

地域特性を考慮した大規模盛土造成地の変動予測調査事例

Case Study of Displacement Prediction will be Caused by Earthquake Focused on Local Characteristic for Hillside Residential Lands

沖 村 孝 樋 口 博 中 川 渉 山 内 政 也
Takashi Okimura Hiroshi Higuchi Wataru Nakagawa Masaya Yamauchi

1. はじめに

宅地盛土は、1995 年兵庫県南部地震、2004 年新潟県中越地震そして 2011 年東北地方太平洋沖大地震等において、広範囲に盛土斜面の滑動崩落や宅地そのものの変状などが多数発生し、住民の生活に多大な影響を与える事態を生じていた。一方国土交通省は、宅地造成等規制法を 2006 年に初めて改正し、近い将来予想される大地震に対する備えの仕組みを構築した。この目的を達成するため、後述するように 2006 年に「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説（案）」¹⁾を発表し、それに沿った大規模造成地の変動予測調査を地方自治体に推奨するとともに、多数の県、市において 1 次調査（一部 2 次調査）が実施されてきている。

六甲山地ならびに北摂山地に隣接し武庫平野を含めた宝塚市は、阪神地区のベッドタウンとして栄え、明治、大正より鉄道敷設ならびに沿線の住宅分譲地が開発され、古い造成地に加え昭和 30 年代以降の宅地盛土が各所に分布している。六甲山地に隣接した都市部では、兵庫県南部地震時に複数の宅地、斜面において崩壊等変状が発生しており、亀裂変状等が残存した擁壁やのり面箇所も認められる。宝塚市においても数カ所で斜面、宅地において変状が発生しており対策が実施されている²⁾。

今回実施した宝塚市の大規模盛土造成地の変動予測調査は、基本的には「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説（以下ガイドライン）」³⁾に準じて実施したが、本報ではその分布範囲の精度向上ならびに古い宅地盛土の評価、活断層分布域等の様々な地域特性について検討を加えた。

数値標高モデルの精度向上にあたって旧地形図の補正、断面図による確認、現地踏査による確認時に GPS を利用し精度向上に努めた。また新旧地形図の重ね合わせにおいて、造成時の宅地計画地形図を確認し、その精度を検証した。

盛土の抽出にあたっては、ガイドラインが 3000m²以上の宅地、原地盤勾配が 20° 以上を対象とするのに対して、本報では面積 2000m²、原地盤勾配が 15° 以上を対象に机上で抽出し、抽出漏れを避ける試みを実施した。次に詳細な現地踏査を行い、切土・盛土境界部の地表面痕跡を追跡して盛土形状を再検討した。現地踏査においては、人為的な想定被害形態（崩壊・変形）のバラツキを小さくするために現地チェックシートを活用した。その上で対象となる大規模盛土の抽出（第一次スクリーニング）を実施した。

抽出された対象盛土について、盛土の種類、造成年代、面積、地下水、想定被害規模、被害形態、被害実績等を参考として第一次スクリーニング段階での評価を行った。評価にあたって、宝塚市の一部地域が、六甲・淡路島断層帯・有馬高槻構造線上に位置した活断層分布地域であり、徳島県や西宮市などの条例で定義される活断層を都市圏活断層図の 100m 幅として危険度評価の参考資料とした。また宝塚市を流れる 2 級河川武庫川は、自然堤防だけでなく後背湿地を形成しており軟弱地盤や崖錐性堆積物が分布している状況にある。ガイドラインでは、沖積層上の盛土は対象とはならないが学校盛土等避難場所の対象となる箇所は、参考として評価対象とすることを試みた。

本報告では、第一次スクリーニングにあたって上述した地域特性を考慮して実施した大規模盛土造成地の変動予測調査の事例としてその流れについて述べる。

2. 大規模盛土造成地抽出調査の背景

宅地造成地等規制法（以下「宅造法」と呼ぶ）は、1962 年（昭和 37 年）に施行された。それまで日本には、宅地開発において具体的な技術基準が存在していなかったが、宅造法では、宅地造成に伴い災害が発生する恐れのある区域を「宅地造成工事規制区域」として指定が可能となった。そしてその区域内にて行なわれる宅地造成工事は、地盤の安定性の確保、擁壁の設置、排水施設の設置等の防災措置を講じる必要があることが定められた。また住宅・都市整備公団（都市再生機構）では、1984 年に「宅地耐震設計指針（案）」⁴⁾が作成され、地盤の液状化、法面の安定性、擁壁の安定性、自然斜面の安定性に関する方法が示された。

さらに建設省民間宅地指導室監修の「宅地防災マニュアル」⁵⁾が 1990 年に出版され、地震に対する擁壁設計等が参考として示された。また 1995 年兵庫県南部地震により宅地災害が発生し、それを受けて 1998 年に「宅地防災マニュアル（改訂版）」⁶⁾が出版され、耐震設計の考え方が明確になった。さらに 2003 年には「宅地耐震設計マニュアル（案）」⁷⁾が出版され、中規模地震動、大規模地震動を想定されるようになった。

2004 年新潟県中越地震を経た後、中央防災会議（事務局：内閣府）では「首都直下地震対策専門調査会」を設置し、首都直下地震が発生した場合の被害を検討し、平成 17 年に想定結果を発表している。その中で建物被害として全壊棟数が 48～85 万棟で、揺れにより 15 万棟、火災により 29 万～65 万棟焼失、液状化・急傾斜地崩壊でも 4.5 万棟が全壊すると見積もられている。それらを受けて地盤工学会は、「宅地の危険度評価に関する統一マニュアルの作成と、それによる評価の実施が必要である。さらに、宅地全体の安全を図るために特に擁壁・盛土の耐震設計を義務付けていく必要がある。」と提言⁸⁾している。

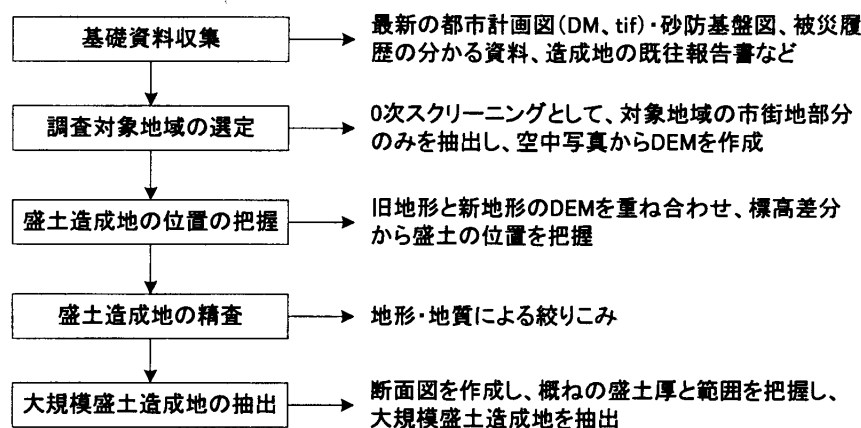
さらに宅造法が改正され平成 18 年 4 月 1 日に公布され 9 月 30 日に施行された。そして国土交通省から「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説（案）」が示された。ここで初めて大規模盛土造成地が次のように定義された。

- 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）

これらガイドラインは 2012 年に部分改訂されるとともに、2010 年には「人工改変地形データ抽出のための手順書（概要版）」⁹⁾、2012 年には「宅地耐震対策工法選定ガイドラインの解説」¹⁰⁾が示されるに至っている。

