

海溝型巨大地震の強震動に対する高知県の地域特性を 考慮した木造建物の耐震安全性に関する研究

土居 龍斗*・池田 雄一**

A Study on Seismic Performance of Wooden Houses Considering Site Amplification Characteristics of Strong Ground Motion of a Large Earthquake at the Plate Boundary in Kochi Prefecture

Ryuto DOI, Yuichi IKEDA

Summary

The authors made strong ground motions which considered site amplification characteristics of Kochi and compared them to strong ground motion records of the 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyo-oki earthquake. The conditions of surface ground of seven sites in Kochi had amplification characteristics peculiar to the sites. We used the strong ground motion that we created, using one mass system elastic-plastic model, and inspected the seismic performance of wooden houses. We compared intensity with the strong ground motion in this study and strong ground motion of the Nankai trough earthquake.

Keywords: the 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyo-Oki Earthquake, the Nankai Trough Earthquake, Site Amplification Characteristics, Wooden Houses, Ductility Factor, Base Shear Coefficient

1. はじめに

1.1 研究背景・目的

高知県沖の南海トラフでは、M8クラスの巨大地震が過去繰り返し発生している。さらに、東日本大震災以後、東海・東南海・南海地震が連動する地震規模M8、さらに地震規模が大きくなるM9クラスの巨大地震が発生する可能性を想定した地震災害の議論がなされている¹⁾。このようなM8及びM9クラスの巨大地震が発生した場合、その地震に伴う強震動は、南海トラフの震源域に近い高知県に設計・建設されている建物にも作用することとなる。建物に作用する強震動は地震の震源特性、地震動の伝播特性、地震動の増幅に及ぼすとされる地震基盤の深さ及び建設地の表層地盤特性によって大きな影響を受けると考えられている²⁾。

2011年東北地方太平洋沖地震では、東北地方及び関東地方を中心として多くの強震記録が観測された。東北地方太平洋沖地震はMw9.0の巨大地震であり、このようなM9クラス巨大地震の強震記録は、日本列島に強震観測網が密に整備されてから初めて観測された³⁾。この観測された強震記録の特徴は、従来の強震記録に比して継続時間がきわめて長く、長周期地震動を含んでいることが挙げられる。

* 豊橋技術科学大学 工学部 建築・都市システム学課程 (高知工業高等専門学校環境都市デザイン工学科卒業生)
** 高知工業高等専門学校ソーシャルデザイン工学科 准教授

南海トラフの近くに位置する高知県の地震被害予測や建物の耐震安全性を考える上において、東北地方太平洋沖地震において観測された強震動は、地震規模の大きな巨大地震の強震動に対する建物の耐震性を検討する場合、大変貴重な強震動の情報であると著者らは考えている。

そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震において観測されたその強震動を利用して、高知県の主要7地域の表層地盤特性を考慮した強震動を作成し、この作成した強震動を利用して、高知県の木造建物の耐震安全性に関する考察を行った。

1.2 研究方法

本研究の方法をまとめると以下の通りとなる。最初に、東北地方太平洋沖地震において東北地方及び関東地方で観測された水平動44成分の強震動を、その観測された東日本の表層地盤条件に従い地盤の逐次非線形解析の逆解析を行って、工学的基盤位置となる解析用基盤地震動を計算する。次に、高知県の主要な表層地盤データの工学的基盤位置に、先の解析用基盤地震動を入力して地盤地震応答解析を行い、そして高知県主要7地域の地表強震動を作成する。最後に、作成した地表強震動を建物の解析用入力地震動として用い、1質点系モデルの弾塑性地震応答解析を行って、巨大地震の地表強震動に対する高知県の木造建物の耐震安全性の評価を行う。

2. 高知県の表層地盤特性を考慮した地表強震動の作成

2.1 解析に用いた2011年東北地方太平洋沖地震の強震記録地表観測点

解析に用いる強震記録は、宮城県の古川・仙台・岩沼・石巻・鳴子・角田の6つの観測点、福島県の相馬・いわき・勿来・須賀川・猪苗代・中野の6つの観測点、茨城県の高萩・土浦・石岡・江戸崎・古河の5つの観測点、栃木県の小川・小山・矢板の3つの観測点、千葉県の浦安・稲毛の2つの観測点の合計22観測地点において地表で観測された水平動2成分の合計44成分の強震動である。これらの強震記録を選定した理由としては、周期1秒～10秒の間に卓越周期があることと、その周期帯域において強震動の速度応答量（pSv）が100cm/s以上の強さを持っていること、この2点を重視した。

表1に、本研究で用いる2011年東北地方太平洋沖地震の強震記録を示す。

表1 解析に用いる強震記録（地表）^{注)}

No.	都道府県	観測点	成分	観測時間 (秒)	Amax (cm/s ²)	No.	都道府県	観測点	成分	観測時間 (秒)	Amax (cm/s ²)	
1	宮城県	古川	NS	300	443	23	福島県	中野	NS	300	316	
2			EW	300	570	24			EW	300	326	
3		仙台	NS	300	1284	25	茨城県	高萩	NS	300	478	
4			EW	300	768	26			EW	300	582	
5		岩沼	NS	300	409	27		土浦	NS	300	375	
6			EW	300	349	28			EW	300	448	
7		石巻	NS	300	438	29		石岡	NS	300	282	
8			EW	300	374	30			EW	300	289	
9		鳴子	NS	300	245	31		江戸崎	NS	300	402	
10			EW	300	192	32			EW	300	398	
11		角田	NS	300	314	33		古河	NS	300	183	
12			EW	300	342	34			EW	300	150	
13	福島県	相馬	NS	300	513	35		栃木県	小川	NS	300	375
14			EW	300	532	36				EW	300	373
15		いわき	NS	300	356	37	小山	NS	300	292		
16			EW	300	284	38		EW	300	415		
17		勿来	NS	300	338	39	矢板	NS	300	243		
18			EW	300	249	40		EW	300	287		
19		須賀川	NS	300	641	41	千葉県	浦安	NS	300	124	
20			EW	300	485	42			EW	300	156	
21		猪苗代	NS	300	238	43	稲毛	NS	300	230		
22			EW	300	274	44		EW	300	201		

注)：表1に掲載した強震記録は、国立研究開発法人防災科学技術研究所による強震記録観測網によって観測され、公開された地表の強震記録である。

2.2 地盤地震応答逆解析による解析用基盤地震動の算出フロー

地盤地震応答逆解析による解析用基盤地震動の算出フローを図1に示す。まず、東北地方太平洋沖地震の観測された地点の表層地盤データの地表面に、観測された地表強震観測記録を入力地震動として入力し、逐次非線形の地盤地震応答逆解析を行って、各観測点の表層地盤データの最下層における解析用基盤地震動を算出する。なお、これより説明する表層地盤のデータは防災科学技術研究所の表層地盤データを用いている。

