

## 東北地方太平洋沖地震の地震動強さと微動観測結果の検討

Study of Seismic Intensity and Microtremor Observation Results of  
The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake○落合 努<sup>1</sup>, 荏本 孝久<sup>2</sup>, 宮野 道雄<sup>3</sup>, 生田 英輔<sup>3</sup>, 小田 義也<sup>4</sup>Tsutomu OCHIAI<sup>1</sup>, Takahisa ENOMOTO<sup>2</sup>, Michio MIYANO<sup>3</sup>, Eisuke IKUTA<sup>3</sup>  
and Yoshiya ODA<sup>4</sup><sup>1</sup> 神奈川大学 建築学部

Faculty of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University

<sup>2</sup> 神奈川大学 名誉教授

Professor Emeritus, Kanagawa University

<sup>3</sup> 大阪公立大学 都市科学・防災研究センター

Urban Resilience Research Center, Osaka Metropolitan University

<sup>4</sup> 東京都立大学 都市環境学部

Faculty of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University

The authors conducted a survey of many tombstones in Miyagi Prefecture immediately after the 1978 Miyagi-ken-oki Earthquake. At that time, there were not as many seismometers installed as there are today, so the acceleration estimated from the tombstone survey was a valuable source of information. In recent years, the results of this survey have been reused to compare the results of microtremor measurements with those of constant microtremor measurements, and to compare the results of microtremor observations with the earthquake damage at the time of the survey. Here, we attempted to compare the microtremor observation results with the seismic intensity of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

**Keywords :** Microtremor, H/V spectrum ratio, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, PGV

## 1. はじめに

地震被害を予測・低減するためには、対象地点の地震動を把握することは重要となる。地震動は、一般に震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性に分けて考えられることが多い。その中で、震源特性や伝播経路特性は発生する地震によって条件が大きく異なる。一方で、サイト増幅特性は、地震動の大きさによる非線形性の違いはあるものの、基本的には場所が決まるとその地域のサイト増幅特性を概ね把握することができると考えている。そこで、筆者らはこれまでに主に常時微動計測を用いてサイト増幅特性を把握する研究を行っている(例えば<sup>1)</sup>。

筆者らは、1978年に発生した宮城県沖地震の発生直後に、宮城県を対象に多数の墓石調査を実施している(例えば<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>。当時は、現在のように数多くの地震計が設置されていなかったため、墓石調査から推定されたその地点の加速度は貴重な情報の一つであった。また、近年この調査結果を再度活用し、常時微動計測との比較することで、当時の地震被害と微動観測結果の比較検討などを進めている<sup>4)</sup>、<sup>5)</sup>。これらの結果から、墓石調査による推定加速度値(物理的な加速度値とは異なる)は、最新の計測機器を使用して得られる常時微動による地盤震動特性とも、ある程度の整合性があることが確認されている。

一方で、研究対象としている宮城県は、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震でも甚大な被害が発生し、県内の広い範囲で震度6強から6弱が観測された<sup>6)</sup>。そこで、ここでは微動観測結果と、東北地方太平洋沖地震の地震動強さを比較を試みた。

## 2. 常時微動観測の概要

常時微動計測は、1978年宮城県沖地震に墓石転倒調査を実施した地点で<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>、現在も墓地として残っている場所を対象候補とした。検討対象の中から広い条件での比較のために、なるべく多様な地形区分で墓石転倒調査結果が異なるものを抽出した。最終的に微動観測は、2022年に13か所(主に仙南平野)、2023年に30か所(主に仙北平野)の計53か所で実施している。また、実際の地震観測記録との比較のために、3か所の強震観測地点<sup>7)</sup>でも観測を実施した。観測地点の分布を図1に示す。

常時微動計測は、JU410(白山工業)を用いた。観測は、サンプリング周波数は200Hz、3成分(NS, EW, UD)を同時観測し、1回の観測は10分間とした。観測結果のばらつきなども考慮し、一つの墓地に対して四隅と中心などの4-5地点で観測を行っている。観測した時刻歴波形をフーリエ変換し、H/Vスペクトル比(以降、MHVR)を算出し、卓越周期( $T_m$ )やその周期のMHVR( $R_m$ )を読み取った。また、筆者らがMHVRから地震による脆弱性を相対的に評価できる指標として定義したハザード値( $T_m \times R_m$ )<sup>1)</sup>も算出している。これは、SI値<sup>8)</sup>を参考に、MHVRの積分値に相当する値を簡便に評価したものととなる。

