大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説

平成２０年２月

大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説目次

Ⅰ．総説 1
Ⅱ．防災区域の指定等の概要 11
Ⅲ．第一次スクリーニング 13
Ⅲ.1 調査対象地域の設定 14
Ⅲ.2 盛土造成地の位置と規模の把握 15
Ⅲ.2.1 基礎資料収集 17
Ⅲ.2.2 盛土造成地の位置の把握 24
Ⅲ.2.3 盛土造成地の規模の把握 25
Ⅲ.3 第二次スクリーニング計画の作成 41
Ⅳ．宅地ハザードマップ 55
Ⅳ.1 宅地ハザードマップの作成 56
Ⅳ.1.1 宅地ハザードマップの記載項目の検討 56
Ⅳ.1.2 資料収集 56
Ⅳ.1.3 基図の作成 56
Ⅳ.1.4 共通項目の記載 57
Ⅳ.1.5 地域項目の記載 57
Ⅳ.2 宅地ハザードマップの公表と活用 58
Ⅴ．第二次スクリーニング 59
Ⅴ.1 現地調査 60
Ⅴ.2 安定計算 72
Ⅵ．防災区域の指定等 94
Ⅵ.1 保全対象の調査 95
Ⅵ.2 防災区域の指定等 98
Ⅵ.3 防災区域の指定等（災害の発生のおそれが明らかな場合） 99

Ⅰ．総説

兵庫県南部地震や新潟県中越地震等の際に、谷や沢を埋めた造成宅地または傾斜地盤上に腹付けした造成宅地において、盛土と地山との境界面等における盛土全体の地すべり的変動（以下「滑動崩落」という。）を生ずるなど、造成宅地における崖崩れ又は土砂の流出による災害が生じている。

本ガイドラインは、宅地造成等規制法（以下「法」という。）第二十条第一項の災害の発生のおそれが大きい大規模盛土造成地について、造成宅地防災区域（以下「防災区域」という。）の指定又は宅地造成工事規制区域内における勧告（以下「防災区域の指定等」という。）を行うに当たって必要となる大規模盛土造成地の変動予測の調査手法を示したものである。

【解　説】

1　大規模盛土造成地とは

宅地を造成する場合、切土と盛土を組み合わせる手法が一般的であり、谷や沢を埋めたため、盛土内に水の浸入を受け易く、形状的に盛土側面に谷部の斜面が存在することが多い谷埋め盛土、また傾斜地盤上の高さの高い腹付け盛土などを盛土造成地という。

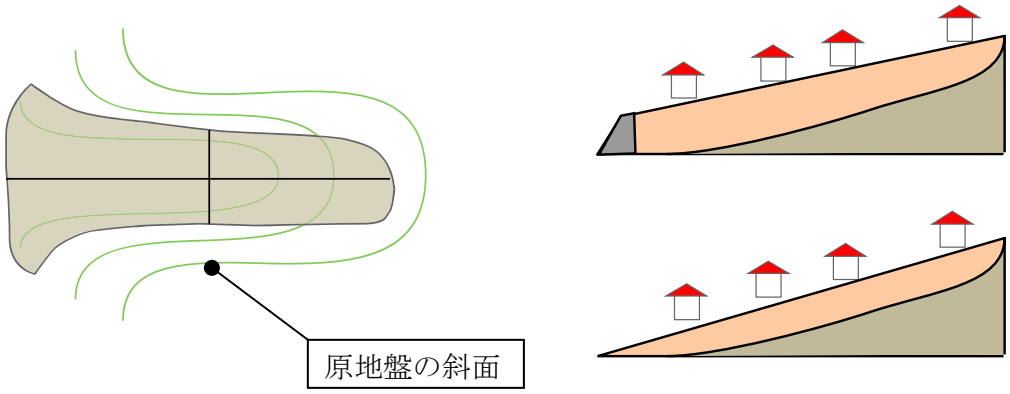
その盛土造成地のうち以下のいずれかの要件を満たすものを大規模盛土造成地という。

① 盛土の面積が3,000平方メートル以上(以下「谷埋め型大規模盛土造成地」という。)

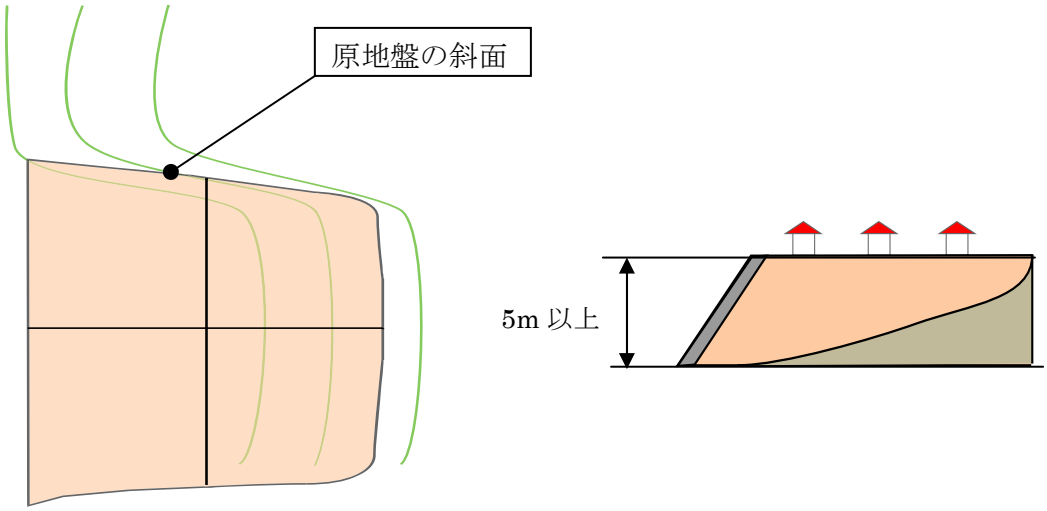
② 盛土をする前の地盤面（以下「原地盤面」という。）の水平面に対する角度が 20 度以上で、かつ、盛土の高さが 5 メートル以上（以下「腹付け型大規模盛土造成地」という。）

盛土の面積等の考え方については「Ⅲ.2.3 盛土造成地の規模の把握」を参考にされたい。

1）谷埋め型大規模盛土造成地のイメージ



2）腹付け型大規模盛土造成地のイメージ

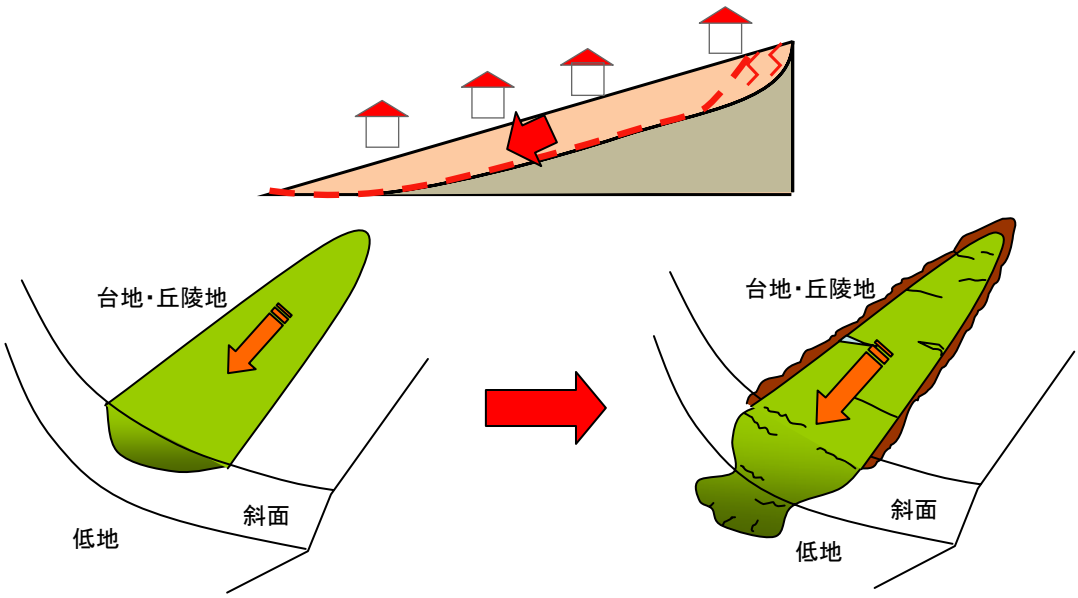


図Ⅰ.1　谷埋め型大規模盛土造成地と腹付け型大規模盛土造成地のイメージ

2　大規模盛土造成地の滑動崩落

1）谷埋め型大規模盛土造成地

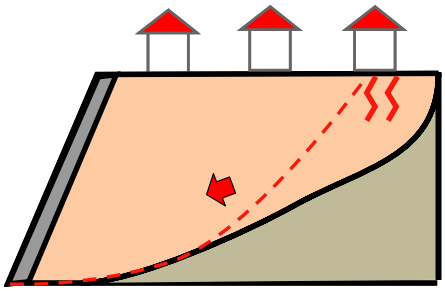
谷を埋めて宅地用の平坦面を確保した谷埋め型大規模盛土造成地において、主として地震時に宅地造成前の谷底付近をすべり面として大規模盛土造成地全体または、大部分が斜面下部方向へ移動する。



図Ⅰ.2　谷埋め型大規模盛土造成地で発生する滑動崩落のイメージ

2）腹付け型大規模盛土造成地

傾斜地盤上などにおいて、高い盛土を行った腹付け型大規模盛土造成地において、主として地震時に大規模盛土造成地全体または、大部分が斜面下部方向へ移動する。



図Ⅰ.3　腹付け型大規模盛土造成地で発生する滑動崩落のイメージ

3　造成宅地防災区域の指定等について

法第二十条第一項に、「都道府県知事は、この法律の目的を達成するために必要があると認めるときは、関係市町村長の意見を聴いて、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が大きい一団の造成宅地（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。）の区域であって政令で定める基準に該当するものを、造成宅地防災区域として指定することができる。」とある。

そして、法第二十一条第一項に、「造成宅地防災区域内の造成宅地の所有者、管理者又は占有者は、前条第一項の災害が生じないよう、その造成宅地について擁壁等の設置又は改造その他必要な措置を講ずるように努めなければならない。」また、法第二十一条第二項には、「都道府県知事は、造成宅地防災区域内の造成宅地について、前条第一項の災害の防止のため必要があると認める場合においては、その造成宅地の所有者、管理者又は占有者に対し、擁壁等の設置又は改造その他同項の災害の防止のため必要な措置をとることを勧告することができる。」とある。

かつ、法第二十二条第一項には、「都道府県知事は、造成宅地防災区域内の造成宅地で、第二十条第一項の災害の防止のため必要な擁壁等が設置されておらず、又は極めて不完全であるために、これを放置するときは、同項の災害の発生のおそれが大きいと認められるものがある場合においては、その災害の防止のため必要であり、かつ、土地の利用状況その他の状況からみて相当であると認められる限度において、当該造成宅地又は擁壁等の所有者、管理者又は占有者に対して、相当の猶予期限を付けて、擁壁等の設置若しくは改造又は地形若しくは盛土の改良のための工事を行うことを命ずることができる。」とある。

これは、宅地造成に伴う崖崩れ又は土砂の流出による災害で、相当数の居住者等に危害を及ぼすことを未然に防止するために設けられている規定であり、造成宅地防災区域の指定がなされれば、居住者等が災害を防止するための措置を講ずることになり、また当該措置が不十分な場合は、改善命令がなされることもあるということである。

なお、宅地造成工事規制区域内においても同様の規定が法第十六条及び法第十七条に設けられている。

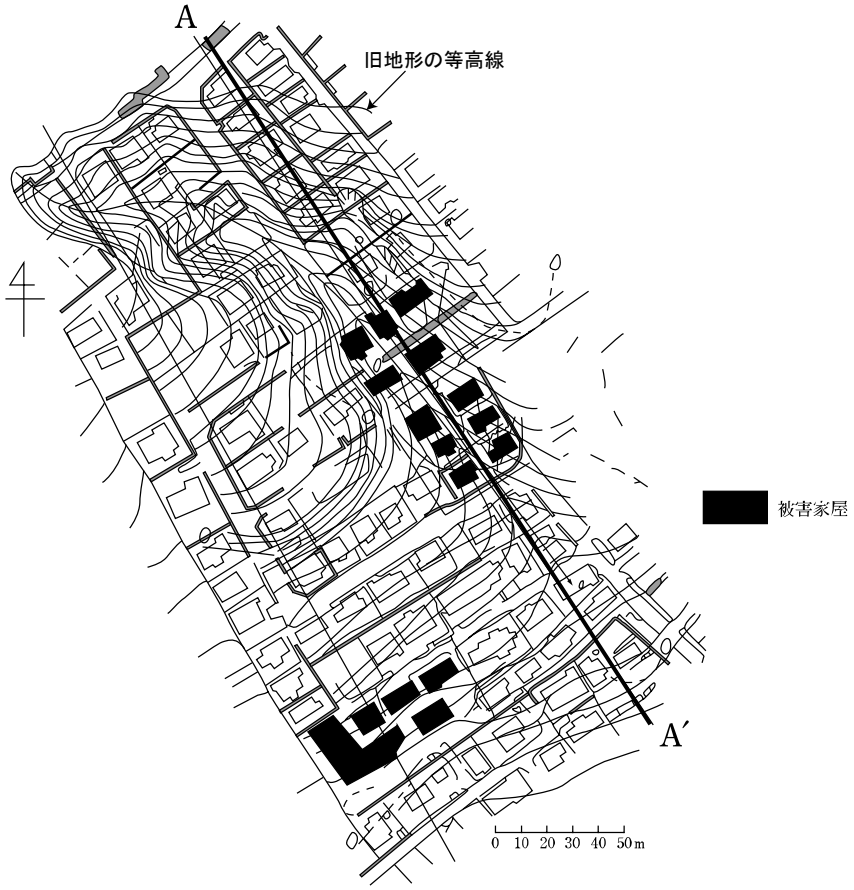
参考 1.1　災害事例

（1 ）宮城県沖地震（1978）の事例（谷埋め型大規模造成地）

1978 年 6 月 12 日仙台東方沖約 120km で発生した M7.4 の地震は、仙台市緑ヶ丘や白石市寿山などの複数の大規模盛土造成地において、滑動崩落が発生した。図参 1.1－②は、緑ヶ丘における被災住宅の分布と宅地造成前の地形を重ねたものである。かつて谷部だった地形を埋め立てた谷埋め型大規模造成地上の住宅が被災していることがわかる。

図参 1.1－①　1978 年宮城県沖地震による盛土造成地の被害

（撮影、提供：河北新報社）

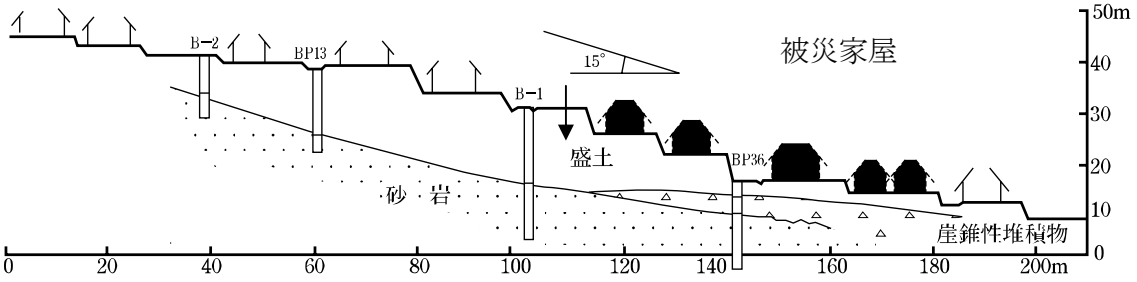


図参 1.1－②　宮城県沖地震（1978）によって滑動崩落した盛土造成地（平面図）

（浅田秋江(1994)：都市周辺における丘陵地宅地造成地の地震危険度に関する研究

（1978 年宮城県沖地震を例として））

A－A′ 地質断面図



図参 1.1－③　宮城県沖地震（1978）によって滑動崩落した盛土造成地（断面図）

（浅田秋江(1994)：都市周辺における丘陵地宅地造成地の地震危険度に関する研究

（1978 年宮城県沖地震を例として））

（2 ）兵庫県南部地震（1995）の事例（谷埋め型大規模盛土造成地）

1995 年 1 月 17 日に発生した淡路島北部を震源とする M7.3 の地震は、阪神地域を中心に家屋の倒壊、火災、液状化など都市における甚大な被害が発生した。この地震でも宮城県沖地震と同様に丘陵地における盛土造成地が宅地造成前の谷底をすべり面として、盛土造成地全体が斜面下部方向へ移動する滑動崩落が 100 箇所以上確認されている（釜井,1995）。図参 1.1－④の写真は、手前の電柱が位置する地山に対し、奥の家屋が位置する盛土造成地が写真右から左方向へ数メートル移動した事例である。

谷埋め型大規模盛土造成地は斜面下部へ滑るように移動するため、盛土の末端部では圧縮されたようなクラックが生じ、斜面上部では、引っ張られて出来るクラックが現れる（図参 1.1－⑤）。

図参 1.1－④　西宮市における盛土造成地の変動に伴う被害

（釜井俊孝・守隨治雄（2002）：斜面防災都市、理工図書）

（3 ）新潟県中越地震（2004）の事例（腹付け型大規模盛土造成地）

2004 年 10 月 23 日に新潟県川口町付近で発生した M6.8 の地震は、長岡市周辺に広がる大規模盛土造成地に甚大な被害を与えた。長岡市高町では、丘陵地の縁に造成された大規模盛土造成地が擁壁とともに滑動崩落し、大規模盛土造成地上の家屋及び道路等に大きな被害を与えた。

図参 1.1－⑤　新潟県長岡市高町の盛土造成地の滑動崩落現象

（提供：（有）太田ジオリサーチ）

図参 1.1－⑥　新潟県長岡市高町の盛土造成地の滑動崩落現象

（提供：（有）太田ジオリサーチ）

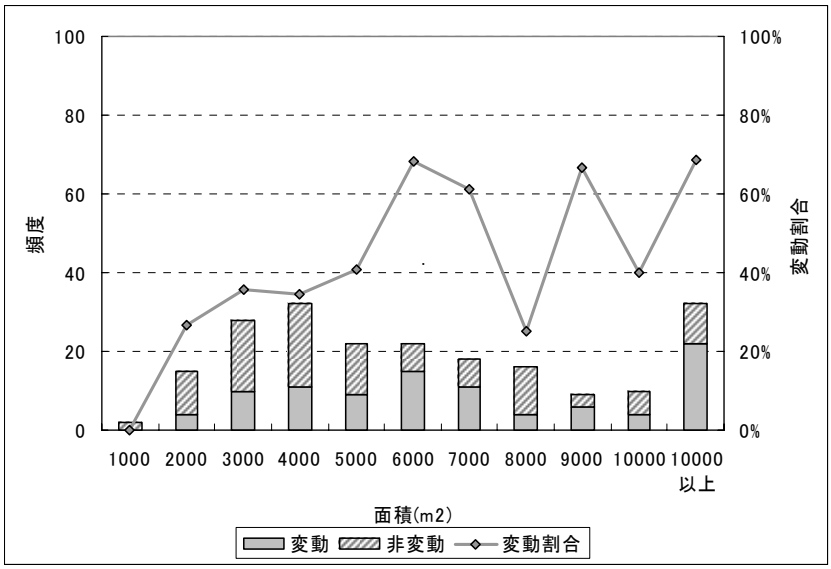
参考 1.2　大規模盛土造成地の過去の災害規模

（1 ）谷埋め型大規模盛土造成地の例

兵庫県南部地震（1995）の調査結果から大規模盛土造成地の面積と変動実績の関係を図参 1.2－①に示す。（参考：釜井俊孝,鈴木清文,磯部一洋.平成 7 年兵庫県南部地震による都市域の斜面変動.地質調査所月報　第 47 巻　第 2/3 号.1996.p175-200）。

なお、変動と判断された盛土は、クラックの分布が盛土の分布域と重なり、クラック発生の力の源が地すべり的（頭部：引っ張り，末端部：圧縮，側部：横ずれ）である場合を変動としている。

ただし、3,000 平方メートル未満の変動事例は、盛土造成地の一部が表層崩壊したものである。

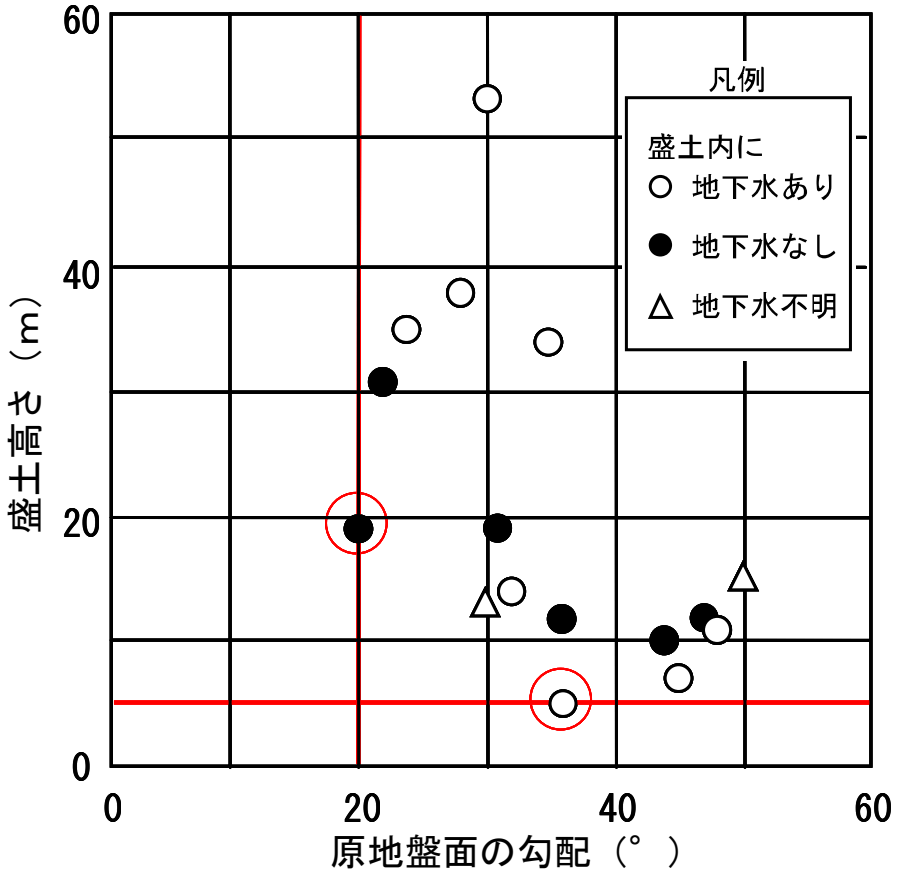


図参 1.2－①　大規模盛土造成地の面積と変動の関係

（兵庫県南部地震の変動事例と非変動事例）

（2 ）腹付け型大規模盛土造成地の例

兵庫県南部地震（1995）の調査結果から大規模盛土造成地の原地盤面の勾配と盛土高さの関係を図参 1.2－②に示す。図参 1.2－②より盛土高さが 5 メートル未満の場合、もしくは原地盤面の勾配が 20 度未満の場合は、変動が生じていないことが読み取れる。



図参 1.2－②　のり面変状箇所における原地盤面の勾配と盛土高さとの関係

（参考「兵庫県南部地震による宅地地盤被害と各種要因との関係分析」

（沖村等、土木学会論文集、No.623/VI-43,259-270,1999.6））

Ⅱ．防災区域の指定等の概要

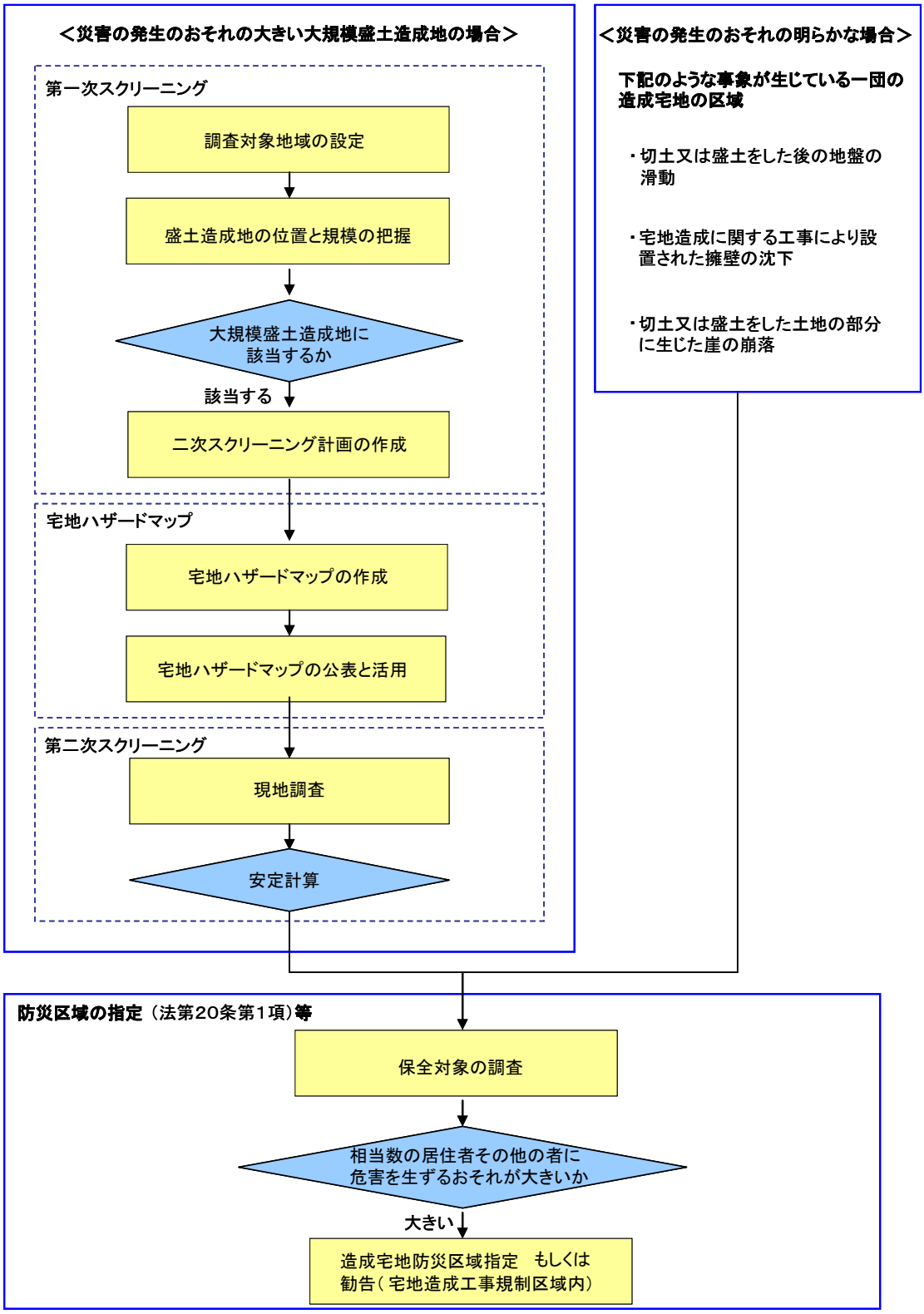
変動予測は第一次スクリーニングと第二次スクリーニングによって構成され、防災区域の指定等は当該変動予測結果に基づいて行われるものとする。これらの手順は以下の通りとする。

