

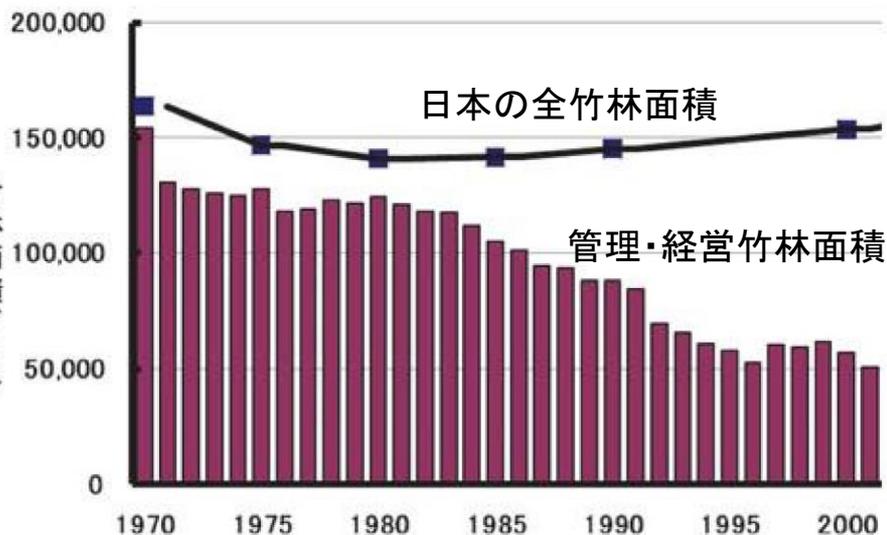
A photograph of a dense bamboo forest. The bamboo stalks are tall and thin, creating a natural archway over a path that leads into the distance. The leaves are vibrant green, and sunlight filters through the canopy, creating a dappled light effect on the path.

燻した竹を用いたバンブー補強土壁

共生機構株式会社

平成29年11月

荒廃した竹林は、土砂災害の一因にもなることから、西日本地域を中心に竹林の整備と竹材の利用が望まれている。



拡大し続ける放置竹林



その問題解決には、竹材の力学的特性を活用でき、かつ大量に使用できる擁壁構造物への活用が有効であると考え、盛土補強材としての竹材利用について発表します。

試験施工

【ブイ】



【イカダ】



【井桁擁壁】



【補強土壁】



竹材を補強材として利用することによって期待される効果

竹材を構造物の構築材料として活用



竹材を補強材として利用



大幅なコスト削減の実現



竹の利用拡大



放置された竹林の整備
山間地域での雇用創出

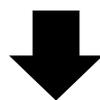
竹材を補強材として利用することによって期待される効果

大幅なコスト縮減の実現



ジオテキスタイル

燻煙熱処理した竹補強材は、
ジオテキスタイルの約半分のコストで済む



補強土壁・・・既存ジオテキ補強土壁の約80%

治山ダム・・・コンクリートダムの60～70%

土木構造物への適用にあたって

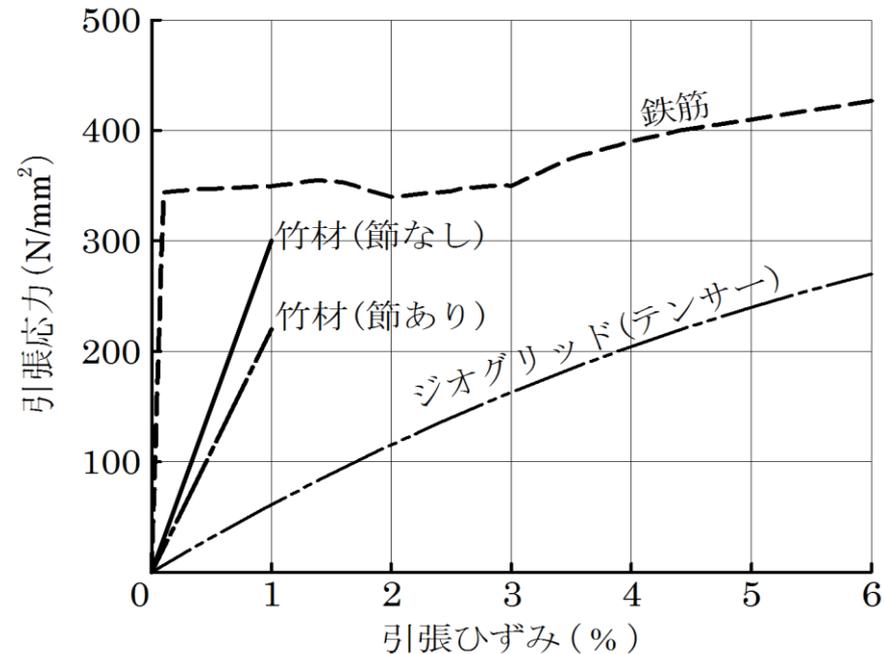
解決すべき課題

竹材を構造物の構築材料として利用するための要件

- 所定の強度
- 所定の耐用年数を満足できる
耐久性

引張強度は木材と比べて2~5倍大きく、鋳鉄なみの強さをもつことから、この強度を保ち、いかに耐久性を高めることができるかが課題。

それには、竹の三悪といわれるカビ、虫、割れを生じさせないことが、不可欠。



燻煙熱処理による解決

耐久性を向上させるための虫やカビの処理については、

- ・湿式(湯に苛性ソーダを入れて煮る)
- ・乾式(燻す、または火であぶる)
- ・薬剤注入する

などの方法がある。

燻煙熱処理による解決

竹材は燻煙熱処理を行うことで、物性が向上するだけでなく、生物材料の宿命といわれる菌類・虫・割れに対しても著しく改善できる。

古来、竹は燻すあるいは焙煎することで、強度と耐久性を向上させる効果のあることが知られている。

それを実証する代表例が、古くから使われている「竹釘」である。

平成25年に60年に一度の大遷宮が行われた出雲大社。その本殿の屋根工事にも金属だけでなく「竹釘」が使われている。

鉄だと60年間の風雨によって簡単に錆びてしまうが、竹釘は60年の葺き替え時期がきても傷みがない。



檜皮が葺かれた御本殿大屋根



檜皮を固定するために使用される竹釘

出典：林野庁WEBサイト

(http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/25hakusyo_h/all/a05.html)

