

〔付録〕地震動予測手法の概要

本付録では，システムの予測対象としている地震動指標（最大速度，最大加速度，計測震度，S I 値，加速度応答スペクトル）の予測手法と，観測記録を補間情報として用いた地震動予測手法について概要をまとめる．

1. 地震動指標の予測手法

1-1. 最大速度

地表最大速度は，基盤最大速度を距離減衰式で算出し，それに地盤増幅度を掛け合わせて算出する（図1-1）．

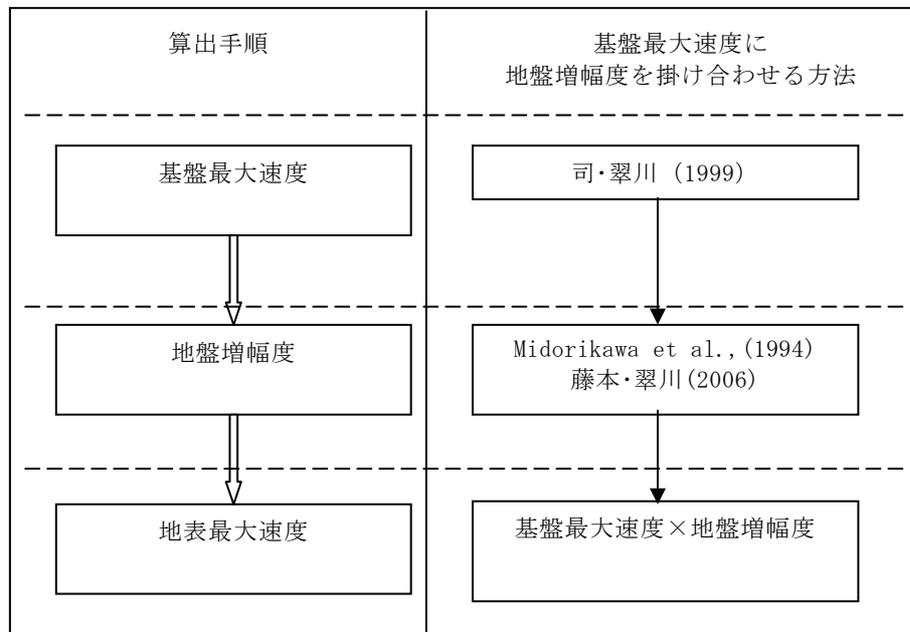


図1-1 最大速度の算出手順

(1) 基盤最大速度

基盤最大速度は，地震調査研究推進本部の確率論的地震動予測値図や中央防災会議の揺れやすさマップの作成で使用されている司・翠川(1999)の式を用いて予測する．

$$\log_{10} PGV = 0.58M_w - \log_{10} \left(X + 0.0028 \cdot 10^{0.50M_w} \right) - 0.002X + 0.0038h - 1.29 + d$$

PGV : 基準地盤 ($V_s=600\text{m/s}$ 相当) の最大速度 [cm/s]

M_w : モーメントマグニチュード

h : 断層面の平均的な深さ [km]

X : 断層最短距離 [km]

d : 地震タイプ別の係数 (地殻内0.00, プレート間-0.02, プレート内0.12)

(2) 地盤増幅度

地盤増幅度は、Midorikawa et al. (1994)を用いて予測する方法と、藤本・翠川(2006)を用いて予測する方法の2種類から選択する。

①Midorikawa et al. (1994)

$$\log_{10}(ARV)=1.83-0.66\cdot\log_{10}(AVS30)\pm 0.16 \quad (\text{元データ: } 100 \leq AVS30 \leq 1500)$$

ARV : 基準地盤 ($V_s=600\text{m/s}$) の最大速度振幅に対する地盤の増幅度 [-]

AVS30 : 深さ30mまでの地盤平均S波速度 [m/s]

②藤本・翠川(2006)の手法

$$\log_{10}(ARV)=2.367-0.852\cdot\log_{10}(AVS30)\pm 0.166 \quad (\text{元データ: } 100 \leq AVS30 \leq 1500)$$

ARV : 基準地盤 ($V_s=600\text{m/s}$) の最大速度振幅に対する地盤の増幅度 [-]

AVS30 : 深さ30mまでの地盤平均S波速度 [m/s]

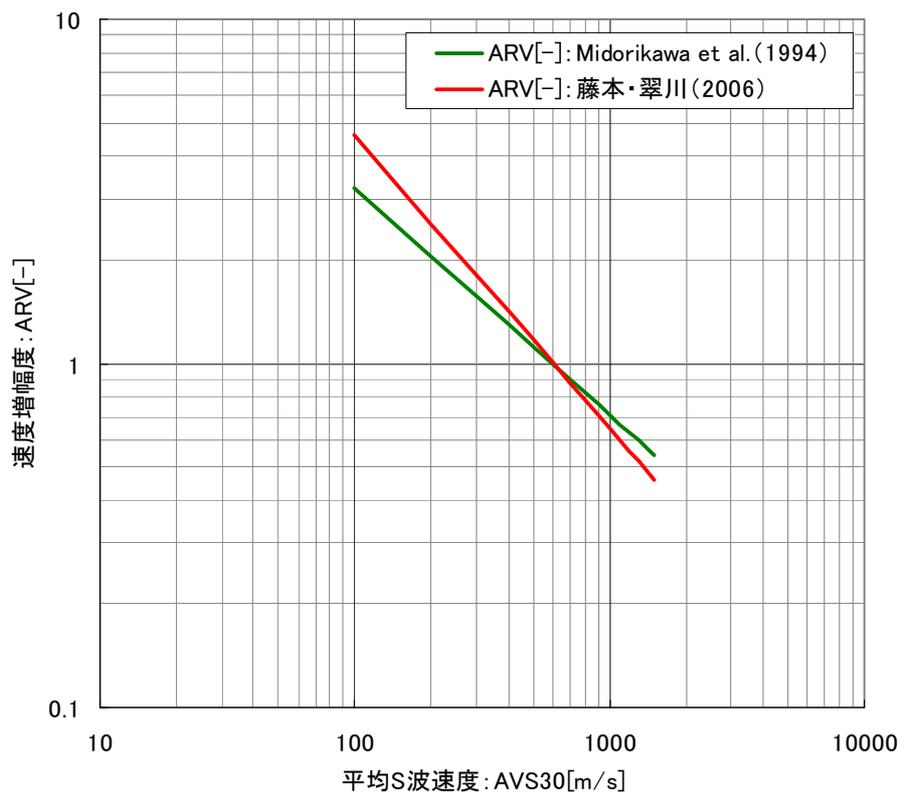


図1-2 平均S波速度と速度増幅度の関係

(3) 地表最大速度

上記で算出した基盤最大速度と地盤増幅度を掛け合わせて地表最大速度を算出する。

(4) 異常震域への対応

本システムでは、異常震域に対応した予測手法を選択することが出来る。システムで対応している異常震域は、太平洋プレートの地震とフィリピン海プレートの地震であり、その対応は、距離減衰式を補正する補正式によって行う。

