ISSN 1346-7328
国総研資料 第1099号
令 和 2 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 1099 March 2020

港湾におけるレベル1地震動の評価手法による推定誤差の評価と重力式係船岸の変形への影響

錦織勇人・福永勇介・宮田正史

Evaluation of Estimation Error by Evaluation Method of Level-1 Earthquake Ground Motion and Effect on Deformation for Gravity-Type Wharf

NISHIKIORI Yuto, FUKUNAGA Yusuke, MIYATA Masafumi

国土交通省　国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of ＮＩＬＩＭ

No. 1099　　March 2020

編集・発行　©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課　電話：046-844-5019
E-mail:ysk.nil-pr@gxb.mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所資料　No1099

港湾におけるレベル1地震動の評価手法による推定誤差の評価と重力式係船岸の変形への影響

March 2020

国土技術政策総合研究所資料
No. 1099　　2020 年 3 月
(YSK-N-422)

港湾におけるレベル1地震動の評価手法による推定誤差の評価と重力式係船岸の変形への影響

錦織勇人*・福永勇介・宮田正史*****

要　旨

港湾施設の耐震設計では，設計対象地点（以下，対象地点と呼ぶ）の工学的基盤におけるレベル 1 地震動を設定する必要があり，レベル 1 地震動の推定精度を向上させるためには，地震動に及ぼす影響が大きいサイト増幅特性を適切に評価する必要がある．

サイト増幅特性の評価では，対象地点において地震観測に基づく評価手法を用いることが望ましいが，地震観測は地域によっては最低でも数年間の観測期間が必要であるため，そのような場所では常時微動観測に基づく評価手法や，経験式による評価手法の簡易的な手法が適用されている．これらの簡易評価手法は，地震観測に基づく評価よりもサイト増幅特性の推定精度が低下すると考えられるが，その推定誤差やそれに起因する構造物の変形への影響は明らかではない．よって，本資料では，第一に速度 PSI 値を用いて，簡易評価手法によるサイト増幅特性の推定誤差を評価する．次に，重力式岸壁，控え矢板式岸壁および桟橋を対象として，簡易評価手法によるサイト増幅特性の推定誤差が係留施設の照査用震度に及ぼす影響を評価する．最後に，重力式岸壁を対象として，簡易評価手法によるサイト増幅特性の推定誤差が構造物の変形に与える影響を評価する．

本資料は，設計実務者が合理的な設計が行えるよう，簡易評価手法によるサイト増幅特性の推定誤差とその構造物への変形の影響の程度を理解するためのものである．

キーワード：レベル1地震動，サイト増幅特性，速度PSI値，照査用震度，FLIP

* 港湾研究部　港湾施設研究室　交流研究員
** 港湾研究部　主任研究官
*** 港湾研究部　港湾施設研究室　室長
〒239-0826　横須賀市長瀬3-1-1　国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：0468-44-5028　Fax：0468-44-5028　　e-mail: ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

Technical Note of NILIM
No. 1099 March 2020
(YSK-N-422)

Study of Estimation Errors obtained by Evaluation Method used for Level-1 Earthquake Ground Motion and their Effect on Deformation of Gravity-type Wharf

NISHIKIORI Yuto*
FUKUNAGA Yusuke**
MIYATA Masafumi***

Synopsis

In the earthquake-resistant design of port and harbor facilities, it is necessary to establish the Level-1 earthquake ground motion for the bedrock at the construction site. To improve the precision of predicting Level-1 earthquake ground motions at respective sites, site amplification factors that have a significant influence on earthquake motions must be adequately evaluated.
In the evaluation of site amplification factors, it is desirable to use an evaluation method that is based on earthquake measurement at a target point. If this is not possible, simple methods such as those based on microtremor measurement or on empirical formulas are applied. Although estimation errors and their influences on the deformation of the structure may not be obvious, it is conceivable that accurate estimations of site amplification factors by the simple evaluation method may be lower than those based on earthquake measurements. In this paper, we use PSI to evaluate the estimation errors of the site amplification factors obtained by the simple evaluation method. Next, we evaluate the effect of these estimation errors on the seismic coefficients for verification of the performance of gravity-type wharves, steel-pipe sheet-pile-type wharves, and piled piers. Lastly, we evaluate the effect of these estimation errors on the structural deformation of gravity-type wharves.
This document will help design practitioners to make a rational decisions regarding wharf design and to understand the estimation errors of site amplification factors obtained by the simple evaluation method and the degree of their influence on the deformation of a structure.

Key Words: Level-1 earthquake ground motion, Site amplification factor, PSI, Seismic coefficient for verification, FLIP

* Exchange Researcher, Port and Harbor Department, NILIM
** Senior Researcher,Port and Harbor Department, NILIM
*** Head,Port Facilities Division,Port and Harbor Department, NILIM
National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-468-44-5028 Fax : +81-468-44-5028 e-mail: ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

目　次

1. はじめに ····· 1
1.1 本資料の位置付け ····· 1
1.2 サイト増幅特性の基本情報 ····· 1

2. 推定誤差の評価方法の概要 ····· 2
2.1 全体概要 ····· 2
2.2 推定誤差の評価指標の概要 ····· 4

3. 速度PSI値による推定誤差の評価 ····· 4
3.1 評価概要 ····· 4
3.2 対数正規分布を仮定した統計処理 ····· 5
3.3 設計実務に沿った適用データの抽出 ····· 6
3.4 速度PSI値の比の母中央値の95%信頼区間の算出 ····· 8

4. 照査用震度による推定誤差の評価 ····· 9
4.1 評価概要 ····· 9
4.2 検討条件の設定 ····· 10
4.3 速度PSI値の比の母中央値の95%信頼区間を考慮したレベル1地震動の設定 ····· 11
4.4 照査用震度による評価 ····· 12

5. 地震時残留変位量への影響評価 ····· 16
5.1 評価概要 ····· 16
5.2 断面検討 ····· 16
5.3 解析条件の設定 ····· 17
5.4 残留変位量による評価 ····· 17

6. まとめ ····· 18

謝辞 ····· 20
参考文献 ····· 20

付録A 34地点における各評価手法のレベル1地震動諸元 ····· 21

1. はじめに

1.1 本資料の位置付け

港湾施設の耐震設計に用いられるレベル1地震動（時刻歴波形）は，「港湾の施設の技術上の基準・同解説」[1]（以下，「基準・同解説」という．）に基づき，設定されているが，基準・同解説内では概要に留まっている．そのため，レベル1地震動の評価手法に関する技術解説資料[2]が発刊されており，設計実務者に向けた，基準・同解説の解説資料として取りまとめられている．

しかし，同技術解説資料では，サイト増幅特性を評価する複数の手法及びそれらの評価手法に基づくレベル1地震動の補正手法について体系的に整理が行われているものの，最も精度が高い評価手法によって設定されたレベル1地震動に対して，その他の簡易な評価手法による地震動がどの程度の誤差（推定誤差）を発生しうるかについては明らかにされていない．また，レベル1地震動の推定誤差が，係留施設の耐震設計に及ぼす影響，すなわち照査用震度や断面諸元に及ぼす影響も不明である．

以上のことから，本資料は，基準・同解説及び技術解説資料[2]に触れられていない，サイト増幅特性の評価手法の相違がレベル1地震動の推定誤差，さらには係留施設の耐震設計に及ぼす影響を概略評価した結果を示すことを目的としている．

1.2 サイト増幅特性の基本情報

本節では，本資料を読み進めるために，最低限必要となる基本的な情報について解説する．

地震による構造物への影響を適切に評価するためには，設計対象地点におけるサイト特性を適切に評価することが重要である．サイト特性のうち，地震動の周波数毎の振幅の増幅倍率を「サイト増幅特性」と呼び，位相に関する特性を「サイト位相特性」と呼ぶ．本資料におけるレベル1地震動の評価とは，レベル 1 地震動を求める際に最も重要な要素である，サイト増幅特性を評価することを意味して使用する．

サイト増幅特性の評価手法は，基準・同解説において，「地震観測に基づく評価」，「常時微動観測に基づく評価」，「地震観測及び常時微動観測のいずれにもよらない評価」の3つの手法に大別されている（**表-1**）．一方，国総研ホームページ[3]では，サイト増幅特性は評価に用いるデータの種類及び計算式の違いにより細分化されており，「松」，「竹ver1」，「竹ver2」，「竹ver3」，「梅」の5種類の通称で記載されている．現行の基準・同解説と国総研ホームページ上での通称との関係は**表-1**に示すとおりである．

以下，「基準・同解説」における 3 手法と国総研ホームページにおける 5 手法との関係と各手法の概要について述べる．

表-1 評価手法の分類表 [2]

評価手法	サイト増幅特性評価手法の分類		評価に用いるデータまたは計算方法	説明	対応資料
	基準・同解説の表記	国総研HPの表記			
1	地震観測に基づく評価	松	既存地震観測点での地震観測記録	既存地震観測点での地震観測記録から得られるサイト増幅特性を利用	港湾空港技術研究所資料 No. 1112 基準・同解説 P. 374
2			臨時の地震観測記録	対象地点において臨時の地震観測を行い，参照地点と対象地点の同時地震観測記録に基づきサイト増幅特性を評価	基準・同解説 P. 375，1779
3	常時微動観測に基づく評価	竹ver1	常時微動観測記録	参照地点と対象地点において常時微動観測を行い，常時微動H/Vスペクトルに基づきサイト増幅特性を評価 （周波数の修正）	基準・同解説 P. 1783
4		竹ver2		参照地点と対象地点において常時微動観測を行い，常時微動H/Vスペクトルに基づきサイト増幅特性を評価 （周波数，増幅倍率の修正）	-
5		竹ver3		参照地点と対象地点において常時微動観測を行い，常時微動H/Vスペクトルに基づきサイト増幅特性を評価 （周波数，増幅倍率の修正，増幅倍率の制限）	基準・同解説 P. 1784
6	地震観測及び常時微動観測のいずれにもよらない評価	梅	経験式	経験式よりサイト増幅特性を評価	基準・同解説 P. 377

サイト増幅特性の設定とは，設計対象地点（以下，対象地点という）におけるサイト増幅特性を，対象地点の近傍で十分に信頼性の高いサイト増幅特性が得られている地点（以下，参照地点という）から推定することをいう．**図-1** に参照地点と対象地点の概念図を示す．

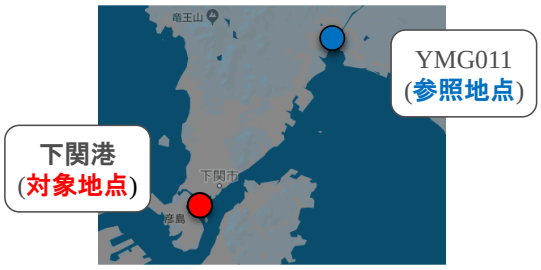


図-1　参照地点と対象地点の概念図
（例：下関港のある地区）[2)]

対象地点におけるサイト増幅特性を評価する場合，最も信頼性の高い評価手法は，参照地点と対象地点の同時地震観測記録に基づきサイト増幅特性（地震基盤面から地表面）を評価する方法（松）である．しかしながら，地震活動度の低い地域で地震観測を行う場合，サイト増幅特性の評価に必要な質の良い地震観測記録が複数得られるまでに数年を要する可能性がある．地震観測記録が得られるまでの時間や地震計の維持管理費等の事情により，補正に必要な地震観測記録が得られない場合のために，参照地点と対象地点において常時微動観測を行い，常時微動 H/V スペクトルに基づきサイト増幅特性を評価する手法（竹 ver1，竹 ver2，竹 ver3）や，地震観測及び常時微動観測のいずれの記録によることなく対象地点でのサイト増幅特性を評価するための経験的手法（梅）の簡易評価手法が提案されている．

これらの簡易評価手法は，同時地震観測記録を用いる松評価よりも推定精度が劣ることが指摘されている[1)P.377]が，推定精度の誤差は明らかではない．

1.3 検討目的と資料構成

このような背景を踏まえ，本検討では，地震観測記録を用いたサイト増幅特性の評価手法(松①, または松②)に対する，地震観測記録を用いないサイト増幅特性の簡易評価手法（竹 ver1，竹 ver2，竹 ver3，梅）によるレベル 1 地震動の推定誤差，および推定誤差が係留施設の耐震設計に及ぼす影響を概略評価することを目的とする．以下，本資料の構成を示す．

第 2 章では，簡易評価手法によるレベル 1 地震動の推定誤差や，推定誤差が係留施設の耐震設計に及ぼす影響をどのように評価するかの全体概要を示す．また，推定誤差を評価するために利用したデータについて説明する．第 3 章では，レベル 1 地震動の推定誤差の指標として採用した速度 PSI 値を用いて，簡易評価手法による地震動の推定誤差を評価する．次に，第 4 章では，レベル 1 地震動の推定誤差が係留施設の照査用震度に及ぼす影響を評価する．係留施設の構造形式は，重力式岸壁，控え矢板式岸壁および桟橋を対象とする．最後に，第 5 章では，重力式岸壁を対象として，レベル 1 地震動の推定誤差を考慮してケーソン幅を変更した岸壁に対して，真値とみなしたレベル 1 地震動（松）を入力した際に，地震後の残留変形量がどの程度増減するかの影響を評価する．地震時変形量は，FLIP による 2 次元地震応答解析により評価する．

2. 推定誤差の評価方法の概要

2.1 全体概要

サイト増幅特性の評価手法の違いによるレベル 1 地震動の推定誤差を検討するにあたり，松から梅までの全 5 種類の評価手法によりサイト増幅特性を求め，レベル 1 地震動を設定する必要がある．松から梅まで全 5 種類の評価手法により，レベル 1 地震動を算出するためには，まず，参照地点及び対象地点において松により評価されたサイト増幅特性及びレベル 1 地震動が必要である．次に，参照地点及び対象地点における常時微動観測記録を用いて竹 ver1，竹 ver2，竹 ver3 の評価手法により，サイト増幅特性を評価し，竹 ver1，竹 ver2，竹 ver3 のレベル 1 地震動をそれぞれ求める．経験式を用いて梅の評価によってもサイト増幅特性を評価し，梅の評価によるレベル 1 地震動を求める．なお，各評価手法によるレベル 1 地震動を求める詳細な手順については，技術解説資料[2)]に取りまとめられているため，同文献を参考にされたい．

以上の操作により，対象地点における「松」,「竹 ver1」,「竹 ver2」，「竹 ver3」，「梅」の各評価手法に対応したレベル 1 地震動が求めることができ，比較が可能となる．本資料では松から梅まで全 5 種類の評価手法により，レベル 1 地震動を求めることが可能であった（2020.03 時点），34 データ（**表-2**）を用いて，レベル 1 地震動の推定誤差について検討を行う． なお，**表-2** に示した 34 地点における各評価手法のレベル 1 地震動の諸元（位置情報，地震波，サイト増幅特性）は**付録 A** に記載する．

表-2　検討対象データ

No	対象地点	評価手法	入力地震動	
			最大加速度[Gal]	速度PSI [cm/s^0.5]
1	小名浜港	松	401.15	58.34
		竹ver1	1497.60	34.83
		竹ver2	1184.52	54.38
		竹ver3	1479.46	85.71
		梅	319.78	40.10
2	細島港	松	242.10	15.32
		竹ver1	294.01	27.51
		竹ver2	427.50	49.81
		竹ver3	233.83	11.72
		梅	155.24	22.88
3	七尾港	松	196.32	8.89
		竹ver1	206.48	16.98
		竹ver2	141.90	13.25
		竹ver3	210.21	22.61
		梅	92.45	12.01
4	和歌山下津港	松	165.09	30.12
		竹ver1	184.07	35.57
		竹ver2	207.02	40.66
		竹ver3	203.27	53.26
		梅	109.13	25.57
5	八代港	松	94.52	23.05
		竹ver1	68.22	25.24
		竹ver2	80.44	32.27
		竹ver3	71.81	27.60
		梅	83.14	17.59
6	MYGH01	松	334.91	22.39
		竹ver1	189.23	33.34
		竹ver2	414.02	50.79
		竹ver3	237.85	43.06
		梅	208.81	51.19
7	SZO013	松	349.49	33.36
		竹ver1	188.18	58.58
		竹ver2	570.51	117.33
		竹ver3	261.77	99.57
		梅	328.58	67.58
8	WKY001	松	146.35	16.76
		竹ver1	342.76	28.55
		竹ver2	532.64	35.15
		竹ver3	421.60	40.18
		梅	141.90	26.90
9	下関港	松	254.86	15.12
		竹ver1	314.47	17.35
		竹ver2	1436.40	63.98
		竹ver3	425.56	28.87
		梅	121.29	15.23
10	KUSHIRO-G	松	136.97	47.33
		竹ver1	189.00	40.30
		竹ver2	231.10	48.87
		竹ver3	326.99	79.95
		梅	196.70	34.98
11	MURORAN-G	松	219.31	26.67
		竹ver1	103.35	13.62
		竹ver2	74.66	10.38
		竹ver3	129.63	17.50
		梅	79.79	14.69
12	TOKACHI-G	松	331.26	38.92
		竹ver1	337.64	34.70
		竹ver2	589.72	33.99
		竹ver3	650.18	57.53
		梅	280.20	59.76
13	MIYAKO-G	松	102.56	8.67
		竹ver1	87.13	20.86
		竹ver2	116.24	25.14
		竹ver3	270.09	22.80
		梅	205.99	33.05
14	SENDAI-G	松	79.26	6.01
		竹ver1	118.30	19.32
		竹ver2	87.06	12.95
		竹ver3	176.34	39.80
		梅	188.11	26.43
15	ONAHAMA-G	松	426.39	24.27
		竹ver1	381.98	22.75
		竹ver2	289.64	17.80
		竹ver3	1084.84	35.33
		梅	200.86	38.13
16	SOMA-G	松	117.76	15.08
		竹ver1	216.95	18.41
		竹ver2	271.65	23.97
		竹ver3	238.02	36.63
		梅	123.66	24.29
17	SHINAGAWA-G	松	145.80	24.78
		竹ver1	139.25	26.18
		竹ver2	148.34	22.95
		竹ver3	179.55	29.95
		梅	131.33	31.25
18	YAMASHITA-G	松	175.44	33.41
		竹ver1	287.94	41.50
		竹ver2	217.50	44.32
		竹ver3	311.93	46.11
		梅	240.20	28.14
19	KAWASAKI-G	松	139.66	31.23
		竹ver1	85.98	18.96
		竹ver2	106.62	32.93
		竹ver3	93.42	24.40
		梅	169.57	27.58
20	MIKAWA-G	松	54.47	18.62
		竹ver1	55.54	17.34
		竹ver2	80.07	22.71
		竹ver3	123.13	47.27
		梅	106.23	24.17
21	NAGOYA-SORAMI-G	松	206.73	59.24
		竹ver1	354.54	53.89
		竹ver2	528.53	304.77
		竹ver3	389.11	80.63
		梅	255.68	52.69
22	OMAEZAKI-G	松	164.92	22.68
		竹ver1	197.35	19.28
		竹ver2	216.48	14.44
		竹ver3	320.46	21.12
		梅	196.49	24.70
23	SHIMIZU-HINODE-U	松	221.11	40.65
		竹ver1	96.93	33.59
		竹ver2	144.40	39.18
		竹ver3	115.06	46.25
		梅	160.41	23.91
24	SHIMIZU-G	松	132.02	36.81
		竹ver1	218.01	38.37
		竹ver2	265.96	52.14
		竹ver3	228.62	49.86
		梅	248.52	25.34
25	TAGANOURA-U	松	192.02	41.81
		竹ver1	70.28	13.06
		竹ver2	171.56	26.67
		竹ver3	170.22	35.58
		梅	183.27	26.35
26	SHIN-OKITSU-U	松	122.75	29.34
		竹ver1	165.59	29.12
		竹ver2	226.87	30.74
		竹ver3	188.38	39.81
		梅	212.51	24.25
27	TSURUGA-G	松	108.11	17.06
		竹ver1	241.07	22.84
		竹ver2	469.82	45.23
		竹ver3	271.97	37.98
		梅	156.87	31.18
28	WAKAYAMA-G	松	165.09	37.57
		竹ver1	102.19	25.04
		竹ver2	94.91	29.40
		竹ver3	141.16	52.17
		梅	124.13	21.19
29	HIROSHIMA-G	松	335.94	26.81
		竹ver1	569.75	20.97
		竹ver2	689.50	28.01
		竹ver3	575.06	26.15
		梅	127.64	18.80
30	KOMATSUJIMA-G	松	566.75	34.00
		竹ver1	480.51	30.30
		竹ver2	578.92	40.36
		竹ver3	486.71	30.63
		梅	108.35	27.04
31	KOCHI-G	松	192.07	32.79
		竹ver1	142.33	23.59
		竹ver2	456.78	62.40
		竹ver3	152.90	25.25
		梅	145.24	30.55
32	MATSUYAMA-G	松	295.49	50.49
		竹ver1	141.71	18.37
		竹ver2	457.42	44.70
		竹ver3	176.20	35.11
		梅	111.99	28.73
33	MIYAZAKI-G	松	151.71	23.15
		竹ver1	213.56	24.01
		竹ver2	210.84	25.80
		竹ver3	152.72	18.94
		梅	171.50	27.65
34	OITA-G	松	197.62	25.77
		竹ver1	198.87	28.50
		竹ver2	250.58	28.09
		竹ver3	201.48	28.83
		梅	82.25	28.94

2.2 推定誤差の評価指標の概要

本資料では，レベル 1 地震動の推定誤差の評価指標として，速度 PSI 値，照査用震度，重力式係船岸の地震時残留変位量の 3 つの指標を用いる．

図-2のフロー図は，各評価指標の対応を示した図であり，フロー図に示した番号は，本資料中の章節番号に対応している．本資料における評価手順は，**図-2**のフロー図に則り，上記3つの指標について評価を行う．

（1）速度 PSI 値による推定誤差の評価

3章では，速度PSI値に着目し，各種のサイト増幅特性の評価手法に基づくレベル1地震動の誤差を求める．松の評価により求められたレベル1地震動の速度PSI値（以降，松速度PSI値という）を真値と見做し，各評価手法により得られたレベル1地震動の速度PSI値との比をとり，速度PSI値による比較を行う．各評価手法における速度PSI値の比を集計し，統計処理により速度PSI値の比の母中央値の95%信頼区間を算出する．

（2）照査用震度による推定誤差の評価

4章では，3章で算出された速度PSI値の95%信頼区間における推定誤差を考慮した各評価手法のレベル1地震動を設定し，重力式岸壁・控え矢板式岸壁・桟橋に対する照査用震度を求める．本手順により求められた照査用震度は，レベル1地震動算定時の評価手法による推定誤差の影響を含んだ照査用震度である．松の評価により求められたレベル1地震動における照査用震度（以降，松の照査用震度という）を真値と見做し，各評価手法の照査用震度と松の照査用震度との比較を行う．

（3）地震時残留変位量への影響評価

5章では，重力式岸壁を対象として，4章より求められたレベル1地震動の推定誤差を考慮した構造断面を解析断面とし，真値と見做した松の評価より得られたレベル1地震動を用いて動的解析を行う．動的解析より得られる岸壁天端の残留水平変位量を評価指標とし，レベル1地震動の推定誤差による残留変位への影響を評価する．

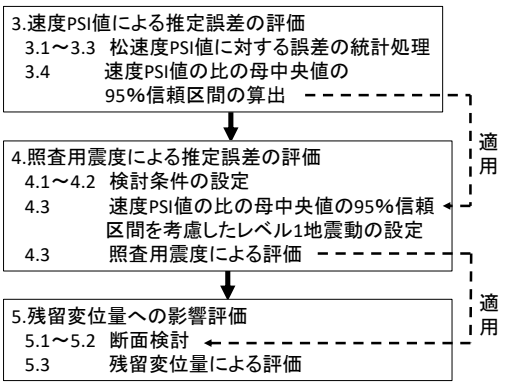


図-2 推定誤差の評価手順フロー図

3．速度 PSI 値による推定誤差の評価

3.1 評価概要

速度PSI値とは，野津らによって定義された[4]地震動のエネルギーに関連する値（単位質点の運動エネルギーの時間積分に比例する量）であり，地震時における港湾構造物の被災程度と比較的高い相関を有すると考えられており[4]，以下の式(1)により定義されている．

$$\mathrm{PSI}\left[v(t)\right] := \sqrt{\int_0^\infty \left(v(t)\right)^2 \, dt} \tag{1}$$

ここで，

$v(t)$ ：速度時刻歴

である．

本章では，竹ver1から梅までの評価手法で求められたレベル1地震動の速度PSI値（以降，竹ver1速度PSI値，竹ver2速度PSI値，竹ver3速度PSI値，梅速度PSI値という）を，真値と見做した松速度PSI値で除することにより，各評価手法の速度PSI値を規格化して松速度PSI値との比較を行う．速度PSI値の比較を行うことにより，各評価手法におけるレベル1地震動の地震動強さが，真値である松評価によるレベル1地震動の地震動強さとどの程度の違いがあるのか評価する．

各評価手法における速度 PSI 値を，松速度 PSI 値で規格化した結果の一部を**表-3** に示す．

表-3 松速度 PSI 値に対する各評価手法による速度 PSI 値の比

No	対象地点	評価手法	入力地震動		速度PSI値の比
			最大加速度[Gal]	速度PSI [cm/s^0.5]	
1	小名浜港	松	401.15	58.34	1.00
		竹ver1	1497.60	34.83	0.60
		竹ver2	1184.52	54.38	0.93
		竹ver3	1479.46	85.71	1.47
		梅	319.78	40.10	0.69
2	細島港	松	242.10	15.32	1.00
		竹ver1	294.01	27.51	1.80
		竹ver2	427.50	49.81	3.25
		竹ver3	233.83	11.72	0.77
		梅	155.24	22.88	1.49
3	七尾港	松	196.32	8.89	1.00
		竹ver1	206.48	16.98	1.91
		竹ver2	141.90	13.25	1.49
		竹ver3	210.21	22.61	2.54
		梅	92.45	12.01	1.35
4	和歌山下津港	松	165.09	30.12	1.00
		竹ver1	184.07	35.57	1.18
		竹ver2	207.02	40.66	1.35
		竹ver3	203.27	53.26	1.77
		梅	109.13	25.57	0.85
5	八代港	松	94.52	23.05	1.00
		竹ver1	68.22	25.24	1.10
		竹ver2	80.44	32.27	1.40
		竹ver3	71.81	27.60	1.20
		梅	83.14	17.59	0.76

速度 PSI 値の比が 1.0 未満となる，すなわち，松速度 PSI 値よりも他の評価手法による速度 PSI 値が小さい場合，レベル 1 地震動を過小評価していることを意味している．一方，速度 PSI 値の比が 1.0 以上となる，すなわち，松速度 PSI 値よりも他の評価手法による速度 PSI 値が大きい場合，レベル 1 地震動を過大評価していることを意味している．次節以降では，**表-3** に示した松速度 PSI 値に対する各評価手法による速度 PSI 値の比を用いてレベル 1 地震動における推定誤差の評価を行う．

3.2 対数正規分布を仮定した統計処理

本資料で求めている速度 PSI 値の比とは，竹 ver1 から梅までの各評価により求められたレベル 1 地震動の速度 PSI 値を松速度 PSI 値で除した値であり，速度 PSI 値の比は負値をとり得ることはないため，確率変数の実現値が負値を取らない対数正規分布に従うと仮定して統計処理を行う．

対数正規確率変数の実現値に対して最尤法を適用した場合，実現値に対応する確率変数の母数の平均パラメータ（μ），分散パラメータ（σ^2）はそれぞれ，標本の自然対数の平均の実現値（m）と，標本の自然対数の分散の実現値（S^2）に等しい[5]ため，式(2)に示すように，標本の自然対数の平均及び分散の実現値を対数正規分布の母数として統計処理を行う．

$$\begin{cases} \mu = m \\ \sigma^2 = S^2 \end{cases} \tag{2}$$

ここで，

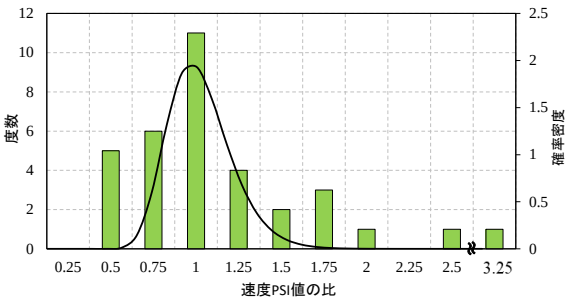
μ　：平均パラメータ $\left(:= E[\ln X]\right)$
σ^2　：分散パラメータ $\left(:= \mathrm{Var}[\ln X]\right)$
X　：対数正規確率変数
m　：標本の自然対数の平均の実現値
S^2　：標本の自然対数の分散の実現値

である．

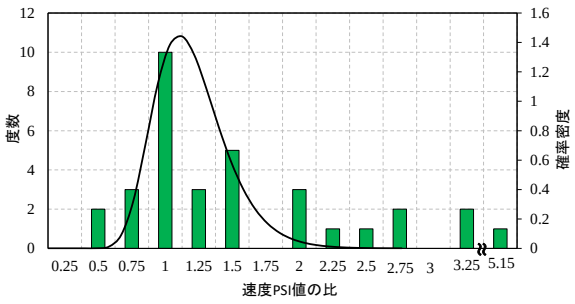
検討対象である 34 データにおける速度 PSI 値の比の自然対数をとり，対数をとった後の速度 PSI 値の比に関する平均値及び分散を以下の**表-4** に示し，**図-3** に速度 PSI 値の比に関する対数正規分布曲線と対象データの度数分布を示す．対数正規分布を仮定して，平均値及び分散を算出した結果，分散に関しては各評価手法により同程度の違いであるが，平均値では竹 ver2 と竹 ver3 では松速度 PSI 値よりも 1 割程度大きい値となった．

表-4 対数正規分布に従う速度 PSI 値の比の標本平均，標本分散の実現値

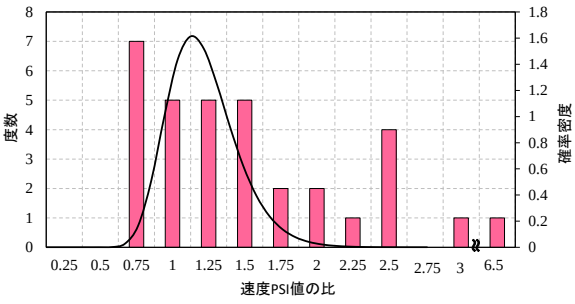
	竹ver1	竹ver2	竹ver3	梅
対象データ数	34	34	34	34
平均	1.00	1.14	1.17	1.04
分散	0.21	0.25	0.22	0.23



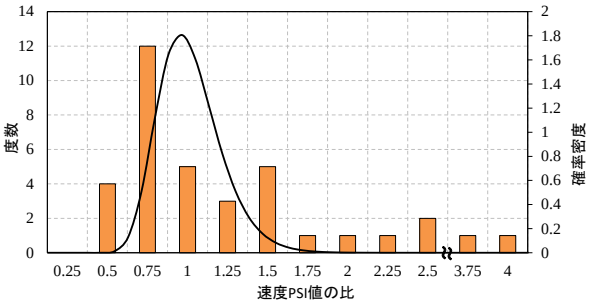
a)　竹 ver1



b）　竹 ver2



c)　竹 ver3



d)　梅

図-3　速度 PSI 値の比に関する対数正規分布曲線と度数分布

対数をとった速度 PSI 値の比が対数正規分布に従うか検証するために，速度 PSI 値の比の自然対数を対象に，式(3)，式(4)に従いシャピロ・ウィルク検定を行う．シャピロ・ウィルク検定では，統計処理で扱う標本データ（本資料では，速度 PSI 値の比の自然対数）が正規母集団に由来するという帰無仮説に対し，棄却できるかどうか検定を行う．本資料においては検定に用いる有意水準は一般的に用いられる 5%とする．

$$W = \frac{\boldsymbol{a}^T \boldsymbol{x}}{\left\| \boldsymbol{x} - \frac{1}{N} \boldsymbol{1}^T \boldsymbol{x} \right\|} \tag{3}$$

$$\boldsymbol{a} = \frac{V^{-1}\boldsymbol{m}}{\left\| V^{-1}\boldsymbol{m} \right\|} \tag{4}$$

ここで，

W　：検定統計量

$\boldsymbol{x}$　：標本データを昇順に並べたものを成分に持つベクトル $\left(\in \mathrm{R}^N\right)$

$\boldsymbol{m}$　：標準正規標本（確率変数）の順序統計量の期待値

V　：標準正規標本（確率変数）の順序統計量の共分散行列

である．

シャピロ・ウィルクの検定には，竹 ver1 速度 PSI 値の比を標本データとして検定を行う．式(3)，(4)より求めた検定統計量は W＝0.98097 であった．以上の W の値を用いて以下の式(5)より p 値を求め，有意水準 5%と比較を行う[6]．

$$\begin{aligned} \lambda &= \sum_{i=0}^{5} d_i \left(\ln N - 5\right)^i \\ \mu_y &= \sum_{i=0}^{5} e_i \left(\ln N - 5\right)^i \\ \sigma_y &= \sum_{i=0}^{6} f_i \left(\ln N - 5\right)^i \\ z &= \frac{\left(1-W\right)^{\lambda} - \mu_y}{\sigma_y} \\ p &= 1 - \Phi\left(z\right) = 0.620665 > \alpha \end{aligned} \tag{5}$$

$$\boldsymbol{d} = \begin{bmatrix} 0.480385 \\ 0.318828 \\ 0 \\ -0.0241665 \\ 0.00879701 \\ 0.002989646 \end{bmatrix}, \boldsymbol{e} = \begin{bmatrix} -1.91487 \\ -1.37888 \\ -0.04183209 \\ 0.1066339 \\ -0.03513666 \\ -0.01504614 \end{bmatrix}, \boldsymbol{f} = \begin{bmatrix} -3.73538 \\ -1.015807 \\ -0.331885 \\ 0.1773538 \\ -0.01638782 \\ -0.03215018 \\ 0.003852646 \end{bmatrix}$$