1）調査対象地域を設定し、盛土造成地の位置と規模を把握し、第二次スクリーニング計画を作成する。（第一次スクリーニング）

2）第一次スクリーニングにおいて抽出された大規模盛土造成地を表示した宅地ハザードマップを作成し、住民等への周知・普及を図る。

3）第二次スクリーニング計画に基づき、盛土造成地の現地調査を行い、地形や土質等を把握した上で、安定計算を行う。（第二次スクリーニング）

4）第二次スクリーニングの結果を基に、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が大きいと判断された大規模盛土造成地について、防災区域の指定等を行う。

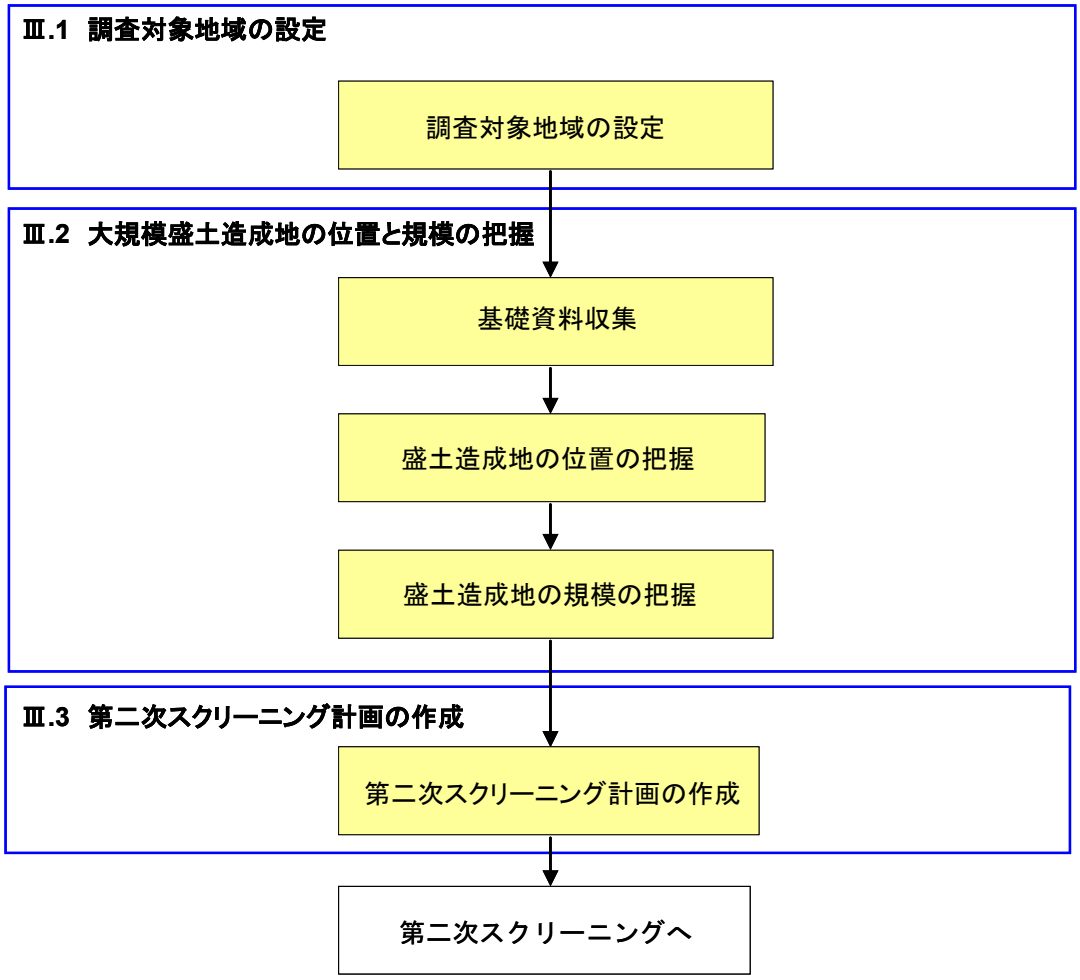


図Ⅱ.1　大規模盛土造成地の変動予測調査等の流れ

Ⅲ．第一次スクリーニング

第一次スクリーニングは、地方公共団体の区域に存する盛土造成地に関する資料に基づいて、大規模盛土造成地を抽出し、第二次スクリーニングを実施するための計画を作成することを目的として、以下の手順により行うものとする。

1）調査対象地域の設定
2）盛土造成地の位置と規模の把握
3）第二次スクリーニング計画の作成



図Ⅲ.1　第一次スクリーニングの流れ

Ⅲ.1 調査対象地域の設定

市街化の動向や土地利用状況を考慮し、調査対象地域を設定する。この場合において森林や農地等宅地としての土地利用が行われていない地域は調査対象から除いて差し支えない。

【解　説】

法第二条第一号に宅地とは「農地、採草放牧地及び森林並びに道路、公園、河川その他政令で定める公共の用に供する施設の用に供されている土地以外の土地をいう。」とある。

本調査で対象とする地域は行政区域全体である必要はなく、農地、森林等宅地でない土地は対象外として差し支えない。また、宅地であっても、臨海部の埋立地など、明らかに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ないものについては除外しても差し支えない。

Ⅲ.2 盛土造成地の位置と規模の把握

宅地造成前後の地形図等を比較することにより、盛土造成地の位置及び規模を把握し、大規模盛土造成地を抽出する。

大規模盛土造成地とは、以下のいずれかの要件を満たす盛土造成地を示す。

１）盛土の面積が3,000平方メートル以上（以下「谷埋め型大規模盛土造成地」という。）

２）原地盤面の勾配が20度以上で、かつ、盛土の高さが5メートル以上（以下「腹付け型大規模盛土造成地」という。）

【解　説】

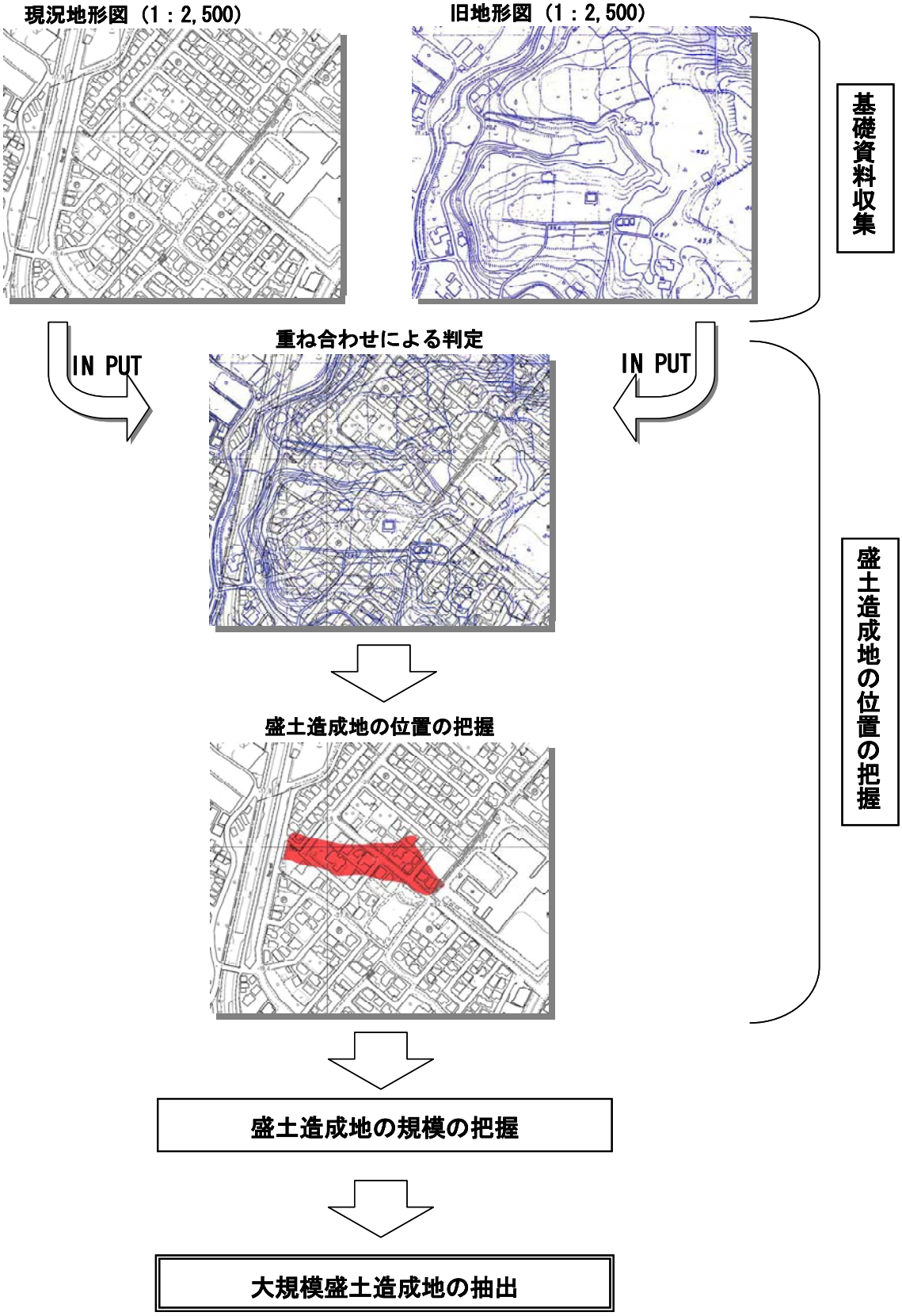
既存の盛土造成地の位置や規模を効率的に把握するため、調査範囲の広さや収集した資料から以下の手順に従って大規模盛土造成地を抽出する。ただし、これによらず盛土造成地の位置と規模を把握できる場合はこの限りではない。

１）基礎資料収集

２）盛土造成地の位置の把握

３）盛土造成地の規模の把握

例えば、広域にわたる盛土造成地の分布を把握する手法として、図Ⅲ.2.1 に示すように地形の変化から盛土を抽出する手法がある。具体的には宅地造成後の標高と宅地造成前の標高を比較し、宅地造成前後の標高の差分から盛土造成地の位置と規模を把握する手法である。



図Ⅲ.2.1　大規模盛土造成地の抽出のイメージ

Ⅲ.2.1 基礎資料収集

大規模盛土造成地を抽出するための基礎資料として、造成前後の地形図、空中写真等を収集する。

また、必要に応じて盛土造成地の造成年代、地下水位又は大規模盛土造成地における災害により危害が生ずるおそれのある人家等の保全対象を確認できる資料を収集する。

【解　説】

大規模盛土造成地を抽出するために収集する資料は宅地造成前後の地形図や空中写真等とする。大規模盛土造成地の抽出精度をあげるため、収集する資料は縮尺 1/2,500 程度が望ましい。宅地造成前の資料ならば可能な限り年代が古く、宅地造成後の資料ならば可能な限り年代の新しいものとする。

また、調査範囲内において法第八条第一項の許可が申請された際に、宅地造成等規制法施行規則（以下「規則」という。）第四条に基づき添付されていた地形図、宅地の平面図、断面図などがある場合は、それらを参考として、盛土造成地の位置を把握しても良い。

さらに必要に応じて、宅地造成等規制法施行令（以下「令」という。）第十九条第一項第一号イにある「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」ことを確認できるボーリングデータ等の資料や、法第二十条に規定されている「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が大きい一団の造成宅地」であるか否かを確認できる住宅地図等を収集する。

表Ⅲ.2.1　収集資料の事例

	縮尺	年代	整備地域
旧版都市計画図	1/2,500～1/5,000	1960 年頃～	地方公共団体による
都市計画図	1/2,500～1/5,000	1995 年頃～	地方公共団体による
旧版地形図	1/10,000	1886 年～1960 年	主要都市等
地形図	1/10,000	1983 年～	主要都市等
国土基本図	1/2,500、1/5,000	1960 年～	主要都市等
空中写真			
国土地理院撮影			
空中写真（カラー）	1/8,000～1/15,000	1974 年～1990 年	日本全土
空中写真（モノクロ）	約 1/8,000～1/10,000	1960 年代	主要都市等
	約 1/10,000～1/15,000	1960 年代～1980 年代	山岳部
米軍撮影			
空中写真（モノクロ）	約 1/10,000～	1946 年～1948 年	主要都市、海岸部、幹線道路沿い

※国土地理院撮影の空中写真については原則としてステレオペアである。

※土地の地形を把握する上で土地利用分類図を参照することも有効である。

※主要都市とは県庁所在地、政令指定都市など人口がおおよそ１０万人以上の地域を示す。

※縮尺 1/2,500 の地形図を作成するためには縮尺 1/10,000～1/25,000 の空中写真が必要である。

（参考　社団法人日本測量協会(2003),国土交通省公共測量作業規定解説と運用,p188）

※都市計画図は地域によってはＤＭを整備済みである。

※米軍撮影は日本全土縮尺 1/40,000 で撮影済みである。

※各地域によって地図等の整備状況が異なるため詳細については下記を参照のこと。

○国土地理院　http://www.gsi.go.jp/

○日本地図センター　http://www.jmc.or.jp/

・国土地理院における 1/10,000 地形図・土地条件図などの整備状況
http://www.jmc.or.jp/map/ichiran/omote/omote.html

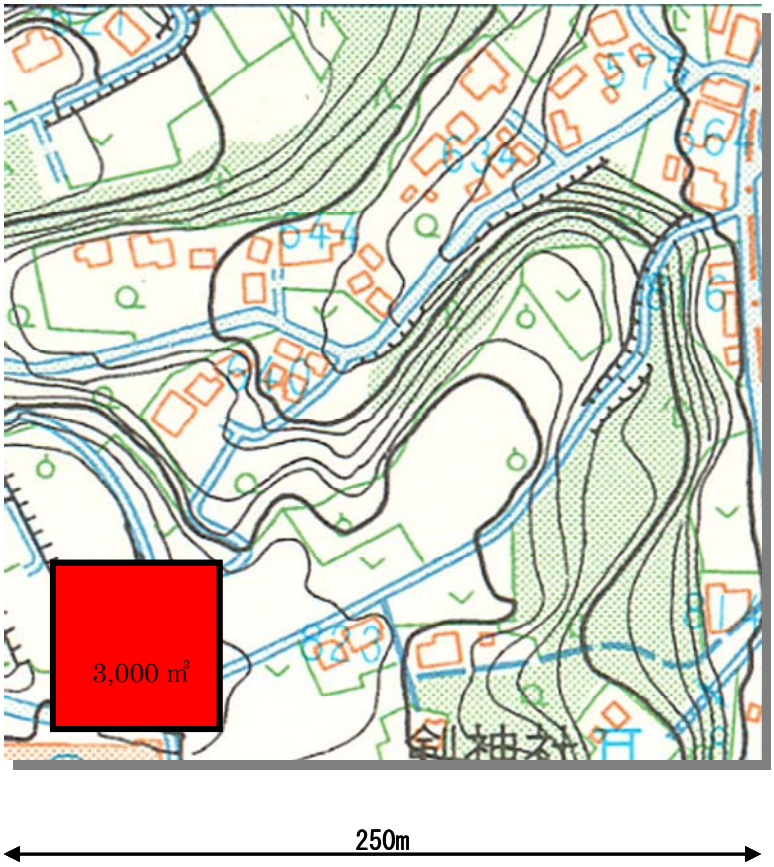
・国土地理院における 1/25,000 地形図図歴
http://www.gsi.go.jp/MAP/HISTORY/5-25/index5-25.html

参考 3.1　大規模盛土造成地を抽出するための資料例

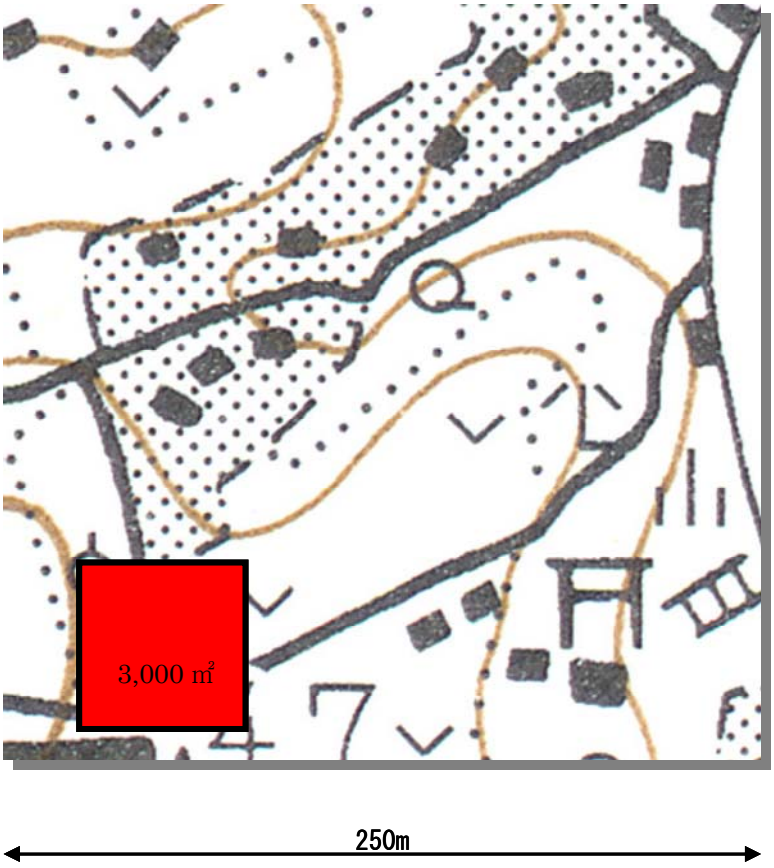
1 ）　活用する地形図の縮尺の違いに伴うデータの密度（250m×250m の情報量の比較）

図参 3.1－①～③の3 つの図において表示している区域は同じである。しかし、この3 種類の地形図から読み取れる標高や家屋の数などといった情報量は、大縮尺（ここでは縮尺 1/2,500）になるほど増し、小縮尺（ここでは縮尺 1/25,000）になるほど少なくなる。

