

Ⅳ. 大規模盛土造成地マップ

大規模盛土造成地マップは、宅地造成に伴う災害に対する住民等の理解を深め、宅地造成に伴う災害の防止のため必要な規制を行うこと等を目的として作成し、公表・活用するものであり、原則として第一次スクリーニングの結果に基づいて大規模盛土造成地の共通項目と地域項目を記載したものである。

【解 説】

「宅地造成に伴う災害」とは「Ⅰ. 総説」に示す滑動崩落のことである。また、「宅地造成に伴う災害の防止のため必要な規制」とは防災区域の指定等のことである。

防災区域の指定等に当たっては、大規模盛土造成地の位置や規模を把握し、安定計算を行うことが必要であるが、安定計算を行う際には地盤調査が必要であり、地盤調査に先立ち住民等への説明が必要となる。

その際、原則として第一次スクリーニングで抽出された大規模盛土造成地を示した大規模盛土造成地マップを用いた説明会の開催等により住民等の理解および協力が得られるように努める必要がある。このため、大規模盛土造成地マップの作成や公表時期は、原則、第一次スクリーニング後、地盤調査の前とするが、地域の実情にあわせて地方公共団体が判断してもよい。また、住民等に対し「第一次スクリーニング後に公表する大規模盛土造成地マップは、造成前と造成後の地形図などを重ね合わせるにより大規模盛土造成地の概ねの位置と規模を抽出したものであり、この時点でマップに示す箇所が、全て地震時に危険というわけではない」ことを十分説明し、過度の不安を与えないよう注意する必要がある。

なお、大規模盛土造成地マップには、原則、第一次スクリーニングで抽出された大規模盛土造成地（表Ⅲ.3.1の○）およびその可能性がある盛土造成地（表Ⅲ.3.1の△）、「Ⅶ. 3 防災区域の指定等（令第十九条第一項第二号、または法十六条第二項の勧告に該当（災害発生のおそれ切迫していることが確認される場合）」が対象としている、切土又は盛土をした後の地盤の滑動、宅地造成に関する工事により設置された擁壁の沈下、切土又は盛土をした土地の部分に生じた崖の崩落その他これらに類する事象が生じている区域を表示することができる。

IV.大規模盛土造成地マップ

IV.1 大規模盛土造成地マップの作成

IV.1.1 大規模盛土造成地マップの
記載項目の検討



IV.1.2 資料収集



IV.1.3 基図の作成



IV.1.4 共通項目の記載



IV.1.5 地域項目の記載



IV.2 大規模盛土造成地マップの公表と活用

図IV.1 大規模盛土造成地マップ作成と公表の流れ

IV.1 大規模盛土造成地マップの作成

大規模盛土造成地マップは以下の手順により作成するものとする。

- 1) 大規模盛土造成地マップの記載項目の検討
- 2) 資料収集
- 3) 基図の作成
- 4) 共通項目の記載
- 5) 地域項目の記載

IV.1.1 大規模盛土造成地マップの記載項目の検討

大規模盛土造成地マップには、「共通項目」を必ず記載し、「地域項目」については地域の実情にあわせて記載項目を検討する。

【解 説】

「共通項目」とは、「IV. 大規模盛土造成地マップ」に示す大規模盛土造成地マップ作成の目的に沿って、必要な最小限の記載項目をいい、全ての大規模盛土造成地マップに記載する。

「地域項目」とは、宅地造成に伴う災害を防止するために、住民等の意識啓発等に役立つ情報をいい、記載項目については作成主体である地方公共団体が判断する。

IV.1.2 資料収集

記載する地域項目や地域の実情に応じ、大規模盛土造成地マップ作成に必要な関連資料を収集する。

【解 説】

大規模盛土造成地マップを作成するにあたり関連すると考えられる資料(市町村地域防災計画、土砂災害ハザードマップ、洪水ハザードマップ、津波ハザードマップなど)を、地域の実情に応じて収集する。

IV.1.3 基図の作成

大規模盛土造成地マップに用いる基図は、住民等が自宅のある地区およびその周辺の大規模盛土造成地の位置や規模等を把握できるよう、適切な縮尺をもって作成する。

【解 説】

大規模盛土造成地マップに用いる基図は、住民等が自宅のある地区およびその周辺の大規模盛土造成地の位置や規模並びに大規模盛土造成地内およびその周辺の住宅等が把握できるよう、適切な縮尺をもって作成する。なお、住民等が宅地のある地区を判別する上で、基図は縮尺 1/10,000 程度より大縮尺であることが望ましい。

IV.1.4 共通項目の記載

共通項目とは、「IV. 大規模盛土造成地マップ」に示す大規模盛土造成地マップ作成の目的に沿って、必要不可欠な最小限の記載する項目をいい、Ⅲ.2 に示している大規模盛土造成地の種類（谷埋め型大規模盛土造成地、腹付け型大規模盛土造成地）を共通項目とする。

【解 説】

共通項目とは、宅地造成に伴う災害を防止するため必要不可欠な最小限の記載項目をいい、全ての大規模盛土造成地マップに記載する。

「Ⅲ.2 盛土造成地の位置と規模の把握」で示す大規模盛土造成地の種類は、令第十九条第一項第一号イ、ロに対応しており、大規模盛土造成地マップにはその種類を記載することとする。なお、宅地造成工事規制区域内の大規模盛土造成地も同様とする。

（参考：19条第1項第1号）

法第二十条第一項の政令で定める基準は、次の各号のいずれかに該当する一団の造成宅地（これに附帯する道路その他の土地を含み、宅地造成工事規制区域内の土地を除く。以下この条において同じ。）区域であることとする。

- 一 次のいずれかに該当する一団の造成宅地の区域（盛土をした土地の区域に限る。次項第三号において同じ。）であつて、安定計算によって、地震力及びその盛土の自重による当該盛土の滑り出す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ことが確かめられたもの
 - イ 盛土をした土地の面積が三千平方メートル以上であり、かつ、盛土をしたことにより、当該盛土をした土地の地下水位が盛土をする前の地盤面の高さを超え、盛土の内部に浸入しているもの
 - ロ 盛土をする前の地盤面が水平面に対し二十度以上の角度をなし、かつ、盛土の高さが五メートル以上であるもの

なお、大規模盛土造成地マップにおける大規模盛土造成地の表記については、以下を参考とすること。

表Ⅳ.1.1 谷埋め型大規模盛土造成地と腹付け型大規模盛土造成地を区別している場合の凡例

	区域境界	区域内	イメージ
谷埋め型大規模盛土造成地	黒色	R 155 G 255 B 155	
腹付け型大規模盛土造成地	黒色	R 155 G 155 B 255	

表Ⅳ.1.2 谷埋め型大規模盛土造成地と腹付け型大規模盛土造成地を区別していない場合の凡例

	区域境界	区域内	イメージ
谷埋め型大規模盛土造成地 腹付け型大規模盛土造成地	黒色	R 255 G 155 B 155	

IV.1.5 地域項目の記載

地域項目とは、宅地造成に伴う災害を防止するために、地方公共団体が必要と判断して記載するものであり、例えば、住民等の宅地造成に伴う災害に関する意識啓発等に役立つ項目をいう。

【解 説】

地域項目とは、宅地造成に伴う災害を防止するために、住民等の意識啓発等に役立つ情報をいい、例えば首都直下地震や南海トラフ地震発生の際に想定されている震度や地震発生時の心得などを記載することができる。また、本ガイドラインに基づく大規模盛土造成地の変動予測調査がある程度進んだ段階で、第二次スクリーニング結果などを追記してもよい。

また、変動予測調査の結果、予防対策が必要となる場合もあることから、大規模盛土造成地滑動崩落防止事業についても、あわせて周知することが望ましい。

IV.2 大規模盛土造成地マップの公表と活用

地方公共団体の長は、大規模盛土造成地マップについて、速やかに公表・配布し、その周知を図るとともに、作成した大規模盛土造成地マップをもとに、第二次スクリーニング等を円滑に行うことができるよう、説明会の開催等により、住民等の理解および協力を得られるよう努めることとする。

【解 説】

宅地造成に伴う災害に対する住民等の理解を深め、防災区域の指定等を行い、住民等による大規模盛土造成地の滑動崩落防止対策を促すためには、大規模盛土造成地マップを公表するだけでなく、住民等に対して大規模盛土造成地マップの意義や記載されている情報の説明を繰り返し周知・普及することが効果的である。

地方公共団体の長は、作成した大規模盛土造成地マップが有効に活用されるよう、住民等に対し以下の手法等により速やかに公表・配布する。

- ① 大規模盛土造成地マップを印刷物として配布するなど適切な方法により、住民等に提供する。
- ② インターネットの利用等の適切な方法により、住民等が大規模盛土造成地マップの提供を受けることができる状態におく。
- ③ 学校等において大規模盛土造成地マップを利用した防災教育を実施する。

なお、大規模盛土造成地マップを公表する際の名称については、当該大規模盛土造成地マップの元となっているデータなどに基づいた名称、例えば大規模盛土分布図や変動予測調査図といった名称を用いてもよい。

公表された大規模盛土造成地マップは、国土交通省ハザードマップポータルサイト「身の回りの防災に役立つ情報をまとめて閲覧」において「防災に役立つ地理情報」に掲載し、地理院地図上で他の情報等と重ね合わせ表示が可能となるよう、KML ファイルもしくはタイル地図画像等のシェーマレスデータを作成し提供するものとする。

国土交通省ハザードマップポータルサイトは下記を参照すること。

<http://disapotal.gsi.go.jp/>

電子地図用シームレスデータ作成方法は下記を参照すること。

<http://disapotal.gsi.go.jp/hmsiyosho/index.html>

(国土地理院応用地理部：電子地図用シームレスデータ作成仕様（案）Ver. 1.00, 2016.6.)

また、現地踏査や地盤調査結果により大規模盛土造成地が存在しないことが明らかとなった場合には、存在しない旨の結果を各地方公共団体のホームページ等において公表すること。

大規模盛土造成地マップの例として、和歌山市で公開されている大規模盛土造成地マップを示す。図参 4.1-①のように、共通項目のほかにも、住民等の理解を深めるのに役立つ情報などの地域項目を併記することが望ましい。



1-47

V. 第二次スクリーニング計画の作成

第二次スクリーニング計画は、優先度を適切に評価することにより、第二次スクリーニングを計画的に進めるために作成するものとする。また、各段階の調査・検討結果は地区ごとに整理し、宅地カルテ等にとりまとめる。

【解 説】

第二次スクリーニングの対象となる大規模盛土造成地は、地方公共団体ごとに多数抽出されることも考えられることから、第二次スクリーニングは箇所ごとの優先度を評価し計画的に行う必要がある。第二次スクリーニング計画の作成では、第一次スクリーニングで抽出された大規模盛土造成地について、基礎資料整理（V.1 参照）および現地踏査（V.2 参照）を実施し、それらの結果に基づいて、第二次スクリーニングの優先度を評価する（V.3 参照）。なお、V.3 は標準的な優先度の評価方法を示したものであり、地域の特性等に応じて優先度の評価方法の検討などを行ってもよい。また、相当多数の大規模盛土造成地が抽出された場合には、地域の実情等を踏まえて段階的に第二次スクリーニング計画を作成し、優先度の高い地区から第二次スクリーニングを実施するなど、効率的に調査を進めてもよい。V.1～V.3 の結果については、第一次スクリーニング結果と併せて地区ごとに整理し、宅地カルテ等にとりまとめる。宅地カルテ等は、データベースとして各地方公共団体で管理し、今後の第二次スクリーニング結果、工事を実施した地区では工事の記録、点検の記録などを整理し、随時更新していくことが望ましい。宅地カルテ等の作成方法例を参考 5.1 に示す。

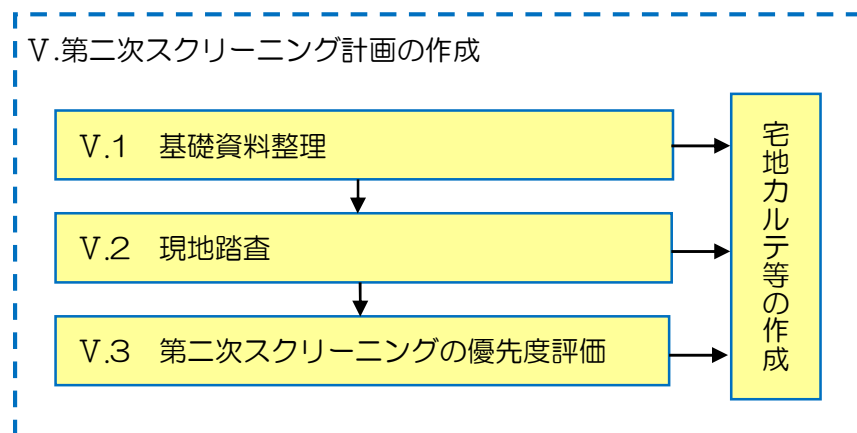


図 V.1 第二次スクリーニング計画の作成の流れ

第二次スクリーニング計画の作成において実施した、基礎資料整理や現地踏査の結果、優先度評価結果を整理しとりまとめる。

樣式3

[illegible]

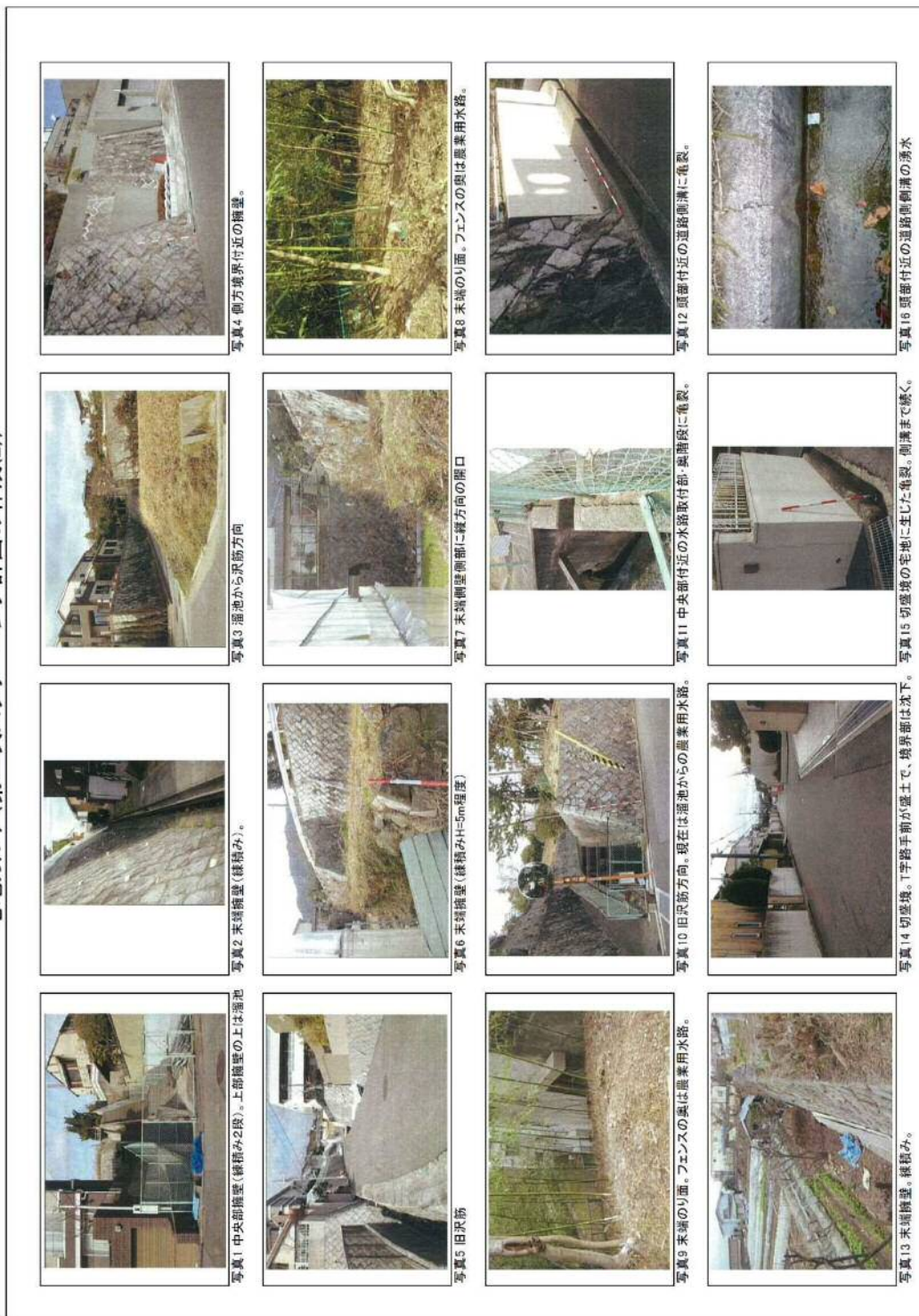
図参 5.1-③ 宅地カルテ 様式 3 (第 2 次スクリーニング計画の作成 (1))

(4) 様式4 (第二次スクリーニング計画の作成(2))

現地踏査において確認した宅地地盤、擁壁、のり面の形状や構造、それらの変状等を写真を用いてとりまとめる。撮影した写真の位置は、様式3の平面図に示す。

様式4

宅地カルテ(第二次スクリーニング計画の作成(2))



図参 5.1-④ 宅地カルテ 様式4 (第二次スクリーニング計画の作成(2))

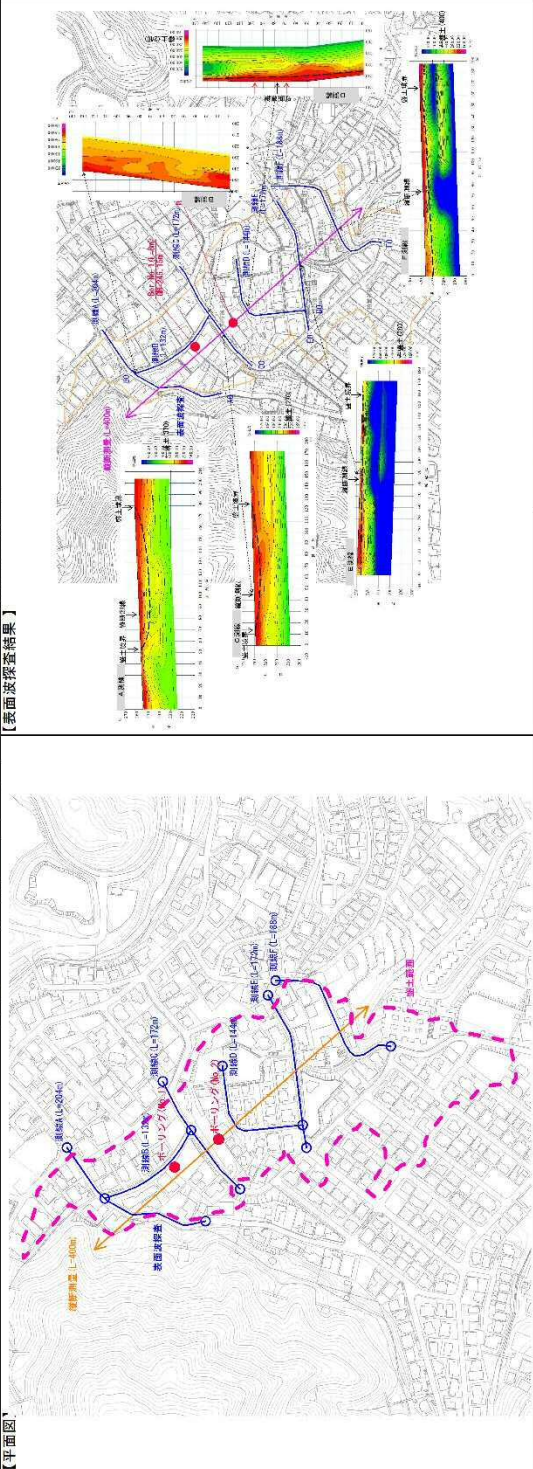
(5) 様式5 (第二次スクリーニング 総合解析結果)

地盤調査で得られた結果を踏まえて作成した断面図や、安定計算に必要な諸条件をとりまとめる。

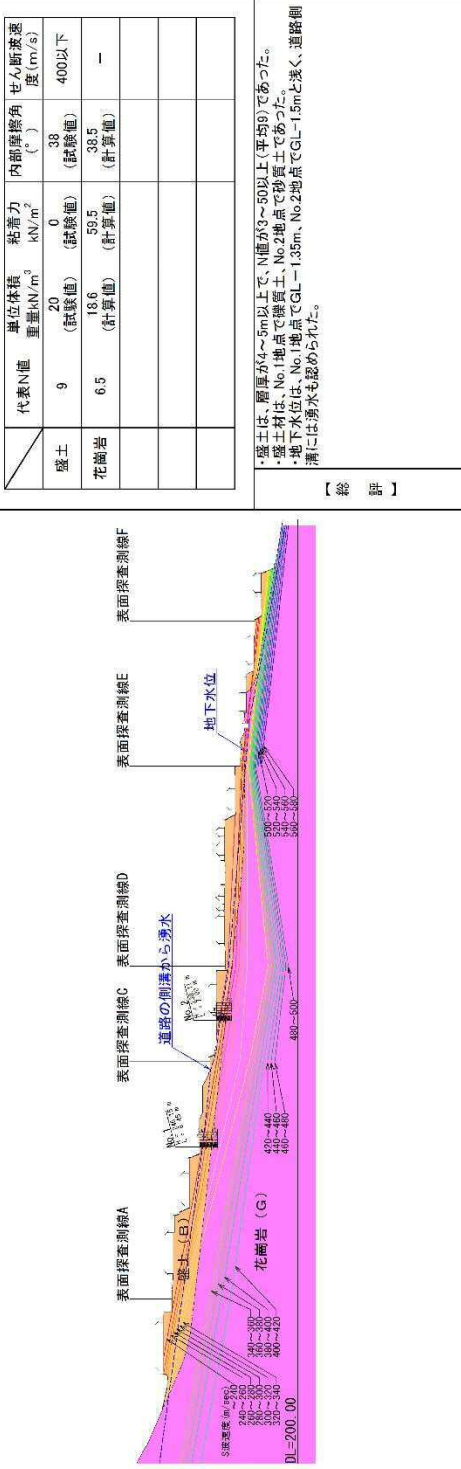
様式5

宅地カルテ (第二次スクリーニング 総合解析結果)

【表面波調査結果】



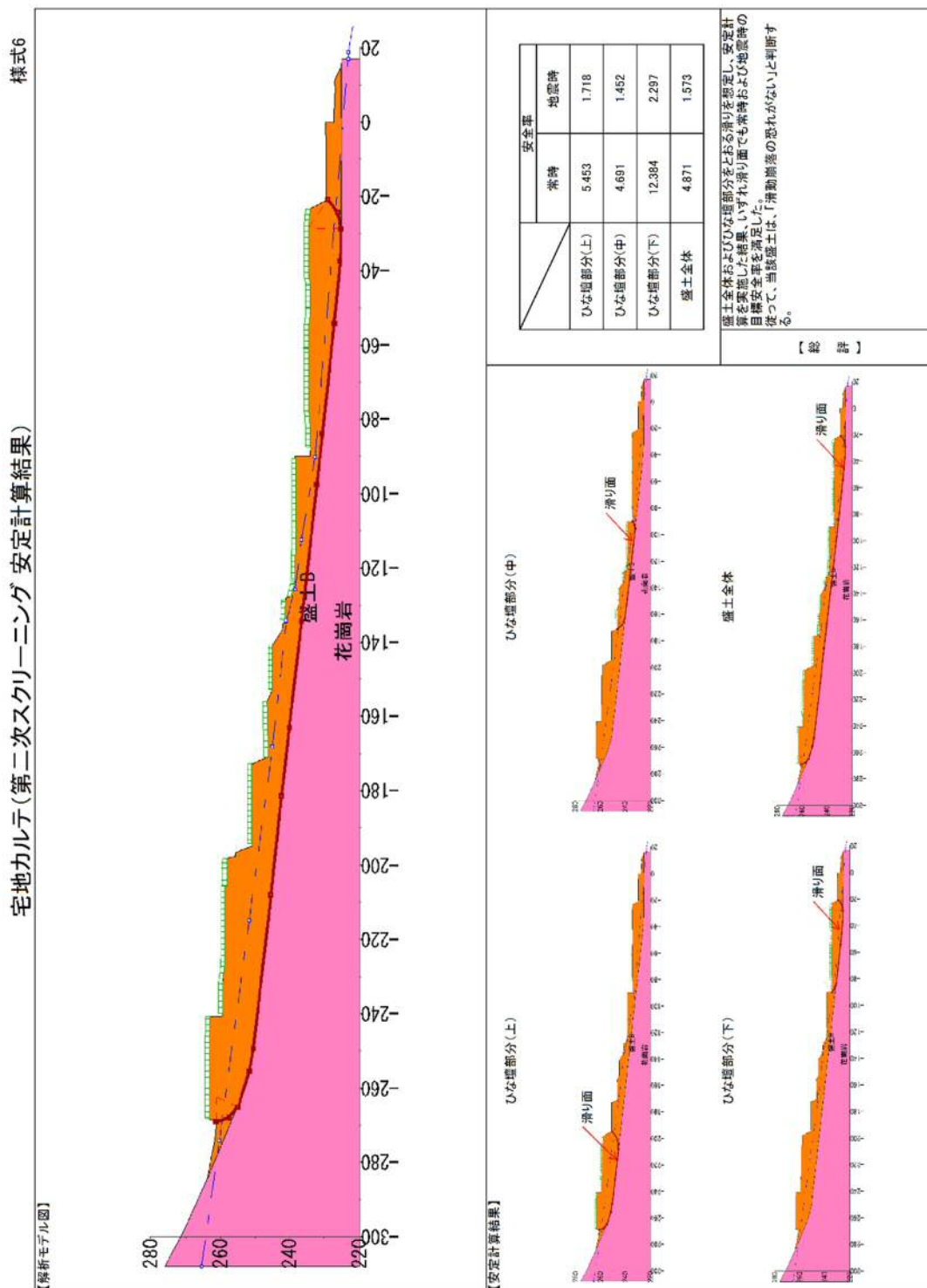
【断面図】



図参 5.1-⑤ 宅地カルテ 様式5 (第二次スクリーニング 総合解析結果)

（６）様式６（第二次スクリーニング安定計算結果）

安定計算に用いたモデルや安定計算結果をとりまとめる。



図参 5.1-⑥ 宅地カルテ 様式 6（第二次スクリーニング安定計算結果）

（７）その他

滑動崩落防止工事を実施した地区は、工事の記録、滑動崩落対策施設の点検の記録等を取りまとめる。

V.1 基礎資料整理

Ⅲ.2.1で収集した基礎資料に基づき、第一次スクリーニングで抽出した大規模盛土造成地の造成年代および変動確率、保全対象などを整理する。

【解 説】

基礎資料整理では、下記（１）～（４）に挙げた項目について整理する。整理した結果は、宅地カルテ等にとりまとめる（参考 5.1 様式 3 参照）

（１）造成年代

一般的に滑動崩落は、古い年代に低い技術レベルで盛土造成された宅地ほど発生しやすい傾向にあるため、造成年代を確認する。兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震の調査によると、宅地造成等規制法施行前に造成された箇所は、同法施行後に造成された箇所に比べ、被害数が多い傾向にあった（参考 5.2 参照）。このため、宅地の災害防止に係る各種規制の制定・改正時期（表 V.1.1 に示す法律や各地方公共団体で定めた条例など）、各地方公共団体で宅地造成に関する工事の許可や開発許可の審査を開始した時期等を参考に基準年を設定し、基準年以前に造成されたものは、基準年以後に造成されたものと比べて優先度が高いと評価する。なお、基準年については、抽出された大規模盛土造成地の造成年代等を考慮して設定することとする。

（２）変動確率

変動確率は、盛土の安定性を概略評価するものである。変動確率は、盛土形状、地山勾配および地下水の有無等を変数パラメータとし、既往災害事例の統計処理結果に基づいた計算式から得られ、その値が大きいほど優先度が高いと評価する。変数パラメータは、第一次スクリーニングや現地踏査より得られた値を用いる。変動確率は盛土形状の影響が大きく、計算方法には参考 5.3 に示す点数方式、数量化Ⅱ類方式等がある。

（３）保全対象

滑動崩落が生じた場合の保全対象の調査は、後述の「Ⅶ.1 保全対象の調査」で現地踏査結果も踏まえ詳細に実施するが、ここではⅢ.2.1 で収集した基礎資料に基づき保全対象を確認する。保全対象とは、住宅および公共施設等（道路、河川、鉄道、地域防災計画に記載されている避難地または避難路）をいう。

（４）その他

建築物の建築時や他事業（道路や下水道工事など）で実施したボーリングのデータ等が入手できた場合は、盛土の安定に影響する土質・地下水位・N値などを確認する。また、宅地造成工事規制区域などの指定の有無等や、地域防災計画等により想定されている地震動、ハザードマップ等、地盤災害に関連する情報を収集する。

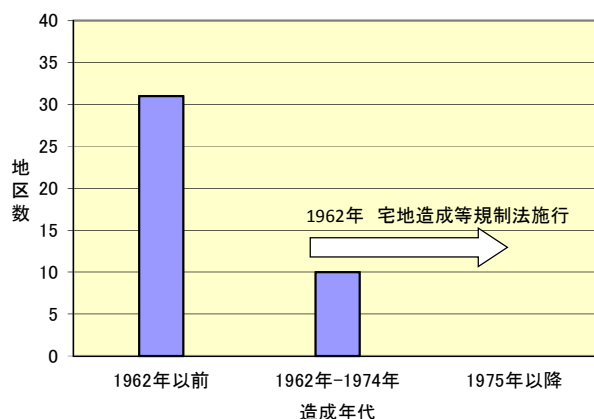
表 V.1.1 宅地の災害防止に係る各種規制の制定・改正時期

制定・改正等の年月	制定・改正等の履歴	主な内容
昭和36年11月	「宅地造成等規制法」制定	宅地造成に伴いがけ崩れや土砂の流出による災害が生ずるおそれ大きい市街地又は市街地になるうとする土地の区域を「宅地造成工事規制区域」として指定し、当該規制区域内で行われる一定規模以上の宅地造成工事に伴う災害の防止のため必要な規制を行う。
昭和39年7月	「住宅地造成事業に関する法律」制定	人口の集中に伴う住宅用地の需要の著しい都市及びその周辺の地域を「住宅地造成事業規制区域」として指定し、当該規制区域内で行われる一定規模以上の住宅地の造成に伴う災害の防止及び環境の整備のため必要な規制を行う。（昭和43年6月廃止）
昭和43年6月	「都市計画法」制定 「住宅地造成事業に関する法律」廃止	一体の都市として総合的に整備し、開発し、及び保全する必要がある区域を「都市計画区域」として指定し、一定規模以上の開発行為に対し、環境の保全、災害の防止、利便の増進を図るため必要な規制を行う。 「住宅地造成事業に関する法律」に基づく住宅地造成事業は都市計画法の開発許可制度に発展的に吸収された。
昭和49年6月	「都市計画法」改正	一定規模以上の開発行為に限り、未線引き都市計画区域においても開発許可制度を導入。
平成12年5月	「都市計画法」改正	一定規模以上の開発行為に限り、都市計画区域外においても開発許可制度を導入。
平成18年4月	「宅地造成等規制法」改正	造成宅地防災区域の導入、宅地造成に関する工事の技術基準の見直し。

