

平成13年芸予地震による丘陵造成地の木造住宅瓦屋根被害と 地盤の常時微動特性

岩井 哲*・浅野 照雄*

(平成15年8月8日受理)

Roof-Tile Damage of Wooden Houses on Improved Hills Caused by the 2001 Geiyo Earthquake and Micro-Tremor Properties of the Ground

Satoshi IWAI and Teruo ASANO

(Received Aug. 8, 2003)

Abstract

This paper presents the relation between roof-tile damage of wooden houses and ground shaking intensity by the 2001 Geiyo earthquake. The roof-tile damage of wooden houses caused by the Geiyo earthquake was surveyed at residential districts in and near the western part of Hiroshima City, Koi-ue, Nishi-Ward, and Ajinadai, Hatsukaichi City. Also questionnaire investigation for housing damage and ground shaking intensity was developed in Kure City and Ajinadai. Furthermore, a micro-tremor measurement technique was employed to investigate ground vibration property. The results are as follows: (1) Extensive damage of roof-tiles occurred on fill ground than cut ground. (2) The questionnaire seismic intensity is high on alluvium ground near hills and on ridges in Kure City, and on fill ground on improved hills in Ajinadai. The threshold intensity above which the roof-tile damage starts to appear can be between 5.5 and 6.0. (3) A ratio of horizontal spectrum to vertical one based on the micro-tremor measurement is found to have clearly different characteristics between fill and cut ground. This ground vibration property corresponds to larger roof-tile damage of wooden houses in fill ground on improved hills.

Key Words: the 2001 Geiyo earthquake, questionnaire survey, roof-tile damage, micro-tremor measurement, fill ground, cut ground

1. はじめに

平成13年(2001年)3月24日15時28分に発生した「平成13年芸予地震」(マグニチュード6.7)に関して広島県呉市ならびに広島市西部地域の木造住宅被害に焦点を絞って被災状況を調査した。ここでは被害件数の多かった木造住宅の瓦屋根被害に注目し、被害状況と地盤条件、特に丘陵の宅地造成における盛土・切土の差異との関連性について検討した。¹⁾ 建築物の地震被害を考える上で、木造住宅の瓦

屋根被害は一部損壊等として、一般に被害が顕在化するきっかけとなる。本研究は、呉市の崖地ならびに広島市西区己斐上(こいうえ)と広島市の西に隣接する廿日市市阿品台(あじなだい)にある丘陵造成地の木造住宅について被害の現地調査とアンケート調査を行い、町丁目単位の被害状況と震度との対応関係を調べたものである。さらに宅地の盛土・切土地盤の常時微動特性との関連性について検討を行った。

* 広島工業大学工学部建設工学科

2. 被害の概要

平成13年芸予地震により、広島県呉市で1名、愛媛県北条市で1名が亡くなったほか、中国・四国で負傷者計288名の人的被害が出た。建物被害は広島県内で全壊60棟、半壊497棟、一部損壊34,735棟（平成13年5月31日現在）となっている。全壊・半壊した建物の多くは呉市市街地周辺の急傾斜地の民家で、多くは石垣やブロック塀の崩落を伴

っていた（写真1，2）。^{2),3)} 一部損壊建物における被害は屋根瓦やモルタル壁などの破損落下であることが多い。一部損壊建物の数は被害届けのあるものに基づいており、実際は集計以上の被害があったものと考えられる。

広島市内の建物の被害には全壊はなかった。建物の半壊は広島市全体で108件であり、西区が75件と最も多く、次いで佐伯区の21件、安佐南区の9件の順となっている（広島市消防局平成13年6月25日現在）。一部損壊件数は広島



写真1 擁壁の被害（呉市宮原8丁目）



写真4 住宅の瓦屋根被害（西区己斐上3丁目）



写真2 急傾斜地盤の崩壊による建物被害
（呉市両城2丁目）



写真5 地盤液状化によって亀裂の入った平屋住宅の布基礎と壁。屋根は無被害（廿日市市阿品）



写真3 住宅の擁壁の倒壊。道路左側は急な傾斜地で路面が下がっている（西区己斐上3丁目）



写真6 擁壁式の丘陵造成地における木造屋根被害（廿日市市阿品台）

市全体で6,478件であり、その中では安佐南区が2,010件で最も多く、次いで西区の1,379件、佐伯区の1,108件の順となっている。広島市消防局における建物被害状況の、「半壊」は家屋の傾き、「一部損壊」は壁のひび割れ、屋根瓦の落下等とされる。建物被害は広島市の西方に集中しており、丘陵地に開発された戸建て住宅団地で、屋根瓦の落下・ずれ等の被害の集中した地域がある（写真3、4）。それに比して広島市中心部の三角州軟弱地盤地帯においては、住宅・建物に大きな被害がほとんど見られなかった。これが今回の地震による建物被害の特徴である。兵庫県南部地震の後をうけて1997年4月に出された広島市大規模地震被害想定では、芸予地震の想定マグニチュードを7.25として被害予測がなされている。被害想定では広島市中心部の三角州軟弱地盤地帯において、丘陵地等の周辺地盤より大きな震度が生じる結果となっており、それに伴う建物被害が予測されているが、この点が実際の被害と大きく食い違っている。

広島市ならびに西方の廿日市市にかけて海岸線に面して埋立て造成された地域の一部では、液状化による大小の地盤変状を受けた。しかし広島市内では液状化による建物被害はほとんど報告されていない。海岸線沿いの廿日市市阿品は、30年ほど前に埋立て宅地造成されたが、道路や宅地地盤が護岸堤防に平行に大きな亀裂が生じ、地盤が海側に押し出された形跡が見られる。液状化被害では、地割れ、噴砂、陥没等が、道路と敷地の地盤で生じ、水道管の破損・漏水もあり、泥水が溢れた。これらの地盤変状を受けた宅地上に存在する住宅の多くが、傾斜、基礎部の破損、壁面の亀裂を生じ、コンリートブロック塀がずれたり、亀裂・破壊を生じていた（写真5）。一方、阿品の丘陵地で段丘状に広がっているニュータウンの阿品台で2階建てを主とする木造瓦葺き戸建て住宅群は、広島市内の丘陵団地で見られたような瓦屋根の被害が相当多く集中して見られた（写真6）。

