

笛吹川の聖牛試験施工と被災にかかる考察

A STUDY ON TRIAL CONSTRUCTION AND DAMAGE OF FLOODS IN SEIGYU (CRIB SPUR) AT THE FUEFUKI RIVER

和田一範¹・有田茂²・後藤知子³

Kazunori WADA, Shigeru ARITA and Satoko GOTO

¹正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 流域管理研究官 (前甲府工事事務所長)
(〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地)

^{2,3}正会員 日本建設コンサルタント(株) (〒105-0004 東京都港区新橋六丁目17-19)

Recently traditional river works have been provided at various locations in Japan. But many of these were constructed without any technical background on stability of the structure. This paper shows one of possible measures for increasing stability of SEIGYU against flood flow. SEIGYU were constructed in 1999 to the Fuefuki River, one of the tributaries of the Fuji River that is a class A river in Japan. Three of these SEIGYU were washed away by the floods in June and August in the same year. The return period of the flood peak discharges of the floods was 2 years. The stability of the SEIGYU against sliding and tumbling is studied by applying an equation of power equilibrium. According to the calculation, it has been found that the stability of SEIGYU against tumbling is high but the stability against sliding is low. The stability of SEIGYU integrated with concrete blocks embedded under the SEIGYU is studied by applying the same equilibrium and it is found that such SEIGYU will stand against a river flow of which the return period is 10 to 30 years.

Key Words : traditional river works, SEIGYU, stability, sliding, concrete blocks, return period

1. はじめに

わが国の伝統治水工法の代表格とも言える牛柵工法のひとつ聖牛は、富士川や笛吹川でも数多く施工された工法であり、富士川本流の釜無川がその発祥であると言われている。しかしこのことは、日本の河川技術者の中でもあまりよく知られていないばかりでなく、富士川の地元、山梨県、静岡県でも知る人は少ない。

現在、富士川、釜無川および笛吹川に残る聖牛の多くは昭和初期から昭和30年代にかけて整備されたコンクリート聖牛だが、近年、河川整備において環境や歴史・文化の継承の観点から聖牛等の日本古来の河川伝統工法が見直され、全国の河川で復活、設置される事例が多くなった。富士川流域においても平成11年に笛吹川に木製の中聖牛と合掌杵が試験施工されたのを始めとして、富士川、釜無川でも木製聖牛の整備が取り組まれている。

しかし、これら新たに施工された河川伝統工法のほとんどが技術的な安定性を確認されず、施行されているのが現状である。また、流失した木材は下流に位置する河川

構造物を破損させる要因や遮蔽物となり洪水疎通能力を損なう原因ともなる。

本報告は、平成11年に笛吹川に試験施工され、同年に2回の被災を受けた聖牛群を例にとりて被災状況の報告と聖牛の安定性について試算を行い安定性向上に関する技術的な考察をおこなうものである。

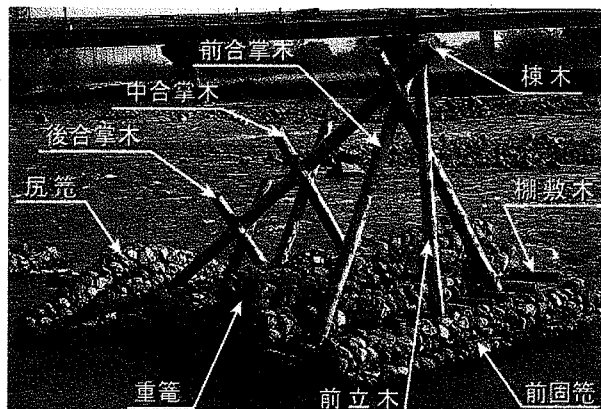


図-1 中聖牛の形状と部材名称

写真:「グラフ信玄堤」より

2. 笛吹川川中島水制の試験施工と被災

(1) 川中島水制と周辺河道

平成11年3月に笛吹川F179～F185地点に縦断方向一列に設置された聖牛は地先の名前を取って川中島水制の通称で呼ばれている。延長約500m区間に合掌杵水制1基と合掌杵をはさむ形で上流に18基（延長213m）、下流に20基（延長234m）の二つの聖牛群38基が設置された。

