

省力型木製残存型枠工法の 開発と施工について

向山 正純

四国地方整備局 四国山地砂防事務所 重信川砂防出張所 (〒792-0203 愛媛県東温市横河原)

砂防工事の間伐材の有効利用において、大量の間伐材利用が期待できるのは、砂防堰堤への木製残存型枠としての活用である。ところが、従来の製品は使用部材が多く施工手間が煩雑であり、また腐朽後の修復が困難なため、将来にわたる景観維持が不可能等の問題があった。これらの問題を解決すべく、間伐材の供給元である愛媛県森林組合連合会と砂防事業者の四国山地砂防事務所、施工業者である株式会社二神組の三者で協力し、約1年かけて細部にわたり検討した改良工法を用いた試験施工を行ったので紹介する。

キーワード 木製残存型枠、間伐材、有効利用、砂防堰堤

1. はじめに

四国山地砂防事務所管内である愛媛県東温市の重信川支川表川において、平成21～22年度に重信川本川への土砂流出軽減を図るため滑ヶ谷堰堤、障子ヶ谷堰堤を施工した。

本工事にて積極的な間伐材利用促進の取り組みの一つとして、間伐材を利用した木製残存型枠の施工を予定したが、従来品は使用部材が多く施工手間が煩雑であり、また劣化による破損の場合修理が困難なため、将来にわたる景観維持が困難であることから、これらの問題の解決を図った改良工法を用いて試験施工を行った。

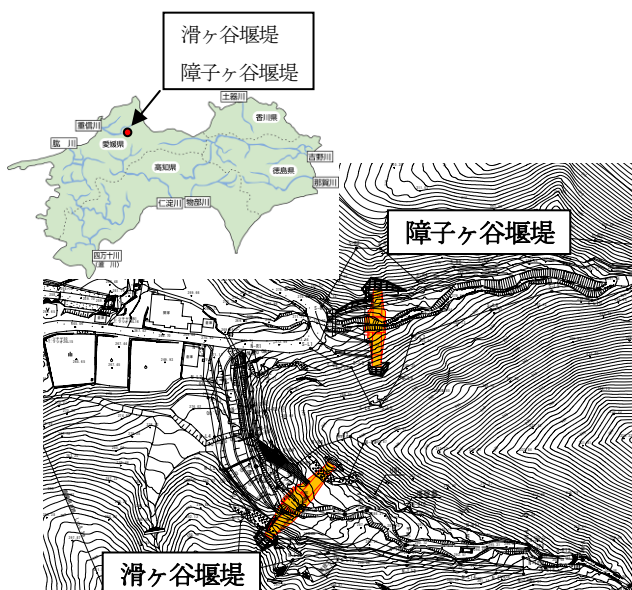


図-1 平面図

(1)堰堤諸元

障子ヶ谷堰堤

堤 高：6.5m、堤 長：26.4m、堤体積：413m³

〔木製残存型枠：正面 46m²〕
背面 61m²〕



図-2 障子ヶ谷堰堤

2. 間伐材の利用について

(1)間伐の必要性

四国内の人工林の割合は全国トップクラスの大きさにも関わらず、高齢・過疎による林業労働力の減少、また林業不振により放置されている人工林が非常に多い。

都道府県	森林面積	人工林面積	国土面積	人工林率
36 徳島県	312,340	192,177	414,569	62%
37 香川県	87,859	27,074	187,647	31%
38 愛媛県	401,147	246,536	567,738	61%
39 高知県	599,180	392,145	710,501	65%
四 国	1,400,525	857,932	1,880,455	61%
全 国	25,096,987	10,346,673	37,288,700	41%

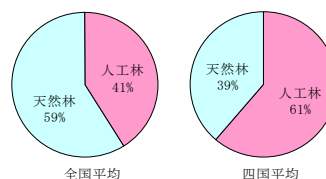


図-3 都道府県別人口林率

その結果、人工造林地において密生し、生育の悪い立木が増えており、風倒や枯死、倒木の増加により流木災害の危険性が増大、土壌流出による土砂生産量の増加、崩壊の危険性が大きくなっている。



