

詳細な地震防災マップの作成について
―高知市の揺れやすさマップを例に―
**Compilation of a Detailed Earthquake Disaster Mitigation Map
- A Case Study on Earthquake Disaster Mitigation Map of Kochi-shi -**

地理調査部 星野 実・木村幸一・木村佳織
Geographic Department Minoru HOSHINO, Koichi KIMURA and Kaori KIMURA
内閣府政策統括官（防災担当）付参事官（地震・火山対策担当）付
檜山洋平
**Earthquake and Volcanic Disaster Management Div.,
Disaster Management Dept., Cabinet Office
Yohei HIYAMA**

要 旨

詳細な地震防災マップの条件とは、住民の居住する位置を特定できる縮尺 1/25,000 程度以上、地震防災情報の表示単位は 50m メッシュ程度で、市町村など（場合によっては都道府県）が作成して住民へ配布する地図である。

本稿では、国土地理院が平成 17 年度に作成した高知市の詳細な地震防災マップとして作成した、揺れやすさマップ（地震動マップ）作成を中心に報告を行う。

揺れやすさマップ作成は内閣府作成のマニュアルに基づいて実施した。その流れは、各種地形分類図から 15 区分の微地形区分図の作成→ボーリングデータ及び微地形から表層地盤の S 波速度（AVS30）の推定→表層地盤での地震動の増幅度推定→地震の発生源別（海溝型、活断層型、直下型）パラメータによる地震動の設定→地震の発生源別最大予測震度による揺れやすさマップ作成である。

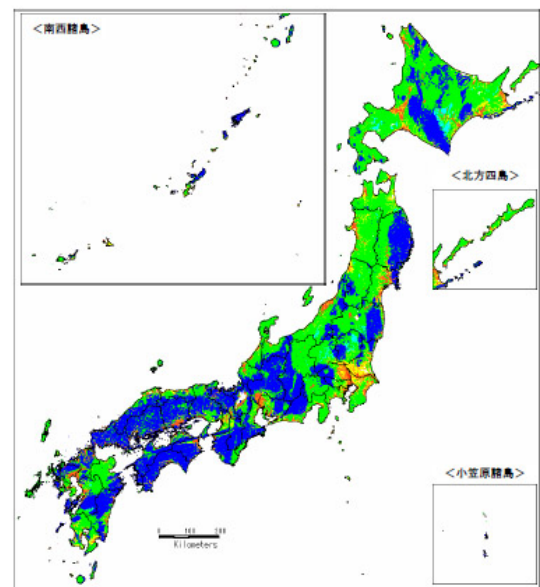
また、作成マニュアルの改善点の検討、市町村へ地震防災マップに関するアンケート調査を実施し現状についてのとりまとめを行った。

1. はじめに

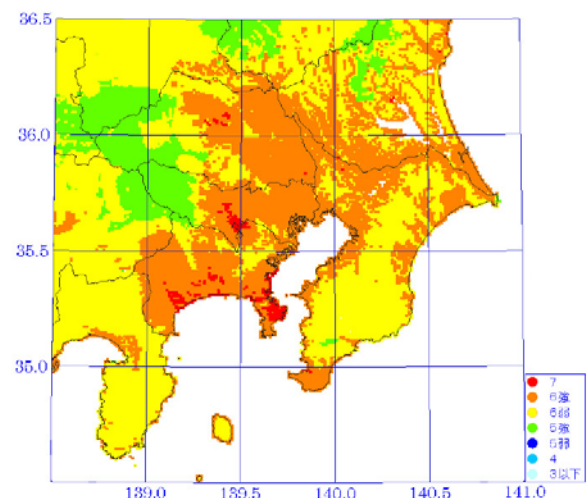
地震防災マップは、関係機関及び地方自治体等で作成されている。全国を一律の表示内容で作成している地震防災マップとしては、内閣府の「表層地盤の揺れやすさ全国マップ」（図－1，2），文部科学省の「全国を概観した地震動予測地図」等があり、都道府県等でも地震防災マップを作成している。しかし、これらの地震防災マップは、全国及び都道府県という広域の地域を対象とすることから地図の縮尺は小縮尺で、揺れやすさなどの表示単位は主に 500m～1 km メッシュである。

一方、今回作成した詳細な地震防災マップ（揺れやすさマップ）は、住民が居住する位置を確認できる程度のもので、縮尺が 1/25,000、揺れやすさなど

の表示単位は 50m メッシュで作成した。



図－1 表層地盤の揺れやすさ全国マップ（内閣府）
（1 km メッシュ）



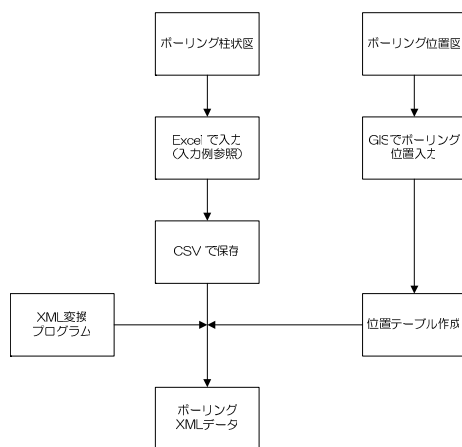
図－2 予防対策用震度分布（内閣府）（1 km メッシュ）

ゴンには河川流路のフラグを付加した。また、河川後背地算出のため、経緯度座標を平面直角座標に変換し、500mのバッファを作成した後、経緯度座標に変換しなおし、50mメッシュポリゴンと重ね合わせた。

なお、河川流路データは、河川から 500m以内の「デルタ・三角州」と河川から 500m以内を除いた「デルタ・三角州」を区別するために用いる（図－5）。

2. 3. 3 ボーリング柱状図

表層地盤の状況を把握するため 30mの深さまでのボーリングデータを使用して、S 波速度を算出する。S 波速度はボーリング柱状図のコア毎に算出し、ボーリングポイントの表層 30mの平均 S 波速度（AVS30）を算出する。ボーリングデータの無いメッシュの AVS30 の推定は、表層地盤の特性を代表する微地形から地方別係数により AVS30 の推定を行った。



図－6 ボーリング柱状図入力フロー



図－7 ボーリング位置図

今回使用したボーリング柱状図は、「高知地盤図」の 316 本及び高知市から提供された 85 本の計 401 本について図－6 により Excel ファイルに取りまとめを行った。ボーリングの位置（図－7）は、柱状

図に添付されている位置図から管面ディジタルズ入力を行った。その後 XML フォーマットに再変換し、このデータを、無料配布されているボーリング柱状図作成ソフトに読み込み、ボーリング柱状図（図－8）を作成した。

ボーリングデータ入力に当たり土質名が資料により不統一であったため、土質対照表より土質名の統一化を行った。



図－8 ボーリング柱状図

2. 4 表層地盤モデルの設定

表層地盤モデルの設定にあたり、各種地形分類図、標高データ、表層地質図等から揺れやすさマップ作成に必要な微地形区分項目に再編集して微地形区分図を作成した（図－12）。

2. 4. 1 微地形区分の設定

低地部分の微地形区分のうち、1/25,000 土地条件図の地形分類データが不足する部分について 1/50,000 地形分類図画像データ「高知」「井野」の画像を背景に地形分類データを入力し、1/25,000 土地条件図の地形分類データとの結合を行い、地形分類図（集成図）の作成を行った（図－9）。

また、山地の微地形区分のため、表層地質図（図－10）の地質年代区分から山地の地質年代推定を行い、第四紀（沖積世、洪積世）、古第三紀以前の区分を行い、山地の地形区分を行った（図－12）。

山地と丘陵地との地形区分は、50mメッシュ標高データを用いて起伏量図（図－11）を作成して区分を行った（図－12）。

具体的には起伏量が 200m以上の領域及びその領域より標高の高い部分を山地、起伏量が 200m未満の領域を丘陵地とした。起伏量は、当該メッシュを中心とした隣接 10 メッシュにおける標高の最高値と最低地の差を算出し、当該メッシュの起伏量とした。

なお、人工改変地については、平野部の土地条件図が最近のものであるためその情報を使用し、丘陵地などの斜面地域は大規模な人工改変地が少ないため新旧の地形図による人工改変地の抽出作業は行わなかった。

