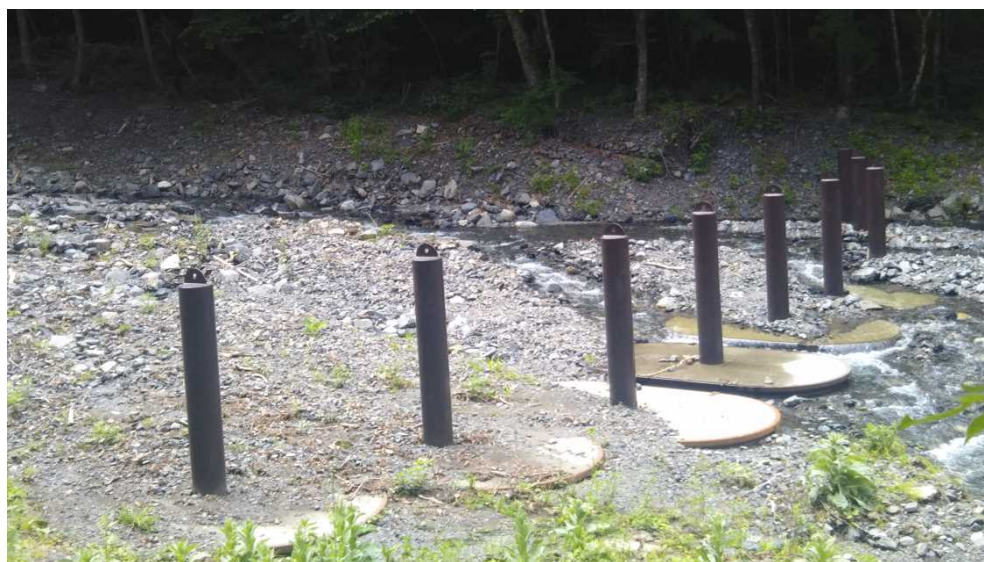


独立基礎型流木捕捉工 設計・施工ガイドライン



令和3年3月

林野庁
中部森林管理局

<<目 次>>

はじめに	1
1. 独立基礎型流木捕捉工の計画	
1.1. 施設の概要	3
1.2. 適用及び運用	9
1.3. 計画	10
2. 独立基礎型流木捕捉工の設計	
2.1. 構造	17
2.2. 安定計算	19
3. 独立基礎型流木捕捉工の施工	
3.1. 施工手順	24
3.2. 施工管理	28
4. 維持管理	
4.1. 点検項目	29
4.2. 維持管理手法	31

—はじめに—

平成 29 年の九州北部豪雨災害をはじめとして、近年多発している気象変動がもたらす大規模集中豪雨において、土砂災害に伴って発生する流木による甚大な被害が顕在化している。このことから、林野庁では「流木災害防止緊急治山対策プロジェクト」を推進し、治山施設や森林整備などによる流木災害防止に努めてきたところである。

「土石流・流木対策指針解説等」（改正 平成 31 年 3 月 29 日 30 林整計第 1110 号）¹⁾によると、新たな流木捕捉技術による流木対策として〔流木捕捉工（仮称）〕が紹介されている。

この中で、流木捕捉工（仮称）は、流木対策を中心とする計画において、流木を捕捉する目的に特化して設置するものであり、豪雨に伴う流量の増加（掃流）に伴って流出するおそれのある溪床等に堆積した倒木等を捕捉し、下流への流出を防止することを目的とするとし、

- ・コンクリート基礎に鋼管を設置したもの（鋼管建込型）
- ・鋼管を組合わせた 2 次製品（簡易設置型）

が例示されている。

林野庁中部森林管理局では、「鋼管建込型」の流木捕捉工（仮称）を型式とする「独立基礎型流木捕捉工」を考案し、これまでに 4 現場において試験施工を行ってきたところである^{2) 3)}。



独立基礎型流木捕捉工と周辺の溪畔林

この「独立基礎型流木捕捉工」は、既設治山ダム堆砂域等、溪床の変動が小さい掃流区間に設置することを原則としており、

- ・鋼管及び鋼管を建て込むコンクリート基礎が単体で独立した構造を有しているため、自在な配置が可能
- ・建て込まれた鋼管は、被災や腐食等老朽化の際には新部材との交換が可能
- ・従来型の透過型ダムと比較し、経済性・施工性などの優位性が認められるといった特徴を有している。

当ガイドラインは試験施工結果に基づき、「独立基礎型流木捕捉工」の計画・設計・施工を行う上で参考となる技術的知見をとりまとめたものである。

「独立基礎型流木捕捉工」の主たる設置箇所としている「溪流の掃流区間」は、勾配が緩く溪床幅が広いことから溪畔林の発達に適している。「溪畔保全プロジェクト林における調査事業報告書」(平成30年3月 林野庁)⁴⁾では、溪畔林の機能として生物多様性の保全のみならず、土砂・流木捕捉などの防災効果(緩衝林)について記述されている。

当ガイドラインでは、自在な配置が可能である「独立基礎型流木捕捉工」の特性を活かし、流木の捕捉機能と合わせた溪畔林の保全効果にも言及している。

「独立基礎型流木捕捉工」は施工事例が未だ少ないことから、施工実績を積み上げるとともに、施工後の状況について記録に残し、得られた知見を検証した上で、今後の計画・設計・施工に活かしていくことが望まれる。

当ガイドラインが、「独立基礎型流木捕捉工」の適切な設置による「流木災害の未然防止」及び「溪畔林の健全な育成」の一助となることを期待するものである。

1. 独立基礎型流木捕捉工の計画

1.1. 施設の概要

1-1-1. 独立基礎型流木捕捉工の構造概要

独立基礎型流木捕捉工の構造は、流木捕捉を目的とした鋼管による上部構造、コンクリート及びライナープレートからなる独立基礎としての下部構造及び上部構造と下部構造を接続する鞘管と鋼製梁材からなることを基本とする。

[解説]

流木を捕捉する「上部構造」は、コスト縮減や更新の容易性等を考慮して既製品の鋼製スリット材料（柱用鋼管）を用いる。

基礎となる「下部構造」は、作業の効率化や長寿命化等を考慮し既製品のライナープレートと現場打ちコンクリートによる構造とし、設置箇所毎に安定計算を行う独立基礎構造とする。

また、上部構造と下部構造は、鋼製梁材で固定された鞘管で接続されており、砂詰めした鞘管に柱用鋼管を挿入しているため、部材破損時等には抜き取って交換することが可能となっている。

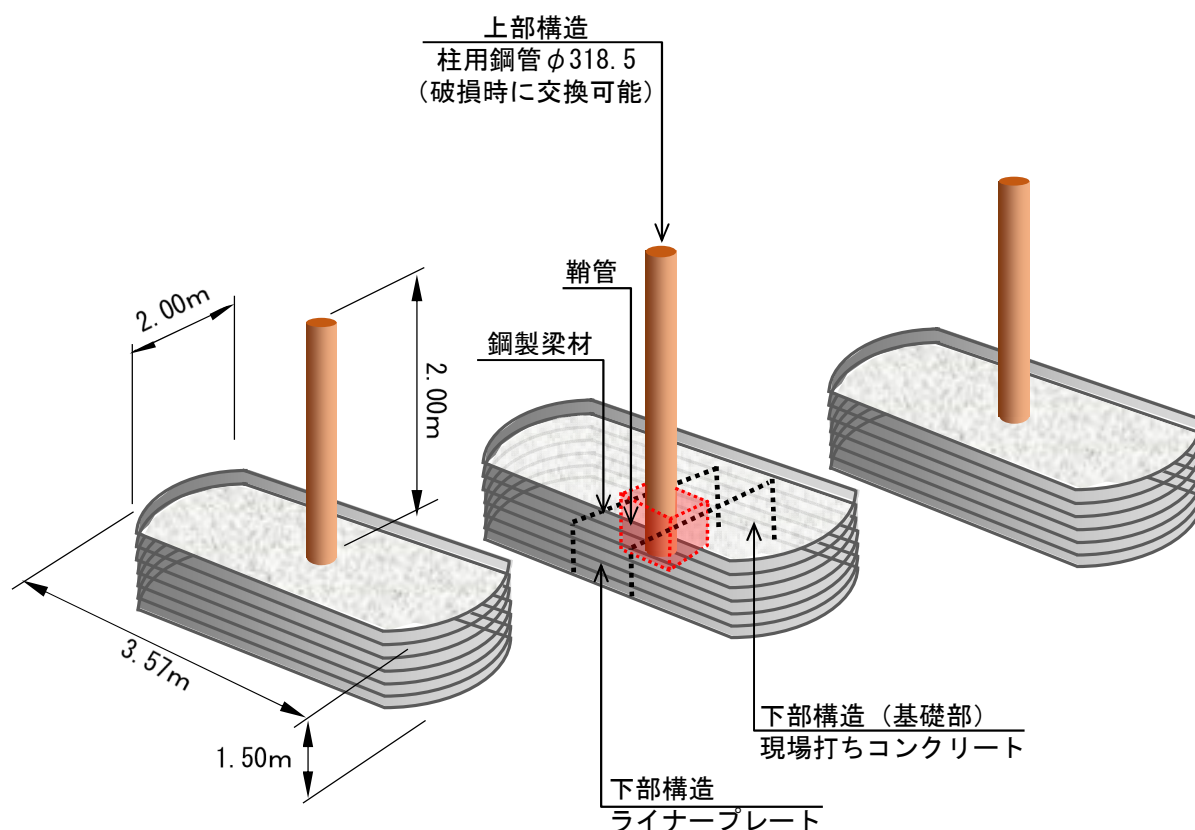


図 1.1.1. 独立基礎型流木捕捉工の概略構造
(寸法は標準的な構造の場合)

1-1-2. 独立基礎型流木捕捉工の設置目的

独立基礎型流木捕捉工は、以下の目的で設置する。

①下流保全対象への流木流下防止

豪雨等に伴う流量の増加に伴って流出するおそれのある溪床等に堆積した倒木等を捕捉し、下流への流出を防止する。（「土石流・流木対策指針解説等」¹⁾：以下、「土石流・流木指針」と称する,3-2 [参考3] を引用）。

②流木の流入防止による溪畔林の保全

豪雨等に伴う流量の増加に伴って流木化が懸念される溪畔林を対象に、緩衝林（防災や水土保持等のバッファーとしての機能発揮が期待できる森林）へ誘導するまでの期間、溪畔林への流木等の流入を抑制し、溪畔林の保全を図る。

1-1-3. 独立基礎型流木捕捉工の機能

独立基礎型流木捕捉工は、流木対策を中心とする計画において、流木の捕捉及び溪畔林の保全に特化して設置するものであり、治山ダムのような溪床の安定、山脚の固定を図る機能を期待しないことを原則とする。

（「土石流・流木指針」3-2 [参考3] を引用修正、溪畔林の造成について追記）

[解説]

当該工法については技術的蓄積が少なく、施工効果を確認できる事例も少ないことから、当面の間、当ガイドラインを参考に検証的な取り組みを行うこととする。

1. 独立基礎型流木捕捉工の計画

1.1. 施設の概要

[参考-1] 独立基礎型流木捕捉工による流木の捕捉

独立基礎型流木捕捉工は、開水路状態で流送される流木と、湛水面を浮いた状態で流下する流木を捕捉する。

・開水路状態で流送される流木の捕捉

開水路状態の掃流によって流送される流木は独立基礎型流木捕捉工の鋼管スリット部により捕捉される。

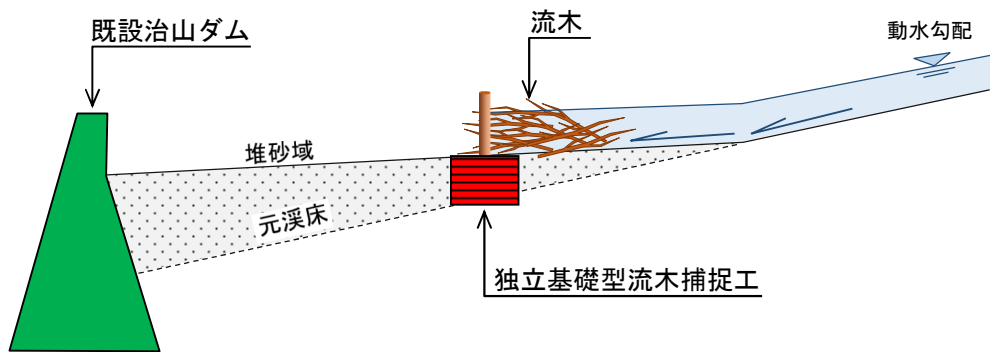


図 1.1.2. 開水路状態で流送される流木の捕捉

・湛水面を浮いた状態で流下する流木の捕捉

スリット間が流木によって閉塞されることにより、独立基礎型流木捕捉工の背面が湛水し (Level)、土砂と分離して水面を浮遊しながら流下する流木を捕捉する。

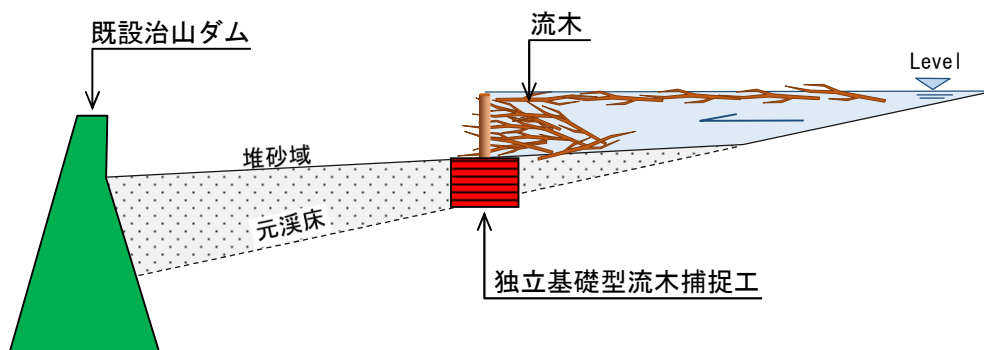


図 1.1.3. 湛水面で浮遊・流下する流木の捕捉

1. 独立基礎型流木捕捉工の計画

1.1. 施設の概要

[参考-2] 掃流区間において期待される独立基礎型流木捕捉工の役割

掃流区間において流木は土砂と分離して流水の表面を流下すると考えられるので、満砂した遮水型治山ダム工（既設）の流木捕捉効果は極めて小さい。

一方、掃流区間は溪床勾配が緩く溪床幅も広いため、溪畔林が発達することが多い。

独立基礎型流木捕捉工は、基礎部が独立しているため自在な配置が可能であり、適切な配置を行うことで①下流保全対象への流木流下防止、②溪畔林の保全（緩衝林に発達するまでの期間）が期待できる。但し、②については施工実績が無いことから、今後の検証が必要である。

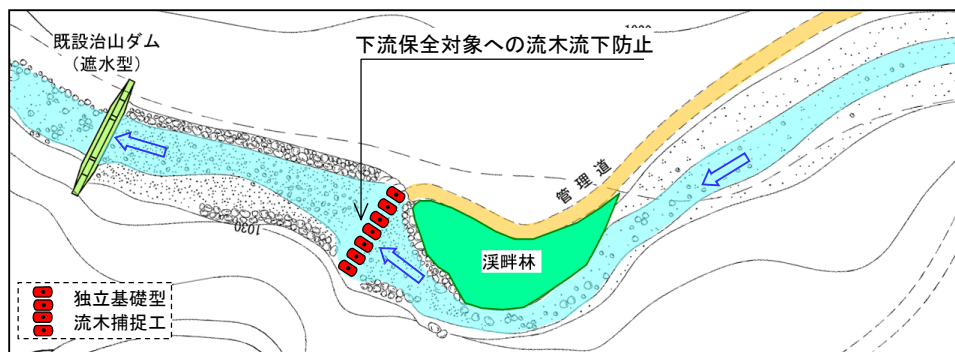


図 1.1.4(1). ①流木流下防止を目的とする配置のイメージ
(既設治山ダム堆砂域で配置する)