ここで，

N　：標本の大きさ $(=34)$

$\boldsymbol{p}$　：p 値

$\boldsymbol{\Phi}$　：プロビット関数

α　：有意水準 $(=0.05)$

である．

竹 ver1 速度 PSI 値の比を標本データとした場合の p 値は 0.922 であり，有意水準（0.05）より大きな値となり，帰無仮説が棄却されない結果となった．帰無仮説が棄却されなかったことにより，対数をとった速度 PSI 値の比が正規母集団に由来するという帰無仮説は否定されない結論となる．よって，対数正規分布に従うと仮定して以降の統計処理を行う．

3.3 設計実務に沿った適用データの抽出

前節 3.2 までに示した統計処理では，統計処理の対象を全 34 データにより統計処理を行った．一方，設計実務におけるサイト増幅特性の評価では，複数の評価手法の中から適用可能であり，かつ最も精度が高いと判断される評価手法を採用してレベル 1 地震動を定めている．全 34 データを用いた統計処理では，実務上では採用されることがない評価手法の速度 PSI 値の比（利用されることがないデータ）を含めて統計処理を行っていることになり，実務とは乖離した誤差が得られる可能性が高くなる．よって，本節では実務上選定される評価手法のデータのみを抽出し，実務上利用されることがないデータを除いた上で再度統計処理を行う．補正法の実際の適用条件に即し，各データにおいてどの補正法を選択したかを**表-5** の「採用」の欄に示す．

竹 ver1，竹 ver2，竹 ver3 の評価が可能である場合では梅の評価が採用されることはないため，実務上利用されることがないデータを除く処理は竹 ver1, 竹 ver2, 竹 ver3 の評価についてのみ行い，梅の評価については全 34 データを用いて統計処理を行う．

なお，竹 ver1，竹 ver2，竹 ver3 の評価の何れを採用するかは，前節 3.1 に示したように対象地点と参照地点における常時微動 H/V スペクトルのピーク高さを基準に判定する．対象地点と参照地点における常時微動 H/V スペクトルのピーク高さが 2 倍未満である場合には，竹 ver1 を採用し．対象地点と参照地点における常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数の倍率に 2 倍以上の違いが見られる場合には，竹 ver2 または竹 ver3 の評価を行う．竹 ver2 と竹 ver3 はどちらも常時微動 H/V スペクトルのピー

ク周波数の倍率に着目した評価手法であり，本資料においては竹 ver2 と竹 ver3 をまとめて「竹 ver2_3」と表記し，以降の統計処理を行う．なお，竹 ver2 と竹 ver3 の採用基準については,技術解説資料[2)] を参考にされたい．

表-5 統計処理対象データ

No	対象地点	評価手法	採用	入力地震動	
				最大加速度 [Gal]	速度PSI [cm/s^0.5]
1	小名浜港	松		401.15	58.34
		竹ver1	○	1497.60	34.83
		竹ver2		1184.52	54.38
		竹ver3		1479.46	85.71
		梅		319.78	40.10
2	細島港	松		242.10	15.32
		竹ver1	○	294.01	27.51
		竹ver2		427.50	49.81
		竹ver3		233.83	11.72
		梅		155.24	22.88
3	七尾港	松		196.32	8.89
		竹ver1	○	206.48	16.98
		竹ver2		141.90	13.25
		竹ver3		210.21	22.61
		梅		92.45	12.01
4	和歌山下津港	松		165.09	30.12
		竹ver1	○	184.07	35.57
		竹ver2		207.02	40.66
		竹ver3		203.27	53.26
		梅		109.13	25.57
5	八代港	松		94.52	23.05
		竹ver1	○	68.22	25.24
		竹ver2		80.44	32.27
		竹ver3		71.81	27.60
		梅		83.14	17.59
6	MYGH01	松		334.91	22.39
		竹ver1		189.23	33.34
		竹ver2	○	414.02	50.79
		竹ver3		237.85	43.06
		梅		208.81	51.19
7	SZO013	松		349.49	33.36
		竹ver1		188.18	58.58
		竹ver2		570.51	117.33
		竹ver3	○	261.77	99.57
		梅		328.58	67.58
8	WKY001	松		146.35	16.76
		竹ver1		342.76	28.55
		竹ver2	○	532.64	35.15
		竹ver3		421.60	40.18
		梅		141.90	26.90
9	下関港	松		254.86	15.12
		竹ver1		314.47	17.35
		竹ver2		1436.40	63.98
		竹ver3	○	425.56	28.87
		梅		121.29	15.23
10	KUSHIRO-G	松		136.97	47.33
		竹ver1		189.00	40.30
		竹ver2	○	231.10	48.87
		竹ver3		326.99	79.95
		梅		196.70	34.98
11	MURORAN-G	松		219.31	26.67
		竹ver1	○	103.35	13.62
		竹ver2		74.66	10.38
		竹ver3		129.63	17.50
		梅		79.79	14.69
12	TOKACHI-G	松		331.26	38.92
		竹ver1		337.64	34.70
		竹ver2		589.72	33.99
		竹ver3	○	650.18	57.53
		梅		280.20	59.76
13	MIYAKO-G	松		102.56	8.67
		竹ver1	○	87.13	20.86
		竹ver2		116.24	25.14
		竹ver3		270.09	22.80
		梅		205.99	33.05
14	SENDAI-G	松		79.26	6.01
		竹ver1	○	118.30	19.32
		竹ver2		87.06	12.95
		竹ver3		176.34	39.80
		梅		188.11	26.43
15	ONAHAMA-G	松		426.39	24.27
		竹ver1	○	381.98	22.75
		竹ver2		289.64	17.80
		竹ver3		1084.84	35.33
		梅		200.86	38.13
16	SOMA-G	松		117.76	15.08
		竹ver1	○	216.95	18.41
		竹ver2		271.65	23.97
		竹ver3		238.02	36.63
		梅		123.66	24.29
17	SHINAGAWA-G	松		145.80	24.78
		竹ver1	○	139.25	26.18
		竹ver2		148.34	22.95
		竹ver3		179.55	29.95
		梅		131.33	31.25
18	YAMASHITA-G	松		175.44	33.41
		竹ver1	○	287.94	41.50
		竹ver2		217.50	44.32
		竹ver3		311.93	46.11
		梅		240.20	28.14
19	KAWASAKI-G	松		139.66	31.23
		竹ver1	○	85.98	18.96
		竹ver2		106.62	32.93
		竹ver3		93.42	24.40
		梅		169.57	27.58
20	MIKAWA-G	松		54.47	18.62
		竹ver1		55.54	17.34
		竹ver2	○	80.07	22.71
		竹ver3		123.13	47.27
		梅		106.23	24.17
21	NAGOYA-SORAMI-G	松		206.73	59.24
		竹ver1	○	354.54	53.89
		竹ver2		528.53	304.77
		竹ver3		389.11	80.63
		梅		255.68	52.69
22	OMAEZAKI-G	松		164.92	22.68
		竹ver1		197.35	19.28
		竹ver2		216.48	14.44
		竹ver3	○	320.46	21.12
		梅		196.49	24.70
23	SHIMIZU-HINODE-U	松		221.11	40.65
		竹ver1	○	96.93	33.59
		竹ver2		144.40	39.18
		竹ver3		115.06	46.25
		梅		160.41	23.91
24	SHIMIZU-G	松		132.02	36.81
		竹ver1		218.01	38.37
		竹ver2	○	265.96	52.14
		竹ver3		228.62	49.86
		梅		248.52	25.34
25	TAGANOURA-U	松		192.02	41.81
		竹ver1	○	70.28	13.06
		竹ver2		171.56	26.67
		竹ver3		170.22	35.58
		梅		183.27	26.35
26	SHIN-OKITSU-U	松		122.75	29.34
		竹ver1		165.59	29.12
		竹ver2	○	226.87	30.74
		竹ver3		188.38	39.81
		梅		212.51	24.25
27	TSURUGA-G	松		108.11	17.06
		竹ver1	○	241.07	22.84
		竹ver2		469.82	45.23
		竹ver3		271.97	37.98
		梅		156.87	31.18
28	WAKAYAMA-G	松		165.09	37.57
		竹ver1	○	102.19	25.04
		竹ver2		94.91	29.40
		竹ver3		141.16	52.17
		梅		124.13	21.19
29	HIROSHIMA-G	松		335.94	26.81
		竹ver1	○	569.75	20.97
		竹ver2		689.50	28.01
		竹ver3		575.06	26.15
		梅		127.64	18.80
30	KOMATSUJIMA-G	松		566.75	34.00
		竹ver1	○	480.51	30.30
		竹ver2		578.92	40.36
		竹ver3		486.71	30.63
		梅		108.35	27.04
31	KOCHI-G	松		192.07	32.79
		竹ver1	○	142.33	23.59
		竹ver2		456.78	62.40
		竹ver3		152.90	25.25
		梅		145.24	30.55
32	MATSUYAMA-G	松		295.49	50.49
		竹ver1		141.71	18.37
		竹ver2		457.42	44.70
		竹ver3	○	176.20	35.11
		梅		111.99	28.73
33	MIYAZAKI-G	松		151.71	23.15
		竹ver1	○	213.56	24.01
		竹ver2		210.84	25.80
		竹ver3		152.72	18.94
		梅		171.50	27.65
34	OITA-G	松		197.62	25.77
		竹ver1	○	198.87	28.50
		竹ver2		250.58	28.09
		竹ver3		201.48	28.83
		梅		82.25	28.94

実務上利用されることがないデータを除き，各種評価手法の採用基準に準じて採用されたデータ数はそれぞれ，竹 ver1：23 データ，竹 ver2_3：11 データ，梅：34 データとなった．それぞれのデータ集合が異なる対数正規分布に従うと仮定した平均値と分散の結果を**表-6** に示し，**図-4** に速度 PSI 値の比に関する対数正規分布曲線と対象データの度数分布を示す．実務上使用されることがある，適用データのみを抽出して統計処理を行った結果，34 データを用いて統計処理を行った**表-4** の結果と比べ，竹 ver2_3 の評価では分散が小さくなり，ばらつきが小さくなる結果となった．

3.4 速度 PSI 値の比の母中央値の 95%信頼区間の算出

95%信頼区間とは，母集団が正規分布に従うと仮定した際に，母平均が 95%の信頼度で含まれる範囲である．95%信頼区間を求めることにより，信頼係数に応じた母平均が含まれる範囲を算出することができる．なお，本資料における母集団とは，全国港湾における各評価手法の速度 PSI 値の比を全て集めてできる集合である．

本資料の統計処理に用いる標本データ（実務上利用されることがないデータを取り除いた対象データにおける速度 PSI 値の比）は正規分布ではなく対数正規分布に従うと仮定しており，その平均値は以下の式(6)より求めることができる．

$$E[X] := \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \tag{6}$$

ここで，

$E[X]$ ：対数正規分布における平均値

X ：各評価手法による速度 PSI 値の比（確率変数）

μ ：標本（確率変数）の自然対数の平均値（期待値）

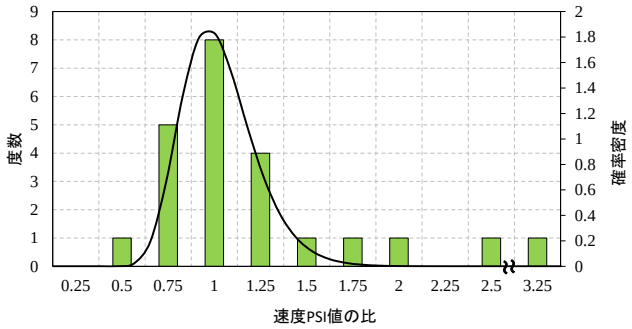
σ^2 ：標本（確率変数）の自然対数の分散

である．

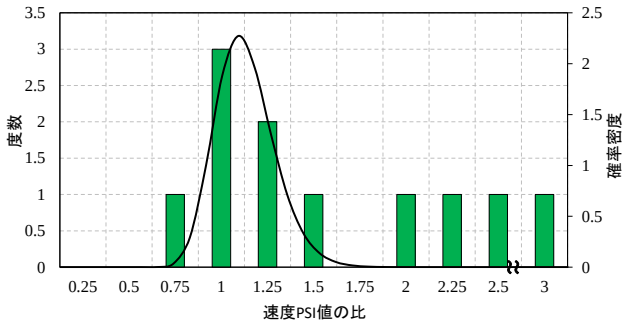
95%信頼区間の推定には，標本データにおける対数正規分布の平均値と分散を用いて以下の式(7)より算出を行う．

表-6 対数正規分布の平均値及び標分散（適用データ）

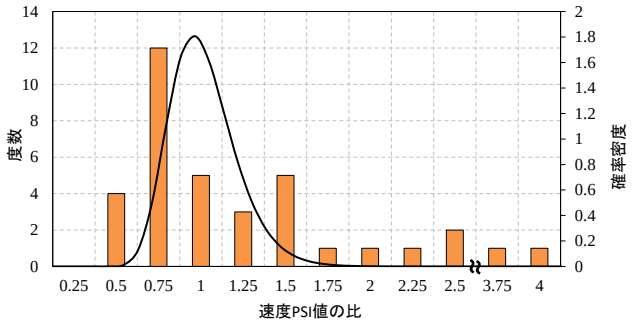
	竹ver1	竹ver2_3	梅
対象データ数	23	11	34
平均	1.00	1.13	1.04
分散	0.22	0.16	0.22



a） 竹 ver1



b） 竹 ver2_3



c） 梅

図-4 速度 PSI 値の比に関する対数正規分布曲線と度数分布（採用案）

$$E\left[\bar{Y}\right]\in\left[\bar{y}-t_{\frac{1+a}{2}}(N-1)\sqrt{\frac{v^2}{N}},\ \bar{y}+t_{\frac{1+a}{2}}(N-1)\sqrt{\frac{v^2}{N}}\right] \quad (7)$$

$$Y:=\ln X$$

ここで，

$E\left[\bar{Y}\right]$ ： $\bar{Y}$ の期待値

X，x ：各評価手法による速度 PSI 値の比（確率変数）とその実現値

Y，y ： X，x の自然対数

$\bar{Y}$，$\bar{y}$ ： Y，y の平均値

$t_{\frac{\alpha-1}{2}}(m)$ ： 自由度 m の t 分布における $\frac{1+a}{2}\times 100$ パーセンタイル

a ：信頼係数

v^2 ：標本データの自然対数の不偏分散（標本（確率変数）の自然対数の不偏分散の実現値）

N ：標本数

である．

以上の式(7)より求めた各評価手法における 95%信頼区間は自然対数表記となっており，前節までに示した速度 PSI 値の比との関係をわかりやすくするため，式(8)で表されるように，ネイピア数を用いて対数を外した速度 PSI 値の比（つまり，母中央値）に対する信頼区間の上限，下限を以下の**表-7**，**図-5** に示す．竹 ver1 速度 PSI 値の比の母中央値は，95%信頼区間においては松速度 PSI 値に対して下限値では 0.76 倍の速度 PSI 値，上限値では 1.52 倍の速度 PSI 値となる．

$$\begin{aligned}\mathrm{Med}\left[\bar{X}\right]&:=\exp\left(E\left[\bar{Y}\right]\right)\\&\in\left[\exp\left(\bar{y}-t_{\frac{1+a}{2}}(N-1)\sqrt{\frac{v^2}{N}}\right),\exp\left(\bar{y}+t_{\frac{1+a}{2}}(N-1)\sqrt{\frac{v^2}{N}}\right)\right]\end{aligned} \quad (8)$$

ここで

$\mathrm{Med}\left[Z\right]$ ：確率変数 Z の中央値

である．

表-7 速度 PSI 値の比における母中央値の信頼区間

信頼区間	竹ver1	竹ver2_3	梅
2.5%	0.76	0.84	0.77
50%	1.00	1.13	1.04
97.5%	1.52	1.86	1.47

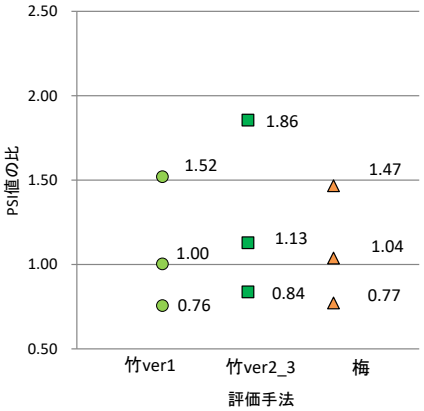


図-5 速度 PSI 値の比における母中央値の信頼区間

速度 PSI 値におけるレベル 1 地震動の推定誤差の影響としては，松以外の全ての簡易的な評価手法では，過小評価，過大評価どちらの速度 PSI 値も生じる可能性が考えられる．

速度 PSI 値の比に着目すると，竹 ver1 の評価では，0.76 から 1.52 程度の範囲でばらつく可能性があり，竹 ver2_3 の評価では，0.84 から 1.86 程度の範囲でばらつく可能性がある．また，梅の評価では，0.77 から 1.47 程度の範囲でばらつきが生じる可能性がある．

4. 照査用震度による推定誤差の評価

4.1 評価概要

本章では，竹 ver1 から梅までの各評価手法で求められたレベル 1 地震動を用いて算出された照査用震度（以降，竹 ver1 照査用震度，竹 ver2_3 照査用震度，梅照査用震度という）を，真値である松の評価より求められたレベル 1 地震動を用いて算出された照査用震度（以降，松照査用震度という）値で除することにより，各評価手法の照査用震度を規格化して松照査用震度との比較を行う．

照査用震度は，耐震設計において断面検討を行ううえで重要な要素であり，照査用震度の比較を行うことにより，断面諸元に与える影響を評価する．

4.2 検討条件の設定

(1)構造形式の設定

本資料における推定誤差の検証では，係船岸の被災状況への影響を想定しているため，検討施設は係留施設とする．係船岸には重力式係船岸，矢板式係船岸，棚式，セル式，桟橋式，浮体式等の多数の構造形式が考えられるが，本資料では一般的な係留施設に用いられる，重力式係船岸，控え矢板式係船岸，桟橋式を対象とする．

(2)設計水深の設定

対象施設の設計水深の大きさは，算出される照査用震度の値に大きく影響する．本資料の検討では既往研究[7]に取りまとめられている全国の係留施設の施設数や水深分布の資料（**表-8**）を基に設計水深の設定を行う．

港湾施設において係船岸とは一般的に水深 4.5m 以深の係留施設であるため，水深 4.5m 以深の施設を対象として再集計した結果を**表-9** に示す．

表-8　係船岸における各構造形式の水深分布[6]

水深		構造形式						合計	
		重力式	矢板式	棚式	セル式	桟橋	浮体式		
1.0m未満		179	15	0	0	31	6		231
1.0-2.0m		838	184	0	0	111	104		1,237
2.0-3.0m		1,689	480	8	3	229	270		2,679
3.0-4.0m		1,105	331	10	1	182	356		1,985
4.0-5.0m	4.0-4.5m	578	282	3	2	108	175	1,148	1,779
	4.5-5.0m	335	203	2	0	60	31	631	
5.0-6.0m	5.0-5.5m	152	78	0	0	26	47	303	982
	5.5-6.0m	369	243	8	4	46	9	679	
6.0-7.0m		116	50	1	1	26	25		219
7.0-8.0m	7.0-7.5m	13	9	1	0	9	27	59	672
	7.5-8.0m	309	198	2	5	95	4	613	
8.0-9.0m		40	7	0	0	9	10		66
9.0-10.0m		68	39	1	3	17	3		131
10.0-11.0m		134	151	3	5	78	8		379
11.0-12.0m		14	7	0	0	6	3		30
12.0-13.0m		76	40	0	0	40	0		156
13.0-14.0m		24	14	0	0	10	1		49
14.0-15.0m		15	8	0	0	13	0		36
15.0-16.0m		8	2	0	0	11	0		21
16.0-17.0m		5	0	0	0	3	0		8
水深不明		161	15	0	0	31	48		255
合計		6,228	2,356	39	24	1,141	1,127		10,915

表-9　係船岸における各構造形式の水深分布
（4.5m 以深）

構造形式	重力式	矢板式	棚式	セル式	桟橋	浮体式
岸壁数	1678	1049	18	18	449	168
平均水深(m)	7.34	7.48	7.31	8.67	8.45	6.76

既往研究の結果[7]より，水深 4.5m 以深の係留施設の内，重力式係船岸及び矢板式係船岸の平均水深は約 7.5m であるため，本資料の検討における岸壁前面水深には 7.5m を用いる．

また，桟橋では平均水深は 7.5m 以深であることと，近年では船舶の大型化により大水深の施設数が増加傾向にあるため，全国平均である水深 7.5m に加え，国内最深級である水深 15.0m の 2 ケースを検討対象とする．

(3)土質条件の設定

本章では，サイト増幅特性の評価手法による照査用震度への影響を確認することが目的であるため，サイト増幅特性の評価手法以外の要素の影響を小さくするために，可能な限り単純なモデルを設定する．よって，本資料における検討では土質条件は一様砂質土とし，FLIP[8]による 1 次元地震応答解析に適用する各地盤の土質定数は，参考文献 8)9)の地盤物性値を参考に以下の**表-10** に示す一般的な物性値とする．

表-10　地盤物性値

土層区分	土層区分	湿潤密度 (t/m^3)	基準有効拘束圧 (kN/m^2)	基準初期せん断剛性 (kN/m^2)	基準初期体積剛性 (kN/m^2)
埋土	水面上	1.8	89.8	25920	67595
	水面下	2.0			
原地盤		2.0	239.8	45000	117353
基礎捨石		2.0	98.0	180000	469412
土層区分	**土層区分**	**粘着力 (kN/m^2)**	**内部摩擦角 (°)**	**最大減衰**	**S波速度 (m/s)**
埋土	水面上	0	37	0.24	120
	水面下				
原地盤		0	38	0.24	150
基礎捨石		0	40	0.24	300

(4)レベル 1 地震動の設定

前述したとおり，本検討では 34 地点におけるレベル 1 地震動が得られている．本項では，レベル 1 地震動の周波数特性に着目して，全 34 地点から 3 地震動を入力地震動として選定する．

一般的に港湾施設においては，周波数 0.2Hz～2.0Hz 帯の地震動成分の構造物の変形への影響が大きいことがわかっている．よって，0.2Hz から 1.0Hz の低周波数帯でピーク周波数を有するレベル 1 地震動（WAKAYAMA-G），2.0Hz 前後でピーク周波数を有するレベル 1 地震動（下関港），0.2Hz から 2.0Hz までの間に 2 つのピーク周波数を有するレベル 1 地震動（HIROSHIMA-G）の 3 つのレベル 1 地震動を解析に採用する．**図-6** から**図-11** に採用したレベル 1 地震動の時刻歴波形とフーリエ振幅スペクトル図を示す．

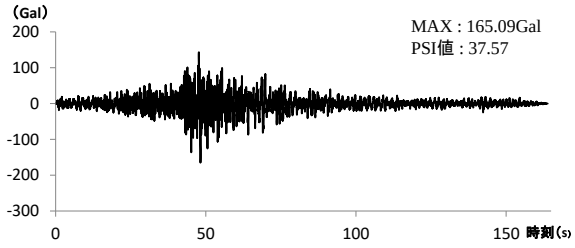


図-6　時刻歴加速度（WAKAYAMA-G）

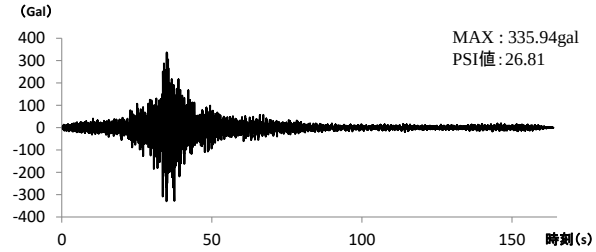


図-10　時刻歴加速度（HIROSHIMA-G）

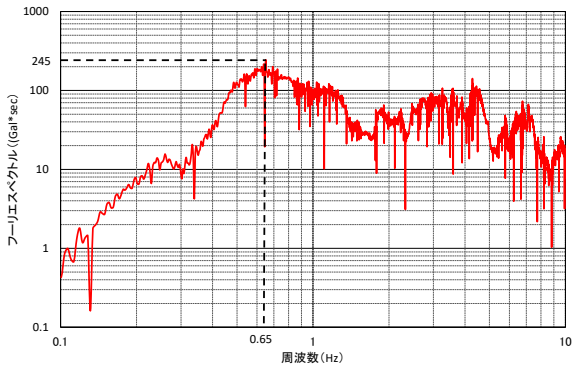


図-7　フーリエ振幅スペクトル図（WAKAYAMA-G）

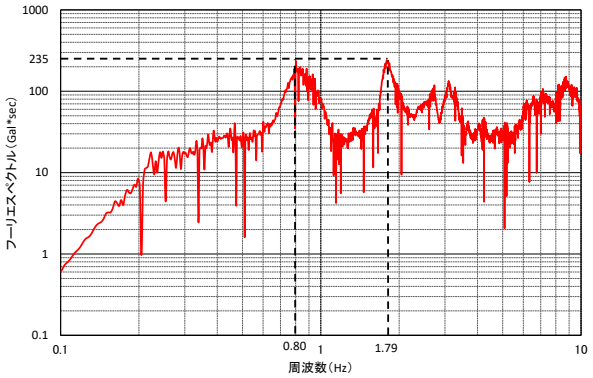


図-11　フーリエ振幅スペクトル図（HIROSHIMA-G）

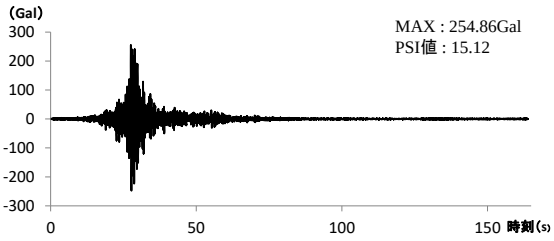


図-8　時刻歴加速度（下関港）

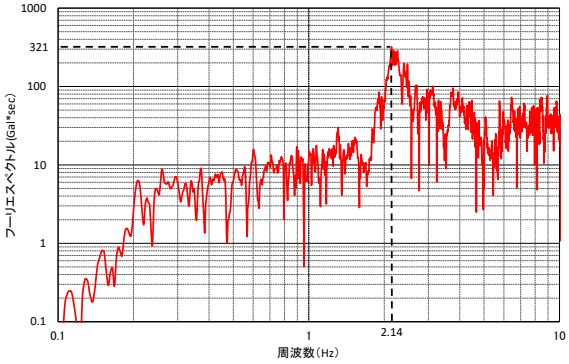


図-9　フーリエ振幅スペクトル図（下関港）

4.3 速度 PSI 値の比の母中央値の 95%信頼区間を考慮したレベル 1 地震動の設定

95%信頼区間におけるレベル 1 地震動とは，前節 3.4 において求めた速度 PSI 値による推定誤差（**表-7** 及び**図-5**）を考慮したレベル 1 地震動のことを意味している．

図-6 から**図-11** に示した下関港，WAKAYAMA-G，HIROSHIMA-G のレベル 1 地震動は，各地点において松の評価により求められたレベル 1 地震動であり，これを真値と見做す．まず，これらの松補正による地震動に対し，3.4 において求めた推定誤差を考慮したレベル 1 地震動の設定を行う．推定誤差を考慮したレベル 1 地震動の設定とは，松補正のレベル 1 地震動の速度 PSI 値に対し，速度 PSI 値の比の母中央値の 95%信頼区間の上限・下限の値（**表-7** 及び**図-5**）を乗じて，レベル 1 地震動に振幅調整を行うことを意味する． ここで求められる振幅調整後のレベル 1 地震動は，速度 PSI 値の比の母中央値の 95%信頼区間の上限・下限の値に対応したレベル 1 地震動である．

WAKAYAMA-G の波形における竹 ver1（推定区間の下限（下側 2.5%））の推定誤差を考慮したレベル 1 地震動の振幅調整を例に挙げると，37.57（WAKAYAMA-G における松速度 PSI 値）×0.76（竹 ver1 における信頼区間下限の速度 PSI 値の比）＝27.17（推定誤差を考慮した速度 PSI 値）が，目標の速度 PSI 値となる．目標の速度 PSI

値に対応するように，WAKAYAMA-G における各評価手法により求められたレベル 1 地震動の振幅調整を行う．

4.4 照査用震度による評価

（1）照査用震度の算出方法

現行基準における重力式係船岸，矢板式係船岸，桟橋の照査用震度の算定式は，参考文献１）に示される以下の式(9)から式(11)に準拠して，算出する．なお，1 次元地盤応答解析には FLIP[8] を使用し，検討に用いる入力地震動には，4.2 により求めた速度 PSI 値の比の母中央値の 95%信頼区間を考慮したレベル 1 地震動を用いる．

1）重力式係船岸

$$k_{hk}=1.78\left(\frac{D_a}{D_r}\right)^{-0.55}\frac{\alpha_c}{g}+0.04 \tag{9}$$

ここで，

k_{hk}：照査用震度の特性値

α_c：補正加速度最大値（cm/s^2）

g：重力加速度（=980cm/s^2）

D_a：許容される係船岸天端における変形量（=10cm）

D_r：基準変形量（=10cm）

である．

2）矢板式係船岸（控え直杭）

$$k_{hk}=1.91\left(\frac{D_a}{D_r}\right)^{-0.69}\frac{\alpha_c}{g}+0.03 \tag{10}$$

ここで，

k_{hk}：照査用震度の特性値

α_c：補正加速度最大値（cm/s^2）

g：重力加速度（=980cm/s^2）

D_a：許容される係船岸天端における変形量（=15cm）

D_r：基準変形量（=10cm）

である．

3）桟橋

$$T_s=2\pi\sqrt{\frac{W}{gk}} \tag{11}$$

ここで，

T_s　：桟橋の固有周期(s)

W　：杭 1 列あたりの自重及び地震時の載荷重(kN)

g　：重力加速度(m/s^2)

K　：桟橋バネ定数(kN/m)

である．

桟橋式の固有周期は，桟橋の構造諸元により変化するため一律に定めることができない．本資料では，松の照査用震度に対するばらつきを評価することが目的であり，構造諸元の検討までは考慮していないため，桟橋の固有周期は固定値として 1.0Hz と定めて照査用震度を算出する．

（2）照査用震度の算出結果

重力式係船岸，矢板式係船岸，桟橋の 3 つの構造形式を対象として，各評価手法のばらつきを考慮したレベル 1 地震動における照査用震度の算出結果一覧を**表-11** に示す．

また，**表-12** から**表-14** 及び**図-12** から**図-14** は，各検討ケースの照査用震度を真値と見做した松による照査用震度で除し，規格化した値（以下，照査用震度の比という．）を示した結果である．照査用震度の比では，前節 3.2 の**図-5** に示した速度 PSI 値の比と同様に，照査用震度の比が 1.0 であれば，真値と見做した松による照査用震度と等しく，1.0 より大きい値であれば過大な照査用震度であり，1.0 より小さい値であれば過小な照査用震度であることを表している．

表-11　照査用震度一覧

a) 水深 7.5m

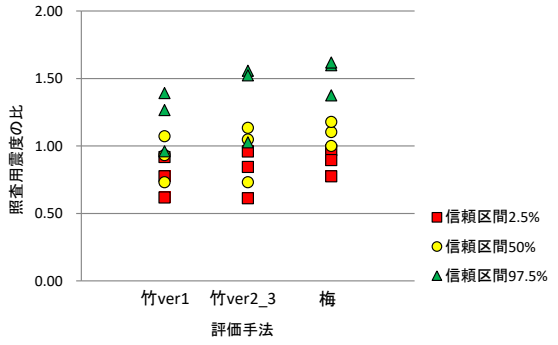
検討ケース	水深 (m)	レベル1地震動対象地点	評価手法	信頼区間	照査用震度		
					重力式	矢板式	桟橋
1	7.5	下関港	松	–	0.097	0.074	0.094
2			竹ver1	2.5%	0.089	0.070	0.080
3				50.0%	0.104	0.083	0.104
4				97.5%	0.135	0.109	0.154
5			竹ver2_3	2.5%	0.093	0.062	0.082
6				50.0%	0.110	0.087	0.109
7				97.5%	0.151	0.120	0.168
8			梅	2.5%	0.094	0.084	0.113
9				50.0%	0.107	0.099	0.160
10				97.5%	0.155	0.118	0.245
11		WAKAYAMA-G	松	–	0.152	0.153	0.248
12			竹ver1	2.5%	0.094	0.089	0.098
13				50.0%	0.111	0.107	0.131
14				97.5%	0.146	0.145	0.207
15			竹ver2_3	2.5%	0.093	0.088	0.082
16				50.0%	0.111	0.109	0.109
17				97.5%	0.156	0.159	0.187
18			梅	2.5%	0.136	0.129	0.249
19				50.0%	0.179	0.177	0.368
20				97.5%	0.246	0.251	0.526
21		HIROSHIMA-G	松	–	0.147	0.139	0.243
22			竹ver1	2.5%	0.114	0.106	0.172
23				50.0%	0.137	0.130	0.225
24				97.5%	0.186	0.182	0.318
25			竹ver2_3	2.5%	0.124	0.120	0.210
26				50.0%	0.154	0.152	0.280
27				97.5%	0.224	0.226	0.396
28			梅	2.5%	0.114	0.107	0.158
29				50.0%	0.147	0.143	0.228
30				97.5%	0.202	0.203	0.335

b) 水深 15m

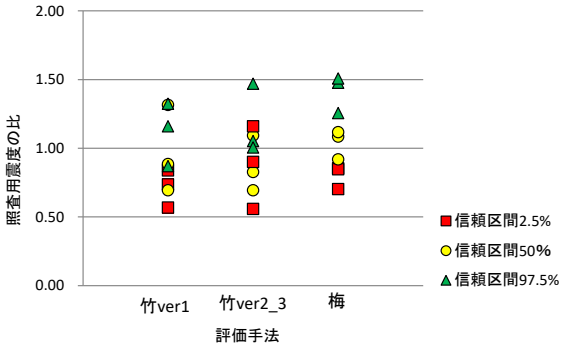
検討ケース	水深 (m)	レベル1地震動対象地点	評価手法	信頼区間	照査用震度		
					重力式	矢板式	桟橋
31	15	下関港	松	–	0.130	0.134	0.103
32			竹ver1	2.5%	0.109	0.114	0.080
33				50.0%	0.171	0.191	0.157
34				97.5%	0.172	0.192	0.154
47			竹ver2_3	2.5%	0.117	0.121	0.085
36				50.0%	0.142	0.150	0.114
37				97.5%	0.191	0.208	0.169
38			梅	2.5%	0.111	0.137	0.119
39				50.0%	0.141	0.184	0.171
40				97.5%	0.192	0.261	0.250
41		WAKAYAMA-G	松	–	0.215	0.315	0.267
42			竹ver1	2.5%	0.122	0.161	0.118
43				50.0%	0.149	0.204	0.154
44				97.5%	0.187	0.265	0.207
45			竹ver2_3	2.5%	0.120	0.163	0.096
46				50.0%	0.149	0.212	0.132
47				97.5%	0.226	0.338	0.218
48			梅	2.5%	0.182	0.253	0.260
49				50.0%	0.240	0.346	0.351
50				97.5%	0.324	0.482	0.478
51		HIROSHIMA-G	松	–	0.208	0.284	0.290
52			竹ver1	2.5%	0.153	0.198	0.169
53				50.0%	0.184	0.246	0.213
54				97.5%	0.241	0.335	0.298
55			竹ver2_3	2.5%	0.172	0.233	0.211
56				50.0%	0.209	0.298	0.270
57				97.5%	0.287	0.422	0.398
58			梅	2.5%	0.146	0.194	0.168
59				50.0%	0.191	0.264	0.234
60				97.5%	0.261	0.375	0.330

