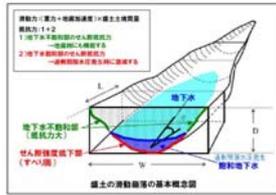


5. 対策工の設計手法

- 5.1 過剰間隙水圧
- 5.1 安定解析手法
- 5.2 計画安全率



ポイント: 過剰間隙水圧による底面抵抗力激減
過剰間隙水圧の設定は難しい
変動原理と異なる安定計算式を用いる難しさ

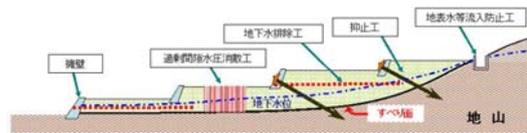
2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

7

6. 対策工事

- 6.1 対策工事の種類と適用条件
防止工法一覧表
- 6.2 地下水排除工の目詰まり対策
- 6.3 対策工の耐久性
- 6.4 対策工の維持管理手法



キーワード: 過剰間隙水圧除去・消散

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

8

いまは、<http://www.mlit.go.jp/crd/web/index.htm>

知りたい! 知りたい!
政府広報オンライン
City and Regional Development Bureau

住宅耐震化

- 宅地造成等規制法の概要
- 敷地・地質的調査等
- 宅地耐震化促進事業
- 促進費の交付
- 大規模改修費
- 宅地造成等規制法施行状況
- リンク
- サイトマップ

2007/06/12

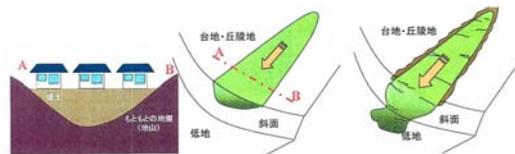
宅地造成設計・施工研修

9

第1章 大地震時における盛土の滑動崩落が認識され事業化されるに至った経緯

- 盛土の滑動崩落とは

(P.1)



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

10

谷埋め盛土部のみが滑動

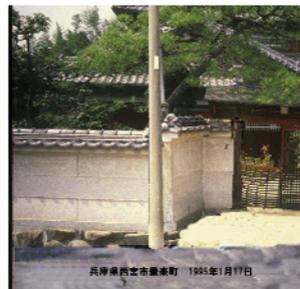


2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

11

西宮市で実際に起きた滑動



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

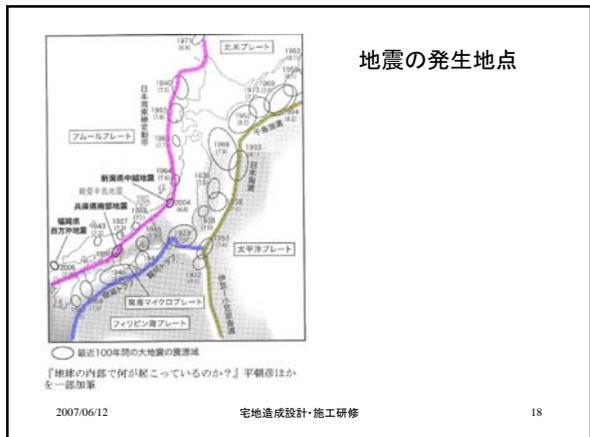
12



これまで発生した谷埋め盛土の 滑動崩落

- 1978年宮城県沖地震 大規模谷埋め盛土崩落発生
- 1995年兵庫県南部地震 本格的な研究開始 谷埋め盛土多数変動
- 2001年芸予地震 呉市などで斜面住宅の盛土変動
- 2003年三陸南地震・宮城県北部地震 谷埋め造成地変動
- 2004年新潟県中越地震 マスコミ報道 宅地盛土変動
- 2005年福岡県西方沖地震 玄海島などで斜面住宅の盛土変動
- 2007年能登半島地震 能登有料道路の沢埋め盛土変動

2007/06/12 宅地完成設計・施工研修 14



マスコミ報道

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 19

盛土の滑動崩落現象

宅地の滑動崩落現象とは

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 20

滑動崩落の原因 —すべり面液状化— (p.3)

西宮市仁川百合野町

日本の地滑り対策は、過去に地滑りを起こした所を対象としてきた。仁川は対象外だった。しかも、仁川の傾斜は平均傾度が二〇度弱。安定していると思われる三〇度以下の斜面での地滑りに研究者たちは驚いた。

直後に現地調査した二人の分析を紹介したい。

大阪市立大学の三田村崇樹助教授(地質学)は、花こう岩が風化したマサに、粘土が混在する土砂を見て、自然の堆積(たいせき)層ではないと判断した。過去の地図を調べると、深流のある谷が埋められていた。「盛り土と元の地表との境界付近に水がたまっていったのではないか」

京都大学防災研究所の佐々木二教授(地滑り学)は、現地土を用い、地滑り再現試験機で分析した。マサのようにもろい地盤が水を吸むと、地震で液状化が起こり、滑り出すと分かった。

仁川の地滑り発生きっかけに判明した「滑り面液状化」。「谷を埋めた斜面や池を埋めた所だと、傾斜が一〇度でも発生し得る」と指摘した。対策のときは、水を抜き、地下水位を下げることだ。

佐々木教授は「地滑りの予測は容易でなかった」と言い添える。予測し、対策をとる。その可能性を探ることが、震災後の新しい動きだという。

神戸新聞 WebNews 埋められた記憶西宮・仁川の地滑りより(抜粋)

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 21

「滑動崩落」と「盛土崩壊」は全く異なる原理(p.5)

滑動崩落は「水に浮かべた運搬」

盛土崩壊は「土の中でのせん断」

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 22

滑動崩落と類似したもの①(p.6)

ホバークラフトを動かなくするためには？

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 23

滑動崩落と類似したもの②(p.6)

エアークャスターを動かなくするためには？

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 24

その他、類似したもの

スリックタイヤ と レインタイヤ

ハイドロプレーニング現象

プレートの沈み込み

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 25

その他、類似したもの

転倒しやすいお風呂場も
お風呂のすべり止めゴムマット
があれば安心

水たまりの上を急に踏む→排水が間に合わず水圧が体重と
等しい圧力まで上昇→摩擦が失われる→滑って転ぶ→怪我
をする (※ヌメリなどが摩擦を下させる場合もある)

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 26

谷埋め盛土の地震時

抵抗力=(重力+地蔵排水度)×盛土土塊質量
抵抗力:1+2
1)地下水不飽和部のせん断抵抗力
→地震時にも崩壊する
2)地下水飽和部からの抵抗力
→過剰間隙水圧発生時に

地下水不飽和部
(抵抗力大)

せん断強度低下部
(すべり面)

過剰間隙水圧発生
飽和地下水
過剰間隙水圧発生!