①太平洋プレートの地震等に対する補正式

太平洋プレートの地震に対する固有の距離減衰特性を反映させるために、森川ら(2003)の方法に準じた距離減衰式の補正項V1とV2を導入する。補正は、距離減衰式で推定される最大速度の値に、V1とV2を乗じて行う。

$$\log V1 = (-4.021 \times 10^{-5} \times Rtr + 9.905 \times 10^{-3}) \times (D - 30)$$

$$V2 = \max\{1.0, (R/300)^{2.064} \times 10^{-0.012}\}$$

Rtr : 海溝軸から観測点までの距離 [km]

R : 震源距離 [km]

D : 震源深さ [km]

補正項V1は、やや深発地震などで観測される異常震域を表現するためのもの、補正項V2は、司・翠川(1999)の式を300km以遠まで拡張して適用するためのものである。補正項V1は、震源深さが30kmより深い地震に対してのみ適用される。

これらの補正を適用する地震は、太平洋プレートの海溝型地震と太平洋プレートのプレート間およびプレート内の震源断層を予め特定しにくい地震、および浦河沖の地震である。

②フィリピン海プレートの地震等に対する補正式

日本の周辺で発生するやや深発地震、深発地震では、日本海側と比べて太平洋側で震度が大きくなる異常震域現象が生じることが知られており、異常震域の原因は、島弧地域における特異な減衰(Q値)構造によって定性的に説明される(図1-3)。

補正式は、森川ら(2006)の以下の補正係数を司・翠川(1999)の距離減衰式に対して適用する。

$$\text{PGA} \quad \log A = \begin{cases} 7.06 \times 10^{-5} \times Xvf \times (D - 30) & [Xvf \leq 75\text{km}] \\ 5.30 \times 10^{-5} \times (D - 30) & [Xvf > 75\text{km}] \end{cases}$$

$$\text{PGV} \quad \log A = \begin{cases} 4.28 \times 10^{-5} \times Xvf \times (D - 30) & [Xvf \leq 75\text{km}] \\ 3.21 \times 10^{-5} \times (D - 30) & [Xvf > 75\text{km}] \end{cases}$$

A : 補正係数

PGA : 最大加速度

PGV : 最大速度
D : 震源の深さ [km]
Xvf : 火山フロントからの距離 [km]

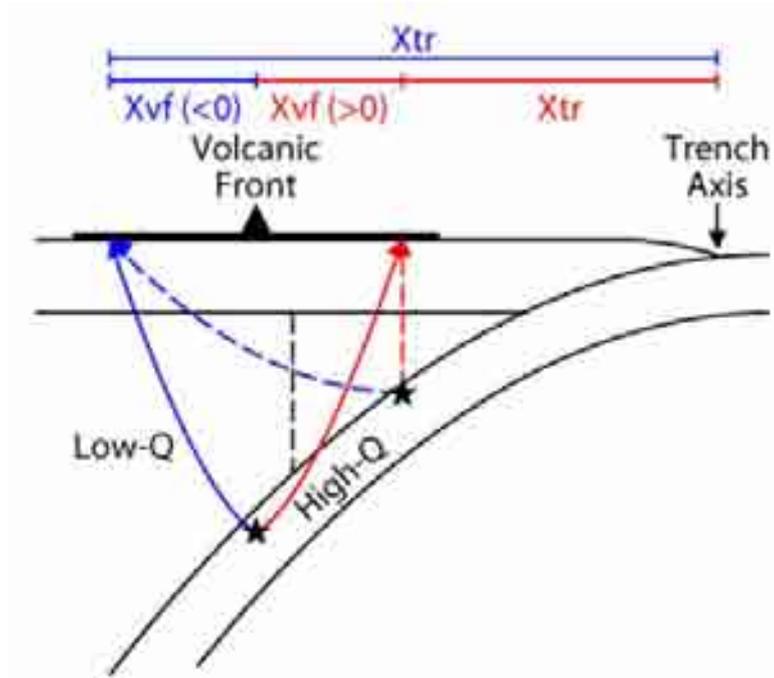


図1-3 島弧地域におけるQ値構造の模式図と X_{vf} の定義 (森川ら(2006)より)

1-2. 計測震度

計測震度は、距離減衰式等で算出した速度を変換して計測震度を算出する方法と、計測震度の距離減衰式から算出した計測震度に震度増分を加えて計算する方法の2種類から選択する(図1-4)。

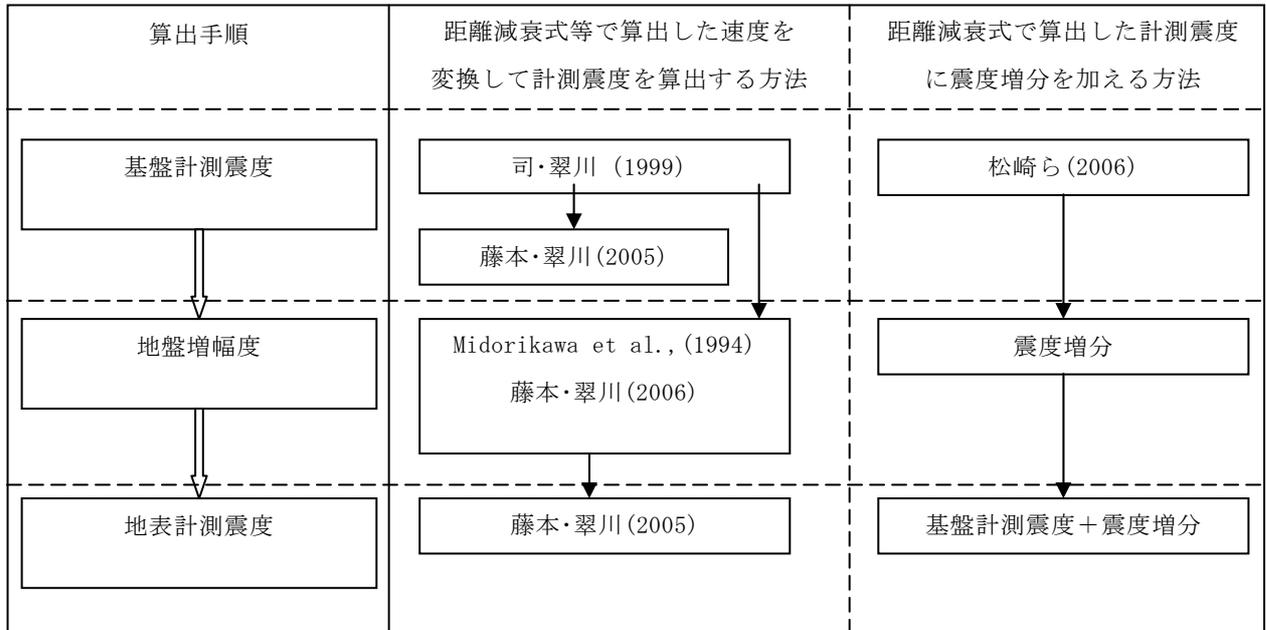


図1-4 計測震度の算出手順

(1) 距離減衰式等で算出した速度を変換して計測震度を算出する方法

① 基盤計測震度

基盤計測震度は、司・翠川(1999)の距離減衰式と藤本・翠川(2005)による最大速度と計測震度の換算式を用いて予測する。(司・翠川(1999)の説明は1-1.を参照)

□ 藤本・翠川(2005)