3. 大規模盛土造成地検討のプロセス

本地域における大規模盛土造成地の検討プロセスを図－1 に示した。



図－1 大規模盛土造成地検討のプロセス

4. 宝塚市域の第一次スクリーニングの検討

4. 1 基礎資料収集

基礎資料の収集は、対象盛土を抽出、検討等するにあたって極めて重要である。特に既往資料がどれだけそろっているかによって、分布の精度が大きく左右される。

当該地は基礎資料として、以下の（ア）～（ト）を利用した。

- （ア） 地形図 DM データファイル（1/2500：平成 17 年）
- （イ） 都市計画データファイル（1/2500、1/10000）
- （ウ） 宝塚市都市計画図（平成 4 年、昭和 61 年、昭和 47 年、昭和 52 年、昭和 42 年）
- （エ） 地形図データファイル（1/10000）
- （オ） 白地図（1/2500、1/10000）
- （カ） 航空写真画像データ、デジタルオルソ画像データ、近赤外線オルソ画像データ
- （キ） 閲覧用の空中写真（宝塚市撮影：昭和 23 年、昭和 38 年、昭和 46 年）
また既往資料としては以下のものが得られた。
- （ク） 開発許可申請設計説明書および位置図（平成 17 年～23 年度分）
- （ケ） 兵庫県南部地震被害についての資料（阪神淡路大地震、宝塚市の記録 1995）
- （コ） 調査報告書（宝塚市地域防災計画改定業務防災アセスメント調査報告書）
- （サ） 急傾斜地斜面崩壊対策事業の資料（急傾斜地崩壊危険区域指定申請書）
- （シ） 国土交通省保管 LP データ
- （ス） 兵庫県が保管する砂防基盤図
- （セ） 昭和 28 年（1953 年）の米軍撮影の空中写真（大阪西北部：1/10000～1/15000）
- （ソ） 昭和 28 年（1953 年）の米軍撮影の空中写真（広根：1/10000～1/15000）
- （タ） 昭和 36 年（1961 年）の米軍撮影の空中写真（大阪西北部：1/10000～1/15000）
- （チ） 昭和 38 年（1963 年）の米軍撮影の空中写真（広根：1/20000～1/30000）
- （ツ） 盛土上の公園施設に関する情報（宝塚市防災マップ）
- （テ） 造成関連資料（建設工学研究所保管資料：報告書）
- （ト） 災害履歴資料（兵庫県南部地震）

4. 2 数値標高モデルの作成

変動予測調査の対象は、宅地造成地等規制法第二十条第一項の災害発生のおそれ大きい大規模造成地（以下造成宅地）であり、現在の土地利用状況により森林、農地、ゴルフ場など、宅地以外の土地利用がなされている区域は、対象から除外した。

4. 2. 1 地形・地質による対象範囲の絞り込み

- ①河川、河川敷、湖、沼地、湿地
- ②湾岸地域の埋め立て地等の明らかに盛土がないとわかる地域
- ③沖積平野、低地段丘面、扇状地性低地、三角州低地、自然堤防、砂州

上記①～③は、対象範囲から除外したが、上記の内一部宅地、公共施設、学校の分布する沖積平野部、扇状地性低地については地震被害等の地盤特性に関連することから現地踏査により抽出を行なっている。

4. 2. 2 土地利用による対象範囲の絞り込み

新旧の地形図や空中写真を用いて④～⑥に該当する地域を除外した。なお臨海部に関しては位置的に当該地区には分布していない。

④土地利用状況が変化していない区域（樹林帯、農地）

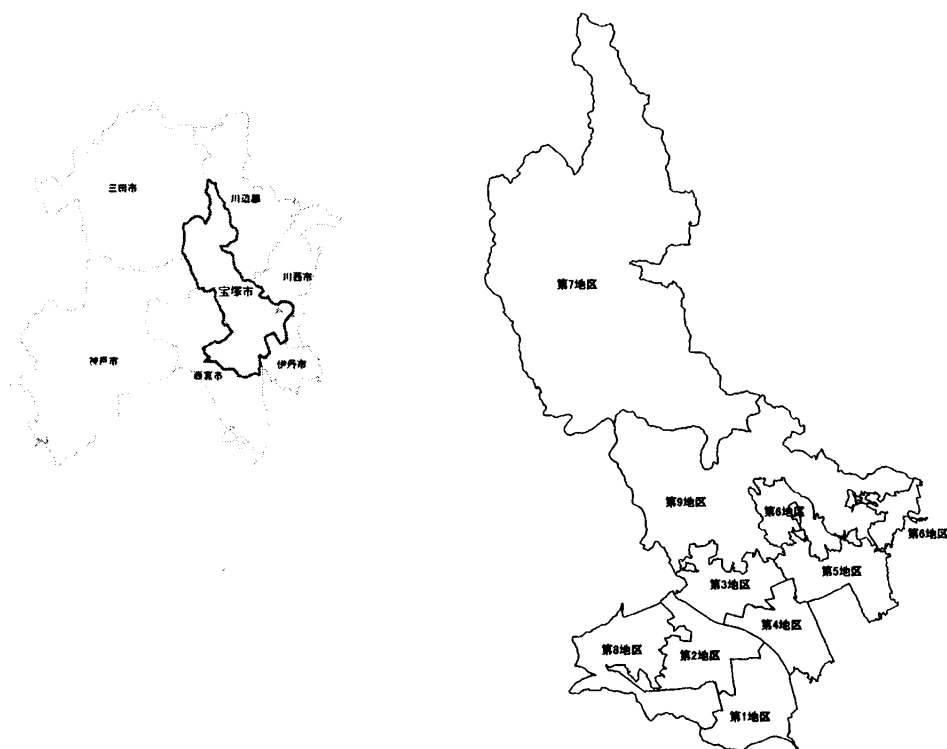
⑤現況地形図でゴルフ場、工業地、公園等の宅地以外に利用されている土地の区域

⑥臨海部の埋め立て地

4. 2. 3 絞り込みの結果

絞り込みの結果から調査対象範囲を設定し、宝塚市による防災マップ¹¹⁾に準じて9つの区域（第1地区～第9地区）に区分して検討を行うこととした（図－2参照）。

なお9つの区域地区について検討を行ったところ、第8地区には対象盛土が存在していないことが明らかとなった。



図－2 業務対象地域と宝塚市の検討区域区分¹¹⁾

4. 2. 4 造成前の標高データ

造成前の標高データは、設定した範囲について米軍の空中写真をスキャンニングによってデジタル画像として読み取った。さらにデジタル画像となった空中写真について、宝塚市の都市計画DM（デジタルマップ）から抽出した基準点等の座標を標定し、ステレオモデル（立体図画像）を作成し、これらの数値図化を行った。その後取得された数値データを編集機器に移動して高さ等のチェック、修正といった編集作業を繰り返して、旧地形データを確立した。さらにこれらのデータを基に標高（5m 間隔 DEM）データを作成した。

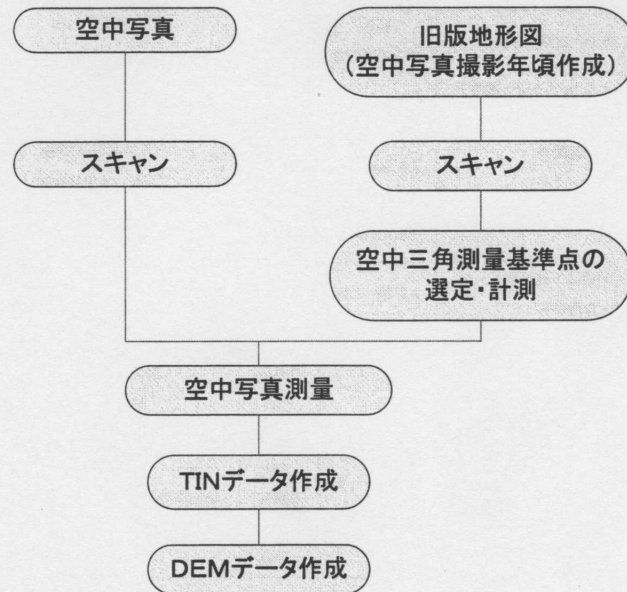


図-3 空中写真から DEM を作成する方法

4. 2. 5 DEM のメッシュサイズについて

宅地造成前後の DEM を作成する場合、資料の精度に応じてメッシュ間隔についての検討が必要である。変動予測に対応するデータは、対策工事が家屋 1 軒単位となるため、家屋 1 軒分の広さを単位とすることが必要となると考えられる。その場合 10m メッシュでは、盛り土上に存在しない家屋であっても盛り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、盛り土の分布は詳細に把握されることが予想されるが、地図の保有する誤差が 2.5m 以上と考えられ、誤った判断となるケースが考えられる。建屋の規模を含めて、これらを考慮して 5.0m メッシュとすることとした (図-4 参照)。