図-4 立木の状況写真

(2) 間伐材の有効利用について

以上のことから間伐の促進が不可欠であるが、副次的に発生した間伐材は、再利用方法が確立されていなく、採算性が悪いために森林内への放置や焼却処分を行っているのが現状である。また、林業全体の採算性が悪いために、放置林等が増加している状態となっており、流木災害や土砂災害の被害拡大が懸念されている。

そのため、間伐材を積極的に利用することで採算性を向上し、間伐を促進させることにより健全な森林を取り戻す必要がある。

3. 従来工法の概要

(1) 従来工法の作業手順

従来工法の作業手順は、①アンカー筋設置、②セパレータ設置、③セパレータ固定、④木製型枠設置、⑤タイ材設置、⑥足場設置となる。また、セパレータを設置する20cmごとに②～④を繰り返すこととなる。(図-5)

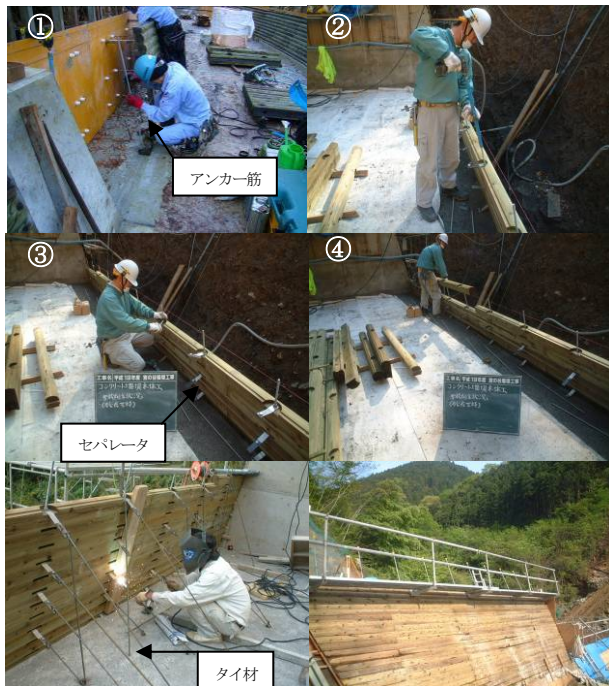


図-5 従来工法施工状況写真

(2) 従来工法の問題点

従来工法は、(1)で示したように部材数が多く、施工手順が煩雑な上、タイ材が多く、これが支障となりコンクリート打設時の作業性に劣る。また、劣化・腐食による修復が困難ため将来にわたる景観の維持が困難という問題がある。

4. 改良工法の概要検討

(1) 改良工法の解消に向けて

改良工法では、従来工法で挙げた問題点を解消すべく以下の点に着目して検討を行った。

- ・ 施工手順の簡素化
(省力化に向けた取り組み)
- ・ 使用材料の単一化
- ・ 加工手間の簡素化

(2) 検討結果

改良工法を検討した結果、図-6の構造で施工を実施することとした。大きな改良点としては、H鋼を立て、そこに間伐材を落とし込む工法としたことにある。

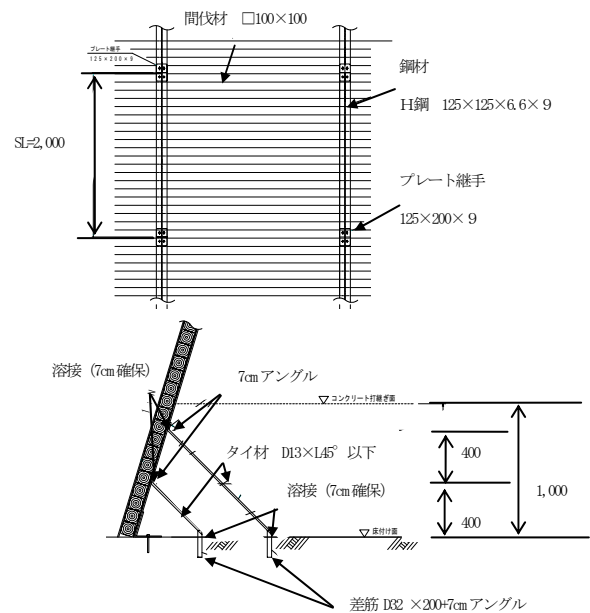


図-6 改良工法構造図

a) 施工手順の簡素化

従来工法では、間伐材にアンカー筋を通すとともにセパレータで接続する必要があったが、改良工法ではH鋼を立て込み、そこに間伐材を落とし込み、目地材で固定するのみとした。