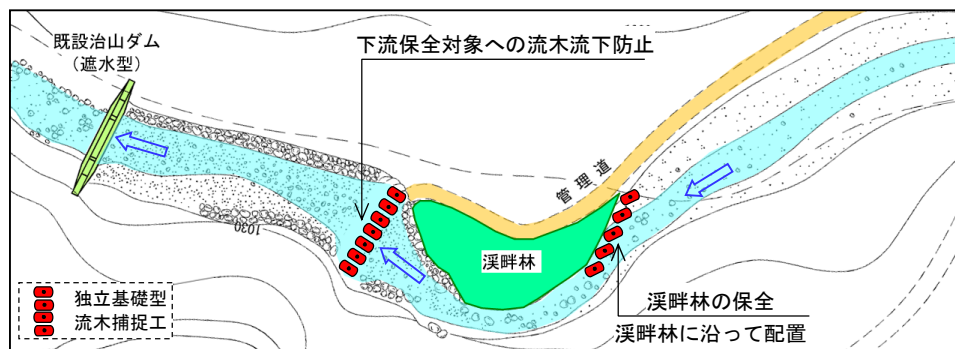


図 1.1.4(2). ②溪畔林の保全に配慮した配置のイメージ
(溪畔林の上流溪岸に沿って配置し、溪畔林を直接保全する)

1. 独立基礎型流木捕捉工の計画

1.1. 施設の概要

[参考-3] 独立基礎型流木捕捉工の平面配置

独立基礎型流木捕捉工を配置する上で、平面的には直線型・千鳥型・V字型・逆V字型の配置が考えられる。

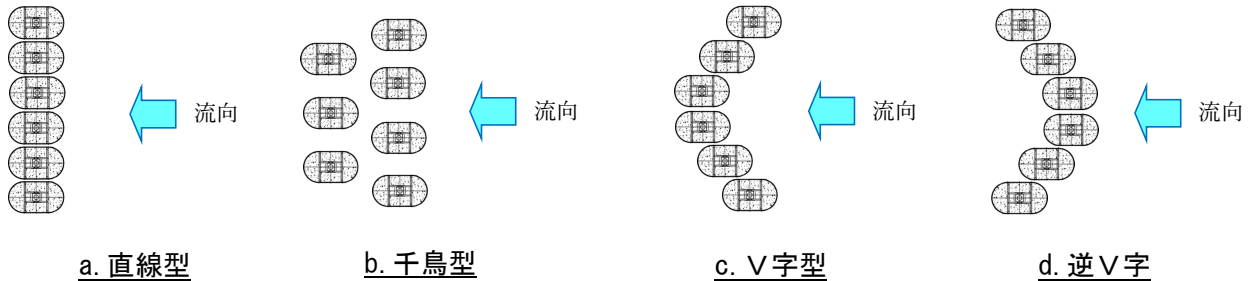


図 1.1.5. 独立基礎型流木捕捉工の平面配置

既設遮水型治山ダム工が満砂した掃流区間では、溪床の縦侵食防止が図られている一方、溪床勾配は変化に乏しく瀬淵構造が発達しにくいことから、魚類等の生物多様性が阻害されることがある。

一方、既往研究では、既設治山ダム堆砂域において直線型・V字型・逆V字型等のログダム（木製低ダム）を組み合わせて配置することで瀬淵構造が形成され、魚類の遡上や産卵に一定の効果が認められた報告がある（櫻井正明、岸田春香、太田猛彦(2008)「溪流環境保全のための木製構造物導入に関する実験的研究」⁵⁾による）。

今回実施した掃流区間におけるシミュレーション結果でも、独立基礎型流木捕捉工の平面配置型によって流水の流れや土砂の堆積現象が異なることが認められており、流木捕捉工の配置によっては生物多様性の創出に寄与する可能性も示唆される。

但し、上記については検証事例が乏しいことから、今後の検証が必要である。このため、当面は設置が容易な「a. 直線型」による平面配置を行うことを原則とする。

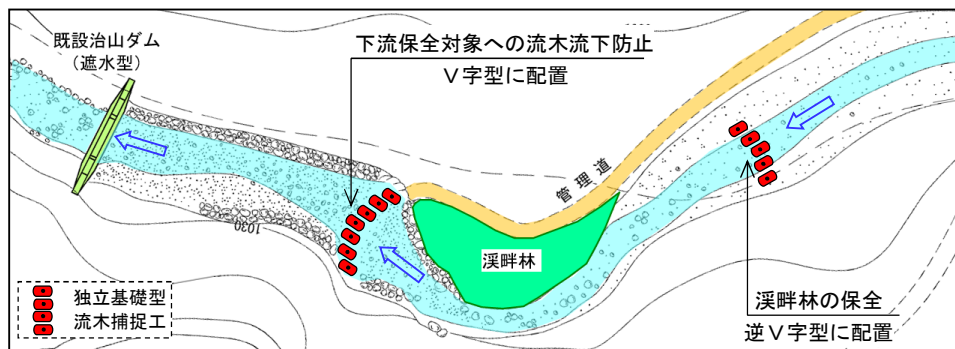


図 1.1.6. 生物多様性に配慮した配置のイメージ
(堆積・侵食による攪乱効果が期待できる配置によって、瀬淵構造を形成する)

1. 独立基礎型流木捕捉工の計画

1.1. 施設の概要

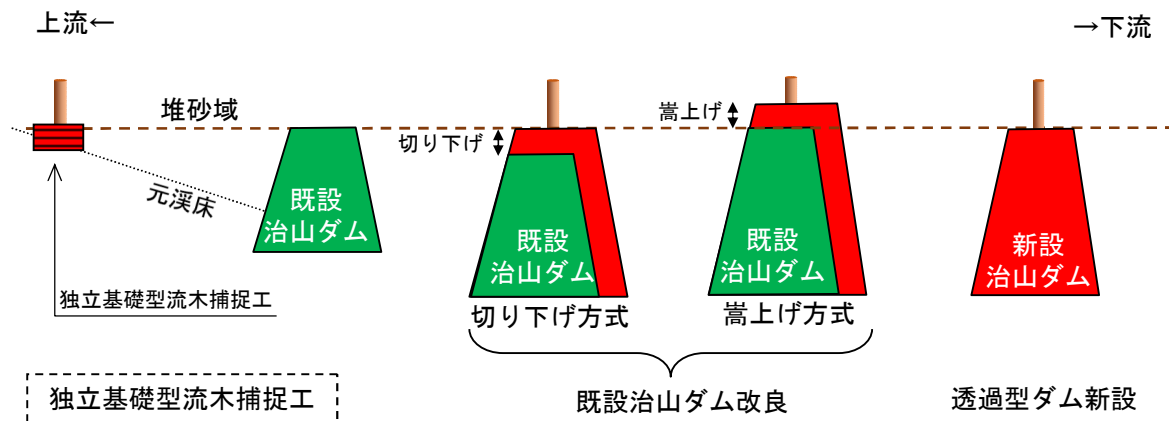
1-1-4. 独立基礎型流木捕捉工の特徴

独立基礎型流木捕捉工は、他工法（遮水型既設ダムの透過型への改良・透過型ダムの新設）と比較して、経済性・施工性等の点で優位性が高い。
 （参考：既設治山ダムを活用した流木捕捉工の開発）

[解説]

流木対策を目的とする透過型ダムとしては、遮水型既設ダムの透過型への改良や透過型ダムの新設が挙げられる。

独立基礎型流木捕捉工は、上記工法と比較して優位性が高くなるケースが多い。但し実施においては現地状況を勘案の上、当ガイドライン等を参照し適切な計画・設計・施工を行うことが望ましい。



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
独立基礎型流木捕捉工					
ライフプレート	◎	◎	◎	◎	◎
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)
 × △ ● ○ ◎

図 1.1.7. 各種透過型治山ダムの区分及び総合評価²⁾³⁾

1.2. 適用及び運用

1-2-1. 独立基礎型流木捕捉工設計・施工ガイドラインの適用

独立基礎型流木捕捉工は、流木災害の発生が危惧される箇所において、既設治山ダムや溪床の状況に応じて効率的・効果的に実施するものとする。

（「土石流・流木指針」：第2章第1節〔適用〕を引用、修正）

〔解説〕

林野庁では、「流木災害防止緊急治山対策プロジェクト」を推進してきたところであり、中部森林管理局においては新たな取り組みとして既設治山ダム堆砂域に流木捕捉機能を有する施設を設置する技術を考案、中信森林管理署シシ沢ほかにおいて試験施工を実施しているところである^{2) 3)}。

当ガイドラインはこれら試験地から取得した実証データ、施工記録等に基づき、独立基礎型流木捕捉工の計画・設計・施工を行う上で参考となる技術的知見について示すものである。

1-2-2. 独立基礎型流木捕捉工設計・施工ガイドラインの運用

独立基礎型流木捕捉工を計画・設計・施工する場合、「土石流・流木指針」及び「治山技術基準解説」⁶⁾（以下、「基準」と称する）を基本とするが、必要に応じて、このガイドラインを参考とする。

〔解説〕

独立基礎型流木捕捉工については、技術的な蓄積が少ないことから、「計画・設計・施工」に当たっては、「土石流・流木指針」、「基準」及び当ガイドラインを参考とすると共に PDCA サイクルに留意して、各地域に適した工種・工法の把握に努め、より効果的で効率的な流木被害の抑制に資することが望ましい。

1.3. 計画

1-3-1. 計画できる渓流の条件

独立基礎型流木捕捉工を計画できる渓流の条件は以下のとおりである。

- ① 渓床勾配が 2° 以下の掃流区間を有する渓流
土石流区間下流の掃流区間 ($2^\circ = 3.5\%$ 未満) において計画する (図 1.3.1)。
- ② 酸性河川ではない渓流
鋼材を主体とする構造であるため、pH が 4 以下の酸性河川では計画しない。
(pH については「鋼製砂防構造物設計便覧」⁷⁾より引用)

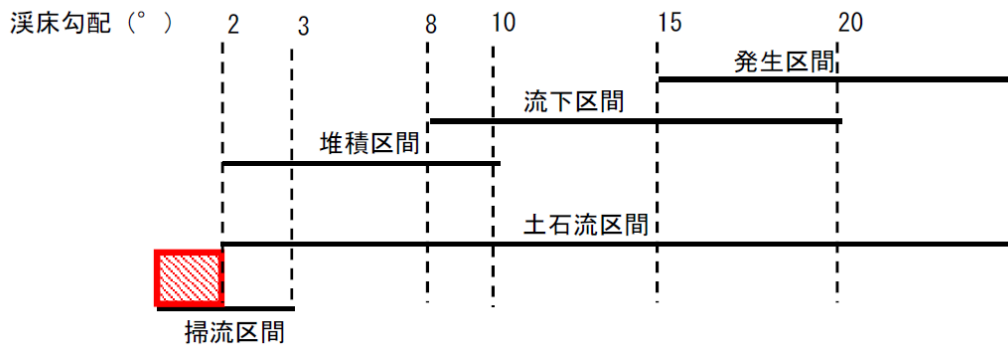


図 1.3.1 渓流区間における独立基礎型流木捕捉工の位置

[参考-1] 掃流区間における縦断勾配

掃流区間は渓床勾配が緩いことから堆砂域と元渓床の境界が不明瞭であることが多い。独立基礎型流木捕捉工設置箇所となる既設治山ダムの堆砂勾配については渓床縦断図を基に適切に把握することとし、設置箇所の上下流がいずれも掃流区間 (渓床勾配が $2^\circ = 3.5\%$ 未満) に該当していることを確認することが重要である。

特に既設治山ダムの放水路直上流は接近流速により堆砂勾配が緩くなることが多いため注意が必要である。

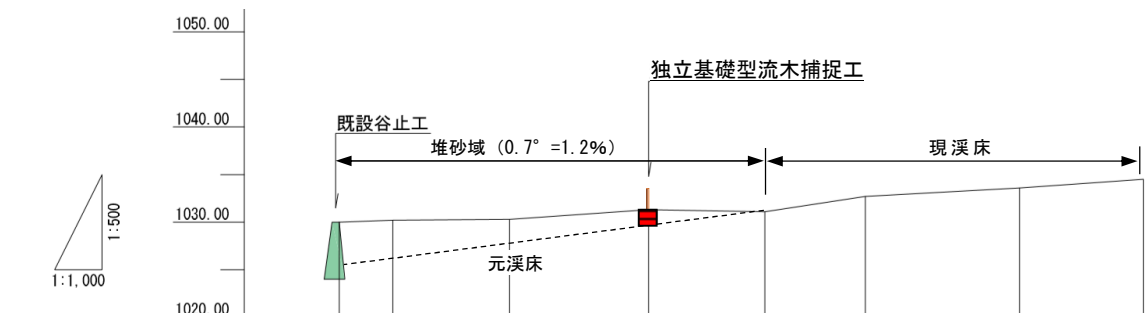


図 1.3.2. 掃流区間における独立基礎型流木捕捉工の事例 (恵那市ホコ口沢)

1. 独立基礎型流木捕捉工の計画

1.3. 計画

[参考-2] 土石流堆積区間における設置

保全対象との関係等、やむを得ず土石流堆積区間（ $2^{\circ} \sim 8^{\circ}$, $3.5\% \sim 14\%$ ）において独立基礎型流木捕捉工を設置する場合は、既設治山ダムが複数基設置されている等、溪床変動が少ない安定した溪流で、設置箇所の上流に既設治山ダムが設置されている箇所とする。この場合、土砂流出による堆積土砂により上部構造の柱用鋼管が埋塞するおそれがあることを考慮する。

なお、土石流流下区間及び発生区間では計画しない。

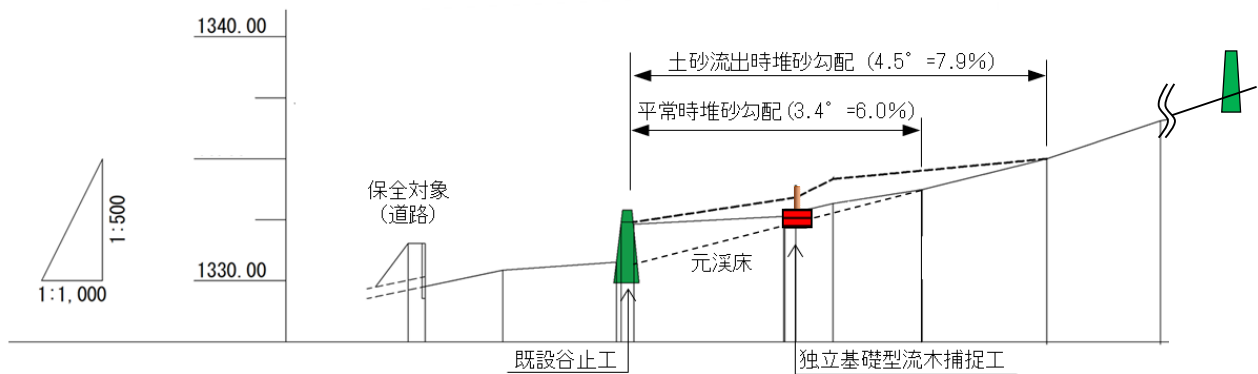


図 1.3.3. 土石流堆積区間における独立基礎型流木捕捉工の事例（塩尻市シシ沢）

土石流堆積区間において独立基礎型流木捕捉工を設置する場合は、土石流時の安定計算に基づく構造検討を行うと共に、洪水時の勾配形成時に柱用鋼管上端が洪水時の水位を上回っていることを検証しておくことが必要である。

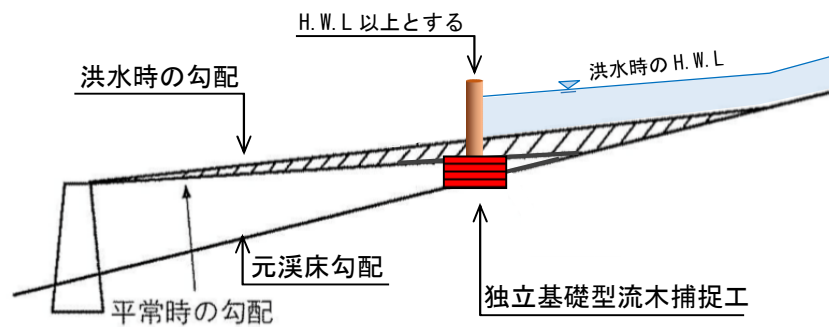


図 1.3.4. 土石流堆積区間における洪水時の勾配
（治山技術基準解説総則・山地治山編 P155 より引用、修正）

1-3-2. 計画箇所及び設置位置の条件

独立基礎型流木捕捉工を計画できる溪流において、計画箇所及び設置位置に求められる条件は以下のとおりである。

- ①安定した溪床に影響を及ぼさないこと。
- ②河床が広く、勾配が緩い箇所。
- ③管理（流木の除去）が可能な箇所。
- ④推定流木発生量や目的に応じて、一溪流に複数基設置することは問題ない。
（「土石流・流木指針」3-2 [参考3] を引用、修正）
- ⑤既設治山ダム堆砂域内に設置する場合は、元溪床に支持地盤が確保できると共に、流木の捕捉効果が最大となる設置位置とする。

