砂防学会誌，Vol. 72，No. 5，p. ●－●，2020

技術ノート

# 狭隘箇所における新たな砂防堰堤整備方法の提案

**Proposal of a new sabo dam construction method in a narrow area**

植野利康[*1] Toshiyasu UENO　綱川浩章[*2] Hiroaki TSUNAKAWA　有澤俊治[*3] Toshiharu ARISAWA　小川光生[*4] Mitsuo OGAWA
秋田尚孝[*4] Naotaka AKITA　小石芳郎[*5] Yoshirou KOISHI　佐藤敏明[*6] Toshiaki SATO　矢野孝樹[*6] Takaki YANO

**Abstract**

In areas where urbanization has progressed, there are many narrow spots where houses etc. are dense, and it is recognized that the construction of the sabo dam has not progressed due to construction restrictions. In this report, for the erosion control in the Shonai River and the Kiso River area, the characteristics of the narrow area and the problems during the construction of sabo dam are described. We propose that the solution of the construction of the sabo dam by the construction machine and the structure of sabo dam.

**Key words：sabo dam, material transportation, structure, construction yard**

## 1．はじめに

土地利用が促進され，市街化が進んだ地域の土石流危険渓流には，渓流出口付近まで人家等が密集した箇所が多くあり，施工上の制約から砂防堰堤の整備が進んでいない状況が見られる。また，平成26年8月に発生した広島市での土砂災害等では，人家密集地域での緊急工事において，工事用道路や砂防堰堤等の整備，用地取得等に多くの時間と労力を要した。ここでは，人家の連担等の土地利用状況から砂防堰堤の施工に多くの制約がある箇所を狭隘箇所と呼ぶこととする。

狭隘箇所での土石流対策は，今後砂防事業を進める上で重要な課題であり，狭隘箇所の特性を踏まえた上で，既存技術だけでなく，これまで活用されてこなかった技術，まだ汎用性の低い新技術などを含め，広範な観点から砂防施設による効果発現方策について検討し，柔軟な整備を行っていく必要があると考えられる。狭隘箇所における土石流対策に関連する既往研究としては，水山ら[1)]（2009）による，ゼロ次谷等の小渓流における土石流対策工の提案があるが，施工方法にまで着目した研究は，これまで行われていない。

このため，著者らは，庄内川直轄砂防の流域および木曽川直轄砂防の流域（図－1）を対象として，狭隘箇所の特徴および砂防堰堤施工上の課題を調査し，適応可能な砂防堰堤の整備方法を施工設備および砂防堰堤の構造の面から検討したので，その概要を報告する。

図－1　対象流域位置図

## 2．狭隘箇所の特徴と砂防堰堤施工上の課題

### 2.1　土石流危険渓流の状況

検討対象範囲に位置する土石流危険渓流の状況は，以下のとおりである。

＊1　正会員　国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所　Member, Tajimi Sabo and National Road Office, Chubu Regional Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourisum（MLIT）　＊2　正会員　国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所（現 一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構）　Member, Tajimi Sabo and National Road Office, Chubu Regional Bureau, MLIT,（Now in Sabo Frontier Foundation）　＊3　国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所（現 木曽川下流河川事務所）　Tajimi Sabo and National Road Office, Chubu Regional Bureau, MLIT（Now in Kisogawa-Karyu River office）　＊4　国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所　Tajimi Sabo and National Road Office, Chubu Regional Bureau, MLIT　＊5　国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所（現 新丸山ダム工事事務所）　Tajimi Sabo and National Road Office, Chubu Regional Bureau, MLIT（Now in Shinmaruyama-Dam construction office）　＊6　正会員　八千代エンジニヤリング株式会社　Member, Yachiyo Engineering Co., LTD.

**1）庄内川直轄砂防の流域**

土石流危険渓流は440渓流であり，そのうち計画土砂量が1,000 $m^3$ 未満の渓流が全体の約20%（87渓流）を占める。これらの渓流のうち，95%以上は流域面積0.04 $km^2$ 以下の小規模な渓流である。

**2）木曽川直轄砂防の流域**

土石流危険渓流は210渓流であり，そのうち計画土砂量が1,000 $m^3$ 未満の渓流が全体の約13%（26渓流）を占める。これらの渓流のうち，95%以上は流域面積0.04 $km^2$ 以下の小規模な渓流である。

### 2.2　狭隘箇所の特徴と砂防堰堤施工上の課題

検討対象範囲の土石流危険渓流のうち，今後の整備計画対象となっている187渓流について，砂防堰堤計画箇所の地形，保全対象の土地利用，資材搬入条件等の状況を既存の空中写真，基礎調査資料，LP地形図等を用いて調査し，狭隘箇所の渓流の特徴（図－2）と砂防堰堤施工上の課題（表－1）を整理した。狭隘箇所での施工上の課題をまとめると以下の5点になる。