燻煙熱処理による解決

燻煙熱処理は、菌類・虫害による劣化が著しく改善でき、
大量に処理する事が可能。

群馬県前橋市あるいは香川県高松市にある燻煙熱処理装置の
処理能力：約60～100m³（長さ3m φ100mm で2,000～3,000本）



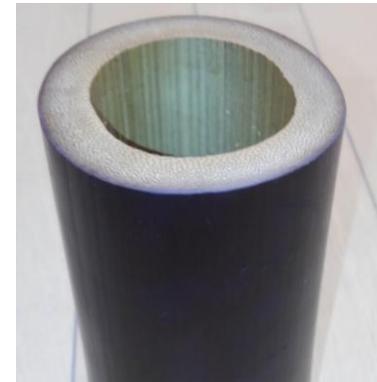
高松市にある燻煙熱処理装置

燻煙熱処理した竹

燻煙熱処理前



燻煙熱処理後



燻し竹を活用した事例

2005年に開催された愛・地球博の長久手日本館竹ケージの建設時に行われた各種処理方法の耐久性暴露試験結果によると、燻煙処理が最も効果的であったことが報告されている。



竹ケージ



竹トラス

竹の生産と燻煙熱処理加工の場所

平成29年9月時点

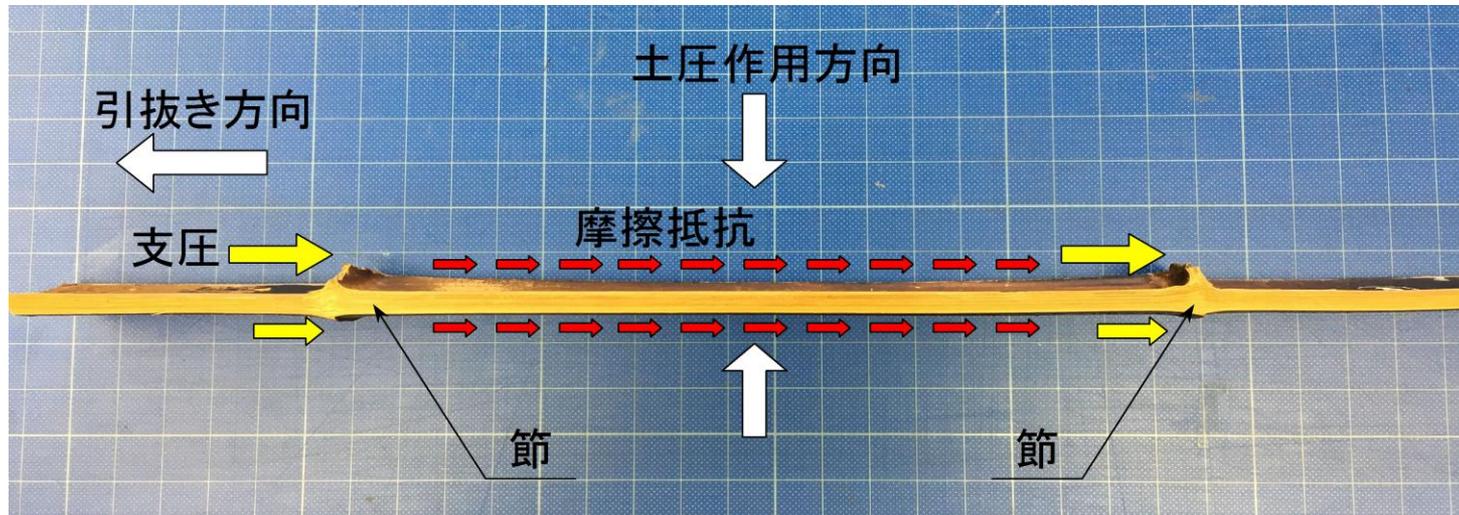
- 竹生産地
- 燻煙熱処理施設



補強材としての利用

補強材に適する理由

- 四つ割にした幅55mm以上の竹を盛土内に敷設することによって、代表的な補強土壁であるテールアルメの帯状補強材(鋼材)と同様の機能を有し、盛土全体としての安定性を高めることができる。
- 特にほぼ等間隔(30~40cm)に存在する節が、いわゆるリブの役目を果たす。これによって、大きな引抜き抵抗と良好な締固め効果が得られることになる。



引抜き抵抗の概念

竹補強材の引抜き特性

引抜き試験を実施し、竹補強材の引抜き特性を確認した。

- 試験場所：独立行政法人大阪産業技術研究所
- 試験体：幅50mmの燻した割竹
- 盛土材：豊浦標準砂($\phi=38^\circ$, $c=0.0\text{kN/m}^2$, $\gamma=1.535\text{t/m}^3$)を使用
- 試験方法：締固めた土槽内の中央に竹を設置し、上載圧($\sigma_v=30, 60, 90\text{kN/m}^2$)を載荷したのち、 1.0mm/min の定速変位制御で引抜き力を加えた。