藤本・翠川(2005)の換算式のうち、二次式を使用する。

$$I = \begin{cases} 2.165 + 2.262 \cdot \log_{10}(PGV) & (I < 4) \approx (PGV < 7\text{cm/s}) \\ 2.002 + 2.603 \cdot \log_{10}(PGV) - 0.213 \cdot \log_{10}(PGV)^2 & (I \geq 4) \approx (PGV \geq 7\text{cm/s}) \end{cases}$$

I : 計測震度

PGV : 最大速度 [cm/s]

② 地表計測震度

地表計測震度は、「1-1. 最大速度」の節で説明した方法で予測した地表最大速度

と藤本・翠川(2005)による最大速度と計測震度の換算式を用いて予測する。

(2) 計測震度の距離減衰式から算出した計測震度に震度増分を加えて計算する方法

① 基盤計測震度

基盤計測震度は、松崎ら(2006)の距離減衰式を用いて予測する。

$$I = 1.36 \cdot M_J - 4.03 \cdot \log_{10}(X + 0.00675 \cdot 10^{0.5M_J}) + 0.0155 \cdot h + 2.05 + C_i$$

I : 計測震度

M_J : 気象庁マグニチュード

X : 断層最短距離または震源距離 [km]

h : 震源深さ [km] (ただし, $h > 100$ の場合は, $h = 100$ とする)

C_i : 岩盤相当の地震動に補正する係数 (= -0.152)

松崎ら(2006)の式は、地震動の頭打ち効果を考慮しており、震源近傍まで適用可能である。なお、この距離減衰式は、基準地盤に対する式ではないため、基準地盤相当の地震動とするため、原典に記載されている地盤種別の偏差より、岩盤相当の偏差 -0.152 を加えた式を使用することとした。

② 地盤増幅度 (震度増分)

計測震度の場合、地盤増幅の効果は震度増分で与える。この震度増分は、最大速度の地盤増幅度と計測震度換算式より求める。

最大速度の地盤増幅度は、藤本・翠川(2006)を用いて求める(説明は1-1.を参照)。また、震度増分は藤本・翠川(2005)の計測震度換算式のうち、 $I=4\sim 7$ を対象とした一次式を使用する。

$$I = 2.286 + 2.088 \cdot \log_{10}(PGV)$$

I : 計測震度

PGV : 最大速度 [cm/s]

これらの式から、 $AVS30$ に対する震度増分の式を求めると以下ようになる。

$$\Delta I = 2.088 \cdot \{2.367 - 0.852 \cdot \log_{10}(AVS30) \pm 0.166\}$$

ΔI : 基準地盤 ($V_s=600\text{m/s}$) の計測震度に対する震度増分 [-]

③ 地表計測震度

上記で算出した基盤計測震度と震度増分を足し合わせて地表計測震度を算出する。

2-3. 最大加速度

地表最大加速度は、基盤最大加速度を距離減衰式で算出し、それに地盤増幅度を掛け合わせて算出する（図1-5）。

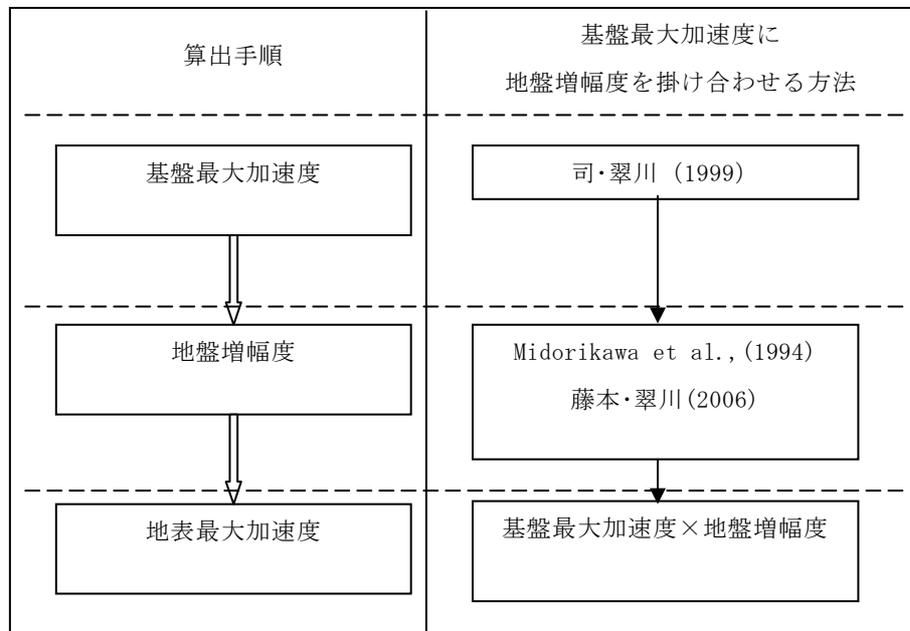


図1-5 最大加速度の算出手順

（1）基盤最大加速度

基盤最大加速度は、下記の司・翠川(1999)で求めた地表最大加速度を、岩盤（概ね $V_s=600\text{m/s}$ 程度）での最大加速度とするため、1.4で除して求める。

$$\log_{10} A = 0.50M_w - \log_{10}(X + 0.0055 \cdot 10^{0.50M_w}) - 0.003X + 0.0043h + 0.61 + d$$

- A : 地表最大加速度 [cm/s/s]
- M_w : モーメントマグニチュード
- h : 断層面の平均的な深さ [km]
- X : 断層最短距離 [km]
- d : 地震タイプ別の係数（地殻内0.00, プレート間0.01, プレート内0.22）

（2）地盤増幅度

地盤増幅度は、Midorikawa et al. (1994)を用いて予測する方法と、藤本・翠川(2006)を用いて予測する方法の2種類から選択する。

①Midorikawa et al. (1994)

$$\log_{10}(ARA) = 1.35 - 0.47 \cdot \log_{10}(AVS30) \pm 0.18 \quad (\text{元データ: } 100 \leq AVS30 \leq 1500)$$

ARA : 基準地盤 ($V_s=600\text{m/s}$) の最大加速度振幅に対する地盤の増幅度 [-]
 $AVS30$: 深さ30mまでの地盤平均S波速度 [m/s]

②藤本・翠川(2006)の手法

藤本・翠川(2006)の最大加速度の地盤増幅率は、地盤の非線形性を考慮するため、地震動による有効ひずみの大きさに応じて式を使い分ける。有効ひずみは、地表最大速度から算出する。

$$\log_{10}(ARA) = b \cdot \log_{10}(AVS30/600) \pm 0.200 \quad (\text{元データ : } 100 \leq AVS30 \leq 1500)$$

$$b = \begin{cases} -0.773 & (\gamma < 3 \times 10^{-4}) \\ 2.042 + 0.799 \cdot \log_{10} \gamma & (\gamma \geq 3 \times 10^{-4}) \end{cases} \quad \text{または} (AVS30 \geq 600\text{m/s}) \quad ※$$

$$\gamma = 0.4 \cdot PGV / AVS30$$

ARA : 基準地盤 ($V_s=600\text{m/s}$) の最大加速度振幅に対する地盤の増幅度 [-]
 $AVS30$: 深さ30mまでの地盤平均S波速度 [m/s]
 PGV : 地表最大速度 [m/s]
 γ : 疑似有効ひずみ [-]