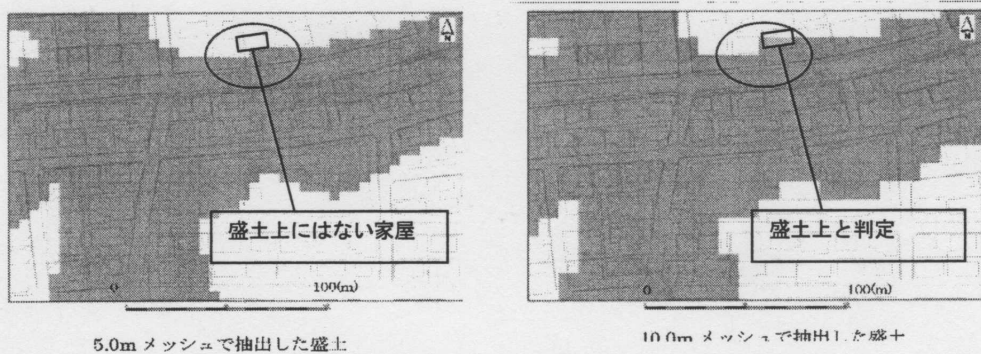


図-4 建屋を考慮した DEM のメッシュサイズについて

4. 2. 6 DEM の精度向上について

①旧地形図の補正

1 度作成した DEM データに対して、新たに不動点を追加設定し、その不動点の新旧地形のズレ (修正すべき量) を求める。このズレをもとに対象範囲内の各地点の水平位置の修正量を算定し、このデータを基に旧地形を補正した。

②断面図による確認

断面図を作成し、現地調査により地形の確認を行った。誤差が含まれると判断した場合は、断面図の旧地形の標高を修正し、表-1 を基に修正を行った。

表－１ 抽出に利用した地形図の精度・利用対象¹⁰⁾

取得媒体（区分）と取得方法		（標高） 取得精度目安	利用 対象	資料の年代 （備考）
①	航空レーザによる 5m メッシュ標高データ利用（国土地理院：大都市周辺）	±0.2m～0.4m	主に 達成後	平成 15 年以後 （国土交通省データもあり）
②	DMデータ、砂防基金図 （自治体等）	±0.5m～1.0m	達成前・ 達成後	平成 10 年以後 （データ直接利用）
③	1/2,500 地形図より数値化取得 （自治体等）	±0.5m～1.0m	達成前・ 達成後	昭和 40 年代以後 （ブレイクライン補完の必要もあり）
④	1/10,000 空中写真より直接取得 （国土地理院・自治体等）	±0.3m～1.0m	達成前・ 達成後	昭和 30 年代後半～現在 （空中写真測量実施）
⑤	1/20,000 空中写真より直接取得 （国土地理院、林野庁、県森林計画課）	±0.6m～2.0m	達成前・ 達成後	昭和 30 年代後半～現在 （他に資料無き場合利用）
⑥	1/3,000 地形図より数値化取得 （自治体等）	±0.8m～1.4m	主に 達成前	昭和 20～30 年代 （比較的有効）
⑦	1/12,000 米軍写真より直接取得 （国土地理院）	±0.6m～1.2m	主に 達成前	昭和 20 年代 （部分的な旧地形データの補完に用いる）
⑧	1/40,000 米軍写真より直接取得 （国土地理院）	±2.0m～4.0m	主に 達成前	昭和 20 年代 （部分的補完に限る）
⑨	旧版 1/25,000 地形図より数値化取得 （国土地理院）	±3.0m～5.0m	達成前	主に昭和 20 年代以前 （標準精度確保せず）
⑩	旧版 1/20,000 地形図より数値化取得 （国土地理院）	±数 m～ 10 数 m	達成前	明治中・後期 （標準精度確保せず）

出典：国土地理院技術資料 D-1-No.558 「人工改変地形データ抽出のための手順書 概要版」（平成 22 年 2 月）

③空中写真や新旧地形図の重ね合わせによる補正

DEM データの重ね合わせにより得られた盛土範囲（造成後の標高データが造成前の標高データよりも高い範囲）は、実態と異なっていることが予想される。そこで新旧地形図および空中写真と DEM 差分図または施工図との重ね合わせを行い、盛土範囲を確認して精度向上を図った。このほか盛土の位置精度を高める目的で現地調査の際に簡易 GPS による測定を実施して精度向上に努めた。

4. 3 盛土造成地の位置の把握

盛土は新旧の標高データの差（以下差分と表現）を求め、新地形図が旧地形図よりも高い場所を盛土として抽出した。逆に旧標高が高ければ切土となる。ガイドラインでは、盛土造成宅地の位置及び規模の把握方法について、新旧の地形図から目視で判断していく手法がとられている。

一方「造成宅地の耐震調査・検討・対策のケーススタディ 社団法人地盤工学会関東支部 平成 21 年 11 月」¹²⁾では新旧地形図を数値化して DEM を作成し、GIS 上で作業する手法を提案している。

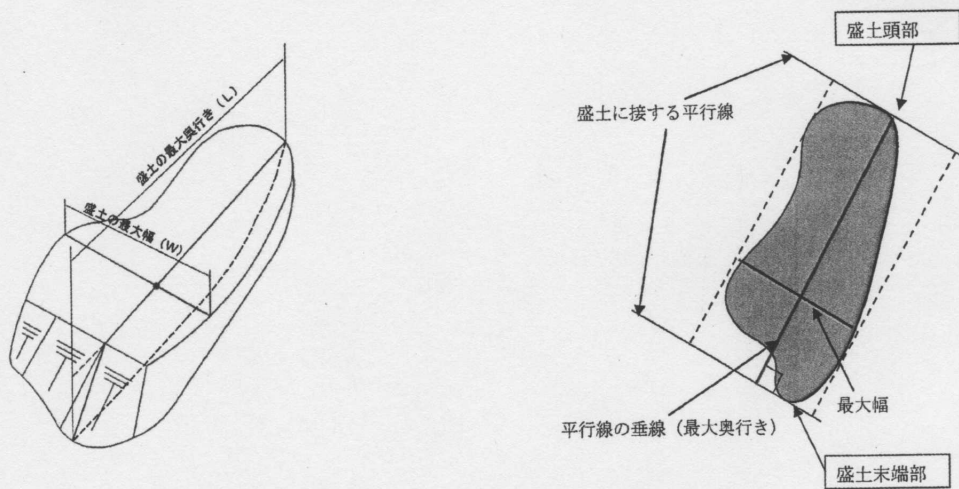
机上抽出における条件として表－２に示した。すなわち机上抽出は、図面の誤差を考慮して、谷埋め型大規模盛土では、面積が 2000m² 以上を対象に抽出するとともに、腹付け型大規模盛土では、みかけの原地盤面の勾配が 15° 以上を対象に抽出した。その上で対象盛土の抽出は、詳細な現地踏査後にガイドラインの条件により再抽出を行った。

表－２ 当該地区で利用した机上抽出のための条件

条件／盛土タイプ	机上抽出における条件	
	谷埋め型大規模盛土	腹付け型大規模盛土
ガイドライン	面積が 3000m ² 以上	現地盤の勾配が 20° 以上かつ盛土高さが 5m 以上
机上抽出方法 （宝塚市版）	面積が 2000m ² 以上※ ¹	みかけの原地盤面の勾配が 15° 以上かつ 盛土高さが 5m 以上※ ²