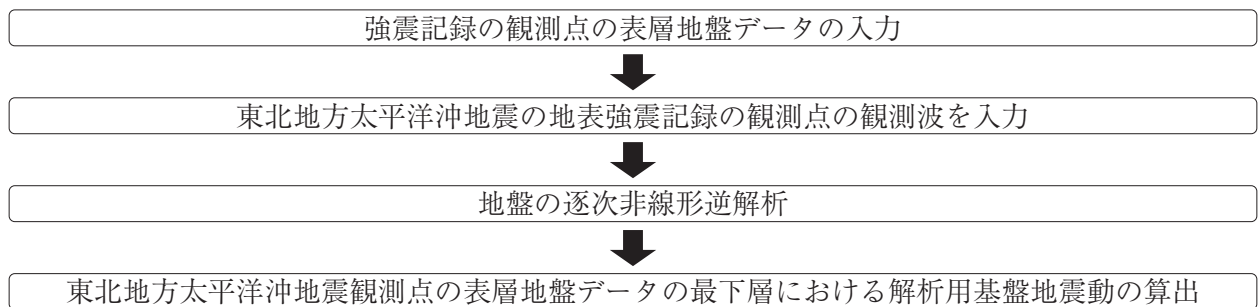


図1 解析用基盤地震動を算出フロー

2.3 高知県主要7地域の表層地盤の状況

本研究で対象とする高知県の主要7地域は、室戸市、大豊町、高知市・丸の内、須崎市、四万十市・中村、土佐清水市及び宿毛市である。高知県の主要な7地域の地盤条件を表す地盤深さに関するN値分布状況を図2-a～図2-gに、地盤深さに関するS波速度を図3-a～図3-gに示す。

図2-a～図2-gの各地域のN値分布状況から、図2-bの大豊町や図2-fの土佐清水市を除き、他の地域は地表から深さ10m～20mまではN値が小さく、特に図2-cの高知市・丸の内及び図2-eの四万十市・

中村は地表深さ20mまでN値が非常に小さくなっている。

図3-a～図3-gの地表深さのS波速度分布では、N値分布状況と同じように図3-aの大豊町が、地表深さ3mからS波速度500m/sに達して、硬質地盤が地表近くに分布している。また図3-fの土佐清水市も表層の浅い深さからS波速度500m/sになり、これより以深はさらにS波速度が大きくなり、深さ15mからはS波速度が1500m/s程度となっている。図3-gの宿毛市では地表深さ18mまではS波速度が比較的小さな分布となって、地表深さ18m以上ではS波速度300m/sをやや超えるS波速度となっている。

図3-cの高知市・丸の内及び図3-eの四万十市・中村では、N値の分布状況と同じように、S波速度も地表深さ20mまで、S波速度がおおよそ200m/s程度となって、軟弱地盤が分布している。高知市・丸の内や四万十市・中村の地域は、河川流域の堆積層が表層地盤を構成しているために、このようなS波速度となっている。

防災科学技術研究所の表層地盤データは、いずれの調査測定されている地表深さは最深でも20mまでとなっている。高知市・丸の内、四万十市・中村、宿毛市、室戸市には、工学的基盤のN値50以上の表層地盤データが表層地盤増幅特性を考慮するためには必要となる。そこで、高知市・丸の内については工学的基盤のN値50以上ある深さまでの表層地盤データを用いた検討を、5.にて行っている。

