

### 3. 2 徳島県における土構造物の被害想定

#### 3. 2. 1 まえがき

徳島県域を対象に斜面崩壊被害想定、河川堤防の被害想定、港湾施設の被害想定、並びに平成9年8月に公開された国土庁による自治体レベルの液状化被害想定方法に基づく徳島県下各地域の液状化被害想定、等を行った。ここでは紙面の制約も有って、もっぱら斜面崩壊被害想定のプロセスと結果の概要を述べることにする。

#### 3. 2. 2 地震時斜面安定性評価法の現況

ある特定の斜面の地震時の安定性を評価する最も原始的かつ慣用的な方法は震度法である。この方法は地震動の影響を静的な横方向の荷重で考慮しようとするのであるが、動的な変動荷重を静的な力で表現しようとする自体無理のあることは言うまでもない。横方向の荷重として重力のK倍の力を作用させるが、そもそも、この（設計）震度Kの値としていかなる量を採用すればよいのか、不明な点が少なくない。松尾ら<sup>1)</sup>や伊藤ら<sup>2)</sup>によれば地震動の最大加速度の60～70%程度がKの値として適切であることを示唆しているが、これとても定性的な域を出るものではない。

上記震度法では安全率が1.0を下回ったとき、斜面はすべり破壊を生ずると判断せざるを得ない。しかし現実の動的繰返し荷重のもとでは、仮にあるすべり面に沿って安全率がある時点で1.0を下回ったとしても、恐らくその継続時間は極めて短く、次の瞬間には再び安全率が1.0を上回る安定な状態に回復するであろう。このように安全率が1.0を境として安定不安定な状態を繰返しつつ、これに応じて残留変形を蓄積しながら、ついには全体的な崩壊に至る場合もあろうし、また軽微な変状だけで地震終了と共に沈静化することもある。したがって、安全率の値のみに基づいて斜面の安定性を論ずるのは適切ではなく、安全率が1.0を下回る時間の継続長さに応じて定まってくる残留（永久）変形量の大きさで地震時の安定性を評価すべきとの発想が生れた。これは、最初 Newmark<sup>3)</sup>により手掛けられ、その後いろいろな所で活用されている<sup>4)</sup>。

Newmark 法は特定のすべり面に注目してこれに沿う残留変位を見積る方法である。したがって、地震時に顕著なすべり面が発生することなく、盛土全体が沈下を示すような変状のもとでは適合性は高くない。こうした状況に対しては土の弾塑性構成式を組み込んだ FEM による応答解析から、構造物内各点の局所的な残留ひずみの集積としての構造物全体の永久変形を解析しようとする最も手の込んだ手法が開発されつつある<sup>5)</sup>。

以上の議論は、特定の斜面が与えられたとき、地震時の安定性を定量評価することをねらいとするものであった。しかしこうした方法は、広い領域を対象として地震時の被害想定や危険度のゾーニングを行おうとするとき、余り有用ではない。理由は、広い領域に渡っての地質や土質あるいは地形的データを十分な精度で収集することが大変困難であること、あるいは膨大な数に上る斜面の安定解析そのものを実行することが現実問題として不可能である、などによる。したがって自然斜面であれ、河川堤防であれ、広い範囲内の斜面の危険度評価を行うに当たっては、こうした実際上の制約を十分認識しておくことが大切である。

こうして、地震時の被害想定への適用をねらいとした斜面崩壊の予測手法には、現在のところ簡便な方法から詳細なものまで以下のような三段階の手法が用意されている<sup>6) 7)</sup>：

- ①地震のマグニチュードあるいは（気象庁）震度（階）に基づいて崩壊範囲や崩壊率の概略予測を行う方法。国際土質・基礎工学会（ISSMFE）地震地盤工学専門委員会（以下 TC4 と称す）より発行されたレポート<sup>7)</sup>ではこの方法をグレード1の方法と（Grade-1 Methods）と命名している。
- ②斜面形状や地質などの要因をもとに、斜面崩壊発生地域を簡易に予測する方法。  
TC4 によるレポートではこの方法をグレード2の方法（Grade-2 Methods）と呼んでいる。
- ③土質調査などをもとに、斜面を構成する地盤材料の強度定数を求め、斜面安定解析を行って崩壊発生

