

〔農工研技報 204〕
253～262, 2006

さいひろいたばめせき

西広板羽目堰における伝統工法・技術の評価

小林宏康*・高木強治**・浪平 篤***・常住直人***・後藤眞宏***

目次

緒言	253	部材の許容強度から見た安全性評価	258
河川特性と板羽目堰の分布	253	部材形状の機能評価	259
西広板羽目堰の歴史	254	堰開放の仕組みと評価	260
現況板羽目堰の形状	254	結言	261
板羽目堰の断面形状に関する性能評価	256	参考文献	261
板羽目堰の平面形状に関する性能評価	258	Summary	262

緒言

西広板羽目堰(Fig.1)は、千葉県市原市の養老川下流部(Fig.2)において明治、大正時代に築造・改良された木組みの堰である。その構造的発想や機能、規模において我が国の農業水利史上他に例を見ない貴重な施設であり、維持管理の運営においても特筆すべき伝統工法である。

西広板羽目堰は1979年3月10日に市原市有形民俗文化財に指定され、さらに、1994年に農林水産省主催の「第三回日本のむら景観コンテスト」文化部門において農林水産大臣賞を受賞している。本堰に関する研究としては、佐藤ら(1991)が堰の構築技術の系譜と特徴を紹介している。このような伝統工法は、人と川の触れ合い、地域住民との連携、維持管理等の観点から再認識されはじめている。

本報告は、伝統工法や技術の価値を正に評価し、これを地域住民が理解していくことの意義と、水利遺構の保存と継承が地域活性化の核と成り得る可能性に言及することを目的として、西広板羽目堰が採用した伝統工法・技術の機能及び効果を解明したものである。

なお、本研究は、2003年度(独)農業工学研究所新領域開発研究及び2004年度から2006年度における運営費交付金プロジェクト「中山間地域における対流に伴う教育・保健等機能の評価手法の開発」で実施された研究成果の一部を取りまとめたものである。本研究を進めるに当たり、千葉県市原土地改良事務所、市原市五井連合土地改良区、市原市教育委員会の関係者に多大なるご協

*企画調整部

**水工部水環境保全研究室

***水工部水源施設水理研究室

平成18年1月10日受理

キーワード：板羽目堰、木組み堰、伝統技術、用水確保、堰開放

力を頂いた。記して感謝申し上げます。

河川特性と板羽目堰の分布

1 河川特性と降水特性

西広板羽目堰(以下、西広堰という)が設置されている養老川は千葉県上総地方内湾部にあり、清澄山地を水源地としている。養老川は蛇行が甚だしく、しかも地質構造上の理由によりU字型の彫りの深い河川形状をなしており、また河川は緩勾配で河積は大きい。



Fig. 1 西広板羽目堰
Saihiro Itabame Weir



Fig. 2 西広板羽目堰位置図
Location of Saihiro Itabame Weir

千葉県における降水量の分布は清澄山周辺で最も多く年間2000mm~2100mmとなっている。これに対し内湾部の養老川下流部などでは1400mm~1500mmで河川の上下流で400mm~600mmの差が見られる(佐藤ら, 1991)。

2 養老川における板羽目堰の分布

養老川下流部にはFig.2に見るようにかつて6カ所に板羽目堰が存在していた。それらは下流より吹上堰(179ha), 出津堰(74ha), 中瀬堰(62ha), 飯沼堰(123ha), 廿五里堰(303ha), 西広堰(269ha)である(面積は大正初期の灌漑面積)(佐藤ら, 1991)。

西広板羽目堰の歴史

1 近世(江戸時代)の西広堰

宝暦9年(1760年)頃の西広堰は, 河道内に土俵を設けた堰で, 沿海部の新田に用水を供給していた。宝暦年間における西広堰の規模は高さ2.5m, 天端幅1.8m, 敷幅8.2m, 堰幅65m, 使われた空俵9,080俵で, 土俵堰を作るのに延べ1,260名の労働力が投入された。

土俵堰は洪水のたびに流出することから農民の負担は相当大きく, 土俵堰の流出を極力防ぐため, 上流側左岸堤防の一部をわざとぜい弱な構造とし, 洪水時にはここから洪水流を流し込み, 堰下流で本川に戻す回水路(空川-そらかわ-)という貴重な技術が用いられた(佐藤ら, 1991)。

2 明治期の西広堰

明治時代に入り, 西広堰の改良は夷隅郡山田村(現大原町)出身の渡辺善右衛門が明治14年に工事に取掛かり, 明治18年に板羽目堰を完成させている。堰の構造は両端を従来の土俵留めとし, 中央部には長さ14.5間(26m)の板羽目を設置したものである。この工事では洪水時における堰体の保全だけでなく, 堰体にかかる洪水外力をそらすため旧来の回水路の増強整備も行っている。また, 洪水が増加した際に, 上段の板を間引いて洪水を徐々に下流に放流させて堰の破壊を防止する羽目板を縦に組み込む方式を取り入れ, ここに板羽目の技術が確立した(佐藤ら, 1991)。

