

# 設計・施工実施例にみるトンネル坑口の偏圧・地すべり対策

## Countermeasures against Nonuniform Pressure and Slope Failure at Entrance of Tunnel

大野 幸次\*                      宮崎 文秀\*  
 Kōji Ōno                         Fumihide Miyazaki

鈴木 睦\*                         野田 浩次\*\*  
 Mutsumi Suzuki                 Kōji Noda

### 要 約

本報文は、当社施工のトンネル周辺の地すべり対策のうち、代表的な対策工である押え盛土工、抑止杭工、アンカー工、パイプルーフ工について、実施例に基づき報告するものである。

### 目 次

- §1. はじめに
- §2. 地すべり防止計画
- §3. 助川トンネル工事
- §4. 富海トンネル工事
- §5. 赤田トンネル工事
- §6. 導水路第1号トンネル工事
- §7. 下天津トンネル工事
- §8. おわりに

### §1. はじめに

一般に、トンネル坑口は斜面に位置し、土被りが薄く、地形・地質の影響による偏在、掘削に伴う緩み、岩の発破振動等が斜面の崩壊を惹起する等の施工上、大きな危険を有することが多い。近年、明らかに地すべり地区とみなせる箇所においても施工せざるを得ない場合が多くなった。以上の背景をかんがみ、坑口周辺の地すべり・斜面崩壊対策について施工例を挙げ、今後の参考に供する。なお、大規模な地すべりは、これを完全に防止することが困難であるので、路線変更等により対処するものとし、本稿では小規模な岩盤・風化岩すべり及びすべり面深さが5～20mの崩積土・粘性土すべりの対策工について記述する。紙面の都合上、§5～7は簡略な報告に止

\*土木設計部設計課  
 \*\*土木設計部設計課副課長

める。

### §2. 地すべり防止計画

地すべり対策を計画する際の流れ図を Fig. 1 に示す。

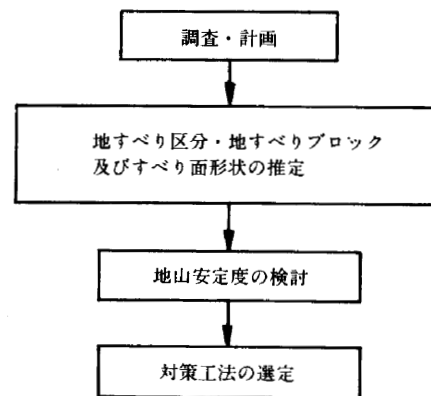
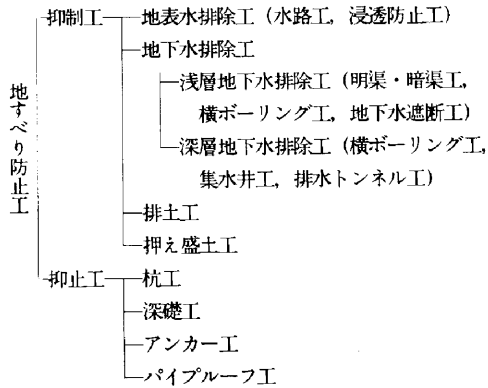


Fig.1 地すべり防止工計画流れ図

このうち、調査・計画には地形調査、地質・土質調査、動態観測等が含まれる。また、一般に用いられる地すべり防止工を Table 1 に示す。

抑制工とは地すべりや斜面崩壊を起こす原因を除去する工法であり、抑止工は地すべりや斜面崩壊の起動力に対する不足抵抗力（計画安全率を得るに必要な抵抗力）を付加する工法である。

Table1 地すべり防止工の分類



§3. 助川トンネル工事

3-1 工事概要

企業先	日本道路公団東京第1建設局
工事件名	常磐自動車道成沢トンネルその他(その1)工事
工事場所	茨城県日立市諏訪町
トンネルの概要	2車線併設トンネル 延長1,583m(上り線), 1,570m(下り線)

3-2 地形・地質

助川トンネル上り線・下り線の南坑口は、路線を横断する沢の緩傾斜面の中腹に構築される。一般に沢等の山襲地形の緩傾斜面は、崖錐堆積層や泥流堆積層が厚く分布している。そのうえ、下部の基盤が劣化し地下水流路であることが多く、施工上、種々の問題を生じる。そこで、トンネル掘削に取り掛かる前に坑口付近の調査ボーリングを追加し、更に詳しい地質状況の把握につとめた。また、伸縮計・パイプ歪計を設置し、トンネル掘削に伴う挙動(地すべり・崩壊の兆候)に対する観測体制を整えた。

この河床から比高約15m程度の河岸段丘状の地形は、過去数度の大小の地すべりあるいは崩壊の繰り返しにより生じたものと考えられ、その形跡を現わしている。地質の概略は、上部から表土層、崖錐堆積層及び基岩層の三層に区分できる。崖錐堆積層については、石灰岩の大転石を含む褐色系を呈する転石混り粘性土と、部分的に強風化岩状を示す粘土岩の小角礫を主体とした暗灰色を呈する粘性土混り角礫との二層に区分でき、平均10mの層厚をもって基盤岩に接している。基岩層に関しても、

ボーリングコアが岩片状で酸化物を挟在して採取される風化部と棒状コアとして採取される新鮮岩部分とに大別される。

地すべり地内の等高線の乱れ等、いわゆる地形特性及び地表クラックに基づきブロックに区分したものをFig.2に示す。この地すべりの特徴として、以下の事項が挙げられる。

- (1) すべり層が比較的厚い。
- (2) 斜面勾配が緩やかである(土質強度が弱い)。
- (3) すべり面下の岩盤の強度はそれ程高くない。
- (4) すべり面が斜面法尻に出てくる(押えの効果が小さい)。

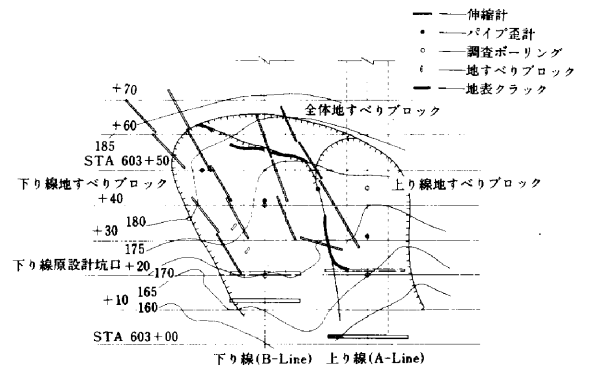


Fig.2 助川トンネル平面図

3-3 坑口延長

側壁導坑掘削に伴う崖錐堆積物斜面の切取りに対し、坑口付け後の斜面の安定が保たれ、導坑掘削等に支障のない坑口取付け位置を検討する。一般に、人為的要因による地すべりは、地すべり発生前の自然地形の安全率が5~10%低下した時点で発生している。この5~10%の安全率を限界安全率と定義して地すべり発生予知の指標としている。これを踏まえ、下り線の例では、Table 2の計算結果から坑口的位置をSTA603+05(15m延長)とした。しかし、15mもの延長は最終的に過大と判断され、坑口位置はSTA603+12(8m延長)に変更された。8m延長で、斜面切取り後の安全率は、1.12程度確保できるとTable 2から判断できる。この値は短期間の斜面安定に対する安全率として概ね充分であると考えられた。更に、地山挙動の観測を徹底することにより安全性の向上を図った。