設置された聖牛は「中聖牛」であり、材質は松丸太、高さは約4m、幅約5m、河道縦断方向の長さが約7mである。聖牛は約6mの間隔を設けて設置された。また、聖牛を配置した河岸にはコンクリートブロックによる低水護岸が整備済みである。二つの聖牛群の間に配置された合掌杵水制は、聖牛と同じく材質は松丸太であり、高さは聖牛と同じく約4m、河道横断方向の長さは約16m、河道縦断方向の幅は約8mである。

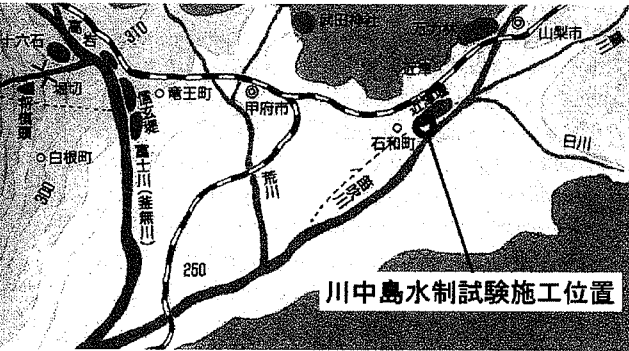


図-2 甲府盆地と川中島水制試験施工位置

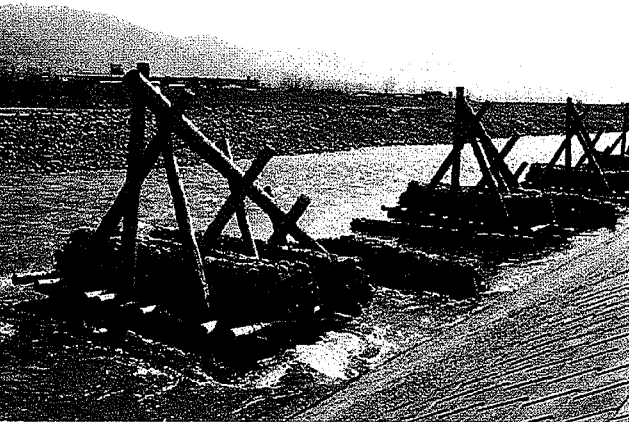


写真-1 施工直後（平成11年3月）の聖牛（川中島水制）



写真-2 聖牛と共に設置された合掌杵水制（川中島水制）

川中島水制付近の河道は、川幅約200m、河床勾配1/200～1/100、河床材料は平均粒径約20cmで、河道セグメント区分：扇状地～谷底平野のセグメント1に区分される急流区間である。計画流量は100年確率流量で3,200m³/sとなっている。河道は緩やかに左に湾曲しているが、航空写真などから確認すると平成元年以降は測点F184～186付近でミオ筋は右岸に急速に移行し、その後右岸護岸近傍を流れている。これはこの区間が河床勾配の変化点であり、河道土砂が堆積しやすいという特徴を持ったためであり、川中島水制施工当時は対岸の左岸側で河積確保のため砂利採取が行われており、河道内に小堤が設けられていた。このため、中小規模の出水時に右岸側への水衝りが強くなる区間である。

表-1 笛吹川（F182地点）河道諸元

川幅	約200m
河床勾配	1/200～1/100
河床材料の平均流粒径	約20cm
河道セグメント区分	セグメント1 （扇状地～谷底平野）
計画流量	3,200m ³ /s（100年確率流量）