代表的なMHVRを図2に示す。図には観測場所の微地形区分<sup>9)</sup>も併記している。丘陵地は複数のピークが確認できるのに対し、後背湿地や自然堤防のピークは一つで、またそのピーク値(MHVR)も大きい。他の地点でもMHVRの形状は、地形区分と概ね整合的であり、MHVRは地形特性を概ね反映した指標であることが確認できる。

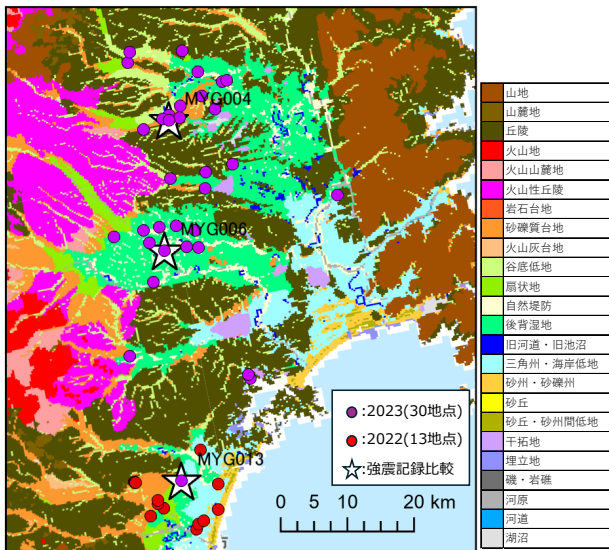


図1 調査地点の位置

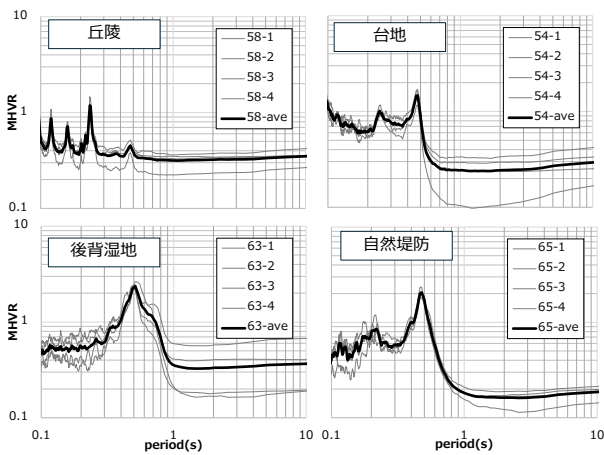


図2 常時微動 H/V スペクトル比 (MHVR) の例

### 3. 東北地方太平洋沖地震の地震動強さ

東北地方太平洋沖地震では宮城県内では、栗原市築館で最大震度7を記録したほか、広い範囲で6弱から6強の震度が観測されている。

本検討で用いる地震動強さは、微動観測を実施した地点との比較を行うために、観測データを250mメッシュ間隔に補間処理した2種類のデータ（補間1<sup>10)</sup>、補間2<sup>11)</sup>）を用いた。いずれの補間方法も、地表面での記録を一度基盤に引き戻し、補間計算で基盤の面的分布（250mメッシュ）を計算し、増幅率から地表面の分布を推定しているが、使用した観測地点の数と増幅率が異なる。補間1は防災科学技術研究所の強震観測地点のみを用いているの（約1000地点）に対し、補間2は防災科学技術研究所に加え気象庁やJR東日本、NEXCO東日本、国土交通省と多くの観測記録（約2000地点）を用いている。また、補間2は、簡易的に地盤の塑性化（非線形化）も考慮されている。

微動観測との比較に用いる地震動強さとしては、計測震度や地表面最大加速度（PGA）、地表面最大速度（PGV）などいくつかの指標がある。ここでは建物被害などと比較的相関が高い地表面最大速度（PGV）に着目した検討を行う。それぞれの補間手法を用いて算出したPGVの分布を図3に示す。補間1は、内陸部にやや広い範囲にPGVが大きな範囲が広がっている。補間2は、一部の沿岸部にPGVが大きな地域が点在している。

補間方法によって地震動評価がどの程度異なっているかを確認するために、地表面最大加速度（PGA）、地表面最大速度（PGV）、計測震度について、補間1と補間2の関係を図4に示す。PGAや計測震度は、全体に補間1がやや大きく、特にPGAではその違いが大きい。一方で、PGVはややばらつきはあるものの両者は概ね整合的となる。

