

OHTA-GEO

## すべての始まりは1978年宮城県沖地震



写真12 仙台市緑ヶ丘三丁目の盛土地帯より  
(1978年6月15日撮影。河北新報社提供)



写真15 白石市舞山通成地の崩壊 (1978年6月15日撮影。河北新報社提供)

現在の地名は、白石市緑が丘

『地盤災害 地質学者の覚書』(羽鳥謙三著,2009)より

最大のミス  
原因を「(例外的な)施工不良」で処置してしまった

<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 次に起きたのが1995年阪神・淡路



西宮市仁川百合野町 34名死亡(滑動崩落による直接的な死亡事例はここだけ)

4

<http://www.ohita-geo.co.jp>

## 「滑動崩落」はどこで起きたか？



基礎杭が見える！→盛土部で、基礎杭よりも斜面下方側が滑落

5

<http://www.ohta-geo.co.jp>

## 阪神・淡路大震災(西宮市豊楽町)



<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 阪神・淡路大震災(西宮市)



変動場所に家が建っていた  
平成7年1月





下方が崖地だと命にかかわる



平成20年5月

<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 1998年当時で判明していたこと(1)



小ぶりなマンジヨン

西宮市の「谷埋め部」での被災状況。写真右手のマンジヨンが抵抗体になって、変状はこの地点まで。

簡易貫入試験の結果、盛土の下に軟弱な旧表土(中層層)が存在し、その上面を地下水が流れていることがわかった。

ここでのポイントは、

- 1)盛土が良質材(マサ土)であっても、その下位に軟弱な中層層がある(あるいは、地震時に地盤災害が発生しやすい)。
- 2)小規模な構造物であっても、杭基礎かしてあるような堅固な建物があると、それが抵抗体になって、変動はあさまる。したがって、斜面下方にマンジヨンなどの堅固な構造物があるところは、地盤条件としては比較的良い、といえる。

(西宮市街)



写真手前が、地山。写真奥の宅地は「谷埋め盛土」。道路と宅地の境界が切盛り境になっている。斜面は左側に下がっている。

宅地の塀は、もともとは玄関口だったが、今は正面に電柱がきえている。地震前は、白丸の位置に電柱があった。これは電柱が動いたのではなく、玄関を含めた宅地地盤全体が斜面下方に移動したためにおきた現象である。

(西宮市街)

8  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

**1998年当時で判明していたこと(2)**



マンションは平気  
一戸建てはアウト

高級マンションが立ち並ぶ芦屋市山手付近。マンションが抵抗体となっているため、大きな被害は発生していなかった。写真手前の緑地は、被害があった宅地。この地盤の下方には堅固な構造物が無く、かつ盛土の下には軟弱な沖積層が存在していた。

盛土の下の沖積層の分布と、抵抗体の有無が、被害の有無に直結している例。

(芦屋市)



狭くなった駐車場

この斜面の上の方に建造された女子大の残土が埋め立てられている。昭和三十年代の宅造法などが整備される前の盛土。盛土される前は沼地だった(近所のおばさん談)。

写真位置は、「谷埋め盛土」が地すべりを発生したときの末端部。駐車スペースが異様に狭くなっているのは、その途中から相対的に地盤が隆起しているため。

(西宮市)

9  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

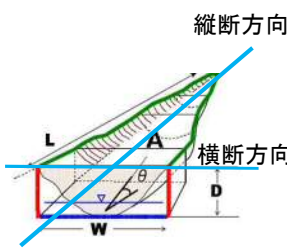
**2000年頃にわかったこと**

縦断形状ではなく横断形状に大きく依存する、ことが判明

要因	カテゴリー	N	← 危険側 / 安全側 →		レンジ
			カテゴリースコア		
横断形状 (幅/長さ比)	0~4未満	46	変動側 ←   → 非変動側		1.808
	4~8未満	62			
	8~10未満	21			
	10~12未満	19			
	12~50未満	80			
	50以上	11			
滑動基準 (底面傾斜/厚さ比)	0~0.3未満	8			0.605
	0.3~2未満	160			
	2~4.5未満	45			
	4.5以上	26			
形成年代	1974年以前	206			0.193
	1975年以後	33			
谷の長軸方向	北北東-南南西	57			0.114
	東南東-西北西	55			
	北北西-南南東	87			
地下水の豊富さ	少ない	45			0.464
	豊富	194			

注) カテゴリースコアが大きい(正に)ほど安全側。Nはサンプル数

地盤強度も、滑り面傾斜角も、重要因子にならなかった!



