

1703 年元禄地震による東海道大磯宿から 小田原宿にかけての被害と地盤との関係

東海大学 工学部・土木工学科* 三神 厚

Study on Damage to Post-Towns from the Geotechnical Point of View
between Oiso and Odawara of Tokaido Road by the 1703 Genroku Earthquake

Atsushi MIKAMI

Department of Civil Engineering, Tokai University, 4-1-1 Kitakaname, Hiratsuka,
Kanagawa 259-1292, Japan

Enlarged and revised edition of historical documents on earthquakes in great Japan describes damage to post-towns on the Tokaido road after the 1703 Genroku Earthquake. It had reported that there was a post-town called Umezawa with almost no damage while all other post-towns between Totsuka and Odawara were severely damaged. Interestingly, the non-damaged post-town area called Umezawa had also little damage during the 1923 Kanto earthquake. This research discusses the reason why Umezawa had almost no damage from the geotechnical point of view, by conducting microtremor measurement in the area between Oiso, Umezawa, Odawara. It was understood that dense sand soil deposit on the relatively shallow base amplified seismic ground motion less compared to other areas.

Keywords: Tokaido, Post-Town, Genroku Earthquake, Microtremor.

§ 1. はじめに

『増訂大日本地震史料』の『甘露叢』には、1703 年元禄地震の際、「東海道筋ハ、・・・戸塚ヨリ小田原マデハ不残破損シタリ。間々ノ小宿モ同ク潰ル。但小田原ト大磯トノ間、梅澤ノ宿ハ、一軒モ倒レズ、人皆アヤシメリ」との記述がある。戸塚から小田原までが全滅した中であって、梅澤ノ宿では被害が皆無であったことを指摘しているもので、これは大崎(1983)によって地盤の影響について指摘したものとして取り上げられている。

1923 年関東地震について、『土地分類基本調査』[神奈川県(1985,1986)]に示されている二宮町の家屋倒壊率の分布を見ると、北部の一色地区にはほとんどの家が倒壊した地域があった一方で、茶屋町の梅澤の宿があった地域(注:梅澤の現在の地名は梅沢が用いられている)では倒壊した家はごくまれであったことが記述されており、同じ二宮町内でも梅澤の宿があった地域は地震被害が少なかったことがわかる。

近接する地域であっても被害が大きく異なる現象

は、被害地震の発生に際しよく見られ、構造的な要因、地盤的な要因などが指摘される。地盤的な要因が原因の場合には、次の震災においても地盤構造が大きく改変、改良されていない限り、同様な現象が繰り返される可能性がある。そのため、歴史地震から学び、現代の地震防災に活かしていくことが肝要である。

本研究では、梅澤の宿をはさむ 2 つの宿場のエリアに検討対象を絞り、これらの歴史地震による被害発生の有無について、地盤の影響という観点から説明を試みる。当時と現在で地域の地盤特性が大きく改変されていないとの前提の元、地盤のボーリングデータなどの公開情報の利用に加え、現地での常時微動観測を 19 点で実施し、検討した結果について報告し、被害の程度を左右した要因について考察する。

§ 2. 東海道大磯宿から小田原宿にかけての被害

検討対象地域を図1に示す(後出の図の範囲を点線で示すとともに、図番号を示す)。東海道 8 番目の宿場である大磯宿から 9 番目の小田原宿までの約

* 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1
電子メール: atsushi.mikami@tokai.ac.jp



図1 検討対象地域(国土地理院, 電子国土 Web を使用).

Fig.1 Investigated area (Web map operated by the Geospatial Information Authority of Japan was used).

17km の区間が検討対象である。1843 年において大磯宿には小嶋, 尾上, 石井の3つの本陣と66軒の旅籠があり, 小田原宿には, 本陣, 脇本陣が各4軒, 旅籠95軒があった[八木(2019)].