3-4 坑口支持地盤

トンネルの構造的安定を考えると、坑口部に分布堆積する崖錐層ではトンネル構築物の支持地盤としての耐

Table2 坑口部の斜面切取りに対する安全率(下り線)

坑口的位置	(原設計) STA603+20	STA603+15	STA603+10	STA603+05
現状の安全率	1.38	1.43	1.41	1.40
切り後の安全率	0.92	1.05	1.17	1.31
安全率の減少量	0.46	0.38	0.24	0.09

力に不安がある。対策案を Table 3 に示す。これより、導坑断面を変更して側壁基部の幅を拡げて地盤反力度を小さくし、トンネルの安定をはかった。ただ、導坑延長は当初坑口から30m 間であったが、実際の掘削時の地山観察に基づき坑口から52m 間に変更された。

Table3 支持地盤対策工

工法	置換コンクリート	深礎杭	地盤改良	側壁拡幅
断面図				
縦断面図				
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>基岩を直接確認できる。</li> <li>支持力試験にて基岩の耐力を調べることができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>置換コンクリート工法に較べ、安全。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>速効性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>導坑掘削のみで対応できる</li> </ul>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>不安定な導坑盤を更に3m程度掘り下げることであり、危険。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工期が他工法に比較して長い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>注入効果に疑問が残る。</li> <li>恒久対策としては不安。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>支保工等の変更が必要。</li> <li>崖錐層の支持力の評価が難しい。</li> </ul>
評価	△	○	×	○

3-5 上半掘削補助工法

下り線トンネルにおいて、坑口から約35m 間は土被りが5~8 m と薄く、しかも崖錐層であるためトンネル天端の崩落が懸念された。そこで、上半掘削施工時の補助

工法として縦縫地ボルト工法を採用した。この工法は薬液注入による地盤改良を行わず、異形棒網とボーリング孔のモルタル充填のみで、主に転石群の串刺し、吊下げ効果により崩落を防ぐものである。

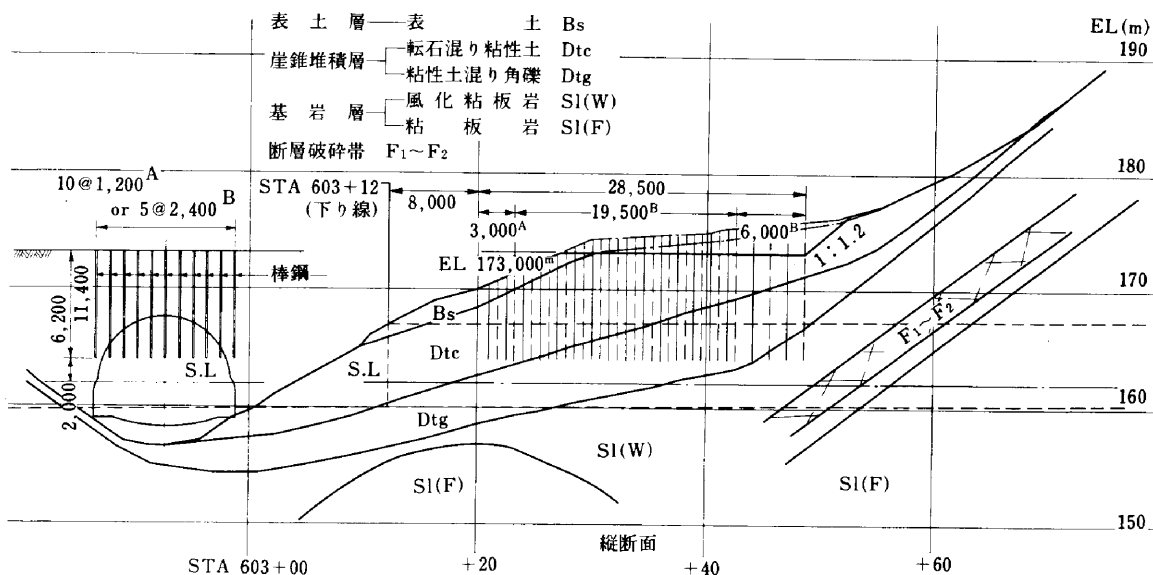


Fig.3 縦縫地ボルト施工図

坑口から15m間は石灰石の直径2～3mの転石群であったが、棒鋼の串刺し効果により安全施工が可能となった。また、15mから奥では粘性土混り角礫層で小規模の崩壊はあったものの、大きな切羽崩壊や天端崩落もなく、安全施工を行い得た。

### 3-6 地すべり抑止工

上り、下り線両トンネル坑口付近の全体地形から判断すると、路線交差45°方向の地すべりが懸念された。上り線についてはトンネル路線方向、下り線についてはトンネル路線に対し30°方向のすべりが卓越していると考えられるが、地表クラックの発生状況及び動態観測のデータ等を合わせ詳細に検討すると、上り線の地すべりを抑制することができれば、上り線から下り線への拡がる大規模な地すべりは十分に抑止されることが考えられた。

地すべり抑止の方法は、地すべりブロックの規模、抑止力の大きさ等によって種々の組合せが考えられるが、ここでは地すべり斜面の切・盛土及び抑止杭の併用工とした。なお、抑止杭の選定にあたり、水を使用しない工法、変形の小さな杭で緩みを極力小さくする工法等を考慮し深礎杭を採用した。以下、上り・下り線両トンネルの対策工について述べる。

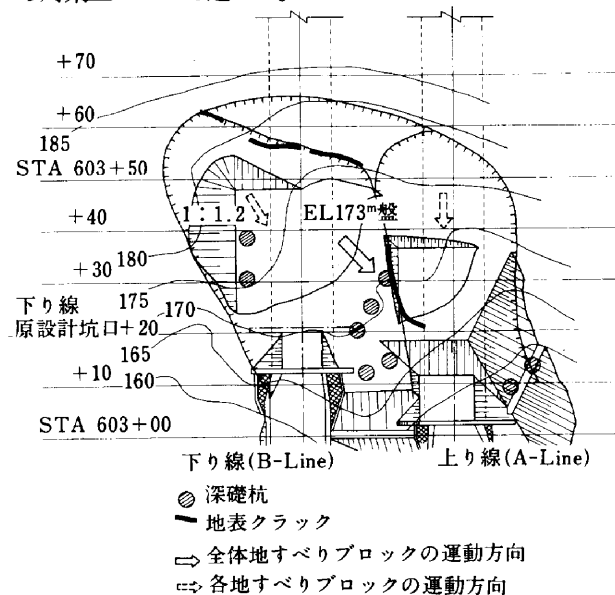


Fig.4 地すべり抑止工

上り線トンネル 押え盛土が有効であるが、完成後の計画安全率  $F_s=1.20$  を満たさないため、深礎杭工の併用となる。

下り線トンネル

既に設置してある伸縮計・パイプ歪計などの地すべり観測データから判断すると、土塊は移動の兆候を示している。このため、地すべりブロック頂部を EL173m 盤で切り取り、切上法面を法勾配1割2分にて仕上

