

大地震時における宅地盛土の被害に関する調査業務

報 告 書

平成 17 年 9 月

**会員閲覧用の報告書がありますので  
必要な方は事務局に申し出てください**

特定非営利活動法人 都市災害に備える技術者の会

## 契 約 書

1. 業 務 名 大地震時における宅地盛土の被害に関する調査業務
2. 業務実施期間 自 平成17年 7月21日  
至 平成17年 9月30日
3. 契約金額 ￥2,268,000— (うち消費税及び地方消費税の額 ￥108,000—)  
消費税及び地方消費税の額は、消費税法第28条第1項、第29条及び地方消費税法第72条の82、第72条の83の規定に基づき契約金額に105分の5を乗じて得た額である。
4. 履行場所 国土交通省都市・地域整備局
5. 契約保証金額 免 除

上記の業務について、発注者 支出負担行為担当官 都市・地域整備局長 竹歳 誠を甲（以下「甲」という。）とし、受注者 特定非営利活動法人 都市災害に備える技術者の会 理事長 笹山 幸俊 を乙（以下「乙」という。）として、次の条項により契約を締結し、信義に従い誠実にこれを履行するものとする。

### （総則）

第1条 乙は別添の仕様書に基づき、頭書の金額をもって、頭書の期間内に頭書の業務を完了しなければならない。

2 仕様書に明示されないものがある場合には、甲、乙協議して定める。ただし、軽微なものについては、甲の指定した監督職員の指示に従うものとする。

### （権利義務の譲渡等）

第2条 乙は、この契約により生ずる権利若しくは義務を第三者に譲渡し、または継承させてはならない。ただし、甲の書面による承諾を得た場合はこの限りでない。

### （委任または下請負の禁止）

第3条 乙は業務の全部または主体的部分を第三者に委任し、または、請負わせてはならない。ただし、甲の書面による承諾を得た場合はこの限りでない。

### （契約内容の変更・中止等）

第4条 甲は必要があるときは、業務内容を変更し、または、業務を一時中止し、若しくは打切ることができる。この場合において、履行期間または契約金額を変更する必要があるときは、甲乙協議して定める。

2 乙は、前項の場合において損害を受けたときは、甲に損害の賠償を請求することができる。ただし、賠償額は甲乙協議して定める。

### （第三者に対する損害）

第5条 業務の実施について、第三者に損害をおよぼしたときは、乙の負担において賠償するものとする。ただし、その損害の発生が甲の責に帰すべき事由による場合においては、甲の負担とする。

2 業務の実施に伴い避けることのできない事由により、第三者に損害が生じた場合において、その第三者に損害を賠償しなければならないときは、甲の負担において賠償する。ただし、業務の実施につき乙が損害を防止するために必要な措置等善良な管理者の注意義務を怠ったことにより生じた損害については、乙の負担とする。

3 乙が第三者に対して損害の賠償をする場合において、その損害の賠償が甲の負担に係るときは、あらかじめ甲の同意を得るものとする。

(乙の使用人による不法行為の責任)

第6条 乙は業務の実施につき使用した使用人による不法行為については、一切の責を負う。

(代理人等の通知)

第7条 乙は業務に着手する前にあらかじめ頭書の業務に従事させる乙の代理人または使用人の氏名等を甲に通知し、その承認を受けなければならない。

2 前項の甲に通知すべき事項は、仕様書または別に項の定めるところに従う。

3 甲は乙の通知した代理人または使用人について、承認しがたいときは、その全部または一部の変更を乙に要求することができる。この場合、乙は速やかに甲の要求に応じなければならない。

4 甲は乙が業務に着手した後に、乙の代理人または使用人に不正行為等があったときは、乙に対してその改善を要求することができる。

(業務の完了及び検査)

第8条 乙は毎月または業務が完了したときは、甲の指定する方法により業務完了報告書等を甲に提出し、検査を受けなければならない。

2 乙は前項の検査の際、甲から補正を指示された場合はただちにそれに従わなければならない。また、補正後の検査については前項の規定を準用する。

(請負代金の支払)

第9条 乙は前条の検査に合格したときは、代金の支払を甲に請求するものとする。

2 甲は前項の適正な請求書を受領したときは、その日から30日以内に代金を乙に支払わなければならない。

(履行遅滞の場合における延滞金等)

第10条 乙の責に帰する事由により業務の履行を怠り履行期限を経過したときは、甲は乙から延滞金を徴収することができる。

2 前項の延滞金の額は、履行期限到来額について、履行期限の翌日から履行の完了した日までの日数につき年5パーセントの割合で計算した金額とする。

3 甲の責に帰すべき事由により前条第2項の代金の支払が遅れた場合には、乙は、甲に対して年3.6パーセントの割合で計算した金額の遅延利息を請求することができる。

(甲の契約解除権)

第11条 甲は、乙が次の各号の一に該当するときは、契約を解除することができる。

一 乙の責に帰すべき事由により、期限経過後相当の期限を付しても業務を完了する見込がないと明らかに認められるとき

二 正当な事由なくして着手時期を過ぎても業務に着手しないとき

三 第3条及び第13条の規定に違反したとき

四 前三号のほか、契約に違反し、その違反により契約の目的を達成することができないと認められるとき

五 第12条の規定する事由によらないで契約の解除を申し出たとき

- 2 甲は前項に掲げるほか、必要があるときは、契約を解除することができる。
- 3 甲は契約を解除したときは、業務の既済部分についてその部分につき契約の目的が達成されるときは、既済部分に相当する代金相当額を支払わなければならない。
- 4 乙は第1項の規定により契約を解除された場合は、契約金額の10分の1に相当する金額を違約金として、甲の指定する期限までに甲に支払わなければならない。
- 5 甲は第2項の規定により契約を解除した場合に乙が損害を受けたときは、その損害を賠償しなければならない。ただし、賠償額は甲乙協議して定めるものとする。

(乙の契約解除権)

第12条 乙は、次の各号の一に該当するときは、契約を解除することができる。

- 一 第4条第1項の規定により業務の内容を変更したため、契約金額が3分の2以上減少したとき
- 二 第4条第1項の規定により一時中止の期間が履行期間の2分の1以上に達したとき
- 三 甲が契約に違反し、それにより業務を完了することが不可能となったとき

2 前条第5項の規定は、前項第三号の事由により契約を解除した場合に準用する。

(秘密の保持)