地形的には, 東は大磯丘陵が広がり, 西へ行くと酒匂川によって形成された足柄平野が広がる地域である。

2.1 梅澤の宿

梅澤の宿は, 東海道の8番目の宿場の大磯宿と9番目の宿場の小田原宿の間にあった間の宿(あいのしゅく)である。元々は梅澤の立場と呼ばれる休憩所であったが, 茶屋本陣を名乗る松屋を中心に, 茶店や商家が並び, さながら宿場の体をなしていた[二宮町(1994)]. 地形的には砂丘の上に立地し, 早くから開発された。

2.2 元禄地震による大磯宿から小田原宿にかけての被害

1703年元禄地震による東海道の被害については, 北原他によって詳しく報告されている。北原(2013)は『1703元禄地震報告書』において, 京都下鴨神社の神職である梨木祐之によりまとめられた『祐之地震道記』をもとに戸塚宿から箱根宿までの被害を明らかにしており, それによれば, 国府(大磯町)では倒壊した家は少ない, 梅沢(二宮町)では「6, 7軒倒潰」と記述している。その一方で, これらの東側の大磯での甚大な被害や西側の国府津(小田原)では「柱が立っている家は1軒もなく・・・」と記述しており, 国府や梅沢が特異な地域であった可能性が伺われる。

2.3 関東地震の際の被害の概要

1923年関東地震の際には, 大磯町, 小田原町とも甚大な被害に見舞われた。大磯小学校校舎や大磯駅舎は倒壊し, 高麗山付近を走行していた列車は転覆したことは『大磯町史 7 通史編』に記述されている。『関東大震災誌・神奈川編』, 『大磯町史 7 通史編』によれば, 大磯町の全半潰家屋は450戸で, 全戸に対する割合は26%で, 平塚町の80%を大きく下回っている。国府村の全半潰家屋は575戸, 全戸に対する割合は83%であった。このように, 大磯町の被害の割合は他に比べて小さい。

小田原の被害も甚大で, 駅舎が倒壊した他, 町の中心部の学校が全部倒・崩壊したことが報告されている[小田原市(2001)]. 小田原町の全半潰戸数は2446戸で, 全戸に対する割合は47%であった。加えて, 全焼家屋が2126戸もあり, 火災による被害も大きかった。

梅澤の宿のあった二宮町に被害がなかったわけではない。二宮駅の駅舎は倒壊した他, 『大磯町史』によれば, 「中里方面ノ家屋殆ど全潰シ・・・」の被害の記述も見られる。吾妻村の全半潰戸数は, 『関東大震災誌・神奈川編』によれば862戸, 『二宮町史』によれば782戸である。全戸数を1343戸とすると, 被害の割合は, それぞれ64%, 58%となり, 6割程度の全半潰被害があったものと考えられる。

ただし, 梅澤の宿のあったあたりの被害は「倒壊した家のごくまれな特殊な場合で, ほとんどの家は被害がなかったかごくわずかであった地域」と報告されている[神奈川県(1985,1986)].

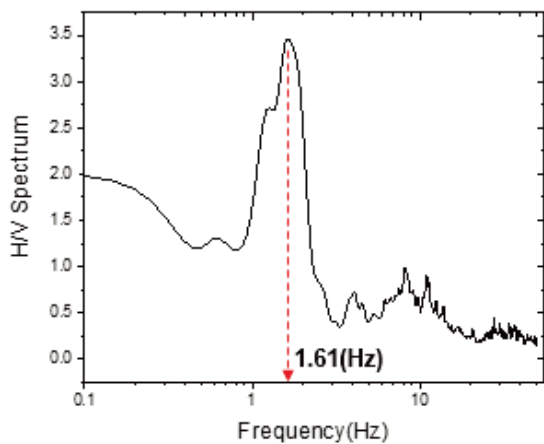


図2 H/V スペクトル比からの地盤の卓越振動数の推定.

Fig.2 Evaluation of the predominant frequency of ground from the H/V spectral ratio.

§ 3. 地盤調査の方法

地盤的な要因を検討するにあたり、本研究では 2 種類の方法を用いている。1 つは、地盤のボーリングデータを用いる方法で、もう1つは地盤の常時微動観測である。

3.1 地盤のボーリングデータの活用

検討対象地域においては、『かながわ地質情報マップ』(<http://www.kanagawa-boring.jp/>)が代表的である。ウェブサイトを通じて公開されている神奈川県内の 12,000 本以上のボーリングデータを参照する。ただし、公共事業で行われたボーリング調査結果を情報公開しているものであるため、ボーリング調査位置は均等に分布しているわけではなく、また調査深さも様々で、例えば、下水道調査のボーリング深さは浅

い場合が多い。その他のデータベースとして、『KuniJiban』(<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/>)などもある。本研究では、書籍に含まれるボーリングデータも活用する。