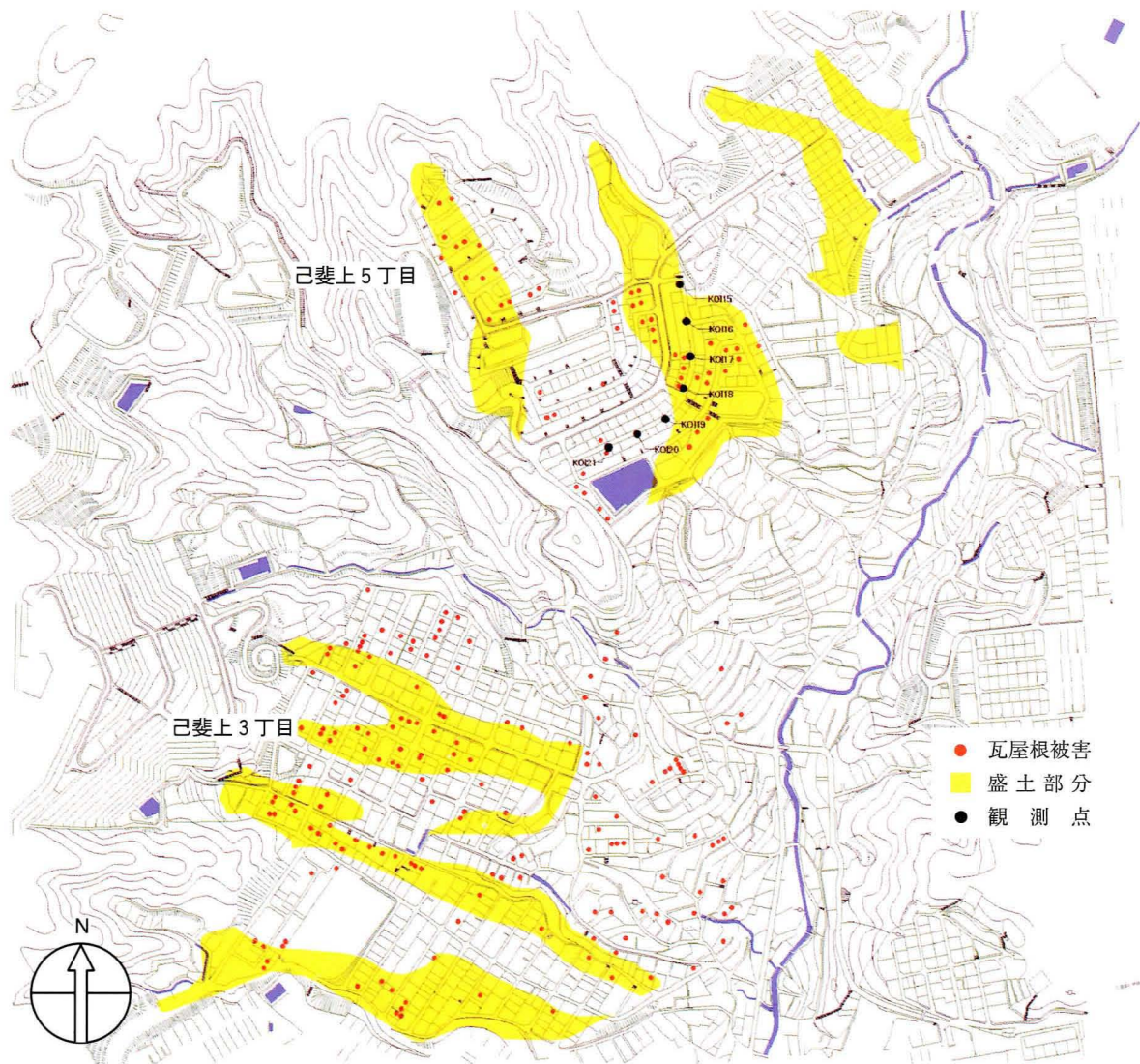


図1 広島市西区己斐上地区の木造瓦屋根被害箇所と切土・盛土、常時微動観測点

3. 丘陵地の木造住宅被害と造成地盤の関係

3.1 広島市西区己斐上

広島市西区己斐上3丁目ならびに己斐上5丁目の住宅団地における木造住宅瓦屋根の被災状況を、地震発生から約10日後の4月4日に外観目視で全数調査した。被災状況を図1に示す。赤丸点は瓦屋根に青い防水シートが覆われて、被害のあった住宅を表す。住宅団地は丘陵地を造成してつくり、30年ほど経過している。広島市内中心部の三角州軟弱地盤地域では住宅被害がほとんど見られなかったことと比較すると、己斐上地区での被害は集中しており件数もかなり多い。住宅敷地は擁壁によって雛壇状に盛られており、被害は擁壁のひび割れ・崩壊を伴って生じている。

図1には切土と盛土の地盤区分を重ねて示した。図1の己斐地区における切土・盛土の判別は藤原⁴⁾による。これより己斐団地では盛土部分で瓦屋根被害が多く、切土部分

で被害が少なくなる傾向が認められる。

3.2 廿日市市阿品台

廿日市市阿品ならびに阿品台にある住宅地の建物被災状況を、地震発生から1ヶ月を経過した4月28日と5月8日に現地調査した。図2にその被災状況を示す。赤丸点は瓦屋根被害のあった住宅、青丸点は地盤液状化の被害箇所、茶丸点は後述するアンケート調査で屋根被害があったと報告された住宅を表す。ここでは擁壁の被害はあまり目立たなかった。

図2の盛土表示は、著者が現在と造成前の地形の10m毎の標高値から切土・盛土を判別したものである。現地地形の造成は元の地形を利用して行われており、己斐上地区と同様に、平坦地ではなく宅地は雛壇状に造成され、周辺道路は傾斜が多い。盛土厚は平均5~10m程度と見られる。阿品台4丁目と5丁目の境界付近では一部に最大で20m近いところもある。図2には切土・盛土が確実に判った部

