

Ⅲ編 復旧対策編

Ⅲ編 復旧対策 編

目 次

I. 総説	3-1
II. 初動調査	3-3
III. 詳細調査	3-12
III.1 調査区域の設定	3-13
III.2 現地踏査	3-14
III.3 宅地変状調査	3-16
III.4 地盤調査	3-18
III.5 測量および水平移動量調査	3-31
III.6 安定計算	3-33
IV. 施行地区の設定	3-47
V. 復旧対策の基本的な考え方	3-49
VI. 対策工法の選定	3-53
VI.1 被害形態の分類	3-54
VI.2 滑動崩落対策工法の選定	3-57
VI.3 擁壁復旧対策工法の選定	3-66
VII. 対策施設の設計	3-72
VIII. 対策施設の施工における留意点	3-73
IX. 滑動崩落対策施設の維持管理と保全	3-75
IX.1 滑動崩落対策施設の維持管理	3-75
IX.2 滑動崩落対策施設の保全	3-77
X. 住民等への説明事項	3-81

I. 総説

東北地方太平洋沖地震は、大規模盛土造成地の滑動崩落により、多数の宅地に甚大かつ面的な被害をもたらした。今後発生が予想される首都圏直下地震や南海トラフ地震等の大地震においても、同様の宅地被害が想定される。

本ガイドラインⅢ編は、大地震が発生した際に被災した宅地の早期復旧と滑動崩落の再発防止を図るため、一連の復旧対策の流れと、各種調査手法および滑動崩落の再発を防止するための対策施設（以下「滑動崩落対策施設」という）の検討手法を示したものである。

【解 説】

Ⅲ編 復旧対策編は、災害対策本部が設置されることとなる規模の地震が発生し、滑動崩落によって大規模かつ広範囲に被災した宅地を、宅地耐震化推進事業もしくはそれに準じた緊急対策事業（以下「宅地耐震化推進事業等」という）を活用し、現位置で復旧・再発防止を図る場合に適用する。このため、その対象地区は大地震の前に変動予測調査を実施しているかどうかにかかわらず、滑動崩落が生じた地区とする。

一連の復旧対策の流れを図 I.1 に示す。復旧対策の流れは、東北地方太平洋沖地震において初動調査の時点では滑動崩落が生じたかどうかを判断できない地区が多かったことを踏まえ、初動調査で滑動崩落の可能性のある地区を概略抽出して詳細調査を実施し、安定計算などで滑動崩落が発生したことやその範囲を確認したうえで施行地区を設定し、対策工を検討するという手順で段階的に進めることを標準とした。なお、詳細調査の現地踏査、宅地変状調査の結果、滑動崩落の発生が明らかな地区については、直ちに防災区域の指定等を行い、住民等に余震などにより二次災害の発生のおそれが高いことを周知する。

また、技術的観点に加え、以下の事項も念頭に置き、復旧対策を進めることが重要である。

(1) 宅地の復旧対策

宅地の復旧対策は、滑動崩落が生じた地区を対象とし、滑動崩落対策施設を設置することでその再発を防止する。また、滑動崩落によって崩壊・変形した宅地は被災前の形状に復旧し、被災した擁壁は現行基準を満足する構造で再構築もしくは補強を行う。

(2) 住民等への説明

宅地の復旧対策は、滑動崩落対策施設を個々の宅地に設置することも多く、住民等の理解と協力が不可欠である。このため、調査・設計・施工・維持管理の各段階で説明会などを開催し、住民等の同意を得ながら復旧対策を進める必要がある。

(3) 宅地以外の復旧事業との調整

大地震が発生した場合、宅地のみならず、道路やライフラインも被災するため、各種復旧事業が交錯・並行して進められることとなる。宅地の復旧対策は、一般に他事業と比較して工事着手までに時間を要するため、宅地復旧対策と重複する箇所は一旦仮復旧に留め、宅地復旧対策完了後に本復旧を行うなど早期に事業者間で情報を共有し、調整を図りつつ復旧対策を進める必要がある。

(4) 用地境界の問題

滑動崩落対策施設や擁壁などの構造物位置は、地震により曖昧になった用地境界を確定した後決定することが望ましいが、時間的制約などの理由でこれが困難な場合は、当事者間で協

議し構造物位置を決定する等の対応が必要となることも想定される。

(5) 滑動崩落対策施設の維持管理と保全

滑動崩落対策施設は、将来にわたって維持管理と保守が必要となる。滑動崩落対策施設は個々の宅地に設置される場合もあり、予め維持管理のルールを定め、住民等の協力のもと適切に対応する必要がある。

(6) 宅地耐震化推進事業等以外の対応

例えば、地盤や地下水の条件が著しく悪く、現位置における復旧対策が困難な場合、「防災集団移転事業」を活用した対応が必要となる可能性がある。これらの判断には、調査と概略の検討が必要であり、本編に示す滑動崩落に対する調査と対策工法の選定を実施した後、住民等と協議し対応方針を決定することとなる。

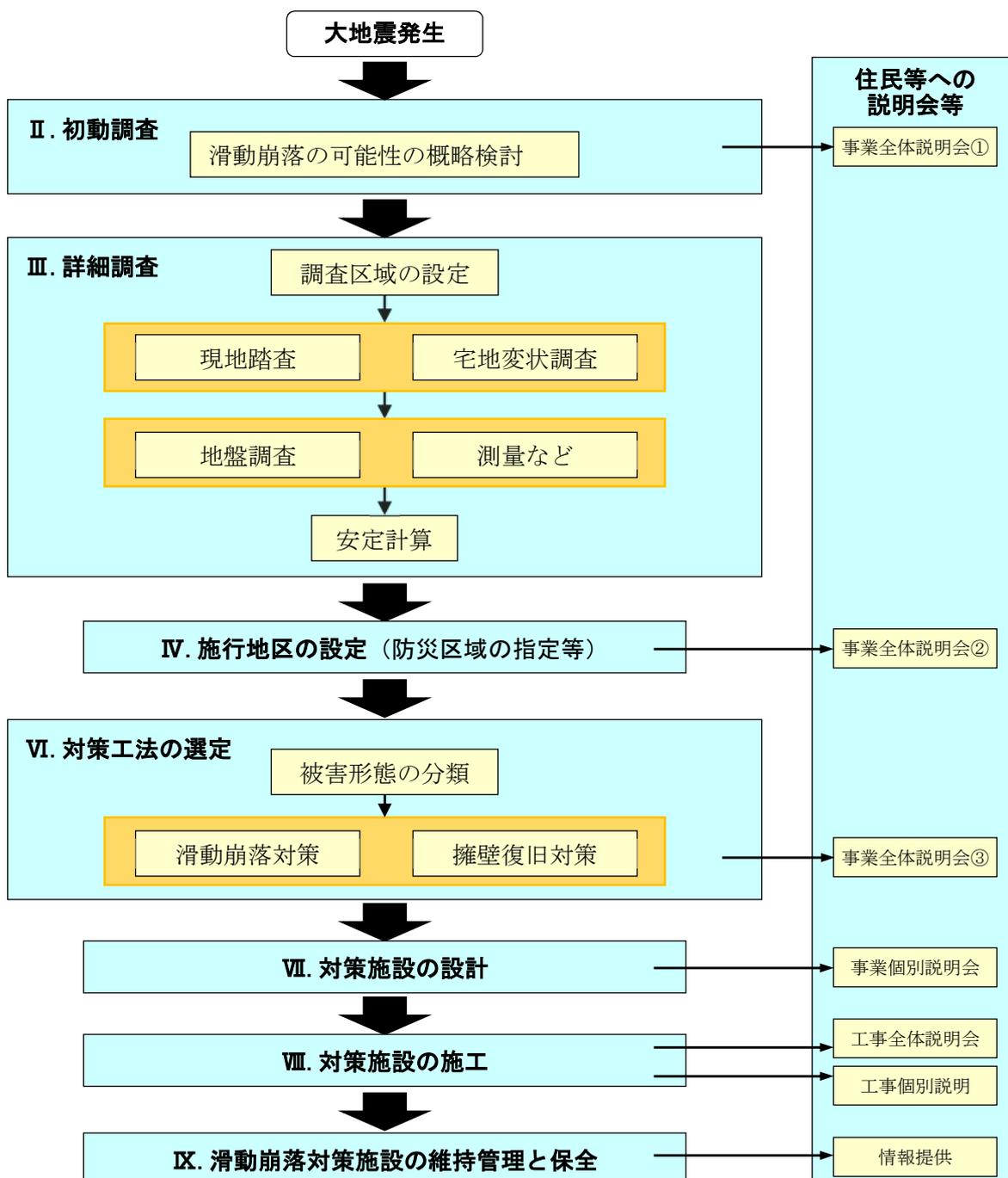


図 I.1 復旧対策の流れ

II. 初動調査

地震によって宅地が大規模かつ広範囲に被災した場合、被災宅地危険度判定等を実施し、被害の発生状況を迅速かつ的確に把握することにより、宅地の二次災害を軽減・防止し、住民等の安全を確保する。

【解 説】

被災宅地危険度判定は、地方公共団体が必要と判断した範囲ならびに住民等の要請があった宅地を対象に実施する。

被災宅地危険度判定は、被災宅地危険度判定士の資格を有する技術者が行う。被災宅地危険度判定士は、被災した擁壁、のり面等を含む宅地を対象として、被災宅地の調査・危険度判定マニュアル等に定められた判定基準により客観的に判定する。判定結果は3種類（危険宅地、要注意宅地、調査済宅地）の判定ステッカーを当該宅地の使用者・居住者だけでなく、第三者にも容易に分かるように宅地等の見やすい場所に表示し、当該宅地の危険性について周知することで、二次災害を軽減・防止し住民等の安全を確保する。



図 II.1 被災宅地危険度判定ステッカー

被災宅地危険度判定は、宅地擁壁、宅地地盤、宅地のり面について行う。それぞれの危険度判定フローを次頁から示す。判定基準や判定票の作成方法の詳細については、以下に示す被災宅地危険度判定連絡協議会のマニュアル等を参照されたい。

【被災宅地危険度判定連絡協議会のマニュアル等】

- ① 被災宅地の調査・危険度判定マニュアル 平成 26 年 3 月
(<http://www.hisaitakuti.jp/pdf/manual201403.pdf>)
- ② 擁壁・のり面等被害状況調査、危険度判定票作成の手引き 平成 26 年 3 月
(<http://www.hisaitakuti.jp/pdf/risk201403a.pdf>)

(1) 宅地擁壁

擁壁の危険度判定は、基礎点と変状点の合計により判定する。基礎点とは、建物、道路との位置関係に関して、湧水・排水施設等・擁壁高さそれぞれの点数を合計したものであり、変状点とは、クラック、水平移動、ハラミなど11の変状項目について、その変状程度ごとに配点された最大値をいう。

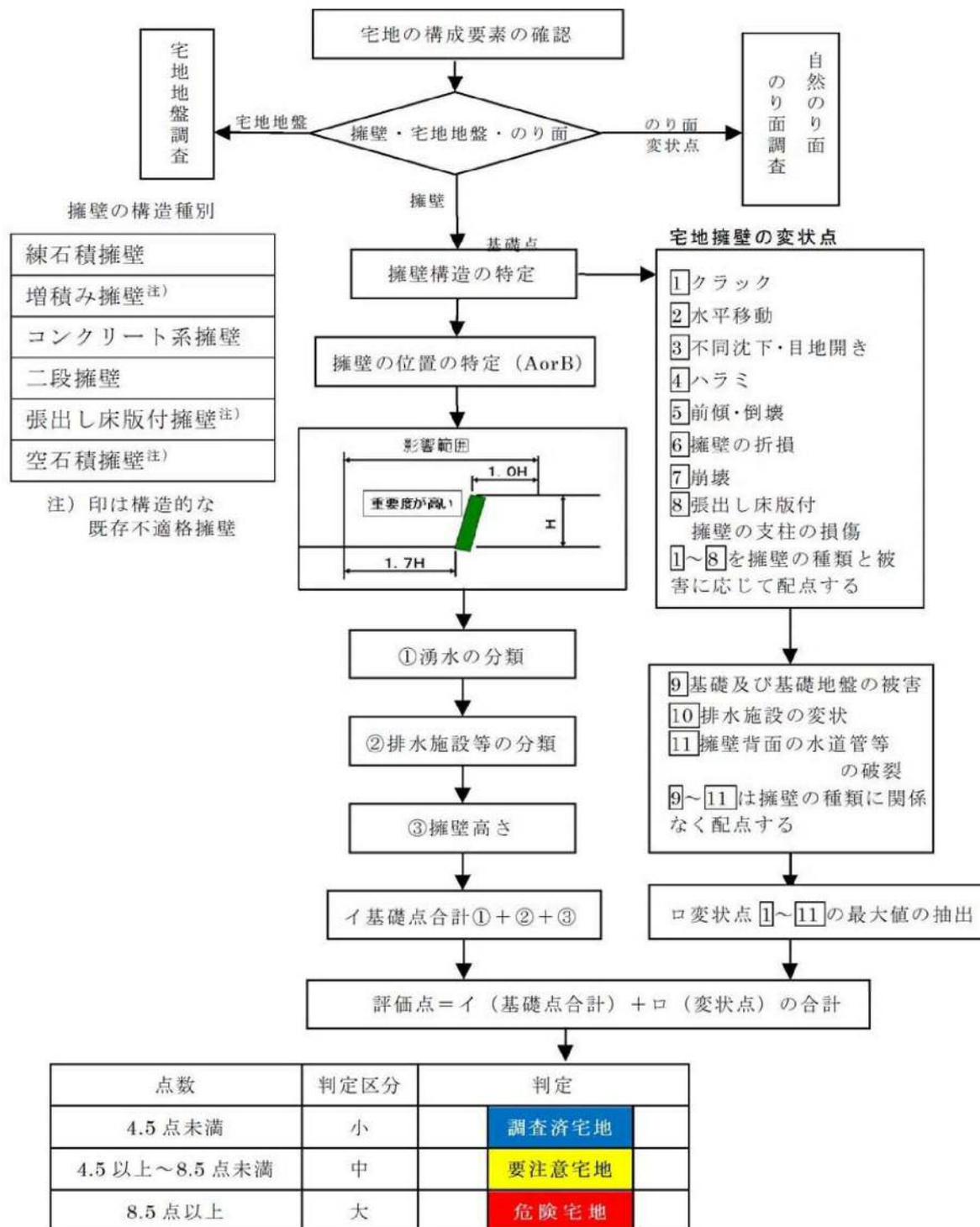
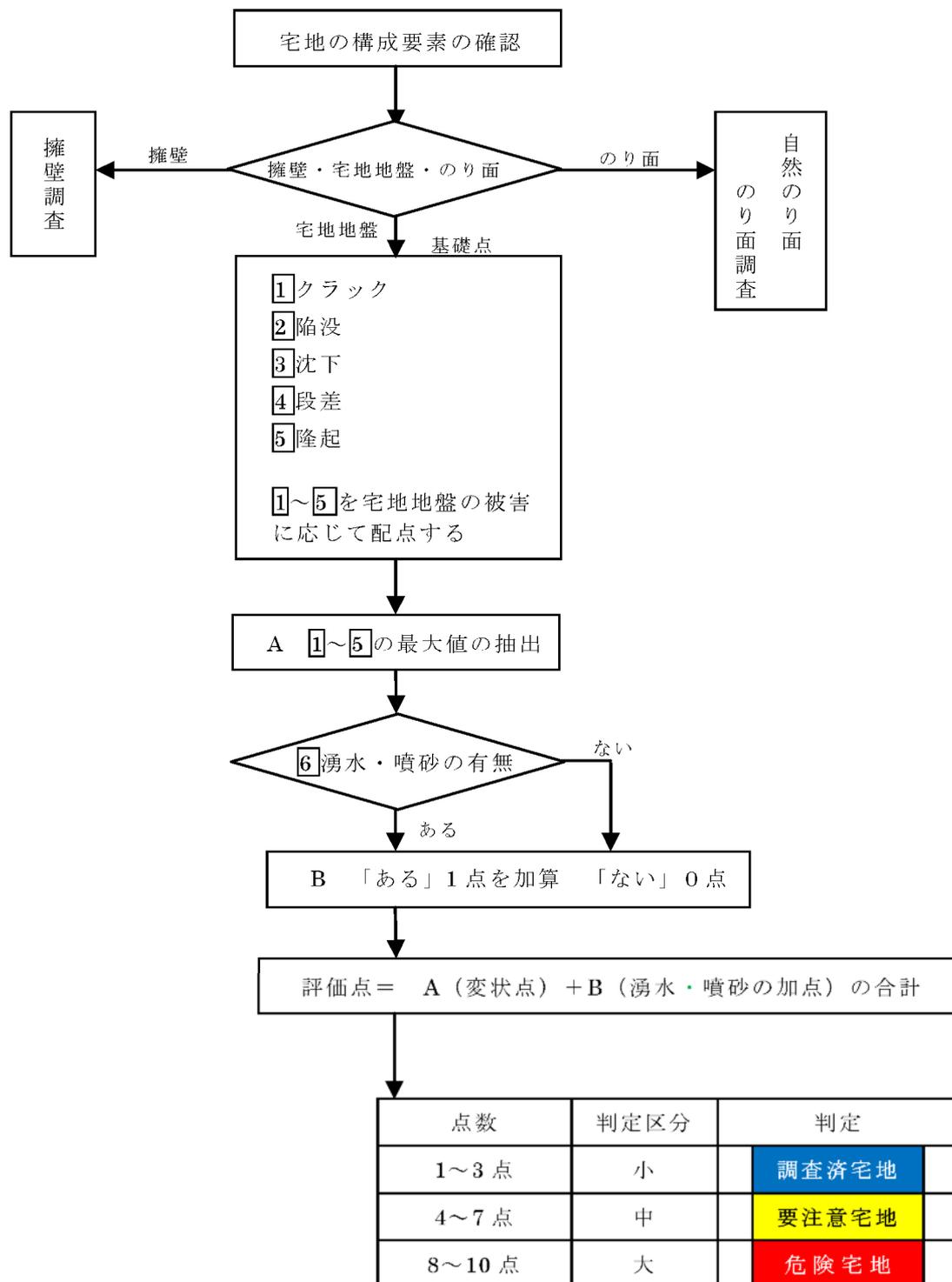


図 II.2 宅地擁壁の危険度判定フロー

(2) 宅地地盤

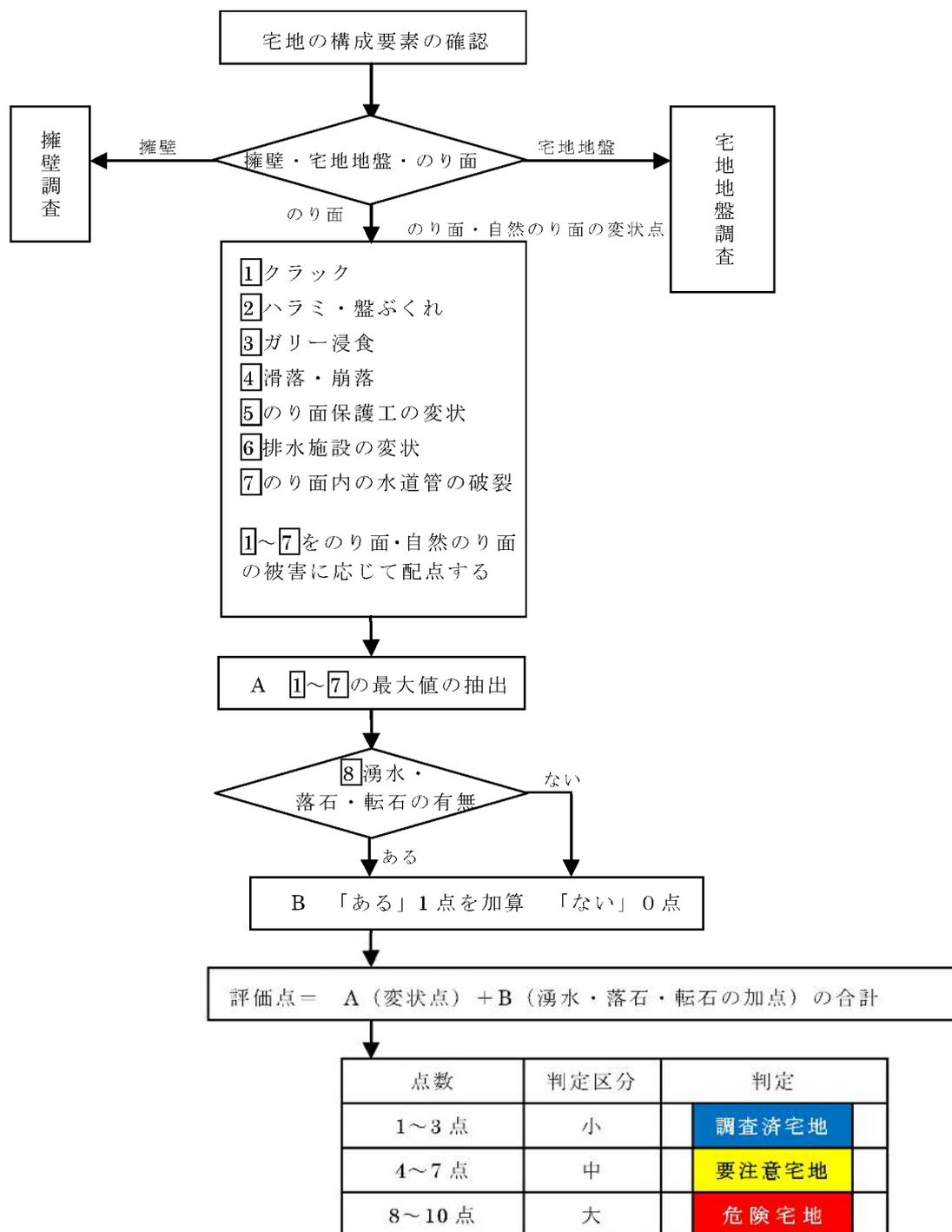
宅地地盤の危険度判定は、変状点と湧水・噴砂の有無により判定を行う。変状点とは、クラック、陥没、沈下、段差、隆起の変状項目について、その変状程度ごとに配点された最大値をいう。また、湧水・噴砂が見られる場合には、変状点に1点を加えて評価点とする。



図Ⅱ.3 宅地地盤の危険度判定フロー

(3) 宅地のり面

宅地のり面の危険度判定は、変状点と湧水・落石・転石の有無により判定を行う。変状点とは、クラック、ハラミ・盤ぶくれ、ガリー侵食など7つの変状項目について、その変状程度ごとに配点された最大値をいう。また、湧水・落石・転石が見られる場合には、変状点に1点を加えて評価点とする。



図Ⅱ.4 宅地のり面の危険度判定フロー

被災宅地危険度判定の結果は、その後の調査を円滑かつ合理的に進めるため、大規模盛土造成地マップや住宅地図などの平面図にプロットし、整理しておくことが望ましい。判定結果の整理にあたっては、宅地擁壁、宅地地盤、宅地のり面それぞれの判定結果を区別してプロットする。第一次スクリーニング（大規模盛土造成地の抽出）未実施の地方公共団体については、被災宅地危険度判定の結果、危険宅地および要注意宅地がまとまって分布するなど、滑動崩落の可能性が考えられる地区について、新旧地形図などから概略の盛土範囲を確認し、平面図にプロットする。

被災宅地危険度判定結果の整理イメージを図Ⅱ.5に示す。なお、本図は情報量が多いため、以降の解説においては、図Ⅱ.6に示す簡易版（宅地擁壁、宅地地盤、宅地のり面の判定結果で最も危険なものを宅地被害として表示）に加筆した図を用いる。判定結果等をプロットした平面図で、盛土上に危険宅地および要注意宅地がまとまって分布するなど、滑動崩落の可能性が考えられる場合は、詳細調査を実施する。

