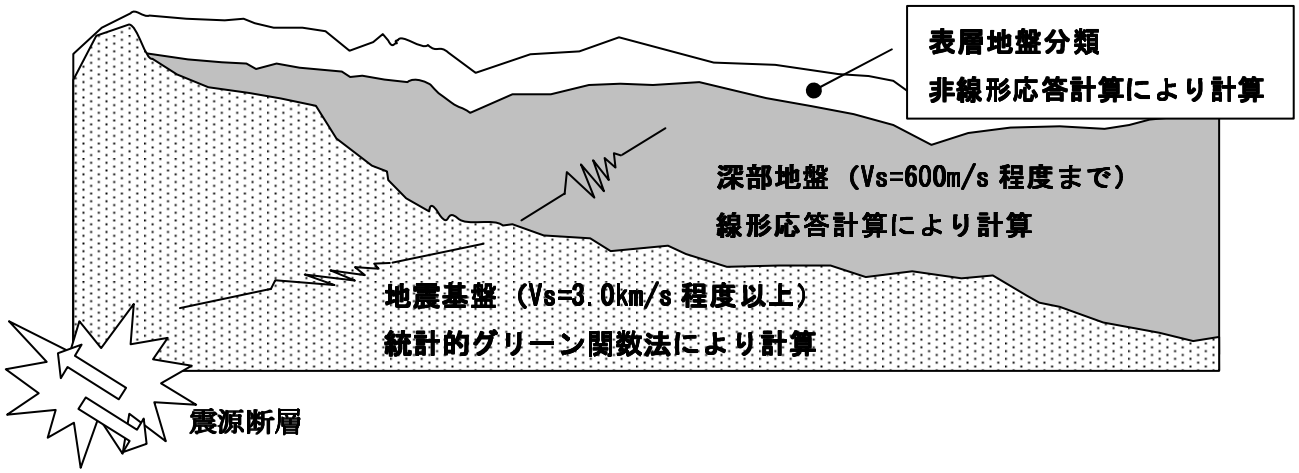
資料－１－１

地震動の予測手法

1 既に明らかとなっている断層等を震源とする地震の予測（南海トラフを除く）..... 3
1.1 地震動予測手法 3
1.1.1 地震基盤の地震動予測..... 3
1.1.2 深部地盤の地震動予測..... 3
1.1.3 表層地盤の地震動予測..... 3
1.2 地震動予測手法の検証（芸予地震の再現）..... 4
1.2.1 震源モデル等の設定..... 4
1.2.2 計算結果と観測との比較..... 7
1.2.3 地震動計算手法の評価..... 9
1.3 地震動予測の結果..... 14
2 既に明らかとなっている断層等を震源とする地震の予測（南海トラフ）..... 15
2.1 内閣府による震度計算の状況..... 15
2.2 既に明らかとなっている断層等を震源とする地震（南海トラフ）の予測手法.... 17
2.2.1 深部地盤の地震動予測..... 17
2.2.2 表層地盤の地震動予測..... 17
3 どこでも起こりうる直下の地震の予測..... 18
3.1 どこでも起こりうる直下の地震の予測手法..... 18
3.2 地震動予測結果（各市町役場の直下に断層を設定したケース）..... 18
4 前回調査との主な相違点..... 20
4.1 深部地盤地震動の計算手法..... 20
4.2 震源パラメータの設定..... 20
4.3 計算値の補正 20
5 公表の方針 23
添付資料 24
１　基盤の地震波形を求める方法（例：統計的グリーン関数法）..... 24
２　距離減衰式を用いる手法（例：翠川・大竹（2002）の手法）..... 25
３　地表面の地震動予測手法..... 26

1 既に明らかとなっている断層等を震源とする地震の予測（南海トラフを除く）

1.1 地震動予測手法



1.1.1 地震基盤の地震動予測

（1）計算手法

統計的グリーン関数法により地震基盤上面の波形を算出した。

1.1.2 深部地盤の地震動予測

（1）計算手法

地震基盤上面の地震波形を加速度波形として入力し、応答計算（線形）により深部地盤上面（V_S＝600m/s）の加速度波形を算出した。

（2）地盤モデル

第１回委員会では、「全国地震動予測値図」作成に用いた深部地盤モデル（J-SHIS 深部地盤モデル，2009；防災科学技術研究所（以下「全国 0.5 次モデル」という））の採用を提案した。

しかしながら、その後「全国 0.5 次モデル」を改良した「全国１次地下構造モデル（暫定版）[*1]」が公表されている。

今回の報告では、より最新かつ最適な深部地盤モデルとして「全国１次地下構造モデル（暫定版）」を採用した。

*1：「長周期地震動予測値図」作成に用いられた深部地盤モデル（2012、地震調査研究推進本部）

1.1.3 表層地盤の地震動予測

（1）計算手法

深部地盤上面の加速度波形を入力し、応答計算（非線形）により地表面加速度波形を算出した。

（2）地盤モデル

前回調査に用いた500mメッシュの表層地盤モデルを旧版地形図、J-SHIS表層地盤情報、県内のボーリングデータを参考として、250mメッシュに再区分した。

1.2 地震動予測手法の検証（芸予地震の再現）

広島県周辺において発生した地震のうち、地震波記録等が広範囲に利用できる芸予地震（2001）を再現し、加速度応答スペクトル、震度分布の観測値を計算値と比較し、地震動予測手法の妥当性を検証した。

1.2.1 震源モデル等の設定

（1）震源モデルの設定

芸予地震（2001）の観測記録による震源のモーメント解放量の分布が筧ら（2003）により、図 1-1のとおり示されている。図 1-1を参考に、解放量の多い部分にアスペリティを設定し、再現計算を行った。

