

長大切土に発生した 施工途中の地すべり対策について

緒方 健太郎¹・清水 良和²

¹清水建設（株） 大古地区改良工事 （〒649-2511和歌山県西牟婁郡白浜町日置651番地）

²清水建設（株） 大古地区改良工事 （〒649-2511和歌山県西牟婁郡白浜町日置651番地）

近畿自動車道紀勢線大古地区改良工事は日置川河口近くの右岸に位置し、最大切土高さ 61m、切土量約 80 万 m³ の長大切土が計画されていた。掘削中の切土法面の変状観測を目的に、各小段を 20m ピッチにトータルステーションによる動態観測を行いながら施工していた。8 段の切土掘削を開始し、約 45m 掘削した時点で、切土法面が幅 80m に渡って本線側に変位した。最大変位が 21mm となり、緊急対策として押え盛土を実施した。変位の発生原因を究明するため、詳細な法面観察、既往ボーリングコアの再確認、3 本の新設ボーリングのコア確認とボアホールカメラによる亀裂・破碎帯の構造を調査した。その結果、確認された変位は粘土を挟在している断層が流れ盤構造になっており、掘削に伴って流れ盤上の土塊が不安定化したところへ台風による降雨が誘因となって発生した地すべりの兆候であると判明した。さらに、流れ盤の断層が道路面である最下段にも確認されたため、今後、掘削すれば切土完成時に法尻に抜ける同様の地すべりが発生する危険があることも分かった。

そこで、施工途中で発生した地すべりの兆候と最下段掘削時に発生が予想される地すべりに対して対策工を比較検討した。排土案、グラウンドアンカー案、抑止杭案とこれらの複合案の中から排土とグラウンドアンカー工の複合案を選定した。

グラウンドアンカーの仕様は引抜試験による極限周面摩擦抵抗の確認と平板載荷試験による支持力の確認を行って決定し、掘削とグラウンドアンカー工を交互に行いながら最下段まで掘削した。掘削完了後に変位の発生はなく安定化しているため、地すべり対策工が有効に機能していることが証明できた。

キーワード 地すべり、動態観測、流れ盤、ボアホールカメラ、グラウンドアンカー

1. はじめに

近畿自動車道紀勢線は、大阪府松原市を起点とし、和歌山県和歌山市及び田辺市等を経由し、三重県多気郡多気町に至る延長335kmの高速自動車国道である。この路線は、京阪神と紀南を結ぶ幹線道路として、輸送時間の

短縮や一般道の混雑緩和を図り、地域相互の産業、経済、文化、観光の振興と発展に寄与することを目指している。現在、紀勢線は松原JCT～南紀田辺IC間129.2kmが自動車専用道路でつながっており、今後、南紀田辺IC～すさみIC（仮）間の延長38kmを国土交通省による新直轄方式で整備している。

近畿自動車道紀勢線大古地区改良工事は紀勢線整備事業のうち、西牟婁郡白浜町の日置川河口近くの右岸に位置し、日置IC（仮）を含む工区延長約665mを造成する道路改良工事である。工事位置図を図-1に示す。



図-1 工事位置図

2. 工事概要

近畿自動車道紀勢線大古地区改良工事は、大きく切土区間と盛土区間に分別される。そのうち切土区間は、最大切土高さ 61m、切土量 80 万 m³ の長大切土工事である。図-2 に全体平面図と図-3 に掘削断面図を示す。切土法面は高さ 7m 毎に小段を有する最大 8 段からなる。切土

