

高速道路切土区間における風化軟岩すべり抑止対策

Prevention Works for Landslide of Weathered Soft Rock at Cut Block in Freeway Construction Work Site

石川 渉* 堀野 義郎**
Wataru Ishikawa Yoshiro Horino

渡辺 広明***
Hiroaki Watanabe

要 約

本報文は、日本道路公団高松建設局発注の四国横断自動車道刈屋工事のうち、地すべり対策工の施工報告である。

当地は三波川帯の結晶片岩が分布する地すべり多発地帯である。道路建設により、地すべりブロックの末端部を切土することになり、地すべりを誘発した。当初の対策工法を調査検討し、対策工法を施し、慎重に工事を進めていた。しかし、地すべりブロック範囲が推定より広く、その結果地すべりを招き、工事中断を余儀なくされた。2回にわたる設計変更の経緯を述べ、今後の地すべり対策工事の参考とする。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事概要
- §3. 地形・地質
- §4. 地すべり発生までの経緯
- §5. 地すべり対策工の設計
- §6. 地すべり対策工の問題点
- §7. おわりに

べり地帯が点在しており、斜面には過去多くの地すべりによる崩積土の堆積が見られる。

刈屋工事は、川之江～大豊間のうち愛媛・高知県境より高知側に2つ目の工区に当たる。非常に急峻な山間に大小2本のトンネル、長大法面を含む切盛土及びハイピアの長大橋3基を構築する。

当初から難工事が予想され、学識経験者を含めた日本道路公団地すべり対策検討委員会は工区内に4つの地すべりブロックの存在を認め、特に施工中の地すべり発生の危険性が指摘されていた。このため設計の見直しや慎重な施工、計測管理を実施した。今回はその中でも2回の大幅な設計変更を余儀なくされた刈屋バスストップ近傍について報告する(Fig.1に刈屋工事位置図を示す)。

§1. はじめに

四国横断自動車道川之江～大豊間は、東西に連なる四国山脈の中央部を南北に貫き、瀬戸内と太平洋を結ぶ典型的な山岳高速道路である。この区間の地形は四国中央山脈の急峻な山岳背陵地形に加えて、その沿線には地す

§2. 工事概要

2-1 全体工事概要

(1) 工事名 四国横断自動車道刈屋工事

*四国(支)高知(営)所長
**四国(支)刈屋(出)係長
***四国(支)刈屋(出)

- (2) 発注者 日本道路公団高松建設局
 (3) 工期 自 昭和63年6月2日
 至 平成3年3月18日(1,020日)(当初)
 (4) 工事場所 自 高知県長岡郡大豊町大字立川上名字
 カワオク(STA231+96 下り線)
 至 高知県長岡郡大豊町大字立川上名字
 ワサビ(STA254+60 下り線)
 (5) 工事延長 総延長 2,264m(下り線)
 土工延長 477m
 トンネル延長 1,051m(L340m+711m)
 橋梁延長 736m

2-2 地すべり対策工工事概要

(1) 概要

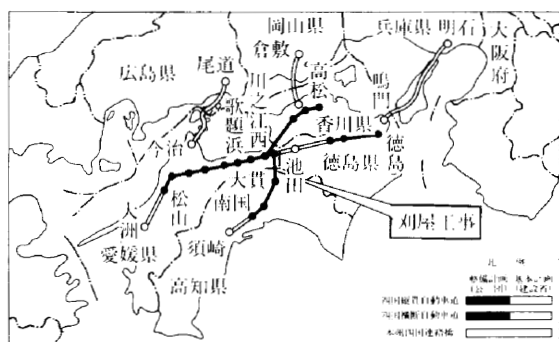


Fig.1 刈屋工事位置図

刈屋バスストップの一部(長さ150m 幅100m 高低差70m)を1つの地すべりブロックとし、排土工を主体に地すべりを抑制し、抑止工として法枠+アンカーの他、一部抑止杭を施工した。また部分的に補助工法としてロックボルトを施工した。