b) 使用材料の単一化

従来工法の主要な部材は、間伐材の外にアンカー筋、セパレータ、鉄筋、タイ材等様々な材料を必要としていたが、改良工法では間伐材、H鋼、H鋼の継手、浮上防

止材、タイ材となり、部材数が大幅に減らすことができた。

c) 加工手間の簡素化

間伐材自体の加工もH鋼にスライドさせ、落とし込む構造にしたことから、中通し筋の設置が不要となった。

(3) 改良工法の作業手順

改良工法での型枠設置は、①H鋼の設置、②落とし込みによる型枠設置、③目地材の設置、④浮上防止材による固定、⑤タイ材の溶接となる。



図-7 改良工法施工状況写真

(4) 応力計算

今回検討した省力型残存型枠では、従来工法に比べタイ材を少なく、中通し筋を設置しなくしたこともあり、溶接長及びH鋼の最適スパンについて検討した。

a) タイ材の省力化に伴う溶接長

コンクリート打設高 (h_0) 1.0mにおける設計溶接長を以下により計算する。

$$\text{鋼材耐力 } F = 245N/mm^2$$

溶接継目の短期許容応力度

$$p = \frac{0.9 \times F}{1.5 \times \sqrt{3}} = 127.3N/mm^2$$

のど厚 $a = 3.5mm \times 0.7 = 2.45mm$

Co : $\gamma_c = 24kN/m^3$ 最下段溶接高 : $h_1 = 0.4m$

$$\text{溶接長 } L = \frac{\gamma_c \times (h_0 - h_1) \times \sec 45^\circ}{p \times a} + 2a = 70mm$$

2m分の荷重を受け、溶接長70mmのタイ材が2本必要。

b) H鋼スパン検証

$$\text{側圧 } P = 2.4 \times 10^{-2} \times H = 0.024N/mm^2$$

間伐材の幅 ($b:100mm$) 高さ ($h:100mm$) より

$$w = P \times h = 2.4N/mm^2$$

曲げ応力度 (σ_1) が曲げ許容応力度 (σ_L) より大きくなければならない。

$$\text{曲げ応力度 } \sigma_1 = \frac{w \times L^2}{8} \times y \div \frac{b \times h^3}{12}$$

$$\text{曲げ許容応力度 } \sigma_L = \frac{2 \times F}{3}$$

日本農林規格機械等級区分より $F = 24.0N/mm^2$

この時、 $L = 2.0m, 2.5m, 3.0m$ 全て曲げ許容応力度より小さくなる。

$$\sigma_{2.0} = 6.33, \sigma_{2.5} = 10.15, \sigma_{3.0} = 14.88N/mm^2$$

たわみ量は、日本農林規格機械等級区分にてヤング率が最も小さい値を適用する。

$$v_L = \frac{5 \times w \times L^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 2.4 \times L^4}{384 \times 3900 \times I} \text{ より}$$

$$v_{2.0} = 11.88, v_{2.5} = 30.59, v_{3.0} = 65.69mm$$

以上より、今回、たわみの許容範囲を上流及び下流側の両面施工を行うことから砂防堰堤の出来高管理基準(案)で規定している3cmの半分として1.5cm以内とし、最適スパンは2mが妥当とした。

5. 従来工法と改良工法との比較

(1) 比較アンケート

従来技術と改良工法において、実際に本施工に関わった滑ヶ谷堰堤群工事(滑ヶ谷堰堤・障子ヶ谷堰堤)、平成22年度おそふえ谷堰堤工事の工事関係者に対してアンケートを実施し、施工のしやすさ、施工の早さ、品質、出来映え、安全性についてそれぞれ従来技術に比べ5:かなりよい、4:よい、3:かわらず、2:悪い、1:かなり悪いの5段階で行った。