3.2 地盤の常時微動観測

別の地盤調査方法として、地盤の常時微動調査を実施した。ここでは茶屋児童館での微動観測結果について報告する。上下、南北、東西成分を 100Hz サンプリングで 3 分間観測したもから、20.48 秒分を 5 区間抽出し、H/V スペクトル比を求めたものを区間平均し、さらに水平 2 方向平均したものが図 2 である。地盤の卓越振動数は、H/V スペクトル比のピーク振動数として与えられ、この場合は、約 1.61(Hz)と推定される。

§ 4. 地盤調査地点と調査結果、考察

4.1 検討対象地域

検討対象地域は図 1 に示した通りであるが、以下では、大磯宿、梅澤の宿、大磯宿の 3 つの宿場跡地やそのごく近傍での微動観測結果を比較した後、それぞれの地域特性を把握すべく、微動観測を実施した。

大磯宿については、小嶋本陣跡地から約 50m 離れた大磯町消防署の敷地内で微動観測を実施した。梅澤の宿は茶屋本陣松屋跡地で、小田原宿は清水金左衛門本陣跡地での調査を実施した。

4.2 宿場跡地での調査結果

最初に図 3 において、3 つの宿場跡地での微動観

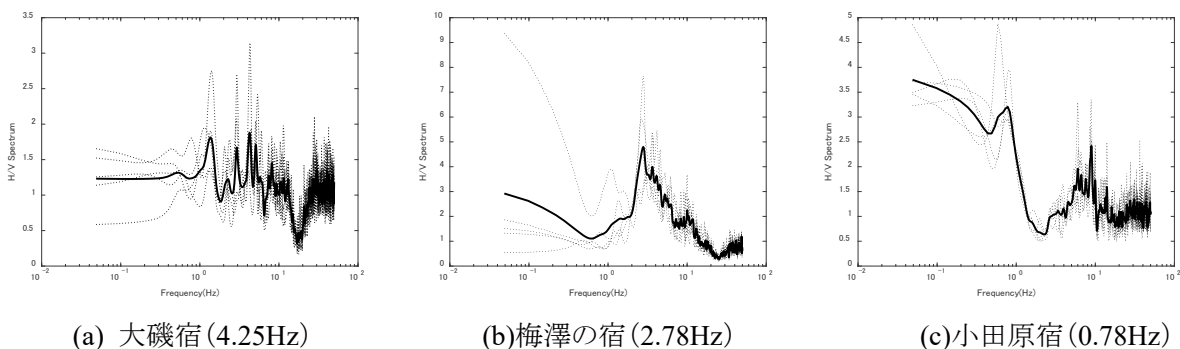


図3 大磯宿、梅澤の宿、小田原宿での微動観測結果.

Fig.3 Microtremor measurements at the former sites of post-towns at Oiso, Umezawa and Odawara.