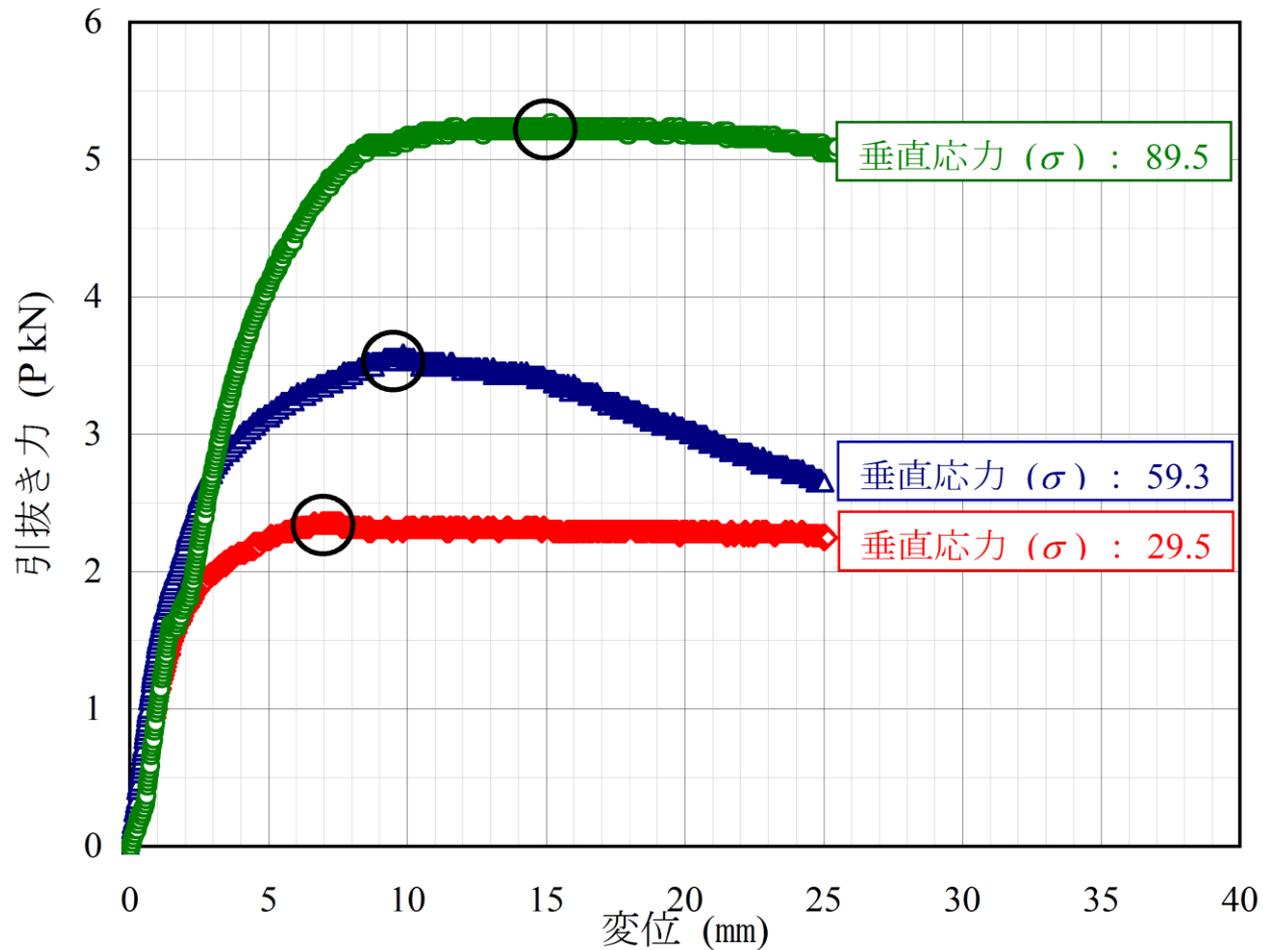
引抜き試験状況



補強材の設置状況

竹補強材の引抜き特性

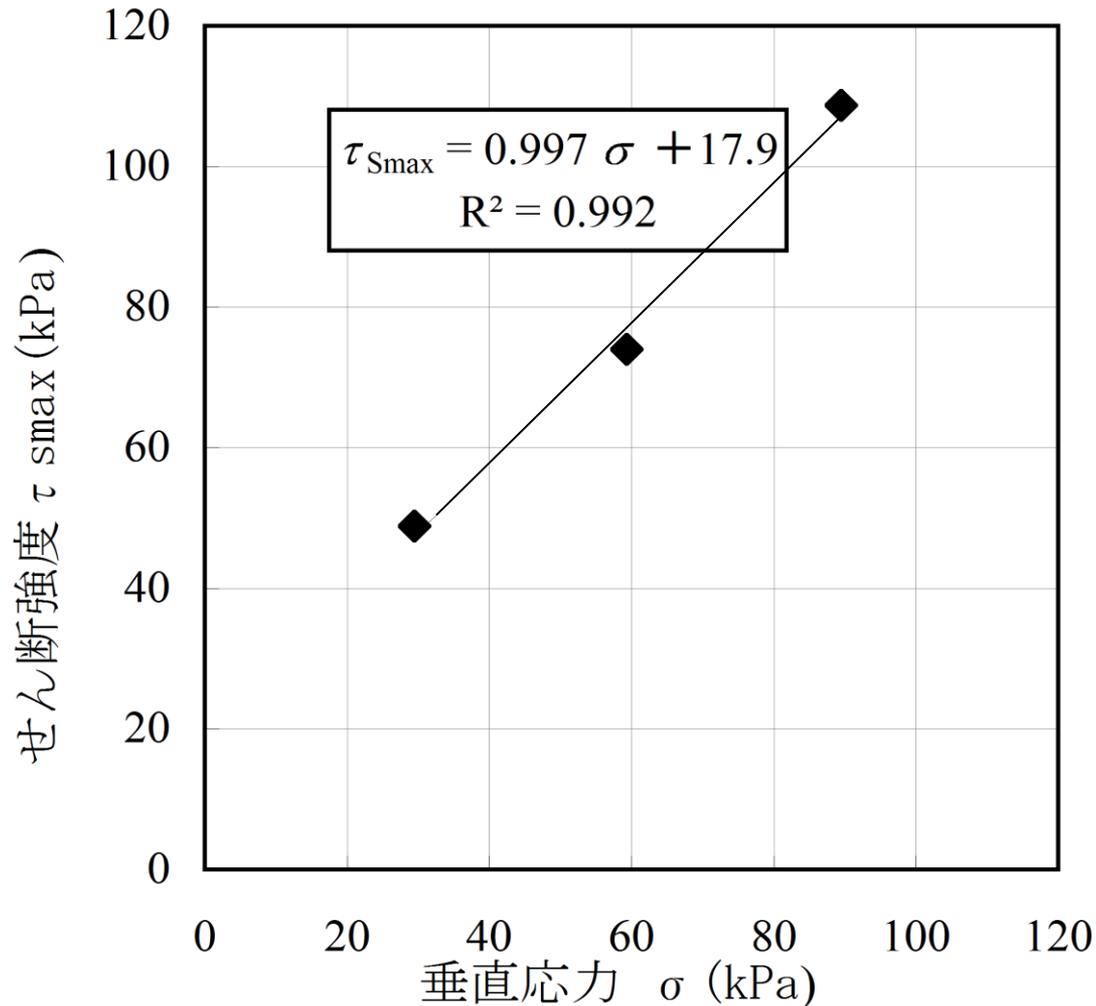
1) 引抜き力Pと引抜き変位 δ の関係



引抜き力Pと変位 δ の関係

竹補強材の引抜き特性

2) 補強材と土との上下2面における最大せん断強度



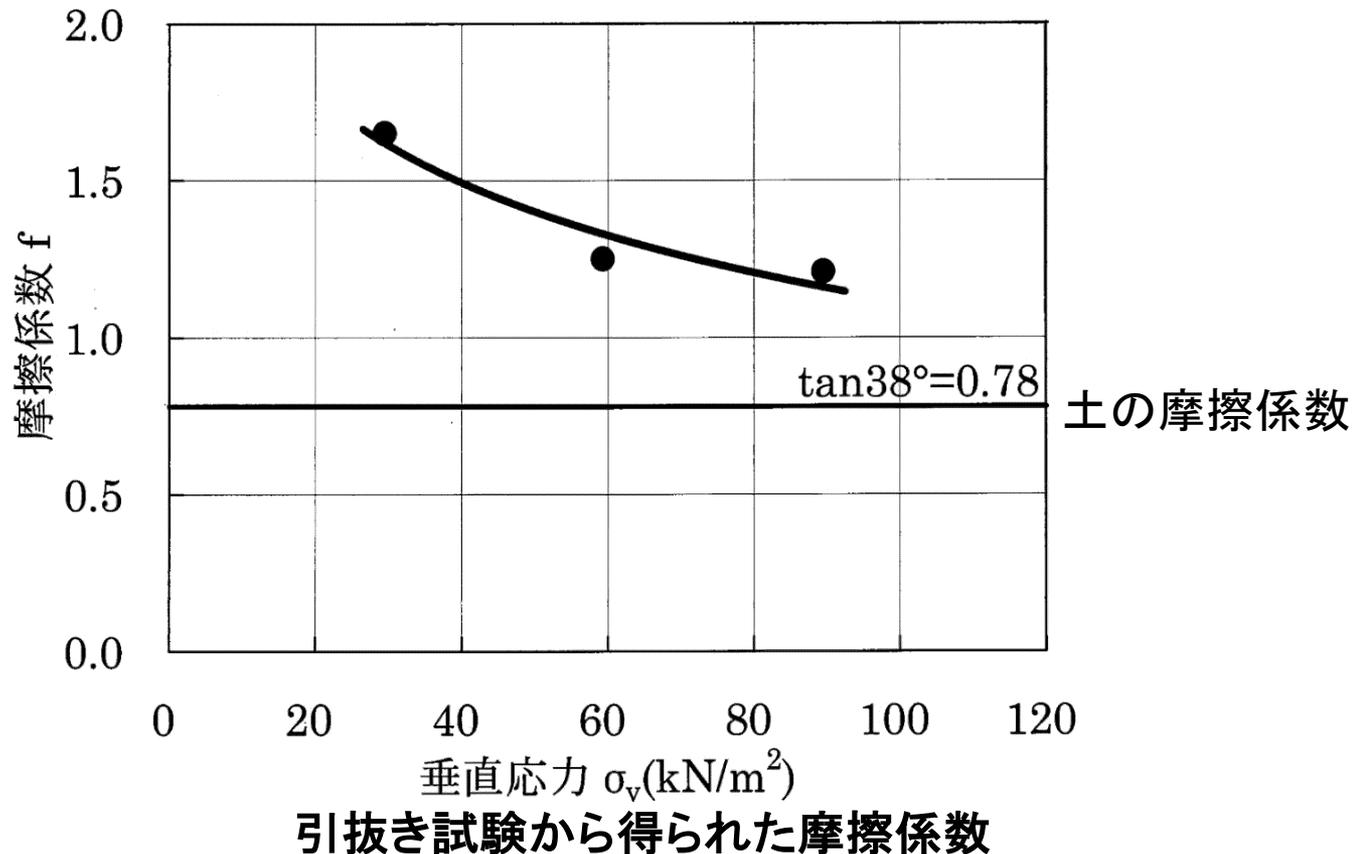