[解説] 既設治山ダム堆砂域内における設置位置

既設治山ダム堆砂域に独立基礎型流木捕捉工を設置する場合、設置可能な区間は、溪床縦断面図に基づき推定した元溪床縦断線上に下部構造底面が確保できる堆砂域の範囲内で設定する。

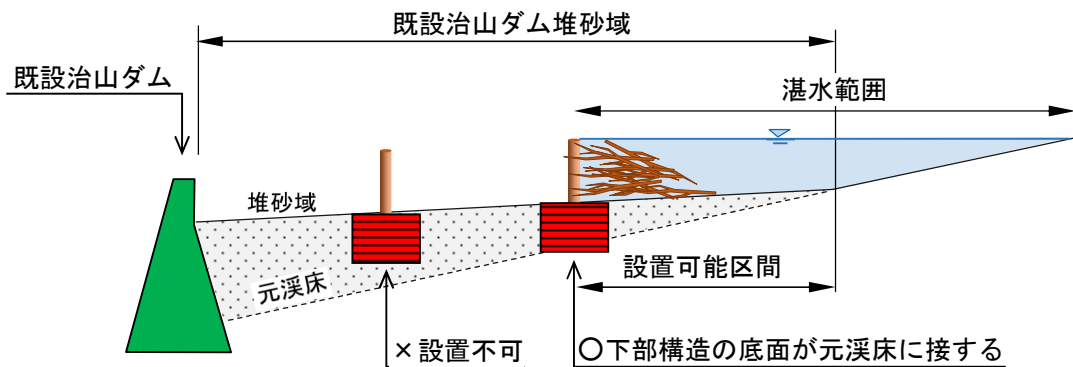


図 1.3.5. 堆砂域に設置する場合の独立基礎型流木捕捉工縦断計画範囲

独立基礎型流木捕捉工による流木捕捉効果（流木捕捉量）はスリット閉塞後に上流背面に形成される堆砂域及び湛水部の面積に比例することから（1-3-6. 独立基礎型流木捕捉工の流木捕捉量）、設置可能区間の範囲において湛水面積が最大となる位置に設置する。

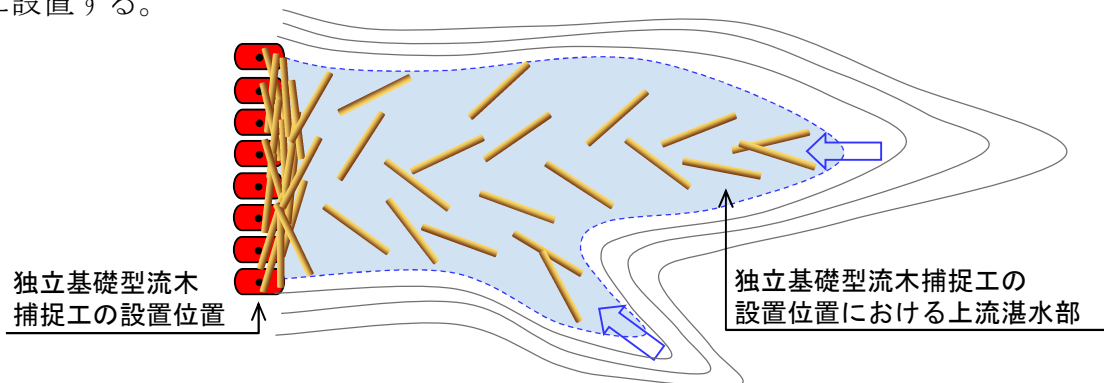


図 1.3.6. 設置可能区間における独立基礎型流木捕捉工の設置位置

1. 独立基礎型流木捕捉工の計画

1.3. 計画

[参考] 元溪床縦断線の推定

独立基礎型流木捕捉工は安定計算上大きな地盤支持力を必要としないものの、堆砂域内に設置する場合は一定の地盤支持力が期待できる元溪床縦断線上に下部構造底面を確保する。このため、既設治山ダムが満砂する以前の元溪床縦断線を把握することが重要となる。

元溪床縦断線は、既設治山ダム満砂前の溪床縦断図を治山台帳等から入手し把握することが望ましいが、不可能な場合は現況溪床縦断線から推定することが出来る。

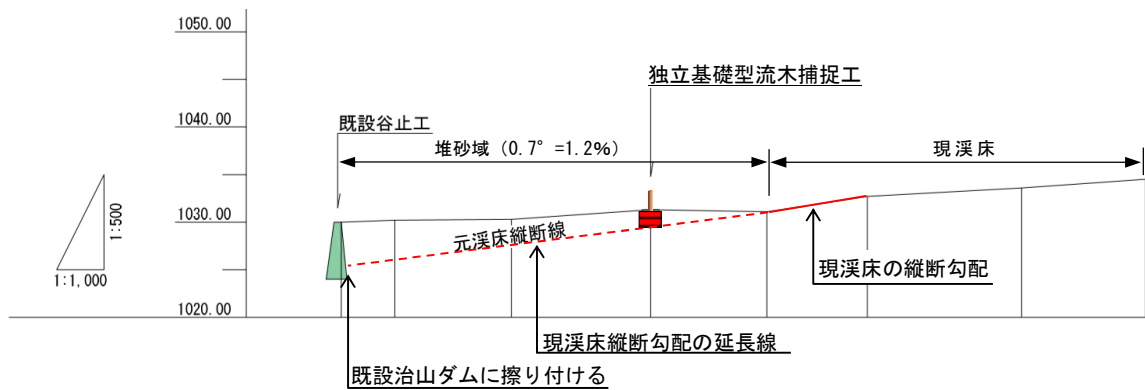


図 1.3.7. 元溪床縦断線の推定事例（恵那市ホコロ沢）

1-3-3. 透過部（スリット）の間隔

独立基礎型流木捕捉工の透過部（スリット）の間隔（ d ）は、その構造上最小間隔を2.5mとし、想定される流木長に応じて決定する。
（「土石流・流木指針」2-6 治山ダム の透過部の間隔を一部引用、改正）

〔解説〕

スリット間隔（ d ）の考え方は土石流対策と流木対策で異なるが、当ガイドラインでは流木を対象とした場合のスリット間隔について示す。

流木対策に必要なスリット間隔は、流下が予想される流木長の1/2～1/3以下とすることで捕捉する確実性が高くなると考えられている。このことから透過部の幅は、一般的な溪流で流木長の1/2以下、保全対象に近接し、確実に流木を捕捉する必要がある場合は、流木長の1/3が目安となる。ここで、流木長とは平均流木長程度を想定している（「土石流・流木指針」では最大流木長）。

なお、独立基礎型流木捕捉工については下部構造の全幅2.0mを標準としており、施工上隣接したライナープレートの間隔を0.5m以上確保する必要があることから、スリット間隔（上部構造柱用鋼管中心間の距離）を2.5m以上とする。

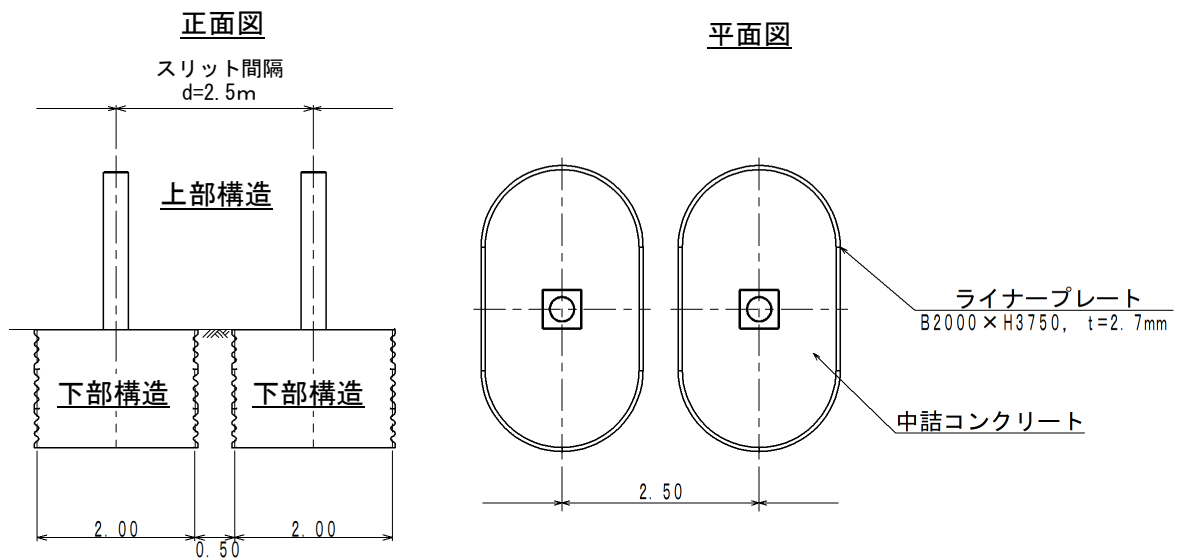


図 1.3.8. 独立基礎型流木捕捉工の標準図
（上部構造である鋼管のスリット間隔を $d=2.5m$ 以上とする）

1-3-4. 独立基礎型流木捕捉工の設置幅

- ①独立基礎型流木捕捉工の設置幅は、設置位置の横断形状に基づき兩岸から流木がすり抜けないように設定する。
②必要に応じて溪岸の侵食対策（護岸）を検討する（「土石流・流木指針」3-2 [参考3] を引用）。

〔解説〕

兩岸からの流木すり抜けを防止するため、独立基礎型流木捕捉工を設置した際に最も兩岸に近い柱用鋼管上端から溪岸までの水平距離（ d_R 、 d_L ）がスリット間隔（ d ）以下となるように設置幅を設定する。

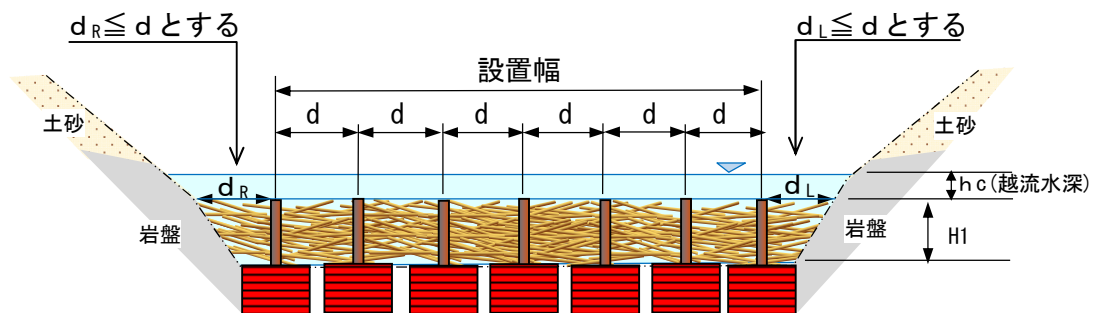


図 1.3.9. 独立基礎型流木捕捉工の設置幅
(溪岸侵食が懸念されない場合)

設置箇所は溪岸部分が土砂である等、溪岸侵食が懸念される場合においては護岸工を設置し、最も兩岸に近い柱用鋼管上端から溪岸までの水平距離（ d_R 、 d_L ）がスリット間隔（ d ）以下となるように設置幅若しくは護岸工の位置を設定する。護岸工の高さは設置箇所の越流水深（ h_c ）を上回る高さとする。

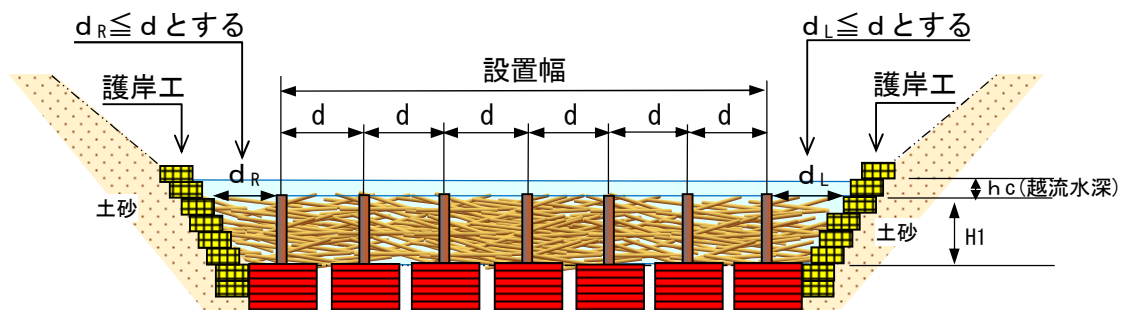


図 1.3.10. 独立基礎型流木捕捉工の設置幅
(溪岸侵食が懸念される場合)

1-3-5. 独立基礎型流木捕捉工の高さ

独立基礎型流木捕捉工の高さは、下部構造から突出する柱用鋼管の長さ(突出長)を2mとする。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は既存の鋼材とコンクリートの組み合わせによる構造であるため、柱用鋼管の長さについても既存鋼材の規格に準ずることを原則とする。

突出長2m以外の鋼管については施工例が無く、鋼材の調達や基礎部の構造についても不明な点が多いため、当面は柱用鋼管の長さ(突出長)については2mとすることを原則とする。

1-3-6. 独立基礎型流木捕捉工の流木捕捉量

独立基礎型流木捕捉工の流木捕捉量は、掃流区間における計算手法により算定する(「土石流・流木指針」3-2 [参考2] を使用)。

[解説]

流木の捕捉状況は多様であるため、掃流区間に設置した施設により捕捉される流木の量は、便宜上流木が堆砂地または湛水部を覆いつくすものとして算出する。

$$V_r = V_d \times \beta$$

$$V_d = A_w \times h$$

ここで、 V_r : 流木捕捉量 (実材積 m^3)

β : 流木容積率

V_d : 見かけの容積率 (m^3)

A_w : 堆砂地(域)若しくは湛水部の面積 (m^2)

h : 堆砂地(域)若しくは湛水部の平均深 (m)

流木容積率 β については、平均的な値として $\beta = 0.2$ とされているが、現地の状況により適宜判断すると共に今後の検証が必要である。

[参考] 土石流堆積区間における流木捕捉量

土石流堆積区間における流木捕捉量については、「土石流・流木指針」6-3 2 流木の捕捉量のみの評価 (1) 透過型治山ダムの場合 を参考に算出する。

2. 独立基礎型流木捕捉工の設計

2.1. 構造

2-1-1. 独立基礎型流木捕捉工の構造

独立基礎型流木捕捉工の構造は、流下する流木を効果的に捕捉することの出来る構造とし、流水に対し安定を確保できる構造とする。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は、渓床より突出した流木捕捉機能を有する流木捕捉部（上部構造）と、安定を確保するための基礎部（下部構造）からなる構造とする。

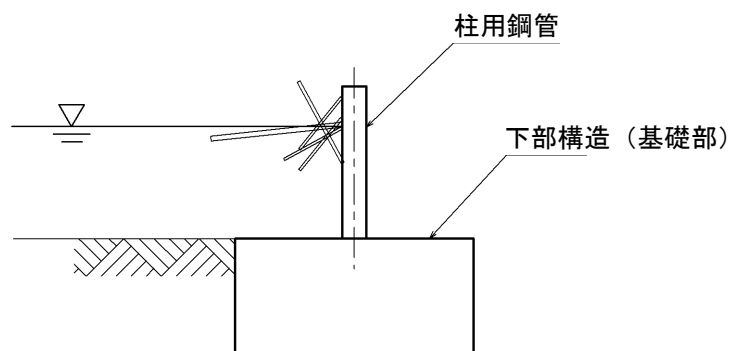


図 2.1.1. 独立基礎型流木捕捉工の構造

[参考] 独立基礎型流木捕捉工の事例

独立基礎型流木捕捉工の事例を示す。(長野県塩尻市シシ沢)