盛土の滑動崩壊の基本概念図

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 27

造成盛土は締め固めているので 大丈夫?

2008.5.28

調査地点	調査深さ	調査結果
NO.1	地下約2.3m	地下7mm~1.6mでゆるい地層がある
NO.2	地下約2.7m	特にゆるい地層は認められない
NO.3	地下約2.2m	特にゆるい地層は認められない

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 28

造成盛土は締め固めているので 大丈夫?(p.6)

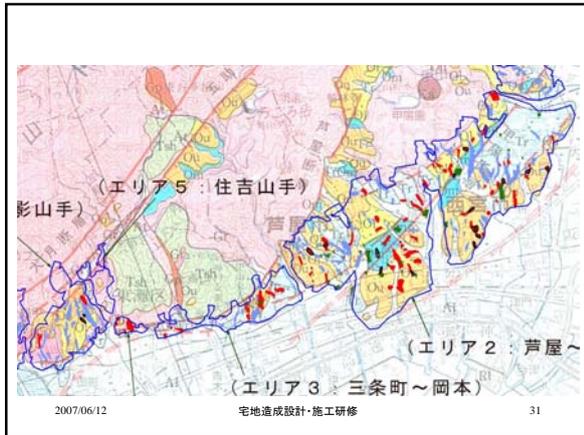
偽カルスト(地下水による地中侵食によって起きる)

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 29

2.1 兵庫県南部地震の事例(p.8)

谷埋め盛土の賦存率

2007 図-2 造成地内の盛土賦存率(兵庫県南部地震の事例) 30

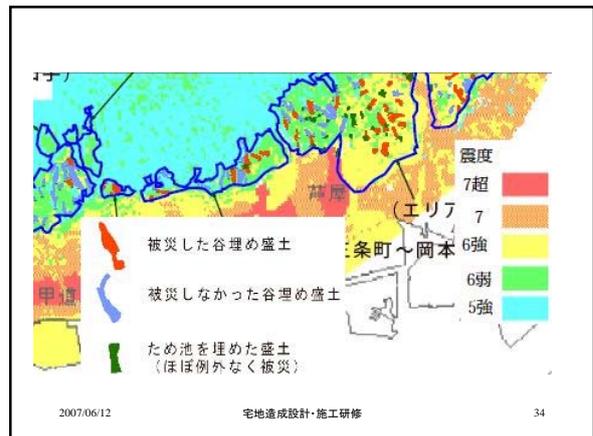
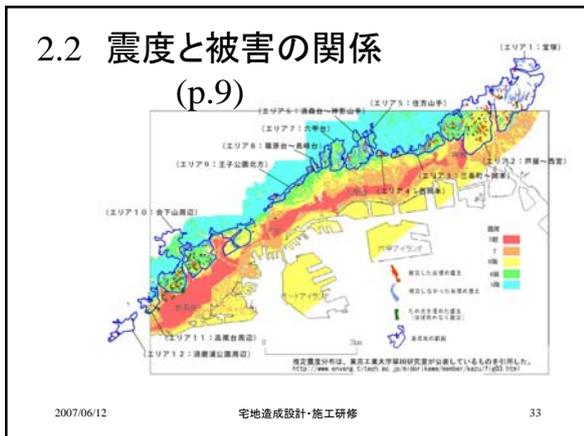


造成地の3~5%の 谷埋め盛土が変動する(p.7)

表1 変動盛土の賦存率（兵庫県南部地震の事例）

エリア区分	盛土面積集計(m ²)			盛土宅地賦存率の算出		
	谷埋め盛土 変動盛土	ため池盛土 無変動盛土	総計	変動盛土 変動盛土	谷埋め盛土 無変動盛土	盛土比率
1(宝塚)	0	59,320	59,320	730,078	0.0%	8.1%
2(芦屋～西宮)	455,716	524,860	980,576	1,109,535	4.1%	4.7%
3(三木町～岡本)	78,351	81,214	159,565	1,302,009	6.0%	6.2%
4(西宮町)	32,918	0	32,918	137,282	24.0%	0.0%
5(住吉山手)	0	0	0	387,795	0.0%	0.0%
6(滝野台～神影山手)	34,833	200,173	235,006	1,711,304	2.0%	11.7%
7(六甲台)	0	81,787	81,787	1,091,428	0.0%	5.7%
8(滝野台～長峰台)	11,201	53,251	64,452	70,588	1.8%	7.5%
9(王子山麓北下)	22,408	74,248	96,656	1,041,099	3.1%	10.1%
10(王子山麓南下)	169,069	290,418	459,487	624,635	7.0%	2.5%
11(東灘台地)	20,000	46,711	66,711	92,626	2.7%	6.4%
12(東灘東山麓地)	11,088	12,313	23,401	36,144	61.6%	1.6%
エリア外	0	9,125	9,125	122,237	0.0%	7.5%
総計	835,583	1,403,419	2,239,001	2,714,209	3.2%	10.3%
賦存率	30.8%	51.7%	17.5%	100.0%	3.2%	10.3%

2



谷埋め盛土の変動は震度6以上

図-3 震度分布図と造成地内の盛土分布の重ね合わせ図

震度と被災との関係(面積m ² :谷埋め盛土)			
震度	被災した 谷埋め盛土	無被災の 谷埋め盛土	総計
	1,175	109,957	111,132
震度5強	1.1%	98.9%	100.0%
震度6弱	468,017	746,027	1,214,044
震度6強	163,697	76,292	239,989
震度7	835,583	1,403,419	2,239,001
総計	37.3%	62.7%	100.0%