※式中の条件「 $AVS30 \geq 600\text{m/s}$ 」は、原典の図から判断して本プログラムに適用する際に追加した条件である。基準地盤 ($V_s=600\text{m/s}$) よりも $AVS30$ が大きい場合は、非線形的挙動は生じにくいことを考慮すれば妥当と考えられる。

(3) 地表最大加速度

上記で算出した基盤最大加速度と地盤増幅度を掛け合わせて地表最大加速度を算出する。

1-4. S I 値

地表の S I 値は、まず、基盤最大速度と地盤増幅度を掛け合わせて地表最大速度を求め、それを換算して算出する（図1-6）。

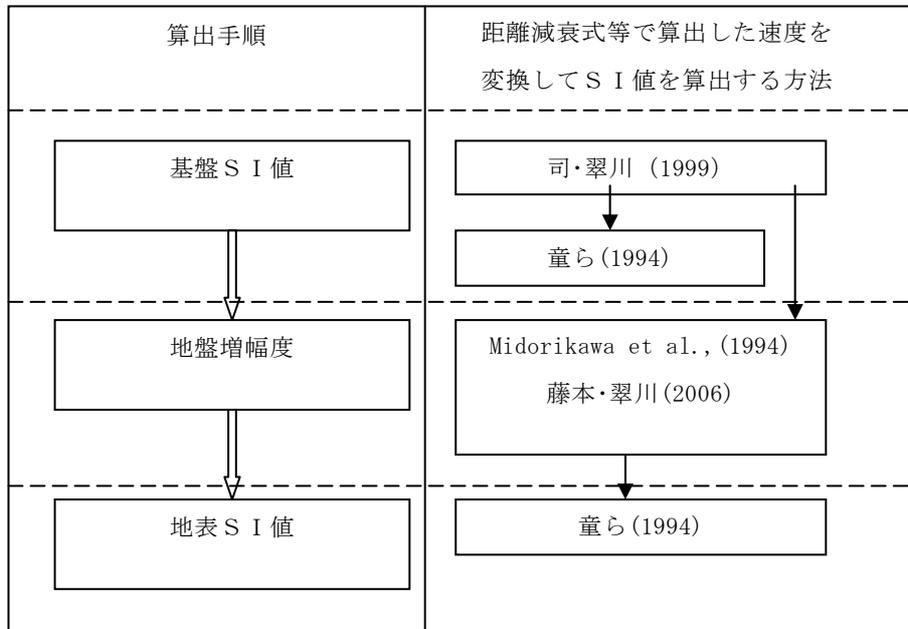


図1-6 算出手順

(1) 基盤 S I 値

「1-1. 最大速度」と同様の方法で基盤最大速度を求め、それを童ら(1994)による最大速度と S I 値の関係式を用いて、基盤 S I 値を求める。

$$SI = 1.18 \times V_{max} \quad (V_{max} : \text{地表最大速度})$$

(2) 地表 S I 値

「1-1. 最大速度」と同様の方法で地表最大速度を求め、それを童ら(1994)による最大速度と S I 値の関係式を用いて、地表 S I 値を求める。

1-5. 加速度応答スペクトル

地表の加速度応答スペクトルは、 $V_s=300\text{m/s}$ 相当の地盤の加速度応答スペクトルで算出し、それに地盤の増幅度を掛け合わせて算出する（図1-7）。

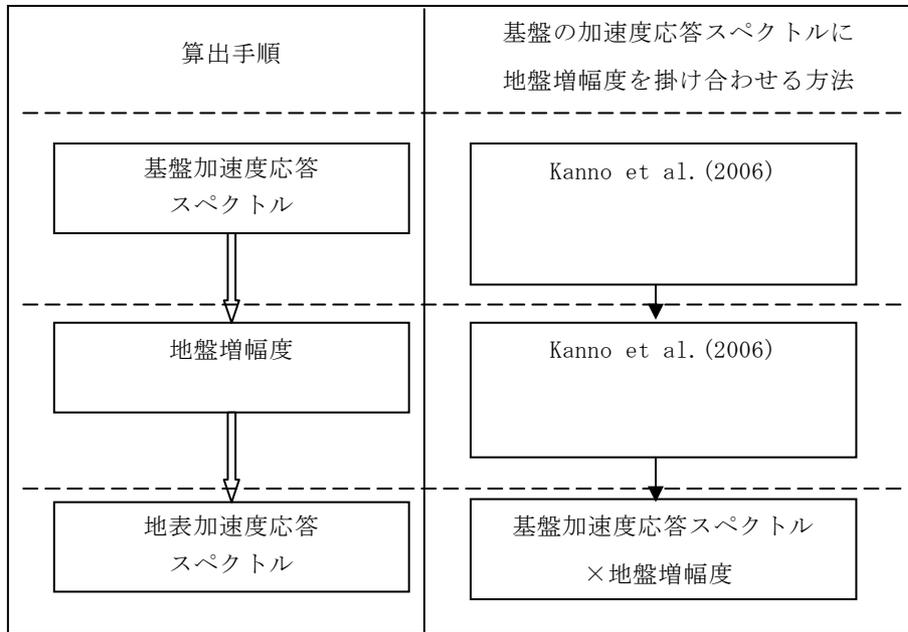


図1-7 算出手順

(1) $V_s=300\text{m/s}$ 相当の地盤の加速度応答スペクトル

Kanno et al. (2006)の式を用いて、 $V_s=300\text{m/s}$ 相当の地盤（解析に使用した観測点の平均的地盤）における加速度応答スペクトル予測する。

$$\log_{10} S_{A0}(T) = \begin{cases} a_1(T)M_w + b_1(T)X - \log_{10}(X + d_1(T) \cdot 10^{0.5M_w}) + c_1(T) \pm \varepsilon_1(T) & (D \leq 30\text{km}) \\ a_2(T)M_w + b_2(T)X - \log_{10}(X) + c_2(T) \pm \varepsilon_2(T) & (D > 30\text{km}) \end{cases}$$

$S_{A0}(T)$ ：解析に使用した観測点の平均的地盤（ $V_s=300\text{m/s}$ 相当）における減衰定数5%の加速度応答スペクトル [cm/s/s]（ T ：周期）

M_w ：モーメントマグニチュード

X ：断層最短距離または震源距離 [km]

D ：震源深さ [km]

$a_1(T), b_1(T), c_1(T), d_1(T)$ ：周期ごとの回帰係数（ $D \leq 30\text{km}$ ）（表1-1, 図1-8）

$a_2(T), b_2(T), c_2(T)$ ：周期ごとの回帰係数（ $D > 30\text{km}$ ）（表1-1, 図1-8）

$\varepsilon_1(T)$ ：周期ごとの予測誤差（表1-3）

$\varepsilon_2(T)$ ：周期ごとの予測誤差（表1-3）

(2) 地盤増幅度

地盤増幅度は，Kanno et al. (2006)を用いて予測する．

$$G(T) = p(T) \cdot \log_{10}(AVS30) + q(T)$$

$$\log_{10} S_A(T) = \log_{10} S_{A0}(T) + G(T)$$

$G(T)$: 地盤補正係数 (T : 周期)