写真 2.1.1. 正面全景



写真 2.1.2. 側面全景

2. 独立基礎型流木捕捉工の設計

2.1. 構造



写真 2.1.3. 正面

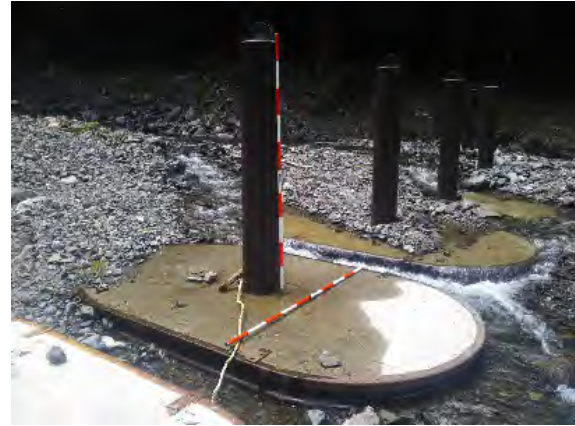


写真 2.1.4. 近景

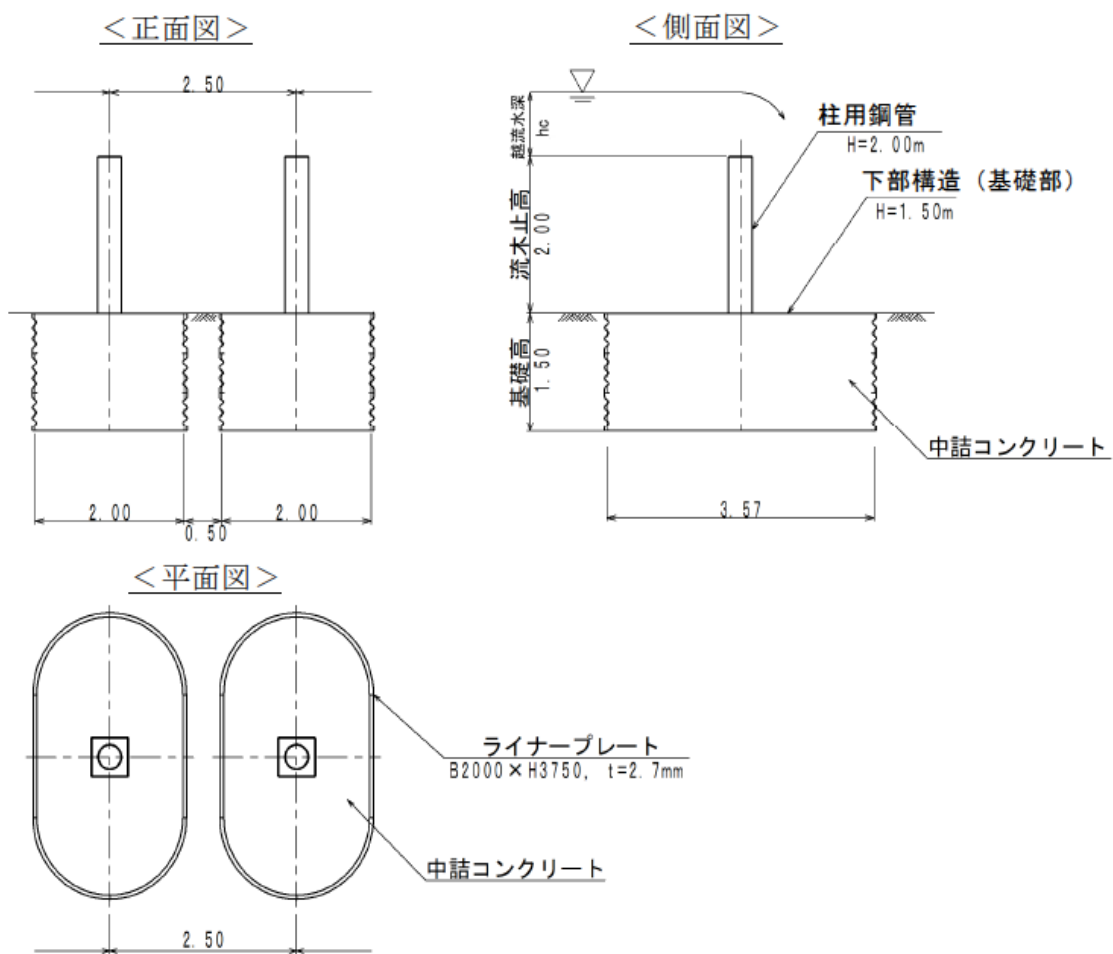


図 2.1.2. 独立基礎型流木捕捉工の標準的な構造図

[参考] 独立基礎型流木捕捉工の部材
過去の施工で用いられた独立基礎型流木捕捉工の部材については、参考資料を参照のこと。

2.2. 安定計算

2-2-1. 独立基礎型流木捕捉工の安定計算に用いる荷重

独立基礎型流木捕捉工の安定計算に用いる荷重は、原則として、自重、静水圧及び堆砂圧とする。

[解説]

①独立基礎型流木捕捉工の安定計算に用いる荷重は、洪水時を想定して、捕捉工の自重、静水圧及び堆砂圧を標準とする。

独立基礎型流木捕捉工に作用する静水圧については、流木によるスリット閉塞時とスリット未閉塞時（せき上げを考慮）の2種類が想定されるが、スリット未閉塞時のせき上げ高は比較的小さいことから、流木によるスリット閉塞時を想定して静水圧を算定する。

スリット閉塞時に作用する水圧は、以下の式により求められる。

$$P1 = hc \cdot \rho \cdot \lambda$$

$$P2 = H1 \cdot \rho \cdot \lambda$$

P1：天端部に作用する水圧（kN）
P2：基礎部に作用する水圧（kN）
 ρ ：流水の単位体積重量（kN/m³）
H1：柱用鋼管の高さ（m）
hc：越流水深（m）

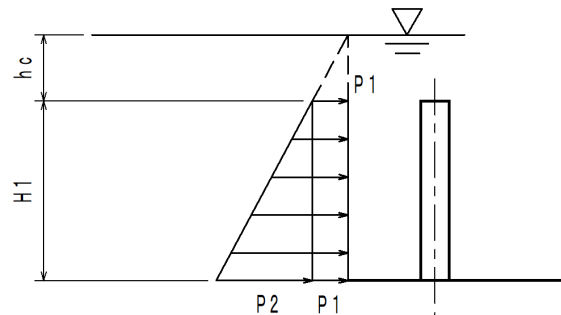


図 2.2.1. スリット閉塞時の水圧モデル

[参考]

スリット未閉塞時の水圧は、洪水時の水深に柱用鋼管のせき上げによる水位上昇（せき上げ高）を加算した水深を用いることとする。せき上げ高については以下の式により算出する。

$$\Delta D_{h0} = k_m \cdot \sin \theta \cdot \left(\frac{R_m}{B_p} \right)^{4/3} \cdot \frac{U_h^2}{2g}$$

ΔD_{h0} ：せき上げ高（m）
 k_m ：柱用鋼管の断面形状による係数（2.0）
 θ ：柱用鋼管材の傾斜角（90°）
 R_m ：柱用鋼管の直径（m）
 B_p ：柱用鋼管の純間隔（m）
 U_h ：平均流速（m/s）

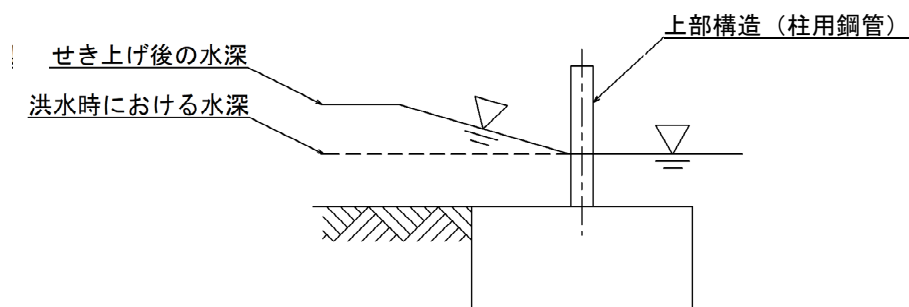


図 2.2.2. スリット未閉塞時の水圧モデル（参考）

2. 独立基礎型流木捕捉工の設計

2.2. 安定計算

②独立基礎型流木捕捉工の安定計算に用いる単位体積重量は、次の数値を標準とする。

- ・コンクリート（試験等を行わない場合）：23kN/m³
- ・静水：11.8kN/m³
- ・越流水：11.8kN/m³
- ・堆砂礫：18kN/m³

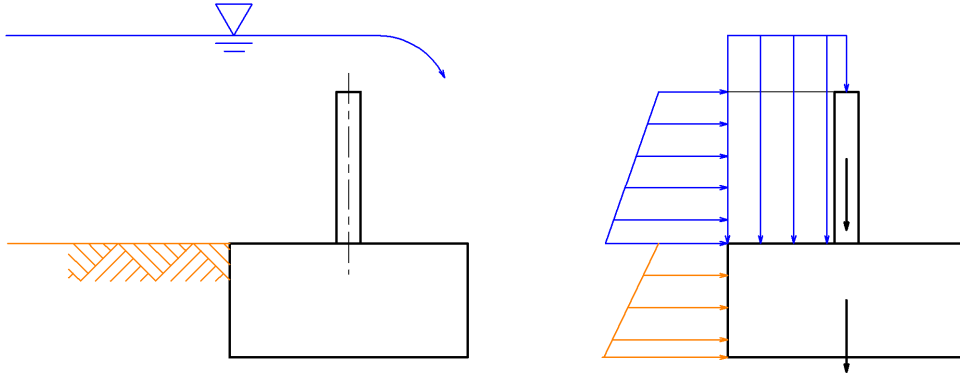


図 2.2.3. 荷重モデル図

[参考] 堆砂圧

一般に、堆砂圧（土圧）は、次のランキン式により求められる。

$$P_A = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$K_A = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$h = \frac{1}{3} \cdot H$$

<p>P_A : 土圧 (kN/m)</p> <p>K_A : 主動土圧係数</p> <p>γ : 堆砂の単位体積重量 (kN/m³)</p> <p>H : 土圧が作用する高さ (m)</p> <p>ϕ : 堆砂の内部摩擦角 (°)</p> <p>h : 土圧の作用位置の壁底面からの高さ (m)</p>

2-2-2. 独立基礎型流木捕捉工の安定条件

独立基礎型流木捕捉工は、次の条件のすべてを満たすものでなければならない。

①転倒に対する安定
独立基礎型流木捕捉工が転倒を引き起こさないこと。

②滑動に対する安定
独立基礎型流木捕捉工が滑動を引き起こさないこと。

③基礎地盤に対する安定
独立基礎型流木捕捉工の最大応力に対して基礎地盤の地耐力が十分であること。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は、自重によって水圧等の外力に抵抗するものであり、その安定を保つために、3条件を満たさなければならない。なお、安定計算は原則として標準的な二次元断面を仮定し、独立基礎型流木捕捉工1基当りについて実施する。

①転倒に対する安定

荷重による応力又は反力が、独立基礎型流木捕捉工の基礎地盤の許容値を超えない範囲では、堤体の自重及び諸外力の合力作用線が、独立基礎型流木捕捉工の中央1/3 (middle third) 内にあれば引張力を生じないので、転倒に対し安定である。

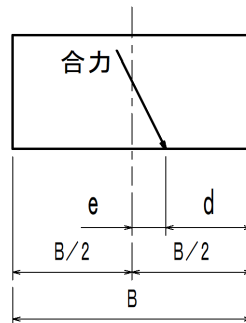


図 2.2.4. 合力の作用位置

$$d = \frac{M}{V}$$

$$e = \frac{B}{2} - d$$

$$e \leq \frac{B}{6} \quad \dots \text{OK}$$

d : 基礎下流端から合力の作用位置までの距離 (m)
M : 基礎下流端と支点として、独立基礎型流木捕捉工に作用するモーメントの合計 (kN・m)
V : 独立基礎型流木捕捉工に作用する垂直成分の合力 (kN)
e : 基礎中央から合力作用位置までの距離 (m)
B : 堤底厚 (m)

2. 独立基礎型流木捕捉工の設計

2.2. 安定計算

②滑動に対する安定

独立基礎型流木捕捉工が滑動に対して安定であるためには、次の条件が必要である。

$$V \cdot f > H \quad \dots \text{OK}$$

V: 独立基礎型流木捕捉工に作用する垂直成分の合力 (kN)
 H: 独立基礎型流木捕捉工に作用する水平成分の合力 (kN)
 f: 基礎地盤の摩擦係数

③基礎地盤に対する安定

独立基礎型流木捕捉工底面における応力 (P) は基礎地盤の反力でもあり、最大反力 (P₁) が基礎地盤の許容支持力より小さければ地盤は安定である。基礎地盤の最大反力は次式で求める。

$$P_1 = \frac{V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

[参考] 基礎地盤の摩擦係数

基礎地盤の摩擦係数の標準値は、表 2.2.1 のとおりである。

表 2.2.1. 基礎地盤の摩擦係数

基礎の状態	摩擦係数
岩盤・締まった砂礫層	0.7
締まった普通土	0.6

[参考] 基礎の許容支持力

独立基礎型流木捕捉工の許容支持力は、経験的に次のような値とすることが多い (長期荷重の場合)。

表 2.2.2. 地盤の許容支持力

地盤の種類	許容支持力 (長期荷重)
岩盤	700kN/m ²
礫層	300~600kN/m ²
砂質地盤	200~300kN/m ²

2. 独立基礎型流木捕捉工の設計
2.2. 安定計算

2-2-3. 独立基礎型流木捕捉工の構造計算条件

独立基礎型流木捕捉工の部材は、地表突出部である流木止工に作用する水圧に対し、安全な構造とする。

[参考]

部材の構造計算に用いる諸元及び計算手法は以下を参照してよい。

表 2.2.3. 標準的な独立基礎型流木捕捉工の構造計算諸元

項目	諸元	備考
独立基礎型流木捕捉工間隔	λ (m)	最小間隔 2.5m
鋼管高さ	H1 (m)	標準 2.0m
越流水深	hc (m)	
流水の単位体積重量	ρ (kN/m ³)	標準 11.80 kN/m ³
鋼管断面形状	ϕ 318.5mm t=10.3mm	STK490 (標準)
断面積	A=79.84cm ²	STK490 (標準)
断面係数	Z=595.50cm ³	STK490 (標準)
鋼管の許容曲げ応力度	$\sigma_{ba}=185.00\text{N/mm}^2$	長期強度
鋼管の許容せん断応力度	$\tau_a=105.00\text{N/mm}^2$	長期強度

①作用外力の算定

$$P1 = hc \cdot \rho \cdot \lambda \quad (\text{kN})$$

$$P2 = H1 \cdot \rho \cdot \lambda \quad (\text{kN})$$

②断面力の算定

- ・最大曲げモーメント

$$M_{max} = 1/2 \times P1 \times H1^2 + 1/6 \times P2 \times H1^2 \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

