

中央防災会議東海地震に関する専門調査会
(第2回)

参 考 資 料

平成13年4月3日

中央防災会議事務局

○地震防災対策強化地域の指定について（報告）

昭和 54 年 5 月 12 日

中央防災会議地震防災対策強化地域指定
専門委員会から中央防災会議事務局長あて

中央防災会議地震防災対策強化地域指定専門委員会は、昭和 53 年 12 月 28 日付（53 国官震第 70 号）で中央防災会議会長宛に諮問された「地震防災対策強化地域の指定について（諮問）」に関し、別記のとおり報告いたします。

地震防災対策強化地域指定専門委員会報告書

1. 本専門委員会は、昭和 53 年 12 月 28 日付（53 国官震第 70 号）で中央防災会議会長宛に諮問された「地震防災対策強化地域の指定について（諮問）」に基づき、大規模地震対策特別措置法（以下「特別措置法」という。）第 3 条第 1 項の地震防災対策強化地域（以下「強化地域」という。）として指定する必要がある地域の範囲について調査検討を行った。その経過及び結果については、以下に述べるとおりである。
2. まず第 1 に、本専門委員会は「大規模な地震が発生するおそれが特に大きいと認められる地殻の範囲」の検討を行ったが、この点については、当面、その発生が懸念されているいわゆる「東海地震」について、早急に強化地域として指定すべき地域を検討する必要があるとの結論に達した。
3. 想定される東海地震の断層モデルについては、これまでの各種の観測・測量、研究等の成果、歴史地震から得られた事実等をふまえて検討を行った結果、その形は南北方向 100～120km 程度×東西方向 50km であり、傾斜角 20 度～30 度の逆断層であると推定した。その位置は、多少幅をもって考えることが妥当であるが、東辺は駿河トラフ沿いの線に沿い、北辺は駿河湾奥までと考える。なお、その西辺以西については、1944 年東南海地震により歪エネルギーが既に放出されているものと考えられるので、1854 年安政東海地震のように遠州灘西南方に及ぶ可能性は少ない。地震の規模は、概ねマグニチュード 8 程度と考えられ、破壊は、断層面の南部から始まる可能性が大きいと思われる。

4. 次にこの地震の断層モデルを受けて、予想される地震が発生した場合に「著しい地震災害が生ずるおそれがある地域」の検討を行った。地震災害には、直接地震動に起因するものをはじめとし、各種のものがあるが、限られた短い時間内に、これら全ての要因について検討することは困難であるとともに、地震動に起因するものが他の災害の誘因となることにかんがみ、本委員会は直接地震動に起因する被害を対象に検討を行うこととし、とくに、当面は、各地域に一般的に存在する木造建築物又は低層建築物（以下「木造建築物等」という。）における被害に重点をおいて作業を進めた。木造建築物等の被害については、その建築物に加えられる地震動の強さ（一般的に気象庁震度階級又は最大加速度で表わされる。）でこれを判断することが適当である。このため、本専門委員会は、まず関係地域内の各地の地質・地盤の状況を調査し、その地震動特性等を把握する作業を行うとともに、震源からの距離・方向により、基盤層における地震動の強さがどのように減衰するかを検討した。

次に、先に検討した断層モデルに関し地震動の強さの減衰性を検討した結果と対象地域の地質・地盤状況とを総合的に勘案し、各地の木造建築物等に加えられる地震動の強さを判断した。

この場合、木造建築物等が一般的に著しい被害を蒙る地震動の強さという見地から震度Ⅵに相当する地震動加速度以上を一応今回の検討に際しての指定の基準とした。

5. この結果、木造建築物等において著しい被害を生ずるおそれのある震度Ⅵ以上となると予想される地域は別添図に示す範囲であろうと推定され、この地域に係る市町村は別表に掲げるとおりである。これらの対象地域について、その社会・経済的集積状況を考慮するといずれも地震防災に関する対策を強化する必要がある地域と認められる。また、過去の当該地域に生じた大規模地震の被害との比較を行った結果に照しても、十分妥当性の高いものであると認められた。

6. 津波については、3で述べた断層モデルに基づいて検討した結果、伊豆半島南部から紀伊半島南端にかけての外洋に面した沿岸部において「津波」（注）が発生するおそれがあり、とくに伊豆半島南部から駿河湾内部に「大津波」（注）が発生するおそれがあると考えられるとの結論を得た。このうち、「著しい地震災害が生ずるおそれのある地域」に該当し、強化地域として指定すべき地域は、大津波の可能性のある地域と考えられるが、この地域はすべて5で述べた地域に含まれることとなる。

7. なお、今回の指定の対象とすべき地域の外周で、自然斜面のすべり及び崩壊、地盤の液状化又は長周期の地震波によるものの被害を想定しなければならない地域等については、今回の指定に引き続き詳細な地盤資料、深部地質構造資料等に基づいて検討を行う必要があると考える。

注

津波予報文とその説明		
予報の種類	予報略文	予報文
津波警報	ツナミ	津波が予想されます。予想される津波の高さは、高いところで約2メートルに達する見込みですから、特に津波が大きくなりやすいところでは警戒を要します。その他のところで数10センチメートル程度の見込みです。
	オオツナミ	大津波が来襲します。予想される津波の高さは、高いところで約3メートル以上に達する見込みですから、今までに津波の被害を受けたようなところや、特に津波が大きくなりやすいところでは、厳重な警戒を要します。その他のところでも1メートルぐらいに達する見込みですから警戒が必要です。