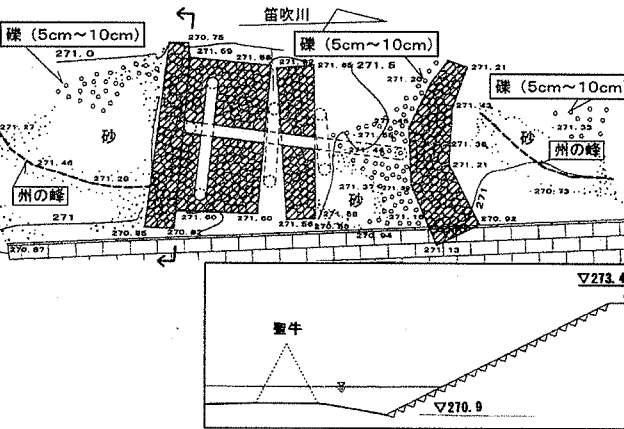


図-3 聖牛付近の河床状況

(2) 中小規模出水による聖牛の流失

平成11年3月に試験施工された川中島水制は、同じ年の6月、梅雨前線に伴う出水を受けて合掌杵水制下流の聖牛群の流頭部から2番目の聖牛が1基流失するという被害を受けた。また、同年8月の熱帯低気圧に伴う出水で今度は合掌杵水制の上流聖牛群の流頭部から11番目と12番目の2基の聖牛が流失するという被害を受けた。

下流の石和水位観測所地点のピーク水位からのH-Q換算流量を算出するとそれぞれピーク流量はH11.6出水307m³/s、H11.8出水458m³/sであり、H11.8出水は警戒水位を若干超えたもののどちらも低水路満杯流量以下の中小規模出水であった。

富士川合流点（F-0）における笛吹川の計画流量は5,800m³/s（1/100年）である。これに対し、治水安全度

1/2,1/3,1/5,1/10,1/30,1/50流量について、計画高水流量配分比で各区間の流量を算出した結果を図-4に示す。H11.8出水は1/2年確率流量相当,H11.6出水は1/2年確率流量相当以下の頻度で発生する出水である。

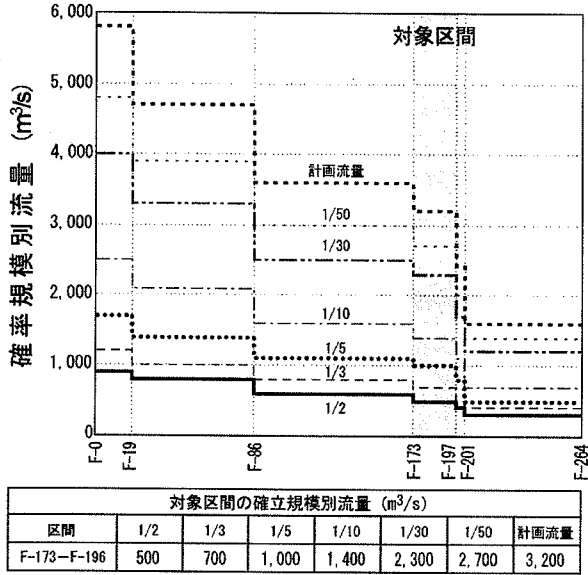


図-4 笛吹川確立規模別流量

等流計算により,H11.6出水およびH11.8出水相当流量における当該区間の平均流速を算出するとH11.6出水($Q=307\text{m}^3/\text{s}$)時は区間平均流速 $V_s=1.87\text{m/s}$,H11.8出水($Q=458\text{m}^3/\text{s}$)時は区間平均流速 $V_s=2.12\text{m/s}$ となる。