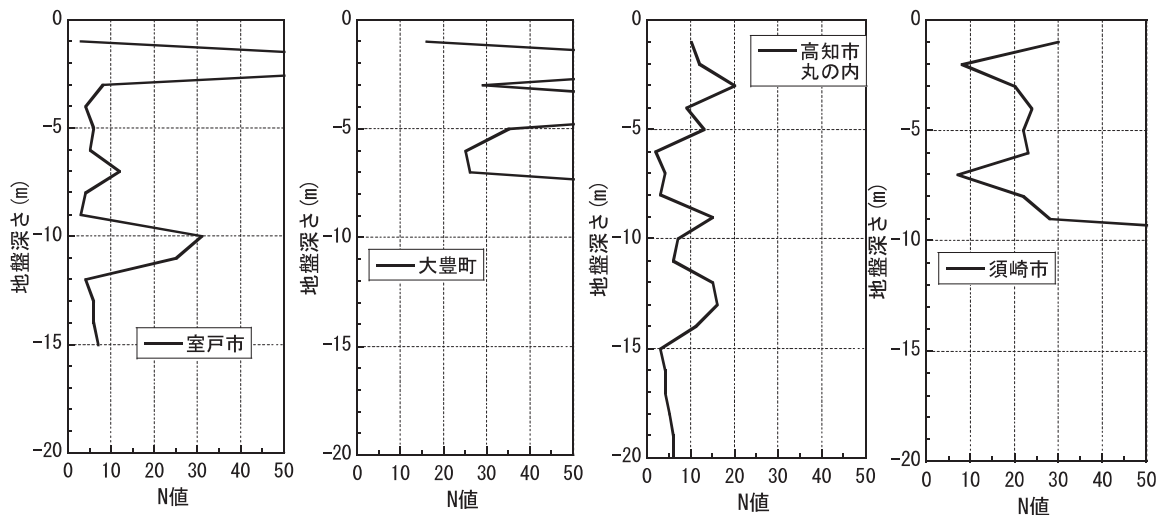


図 2-a 室戸市 図 2-b 大豊町 図 2-c 高知市・丸の内 図 2-d 須崎市

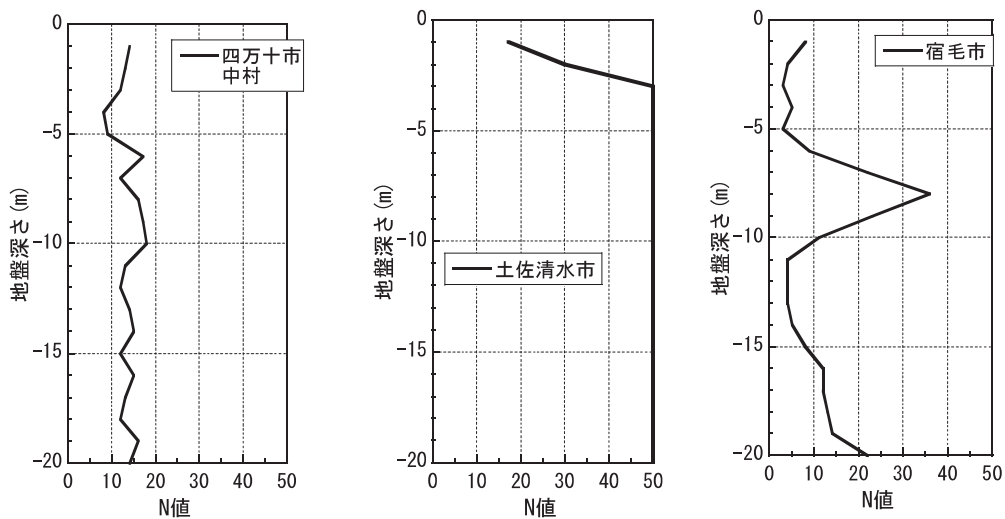


図 2-e 四万十市・中村 図 2-f 土佐清水市 図 2-g 宿毛市

図2 主要7地域のN値

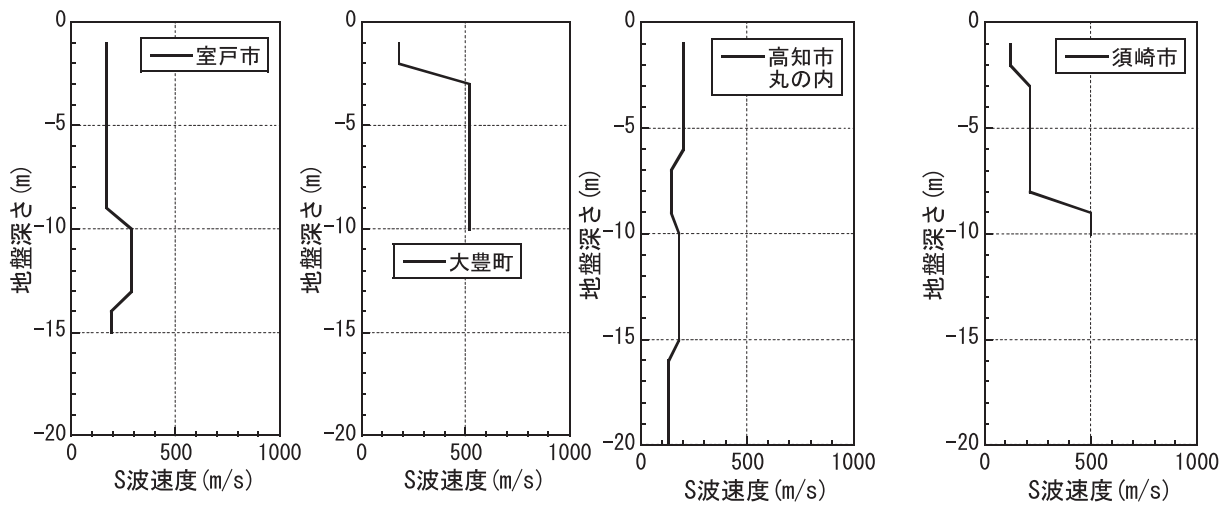


図 3-a 室戸市

図 3-b 大豊町

図 3-c 高知市・丸の内

図 3-d 須崎市

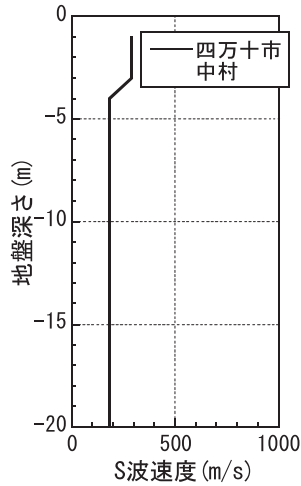


図 3-e 四万十市・中村

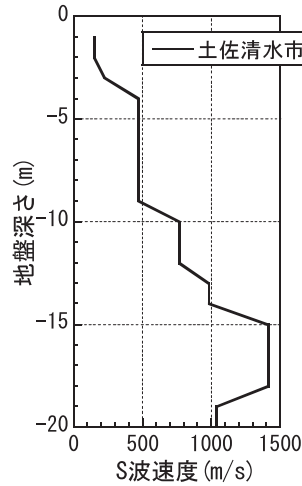


図 3-f 土佐清水市

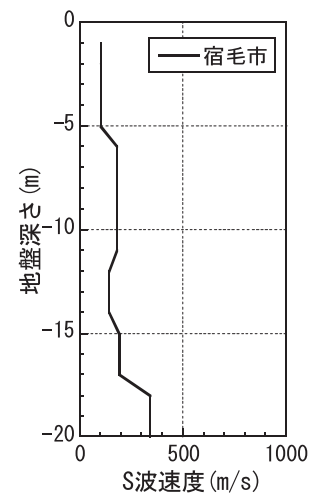


図 3-g 宿毛市

図 3 主要 7 地域の S 波速度

2.4 東北地方太平洋沖地震の解析用基盤地震動から求めた高知県の地表強震動の作成フロー

図 4 に示すような作成フローに従って、先に算出した解析用基盤地震動を、高知県主要 7 地域の表層地盤データの最下層（地表深さ 20m）に入力して、地表強震動を作成する。

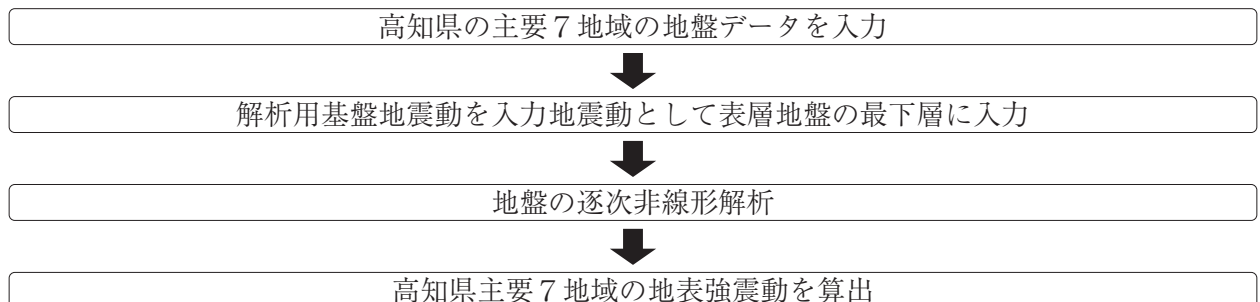


図 4 高知県表層地盤データを考慮した地表強震動作成フロー

3. 高知県主要7地域の地盤増幅特性

2.4.地盤地震応答解析によって算出された高知県の表層地盤特性を考慮した地表強震動は、先に示した表1の東北地方太平洋沖地震の強震記録水平動44成分のうち、表層地盤データとの関係もあり、地盤地震応答逆解析によって解析できなかった10成分を除く水平動34成分である。各地域において求めた地表強震動34成分の速度応答スペクトルを、これに対応する水平動34成分の解析用基盤地震動の速度応答スペクトルで除してその比を求め、その幾何平均を計算して、高知県主要7地域の地盤増幅特性としてスペクトル表示したものを図5に示す。

図5の地盤増幅スペクトルは、2011年東北地方太平洋沖地震の強震記録を利用した高知県主要7地域の地盤を考慮した増幅特性を示すものである。

図5より大豊町は、周期0.2秒～5秒まで概ね地盤増幅は1程度となっている。2.において示した図2-b及び図3-bの大豊町の地盤条件からも地表から3mの深さでS波速度500m/sとなり地表近くの軟弱層の堆積がほとんどなく、S波速度が400m/s～500m/s相当の工学的基盤が露出しているためである。

室戸市は、大豊町と同じく周期0.3秒～5秒まで概ね地盤増幅は1程度であるが、周期0.1秒～0.3秒では大豊町がやや地盤増幅が見られているものの、これに対して室戸市は地盤増幅が1以下となっている。図2-a及び図3-aより地表深さ10mまではS波速度の比較的小さい軟弱層が堆積している影響が地盤増幅の低減につながっていると考えられる。

土佐清水市は、周期0.1秒～0.2秒付近での地盤増幅が他の地域に比べて最も大きい値となっている。図2-f及び図3-fから土佐清水市の地盤条件では、地表から4mの深さにN値50をこえる工学的基盤があり、大豊町と同様に軟弱層が厚く堆積しておらず、地表から15mの深さにS波速度1000m/s以上の基盤構造があり、大豊町とは地盤条件が異なる。地表近くの表層地盤の影響によって、周期0.1秒～0.3秒の地盤増幅が2を超えていると考えられる。

須崎市は、図2-d及び図3-dから地表深さ10mまで軟弱層が堆積し、以深はS波速度500m/s以上の地盤構造となっているため、周期0.3秒～0.4秒までの地盤増幅が大きくなっている。また、周期0.3秒以下でも地盤増幅は1を超えている。