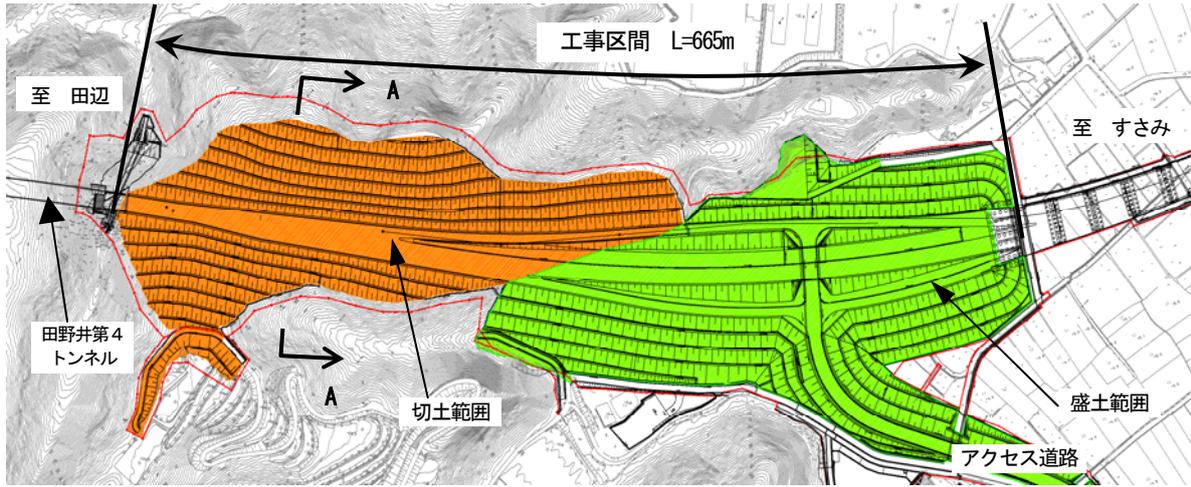


図-2 全体平面図

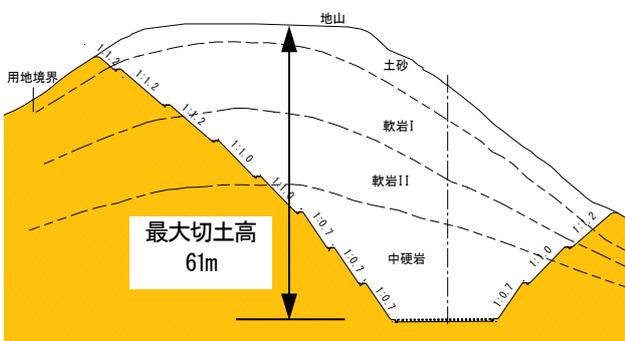


図-3 A-A 掘削断面図 (No. 502+00)

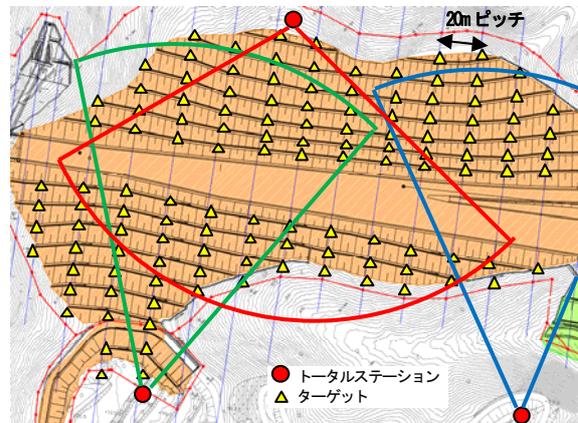


図-4 切土部動態観測 平面図

勾配は、事前地質調査の土軟硬区分から切土標準勾配として1:1.2~1:0.7で設計されていた。

長大切土工事であるため、掘削中の地山挙動を監視するために、各小段を20mピッチにトータルステーションを用いた動態観測を行った。観測は1回/時間の自動計測で24時間体制の監視を行った。各段の切土掘削が完了後、次段への切土掘削の開始前にターゲットを設置し、法面挙動を監視した。動態観測の測定結果は、FOMA回線により自動転送されて、管理基準を超えた場合は携帯メールに警報するシステムとした。動態観測の平面図を図-4に示す。動態観測は全ての切土法面を網羅できるように3箇所トータルステーションを設置した。

3. 地質概要

工事周辺の基盤岩は、日置川付近を境界として、西方には新生代第三紀新生に形成された「田辺層群」が、東方には新生代第三紀始新生~中新世に形成された四十万帯の「牟婁層群」が分布する。日置川から西方に位置する大古地区改良工事は、田辺層群の泥岩が主体であり、砂岩泥岩が互層となっていた。図-5に地質図¹⁾を示す。



