

土木構造物における木材利用について

東京農工大学

石川 芳治

内容

1. なぜ土木施設に木材が利用されなくなったか → なぜ今「木材利用推進」が必要か
2. 最近の木材利用に関する動き
3. 海外における木材を用いた治山治水施設
4. 我が国における木製堰堤の例
・青森県坪毛沢 ・御岳濁沢
5. 木製堰堤の設計法
6. 腐朽を考慮した木製施設の設計法
7. ハイブリッド治山構造物の開発
8. まとめ(木材利用の考え方)

1. **なぜ土木施設に木材が利用されなくなったか**
第二次世界大戦後の木材需要の急増と供給の逼迫
→ 昭和26年森林資源総合対策協議会設立
→ 森林資源の保全、木材供給の増強
→ 木材利用の合理化(鉄・セメント製品による代替)
→ 昭和30年木材資源利用合理化方策の閣議決定
→ 昭和30年木材資源利用合理化協議会が経済審議庁に設立される。
「(社)木材資源利用合理化推進本部」設立・・・木材代替資源の普及の促進; 土木材料等の耐久化の促進(コンクリート・鉄の普及)、木材防腐の推進
→ 昭和48年解散(外材への依存)

土木において木材利用が減少した理由

1. 政策(昭和30年の閣議決定)
2. 大学教育(コンクリートの偏重)
3. 価格競争力(生コン単価約11,000円/m³)

土木技術者の考える理由

1. 耐久性が低い(腐朽する。維持管理が面倒)
2. 木材の知識が不足(コンクリート教育の偏重)
3. 設計基準が不足(コンクリートで標準化)
4. 木材利用=森林伐採=環境破壊のイメージ

→ 木材でできるものもコンクリートとなった

なぜ今「木材利用推進」が必要か



木材利用の新しい意義: 地球温暖化の防止

木材利用 → CO₂の排出減少

製造時の二酸化炭素の排出量が少ない

木材は
コンクリートの約1/7.5
鋼材の約1/330
(1m³当たり)

コンクリートから木製治山施設へ

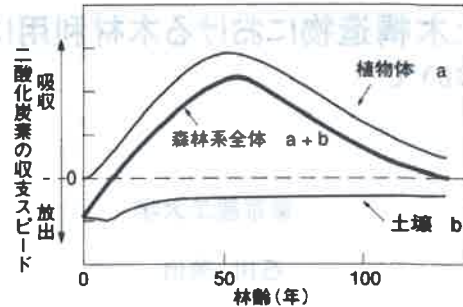


コンクリート治山えん堤
堤体84m³とすると
44.4 t-CO₂排出

木製治山えん堤
堤体84m³とすると
6.5 t-CO₂排出

CO₂を85%削減

森林の二酸化炭素吸収速度は林齢が50年前後で最大となる。→適切な時期に伐採が必要



Barnesら、1997より

健全な森林を作るために必要な間伐



間伐が遅れている森林 (1998年8月福島南部災害) 間伐が行われている森林 (林床植生が生育している)

土木材料としての木材の特徴

木材とコンクリートの許容応力度の比較 (N/mm²)

	曲げ	圧縮	引張り	せん断
木材*	5.7	4.5	3.5	0.46
木材**	8.8	6.9***	7.8	1.2
コンクリート***	6.9	5.4	—	0.4

* 建築、** 木道路橋、*** 河川砂防
*** 細長比により変化

構造物材料としての木材の特徴 (コンクリート、鋼材との比較)

	木 材	コンクリート	鋼 材
強 度	中	中	大
加工性、施工性、環境保全、景観との調和	良	中	中
耐久性	20~50年 木材保存剤で向上	約100年	50~80年

まず木材で考える

- 強度、施工性ではコンクリートと同等。
- 耐久性は木材保存剤の利用で飛躍的に向上する。(後で説明)

