

地すべり応急緊急対策としての押え盛土の形状と効果

石田孝司* 藤澤和範** 武士俊也***

1. はじめに

地表面に亀裂や段差など地すべりの徴候が生じた場合には、その後の地すべりの滑動による被害を最小限にとどめるために応急緊急対策がなされる。この際に多く用いられる工法として、押え盛土工が挙げられる。押え盛土工が用いられる理由としては、材料を速やかに調達できること、地すべりの滑動状況に応じて速やかに地すべりに対する抵抗力を付加でき、直接的かつ速やかに効果を発現できることなどが挙げられる。一方で、どの程度の盛土をどのような形状で施工すれば良いかという判断を行う際の明確な基準はなく、過大な施工となる場合や、逆に盛り土量が過小で効果を十分に発揮できず、追加で盛土を実施する必要性が生ずる場合など、必ずしも迅速かつ効果的な応急緊急対策とならない場合がある。

そこで本稿では、地すべりの応急緊急対策工法として押え盛土工を実施した事例を対象とし、それぞれの地すべり特性を把握した上で二次元斜面安定解析を実施し、安全率の変化等からその効果を検証し、応急緊急対策工としての押え盛土工を実施する際の適切な盛土量や盛土形状について考察した結果を報告する。

2. 検討手法

近年の地すべり発生時に応急緊急対策として押え盛土工を実施した12事例を対象とし、押え盛土工の規模と形状、施工時期、変位速度の推移、すべり面形状、地すべりの型とタイプ、地下水位の変化、斜面安定計算手法と設定条件等を整理するとともに、押え盛土工の進捗による安全率の推移等から押え盛土工の形状と効果、計画・施工時の留意事項等に関する評価を行った。対象とした事例の概要を表-1に示す。なお、地すべりの型分類は渡らり¹⁾によったほか、地すべりタイプは藤澤ら²⁾による分類を用いた。

表-1 検討対象とした地すべりの概要

No.	型分類	断面形状	タイプ	対応時の局面	末端切土の有無	地すべり規模	盛土規模
1	風化岩	椅子型	再滑動型	末端崩落	自然斜面	L:100m、W:100m、D:20m、V:100,000m ³	23,100m ³
2	風化岩	船底型	再滑動型	段差拡大	切土	L:80m、W:50m、D:9m、V:18,000m ³	1,800m ³
3	風化岩	椅子型	地質構造規制型	段差拡大	切土	L:60m、W:97m、D:18m、V:52,380m ³	5,100m ³
4	風化岩	船底型	岩盤クリーブ型	末端崩落	自然斜面	L:75m、W:75m、D:25m、V:70,313m ³	2,830m ³
5	風化岩	椅子型	再滑動型	末端崩落	切土	L:100m、W:110m、D:25m、V:137,500m ³	20,066m ³
6	風化岩	椅子型	岩盤クリーブ型	末端崩落	切土	L:50m、W:60m、D:11m、V:16,500m ³	13,700m ³
7	風化岩	椅子型	岩盤クリーブ型	段差拡大	切土	L:210m、W:100m、D:35m、V:367,500m ³	19,000m ³
8	風化岩	船底型	岩盤クリーブ型	不明	自然斜面	L:30m、W:35m、D:6m、V:2,700m ³	1,200m ³
9	崩積土	円弧型	円弧型	段差拡大	自然斜面	L:110m、W:140m、D:6m、V:46,200m ³	1,360m ³
10	岩盤	船底型	再滑動型	末端崩落	自然斜面	L:130m、W:95m、D:40m、V:247,000m ³	85,700m ³
11	風化岩	円弧型	円弧型	亀裂拡大	切土	L:40m、W:120m、D:10m、V:24,000m ³	6,900m ³
12	風化岩	船底型	再滑動型	末端押出	自然斜面	L:100m、W:90m、D:9m、V:40,500m ³	3,000m ³

3. 押え盛土工の形状と規模

3.1 押え盛土幅

検討対象とした事例の多くは風化岩地すべりであり、岩盤地すべり、崩積土地すべりはそれぞれ1事例である。すべり面形状は椅子型、船底型がそれぞれ5事例、円弧型が2事例である。なお本検討において対象とした全ての事例は、押え盛土工により一定の効果が発現されたものである。