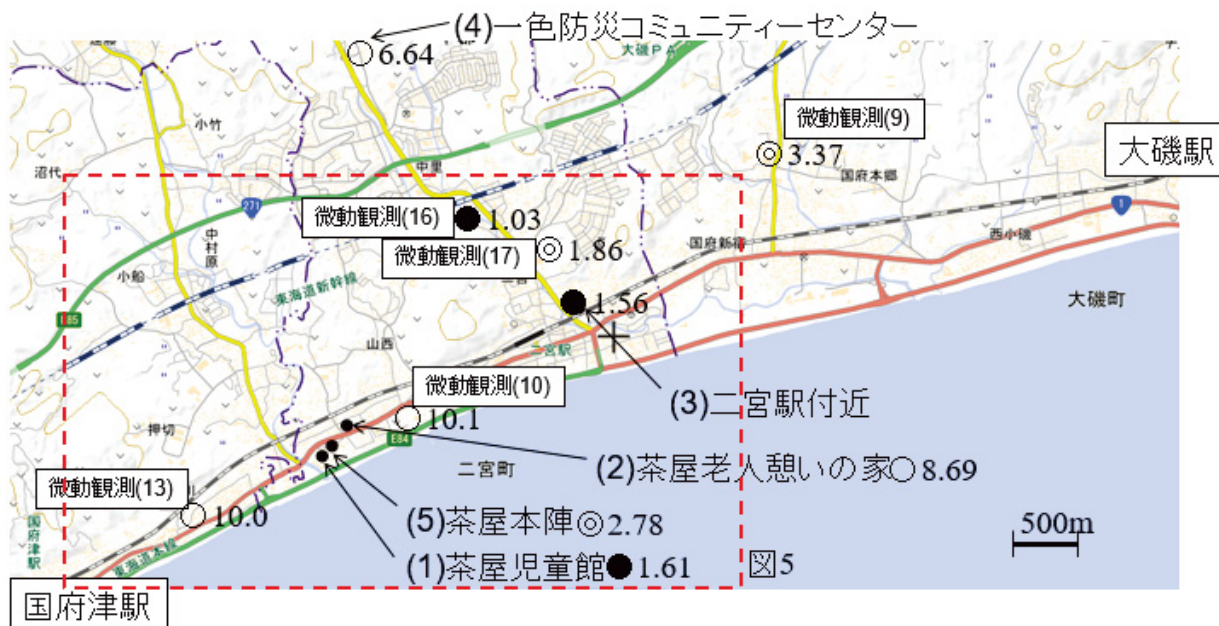


図4 梅澤の宿付近(国土地理院, 電子国土 Web を使用).

Fig.4 Investigated area in the vicinity of former site of Umezawa post-town (Web map operated by the Geospatial Information Authority of Japan was used).

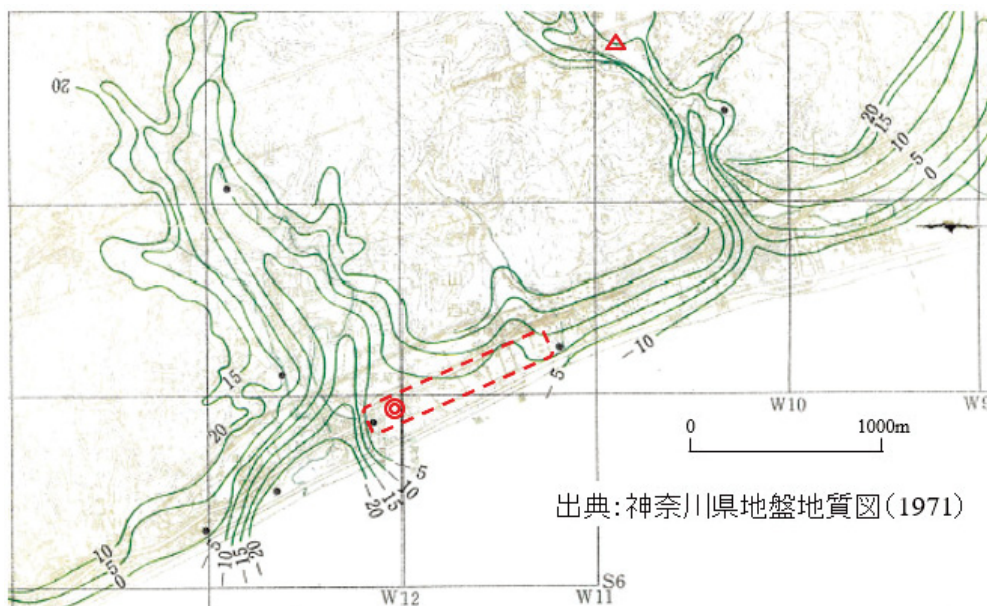


図5 沖積層基底面深度(出典:神奈川県地盤地質図[神奈川県(1971)])

Fig.5 Contour map that shows depths to the bottom of alluvium. (Source: Geological map of Kanagawa [Kanagawa Pref.(1971)])

測結果を比較する. 前述のように, 時刻歴から 5 区間抽出し, 計算した個々の H/V スペクトル比を点線で, 平均化したものを太線で示している. 3 つの宿場跡地での H/V スペクトル比のピーク振動数から推定される地盤の卓越振動数は, それぞれ, 4.25Hz(大磯宿),

2.78Hz(梅澤の宿), 0.78Hz(小田原宿)となった. 卓越振動数に加え, H/V スペクトル比の形状が大きく異なることから, これらの地盤特性は大きく異なるものと推察される. 以下, それぞれ, 地域ごとに見ていく.

