

抑止杭を用いた 斜面安定工の設計



株式会社ユニオン 川原 直樹

GCCA 正会員 設計部 〒501-0106 岐阜県岐阜市西河渡 2-57
E-mail: n_kawahara@theunion.co.jp

豪雨によって国道の山留擁壁が上部斜面のすべり土塊を受けて水平方向に亀裂が生じたため、その復旧設計を行った。擁壁上部の斜面は用地取得ができず切り直しが困難であり、現況形状による斜面および擁壁の安定化が必要であった。擁壁背後斜面の地層は水平堆積構造を成し、アンカーに必要な定着地盤が深いことから、アンカー長や定着体が長くなり、多額の費用が掛かるとともに長期的な安定性にも懸念があった。そのため、斜面中腹に抑止杭を設け、斜面安定化を図った。

1. はじめに

平成 30 年 7 月に発生した豪雨により、国道の切土法面および山留擁壁が被災した。斜面には馬蹄形の亀裂、コンクリートおよびブロック積擁壁には上部斜面のすべりを受けて水平方向に亀裂が生じていた（図-1）。

復旧工法は、切土（排土）や擁壁工が考えられたが、土地の取得が困難なことや、施工中の安全性を確保するため、現況地形を改変しない工法選定が必要となった。また、擁壁背面の地層は水平に堆積した形状を成し、アンカーに必要な定着地盤が路面高付近に位置しており、これらを踏まえた工法選定が課題であった。

本稿では、上記の背景から、斜面安定対策として抑止杭を設けた事例を紹介する。

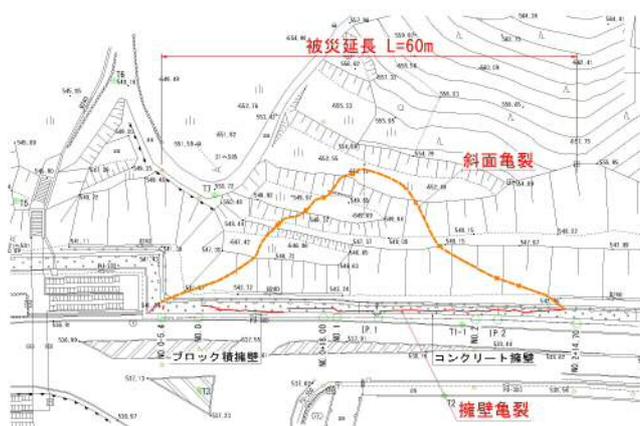


図-1 被災（亀裂）状況図



写真-1 山留擁壁に見られる円弧形状の亀裂状況

2. 被災状況

(1) 山留擁壁の状況

道路の山留擁壁として設置されているコンクリートおよびブロック積擁壁は、斜面から過大な土圧作用を受け、水平方向に亀裂が生じていた。この亀裂は、区間中央付近で擁壁基部付近に生じ、起終点方向には斜め上方向にあり、円弧形状となっていた。亀裂は、約 60m に渡って確認された（写真-1～3）。



写真-2 ブロック積亀裂状況



写真-3 擁壁亀裂状況

(2) 上部斜面の状況

擁壁上部の斜面は、全体的に緩やかな傾斜で形成されていた。切土法面は勾配 1:1.2 程度であり、その上部は数段の平坦面を持つ段丘地形、最上部の自然斜面は 25° 程度の緩勾配斜面であった。

この数段の平坦面には、被災範囲の中央部付近を中心とした馬蹄形の亀裂が確認された。亀裂部では、ポールが 50~70cm 程度貫入した（写真-4, 5）。



写真-4 斜面亀裂状況



写真-5 ポール貫入状況

3. 地質調査結果

現地調査で確認した斜面上の亀裂とコンクリート・ブロック積擁壁の亀裂の発生状況を踏まえ、図-2 に示す 4 箇所（Bro-No. 1~4）のボーリング調査（別途業務）を実施した。