地すべり末端部の幅と押え盛土幅とを比較した結果を図-1に示す。押え盛土幅は全ての事例において地すべり末端部の幅のおよそ75%以上を確保

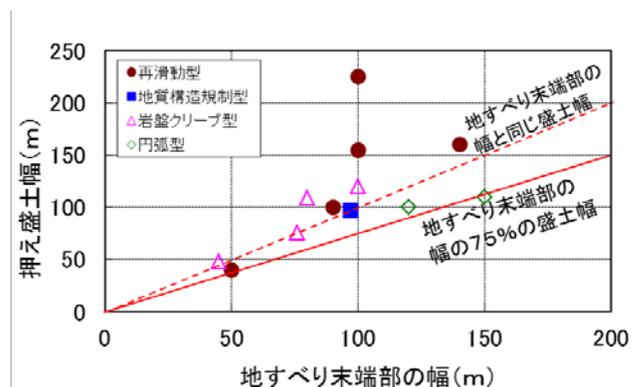


図-1 地すべり末端部の幅と押え盛土幅

The shape and effect of loading embankment work for landslide as emergency measurement

する形であり、事例の大半は地すべり末端部の幅をカバーする形で押え盛土工が施工されていた。図中、地すべり幅100mに対して押え盛土幅が230mと突出して大きな事例がある。これは、地すべり末端部が斜面中腹に出ており、その高さにおいて必要な盛土幅を確保するため、斜面下部から押え盛土幅を広く取って盛り立てる必要があったことが理由である。

3.2 押え盛土量

地すべり土塊の滑動を受ける押え盛土の変形過程を考える時、押え盛土全体が押されるというよりはむしろ、押え盛土内部に地すべりのすべり面末端から繋がる新たなすべり面が形成されるといった内部破壊が想定される。すなわち、押え盛土全体がそのまま地すべり滑動力に抵抗するのではなく、地すべり滑動力に対して実質的に抵抗する有効な土量があるものと考えた。そこで、押え盛土内部に形成されるすべり面より上部の盛土量を「有効押え盛土量」、また地すべりのすべり面末端部より上部の盛土高さを「盛土有効高さ」として