縦断方向  
横断方向

斜面の2次元安定解析は縦断方向が常識だった

10  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 予測方法

全ての始まりは、釜井先生の阪神間データセット  
全谷埋め盛土239箇所(変動111,非変動128)

被災した谷埋め盛土  
被災しなかった谷埋め盛土  
ため池を埋めた盛土 (ほぼ例外なく被災)  
流域の範囲

流域内の盛土占有率

(エリア1: 宝塚)  
(エリア2: 芦屋~西宮)  
(エリア3: 三田~高槻)  
(エリア4: 西成本)  
(エリア5: 住吉山手)  
(エリア6: 酒寄谷~神影山手)  
(エリア7: 六甲台)  
(エリア8: 藤原台~長崎台)  
(エリア9: 王子公園北方)  
(エリア10: 余下山周辺)  
(エリア11: 高尾台周辺)  
(エリア12: 瀬田浦公園周辺)

No.	名称	面積(m <sup>2</sup> )	盛土占有率(%)
1	1-1	1,234	15.2
2	1-2	2,345	18.7
3	1-3	3,456	22.1
4	1-4	4,567	25.5
5	1-5	5,678	28.9
6	1-6	6,789	32.3
7	1-7	7,890	35.7
8	1-8	8,901	39.1
9	1-9	9,012	42.5
10	1-10	10,123	45.9
11	1-11	11,234	49.3
12	1-12	12,345	52.7
13	1-13	13,456	56.1
14	1-14	14,567	59.5
15	1-15	15,678	62.9
16	1-16	16,789	66.3
17	1-17	17,890	69.7
18	1-18	18,901	73.1
19	1-19	19,012	76.5
20	1-20	20,123	79.9
21	1-21	21,234	83.3
22	1-22	22,345	86.7
23	1-23	23,456	90.1
24	1-24	24,567	93.5
25	1-25	25,678	96.9
26	1-26	26,789	100.0

被災した谷埋め盛土の割合は、約10%である。  
被災しなかった谷埋め盛土の割合は、約90%である。  
ため池を埋めた盛土の割合は、約10%である。  
流域全体の盛土占有率は、約15%である。

11  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 2004年中越地震(長岡市高町団地)

12  
<http://www.ohta-geo.co.jp>



**OHTA-GEO**

## 2007年中越沖地震(柏崎市・刈羽村)

刈羽村で1軒だけ被災を免れた家中越地震後暗渠工を施工

柏崎市山本団地

柏崎市山本団地

柏崎市山本団地

15  
<http://www.onta-geo.co.jp>

**OHTA-GEO**

## 2005~2008年頃 事前予測に有望な3つの診断方法

以下の3手法は、入力データ(外形情報)がほぼ同じ項目かつ同じ精度  
事前に地盤調査が行われる期待は全くできない、という前提

**国交省ガイドライン  
点数法**

適用範囲: 谷埋め盛土のみ

**釜井らの  
数量化解析法**

適用範囲: 谷埋め盛土のみ

**太田・榎田の  
側方抵抗モデル**

適用範囲: 谷埋め盛土・腹付け盛土

盛土形状	盛土高さ	盛土幅	盛土傾斜	背化面の土質	地下床				
3-6号	17	30~35	3	5~10	2	5~10	4	良好	3
4-12号	1	10	3	10~15	2	10~15	4	良好	3
2-15号	2	10	3	10~15	2	10~15	4	良好	3

いずれも、阪神・淡路大震災のデータセットでの正答率は87~89%

他地域の事例で検証し、そこでも高い正答率であれば予測モデルとして使える  
新たな地震被害待ち！

<http://www.onta-geo.co.jp>



**阪神モデルを、中越・中越沖事例で検証**

**国交省ガイドライン  
点数法**

**釜井らの  
数量化解析法**

**太田・榎田の  
側方抵抗モデル**

盛土形状	盛土厚	盛土幅	盛土傾	谷埋め	谷埋め	谷埋め	谷埋め
3層下	21	30-150	0	3層下	4	3層下	3層下
3層上	13	30-150	3	3層上	3	3層上	3層上
1層上	7	30-150	9	1層上	2	1層上	1層上
1層下	1	30-150	0	1層下	1	1層下	1層下
2層上	1	30-150	0	2層上	1	2層上	2層上
2層下	1	30-150	0	2層下	1	2層下	2層下

阪神・淡路大震災のデータセットでの正答率は87~89%

他地域(柏崎市)に適用して診断精度を検証

う〜ん... (X)