Fig.2に地すべり対策工平面図, Fig.3に地すべり対策工の流れ図を示す。

(2) 工事数量

切土工 約89,000m³

ロックボルト工(D25~D32 $\ell=3\sim6$ m) 約400本

抑止杭工(Gパイプ) $\phi 350$ mm $t=27$ mm $\ell=17$ m
29本

VSL アンカー工 $\ell=8\sim19$ m 375本

現場打法枠工 F500 約4,200m²

F300 約1,300m²

§3. 地形・地質

刈屋工事は、高知市から北北東へ約32kmの四国山地の急峻な山岳地に位置する。徳島県・愛媛県の県境に近く、吉野川水系の立川川の上流にある。

工事場所付近は、山頂高度800~900m以上の山々が東西方向に重なり、急峻な地形となっている。この急峻な地形にも特徴があり、全般に尾根を隔てて北側では急斜

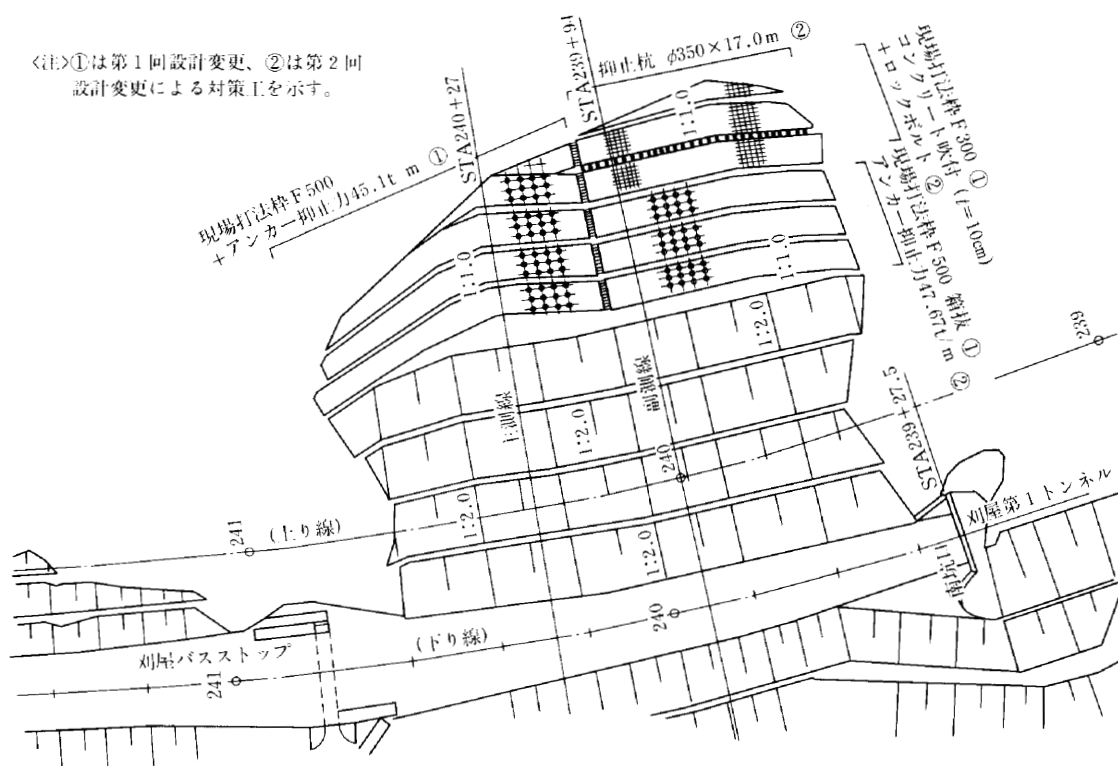


Fig.2 地すべり対策工平面図

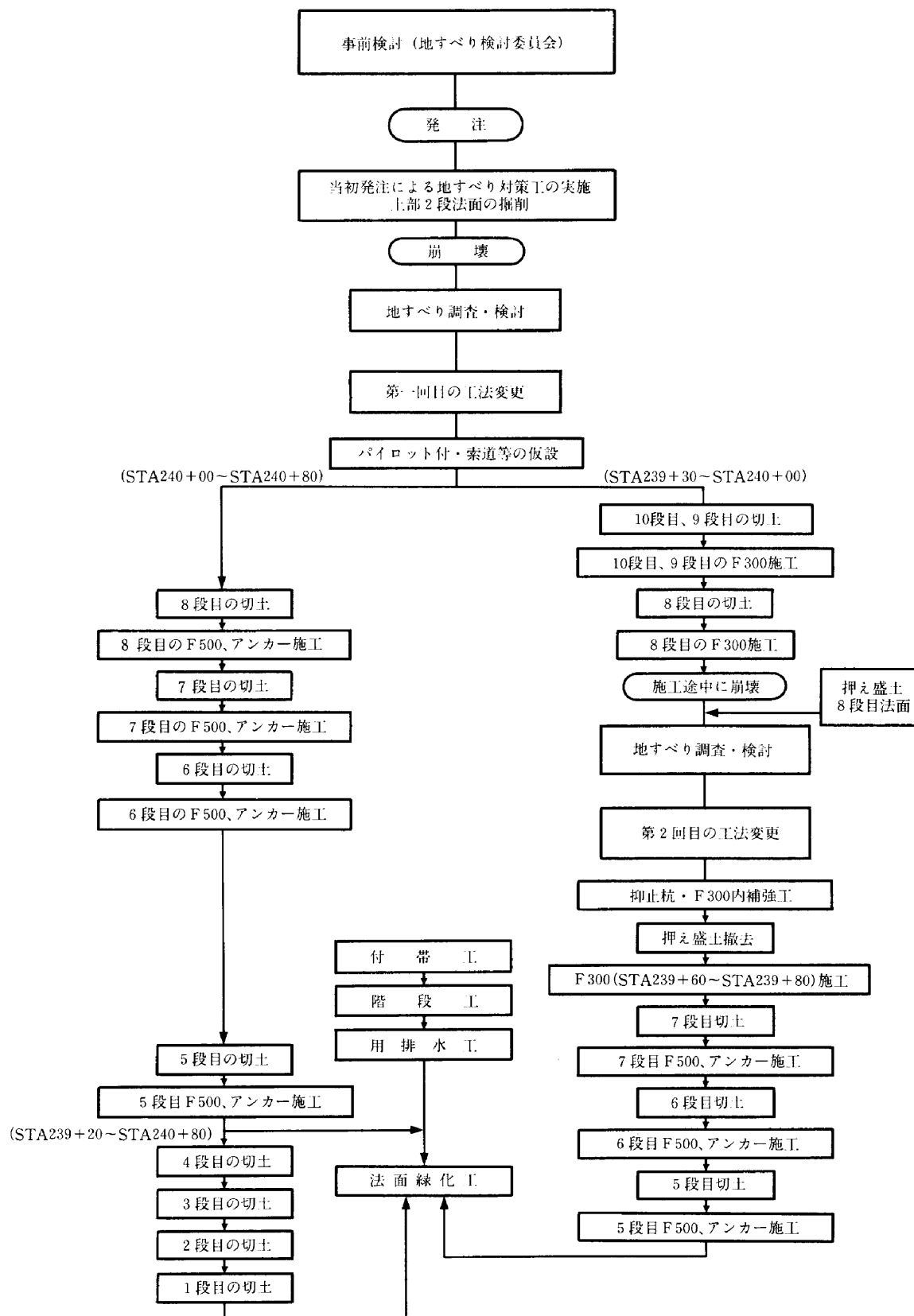


Fig.3 地すべり対策工の流れ

面、南側では緩斜面となっている。現場斜面は、東西方向の尾根より南南西へ派生する小尾根の末端付近で東向き斜面となっている。四国地方の地質は、東西方向の3つの構造線（北から中央構造線・御荷鉾構造線・仏像構造線）により、領家帯・三波川帯・秩父帯・四万十川帯・に構造区分される（Fig.4）。

現場は、中央構造線と御荷鉾構造線の間に位置し、三波川帯に属している。分布する地質は、基盤岩を構成する三波川結晶岩類とそれを覆う崩積土である。

§ 4. 地すべり発生までの経緯

4-1 事前検討

当位置では、地すべりブロックの末端部を切土することになるため、STA240+40上に2本の調査ボーリングを実施して検討を行っている。暫定2車線区間であるため、下り線のみ施工と上下線同時施工の2通りについて解析した。その結果、いずれの場合も対策工が必要となった。対策工としては、アンカー工・抑止杭工・排土工などが比較検討されたが、経済性を考慮し、上下線同時施工とアンカー工+排土工が採用された。