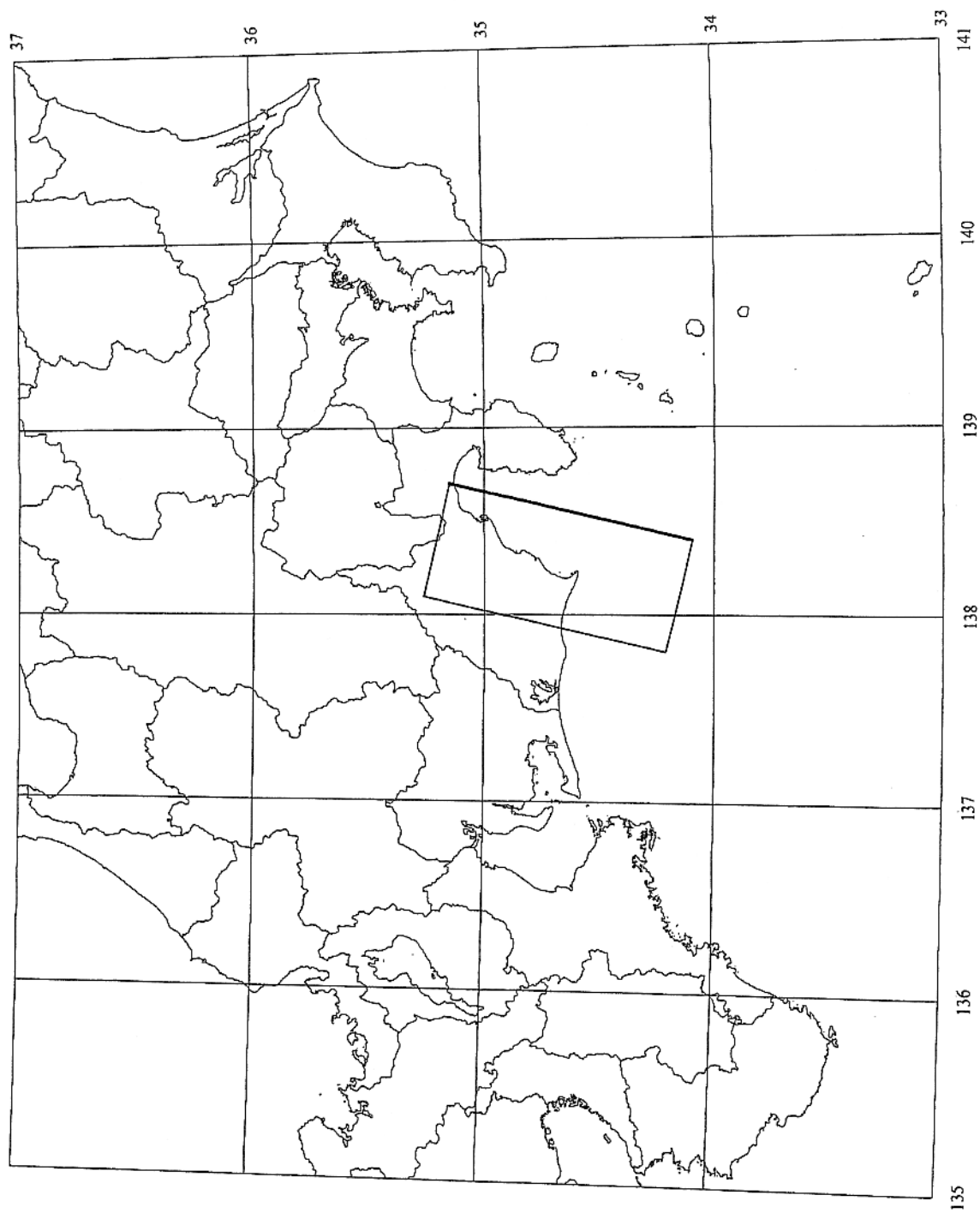
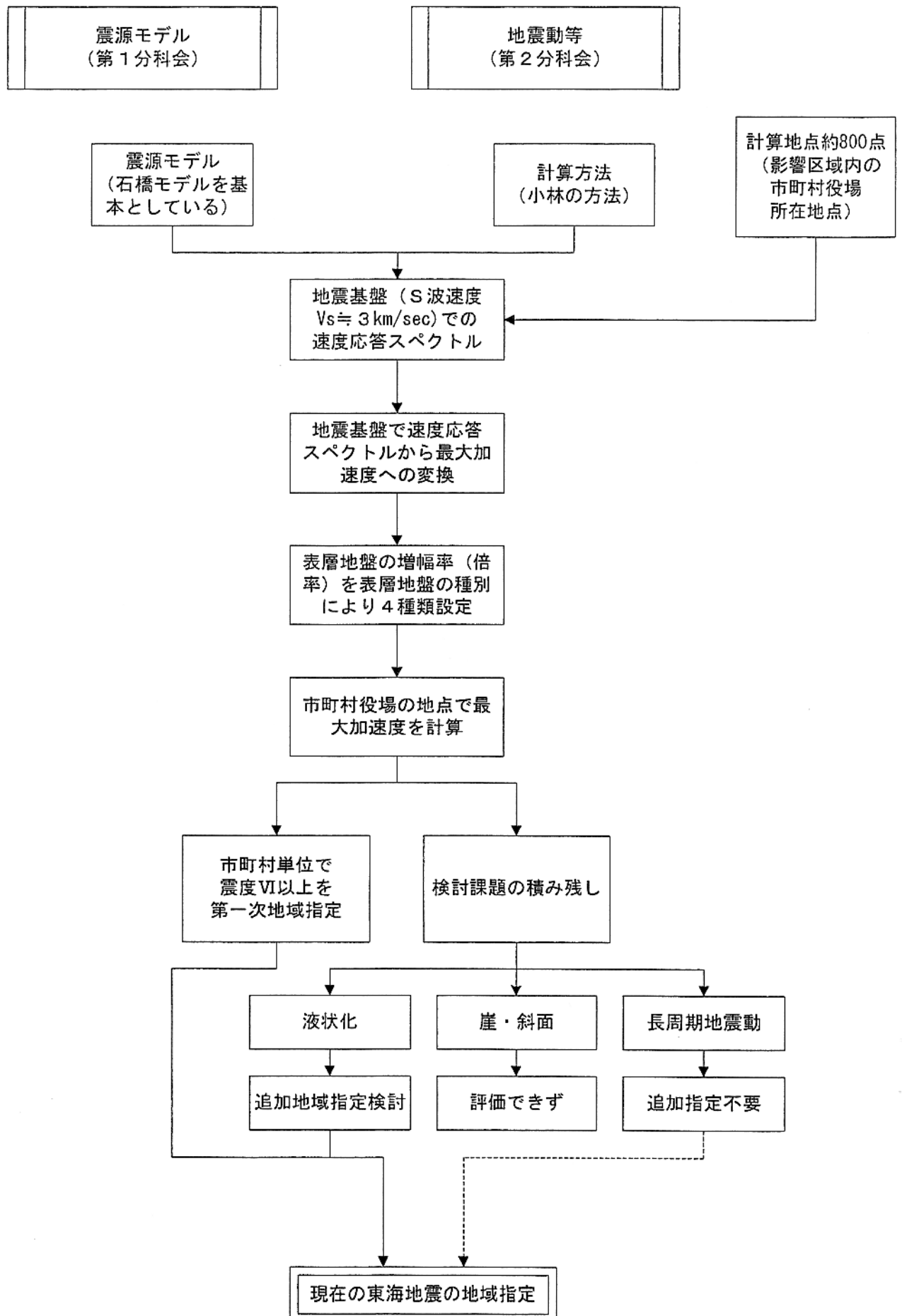


図 従来の東海地震の断層モデル

前回の強化地域決定作業の流れ



§ 3 次元差分法の概要

長周期地震動の計算は、3次元差分法により行う。但し、作成する地盤モデルの精度や計算を行う地点数に応じて、他の長周期地震動を計算できる理論的手法を採用する場合も検討する。使用する差分法の概略は以下のとおりである。

基本となる差分スキームは、速度－応力のスタガード・グリッド[Virieux(1986)]であり、時間二次、空間四次近似[Levander(1988)]で計算を行う。

三次元 ($i, j, k = x, y, z$) でリラクゼーション・メカニズムを一つとした場合、応力テンソルの対角成分 ($i = j$) は下記の式で計算される[Robertsson *et al.*(1994)]。

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial t} = \left(\pi \frac{\tau_\epsilon^p}{\tau_\sigma} - 2\mu \frac{\tau_\epsilon^s}{\tau_\sigma} \right) \frac{\partial v_k}{\partial k} + 2\mu \frac{\tau_\epsilon^s}{\tau_\sigma} \frac{\partial v_j}{\partial i} + r_{ij} \quad \dots(2)$$

また、非対角成分 ($i \neq j$) は下記の式で計算される。

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial t} = 2\mu \frac{\tau_\epsilon^s}{\tau_\sigma} \left(\frac{\partial v_j}{\partial i} + \frac{\partial v_i}{\partial j} \right) + r_{ij} \quad \dots(3)$$

同様にメモリー・バリアブルの対角成分は下記の式で計算される。

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial t} = -\frac{1}{\tau_\sigma} \left(r_{ij} + \left(\pi \frac{\tau_\epsilon^p}{\tau_\sigma} - 2\mu \frac{\tau_\epsilon^s}{\tau_\sigma} \right) \frac{\partial v_k}{\partial k} + 2\mu \frac{\tau_\epsilon^s}{\tau_\sigma} \frac{\partial v_j}{\partial i} \right) \quad \dots(4)$$

また、非対角成分は下記の式で計算される。

$$\frac{\partial r_{ij}}{\partial t} = -\frac{1}{\tau_\sigma} \left(r_{ij} + \mu \frac{\tau_\epsilon^s}{\tau_\sigma} \left(\frac{\partial v_j}{\partial i} + \frac{\partial v_i}{\partial j} \right) \right) \quad \dots(5)$$

最後に、ニュートンの法則より粒子速度は下記の式で計算される。

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial j} \quad \dots(6)$$

ここで、 σ_{ij} は ij 成分の応力テンソル、 v_i は i 成分の粒子速度、 r_{ij} は ij 成分のメモリー・バリアブル、 τ_ϵ^p 、 τ_ϵ^s は、それぞれ P および S 波に対する歪みリラクゼーション・タイム、 τ_σ は応力リラクゼーション・タイム、 μ は S 波に対するリラクゼーション・モジュラス、 π は P 波に対するリラクゼーション・モジュラス、 ρ は密度である。