垂直応力と最大引抜き摩擦強さの関係

竹補強材の引抜き特性

3) 摩擦係数

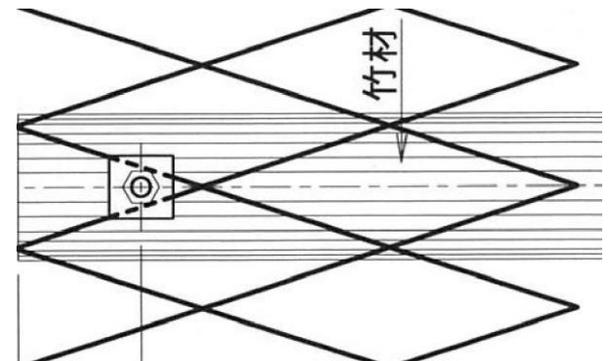
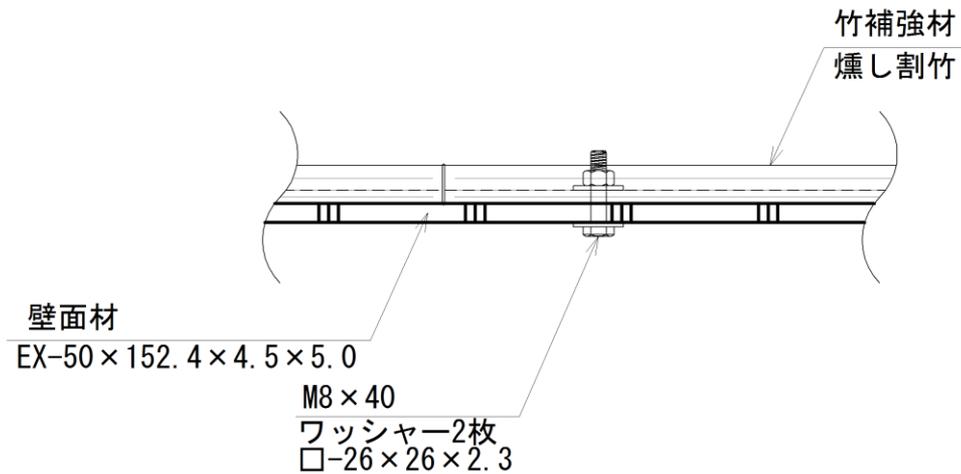
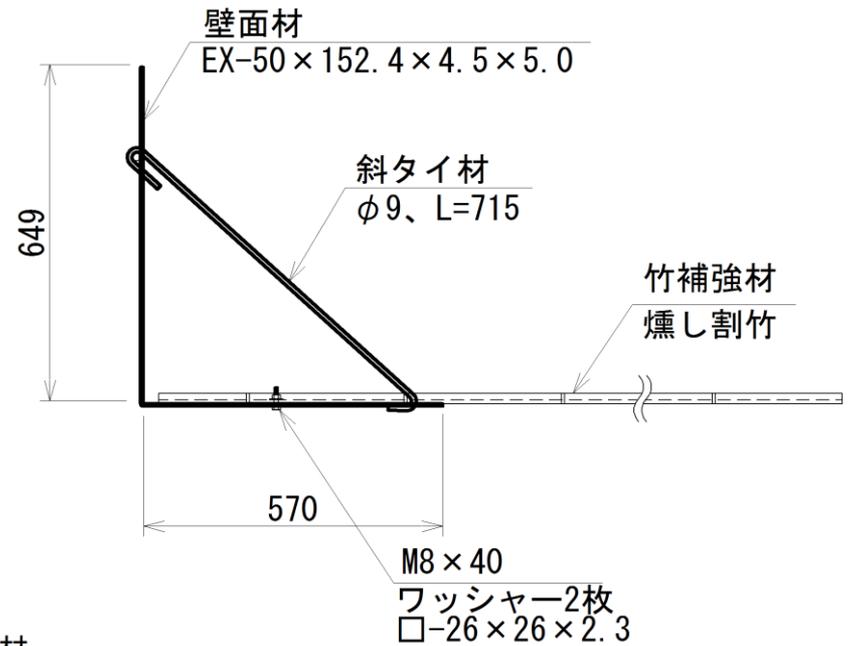
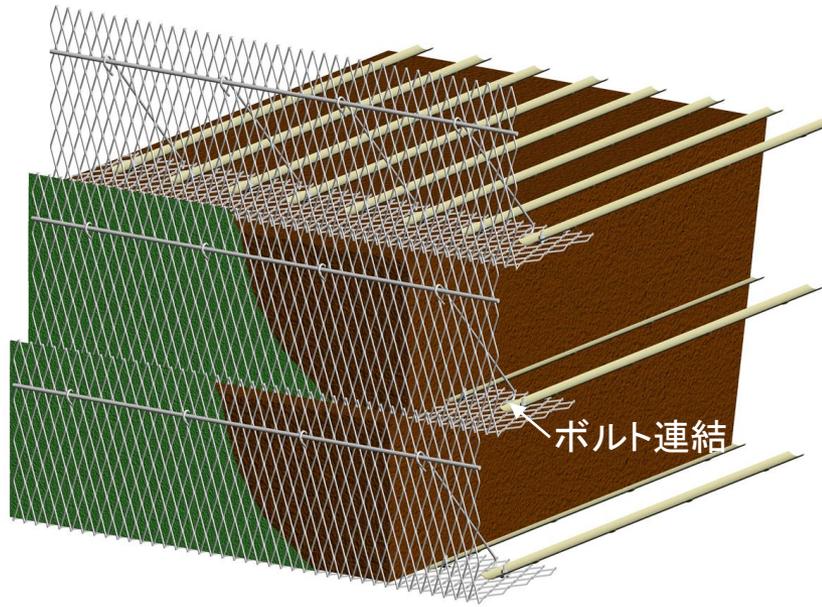