河道形状と聖牛の配置位置,H11.6出水およびH11.8出水における聖牛の流失箇所は図-5に示すとおりである。

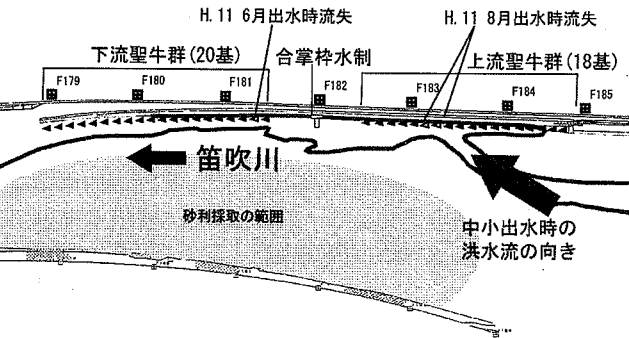


図-5 H11.6出水ならびにH11.8出水による聖牛の流失箇所

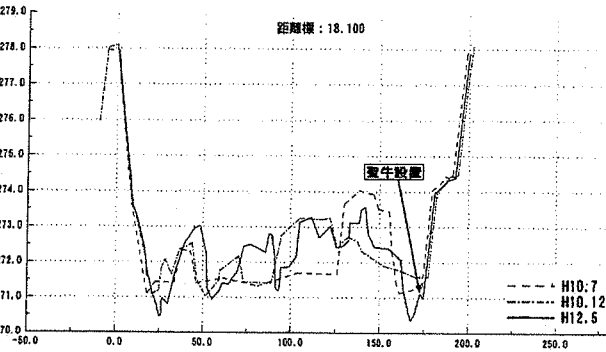


図-6 H11.6流失地点の出水前後の河床変化 (F181)

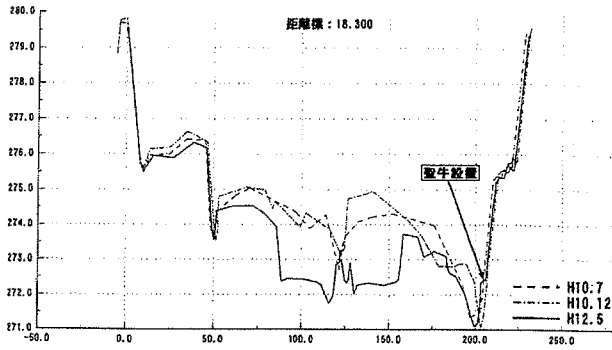


図-7 H11.8流失地点の出水前後の河床変化 (F183)

聖牛流失前後の河床形状の変化を見ると、この区間は経年的に水衝部にあたり、低水護岸が設置されており、聖牛の施工前後における河床形状の著しい変化は見られない。

写真-3はH11.6出水の様子を川中島水制の下流側から撮影した斜め写真である。高さ4mの聖牛ならびに低水護岸の肩から横断方向に張り出した合掌杵水制ががほとんど水没しており、低水路満杯近い流量が流れている様子が見て取れる。また、上流側は大型の中州を挟んで流れが二つに分かれており、左側から流れてくる流水は左岸側に発達した砂州にあたり、右岸側に向かう流れとなっている。

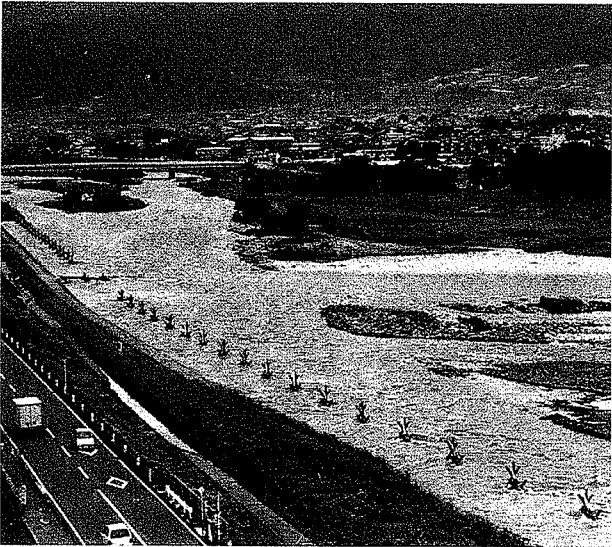


写真-3 H11.6出水の様子 (下流側から見たところ)

写真-4はH11.8出水後の現地の状況である。出水後のミオ筋の状況から、流失した2基の聖牛は左岸側から右岸側に向けて斜め横方向に向かう流れの正面に位置していたことがわかる。また、流失した2基の聖牛の下流に位置する聖牛は大きく主流部側に傾いている。流失した2基の聖牛は杵工のみが流失し、重籠が現地に残されていることから、斜め前方から強い流れを受けて聖牛主流部側の河床が局所的な洗掘をうけ、これにより聖牛が河道横断方向に大きく傾き、蛇籠が滑り落ちるなどして重籠の役