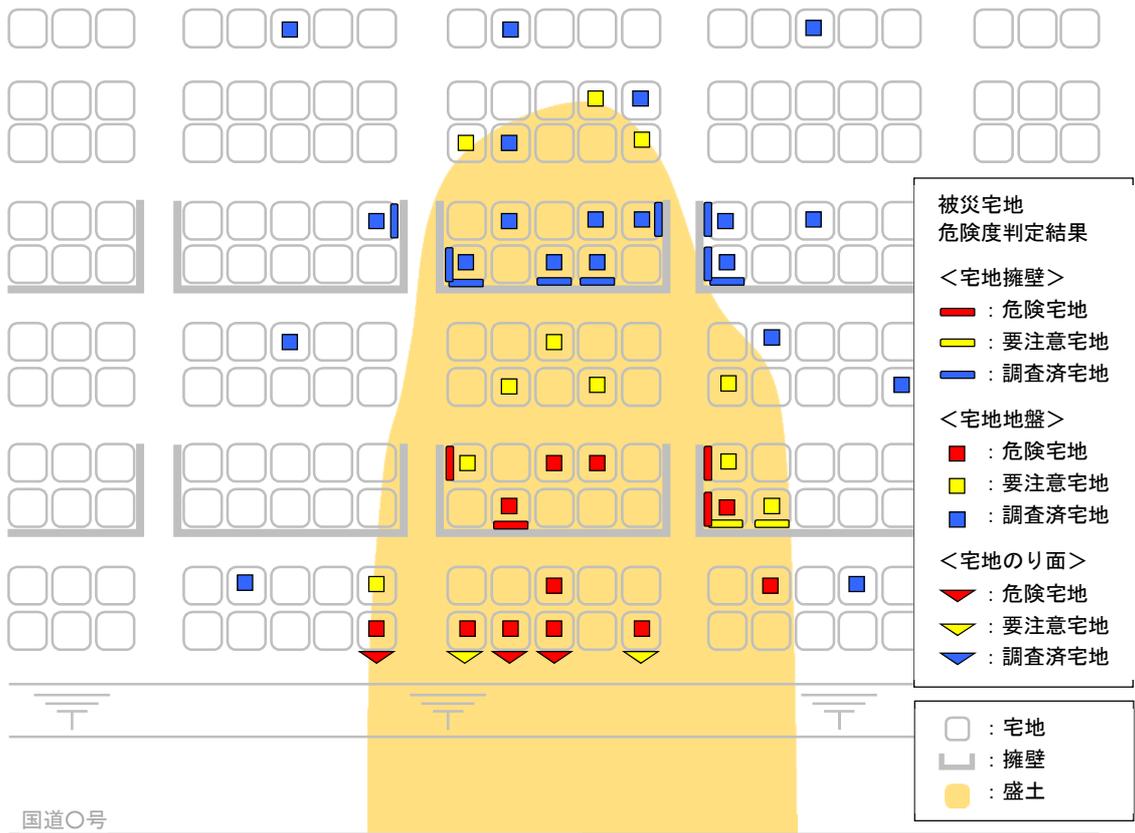


図 II.5 被災宅地危険度判定結果の整理イメージ（詳細版）

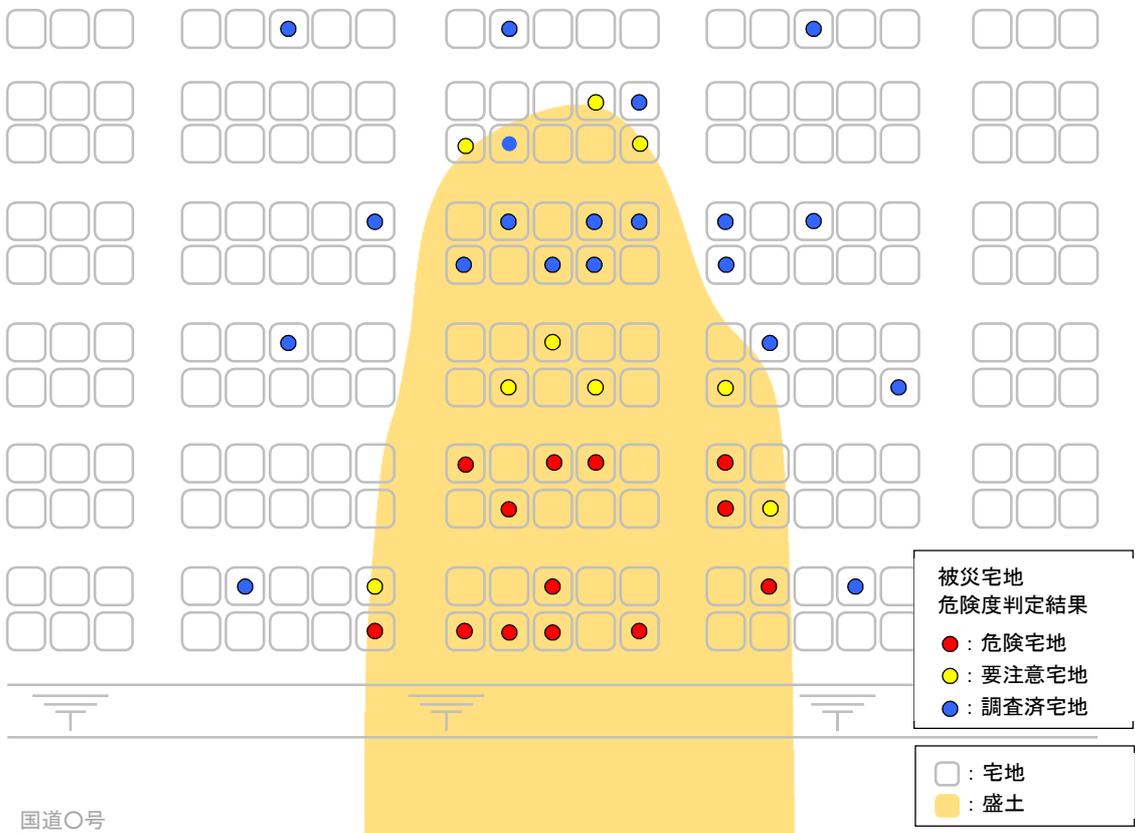


図 II.6 被災宅地危険度判定結果の整理イメージ（簡易版）

参考 1.1 応急対策

被災宅地危険度判定の結果、余震や降雨により、二次災害が想定される場合は、速やかに応急対策を実施する必要がある。

宅地の変状に対する応急対策は、宅地所有者自身で実施することが基本であり、地方公共団体は宅地所有者等へ助言などの支援を行うことが望ましい。また、被災宅地危険度判定等で確認された宅地の二次災害に直結する可能性がある道路など周辺施設の変状については、施設管理者や危機管理部局など関係部局が速やかに対応できるよう、情報を共有する。

応急対策は、変状項目と変状拡大の危険性、緊急度、余震や天候の予報および現地状況などを総合的に勘案してその必要性を判断し、想定される二次災害に応じて適切な方法を選定する。

二次災害の要因となる変状と応急対策の例を表参 1.1-①、応急対策の事例を表参 1.1-②に示す。

表参 1.1-① 二次災害の要因となる変状と応急対策の例

対象	二次災害の要因となる変状の例	想定される二次災害	応急対策の例
擁壁	擁壁の損傷（ハラミ、傾斜、折損）	擁壁倒壊	土嚢積み、切梁、頬杖（擁壁倒壊の防止）
	擁壁の亀裂	雨水等が亀裂から浸透し、擁壁の安定性低下	アスファルト充填、モルタル充填（雨水等の浸透防止）
	擁壁背面地盤の亀裂	雨水等が亀裂から浸透し、擁壁の安定性低下	シート養生（雨水等の浸透防止）
宅地地盤	宅地地盤の亀裂	雨水等が亀裂から浸透し、宅地地盤の安定性低下	シート養生、モルタル充填（雨水等の浸透防止）
のり面・斜面	のり面・斜面の変形（上段部の亀裂、中段部のハラミ、下段部の隆起）および崩壊	のり面・斜面崩壊、土砂流出、崩壊範囲の拡大	土嚢積み、押え盛土（のり面・斜面崩壊の抑止、土砂流出および崩壊範囲の拡大防止）
	のり面・斜面の亀裂	雨水等が亀裂から浸透し、のり面の安定性低下	シート養生（雨水等の浸透防止）

表参 1.1-② 応急対策の事例

擁壁の損傷に対する応急対策（擁壁倒壊の防止）	
	
土嚢積み	切梁
	
頬杖	
擁壁の亀裂、擁壁背面地盤の亀裂に対する応急対策（雨水等の浸透防止）	
	
アスファルト充填	モルタル充填
	
シート養生	
宅地地盤の亀裂に対する応急対策（雨水等の浸透防止）	
	
シート養生	モルタル充填
斜面の崩壊に対する応急対策 （土砂流出の防止）	のり面の亀裂に対する応急対策 （雨水等の浸透防止）
	
土嚢積み	シート養生

被災宅地危険度判定連絡協議会：被災宅地の調査・危険度判定マニュアル（参考資料），
平成 26 年 3 月

参考 1.2 広域的な宅地被害の把握

(1) 東北地方太平洋沖地震における仙台市の広域的な宅地被害調査事例

大地震が発生した際、地方公共団体は管轄する区域内で被害があった全ての宅地を対象に被災宅地危険度判定を実施し、滑動崩落について検討することが望ましいが、管轄範囲が広く宅地数が多い場合、これらの調査には膨大な時間と労力が必要となる。東北地方太平洋沖地震において、仙台市では次の手順で広域的な宅地被害の状況を把握し、滑動崩落について検討を行った。

- ①市職員がパトロールで必要と判断した宅地および住民等から通報があった宅地を対象に、被災宅地危険度判定を実施（被災宅地危険度判定は、住民等からの要請を受け随時追加実施）。
- ②上記①と併せて、周辺の宅地に対しても被災宅地危険度判定を実施するとともに、道路などの周辺施設の被害の有無を確認。
- ③上記①と②の結果から、危険宅地および要注意宅地がまとまって分布する範囲を中心に、被害が連続する道路などの周辺施設も含めて、滑動崩落が生じた可能性がある区域を抽出（仙台市ではこれを「公共事業検討区域」とよんだ）。
- ④「公共事業検討区域」の外周から 30m（2 宅地程度）広げた範囲を「調査区域」に設定。この区域を対象に、詳細な現地踏査ならびに地盤調査などを実施し、滑動崩落が生じたかどうか、滑動崩落が生じた場合にはその範囲を検討・精査し、「施行地区」を設定。
- ⑤「施行地区」を対象に、滑動崩落対策を実施。

(2) 空中写真測量等の活用

広域的な宅地被害を把握するにあたっては、短期間で広範囲の状況を捉えることが可能で、地震後の移動量を概略推定できる空中写真測量等の活用が有効と考えられる。以下に空中写真測量の留意事項を示す。

- ・地方公共団体が民間の航空測量会社などに委託することが基本となる（国土地理院が空中写真撮影を行うことがあり、これを活用できる場合もある）。

【国土地理院 地図・空中写真等の刊行物・提供物】

(<http://www.gsi.go.jp/MAP/index.html>)

- ・費用は 1km²あたり、500 万円程度（解析・図化含む）。
- ・1 日の飛行で、30km²程度の空中写真撮影が可能（解析・図化は除く）。
- ・平面位置および高さともに、±10～15cm 程度の誤差が生じる。
- ・空中写真測量の高さは、測量メッシュ（1～5m程度）の平均高であるため、擁壁などの構造物設計にあたっては、その詳細な形状の測量が別途必要となる。
- ・地震後の移動量を概略推定するためには、地震前の空中写真も必要となる。
- ・衛星測量の活用も考えられる。

Ⅲ. 詳細調査

詳細調査は、初動調査結果から設定した調査区域において、施行地区の設定に必要な情報を収集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) 調査区域の設定
- 2) 現地踏査、宅地変状調査
- 3) 地盤調査、測量および水平移動量調査
- 4) 安定計算

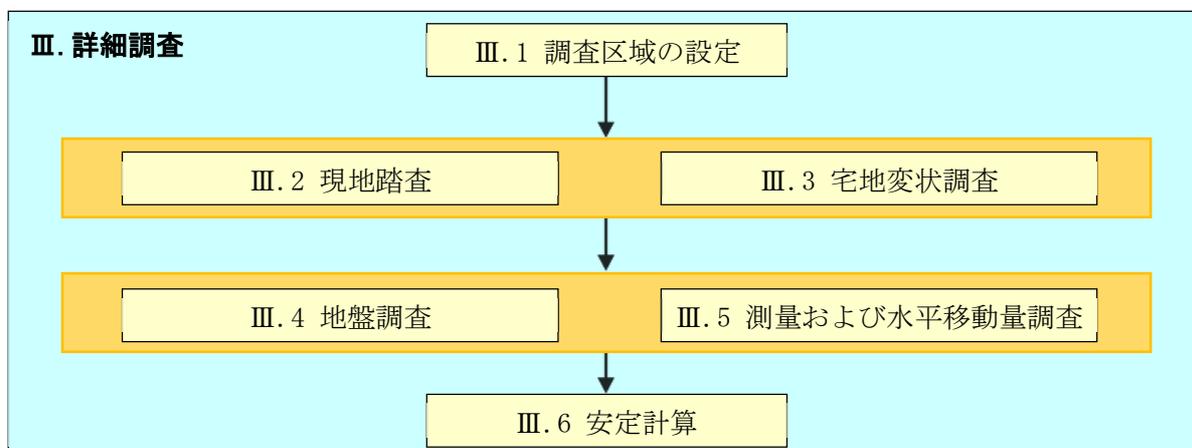
【解 説】

詳細調査では、調査区域を設定したのち、現地踏査（宅地周辺の道路や公園等も含めた変状を把握するための調査）、宅地変状調査を行い、滑動崩落の範囲、滑動方向、調査測線を設定する。

変状について詳細に把握したのち、安定計算に必要な地盤定数や地形等を把握するため、地盤調査（調査測線におけるボーリング調査）、測量を実施する。また、測量結果を用いて必要に応じて水平移動量調査を実施する。

現地踏査、宅地変状調査の結果、被害形態（「Ⅴ.1 被害形態の分類」参照）が崩壊に到っている地区については、直ちに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い、住民等に余震などにより二次災害の発生のおそれが高いことを周知する。また、安定計算の結果、施行地区と防災区域等の範囲が一致しない場合は、必要に応じて追加で防災区域の指定等を行う。

また、被災地の復興に向け、安定計算と並行して設計を進める等、個々の状況に応じて迅速な対応に努める。



図Ⅲ.1 詳細調査の手順

Ⅲ.1 調査区域の設定

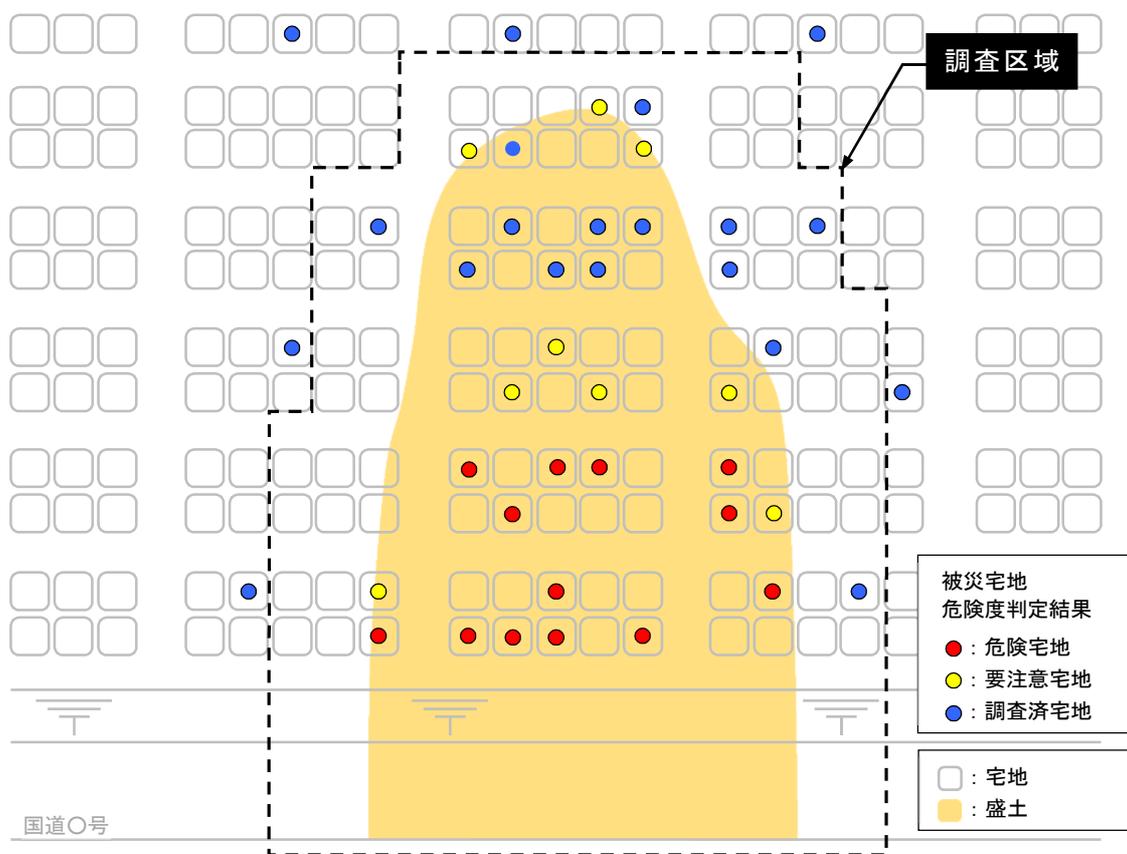
調査区域は、被災宅地危険度判定における危険宅地および要注意宅地がまとまって分布する範囲を基本として設定する。

【解説】

調査区域は、被災宅地危険度判定における危険宅地および要注意宅地がまとまって分布する範囲を基本とし、以下の点も考慮して広めに設定する。

- ・危険宅地もしくは要注意宅地に隣接する施設（道路や公園など）
- ・地形（盛土範囲、のり面がある場合はのり尻まで含めるなど）

調査区域の設定イメージを図Ⅲ.1.1に示す。



図Ⅲ.1.1 調査区域の設定イメージ

なお、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は、被災宅地危険度判定の結果にかかわらず現地調査の対象とし、滑動崩落を示唆する変状が生じていないかどうかを確認することが望ましい。

Ⅲ.2 現地踏査

調査区域において現地踏査を行い、盛土の範囲、地震による変状を確認し、滑動崩落の範囲（以下「滑動ブロック」という）と滑動方向、調査測線を設定する。

【解 説】

① 盛土の範囲の確認

盛土周辺の地形、原地盤に残存している樹木、地域住民等からの情報などから、盛土の範囲を詳細に確認する。第一次スクリーニングで得られた盛土の範囲は、新旧地形図の重ね合せにより机上で検討した概略の範囲であるため、現地踏査結果や後述する地質調査結果を踏まえ精査し、必要に応じて見直しを行う。

② 地震による変状の確認

地震により生じた変状や湧水の有無などを、宅地のみならず周辺の道路や公園などの施設も含めて詳細に確認する。変状が復旧されている場合は、住民等もしくは関係部局から復旧前の写真等を入手し確認する。現地踏査で確認が必要な主な変状を、以下に示す。

- ・ 開口亀裂、亀裂
- ・ 隆起
- ・ 沈下・段差
- ・ のり面のハラミ、擁壁のハラミ・傾斜・折損・倒壊
- ・ 水路の圧壊
- ・ 湧水もしくは湧水痕

③ 滑動ブロックと滑動方向の設定

②で確認した変状から、滑動ブロックと滑動方向を設定する。滑動ブロックの設定にあたり、目安となる変状には以下のものがある。代表的な変状の例を図Ⅲ.2.1に示す。

- ・ 頭 部：滑動ブロックが下方に移動することによる、宅地や道路の開口や段差を伴う亀裂
- ・ 末端部：滑動ブロックの押し出しによる、道路の隆起や水路の圧壊、のり面のハラミ、擁壁のハラミ・傾斜・折損・倒壊
- ・ 側 部：道路やのり面の滑動方向の亀裂、擁壁の亀裂や滑動方向のズレ・目地開き

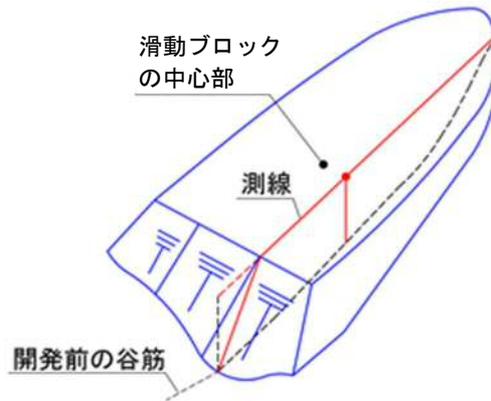


図Ⅲ.2.1 滑動崩落を示唆する変状の例

4 調査測線の設定

調査測線とは、滑動ブロックの中心部付近で滑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。

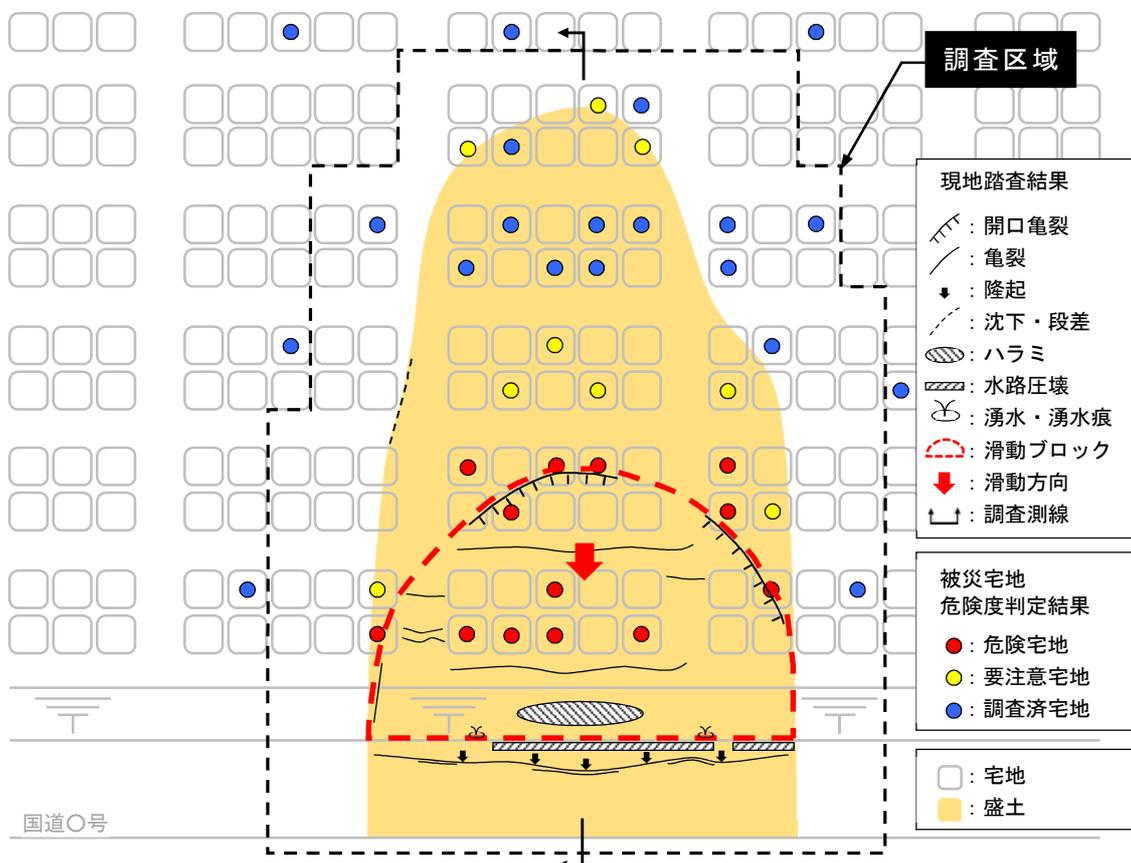
調査測線は、③で設定した滑動ブロックごとに、原地盤の地形や現在の盛土の地形を考慮し、その盛土を代表する滑り面を具体的に確認でき、安定計算を行うのに適した位置および方向に設定する。調査測線の設定イメージを図Ⅲ.2.2に示す。



図Ⅲ.2.2 調査測線の設定イメージ

5 現地踏査結果の整理

現地踏査結果は、大規模盛土造成地マップ等の平面図にプロットし整理する。現地踏査結果の整理イメージを図Ⅲ.2.3に示す。



図Ⅲ.2.3 現地踏査結果の整理イメージ

Ⅲ.3 宅地変状調査

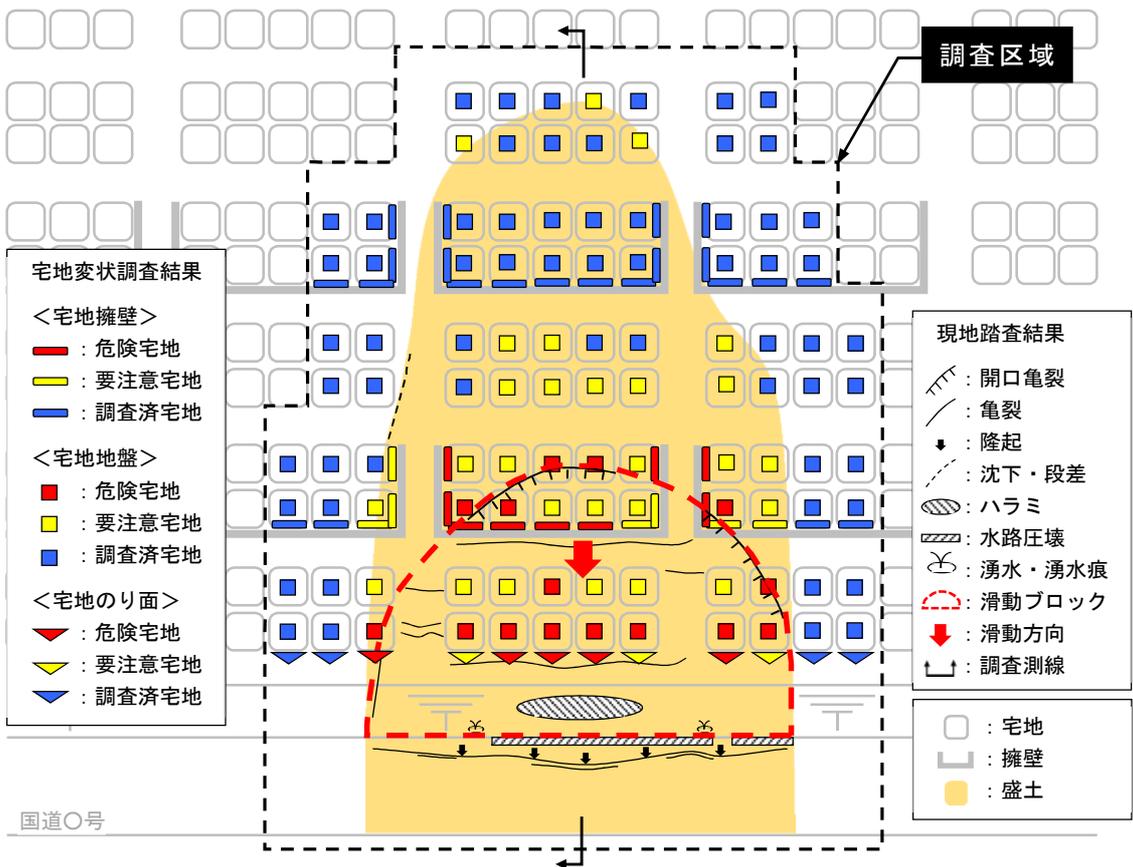
調査区域内に位置する全ての宅地を対象に実施し、滑動崩落とその影響で被災した宅地を漏れなく抽出するとともに、変状について詳細に把握する。