3 大正期の西広堰

大正5年の洪水を契機に, 養老川の本格的な治水事業が計画され, 西広堰は全面的な改築を迫られた。当時の西広堰灌漑地域の用水事情として, 堰高が低いこと, 導水路の機能が十分ではなかったこと, 地形的に高位部がある等の理由により干害の頻度も多かった。一方, 養老川下流部平野部では勾配が1/1500と小さく, 洪水と渇水の被害を受けやすかった。

そこで, 洪水対策と渇水対策の両機能を有する堰構造

とするために, 千葉県内務部耕地課桜井彦三技手や耕地整理組合立野総司技手が中心となり, 改良型板羽目堰が考案され, 大正6年に工事に着手し大正9年に竣工した(市原市教育委員会, 2002)。

堰は木組み構造により全面締切りの形態とし, かつ洪水時には堰体そのものを開放するという構造とした。洪水対策として堰体への水圧を減じるために作られていた回水路は, 養老川の築堤により消滅することから, 未然に堰体の破壊を防ぐため両端部の棧木(さんぎ)をはずすことによって堰の中央から開放できるようにした。また, 渇水対策としては河道貯留による溜井機能を持たせた(佐藤ら, 1991)。

4 現在の西広堰

昭和54年に西広堰の下流に鋼製ゲートを有する近代的な頭首工が新設されたため, 現在は板羽目堰の部材を隣接する倉庫に保管し, 五井連合土地改良区と市原市教育委員会が主催して, 数年に1度の割合で堰を組み立て倒伏させる開放式を挙行し, 伝統技術の保存に努めている。

現況板羽目堰の形状

1 平面及び断面形状

Fig.3, 4に, 現況の西広板羽目堰(以下, 現況板羽目堰という)の平面及び断面形状の概要を示す。堰高は2.3m, 堰幅61mである。横断方向に部材は左岸側に16組, 右岸側に17組, 合計33組設置されている。左右岸

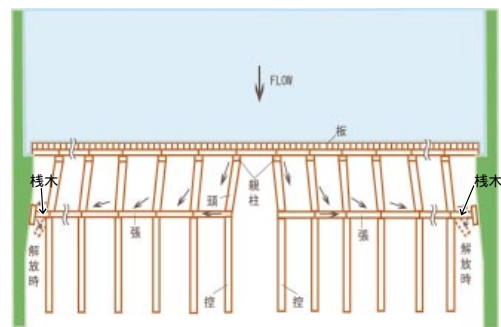


Fig. 3 板羽目堰の平面概要図
Plane view of Itabame weir

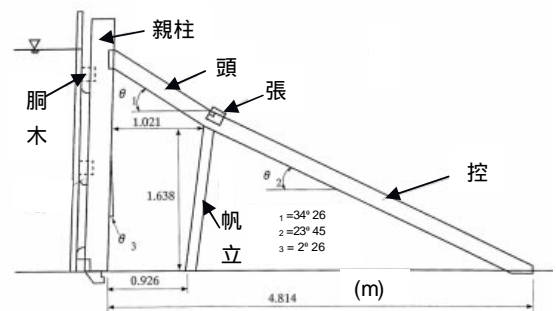


Fig. 4 板羽目堰の断面概要図
Sectional view of Itabame weir

で34等分され、部材1組は横断方向に約1.8m幅の水圧を受け持つこととなる。

2 部材の構成

部材にはTable 1に示すように親柱（おやばしら）、頭（かしら）、控（ひかえ）、帆立（ほたて）、張（はり）等の名称がつけられている。それぞれの部材寸法と比重0.4とした場合の質量を記入した。親柱は8寸角で質量は約63kgである。各部材の加工状況を記した見取り図をFig.5（市原市五井連合土地改良区，1979）に示す。

Table 1 部材の寸法と質量（比重は杉材0.40と仮定）
Dimension and weight of component parts
(cedar specific gravity =0.40)

部材	寸法	質量
親柱	24×24×275cm（8寸角）	63.4kg
頭	18×18×130cm（6寸角）	16.8kg
帆立	18×18×224cm（6寸角）	29.0kg
控	18×18×406cm（6寸角）	52.6kg
胴木	15×15×180cm（5寸角）	16.2kg
張	15×15×180cm（5寸角）	16.2kg

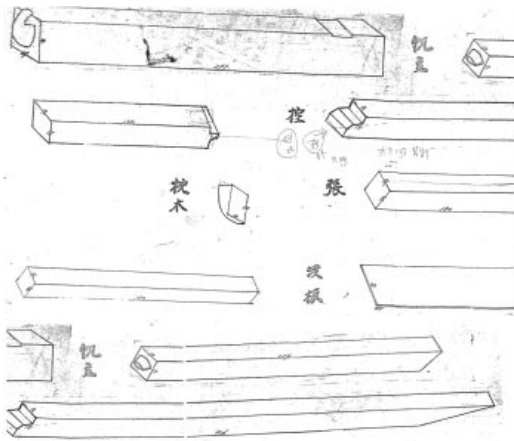


Fig. 5 板羽目堰の部材見取り図
Sketch of component parts of Itabame weir

3 断面形状の特徴

親柱は鉛直に対して下流側へ約2.5°傾斜している（Fig.4）。また、その基礎部分はFig.6に示すように約4cmの鉤形の突起が下流向きに作られている。頭が倒された時に鉤形が基礎の穴から抜けるようになっている。