げ、地すべり起動力の低減をはかる。一方、盛土を上り・下り線両トンネルの間に施工すると押えとして有効であるが、上り線トンネルに対して地すべり起動力として作用することになり危険である。よって、深礎杭工と切土工との併用とした。

### 3-7 まとめ

本工事の最大の特徴は、深礎杭受働域の補強を兼ねて経済的な縦縫地ボルトを施工し、効果を確認したことである (Fig.3 参照)。この工法は数例の施工が報告されているが、いずれも薬液注入を併用している。これに対し今回は薬液注入による地盤改良を行わないところに特徴がある。今後、ウレタン等で安価な発泡性注入剤が開発できれば、より効果の高い工法となろう。

## §4. 富海トンネル工事

### 4-1 工事概要

企業先	建設省中国地方建設局
工事件名	山陽自動車道富海トンネル工事
工事場所	山口県防府市大字富海
トンネルの概要	2車線併設トンネル 延長314m(上り線), 323m(下り線)

### 4-2 地形・地質

本トンネルの地質は古生代における三郡変成岩類に属する泥質片岩を基岩とし、一部に玢岩脈の貫入がみられる。三郡変成岩類は熱変成作用が認められ、片理・節理が発達し、水に対して極めて脆い状況となっている。中国地方三郡変成岩地帯は、特に地すべりの多発地帯として知られている。東坑口付近は風化・変質が著しく、粘性土状ないし土砂状を呈し、厚い表層風化帯を形成している。

平面図から見ても明らかな様に、比較的小さく浅い谷が多数分布する。谷部や山麓の崖錐性緩斜面は水田・みかん畑として利用され、棚田・段々畑となっており、尾根部や谷頭付近は竹林が発達している。この付近は集水域が狭いため、農業用水供給のために多数の灌漑水路を用いているが、水路が素掘りや石張り状態であるため相当の漏水がある。事実、灌漑期には岩盤内の亀裂が水道となり地下水が地表近くまで上昇することが、ボーリング調査により確認されている。しかし、冬期は地山内部の亀裂から漏水し、地下水が極端に低下し乾燥状態となる。

等高線の乱れ、不整列などの地形特性、棚田・竹林等の地相、地質の成層状態及び高地下水位等から、当地は明らかな地すべり地帯と判断される。

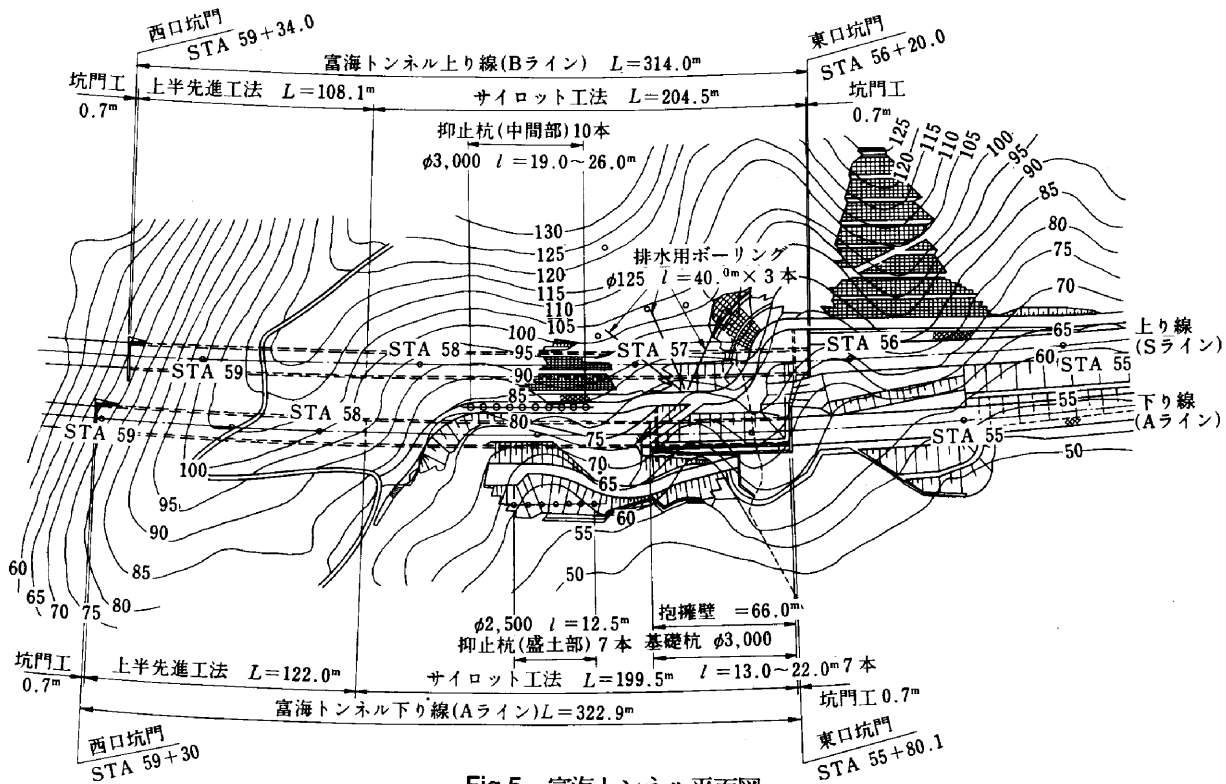


Fig.5 富海トンネル平面図

4-3 経緯

原設計では地すべり対策として、STA56+30(A)付近は上り線山側にベント杭、径φ1,800、間隔@3,600、 $n=21$ 本が、STA56+90(A)付近は上り・下り線両トンネルの中間にベント杭 φ1,800、@3,600、 $n=29$ 本及び下り線海側盛土部にベント杭 φ1,000、@3,000、 $n=23$ 本が計画されていた。

しかし、当地は明確な地すべり地形であり、ベント杭施工のための基地造成・法切りは地すべり誘発の危険性がある。また崖錐・強風化層は転石・岩塊を含み、基岩は新鮮であるためベント杭の施工は事実上困難と判断された。そこで、種々の対策工を比較検討し、上記条件でも施工可能で、掘削に水を用いず、かつ抑止力の大きい深礎杭に変更することに決定された。

当初、下り線坑口は、STA56+44(A)で、それから先は明り区間となり、もたれ擁壁にて法面を押える設計であった。しかし、トンネルを延長し押え盛土によりすべりを抑止した方が、施工性・経済性・安全性等の面から見て、より優れると判断された。このため将来の維持管理をも考慮し、深礎杭の抱き擁壁及び押え盛土により上り線と同じ坑口位置まで、すなわち STA55+80(A)まで64m延長することに決定された。ただし、押え盛土のみでは雨期の地下水上昇期に計画安全率を確保できないため、地下水排除工(水平ボーリングφ125、硬質塩ビ管φ100)を併用し、地下水の低下を促した。排水孔の排

