

既設治山ダムを活用した流木捕捉工の開発 ～流木災害防止緊急治山対策プロジェクト～

計画保全部 治山技術専門官 ○中澤 敏雄
中信森林管理署 治山技術官 宗廣 克徳
東濃森林管理署 治山技術官 菅野 暢晃

要旨

平成 29 年 7 月九州北部豪雨による甚大な流木災害等の発生を受けて、林野庁では、流木災害防止緊急治山対策プロジェクトとして、今後概ね 3 年間で緊急的・集中的に流木対策を推進していくこととしています。このような中、中部森林管理局は、従来から実施している流木捕捉式治山ダムの設置等に加え、新たな取り組みとして、既設治山ダムの堆砂敷等に流木捕捉機能を持つ施設を設置する流木捕捉技術（以下、「流木捕捉工」という）を考案し、中信森林管理署管内シシ沢（長野県）及び東濃森林管理署管内ホコロ沢（岐阜県）において試験施工を実施しました。

はじめに

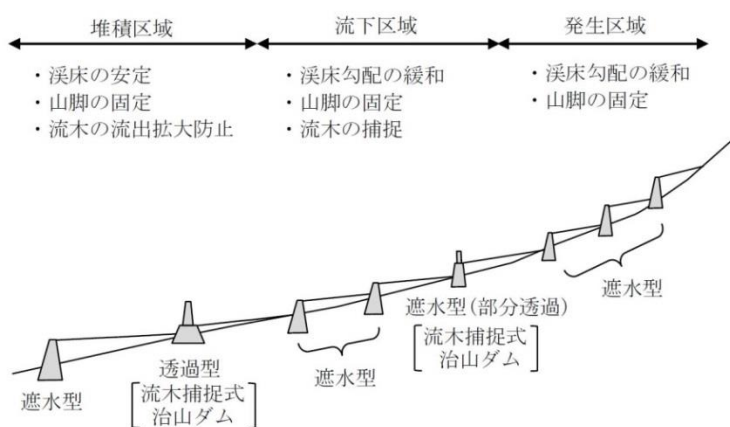
我が国は、台風、地震、火山等の自然現象により、国民の生命・財産・社会生活に大きな影響をもたらす土砂災害等が毎年発生しています。このような山地災害に対応するため、林野庁では、森林の整備及び保全の目標を計画的かつ着実に達成するために、平成 26 年 5 月に森林整備保全事業計画が立てられたほか、平成 27 年 3 月に「今後の山地災害対策強化に向けて」、平成 29 年 11 月には九州北部豪雨による流木災害を受けて「流木災害等に対する治山対策検討チーム」の中間とりまとめがそれぞれ行われるなど、山地災害を巡る現状を踏まえた災害復旧整備、治山対策の強化が急務となっております。

また、中部森林管理局管内においても、国有林等が所在する 108 市町村長から流木対策の要望行動があり、流木捕捉式治山ダム等の積極的な整備が求められています。

1 流木捕捉式治山ダムの設置

(1) 流木対策を中心とする施設配置計画

流木対策として従来流木捕捉式治山ダム（透過型ダム、スリットダム）は、主として土石流の堆積区域において施工されてきましたが、流木被害の拡大を抑制するためには発生区域に近い流下区域において流木を捕捉することが、流域全体の流木対策を考慮すると効果的です。しかしながら、流下区域となる溪流の上流部では溪床幅が狭いため、流木止めの設置が可能となる一定幅の放水路を設けることが困難となる場合が多い。また、既設ダム（遮水型）に流木捕捉機能を付加する場合には、放水路断面を確保するために既設ダムを嵩上げする必要があり、嵩上げしない場合は既設ダムの放水路を切り下げなければならない。いずれにしても既設ダムを改良して付加部分と一体的に安定計算を行うなどの処理が必要となってきます。



林野庁 (2018. 3) 「土石流・流木対策指針」

図 1 治山施設の配置例 (流木対策)

(2) 流木捕捉機能を付加する場合の諸課題

既設ダム(遮水型)を透過型へ改良する場合、様々な課題があり、例として、先に述べた既設ダムの放水路を切り下げる場合、次の課題が想定されます。

- ア. 既設ダムの堆積土砂の除去(計画勾配線の下降)に関連して、a. 山脚固定効果の低下、
b. 上流側の既設治山ダム等との連続性、c. 残土処理、d. 廻排水路の確保など
- イ. 既設ダムの切り下げに関連して、a. ダム本体の安全性低下、b. 専用機械の確保など
- ウ. 安定計算に関連して、a. ダム本体の断面増厚、
b. 新旧コンクリートの一体化など
- エ. スリット構築に関連して、a. 設置可能な部材寸法、
b. 固定方法の検討など