- ・最大せん断力

$$Q = P1 \times H1 + 1/2 \times P2 \times H1 \quad (\text{kN})$$

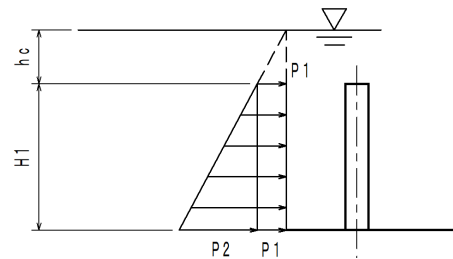


図 2.2.5. 作用外力モデル図

③応力度照査

柱用鋼管の曲げ応力度、せん断応力度及び合成応力度に対して以下を照査する。

- ・曲げ応力度 $\sigma_b = \frac{M_{max}}{Z} \leq \sigma_{ba}$

- ・せん断応力度 $\tau = \frac{Q}{A} \leq \tau_a$

- ・合成応力度 $\frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.0$

3. 独立基礎型流木捕捉工の施工

3.1. 施工手順

3-1-1. 施工順序

独立基礎型流木捕捉工の施工手順は、図3.1.1及び次頁写真3.1.1を標準とする。

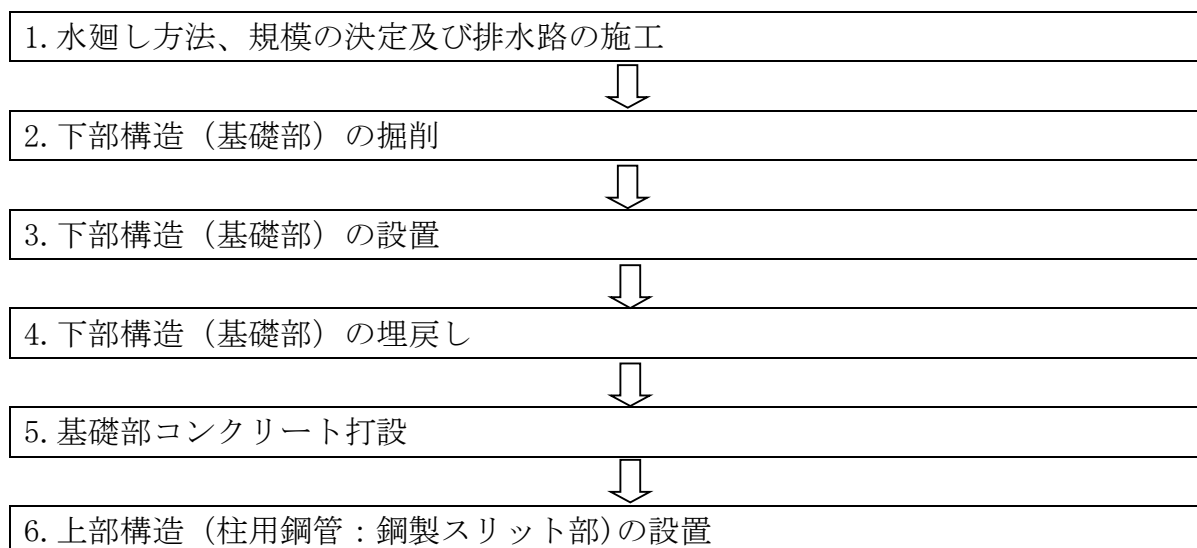


図3.1.1. 独立基礎型流木捕捉工施工フロー

[参考]

「3. 下部構造（基礎部）の設置」については、現地状況により現場外において組立てた材料を現場内に搬入し設置した事例も報告されている。

「4. 下部構造（基礎部）の埋戻し」については、コンクリート型枠を兼ねるライナープレートの固定を図ることを目的として、コンクリート打設に先立って埋戻しを行うことを原則としている。

3. 独立基礎型流木捕捉工の施工 3.1. 施工手順



下部構造（基礎部）の掘削



下部構造（基礎部）の設置



基礎部コンクリート打設



下部構造（基礎部）の埋戻し



上部構造（柱用鋼管：鋼製スリット部）
の設置



完成

写真 3.1.1. 標準的な施工手順
写真提供：(株) 東城、日鉄建材 (株)

3. 独立基礎型流木捕捉工の施工 3.1. 施工手順

3-1-2. 水廻し方法、規模の決定及び排水路の施工

独立基礎型流木捕捉工の基礎コンクリートの外壁とするライナープレートは、完全な遮水構造ではないため、打設時の施工効率および基礎の品質を確保するため、十分に水廻しを行う。

[参考]

施工箇所はルーズな礫の堆砂地盤であることが多く、伏流水による多量の湧水が発生することから、ポンプ排水を併用しなければならないことが多い。

3-1-3. 下部構造（基礎部）の掘削

独立基礎型流木捕捉工は、比較的ルーズな溪床堆積土砂を基礎地盤として設置することから、設計上の地盤反力に対する支持力の確認を行うこととする。

[参考]

独立基礎型流木捕捉工の機能を発揮する上で、安定した基礎地盤であることが必要である。

下部構造の基礎地盤は、礫や転石が混在する溪床堆積土砂となることが殆どであることから、簡易貫入試験等による支持力層の確認方法では、礫あたりが発生する確率が高く、適切な地盤支持力を把握することが困難である。

また、溪床は堆積状態により支持力が不均質であることが多いことから、特に軟弱地盤である場合においては、床付け面よりも低位の地盤支持力について確認することが必要である。

試験は、基礎地盤の状態によって適切な方法により行うこととするが、想定される設置地盤の特性上、基礎面平板載荷試験等の面的な試験手法により確認することが望ましい。

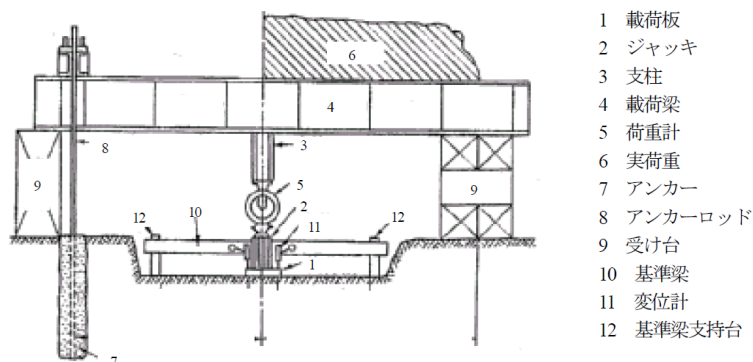


図 3.1.2. 平板載荷試験の機器構成例

地盤工学会基準（案）⁸⁾

3. 独立基礎型流木捕捉工の施工

3.1. 施工手順

3-1-4. 下部構造（基礎部）の設置

ライナープレートをボルトで組み立て、その後、既定の梁材により、鞘管（基礎用鋼管）を設置する。組み立てた鋼材を独立基礎型流木捕捉工の配置タイプに応じ、既定の位置に設置する。

[参考]

下部構造（基礎部）を構成するライナープレート、鞘管（基礎用鋼管）、鞘管を固定する梁材及びボルトは、コンクリート打設時に作用する荷重に対して安全に設計されており、緩み等のないよう確実に固定する。

3-1-5. 下部構造（基礎部）の埋戻し

下部構造（基礎部）をライナープレート天端面の高さまで埋戻す。

[参考]

独立基礎型流木捕捉工は、上流側が基礎部天端まで埋設した条件で設計されており、流木捕捉時の安定性を確保するため、基礎天端の高さまで埋戻す。

また、コンクリート打設に先立って埋戻しを行うことにより、型枠となるライナープレートの固定を図ると共に、埋戻し面を土足場とすることでコンクリート打設作業時の安全性確保が期待できる。

3-1-6. 基礎部コンクリート打設

コンクリートの打設にあたっては、基礎掘削底面を十分に排水・掘削面仕上げした上で、コンクリートを打設する。

3-1-7. 上部構造（柱用鋼管：鋼製スリット部）の設置

基礎コンクリートが十分に養生した後、基礎用鋼管（鞘管）に柱用鋼管（鋼製スリット）をセットし、それぞれの空隙部を砂で十分密に充填する。上部は充填剤（砂）の流出防止のため、厚さ10cmをコンクリートで密閉する。

[参考]

柱用鋼管（鋼製スリット）は、流木捕捉時の鋼材の変形・破損・経年の腐食等に対し、交換できる構造としている。

空隙部の砂充填にあたっては、流木捕捉時の鋼管の安定性を確保するため十分に突き固める。

3.2. 施工管理

3-2-1. 管理基準

独立基礎型流木捕捉工の施工管理については、所管の森林整備保全事業施工管理基準にある項目および基準値を参考とする。

[参考] 中部森林管理局における管理基準

施工時の管理において、以下の項目については、記載する値を標準として管理し、以下によらない場合は、精度および施工性を考慮し、監督職員と協議の上で決定する。

①床掘

独立基礎型流木捕捉工は、一定規格で支柱鞘管がセットされたライナープレート成型を型枠に用いた独立基礎であることから、床付面が竣工時の構造物高さを規制する。

このため、掘削面の基準は②設置高さの基準に従うものとし、コンクリート治山ダムの高さの基準で管理する。

(コンクリート治山ダム本体工；高さ $h \pm 30\text{mm}$)

②設置高さ

当施設は独立基礎であることから、連続基礎を持った一般的なスリットダムの高さの管理基準値 ($h \pm 10\text{mm}$) による設置が極めて厳しい。

このため、鞘管、基礎コンクリート天端、支柱頭部について、コンクリート治山ダムの高さの基準で管理する。

(コンクリート治山ダム本体工；高さ $h \pm 30\text{mm}$)

③基礎ライナープレートと支柱の設置間隔および堤長

独立基礎型流木捕捉工の設置間隔は、支柱鞘管の位置において、それぞれの間隔および両端の施設間の延長により管理する。

不連続構造で設置するスリットダム鋼材の間隔を管理する基準値がないことから、管理基準としては、独立して設置する待ち受け治山施設の値(なだれ予防施設の値を参照し、 -200mm 、+はNG)を参考として、各スリットの間隔を $\pm 100\text{mm}$ で管理するとともに、両端の施設間延長をコンクリート治山ダムの延長の基準で管理する。

(コンクリート治山ダム本体工；延長 $L = -50 \sim -150\text{mm}/300\text{m}$)

④支柱の傾き

支柱の傾きについては、鋼製ダム工本体工(不透過型)の法勾配の基準値で管理する(法勾配 ± 0.2 分 $=1.1^\circ$)。

4. 維持管理

独立基礎型流木捕捉工として設置した治山施設については、定期的な点検および災害時の点検を通じた維持・管理に努める。特に、流木や土砂の堆積が進んだ独立基礎型流木捕捉工は、次期出水期前に堆積物を除去しておくことが必要である。

（「土石流・流木指針」：第7章第1節より引用、修正）

4.1. 点検項目

独立基礎型流木捕捉工の点検項目として、背面の堆砂状況及び部材及び基礎コンクリートの点検が挙げられる。

（「土石流・流木指針」：第7章第1節より引用、追記修正）

[解説]

①背面の堆砂状況

独立基礎型流木捕捉工は通常の流水で移動する小さな石礫等は透過し、移動する流木を捕捉するための空容量を確保しているものである。しかし、土砂流や流木により背面が満砂状態となった場合には、土砂や流木を捕捉出来ないことが想定され、構造物の機能が減少したことになる。このことから、定期的又は、災害発生後等にダム背面の状態を確認する必要がある。

②部材及び基礎コンクリート

独立基礎型流木捕捉工は背面が空いており、土砂や流木の衝撃を受ける可能性があることから、災害時等には、変形等の損傷を受けることがある。

鋼製構造物の場合、構造の一部変形や部材の局部変形により、本来の機能が低下するものの流木や石礫の衝撃力を吸収する効果が維持できる材質上の特性があることから、その損傷の度合いを適宜点検した上で、今後の流木発生時に対する機能性について評価する必要がある。

点検の具体事例として「土石流・流木指針」：第7章」に記載されている鋼製構造物の点検項目を表4.1.1に示す。

また、そのほかに、「治山施設個別施設計画策定マニュアル（平成29年度改定版）（平成30年3月 林野庁）」⁹⁾に示される鋼材の腐食の程度について適宜調査する。

③災害後における調査

独立基礎型流木捕捉工の普及に向け、特に災害時における以下の項目について調査を行うことにより、施設の効果検証および改良すべき構造上の改善点を確認することとする。

- ・本ガイドラインで定めた独立基礎型流木捕捉工の設置位置において、流木が捕捉された形態とその効果量について、捕捉機能を定量的に評価する。
- ・流木および土砂の捕捉により生じる施設の破損状況等を調査し、その結果から、機能上の改善点および必要な構造を検討する。

表 4.1.1. 独立基礎型流木捕捉工上部構造（支柱部分）の損傷レベルと対応¹⁾

損傷レベル	機能低下レベルと定義	対応策	判定	
			中空鋼管	CFT 鋼管※
レベルⅠ －健全－	完成時と比べ機能の低下がなく、共用に支障がない	補修の必要なし	鋼管径の凹みが鋼管径に対して10%未満	部材の撓み変形角が2度未満
レベルⅡ －損傷－	部材耐力が低下しており、完成時と比べ機能低下のおそれがある	構造照査により補修・補強の必要性を検討する	鋼管径の凹みが鋼管径に対して10%以上、40%未満	部材の撓み変形角が2度以上、5度未満
レベルⅢ －破壊－	施設機能が喪失しており、次に設計荷重が作用すると機能が発揮できない	必ず補修・補強を行う	鋼管径の凹みが鋼管径に対して40%以上	部材の撓み変形角が5度以上

※CFT：コンクリート充填鋼管構造（Concrete Filled Steel Tube）

※既設治山ダムを利用した流木捕捉工は中空鋼管及びCFTとして扱う。

独立基礎型流木捕捉工の上部構造は中空鋼管に区分されるが、通常の鋼製型ダムのように頭部が連結されていないことから、流木や土砂が衝突した際には凹みと曲げのいずれもが発生する恐れがある。

このため、中空鋼管及びCFT両方の判定基準に基づき、以下により損傷レベルを判断する。

- ・損傷レベルの判定
 - ①鋼管径の凹みによる判定結果
 - ②部材の撓み変形角による判定結果
 ①②を比較し、損傷レベルの高い方を採用する。

4.2. 維持管理手法

4-2-1. 背面土砂及び流木の撤去

山地災害や洪水の発生により独立基礎型流木捕捉工が土砂及び流木を捕捉し、次期降雨時において満砂等による機能低下が懸念される場合においては、背面土砂及び流木を速やかに除去する。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工の背面に堆積した土砂及び流木の除去を行う上での留意点を以下に示す。

①管理道の確保

独立基礎型流木捕捉工により捕捉された土砂や流木を撤去する上で必要となる管理道については、施工時の資材搬入路が利用されることが多いと考えられるが、その作設に際しては以下に留意する。

- ・独立基礎型流木捕捉工が流木を捕捉し流水が越流した際に、流水が管理道内を流下することが無い配置とする。
- ・溪畔林周辺で計画する際は、「国有林野の溪畔周辺の取扱いについて」¹⁰⁾、「溪畔林整備指針（素案）」¹¹⁾等を踏まえること。
- ・出水時において路肩流亡等により通行不能となることを想定し、独立基礎型流木捕捉工の定期点検時には管理道についても点検を行う（路肩の損傷や法面の崩落等）。

②撤去した流木の処理

撤去した流木は、原則として搬出し産業廃棄物として処理する。

③撤去後の施設点検

土砂及び流木による衝撃や想定以上の外力作用等により、施設に過大な負荷が発生している可能性がある。撤去後の施設について施設点検（4.1.点検項目）を実施し、健全度を把握した上で必要に応じて柱用鋼管の交換等による更新を検討する。

4-2-2. 上部構造の更新

独立基礎型流木捕捉工の柱用鋼管については、部材損傷に対する修復の判定を行った上で部材交換による更新を検討する。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は、砂充填した鞘管に柱用鋼管を建て込む構造であることから、補修・修復が必要であると判断される場合については、旧部材の撤去及び新部材の再設置による更新を検討する。

4-2-3. 施工後の状況記録とフィードバック

独立基礎型流木捕捉工は施工事例が未だ少ないことから、施工後の状況について記録を残すと共に、得られた知見を検証した上で今後の計画・設計・施工に活かし、より効果的で効率的な流木被害の抑制に資することとする。

[解説]

独立基礎型流木捕捉工は、中部森林管理局管内において4箇所の試験施工が行われたものの流木の捕捉事例は確認されていない。施工後の独立基礎型流木捕捉工について、流木や土砂の捕捉状況、周辺部の土砂堆積や侵食の状況等を記録に残すことによって、流木捕捉効果、渓床の縦横断形状にもたらす影響、部材の損傷程度等について検証を行い、今後の計画・設計・施工へのフィードバックを行うこととする。

