

土石流対策におけるシェッドの選定について

石田 達久

浜松市 土木部 天竜土木整備事務所 (〒431-3392 静岡県浜松市天竜区二俣町二俣481)

浜松市天竜区は浜松市の北部に位置し、面積の約9割が山林かつ地形は急峻であり、幹線道路は斜面や河川沿いに位置している。三遠南信自動車道の現道改良区間においても狭隘な地形条件の中で整備を進めているが、土石流の発生が危惧される斜面において事前通行規制区間が設定されていることから当該道路の供用には防災対策を講じ規制を解除する必要がある。このことから土石流対策としてアースシェッドを選定した経緯と設計の概要について発表する。

キーワード 道路防災対策、事前通行規制、土石流、シェッド

1. はじめに

(1) 浜松市の概要

浜松市天竜区は、浜松市の北部に位置し、市域の約61%を占め、愛知県や長野県とも接する広大な面積を有している。その約91%は森林であり、各所に白倉山、山住山、竜頭山などの急峻な山地、天竜川支流の大千瀬川、水窪川、気田川などを擁し、高低差の大きい地勢を成している。

また、本地域には本市と他県他市町を結ぶ重要な幹線道路として、国道152号、国道362号、国道473号及び他5路線の主要地方道を有し、現在、国道152号の一部区間を三遠南信自動車道現道改良区間(以下、現道改良区間という。)として整備を実施している。この現道改良区間の大半が山間地域で急峻な斜面と河川に接しており、道路築造工事と並行して防災工事を実施している。

(2) 三遠南信自動車道の現道改良区間の整備

三遠南信自動車道は長野県飯田市から静岡県浜松市に至る約100kmの高規格道路である。そのうち、平成25年12月の「三遠南信自動車道(水窪北～佐久間)計画段階評価」により、水窪北IC(仮称)～水窪IC(仮称)間の国道152号約7.3kmが現道改良区間に位置付けられ、浜松市が平成27年度から整備を進めている。

当該道路は災害に強く、スムーズな通行を目指し、異常気象時の通行規制解除と設計速度時速50kmの確保をコンセプトに、斜面の安全対策並びに現在の道路線形や幅員を見直し、一部バイパス区間を設ける計画である(図-1)。

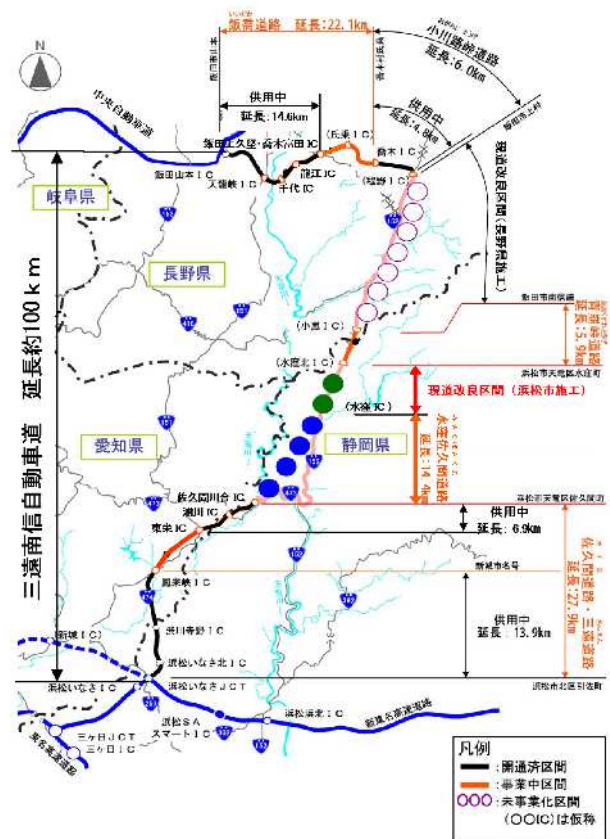


図-1 三遠南信自動車道のルート計画図

(3) 事前通行規制について

現道改良区間となる国道152号は、豪雨・積雪等の異常気象時において、道路法第46条に基づき道路の通行が危険であると認められる場合、事故を未然に防止し、道路利用者の安全を期するため、雨量が基準値に達した時、