地域をかなり詳細に予測する方法。TC4 ではこれをグレード3の方法(Grade-3 Methods)と定義している。この場合、極限平衡法の安定率算定式が活用されるのであるが、それには長大斜面の理論ないし理想化された円弧すべり理論が採用される。

以下、上記3段階の方法について簡単に説明する。なお、ここに現れる過去の研究成果の出典については全て文献6)、7)を参照されたい：

第一の方法(Grade-1 Methods)は、既往の地震の崩壊履歴調査をもとに、マグニチュードないし震度と崩壊範囲や崩壊箇所数の対応付けを試みたものである。この範疇に入る代表的な方法としては、我国における過去100年間に発生した37地震について斜面崩壊事例を分析し、表層滑落型崩壊について、崩壊の多発域・散發域の断層からの距離、または震央からの距離との関係付けを行った田村(1978)の研究；我国の過去100年間に発生した斜面崩壊を調べ、マグニチュードと崩壊が発生した限界の震央距離との関係を明らかにした安田・杉谷(1988)の研究；あるいは世界各地の斜面崩壊事例をもとにした Keefer and Wilson(1988)の研究；さらには1987年のエクアドル地震時の斜面崩壊を調査し、幾つかの崩壊地区の最大震央距離と地震規模の関係を検討した石原・中村(1987)の研究、などがみられる。こうした方法は地域ごとに異なるであろう地質や土質特性あるいは地下水ないし降雨条件等を直接取り込むことができないことは言うまでもない。

第二の方法(Grade-2 Methods)は、過去の地震時において斜面崩壊の発生した事例の分析から崩壊に関与したと考えられる要因を抽出し、それらに重み(ウエイト)を付けることによって危険度を評価しようとするものである。例えば1974年伊豆半島沖地震、1978年伊豆大島近海地震、及び1984年長野県西部地震の3地震の被災事例から斜面の崩壊危険度ランクと斜面平均崩壊数を予測する神奈川県の方法；斜面の相対起伏、地質の分布、土の含水状態、地震の強さ、降雨量から斜面崩壊の危険度を評価する Mora and Vahrsonの方法、などがある。

第三の方法(Grade-3 Methods)は、斜面物質の強度定数を明らかにし、安定解析から崩壊の危険度を予測しようとするものであり、現在のところ Wilson らの方法と Siyahi and Ansal の方法が知られている。田中は Wilson らの方法を伊豆の梨本地区に適用し、1978年伊豆大島近海地震による被害と対比してこの手法の妥当性を検討している。

以上、既往の3つの方法にはそれぞれ利点と欠点、長・短所のあることは言うまでもない。例えば第一の方法は簡単であるが、文字通り概略な検討しかできない；第二の方法はかなり詳しく予測できるけれども手間がかかる、あるいは地震時被災事例のデータが皆無であるから徳島県への適用は困難；第三の方法は詳しく予測できるが、県下一円の  $c$ 、 $\phi$  の分布を特定することがほとんど不可能；などである。

### 3. 2. 3 急傾斜地の崩壊被害予測

我々の周囲には自然と人工とを問わず斜面は無数に存在する。従ってそれら個々の斜面の安定性を逐一検討することはできない。また、未開の地と人間活動の活発な地域では斜面崩壊の意味合いも当然違ってくる。こうしたことから、ここでは検討対象を急傾斜地崩壊危険箇所に指定されている斜面に限定した。そうして、上述のグレード1とグレード2の折衷型とでも呼ぶべき損害保険料率算定会の手法<sup>7)</sup>に基づき、徳島県下各自治体ごとの急傾斜地崩壊危険度評価を行った。

#### ① 急傾斜地崩壊箇所数の推定方法

損害保険料率算定会の「斜面・急傾斜地の地震時の崩壊被害に関する研究委員会(委員長久保慶三郎、他委員・幹事7名)」によれば、1960年以降日本内陸ないし近海で発生した規模の大きい10個の地震の被災状況を多角的に分析した結果、急傾斜地崩壊危険箇所の崩壊率と地表最大加速度の関係が経験則の形で明ら