自由表面 ($Z=0$) では、表面に直行する下記の応力テンソルおよび対応するメモリー・バリアブルをゼロとする。

$$\sigma_{xz} = \sigma_{zx} = \sigma_{yz} = 0 \Big|_{Z=0} \quad \dots(7)$$

$$r_{xz} = r_{zx} = r_{yz} = 0 \Big|_{Z=0} \quad \dots(8)$$

地表面以外のモデル境界の計算には、吸収境界条件をおく。

§ 統計的グリーン関数法の概要

図に統計的グリーン関数法による工学的基盤波作成の流れを示す。

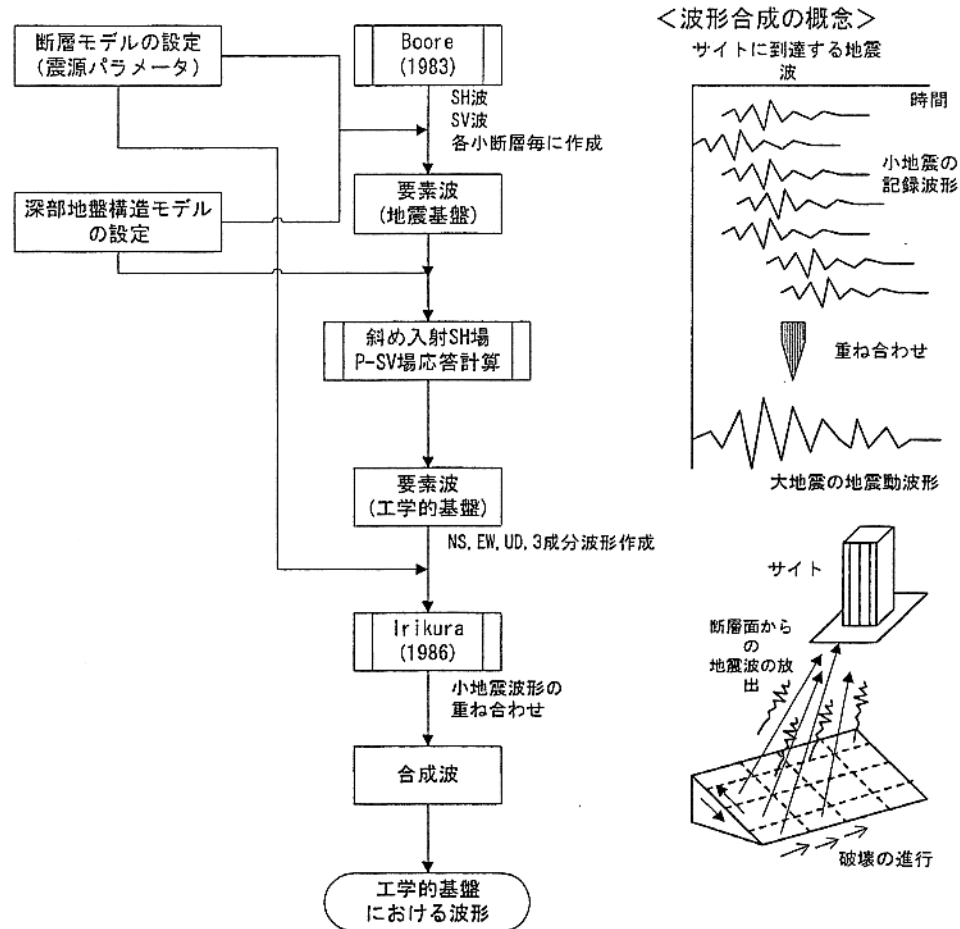


図-1 統計的グリーン関数法を用いた工学的基盤波の作成

今回適用する統計的グリーン関数法は、Irikura(1986)による重ね合わせ手法に基づく経験的グリーン関数法を基本としている。経験的グリーン関数法ではグリーン関数として観測記録を用いることで、観測地点の深部地盤構造や浅部地盤構造は、既に記録に含まれていると考えている。統計的グリーン関数法は適切な観測記録が得られない場合に有効な手法である。今回採用する手法では、グリーン関数としては ω^{-2} 則に従う震源特性に従うスペクトルモデル [Boore(1983)] を考え、これに経験的な位相特性を与えたものを使用する。深部地盤構造は一次元成層構造として Haskell Matrix により地盤応答を考慮する。この波形をグリーン関数と考え、Irikura(1986)に従い波形合成を行い、大地震の地震動波形を求める。以下に具体的な作業内容を示す。

1)対象とする断層面を小断層に分割し、各小断層毎に、Boore(1983)の手法により ω^{-2} 則を満たす振幅スペクトルの形状を求める。このスペクトル形状は以下の通りである。

$$S_A(\omega) = \frac{R_{\theta\theta}}{4\pi\rho\beta^3} Mo \cdot \frac{\omega^2}{1 + (\omega/\omega_c)^2} \cdot \frac{1}{1 + (\omega/\omega_{\max})^2} \frac{e^{-\omega R/2Q\beta}}{R} \quad \dots (1)$$

ここで $\omega_c = 2\pi f_c$, $f_c = 4.9 \times 10^6 \beta (\Delta\sigma/Mo)^{1/3}$

$\omega_{\max} = 2\pi f_{\max}$, $f_{\max}$ は高周波遮断周波数

なお、Mo は地震モーメント、 ρ は密度、 β は媒質の S 波地震波速度である。

2) (1)式中の $R_{\theta\theta}$ はラディエーション係数であるが、これは、各小断層から計算地点への方位角、射出角により計算する。この時、Kamae and Irikura(1992)と同様に、周波数依存型の放射特性を導入する。

また、ここでは S 波のみを考えているため、SH 波、SV 波毎に振幅スペクトルを求める。

- 3) 小断層毎にすべり量が異なる場合は、それに応じて各小断層の Mo, $\Delta\sigma$ を設定する。
- 4) Q 値は震源から計算地点までの伝播を考慮して評価する。
- 5) 以上は、振幅スペクトルについてのみ考えてきたが、ここで、Boore(1983)に従ってホワイトノイズに包絡形を施した波形のスペクトルをかけ合わせ、位相を与える。
- 6) 上記手法で作成した計算地点での地震基盤におけるスペクトルに対して、工学的基盤までの地盤構造による増幅を考慮するため、SH 波については斜め入射の SH 波動場を、SV 波については、P-SV 波動場の応答計算を Haskell Matrix (線形) で行う。
- 7) 求められた、工学的基盤での Transverse, Radial, UD の波形を NS, EW, UD に射影する。
- 8) 各小断層からの波形を Irikura(1986)および入倉他(1997)に従って、それぞれの成分毎に足しあわせる。これにより、工学的基盤での 3 成分波形を求める。なお、以上の作業は周波数領域で行う。