第13条 乙またはその代理人及び使用人が頭書の業務を実施するにあたって知り得た甲の業務上の秘密を外部に漏らし、または、他の目的に利用してはならない。

(遅延利息の徴収)

第14条 乙がこの契約にもとづく違約金または延滞金を甲の指定する期限までに支払わないときは、甲はその期限の翌日から納付を完了するまで当該違約金、または、延滞金に年5パーセントの割合で計算した遅延利息を徴収する。

第15条 甲は、乙がこの契約にもとづき甲に支払うべき金銭債務がある場合は、この契約にもとづき乙に支払うべき代金等の金銭債務と相殺することができる。

(契約外の事項)

第16条 この契約書に定めていない事項については、必要に応じて甲乙協議して定める。

上記契約の証として本書2通を作成し、当事者記名押印のうえ、各自1通を保有する。

平成17年 7月20日

甲 発注者 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3  
支出負担行為担当官  
都市・地域整備局長 竹 歳 誠

乙 受注者 兵庫県西宮市すみれ台3丁目1番地  
特定非営利活動法人 都市災害に備える技術者の会  
理事長 笹山 幸俊

# 仕 様 書

## 1. 請負業務の名称

大地震時における宅地盛土の被害に関する調査業務

## 2. 請負業務の目的

本業務は、未曾有の宅地災害を引き起こした阪神・淡路大震災等を事例として、被災した盛土宅地に関する情報収集や追跡調査等を行い、大地震時に変状の危険性のおそれのある盛土宅地の特性や復旧手法等をつまびらかにすることを目的とする。

## 3. 請負業務の内容

### (1) 阪神・淡路大震災により被災した盛土宅地に関する情報収集とその分析

盛土宅地被害に関する研究論文等の文献収集や、神戸市や兵庫県等の地方自治体による調査・検討関係資料の収集、被災者や復旧工事事業者等に対して復旧工事に関する情報収集を実施するとともに、被災宅地の現況調査を実施する。

上記から、被災した盛土宅地の特性を抽出するとともに、被災した盛土宅地の分布や地震動との関係の分析、使用された復旧工法の概要と効果等について分析を行うものとする。

### (2) 盛土造成宅地の分布状況の把握に関する調査、検討

宅地開発により造成された宅地、特に沢埋め盛土の賦存状況について把握するため、各種の資料を収集し、手法の検討を行うものとする。ケーススタディーとして、阪神地域の沢埋め盛土の賦存量の推定を行うものとする。

### (3) 盛土の危険度判定手法に関する調査

既往の技術を利用した盛土造成宅地の地震時の危険度判定手法について研究事例等の収集を行い、その特徴等について比較するものとする。

### (4) 報告書のとりまとめ及び作成

前記(1)～(3)に関する調査結果をとりまとめ報告書を作成する。

## 4. 業務実施期間

契約締結日の翌日から平成17年9月30日まで

## 5. 成果品とその納入先

- (1) 成果品 前記3. (4) でまとめた報告書を次のとおり提出する。  
印刷物 (A4版) 3部 + 電子媒体 (CD) 2枚
- (2) 納入先 国土交通省都市・地域整備局都市計画課開発企画調査室

## 6. その他

請負者は、本仕様書に疑義等が生じたとき、本仕様書により難い事由が生じたとき、あるいは本仕様書に記載のない細部事項については、すみやかに国土交通省担当者と連絡を取り、協議のうえその指示に従ってこれを処理するものとする。

担当者：国土交通省都市・地域整備局都市計画課

開発企画調査室 宅地防災係 佐々木

TEL:03-5253-8294、FAX:03-5253-1590

目 次	頁
1.概 要	1
2. 阪神・淡路大震災により被災した盛土宅地に関する情報収集とその分析	2
2.1 情報収集	2
2.2 分析	8
2.2.1 宅地盛土の分布と被災盛土の特性	8
2.2.2 地震動と被災盛土との関係	12
2.2.3 使用された復旧工法の概要と効果等	16
3. 盛土造成宅地の分布状況の把握に関する調査、検討	22
3.1.谷埋め盛土の賦存状況について把握するための各種資料収集および 手法の検討	22
3.1.1 造成地の分類	22
3.1.2.盛土宅地の抽出方法	24
(1)小林の手法	24
(2)損害保険料率算定会の手法	24
(3)最新の IT 技術を用いた手法	25
(4)学識経験者の意見聴取	27
3.2.ケーススタディとして阪神地域の谷埋め盛土賦存量の推定	28
4. 盛土の危険度判定手法に関する調査	34
4.1 損害保険料率算定会の手法	35
4.2 釜井博士の手法	36
5.宅地盛土の安定化対策手法について	39
5.1 盛土地盤のモデル化	42
5.2 対策工の簡易設計手法	43
5.3 地震時の盛土安定化対策工（既存工法）	44
5.4 地震時の盛土安定化対策工（新工法）	44
5.5 対策工法の課題	46
6.今後の課題	47
6.1 ハザードマップ作成に関する技術基準の策定	47
6.2 対策工設計に関する技術基準の策定	47
 巻 末	
1) A 3 版図面	
2) 盛土賦存率・震度による被災率を算出する根拠となる盛土分布図	
3) 文献リスト	
4) 文献 DVD	

## 1.概 要

業務目的：本業務は未曾有の宅地災害を引き起こした阪神・淡路大震災等を事例として、被災した盛土宅地に関する情報収集や追跡調査等を行い、大地震時に変状の危険性の恐れのある盛土宅地の特性や復旧手法等をつまびらかにすることを目的とする。

業務内容：本業務では下記の内容についての調査を実施する。

- ( 1 ) 阪神・淡路大震災により被災した盛土宅地に関する情報収集とその分析
- ( 2 ) 盛土造成宅地の分布状況の把握に関する調査、検討
- ( 3 ) 盛土の危険度判定手法に関する調査
- ( 4 ) 報告書のとりまとめおよび作成

業務期間：平成 17 年 7 月 20 日～平成 17 年 9 月 30 日

業務監督機関：国土交通省都市・地域整備局 都市計画課 開発企画調査室

業務実施：特定非営利活動法人 都市災害に備える技術者の会

〒651-14 兵庫県西宮市すみれ台3丁目1番地(有限会社太田ジオリサーチ内)

