

# 「安定解析手法の手引き（案）」

1. 安定解析の方針

「仙台市の造成宅地滑動崩落緊急対策事業（以下、本事業とする）」における安定解析は、モデル7地区（中山5丁目、青山1丁目、青山2丁目、折立5丁目、恵和町、南光台六丁目）の検討結果に基づき、以下の方針によるものとする。
1）安定計算で用いるすべり面(設計上のすべり面)の設定は、調査ボーリングに基づく地層区分、物性値、表面波探査結果に基づくせん断波速度、及び宅地の被災状況をもとに総合的に検討して設定する。
2）安定計算は、震災時の安全率を初期安全率とし、逆計算により強度定数の設定（設計強度定数）を行う。

【解 説】

本事業における安定解析の手法は、表1及び表2に示す「宅地防災事業」および「災害復旧事業」の手法を参考とするが、両事業の手法により難しい「強度定数の設定」および「すべり面の設定」は、以下の手法によるものとする。

◆宅地防災事業

- 【強度定数の設定】：三軸圧縮試験等のせん断試験を実施し、盛土等の粘着力（c）および内部摩擦角（φ）を求め、安定解析を行う（順計算という）。
- 【すべり面の設定】：谷埋め型盛土は盛土と地山境界、または盛土脆弱面等をすべり面とした複合すべり、腹付け型盛土は盛土内の円弧すべりを基本とする。

◆災害復旧事業

- 【強度定数の設定】：地すべり等の被災時の安全率を初期安全率として仮定し、この初期安全率に適合する粘着力（c）および内部摩擦角（φ）を求める手法（逆計算という）。
- 【すべり面の設定】：調査結果（ボーリングコア観察によるすべり粘土や風化境界、動態観測結果）に基づきすべり面を判定する。

◆本事業（案）

- 【強度定数の設定】：安定解析は、せん断試験による強度定数をもとにした順計算が望ましいと判断するが、本事業対象218地区全てにおいて、せん断試験を実施する場合、試験結果のバラツキ等により、必ずしも被害状況に適合した結果が得られない可能性もあるため、逆計算を導入し、強度定数を設定する。「災害復旧事業」では逆計算の手法が示されているが常時状態の手法であり、地震を対象とした被災時の初期安全率は規定されていない。このため逆計算の導入に当たっては、複数の地区（モデル地区）で順計算を行い、その結果をもとに逆計算に用いる初期安全率の検討を行った（3章参照）。
- 【すべり面の設定】：安定計算で用いるすべり面は、「地すべりの変形被害などすべり面が特定できない被害形態が主体であること」「盛土内のすべりの場合、明瞭な強度境界（N値等）が確認できないこと」「地震時の被災のため、動態観測等ですべり深度を特定できないこと」から、「災害復旧事業」で用いられる調査方法だけで設定することは難しい。このため、表面波探査のせん断波速度、調査ボーリングに基づく地層区分や物性値、宅地の被災状況等に基づく「設計上のすべり面」の設定手法について検討を行った（2章参照）。

表 1. 各事業における準拠指針等

準拠指針等名称		発行年月	編集発行等	概 要
宅地防災事業	宅地防災マニュアル【第二次改訂版】	平成19年3月	宅地防災研究会編	宅地造成等規則法に基づく宅地造成工事に当たって防災措置に関する基本的な考え方や手法をとりまとめたもの。本改訂版から既存・新規盛土の滑動崩落防止対策が追記された。
	大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン【改訂版】	平成24年4月	国土交通省都市局	滑動崩落防止対策の対象となる防災区域の指定等に必要な変動予測の調査・安定解析手法を示したもの。
	宅地耐震対策工法選定ガイドライン	平成24年4月	国土交通省都市局	滑動崩落防止対策の計画に当たり、対策工の種類と効果、対策工選定の考え方について整理したもの
災害復旧事業	災害手帳	平成23年5月	社)全日本建設技術協会	災害復旧事業における、災害発生から申請までの手続き、復旧工法における工法選定上・設計上の注意点等について示したもの。
	災害復旧事業における地すべり対策の手引き	平成18年5月	社)全国防災協会	地すべり災害復旧事業における地滑り現象の説明から、調査・解析・対策工・維持管理まで、災害復旧業務の一連の流れに沿ってまとめた手引き書