4.3 梅沢周辺地域の宿とその被害

まず、被害が少なかった梅沢地域の地盤の特徴を見ていく。図4に梅沢の宿の周辺地域での微動調査結果を示す。数値で示されているものが卓越振動数(Hz)で、記号は後述のように道路橋示方書の分類に応じ、Ⅰ種地盤○、Ⅱ種地盤◎、Ⅲ種地盤●で示している。梅沢の宿の中でも西側に位置した、茶屋本陣松屋跡地での地盤の卓越振動数は2.78Hzであった。それより東側の地域を見ると、卓越振動数が8~10Hz程度となっており、この地域が硬質な地盤であることが推察される。関東地震の際、二宮町で被害が少なかった地域があったことを前述したが、それがこのエリアと一致する。

一方、微動観測点(16)は、卓越振動数が約1Hzと他より小さくなっているが、このあたりの場所は、葛川流域の二宮町中里という地域で、二宮町内でも軟弱地盤が厚く堆積した場所であることが『二宮町郷土誌』に指摘されており、そのエリアに設置されている二宮町の震度観測点では、2015年5月30日の小笠原諸島西方沖地震の際、特異な(周辺より大きい)震度の値を計測した[内閣府(2015)]。

より深く考察するため、『神奈川県地盤地質図』の沖積層基底面深度を参照する。図5に沖積層基底面深度を示すとともに、関東地震の際、被害が小さかったエリアを点線で、茶屋本陣松屋を◎で、微動観測点(16)を△で示している(図5の範囲を図4に点線

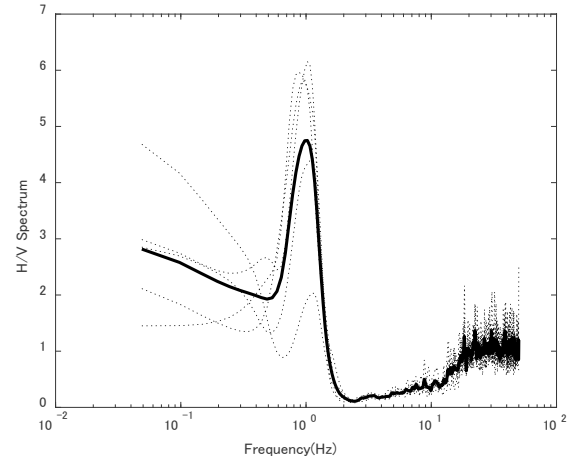


図6 微動観測点(16)のH/Vスペクトル比。
Fig.6 H/V spectral ratio at the measurement site (16).

で示す)。梅沢地域は基底面深度が浅いことがわかる。『二宮町史』[二宮町(1990)]によれば、この地域は、地質的には中村原面と呼ばれる完新世段丘面に分類され、段丘面は下原層(沖積層)からなる。以下、ボーリング資料をもとに沖積地盤の性質を考察していく。

『二宮町史』[二宮町(1990)]には、付近の西湘バイパスや町立体育館(微動観測点(10))で得られたボーリングデータが掲載されており、それによると、下原層は主に砂層、砂礫層からなり(一部、泥層を含む場合



図7 大磯宿とその周辺(国土地理院, 電子国土 Web を使用)。

Fig.7 Former site of Oiso post-town and its vicinity area
(Web map operated by the Geospatial Information Authority of Japan was used).

