丸太材を用いた魚道隔壁の固定方法に関する実験的研究

Experimental study on fixing logs as partition walls to fish ladder

函館高専専攻科環境システム工学専攻　○学生員　高橋大翼　(Daisuke Takahashi)
函館高専環境都市工学科　正　員　平沢秀之　(Hideyuki Hirasawa)
戸沼岩崎建設(株)　正　員　戸沼　淳　(Jun Tonuma)

１．まえがき

砂防ダムの設置などの河川開発に伴って、その水系に生息する生物の遡上・降河が妨げられてしまう問題がある。その解決法の一つとして、魚道の設置が挙げられている。しかし、魚道は維持管理が行き届かず河川によって流されてきた土砂が堆積して、魚道が完全に埋没してしまうなどといった問題が起こっているケースも少なくない。したがって、今後の河川生物環境の保全のために、より簡易的に土砂の排除が可能な魚道の開発が求められる[1)]。

また魚道などの公共土木構造物に木材を利活用することは、ほかの観点からも有効性が認められる。すなわち、日本では現在、間伐材の効率的な利用方法を模索しており、今回提案した魚道が実用化可能であれば林業への貢献も期待される。木材は安価で加工がしやすく軽量であるというメリットを持った材料であり、有効利用することが望ましい材料である。加えて木材は加工過程から廃棄まで CO_2 排出量がわずかなので、環境への負荷を軽減できる。

魚道内に堆積した土砂を容易に除去する方法として丸太材を隔壁として用い、隔壁撤去により水流を利用した土砂の排除を可能とした新たな魚道形式が提案されている[2)]。しかし、実際に丸太を持ち上げられるか、作業性については検証されていない。隔壁撤去時には丸太の重量に加えて、堆積した土砂の土圧と摩擦力による作用が働くため、上に持ち上げる際の抵抗は大きくなると考えられる。

そこで土圧の影響を受ける丸太の上方移動にはどの程度の力を要するかについて調べることにした。

２．既往の実験

2.1　堆積土砂の流れ実験

これまでの研究としてアクリル材で製作した小模型（写真 1）による実験を行った。これは魚道の隔壁部に堆積した土砂を、木製の隔壁を取り除くことによって生じる水の流れだけで土砂を排除できるかどうかを検証する実験である。

実験方法としては、アクリル材を接着して魚道の模型を作り、そこに木製の丸棒を積み上げて上部をＶ字に切断したものを隔壁として使用した。そして、隔壁付近に砂を堆積させた状態で、水を流して隔壁を下流部から取り除いて行った。また、魚道の河床勾配を変化させて、勾配と排除できた土砂量の関係を調べた。

2.2　実験結果と課題

実験の結果は写真 2 に示すように、隔壁を撤去しただけで、水量、水路傾斜角、水路底面の粗度が一定の条件下で流れにより砂を排除できるということが分かった[2) 3) 4) 5)]。しかし、実物大の魚道の場合、土砂の影響を受けた状態で隔壁を容易に取り外せるのかという疑問が課題として挙げられた。小模型の実験では小さな丸棒であったため、隔壁の引抜きは容易であった。しかし、実際のスケールで引抜きを行った場合、土圧や土の摩擦によりどれほどの荷重が作用するかは不明である。そこで、実物大の模型を製作し、丸太に土圧を実際に作用させて、この丸太を撤去（引き抜く）する実験を行う。

写真１　室内模型実験装置

写真２　隔壁撤去後の流れ状態

３.隔壁構造の実物大模型

実験を行うに当たって実際に設置されている大型の魚道と同等の大きさを想定して実物大模型を製作した(写真3)。通常、魚道構造の側壁および河床はコンクリート製であるが、本研究では木製の板材を利用した。また、河床勾配については以前の研究成果と条件を合わせるために、今回製作した模型でも 10° に設定した[1)]。

なお、丸太の耐力試験を行ったわけではないが、あまり細いものを用いると、実際に魚道へ用いた時に破壊する恐れがあるので、十分な頑丈さが期待できる直径として 20cm の太さを選択した。