通行規制を行う事前通行規制区間に定められている。

この事前通行規制区間の解除においては、「異常気象時における道路通行規制要綱」を定めており、道路防災点検要領(豪雨・豪雪等)に基づく点検において、要対策と判定された箇所での防災対策工事が完了していることを条件としている。

このことから、本市では「浜松市道路斜面对策計画」に基づき、道路斜面对策にあたり、路線の重要度や地質区分に加え、事前通行規制区間を優先的に対策を講じるものとしている。令和7年3月時点において、現道改良区間の要対策箇所17箇所の内8箇所が対策完了となっている。

本件ではこの道路防災点検における要対策箇所の内、土石流対策の事例について述べる。

2. 土石流対策の検討

(1) 土石流の概要と計画規模

この地域は、中央構造線沿いの破碎帯や脆弱な堆積岩が分布するため、斜面崩壊が生じやすい地質状況にある。

当該溪流の流域面積は0.12km²で、溪床勾配が約1/2程度と急であり、溪岸浸食、不安定な堆積土砂が確認され、現地踏査により流域内の移動可能土砂量は1,992m³であった。また、既往最大日雨量(水窪観測所)は334.0mm/日を記録しており、土石流の発生が危惧されるところである。

(2) 土石流対策の考え方とシェッド選定の経緯

当該溪流を道路が横断する場合の土石流対策施設の選定として、次の3段階の考え方を基本とし、図-2に示したフローチャートにしたがって検討を行った。

〔対策①〕路線の小シフトやカルバート等の道路構造単独での対応を検討する。

〔対策②〕道路構造単独での対応が困難な場合には、砂防えん堤等の土石流対策施設による対応を検討する。

〔対策③〕大規模な自然斜面において、対策工のみで対処しえない場合には通行規制等の手段を活用し、道路交通の安全確保に努める。

当該対策箇所においては、地すべり危険箇所がある急斜面と河川に挟まれた狭隘な地形である上に、現道の拡幅により線形改良を行う区間であるため、対策①の線形の小シフトは困難であった(写真-1)。

また、山側の溪床が路面から3m高い位置にあり、土石流が発生した場合は、道路上への氾濫の危険性がある。このことから、溪床高に対して道路面が低いためカルバート等の道路構造単独で対応することが困難であった。

対策②の道路構造で対応できないため砂防えん堤等に

よる土石流の制御については、山側が急斜面で、えん堤の巨大化や山側の大規模の切土が発生するなど、現場条件上困難であった。

対策③については、前提として事前通行規制解除を目的としているため対策としては除外となった。

以上の検討を行った上で、発生した土石流を受け流し、道路を守ることが可能なシェッドによる対策工の検討を行う経緯となった。

本市が管理するシェッドの大半が落石対策を目的としたロックシェッドであり、近年、シェッドの設計を行った実績が無い。また、道路施設として土石流対策のアースシェッドを設置した事例が全国的にも少なく、対策工検討の際、設計担当者は設計条件の設定に苦勞した。