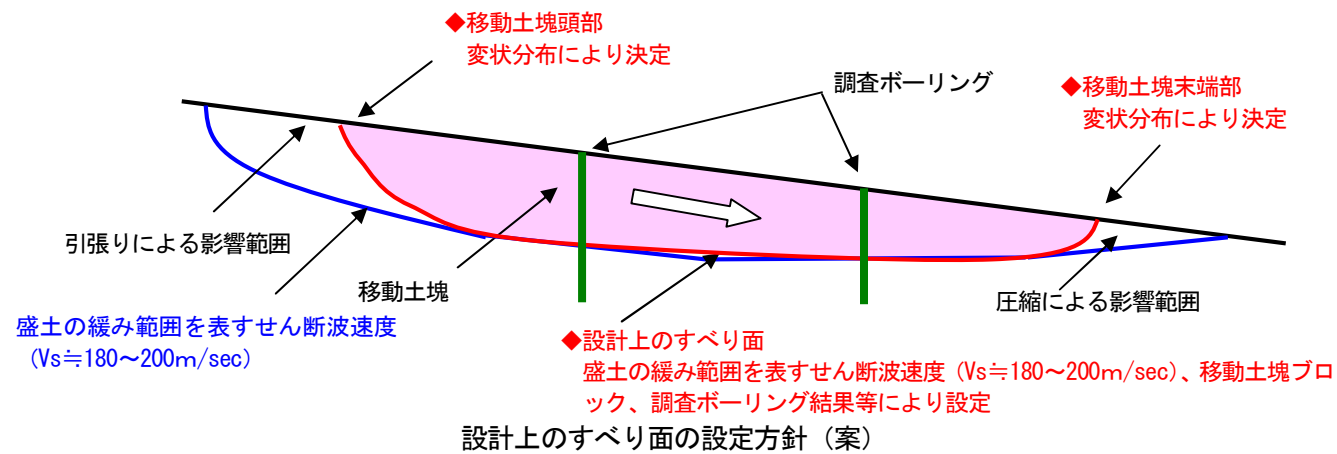
表2. 各事業における安定解析手法

項 目	宅地防災事業	災害復旧事業	本事業(案)
準拠指針等	・宅地防災マニュアル ・大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン	・災害復旧事業における地すべり対策の手引き ・災害手帳	左記の指針等にもとづき、「安定解析手法の手引き(案)」としてとりまとめを行う
すべり面の設定 および すべり形状	◆谷埋め型盛土 盛土と地山境界等をすべり面とした複合すべり ◆腹付け型盛土 盛土内の円弧すべり	調査結果(ボーリングコア・動態観測)に基づきすべり面を設定	◆谷埋め型盛土 モデル地区の検討結果に基づき、表面波探査結果(Vs)等をもとに設計上のすべり面を設定※2章参照 ◆腹付け型盛土 円弧すべりを標準とし、変状や擁壁の作用土圧線等をもとに判定する
計算式	二次元分割法 ※腹付け型盛土は分割法のうち簡便法	スウェーデン分割法	二次元分割法 ◆谷埋め型盛土 スウェーデン分割法 ◆腹付け型盛土 簡便法
計算方法	順計算	逆計算	逆計算(※順計算による検証:3章)
設計強度定数(c・φ)	せん断試験値(c、φ)	c:c=h(最大層厚) φ:逆計算による	c:逆計算による φ=15°
初期安全率	—	【地震時】 — 【常時】 継続的に運動している場合 0.95 降雨等に伴い断続的に運動している場合 0.98 沈静化している場合 1.00	【地震時】 変位が小さいと考えられるもの 0.95 変位が大きいと考えられるもの 0.80  ※「変位が小さいもの」とは被災宅地の調査・危険度判定マニュアルの危険度評価区分が中のもの、「変位が大きいもの」とは危険度評価区分が大きいものを標準とする。
設計水平震度	k <sub>h</sub> =k <sub>0</sub> ×C <sub>z</sub> k <sub>0</sub> =0.25	—	k <sub>h</sub> =k <sub>0</sub> ×C <sub>z</sub> =0.25×1.0=0.25
計画安全率	常 時 :1.50 地震時 :1.00	常 時 : 1.10～1.20	常 時 :1.50 地震時 :1.00



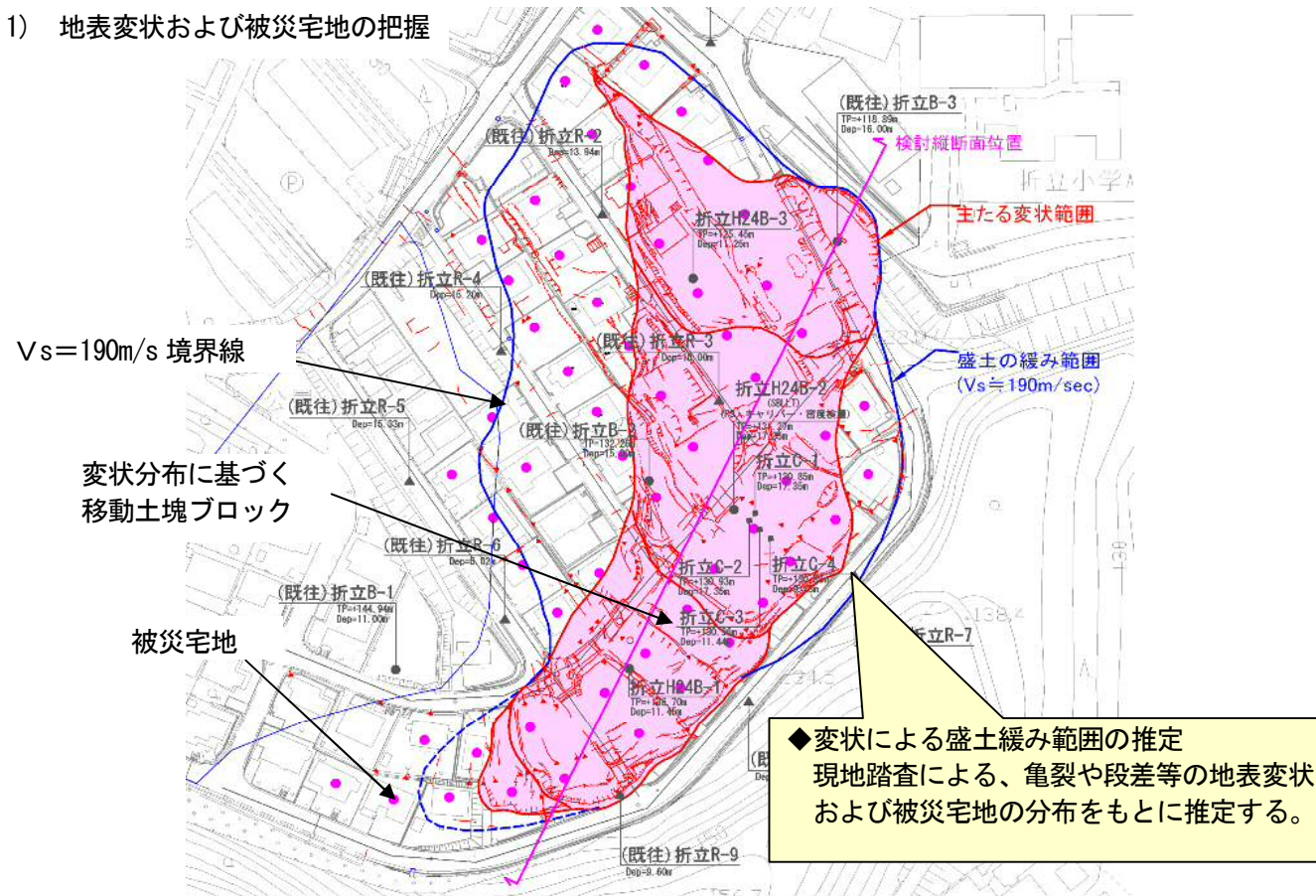
## 2. 設計上のすべり面の設定方針（案）

- ・設計上のすべり面は、調査ボーリングに基づく地層区分、物性値、表面波探査結果に基づくせん断波速度、及び宅地の被災状況をもとに総合的に検討して設定する。
- ・設計上のすべり面の設定に用いるせん断波速度は、盛土の緩み範囲を表すせん断波速度の境界とする。本せん断波速度境界は、主たる変状範囲（移動土塊の範囲）及び被災宅地の平面分布と調和的なせん断波速度の境界とし、概ね  $V_s=180\sim 200\text{m/sec}$  の速度境界を目安とする。
- ・移動土塊の平面形状（移動土塊の頭部および末端部など）は、現地踏査に基づく地表の変状分布及び被災宅地分布をもとに決定する。
- ・盛土表層部（ひな壇部）の変形については、せん断波速度区分の目安は設けない。ひな壇1段の複合すべりを標準とし、変状分布ならびに表面波探査の  $V_s$  分布を参考に設計上のすべり面を設定する。