かにされている。それらを図示したのが図-1である。ここに、崩壊率は次式で定義される：

$$\text{崩壊率} = \frac{\text{地震時に崩壊した急傾斜地危険箇所数}}{\text{地域内の全急傾斜地危険箇所数}} \quad \dots (1)$$

また、地表最大加速度としては次に示す、距離減衰式（建設省総プロの第一種地盤の式）<sup>8)</sup>によるものとしている：

$$A_1 = 46.0 \times 10^{0.208M} \times (\Delta + 10)^{-0.686} \quad \dots (2)$$

ここに、 $A_1$ ：地表最大加速度 (gal)、 $M$ ：マグニチュード、 $\Delta$ ：震央距離 (km)。

想定された南海地震 ( $M = 8.4$ ) のもとで徳島県の急傾斜地被害予測を行うに当って、図-1の結果を用いることとした。ただし、同図のヒストグラム形では使い勝手が良くはなく、また 250gal より大きい加速度に対する崩壊率が不明である。そこで図中に示す直線近似の関係式：

$$Y = 0.415X - 7.796 \quad \dots (3)$$

ここに、 $X$ ：最大加速度 (gal)、 $Y$ ：崩壊率 (%), を用いることとした。この関係は最小二乗法により決定したものである。250gal より大きい加速度に対して過去のデータを外挿して式(3)を適用することには疑問もあろうが、実績データの存在しない現状ではやむを得ないことと受け止めていただきたい。

## ② 徳島県の被害想定結果

式(2)の距離減衰式に基づき、想定地震に対する各市町村の中心地点で加速度を推定し、式(3)から崩壊率を算定する。そうしてこの崩壊率に各市町村に存在する急傾斜地崩壊危険箇所数を乗じて、想定地震のもとでの崩壊数を決定した。

表-1は以上の結果を一覧表の形にまとめたものである。また表-1のデータを地図上に示したのが図-2である。ここでは一切触れていないが、筆者らは南海地震以外に中央構造線沿いの直下型地震についても同様な被害想定を行っている。それによると、場合によれば30個を越える崩壊数を示す地域も存在する。この点、図-2の南海地震の場合は相対的にそれ程大きい崩壊数ではない、との印象を受ける。

## 参考文献

- 1) 松尾・板橋・佐々木：実際事例の逆解析による土構造物の耐震性に関する研究，土木学会論文報告集，第343号，pp. 25～33，1984.
- 2) 伊藤・北原・平田：原子力発電所周辺切り取り斜面の耐震性評価のための入力地震動と震度の関係に関する一考察，土木学会論文集，第370号/Ⅲ-5，pp.47～56，1986.
- 3) Newmark, N.M.: Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, Geotechnique, Vol.15, No.2, pp.139～173, 1965.
- 4) Newmark 法あるいはこれの拡張法は多くの場で応用されているが、例えば新しいところでは Chugh, A.K.: Dynamic displacement analysis of embankment dams, Geotechnique, Vol.45, No.2, pp.295-299, 1995.
- 5) 例えば鶴飼・井田・若井：動的弾塑性 FEM による地震時斜面のすべり解析，地すべり，第32巻，第1号，pp.8～11，1996.

- 6) 損害保険料率算定会：斜面・急傾斜地の地震時の崩壊被害に関する研究，平成6年6月，182頁。
- 7) Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMFE, 1993.
- 8) 建設省土木研究所：昭和51年度総合技術開発プロジェクト・耐震技術に関する研究開発報告書，土木研究所資料 No.1250, 1977.