水状態を実測し、排除工が有効に働いていることを確認した。上り線トンネル山側側壁導坑を集水トンネル兼用と考え先行させたが、延長199.5mで最大120l/分の湧水が見られ、その集水効果は極めて著しいものであった。

4-4 地すべり対策

(1) STA.56+30(A) 付近の対策

下り線トンネルの施工により、すべりに対する安全率は  $F_s=1.08$  となり計画安全率  $F_s=1.20$  を確保できない。しかし、下り線上に押え盛土を施すことにより、 $F_s=1.81$  まで上昇する。この場合、地下水排除工を併用することにより雨期の高地下水水位に対しても、 $F_s=1.08$  となり短期安全率としても充分である。解析に際し、盛土材として良質土を十分に転圧するとして、土質定数は単位体積重量  $\gamma=1.8t/m^3$ 、内部摩擦角  $\phi=30^\circ$ 、粘着力  $c=2.0t/m^2$  を採用した。押え盛土により地すべりは抑止できるため、擁壁・覆工は主動土圧を作用させ、深礎杭の剛性を考慮し杭頭部をバネ支承として解析した。以上の検討から、深礎杭(φ3,000、@10,000)基礎の抱き擁壁(高さ  $H=9.0m$ )及び押え盛土(法勾配2割)と決定され、これにより抑止杭は不要となった。

東坑口部の施工順序は以下のとおりである。

- ①下り線トンネル山側側壁導坑完成

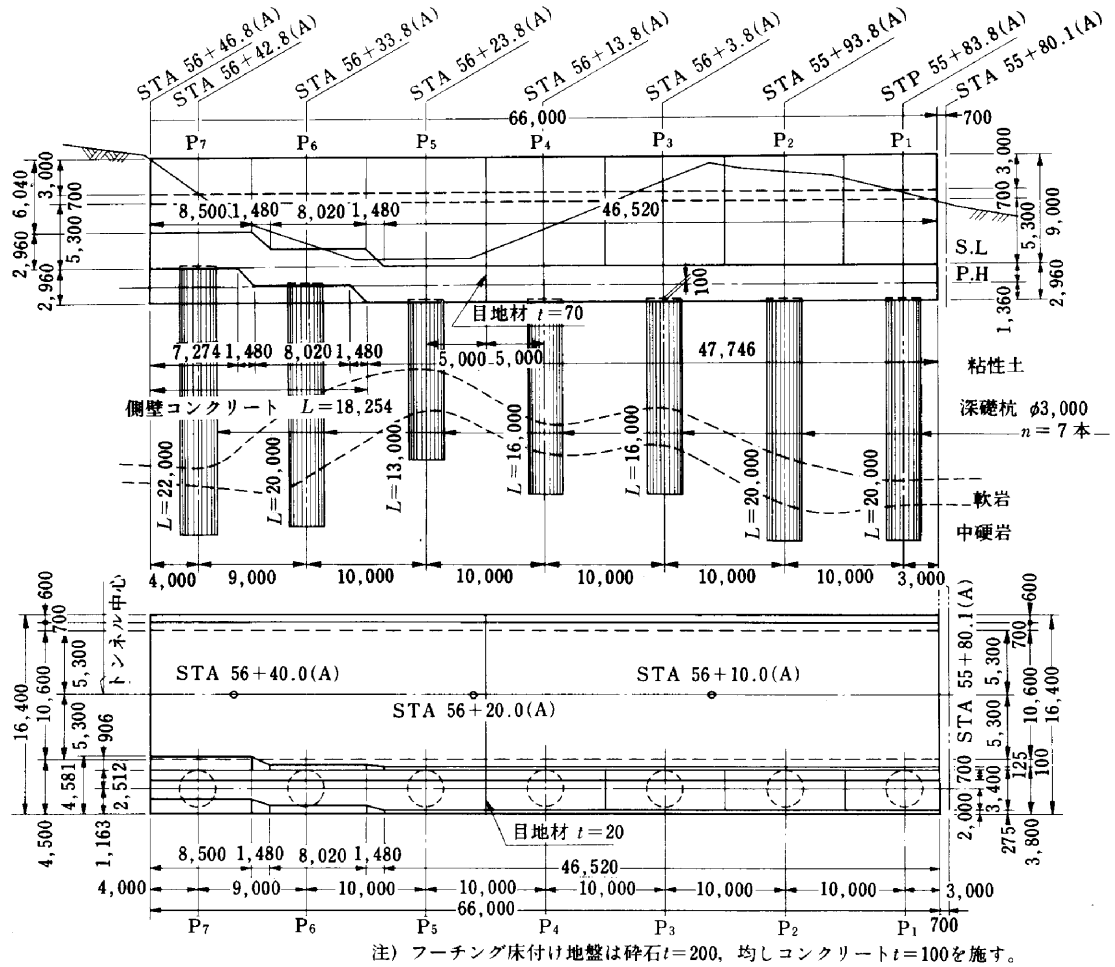


Fig.6 抱き擁壁部構造図(1)

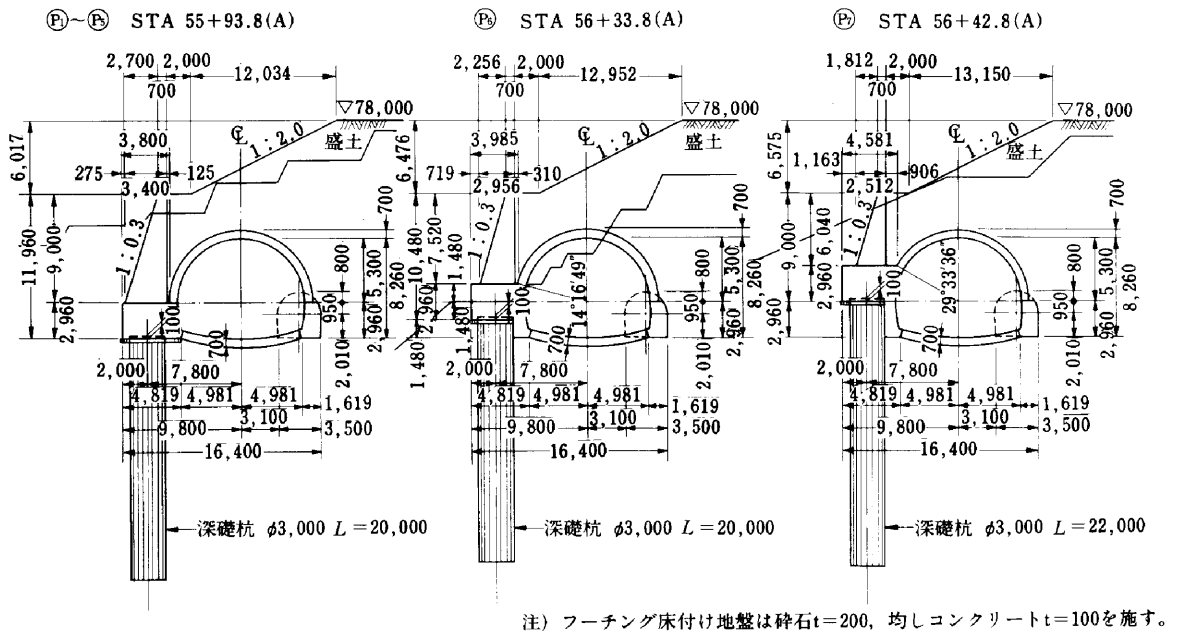


Fig.7 抱き擁壁部構造図(2)