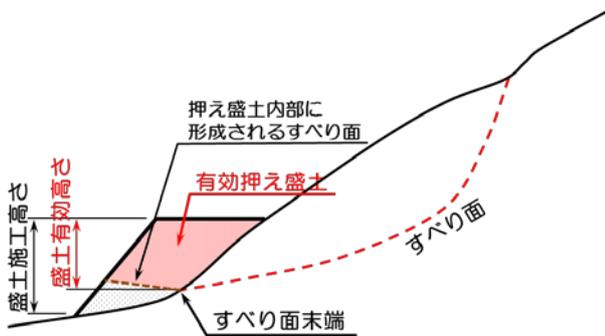


図-2 有効押え盛土と盛土有効高さの概念図

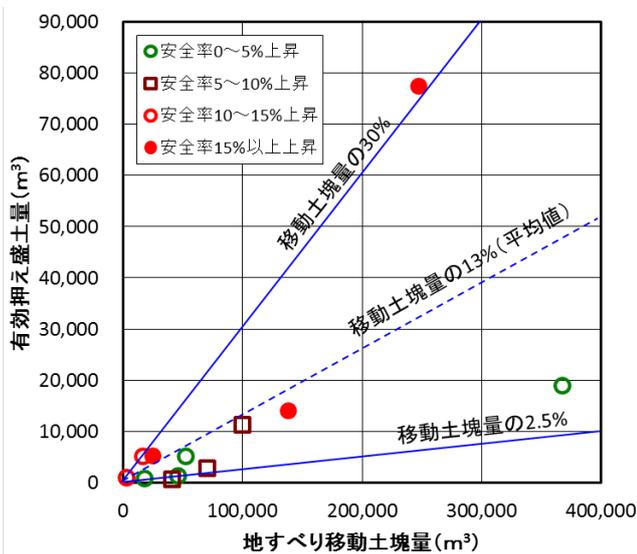


図-3 地すべり移動土塊量と有効押え盛土量

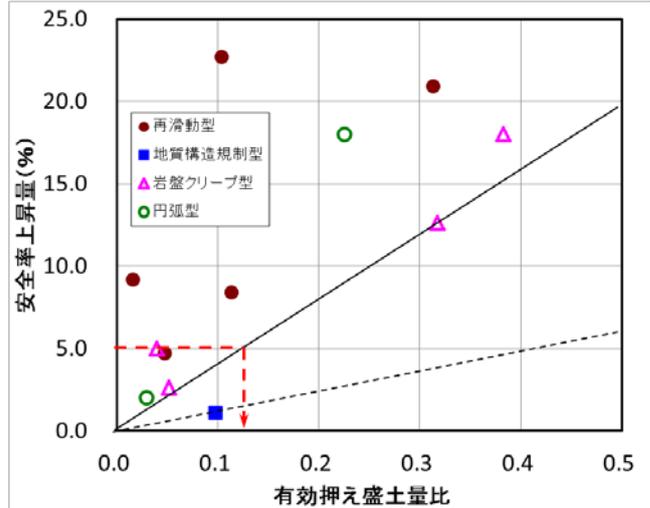


図-4 有効押え盛土量比と安全率上昇量

以降の検討に用いた。この概念図を図-2に示す。なお、盛土内部に形成される新たなすべり面の形状は、調査報告書に記載のある場合はこれを用い、記載のない場合には跳ね上げ角度を $45^\circ - \phi/2$ (ϕ :すべり面の内部摩擦角)とした。

地すべり移動土塊量と有効押え盛土量の関係を図-3に示す。図中、押え盛土施工後の安全率上昇量を4段階に分けて示した。移動土塊量に対して2.5~30%の有効押え盛土量で施工されており、直線近似とした場合の平均は約13%であった。

併せて、押え盛土の施工による安全率上昇量を見るため、地すべり移動土塊量と有効押え盛土量との比（以下、「有効押え盛土量比」という。）と安全率上昇量を整理し図-4に示す。押え盛土を施工中の安全率上昇カーブが直線的なものと仮定すれば、押え盛土により安全率を5%上昇させるためには、地質構造規制型の1事例を除き、押え盛土量比を12%程度まで見込むことにより目標を達成できることを示しており、押え盛土材料を調達する際の目安となるものと考えられる。ただし、段階的に施工される押え盛土の量と安全率変化の関係はすべり面形状や押え盛土形状等に左右され、盛土量に比例して安全率が上昇するとは限らないことに留意が必要である。

3.3 押え盛土天端幅と高さ

検討対象とした事例の多くは、押え盛土天端幅（地すべり移動方向の幅）は5m程度であった。押え盛土工の形状を決定する上で重要となる押え盛土の有効高さについて見るため、各施工事例の地すべり最大層厚と押え盛土有効高さとの関係を図-5に示す。限られた事例数ではあるが、対象とし

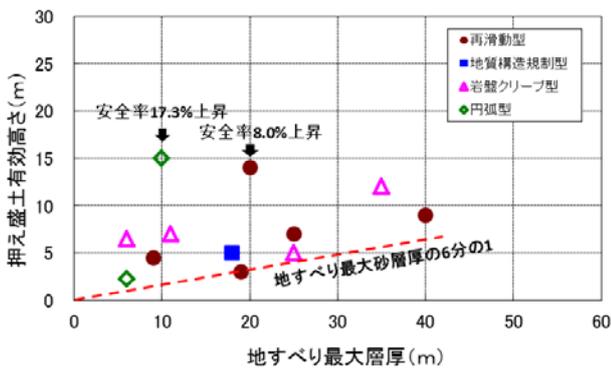


図-5 地すべり最大層厚と盛土有効高さ

た事例の多くは地すべり最大層厚に対して同等から6分の1までの範囲での盛土有効高さとなる施工により効果が発現されている。そのため、少なくとも地すべり最大層厚の6分の1程度の盛土有効高さとなるように計画することがひとつの目安となるものと考えられる。

4. 押え盛土工の効果について

表-1に示した各対象事例について、押え盛土工の進捗と地すべり移動速度、安全率の推移等を整理し、地すべりに対して実施した対策工の特徴と効果について検討した。その一例として、表-1のNo.8地すべりの事例を紹介する。