4-2 観測施工と地すべりの発生

工事着手後直ちに、地盤伸縮計と地盤傾斜計による動態観測を開始し、地盤の挙動を継続して捉えることとした。最初の地盤の挙動は、第1トンネル南坑口へ通じる取付道路の掘削時に発生した。この小崩落の後にも上部にクラックが発生し、地すべりに対する懸念が一層大きくなった。

そこで伸縮計と傾斜計を追加設置し、観測体制を強化した上で工事計画を変更し、当初計画にある頭部排土を

行った。しかし、上部法面2段の掘削完了前より、伸縮計に変位が現れ、法面にクラックが発生した。この変状は、掘削完了後も進行し、範囲も広がっていった。そのため作業を中断し、本格的な地すべり対策の見直し作業に入った。Table 1 に変状記録、Fig.5 に伸縮計観測結果を示す。

§ 5. 地すべり対策工の設計

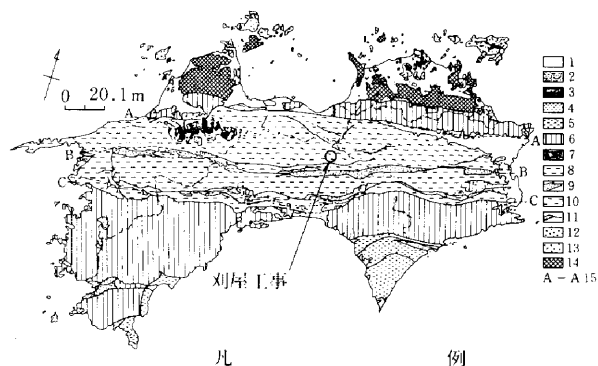
5-1 解析・検討

(1) 地質解析

新たに、地表・地質調査を行い、また調査ボーリングを2本追加した。その結果、以前想定された地すべり頭部より、さらに上方に地すべり地形と判断される滑落崖および凹地が認められ、風化岩すべりの範囲は、主測線付近で山の尾根近くまで達することが判明した（Fig.6）。これは、新たに追加した伸縮計の移動からも確認された。地表・地質調査・ボーリング調査および既往調査結果を総合的にとりまとめ、主測線（STA240+27）および副測線（STA239+94）で地質断面図を作成した。Fig.7および8に地質断面図を示す。主測線では、風化岩すべりの頭部が約30m尾根側に拡がり、副測線では、既往調査で推定した地すべり面より深くなっている。

(2) 地すべり機構

当地区周辺の地形を概観すると、北東-南西方向の尾根が幾条か認められる。そして、その尾根筋を境として、それぞれの斜面傾斜が異なっている。北向き斜面では、50~70°と傾斜が急であるが、南向き斜面では、30~45°と傾斜が緩くなっている。急斜面のところでは、切り立った崖も見られる。



1.第四系、2.新第三系（三豊層群・群中層・岡村層および唐ノ浜層群など）、3.新第三紀火山岩類（讃岐層群・石鏡層群）
4.漸新統、5.始新統（久万層群および室戸半島層群）、6.白亜系（和泉層群および四万十川層群）、7.秩父帯の中生界（三
石系・ジュラ系および白亜系）、8.古生界（秩父系）、9.御荷鉾緑色岩類、10.三波川結晶片岩、11.黒瀬川構造帯のレン
ズ状部（寺野変成岩類・三滝火成岩類・シルルおよびデボン系）、12.第三紀花崗岩、13.白亜紀花崗岩、14.領家花崗岩
類（領家変成岩類を含む）、15.A-A：中央構造線、B-B：いわゆる“御荷鉾構造線”、C-C：仏像構造線