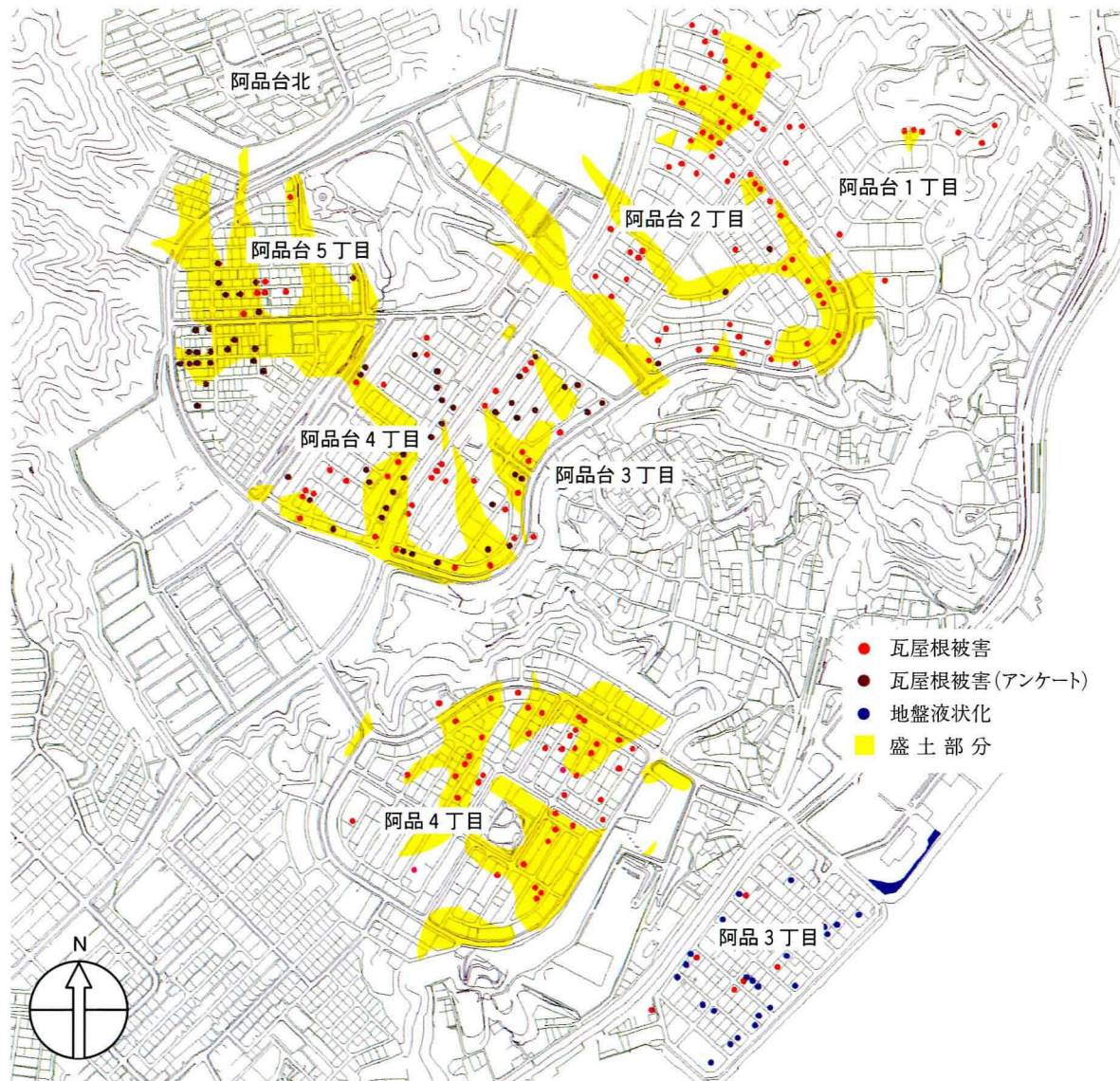


図2 廿日市市阿品台・阿品地区の木造瓦屋根被害箇所と切土・盛土

分だけを示している。アンケートと現地調査による瓦屋根被害件数は一致していないが、かなり重複していることを確認した。阿品台団地の被害状況からも、盛土部分における瓦屋根被害が多いことが明らかに認められる。

4. 航空写真ならびにアンケート調査による住宅被災状況と震度

4.1 調査方法

屋根被害の状況を芸予地震被災直後の航空写真（平成13年3月27日、アジア航測株式会社撮影、縮尺約1/2,500）に基づいて調べた。航空写真は撮影区域が限られているため、沖積地盤の呉市と丘陵地の廿日市市宮内・阿品を対象とした。航空写真から青い防水シートで覆われた家屋を特定した。アンケート調査を実施した阿品台については航空写真が存在しない。

それらの被害の多い地域の住宅を中心にアンケート調査を実施し、木造住宅被害と震度との関係を調べた。各戸に調査用紙を配布して、記入後、返送してもらった回収方式で行った。質問項目は太田らの方法^{5),6)}を参考にして抽出し、屋根形式、瓦屋根破損箇所など瓦屋根被害に関係した項目を追加した。配布地域は、呉市では三条3, 4丁目, 中央5, 6, 7丁目, 東中央1, 2, 3丁目, 本通5, 6丁目, 朝日町, 長ノ木町, 下山田町で、廿日市市では阿品台1, 2, 3, 4, 5丁目, 宮内の六本松団地, 東亜ニュータウン宮園の各地区である。調査紙の回収状況は、呉市は配布542件に対し回収260件で回収率は48%, 阿品台は配布400件に対し回収239件で56%, 宮内は配布200件に対し回収93件で47%であった。

4.2 呉市

呉市における防水シートの分布を図3に示す。屋根を青い防水シートで覆った家屋の分布は、呉市市街地（図4参照）西部の三条丘陵地、市街地中心部の中央5丁目, 朝日町からさらに市街地北部丘陵地、市街地東部の和庄登町, 和庄本町などであり、市街地周辺の丘陵地に瓦屋根被害が多かったことがわかる。

アンケートによる瓦屋根被害の有無を町丁目毎に集計したのが図5である。防水シートの分布と併せてみると、中央5丁目から7丁目, 東中央1丁目から3丁目および長ノ木町の被害が多い。この内、三条3, 4丁目, 中央5丁目から7丁目と東中央の一部は沖積地盤平坦地であり、東中央の残り半分は傾斜地、長ノ木町は山地の尾根となっている。また、三条4丁目は沖積地盤であるが丘陵地との境界にある。図6のアンケート震度の集計から、平坦地では瓦屋根被害のない本通り5丁目, 6丁目と震度5.0~6.0, 瓦屋根被害のあった中央5丁目, 6丁目, 東中央で震度5.5~6.5とやや高く、東中央の傾斜地では震度4.5~6.0, 長ノ