宿毛市は、図2-g及び図3-gから地表深さ17mまでS波速度200m/sの表層地盤となっており、以深はS波速度300m/s以上の地盤構造となっている。宿毛市の地盤増幅は周期0.5秒から2秒付近までの地盤増幅が大きくなっている。

室戸市、大豊町、須崎市、土佐清水市及び宿毛市は、400～500m/sを工学的基盤と考えれば、その工学的基盤より以浅の表層地盤の堆積層が厚いほど、長い周期帯域に増幅率の卓越周期が移動することとなる。

高知市・丸の内及び四万十市・中村では、地表深さ20mまでS波速度が200m/sの地盤が分布して、S波速度が400～500m/sの工学的基盤に相応する地盤は見当たらない。そのため高知市・丸の内及び四万十市・中村の地盤増幅は、周期0.5秒以下の地盤増幅は1を大きく下回り、他の地域の地盤増幅に比して、かなり小さくなっている。しかし周期1秒を超える地盤増幅は1を上回り、周期5秒まで地盤増幅が1を超えている。

高知市・丸の内及び四万十市・中村では、地盤地震応答解析において解析用基盤を地表深さ20mに設定して解析を行っている。しかし、2.の表層地盤状況を考えると、20m以深の地盤状況によっては、地盤増幅がさらに大きくなる可能性も考えられる。

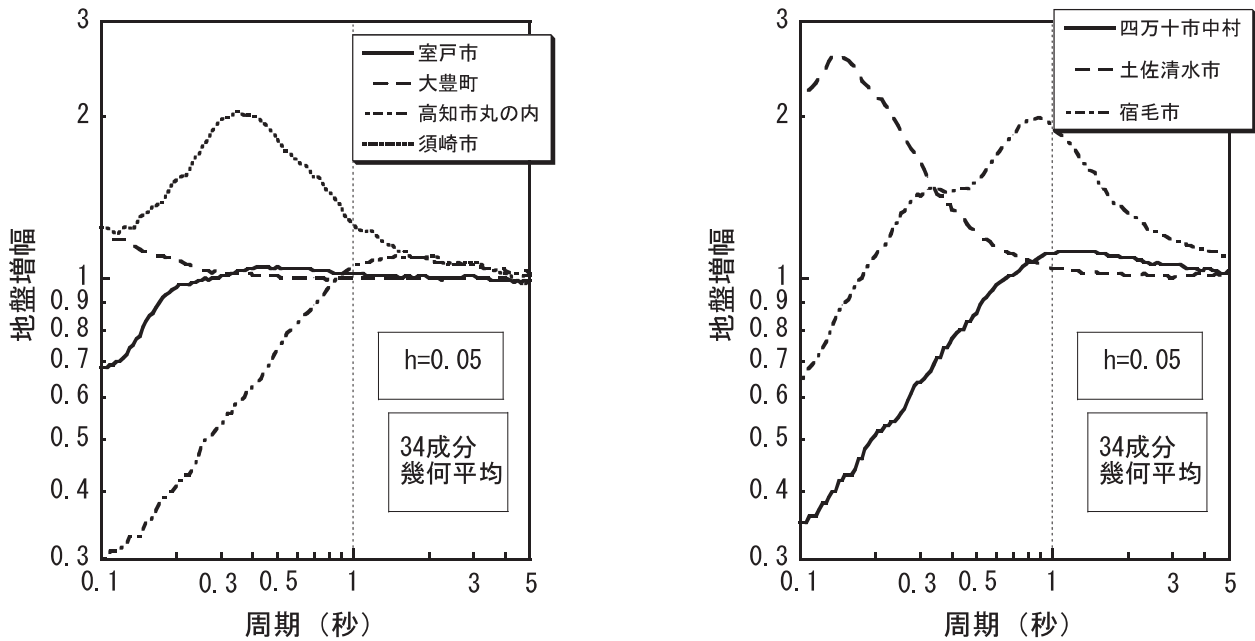


図5 高知県主要7地域の地盤増幅特性

4. 高知県主要7地域の地表強震動に対する木造建物の地震応答に関する考察

4.1 高知県主要7地域の地表強震動と2011年東北地方太平洋沖地震の観測地表強震動との比較

東北地方太平洋沖地震の宮城県・仙台NSの解析用基盤地震動を使用した場合の、高知県主要7地域の地表強震動の速度応答スペクトルを図6に示す。そして、図7には東北地方太平洋沖地震の宮城県・仙台NS（地表）の速度応答スペクトルを示す。

硬質地盤が地表近くに露出している大豊町、3.において周期0.3秒～0.4秒付近において地盤増幅の大きかった土佐清水市、及び周期0.1秒～0.2秒付近において地盤増幅の大きな須崎市では、周期0.5秒以下において他の地域よりも速度応答量が大きくなっている。これに対して高知市・丸の内や四万十市・中村では、図5の地盤増幅特性と同じように周期0.5秒以下の短周期帯域での速度応答量が小さくなっている。しかし、周期1秒以上の周期帯域については、宿毛市が大きく、この次に高知市・丸の内及び四万十市・中村が、他の地域に比べて速度応答量がやや大きくなっている。図7の仙台NS地表は周期0.6秒及び周期1秒において卓越しているが、図6主要7地域の地表強震動は周期1秒付近において、速度応答量が大きくなっている。

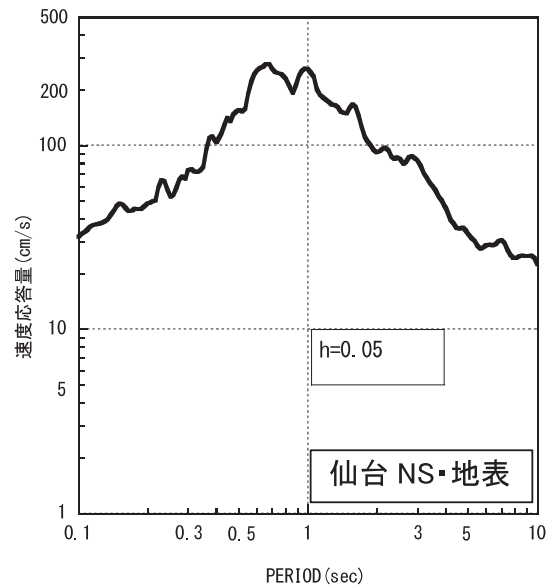
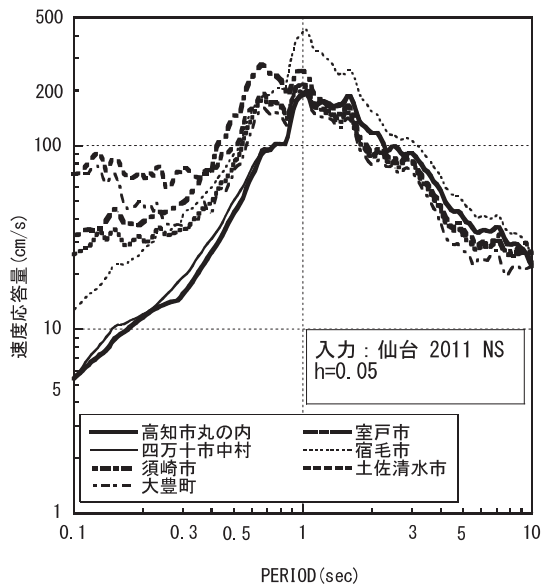