親柱を下流側で支える部材が頭と控であり、この2種類の部材は直線上ではなく、Fig.4に示すように約8°の角度の違いを付けて組み立てられる。頭と控の接続部はFig.7のように控の上面には頭の受け、左右には張の受け、下面には帆立接続用の切り込みが設けられている。

控の下流端はFig.8に示すように左右方向に丸みがつけられ、軸方向（斜め）に切っている。

頭と控を支える帆立は下流側へ約5°傾斜している。帆立の基礎部分にはFig.9に示すように円柱形の突起が設けられている。帆立の上部には頭及び控の切り込みに接合する柄（ほぞ）が作られている。

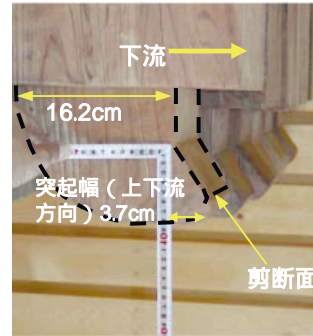


Fig. 6 親柱下端の断面寸法図
Dimension of section at the lower part of Oyabashira



Fig. 7 控の上流端の加工形状
Cutting shape at the upper part of Hikae



Fig. 8 控の下流端の加工形状
Cutting shape at the lower part of Hikae



Fig. 9 帆立下部と上部の加工形状
Cutting shape at the upper and lower part of Hotate

4 平面形状の特徴

現況板羽目堰の平面形状(Fig.3)から、頭は左右岸方向に傾斜しており、現地計測の結果より約3.5°傾斜している(Fig.10)。

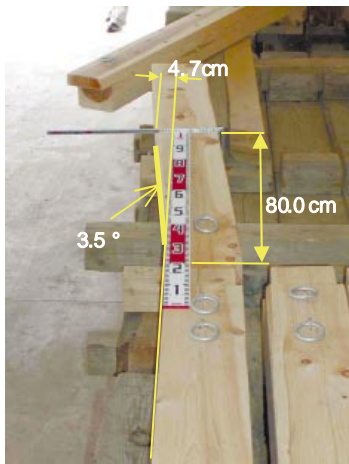


Fig. 10 頭の傾斜角度
Angle of inclination of Kashira

頭、控、帆立の接点には左右岸方向に張が設けられている。左右岸に接合する張を特に棧木(さんぎ)と称している。

板羽目堰を開放する場合、Fig.11に示すように棧木をハンマーではずすと、張が棧木に追従して左右岸方向に移動し、頭、控もこれに追従・倒伏して堰が開放される。

張に加わる力は、左右岸方向に傾斜した頭の左右岸方向の分力が部材1組ごとに累加される。その圧縮力の合計が棧木に加わり、左右岸のコンクリート側壁を押しつける。この圧縮力はアーチダムにおける力の伝達方式と同様である。

圧縮力が集中する棧木をはずすことにより、一瞬のうちに板羽目堰を開放できるのである。

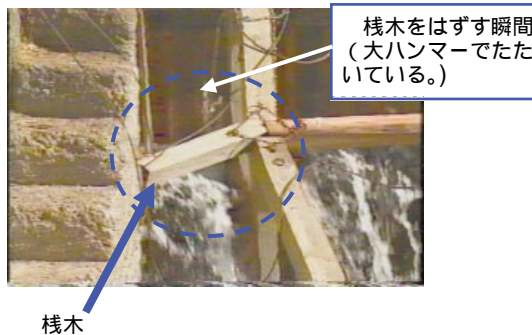


Fig. 11 棧木をはずす瞬間
An instant of removing Sangi

板羽目堰の断面形状に関する性能評価

ここでは現況板羽目堰の力学特性を解明し、それを基に頭と控の角度、帆立の傾斜角度、親柱の傾斜角度を変化させ、板羽目堰の性能を明らかにする。

1 現況板羽目堰の軸力と反力

最大水深2.3mの場合に、幅1.794m相当の水圧が部材1組当たりにかかる軸力および基礎の反力をFig.12に示す。

ここで圧縮、引張の符号および矢印の表記は以下のように行った。部材の軸力は引張力を正、圧縮力を負とする。軸力を示す矢印は対象とする節点から遠ざかる方向に向くものを引張材とする。反力は水平右向き(下流向き)を正、鉛直上向きを正とした。

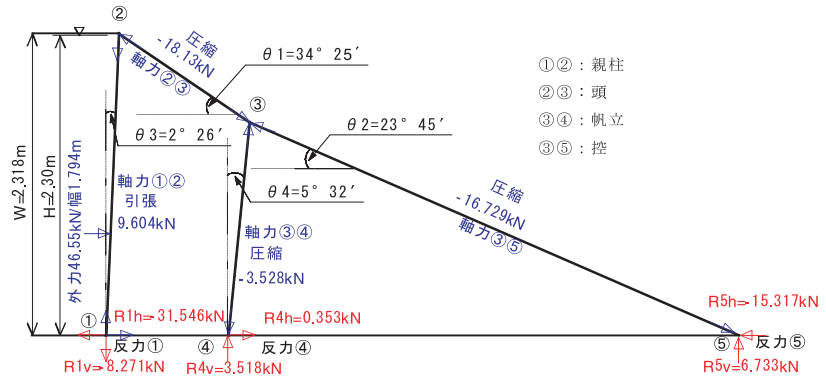


Fig. 12 現況板羽目堰の軸力と反力
Axial force and reaction forces of present state Itabame weir