図参 3.1－①　縮尺 1/2,500 の地形図



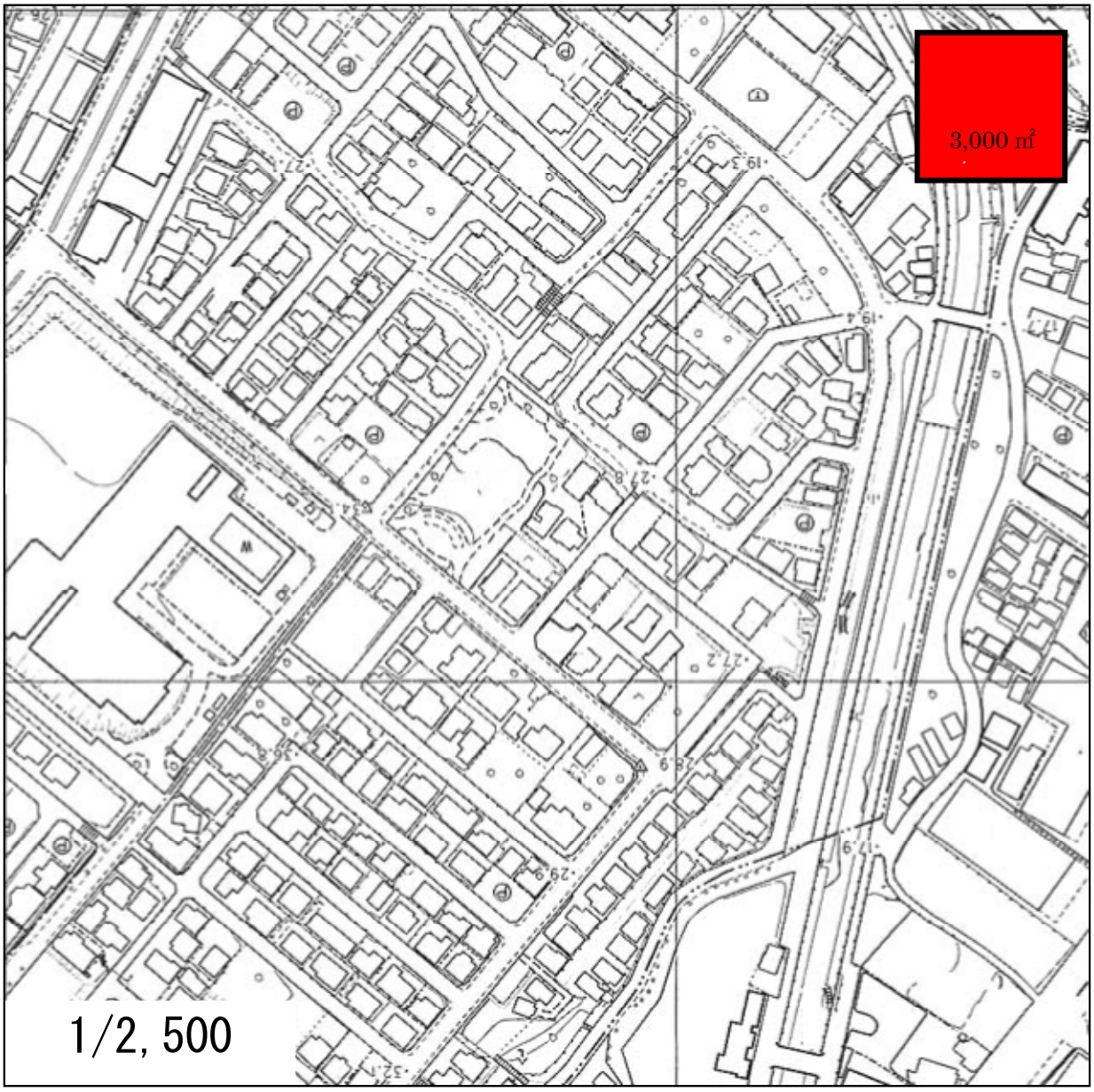
図参 3.1－②　縮尺 1/10,000 の地形図



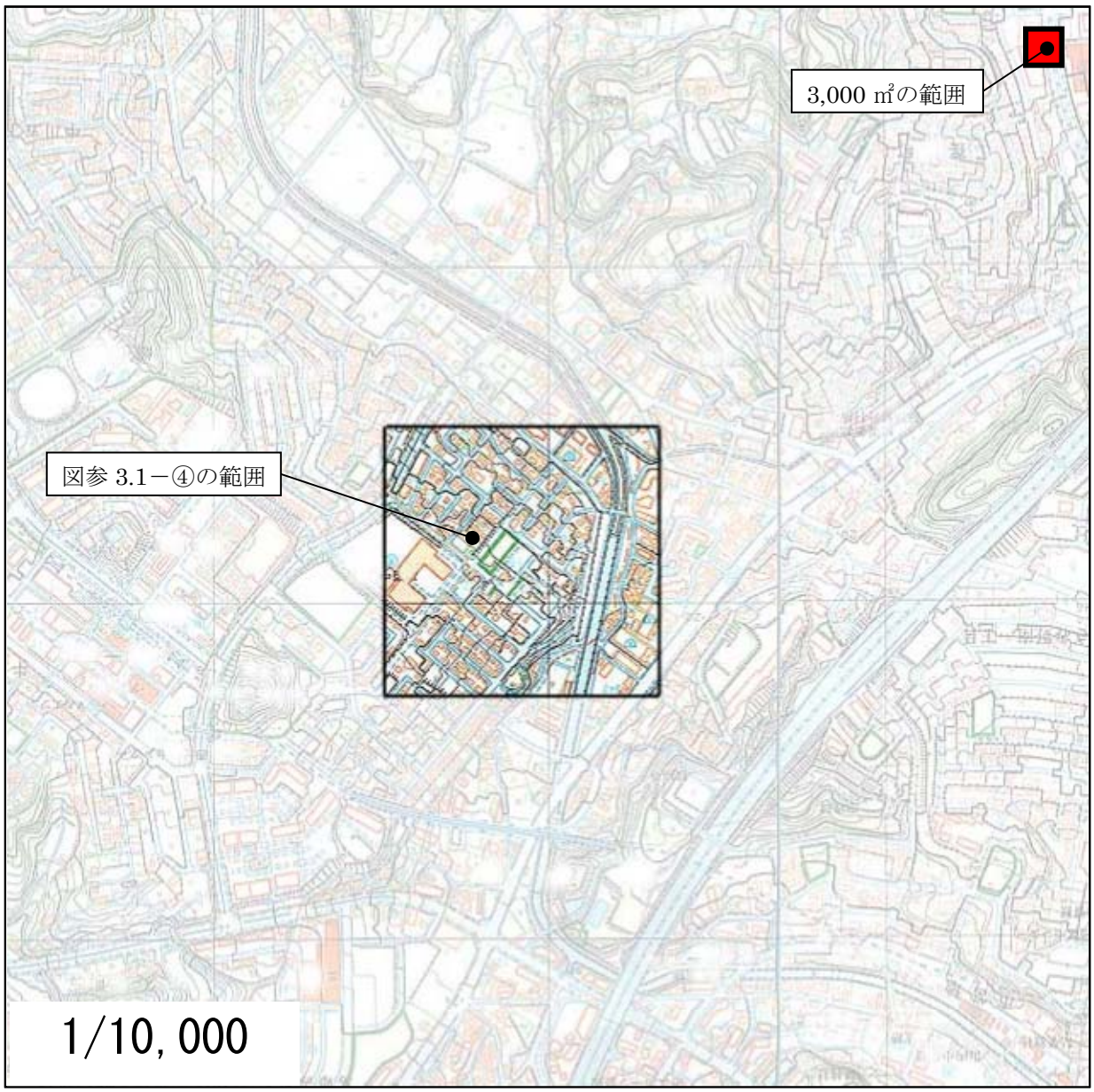
図参 3.1－③　縮尺 1/25,000 の地形図

２）活用する地形図等の縮尺の違い

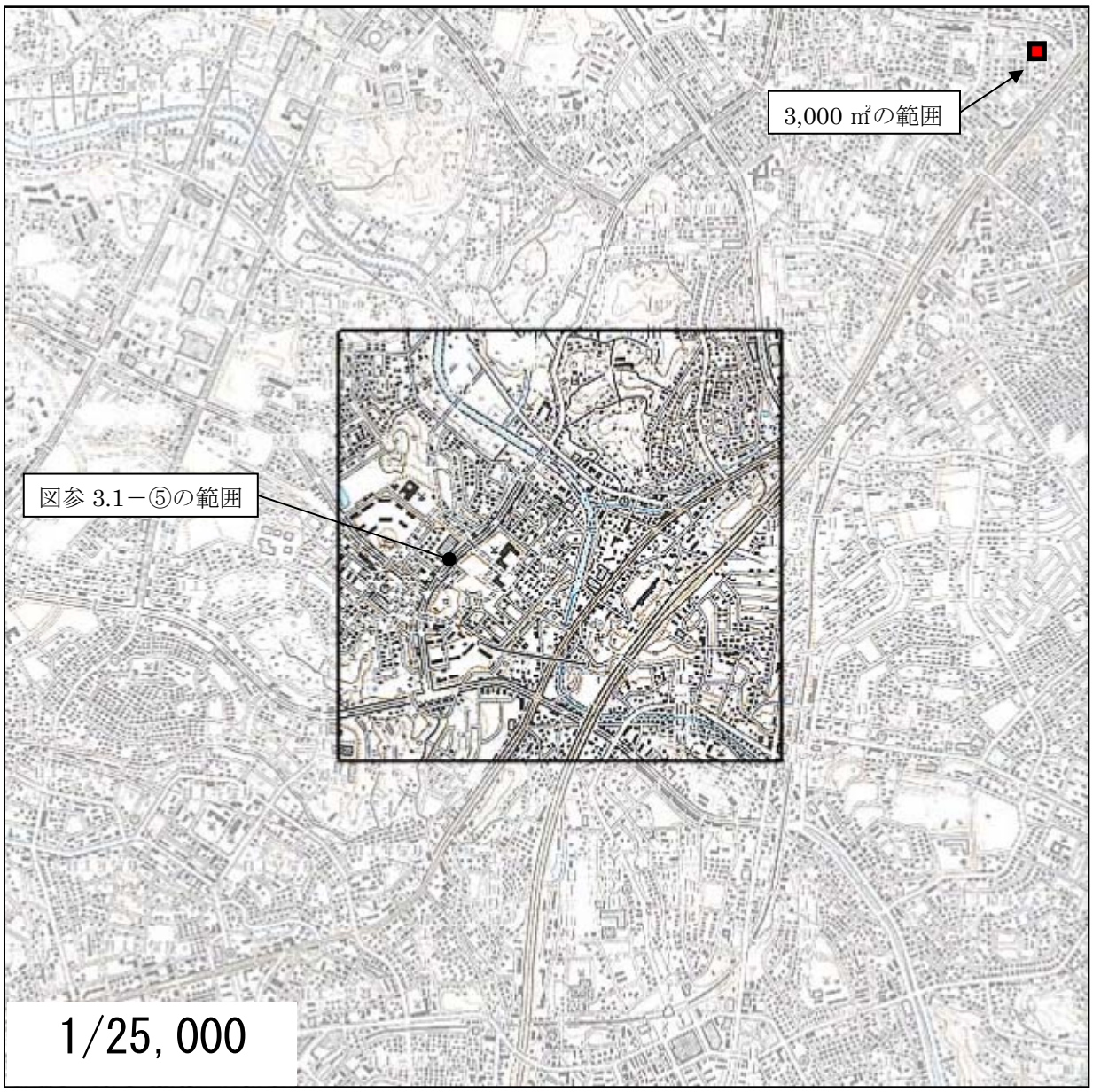
防災区域に指定される大規模盛土造成地の外形基準として令第十九条第一項第一号イに盛土をした面積が 3,000 ㎡以上と規定されている。3,000 ㎡が各縮尺でどのくらいの大きさで表現されるのか、また、縮尺 1/25,000 における縮尺 1/10,000 の範囲、縮尺 1/10,000 における縮尺 1/2,500 の範囲を表したものが図参 3.1－④から⑥までである。



図参 3.1－④　縮尺 1/2,500 の例



図参 3.1—⑤　縮尺 1/10,000 の例



図参 3.1—⑥　縮尺 1/25,000 の例

Ⅲ.2.2 盛土造成地の位置の把握

Ⅲ.2.1 で収集した地形図や空中写真等をもとに、宅地造成前後の標高差等を比較して、盛土造成地の位置を把握する。

【解　説】

盛土造成地の位置や規模を把握するには、宅地造成前後の地形を比較する手法が考えられる。これは、宅地造成前後の地形図や空中写真等から宅地造成前後の標高を把握し、比較することにより、盛土造成地の位置を求める手法である。

ただし、地形図には誤差が含まれている場合があるので、必要に応じて空中写真等により現地確認をすることが望ましい。

また、調査範囲内において法第八条第一項の許可が申請された際に規則第四条に基づき添付されていた地形図、宅地の平面図、断面図などがある場合は、それらを参考として、盛土造成地の位置を把握しても良い。

Ⅲ.2.3 盛土造成地の規模の把握

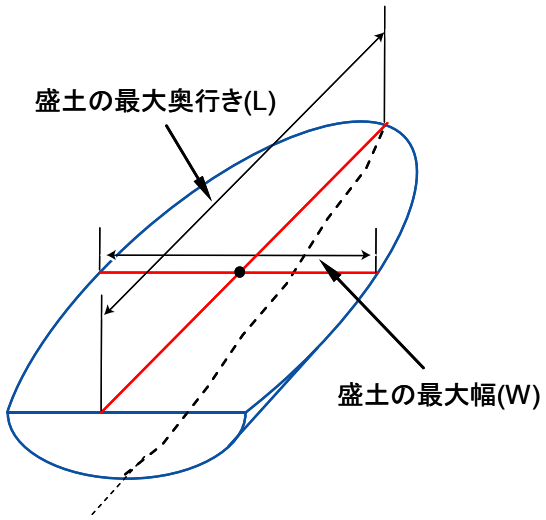
盛土造成地の盛土の面積、原地盤面の勾配、そして盛土の高さを把握し、大規模盛土造成地を抽出する。

【解　説】

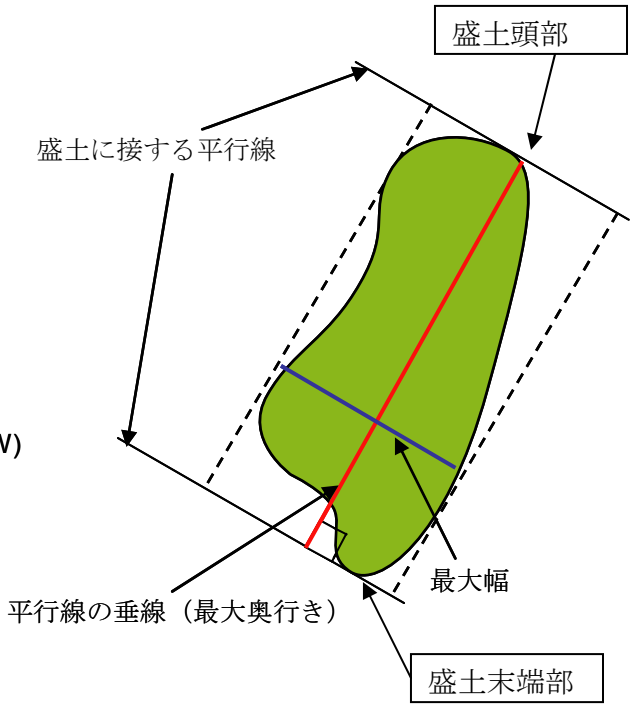
1 盛土の面積（A）

盛土の面積は第一次スクリーニングにおいて、盛土の最大幅と盛土の最大奥行きの積で求める。この場合には、盛土末端部と盛土頭部において、平行な接線を設定し、その垂線が最大となる直線の長さを最大奥行きとし、垂線と直角方向で最大となる盛土の幅を最大幅とする。ただし、より精密に盛土の面積を把握出来る場合はこの限りではない。なお、盛土の面積には盛土によって形成された法面を含むこととする。

盛土の面積（A）＝盛土の最大奥行き（L）×盛土の最大幅（W）



図Ⅲ.2.2　盛土の面積の計測イメージ

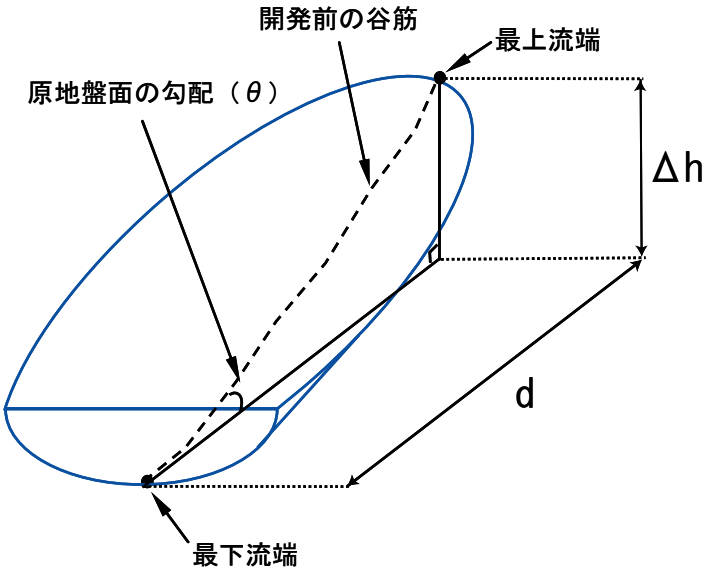


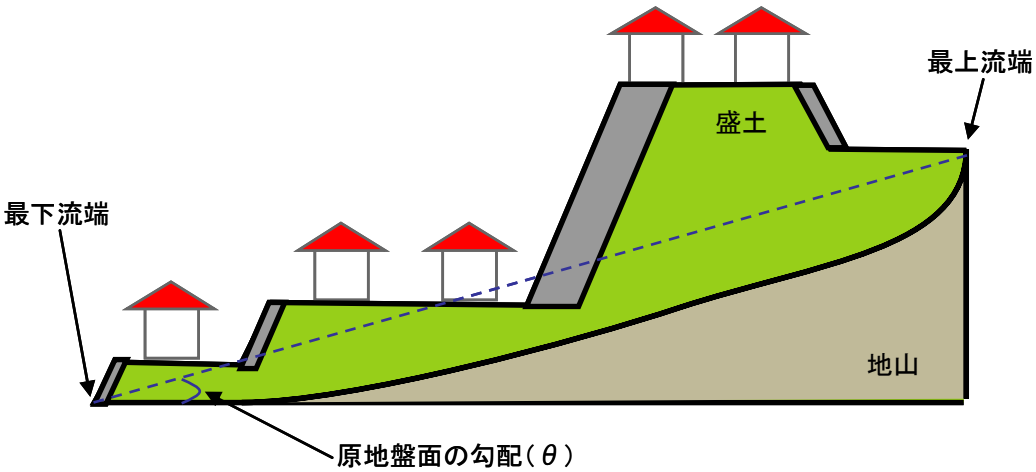
図Ⅲ.2.3　不定形な盛土の面積の計測イメージ

2 原地盤面の勾配（θ）

原地盤面の勾配（原地盤面の水平面に対する角度）は盛土の最下流端の原地盤面の標高と盛土の最上流端の原地盤面の標高差（Δh）を、それを計測した二地点間の水平距離（d）で商を求め、その商を逆正接した値とする。

$$\theta = \tan^{-1}(\text{二地点間の標高差（}\Delta h\text{）} \ / \ \text{二地点間の水平距離（d）})$$

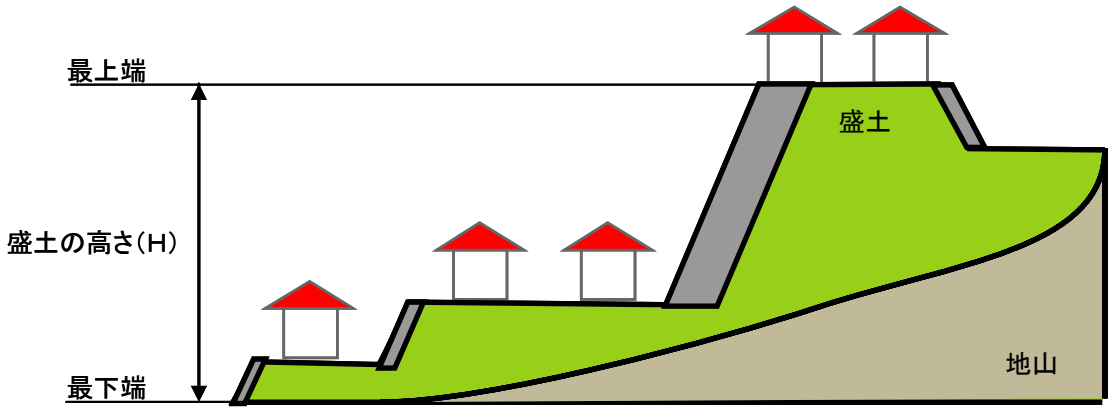




図Ⅲ.2.4　原地盤面の勾配の計測イメージ

3 盛土の高さ（H）

盛土の高さは盛土の最下端と最上端の標高差とする。



図Ⅲ.2.5　盛土の高さの計測イメージ

参考 3.2　盛土造成地の位置と規模の把握

（1 ）基本的な大規模盛土造成地の位置と規模の把握作業

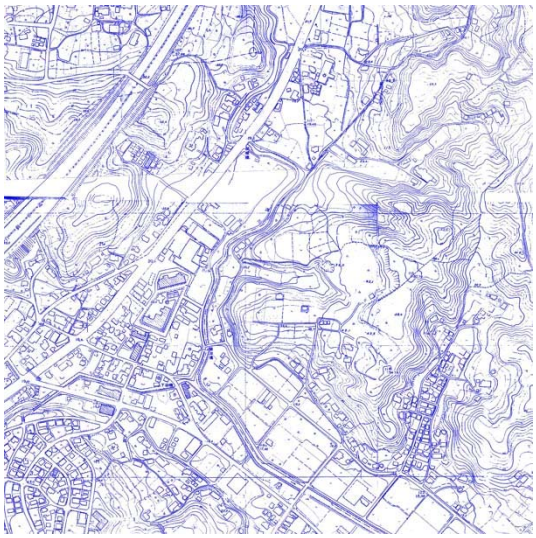
①　宅地造成後の地形データの収集

宅地造成後の地形を把握するため、可能な限り新しく、大縮尺で精度の高い地形図を使用する。（縮尺 1/10,000 以上可能であれば縮尺 1/2,500 程度）

図参 3.2－①　現在の地形図の例

②　宅地造成前の地形データの収集

宅地造成前の地形を把握するため、可能な限り古い地形図又は造成時期に応じた年度の地形図を使用することとする。また、宅地造成後の地形図と同等の縮尺及び精度が望ましい。



図参 3.2－②　過去の地形図の例

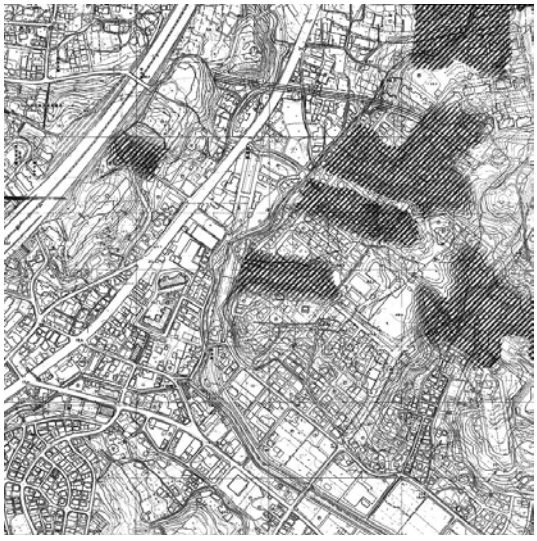
③　谷地形の把握

宅地造成前の地形データをもとに、谷地形を把握しておく。

図参 3.2－③　谷地形の把握

④　重ね合わせ作業

宅地造成前後の地形図を重ね合わせることにより、現在の地形図における谷地形の分布状況を把握する。



図参 3.2－④　宅地造成前後の地形図を重ね合わせた例

⑤　盛土造成地の位置の把握

重ね合わせ作業で把握された谷地形のうち、現在も谷である場所（盛土が行われていない場所）を除く。

図参 3.2－⑤　盛土造成地の位置の把握

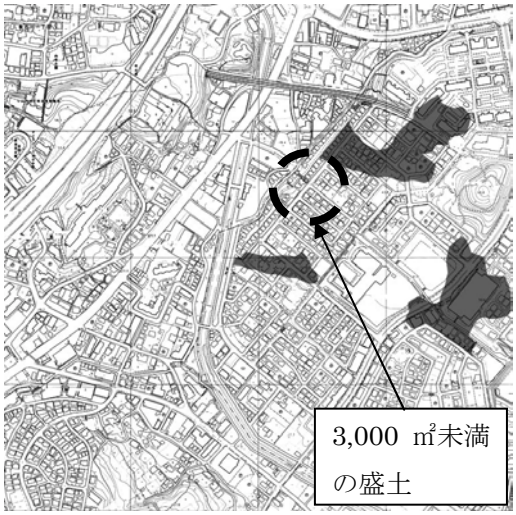
⑥　大規模盛土造成地かどうか、その規模の確認

「Ⅲ.2.3 盛土造成地の規模の把握」を参考にして、以下のどちらかの条件に該当するか否かを確認する。

ア）　盛土をした土地の面積が 3,000 平方メートル以上

イ）　盛土をする前の地盤面が水平面に対し 20 度以上の角度をなし、かつ、盛土の高さが 5 メートル以上

⑦　大規模盛土造成地の位置の把握



図参 3.2－⑥　大規模盛土造成地の位置の把握

（2 ）ＤＥＭを利用した大規模盛土造成地の位置と規模の把握作業

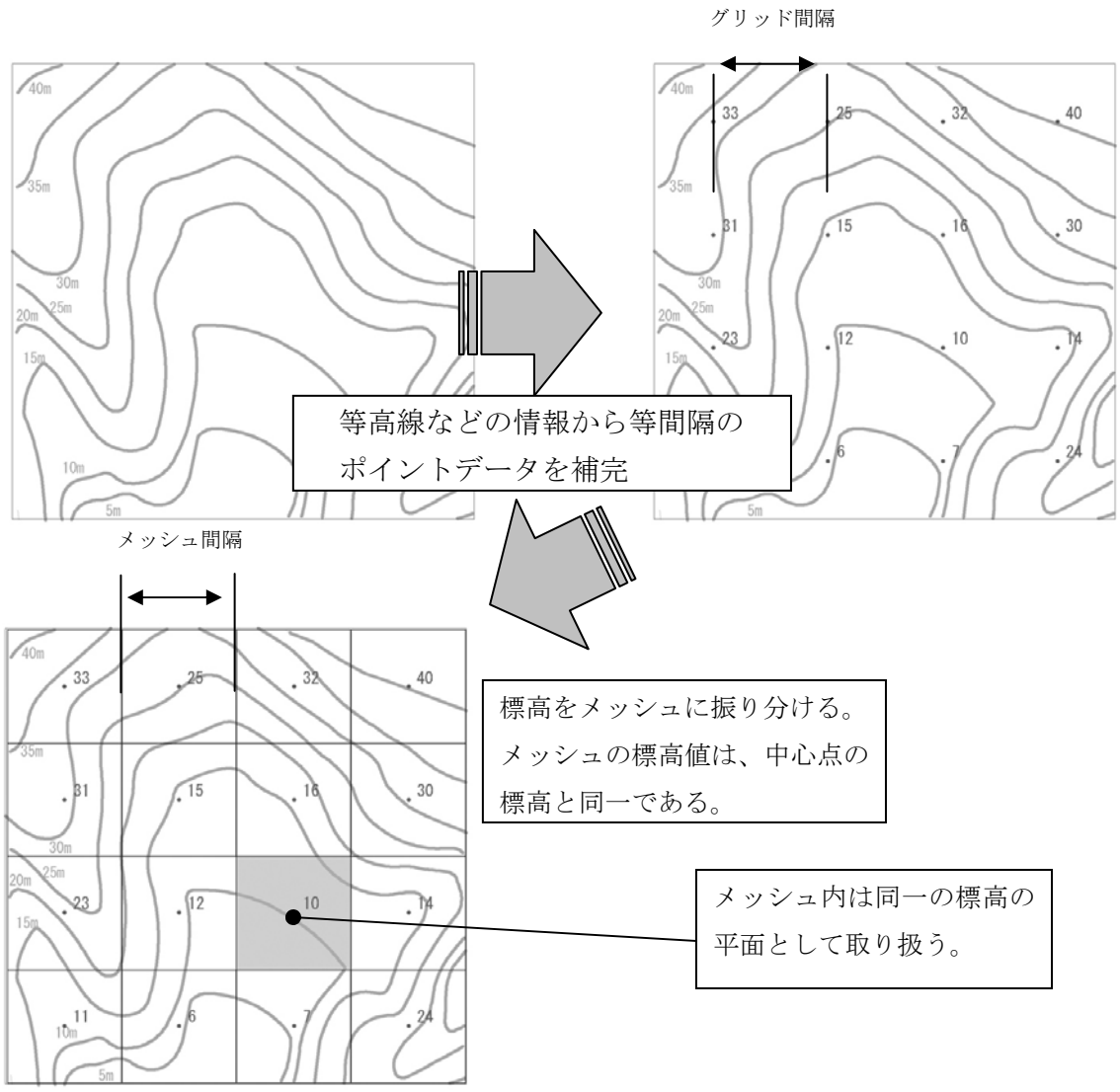
（1 ）で示した作業を DEM によって行う例である。

1 ）DEM とは

数値標高モデル（Digital Elevation Model=DEM）は、標高を面的に表現するものであり、地形図の等高線などから標高値を入力し図参3.2-⑦で示すような処理を行って作成するものである。

数値標高モデルの間隔はグリッド間隔といわれ、これは標高の情報をもつポイント同士の距離を示す。一方、メッシュ間隔はポイントデータを中心とした長方形のデータ形態である。メッシュデータの標高は、メッシュの中心点にあるポイントデータを使用するため、標高はポイントデータと同一のものである（図参 3.2-⑦参照）。

盛土造成地の位置は、宅地造成前後の数値標高モデルが示す標高値の差分から把握する。



図参 3.2－⑦　数値標高モデル（DEM）のイメージ

２）宅地造成前の標高データ作成事例

宅地造成前の標高を DEM で把握する。DEM については、基礎資料が都市計画図や地形図の場合と空中写真の場合で、作成方法及び精度が異なる。以下に空中写真から DEM を作成する場合と都市計画図や地形図から DEM を作成する場合を紹介する。

① 空中写真から作成する場合

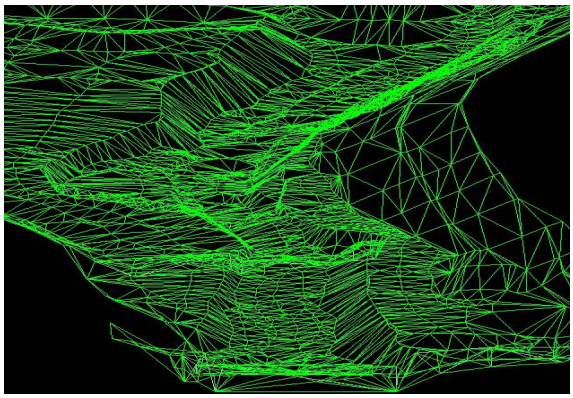
空中写真から DEM を作成する場合、写真撮影年付近の旧版地形図から抽出した基準点で標定を行う。