TEL 078-907-3120 FAX 078-907-3123

e-mail : office@toshisaigai.net



以下は報告書の抜粋です

先に示した釜井博士の盛土マップとの重ね合わせを行う場合には、推定単位（ピクセル）が小さく、海岸地形が明示してある翠川研究室のマップの方が適している。ただし、このマップは最大地動速度で分類されているため、震度に換算するために表 2.2.1 のように読み替えるものとする。

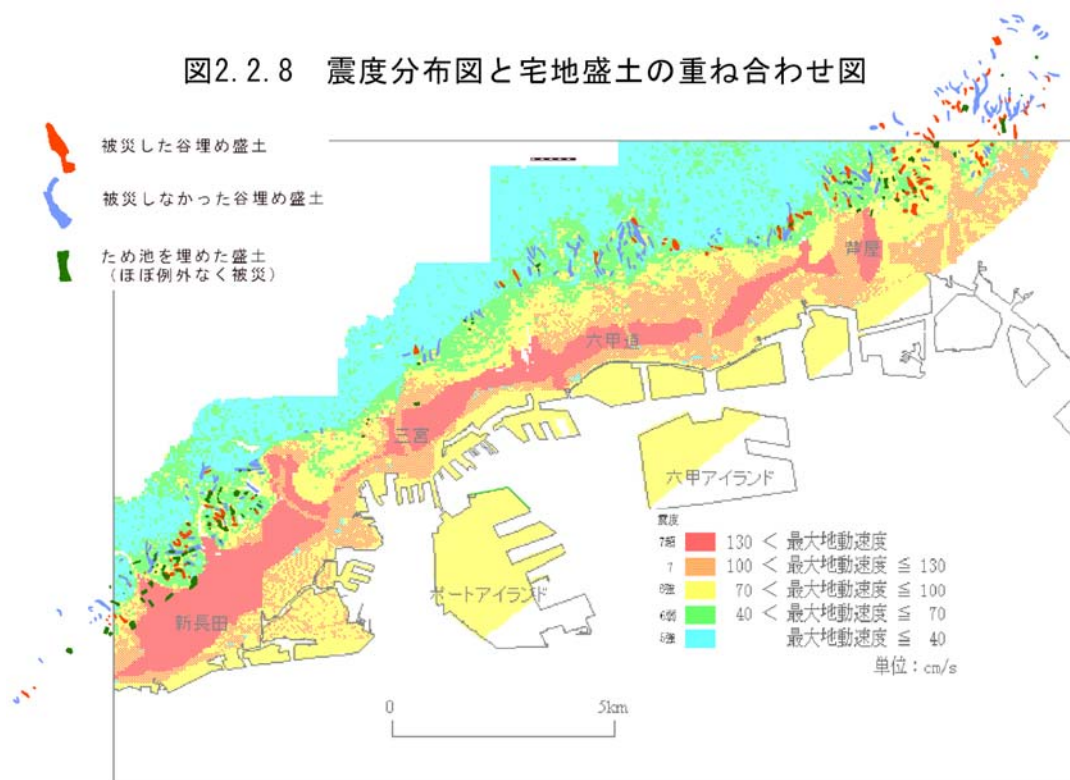
表 2.2.1 震度階への換算表

震度階級	最大加速度(gal)	S I 値(kine) * *	単位 cm/sec
震度 4	40 ~ 110 程度	4 ~ 10 程度	
震度 5 弱	110 ~ 240 程度	11 ~ 20 程度	
震度 5 強	240 ~ 520 程度	20 ~ 40 程度	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: cyan; border: 1px solid black;"></span> 最大地動速度 ≤ 40
震度 6 弱	520 ~ 830 程度	41 ~ 70 程度	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: limegreen; border: 1px solid black;"></span> 40 < 最大地動速度 ≤ 70
震度 6 強	830 ~ 1,500 程度	71 ~ 99 程度	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black;"></span> 70 < 最大地動速度 ≤ 100
震度 7	1,500 程度 ~		<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: red; border: 1px solid black;"></span> 130 < 最大地動速度 <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: orange; border: 1px solid black;"></span> 100 < 最大地動速度 ≤ 130

<http://www.nilim.go.jp/japanese/database/nwdb/html/how-to-use.htm>

図 2.2.8 に震度分布図と宅地盛土の重ね合わせ図を示す。これを見ると、丘陵地を造成した宅地はいわゆる「震災の帯（震度 7）」にはなく、震度 5 強～震度 6 強の分布域にあることがわかる。

図 2.2.8 震度分布図と宅地盛土の重ね合わせ図



震度ごとに被災の有無を詳細に集計すると、表 2.2.2 のようになる。なお個別の集計表は巻末に示す。

震度と宅地盛土の被災率について取りまとめると、以下のようになる

■震度と被災率

表 2.2.2- 震度と被害の有無との集計表（全盛土対象）

震度と被災との関係（箇所数；全盛土対象）

震度	被災した 谷埋盛土	無被災の 谷埋盛土	ため池 埋立盛土	総計
	A	B	C	
データなし	35	47	12	94
震度5強	1	22	4	27
震度6弱	63	94	55	212
震度6強	23	14	28	65
震度7	0	0	8	8
総計	122	177	107	406

データなし：震度分布図の範囲外

震度と被災との関係（面積；全盛土対象）

震度	被災した 谷埋盛土	無被災の 谷埋盛土	ため池 埋立盛土	総計
	A	B	C	
データなし	202,693	471,143	79,749	753,585
震度5強	1,175	109,957	3,906	115,038
震度6弱	468,017	746,027	163,471	1,377,515
震度6強	163,697	76,292	164,935	404,924
震度7	0	0	63,148	63,148
総計	835,583	1,403,419	475,208	2,714,209

表 2.2.2- 震度と被害の有無との集計表（谷埋め盛土のみ対象）

震度と被災との関係（箇所数；谷埋盛土）

震度	被災した 谷埋盛土	無被災の 谷埋盛土	総計
震度5強	1	22	23
	4.3%	95.7%	100.0%
震度6弱	63	94	157
	40.1%	59.9%	100.0%
震度6強	23	14	37
	62.2%	37.8%	100.0%
総計	122	177	299
	40.8%	59.2%	100.0%