以上、低地、山地及び丘陵地の微地形区分を 50 m メッシュポリゴンの属性とした。これらの属性をもとに地形分類対照表に基づき、中央防災会議（内

閣府防災担当 2005b）による微地形区分図を作成した（図-12）。なお、15 区分は、古生代・中生代・古第三紀、新第三紀、丘陵地、火山・他の地形、砂礫台地、ローム台地、谷底平野、扇状地、自然堤防、デルタ・後背地（ $D > 0.5\text{km}$, $D \leq 0.5\text{km}$ ）、砂丘・砂州、埋立地・干拓地、人工改変地、水面である（ D : 主要河川からの距離）。

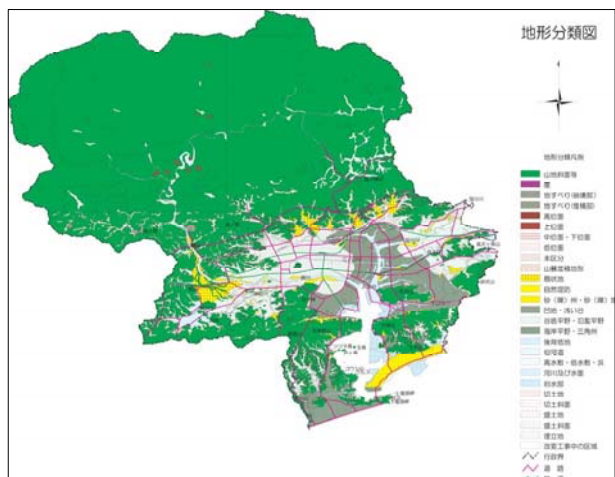


図-9 地形分類図（各種地形分類図の集成図）

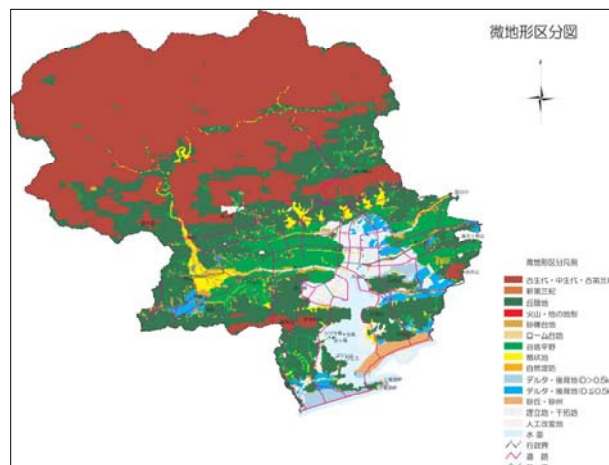


図-12 微地形区分図

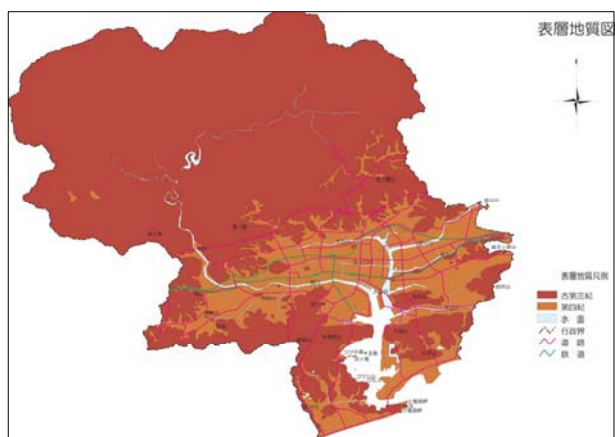


図-10 表層地質図

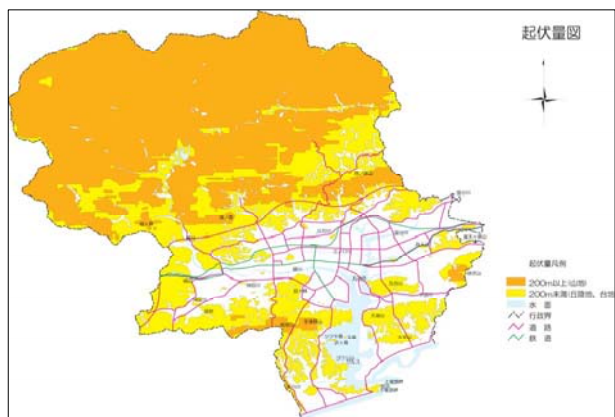


図-11 起伏量図

2. 5 微地形区分と表層 S 波速度

2. 5. 1 ボーリング地点における AVS30 の推定

ボーリングデータで使用されている土質は、ボーリングデータをもとに AVS30 を推定する際、砂は砂、砂礫と岩盤は礫、それ以外は全て粘土とした。また、 N 値が測定されていない層は以下の方法で処理を行った。

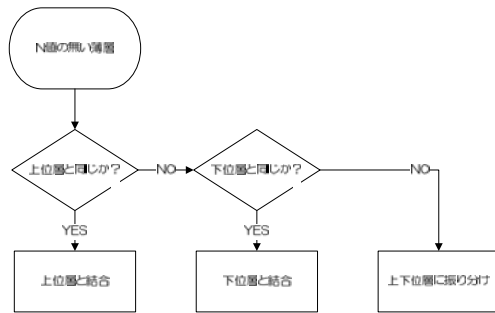
(1) 表土

表土は下層と結合した。直近下層の N 値が測定されていない場合は、最も直近の N 値を表土の N 値とした。

(2) 薄層

N 値の無い薄層については、図-13 の手順に基づき、 N 値の無い薄層が存在しなくなるまで処理を繰り返した。この際、同じ層の判定については、まず土質名で判定を行い、次に土質区分で判定を行った。

- 1) 薄層の上位に同じ層がある場合は、上位層と結合した。
- 2) 薄層の下位に同じ層がある場合は、下位層と結合した。
- 3) 薄層の上下位共に同じ層が無い場合は、半分ずつ上下位層と結合した。



図－13 N 値の無い薄層の処理方法

(3) 平均N値の算出方法

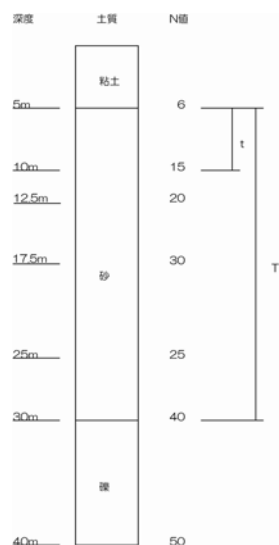
マニュアルでは、平均 N 値は単純に N 値の平均値を使用しているが、より正確性を期する為に以下の式に基づき平均 N 値を算出した。

$$\text{Ave\_N} = \sum (t \times N) \div T$$

Ave_N : 平均 N 値 t : 層厚 N : N 値
T : 全層厚

図－14 の場合における砂の平均 N 値を算出すると、以下のようになる。

$$\begin{aligned}
 & t \times N \\
 & 5.0 \times 15 = 75.0 \\
 & 2.5 \times 20 = 50.0 \\
 & 5.0 \times 30 = 150.0 \\
 & 7.5 \times 25 = 187.5 \\
 & 5.0 \times 40 = 200.0 \\
 & \Sigma = 662.5 \\
 & T = 30.0 - 5.0 = 25.0 \\
 & \text{Ave\_N} = 662.5 \div 25.0 = 26.5 \text{ (回)}
 \end{aligned}$$



図－14 ボーリング柱状図

(4) 有効深度

最下層において N 値を測定していない場合は、最下層の直近上位層を最下層とした。すなわち、N 値が測定された最下層の深度をそのボーリングの深度とした。

(5) 有効深度 30m未満のボーリングデータにおける N 値 50 以上の基盤の有無

有効深度 30m未満のボーリングデータにおいて、N 値 50 以上の基盤が存在するか否かの判断は以下のように行った。なおこの判断は、3 種類に集約された土質区分で判断するのではなく、集約前の土質区分により行った。

- 1) 有効深度におけるボーリング孔底付近で、N 値 50 以上を連続 3 回以上確認してボーリングを止めている場合は、N 値 50 以上の基盤が存在する。
- 2) 有効深度におけるボーリング孔底付近で、N 値 50 以上の岩盤部を確認してボーリングを止めている場合は、N 値 50 以上の基盤が存在する。