最大せん断強度から、摩擦係数 $f = \tau_{\text{max}} / \sigma_v$ を求めた。

この結果、真の摩擦係数 $f = \tan\phi$ を大きく上回ることが確認でき、補強材として十分な引抜き特性を有することが実証できた。



竹補強材連結部の強さ

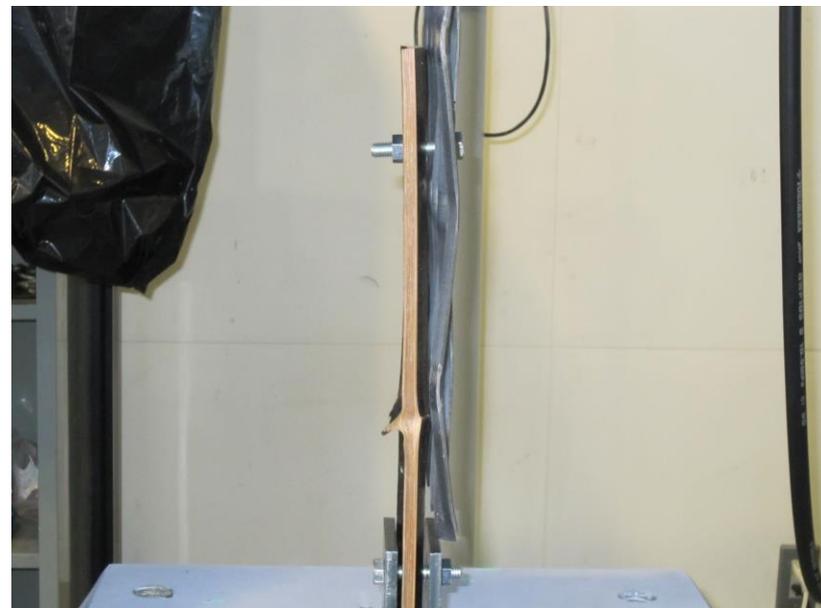
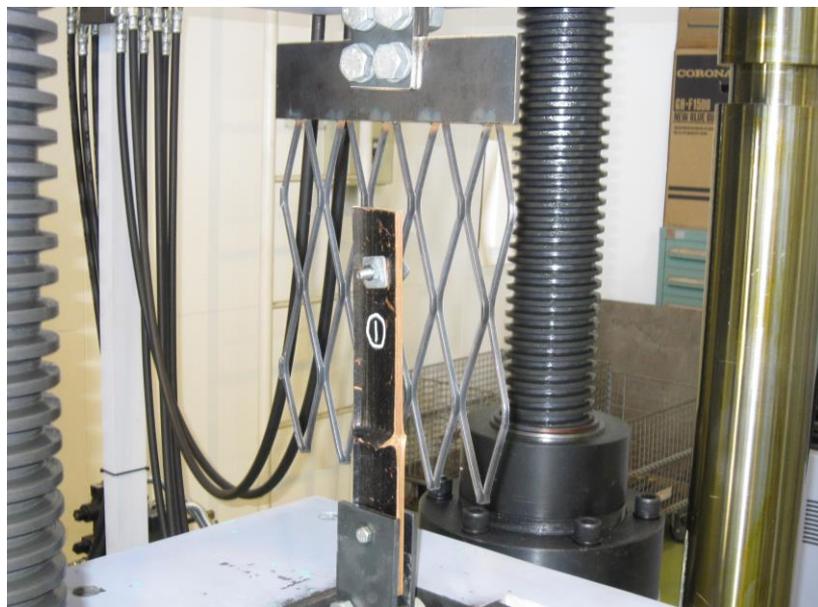
●壁面材とはボルトを使って連結