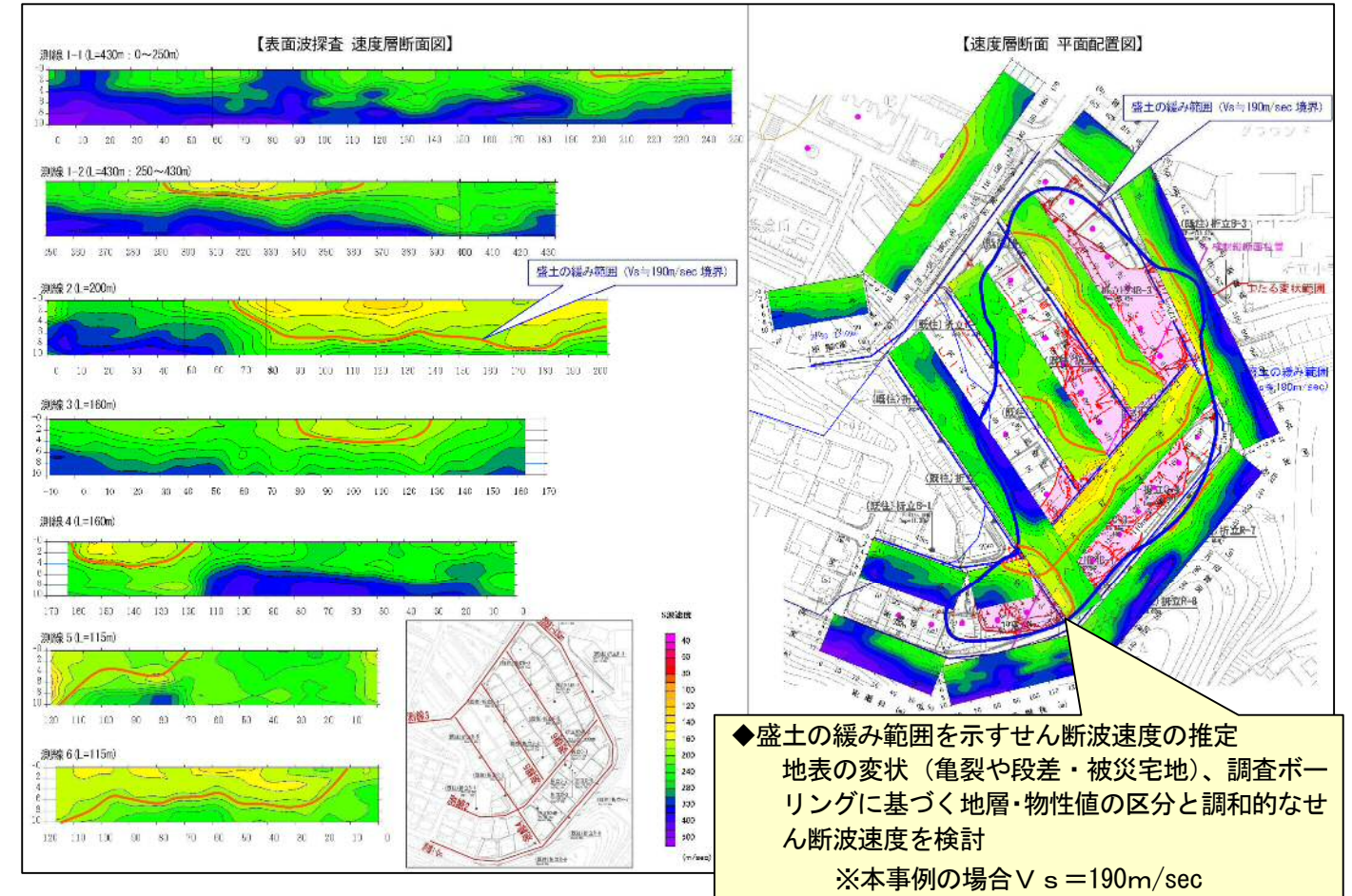


【解 説】

1) 地表変状および被災宅地の把握

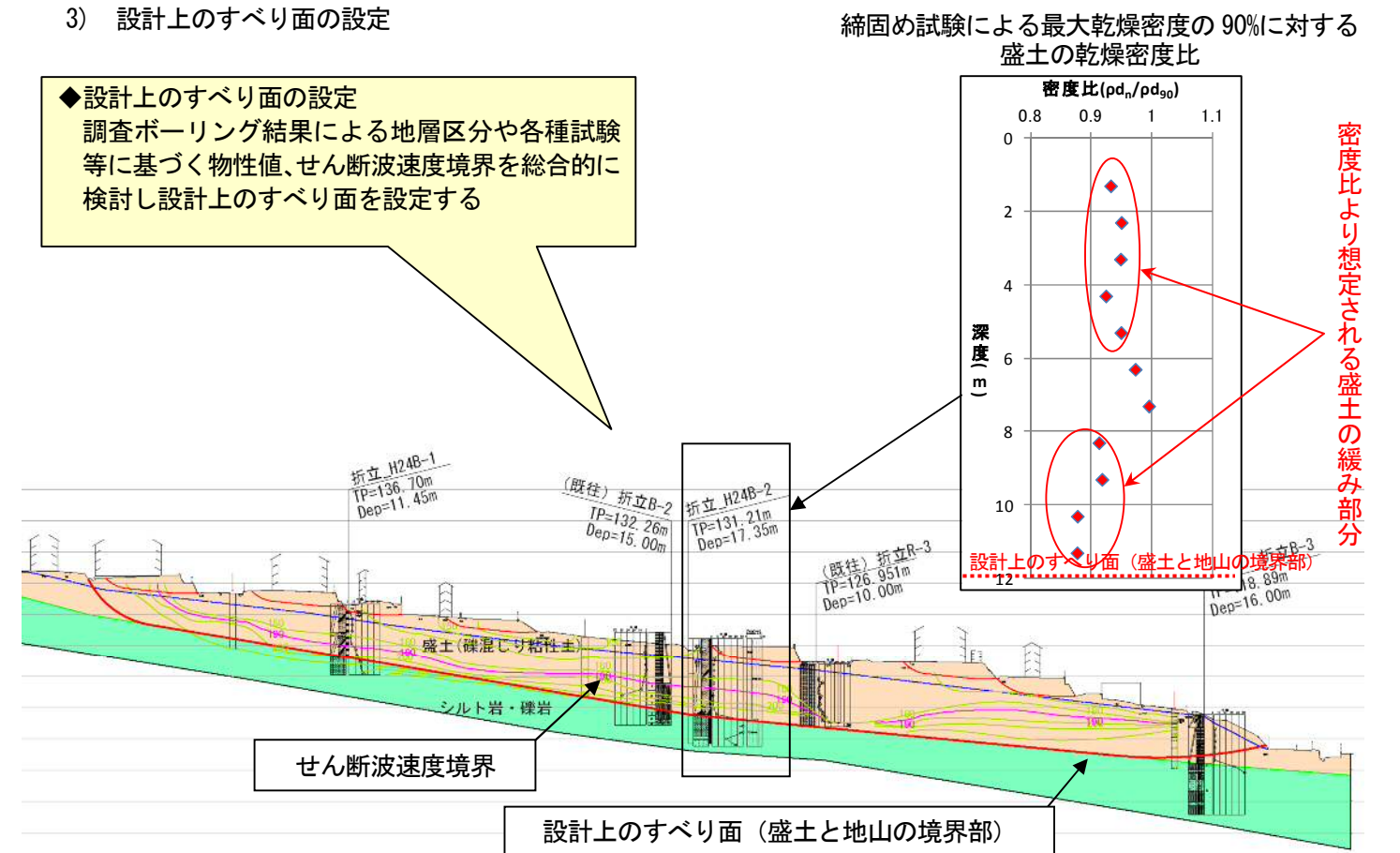


## 2) せん断波速度の検討



### 3) 設計上のすべり面の設定

- ◆設計上のすべり面の設定  
調査ボーリング結果による地層区分や各種試験等に基づく物性値、せん断波速度境界を総合的に検討し設計上のすべり面を設定する





3. 対策工の設計に用いる安定解析手法（案）

安定解析における、初期安全率および強度定数の設定は、調査結果及び解析結果に基づき、以下のとおりとする。

【初期安全率Fs】

◆ 変位が小さいと考えられるもの       $F_s=0.95$

【事例地区】    中山5丁目：盛土と地山の境界部、及び盛土内の速度境界部での変形  
                  青山1丁目：盛土内の速度境界部での変形  
                  青山2丁目：盛土（一部崖錐）と地山の境界部での変形

◆ 変位が大きいのと考えられるもの       $F_s=0.80$

【事例地区】    中山5丁目：盛土表層部（ひな壇部）の変形  