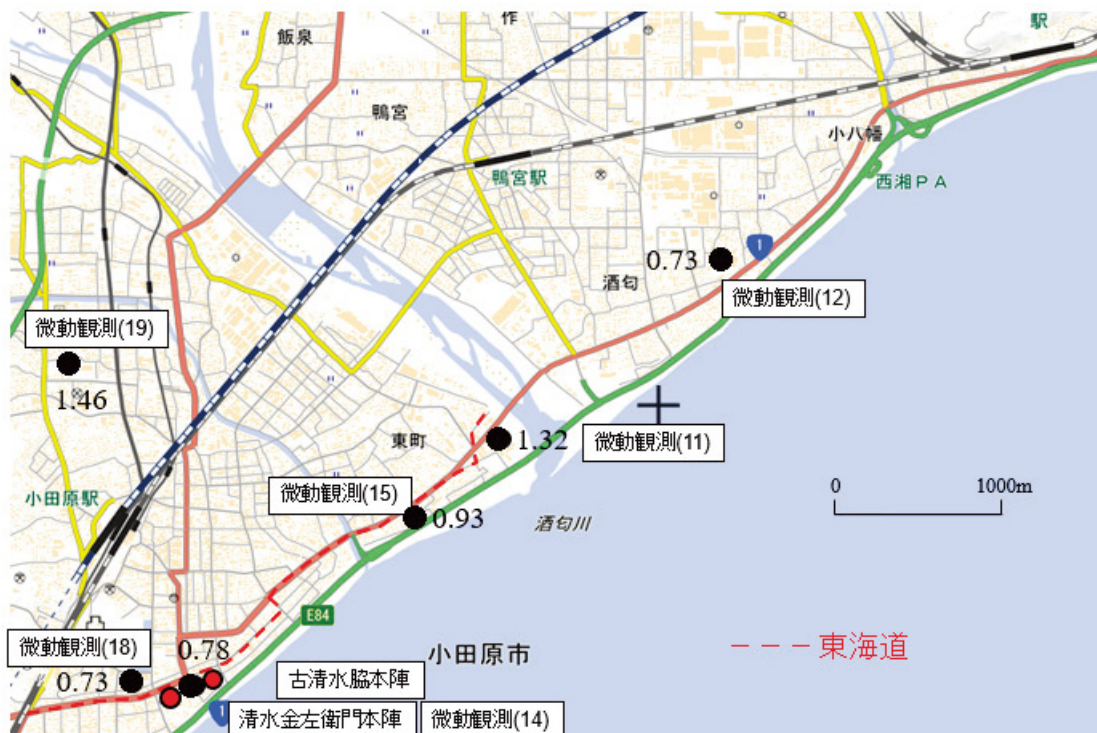


図 8 小田原宿とその周辺地域での微動観測(国土地理院, 電子国土 Web を使用).
 Fig.8 Microtremor measurement at the former site of Odawara post-town and its vicinity area
 (Web map operated by the Geospatial Information Authority of Japan was used).

あり), その厚さは 20m 前後と推定されている. 個々のボーリング情報に N 値は掲載されていないが, 地表面下数 m 以深では N 値が 50 以上を示し, 非常によく締まった砂層であるとの記述が見られる.

基底面上に堆積した砂質地盤の剛性(せん断波速度)の推定を試みる. 図 5 より基底面深度は-2~-3m 程度である. 現地調査から茶屋本陣松屋跡地の標高は約 23m, H/V スペクトル比から地盤の卓越振動数は約 2.8Hz である. 以上から, 1/4 波長則($T=4H/V_s$, T =地盤の卓越周期, V_s =地盤のせん断波速度, H =表層地盤厚)を適用すると, $V_s=280\text{m/s}$ 程度となった. 前述のボーリングデータの考察と併せて考えると, この地域の地盤は非常に締まった砂層からなるものと推察される. 以上から, この地域では, 1703 年元禄地震, 1923 年関東地震とも, 地震動があまり増幅しなかったことが考えられる.

一方, [二宮町(1990)]には, 微動観測点(16)の敷地内で実施されたボーリングデータも掲載されており, それによると, 泥層や腐植物混じりの層が深さ約 31m の基盤上に堆積していることがわかる. すぐ近くを東海道新幹線が通っているが, 『東海道新幹線工事誌』[日本国有鉄道(1965)]によると, 二宮町中里は軟弱地盤区間として取り上げられており, ピート, 粘土を主

要土層とする軟弱層が 30m 堆積していることが記述されている. 参考までに, 図 6 として微動観測点(16)の H/V スペクトル比を示しておく. 微動観測点(5)と(16)は, 同じ二宮町内にあるが, 地盤構造も H/V スペクトル比も大きく異なっている.

4.4 大磯宿とその周辺地域の地盤

次に, 大磯宿とその周辺地域の地盤についての調査結果を図 7 に基づき報告する. 微動観測は, 尾上本陣跡地の南東約 50m にある大磯町消防署の敷地で実施した. 地盤の卓越振動数は 4.25Hz となった. 大磯町役場の入り口付近のボーリングデータを参照したところ, 深さ 8m で硬質の礫地盤の存在が確認できた. 『大磯町史』[大磯町(1996)]には, N 値の記載はないものの, 多数のボーリングデータや推定地質断面図が掲載されている. それによると, 本陣跡地や微動観測点(6)のあたりでは, 深さ約 7m に凝灰岩の基盤があり, その上に表土, 砂地盤が堆積しているものと推定されている. また, 微動観測点(8)のすぐ近くのボーリングデータを参照すると, 深さ地表から深さ 12~13m まで概ね, 砂質地盤の堆積が見られ, その下に砂礫地盤が現れる. この砂礫地盤を基盤と考えると, 微動観測点(8)では卓越振動数が 4.0Hz なので,



図9 地盤の微動観測のまとめ(国土地理院, 電子国土 Web を使用).

