

# 供用中の高速道路法面に発生した堆積軟岩の遅れ破壊機構と復旧対策工法

The Mechanism and Restoration Works of Delayed Failure on Sedimentary Soft Rock Slope along and Expressway in Service

大須賀 仲 夫 (おおすが なかお)  
日本道路公団関西支社 神戸管理事務所副所長

中 川 渉 (なかがわ わたる)  
応用地質(株)関西支社 技術部長

松 本 正 司 (まつもと まさし)  
日本道路公団関西支社 神戸管理事務所

谷 口 清 (たにぐち きよし)  
日特建設(株)大阪支店 技術部長

## 1. はじめに

層状の堆積軟岩が分布する切土法面では掘削後数ヵ月～数年を経て突然変状が発生し、崩壊に至ることがある。これらの変状・崩壊は遅れ破壊とよばれ、特に層状の堆積軟岩が分布する地域では崩壊の規模が大きい。

今回対象とする法面は建設時にアンカーや抑止杭等の対策が実施されていたが、開通後5年～7年を経過した段階で秋～冬の降雨の少ない時期にもかかわらず法面のせん断破壊や局部崩壊等が発生した。また、法面の変状は、既設の対策工にも影響を与えていたため、新たに行う対策工の計画を制約し、かつ複雑にしている。神戸層群分布地域に発生した二つの大規模法面の変状と復旧対策工法の事例について示す。

## 2. 既設アンカーの分布する切土法面の事例

### 2.1 切土法面の変状

切土法面の規模は、延長280 m、高さ38 mである。

当該地は切土施工時や施工後においても小規模な法面変状や崩壊が幾度も発生しており、その都度ふとんかごやアンカー工、法枠工が追加された。

この切土法面において、平成12年11月9日に地すべりの兆候が認められた。点検で確認された主なものは、現場打ち法枠工のせん断破壊、法面の盤ぶくれ・押出し、側溝の押出し・倒れ等である。

切土法面には建設段階で孔内傾斜計と既設のアンカー

に荷重計が設置されていた。変状後の観測では孔内傾斜計は深さ13.4 mで座屈変形が、また既設アンカーの荷重計は降伏荷重に達していた(図-2)。

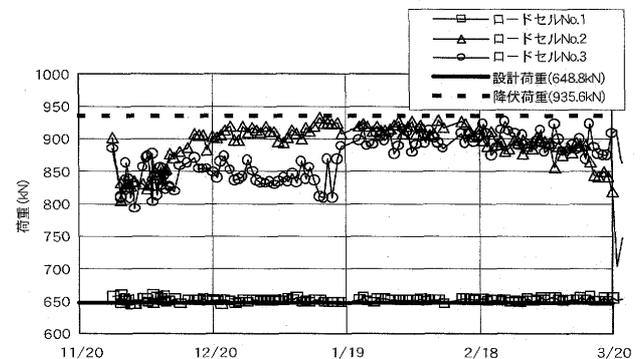


図-2 アンカー工の荷重状況(既設)

地すべり変状は幅130 mに及び、上位の泥岩層下面(Aブロック)と下位の泥岩層(Bブロック)で変形する二つのすべりブロックが確認された。

### 2.2 法面の地質状況

変状が発生した法面は、神戸層群吉川累層の凝灰岩、泥岩等が分布し、法面に対して走向が40°で道路線形に対して斜交し、14°の緩やかな流盤構造を示す。泥岩、凝灰岩の層界面境界には、鏡肌や火炎構造等の変形構造が認められ、軟質化した粘土が亀裂に流入している状況が観察され、すべり面が層状破碎帯となっている。

### 2.3 応急復旧対策工

#### (1) 対策工法の選定

供用中の高速道路において法面変状が発生し、対策を実施する場合は道路機能を維持した中で地理的・時間的な制約を条件に工法を選定しなければならない。

当該地の場合、応急復旧対策で行う排土工や押さえ盛土工法は、上記の条件から適しないと判断した。また抑止杭工は施工にあたり、削孔時の振動と水による地すべり活動の助長、さらには、既設アンカーが支障になることから採用は困難とした。そこで、施工にあたり既設アンカーに制限されず、水の使用を極力制限でき、施工速度の速いアンカー工を採用した。また、応急対策は緊急性が要求されたため、スーパーフレックアンカーと軽量受圧板を採用し、恒久対策の受圧板は施工が時間的な