No.8地すべりは、道路に面した凸状地形を呈する斜面において小規模な崩落が発生し、その後の調査の結果、斜面上部に馬蹄形の滑落崖が認められるなどし、結果として幅約35m、長さ約30m、

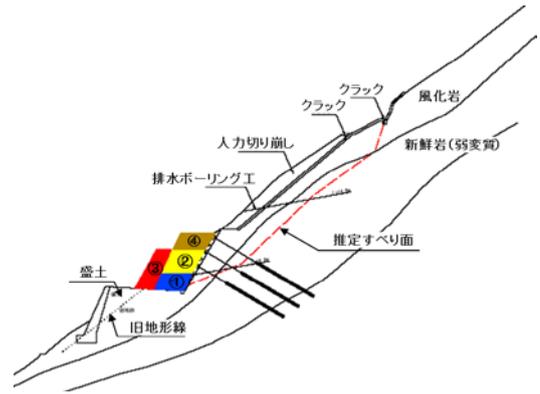


図-7 No.8地すべりの押え盛土工施工図(縦断面図)

斜面勾配約40度の地すべりが確認されたものである。地すべり変位量と応急緊急対策工施工時期、安全率の変化等を整理し図-6に示す。ここでは応急緊急対策として4段階にわたり押え盛土工が実施された。この時の断面形状を図-7に示す。安全率の変化は図-6に示すように第①段階での盛土により2%の上昇、第②段階での盛土により9%上昇し $F_s=0.98$ となり、この段階で地すべり変位はほぼ沈静化した。しかし、3月中旬の積雪を伴う降水により変位が生じたことを受けて横ボーリング工を施工したが、地下水位の低下が認められなかったことから、第③段階として①と②の側部に盛る形での施工により $F_s=1.07$ へ上昇、さらに第④段階の盛土を上部斜面の遷急線付近の高さまで実施した。

No.8地すべりにおける押え盛土工の特徴として、第④段階の盛土により遷急線付近の高さまで

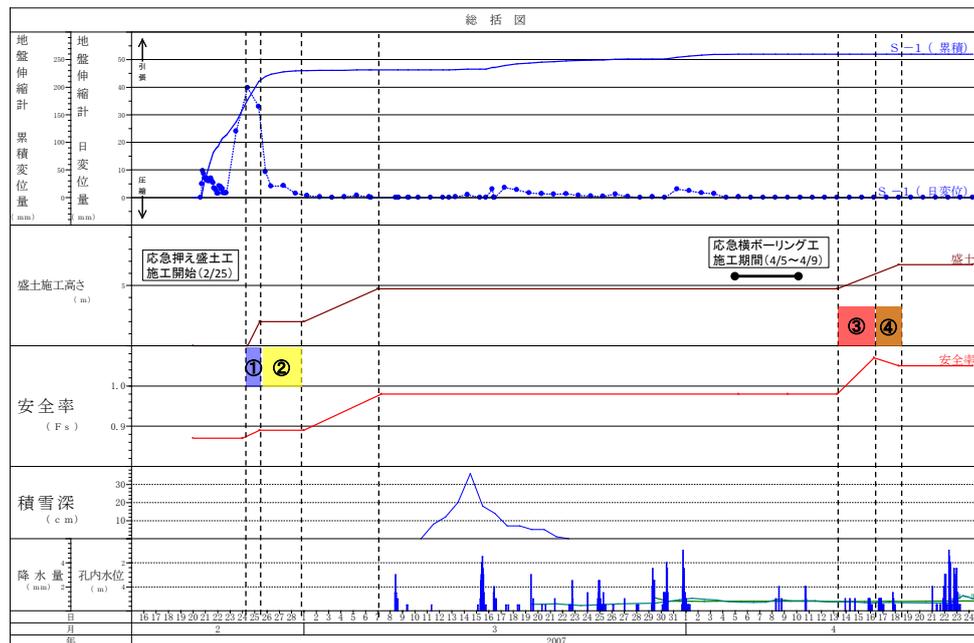


図-6 応急対策工と地すべり変位状況の関係整理例 (No.8地すべり)