PGAは物理値としての値が大きいいため、観測地点毎の感度が高い。また、一般に地震動の加速度値は、観測地点場所に起因し、特異的に大きな値な記録が得られることもあり、これらに起因して全体にばらつきが大きな結果が得られていることが推測できる。

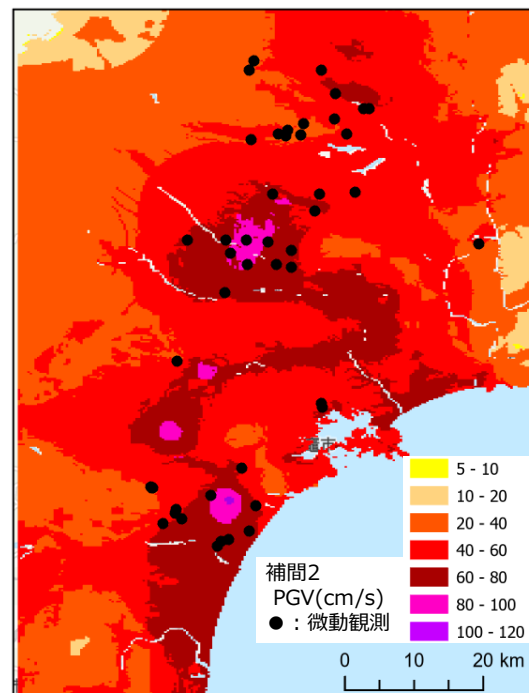
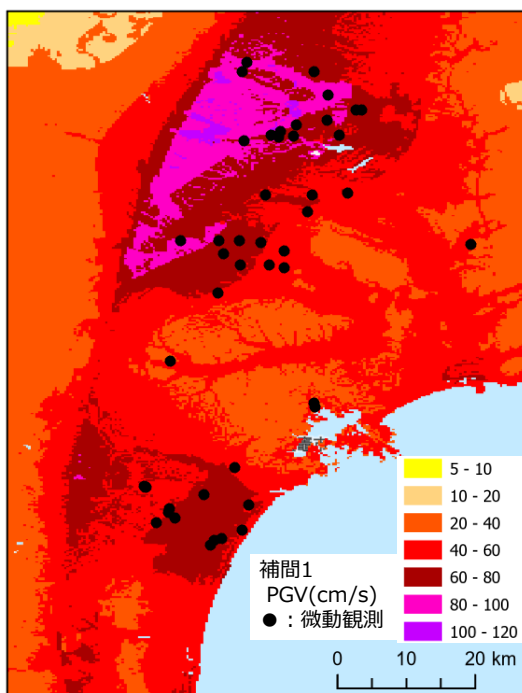


図3 東北地方太平洋沖地震のPGV分布（左：補間1<sup>10)</sup>、右：補間2<sup>11)</sup>）

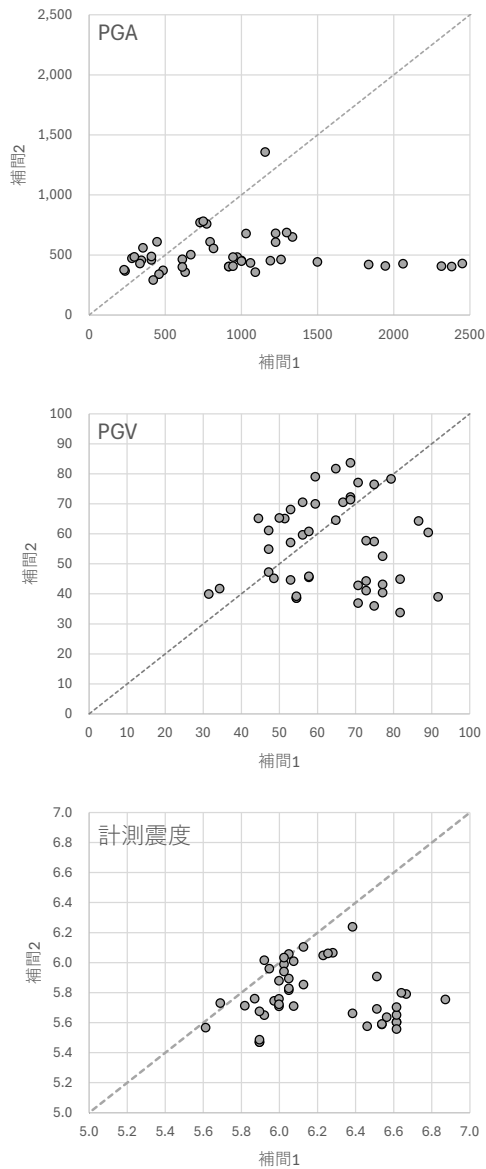


図4 地震動強さの補間方法による違い

#### 4. 地震動強さと常時微動観測結果の比較

MHVRの卓越周期 ( $T_m$ )、その時のMHVR ( $R_m$ )とそれらに乗じたハザード値 (Hazard) と、PGVの関係を図5に示す。また、補間2では、SI値 (速度応答スペクトルの積分値) の算出も行われているため、SI値とハザード値の関係を図6に示す。