特に森林土木施設については

これまでコンクリートで作っていた施設を
まず、木材でできないか考える。

次のような場合を除いて

- 土石流直撃対応
- 人家等の保全対象の直近
- 大型構造物

2. 最近の木材利用に関する動き

農林水産省
森林・林業再生プラン(2009年12月)

- 木材利用拡大: 10年後の木材自給率50%以上
- 間伐材の有効利用
- 公共施設への木材利用の推進

(社)日本プロジェクト産業協議会
次世代林業システム(2010年3月)

- 国産材50%、木材100%利用
- 間伐材利用率2~3割から10割へ
- 公共工事における間伐材利用促進

公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律(2010年5月)

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会(土木学会、日本木材学会、日本森林学会)(2007年)

土木学会木材工学(特別)委員会(2009年,2012年)

治山治水利用研究小委員会

資源利用ビジョン小委員会

木橋利用研究小委員会

地中海洋利用研究小委員会

道路利用研究小委員会

土木への木材利用の拡大



近代木橋



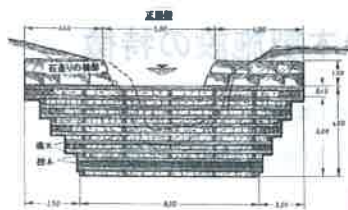
木製ガードレール



木製パイル

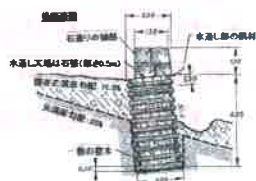
木製治山施設の普及促進

- 設計・施工・維持管理に関する技術基準
マニュアルの作成
- 腐朽に関する技術基準
腐朽度調査手法
腐朽速度予測手法
耐朽性(耐用年数)の評価
- 合理的な維持管理手法の開発
安全性の総合評価手法
補修・修繕・補強法



3. 海外における木材を用いた治山治水施設

スイスにおける1900年代初頭の木製堰堤の例、基本的な構造は現在も同じである。



木製堰堤工

溪岸・溪床の浸食防止



- スイスの木製堰堤工(左: 施工中、右: 完成)



複数の丸太を組み合わせて作られたウエッジダム (米国)



上流からの流木を捕捉するために、巨木により造られた木製施設(米国)



米国ワシントン州グリーン川における洪水災害後の右岸浸食状況:1994年6月



災害後の復旧工事

長さ約7m、直径約80cmのスギの根付き丸太の設置:1994年8月



←復旧工の完成:河岸に覆土し、ヤナギ類を挿し木して植生の回復を図る:1994年11月

竣工後4年余り経過した状態→:
河岸は植生により覆われている。
流木が堆積している。



海外の木製施設の特徴

1. 自然と人間の共生
 - 溪流・河川の生態環境の保全
2. 経費の節減
 - 地元産の材料を用いる
3. 資源の有効利用
 - 資源循環型社会の確立

4. 我が国における木製堰堤の例

青森県坪毛沢の木製堰堤

(昭和20~30年代に建設)

坪毛沢で木製堰堤が用いられた理由

- ・地質的に現地での骨材採取が困難
- ・土砂災害の被害木(ヒバ)の活用
- ・運搬道路が発達しておらず、資材の運搬が困難であった。
- ・小規模な治山ダム

次のような場合でない
土石流直撃対応
人家等の保全対象の直近
大型構造物(高さ10m以上)



青森県坪毛沢No.1堰堤(1958年竣工:ヒバ)
有効高2.5m、堤長18m、天端幅1.3m



青森県坪毛沢No.4堰堤(1954年竣工、ヒバ)、
有効高3.0m、堤長14.7m



青森県坪毛沢
No.6堰堤(19
53年竣工、ヒ
バ)