<<参考文献>>

- 1) 土石流・流木対策指針解説等（改正 平成 31 年 3 月 29 日 30 林整計第 1110 号）
- 2) 中澤敏雄（2021）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～. 水利科学 378 : 43-61
- 3) 中澤敏雄・宗廣克徳・菅野暢晃（2019）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～. 平成 30 年度中部森林技術交流発表集
<https://www.rinya.maff.go.jp/chubu/gijyutu/siryousitu/chubu01.html>
- 4) 平成 29 年度 溪畔保全プロジェクト林における調査事業 報告書 平成 30 年 3 月 林野庁
- 5) 櫻井正明・岸田春香・太田猛彦（2008）溪流環境保全のための木製構造物導入に関する実験的研究. 第 119 回日本森林学会大会ポスターセッション. P2f43
- 6) 平成 21 年度治山技術基準解説 総則山地治山編 社団法人日本治山治水協会
- 7) 鋼製砂防構造物設計便覧 平成 21 年 9 月 鋼製砂防構造物委員会編
- 8) 地盤工学会基準（案） 平板載荷試験方法 平成 23 年 9 月 地盤工学会
- 9) 治山施設個別施設計画策定マニュアル(平成 29 年度改定版) 平成 30 年 3 月 林野庁
- 10) 国有林野の溪畔周辺の取扱いについて（平成 24 年 7 月 12 日付 24 林国経第 18 号 林野庁国有林野部長通知）
- 11) 溪畔林整備指針（素案） 平成 30 年 3 月 林野庁

既設治山ダムを活用した流木捕捉工設計・施工ガイドライン検討委員会名簿

【検討委員】

(座長) 小野 裕 信州大学 農学部 助教
櫻井 正明 株式会社 山地防災研究所 代表取締役
畑 茂樹 中部森林管理局 計画保全部 部長

【オブザーバー】

中部森林管理局 計画保全部 治山課

【協力署及び施工地】

中部森林管理局 富山森林管理署 東又谷
中部森林管理局 中信森林管理署 シシ沢
中部森林管理局 岐阜森林管理署 角巻谷
中部森林管理局 東農森林管理署 ホコロ沢

独立基礎型流木捕捉工 設計・施工ガイドライン

参考資料

令和3年3月

林野庁
中部森林管理局

<<目 次>>

1. 安定計算の設計事例	
1. 1. 洪水時の安定計算事例	1
1. 2. 土石流時の安定計算事例	4
1. 3. 洪水時のせき上げ計算事例	9
2. 部材の構造計算事例	
2. 1. 洪水時の構造計算事例	10
2. 2. 土石流を想定した安全性照査事例	12
3. 部材損傷時の発生応力度算出事例	14
4. 既設独立基礎型流木捕捉工の使用部材事例	18

1. 安定計算の設計事例

1.1. 洪水時の安定計算事例

洪水時における流木捕捉工の安定計算内容についてシシ沢を例として示す。

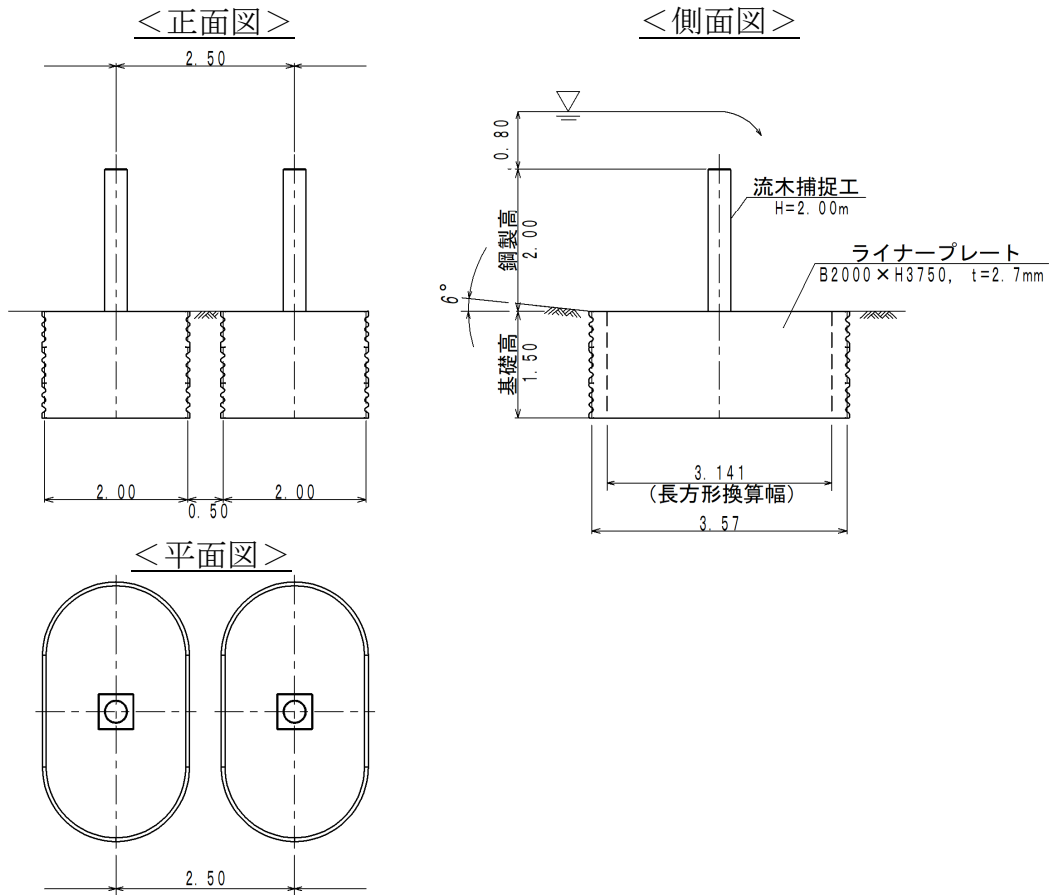


図 1.1. 流木捕捉工構造図

表 1.1. 計算条件

条件項目	条件値	備考
コンクリート単位体積重量	22.6kN/m ³	基礎中詰め
静水の単位体積重量	11.8kN/m ³	
堆砂の単位体積重量	18kN/m ³	
堆砂の内部摩擦角	30°	
鋼製スリット重量	3.73kN/基	
ライナープレート重量	4.84kN/基	
基礎地盤の摩擦係数	0.6	締まった普通土
地盤の許容支持力	300kN/m ²	礫層

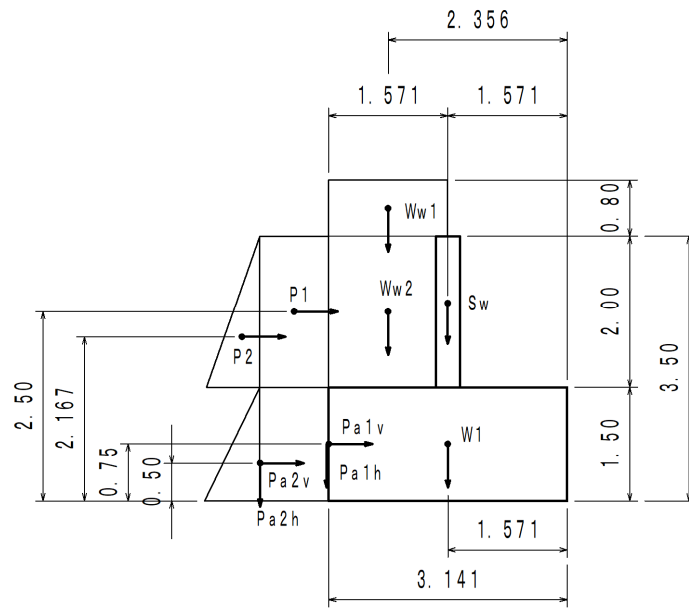


図 1.2. 荷重モデル図

表 1.2. 自重及び荷重

荷重名	記号	鉛直荷重 (kN)	水平荷重 (kN)	アーム (m)	抵抗モーメント (kN・m)	転倒モーメント (kN・m)
自重	W1	212.960		1.571	334.560	
スリット自重	Sw	3.730		1.571	5.860	
ライナープレート自重	S1	4.840		1.571	7.604	
静水圧	Ww1	29.642		2.356	69.837	
	Ww2	74.104		2.356	174.589	
	P1*		47.200	2.500		118.000
	P2*		59.000	2.167		127.853
堆砂圧	Pa1v	10.882		3.141	34.180	
	Pa2v	4.446		3.141	13.965	
	Pa1h		29.899	0.750		22.424
	Pa2h		12.216	0.500		6.108
計		340.604	148.315		640.595	274.385

※作用幅=2.5m(基礎間隔)、その他静水圧・堆砂圧の作用幅は2.0m

①転倒に対する安定

転倒に対する安定計算結果は以下の通りである。

$$d = \frac{M}{V} = \frac{640.595 - 274.385}{340.604}$$

$$= 1.075\text{m}$$

$$e = \frac{B}{2} - d = \frac{3.141}{2} - 1.075$$

$$= 0.496\text{m} \leq B/6 = 0.524 \quad \dots \text{OK}$$

②滑動に対する安定

滑動に対する安定計算結果は以下のとおりである。

$$V \cdot f > H$$

$$340.604 \times 0.6 = 204.362\text{kN} > 148.315\text{kN} \quad \dots \text{OK}$$

③基礎地盤に対する安定

基礎地盤に対する安定計算結果は以下のとおりである。

$$P_l = \frac{V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) = \frac{340.604}{3.141} \left(1 + \frac{6 \times 0.496}{3.141} \right)$$

$$= 211.18\text{kN/m}^2 \quad (2\text{m幅当り})$$

$$= 105.59\text{kN/m}^2 \quad (\text{単位幅当り}) < 300\text{kN/m}^2 \quad \dots \text{OK}$$

1.2. 土石流時の安定計算事例

近年の気象変動に伴う豪雨多発に伴い、これまで土石流に対応した治山ダムを設置していない箇所であっても、今後土石流発生が懸念される溪流が多く存在する。このため、土石流発生時の流体力を考慮した安定計算例について、「土石流・流木対策指針解説等：林野庁」（以下、土石流指針）により算出される土石流諸元および、氾濫シミュレーションより算出される土石流諸元に対する安定計算例を示す。

氾濫シミュレーションによる流動深、流速経時変化図によると、土石流流下の第1波流下時が最も流動深が深く、構造物に与えるインパクトが大きいと考えられる。

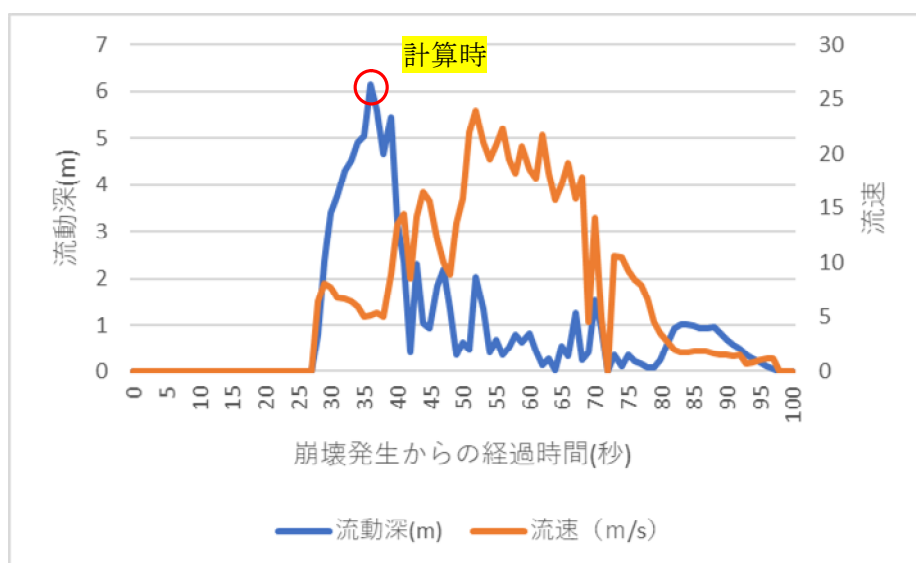


図 1.3. 氾濫シミュレーションによる流動深、流速経時変化図

このため、氾濫シミュレーションによる土石流諸元としては、流動深が最大となる部分に着目し、安定計算を行う。なお、流木捕捉工の突出部分高さが 2m であることから、水深 2m 分に作用する流体力に対し計算を行う。

表 1.3. 土石流諸元

	土石流指針	氾濫シミュレーション
渓床勾配	7°	
土石流濃度	0.3	
計画高水流量	39.94m ³ /s	—
土石流ピーク流量	79.88m ³ /s	—
土石流水深	0.82m	2.00m
土石流流速	3.06m/s	5.17m/s
土石流単位体積重量	15.91m ³ /s	
土石流流体力	12.47kN/m	86.79kN/m

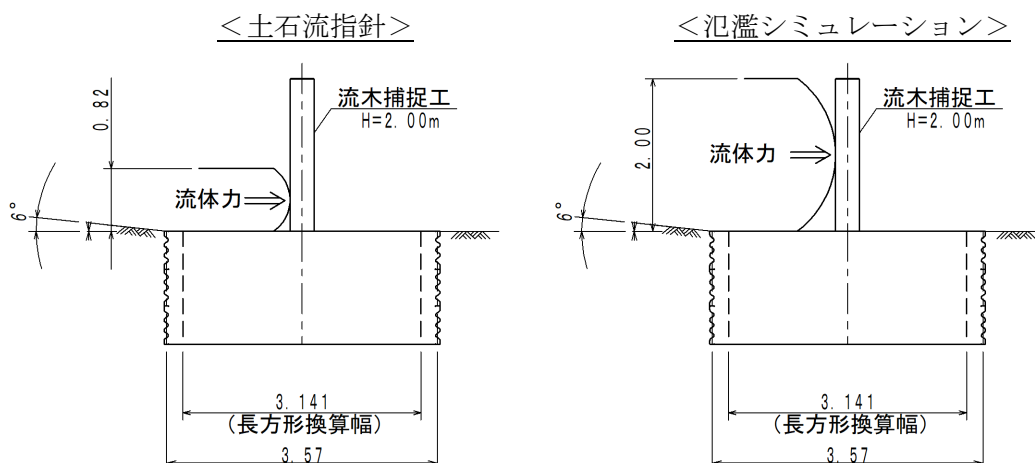


図 1.4. 流木捕捉工構造図（土石流時）

(1) 土石流指針条件に対する安定計算

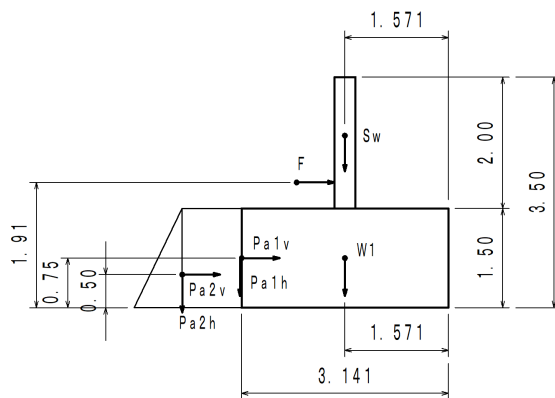


図 1.5. 荷重モデル図（土石流指針）

表 1.4. 自重及び荷重（土石流指針）

荷重名	記号	鉛直荷重 (kN)	水平荷重 (kN)	アーム (m)	抵抗モーメント (kN・m)	転倒モーメント (kN・m)
自重	W1	212.960		1.571	334.560	
スリット自重	Sw	3.730		1.571	5.860	
ラiserプレート自重	S1	4.840		1.571	7.604	
堆砂圧	Pa1v	10.882		3.141	34.180	
	Pa2v	4.446		3.141	13.965	
	Pa1h		29.899	0.750		22.424
	Pa2h		12.216	0.500		6.108
土石流流体力	F*		31.175	1.910		59.544
計		236.858	73.290		396.169	88.076

※作用幅=2.5m(基礎間隔)、その他静水圧・堆砂圧の作用幅は2.0m

①転倒に対する安定

転倒に対する安定計算結果は以下の通りである。

$$d = \frac{M}{V} = \frac{396.169 - 88.076}{236.858}$$

$$= 1.301\text{m}$$

$$e = \frac{B}{2} - d = \frac{3.141}{2} - 1.301$$

$$= 0.270\text{m} \leq B/6 = 0.524 \quad \dots \text{OK}$$

②滑動に対する安定

滑動に対する安定計算結果は以下のとおりである。

$$V \cdot f > H$$

$$236.858 \times 0.6 = 142.115\text{kN} > 73.290\text{kN} \quad \dots \text{OK}$$

③基礎地盤に対する安定

基礎地盤に対する安定計算結果は以下のとおりである。

$$P_l = \frac{V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) = \frac{236.169}{3.141} \left(1 + \frac{6 \times 0.270}{3.141} \right)$$

$$= 113.97\text{kN/m}^2 \quad (2\text{m幅当り})$$

$$= 56.985\text{kN/m}^2 \quad (\text{単位幅当り}) < 300\text{kN/m}^2 \quad \dots \text{OK}$$