図-5 地質図¹⁾

4. 地すべりの兆候までの経緯

2014年4月に切土掘削を開始し、2014年の8月に5段目の約30mまで掘削を行っていた。8月からは仮法面を作って約12m掘削した。そして10月9日～11日の期間でさらに3m掘削し、日降雨量40mmの台風19号が来襲した後、左側法面にて約80mの区間で変位が観測された。この時の最大変位は21mmであった。この動きを抑えるために、緊急対策として、仮法面の前面に約6000m³の押え盛土を行って変位を収束させることができた。兆候までの経緯を図-6に示す。この期間に観測された法面直角方向の変位記録の一例を図-7に示す。台風18号(日降雨量120mm)の通過時は、切土法面の変位が無かったが、3mを掘削して台風19号の通過後に、急激に動き出しており、掘削と降雨による地下水の影響が考えられた。変位も頂部の8段目から動き出していることもわかる。図-8に動態観測結果の変位のベクトル図を示す。変位の規模は約80m幅の赤線で囲まれた範囲で変位している。変位している方向は法面直角よりもやや起点側に傾斜していた。

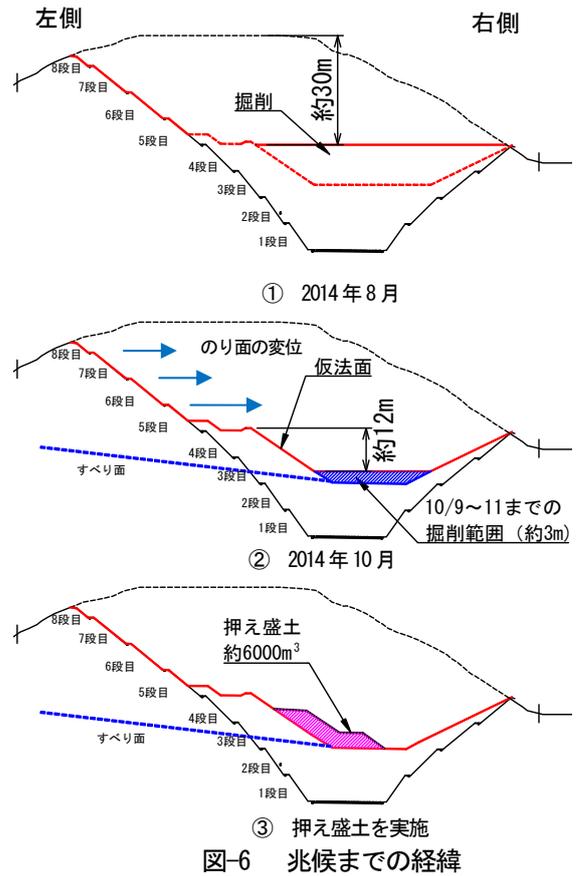


図-6 兆候までの経緯

5. 追加地質調査の概要と発生原因

確認された変位の発生原因を究明するため、詳細な法面観察、既往ボーリングコアの再確認、3本の新設ボーリングのコア確認とボアホールカメラによる亀裂・破碎帯の構造を調査した。調査ボーリングの結果、以下のことが判明した。

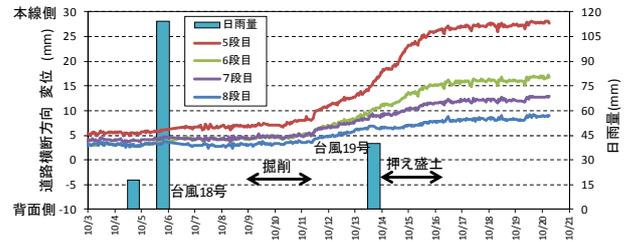


図-7 動態観測結果 (No. 501+80 左側)