(6) AVS30 推定プログラムの検証

PS 検層 (PS 検層とは、ボーリングを掘削する際にボーリングコア毎の S 波速度を計測したボーリングを言う) を実施していないボーリングデータから AVS30 を推定するプログラムを開発した。しかし、テストデータ及び推定結果のデータが存在しないため、マニュアルに記載されている「図IV. 14 ボーリング地点における AVS30 の設定例」のボーリング柱状図からテストデータ (表－1) を作成した。プログラムによる計算結果と資料例における AVS30 の差は 1m/s となった。これは、平均 N 値の算出方法が異なることに起因している。数値的な差としては 0.5%程度であるため、AVS30 の推定にはこのプログラムを用いた。

表－1 テストデータ

深度	土質名	集約土質	N値	計算結果		資料例	
				平均N値	VS(m/s)	平均N値	VS(m/s)
0.80	S：砂	粘土	6	4.5	176	4.5	179
1.30			6				
2.30			3				
3.30			5				
4.30			4				
5.00	MC：砂質シルト	砂	4	34.2	286	33.2	289
5.30			4				
6.30			8				
7.30			20				
8.30			20				
9.30			22				
10.30			21				
11.30			27				
12.30			50				
13.30			49				
14.30			49				
15.30			46				
16.30			35				
17.30			34				
18.30			31				
19.30			31				
20.30			38				
21.30			37				
22.00			50				
23.30			35				
24.30			32				
25.30			41				
26.30			45				
26.75			45				
27.00			CL：粘土				
27.30	37						
28.30	GI：砂礫	礫	45				
29.30			49				
30.26			50				
31.13			50				
32.13			50				
32.20			50				
				AVS30	262	AVS30	263

(7) AVS30 の推定

表層地盤（およそ表層から 30m 程度まで）において、地震による S 波速度が軟弱地盤の程度が増す毎に遅くなり、地震動が増幅することが分かっているため、AVS30 の推定を行い、より現実に見合った地震動を推定するために行う。

AVS30 の推定は、入力したボーリングデータをもとに、行った。この際、掘進深度 10m 未満及び N 値が測定されていないボーリングデータは AVS30 の推定対象外とした。推定式は以下のとおりである。

$$V_s = a \times N^b$$

V_s : S 波速度 (m/s)

N : N 値 (層ごとの平均 N 値)

a : 土質係数 1

(粘土 : 111.30, 砂 : 94.38, 礫 : 123.05)

b : 土質係数 2

(粘土 : 0.3020, 砂 : 0.3144, 礫 : 0.2443)

(a) 掘進深度 30m 以上の場合

$$T_{30} = \sum_{i=1}^n (H_i / V_{si})$$

T_{30} : 地表から深度 30m までの S 波速度の到達時間 (sec)

H_i : i 層の層厚 (m)

V_{si} : i 層の S 波速度 (m/s)

$$AVS30 = 30 / T_{30}$$

AVS30 : 地表から深度 30m までの平均 S 波速度 (m/s)

(b) 掘進深度 30m 未満の場合

N 値 ≥ 50 基盤が確認できる場合は、基盤深度に最も近い深さのカテゴリ (10m, 15m, 20m, 25m) までの平均 S 波速度 AVS_n ($n = 10, 15, 20, 25$) を、N 値 ≥ 50 基盤が確認できない場合は、掘進深度に最も近い深さのカテゴリ (10m, 15m, 20m, 25m) までの平均 S 波速度 AVS_n ($n = 10, 15, 20, 25$) を計算し、それに基づいて AVS30 を以下の式で計算した。この際の係数 a_n 及び b_n は以下のとおりとする。

$$AVS30 = a_n \times AVS_n + b_n$$

n : 10, 15, 20, 25

a_n, b_n : AVS_n と AVS30 の回帰式の係数

N 値 ≥ 50 基盤が確認できる場合

$$a_{10} = 1.441 - 0.222, b_{10} = 58.726, a_{15} = 1.144 - 0.097, b_{15} = 43.528$$

$$a_{20} = 1.083 - 0.079, b_{20} = 29.658, a_{25} = 1.034 - 0.014, b_{25} = 7.937$$

N 値 ≥ 50 基盤が確認できない場合

$$a_{10} = 0.832 - 0.177, b_{10} = 59.881, a_{15} = 0.909 - 0.108, b_{15} = 37.213$$

$$a_{20} = 0.946 - 0.065, b_{20} = 23.318, a_{25} = 0.983 - 0.028, b_{25} = 9.113$$

2. 5. 2 微地形区分における AVS30 の推定

ボーリングデータによる AVS30 を算定するのが基本であるが、ボーリングデータのないメッシュの AVS30 の推定を行うため、以下のような微地形区分毎の AVS30 の推定を行い、経験式による全国的な係数による AVS30 の推定及びボーリングデータによる地域的な係数の設定を行った。

入力を行ったボーリングデータ 401 本のうち、30m 以上の掘進深度を有するボーリングデータは 116 本 (水面等除く) であった (表-2)。各微地形とボーリングデータの関係は以下のとおりである。

同一微地形区分に掘進深度 30m 以上のボーリングデータを 5 本以上有する微地形区分においては、AVS30 を推定する際、地域性を考慮するためボーリングデータから推定した AVS30 をもとに係数を設定した (表-3)。設定の方法は中央防災会議「東南海・南海地震に関する専門調査会」の経験式 (内閣府マニュアルによる) の係数のうち、 b, c, σ の値を固定し、 a の値を変化させて、ボーリングデータから推定した AVS30 との関係を最も整合させるように設定した。この際あらかじめ AVS30 の上限値及び下限値が設定されている「谷底平野」及び標準偏差から外れるボーリングデータが極めて少なかった「砂丘・砂州」、「埋立地・干拓地」に関しては、経験式の係数をそのまま利用した (表-4)。設定した係数は表-3 のとおりである。

上記以外の微地形区分を含めた微地形区分と係数の関係は表-5 のとおりである。

表-2 各微地形区分におけるボーリングデータ数

微地形区分	全ボーリングデータ数	有ボーリングデータ数	
		計	うち 30m 以上
平野地	16	9	0
砂丘・砂州	15	11	2
砂丘・砂州	172	148	53
埋立地	23	13	2
埋立地	3	3	2
干拓地	12	6	1
干拓地 (D > 0.3m)	12	6	1
干拓地 (D ≤ 0.3m)	21	17	5
砂丘・砂州	11	10	5
埋立地・干拓地	88	81	46
人工造成地	1	0	0
水面等	39	33	16
計	401	331	134

表－3 地域性を考慮した係数

微地形区分	a	b	c	σ	AVS30		ボーリングデータ数	標準偏差外データ数
					下限	上限		
谷底平野	2.08	0.19	0.00	0.15	162	300	53	5
デルタ・後背湿地(D≤0.5km) (前)	2.21	0.00	0.00	0.11			5	2
デルタ・後背湿地(D≤0.5km) (後)	2.34	0.00	0.00	0.11			5	0
砂丘・砂州	2.31	0.00	0.00	0.12			5	0
埋立地・干拓地	2.23	0.00	0.00	0.19			46	2

前：地域性を考慮する前，後：地域性を考慮した後

表－4 地域性を考慮した係数設定を行い計算した場合のボーリングデータ状況

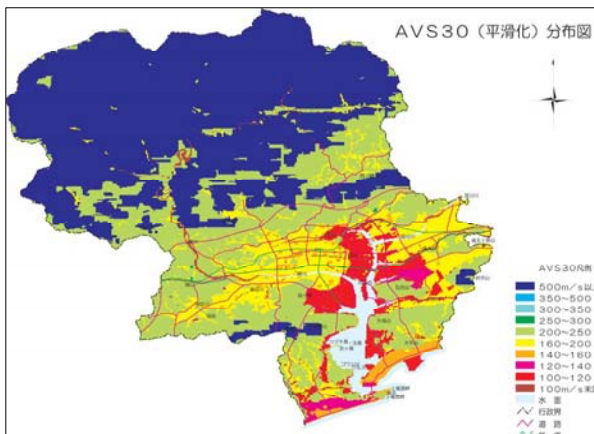
微地形区分	有効ボーリングデータ数	標準偏差外データ数	標準偏差内率
谷底平野	148	16	89.2%
デルタ・後背湿地 (D≤0.5km)	17	1	94.1%
砂丘・砂州	10	2	80.0%
埋立地・干拓地	81	6	92.6%