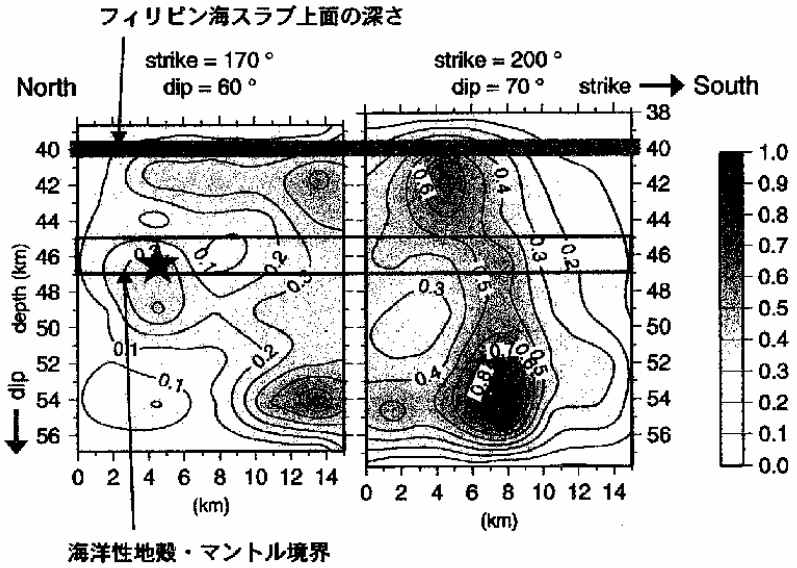


図 1-1　波形インバージョンにより求められた 2001 年芸予地震の断層面上のモーメント解放量分布とフィリピン海スラブの構造

フィリピン海スラブ上面深さは、三次・石橋（2002）に、海洋性地殻とマントルの境界の深さは、大倉・瀬野（2002）と気象庁一元化震源データによる。

出典：筧楽麿, 2001年芸予地震の詳細な震源過程と強震動の関連, 神戸大学都市安全センター研究報告 7：195-201, 2003-3

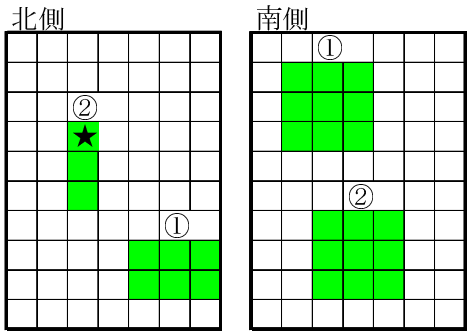


図 1-2　再現計算に用いたアスペリティ配置

（メッシュの一辺は 2km）

表 1-1　再現計算に用いたパラメータ

項目			値			設定方法
	セグメント		北側	南側		
	活断層長さL		−		km	
	マグニチュードM		6.7			気象庁
	傾斜角 δ		60	70	°	筧(2003)北側60度、南側70度
	すべり角 γ		180	180	°	
	上端深さ		38.50	38.00	km	震源深さと傾斜角より
	断層モデル長さLmodel		14	14	km	筧(2003)より断層モデルメッシュサイズ
	断層モデル幅Wmodel		20	20	km	筧(2003)より断層モデルメッシュサイズ
	断層モデル面積Smodel		280	280	km^2	Smodel=Lmodel×Wmodel
	断層モデル総面積S		560			S=ΣSmodel
	地震モーメントMo		3.10E+19		Nm	筧(2003)
	モーメントマグニチュードMw		6.9			Mw=(logMo-9.1)/1.5
	断層モデルの等価半径R		13.4		km	
	静的応力降下量Δσ		5.7		MPa	$\Delta\sigma=7/16Mo/R^3$
	地震発生層の密度 ρ		3300.0		kg/m^3	
	S波速度 β		4.00		km/s	
	剛性率 μ		5.28E+10		N/m^2	$\mu=\rho\beta^2$
	平均すべり量Dmodel		1.0		m	Mo/(μSmodel)
	短周期レベルA		1.66E+19		Nm/s^2	$A=2.46\cdot10^{10}\times(Mo\times10^7)^{1/3}$
微視的パラメター	アスペリティ個数		2			地震規模より
	全アスペリティ	面積Sa	123.2		km^2	Sa=0.22×S,Somerville et al.(1999)
		等価半径r	6.3		km	$r=(Sa/\pi)^{1/2}$
		平均すべり量Da	2.1		m	Da=γD・Dmodel, γD=2.0
		実効応力σa	25.9		MPa	σa=Δσa=Δσ/0.2
		地震モーメントMoa	1.36E+19		Nm	Moa=μDaSa
	①アスペリティ	面積Sa1	27.4	41.1	km^2	筧(2003)モーメント解放量から
		等価半径r1	3.0	3.6	km	$r1=(Sa1/\pi)^{1/2}$
		等価半径比γ1	0.5	0.6		γ1=r1/r
		平均すべり量Da1	1.9	2.3	m	$Da1=(\gamma1/\Sigma\gamma i^3)\cdot Da$
		実効応力σa1	25.9	25.9	MPa	
		アスペリティMoa1	2.71E+18	4.98E+18	Nm	
		アスペリティMwa1	6.2	6.4		
		計算用面積	24.0	36.0	km^2	断層モデルメッシュサイズ
	②アスペリティ	面積Sa2	13.7	41.1	km^2	筧(2003)モーメント解放量から
		等価半径r2	2.1	3.6	km	$r2=(Sa2/\pi)^{1/2}$
		等価半径比γ2	0.3	0.6		γ2=r2/r
		平均すべり量Da2	1.3	2.3	m	$Da2=(\gamma2/\Sigma\gamma i^3)\cdot Da$
		実効応力σa2	25.9	25.9	MPa	σa2=σa
		アスペリティMoa2	9.59E+17	4.98E+18		
		アスペリティMwa2	5.9	6.4		
		計算用面積	12.0	36.0	km^2	断層モデルメッシュサイズ
	背景領域	面積Sb	436.8		km^2	Sb=Smodel-Sa
		平均すべり量Db	0.8		m	Db=Mob/(μ・Sb)
		断層アスペクト比	0.7			
		背景領域の幅Wb	25		km	
		実効応力σb	0.6		MPa	$\sigma b=(Db/Wb)\cdot(\sqrt{\pi}/Da)\cdot r\cdot\Sigma\gamma i^3\cdot\sigma a$
		地震モーメントMob	1.74E+19		Nm	Mob=Mo-Moa
		計算用面積	244.0		km^2	断層モデルメッシュサイズ