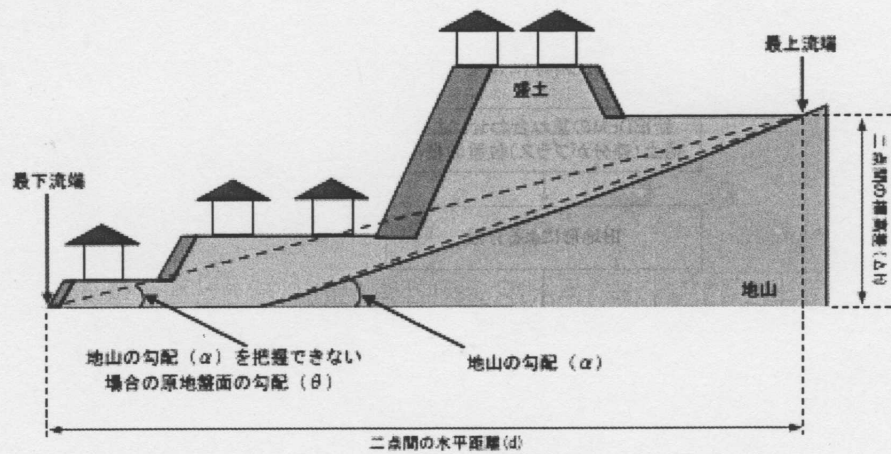
※¹：現地踏査後の盛土範囲の修正を見込み、抽出漏れを軽減するために安全側を考慮した。

※²：現地盤面の勾配が把握できない場合が多く、見かけの原地盤面の勾配が 20° 以上では抽出漏れにつながるため、安全側を考慮して 15° に設定した。



図ー5.1 ガイドラインによる盛土面積の計測方法

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



図ー5.2 ガイドラインによる原地盤の地山勾配

机上における盛土抽出の一事例を図-6として示した。

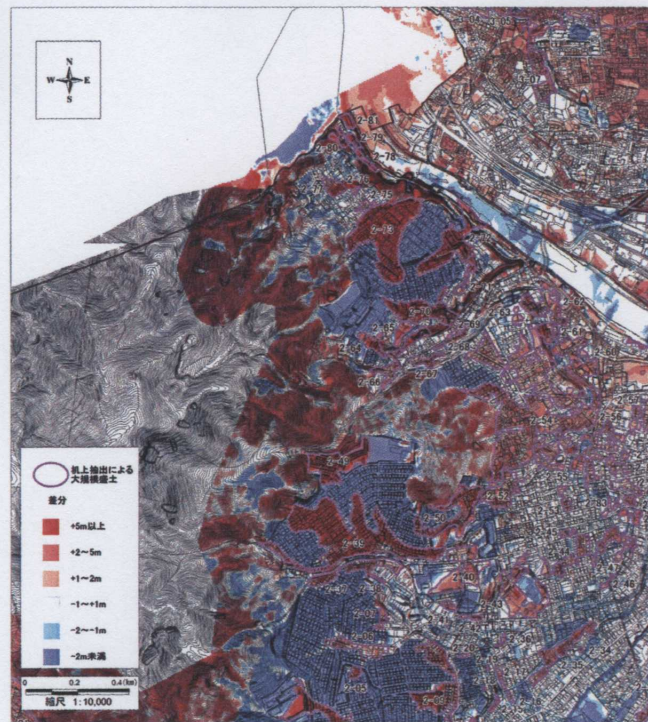


図-6 机上により抽出された盛土造成地

4. 4 盛土造成地の現地踏査

4. 4. 1 現地踏査実施の流れ

机上で抽出された盛土造成地について旧地形図等による分類を行い、現地踏査を実施した。

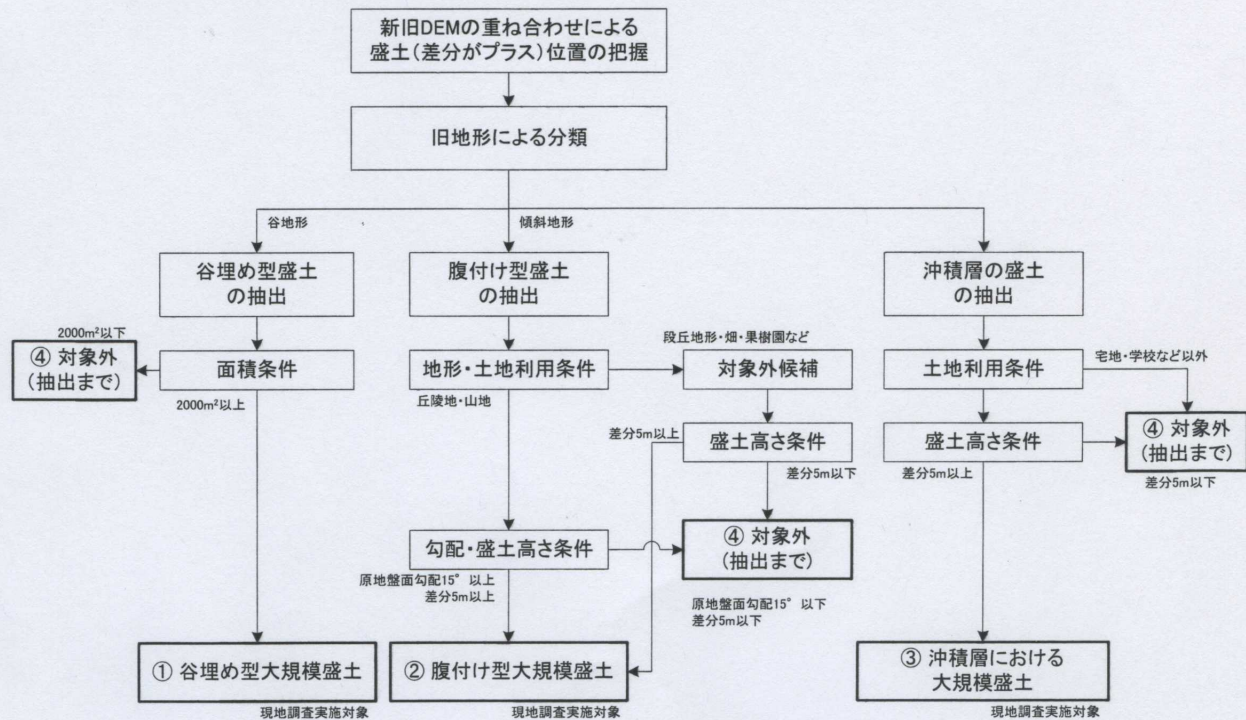


図-7 大規模盛土造成地の分類の流れ

4. 4. 2 現地踏査結果

現地踏査の結果から宝塚市の大規模盛土造成地の特徴について述べる。

谷埋め盛土型大規模造成地には3つのパターン、腹付け型盛土造成地には2つのパターンが特徴付けられることが明らかになった。以下に各大規模盛土のパターンについて説明する。

4. 4. 2. 1 谷埋め型大規模盛土

谷埋め型の大規模盛土の現地踏査にあつて、宅地造成前の資料（造成計画図）が残っている地域について現地踏査を実施し、切盛境界に証拠なる変状形態が残っているかどうかを検証した。その結果 60%～90%が一致しておりこれらを考慮した検討が妥当であることを示した。

切盛図と差分図の比較を図－8に示した。変状にはひび割れ（舗装、擁壁、建屋壁）、擁壁基礎の傾動・浮き、段差地形等があり、境界部にそれらが連続して認められた。これを基本にして抽出された盛土境界部を現地踏査した。

その結果谷埋め型の盛土は、基本的に3つのパターン（①-A～C）があることが明らかとなった。

①-A：末端が盛土のり面と擁壁のパターン

第3地区、第6地区に多く認められる傾向がある。地形改変を伴う造成であり、末端を盛土のり面と擁壁としている。盛土面積が広大なものが多い。

①-B：末端が擁壁のパターン

第1地区、第6地区に多くみられる傾向がある。擁壁高は2m～5m以上のものがあり、擁壁の種類は多種にわたる。盛土面積は中規模なものが多い。

①-C：末端が水路護岸や地山への擦り付けとなるひな壇上の造成パターン

第2地区、第5地区に多く認められる傾向がある。水路護岸により盛土が分断されている。水路が狭く、DEMデータに抽出されないことが多く、現地踏査で確認する必要がある。造成年代が古いものが多い。