2007/06/12 宅地完成設計・施工研修 35

2.3兵庫県南部地震で使用された復旧工法(p.10)

箇所名	主な工法	主な工法	
石鏡本	アンカー工、鋼管井工	月見山	のり砂工、アンカー工
新三浦	鋼工	空立山	のり砂工
仁川百合野町	アンカー工、軌工	一の谷(2)	のり砂工
轟本	鋼工	北山	鋼管工
野島大川	アンカー工	有馬山	鋼管工
野原	のり砂工	青島	のり砂工
高瀬	鋼管工、谷埋め工	武庫	のり砂工
宮崎川	アンカー工	新内(4)	鋼管工
		大木町	鋼管工
		徳田上町	鋼管工
		大手町(3)	のり砂工
		西宮	のり砂工
		相国	のり砂工
		藤原	のり砂工
		朝高寺	のり砂工
		住吉山手7丁目	のり砂工、アンカー工
		上野町12	鋼管工、アンカー工
		東山町43	鋼管工
		東野町2丁目	鋼管工

西岡本・・・谷埋め盛土
仁川百合野町・・・腹付け盛土(?)

2007/06/12 宅地完成設計・施工研修 36

これから始まる事業

指定地ゼロ

2次スクリーニング始まる

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 37

(1)西岡本地区
地すべり対策事業として、グラウンドアンカー工を主工法として対策がなされた。

盛土？地すべり？

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 38

(2)西宮市仁川百合野町地区

事業の概要 則事業員約22億円

工事の概要	
仁川の閉削工事	約43,000㎡
印止杭工	φ200mm 142本
多岐擁壁工	10~4m L:236m
集水井工	4箇所
集水ポンプ工	167本 約6,500㎡
法特工	約12,300㎡
C川改修工事	L:100m

宅地造成設計・施工研修 39

(3)東灘区鶴子ヶ原地区
急傾斜地崩壊対策事業（特例措置）として土留構及板状用重力式擁壁工が施工された。

東灘 - 7
(東灘区鶴子ヶ原)
土留構及板状用重力式擁壁工

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 40

(4)垂水区星ヶ丘地区
急傾斜地崩壊対策事業（特例措置）としてアンカー付格子状擁壁工が施工された。

垂水 - 8
(西水区星ヶ丘)
アンカー付格子状擁壁工

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 41

(5)東灘区岡本地区
急傾斜地崩壊対策事業（特例措置）としてフリーフレーム工法が施工された。

東灘 - 5
(東灘区岡本) フリーフレーム工法

写真1 被災状況 写真2 復旧状況

図 2.2.13 東灘区岡本地区の急傾斜地崩壊対策事業（特例措置）

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 42

(6)長田区葦宮町地区
急傾斜地崩壊対策事業（特例措置）としてルートパイル工法が施工された。

写真1 葦宮町地区
写真2 葦宮町地区

長田 - 14
(長田区葦宮町)
ルートパイル工法と鋼管杭挿入工法

長田区葦宮町地区の急傾斜地崩壊対策事業（特例措置）

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 43

(7)兵庫県淡川町地区
急傾斜地崩壊対策事業（特例措置）として重力式擁壁工が施工された。

兵庫 - 18
(兵庫県淡川町) 重力式擁壁工

写真1 施工状況
写真2 復旧状況

図 2.2.15 兵庫県淡川町地区の急傾斜地崩壊対策事業（特例措置）

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 44

民間の盛土耐震化工事例

兵庫県南部地震の被災例

ブロック積み擁壁とブロック塀の耐震対策

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 45

工事例

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 46

過剰間隙水圧消散工と地盤補強工

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 47

調査・設計

いつごろ、どのように作られた造成地なのか調べ、対策の目的と予算をはっきりさせ、どの程度までの対策をするのかを合意する。

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 48

3章 大地震時に谷埋め盛土が被災する確率(p.13)

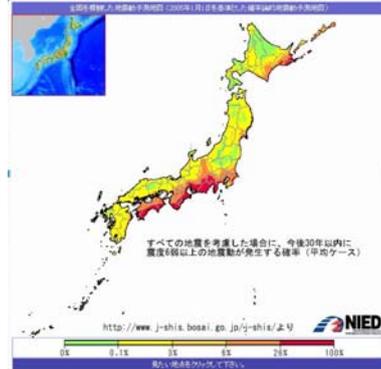
- 他のリスクと比べて大きいか・小さいか
- 今後30年間で震度6弱以上の地震が発生する確率・概ね6%以上
- 震度6弱以上で谷埋め盛土が変動し被災する確率 40~70%
- 危険と判定された谷埋め盛土が被災する確率 90%



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

49



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

50

被災確率は極めて高い(p.13)

危険と判定された谷埋め盛土上に住んでいて、震度6弱以上の地震をうけると、ほぼ確実に盛土が滑動し被災する

→ 大地震が起これば(危ない盛土は)アウト

表-2 自然災害・事故等の30年発生確率

●事故		●自然災害	
交通事故で負傷	24%	大雨で罹災	0.56%
交通事故で死亡	0.20%	大雨で死傷	0.002%
火災で罹災	1.9%	台風で罹災	0.48%
火災で死傷	0.24%	台風で死傷	0.007%

大地震時に危険と判定された谷埋め盛土が変動する確率(首都圏~西日本の太平洋岸) 6~20%以上

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

51

第4章 谷埋め盛土滑動崩落のメカニズム(p.14)

研究の最前線

- 滑動崩落の予防対策を建てるためには、どういうメカニズムで滑動崩落が発生するかを知って、その評価方法をつくりあげる必要がある。



兵庫県南部地震以前にはまったく研究されていなかったため、良質なデータがなく、何が主原因なのか、どうすればよいのかわからなかった。

良質なデータ: 変動と非変動の両方が揃ったもの

2007/06/12

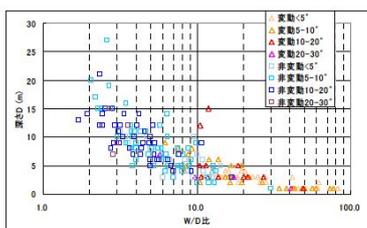
宅地造成設計・施工研修

52

兵庫県南部地震ではどのような盛土が変動したか(1)

- 浅い盛土がよく変動した(5m以下が卓越)

(a) 深さとW/D比



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

53

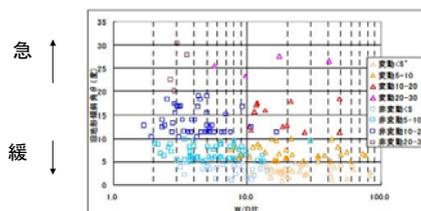
兵庫県南部地震ではどのような盛土が変動したか(2)

- 基盤傾斜角とはあまり関係がない

緩い基盤が安全で、急だと危険だったわけではない

普通の崩壊とは違う!