上流面の親柱には1本当たり9.6kNの引張力が作用する。これはFig.13に示すように外力Fuに対し、頭にこれと釣り合うためのL2の圧縮力が生じる。さらにL2と釣り合うように親柱に引張力D2が生じるためである。

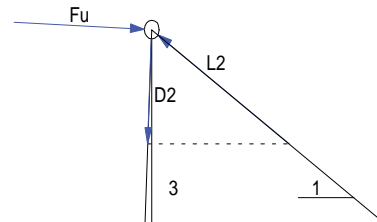


Fig. 13 親柱、頭の接点における力のつりあい
Equilibrium of forces at the joint of Oyabashira and Kashira

親柱の基礎には鉛直下向きに8.3kN、水平上流向きに31.56kNの反力が作用する。

このことは親柱に水圧が加わると親柱は上向きに引き抜かれることを示している。また、基礎は上向きに引き抜かれようとする力に対抗し、下向きの反力が必要となる。

親柱に引張力が作用するので親柱の下部はFig.6に示すように鉤形に加工され、またその基礎は鉤を引っかけ形状となっている。本形状を採用した匠の技術の意味がこのような力学特性から明らかにできた。

なお、親柱以外はすべて圧縮力が作用する。

2 頭と控の角度が有する機能の検証

頭の傾斜角度 1と控の傾斜角度 2はFig.4に示すように現況ではそれぞれ約34°、約26°である。

頭(), 帆立(), 控()の節点位置をFig.14に示すように4ケース設定し, 軸力, 反力の特性を調べた。

- Case1: 頭と控を直線とした場合 (頭の角度 $\theta=26^\circ$)
- Case2: 現況 (頭の角度 $\theta=34^\circ$)
- Case3: 節点を帆立の軸線に沿って現況より鉛直に100mm下げた場合 (頭の角度 $\theta=38^\circ$)
- Case4: 節点を帆立の軸線に沿って現況より鉛直に200mm下げた場合 (頭の角度 $\theta=42^\circ$)

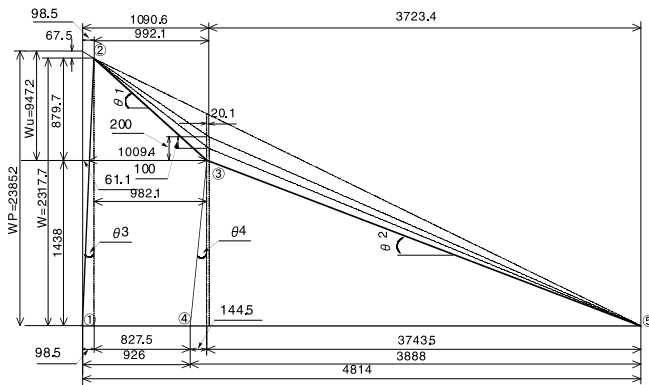


Fig. 14 頭と控の角度を変化させた場合の検討形状
Investigation case of angle on Kashira and Hikae

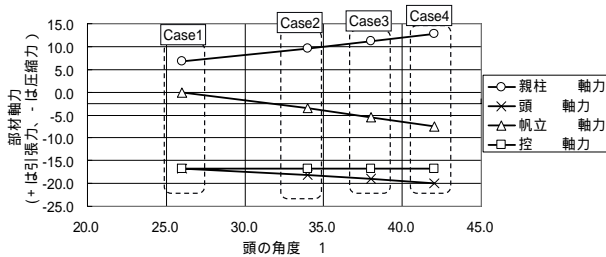


Fig. 15 頭の角度を変化させた場合の軸力(kN)の特性
Characteristics of axial forces in the cases of changing angle of Kashira

上流の水深を2.3mとした場合の検討結果をFig.15に示す。頭と控を直線上に配置した場合, 帆立には軸力は作用せず, よって0となる。

頭と控の角度をつけていくと, 親柱の引張の軸力は直線では5.9kNであるのに対し, 現況より200mm接点を下げた場合は12.7kNに増加する。また引き抜きに対抗する反力も増加する。

このように現況の頭の角度 34° の形状は, 帆立に圧縮の軸力を発生させ木組み構造を安定させること, 親柱基礎部の鉤形が破断しないよう作用する応力を軽減する効果を発揮していると推察され, 後述する通り, 経験に即した角度と考えられる。

3 帆立の傾斜角度が有する機能の検証

帆立の下流側への傾斜角度 θ_4 は現況では約 5° であ

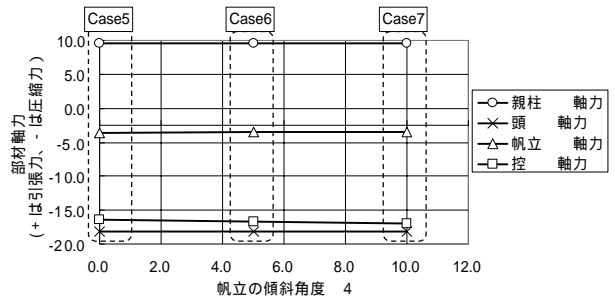


Fig. 16 帆立の角度を変化させた場合の部材の軸力(kN)の特性
Characteristics of axial forces in the cases of changing angle of Hotate