表－5 微地形区分と係数の関係

微地形区分	a	b	c	σ	AVS30	
					下限	上限
古生代・中生代・古第三紀	2.90	0.00	0.00	0.15		
丘陵地	2.51	0.00	0.00	0.16		
砂礫台地	2.48	0.00	0.00	0.14		
谷底平野	2.08	0.19	0.00	0.15	162	300
扇状地	2.49	0.00	0.00	0.10		
自然堤防	2.06	0.26	0.00	0.14	162	400
デルタ・後背湿地 (D>0.5km)	2.27	0.00	0.19	0.13		250
デルタ・後背湿地 (D≤0.5km)	2.34	0.00	0.00	0.11		
砂丘・砂州	2.31	0.00	0.00	0.12		
埋立地・干拓地	2.23	0.00	0.00	0.19		
人工改変地	2.39	0.00	0.00	0.14		

2. 5. 3 メッシュ毎の AVS30 の推定

メッシュごとの AVS30 の推定は，ボーリング地点の AVS30 の推定及び微地形区分により推定した AVS30 を空間的に平滑化してメッシュごとの AVS30 の設定を行った（図－15）。



図－15 AVS30 の分布図

各メッシュにおける AVS30 は以下の式で推定を行った。この際の係数は表－5を使用した。推定に際しては安全を考慮し， $-\sigma$ を用いた。

$$\text{Log AVS30} = a + b \times \text{Log H} + c \times \text{Log D} \pm \sigma$$

AVS30：表層 30m の平均 S 波速度の推定値
H：標高 (m)
D：主要河川からの距離 (km)
a, b, c：係数 (微地形区分ごと)

σ ：標準偏差 (微地形区分ごと)

ボーリング地点の AVS30 においても，推計値のばらつきを考慮し，便宜的にボーリング地点の微地形区分の σ を用いて，以下の式により $-\sigma$ 相当の値に変更した。この際あらかじめ AVS30 $_{-\sigma}$ の上限値及び下限値が設定されている微地形区分については，計算結果によっては上限値もしくは下限値を使用した。推定結果は表－6 のとおりである。

表－6 AVS30 $_{-\sigma}$ 推定結果 (一部)

ボーリング名	AVS30	微地形区分	σ	下限値	上限値	AVS30 $_{-\sigma}$
1-G-1	0.0	谷底平野	0.15	125	210	0.0
1-J-1		デルタ・後背湿地(D≤0.5km)	0.11			182.0
2-F-2	360.1	扇状地	0.10			286.0
2-G-1	391.3	扇状地	0.10			310.8
2-I-1	234.2	水面等	0.00			234.2
2-I-7	209.0	デルタ・後背湿地(D≤0.5km)	0.11			162.2
2-J-2	221.0	デルタ・後背湿地(D≤0.5km)	0.11			171.6
3-F-1	318.5	砂礫台地	0.14			230.7

$$\text{AVS30}_{-\sigma} = 10^{\log \text{AVS30} - \sigma}$$

AVS30 $_{-\sigma}$ ： $-\sigma$ 相当のボーリング地点の AVS30

AVS30：推定したボーリング地点の AVS30

σ ：ボーリング地点の微地形区分の σ の値

上記各メッシュ毎に微地形区分から推定した AVS30 とボーリング地点の AVS30 $_{-\sigma}$ をもとに，以下の式により平滑化を行った。

$$\text{AVS30} = \frac{\sum ((1/(r_i + C)^2) \times \text{AVS30}_i \times \text{Kw}_i)}{\sum ((1/(r_i + C)^2) \times \text{Kw}_i)}$$

AVS30：平滑化した当該メッシュの AVS30

R：式には出てこないが，当該メッシュの中心点からの半径。この半径の円内にある当該メッシュと同じ微地形区分のボーリング地点が全て平滑化計算の対象となる。R の値については，ボーリング地点の地質の影響範囲に相当するものと解釈されるが，明確な根拠が無いいため，概ね隣接メッシュ程度までは影響を及ぼすとして，R = 100m と設定した。

r_i : 当該メッシュの中心点から、 i ボーリング地点までの距離

C : 近隣のボーリング地点の影響を調整するための定数. C が小さければ近隣の影響を強く受けることになる. ここでは C の値は R の 0.1 の大きさをすなわち 10 に設定した.

$AVS30_i$: 地点のボーリングの $AVS30$

Kw_i : 微地形区分より設定される仮のボーリング地点 (各メッシュの中心点) の影響と実際のボーリング地点の影響の重み付けを変えるための定数. i 地点が仮のボーリング地点であれば, $Kw_i = 1$ となり, 実際のボーリング地点であれば Kw_i は 1 より大きな数字を設定する. ここでは, 半径 R の範囲で対象となる仮のボーリング地点の数と同等な値を実際のボーリング地点の Kw_i の値とした.

2. 5. 4 メッシュ毎の表層地盤の増幅度の設定

地震による揺れ (S 波: 横ゆれ) は軟らかい地盤ほど揺れが増幅するため, 震源からの距離だけではなく, 深さ 30m までの地盤状況を勘案した地盤状況を加味した地震の揺れやすさを推定した. 実際には, $AVS30$ 値が小さいほど地震動が増幅する関係にある.

表層地盤の増幅度は, $AVS30$ と最大速度の増幅度の経験式 (Midorikawa et al., 1994 による 1987 年千葉県東方沖地震の観測記録をもとに設定された式) を用いられる式は以下のとおりである.

$$\text{Log } G = 1.83 - 0.66 \times \text{Log } AVS30 \pm 0.16$$

$AVS30$: 表層 30m の平均 S 波速度 (m/s) の推定値
ただし, $100 \text{ m/s} < AVS30 < 1500 \text{ m/s}$

G : S 波速度 600 m/s 基盤の最大速度に対する表層地盤の最大速度の増幅度

2. 6 想定地震別の震度予測

揺れやすさマップ作成では, 作成する地域で被害が発生しそうな地震についてそれぞれ揺れやすさマップを作成し, それぞれの地震による揺れやすさの最大震度分布を作成し, その地域の揺れやすさマップを作成する.

高知市の揺れやすさマップ作成では, ①活断層で発生する M7.0 以上地震, ②海溝型地震「安政南海地震」, ③全国どこでも起こりうる直下型の地震の 3 種類の地震について震度予測を行った.

揺れやすさマップ作成のために必要な震源の諸元は, 以下のとおりとした. 地震動予測に必要なモーメントマグニチュード M_w が記載されていない場合は, 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」による気象庁マグニチュード M との経験式により推

定した.

2. 6. 1 活断層で発生する M7.0 以上の地震

マニュアルでは, 「地方公共団体の直下あるいはその周辺で M7.0 以上の地震が発生するおそれのある活断層がある場合には, 震源としてその活断層をモデル化する。」とあり, 中央構造線断層帯 (讃岐山脈南縁～石鎚山脈北縁東部) (図-16) を活断層で発生する想定地震として行った.

名称: 中央構造線断層帯 (讃岐山脈南縁～石鎚山脈北縁東部)

位置: 東経 133 度 16 分 北緯 33 度 54 分
から

東経 134 度 39 分 北緯 34 度 10 分

長さ: 130 km

断層幅 : 20~30 km

上端深さ: 4 km

下端深さ: 20 km (コンラッド面の震度分布より)

平均深さ: 12 km

マグニチュード M : 8.0

モーメントマグニチュード M_w : 7.6

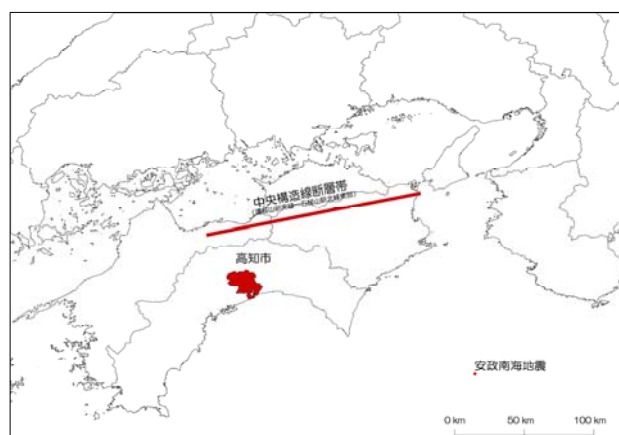


図-16 想定される地震の発生位置図

2. 6. 2 海溝型地震

マニュアルでは「地方公共団体に影響の大きい M7 クラス以上の海溝型地震が存在する場合には, その海溝型地震を震源としてモデル化する。」としており, 安政南海地震 (図-16) をモデル化した.