- ②抱き擁壁基礎杭（深礎杭  $n=7$  本）設置
  - ③フーチング及び抱き擁壁本体（延長  $L=66m$ ）施工
  - ④明り部3ピース支保工の建込み
  - ⑤一次巻コンクリート（巻厚  $t=250$ ）打設
  - ⑥保護コンクリート打設
  - ⑦押え盛土完成
- (2) STA.56+90(A) 付近の対策

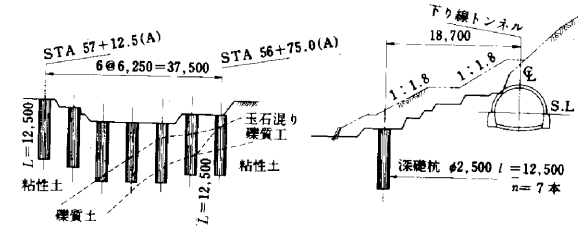


Fig.8 (b)盛土部抑止杭配置図

当区間は下り線トンネルの上被りが極端に薄く、トンネルの一部が露出するような設計であり、当初から偏圧が発生し地すべりにより下り線及び上り線に与える影響が懸念されていた所であった。また、原地山のすべりに対する安全率が  $F_s=1.22$  であったものが、下り線トンネルの掘削により  $F_s=0.95$  に低下し、低下率は20%強となる。限界安全率を大きく越えており、トンネル施工による地すべり発生は回避できないものと判定された。しかし、トンネルの完成とともに、トンネル本体がすべりに抵抗すること、トンネルにより排水が促進されること、覆工完成による地山の連続性が回復すること等を考え、トンネル完成後の安全率は原地山と同程度に回復するものとして、深礎杭は施工時（短期）で設計した。

杭は未だ明確な設計手法が確立されておらず、不明な点が多い。抱き擁壁施工区間では、深礎杭杭頭変位が覆工に与える影響、深礎杭各々の長さの違いがフーチングに与える影響、伸縮目地の設置箇所、地震の影響等設計に難渋した点が多かった。設計手法の確立が急務と考えられる。

円弧すべりの検討条件、杭の横抵抗に対するトンネル掘削部の影響等の関連を Fig. 9 の流れ図のように考え、合理的かつ経済的な設計を試みた。その結果、抑止杭として上り・下り線両トンネルの中間に深礎杭  $\phi 3,000$ , @6,000,  $n=10$  本、盛土下端部に深礎杭  $\phi 2,500$ , @6,250,  $n=7$  本を施工することに決定された。

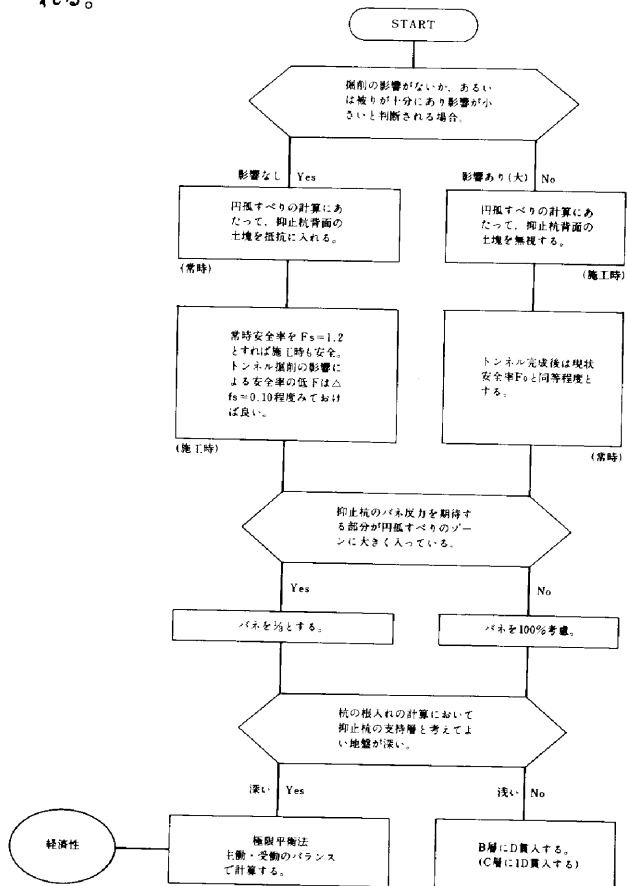


Fig.9 抑止杭設計の流れ図

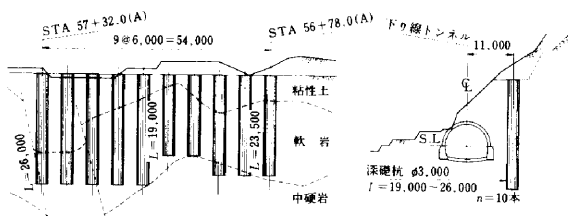


Fig.8 (a)中間部抑止杭配置図

4-5 まとめ

当該工事のような深礎杭基礎を抱き擁壁及び押え盛土による対策工は例が少ない。すべり抑止杭としての深礎

§ 5. 赤田トンネル工事

5-1 工事概要

企業先	建設省北陸地方建設局
工事件名	赤田トンネル及び取付道路工事
工事場所	新潟県柏崎市大字曾地
トンネルの概要	片側1車線トンネル 延長444m

### 5-2 地質概要

当地域は新第三紀層に形成された堆積物からなり、流れ盤構造で、かつ風化が深部に及んでいる。この層は背斜構造を成し、柏崎側坑口付近で受け盤となっている。また、固結度も低く破碎作用による風化・変質が顕著で、層状すべり等による崩壊が極めて多く発生している。

表層部の崖錐は層厚約5mでφ20~30cmの転石を含む岩片混り粘土でN値は2~9を示す。その下層約6mは暗緑灰色~暗灰色を呈する極風化砂岩と極風化泥岩の互層を成し、N値16~35と劣化が進んでいる。基岩部の風化泥岩は暗灰色を呈し、所々風化が進み粘土化を伴う部分があるが、全体的にはN値50以上で硬質で

### ③トンネル谷側部；抑止杭工+押え盛土工

プラスアルファの要因として地下水排除工（水抜きボーリング、 $l=65m \times 5$ 本）を行い、効果も十分に認められている。

### 5-4 設計手法

地すべり抑止杭をせん断杭として設計するか、モーメント杭として設計するかは議論の分かれるところであり、定まった規準がないのが現状である。ある実験によると抑止杭に作用する土圧分布は、まずすべり面付近に集中力として作用し、以後土塊の攪乱とともに放物線状に変化する。従って、この初期の集中力すなわちせん断力に抗し得れば、杭により地すべり運動は抑止できることに