このことから、本市がアースシェッドの検討にあたり、設計の考え方について次に述べる。

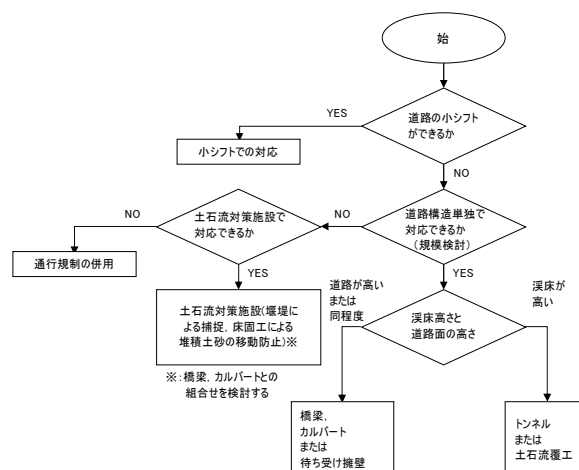


図-2 土石流対策施設選定のフローチャート



写真-1 対策箇所俯瞰写真

(3) アースシェッドの設計

a) 設計の考え方

道路土工構造物技術基準・同解説²⁾によるとシェッドは道路土工構造物の斜面安定施設の一つに分類される施

設であるため、主となる設計・記述基準は道路土工とした。ただし、道路土工に関する指針等はシェッド設計に関する記述がほとんど掲載されていない。そのため、設計手法の詳細は具体的に設計方法が説明されている「設計要領〔道路編〕(国土交通省北陸地方整備局)」の第11章防災工³⁾を採用した。

シェッドの延長は、「静岡県土砂災害の防止に関する基礎調査マニュアル(案)」を参考に、対象の溪流上流側に帯工を設置し、その帯工からシェッド河川側端部までの間において、土石流流下方向に対して土石流分散角 60° とし、道路通過時の土石流の流下幅に対して流下範囲を包括可能な $L=51.0\text{m}$ とした(図-3)。

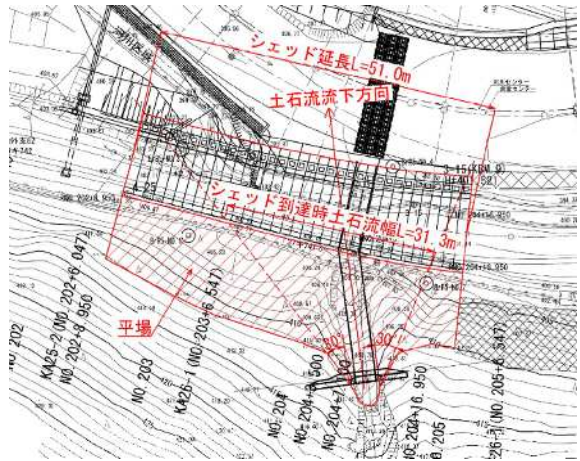


図-3 シェッド延長設定と土石流分散角

また、シェッドの屋根の勾配は、屋根勾配と死荷重(堆積土砂)の関係から、屋根勾配を 10° とすると経済的に有利であるという検証結果が報告³⁾されていることから 10° とした。

シェッドにおける荷重の種類については表-1のとおりで、本件のアースシェッドについては、死荷重、落石荷重、土砂荷重、その他として地震の影響等を考慮している。このうち、落石荷重および土砂荷重について述べる。

荷 重 の 種 類			スノー シェッド	アース シェッド	ロック シェッド
死 荷 重	自 重	P	○	○	○
	緩衝材(サンドクッション)		×	△	○
雪 荷 重	積 雪 荷 重	PP	○	△	△
	な だ れ 荷 重		○	△	△
	な だ れ の 衝 撃 力	PA	△	△	△
	デ ブ リ 荷 重		△	△	△
	巻 だ れ 荷 重		△	△	△
落 石 荷 重	沈 降 力		△	△	△
	落 石 の 衝 撃 力	PA	×	△	○
土 砂 荷 重	堆 積 土 砂 荷 重	PP	×	○	×
	流 動 土 砂 の 掃 流 力	PA	×	△	×
	崩 壊 土 砂 の 衝 撃 力		×	△	×
そ の 他	土 圧 ・ 水 圧	P	△	△	△
	地 震 の 影 響	S	○	○	○
	そ の 他	PA	△	△	△

P: 主荷重、S: 従荷重、PP: 主荷重に相当する特殊荷重、PA: 従荷重に相当する特殊荷重
○ 考慮する、△ 現地の状況から特に影響のある場合に考慮する、× 考慮する必要がない