                  青山1丁目：盛土表層部（ひな壇部）の変形  
                  青山2丁目：盛土表層部（ひな壇部）の変形  
                  折立5丁目：盛土表層部（ひな壇部）の変形、盛土と地山の境界部の変形

※ 初期安全率設定における“変位が小さいと考えられるもの”とは被災宅地の調査・危険度判定マニュアルの危険度評価区分が中のものであり、“変位が大きいのと考えられるもの”とは危険度評価区分が大のものを標準とする。

【強度定数(C,  $\phi$ )の設定方法】

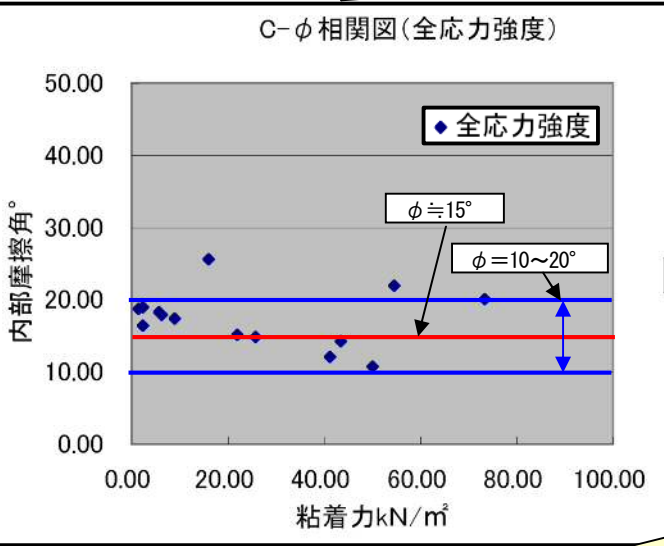
強度定数の設定は、上記の初期安全率に基づく逆計算により行う。逆計算は内部摩擦角を $\phi=15^\circ$ と仮定し、粘着力Cを逆計算により求めるものとする。

【解 説】

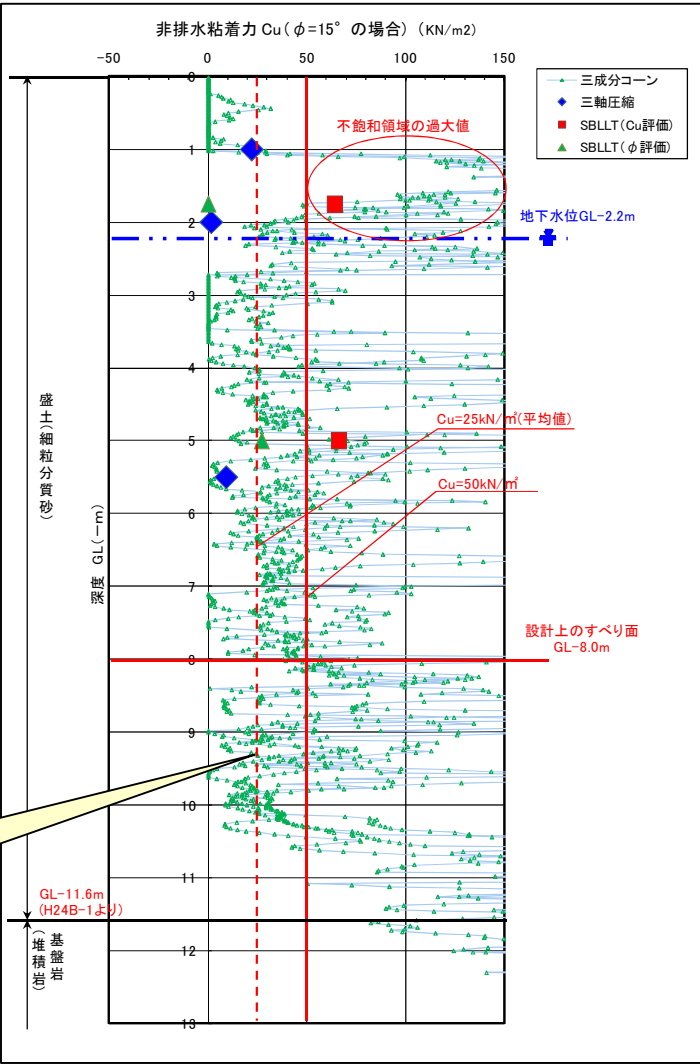
1) 強度定数の代表値の検討

① 盛土内の速度境界部、盛土と地山の境界部の変形

◆内部摩擦角( $\phi$ )  
内部摩擦角は、深度や地区に関わらずバラツキが小さいことから、平均的な値として、 $\phi=15^\circ$ を代表値とした。