（2）土質定数の設定

表層地盤の非線形計算に用いる動的変形曲線は、次の文献を参照して設定した。

文献：古山田耕司、宮本裕司、三浦賢治，多地点での現位置採取資料から評価した表層地盤の非線形特性，第 38 回地盤工学研究会発表講演集，2003

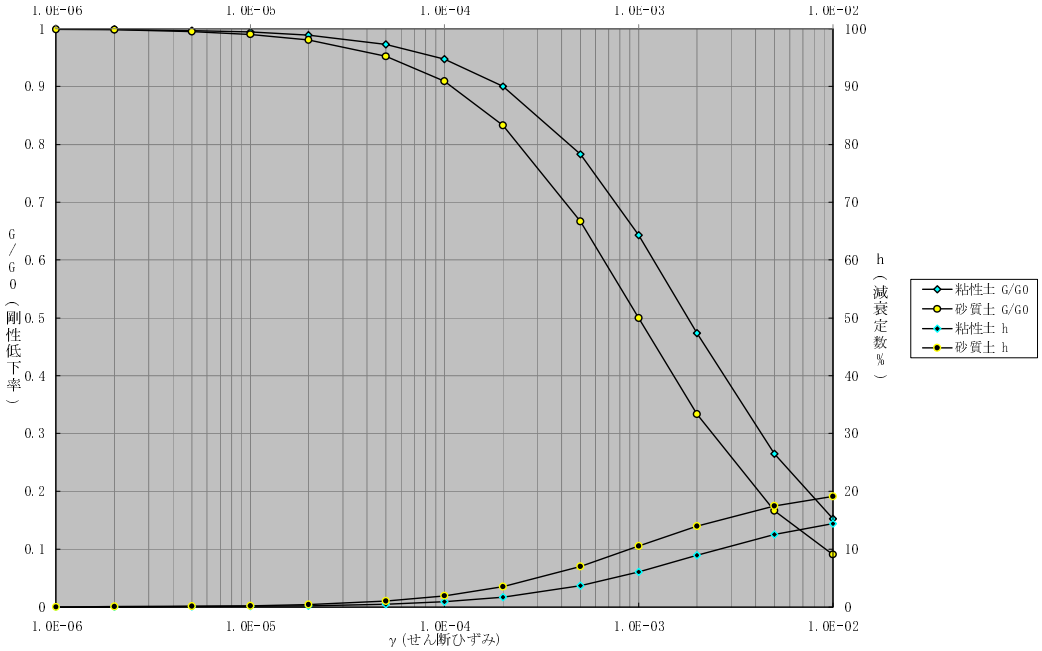


図 1-3　古山田論文を参考とした動的変形特性

1.2.2 計算結果と観測との比較

（1）深部地盤内の加速度応答スペクトル

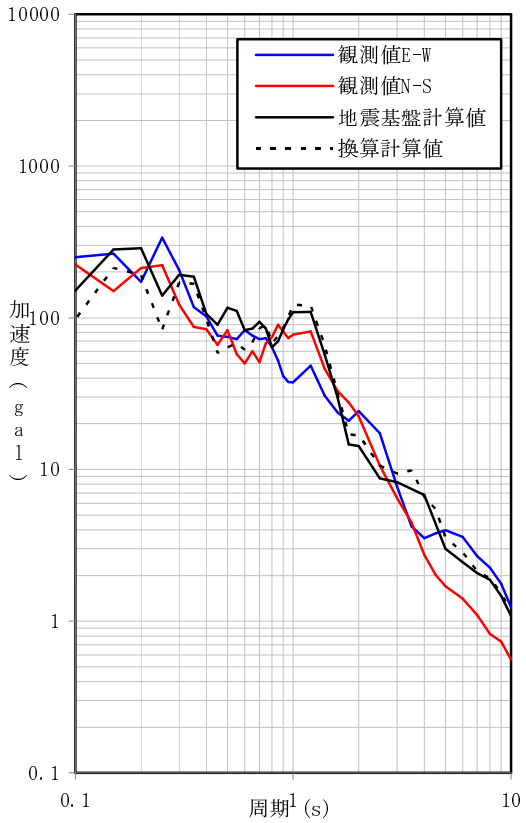
深部地盤中に設置されている地震計（kik-net）の観測値と計算値を比較した。

比較は、観測値と当該地震計が設置されている深度の計算値で行った。

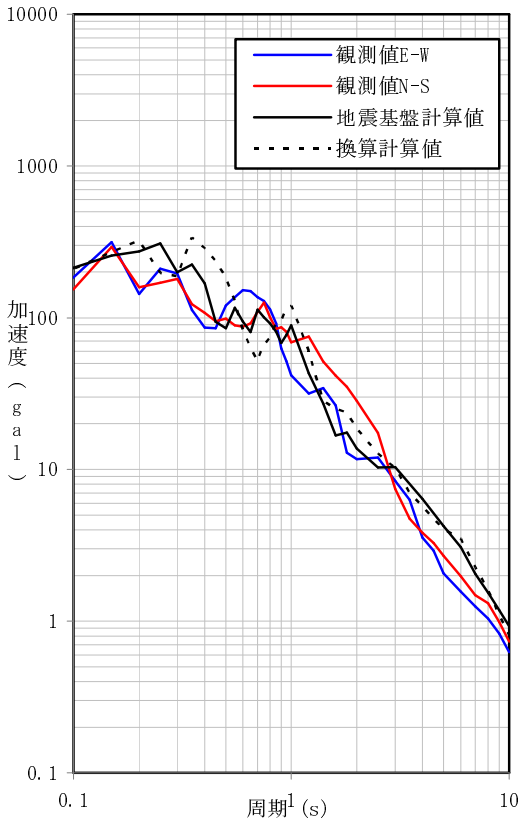
加速度応答スペクトルの比較を及び図 1-4 に示した。

表 1-2　地震計諸元（kik-net）

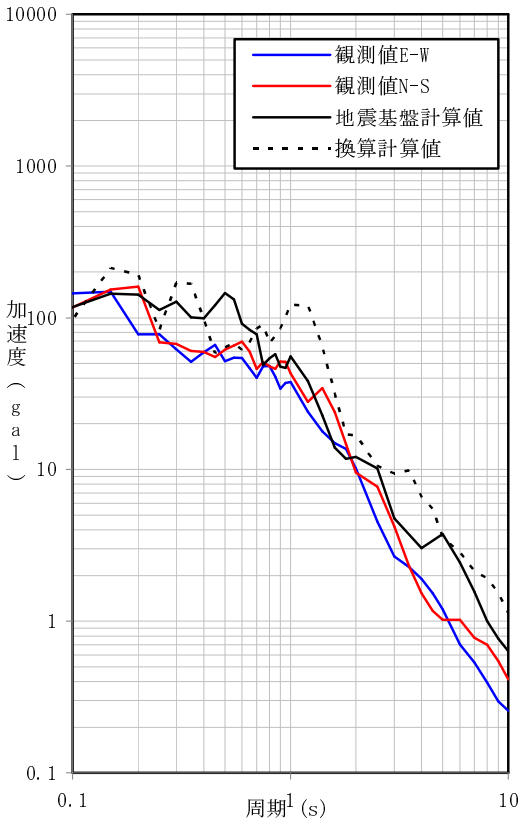
記号	名称	緯度	経度	標高(m)	深度(m)	都道府県	区分
HRSH01	三原	34.3736	133.0236	35	205	広島県	KiK-net06
HRSH07	呉	34.2883	132.6411	230	102	広島県	KiK-net06
HRSH12	広島	34.5810	132.4295	360	150	広島県	KiK-net06