図-2 ボーリング調査位置図

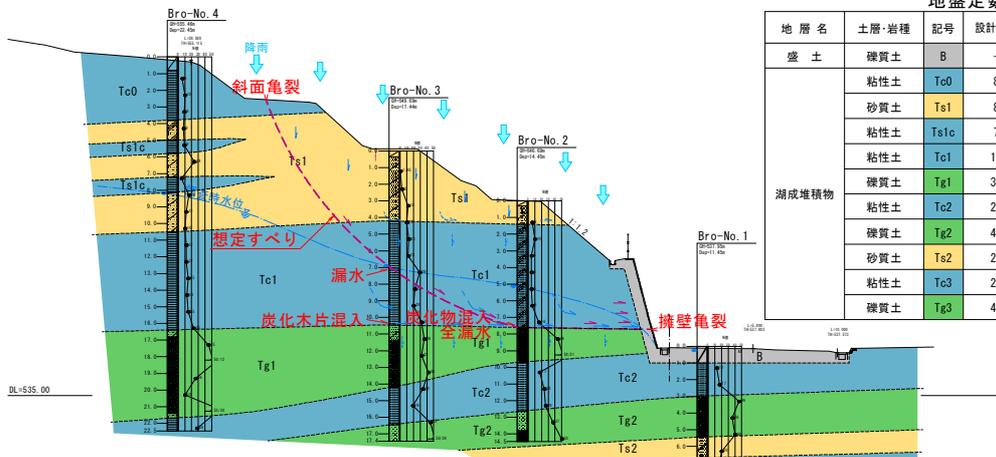


図-3 推定地層断面図

調査の結果、推定地層断面は図-3 のとおりであった。新第三記鮮新世に形成されたと考えられる湖成堆積物からなり、粘性土層(Tc)や砂質土層(Ts)、礫質土層(Tg)が互層状に堆積していた。斜面内の Ts 層や Tc 層は、N 値がやや低く (N=5~11)、道路面下の地盤に比べると軟弱であった。堆積面は、多少の傾斜や不陸を有しているが、概ね水平堆積構造を基本としていた。

崩壊斜面内のボーリングでは、NO.2地点の炭化木片が混入する Tc 層と Tg 層の境や NO.3 地点の Tc1 中で削孔時の循環水が全漏水したことから、斜面内に水みちが形成されていると判断できた。このことから、すべり面は、斜面および擁壁に発生した亀裂と、これらの水みちを結ぶ円弧形状で発生したと推定された。

4. 被災メカニズム

被災状況および調査結果より、以下のように被災メカニズムを考えた。

【素因】

- ・擁壁背面の地盤は粘性土(Tc)が主体であり、難透水性であるが、長期間に渡る豪雨等では飽和状態になる。
- ・粘性土層(Tc)と礫質土層(Tg)の境付近に、水みちが形成されている。

【誘因】

- ・集中豪雨による雨水、地表水がすべり土塊内に浸透して、急激に間隙水圧が上昇した。

【災害発生のメカニズム】

集中豪雨によって地下水が上昇し、擁壁背面の粘性土層(Tc)が飽和状態となり、不安定な状態となった。間隙水圧の上昇により内部崩壊が発生し、水みちに沿って円弧上のすべり面が形成され、擁壁の背面土圧が上昇した。土圧に耐え切れなくなった擁壁に亀裂が生じるとともに、斜面上部ののり面が滑落した。

地盤定数一覧表

地層名	土層・岩種	記号	設計N値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	せん断摩擦角 φ (°)
盛土	礫質土	B	-	20	-	-
湖成堆積物	粘性土	Tc0	8	17	48	0
	砂質土	Ts1	8	17	0	32
	粘性土	Ts1c	7	16	42	0
	粘性土	Tc1	14	17	84	0
	礫質土	Tg1	38	20	0	37
	粘性土	Tc2	24	18	144	0
	礫質土	Tg2	43	20	0	40
	砂質土	Ts2	20	18	0	37
	粘性土	Tc3	26	18	156	0
礫質土	Tg3	47	20	0	39	

5. 対策工法の検討

道路土工一切土工・斜面安定工指針の「切土のり面におけるのり面保護工の選定フロー」を踏まえ、抑制工法および抑止工法について検討した。

現況安全率は、亀裂等の変状が見られる状況から $F_s=0.98$ (表-1) とした。計画安全率は、路線重要度から $F_{sp}=1.20$ (表-2) とした。