図－8 切盛図と差分図の比較

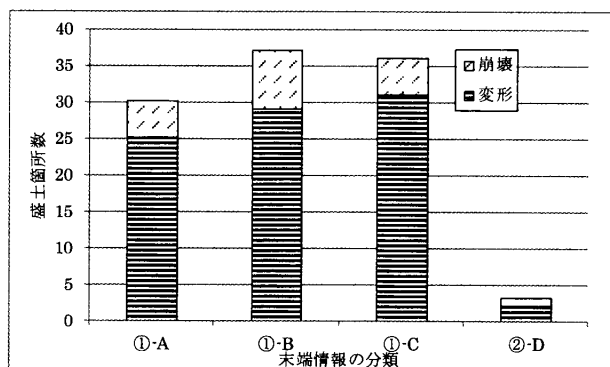
4. 4. 2. 2 腹付け型大規模盛土

②-D：盛土高さが5m以上かつ傾斜地盤上に造成したパターン

第1, 2, 5, 6地区に多く認められる。傾斜地盤上に延長のある連続した高さ1m～2mの擁壁として分布する。末端が自然斜面であることが多い。宅地としては建屋が3軒以上分布している場合のみ腹付け盛土として選定している。

②-E：段丘面や傾斜地盤の地山の旧地形を利用した宅地開発地

第2, 5地区に多く分布している。地山の勾配に沿って盛土が擦り付けられている。差分図においてほとんど5m以上と認識されず、盛り土層厚は薄く、個々の宅地、マンション等個別の宅地の用途に応じて形成されていることが多い。大規模盛土の定義に該当しないことから対象から除外した。



図－8 大規模盛土造成地の分類別抽出箇所数と想定被災形態

当該地においては①-A～①-Cの谷埋め盛土大規模造成地が、極めて多く全体の96%を占めている。また①-A～①-Cの分類は、①-Aは全体の28%、①-Bは全体の33%、①-Cは全体の35%を占める。

4. 4. 2. 3 沖積低地における大規模盛土

ガイドラインでは、調査対象地域について、「宅地であっても臨海部の埋め立地など明らかに谷埋め型大規模盛土、腹付け型大規模盛土造成地でないものは除外しても差し支えない」となっている。しかしながら第二次スクリーニング計画において「滑動、崩落の被害形態と危険要因」に軟弱な沖積粘土、緩い飽和沖積砂層等盛土の下に不安定な土層が堆積している場合、滑動的なすべり破壊もしくはすべり破壊が生じる形態が考えられる。

そこで差分図において盛土対象とされる箇所については現地調査対象箇所とした。また崖錐堆積層、崩積土層上に造成されている区域についても検討対象とした。

現地踏査の結果、確実に面積が3000m²以上確保される地域については大規模盛土対象地として2カ所が抽出された。

4. 4. 3 現地チェックシートの利用

現地調査にあたって、ガイドライン改定に伴い、想定被害形態の「変形」および「崩壊」を考慮して、点検者による踏査による主観、バラツキを軽減することを目的に、現地チェックシートを作成し、活用することとした。

チェックシートについては一部 表－3に示した。なお変状における具体的な変位量や着眼点については「被災宅地災害復旧技術マニュアル（暫定版）」（国土交通省、1997）¹³⁾を参考に点検基準を設定した。特に崩壊に至る可能性が高い項目を15項目抽出し「重要項目」として位置付けた。

本チェックシートは盛土箇所1箇所につき1シートでとりまとめを現地で行い、盛土全体を支持する主沢部の末端において評価することとした。また第三者が見ても評価できるよう末端状況のスケッチならびに写真を添付することとした。

表-3 現地チェックシート

現地調査チェックシート												
盛土箇所No.					盛土形態		擁壁の種類:		造成:			
造成位置					末端の形状		擁壁の高さ:		盛土厚:			
点検箇所	原因区分	点検項目	重要項目	チェックリスト	チエック		結果		備考			
					O(正常)	△(要観察)	×(即時修繕)					
末端部 擁壁状況	A	擁壁からの湧水	✓	排水溝の目地や亀裂から染みだし、 湧水、流出が認められるか	☐ なし	☐ 若干のしみだし、湧水、漏水が認められる	☐ 地下水の流出が認められる					
				鉄分、油分を含むか	☐ なし	☐ 若干の鉄分、油分を含んでいる	☐ 大量に鉄分、油分を含んでいる					
				排水設備が直線上に位置しているか	☐ 適切	☐ 部分的に歪みが認められる	☐ 全体に大きな歪みが認められる					
				盛土末端の下方に調整池やため池がある	☐ なし	☐ -	☐ あり					
				排水溝や擁壁が恒常的にしなり気がある、黒ずみがある	☐ なし	☐ 若干の湿気、黒ずみ(部分的も含む)が認められる	☐ 擁壁全体に恒常的なしなり気、黒ずみが認められる					
			擁壁水吹き穴の状態	背面土砂の流出、コケ・草木の繁茂があるか	☐ なし	☐ 若干の流出跡、コケの繁茂が認められる	☐ 土砂つまり、草木類の繁茂が認められる					
	G	擁壁の変状	✓	擁壁にすみ、せりだしが認められるか	☐ なし	☐ 部分的なすみ、せりだしが認められる	☐ 擁壁全体にすみ、せりだしが認められる					
			✓	擁壁とその基礎に沈下や転倒が認められるか	☐ なし	☐ 5cm未満の沈下、傾斜が認められる	☐ 5cm以上の沈下、傾斜が認められる					
			✓	擁壁背面土砂の抜け、沈下が認められるか	☐ なし	☐ 5cm未満の沈下、傾斜が認められる	☐ 5cm以上の沈下、傾斜が認められる					
			✓	擁壁に亀裂が認められるか ※2cm以上は即復旧レベル	☐ なし	☐ 2mm未満の亀裂が認められるが、機能上の支障なし	☐ 2mm～2cm未満(コンクリート系擁壁の場合2mm～5mm未満)					
			✓	積石目地に開き、ズレが認められるか ※5cm以上は即復旧レベル	☐ なし	☐ 5mm未満の隙間(変位)が認められる	☐ 5mm～5cm未満の隙間(変位)が認められる					
			✓	積石の抜け、落下、剥離が認められるか	☐ なし	☐ 部分的な抜け、落下、剥離が認められる	☐ 全体に抜け、落下、剥離が認められる					
			✓	擁壁からエフロエッセンスが認められるか	☐ なし	☐ 若干の流出、部分的な流出が認められる	☐ 著しい流出、全体から流出が認められる					
				既設コンクリートに後から継ぎ足した形跡が認められるか	☐ なし	☐ 継ぎ足しが認められるが、変状が5cm以下である	☐ 5cm以上の変状が認められる					
				擁壁の補修跡が認められるか	☐ なし	☐ 部分的な補修跡が認められる	☐ 擁壁全体に補修跡が認められる					
				増し積擁壁、空石積み擁壁、古い石積み擁壁か	☐ なし	☐ 遷とすが、目立った変状はない	☐ ①増し積擁壁②古い擁壁で変状が認められる					
			D	のり面の変状	✓	のり面に亀裂が認められるか	☐ なし	☐ 亀裂はないが段差等の兆候が認められる	☐ 亀裂が認められる			
					✓	のり面にすみ、せりだしが認められるか	☐ なし	☐ 若干のすみ、せりだしが認められる	☐ すみ、せり出しが認められる			
✓	のり面に陥没、陥没穴が認められるか	☐ なし			☐ 部分的な沈下が認められる	☐ 陥没ないし広範囲な沈下が認められる						
✓	のり面の小段が直線に配置されているか	☐ 適切			☐ 部分的に歪み等が認められる	☐ 小段全体が歪んでいる						
✓	のり面にパイピングホールが認められるか	☐ なし			☐ -	☐ パイピングホールが認められる						
	のり面の勾配が適切か (1:0.8～1:2.0)	☐ 適切			☐ 適切でない	☐ 急勾配(30°以上)である						
	のり面にガリ・浸食が認められるか	☐ なし			☐ 浸食はないが風化が進行している	☐ ガリ・浸食が認められる						
	のり面に水気を好む雑草や生物が認められるか	☐ なし			☐ 部分的にマメ科やタデ類が認められる	☐ 広範囲で群生している						
I	のり面排水設備の変状	✓			排水設備があるか	☐ あり	☐ -	☐ なし				
		✓			排水設備が沈下、傾斜している	☐ なし	☐ 5cm未満の沈下、傾斜が認められる	☐ 5cm以上の沈下、傾斜が認められる				
					排水設備が直線上に位置しているか	☐ なし	☐ 部分的に歪みが認められる	☐ 全体に歪みが認められる				
					排水設備にズレや開きが認められるか	☐ なし	☐ 5mm未満の隙間(変位)が認められる	☐ 5mm～5cm未満の隙間(変位)が認められる				
			排水環境は良好か	☐ 良好	☐ 土砂が堆積しやすい環境である	☐ 既に土砂が堆積している						
C	盛土末端部の可能な状況	末端部下方に竹藪等が認められるか	☐ なし	☐ -	☐ あり							
盛土範囲内 状況	I	道路、歩道、路面の状況	亀裂、隆起、沈下、陥没が認められる	☐ なし	☐ 部分的な変状が認められる	☐ 盛土範囲内に多数の変状が認められる						
		切土境界の状況	亀裂、隆起、沈下、陥没が認められる	☐ なし	☐ 部分的な変状が認められる	☐ 多数に変状が認められる						
	B	宅地擁壁の状況	亀裂、沈下、傾斜、転倒、陥没が認められる	☐ なし	☐ 一部で変状が認められる	☐ 多数に変状が認められる						
	A	ガレージの状況	ガレージ内に地下水のしみだし、湿気が認められる	☐ なし	☐ 一部で変状が認められる	☐ 多数に変状が認められる						
	I	排水設備の状況	側溝、グレーチングにズレや開き、変状が認められる	☐ 良好	☐ 一部で変状が認められる	☐ 多数に変状が認められる						
その他の変状、特記事項:												
点検年月日				点検者								