竹補強材連結部の強さ

壁面材との取付部の引張試験を実施し、連結構造に問題ないことを確認した。

- 試験場所: 奈良県産業振興総合センター
- 試験体: 燻した割竹厚さ7mm, 幅53mm(補強材としての最小値)
- 連結ボルト: M8, 座金厚さ2.3mmを2枚使用, 縁端距離50mm
- 試験方法: 万能試験機(1,000kN)を使用。引張速度10mm/分。



竹補強材連結部の強さ

10mm／分で载荷し、引張荷重 $T=7.48\text{kN}$ に達した時点で連結部が破断。
エキスパンドメタルと連結ボルトは変状なし。



竹補強材連結部の強さ

試験体3体について試験した結果

試験体	最大引張力(kN)
①厚さ7.1mm	7.48
②厚さ7.0mm	7.16
③厚さ7.0mm	7.26
平均7.0mm	平均7.30

この結果は、H=8m級の最下段に生じる壁面部(柔な壁面材のため40%*)での最大引張力 $T=6.0 \times 0.4=2.4\text{kN/本}$ に対して安全率 $7.3/2.4=3.0$ を有することになる。

*ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル第二回改訂版から

既存補強材との比較

燻煙熱処理した竹補強材はジオグリッドの約半分のコストで済む。

表-1 既存の補強材とのコスト比較

	ジオグリッド (テプサー)	鋼製補強材 (エキスパンドメタル)	バンブー補強材
種類	SR-35	50×152.4×3.2×3.2	φ 100,四つ割
幅(m)	1.0	1.0	0.07
許容引張強さ	21.6kN/m	23.1kN/m	24.5kN/本
水平敷設間隔(m)	1.0	1.0	0.25(4 本/m)
単価(円/m ²)	1,200	840	600

竹の許容引張強度 $\sigma_a=50\text{N/mm}^2$ (安全率 3 以上)

擁壁構造物への利用

1.道路等の補強土壁

バンブー補強土壁

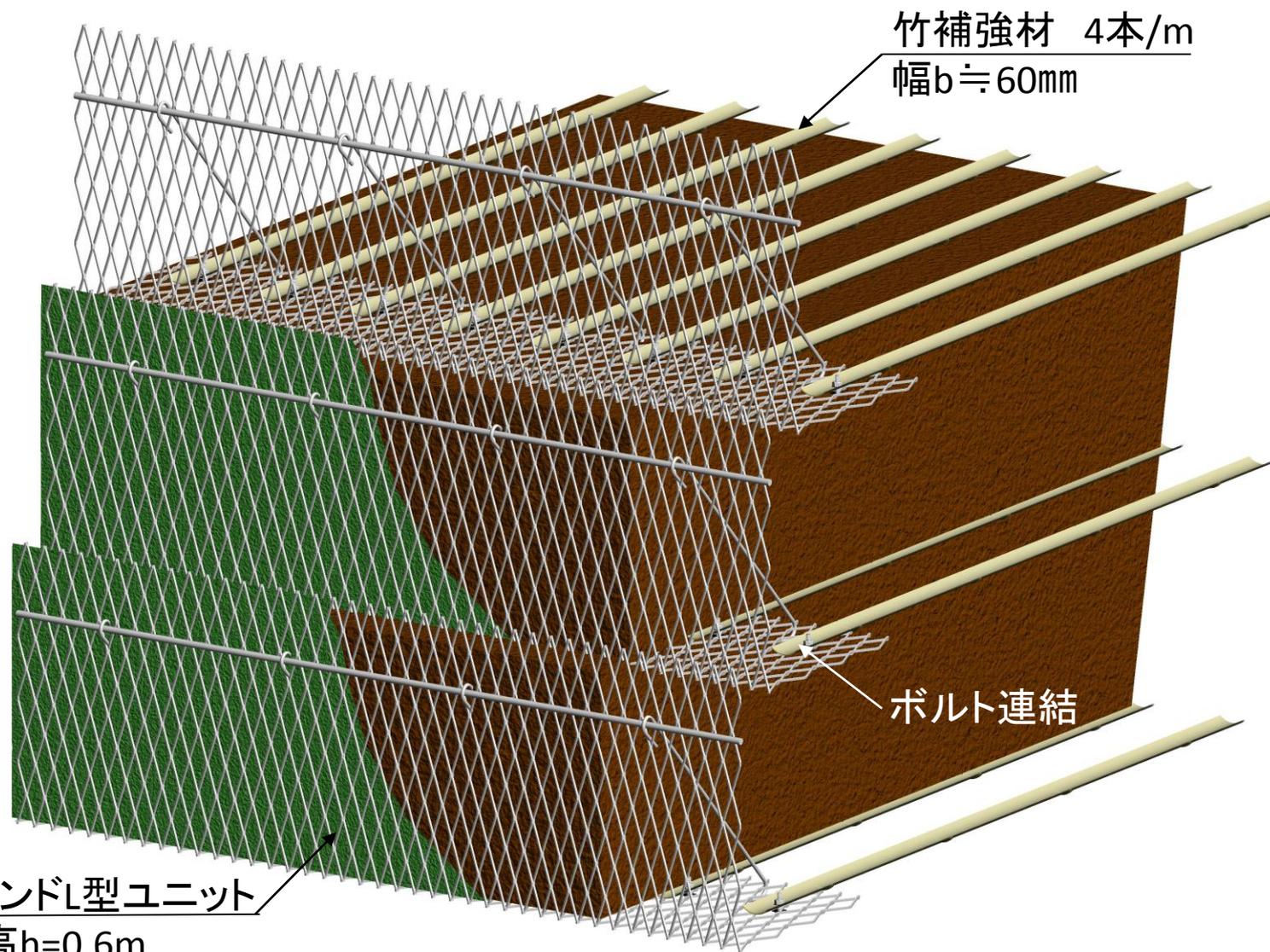
壁面材にエキスパンドメタルL型ユニット、補強材に竹材を使用。
道路の新設や拡幅、土留め構造物に適用。