震度と被災との関係（面積m<sup>2</sup>；谷埋盛土）

震度	被災した 谷埋盛土	無被災の 谷埋盛土	総計
震度5強	1,175	109,957	111,132
	1.1%	98.9%	100.0%
震度6弱	468,017	746,027	1,214,044
	38.6%	61.4%	100.0%
震度6強	163,697	76,292	239,989
	68.2%	31.8%	100.0%
総計	835,583	1,403,419	2,239,001
	37.3%	62.7%	100.0%

丘陵地を造成した場所の最大震度は震度6強である。

<箇所数>

- ・震度5強では、谷埋め盛土の4%が被災した。  
震度6弱では40%、震度6強では62%が被災した。

<面積>

- ・震度5強では、谷埋め盛土の1%が被災した。  
震度6弱では39%、震度6強では68%が被災した。

なお、ため池を埋め立てた盛土は全箇所では被災した。

### 3.1.2.盛土宅地の抽出方法

#### (1)小林の手法

前述の宅地タイプのうち、大規模造成地の盛土部を抽出するのが最も困難であり、その抽出が可能となる方法を用いることが求められる。

小林慶之(2000)“都市域における宅地盛土斜面における地震災害予測図の作成”では、1/10,000の地形図を用いてDEM(デジタル標高モデル)を作成し、その差分を計算して抽出を行っている(図3.1.4)。ただし、地形図の誤差により判定が難しい箇所に関しては、現地による確認作業も行っている。

判定は下記の方法で行われ、図3.1.5に示すような差分図を得ている。

(新地形図の標高) - (旧地形図の標高) > 0 盛土された地域

(新地形図の標高) - (旧地形図の標高) = 0 地形改変が行われていない地域

(新地形図の標高) - (旧地形図の標高) < 0 切土された地域

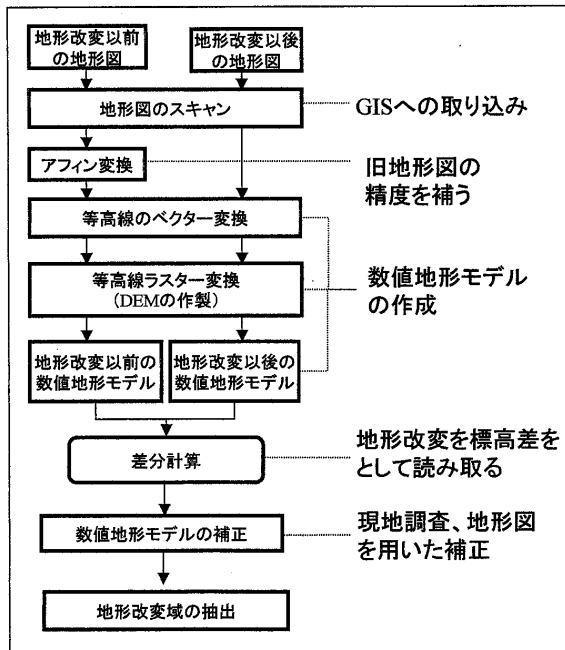


図3.1.5 差分図の例

図3.1.4 人工地形改変域抽出フロー(小林)

#### (2) 損害保険料率算定会の手法

損害保険料率算定会(1992)“人工地盤における地震被害予測に関する研究”では、新旧地形図当を用いた住宅造成地の判別として、1990年と1968年の1/2.5万地形図を用いて、その重ね合わせにより抽出を試みている。その結果、この手法では盛土部の抽出が十分できないと評価している。その原因として下記の4項目を挙げている。

- ・ 1/2.5万地形図の重ね合わせなので精度が悪い
- ・ 住宅団地には盛土だけでなく切土部分もある

- ・住宅団地おのこの土地改変程度が明らかではない
- ・住宅団地 = 造成地という図式が必ずしも成り立たない

そして、その改善策として小縮尺の地形図(1/10,000～1/2,500)を用いることが適切であると結論付けている。

以上のことから、**盛土宅地の抽出のためには、1/10,000～1/2,500の新旧地形図を用いてDEMを作成し、その差分により判定する**手法が現実的であると結論付けられる。

### (3)最新のIT技術を用いた手法

造成地内の盛土分布の把握は、最も労力と費用がかかる処理過程であり、このプロセスを効率化することは盛土造成地の変動予測事業にとって重要である。このため、日進月歩のIT技術を用いて効率化を検討しておく必要がある。

#### 固定資産評価に用いられている最新技術の利用

造成前後の地形を比較は、固定資産移動判定(家屋の新築・増築や滅失)の判定とその原理が酷似している。固定資産移動判定分野では、従来2期の空中写真を目視により比較するという作業を、2期の空中写真から全ピクセル単位の精密オルソとDSM(デジタル表層モデル)を作成し、その差分による判定を行うことで効率化を図っている(図3.1.6)。

盛土の抽出を行う場合には、造成前の写真と造成後の写真を用いれば可能となる。課題としては、造成前には樹木が存在する可能性があるため補正が必要となること、造成後には家屋が存在するため敷地の地盤高のみをフィルタリング処理する必要があることなどであるが、これらは解決可能と考えられる。

空中写真は都市計画図作成時に撮影したものを活用できると考えられる。



図 3.1.6 2期の空中写真から差分を自動判定する新技術の例  
(NECシステムテクノロジー社のステレオ処理システム資料から抜粋)

#### (4)学識経験者の意見聴取

上記手法について、盛土災害を研究されている学識経験者の方にご意見を伺った。

釜井俊孝博士（京都大学防災研究所）

現在の地形の標高データに関しては、ある程度まとまった範囲であれば3Dレーザー測量が効果的となる可能性がある。

過去のデータに関しては、空中写真からDEMを発生させるモデルが有孔である可能性があるが、モデルケースで検証してみることが望ましい。ただし、古い造成地（戦前）に関しては空中写真がないと考えられるため、そのときは古い地形図からDEMを作成するよりほかないのではないかと。

なお、斜面の小さな凹部を埋めた腹付け盛土の場合には、地形図を作成する人によって等高線形状が大きく異なる場合があるので、空中写真からのDEM作成が有効な手段となる可能性がある。

しかし、釜井博士は、上記の機械的手法だけから盛土の賦存を抽出する方法だけでは、経験的に間違いが多くなる確率が高くなることがわかっているため、**周辺の地形・地質状況から基盤の谷地形を読む能力のある技術者の目を必ず通す必要がある**と強く指摘されている。