(b) 傾斜角とW/D比



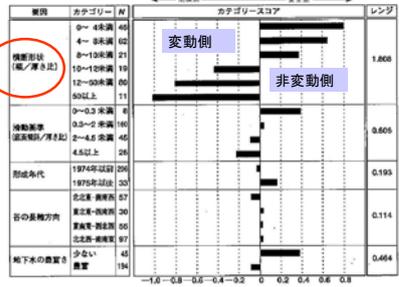
2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

54

幅／深さ比が圧倒的要因

抜群の相関



注) カテゴリスコアが大きい(黒)ほど安全側、Nはサンプル数
2007/06/12 宅地造成設計・施工研修

55

変動・非変動はバイモーダル

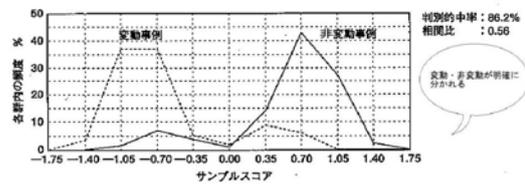


図6 予測モデル(数量化Ⅱ類)における谷埋め盛土変動要因の分析結果
盛土の横断形状(幅/深さ比)が変動の主要因であることがわかる

これだけ明瞭に分かれていれば、説明するモデルは構築できる

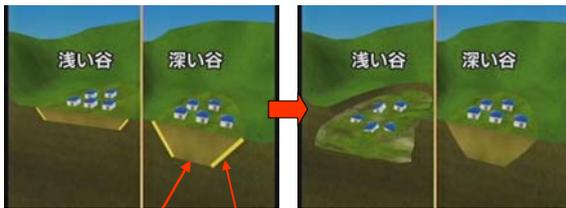
2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

56

W/D比は側方摩擦効果を示す

W: 幅、D: 深さ、というのは谷の横断形状の指標。縦断形状のみで考えていた従来の方法では原理的に解けない問題だった。



すべり面液状化 側方摩擦

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

57

側方抵抗の効果



3方を鉄板で囲まれた乾燥砂での実験

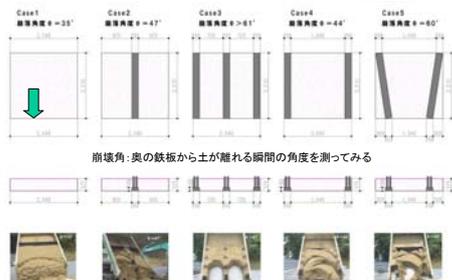
真ん中で強制的にせん断面が生成されるようにした実験

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

58

側部抵抗を人為的につくって実験



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

59

側部抵抗の簡単な実験

- ダンプトラック荷台から砂をすべり落とす実験
安息角は35°くらい



この2次元断面を標準とする



2007/06/12

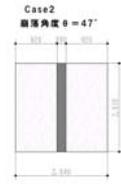
宅地造成設計・施工研修

60

側部抵抗の簡単な実験

2次元断面形状はみんな同一

- 真ん中に側部抵抗ができるような配置



47°



宅地造成設計・施工研修

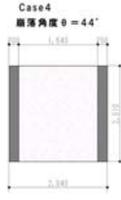
61

2007/06/12

側部抵抗の簡単な実験

2次元断面形状はみんないっしょ

- 両サイドに側部抵抗が発生



44°



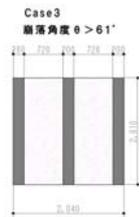
宅地造成設計・施工研修

62

2007/06/12

側部抵抗の簡単な実験

- 幅狭く両側に側部抵抗



61°

(これ以上ダンブが傾かない)



宅地造成設計

63

2007/06/12

側部抵抗の簡単な実験

- 末端部を若干閉塞形状



末端閉塞60°

(閉塞していないとき44°)



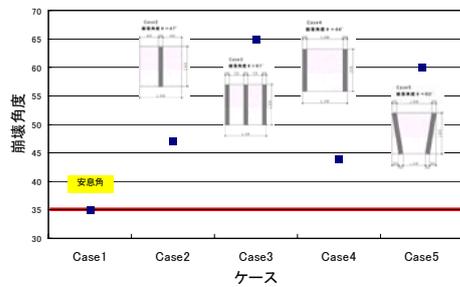
工研修

64

2007/06/12

崩壊角の違い

実験ケースと崩壊角



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

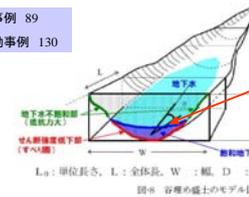
65

解析モデルとデータセット

- L・W・D・θ・WLおよび変動or非変動
このデータセットで表現できる解析モデルを構築

変動事例 89

非変動事例 130



谷傾斜は解析用データセットには含まれていない

L: 単位長さ, L: 全長, W: 幅, D: 厚さ, θ: 斜面の傾斜角

図4 谷幅の掘土のモデル図

$$WL = h - (0.1394 \theta + 1.3046)$$

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

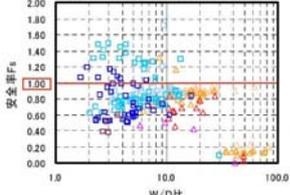
66

Case1: 従来型2次元解析モデル

用いた安定解析式は修正 Fellenius 式対応の式である。

$$F = \frac{c' L / \cos \theta + (W_i - U_i) \cos \theta \tan \phi' + W_i K_a \sin \theta \tan \phi'}{W_i \sin \theta + W_i K_a \cos \theta}$$