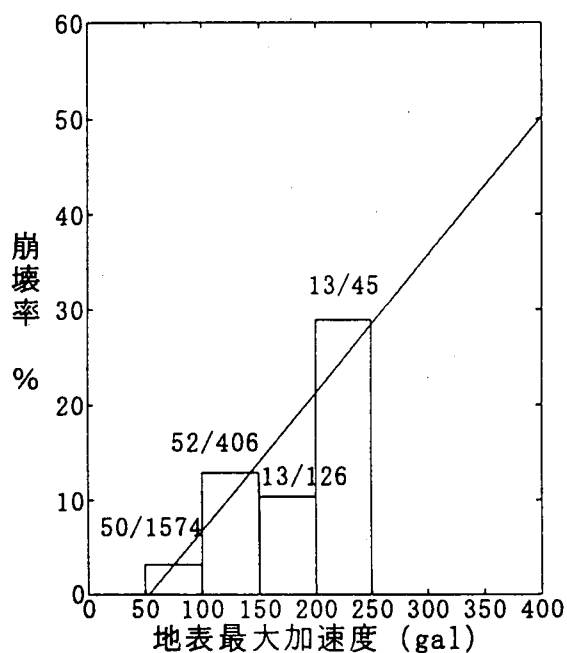


図-1 崩壊率と地表最大加速度の関係

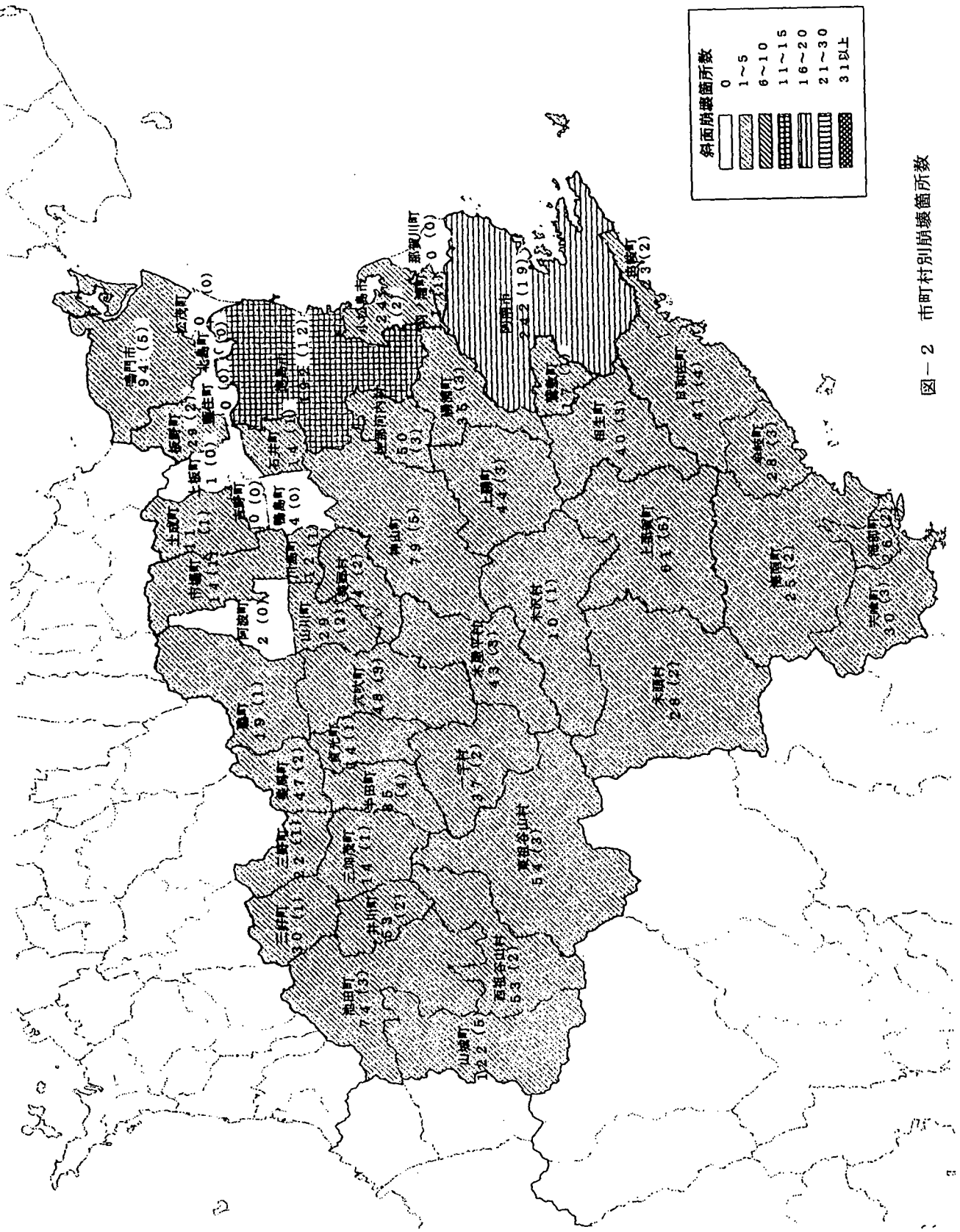


図-2 市町村別崩壊箇所数

表-1 崩壊率と崩壊箇所数の予測（南海地震，M=8.4）（その1）

No	市町村	危険箇所総数	震央距離(Km)	加速度(gal)	崩壊率	崩壊箇所総数
1	鳴門市	94	122.85	89.81	5.22	5
2	板野町	29	122.22	90.10	5.26	2
3	藍住町	0	118.76	91.76	5.50	0
4	北島町	0	116.87	92.70	5.63	0
5	松茂町	0	116.24	93.01	5.68	0
6	徳島市	192	109.94	96.34	6.16	12
7	小松島市	24	100.17	102.12	7.00	2
8	神山町	79	109.62	96.51	6.19	5
9	佐那河内村	50	105.21	99.03	6.55	3
10	上勝町	44	100.49	101.92	6.97	3
11	勝浦町	35	98.60	103.13	7.15	3
12	阿南市	242	91.35	108.13	7.87	19
13	羽ノ浦町	11	95.76	105.02	7.42	1
14	那賀川町	0	95.13	105.45	7.48	0
15	鷺敷町	17	90.09	109.07	8.01	1
16	相生町	40	89.46	109.54	8.07	3
17	上那賀町	61	93.56	106.55	7.64	5
18	木沢村	10	106.16	98.48	6.47	1
19	木頭村	28	105.21	99.03	6.55	2
20	由岐町	23	78.44	118.73	9.41	2
21	日和佐町	41	80.01	117.30	9.20	4
22	牟岐町	28	80.01	117.30	9.20	3
23	海南町	25	88.20	110.50	8.21	2