参考 5.2 造成年代と被害の関係

(1) 兵庫県南部地震

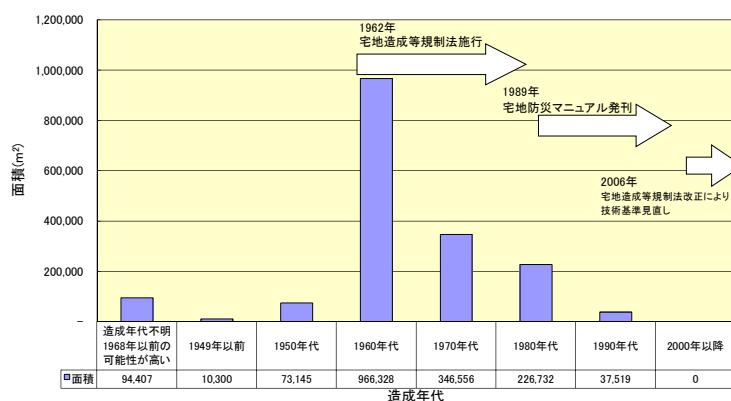
1995 年兵庫県南部地震の滑動崩落による被災宅地 41 地区の造成年代を調査した結果、7 割以上が、宅地造成等規制法等が施行された 1962 年以前に造成された盛土造成地であることが分かった。



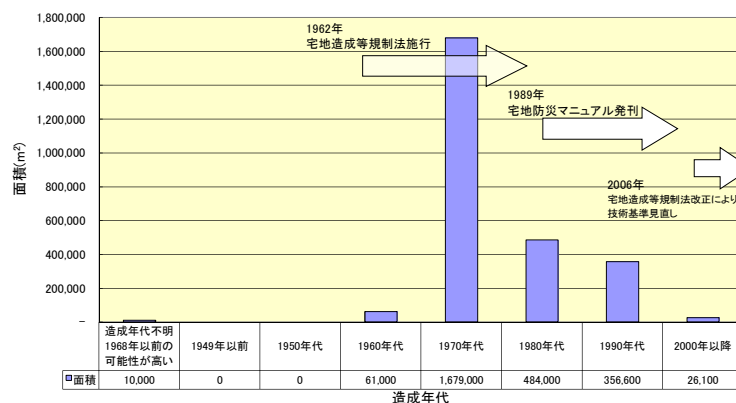
図参 5.2-① 滑動崩落による被災地区数と造成年代の関係

(2) 東北地方太平洋沖地震

2011 年東北地方太平洋沖地震の滑動崩落による被災宅地の造成年代を調査した結果、宅地造成等規制法等を改正した 2006 年以降に造成された宅地では、滑動崩落の被害が発生していないことがわかった。また、滑動崩落を受けた宅地の多くは、1970 年代以前に造成されたものであることがわかった。



図参 5.2-② 滑動崩落による被災地区面積と造成年代の関係（仙台市内）



図参 5.2-③ 滑動崩落による被災地区面積と造成年代の関係（茨城県・福島県等）

参考 5.3 変動確率の評価手法

ここでは、変動確率の評価手法として、(1)点数方式、(2)数量化Ⅱ類方式、(3)その他の方法を紹介する。

本参考に示す手法は、主に造成前後の地形の比較により行うものであり、個別の大規模盛土造成地の盛土の土質強度等を確認せずに行う予備的な検討であるため、現地踏査結果等も踏まえて、優先度を評価することが望ましい。

以下、(1)～(3)では変動確率を評価する手法およびシステムを紹介するが、その使用にあたっては下記の点に留意する必要がある。

(1) 点数方式

1) 方式 1

- ・ 各種パラメータを様々なケースで組み合わせた安定計算結果と兵庫県南部地震の被災事例に基づき考案された手法であるため、地域によっては実態に合わないことがある。
- ・ 2) 方式 2 とはパラメータの捉え方や配点が異なる。

2) 方式 2

- ・ 宮城県沖地震と兵庫県南部地震の災害事例に基づき考案された手法であるため、地域によっては実態に合わないことがある。
- ・ 本手法では薄い盛土ほど変動確率が高いと判定されるが、盛土の厚さは第一次スクリーニングで使用した資料の精度によって一定の誤差を含んでいることから、薄い盛土については現地に於て状況を確認することが望ましい。
- ・ 1) 方式 1 とはパラメータの捉え方や配点が異なる。

(2) 数量化Ⅱ類方式

- ・ 兵庫県南部地震の被災事例に基づき考案された手法であるため、地域によっては実態に合わないことがある。

(3) その他の方法

1) 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)

① 統計的側部抵抗モデル

- ・ 過去の地震(宮城県沖地震、兵庫県南部地震、中越地震、中越沖地震)の変動実績に基づく統計的予測手法であり、評価の過程で使用される地盤工学的パラメータは擬似的な最適値であるため、強度定数などの実測値を反映できない。
- ・ 海溝型地震での検証事例が少ない。
- ・ 厚い盛土、樹枝状の盛土での適用性が低い。
- ・ 水平震度 0.25 を用いるが、これは二次元解析で設定された値であるため、三次元モデルである本手法で求めた評価結果は、第二次スクリーニングの計画段階のような概略の相対評価に限り使用できる。

② 統計的三次元的安定解析モデル

- ・ 上記①同様。

- ・ 盛土形状が複雑であると、実体と合わない評価結果となる可能性があるため、比較的単純な形状の盛土（例えば腹付け盛土）への使用に限られる。

（１）点数方式

１）方式１

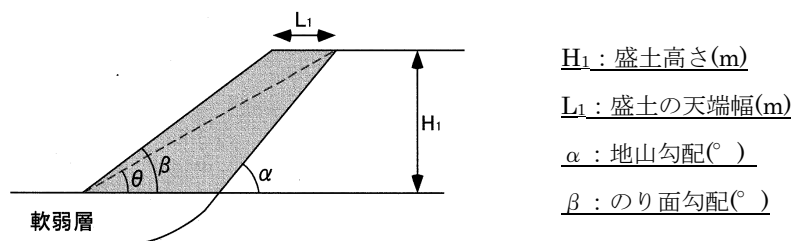
方式１は、盛土形状や強度定数など各種のパラメータを、様々なケースで組みあわせて 446 ケースの安定解析を行い、その計算結果と腹付け型滑動崩落の災害事例（1995 年兵庫県南部地震 8 箇所）をあわせて点数化し、谷埋め型および腹付け型大規模盛土造成地の滑動崩落の変動確率を評価する手法である。

本手法の詳細は「橋本隆雄，三輪賢志：宅地耐震化促進事業に伴う腹付け型大規模盛土造成地の変動予測評価手法の提案，土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集，1-166，pp. 331-332，2008.」に提示されており、以下にその概要を紹介する。

【留意事項】

① 変動性評価配点に用いる項目

変動性評価配点による変動確率の算出を行う際に必要な項目は、後述の**方式 2** による変動確率算出手法と似たような項目であるが、盛土高さを評価項目とするなどパラメータの捉え方が異なるので注意を要する。特に地山の勾配については、**図参 5. 3-①**に示すようにのり尻からの勾配(θ)ではなく、地山の先端からである。



図参 5. 3-① 変動性評価に必要なパラメータ

② 変動性評価の配点

変動性評価については、前述①により把握したパラメータ毎に、表参 5.3-①に示す配点表により合計点を算出する。

合計点は、計算条件の各項目（ケース 1～4 で共通）に該当する点数を与えた和である。例えば、高さ（ H_1 ）＝15m→8 点、のり面勾配（ β ）＝32° →10 点、地山勾配（ α ）18° →4 点、盛土の天端幅（ L_1 ）＝27m→11 点、地下水＝（有）→1 点で合計 34 点となる。

表参 5.3-① 変動性評価配点表

項 目		変動性評価			
		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
計算条件	盛土高	H1	H1	H1	H1
	のり面勾配	β	β	β	β
	地山勾配	α	α	α	α
	腹付け盛土の天端幅	L1	L1	L1	L1
	地下水	(有:1, 無:0)	(有:1, 無:0)	(有:1, 無:0)	(有:1, 無:0)
高さ (H1)	5m未満	2	2	2	2
	5m以上 10m未満	5	5	5	5
	10m以上 20m未満	8	8	8	8
	20m以上 30m未満	12	12	12	12
	30m以上	16	16	16	16
のり面勾配 (β)	25° 未満 (1:2.1～)	4	4	4	4
	25° 以上 30° 未満 (1:1.8～2.0)	7	7	7	7
	30° 以上 35° 未満 (1:1.5～1.8)	10	10	10	10
	35° 以上 (1:～1.5)	12	12	12	12
地山勾配 (α)	20° 未満	4	4	4	4
	20° 以上 30° 未満	6	6	6	6
	30° 以上 40° 未満	8	8	8	8
	40° 以上	10	10	10	10
腹付け盛土 の天端幅 (L1)	10m未満	6	6	6	6
	10m以上 20m未満	9	9	9	9
	20m以上	11	11	11	11
地下水	有	1	1	1	1
	無	0	0	0	0
盛土材	粘性土	7	7	7	
	砂質土（不明）	10	10	10	
基礎地盤の 状況	軟弱地盤（無）	2	0		
	軟弱地盤（粘性土）	10	6		
	軟弱地盤（砂質土） （不明）	16	6		
合計（変動性評価）					

③ 変動確率曲線

本手法では、地盤情報を把握できるか否かで下記の 4 ケースに分けており、それぞれのケースに応じた変動確率曲線を用いて変動確率を求めるため、地盤要因を把握することが重要である。

ケース 1：盛土材・基礎地盤の状況が十分に把握できている場合

ケース 2：盛土材は把握できて基礎地盤の状況もある程度予測できる場合

ケース 3：盛土材は把握できるが基礎地盤の状況を把握できない場合

ケース 4：盛土材および基礎地盤の状況を把握できない場合

ケース 1～4 の変動確率曲線は、次式で表される（図参 5.3-②）。

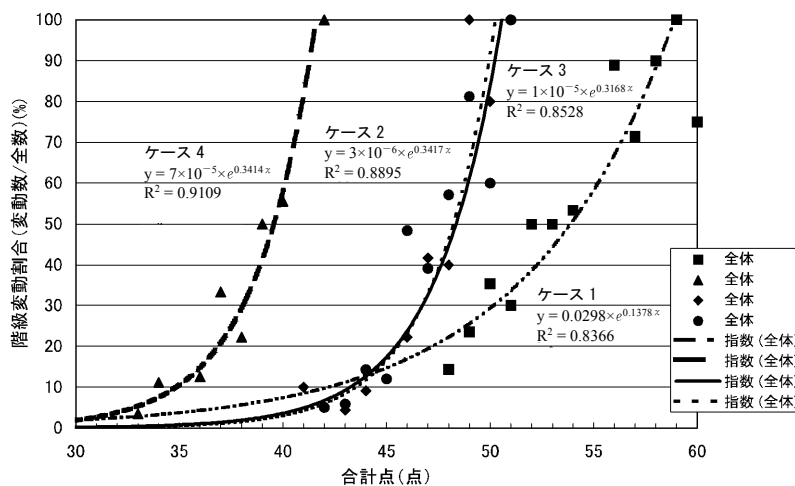
ケース 1： $y = 0.0298 \times e^{0.1378x}$

ケース 2： $y = 3 \times 10^{-6} \times e^{0.3417x}$

ケース 3： $y = 1 \times 10^{-5} \times e^{0.3168x}$

ケース 4： $y = 7 \times 10^{-5} \times e^{0.3414x}$

ケース 4 のとき、34 点の変動確率は、図参 5.3-②より 10%前後となる。盛土材や基礎地盤の情報があれば、さらにケース 1～3 の項目も加えて変動確率の評価を行う。

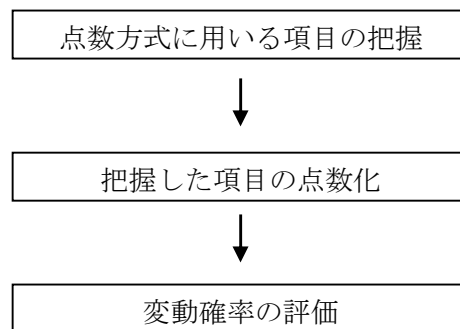


図参 5.3-② 橋本・三輪による変動確率曲線（ケース 1～4）

2) 方式2

方式2は、谷埋め型滑動崩落の災害事例（1978年宮城県沖地震、1995年兵庫県南部地震 計259箇所）から、複雑な因果関係をもつ地形的な要素（盛土の厚さなど）を統計的に単純化して点数化し、谷埋め型滑動崩落の変動確率を評価する手法である。

以下にその具体を示す。



図参 5.3-③ 点数方式の流れ

【留意事項】

本手法は、後述する釜井，守随（2002）による「（2）数量化Ⅱ類方式」を参考に、①机上調査では確認できない地下水の有無のウェイトを小さく評価する、②少ない情報量でも計算できるように用いる項目を「盛土幅、盛土厚さ、原地盤の勾配、地下水の有無」のみで評価する、③手計算しやすいよう整数のみの配点とするなどの工夫を重ねたものである。したがって、当然のことながら「（2）数量化Ⅱ類方式」よりも精度は低い、限られた情報量によって、あるいは、手計算によって滑動崩落の起きやすさ（変動確率）を推測する場合には有用である。

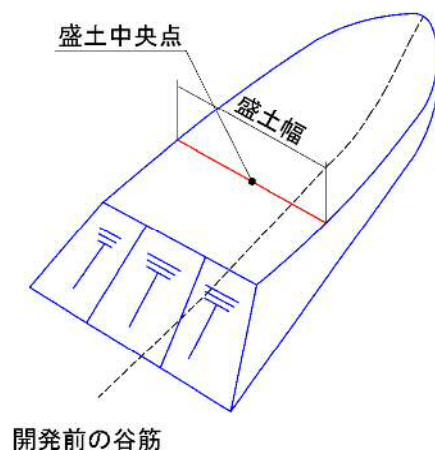
また、厚さの薄い盛土（特に厚さ3m以下）は使用する地形データによっては誤差の範囲に含まれてしまう場合が多い。しかし、本手法では厚さの薄い盛土ほど変動確率が高いと判定される。このため、本手法を用いる場合は、使用する地形データの高さデータの精度を十分に理解した上で変動確率の評価を行う必要があり、状況によっては厚さの薄い盛土（特に厚さ3m以下）の実際の状況を現地にて確認することが望ましい。

① 方式2に用いる項目の把握

方式2を行う際に必要な項目をまず把握する。「Ⅲ.2.3 盛土造成地の規模の把握」において示されていない「盛土幅」と「盛土厚さ」についての考え方等を示す。

(a) 盛土幅

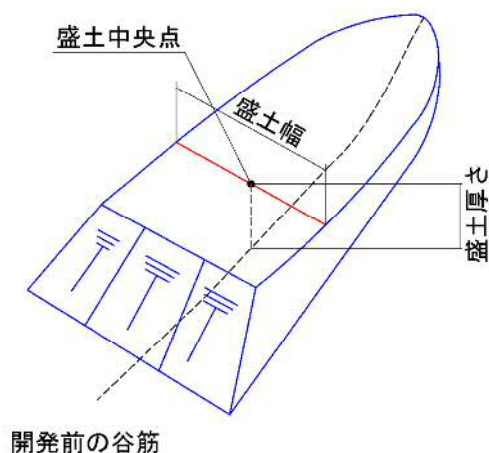
盛土造成地中央部における盛土幅は、旧地形などから予想される変動方向と直角の方向に測定することを原則とする。盛土の面積を算出する際に用いる「盛土の最大幅」と一致しない場合もあるので注意が必要である。なお、盛土中央点は、盛土造成地中央部における盛土幅の二等分点付近とする。



図参 5.3-④ 盛土幅のイメージ

(b) 盛土厚さ

盛土中央点における盛土厚さを盛土の厚さとする。単位はmとする。



図参 5.3-⑤ 盛土厚さのイメージ

(c) 地下水の有無

既存資料などで盛土内に地下水が浸入しているかどうかを確認し、地下水がないと断定できる場合を除き、「② 把握した項目の点数化」において、「あり」としておく。

② 把握した項目の点数化

大規模盛土造成地の盛土厚さ、盛土幅、原地盤の勾配および地下水の有無を点数化し、これを表参 5.3-②に従って、計上して合計点を求める。

点数は、各項目における変動割合をもとに決定した。盛土厚さは、既往の研究において変動への寄与率が幅や盛土幅/盛土厚さ比 (W/D) よりも 3 倍高いとされているので、得点を 3 倍としている(釜井俊孝, 守随治雄, 笠原亮一, 小林慶之: 地震時における大規模宅地盛土斜面の不安定化予測, 日本地すべり学会誌第 40 巻第 5 号, pp. 29-39, 2003.)。

方式 2 は、表参 5.3-②において盛土厚さが薄いほど、また、原地盤勾配が緩いほど危険側に評価され、前述した「方式 1」による変動確率とは一致しないことに注意が必要である。

表参 5.3-② 点数表

盛土厚さ (m)		盛土幅 (m)		盛土幅/盛土厚さ		原地盤の勾配 (度)		地下水	
区分	点数	区分	点数	区分	点数	区分	点数	区分	点数
3 以下	21	20 以下	0	5 以下	1	5 以下	5	あり	1
3~6	12	20~50	3	5~10	2	5~10	4	なし	0
6~12	6	50~120	5	10~15	5	10~15	2		
12 より大きい	0	120 より大きい	10	15 より大きい	8	15 より大きい	0		

表参 5.3-③ 点数化の例

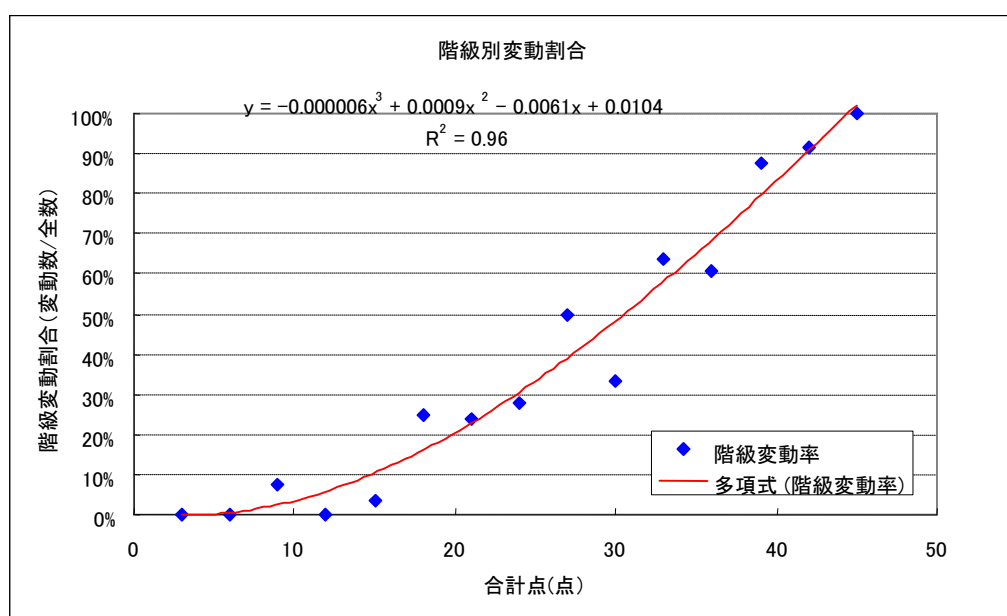
	厚さ (m)	幅 (m)	幅/厚さ	傾斜角 (度)	地下水有無	合計点
測定値	3	60	20	1.9	有	-
点数 (点)	21	5	8	5	1	40

③ 変動確率評価

図参 5. 3-⑥は過去の災害事例である 259 箇所の大規模盛土造成地について、表参 5. 3-②で求められた合計点分布を表したものである。

◆は過去の 259 箇所の災害事例を点数化し、その合計点を 0 点から 45 点の間で 3 点毎に階級区分して、その区分された階級での変動割合（＝ある階級で変動した大規模盛土造成地箇所数／その階級内の盛土造成地箇所数）をプロットしたものである。その近似値をグラフにしたものが赤線である。

「②把握した項目の点数化」で算出した合計点（x）を下記の多項式へ当てはめ、過去の災害事例からどのくらいの割合で大規模盛土造成地が変動しているかを計算し、大規模盛土造成地の変動確率評価を行う。



図参 5. 3-⑥ 変動確率曲線

R^2 （決定係数）：

独立変数（上記グラフの多項式）が従属変数（上記グラフの◆）をどれくらい説明できるかを表す。この値が低い場合、得られた回帰式の予測能力が低いことを意味する。（ $0 \leq R \leq 1$ であり、 $R=1$ に近いほど回帰式の予測能力が高い。）

$$\text{変動確率 } y = -0.000006x^3 + 0.0009x^2 - 0.0061x + 0.0104 \quad (\text{式 1})$$

(x は合計点を示す。)

例) 合計得点が 40 点の場合

$$-0.000006 \times (40)^3 + 0.0009 \times (40)^2 - 0.0061 \times (40) + 0.0104 = 0.822$$

以上より変動確率が 82.2% となる。

（２）数量化Ⅱ類方式（谷埋め型滑動崩落の場合）

谷埋め型滑動崩落の数量化Ⅱ類方式は、谷埋め型滑動崩落の災害事例（1995年兵庫県南部地震239箇所）から、説明変数の様々な組み合わせとカテゴリー区分について試行錯誤的に解析を多数回実行し、共相関現象が発生しない（少ない）条件で、最大の判別力が得られる説明変数とカテゴリー区分の組み合わせを求め、これらの組み合わせにより、谷埋め型滑動崩落の変動確率を評価する手法である。

本手法の詳細は「釜井俊孝，守随治雄：斜面防災都市，理工図書，pp.150-157，2002．」に提示されており、以下にその概要を紹介する。

【留意事項】

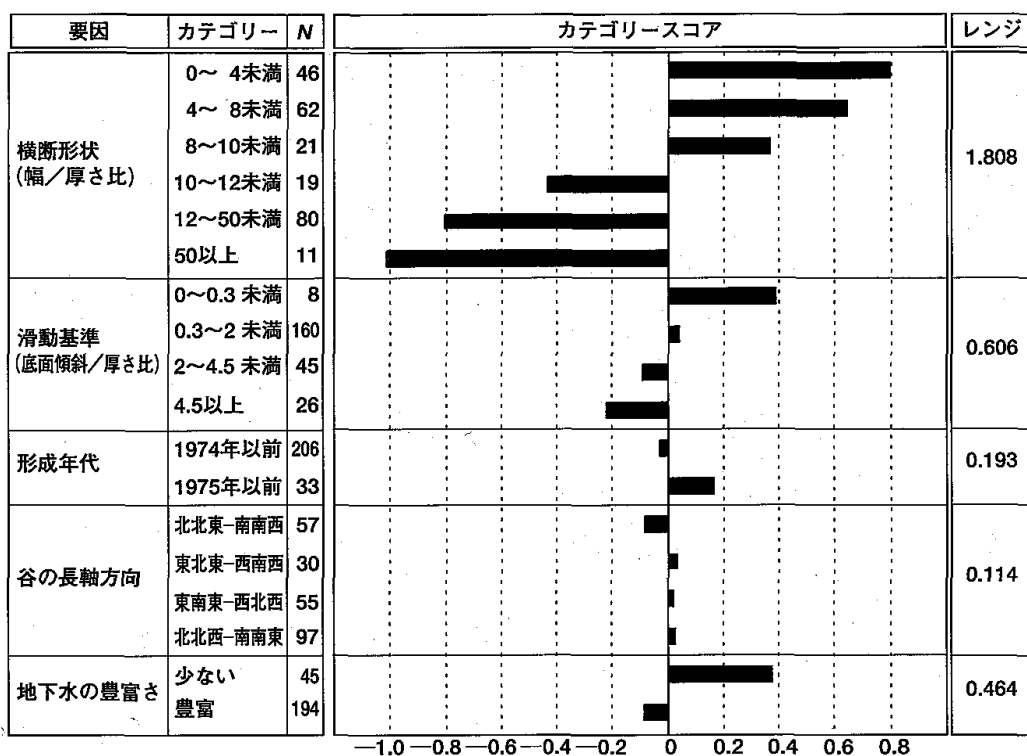
本手法は、谷埋め型の滑動崩落の変動予測であるので、腹付け型の滑動崩落についての検討もあわせて必要である。

① 数量化Ⅱ類方式に用いる項目

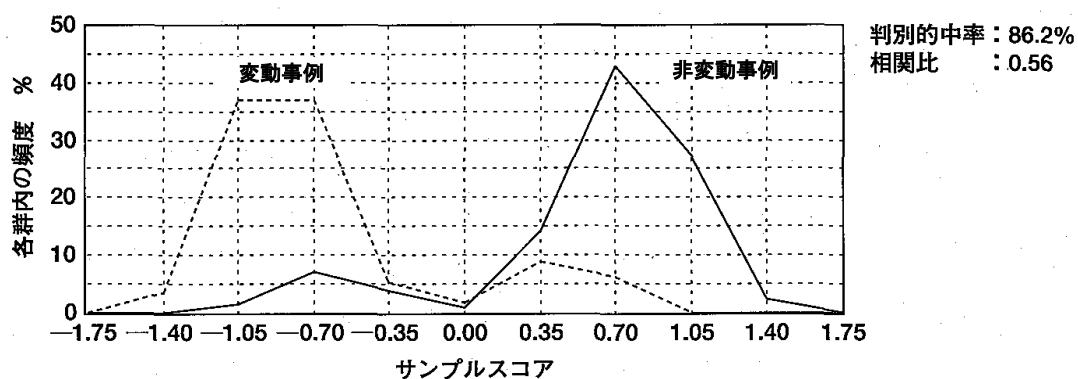
数量化Ⅱ類方式による変動確率の算出を行う際に必要な項目は、「盛土の横断形状（幅／厚さ比）」「滑動基準（底面傾斜／厚さ比）」「地下水の豊富さ」「形成年代」「盛土の長軸方向」の5種類の変動要因項目である。

対象となる谷埋め型盛土造成地毎にこれら5項目について調査し、**図参 5.3-⑦**に示すカテゴリースコアとサンプルスコアを算出する（サンプルスコアは、カテゴリースコアの総和）。

実際にこれらサンプルスコアとカテゴリースコアの検討に使用しているデータは、被災事例の豊富な阪神間地域の谷埋め型盛土造成地239箇所であり、このうち、実際に変動した盛土造成地は111例である。すなわち、解析は、239個のデータをもとに、変動要因として形成年代、盛土の形状、地下水位を採用し、これらに関する説明変数を組みあわせて、128個と111個をいかに分離できるかについて行っている。上記の説明変動の組み合わせにおける最もよい判別率的中率は約86%、相関比は約0.56であった（**図参 5.3-⑦**）。兵庫県南部地震の被災事例では、8割以上の割合で予測と実際が一致したことになり、変動の有無に関する判別が良好に行われたことがわかる。滑動崩落との関係性については、盛土の横断形状（幅／厚さ比）、底面角度（平均谷埋め傾斜）／厚さ比、地下水の豊富さが、支配的な要因であることがわかる。



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

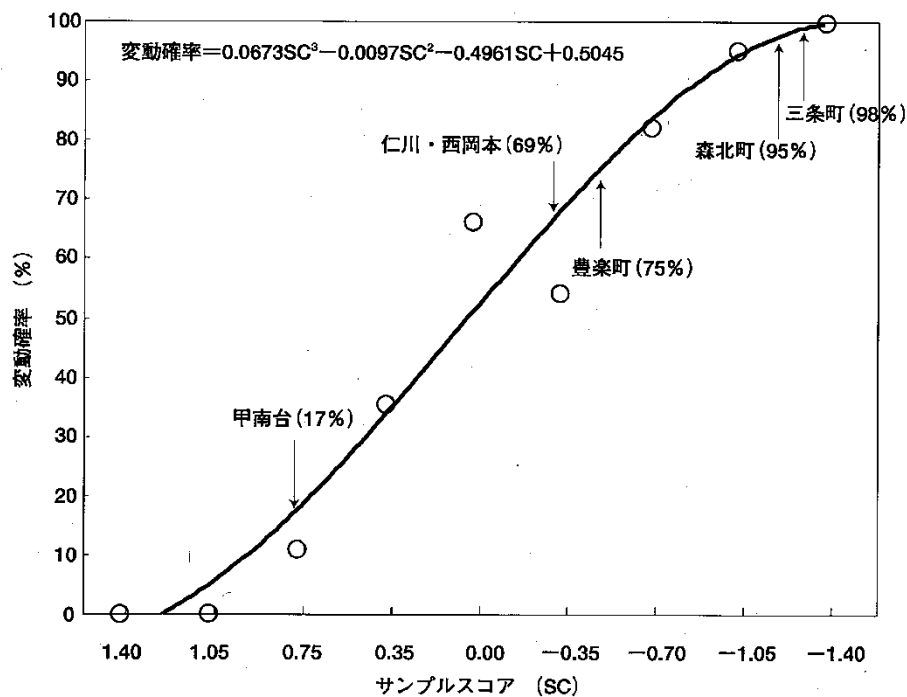


図参 5.3-⑦ 数量化Ⅱ類方式における谷埋め型盛土造成地の変動要因の
カテゴリースコアとサンプルスコア

② 変動確率と予測式

前述①より算出したサンプルスコアから、図参 5.3-⑧に示す算出式により変動確率を求める。この変動確率算出式は、経験的予測結果からサンプルスコアを階級区分し、各階級に落ちる谷埋め型盛土造成地のうち、実際に変動した盛土造成地の割合を変動確率としている。そのため、数量化Ⅱ類方式により求められる変動確率は、変動の質までは予測することができないため、定性的な評価として用いることが望ましく、人命災として代表的な仁川の事例のように、高速流動性崩落が発生するかどうかについては、現地踏査結果を踏まえた検討が必要となる。

西宮市仁川、西宮市豊楽町、芦屋市三条町、神戸市森北町、神戸市甲南台、神戸市西岡本等の著名な事例をこの曲線上に並べると、解析モデルの持つ性質がよりはっきりする(図参 5.3-⑧)。これらの事例では、実際に変動したすべての被災事例が70%以上の変動確率となり、予測と現象が一致した。神戸市甲南台の事例は、実施に変動しなかった谷埋め型盛土造成地であるが、変動確率は17%と低く、これも予測と実際の現象と一致した。



図参 5.3-⑧ 各地点のサンプルスコア (SC) と変動確率の関係

(3) その他の方法

1) 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)

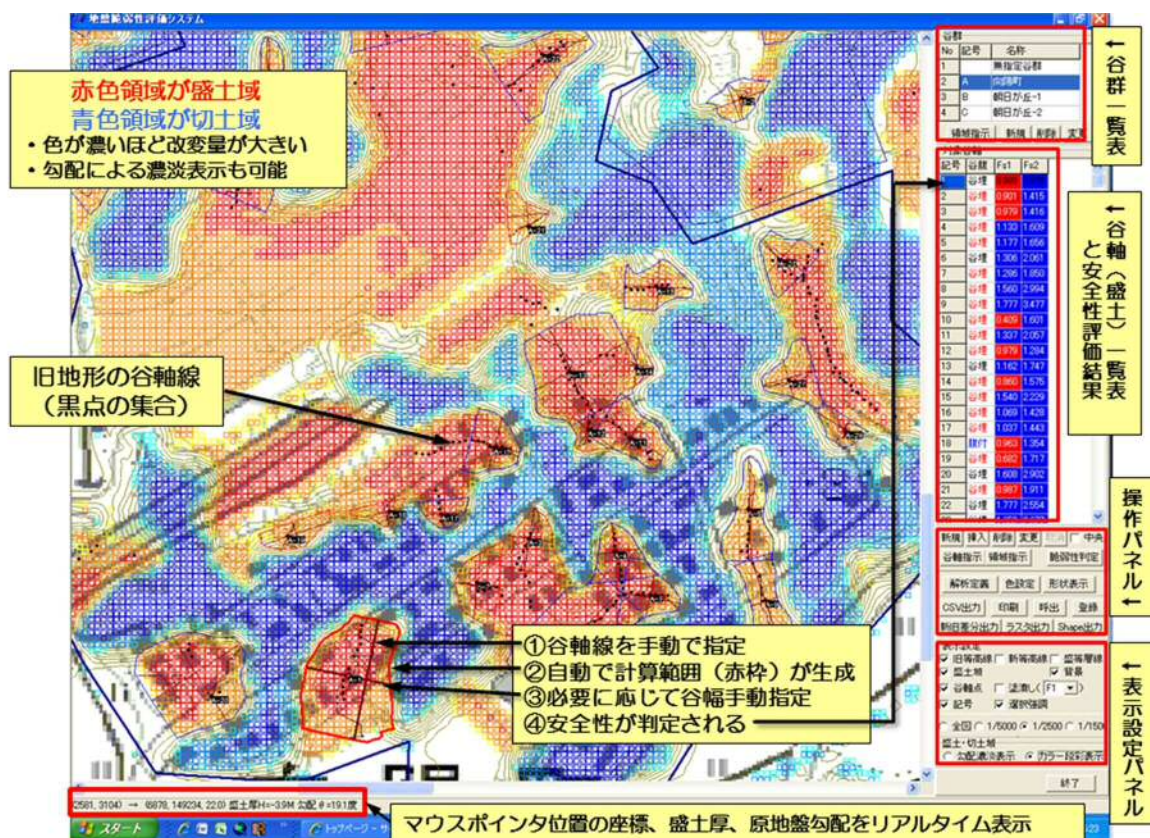
「盛土形状計測・相対的滑動崩落発生可能性評価支援システム」は国土地理院によって開発され(中埜ほか(2010)、中埜ほか(2012))、前述「(1)点数方式2)方式2」による「点数方式」と、「側方抵抗モデル」および「土研式 Hovland 法」の考え方に基づいて新たに考案された「統計的側部抵抗モデル」および「統計的三次元安定解析モデル」により、盛土の安全性を評価するシステムである。