なお、魚道隔壁の固定方法はアングル材を用いて丸太を挟み込む方法を採用した。そして、表 1 のように三つの Type を設定した。ここで、L 字切欠きとはアングル材に施した写真 4 のような L 字の加工のことである。これによって隔壁の丸太がわずかに移動することができるため、締め固まった状態である砂との密着から解放されるため、砂による引抜き時の抵抗力が減少すると考えられる。

写真３　完成した実物大魚道模型

写真４　左から Type1・Type2・Type3 の状態のアングル材

表１　アングル材の側壁への固定方法

	上部	下部	特徴
Type1	L字切欠き	丸穴	上部下部ともに固定する
Type2	L字切欠き	丸穴	アングル材が上部のみスライドする
Type3	L字切欠き	L字切欠き	アングル材が上下ともにスライドする

４．丸太引抜き試験

4.1　実験条件

実験に当たっては設定した条件下で、隔壁用丸太材の引抜き荷重を測定した。設定した項目は（1）アングル材の固定方法、（2）含水比が6.4%の低い状態と、飽和させた状態、（3）砂の高さ（10cm、20cm、30cm）である。

これらを組み合わせ、18通りの条件（表２）を設けて実験を行った。

表２　実験条件の一覧

	アングル材	含水比	砂の高さ
Case1	Type1	低	10
Case2	Type1	低	20
Case3	Type2	低	10
Case4	Type2	低	20
Case5	Type3	低	10
Case6	Type3	低	20
Case7	Type1	高	10
Case8	Type1	高	20
Case9	Type2	高	10
Case10	Type2	高	20
Case11	Type3	高	10
Case12	Type3	高	20
Case13	Type1	低	30
Case14	Type2	低	30
Case15	Type3	低	30
Case16	Type1	高	30
Case17	Type2	高	30
Case18	Type3	高	30

4.2　実験方法

実験手順はまず測定する砂の高さになるまで砂を敷き詰め、砂の密度を高めるために敷き詰めた砂の締固めを行う。含水率が高い状態での実験は上記の手順に加えて、魚道の河床を水が伝わってくるまで水をまいて行った。

次に、丸太を人力で持ち上げる作業を、デジタル重量計につながれたロープを丸太に結び、ジャッキを使って引き上げることで再現した。

今回測定に使用したデジタル重量計は最大で 50kgf まで測定することが可能な仕様になっており、これを二か所に設置した。これは実際に丸太の引き抜きを行う場合、二人で持ち上げることを想定しているためである。

ジャッキで上方に引き上げる際に測定される最大荷重を隔壁撤去時の荷重とした。

4.3　実験結果と考察

まず、砂の荷重のみであればどの程度であるかを判断するため丸太のみの重量を事前に測定した結果表 3 のようになった。表からわかるように重量はおおよそ 20kgf ほどである。なお表における①は最下部の丸太であり②は下から二段目の丸太である。

表３　丸太のみの重量

砂0cm（丸太のみ）	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	10.75	10.15	20.90
②	12.40	10.50	22.90

(1) 含水比が低い状態における実験

実験を行った結果を表４と図１に示す。Case13 の結果は 99.5kgf となっているが、荷重メーターの測定限界が 100kgf であったため実際は測定を打ち切っており、さらに大きな荷重が生じていると考えられる。この荷重であれば成人男性二人がかりで丸太の持ち上げを行うことは非常に困難であると考えられる。したがって Type１の固定方法では作業性は期待できない。

図１に示すようにグラフから Type3 場合の引抜き荷重は他の２つの Type に比べて大幅に減少していることがわかる。Type3 において測定された荷重はおおよそ丸太の重量と変わらない重さであり著しい効果が確認できた。