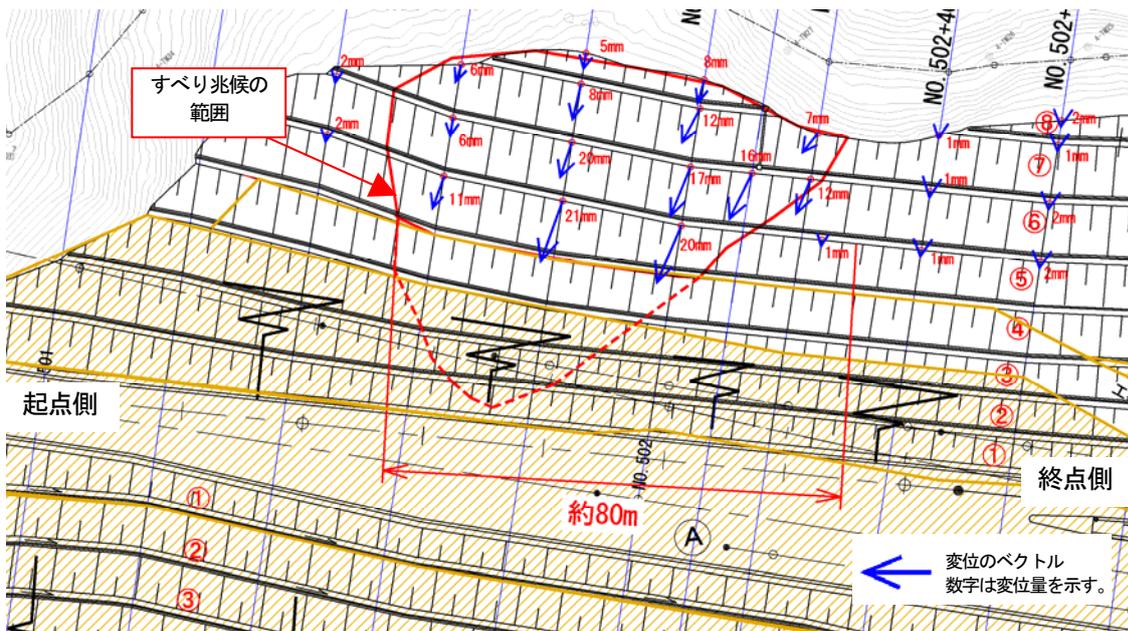


図-8 動態観測結果 平面図

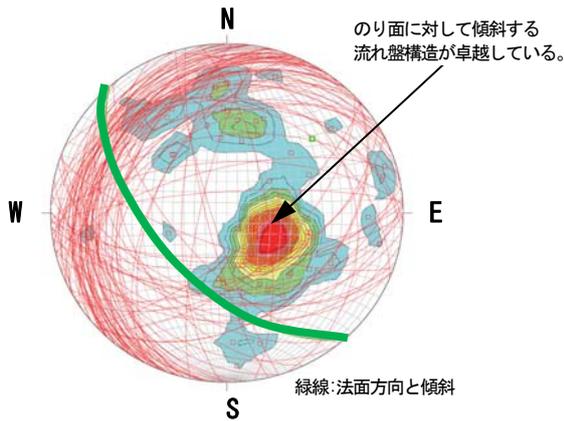


図-9 孔面構造判読結果のステレオネット図

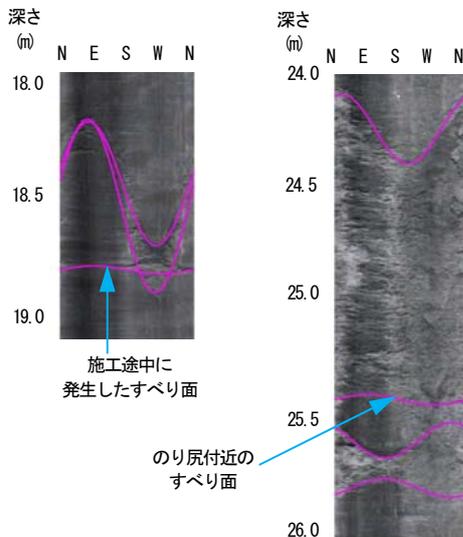


図-10 ボアホールカメラより判読できたすべり面

- ① 層理面の角度は20度前後が主体である。
- ② 70度～90度の高角度の割れ目が認められる。
- ③ 層理面沿いや高角度の面沿いに礫状～粘土状の破砕帯部が存在する。
- ④ 硬質岩盤が出現する深度以深においても、破砕帯等の弱部が存在する。
- ⑤ 層理面沿いに剥離しやすく、一部鏡肌を呈している。