【解 説】

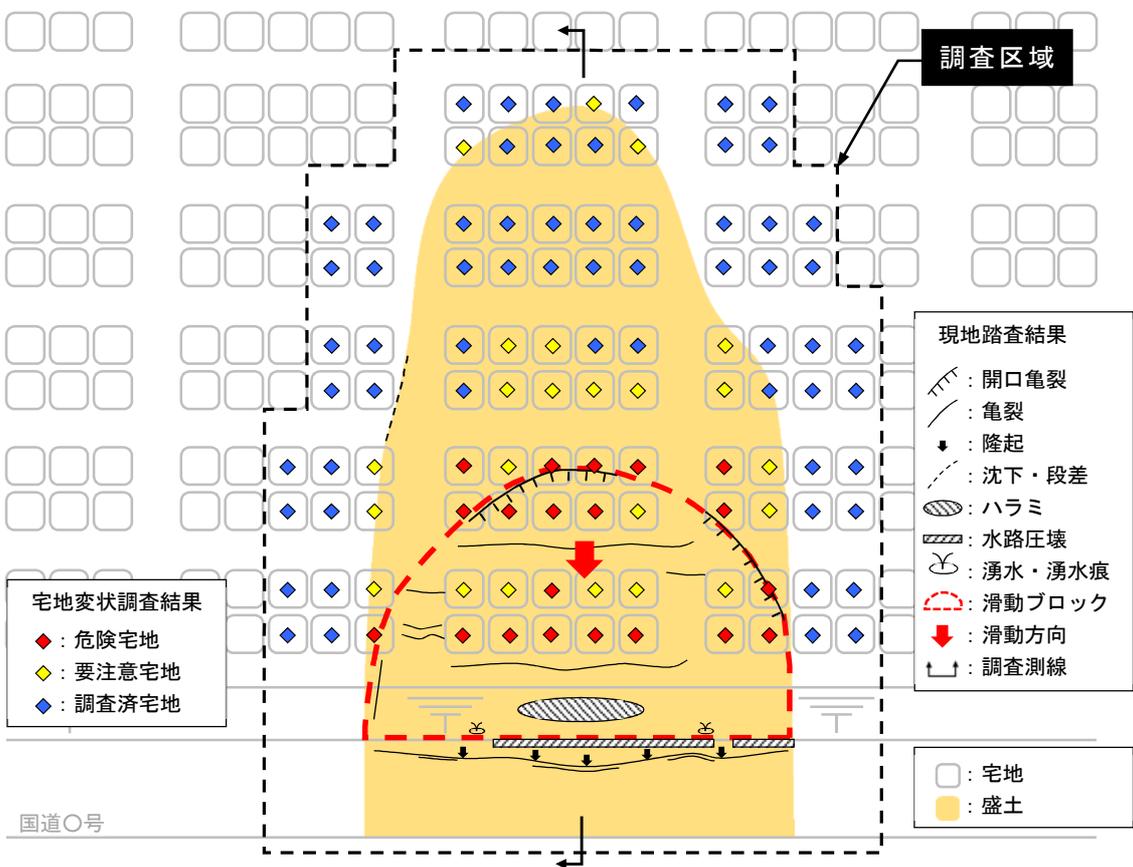
宅地変状調査は、調査区域内に位置する全ての宅地を対象に実施し、滑動崩落とその影響で被災した宅地を漏れなく抽出するとともに、変状の程度や位置などを詳細に把握する。なお、初動調査で被災宅地危険度判定が行われた宅地についても調査を実施し、判定結果を参考にしつつ、滑動崩落の観点から変状について再度確認する。

調査にあたっては、被災宅地危険度判定における「被災宅地の調査・危険度判定マニュアル」を準用して宅地擁壁、宅地地盤、宅地のり面について調査し、宅地ごとに調査票を作成する。調査結果は、宅地擁壁、宅地地盤、宅地のり面それぞれの調査結果を区別して平面図にプロットし整理する。

宅地変状調査結果の整理イメージを図Ⅲ.3.1に示す。なお、本図は情報量が多いため、以降の解説においては、図Ⅲ.3.2に示す簡易版（宅地擁壁、宅地地盤、宅地のり面の調査結果で最も危険なものを宅地被害として表示）に加筆した図を用いる。



図Ⅲ. 3. 1 宅地変状調査結果の整理イメージ（詳細版）



図Ⅲ. 3. 2 宅地変状調査結果の整理イメージ（簡易版）

Ⅲ.4 地盤調査

調査測線における調査ボーリングにより、盛土や地山の土質、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し、滑り面を設定する。

【解説】

① 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。なお、地下埋設物の位置は設計・施工でも必要となるため、ボーリング地点のみならず、想定される設計・施工範囲についても併せて確認・整理しておくことが望ましい。

② 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、地山を含む滑り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、必要に応じて面的な情報を収集可能な物理探査等を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 3.1、原位置試験の方法例を参考 3.2 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。

③ サンプルング

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 3.1 にサンプルングの種類を示す。

④ 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 3.1 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。

5 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し、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が、観測や詳細な調査には時間を要するため、復旧対策においては調査ボーリング無水掘削時に確認された水位を設計水位とすることができる。

- 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 3.3](#)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。

6 滑り面の設定

滑り面は、以下の事項を総合的に勘案して設定する。滑り面の設定事例を、安定計算事例と併せて[参考 3.6](#)に示す。

- ・滑動ブロックの平面形状（現地踏査で設定した滑動ブロックの頭部と末端の位置）
- ・盛土および地山のN値、強度（内部摩擦角（せん断抵抗角）、粘着力）の分布
- ・地質的な弱面（盛土と地山の境界など）
- ・危険宅地および要注意宅地と調和的なせん断波速度

㊦ 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。

参考 3.1 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 3.1-① 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
	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	
	物理探査 ・ 検層	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
		密度検層	— 密度検層
	地下水 調査	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バー)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 3.2 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。



図参3.2-① 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、サンプリャーが 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

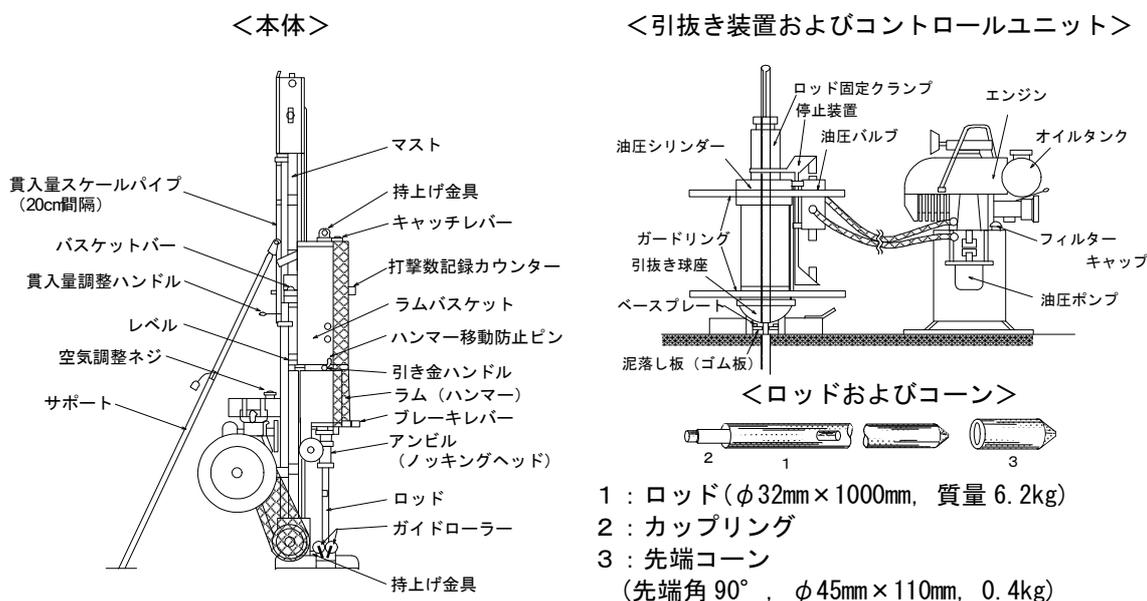
静的コーン貫入試験とは、機械式コーン貫入試験（JIS A 1220）をはじめとして数種類のものがあるが、基本はロッドの先端にコーン（円錐）を取り付けて静的に圧入するものである。オランダ式は二重管にしてロッドに働く土の摩擦力を除去して先端抵抗だけを測定するようにした方法であるが、簡易に人力で押し込むだけのポータブルコーン貫入試験（JGS 1431）が浅い軟弱層の調査には多用されている。

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 $5 \pm 0.05\text{kg}$ のハンマーを $500 \pm 10\text{mm}$ 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 $4 \sim 5\text{m}$ 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 35cm ）、 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 程度以浅で、 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。



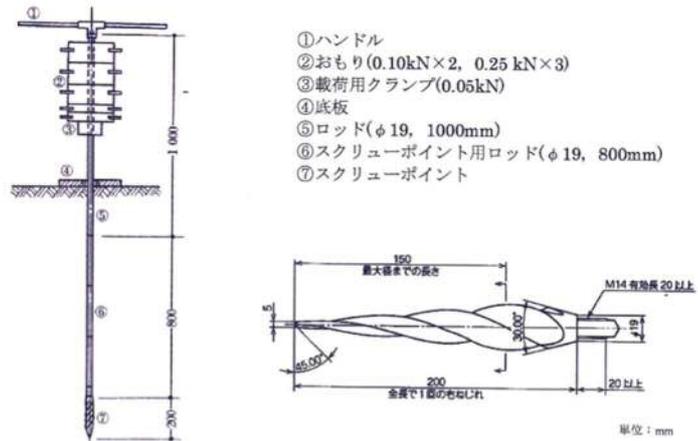
図参 3.2-② オートマチックラムサウンディング試験装置

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 3.2-③**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 3.2-④**に示す。



手動式試験器具の例



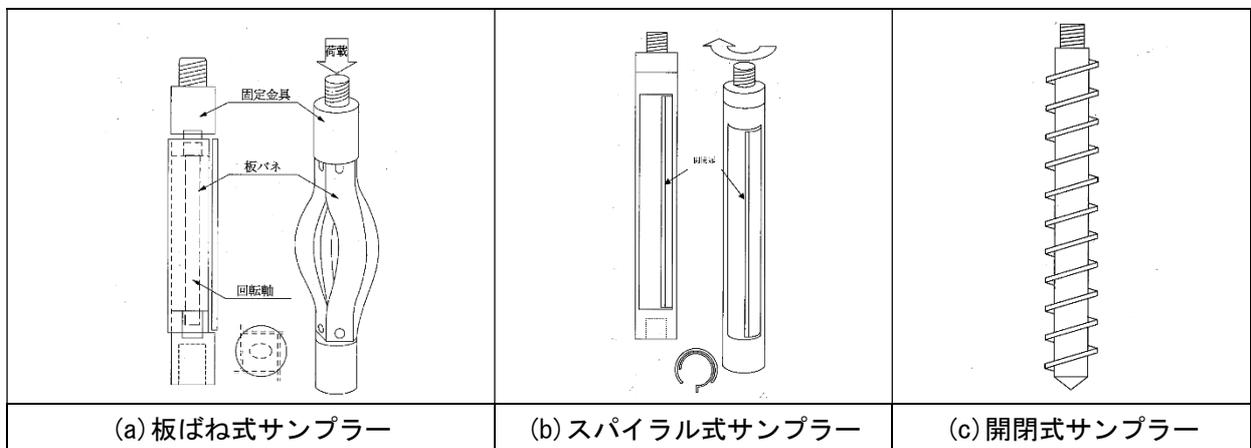
手動式

半自動式

自動式

SWS 試験機（手動、半自動、自動）

図参 3.2-③ スウェーデン式サウンディング試験位置と概要図



図参 3.2-④ 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

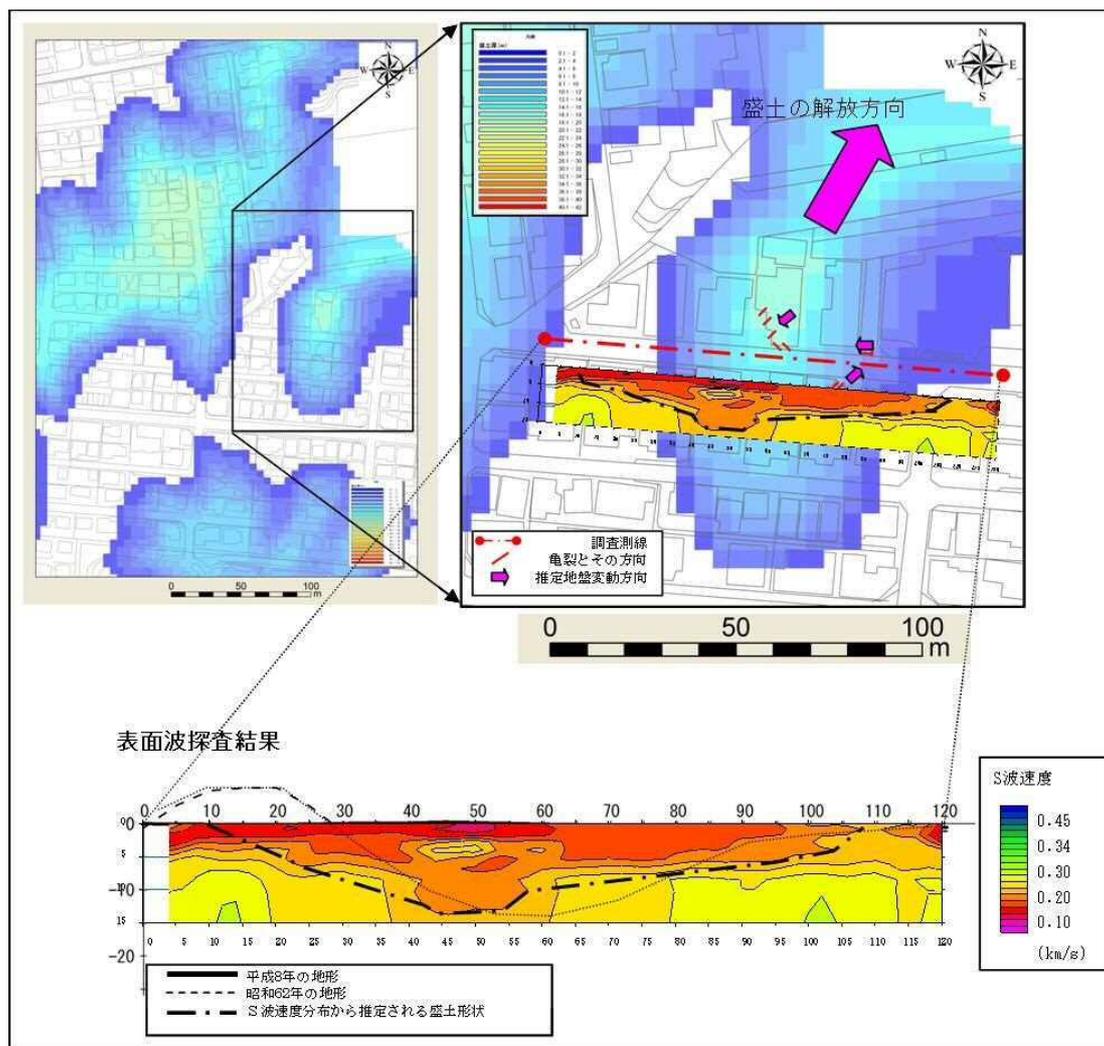
表面波探査とは、人工的な振動を発生させ、地盤の硬さを相対的に把握する調査手法の一つである。盛土は基盤層と比較するとやわらかいため、盛土の形状を把握する材料となる。表面波探査の実施風景を図参 3.2-⑤に示す。

図参 3.2-⑥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よっているが、概ね昭和 62 年の地形と一致している。



図参 3.2-⑤ 表面波探査試験の実施風景



図参 3.2-⑥ 表面波探查による地盤のゆるみ分布図（S波速度分布図）の例

参考 3.3 宙水状の地下水の測定方法

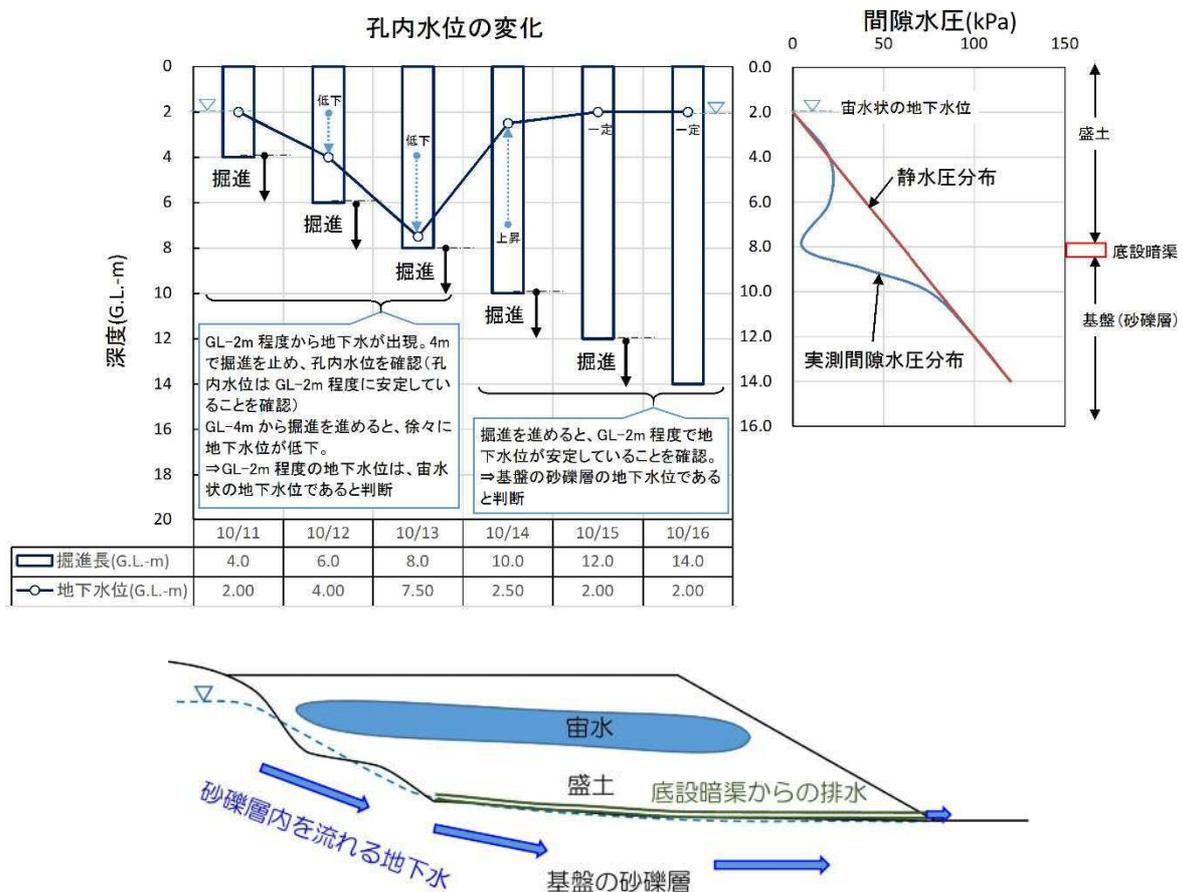
(1) 調査ボーリング孔を用いた測定

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を行い、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 3.3-①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は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 3.3-① 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

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 3.3-② に示す。



鉄管



触針式水位計例

図参 3.3-② 測定機器の例

参考 3.4 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が限られる場合は、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。

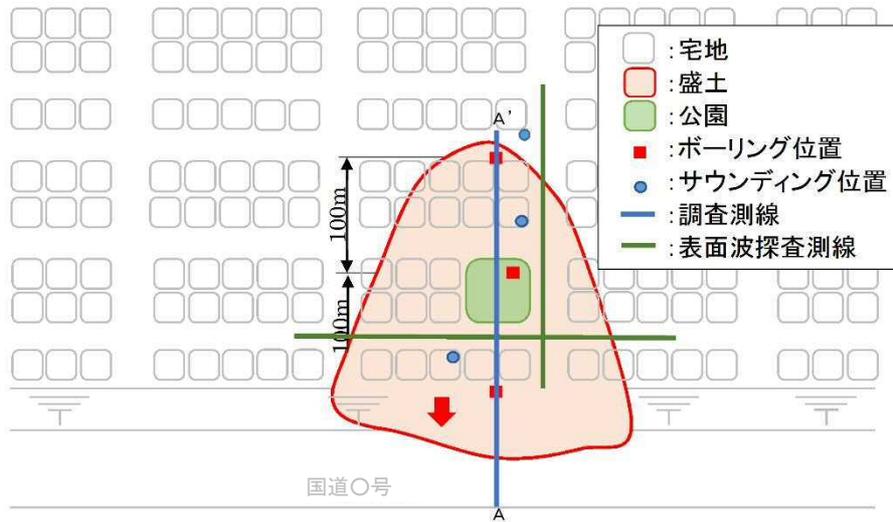
調査間隔の参考例を表参 3.4-①に示す。また、調査計画と数量の例を図参 3.4-①、表参 3.4-②に示す。

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 万円程度である。

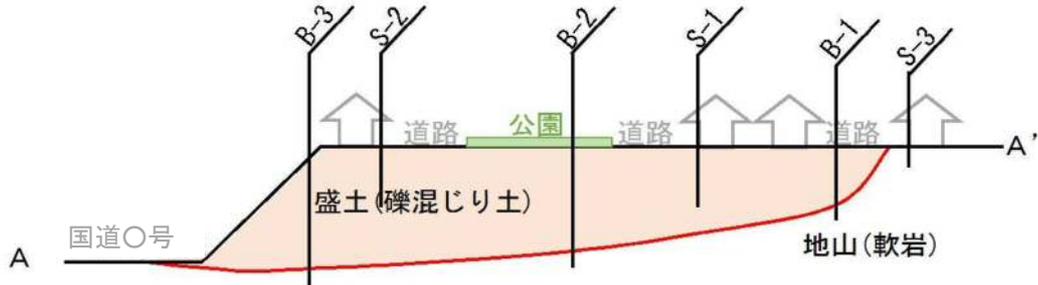
表参 3.4-① 調査間隔の参考例

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。盛土端部で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に心掛ける。) 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 3.4-① 調査計画の例 (谷部・比較的均一な基盤の詳細調査)

表参 3.4-② (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 3.4-② (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		PS 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	

Ⅲ.5 測量および水平移動量調査

調査区域を対象とし、設計・施工に必要となる地形、構造物、境界点等を測定して平面図と縦断図を作成する。また、地震前後の平面図を重ね合せ、地震による移動方向と移動量を概略把握する。

【解説】

① 測量

測量は調査区域を対象とし、基準点の設置、現地測量、縦断測量、仮BM設置測量を下記の通り実施する。

(1) 基準点の設置（必要に応じて実施）

測量区域内に既設の基準点が存在しない場合、現地測量や縦断測量等に必要となる基準点を設置する。

(2) 現地測量

現地測量は、地形、盛土の形状、各種構造物、境界点等を測定し、平面図（数値地形図データ）を作成する。現地測量では、設計対象となる滑動ブロックや構造物（滑動崩落対策施設が設置される可能性のある擁壁など）の高さや周辺構造物との離隔などを密に測量する。