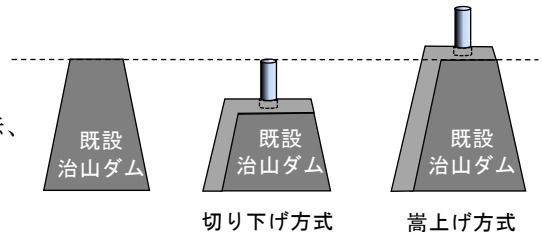


図2 遮水型から透過型への改良方式

2 既設治山ダムを活用した流木捕捉工の開発

上記1-(2)などへの対応策として、今回、次の「流木捕捉工」を考案しました。

(1) 構造概要

流木捕捉工の構造概要として、流木を捕捉する「上部構造」は、開発コストの縮減等を考慮して既製品の鋼製スリット部材を採用、基礎となる「下部構造」は、作業の効率化、長寿命化等を考慮して、既製品のライナープレートとコンクリートのハイブリット構造、また、設置箇所ごとの安定計算を可能とする独立基礎構造としました。そして、上部構造と下部構造を接続する「中間構造」は、設置時間の短縮と現場でスリット据付位置を調整できる構造とした試作品を今回作成しました。

なお、上部構造の鋼製スリットについては、捕捉した流木等を除去する際、必要に応じて脱着が可能な構造としています。

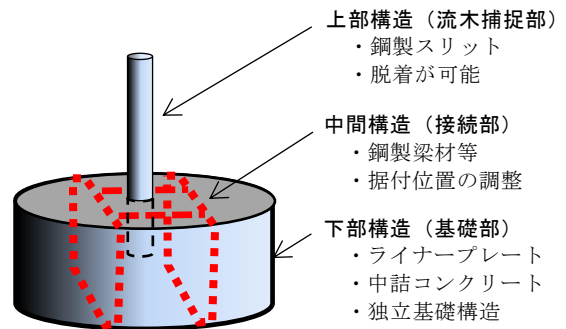


図3 流木捕捉工の構造概要

(2) 設置位置

流木捕捉工の設置位置については、基礎部の洗掘と不同沈下の防止、流木捕捉後の越流水を下流既設ダムの放水路へ安定的に流入可能な距離等を考慮して、既設治山ダムの計画勾配線と旧溪床勾配線が交差する堆砂敷上流端付近としました。

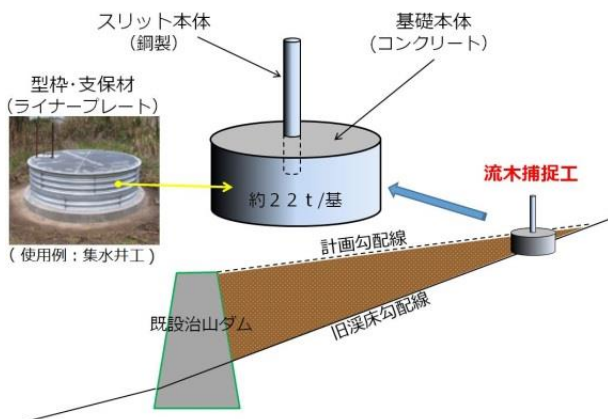


図4 流木捕捉工の配置位置(縦断面図)

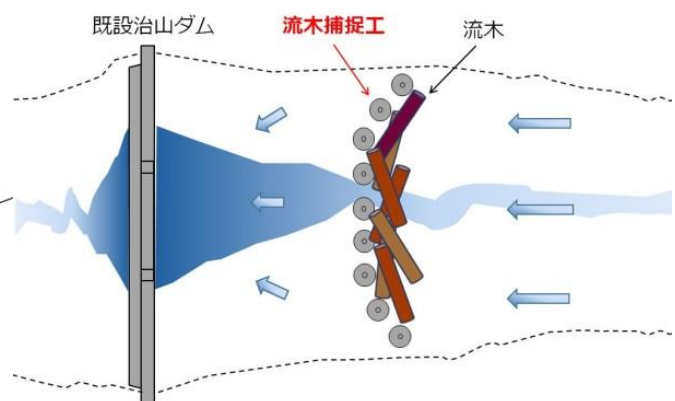


図5 流木捕捉工の配置位置(平面図)