§ 表層地盤の応答計算

表層地盤の応答計算は等価線形応答計算で行う。計算の流れを図のとおりである。

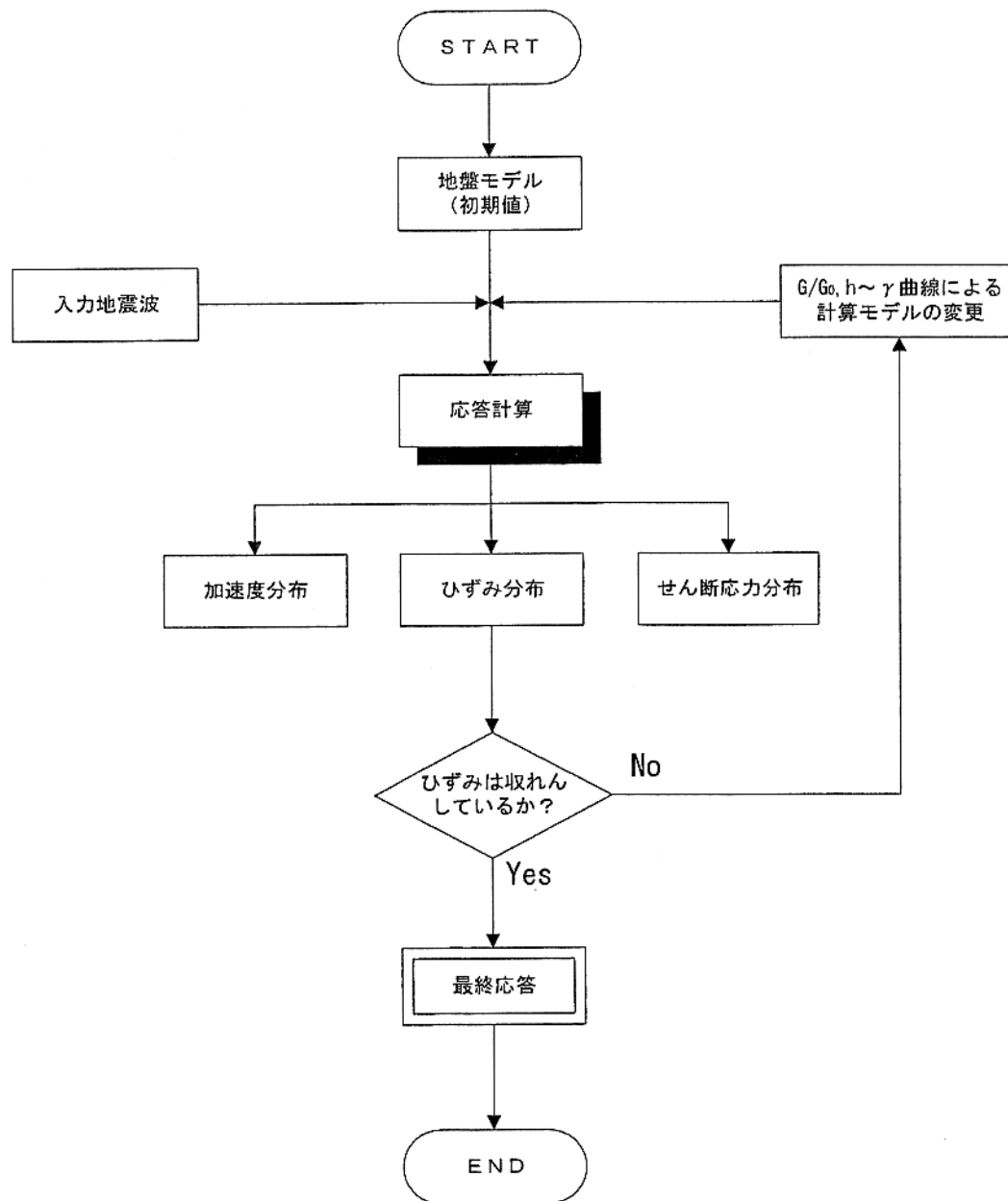


図 応答計算の流れ

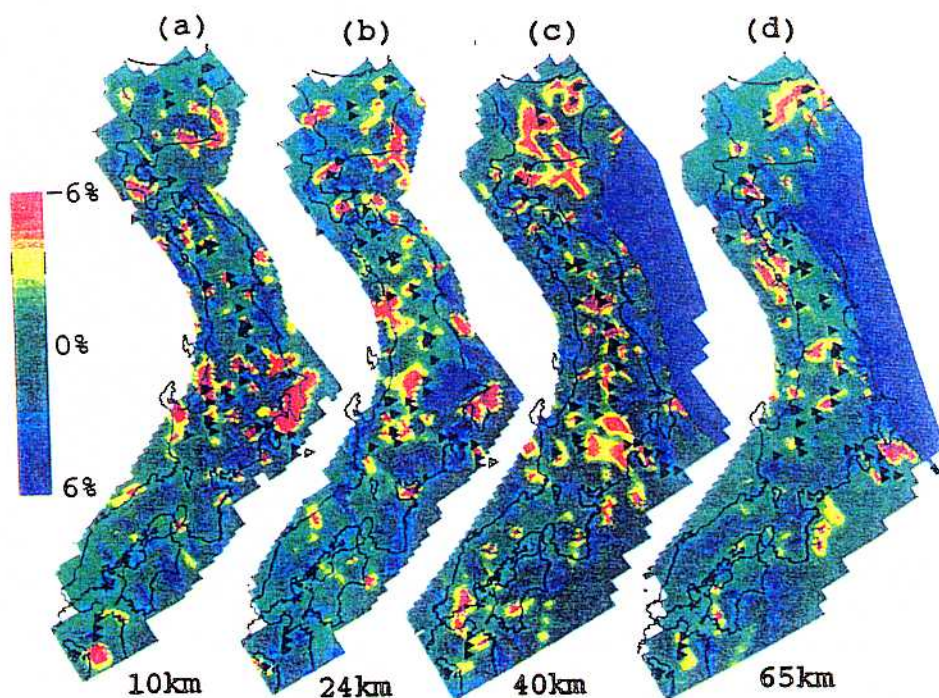
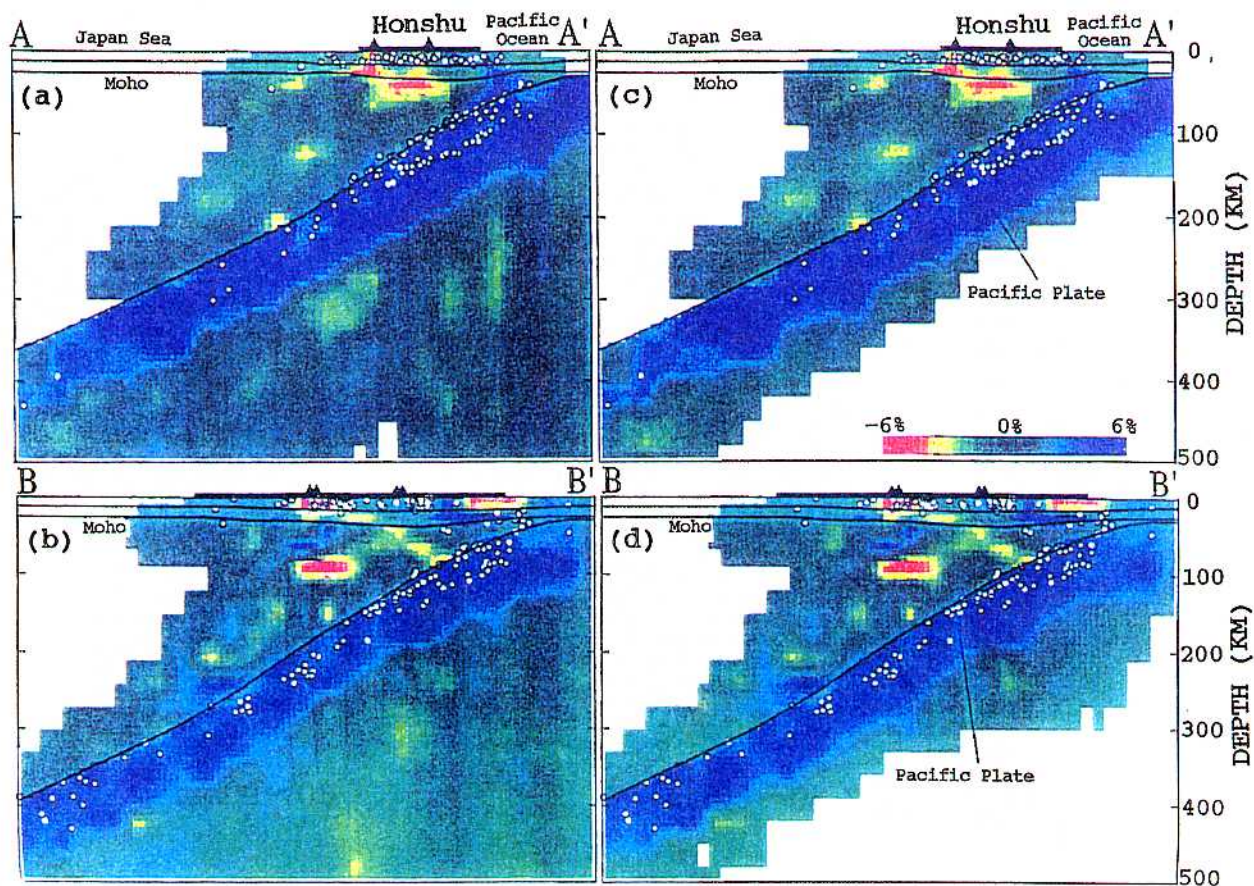
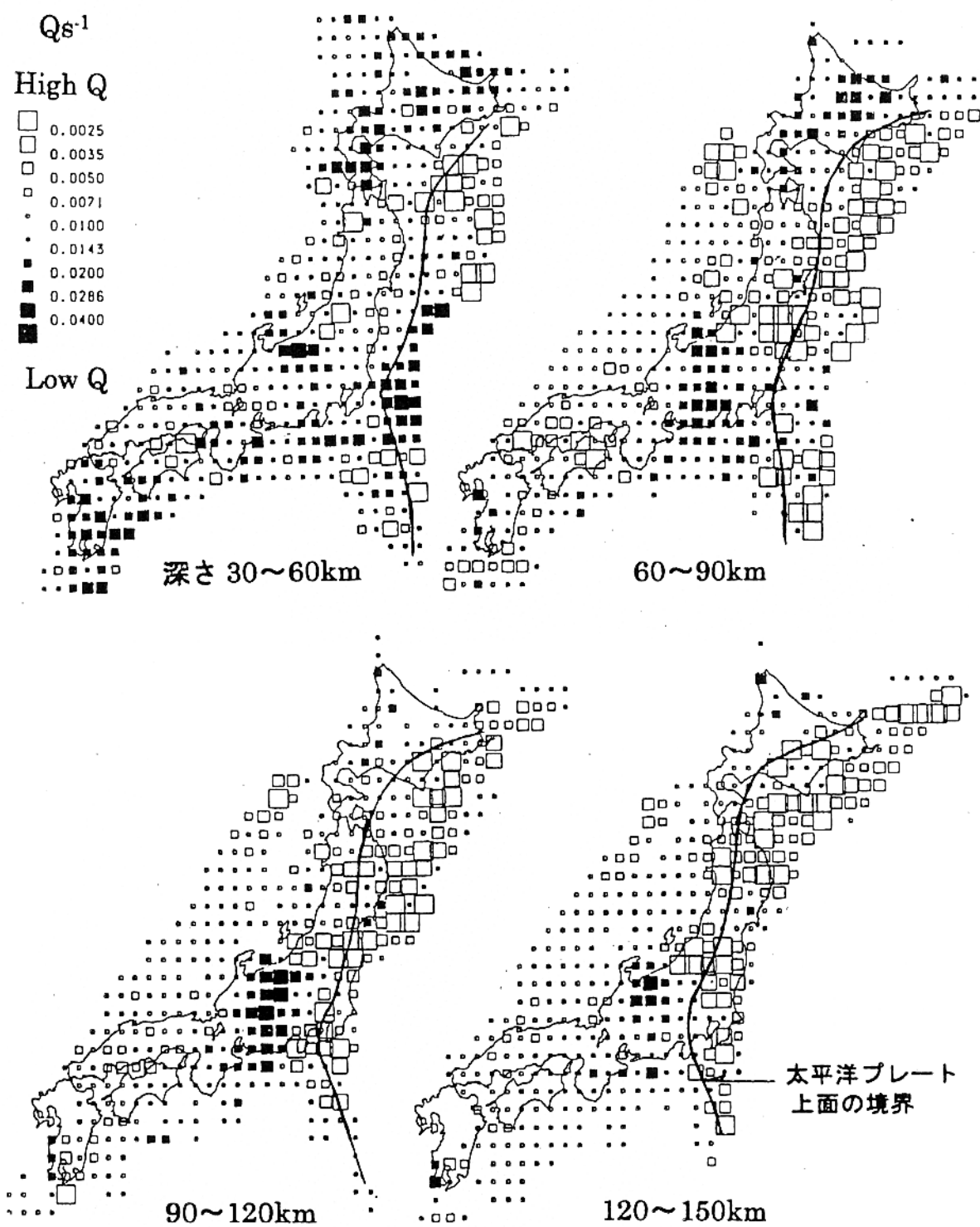