Fig.4 四国の地質²⁾

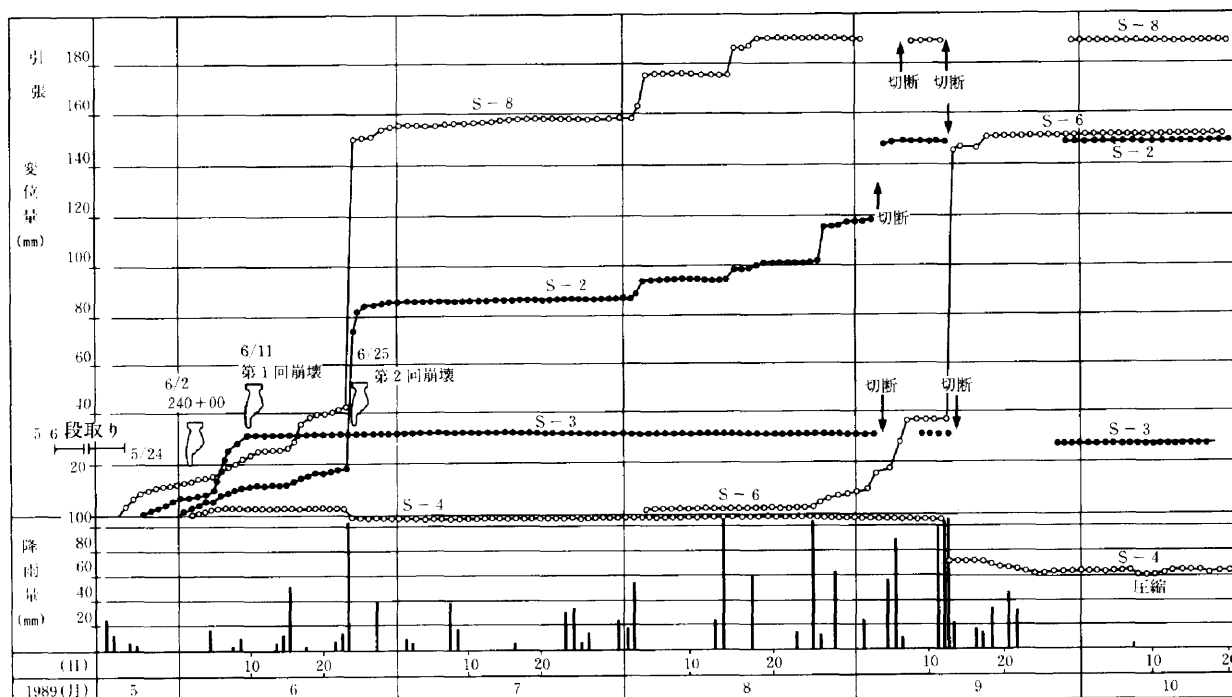


Fig.5 伸縮計観測結果

Table 1 施工時における変状記録

	年月日	場所	変状状況	対策	所見
第1回目クラック	S.63.11.21	下り線 STA239+70 STA239+90	・11月2日よりトンネル仮設ヤードの確保のためSTA239+40～STA239+80の切取を開始し、11月16日施工基面より1m上りまで完了した。 ・11月21日法面及び法肩クラックが発生した。	・11月25日～26日にかけて、STA239+60 STA239+90に押え盛土を行った。 ・STA239+80付近の伸縮計を4スパン増設し、観測を強化した。	・切取りに伴う地すべりで、長さ約23m、幅約20m、深さ3～4m。 ・上法への波及が心配されたが、押え盛土により、今の所安定を保っている。 ・地質は、移動岩塊を含んだ崩積土。
第2回目クラック	H.1.3.4	上り線 STA239+80 STA240+15	・1年3月3日～3月4日にかけて約170mmの降雨があり、伸縮計に変位が記録されると共に、クラックが発生した。	・地すべりブロックの全体的なすべりをなくすため、防備林の解除を行うと共に上部2段の掘削、排土を行う事にした。	・クラックは垂直落差が全くなく、斜面方向に若干開いたものであったこと、ならびに掘削によって基盤岩が浅く分布することが確認されたことから、極浅い(深度1～2m)表層すべりと考えられる。 ・幅は約35mで、長さは不明。
第3回目クラック	H.1.6.2 H.1.6.24	上り線 STA240+00 STA240+50	・1年5月6日より上り線の掘削を開始し6月7日2段目まで完了した。5月24日より伸縮計に変位が表われ6月2日240+00上段法面にクラックが発生した。掘削終了後もクラックは進行方向に範囲が広がり法面の崩落が発生した。	・切取を3段まで行う予定であったが2段で中止した。 ・上り線、240+40付近の最上部に伸縮計を設置した。 ・調査ボーリングを2ヶ所追加した。 ・これまでの経過及び追加調査ボーリングの結果をふまえて現在対策検討中。	・切取りにより崩積土内部で発生した地すべりで長さ約38m、幅約60m、深さ6m前後。 ・大部分Dtすべりであるが起点側翼部は、W ₃ 、W ₂ すべり。 ・地すべり末端部にあたる切取り法面では、表層崩壊が発生。 ・Dtすべりの下位の深さ10m前後にW ₂ すべりが存在。