1）道路狭小等により，10 t ダンプトラック，アジテーターによるコンクリート運搬，土運搬が困難である。
2）道路狭小等により，工事用道路と25 t 自走式クレーンによるコンクリート打設が困難である。
3）騒音，振動の軽減，濁水の防止など住環境への配慮事項が多い。
4）流末水路の状況（水路が未設置，側溝など）に応じた仮排水が必要となる。
5）砂防堰堤の適地が狭く，施工箇所と住宅などが近接し，十分な施工ヤードが確保できない。

特に市街化が進行している庄内川直轄砂防の流域では，緊急性が高い整備対象渓流38箇所のうち約40%の14箇所が狭隘箇所の特徴を有している。

**図－2**　代表的な狭隘箇所の状況

**表－1**　狭隘箇所の特徴と砂防堰堤施工上の課題

| 渓流の特徴 | 砂防堰堤施工上の課題 |
|---|---|
| 特徴①：住宅が沢出口まで近接しており，砂防堰堤整備箇所までアクセスする現況道路の幅員が非常に狭い。 | ①資材搬入に通常使用する10 t クラスのダンプトラック，アジテーターの通行が困難である。<br>②コンクリート打設に使用する25 t クラスの自走式クレーンの通行が困難である。<br>③土工事に使用するバックホウの通行が困難である。<br>④現況道路を資材運搬用に改良することが，土地利用上難しい場合が多い。<br>⑤現況道路に埋設された上下水道施設や電柱などの支障物件に対する補償等の対応が必要になる場合が多い。 |
| 特徴②：現況道路は，幅員が狭いことに加え，十字路やクランク箇所も多くなっている。また，両側に人家が近接しており資材搬入時の障害になる場合が多い。 | |
| 特徴③：土石流基準点の上流部まで開発が進んでいる場合がある。また，電柱等の支障物件が多い。 | |
| 特徴④：常時流水が少なく，流末に水路がない。水路がある場合でも流末が側溝であることが多い。 | ①砂防堰堤と既設水路の接続は，住宅に近接した施工となる可能性がある。<br>②流末水路に応じた仮排水計画が必要となる。 |
| 特徴⑤：砂防堰堤の整備個所と住民の住空間が近接しており，施工による生活環境への影響が大きい。 | ①施工時の騒音，振動対策を十分に行う必要がある。<br>②住民生活が施工時のサイクルタイム等へ影響するため，施工期間が長期となる可能性がある。 |
| 特徴⑥：谷が深い渓流ではなく，0次谷のみのような流域面積が小さい渓流が多い。また，山腹斜面に近い地形であるため，緩勾配区間が短く，急激に河床勾配が急になる。 | ①砂防堰堤の適地が地形的に限られるため，住宅に近接した施工となる場合が多い。<br>②砂防堰堤の施工箇所と住宅が近接する場合，施工ヤードが確保できない。 |

## 3．資材運搬面での対応方法

### 3.1　適応可能な運搬方法

狭隘箇所の砂防堰堤施工では，通常の設備に代わる資材搬入設備，コンクリート打設設備が必要になる。設備としては，モノレール，索道，キャタピラーダンプ，コンクリートポンプ，ベルトコンベア，ヘリコプター等が考えられるが，汎用性，施工時の住環境への影響度合いから，適応が可能な設備として，モノレール，コンクリートポンプ，索道について適応性を検討した。

### 3.2　各運搬方法の適応性評価

以下に，各設備の適応性を詳述する。

**1）モノレール**

評価：運搬速度が40 m/分程度とやや遅いが，資機材の運搬能力が4.0 t と高く，施工箇所の土地利用や自然環境に及ぼす影響が小さい。運搬可能な資材の汎用性が高く，設置・撤去も短い期間で実施可能であり適応性が高い。

**2）コンクリートポンプ**

評価：圧送するコンクリートの配合に制約があるが，施工箇所から離れた場所からもコンクリートの打設が可能であり，配管は用地上の制約が少なく，地形改変もほとんど必要ない。設備は小型で，2 t トラックで搬入可能であり，広い積み込みヤードを必要とせず，設置・撤去の期間も短いことから適応性が高い。

**3）索道**

評価：施工箇所の土地利用や自然環境に及ぼす影響は小さいが，機材の運搬能力が3.0 t とモノレールに比べ劣る。設置・撤去にやや時間を要する。アンカー設置が必要であり，地形上の制約を受けやすい。また，空中を資材が移動するため，人家密集地での使用は十分な安全対策が必要であることから適応性は低い。

## 4．選定可能な砂防堰堤構造と評価

### 4.1　適応可能な構造形式

狭隘箇所に整備する砂防堰堤は，土石流対策上の土砂，

**表－2　狭隘箇所に整備する砂防堰堤の必要条件**

| |
|---|
| ①砂防計画上の土砂，流木量を捕捉する等，砂防施設として必要な機能を有すること。 |
| ②モノレールによる資材搬入が可能なこと。 |
| ③モノレールで搬入できる機械で堤体が施工できること。 |
| ④地域への騒音等の環境影響を軽減するため，短期間で施工できること。 |
| ⑤狭小なスペースに設置するため，施設の規模が極力小さいこと。 |