空中写真から DEM を作成する場合、大縮尺の都市計画図や地形図から空中三角測量※1 に使用する標定点の選定および計測を行う。DEM の原点座標は、宅地造成後の DEM と一致するように設定し、新旧測地系※2 を統一する。なお、TIN※3 の作成は、等高線、ブレイクライン※4 等の計測の併用手法を用いる。

※1 空中三角測量とは、連続する空中写真を接続するために行う測量であり、空中写真図化に必要な基準点等の座標を明確にするために行われる。

※2 新旧測地系：測地系は、地球上の位置を経度や緯度、標高の座標で表すときの基準である。これまで、日本は独自の測地系を用いていたが、平成 14 年 4 月 1 日から施行された測量法の改正により、世界基準の測地系を適用することになった。平成 14 年度以前の日本独自の測地系は日本測地系（旧測地系）、平成 14 年度以降から適用されている新しい測地系は、世界測地系（新測地系）と呼ばれている。両測地系の違いによって、400m 程度の水平方向の差が生じる。（緯度経度によって差は数十メートル程度異なる。）

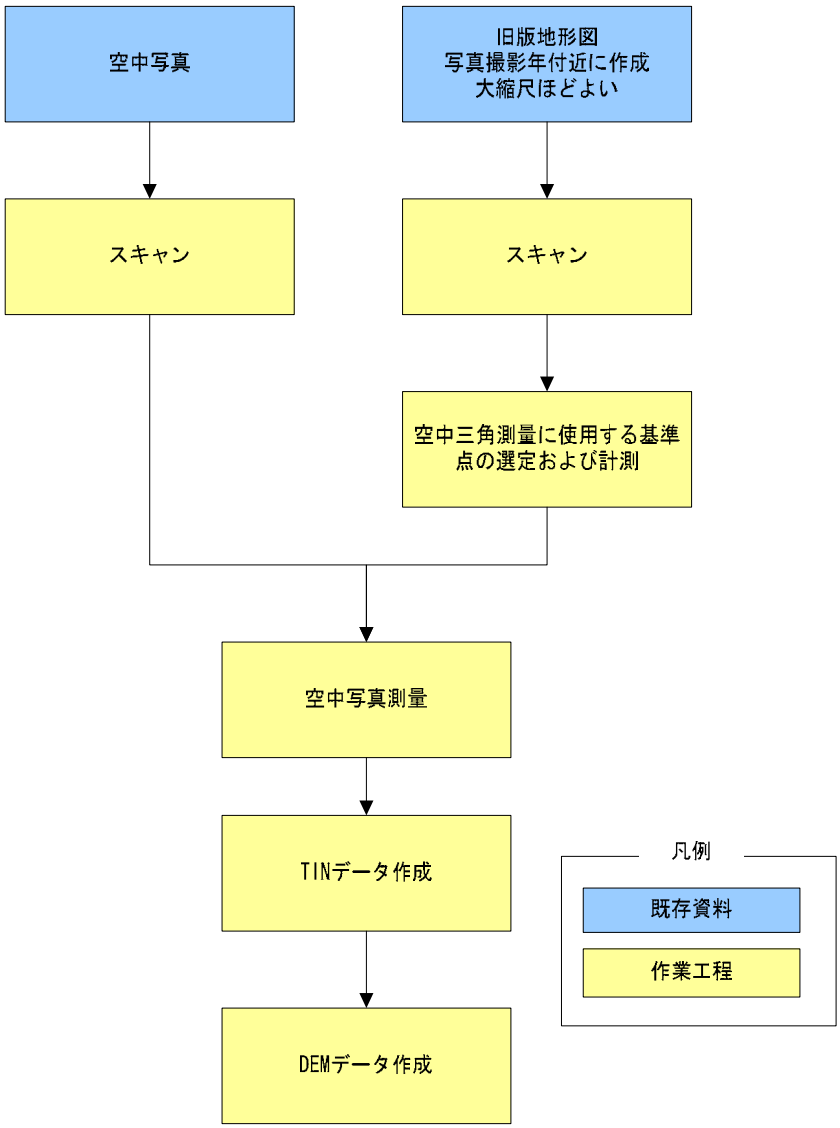
※3 TIN（Triangulated Irregular Network）：「不整三角網」の略語であり、不規則に配置された一連の点から地形を作り上げる方法である。不規則に配置されたサンプル点は起伏の激しい地形ではより細かく、なめらかな地形ではより粗くとり、地形の勾配向きを再現することが可能である。



図参 3.2－⑧ TIN モデルの一例

（GIS 教育マニュアル第２部 平成１４年３月（財）日本測量調査技術協会）

※4 ブレイクライン法とは、空中写真の立体モデルから数値図化により、地形の形状が変化している地点を連続的に 3 次元の線として取得する方法である。人工斜面や被覆などの上端と下端、山の尾根や谷等が挙げられる。



図参 3.2－⑨　空中写真から DEM を作成する場合のフローチャート

② 都市計画や地形図から作成する場合

TIN（不整三角網）を使用した標高モデルを作成するために等高線をデジタルデータ化し、TIN から DEM を作成する。なお、作成した DEM は、誤差の検証を実施して用いる。

都市計画図や地形図から DEM を作成するための作業は、以下に示す6 つの工程からなる。

工程 1　図のデジタル化

地形図を紙で入手した場合は、地図のひずみが最小になるようにスキャニング作業に細心の注意を払う。

工程 2　デジタル画像の図郭を用いたひずみの補正

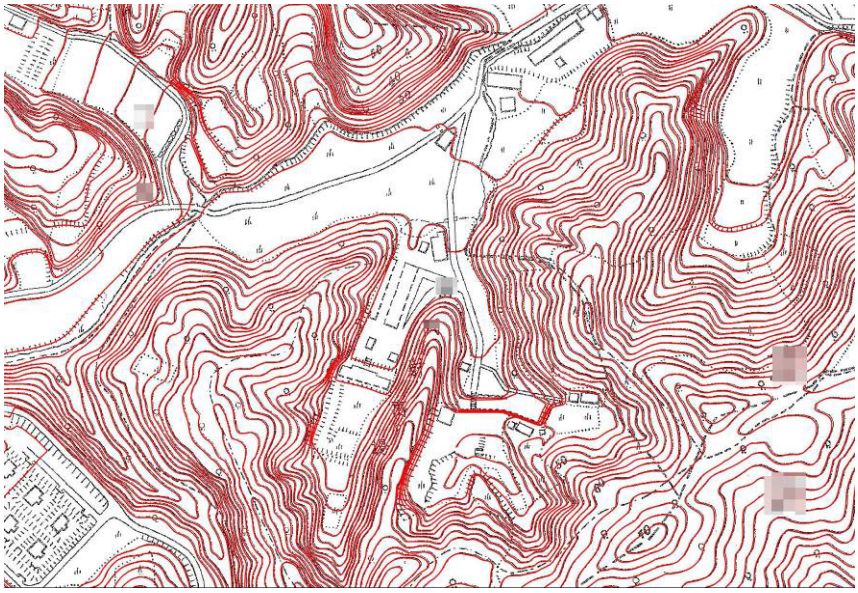
ひずみが最小になるように留意し作業を実施する。DEM の原点座標は宅地造成後の DEM と一致するように設定し、新旧測地系を統一する。

図参 3.2－⑩　DEM に加工するための旧版地形図の一例

工程 3　標高情報のデジタル化

等高線を手作業でトレースし、等高線のベクターデータ※1 を作成する。住宅や地図記号などで等高線のトレースが難しい場合は、明瞭な部分までトレースを実施する。標高点など標高値が分かるポイントについても標高情報をベクター化する。

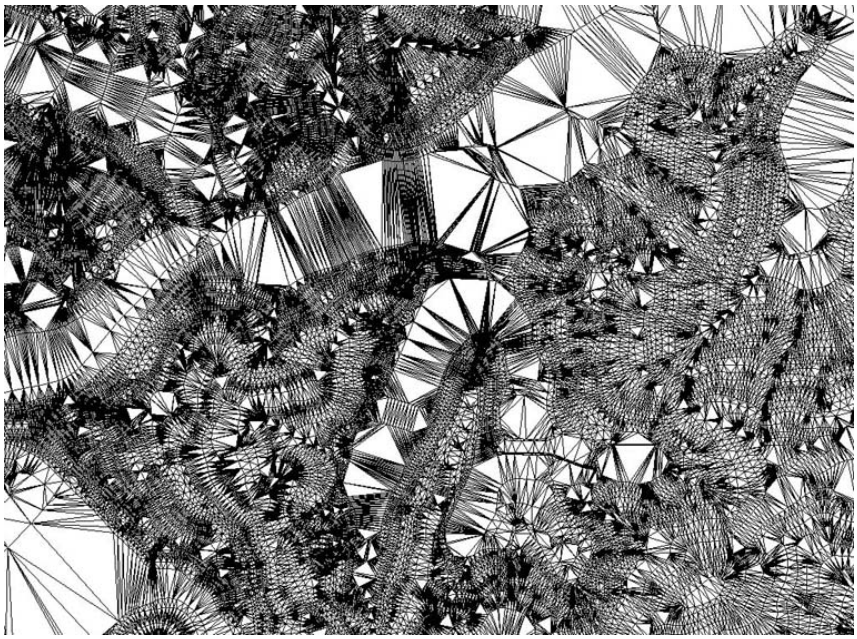
※1　ベクターデータ：頂点の座標値、長さ、方向で構成されているデータである。



図参 3.2－01　開発前の等高線のトレースの一例

工程 4　等高線及び標高点のデータから TIN データを作成

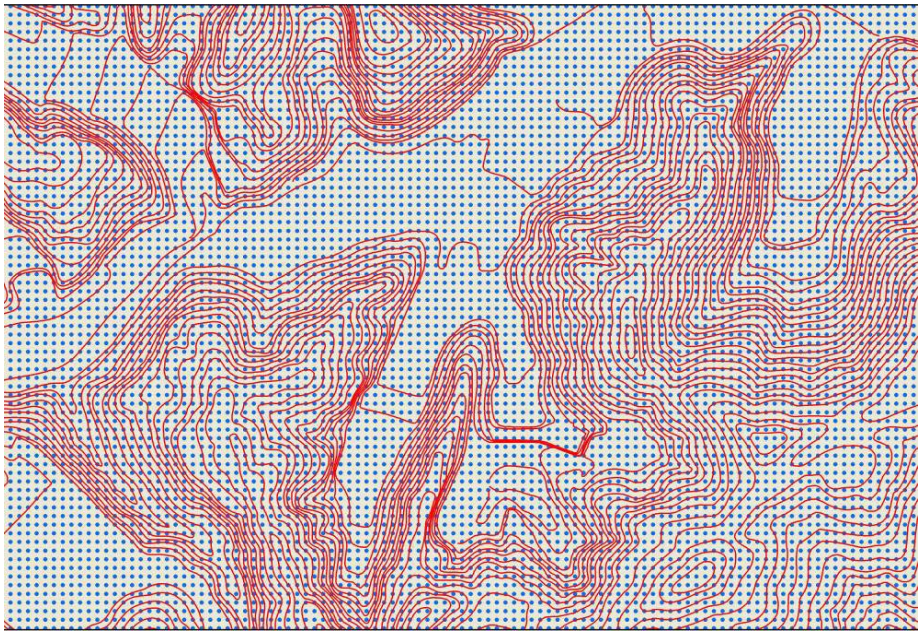
等高線及び標高点のデータから TIN を作成し、メッシュに高さを与える。



図参 3.2－02　標高データから作成した TIN データの一例

工程 5　数値標高モデル（DEM）データの作成

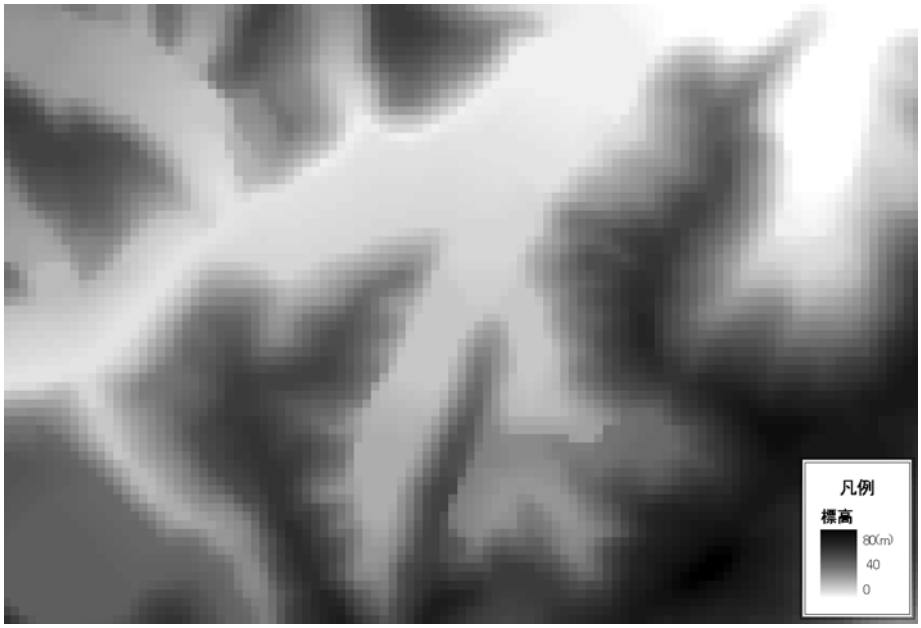
TIN データから数値標高データ（ポイント）を作成する。



図参 3.2－③　TIN データから作成した DEM データの一例

工程 6　数値標高モデル（DEM）から標高のメッシュデータを作成

TIN から作成した DEM は、ポイントデータであり、視覚的に地形が把握できるようにするためメッシュ上のデータに変換する。



図参 3.2－④　標高のメッシュデータの一例

３） 宅地造成後の標高データ作成事例

① 既存データを使用する場合

デジタルマップ（DM）データの等高線や標高点から TIN を作成し、DEM を作成することを基本とする。宅地造成後の DEM は、TIN から作成するものとする。TIN の作成はブレイクライン法と等高線法の 2 種類の併用手法を用いる。

DEM の原点座標は、宅地造成前の DEM と一致するように設定し、新旧測地系を統一する。

② 新規にデータを作成する場合

新規にデータを作成する場合は、空中写真測量成果等をもとにDEMを作成する。なお、作成したDEMは、誤差の検証を実施する。誤差の検証方法の例として、水準点等の基準点における実際の座標と地図上の同地点の座標を比較することにより、誤差を検証する方法が挙げられる。

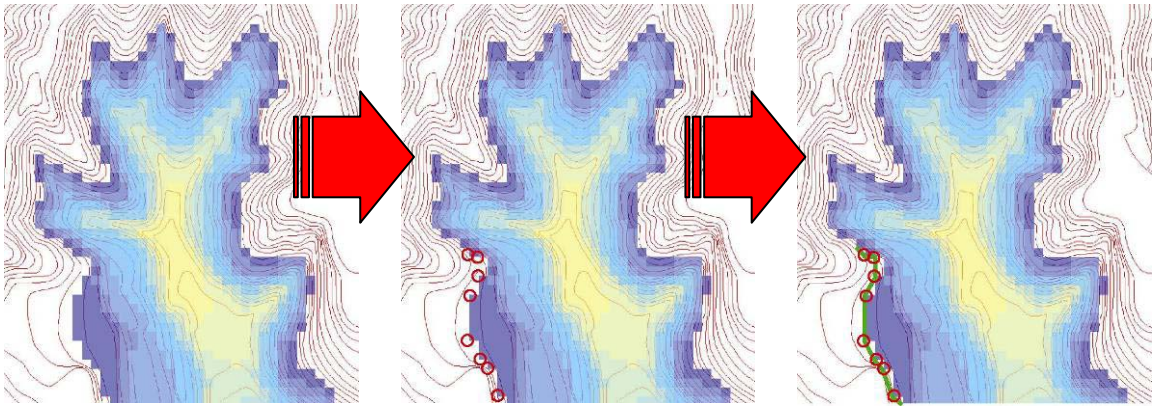
評価対象となる盛土造成地の数が少ない場合などは、その盛土造成地の周辺に限って資料を収集するか、新規にデータを作成するかを決定する。新規でデータを作成したほうが効率的なケースもあるので、宅地造成後の標高データに関する資料は、作業の効率やコストを考慮して収集資料を決定する。

４）重ね合わせ作業による大規模盛土造成地の位置・規模の把握

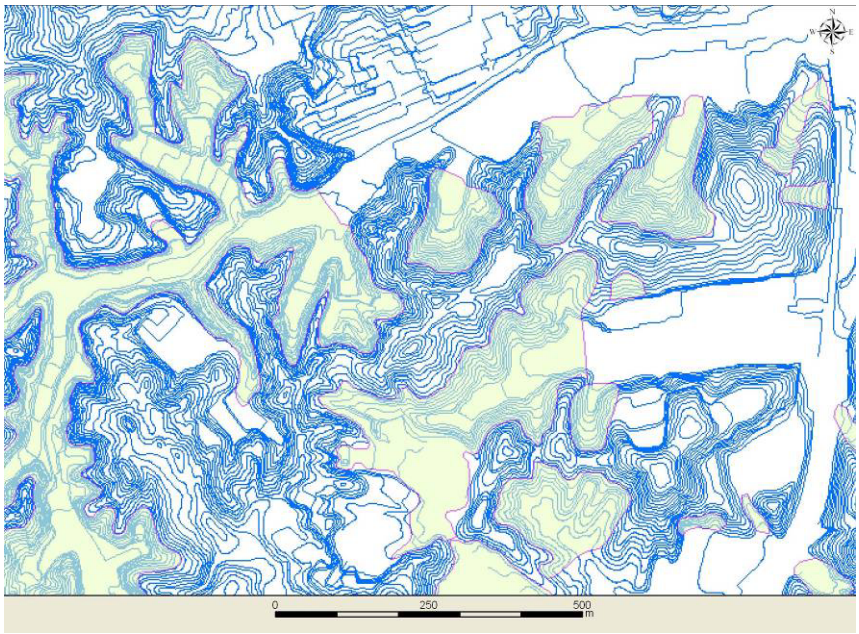
差分図作成に使用する宅地造成前後の DEM は、等間隔で標高値を表したデータである。そのデータを使用して、宅地造成前後の同じ土地の位置における標高差を比較し、盛土造成地の位置と規模を把握する。

５）盛土造成地の境界の設定例

盛土の範囲を決定する場合は、宅地造成前の標高より高いとされるメッシュの頂点をトレースし、アウトラインを決定する。



図参 3.2－⑮　盛土造成地のトレース方法例

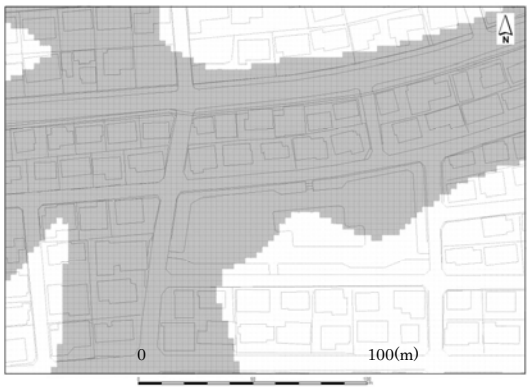


図参 3.2－⑯　盛土造成地の設定例

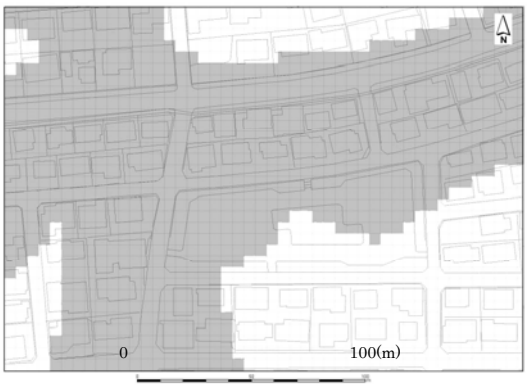
※留意事項

基礎資料から宅地造成前後の数値標高モデル（DEM）を作成する場合、資料の精度に応じて、メッシュの間隔について検討が必要である。なお、メッシュ間隔は、宅地造成前後の基礎資料のうち、DEM の精度が低いデータに合わせることとする。

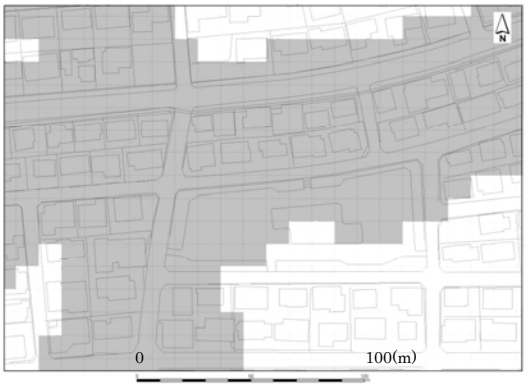
変動予測に使用するデータは、家屋一軒分の広さを単位とすることが必要になることが想定される。下図に例示するとおり、10m メッシュの場合、実際には盛土上に存しない家屋であっても盛土上と判断されることが想定される。一方、2.5m メッシュの場合、盛土の分布は詳細に表現されるが、地図の保有する誤差が 2.5m メッシュ以上の場合が考えられるため、採用には慎重な検討が必要である。



2.5m メッシュで抽出した盛土



5.0m メッシュで抽出した盛土



10.0m メッシュで抽出した盛土

図参 3.2－6　サイズの異なるメッシュを使用した盛土の抽出

Ⅲ.3 第二次スクリーニング計画の作成

大規模盛土造成地の規模等を基に第二次スクリーニング計画を作成する。

【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、地方自治体ごとに多数抽出されるものと考えられる。そのため、第二次スクリーニングを優先的に行う大規模盛土造成地の箇所等を定めた計画を作成する必要がある。

まず、Ⅲ.2.1において収集した資料より大規模盛土造成地上に人家、道路等が存在するか否かを確認する。また可能であれば人家戸数などの保全対象の規模、種別（例えば国道と県道の等）などを確認し、Ⅲ.2.2及びⅢ.2.3で得られた大規模盛土造成地の位置及び規模を踏まえ、第二次スクリーニング計画を作成する。この際、大規模盛土造成地の滑動崩落の危険性や社会的影響を反映させることも考えられる。盛土造成地の危険度を評価する手法の参考例を参考3.3に示す。

表Ⅲ.3.1　第二次スクリーニング計画の立案例

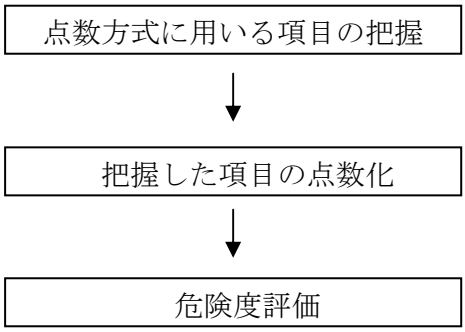
順序	所在地	盛土の面積(㎡)	盛土の高さ(m)	原地盤の勾配(度)	保全対象
1	○○市△△3丁目	63000	20	20	人家多数、盛土下に国道あり。
2	○○市△△1丁目	40000	15	15	人家多数、盛土下に鉄道と県道あり。
・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・	・ ・ ・ ・
723	○○市□□6丁目	3300	15	25	人家15戸
724	○○市●●1丁目	2500	3	5	人家7戸
725	○○市■■1丁目	1800	5	3	人家3戸

参考 3.3　盛土造成地の危険度評価手法の事例

ここでは滑動崩落の危険性を評価する手法（危険度評価手法）を紹介する。

（1 ）谷埋め型大規模盛土造成地の点数方式による危険度評価

谷埋め型大規模盛土造成地を対象に過去の災害事例（1978 年宮城県沖地震、1995 年兵庫県南部地震）の計 259 事例の変動事例と非変動事例から、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、大規模盛土造成地の変動のしやすさを点数方式で評価した。



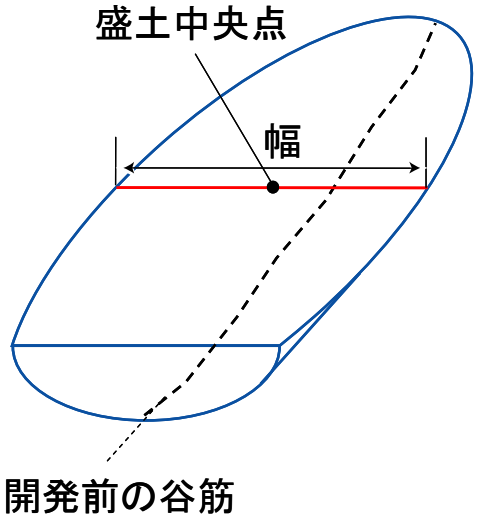
図参 3.3－①　点数方式の流れ

1 ）点数方式に用いる項目の把握

点数方式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。

① 盛土幅

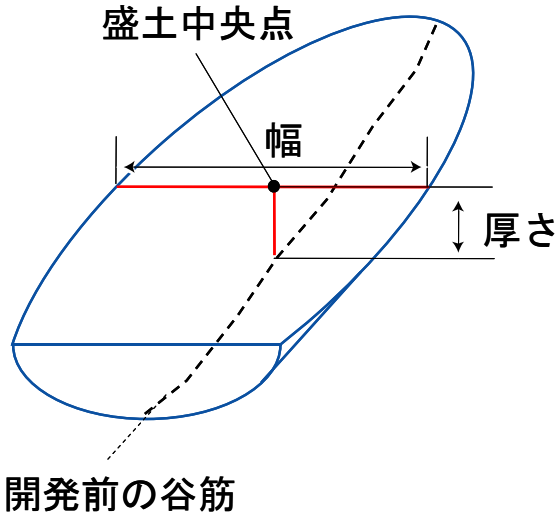
盛土造成地中央部における盛土幅は、旧地形などから予想される変動方向と直角の方向に測定することを原則とする。盛土の面積を算出する際に用いる「盛土の最大幅」と一致しない場合もあるので注意が必要である。なお、盛土中央点は、盛土造成地中央部における盛土幅の二等分点付近とする。