図6 高知県主要7地域の速度応答スペクトル (仙台NSの解析用基盤入力地震動, 表1 No.3利用)

図7 宮城県・仙台NSの速度応答スペクトル (地表, 表1 No.3)

次に、千葉県・浦安NSの解析用基盤地震動を使用した場合の、高知県主要7地域の地表強震動の速度応答スペクトルを図8に示す。そして、図9に東北地方太平洋沖地震の千葉県・浦安NS(地表)の速度応答スペクトルを示す。

浦安は緩い飽和砂地盤が厚く堆積しているため、液状化による建物の傾斜被害が多く生じた⁴⁾。液状化現象が生じると、地表強震動の周期が長くなる特徴がある。図9の浦安NS地表観測波の速度応答量は周期1秒以上の周期帯域において卓越している。一方、図8の高知県主要7地域の速度応答量では、0.1~0.3秒の短周期帯域では宿毛市、土佐清水市や須崎市の速度応答量が他の地域に比べて大きい。短周期帯域において比較的他の地域より速度応答量が小さかった高知市・丸の内では、周期が長くなるほど速度応答量が増加する傾向にある。

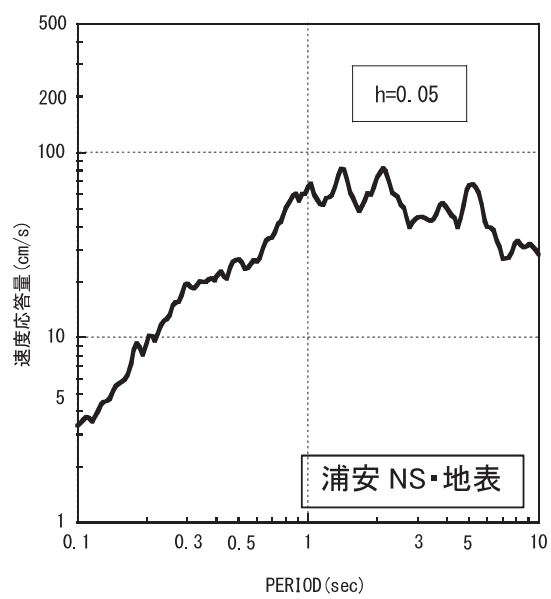
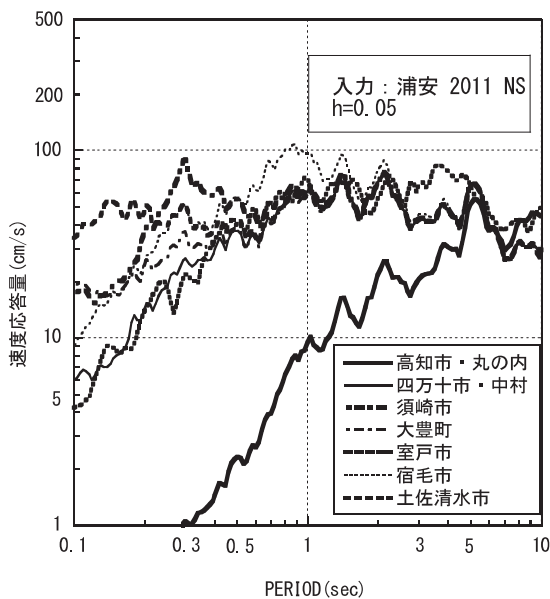


図8 高知県主要7地域の速度応答スペクトル (浦安NSの解析用基盤入力地震動, 表1 No.41)

図9 千葉県・浦安NSの速度応答スペクトル (地表, 表1 No.41)

4.2 高知県主要7地域の地表強震動が木造建物の耐震安全性に及ぼす影響

算定した地表強震動が木造建物に及ぼす影響を考察するために、1質点系弾塑性地震応答解析を行った。図10～13に降伏震度 $Q_y/W=0.2R_t$ (R_t は第2種地盤における振動特性係数)とした場合の応答塑性率スペクトル($h=0.05$)を示す。なお、復元力特性は、完全弾塑性モデルである。この図10～13で示している降伏震度とは、木造建物が有している耐力強度である。

図10から仙台NS(宮城県)の解析用基盤地震動を用いた高知県主要7地域の地表強震動では、木造建物の周期帯域である0.3～0.5秒では須崎市、土佐清水市、及び宿毛市で塑性率 μ が大きくなっている。周期1秒よりも長い周期帯域では、表層地盤の違いによる塑性率の大きな違いは見られない。

図11から小川NS(栃木県)の解析用基盤地震動を用いた高知県主要7地域の地表強震動では、短周期帯域において、宿毛市が他の地域よりも塑性率が大きくなっている。周期1秒よりも長い周期

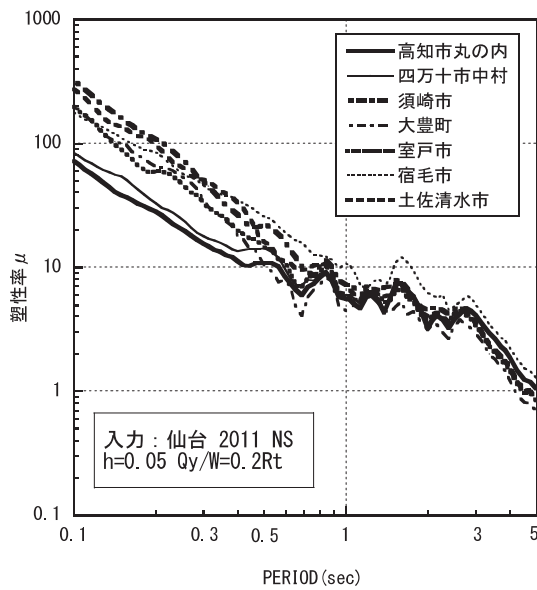


図10 高知県主要7地域の塑性率 μ

(仙台NSの解析用基盤入力地震動, 表1 No.3利用)

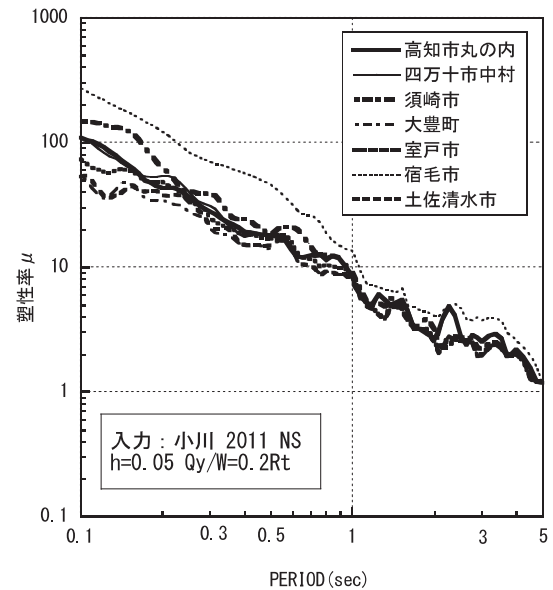


図11 高知県主要7地域の塑性率 μ

(小川NSの解析用基盤入力地震動, 表1 No.35利用)