(3) 安定計算

流木捕捉工の安定計算については、重力式治山ダムに準じた標準的な単位体積重量等を用いて「滑動」「転倒」「地盤支持力」に対しての安定計算を行い、土石流の流体力は考慮していません。また、許容地盤支持力については、堆砂敷上流端における設定値の適正を確認するため、床掘底面において原位置試験を実施することとしております。

なお、各部材の構造計算については、製造メーカーにて確認済みです。

●設計条件（例：中信森林管理署管内シシ沢）

| | |
|------------------------------|----------------|
| H0: 3.500 m | ダム高 |
| H1: 2.000 m | 鋼製部の高さ |
| H2: 1.500 m | 基礎部の高さ |
| D1: 318.5 mm | 鋼管径 |
| λ: 2.500 m | 鋼管の分担幅 |
| B: 3.141 m | 堤底幅（換算幅） |
| L: 2.000 m | 堤底幅（奥行き方向） |
| Δh: 0.800 m | 越流水深 |
| γw: 11.80 kN/m ³ | 水（清水）の単位体積重量 |
| γw: 11.80 kN/m ³ | 越流水の単位体積重量 |
| γd: 18.00 kN/m ³ | 堆積土の単位体積重量 |
| Ka: 0.321 | 堆積土の土圧係数 |
| γc: 22.60 kN/m ³ | コンクリートの単位体積重量 |
| Sw: 3.73 kN/基 | 鋼製スリットの1基あたり重量 |
| S1: 4.84 kN/基 | ライナープレート重量 |
| φ: 30.00° | 堆積土砂の内部摩擦角 |
| α: 0.00° | 壁背面の勾配角 |
| δ: 20.00° | 壁背面と背面土の摩擦角 |
| β: 6.00° | 深床勾配 |
| f: 0.60 | 構造物と基礎地盤との摩擦係数 |
| Fa: ≥ 1.00 | 滑動に対する安全率 |
| e: ≤ 1/6・B | 転倒に対する安定度 |
| Qa: 300.00 kN/m ² | 許容地盤支持力 |

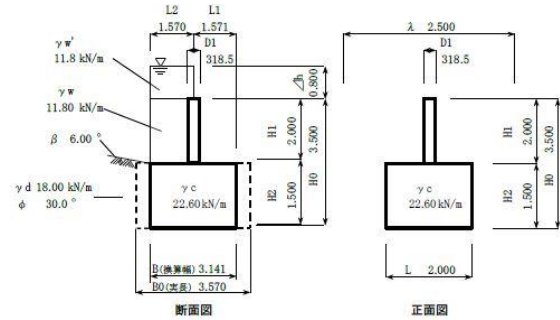


図6 検討モデル図

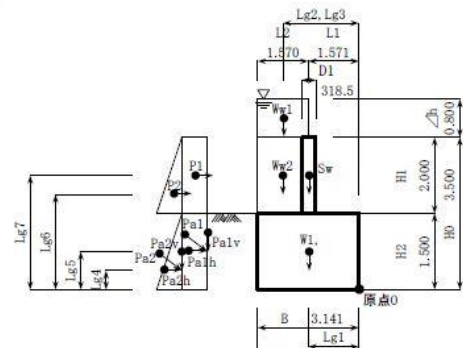


図7 設計断面図

●重力式構造物としての検討（例：中信森林管理署管内シシ沢）

① 「滑動」に対する検討

$$F_s = \frac{f \times \Sigma V}{\Sigma H} = \frac{0.600 \times 340.604}{148.315} = 1.38 \geq 1.00 \cdots O.K.$$

② 「転倒」に対する検討

下流端から合力の作用点までの距離：X

$$X = \frac{Mr - Mo}{\Sigma V} = \frac{640.595 - 274.385}{340.604} = 1.075 \text{ (m)}$$

偏心距離：e

$$|e| = \left| \frac{B}{2} - X \right| = \left| \frac{3.141}{2} - 1.075 \right| = 0.496 \text{ (m)} \leq B/6 = 0.524 \text{ (m)} \cdots O.K.$$

③ 「地盤支持力」に対する検討

$$Q1, Q2 = \frac{\Sigma V}{B} \times \left(1 \pm \frac{6 \times e}{B} \right) = \frac{340.604}{3.141} \times \left(1 \pm \frac{6 \times 0.496}{3.141} \right) = 211.18, 5.70 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(下流側) (上流側)

下流側：Q1 = 211.18 (kN/m²) ※ 奥行き 3.141m 当たり
 上流側：Q2 = 5.70 (kN/m²) ※ 奥行き 3.141m 当たり

・単位奥行き当たりの地盤反力

下流側：Q1 = 105.59 (kN/m²) ≤ 300.00 (kN/m²) … O.K.
 上流側：Q2 = 2.85 (kN/m²) ≤ 300.00 (kN/m²) … O.K.