観測所	HRSH01	三原



観測所	HRSH07	呉



観測所	HRSH12	広島

図 1-4　加速度応答スペクトルの比較

換算値は地震計設置深度相当深さの計算値

（2）地表の震度

ア　震度分布

広島県内では、気象庁、自治体、防災科学技術研究所が地表の震度を観測している。

震度階級の観測値と計算値の分布を図 1-5 示した。

イ　計測震度の観測値と計算値

各観測地の観測値と計算値の計測震度の関係を図 1-6 に示した。

ウ　距離減衰式との比較

断層からの距離による地震動の減衰状況を翠川・大竹（2002）の式と比較し、図 1-8 に示した。

1.2.3 地震動計算手法の評価

図 1-6 に示したとおり、今回の計算値は、観測値をおおよそ再現した。

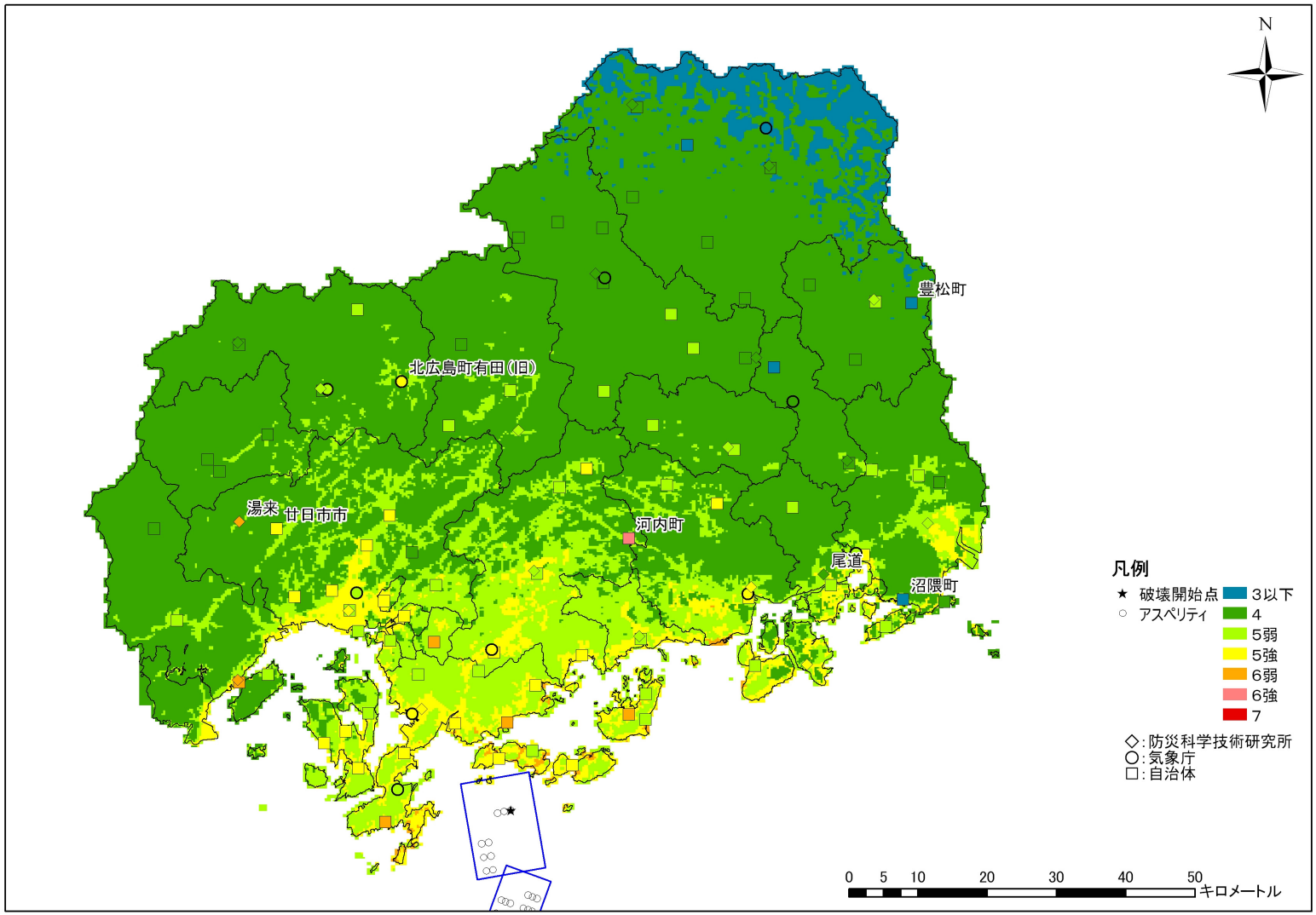


図 1-5　震度階級の観測値及び計測値

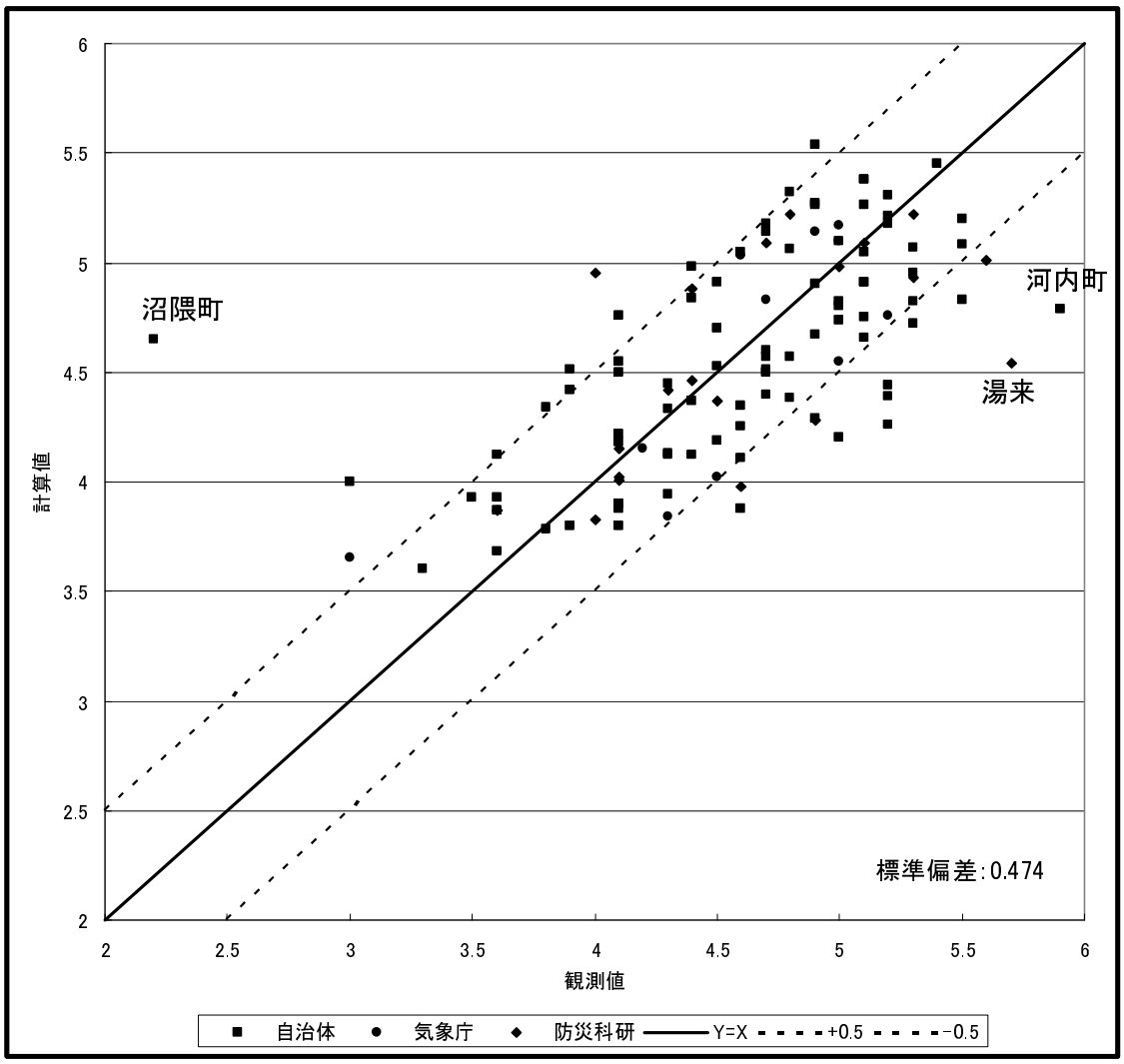


図 1-6　計測震度の観測値と計算値の関係

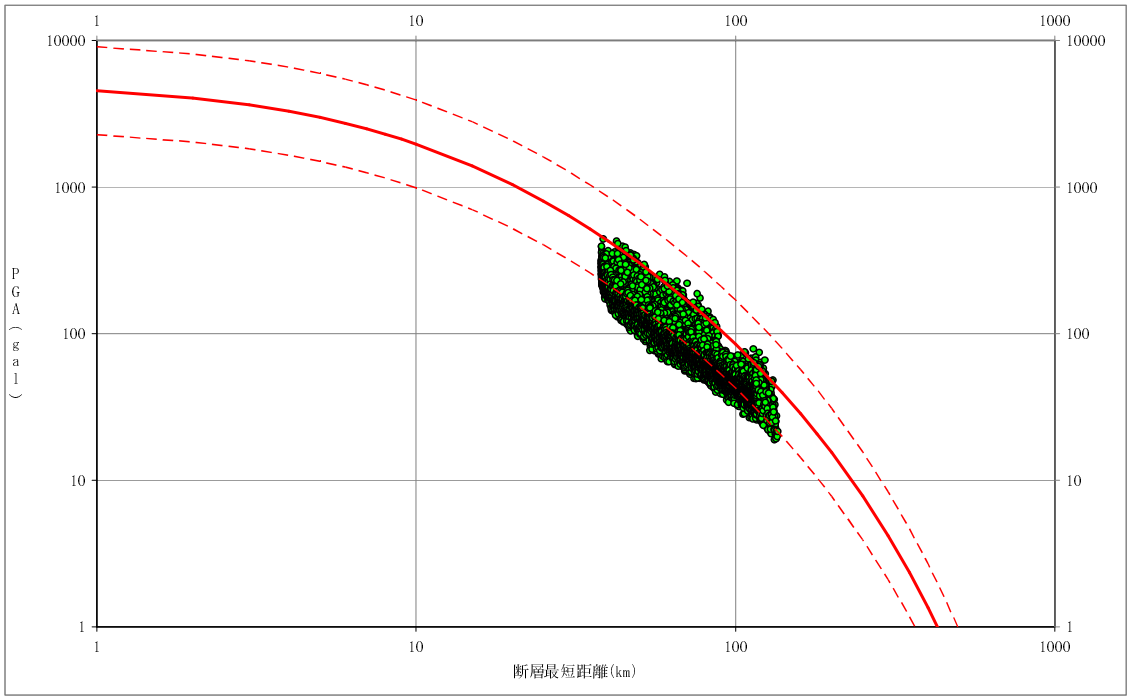


図 1-7　距離減衰式との比較（加速度）

翠川・大竹（2002）の式による比較

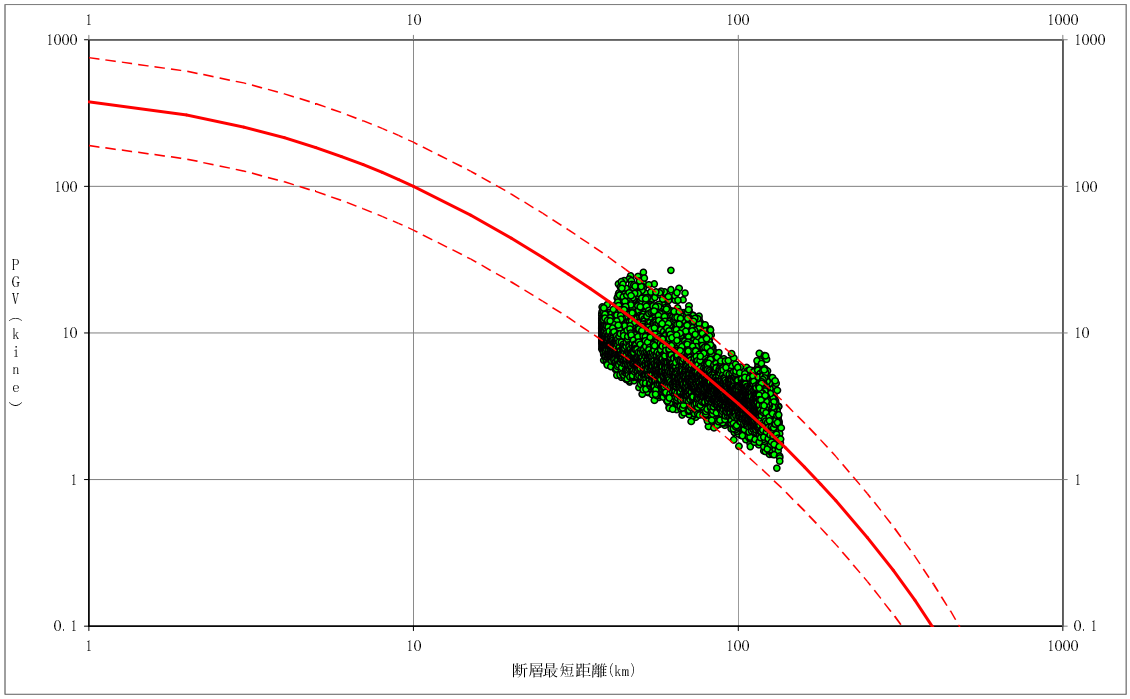


図 1-8　距離減衰式との比較（速度）翠川・大竹（2002）の式による比較

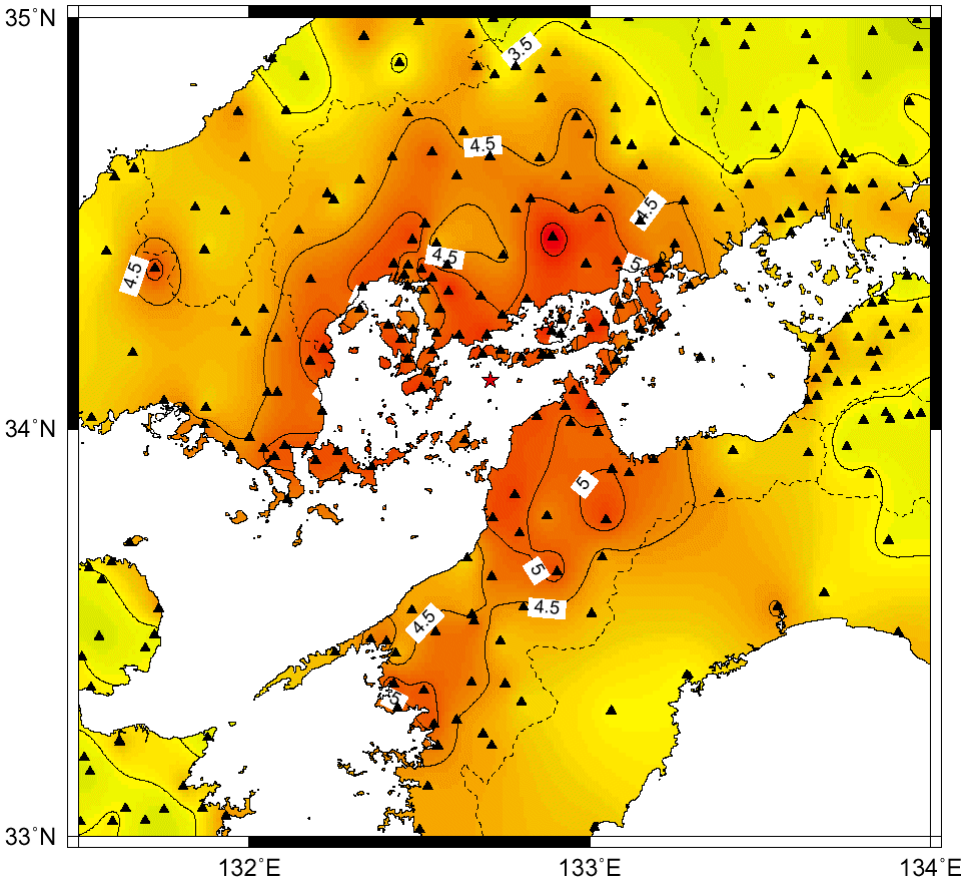


図 1-9　芸予地震の等計測震度分布(観測値)