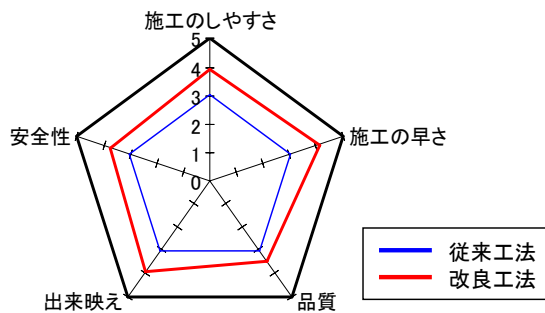


図-8 従来工法と改良工法比較結果

今回の改良で施工性等のみならず品質等の種々様々な点で改良できたと思われる。

これは、使用部材が少なくなったために、作業の効率化が出来、堤体内からの作業が可能になったことで安全性も高まったためと考えられる。

(2) 効果の詳細

今回の試験施工に伴う従来技術との比較を行うと以下の効果を得ることができた。

経済性：従来の工法と比べ、必要部材や溶接箇所が少ないため、従来工法が約25千円に対して改良工法は、約18千円となり、約3割のコスト縮減を図ることができた。

品質：ボルト締めや溶接作業が格段に少なくなるため、ボルトの締め忘れや溶接のミス等の確認が容易であり高品質が図れる。また、タイ材が少ないため、コンクリートの充填が従来工法に比べ容易に出来る。



図-9 従来工法との比較写真 (タイ材比較)

安全性：従来工法では、転落防止用に足場を設置する必要があった。しかし、改良工法では、H鋼を先行して設置し、H鋼に転落防止用に横断材を設置することで転落用防止柵と兼用することで足場の設置が必要なくなり、全ての作業を堤体内から行えるようになった。また、タイ材が従来工法に比べ、格段と少なくすることができたため、足下の危険性も少なくなり、安全性がかなり向上した。



図-10 従来工法との比較写真 (間伐材設置施工時)

施工のしやすさ：タイ材が少ないため、コンクリートの充填が行いやすくまた、ボルト締めや溶接箇所が格段に少ない。さらに、木材にボルトに通すこともないため、少人数での施工が可能となった。これにより、従来工法に対して約3割の作業時間を短縮して施工を行うことが出来るようになった。



図-11 従来工法との比較図 (コンクリート打設時)

景観：従来工法では、中通し筋で木製残存型枠を固定していたため、修繕は不可能であったが、改良工法では、H鋼に落とし込んでいるのみであり、新しく取り替えが出来、景観を保持することが出来る。

6. 現在の取り組み

現在、更なるコスト縮減を目指すため、改良を行って試験施工を実施しているので紹介する。

(1) 部材厚の決定について

試験施工を行った間伐材は、堰板としての密着性を高めるため、 $\square 10.5\text{cm}$ の角材をノミ切り加工したもの (図-12 左) を使用している。

そのため、木材自体に加工費等の経費がかさんでおり、材料費のコストダウンを考え、間伐材の角材で一般流通している $\square 9\text{cm}$ (図-12 右) の間伐材を使用できないか検討を行った。

一般流通している角材では、次に口径が小さい部材は 6cm となり、これは曲げ応力が許容応力度を超えるため、適用できなかった。

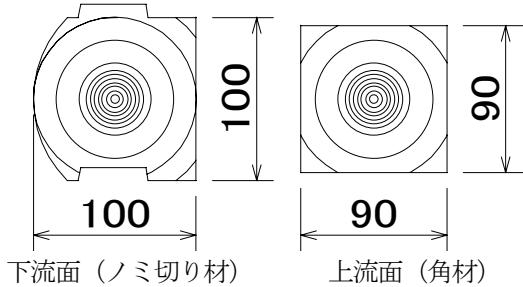


図-12 使用間伐材の断面

側圧 $P = 2.4 \times 10^{-2} \times H = 0.024N/mm^2$

間伐材の幅 ($b: 90mm$) 高さ ($h: 90mm$) より

$$w = P \times h = 2.16N/mm^2$$

曲げ応力度 (σ_1) が曲げ許容応力度 (σ_L) より大きくなければならない。

$$\text{曲げ応力度 } \sigma_1 = \frac{w \times L^2}{8} \times y \div \frac{b \times h^3}{12}$$