割を十分に果たせなくなり,比重の軽い聖牛木枠のみが流失したものと考えられる。



写真-4 H11. 8出水後の被災の様子

川中島水制の聖牛の配置にあたっては予想される斜め横方向の流れに最も効力を発揮するように、聖牛の背骨にあたる棟木が低水路法線に並行ではなく、やや河道中心方向に向くように設置されていた。経験的な所感から川を見立てる、いわゆる「見立て」の技術だが、流失した地点の洪水流の流れは予想を上回るものであったと言える。

(3) 中小規模出水にみる聖牛の流失過程

H11. 6出水とH11. 8出水における聖牛の流失過程を推測すると、流失した3基の聖牛がいずれも聖牛正面（前合掌木と前立木で構成される三角形面、図-1参照）でなく、聖牛側面に水流を受ける位置にあることが共通点としてあげられる。流失した聖牛の上流に位置する聖牛には河道横断方向の大きな傾きが見られないことから、中小規模出水時において次のような流失過程が推測される。

- ① 聖牛の側面（横もしくは斜め前方）より洪水流がぶつかる

↓

② 聖牛にぶつかった水流が河床方向の落ち込み流を発生させ、やわらかい河床を洗掘する

↓

③ 河道中央側を洗掘された聖牛が傾き、安定性が低下する

↓

④ 滑動が始まり流失する。ただし、蛇籠が抜け落ちて河岸に残っているため、河岸の防護機能は幾分残される

聖牛は構造上真正面からの流れには強いが、横からの流れに弱く中小出水程度でも流失することが考えられる。

このため、制御する洪水流の流向を想定しながら設置する必要があると考える。

3. 川中島水制の被災にみる聖牛の安定

笛吹川に試験施工された聖牛の中小出水の流失事例から、木製中聖牛の滑動および転倒に対する安定限界流速を簡易的に試算した。

聖牛の安定検討モデルは図-8に示すとおりである。

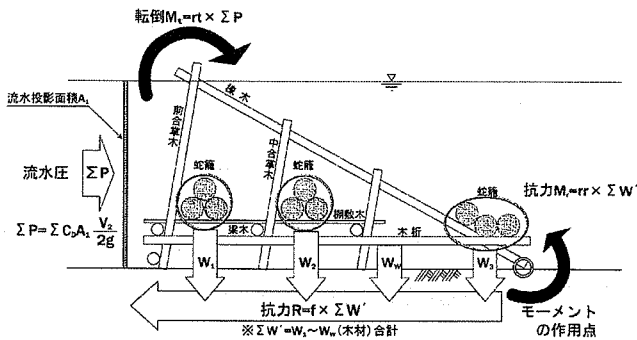


図-8 聖牛安定検討モデル模式図

(1) 聖牛の滑動安定限界流速

滑動に対する安定は、単位水制の水中での抵抗力 R (kN) ((2) 式) と単位水制に作用する全流水圧 ΣP (kN) ((3) 式) との釣り合いから (1) 式により試算した。

$$R > \Sigma P \tag{1}$$

$$R = f \times \Sigma W' \tag{2}$$

$$\Sigma P = \Sigma (C_d \times A_1) \times \frac{V_c^2}{2g} \tag{3}$$

ここで、 $\Sigma W'$ は単位水制の水中全重量 (kN) , f は摩擦係数(河川砂防技術基準(案)設計編I, 第1章河川構造物の設計第4節護岸, P40より一般的な摩擦係数0.65を採用した) , C_d は抵抗係数 (決定根拠となる技術的な情報が得られないため、ここでは安全側で考えるものとし、上限値に近い1.0として試算した) , A_1 は単位水制各部の流水方向に直角な面への投影面積 (m²) , V_c は流速 (m/s) とする。

また、聖牛の棟材頭頂部まで水位が上昇したものとし、流水投影面積は現地の状況から倒木などが枠材に絡み透過部が目詰まりしているものとして前合掌枠内を不透過として考えた。

上記の条件で河床が平坦で聖牛が河道横断方向に傾斜していないものとする滑動に対する安定限界流速は3.7m/sとなる。

H11. 6出水およびH11. 8出水で流失した聖牛の特徴は、ミオ筋が河岸方向に向かっていて水衝部であることと聖牛が傾いた事により安定性が減少したことの2点があげられる。H11. 8出水後の現地の状況から流失した2基の聖