表-12　照査用震度の比の一覧（重力式係船岸）

構造形式	水深	評価手法	信頼区間	照査用震度の比
重力式係船岸	7.5m	竹ver1	2.50%	0.62～0.92
			50%	0.73～1.07
			97.50%	0.96～1.39
		竹ver2_3	2.50%	0.61～0.96
			50%	0.73～1.13
			97.50%	1.03～1.56
		梅	2.50%	0.78～0.97
			50%	1.00～1.18
			97.50%	1.37～1.62
	15m	竹ver1	2.50%	0.57～0.84
			50%	0.69～1.32
			97.50%	0.87～1.32
		竹ver2_3	2.50%	0.56～1.16
			50%	0.69～1.09
			97.50%	1.00～1.47
		梅	2.50%	0.70～0.85
			50%	0.92～1.12
			97.50%	1.25～1.51



a)　水深 7.5m



b)　水深 15m

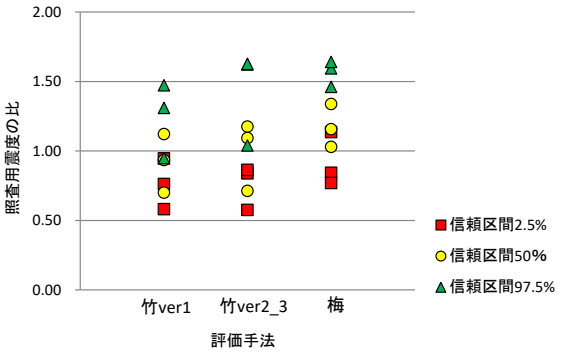
図-12 照査用震度の比のプロット図（重力式係船岸）

表-13　照査用震度の比の一覧（矢板式係船岸）

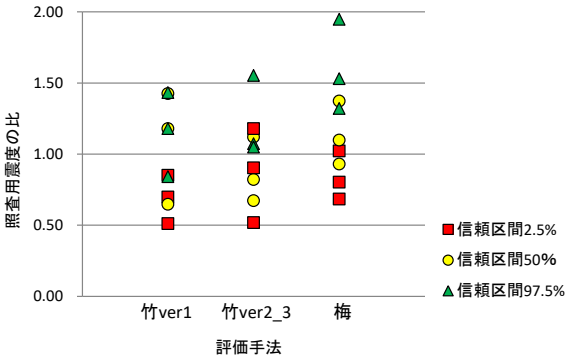
構造形式	水深	評価手法	信頼区間	照査用震度の比
矢板式係船岸	7.5m	竹ver1	2.50%	0.58～0.95
			50%	0.70～1.12
			97.50%	0.95～1.47
		竹ver2_3	2.50%	0.58～0.86
			50%	0.71～1.18
			97.50%	1.04～1.63
		梅	2.50%	0.77～1.14
			50%	1.03～1.34
			97.50%	1.46～1.64
	15m	竹ver1	2.50%	0.51～0.85
			50%	0.65～1.43
			97.50%	0.84～1.43
		竹ver2_3	2.50%	0.52～1.18
			50%	0.67～1.12
			97.50%	1.05～1.55
		梅	2.50%	0.68～1.02
			50%	0.93～1.37
			97.50%	1.32～1.95

表-14　照査用震度の比の一覧（桟橋）

構造形式	水深	評価手法	信頼区間	照査用震度の比
桟橋	7.5m	竹ver1	2.50%	0.40～0.85
			50%	0.53～1.11
			97.50%	0.83～1.64
		竹ver2_3	2.50%	0.33～0.76
			50%	0.44～1.16
			97.50%	0.75～1.79
		梅	2.50%	0.65～1.20
			50%	0.94～1.70
			97.50%	1.38～2.61
	15m	竹ver1	2.50%	0.44～0.78
			50%	0.58～1.52
			97.50%	0.78～1.50
		竹ver2_3	2.50%	0.36～0.83
			50%	0.49～1.11
			97.50%	0.82～1.64
		梅	2.50%	0.58～1.16
			50%	0.81～1.66
			97.50%	1.14～2.43

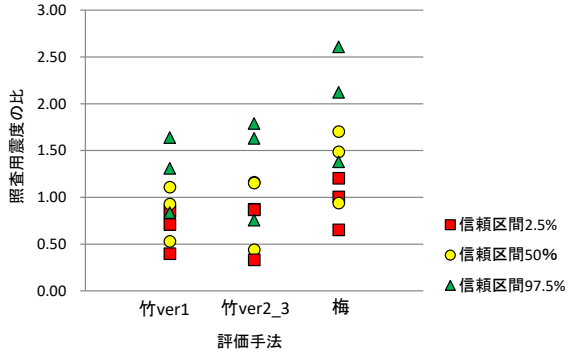


a)　水深 7.5m

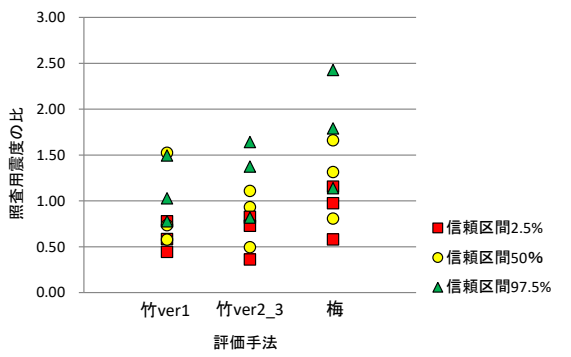


b)　水深 15m

図-13 照査用震度の比のプロット図（矢板式係船岸）



a)　水深 7.5m



b)　水深 15m

図-14　照査用震度の比のプロット図（桟橋）

（3）照査用震度による推定誤差の評価

照査用震度におけるレベル 1 地震動の推定誤差を評価した結果，得られた知見を構造形式毎に分類して以下に述べる．

1）重力式係船岸

①水深 7.5ｍのケース（**図-12　a**））

竹 ver1 の評価では，松の照査用震度に対し 4 割程度過小・過大評価となる可能性がある．

竹 ver2_3 の評価では，松の照査用震度に対し 4 割程度過小評価し，6 割程度過大評価となる可能性がある．

梅の評価では，松の照査用震度に対し 2 割程度過小評価し，6 割程度過大評価となる可能性がある．

②水深 15ｍのケース（**図-12　b**））

竹 ver1 の評価では，松の照査用震度に対し 4 割程度過小評価し，3 割程度過大評価となる可能性がある

竹 ver2_3 の評価では，松の照査用震度に対し 6 割程度過小評価し，5 割程度過大評価となる可能性がある．

梅の評価では，松の照査用震度に対し 3 割程度過小評価し，5 割程度過大評価となる可能性がある．

2）矢板式係船岸

①水深 7.5ｍのケース（**図-13　a**））

竹 ver1 の評価では，松の照査用震度に対し 4 割程度過小評価し，5 割程度過大評価となる可能性がある．

竹 ver2_3 の評価では，松の照査用震度に対し 4 割程度過小評価し，6 割程度過大評価となる可能性がある．

梅の評価では，松の照査用震度に対し 2 割程度過小評価し，6 割程度過大評価となる可能性がある．

②水深 15ｍのケース（**図-13　b**））

竹 ver1 の評価では，松の照査用震度に対し 5 割程度過小評価し，4 割程度過大評価となる可能性がある

竹 ver2_3 の評価では，松の照査用震度に対し 5 割程度過小評価し，6 割程度過大評価となる可能性がある．

梅の評価では，松の照査用震度に対し 3 割程度過小評価し，2 倍程度過大評価となる可能性がある．

3）桟橋（**図-13　a**））

桟橋では，水深の違いによる照査用震度の推定誤差に大きな違いは生じなかった．

竹 ver1 の評価では，松の照査用震度に対し過小評価・過大評価共に 6 割程度の誤差が生じる可能性がある

竹 ver2_3 の評価では，松の照査用震度に対し 7 割程度過小評価し，8 割程度過大評価となる可能性がある．

梅の評価では，松の照査用震度に対し 4 割程度過小評価し，2.6 倍程度過大評価となる可能性がある．

桟橋では，重力式係船岸や矢板式係船岸と比べ，梅の評価手法による照査用震度に大きなばらつきが確認できた．梅の評価ではばらつきが大きくなる理由を下関港を例に挙げ，桟橋における照査用震度の算出で重要な要素である加速度応答スペクトル（**図-15**）に着目し，考察した結果を以下に述べる．

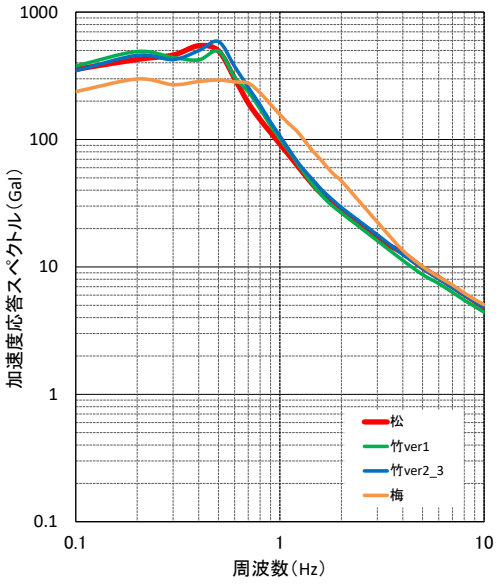


図-15　各評価手法による加速度応答スペクトル（下関港）

竹 ver1 の評価より求められたレベル 1 地震動の加速度応答スペクトル（以降，竹 ver1 加速度応答スペクトルという．）と，竹 ver2_3 の評価より求められたレベル 1 地震動の加速度応答スペクトル（以降，竹 ver2_3 加速度応答スペクトルという．）は，概ね松の評価より求められたレベル 1 地震動の加速度応答スペクトル（以降，松加速度応答スペクトルという．）に近似している．一方，梅の評価より求められたレベル 1 地震動の加速度応答スペクトル（以降，梅加速度応答スペクトルという．）は，ピークが不明瞭であり，ピーク周波数やピーク高さが松加速度応答スペクトルと相違していることが確認できる．竹 ver1 と竹 ver2_3 の評価では，概ね松の評価より求められたレベル 1 地震動の加速度応答スペクトルに近似しているが，梅の評価では，加速度応答スペクトのピーク周波数やピーク高さが松加速度応答スペクトルと異なるため，梅の評価では，竹 ver1 や竹 ver2_3 の評価よりも照査用震度の誤差が大きくなる可能性が考えられる．

５．地震時残留変位量への影響評価

5.1 評価概要

本章では，地震被災後における岸壁天端の海側残留水平変位量（以降，残留変位量という．）に着目して，使用性を評価する．まず，4 章で求めたばらつきを考慮した各評価手法の照査用震度を用いて断面検討を行う．次に，断面検討より得られた構造断面と，真値と見做す松の評価より求められたレベル 1 地震動を入力地震波として動的解析を行い，岸壁天端の残留変位量を求める．動的解析より得られた岸壁天端の残留変位量とレベル 1 地震動被災後の岸壁使用上の変形量限界値を比較し，地震被災度における岸壁の使用性を評価する．なお，本資料の動的解析は，過去の被災事例の再現性の実績が高く，実務においても幅広く使用される解析コードである FLIP[8]を採用し，レベル 1 地震動被災後の岸壁使用上の変形量限界値は，参考文献 9）に準拠し，0.3m とする．

5.2 断面検討

（1）構造形式の抽出

4 章の照査用震度算出では，重力式係船岸，矢板式係船岸，桟橋の 3 つの構造形式を対象として検討を行ったが，矢板式係船岸や桟橋では鋼材の降伏等の影響により，破壊モードが複雑化する可能性が考えられるため，重力式係船岸のみを対象として評価を行う．

（2）重力式係船岸の安定計算結果

表-11 に示した 60 ケースの照査用震度を用いて重力式係船岸の安定計算を行い，重力式係船岸の必要堤体幅を求める．なお，本検討では地震動の推定誤差による堤体幅の影響を確認することが目的であるため，簡易的な断面となるように，フーチング及び摩擦増大マット等は考慮せずに断面検討を行う．また，可能な限り必要堤体幅を小さく設定するために，滑動・転倒の照査を対象とし，支持力照査については照査対象外とする．

ただし，**図-16** に示すように，重力式係船岸では堤体幅が大きくなるにつれて自重が増加し，滑動に対する滑動の抵抗力が増加する反面，慣性力も増加するため，ある程度の堤体幅からは堤体幅を広げることによる抵抗力向上の効果が極端に小さくなり，照査用震度の増加に対して堤体幅が急激に大きくなってしまう問題がある．あまりにも過大な堤体幅を持つ断面は，実務上採用されることがないため，検討断面の照査用震度の上限を 0.25 とした．

各ケースにおける必要堤体幅の結果を**表-15** に示す．

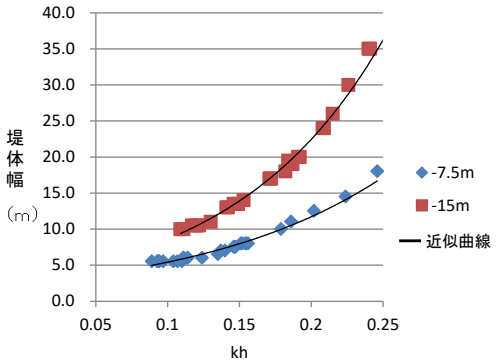


図-16　照査用震度の大きさに応じた必要堤体幅の推移

表-15　照査用震度及び断面検討結果

a) 水深 7.5m

検討ケース	構造形式	水深（m）	レベル1地震動対象地点	評価手法	信頼区間	照査用震度	堤体幅（m）
1	重力式係船岸	7.5	下関港	松	－	0.097	5.5
2				竹ver1	2.5%	0.089	5.5
3					50.0%	0.104	5.5
4					97.5%	0.135	6.5
5				竹ver2_3	2.5%	0.093	5.5
6					50.0%	0.110	5.5
7					97.5%	0.151	8.0
8				梅	2.5%	0.094	5.5
9					50.0%	0.107	5.5
10					97.5%	0.155	8.0
11			WAKAYAMA-G	松	－	0.152	8.0
12				竹ver1	2.5%	0.094	5.5
13					50.0%	0.111	6.0
14					97.5%	0.146	7.5
15				竹ver2_3	2.5%	0.093	5.5
16					50.0%	0.111	6.0
17					97.5%	0.156	8.0
18				梅	2.5%	0.140	7.0
19					50.0%	0.179	10.0
20					97.5%	0.246	18.0
21			HIROSHIMA-G	松	－	0.147	7.5
22				竹ver1	2.5%	0.114	6.0
23					50.0%	0.137	7.0
24					97.5%	0.186	11.0
25				竹ver2_3	2.5%	0.124	6.0
26					50.0%	0.154	8.0
27					97.5%	0.224	14.5
28				梅	2.5%	0.114	6.0
29					50.0%	0.147	7.5
30					97.5%	0.202	12.5

b) 水深 15m

検討ケース	構造形式	水深 (m)	レベル1地震動対象地点	評価手法	信頼区間	照査用震度	堤体幅 (m)
31	重力式係船岸	15	下関港	松	－	0.130	11.0
32				竹ver1	2.5%	0.109	10.0
33					50.0%	0.171	17.0
34					97.5%	0.172	17.0
47				竹ver2_3	2.5%	0.117	10.5
36					50.0%	0.142	13.0
37					97.5%	0.191	20.0
38				梅	2.5%	0.111	10.0
39					50.0%	0.141	13.0
40					97.5%	0.192	20.0
41			WAKAYAMA-G	松	－	0.215	26.0
42				竹ver1	2.5%	0.122	10.5
43					50.0%	0.149	13.5
44					97.5%	0.187	19.0
45				竹ver2_3	2.5%	0.120	10.5
46					50.0%	0.149	13.5
47					97.5%	0.226	30.0
48				梅	2.5%	0.182	18.0
49					50.0%	0.240	35.0
50					97.5%	0.324	－
51			HIROSHIMA-G	松	－	0.208	24.0
52				竹ver1	2.5%	0.153	14.0
53					50.0%	0.184	19.5
54					97.5%	0.241	35.0
55				竹ver2_3	2.5%	0.172	17.0
56					50.0%	0.209	24.0
57					97.5%	0.287	－
58				梅	2.5%	0.146	13.5
59					50.0%	0.191	20.0
60					97.5%	0.261	－

5.3 解析条件の設定

（1）解析モデル

FLIP 解析に用いる検討断面は，照査用震度算出時に用いた断面（**図-17**）を標準断面とし，**表-15** に示した各検討ケースの必要堤体幅に対応するよう壁体の幅を変更して解析モデルとする．

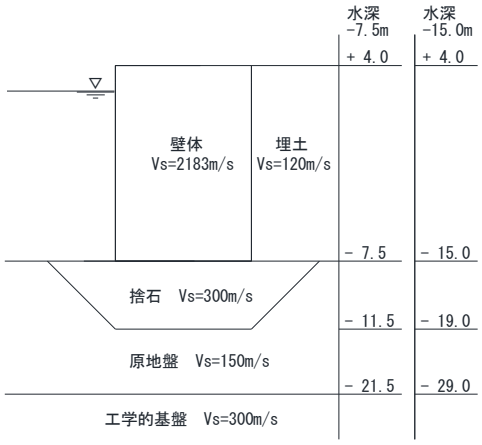


図-17 FLIP 解析に用いる検討断面

（2）土質条件

地盤物性値は，照査用震度算出時と同様とし，**表-10** に示した地盤物性値を用いる．また，FLIP 解析を行う際には液状化パラメータの設定が残留変位量に大きく影響を与えるが，本検討ではレベル 1 地震動を対象とし，液状化は発生しないことを想定しているため，埋土及び原地盤に液状化パラメータの設定は行わずに非液状化層として検討を行う．

（3）入力地震動

FLIP 解析に用いる入力地震動は，各検討ケースに対応した松評価より得られたレベル 1 地震動とする．検討ケース 1 から検討ケース 10 及び検討ケース 31 から検討ケース 40 までの 20 ケースの断面には下関港のレベル 1 地震動（松）を入力地震動として解析を行う．同様に，検討ケース 11 から検討ケース 20 及び検討ケース 41 から検討ケース 50 までの 20 ケースの断面には，WAKAYAMA-G のレベル 1 地震動(松)を入力地震動として解析を行い，検討ケース 21 から検討ケース 30 及び検討ケース 51 から検討ケース 60 までの 20 ケースの断面には，HIROSHIMA-G のレベル 1 地震動（松）を入力地震動として解析を行う．

5.4 残留変位量による評価

重力式係船岸を対象として，各評価手法のばらつきを考慮したレベル 1 地震動を用いた場合の，岸壁天端の残留変位量算出結果一覧を**表-16** に示す．また，**図-18** に各評価手法による岸壁天端の残留変位量と，レベル 1 地震動被災後の岸壁使用上の変形量限界値の関係を示す．

水深 7.5m のケースでは，全ての評価手法でレベル 1 地震動被災後の岸壁使用上の変形量限界値（0.3m）を越える天端の残留変位量が算出され，地震被災後の岸壁使用性を満足できなくなる可能性が考えられる．特に，信頼区間下限（2.5%）のプロットでは，岸壁天端に 0.7m 以上の大きな残留変位量を生じさせる危険な断面を設定し得る可能性がある．一方，水深 15m のケースでは，必要堤体幅が大きいため岸壁天端の残留変位量は全体的に小さく，全てのケースでレベル 1 地震動被災後の岸壁使用上の変形量限界値（0.3m）より小さい残留変位量であり，地震被災後においても使用性は確保される可能性が高いと考えられる．

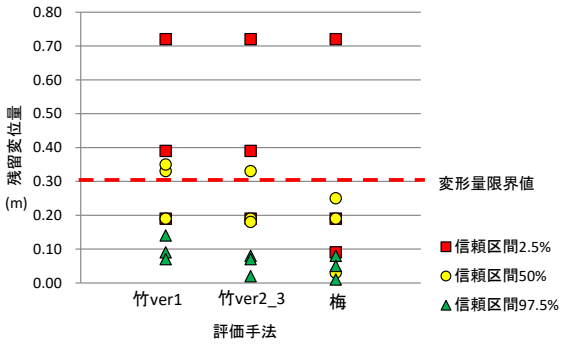
表-16　残留変位量一覧

a) 水深 7.5m

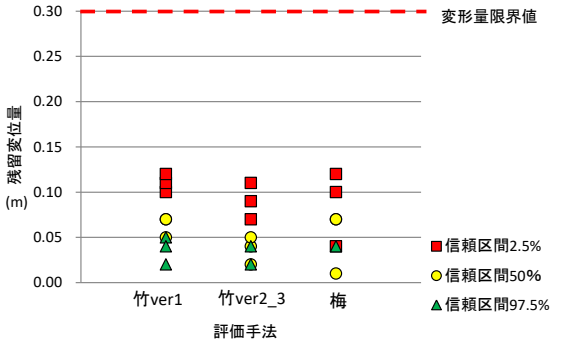
検討ケース	構造形式	水深 (m)	レベル1地震動	評価手法	信頼区間	照査用震度	堤体幅 (m)	残留変位量 (m)
1	重力式係船岸	7.5	下関港	松	–	0.097	5.5	0.19
2				竹ver1	2.5%	0.089	5.5	0.19
3					50.0%	0.104	5.5	0.19
4					97.5%	0.135	6.5	0.14
5				竹ver2_3	2.5%	0.093	5.5	0.19
6					50.0%	0.110	5.5	0.19
7					97.5%	0.151	8.0	0.08
8				梅	2.5%	0.094	5.5	0.19
9					50.0%	0.107	5.5	0.19
10					97.5%	0.155	8.0	0.08
11			WAKAYAMA-G	松	–	0.152	8.0	0.07
12				竹ver1	2.5%	0.094	5.5	0.39
13					50.0%	0.111	6.0	0.33
14					97.5%	0.146	7.5	0.09
15				竹ver2_3	2.5%	0.093	5.5	0.39
16					50.0%	0.111	6.0	0.33
17					97.5%	0.156	8.0	0.07
18				梅	2.5%	0.140	7.0	0.09
19					50.0%	0.179	10.0	0.03
20					97.5%	0.246	18.0	0.01
21			HIROSHIMA-G	松	–	0.147	7.5	0.25
22				竹ver1	2.5%	0.114	6.0	0.72
23					50.0%	0.137	7.0	0.35
24					97.5%	0.186	11.0	0.07
25				竹ver2_3	2.5%	0.124	6.0	0.72
26					50.0%	0.154	8.0	0.18
27					97.5%	0.224	14.5	0.02
28				梅	2.5%	0.114	6.0	0.72
29					50.0%	0.147	7.5	0.25
30					97.5%	0.202	12.5	0.05

b) 水深 15m

検討ケース	構造形式	水深 (m)	レベル1地震動	評価手法	信頼区間	照査用震度	堤体幅 (m)	残留変位量 (m)
31	重力式係船岸	15	下関港	松	–	0.106	9.5	0.11
32				竹ver1	2.5%	0.095	9.0	0.12
33					50.0%	0.112	10.0	0.10
34					97.5%	0.147	13.5	0.07
47				竹ver2_3	2.5%	0.117	10.5	0.09
36					50.0%	0.142	13.0	0.07
37					97.5%	0.191	20.0	0.04
38				梅	2.5%	0.100	9.0	0.12
39					50.0%	0.126	11.0	0.10
40					97.5%	0.167	17.0	0.05
41			WAKAYAMA-G	松	–	0.172	17.0	0.05
42				竹ver1	2.5%	0.103	9.5	0.24
43					50.0%	0.122	10.5	0.11
44					97.5%	0.164	15.5	0.04
45				竹ver2_3	2.5%	0.120	10.5	0.11
46					50.0%	0.149	13.5	0.07
47					97.5%	0.226	30.0	0.02
48				梅	2.5%	0.152	14.0	0.06
49					50.0%	0.200	21.5	0.03
50					97.5%	0.274	–	–
51			HIROSHIMA-G	松	–	0.208	24.0	0.05
52				竹ver1	2.5%	0.153	14.0	0.12
53					50.0%	0.184	19.5	0.07
54					97.5%	0.241	35.0	0.02
55				竹ver2_3	2.5%	0.172	17.0	0.07
56					50.0%	0.209	24.0	0.05
57					97.5%	0.287	–	–
58				梅	2.5%	0.146	13.5	0.12
59					50.0%	0.191	20.0	0.05
60					97.5%	0.261	–	–



a) 水深 7.5m



b) 水深 15m

図-18　各評価手法による岸壁天端の残留変位量

6. まとめ

本資料は，サイト増幅特性の簡易的な評価手法によるレベル 1 地震動の推定誤差，さらには係留施設の耐震設計に及ぼす影響を概略評価した結果を示すことを目的としている．サイト増幅特性を評価する簡易的な評価手法によるレベル 1 地震動の推定誤差が与える影響を，速度 PSI 値，照査用震度及び地震時残留変位量を用いて評価した．得られた知見と課題を以下にまとめる．

(1)得られた知見

1）速度 PSI 値の比の母中央値の 95%信頼区間を考慮したレベル 1 地震動の推定誤差の影響

松の評価により求められたレベル 1 地震動の速度 PSI 値を真値と見做し，各評価手法により得られたレベル 1 地震動の速度 PSI 値との比（速度 PSI 値の比）をとり，各評価手法の推定誤差を評価した．推定誤差は，各評価手法における速度 PSI 値の比を集計し，統計処理により

速度 PSI 値の比の母中央値の 95%信頼区間を利用し，評価した．

その結果，竹 ver1 では松速度 PSI 値に対し 0.76 から 1.52，竹 ver2_3 では松速度 PSI 値に対し 0.84 から 1.86，梅では松速度 PSI 値に対し 0.77 から 1.47 程度の誤差が生じる可能性があることがわかった．

2) 照査用震度におけるレベル 1 地震動の推定誤差の影響

1) と同様に，松の評価により求められたレベル 1 地震動を用いて算定した照査用震度を真値と見做し，各評価手法により求められたレベル 1 地震動を用いて算出した照査用震度との比をとり，各評価手法の推定誤差を評価した．

その結果，**表-17** の一覧表に示すとおり，重力式係船岸と矢板式係船岸では，竹 ver1，竹 ver2_3 および梅の全ての評価手法において過小評価（3 割から 4 割程度）および過大評価（4 割から 6 割程度）となる可能性があることがわかった．また，桟橋では重力式係船岸や矢板式係船岸よりもばらつきが大きく，特に梅の評価では照査用震度の誤差が 2 倍以上大きくなる可能性があることがわかった．

表-17 照査用震度の比一覧（まとめ）

構造形式	水深	評価手法	照査用震度の比
重力式係船岸	7.5m	竹ver1	0.62～1.39
		竹ver2_3	0.61～1.56
		梅	0.78～1.62
	15m	竹ver1	0.57～1.32
		竹ver2_3	0.56～1.47
		梅	0.70～1.51
矢板式係船岸	7.5m	竹ver1	0.58～1.47
		竹ver2_3	0.58～1.63
		梅	0.77～1.64
	15m	竹ver1	0.51～1.43
		竹ver2_3	0.52～1.55
		梅	0.68～1.95
桟橋	7.5m	竹ver1	0.40～1.64
		竹ver2_3	0.33～1.79
		梅	0.65～2.61
	15m	竹ver1	0.44～1.50
		竹ver2_3	0.36～1.64
		梅	0.58～2.43

3) 残留変位量におけるレベル 1 地震動の推定誤差の影響

重力式岸壁（水深 7.5m，15m）を対象として，2) に示したレベル 1 地震動の推定誤差を考慮してケーソン幅を変更した岸壁に対して，真値とみなしたレベル 1 地震動（松）を入力した際に，地震後の残留変形量がどの程度増減し，岸壁利用上の変形量限界値を 0.3m と仮定した場合に，限界値を超過する可能性があるかについて評価した．なお，残留変形量は，FLIP による 2 次元地震応答解析により算出した．

水深 7.5m のケースでは，真値と見做した断面では 0.07m から 0.25m の残留変形量であった．しかしながら，その他の評価手法では，信頼区間の上限を採用した場合，レベル 1 地震動被災後の岸壁使用上の変形量限界値（0.3m）を越える天端の残留変位量が算出され，地震被災後の岸壁使用性の確保に問題を残す結果であった．

一方，水深 15m のケースでは，真値と見做した断面では 0.05m から 0.11m の残留変形量であり，その他の全てのケースにおいても変形量限界値（0.3m）より小さい残留変位量であった．地震被災後においても岸壁使用性は確保される点では問題はないものの，その一方で必要堤体幅が過剰に大きくなるケースも多く（信頼区間の下限を採用した場合），不経済な断面設定を行ってしまう可能性がある．

(2)今後の課題

1) 本検討では，各評価指標（速度 PSI 値，照査用震度，地震時残留変位量）を用いた結果を示し，各種誤差（速度 PSI 値，照査用震度，地震時残留変位量）の傾向を把握するまでにとどまっている．今後は，レベル 1 地震動自体の推定誤差が生じる理由を明らかにする必要がある．そのうえで，各評価手法によるレベル 1 地震動の推定誤差をさらに小さくできるような評価方法の検討が望まれる．

2) 本検討では，水深 7.5m と 15m の重力式岸壁の地震時残留変形量に及ぼす影響評価を行ったが，両ケースで残留変形量の限界値（0.3m）を目安とすると，その超過具合の傾向が大きく異なっていた．その理由については明らかにすることができなかったので，今後は，超過具合の傾向が大きく異なる変化点を明らかにするために，対象水深のケースを増やして検討する必要がある．

3) 本検討で行った重力式岸壁の地震時残留変形量に及ぼす影響評価は，レベル 1 地震動を対象としたものであった．レベル 1 地震動の推定誤差に起因するケーソン幅の増減が，レベル 1 地震動を上回る地震動が作用した際の残留変形量に及ぼす影響の評価も重要な視点であると考えられる．今後，レベル 1 地震動よりも大きな地震動（レベル 2 地震動を含む）に対して，液状化を考慮した土質モデルでの 2 次元地震応答解析を行い，設計条件を超えた地震動に対する推定誤差が及ぼす影響を評価する必要がある．

4) 桟橋における照査用震度に及ぼす影響評価から，梅の場合には推定誤差が大きくなる傾向が確認されたが，その理由については明らかにすることができなかったので，今後さらなる検討が必要である．また，今回の検討

では,桟橋の固有周期を 1Hz に限定したものであるため,桟橋の固有周期を変化させた場合の影響評価も必要である.

本検討により，サイト増幅特性の簡易評価手法を用いることによる，レベル 1 地震動の推定誤差の影響を把握することができた．今後は，これらの推定誤差の影響を考慮した調整係数等を提案することにより，より良い耐震設計が実現できるものと考える．そのためには，地盤モデルや対象水深の検討ケースを増やし，継続的に検討を行う必要がある．また，長期課題として，上記の検討結果に基づき，簡易評価手法（竹 ver1，竹 ver2，竹 ver3，梅）による推定誤差の大きさに応じた照査用震度に乗じる部分係数を設定し，補正方法が異なる場合であっても設計断面の安全余裕が同程度になるような耐震設計の枠組みに移行することを目指す.

謝辞

本資料を取りまとめるにあたり，港湾空港技術研究所の大矢陽介主任研究官には，FLIP 解析についてご教示いただいた．また，港湾施設研究室の交流研究員である住岡直樹氏，柴下達哉氏に資料内容についてご助言いただいた．ここに深く感謝の意を示します.