流木処理機能に加え，地形条件や土地利用条件から，工事用道路で資材を搬入し大型クレーン（25 t クラス）で施工する通常の方法では施工ができないことに留意する必要がある。狭隘箇所に整備する砂防堰堤に求められる条件は，表－2 のようになる。

上記の条件を踏まえ，重力式コンクリート堰堤，強靭ワイヤーネット，土石流フェンス，鉄筋コンクリート堰堤，鋼管補強コンクリートブロック堰堤について適応性を検討した。

### 4.2　適応性の評価

以下に，各構造形式の適応性を詳述する。

**1）重力式コンクリート堰堤**

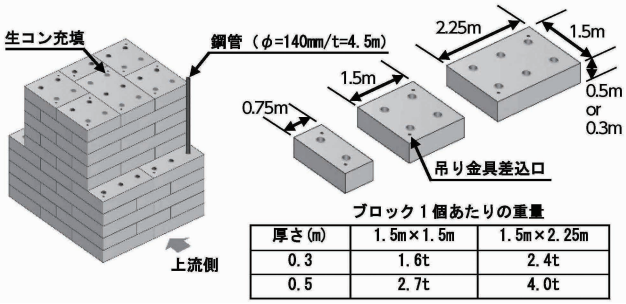
構造概要：型枠で組んだ打設ブロックにコンクリートを打ち込んで堰堤を築造する構造物である。

評価：型枠等の資材は小型で，モノレールでの運搬が可能であり，コンクリート打設はポンプにより打設可能である。ポンプに合わせたコンクリート配合の変更が必要となることなどの課題があるが，施工実績が豊富であり，堤高の高い堰堤にも対応できることから，狭隘箇所における不透過型の砂防堰堤として適応性が高いと考えられる。

**2）鋼管補強コンクリートブロック堰堤**

構造概要[2)]：複数の孔を有する長方形のコンクリートブロックを積み上げ，孔部に鋼管を通して補強する構造形式（図－3）。高さ 10 m 程度まで対応が可能である。

評価：堤体のプレキャスト化で，従来の型枠設置，打設，養生，脱型等の工程が省略でき，施工の効率化が図れる。また，ブロックを積み上げる方法のため，施工期間の短縮が図れ，仮設としても使用できる。狭隘箇所での施工を念頭に置いて既存の工法を改良したものであり，施工実験（図－4）では，日当たり 50 個程度の積み上げ（鋼管挿入含む）が可能とされている。現地への施工実績はないが，狭隘箇所の施工条件に対して適応性が高いと考えられる。




| 厚さ(m) | 1.5m×1.5m | 1.5m×2.25m |
|---|---|---|
| 0.3 | 1.6t | 2.4t |
| 0.5 | 2.7t | 4.0t |

**図－3　鋼管補強コンクリートブロック堰堤の概要**

ブロックの積み上げ作業　　ブロック積み上げ完了後

**図－4　0.45 m³ バックホウによる鋼管補強コンクリートブロック堰堤の施工実験状況**

**3）鉄筋コンクリート堰堤**

構造概要[3)]：鉄筋コンクリートにより築造する堰堤。地形，地質条件に合わせて，逆 T，版構造，片持ち梁等の構造形式を選択する。高さ 15 m まで対応できる。

評価：小規模な設備（モノレール，ポンプ）での施工に適しており，コンクリートの打設量が低減され，施工期間の短縮を図れる可能性も高い。また，構造がスレンダーなため，狭小なスペースへの設置にも適している。一方，鉄筋の組み立て作業の効率化や，ポンプに合わせたコンクリート配合が必要となること，施工実績が少ないなどの課題もあることから，現状での適応性はやや低いと考えられる。

**4）土石流フェンス**

構造概要：ユニット化した鋼材を現地で組み立てフェンスを築造するもの。

評価：部材が小型で，量的にも少ないため資材搬入，施工が容易である。また，鋼材の現地組み立てと基礎コンクリート打設のみであり，施工期間が短縮できる。設置可能な施設規模は小さい（高さ 5 m 以下）が，恒久対策としても使用できるため，狭隘箇所における透過型の砂防堰堤として適応性が高いと考えられる。

**5）強靭ワイヤーネット**

構造概要：渓床に支柱を設置して，リング状のネットを張り，渓岸の地山に複数のアンカーを設置して土石流，流木の衝撃力を吸収する構造物である。

評価：構造が単純で，支柱，ワイヤー，アンカーの設置のみであり，資材搬入，施工が簡易である。また，部材が少なく，施工が簡易なため，施工期間が大幅に短縮できる。課題として，現時点で恒久施設として使用できないこと，設置可能な施設規模が小さい（高さ 5 m 以下）が挙げられる。狭隘箇所の施工条件に適した工法であるため，恒久施設の整備まで暫定的に使用するなど，ニーズを考慮すれば適応性は高いと考えられる。