(4) 施工手順

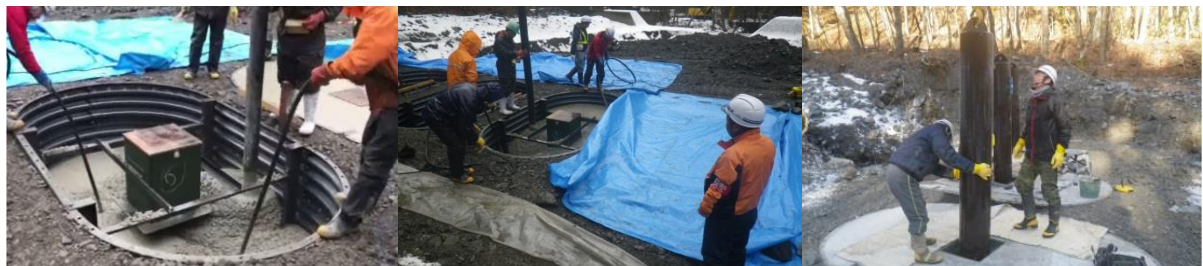
流木捕捉工の施工手順と試験施工の状況については、次のとおりです。



設置前（上流側より） → ①床掘 → ②ライナープレート組立



③ライナープレート据付・連結 → ④中間構造（接続部）の組立・設置 → ⑤埋戻し



⑥-1 コンクリート打設 → ⑥-2 コンクリート養生 → ⑦-1 スリット据付



⑦-2 砂充填 → ⑦-3 コンクリート充填 → 設置完了（上流側より）

写真 試験施工の状況

3 流木捕捉工の評価

(1) 経済性

透過型治山ダムとのコスト比較を行うため、同等程度の施設規模に設定した「流木捕捉工」、「遮水型→透過型へ改良」、「透過型（新設）」の各設置費を試算しました。なお、設定条件は次のとおりです。

- ・各構造延長は溪床幅 21.0m から適宜算出
- ・基準となる遮水型ダムの高さは 5.0m
- ・透過部（スリット）の高さは 2.0m

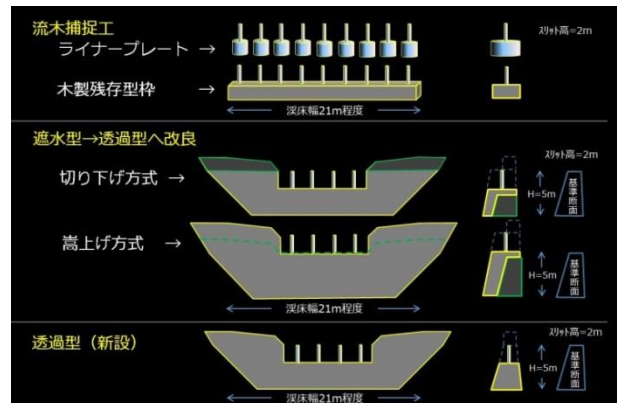


図8 コスト比較する各種透過型治山ダム等

流木捕捉工と透過型治山ダム（改良・新設）とのコスト比較にあたり、表1では、直接工事費（材料費、労務費、直接経費、仮設費、その他費用）による比較を行ったうえ、更に、流木の捕捉効果や捕捉した流木の除去等の維持管理を考慮し、透過部面積（図9、図10参照）に着目したコスト比較を行いました。評価としては、流木捕捉工に優位性が認められます。

表1 各種透過型治山ダムとのコスト比較

（単位：千円、m²）

| 区分 | 直接工事費 (A) | 透過部面積 (B) | 透過部単価 (A/B) | 評価 |
|----------------|---------------|--------------|----------------|----------|
| 流木捕捉工 | | | | |
| ライナープレート | 7,985 | 42.0 | 190 | ◎ |
| 木製残存型枠 | 7,089 | 42.0 | 169 | ◎ |
| 透過型への改良 | | | | |
| 切り下げ方式 | 6,434 | 20.0 | 322 | ○ |
| 嵩上げ方式 | 13,079 | 20.0 | 654 | △ |
| 透過型(新設) | 10,837 | 20.0 | 542 | ● |