卓越周期 ( $T_m$ ) は、0.3s未満と0.4sより大きい地点の2つのグループに分けられる。これは、主に地形区分に起因していて、台地や丘陵地で  $T_m$  が短く、低地では長い。また、かなりばらつきが大きい、PGV が大きくなると  $T_m$  も大きくなる。一方で、MHVR はあまり傾向がなく全体にばらついている。ハザード値は、この両者を掛け合わせているため、ばらつきがありながらも PGV が大きくなるとハザード値も大きくなる傾向は確認できる。補間2のみのデータであるが、SI 値とハザード値の関係を整理した図6によると、他の指標と比べるとややばらつきが抑えられ、相関も高くなる ( $R=0.56$ )。

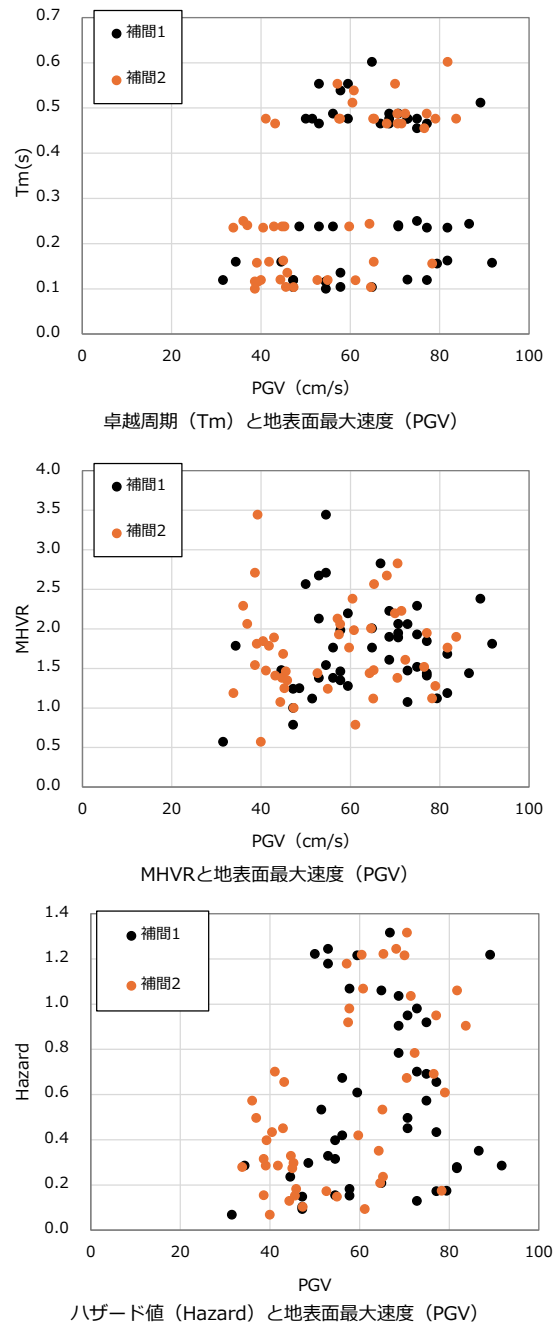


図5 地震動強さ (PGV) と常時微動結果 (上段:  $T_m$ 、中段: MHVR、下段: Hazard)

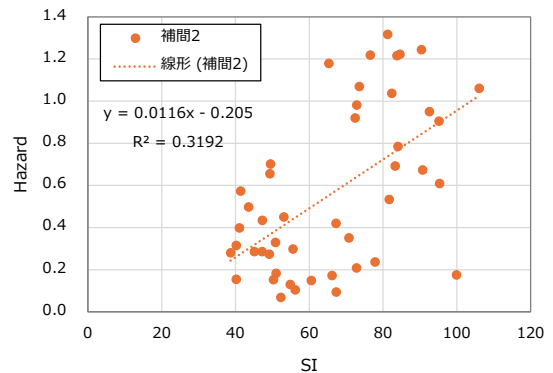


図6 地震動強さ (SI) と常時微動結果 (Hazard)