## 5．狭隘箇所における砂防堰堤の整備方法の試案

### 5.1　狭隘箇所の整備方針

狭隘箇所の条件を有する渓流は，砂防堰堤の整備が難しい施工条件を有するが，災害時要配慮者施設や避難所など重要な保全対象が位置する等，早急な対策が求められる場合も多い。しかし，地域との調整，通常設備によ

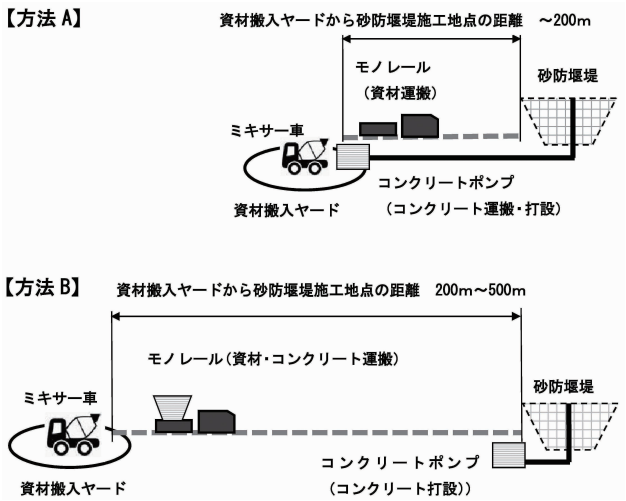
らない施工などから，恒久対策となる砂防堰堤の整備に時間を要することが想定される。このため，整備優先度の高い計画施設の位置する渓流や流域が荒廃し土石流発生が切迫している渓流については，恒久施設の完成にある程度の期間を要する実情を踏まえ，応急対策を目的とした施設を当面整備し，暫定的に保全対象の安全性を高めていく方策をとっていくことが考えられる。

### 5.2　資材運搬方法の選定

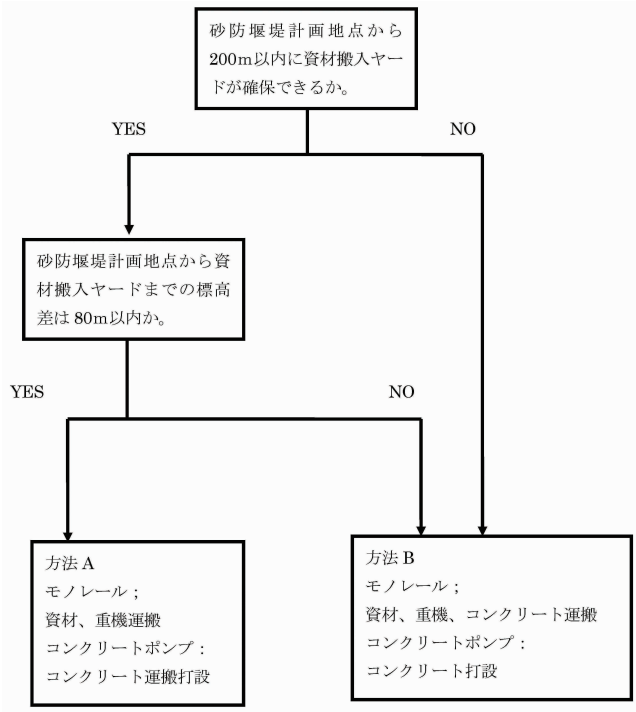
適応性が高いとしたモノレール，コンクリートポンプについて，狭隘箇所の施工条件に適した配置方法を検討した。狭隘箇所での施工は，砂防堰堤施工地点付近に資材搬入ヤードを設けてモノレールで資材搬入・搬出を行うことになる。一方，コンクリート打設については，ミキサー車から受けたコンクリートをコンクリートポンプで直接打設する方法（方法 A）とミキサー車から受けたコンクリートを砂防堰堤施工地点までモノレールで運搬し，コンクリートポンプで打設する方法（方法 B）の 2 つ[4]（図－5）が考えられる。コンクリートポンプの設置限界は，砂防堰堤施工地点から水平距離で 200 m 程度，鉛直距離で 80 m 程度とされている。一方，モノレールの設置限界は砂防堰堤施工地点から水平距離で 500 m 程度である。コンクリートポンプはモノレールよりコンクリートの運搬速度は速いため，コンクリートポンプの設置できる範囲であれば方法 B が優位となると考えられる。以上をもとに，資材搬入ヤードと砂防堰堤施工地点の位置関係から適切にモノレール，コンクリートポンプの配置方法を選定するフロー（図－6）を作成した。

### 5.3　資材運搬方法の選定フローの検証

作成した資材運搬方法の選定フローが，対象地域の狭隘箇所に対してどの程度適応可能かを検証した。具体的には，狭隘箇所の特徴を有する土石流危険渓流 12 渓流をモデル渓流とし，現地調査および机上検討により選定フローに沿って資材運搬方法の選定が可能かを検証した。砂防堰堤の構造形式は，重力式コンクリートを想定した。