参考文献

1） 公益社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説， 平成 30 年 5 月
2） 錦織勇人，福永勇介，野津厚，宮田正史：港湾におけるレベル 1 地震動の補正手法に関する包括的整理，国土技術政策総合研究所資料 No．1065
3） 国土技術政策総合研究所ホームページ（最終観覧日 2020.3）
http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html
4） 野津厚，井合進：岸壁の即時被害推定に用いる地震動指標に関する一考察，第 28 回関東支部技術研究発表会講演概要集，土木学会関東支部，pp.18-19，2001
5） 統計学入門，東京大学教養学部統計学教室偏，東京大学出版会
6） J.P. Royston: An Extension of Shapiro and Wilk’s W Test for Normality to Large Samples
7） 岡元渉，竹信正寛，宮田正史，井山繁，菅原法城，川原洋，藤井一弘：係留施設における構造形式等の基礎的データに関する整理，国土技術政策総合研究所資料 No．1019
8） 一般社団法人 FLIP コンソーシアムホームページ（最終観覧日 2020.3）
https://www.flip.or.jp/flipmembers.html
9） 長尾毅，岩田直樹，藤村公宣，森下倫明，佐藤秀政，尾崎竜三：レベル 1 地震動に対する重力式および矢板式係船岸の耐震性能照査用震度の設定手法，国土技術政策総合研究所資料 No．310

付録Ａ　34 地点における各評価手法のレベル 1 地震動諸元

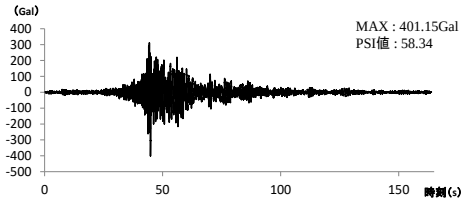
表 A-1　小名浜港

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	小名浜港	36.933N 140.883E	3.2km
参照地点	ONAHAMA-JI-G	36.945N 140.912E	

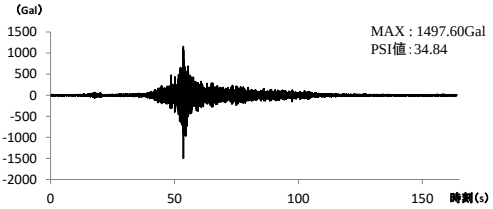
評価地点位置図

レベル 1 地震動

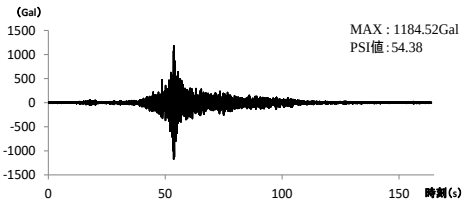
松



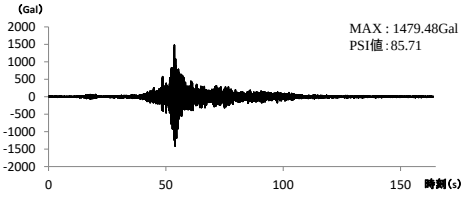
竹 ver1



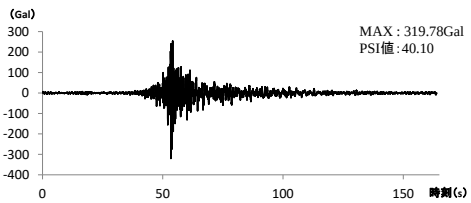
竹 ver2



竹 ver3

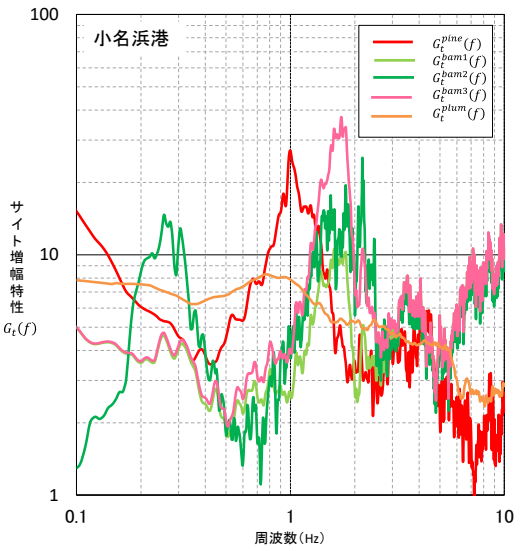


梅

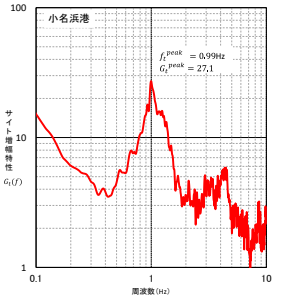


サイト増幅特性

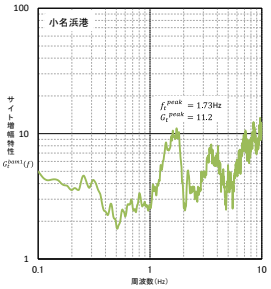
各評価手法によるサイト増幅特性



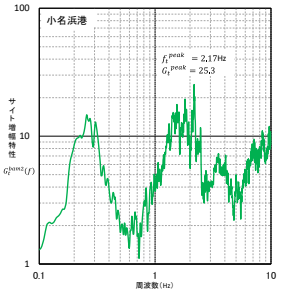
松



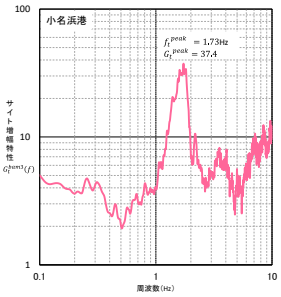
竹 ver1



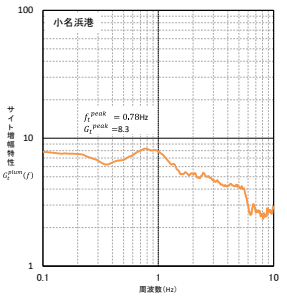
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

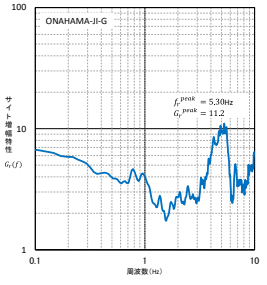
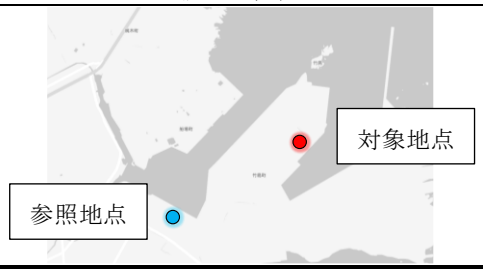


表 A-2　細島港

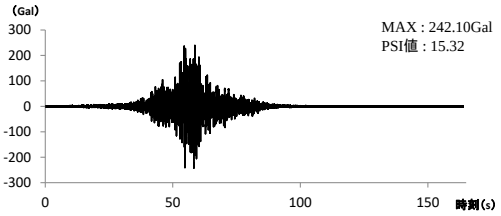
地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	細島港	32.440N 131.660E	2.5km
参照地点	HOSOSHIMA-G	32.433N 131.648E	

評価地点位置図

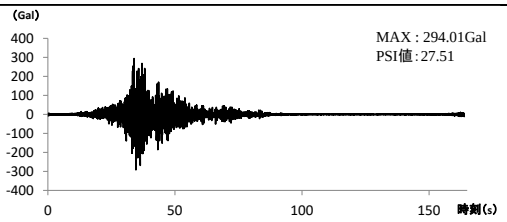


レベル 1 地震動

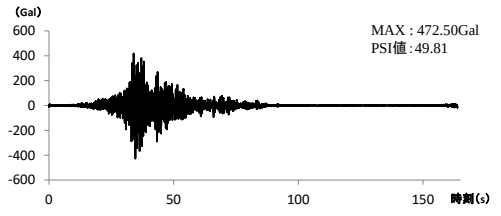
松



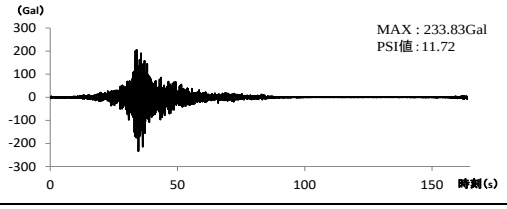
竹 ver1



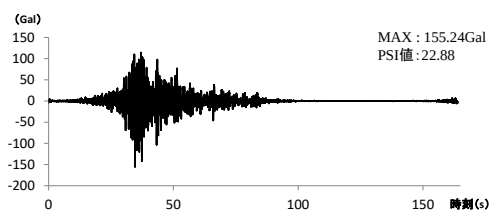
竹 ver2



竹 ver3

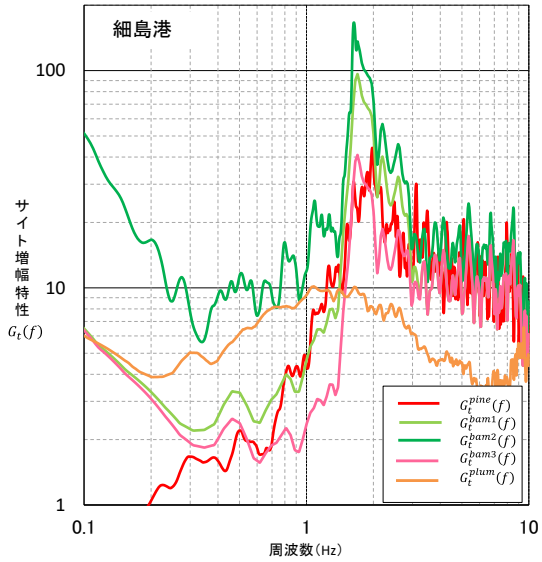


梅

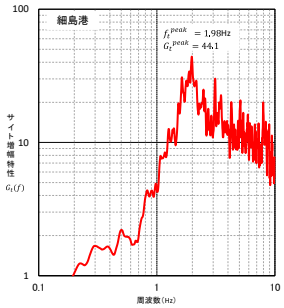


サイト増幅特性

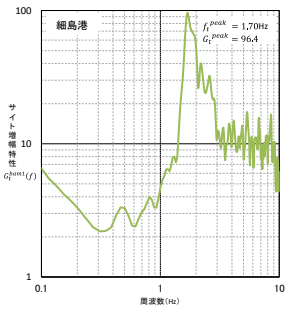
各評価手法によるサイト増幅特性



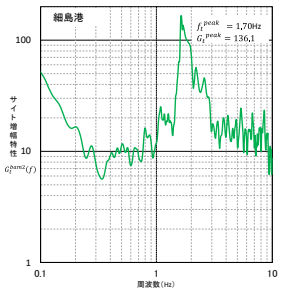
松



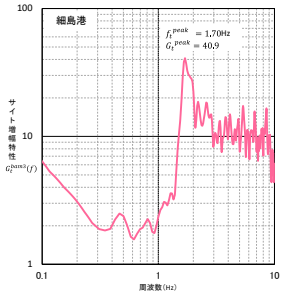
竹 ver1



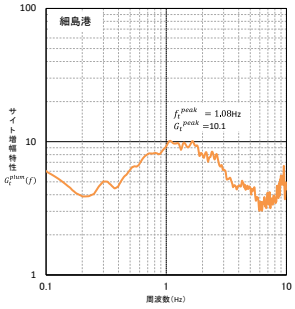
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

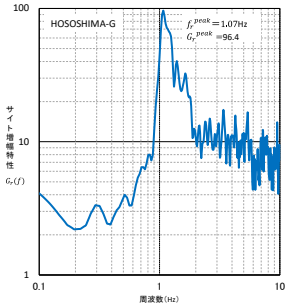
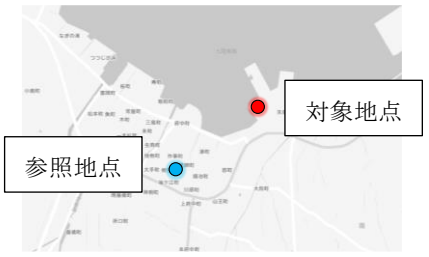


表 A-3　七尾港

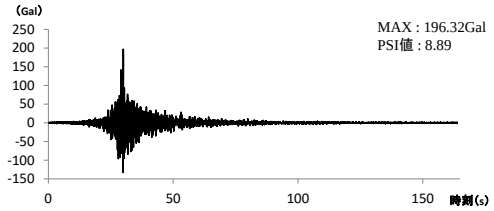
地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	七尾港	37.049N 136.975E	1.4km
参照地点	ISK007	37.0427N 136.9681E	

評価地点位置図

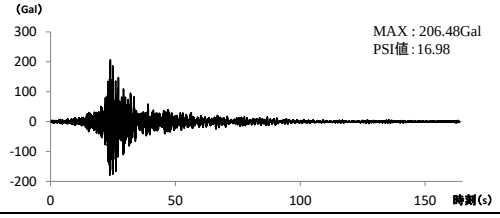


レベル 1 地震動

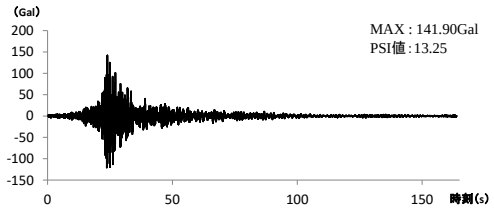
松



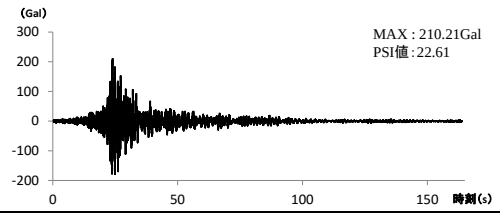
竹 ver1



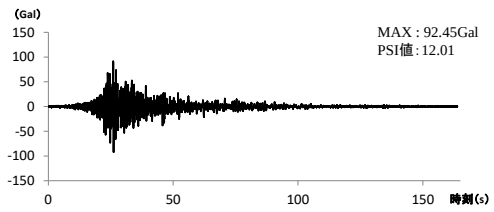
竹 ver2



竹 ver3

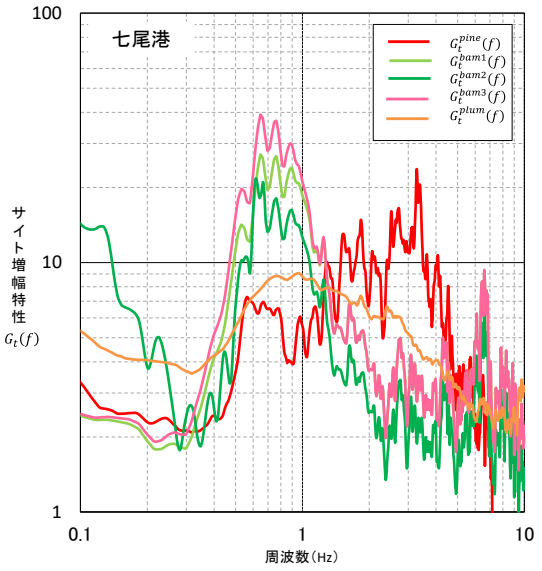


梅

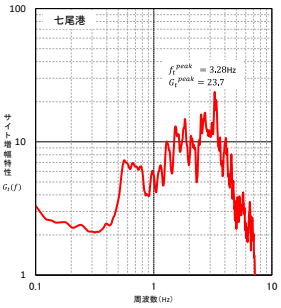


サイト増幅特性

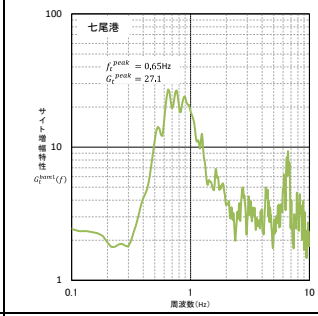
各評価手法によるサイト増幅特性



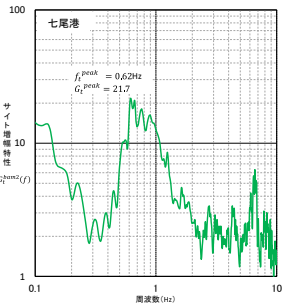
松



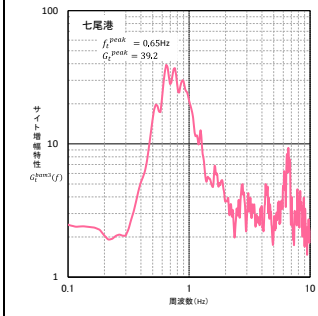
竹 ver1



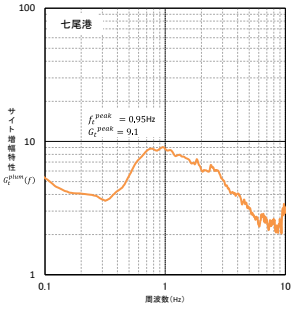
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

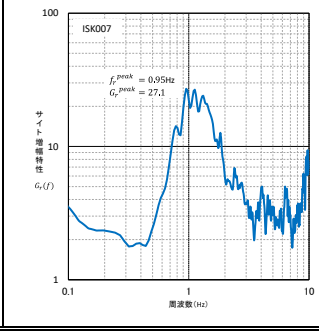
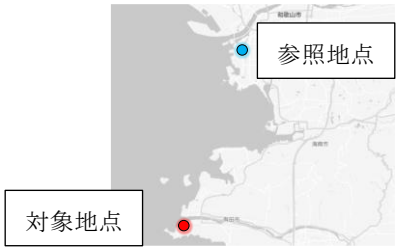


表 A-4　和歌山下津港

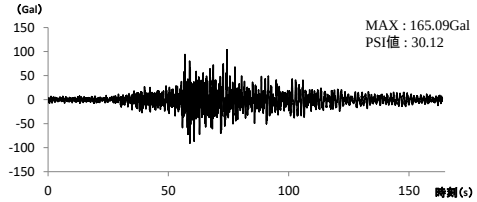
地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	和歌山下津港	34.078N 135.091E	15.0km
参照地点	WAKAYAMA-G	34,217N 135,145E	

評価地点位置図

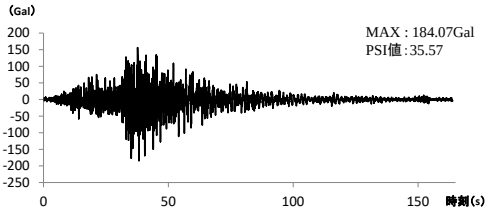


レベル 1 地震動

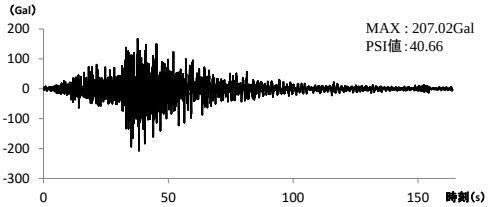
松



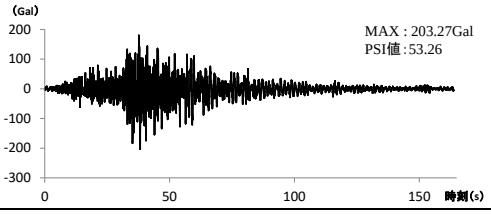
竹 ver1



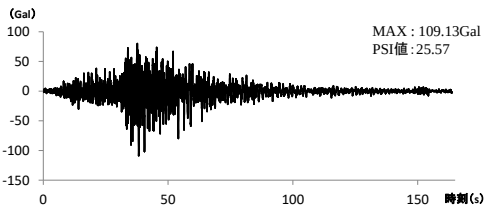
竹 ver2



竹 ver3

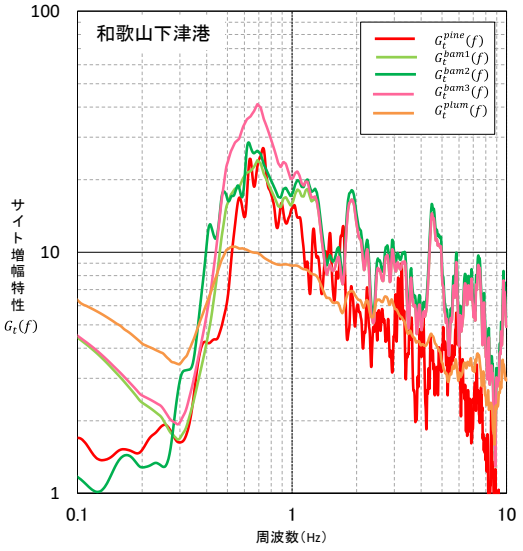


梅

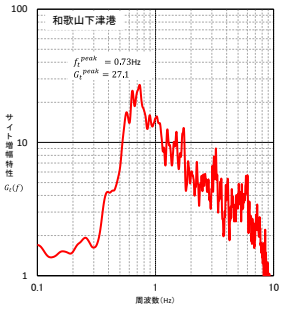


サイト増幅特性

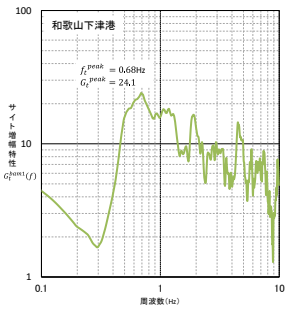
各評価手法によるサイト増幅特性



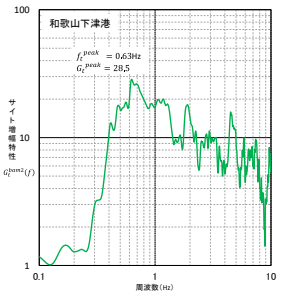
松



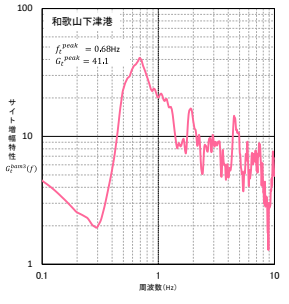
竹 ver1



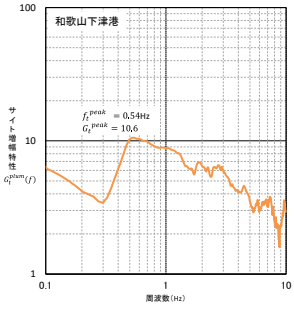
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

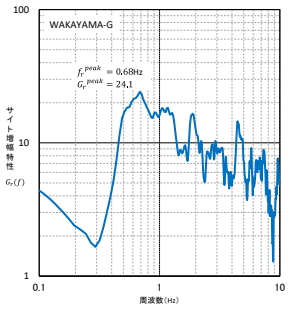


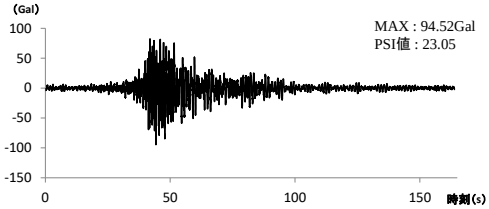
表 A-5　矢代港

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	八代港	32.524N 130.552E	4.2km
参照地点	KMM012	32.5099N 130.5908E	

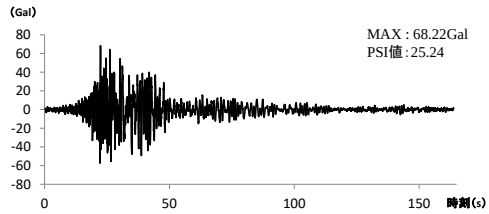
評価地点位置図

レベル 1 地震動

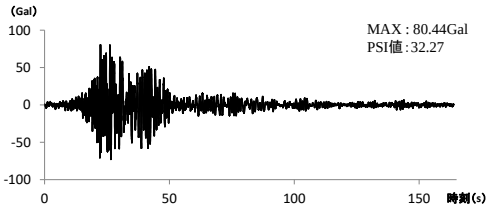
松



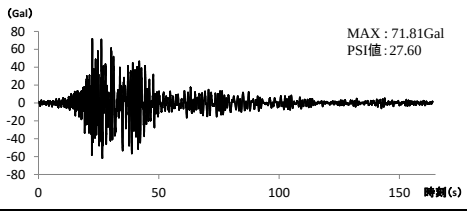
竹 ver1



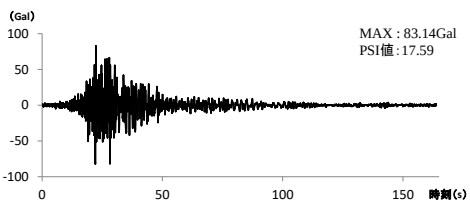
竹 ver2



竹 ver3

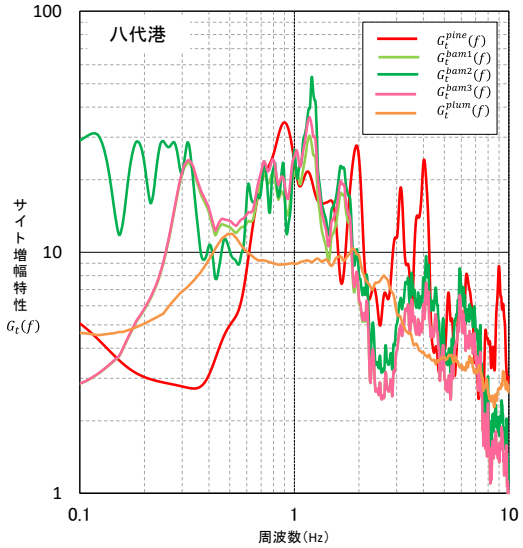


梅

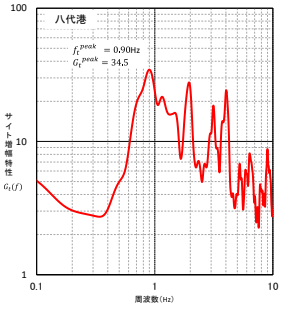


サイト増幅特性

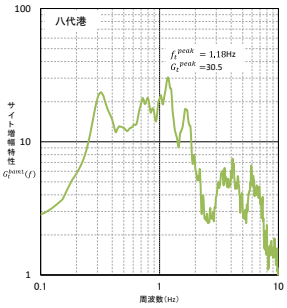
各評価手法によるサイト増幅特性



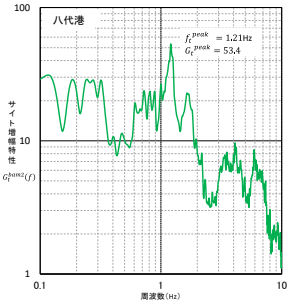
松



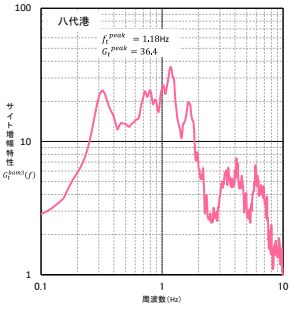
竹 ver1



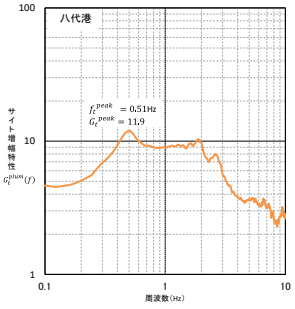
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

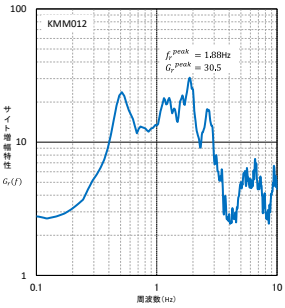


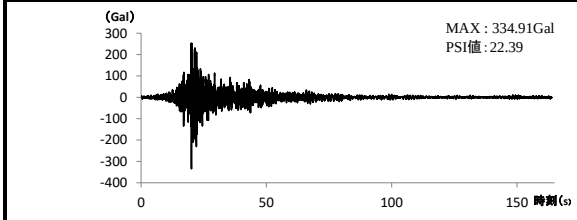
表 A-6　MYGH01

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	MYGH01	38,2453N 141,0004E	6.6km
参照地点	MYG013	38,2663N 140,9293E	

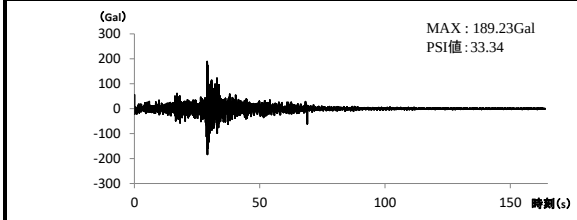
評価地点位置図

レベル 1 地震動

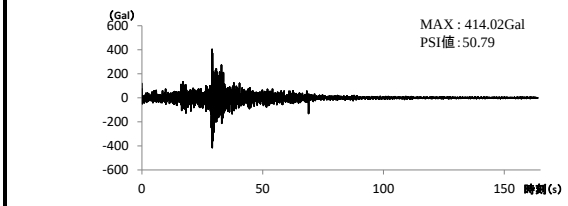
松



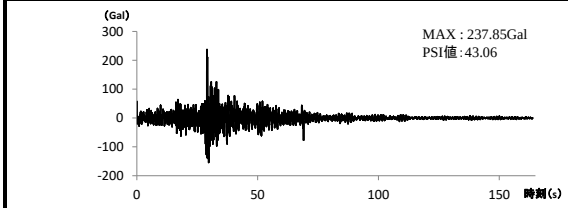
竹 ver1



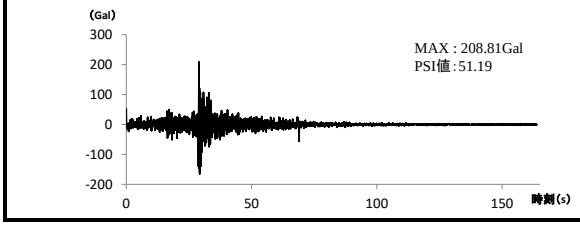
竹 ver2



竹 ver3

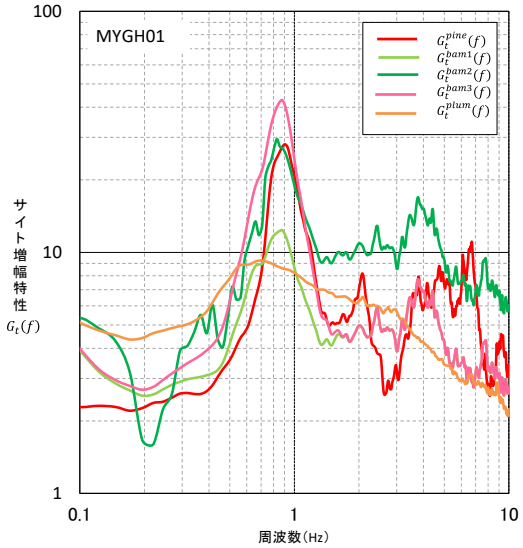


梅

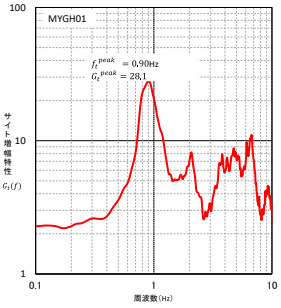


サイト増幅特性

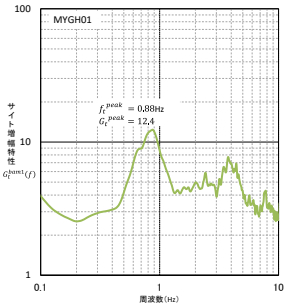
各評価手法によるサイト増幅特性



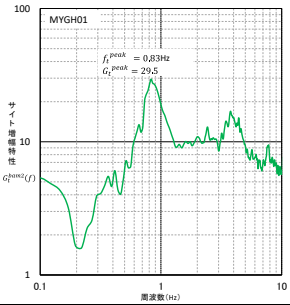
松



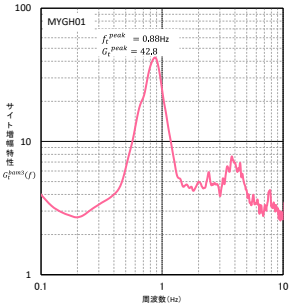
竹 ver1



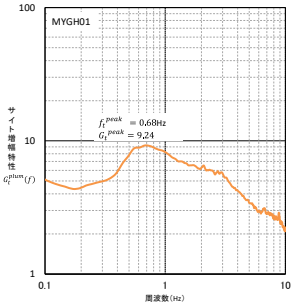
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

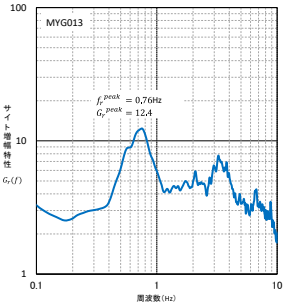


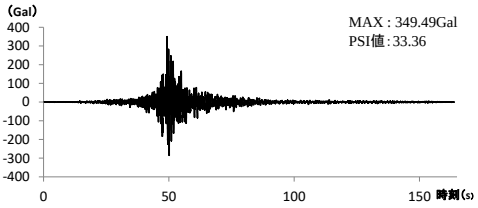
表 A-7　SZO013

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	SZO013	35,0410N 138,4760E	3.1km
参照地点	SHIN-OKITSU-U	35,043N 138,510E	

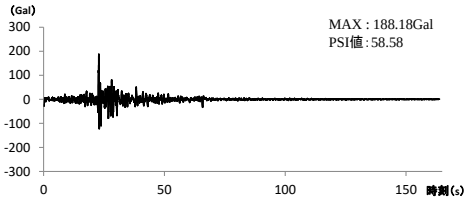
評価地点位置図

レベル 1 地震動

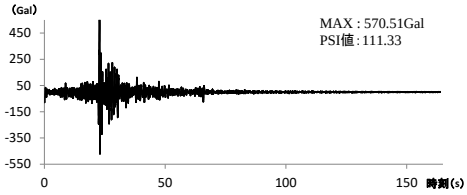
松



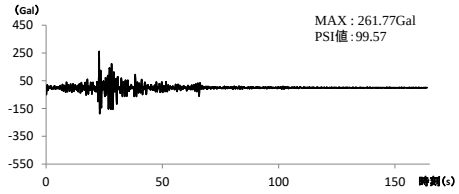
竹 ver1



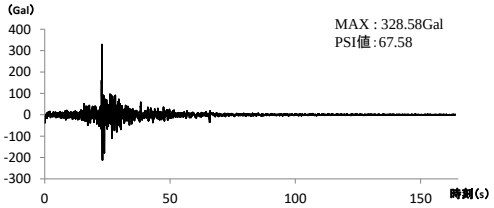
竹 ver2



竹 ver3

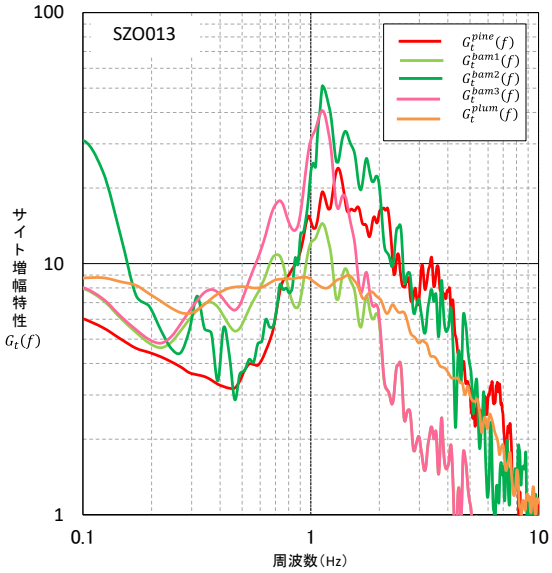


梅

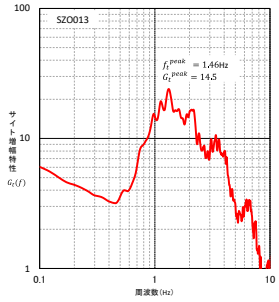


サイト増幅特性

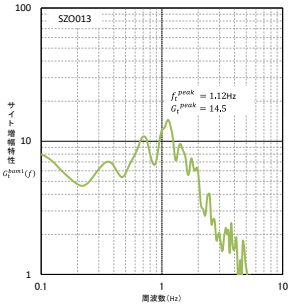
各評価手法によるサイト増幅特性



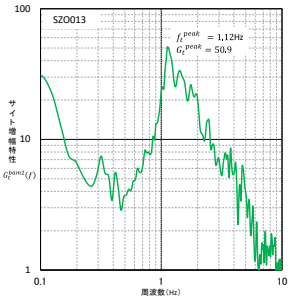
松



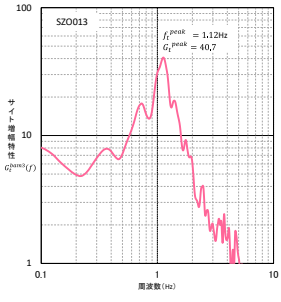
竹 ver1



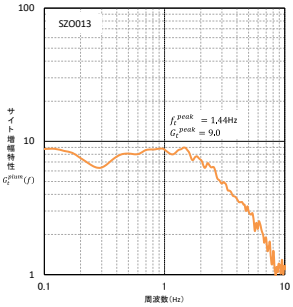
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