↑有効高2.2m、堤長7.5m

水叩部の木材の切断断面:
現存する木材はほとんど
腐朽していない。→



静岡県流沢No.1堰堤(1959-60年施工:モミ・ツ
ガ、1975年および1990-91年補修:米マツ、米
ツガ)、有効高8.0m、堤長24m、天端幅5m

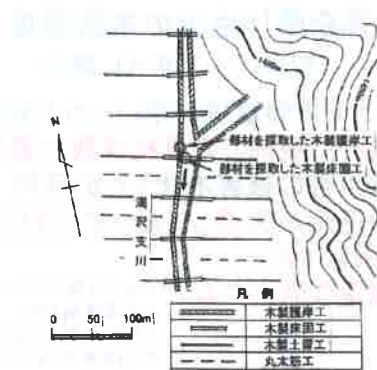
御岳濁沢における木製施設の 腐朽度、耐朽性調査

- ・1984年9月14日発生 of 御岳崩れの堆積土砂
- ・1985年に土砂堆積区域の浸食防止、植生回復を目的に木製床固工、護岸工が施工された。
- ・流域面積:1.07km²、河床勾配:約4.8°
- ・カラマツ材を使用

濁沢木製床固工・護岸工位置図



部材採取した木製施設の位置図



長野県御岳濁沢の木製床固工・護岸工(1985年施工)
←1984年の御岳崩れによる堆積土砂(濁沢)(施工時の状況)

・木製床固工が用いられた理由

- ①崩壊土砂の堆積地であったので基礎地盤が弱い
- ②災害復旧であり、迅速な施工が可能
(コンクリートのような養生期間が不要、冬期の施工が可能)
- ③生コンの運搬には時間がかかる。
- ④カラマツ材の利用

次のような場合でない
土石流直撃対応
人家等の保全対象の直近
大型構造物(高さ10m以上)



←植生が回復した現在の濁沢

御岳濁沢木製床固工・護岸工(1985年竣工、カラマツ丸太使用)



濁沢木製床固工・護岸工(1985年竣工、2002年12月撮影)、カラマツ丸太使用



木製護岸工の解体、部材の採取(2002年12月)



木製床固工の解体・部材採取(2002年12月)

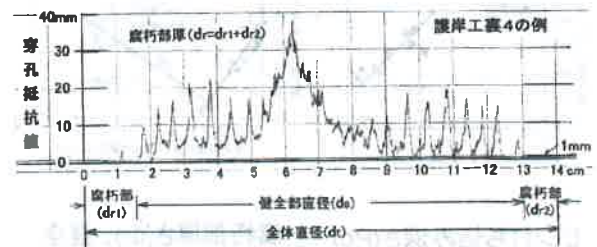


ピロディンによる計測



穿孔抵抗試験器(レジストグラフ)による計測

レジストグラフによる腐朽部の判定



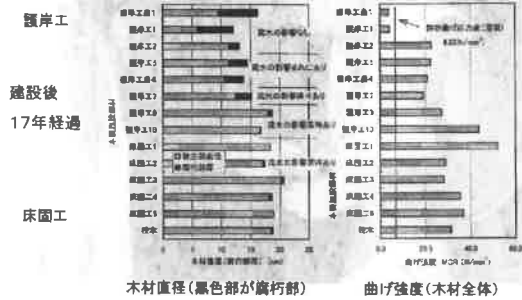
- 穿孔抵抗値1mm以下の部分が腐朽部

木材(部材)の曲げ強度試験

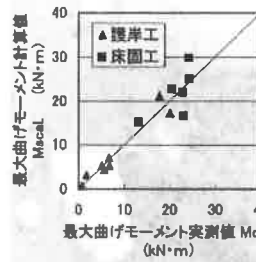


木製床固工・護岸工の丸太部材の輪切(施工後17年経過)

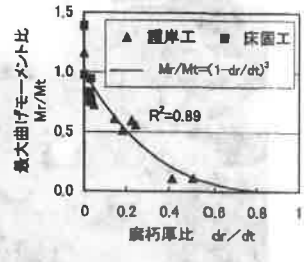
濁沢木製施設腐朽度調査結果



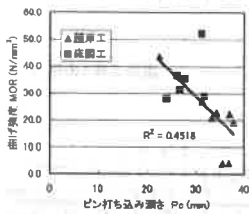
- 床固工はほとんど腐朽していない。流水の影響のない護岸工上部ほど腐朽が強い。



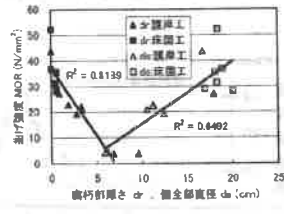
最大曲げモーメントの実測値(Mobs.)と予測値(Mscalc.)