出典：平成 13 年 3 月　地震・火山月報（防災編）；気象庁

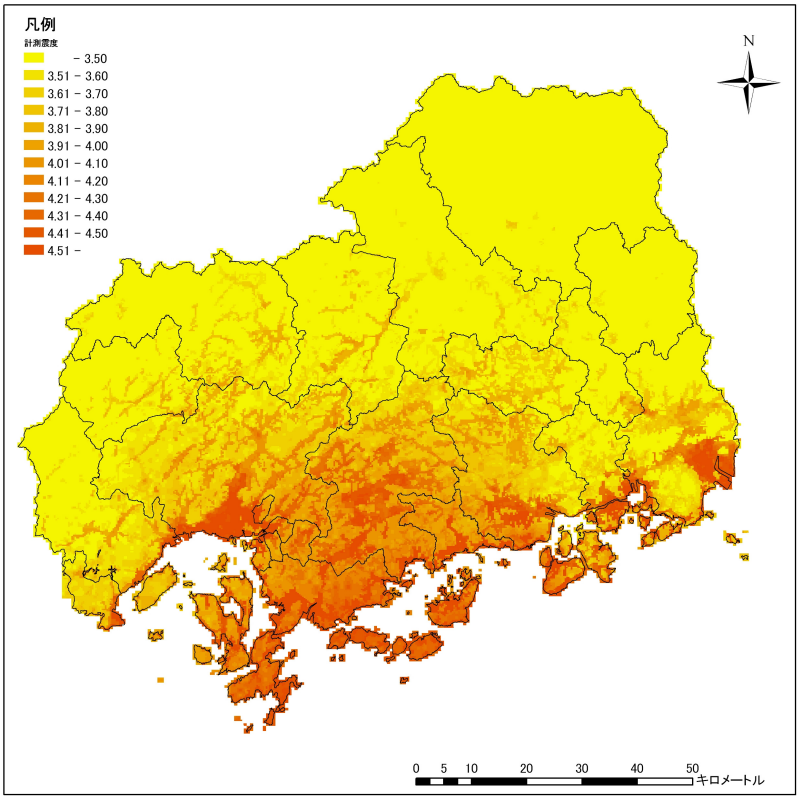


図 1-10　今回調査による計測震度分布（計算値）

1.3 地震動予測の結果

1.2 で検証した手法により想定震源での地震のゆれを計算した。

計算結果及び前回調査との震度別面積の比較を資料―1-3 に整理した。

2 既に明らかとなっている断層等を震源とする地震の予測（南海トラフ）

2.1 内閣府による震度計算の状況

内閣府は、8 月 29 日に全国の震度分布と各市町村の最大震度を表 2-1、図 2-1 のとおり公表した。

しかしながら、震度計算に必要な 250m メッシュ毎の震度分布データの提供が未だなされていないため、南海トラフ地震の震度計算の結果については、次回委員会において報告する。

表 2-1　市町村別最大震度

市区町村名	基本ケース①	陸側ケース②	東側ケース③	西側ケース④	経験的手法	最大値	中央防災会議(2003)
広島市中区	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
広島市東区	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
広島市南区	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
広島市西区	5強	6弱	5強	6弱	6弱	6弱	5強
広島市安佐南区	5弱	6弱	5弱	5強	5強	6弱	5弱
広島市安佐北区	5強	5強	5強	5強	5強	5強	5弱
広島市安芸区	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
広島市佐伯区	5強	6弱	5強	5強	5強	6弱	5強
呉市	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
竹原市	5強	6強	5強	5強	6弱	6強	5強
三原市	5強	6強	5強	5強	6弱	6強	5強
尾道市	5強	6強	6弱	6弱	6弱	6強	5強
福山市	5強	6強	5強	5強	6弱	6強	5強
府中市	5弱	6弱	5強	5弱	5強	6弱	5弱
三次市	5弱	5強	5弱	5弱	5強	5強	5弱
庄原市	5弱	5強	5弱	5弱	5強	5強	5弱
大竹市	5強	6強	5強	5強	6弱	6強	5強
東広島市	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
廿日市市	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
安芸高田市	5弱	5強	5弱	5弱	5強	5強	5弱
江田島市	5強	6弱	5強	6弱	6弱	6弱	5強
安芸郡府中町	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
安芸郡海田町	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
安芸郡熊野町	5弱	5強	5弱	5弱	5強	5強	5弱
安芸郡坂町	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
山県郡安芸太田町	4	5強	5弱	5弱	5強	5強	5弱
山県郡北広島町	4	5強	5弱	4	5弱	5強	5弱
豊田郡大崎上島町	5強	6弱	5強	5強	6弱	6弱	5強
世羅郡世羅町	5弱	5強	5弱	5弱	5強	5強	5弱
神石郡神石高原町	5弱	5強	5弱	5弱	5強	5強	5弱

出典：南海トラフの巨大地震モデル検討会　（第二次報告）　強震断層モデル編　－強震断層モデルと震度分布について－　計算結果集（震度一覧表）；平成 24 年 8 月 29 日（一部加筆）

なお、表 2-1 中の各検討ケースは、次のとおり設定されている。

①**基本ケース**：中央防災会議による東海地震、東南海・南海地震の検討結果を参考に設定したもの

②**東側ケース**：基本ケースの強震動生成域を、やや東側（トラフ軸から見て、トラフ軸に概ね平行に右側）の場所に設定したもの

③**西側ケース**：基本ケースの強震動生成域を、やや西側（トラフ軸から見て、トラフ軸に概ね平行に左側）の場所に設定したもの

④**陸側ケース**：基本ケースの強震動生成域を、可能性がある範囲で最も陸側（プレート境界面の深い側）の場所に設定したもの

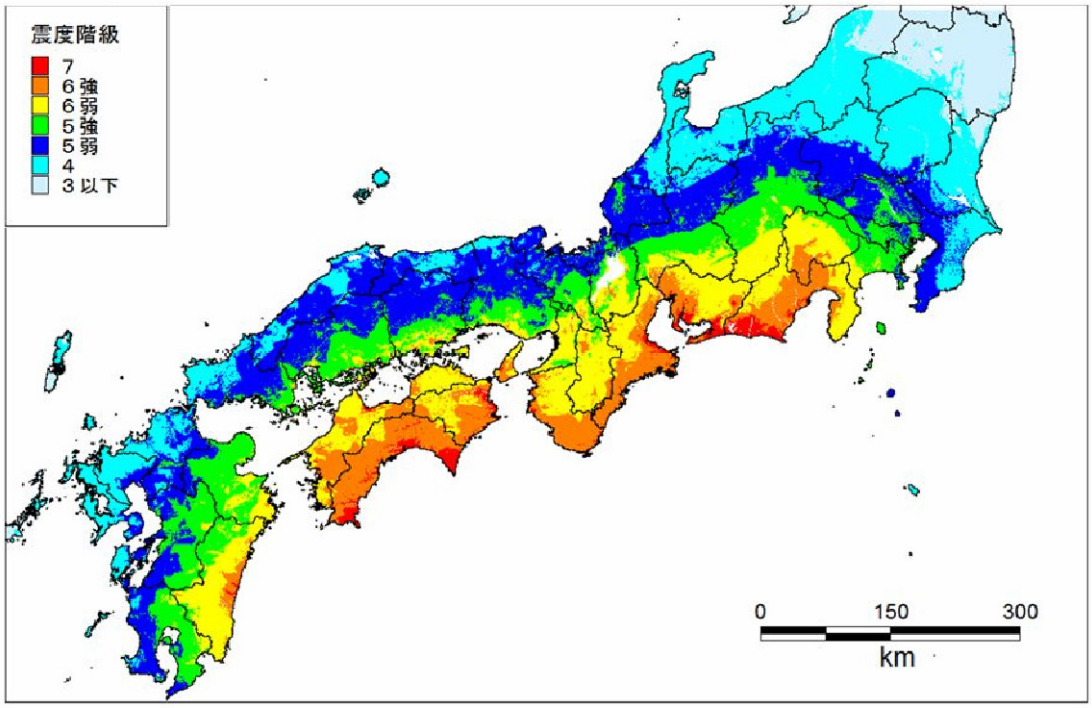


図 2-1　震度の最大値の分布図

強震波形４ケースと経験的手法の震度の最大値の分布

出典：南海トラフの巨大地震モデル検討会　（第二次報告）　強震断層モデル編　－強震断層モデルと震度分布について－　計算結果集（震度一覧表）；平成 24 年 8 月 29 日

2.2 既に明らかとなっている断層等を震源とする地震（南海トラフ）の予測手法

2.2.1 深部地盤の地震動予測

各メッシュに与えられた計測震度から童・山崎（1996）による計測震度と最大速度の関係式を用いて地表面の最大速度を求め、さらに深部地盤表面の最大速度を各メッシュに与えられたAVS30に相当する増幅度から逆算して求める。