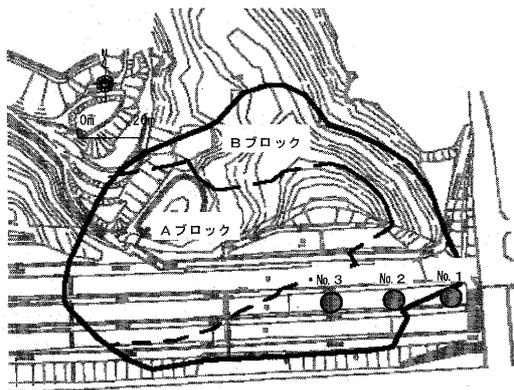


図-1 法面における数々の変状分布

制約を受けないことから経済性を考慮して現場打ちのコンクリート受圧板を採用した。

## (2) アンカー工法の検討

アンカー工法は定着部の支持方式から『摩擦・引張り型アンカー』、『摩擦・圧縮型』、『摩擦・分散型』に大別される。摩擦・圧縮型アンカーのアンカー工は、定着地盤に対して応力が集中するため、定着地盤がスレーキングしやすい神戸層群の泥岩や凝灰岩層では、摩擦・引張り型のアンカーに比べ課題が多いと考える。また、圧縮・分散型のアンカー工は一つ一つの耐荷体の負担する力が小さいため、さほど大きな拘束力は必要としないが、長さの異なるPC鋼線を同じアンカーヘッドで固定するため、万一地山に変位が生じた場合、短い鋼線に負担がかかることになる。さらには、PC鋼線を定着部の耐荷体の部分で急激に曲げ加工を行っているため、長期に荷重がかかる永久アンカーでは曲げ加工部への負担が大きい。そこで当該地のように定着部が不安定な地質では、摩擦・引張り型のアンカーが適していると判断した。

次に、摩擦・引張り型のアンカーにはVSLアンカー工法やスーパーフロテックアンカー工法等があるが、VSLアンカー工法は定着部の構造が複雑であり、現場において定着層の深さが変動する様な神戸層群の地質構造を考慮すると、現場加工が容易であるスーパーフロテックアンカー工法が適していると判断し採用した。

## (3) アンカー工法の設計

アンカーの設計に際して施工性および定着性を考慮して、法面に直交方向に検討することが一般的である。しかしながら地すべりは法面に対して $40^\circ$ の角度でもって活動していることから、導入するアンカー応力は、法面直交方向で計算して求められた抑止力を振り角度分割増し必要抑止力とした。またすべり面の傾斜が $13^\circ$ と低角であることから、アンカー打設角度はすべり力とアンカー力の合力が山側へ作用するように考えた。

またアンカーサイズは応急・恒久復旧対策とも同一のサイズのものを採用した。

既設アンカー工のリフトオフ試験を行った結果、西端側は許容応力に近い緊張力が作用していたが、アンカー機能に支障がないことが確認できた。そこで恒久復旧対策の検討ではすべり面に有効に打設されているアンカーを設計抑止力に反映させた(図-3)。

## (4) 既設アンカー処理

建設時に施工した既設アンカー工が降伏応力に達して

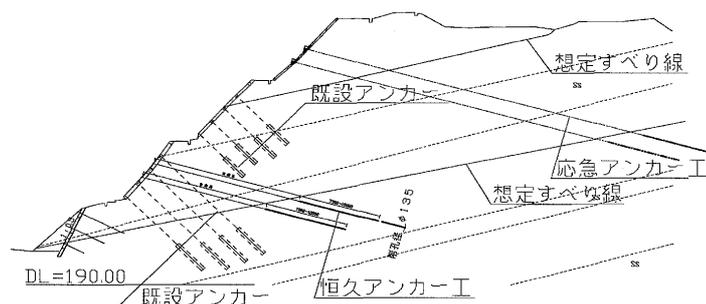


図-3 恒久対策時のアンカー工の配置

いたため、アンカー材の破断に伴ってアンカーヘッドが飛出して2次災害の発生が懸念された。一般にはアンカーヘッド等の飛出しはPC鋼線よりPC鋼棒を用いている場合が多い。当該地法面はPC鋼線で施工されていたが、高速道路に近接しているため、万全を期し飛散防止工を施工した。飛散防止工は既設アンカーに対して頭部の飛散防止を兼ねてアンカーヘッドキャップ(図-4)と飛散防止網を応急復旧対策で設置した。