いまいち... (△)

GOOD! (◎)

“写真測量技術を使った大規模造成宅地の地盤脆弱性評価”(2009)小荒井・中荻・星野・吉武(国土地理院)・太田(太田ジオリサーチ)より

17  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

**側方抵抗モデル(ローラー滑りモデル)とは  
一種の3次元安定計算**

$$F_s = \frac{\Sigma \text{抵抗力}}{\Sigma \text{滑動力}}$$

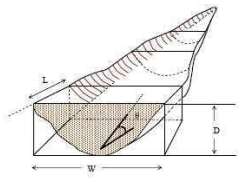
- $\Sigma$ 抵抗力:
  - ①底面抵抗力: 過剰間隙水圧が作用する
  - ②側面抵抗力: 過剰間隙水圧の影響は小さい
- $\Sigma$ 滑動力:
  - ①重力による接線力:  $W \sin \theta$
  - ②地震による水平震度:  $K_h = 0.25$

○多くの谷埋め盛土の層部には、(粗)軟弱層が存在

釜井俊孝(2006): 地震による大規模宅地盛土すべりの変動メカニズム, 平成15年度~17年度科学研究費補助金(基盤研究(B))研究成果報告書, 120p

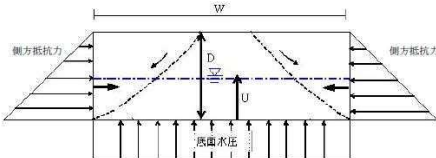
18  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

**側方抵抗モデルのパラメータ**  
 阪神地域・柏崎市・長岡市の事例でキャリブレーションされた値



図参 5.3-③ 谷埋め型大規模盛土造成地のモデル図

L<sub>0</sub>: 単位長さ  
 L: 全体長さ  
 W: 盛土の最大幅  
 D: 盛土の最大厚さ  
 θ: 斜面の傾斜角



図参 5.3-④ 荷重・土圧のモデル概念図

底面は、常時には粘着力及び内部摩擦角によるせん断抵抗力（R）が働いているが、地震時は、液状化～流動化または、過剰間隙水圧の発生等によりせん断抵抗力が低下し、いわゆるローラースライドのような状況に陥ると考える。

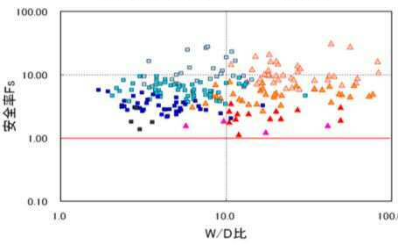
過剰間隙水圧高(m)	3.0
水の単位重量(kN/m <sup>3</sup> )	9.8
単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	18.0
側面粘着力(kN/m <sup>2</sup> )	39.0
側面内部摩擦角(°)	35.0
底面粘着力(kN/m <sup>2</sup> )	0.0
底面内部摩擦角(°)	25.0
側方土圧係数	0.5
水平震度kh	0.25

**重要！**  
 このパラメータは統計値であり、盛土の土質強度と対応するのかわからない。

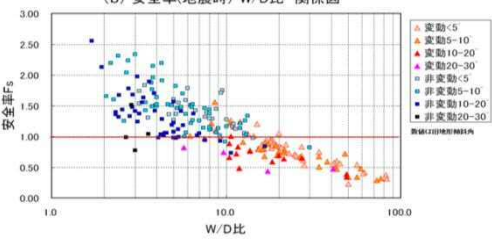
19  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