図参 3.3－② 盛土幅のイメージ

②盛土厚さ

盛土中央部における盛土厚さを盛土の厚さとする。単位はメートルとする。



図参 3.3－③ 盛土厚さのイメージ

③ 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 ）計測値の点数計算」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 3.3－①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基に決定した。盛土厚さは、既往の研究において変動への寄与率が幅や 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，守隨治雄，笠原亮一，小林慶之(2003)：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.25-39.）

ここで注意すべきことは、この点数方式は谷埋め型大規模盛土造成地における危険度評価であって、腹付け型大規模盛土造成地には適用されないということである。よって、表参 3.3－①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、腹付け型大規模盛土造成地の危険度評価とは一致しないことに注意が必要である。

表参 3.3－①　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 3.3－②　点数化の例

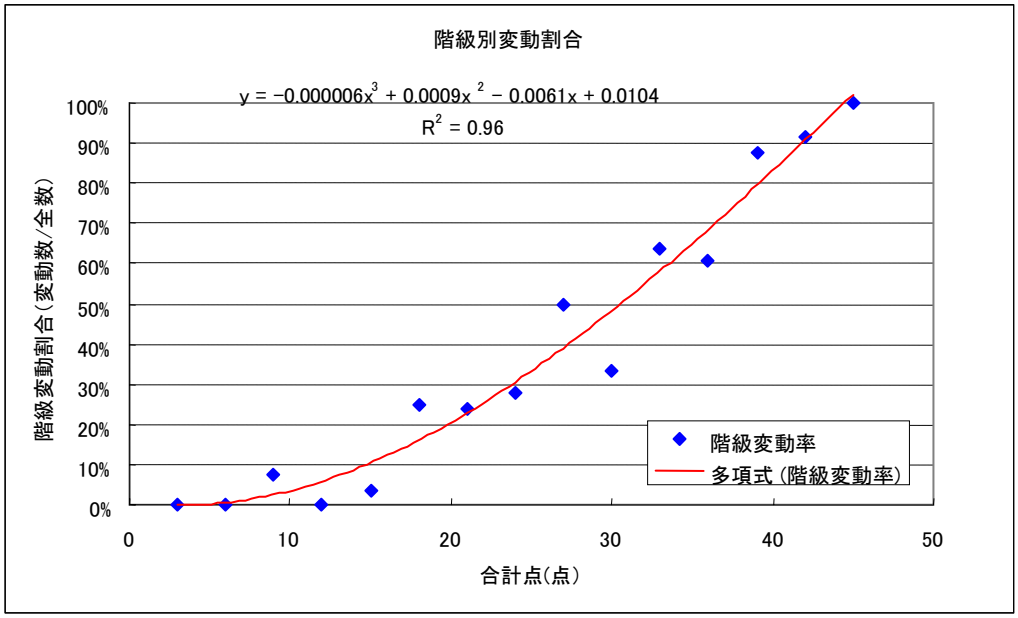
	厚さ(m)	幅(m)	幅/厚さ	傾斜角（度）	地下水有無	合計点
測定値	3	60	20	1.9	有	-
点　数（点）	21	5	8	5	1	40

3 ）危険度評価

図参 3.3－④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 3.3－①で求められた合計点の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危険度評価を行う。



図参 3. 3－④　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≦R≦1 であり、 R=1 に近いほど回帰式の予測能力が高い。）

変動確率＝－$0.000006x^3$＋$0.0009x^2$－0.0061x＋0.0104 ..... （式 1）

（x は合計点を示す。）

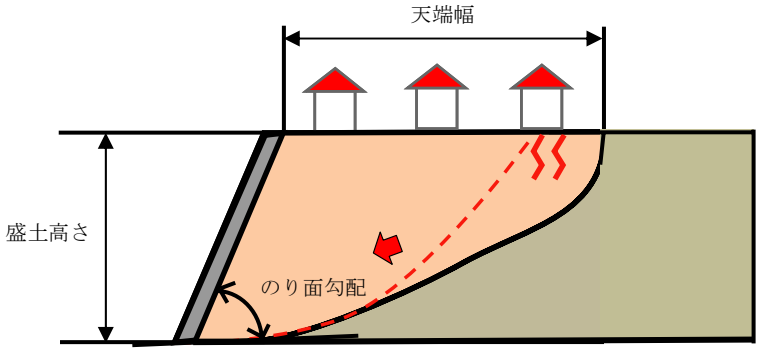
例）合計得点が 40 点の場合

－0.000006×（40）^{3}＋0.0009×（40）^{2}－0.0061×（40）＋0.0104=0.822

以上より変動確率が 82.2%となる。

（2 ）腹付け型大規模盛土造成地の危険度評価

腹付け型大規模盛土造成地は、盛土高さが高く、のり面勾配が急で、天端幅が広いほど危険度が増す傾向にある。地震時における滑動崩落の危険性評価にあたっては、これら地形要因の他、地下水の有無などに注意することが望まれる。



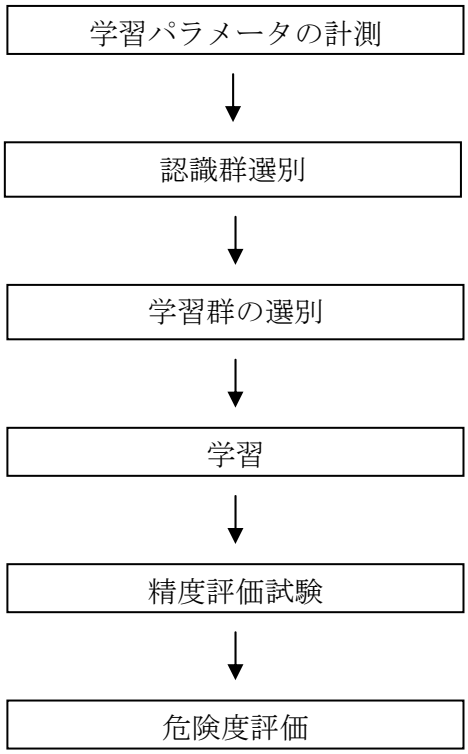
図参.3.3-⑤　腹付け型大規模盛土の計測イメージ

（3 ）ニューラルネットワークによる危険度評価

ニューラルネットワークとは脳の中の神経細胞（ニューロン）とその繋がり＝ネットワークを数学的に模擬したコンピューターアルゴリズムである。従来の情報処理手法では、入力された情報に対して回答を導き出すため理論（プログラム）が必須であるが、ニューラルネットワークでは、良質の入力データと回答の組み合わせがあれば、答えを導き出すために必要な理論（プログラム）にあたるニューラルネットワークシステムを構築することができる。

ニューラルネットワークを用いた危険度の評価は、特定の過去の変動実績データを用いて予測モデルを構築することを基本とする。

ニューラルネットワークは、入力条件に対して求める答えを出力するために、学習によって各要因の重み付け（重要度）を変更し、外部環境（求めたい答え）に一致するように調整することができる解析手法である。想定地震の情報と盛土の形状を入力すると変動可能性の有無が出力される。



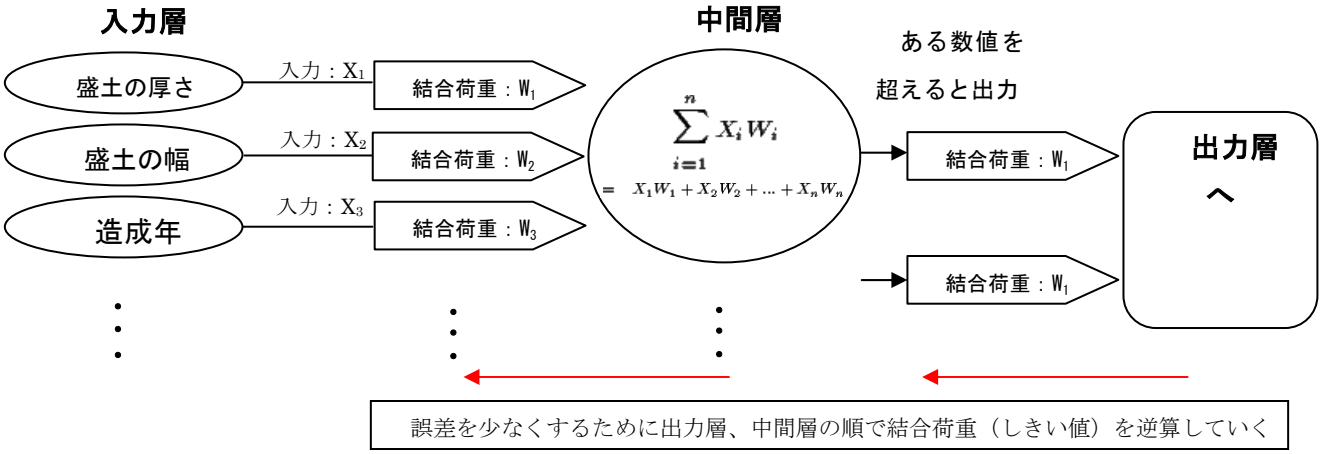
図参 3.3－⑥　本ガイドラインで実施したニューラルネットワークの流れ

① アルゴリズム

ニューラルネットワークは、多様なアルゴリズムが構築されているが、本検討で実施する危険度評価で使用するアルゴリズムは、BP 法（バックプロパゲーション法）を使用している。

BP 法はニューラルネットワークを代表するアルゴリズムである。BP 法のネットワークは、入力層、中間層、出力層から構築されており、入力層と中間層、および中間層と出力層のニューロンはお互いに密に結合しているが、同じ層内のニューロン間での結合はない。

入力層に提示された学習パターンは中間層へ、そして出力層へと伝播され、出力層から出力値（答え）と教師値（ネットワークシステム構築に必要な入力データと回答の組み合わせ）を比較し、誤差が最小になるように結合の重み付けを調整する。ニューラルネットワークによる危険度評価は、「釜井俊孝，守隨治雄，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，2003，p．25-39」を参考にした。



図参 3.3－⑦　BP 法のニューラルネットワークシステム構造

② 学習項目

ニューラルネットワークを用いた危険度評価は、下記に示す学習データを使用する。評価に使用する項目については、表 3－④を基本とする。答えを導き出すために必要な理論（プログラム）にあたるニューラルネットワークシステムを構築する操作は、学習と呼ばれている。データベースの項目のうち学習に使用する入力情報は、以下のとおりである。

表参 3.3－③ ネットワーク作成に使用する学習データ数

地震名	データ数
兵庫県南部地震（1995）	256
宮城県沖地震（1978）	54
釧路沖地震（1993）	4

表参 3.3－④ 入力項目

	入力項目
誘　因	断層面からの最短距離
	モーメントマグニチュード
	断層面に対する方向
素　因	盛土中央部の厚さ
	盛土中央部の幅
	幅/厚さ
	盛土の底面傾斜角
	造成年代
	地下水の有無

③ ネットワーク構造

入力層のニューロン数は、入力項目の個数に依存するため「9 」とした。中間層は、「12」、出力層は変動・非変動を示すため、「2 」とした。これらのネットワーク構造は試行錯誤的に検証し、最も過去の災害実績の再現性が高い組み合わせを用いている。

（参考文献：釜井俊孝，守隨治雄，笠原亮一，小林慶之．地震時における大規模宅地盛土斜面安定化予測．日本地すべり学会誌　第 40 巻　第 5 号，2003，p．25-39）

1 ）学習パラメータ

ネットワーク構築のための学習パラメータは、以下に示すものを基本とする。

表参 3.3－⑤　危険度評価のための学習パラメータの設定

項目	条件	備考
学習率	0.15	参考文献 1
忘却量	0	忘却は実施しない
学習回数	5,000	参考文献 1
学習方法	ランダム	一般手法

（参考文献：釜井俊孝，守隨治雄，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，2003，p．25-39）

①　地震の想定

ニューラルネットワークを用いて危険度を評価する場合において、誘因となる想定地震は、中央防災会議、地震調査研究推進本部※1、地方公共団体が想定する地震規模および断層面を想定することが考えられる。

ニューラルネットワークを使用した危険度評価を行う場合は、誘因となる地震の想定が必要である。想定する地震は、評価対象地域に影響の大きいものを想定する。危険度評価に必要な情報は、以下に示すとおりである。

ア）想定断層面の位置（断層上端の深さ、走向）

イ）想定断層の規模（長さ、上端深さ、下端深さ、傾斜角）

ウ）モーメントマグニチュード（Mw）※2

※1　地震調査研究推進本部

平成7 年7 月、全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するため、地震防災対策特別措置法が議員立法によって制定されたことに伴い、行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、これを政府として一元的に推進するため、同法に基づき総理府に設置（現・文部科学省に設置）された政府の特別の機関。

※2　モーメントマグニチュード

震源となった断層のずれの量や断層の面積、断層付近の岩盤の性質などのパラメータを用いて算出するマグニチュードであり、地震の大きさを求めるどんな大きな地震でも表せるのが特徴である。巨大地震の規模はモーメントマグニチュードで表されることが多い。

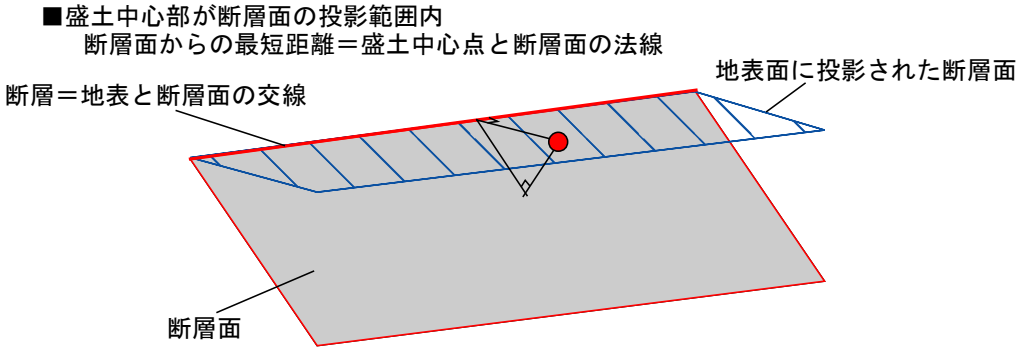
②　評価対象盛土と想定断層面までの距離の測定

想定断層面までの距離は、評価対象盛土の盛土中心部と想定断層面までの最短距離とした。最短距離

は、評価対象盛土と想定断層面の位置関係によって場合わけして計算する。評価対象盛土と想定断層面の位置関係は、想定断層面を地表に水平投影した時に評価対象盛土が、投影された範囲内あるいは外であるかで判断した。

ア）評価対象盛土の中央が想定断層の水平投影面内にある場合

想定断層面を地表へ水平投影した範囲内に盛土中央部がある場合は、盛土の中心点と断層面の垂線が最短距離となる。



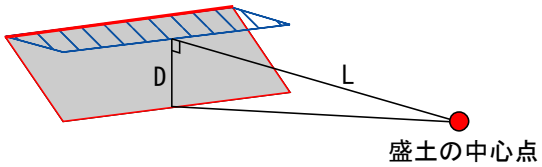
図参 3.3－⑧　盛土中央部が断層面の水平投影面内にある場合の最短距離

イ）評価対象盛土の中央が想定断層の水平投影面外にある場合

想定断層面を地表へ水平投影した範囲外に盛土中央部がある場合、断層の水平投影面までの最短距離とその場所における断層面の深さから最短距離を計算する。

■盛土中心部が断層面の投影範囲外

断層面からの最短距離＝$\sqrt{D^2 \times L^2}$



D：最短距離における断層面の地表からの深さ
L：断層面を地表に投影した範囲への最短距離

図参 3.3－⑨　盛土中央部が断層面の水平投影面外にある場合の最短距離

③　モーメントマグニチュード

危険度評価で用いる地震のマグニチュードは、想定地震のモーメントマグニチュード Mw を使用する。

④　想定断層面に対する方向の測定

想定断層面と評価対象盛土の方向の関係は、想定される盛土の滑動方向と想定断層の走向※1 の内積の絶対値を用いる。

断層面に対する方向　＝　ABS（COS(断層の走行と盛土の滑動方向が成す角)）※2

※1　走向：地層面や断層面と水平面が交わる直線の方向
※2　ABS（　）：絶対値

近隣に想定されている地震がない場合や新規に地震の想定を実施するのが困難な場合、ニューラルネットワークの入力項目のうち、「マグニチュード」と「断層面までの距離」、「断層との角度」を除いた評価を実施することができる。

地震を想定することが困難な場合は、素因となる盛土情報だけで評価を実施することになる。従って、地震を想定する場合と比較して精度が落ちる。

地震を想定しない場合の試算によると地震を想定する場合は 90% 以上の過去の災害の再現性があるが、地震を想定しない場合は 83% 程度まで予測精度が落ちることが確認されている。

⑤　盛土の形状

形状に関連したデータは、点数化方式と同じ方法で計測を行う。計測する項目は、「盛土厚さ」、「盛土幅」、「原地盤の勾配」である。

⑥　造成年代

開発年代は、昭和 50 年前後の空中写真や旧版地形図を用いて調査し、以下の通り開発年代を判断した。

ア）昭和 50 年より以前に開発
イ）昭和 50 年以降に開発

兵庫県南部地震の実績においても宅地造成に関する法整備がほぼ完了した 1975 年以前に造成された宅地盛土は，変動を起こした宅地盛土の約 9 割を占めるとされている（釜井俊孝，守隨治雄，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，2003，p. 25-39）。なお、1975 年以前に開発された盛土は「0」、それ以降に開発された盛土を「1」とした。

⑦　地下水の影響

一般的に地下水は斜面の安定性に影響を与える要因であると考えられている。現地試験を行わず、定量的に地下水の状況を把握するのは、困難であるため宅地造成以前の土地利用状況やため池の有無、湧水の有無に関する情報から地下水の影響度を推定する。現地踏査実施時には、地下水の影響度を示す情報の有無を確認し、地下水が豊富である痕跡を発見した場合は、その結果を加味する。なお、既往資料から

地下水の状況が把握できない場合は、安全側に評価するため地下水があるとして評価を実施する。

２）認識群の選別

特定の過去の変動実績データから 100 事例を選別し、精度評価試験のための認識群（検証用データ）として使用する。

３）学習群の選別

特定の過去の変動実績データから認識群を除いたデータを学習群（予測モデル構築データ）として使用する。

４）学習

ニューラルネットワークによる予測モデルは、「学習」という作業で構築される。モデルの性質を左右するパラメータである。ネットワーク構築のための学習パラメータは、以下に示すとおりとした。

表参 3.3－⑥　危険度評価のための学習パラメータの設定

項目	条件	備考
入力層ニューロン数	9	参考文献 1
中間層ニューロン数	12	参考文献 1
出力層ニューロン数	2	参考文献 1
学習率	0.15	参考文献 1
忘却量	0	忘却は実施しない
学習回数	5,000	参考文献 1
学習方法	ランダム	一般手法

参考文献１：釜井俊孝，守隨治雄，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，2003，p．25-39

5 ） 精度評価試験

学習群のデータを使用して構築した予測モデルを使用し、認識群のデータを用いて実績との一致率を検証する。認識データの予測結果と災害実績を比較することで、予測モデルの再現性の精度を調べることができる。

6 ） 危険度評価

精度評価試験を実施し、予測モデルが十分な精度を有していると判断したのちに、調査対象範囲において、ニューラルネットワークを利用した予測モデルを当てはめ、調査対象地域内の大規模盛土造成地の危険度評価を実施する。

（4 ） 点数方式とニューラルネットワークの比較

1978 年宮城県沖地震と 1995 年兵庫県南部地震の変動事例と非変動事例を使用して、点数方式およびニューラルネットワークによる危険度評価の適合性を検証した。点数方式による危険度評価とニューラルネットワークによる評価を比較すると実績と適合する評価の事例割合と実績と異なる評価の事例割合は、以下の通りである。なお、ニューラルネットワークで地震を考慮しない場合、全体の適合率は 83%まで低下する。

表参 3.3－⑦　点数方式とニューラルネットワークの比較

	適合率（過去の災害の再現性）		
	変更事例	非変動事例	全体
点数化評価	73%	83%	79%
ニューラルネットワーク（点数化評価と評価項目が同じだった場合）	78%	89%	83%
ニューラルネットワーク（素因（地震等）を加味した場合）	96%	94%	95%

（5 ） 川崎市の事例

川崎市では、第一次スクリーニングにおいて約 2,500 箇所の大規模盛土造成地が抽出された。そこから、滑動崩落の危険性や大規模盛土造成地上の人家戸数、影響のおそれのある公共施設の有無などの社会的影響の他、宅地造成の時期、大規模盛土造成地の変状などを考慮し、第二次スクリーニングを優先的に行う区域として 10 箇所を選定した。

これら 10 箇所について順次調査し、その結果を踏まえ、全体の第二次スクリーニング計画を再度検討することとしている。

Ⅳ．宅地ハザードマップ

宅地ハザードマップは、宅地造成に伴う災害に対する住民の理解を深め、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現地調査が必要になるので、現地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宅地ハザードマップを用いて説明会の開催等により住民等の理解及び協力を得られるように努める必要がある。

なお、宅地ハザードマップには、「Ⅵ．３防災区域の指定等（災害の発生のおそれが明らかな場合）」の対象としている、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.1 宅地ハザードマップの作成

宅地ハザードマップは以下の手順により作成するものとする。

1）宅地ハザード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 宅地ハザードマップの記載項目の検討

宅地ハザードマップには、「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．宅地ハザードマップ」に示している宅地ハザード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、全ての宅地ハザードマップに記載する。

「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、宅地ハザードマップ作成に必要となる関連資料を収集する。

【解　説】

宅地ハザードマップを作成するに当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

宅地ハザードマップに用いる基図は、住民等が自宅のある地区及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】

宅地ハザードマップに用いる基図は、住民等が自宅のある地区及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及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、個人の宅地を判別する上で、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．宅地ハザードマップ」に示している宅地ハザード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、全ての宅地ハザードマップに記載する。

本ガイドライン「Ⅲ．２　盛土造成地の位置と規模の把握」で示している大規模盛土造成地の種類は、令第十九条第一項第一号イ、ロに対応している。造成宅地防災区域の指定基準を示すものであることから、宅地ハザードマップにその種類を記載することとする。

（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

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、住民の意識啓発等に役立つ情報をいい、例えば東海・東南海・南海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、また、大規模盛土造成地の危険性などを記載することができる。

なお、住民の宅地ハザードマップに対する理解を深めるため、大規模盛土造成地を抽出した際の第一次スクリーニングにおける手法等について、記載することが望ましい。

また、法第二十条第一項の災害が生じないよう、擁壁等の設置など必要な措置を講ずる際に助成制度があることを周知することが望ましい。

Ⅳ.2 宅地ハザードマップの公表と活用

地方公共団体の長は、宅地ハザードマップについて、速やかに公表・配布し、その周知を図るとともに、作成した宅地ハザードマップを元に、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、住民等の理解及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、宅地ハザードマップを公表するだけではなく、住民等に対して宅地ハザード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、作成した宅地ハザード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 宅地ハザード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、住民が宅地ハザードマップの提供を受けることができる状態におく。
③ 学校等において宅地ハザードマップを利用した防災教育を実施する。

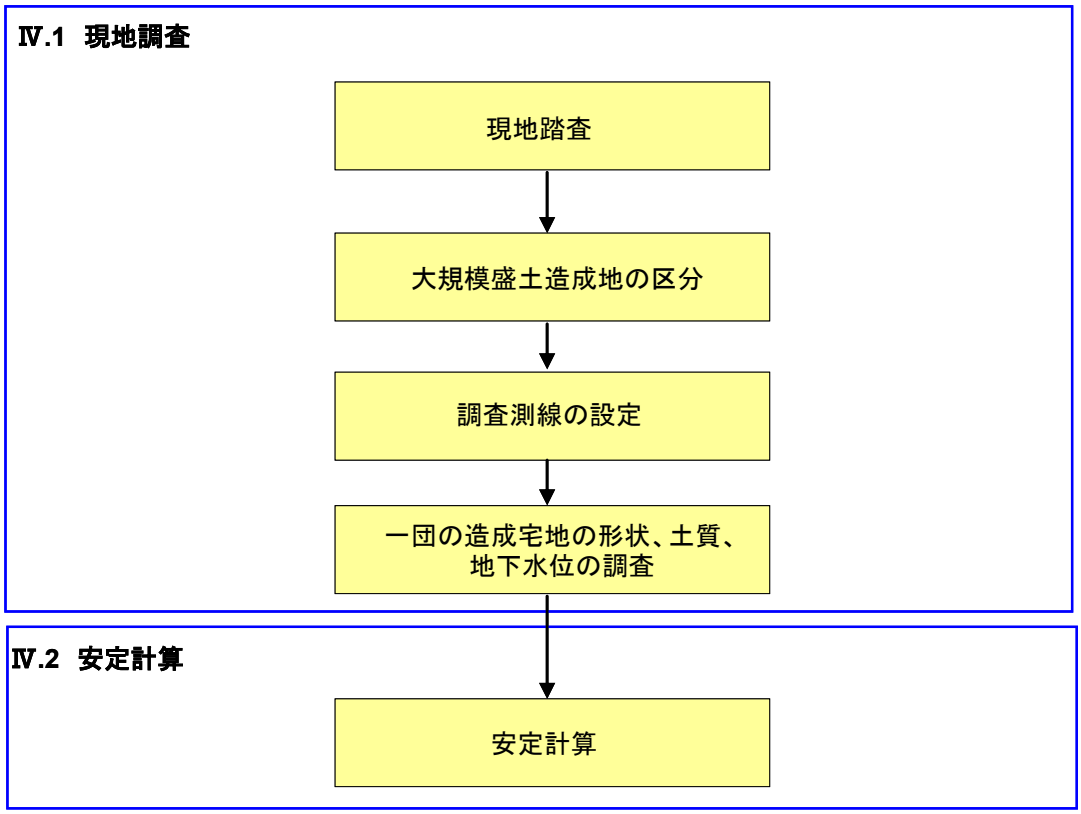
なお、宅地ハザードマップを公表する際の名称については、当該宅地ハザードマップの元となっているデータなどに基づいた名称、例えば大規模盛土分布図や変動予測調査図といった名称を用いてもよい。