名称: 安政南海地震

位置: 東経 135 度 北緯 33 度

アスペリティ北端: 東経 132.93 度 北緯 33.25 度
から

東経 133.85 度 北緯 33.63 度

断層幅 : 70~150 km

上端深さ: 10 km

下端深さ: 30 km

平均深さ: 20 km

マグニチュード $M : 8.4$

モーメントマグニチュード $M_w : 7.9$

2. 6. 3 全国どこでも起こりうる直下の地震

全国どこでも起こりうる直下の地震については、中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」で、震源としては全ての場所の直下（図-16）で $M6.9$ の地震を想定する。

名称：直下型地震

位置：各メッシュ直下

上端深さ：4 km

下端深さ：20 km（コンラッド面の震度分布より）

平均深さ：12 km

断層最短距離：4 km

マグニチュード $M : 6.9$

モーメントマグニチュード $M_w : 6.6$

2. 7 揺れやすさマップ数値データファイルの作成

2. 7. 1 工学的基盤での地震動予測

上記諸元をもとに、メッシュ毎の工学的基盤での地震動として、工学的基盤での最大速度を以下の式により予測した。

$$\text{Log PGV}_{600} = 0.58 \times M_w + 0.0038 \times \text{Dep} - 1.29 + c - \text{Log} (X + 0.0028 \times 10^{0.50M_w}) - k \times X$$

PGV_{600} : S 波速度 600m/s の工学的基盤上の最大速度 (cm/s)

M_w : モーメントマグニチュード

Dep : 断層の平均深度 (km)

X : 断層最短距離 (km)

c : 係数（内陸地震：0.0, 海溝型地震：-0.02）

k : 粘性減衰係数 (0.0027)

2. 7. 2 地表最大速度

基盤における地震動を各地震の設定により推定し、表層地盤における S 波速度の増幅度を考慮して、表層における地表最大速度の推定を行った。

基盤上の最大 S 波速度 600m/s に、メッシュ毎に設定した表層地盤の増幅度を以下の式を用い、メッシュ毎の地表最大速度を推定した。

$$V = G \times \text{PGV}_{600}$$

PGV_{600} : S 波速度 600m/s の基盤上の最大速度 (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速度の増幅度

V : 地表最大速度 (cm/s)

2. 7. 3 震度

地表最大速度が推定された後に、私たちが生活する地表においてどの位の揺れが起こるかを推定する。

上記で推定したメッシュ毎の地表最大速度をもとに、以下の式によりメッシュ毎の震度を推定した。

$$I = a + b \times \text{Log } V$$

I : 計測震度

V : 地表最大速度 (cm/s)

a : 係数 (2.30)

b : 係数 (2.01)

2. 8 揺れやすさマップ出力図の作成

メッシュごとに各地震諸元に基づき推定した震度により、揺れやすさマップを作成した。

活断層型の活断層は中央構造線断層帯のうち讃岐山脈南縁～石鎚山脈北縁東部（図-16）を使用した。この断層は、高知市からは北東部に位置し、東西に延びる断層である。

活断層による揺れやすさ（震度）の分布（図-17）は、谷底平野、自然堤防、デルタ、砂丘・砂州、埋め立て・干拓、人工改変地などに震度 6 弱（黄色）が分布し、古生代・中生代・古第三紀及び丘陵地は震度 5 強（緑色）が分布している。

南海地震型は、安政南海地震規模の地震が起きた場合の震度（図-18）により揺れやすさマップを作成している。揺れやすさは、谷底平野、自然堤防、デルタ、砂丘・砂州、埋め立て・干拓、人工改変地などに震度 6 強（橙色）が分布し、丘陵地は震度 6 弱（黄色）となっている。古生代・中生代・古第三紀及び丘陵地は震度 5 強（緑色）が分布している。

全国どこでも起こりうる直下型地震は、マグニチュード 6 クラスの地震がどこで起こるか分からないため、今回は高知市の直下でマグニチュード 6.9 の地震を想定（各メッシュの直下でそれぞれ発生したと仮定した）して地震動の推定を行った（図-19）。

活断層型、海溝型、直下型の地震によるそれぞれの地震動を重ね合せて、最大震度分布図を作成した（図-20）。最大震度分布図は、直下型の震度（図-19）が大きいことから殆ど同じ震度分布図となった。

また、最大震度分布図（図-20）の震度のうち、震度 6 弱及び 6 強が比較的家屋に及ぼす影響が多岐にわたることから震度を細分化して表示した（図-21）。赤で表示した震度 7 の地域は、図-12 の微地形区分図で埋立地・干拓地となっており、地震時の揺れやすさが大きいことが分かる。また、沖積低地の分布する地域では、（高知市の比較的人口が集中している市街地）などでは震度 6 強の震度分布が見られる。