**図－5**　モノレールとコンクリートポンプの配置方法




**図－6**　資材運搬方法の選定フロー

#### 5.3.1　施工条件の分類と資材運搬方法

モデル渓流における現地調査によると，狭隘箇所の施工条件と資材運搬方法は，3 つのタイプに分けられた。

1）タイプ 1

既存道路は狭いが，下流側の人家密集エリアに資材搬入ヤードの設置は可能である。このため，資材搬入ヤードまで既設道路を利用し，施工箇所まで資材搬入ヤードからモノレールを設置する方法（図－7）となる。

2）タイプ 2

既存道路が狭く，下流側の人家密集エリアでも資材搬入ヤードの設置が困難であるが，人家密集エリア外に資材搬入ヤードが設置可能である。このため，既存道路を利用せず，資材搬入ヤードから人家密集エリアを避けて施工箇所までモノレールを設置する方法（図－8）となる。

3）タイプ 3

既存道路が狭く，下流側には資材搬入ヤードの設置が困難であるが，上流側で資材搬入ヤードの設置が可能である。このため，既存道路を利用せず，上流側に資材搬入ヤードを設置し，人家密集エリアを避けて施工箇所までモノレールを設置する方法（図－9）となる。

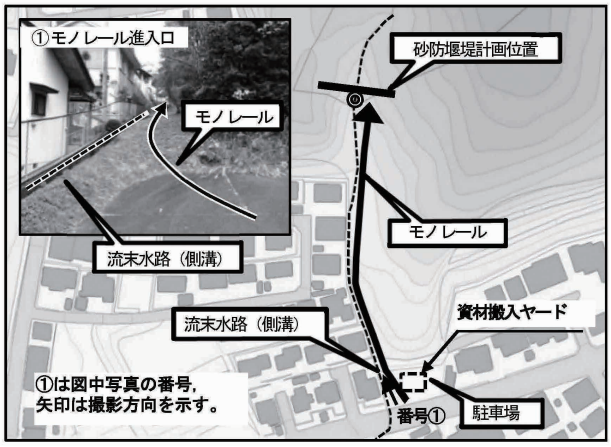
#### 5.3.2　資材運搬方法選定フローの検証

モデル渓流 12 渓流について，選定フロー（図－6）に沿ってモノレールおよびコンクリートポンプの配置が可能かを現地調査と地形図による机上調査で判定した。判定の結果（表－3），モデル渓流 12 渓流の全てについて，選定フローに沿った配置が可能であることが確認できた。運搬方法は，12 渓流中 11 渓流で方法 A となった。

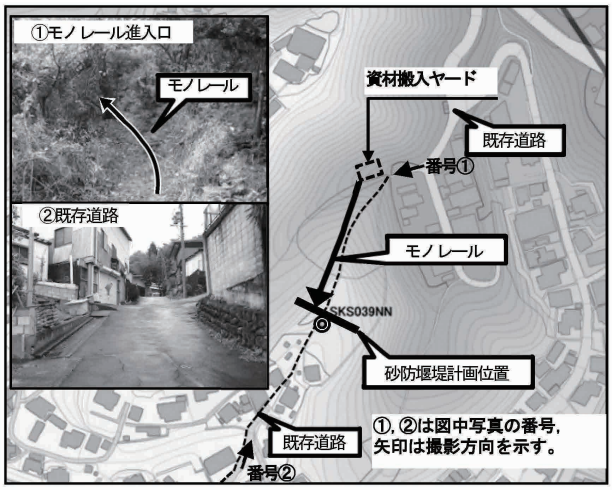
#### 5.3.3　現地への適応性検証

モノレールとコンクリートポンプの配置が詳細な現地

図－7　タイプ１の例




図－8　タイプ２の例




図－9　タイプ３の例

条件に適応可能かを検証するため，施工条件と資材運搬方法タイプ２の例（図－8）を対象とし，設備の配置を具体的に計画し検証した。

**１）詳細地形データの取得**

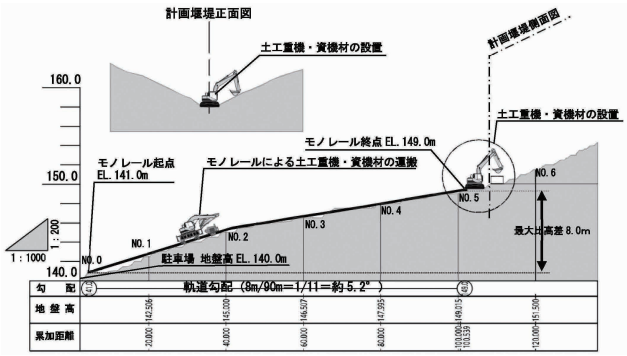
狭隘箇所では掘削の影響等が少し変化するだけで人家等に影響する可能性が高いため，設計段階から詳細な地形を取得した上での検討が必要である。このため，本検討では対象渓流で地上レーザー測量を実施し，詳細な３D 地形モデルを作成して利用した。