ボーリング調査により得られたコア観察では、その地点の深さ方向の地質分布状況や亀裂・破砕帯の状況は確認できても、コアが土被り荷重から解放され回転して上がって来ているため、地盤内の層理面や亀裂の方向、開口状態まで確認できない。そこで、地質の構造をより正確に把握するために、ボアホールカメラによる調査を実施した。

図-9 にボアホールカメラの画像から判読した構造のステレオネット図を示す。ステレオネット図を利用することで、傾斜の向きを統計的に処理し傾斜の卓越方向が

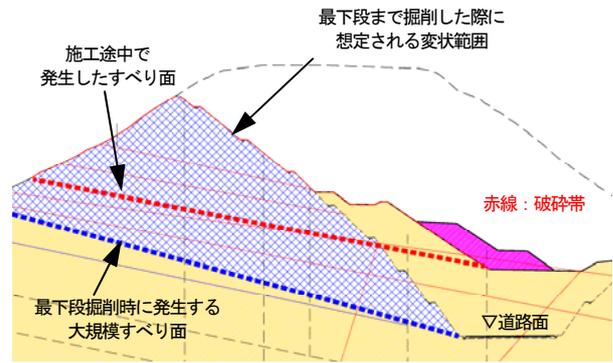


図-11 対策が必要な範囲断面図

明らかになる。ステレオネット図で北東―南西系で西側に $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ で傾斜する法面に対して斜交する流れ盤構造が卓越しているのがわかった。図-10 にボアホールカメラの観察画像を示す。深さ 19m 付近に今回の施工途中に発生した変位の素因と思われる層理面沿いのすべり面が確認できた。さらに以深を調査すると、最終掘削時の法尻付近にも同様な流れ盤構造を有するすべり面が確認できた。

以上のことから、今回確認された変位は掘削による応力解放やリバウンドではなく、粘土を挟在している断層が流れ盤構造になっており、掘削に伴って流れ盤上の土塊が不安定化となった所へ降雨が誘因となって発生した地すべりの兆候と判明した。さらに、施工途中のすべり面より以深においても同様な流れ盤構造の断層が存在するため、最下段掘削時に発生するすべり面も含めた対策が必要であることも判明した。図-11 に対策が必要な範囲断面図を示す。

6. 地すべり対策工

施工途中で発生した地すべりと最下段掘削時に発生すると予想される地すべりに対して対策工の比較検討を行った。対策案としては以下の4案を選定した。

- ① 排土案
- ② グラウンドアンカー案
- ③ 抑止杭案
- ④ 排土+グラウンドアンカーの複合案

比較検討結果を表-1 に示す。コストや工期等を総合的に判断した結果、④排土とグラウンドアンカー工の複合案を選定した。

グラウンドアンカーの設計に必要な諸定数を求めるために、原位置試験を行った。原位置試験の内容を表-2 に示す。引抜試験の定着長の位置は最終掘削時に発生するすべり面の下層の地盤とした。平板載荷試験はグラウンドアンカーの受圧版が破砕帯部に位置する可能性があるため、破砕帯上において支持力を確認した。