表-1 シェッド種別ごとの対象とする荷重

b) 落石対策と衝撃力の設定

現地踏査より山側斜面にシェッドへ落下の恐れがある

浮石等が確認された。転石については除去工やロープ伏せ工などの落石予防工を併用し、経済性を考慮しつつ、シェッド上に与える衝撃力の作用を軽減させることとした。落石による衝撃を設計にて考慮するため、落石対策便覧の落石による衝撃力の計算式にて、落石による衝撃力を算出した。なお、本体構造物が第1落下地点(落石の跳躍量(最大5m程度))より離隔があれば、リバウンド後の落石衝撃力により設計が可能であり、シェッド背面に裏込め材や緩衝材等の平場があることから(図-4)、リバウンド後の落石衝撃力は $P' = 0.4 \cdot P$ となるため、これを設計に採用している⁴⁾。

また、シェッドは衝撃力とは別に、緩衝材層厚2倍の直径の落石まで対応が可能となるが、緩衝材の層厚よりも直径が超過する転石等に対して、予防工を併用する方法と緩衝材のみで対処する方法で経済比較を行った。緩衝材の厚さは、落石の砂へのめり込み量および従来の設計方法を考慮し、落石径の1/2かつ90cmを下限⁴⁾としているが、最小厚さ90cmの緩衝材と必要な予防工の併用施工が最も優れる結果となった。

この緩衝材は一般的に砂を設置するが、土石流が発生した場合、緩衝材が流出する可能性がある。これに対しては、溪流に設置する帯工からシェッド天端部までコンクリート版を施工することで、緩衝材の流出を防ぎ、土石流をシェッド天端部まで受け流す構造としている(図-4)。

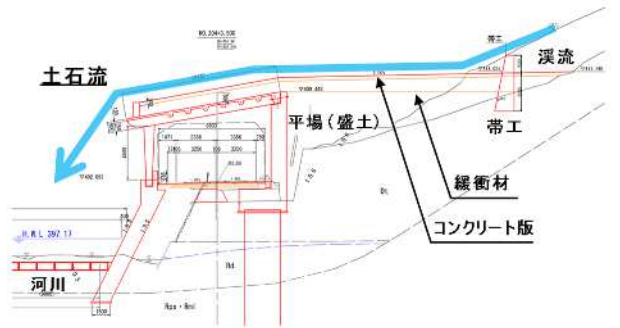


図-4 シェッド構造による土石流対策のイメージ

c) 土砂荷重の設定

土砂荷重については、シェッド上に堆積した土石流を原則取り除くものとするが、それを取り除くまでの荷重として「堆積土砂荷重」、土石流がシェッド上を通過するときの荷重として「流動土砂荷重(掃流力)」を検討、崩壊土砂の衝撃荷重については、シェッド背面に平場を設置(図-4)することから、シェッド本体に直接作用しないよう設計したため考慮しない。

「堆積土砂荷重 q_e 」の算出は、堆積土砂の層厚 h_e と、堆積する土砂(単位体積重量 $\gamma_e: 18(\text{kN/m}^3)$)を載荷荷重として(1a)のとおり算出した。

堆積土砂の層厚 h_e は、土石流の移動形態で堆積区間にあたる勾配の最大値である堆積角度 15° とし(図-5)⁵⁾、

シェッド上部工下流側先端を頂点とした15°の三角形で堆積する土砂を算出した。

$$q_e = \gamma_e \cdot h_e \quad (\text{kN/m}^2) \quad (1a)$$

「流動土砂荷重(掃流力)」は、シェッド上部工(躯体)を土石流が通過する際の等分布荷重を鉛直方向 q_{ev} 及び水平方向 q_{eh} として算出した(1b)(2b)。

$$q_{ev} = (1 + \mu_e \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (1b)$$

$$q_{eh} = \mu_e \cdot \cos \theta^2 \cdot \gamma_e \cdot h_e \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2b)$$

流動土砂の層厚 h_e は土石流ピーク流量に対する越流水深から算出し、流動土砂の動摩擦係数 $\mu_e = \tan \varphi$ とし、河床堆積土砂の内部摩擦角は35°とした。流動土砂の単位体積重量 γ_e は、静岡県砂防設計の手引きから19.2 (kN/m³)とした。θはシェッド屋根部の勾配とするため10°とし、これらの数値から流動土砂荷重を算出した。