沖村孝博士（神戸大学都市安全研究センター）

現在の地形に関しては、空中写真からのDEM化でも等高線からのDEM化でも可能である。造成前の地形については、地形図からのDEM化は極力避けたほうが良い。これは等高線の信頼性が低いことがしばしばあるためである。

空中写真からのDEM化は有力な手段となる可能性があるが、その手法がいくつかあるのでモデルケースで検証してみる必要がある。腹付け盛土の抽出には有力な手段となる可能性がある。

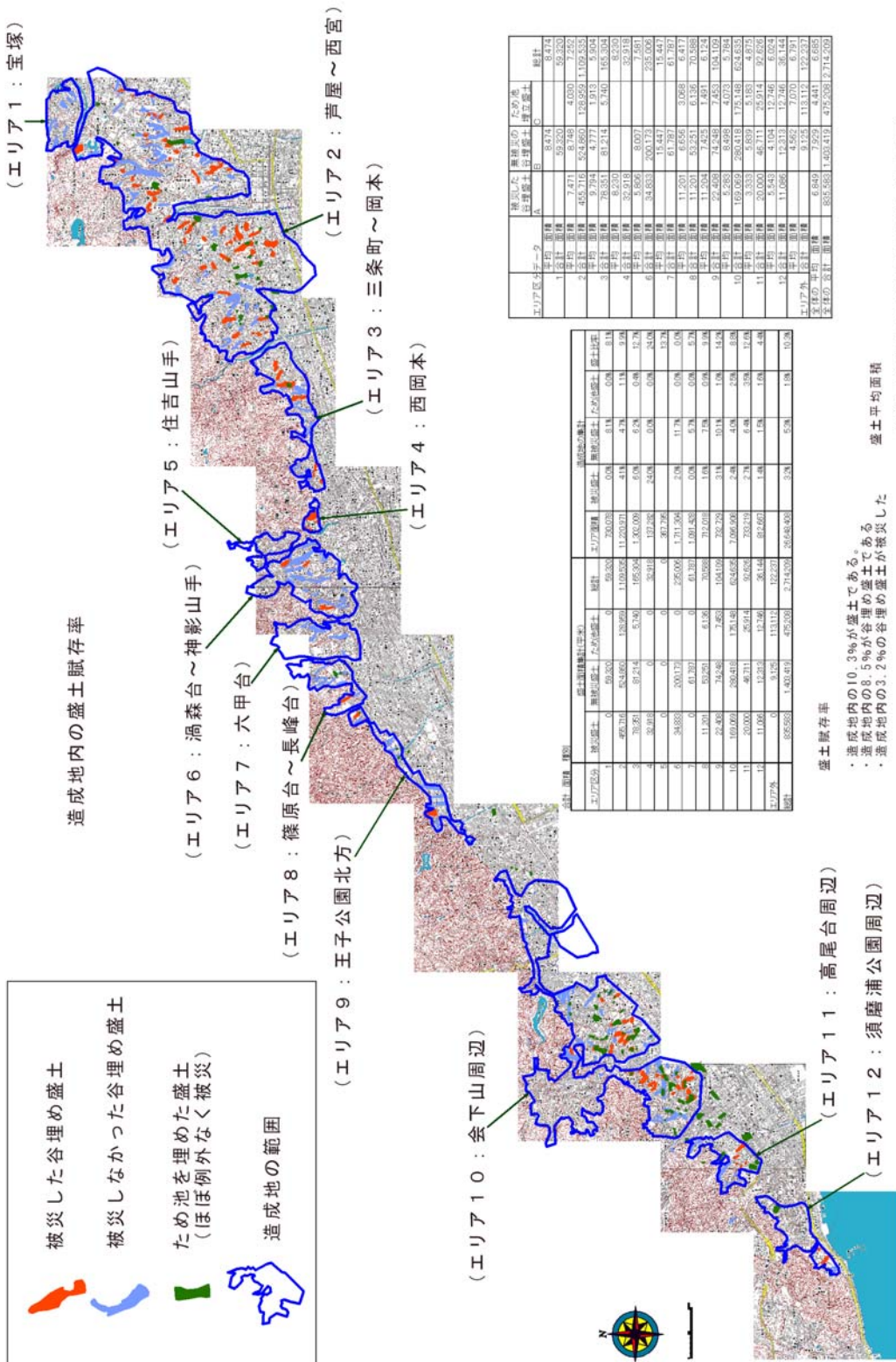


図 3.2.3 造成地内の盛土賦存図

※被災盛土分布図は、京都大学防災研究所の善井俊孝博士の資料を用いた

表 3.2.1 造成地内の盛土賦存率集計表

エリア区分	盛土面積集計(平米)				総計	エリア面積	盛土宅地賦存率の算出			
	被災盛土	無被災盛土	ため池盛土	ため池盛土			被災盛土	無被災盛土	ため池盛土	盛土比率
1(宝塚)	0	59,320	0	59,320	730,078	0.0%	8.1%	0.0%	8.1%	
2(芦屋~西宮)	455,716	524,860	128,959	1,109,535	11,220,971	4.1%	4.7%	1.1%	9.9%	
3(三條町~岡本)	78,351	81,214	5,740	165,304	1,302,009	6.0%	6.2%	0.4%	12.7%	
4(西岡本)	32,918	0	0	32,918	137,282	24.0%	0.0%	0.0%	24.0%	
5(住吉山手)	0	0	0	0	367,795	0.0%	0.0%	0.0%	13.7%	
6(渦森台~神影山手)	34,833	200,173	0	235,006	1,711,304	2.0%	11.7%	0.0%	0.0%	
7(六甲台)	0	61,787	0	61,787	1,091,428	0.0%	5.7%	0.0%	5.7%	
8(篠原台~長峰台)	11,201	53,251	6,136	70,588	712,018	1.6%	7.5%	0.9%	9.9%	
9(王子公園北方)	22,408	74,248	7,453	104,109	732,729	3.1%	10.1%	1.0%	14.2%	
10(会下山周辺)	169,069	280,418	175,148	624,635	7,096,908	2.4%	4.0%	2.5%	8.8%	
11(高尾台周辺)	20,000	46,711	25,914	92,626	733,219	2.7%	6.4%	3.5%	12.6%	
12(須磨浦公園周辺)	11,086	12,313	12,746	36,144	812,667	1.4%	1.5%	1.6%	4.4%	
エリア外	0	9,125	113,112	122,237						
総計	835,583	1,403,419	475,208	2,714,209	26,648,408	3.2%	5.3%	1.8%	10.3%	