AVS30：AVSは平均S波速度、30は30mを意味し、AVS30は深度30mまでの表層地盤の平均S波速度を意味する。最大速度値の地盤増幅度の値はAVS30と相関があることが知られている。（地震防災マップ作成技術資料;平成17年3月;内閣府（防災担当））

$I = 2.01 \cdot \log_{10}(PGV) + 2.30$

$\mathrm{Log}_{10}G = 1.83 - 0.66 \cdot \log_{10}AVS30 \pm 0.16$

ここで、I:計測震度

PGV:最大速度(cm/s)

G:S波速度600m/s基盤の最大速度に対する表層地盤の最大速度の増幅率

AVS30：表層30mの平均S波速度(m/s)の推定値。

ただし、100m/s＜AVS30＜1,500m/s

2.2.2 表層地盤の地震動予測

深部地盤上面の最大速度から「深部地盤上面の最大速度と地表震度、地表最大加速度、地表最大速度、SI値の関係表」を用いて、地表の震度等を求める予定。

※深部地盤上面の最大加速度と地表震度、地表最大加速度、地表最大速度、SI値の関係表

「活断層の地震」の表層地盤タイプ別に深部地盤上面の最大速度と地表の計測震度、最大加速度、最大速度、SI値の関係を整理し、平均的曲線を求め、平均的曲線から関係表を作成する。

3 どこでも起こりうる直下の地震の予測

3.1 どこでも起こりうる直下の地震の予測手法

「1　既に明らかとなっている断層等を震源とする地震の予測（南海トラフを除く）」の手法に準じて計算を行った。

3.2 地震動予測結果（各市町役場の直下に断層を設定したケース）

3.1 に示した手法により想定震源（各市町役場の直下で M6.9 相当）での地震のゆれを計算した。

計算結果は資料－1-3 に整理した。

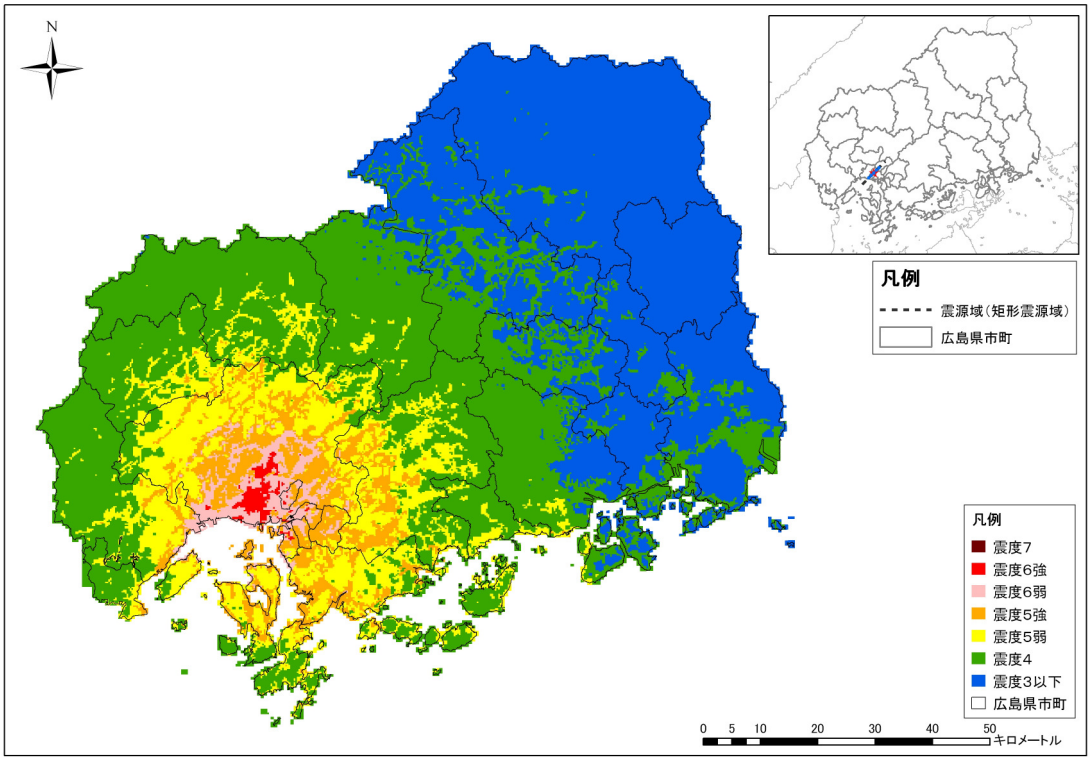


図 3-1 震度分布（広島市直下） （地震基盤：統計的グリーン関数法）

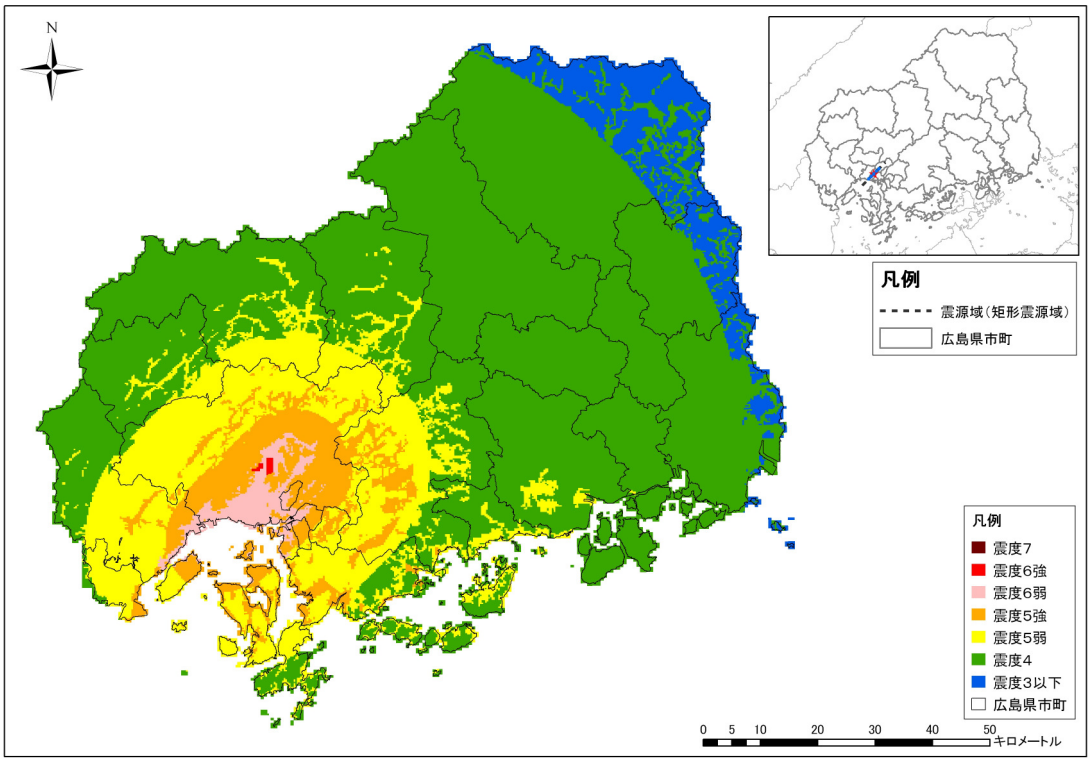


図 3-2 震度分布（広島市直下） （深部地盤：距離減衰式（翠川・大竹（2002））

浅部地盤の増幅は、 2.2.2 による深部地盤上面の最大速度と地表速度の関係表から算定

4 前回調査との主な相違点

4.1 深部地盤地震動の計算手法

前回調査では、距離減衰の式により深部地盤上面（工学的基盤）の最大速度を求めている。

今回調査では、統計的グリーン関数法により地震基盤、深部地盤上面、地表面の波形を求めている。

4.2 震源パラメータの設定

前回調査では、モーメントマグニチュード(Mw)を気象庁マグニチュード(M)からの換算式で求めている。

地殻内地震

$Mw=0.879 \cdot M + 0.536$

安芸灘～伊予灘の地震

$\log Mo = 1.5 \cdot Mw + 16.1$,　$Mo=2.5 \cdot 10^{26}$ dyne・cm

今回調査では、「「全国地震予測地図」作成手法の検討」の「付録３　震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）；平成 21 年 12 月 21 日改訂；独立行政法人防災科学技術研究所」にしたがい算定した。

$\log Mo = 1.17 \cdot M + 10.72$

$Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$

$Mo = \alpha \ (S \cdot 10^{11} / 4.24)^2 \cdot 10^{-7}$

α ：1.0

S ：断面積(km2)

Mo：地震モーメント (Nm)

4.3 計算値の補正

前回調査では、図 4-1 に示すとおり、芸予地震(2001)の観測結果と距離減衰式の PGV600（深部地盤上面における最大速度(cm/s)）を比較し、採用した距離減衰式の適合性について検討している。地盤特性の違いから距離減衰式によって得られる値より観測結果の値が上回るものもあるため、そのばらつきの幅を防災上の観点から安全性に見込み、距離減衰の式（翠川・大竹（2002））の右辺に標準偏差（ε=0.2）を加える補正を行っている。