腐朽厚比(dr/dt)と最大曲げモーメント比(Mr/Mt)

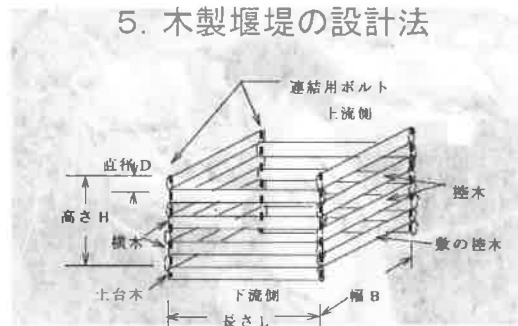


ピン打ち込み深さ(Pc)と曲げ強度(MOR)



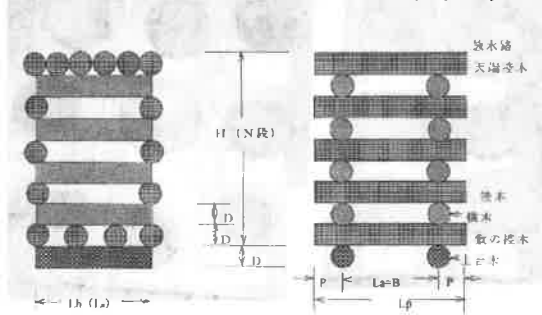
腐朽部厚さ(dr)、健全部直径(ds)と曲げ強度(MOR)

5. 木製堰堤の設計法



検討対象とした枠構造の2重壁式木製堰堤

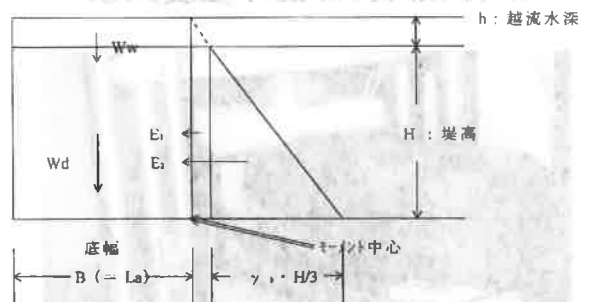
木製堰堤の木材の組み合わせ各部の長さ



(a) 正面図

(b) 側面図

木製堰堤に作用する力



上流側からは土圧(E₁、E₂)のみが作用する。静水圧は作用しない。

木製堰堤に作用する力とモーメント

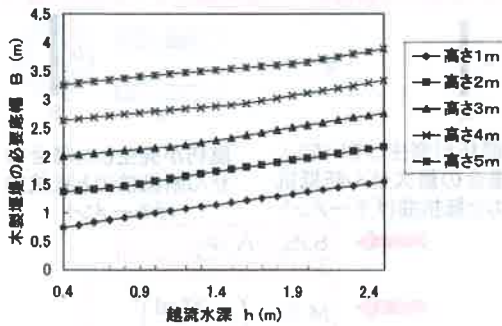
堰堤長さ 1m当たり

	記号	計算式	鉛直分力 V_i	水平分力 H_i	7-4長 l	モーメント M_i
堰体自重	W_1	$B \times H \times \gamma_r$	V_1		$B/2$	M_1
越流水重	W_2	$B \times h \times \gamma_w$	V_2		$B/2$	M_2
土圧	E_1	$h \times \gamma_w \times 1/3 \times H$		H_1	$H/2$	M_3
	E_2	$1/2 \times H \times 1/3 \times \gamma_w \times H$		H_2	$H/3$	M_4
土圧合力	M_5	$(M_3 + M_4)$				ΣM
合計	Σ		ΣV_i	ΣH_i		ΣM