表－3　選定フローによるモデル渓流の検証結果

| モデル渓流名 | 資材搬入ヤードと計画地点の距離 | 資材搬入ヤードと計画地点の比高差 | モノレールの設置条件 延長：500 m 以下 | コンクリートポンプの設置条件 延長：200 m 以下 標高差：80 m 以下 | 運搬方法の判定 |
|---|---|---|---|---|---|
| No 1 | 80 m | 8 m | OK | OK | 方法 A |
| No 2 | 160 m | 16 m | OK | OK | 方法 A |
| No 3 | 270 m | 14 m | OK | NO | 方法 B |
| No 4 | 150 m | 15 m | OK | OK | 方法 A |
| No 5 | 100 m | 10 m | OK | OK | 方法 A |
| No 6 | 65 m | 14 m | OK | OK | 方法 A |
| No 7 | 80 m | 8 m | OK | OK | 方法 A |
| No 8 | 80 m | 0 m | OK | OK | 方法 A |
| No 9 | 80 m | 8 m | OK | OK | 方法 A |
| No 10 | 80 m | 8 m | OK | OK | 方法 A |
| No 11 | 160 m | 16 m | OK | OK | 方法 A |

表－4　モノレールの設置条件

| 条　　件 | 適用可能な範囲 |
|---|---|
| 設備の規模 | ・最 大 幅：2.0 m<br>・最大長さ：4.0 m<br>・最大高さ：2.4 m |
| 運搬能力 | ・最大積載重量：4.0 t<br>・最大登坂能力：45°<br>・運 搬 速 度：40 m/分 |
| レイアウト（配置）時の条件 | ・曲線半径：12 m 以上（平面および縦断線形）<br>・最大勾配：45°<br>・始終点に使用する動力車，台車の長さを確保<br>・軌道部分の斜面勾配は 45° 以下 |
| 設備の延長 | 設置延長は一般的に 500 m 程度 |