地震時 (過剰間隙水圧高さ 1.5m)



側方摩擦が考慮されていないこのモデルでは、安全率は基盤傾斜角の関数となり、現場データを再現できない。

安全率(地震時)-W/D比 関係図

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

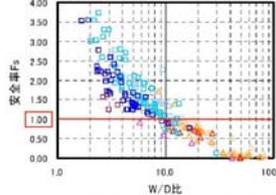
67

Case2: 側方抵抗を考慮した2次元モデル

側方抵抗力の修正項

$$F = \frac{c' L / \cos \theta + (W_i - U_i) \cos \theta \tan \phi' + \frac{1}{2} W_i D / W - W_i K_a \sin \theta \tan \phi'}{W_i \sin \theta + W_i K_a \cos \theta}$$

地震時 (過剰間隙水圧高さ 3m)



側方摩擦が考慮されているため、安全率で変動・非変動を区分することができる。ただし、側面強度の違いは反映できない。

安全率(地震時)-W/D比 関係図

2007/06/12

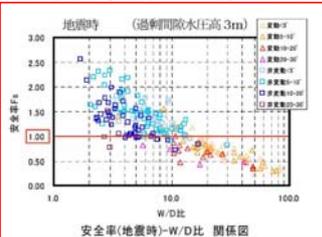
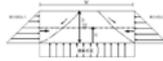
宅地造成設計・施工研修

68

Case3: 側方抵抗モデル

$R_s = R/T$ 安全率 阪神大震災の再現

$T = W_i \sin \theta$ 滑動力 (kN)
 $M = R_s + M_1 - W_i \cdot K_a \sin \theta \cdot \tan \phi'$ 抵抗力 (kN)
 $R_1 = c' \cdot A_s + P \cdot \tan \phi'$ 側方抵抗力
 $R_2 = c' \cdot A_s + (W_i - U_i) \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi'$ 底面抵抗力 (kN)



側方摩擦が考慮されているため、安全率で変動・非変動を区分することができる。

側面強度の違いも反映できる。ただし、側面傾斜角は反映できない。

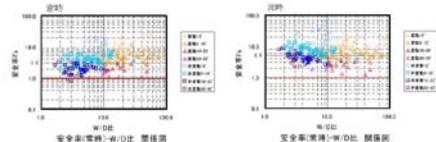
安全率(地震時)-W/D比 関係図

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

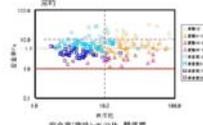
69

4.5 常時の安定性(p.23)



ケース1: 従来の2次元断面法の場合

ケース2: 側方抵抗を考慮した2次元法



ケース3: 側方抵抗モデル (簡易三次元法)

谷埋め盛土の常時安全率は、盛土底面積斜角が大きいと大きく、急だと小さくなる傾向がある。また、幅/深さ比と安全率の相関は認められない。

70

4.6 滑動メカニズムのまとめ(p.24)

- 谷埋め盛土の安定性は、常時と強震動を受けた時では全く異なる傾向を示す。
- 谷埋め盛土は、強震動を受けた際に盛土底面の過剰間隙水圧が上昇し、せん断抵抗力が著しく低下することが変動の直接的な原因。
- 一方、側方部の摩擦抵抗力は、盛土の幅/深さ比が小さいほど谷埋め盛土全体に対する影響力が大きく、地震時に谷埋め盛土土塊の滑動を抑える役割を果たす。

側方抵抗を考慮した安定解析式で表現可能

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

71

盛土最下部

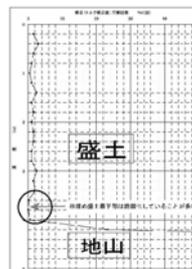


図-11 谷埋め盛土の強度の特徴

地山と盛土の境界部付近(盛土側)に非常に軟弱なところが形成される場合が多い(地下水流)。ここが強震動によって過剰間隙水圧発生箇所になると考えられている。

時間経過とともに盛土は地震に対して弱くなる

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

72

5章 対策工の設計手法

“現実的”な解決方法→「ガイドライン」

- 「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説」では、変動原理に基づく解析法ではなく、**従来用いていた2次元断面法**での問題解決が現状では現実的と判断して選択した。(運用面での容易さを選択)

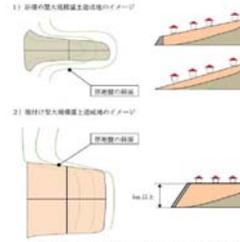
安定計算の目的	
(1)	現地調査結果を受けて、その盛土の危険性(滑動力が抵抗力を上回るか否か)を評価し造成地危険区域の指定の際の判定材料とする目的。
(2)	盛土の滑動崩落防止対策を策定する上での対策工設計に用いる目的。

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

73

安定計算手法(ガイドラインより)



- 谷埋め盛土
2次元分割法
(任意形状断面)
- 腹付け盛土
2次元分割法
(円弧滑り)

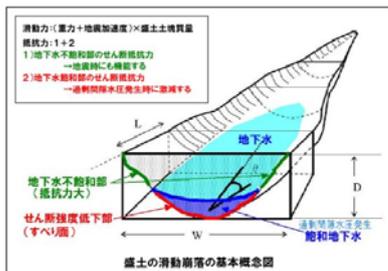
過剰間隙水圧考慮!

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

74

5.1 過剰間隙水圧の取り扱い



$\Delta u = \bar{B} \Delta \sigma_v$, ... 1式
ここに Δu : 過剰間隙水圧、 \bar{B} (B-bar): 過剰間隙水圧係数、 $\Delta \sigma_v$: 鉛直載荷荷重

2007/06/12

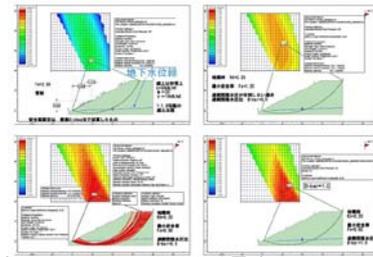
宅地造成設計・施工研修

75

過剰間隙水圧の安全率への影響

非地震時Fs=2.05

地震時 B-bar=0 Fs=1.25



地震時 B-bar=0.6 Fs=0.90

地震時 B-bar=1.0 Fs=0.62

安全率は過剰間隙水圧の設定が支配するが、適切な設定方法がない!