(3) 縦断測量

縦断測量は、安定計算を行う調査測線を対象に実施し、縦断図を作成する。

(4) 仮BM設置測量

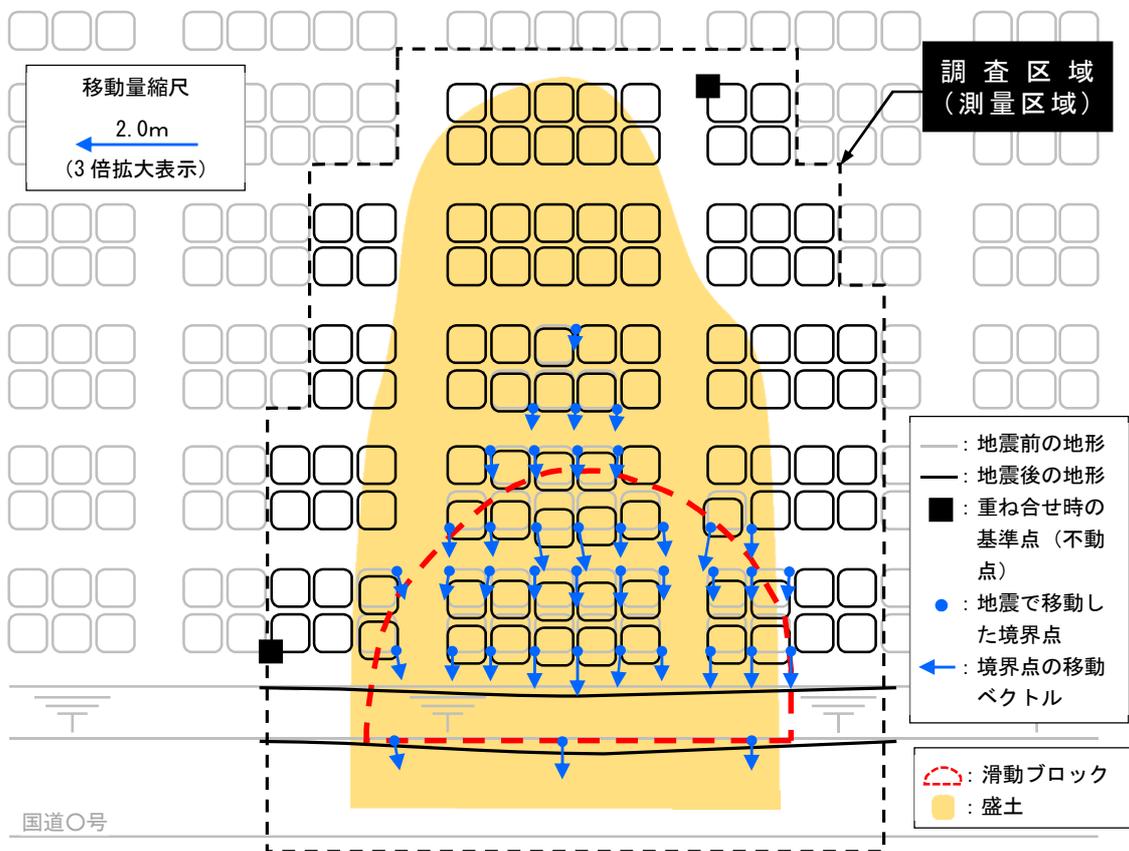
仮BM設置測量は、施工に用いる仮BMを、1地区あたり2点程度設置する。

2 水平移動量調査

水平移動量調査は、地震による宅地や道路の移動方向と移動量を概略把握し、その結果は滑動ブロックや滑動方向を検討する際の基礎資料、住民等に滑動状況を説明する際の一資料などとして活用する。本調査では、以下の手順で地震前後の平面図を重ね合せ、境界点などのズレをベクトル表示した重ね図を作成する。

- ①地震前の平面図を収集する（道路台帳、道路敷地構成図、国土調査地籍図など）
- ②地震後の平面図を作成する（ \square の現地測量で作成した平面図（数値地形データ））
- ③上記①と②を、不動点を基準に重ね合わせる（不動点は、地山上にある境界点や杭基礎で地山に支持された構造物の端点など、地域レベルでは相対的に不動と考えられる点を2点以上選定する）
- ④境界点のズレをベクトル表示する。

重ね図の作成イメージを図Ⅲ.5.1に示す。



図Ⅲ.5.1 重ね図の作成イメージ

Ⅲ.6 安定計算

Ⅲ.4 で得られた結果をもとに、滑動ブロック等の滑り面に対して、安定計算を行う。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に対して、その滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力が上回るために必要な抑止力を求める。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】

安定計算は、「Ⅰ編 変動予測調査編 VI.2 安定計算」に示される方法と同様の方法で実施する。被災盛土の滑り面の形状などから、二次元分割法、または二次元分割法のうちの簡便法のどちらかを選択（再現性の高い計算方法を選択）して安定計算を行い、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に対して、その滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力が上回るために必要な抑止力（必要抑止力）を求める。安定計算は、滑動ブロックの滑り面だけでなく、安全率が 1 を下回る滑り面を全て抽出し、それらの滑り面に対して必要抑止力を求める。

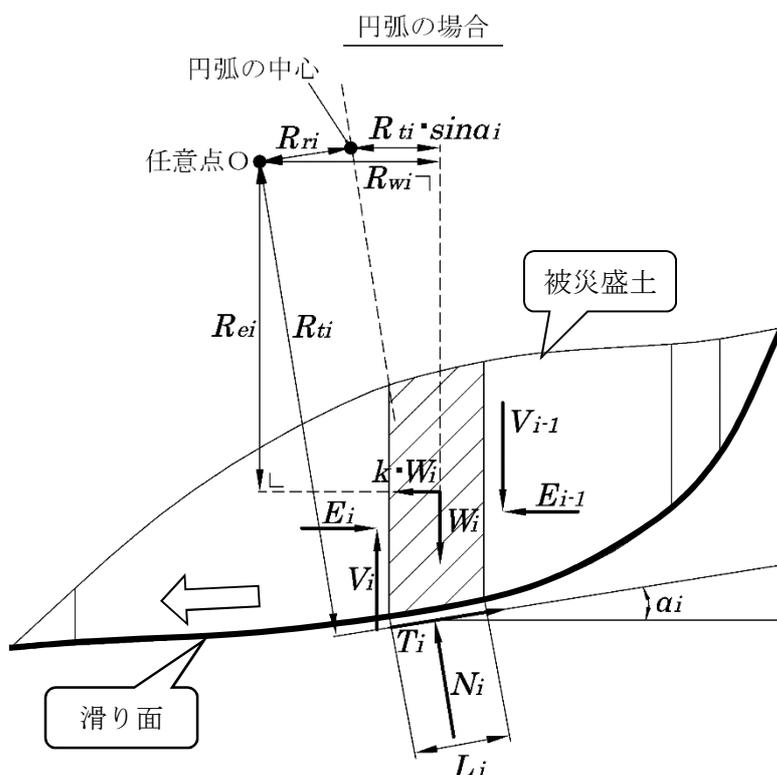
安定計算に用いる水平震度は、盛土や地盤が液状化しないことを前提に、0.25 に建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する Z の数値を乗じて得た数値を乗じて得た数値とする。建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する Z とは、地震地域係数のことであり、1.0～0.7 の数値として地域ごとに規定されている。地域ごとの地震地域係数 Z を参考 3.5 に示す。

安定計算に用いる地盤定数は、地盤調査における室内土質試験により設定することを基本とするが、滑動崩落が生じた盛土の数が多く、時間的・費用的な制約から個々の盛土で調査を実施することが困難な場合などは、類似の盛土の安定計算結果から滑動ブロックの地震時安全率を仮定し、逆計算で推定する手法を併用することも可能である。この場合、まず、代表的な地区で詳細な地盤調査を行い、その結果に基づき設定した地盤定数を用いて安定計算を実施し、地震時安全率と水平変位量の関係などを求める。次に、これに類似する盛土（水平変位量が同等など）については、地盤調査は調査ボーリングによる地層構成と地下水位の把握程度とし、地盤定数は代表的な地区で求めた地震時安全率を仮定して逆計算で推定する。安定計算の事例を参考 3.6 に示す。

なお、被害形態が「地すべりの変形」などの変形被害であり、滑り面が明確で無く特定し難い場合は、二次元分割法および簡便法による安定計算に加えて、「Ⅰ編 変動予測調査編 VI.2 安定計算 参考 6.11」に示される有限要素法を用いる方法もある。有限要素法で計算した残留変位量と実測変位量との比較等により、想定した滑り面の妥当性についての評価や、滑り面上の応力と要素の強度から、斜面の安全性を確保するために必要な抑止力の妥当性などを評価する。

1 二次元の分割法による被災盛土の安定計算

二次元の分割法は、土塊の表面が曲線であっても、滑り面が非円弧、複合（直線+円弧等）であっても適用できる計算法である。被災盛土の滑り面における、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Ⅲ.6.1 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、

$$-\Sigma W_i \cdot R_{wi} + \Sigma T_i \cdot R_{ti} + \Sigma N_i \cdot R_{ri} - \Sigma k \cdot W_i \cdot R_{ei} = 0 \quad (Ⅲ.6.1)$$

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、

$$W_i - N_i \cdot \cos \alpha_i - T_i \cdot \sin \alpha_i - V_i + V_{i-1} = 0 \quad (Ⅲ.6.2-1)$$

$$T_i \cdot \cos \alpha_i - N_i \cdot \sin \alpha_i - k \cdot W_i + E_i - E_{i-1} = 0 \quad (Ⅲ.6.2-2)$$

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、

$$V_i = V_{i-1}, E_i = E_{i-1} \quad (Ⅲ.6.3)$$

式(Ⅲ.6.3)を式(Ⅲ.6.2-1)と(Ⅲ.6.2-2)に代入して、 T_i を消去すれば、

$$N_i = W_i(\cos \alpha_i - k \cdot \sin \alpha_i) \quad (Ⅲ.6.4)$$

式(Ⅲ.6.4)を式(Ⅲ.6.1)に代入すると、

$$\Sigma T_i \cdot R_{ti} = \Sigma W_i \cdot R_{wi} - \Sigma W_i(\cos \alpha_i - k \cdot \sin \alpha_i) \cdot R_{ri} + \Sigma k \cdot W_i \cdot R_{ei} \quad (Ⅲ.6.5)$$

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、

$$T_i = \{c'_i \cdot L_i + (N_i - u_i \cdot L_i) \tan \phi'_i\} / F_s \quad (Ⅲ.6.6)$$

式(Ⅲ.6.1)～(Ⅲ.6.6)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-1} 、 E_i 、 E_{i-1} 、 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(Ⅲ.6.5)より、 $\sum T_i \cdot R_{Ti} = S_m$ とすると、

$$S_m = \sum W_i \cdot R_{wi} - \sum W_i (\cos \alpha_i - k \cdot \sin \alpha_i) \cdot R_i + \sum k \cdot W_i \cdot R_{ei} \quad (\text{Ⅲ.6.7})$$

式(Ⅲ.6.7)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Ⅲ.6.8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_{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 に読み替えばよい。

また、盛土の施工が一様に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Ⅲ.6.9)。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(Ⅲ.6.5)および式(Ⅲ.6.6)より、 $\sum T_i \cdot R_{ii} = T_m / F_s$ とすると、

$$\begin{aligned} T_m &= \sum [c'_i \cdot L_i + \{N_i - u_i \cdot L_i\} \tan \phi'_i] \cdot R_{ii} \\ &= \sum [c'_i \cdot L_i + \{W_i(\cos \alpha_i - k \cdot \sin \alpha_i) - u_i \cdot L_i\} \tan \phi'_i] \cdot R_{ii} \end{aligned} \quad (\text{Ⅲ.6.8})$$

$$T_m = \sum C_{ui} \cdot L_i \cdot R_{ii} \quad (\text{Ⅲ.6.9})$$

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_{ii} 、 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/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)

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_{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)

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(Ⅲ. 6. 7)、式(Ⅲ. 6. 8)および(Ⅲ. 6. 9)より、

$$F_s = T_m / S_m \quad (\text{Ⅲ. 6. 10})$$

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(Ⅲ. 6. 10)より、

$$F_s = (T_m + P \cdot R'_i) / S_m \geq 1.0$$
$$P \geq (S_m - T_m) / R'_i \quad (\text{Ⅲ. 6. 11})$$

この式において、 F_s 、 T_m 、 S_m 、 P 、 R'_i 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 $\text{kN} \cdot \text{m}$)

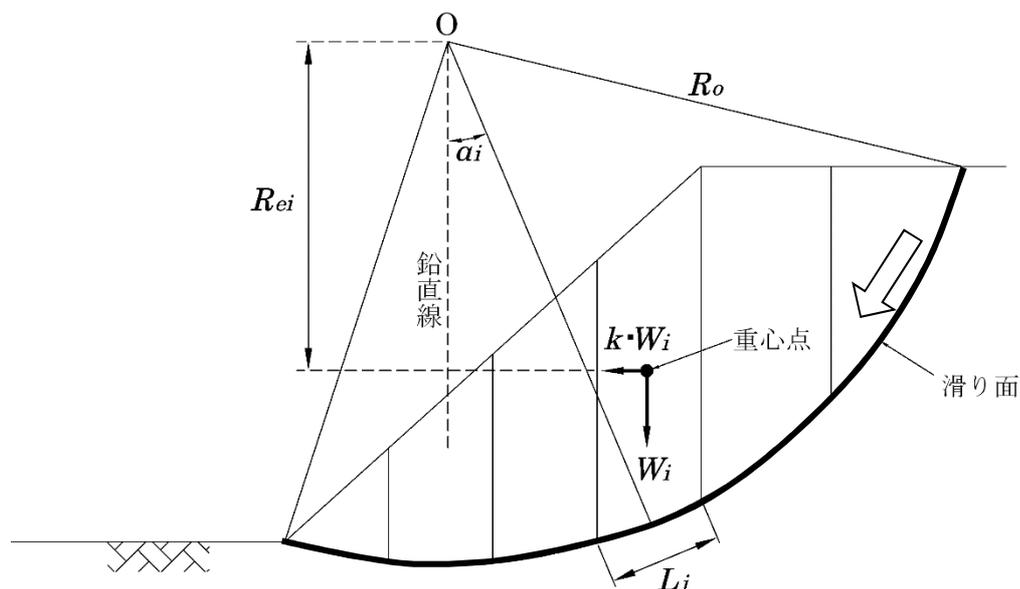
S_m : 地震力及び自重による盛土の滑り出す力のモーメント (単位 $\text{kN} \cdot \text{m}$)

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よる被災盛土への安定計算

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。被災盛土の滑り面における、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Ⅲ. 6. 2 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Ⅲ. 6. 2 より、モーメントの腕の長さは、

$$R_{ri} = 0, R_{ti} = R_0, R_{wi} = R_{ti} \cdot \sin \alpha_i = R_0 \cdot \sin \alpha_i \quad (\text{Ⅲ. 6. 12})$$

式(Ⅲ. 6. 12)を式(Ⅲ. 6. 7)に代入すると、

$$S_m = \sum W_i \cdot R_0 \cdot \sin \alpha_i + \sum k \cdot W_i \cdot R_{ei} \quad (\text{Ⅲ. 6. 13})$$

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Ⅲ. 6. 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_{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 に読み替えばよい。

また、盛土の施工が一様に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Ⅲ. 6. 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(Ⅲ. 6. 12)の $R_{ii} = R_0$ より、式(Ⅲ. 6. 8)および(Ⅲ. 6. 9)は、

$$T_m = \Sigma [c'_i \cdot L_i + \{W_i(\cos\alpha_i - k \cdot \sin\alpha_i) - u_i \cdot L_i\} \tan \phi'_i] \cdot R_0 \quad (\text{Ⅲ. 6. 14})$$

$$T_m = \Sigma (C_{ui} \cdot L_i) \cdot R_0 \quad (\text{Ⅲ. 6. 15})$$

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(Ⅲ.6.13)、式(Ⅲ.6.14)および(Ⅲ.6.15)より、

$$F_s = T_m / S_m \quad (\text{Ⅲ. 6. 16})$$

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 : 最大摩擦抵抗力その他の抵抗力のモーメント (単位 kN・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 kN・m)

(4) 必要抑止力

滑り面に対する最大摩擦抵抗力及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(Ⅲ.6.16)より、

$$F_s = (T_m + P \cdot R'_t) / S_m \geq 1.0$$
$$P \geq (S_m - T_m) / R'_t \quad (\text{Ⅲ. 6. 17})$$

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 : 最大摩擦抵抗力その他の抵抗力のモーメント (単位 kN・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 kN・m)

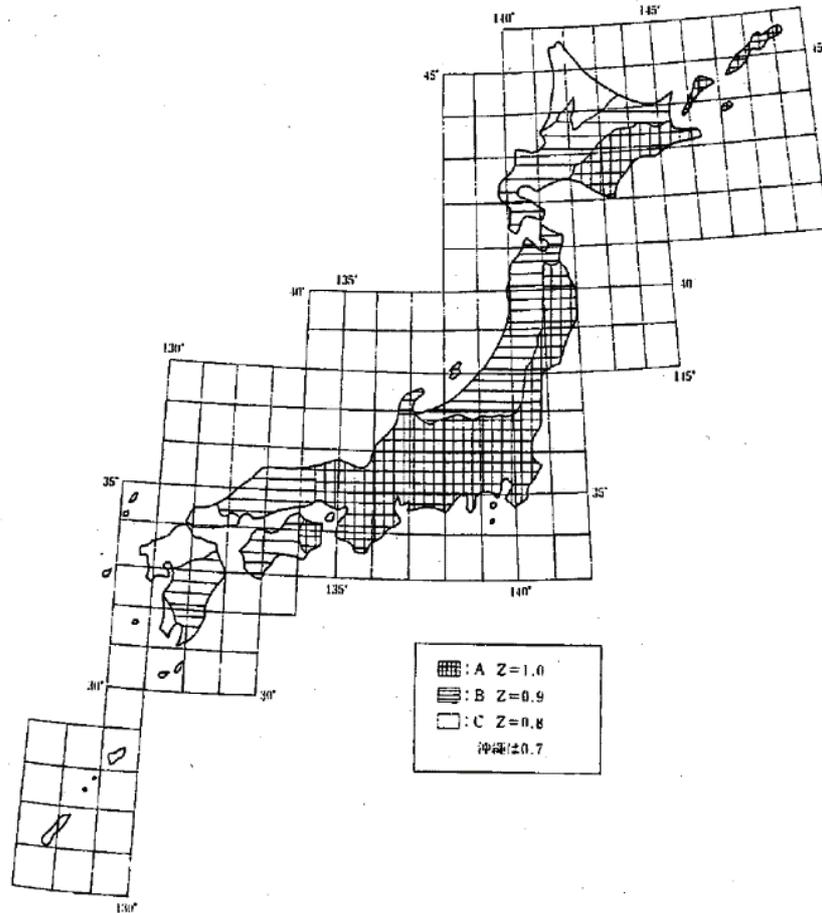
P : 対策施設の抵抗力(抑止力) (単位 kN・m)

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)

参考 3.5 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 3.5-①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 3.5-① 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 3.6 東北地方太平洋沖地震における仙台市の安定計算事例

(1) 安定計算の事例

東北地方太平洋沖地震における仙台市の「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」において実施された、被災盛土N地区の安定計算事例を以下に示す。

① 被災の概要

- ・ N地区は、宅地地盤面（宅地内の道路面）勾配が8度前後と急な、ひな壇上の造成宅地であり、増積み擁壁など構造上不安定な擁壁もみられた。
- ・ 変状域の頭部には馬蹄形の沈下を伴う亀裂がある他、端部では家屋が地盤の隆起により倒壊していた。
- ・ 変状範囲の中央部の市道では道路が一体となり、斜面下方側に1.0～1.5m水平移動しており、宅地では30cm程度の沈下が発生した。



(a) 頭部のクラック



(b) 宅地の沈下

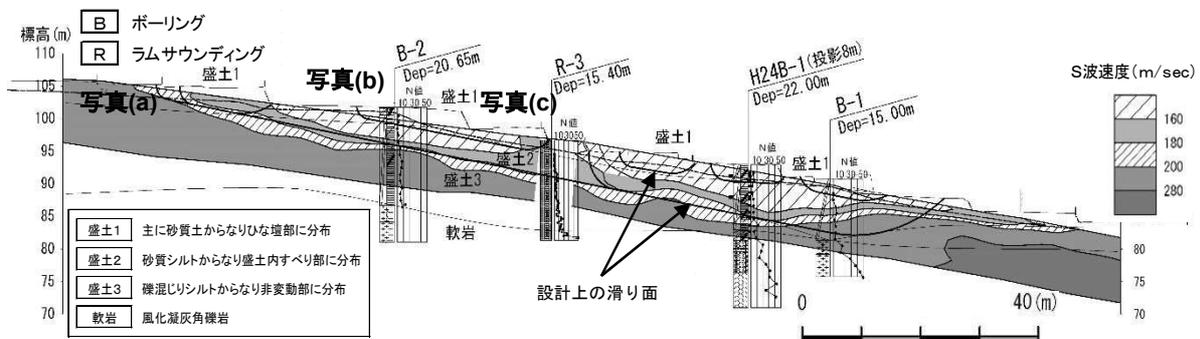


(c) 道路面の水平変位

図参 3.6-① 被災宅地の写真（撮影位置は図参 3.6-②参照）

② S波速度と宅地被害の関係

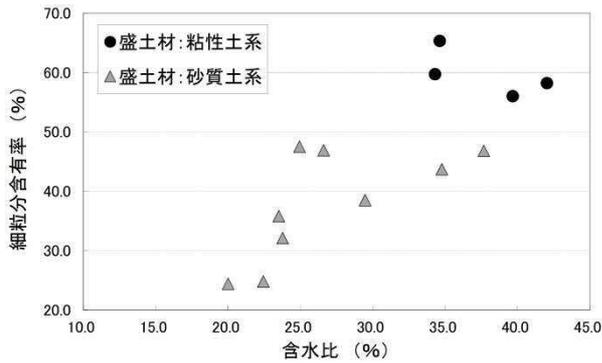
- ・ 調査ボーリングおよびサウンディング試験の結果、特に盛土の表層部の締り具合が緩い（N値1～5前後）ことが明らかになった。
- ・ 表面波探査の結果、S波速度（せん断波速度） $V_s = 160 \sim 200 \text{ m/s}$ の境界ラインで囲まれた盛土1および盛土2における低速度部の範囲は、滑動ブロックおよびその周辺に確認された被災宅地分布と概ね一致した。
- ・ これらの結果から、S波速度 $V_s = 160 \sim 200 \text{ m/s}$ で囲まれた低速度部の範囲は、「滑動ブロック」およびその影響と地震動により宅地被害を受けた範囲と考えて「盛土の緩み範囲」とした。



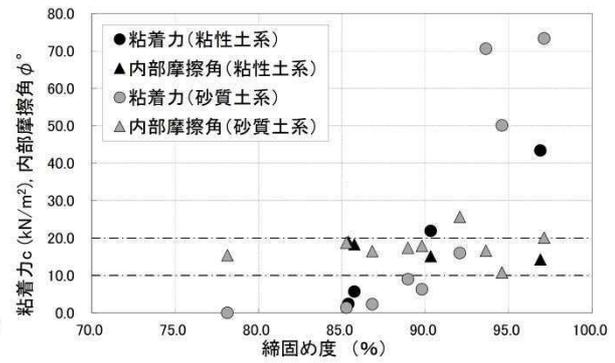
図参 3.6-② 被災盛土N地区におけるS波速度分布および地質断面図^{※1}

③ 盛土の強度定数

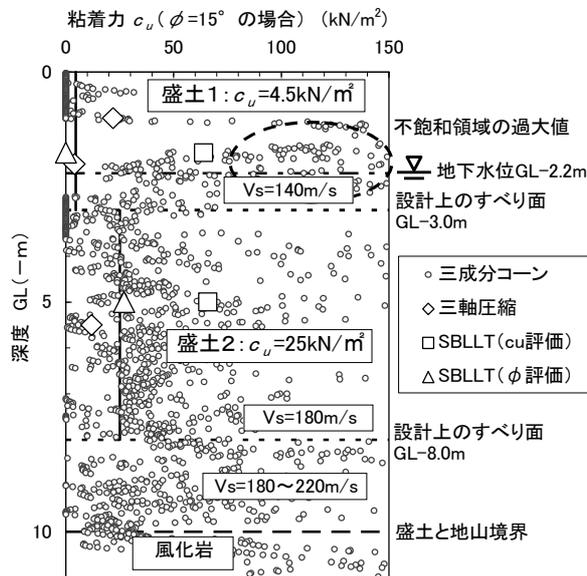
- ・ 盛土の強度定数を求めるため、三軸圧縮試験、三成分コーン試験、セルフボーリング LLT (SBLLT) 試験を行った。
- ・ 内部摩擦角 ϕ は、他の被災地区と同様に土質や締固め度の違い等によらず概ね $\phi = 10 \sim 20^\circ$ 範囲であったため、 $\phi = 15^\circ$ とした (図参 3.6-④参照)。
- ・ 粘着力 c_u は、三成分コーン試験結果等と合わせて $\phi = 15^\circ$ とした c_u の深度分布を整理し、過大値を除いた集中範囲より代表値を設定した (図参 3.6-⑤参照)。
この結果、表層部の盛土 1 は $c_u = 4.5\text{kN/m}^2$ 、その下位の盛土 2 は $c_u = 25\text{kN/m}^2$ とした。



図参 3.6-③ 盛土の細粒分含有率と含水比の関係 (例) ※2



図参 3.6-④ 盛土の締固め度、粘着力、内部摩擦角の関係 (例) ※2



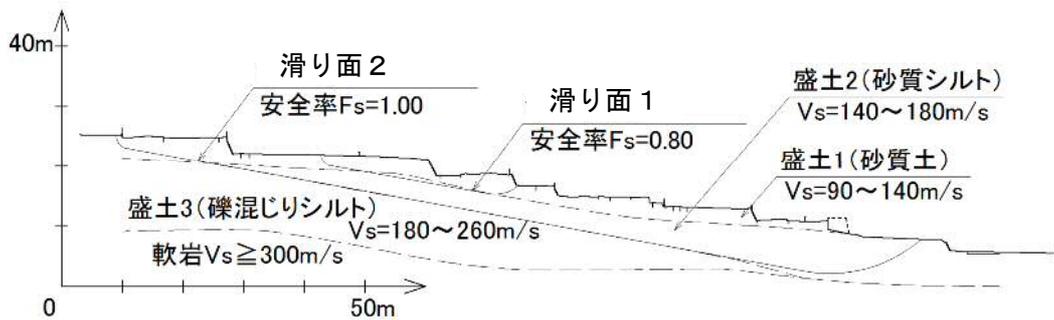
図参 3.6-⑤ 粘着力 c_u の試験結果 (例) (N地区の例) ※1

④ 設計上の滑り面

- ・ 安定計算で用いる滑り面は、滑り面が特定できない「地すべりの変形」の被害形態であったため、表面波探査の S 速度分布、調査ボーリングに基づく地層区分や物性値、宅地の被災状況等から総合的に判断して、「設計上の滑り面」を設定した (図参 3.6-②参照)。

⑤ 安定計算結果

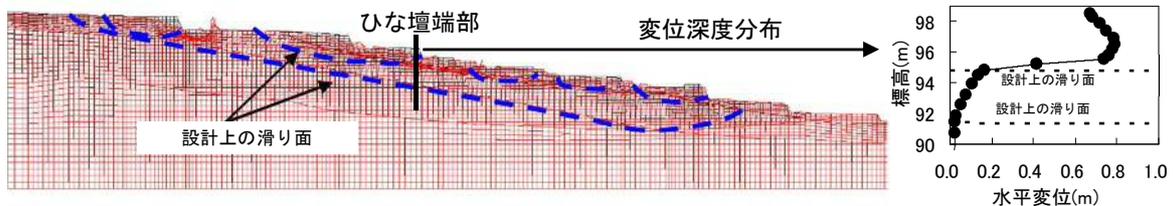
- ・盛土1のひな壇2段を通る滑り面1、盛土2と盛土3の境界面付近を通る滑り面2に対して、水平震度0.25を作用させた安定計算を実施した。
- ・安定計算の結果、水平変位が1m以上発生した盛土1の滑り面の安全率は $F_s = 0.8$ 、水平変位が20cm程度の盛土2の安全率は $F_s = 1.0$ となった（図参3.6-⑥参照）。
- ・仙台市内の他の被災地区（先行検討地区）の安定計算結果においても、N地区と同様の傾向を示し、変位の小さい（変位量10~30cm主体）滑り面の安全率は $F_s = 0.9 \sim 1.0$ 、変位の大きい（変位量50~100cm以上が主体）滑り面の安全率は $F_s = 0.8$ 前後となった。



図参3.6-⑥ 安定計算結果断面図（例）（N地区の例）※1

⑥ 二次元有効応力動的解析による盛土の強度定数と設計上の滑り面の検証結果

- ・安定計算を実施した断面において、二次元有効応力動的解析により地震時の残留変位量の再現解析を行い、実測の水平変位量の分布と比較し、盛土の強度定数および設計上の滑り面の妥当性について検証した。
- ・解析に用いる地震波形は、検討地区の近傍にある観測点の地表面波形を一次元地震応答解析により、工学的基盤まで引き戻した波形を用いた。
- ・再現解析の結果、設定した滑り面付近より顕著な変位発生を示し、滑り面1および滑り面2における変位量は16.6~78.9cmとなり、N地区における盛土表面の実測水平変位分布0.2~1.5mを概ね再現できる結果となった（図参3.6-⑦参照）。
- ・以上の結果から、強度定数と設計上の滑り面の妥当性が確認された。



図参3.6-⑦ 二次元有効応力動的解析の解析結果（例）（N地区の例）※1

※1 門田浩一，佐藤真吾，三嶋昭二，比留間誠之：東北地方太平洋沖地震における仙台市の被災造成宅地の復旧及び耐震対策，地盤工学会誌 Vol. 61 NO. 4 Ser.No. 663, pp. 26-29, 2013. 4.