以上のケーススタディの結果、1995年に発生した兵庫県南部地震時の影響を受けた地域の造成地盛土宅地の賦存率は、下記のようにまとめることができる。

■盛土賦存率

- ・造成地内の10.3%が盛土である。
- ・造成地内の8.5%が谷埋め盛土である
- ・造成地内の3.2%の谷埋め盛土が被災した
  
- ・全盛土の中の83%が谷埋め盛土である
- ・全盛土の中の31%が被災した  
（ため池埋立盛土を加えると49%が被災した）
- ・谷埋め盛土の中の38%が被災した

#### 4. 盛土の危険度判定手法に関する調査

盛土造成宅地の地震時の危険度判定手法についての研究事例等の収集を行い、その特徴等について比較する。収集した資料の中で、宅地盛土の地震時危険度予測を行う手法は2種類存在した。それぞれの概要は以下のとおりである。

##### (1) 損害保険料率算定会の手法

この手法は、造成タイプ、地盤・立地条件（切土、切盛境界、盛土内）、造成時代などの要因から、**被害率（全半壊率）を算出する手法**である。盛土の地震時崩壊メカニズムから導いた手法ではないため、個別の宅地盛土の危険性を評価するものではない。

##### (2) 釜井博士の手法

過去の地震（1978年宮城県沖地震、1993年釧路沖地震、1995年兵庫県南部地震）による宅地盛土のデータから、ハザードマップ作成や対策の実施を目的として作成された簡易かつ合理的な不安定化予測手法である。素因（盛土の厚さ、幅、厚さ/幅比、底面の傾斜、地下水の量、造成年代）と誘因（震源断層からの距離と方向、モーメントマグニチュード）を入力し、**変動の有無を出力**とするニューラルネットワークモデルである。学習群として、釜井博士所有の阪神・仙台・釧路の214例を用いている。

## 5.宅地盛土の安定化対策手法について

第2章で示したように、兵庫県南部地震でとられた対策は、すべて被災後の復旧工法であり、以下のような工法であった。

### (1)地すべり対策として

グラウンドアンカー工、抑止杭工、集水井工など

### (2)急傾斜地崩壊防止対策として

重力式擁壁工、法枠工、ルートパイル工、アンカー付格子状擁壁工など

これらの工法は、従来から用いられているものであり、対策効果が高いと考えられるが予防工に用いるには高価と考えられる。

兵庫県南部地震では変動した谷埋め盛土と変動しなかったものが同じ地域・同じ震度で並存した。このことは、比較的安価な予防対策工が考案できる可能性を示唆するものである。

宅地盛土の地震時の滑動は、地山と盛土との境界部に発生する液状化が最大要因であると考えられている。傾斜地で液状化が発生すると、抵抗力が限りなくゼロに近づくため、わずかな傾斜があっても上位土塊は滑動しやすくなる。

滑動する盛土と滑動しない盛土の最も大きな違いは、幅/深さ比という横断形状であり、兵庫県南部地震の実績では、幅/深さ比が10よりも大きい場合著しく変動率が高くなった。このことは、側部摩擦（サイドフリクション）が傾斜地の盛土安定性に大きく関与していることを示している。

これまでの研究結果から、対策工としての優先順位は以下のようになる。

### (1)地下水排除工

盛土内の飽和地下水は、強震動により液状化を発生させる主要原因になる。液状化は底面の摩擦を限りなくゼロに近づけることになるため、液状化を発生させないということが最も重要な対策効果であると考えられる。したがって、常時の飽和地下水排除が最優先されるべき対策工であることは疑いない。

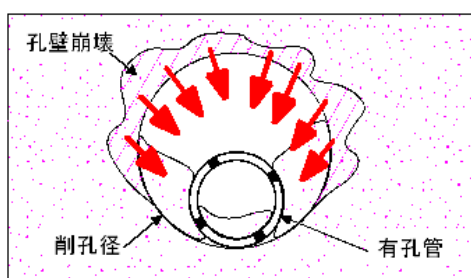
地下水排除工の施工位置は、盛土内の地下水を排除するために盛土分布地内で打設する場合と、盛土内へ地下水が流入するのを防ぐ目的で盛土の上方で施工する場合の2通りが考えられる。それらについては、地下水の集水地形や用地取得の可否を含めて総合的に決定する必要がある。

なお、地下水排除工は地表面から比較的浅い位置に存在し、締まりの緩い盛土内を有孔管が通ることから、土砂の流出による地表沈下等を発生させないよう配慮する必要がある。土砂の流出は、有孔管外形に比べて掘削径が大きい場合、孔壁の崩壊した土砂が地下水とともに流出し、孔壁がどんどん拡大するようなケースで起こり得る。こ

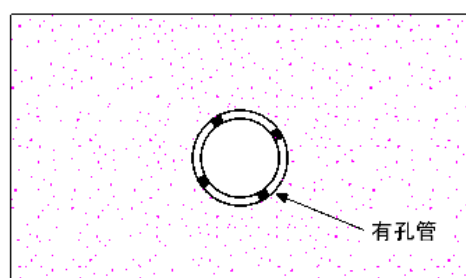
の影響を最小限にするためには、削孔径と有孔管外形がほぼ同じか、もしくは削孔径のほうが小さくて有孔管を打設挿入するなどの手法が考えられる。



有孔管（鋼管製）を打設挿入する工法の例



削孔径が保孔管に比べて大きい場合  
孔壁崩壊により土砂流出がおきやすい



削孔径が保孔管と同等か小さい場合  
土砂流出がおきにくい

## (2) 過剰間隙水圧の消散工法

液状化を防止するためには、強震動で発生する過剰間隙水圧を消散（除圧）することも可能となる。沖積低地の液状化可能性の高い地盤においては、有孔管を縦に配置することにより実際に用いられている。ただし、この工法で間隙水圧を消散するためには、排水距離が短い必要があり、通常75cm～1.5m 間隔で設置されていることが多い。新規造成地であれば可能であるが、



間隙水圧消散工法の例

既存宅地の場合にはすでに家屋が存在するため、完全な配置は困難である。このため、この手法は谷埋め盛土に対しては第二番目の優先順位と考えるのが妥当である。

## (3) 構造物による対策工法

構造物による対策工としては、アンカー工や杭工などのような従来地すべり対策で用いられている「待ち受け型抑止工法」が代表的である。ただし、この工法は一般に高価である。さらに、盛土地盤の剛性が小さいため、地震時に滑動すると地盤変形を引