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

76

ガイドラインの考え方

- 全応力法で解析する場合には、地震時に土中に発生する間隙水圧を考慮しないで**土の透水性に見合った排水条件**による静的試験から求めた強度定数を用いる。有効応力法で解析する場合には地震時に土中に発生する間隙水圧は、間隙水圧の測定を伴う繰り返し三軸試験などから求める。

大変難しい・・・「言うは易く行うは難し」

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

77

土の透水性に見合った排水条件

- 右の写真の現場の排水条件は何か?



- 「壊れた」ものでさえ排水条件がわからないのに、「まだ壊れていない」盛土の排水条件がわかるのか?

この崩壊の排水条件は?

運用上の大きな壁になる可能性大

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

78

パブリックコメントの意見

- 地震時に土中に発生する過剰間隙水圧については、土質試験から求めることを基本としている。これに関しては、「宅地防災マニュアル(改定案)」のパブリックコメントにおいて、以下のような内容が公表されている。
- 【意見】XV・5 設計強度定数と間隙水圧:「XV・5にある間隙水圧の求め方として、「測定された値」を使用せよとの記述があるが、地震時過剰間隙水圧の測定は不可能であることから、計算等によって求められる値を使うことも可とされたい」
- 【意見等に対する考え方】ご指摘を踏まえ、「困難な場合には他の適切な方法によって推定することも可能である」と追加します。

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

79

5.2 安定計算は2つの目的で使われる

- 造成宅地防災区域の指定の判断材料
2次スクリーニング後の調査結果から安定解析を行いFs<1なら「指定」
便宜的・帰納的手法から演繹的な安全率が求まるか？
- 滑動崩落防止対策工の設計
対策工事を効果的に行うための設計に利用する
大地震があっても「かなり確実に」Fs>1となること

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

80

一つの解決策(案)

過剰間隙水圧の取り扱い方法(案)	
【造成宅地防災区域の指定の判断材料とする目的の場合】	
(1) 土質試験により過剰間隙水圧が評価できる場合にはその値を用いること。	
(2) 上記が困難な場合には、兵庫県南部地震の研究結果から現象と計算の照り合わせ結果として再行されている、過剰間隙水圧 $u_{ex}=3.0m$ (4.4参照)を用い、ガイドラインに示される2次元分割法で安定計算を行うこと。(2次元法で計算することにより側部抵抗が計算に組み込まれないため安全側の結果が得られるはずである。ただし、盛土の規模等の条件が兵庫県南部地震のデータセットの適用に適合しているかどうか、専門家が個別に判断すること)	とりあえず3.0m相当の過剰間隙水圧付加
【滑動崩落防止対策工の設計を目的とする場合】	
(1) 地震時に過剰間隙水圧が作用しない対策を施すことを必要条件(地下水排除工や過剰間隙水圧消散工法を計画)としたうえで安定計算により、盛土土塊の抵抗力が滑動を上回る(Fs≧1.0)ように対策工を設計すること。	過剰間隙水圧がなくなる対策を必須とする

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

81

地震時安定計算の方法

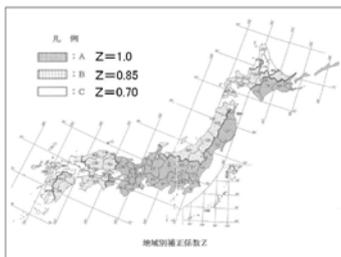
「ガイドラインの解説」では、安定計算については以下のように規定されている。
V.1(現地調査)で得られた結果を基に、安定計算により、地震力及びその盛土の自重による当該盛土の滑り出し力がその滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力を上回るかを確認する。地震力については当該盛土の自重に、水平震度として0.25に建築基準法施行令第八十八条第一項に規定するZの数値を乗じて得た数値を乗じて得た数値とする。
【解説】
「合理的盛土」については、複数の円弧又は直線に近似できることを想定している。この場合、安定計算は二次元の分割法による計算を基本とし、あわせて三次元効果を取り入れた安定解析(以下「三次元安定解析」という)による計算を行うことも可能であるが、二次元安定解析で算出される安全率と比較して、一般的に、三次元安定解析で算出される安全率は1.0から1.3倍程度に大きくなる傾向がある。
「掘削盛土」については、単一の円弧で構成されていることを想定している。この場合、安定計算は、二次元の分割法のうち簡便法による計算を基本とし、あわせて三次元効果を取り入れた安定解析(以下「三次元安定解析」という)による計算を行うことも可能であるが、二次元安定解析で算出される安全率と比較して、一般的に、三次元安定解析で算出される安全率は1.0から1.3倍程度に大きくなる傾向がある。
なお近年は地震時の盛土の変形量を推定する手法として、有限要素法などの手法が研究されているところである。

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

82

$$Kh=0.25 \times Z(\text{地域別補正係数})$$



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

83

3次元解析の問題点

「ガイドラインの解説」より

2次元安定解析で算出される安全率と比較して、一般的に、3次元安定解析で算出される安全率は1.0から1.3倍程度に大きくなる傾向がある。

- 1) 解析に使用する値の精度を高めること
- 2) 解析条件となる3次元形状を正確に把握することと形状が単純なこと
- 3) 側面効果の評価の妥当性に留意すること
- 4) 2次元解析をもとに地震度の水平震度が検討されてきた経緯から、そのまま水平震度を用いると3次元効果を導入する際には、相対的にやや低めの数値となりかねないこと。
- 5) 解析対象に見合った、地盤調査面所数を決定すること
- 6) 滑動時の滑り線位置が、盛土底部などのように比較的明らかでないこと