※2 本橋あずさ，門田浩一，吉田桂治：東日本大震災において被災した盛土造成地の締固め度と安定度の関係性について，土木学会第69回年次学術講演会，pp. 503-504, 2014. 9.

(2) 逆計算で地盤定数を推定する手法の考え方の例*

東北地方太平洋沖地震における仙台市の「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」では、事業対象が160地区と大変多かった。このため、前述のN地区を含む先行検討地区（7地区）において、詳細な各種試験および安定計算を行い、残りの地区では、地盤調査は調査ボーリングによる地層構成と地下水位の把握程度とし、地盤定数は先行検討地区で求めた地震時安全率を仮定して逆計算で推定する手法が用いられている。仙台市で用いられた手法の考え方を以下に示す。

① 計算式

- ・計算式は二次元分割法を原則とし、簡便法（スウェーデン式）で行う事を基本とした。

② 初期安全率の設定

- ・初期安全率（ F_s ）は、先行検討地区の安定計算結果の安全率と実測変位量との関係から、次の値とした。

◆ 変位が小さいもの : 地震時 $F_s=0.95$

◆ 変位が大きいもの : 地震時 $F_s=0.80$

※初期安全率設定における“変位が小さいもの”とは変位量10～30cm程度のもの（図参3.6-⑧参照）を、“変位が大きいもの”とは変位量50～100cm以上のもの（図参3.6-⑨参照）を目安とした。



図参 3.6-⑧ 変位量が小さいものの例



図参 3.6-⑨ 変位量が大きいものの例

③ 盛土の強度定数（ c 、 ϕ ）の設定

- ・盛土の強度定数は、上記②の初期安全率に基づく逆計算で設定した。
- ・先行検討地区の各種試験結果より、内部摩擦角を $\phi=15^\circ$ と仮定し、粘着力 c を逆計算により求めた。ただし、 $c=0$ としても安全率が初期安全率より大きくなる場合は、 $\phi=15^\circ$ を減ずることとした。

④ その他条件の設定

a) 土の単位体積重量（ γ_t ）

- ・先行検討地区の試験結果から、粘性土 $\gamma_t=17\text{kN/m}^3$ 、砂質土 $\gamma_t=18\text{kN/m}^3$ を標準とした。

b) 地下水位

- 安定計算に用いる地下水位は、下記の資料から総合的に判断される最高水位とした。
 - 地下水位観測資料
 - 湧水等の地下水状況
 - ボーリング掘削中の水位
 - 地質状況、コアの色調等

c) 計画安全率

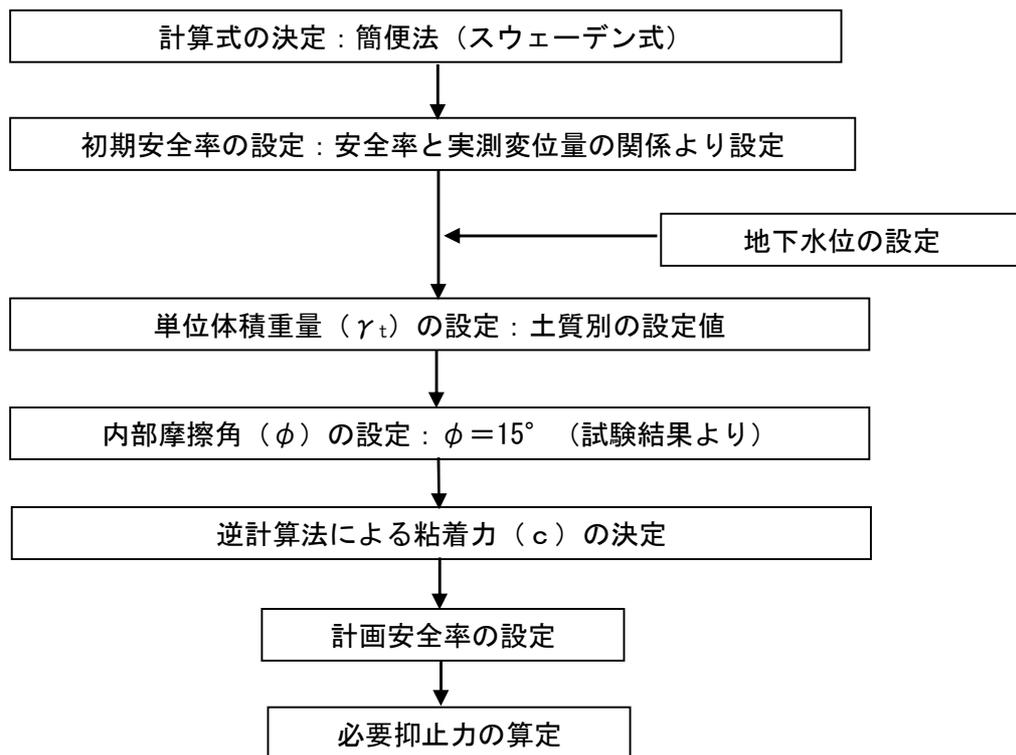
- 計画安全率($P.F_s$)は、常時 $P.F_{s1} \geq 1.50$, 地震時 $P.F_{s2} \geq 1.00$ とした。

d) 設計水平震度

- 地震時の安定解析に用いる設計水平震度は、 $k_h=0.25$ に建築基準法施行令第八十八条第一項に規定する Z を乗じて得た数値とした。

⑤ 必要抑止力の算定

- 上記①～④の条件をもとに、計画安全率を満足する必要抑止力を算定した。



図参 3.6-⑩ 逆計算フロー（例）（仙台市の例）

※ 仙台市宅地保全審議会技術専門委員会資料：http://www.city.sendai.jp/fuzoku/1208132_2699.html, 2012.

IV. 施行地区の設定

詳細調査の結果、当該盛土が大規模盛土造成地に該当し、滑動崩落の再度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い、施行地区を設定する。

【解説】

詳細調査の結果、当該盛土が大規模盛土造成地に該当し、かつ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場合（政令第十九条第一項第一号または法第十六条第二項）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い、施行地区を設定する。

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いう。

- 1) 盛土の面積が3,000平方メートル以上（谷埋め型大規模盛土造成地）
- 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（腹付け型大規模盛土造成地）

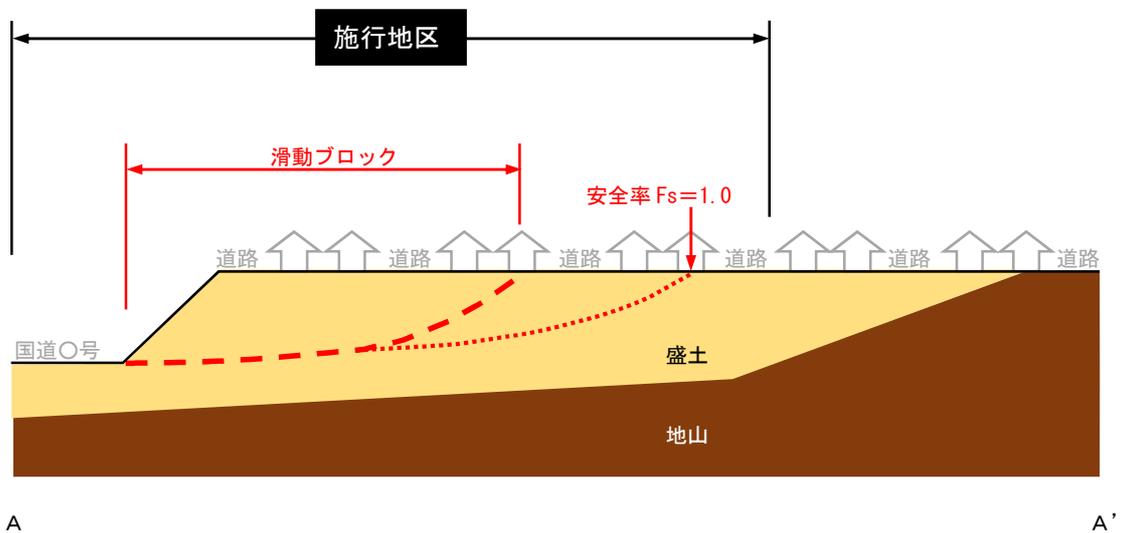
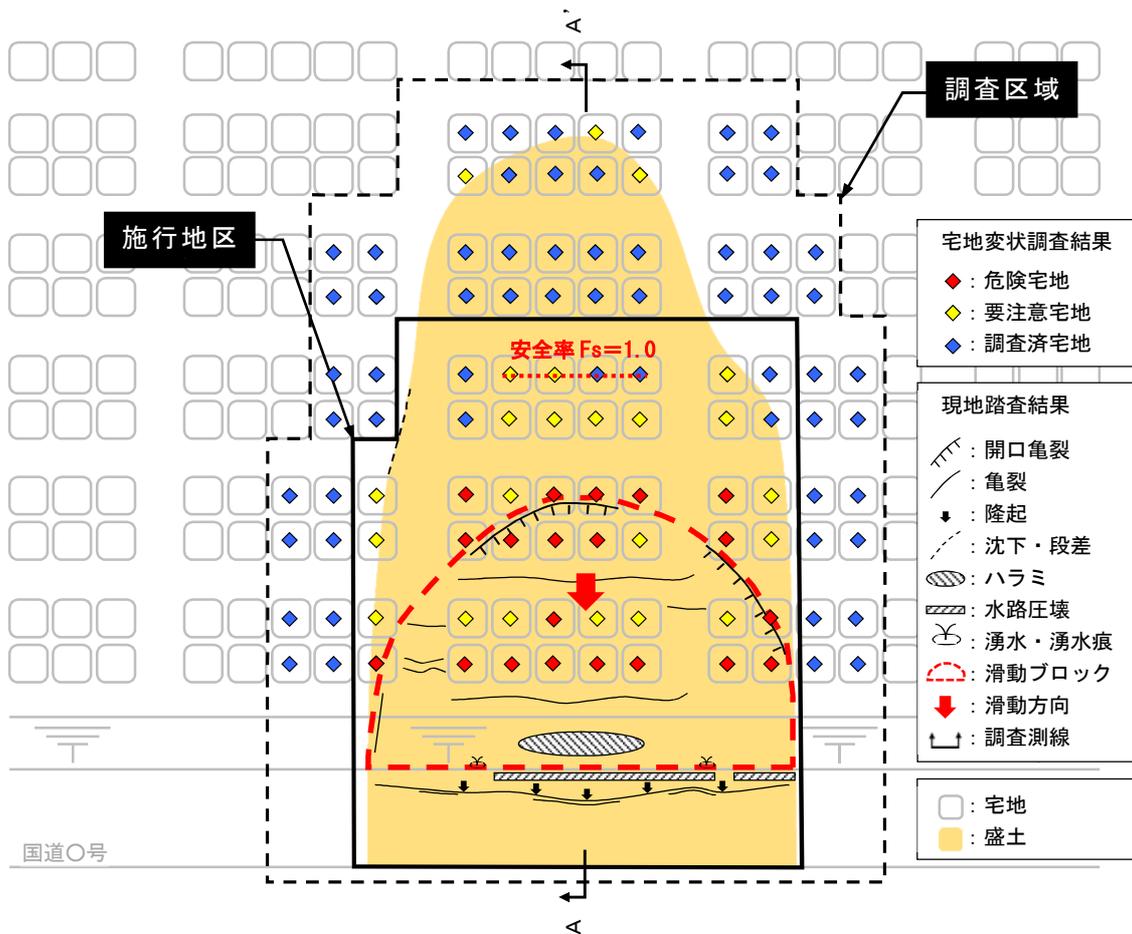
地震力及びその盛土の自重による当該盛土の滑り出す力がその滑り面に対する最大摩擦抵抗力その他の抵抗力を上回る場合とは、「Ⅲ.6 安定計算」の結果、滑動ブロックの安全率が1.0を下回る場合に該当するとみなす。

宅地耐震化推進事業等を実施する場合には、上記の他に盛土上の家屋数や保全対象施設等の要件があることから、交付要綱等で要件を確認し、当該盛土造成地が要件に該当するかを確認する。

防災区域の指定は法第二十条第一項に基づくものであり、施行地区全体を指定することとする。また、宅地造成工事規制区域内における勧告は法第十六条第二項の規定に基づくものであり、公共用地を除く、施行地区内の全ての宅地（私道やのり面含む）所有者、管理者または占有者に対し行うこととする。

施行地区は、宅地の区画を考慮し、滑動ブロックを包括する範囲を基本とし、安定計算による安全率が1.0を下回る範囲、危険宅地および要注意宅地の分布、宅地周辺の変状、対策施設の配置などを総合的に勘案し設定する。滑動ブロックに隣接する施設（道路や公園など）は、滑動崩落対策施設を設置する必要があるため、施行地区に含めておくことが望ましい。施行地区の設定イメージを図IV.1に示す。

なお、大規模盛土造成地の要件に該当しない宅地も、地盤の滑動や擁壁の沈下等の事象が生じている一団の造成宅地（政令第十九条第一項第二号または法第十六条第二項）については防災区域の指定等の対象となることから、必要に応じて検討すること。



- ・ 盛土の面積 : 12,800m² (≥3,000m²であり、大規模盛土造成地に該当)
- ・ 滑動ブロック安全率 : $F_s=0.98$ ($F_s < 1.00$)
- ・ 保全対象施設 : 国道〇号

図IV.1 施行地区の設定イメージ

V. 復旧対策の基本的な考え方

宅地の復旧対策は、宅地耐震対策同様、「面的に行う滑動崩落対策」と「個々の宅地で行う耐震対策」に大別され、周辺の公共施設を含めた地域コミュニティを保全し、かつ個々の宅地災害も防止・軽減するためには、両方の対策を実施する必要がある。

面的に行う滑動崩落対策は、地方公共団体が主導し、滑動ブロックの安定を図る滑動崩落対策のみならず、関連する擁壁復旧対策も併せて実施する。

個々の宅地で行う耐震対策は、宅地所有者自身で実施する対策であるが、地方公共団体はその必要性や方法について、指導・助言を行うことが望ましい。

【解説】

① 宅地の復旧対策

宅地の復旧対策は、宅地耐震対策同様、表V.1に示すように「面的に行う滑動崩落対策」と「個々の宅地で行う耐震対策」に大別される。

表V.1 「面的に行う滑動崩落対策」と「個々の宅地で行う耐震対策」

	面的に行う滑動崩落対策	個々の宅地で行う耐震対策
工事の内容	地方公共団体等が宅地所有者の同意を得て、あるいは宅地所有者が共同して盛土全体の滑動崩落を防止するために実施する工事	宅地所が個々の宅地や家屋の被害を防止・軽減するために実施する工事
目的	盛土全体の崩壊・変形の防止 (原則、盛土全体の崩壊・変形に起因する盛土表層の変形・切盛り境界の不同沈下・擁壁変形も含めて防止)	主に、家屋の不同沈下の防止・軽減 (仕様や対策場所によっては、盛土全体の崩壊・変形による被害の軽減)
事業者(実施者)	地方公共団体、宅地所有者等	宅地所有者
対策用地	公共用地、個々の宅地	個々の宅地
留意点	<ul style="list-style-type: none"> 公共用地のほか、必要に応じて個々の宅地も利用して、効果的な対策位置と仕様を検討する必要がある。 盛土全体を一体的に対策するため合理的であるが、住民等の同意を得ることが必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 個々の宅地対策だけでは、地震時の被害を完全に防止できない可能性が高い。

「面的に行う滑動崩落対策」は盛土全体の崩壊・変形を防止する対策、「個々の宅地で行う耐震対策」は主に家屋の不同沈下を防止・軽減する対策であり、周辺の公共施設を含めた地域コミュニティを保全し、かつ個々の宅地災害も防止・軽減するためには、両方の対策を実施する必要がある。

② 面的に行う滑動崩落対策

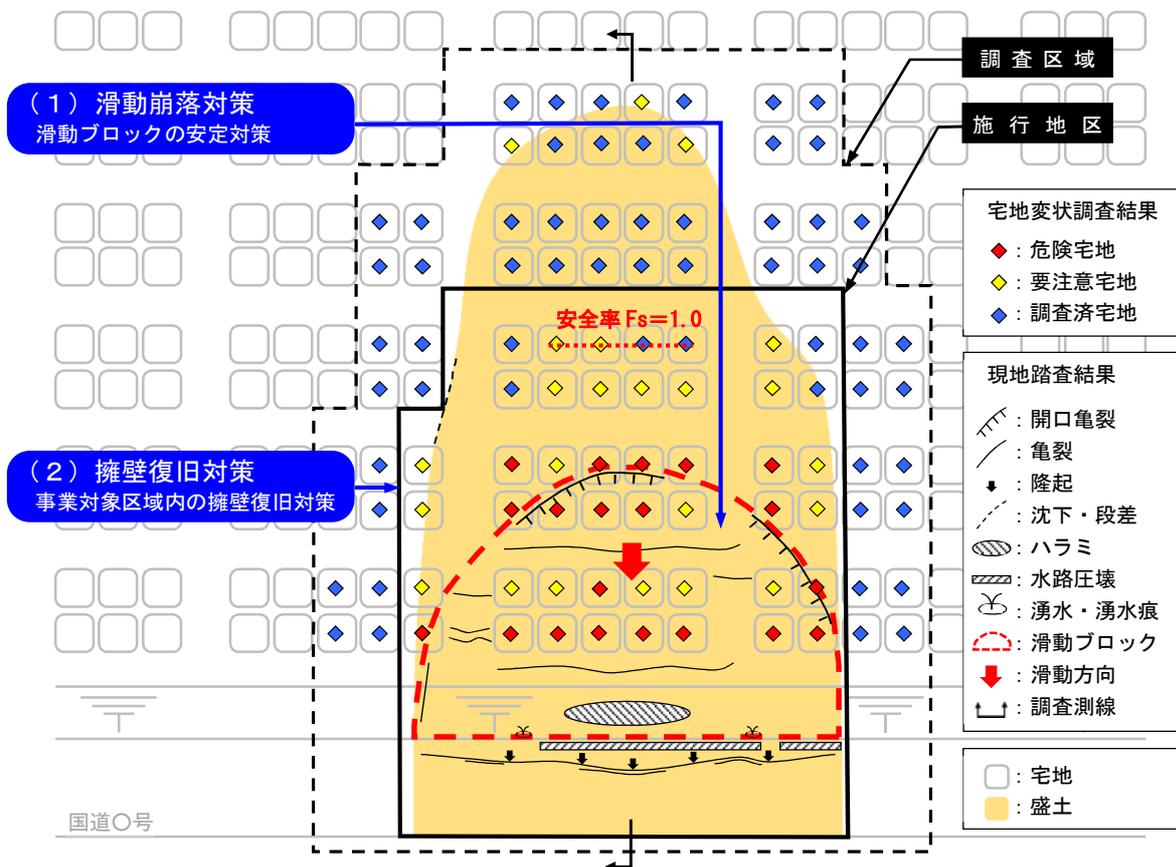
面的に行う滑動崩落対策は、地方公共団体、宅地所有者等が協力して計画・実施する対策である。対策にあたっては、滑動ブロックの安定を図る滑動崩落対策と併せて関連する擁壁復旧対策も実施する。各対策の概要は以下のとおりであり、面的に行う滑動崩落対策のイメージを図V.1に示す。

(1) 滑動崩落対策

地震で滑動崩落が生じた滑動ブロックの安定を図り、滑動崩落の再発を防止する。

(2) 擁壁復旧対策

施行地区内で被害程度が危険または要注意の擁壁は、滑動崩落の影響により変状が発生したと考えられる。補強などの擁壁復旧対策により、ひな壇部分の滑りを防止する。

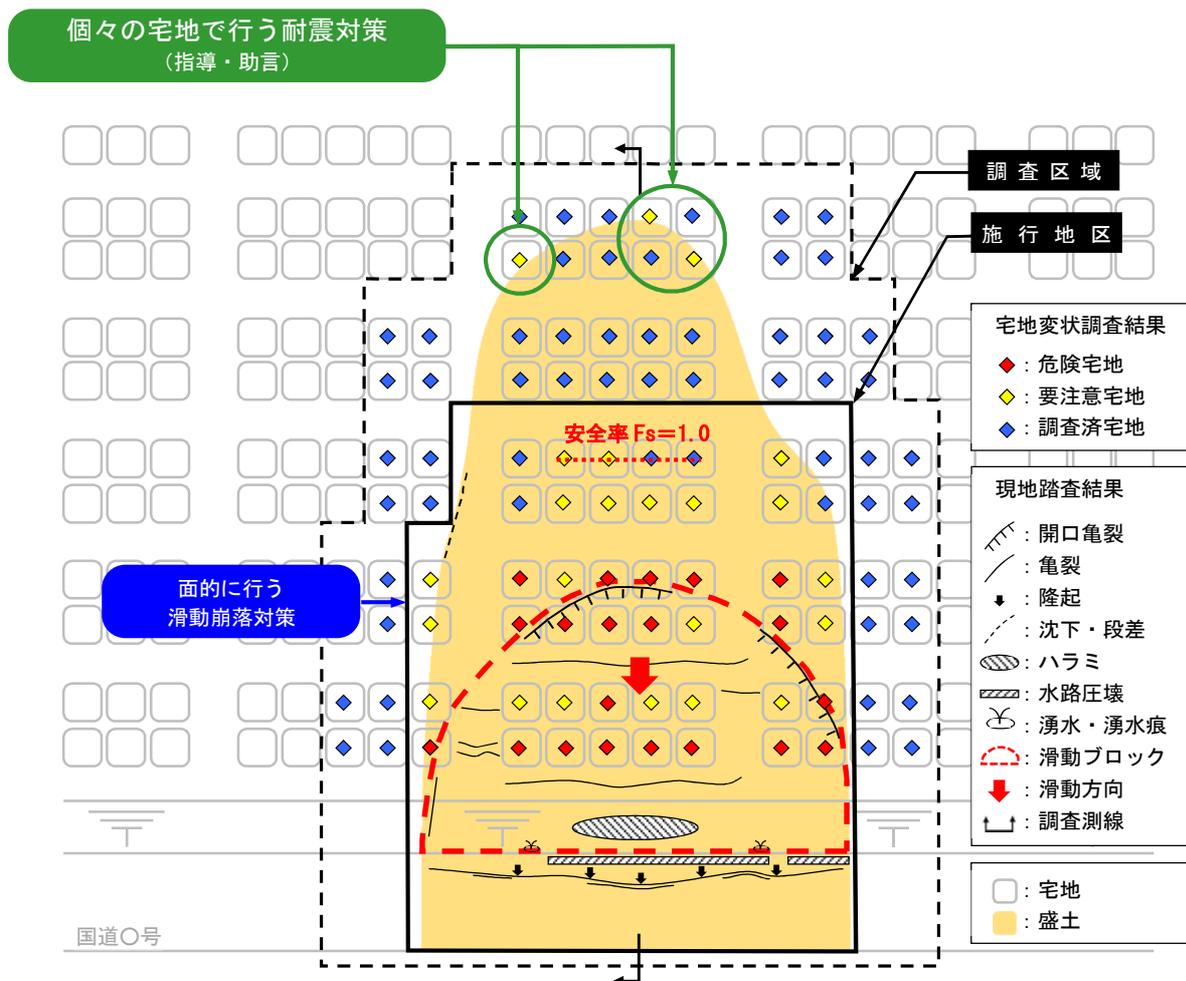


図V.1 面的に行う滑動崩落対策のイメージ

3 個々の宅地で行う耐震対策

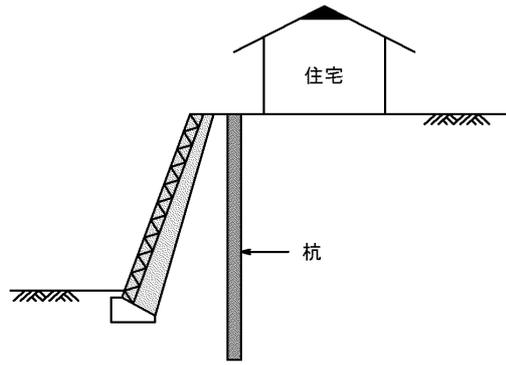
面的に行う滑動崩落対策では、緩い盛土や切盛り境界に位置する家屋の不同沈下までは防止・軽減できないため、併せて個々の宅地で行う耐震対策も必要である。