$p(T), q(T)$: 周期ごとの回帰係数 (表1-2参照)

$AVS30$: 深さ30mまでの地盤平均S波速度 [m/s]

$S_A(T)$: 地盤の影響を補正した減衰定数5%の加速度応答スペクトル [cm/s/s]

$S_{A0}(T)$: 解析に使用した観測点の平均的地盤 ($V_s=300\text{m/s}$ 相当) における減衰定数5%の加速度応答スペクトル [cm/s/s]

(3) 地表加速度応答スペクトル

上記で算出した $V_s=300\text{m/s}$ 相当の地盤の加速度応答スペクトルと地盤増幅度を掛け合わせて地表加速度応答スペクトルを算出する．

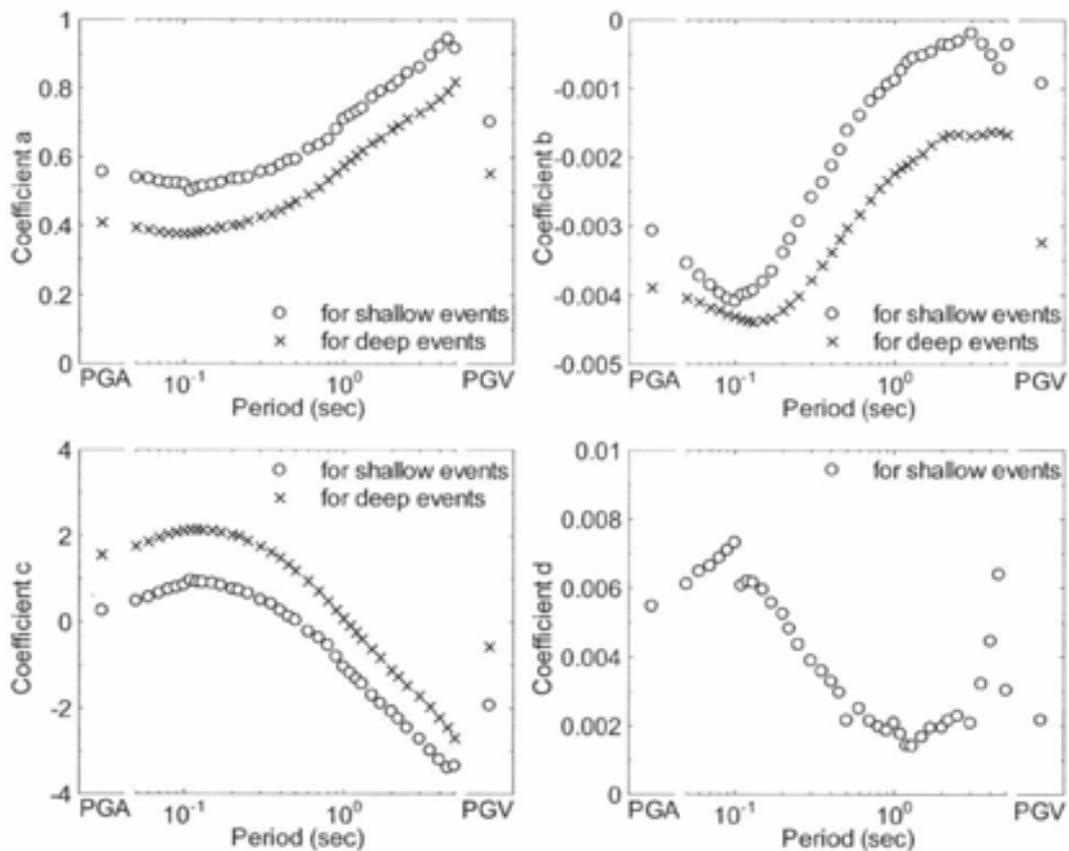


図1-8 回帰係数 $a(T), b(T), c(T), d(T)$ の値 (Kanno et al., 2006)

(shallow events : $D \leq 30\text{km}$, deep events : $D > 30\text{km}$)

表1-1 距離減衰式の回帰係数の値 (Kanno et al., 2006)

Period[sec]	$(D \leq 30\text{km})$					$(D > 30\text{km})$			
	$a_1(T)$	$b_1(T)$	$c_1(T)$	$d_1(T)$	$\varepsilon_1(T)$	$a_2(T)$	$b_2(T)$	$c_2(T)$	$\varepsilon_2(T)$
0.05	0.54	-0.0035	0.48	0.0061	0.37	0.39	-0.0040	1.76	0.42
0.06	0.54	-0.0037	0.57	0.0065	0.38	0.39	-0.0041	1.86	0.43
0.07	0.53	-0.0039	0.67	0.0066	0.38	0.38	-0.0042	1.96	0.45
0.08	0.52	-0.0040	0.75	0.0069	0.39	0.38	-0.0042	2.03	0.45
0.09	0.52	-0.0041	0.80	0.0071	0.40	0.38	-0.0043	2.08	0.46
0.10	0.52	-0.0041	0.85	0.0073	0.40	0.38	-0.0043	2.12	0.46
0.11	0.50	-0.0040	0.96	0.0061	0.40	0.38	-0.0044	2.14	0.46
0.12	0.51	-0.0040	0.93	0.0062	0.40	0.38	-0.0044	2.14	0.46
0.13	0.51	-0.0039	0.91	0.0062	0.40	0.38	-0.0044	2.13	0.46
0.15	0.52	-0.0038	0.89	0.0060	0.41	0.39	-0.0044	2.12	0.46
0.17	0.53	-0.0037	0.84	0.0056	0.41	0.40	-0.0043	2.08	0.45
0.20	0.54	-0.0034	0.76	0.0053	0.40	0.40	-0.0042	2.02	0.44
0.22	0.54	-0.0032	0.73	0.0048	0.40	0.40	-0.0041	1.99	0.43
0.25	0.54	-0.0029	0.66	0.0044	0.40	0.41	-0.0040	1.88	0.42
0.30	0.56	-0.0026	0.51	0.0039	0.39	0.43	-0.0038	1.75	0.42
0.35	0.56	-0.0024	0.42	0.0036	0.40	0.43	-0.0036	1.62	0.41
0.40	0.58	-0.0021	0.26	0.0033	0.40	0.45	-0.0034	1.49	0.41
0.45	0.59	-0.0019	0.13	0.0030	0.41	0.46	-0.0032	1.33	0.41
0.50	0.59	-0.0016	0.04	0.0022	0.41	0.47	-0.0030	1.19	0.40
0.60	0.62	-0.0014	-0.22	0.0025	0.41	0.49	-0.0028	0.95	0.40
0.70	0.63	-0.0012	-0.37	0.0022	0.41	0.51	-0.0026	0.72	0.40
0.80	0.65	-0.0011	-0.54	0.0020	0.41	0.53	-0.0025	0.49	0.40
0.90	0.68	-0.0009	-0.80	0.0019	0.41	0.56	-0.0023	0.27	0.40
1.00	0.71	-0.0009	-1.04	0.0021	0.41	0.57	-0.0022	0.08	0.41
1.10	0.72	-0.0007	-1.19	0.0018	0.41	0.59	-0.0022	-0.08	0.41
1.20	0.73	-0.0006	-1.32	0.0014	0.41	0.60	-0.0021	-0.24	0.41
1.30	0.74	-0.0006	-1.44	0.0014	0.41	0.62	-0.0020	-0.40	0.41
1.50	0.77	-0.0005	-1.70	0.0017	0.40	0.64	-0.0020	-0.63	0.41
1.70	0.79	-0.0005	-1.89	0.0019	0.39	0.66	-0.0018	-0.83	0.40
2.00	0.80	-0.0004	-2.08	0.0020	0.39	0.68	-0.0017	-1.12	0.40
2.20	0.82	-0.0004	-2.24	0.0022	0.38	0.69	-0.0017	-1.27	0.40
2.50	0.84	-0.0003	-2.46	0.0023	0.38	0.71	-0.0017	-1.48	0.39
3.00	0.86	-0.0002	-2.72	0.0021	0.38	0.73	-0.0017	-1.72	0.39
3.50	0.90	-0.0003	-2.99	0.0032	0.37	0.75	-0.0017	-1.97	0.38
4.00	0.92	-0.0005	-3.21	0.0045	0.38	0.77	-0.0016	-2.22	0.37
4.50	0.94	-0.0007	-3.39	0.0064	0.38	0.79	-0.0016	-2.45	0.36
5.00	0.92	-0.0004	-3.35	0.0030	0.38	0.82	-0.0017	-2.70	0.35