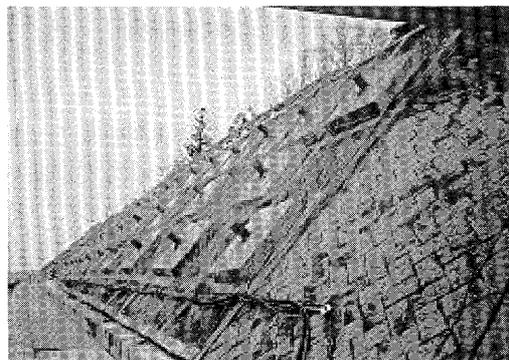


図-4 アンカーヘッドキャップの設置状況

## 3. 既設鋼管杭が分布する法面の遅れ破壊

### 3.1 切土法面変状

切土法面の規模は、延長300 m、高さ60 mである。当該地は切土施工時に大規模な法面変状や局部崩壊が発生したため、鋼管抑止杭やアンカー工を追加して完成した。この切土法面において、平成13年1月15日に地すべりの兆候が確認された。

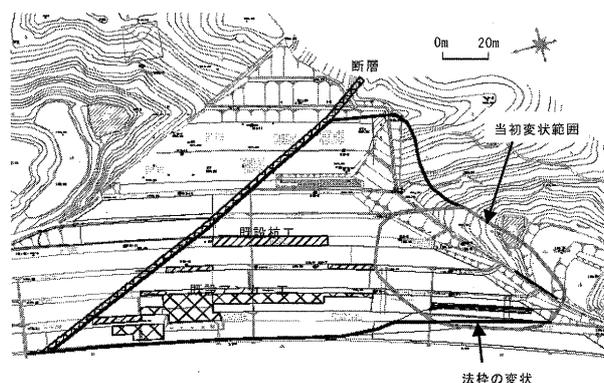


図-5 変状分布図

点検で確認された変状の主なものは、現場打ち法枠工の連続したせん断破壊、小段シールコンクリートの浮上がり・押出し、側溝の押出し・倒れなどである。これらの変状は平成12年12月15日の点検時には確認されていないことから、ここ1ヵ月間の短期間に顕在化してきたものと考えられる。また本期間中は主だった降雨は記録されていない。

地すべり変状は既設対策工が実施されていない南端部の50 m区間で確認されたが、その後変状域は拡大して建設段階で対策済みの範囲を含め、幅220 mとなった。すべり面は6枚の亜炭層の内、最下段の層状破碎帯を

論文

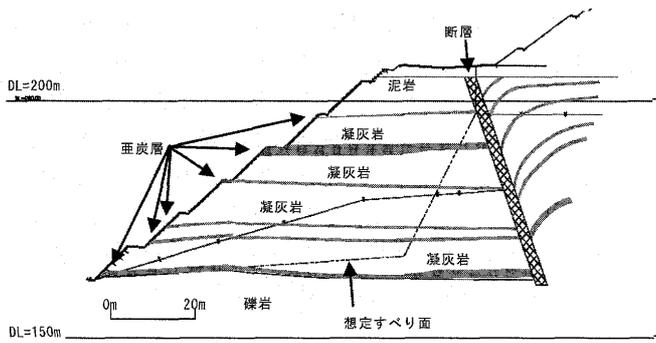


図-6 変状箇所地質断面図

形成している層に形成された。

アンカー荷重計の観測開始から変状発生までの挙動は法面完成後以降も漸増し、その後一時的な安定期を迎えるが再び増加し、降伏荷重に近い値まで達している。また、荷重の作用とともにPC鋼線が破断してアンカーヘッドの一部が落下していた。