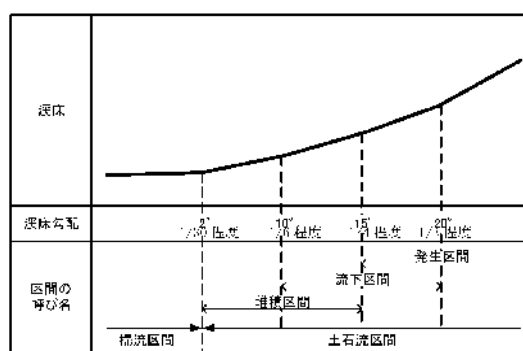


図-5 土砂移動の形態の溪床勾配による目安

3. 関係機関との協議

(1) 保安林解除に係る協議

現道改良区間は、南アルプス(赤石山脈)と平行する南北に延びる標高1600m~1800mの「伊那山地」と称される山地の南側にあり、先に述べたとおり、中央構造線により形成された山間部に位置し、破碎帯や脆弱な堆積岩が分布していることから、斜面崩壊しやすいため、「土砂の流出の防備」を目的とした保安林指定地が多い。このことから保安林指定地で道路防災対策を行う場合は保安林の解除を行うケースがある。

本件のシェッド設置において、保安林指定地内で、落石に対する緩衝区域や土石流の流路として平場を設置することから、保安林指定された支障木の伐採が必要だった。

本区間は(一)天竜川の重要流域内のため、解除権者は農林水産大臣となる。解除の協議期間は概ね5か月程度の長期間を見込んだ施工計画の立案が必要となる。現道改良区間における保安林の解除は他にも複数箇所にて並行して協議を行っており、県担当者と事前協議を密に行い、それぞれの施工計画の進捗に注視しながら手続きを

進めた。

(2) 河川占用に係る協議

本施設の流末は静岡県管理の(一)翁川であるため、常時の流水等について、どのような施設を設け、どのように流水を処理するか検討し、河川占用を含め、河川管理者と協議を行っている。

従前は道路下の横断暗渠管で排水を行っていたが、シェッド整備により、道路上のシェッド上部工から流す形に変わる。そのため、流下する水が河床へ高所から落下することになり、洗堀を生じる可能性があったため、静岡県砂防設計の手引きの根固め工の考え方により、根固め工の設置範囲を決定した。なお、根固め工の重量等規格は本流の(一)翁川の流速を基準に決定した。

流末接続の河川占用協議は元々道路改良事業で河川を付け替えて、道路拡幅を行う箇所、静岡県への協議を行う必要もあったため、早期に準備し余裕を持って臨んだ。

4. 最後に

本市の災害に強い道路ネットワークの構築に向けて自然災害が激甚化・頻発化する中、安全・安心な道路網の確保は重要な課題の1つである。三遠南信自動車道の供用開始において、道路改良と並行して道路を守るための防災工事は避けては通れないものとなっている。今回述べた土石流対策設計は、今回の箇所に限らず本市の地形上の特性から、今後他の箇所においても同様な対策が必要になると想定される。そのような中、参考となる近年の設計事例が本市だけでなく、他都道府県、他市長村の事例も少ないことから、設計方針を決定する上で苦労した。浜松市に限らず静岡県内においても同様な地形が多く存在し、道路網の確保においては、今後シェッドの検討が求められることも考えられることから、本件の事例が参考になれば幸いである。筆者自身も本論文作成において大変勉強になり貴重な経験を得た。

【参考文献】

- 1)道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成21年度版)：平成21年6月公益社団法人日本道路協会
- 2)道路土工構造物技術基準・同解説：平成29年3月公益社団法人日本道路協会
- 3)設計要領(道路編)：令和4年4月 国土交通省北陸地方整備局
- 4)落石対策便覧：平成29年12月 公益社団法人日本道路協会
- 5)砂防設計の手引き：平成29年9月 静岡県交通基盤部河川砂防局砂防課