木製堰堤の安定検討

- 転倒に対する安定:
 - $F_o = (M_{V1} + M_{V2}) / \Sigma M_H \geq 1.50$
 - (上流側に引張力が作用しない)
 - (合力作用点がミドルサード内)
- 基礎地盤支持力に関する安定:
 - $\sigma = -(\Sigma V_F / B)(1 + 6e/B)$
- 滑動に対する安定:
 - $F_S = \mu \Sigma V_F / \Sigma H_F > 1.2$
- 中詰材のせん断変形に対する安全:
 - $M_r = (1/6) \gamma H^3 (B/H)^2 \{3 - (B/H) \cos \phi\} \sin \phi$
 - $F_d = M_r / M_d \geq 1.20$

木製堰堤の必要な堤底幅(B)



京都府木製えん堤腐朽度実態調査

調査地概要

京都府内に設置された4基の木製えん堤



背景

切り捨てられた間伐材



間伐材を用いた木製えん堤



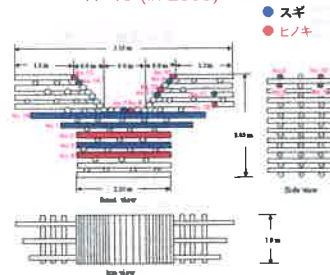
間伐材を木製えん堤に利用することによる効果、
①間伐の促進、②木材資源の有効利用、③CO₂の削減、

久多えん堤

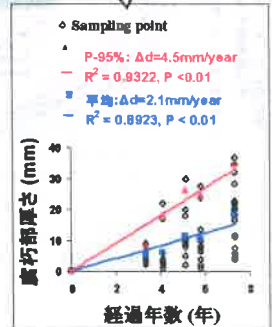
サンプル数:

N=10 (from 1998 to 2004)

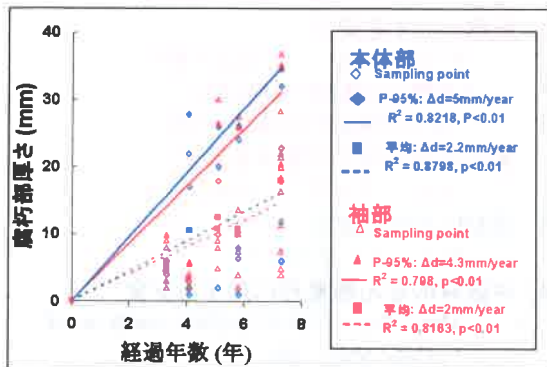
N=19 (in 2005)



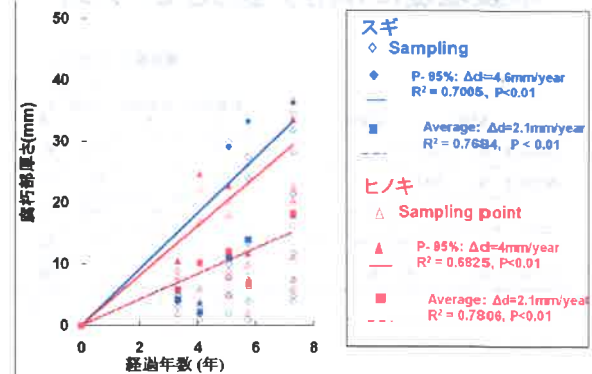
Δd : 腐朽速度 (mm/年)



えん堤の本体部と袖部の比較 (久多堰堤)



スギとヒノキの比較 (久多堰堤)