木などの尾根で震度5.0~6.5であり、尾根状の凸状地と山地に隣接する斜面で震度が大きかったことがわかる。アンケート震度の平均値を瓦屋根被害の有無と関連づけて示したのが図7である。個々の建物についてアンケート震度と、被害あり・なしを対応させてデータを集計した。アンケート震度には個々の建物の構造条件も、建物の立地している地盤条件も含まれる。町丁目毎の少ない母集団について集計した点には議論もあろうが、震度と被害の評価自体には問題はないと考える。瓦屋根被害のあった住宅でアンケート震度がわずかながら高くなる傾向が見られ、アンケート震度が5.5から6.0程度で、瓦屋根被害が現れている。

4.3 廿日市市阿品台

呉市と同様にまとめた、廿日市市阿品台の町丁目毎の瓦屋根被害件数を図8に、アンケート震度を図9に、アンケート震度の平均値と瓦屋根被害の有無との関連を図10にそれぞれ示す。アンケート調査では阿品台3丁目から5丁目まで瓦屋根被害が多く回答されている。呉市と地盤の条件は異なるものの、アンケート震度が同じく5.5から6.0（震度6弱）程度で、瓦屋根被害を生じていることが認められる。

5. 丘陵造成地盤の常時微動特性

5.1 調査方法

丘陵造成地盤と被害分布から、盛土部において切土部より木造瓦屋根被害が多く現れる傾向が示された。今回の被害の特徴は、平成13年芸予地震が短周期成分において卓越していること、全般的に強振動の破壊力が小さかった等の地震の特性に加えて、各地での地震動の強さと地盤の周期特性等に関わっている可能性がある。今後の木造被害軽減に向けての対策を探る上でも、地盤の振動特性と被害との関係を知ることは意義があると考えられる。そこで被害のあった丘陵造成地において地盤の常時微動計測を実施した。このような調査方法は、1978年宮城県沖地震における宅地造成地上の家屋被害危険度を、宅地地盤の常時微動特性から推定する手法として用いた浅田の研究⁷⁾にも見られる。

常時微動計測に用いた機器は、動コイル型電磁変換方式小型長周期振動計【東京測振社製、SM-121（水平動）、SM-122（上下動）固有周期：2.0秒、計測周波数0.5Hz~50Hz】である。微動計測記録は速度成分と変位成分の2通りで採録した。採取データはサンプリング間隔0.01秒で、計測開始直後に10~15秒間、較正電圧値（キャリブレーション）を記録した後、各々約5分間を連続して波形を収録した。データ分析では、5分間の記録の中で大きなノイズがなく波形の最も安定している約20秒間（2048データ）を選定し、パワースペクトルを求めた。さらに速度と変位のそれぞれの記録について、微動の上下動成分と水平動成分のスペクトル比（以下、H/V スペクトルと表示する）を

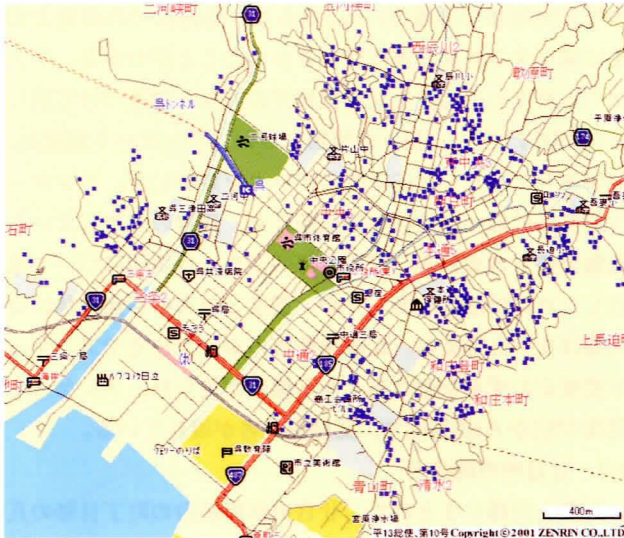


図3 航空写真による呉市の瓦被害の分布
((株)ゼンリン電子地図帳ⅡⅢにデータを記載)



図4 アンケート調査した呉市の町丁目区分
((株)ゼンリン電子地図帳ⅡⅢにデータを記載)

算出した。なお平滑化をバンド幅 1Hz で行っている。

5.2 阿品台での被害と地盤との関連

阿品台での常時微動計測は図11(a)~(c)に示すように28地点を選択して、切土・盛土の地盤の振動特性を調べた。常時微動計測は外部ノイズの少ない夜間に実施した。

(1) スペクトル特性

計測点は(a)切土地盤7箇所、(b)切土・盛土境界付近の切土地盤2箇所、(c)切土・盛土境界付近の盛土地盤9箇所、(d)盛土地盤11箇所である。これらの水平・東西方向成分の速度記録のパワースペクトルをそれぞれ地盤の種別に対応させて図12に示す4つに分けた。凡例における“1v-EW”などの初めの数字は図11の微動計測地点名称を、“v”は速度記録であることを、“EW”は東西成分であることを示している(以下、図13, 14も同様である)。