個々の宅地で行う耐震対策は、宅地所有者自身で実施する対策であるが、地方公共団体は、住民説明会などで、家屋の不同沈下などが生じた宅地所有者に対し、個々の宅地で行う耐震対策の必要性や方法について、指導・助言を行うことが望ましい。個々の宅地で行う耐震対策のイメージを図V.2に示す。

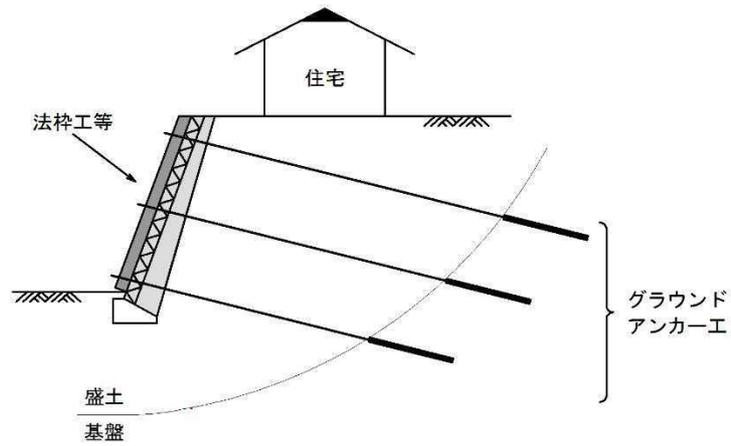


図V.2 個々の宅地で行う耐震対策のイメージ

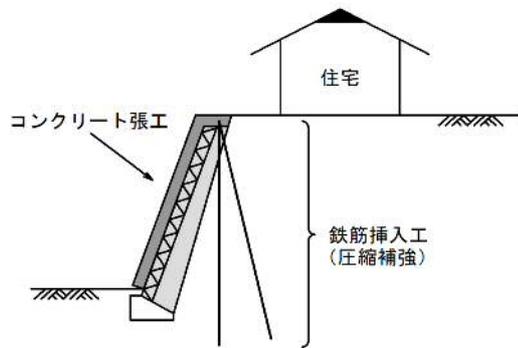
なお、個々の宅地で行う耐震対策には、図V.3に示すような工法があり、工法の概要や概算直接工事費などが「Ⅱ編 予防対策編 Ⅲ.3 個々の宅地で行う耐震対策」に示されているので、指導・助言を行う際、参考にするるとよい。



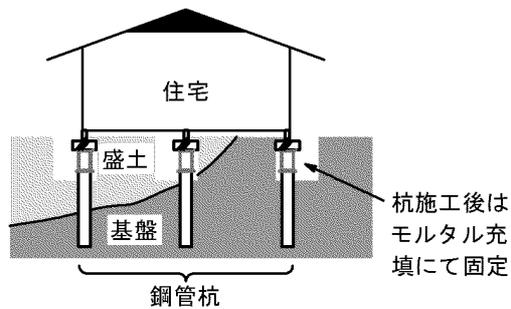
抑止杭工法



グラウンドアンカー工法[擁壁補強]



地山補強土工法[擁壁補強]



住宅基礎の立上げ工法(杭式)

図V.3 個々の宅地で行う耐震対策の工法例

VI. 対策工法の選定

滑動崩落対策と擁壁復旧対策の対策工法は、被害形態を踏まえ、諸条件を総合的に検討し選定する。

【解 説】

対策工法の選定にあたっては、初動調査ならびに詳細調査結果から、大規模盛土造成地の被害形態を分類する。

対策工法は、前述の被害形態を踏まえ、施工性や経済性などの諸条件を総合的に検討し、滑動ブロックの安定性を確保できるものを選定する。また、滑動崩落対策と擁壁復旧対策が重複する箇所は、両方の対策を兼用する工法についても検討し、合理化を図ることも大切である。

VI.1 被害形態の分類

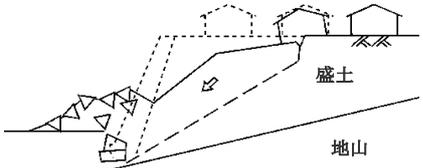
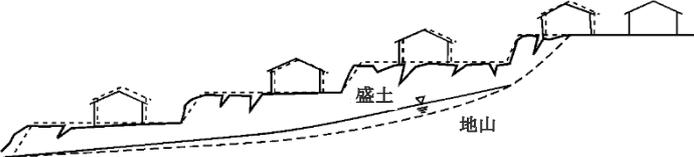
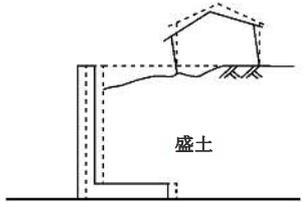
初動調査ならびに詳細調査結果から、大規模盛土造成地の被害形態を区分する。被害形態は崩壊と変形に分類され、さらに、崩壊はすべり崩壊と擁壁倒壊、変形はすべりによる変形と擁壁変形に分類される。

【解説】

地震による盛土の被害形態は、表VI.1.1に示すように、崩壊被害と変形被害に分類される。崩壊は、盛土のり面の不安定化によるすべり崩壊、盛土内の間隙水圧の上昇による流動的な崩壊や、擁壁の不安定化による擁壁倒壊・背面土の崩壊などが発生する被害形態である。一方、変形は、盛土の剛性低下等に起因する盛土内部の脆弱面や、盛土と地山の境界などを不連続面とする地すべり変形、擁壁と背面土の変形などが発生する被害形態である。

また、被害形態とその要因を、表VI.1.2と表VI.1.3に示す。

表VI.1.1 地震による盛土の被害形態

被害形態		模式図	備考
滑動崩落	崩壊	すべり崩壊 	盛土のり面の不安定化によるすべり崩壊、盛土内の間隙水圧上昇による流動的すべり崩壊など
		擁壁倒壊 	擁壁の不安定化による擁壁倒壊・背面土の崩壊など
	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変形
		擁壁変形 	擁壁と背面土の変形

※地山：自然地盤（このうち安定したものが基盤）

表VI.1.2 地震時に想定される被害形態とその要因（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	<p>地下水面 地下水からの浸透水 盛土 地山</p>	腹付け型	
		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	<p>地下水面 盛土 地山</p>	谷埋め型	
	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]	<p>盛土 崖錐 地山 基盤</p> <p>(すべり崩壊)</p>	谷埋め型 腹付け型
			[軟弱な沖積粘性土]	<p>盛土 沖積砂質土層 地山 基盤</p> <p>(すべり崩壊)</p>	谷埋め型 腹付け型
			[緩い飽和沖積砂質土]	<p>盛土 沖積砂質土層 地山 基盤</p> <p>(流動的すべり崩壊)</p>	谷埋め型 腹付け型
		盛土のり面の不安定化によるすべり崩壊	盛土のり面の表面付近が不安定	<p>盛土</p>	谷埋め型 腹付け型
擁壁倒壊	擁壁の不安定化による擁壁倒壊・背面土の崩壊	擁壁が不安定	<p>盛土 地山</p>	谷埋め型 腹付け型	

表VI. 1.3 滑動崩落の被害形態とその要因（変形）

滑動崩落（変形） の被害形態		被害要因	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〕 	谷埋め型
					〔谷筋横断〕 	
					〔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 谷の末端が閉塞している盛土		谷埋め型	
				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	

VI.2 滑動崩落対策工法の選定

滑動崩落対策にあたっては、被害形態、地盤条件および施工上の制約等の諸条件を勘案し、被災した個々の宅地および道路などの周辺施設に対して、効果的かつ実現可能な工法を選定する。ただし、宅地内に滑動崩落対策施設を設置する場合は、将来の土地利用への影響についても十分考慮する。

【解説】

Ⅰ 対策工法の種類

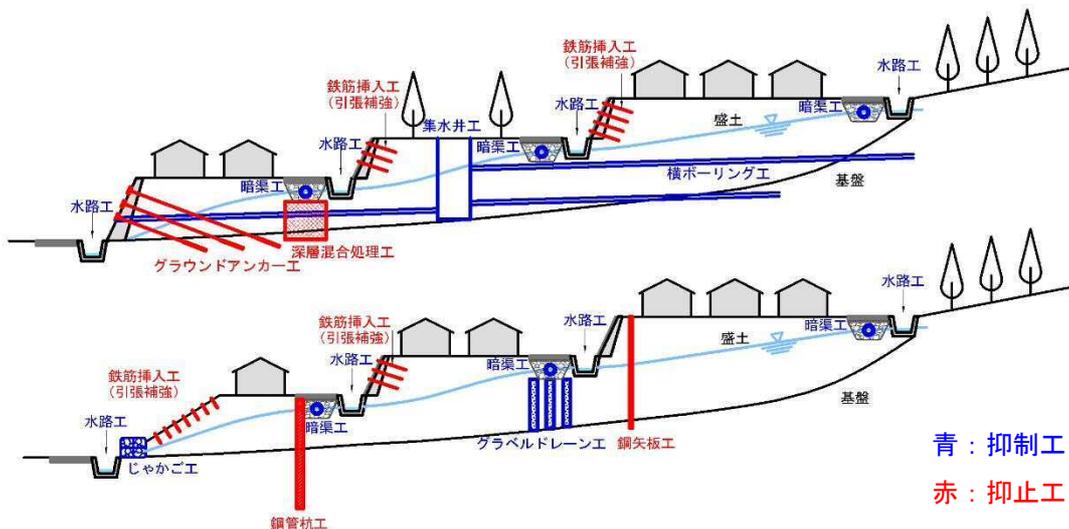
滑動崩落対策の対策工法は、抑制工と抑止工に分類できる。

抑制工は地下水の状態や地形などの自然条件を変化させること、抑止工は構造物を設け抵抗力を増すことにより、崩壊および変形を防止する工法である。対策工法の種類と例を表VI.2.1、対策工の配置イメージを図VI.2.1、対策工法の概要を表VI.2.2～VI.2.3に示す。

表VI.2.1 対策工法の種類と例

分類	対策工法の種類	対策工の例
抑制工	地表水排除工法	水路工
	地下水排除工法	暗渠工、横ボーリング工、集水井工、 その他の補助的工法（じゃかご工、ふとんかご工）
	間隙水圧消散工法	グラベルドレーン工
	押え盛土工法	盛土工
	排土工法※	排土工
抑止工	固結工法	深層混合処理工、中層混合処理工、グラウト工
	抑止杭工法	鋼管杭工、H鋼杭工、鉄筋コンクリート杭工
	グラウンドアンカー工法 〔地盤補強〕 〔擁壁補強〕	グラウンドアンカー工
	地山補強土工法 〔地盤補強〕 〔擁壁補強〕	鉄筋挿入工（引張補強・圧縮補強）
	矢板工法	鋼矢板工

※ 排土工法を適用できるケースは、滑動ブロック頭部付近に空き地がある場合等に限定される。



図VI.2.1 対策工の配置イメージ

表VI.2.2 (1) 対策工法の概要 (抑制工)

分類	対策工法の種類	対策工法の概要			
		工法の概説	維持管理	対策箇所および施工スペース	概算直接工事単価 (参考)H26年度
抑制工	地表水排除工法	降雨の浸透などによる地下水位の上昇を防止することを目的とした対策工法である。例えば、水路工などがある。	土砂や枝葉等が堆積する場合があるため、定期的に排土、清掃が必要である。	<p>●対策箇所</p> 大規模盛土造成地と周辺地山等との境界部の主に公共用地(道路や公園・緑地等)と、造成地内の道路等に設置する。敷地境界に設置の際は、地権者等との協議が必要な場合がある(個々の宅地を利用した対策)。 <p>●施工スペース</p> 幅、深さ 0.5~1.0m程度の施工スペースが必要である。	19千円/m程度 (U型側溝)
	地下水排除工法	地盤内に浸透した水を速やかに外部に排除する対策工法である。例えば、暗渠工、横ボーリング工、集水井工、その他の補助的工法(じゃかご工、ふとんかご工)などがある。	目詰まり等で排水不良になるので、定期的に排水量等を確認する必要がある。	<p>●対策箇所</p> 大規模盛土造成地内の主に公共用地に設置する。暗渠工は道路部、横ボーリング工はのり面や擁壁壁面、集水井は公園・緑地等が想定される。横ボーリングや集水井の集排水ボーリング等は、排水効果を確保するには延長が長くなり、公共用地内だけで対応できない場合があるため、地権者との協議が必要な場合がある(個々の宅地を利用した対策)。 <p>●施工スペース</p> 暗渠工は幅・深さ 1~2m程度、集水井は井戸(井戸径 3.5~4.0m)の周りに幅 2~3m程度、横ボーリング工はロータリーパーカッション(スキッド型)を用いた施工が想定され、設置位置の前面に 4~5m程度の施工スペースが必要である。	9千円/m程度 (暗渠工) 17千円/m程度 (横ボーリング工) 450千円/m程度 (集水井工, 集排水ボーリング工は別途)
	間隙水圧消散工法	礫や人工材料によるドレーンを地盤中に打設することによって、地震時に生じる砂質土層の過剰間隙水圧の上昇を抑制する対策工法である。例えばグラベルドレーン工などがある。	維持管理は必要ない(施工後にメンテナンスができないため、目詰まりが生じないドレーン材料を選定する必要がある)。	<p>●対策箇所</p> 大規模盛土造成地内の公園・緑地や空き地等の広い施工場所を利用して、対策を行う。 <p>●施工スペース</p> 大型機械(幅 5m×長さ 8m程度)が施工可能なスペースが必要である。	2千円/m程度 (グラベルドレーン工を想定)

※ 維持管理が必要な工法を選定する場合は、実施主体や費用負担のルールを事前に協議・調整する必要がある。

表VI.2.2 (2) 対策工法の概要 (抑制工)

分類	対策工法の種類	対策工法の概要			
		工法の概説	維持管理	対策箇所および施工スペース	概算直接工事単価 (参考)H26年度
抑制工	押え盛土工法	すべりの末端部に盛土し、すべり抵抗を増加させる対策工法である。のり尻にはじゃかご工やふとんかご工を設置し、盛土内の浸透水の排水を促進するとともに、のり面崩壊を防止する。	押え盛土やかごおよびその背面地盤の変状を、定期的に見視で確認する必要がある。また、押え盛土が除去されないよう管理する必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> ●対策箇所 すべりの末端部ののり面や擁壁等の前面に設置する。盛土設置のための用地が必要である。 公園・緑地や空き地等が想定される。 ●施工スペース 施工スペースは、盛土規模による。盛土規模は、大規模盛土造成地の安定性から設定する必要がある。施工は、バックホーおよびブルドーザにより行う。 	3.4千円/m ³ 程度 (購入土3.0千円/m ³ 程度想定、運搬別途)
	排土工法	すべり頭部の盛土土塊を排除し、すべりの滑動力を低減させる工法である。排土工法を計画する場合は、その上方斜面の潜在的なすべりを誘発することがないように、事前に十分な調査・検討を行う必要がある。	排土によって形成されたのり面やその上方斜面の変状を、定期的に見視で確認する必要がある。また、排土部に盛土等により荷重がかからないよう管理する必要がある。	<ul style="list-style-type: none"> ●対策箇所 すべり頭部の盛土土塊を排除する。排土のための用地が必要である。公園・緑地や空き地等が想定される。 ●施工スペース 施工スペースは、排土規模による。排土規模は、大規模盛土造成地の安定性から設定する必要がある。施工は、バックホーおよびブルドーザにより行う。 	1.0千円/m ³ 程度 (排土の運搬処分、排土によって形成されたのり面の保護工別途)

※ 維持管理が必要な工法を選定する場合は、実施主体や費用負担のルールを事前に協議・調整する必要がある。

表VI.2.3 (1) 対策工法の概要 (抑止工)

分類	対策工法の種類	対策工法の概要			
		工法の概説	維持管理	対策箇所および施工スペース	概算直接工事単価 (参考)H26年度
抑止工	固結工法	<p>軟弱な地盤にセメント・生石灰などの固化材を混合あるいは注入して地盤強度の増加を図る対策工法である。</p> <p>例えば深層混合処理工やグラウト工などがある。</p> <p>なお、固結工法は地下水の流動阻害を起こさない配置とし、施工にあたっては固化材の地下水への流出を防止する必要がある。また、構造物などに近接する場合はその影響を防止するため、低変位型の工法を選定する必要がある。</p>	<p>点検・清掃は必要ない。</p>	<p>●対策箇所 主に公共用地（道路や公園・緑地等）を利用して、広い範囲に対策を行う必要がある。宅地擁壁背面で対策を行う場合は、地権者との協議が必要となる（個々の宅地を利用した対策）。</p> <p>●施工スペース 施工方法により異なるが、幅5～10m以上の施工スペースが必要である。中層混合処理工や深層混合処理工では、バックホーベースの改良機械が想定される。 高圧噴射攪拌工は施工機械がボーリングマシンであるため、施工幅は5mが必要である。</p>	<p>4.6千円/m³程度 (中層混合処理工)</p> <p>3.0～7.0千円/m³程度 (深層混合処理工)</p> <p>22千円/m³程度 (高圧噴射攪拌工、二重管、改良径φ2.0mを想定)</p>
	抑止杭工法	<p>地表面から鉄筋コンクリート杭、H鋼杭、鋼管杭等を打設して基盤層（不動層）に固定し、杭の曲げ抵抗およびせん断抵抗によってすべり抵抗を増加させる対策工法である。</p> <p>なお、抑止杭工は地下水の流動阻害を起こさない配置とする必要がある。</p>	<p>杭周辺の地盤や構造物の変状を、定期的に目視で確認し、変状が認められる場合は、変位観測を行う必要がある。</p>	<p>●対策箇所 主に公共用地（道路や公園・緑地等）を利用して、杭を設置する。また宅地内に設置する場合には、地権者との協議、同意を得ることが必要となる（個々の宅地を利用した対策）。</p> <p>●施工スペース 大口徑ボーリングマシンによる施工となるため、施工幅は杭中心より前後2.5m程度が必要である。</p>	<p>500～750千円/m程度 (杭施工延長当り、鋼管杭、杭長12<L<24mを想定、仮設工別途)</p>

※ 維持管理が必要な工法を選定する場合は、実施主体や費用負担のルールを事前に協議・調整する必要がある。

表VI.2.3 (2) 対策工法の概要 (抑止工)

分類	対策工法の種類	対策工法の概要			
		工法の概説	維持管理	対策箇所および施工スペース	概算直接工事単価 (参考)H26年度
抑止工	グラウンドアンカー工法〔地盤補強〕〔擁壁補強〕	盛土のり面や既設の擁壁に高い引張り強度を有する鋼線あるいは新素材からなるワイヤー状の引張材を打設し、緊張力を付加する対策工法である。なお、擁壁補強に用いる場合は、アンカー設置による擁壁の破損を防止するため、アンカー周辺部の擁壁補強が必要となる場合がある。	アンカー周辺の地盤や構造物、アンカー頭部や受圧構造物を定期的に目視で確認し、健全性に問題がある可能性が高いと判断された場合は、リフトオフ試験などの詳細な調査を行う。	<p>●対策箇所</p> 主に道路脇の擁壁や造成地内のり面を利用して対策を行う。また、宅地擁壁を利用する場合には、アンカー長が7m以上と長い他、定着層を安定した地盤とすることが必要であるため、隣接する宅地内にアンカー体が入り込む場合もあるので、地権者との協議、同意を得ることが必要となる（個々の宅地を利用した対策）。	69千円/m ² 程度 (アンカー設置面積当り、アンカー長15m、削孔径φ115mm、受圧板を想定、仮設工は別途)
	地山補強土工法〔地盤補強〕〔擁壁補強〕	盛土のり面や既設の擁壁等を鉄筋などで補強する対策工法であり、のり面の場合は直接補強材を打設、擁壁の場合は前面に吹付法枠等を設置して補強材を打設し、地震に対する安定性を確保する対策工法である。	補強材周辺の地盤や構造物および補強材頭部を、定期的に目視で確認する必要がある。	<p>●対策箇所</p> 主に道路脇の擁壁や造成地内のり面を利用して対策を行う。また、宅地擁壁を利用する場合には、地権者との協議、同意を得ることが必要となる（個々の宅地を利用した対策）。	35千円/m ² 程度 (鉄筋挿入工（引張補強）を想定、対策工設置面積当り、削孔長3m、削孔径φ65mm、受圧板を想定、仮設工は別途)
	矢板工法	地表面から鋼製の矢板を打設し、矢板の曲げ抵抗およびせん断抵抗によって地盤の変形を防止する対策工法である。なお、矢板工法は地下水の流動阻害を起こさない配置とする必要がある。	矢板周辺の地盤や構造物の変状を、定期的に目視で確認し、変状が認められる場合は、変位観測を行う必要がある。	<p>●対策箇所</p> 主に公共用地（道路や公園・緑地等）を利用して、矢板を設置する。また宅地内に設置する場合には、地権者との協議、同意を得ることが必要となる（個々の宅地を利用した対策）。	430千円/m程度 (矢板施工延長当り、矢板長8.5m、排水機能付、施工：油圧圧入を想定)

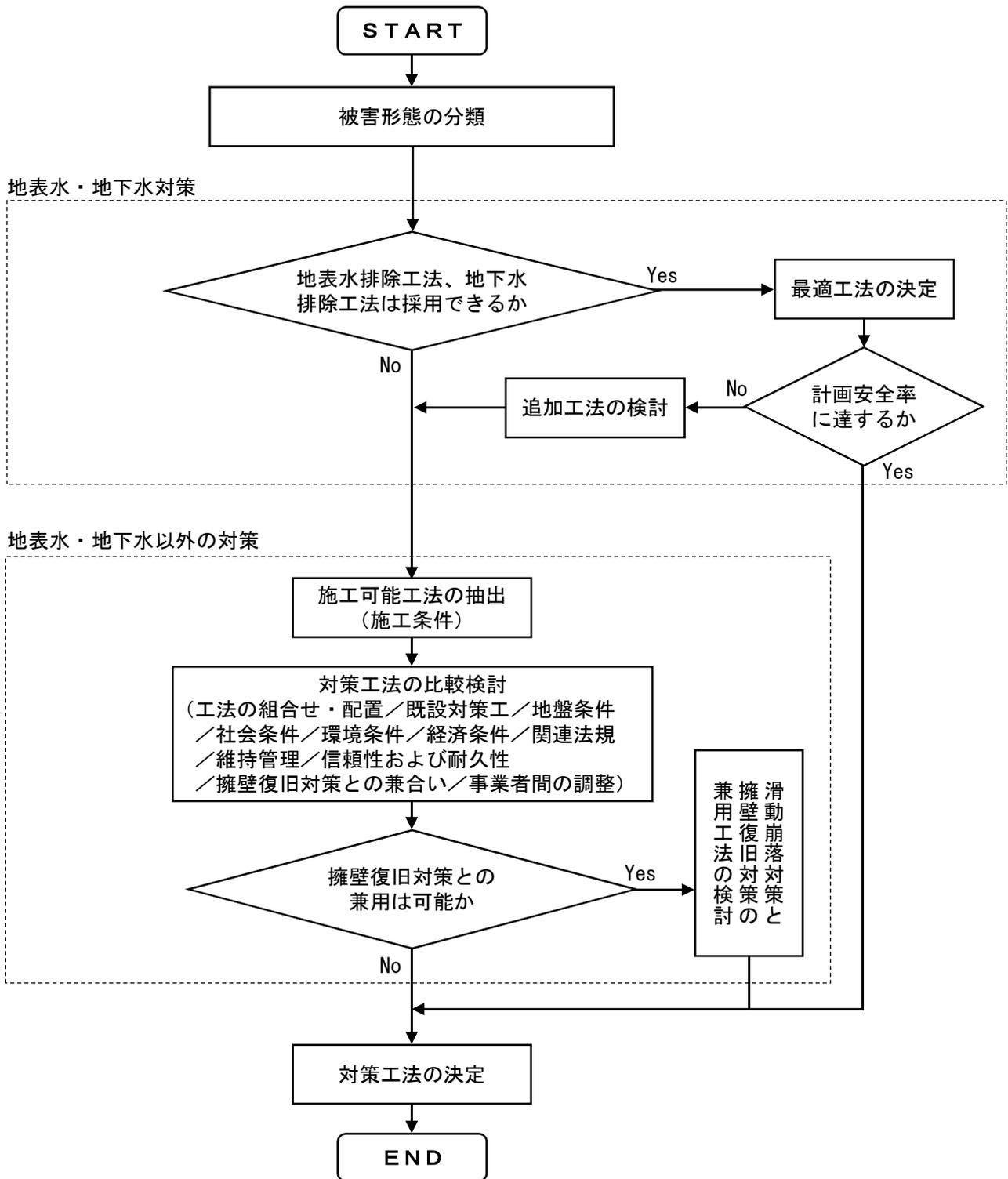
※ 維持管理が必要な工法を選定する場合は、実施主体や費用負担のルールを事前に協議・調整する必要がある。