4. 5 盛土の抽出（第一次スクリーニングのまとめ）

大規模盛土の抽出にあたって、差分図による机上での抽出後、現地踏査による確認、土地利用図、空中写真・古地図等によって絞り込みを行った。さらに現地踏査等による盛土範囲の見直し、ガイドライン条件への該当箇所により第一次スクリーニングとしての最終の抽出を行った。その結果 300 箇所程度あった机上抽出から、現地踏査により約 65%、盛土の修正・ガイドライン適応により当初の 30%程度まで絞込むことが可能となっている。これらは各抽出の過程が明らかになるように、一覧表としてプロセスを記載するようにした。

5. 大規模盛土カルテ作成と盛土の評価

5. 1 大規模盛土造成地カルテ作成

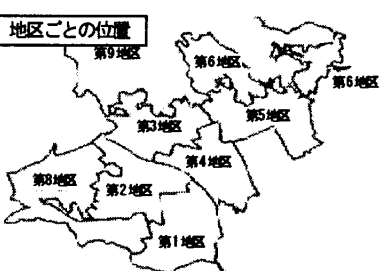
机上調査および現地踏査を踏まえて抽出した各盛土に対して、周辺の土地利用状況、盛土特性を整理し現地調査結果と合わせて大規模造成地台帳（カルテ）にとりまとめた。カルテに記載する事項は、盛土概要（番号、位置、盛土タイプ、盛土面積、造成年代、断面数、兵庫県南部地震時の被害、盛土箇所の諸元他）、盛土範囲・写真撮影位置、差分図と新旧地形図、安定度評価に関する確認事項（盛り土諸元、地下水の有無、盛土材、末端状況、擁壁の有無、変状の有無、盛土箇所の地質、旧土地利用等）である。また DEM データから作成した縦断面図を用いて、現地調査で確認した盛土の上端、末端位置と状況を記載した。

5. 1. 1 盛土タイプと造成年代

宝塚市周辺域に敷かれた鉄道は、明治 26 年（1893 年）尼崎～池田、明治 30 年（1897）の阪鶴鉄道であり、後に買収されて明治 40 年（1907）現在の JR 福知山線となった。一方、箕面有馬線が明治 43 年（1910）に梅田～宝塚に建設され阪急宝塚線に、大正 10 年（1921）に西宝線（現在の今津線、西宮北口～宝塚）が開通している。市域の発展は、大正 3 年以降宝塚歌劇場創設、鉄道沿線の住宅分譲地の開発（雲雀丘・花屋敷等）をきっかけとして現在に至っている¹⁴⁾。

盛土の造成年代は、資料が完全に残っていないこと地域によりバラツキがあること等から、既往の空中写真や地形図を参考に調査した。その結果を表－4 に示した。

表－4 開発時期（造成年代）一覧表

造成年代	エリア名	地区 No.	造成年代	エリア名	地区 No.	造成年代	エリア名	地区 No.
昭和 20 年前	宝塚ゴルフ場（T15 年）	—	昭和 40 年～50 年頃	中山台	6 地区	昭和 50 年以降	すみれガ丘	3 地区
昭和 20 年頃	雲雀丘・花屋敷	5 地区		売市きよしガ丘	3 地区		中山台東側の造成地	6 地区
昭和 20 年～40 年頃	山本台エリア	6 地区		御殿山 4 丁目	2 地区		芝辻新田付近のゴルフ場	7 地区
	泉ガ丘エリア	3 地区		月見山	1 地区	地区ごとの位置 		
	御殿山エリア	3 地区		光ガ丘	2 地区			
	桜ガ丘エリア	2 地区		青葉台	2 地区			
	武庫山エリア	2 地区		逆瀬台	2 地区			
	野上エリア	2 地区		仁川高丸	1 地区			
	千種エリア	2 地区		武庫川沿いの沖積低地部	1～2 地区			
	仁川月見ガ丘	1 地区		新宝塚ゴルフ場	—			
	仁川高台	1 地区		大宝塚ゴルフ場	—			
	仁川団地（S34）	1 地区						

六甲山麓では、昭和 34 年の仁川団地等に代表される昭和 30 年～40 年、次第に規模を拡大しながら、さらに摂津山地山麓部では、昭和 40 年代から最近にかけて大規模な造成が行われた。これらの特徴として、宅地開発時期の古い六甲山麓や戦前の住宅地である雲雀丘や花屋敷では、大規模な土木工事や地形改変を行わない造成開発の形態であり、段丘面や山地斜面を巧みに利用した開発が行われた。一方開発時期の新しい摂丹山地山麓部では土木技術の発達に裏付けされた大規模な地形改変が行われている。このため豪雨時の災害危険性が高い造成地は摂丹山地山麓部より大規模で数多く認められる。しかし、古い盛土は過去に大きな降雨を受けているため、降雨に対する安定性を備えている可能性がある。

5. 1. 2 盛土材料の把握

宝塚市域の地質は、六甲山地を構成する中生代白亜紀の花崗岩類、摂丹山地は中生代白亜紀の酸性岩類ならびに花崗閃緑岩類等を基盤としており、これらを新生代第三紀～第四紀の堆積岩類である大阪層群や段丘堆積層が被覆している。山麓部や伊丹台地には段丘堆積層や崖錐堆積層、武庫川沿いの低地部には未固結の扇状地性堆積層や沖積層が分布している。

地形改変を伴う第1地区～第2地区には六甲山地の花崗岩類、第3地区～第6地区には摂丹山地の有馬層群の流紋岩類、有馬層群の流紋岩や花崗閃緑岩等を岩砕（礫質相当）に山麓部の未固結土砂の混じったものが盛土の構成材料となっていると考えられる。

5. 1. 3 兵庫県南部地震の被害履歴の把握

兵庫県南部地震時において被災を受けた宅地擁壁は、宝塚市だけでも263箇所にあんでいる。これらの擁壁に対して災害関連緊急急傾斜地崩壊対策事業の採択基準の緩和により、兵庫県が宅地擁壁の復旧を実施している。また砂防指定地内の擁壁に対しても「砂防法」により災害関連緊急砂防事業を適用された。