表1-2 地盤増幅度の式の回帰係数の値 (Kanno et al., 2006)

Period[sec]	$p(T)$	$q(T)$
0.05	-0.32	0.80
0.06	-0.26	0.65
0.07	-0.24	0.60
0.08	-0.26	0.64
0.09	-0.29	0.72
0.10	-0.32	0.78
0.11	-0.35	0.84
0.12	-0.39	0.94
0.13	-0.43	1.04
0.15	-0.53	1.28
0.17	-0.61	1.47
0.20	-0.68	1.65
0.22	-0.72	1.74
0.25	-0.75	1.82
0.30	-0.80	1.96
0.35	-0.85	2.09
0.40	-0.87	2.13
0.45	-0.89	2.18
0.50	-0.91	2.25
0.60	-0.92	2.30
0.70	-0.96	2.41
0.80	-0.98	2.46
0.90	-0.97	2.44
1.00	-0.93	2.32
1.10	-0.92	2.30
1.20	-0.91	2.26
1.30	-0.88	2.20
1.50	-0.85	2.12
1.70	-0.83	2.06
2.00	-0.78	1.92
2.20	-0.76	1.88
2.50	-0.72	1.80
3.00	-0.68	1.70
3.50	-0.66	1.64
4.00	-0.62	1.54
4.50	-0.60	1.50
5.00	-0.59	1.46

2. 観測記録を補間情報として用いた地震動予測手法

2-1. 空間内挿法

本システムでは、観測記録を補間情報として用いた地震動予測を行う場合の空間内挿法を、逆距離加重法とBriggs法の2種類の方法から選択する。

(1) 逆距離加重法 (IDW法: Inverse Distance Weighted)

地震動の観測値が得られた全ての観測点における観測値を基盤地震動に戻し、その値と距離減衰式による計算値の対数の差に対し、距離の逆数の4乗を重みとした平均をとり、距離減衰による計算値に適用することにより求める。

$$P(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

$$V_{est} = V_{cal} \cdot 10^{P(x, y)}$$

$P(x, y)$: 任意の点 (x, y) における補正係数

n : 観測点の数

P_i : 観測点における補正係数 (\log_{10} 観測値 - \log_{10} 計算値)

R_i : 任意の点 (x, y) と観測点までの距離に基づく重み係数 ($1/r^4$)

V_{est} : 任意の点 (x, y) における工学的基盤地震動の補間結果

V_{cal} : 任意の点 (x, y) における距離減衰式による計算値

(2) Briggs法 (Briggs, 1974)

Briggs法は、気象庁推計震度分布や内閣府地震被害早期評価システムなどで採用されている空間内挿法であるが、処理が逆距離加重法に比べて複雑で配列を多く必要とし、多大な計算時間が掛かる。

Briggs法の概要は、萩原(1978)を参考にすると以下のとおりである。

薄い金属板を平らに張り、板面上のいくつかの点に不規則に分布する力によって板が変位を起こすものとする。力 f_n ($n=1, 2, \dots, N$) の位置を (x_n, y_n) で与えると、変位 $u(x, y)$ は

$$\nabla^4 u = \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} = \begin{cases} f_n : x = x_n, y = y_n \\ 0 : \text{その他} \end{cases} \quad (1)$$

を満足する。

この方程式は金属板の曲率を最小にする条件に等しい。すなわち、点 (x_n, y_n) における変位の観測値を w_n とし、条件

$$u(x_n, y_n) = w_n \quad (2)$$

を満たしながら、曲率が最小となるような面を探すこととなる。

任意の点 (x, y) における観測値と距離減衰式による予測値の差の補間結果を $P(x, y)$ とすると、最大速度の補間結果は以下の式から算出する。

$$V_{est} = V_{cal} \cdot 10^{P(x, y)}$$

V_{est} : 任意の点 (x,y) における工学的基盤地震動の補間結果

V_{cal} : 任意の点 (x,y) における距離減衰式による計算値

(3) 各メッシュの計算方法

観測点があるメッシュの結果の設定方法と、補間方法における観測値の取り扱い方法を下表に示す。

表2-1 補間方法の概要

項目		計算方法
観測点があるメッシュの結果の設定方法	逆距離加重法	観測点数および観測点の有無に関わらず、全てのメッシュについてメッシュ中心点の推定結果を採用する。したがって、観測値があるメッシュについても、そのメッシュの中心点における推定結果を採用する。
	Briggs 法	観測点が属するメッシュの観測値は、そのメッシュに属する全ての観測値の平均値（計測震度の場合は平均値、計測震度以外の場合は対数値の平均値）を採用することとする。平均計算は、地表の値で行う。
補間方法における観測値の取り扱い方法	逆距離加重法	すべての観測点を使用し、観測点の位置はそのまま使用する。
	Briggs 法	手法上、メッシュ内には 1 つの観測値しか許されないため、メッシュ内に複数の観測値がある場合はメッシュ内にある観測値の基盤での平均値（計測震度の場合は平均値、計測震度以外の指標は対数の平均計算により求める）を採用する。また、観測値の平均値（観測点が 1 つの場合はその観測値）は、メッシュの中心に位置するものとして扱う。なお、平均計算は基盤で行う（各観測値を基盤に戻し、基盤での値を平均してメッシュ中心にあるものとして Briggs 法を適用する）。

なお、Briggs法での計算対象範囲は、計測震度2.5（震度3）以上の観測点を含む最小の矩形範囲とし、その範囲は2次メッシュの集合となるようにする。また、計算の収束を速めるため、計算対象範囲の外縁で、観測地震動と距離減衰式による推計地震動が等しくなるようにする。

参考として、2007年新潟県中越沖地震を対象に2種類の空間内挿法を用いて地震動を予測した結果を図2-1に示す。図から、2種類の空間内挿法の予測結果に大きな差はなく、震源に近い地域の地震動分布の傾向がよく似ていることが分かる。