表-1 地すべり対策の比較検討結果

対策案	① 排土案	② グラウンドアンカー案	③ 抑止杭案	④ 排土+グラウンドアンカー工
概要図				
概要	安定が得られるように土塊を排土する。	プレストレスを地山に与えてすべりを抑える。	抑止杭が変形してすべりを抑える。抑止杭より下方の法面はグラウンドアンカーですべりを、地山補強土で表層すべりを抑える。	幅広小段を設けて、すべり土塊を用地境界まで排土する。安全率が不足する分をグラウンドアンカーで補強する。
対策案の仕様	頭部を排土し、のり面勾配を1:1.2と緩くする。掘削総量 約30万m ³	アンカー: 8本/断面@3.0m, L=42.5m n= 546本	深礎杭 φ5.0m@5.0m, L=36.5m 鋼管杭 φ1.0m@1.0m, L=39.0m アンカー: 2本/断面@3.0m, L=13.5m 鉄筋挿入: D25@2.5m, L= 4.5m	アンカー: 6本/断面@3.0m, L=26.5m n=279本 掘削総土量 約11万m ³
長短所	<ul style="list-style-type: none"> ×既施工範囲もすべて排土になる。 ×残土処分量が大幅に増える。 ×用地買収が必要となる。 ×工期限内に工事を完了できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ○逆巻でグラウンドアンカーを施工するため地山のゆるみを抑えながら掘削できる。 △想定土塊を過小評価すると、アンカー力が足りず増しアンカーが必要となる。 ×グラウンドアンカー調達できるまで、工事がストップする。 	<ul style="list-style-type: none"> ○想定土塊が多少大きくても根入れがあれば抑止できる。 △抑止杭より下方の法面にすべり対策が必要となる。 ×工期限内に工事を完了できない。 	<ul style="list-style-type: none"> △既施工範囲を再掘削し、残土処分量が約11万m³増える。 ○グラウンドアンカーを調達中に、土工を進めることができる。 ○工期限内に工事を完了できる。
直工費※	2.0	1.2	26.0	1.0
工期	約1年	約8か月	約3.5年	約8か月
評価	×	△	×	○

※直工費は④排土工+グラウンドアンカー案の工事費を1.0とした場合。

これらの原位置試験の結果を反映し、グラウンドアンカー工の仕様を決定した。地すべり対策の平面図と断面図を図-12、図-13に示す。対策案の特徴は、左側のり面は将来2期線拡幅のために用地買収済みであったため、用地境界まで掘削範囲を広げて排土し、3段目に10mの幅広小段を設けて掘削勾配を1:1.2と緩く設定した。グラウンドアンカーは施工途中に発生した地すべり対策として、4段目と3段目の各1段にグラウンドアンカーを配置した。最終掘削時に発生する地すべりに対しては、1段目と2段目にグラウンドアンカー4段を配置した。

施工は掘削とグラウンドアンカーを交互に行いながら、最下段まで掘削を完了させた。

表-2 原位置試験の内容

試験項目	試験内容	わらい	得られた結果
引抜試験	削孔径φ135mm アンカー-SFL-5 L=27m 定着長2m	アンカーの摩擦抵抗	極限周面摩擦抵抗 $\tau = 1.0\text{N/mm}^2$
平板載荷試験	地盤の平板載荷試験方法 (JGS1521)	受圧版の選定	地盤の長期許容支持力 240kN/m ²