Fig.9 Summary of microtremor measurements in the investigated area
(Web map operated by the Geospatial Information Authority of Japan was used).

1/4 波長則を用いて平均的なせん断波速度は 200m/s 程度と求められる。

大磯町の中心部は、概ね、良質の地盤のようであるが、関東地震の際、倒壊した大磯小学校のボーリングデータを参照すると、1m 程度の表土の下、深さ 8~9m まで砂地盤が堆積し、基盤に至っている。微動観測から得られる卓越振動数は約 0.6Hz で他よりかなり小さい値となっているものの、本陣付近での観測結果と同様、H/V スペクトル比に明瞭なピークは見られない。岩盤や硬質地盤では、微動の H/V スペクトルが平坦な形状となることが指摘されており[澤田(2008)], H/V スペクトル比が明瞭なピークを示さない大磯町中心部はこの場合に相当することが考えられる。狭い範囲で基盤深さが大きく変化しているエリアもあるが、宿場があった市街地は概ね良好な地盤であり、前述のように、関東地震の際の全半壊戸数の割合が 26%と国府村や平塚町より少ない一因と考えられる。その一方で、破損戸数は多く無傷で残った家は一戸もなし、と『大磯町史』[大磯町(2008)]に報告されており、地盤の性質が揺れをある程度抑えるものの、建物被害が皆無になるほどではなかったと考えられる。

4.5 小田原宿とその周辺地域の宿とその被害

小田原宿は現在の国道 1 号より南側の通りになっている。古清水脇本陣跡地が現在、明治天皇宮ノ前

行在所跡として小田原市指定史跡になっており、小田原市の許可を得て微動観測を実施した。清水金左衛門本陣は、小田原宿にあった四軒の本陣のうちの筆頭で、清水金左衛門家は江戸時代に町年寄も勤め、宿場町全体の掌握も行っていた[小田原市教育委員会(1957)]. 地盤の卓越振動数は、0.78Hz となった。その西側約 400-500m に位置する三の丸小学校敷地での調査結果も同程度(0.73Hz)となった。

酒匂川下流域に位置するこのエリアは、足柄平野の中でも沖積層が厚いエリアと考えられる。そのため、この地域で観測した結果、地盤の卓越振動数はいずれも 2Hz 以下となり、『道路橋示方書』の基準でいうと、いずれもⅢ種地盤となった。

4.6 微動観測結果のまとめ

以上、本研究で大磯宿から小田原宿にかけての 19 点で実施した微動観測結果をまとめる。数値は地盤の卓越振動数(Hz)である。数値の羅列だけではわかりにくいので、参考として、『道路橋示方書』で用いられる分類に従い、Ⅰ~Ⅲ種地盤(注:一般にⅢ種が最も軟弱な地盤である)に分類し、周期 0.2 秒未満をⅠ種(○印), 0.2 秒以上 0.6 秒未満をⅡ種(◎印), 0.6 秒以上をⅢ種(●印)で表示する。もちろん、この分類は現在の建造物の耐震設計上の地盤分類なので、当時の建造物について適当かどうかは検討の余地があるが、1つの参照分類として示した。

国府津駅より西の小田原エリアはすべてⅢ種地盤となっていることがわかる。二宮エリアでは、局所的にⅢ種地盤となっているところもあるが、梅沢エリアはⅠ種またはⅡ種になっている。大磯エリアは、Ⅱ種地盤が多いが局所的にⅢ種地盤が見られる。

§5. まとめ

1703年元禄地震の際、戸塚宿から小田原宿にかけて全滅した中であって、梅澤の宿では被害が皆無であったことに着目し、その地盤的な要因を探った。本論文では、特に、大磯から小田原にかけてのエリアに検討対象を絞り、公開されている地盤のボーリングデータや常時微動観測を用いた地盤調査に基づき、その要因を検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 大磯宿、梅澤の宿、小田原宿の3つの宿場では、地盤の特性が大きく異なる。
- (2) 梅澤の宿があったエリアは沖積層基底面深度が浅く、その上に締まった砂が堆積して沖積地盤を形成しているものと考えられる。そのため、地震動の増幅がさほど大きくならず、1703年元禄地震、1923年関東地震とも、被害が小さくなったものと考えられる。
- (3) 小田原宿のある足柄平野エリアは、国府津駅以西でいずれも卓越振動数が1.5Hz以下、周期0.6秒以上となり、道路橋示方書の分類でいうⅢ種地盤(軟弱地盤)となった。これは、酒匂川河口部に形成された沖積平野で、砂地盤が緩く堆積したためと思われる。そのため、地盤の揺れが大きくなったものと考えられる。