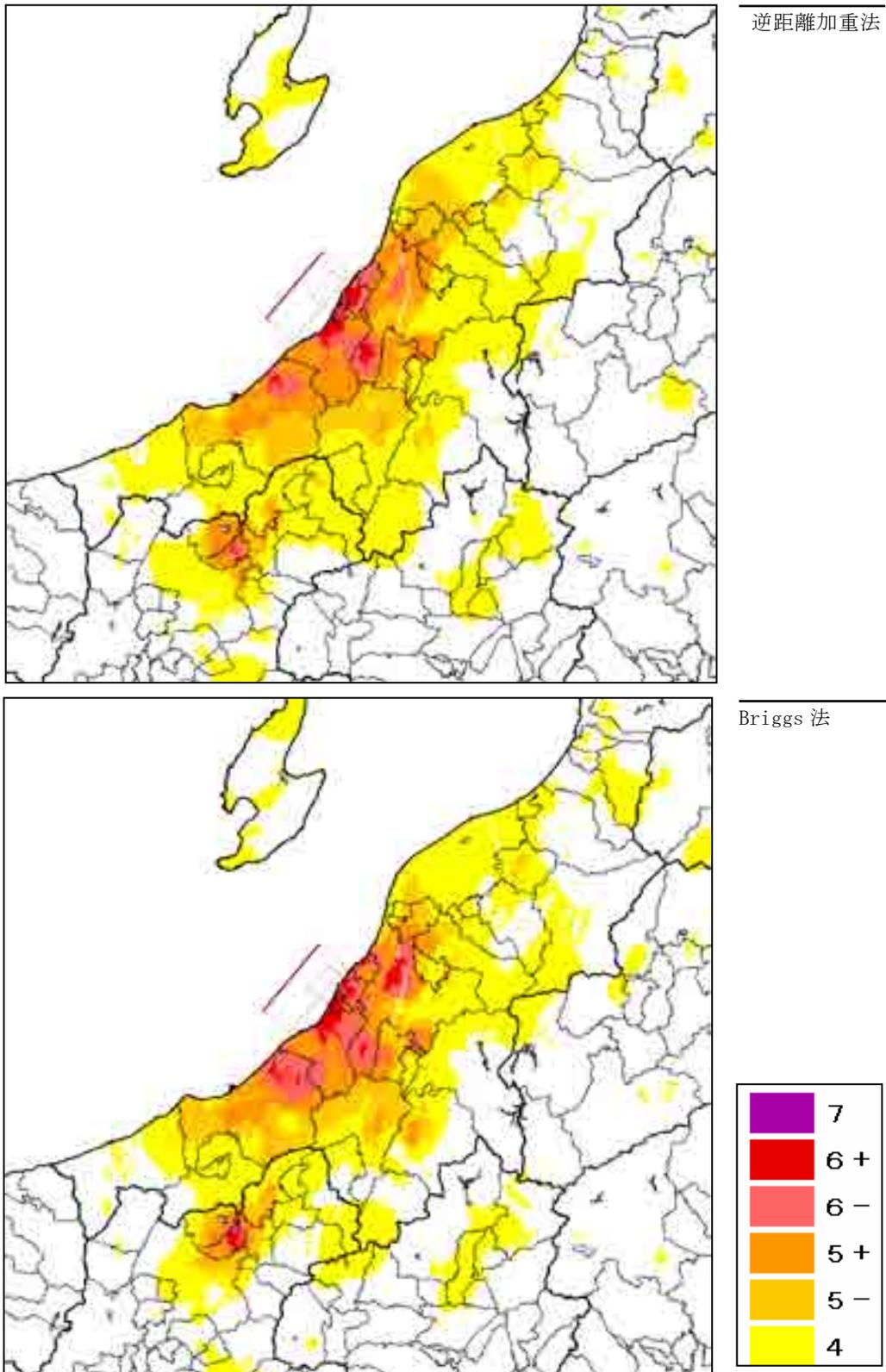


図2-1 計測震度の予測結果
 (上図：逆距離加重法, 下図：Briggs法)

2-2. 観測点の地盤増幅率

本システムでは、観測記録を補間情報として用いた地震動予測を行う場合の観測点地盤増幅率の取り扱いを下表の5種類の方法から選択する。

表2-2 観測点地盤増幅率の取り扱い方法

方法	内容
①使用しない	観測点地盤増幅率を使用しない（メッシュ地盤増幅率を使用）
②観測点地盤シグナルデータのみ	補完不要観測点の観測点地盤増幅率を使用
③観測点地盤シグナルデータ +藤本・翠川(2003)の補完法	補完不要観測点と藤本・翠川(2003)でデータ補完した観測点を組み合わせた観測点地盤増幅率を使用
④観測点地盤シグナルデータ +内閣府(2005)の補完法	補完不要観測点と内閣府(2005)でデータ補完した観測点を組み合わせた観測点地盤増幅率を使用
⑤観測点地盤シグナルデータ +藤本・翠川(2003)の補完法 +内閣府(2005)の補完法	補完不要観測点、藤本・翠川(2003)でデータ補完した観測点、内閣府(2005)でデータ補完した観測点を組み合わせた観測点地盤増幅率を使用

(1) 藤本・翠川(2003)の補完法

K-NETおよびKiK-net観測点の地盤調査データには、深さ30mに満たない、あるいは地表付近のデータがないものが含まれる。この場合、下表の条件を満たすものについては、データ補完を行う。

表2-3 地盤のS波速度情報が不足した地盤調査データに対する使用基準(藤本・翠川, 2003)

最表層までの深さ(m)	～2.0	～5.0					
最表層のS波速度(m/s)	—	<200					
最下層までの深さ(m)	10.0～	15.0～	17.5～	20.0～	22.5～	25.0～	27.5～
最下層のS波速度(m/s)	>1,000	>500	>400	>350	>250	>200	>100

(2) 内閣府(2005)の補完法

内閣府の補完法は、経験式に基づき、深さ30mに満たない地盤データからAVS30を推定する方法で、基盤が確認できる場合とできない場合に分かれている。

①基盤が確認できる場合

内閣府(2005)では、N値50以上あるいはS波速度300m/s以上の層の上面深度を基盤としている。N値のデータはKiK-netでは取得されていないため、本システムでは、S波速度300m/s以上の層の上面深度を基盤としている。

深さ30mに満たない地盤データにおいて基盤が確認できる場合、基盤深度より浅く、

10m, 15m, 20m, 25mのうちで最も基盤に近い値を設定し、その深度までの平均S波速度AVSn (n=10, 15, 20, 25) を計算し、その値およびAVSnとAVS30の経験式(図2-2左列)からAVS30を推定する。

②基盤が確認できない場合

深さ30mに満たない地盤データにおいて基盤が確認できない場合、10m, 15m, 20m, 25mのうちで最も掘進深度に近い値を設定し、その深度までの平均S波速度AVSn (n=10, 15, 20, 25) を計算し、その値およびAVSnとAVS30の経験式(図2-2右列)からAVS30を推定する。ただし、地盤データが10m未満の場合、または基盤が10m未満の場合は、適用外とされている。