る。ここでは前節で検討した頭, 帆立, 控の節点位置を現況と同じとし,

Case5: 帆立を鉛直にした場合 ($\theta_4=0^\circ$)

Case6: 帆立現況 ($\theta_4 \approx 5^\circ$)

Case7: 帆立を現況よりねかせた場合 ($\theta_4=10^\circ$)

の3ケースについて, 上流の水深を2.3mとした場合の軸力, 反力を計算した結果をFig.16に示す。

このように帆立の角度によって軸力は大きくは変化しない。一方, $\theta_4 \approx 5^\circ$ の現況では235.2Nの水平反力が生じるが, $\theta_4=10^\circ$ では392Nの水平反力が生じ, 帆立の傾斜角度が増加すると下流向きの水平反力はわずかに増加(帆立下部は上流側へ抜けようとする)した。Fig.9に示すように, 帆立の下部, 河床側には円筒形の突起がつけてあり, 河床の穴の中に差し込む形になっており, この突起で水平反力や堰から落下する流体力に対抗していると考えられる。

また, 本堰の構築は, 帆立の上に控を設置することから組み立て作業が開始される。このような作業工程では, 帆立を下流側に少し傾斜させて控を乗せることによって両部材を安定して自立させることができる。このように, 帆立は頭と控を支持する役割を担っており, 現場の組み立て作業のしやすさの観点からやや下流に約 5° 傾けた構造が採用されたと考えられる。

4 親柱の傾斜角度が有する機能の検証

親柱の下流側への傾斜角度 θ_3 は 2° 程度である。上流水深を2.3mとした場合に, 傾斜角度を付けなかった場合との比較結果をFig.17に示す。傾斜角度の有無による親柱の軸力に大きな変化はない。しかし, 親柱の下向きの鉛直反力の発生を減少させて親柱が抜けようとする上向きの力を軽減する効果が認められた。

また, 帆立の鉛直反力を若干増加させる作用があり, 帆立の安定を促す効果が認められた。

さらに, 親柱を 2° 程度傾斜させることは, 親柱上流面で水を堰き止める下板, 上板を設置する際の組み上げ作業に都合が良いとの現場管理者の意見があり, 構造と作業の両面から優れた機能を有していることが明らかになった。

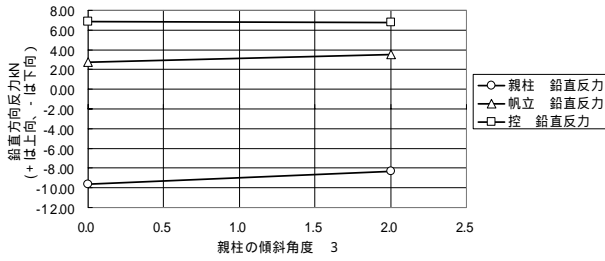


Fig. 17 親柱の角度を変化させた場合の鉛直反力
Characteristics of reaction forces of vertical direction
in the cases of changing angle of Oyabashira

板羽目堰の平面形状に関する性能評価

ここでは現況板羽目堰の平面形状について、頭の水平傾斜角度を変化させた場合の力学特性を明らかにし、その平面形状の性能を明らかにする。

1 現況板羽目堰の張および栈木に加わる力

現況板羽目堰では、頭は左右岸方向に3.5°傾斜している (Fig.10)。このため、Fig.18に示すように、頭の左右岸方向に分力が発生し、これによって張に応力が累加されていくという仕組みとなる。

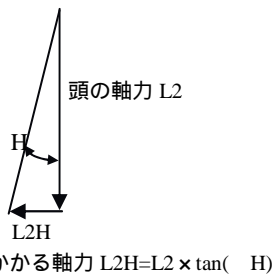


Fig. 18 頭と張に加わる力の成分
Axial force of Kashira and Hari

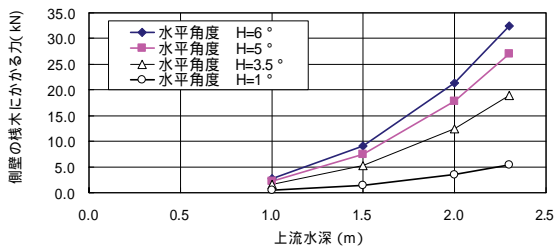


Fig. 19 板羽目堰の栈木に作用する力
(17組の部材の分力が累加された場合)
Acting forces to Sangi

2 頭の水平傾斜角度が有する機能の検証

頭の水平傾斜角度(H)の違いにより、栈木に作用する力と上流水深の関係を図19に示した。 H = 1°では水深が増加しても栈木に作用する力の変化は小さいが、3.5°を超えると、水深の増加に伴い栈木に作用する合力が急増する。この左右岸に向かう合力が水平方向のアーチ作用として栈木に集中するため、栈木をはずすと堰は一瞬にして開放されることとなる。ただし、栈木に作用する合力が過大になると、後述するように、人力でハンマーを使って栈木をはずす作業が困難になることから、頭の水平傾斜角度が3.5°となっている本構造はアーチ作用の集中と栈木の開放から優れた設計と考えられる。