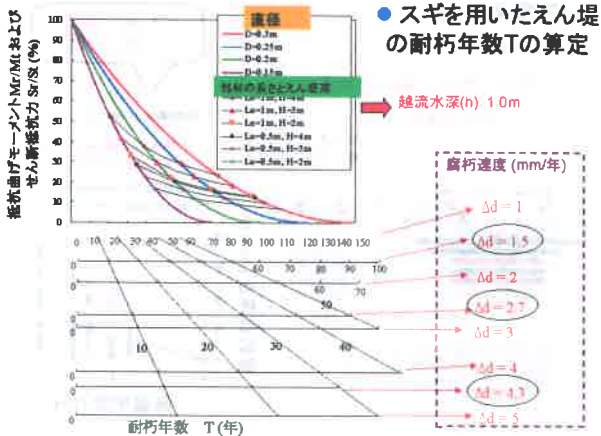
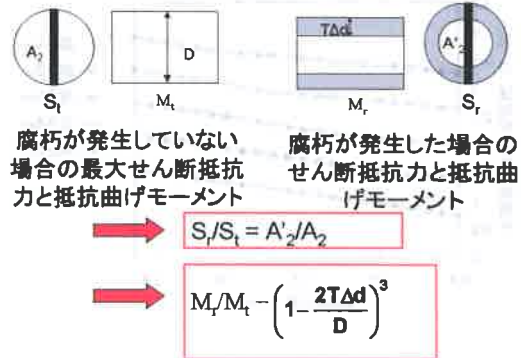


結論

- 流水の影響の有無により、本体部と袖部では腐朽速度は大きく異なる。
- 本体部腐朽速度 (平均値):
 久多 : 2.2mm/年
 大枝 : 1.5mm/年
 京北 1 : 1.4mm/年
 京北 2 : 0.8mm/年
- スギとヒノキの腐朽速度はほぼ同一である。
 スギ : 2.1mm/年
 ヒノキ : 2.1mm/年

6. 腐朽を考慮した木製施設の設計法

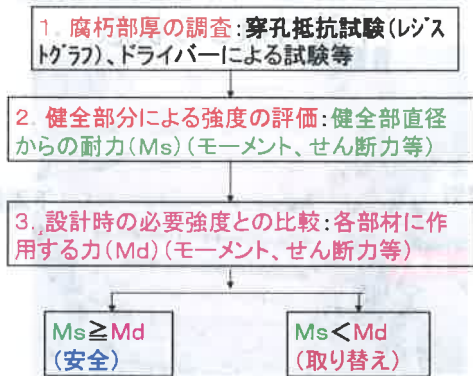
> 腐朽によるせん断抵抗力と抵抗曲げモーメントの低下



結論

- 松岡らによる木材の耐朽性よりも、木製堰堤の耐朽性は格段に良い。(松岡らは、 $3 \times 3 \times 60\text{cm}$ の細い杭を用いた実験)
- 太い木材の耐朽性は、内部の腐朽まで測定できる機器を用いて腐朽厚を測定する必要がある。
- 設計強度に対し必要十分な直径の木材を用いれば、30年以上堰堤として機能する。
- 流水が安定して多く流れているところに設置すれば、堰堤本体の寿命はさらに延びる。

腐朽木材の点検、耐力判定法



土木施設における維持管理の重要性和長寿命化

- 大きな契機となったのは
2012年12月2日の中央道笹子トンネル天井板落下事故(死者9人、負傷者2人)
- 高度成長期に建設した施設の老朽化
→メンテナンスによるライフサイクルコストの低減(補修により長寿命化し全体費用を低減する)
→アセットマネジメント
- インフラ点検・診断の民間資格の認定(国交省)

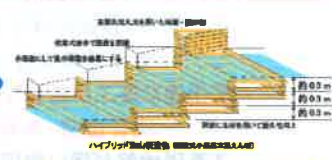
7. 生態系保全のための土と木のハイブリッド治山構造物の開発

農林水産省・食品産業科学技術研究推進事業委託事業(24027)