◆粘着力(C)  
粘着力Cの代表値は、三軸圧縮試験結果、三成分コーン試験結果、SBLLT 試験結果をもとに、深度～せん断強さの分布を評価し、各種試験結果をもとにした粘着力Cの平均的な値を用いることとした。



深度～せん断強さ（ $\phi=15^\circ$  の場合の粘着力）分布図の例

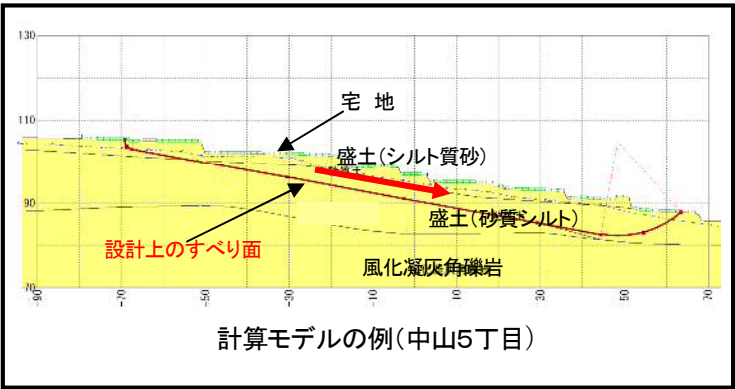
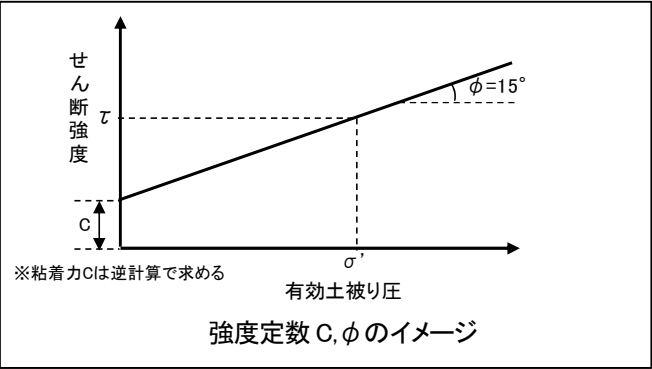
② 盛土表層部（ひな壇部）の変形

表層部付近は不飽和領域であり三成分コーン試験、SBLLT は、 $C=50\text{kN/m}^2$  以上と過大値を示している可能性があるため、表層部の三軸圧縮試験結果を基にした順計算により安全率の確認を行うこととした。

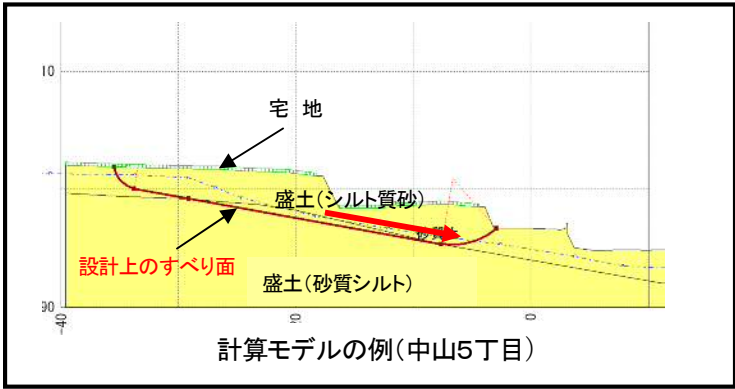
2) 順計算による地震時安全率および初期安全率の検討

「盛土と地山の境界部」及び「盛土内の速度境界部」の変形					
地区	定数設定	計算ケース	$F_s$	$C(\text{kN/m}^2)$	$\phi(^{\circ})$
中山5丁目	調査結果代表値	地震時	1.048	25	15.0
		常時	2.932		
	逆算値(地震時)	地震時	0.950	21.2	15.0
		常時	2.656		
青山1丁目	調査結果代表値	地震時	0.961	15.0	15.0
		常時	3.267		
	逆算値(地震時)	地震時	0.950	14.5	15.0
		常時	3.230		
青山2丁目	調査結果代表値	地震時	0.919	15	15.0
		常時	2.400		
	逆算値(地震時)	地震時	0.950	15.8	15.0
		常時	2.516		
折立5丁目	調査結果代表値	地震時	0.789	25	15.0
		常時	2.375		
	逆算値(地震時)	地震時	0.800	25.3	15.0
		常時	2.394		

盛土表層部（ひな壇部）の変形					
地区	定数設定	計算ケース	$F_s$	$C(\text{kN/m}^2)$	$\phi(^{\circ})$
中山5丁目	試験値	地震時	0.806	1.40	18.77
		常時	2.284		
	逆算値(地震時)	地震時	0.800	4.30	15.00
		常時	2.137		
折立5丁目	試験値	地震時	0.784	2.00	18.98
		常時	1.774		
	逆算値(地震時)	地震時	0.800	8.30	15.00
		常時	1.795		