本システムは、新旧地形データを読み込むと自動で盛土・切土分布を表示し、ユーザーは旧地形を参考に盛土の谷軸を指定するだけで、盛土範囲および評価に必要なパラメータ(盛土厚、盛土幅、盛土の長さ、地山傾斜角、地下水位(地山傾斜角から推定))が自動抽出され、あわせて盛土の脆弱性(安全性)が算出されるため、大規模盛土造成地の抽出と評価を効率的に行うことができる。(図参 5.3-⑨)

なお、本システムは、国土地理院ホームページで公開されており、利用申請により無料で入手することができ、盛土の形状パラメータを抽出するだけでも有用なシステムである。

(URL : <http://www.gsi.go.jp/chirijoho/chirijoho40029.html>)

「点数方式」の内容は前述「(1) 点数方式2)方式2」と同様であり、新たに考案された「統計的側部抵抗モデル」および「統計的三次元安定解析モデル」の概要は以下に示すとおりである。



図参 5.3-⑨ 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の操作画面

① 統計的側部抵抗モデル

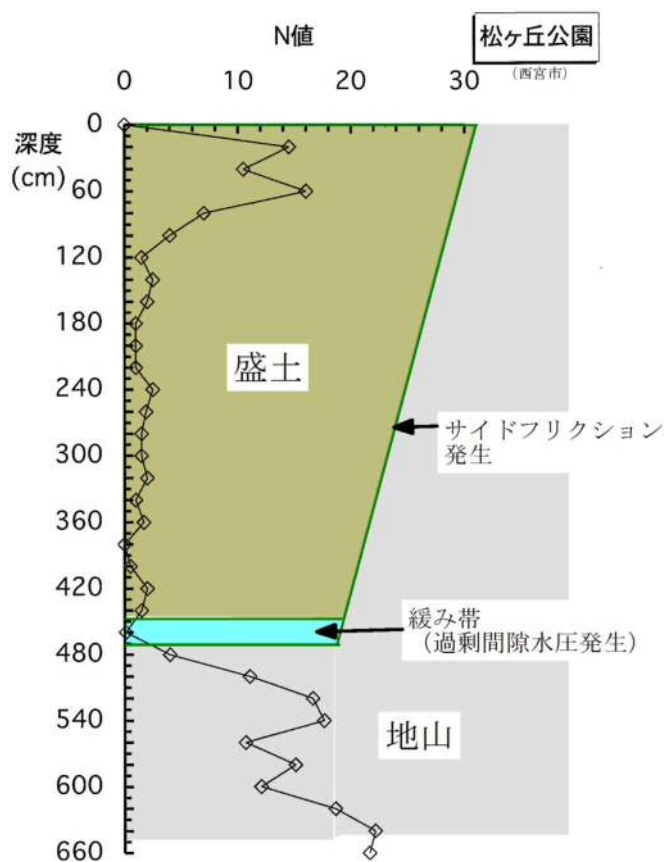
i) 側部抵抗モデルの考え方

この手法は、釜井、守随（2002）の数量化解析モデルを力学的なバランスを考慮してモデル化し、汎用性を高めたものである。底面が著しく低強度で、側面が高強度な滑動モデル（ローラースライダーモデル）を、簡易な地形情報のみで利用可能としたものである。

図参 5.3-⑩に、側部抵抗モデルの原理の模式図を示す。地下水流動のある盛土は、底面付近が地下水流の影響を受け非常に緩んだ状態になっている。この現象は、簡易貫入試験などで盛土調査をする際、図に示すように地山との境界直前に非常に緩い層が存在することで確認されている。盛土直後にはこのような緩みは存在しないので、時間の経過とともに地下水の影響を受けて発生する現象と考えられる。

地震の強震動等の外力を受けると、その緩み構造が破壊され、盛土・家屋等の上載荷重が緩み帯に作用する。ここには飽和地下水が存在するが、急激な水圧増加に対して排水が間に合わず、過剰間隙水圧を発生させることになる。このような原理により、盛土底面の抵抗力が著しく失われると考えられたモデルである。

地中浸食を受けて緩み帯を形成し、そこに飽和地下水が存在すれば、盛土材自体が液状化を発生させない材料（例えば粘性土）であっても滑動崩落（ローラースライダーモデル）の条件を満たすことになる。



側部抵抗モデルの原理
盛土と地山との境界部に地下水流動層が形成され、土粒子の洗掘が起き、非常に緩んだゾーンが形成される。簡易貫入試験等を行うと、目立つような脆弱帯である。地震動が作用すると、この緩み帯に盛土荷重が作用し、過剰間隙水圧が発生する。盛土材自体の液状化とは異なることに注意が必要。

図参 5.3-⑩ 側部抵抗モデルの原理の模式図

ii) 統計的側部抵抗モデルによる安全性評価

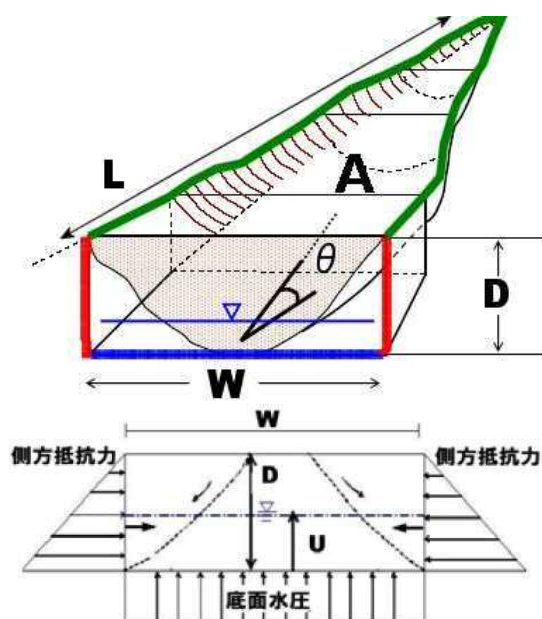
本モデルでは、谷側部の抵抗力が安定性に大きく関与していると解釈し、同時に底面には過剰間隙水圧が作用して著しい強度低下が起きていると考えて作成されたモデルである。その際、実際に発生した現象で検証する必要があることから、兵庫県南部地震時に得られた盛土形状および滑動崩落に関するデータセット（以降、「阪神間データセット」という）にある項目のみで評価できるように単純化を図っている（太田、榎田（2006））。従来、この手法は「簡易力学モデル（太田-榎田モデル）」と呼ばれていたが、実例から統計的に逆解析する手法であるため、「側部抵抗モデルの原理を用いた盛土の地形情報による統計的回帰モデル」という呼称が適切であり、ここでは略して今後「統計的側部抵抗モデル」と呼ぶ。

このモデルでは、谷埋め盛土の形を図参 5.3-⑪のように単純化するのが特徴である。本来、地盤調査を行い、三次元的な安定計算を行うことが土質力学的には理想的であるが、(1)一次スクリーニング等の盛土情報抽出作業から詳細な盛土形状を読み取ることは困難であり、得られるデータの精度と同等の情報で評価できること、(2)検証に用いる主なデータで抽出されている項目のみで評価ができること、の2点を重視してモデルは作成されている。

計算の考え方は次のとおりである。矩形の土塊の底面には静水圧と過剰間隙水圧が作用し、側部には別の摩擦抵抗が生じるとして安定計算を行う。側部摩擦は、実際には谷側壁への鉛直応力に対応した摩擦力が作用するが、矩形モデルで単純化しているため土圧的な力を便宜的に仮定し、上載荷重が大きくなると抵抗力も大きくなるように工夫されている。

抵抗力と滑動力の比は、力学モデルの場合には「安全率」となるが、本モデルの場合には「安全性評価指数」と新たに定義する。ただし、「安全率」のように「1.0」を基準に変動・非変動を評価するのではなく、基本的に指数の大小で相対的な安全性を判断する。

基本となる計算式を次ページに示す。



図参 5.3-⑪ 統計的側部抵抗モデルにおける盛土の形状模式図

底面は、常時には粘着力および内部摩擦角によるせん断抵抗 (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が低下し、いわゆるローラーズライドのような状況に陥ると考える。

L：盛土長さ、W：盛土幅、D：盛土厚さ、A：盛土面積、 θ ：地山傾斜角、U：過剰間隙水圧高

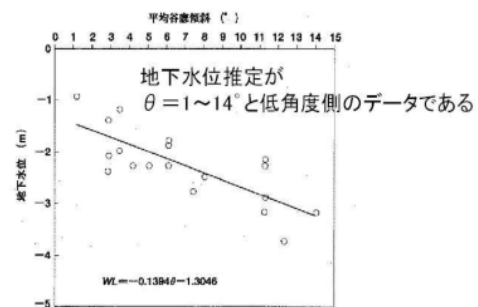
安全性評価指数の算定

$$\begin{aligned}
 I_s &= R/T && \cdots \text{安全性評価指数} \\
 T &= W_t \cdot \sin \theta + W_t \cdot k_h \cdot \cos \theta && \cdots \text{滑動力 (kN)} \\
 R &= R_s + R_b - W_t \cdot k_h \cdot \sin \theta \cdot \tan \phi'_2 && \cdots \text{抵抗力 (kN)} \\
 R_s &= c'_1 \cdot A_s + P \cdot \tan \phi'_1 && \cdots \text{側方抵抗力 (kN)} \\
 R_b &= c'_2 \cdot A_b + (W_t - U_b - U_s) \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi'_2 && \cdots \text{底面抵抗力 (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= W_t \cdot \sin \theta + W_t \cdot k_h \cdot \cos \theta && \cdots \text{滑動力 (kN)} \\
 W_t &= \gamma_t \cdot V_t && \text{重量 (kN)} \\
 \gamma_t &: \text{土塊の単位体積重量 (kN/m}^3\text{)} = 18 \text{ kN/m}^3 \\
 V_t &: \text{移動体の体積 (kN)} \\
 \{ V_t &= A \cdot D \cdot (2/3) \text{ または } V_t = W \cdot L \cdot D \cdot (2/3) \} \\
 A &: \text{調査結果による平面図上の盛土の面積 (m}^2\text{)} \\
 D &: \text{盛土の厚さ (m)} \\
 L &: \text{盛土全体の水平長さ (または単位長さ) (m)} \\
 W &: \text{盛土の幅 (m)} \\
 k_h &: \text{水平震度 (最大0.25とする)} = 0.25 \\
 \theta &: \text{地山傾斜角 (底面傾斜角)} \\
 R &= R_s + R_b - W_t \cdot k_h \cdot \sin \theta \cdot \tan \phi'_2 && \cdots \text{抵抗力 (kN)} \\
 R_s &= c'_1 \cdot A_s + P \cdot \tan \phi'_1 && \cdots \text{側方抵抗力 (kN)} \\
 c'_1, c'_2 &: \text{側面および底面の粘着力 (kN/m}^2\text{)} \\
 \phi'_1, \phi'_2 &: \text{側面および底面の内部摩擦角 (度)} \\
 A_s &= 2 \cdot D \cdot L && \text{側面積 (m}^2\text{)} \\
 P &= 2 \cdot 1/2 \cdot K \cdot \gamma_t \cdot D^2 \cdot L && \text{側方土圧 (kN)} \\
 K &: \text{側方土圧係数} = 0.5 \\
 R_b &= c'_2 \cdot A_b + (W_t - U_b - U_s) \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi'_2 && \cdots \text{底面抵抗力 (kN)} \\
 A_b &= A_t / \cos \theta && \text{底面積 (m}^2\text{)} \\
 A_t &= V_t / D && \text{換算平面積 (m}^2\text{)} \\
 U_b &= \gamma_w \cdot u \cdot A_t && \text{底面水圧 (kN)} \\
 \gamma_w &: \text{水の単位体積重量 (kN/m}^3\text{)} = 9.8 \text{ kN/m}^3 \\
 u &: \text{水位高さ (m)} = D - WL \\
 WL &= 0.1394\theta + 1.3046 \text{ (斜面防災都市p141)} \\
 &\text{※地下水無しの評価の場合 } u=0.1\text{mとする} \\
 U_s &= \gamma_w \cdot A_t \cdot u_s && \text{過剰間隙水圧 (kN)} \\
 u_s &: \text{過剰間隙水圧の水位高さ (m)} \\
 &\text{※ } W_t - U_b - U_s < 0 \text{ のとき, } W_t - U_b - U_s = 0 \text{ とする} \\
 &\text{→ } c'_2 = 0 \text{ kN/m}^2 \text{ なので底面抵抗力 } R_b = 0 \text{ (フリクション) となる} \\
 &\text{※側面に作用する水圧は、実際の谷が矩形ではないので無視する}
 \end{aligned}$$

上記の赤文字は固定的な値として考え、その他の未知パラメータ（青字）は阪神間データセットと1978年宮城県沖地震、2004年中越地震、2007年中越沖地震における盛土変状地の盛土形状・変状データセットをもとに、それらを最もよく説明できる値を統計的に逆解析して求めている。このパラメータは、「地盤強度的パラメータ」と呼ぶべきものであり、地盤自体の強度定数とは区別して考えることが必要である。

この解析の中で、平常時地下水位は図参5.3-⑫のように、阪神における現地調査のデータから、地山傾斜角の関数として算出できるようにしているが、実際の計測値が得られている場合は、その値を入力することもできる。



図参 5.3-⑫ 地山傾斜角と地下水位の相関関係

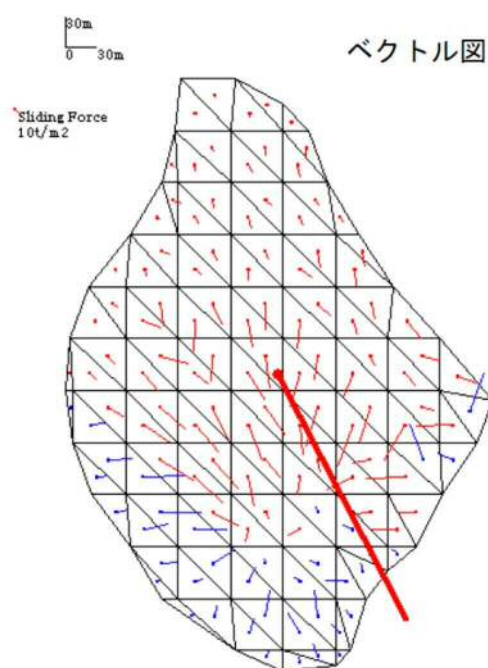
釜井，守随（2002）より引用。0.5m前後の範囲内に分布している。

② 統計的三次元安定解析モデル

統計的三次元安定解析モデルに用いる安定計算法は、建設省土木研究所が作成した中村ほか（1985）の Hovland 法（土研式 Hovland 法）を用いる。この方法は、地すべり対策事業などにおいて広く使われている。

土研式 Hovland 法は、三角柱要素を用い、底面の最大ベクトル方向に滑動力が生じるとし、ベクトルを合成して総滑動力と滑動方向を算出する手法である（図参 5.3-⑬参照）。抵抗力はスカラーで合算する。地震力は、仮に、静的な地震荷重 $k_h=0.25$ を作用させている。なお、この k_h の値は 2 次元解析により求められる値であるため、三次元解析の場合には、適宜設定することが本来必要であるが、統計的手法において検証できない未知数を増やすことはデメリットが多いこと、また、相対的な安全性評価が主目的であるため、二次元解析と同じ値を用いることとしている。

本モデルでも、先述の「統計的側部抵抗モデル」と同様、計算における未知パラメータは過去の被災事例に合うように統計的に求めており、「統計的側部抵抗モデル」における矩形の盛土をより詳細な形状にして計算するモデルと言い換えることができる。



図参 5.3-⑬ 土研式 Hovland 法による滑動方向、滑動力の表示例

③ 評価システムの使用上の留意事項

「統計的側部抵抗モデル」および「統計的三次元安定解析モデル」は、形式的には力学的な安定解析手法となっている。しかし、基本的に同じ土質パラメータを使用しており、盛土ごとに個別に存在するはずの強度の差を組み込んでいない。その理由は、組み込むべき現地の土質パラメータが得られていないこと、また得ようとしても容易にデータを揃えることが困難であることが挙げられる。また、使用目的が第一次スクリーニング後に行われる第二次スクリーニングの優先度評価の参考資料を得るためであり、土質パラメータが得られていない箇所でも用いることを想定しているためである。

本評価システムで用いる2つのモデルは、1978年宮城県沖地震、1995年兵庫県南部地震、2004年中越地震、2007年中越沖地震で盛土の変動被害を受けた宅地盛土のデータセットを用いて構築されたものであり、兵庫県南部地震時のデータセットのみで構築されている(1)点数方式や(2)数量化Ⅱ類方式に比べて適用性が高い。ただし、海溝型地震での検証事例が少ないこと、厚い盛土(厚さ15m以上)や樹枝状の盛土では使用が制限されること、「統計的三次元安定解析モデル」は単純な形状の盛土での使用に限られること等、使用に際しては注意が必要である。

いずれの方法も、実際に地震による被害が発生した地域のデータでキャリブレーションし、最適パラメータを選び出すという手法をとっており、「統計モデル」の位置づけであるため、個別の盛土の絶対的な安全性評価に用いるには、現地踏査等の結果も踏まえた十分な検討が必要であり、あくまで相対的な安全性評価の指標として用いる。なお、評価に使用するパラメータのデフォルト値は、「安全性評価指数」=1.0を基準とした際に、変動する可能性のある盛土(安全性評価指数が1.0未満)を抽出できる確率が最も高い値に設定されているが、ユーザーの状況に応じて変更することが可能である。

この他、詳細については、国土地理院のホームページより、操作マニュアル等を参照のこと。

<引用文献>

釜井俊孝, 守随治雄: 斜面防災都市一都市における斜面災害の予測と対策, 理工図書, p. 200, 2002.

釜井俊孝, 守随治雄, 笠原亮一, 小林慶之: 地震時における大規模宅地盛土斜面の不安定化予測, 日本地すべり学会誌, 40巻, 5号, pp. 29-39, 2003.

中村浩之, 中島茂, 吉松弘行: Hovland 法による地すべり三次元安定解析手法, 土木研究所資料, No. 2265, 1985.

中埜貴元, 小荒井衛, 星野実, 吉武勝宏: 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(第3年次)ー地盤の脆弱性把握のための開発ー, 国土地理院平成21年度調査研究年報, pp. 1-2, 2010.

中埜貴元, 小荒井衛, 星野実, 釜井俊孝, 太田英将: 宅地盛土における地震時滑動崩落に対する安全性評価支援システムの構築, 日本地すべり学会誌, 2012.

太田英将, 榎田充哉: 谷埋め盛土の地震時滑動崩落の安定計算手法, 第3回地盤工学会関東支部研究発表会講演集, pp. 27-35, 2006.

V.2 現地踏査

第一次スクリーニングで抽出した大規模盛土造成地を対象に、現地踏査を行う。現地踏査は、被害形態とその危険要因を理解した上で実施することが重要である。

【解説】

現地踏査では、主に下記（１）～（４）に挙げた項目について整理する。現地踏査における着目点の例を表V.2.1に示す。なお、これらの項目のほかにも、第一次スクリーニング結果と現地状況との相違（盛土の位置・規模など）や、保全対象施設の数、盛土の材料等を確認する。これらの現地踏査の結果は、宅地カルテ等にとりまとめる（参考5.1様式3および様式4参照）

現地踏査にあたっては、表V.2.2～表V.2.3に示す地震時の被害形態とその危険要因を理解し、対象とする大規模盛土造成地の危険要因をもれなく把握する必要がある。滑動崩落の被害形態は、すべり崩壊や擁壁倒壊などの崩壊する形態（以下「崩壊」という）と、ひな壇形状の盛土が複雑に変形する形態や地形要因などから崩壊には至らず変形に留まる形態（以下「変形」という）に分類される。現地踏査の結果から、地震時の被害形態を想定し、第二次スクリーニングで実施する地盤調査の地点や方法の選定、滑動崩落のメカニズムを住民等に説明する際の基礎資料として活用することが望ましい。

なお、現地踏査は、第一次スクリーニングで抽出された大規模盛土造成地について実施することを基本とするが、多数の大規模盛土造成地が抽出された場合には、造成年代や保全対象、大規模盛土造成地の分布などを考慮し、期間を分けて段階的に実施することも考えられる。

現地踏査の結果、擁壁や宅地等に顕著な変状が認められ「災害発生のおそれが切迫している」と判断される場合には、以降、後述「Ⅶ. 3 防災区域の指定等（令第十九条第一項第二号または法第十六条第二項の勧告に該当（災害発生のおそれが切迫していることが確認される場合）」に従うものとし、擁壁や宅地等に変状が認められるものの「災害発生のおそれが切迫している」とは言えない場合は、その後の変状の進行等に留意して調査を進める必要がある。

なお、現地踏査や簡易な地盤調査（参考6.4（１）③、④、⑤参照）の結果等から、危険要因が認められない（変状がない、盛土内の地下水が確認されないなど）、崩壊や変形が生じる可能性が低い（盛土末端が閉塞しているなど）、現状で効果的な対策が講じられている等の理由から、滑動崩落が生じるおそれが小さいと判断される大規模盛土造成地は、学識経験者の意見等を踏まえて以降の第二次スクリーニングの必要性を判断してもよい。ただし、第二次スクリーニングの必要性の有無は、第二次スクリーニングを先行して実施した地区の安定計算等の結果を踏まえて、必要に応じて見直しを行うこと。

（１）盛土および擁壁の形状と構造

盛土および擁壁の形状や構造が、標準的な形状および構造に該当しない場合は、潜在的に不安定な可能性があるため、優先度が高いと評価する。標準的な形状および構造とは、宅地防災マニュアルの記述、法令、東北地方太平洋沖地震の被害実態などを勘案し以下を目安とする。

＜盛土および擁壁の標準的な形状と構造の目安＞

- ・ のり面勾配 : 30 度以下であること
- ・ のり面小段間隔 : のり高 5m 程度ごとに幅 1m～2m の小段が設置されていること
- ・ のり面保護工 : のり面緑化工もしくはのり面保護工が設置されていること
- ・ ひな壇部分の傾斜 : 緩勾配であること
- ・ 擁壁構造 : 鉄筋コンクリート造、無筋コンクリート造又は間知石練積み造その他の練積み造であること

のり面勾配と小段については、宅地防災マニュアルに示される勾配と小段間隔を標準とした。

宅地防災マニュアルに示される標準的なのり面勾配と小段間隔（抜粋）

- ① 盛土のり面勾配は、のり高、盛土材料の種類等に応じて適切に設定し、原則として 30 度以下とする。
- ② のり高が小さい場合には、のり面の勾配を単一とし、のり高が大きい場合には、のり高 5m 程度ごとに幅 1m～2m の小段を設けるのが一般的である。

のり面保護工については、法令で擁壁によって覆われない崖は、必ずのり面保護工を施さなければならない（令第 12 条、都市計画法施行規則第 23 条第 4 項）ことが規定されていることから、のり面緑化工もしくはのり面保護工が設置されていることを標準とした。

ひな壇部分の傾斜については、東北地方太平洋沖地震でひな壇部分の傾斜が急な盛土造成地で被害が多発したことから、緩勾配であることを標準とした（東北地方太平洋沖地震におけるひな壇部分の傾斜と被害の関係は[参考 1.2](#)（３）参照）。

擁壁構造については、法令で規定されている擁壁（令第 6 条第 1 項 2 号）が、鉄筋コンクリート造、無筋コンクリート造又は間知石練積み造その他の練積み造であることから、これらの構造を標準とした。なお、標準的な構造に該当しない擁壁の例としては、二段擁壁、増積擁壁、空石積み擁壁、張り出し床版付き擁壁などが挙げられる。

なお、同一盛土上に標準的な盛土の形状や構造に該当する宅地と該当しない宅地が混在する場合には、標準的な盛土の形状や構造に該当しないものと判断する。

（２）宅地地盤・擁壁・のり面の変状の有無

宅地地盤・擁壁・のり面に変状や災害の痕跡が確認された場合は、締固め不足等から盛土が脆弱化している可能性や擁壁が不安定な可能性があるため、優先度が高いと評価する。宅地地盤の変状としては、宅地地盤の不同沈下や隆起、亀裂等が挙げられる。擁壁の変状としては、擁壁とその基礎に亀裂、ズレ、傾斜、沈下、ハラミ、その補修跡が挙げられる。盛土のり面の変状としては、盛土表面の不陸または凹凸、亀裂等が挙げられる。また、道路等の周辺施設に変状が確認される場合も、優先度が高いと評価する。

（３）地下水の有無

盛土内に地下水が存在することもしくはその可能性を示唆する事象が確認された場合は、地下水位が高く盛土が流動化しやすい可能性があるため、優先度が高いと評価する。盛土内に地下水が存在することを示唆する事象とは、盛土のり面からの湧水や擁壁水抜きからの出水等であり、盛土内に地下水が存在する可能性がある事象とは、その痕跡（湧水跡、水を好む植生がある等）である。また、地下水が存在する事象が確認される場合がより優先度が高いと評価する。

（４）盛土下の不安定な土層の有無

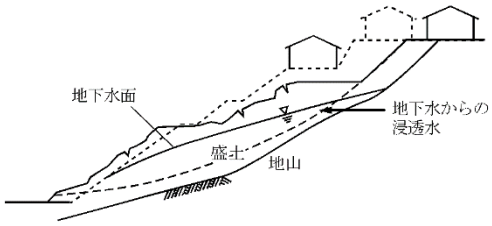
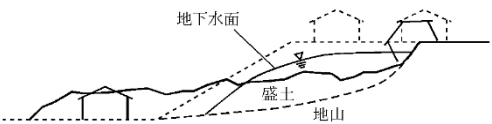
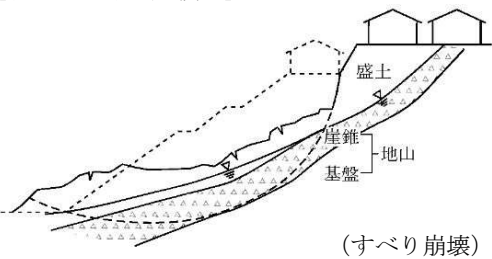
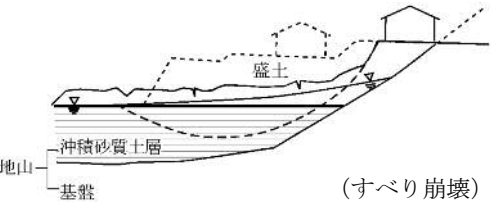
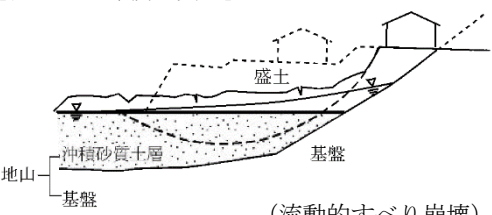
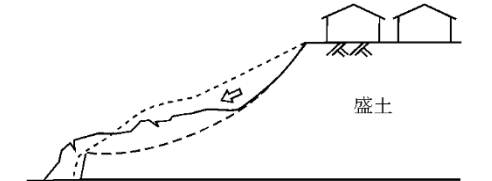
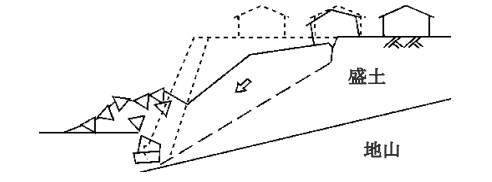
盛土の周辺に崖錐・崩積土、沖積粘性土および沖積砂質土が確認された場合は、盛土の下に不安定な土層が堆積している可能性があるため、優先度が高いと評価する。また、旧地形図、表層地質図および既存のボーリングデータなどから盛土下の不安定な土層の有無を想定してもよい。

表 V. 2. 1 現地踏査における着目点の例

優先度の評価指標	現地踏査における着目点の例
① 盛土および擁壁の 形状と構造	<標準的な形状と構造に該当しない> ・ 盛土のり面勾配が急 ・ 適切な間隔で小段が設置されていない ・ 適切なのり面保護工が設置されていない ・ ひな壇部分の傾斜※が急 ・ 適切な擁壁構造ではない
② 宅地地盤・擁壁・のり面の 変状の有無	<有> 宅地地盤 ・ 亀裂、沈下、隆起 擁壁 ・ 擁壁とその基礎の亀裂、ズレ、傾斜、沈下、ハラミ ・ 擁壁背面の水溜り、擁壁水抜き穴からの背面土流出 ・ 補修履歴 盛土のり面 ・ ガリ浸食跡 ・ 表面の不陸または凹凸 ・ 亀裂 ・ 排水工の変状や不備などによるのり尻の侵食 その他 ・ 災害の痕跡 ・ 根曲がり ・ 道路の亀裂、陥没・隆起、側溝・グレーチングのズレ
③ 地下水の有無	<有> ・ 盛土のり面からの湧水 ・ 擁壁水抜き穴からの恒常的な出水 ・ ひな壇部分の擁壁前面部からの出水 ・ 排水工や擁壁が恒常的に湿っている ・ 盛土のり尻の排水工の水没 ・ 排水工の目地や亀裂などからの表面排水の地下浸透 ・ 盛土のり尻に調整池やため池があり、その満水時水位の跡がのり尻より高い ・ 既存井戸があり、その満水時の水位の跡がのり尻より高い <可能性有> 上記の痕跡 ・ 盛土のり面からの湧水の痕跡 ・ 擁壁水抜き穴からの出水の痕跡 ・ ひな壇部分の擁壁前面部からの出水の痕跡 ・ 排水工や擁壁が黒ずんでいる ・ 盛土のり尻の排水工の水没の痕跡 その他 ・ 盛土のり尻に調整池やため池がある ・ 盛土が沢部などの集水地形に位置する ・ 盛土上のグレージ内がジメジメしている ・ 水を好む植生がある
④ 盛土下の 不安定な土層の有無	<有> ・ 盛土周辺に崖錐、崩積土が堆積 ・ 盛土周辺に沖積粘性土が堆積 ・ 盛土周辺に沖積砂質土が堆積