部材の許容強度から見た安全性評価

ここでは現況板羽目堰の断面・平面形状について主要な部材にかかる力を算定し、許容強度からその安全性を評価する。

1 親柱下部の鉤に加わる力

a 親柱の軸力に対する安全性

親柱下部には跳ね上りを防止するため鉤形の細工が施されている。鉤形の形状を図6、20に示す。

- 鉤形突起部の上下流方向の幅 3.7cm (Fig.6参照)
- 突起部の剪断長さ 8.2cm(2.0cm + 6.0cm)
- 突起部の水平幅 16.2cm
- 軸力方向の剪断面の面積 124.0cm²(Fig.21参照)

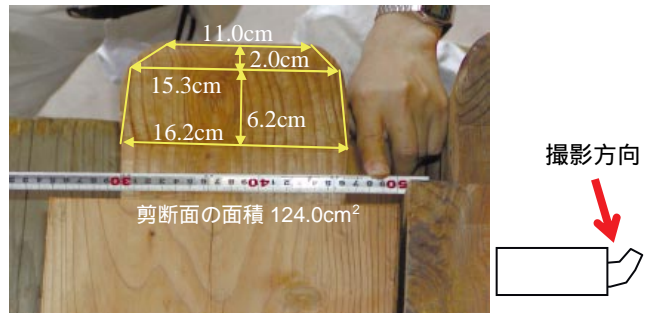


Fig. 20 親柱下部の形状
Shape at the lower part of Oyabashira

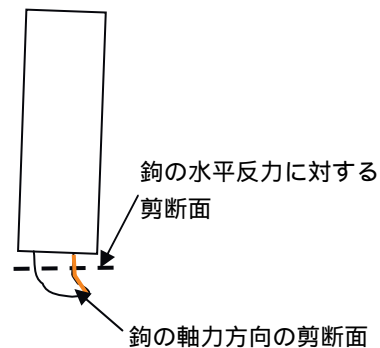


Fig. 21 親柱下部の鉤と剪断面
Hook and shear plane at the lower part of Oyabashira

ここで、杉材の許容圧縮強度 $c=26\sim 41(\text{N}/\text{mm}^2)$

また、許容剪断強度 $b=4\sim 8(\text{N}/\text{mm}^2)$ である。

従って、親柱の鉤の軸力に対する許容剪断力は、許容剪断強度を $6\text{N}/\text{mm}^2$ とすると、

$$F_c = 6 \times 12,400\text{mm}^2 = 74.4 \text{ kN}$$

となる。

Fig.12より、水深 $H=2.3\text{m}$ で親柱 (24cm角材) にかかる最大引張軸力は現況板羽目堰形状では 9.6kN である。軸力に対し7.5倍以上の強度があり、鉤が基礎部としっかりかみ合わされているかぎり、上向きの引き抜きの力に対して鉤は十分な安全性を確保できる。

b 親柱の水平反力に対する安全性

親柱 (Fig.12) の下流向きの水平反力は水深 2.3m で 31.56kN となる。鉤の根元の断面積部分で水平反力を全て受け持つと考え、鉤部分の水平方向の断面積は Fig.20 及び Table1, Fig.6 等から $16.2\text{cm} \times 16.2\text{cm} = 262.44\text{cm}^2$ となり、親柱の鉤の水平方向の許容剪断力は $F_c = 6 \times 26,244 \text{ mm}^2 = 157.46\text{kN}$ と推定できる。許容剪断力は、最大水平反力 31.56kN の5倍程度あり、水平反力に対しても親柱基礎の鉤部は十分に安全である。

このように親柱の基礎部分は板羽目堰の安定性において十分に堅強な強度を確保している。

2 頭に作用する力

水深 2.3m において、頭 (18cm角材) にかかる最大荷重は 18.14kN である。

頭の圧縮強度は $k = 18,130 / (180 \times 180) = 0.59 (\text{N}/\text{mm}^2)$ であり、許容圧縮強度 $c = 34 (\text{N}/\text{mm}^2)$ の約 $1/55$ 程度であり、圧縮に対して安全性は問題ない。

3 棧木に作用する力

棧木の断面寸法は $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ で、長さは 80cm 程度である。水深 2.3m とすると、右岸の張は17本であるから、Fig.19に示した通り、 18.82kN の力が棧木に作用する。

杉材の許容圧縮強度は $34 \text{ N}/\text{mm}^2$ 、棧木の断面積は $15\text{cm} \times 15\text{cm} = 225\text{cm}^2 = 22,500\text{mm}^2$ であるから、棧木の許容圧縮力は 765kN となる。すなわち、杉材の許容圧縮力は棧木にかかる力 18.82kN の40倍あり、棧木が破断することは考えられない。

棧木の座屈強度に対する安全性は次の通りとなる。現況 $H=3.5^\circ$ 、水深 2.3m で端固定と考えると、

$P_k = (4^2 EI) / L^2 = 12621\text{kN} > 18.82\text{kN}$ となり、座屈に対して棧木の強度は600倍以上あり、座屈に対しても強度上問題ない。

ここで、杉材の弾性係数 $E = 485 (\text{kN}/\text{cm}^2)$ 、断面2次モーメント $I = bh^3 / 12 = 15^4 / 12 = 4218.75 (\text{cm}^4)$ 、材長 $L = 80 (\text{cm})$