図－10　モノレールの縦断配置検討結果

**２）モノレールの配置検証**

対象渓流で使用する重機，地形条件を踏まえ，モノレールの設置条件（表－4）を満足するよう配置を検討した。

検討の結果，以下の配置（図－10，図－11）によりモノレールの設置が可能なことが確認できた。

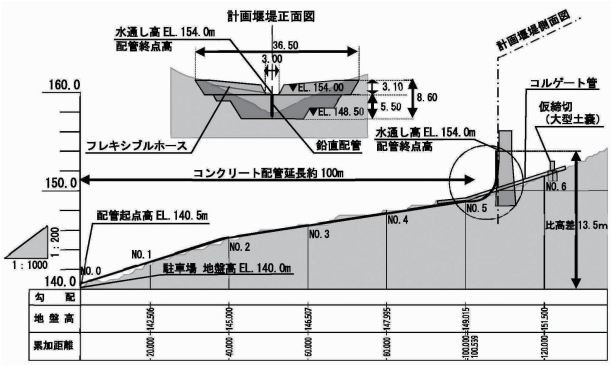
**３）コンクリートポンプの配置検証**

対象渓流の地形条件，土地利用条件を踏まえて圧送管の配置を計画し，コンクリートポンプの能力検討（表－5）を行った。

検討の結果，以下の配置（図－12，13）によりコンクリートポンプの使用が可能なことが確認できた。

**表－5　コンクリートポンプの能力検討**

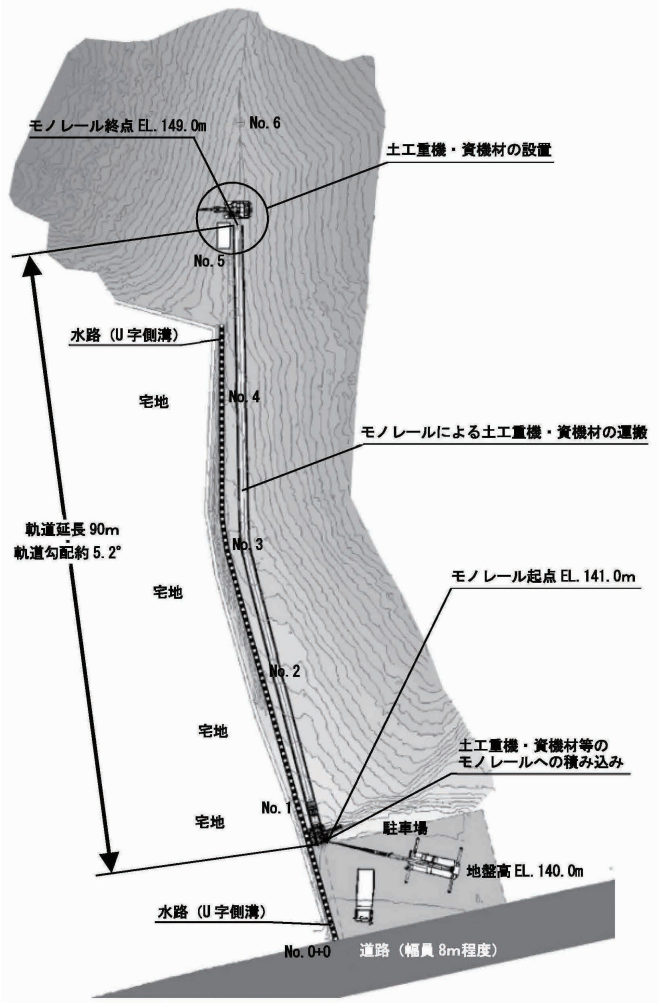
①要求されるスランプ値
　配管打設の場合要求される筒先スランプは 8～23 cm，12 cm 以上が望ましい。
②要求される最大骨材
　ポンプ圧送するための最大骨材は 40 mm である。
③圧送判定条件
　計画図より比高差はポンプ設置箇所の標高 EL. 140. 5 m と本堰堤の水通し天端標高 EL. 154 m までとした。その際の比高差は 13. 5 m である。これら配置計画より圧送判定条件を設定した。吐出量は機械の種類により異なるが 5 $m^3$/h ～60 $m^3$/h であるため，本検討では中間値の 30 $m^3$/h を想定した。生コンの種別は F（フレッシュコンクリート）とした。
④圧送負荷の算定
　コンクリートポンプにかかる配管全体の圧送負荷 P は次式により算定した。
　$P = K \times (L + 3B + 2T + 2F) + 0.1 \times W \times H$
　$= 0.12 \times (105 + 3 \times 1.6 + 2 \times 0 + 2 \times 15) + 0.1 \times 2.3 \times 13.5$
　$= 0.12 \times 139.8 + 3.11 = 19.89$ kgf/$cm^2$→1. 99 Mpa
⑤ポンプの選定
　コンクリートポンプの機種は，圧送条件の検討によって求められ，圧送負荷（P）を 1. 25 倍した値を上回る最大理論吐出圧力（Pth max）を有するものを選定した。
Pth＝圧送負荷 P×1. 25＝19. 89 kgf/$cm^2$×1. 25＝24. 86 kgf/cm→2. 49 Mpa