(2) 氾濫シミュレーション条件に対する安定計算

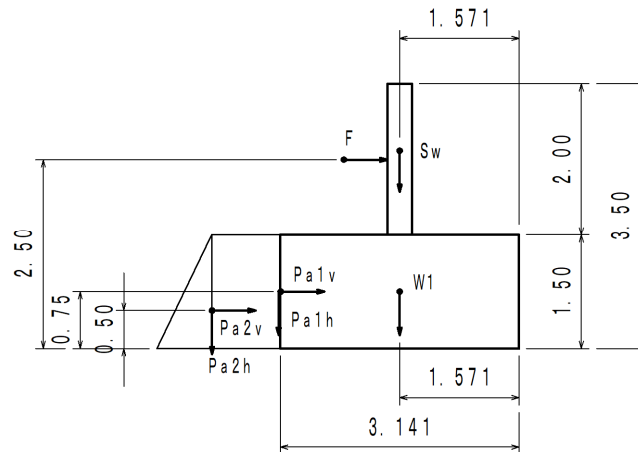


図 1.6. 荷重モデル図（氾濫シミュレーション）

表 1.5. 自重及び荷重（氾濫シミュレーション）

荷重名	記号	鉛直荷重 (kN)	水平荷重 (kN)	アーム (m)	抵抗モーメント (kN・m)	転倒モーメント (kN・m)
自重	W1	212.960		1.571	334.560	
スリット自重	Sw	3.730		1.571	5.860	
ライナープレート自重	S1	4.840		1.571	7.604	
堆砂圧	Pa1v	10.882		3.141	34.180	
	Pa2v	4.446		3.141	13.965	
	Pa1h		29.899	0.750		22.424
	Pa2h		12.216	0.500		6.108
土石流流体力	F*		86.790	2.500		216.975
計		236.858	128.905		396.169	245.507

※作用幅=2.5m(基礎間隔)、その他静水圧・堆砂圧の作用幅は2.0m

①転倒に対する安定

転倒に対する安定計算結果は以下の通りである。

$$d = \frac{M}{V} = \frac{396.169 - 245.507}{236.858}$$

$$= 0.636\text{m}$$

$$e = \frac{B}{2} - d = \frac{3.141}{2} - 0.636$$

$$= 0.935\text{m} > B/6 = 0.524 \dots \text{OUT}$$

②滑動に対する安定

滑動に対する安定計算結果は以下のとおりである。

$$V \cdot f > H$$

$$236.858 \times 0.6 = 142.115 \text{ kN} > 128.905 \text{ kN} \quad \dots \text{OK}$$

③基礎地盤に対する安定

基礎地盤に対する安定計算結果は以下のとおりである。

$$P_1, P_2 = \frac{V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) = \frac{236.169}{3.141} \left(1 \pm \frac{6 \times 0.935}{3.141} \right)$$

$$= 209.48 \text{ kN/m}^2, -59.103 \text{ (2m幅当り)}$$

$$= 104.740 \text{ kN/m}^2, -29.552 \text{ (単位幅当り)} < 300 \text{ kN/m}^2 \dots \text{OK}$$

なお、流木捕捉工基礎コンクリートに引張応力度が生じるものの、コンクリートの許容応力度を下回ることから、破壊には至らないものと判断出来る。

コンクリートの許容応力度 $0.22 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$
--

平成 21 年版 治山技術基準解説 総則・山地治山編：
(社)日本治山治水協会 P128

土石流時の安定計算の結果、一部転倒に対する安定条件を満たさないものの、基礎部の破壊には至らない事が確認された。

1.3. 洪水時のせき上げ計算事例

せき上げに関する計算例について、シシ沢を例として示す。

表 1.6. 独立基礎型流木捕捉工、流量諸元

項目	諸元
独立基礎型流木捕捉工間隔	$\lambda = 2.5\text{m}$
鋼管高さ	$H1 = 2.0\text{m}$
鋼管断面形状	$\phi 318.5\text{mm}$ $t = 10.3\text{mm}$
鋼管の純間隔	$BP = 2.19\text{m}$
計画高水流量	$39.94\text{m}^3/\text{s}$
マンニングの粗度係数	0.07
溪床勾配	$i = 12.2\%$ (7°)

ここで、平均水深 0.47m の場合の平均流速は、以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} V &= 1/n \times R^{2/3} \times i^{1/2} \\ &= 1/0.07 \times 0.457^{2/3} \times 0.122^{1/2} \\ &= 2.96\text{m/s} \end{aligned}$$

<p>V : 平均流速 (m/s) n : マンニングの粗度係数 R : 径深 (m) i : 勾配</p>

これより、せき上げ高さは、以下のとおりとなる。

$$\Delta D_{h0} = k_m \cdot \sin \theta \cdot \left(\frac{R_m}{B_P} \right)^{4/3} \cdot \frac{U_h^2}{2g}$$

<p>ΔD_{h0} : 流木止めによるせき上げ高 (m) k_m : 縦部材の断面形状による係数 (2.0) θ : 縦部材の傾斜角 (90°) R_m : 縦部材の直径 (0.3185m) B_P : 縦部材の純間隔 (2.19m) U_h : 平均流速 (2.96m/s)</p>

$$\begin{aligned} &= 2.0 \times \sin 90 \times (0.3185 / 2.19)^{4/3} \times 2.96^2 / (2 \times 9.81) \\ &= 0.07\text{m} \end{aligned}$$

以上より、せき上げを考慮した水深は、

$$\begin{aligned} \text{水深} &= 0.47\text{m} + 0.07\text{m} \\ &= 0.54\text{m} < \text{流木止高さ} = 2.0\text{m} \end{aligned}$$

となり、せき上げを考慮した水深は流木止高さを下回ることから、せき上げに対し安全であることが確認された。

2. 部材の構造計算事例

2.1. 洪水時の構造計算事例

洪水時における流木止工の構造計算例についてシシ沢を例として示す。

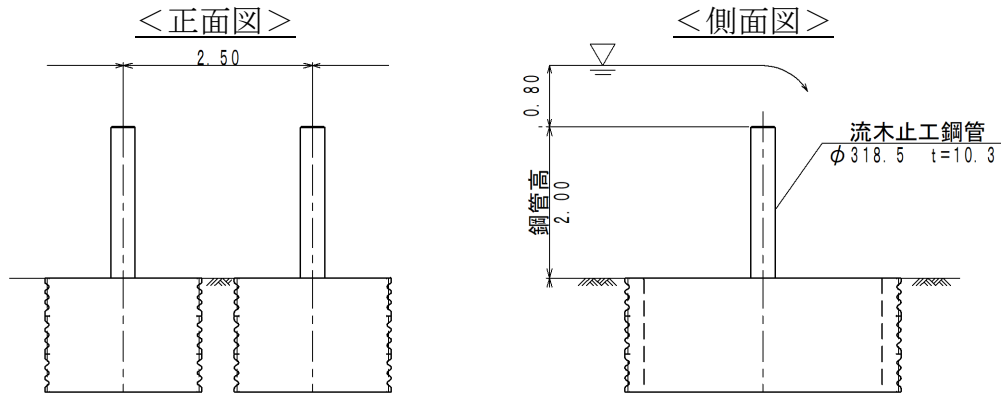


図 2.1. 独立基礎型流木捕捉工構造図

表 2.1. 独立基礎型流木捕捉工諸元

項目	諸元	備考
独立基礎型流木捕捉工間隔	$\lambda = 2.5\text{m}$	
鋼管高さ	$H1 = 2.0\text{m}$	
越流水深	$hc = 0.8\text{m}$	
流水の単位体積重量	$\rho = 11.80\text{kN/m}^3$	
鋼管断面形状	$\phi 318.5\text{mm } t = 10.3\text{mm}$	STK490
断面積	$A = 79.84\text{cm}^2$	
断面係数	$Z = 595.50\text{cm}^3$	
鋼管の許容曲げ応力度	$\sigma_{ba} = 185.00\text{N/mm}^2$	長期強度
鋼管の許容せん断応力度	$\tau_a = 105.00\text{N/mm}^2$	長期強度

①作用外力

$$\begin{aligned}
 P1 &= hc \cdot \rho \cdot \lambda \\
 &= 0.80 \times 11.80 \times 2.5 \\
 &= 23.60\text{kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= H1 \cdot \rho \cdot \lambda \\
 &= 2.0 \times 11.80 \times 2.5 \\
 &= 59.00\text{kN}
 \end{aligned}$$

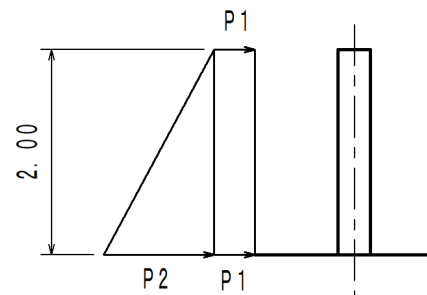


図 2.2. 作用外力モデル図

②断面力の算定

- ・最大曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 1/2 \times P1 \times H1^2 + 1/6 \times P2 \times H1^2 \\ &= 1/2 \times 23.60 \times 2.0^2 + 1/6 \times 59.00 \times 2.0^2 \\ &= 86.53 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

- ・最大せん断力

$$\begin{aligned} Q &= P1 \times H1 + 1/2 \times P2 \times H1 \\ &= 23.60 \times 2.0 + 1/2 \times 59.00 \times 2.0 \\ &= 106.20 \text{ kN} \end{aligned}$$

③応力度照査

- ・曲げ応力度照査

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M_{\max}}{Z} \leq \sigma_{ba} \\ &= \frac{86.53 \times 10^6}{595.50 \times 10^3} \\ &= 145.31 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{ba} = 185.00 \times 1.5 = 227.50 \text{ N/mm}^2 \quad \dots \text{OK} \end{aligned}$$

- ・せん断応力度照査

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{Q}{A} \leq \tau_a \\ &= \frac{106.20 \times 10^3}{79.84 \times 10^2} \\ &= 13.30 \text{ N/mm}^2 \leq \tau_a = 105.00 \times 1.5 = 157.50 \text{ N/mm}^2 \quad \dots \text{OK} \end{aligned}$$

- ・合成応力度照査

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 &\leq 1.0 \\ \frac{145.31}{227.50} + \left(\frac{13.30}{157.50} \right)^2 \\ &= 0.53 \leq 1.00 \quad \dots \text{OK} \end{aligned}$$

2.2. 土石流を想定した安全性照査事例

近年の気象変動に伴う豪雨多発に伴い、これまで土石流に対応した治山ダムを設置していない箇所であっても、今後土石流発生が懸念される溪流が多く存在する。

独立基礎型流木捕捉工は、土石流による外力を設計対象としていないが、流下する礫・流木に対する安全性照査例を示す。

表 2.2. 独立基礎型流木捕捉工諸元

項目	諸元、条件値	備考
鋼管断面形状	φ 318.5 t=10.3mm	STK490
鋼管の吸収エネルギー	U=6.9kN・m	
流水の流速	3.06m/s	
流木の形状	L=5.0m φ =0.3m	
流木の単位体積重量	8.00kN/m ³	
礫の形状	φ =0.7m	
礫の単位体積重量	25.50kN/m ³	

①流木、礫の質量

・流木の質量

$$\begin{aligned} m_r &= (\gamma_r \times \pi \times (d_r/2)^2 \times l_{\max}) / g \\ &= (8.00 \times \pi \times (0.3/2)^2 \times 5.0) / 9.8 \\ &= 0.29 \text{ kN} \end{aligned}$$

・礫の質量

$$\begin{aligned} m_i &= \pi / 6 \times d_i^3 \times \rho_g / g \\ &= \pi / 6 \times 0.7^3 \times 25.50 / 9.8 \\ &= 0.46 \text{ kN} \end{aligned}$$

m_r : 流木の質量 (kN)
 γ_r : 流木の単位体積重量 (kN/m³)
 d_r : 流木の直径 (m)
 l_{\max} : 流木長 (m)
 m_i : 礫の質量 (kN)
 d_i : 礫径 (m)
 ρ_g : 礫の単位体積重量 (kN/m³)
 E_r : 流木の衝突エネルギー (kN・m)
 E_i : 礫の衝突エネルギー (kN・m)

②流木、礫の衝突エネルギー

・流木の衝突エネルギー

$$\begin{aligned} E_r &= 1/2 \times m_r \times V^2 \\ &= 1/2 \times 0.29 \times 3.06^2 \\ &= 1.36 \text{ kN・m} \end{aligned}$$

・礫の衝突エネルギー

$$\begin{aligned} E_i &= 1/2 \times m_i \times V^2 \\ &= 1/2 \times 0.46 \times 3.06^2 \\ &= 2.15 \text{ kN・m} \end{aligned}$$

③安全性の照査

- ・ 流木の衝突に対する照査

$$\text{流木の衝突エネルギー} = 1.36 \text{ kN} \cdot \text{m} < \text{鋼管の吸収エネルギー} = 6.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・・・OK

- ・ 礫の衝突に対する照査

$$\text{礫の衝突エネルギー} = 2.15 \text{ kN} \cdot \text{m} < \text{鋼管の吸収エネルギー} = 6.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・・・OK

以上より、流木・礫の衝突に対し、独立基礎型流木捕捉工部材は安全であることが確認された。

3. 部材損傷時の発生応力度算出事例

部材損傷時の発生応力度の計算例についてシシ沢を例として示す。

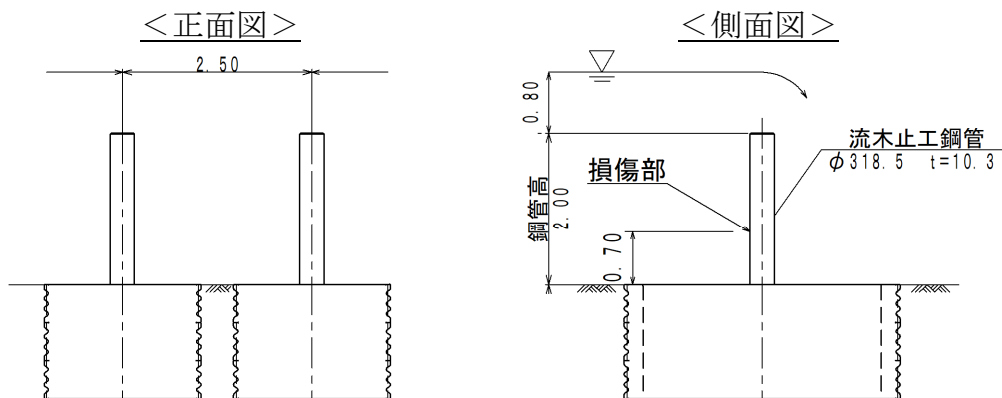


図 3.1. 独立基礎型流木捕捉工構造図

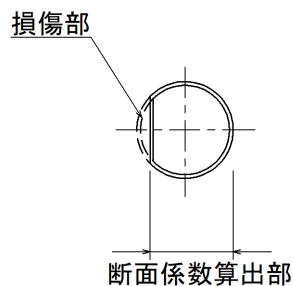


図 3.2. 鋼管損傷部断面図

表 3.1. 独立基礎型流木捕捉工諸元

項目	諸元	備考
流木捕捉工間隔	$\lambda = 2.5\text{m}$	
天端から損傷部までの高さ	$H1 = 1.3\text{m}$	
越流水深	$h_c = 0.8\text{m}$	
流水の単位体積重量	$\rho = 11.80\text{kN/m}^3$	
鋼管断面形状	$\phi 318.5\text{mm}$ $t=10.3\text{mm}$	STK490
断面積	形状より算出	
断面係数	形状より算出	
鋼管の降伏曲げ応力度	$\sigma_{ba} = 490.00\text{N/mm}^2$	
鋼管の降伏せん断応力度	$\tau_a = 282.90\text{N/mm}^2$	

①作用外力

$$\begin{aligned} P1 &= hc \cdot \rho \cdot \lambda \\ &= 0.80 \times 11.80 \times 2.5 \\ &= 23.60 \text{kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P2 &= H1 \cdot \rho \cdot \lambda \\ &= 1.3 \times 11.80 \times 2.5 \\ &= 38.35 \text{kN} \end{aligned}$$