牛の下流側で河道中央方向に大きく傾いて残っていた聖牛が約45°の傾斜角を持っていたことから、流失直前の聖牛は重籠（蛇籠）の荷重が低下していたと仮定すると、滑動に対する安定限界流速は3.2m/sとなる。

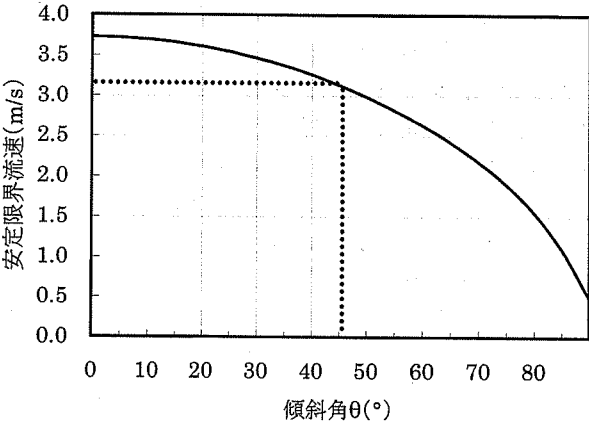


図-9 聖牛の横断方向の傾斜と安定限界流速の低減

(2) 聖牛の転倒安定限界流速

転倒に対する安定は、単位水制の水中での抵抗モーメント M_r (kN) ((5) 式) と単位水制に作用する全流水圧の転倒モーメント M_t (kN) ((6) 式) との釣り合いから (4) 式により試算した。

$$M_r > M_t \tag{4}$$

$$M_r = rr \times \sum W' \tag{5}$$

$$M_t = rt \times \sum P \tag{6}$$

ここで、 rr は抵抗モーメントのアーム (m) , rt 転倒モーメントのアーム (m) とする。

上記の条件で安定性を試算すると、転倒に対する安定限界流速は、9.14m/sとなる。

(3) 川中島水制被災時の聖牛近傍流速

これに対して、平成10年現況河道断面を用いた一次元不等流計算によりH11.6出水およびH11.8出水時の流量が流れた時の河道の平均流速を求め、聖牛近傍の平均流速を算出すると表-2のとおりとなる。

表-2 聖牛の滑動安定限界流速 単位：(m/s)

対象出水	H11.6出水 (Q=307m³/s)	H11.8出水 (Q=458m³/s)
区間平均流速 (F-180-F-184)	1.53	2.16
聖牛近傍流速	2.30	3.24

「護岸の力学設計法」の直線河道の深掘れ部での流速補整手法を用いると補正係数 $\alpha=1.5$ となり、聖牛近傍の平均流速はH11.6出水が2.30m/s、H11.8出水が3.24m/sとなり、H11.8出水時の聖牛近傍流速は滑動限界流速とほぼ同等となった。

H11.6出水で流失した聖牛は1基であり、設置した場

所の条件等の現地の不確定要因が働いたと考えれば、聖牛の水利的限界流速は3m/s程度であると考えられる。

4. 聖牛の安定性向上のための検討

前述の確率規模流量について一次元不等流計算モデルを用いて対象区間の平均流速を求めると表-3のとおりとなる。直線部の深掘れによる流速補整を行い聖牛近傍の流速を算出すると1/3年確率規模の洪水で約4m/s程度、1/10年確率規模の洪水で5m/s程度の流速が発生することになり、聖牛の滑動に対する安定限界流速約3m/sは1/3確率以下で2年に一度以上発生する洪水で流失してしまう可能性がある。

確率規模		1/3	1/5	1/10	1/30	1/50
平均流速 Vm	F-180	1.74	2.11	2.51	3.25	3.53
	F-181	3.39	3.70	4.07	4.71	4.95
	F-182	2.59	3.02	3.49	4.24	4.50
	F-183	2.85	3.27	3.70	4.31	4.53
	F-184	2.67	3.00	3.32	3.89	4.10
区間平均流速		2.65	3.02	3.42	4.08	4.32
聖牛近傍流速		4.0	4.5	5.1	6.1	6.5