よって、アングル材をスライドさせることが、荷重低減に効果的であることが実証出来た。そして、これにより人力での作業が十分可能であることが言える。

実験ではアングル材をスライドさせた瞬間に圧密状態の砂から丸太が剥離する様子が目に見えて確認することが出来き、はっきりとした効果がわかる（写真 5）。

表４　含水比の低い場合の引抜き荷重

Case1（砂10cm）	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	16.00	15.70	31.70
②	–	–	–
Case3（砂10cm）	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	10.75	10.15	20.90
②	–	–	–
Case5（砂10cm）	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	9.80	10.80	20.60
②	–	–	–
Case2（砂20cm）	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	45.20	43.85	89.05
②	12.55	10.85	23.40
Case4（砂20cm）	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	29.40	26.50	55.90
②	–	–	–
Case6（砂20cm）	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	11.35	12.95	24.30
②	–	–	–
Case13（砂30cm	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	49.80	49.85	99.65
②	15.35	15.10	30.45
Case14（砂30cm	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	42.10	42.25	84.35
②	10.45	12.10	22.55
Case15（砂30cm	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	26.20	25.00	51.20
②	10.10	11.95	22.05

写真５　丸太から砂が剥離している様子

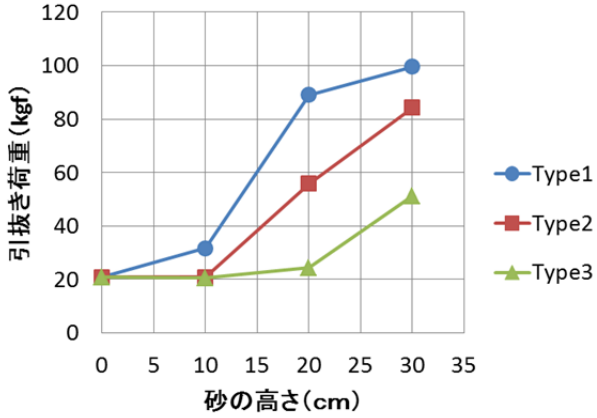

図１　含水率が低い場合の引抜き荷重

３つの Type が測定可能な範囲の荷重であった砂の高さ 20 ㎝における結果を比較する。Type1 における荷重を 100%とした時の荷重の減少の割合を図 2 で表す。なお、図１における Type1 の砂の高さ 30cm における引抜き荷重は測定を打ち切っているため、実際には 100kgf を越えている。

図２を見てみると Type2 による効果は 37%減であることがわかる。

しかし、これに対して Type３においては砂 20cm で 63%の減少である。さらに砂 30cm における荷重もほとんど増加していない。したがって、荷重低減にもっとも効果が高いのは Type3 の固定方法である。

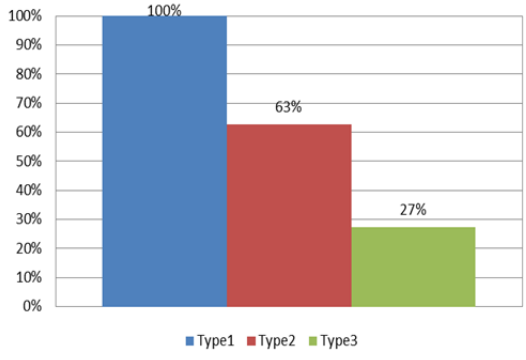

図２　含水比が低い状態での引抜き荷重の割合

(2) 含水比が高い状態での実験

図 3 のように、実験結果は（1）と同様、荷重軽減に効果的なアングル材の固定法は Type3 であることがわかった。また含水比に関わらず引抜き荷重を減少させられることが判明した。したがって、Type3 を用いることによって作業性の問題を解消することができるだろう。

なお、含水率が低い条件での実験よりも引抜き荷重が減少している点については砂が水分を含んだことにより支持力が増加したために荷重が河床へと分散したと考えられる。Case18 における測定では他の Type3 の他の測定とは異なり、ある程度の荷重が加わっていることが図 3 からわかる。これは丸太をジャッキで持ち上げている最中に徐々に剥離面の砂が崩壊してきたことにより荷重が増加したと考えられる（写真６）。