2.治山ダムと落石防護擁壁

バンブー補強ダブルウォール

エキスパンドメタルの壁面材を多段の竹補強材で連結したダブルウォール。
現地発生土を中詰めした構造物であり、谷止工や落石防護擁壁に適用。

バンブー補強土壁



竹補強材 4本/m
幅 $b \approx 60\text{mm}$

ボルト連結

エキスパンドL型ユニット
ユニット高 $h=0.6\text{m}$

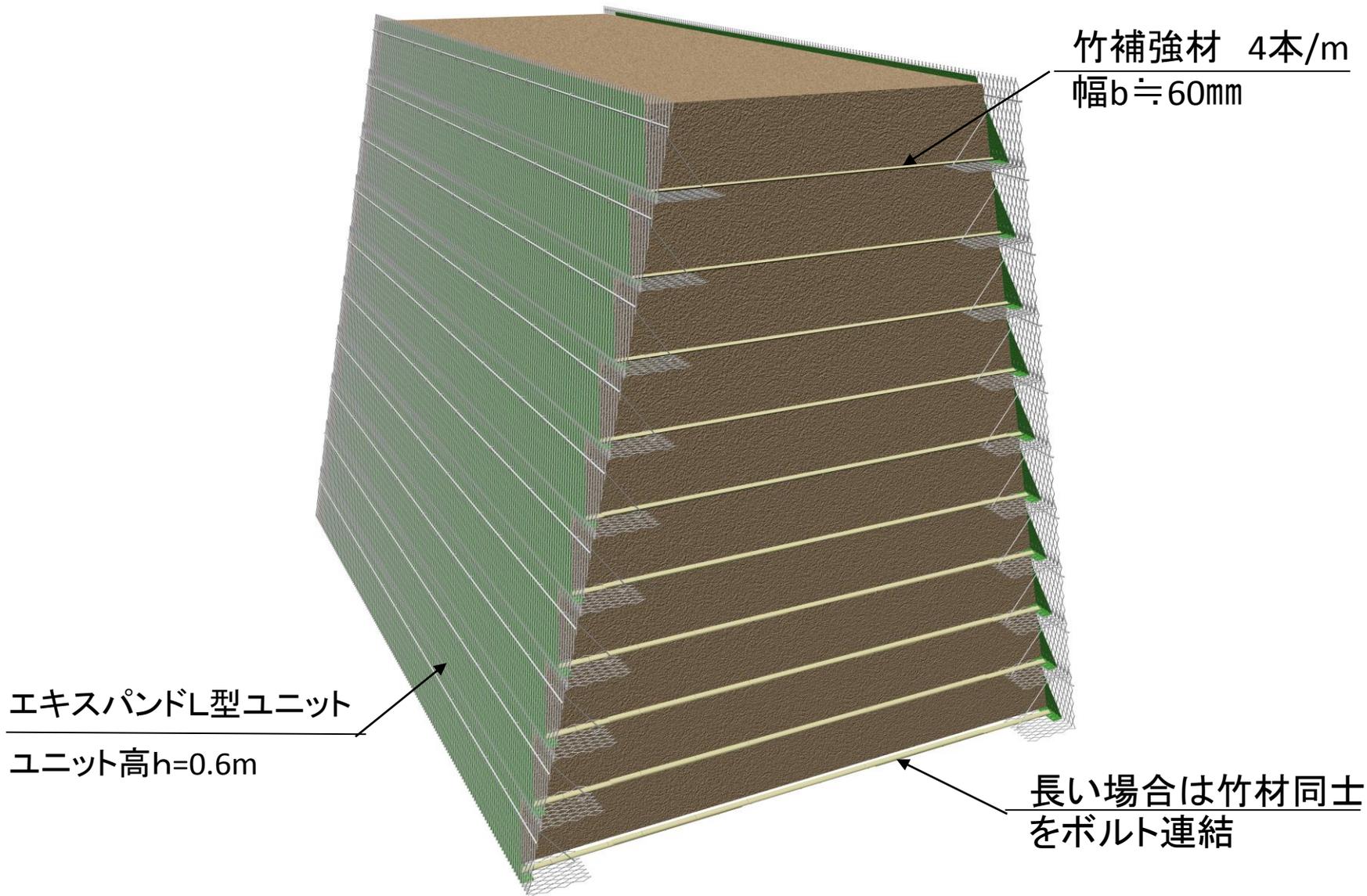
バンブー補強土壁

ジオテキ補強土壁 VS. バンブー補強土壁 壁高 H=3.0m のケース

	ジオテキ補強土壁	バンブー補強土壁
材料費(円/延長 1m)		
壁面材	21,000	19,500
補強材	12,000	6,000
施工費(円/延長 1m)		
壁面材組立て・設置	4,300	4,300
補強材設置・中詰工	7,700	6,600
合計(円/m)	45,000	36,400
壁面 1 m ² 当たり(円/m ²)	15,000(100%)	12,100(81%)