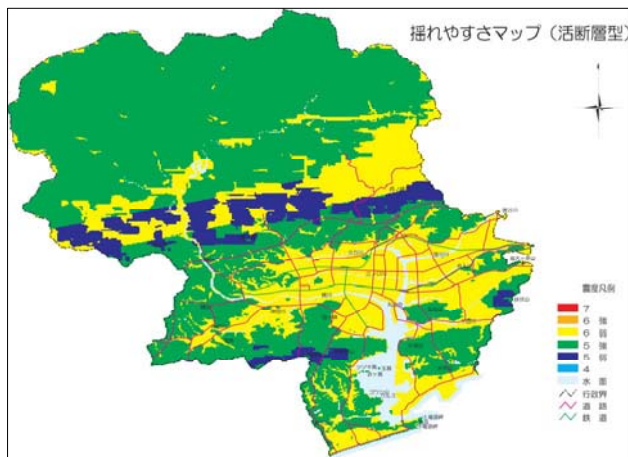


図-17 揺れやすさマップ（活断層型）

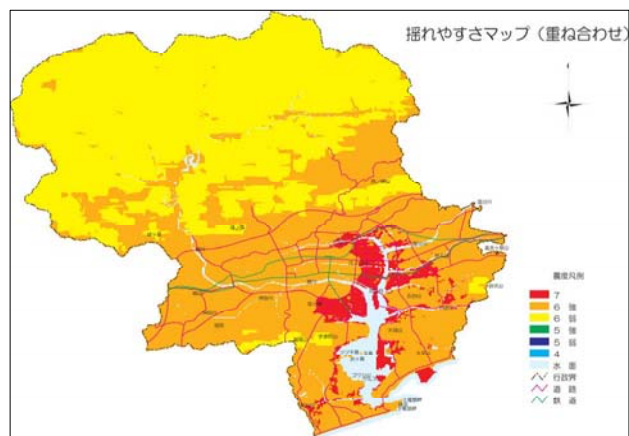


図-20 揺れやすさマップ（最大震度分布図）

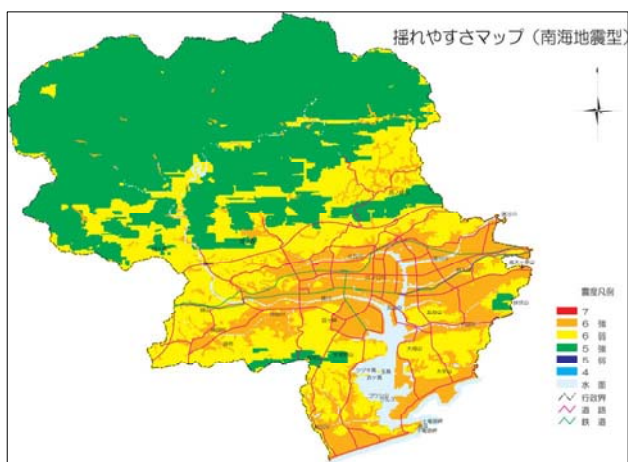


図-18 揺れやすさマップ（南海地震型）

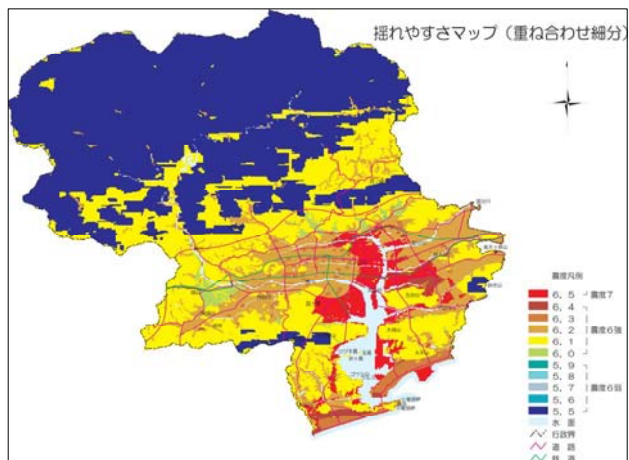


図-21 揺れやすさマップ（最大震度分布図）

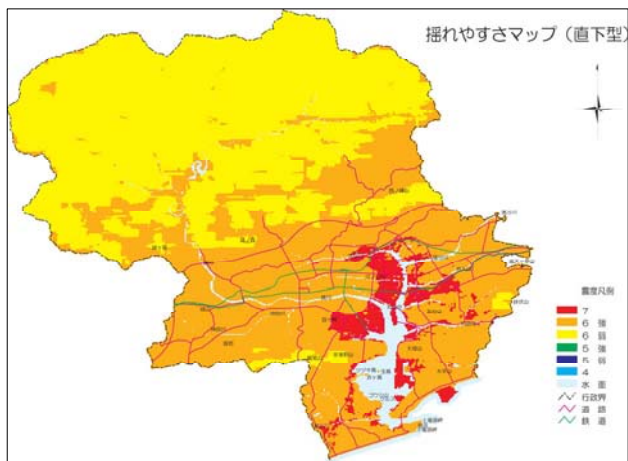
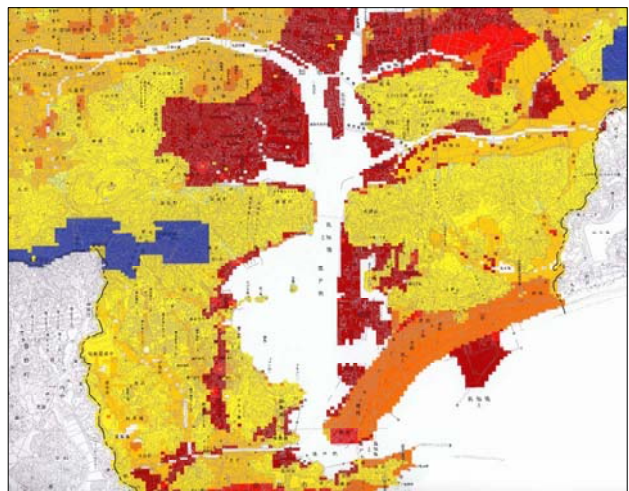


図-19 揺れやすさマップ（直下型）

図-22 1/25,000 揺れやすさマップ（最大震度分布図）
（約 20%に縮小）

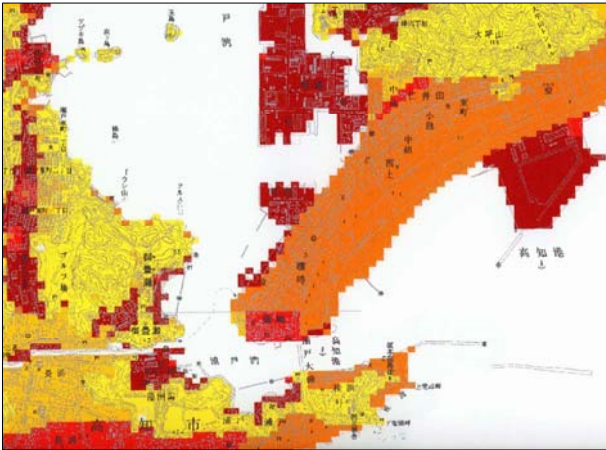


図-23 1/25,000 揺れやすさマップ(最大震度分布図)
(約40%に縮小)

図-22 及び図-23 は、1/25,000 地形図上に 50m メッシュごとの揺れやすさを表示したもので、市民自身が居住位置を確認できる程度の地図で、地震に備える場合の重要な資料として利用できる。

3. 地震防災マップ作成技術資料の課題の抽出及び改善点

高知市域の揺れやすさマップの作成をとおして地震防災マップ作成技術資料の内容について検討を行い、以下のとりまとめを行った。

3. 1 係数などについて

活断層の諸元の採用などの取り扱いには十分注意を払う必要がある。採用するデータによって出力される揺れやすさの値が大きく異なる場合がある。

また、計算式の係数などに幅がある場合にはどの値を使用するか吟味する必要がある。今回行った高知市の揺れやすさマップ作成では、マニュアル P55 (6) メッシュ毎の表層地盤の増幅度の設定の式が $\text{Log } G = 1.83 - 0.66 \times \text{Log AVS30} \pm 0.16$ であるが、今回行った高知市では $\text{Log } G = 1.83 - 0.66 \times \text{Log AVS30} \pm 0$ で計算を行った。

3. 2 土地分類基本調査の調査年による背景地形図の図郭に生ずる不整合

大正7年9月、文部省告示によって、それまで使用されてきた、チットマン値に代えて大子午儀中心の経緯度を使うよう決定したのを受け、5万分1地形図の図郭を 10.4" 東へずらした。(修正する時期にあわせて地形図毎に行われた)。このため、調整以前の基図に隣接する調整以降の基図の間には 10.4" (約 320m) の空白もしくはダブリが生ずる。このような不整合は他市町村で揺れやすさマップを作成する際にも生ずる可能性があるため、地形分類図の空白部分の地形区分や表層地質図を入力する際、

隣接図郭を考慮しながら整合を図る必要がある。

高知市の揺れやすさマップ作成の際には、地形分類図の「高知」の最小経度が 133° 30' 10.4" (図-24) となっており、隣接図郭の「伊野」の最大経度が 133° 30' (図-25) であるため約 1 cm (約 320 m) の空白部分が生じた。このため表層地質図を入力する際、隣接図郭を考慮しながら整合を図った。しかし、他市町村で作成する際にも土地条件図がない場合は、10.4" (約 320m) の空白部の地形区分を行う必要が生ずるため地形区分を行う場合には、今回行った調査で実施した(本報告では割愛した)地形図等から詳細な微地形区分を行う手法の検討を行ったので参考にいただきたい。

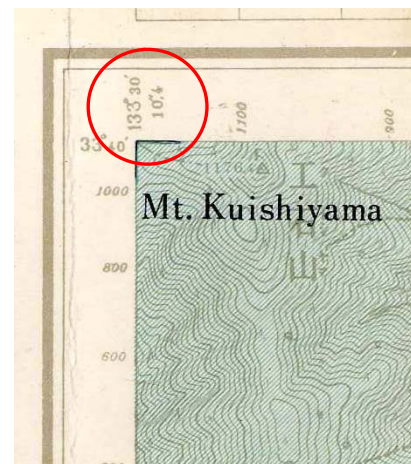


図-24 1/5万 地形分類図「高知」(昭和41年3月発行)



図-25 1/5万 地形分類図「井野」(昭和59年3月発行)

4. 市町が「揺れやすさマップ」を作成する場合の問題点等の調査

4. 1 調査方法

4. 1. 1 調査を実施した市町の選定方法

「揺れやすさマップ」を作成する場合の問題点等を把握する目的で、作成主体である市町に対してヒアリングおよびアンケート調査を実施した。

調査を実施した市町は、以下のように選定した。

(1) 現行のマニュアルに基づき「揺れやすさマップ」を作成した市町

1) 鳴門市

(2) 独自の手法で「揺れやすさマップ」を作成した市町

1) 横浜市

(3) 「揺れやすさマップ」を作成していない市町

1) 北海道釧路市

2) 宮城県仙台市

3) 静岡県静岡市

4) 愛知県南知多町

5) 三重県津市

6) 大阪府大阪市

7) 広島県呉市

8) 広島県広島市

9) 山口県周防大島町

10) 愛媛県宇和島市

11) 愛媛県愛南町

12) 高知県高知市

13) 高知県須崎市

14) 大分県佐伯市

15) 宮崎県日南市

4. 1. 2 調査内容

調査は、作成した市町、作成していない市町で内容が異なるため分けて実施した。それぞれの市町で調査した内容を以下に示す。

(1) 「揺れやすさマップ」を作成した市町

1) 「地震防災マップ」作成の有用性

2) 「地震防災マップ」作成に際しての障害、課題

3) データの収集の可能性、難易度

4) 精度、メッシュの大きさ

5) 想定地震について

6) 「地震防災マップ」完成後の利用方法

7) 住民への周知方法

(2) 「揺れやすさマップ」を作成していない市町

1) 「地震防災マップ」の認知度

2) 「地震防災マップ」作成の必要性

3) 「地震防災マップ」作成の予定

4) 「地震防災マップ」作成に際しての障害

5) データの収集の可能性、難易度

6) 精度、メッシュの大きさ

7) 想定地震について

8) 「地震防災マップ」の利用方法

9) 住民への周知方法

4. 1. 3 調査対象とした市町

調査対象とした市町、揺れやすさマップ作成の有

無、担当部署などをまとめた結果を表(表-7)に示す。表中には作成の有無についても示している。この結果、回収率は94%(17市町のうち16市町で回答有り)であった。