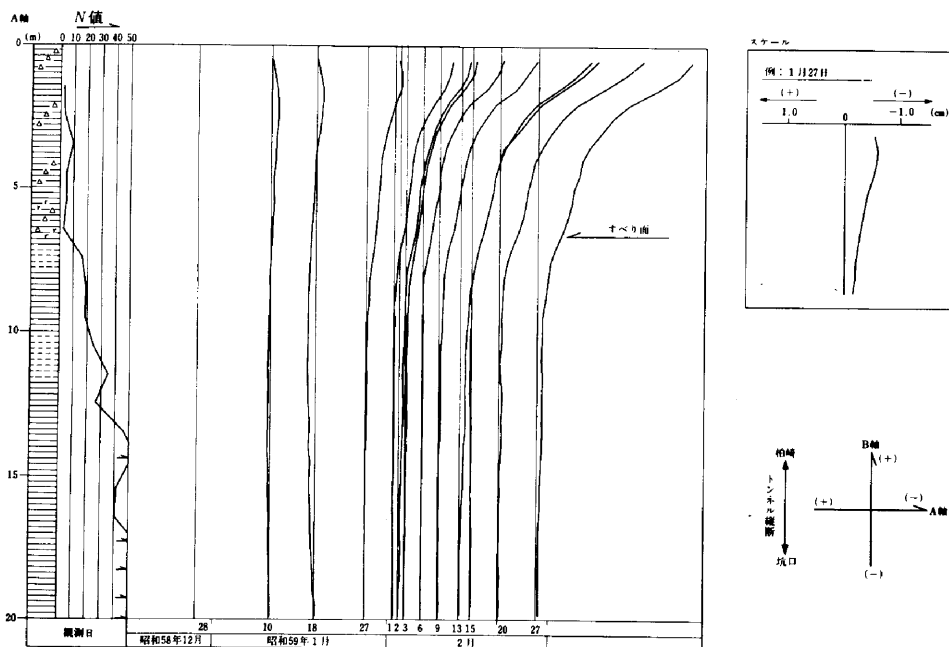


Fig.10 変位変動累積図(傾斜計)

ある。また、上部崖錐と極風化岩の間に層厚40cm程度でN値3前後の極めて軟質の粘土層が挟在し、腐植物混りて高含水比を示す。動態観測のための傾斜計計測記録によると、この層において地すべりの挙動が確認されている。

### 5-3 地すべり対策工

当トンネル柏崎側坑口部は勾配30°の斜面に約45°の角度をもってトンネル軸線が交差している。また、当地が有数の地すべり多発地帯であることから、当坑口部の地すべり対策は慎重に行われた。

地すべり対策はブロック別に以下の対策工が採用となった。

- ①トンネル山側部；排水工+抑止杭工
- ②坑口部；押え盛土工（石灰処理土）

なる。明らかにモーメント杭として考えなければならないのは、次の場合である。

- ①現在、地すべり挙動を明らかに呈している場合
- ②杭の前面の土塊が欠除するか、又は受働土圧が考慮できなかったり、考慮できても小さい場合

当トンネルの場合、斜面の傾斜は比較的緩く、杭前面の受働土圧を十分に考慮できるため、せん断杭として設計しても何らさしつかえないと判断された。

計画安全率を  $Fs=1.20$  とし、円弧すべり解析から不足抵抗力を求め、それを抑止力として抑止杭を設計する。検討の結果、次の様に決定された。

- ①トンネル山側部；φ318.5、肉厚  $t=10.3$ 、@1,500、 $n=20$ 本
- ②坑口部；φ318.5、 $t=10.3$ 、@1,200千鳥、 $n=14$ 本



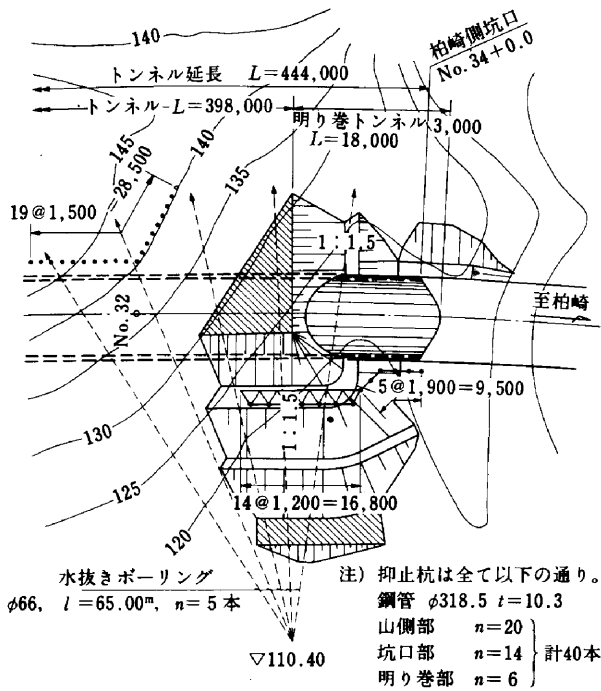


Fig.11 赤田トンネル平面図

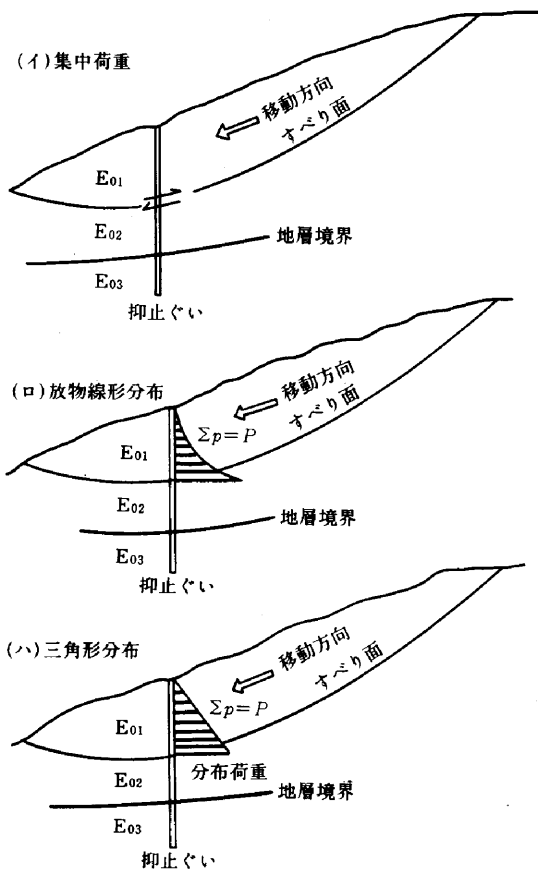


Fig.12 土圧分布図

③明り巻部;  $\phi 318.5$ ,  $t=10.3$ , @1,900,  $n=6$ 本  
 一般に抑止杭は千鳥状に配置し、頭部連結工を施すのが望ましいとされている。頭部連結工は必要抑止力に定量的に寄与するものではないが、すべり挙動の不均一性や、地形・地質の相違による地中の不同変位が予期せぬ個別破壊を生じることがあり、その対策として施すものである。すなわち、杭の頭部を連結して構造体として用いることにより、荷重を分散し、単体として用いるよりはるかに強くすることができる。当トンネルにおいても、円弧すべりの安全率が特に小さい坑口部についてのみ抑止杭を千鳥配置とし、頭部連結工は坑口部・明り巻部全体を渡って施工するものとした。