(a)の切土では 10Hz 付近に若干卓越する成分があるがほ

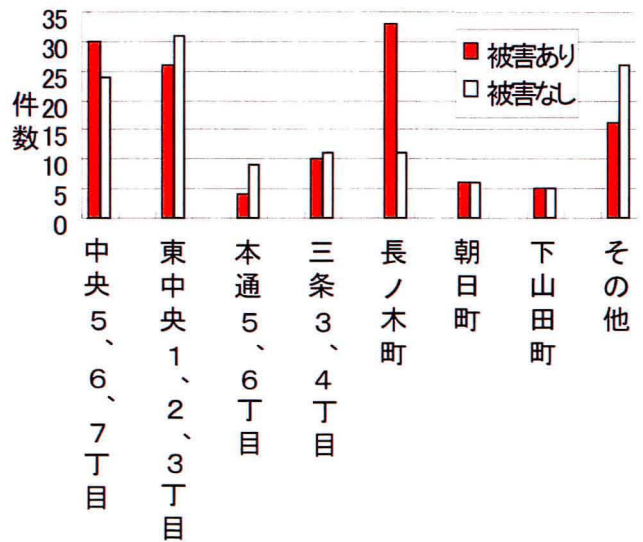


図5 呉市町丁目毎の瓦被害の有無

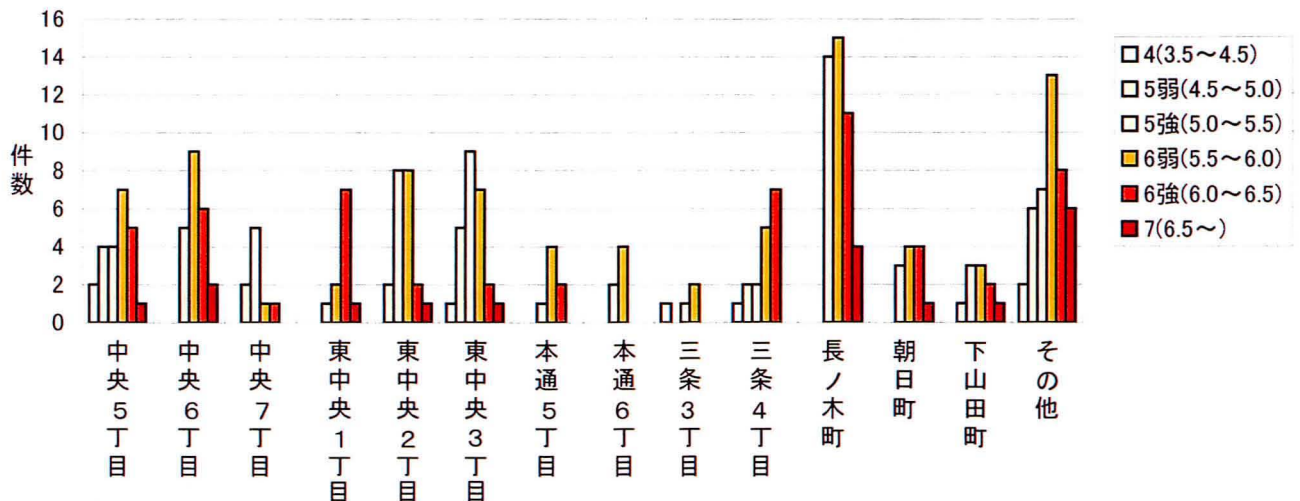


図6 呉市町丁目毎のアンケート震度

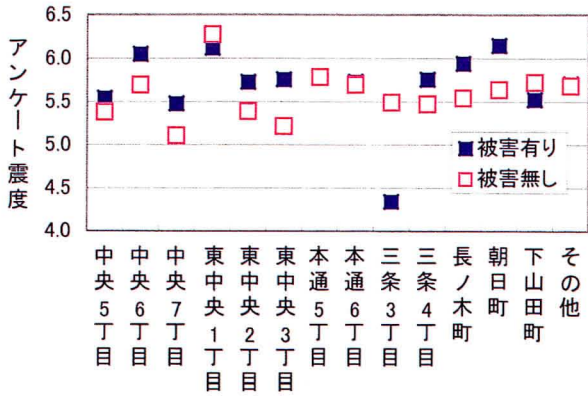


図7 呉市のアンケート震度瓦被害の有無

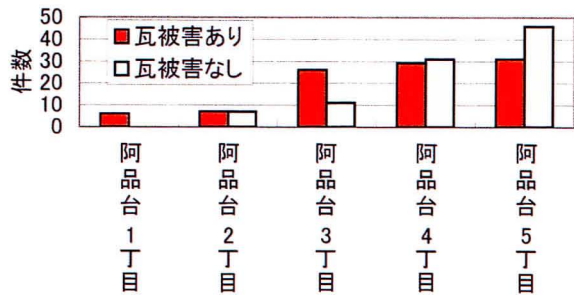


図8 廿日市市阿品台の瓦屋根被害

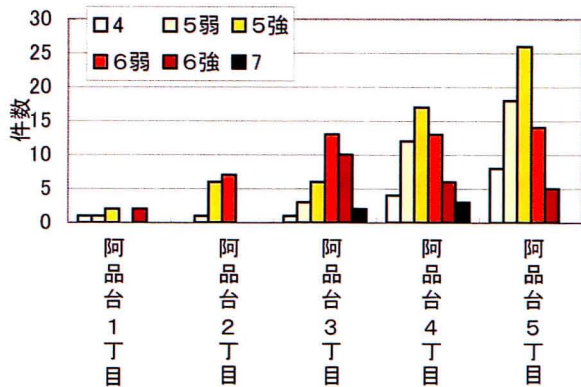


図9 阿品台のアンケート震度

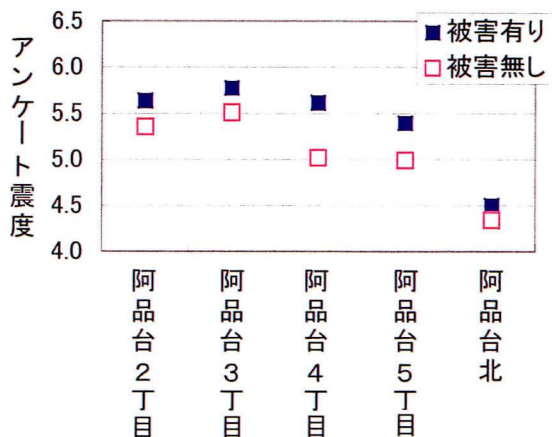
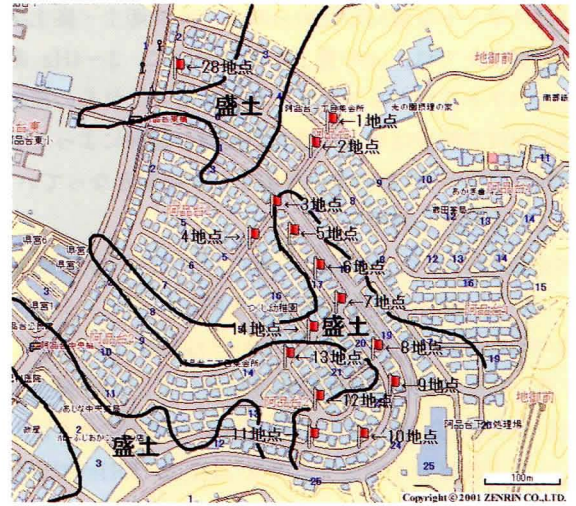