採択された事業については宝塚市において18事業44箇所が採用された。表－5には急傾斜地崩壊対策事業対応分および砂防事業対応分を示したが、これらうち、今回の調査で抽出された盛土箇所は2箇所が該当している。他の事業箇所においては、盛土対象地域は抽出されなかった。

5. 2 危険度評価の流れ

危険度評価は最終的には1.5次調査等が十分に行われてから実施されることが好ましい。特に地下水の分布については、現地踏査実施時期が11月～1月の渇水期であるために、末端部斜面ではその分布を十分に把握しがたい。それらを考慮したうえで「谷埋め型大規模盛土」「腹付け型大規模盛土」「沖積層の大規模盛土」について評価を行った。評価は「重篤な変状の有無」「地下水の有無」「地下水の深さ」「擁壁の有無」「擁壁の変状有無」

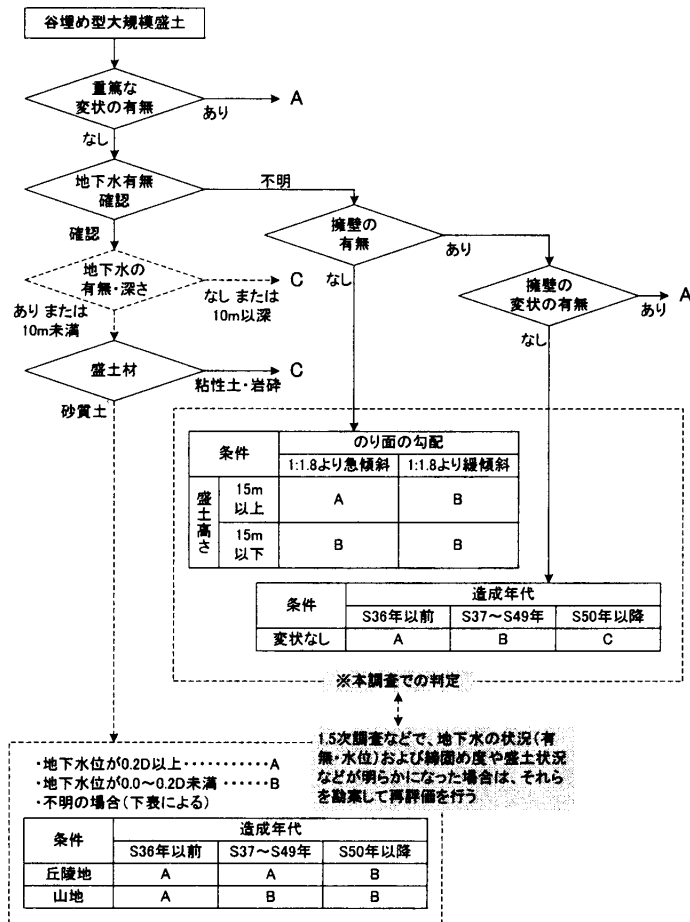
「盛り土材料」「造成年代」「末端ののり勾配」「盛土高さ」等を考慮したが、兵庫県南部地震時の変状状況、活断層の有無なども参考とした。

5. 2. 1 谷埋め型大規模盛土

宝塚市で主体を占める谷埋め型大規模盛土は、次のような流れ（図－9）で評価を実施した。谷埋め型大規模盛土評価のポイントは、地下水の有無、地下水の高さとともに擁壁の有無と変状、盛土材料である。また高さが15m以上か否かも評価の基準となる。

表－5 阪神・淡路大震災による復旧対策事業箇所一覧表¹⁵⁾（宝塚市分のみ抜粋）

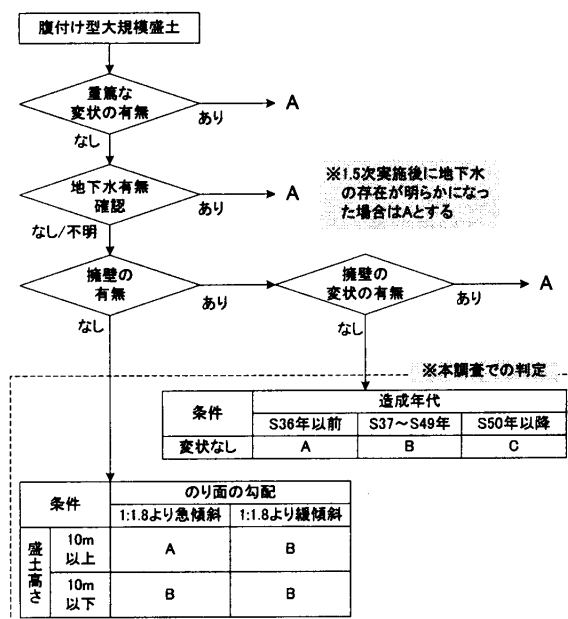
	認可番号	箇所番号	箇所(溪流)名	所在地			最終事業費(公共のみ) 単位:千円
				市・群	町・区	大字	
急傾斜地崩壊対策事業対応分	69	宝塚27-1	千種1丁目	宝塚市		千種1丁目8	50,300
	137	宝塚58	武庫山2丁目	宝塚市		武庫山2丁目14	98,100
	178	宝塚18	千種2丁目	宝塚市		千種2丁目8	76,800
	179	宝塚45	湯本町	宝塚市		湯本町6	41,700
	180	宝塚52	清荒神3丁目	宝塚市		清荒神3丁目7	30,000
	181	宝塚88,94	清荒神3丁目②	宝塚市		清荒神3丁目3	109,100
砂防事業対応分	災関8	宝塚26(71)	二級武庫川水系 支多々川右支川	宝塚市		野上5丁目4	34,800
	災関9	宝塚25	二級武庫川水系 支多々川右支川	宝塚市		野上5丁目7	32,700
	災関10	宝塚107 宝塚109	二級武庫川水系 荒神川	宝塚市		清荒神3丁目14 清荒神3丁目15	205,800
	災関11	宝塚49 宝塚91	二級武庫川水系 月見山谷	宝塚市		月見山2丁目4 月見山2丁目4	87,900
	災関12	宝塚44 宝塚105 宝塚154	二級武庫川水系 塩谷川	宝塚市		紅葉ヶ丘8丁目24 紅葉ヶ丘1丁目13 紅葉ヶ丘5丁目41	108,000
	災関13	宝塚35	二級武庫川水系 亥の谷川右支川	宝塚市		宝松苑3丁目7	23,700
	災関14	宝塚24	二級武庫川水系 白瀬川	宝塚市		野上5丁目5	43,800
	災関15	宝塚4	二級武庫川水系 高丸川	宝塚市		仁川旭ヶ丘5丁目14	35,100



図－9 谷埋め型大規模盛土評価の流れ

5. 2. 2 腹付け型大規模盛土

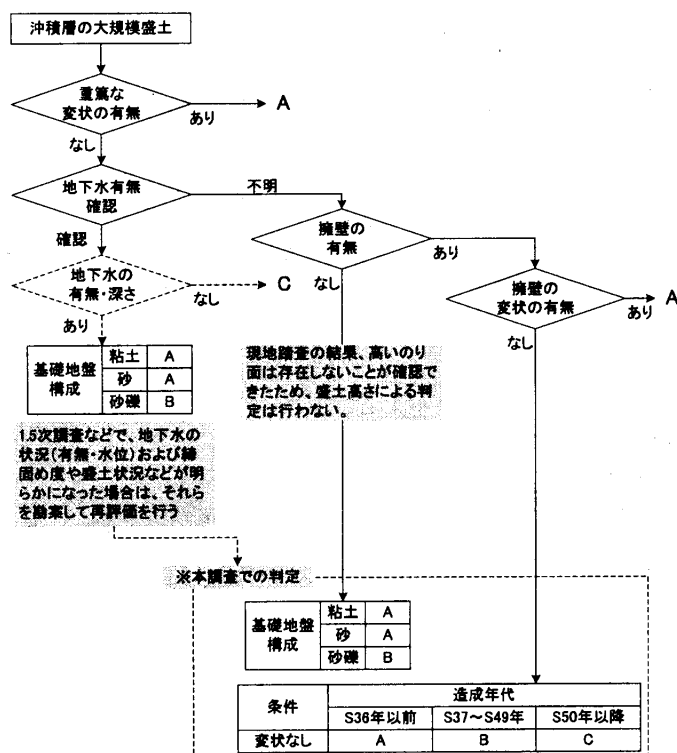
腹付け大規模盛土の評価は、「地下水の有無」「擁壁の有無、変状」そして次に「造成年代」である。そして谷埋め盛土との大きな違いは、盛土高さである。