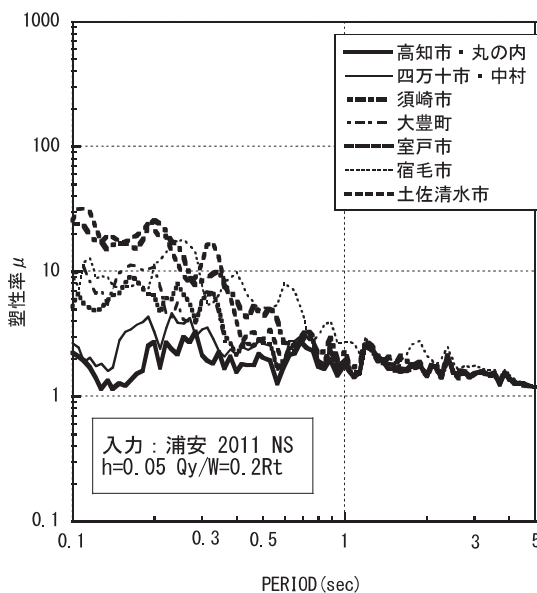


図12 高知県主要7地域の塑性率 μ

(浦安NSの解析用基盤入力地震動, 表1 No.41利用)

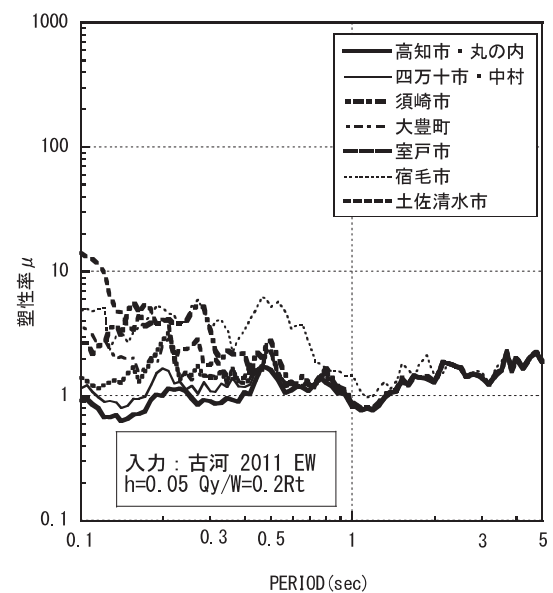


図13 高知県主要7地域の塑性率 μ

(古河EWの解析用基盤入力地震動, 表1 No.34利用)

帯域では地域ごとの差は小さくなり、軟弱地盤の高知市・丸の内や四万十市・中村では、塑性率が他の地域よりも大きくなる周期帯域がある。

図12から浦安NS(千葉県)の解析用基盤地震動を用いた高知県主要7地域の地表強震動では、短周期帯域での塑性率が図10仙台NSや図11小川NSに比べて塑性率は小さい。周期1秒よりも長い周期帯域では、高知県各地域の差はほとんど見られない。

図13は古河EW(茨城県)での解析用基盤地震動を用いた高知県主要7地域の地表強震動によるものである。図10～12に比べて短周期の塑性率は小さく、周期1秒付近では塑性率1を下回る。周期3秒以上では、図13の短周期に比べて大きくなる傾向にある。

木造建物の強震動が作用した場合には、その作用する強震動により木造建物の軸組が塑性化することによって、地震時の建物周期が伸びると考えられている。このことを考慮すれば、周期0.6秒～2秒の塑性率が2を超える場合は、木造建物の耐震安全性に影響を及ぼす可能性がある。

以上から図10及び図11より、工学的基盤位置に仙台NSや小川NSの解析用基盤地震動程度の強さが入力された場合、高知県の表層地盤の影響によって塑性率が2を超えることとなり、高知県の木造建物に損傷が生じる可能性が高くなる。

次に、図14には1質点系弾塑性モデルによる累積塑性変形倍率 μ_c を示す。累積塑性変形倍率 μ_c は、塑性変形の累積値を表す指標であり、建物への揺れの繰り返し回数と関係が深い。図14は、水平動34成分の解析用基盤地震動を用いた高知県の地表強震動の累積塑性変形倍率を主要7地域ごとに示して、それを平均化したものである。図14の高知市・丸の内及び四万十市・中村は、周期0.5秒以下では他の地域に比べて、累積塑性変形倍率が小さい。周期0.3秒～0.6秒以下では、土佐清水市及び須崎市、宿毛市の累積塑性変形倍率が大きくなっている。

周期1秒～2秒付近では、宿毛市の累積塑性倍率は依然大きく、宿毛市の累積塑性変形倍率 μ_c は15～40程度となっている。このような周期帯域において、累積塑性変形倍率が大きい強震動は、木造建物に繰り返し強震動が作用すると考えられる。

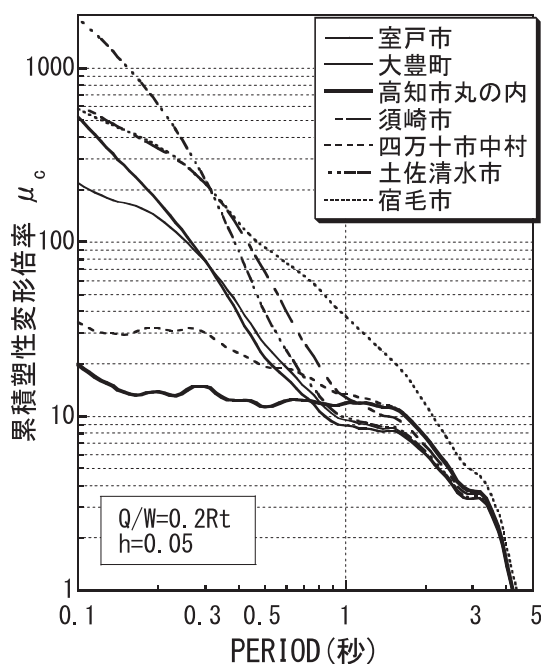


図14 高知県主要7地域の累積塑性変形倍率 (平均)
(解析用基盤入力地震動水平動34成分・平均)

4.3 木造建物の塑性率が降伏強度に及ぼす影響

ある程度の塑性率を有する建物、すなわち変形能力をある一定程度許容できる建物の所用降伏震度 Q_y/W (ベースシア係数) を調べるため、塑性率3を持ち合わせる建物の降伏震度をスペクトル表示した、降伏震度スペクトルを図15~18に示す。これは建物の所有している変形能力を塑性率に換算して、塑性率 μ が3程度の変形能力を有しているという判断の基に考察を進めることとする。

図15仙台NSの工学的基盤地震動を用いた地表強震動では、周期0.1秒~0.2秒の周期において大豊町や土佐清水市で降伏震度が1を超えている。

図15仙台NSや図16小川NSの解析用基盤地震動を用いた地表強震動では、周期1秒までの降伏震度は0.3以上となっているが、周期1秒を超えると周期が大きくなるに従って降伏震度が小さくなる傾向がある。

図17浦安NSや図18古河EWの解析用基盤地震動を用いた地表強震動では、1秒よりも短い周期帯域での降伏震度が図15や図16と比べると小さい値となっている。

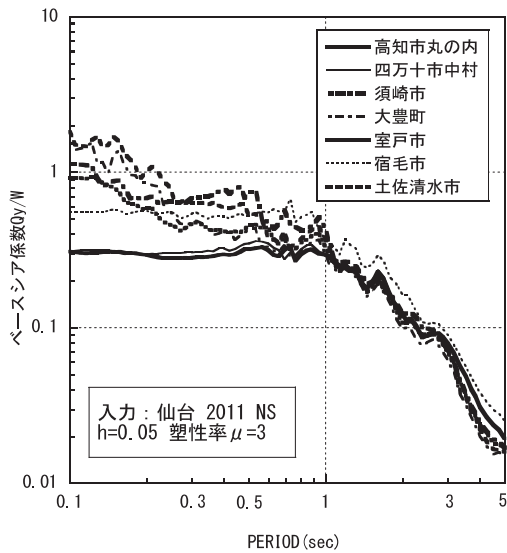


図15 塑性率 $\mu=3$ を有する Q_y/W スペクトル (仙台NSの解析用基盤地震動, 表1 No.3利用)