図10 阿品台のアンケート震度と瓦被害の有無



(a) 阿品台1・2丁目常時微動計測点



(b) 阿品台5丁目常時微動計測点



(c) 阿品台5丁目常時微動計測点

図11 阿品台における常時微動計測点
((株)ゼンリン電子地図帳Ⅲにデータを記載)

ぼフラットな傾向が認められる。(b)の切土・盛土境界付近の切土上では 3Hz と 10Hz の両者でやや卓越するが同様

にほぼフラットな傾向が認められる。(c)の切土・盛土境界付近の盛土上では、(d)の盛土と同じように、3~4Hz あたりでスペクトルがかなり大きく卓越する。これらの振動数領域における特性は切土・盛土の地盤の種別によって異なる傾向が見られ、比較的良好な対応を示す結果となっている。

(2) スペクトル比特性

水平動のスペクトルを上下動のスペクトルで除した H/V スペクトルによる振動特性を図13に示す。これらも地盤の種別に対応して(a)から(d)の4つに分けた。

H/V スペクトルは振動数領域について、(a)の切土では10Hz から 12Hz 付近で少し盛り上がる傾向にあり、(b)の切土・盛土境界付近の切土上では 3Hz と 10Hz で少し盛り上がるが、いずれもほぼフラットな傾向が認められる。(c)の切土・盛土境界付近の盛土上では地点3だけが他と違ったパターンとなったが、その理由は不明である。多くは 3Hz 付近で卓越する傾向にあり、(d)の盛土では他地点に比して、3Hz 付近で H/V スペクトル振幅が大きく卓越する傾向が明確に見られる。ただし H/V スペクトルは通常、ピークの周波数のみ議論されており、振幅の値には物理的な意味はないとされている。

以上のように、スペクトルおよびスペクトル比は切土・盛土で分けた場合に、それぞれの特徴を表したパターンをもつことがわかった。また水平方向の南北成分は東西成分と概ねよく似た傾向を示した。しかし、水平2方向で必ずしも同じ領域の振動数で卓越していないところがある。これは宅地造成前の旧地形も関係するのではないかと考えられる。

すなわち、山の尾根の方向や谷筋の方向などが切土地盤や盛土地盤の微動特性と関連することが考えられる。例えば計測点7では、南北方向は谷筋に沿った盛土地盤であり、スペクトルの値も東西方向に比べ大きい。谷筋方向はその方向の盛土地盤全体の特性が現れ、東西方向は谷を横切るだけの狭い範囲の地盤の特性が出て、切土の影響も出ていると考えられる。

5.3 己斐での被害と地盤との関連

広島市西区己斐上5丁目で昼間に、図1に示す7地点で計測した常時微動 H/V スペクトルを図14に表している。凡例中で a, b, c とあるのは、同じ地点における複数回の計測結果で、記録のばらつき具合を示している。己斐上の場合には尾根筋・谷筋が細かく入って、切土・盛土がやや入り組んでおり境界の判定に精度を欠く嫌いもあるが、阿品台と調和的な結果を示している。

地盤の常時微動の速度記録の H/V スペクトルは、瓦屋根被害が比較的多く生じている盛土部で、卓越振動数が 3~4Hz となっている。一方、瓦屋根被害があまり生じていない切土部では、H/V スペクトルは、0.5Hz~20Hz の

振動数領域で比較的フラットであり、卓越振動数があまり明確でないこと、H/V スペクトル振幅の値が 1~3 とやや低く、傾向として盛土部に比べて異なっていることと合わせて、地盤の振動特性が阿品台とよく似ている。

併せて計測した変位記録による H/V スペクトルでも、速度記録とほぼ同じ傾向が得られた。速度と変位で併せて計測を行ったのは、ノイズの影響の有無、データの信頼性を確認する意味もある。いずれも南北と東西とでは特性が似ており、方向による明確な差異は見られなかった。

以上のように、切土では地点によって 10Hz から 12Hz 付近でやや卓越する場合もあるが、全体にほぼフラットな傾向にある。一方、盛土では 3Hz 付近で明確に卓越しており、切土・盛土境界付近では両者の卓越振動数が複合していることがわかった。このように、切土・盛土の差異が H/V スペクトルの特性に現れている。

著者等による木造建物のデータベース調査⁸⁾では、2階建て木造在来軸組工法建物の固有周期の多くは0.1秒から0.2秒の間に存在するが、その平均値は0.34秒であった。標準偏差は0.20秒となっており、在来軸組工法建物のばらつきはかなり大きい。これらから木造住宅の瓦屋根被害との関連を検討すると、盛土上の卓越振動数が木造住宅の建物固有振動数に近く、共振による振動増幅も考えられる。地震被災現象はそれほど単純ではないが、今後、住宅の振動特性との関連を調べる必要があると思われる。今回、切土・盛土の判定は造成前と後の地形図の比較から行ったが、特に平坦でない雑壇型の土地造成では詳細な切土・盛土の判定はより困難と言える。地盤の常時微動特性と地震被害の対応がつくことになれば、住宅の被害対策に役立つ可能性がある。

6. 結 論

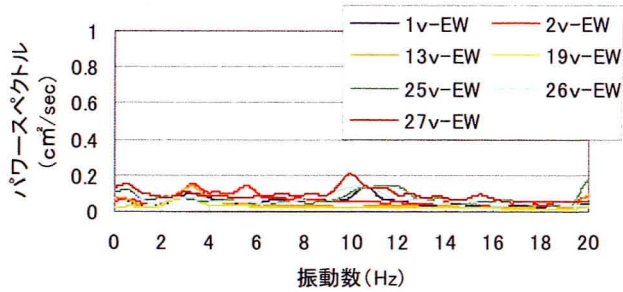
広島県西部地域の木造を主とする住宅地について、平成13年芸予地震(マグニチュード6.7)における住宅の瓦屋根被害と地震動の強さ、地盤との関係を、現地調査とアンケート調査に基づいて検討した。さらに、地盤の常時微動計測を実施し、地盤の微動特性と木造瓦屋根被害との関係に注目した。