き起こしアンカー工などの対策工がある場所では滑動がとまっても、その上方土塊が大きく変形し、家屋に被害を与えるということがある。実際兵庫県南部地震の際にはそのような被災形態が目立った。対策工法自体は、実績のあるものであるが、宅地盛土の防災に適用できるかどうかについては、機能（盛土の変形をどう防止するか）の点と経済性の点から十分吟味する必要がある。

(4) 幅/深さ比を改善しサイドフリクションを大きくする工法

釜井博士の研究成果により、谷埋め盛土の地震時安定性が側部抵抗力（サイドフリクション）の影響を強く受けていることが示されている。側部は液状化を起こしにくいため地震時にも抵抗力を発揮するためと考えられる。このことは、幅/深さ比を改善（小さくする）すれば抵抗力が増加することを示しており、それを利用した対策工の開発が期待される。ただし、従来の待ち受け型対策工法と異なる考え方となるため、今後実証実験等が必要である。

## 5.2 対策工の簡易設計手法

谷埋め盛土の地震時対策工の設計手法について定まったものは現状では存在しない。しかし、土塊が重力と地震力によって斜面下方に側方流動する現象であることには違いないので、地震時であっても土塊の抵抗力が滑動力を下回らない（安全率1）ようにすればよいという原則に違いはない。

過去の数々の研究において、盛土の地震地すべりにおいて共通している原因として地下水の存在が挙げられている。飽和地下水を含んだ箇所（盛土底面付近）は強震動により過剰間隙水圧が作用し、一種の液状化を起こした状態となり抵抗力が著しく低下するものである。

太田（2005）“宅地地盤の地震時盛土すべりのメカニズムと対策方法”では、宅地盛土を抵抗力の大きな側部と、飽和地下水が存在する場合液状化により摩擦を失う底面を別々の強度に分けて滑動力と抵抗力を計算する単純な安定計算手法を提案している。

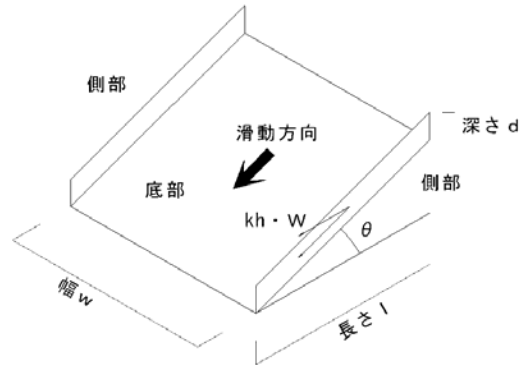


図 5.1 単純化された宅地盛土の3次元安定計算モデル

このモデルでは、滑動力  $T$ ・抵抗力  $R$  は次式で示される。安全率  $F_s = R / T$  となるのに必要な量の対策を設計することになる。またこのモデルでは地震動を超えると、間隙水圧比  $u / \sigma = 1$ （液状化し抵抗力を失った状態）となり、側部抵抗力のみで土塊を支える状態となることを組み入れている。

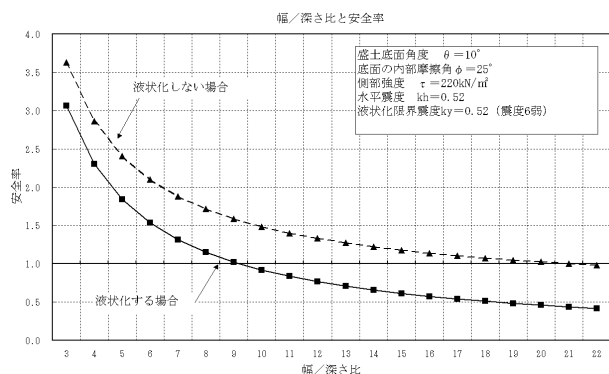
$$T = W \times (\sin \theta + kh / \cos \theta) \quad \dots \dots (1)$$

$$R = 2 \cdot \text{side} \cdot d \cdot l + (1 - u / \sigma) \cdot W \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi \quad \dots \dots (2)$$

$$F_s = R / T \quad \dots \dots (3)$$

ここで、 $W$ ：土塊重量， $\theta$ ：盛土底部の傾斜角， $\text{side}$ ：側部のせん断抵抗力， $d$ ：盛土深さ， $l$ ：盛土長さ， $u$ ：間隙水圧， $\sigma$ ：有効土被り圧 ( $u / \sigma = 1$ )， $F_s$ ：安全率，である。ある地震動を超えると、間隙水圧比  $u / \sigma = 1$ （液状化し抵抗力を失った状態）となり、側部抵抗力のみで土塊を支える状態となる。

この手法を用いると、液状化発生の有無、幅 / 深さ比の違いを反映した安全率の算定が可能となる。



液状化の有無と幅深さ比を反映した安全率計算結果例

### 5.3 地震時の盛土安定化対策工（既存工法）

1968年十勝沖地震で東北本線の盛土構造物が大きく破損した国鉄は、震害対策の研究を行い、砂質盛土の場合には盛土内の地震時の間隙水圧の上昇が破壊の主原因であることを立証した。そして対策工法としては盛土内の間隙水を排除すればよいということで種々の工法を実験し比較した結果、既設の盛土に対しては水抜パイプの打設が最も有効であると結論付けた。

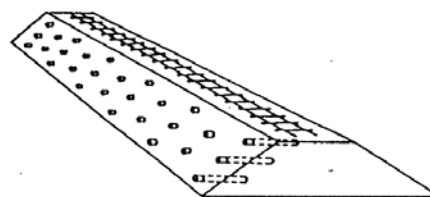
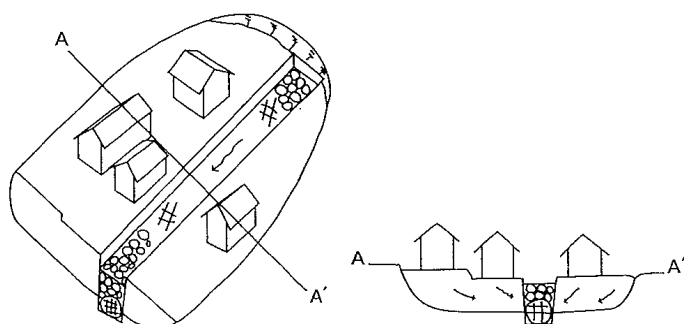