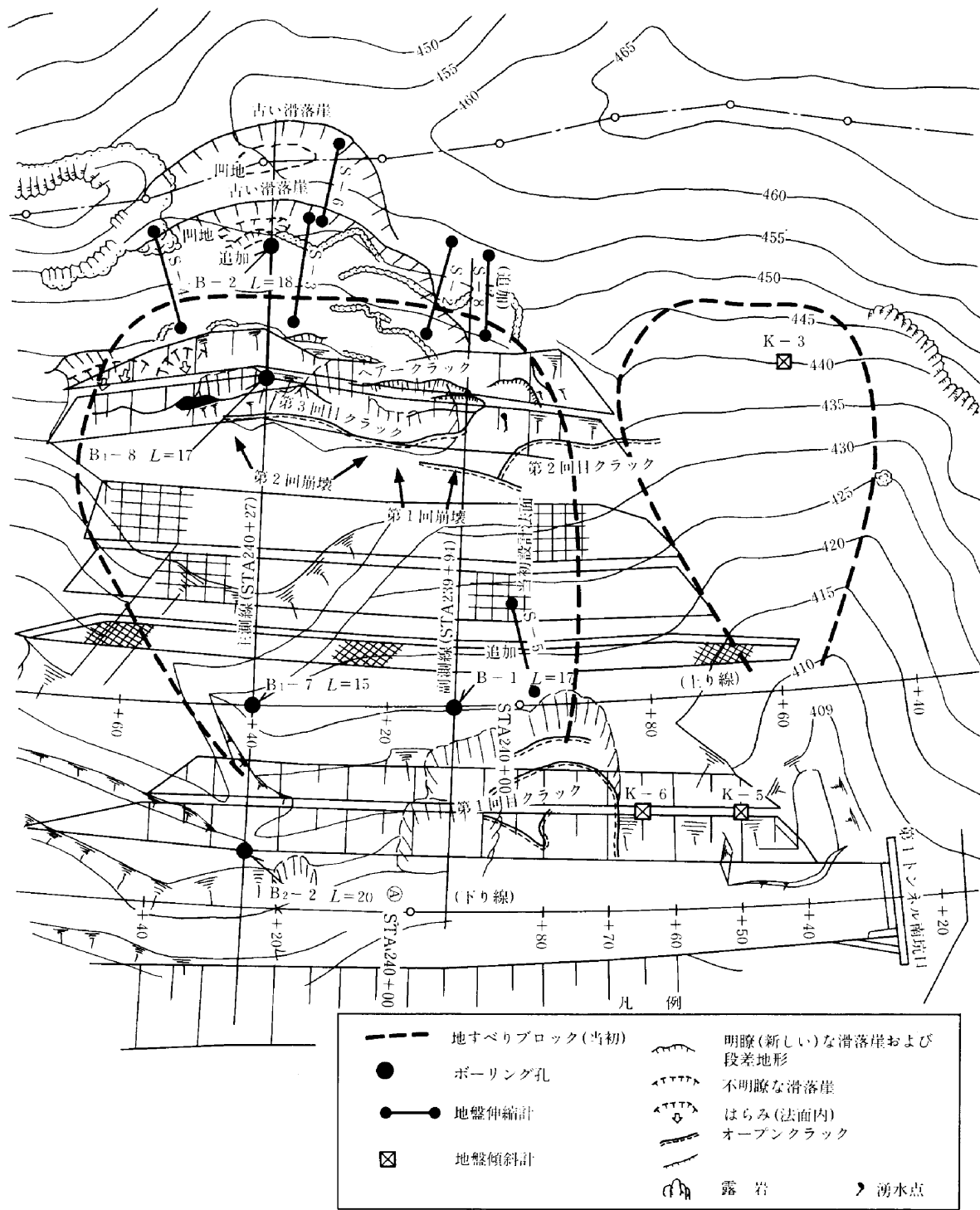


Fig.6 変状の概要

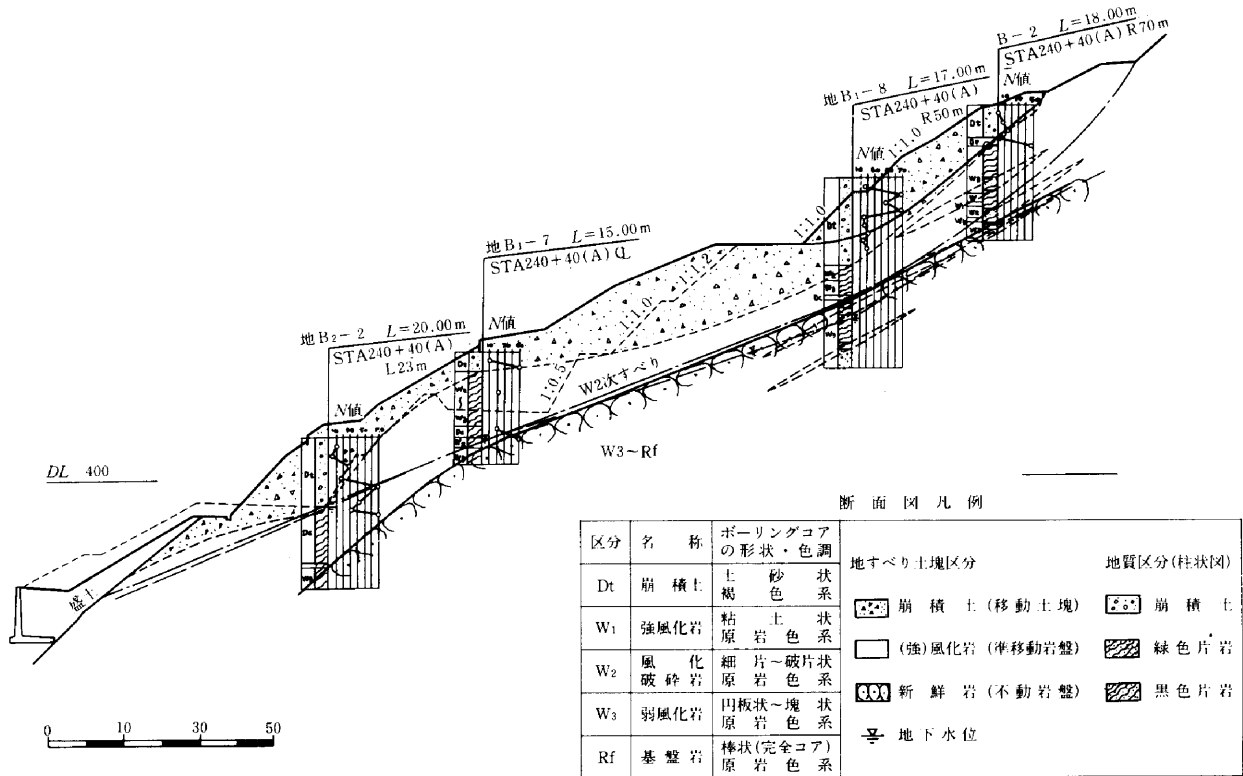


Fig.7 地質断面図(240+27)

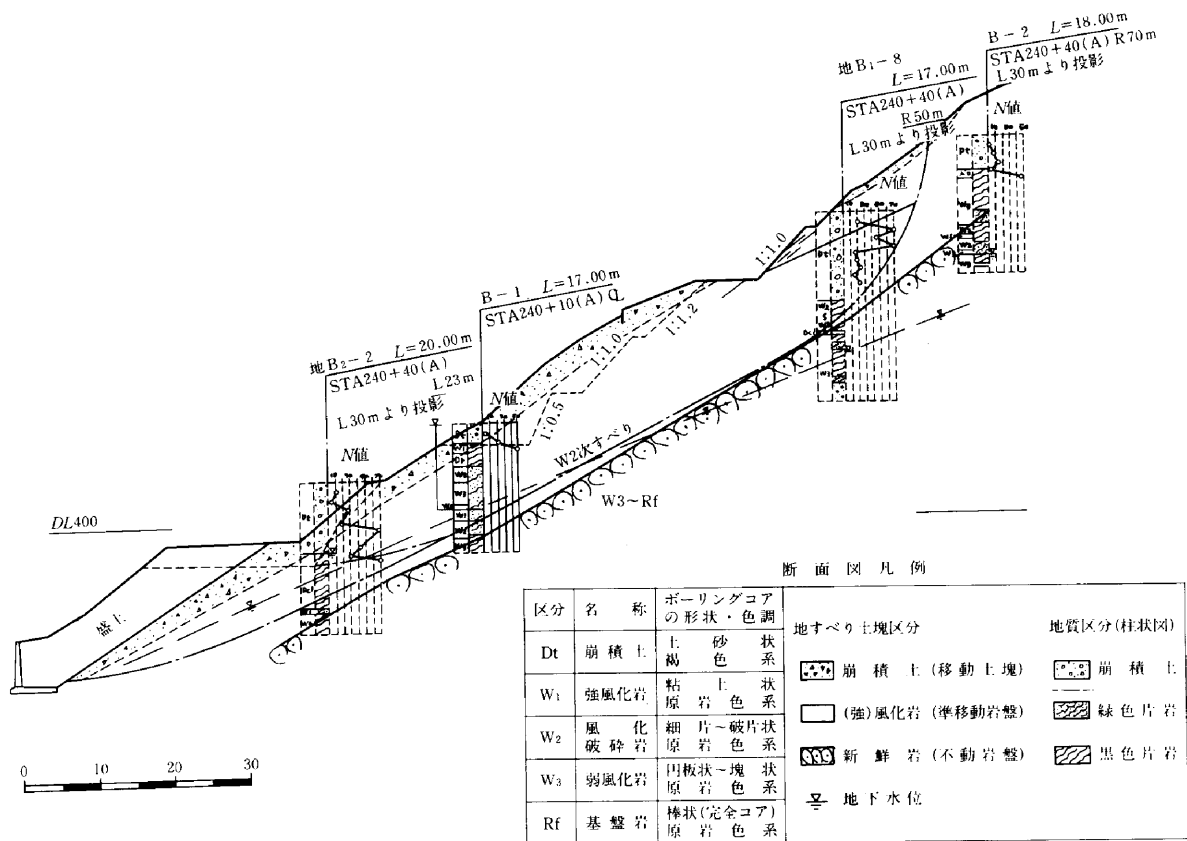
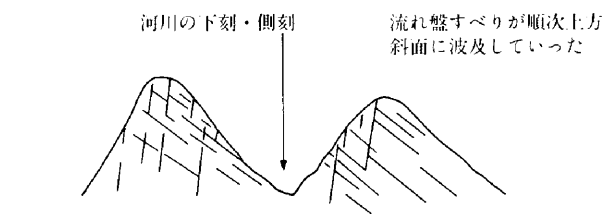