施工したことにより末端崩落を抑制する効果を期待したことが挙げられる。ただし、二次元斜面安定計算の結果として安全率が約2%低下していたことから、盛土形状とすべり面形状の関係によっては安全率が低下する場合もあることに留意する必要があるといえる。また、盛土施工ヤードである道路は片切片盛で施工されていたことから、道路の盛土及び土留め擁壁に押え盛土の

荷重がかからないように配慮したことも挙げられる。

このような形で、検討対象とした12事例について押え盛土工の計画・施工上の特徴や効果、押え盛土工の段階施工による安全率の変化について整理・検討を行った。その結果として押え盛土を計画・施工する際の主な留意事項等を整理し表-2に示す。押え盛土工の計画に際し、特に平面的に凸型を示すような場合には地すべり側部の滑動力が相対的に小さい等の理由から、中心測線付近に重点的に盛土を施工することでより効果的な盛土となる可能性があること、そのため地表面変位計測を行いながら盛土形状の修正を行うことが効果的な盛土が施工できる可能性があることが挙げられた。また、移動速度が大きな場合には地すべり滑動が低下・停止するまでに時間差が生ずる場合があることを考慮する必要があることなどが挙げられた。

5. まとめ

応急緊急時の地すべりに対する押え盛土工の効果的な計画・施工のため、12の事例を対象として検討した。有効押え盛土量は地すべり移動土塊量の2.5～30%（平均約13%）であり、盛土量と安全率上昇が比例関係にあると仮定した場合、検討事例の多くは有効押え盛土量比を12%まで見込むことで安全率を5%上昇させたことがわかった。また、押え盛土有効高さは少なくとも地すべり最大層厚の6分の1程度を目安とすることが考えられることを示した。さらに、事例から得られた押え盛土工施工時の留意事項等を示した。

表-2 押え盛土工計画・施工時の留意事項など

<p>押え盛土工による安全率の上昇分以上に地すべり滑動が沈静化した事例がある。これは斜面形状が平面的に凸型を示し、側部の滑動力が相対的に小さく、三次元的に見たときに地すべりの規模に比して盛土の効果が大きく寄与したためと考えられた。このような地形を呈する場合には、地すべり形状を主測線だけでなく、地形を評価し、地表面変位計測を行いながら盛土形状の計画修正を行うことが効果的と考えられる。</p>
<p>地すべりの移動速度が大きい場合には、応急押え盛土工施工後の計算上の安全率上昇分に比して、地すべり滑動が低下・停止するまでの間に時間差が生ずる場合があることを考慮する必要がある。</p>
<p>応急緊急的に押え盛土工を実施する必要がある場合に、土留め柵等を暫定的に押え盛土の法留に利用することが有効な場合もある。</p>
<p>盛土施工ヤードの道路が片切片盛で施工されている事例において、盛土工リアにかからないように応急盛土が施工されている事例がある。この事例のように道路構造についても十分に考慮の上、応急盛土を計画・施工する必要がある。</p>
<p>切土が地すべりの誘因となった場合には、切土高を考慮して押え盛土高さを計画・施工することが有効であり、この場合には地表面変位計測を行いながら盛土形状の計画修正を行うことが効果的と考えられる。</p>

本検討に用いた事例は多くはないため、今後発生する地すべり対応事例を用いた検証を行いたいと考えている。また、地すべり発生後の応急緊急対策として用いられる工種は、押え盛土工のほか地下水排除を目的とする横ボーリング工や、地表水の地下への浸透防止工などが挙げられる。そのため、これら他工種による効果との関係等について分析し、より効果的な地すべり応急緊急対策手法について検討することは今後の課題である。

最後になりましたが、検討に際して必要な資料を快く提供下さいました関係機関の皆様に対しまして厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 渡正亮、酒井淳行：地すべり地の概査と調査の考え方、土木研究所資料第1003号、70p、1975年
- 2) 藤澤和範、藤平大、石田孝司、徳永博：地すべり応急緊急対策事例の分析、第46回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.31～34、2007年8月

石田孝司*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム 主任研究員
Koji ISHIDA

藤澤和範**



㈱高速道路総合技術研究所砂防研究担当部長（前 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム 上席研究員）
Kazunori FUJISAWA

武士俊也***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム 上席研究員
Toshiya TAKESHI