表-1 現況安全率

現在安定を保っている場合	1.00
降雨等に伴い若干の変動が認められる場合	0.98
すべりが進行している場合	0.95

表-2 計画安全率

重要な道路, 河川, 人家等に重大な影響を与える箇所	1.20	
上記以外	主要地方道, 一般県道	1.15
	市町村道	1.12
応急工事	1.05	

(1) 抑制工法の検討

崩壊リスクを低減する目的で、抑制工は切土工 (図-4) および斜面下端を固定する擁壁工 (図-5) を検討した。

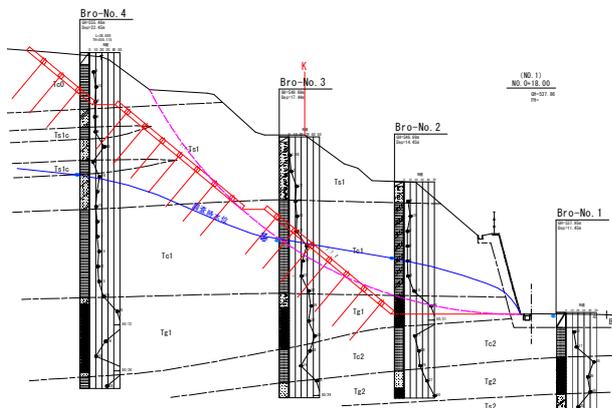


図-4 切土工断面図

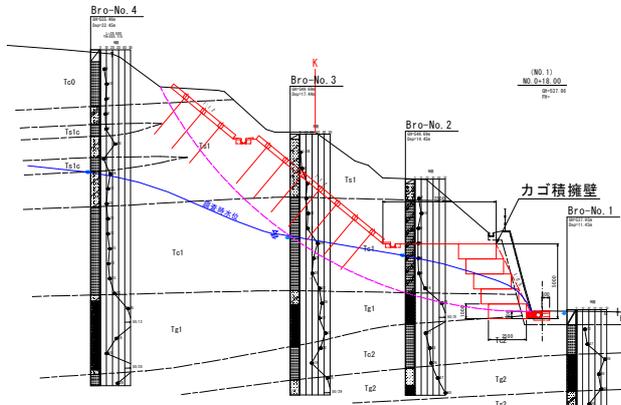


図-5 切土・カゴ擁壁工断面図

これらの抑制工法は、用地の取得や施工中の崩壊リ

スク回避ができず、採用が困難であった。そのため、現況地形を基本とする抑止工法を検討した。

(2) 抑止工法の検討

抑止工は、アンカー工と杭工をについて検討した。

a) アンカー工

切土法面およびコンクリート・ブロック積擁壁前面にグラウンドアンカーを配置して抑止を図った (図-6)。

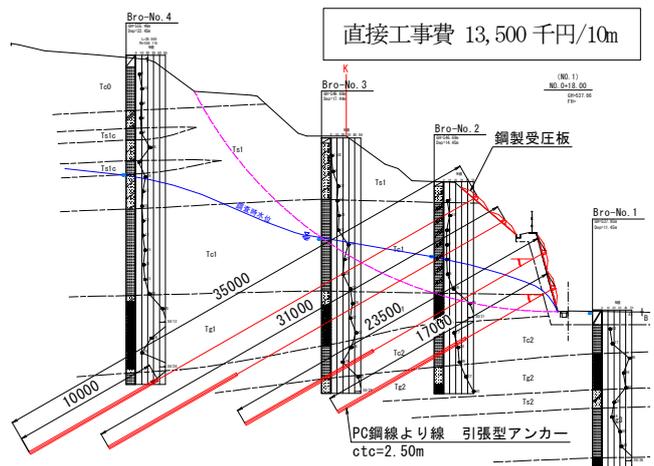


図-6 アンカー工断面図

施工中の崩壊リスクは小さいが、擁壁背面の地層が水平堆積構造を成すため、アンカー体長およびアンカー長がともに長くなり、緊張力の減少等による長期的な安定性が懸念された。また、経済性に課題があった。