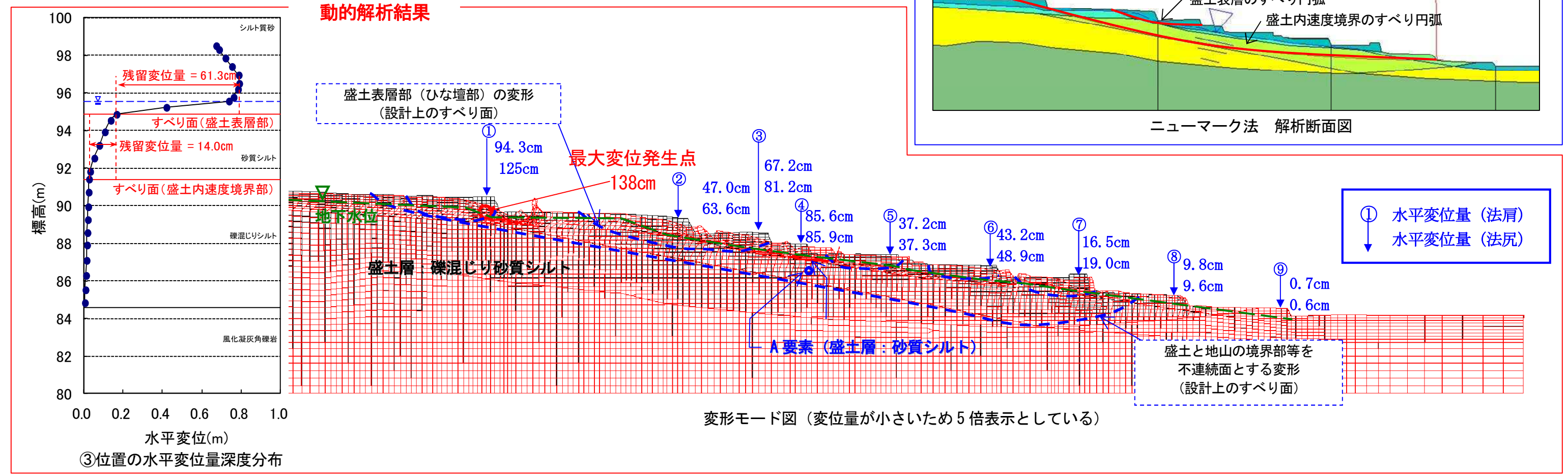
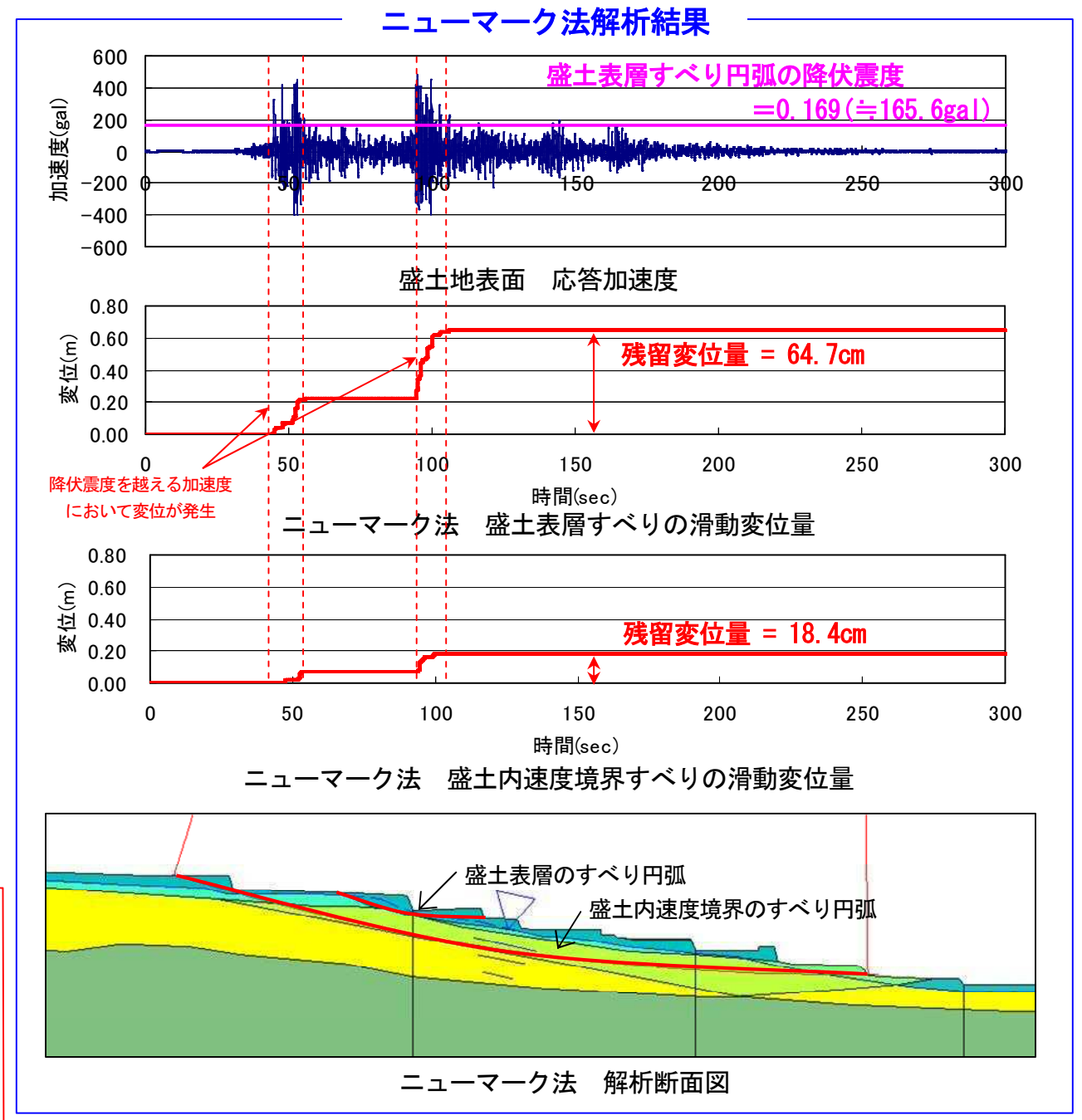
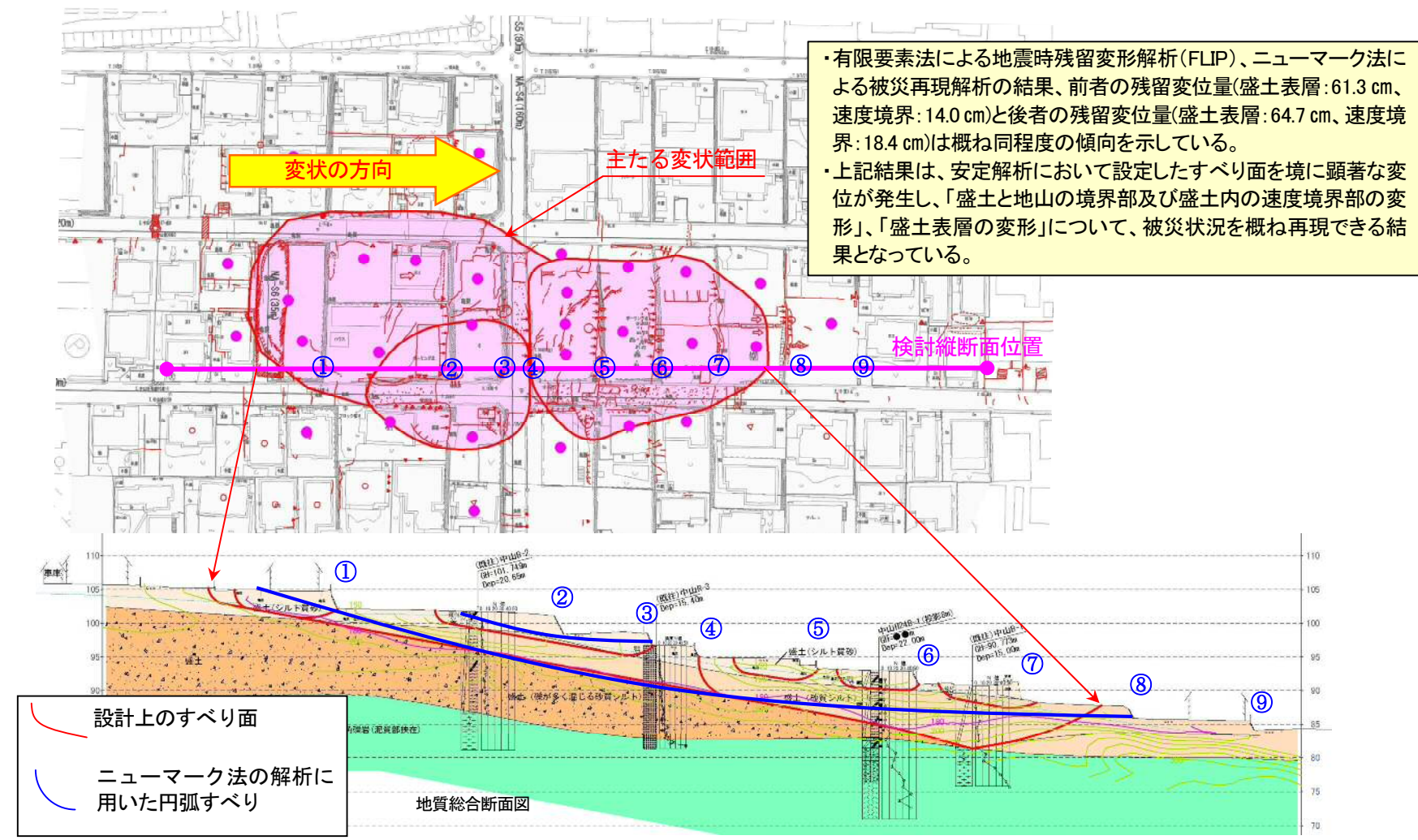
◆中山5丁目、青山1丁目、青山2丁目など、変位が小さい変形に対する順算による地震時安全率は $F_s=0.919\sim1.048$  (平均 0.976) であり、「盛土と地山の境界部」及び「盛土内の速度境界部」の変形に対する地震時安全率は概ね 0.95 程度と判断した。  
◆大きな変形を生じた折立5丁目は、 $F_s=0.79$  であり、地震時安全率は 0.8 と判断した。