2 対策工法の選定

対策工法は、以下の事項を総合的に検討し選定する。

- (1) 要求性能、(2) 被害形態、(3) 地表水・地下水対策とそれ以外の対策の組み合わせ、
- (4) 施工条件、(5) 既設対策工の評価、(6) 地盤条件、(7) 社会的条件、(8) 環境条件、
- (9) 経済条件、(10) 関連法規、(11) 維持管理、(12) 信頼性および耐久性、
- (13) 擁壁復旧対策との兼合い、(14) 事業者間の調整

滑動崩落対策工法の選定フローを図VI. 2. 2に示し、以下に概説する。



図VI. 2. 2 滑動崩落対策工法の選定フロー

(1) 要求性能

- ① 二次元分割法などの安定計算で求まる地震時の安全率が、1.0 以上となる対策工法を選定する。
- ② 被害形態が変形（すべりによる変形、擁壁変形）の場合、対策の必要性ならびに対策効果を検討する際に、有限要素法による地震時残留変形解析（「I 編 変動予測調査編 VI.2 安定計算 参考 6.11」参照）なども活用できる。
- ③ 対象が擁壁の場合は、地震時に想定される外力に対して、滑動、転倒、基礎地盤の沈下が生じず、擁壁躯体が破壊しない対策工法を選定する。

(2) 被害形態

複数の被害形態と被害要因が認められる場合、被害形態が盛土全体とひな壇部分の複合型変形の場合は、それぞれの対策を複合的に組み合わせる、または一体工法など合理的な工法を選定する。

(3) 地表水・地下水対策とそれ以外の対策の組み合わせ

- ① 地表水・地下水対策とそれ以外の対策を合理的に組み合わせ、複数工法の併用も念頭に置き、適切な工法を選定する。
- ② 地下水位は滑動ブロックの安定性に強く影響するため、地表水・地下水対策は特に重要であり、地下水位が高い場合は、原則、実施すること。計画にあたっては、暗渠工や横ボーリング工などを地区全体に面的に配置することが望ましい。道路などの周辺施設に部分的にしか配置できない場合、のり尻にじゃかご工やふとんかご工を単独で設置する場合であっても一定の効果は期待できるため、可能な限り実施すること。

(4) 施工条件（施工スペース・資機材の搬入、周辺地盤への影響、施工工期等）

- ① 住宅地での施工では、施工スペースおよび搬入路が非常に狭いことが多いため、計画地の状況を詳細に確認し、施工可能な対策工法を選定する。主な必要施工条件の例を表 VI. 2. 12 に示す。

表 VI. 2. 12 主な必要施工条件の例

対策工	主な必要施工条件
中層混合処理工	改良幅を含めて 7.0m 以上の施工幅が必要
鋼管杭工	杭中心から両側に 2.5m 以上の施工幅が必要
グラウンドアンカー工	設置面から 4.5m 以上の施工幅が必要
鉄筋挿入工（引張補強）	設置面から 2.0m 以上の施工幅が必要
鉄筋挿入工（圧縮補強）	前面に 1.0～2.0m、背面に 1.0～3.0m 程度の離隔が必要

- ② 住宅等の建物に近接した施工となる場合は、周辺地盤への影響に注意する必要がある。
- ③ 住民の諸事情等により、工期や施工時期が制限される場合がある。

(5) 既設対策工の評価

- ① 既設対策工が施工されている場合は、既設対策工の機能、性状、分布、状態等を踏まえ、現況で不足する抑止力を補うよう計画する。

- ② 抑止杭等が変形することで機能を発揮する対策工が施工されている場合は、追隨して発生する地表面の変形による周辺施設への影響を考慮し、変形に対する対策を補うよう計画する。
 - ③ 必要に応じて既設対策工の補修も行うこととする（例えば、横ボーリング工の洗浄等）。
- (6) 地盤条件（土層構成、土質、地下水の状況等）
- ① 対象地盤の土層構成、土質、地下水の状況等に応じた対策工を検討する。
 - ② 固結工と矢板工は、地下水の流動阻害を起こさない配置を検討する。
 - ③ 横ボーリング工、集水井工等の工法を選定する場合は、地盤沈下の周辺への影響に配慮するとともに、施工後の地下水位を確認することも重要である。
- (7) 社会的条件（対策用地の確保、土地利用の制限等）
- ① 住宅を撤去・移動して対策を行うことは現実的でないため、道路や公園などの公共用地で実施可能な対策工法を基本に検討する。ただし、公共用地の対策だけでは地表面変形による住宅への被害が防止できない場合などは、民地の借地や施設設置による利用制約などについて住民等の同意を得ながら、個々の宅地も利用した対策を検討する。
 - ② 対策用地は、対策後の土地利用（地上および地下）が一部制限される。例えば、グラウンドアンカー工や横ボーリング工を採用する場合、建物下部でのアンカー材、集水管の設置に伴う杭基礎等の施工制限、集水管の目詰まりを防止するための植樹制限等、土地利用が制限されることがある。
- (8) 環境条件（騒音・振動、地下水汚染、景観等）
- ① 住宅地での施工となるため、低騒音・低振動型の施工機械を選定する。
 - ② 施工時の地下水汚染を防止する。
 - ③ 対策工を地上に設置する場合は、景観に配慮する。
- (9) 経済条件（対策工事費・維持管理費等）
- 対策工事費だけでなく、維持管理費も含めたトータルコストを考慮する。
- (10) 関連法規
- 対策区域内に地すべり等防止法、急傾斜地法、砂防法に基づく規制区域等を含む場合は、関連する法規による規制を受けるので、それらに準拠する。
- (11) 維持管理
- ① 維持管理を必要とする対策工法を選定する場合は、可能な限り維持管理が容易な構造とするとともに、対策工全体として確認する事項や変状があった場合の対応等を取りまとめた維持管理計画を設計段階で検討する。
 - ② 個々の宅地を利用した対策を実施する場合は、維持管理の実施主体と費用負担者を明確にする。例えば、グラウンドアンカー工や横ボーリング工を採用する場合、アンカーの定期的な点検や集水管の洗浄などの維持管理の実施者や費用負担について事前に協議・調整し、

適切に対応する。

(12) 信頼性および耐久性

施工実績等から、対策工の信頼性および耐久性を確認する。例えば、鋼管杭を用いる場合、腐食による信頼性および耐久性の低下が懸念されるため、各種技術指針を参考に適切な腐食しろを設定する。

(13) 擁壁復旧対策との兼合い

滑動崩落対策と擁壁復旧対策が重複する箇所は、兼用工法について検討し、合理化を図る。

(14) 事業者間の調整

道路やライフラインの復旧等の複数の事業が同時並行で展開されるため、事業者間で十分な調整を行って、合理的な対策にすることが望ましい。

VI.3 擁壁復旧対策工法の選定

擁壁復旧対策にあたっては、諸条件を勘案し、将来の土地利用への影響が小さく、施工可能な工法を選定する。また、滑動崩落対策が必要な場合は、これとの兼ね合いや施工上の制約条件等を考慮して合理的な工法を選定する。

【解説】

擁壁復旧対策は、施行地区内の危険宅地および要注意宅地における被災程度が中程度以上の擁壁を対象とする。

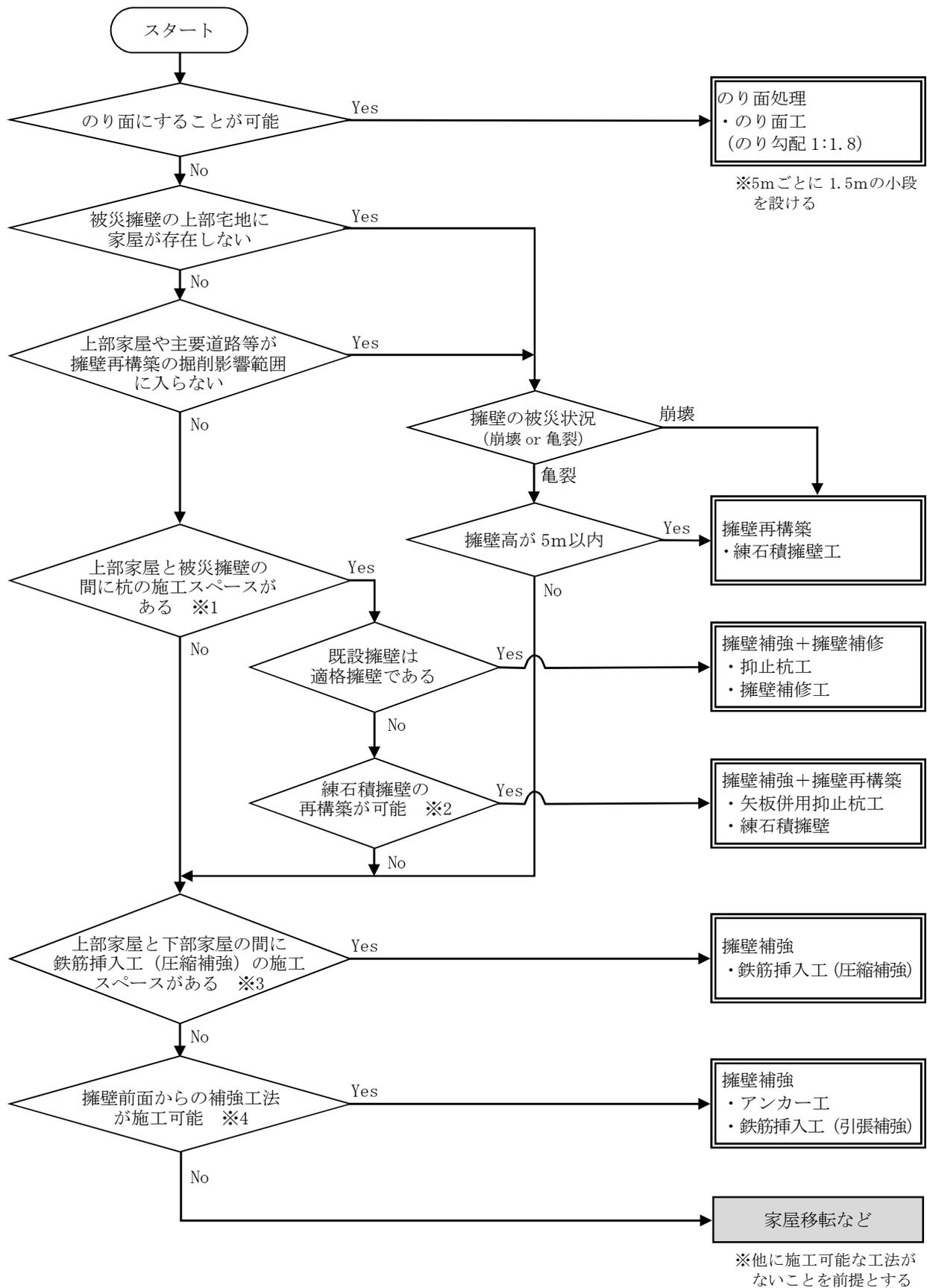
対策工法は、大きく擁壁再構築と擁壁補強に分けられる。これらの選定にあたっては、現場での施工条件が大きく影響し、再構築に必要な施工幅等が確保される場合は、建築基準法に規定する技術基準に基づく擁壁で再構築を行う。技術基準に基づく擁壁とは、設計計算に基づくコンクリート擁壁、同法で規定された練積み擁壁、大臣認定擁壁をいい、杭式擁壁やアンカー付擁壁等の特殊擁壁は含まない。

施工条件等より再構築が難しく、擁壁補強を選定する場合は、宅地内にある家屋と復旧擁壁との離隔等によって、選定される補強工法の工種が変わることになる。また、被災擁壁が現行の建築基準に適合するのかが不適合かによって、擁壁の補強と補修の併用なども選択される。

擁壁補強工を選定する場合は、出来る限り、将来の増改築や立替等への影響が小さく、施工後に宅地内への支障をきたさない工法より選定する必要がある。さらに、滑動崩落対策が必要な場合は、これとの兼ね合いや施工上の制約条件等を考慮して合理的な工法を選定する。

擁壁復旧対策工法の選定フロー（参考）を図VI.3.1に示し、以下に擁壁復旧工法の選定の考え方について述べる。

- ・宅地内の家屋と被災擁壁との離隔が十分にある場合は、コスト面で有利となる、「被災擁壁の掘削・撤去工+ブロック積み擁壁工の再構築」を選定する。
- ・掘削を行った際、宅地内の家屋や擁壁前面の道路などに影響すると判断される場合は、宅地内への支障が小さい「抑止杭工（一部矢板併用）+ブロック積み擁壁工の再構築」を選定する。また、被災擁壁が適合擁壁の場合は、「抑止杭工+擁壁補修工」を選定する。
- ・被災擁壁と宅地内の家屋との間に抑止杭工を施工する余裕がない宅地の場合は、擁壁の再構築ではなく、擁壁補強を選択し、その中で宅地内への支障が比較的小さい「鉄筋挿入工（圧縮補強）+コンクリート張工」を選定する。
- ・鉄筋挿入工（圧縮補強）を施工するスペースも確保できず、擁壁前面からの施工が可能な場合は、鉄筋挿入工（引張補強）やアンカー工などを選定することとした。ただし、これらの工法は、鉄筋挿入工（圧縮補強）より工費は小さいが、鉄筋やアンカー体が斜め方向に宅地内に設置され、将来の増改築や建替え時等への支障が大きいため、個々の宅地の所有者に対して、施工後の影響や支障等について説明し、承諾を得る必要がある。



※1 杭の施工スペースは、杭中心から両側に 2.5m以上。

※2 既設擁壁と下部家屋の離隔が 1m以上の場合、再構築可能と判断する。

※3 鉄筋挿入工(圧縮補強)の施工スペースは、表VI.3.1参照。

※4 既設擁壁と下部家屋の離隔が鉄筋挿入工(引張補強)は 2m以上、アンカー工は 4.5m以上の場合、施工可能と判断する。

図VI.3.1 擁壁復旧対策工法の選定フロー(参考)

表VI.3.1 現場条件による鉄筋挿入工（圧縮補強）の適用性（既設擁壁勾配1:0.3）（参考）

壁高 H= 1.0 m

		b						
		0.1m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
a	0.1m							
	0.5m							×
	1.0m					×	×	○
	1.5m				×	○	○	○
	2.0m			×	○	○	○	○

壁高 H= 3.0 m

		b							
		0.1m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m	
a	0.1m								
	0.5m						×	×	×
	1.0m					×	○	○	○
	1.5m				×	○	○	○	○
	2.0m		×	○	○	○	○	○	○

壁高 H= 1.5 m

		b						
		0.1m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
a	0.1m							
	0.5m						×	×
	1.0m					×	○	○
	1.5m				×	○	○	○
	2.0m			×	○	○	○	○

壁高 H= 3.5 m

		b							
		0.1m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m	
a	0.1m								
	0.5m					×	×	×	×
	1.0m				×	○	○	○	○
	1.5m			×	○	○	○	○	○
	2.0m		×	○	○	○	○	○	○

壁高 H= 2.0 m

		b						
		0.1m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
a	0.1m							
	0.5m					×	×	×
	1.0m				×	○	○	○
	1.5m			×	○	○	○	○
	2.0m			×	○	○	○	○

壁高 h= 4.0 m

		b							
		0.1m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m	
a	0.1m								
	0.5m					×	×	×	×
	1.0m				×	○	○	○	○
	1.5m			×	○	○	○	○	○
	2.0m		×	○	○	○	○	○	○

壁高 H= 2.5 m

		b						
		0.1m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m
a	0.1m							
	0.5m					×	×	×
	1.0m				×	○	○	○
	1.5m			×	○	○	○	○
	2.0m		×	○	○	○	○	○

壁高 h= 4.5 m

		b							
		0.1m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m	
a	0.1m								
	0.5m					×	×	×	×
	1.0m				×	○	○	○	○
	1.5m			×	○	○	○	○	○
	2.0m		×	○	○	○	○	○	○

- a : 既設擁壁と下部家屋との離隔
- b : 既設擁壁と上部家屋との離隔

- : 施工可能
- × : 施工不可
- : 擁壁面に補強材を設置することが必要

壁高 h= 5.0 m

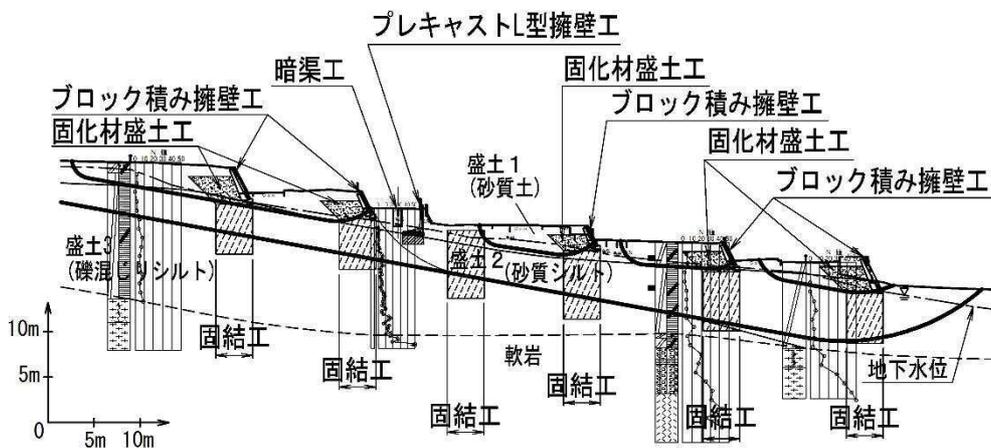
		b							
		0.1m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m	
a	0.1m								
	0.5m					×	×	×	×
	1.0m				×	○	○	○	○
	1.5m			×	○	○	○	○	○
	2.0m		×	○	○	○	○	○	○

参考 6.1 東北地方太平洋沖地震における仙台市の対策事例

東北地方太平洋沖地震における仙台市の「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」では、施工条件やコストなどを考慮し、施工可能な工法を選定するとともに複数の工法を効果的に組合せ、滑動崩落の再発防止と宅地復旧を図っている。仙台市の対策事例を以下に示す。

① 家屋が撤去されている宅地の変形対策事例*

- ・家屋が撤去されており、大型の施工機械が使用できるため、コスト面で有利な固結工法（固化材盛土工＋中層混合処理工）により、ひな壇部の変形と盛土全体の変形の両方を防止。
- ・ひな壇部の前面を固化材盛土工で構築し、その下位に中層混合処理工を滑り面より下の層まで根入れ。
- ・暗渠工を宅地周辺の道路に配置することで、地下水位の上昇を防止し、滑動崩落に対する面的な抵抗力を保持。
- ・崩壊した宅地擁壁は、ブロック積み擁壁工などで再構築。



図参 6.1-① 家屋が撤去されている宅地の変形対策事例（N地区の例）



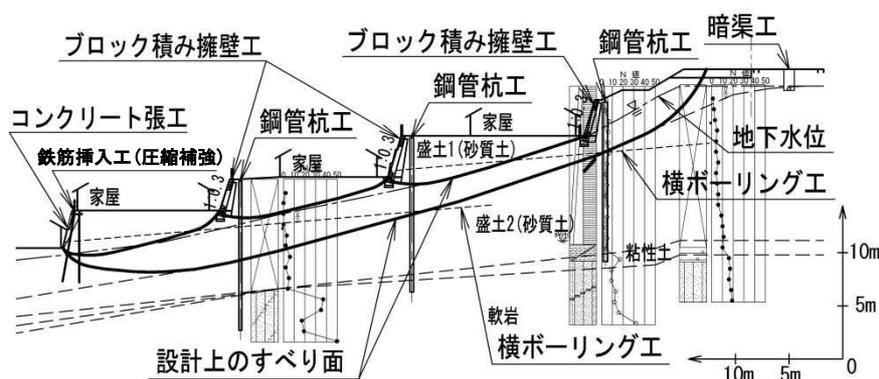
図参 6.1-② 固結工法（中層混合処理工）の施工機械（N地区の例）



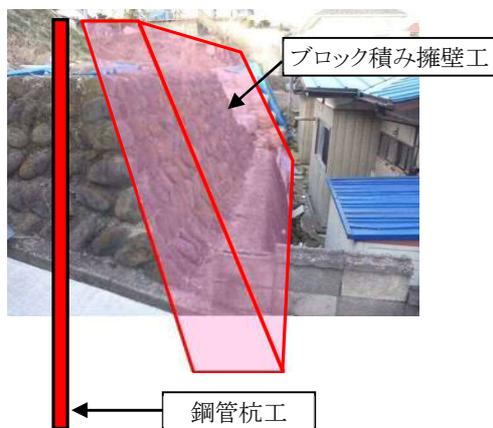
図参 6.1-③ 固結工法（中層混合処理工）の施工状況（N地区の例）

② 家屋が残存している宅地の変形対策事例*

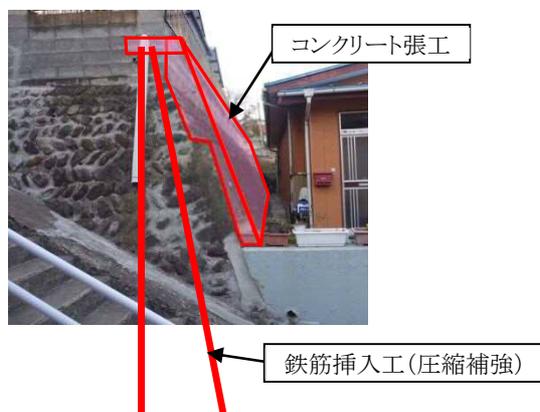
- ・家屋が残存しているため、施工機械が比較的小さい抑止杭工法（鋼管杭工）を主体として、ひな壇部の変形と盛土全体の変形の両方を防止。
宅地前面の被災擁壁は、ブロック積み擁壁工などで再構築。
- ・宅地前面家屋との離隔が小さく、抑止杭工法が適用できない宅地は、施工機械がさらに小型で、宅地前面の被災擁壁の補強対策と兼用可能な地山補強土工法（鉄筋挿入工（圧縮補強）＋コンクリート張工）で対応。
- ・宅地周辺の道路に暗渠工、宅地間を縦断する道路に横ボーリング工を配置することで、地下水位の上昇防止し、滑動崩落に対する面的な抵抗力を保持。



図参 6.1-④ 家屋が残存している宅地の変形対策事例（K地区の例）



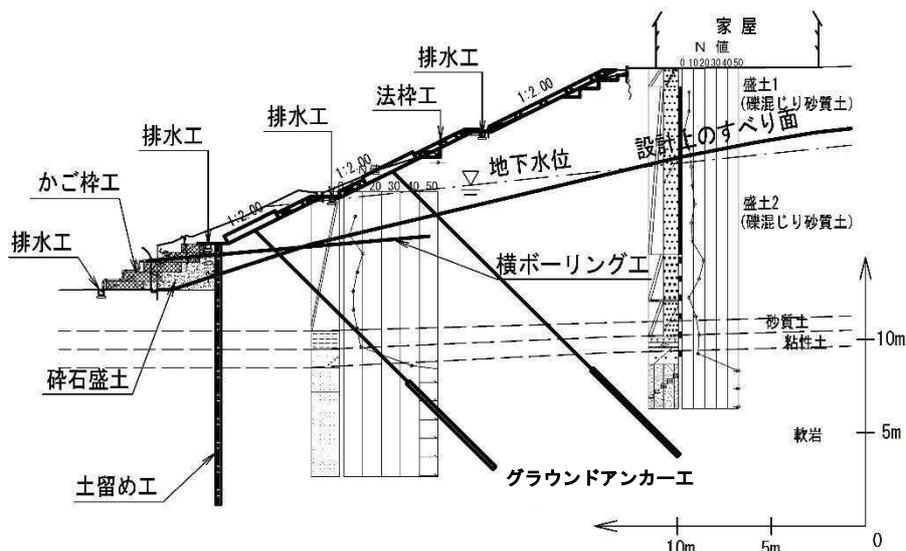
図参 6.1-⑤ 抑止杭工法＋擁壁再構築のイメージ（K地区の例）



図参 6.1-⑥ 地山補強土工法による滑動崩落対策と擁壁復旧対策の兼用イメージ（K地区の例）

③ 盛土のり面の崩壊対策事例※

- ・地下水位が高いため、横ボーリング工を面的に配置し地下水位の低下を図ることで、盛土全体の安定性向上。
- ・盛土のり面は表層が緩んでおり、これを面的に抑える必要があるため、グラウンドアンカー工法（現場打ちのり枠工+グラウンドアンカー工）により、表層崩壊も含めて、盛土のり面の崩壊を防止。
- ・盛土のり先の被災した井桁擁壁は、仮設の土留め工を設置して撤去し、のり尻排水を促進するかご枠を設置。



図参 6.1-⑦ 盛土のり面の崩壊対策事例（NK地区の例）



図参 6.1-⑧ グラウンドアンカー工法（現場打ちのり枠工+グラウンドアンカー工）の施工状況（NK地区の例）

※ 門田浩一, 東郷智: 滑動崩落防止施設の保全に係る法令等についての一考察 - 滑動崩落防止施設の保全に関わる運用上の課題 -, 地盤工学会特別シンポジウム-東日本大震災を乗り越えて- 発表論文集, pp. 375-378. 2014. 6.