Plate 2. Fractional *P* wave velocity perturbations (in percent) at four depths determined by the constrained inversion (see text): (a) 10-km, (b) 24-km, (c) 40-km, (d) 65-km. Red and blue denote low and high velocities, respectively. The perturbation scale is shown on the left of the figure. Solid triangles denote active volcanoes in the Japan Islands.



図

地震波減衰構造解析結果例[中村・植竹(1997)]

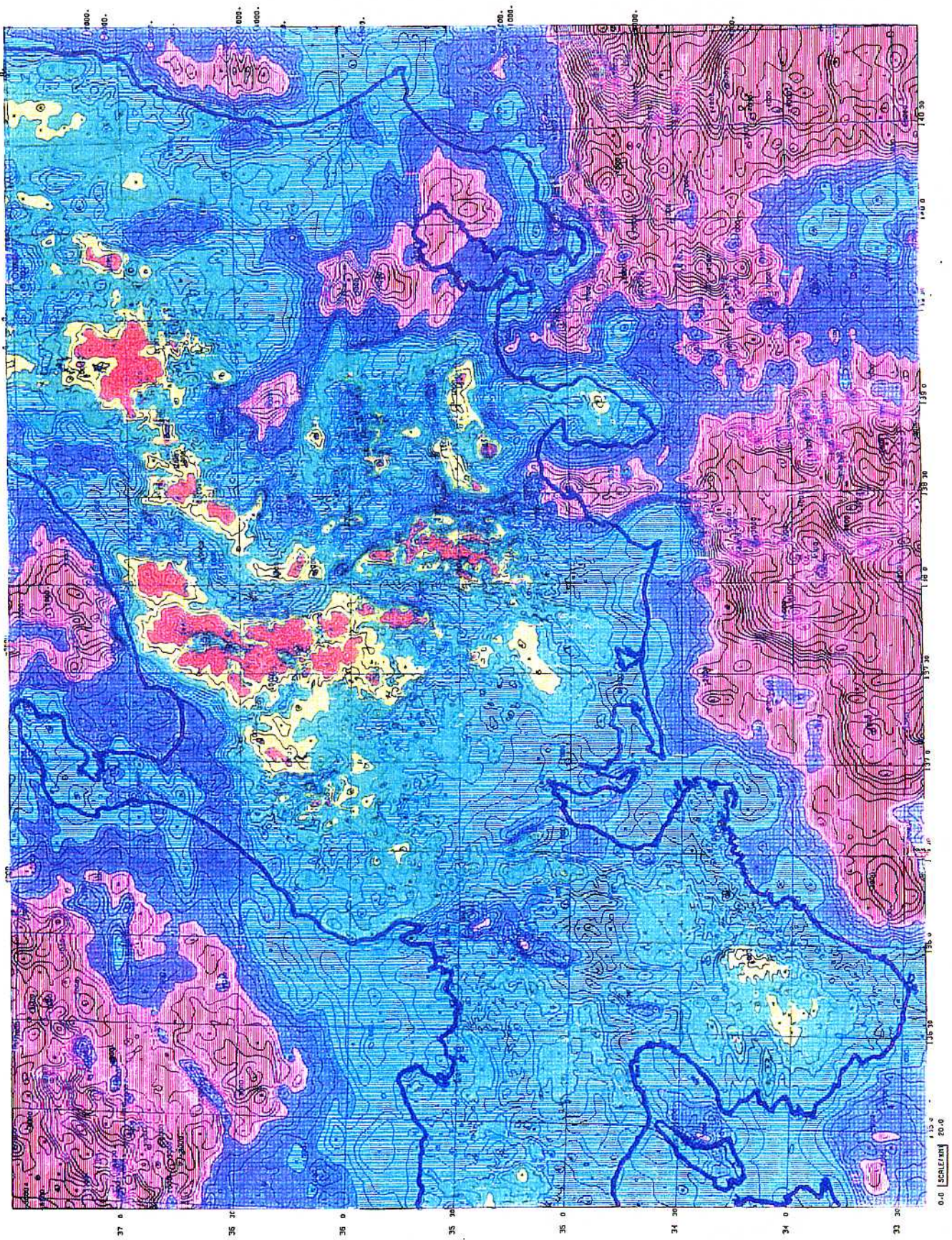
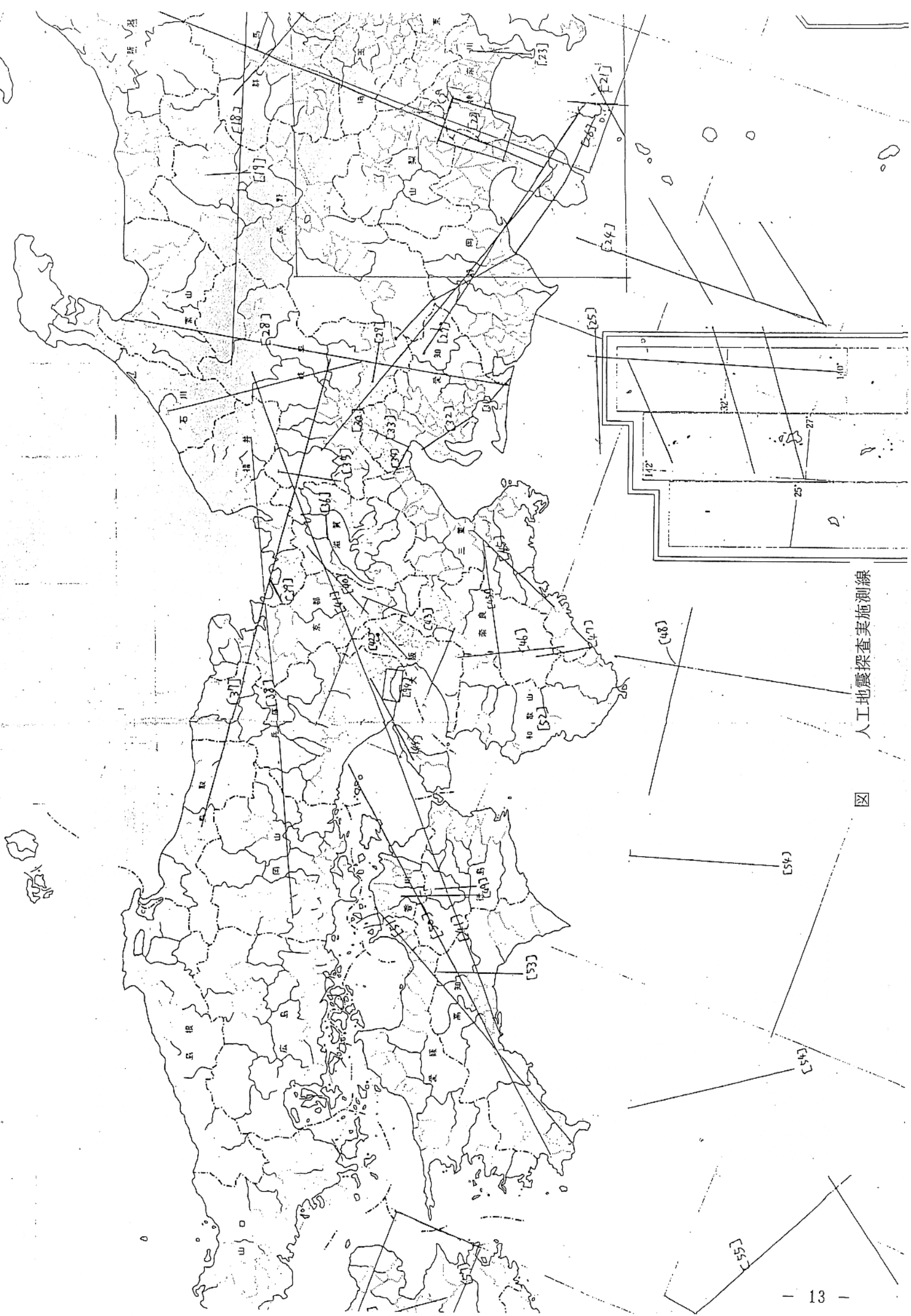