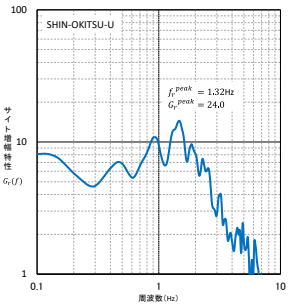


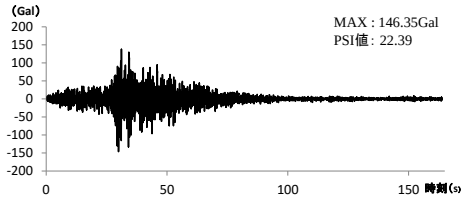
表 A-8　WKY001

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	WKY001	34,2288N 135,1694E	2.6km
参照地点	WAKAYAMA-G	34,217N 135,145E	

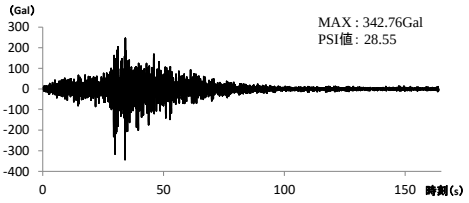
評価地点位置図

レベル 1 地震動

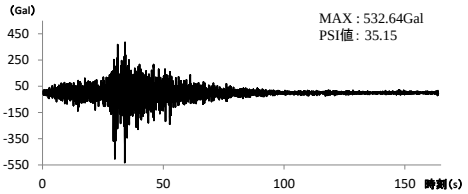
松



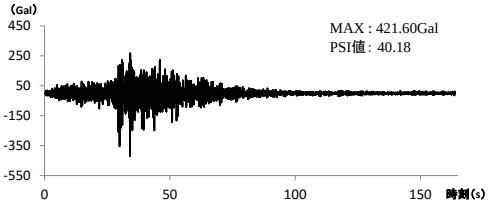
竹 ver1



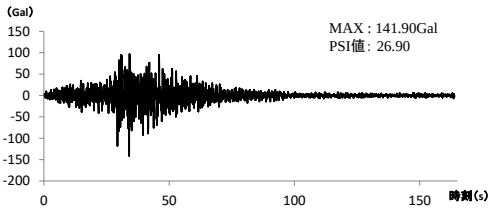
竹 ver2



竹 ver3

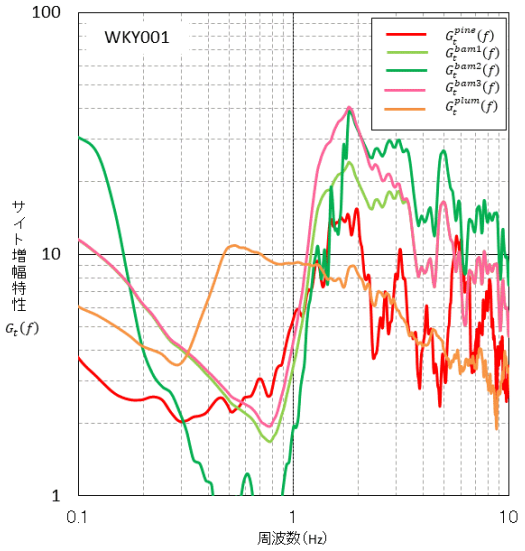


梅

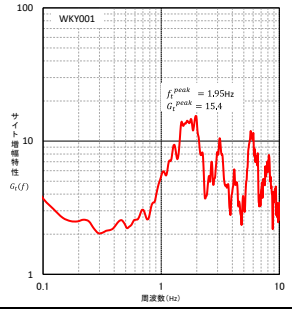


サイト増幅特性

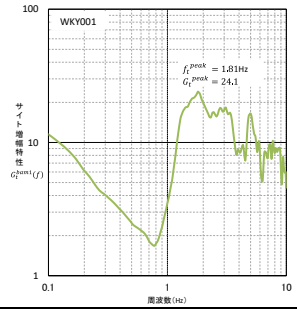
各評価手法によるサイト増幅特性



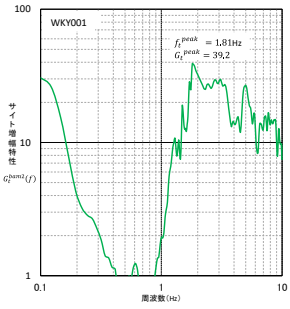
松



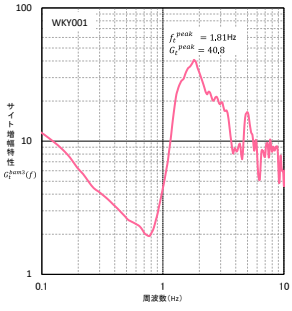
竹 ver1



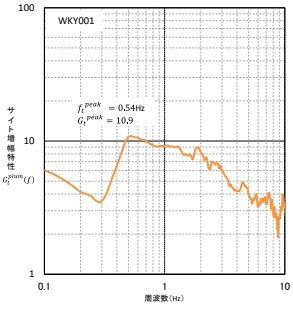
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

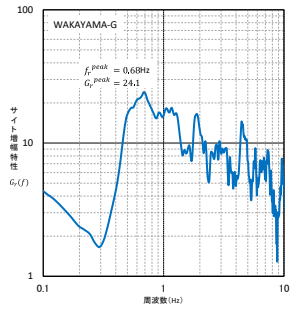


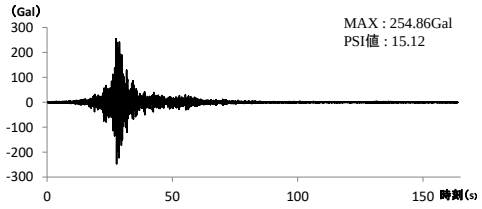
表 A-9　下関港

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	下関港	33,5655N 130,5535E	15.6km
参照地点	YMG011	34,0643N 131,0214E	

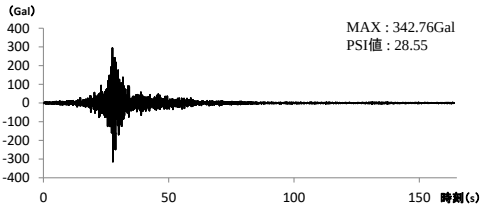
評価地点位置図

レベル 1 地震動

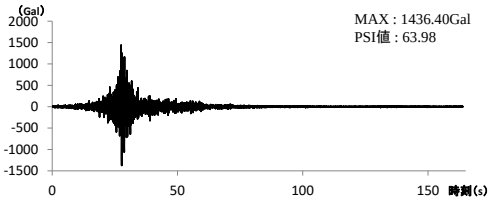
松



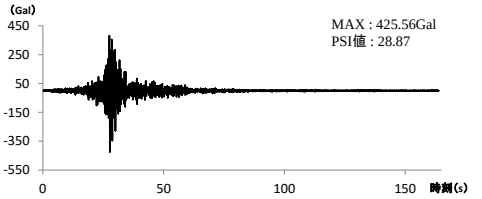
竹 ver1



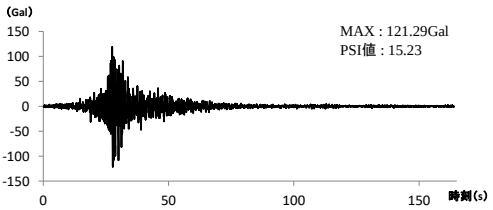
竹 ver2



竹 ver3

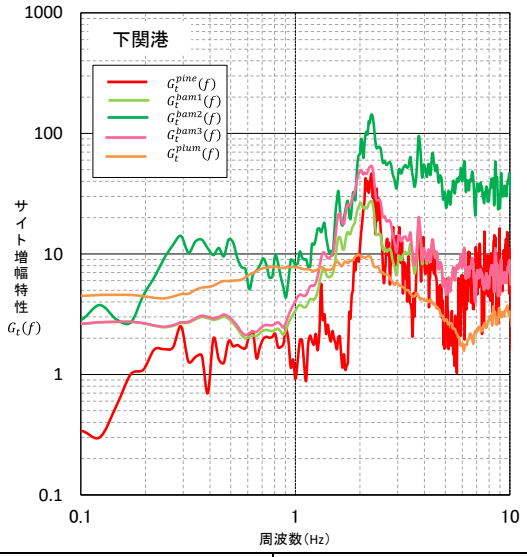


梅

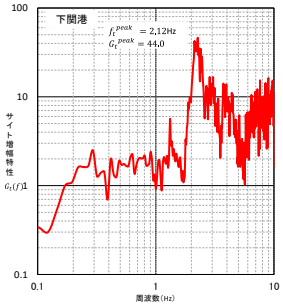


サイト増幅特性

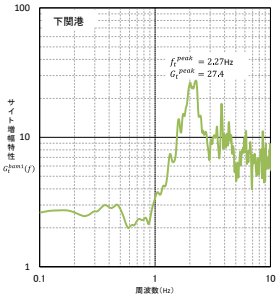
各評価手法によるサイト増幅特性



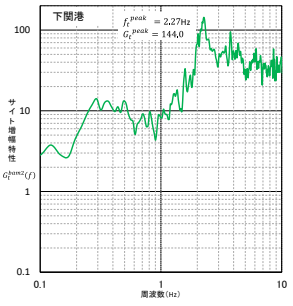
松



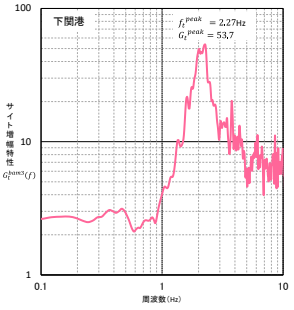
竹 ver1



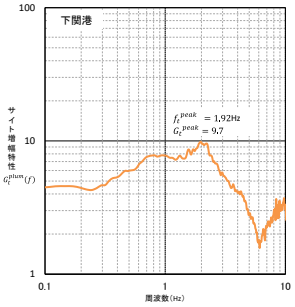
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

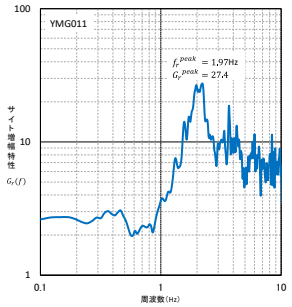


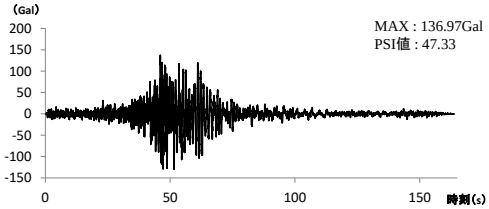
表 A-10　KUSHIRO-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	KUSHIRO-G	42,999N 144,355E	2.6km
参照地点	HKD077	42,9845N 144,3824E	

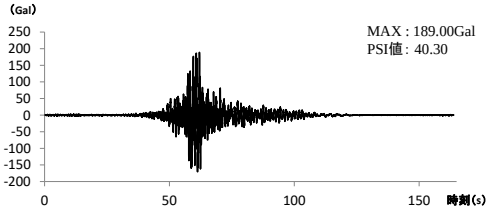
評価地点位置図

レベル 1 地震動

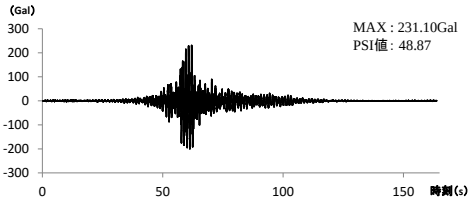
松



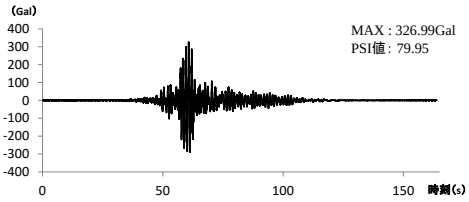
竹 ver1



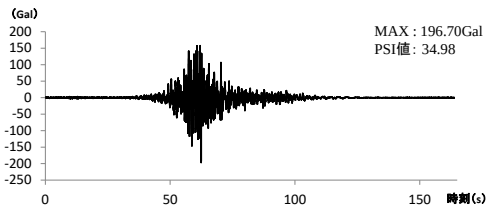
竹 ver2



竹 ver3

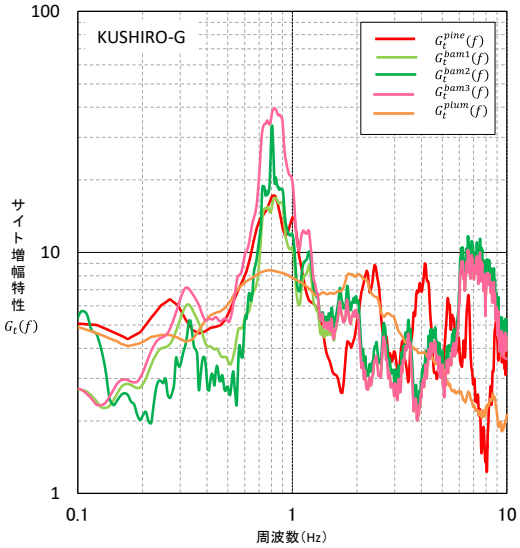


梅

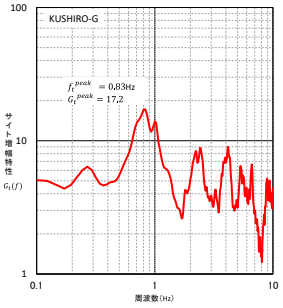


サイト増幅特性

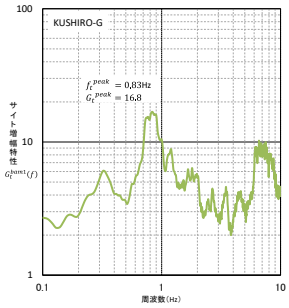
各評価手法によるサイト増幅特性



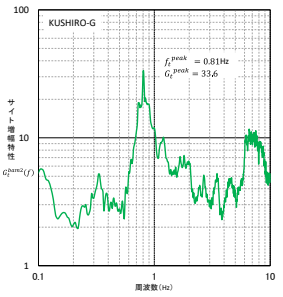
松



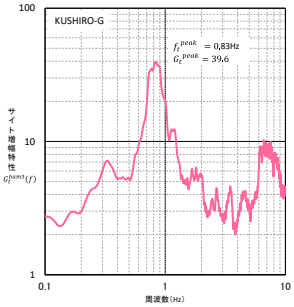
竹 ver1



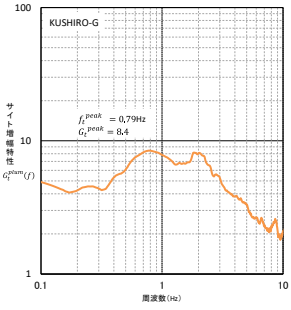
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

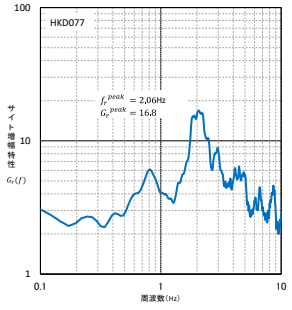
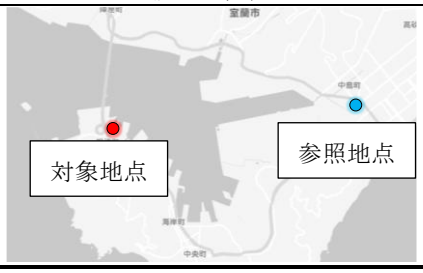


表 A-11　MURORAN-G

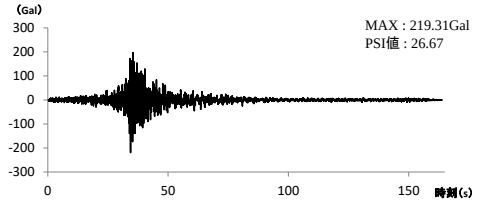
地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	MURORAN-G	42.344N 140.952E	6.6km
参照地点	HKD132	42.3483N 141.0319E	

評価地点位置図

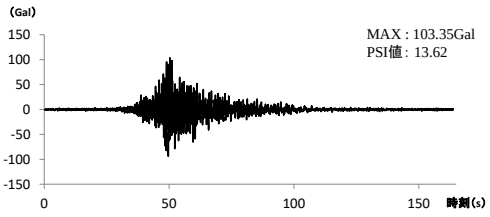


レベル 1 地震動

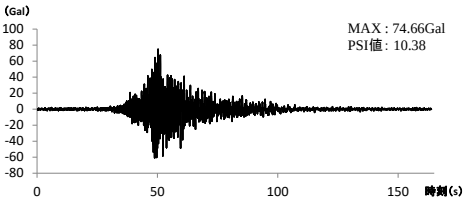
松



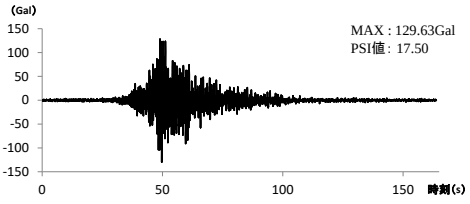
竹 ver1



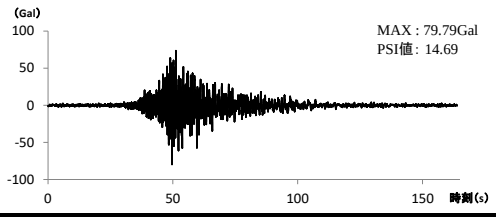
竹 ver2



竹 ver3

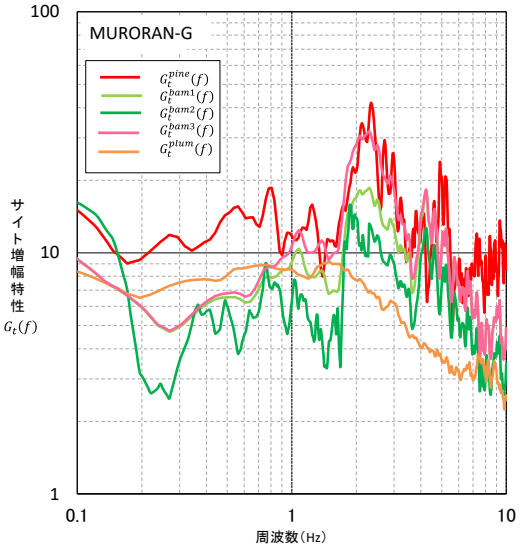


梅

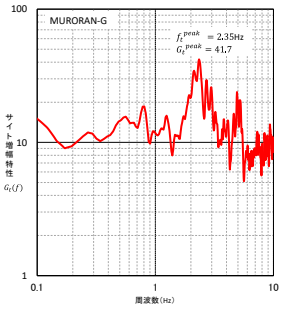


サイト増幅特性

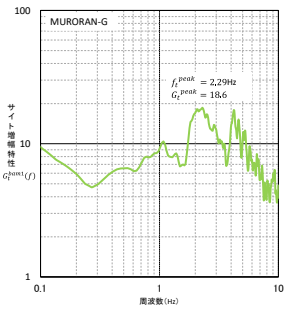
各評価手法によるサイト増幅特性



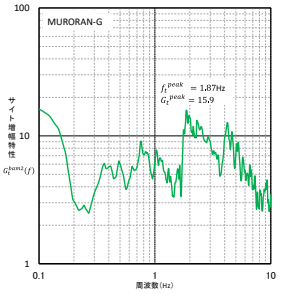
松



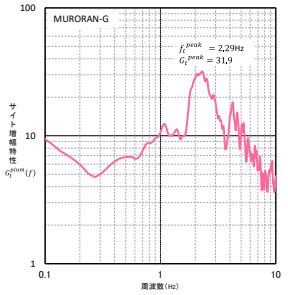
竹 ver1



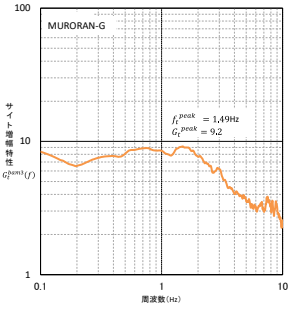
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

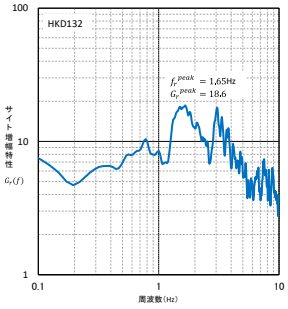


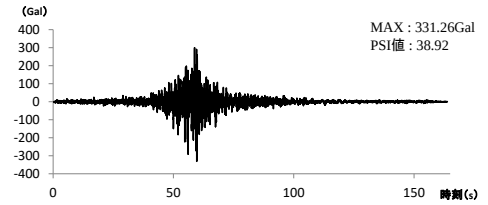
表 A-12　TOKACHI-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	TOKACHI-G	42.291N 143.320E	0.85km
参照地点	HKD100	42.2864N 143.3120E	

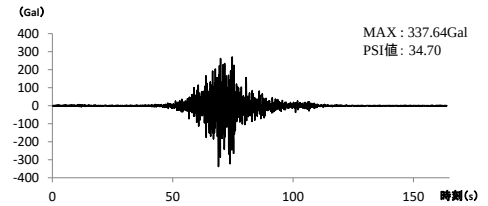
評価地点位置図

レベル 1 地震動

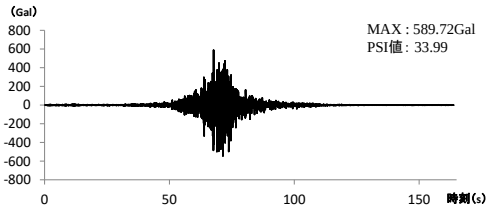
松



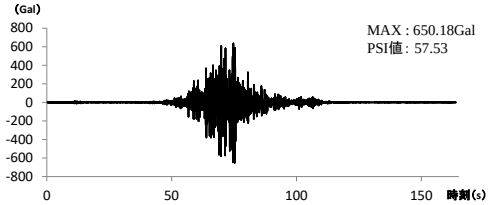
竹 ver1



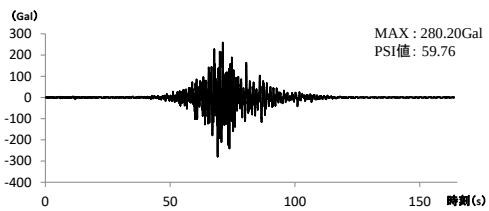
竹 ver2



竹 ver3

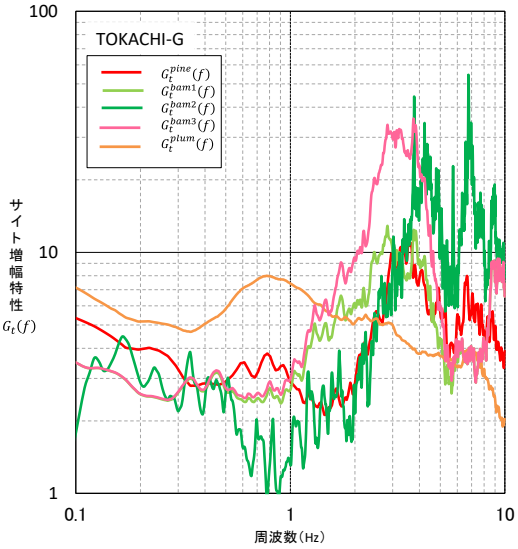


梅

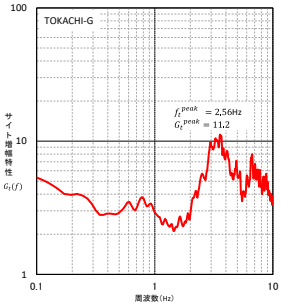


サイト増幅特性

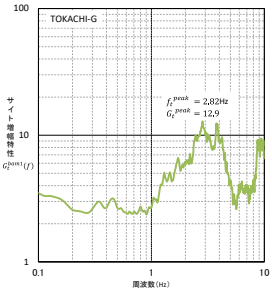
各評価手法によるサイト増幅特性



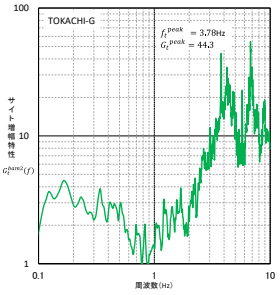
松



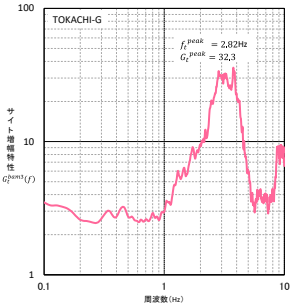
竹 ver1



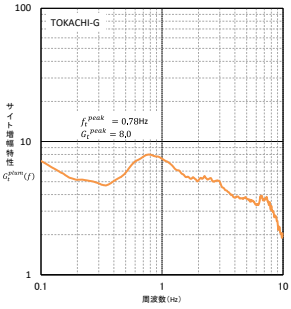
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

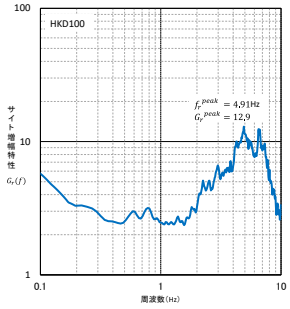
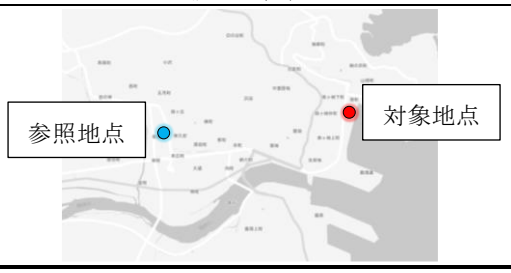


表 A-13　MIYAKO-G

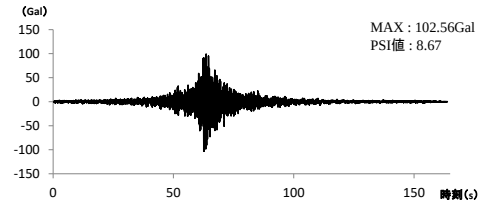
地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	MIYAKO-G	39.647N 141.970E	2.0km
参照地点	IWT005	39.6472N 141.9464E	

評価地点位置図

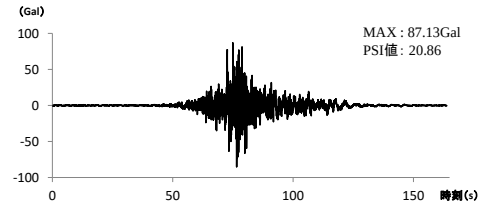


レベル 1 地震動

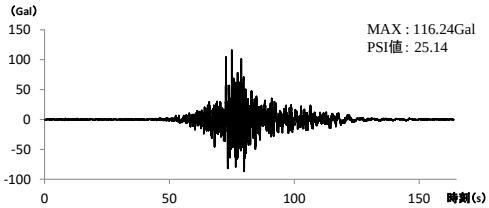
松



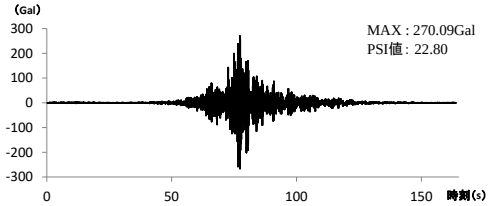
竹 ver1



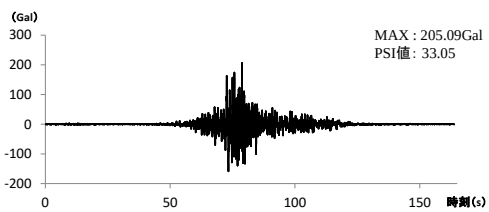
竹 ver2



竹 ver3

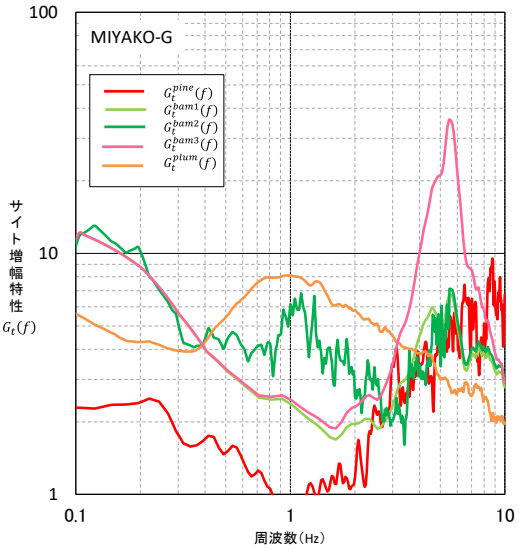


梅

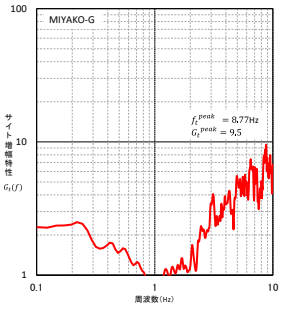


サイト増幅特性

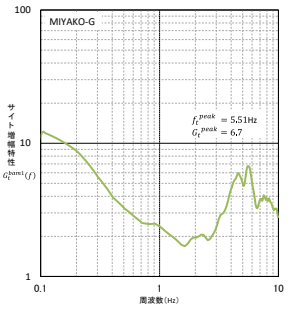
各評価手法によるサイト増幅特性



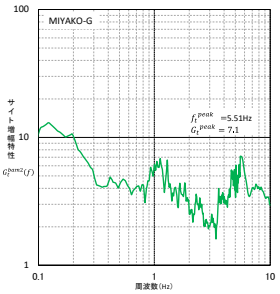
松



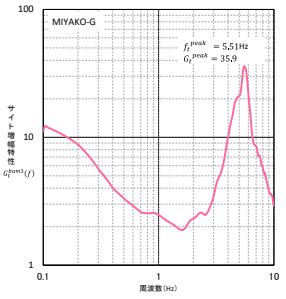
竹 ver1



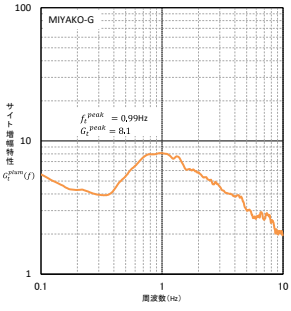
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

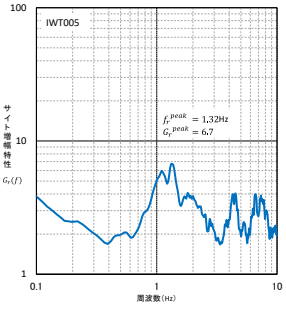


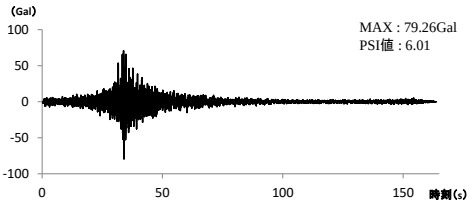
表 A-14　SENDAI-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	SENDAI-G	38.286N 141.012E	7.5km
参照地点	MYG013	38.2663N 140.9293E	