なお、今回調査では、統計的グリーン関数法により計算をおこなっているため、より現実的な想定となっている。このため、補正は行っていない。

前回調査結果と今回調査結果の比較を図 4-2、図 4-3 に示した。

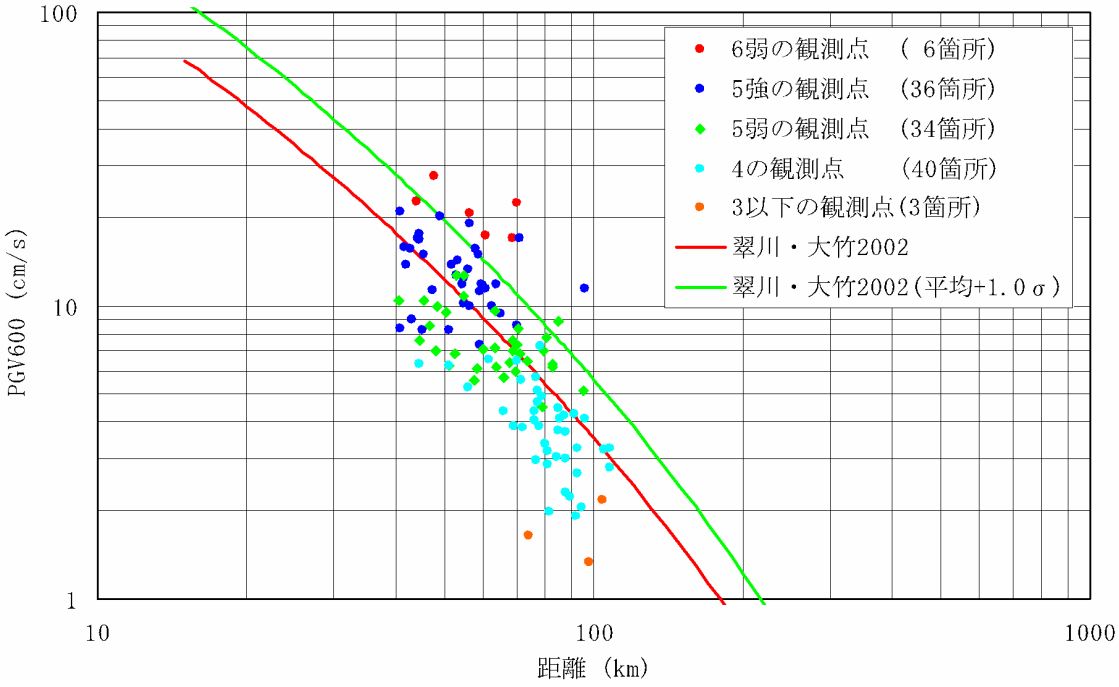


図 4-1　芸予地震（2001）時の広島県内観測記録と距離減衰式の比較

出典：広島県地震被害想定調査報告書　平成 19 年 3 月　広島県

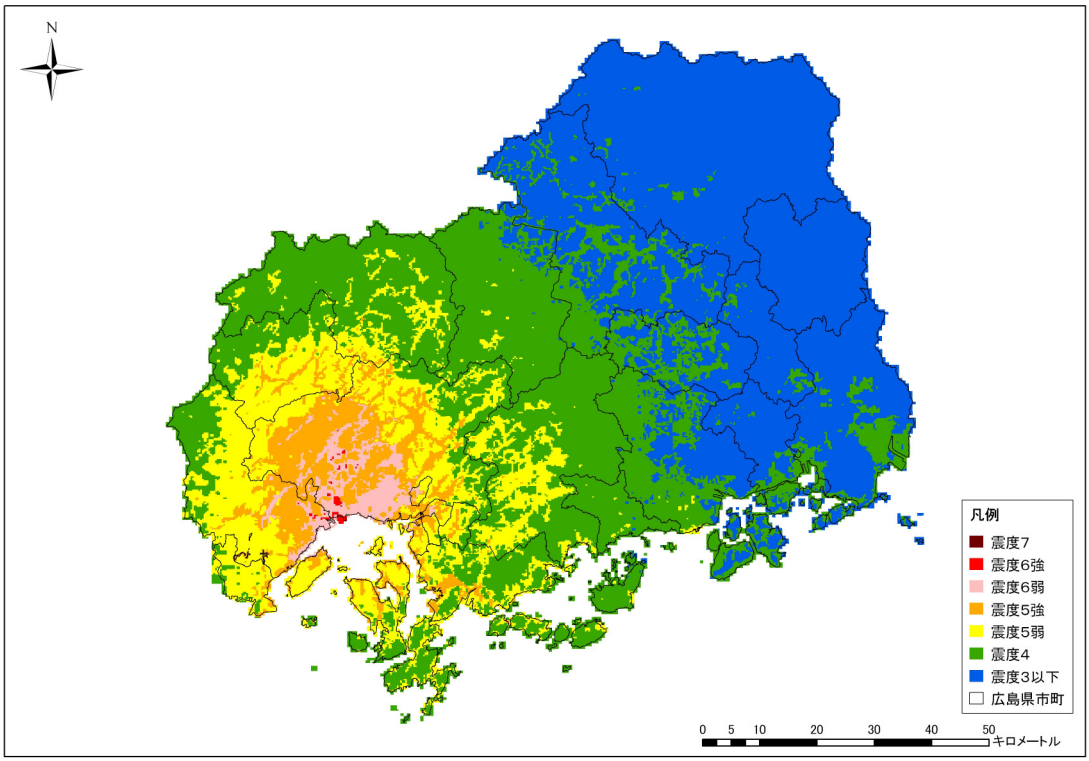


図 4-2　震度分布（今回手法　五日市断層（北から破壊））

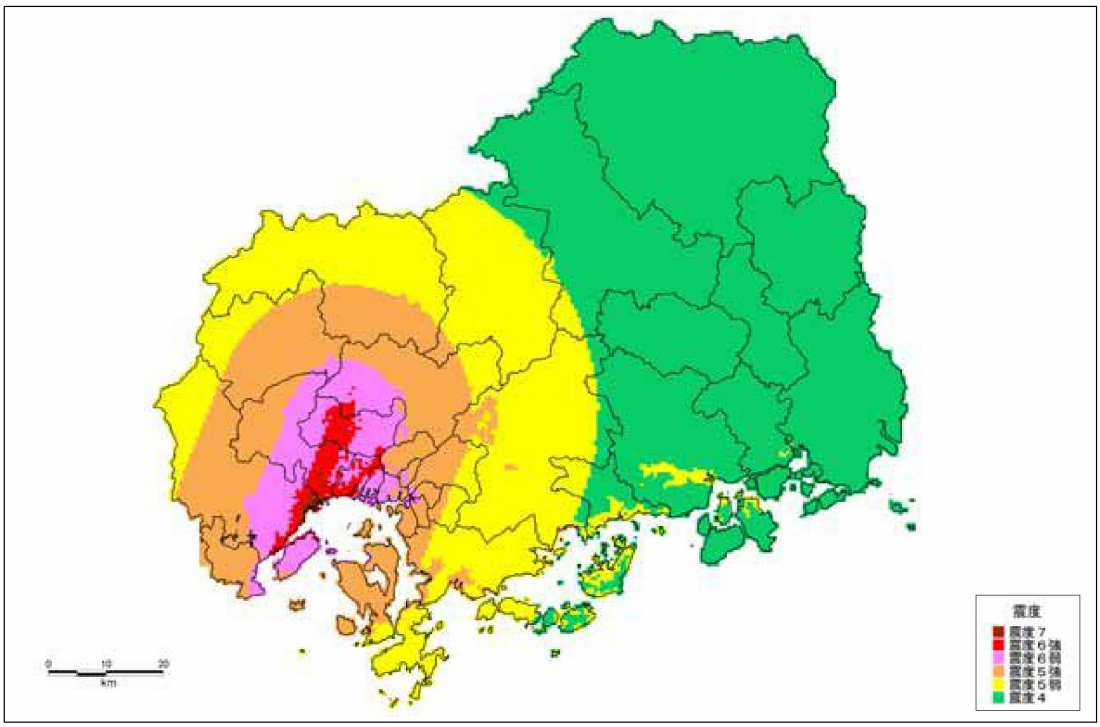


図 4-3　震度分布（前回調査　五日市断層）

5 公表の方針

１～３までの地震動予測結果の公表は次の方針で行う。

・ 活断層を震源とする地震については、破壊開始点による複数ケースを計算した場合は、被害の大きさにより整理し、より大きいケースを代表ケースとして報告し、それ以外を参考資料として整理する。

・ 五日市断層帯（己斐－広島西縁断層帯）については、マグニチュード6.5と6.9の２ケースを計算したが、公表においては、マグニチュード6.5を代表ケースとして報告し、マグニチュード6.9を参考資料として整理する。