図 重力探査により求めた広域基盤深度分布図[駒沢(1998)による]



人工地震探査実施測線

図



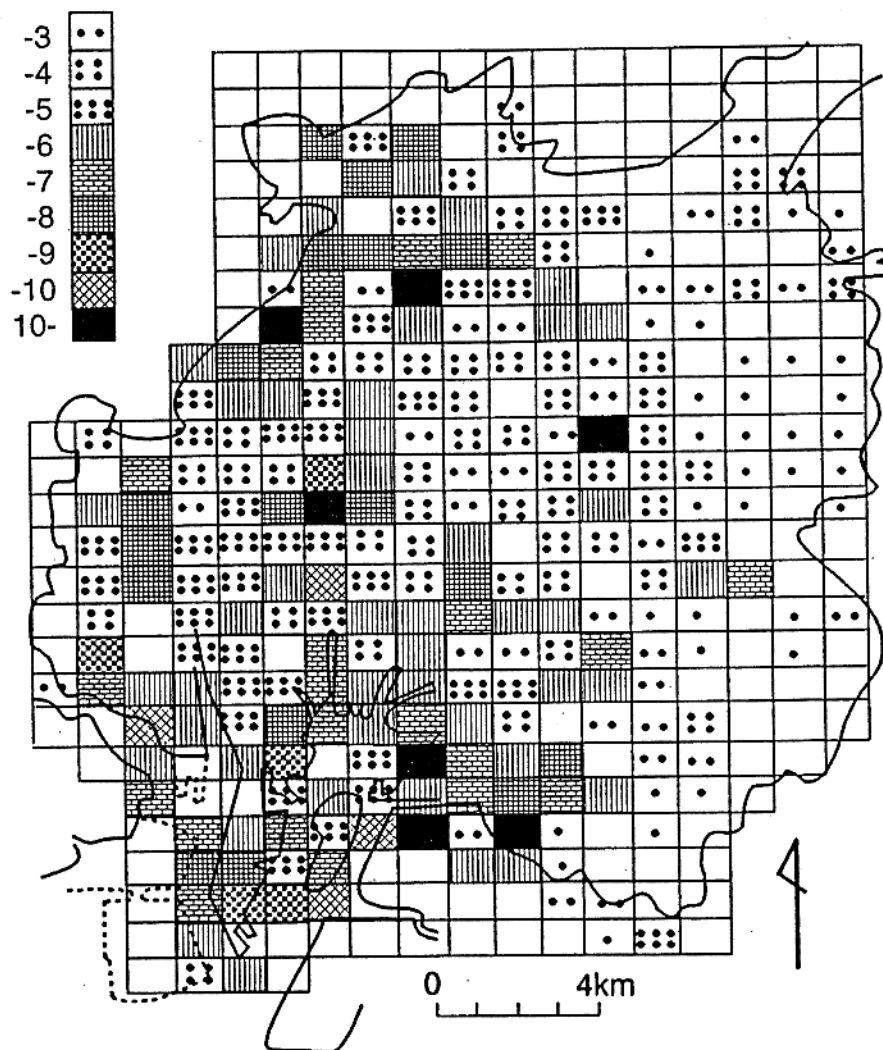


図 メッシュによる評価のイメージ
(最大増幅度の分布図)

地盤工学会(1998)：地震による地盤災害に関するゾーニングマニュアル，p36.

