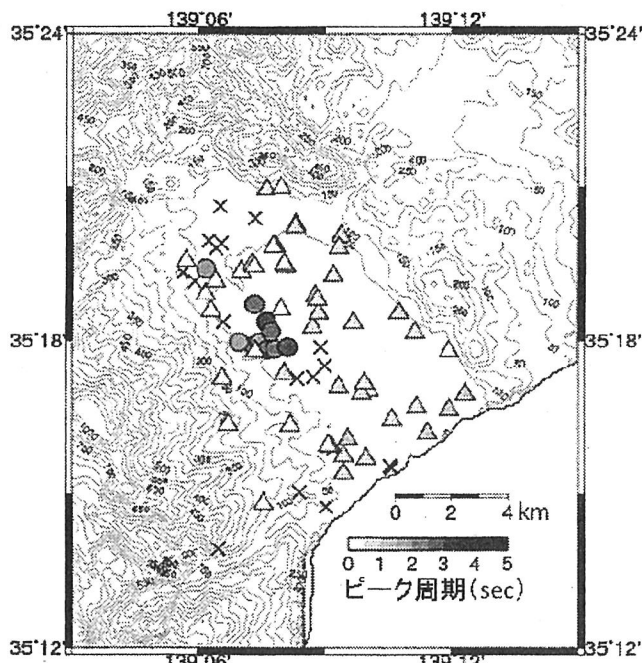


図8 足柄平野におけるH/Vスペクトルのピーク周期の分布と足柄平野付近の標高図

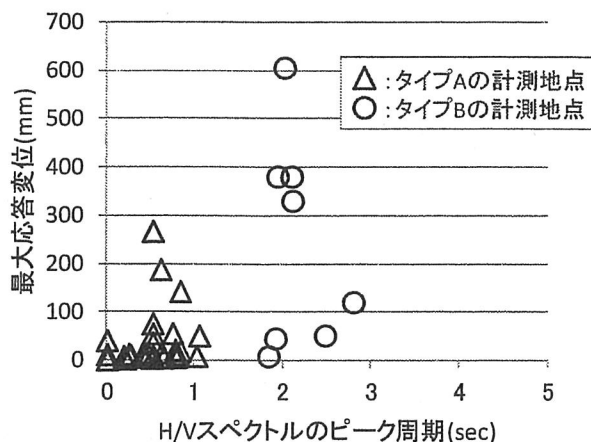


図9 H/Vスペクトルのピーク周期の分布と東北地方太平洋沖地震における応答変位の関係

- 5)山本俊雄ほか：高密度常時微動観測による足柄平野南部の表層地盤振動特性の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 689-692, 2004
- 6)田中江児ほか：ボーリングデータと高密度微動観測による足柄平野北部の表層地盤振動特性の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 279-283, 2003