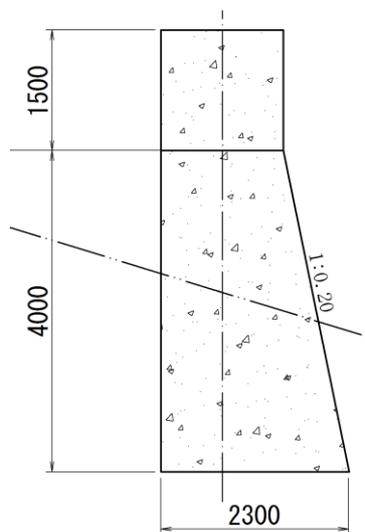
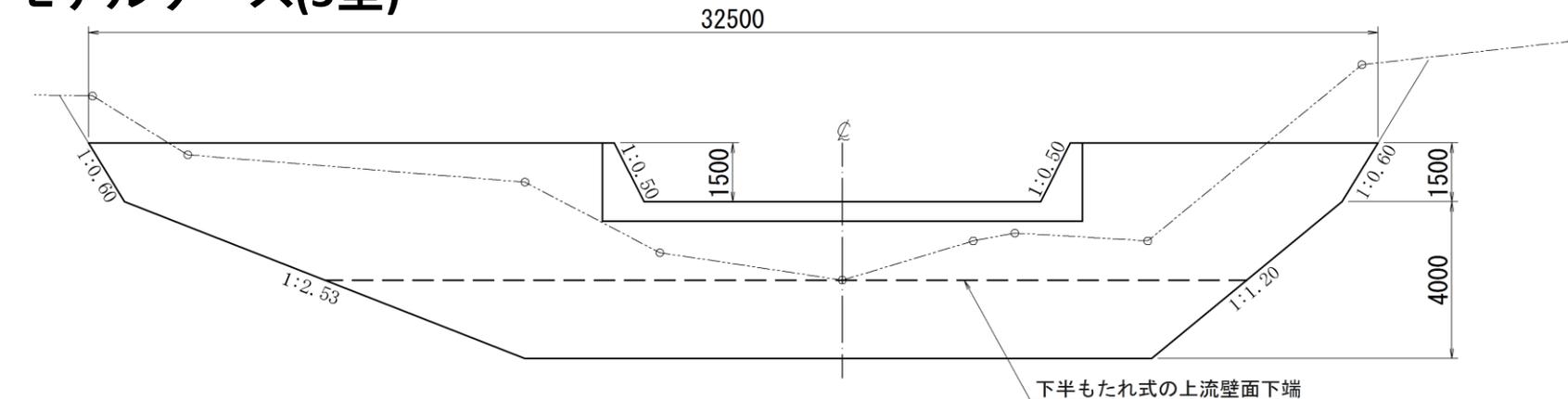
H=3.0m の壁体幅は B=2.0m として算出

バンブー補強ダブルウォール



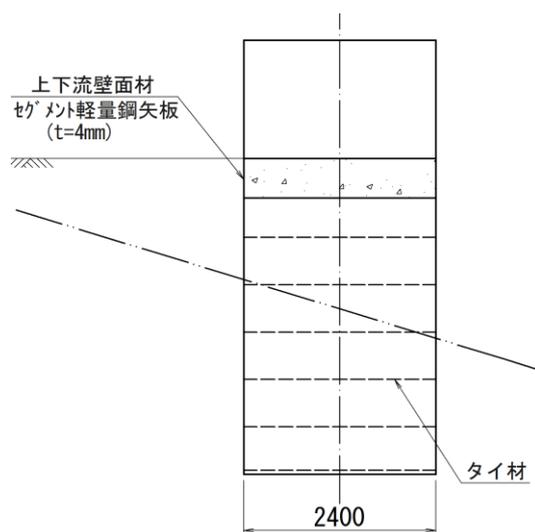
バンブー補強ダブルウォール

モデルケース(5型)



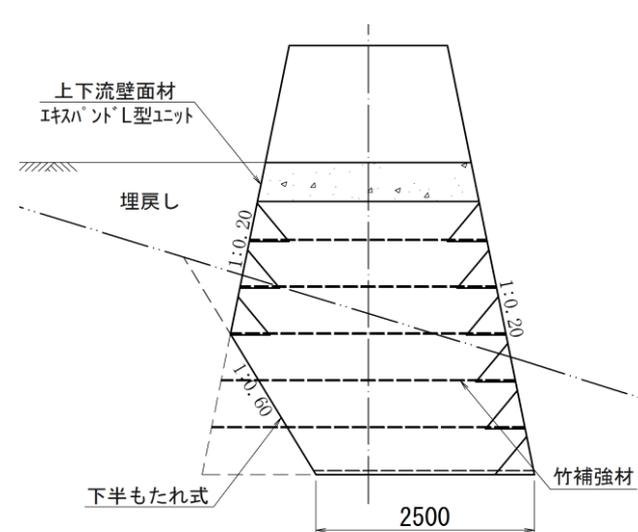
＜重力式コンクリート＞

590万円(100%)



＜軽量鋼矢板ダブルウォール＞

550万円(97%)



＜バンブー補強ダブルウォール＞

410万円(70%)→360万円(60%)

下半もたれ式とした場合

まとめ

- 竹材は燻煙熱処理を行うことで、耐久性を高めることができ、しかも大量に生産加工することが可能である。
- その燻煙熱処理した割竹は、引張強度だけでなく土中での引抜き抵抗力も大きく、しかも既存の補強材に比べて約半分のコストで済むことから、補強材に適する。
- 竹材を利用した補強土壁と谷止工は、既存工法に比べ大幅なコスト縮減が実現できる。
- これによって、竹材の利用拡大ができれば、放置竹林の整備が進むものと期待される。

参考)西日本地域における竹補強材利用の実施モデル