※ひな壇部分の傾斜角＝ $\tan^{-1}$ （ひな壇部分の高さ/ひな壇部分の幅）（図参 1. 2-⑤参照）

表 V. 2. 2 滑動崩落の被害形態とその危険要因（崩壊）

滑動崩落（崩壊） の被害形態		被害要因	模式図	盛土の 種類
崩 壊	すべり崩壊	盛土内の間隙水圧の上昇による流動的すべり崩壊		腹付け型
		地下水位が高く、盛土が流動化しやすい		谷埋め型
	不安定な地山を通るすべり崩壊もしくは流動的すべり崩壊	盛土の下に不安定な土層が堆積	[軟弱な崖錐・崩積土]  (すべり崩壊)	谷埋め型 腹付け型
			[軟弱な沖積粘性土]  (すべり崩壊)	谷埋め型 腹付け型
			[緩い飽和沖積砂質土]  (流動的すべり崩壊)	谷埋め型 腹付け型
				谷埋め型 腹付け型
	擁壁倒壊	擁壁が不安定		谷埋め型 腹付け型

※地山：自然地盤（このうち安定したものが基盤）

表 V. 2. 3 滑動崩落の被害形態とその危険要因（変形）

滑動崩落（変形） の被害形態		危険要因	地形要因・擁 壁の状態	模式図	盛土の 種類	
変 形	す べ り に よ る 変 形	盛土と地山の境界および盛土内部の脆弱面などを不連続面とする地すべり的変形（切盛り境界の不同沈下を含む）	地下水位が高く、盛土が流動化しやすい 盛土が脆弱（盛土の締固め不足等） ひな壇部分が不安定	ひな壇形状の盛土	〔盛土全体の変形〕 ＜谷筋縦断＞ ＜谷筋横断＞	谷埋め型
					〔ひな壇部分の変形〕 	
					〔盛土全体とひな壇部分の複合型変形〕 	
	地形的要因により崩壊には至らない変形（切盛り境界の不同沈下を含む）	地下水位が高く、盛土が流動化しやすい 盛土の下に不安定な土層が堆積 盛土のり面の表面付近が不安定 盛土が脆弱（盛土の締固め不足等）	地山の勾配が緩く、細長い谷を埋めた薄い盛土		谷埋め型	
			谷の末端が閉塞している盛土	 ＜平面図＞	谷埋め型 腹付け型	
擁壁変形	擁壁と背面土の変形	背面土の締固め不足（特に、擁壁高が高い擁壁の背面土）	現状では背面土を含めて安定している擁壁		谷埋め型 腹付け型	

V.3 第二次スクリーニングの優先度評価

基礎資料整理や現地踏査の結果に基づき、第二次スクリーニングの相対的な優先度を評価する。

【解 説】

基礎資料整理や現地踏査で得られた結果のうち、以下の指標を組み合わせて、図V.3.1に示すフローに従い第二次スクリーニングの相対的な優先度を評価する。

＜現地踏査で調査した項目のうち優先度の評価に用いる指標＞

- ① 盛土および擁壁の形状と構造
- ② 宅地地盤・擁壁・のり面の変状の有無
- ③ 地下水の有無
- ④ 盛土下の不安定な土層の有無

＜基礎資料整理で整理した項目のうち優先度の評価に用いる指標＞

- ⑤ 造成年代
- ⑥ 変動確率

また、地下水の有無の判定が難しい箇所や地下水の存在の可能性がある箇所等において、簡易な地盤調査を行い、盛土内の地下水位および硬軟・締り具合等を把握し、優先度を評価してもよい。加えて、簡易な安定計算なども併用して、優先度評価の参考とすることも可能である。簡易な地盤調査の例として、オートマチックラムサウンディングやスウェーデン式サウンディング（参考6.4）（1）③、④、⑤参照）などが挙げられる。

なお、⑥変動確率については、実被害との整合性が低い場合があることが東北地方太平洋沖地震の被災事例等で確認されている（参考5.4参照）。このため、優先度評価は、①から⑤までの指標による評価を基本とし、⑥変動確率については、①から⑤の評価結果により最も優先度が低いと評価された大規模盛土造成地において補足的に行うこととしている。

最終的な優先度については、変状の程度や連続性、優先度評価指標の該当数、地域の状況に応じて見直すことが可能である。また、同じ優先度のランクに多数の地区が存在する場合などは、想定される被害規模を検討し、同じランクの中での優先度を区分してもよい。被害規模の想定は、例えば、表V.3.1に示すような、保全対象の住宅数や保全対象の公共施設等の数などから検討する方法が考えられる。

第二次スクリーニングの優先度評価結果のイメージを表V.3.2に示す。

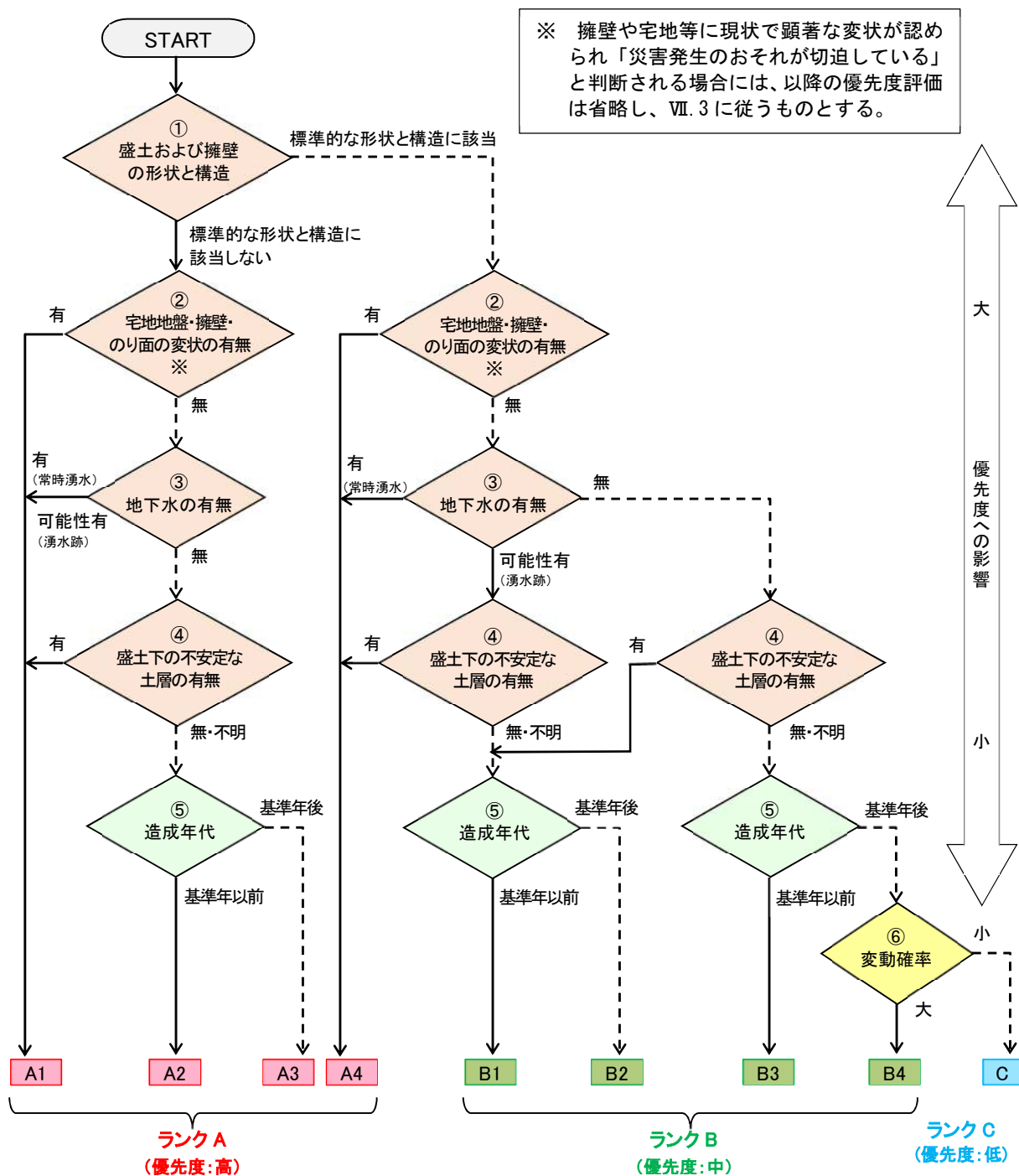


図 V. 3. 1 優先度の評価フロー

表 V. 3. 1 被害規模のランクの評価(例)

		保全対象の公共施設等の数		
		2 つ以上該当	1 つ該当	該当なし
保全対象 の住宅数	○戸以上	a	b	c
	10～○戸	b	c	d
	1～9 戸	e	e	e

被害規模の大きさ	大 ←──				
----------	---	--	--	--	--

※住宅数の区分や保全対象数の基準は、各地方公共団体で判断してよい。

表 V.3.2 第二次スクリーニングの優先度評価結果イメージ

地点番号	第一次スクリーニング										第二次スクリーニング計画																							
	盛土造成地の位置		盛土造成地の規模			大規模盛土造成地の抽出					優先度評価															その他				想定被害形態				
	所在地	面積 (㎡)	原地盤面の勾配 (度)		高さ (m)	谷埋め型 面積 3000㎡以上	腹付け型 原地盤面の勾配20度以上かつ高さ5m以上	現地での確認 必要性	結果	大規模盛土造成地の種類	①盛土/擁壁の形状・構造					②変状				③地下水	④不安定土層の有無	⑤造成年代	⑥変動確率 方式1による変動確率(%)	特記事項	優先度	保全対象		既存調査結果 (土質・地下水・N値等)						
			α	θ							のり面勾配	小段間隔	保のり工面	ひな傾斜部分	擁壁構造	宅地地盤	擁壁	のり面	周辺施設							住宅	公共施設等							
28	〇〇市 □□6丁目	2,200	不明	15	4	×	△	要	腹付け型	—	標準	標準	標準	標準	逆T	該当	頂部亀裂	沈下傾斜亀裂	表層崩壊	無	有	有	有	無	H2	後	50 (方式2)	大	擁壁の沈下等顕著な変状があるため、災害発生のおそれが切迫していると判断。	※	10戸	無	盛土材砂質土	崩壊
31	〇〇市 ■2丁目	3,000	10	—	15	○	×	不要	—	谷埋め型	標準	標準	標準	急	空石積	非該当	亀裂	亀裂	無	無	有	有	無	S42	前	20	小	ひな壇部分の多数の擁壁に変状あり、湧水も認められる。またひな壇部分の傾斜が急であることから、ひな壇部分が連続的に変形するおそれがあると判断	A1	多数	無	なし	変形	
30	〇〇市 ■1丁目	3,000	25	—	15	○	○	不要	—	谷埋め型 腹付け型 注)現地調査を踏まえて判断する	急	標準	標準	標準	石積	非該当	無	無	亀裂	無	有	無	無	S36	前	90	大	現地踏査より腹付け型と判断(盛土のり面勾配が急で、亀裂は認められたが、地下水は確認されなかった)	A1	多数	河川鉄道	なし	崩壊	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
3	〇〇市 □□6丁目	2,900	20	—	5	×	○	不要	—	腹付け型	標準	標準	標準	標準	もたれ	該当	無	亀裂傾斜	無	無	有	有	無	H5	後	25	小	擁壁に変状あり。湧水も認められることから、地下水も豊富と判断。	A4	多数	鉄道	地下水位GL-3.0m	崩壊	
34	〇〇市 ▽▽1丁目	3,100	3	—	2	○	×	要	谷埋め型	谷埋め型	標準	標準	標準	標準	逆T	該当	無	無	無	無	無	無	有	S40	前	10	小	盛土の下に不安定な土層があるため、すべり崩壊被害が発生する可能性がある。	A4	多数	無	なし	崩壊	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
1	〇〇市 △△1丁目	3,000	14	—	20	○	×	不要	—	谷埋め型	標準	標準	標準	標準	逆T	該当	無	無	無	無	無	可能性有	無	H11	後	40	大	■地形が屈曲しているため、上流側と下流側に区分。 ■谷の末端が閉塞しているため、被害形態は変形にとどまると判断。	B2	多数	無	なし	変形	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
4	〇〇市 ▲▲1丁目	4,000	2	—	4	○	×	不要	—	谷埋め型	標準	標準	標準	標準	逆T	該当	無	無	無	無	無	無	無	H3	後	20	小	現地踏査の結果、滑動崩落のおそれが小さいことを確認。 (土質・地下水調査、安定計算省略)	C	10戸	無	なし	—	
2	〇〇市 △△2丁目	1,800	15	—	3	×	×	不要	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	大規模盛土造成地に該当しない。	—	—	—	—	—	
29	〇〇市 ●●1丁目	2,500	不明	5	3	×	×	不要	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	大規模盛土造成地に該当しない。	—	—	—	—	—	
32	〇〇市 ■3丁目	3,300	5	—	3	○	×	要	切土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	大規模盛土造成地に該当しない。	—	—	—	—	—	
33	〇〇市 ■4丁目	3,200	10	—	4	○	×	要	平坦地	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	大規模盛土造成地に該当しない。	—	—	—	—	—	

※: 地点番号 28 は、擁壁に沈下等の顕著な変状が認められ、宅地頂部に亀裂も生じていることから、「災害のおそれが切迫している」と判断されるため、第二次スクリーニングは実施せず、「Ⅶ.3 防災区域の指定等(令第十九条第一項第二号または法第十六条第二項の勧告に該当(災害発生のおそれが切迫していることが確認される場合))」に従う。

参考 5.4 二次スクリーニング計画の作成における現地踏査の重要性について

【事例 1】

現地踏査を行ったことで、机上調査では判別できない擁壁の有無や変状等を確認し、滑動崩落等の災害発生に留意しなければならないと判定した事例を以下に示す。

① 机上調査結果

- ・盛土幅は 40m と小さく、盛土厚は 12m と厚く、原地盤面の勾配が 9 度と緩い、谷埋め型の大規模盛土造成地である。
- ・盛土幅が小さく、盛土厚が大きいため、点数方式（方式 2）による変動確率は 10% と小さい。

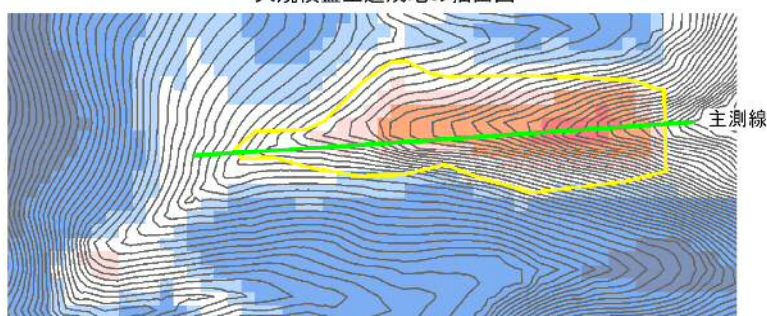
② 現地踏査結果

- ・盛土端部はのり面ではなく、コンクリート擁壁であることを確認。
- ・擁壁には縦クラックがあり、水抜き工から湧水もある。
- ・擁壁天端付近の宅盤にも変状が見られ、周辺に住宅が多いことから、災害発生に留意しなければならない盛土と判定した。

表参 5.4-① 机上調査結果（事例 1）

盛土形状（机上調査）				計算結果	
幅：W	40m	高さ：H	25.2m	点数方式（方式 2）	10%
奥行き：L	155m	原地盤面の勾配： θ	9.4°	数量化Ⅱ類変動確率	13%
面積：A	6,200m ²	厚さ：D	12.0m		

大規模盛土造成地の抽出図



図参 5.4-① 机上調査結果の例



擁壁に見られるクラック
（最大開口幅3cm）



末端部の擁壁上部に見られる
擁壁のズレ

図参5.4-② 現地踏査結果の例

【事例 2】

東北地方太平洋沖地震の仙台市の滑動崩落による被災地区 26 地区を抽出し、①点数方式（方式 1, 2）、②数量化Ⅱ類方式、③統計的側部抵抗モデルの手法に基づき変動確率の評価を行った。その結果、26 地区中 11 地区が、変動確率が低いもしくは安全性評価指数が高い評価となった。

以下に、盛土高さ・厚さ等の盛土形状のみでは把握できない被害が生じた事例を示す。

① 地盤調査結果

- 盛土幅 61.0m、盛土厚 13.9m、原地盤面の勾配 7 度の谷埋め型の大規模盛土造成地である。
- 盛土幅に対する盛土厚が大きいため、点数方式による変動確率は方式 1 で 19.4%、方式 2 では 4.4%、数量化Ⅱ類による変動確率も 28%、統計的側部抵抗モデルによる安全性評価指数も 1.11 となり、変動確率は低いと評価された。

表参 5.4-② 机上調査結果（事例 2）

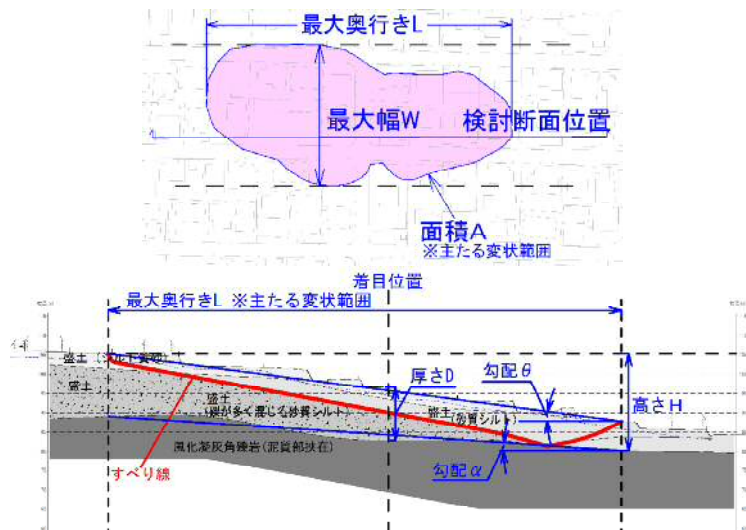
盛土形状（地盤調査）				計算結果	
幅：W	61.0m	高さ：H	25.2m	点数方式（方式 1）	19.4%
奥行き：L	132.8m	地山の勾配： α	3.8°	点数方式（方式 2）	5.6%
面積：A	8,100m ²	厚さ：D	13.9m	数量化Ⅱ類変動確率	13.2%
				統計的側部抵抗モデル安全性評価指数	1.63

② 被災状況

- 当該地区では、盛土のひな壇部分の変形被害が顕著であった。これらの手法は、主に盛土と地山の境界を通る滑りを想定して検討されたものであるため、変動確率を過小に評価してしまう結果になったと考えられる。



図参 5.4-③ 東北地方太平洋沖地震の仙台市の滑動崩落被害写真（ひな壇部分の変形被害）



図参 5.4-④ 分析地点の平面図および断面図

VI. 第二次スクリーニング

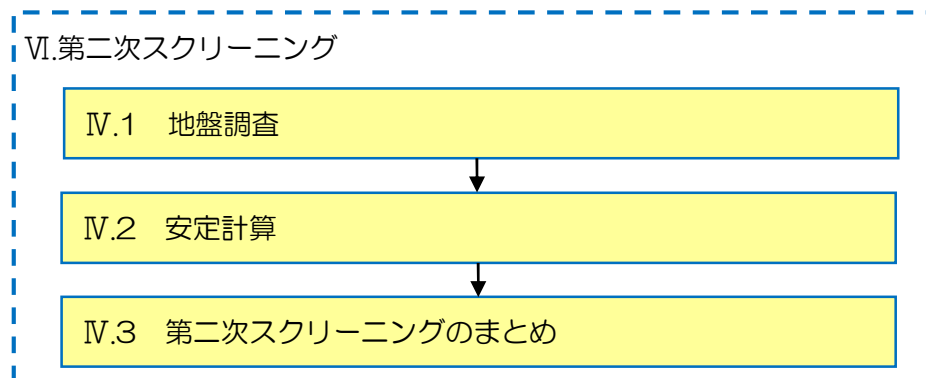
第二次スクリーニングは、地盤調査および安定計算により滑動崩落のおそれがある大規模盛土造成地を抽出することを目的として行う。

【解 説】

第二次スクリーニングは「V. 第二次スクリーニング計画の作成」において作成された調査計画に従い、原則、図VI.1の流れで実施する。第二次スクリーニングは、地盤調査と安定計算を実施し、滑動崩落のおそれがある大規模盛土造成地を判断・抽出するため、学識経験者等を交えて検討することが望ましい。

第二次スクリーニングでは、第二次スクリーニング計画の作成などで実施した現地踏査結果を踏まえ、大規模盛土造成地を安定計算ができる滑動崩落の運動ブロックに区分するとともに、ブロック毎に調査測線を設定し、盛土の形状、土質、地下水位などを調査する。最後にそれらの調査結果を用いて安定計算を行い、滑動崩落のおそれがある大規模盛土造成地を、一団の造成宅地単位で抽出する。

なお、大規模盛土造成地が複数のブロックに区分され、特定ブロックの安定性が他ブロックの安定性に影響する場合、まず特定ブロックの調査および安定計算を行い、その結果を踏まえて他ブロックの調査および安定計算の必要性を判断してよい（例えば、上流と下流の2ブロックに区分され、下流ブロックが安定していれば、上流ブロックで滑動崩落が生じるおそれは小さいと判断される場合、まず下流ブロックの調査および安定計算を行い、下流ブロックが不安定という結果になれば上流ブロックの調査および安定計算を実施し、下流ブロックが安定という結果になれば、上流ブロックの調査および安定計算は省略する、など）。



図VI.1 第二次スクリーニングの流れ

VI.1 地盤調査

地盤調査は、第二次スクリーニング計画の作成で実施した現地踏査の結果から現在の盛土の形状を確認し、想定される滑動崩落の方向に沿って、調査測線を設定する。次に、設定した調査測線における調査ボーリングにより、当該大規模盛土造成地の土質、単位体積重量、内部摩擦角（せん断抵抗角）、粘着力、地下水位などを把握する。

【解 説】

第二次スクリーニング計画の作成で実施した現地踏査結果から、滑動崩落のおそれのある部分ごとに区分する。

さらに、区分された部分ごとに、想定される滑動崩落の運動方向に沿った調査測線を設定する。そして設定した調査測線における、当該盛土の形状、土質、地下水位などを把握するため、地盤調査を実施する。

なお、調査の結果、地下水が宙水状に保水されていることも認められず、盛土内に浸入していないことが確認された谷埋め型大規模盛土造成地（腹付け型大規模盛土造成地であるものを除く。）は、以降の第二次スクリーニングを省略してよい。ただし、脆弱な材料で構成される盛土では、既往の地震において滑動崩落の被害が発生した事例があるため、盛土の締まり具合や硬軟について把握した上で、第二次スクリーニングの省略の是非を判断する必要がある。

地盤調査結果に基づき実施する後述「VI.2 安定計算」では、滑り面を設定するが、そのためには危険要因を把握し滑動崩落の被害形態を想定する必要がある。

また、安定計算によって地震時に滑動崩落が生じる危険性が高いと判定され対策を講じる場合、適用できる工法とその効果は被害形態とその危険要因および施工条件によって異なる。工法選定および設計・施工のための詳細な調査は別途実施する必要があるが、変動予測調査段階において、適用可能な工法の見極めをしておくことは、その後の合意形成を円滑に進めるうえで有効である。

このため地盤調査は、危険要因の有無を定量的に把握し滑動崩落の被害形態を想定できる内容とする必要がある。

※ 滑動崩落の被害形態とその危険要因は、「V. 第二次スクリーニング計画の作成」の表 V.2.2 と表 V.2.3 参照。

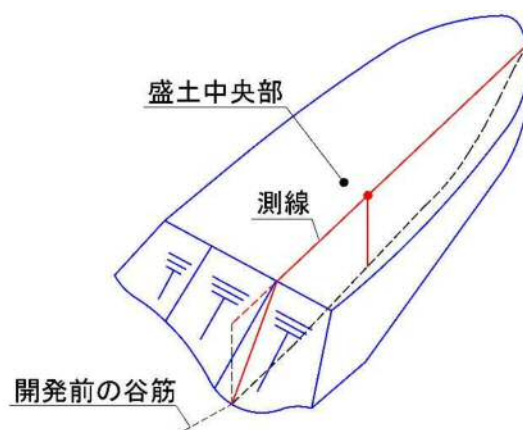
① 大規模盛土造成地の区分

主に地震に起因して生じる大規模盛土造成地の滑動崩落は、盛土全体が変動し、地山との境界面や盛土内部等で崩壊や変形を起こす現象である。したがって、直線的でない形態（例えば「く」の字のような形態）の大規模盛土造成地は、第一次スクリーニングで得られた原地盤の地形や現在の盛土の地形をもとに、現地踏査の結果も踏まえ、安定計算を実施できる部分に区分するのが適当である。大規模盛土造成地を区分する場合に想定される具体事例を[参考 6.1](#)に示す。

② 調査測線の設定

調査測線とは、滑動崩落の主な運動ブロックの中心部で運動方向に設定する測線であり、この測線の縦断面において安定計算を行うものである。

調査測線は、[①](#)で区分した盛土ごとに、原地盤の地形や現在の盛土の地形を考慮し、その盛土を代表する滑り面を具体的に確認でき、安定計算を行うのに適した位置および方向に設定するものとする。



図VI.1.1 調査測線の設定イメージ

③ 盛土の形状、土質、地下水位の調査

調査測線における当該盛土の形状、土質、地下水位の調査を下記のとおり行う。なお、建築物を建築した際の地盤調査結果等がある場合は、それらを参考にするのもよい。各調査の位置と間隔の目安、調査計画項目および数量の例を[参考 6.2](#)に示す。

1) 盛土形状の調査

調査測線における盛土の形状は、第一次スクリーニングにおいて把握した原地盤の地形および現地での測量等により計測するものとする。また、必要に応じて地盤調査により、盛土造成地の規模等の補正を行うことが望ましい。

2) 地中埋設物の確認

調査ボーリングに先立ち、既存の地中埋設物の位置データ（下水道台帳、道路台帳、電力・ガス管理台帳等）を精査し、地中埋設物の有無を確認する。既存のデータから埋設物の有無が確認できない場合は、地下レーダ、表面波探査等の物理探査を行うこととする。

3) ボーリングおよび原位置試験

調査測線における調査ボーリングにより当該盛土の土質を調査する。盛土の土質は一様でない場合もあることから、材料が異なる場合はそれぞれの土質を調査する。当該盛土が軟弱な粘性土や緩い砂地盤上に位置し、地山を含む滑動崩落が想定される場合は、滑り面が想定される深さまで地山の土質も調査する。

また、当該盛土上の建築物等の立地状況により、調査ボーリングが可能な地点が限られる場合は、スウェーデン式サウンディングなどによる調査も検討する。なお、調査ボーリングは点の情報であることから、面的な情報を収集可能な物理探査等を必要に応じて併用することが望ましい。

主なボーリングおよび原位置試験方法を[参考 6.3](#)、原位置試験の方法例を[参考 6.4](#)に示す。なお、原位置試験の詳細な方法は、地盤工学会発行の「地盤調査の方法と解説」を参照されたい。

4) サンプリング

室内土質試験に用いる供試体は現場で採取した試料を用いることが望ましい。サンプラーによって適用土質が異なるため、対象とする土質に応じて適切なサンプラーを判断し、乱さない試料を採取すること。[参考 6.3](#)にサンプリングの種類を示す。

5) 室内土質試験

安定計算に必要となる盛土材料等の土質特性を把握するため、室内土質試験を行う。調査する項目は、湿潤密度等の物理試験と、三軸圧縮試験等の力学試験である。各試験は、現場で採取した試料を用いて実施すること。三軸圧縮試験については、土質によって方法を選択する必要がある。粘性土系の場合には圧密非排水三軸圧縮試験、砂質土系の場合には圧密排水三軸圧縮試験、判断がつかない場合には、間隙水圧を測定する圧密非排水三軸圧縮試験を実施する。なお、盛土材料のバラつきが多い場合や不かく乱試料採取が困難である場合には、盛土内の現場含水比、密度および締固め度を測定し、現場条件に近い状態で供試体を作成すること。

また、盛土内の脆弱部の範囲を把握するため、締固め試験等を利用することも考えられる（締

固め度と密度、三軸圧縮試験から得られる強度定数、N値等の関係などを整理）。

室内土質試験の方法を[参考 6.3](#)に示す。なお、室内土質試験の詳細な方法は、地盤工学会発行の「地盤材料試験の方法と解説」を参照されたい。

6) 地下水位の調査

調査測線における当該盛土の地下水位を調査する。

盛土をしたことにより、当該盛土をした土地の地下水位が盛土をする前の地盤面の高さを超え、盛土の内部に浸入しているかどうかを確認する。調査の方法は以下のような手法がある。

- ① 調査ボーリングを実施し、その調査孔を用いて地下水位もしくは間隙水圧を観測
- ② P S 検層による推定（P波速度 V_p から地下水位を推定）
- ③ 比抵抗映像法探査による推定（低比抵抗値の分布から地下水位面を推定）
- ④ 弾性波探査（屈折法）による推定（弾性波速度から地下水位面を推定）
※盛土の地下構造を盛土と地下水の二層構造と仮定した屈折法。
※調査地点がアスファルトやコンクリートで覆われた道路である場合は適用できない。
- ⑤ 温度検層による推定（地下水温と地温の温度差から地下水位を推定）
- ⑥ 自然電位法による推定（自然電位の乱れから地下水位を推定）
- ⑦ 鉄管等および触針式水位計を利用した簡易地下水測定
- ⑧ 周辺の地下水位等観測結果による推定（周辺のため池水位や湧水の標高などから地下水位面を推定）

その他近隣住民等に降雨後の湧水状況などをヒアリングし、参考にするのもよい。

上記①の場合には、調査ボーリングを実施し、その調査孔を用いて地下水位もしくは間隙水圧を測定するのが確実であるが、盛土前に谷底に底設暗渠を設けている場合には、地下水圧の分布が静水圧の三角形分布とならず、盛土の途中の深さまでは三角形分布になっていても下部になると水圧が下がっていくことがある。また、同じ土地で数次に分けて盛土造成を行った場合には、盛土材料の透水性の違いから各盛土の境界付近に帯水層が形成されることもある。このような水圧分布の場合に、盛土下部まで連続してボーリング掘削を行って地下水位を観測すると、ボーリング孔底付近に地下水位が確認されるため、宙水状の地下水が存在するにもかかわらず「盛土内に地下水はない」と判定してしまう可能性がある。以上のような場合に地下水位を正確に測定する方法としては、地下水位を確認するまでは無水掘りをするを基本とし、地下水を確認後は、ボーリング掘削を例えば2m毎に止め、地下水位を観測しながら段階的に掘削を進める方法などが考えられる。宙水状の地下水の確認方法の例を[参考 6.5](#)に示す。なお、地下水位は安定計算の結果に強く影響するため、季節的な変化も把握することが望ましい。

7) 総合解析とりまとめ

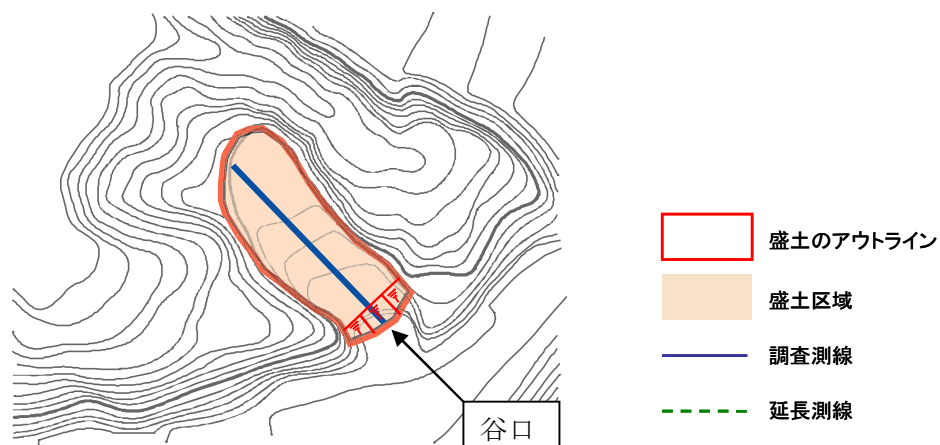
地盤調査で得られた結果を踏まえて地質断面図を作成するとともに、盛土や地山の地盤定数や脆弱部の範囲などの安定計算に必要な諸条件を整理する。なお、総合解析結果は、宅地カルテ等にとりまとめる（[参考 5.1](#)様式5参照）。