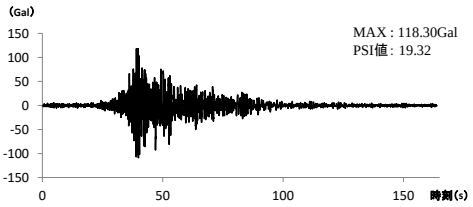
評価地点位置図

レベル 1 地震動

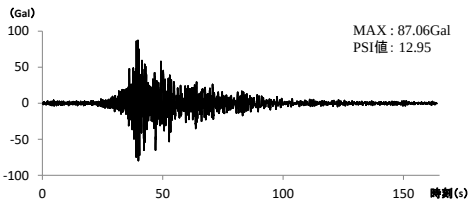
松



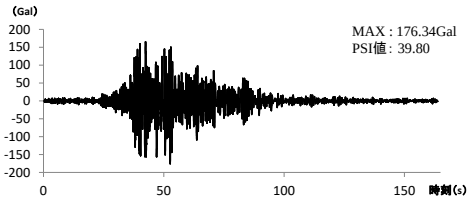
竹 ver1



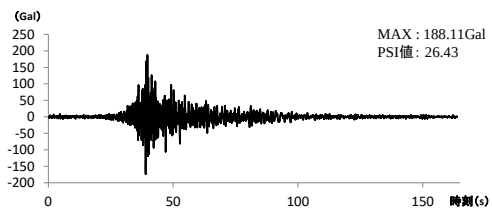
竹 ver2



竹 ver3

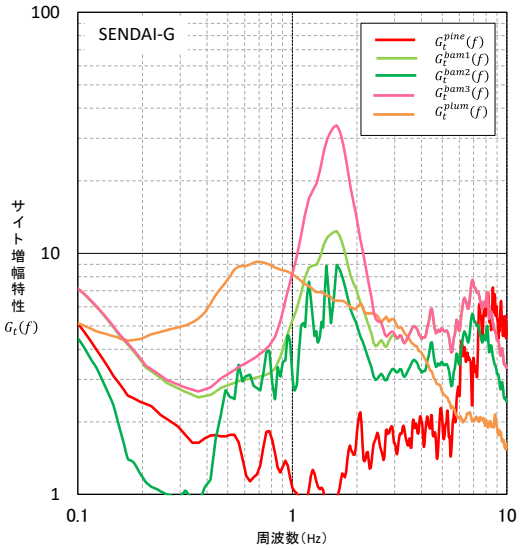


梅

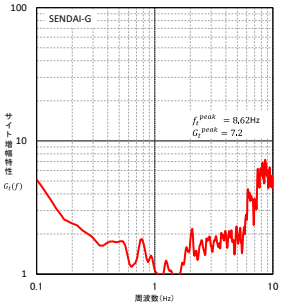


サイト増幅特性

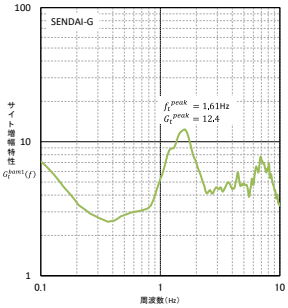
各評価手法によるサイト増幅特性



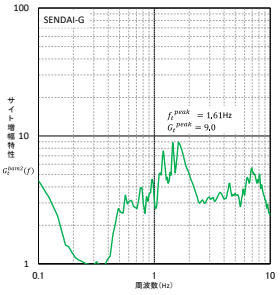
松



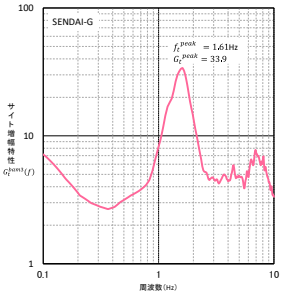
竹 ver1



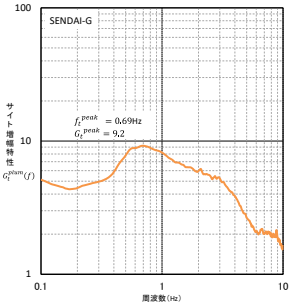
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

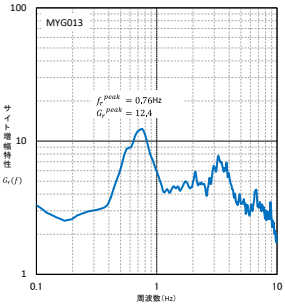


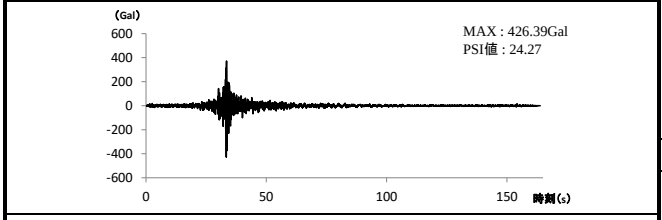
表 A-15　ONAHAMA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	ONAHAMA-G	36.945N 140.912E	11.4km
参照地点	FKS012	36.9069N 140.7929E	

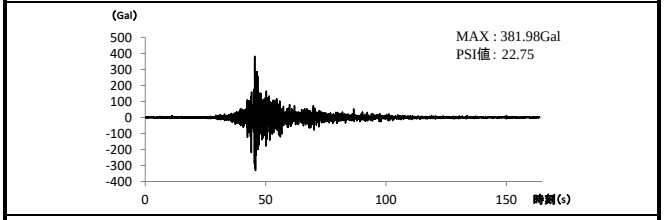
評価地点位置図

レベル 1 地震動

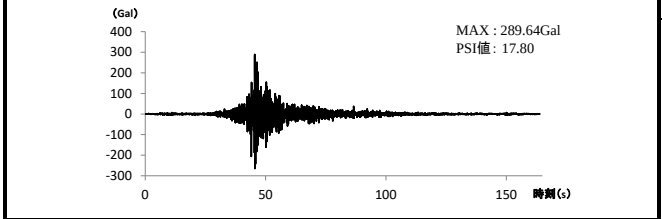
松



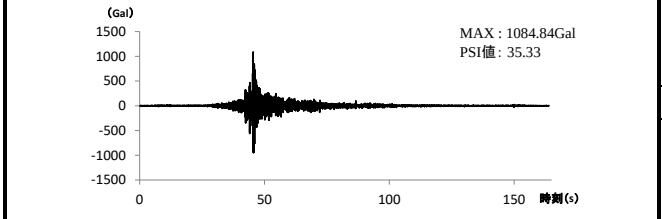
竹 ver1



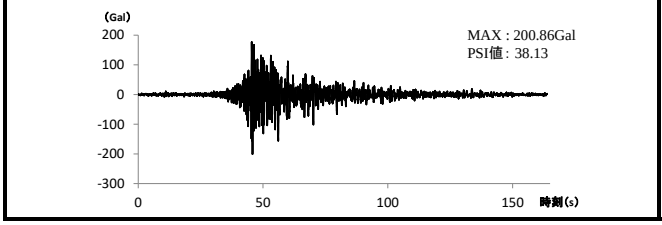
竹 ver2



竹 ver3

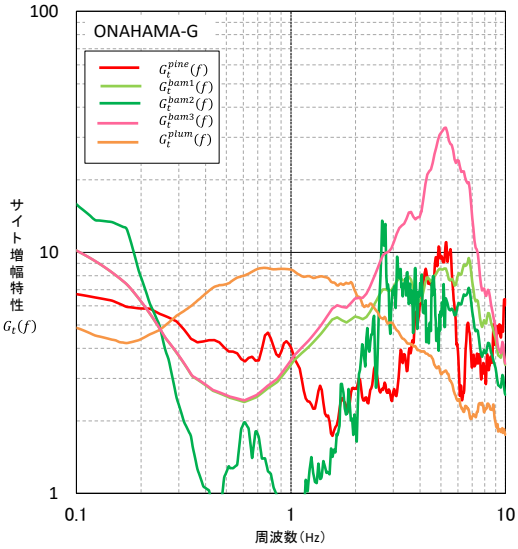


梅

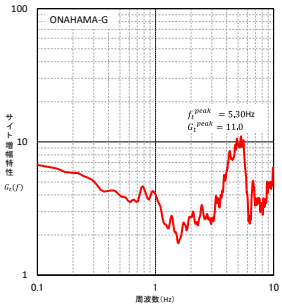


サイト増幅特性

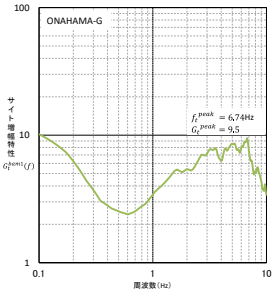
各評価手法によるサイト増幅特性



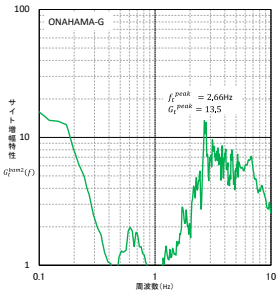
松



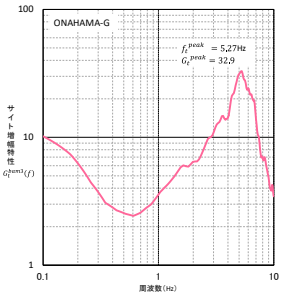
竹 ver1



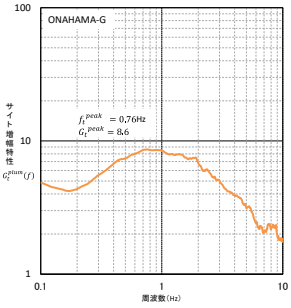
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

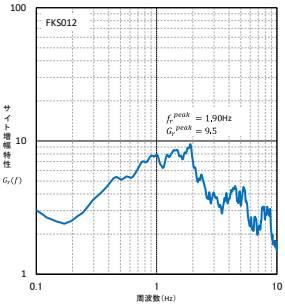


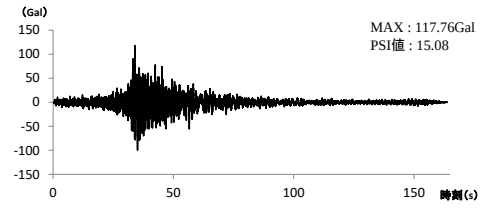
表 A-16　SOMA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	SOMA-G	37,831N 140,960E	5.4km
参照地点	FKS001	37,7949N 140,9196E	

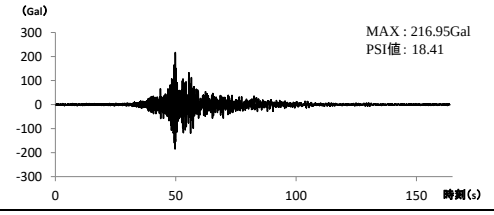
評価地点位置図

レベル 1 地震動

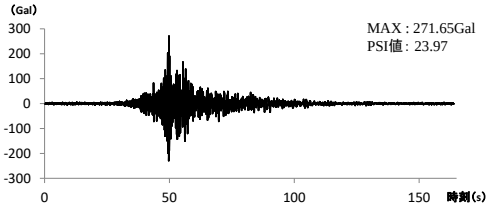
松



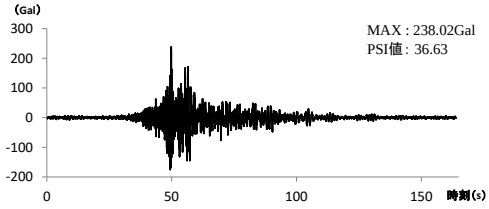
竹 ver1



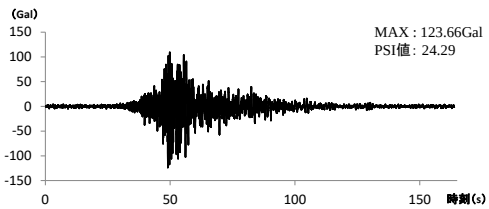
竹 ver2



竹 ver3

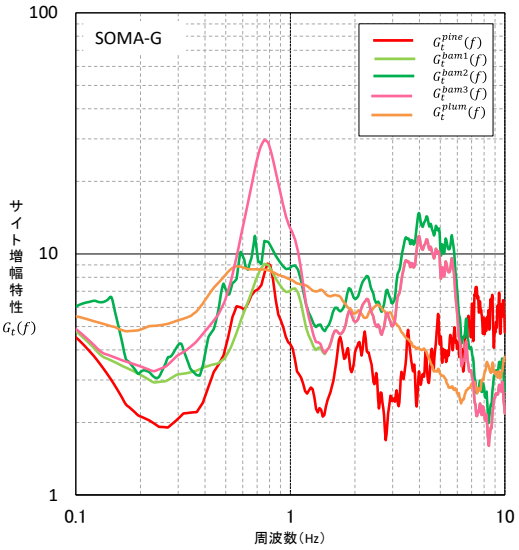


梅

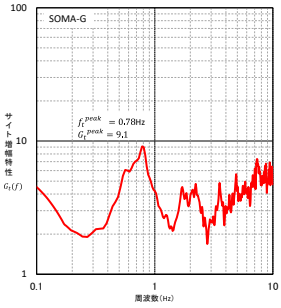


サイト増幅特性

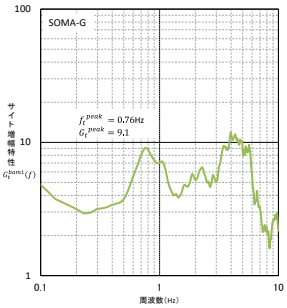
各評価手法によるサイト増幅特性



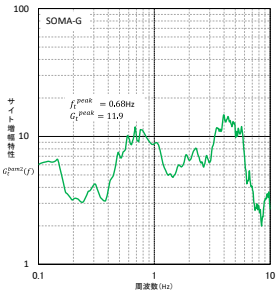
松



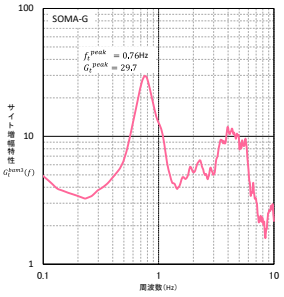
竹 ver1



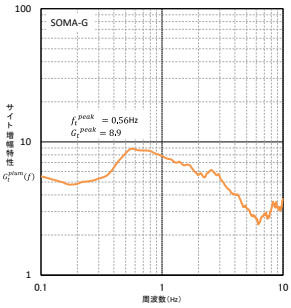
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

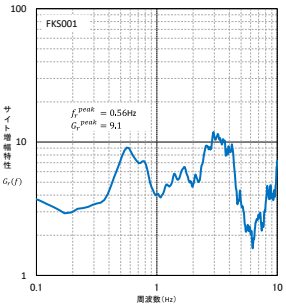


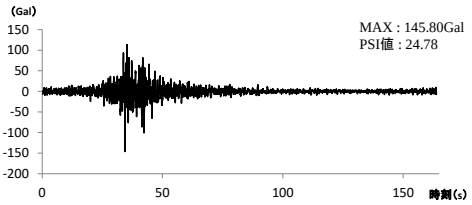
表 A-17　SHINAGAWA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	SHINAGAWA-G	35.626N 139.758E	4.5km
参照地点	TKY016	35.6485N 139.7990E	

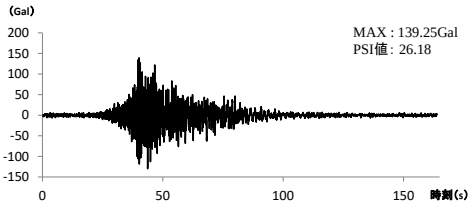
評価地点位置図

レベル 1 地震動

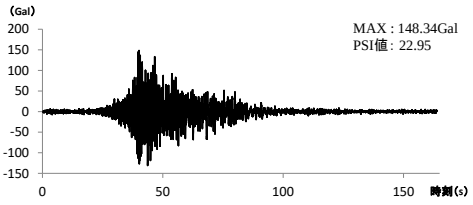
松



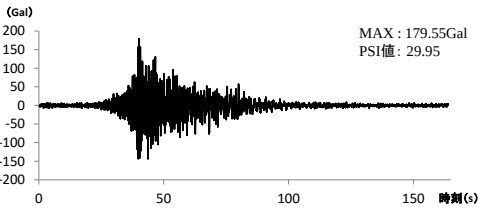
竹 ver1



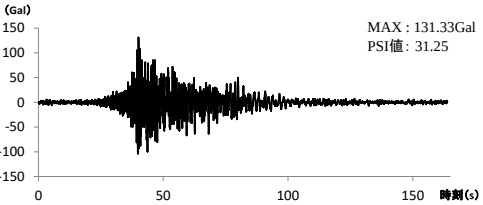
竹 ver2



竹 ver3

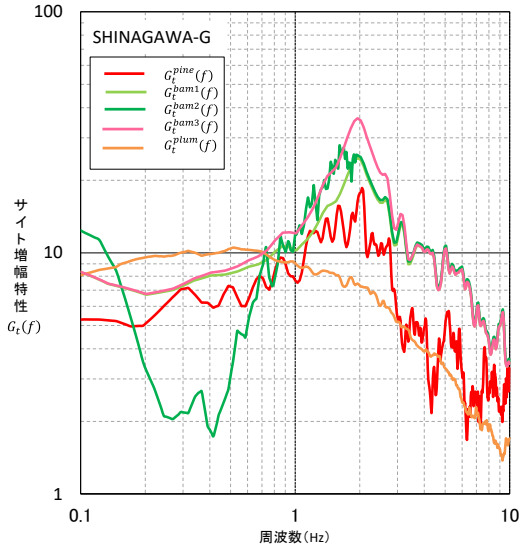


梅

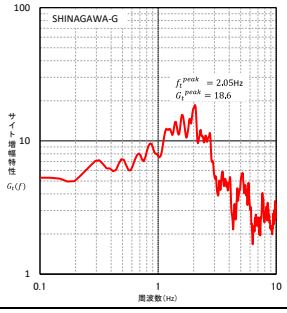


サイト増幅特性

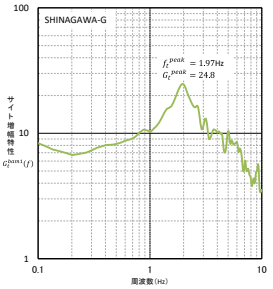
各評価手法によるサイト増幅特性



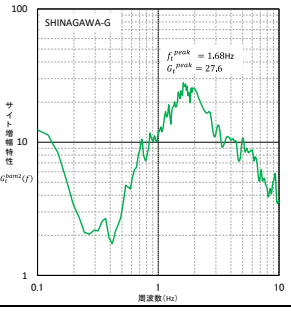
松



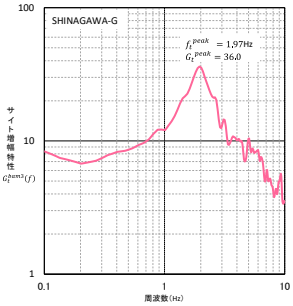
竹 ver1



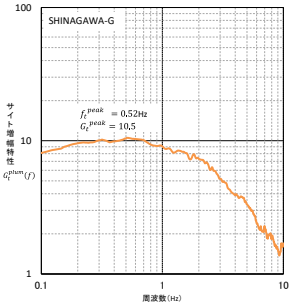
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

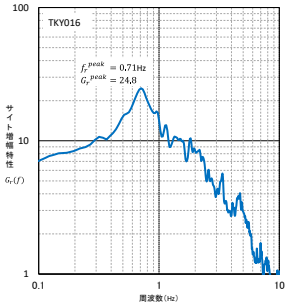


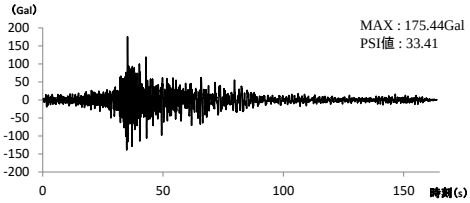
表 A-18　YAMASHITA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	YAMASHITA-G	35.448N 139.663	2.3km
参照地点	KNG002	35.4371N 139.6340E	

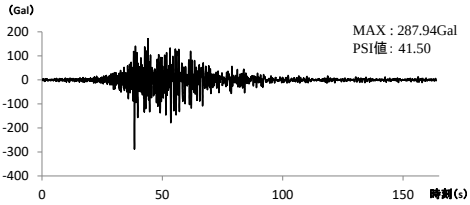
評価地点位置図

レベル 1 地震動

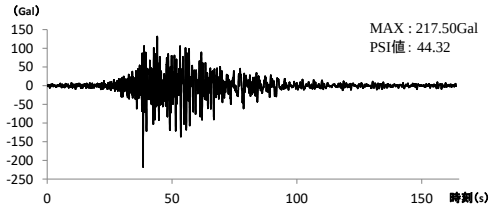
松



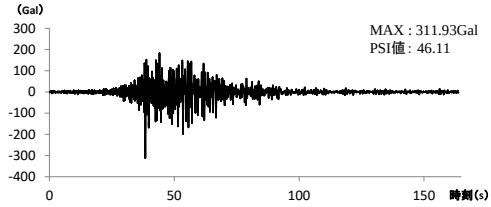
竹 ver1



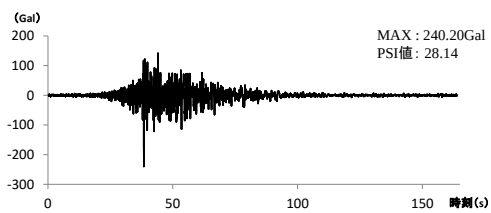
竹 ver2



竹 ver3

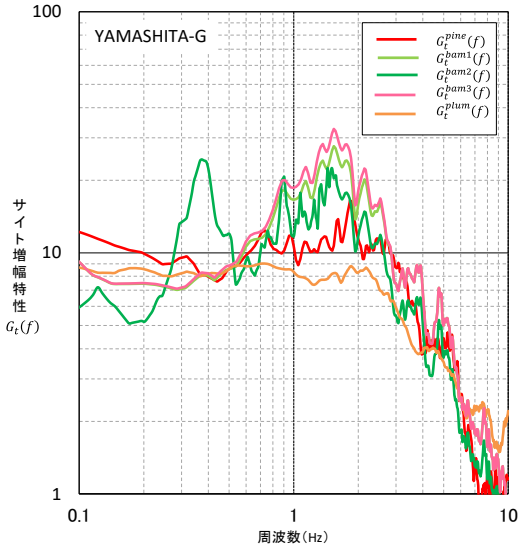


梅

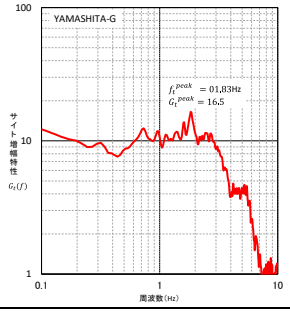


サイト増幅特性

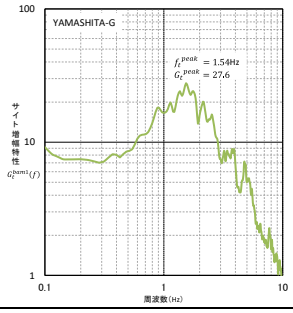
各評価手法によるサイト増幅特性



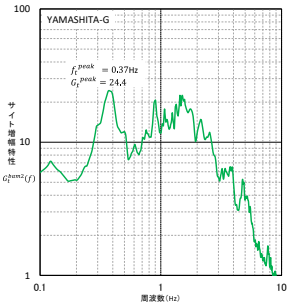
松



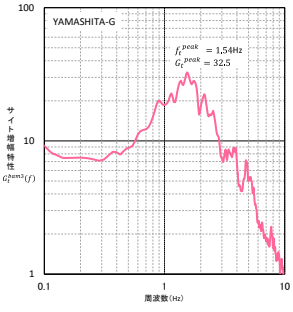
竹 ver1



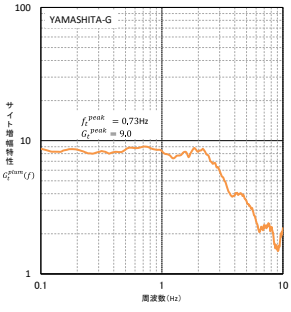
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

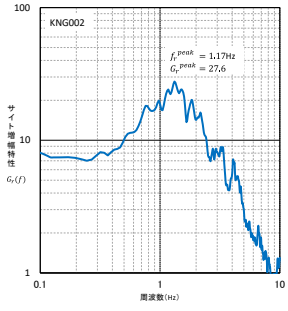


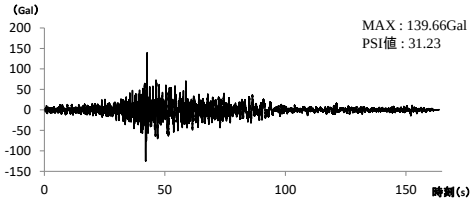
表 A-19　KAWASAKI-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	KAWASAKI-G	35.509N 139.754E	4.8km
参照地点	KNG001	35.5291N 139.7062E	

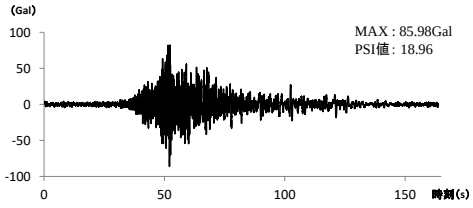
評価地点位置図

レベル 1 地震動

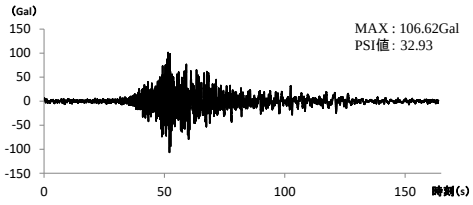
松



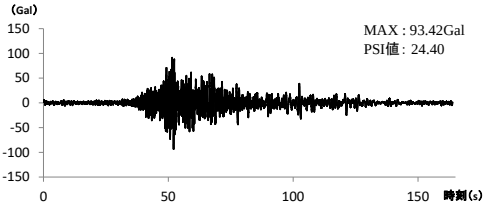
竹 ver1



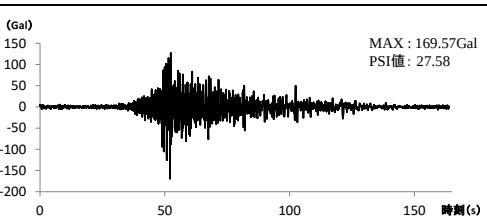
竹 ver2



竹 ver3

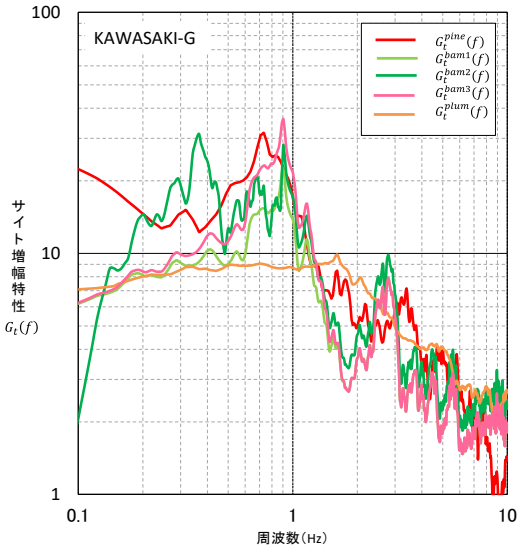


梅

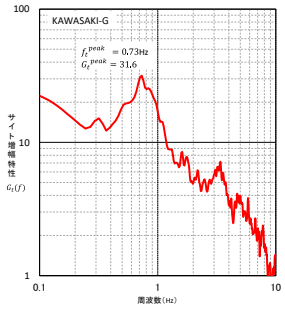


サイト増幅特性

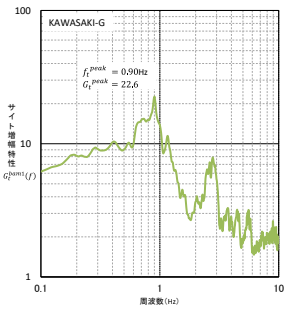
各評価手法によるサイト増幅特性



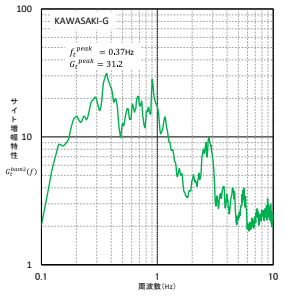
松



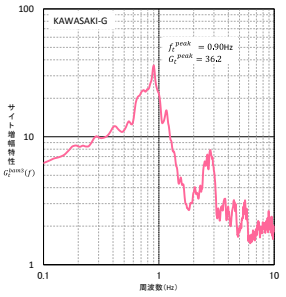
竹 ver1



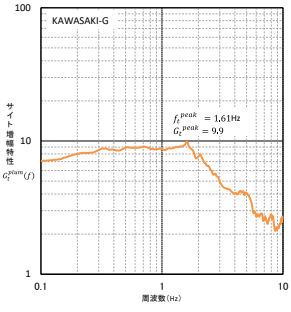
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

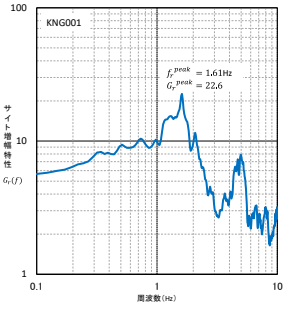
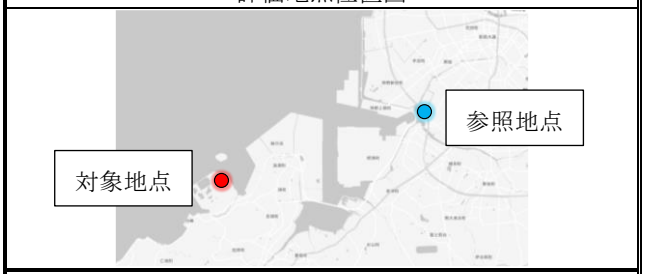


表 A-20　MIKAWA-G

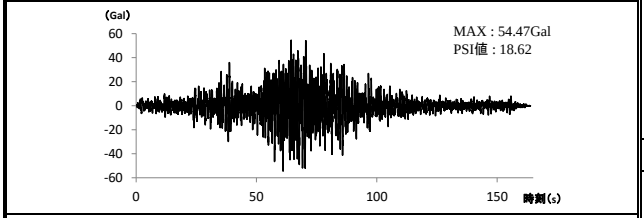
地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	MIKAWA-G	34.731N 137.343E	9.7km
参照地点	AIC017	35.1394N 137.3353E	

評価地点位置図

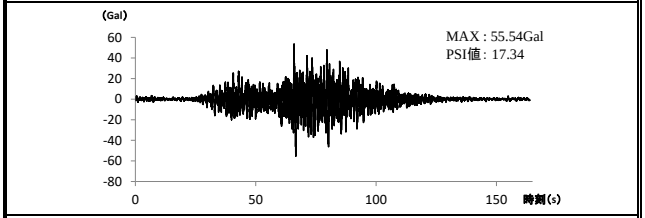


レベル 1 地震動

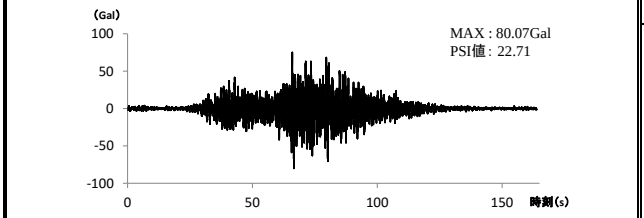
松



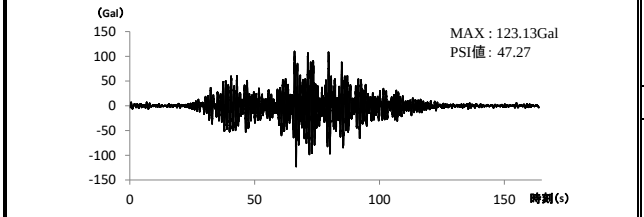
竹 ver1



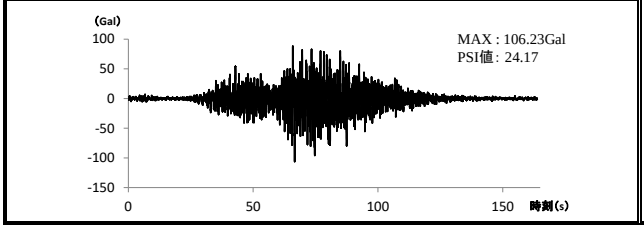
竹 ver2



竹 ver3

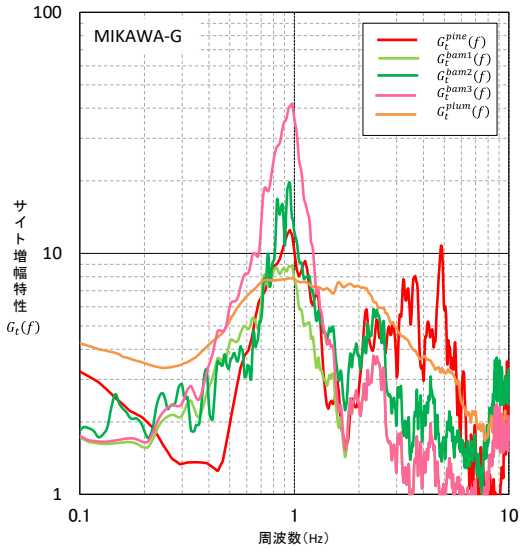


梅

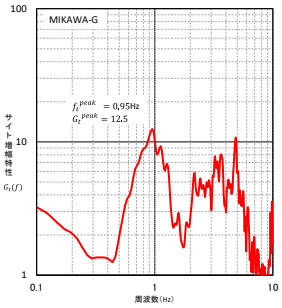


サイト増幅特性

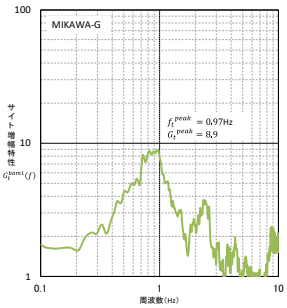
各評価手法によるサイト増幅特性



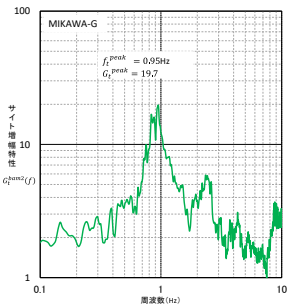
松



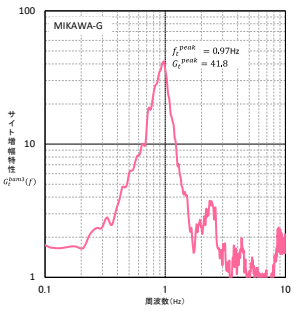
竹 ver1



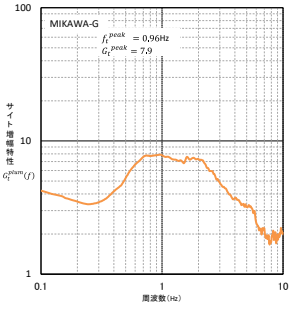
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

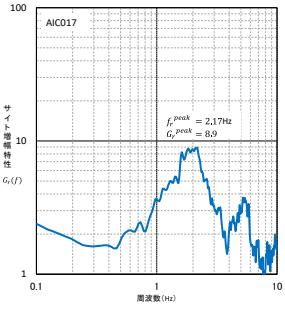


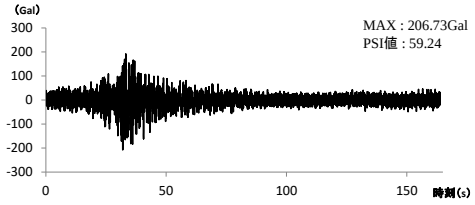
表 A-21　NAGOYA-SORAMI-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	NAGOYA-SORAMI-G	35.059N 136.848E	7.1km
参照地点	AIC011	34.9965N 136.863E	