**阪神のキャリブレーション**

(a) 安全率(常時)-W/D比 関係図



(b) 安全率(地震時)-W/D比 関係図



側方抵抗モデルで安全率を計算すると、常時は横断形状(幅/深さ比)にまったく関係がないが、地震時(過剰間隙水圧作用時)には、安全率が変動・非変動に見事に分かれる

20  
<http://www.ohta-geo.co.jp>



OHTA-GEO

2011年東日本大震災

## あさひ台団地(福島市)

1969年開発開始---1974年には完了

23  
http://www.ohita-geo.co.jp

OHTA-GEO

## あさひ台団地

典型的な谷埋め盛土地すべり

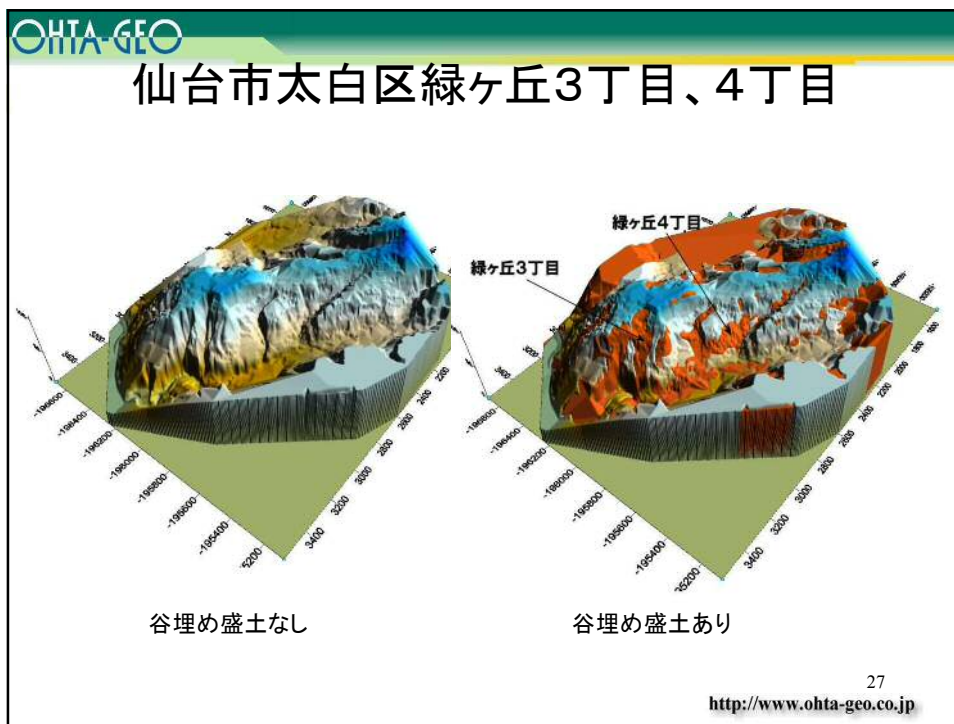
変動地面積率  $(12000+1000+3000+1300) \div 240000 = 7.2\%$   
 ※阪神の事例: 造成地内の3.2(谷埋)+1.8(池埋)=5%の盛土が変動した  
 盛土の賦存率は、谷埋8.5%、池埋1.8%、合計10.3%

埋められた谷(今回の変動域)

1947  
1975

(釜井作成) 24  
http://www.ohita-geo.co.jp





OHTA-GEO

## 緑ヶ丘3丁目北側ブロック



図3.8 IIブロック地すべり頭部亀裂  
(1978年宮城県沖地震でも、ほぼ同様の位置に亀裂が発生：聞き取り調査による)



図3.9 IIブロック内の地すべりブロック側方亀裂

村尾英彦氏(村尾地研)撮影  
29  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 緑ヶ丘3丁目南側ブロック