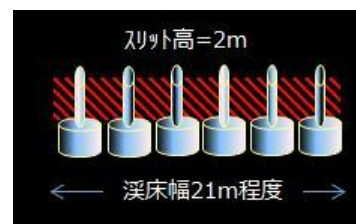


図9 流木捕捉工の透過部

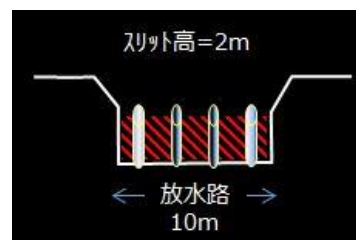


図10 透過型(改良・新設)の透過

※評価方法：透過型(新設)を基準とした相対評価 (劣 ← 基準 → 優)
× △ ● ○ ◎

(2) 施工性

流木捕捉工の施工性について、表2は、中信森林管理署管内シシ沢において9基の流木捕捉工を施工した際の作業内容と所要時間(日数)です。作業段取等を考慮して各作業を半日単位に集計すると延べ約9.5日でした。一般的に、他の透過型治山ダムの施工に1ヶ月から2ヶ月以上の期間を要するのに比べて大幅な工期短縮が可能となります。仮に、資材備蓄が可能であれば災害直後の緊急対応や溪流内での滞在時間を短縮し安全確保にも有効な手段になると考えられます。

表2 流木捕捉工の作業時間(日数)

| 作業内容 | 所要時間 (1基平均) | 作業日数 (9基) |
|-------------------|----------------|--------------|
| ①床掘 | 66分 | 約1.5日 |
| ②ライナープレート組立 | 30分 | 約2.0日 |
| ③ライナープレート据付・連結 | 45分 | |
| ④中間構造(接続部)の組立・設置 | 10分 | |
| ⑤埋戻し | 60分 | |
| ⑥コンクリート打設 | 30分 | 約0.5日 |
| (コンクリート養生) | | (中3日) |
| ⑦スリット据付・砂コンクリート充填 | 20分 | 約1.0日 |

約9.5日

また、「施工者アンケート」の結果は、次のとおりでした。

【良かった点】として

- ・ライナープレートによるコンクリート型枠は、軽量でボルト接合であるため人力での運搬・組立が容易で専門的な技術を要しない。
- ・ライナープレート内側のみで作業を完了でき、外側に作業スペース(余堀)を必要としないことから少ない掘削で作業ができる。

- ・ライナープレートの組立後、すぐ埋戻しが可能で足場も不要、工期短縮にもなる。

【悪かった点】として

- ・資材の発注から納入までに日数を要する。
 ※今回、特に中間構造(試作品)の設計製作に時間を要しました。

【その他の意見・要望】として

- ・今後も引き続き、現場条件を踏まえ本工法を計画してもらいたい。

(3) 総合評価

各種透過型治山ダムの経済性、施工性等について、総合的に評価したのが表3です。
 流木捕捉工は、透過型治山ダム(改良・新設)と比べ優位性が認められます。ただし、土石流の到達が想定される箇所においては、他工法等を選択することとなります。

表3 各種透過型治山ダムの総合評価

| 区 分 | 経済性 | 施工性 | 既配置計画との整合性 | 維持管理(流木除去) | 総合評価 |
|----------------|-----|-----|------------|------------|------|
| 流木捕捉工 | | | | | |
| ライナープレート | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ |
| 木製残存型枠 | ◎ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 透過型への改良 | | | | | |
| 切り下げ方式 | ○ | × | × | ● | △ |
| 嵩上げ方式 | △ | △ | △ | ● | △ |
| 透過型(新設) | ● | ● | ● | ● | ● |

※評価方法：透過型(新設)を基準とした相対評価 (劣 ← 基準 → 優)
 × △ ● ○ ◎

おわりに

今回実施した流木捕捉工の試験施工を改めてまとめると次のとおりです。

【良い点】

- 経 済 性：他の工法より設置費が安価であること。
- 施 工 性：運搬・組立が容易で工期短縮が可能であること。
- 整 合 性：既配置計画の計画勾配線に変更を生じさせないこと。
- 維持管理：捕捉した流木の除去が上下流双方から可能であること。

【悪い点】

- 資材調達：製造から納入までに日数を要すること。

今後の課題として

流木捕捉式治山ダムの設置を積極的に進めるにあたり、既に治山ダム(遮水型)を設置している流下区域や堆積区域において、今回の「流木捕捉工」は有効な手段になり得ると考え、今後、出水期における流木捕捉状況や設置に伴う溪岸浸食等の発生を確認し、更なる改良を進めたいと考えています。

協力企業：日鐵住金建材株式会社(鋼材製造)、日本林業土木株式会社(鋼材製造)

木曾土建工業株式会社(試験施工)、株式会社矢野土木(試験施工) (順不同)