参考 6.1 大規模盛土造成地の区分

(1) 大規模盛土造成地の基本区分

大規模盛土造成地の区分は、1995 年兵庫県南部地震や 2004 年新潟県中越地震、2011 年東北地方太平洋沖地震の事例などから、地形的な変化点がない限り、谷口から直線的なブロックとすることを基本とする。

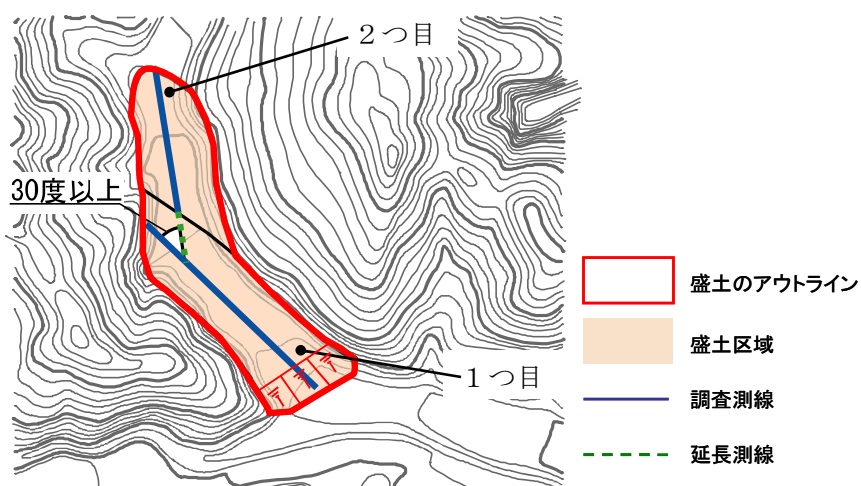
図参 6.1-①のような直線的な大規模盛土造成地以外の区分の事例を以下に示していく。この際、現地踏査や地盤調査の結果等を加味し、地すべりに関する技術者の意見を踏まえ、大規模盛土造成地の区分を行うのが望ましい。また地形等から複数のブロックに区分する場合は下流から順に、支流がある場合や複数の谷に跨る場合は原地盤面の勾配が大きいものから順に区分する。



図参 6.1-① 大規模盛土造成地の基本区分

(2) 大規模盛土造成地が屈曲している場合

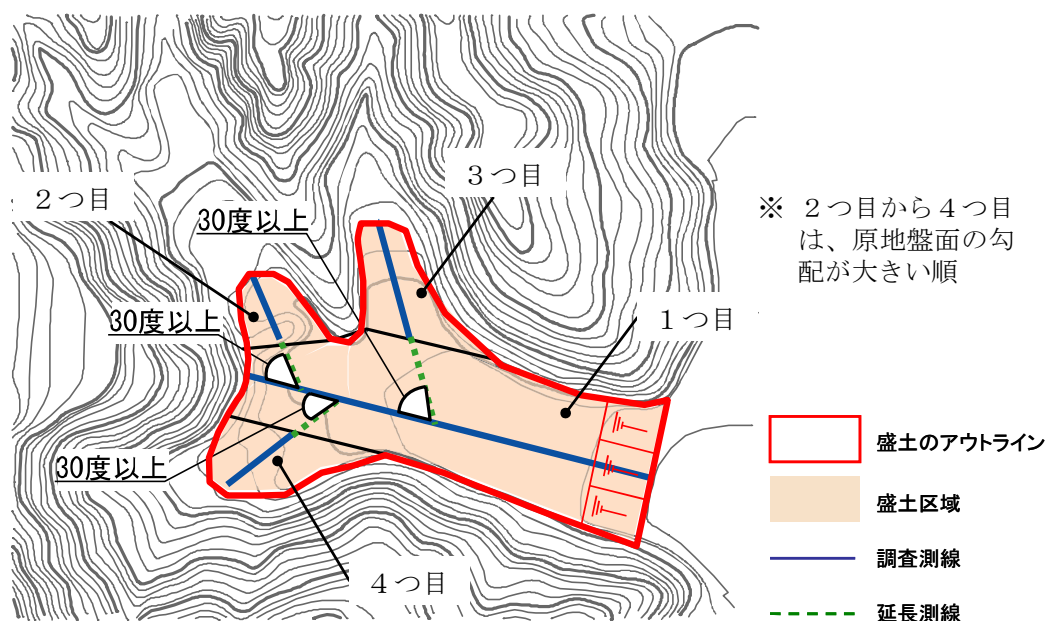
兵庫県南部地震などの過去の災害事例によると、大規模盛土造成地がおおよそ 30 度以上屈曲している場合を目安に区分すべきである。この際、下流側のブロックの直線性を優先し分割する。



図参 6.1-② 屈曲した大規模盛土造成地の区分

(3) 谷が分岐する場合

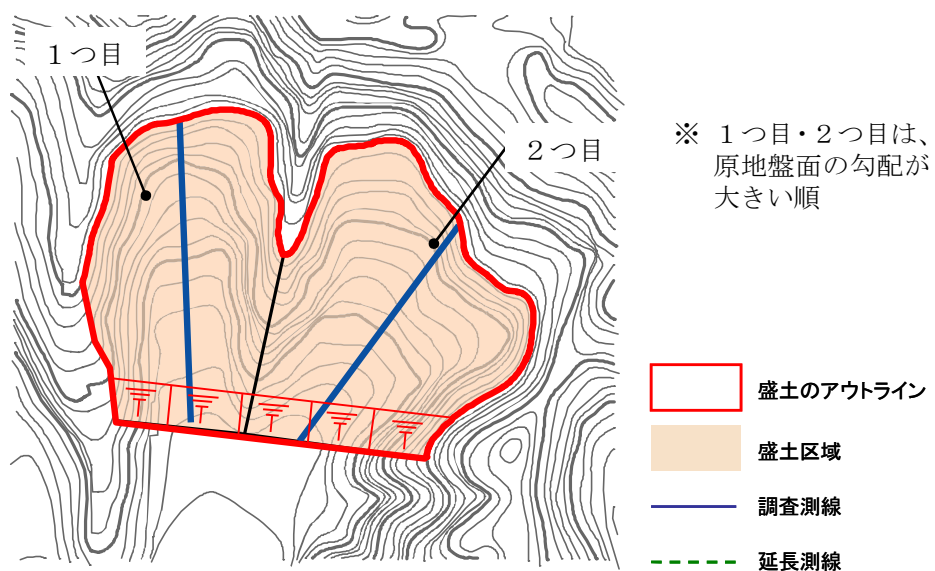
谷が分岐する場合、分岐地点で大規模盛土造成地を区分する。その際、下流側の大規模盛土造成地の直線性を優先的に考慮し、区分を行う。



図参 6.1-③ 谷が分岐する大規模盛土造成地の区分

(4) 尾根まで埋没した大規模盛土造成地の場合

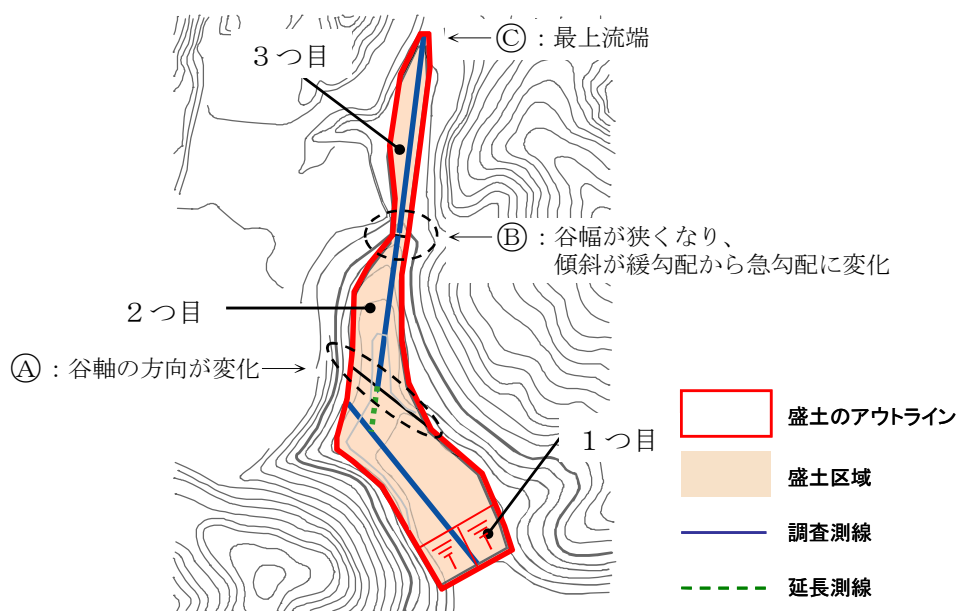
大規模な開発が行われている地域では、宅地造成前の尾根が埋没している場合がある。そのような場合は、残っている尾根から推測した尾根の中央部を通る線で区分する。



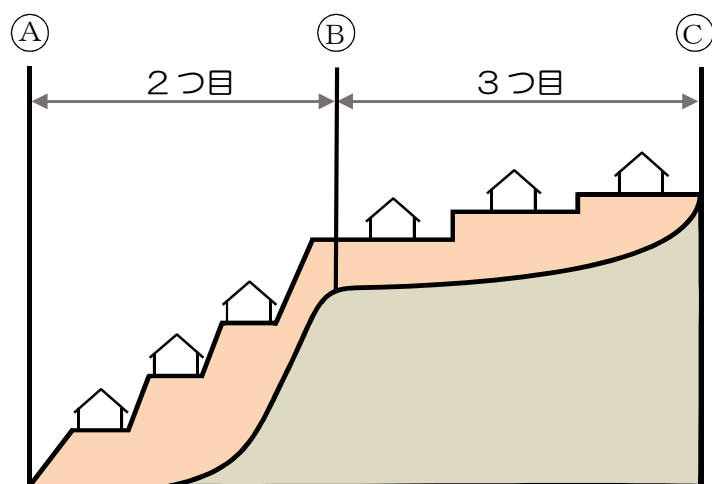
図参 6.1-④ 尾根が埋没した大規模盛土造成地の区分

(5) 大規模盛土地形変化点を有している場合

宅地造成前の地形の谷幅が著しく狭くなる場所や傾斜が変化点を有する場合は、地形が変化する場所で大規模盛土造成地を区分する。大規模盛土造成地を区分するときは、谷口に近い大規模盛土造成地の直線性を優先的に確保する。このようなケースは、図参 6.1-⑥に示すような段丘の縁部などに見られる。



図参 6.1-⑤ 地形変化点における大規模盛土造成地の区分



図参 6.1-⑥ 地形変化点における大規模盛土造成地の区分（縦断面）

参考 6.2 地盤調査地点の位置と間隔・調査数量の目安

調査ボーリングやサウンディングの位置は、調査測線において、当該盛土の形状、土質、地下水位が把握出来る地点とする。これには、盛土のり尻付近、のり肩、最も盛土厚が厚い地点、分岐谷の合流地点などが考えられる。調査位置は、斜面上や公園、道路等の公共用地を用いることを想定しているが、建築物等の立地状況により、調査ボーリングが可能な地点に限られる場合は、住民等の協力を得て、宅地内でスウェーデン式サウンディングなどの簡易な調査を実施する方法もある。

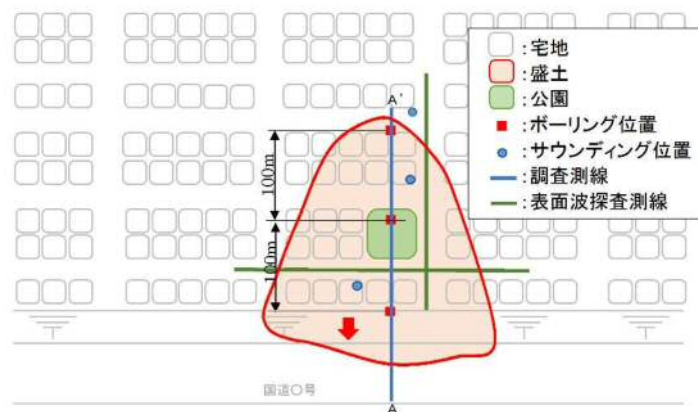
調査間隔の参考例を表参 6.2-①に示す。また、調査計画と数量の例を図参 6.2-①、表参 6.2-②に示す。

なお、1 地区あたりの調査費用は、調査項目や数量によって異なるが、概略 500～1000 万円程度を要する。

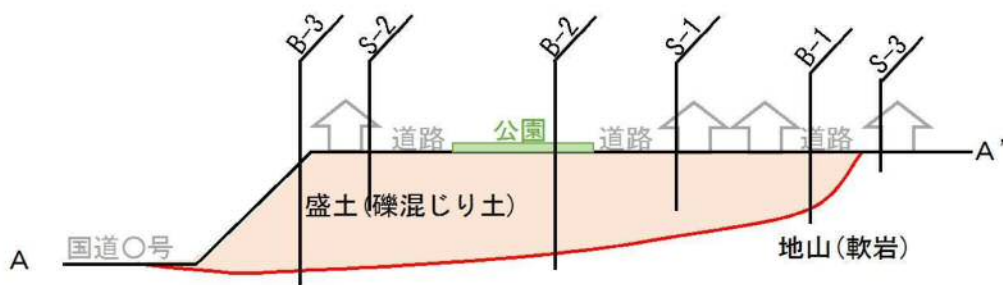
表参 6.2-① 調査間隔の参考例

独立行政法人都市再生機構：軟弱地盤技術指針，2008. 4.

地区	基盤の起伏	概略調査		詳細調査	
		ボーリング	サウンディング	ボーリング	サウンディング
平地部	比較的均一	300～500m サンプリング 1 地点	100～300m	200～300m	100～200m
	不規則	200～300m サンプリング 1 地点	50～200m	100～200m	25～100m
谷部	比較的均一 (大きな谷)	200～300m サンプリング 1 地点	50～200m	50～200m	25～200m
	不規則 (急峻な谷)	50～200m サンプリング 2 地点	25～100m	25～100m	25～100m
留 意 点		サンプリングを行うボーリング地点は造成敷地を代表する場所を選ぶ。盛土端部はサウンディングやボーリングを密に配置する。(高盛土の場合はのり尻から 20m 程度先まで調査するよう心掛ける。) 谷部のサウンディングは横断方向で密に縦断方向では粗くする。		調査位置の選定は必ずしも等間隔にする必要はなく、地盤状態の他に盛土端部などの問題箇所や幹線道路その他の土木構造物位置で密にするのがよい。	



(a) 平面図



(b) 断面図

図参 6.2-① 調査計画の例(谷部・比較的均一な基盤の詳細調査)

表参 6.2-②(1) 調査数量の例(その1)

地点 No.	ボーリング(m)				標準貫入試験 (回)	サンプリング (本)	地下水観測孔設置(m)	室内試験（試料）				
	本孔、孔径φ66mm、 オールコア			別孔 φ116mm ノンコア				土粒子の密度	含水比	粒度	湿潤密度	三軸圧縮
	礫混り土 (盛土)	軟岩 (旧地盤)	計									
B-1	5	2	7	5	7	1	-	1	1	1	1	1
B-2	8	2	10	8	10	2	10	2	2	2	2	2
B-3	10	2	12	10	12	2	-	2	2	2	2	2
計	23	6	29	23	29	5	10	5	5	5	5	5

表参 6.2-②(2) 調査数量の例(その2)

スウェーデン式サウンディング試験		P S 検層	
地点 No.	調査深度(m)	B-3	15m
S-1	5	表面波探査	
S-2	5	測線 No.	測線長(m)
S-3	2	A	400
-	-	縦断測量	
計	10	300m	

参考 6.3 主な地盤調査方法

大規模盛土造成地における滑動崩落の危険性を調査するための実用的な調査手法を以下に示す。
調査方法・試験方法の選定にあたっては、その目的、方法、メカニズム、精度等を十分に把握して
行う必要がある。

表参 6.3-① 主な地盤調査方法

分類	方法(俗称)		基準 No.	規格の名称
ボーリング	ボーリング		-	ロータリー式ボーリング (コアボーリング)
	簡易ボーリング		-	簡易式ロータリーボーリング (ノンコアボーリング)
原位置試験	サウンディング	標準貫入試験	JIS A 1219:2013	標準貫入試験方法
		静的コーン貫入試験	JIS A 1220:2013	機械式コーン貫入試験方法
			JGS 1431-2012	ポータブルコーン貫入試験方法
			JGS 1435-2012	電気式コーン貫入試験方法
		動的貫入試験	JGS 1433-2012	簡易動的コーン貫入試験方法
			-	オートマチックラムサウンディング
	物理探査・検層	スウェーデン式サウンディング試験	JIS A 1221:2013	スウェーデン式サウンディング試験方法
		弾性波探査(屈折法)	-	弾性波探査(屈折法)
		表面波探査	-	多チャンネル式表面波探査測定
		速度検層	JGS 1122-2012	地盤の弾性波速度検層方法
	地下水調査	密度検層	-	密度検層
		地下水位測定	JGS 1311-2012	ボーリング孔を利用した砂質・礫質地盤の地下水位測定方法
	JGS 1313-2012		ボーリング孔内に設置した電気式間隙水圧計による間隙水圧の測定方法	
サンプリング	固定ピストン式シンウォール(水圧式)		JGS 1221-2012	固定ピストン式シンウォールサンプラーによる土試料の採取方法
	ロータリー式二重管		JGS 1222-2012	ロータリー式二重管サンプラーによる土試料の採取方法
	ロータリー式三重管		JGS 1223-2012	ロータリー式三重管サンプラーによる土試料の採取方法
	ブロックサンプリング		JGS 1231-2012	ブロックサンプリングによる土試料の採取方法
室内土質試験	物理試験	土粒子の密度試験	JIS A 1202:2009 JGS 0111-2009	土粒子の密度試験方法
		含水比試験	JIS A 1203:2009 JGS 0121-2009	土の含水比試験方法
		粒度試験	JIS A 1204:2009 JGS 0131-2009	土の粒度試験方法
		液性・塑性限界試験	JIS A 1205:2009 JGS 0141-2009	土の液性限界・塑性限界試験方法
		湿潤密度試験	JIS A 1225-2009 JGS 0191-2009	土の湿潤密度試験方法
	力学試験	一軸圧縮試験	JIS A 1216:2009 JGS 0511-2009	土の一軸圧縮試験方法
		三軸圧縮試験	JGS 0521-2009	土の非圧密非排水(UU)三軸圧縮試験方法
			JGS 0522-2009	土の圧密非排水(CU)三軸圧縮試験方法
			JGS 0523-2009	土の圧密非排水(CU パー)三軸圧縮試験方法
			JGS 0524-2009	土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験方法
		繰返し非排水三軸試験	JGS 0541-2009	土の繰返し非排水三軸試験方法
		土の締固め試験	JIS A 1210:2009 JGS 0711-2009	突固めによる土の締固め試験方法
	三軸試験用供試体作成		JGS 0811-2009	安定処理土の突固めによる供試体作製

参考 6.4 ボーリングおよび原位置試験の方法例

(1) 調査ボーリング、各種サウンディング

土質を把握するための調査方法としては、調査ボーリングや標準貫入試験が考えられる。また、調査地点の立地条件等によりその他サウンディングによる推定も検討する。

① 調査ボーリング

調査ボーリングは、採取した土や岩を観察することにより、地層の構成を明らかにする。また、採取した土や岩の試験を実施することにより土質、岩質を明らかにすることもできる。さらに、調査ボーリング孔において、標準貫入試験などの原位置試験、間隙水圧などの測定のための計器類の埋設などを行うこともできる。



図参6.4-① 調査ボーリング実施風景

② 標準貫入試験

標準貫入試験（JIS A 1219）とは、質量 63.5kg のハンマーを落下高 76cm で打ち込み、サンブラーが 30cm 貫入するのに要する打撃回数（N値とよぶ。）を測定し、地盤の硬軟を表したものである。

③ 静的コーン貫入試験

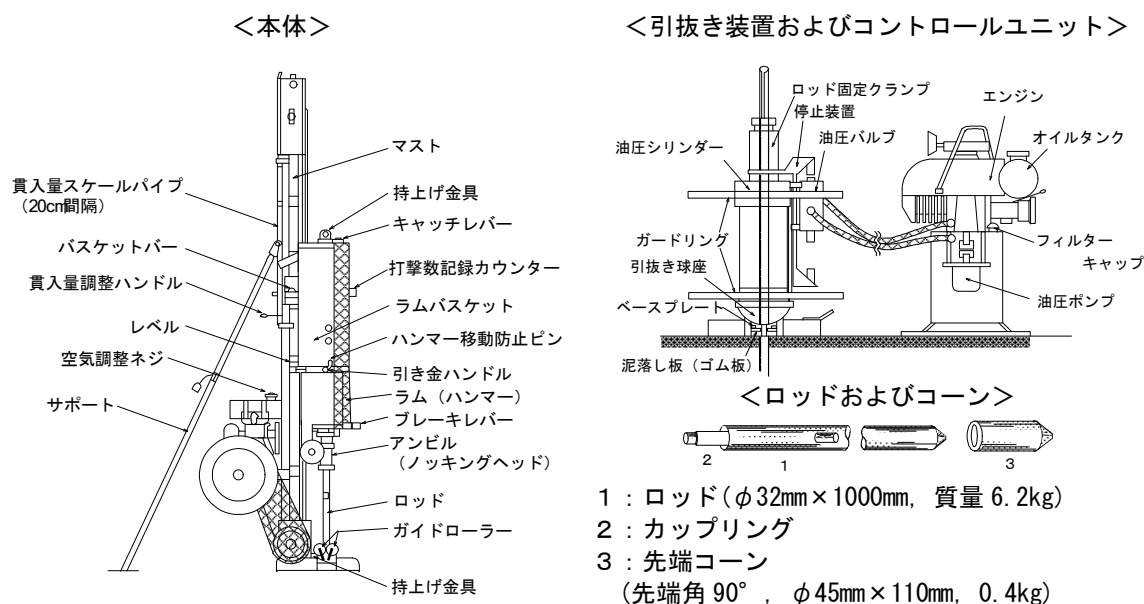
静的コーン貫入試験とは、機械式コーン貫入試験（JIS A 1220）をはじめとして数種類のものがあるが、基本はロッドの先端にコーン（円錐）を取り付けて静的に圧入するものである。オランダ式は二重管にしてロッドに働く土の摩擦力を除去して先端抵抗だけを測定するようにした方法であるが、簡易に人力で押し込むだけのポータブルコーン貫入試験（JGS 1431）が浅い軟弱層の調査には多用されている。

④ 動的コーン貫入試験

動的コーン貫入試験とは、ロッドの先端にコーンを装着したものを標準貫入試験と同様に重錘で打撃貫入する試験を言い、簡易動的コーン貫入試験（JGS 1433）やオートマチックラムサウンディングなど、コーンの大きさ、重錘の落下高さなどによって、各種の方法が考案・利用されている。本試験により得られる N_d 値と標準貫入試験より得られる N 値の関係式が提案されており、比較的相関がよいので、簡易で経済的な試験である。

簡易動的コーン貫入試験（JGS 1433）は、質量 $5\pm0.05\text{kg}$ のハンマーを $500\pm10\text{mm}$ の高さから自由落下させ、 100mm 貫入させるのに要する打撃回数 N_d 値を測定する方法である。軽量で扱いが容易であるため、急傾斜の狭隘な斜面でも調査が可能である。ただし、ロットの周辺摩擦の影響を受けるため、 N_d 値を測定できるのは地盤表層部 $4\sim5\text{m}$ 以内に限られる。また、貫入抵抗の大きい硬質粘性土や砂礫地盤などには適用できない。

オートマチックラムサウンディングは、スウェーデンで開発された方法であり、国内には、この装置と同じ構成で軽量化されたミニラムサウンディングも開発されている。試験方法は、 63.5kg のハンマーを 500mm の高さから自由落下させ（ミニラムサウンディングはハンマーの質量 30kg 、落下高さは 350mm ）、 200mm 貫入するのに要する打撃回数 N_{dm} を測定し、周面摩擦の影響を補正して N_d 値を得る。 N_d 値を測定できるのは深度 20m 程度で浅く、 N 値 50 未満の地盤まで適用できる。ミニラムサウンディングについては、 2m 四方程度の面積で実施可能であり、打撃音もやや小さいため、近年宅地を対象とした調査に用いられてきている。



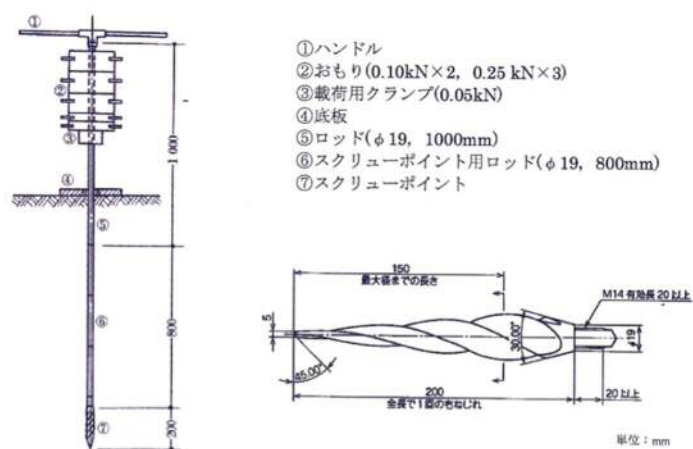
図参 6.4-② オートマチックラムサウンディング試験装置

地盤工学会：地盤調査の方法と解説，pp. 460-470，2013.

⑤ スウェーデン式サウンディング試験

スウェーデン式サウンディング試験（JIS A 1221）とは、長い四角錐をねじったような矢尻状のものを重錘による静的な荷重と回転力で地中に押し込む試験である。スウェーデン式サウンディング試験の最大の特徴は、簡易的に地盤の強度定数を把握することができ、特に軟らかい土の強度（一軸圧縮強度： q_u 、N値：N）の把握に有効である。スウェーデン式サウンディング試験は、図参 6.4-③に示すように荷重による貫入と回転貫入を併用した原位置試験であり、土の静的貫入抵抗を測定し、その硬軟または締まり具合を判断するとともに地層の構成を把握することを目的とし、調査深度の浅い宅地の地盤調査では、最も多く用いられている試験である。

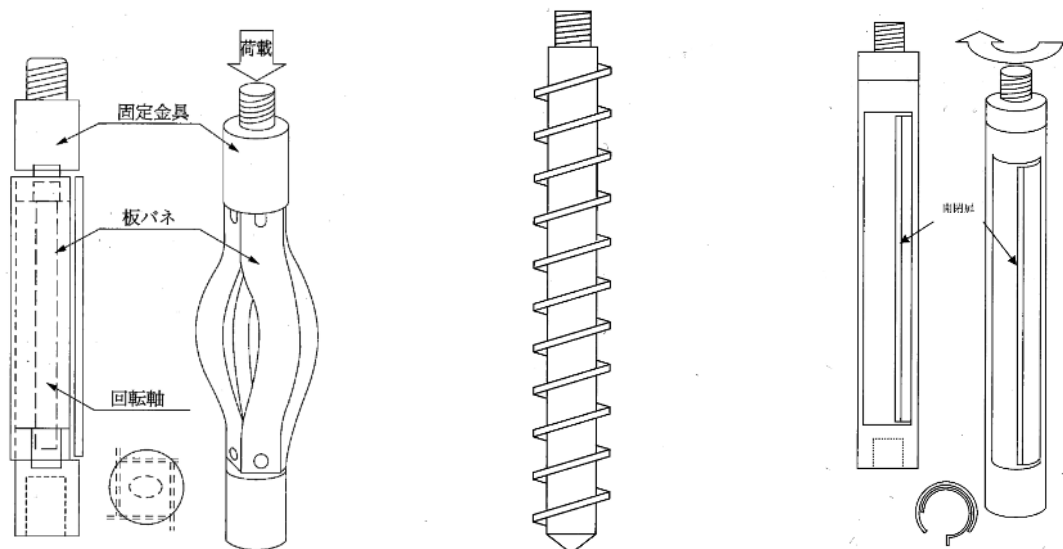
また、近年では、簡易なサンプラーや電気抵抗式の地下水位確認装置等が開発され、試験終了後のサウンディング孔を利用した土試料採取や地下水位測定が可能となってきた。簡易なサンプラーの例を図参 6.4-④に示す。



手動式試験器具の例



図参 6.4-③ スウェーデン式サウンディング試験位置と概要図



(a) 板ばね式サンプラー

(b) スパイラル式サンプラー

(c) 開閉式サンプラー

図参 6. 4-④ 簡易なサンプラーの例

地盤工学会：地盤調査の方法と解説， pp. 333-334， 2013.