Ⅴ．第二次スクリーニング

第二次スクリーニングは、現地調査及び安定計算により滑動崩落のおそれが大きい大規模盛土造成地を抽出することを目的として行うものとする。

【解　説】

第二次スクリーニングは第一次スクリーニングの「Ⅲ.3 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、概略的に大規模盛土造成地の地形等を把握するための現地踏査を行った上で、安定計算に必要となる大規模盛土造成地の物性値等を把握する。そして、それらの結果を用いて安定計算を行う。



図Ⅴ.1　第二次スクリーニングの流れ

Ⅴ.１現地調査

現地調査は、まず、大規模盛土造成地の現地踏査を行い、現在の盛土の地形を確認する。そして、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、摩擦係数（せん断抵抗角）、粘着力、地下水位などを把握する。

【解　説】

第一次スクリーニングで抽出した大規模盛土造成地について現地踏査を行う。そして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、そして地下水位などを把握するため、現地調査を実施する。

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。）については、調査の結果地下水位が盛土内に浸入していないことが判明したものを調査の対象から除いてもよい。

1 現地踏査

現地踏査においては、主として現在の盛土の地形の確認を行う。あわせて、原地盤に残存していると考えられる樹木や、盛土の周辺地形などから第一次スクリーニングで得られた原地盤の地形の確認を行う。

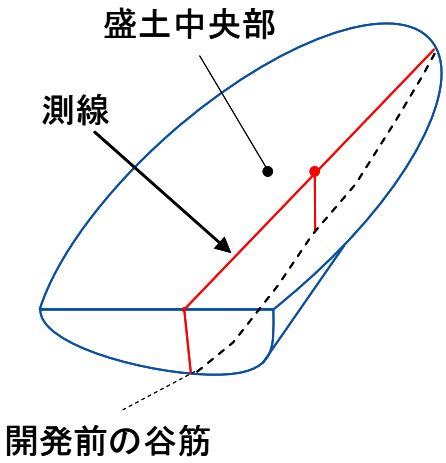
2 大規模盛土造成地の区分

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で地すべり的崩壊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、現地踏査の結果もふまえ、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 5.1 に示す。

3 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（一団の造成宅地）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、一団の造成宅地ごとに、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Ⅴ.1.1　調査測線の設定イメージ

4 一団の造成宅地の形状、土質、地下水位の調査

一団の造成宅地において設定した調査測線における当該盛土の形状、土質、地下水位の調査を下記の通り行う。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。

１）一団の造成宅地の形状の調査

一団の造成宅地の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をもとに計測するものとする。その際、第二次スクリーニングの現地調査により、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）一団の造成宅地の土質の調査

一団の造成宅地において設定した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。調査する項目は、単位体積重量、内部摩擦角、粘着力等である。

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。

４）一団の造成宅地の地下水位の調査

一団の造成宅地において設定した調査測線における当該一団の造成宅地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。その手法としては、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観測するのが確実であるが、その他以下のような推定法もある。ただし、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、②、③、④は適用できない。

① 当該一団の造成宅地周辺のため池などの位置と現地調査による湧水箇所の分布などからの推定

② 比抵抗映像法探査による間接的な地下水帯水層の推定（低比抵抗値の分布による

推定）

③ 弾性波探査屈折法による間接的な地下水位面の推定（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による推定）

④ １m深地温探査法による推定（地下水温と１m深地温の温度差による水ミチの推定）

⑤ 自然電位法による推定（自然電位の乱れから水ミチを推定）

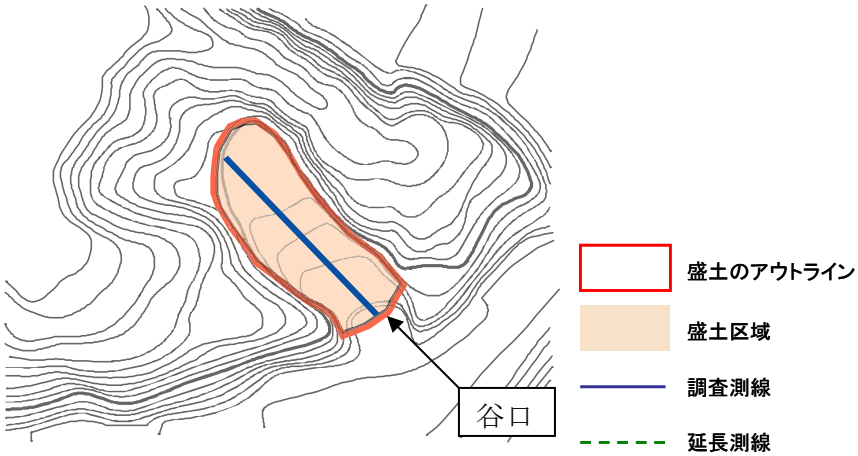
その他近隣住民からのヒアリングを行い、参考にするのもよい。

参考 5.1　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の基本は、兵庫県南部地震（1995）や新潟県中越地震（2004）の事例などから判断し、地形的な変換点がない限り、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 5.1－①のような直線的な大規模盛土造成地以外の事例の評価の区分を以下に示していく。この際、現地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。

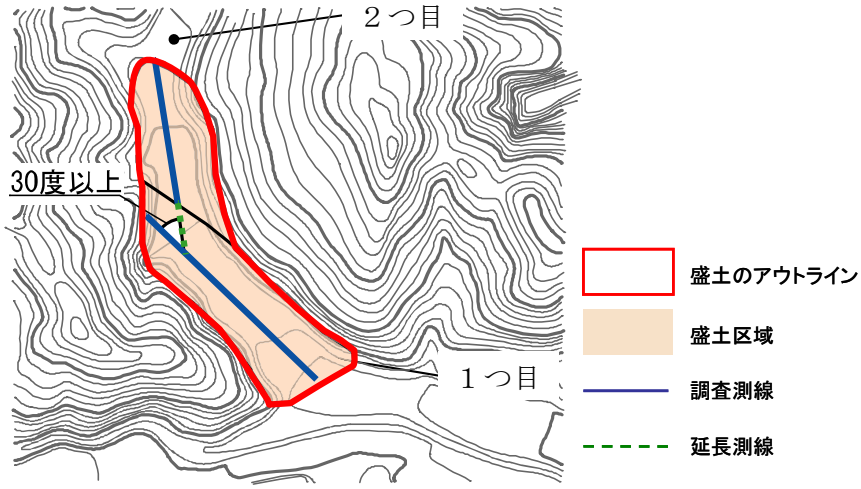


図参 5.1－①　大規模盛土造成地の基本区分

4 ）　大規模盛土造成地が屈曲している場合

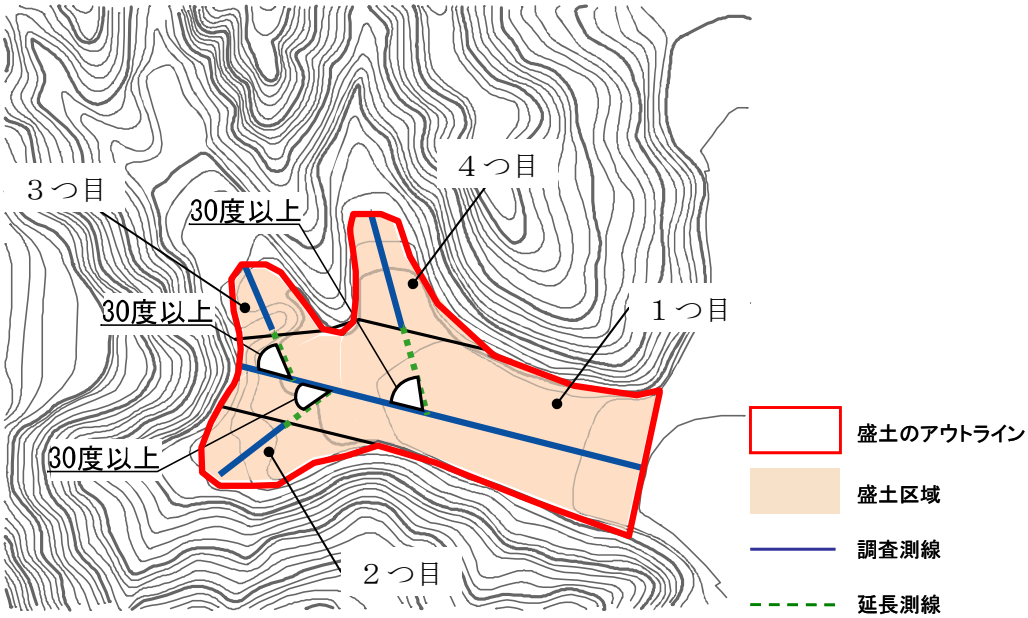
兵庫県南部地震などの過去の災害事例によると、大規模盛土造成地がおおよそ 30 度以上屈曲している場合を目安に区分すべきである。この際、下流側のブロックの直線性を優先し分割する。

図参 5.1－②　屈曲した大規模盛土造成地の区分



5） 谷が分岐する場合

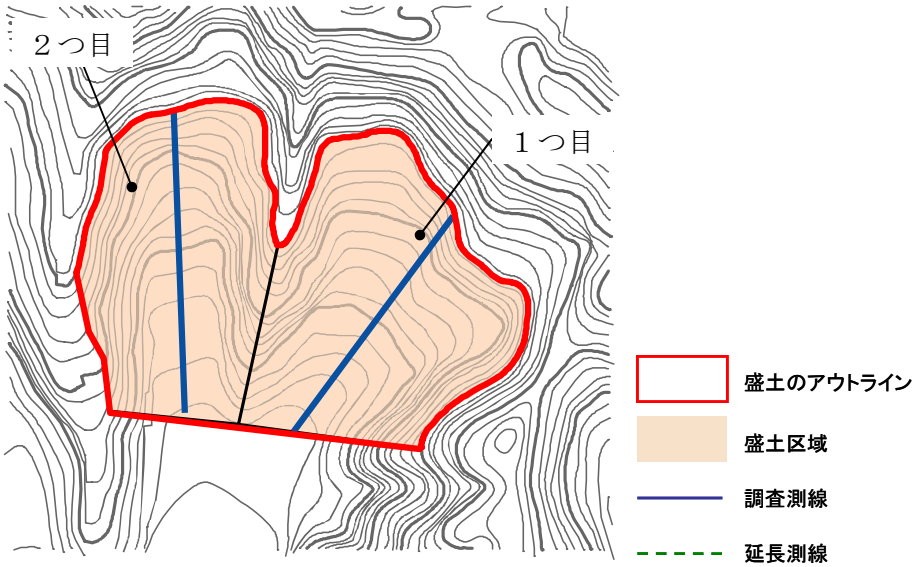
谷が分岐する場合、分岐地点で大規模盛土造成地を区分する。その際、下流側の大規模盛土造成地の直線性を優先的に考慮し、区分を行う。



図参 5.1－③　谷が分岐する大規模盛土造成地の区分

６）尾根まで埋没した大規模盛土造成地の場合

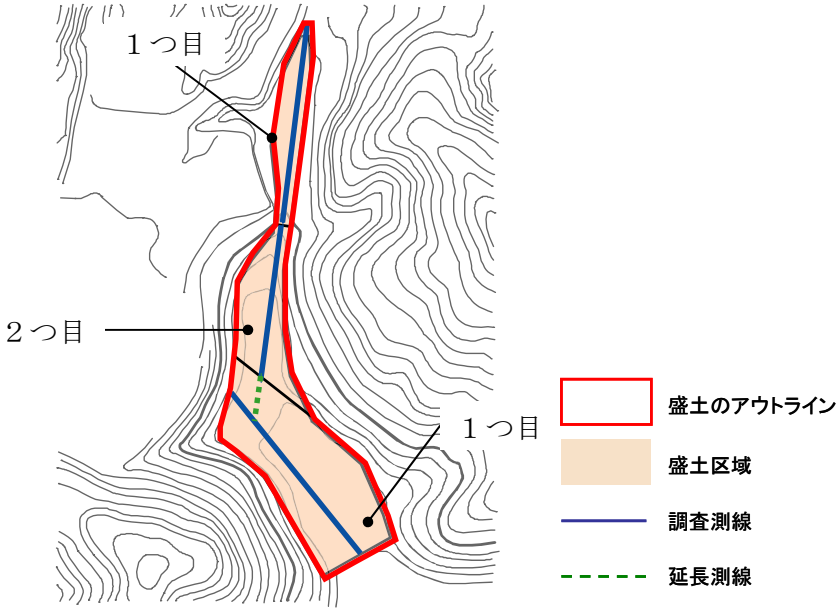
大規模な開発が行われている地域では、宅地造成前の尾根が埋没している場合がある。そのような場合は、残っている尾根から推測した尾根の中央部を通る線で区分する。



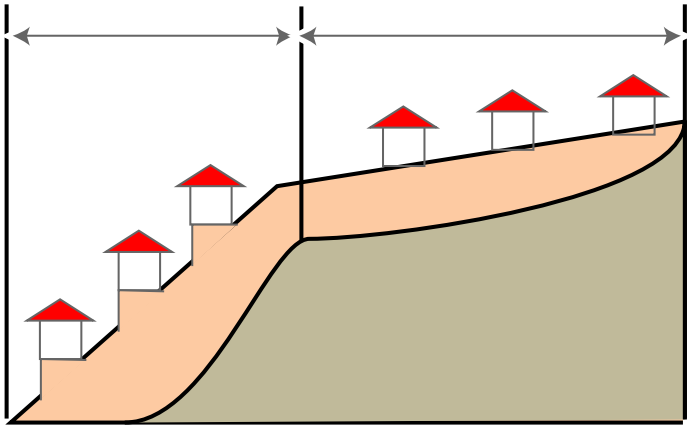
図参 5.1－④　尾根が埋没した大規模盛土造成地の区分

５）大規模盛土地形変換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換点を有する場合は、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 5.1－⑥**に示すような段丘の縁部などに見られる。



図参 5.1－⑤　地形変換点における大規模盛土造成地の区分



図参 5.1－⑥　地形変換点における大規模盛土造成地の区分（縦断面）

参考 5.2　現地調査

（１）大規模盛土造成地の土質調査

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 調査ボーリングにより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、その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 5.2－①　調査ボーリング実施風景

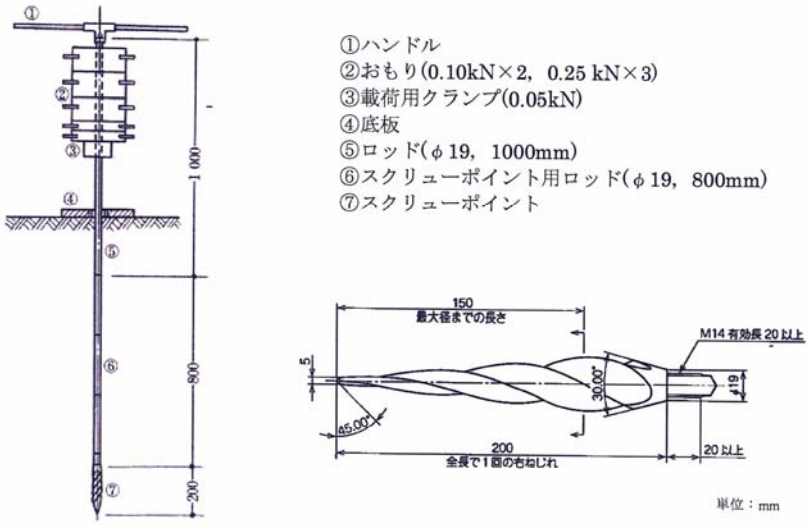
② 標準貫入試験とは、質量 63.5kg のハンマーを落下高 76cm で打ち込み、サンプラーが 30cm 貫入するのに要する打撃回数（N値とよぶ。）を測定し、地盤の硬軟を表したものである。

③ 静的コーン貫入試験とは、オランダ式二重管コーン貫入試験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単管式コーン貫入試験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、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。測定深度が深くなるとロッドの摩擦は避けられないが、打ち込んだコーンを 1～2m 程度静かに引き上げて再度打ち込むことによって摩擦力の測定が可能なので、深度 15～20m 程度までは比較的信頼した値が連続して得られる。さらに標準貫入試験N値への換算も比較的相関がよいので、簡易で経済的な方法である。

⑤ ベーン試験とは、十字の羽根（ベーン）を地中に押し込んで静かに回転させることによって地盤のせん断抵抗を直接測定しようとする試験で、サウンディングというより原位置試験に近いものである。

⑥ スウェーデン式サウンディング試験とは、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：qu、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 5.2－②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、ボーリング以外でのサウンディングでは最も多く用いられている。



手動式試験器具の例

手動式　　半自動式　　自動式

SWS 試験機（手動、半自動、自動）

図参 5.2－②　スウェーデン式サウンディング試験位置と概要図

（２）一団の造成宅地の形状把握

大規模盛土造成地について把握した地形は、安定計算や区域指定の際に重要な情報となる。その調査手法として、調査ボーリングによる点の情報を補完する面的な調査である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。

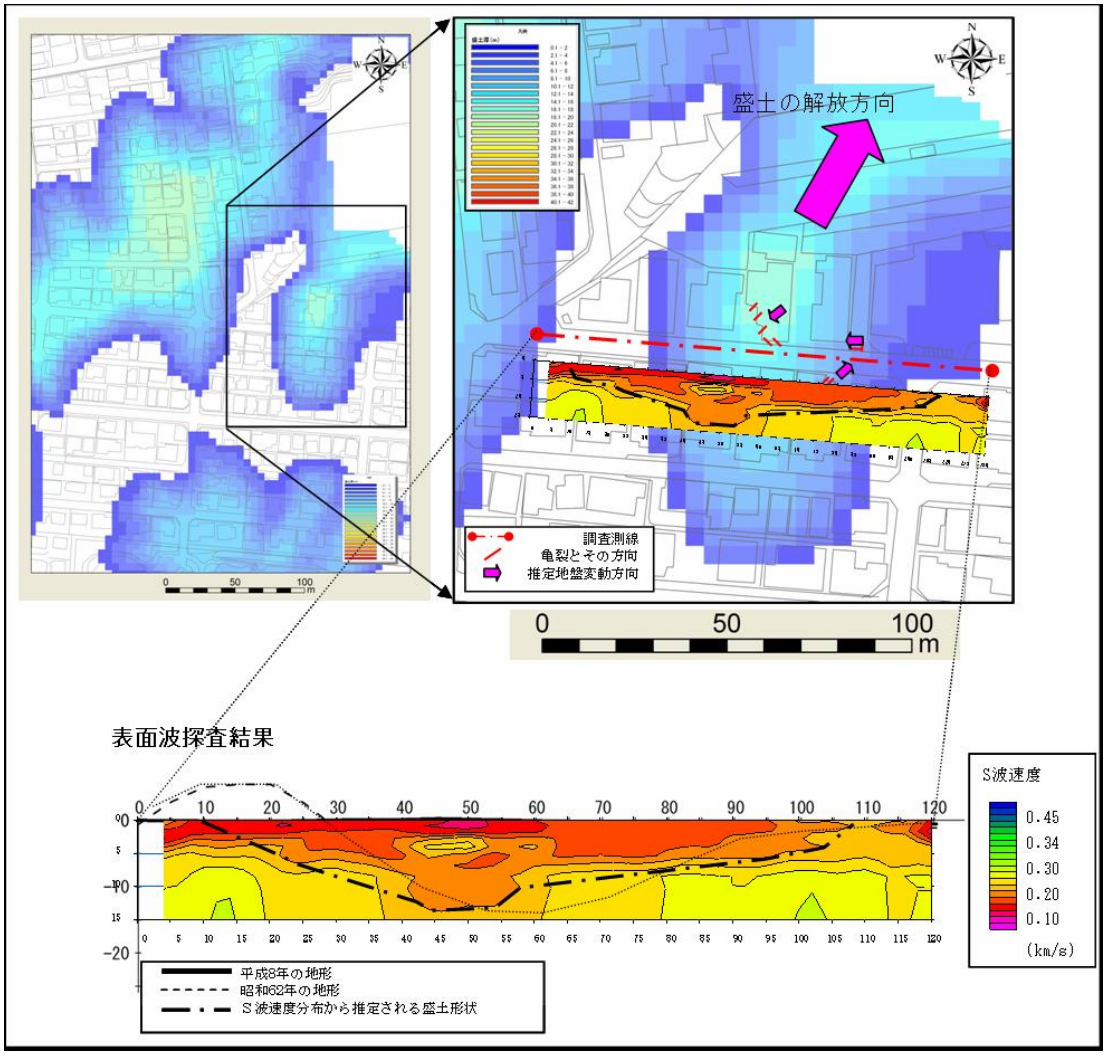
弾性波探査とは、地表付近または地中、水中で火薬などによって人工的に弾性波を発生させて、Ｐ波（縦波）あるいはＳ波（横波）が直接ないし異なる弾性波速度層の間で屈折して弾性波速度層の間で屈折して地盤を伝わってくる状況を、地表に設けた測定装置で観測し、走時（時間）を用いて地盤の弾性波速度構造を解明する方法である。弾性波探査は、面的な情報を短時間で把握することが可能である。

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。

図参 5.2－③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 32 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 32 年の地形よりやや西側によっているが、概ね昭和 32 年の地形と一致している。

図参 5.2－③　表面波探査試験の実施風景



図参 5.2－④　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

Ｖ.２安定計算

Ｖ.１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】

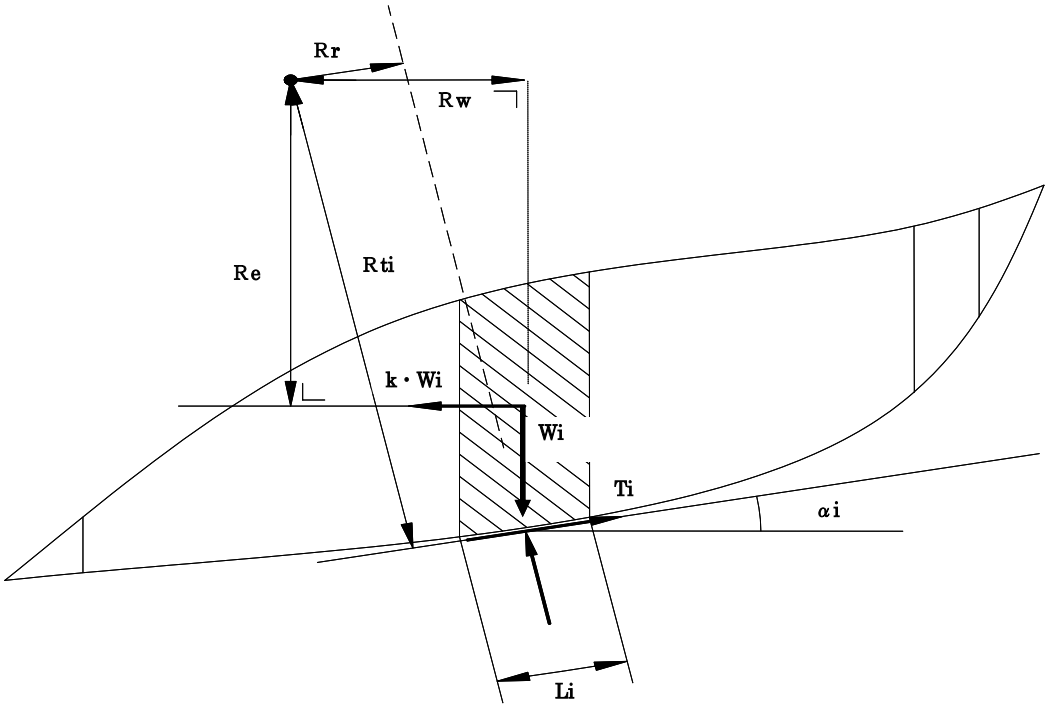
令第十九条第一項第一号イに該当する盛土の滑り面については、複数の円弧又は直線に近似できることを想定している。この場合、安定計算は二次元の分割法による計算を基本とし、あわせて三次元効果を取り入れた安定解析（以下「三次元安定解析」という。）による計算を行うことも可能であるが、二次元安定解析で算出される安全率と比較して、一般的に、三次元安定解析で算出される安全率は 1.0 から 1.3 倍程度に大きくなる傾向がある。

同じく、政令第十九条第一項第一号ロ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、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。

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。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及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Ⅴ.2.1　二次元の分割法における各分割片に働く力（地震時）

$$Sm = \Sigma W_i \cdot Rw - \Sigma W_i(\cos\alpha_i - k \cdot \sin\alpha_i) \cdot Rr + \Sigma k \cdot W_i \cdot Re$$

この式において、Sm、W_i、Rw、α_i、k、Rr、及び Re は、それぞれ次の数値を表すものとする。

Sm：自重による盛土の滑り出す力（単位　キロニュートン・メートル）

W_i：分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重（単位　ニュートン）

Rw：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　メートル）

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）

$\alpha_i = \tan^{-1}(H/L)$

この式において、H及びLは、それぞれ次の数値を表すものとする。

H　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　メートル）

L　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　メートル）

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

Rr：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　メートル）

Re：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　メートル）

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。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ことができる。

（一）　$Tm=\Sigma\ [c'_i \cdot L_i+\{W_i\ (\cos\alpha_i - k \cdot \sin\alpha_i) - u_i \cdot L_i\}\tan\phi'\ ] \cdot Rt_i$