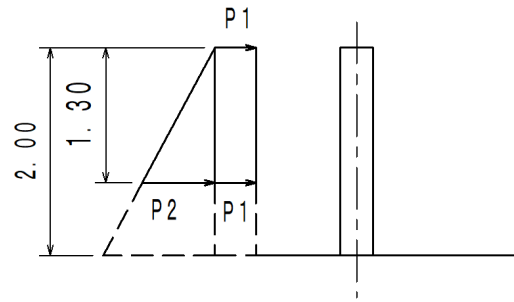


図 3.3. 作用外力モデル図

②断面力の算定

- ・最大曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 1/2 \times P1 \times H1^2 + 1/6 \times P2 \times H1^2 \\ &= 1/2 \times 23.60 \times 1.3^2 + 1/6 \times 38.35 \times 1.3^2 \\ &= 30.74 \text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

- ・最大せん断力

$$\begin{aligned} Q &= P1 \times H1 + 1/2 \times P2 \times H1 \\ &= 23.60 \times 1.3 + 1/2 \times 38.35 \times 1.3 \\ &= 55.86 \text{kN} \end{aligned}$$

③応力度照査

- ・ 曲げ応力度照査 (断面係数 50%低下時計算例)

$$\begin{aligned} \sigma b &= \frac{M_{max}}{Z} \leq \sigma ba \\ &= \frac{30.74 \times 10^6}{297.75 \times 10^3} \\ &= 103.24 \text{N/mm}^2 \leq \sigma ba = 490.00 \text{N/mm}^2 \quad \dots \text{OK} \end{aligned}$$

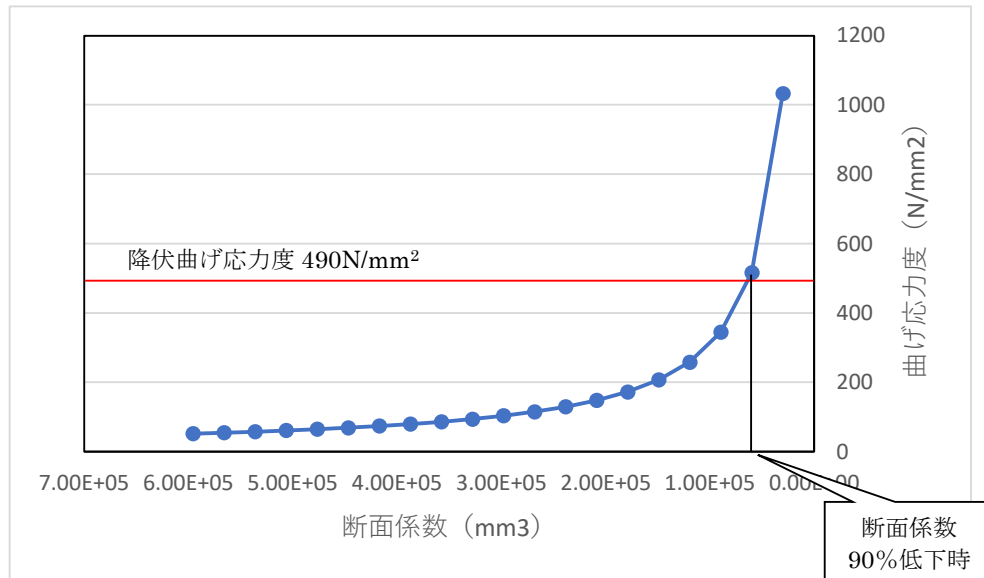


図 3. 4. 断面係数－曲げ応力度相關図

- ・せん断応力度照査 (断面積 50%低下時計算例)

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{Q}{A} \leq \tau a \\ &= \frac{55.86 \times 10^3}{39.92 \times 10^2} \\ &= 13.99 \text{N/mm}^2 \leq \tau a = 282.90 \text{N/mm}^2 \quad \dots \text{OK} \end{aligned}$$

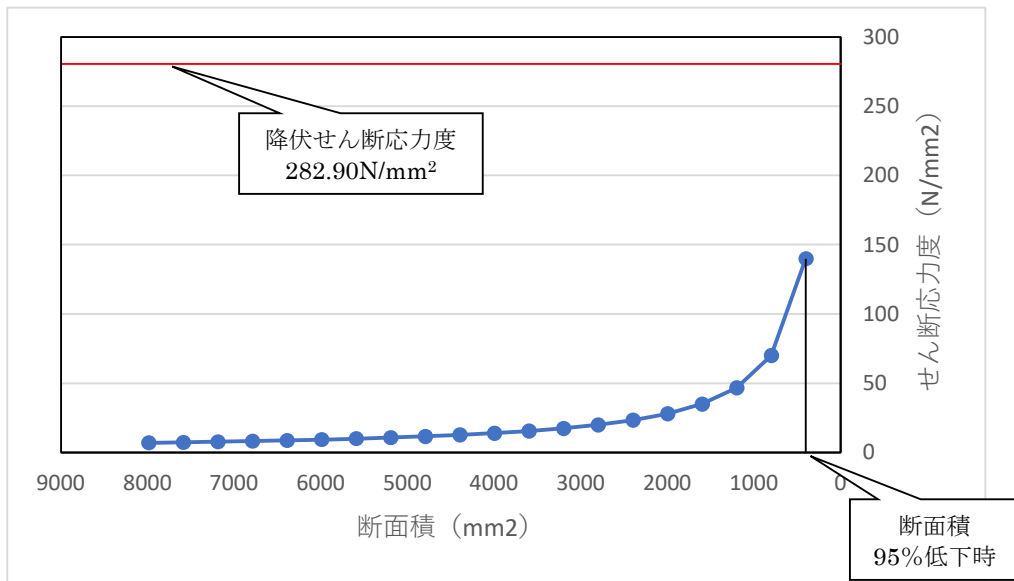


図 3.5. 断面積－せん断応力度相関図

- ・ 合成応力度照査 (50%低下時計算例)

$$\frac{\sigma b}{\sigma ba} + \left(\frac{\tau}{\tau a}\right)^2 \leq 1.0$$

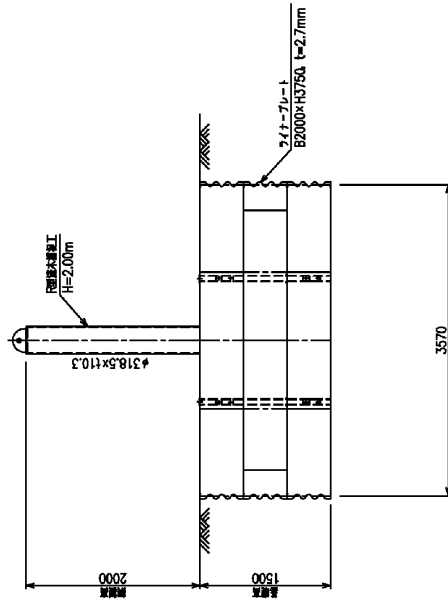
$$\frac{103.24}{490.00} + \left(\frac{13.99}{282.90}\right)^2$$

$$= 0.21 \leq 1.00 \quad \dots \text{OK}$$

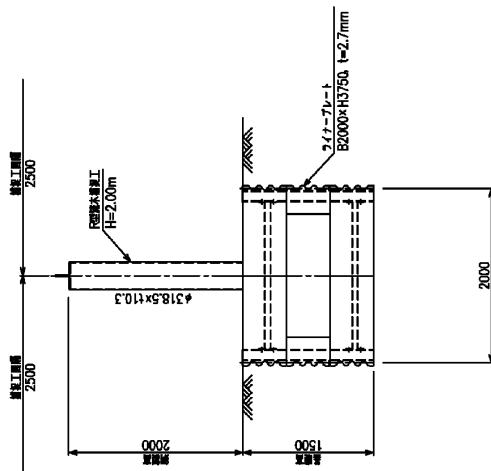
4. 既設独立基礎型流木捕捉工の使用部材事例

既設の独立基礎型流木捕捉工に用いられた資材等について、図 4.1 および表 4.1 に事例として示す。

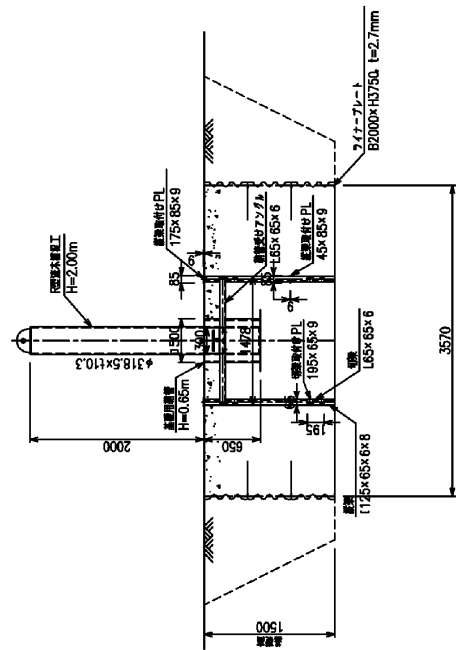
側面図



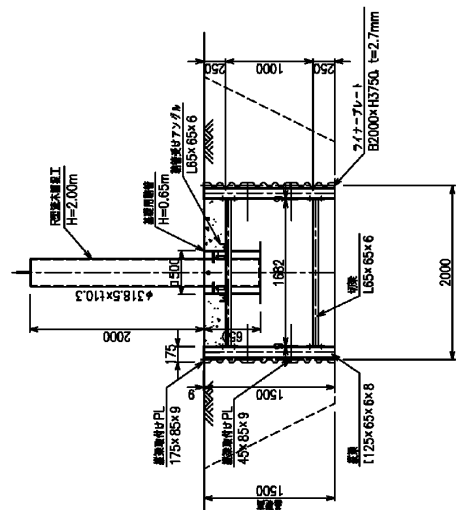
正面図



B-B矢視



A-A矢視



平面図

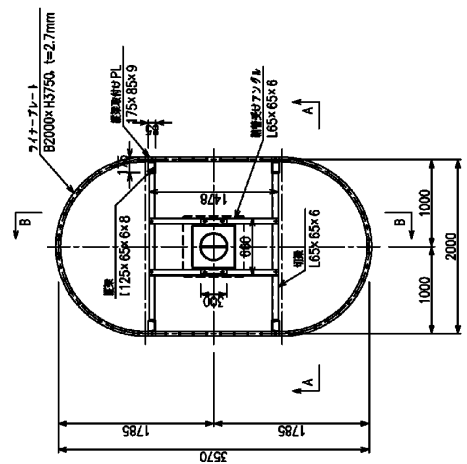


図4.1. 既設独立基礎型流木捕捉工の使用部材例(1)

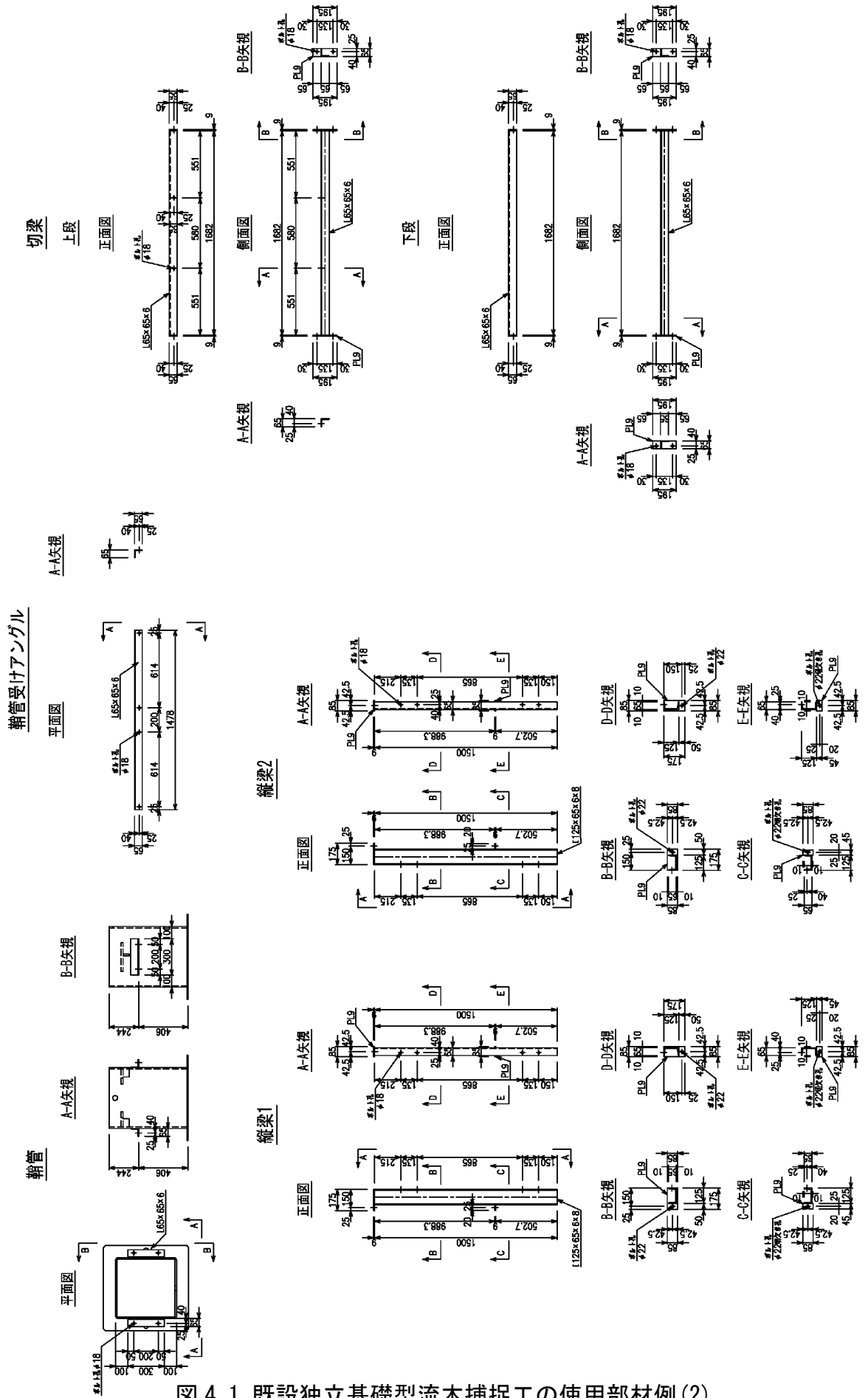


図 4. 1. 既設独立基礎型流木捕捉工の使用部材例 (2)

表4.1. 既設独立基礎型流木捕捉工の使用部材規格例

部 材	材 質	種 別	寸法 (mm)	数量	質量(kg)
鋼 管 材					
①柱用鋼管					
柱	STK490	鋼管	φ 318.5×10.3×2,622	1	205.3
キャッププレート	SM490A	プレート	φ 297.9×16	1	8.8
吊りプレート	〃	〃	PL-16 (150×270)	1	3.9
方向保持材	〃	〃	32×16×100	2	0.8
ベースプレート	〃	〃	φ 318.5×9	1	5.6
計					224.4
②基礎用鋼管					
柱	STKR400又は BCR295	角形鋼管	□500×12×641	1	115.8
間隔保持材	SM490A	プレート	PL-16 (121×235)	2	5.1
方向保持材	〃	〃	50×16×66	2	0.8
ベースプレート	〃	〃	700×700×9	1	34.4
鞘管部固定アングル	SS400	形鋼	L65×65×6	2	3.5
計					159.6
合計					384.0
基礎部鋼材					
③縦梁					
[材	SS400	縦梁1,2	125×65×6×8 (L=1500)	4	80.4
PL	SM400	端部プレート	85×9 (L=175)	4	4.2
PL	SM400	中央部プレート	45×9(L=85)	4	1.1
BN	4.6		M16(L=40)	8	1.2
④切梁					
L	SS400	切梁	65×65×6(L=1682)	4	39.8
PL	SM400	端部プレート	65×9(L=195)	8	7.2
BN	4.6		M16(L=40)	16	2.4
鞘管受けアングル					
L	SS400	鞘管受け材	65×65×6(L=1478)	2	17.5
BN	4.6		M16(L=40)	8	1.2
合計					155.0
アンカー					
コンクリート	単位体積重量 $\gamma_c=22.6\text{KN/m}^3$ 、設計基準強度 $F_c=18\text{Nmm}^2$				
充填用砂					