図3.4 1978年宮城県沖地震後<sup>9)</sup> 図3.5 2011年東北地方太平洋沖地震後

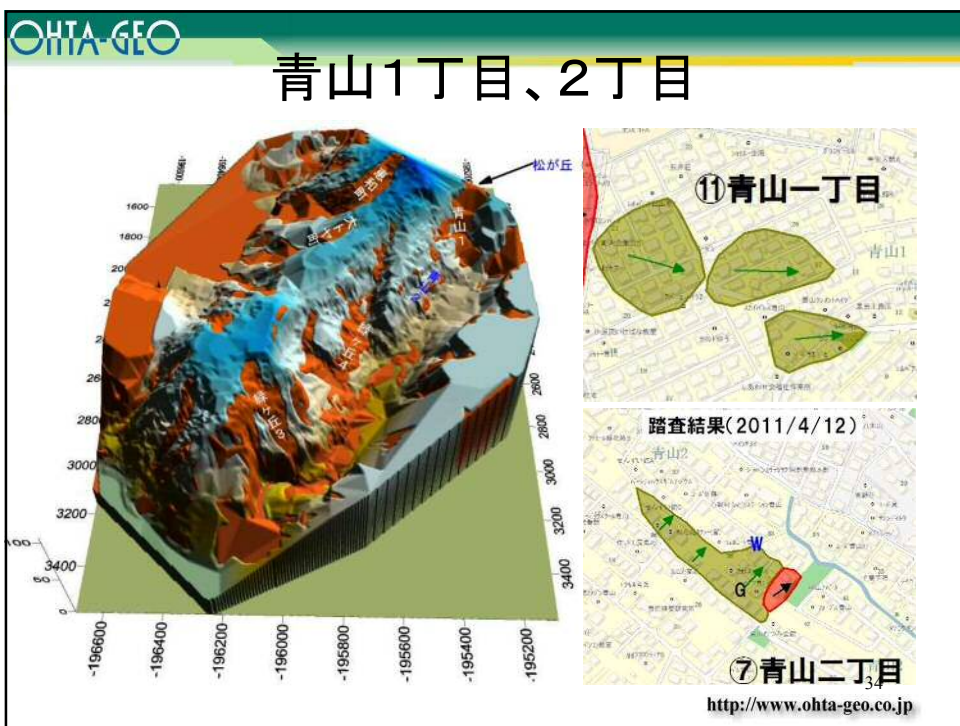


図3.6 Iブロック中腹斜面の地震後被害状況

村尾英彦氏(村尾地研)資料  
30  
<http://www.ohita-geo.co.jp>







OHTA-GEO

## 青山2丁目 非常に小規模な腹付け盛土

Ohta Geo-Research 2011.04/11-13

Ohta Geo-Research 2011.04/11-13

盛土が崩壊して家屋も落ちている

左写真の近接撮影

Ohta Geo-Research 2011.04/11-13

Ohta Geo-Research 2011.04/11-13

末端部の土砂押し出し

毎分6リットル程度の湧水が発生(地震後)

35  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 恵和町(噴砂跡)あり

恵和町・大トヤ町付近の谷形状

大トヤ町

恵和台

⑨ 恵和町

36  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 恵和町

顕著な変動が発生している箇所の頭部。沈下して階段がずり落ちている。

左を頭部とする箇所の末端部には噴砂跡がある。

Ohta-Geo-Research 2014.04.11-13

Ohta-Geo-Research 2014.04.11-13

上の頭部の下にある大きなアパートは傾いて解体作業中。

末端部の圧縮変状。水階がつぶされている

37  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 恵和町（傾いたアパートと液状化の位置関係）

アパート傾倒

液状化

38

OHTA-GEO

## ガス緊急工事の路地は切盛境または盛土内の変動レベルの境界部が多い



39  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 太白区の谷埋め盛土地形

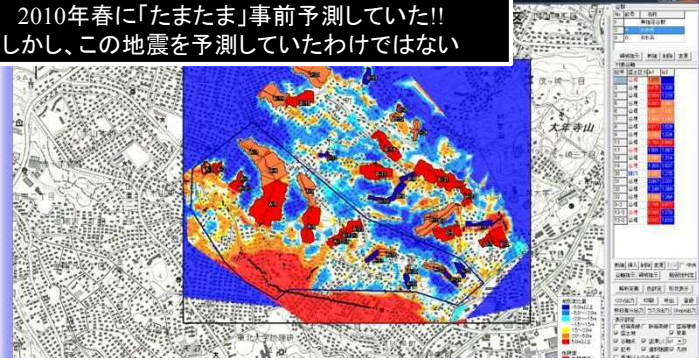


40  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 2010年、仙台の事前予測例

2010年春に「たまたま」事前予測していた!!  
しかし、この地震を予測していたわけではない



このソフト「盛土形状計測・相対的滑動崩落発生可能性評価支援システム(国土地理院)」は <http://www.gsi.go.jp/common/000076777.pdf> で申請すれば無償提供うけられます

詳しくは、下記報告書を参照  
(国土交通省総合プロジェクト)  
高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発 総合報告書 平成22年12月  
国土地理院技術資料 C・1-No.400、地盤脆弱性評価システムは、報告書p127~143