1) 平成13年芸予地震による丘陵造成地盤の木造建物被害状況から、瓦屋根被害が盛土部で切土部より多く現れる傾向が明らかとなった。

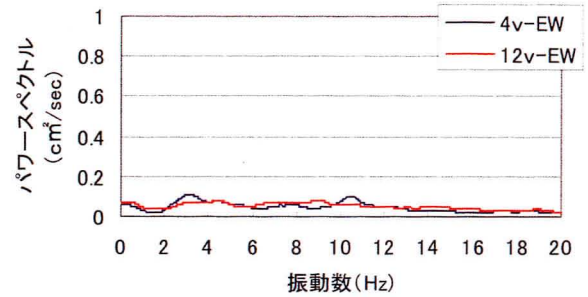
2) 瓦屋根被害の多い地域を航空写真から抽出し、呉市と廿日市市阿品台の木造家屋に太田方式のアンケート調査紙を配布した。調査結果から、沖積地盤上では丘陵地との境界付近で、丘陵造成地では盛土部でアンケート震度が大きく、瓦屋根被害も多く生じたことがわかった。また、呉市では丘陵地でも麓より尾根の震度が大きく、被害も多く

認められた。アンケート震度は、瓦屋根被害のあったところでわずかながら高くなる傾向が見られ、震度6弱（震度5.5から6.0）程度で、瓦屋根被害が現れ始めている。

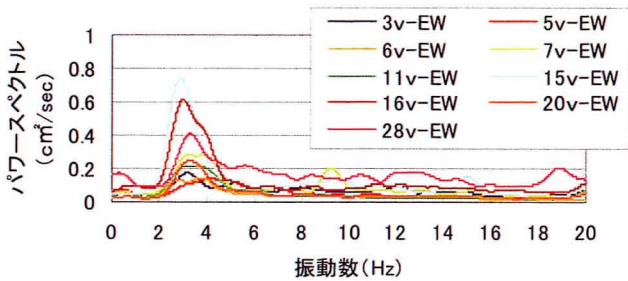
3) 丘陵造成地盤の盛土部と切土部で、地盤の常時微動特性に違いが見られることがわかった。阿品台の切土・盛土の振動性状を常時微動により調べたところ、スペクトル



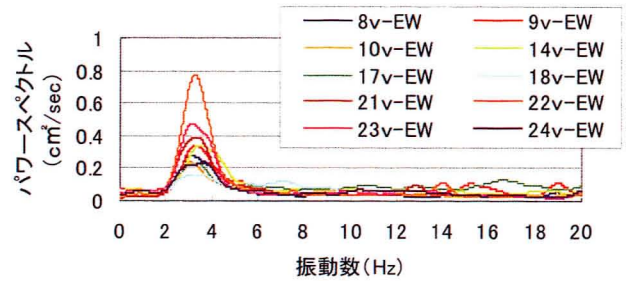
(a) 切土



(b) 切・盛境界の切土

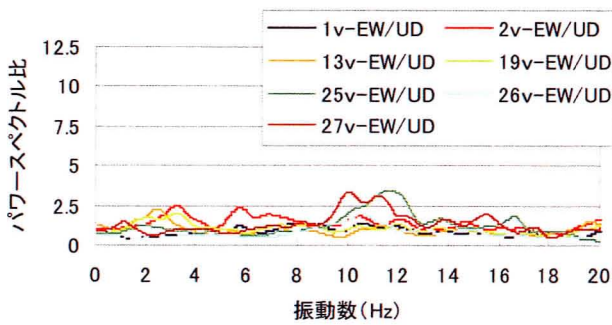


(c) 切・盛境界の盛土

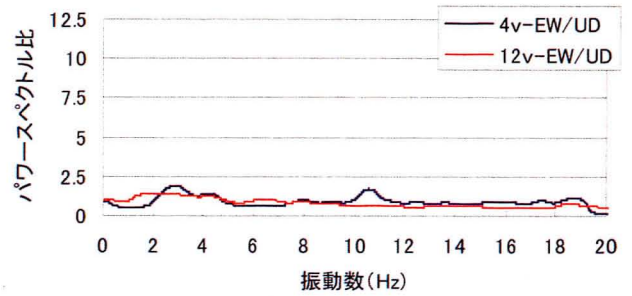


(d) 盛土

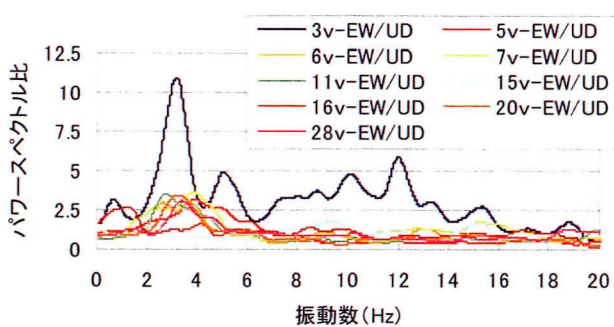
図12 切土・盛土地盤上でのパワースペクトル (阿品台)



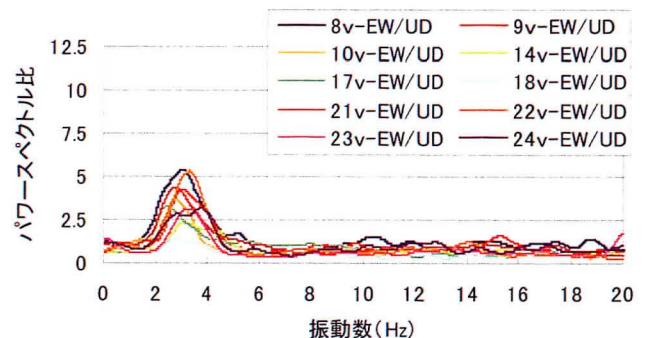
(a) 切土



(b) 切・盛境界の切土



(c) 切・盛境界の盛土



(d) 盛土

図13 切土・盛土地盤上での H/V スペクトル (阿品台)