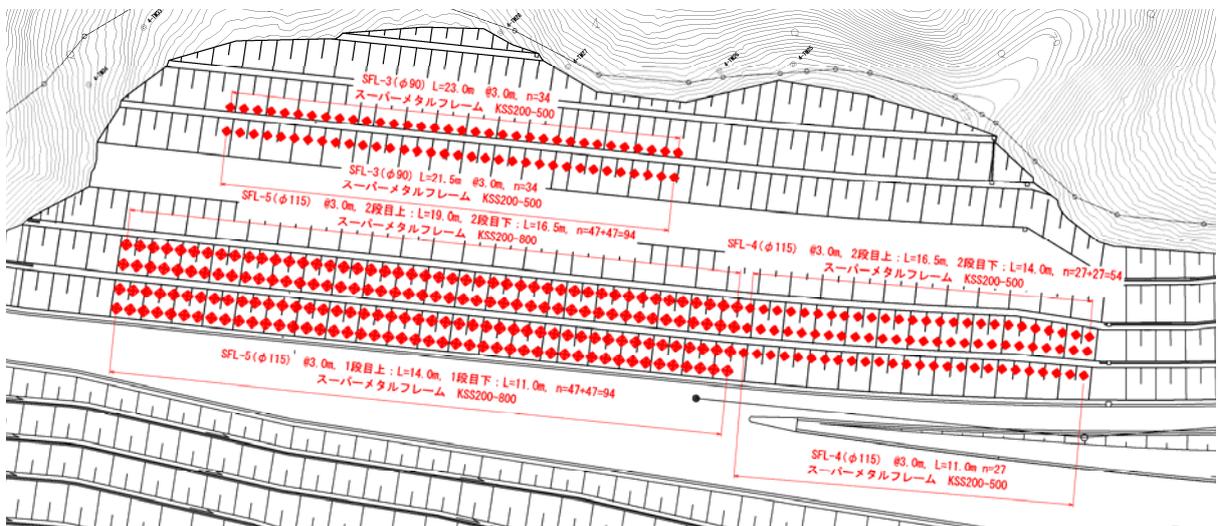


図-12 地すべり対策 平面図

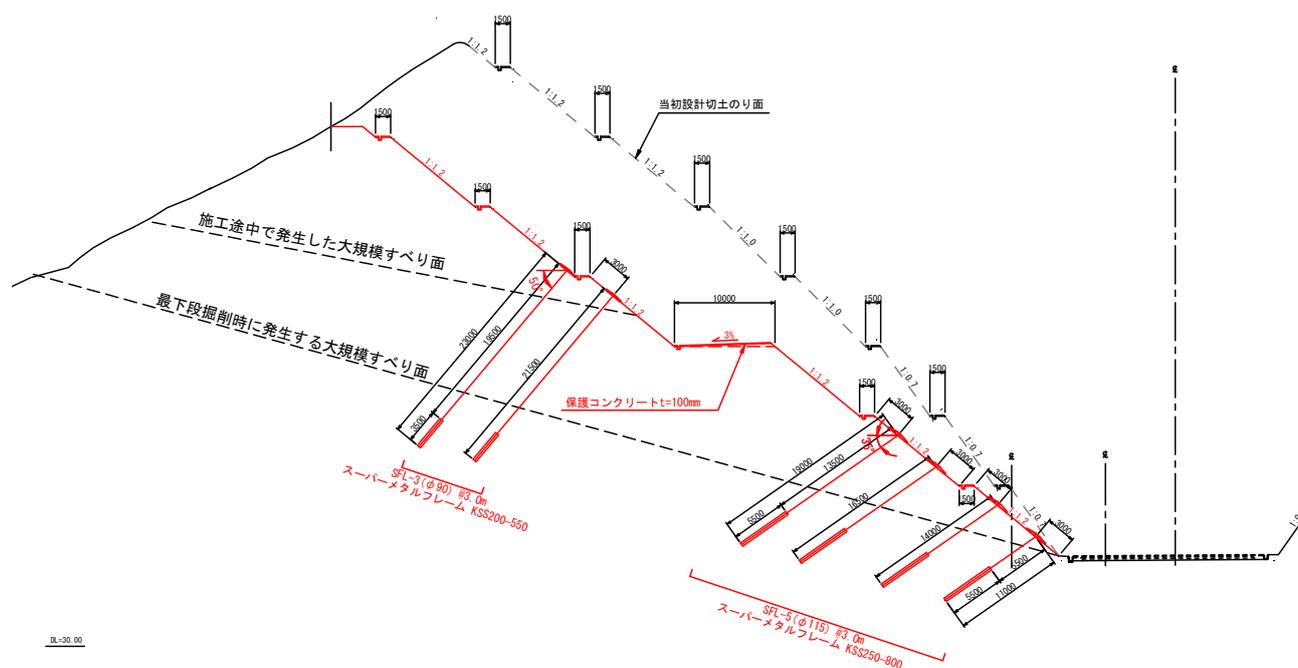


図-13 地すべり対策 標準横断面図

7. おわりに

今回、動態観測を実施したことで、施工途中に発生した地すべりの微細な兆候を察知し、地すべり対策の検討と実施ができ、安全に掘削することができた。動態観測の結果では、掘削完了後の変状の発生は観測されておらず、対策工が有効に機能していることが証明された。

謝辞：最後に、本地すべり対策の調査から設計、施工をするにあたり、多大なる指導・ご協力を頂いた紀南河川国道事務所ならびに関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 株式会社クボタ：紀伊半島四万十帯の地質図, アーバンクボタ NO.38 SEPTEMBER 1999