## §6. 導水路1号トンネル工事

### 6-1 工事概要

企業先 農林水産省北陸農政局  
 工事件名 幹線導水路1号トンネル(花尾工区)  
 工事 富山県西砺波郡福岡町  
 工事場所 農業水利用導水路トンネル  
 トンネルの概要 延長1,053m

### 6-2 経過

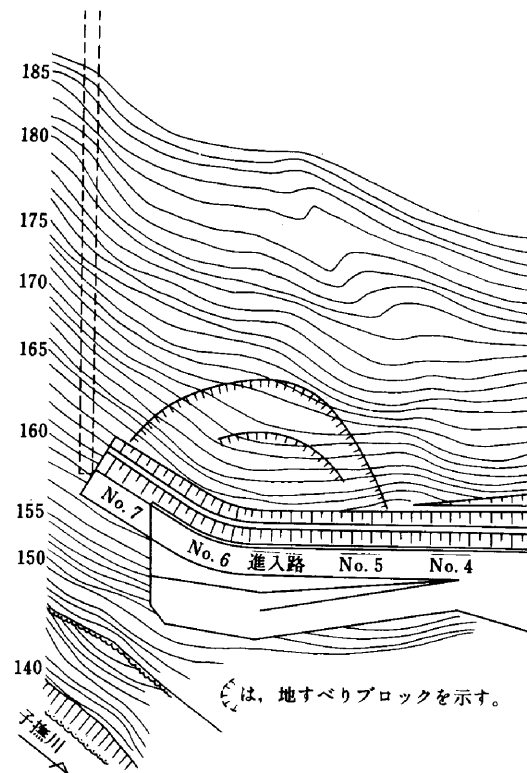


Fig.13 導水路1号トンネル

子撫川沿い急斜面における当トンネル進入路の建設時、その法面整形（法勾配5分）に伴い、トンネル坑口脇のNo.5+10～No.7付近の斜面が約4,500m<sup>3</sup>の地すべり崩壊を引き起こした。地すべりブロック末端斜面を切り取ったことが主原因と考えられる。しかし、進入路谷側に土留工（H-250）を施してあったので、既施工進入路を含む大崩壊には至らなかった。

この後、崩壊地山を法勾配1割2分にて切直し、更に地下水・降雨及び融雪水による新たな地すべりをも回避できるよう水抜き孔・モルタル吹付工及び地表水排除工等を施し、トンネル資材の搬入・廃捨て等の諸作業に支障のないよう地山の安定をはかった。次にトンネル坑口付近でこのような地すべり崩壊が起こったことから、トンネル坑口部においても坑口付け、トンネル掘削時及びトンネル完成後の地山の安定を期すため、地すべり対策

工を計画した。

### 6-3 地すべり対策工

トンネルは、地下水排除工（大規模な水抜き工）としての効果を発揮して斜面の安定に寄与するが、一方ではトンネル掘削により斜面安定を損う。その諸要因として考えられるものに次の各項がある。

- (1) 掘削時の緩みにより地山の応力平衡状態が変化する。
- (2) 地すべり面に、欠損部ができ、せん断抵抗が減少する。
- (3) 地すべり押え部分（地すべり抵抗土塊）が除去される。

以上の諸要因により斜面安定に対する安全率はおおよそ10%程度低下する傾向にあると言われており、当地すべり抑止工（ロックアンカー工）もこの考えにより設計を行った。

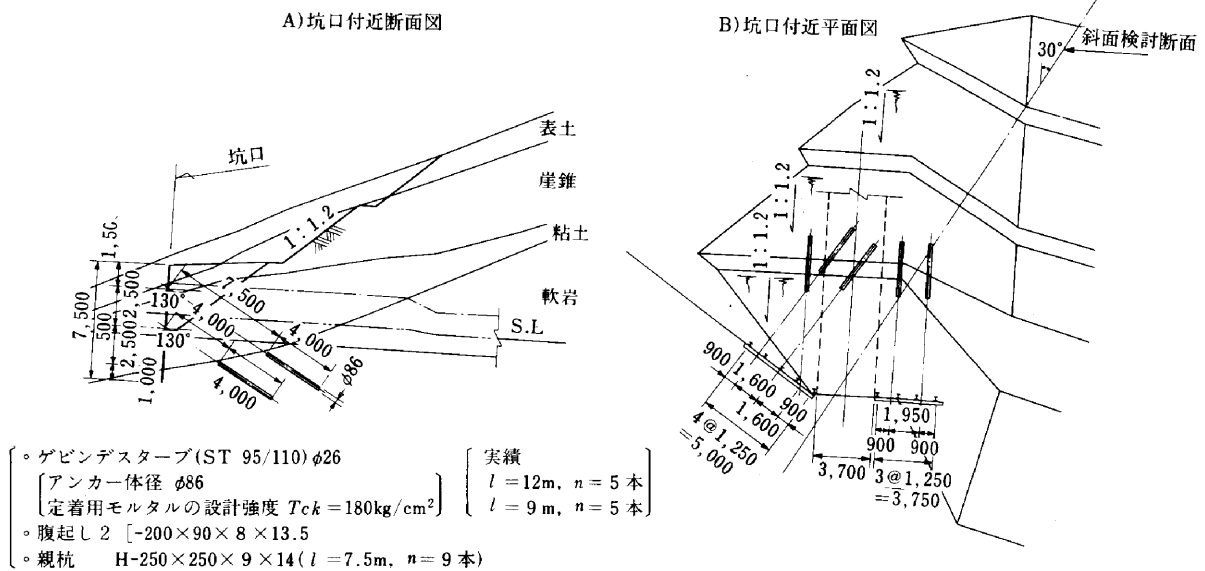


Fig.14 ロックアンカー工

## §7. 下天津トンネル工事

### 7-1 工事概要

企業先	日本鉄道建設公団大阪支社
工事件名	宮福線下天津トンネル（南）他工事
工事場所	京都府福知山市
トンネルの概要	単線1号型トンネル 延長810m

### 7-2 概要

下天津トンネル坑口付近の斜面は、30°～35°の急傾斜地となっている。ただ、24k710～24k920にかけて緩傾斜となっており、これは崩壊堆積物が堆積被覆した崩壊地形跡と推定される。この崖錐堆積物は細礫から巨礫まで

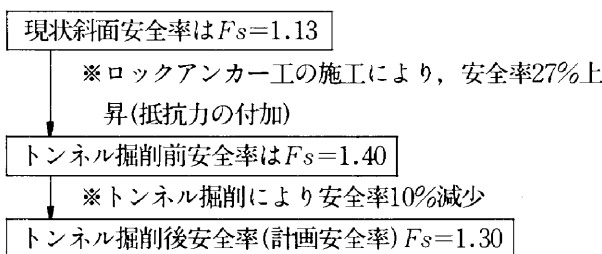


Fig.15 ロックアンカー設計の流れ図

の現地性の角礫、粘性土から成っており、厚さおよそ10m程度の緩い（ $N=10\sim16$ ）状態で堆積している。  
この様な崖錐堆積層の本端斜面では坑口付け及びトン