（二）　$Tm=\Sigma\, Cu_i \cdot L_i \cdot Rt_i$

この式において、Tm、c'_i、L_i、W_i、α_i、k、u_i、ϕ'、Rt_i、Cu_iは、それぞれ次の数値を表すものとする。

Tm：最大摩擦抵抗力その他の抵抗力（単位　キロニュートン・メートル）

c'_i：分割されたそれぞれの滑り面の有効粘着力（単位　一平方メートルにつきキロニュートン）

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　メートル）

W_i：分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重（単位　ニュートン）

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）

$\alpha_i = \tan^{-1}(H/L)$

この式において、H及びLは、それぞれ次の数値を表すものとする。

H　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　メートル）

L　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　メートル）

k：水平震度（k=0.25×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で、地下水位の場合には、L_iを$L_i \cdot \sin\alpha_i$に読み替える。（単位　一平方メートルにつきキロニュートン）

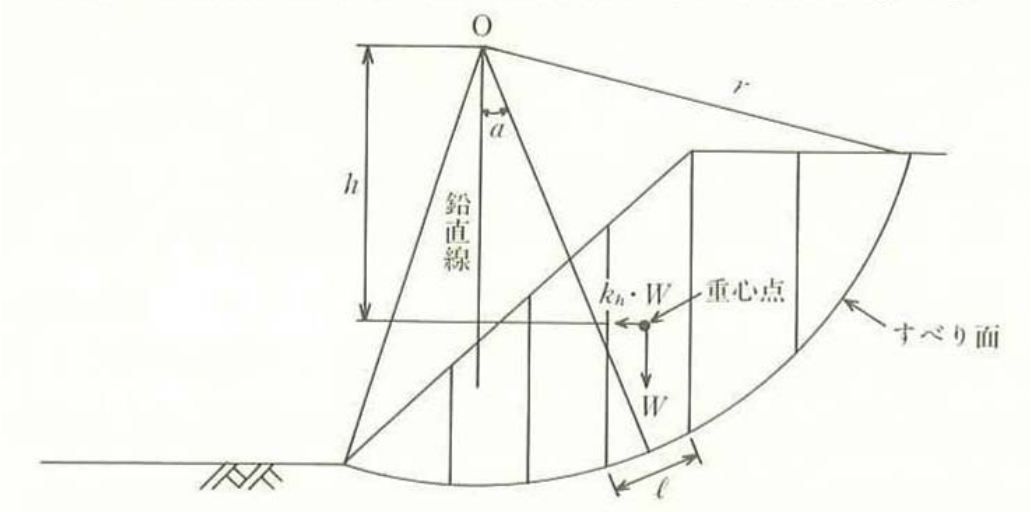
ϕ'：分割されたそれぞれの滑り面の有効摩擦角（単位　ラジアン）

Rt_i：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　メートル）

Cu_i：分割されたそれぞれの滑り面の非排水せん断強度（単位　一平方メートルにつきキロニュートン）

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。



図Ⅴ.2.2　円弧すべり面法における各分割片に働く力（地震時）

$$Sm = \Sigma W_i \cdot \sin\alpha_i + \Sigma k \cdot W_i \cdot Re / R_0$$

この式において、Sm、W_i、α_i、k、Re 及び R_0 は、それぞれ次の数値を表すものとする。

Sm：盛土の自重による滑り出す力（単位　キロニュートン・メートル）

W_i：滑り面を分割した時の分割片ごとの重量（単位　ニュートン）

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×z　z：建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する z）

Re：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　メートル）

R_0：円弧の半径

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。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過剰間隙水圧は、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ことができる。

（一）　$Tm=\Sigma\ [c'_i \cdot L_i+\{W_i\ (\cos\alpha_i - k \cdot \sin\alpha_i) - u_i \cdot L_i\}\tan\phi']$

（二）　$Tm=\Sigma\ (Cu_i \cdot L_i)$

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

Tm：最大摩擦抵抗力その他の抵抗力（単位　キロニュートン・メートル）

c'_i：分割されたそれぞれの滑り面の有効粘着力
（単位　一平方メートルにつきキロニュートン）

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　メートル）

W_i：分割されたそれぞれの滑り面上の盛土の自重（単位　ニュートン）

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）

$\alpha_i=\tan^{-1}(H/L)$

この式において、H及びLは、それぞれ次の数値を表すものとする。

H　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　メートル）

L　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　メートル）

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で、地下水位の場合には、L_iを$L_i \cdot \sin\alpha_i$に読み替える。（単位　一平方メートルにつきキロニュートン）

ϕ'：分割されたそれぞれの滑り面の有効摩擦角（単位　ラジアン）

Rt_i：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　メートル）

Cu_i：分割されたそれぞれの滑り面の非排水せん断強度
（単位　一平方メートルにつきキロニュートン）

3 三次元効果を取り入れた安定解析

三次元効果を導入する方法には、いくつかの提案があり、一般的に使用されている分割法による３次元解析には、Fellenius 法、簡易 Bishop 法、簡易 Janbu 法、Spencer 法、Hovland 法などがあり、一般的に以下の１）～６）について注意が必要である。

なお、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。

１） 解析に使用する地盤物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） 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。

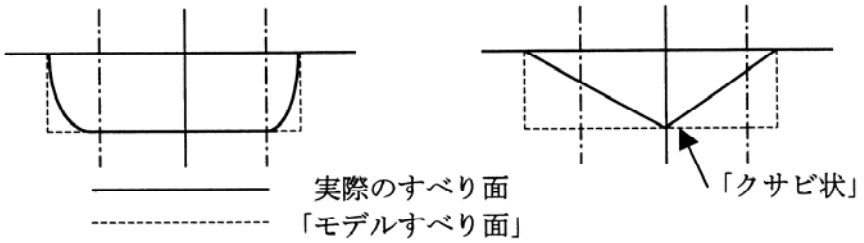
５） 解析対象に見合った、地盤調査箇所数を決定すること

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なこと

参考 5.3　三次元分割法

（１）二次元安定計算の課題

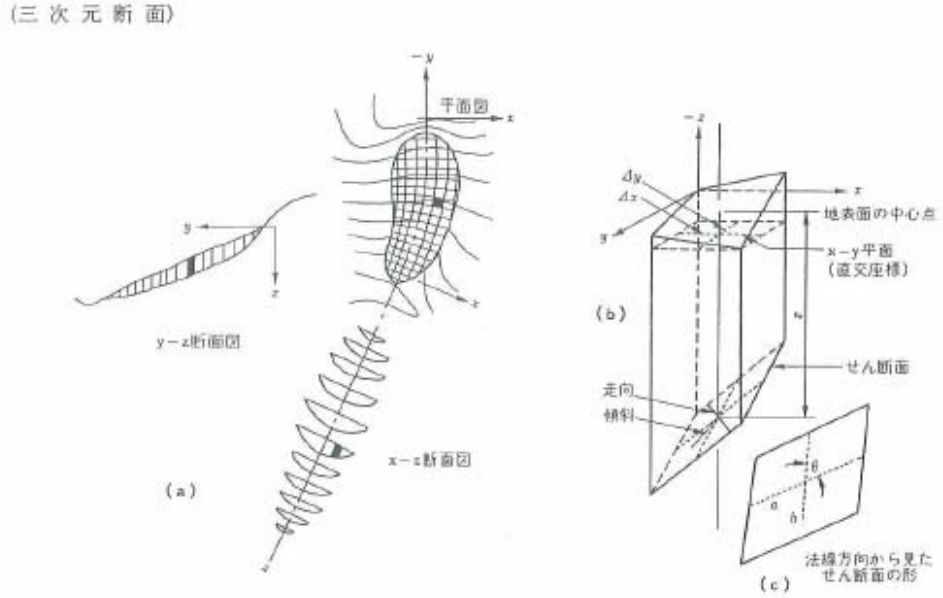
斜面安定解析は、従来から二次元モデルで検討されてきたが、実際は三次元的形状を持つすべり面を「既知の移動方向」と「すべり横断面形状のうち最大深度が想定される位置の斜面形」を持つ「単位幅」のすべり面で代表させたものである。したがって実際に斜面に適用する際に、代表的な断面と全体的な形状との整合が悪い場合（下図参照）や解析断面の方向と実際の移動方向にずれがある場合、解析の合理性が低くなることがある。



図参 5.3－①　解析上の横断面と実際の横断面の整合

（２）三次元断面安定計算の基本

Fellenius 法を三次元に拡張した Hovland 法などの三次元安定解析は、二次解析を実施する y-z 方向の縦断面とそれに直行する横断面方向 x-z の断面を組み合わせてできる土塊柱で二次元安定計算のスライスを表現している。土塊柱は十分に小さく、全ての面を直線で表しえるものとしている。Hovland 法と同様に Bishop 法、Janbu 法、Spencer 法といった二次元の安定式を拡張した式も提案されている。

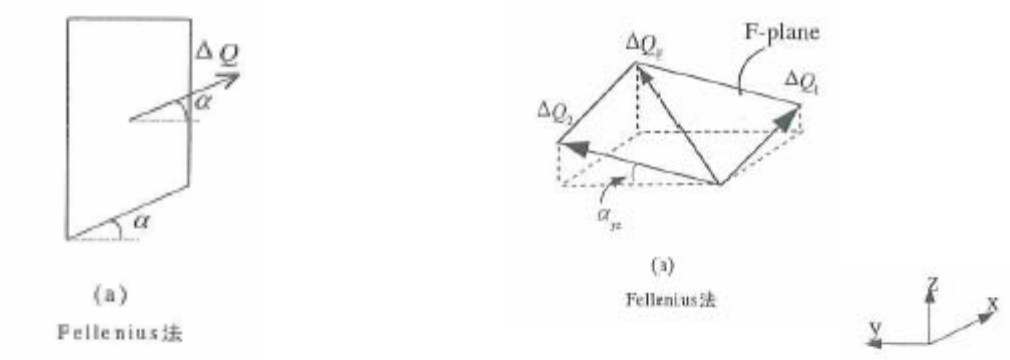


図参 5.3－②　三次元断面の座標とすべり断面、移動土塊柱、すべり面の法線断面

（地すべり防止技術研修テキスト, 財団法人全国建設研修センター, 2000）

1）Hovland 法

三次元安定解析を行うにあたり、内部応力を考慮すると未知数の数が非常に多くなり、静定化が非常に困難である。Hovland 法は、二次元における Fellenius 法を三次元に拡張した三次元簡便法である。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。

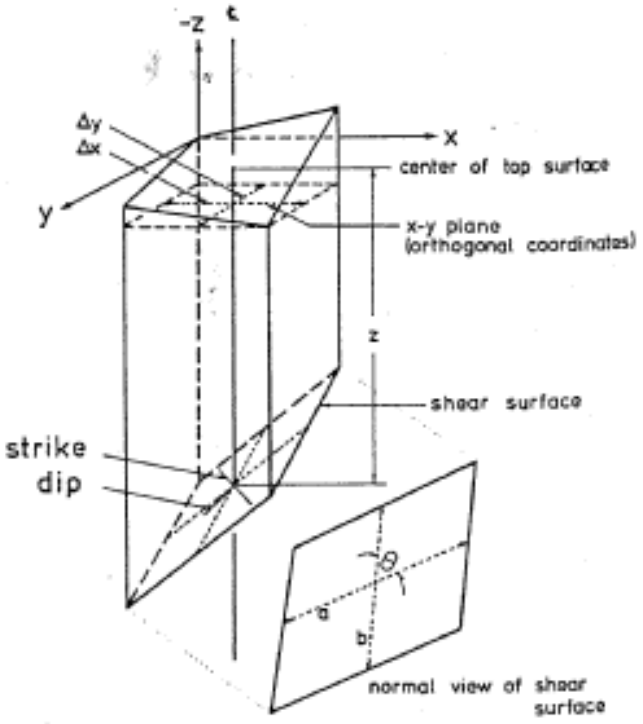


（二次元）　　（三次元）

図参 5.3－③　ΔQ_{ij} の作用面とその分力 ΔQ_1、ΔQ_2

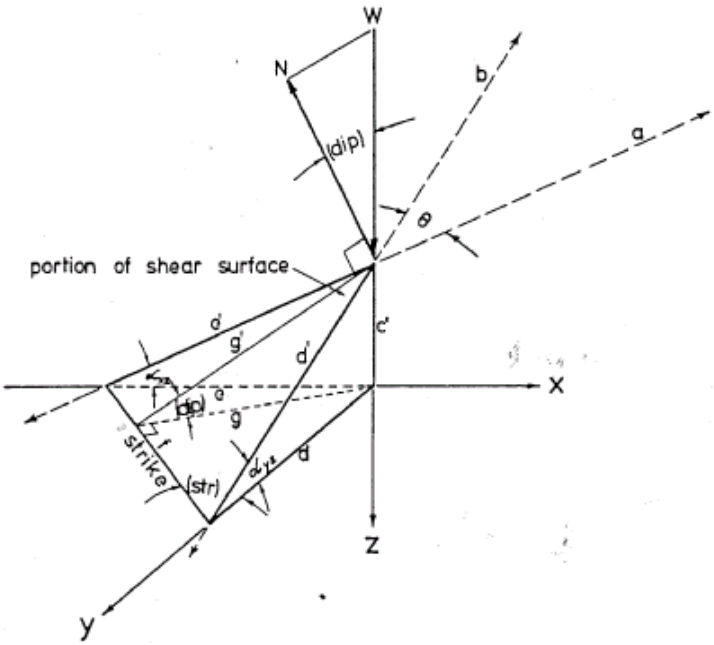
（地すべり防止技術研修テキスト，財団法人全国建設研修センター，2000）

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 平面におけるすべ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 5.3－④　移動地塊とすべり面の法線断面

（地すべり防止技術研修テキスト，財団法人全国建設研修センター，2000）



図参 5.3－⑤　地塊におけるすべり面の三次元要素

（地すべり防止技術研修テキスト, 財団法人全国建設研修センター, 2000）

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

ここで

W_3　：各地塊の重量（kN/m^3）

c　:すべり面の面積(m^2)

ϕ　：すべり面の内部摩擦角(°)

DIP：各地塊におけるすべり面の最大傾斜角（°）

α_{yz}：地すべり滑動方向に対する各地塊の傾斜角（°）

２）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、深い円弧すべりの場合、Fellenius 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。

（モーメント釣り合い式）

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{m_\alpha}R_i[c_{ij}\Delta x\Delta y(1+\eta\tan^2\alpha_{yz})+\tan\phi_{ij}[\Delta W_{ij}-u_{ij}\Delta x\Delta y(1+\eta\tan^2\alpha_{yz})]]}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\Delta W_{ij}R_i\sin\alpha_{xz}}$$

……（式 2）

（鉛直力の釣り合い式）

$$F_v = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{m_\alpha}[\eta\Delta x\Delta y\sin\alpha_{xz}\tan^2\alpha_{yz})(c_{ij}-u_{ij}\tan\phi_{ij})+\Delta W_{ij}(\frac{F_v}{J}+\sin\alpha_{xz}\tan\phi_{ij})]}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\Delta W_{ij}}$$

……（式 3）

なお、

$$m_\alpha = (1+\eta\tan^2\alpha_{yz})/J+\sin\alpha_{xz}\tan\phi/F$$ ……（式 4）

$$J=\sqrt{1+\tan^2\alpha_{xz}+\tan^2\alpha_{yz}}$$ ……（式 5）

ここで

F_m　：モーメント釣り合い式による安全率 F

F_υ　：鉛直力の釣り合い式による安全率 F

W_{ij}　：コラム（i,j）における自重（kN/m^3）

R_i　：すべり面半径（円筒部、だ円部で異なる）(m)

α_{xz}　：xz 面におけるすべり面勾配（°）

α_{yz}　：yz 面におけるすべり面勾配（°）

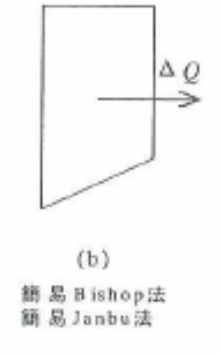
c_{ij} ϕ_{ij}　：土質定数

u_{ij}　：すべり面上の間隙水圧（kN/m^2）

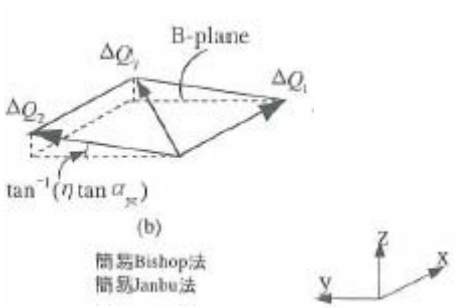
（式２）、（式３）2 式から２つの未知数 F（$=F_m=F_\upsilon$）と η を決定すれば、定める安全率 F が得られる。

3）簡易 Janbu 法

斜面の土質が均一ではなく、特にすべり面近くに軟弱な層を挟む場合には、すべり面は、円弧と直線を組み合わせた複合すべり面となる。当計算手法は複合すべり面において、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、円弧すべり、動水勾配のない水没斜面に対応可能である。



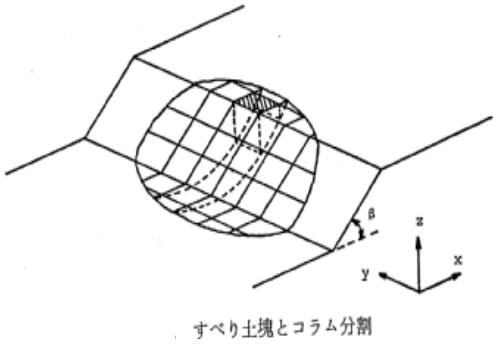
（二次元）

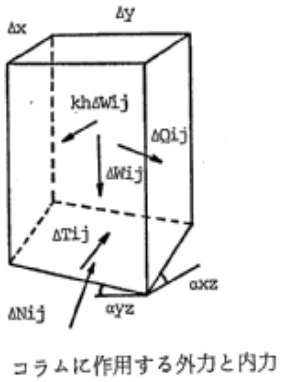


（三次元）

図参 5.3－⑥　ΔQ_{ij} の作用面とその分力 ΔQ_1、ΔQ_2

（地すべり防止技術研修テキスト, 財団法人全国建設研修センター, 2000）





図参 5.3－⑦　地すべり土塊と地塊柱　　**図参 5.3－⑧　地塊柱に作用する外力と内力**

（地すべり防止技術研修テキスト, 財団法人全国建設研修センター, 2000）

$$Fs = \frac{1}{\sum_{i,j} \Delta W_{ij}} \sum_{i,j} [\{c\eta \sin\alpha_{xz} \tan^2 \alpha_{yz} \Delta x \Delta y + \Delta W_{ij} (\frac{F_s}{J} + \sin\alpha_{xz} \tan\phi)\} / m_\alpha]$$

……（式 6）

$$Fs = \frac{1}{\sum_{i,j} (\tan\alpha_{xz} + K_h) \Delta W_{ij}} \sum_{i,j} [\{c \frac{1 + \tan^2 \alpha_{yz} \cos^2 \alpha_{xz}}{\cos\alpha_{xz}} \Delta x \Delta y$$

$$+ (\frac{\tan\phi}{\cos\alpha_{xz}} + \eta Fs \frac{\tan\alpha_{xz} \tan^2 \alpha_{yz}}{J}) \Delta W_{ij}\} / m_\alpha$$ ……（式 7）

ここで、

$$J = \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_{xz} + \tan^2 \alpha_{yz}}$$

$$m\alpha = (1 + \eta \tan^2 \alpha_{yz}) / J + \sin\alpha_{xz}) / J + \sin\alpha_{xz} \tan\phi / F$$

W_{ij} ：地塊柱の重量（kN/m^3）

K_h ：水平震度係数

ΔN_{ij} ：地塊柱に働く垂直力（kN/m^2）

ΔT_{ij} ：地塊柱に働くせん断力（kN/m^2）

ΔU_{ij} ：地塊柱に作用する内力の合力（kN/m^2）

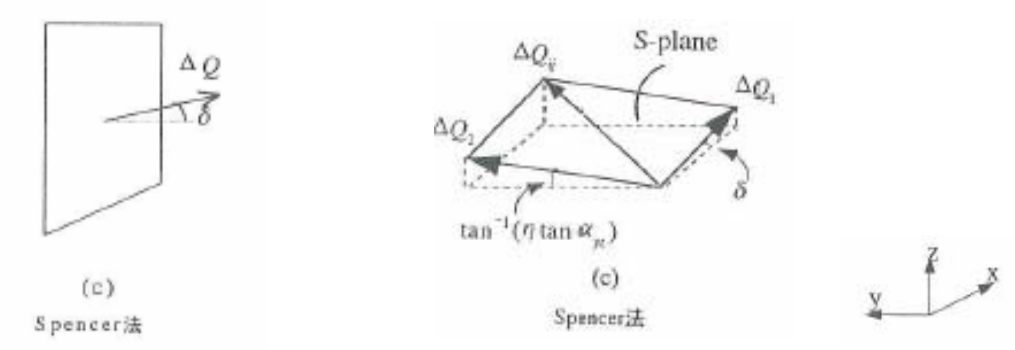
Fs ：安全率

η ：未定定数

4）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、円弧すべ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。

簡易 Janbu 法のηとまったく同様にδをすべり方向に定義すれば、すべり方向のコラム間力の鉛直成分を扱うことが可能となり、Spencer 法に応用される。



（二次元）　　（三次元）

図参 5.3－⑨　ΔQ_{ij} の作用面とその分力 ΔQ_1、ΔQ_2

（地すべり防止技術研修テキスト, 財団法人全国建設研修センター, 2000）

（３）側方抵抗モデル

本モデルは兵庫県南部地震により滑動崩落した盛土のデータをもとに作成したものである。

本モデルは、大地震時において、斜面の形状調査、地盤調査を詳細に行う等解析条件を精度よく定めた場合に使用することができる。本モデルを使用する場合は、以下の条件を満たす必要がある。

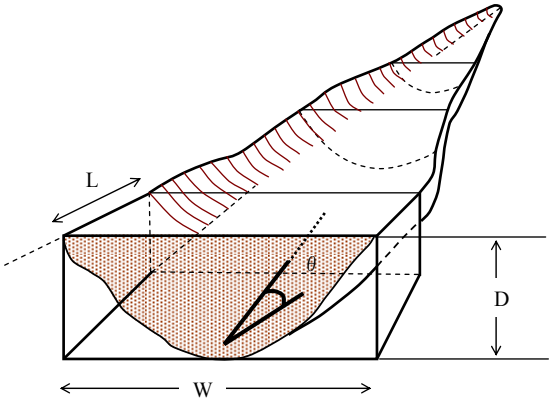
① 強度定数を求める場合の土質試験は、代表的な土質について三軸圧縮試験など土の拘束圧力、排水条件などの地盤条件を適切に再現できる試験によること

② 各分割片の側面に働く土圧強度は、$Pa = K \cdot \gamma_t \cdot D$ によること

また、本モデルは下記の傾向があるモデルであることを留意すること。

・ W／D≦5～10 のときＦ≧1.0

・ W／D≧5～10 のときＦ≦1.0



L_0：単位長さ

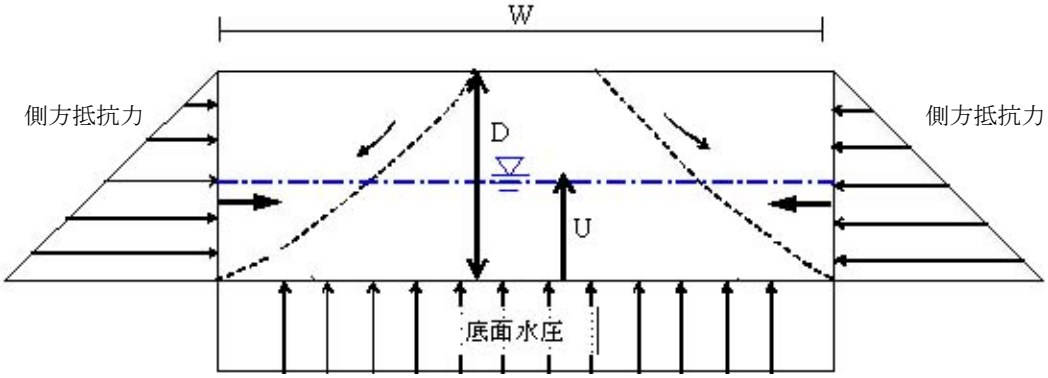
Ｌ：全体長

Ｗ：盛土の最大幅

Ｄ：盛土の最大厚さ

θ：斜面の傾斜角

図参 5.3－⑩　谷埋め型大規模盛土造成地のモデル図



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

図参 5.3－⑪　荷重・土圧のモデル概念図

$F_s = R / T$　　安全率

$T = W_t \cdot \sin\theta + W_t \cdot k_h \cdot \cos\theta$　　滑動力（kN）

$R = R_s + R_b - W_t \cdot k_h \cdot \sin\theta \cdot \tan\phi'_2$　　抵抗力（kN）

$R_s = c'_1 \cdot A_s + P \cdot \tan\phi'_1$　側方抵抗力

$R_b = c'_2 \cdot A_b + (W_t - U_b - U_s) \cdot \cos\theta \cdot \tan\phi'_2$　　底面抵抗力（kN）