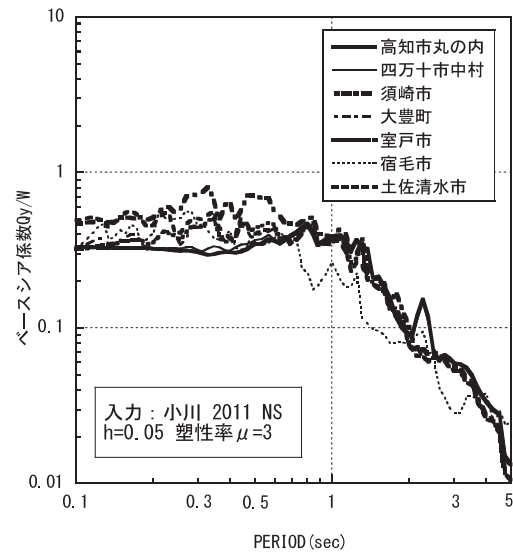


図16 塑性率 $\mu=3$ を有する Q_y/W スペクトル (小川NSの解析用基盤地震動, 表1 No.35利用)

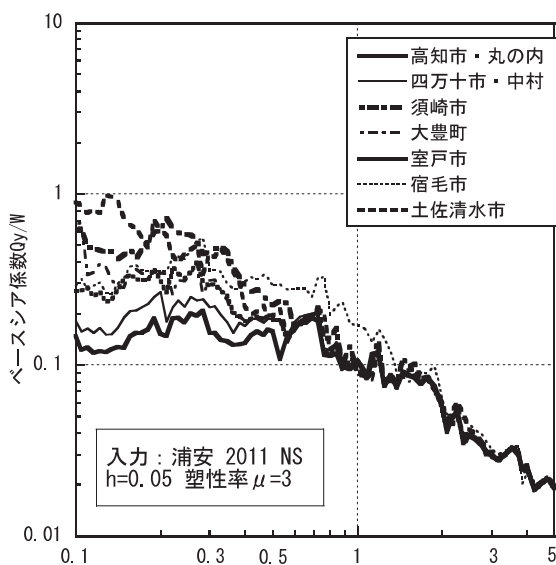


図17 塑性率 $\mu=3$ を有する Q_y/W スペクトル (浦安NSの解析用基盤地震動, 表1 No.41利用)

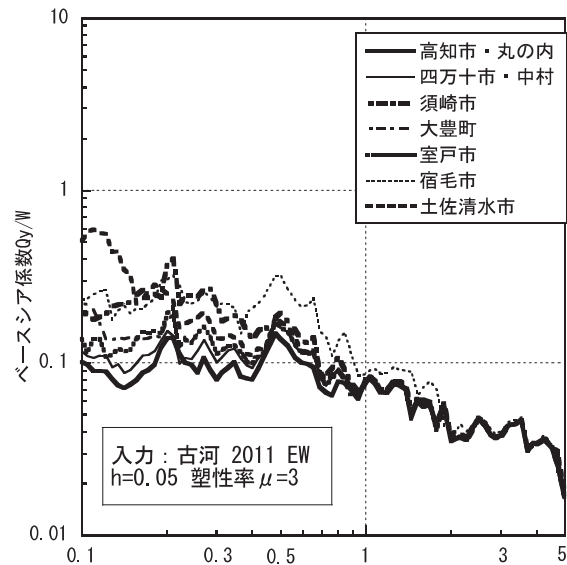


図18 塑性率 $\mu=3$ を有する Q_y/W スペクトル (古河EWの解析用基盤地震動, 表1 No.34利用)

5. 高知市・丸の内の地表強震動と南海トラフ想定地震動との比較

5.1 表層地盤深さ20mと40mの違いによる高知市・丸の内の地表強震動

第2章において、高知市・丸の内の地盤状況は、N値が50や工学的基盤とされるS波速度400m/s以上の地盤は、地表から20mの深さまで見られなかった。そこで新たに高知市・丸の内の表層地盤データを深さ40mまで入手して、解析用基盤地震動水平動34成分をその地表深さ40mの位置に入力して解析を行った。作成した地表強震動の速度応答スペクトルの水平動34成分の平均値を図19に示す。

また高知市・丸の内の工学的基盤位置を地表深さ20m（従来）に設定したのも併せて示している。一般的に工学的基盤はN値が50以上とされているが、高知市・丸の内ではそのN値が50となる地表深さは40mである。2つの結果を比較してみると、地表深さ40mまでの解析結果の方が、地表深さ20m（従来）と比べて、周期0.1秒～10秒にわたって速度応答量が大きな値を示している。これは地表深さ20m（従来）までの解析では、高知市・丸の内の地盤増幅を考慮できないことを示している。

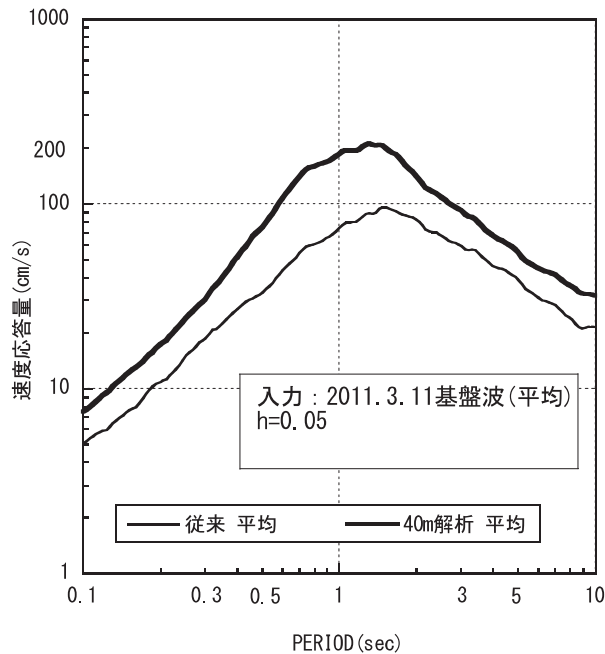


図19 高知市・丸の内地表深さ20m、地表深さ40mの速度応答スペクトル

5.2 高知市の作成地表強震動と南海トラフ想定地震動⁵⁾

図20には、南海トラフ想定地震の高知市・丸の内の地表強震動の速度応答スペクトルを示す。また、5.1節において示した地表深さ20mと地表深さ40mの平均速度応答スペクトルも併せて示す。なお、図20の南海トラフ想定地震の地表強震動の陸側、基本、東側、西側と表記してある凡例は、南海トラフの震源の位置条件を示したものである。基本と示したものは南海トラフの中央を震源域とする地震が発生すると想定したものである。また陸側の凡例は、南海トラフの震源が四国に近いケースの地震が発生すると想定したものである。