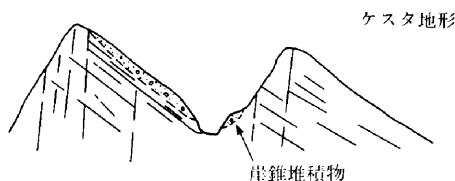
Fig.8 地質断面図(239+94)

①②



③

- ・崩積土すべり
- ・風化岩地すべり



④

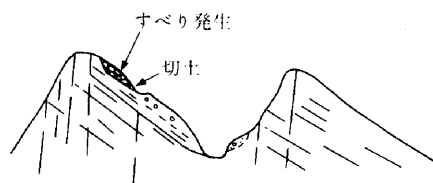


Fig.9 地すべり機構模式図

当地区には、主に黒色片岩が分布しているが、それに発達する片理面は緩傾斜面のところでは流れ盤となっている。一方、急斜面を形成するところでは受け盤となっており、急崖部は片理面に直交する高角度の節理面である。

当地区においては、作業用道路の斜面切取時に小規模な地すべりが発生している。この地すべりは流れ盤である片理面中の弱面を介した岩盤すべりである。また、片理面に認められる線構造（ちり面じわ）も法面の横断方向にはほぼ平行である。

最上部二段についても、基本的に流れ盤すべりである。主測線においては、崩積土が分布するが、その中に分布する礫のならば周辺に分布する黒色片岩の走向傾斜に類似している。また、巨礫中の片理面も同様である。更に、岩盤が分布している副測線においては、片理面の弱面を介したすべりとなっている。このような観点から、当地区の地すべり機構を検討すると、以下ようになる（Fig.9）。

- ①高角度の節理を介して河川の発達→河川の下刻・側刻
- ②北東向きの斜面で流れ盤すべり発生
南西向き斜面では岩盤の崩落→崖錐の形成
- ③河川の下刻・側刻により、流れ盤が順次上方斜面に波及し、崩積土すべりおよび風化岩地すべりを誘発
- ④地すべり地内において、地すべりに直行するような切

土により、地すべり発生

(3) 安定解析

実施した安定解析の流れを Fig.10 に示す。

解析は2円弧と直線、および1円弧と直線からなる複合すべりと円弧すべりの2通りで行った。

また、全応力法と有効応力法で解析し、必要抑止力の大きくなる全応力法を採用した。その結果、当初設計の形状で必要抑止力は198.5tf/mと、当初の99.97tf/mを大きく上まわった。

5-2 対策工の設計

(1) 対策工の方針

当地区風化岩地すべりの特徴は、

- ①不安定土塊の規模は、幅120m、延長130m、深さ15～20mと大きい。
- ②当初計画に対する必要抑止力は198.5tf/mである。
- ③流れ盤地すべりである。
- ④安定勾配は1：2.0以上である。
- ⑤地下水位は地すべり面以下であるが、局部的に高いところもある。
- ⑥高速道路計画位置は、地すべり末端部である。
- ⑦対策地域のかかなりの部分において、施工や地すべりにより地山が原形をとどめておらず、何らかの処置が必要である。

このようなことから、この法面に適用できる対策工は、

- ①鉄筋挿入工+吹付けコンクリートおよび吹付け法棒（安定勾配でない法面を補強）
- ②法棒+アンカー工（滑動力に対抗）
- ③排土工（滑動力を軽減）

が考えられる。これらの組み合わせにより、対策工を比較検討した。

(2) 対策工の比較検討

上下線同時施工、用地内施工を基本としたが、工費が高んだので、下り線のみ施工も検討に加えた。

しかし、上り線の建設予定がはっきりせず、経済比較もできないため、初期投資をできるだけ抑えることとなった。また、下り線はもちろん、将来の上り線に対しても地すべり土塊は極力排除することとし、結局排土工を主体に上部をアンカーで補助する地すべり対策工となった（Fig.2 第1回設計変更参照）。