## 5. まとめ

1978年に発生した宮城県沖地震の墓石転倒調査との比較のために、宮城県内の墓地53か所と強震観測地点3か所の計56か所で常時微動観測を実施している。ここでは、その記録と2011年東北地方太平洋沖地震の地震動強さとの比較を行った。

地震動強さとしては、使用しているデータセットなどが異なる2つの補間手法の結果を用いている。最大加速度(PGA)では、両者の違いがやや大きかったが、最大速度(PGV)では概ね同様な結果となった。そこで、ばらつきが小さく一般的に建物被害などと相関も高いPGVを用いて微動観測悔過と比較を行った。また、補間2ではSI値の面的分布も計算されていたため、SI値についても同様な比較を行った。微動観測の結果は、MHVRの卓越周期( $T_m$ )とその縦軸であるMHVR( $R_m$ )、またその両者を乗じたHazard( $T_m \times R_m$ )を用いている。

卓越周期( $T_m$ )やHazardは、全体にかなりばらつきは大きいものの、PGVと正の相関が得られた。また、SI値とHazardはこれらの中でも最も相関が高く、相関係数Rは0.56であった。一方で、MHVRは全体にばらつきが大きくPGVとは特に相関も見られない。

常時微動観測のMHVRの卓越周期やHazardは、PGVやSI値と比較的相関があることが確認できた。このことは、地震発生以前に常時微動計測を行っておくことで、その地点の地震災害のリスクをある程度想定することが可能であることを意味する。一方で、全体には結果のばらつきが大きい。今後、これらのばらつきを抑える試みを進めるつもりであるが、微動の観測や解析の簡便性を考慮し、ある程度ばらつきを許容した評価を行うことも一つの考え方だと思われる。

## 謝辞

本研究で用いた地震動強さは、構造計画研究所(補間1)と国土技術政策総合研究所(補間2)のデータを使用させていただいた。また本研究の一部は、JSPS 科研費(課題番号:JP22K02117)の助成を受けた。現地での観測では、神奈川大学学生の水島大翔氏、山上尚也氏に協力いただいた。ここに記して謝意を示す。

## 参考文献

- 1) 落合努, 犬伏徹志, 荻本孝久: 常時微動による地域特性を考慮したハザードマップの作成, 日本地震工学会論文集, 第19巻, 第5号(特集号), pp.136-145, 2019.
- 2) 宮野道雄, 望月利男, 国井隆弘: 1978年6月12日宮城県沖地震の被害調査報告, 第6回土木学会関東支部年次研究発表会, pp. 5-6, 1979.
- 3) 国井隆弘, 荻本孝久: 1978年6月宮城県沖地震における墓石調査による最大加速度の推定, 総合都市研究, 第5号, pp. 103-113, 1978.
- 4) 落合努, 荻本孝久, 宮野道雄, 生田英輔, 小田義也: 墓石転倒調査による推定加速度と微動観測結果の比較 -1978年宮城県沖地震を対象として-, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, CS10-13, 2023.
- 5) 落合努, 荻本孝久, 宮野道雄, 生田英輔, 小田義也: 墓石転倒調査による推定加速度と微動観測結果の比較 -仙北平野を加えた検討-, 令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会, CS10-55, 2024 (投稿済み) .

- 6) 気象庁: 顕著な地震の観測・解析データ, 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震,  
[https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011\\_03\\_11\\_tohoku/index.html](https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/index.html)
- 7) 防災科学技術研究所: 強震観測網(K-NET, KiK-net),  
<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 8) Housner, G. W.: Behavior of structures during earthquake, ASCE, EM4, Oct. Journal of the Engineering Mechanics Division, Vol.85, Issue4, pp.109-130, 1959.
- 9) 若松加寿江, 松岡昌志: 全国統一基準による地形・地盤分類250mメッシュマップの構築とその利用, 地震工学会誌, No.18, pp.35-38, 2013.
- 10) 構造計画研究所: QUIET+,  
<https://site.quietplus.kke.co.jp/>
- 11) 国土技術政策総合研究所: 東北地方太平洋沖地震の地震動分布(Ver.3.0)の算出手順, 2015.  
<https://www.nilim.go.jp/lab/rdg/index.htm>