b) 杭工

用地内に収まる斜面の中腹に鋼管杭 (くさび杭) を配置し、抑止を図った (図-7)。

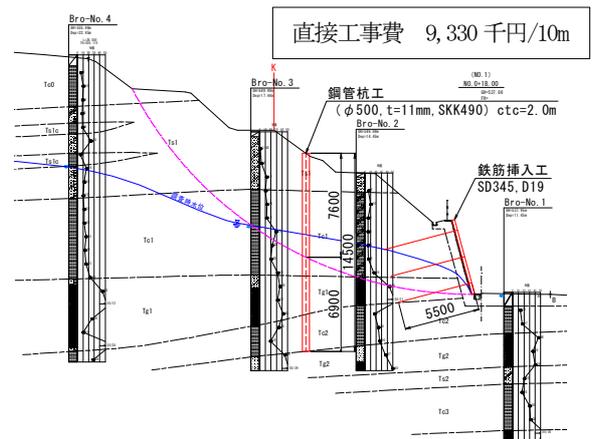


図-7 杭工断面図

斜面下端の擁壁の補修 (補強) が伴うが、アンカー工に比べ長期安定の確実性や経済性に優れることから、これを採用工法とした。

6. 対策工設計

(1) 杭工（鋼管杭工）計画

鋼管杭工は、杭を不動土塊まで挿入し、せん断抵抗力や曲げ抵抗力を付加し、すべり移動に対して直接抵抗する工法である。

杭は、崩壊土塊の反力によるくさび効果が期待でき、かつ、経済性で有利なくさび杭（図-8,9）とし、用地制約を踏まえて斜面中腹の小段に配置した（図-10,11）。

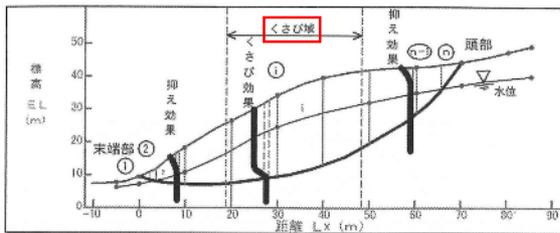


図-8 杭の効果区分

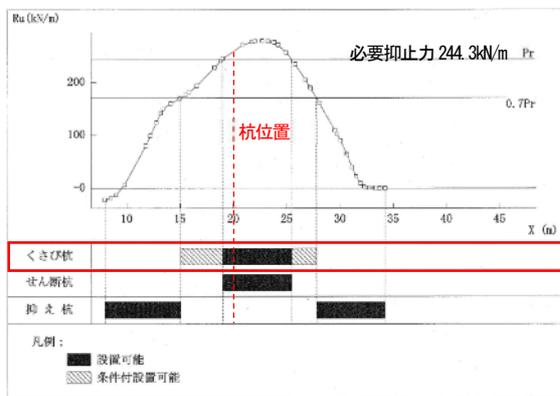


図-9 有効抵抗力と杭範囲表示図

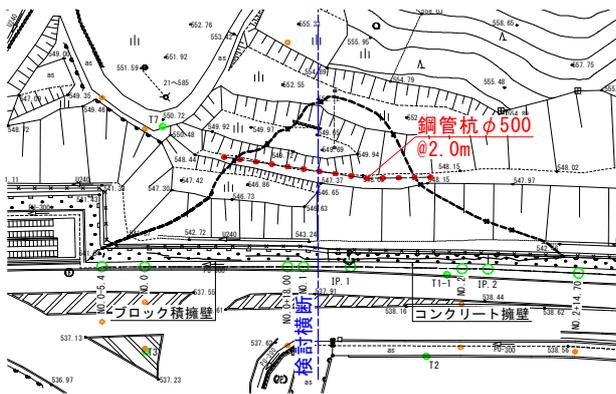


図-10 杭配置平面図

鋼管杭の規格は、必要抑止力（ $P_r=244.3\text{kN/m}$ ）を確保できる経済的な組み合わせとし、SKK490 材 $\phi 500\text{mm} \times 11\text{mm}$ 、杭間隔 2.0m とした。

(2) 既設擁壁補強（鉄筋挿入工）計画

崩壊斜面の中腹に杭を設置するため、杭より下部の斜面や擁壁部の安定確保が別途必要であった。そのた

め、くさび杭より下部の斜面内で想定される崩壊に対して、既設擁壁を鉄筋挿入工+コンクリート張により補強し、安定を確保した（図-11）。

補強材の規格および配置は、最も経済的となる組合せとし、SD345-D19、 $L=5.5\text{m}$ 、縦間隔 2.0m 横間隔 1.2m とした。

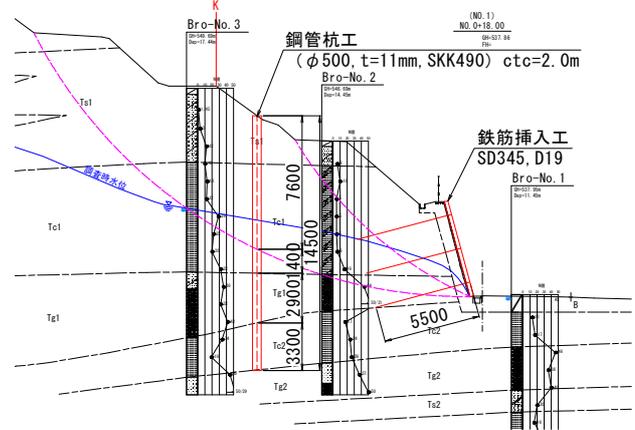


図-11 鋼管杭・既設擁壁補強（鉄筋挿入）工断面図



写真-4 杭施工後状況



写真-5 擁壁補強施工状況

7. おわりに

本業務は、定着地盤が深く水平に堆積する斜面において、抑止杭と擁壁補強の鉄筋挿入工を用い、経済的かつ長期的に斜面安定を図ることができた。ただし、災害復旧の特性上、調査から設計まで限られた期間内で計画する必要があるため、斜面変状の進行や地下水位の動向を十分に把握することはできず、施工に渡って斜面の変状に注意を払う必要はあった。

法面对策は崩壊の進行や地下水の状況を正確に把握することでより確実な対策設計が可能であり、本件では調査と設計を並行して実施する難しさを経験し、知見を広げることができた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工一切土工・斜面安定工指針，p. 198, 199, 2009.
- 2) 斜面防災対策技術協会：新版地すべり鋼管杭設計要領，P. 43, 2003.