（２）面的な情報を把握するための物理探査

大規模盛土造成地の盛土形状は、安定計算や防災区域の指定等を行う際に重要な情報となる。調査ボーリングによる点の情報を補完し、盛土形状の面的な情報を把握できる調査手法としては、弾性波探査や表面波探査等に代表される物理探査が挙げられる。

① 弾性波探査（屈折法）

弾性波探査とは、地表付近または地中、水中で火薬などによって人工的に弾性波を発生させて、P波（縦波）あるいはS波（横波）が直接ないし異なる弾性波速度層の間で屈折して地盤を伝わってくる状況を、地表に設けた測定装置で観測し、走時（時間）を用いて地盤の弾性波速度構造を解明する方法である。弾性波探査は、面的な情報を短時間で把握することが可能である。

② 表面波探査

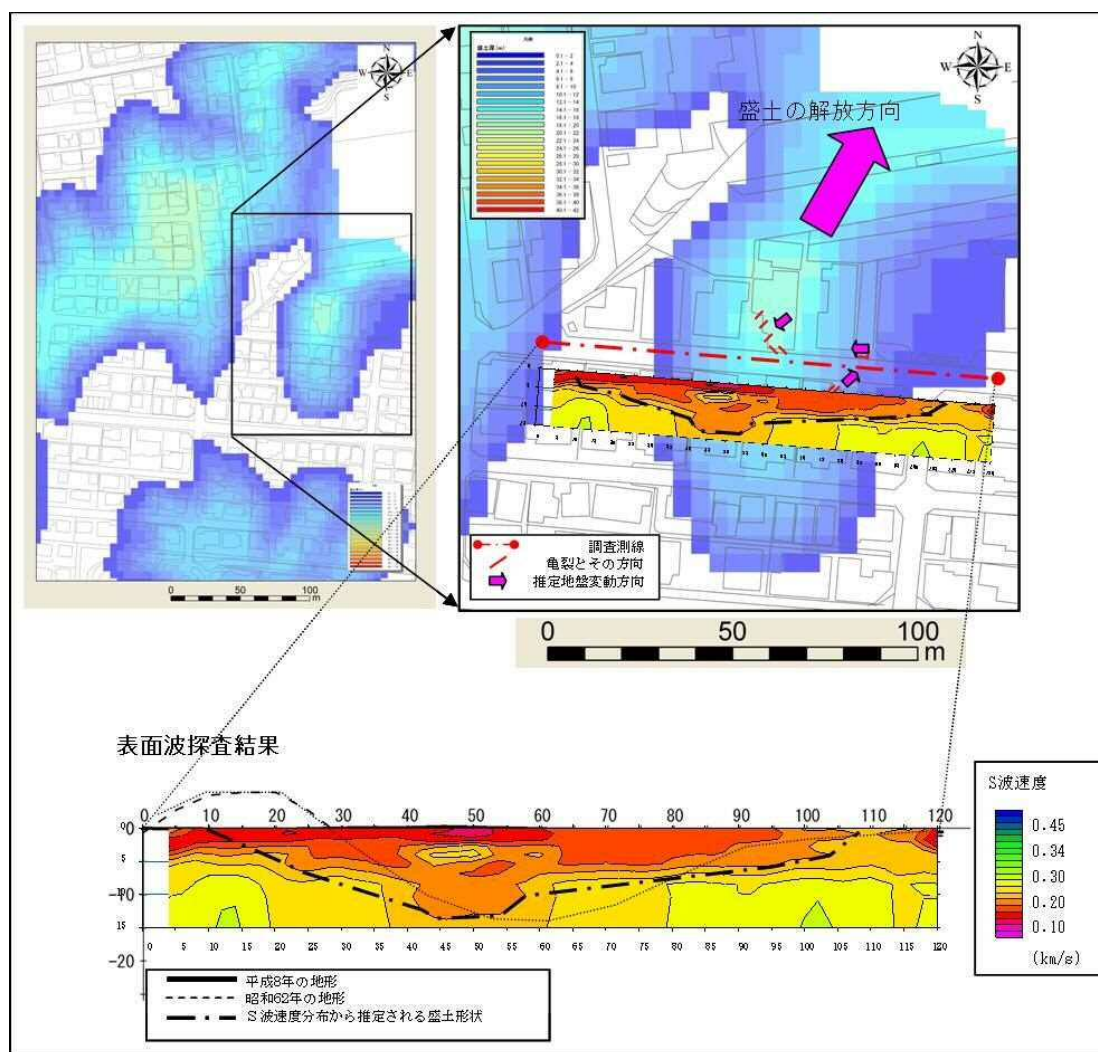
表面波探査とは、人工的な振動を発生させ、地盤の硬さを相対的に把握する調査手法の一つである。盛土は基盤層と比較するとやわらかいため、盛土の形状を把握する材料となる。表面波探査の実施風景を図参 6. 4-⑤に示す。

図参 6. 4-⑥は、盛土横断方向の測線上の表面波探査結果（S波速度分布図）である。表面波探査結果は、縦軸が深度、横軸が測線における距離程を示している。

測線上の昭和 62 年の地形を破線で示し、同じく平成 8 年の地形を実線で示した（ほぼ地表面と同じ）。現地試験による盛土の断面形状は、0. 20km/s の S波速度に着目して推定した（一点鎖線）。現地試験にて推定される盛土の中心位置は昭和 62 年の地形よりやや西側になっているが、概ね昭和 62 年の地形と一致している。



図参 6. 4-⑤ 表面波探査試験の実施風景



図参 6.4-⑥ 表面波探査による地盤のゆるみ分布図（S波速度分布図）の例

参考 6.5 宙水状の地下水の測定方法

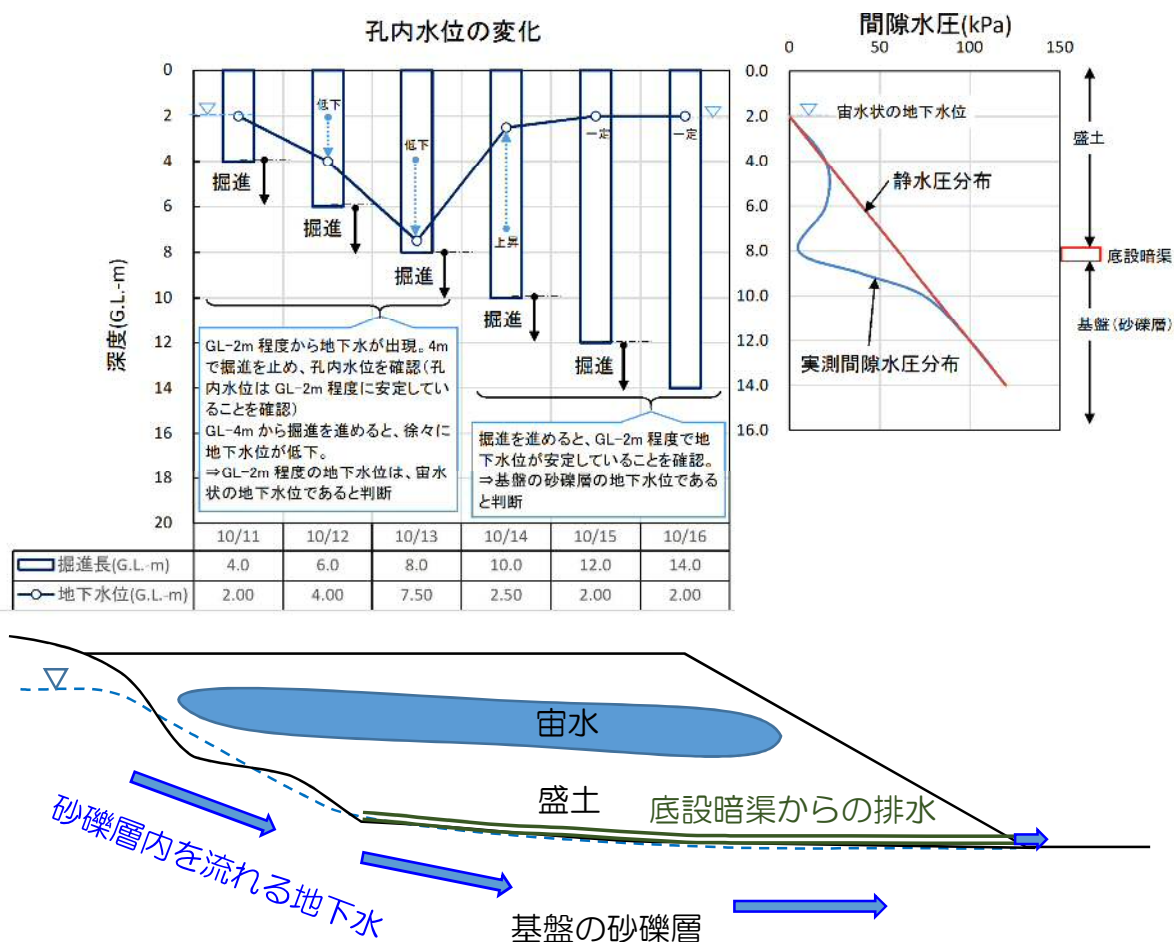
(1) 調査ボーリング孔を用いた測定

ボーリング掘削を2m程度毎に止め、地下水位を観測しながら段階的に掘削を進め、盛土内の宙水状の地下水位を推定する方法を紹介する。

ボーリングは、地下水位を確認するまで無水掘りを基本とする。地下水位を確認後は、数m毎に掘削を止め、ケーシングパイプを挿入し、スライム除去、清水を用いた孔内洗浄を十分に行い、水位が安定した後触針式水位計により水位を測定する。

測定例を図参 6.5-①に示す。造成時に底設暗渠が設置されており、そこから排水が行われている場合は、間隙水圧は三角形の静水圧分布にはならず、底設暗渠のところで下がるような曲線を示す。また、盛土材が細粒土等の場合は、暗渠工を設けているにもかかわらず、雨水等や地山からの流入水が保水され宙水状の地下水位が形成されることがある。このような水圧分布の場合に、盛土下部まで連続してボーリング掘削を行い、地下水位を観測すると、宙水状の地下水位を見落とす可能性がある。そのため、下図に示すように、地下水位を観測しながら段階的に掘削を進めることで、表層付近の宙水を把握することが可能となる。

なお、安定計算にあたっては、調査で把握した宙水状の地下水位を適切にモデル化する必要がある。また、間隙水圧を測定する場合には、地下水位ではなく、間隙水圧分布を安定計算モデルに反映することも可能である。



図参 6.5-① 調査ボーリング孔を用いた宙水状の地下水位の推定例

（２）鉄管および触針式水位計を利用した簡易地下水測定による推定

鉄管および触針式水位計を利用した簡易地下水測定を行う方法も有効である。この方法は、穴を開けた鉄管を盛土内に打ち込み、鉄管内の地下水位を触針式水位計により測定する。測定後は鉄管を引き抜く。なお本測定は、地下水位が GL-3m 程度までの位置にある場合に限られる。測定機器の例を図参 6.5-②に示す。



鉄管



触針式水位計例

図参 6.5-② 測定機器の例

VI.2 安定計算

VI.1 で得られた結果をもとに、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す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否かを確認する。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】

令第十九条第一項第一号イに該当する盛土（谷埋め型大規模盛土造成地）の滑り面については、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、地震力及びその盛土の自重による当該盛土の滑り出す力が、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否かを確認する。

同じく、政令第十九条第一項第一号ロ（腹付け型大規模盛土造成地）に該当する盛土の滑り面については、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の簡便法による計算を基本とし、地震力及びその盛土の自重による当該盛土の滑り出す力が、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否かを確認する。

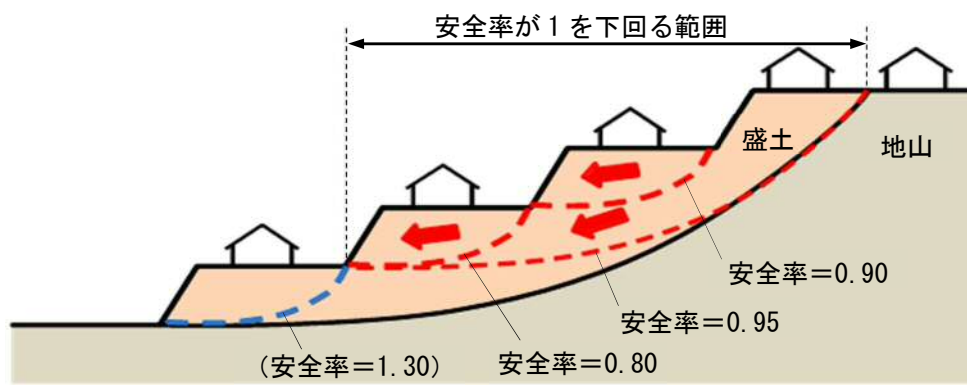
滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力を地震力及びその盛土の自重による当該盛土の滑り出す力で除した値（以下「安全率」という）が 1 を下回る場合には、滑動崩落対策施設の設計で必要となる安全率が 1 を満足するために必要な抑止力（以下「必要抑止力」という）を求める。

安定計算に用いる水平震度は、盛土や地盤が液状化しないことを前提に、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。建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する Z とは、地震地域係数のことであり、1.0～0.7 の数値として地域ごとに規定されている。地域ごとの地震地域係数 Z を参考 6.6 に示す。

盛土は材料や造成時期の違いなどから深さ方向で強度特性が異なることがあり（参考 6.7 参照）、また地下水位は季節によって変動する場合があるため、安定計算にあたっては、地盤調査結果を詳細に分析・評価し、盛土の強度や地下水位などを適切にモデル化する。

安定計算では、「盛土全体の変形」と「ひな壇部分の変形」両方を検討し、調査測線内の安全率が 1 を下回る滑り面をすべて抽出するとともに、防災区域の指定等に必要となる安全率が 1 を下回る範囲を求める。「盛土全体の変形」は、盛土と地山の境界面付近だけでなく、盛土内部を通る滑り面も想定する。「ひな壇部分の変形」は、ひな壇一段から複数段を通る滑り面を想定する（参考 6.8 参照）。当該盛土が軟弱な粘性土や緩い砂地盤上に位置する場合は、地山を含む滑りについても検討する。なお、ひな壇 1 段のすべりが想定される箇所については、被害が発生した際の周辺への影響の大きさ等を考慮して、調査や対策の優先度を判断することもできる。

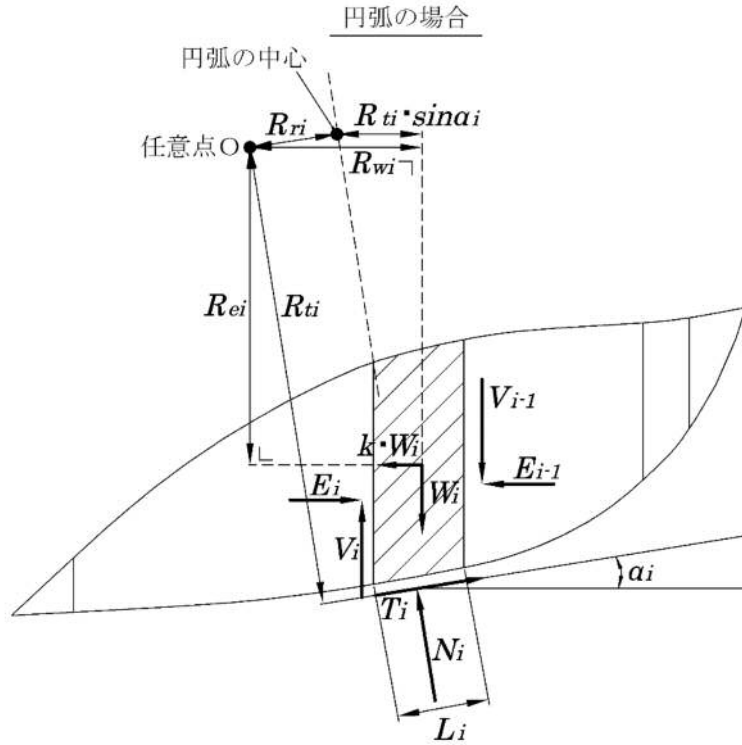
安定計算結果のイメージを図 VI.2.1 に示す。なお、安定計算結果は、宅地カルテ等にとりまとめる（参考 5.1 様式 6 参照）。



図VI. 2. 1 安定計算結果のイメージ

① 二次元の分割法について

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複雑であっても適用できるので極めて実用性の高い計算法である。すなわち、滑り面が非円弧、複合（直線＋円弧等）および円弧など、幅広く適用できる計算法である。地震力及びその盛土の自重による当該盛土の滑り出す力およびその滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力は、以下の通り計算する。



図IV.2.2 二次元の分割法における各分割片に働く力（地震時）

1) 基本条件

滑り土塊に働く外力の任意点 O に関する力のモーメントつりあい式は、

$$-\sum W_i \cdot R_{wi} + \sum T_i \cdot R_{ti} + \sum N_i \cdot R_{ri} - \sum k \cdot W_i \cdot R_{ei} = 0 \quad (\text{VI. 2. 1})$$

分割片に働くすべての力の鉛直、水平方向のつりあい式は、

$$W_i - N_i \cdot \cos \alpha_i - T_i \cdot \sin \alpha_i - V_i + V_{i-1} = 0 \quad (\text{VI. 2. 2 - 1})$$

$$T_i \cdot \cos \alpha_i - N_i \cdot \sin \alpha_i - k \cdot W_i + E_i - E_{i-1} = 0 \quad (\text{VI. 2. 2 - 2})$$

フェレニウス法と同様に、断面力成分 V_i 、 E_i は、それぞれ等しいと仮定すると、

$$V_i = V_{i-1}, E_i = E_{i-1} \quad (\text{VI. 2. 3})$$

式(VI. 2. 3)を式(VI. 2. 2 - 1)と(VI. 2. 2 - 2)に代入して、 T_i を消去すれば、

$$N_i = W_i(\cos \alpha_i - k \cdot \sin \alpha_i) \quad (\text{VI. 2. 4})$$

式(VI. 2. 4)を式(VI. 2. 1)に代入すると、

$$\sum T_i \cdot R_{ti} = \sum W_i \cdot R_{wi} - \sum W_i(\cos \alpha_i - k \cdot \sin \alpha_i) \cdot R_{ri} + \sum k \cdot W_i \cdot R_{ei} \quad (\text{VI. 2. 5})$$

分割されたそれぞれの滑り面のせん断力 T_i 、強度 c'_i 、 ϕ'_i 、安全率 F_s の関係式は、

$$T_i = \{c'_i \cdot L_i + (N_i - u_i \cdot L_i) \tan \phi'_i\} / F_s \quad (\text{VI. 2. 6})$$

式 (VI. 2. 1) ～ (VI. 2. 6) において、 W_i 、 R_{wi} 、 T_i 、 R_{ti} 、 N_i 、 R_{ri} 、 α_i 、 k 、 R_{ei} 、 V_i 、 V_{i-l} 、 E_i 、 E_{i-l} 、 c'_i 、 ϕ'_i 、 u_i および F_s は、それぞれ次の数値を表すものとする。

W_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重 (単位 kN)

R_{wi} : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重による、モーメントの腕の長さ (単位 m)

T_i : 分割されたそれぞれの滑り面上のせん断力 (単位 kN)

R_{ti} : 分割されたそれぞれの滑り面上のせん断力による、モーメントの腕の長さ (単位 m)

N_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の底面反力 (単位 kN)

R_{ri} : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の底面反力による、モーメントの腕の長さ (単位 m)

α_i : 次の式によって計算した分割されたそれぞれの滑り面の勾配 (単位 ラジアン)

$$\alpha_i = \tan^{-1} (H_i / L_i)$$

この式において、 H_i および L_i は、それぞれ次の数値を表すものとする。

H_i : 分割されたそれぞれの滑り面の最下流端と最上流端の標高差を計測した数値 (単位 m)

L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の標高差を計測した二地点間の水平距離を計測した数値 (単位 m)

k : 水平震度 ($k=0.25 \times z$ z : 建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する z)

R_{ei} : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土に作用する地震力による、モーメントの腕の長さ (単位 m)

V_i 、 E_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土内に働く断面力成分 (単位 kN)

c'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効粘着力 (単位 kN/m²)

ϕ'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効内部摩擦角 (単位 ラジアン)

u_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の間隙水圧 (単位 kN/m²)

F_s : 安全率

2) 盛土の滑り出す力

式 (VI. 2. 5) より、 $\Sigma T_i \cdot R_{ti} = S_m$ とすると、

$$S_m = \Sigma W_i \cdot R_{wi} - \Sigma W_i (\cos \alpha_i - k \cdot \sin \alpha_i) \cdot R_i + \Sigma k \cdot W_i \cdot R_{ei} \quad (\text{VI. 2. 7})$$

式 (VI. 2. 7) において、 S_m 、 W_i 、 R_{wi} 、 R_{ri} 、 α_i 、 k および R_{ei} は、それぞれ次の数値を表すものとする。

S_m : 地震力および自重による盛土の滑り出す力のモーメント (単位 kN・m)

W_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重 (単位 kN)

R_{wi} : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重による、モーメントの腕の長さ (単位 m)

R_{ri} : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の底面反力による、モーメントの腕の長さ (単位 m)

α_i : 次の式によって計算した分割されたそれぞれの滑り面の勾配 (単位 ラジアン)

$$\alpha_i = \tan^{-1} (H_i / L_i)$$

この式において、 H_i および L_i は、それぞれ次の数値を表すものとする。

H_i : 分割されたそれぞれの滑り面の最下流端と最上流端の標高差を計測した数値 (単位 m)

L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の標高差を計測した二地点間の水平距離を計測した数値 (単位 m)

k : 水平震度 ($k=0.25 \times z$ z : 建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する z)

R_{ei} : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土に作用する地震力による、モーメントの腕の長さ (単位 m)

3) 滑り面に対する抵抗力

滑り面が複数の円弧又は直線の場合、盛土の滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力は、地盤の特性に応じ全応力法または有効応力法により求めることができる。有効応力法では、すべり面におけるせん断抵抗力を算定する為には、常時の水圧に加えて、せん断に伴う過剰間隙水圧が明らかになっていることが必要である。ただし、完全な非排水状態であっても、土の密度やせん断中の応力経路によって発生する過剰間隙水圧は異なるため、これに伴ってせん断強度も変化する事を考慮しなくてはならない。

一方、すべり面におけるせん断抵抗力をせん断中の過剰間隙水圧の大きさに基づいて有効応力規準で厳密に評価するためには、三軸圧縮試験で採用した軸対称応力条件や平均主応力が変化する条件などと盛土内で実際に作用する応力条件の相違などをはじめ、留意すべき点も多い。

このため、実務設計においては、取り扱いの容易さなどから、せん断前の有効拘束圧を考慮した全応力規準に基づくせん断強度を用いた全応力法が用いられることも多い。したがって、斜面の安定計算においては、特に必要な場合を除き、すべり面におけるせん断強度が地震中に変化する影響は無視して、常時における応力状態に地震時慣性力のみを考慮することが一般的である。全応力法の場合、式VI. 2. 8の c'_i 、 ϕ'_i を、盛土材料が粘性土系の場合には圧密非排水三軸圧縮試験結果からの強度定数 c_{eu} 、 ϕ_{eu} 、砂質土系の場合には圧密排水三軸圧縮試験結果からの強度定数 c_d 、 ϕ_d に読み替えればよい。全応力法を用いて安定計算を行った事例を参考6. 8に示す。

また、盛土の施工が一行にわたって行われていないことが懸念される場合などでは、調査する試験数は多く必要であるが、想定する滑り線上の各部位の非排水せん断強度の値を直接使用することも考えられる(式VI. 2. 9)。このような場合には、試験結果に対する種々の条件の相違を含めて考慮し、せん断試験に変えてサウンディング試験等を行い、三軸圧縮試験の強度定数から得られるせん断強度とサウンディング試験等の結果との組み合わせでこれらの数値の違いを適切に評価して、計算に必要な各部位の非排水せん断強度を推測して使用する事も可能である。

式(VI. 2. 5)および式(VI. 2. 6)より、 $\sum T_i \cdot R_{ti} = T_m / F_s$ とすると、

$$\begin{aligned} T_m &= \sum [c'_i \cdot L_i + \{N_i - u_i \cdot L_i\} \tan \phi'_i] \cdot R_{ti} \\ &= \sum [c'_i \cdot L_i + \{W_i(\cos \alpha_i - k \cdot \sin \alpha_i) - u_i \cdot L_i\} \tan \phi'_i] \cdot R_{ti} \end{aligned} \quad (\text{VI. 2. 8})$$

$$T_m = \sum C_{ui} \cdot L_i \cdot R_{ti} \quad (\text{VI. 2. 9})$$

この式において、 T_m 、 c'_i 、 L_i 、 N_i 、 W_i 、 α_i 、 k 、 u_i 、 ϕ'_i 、 R_{ti} 、 C_{ui} は、それぞれ次の数値を表すものとする。

T_m : 最大摩擦抵抗力その他の抵抗力のモーメント (単位 kN・m)

c'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効粘着力 (単位 kN/m^2)
 L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の傾斜方向の底面長さ (単位 m)
 N_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の底面反力 (単位 kN)
 W_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重 (単位 N)
 α_i : 次の式によって計算した分割されたそれぞれの滑り面の勾配 (単位 ラジアン)

$$\alpha_i = \tan^{-1}(H_i / L_i)$$

この式において、 H_i および L_i は、それぞれ次の数値を表すものとする。

H_i : 分割されたそれぞれの滑り面の最下流端と最上流端の標高差を計測した数値 (単位 m)
 L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の標高差を計測した二地点間の水平距離を計測した数値 (単位 m)

k : 水平震度 ($k=0.25 \times z$ z : 建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する z)
 u_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の間隙水圧 (単位 kN/m^2)
 ϕ'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効内部摩擦角 (単位 ラジアン)
 R_{ti} : 分割されたそれぞれの滑り面のモーメントの腕の長さ (単位 m)
 C_{ui} : 分割されたそれぞれの滑り面の非排水せん断強度 (単位 kN/m^2)

4) 安全率

滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力のモーメントと、地震力及び自重による盛土の滑り出す力のモーメントの比より、安全率を計算する。式 (VI. 2. 7)、式 (VI. 2. 8) および (VI. 2. 9) より、

$$F_s = T_m / S_m \quad (\text{VI. 2. 10})$$

この式において、 F_s 、 T_m 、 S_m は、それぞれ次の数値を表すものとする。

F_s : 安全率
 T_m : 最大摩擦抵抗力その他の抵抗力のモーメント (単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$)
 S_m : 地震力及び自重による盛土の滑り出す力のモーメント (単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$)

5) 必要抑止力

滑り面に対する最大摩擦抵抗力および対策施設の抵抗力 (抑止力) を含むその他の抵抗力のモーメントと、地震力及び自重による盛土の滑り出す力のモーメントの比より安全率を計算し、安全率 1.0 以上となる必要な抑止力を求める。式 (VI. 2. 10) より、

$$F_s = (T_m + P \cdot R'_t) / S_m \geq 1.0$$

$$P \geq (S_m - T_m) / R'_t \quad (\text{VI. 2. 11})$$

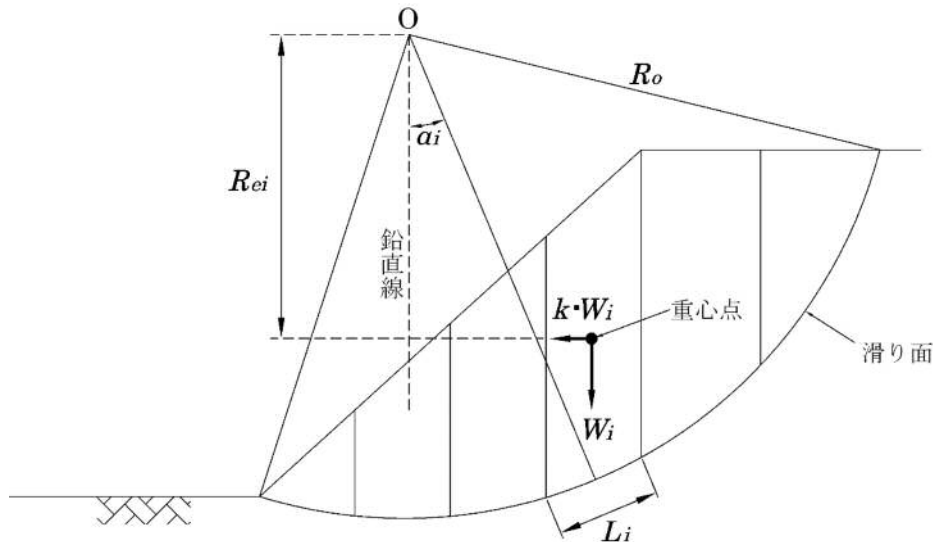
この式において、 F_s 、 T_m 、 S_m 、 P 、 R'_t は、それぞれ次の数値を表すものとする。

F_s : 安全率
 T_m : 最大摩擦抵抗力その他の抵抗力のモーメント (単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$)
 S_m : 地震力及び自重による盛土の滑り出す力のモーメント (単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$)
 P : 対策施設の抵抗力 (抑止力) (単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$)

R'_i : 対策施設の工法により決まるモーメントの腕の長さ (単位 m)

② 二次元の分割法のうちの簡便法について

滑り面が単一の円弧であると想定される場合には、二次元の分割法のうち簡便法を用いる。地震力及びその盛土の自重による当該盛土の滑り出す力と、その滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力は、以下の通り計算する。なお、滑り出す力および抵抗力は、二次元の分割法の安定計算式より展開される。



図VI. 2. 3 円弧滑り面法における各分割片に働く力（地震時）

1) 盛土の滑り出す力

簡便法では滑り面を円弧と仮定しているので、図VI. 2. 2 より、モーメントの腕の長さは、

$$R_{ri} = 0, R_{ti} = R_0, R_{wi} = R_{ti} \cdot \sin \alpha_i = R_0 \cdot \sin \alpha_i \quad (\text{VI. 2. 12})$$

式(VI. 2. 12)を式(VI. 2. 7)に代入すると、

$$S_m = \sum W_i \cdot R_0 \cdot \sin \alpha_i + \sum k \cdot W_i \cdot R_{ei} \quad (\text{VI. 2. 13})$$

この式において、 S_m 、 W_i 、 α_i 、 k 、 R_{ei} および R_0 は、それぞれ次の数値を表すものとする。

S_m : 盛土の自重による滑り出す力のモーメント (単位 kN・m)

W_i : 滑り面を分割した時の分割片ごとの重量 (単位 kN)

α_i : 滑り面を分割した時の分割片ごとの滑り面の傾斜角度 (単位 ラジアン)

k : 水平震度 ($k=0.25 \times z$ z : 建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する z)

R_{ei} : 滑り面を分割した時の分割片ごとの自重に比例した地震力による、モーメントの腕の長さ (単位 m)

R_0 : 円弧の半径

2) 滑り面に対する抵抗力

滑り面が単一の円弧の場合、当該滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力は地盤の特性に応じ、全応力法または有効応力法により求めることができる。有効応力法では、すべり面におけるせん断抵抗力を算定する為には、常時の水圧に加えて、せん断に伴う過剰間隙水圧が明らかになっていることが必要である。ただし、完全な非排水状態であっても、土の密度やせん断中の応力経路によって発生する過剰間隙水圧は異なるため、これに伴ってせん断強度も変化することを考慮しなくてはならない。

一方、すべり面におけるせん断抵抗力をせん断中の過剰間隙水圧の大きさに基づいて有効応力規準で厳密に評価するためには、三軸圧縮試験で採用した軸対称応力条件や平均主応力が変化する条件などと盛土内で実際に作用する応力条件の相違などをはじめ、留意すべき点も多い。

このため、実務設計においては、取り扱いの容易さなどから、せん断前の有効拘束圧を考慮した全応力規準に基づくせん断強度を用いた全応力法が用いられることも多い。したがって、斜面の安定計算においては、特に必要な場合を除き、すべり面におけるせん断強度が地震中に変化する影響は無視して、常時における応力状態に地震時慣性力のみを考慮することが一般的である。全応力法の場合、式VI. 2. 14の c'_i 、 ϕ'_i を、盛土材料が粘性土系の場合には圧密非排水三軸圧縮試験結果からの強度定数 c_{cu} 、 ϕ_{cu} 、砂質土系の場合には圧密排水三軸圧縮試験結果からの強度定数 c_d 、 ϕ_d に読み替えればよい。全応力法を用いて安定計算を行った事例を参考6.8に示す。

また、盛土の施工が一行にわたって行われていないことが懸念される場合などでは、調査する試験数は多く必要であるが、想定する滑り線上の各部位の非排水せん断強度の値を直接使用することも考えられる(式VI. 2. 15)。このような場合には、試験結果に対する種々の条件の相違を含めて考慮し、せん断試験に変えてサウンディング試験等を行い、三軸圧縮試験の強度定数から得られるせん断強度とサウンディング試験等の結果との組み合わせでこれらの数値の違いを適切に評価して、計算に必要な各部位の非排水せん断強度を推測して使用する事も可能である。

式(VI. 2. 12)の $R_H = R_0$ より、式(VI. 2. 8)および(VI. 2. 9)は、

$$T_m = \sum [c'_i \cdot L_i + \{W_i(\cos \alpha_i - k \cdot \sin \alpha_i) - u_i \cdot L_i\} \tan \phi'_i] \cdot R_0 \quad (\text{VI. 2. 14})$$

$$T_m = \sum (C_{ui} \cdot L_i) \cdot R_0 \quad (\text{VI. 2. 15})$$

この式において、 T_m 、 c'_i 、 L_i 、 W_i 、 α_i 、 k 、 u_i 、 ϕ'_i 、 C_{ui} 、 R_0 は、それぞれ次の数値を表すものとする。

T_m : 最大摩擦抵抗力その他の抵抗力のモーメント (単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$)

c'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効粘着力 (単位 kN/m^2)

L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の傾斜方向の底面長さ (単位 m)

W_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重 (単位 kN)

α_i : 次の式によって計算した分割されたそれぞれの滑り面の勾配 (単位 ラジアン)

$$\alpha_i = \tan^{-1}(H_i / L_i)$$

この式において、 H_i および L_i は、それぞれ次の数値を表すものとする。

H_i : 分割されたそれぞれの滑り面の最下流端と最上流端の標高差を計測した数値 (単位 m)