図 5.2 排水パイプが施工された鉄道盛土

### 5.4 地震時の盛土安定化対策工（新工法）

また、釜井ほか『斜面防災都市』では、ハード的対策工事のアイデアとして、マンション建設地では変動条件を持つ谷埋め盛土が変動しなかったことをヒントとして、「軽い拘束」をかける対策工法の可能性を示唆している。

さらに、これから造成を始める場合や大規模な土地区画整理を行える場合は、側面の抵抗を増やすことを目的として、より根本的な対策（図 5.3）を行うことができることを指摘している。ただし、これらの工法の定量的な検証例はまだできていない。



蛇籠・栗石・碎石で奥行方向にブロックを分割することにより、水位低下と側部摩擦力増加が図れ安定化が可能。

図 5.3 谷埋め盛土スベリへの対策案

また、太田（2001）“土塊の内部抵抗を利用した新しい地すべり対策工法”では、既設盛土内に何らかの方法で擬似的な側壁を構築（図 5.4）することにより、前述の工法と同様の機能を持たせることができることを示している。ただし、上記対策工と同様に、この対策工についても実証実験が行われておらず、今後の研究により設計手法を明らかにする必要がある。

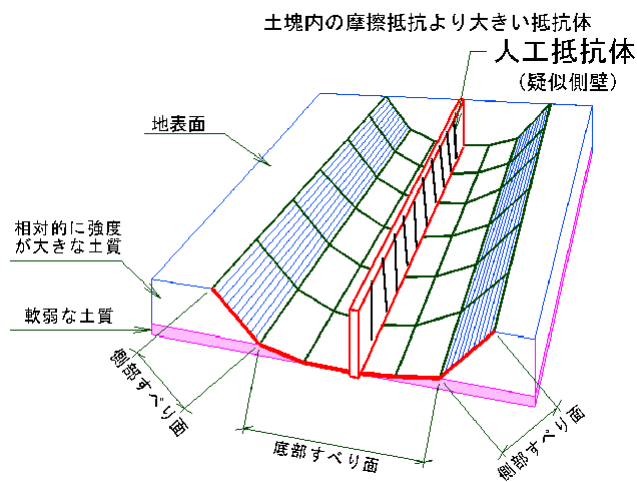
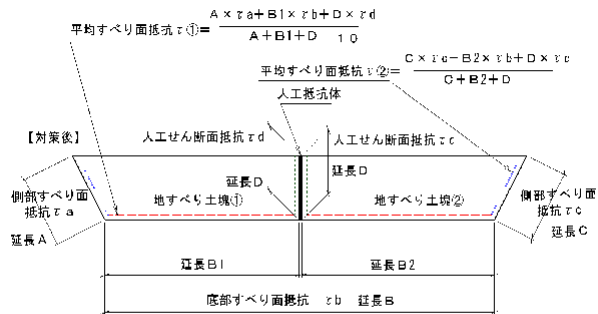


図 5.4 擬似擁壁を地すべり土塊中に形成し、幅 / 深さ比を小さくして「平均すべり面強度」を向上させる工法概念図



## 5.5 対策工法の課題

盛土底面で液状化を発生させないことが第一義であり、そのためには地下水を排除する方法が最も優れている。地下水排除工に関しては下記の課題がある。

### (1)土砂の流出防止

土砂が流失すると、有孔管の排水機能を阻害すると同時に、孔壁の崩れが逐次波及し、地表面が近い場合には陥没等の被害を発生させる恐れもある。このため、土砂流出を防止する地下水排除工を用いることが望ましい。具体的には有孔管とプレボーリング削孔径のクリアランスがない状態となるのが理想的である。短尺であればプレボーリングを行わない打撃挿入が可能であるが、長尺の場合には有孔管よりも小さいプレボーリングを行うなどの改良が必要となる。

### (2)有孔管の維持管理

有孔管は経年的に、鉄バクテリア等により機能低下する。地すべり対策工においては、超高压水による洗浄が行われるが、その場合機器が特殊となる。宅地の排水対策に当たっては、水道水の水压程度で簡易に洗浄・機能回復を図れる方法の開発が必要である。

### (3)設計手法の確立

個別に細かなデータを得られることが困難であるため、取得できるデータのレベルに応じた簡易な設計手法を確立する必要がある。

### (4)新工法の開発

宅地盛土の対策は、他の斜面防災事業よりもさらに経済性の追求が重要である。いくら良い工法であっても高価であるため導入されなければ何の意味もない。今後積極的な新工法開発を行う必要がある。

## 6.今後の課題

### 6.1 ハザードマップ作成に関する技術基準の策定

ハザードマップ作成の技術基準を策定する必要がある。課題としては以下の項目が考えられる。

#### 盛土の抽出

谷埋め盛土においては、場所および形状を抽出する必要がある。特に幅/深さ比は安定度評価の重要項目となるが、新旧地形図から抽出する場合においては比較する座標のずれや、等高線の人為的ばらつきなどが障害要因と考えられるので、地形・地質的判断のできる技術者のチェックが不可欠と考えられる。

また、腹付け盛土については側部抵抗力（サイドフリクション）はあまり作用しないと考えられるため縦断形状が重要である。新旧地形図の等高線で微妙な凹部が正確に記載されている可能性は高くないので、DEMの作成方法を検討することが重要である。さらに周辺地形から小さな谷地形が存在するかどうかを判断できる技術者のチェックが不可欠である。

#### 危険度予測

釜井博士の考案したニューラルネットワークによる危険度予測システムが、現在最も信頼性が高いものである。このシステムの精度は教師データの質に大きく依存しており、その管理および実例が発生した場合の更新方法について、一元管理することが必要である。

### 6.2 対策工設計に関する技術基準の策定

対策工の設計に関する技術基準に関しては、下記の課題がある。

#### 安定計算手法

定量的な計算手法が必要である。しかし入手できるデータが限られていることから、できるだけ簡易な計算である必要がある。また、対策効果をどの程度の震度までを対象とするかについても明確化する必要がある。対策効果について確率的に示す信頼性設計手法の導入の必要性・可能性についても検討する必要がある。

#### 対策工法

効果的かつ安価な予防的対策工を機能的な優先順位をつけて標準化する必要がある。