§6. 地すべり対策工の問題点

6-1 新たな地すべりの発生

決定した地すべり対策工にそって施工を進めていたところ、8段目（10段目法面を上から10、9、…1と呼ぶ）

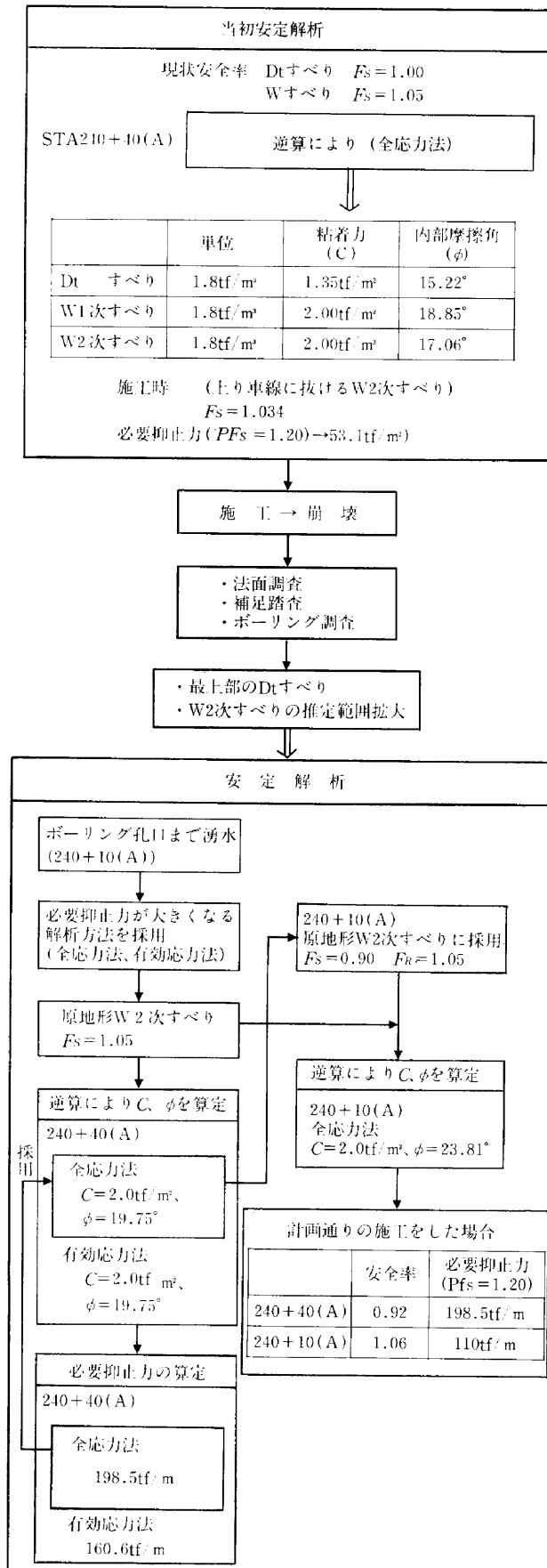


Fig.10 安定解析の流れ図

の施工中に8段目の法面が崩壊し、10段目の法肩(尾根付近)にクラックが発生した。その後、クラックは降雨のたびに進行し、ついに工事中断を余儀なくされた。

この新たな地すべりの発生は、地すべりブロックの範囲が考えていたものよりもっと大きかったことに起因するものと思われる (Fig.11)。

6-2 対策工上の問題点

この新たな地すべりの発生を踏まえて、今回の地すべり対策について問題点を以下に述べる。

(1) 地すべりブロックの範囲を誤った原因として、現地踏査の上で、ちょっとした微地形を見逃したのではない。また、調査の範囲に問題点はなかったのか、調査ボーリングなど、その費用を考えた場合、むやみに数量を増やすことは難しいが、もう少し全体を網羅する配置はなかったのか。

(2) 動態観測における問題点も指摘される。今回、地盤伸縮計と地盤傾斜計に頼って観測を行ったが、両者とも地表の動きを捉えることができ、その設置数を増やすことで平面的な観測はできる。しかしながら鉛直方向の地盤の動きを捉えることができない。

今回のような風化岩すべりでは、深部のすべり面に沿って動きがあっても、地表には動きとなって現れないことがある。また現れたとしても、それはかなり動きが大きくなった場合といえる。このような点で動態観測としては、孔内傾斜計を追加して、立体的に地すべりの挙動を観測することが必要ではなかったか。

(3) 流れ盤すべり安定勾配が1:2.0であったので、法面勾配が1:1.0の箇所においては限界高さを計算し、 $H=7$ mとして掘削を行った。しかし、局部的にはかなり脆弱なところがあり、そのなかの数箇所は崩壊した。崩壊そのものは、小規模であるが、それが大きなすべりを誘発することもあり、初期の地すべり対策にも、もっと気を配る必要があったのではない。解析においては、土質定数などに計算では割り切れないものがあるため、対策工の検討と並行して試験施工を行うことも考えるべきではなかったか。

(4) 対策工の施工中に新たに地すべりをおこした部分 (STA229+40~240+10, 8段目) については、現場打ち吹付法棒 F300を施工した。しかし結果的には、反力不足でアンカーを施工することができなかった。解析の段階で地すべりの可能性は少ないと判断したものの、7段目以下のように F500を採用し、不測の事態に対応することが出来なかったのか。