$$\text{曲げ許容応力度 } \sigma_L = \frac{2 \times F}{3}$$

日本農林規格機械等級区分より $F = 24.0N/mm^2$

この時、 $L = 2.0m, 2.5m$ 全て曲げ許容応力度より小さくなる。

$$\sigma_{2.0} = 7.81, \sigma_{2.5} = 12.54N/mm^2$$

たわみ量は、日本農林規格機械等級区分にてヤング率が最も小さい値を適用する。

$$v_L = \frac{5 \times w \times L^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 2.4 \times L^4}{384 \times 3900 \times I} \text{ より}$$

$$v_{2.0} = 16.30, v_{2.5} = 41.97mm$$

ここで、全面側（下流側）においては景観を考慮し、表面を円形加工した部材を考えているため、前回実施時のたわみを考慮して出来高管理基準（案）を満足するか検討する。

たわみ ($\square 10cm$) $v_{2.0} = 11.88mm$

本施工を含めると

$$v_{2.0}(10cm) + v_{2.0}(9cm) = 11.88 + 16.30 = 28.18mm < 30mm$$

(2) 構造について

a) 施工上の工夫

現在施工している改良工法では、ノミ切り加工を行わないことから1打設高さに対する木製残存型枠の一体性が損なわれる可能性があり、部材間からコンクリートノロが流出する懸念があった。そのため、施工時に浮上防止材で固定した後、背面側から2本のバタ板で一体化を図ることとした。

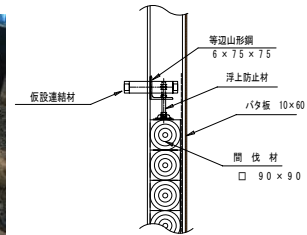


図-13 バタ板設置状況

b) 構造図

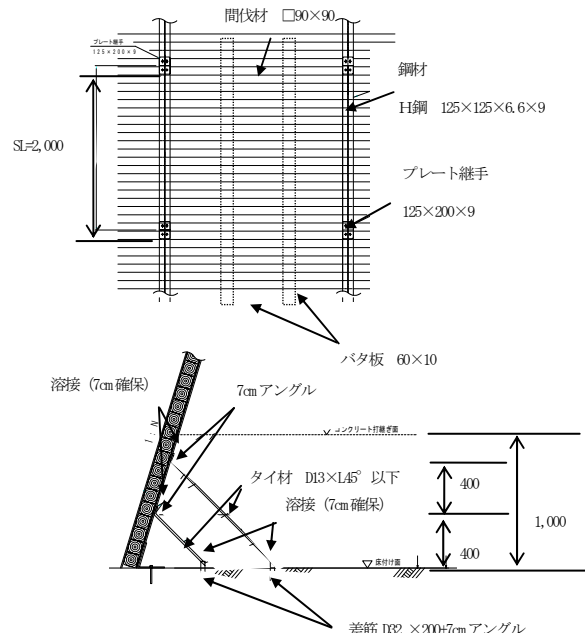


図-14 改良工法構造図

(3) 効果やメリット

a) 更なるコスト削減

今回実施した、小口径の間伐材を用いた工法では、作業工程上は背面からバタ板を設置する工程が増えたものの、工程上の大きな変更はないため、作業時間に変動は与えなく、コスト面に関しては、防腐剤を注入していない間伐材の使用でノミ切り加工した $\square 10cm$ 部材が約1.4

千円に対し□9cm部材は約10千円となり、約3割のコスト削減が図れると思われる。

b) 需要の少ない間伐材の利用

ノミ切り加工した間伐材は、□10.5cmの角材を加工して10cmの部材厚としていた。この□10.5cmの部材は、本工事にて使用している部材は、等級が低いものを対象に使用しているが、一般的には家屋等の建築の柱部材に利用できることから需要が高く、使用される頻度が高い。