4 ハンマーによる棧木の開放に必要な力

Fig.11は、堰開放時にハンマーで棧木をたたき、開放している瞬間の写真である。

棧木の軸力は最大 18.82kN (現況 $H=3.5^\circ$ 、最大水深 2.3m) と推定される。木材と左右岸側壁コンクリートとの摩擦係数 $\mu = 0.5 \sim 0.75$ 程度と推定され、ここでは $\mu = 0.75$ と大きめの値を仮定する。

棧木の最大摩擦力は、

$$F_s = 18.82\text{kN} \times 0.75 = 14.11\text{kN}$$

となる。

この力をハンマーで発生可能であるかを概算する。ハンマーの柄の長さを 90cm 、質量 $5\text{kg} \sim 10\text{kg}$ と概定し、ハンマーの速度は半径 1.0m の軌道を半周するのに 0.5 秒、棧木に当たり静止する時間を $0.01 \sim 0.02$ 秒と仮定すると、ハンマーは少なく見積もっても 1.5kN 、最大 8kN 程度の力を加えることが可能と思われる。

写真やビデオによる堰開放事例 (水深 2m 程度) によると、ハンマーで棧木を複数回 (5, 6回) 叩いて堰を開放していた。 3kN 程度の衝撃力でも、少しずつ連続して叩くことにより棧木の開放は可能と考えられる。

部材形状の機能評価

1 親柱の下端形状

Fig.6に示すように親柱の下端の鉤形の加工は、引張力が働く親柱の浮上を鉤により防止しており、板羽目堰の安定機能を保持するために最も重要な機能を発揮していると考えられる。

2 帆立の下端形状

Fig.9に示すように、帆立の下端形状は、水平反力に抗し、平水時に堰を越流した水流による移動を防止するため、基礎部に突き立てる円筒形の突起が設けられている。円筒形としている理由は、堰を開放する際に帆立が円弧を描いて倒れるため、基礎から確実に抜け出るよう考案されたと考えられる。

3 控の下流端形状

Fig.8に示すように控の下流端の形状は斜めに切れており、かつ丸みがつけてある。これは、堰を開放した際、控が横倒しとなって落下した後、基礎部に設置した窪みから確実に抜け出て、堰を確実に開放するための細工と考えられる。

4 左右岸棧木の機能

堰の円滑な開放のために最も重要な仕組みは、親柱、頭にかかる水圧を、頭を左右岸方向に $2 \sim 4^\circ$ 傾斜させる (くの字に曲げる) ことにより、張を通して左右岸方向へ伝達させるメカニズムである。

張に作用する左右岸方向の圧縮力は、左右岸の棧木に

全荷重が伝達され、この栈木をはずすことにより堰は一瞬のうちに開放する機能を発揮する。

5 組み立て作業や維持管理からの評価

板羽目堰の組み立ては、帆立を立て、控を乗せ、このセットを張で繋いでいく。並行して、親柱を立て、頭によって親柱と控と帆立を連結していく。このような手順で、河道の両岸から順次組み立てていく。組み立ての際ははまだ水圧がかかっておらず、河道横断方向に設置する張には圧縮力はかかっていない。

Fig.10に示すように、頭は横断方向に約3.5°左右岸方向に傾斜している。板羽目堰は、上流側の水圧による力を頭の横断方向の傾斜角度によって左右岸方向に転換し、張によって板羽目堰を岸方向に押さえつけるため、堰は川の中心方向へ倒れない。

この機能は、特に堰の組み立て時に有効に作用する。組み立ての際には、建てた部分が川の中心側に倒れないように、両岸からチェーン、ロープ或いはワイヤー等により、部材を岸側にたぐり寄せて傾かせながら作業を進める。

また、このようなワイヤー等には胴木、上板、下板を含めた全部品が連結されており、堰の開放後において部材を効率的に回収することにも役立っている。

堰開放の状況と評価

1 堰開放の状況

堰を開放した場合の各部材の転倒状況を以下にまとめる(Fig.22)。

- 1) 栈木をはずす。(栈木の長さは80cm程度)
- 2) 張が平行に岸方向に80cm程度移動して倒れる。
- 3) 頭が親柱からはずれず。
- 4) 親柱が水圧で下流へ傾き、倒れる。胴木、上板、下板も同時に倒れる。
- 5) 張がはずれる。
- 6) 帆立、控が抜けて倒れる。
- 7) 流水で堰部材が流される。
- 8) ワイヤー等で繋がれた部材が岸沿いに流れつく。

現況板羽目堰は河川の中央部から2分割し開放する方式を採用している。堰を全幅で左右どちらか一方から開放した場合は張や栈木にかかる力が現在の2倍になること、堰の組み立てが片岸からの一方作業となり組み立て日数が増えること、堰開放後に回収する部材をつなぐワイヤー等の設置が煩雑になることなどが考えられ、現状の左右岸2つに分けて開放する方式が種々の点から優れていると考えられる。