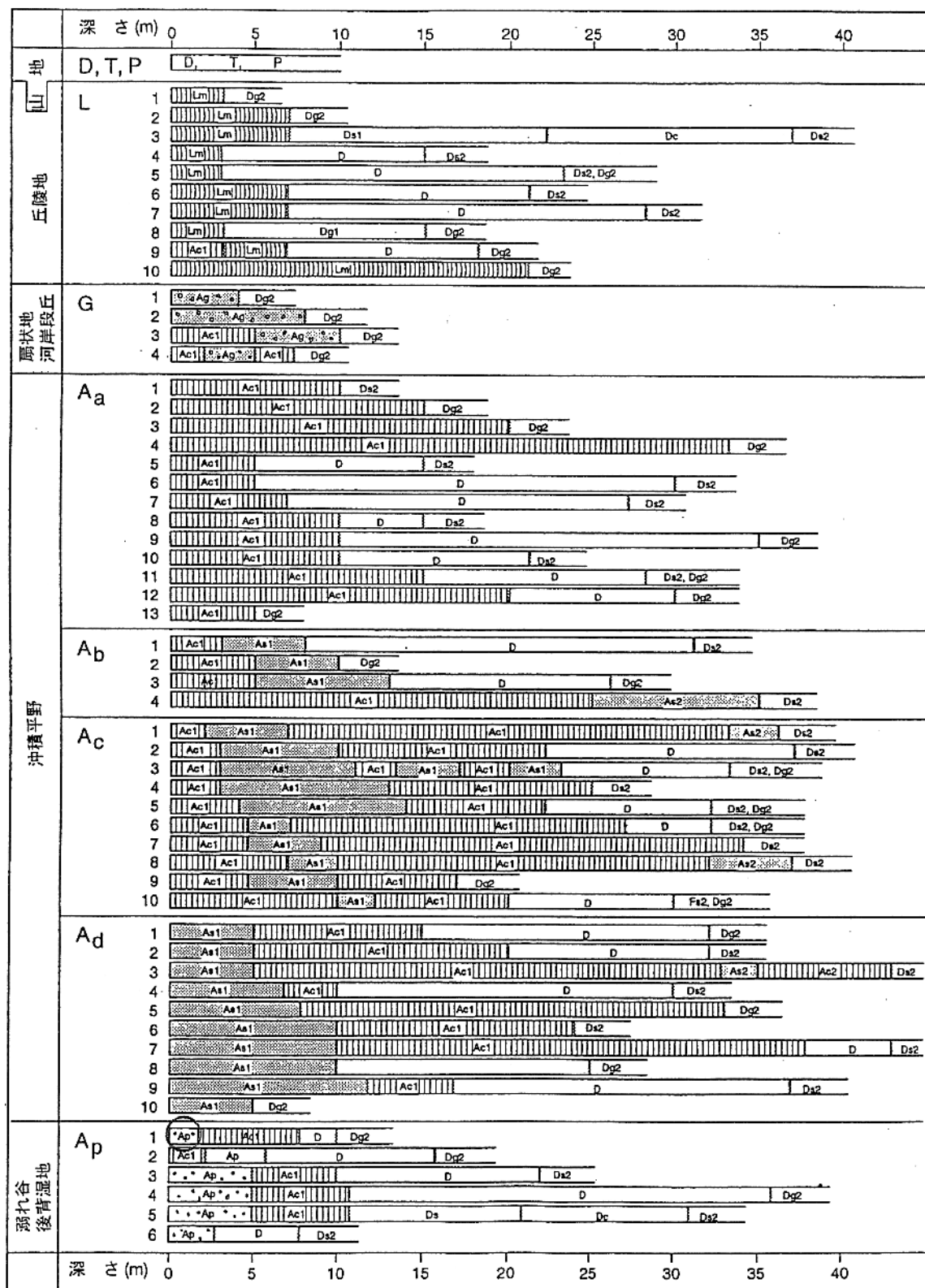


図 メッシュ・データに分配される地盤柱状モデルの例
 地盤工学会(1998)：地震による地盤災害に関するゾーニングマニュアル, p37.

表 地盤柱状モデルの平均的な物性値

地質時代		土 質 または 地質名	記号	想定物性値一覧				
				N 値	平均N値	ρt (g/cm ³)	Vs (m/sec)	動的変形 曲線 No.
第 四 紀	沖 積 世	腐植土	Ap ₁	0 ~ 1	0	1.1	50	①
			Ap ₂	1 ~ 5	3	1.2	100	②
		粘性土	Ac ₁	0 ~ 3	1	1.5	120	③
			Ac ₂	3 ~ 10	5	1.6	180	④
		砂質土	As ₁	1 ~ 8	4	1.7	150	⑤
			As ₂	8 ~ 20	10	1.8	190	⑤
			As ₃	20 ~	30	1.8	250	⑥
		礫質土	Ag	10 ~ 50	30	2.0	270	⑦
	崩積土	Dt	10 ~ 50	20	1.9	200	⑤	
	洪 積 世	ローム	Lm	1 ~ 5	3	1.4	140	⑧
		粘性土	Dc ₁	2 ~ 8	4	1.6	190	⑨
			Dc ₂	8 ~ 20	12	1.7	250	⑨
			Dc ₃	20 ~	25	1.8	320	⑩
		砂質土	Ds ₁	1 ~ 15	8	1.8	200	⑤
			Ds ₂	15 ~ 50	30	1.8	250	⑥
			Ds ₃	50 ~	50	1.9	400	-
		礫質土	Dg ₁	50 未満	30	2.0	350	⑦
			Dg ₂	50 以上	50	2.1	500	-
		上総層群 相当層	Ksw	15 ~ 40	30	1.8	350	-
			Ks	50 以上	-	2.0	700	-
中新世～ 前期更新世		新第三系	T	50 以上	-	2.2	1500	-
先新第三紀		中生層	P	50 以上	-	2.4	3000	-

地盤工学会(1998)：地震による地盤災害に関するゾーニングマニュアル，p38.

基準・指針名	道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 (社) 日本道路協会 平成 8 年 12 月														
液状化判定の対象土層	- 地下水位が現地盤面から 10m 以内にあり、かつ現地盤面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層。 - 細粒分含有率 FC が 35% 以下の土層、または FC が 35% を越えても塑性指数 I_p が 15 以下の土層。 - 平均粒径 D_{50} が 10mm 以下で、かつ 10% 粒径 D_{10} が 1mm 以下である土層。														
液状化抵抗率	液状化に対する抵抗率 F_L を次式により算出し、この値が 1.0 以下の土層については液状化するとみなすものとする。 $F_L = R/L$														
繰返しせん断応力比 L の算出	$L = r_d \cdot k_{hc} \sigma_v / \sigma'_v$ $r_d = 1.0 - 0.015 \chi$ $\sigma_v = \{ \gamma_{t1} h_w + \gamma_{t2} (\chi - h_w) \} / 10$ $\sigma'_v = \{ \gamma'_{t1} h_w + \gamma'_{t2} (\chi - h_w) \} / 10$ (タイプ I の地震動の場合) $c_w = 1.0$ (タイプ II の地震動の場合) $c_w = \left\{ \begin{array}{ll} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3 R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{array} \right\}$ ここに、 L : 地震時せん断応力比 r_d : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数 k_{hc} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度で次式による $k_{hc} = C_z \cdot K_{hco}$ C_z : 地域別補正係数 σ_v : 全上載圧 (kgf/cm²) σ'_v : 有効項載圧 (kgf/cm²) χ : 地表面からの深さ (m) γ_{t1} : 地下水位面より浅い位置での土の単位体積重量 (tf/m³) γ_{t2} : 地下水位面より深い位置での土の単位体積重量 (tf/m³) γ'_{t2} : 地下水位面より深い位置での土の有効単位体積重量 (tf/m³) h_w : 地下水位の深さ (m) c_w : 地震動特性による補正係数 R_L : 繰返し三軸強度比 <table><tr><th>地盤種別</th><th>タイプ I</th><th>タイプ II</th></tr><tr><td>I 種</td><td>0.30</td><td>0.80</td></tr><tr><td>II 種</td><td>0.35</td><td>0.70</td></tr><tr><td>III 種</td><td>0.40</td><td>0.60</td></tr></table> ※1) タイプ I : 大きな振幅が長時間繰返して作用する地震動 (プレート境界型の大規模な地震) を表したものの。 ※2) タイプ II : 継続時間は短い極めて強度を有する地震動 (兵庫県南部地震のような内陸型地震) を表したものの。	地盤種別	タイプ I	タイプ II	I 種	0.30	0.80	II 種	0.35	0.70	III 種	0.40	0.60		
地盤種別	タイプ I	タイプ II													
I 種	0.30	0.80													
II 種	0.35	0.70													
III 種	0.40	0.60													
液状化抵抗比 R の算出	$R = c_w R_L$ $R_L = \left\{ \begin{array}{ll} 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{array} \right\}$ ここで、 <砂質土の場合> $N_a = c_1 \cdot N_1 + c_2$ $N_1 = 1.7 \cdot N / (\sigma'_v + 0.7)$ $c_1 = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 40) / 50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ FC / 20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{array} \right\}$ $c_2 = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC - 10) / 18 & (10\% \leq FC) \end{array} \right\}$ <礫質土の場合> $N_a = \{ 1 - 0.36 \log_{10} (D_{50} / 2) \} N_1$ ここに、 R : 動的せん断強度比 c_w : 地震動特性による補正係数 R_L : 繰返し三軸強度比 N : 標準貫入試験から得られる N 値 N_1 : 有効上載圧 1kgf/cm² 相当に換算した N 値 N_a : 粒度の影響を考慮した補正 N 値 c_1, c_2 : 細粒分含有率による N 値の補正係数 FC : 細粒分含有率 (%) (粒径 75μm 以下の土粒子の通過質量百分率) D_{50} : 平均粒径 (mm)														