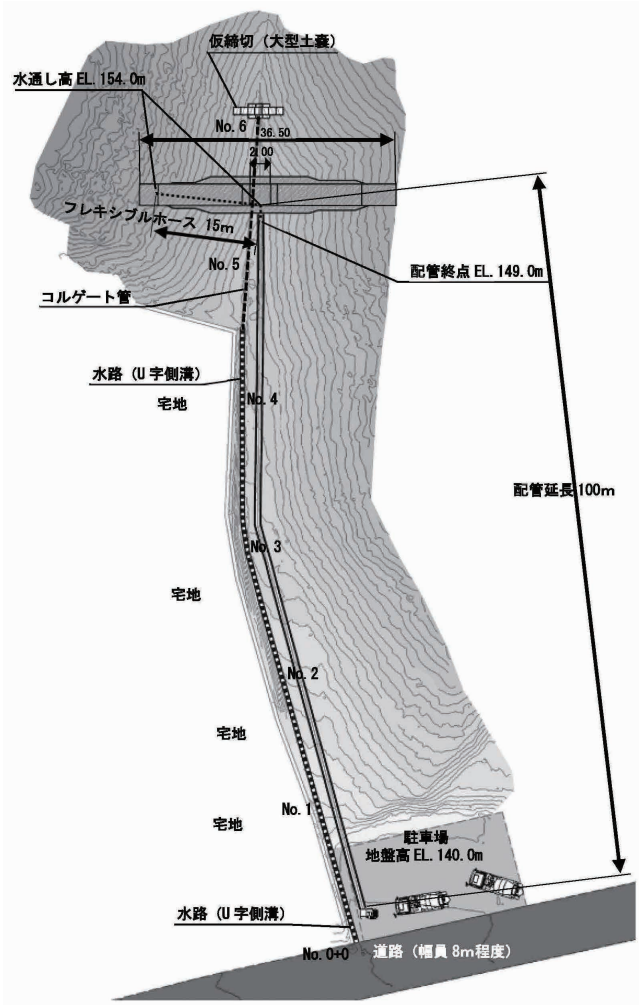

**図－12　コンクリートポンプの縦断配置検討結果**

## 5. 4　整備方法の選定フロー

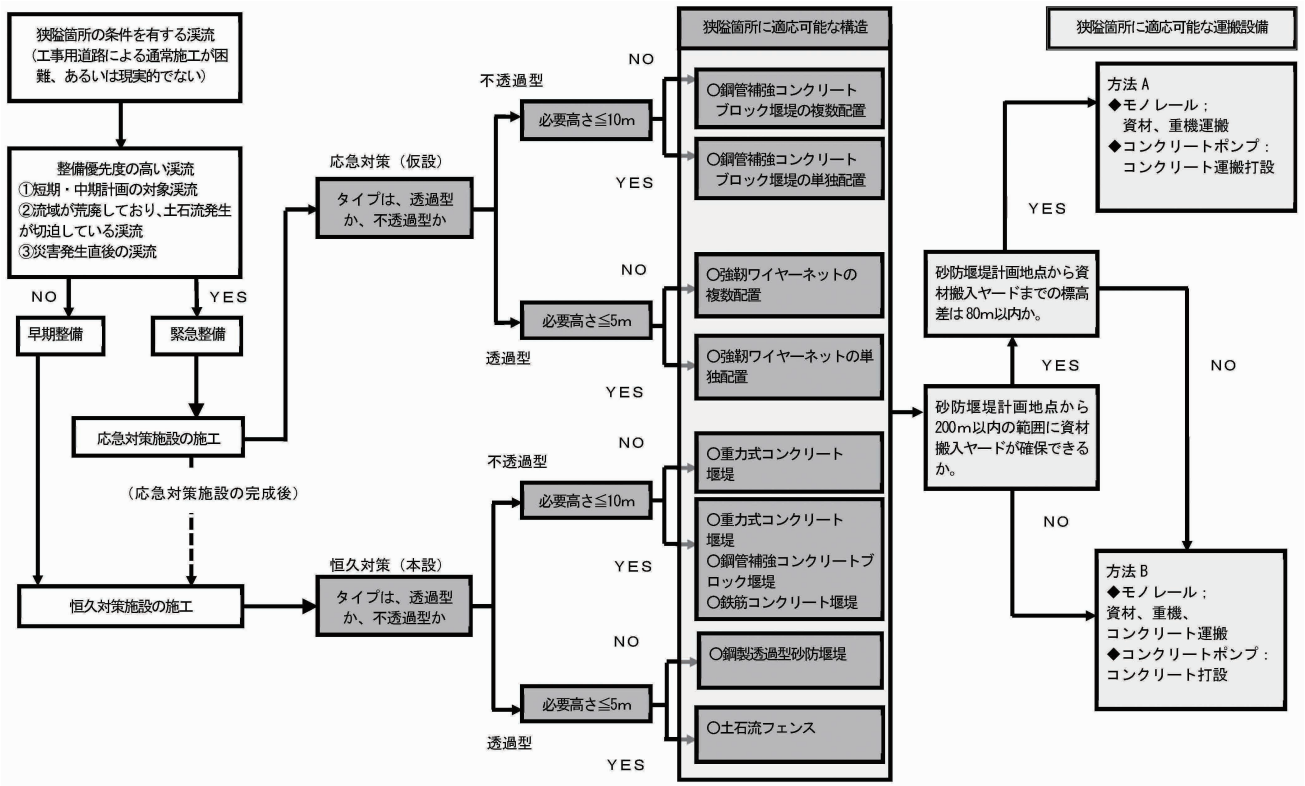
狭隘箇所の砂防堰堤整備では，計画箇所の土地利用状況，堰堤の規模や透過型，不透過型のタイプ等の与条件をもとに，資材運搬方法と砂防堰堤の構造形式を適切に選定して整備を行っていく必要がある。整備方法の考え方では，まず整備の優先度を考慮した整備方針（緊急整備・早期整備）を選定した上で，堰堤の規模と透過型，不透過型の条件から堰堤の構造形式を狭隘箇所に適応可能な形式から選定し，さらに狭隘箇所の施工条件から，モノレール，コンクリートポンプの配置方法を選定するものとし，これらを整備方法選定フロー（図－14）として作成した。




**図－11　モノレールの平面配置検討結果**




**図－13　コンクリートポンプの平面配置検討結果**




**図－14**　狭隘箇所における砂防堰堤整備方法の選定フロー

## 6．おわりに

狭隘箇所の砂防堰堤整備を進めて行く端緒として，施工条件の特徴を整理し，資材運搬方法と砂防堰堤構造の両面から適応性が高い整備方法を検討した。実際の整備では，対象とする狭隘箇所の特徴に合わせて整備を行う必要がある。今後は，各狭隘箇所について，施工条件を反映した具体的な整備方法を計画して施工を実施し，整備方法の妥当性や課題を明らかにして整備方法の改善を図っていきたいと考えている。

### 参考文献

1）水山高久・和田浩・吉田一雄：下流に流路が準備できないゼロ次谷等の土石流対策－土石流フェンスの提案－，砂防学会誌，Vol. 62，No. 1，p. 74–76，2009
2）香月智・石川信隆・松井宗広・竹島秀大：鋼管補強 RC ブロック砂防ダムのモデル衝撃実験，平成 11 年度砂防学会研究発表会概要集，p. 230，1999
3）下田義文・水山高久：オーストリアにおける鉄筋コンクリート（RC）砂防ダムの技術，砂防学会誌，Vol. 46，No. 3，p. 21–24，1993
4）氏家岑夫・木村隆・橋本健・青沼英明・佐藤文夫：ポンプ（PCD 工法）によるダムコンクリートの打設について，ダム技術，Vol. 3，p. 168–174，1985

（Received 17 May 2019；Accepted 24 September 2019）