また、堰を全幅で同時に開放した場合と半分ずつ開放した場合の放流量をFig.23に示す。

全幅61mの堰を同時に開放した場合、約330m³/sの



Fig. 22 板羽目堰の開放の様子
The state of Itabame weir release

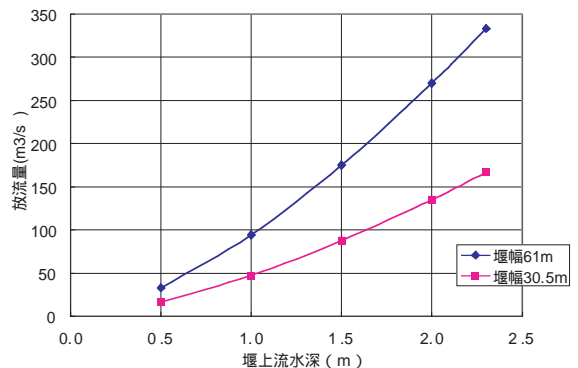


Fig. 23 堰幅と放流量の関係
The relationship between weir width and discharge in release

水量が一気に流下する。左右半分ずつ2回に分けて堰を半開放すると、開放時の流量が約半分となり、堰下流へ及ぼす急激な洪水波の伝搬を軽減でき、堰下流側の安全を確保ため有利である。

板羽目堰は、平常時には安定して起立して用水を確実に貯水する機能が求められる。一方、洪水時はそのまま起立していると洪水が堤防から氾濫する危険性があり、迅速に板羽目堰を開放する必要がある。

このように、板羽目堰は平常時の貯水機能、洪水時に迅速に開放できる機能の両方が求められる。次に平常時の安定性と洪水時の堰開放の確実性について評価する。

2 平常時の安定性

堰部材の断面形は頭と控が一直線ではなく、下に凹の形状になっている。これにより帆立には圧縮力がかかり帆立が安定する。

堰部材の中で親柱のみ引張の軸力がかかっている。その他の部材は全て圧縮力がかかっている。親柱の安定は基礎部分の鉤形の部分に頼っている。鉤は板羽目堰の部材の中で最も重要な部分と考えられる。この部分の摩耗や破損に対し常に細心の注意が必要であり、補修や部材の交換が堰の安定にとって重要である。

平面形状において板羽目堰は上流側の水圧による力の一部が張を通して左右岸方向に転換し、板羽目堰を岸方向に押さえつけ、堰を安定化させている。

断面形状において親柱、頭、控、帆立の接点形状はそれぞれが組み合わせるように加工されており、堰の安定に寄与している。

3 堰開放の確実性

控の下流端に丸みをつけ、かつ、斜めに切っているのは、控が横倒しとなって落下した後、基礎の穴から控が確実に抜け出して堰の開放を確実にするための加工である。

帆立の基礎の円柱型の突起も、帆立が円滑に倒れて基礎から確実に抜けるための加工であると考えられる。

結 言

板羽目堰の構造について、様々な作業仮説の検証により、用水の確保と洪水時の安全な放流のため種々の工夫が施されていることが明らかになった。板羽目堰建設に採用され現代まで受け継がれてきた堰部材の加工や組み立て構造などの伝統技術は、先人達の創意と長年の経験の賜物といえる。

市原市内の小学校3、4年生の社会科副読本（市原市教育委員会、2002）には、本堰の歴史、先人達の苦労話や新しい堰との違いが紹介されている。ただし、施設を保存し歴史を学ぶだけでは、本堰のような水利遺構の有する価値を知ることはできない。科学的見地から伝統技術を正當に評価し、これを学習することではじめて先人達の知恵や水利用への思いが理解できる。また、先人の優れた建設技術や水管理技術が結実した施設であるからこそ、地域が誇る遺産と納得される。このような道程を経て、水利遺構は地域に対する自信、誇り、愛着を育む生きた教材となり、地域固有の文化遺産として次の世代に継承する意義が広く認識されていくと考える。

このような水利遺構の存在が核となり、当該地域のみならず、水の恩恵を受けている都市地域の住民や、水源となっているさらに上流地域の住民をも取り込み、地域の活性化に繋がるような取り組みに発展することを期待したい。

参考文献

- 1) 佐藤俊郎, 中村好男, 森友俊之 (1991): 西広板羽目堰の構築技術と機能の保存, 農業土木学会誌, 第59巻, 第12号 1365-1370
- 2) 市原市教育委員会 (2002): 小学校社会科副読本「わたしたちの市原市」
- 3) 市原市五井連合土地改良区 (1979): 文化財西広板羽目堰構造材料表

Hydraulics characteristics and mechanism of heritage structure Saihiro Itabame Weir

KOBAYASHI Hiroyasu, TAKAKI Kyoji, NAMIHIRA Atsushi, TSUNESUMI Naoto,
GOTO Masahiro

Summary

The Saihiro Itabame Weir is the dam of the wooden frame work which was constructed in the downstream of River Yoro in Ichihara-City Chiba Prefecture in the Taisho Era from Meiji. It is valuable facilities in the agricultural water use history in our country in the structural idea and the function, the scale and it is the traditional technique which should mention specially in the management of the maintenance, too.

This report clarified the hydraulic characteristic, the mechanism of the section and planar-structure of the Saihiro Itabame Weir. As a result, at the Itabame Weir, it clarified that a various device was done because of the securing of irrigation water and the safe discharge in case of the flood.

Keywords : itabame weir, wooden frame work, traditional technique, irrigation water securing, weir opening