◆表層部の三軸圧縮試験結果に基づく地震時安全率はいずれも $F_s\approx0.80$  を示す結果であり、変位の大きい盛土表層部（ひな壇部）の変形に対する地震時安全率は概ね 0.80 と判断した。



3) 地盤の地震時残留変形解析による被災再現結果(中山五丁目の解析事例)



4) 災害復旧事業の安定解析結果との比較

本事業で提案する安定解析手法（案）による計算結果と、災害復旧事業で行われる常時を初期安全率（ $F_s=1.00$  で残留強度相当）とした逆計算の計算結果の比較を行った。検討の結果、地震時を初期安全率とした本手法で求められる必要抑止力は、残留強度を用いた常時を初期安全率（ $F_s=1.00$ ）とした手法で、計画安全率 1.1～1.5 の範囲で求められる必要抑止力と同程度であることを確認した。

① 検討手法における強度定数の位置づけ

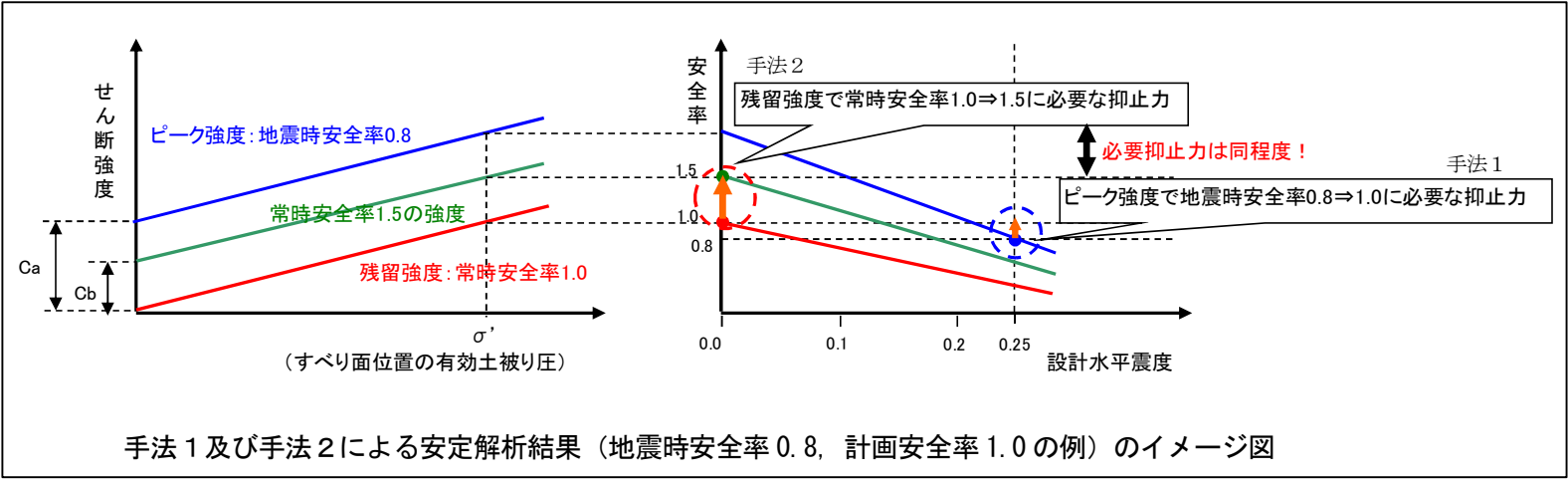
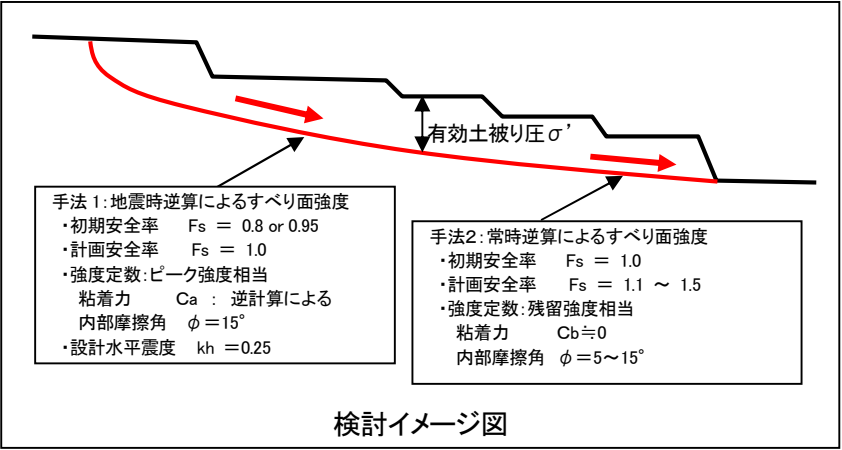
◆ 手法1：本事業における手法（案）