Khは2次元解析と被災の有無の組み合わせでキャリブレーション(逆算)して決まった値であるので3次元解析に安易に使うことは危険である。

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

84

例示されている3次元解析

キャリブレーション(現象を用いた逆算)の有無が鍵

- 3次元分割法
地すべりにおいては、 $F_s \approx 1.0$ でキャリブレーションして利用されるが、地震時に演繹法での適用は容易ではない。
- 側方抵抗モデル
阪神大震災の被災の有無と $kh=0.25$ を用いてキャリブレーションされているので**適用可能**。ただし地盤に対する専門知識が必要。
- 有限要素法解析
3次元分割法と同様に、地震時のキャリブレーションデータが存在しないので適用は容易ではない。

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

85

谷埋め盛土の安定計算

$$S_m = \sum W_i \cdot R_w - \sum W_i (\cos \alpha_i - k \cdot \sin \alpha_i) \cdot R_r + \sum k \cdot W_i \cdot R_e$$

二次元の分割法について

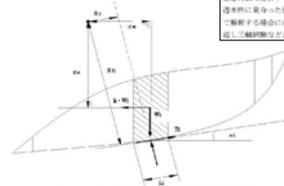
谷埋め盛土の安定計算

ガイドラインの方法

二次元の分割法は、土塊の表面が曲線であっても滑り面が直線であっても適用できるので滑り面の高い計算である。摩擦角及びその土の性質による滑り面土の滑り出す及びその滑り面に対する最大摩動抵抗力その他の抵抗力は、以下の通り計算する。

従来から地すべりの安定計算に使っていた方法

本方法で解析する場合には、地震時に土中に発生する過剰間隙水圧を考慮しないでの土の透水性に見合った排水条件による動的試験から求めた強度定数を用いる。本方法で解析する場合には地震時に土中に発生する過剰間隙水圧は、間隙水圧の測定を行う滑り面、三軸試験などから求めることができる。



便宜的に過剰間隙水圧を現況+3.0mで設定(私案)

図V.2.1 二次元の分割法における各分割面への力(横断面)

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

86

腹付け盛土の安定計算

$$S_m = \sum W_i \cdot \sin \alpha_i + \sum k \cdot W_i \cdot R_e / R_o$$

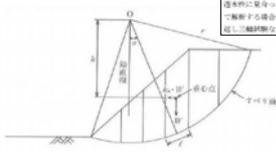
二次元の分割法のうちの種類法について

腹付け盛土安定計算

ガイドラインの方法

滑り面が唯一の円弧であるか想定される場合には、二次元の分割法のうちの種類法を用いる。摩擦角及びその土の性質による滑り面土の滑り出す力、その滑り面に対する最大摩動抵抗力その他の抵抗力は、以下の通り計算する。

従来から土の安定計算に使っていた方法



図V.2.2 円弧すべり面法における各分割面への力(横断面)

本方法で解析する場合には、地震時に土中に発生する過剰間隙水圧を考慮しないでの土の透水性に見合った排水条件による動的試験から求めた強度定数を用いる。本方法で解析する場合には地震時に土中に発生する過剰間隙水圧は、間隙水圧の測定を行う滑り面、三軸試験などから求めることができる。

便宜的に過剰間隙水圧を現況+3.0mで設定(私案ですが過大かもしれません)

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

87

5.3 計画安全率

「ガイドラインの解説」では
地震時安全率=抵抗力/滑動力 ≥ 1.0
を目標値としているので、計画安全率 $F_{sp}=1.0$ となる

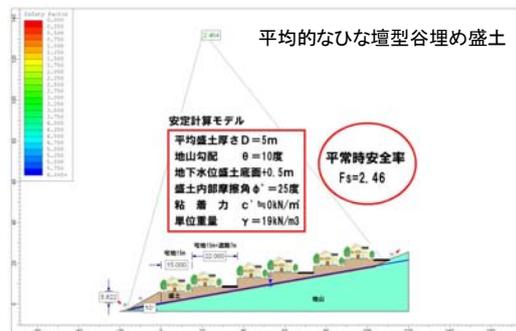
課題: $F_{sp}=1.0$ というのは、土の強度のばらつきや、安全率に敏感な過剰間隙水圧設定の不確実を考慮すると、必ずしも安全とは言えない。このため、強度や水圧評価の際に安全側に立った設定をしておく必要がある。