図20より陸側を震源とする地震が発生したと想定した強震動は、他のケースよりも大きな速度応答量を示している。

工学的基盤深さを地表深さ20mで算出した本研究の東北地方太平洋沖地震において観測された強振動を基に作成した高知市・丸の内の地表強震動は、想定された南海トラフ地震動を下回り、地表深さを40mまで考慮すると、南海トラフ想定地震の地表強震動の速度応答スペクトルの強さのレベルに達する。

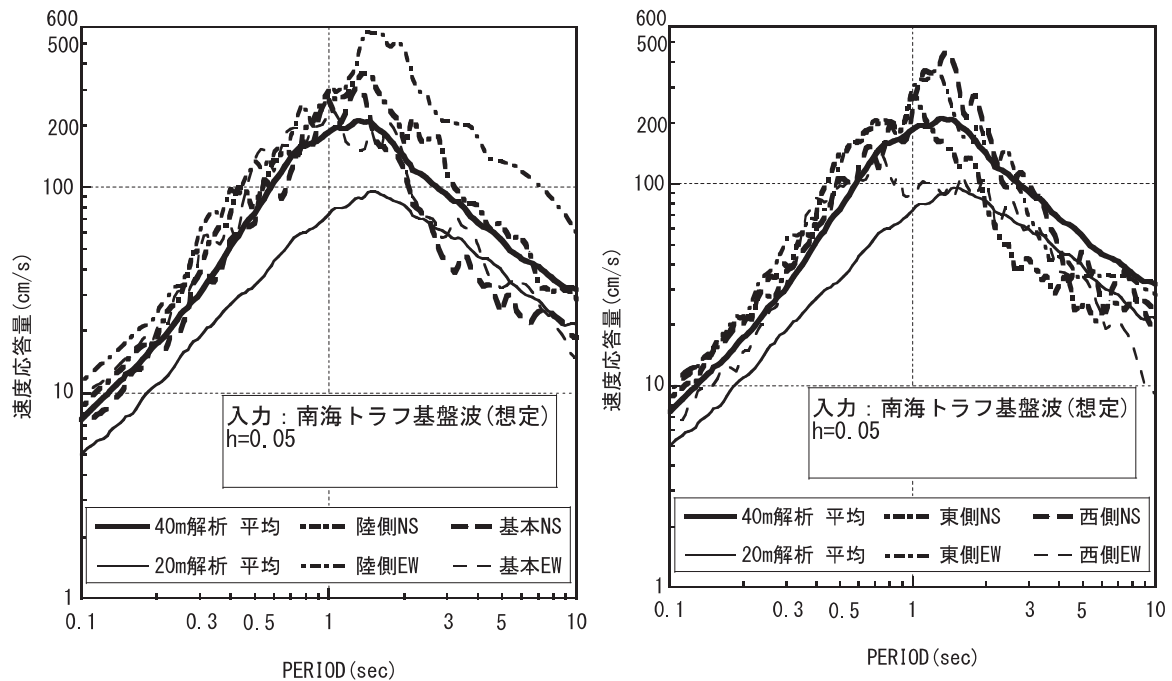


図20 高知市・丸の内作成地表強震動と南海トラフ想定地震波の速度応答スペクトル比較

6. 結 語

本研究では、南海トラフの近くに位置する高知県の地震危険度を考慮し、海溝型巨大地震の強震動に対する地震被害予測や建物の耐震安全性を検討する基礎的研究として、本研究を実施した。地震規模がMw9.0であった2011年東北地方太平洋沖地震にて観測された強震動を利用して、高知県の表層地盤特性を考慮した地表強震動を作成し、この作成した地表強震動を入力地震動として、建物（木造建物）の1質点系モデルによる弾塑性地震応答解析を行い、下記の知見を得た。

- 1) 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動を利用して作成した34波の解析用基盤地震動の速度応答スペクトルに対する、高知県主要7地域それぞれに対する34波の地表強震動の速度応答スペクトルの比をとり、高知県主要7地域の地盤増幅特性を明示した。
- 2) 大豊町では、周期0.2秒から周期5秒まで解析用基盤地震動に対する増幅が見られなかった。土佐清水市、宿毛市及び須崎市においては、短周期帯域において地盤増幅が見られ、高知市・丸の内及び四万十市・中村では短周期帯域での低減が見られた。しかし周期1秒以上においては、地盤増幅1を超える地盤増幅が見られた。
- 3) 高知県主要7地域の地表強震動による木造建物を対象とした1質点系弾塑性地震応答解析では、工学的基盤位置に仙台NSや小川NSの解析用基盤地震動が入力された場合、周期0.3秒から0.5秒では、宿毛市、土佐清水市及び須崎市が塑性率2から3を大きく超え、周期0.6秒から2秒では塑性率2をすべての地域で上回り、高知市・丸の内及び四万十市・中村は、周期0.6秒から2秒では塑性率は、他の地域に比べて大きくなる傾向にある。
- 4) 東北地方太平洋沖地震の強震記録を利用して作成した高知県主要7地域の地表強震動による累積塑性変形倍率では、周期0.1秒～0.6秒では、土佐清水市及び須崎市、宿毛市、大豊町が大きく、周期1秒～2秒では、宿毛市、高知市・丸の内及び四万十市・中村の累積塑性倍率が大きくなり、特に宿毛市は累積塑性変形倍率の平均が15～40程度となる。
- 5) 高知市・丸の内での工学的基盤の設定を地表深さ20mと40mの2種類について解析を行うと、

地表深さ40mの速度応答量は、周期0.1秒から10秒において地表深さ20mの場合よりも大きくなる。

- 6) 高知市・丸の内においては、工学的基盤深さが地表から20mとした解析によって算出した地表強震動は南海トラフ想定地震動よりも小さく、工学的基盤深さを地表深さ40mに設定した場合、南海トラフ想定地震の地震動の速度応答強さと同程度となる。

謝 辞

本研究の解析に用いた地盤地震応答解析は高知工業高等専門学校ソーシャルデザイン工学科岡林宏二郎教授所有の非線形地盤地震応答解析を使用させていただいた。

解析に用いた強震記録は、国立研究開発法人防災科学技術研究所による強震記録観測網によって、公開されたものである。

なお、本現地調査及び本研究の一部に関しては、一般社団法人四国クリエイト協会の『2016年度建設事業に関する技術支援制度』、一般社団法人高銀地域経済振興財団による平成27年度研究助成金による助成を受けて実施したものである。

以上、諸氏及び諸機関に関してここに記して、謝意を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 内閣府：「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」2015.12.17
入手先<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_report.html>、参照日：2016/10/26
- 2) 日本建築学会：表層地盤における地震動の増幅、地震動と地盤－地盤震動シンポジウム10年の歩み－、1983.7、pp.131-145
- 3) 鹿嶋俊英：進化する地盤－建物系強震観測、将来の大地震に備える強震観測とモニタリング、日本建築学会大会PD、pp.17-24、日本建築学会、2016.8
- 4) 吉田望：液状化時の地盤の振動特性と長継続時間地震動に対する液状化予測、2011年東北地方太平洋沖地震から分かった新たな知見と予測地震動への反映－巨大地震に備えるための地震震動研究（その3）－、第41回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、pp.35-46
- 5) 高知県庁南海トラフ地震対策課：南海トラフ想定地震・地震動データ、レベル1クラス・レベル2クラス、2013.1（提供）

受理日：2016年10月31日