図－10 腹付け型大規模盛土評価の流れ

5. 2. 3 沖積層の大規模盛土

沖積層上の大規模盛土は、「地下水の有無・深さ」「擁壁の有無、変状」は前2者と同じであるが、基礎地盤の材料に最も違いがある。すなわち粘土地盤の場合は、すべり破壊、砂地盤の場合は、液状化などの問題が生じる可能性がある。



図－11 沖積層上の大規模盛土評価の流れ

5. 2. 4 活断層分布による危険度区分

兵庫県防災会議の地震動予測結果及び液化化危険度予測結果によると、宝塚市域にはマグニチュード7以上の大地震を発生させる活断層として、六甲・淡路島断層帯(30年以内の発生確率0.1～3%)、有馬高槻断層帯(30年以内の発生確率0.1%未満)が存在する(表－6)。宝塚市地域防災計画では、有馬-高槻構造線に対して被害想定が実施されている。(いずれも平成24年度修正予定)。

断層の直上周辺は、地盤の変位の大きいことが予想され、震度が大きく、被害も大きくなることから、これらの断層帯主部から100mの範囲にかかる宅地を、危険度評価及び優先分類一覧表の最後に(f)をつけて示すこととした。

《対象断層》宝塚市防災計画¹⁶⁾では有馬-高槻構造線のみについて想定しているが、兵庫県の想定では六甲淡路島断層帯でも最大震度7を想定していることから、これら2断層を対象とする。六甲淡路島断層帯としては、その主要部の延長である五助橋断層を使う。

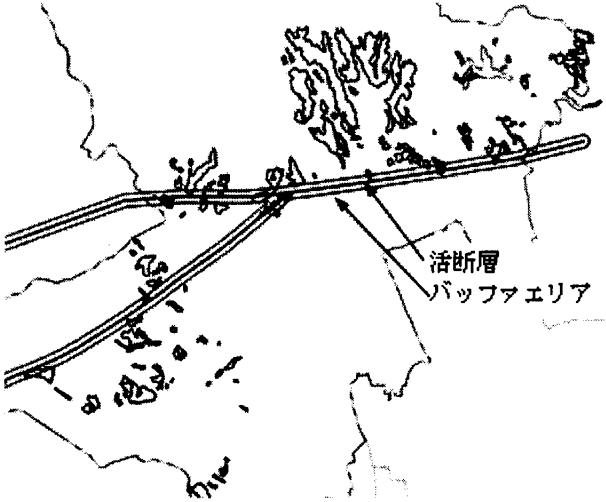
《区域設定》表－7に既往の活断層に関する建築制限などをまとめた。
活断層から15m～100mの範囲内で開発や建築に制限を行っている。断層から15m～25mでの設定が多いが、この表によればこれらに活断層分布の平面的な誤差も考慮し、最大が設定されており、本報では宝塚市に隣接する西宮市の100mを採用する。

表－6 市町ごとに想定される最大震度（兵庫県¹⁷⁾を一部修正）

			海溝型地震	内陸型地震	
			東海・東南海・南海	有馬-高槻断層帯	六甲淡路島断層帯
地域名	県民局名	市町村	—	M7.7	M7.9
阪神	神戸	神戸市	深度6強	深度7	深度7
		尼崎市	深度6弱	深度7	深度7
	阪神南	西宮市	深度6弱	深度7	深度7
		芦屋市	深度6弱	深度7	深度7
		伊丹市	深度6弱	深度7	深度7
	阪神北	宝塚市	深度6弱	深度7	深度7
		川西市	深度6弱	深度7	深度7
		三田市	深度6弱	深度6弱	深度6弱
		猪名川町	深度6弱	深度6弱	深度6強

表－7 活断層上の建築規制など

自治体など	規制内容
西宮市	活断層100m圏内の開発行為に活断層調査を指導
横須賀市	両側25m(幅50m)を避けて建築
徳島県	片側20m(全幅40m)で学校や病院新築時に活断層調査
米活断層法	幅300mエリアについて、活断層から15mセットバック。



図－12 活断層の分布と100m範囲

6. おわりに

今回一次スクリーニングを実施するにあたって、次のような観点で地域特性を考慮した。

- ①大規模盛土抽出において、抽出漏れを防ぐために谷埋め型大規模盛土面積 2000m²、腹付け型大規模盛土は、原地盤勾配が 15° 以上をかつ盛土高さが 5m 以上を対象に実施した。その後、既往原地形図が残っている地域の現地踏査を実施し、切盛部の変状等を確認したうえで、全体の現地踏査を行い再度盛土範囲を決定し、ガイドライン基準に準じた大規模盛土の抽出を実施した。
- ②現地踏査実施にあたっては、チェックシートを採用した。チェックシートは盛土の末端部を中心に地下水、変状状況等 15 項目を選定し現地確認した上で、「崩壊」「変形」の変状形態推定のための基礎資料とした。
- ③現地特性として谷埋め盛土が全体の 96%以上を占めている。谷埋め盛土は 3 パターン、腹付け盛土は 2 つのパターンに分類した。
- ④大規模盛土として、沖積層上の盛土の内、避難場所と考えられている学校 2 箇所について抽出した。沖積層上の盛土については差分図を基本としたが、現地踏査により周辺地形と盛土高さを重視して抽出を試みた。
- ⑤危険度評価基準(案)として、谷埋め型大規模盛土、腹付け型大規模盛土、沖積層の大規模盛土について評価の流れを示した。評価は「重篤な変状の有無」「地下水の有無」「盛土材」「造成年代」を基本として実施した。また兵庫県南部地震による被災履歴、活断層帯を考慮した評価についても示した。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省：大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説（案），2006
- 2) 兵庫県土木部：阪神淡路大震災に関わる民間宅地擁壁復旧事業，2000
- 3) 国土交通省：大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説，2012
- 4) 住宅・都市整備公団：宅地耐震設計指針（案），1984
- 5) 建設省民間宅地指導室：宅地防災マニュアル，1990
- 6) 宅地防災研究会：宅地防災マニュアル（改訂版），1998
- 7) 宅地防災研究会：宅地耐震設計マニュアル（案），2003
- 8) 地盤工学会：新潟県中越地震の地盤災害に関わる社会への提言，2007
- 9) 国土交通省国土地理院：人工改変地形データ抽出のための手順書（概要版），2010
- 10) 国土交通省：宅地耐震対策工法選定ガイドラインの解説，2012
- 11) 宝塚市：宝塚市防災マップ、宝塚市 HP，2013
- 12) 社）地盤工学会関東支部：造成宅地の耐震調査・検討・対策のケーススタディ，2009
- 13) 国土交通省：被災宅地災害復旧技術マニュアル（暫定版），1997
- 14) 宝塚市：宝塚市史、市史第 1 巻（本編 1）、pp. 544，1975
- 15) 兵庫県：阪神・淡路大震災に係る民間宅地擁壁復旧事業の記録，1998
- 16) 宝塚市防災会議：宝塚市地域防災計画，2013
- 17) 兵庫県：兵庫県地域防災計画書，1996

著 者

- 沖村 孝 所員，理学博士，地盤工学，地形工学
 樋口 博 宝塚市
 中川 涉 客員研究員（応用地質株式会社），博士（工学），地質工学
 山内 政也 応用地質株式会社