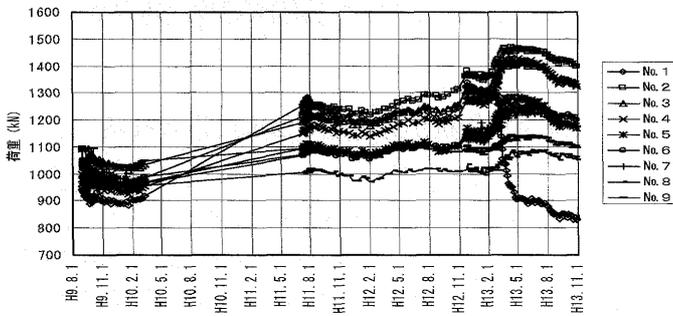


図-7 アンカーの経時変化図

3.2 法面の地質状況

変状が発生した切土法面は、高塚山撓曲に伴う副断層の西端部にあたり、断層の近傍にある開発地では地すべりが多発した。法面には神戸層群の礫岩、泥岩、凝灰岩と大阪層群の砂礫層が分布している。また法面の南側では断層を挟んで花崗岩類が露出している。地質構造はおおむね南西から北東方向の走向で、切土法面に対して緩やかな流れ盤(1°~5°程度)を示している。

3.3 既設対策工法

建設段階では、法面に高塚山副断層が分布し、地すべり変状が複数発達したことから、今回のすべり面と同じ層を対象に鋼管抑止杭工を施工したが、安定が図れず、排土工やアンカー工、水抜きボーリング工を追加した。

鋼管抑止杭工を検討した時のせん断強度は一面せん断試験のピーク強度から  $c=26 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi=16.7^\circ$  を、また排土工等の追加対策に用いた値は変状発生時点の地形形状から逆算により  $c=10 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi=14.4^\circ$  を用いた。

3.4 復旧対策工

応急・恒久復旧対策工法の選定は、前章の事例で述べた条件と同じであることからスーパーフレックアン

カー工を採用した。また応急復旧対策では地下水が変位に寄与しているため集水井と集水ボーリングも合わせて施工した(図-8)。

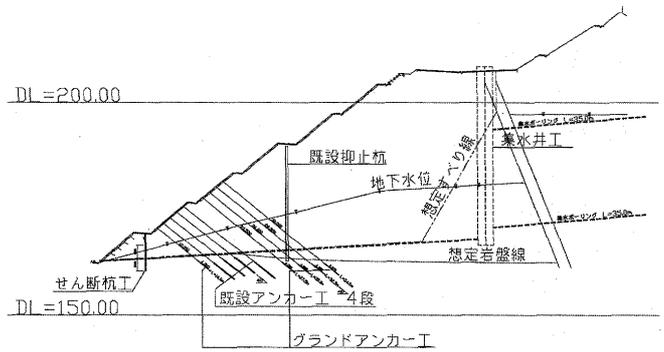


図-8 復旧対策工法概要図

安定検討に用いた地すべり面のせん断強度は、法面の地すべりが建設時から変位が発生し、現在まで相当量が累積されていると考えられるため、残留強度に近いと判断し、粘着力を  $c=0 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角を逆算で求めた  $\phi=15.6^\circ$  とした。

また既設鋼管杭の抑止効果はすべり面に対して支持層への根入れが浅いため期待できないと考え設計へ反映させていない。一方、応急復旧対策で実施した地下水低下工法の集水井・水抜きボーリングは2m程度の地下水低下が生じることから設計抑止力(5%の寄与)に反映した。

4. 堆積軟岩の遅れ破壊のメカニズム

今回発生した2箇所の法面地すべりの特徴は、いずれも断層沿いに発達した層理面沿いの軟質凝灰岩中に形成された層状破砕帯がすべり面となっていることである。

また、変状や局所的な崩壊は道路建設時に発生した範囲に集中している。これは建設時に行った対策は変状発生箇所を対象に実施したものであり、5年~7年という年月とともに未施工部の層状破砕帯の劣化進行から強度低下を起し、既設対策工区間を含め規模の大きなすべりが発生したと考えられる。

層状破砕帯は、場合によっては数kmも形成され、対象法面だけでなく、近傍の法面にも分布する。数百mに及ぶ大規模法面では連続した弱層を形成する。そのため掘削に伴う応力解放や地下水の浸透による劣化から変形が法面全体で始まる。さらには進行性破壊等のひずみ軟化作用を受けたすべり面の範囲が拡大し、地すべりを形成する。したがって、この遅れ破壊のメカニズムから対策工範囲は変状発生箇所付近にとどめるのではなく、層状破砕帯の存在を考慮して決定することが重要である。

(原稿受理 2003.5.19)