ネル掘削に伴い地すべりの誘発が懸念される。そこで、地山の切り取りをできる限り少なくし、更に掘削による地山の緩みを極力防ぐよう、坑口対策工を講じる。

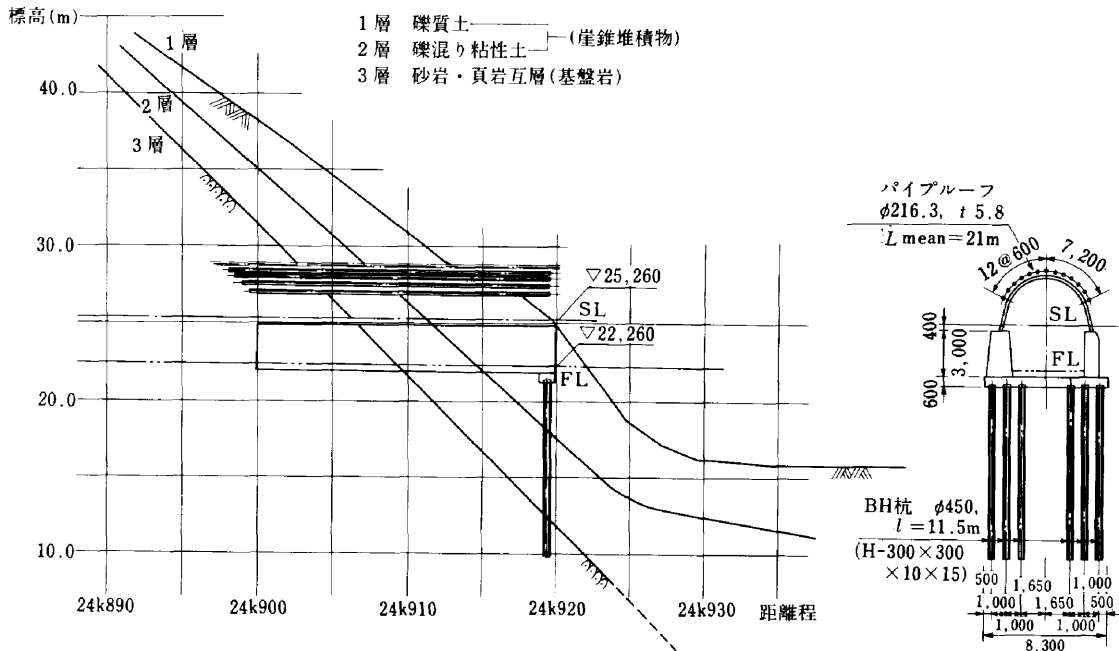


Fig.16 下天津トンネル坑口 対策工

7-3 坑口対策工

対策工はおおよそ次のとおりである。

坑口部の切土を少なくするために、坑口10m前方(24k910~24k920)に出す。この場合、坑口構造物の支持地

Table4 地すべり対策工一覧表

工事名称	助川トンネル工事	富海トンネル工事	赤田トンネル工事	導水路1号トンネル工事	下天津トンネル工事
地質	崖錐堆積層 (転石混り粘性土) 粘性土混り角礫/ 基岩は泥岩	三郡変成岩類の厚い表層 風化帯 基岩は泥質片岩	新第3紀層の風化帯 (岩片混り粘土) 基岩は泥岩	崖錐堆積層及び風化粘土 基岩は砂岩	崖錐堆積層 基岩は砂岩及び頁岩
地形	地表面勾配 15°~20° 等高線の乱れ 河川の屈曲 立木の曲がり	地表面勾配 約35° 等高線の乱れ 棚田・竹材 用水期の豊富な地下水	地表面勾配 約30° 滑落跡	地表面勾配 約25° 等高線の乱れ 滑落跡	地表面勾配 30~35°
すべり面の深さ	約10m	15~20m	約7m	4~7m	5~10m
すべり方向とトンネルの角度	30°	90°	45°	30°	平行
対策	抑止杭(深礎杭)工 注1) 縦継地工 切・盛土工 坑口の谷側への移動 支持力不足は側壁の拡幅 及び置換コンクリートの 共用で対処 注1)モーメント杭として 設計	押え盛土工 抑止杭(深礎杭)工 注2) 水抜きボーリング工 坑口の移動 支持力不足は深礎杭で対 処 注2)モーメント杭として 設計	抑止杭(鋼管杭)工 注3) 押え盛土工 水抜きボーリング工 支持力不足はセメントミ ルク注入による地盤改良 で対処 注3)せん断杭として設計	土留めロックアンカー工	パイプルーフ工 注4) 支持力不足は面壁基礎杭 (BH杭)で対処  注4)すべり抵抗力として パイプのせん断抵抗 を付加
計測	伸縮計 パイプ歪計	伸縮計、パイプ歪計 地下水位測定	傾斜計	パイプ歪計 クラック観測	伸縮計
まとめ	緩傾斜地で比較的大規模 なすべりに対処するため、 深礎杭を主抑止工とした。	急傾斜地で比較的大規模 なすべりに対処するため、 押え盛土工と主体として 不足分を深礎杭工で補っ た。	急傾斜地であるがすべり の規模が小さいため、鋼 管杭で抑止した。	緩勾配ですべり面が浅い ので道路確保を目的に土 留めアンカー工を採用し た。	急傾斜地であるがトンネ ル断面が小さく、局部的 な補強工としてパイプ ルーフ工を採用した。

盤は緩い崖錐堆積層で支持力が不足するため、坑門工は鉛直荷重（トンネル自重と地山重量）を支持する杭基礎構造とする。これに伴い、24k920から24k900間に渡る左右2基の側壁が崖錐堆積物とトンネルアーチ部を受けて、坑奥基盤岩と坑門部杭にて支持されるトンネル坑口部梁構造となる。

次に、トンネル掘削に伴う緩みによる地すべりが懸念されるが、このようなトンネル掘削時に誘発されるであろう地すべりを抑止するには、あらかじめすべり抑止力（せん断力）を付加し、地山の緩みを事前に防止できるパイプルーフ工を施すことが、ロックアンカー工・格子法枠工・薬液注入工等に比較し、より優れると考えられる。

## §8. おわりに

坑口対策として施工した例を数例挙げたが、もちろんこれらに限定されるものではない。要は、最も効果的な対策を施すことにある。計画に際しては安全・確実を念頭に、周辺環境にも十分な配慮を払って比較・検討されたい。現在、公共施設等の建設においては、経済性の追求が切実な問題となっており、ややもすれば安全性が軽んじられる傾向があるのは憂うべき現象である。今後ともより良い施工法の研究開発が望まれる。

最後に、本稿を書くにあたり御指導・御協力頂いた関係各位に深甚なる謝意を表します。