<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 予測結果

①      ②      ③

仙台市太白区緑ヶ丘周辺の予測結果一覧表

盛土ユニット	変動有無	ガイドライン点数法 変動確率	数量化解析法 変動確率	側方抵抗モデル 変動指数	備考
1 緑ヶ丘3丁目北側	変動	4%	28%	1.19	1978年地震で大変動 対象外(枕・舟戸)
2 緑ヶ丘3丁目南側	変動	2%	28%	0.88	1978年地震で大変動 対象外(枕)
3 緑ヶ丘4丁目	大変動	68%	92%	0.61	1978年地震で大変動 対象外
4 青山2丁目	大変動	-	-	-	盛土が抽出されてい ない、1978年地震で変動せず
5 大チャ町	変動せず	16%	41%	1.11	傾斜変動のみ 1978年地震で変動せず
6 恵和町上部	変動	6%	28%	1.00	○
7 恵和町中部	変動	16%	13%	1.01	○
8 恵和町下部	大変動	22%	64%	0.86	◎
9 松が丘	大変動	-	-	-	盛土が抽出されてい ない、1978年地震で変動せず
10 青山1丁目上部	変動	-	-	-	盛土が抽出されてい ない、1978年地震で変動せず
11 青山1丁目中部	変動	7%	13%	1.15	○
12 青山1丁目下部	変動	41%	92%	0.84	◎
13 緑ヶ丘1丁目上部	変動せず	7%	21%	1.13	○
14 緑ヶ丘1丁目下部	変動せず	2%	21%	2.07	◎
15 砂押町上部	変動せず	4%	35%	1.08	○
16 砂押町下部	変動せず	7%	21%	1.30	◎
17 緑ヶ丘2丁目上部	変動せず	7%	28%	1.10	○
18 緑ヶ丘2丁目下部	変動せず	10%	28%	1.50	◎

表示区分

大変動	50%以上	1.0未満
変動	30~50%	1.0~1.2
変動せず	30%未満	1.2以上

①ガイドライン点数法  
(変動確率)  
非変動評価に正答が偏る

②数量化解析法  
(変動確率)  
やや非変動評価側

③側方抵抗モデル  
(安全率)  
変動盛土の中率良好

42  
<http://www.ohta-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 実際に計測してみる (土層強度検査棒:土研開発)

図-1 SS試験と土層強度検査棒の併用調査法

試験位置までの穴開け

盛土中ほどと、底部のc・φ計測

土層強度検査棒

43  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 測定結果

側面粘着力(kN/m <sup>2</sup> )	39.0	(10~30kN/m <sup>2</sup> )
側面内部摩擦角(°)	35.0	(28~41°)

図-2 土層強度検査棒による地盤強度計測結果グラフ

統計値 実測値

底面粘着力(kN/m <sup>2</sup> )	0.0	(0~7kN/m <sup>2</sup> )
底面内部摩擦角(°)	25.0	(26~42°)

**滑動崩落滑り面の特徴  
粘着力が失われていること**

44  
<http://www.ohita-geo.co.jp>

## まとめ

- 谷埋め盛土の地震時滑動崩落に対する危険度予測は、事前に得られる簡易な情報で行わなければならない。
- 上記は、東日本大震災における仙台市の滑動崩落事前評価結果から、側方抵抗モデルで可能であることがわかった。
- 側方抵抗モデルの統計的土質強度パラメータは、実測値でも妥当性が確かめられた。
- 滑動崩落の滑り面となる箇所の土質的特徴は、「粘着力が失われていること」と考えられる。
- 対策は、過剰間隙水圧が作用しない工法、あるいは消散させる工法が、もっとも合理的

45

<http://www.ohita-geo.co.jp>

## 新規造成時の対策 現行基準の暗渠では足りない

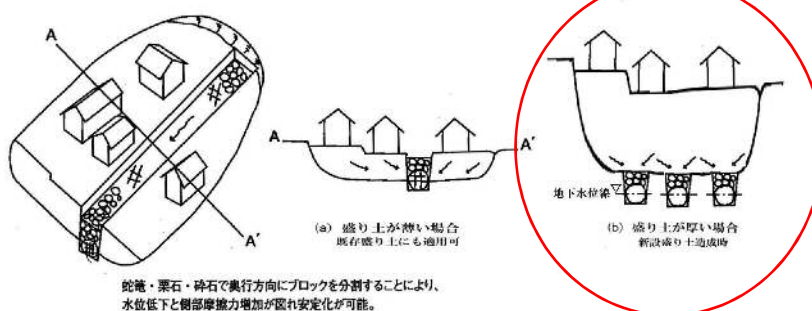


図-1.2.4.4 谷埋め盛り土すべりへの対策案のイメージ図（釜井ほか<sup>14)</sup>に加筆）

46

<http://www.ohita-geo.co.jp>

OHTA-GEO

## 白石市緑ヶ丘(寿山)(5/9-12)

78年より頭部は広い範囲

1978年に宅地造成中だった箇所 激しく崩れたので、市が買い上げて公園化

集水井対策工エリアは動かず

17  
co.jp

▲白石市寿山緑地地盤石層状況

OHTA-GEO

## 白石市緑ヶ丘(寿山)の地すべり対策

引張亀裂

圧縮隆起

集水井効果域

<http://www.ohta-geo.co.jp>