表-7 調査先一覧表

番号	防災マップ作成の有無	県	市町村	担当所属(部課係名)
1	有	徳島県	鳴門市	企画総務部 危機管理対策室
2	有	神奈川県	横浜市	総務局 危機管理対策室 情報技術課
3	無	北海道	釧路市	総務部 総務課 防災危機管理担当
4	無	宮城県	仙台市	消防局 防災安全部 計画係
5	無	静岡県	静岡市	消防防災局 防災部 防災指導課
6	無	愛知県	南知多町	総務課 消防交通係
7	無	大阪府	大阪市	危機管理室
8	無	広島県	呉市	総務部 安全対策課
9	無		広島市	消防局 危機管理部 計画係
10	無	山口県	周防大島町	総務部 総務課 消防防災班
11	無	愛媛県	宇和島市	総務部 総務課 消防防災係
12	無		愛南町	総務課 防災対策室
13	無	高知県	高知市	総務部 防災対策課 防災対策担当
14	無		須崎市	総務部 安全防災係
15	無	大分県	佐伯市	総務部 総務課 総務係
16	無	宮崎県	日南市	総務課 防災保安係

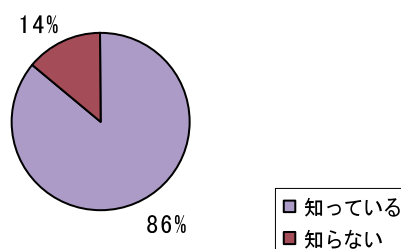
4. 2 回収結果

4. 2. 1 認知度・必要性について

揺れやすさマップを作成していない市町に対して、地震防災マップの認知度、「地震防災マップ作成技術資料」の認知度の調査を行った(図-26)。

1) 「地震防災マップ」を知っているか?

①「地震防災マップ」の存在



②「地震防災マップ」の種類

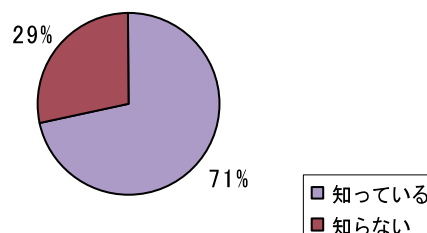


図-26 地震防災マップの認知度

2) 「地震防災マップ作成技術資料」を知っているか？

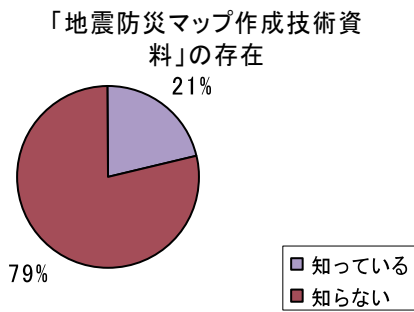


図-27 作成技術資料の認知度

この結果、大半の市町が地震防災マップの存在およびその種類（ただし、一部知っているも含む）を認識していることがわかった（図-26）。また、具体的な手法を示した「地震防災マップ作成技術資料」の存在については認知度が低かった（図-27）。今後の普及が必要といえる。

また、全市町に対して、地震防災マップの必要性について調査を行った（図-28）。

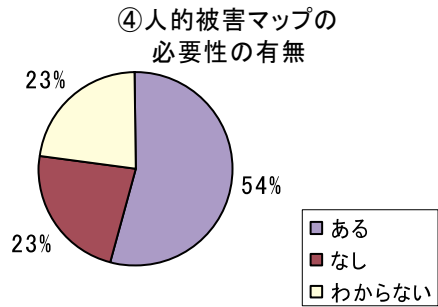


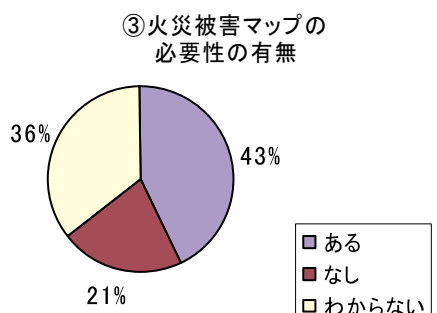
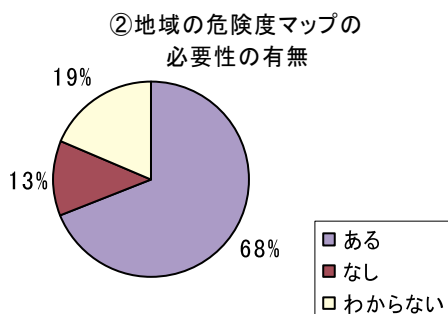
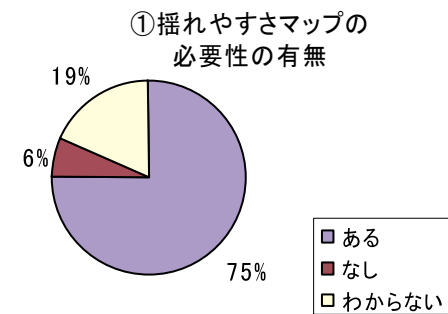
図-28 地震防災マップ必要性の有無

この結果、地震防災マップのうち、揺れやすさマップ、地域の危険度マップについては、大半の市町が必要性を感じていることが明らかとなった。

4. 2. 2 地震防災マップの作成について

揺れやすさマップを作成していない市町に対して、地震防災マップ作成の予定があるかの調査を行った（図-29）。

この結果、地震防災マップ作成の予定があるのは全体の14%程度と低く、必要性は感じているものの作成するのは困難であるという結果になっていることがわかる。



「地震防災マップ」の作成予定

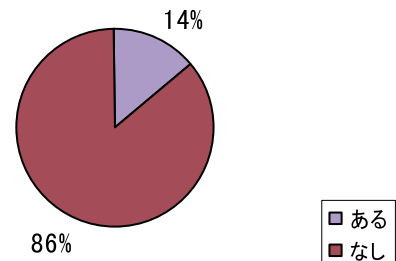


図-29 地震防災マップの作成予定の有無

それでは、その障害になっているものは何かについて調査を行った（図-30）。調査した項目は、①予算的問題か？②時間的問題か？③技術的問題か？④代替マップがあるからか？の4項目である。