・ 南海トラフの地震につては、国と県の予測結果のより大きい値を公表する。

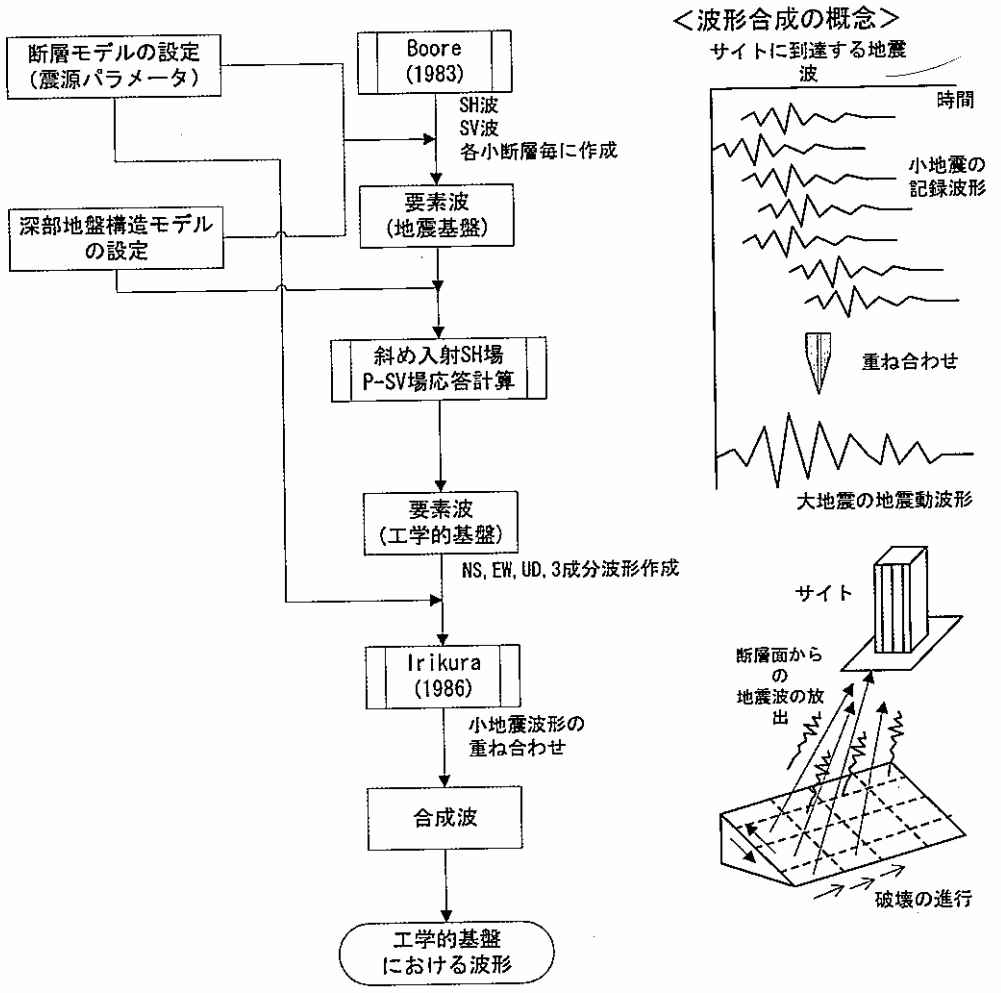
添付資料

１　基盤の地震波形を求める方法（例：統計的グリーン関数法）

統計的グリーン関数法は、人工的に作成された地震波をもとに統計的グリーン関数を求める手法で、

ω^{-2}則を満たす中小地震を数値計算により人工的に作成し、統計的グリーン関数として大地震の破壊過程にしたがって足し合わせ、大地震の波形を合成する。

参考図２　統計的グリーン関数法を用いた工学的基盤波の作成（内閣府防災担当 web）



２　距離減衰式を用いる手法（例：翠川・大竹（2002）の手法）

翠川・大竹（2002）の手法は、司・翠川（1999）の手法に、1998～2001 年までの観測記録を追加し作成した手法で、同式には平成 13 年芸予地震における K-NET（国の防災科学技術研究所が設置する強震ネットワーク）及び KiK-net（国の防災科学技術研究所が設置する基盤強震観測網）の観測記録が考慮されている。

○震源深さ D≦30km の場合

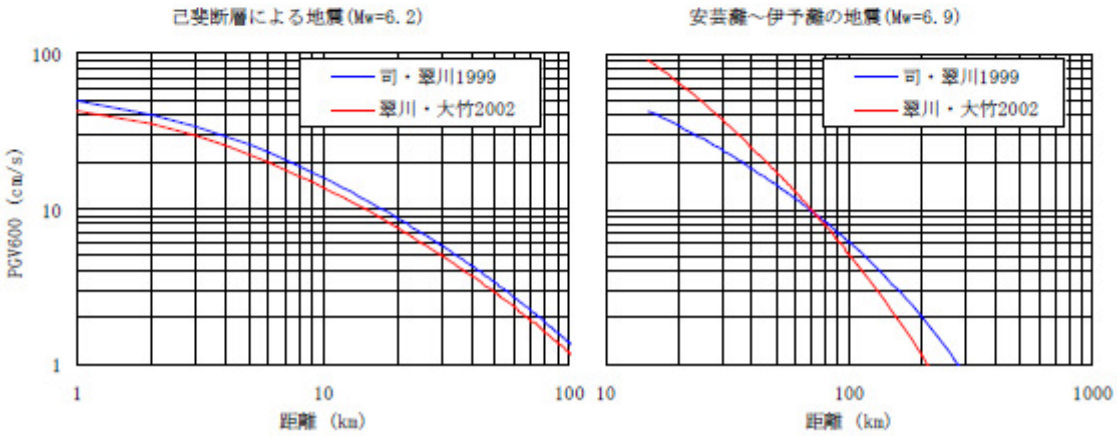
$$\log PGV600 = 0.65M_w + 0.0024D + d - \log(X + 0.0028 \cdot 10^{0.5M}) - 0.002X - 1.77 + \varepsilon$$

○震源深さ D＞30km の場合

$$\log PGV600 = 0.65M_w + 0.0024D + d + 0.6\log(1.7D + 0.0028 \cdot 10^{0.5M}) - 1.6\log(X + 0.0028 \cdot 10^{0.5M}) - 0.002X - 1.77 + \varepsilon$$

ここに，PGV600　：工学的基盤における最大速度(cm/s)
Mw　：モーメントマグニチュード
D　：断層中心深さ(km)
X　：断層最短距離(km)
d　：ﾌﾟﾚｰﾄ間地震 0.05，地殻内地震 0.0，ﾌﾟﾚｰﾄ内地震 0.15
ε　：ばらつき　（ε=0.2）

■地震動予測結果の比較

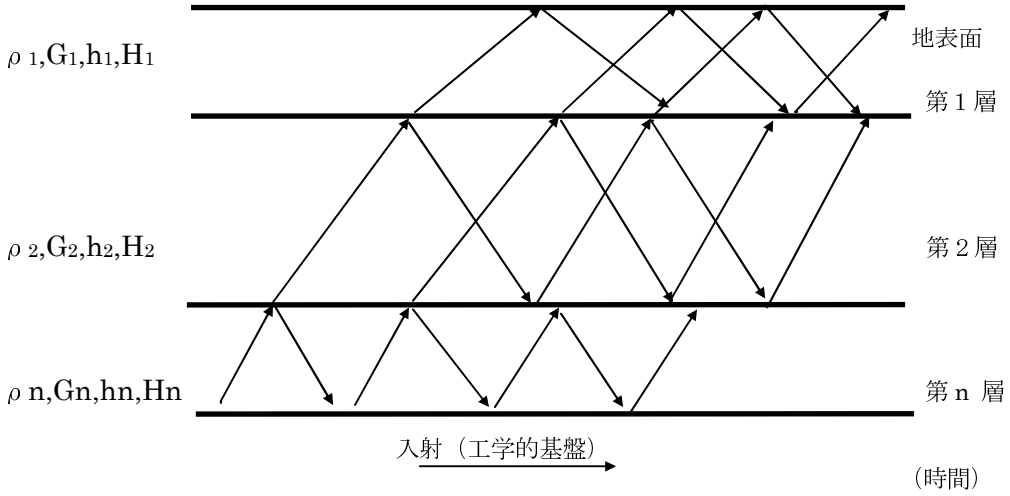


出典：広島県地震被害想定調査（平成 19 年 3 月）

３　地表面の地震動予測手法

重複反射理論による応答解析とは、地盤分類に対応した代表柱状図毎にＳ波速度、密度等の物性値を与え、想定した地震に見合った地震波形を工学的基盤に入射し、水平成層した地盤の中をＳ波が反射・透過を繰り返しながら地表面の応答波形を形成していくという考え方である。なお、通常の成層地盤においては、表層での地震波はほぼ垂直に上昇すると仮定している。

参考図４　重複反射理論の概念



ρ_n	第ｎ層の密度
G_n	第ｎ層の動的せん断弾性定数（剛性率）
h_n	第ｎ層の減衰常数
H_n	第ｎ層の層厚