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

88

安定計算例

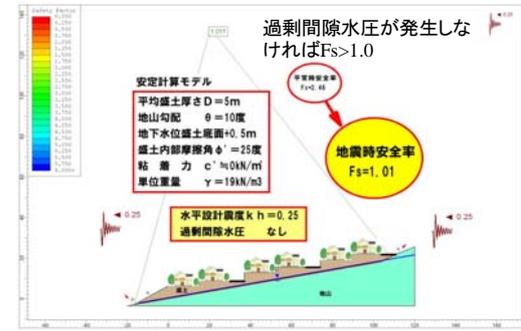


2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

89

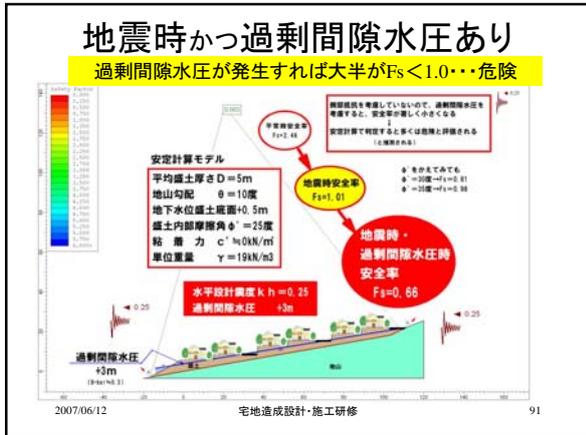
地震時かつ過剰間隙水圧なし



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

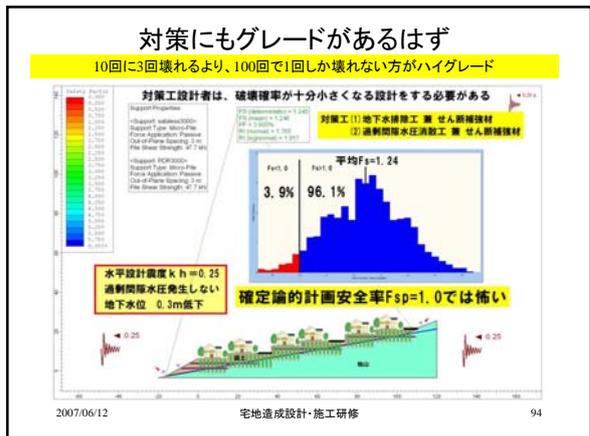
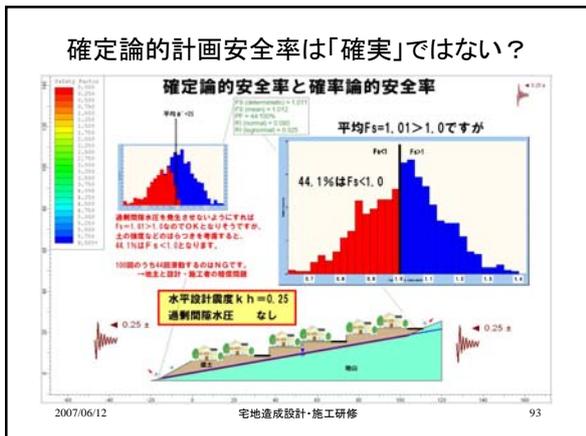
90



こういう結論でよいか？

- 過剰間隙水圧を考慮すると $F_s < 1$ となるので当該谷埋め盛土は危険である
→危険区域指定
- ほとんどの谷埋め盛土が危険判定となるが、大丈夫か？
- 過剰間隙水圧を発生させないようにすると $F_s > 1.0$ となるので、地下水排除工と過剰間隙水圧消散工があれば計画安全率を満足する対策工の設計として良いか？
→対策工設計
- 瑕疵責任は、設計・施工の業者が負うが、大丈夫か？

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 92



6章 対策工事

6.1 対策工の種類と適用条件

必要な機能

- (1) 過剰間隙水圧発生抑制
- (2) 滑動に対するせん断抵抗の付加
- (3) 谷埋め盛土の補強による変形の抑制
- (4) 幅／深さ比を小さくすることによる1ブロックあたりの平均せん断抵抗力の向上

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 95

最優先事項

- 対策として第一義的に優先されるべきものは、過剰間隙水圧の抑制・・・過剰間隙水圧を安定計算から排除しなければ安定性評価が不安定になる

非常に湧水の多いときに使用

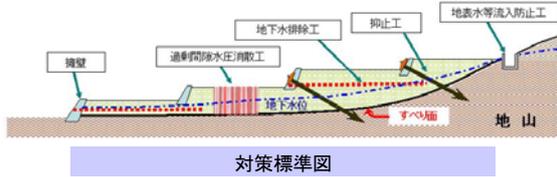
(a) ふとんかご縦排水部
 (段切り逆勾配：ふとんかご縦排水→集水暗渠に導く)

危険な形状(W/D比)の新設盛土の場合、湧水の多い対策とする

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 96

防止工法の種類と機能

- P.42-43の一覧表を参照



対策標準図

滑動(崩落)に伴う谷埋め盛土の変形を最小限にするためには、対策工の効果を**盛土末端部に集中させず、盛土全体**に効果が及ぶように考慮した対策工配置を行う必要がある

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

97

対策工事の勘所



小さな対策でも滑動を抑えることが出来るが、1点集中型の抑止工では、盛土の変形により被害が発生する。**分散型対策が必要(置れ物に触るように)**

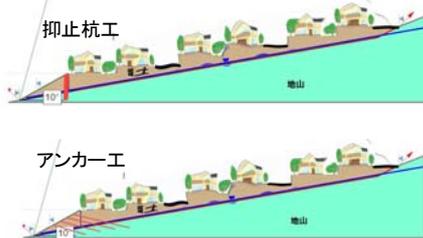
2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

98

一点集中型の対策(抑止工)

土砂が下に流れ落ちることはないが、宅地は凸凹になる



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

99

分散型抑止工(アンカー工の例)

変形は抑えられるが、対策工の数量が大きくなる。



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

100

地下水排除工



集水ボーリング工例
高耐食性メッキ付き鋼管により、盛土と地山境界部のせん断補強材としての機能も併せ持つ

地すべり対策で多くの実績

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

101

打込み式排水パイプ



鉄道盛土などで多くの実績

重力式地下水排除、地盤の締め固め、鋼材による地盤補強の効果を併せ持つ工法



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

102

過剰間隙水圧消散工

強震動時に発生する過剰間隙水圧の消散、地盤の締め固め、鋼材による地盤補強の効果を併せ持つ工法。
 基礎まで貫通させることにより剪断杭工としての効果を持たせることも可能。

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 103

抑止工など

鉄筋挿入+地盤改良工

鋼管杭工

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 104

抑止工など

グラウンドアンカー工

地盤改良工

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 105

W/D比の改善

従来の考え方にとらわれない、新技術・新工法が必要である。

Θ = 35度

Θ = 47度

土と土の側部抵抗部

3方を鉄板で囲まれた乾燥砂での実験

真ん中で強制的にせん断面が生成されるようにした実験

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 106

6.2地下水排除工の目詰まり対策(p.45)

- (1)土砂等によるスレーナの目詰まり
- (2)材質による腐食(SGP管)や破損(塩ビ管)
- (3)植物の根の侵入
- (4)孔口付近や孔内のスライム付着

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 107

対策工の例

■地下水排除とともに、幅深さ比を1/3程度まで改善し、かつ過剰間隙水圧消散効果も若干期待する方法

2007/06/12 宅地造成設計・施工研修 108

地下水排除工の維持



2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

109

その他

- 対策工の耐久性
老朽化・腐食・破断に強い高強度・高耐食の材料を用いること
- 対策工の維持管理
地主が維持管理を継続的に続けられるような工法を選択し、同時に組織化すること

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

110

最後に

- 地震時の宅地谷埋め盛土の滑動崩落防止対策は、今後1号工事が始まる。
- 歴史・経験の無い対策事業であるため、改良・改善の繰り返しになる。
- 必ず地盤の専門家の現地調査によるフィルタリングをかける。
- 滑動崩落の原理を理解していれば難しくはない(ホバークラフトを動かさない方法)

2007/06/12

宅地造成設計・施工研修

111