ここに，

$W_t = \gamma_t \cdot V_t$　　重量（kN）

$A_s = 2 \cdot D \cdot L$　　側面積（m²）

$P = 2 \cdot 1/2 \cdot K \cdot \gamma_t \cdot D^2 \cdot L$　　側方土圧（kN）

$A_b = A_t / \cos\theta$　　底面積（m²）

$U_b = \gamma_w \cdot u \cdot A_t$　　底面水圧（kN）

$A_t = V_t / D$　換算平面積（m²）

γ_t　：　土塊の単位体積重量（kN/m³）

γ_w　：　水の単位体積重量（kN/m³）

V_t：移動体の体積（kN）

｛（$V_t = A \cdot D \cdot (2/3)$ または $V_t = W \cdot L \cdot D$ ）　｝

L：盛土全体の水平長さ（m）

W：盛土の幅（m）

A：調査結果による平面図図上の盛土の面積（m²）

c'_1，c'_2　：　側面および底面の粘着力（kN/m²）

ϕ'_1，ϕ'_2　：　側面および底面の内部摩擦角（度）

u　：水位高さ（m）

K　：側方土圧係数｛　$= 1 - \sin\phi'_1$　｝

U_s　：過剰間隙水圧（kN）｛　$= \gamma_w \cdot A_t \cdot u_s$　｝

k_h　：水平震度

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

u_s　：過剰間隙水圧の水位高さ（m）

なお、移動体の体積 V_t について，2 つの計算式があるのは両方の試算結果を行い，調査結果との適合度を比較したことを意味している。

参考 5.4　有限要素法解析

有限要素法は、以下のような手順で解析を行う。

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により、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大きい。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。

有限要素法によって斜面の安全性を確認する場合の概略は以下の通りである。

1）　土の構造方法、振動の性状等に応じて、荷重及び外力によって盛土の各部分に生じる力及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４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。

4）　運動方程式は、下式による。

$$[M]\{U''\} + [C]\{U'\} + \{P\} = \{R\}$$

上式において M,U,P,R は、それぞれ次の数値を表す。

[M]：要素集合体の質量マトリックス

{U}：要素集合体の変位ベクトル

{U'}：変位ベクトルの１階時間微分（速度ベクトル）

{U”}：変位ベクトルの２階時間微分（加速度ベクトル）

[C]：要素集合体の減衰マトリックスで、下式による。

$[C]=\alpha[M]+\beta[K]$

[K]：要素集合体の初期剛性マトリックス

α、βは、定数で、地表面での卓越周波数帯における減衰率を３％程度として求める。

{P}：各要素内の応力に基づいて計算される要素集合体の等価節点力で、弾性体では、下式である。

$\{P\}=[K]\ \{U\}$

{R}：要素集合体の荷重および外力ベクトルで時間に依存する（地震動）

５）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。

６）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り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。

７）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。

８）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及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。

９）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。

１０）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。

１１）動的変形解析の開始に当たっては、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。

１２）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。

１３）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り返し計算処理等が行われていること。

１４）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。

$r \leqq 0.025$

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

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　メートル）

θ ：斜面の傾斜角（単位　ラジアン）

L：斜面の長さ（単位　メートル）

H：斜面の高さ（単位　メートル）

なお、有限要素法を扱う場合の留意点等を**以下に**記載する。

○有限要素法解析を行う場合の留意事項

有限要素法に基づき地盤の地震時残留変形予測を行う場合には、以下の各事項の適切さに十分留意し、妥当な解析結果が得られるように努めることが肝要である。

（１）有限要素法プログラムの選択

現在、使用可能な有限要素法プログラムには、市販されているプログラム及び研究用に普及しているものなど多くの種類があるが、以下の各項が満足されている必要がある。

１）解析対象を適切に表現するために、以下のモデルが採用されていること。

・運動方程式：系の質量、(粘性)減衰、剛性分布に基づく運動方程式を有限要素法で空間離散化しており、系の応答を時刻歴で追跡することができる。

・弾塑性構成モデル（材料非線形）：土のせん断強度、土の動的変形特性、砂質土の液状化強度曲線（繰返しせん断による強度低下）などを考慮することができる。全応力モデルまたは有効応力モデルに基づく。地下水位を考慮して液状化の判定を行うこと。

・非線形計算法:各時間ステップの残差力を適切に補正できる。修正 Newton-Raphson 法等のようにステップ毎に確実な収束計算をする場合はよいが、単純な増分計算法等を採用した場合は、誤差が十分に小さくなるよう時間ステップに配慮すること。

・大きな残留変位への追随性：土のせん断強度を超過する外力が作用した場合、繰返しせん断による強度低下で自重を支持できない状態になった場合など、それらの状態に応じて大きな残留変位（ひずみレベルで数十%以上）の発生を再現できるプログラム性能を有すること。

・有限要素：土の局所的かつ大きな変形に追随する有限要素および数値積分法を採用すること。なお、不適切な解（Locking や Hour-glass モード等）が得られた場合には、有限要素や数値積分法を変更することにより、それを解決できるプログラムであること。

２）地震時残留変形解析に関して十分な信頼性のあるプログラムであること。

・既往の地震被災事例、動的遠心模型実験、一斉解析等により、プログラムの精度が十分に確認されている。

・学会での論文発表、研究委員会報告等によりプログラム自体ないしはプログラムに用いられる力学モデルの特徴や有効性などが客観的に評価されている。

3）解析のために参照できる情報の質と量に見合った厳密性を有する力学モデルであること。

・構成モデルの厳密性に比して、解析のためになされる現地調査や室内試験などの量が少ない場合であっても、すべての入力パラメータを合理的に決定する仕組みが用意されていること。

（２）入力パラメータの設定

有限要素法プログラムの入力パラメータについて、以下の各項が満足されている必要がある。

１）入力パラメータの決定に必要な情報があること。

・適切な現地調査、室内試験などがなされていること。液状化現象を予測する場合は、不撹乱試料の動的せん断試験等により液状化強度特性を把握することが望ましい。

・盛土内の物性の分布を把握するために、点や線上の調査だけでなく、面的な調査（表面波探査など）により解析モデルの空間的精度を高めることが望ましい。

２）採用された個々の力学モデルの特徴に配慮してパラメータ値が決定されること。

・個々の有限要素法プログラムないしは力学モデルごとに、適切なパラメータ値は異なる。弾性係数の場合を例に取ると、弾完全塑性モデルでは E50 などの割線変形係数が、非線形応力ひずみ曲線を有する履歴モデルなどでは純粋な接線弾性係数が用いられるべき（着目ひずみレベルが異なる）である。

３）必要に応じて、入力パラメータの不確実性を補完する手法がとられること。

・不確実性が大きく、かつ現象予測に大きな影響のあるパラメータに対しては、積極的にパラメトリック・スタディ（感度分析）が行われるようにする。

・対象とする盛土に関して、施工時の動態観測や既往の地震時の観測結果などがある場合は、これらを参照して、有効に入力パラメータ値の補正がなされるようにする。

・入力パラメータに関する統計的ないし空間的誤差の程度が具体的にわかっている場合は、これを考慮して入力パラメータ値もしくは解析結果値を補正することができる。

（３）解析技術者の判断力

有限要素法プログラムを扱う技術者について、以下の各項が満足されている必要がある。

１）現象の適切なモデル化を行えること。

・現場調査や室内試験などの情報を総合化して、解析対象を適切に有限要素法で解析できるようなモデルとして再構成すること。

・解析精度と有限要素分割との関係を熟知し、適切な有限要素メッシュを迅速に作成できること。

・**（１）有限要素法プログラムの選択、（２）入力パラメータの設定**を踏まえて、適切な有限要素法プログラムの選択と適切な入力パラメータの設定ができること。

２）解析結果の妥当性を客観的に評価できること。

・解析結果の妥当性を、震度法による経験則や厳密解などに照らして、客観的に判断できること。

・解析結果に誤りがある場合、その原因について考察し、適切にモデルの修正を行うことができること。

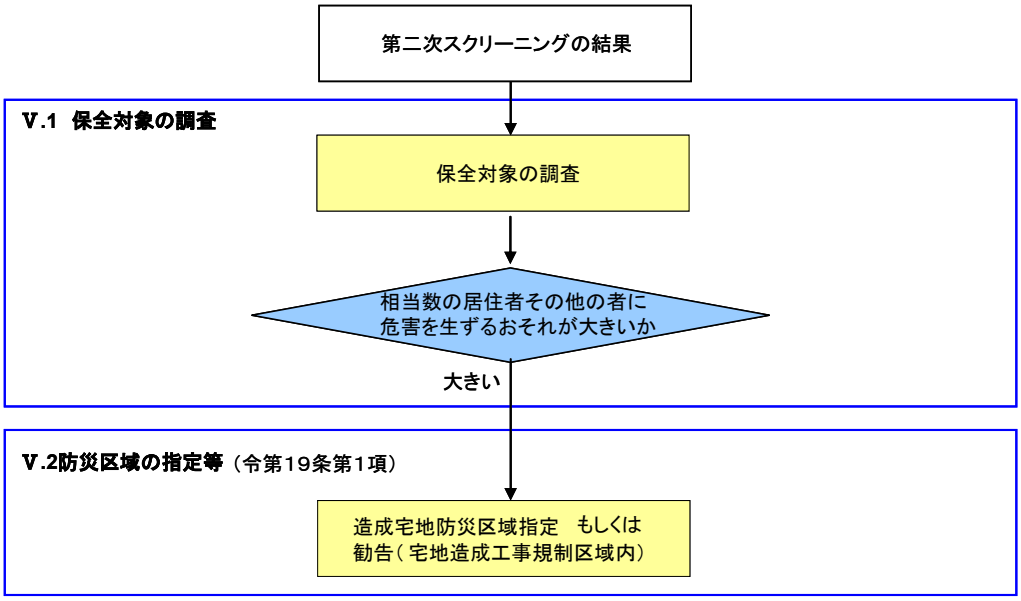
・明らかに不適切な解（Locking や Hour-glass モード）が得られた場合、モデルないしは有限要素および数値積分法などを修正し、適切な解を誘導できること。

３）上記１）２）を行うために必要な知識を身につけていること。

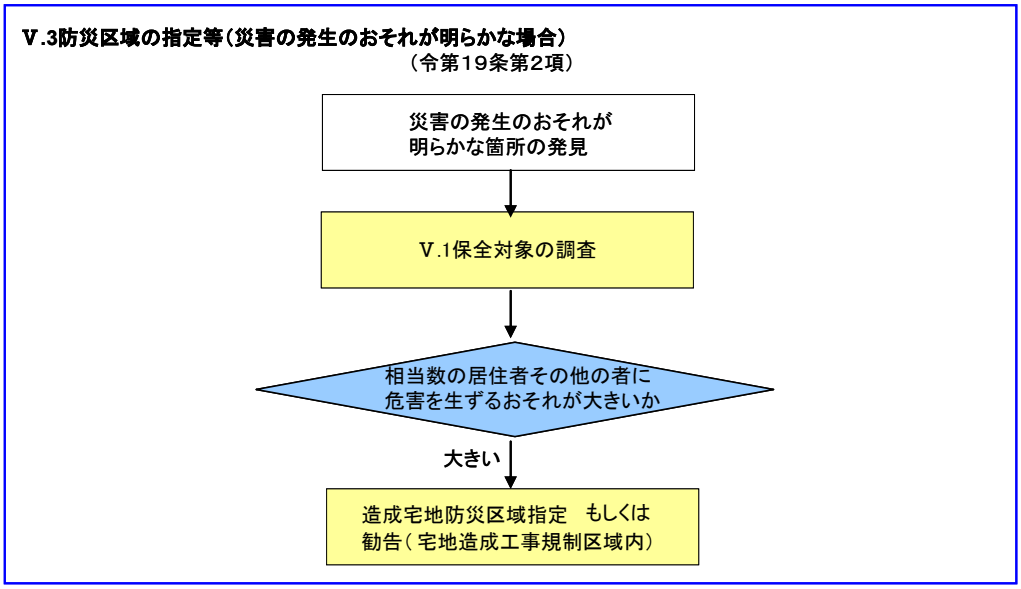
・土の力学モデル、動的弾塑性有限要素法に関する最新の知識を得るために継続学習をしていること。例えば、関連書籍による学習、技術者講習会への参加、学会発表の聴講などを積極的に行っていることが大切である。

Ⅵ. 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大きいと判断された場合か、もしくは大規模盛土造成地において災害の生ずるおそれが明らかな場合に、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。



図Ⅵ.1　変動予測による防災区域の指定等の流れ



図Ⅵ.2　変動予測によらない防災区域の指定等の流れ

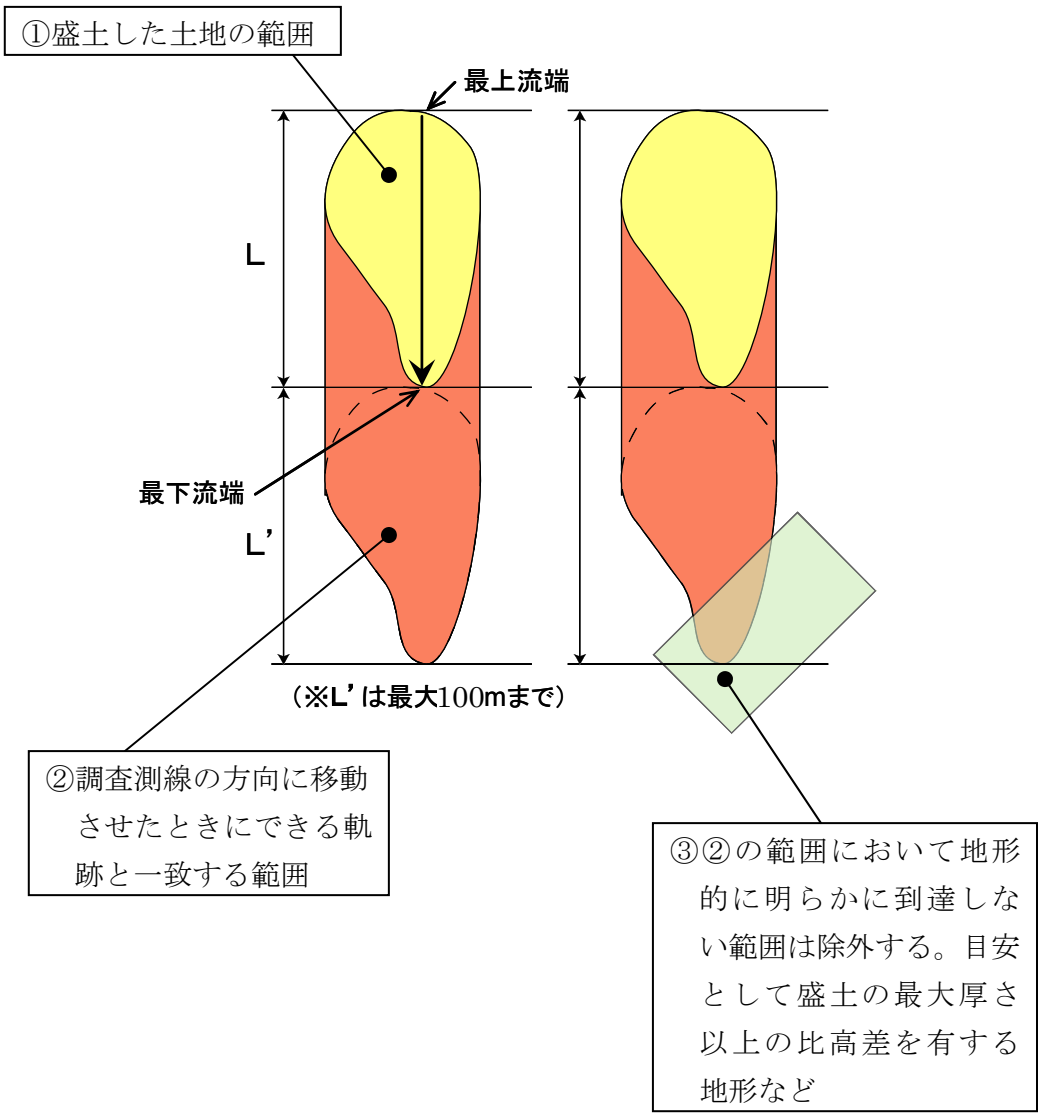
Ⅵ.１保全対象の調査

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ある土地の区域内に存在する人家、道路、河川、鉄道等の保全対象とそれらの規模を調査する。

【解　説】

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及びその周辺の人家、道路、河川及び鉄道等が存在するかどうかを確認する。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、県道又は一級河川かなど）などを可能な範囲で確認する。

なお、大規模盛土造成地の滑動崩落により危害を生ずるおそれのある範囲は、下図のとおり、盛土の下端からの水平距離(L’)が、盛土の水平距離（L）と等しくなる部分（Lが 100m を超える場合は 100m）とする。

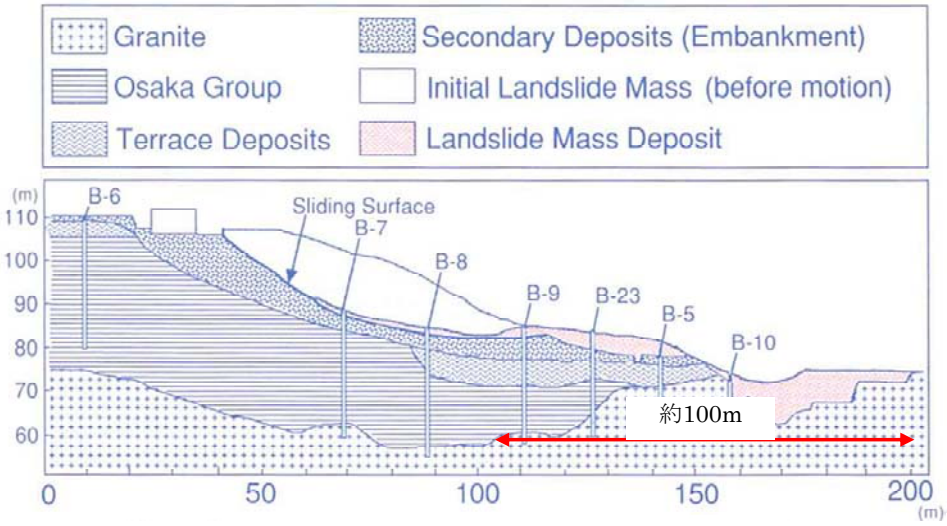


図Ⅵ.1.1　保全対象の範囲

参考 6.1　保全対象の範囲の設定方法について

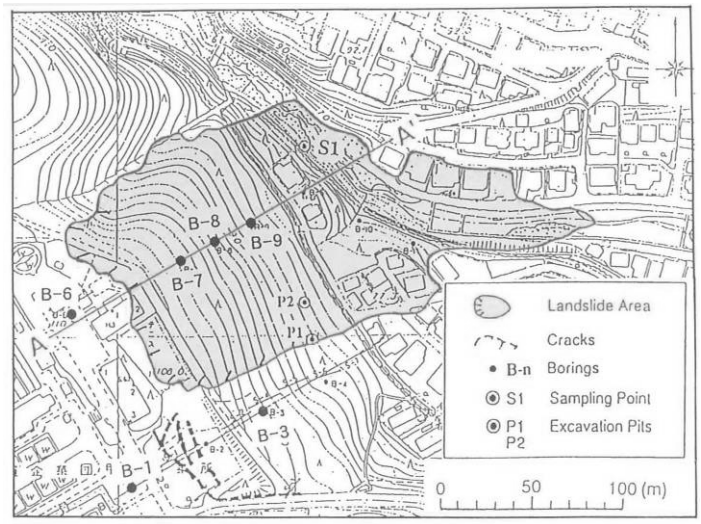
大規模盛土造成地の滑動崩落事例のうち、移動距離が長い事例は、西宮市仁川と宮城県築館である。西宮市仁川の事例は、兵庫県南部地震（1995）の際に、大規模盛土造成地が約 100m 下流まで流下したものである。宮城県築館の事例は、三陸南地震（2003）の際に大規模盛土造成地が 80-100m 移動したものである。

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（土砂災害防止法令の解説P59, 国土交通省河川局水政課・砂防部砂防計画課監修,（社）全国治水砂防協会発行, 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。



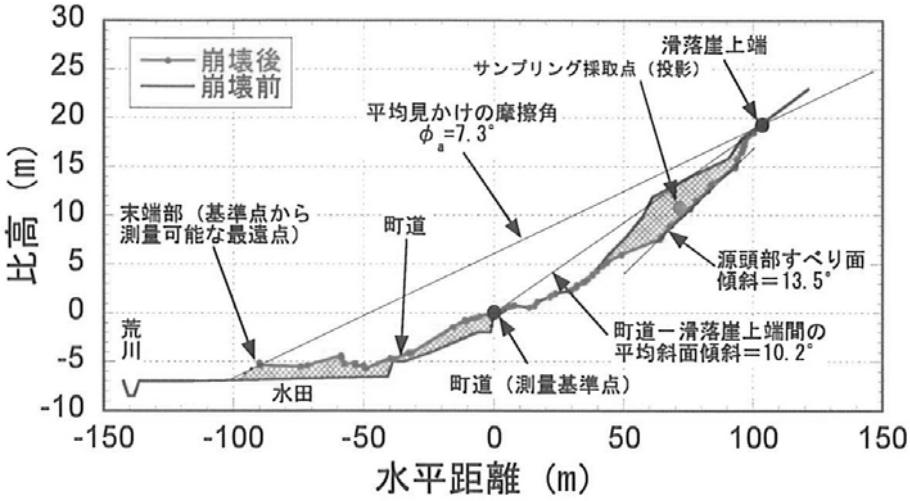
図参6.1-①　西宮市仁川百合野町の崩壊地域周辺の地質断面図

(K.SASSA H.FUKUOKA T.SAKAMOTO (1995), The rapid and Disastrous Nikawa Landslide, LANDSLIDE NEWS)



図参 6.1-②　西宮仁川における平面図

(K.SASSA H.FUKUOKA T.SAKAMOTO (1995),The rapid and Disastrous Nikawa Landslide, LANDSLIDE NEWS)



図参 6.1-③　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)

Ⅵ.2 防災区域の指定等

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が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こととする。

【解　説】

変動予測の結果、当該大規模盛土造成地が以下の①及び②に該当する場合は、防災区域の指定又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 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。

② 宅地における崖崩れ又は土砂の流出による災害で、盛土上および盛土周辺の相当数の人家（おおむね１０戸以上）に危害を及ぼすこと

なお、②に加えて、人家以外の重要な保全対象（高速自動車国道、一般国道、都道府県道、河川、鉄道又は地域防災計画に記載されている避難地または避難路）に与えると想定される危害も考慮することが望ましい。

Ⅵ.3 防災区域の指定等（災害の発生のおそれが明らかな場合）

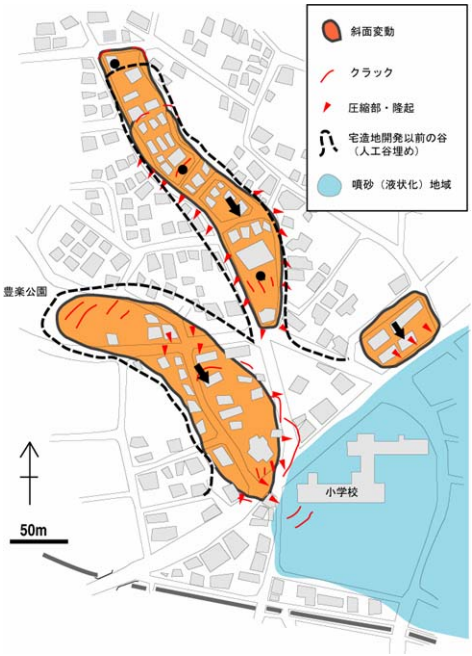
変動予測に関わらず、切土又は盛土をした後の地盤の滑動、宅地造成に関する工事により設置された擁壁の沈下、切土又は盛土をした土地の部分に生じた崖の崩落その他これらに類する事象が生じている一団の造成宅地の区域であって、災害により相当数の居住者その他の者に危害を生ずるおそれが大きいと認められるものについて防災区域の指定等を行うこととする。

【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場合は、安定計算に関わらず、防災区域の指定ができることとしている。

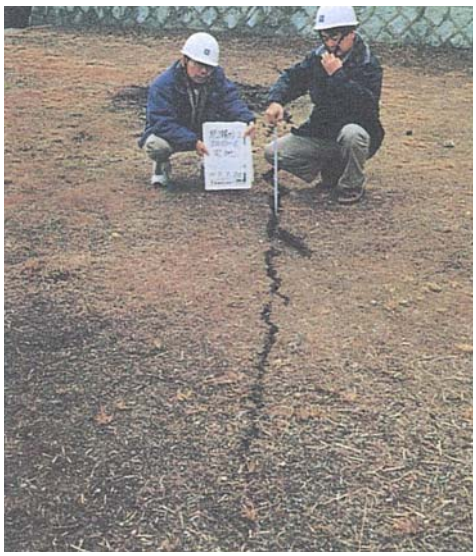
この規定により、例えば窪地を平坦に盛土した宅地でも、地盤の滑動などの事象を示していれば防災区域を指定することが可能となる。

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。



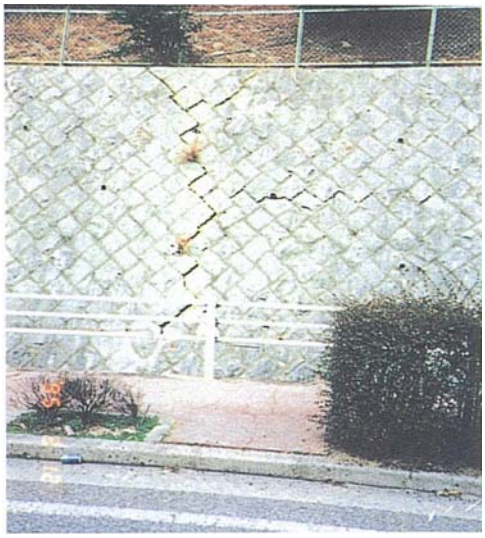
図Ⅵ.3.1　西宮市における盛土造成地の変動事例

（釜井俊孝・守隨治雄（2002）：斜面防災都市、理工図書）



図Ⅵ.3.2　宅地の亀裂例

図Ⅵ.3.3　崖の崩落例



図Ⅵ.3.6　擁壁の沈下例

図Ⅵ.3.7　擁壁の沈下例