24	海部町	26	80.64	116.74	9.12	2
25	穴喰町	30	86.63	111.73	8.39	3

表-1 崩壊率と崩壊箇所数の予測（南海地震，M= 8.4）（その2）

No	市町村	危険箇所総数	震央距離(Km)	加速度(gal)	崩壊率	崩壊箇所総数
26	上板町	1	121.91	90.25	5.28	0
27	石井町	14	115.61	93.33	5.73	1
28	土成町	11	125.69	88.52	5.03	1
29	吉野町	0	120.65	90.85	5.37	0
30	鴨島町	4	117.18	92.54	5.61	0
31	市場町	14	127.26	87.82	4.93	1
32	川島町	12	119.39	91.45	5.45	1
33	美郷村	44	116.87	92.70	5.63	2
34	阿波町	2	127.26	87.82	4.93	0
35	山川町	29	121.91	90.25	5.28	2
36	脇町	19	132.30	85.68	4.62	1
37	穴吹町	48	122.54	89.96	5.24	3
38	木屋平村	43	113.72	94.31	5.87	3
39	美馬町	47	135.14	84.52	4.45	2
40	三野町	22	139.86	82.69	4.18	1
41	貞光町	14	127.89	87.55	4.89	1
42	三加茂町	14	135.77	84.27	4.41	1
43	半田町	85	130.10	86.60	4.75	4
44	三好町	30	145.53	80.61	3.88	1
45	一宇村	37	122.22	90.10	5.26	2
46	東祖谷山村	54	126.63	88.10	4.97	3
47	西祖谷山村	53	135.14	84.52	4.45	2
48	井川町	53	140.81	82.33	4.13	2
49	池田町	74	144.59	80.94	3.93	3
50	山城町	122	145.85	80.50	3.87	5