しかし、今回使用している□9cmの部材は、束材等に使用している部材であり、現状としては米松等が流通しており、国産材の需要は少ない。このように、一般的に需要が少ない部材を使用するため、間伐材の一層の有効利用が図られたと考えられる。

(4)結果

改良を行った結果、検討時点で懸念されていたコンクリートノロについては、間伐材の部材間からでてくることはなかった。これは、部材が木材といった柔軟性のある材料であるため、浮上防止材で圧かける上に目地材やバタ板によって固定をすることで部材間が圧着し、合板の堰板に近い状態にてコンクリートを打ち込むことが出来たためと考えられる。



図-15 実施状況写真

7. たわみ量の計算値と実績値の比較

今回施工した木製残存型枠で計算値と実績値のたわみ量を比較した結果図-16の結果となった。計算値と比較して□10cm部材にて施工した場合は、平均で約35%、最大で約51%の変位、□9cmの部材では、平均約27%、最大で49%のたわみとなっている。これは、計算値は個々の部材に対しての評価を行っているが、今回の工法で施工する際に浮上防止材等を設置することによって一体化することができたため、実際のたわみ量は計算値に比べ小さくすることが出来たと考えられる。

また、たわみの最大値について着目すると、1打設高さが約1mに対して約3段に分けて計測（図-17）すると、中段が最もたわみが大きい結果となった。木材のため材料による各々の特性があるにしても、中段に側圧が最もかかると考えられる。

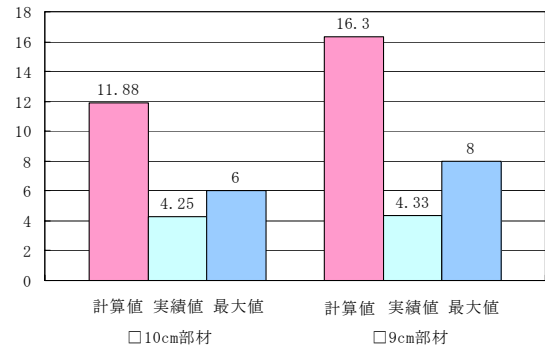


図-16 たわみ量の計算値と実績値の比較

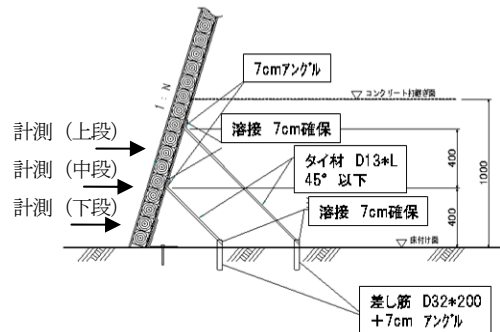


図-17 たわみ量の計測点

8. おわりに

今回試験的に施工した省力型木製残存型枠では、省力化の効果の他、施工の安全性向上や将来にわたる景観の保持を図ることが出来る工法となった。

今後は、更なるコストの削減を目指し、材料費の大半を占める鋼材費を落とす工夫や実施施工した堰堤の経過観察を実施する。

このような工夫と検証を続け、砂防事業による間伐材活用の一層の促進を図っていきたい。

謝辞：本論文作成時に資料提供等のご協力いただいた(株)二神組、愛媛県森林組合 木材加工センター、(株)福田組及び現在更なる改良を試験施工していただいております渡部工業(株)に謝意を表します。

参考文献

- 1) 全国森林連合会 HP : <http://www.zenmori.org/kanbatsu/>
- 2) 林野庁 HP : http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/sinrin_ritu.html
- 3) 建設省告示第 1524 号「木材の基準強度 F_c, F_b 及び F_s を定める件」, 平成 19 年 11 月 27 日改正
- 4) 農水省告示第 1083 号「日本農林規格機械区分」, 平成 19 年 8 月 29 日
- 5) 土木学会 : コンクリート標準示方書【施工編】
- 6) 平成 21-22 年度 滑ヶ谷堰堤群工事 完成図書
- 7) 国土交通省 : 新技術活用現場紹介 工事名 平成 21-22 年度 滑ヶ谷堰堤群工事
- 8) 平成 22-23 年度 小谷堰堤外 1 件工事 工事関係図書