今後、さらに微動観測地点を増やして、詳細な検討を加えていく予定である。

謝辞

二宮町教育委員会の中山史奈子様、茶屋地区副会長の伊藤ふじお様には常時微動調査を行うにあたり、様々な便宜を図って頂きました。また二宮町の和田義則様には茶屋本陣松屋跡地での常時微動観測を許可して頂きました。大磯宿跡地周辺地域など、大磯地区での微動観測においては、元大磯町郷土資料館館長の鈴木一男様に現地をご案内頂くなど、多大なご助力を頂きました。小田原市での微動観測においては、小田原保健福祉事務所の石川達也様にご助力頂きました。これらの調査地域の小学校や中学校、高等学校、消防署等より観測場所を提供して頂きました。産業技術総合研究所の小松原琢氏より

地質学的なご助言を頂きました。最後になりましたが、査読者の堀川晴央氏(産業技術総合研究所)、編集担当の加納靖之氏(東京大学地震研究所)、編集出版委員会の行谷佑一委員長(産業技術総合研究所)より、論文を改善する上で大変貴重なご意見を頂戴しましたことに感謝致します。なお本研究は、東海大学連合後援会研究助成を受けて実施しました。以上、記して、関係の皆様へ感謝致します。

対象地震:1703年元禄地震,1923年関東地震

文献

- 五街道ウォーク・八木牧夫,ちゃんと歩ける東海道五十三次,東,江戸日本橋~見付宿+姫街道,2019,山と溪谷社.
- 土木研究所,2008,国土地盤情報検索サイト KuniJiban, <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/>
- 神奈川県,1971,神奈川県地盤地質図,神奈川県地盤地質調査報告書付図.
- 神奈川県,1985,土地分類基本調査,小田原・熱海・御殿場.
- 神奈川県,1986,土地分類基本調査,小田原・熱海・御殿場.
- 神奈川県都市整備技術センター,かながわ地質情報MAP, <http://www.kanagawa-boring.jp/>
- 北原糸子,2013,1703元禄地震報告書,第6章相模湾沿岸部の被害,内閣府.
- 国土交通省他,国土地盤情報検索サイト, KuniJiban, <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html>
- 文部省震災豫防評議会編,1975,増訂 大日本地震史料 第二巻,鳴鳳社.
- 内閣府,2015,小笠原諸島西方沖を震源とする地震による被害状況について,内閣府防災情報のページ, http://www.bousai.go.jp/updates/h270601jishin/pdf/h270602jishin_01.pdf
- 内務省社会局,1926,大正震災志(復刻版 関東大震災誌・神奈川編,1988,千秋社発行)
- 日本道路協会,2017,道路橋示方書・同解説,Ⅴ耐震設計編,丸善出版.
- 日本国有鉄道,1965,東海道新幹線工事誌 土木編,日本鉄道施設協会.
- 二宮町,1990,二宮町史 資料編1 自然,二宮町.
- 二宮町,1994,二宮町史 通史編,二宮町.

二宮町教育委員会, 1972, 二宮町郷土誌, 二宮町教育委員会.

小田原市, 2001, 小田原市史, 通史編, 近現代, 小田原市.

小田原市教育委員会, 1957 指定, 小田原市指定史跡 明治天皇宮ノ前行在所跡, <http://www.city.odawara.kanagawa.jp/field/lifelife/property/cultural/historic/s-miyanomae.html>

大磯町, 1996, 大磯町史 9 別編 自然, 大磯町.

大磯町, 2008, 大磯町史 7 通史編 近現代, 大磯町.

大崎順彦, 1983, 地震と建築, 岩波新書, 200pp.

澤田義博, 2008, 微動H/Vスペクトル比の特性とこれを用いた地震増幅特性の簡易推定法, 物理探査, 第61巻, 第6号, pp.511-522.