藤本・翠川(2003)の補完法と内閣府(2005)の補完法の相違点を下表に示す。

表2-4 藤本・翠川(2003)と内閣府(2005)の手法相違点

	藤本・翠川(2003)	内閣府(2005)
浅部のデータ補完	可	不可
深部のデータ補完	可	可
比較的軟らかい地盤の 深部データ補完	条件付き可 (補完量が少ない場合に可)	可

【基盤が確認できる場合】

【基盤が確認できない場合】

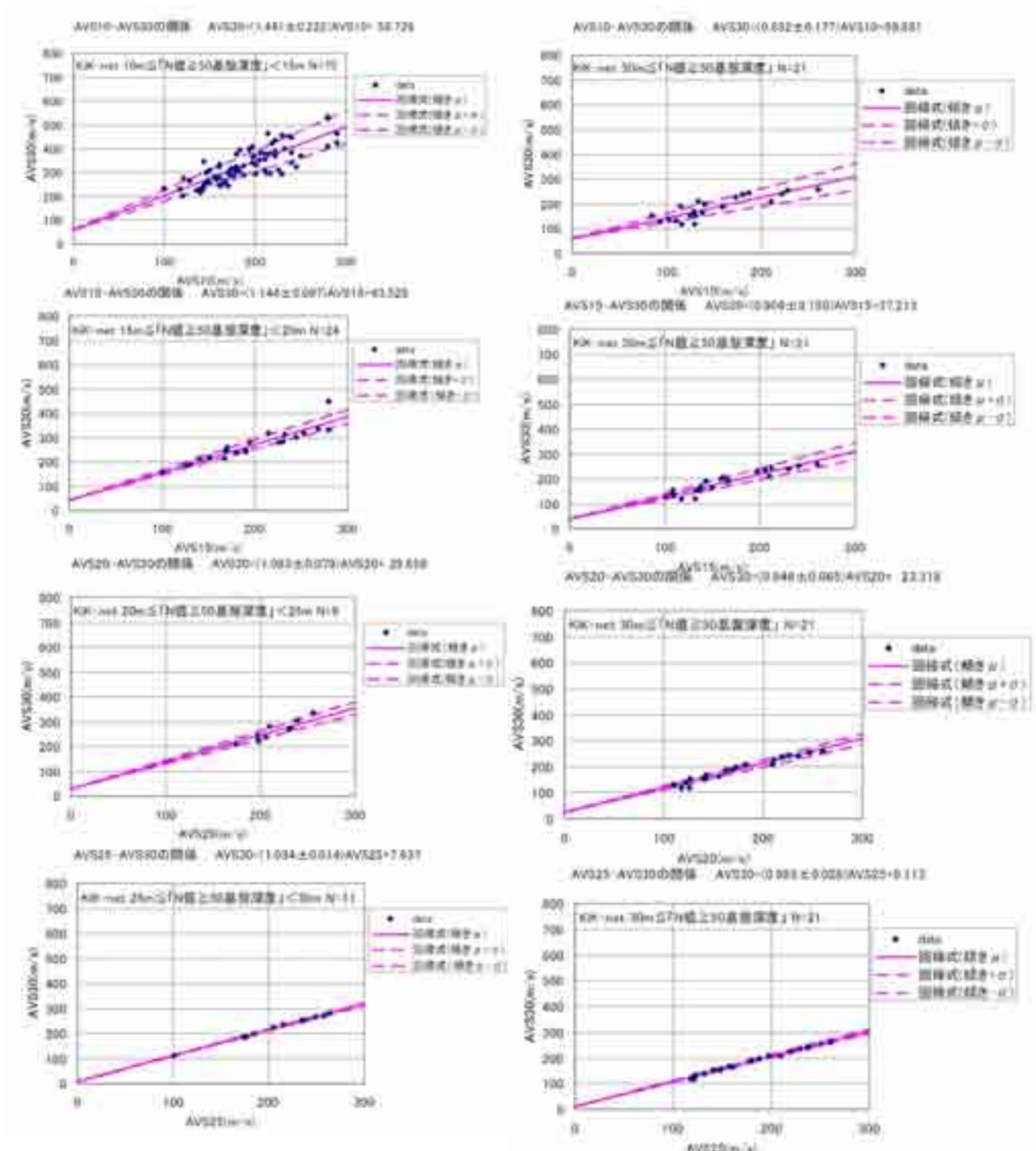


図2-2 AVSnとAVS30の関係式(内閣府, 2005)

付録の参考文献

- Briggs, I. C. (1974) Machine contouring using minimum curvature, *Geophysics*, 39, 39-48. <http://www.gsi.go.jp/common/000040143.pdf>
- 藤本一雄・翠川三郎(2006) 近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係, 日本地震工学会論文集, 第6巻, 第1号
- 藤本一雄・翠川三郎(2005) 近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法, 地域安全学会論文集No.7
- 藤本一雄・翠川三郎(2003) 日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定, 日本地震工学会論文集, 第3巻, 第3号
- 萩原幸男(1978) 地球重力論, 共立出版, 242pp
- Kanno, T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and Y. Fukushima(2006) A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 96
- 松崎伸一・久田嘉章・福島美光(2006) 断層近傍まで適用可能な震度の距離減衰式の開発, 日本建築学会構造系論文集, 第604号
- Midorikawa, S., M. Matsuoka and K. Sakugawa(1994) Site effects on strong motion records observed during the 1987 Chiba-Ken-Toho-Oki, Japan Earthquake, 第9回日本地震工学シンポジウム
- 森川信之・神野達夫・成田章・藤原広行・福島美光(2006) 東北日本の異常震域に対応するための最大振幅および応答スペクトルの新たな距離減衰式の補正係数, 日本地震工学会論文集, 第6巻, 第1号
- 森川信之・神野達夫・成田章・藤原広行・福島美光 (2003) 東北日本の異常震域に対応するための距離減衰式の補正係数, 日本地震工学会論文集, 第3巻, 第4号内閣府(2005) 地震防災マップ作成技術資料, 2005. 3, <http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/050513siryuu.pdf>
- 司宏俊・翠川三郎(1999) 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第523号
- 童華南・山崎文雄・佐々木裕明・松本省吾(1994) 被害事例に基づく地震動強さと家屋被害率の関係, 第9回日本地震工学シンポジウム

謝辞

本研究を実施するにあたり，関東学院大学 若松加寿江教授および産業技術総合研究所 松岡昌志主任研究員より，東北地方南部・北陸地方・近畿地方・九州地方北部の250mメッシュ地盤データを提供いただきました。また，防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET，KiK-net）や気象庁等の地震観測記録を使用させていただきました。ここに記して謝意を表します。

[研究担当者]

国際航業株式会社

岩橋平和，藤原賢也，
秋田善弘，阪本瑠子

損害保険料率算出機構

リスク業務室

吉村昌宏，山口亮，
野中俊弥，遠山奈々

火災・地震保険部地震グループ

福井浩子，山田和樹

※ 各担当者の所属は研究実施時のもの

地震保険研究20
250mメッシュデータを用いた
地震被害想定システムに関する研究

平成21年(2009年)9月発行

発行 損害保険料率算出機構(損保料率機構)

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町1-9

TEL 03-3233-4141(代表)

URL <http://www.nliro.or.jp/>

印刷 日本印刷株式会社

〒101-0021 東京都千代田区外神田6-3-3