以上4点を挙げたが、特に(4)については色々な制約条件があったにせよ、ボーリング調査をこの部分に行うこ

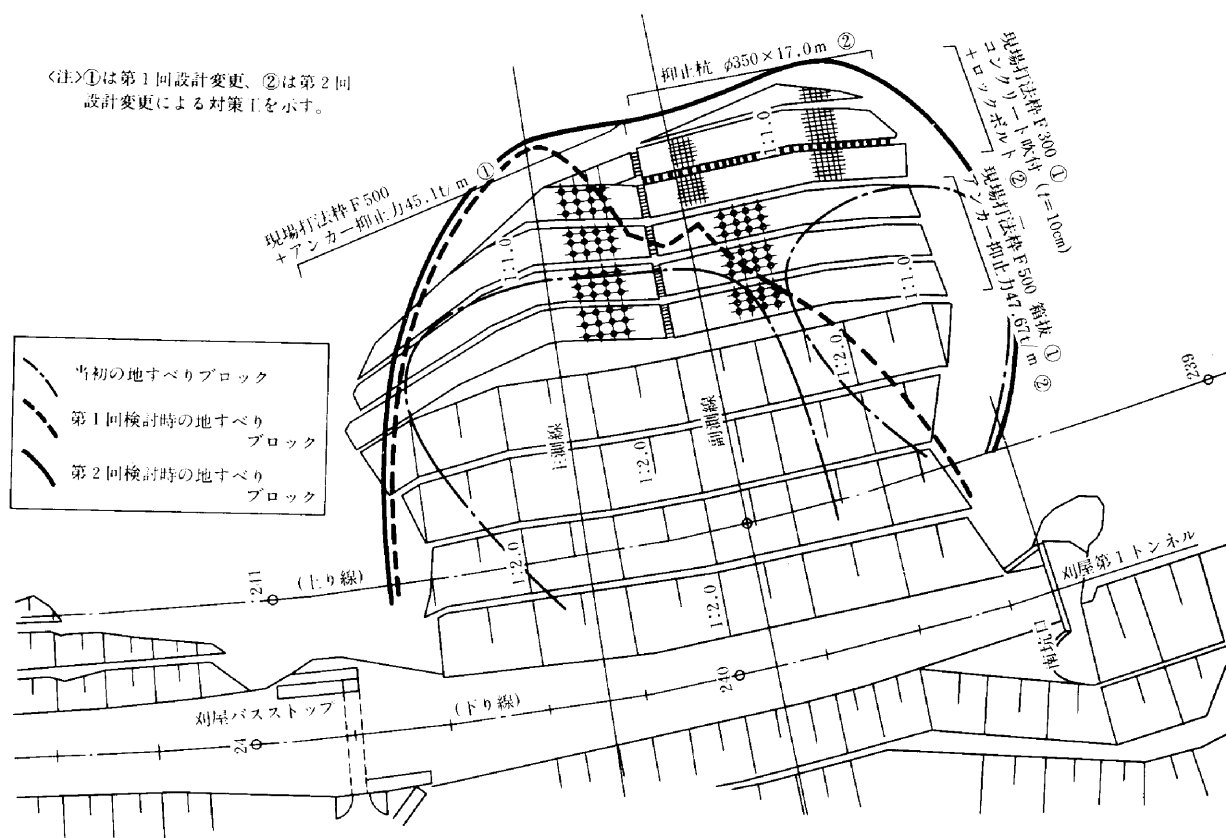


Fig.11 地すべりブロック拡大図

とができなかったが故に大きな安全率を見込むことが必要であったかもしれない。特に、7段目以下には不測の事態に備えアンカーの用意をしていただけない、なおさらの感がある。

6-3 対策工

前述したような問題点を踏まえ、8段目の法肩部に抑止杭を主体とし、ロックボルト(D25~D32, $\ell=3\sim6$ m)とコンクリート吹付($t=10$ cm)で地山補強を行うこととした(Fig.2 第2回設計変更参照)。

動態観測については、孔内傾斜計を追加設置し、現在も計測を続けている。また、法面の脆弱な部分はその程度に応じ、 $H=7$ mの法面を2~3回に分けて掘削し、

コンクリート吹付($t=5$ cm)、さらにはロックボルト(D25, $\ell=3$ m)を施工した。このコンクリート吹付は、地盤の初期挙動を抑える上で、非常に有効であった。

ところで、今回のように施工途中に地すべりをおこした場合、その応急対策が必要となる。押え盛土・クラック部のコンクリートシール・シート養生・簡易水抜ボーリング($\phi 50$ mm, $\ell=3$ m)を行ったが、どれも決め手となるものでなく、今後の課題の1つといえよう。

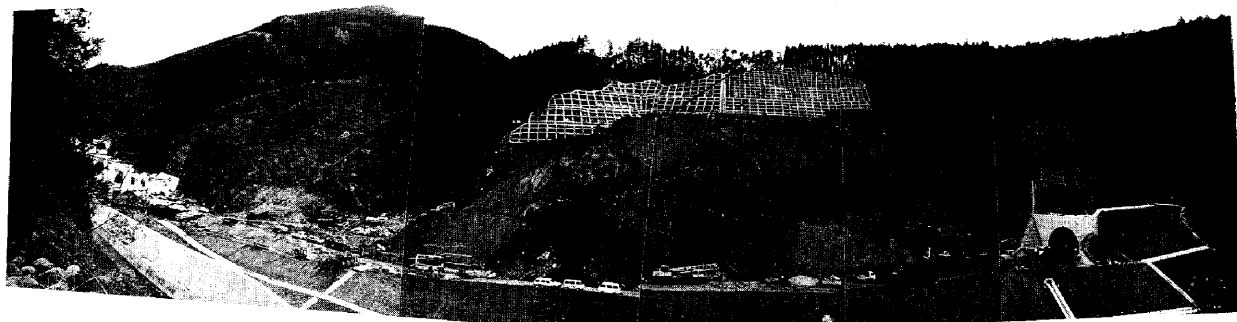


Photo 1 地すべり対策工施工全景

§7. おわりに

本工事で得た経験をもとに、今後の地すべり対策における現場の対応について簡単に述べる。

まず第1に地すべり対策は、可能な限り早期に検討を行い、速やかに工事に着手することである。十分な調査と解析が行われていることが望ましいが、昨今の事情により万全とは言い難く、不測の事態に対する時間的余裕が必要である。

第2に調査が充分でないと考えられる場合には、施主に調査業務の追加を強く働きかけるべきである。費用等の問題は大きい³が、その重要性を考えると積極的な姿勢が大事である。

第3に施工においては、予め決めた施工手順を厳守し、人間的なミスを犯さないことが必要である。即ち、切土の範囲、アンカー緊張の確認、法面の状態などに気を配り、地すべりを誘発する要因を抑えることである。

以上3点、ありきたりではあるが、今後地すべり対策とつき合う前にぜひ一度思い起こしたい点だと、今回の経験をとおして考える。

最後に、対策工の検討・施工に関して、ご指導いただいた日本道路公団高知工事事務所工事担当者、応用地質(株)など関係各位に深く感謝の意を表し、この地すべり対策工が無事完了するまで、当出張所全員で努力する決意である。

参考文献

- 1) 谷口敏雄、藤原明敏：地すべり調査と解析，理工図書，1982.
- 2) 四国地質調査業協会：特別技術講習会資料，1985.
- 3) 日本道路公団高松建設局高知工事事務所，株式会社山本地質調査事務所：四国横断自動車道立川地区地すべり調査報告書，1985.
- 4) 日本道路公団高松建設局高知工事事務所，株式会社横浜コンサルティングセンター：四国横断自動車道刈屋地区道路詳細設計，1988.
- 5) 日本道路公団高松建設局高知工事事務所，日本工営株式会社：四国横断自動車道笹ヶ峰～大豊間地すべり監視計画検討報告書，1988.
- 6) 日本道路公団高松建設局高知工事事務所，西松建設(株)・不動建設(株)共同企業体，応用地質株式会社：刈屋バスストップ地すべり対策検討設計，(その1)(その2).