構造の改良 生態系の保全・耐久性の向上



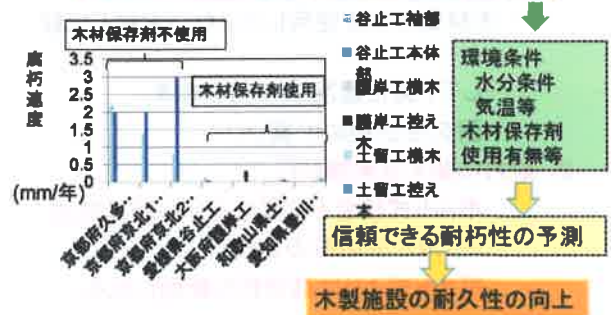
通常のえん堤には落差(段差)が数mあるため、魚類の遡上・降下を阻害



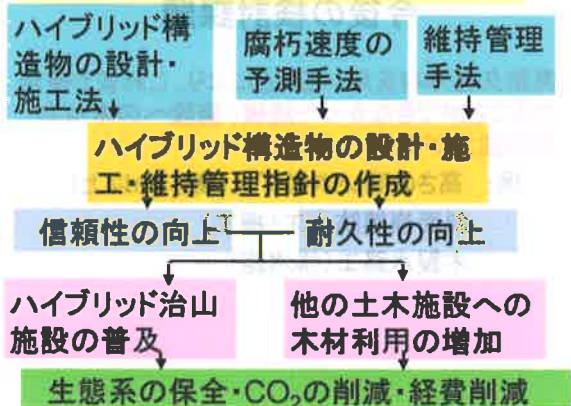
落差(段差)を分割して、個々の落差を小さくすることにより、魚類の遡上・降下が容易になる。

カラマツ、スギ・ヒノキ、高耐久性木材の耐久性の評価

全国的な木製施設の腐朽速度実態調査



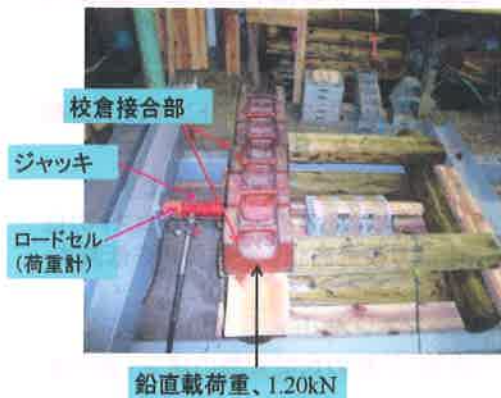
技術指針の作成→全国普及



校倉型護岸工(高耐久処理木材)の劣化調査



校倉型押し抜き抵抗実験方法



校倉型構造の耐力実験装置 (中詰材無しの状態)



校倉型について分かったこと

1. 既施設の劣化速度の調査から
木材保存剤を使用していない木材と比較して、劣化速度は1/10未満。
耐久性が極めて高い。
2. 耐力に関する実験から
ボルト式接合とは異なるせん断抵抗力
= 1.0 × 中詰材の重量
ボルト式よりは経済的な断面になる。

まとめ、木材利用の考え方

まず木材利用を考える。

特に木材が適する箇所

- ①生態系、景観の保全が必要な箇所
低落差の構造
- ②迅速な施工が必要な時
災害復旧、冬期の施工が可能等
- ③基礎地盤が弱い箇所
- ④コンクリートの施工が不適な箇所
運搬距離が長い等
- ⑤常時の流量が多い溪流(腐朽し難い)

設計・維持管理の留意事項

- ①腐朽を考慮した設計を行う。
耐久性を向上させるためには腐朽速度を小さくする。→木材保存剤の利用、流水中への設置
- ②判断が容易な修繕・補修基準
簡易な点検手法
腐朽深に基づく取り替え基準
- ③部材交換・修繕・補修が容易な構造とする。

今後の検討課題

高耐久性木材を用いることにより、これまで使用することができなかった規模、施設への木材利用の拡大が可能

例：高さの高い木製ダム(高さ5m以上)
斜面崩壊防止工(柵工)
木製水路工(排水路)