L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の標高差を計測した二地点間の水平距離を計測した

数値（単位 m）

k : 水平震度 ($k=0.25 \times z$ z : 建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する z)

u_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の間隙水圧（単位 kN/m^2 ）

ϕ'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効内部摩擦角（単位 ラジアン）

R_{ii} : 分割されたそれぞれの滑り面のモーメントの腕の長さ（単位 m）

R_0 : 円弧の半径

C_{ui} : 分割されたそれぞれの滑り面の非排水せん断強度（単位 kN/m^2 ）

3) 安全率

滑り面に対する最大摩擦抵抗抗力その他の抵抗力のモーメントと、地震力及び自重による盛土の滑り出す力のモーメントの比より、安全率を計算する。式(VI. 2. 13)、式(VI. 2. 14)および(VI. 2. 15)より、

$$F_s = T_m / S_m \quad (\text{VI. 2. 16})$$

この式において、 F_s 、 T_m 、 S_m は、それぞれ次の数値を表すものとする。

F_s : 安全率

T_m : 最大摩擦抵抗抗力その他の抵抗力のモーメント（単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

S_m : 地震力及び自重による盛土の滑り出す力のモーメント（単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

4) 必要抑止力

滑り面に対する最大摩擦抵抗抗力及び対策施設の抵抗抗力（抑止力）を含むその他の抵抗力のモーメントと、地震力及び自重による盛土の滑り出す力のモーメントの比より安全率を計算し、安全率 1.0 以上となる必要な抑止力を求める。式(VI. 2. 16)より、

$$F_s = (T_m + P \cdot R'_t) / S_m \geq 1.0$$
$$P \geq (S_m - T_m) / R'_t \quad (\text{VI. 2. 17})$$

この式において、 F_s 、 T_m 、 S_m 、 P 、 R'_t は、それぞれ次の数値を表すものとする。

F_s : 安全率

T_m : 最大摩擦抵抗抗力その他の抵抗力のモーメント（単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

S_m : 地震力及び自重による盛土の滑り出す力のモーメント（単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

P : 対策施設の抵抗抗力（抑止力）（単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）

R'_t : 対策施設の工法により決まるモーメントの腕の長さ（単位 m）

3 その他の安定計算について

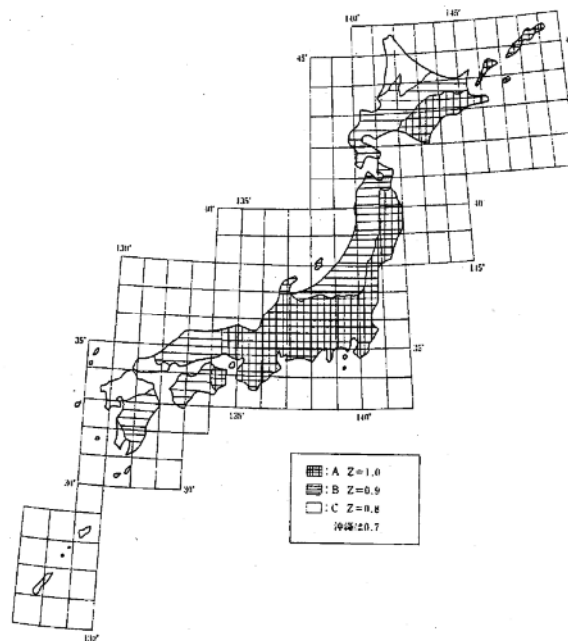
変動予測調査では、前述した手法により滑動崩落に関する安定計算を行い、防災区域の指定等を行うことが基本であるが、簡易 Bishop 法、Spencer 法および簡易 Janbu 法などを必要に応じて用いることもできる（参考 6. 9 参照）。また、三次元安定解析や有限要素法を用いて滑動崩落の範囲や被害程度（変形量等）および被害の集中範囲の予測などを行ない、その結果を防災区域の指定等や対策工の検討などに考慮することも考えられる（参考 6. 10 参照）。

加えて、砂丘地等において盛土や地山の液状化が懸念される場合や、擁壁の安定性が問題となる場合は、別途検討することが望ましい（[参考 6.11](#)、[参考 6.12](#)参照）。

参考 6.6 地震地域係数

建築基準法施行令第 88 条第 1 項の規定に基づき、地震地域係数 Z は、図参 6.6-①に示すように、1.0～0.7 の数値として行政区域ごとに定められている。

地震地域係数は、過去の地震記録等により得られた地震動の期待値の相対的な比を表す数値である。地震動の期待値については、多くの研究成果があるが、それらを統計的に処理し、工学的判断を加え行政区域ごとに振り分けて、地震地域係数 Z は定められている。



図参 6.6-① 地震地域係数 (Z)

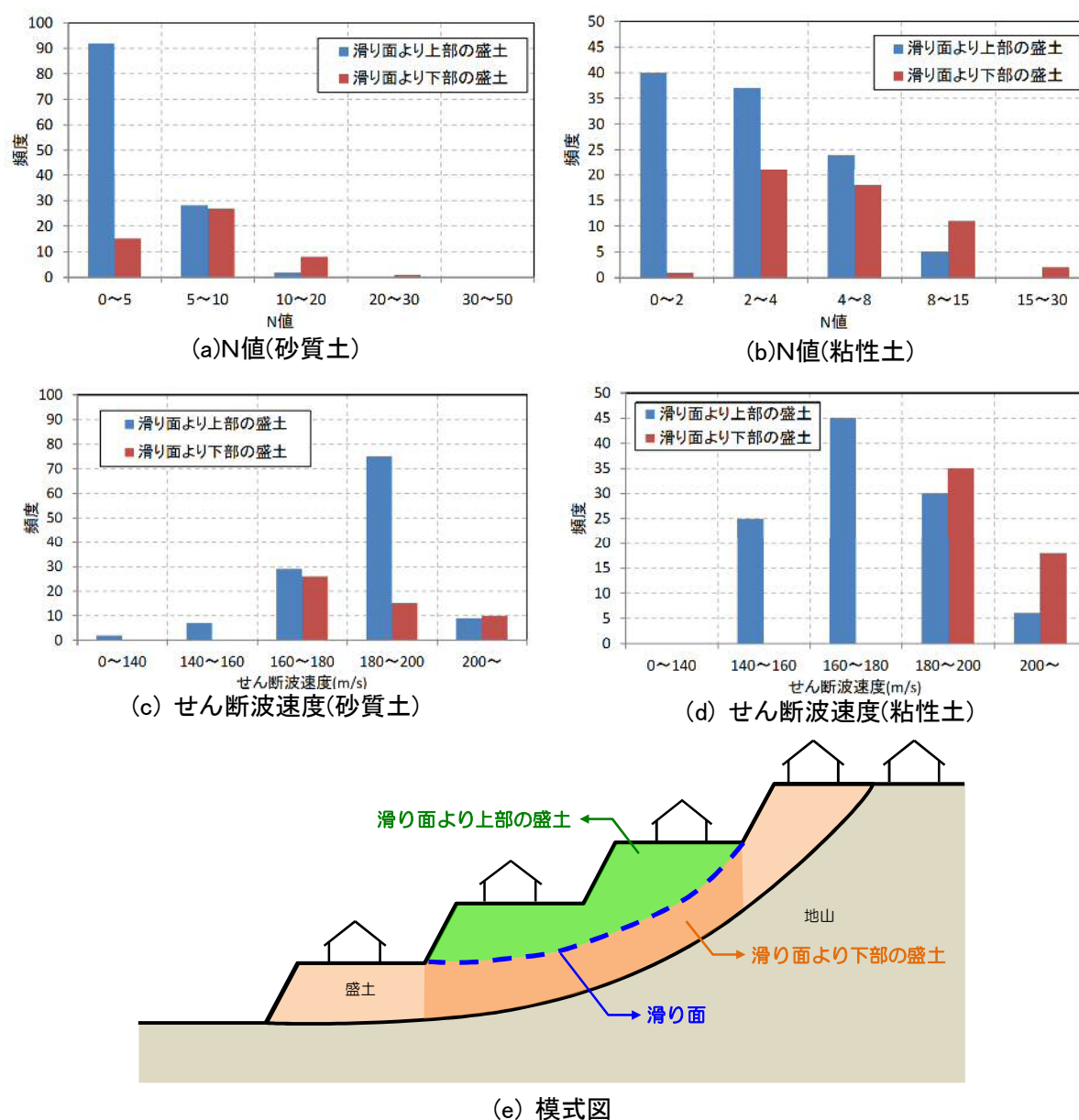
建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会：2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書，pp. 264-265，2007.

参考 6.7 被災宅地の盛土に関する調査結果

東北地方太平洋沖地震で被災した盛土の地盤調査結果を示す。宮城県仙台市で造成宅地滑動崩落緊急対策事業を実施した宅地 160 地区のうち、30 地区を抽出し、盛土のN値とせん断波速度を調査した。各調査結果を図参 6.7-①に示す。

調査結果より、N値は、滑り面上部では4～5以下、滑り面下部では4～5以上が多く、せん断波速度は、滑り面上部では180m/s以下、滑り面下部では180m/s以上が多い傾向を示した。この結果から、盛土内であっても、滑り面を境に強度特性が異なり、滑り面上部は、下部と比較してN値やせん断波速度の値が低いことが分かった。

安定計算にあたっては、盛土の深度方向で強度特性が異なることがあるため、地盤調査結果を詳細に分析・評価し、適切にモデル化する必要がある。



図参 6.7-① 被災宅地における盛土内のせん断波速度とN値

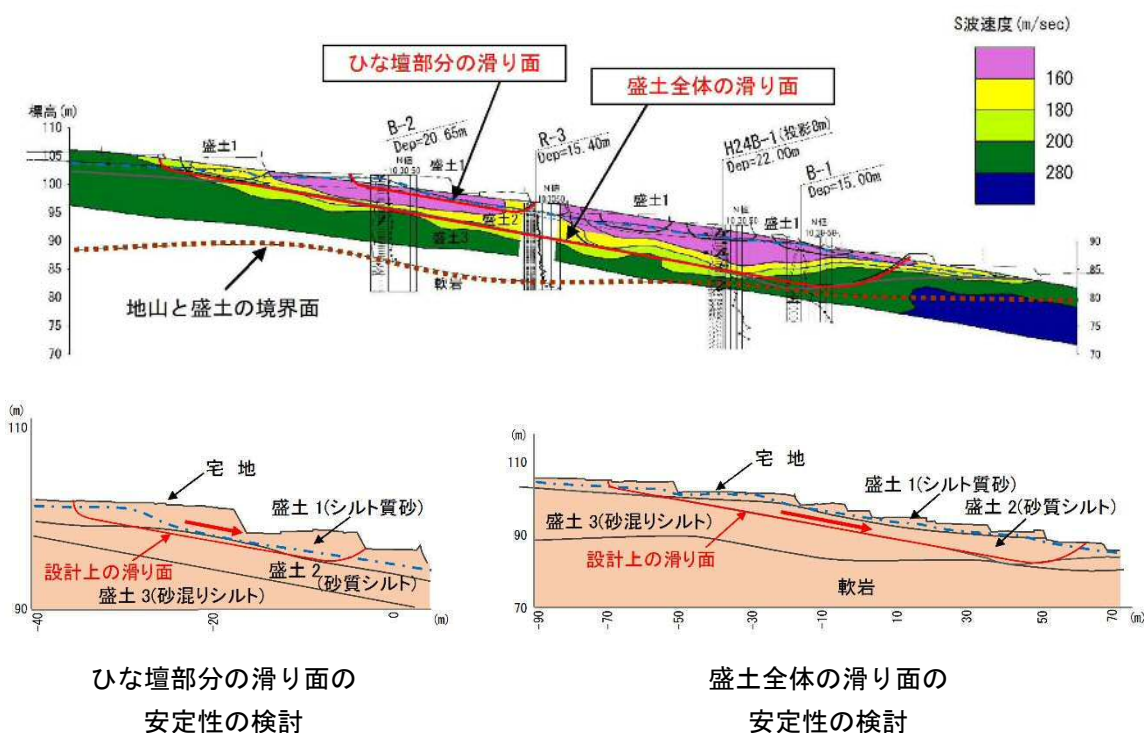
参考 6.8 被災宅地の安定計算事例

東北地方太平洋沖地震により被災した仙台市の盛土造成地における安定計算事例を示す。仙台市で被災した盛土造成地では、地下水位が高く、宅地地盤の勾配が比較的急な地区で、盛土ひな壇部分および盛土全体の変形被害が発生した（参考 1.2(3) 参照）。

被災した盛土造成地の安定計算では、地盤調査により得られたN値や強度定数、せん断波速度等の結果と、変形被害の状況等を考慮して、ひな壇部分の変形を考慮した設計上の滑り面（以下、ひな壇部分の滑り面）と盛土全体の変形を考慮した設計上の滑り面（以下、盛土全体の滑り面）を設定し、水平震度 0.25 に対する安定性を検討した。なお、滑り面に作用する間隙水圧のせん断中の変化の把握は困難であったため有効応力による検討は行わず、全応力法で実施した。強度定数については、盛土材料の細粒分含有率が 30～70% 程度であったため、圧密非排水三軸圧縮試験から得られる c_{cu} 、 ϕ_{cu} を用いた（ $c_{cu}=2\sim 22\text{kN/m}^2$ 、 $\phi_{cu}=10\sim 20^\circ$ ）。盛土内の水圧分布については、宙水状の地下水位が深度-1～3m に認められ、滑り面付近までの盛土材の飽和度が概ね 90% 程度を示していたため、その地下水位から静水圧分布になっていると仮定した。

代表地区の安定計算の結果、ひな壇部分の滑り面では $F_s=0.8$ 程度（変位量 50～100cm 以上が主体）、盛土全体の滑り面では $F_s=0.95$ 程度（変位量 10～30cm 程度が主体）であり、変形量とも整合する結果を示した。

以上のように、安定計算にあたっては、地盤調査により適切なモデル化を行った上で（参考 6.7 参照）、地山と盛土の境界面付近だけでなく、盛土内を通る滑り、ひな壇 1 段から複数段をとる滑りを想定して安定性の検討を行う必要がある。



図参 6.8-① ひな壇部分および盛土内部における安定計算事例（仙台市の被災盛土造成地）

仙台市HP：仙台市宅地保全審議会技術専門委員会委員会資料，

http://www.city.sendai.jp/fuzoku/1208132_2699.html, 2012.

参考 6.9 簡易 Bishop 法、Spencer 法および簡易 Janbu 法

分割法による 2 次元解析には、他に簡易 Bishop 法、Spencer 法および簡易 Janbu 法などがあり、これらの安定計算方法も、二次元の分割法の基本条件の式(式(VI. 2. 1)～(VI. 2. 2-2))より展開され、必要に応じて用いることができる。

(1) 簡易 Bishop 法

スライスの側面に働く力が水平方向に作用する(鉛直方向の合力成分を持たない)と仮定して、任意のスライスに働く力のつり合いを考えた方法である。特に、深い円弧滑りの場合、簡便法の安全率が過小となるため、Bishop 法との比較が望ましい。通常はスライス側面力の合力を水平と仮定した簡易 Bishop 法が利用され、厳密解に対する誤差が小さい。動水勾配のない水没斜面に対応可能である。

図 VI. 2. 2 より、 $V_i = V_{i-1}$ と仮定すると、式(VI. 2. 2 - 1)は、

$$W_i - N_i \cdot \cos \alpha_i - T_i \cdot \sin \alpha_i = 0 \quad (\text{参 6. 9. 1})$$

滑り面上のせん断力 T_i は、式(VI. 2. 6)より、

$$T_i = \{c'_i \cdot L_i + (N_i - u_i \cdot L_i) \tan \phi'_i\} / F_s \quad (\text{参 6. 9. 2})$$

式(参 6. 9. 1)、(参 6. 9. 2)より、

$$N_i = (1 / m_{ai}) \{W_i - (L_i / F_s) (c'_i - u_i \cdot \tan \phi'_i) \sin \alpha_i\} \quad (\text{参 6. 9. 3})$$

ただし、 $m_{ai} = \cos \alpha_i + (1 / F_s) \sin \alpha_i \cdot \tan \phi'_i$

式(参 6. 9. 2)、(VI. 2. 1)、(参 6. 9. 3)より、

$$F_s = \Sigma(R_{ti} / m_{ai}) \{c'_i \cdot L_i \cdot \cos \alpha_i + (W_i - u_i \cdot L_i \cdot \cos \alpha_i) \tan \phi'_i\} \div [\Sigma W_i \cdot R_{wi} - \Sigma(R_{ri} / m_{ai}) \{W_i - (L_i / F_s) (c'_i - u_i \cdot \tan \phi'_i) \sin \alpha_i\} + \Sigma k W_i \cdot R_{ei}] \quad (\text{参 6. 9. 4})$$

式(参 6. 9. 4)は両辺に F_s が入るため、反復計算で F_s を求める。第一近似 F_{s1} は式(VI. 2. 10)で求め、これを(参 6. 9. 4)の右辺に入れて計算し、第二近似 F_{s2} が得られ、これを 3、4 回繰り返して収束解 F_s を算定する。

式(参 6. 9. 1)～(参 6. 9. 4)において、 W_i 、 T_i 、 N_i 、 c'_i 、 L_i 、 α_i 、 k 、 u_i 、 ϕ'_i 、 R_{ti} 、 R_{wi} 、 R_{ri} 、 F_s は、それぞれ次の数値を表すものとする。

W_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重 (単位 kN)

T_i : 分割されたそれぞれの滑り面上のせん断力 (単位 kN)

N_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の底面反力 (単位 kN)

c'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効粘着力 (単位 kN/m²)

L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の傾斜方向の底面長さ (単位 m)

α_i : 次の式によって計算した分割されたそれぞれの滑り面の勾配 (単位 ラジアン)

$$\alpha_i = \tan^{-1} (H_i / L_i)$$

この式において、 H_i および L_i は、それぞれ次の数値を表すものとする。

H_i : 分割されたそれぞれの滑り面の最下流端と最上流端の標高差を計測した数値 (単位 m)

L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の標高差を計測した二地点間の水平距離を計測した
数値 (単位 m)

k : 水平震度 ($k=0.25 \times z$ z : 建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する z)

u_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の間隙水圧 (単位 kN/m^2)

ϕ'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効内部摩擦角 (単位 ラジアン)

R_{ti} : 分割されたそれぞれの滑り面のモーメントの腕の長さ (単位 m)

R_{wi} : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重による、モーメントの腕の長さ (単位 m)

R_{ri} : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の底面反力による、モーメントの腕の長さ (単位 m)

F_s : 安全率

なお、滑り面が円弧の場合は、式(VI. 2. 16)と一致する。

(2) Spencer 法

静的つり合い条件のすべてを満足するもっとも簡単な解法であり、円弧滑りに適用可能な計算手法である。スライス間に働く力は互いに平行と仮定し、スライス間に働く力の傾きを未知数として、円弧全体の静的つり合いを条件とした方法である。

分割されたそれぞれの滑り面上の盛土内に働く断面力の合ベクトルがある定方向にあり、両側面で式(参 6. 4. 5)の関係が成立するとした。

$$V_{i-1} = E_{i-1} \cdot \tan \theta, \quad V_i = E_i \cdot \tan \theta \quad (\theta : \text{定数}) \quad (\text{参 6. 9. 5})$$

式(参 6. 9. 2)、(VI. 2. 2-1)、(V. 2. 2-2) および (参 6. 9. 5) より、

$$N_i = [W_i(\cos \theta - k \cdot \sin \theta) - (c'_i - u_i \cdot \tan \phi'_i)(l/F_s)L_i \cdot \sin(\alpha_i - \theta)] \div [\cos(\alpha_i - \theta) + (l/F_s) \sin(\alpha_i - \theta) \tan \phi'_i] \quad (\text{参 6. 9. 6})$$

式(VI. 2. 1)および (VI. 2. 2-2) より、

$$\Sigma T_i \cdot \cos \alpha_i - \Sigma N_i \cdot \sin \alpha_i - \Sigma k \cdot W_i = \Sigma (E_{i-1} - E_i) \equiv 0 \quad (\text{参 6. 9. 7})$$

滑り面上のせん断力 T_i は、

$$T_i = \{c'_i \cdot L_i + (N_i - u_i \cdot L_i) \tan \phi'_i\} / F_s \quad (\text{参 6. 9. 2})$$

θ を逐次変えて、式(参 6. 9. 6)～(参 6. 9. 7)から求まる F_s と、式(VI. 2. 1)から求めた F_s が一致するまで反復計算を行う。

式(参 6. 9. 6)～(参 6. 9. 7)において、 V_i 、 V_{i-1} 、 E_i 、 E_{i-1} 、 N_i 、 W_i 、 T_i 、 c'_i 、 L_i 、 α_i 、 k 、 u_i 、 ϕ'_i 、 F_s は、それぞれ次の数値を表すものとする。

V_i 、 E_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土内に働く断面力成分 (単位 kN)

W_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重 (単位 kN)

T_i : 分割されたそれぞれの滑り面上のせん断力 (単位 kN)

N_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の底面反力 (単位 kN)

c'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効粘着力 (単位 kN/m^2)

L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の傾斜方向の底面長さ (単位 m)

α_i : 次の式によって計算した分割されたそれぞれの滑り面の勾配 (単位 ラジアン)

$$\alpha_i = \tan^{-1} (H_i / L_i)$$

この式において、 H_i および L_i は、それぞれ次の数値を表すものとする。

H_i : 分割されたそれぞれの滑り面の最下流端と最上流端の標高差を計測した数値 (単位 m)

L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の標高差を計測した二地点間の水平距離を計測した数値 (単位 m)

k : 水平震度 ($k=0.25 \times z$ z : 建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する z)

u_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の間隙水圧 (単位 kN/m^2)

ϕ'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効内部摩擦角 (単位 ラジアン)

F_s : 安全率

(3) 簡易 Janbu 法

斜面の土質が均一ではなく、特に滑り面近くに軟弱な層を挟む場合には、滑り面は、円弧と直線を組み合わせた複合滑り面となる。当計算手法は複合滑り面において、スライス間の鉛直方向の力をゼロとし修正係数を乗じて、水平方向の力のつり合いを考えた方法である。厳密解に対する誤差が小さく、円弧滑り、動水勾配のない水没斜面に対応可能である。

Janbu 法は、全土塊に働く水平力のつり合い式から、 F_s を計算する。

$V_i = V_{i-1} - V_i = 0$ と仮定した水平力のつり合い式は、

$$T_i \cdot \sec \alpha_i - W_i \cdot \tan \alpha_i - k \cdot W_i = E_{i-1} - E_i \quad (\text{参 6.9.8-1})$$

$$\sum (T_i \cdot \sec \alpha_i - W_i \cdot \tan \alpha_i - k \cdot W_i) = \sum E_{i-1} - E_i \equiv 0 \quad (\text{参 6.9.8-2})$$

式 (参 6.9.2) および (参 6.9.3) より、

$$F_s \cdot T_i = \{c'_i \cdot L_i \cdot \cos \alpha_i + (W_i - u_i \cdot L_i \cdot \cos \alpha_i) \tan \phi'_i\} / m_{ai} \quad (\text{参 6.9.9})$$

ただし、 $m_{ai} = \cos \alpha_i + (l / F_s) \sin \alpha_i \cdot \tan \phi'_i$

式 (参 6.9.9) を式 (参 6.9.8-1) および (参 6.9.8-2) に代入すると、

$$F_s = \sum \{ \{c'_i \cdot L_i \cdot \cos \alpha_i + (W_i - u_i \cdot L_i \cdot \cos \alpha_i) \tan \phi'_i\} / m_{ai} \cdot \cos \alpha_i \} / \sum (W_i \cdot \tan \alpha_i + k \cdot W_i) \quad (\text{参 6.9.10})$$

簡易 Bishop 法と同様に、第一近似 F_{s1} は式 (VI. 2. 10) で求め、これを式 (参 6.9.10) の右辺に入れて計算し、第二近似 F_{s2} が得られ、これを 3、4 回繰り返して収束解 F_s を算定する。

式 (参 6.9.8) ～ (参 6.9.10) において、 V_i 、 V_{i-1} 、 E_i 、 E_{i-1} 、 N_i 、 W_i 、 T_i 、 c'_i 、 L_i 、 α_i 、 k 、 u_i 、 ϕ'_i 、 F_s は、それぞれ次の数値を表すものとする。

V_i 、 E_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土内に働く断面力成分 (単位 kN)

W_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重 (単位 kN)

T_i : 分割されたそれぞれの滑り面上のせん断力 (単位 kN)

N_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の底面反力 (単位 kN)

c'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効粘着力 (単位 kN/m^2)

L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の傾斜方向の底面長さ (単位 m)

α_i : 次の式によって計算した分割されたそれぞれの滑り面の勾配 (単位 ラジアン)

$$\alpha_i = \tan^{-1}(H_i / L_i)$$

この式において、 H_i および L_i は、それぞれ次の数値を表すものとする。

H_i : 分割されたそれぞれの滑り面の最下流端と最上流端の標高差を計測した数値 (単位 m)

L_i : 分割されたそれぞれの滑り面の標高差を計測した二地点間の水平距離を計測した数値 (単位 m)

k : 水平震度 ($k=0.25 \times z$ z : 建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する z)

u_i : 分割されたそれぞれの滑り面上の間隙水圧 (単位 kN/m^2)

ϕ'_i : 分割されたそれぞれの滑り面の有効内部摩擦角 (単位 ラジアン)

F_s : 安全率

参考 6.10 三次元安定解析および有限要素法

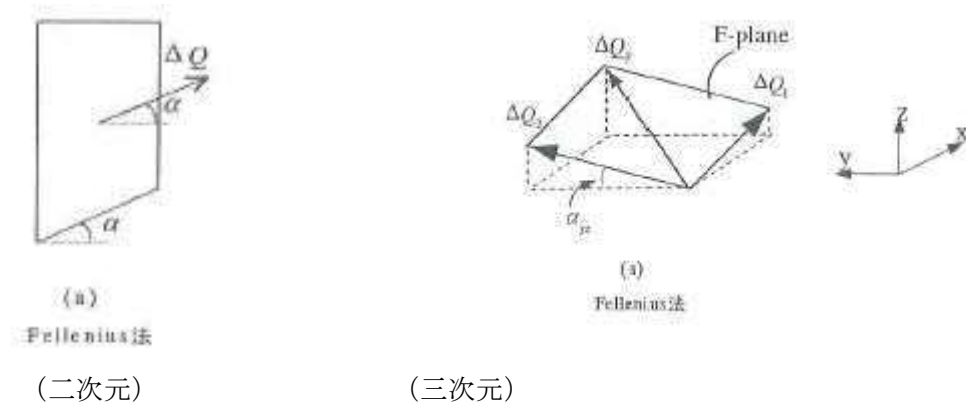
(1) 三次元安定解析

三次元安定解析の実施にあたっては、一般的に以下の①～⑤について注意が必要である。なお、三次元安定解析で求めた安全率については、二次元安定解析で求めた安全率の 1.0～1.3 倍程度となった計算例（「分割法による斜面の三次元安定性の検討」（土と基礎 36(5), 19-24, 1988-05-25），鵜飼恵三）が発表されており、三次元安定解析を実施する際の参考となる。

- ① 解析に使用する地盤特性値の精度を高めること。
- ② 解析条件となる三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 解析対象に見合った、地盤調査箇所数を決定すること
- ⑤ 滑動時の滑り面位置が、盛土底部などのように比較的明らかなこと
- ⑥ 二次元解析をもとに地震時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三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。

三次元安定解析の方法としては、二次元の分割法のうちの簡便法を三次元に拡張した Hovland 法や、**参考 6.10**に示した簡易 Bishop 法、Spencer 法、簡易 Janbu 法といった他の二次元の分割法を三次元に拡張した方法などがある。以下に Hovland 法および修正 Hovland 法の概要を示す。

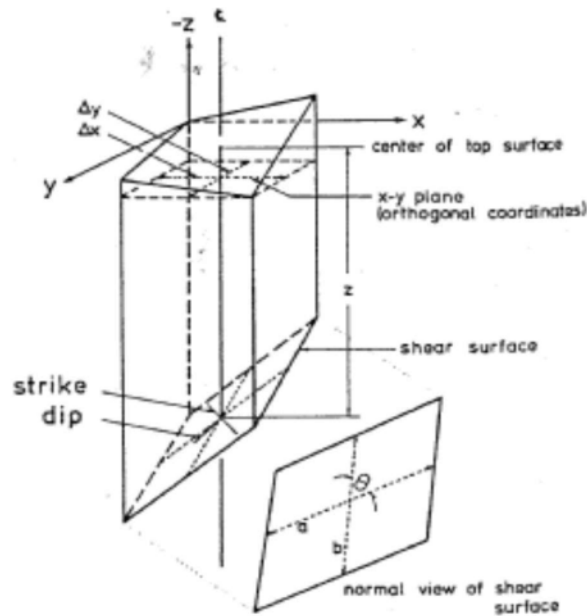
Hovland 法は、三次元安定解析としては非常に簡便な手法である。二次元解析では、スライスにより計算されるのに対し、Hovland 法では要素柱によって計算される。



図参 6.10-① ΔQ_{ij} の作用面とその分力 ΔQ_1 、 ΔQ_2

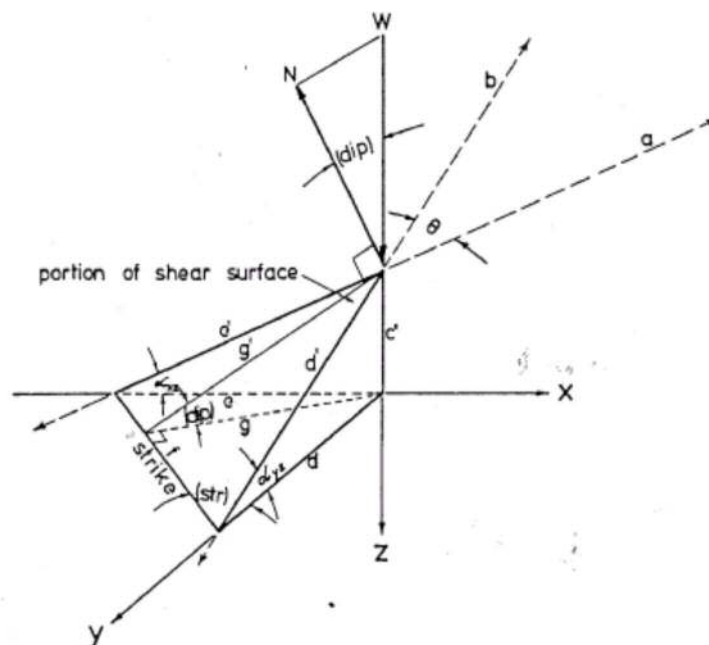
財団法人全国建設研修センター：地すべり防止技術研修テキスト，2000。

修正 Hovland 法（吉松, 1995）は、Hovland 法に修正を加え、地すべり地塊柱を Hovland 法の四角柱から三角柱にすることで、法線方向からみた xy 平面における滑り面の歪みを修正した。なお、三次元の安全率は Hovland 法と同じ手法で算出している。（式 1）に Hovland 法、修正 Hovland 法における三次元安定解析安全率(F_3)を示す。



図参 6.10-② 移動地塊と滑り面の法線断面

財団法人全国建設研修センター：地すべり防止技術研修テキスト，2000.