表５　含水比の高い場合の引抜き荷重

Case7（砂10cm）	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	18.65	18.4	37.05
②	–	–	–
Case9（砂10cm）	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	14.3	14.6	28.9
②	–	–	–
Case11（砂10cm	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	10.45	10.35	20.8
②	–	–	–
Case8（砂20cm）	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	27.95	34.00	61.95
②	–	–	–
Case10（砂20cm	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	24.25	29.95	54.2
②	–	–	–
Case12（砂20cm	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	11.25	12.05	23.3
②	–	–	–
Case16（砂30cm	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	48.25	48.35	96.60
②	14.25	14.10	28.35
Case17（砂30cm	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	49.75	46.05	95.80
②	10.35	11.95	22.30
Case18（砂30cm	重量計Ⅰ	重量計Ⅱ	Σ
①	21.80	18.75	40.55
②	10.30	11.70	22.00

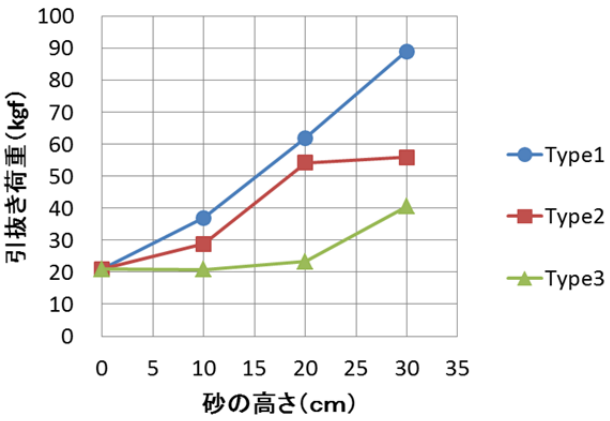

図３　含水率が高い場合の引抜き荷重

写真６　Case18 における実験の様子

４．あとがき

魚道隔壁に丸太材を用いた場合の隔壁撤去時の荷重を把握するために実物大魚道模型を製作して実験を行った結果、隔壁固定方法においてＬ字切欠きを有するアングル材によって可動域を設けることは引抜き荷重低減に有効であることが確認できた。Type1 のアングル材を用いた Case2 の引抜き荷重を 100％とすると Type3 のアングル材を用いた Case6 での引抜き荷重は 73%削減されており、効果は抜群であるといえる。Case6 と Case12 ではほとんど変わらない結果が得られたことから、含水比の影響をあまり受けることなく引抜き荷重を低減させることができるということが判明した。さらに Type3 の場合、Case6, Case12 の結果から引抜き荷重は一人当たり約 10kg 程度と十分に人力で持ち上げることが可能である。これらにより隔壁部に丸太材を用いた魚道構造を実際の河川で使用できる可能性は高まった。

この隔壁部に丸太材を用いた形式は新設の魚道に適用するだけでなく、既設の魚道における隔壁部を取り壊して撤去し、そこに導入することも構造的には十分に可能であると考えられ、汎用性にも期待したい。本実験で魚道隔壁部に用いた丸太材については特殊な加工はほとんど施していないため、現地で間伐材を調達して利用することも可能であると考えられることから、木材の有効利用もこの魚道形式であれば取り組みやすいと言える。

参考文献

1)安田陽一：技術者のための魚道ガイドライン～魚道構造と周辺の流れからわかること～, NPO 法人　北海道魚道研究会, 2010.

2)Hideyuki, Hirasawa, Megumi Takeuchi, Shoya Ikeda, Jun Tonuma and Tetsuya Sato : SAND FLUSH IN FISH WAY USING WOOD PARTITION, Proceedings of the 11th World Conference on Timber Engineering, Conference Proceedings, 2010.

3) 竹内愛：魚道における木材利用と土砂の除去について，函館高専卒業論文，2008.

4) 池田翔哉：隔壁に木材を利用した魚道の流れ実験，函館高専卒業論文，2009.

5) 平沢秀之，竹内愛，木田清美，戸沼淳，佐藤哲也：木材を利用した魚道における堆積土砂の除去について，土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集(DVD-ROM)，共通セッション，CS5-011，2010.