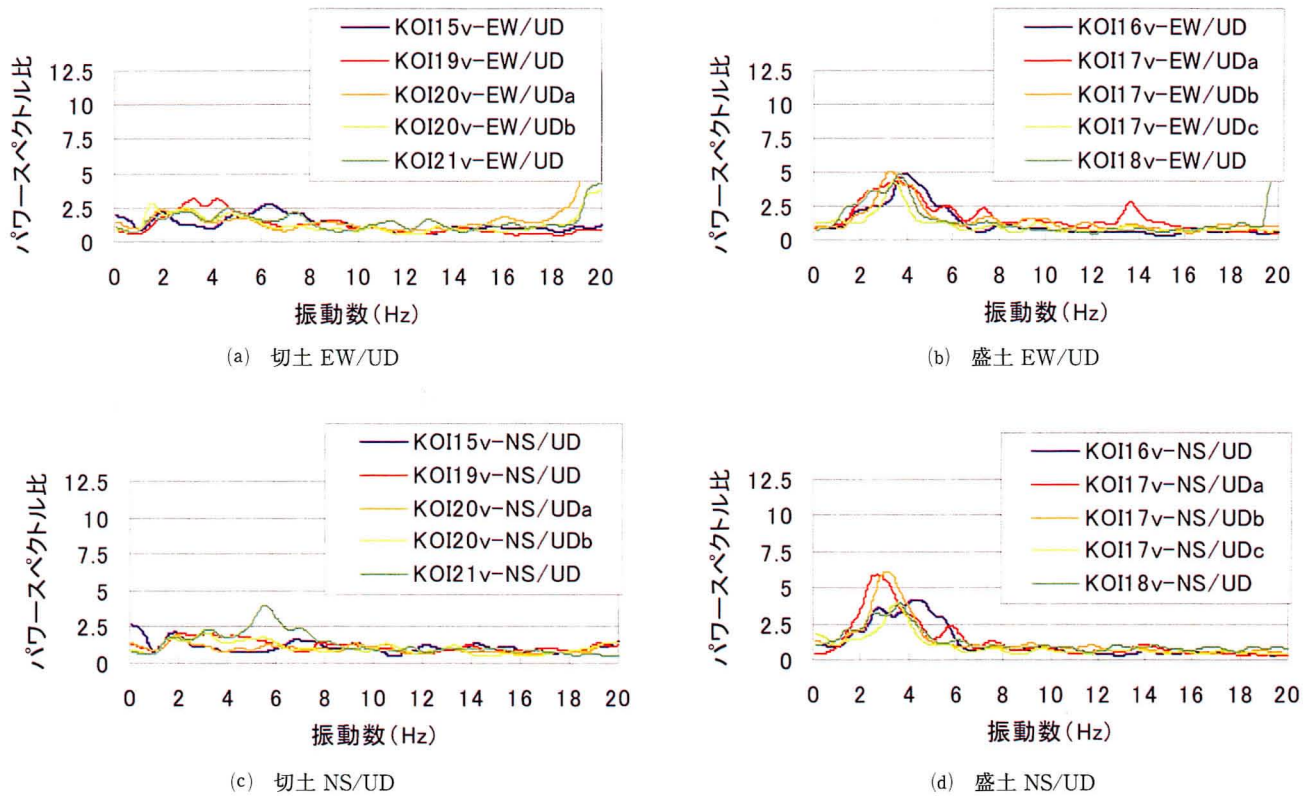


図14 切土・盛土地盤上での H/V スペクトル (已斐上)
 (なお、凡例中で a, b, c とあるのは、同じ地点における複数回の計測結果である)

特性、水平動の上下動に対する H/V スペクトル特性において大きく4つに分けられる傾向が認められた。

また盛土地盤では 3Hz 付近が卓越しており、地盤の卓越振動数が木造住宅の建物固有振動数にかなり近く、住宅の共振による振動の増幅も窺わせる結果となった。

謝 辞

本研究は平成13年度科学研究費補助金(特別研究促進費(1))「平成13年芸予地震による都市地震災害に関する総合的調査研究」(研究課題番号:13800001, 研究代表者・中山隆弘・広島工業大学)による補助を一部受けました。使用した住宅地図 Zmap-TOWN II は(株)ゼンリンからご提供頂きました。また本研究の調査・実測・分析は平成13年度・14年度の広島工業大学工学部建設工学科4年学生であった尾崎英和・石田恒二・大森伸一・貝原洋右・新谷正志・阿部光貴・宮部哲夫・平石尚久・山城法子・原田豊光・八木周太・岡本一行君等の協力によるものです。ここに記し深甚の謝意を表します。

文 献

1) 浅野照雄, 岩井 哲: 平成13年芸予地震による丘陵造成地の木造住宅被害と地盤の常時微動特性, 第21回自然災害学会学術講演会講演集, pp.49-50, (2002).

2) 日本建築学会: 2001年芸予地震災害調査報告書, pp.249-384, (2001).
 3) 岩井 哲, 浅野照雄: 平成13年芸予地震による建築物の被害調査, 第39回自然災害科学総合シンポジウム要旨集, pp.25-28, (2002).
 4) 藤原健蔵・資料: 広島市消防局 広島市地震情報ネットワークシステム検討委員会 平成13年度資料-4, (2001).
 5) 太田 裕, 後藤典俊, 大橋ひとみ: アンケートによる地震時の震度の推定, 北海道大学工学部研究報告, 第92号, pp.117-128, (1979).
 6) 小山真紀・太田 裕: アンケート震度の気象庁震度への略算変換式, 自然災害科学, 短報, Vol.17, No.3, pp.245-247, (1998).
 7) 浅田秋江: 宅地造成地盤の地震時危険度の予測法と防止工法に関する研究, 土質工学会論文報告集, Vol.22, No.4, pp.191-202, (1982).
 8) 一反田康啓, 岩井 哲: 木造建物の動的特性に関するデータベース構築と応答解析用復元力履歴モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.199-200, (2000).

本論文は日本自然災害学会「自然災害科学」第22巻4号に掲載されるものと同内容である。