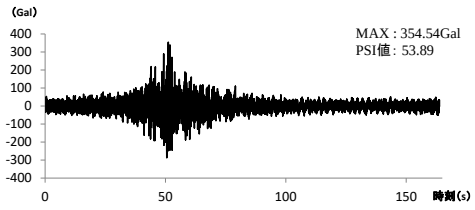
評価地点位置図

レベル 1 地震動

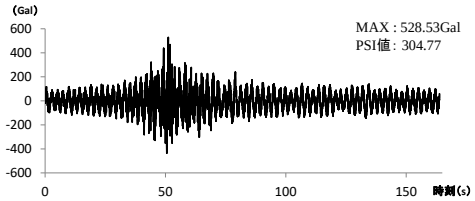
松



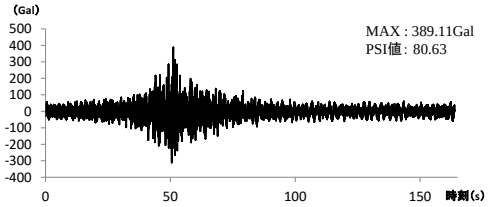
竹 ver1



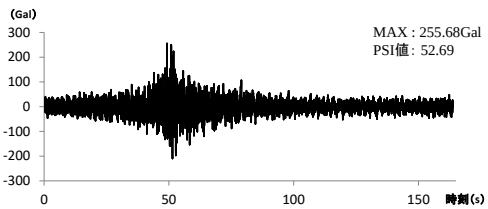
竹 ver2



竹 ver3

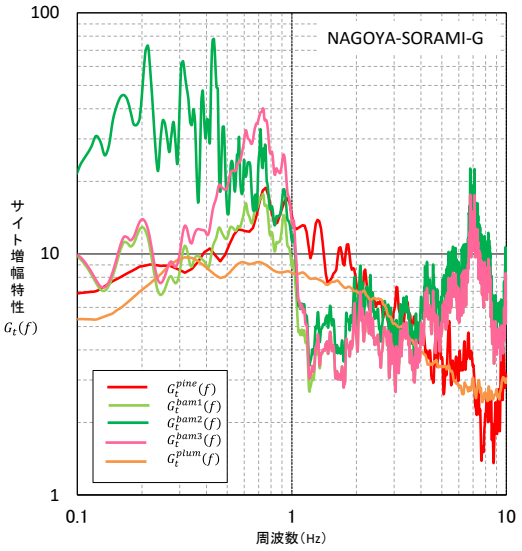


梅

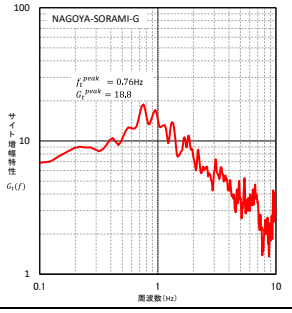


サイト増幅特性

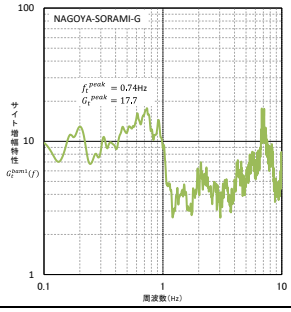
各評価手法によるサイト増幅特性



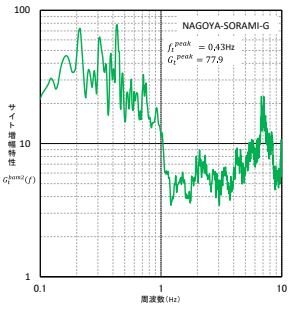
松



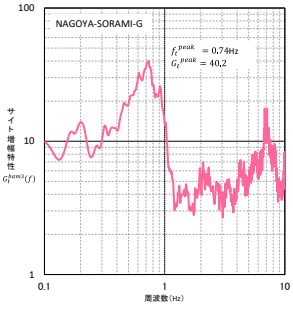
竹 ver1



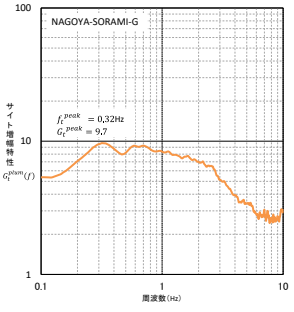
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

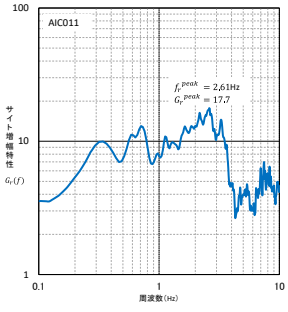


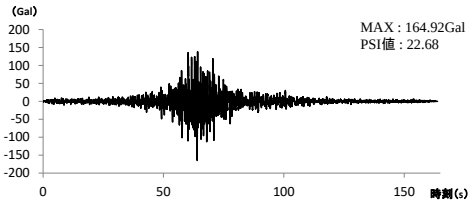
表 A-22　OMAEZAKI-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	OMAEZAKI-G	34.610N 138.216E	8.7km
参照地点	SZO017	34.6374N 138.1281E	

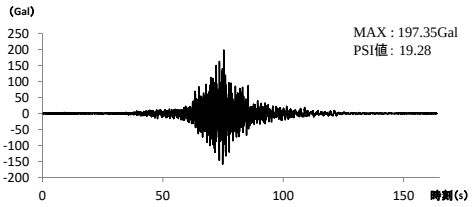
評価地点位置図

レベル 1 地震動

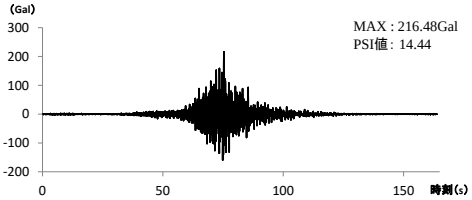
松



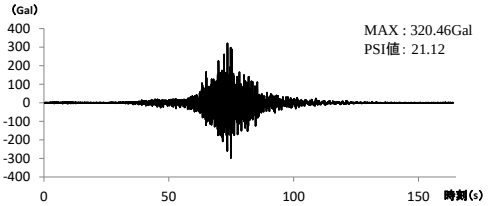
竹 ver1



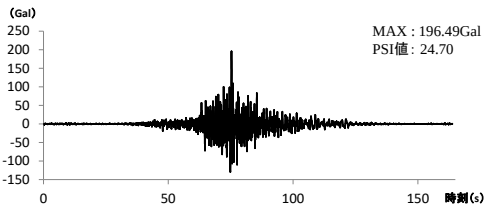
竹 ver2



竹 ver3

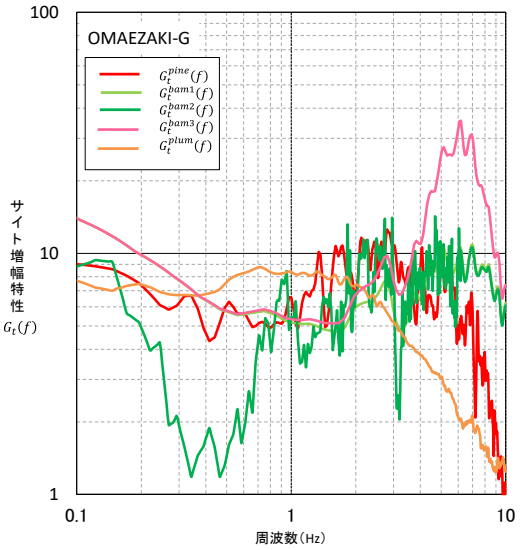


梅

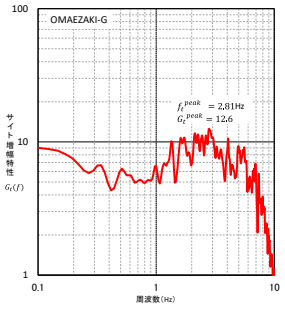


サイト増幅特性

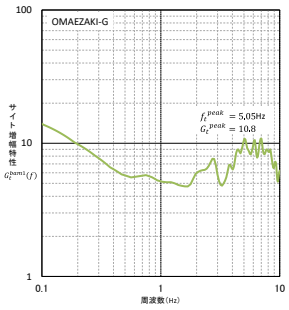
各評価手法によるサイト増幅特性



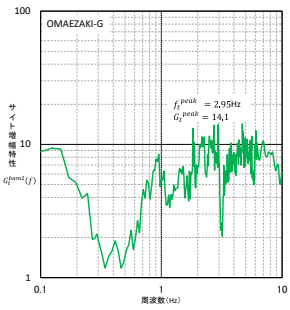
松



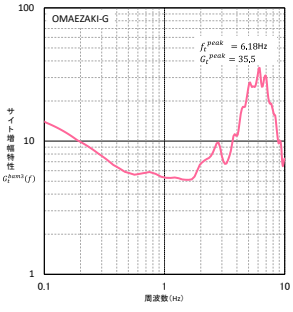
竹 ver1



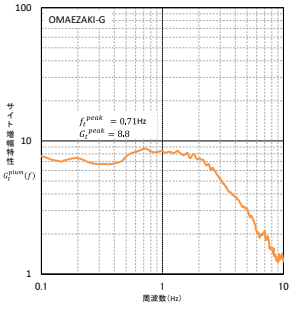
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

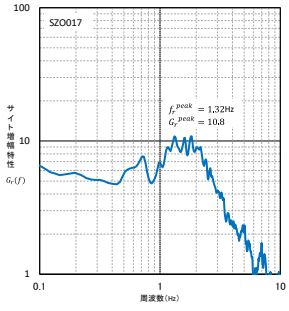


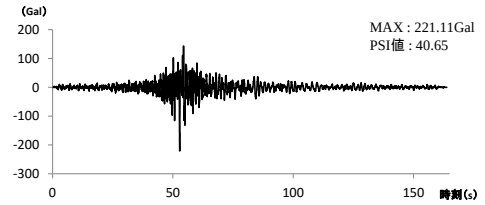
表 A-23　SHIMIZU-HINODE-U

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	SHIMIZU-HINODE-U	35.007N 138.496E	4.2km
参照地点	SZO013	35.0410N 138.4760E	

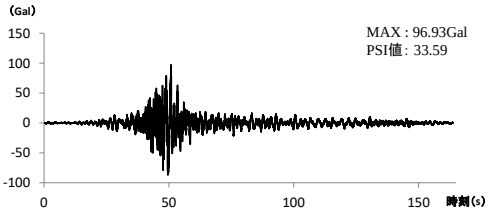
評価地点位置図

レベル 1 地震動

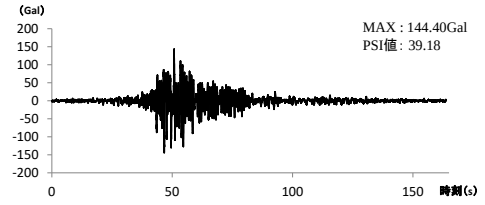
松



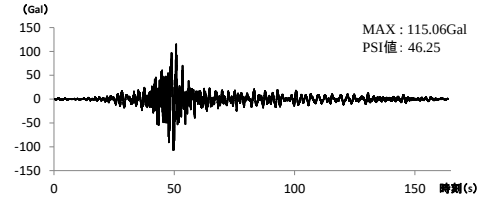
竹 ver1



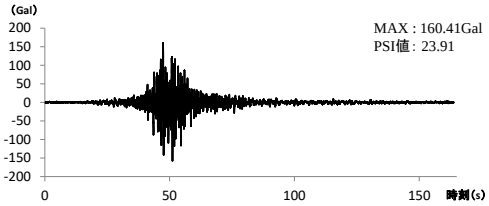
竹 ver2



竹 ver3

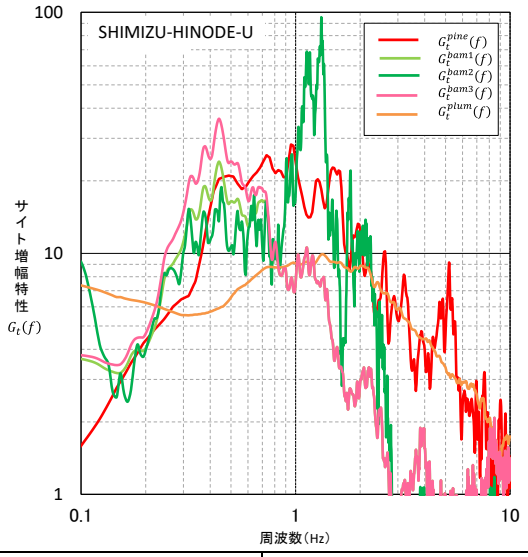


梅

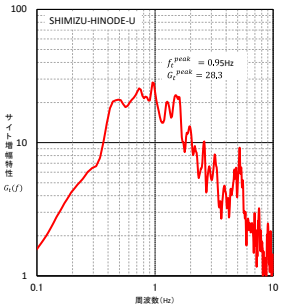


サイト増幅特性

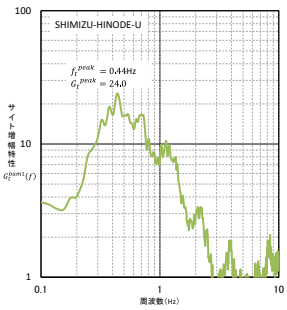
各評価手法によるサイト増幅特性



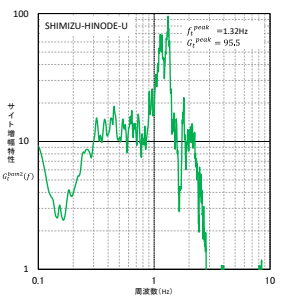
松



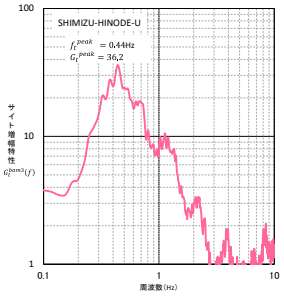
竹 ver1



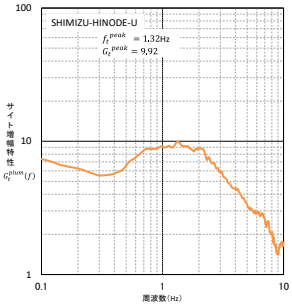
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

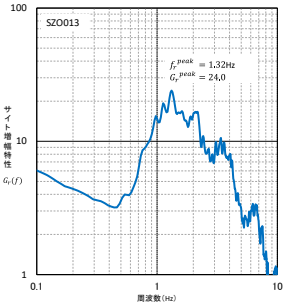


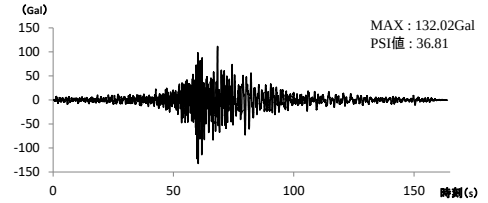
表 A-24　SHIMIZU-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	SHIMIZU-G	35.012N 138.518E	5.0km
参照地点	SZO013	35.0410N 138.4760E	

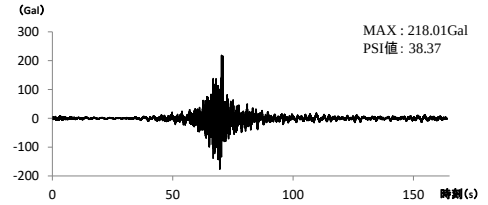
評価地点位置図

レベル 1 地震動

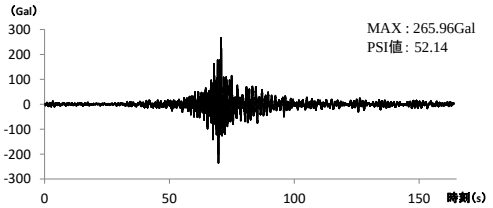
松



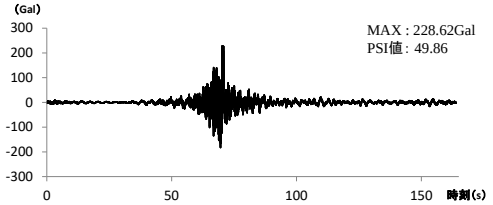
竹 ver1



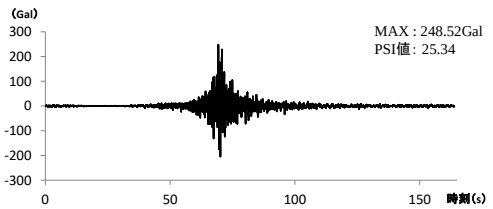
竹 ver2



竹 ver3

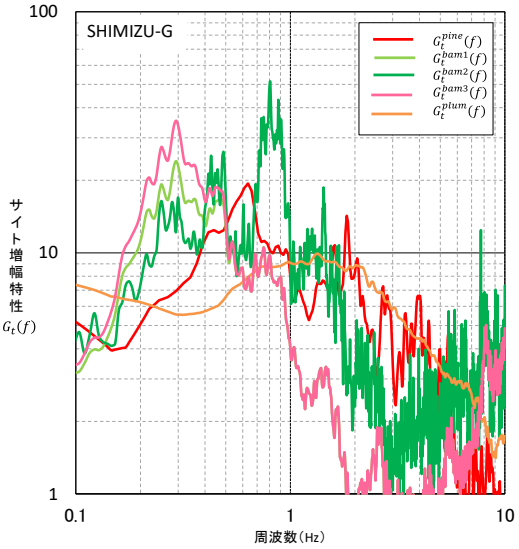


梅

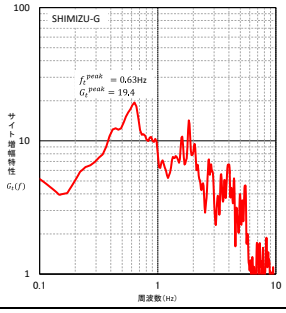


サイト増幅特性

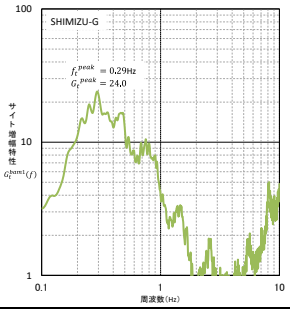
各評価手法によるサイト増幅特性



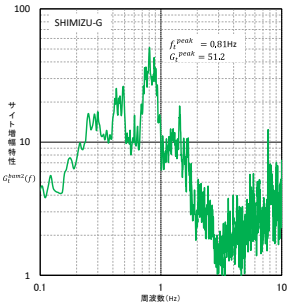
松



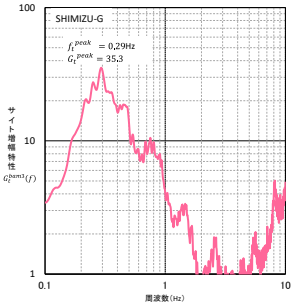
竹 ver1



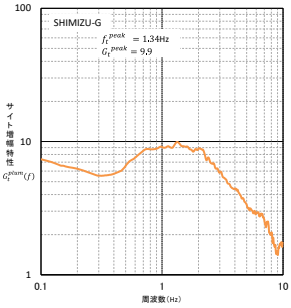
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

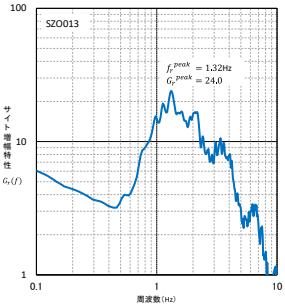


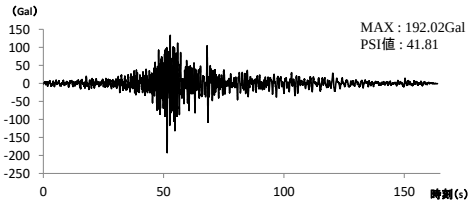
表 A-25　TAGANOURA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	TAGANOURA-G	35.142N 138.696E	7.0km
参照地点	SZO012	35.1271N 138.6213E	

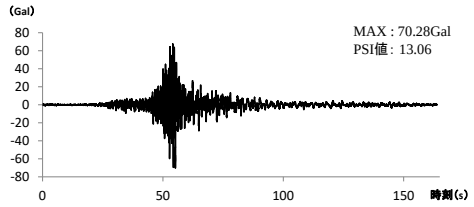
評価地点位置図

レベル 1 地震動

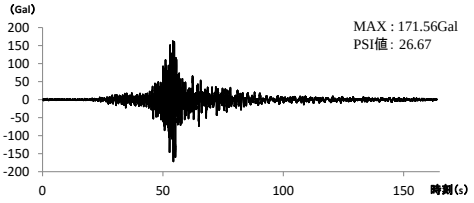
松



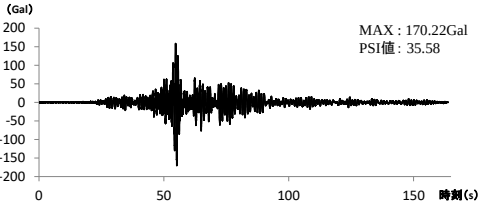
竹 ver1



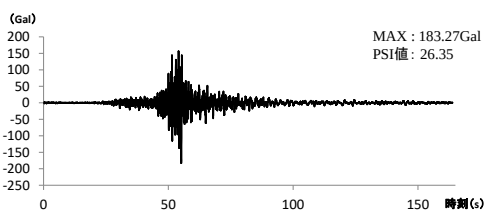
竹 ver2



竹 ver3

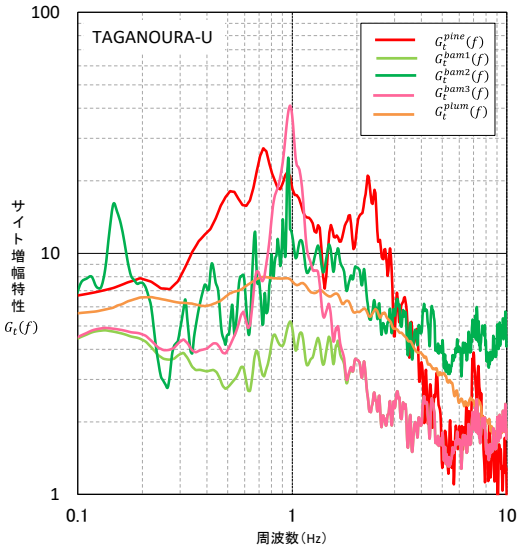


梅

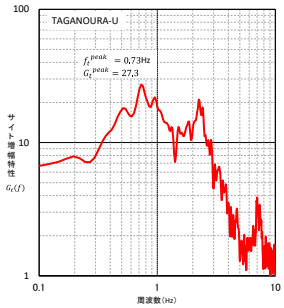


サイト増幅特性

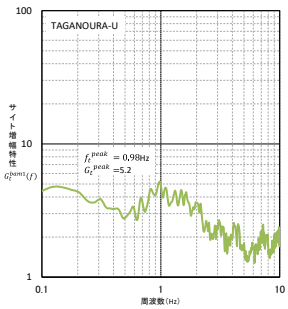
各評価手法によるサイト増幅特性



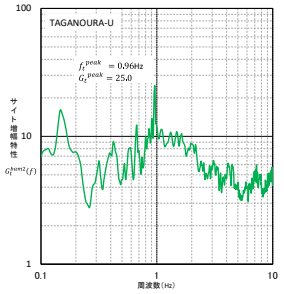
松



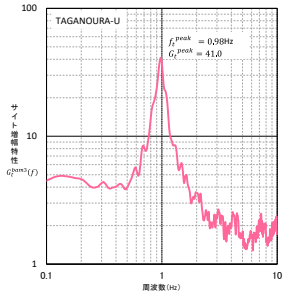
竹 ver1



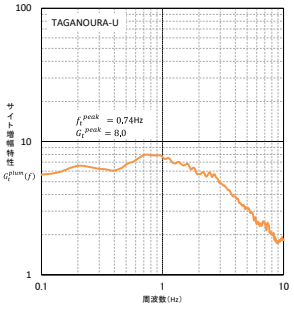
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

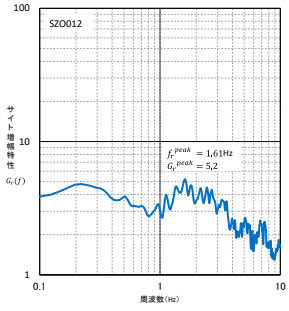


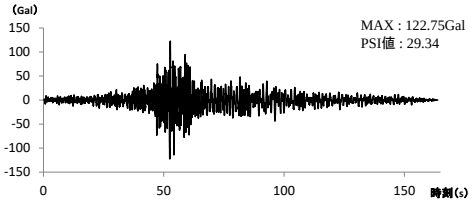
表 A-26　SHIN-OKITSU-U

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	SHIN-OKITSU-U	35.039N 138.517E	3.7km
参照地点	SZO013	35.0410N 138.4760E	

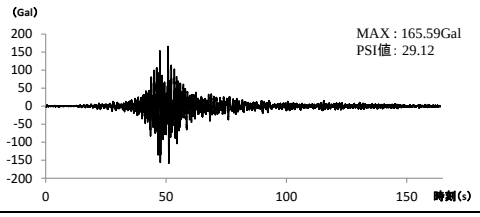
評価地点位置図

レベル 1 地震動

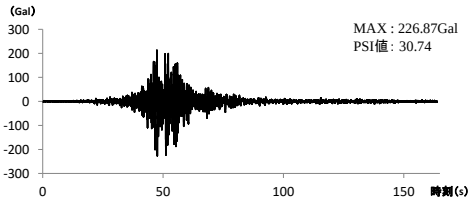
松



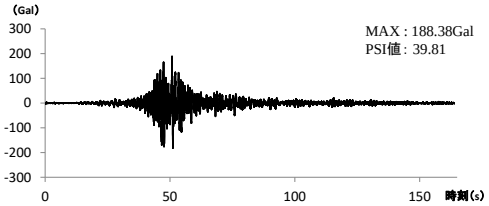
竹 ver1



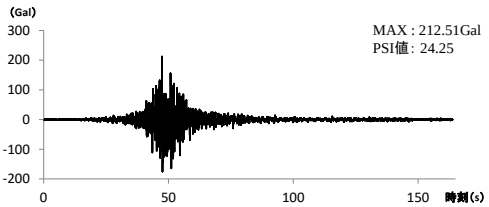
竹 ver2



竹 ver3

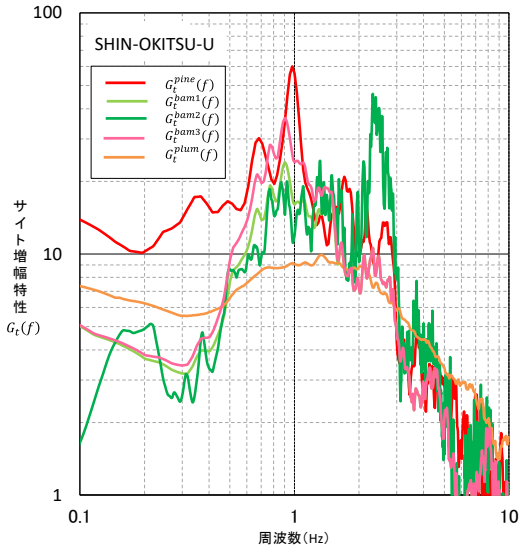


梅

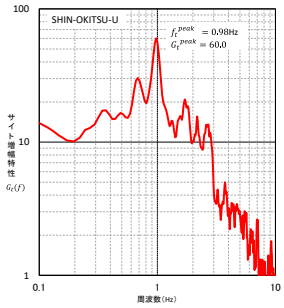


サイト増幅特性

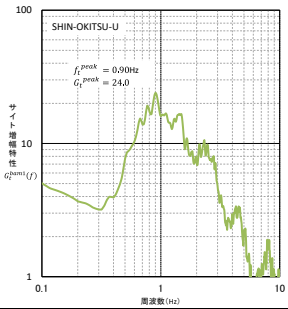
各評価手法によるサイト増幅特性



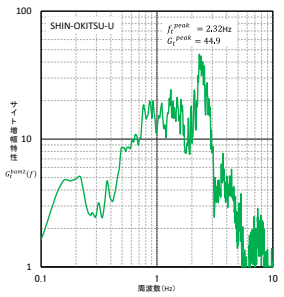
松



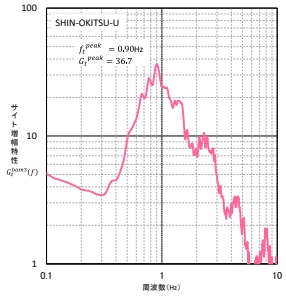
竹 ver1



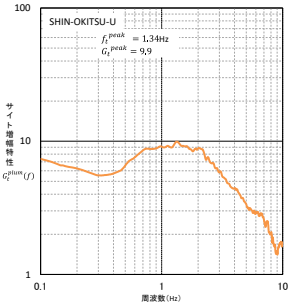
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

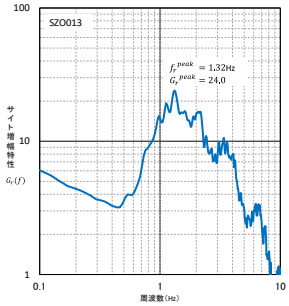


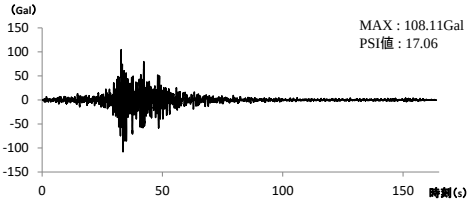
表 A-27　TSURUGA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	TSURUGA-G	35.657N 136.062E	1.4km
参照地点	FKI007	35.6447N 136.0575E	

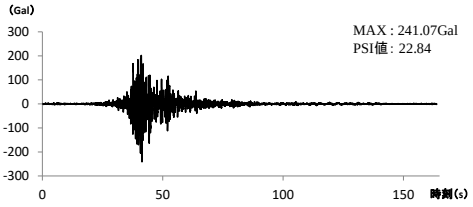
評価地点位置図

レベル 1 地震動

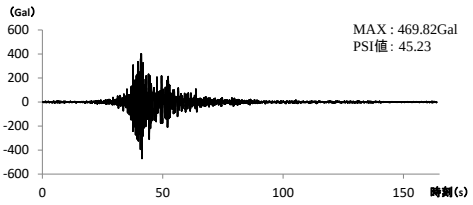
松



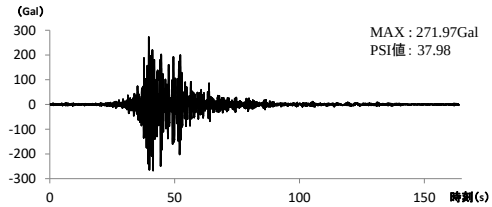
竹 ver1



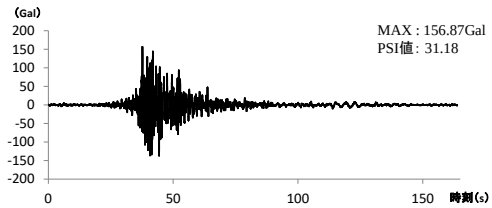
竹 ver2



竹 ver3

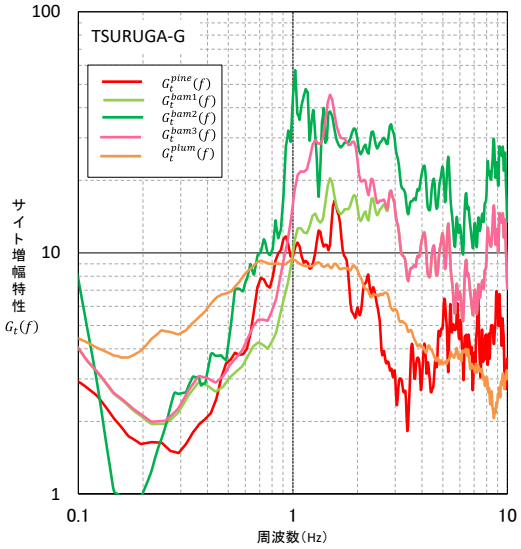


梅

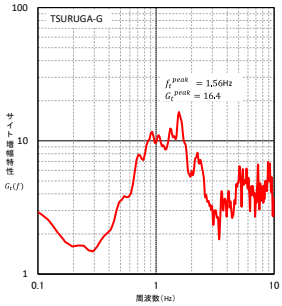


サイト増幅特性

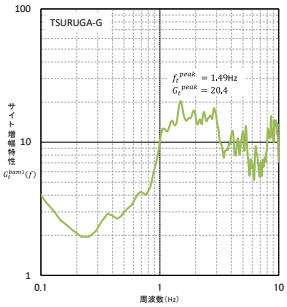
各評価手法によるサイト増幅特性



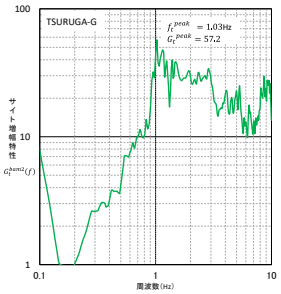
松



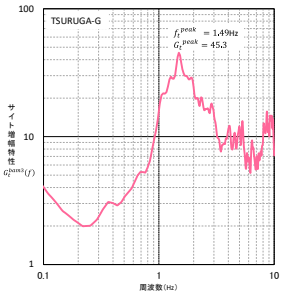
竹 ver1



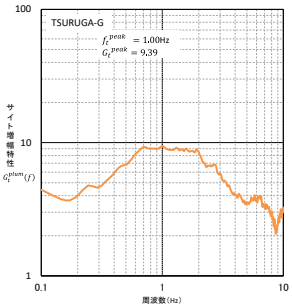
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