図参 6.10-③ 地塊における滑り面の三次元要素

財団法人全国建設研修センター：地すべり防止技術研修テキスト，2000.

$$F_3 = \frac{\sum_x \sum_y [cA_3 + W_3 \cos(DIP) \tan \phi]}{\sum_x \sum_y W_3 \sin \alpha_{yz}} \quad (\text{式 1})$$

ここで

W_3 : 各地塊の重量 (kN/m³)

c : 滑り面の面積(m²)

ϕ : 滑り面の内部摩擦角(°)

DIP : 各地塊における滑り面の最大傾斜角 (°)

α_{yz} : 地すべり滑動方向に対する各地塊の傾斜角 (°)

(2) 有限要素法

有限要素法に基づき地盤の地震時残留変形解析を行い、盛土の残留変位から安定性を評価することができる。

有限要素法では、地盤全体の挙動を解析できる利点があるが、大規模なマトリクス演算を行うため、その演算の経過を詳細にチェックすることはできないので、プログラムの良否に依存するところが多い。よって、実績のあるプログラムや評価を受けたプログラムなどその選定に留意する。また、政令第十九条第一項第一号において、「地震力及びその盛土の自重による当該盛土の滑り出す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」とされているので、仮定した滑り面上の応力と要素の強度から斜面の安全性を評価することを原則とする。

有限要素法は、以下の手順で解析を行う。

- ① 地盤を三角形や四角形の有限要素にメッシュ分割する。
- ② 要素ごとに節点での力と変位の関係式を導出する (要素剛性マトリクスの作成)。
- ③ 要素剛性マトリクスを重ね合わせることで、全節点での力と変位の関係式を求める。
- ④ 節点力もしくは節点変位を未知数とする連立一次方程式を作成し、所定の境界条件のもとで解く。

有限要素法によって斜面の安全性を確認する場合の概略は以下のとおりである。

- ① 土の構造方法、振動の性状等に応じて、荷重および外力によって盛土の各部分に生じる力および変形を連続的に把握することにより、盛土が構造上安全であることの確認は以下の基準に従った構造計算によらねばならない。
- ② 国土交通大臣告示 388 号 (旧建設省告示第 1461 号) 第四項イに規定する解放工学的基盤におけるスペクトルを持ち、盛土下部までの表層地盤による増幅を適切に考慮して作成した地震波を設計用入力地震動とする。このとき、同告示に定められた継続時間などの事項を満たし、位相分布を適切に考慮して作成した 3 波以上を用いること。ただし、盛土周辺における活断層モデル、断層破壊モデル、過去の地震活動、地盤構造などに基づ

いて模擬地震波を適切に設定してもよい。この場合も、位相分布を適切に考慮した3波以上の地震波を用いること。

- ③ 上記により、盛土が滑動、崩壊しないことを、運動方程式に基づき確かめること。
- ・計算に必要な地盤の力学特性を求める地盤調査の方法は、建築基準法告示 1113 号第一による。
 - ・地盤の動的変形特性を求める方法は、各地層の不攪乱試料による非排水繰返しせん断試験によること。但し、ゆるい砂地盤などを除く液状化を起こさない土質の場合には、土質の種類に応じて、建設省告示 1457 号第七第一項（2）に示す地盤の初期せん断剛性に同告示別表第一に示される低減係数を乗じた値とすることができる。また、地盤の減衰定数は、土質の種類に応じて、同別表第二の数値によることが出来る。
- ④ 地盤の変形特性を求める構成モデルは、地盤の力学特性を求めた試験に応じて全応力モデルあるいは有効応力モデルとし、液状化の可能性のある場合には、液状化による強度低下を試験により求め、その結果を適切に考慮したモデルとすること。
- ⑤ 地盤の強度は、解析条件に応じて、モール・クーロンの破壊規準に基づいた粘着力成分および土の内部摩擦角を用いた破壊規準式あるいは非排水せん断強度によること。
- ⑥ 解析に使用する有限要素は、アイソパラメトリック要素によること。但し、対策工や構造物などの効果を取り入れる場合には、梁要素やジョイント要素など他の要素を使用することが出来る。
- ⑦ 積分は、要素積分法とし、計算精度に影響が出ないように十分な要素分割数、適切な要素形状を確保し、不安定解が生じないようにすること。
- ⑧ 動的変形解析の開始にあたっては、盛土自重などによる地盤内応力解析を行うなど、盛土の初期地盤内応力を適切に与える処理が行われていること。
- ⑨ 計算は、盛土の残留変形を求めることが出来るような弾塑性解析によること。
- ⑩ 弾塑性解析における各計算ステップにおいて、塑性変形に伴う各要素間の応力の釣り合いが保たれるように適切な繰返し計算処理等が行われていること。
- ⑪ 大地震時における盛土の変形による限界値は以下の数値を参考としてもよい。

$$r \leq 0.025$$

$$r = \delta / L = \delta \sin \theta / H$$

δ 、 L 、 H は、以下の数値を表す。

δ : 斜面内における最大変位（単位 m）

θ : 斜面の傾斜角（単位 ラジアン）

L : 斜面の長さ（単位 m）

H : 斜面の高さ（単位 m）

参考 6. 11 盛土や地山が液状化する可能性がある場合の安定計算方法

盛土や地山が液状化する可能性がある場合、地震動の作用による土の強度低下が著しい場合等は、水平震度は作用させず、土のせん断強度には液状化による過剰間隙水压を考慮した有効強度を用いる方法などが、「社団法人 日本道路協会：道路土工 軟弱地盤対策工指針，pp. 172-173，2012. 8.」に紹介されている。

盛土や地山の液状化が懸念される大規模盛土造成地においては、前述「**VI. 2 安定計算**」の水平震度を作用させる方法に加えて、これらの方法による検討もあわせて実施することが望ましい。

ただし、斜面の液状化については、初期せん断応力の影響が複雑であるため、これに注意する必要がある。

参考 6. 12 擁壁の安定性の検討方法

現行基準を満足していない擁壁（増積み擁壁や二段擁壁）、現地踏査で変状が確認され、かつ倒壊した場合に相当数の居住者その他の者に危害を生じるおそれ大きいと認められる擁壁については、前述「**VI. 2 安定計算**」で盛土全体の安定性が確保される結果が得られた場合であっても、別途、擁壁の安定性を検討することが望ましい。

各種擁壁の設計方法は、「宅地防災研究会：宅地防災マニュアルの解説（第二次改訂版）[I]，pp. 293-402，2007. 11.」に紹介されており、設計・施工資料を収集し擁壁の基礎形式や仕様を確認したうえで、上記マニュアルなどに示される方法で擁壁の安定性を検討することができる。

なお、設計・施工資料が保管されておらず擁壁の基礎形式や仕様が不明な場合は、「国土交通省：宅地擁壁老朽化判定マニュアル（案），

http://www.mlit.go.jp/crd/city/plan/kaihatu_kyoka/takuchi_gaiyo/02_hantei.htm. 」

に示される方法で、擁壁の安定性を概略判定することができる。

また、擁壁部において、倒壊・滑りが発生すると判定される場合は、複合的な被害形態を考慮し、擁壁部の倒壊・滑りとそれに起因した盛土部の滑り（住宅部への影響が大きい滑り）の安定計算を行うことが望ましい。

VI.3 第二次スクリーニングのまとめ

VI.1～VI.2の結果を整理し、滑動崩落のおそれがある大規模盛土造成地を抽出する。

【解 説】

VI.1の地盤調査結果およびVI.2の安定計算結果に基づき、一団の造成宅地の安全性を評価し、滑動崩落のおそれがある大規模盛土造成地を抽出する。大規模盛土造成地が複数のブロックに区分された場合は、各ブロックの安定計算結果や安定性に対するブロック相互の影響などを総合的に勘案して一団の造成宅地全体の安全性を評価し、滑動崩落のおそれがある大規模盛土造成地を抽出する。

第二次スクリーニングのまとめのイメージを表VI.3.1に示す。

表Ⅵ.3.1 第二次スクリーニングのまとめのイメージ

地点 番号	第一次スクリーニング										第二次スクリーニング計画																			第二次スクリーニング									
	盛土造成地 の位置		盛土造成地の規模			大規模盛土造成地の抽出					優先度評価													その他		土質・地下水調査		安定計算		滑動崩 落の恐 れ									
	所在地	面積 (m ²)	原地盤面 の勾配 (度)		高さ (m)	谷埋め型 面積 3000m ² 以上	腹付け型 原地盤面 の勾配20 度以上かつ 高さ5m 以上	必要 性	結果	大規模盛土造成地の種類	①盛土/擁壁の形状・構造					②変状				③ 地下 水	④ 不安 定土 層の	⑤造成年代	⑥変動確率	特記事項	優先 度	保全対象		既存 調査結果 (土質・ 地下水・ N値等)	想定 被害 形態		調査 ボーリング データ ナンバー		安全率						
			α	θ							のり 面勾 配	小段 間隔	保のり 工面	ひな壇 部分	擁壁 構造	宅地 地盤	擁壁	のり 面	周辺 施設							住宅	公共 施設 等				全体 滑り	ひな壇 部分 の滑り (最小 値)							
28	〇〇市 □□6丁目	2,200	不明	15	4	×	△	要	腹付け 型	—	標準	標準	標準	標準	逆T	該当	頂部 亀裂	沈下 傾斜 亀裂	表層 崩壊	無	有	有	有	無	H2	後	50 (方式2)	大	擁壁の沈下等顕著な変状があるため、 災害発生のおそれが切迫していると判 断。	※	10戸	無	盛土材 砂質土	崩壊	※	※	※	※	※
31	〇〇市 ■2丁目	3,000	10	—	15	○	×	不要	—	谷埋め型	標準	標準	標準	急	空石積	非該当	亀裂	亀裂	無	無	有	有	無	S42	前	20	小	ひな壇部分の多数の擁壁に変状あり、 湧水も認められる。またひな壇部分の植 料が急であることから、ひな壇部分が連 続的に変形するおそれがあると判断	A1	多数	無	なし	変形	No.31	0.8	0.75	0.80	有	
30	〇〇市 ■1丁目	3,000	25	—	15	○	○	不要	—	谷埋め型 腹付け型 注:現地調査を踏 まえて判断する	急	標準	標準	標準	石積	非該当	無	無	亀裂	無	有	無	無	S36	前	90	大	現地調査より腹付け型と判断(盛土のり 面勾配が急で、亀裂は認められたが、地 下水は確認されなかった)	A1	多数	河川 鉄道	なし	崩壊	No.30	無	0.80	0.70	有	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
3	〇〇市 □□6丁目	2,900	20	—	5	×	○	不要	—	腹付け型	標準	標準	標準	標準	もたれ	該当	無	亀裂 傾斜	無	無	有	有	無	H5	後	25	小	擁壁に変状あり、湧水も認められること から、地下水も豊富と判断。	A4	多数	鉄道	地下水位 GL-3.0m	崩壊	No.3	0.5	0.85	1.20	有	
34	〇〇市 ▽▽1丁目	3,100	3	—	2	○	×	要	谷埋め 型	谷埋め型	標準	標準	標準	標準	逆T	該当	無	無	無	無	無	無	有	S40	前	10	小	盛土の下に不安定な土層があるため、 すべり崩壊被害が発生する可能性がある。 。	A4	多数	無	なし	崩壊	No.34	5.0	2.30	2.00	無	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
1	〇〇市 △△1丁目	3,000	14	—	20	○	×	不要	—	谷埋め型	標準	標準	標準	標準	逆T	該当	無	無	無	無	無	可能性 有	無	H11	後	40	大	■地形が屈曲しているため、上流側と下 流側に区分。 ■谷の末端が閉塞しているため、被害 形態は変形にとどまると判断。	B2	多数	無	なし	変形	No.1-1 No.1-2	3.0 4.0	1.20 2.10	1.30 1.50	無 無	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
4	〇〇市 ▲▲1丁目	4,000	2	—	4	○	×	不要	—	谷埋め型	標準	標準	標準	標準	逆T	該当	無	無	無	無	無	無	無	H3	後	20	小	現地調査の結果、滑動崩落のおそれが 小さいことを確認。 (土質・地下水調査、安定計算省略)	C	10戸	無	なし	—	—	—	—	無		
2	〇〇市 △△2丁目	1,800	15	—	3	×	×	不要	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
29	〇〇市 ●●1丁目	2,500	不明	5	3	×	×	不要	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
32	〇〇市 ■3丁目	3,300	5	—	3	○	×	要	切土	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
33	〇〇市 ■4丁目	3,200	10	—	4	○	×	要	平坦地	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

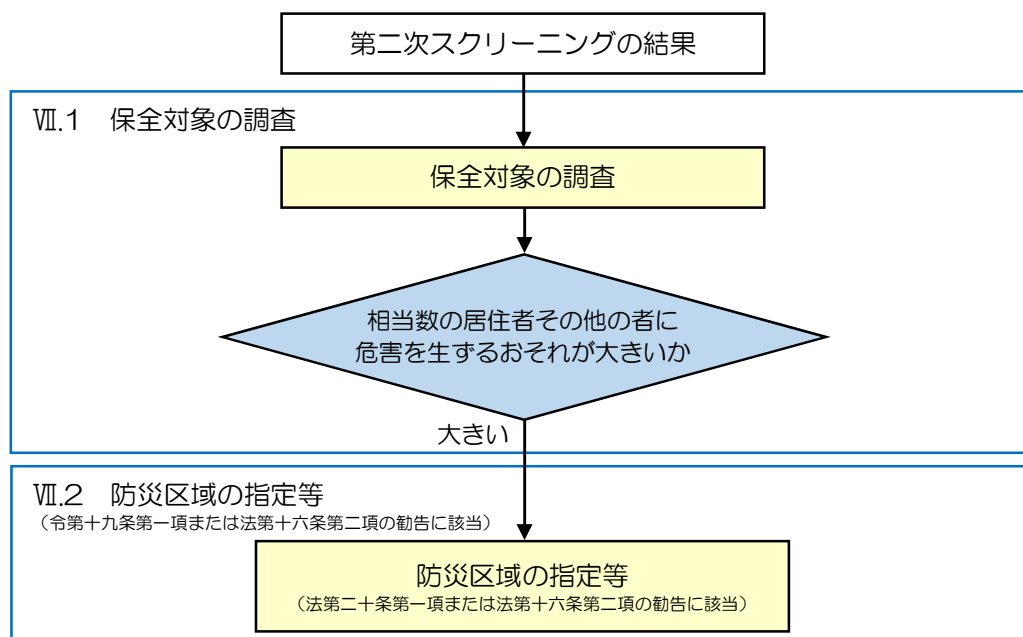
※: 地点番号 28 は、擁壁に沈下等の顕著な変状が認められ、宅地頂部に亀裂も生じていることから、「災害のおそれが切迫している」と判断されるため、第二次スクリーニングは実施せず、「Ⅶ.3 防災区域の指定等(令第十九条第一項第二号または法第十六条第二項の勧告に該当(災害発生のおそれが切迫していることが確認される場合))」に従う。

VII. 防災区域の指定等

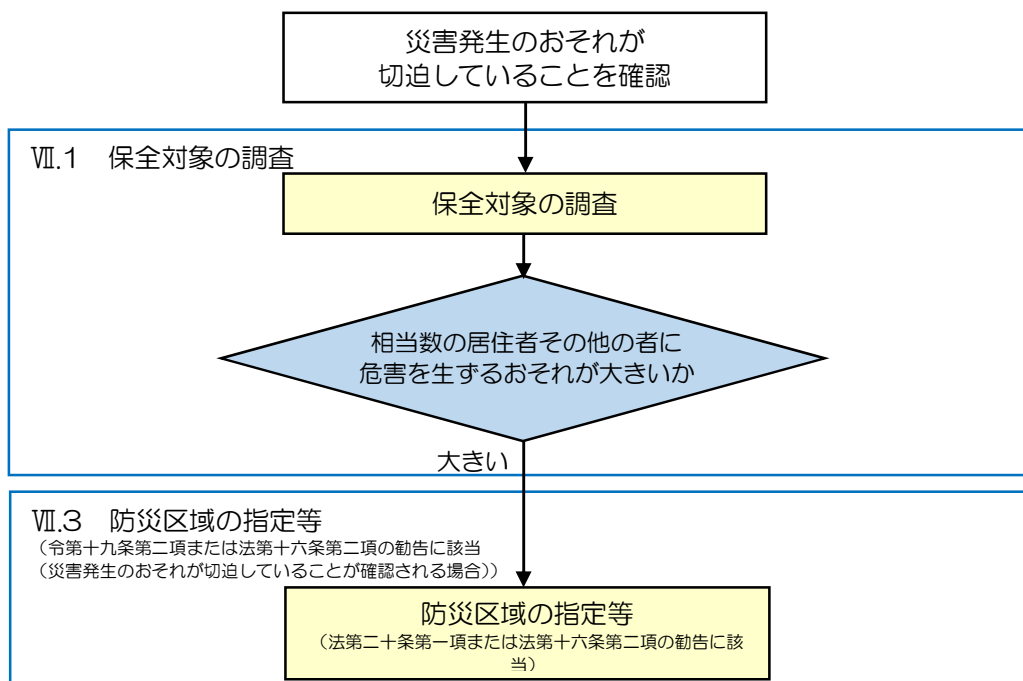
防災区域の指定等にあたっては、変動予測の結果、崖崩れ又は土砂の流出が生ずるおそれがあると判断された場合、もしくは災害発生のおそれが切迫していることが確認される場合に、相当数の居住者その他の者に危害を生ずるものの発生のおそれが大きいかどうかを判断し、防災区域の指定等を行うものとする。

【解 説】

変動予測による場合の防災区域の指定等の流れを図VII. 1、災害発生のおそれが切迫していることが確認される場合の防災区域の指定等の流れを図VII. 2に示す。



図VII. 1 変動予測による場合の防災区域の指定等の流れ

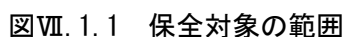


図VII. 2 災害発生のおそれが切迫していることが確認される場合の防災区域の指定等の流れ

大規模盛土造成地の滑動崩落により危害が生ずるおそれの大きいある土地の区域内に存在する住宅、道路、河川、鉄道等の保全対象とそれらの規模を調査する。

抽出された大規模盛土造成地について、収集された資料や現地踏査等をもとに、机上において当該大規模盛土造成地上およびその周辺に住宅および公共施設等（道路、河川、鉄道、地域防災計画に記載されている避難地または避難路）が存在するかどうかを確認する（対象とする公共施設等は、地域の実情にあわせて地方公共団体で判断してよい）。また可能であればそれらの数や延長などの規模、公共施設についてはその管理主体（国道、県道または一級河川かなど）などを可能な範囲で確認する。

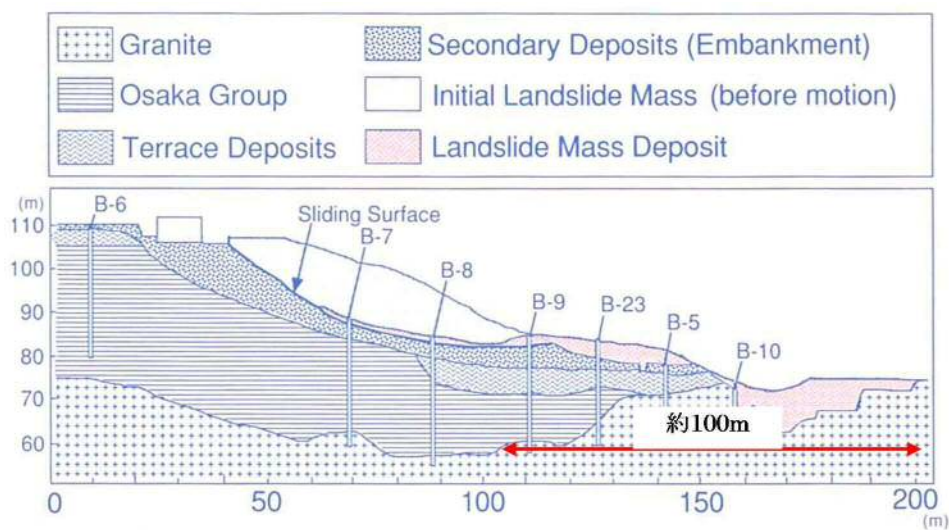
ただし、Lが100mを超える場合のL'は、**参考 7.1**に示す大規模盛土造成地の滑動崩落事例から最大100mを目安とするが、近隣での土砂流出災害の実績などを参考に100mを超えて設定することもできる。



参考 7.1 保全対象の範囲の設定方法について

大規模盛土造成地の滑動崩落事例のうち、移動距離が長い事例は、西宮市仁川町と宮城県築館町である。西宮市仁川町の事例は、1995 年兵庫県南部地震の際に、大規模盛土造成地が約 100m 下流まで流下したものである。宮城県築館町の事例は、2003 年三陸南地震の際に大規模盛土造成地が 80～100m 移動したものである。

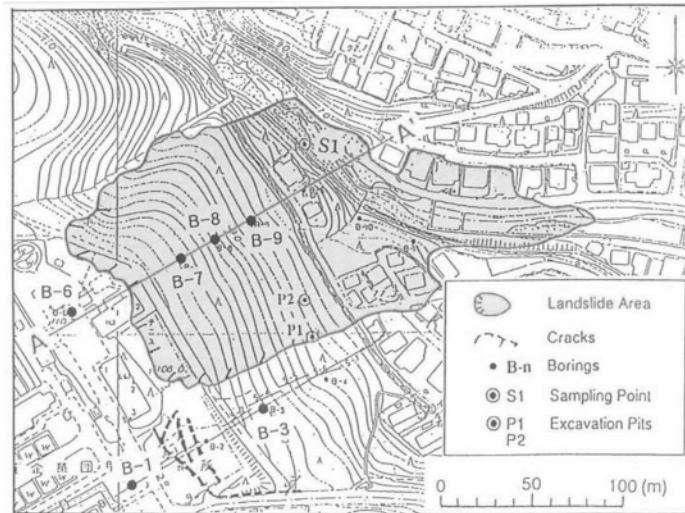
大規模盛土造成地の滑動崩落現象は、人工地形が地すべりのような現象で移動するものである。日本における地すべり現象の 99% において地すべりによって発生した土石等が到達した区間の長さを、地すべりしている区域の長さで除した値が 1 以下となっている（国土交通省河川局水政課・砂防部砂防計画課：土砂災害防止法令の解説，p. 59，2003.）。宅地盛土の滑動崩壊現象も最大で盛土長さ程度の移動にとどまると考えられる。



図参 7.1-① 西宮市仁川百合野町の崩壊地域周辺の地質断面図

K.SASSA H.FUKUOKA T.SAKAMOTO :

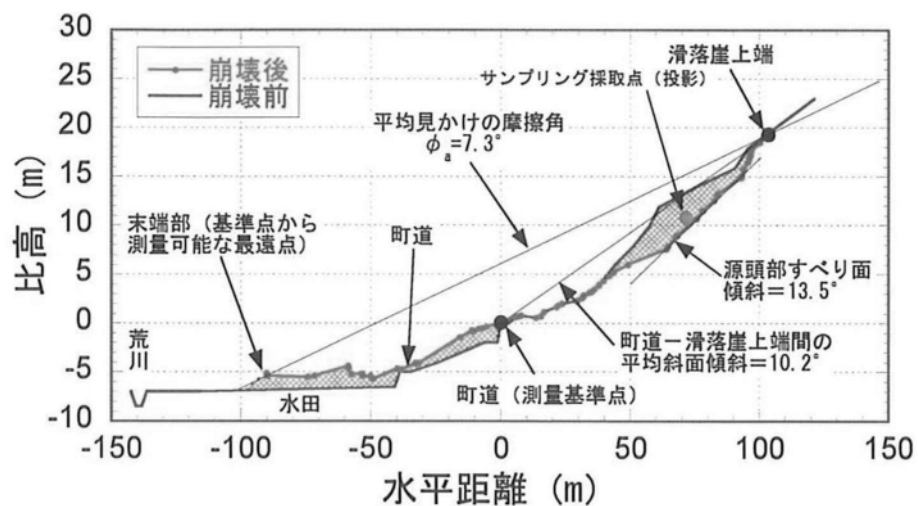
The rapid and Disastrous Nikawa Landslide, LANDSLIDE NEWS, 1995.



図参 7.1-② 西宮仁川における平面図

K.SASSA H.FUKUOKA T.SAKAMOTO :

The rapid and Disastrous Nikawa Landslide, LANDSLIDE NEWS, 1995.



図参 7.1-③ 宮城県築館町で発生した地すべりの縦断面図

防災研究所地盤災害研究分野HP

VII.2 防災区域の指定等（令第十九条第一項第一号または法第十六条第二項の勧告に該当）

変動予測の結果、抽出された大規模盛土造成地について、宅地造成に伴う災害で相当数の居住者その他の者に危害を生ずるものの発生のおそれ大きいと判断されるものについて、防災区域の指定等を行う。

【解 説】

変動予測の結果、安全率が1を下回る範囲の一団の造成地で、盛土上および盛土周辺の相当数の住宅に危害を及ぼす恐れ大きいと判断され、次のいずれかに該当する場合は、防災区域の指定または宅地造成工事規制区域内における勧告を行うこととする。

- ① 盛土の面積が3,000m²以上であり、かつ、地下水位が盛土の内部に侵入しているもの
- ② 盛土前の地盤面が水平面に対し20度以上の勾配かつ盛土の高さが5m以上のもの

防災区域の指定範囲および勧告範囲は、安定計算結果（安全率が1を下回る範囲など）、旧地形状況、地盤調査結果、現状の変状等を勘案して判断すること。

なお、宅地耐震化推進事業では、予防対策の施行地区の要件として、盛土上に存在する家屋が谷埋め型大規模盛土造成地では10戸以上、腹付け型大規模盛土造成地では5戸以上、かつ、高速自動車国道、一般国道、都道府県道、河川、鉄道または地域防災計画に記載されている避難地または避難路に被害が発生するおそれがあるものとなっており、防災区域の指定等に当たってはこれらも考慮することが望ましい。

**Ⅶ. 3 防災区域の指定等（令第十九条第一項第二号または法第十六条第二項の勧告に該当
（災害発生のおそれが切迫していることが確認される場合））**

変動予測に関わらず、切土又は盛土をした後の地盤の滑動、宅地造成に関する工事により設置された擁壁の沈下、切土又は盛土をした土地の部分に生じた崖の崩落その他これらに類する事象が生じている一団の造成宅地の区域であって、災害発生のおそれが切迫していることが確認される場合で、災害により相当数の居住者その他の者に危害を生ずるおそれが大きいと認められるものについて防災区域の指定等を行う。

【解 説】

政令第十九条第一項第二号では、切土又は盛土をした後の地盤の滑動、宅地造成に関する工事により設置された擁壁の沈下、切土又は盛土をした土地の部分に生じた崖の崩落その他これらに類する事象が生じていることから、災害発生のおそれが切迫していることが確認される場合は、安定計算に関わらず、防災区域の指定ができるとしている。

この規定により、例えば窪地を平坦に盛土した宅地でも、地盤の滑動などの事象を示していれば防災区域に指定することが可能となる。

地盤の滑動などの事象については、政令に例示しているが、その他これらに類する事象としては、例えば温泉などではない地下水がのり面や擁壁から常時しみ出していたり、雨の後に地下水がのり面や擁壁から噴出したりすることなどが考えられる。

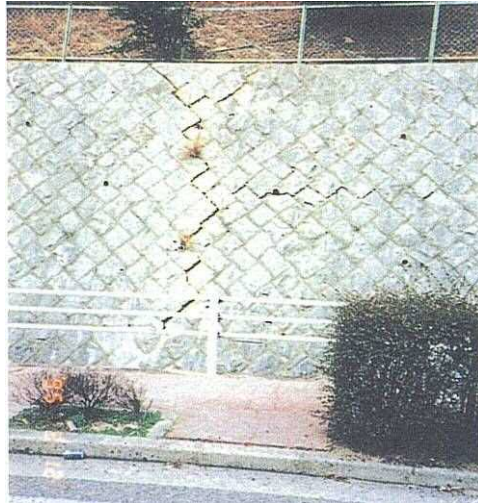
地盤の滑動などの事象は、住民等からの情報提供や日常のパトロールなどで判明するケースと、変動予測の第二次スクリーニング計画の作成などで実施する現地踏査で判明するケースが考えられるが、いずれの場合においても速やかに現地確認を行うとともに、必要に応じて調査や計測を実施して状況を把握し、防災区域の指定について検討することが重要である。

なお、宅地造成工事規制区域内においても、前述した事象が生じ災害発生のおそれが切迫していることが確認される場合は、法第十六条第二項に基づき宅地造成に伴う災害の防止のために必要な措置をとることを勧告することができる。

災害のおそれが切迫していることが確認される事象の例を図Ⅶ. 3. 1～図Ⅶ. 3. 3 に示す。



図Ⅶ. 3. 1 宅地の亀裂例



図Ⅶ. 3. 2 擁壁の沈下例 1



図Ⅶ. 3. 3 擁壁の沈下例 2

Ⅷ. 住民等への説明事項

変動予測調査を円滑に進めるため、調査の各段階において必要な住民説明会や広報誌による情報提供（以下「説明会等」）を実施する。

説明会等では、調査の目的や必要性、調査内容、調査結果等を分かりやすい資料で提示し、住民等の理解と協力を求める。

【解 説】

① 説明会等の実施時期

大規模盛土造成地マップの公表段階、第二次スクリーニング計画作成における現地踏査段階、第二次スクリーニングにおける地盤調査段階、変動予測調査終了段階において、説明会等を実施する。

住民等への説明の方法や実施時期および対象者等については、地方公共団体において判断すること。説明会等の実施時期と説明内容の例を図Ⅷ.1に示す。

実施時期		説明内容
大規模盛土造成地マップ	大規模盛土造成地マップ公表段階	・ 滑動崩落被害の概要等 ・ 変動予測調査の目的、必要性 ・ 大規模盛土造成地マップの活用方法
第二次スクリーニング計画作成	現地踏査段階	・ 第二次スクリーニング計画の概要 ・ 現地踏査の内容と協力依頼
第二次スクリーニング	地盤調査段階	・ 第二次スクリーニングの概要 ・ 地盤調査の内容と協力依頼
変動予測調査終了段階		・ 第二次スクリーニング結果 ・ 防災区域指定等の範囲 ・ 今後の対応（予防対策概要、スケジュール、費用負担等）

図Ⅷ.1 説明会等の実施時期と説明内容（例）

2 説明の内容

(1) 大規模盛土造成地マップ公表段階

- ・ 「わが家の宅地安全マニュアル (<http://www.mlit.go.jp/crd/pamphlet.html>)」等を活用してこれまでの滑動崩落被害の概要等を説明し、変動予測調査や予防対策の必要性を住民に周知する。
- ・ 大規模盛土造成地滑動崩落防止事業の趣旨や制度を説明する。
- ・ 大規模盛土造成地マップに示されている全ての箇所が危険というわけではないことを説明し、過度の不安を与えないよう注意する。
- ・ 大規模盛土造成地マップとあわせて擁壁やのり面等の代表的な変状の事例を示し、大規模盛土造成地上の住民から情報提供を求める。

(2) 第二次スクリーニング計画作成 現地踏査段階

- ・ 第二次スクリーニング計画の作成で行う現地踏査に先立ち、第二次スクリーニング計画の概要や現地踏査の内容を説明し、調査への協力を依頼する。

(3) 第二次スクリーニング 地盤調査段階

- ・ 第二次スクリーニングで行う地盤調査に先立ち、当該宅地の第二次スクリーニング計画および地盤調査内容を説明し、地盤調査への協力を依頼する。調査ボーリングなど個々の宅地を借用する必要がある場合は個別に協力を依頼する。

(4) 変動予測調査終了段階

- ・ 第二次スクリーニングの結果、防災区域の指定等が必要と判断された地域の住民に対して、防災区域の指定等に先立ち、防災区域等の範囲や今後の対応（予防対策概要、スケジュール、費用負担等）について説明する。予防対策の実施にあたっては、予防対策の考え方（面的に行う滑動崩落対策は、一定の要件を満たす大規模盛土造成地で行われる対策工事について費用の一部が補助される理由、個々の宅地で行う耐震対策の必要性など）、地方公共団体と住民等それぞれの役割について説明した上で、住民の意向もあわせて確認する必要がある。
- ・ 防災区域の指定等が必要と判断された地域の住民への説明では、対策に要する費用等について説明を求められることが想定されることから、安定計算とあわせて対策工法や工事費等について概略の検討を行っておくことが望ましい。
- ・ 第二次スクリーニングの結果、防災区域の指定等が不要と判断された地域については、その結果を周知するとともに、新たに変状等が生じた場合の情報提供を求める。