地震時を想定した逆計算により強度定数を求める手法であり、求められる強度定数はピーク強度に相当するものと判断される。

◆ 手法2：災害復旧事業を準用した

逆計算による手法

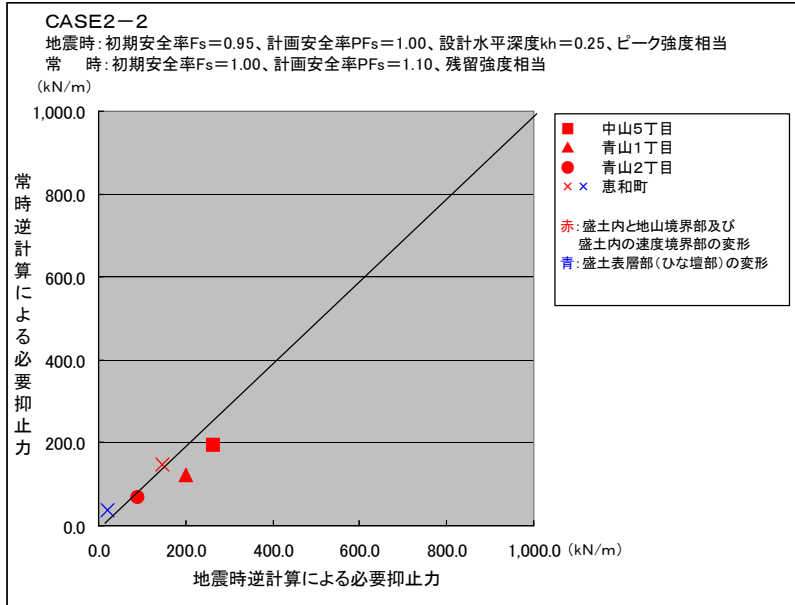
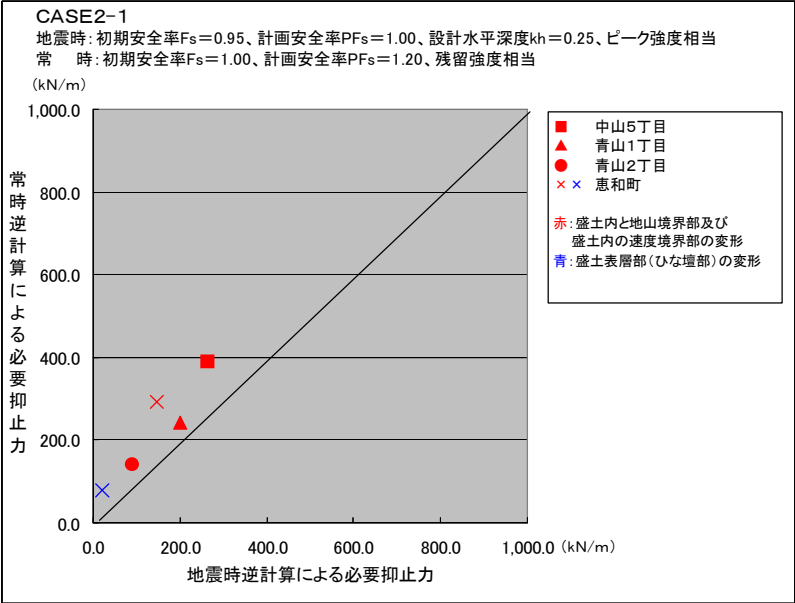
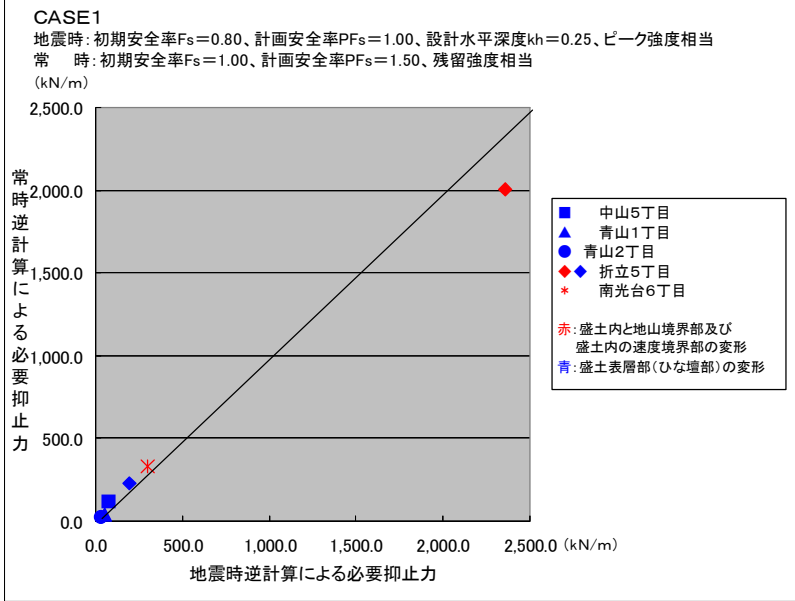
地震後の静止した状態を想定した逆計算により強度定数を求める手法であり、求められる強度定数（残留強度に相当するものと判断される。なお、逆計算における常時の初期安全率は  $F_s=1.00$  と仮定した。



② 検討結果

◆検討結果

- ・ 本事業で提案する、地震時を初期安全率とする手法のうち、変形量が大きく初期安全率を  $F_s=0.8$  とし、計画安全率（地震時）  $F_s=1.0$  にするために必要な抑止力は、手法2において、計画安全率（常時）を 1.5 にするための必要抑止力と同程度である。（CASE 1）
- ・ また、地震時を初期安全率とする手法のうち、変形量が小さく初期安全率を  $F_s=0.95$  とし、計画安全率（地震時）  $F_s=1.0$  にするために必要な抑止力は、手法2において、計画安全率（常時）を 1.1～1.2 にするための必要抑止力と同程度である。（CASE 2-1、2-2）



手法1及び手法2による必要抑止力の比較