F_L (液状化抵抗率) の算定方法

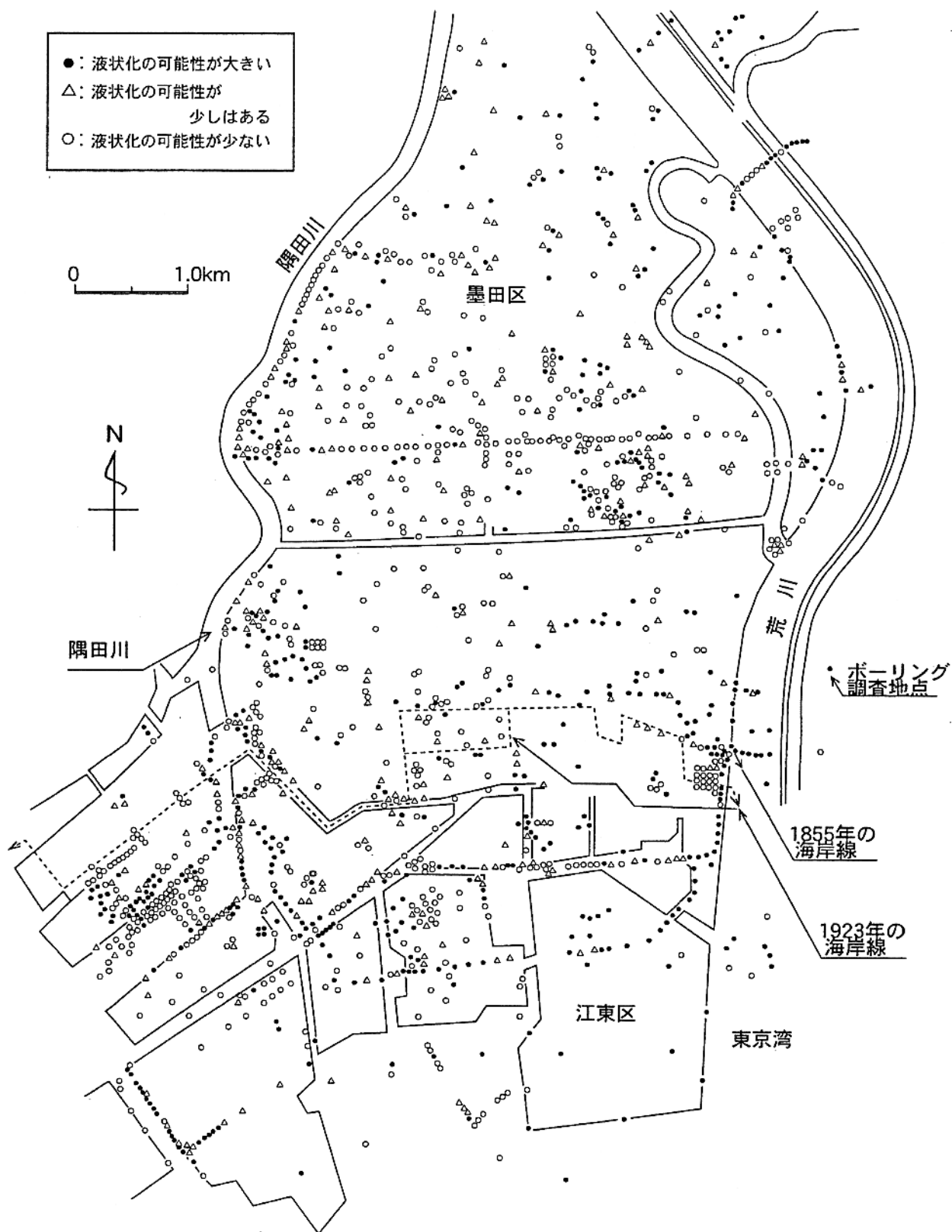


図 個別ボーリングデータによる評価のイメージ
 (液状化可能性の分類)

地盤工学会(1998)：地震による地盤災害に関するゾーニングマニュアル，p97.

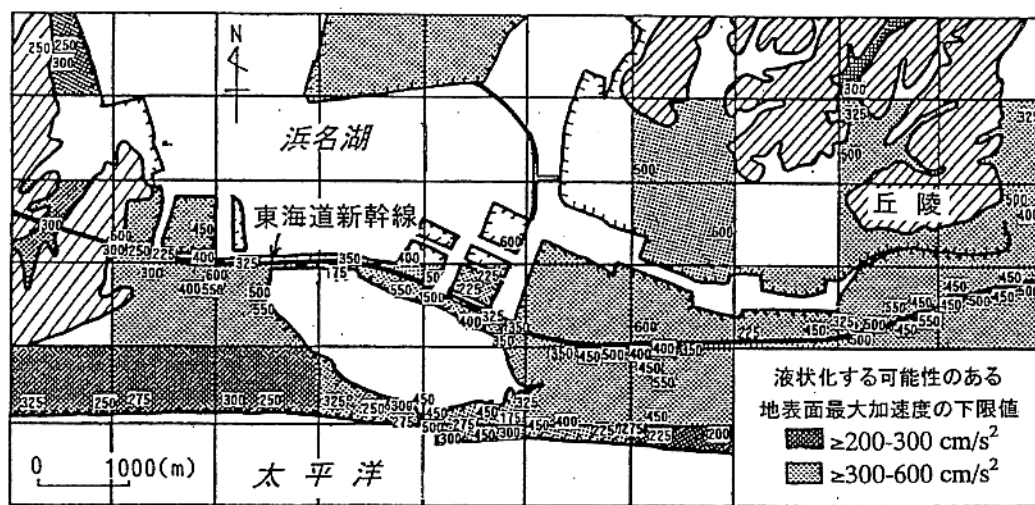


図-3 顕著な液状化被害が発生する地表面最大水平加速度¹⁾

図 液状化評価例
(数字が書かれている地点がボーリング位置)

地盤工学会 (1998) : 地震による地盤災害に関するゾーニングマニュアル, p154

§ 津波予測のための長波近似理論

以下のように変数、係数を定義する。

t	: 時間
(x, y)	: 空間水平座標
η	: 変動水位
h	: 初期水深
$D = h + \eta$	: 全水深
(M, N)	: (x, y) 方向のフラックス
S	: 地震による鉛直海底変位
g	: 重力加速度
f	: マニングの粗度係数 n を用いて $f = gn^2 / D^{1/3}$ で表される海底摩擦係数

津波予測のための変動水位に関する運動方程式は、水量の連続の式とフラックスについての運動量保存の式から構成される。上記の変数、係数を用いると浅い海域の計算に用いる線形長波理論式および浅い海域での津波の伝播計算に用いる非線形長波理論式はそれぞれ次のように表される。

(1) 線形長波理論

・連続の式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = \frac{\partial S}{\partial t} \quad (1)$$

・運動量保存の式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (2-1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (2-2)$$

(2) 非線形長波理論

・連続の式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = \frac{\partial S}{\partial t} \quad (3)$$

・運動量保存の式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{M}{D} \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{N}{D} \frac{\partial M}{\partial y} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{f}{D^2} MQ = 0 \quad (4-1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{M}{D} \frac{\partial N}{\partial x} + \frac{N}{D} \frac{\partial N}{\partial y} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{f}{D^2} NQ = 0 \quad (4-2)$$