調査の結果、大きな障害となっているのは、予算であることがわかる。また、技術的問題も「ある」と「わからない」の合計が7割である。

地震防災マップの必要性について、地方公共団体内部や住民に対して理解を得るための担当部局の説明力向上も地震防災マップ作成普及に向けた課題となると考えられる。

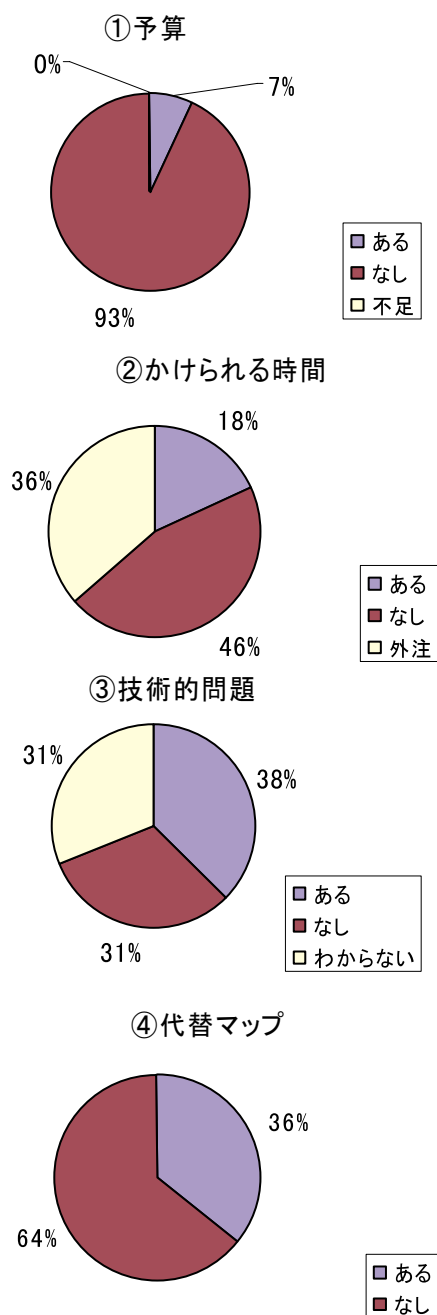


図-30 地震防災マップ作成にあたっての障害について

4. 2. 3 利用・周知について

調査結果より、地震防災マップの利用方法として最も期待しているのが住民啓発およびソフト対策であることがわかった。

また、周知する方法としては、インターネットでの掲示を考えている市町が多いものの、

- 1) 周知したことにより安全と判断した住民が逃げないのではないか？
 - 2) 財産価値への影響があるのではないか？
- などの意見もあった。

4. 3 調査結果の分析

4. 3. 1 問題点の抽出

調査によって判明した問題点を挙げる。

- 1) 大半の市町では、地震防災マップの認知度は高いものの、「地震防災マップ作成技術資料」の認知度は低い。
- 2) 大半の市町では地震防災マップの必要性を感じているが、マップの作成の予定がほとんどない。予算面での障害が大きいと考えられる。
- 3) 市町ごとに対応に温度差がある。これは防災全般に係るものであろう。
- 4) 市町の中でも地区ごとに温度差がある。この原因としては、行政の啓発不足、指導者の不足、過去の災害履歴などが影響しているものと推定される。
- 5) 国や県に依存する傾向も見られる（特に財政的な補助）。住民だけでなく、地方行政の自助努力ももう少し必要であろう。
- 6) 予算が少ない中でも、住民を巻き込んだ実用的な訓練などを熱心に行っている市町もある（例えば、高知市の浦戸地区、横浜市の地域防災拠点運営委員会など）
- 7) すべての市町で、予算的な問題が挙げられた。防災・安全に係る予算をどのように確保するか。また、住民に理解を得るか。特に首長の指導力が重要と感じられた。
- 8) 「揺れやすさマップ」だけでなく、土砂災害、浸水、津波、高潮などの各種ハザードマップの必要性が言われているが、市町レベルの部署では手が回らない（人的問題）。

4. 3. 2 今後の方策の提案

今回の調査によって、「揺れやすさマップ」に対する市町村の認識、あるいは市町村が作成する場合の課題・要望などが明らかとなった。今後、「揺れやすさマップ」の作成を推進するための、いくつかの方策について以下に提案する。

(1) 住民への周知

今後、“減災”を進めていく上では、住民による自助、共助が重要である。そのためには住民が自分たちのリスクを正しく、正確に認識・把握しておくことが大前提である。「揺れやすさマップ」はそのための重要な資料であり、その必要性あるいは有用性をPRして、住民からのボトムアップのような形で作成の機運が高まることが望まれる。

したがって、マップの説明会は行政向けも必要ではあるが、住民への広報、周知が最も重要であり、効果的である。防災に係る様々な団体及び行事を活用して、説明会を開催する必要がある。住民の意識

が高まれば、本当に必要なものへの予算分配も理解されやすく、作成への推進力となる。

(2) 作成しやすい環境の整備

最近では、どこの自治体も財政的に厳しく、マップの有用性は理解しても、作成に当たっては予算措置ができない状況である。この問題に対する根本的な解決は難しいが、少しでも作成しやすい環境を整えるために、以下の2つの案を提示する。

1) 国庫補助制度の活用、都道府県による補助制度整備

地震防災マップの作成にあたっては、国土交通省住宅局所管の住宅・建築物耐震改修等事業などの補助制度が活用可能である。内閣府では、この旨各都道府県防災部局に周知しているところであるが、十分に理解されていないものと考えられる。都道府県の建設部局と防災部局の連携を促すなど、当該補助制度の積極的な活用を推進することが必要と考えられる。

また、都道府県による独自の補助制度整備を促進することも有効と考えられる。

2) マップ作成の適正化（効率化）

マップを作成する上では、メッシュ間隔やデータ数によって経費は大きく異なる。例えば、必ずしも全国一律に50mメッシュで解析する必要は無いのではないか。想定地震や家屋の密集度、耐震化率などによる、適正化・効率化により、経費削減が図られるものと考えられる。ただし、このような適正化により、実際の現象を把握できなくなる可能性もあるため、具体的な作成指針を十分検討して、公開する必要がある。

(3) 住民側に立った他のハザードマップとの連携

現在、各省庁から様々なハザードマップの作成が提案されており、県・市町村で対応がなされているところである。主なものでは、「液状化ハザードマップ」「津波ハザードマップ」「浸水ハザードマップ」「土砂災害ハザードマップ」などがある。しかし、住民の立場においては、地震が発生したときに、自分の

いる地域がどのような危険にさらされているのか、例えば津波なのか、がけ崩れなのかを知るためには、いくつかのマップを参照しなければならない。あらかじめ準備をする際にも、地区を中心とした、「総合防災マップ」ともいえるべき集約的なマップの作成が望まれる。

揺れやすさマップは、「総合防災マップ」の基礎となるものと考えられる。このため、「総合防災マップ」の作成を推進することで効率化、経費削減を実現しながら地震防災マップを作成できることが期待され、関係部局で連携を強化しながら取り組む体制作りも求められる。

5. あとがき

本報告は、平成17年度災害対策総合推進調整費（内閣府）による地盤情報整備の可能性に係る調査を内閣府と共同で実施した内容について報告を行った。

詳細な揺れやすさマップ作成には、地形分類データを使用するが、国土地理院では、地形区分を表示した縮尺1/25,000の土地条件図、沿岸海域土地条件図、治水地形分類図、活断層図等を作成しているので利用して頂きたいと考えている。高知市の詳細な揺れやすさマップの作成には、内閣府が作成した「地震防災マップ作成技術資料」を使用した。詳細な設定についてはこの技術資料を参照して頂きたい。なお、地盤情報整備の可能性に係る調査では、技術資料の内容についていくつかの検討を行い、微地形分類手法について詳しく解説を行い、地形分類データのない地域でも簡易に地形の分類を地形図から行うための検討を行ったが、本報告では、紙面の都合で割愛させて頂いた。

地震防災マップの作成を企画、立案する場合には本報の内容等について御議論頂けたら幸いである。

本地震防災マップ作成については、高知市総務部防災対策課の山本聡氏をはじめ多くの皆さんに各種資料の提供等お世話になりました。ここに記して感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 国土地理院（1987）：国土数値情報 流路（線）。
- 国土地理院（1997）：数値地図50mメッシュ（標高）。
- 国土地理院（2001）：数値地図25000（行政界・海岸線）平成12年版。
- 国土地理院（2006）：土地条件図「高知」「土佐高岡」。
- 国土地理院（2006）：地盤情報整備の可能性に係る調査作業「高知地区」報告書、国土地理院技術資料D・1-No.465。
- 高知地盤図編集委員会／高知県建築設計監理協会（1992）：高知地盤図。
- 高知県（2005）：第2次高知県地震対策基礎調査報告書。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会強震動評価部会（2001）：南海トラフの地震を想定した強震動評価手法について（中間報告）。

- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2003) : 中央構造線断層帯 (金剛山地東縁-伊予灘) の長期評価について.
- (社) 全国国土調査協会 (1966) : 土地分類基本調査 高知 5 万分の 1.
- (社) 全国国土調査協会 (1983) : 土地分類基本調査 伊野 5 万分の 1.
- (社) 全国国土調査協会 (1988) : 土地分類基本調査 本山・伊予三島・土佐長浜 5 万分の 1.
- 内閣府防災担当 (2005a) : 地震防災マップ作成技術資料.
- 内閣府防災担当 (2005b) : 地震被害に関する検討会 (第 6 回) 資料.
- 内閣府・国土交通省 (2006) : 地盤情報整備の可能性に係る調査報告書.
- Midorikawa, S., M. Matsuoka, and K. Sakugawa (1994) : Site Effect of Strong-Motion Records Observed during the 1987-Chiba-ken-toho-oki, Japan Earthq. Sympo, Vol. 3, 85-90.