VII. 対策施設の設計

対策施設の設計は、各種調査結果を踏まえ、施工や維持管理を考慮して設計条件を設定するとともに、関連法規を遵守し、設計指針等を参考に実施する。

【解 説】

対策施設の設計条件は、現地踏査、地盤調査、宅地変状調査および安定計算結果などを踏まえ、施工における材料や維持管理の方法などを考慮して設定する。設計成果は、施工や維持管理、住民等への説明に必要となるため、以下の事項を明らかにして分かりやすくとりまとめ、施工・維持管理段階に引き継ぐものとする。

【設計成果でとりまとめる事項】

- ①設計条件（地盤・地下水条件、対策施設の材料条件）、②対策によって得られる効果と範囲、③維持管理計画

対策施設の設計にあたり、遵守する主な関連法規と参考となる設計指針等を以下に示す。なお、新工法や公的機関が設計指針等を定めていない工法を採用する場合は、学識経験者等の意見を踏まえて検討すること。

【関連法規】

- ①宅地造成等規制法、②都市計画法、③地すべり等防止法、④急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律、⑤砂防法、⑥建築基準法

【設計指針等】

対策工法の種類	設計指針等
地表水排除工法	地すべり防止技術指針解説（2008年1月、土木研究所）
地下水排除工法	地すべり防止技術指針解説（2008年1月、土木研究所）
間隙水圧消散工法	道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成24年8月、日本道路協会）
押え盛土工法	地すべり防止技術指針解説（2008年1月、土木研究所）
排土工法	地すべり防止技術指針解説（2008年1月、土木研究所）
固結工法	道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成24年8月、日本道路協会）
抑止杭工法	地すべり防止技術指針解説（2008年1月、土木研究所）
グラウンドアンカー工法	グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 （2012年5月、地盤工学会）
地山補強土工法	地山補強土工法設計・施工マニュアル（2011年8月、地盤工学会）
矢板工法	道路土工 軟弱地盤対策工指針（平成24年8月、日本道路協会）
擁壁工法	宅地防災マニュアルの解説（第二次改訂版） （平成19年11月、宅地防災研究会）

※ 上表の設計指針等に加え、個々の工法協会等の設計マニュアルなども確認すること。

Ⅷ. 対策施設の施工における留意点

対策施設の施工は、設計条件に従い実施する。また、個々の宅地内や住宅地における工事となるため、十分な安全対策を講じるとともに、周辺環境に配慮して実施する。また、必要に応じて関係機関や関係部局と情報共有し、調整を図りつつ施工する。

【解説】

対策施設の施工にあたっては、必要な性能が確保されるよう、設計条件を踏まえて現地の土質等の確認や使用材料の選定を行う。現地の土質等が設計条件と異なる場合は、設計の見直しを行ったうえで施工する。なお、設計の見直しを行った場合は、維持管理計画についても再検討し、その結果を施設管理者に引き継ぐものとする。

また、対策施設は、以下の点に留意して施工する。

- ① 掘削高が高い場合、家屋や擁壁などの構造物に近接する場合は、安全を確保し、周辺構造物の変状を防止するため、適切な仮設対策を講じる必要がある。
- ② 個々の宅地内や住宅地における工事となるため、次のような配慮が必要である。
 - ・低騒音・低振動の施工機械を用いる。
 - ・セメントの使用にあたっては、飛散防止対策を講じるもしくは粉塵抑制型を用いる。
 - ・地下水汚染や周辺に井戸の流量低下を防止する。
 - ・景観に配慮する。
 - ・家屋に近接する工事の場合は、工事前後に家屋調査を実施する。
- ③ 対策施設の施工にあたっては、ライフラインや電柱が支障となるケースが多く、関係機関との協議・調整、移設・切回しなどの対応が必要となる。
- ④ 滑動ブロック周辺の道路や公園などの亀裂や水路の排水不良などにより、雨水が盛土に浸透した場合、盛土の安定性に悪影響をおよぼすことが想定される。盛土の安定性に悪影響をおよぼす変状が認められる場合は、施設管理者と情報を共有し、確実に補修を行う必要がある。なお、宅地復旧対策と重複する箇所については、施工の範囲や工程、本復旧の時期などを調整し、合理的に復旧を進めることが望ましい。滑動崩落に悪影響をおよぼす変状の例を **参考 8.1** に示す。
- ⑤ 対策施設や擁壁などの構造物設置位置の決定にあたっては、地震により用地境界が曖昧になっていることも想定されるため、境界確定もしくは当事者間協議による調整が必要であり、時間と労力を要する点に留意する必要がある。

参考 8.1 盛土の安定性に悪影響をおよぼす変状の例

盛土の安定性に悪影響をおよぼす道路等の変状と復旧方法の例を表参 8.1-①、代表的な変状の例を図参 8.1-①に示す。

表参 8.1-① 盛土の安定性に悪影響をおよぼす道路等の変状と復旧方法の例

対象	変状	復旧方法
道路	亀裂	舗装打換え
	沈下・段差・隆起	不陸調整（排水勾配確保）、舗装打換え
	陥没	埋戻し、舗装打換え
水路	破損	入替え
	沈下、ズレ	撤去・再設置
地盤	亀裂	モルタル等充填



道路の亀裂



道路の沈下・段差



道路の陥没



水路の損傷

図参 8.1-① 盛土の安定性に悪影響をおよぼす道路等の変状の例

Ⅸ. 滑動崩落対策施設の維持管理と保全

滑動崩落対策施設は、適切に維持管理を行い、周辺工事などでその機能が損なわれることがないよう保全を図る。

【解 説】

滑動崩落対策施設は、その機能が損なわれることが無いよう、適切に維持管理を行う。

また、滑動崩落対策施設が周辺工事などで除却もしくは影響を受けた場合、その機能が損なわれ、滑動ブロックの安定性が低下し、必要な抑止力が確保できなくなるおそれがあることから、法令の規定などにに基づき施設の保全を図る。

Ⅸ.1 滑動崩落対策施設の維持管理

滑動崩落対策施設の維持管理は、設計・施工段階で作成された維持管理計画に基づき、役割分担や費用負担などのルールを地方公共団体と住民等で事前に協議・調整のうえ、適切に維持管理を行う。

【解 説】

滑動崩落対策施設の維持管理は、設計段階で作成された維持管理計画もしくは施工段階で見直された維持管理計画に基づき実施する。例えば、日常的かつ簡易な清掃や目視点検などは所有者が行い、変状があった場合には地方公共団体に速やかに連絡し、詳細な調査を地方公共団体が実施するなど所有者や地方公共団体の役割分担等について事前に協議・調整しておくことが重要である。滑動崩落対策施設は、道路等公共施設への被害を防止するなど、一定の公共性を有するものであり、その効果発現には適切な維持管理を必要とすることから、地方公共団体が管理することが望ましい。なお、定常的または定期的な維持管理に係る費用が想定される場合には、その費用負担について事前に調整しておくことも重要である。

滑動崩落対策施設の対策工法の種類と主な点検・試験項目を表Ⅸ.1.1に示す。全ての対策工法に共通する点検のポイントは、対策施設周辺の地盤や構造物の亀裂・沈下などの変状を目視で定期的に確認することであり、その結果、異常が確認された場合は詳細な調査を実施し、原因の究明、必要に応じて対策の追加などを検討する。

表Ⅸ.1.1 滑動崩落対策施設の対策工法の種類と主な点検・試験項目

分類	対策工法の種類	主な点検・試験項目		参考となる指針等
抑制工	地表水排除工法	目視点検	・土砂や枝葉等の堆積状況	—
	地下水排除工法	目視点検	・対策施設周辺の地盤や構造物の変状	—
		流量測定	・排水量	—
	間隙水圧消散工	目視点検	・対策施設周辺の地盤や構造物の変状	—
	押え盛土工法	目視点検	・押え盛土やかごの変状 ・押え盛土やかご背面地盤の変状	—
	排土工法	目視点検	・排土によって形成されたのり面やその上方斜面の変状	—
抑止工	固結工法	目視点検	・固結体周辺の地盤や構造物の変状	—
	グラウンドアンカー工法	目視点検	・アンカー周辺の地盤や構造物の変状 ・アンカー頭部の飛び出し ・頭部コンクリートの破損・落下 ・頭部キャップの破損・変形・落下 ・受圧板、受圧構造物の破損・落下	グラウンドアンカー維持管理マニュアル、2008年、土木研究所・日本アンカー協会編
		健全性調査	・リフトオフ試験 ・超音波深傷試験 ※目視点検の結果、テンドン破断など健全性に問題がある可能性が高いと判断された場合に実施	
	抑止杭工法	目視点検	・杭周辺の地盤や構造物の変状	地すべり鋼管杭設計要領（新版）、2008年5月、斜面防災対策技術協会
		変位観測	・杭周辺の地盤や構造物の変位量 ※目視点検の結果、変状が認められる場合に実施	
矢板工法	目視点検	・矢板周辺の地盤や構造物の変状	—	
	変位観測	・矢板周辺の地盤や構造物の変位量 ※目視点検の結果、変状が認められる場合に実施		
地山補強土工法	目視点検	・補強材周辺の地盤や構造物の変状 ・頭部定着材や支圧板の浮き上がり、破損・落下、劣化	地山補強土工法設計・施工マニュアル、2011年8月、地盤工学会	

Ⅸ.2 滑動崩落対策施設の保全

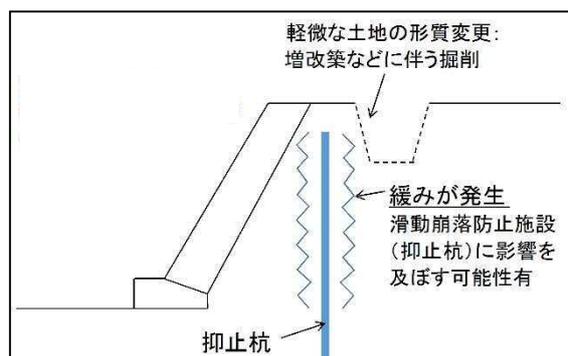
滑動崩落対策施設を除却する工事もしくは影響を与える可能性がある工事に対しては、届出を求めてその計画を事前に把握し、適切に指導等を行うことで滑動崩落対策施設の保全を図ることが望ましい。

【解説】

滑動崩落対策施設を除却する工事が行われた場合、滑動ブロックの安定性が損なわれ、必要な抑止力が確保できなくなるおそれがある。

また、滑動崩落対策施設は公共用地のみならず、個々の宅地内に設置されるケースも数多くあり、滑動崩落対策施設の除却に限らず、影響を与える可能性がある軽微な土地の形質変更などが計画されることも想定される（例えば、家屋の増改築に伴う滑動崩落対策施設周辺地盤の掘削など（図Ⅸ.2.1参照））。滑動崩落対策施設に影響を与え機能が低下した場合、滑動崩落が再発するおそれがあるが、その工事が滑動崩落対策施設に影響を与えるか否か宅地所有者自身が判断できないことも考えられる。

このため、地方公共団体は、滑動崩落対策施設を除却する工事もしくは影響を与える可能性がある工事に対しては、届出を求めてその計画を事前に把握し、住民等に対し適切に指導・助言を行うことで滑動崩落対策施設の保全を図ることが望ましい。



図Ⅸ.2.1 滑動崩落対策施設に影響を与える可能性がある軽微な土地の形質変更の例

□ 滑動崩落対策施設を除却した場合もしくは滑動崩落対策施設に影響を与えた場合の対応に関する法令の規定

(1) 宅地造成工事規制区域における規定

法第十六条第一項では「宅地造成工事規制区域内の宅地の所有者、管理者又は占有者は、宅地造成に伴う災害が生じないように、その宅地を常時安全な状態に維持するように努めなければならない」こと、法第十六条第二項では「都道府県知事は、宅地造成工事規制区域内の宅地について、宅地造成に伴う災害の防止のため必要があると認める場合においては、その宅地の所有者、管理者、占有者、造成主又は工事施行者に対し、擁壁等の設置又は改造その他宅地造成に伴う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」こと、法第十七条第一項では「都道府県知事は、宅地造成工事規制区域内の宅地で、宅地造成に伴う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、宅地造成に伴う災害の発生のおそれ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」ことが規定されている。

これらの規定から、宅地造成工事規制区域において、滑動崩落対策施設を除却した場合もしくは滑動崩落対策施設に影響を与えた場合、宅地の安全性が低下するため、その行為者は法第十六条第一項の規定に抵触することとなる。また、都道府県知事等は必要に応じて法第十六条第二項に基づく勧告、法第十七条第一項に基づく改善命令を行うことができる。

(2) 防災区域における規定

法第二十条第一項では「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。）の区域であつ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」こと、法第二十一条第一項では「防災区域内の宅地の所有者、管理者又は占有者は、宅地造成に伴う災害が生じないように、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」こと、法第二十一条第二項では「都道府県知事は、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宅地造成に伴う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」こと、法第二十二条では「都道府県知事は、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」ことが規定されている。

また、法第二十条第二項では「都道府県知事は、擁壁等の設置又は改造その他前項の災害の防止のため必要な措置を講ずることにより、造成宅地防災区域の全部又は一部について同項の指定の事由がなくなつたと認めるときは、当該造成宅地防災区域の全部又は一部について同項の指定を解除するものとする」こととされている。

これらの規定から、滑動崩落対策によって宅地の安全性が確保されれば防災区域は解除されるが、その後、滑動崩落対策施設を除却した場合もしくは滑動崩落対策施設に影響を与えた場合、宅地の安全性が低下するため、再び防災区域の指定要件に該当することとなる。このため、再度防災区域指定を行なえば、法第二十一条第一項の規定に抵触し、必要に応じて法第二十一条第二項に基づく勧告、法第二十二条第一項に基づく改善命令を行うことができることとなる。

【2】 滑動崩落対策施設を除却する工事もしくは滑動崩落対策施設に影響を与える可能性がある工事の届出に関する法令の規定

(1) 宅地造成工事規制区域における規定

法第十五条第二項ならびに令第十八条では「宅地造成工事規制区域内において、高さが二メートルを超える擁壁、地表水等を排除するための排水施設又は地滑り抑止ぐい等の全部又は一部の除却の工事を行おうとする者は、その旨を都道府県知事に届出なければならない」ことが規定されている。

宅地造成工事規制区域において、滑動崩落対策施設を除却する工事を行うことは、この規定に該当するため届出が必要となる。一方、滑動崩落対策施設に影響を与える可能性がある工事の届出については、法令では規定されておらず、地方公共団体が把握できないところで工事が行われる可能性がある。

(2) 防災区域における規定

防災区域における工事の届出は法令では規定されておらず、地方公共団体が把握できないところで滑動崩落対策施設を除却する工事もしくは滑動崩落対策施設に影響を与える可能性がある工事が行われる可能性がある。

【3】 ルールを定めることが望ましい事項

□で述べた法令の規定は、滑動崩落対策施設を除却もしくは滑動崩落対策施設に影響を与えた後の対応を可能とするものであるが、工事の内容を予め把握し、事前に対応するため、以下の事項について別途ルールを定め、事前に届出等を求めることが望ましい。

イ) 対策履歴の記録と公開

- ・滑動崩落が生じた範囲
- ・防災区域に指定した範囲（防災区域を解除した範囲）、勧告を行った範囲
- ・滑動崩落対策施設の位置、深度、仕様など
- ・公開の方法（地方公共団体の窓口、インターネット、看板など）

ロ) 届出を求める工事の内容と範囲

- ・例えば、滑動崩落対策施設周辺〇m以内の地盤掘削など

ルールの運用については、条例を制定する方法と宅地所有者に個別に説明する方法が考えられるが、宅地所有者に個別に説明する方法では、宅地の売買などで所有者が変わった際の継承についても十分な説明を行う必要がある。

なお、仙台市では条例を制定し、法令の届出規定には該当しないが、滑動崩落対策施設の保全において届出が必要な行為（滑動崩落対策施設の上方における建築物の新築・改築・増築、滑動崩落対策施設の上方における土地の掘削、滑動崩落対策施設を損壊する行為など）と範囲を定め、住民や民間の開発業者などに届出を義務付けている。

【仙台市造成宅地滑動崩落防止施設の保全に関する条例と施行規則】

① 仙台市造成宅地滑動崩落防止施設の保全に関する条例（平成25年6月25日施行）

(http://www.city.sendai.jp/soumu/bunsho/reiki/reiki_honbun/a600RG00001114.html)

- ② 仙台市造成宅地滑動崩落防止施設の保全に関する条例施行規則(平成25年6月25日施行)
(http://www.city.sendai.jp/soumu/bunsho/reiki/reiki_honbun/a600RG00001116.html)

4 工事の届出に対する指導・助言

地方公共団体は、法令もしくは別途定めたルールに基づき住民等から工事の届出があった場合、適切に指導・助言を行い、滑動崩落対策施設の保全を図ることが重要である。このため、あらかじめ以下に示すような事項について、滑動崩落対策施設の対策工法別に検討・整理し、担当部署の職員に周知する必要がある。

① 想定される工事の整理

- ・宅地：家屋の新築・増改築、物置の設置、フェンスの設置、ライフラインの敷設・更新、擁壁の再構築、車庫の新設・改修、植樹、盛土、切土など
- ・道路：舗装の打換え、ライフラインの敷設・更新、側溝の設置・更新、ガードレールや電柱の設置・更新など
- ・公園：遊具、水飲み場、ベンチおよび公園灯の設置・更新、植樹など

② 構造物などを設置してよい範囲

- ・地上部で、家屋・フェンス・植生などを設置してよい範囲
- ・地中部で、地下室・ライフラインなどを設置してよい範囲

③ 工事で掘削、盛土してよい範囲

- ・無条件で掘削、盛土してよい範囲
- ・仮設対策が必要となる掘削範囲
- ・仮設対策かつ変位拘束が必要となる掘削範囲

④ 滑動崩落対策施設を除却せざるを得ない場合の代替工

⑤ 設計条件が変化するレベルの地形改変への対応方法

- ・滑動崩落対策施設の照査方法
- ・照査の結果、安定性が確保できなかった場合の追加対策工もしくは代替工

⑥ 事例の蓄積とFAQの作成

5 履歴の管理

③で述べた対策履歴の記録とあわせて、④で述べた届出のあった工事や滑動崩落対策施設の点検・試験結果について、台帳等を作成し情報を管理していくことが望ましい。

X. 住民等への説明事項

復旧対策を円滑に進めるため、住民等を対象とした説明会等を開催する。説明会では、住民等にもわかりやすい資料により被害のメカニズム、復旧対策計画、工事内容やスケジュールなどを説明し、地方公共団体と住民等が協力して対策を推進する。

【解 説】

① 説明会の開催時期

宅地の復旧対策は、滑動崩落対策施設を個々の宅地に設置することも多く、住民等の理解と協力が不可欠である。このため、調査・設計・施工・維持管理の各段階で説明会などを開催し、住民等の同意を得ながら復旧対策を進める必要がある。復旧対策と説明会の開催時期の関係を図X.1に示す。

復旧対策	説明会等	説明内容	住民等の同意が必要な事項
初動調査	事業全体説明会①	<ul style="list-style-type: none"> ・ 滑動崩落被害の概要 ・ 滑動崩落の可能性がある範囲 ・ 詳細調査の内容と協力依頼 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査時の宅地への立入り、調査用地の借用
詳細調査、 施行地区の設定	事業全体説明会②	<ul style="list-style-type: none"> ・ 詳細調査結果（被害状況等） ・ 滑動崩落の範囲 ・ 復旧対策事業について（施行地区、スケジュール、費用負担） 	—
対策工法の選定	事業全体説明会③	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対策工法とその効果 ・ 費用負担額（概略） ・ 個々の宅地で行う耐震対策の必要性等 ・ 維持管理の分担ルールの内容 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 維持管理の分担ルール
対策施設の設計	事業個別説明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対策施設の配置計画（概略の設置位置） ・ 土地利用上の制約 ・ 費用負担額（詳細） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対策施設の配置計画（概略の設置位置、土地利用上の制約） ・ 費用負担
対策施設の施工	工事全体説明会	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事全体の内容とスケジュール 	—
	工事個別説明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 個々の宅地の工事内容とスケジュール ・ 対策施設の設置位置（詳細な設置位置） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対策施設の設置位置（詳細な設置位置）
滑動崩落対策施設の 維持管理	情報提供	<ul style="list-style-type: none"> ・ 滑動崩落対策施設の点検結果 	—

図X.1 復旧対策と説明会等の開催時期の関係

2 説明会の内容と住民等の同意が必要な事項

(1) 事業全体説明会①

初動調査結果から、危険宅地および要注意宅地がまとまって分布する範囲は、滑動崩落の可能性のあることを説明し、詳細調査への協力を依頼する。詳細調査は、現地踏査、地質調査、擁壁調査、測量等があるが、個々の宅地への立ち入り許可を求めるとともに、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。

【住民等の同意が必要な事項】

- ・調査時の宅地への立ち入り、調査用地の借用

(2) 事業全体説明会②

詳細調査結果を報告し、滑動崩落の範囲、事業全体スケジュール、施行地区について説明する。詳細調査結果は、個々の調査結果に加え、被害のメカニズムや要因について考察した結果、滑動崩落の範囲と施行地区は、根拠となる変状写真などを提示し、設定の考え方を説明する。

また、復旧対策の考え方（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する。施行地区内の宅地所有者に対しては、費用負担が生じる可能性があることを説明する。

(3) 事業全体説明会③

対策工法とその効果について説明する。対策効果については、設計条件を明らかにしたうえで、対策効果の得られる範囲などを説明する。加えて、滑動崩落を対象とした対策であり、家屋の不同沈下に対しても一定の効果は期待されるが完全には防止できないこと、家屋の不同沈下が生じた宅地所有者に対しては、個々の宅地で行う耐震対策の必要性、方法、面的に行う滑動崩落対策と併せて実施したほうがより有効であることなどを説明し、必要に応じて指導・助言を行う。

また、住民等の費用負担が生じる場合は、概略の金額を提示する。加えて、維持管理が必要な工法については、その役割や費用の分担ルールについて説明、協議する。

なお、家屋が被災し建替を計画している住民等に対しては、家屋の解体・建替えと対策工事の時期を調整する必要があるため、家屋の有無で適用できる対策工法が異なるため、場合によっては対策工法の見直しが必要となる。

【住民等の同意が必要な事項】

- ・維持管理の分担ルール

(4) 事業個別説明

対策施設が設置される個々の宅地所有者に対し、概略の配置計画を説明する。また、将来にわたって土地利用上の制約が生じることを説明し、その範囲を提示する。

加えて、住民等の費用負担が生じる場合は、詳細の金額を提示する。

【住民等の同意が必要な事項】

- ・対策施設の配置計画（概略の設置位置、土地利用上の制約）
- ・費用負担

(5) 工事全体説明会

工事全体の内容とスケジュールなどについて説明する。施工範囲、施工方法、使用機械、資機材の搬入搬出ルートに加え、環境対策（騒音・振動、粉塵、地下水）について説明し、理解と協力を求める。

(6) 工事個別説明

対策施設が設置される個々の宅地所有者に対し、対策施設の設置位置や工事の実施時期について個別に確認・協議し、設置位置を決定するとともに、工事の承諾を得る。なお、用地境界が確定していない場合は、当事者間で協議し対策施設の設置位置を決定する等の対応が必要となる。

【住民等の同意が必要な事項】

- ・対策施設の設置位置（詳細な設置位置）

(7) 情報提供

滑動崩落対策施設の点検結果を必要に応じて住民等に情報提供する。点検の結果、変状等が生じている場合には説明会等を開催し、変状の程度や今後の対応について説明する。詳細調査等が必要な場合は協力を求める。

参考 10.1 住民等から質問・要望が多かった事項、復旧事業に支障となった事項の例

東北地方太平洋沖地震の復旧事業に係る説明会等において、住民等から質問・要望が多かった事項、復旧事業に支障となった事項を以下に示す。

(1) 住民等から質問・要望が多かった事項

- ・ 今後発生する地震に対する宅地の安全性（どの程度の地震に耐えられるのか）
- ・ 費用負担の考え方と金額
- ・ 対策工事の家屋等への影響の有無
- ・ 対策工事の日常生活への影響の有無（騒音・振動など）
- ・ 不同沈下が生じた家屋の復旧の要望（ジャッキアップなど）
- ・ 家屋の不同沈下対策の要望（宅地盛土のセメント改良など）

(2) 復旧事業に支障となった事項

- ・ 土地所有者を特定できないことがあった。
- ・ 対策用地が集合住宅や共有私道などの場合、権利者が多く同意を得るのに時間と労力を要した。
- ・ 対策工事を行う宅地に隣接する宅地所有者の同意を得ることが難航すること、もしくは工事中の立入りなどの協力が得られないことがあった。