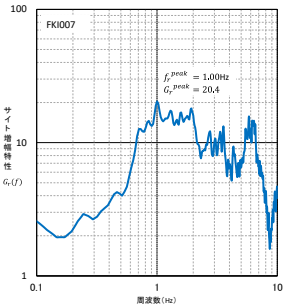


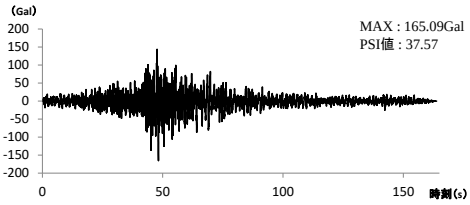
表 A-28　WAKAYAMA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	WAKAYAMA-G	34,217N 135,145E	2.6km
参照地点	WKY001	34,2288N 135,1694E	

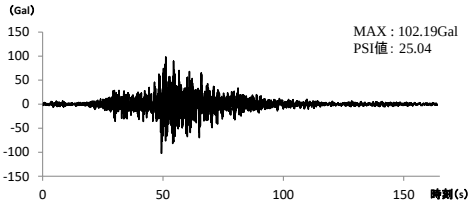
評価地点位置図

レベル 1 地震動

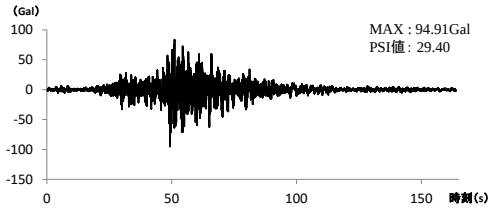
松



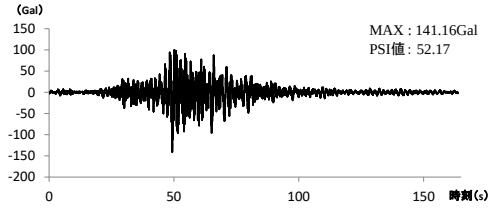
竹 ver1



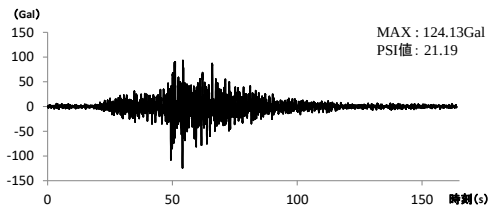
竹 ver2



竹 ver3

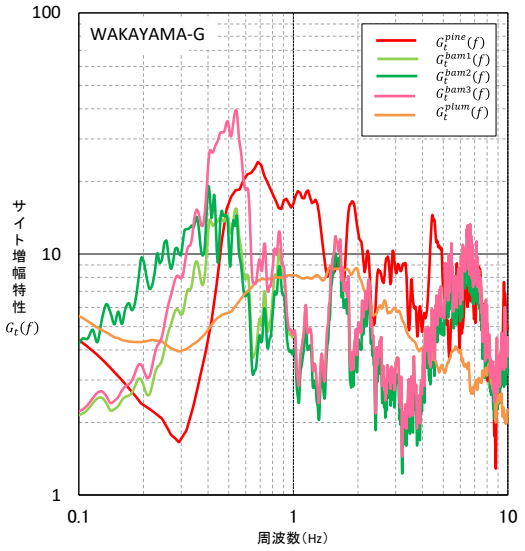


梅

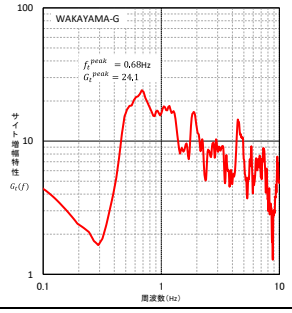


サイト増幅特性

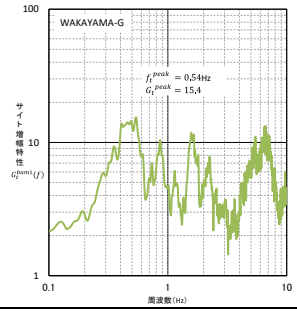
各評価手法によるサイト増幅特性



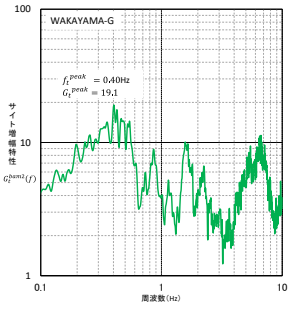
松



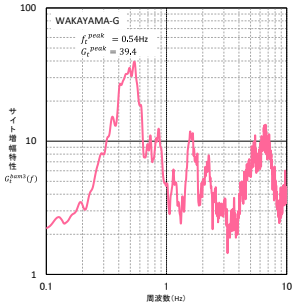
竹 ver1



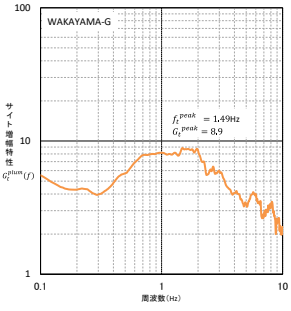
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

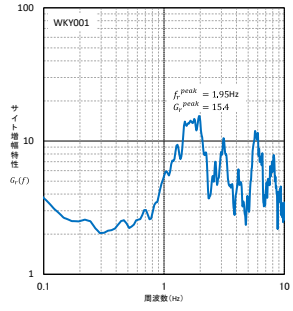


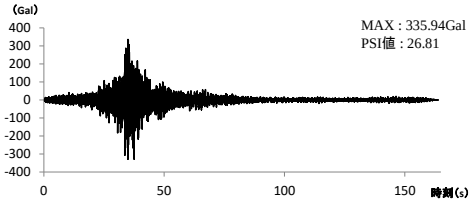
表 A-29　HIROSHIMA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	HIROSHIMA-G	34.354N 132.467E	3.0km
参照地点	HRS013	34.3768N 132.4505E	

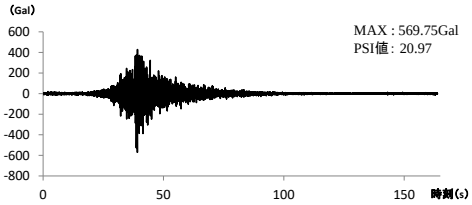
評価地点位置図

レベル 1 地震動

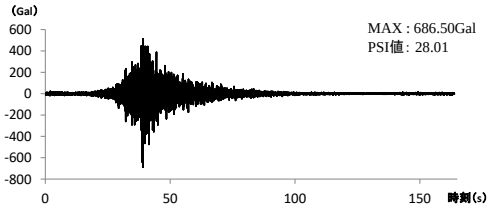
松



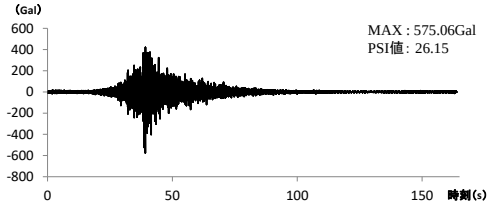
竹 ver1



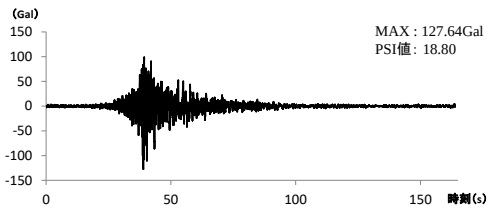
竹 ver2



竹 ver3

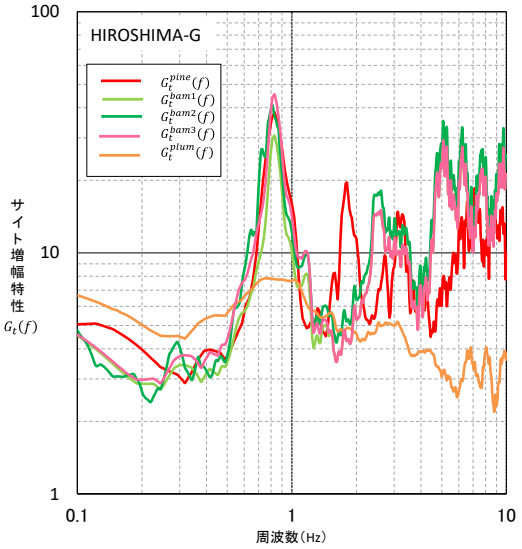


梅

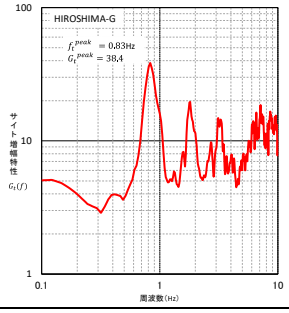


サイト増幅特性

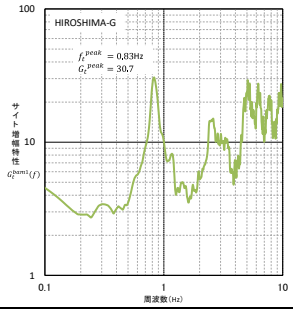
各評価手法によるサイト増幅特性



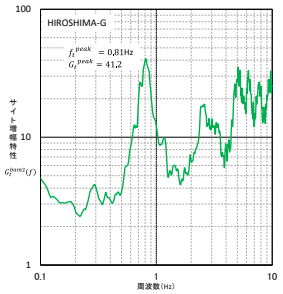
松



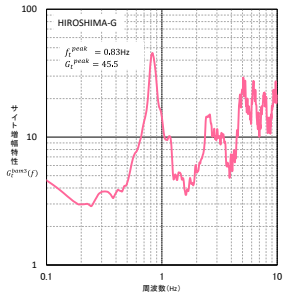
竹 ver1



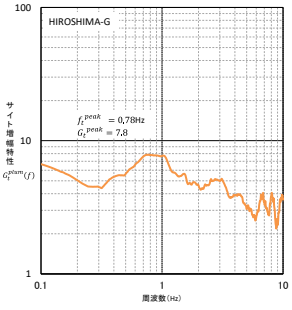
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

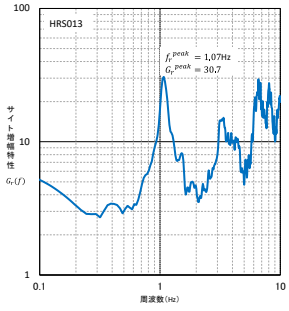


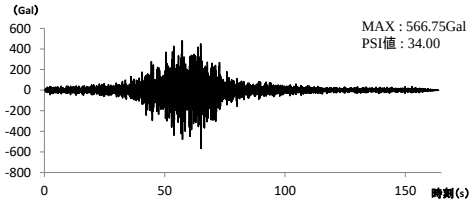
表 A-30　KOMATSUJIMA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	KOMATSUJIMA-G	34.017N 134.587E	3.0km
参照地点	TKS002	34.0438N 134.5820E	

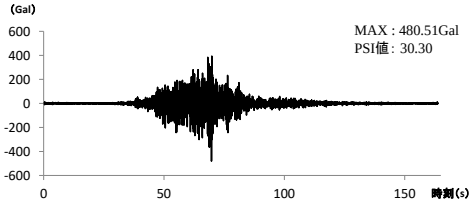
評価地点位置図

レベル 1 地震動

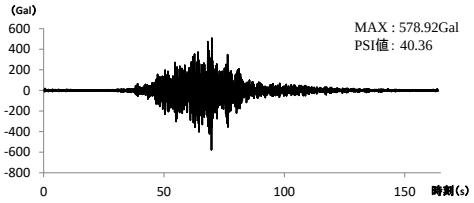
松



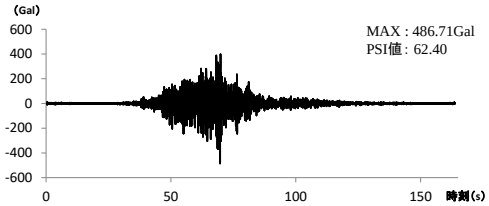
竹 ver1



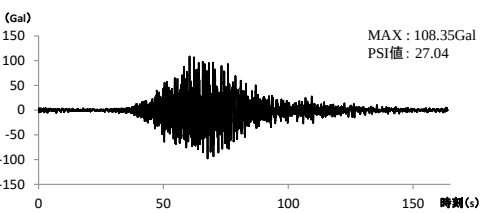
竹 ver2



竹 ver3

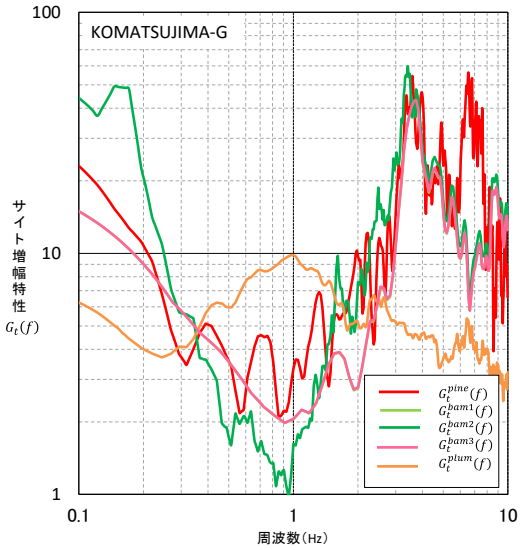


梅

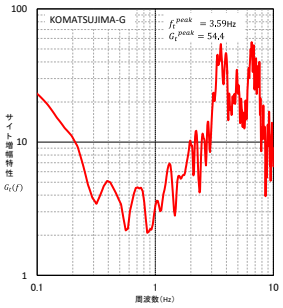


サイト増幅特性

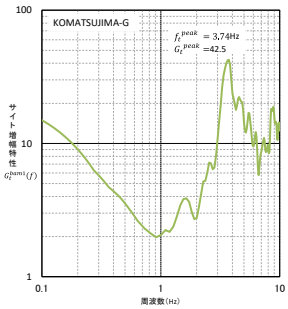
各評価手法によるサイト増幅特性



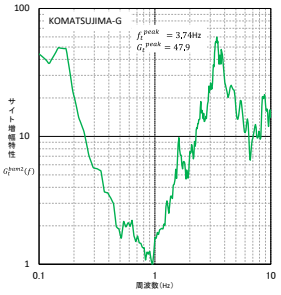
松



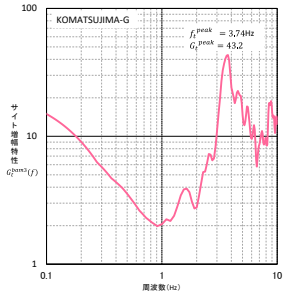
竹 ver1



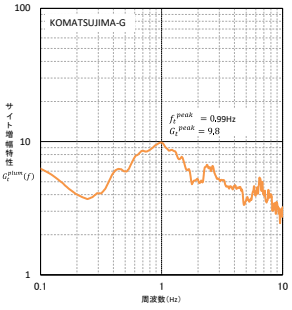
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

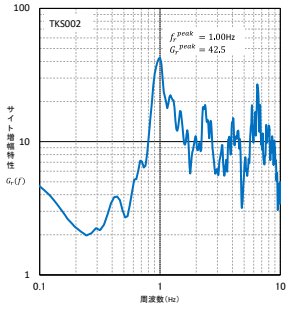


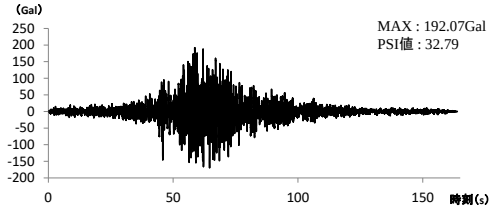
表 A-31　KOCHI-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	KOCHI-G	33,508N 133,567E	7.0km
参照地点	KOC007	33,5611N 133,5271E	

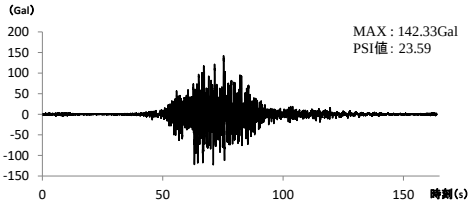
評価地点位置図

レベル 1 地震動

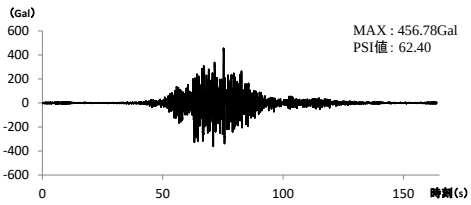
松



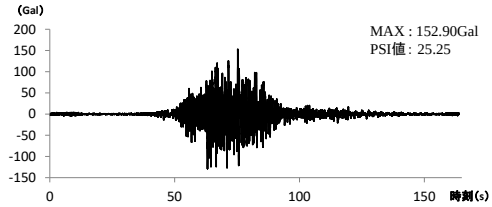
竹 ver1



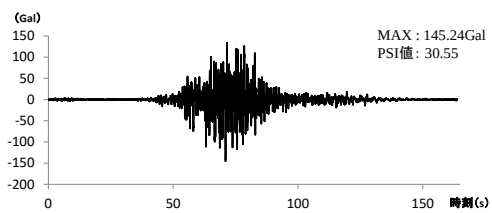
竹 ver2



竹 ver3

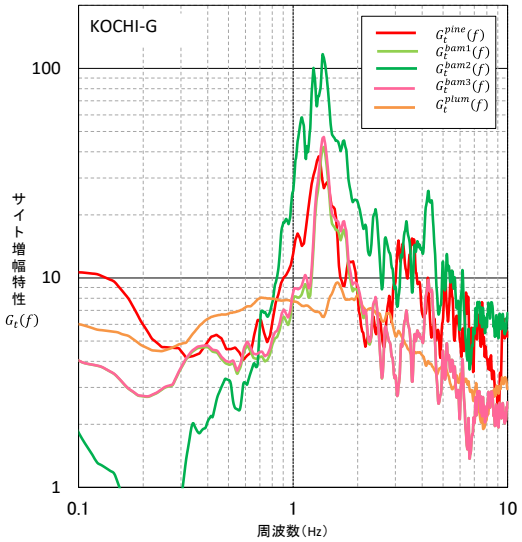


梅

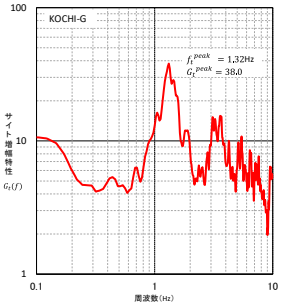


サイト増幅特性

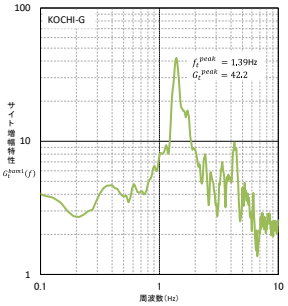
各評価手法によるサイト増幅特性



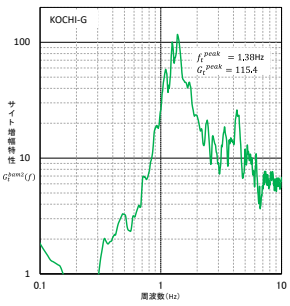
松



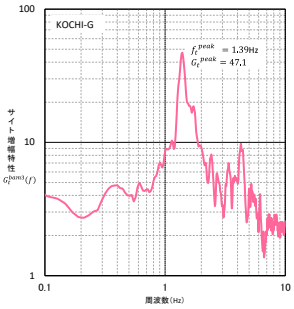
竹 ver1



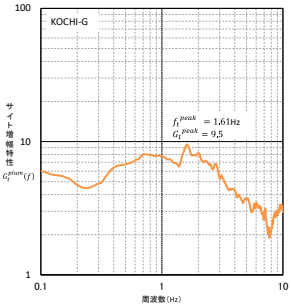
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

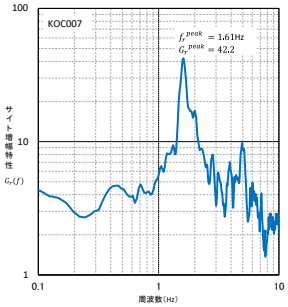


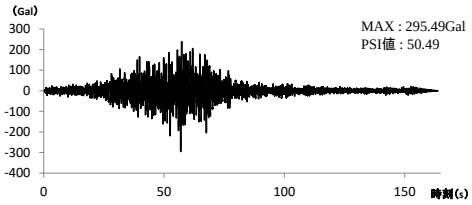
表 A-32　MATSUYAMA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	MATSUYAMA-G	33,858N 132,712E	4.5km
参照地点	EHM008	33,8198N 132,7282E	

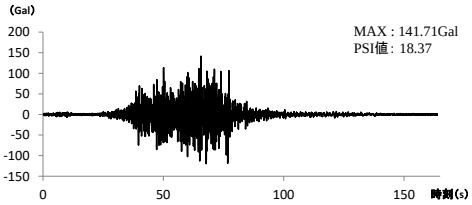
評価地点位置図

レベル 1 地震動

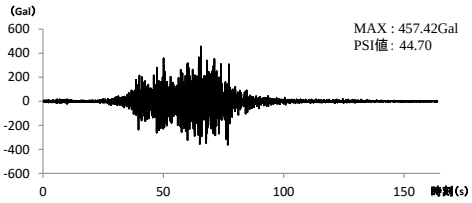
松



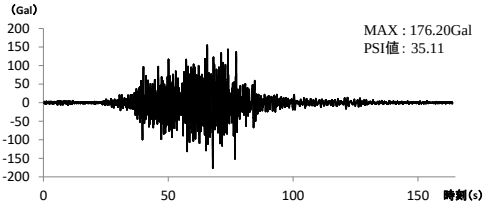
竹 ver1



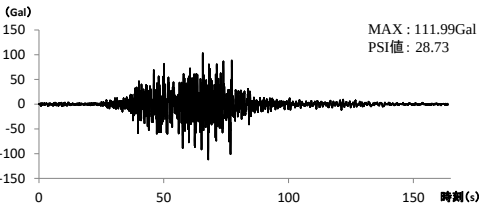
竹 ver2



竹 ver3

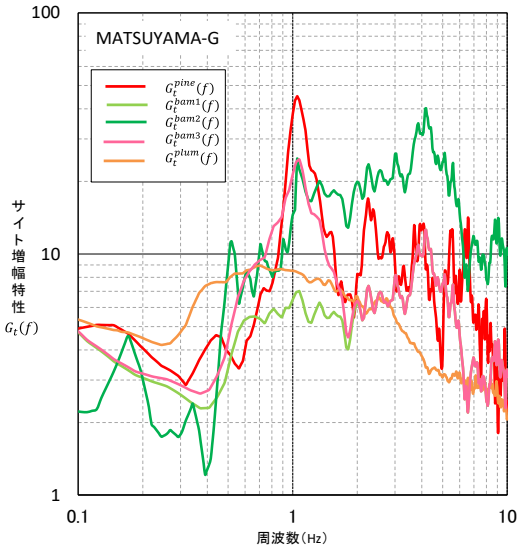


梅

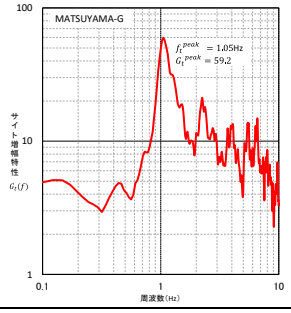


サイト増幅特性

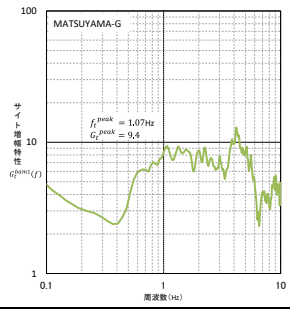
各評価手法によるサイト増幅特性



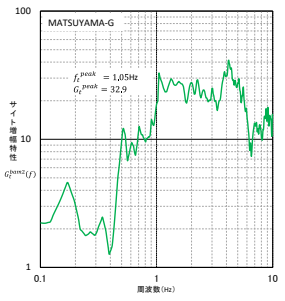
松



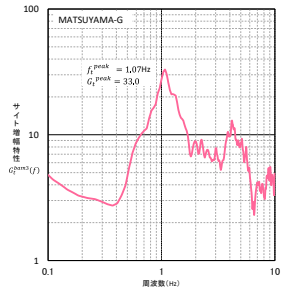
竹 ver1



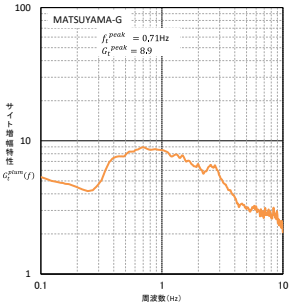
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

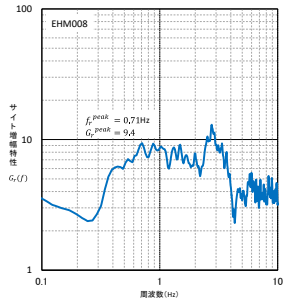


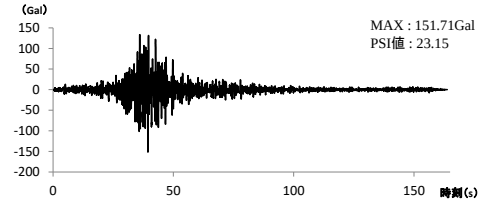
表 A-33　MIYAZAKI-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	MIYAZAKI-G	31.903N 131.455E	3.5km
参照地点	MYZ013	31.9087N 131.4187E	

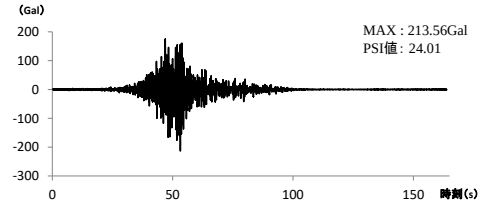
評価地点位置図

レベル 1 地震動

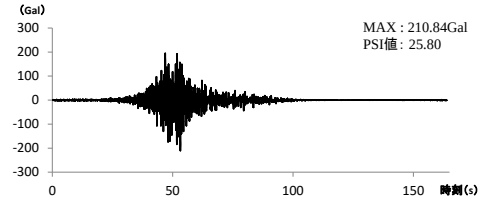
松



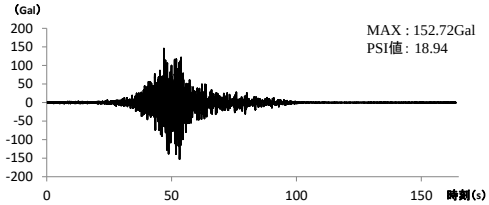
竹 ver1



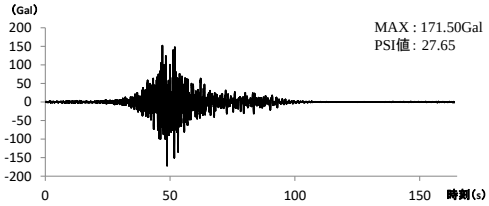
竹 ver2



竹 ver3

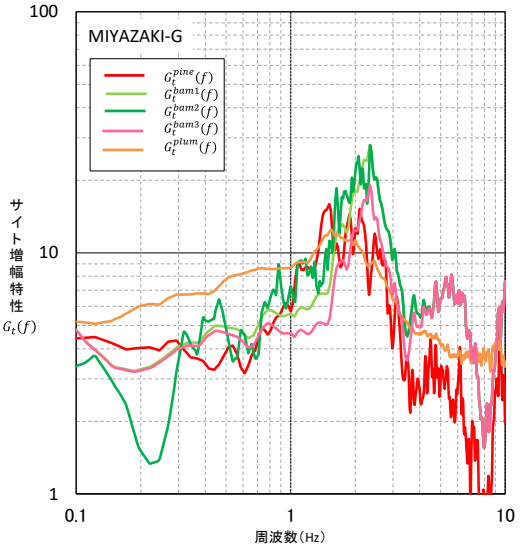


梅

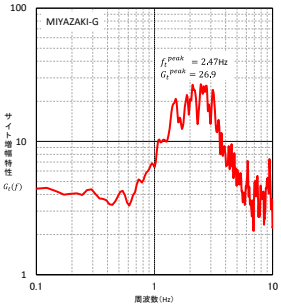


サイト増幅特性

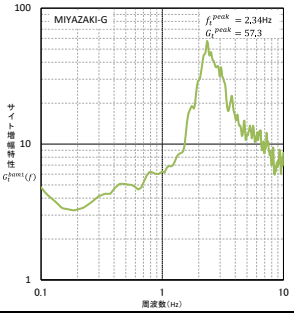
各評価手法によるサイト増幅特性



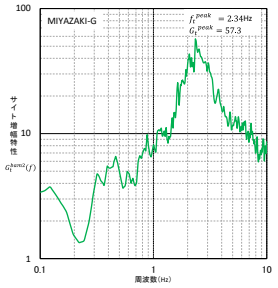
松



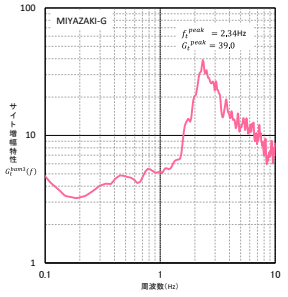
竹 ver1



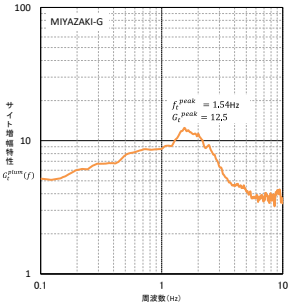
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）

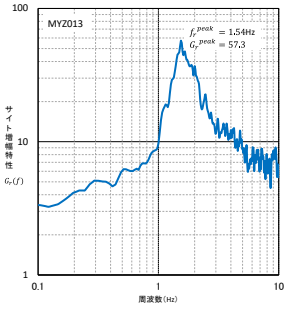


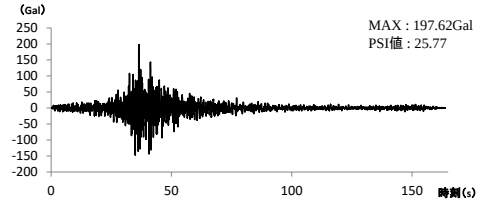
表 A-34　OITA-G

地点名		地点座標	地点間距離
対象地点	OITA-G	33.249N 131.744E	14.1km
参照地点	OIT010	33.2317N 131.5934E	

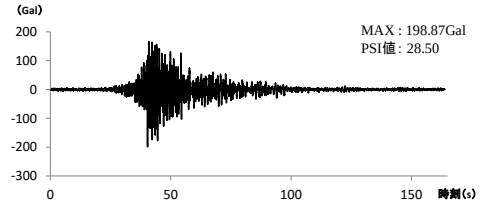
評価地点位置図

レベル 1 地震動

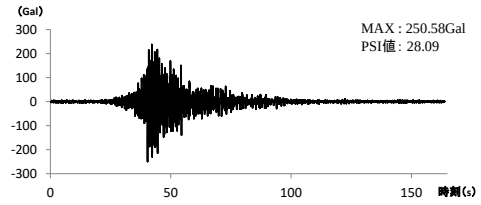
松



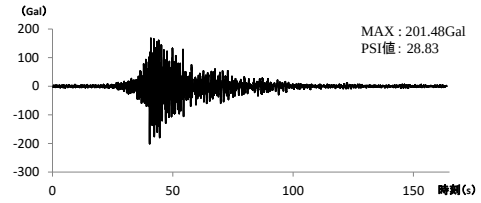
竹 ver1



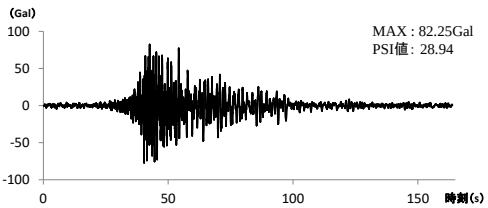
竹 ver2



竹 ver3

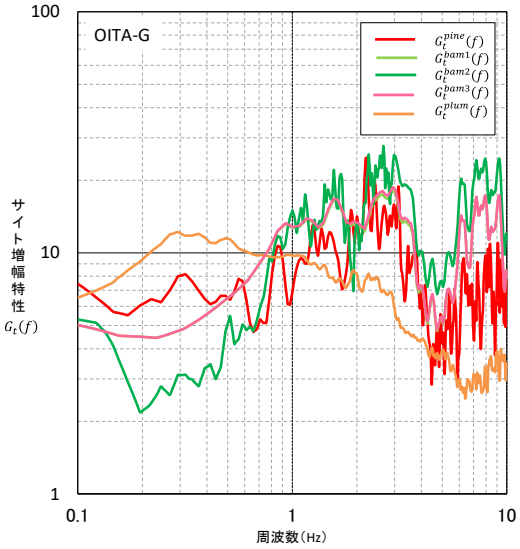


梅

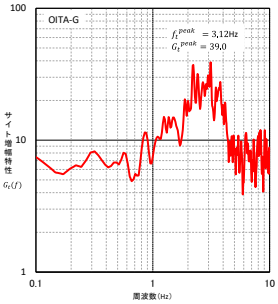


サイト増幅特性

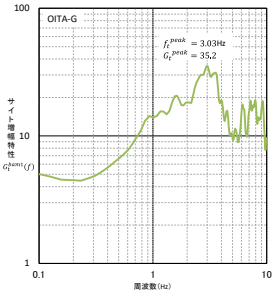
各評価手法によるサイト増幅特性



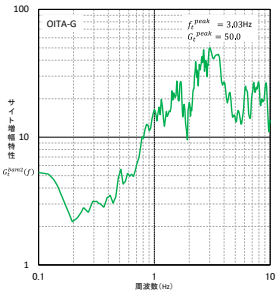
松



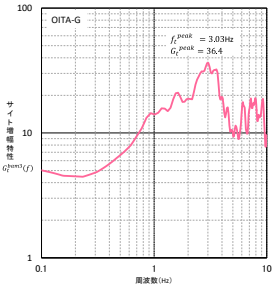
竹 ver1



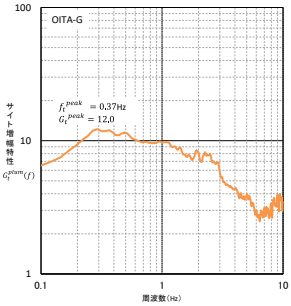
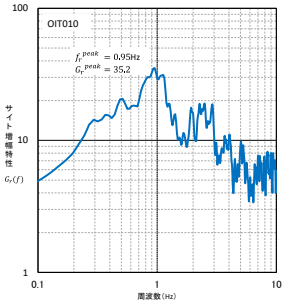
竹 ver2



竹 ver3



梅



参照地点（松）