比重の軽い木材で構成された聖牛枠を水中で押さえ込んでいるのは聖牛の前合掌木から後合掌木間の棚敷木の上に据えられた重籠ならびに聖牛後部の棟木と桁木の交差部に据えられた尻籠に詰められた玉石の重量である。

単純に重量が増せば安定性は向上するが、逆に部材の強度に不安を抱えることになる。

本考察では聖牛の前合掌木および前立木の下にコンクリートブロック等を埋め込み、聖牛とブロック一体化することによって滑動に対する安定性を高めることを考えた。

取り付けるブロックモデルは1m四方の立方体3個とし、これを図-10に示すイメージ図のように地中に埋めて前合掌枠を構成する二本の木材、および前立木とコンクリートブロックを一体化するものと考えた。

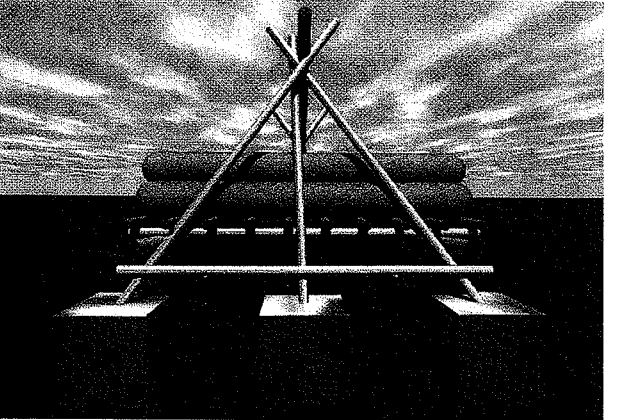


図-10 コンクリート基礎ブロック設置イメージ

地中に張り出したコンクリート突起のせん断抵抗
力 τ_u を単位水制の水中での抵抗 R に追加して、滑動
安定限界流速を算定した。

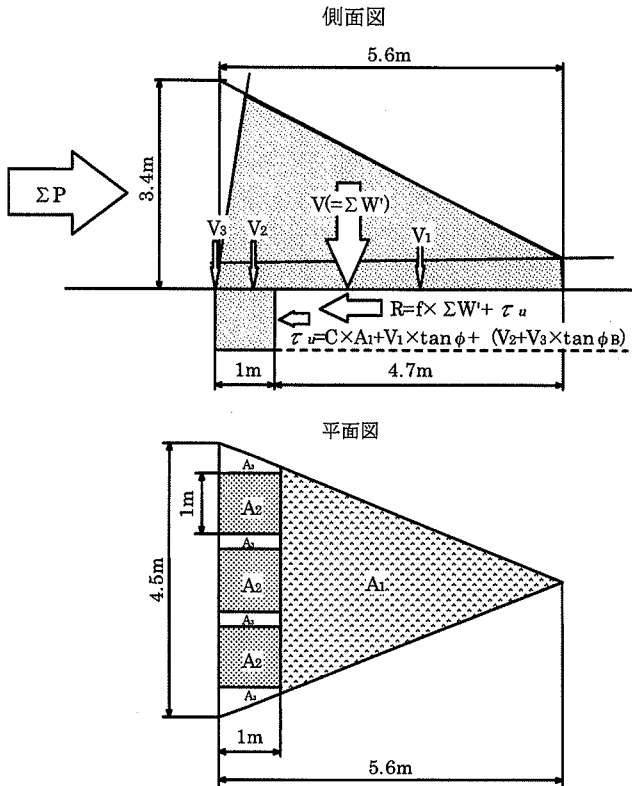


図-11 聖牛安定強化ブロック滑動モデル

安定計算は前述の(2)式を(8)式に置き換え
滑動限界流速を算出した。

$$R = f \times \Sigma W' + \tau_u \quad (8)$$

$$\tau_u = C \times A_1 + V_1 \times \tan \phi + (V_2 + V_3) \times \tan \phi_B \quad (9)$$

$$V_1 = \frac{A_1}{\Sigma(A_1 + A_2 + A_3)} \times V \quad (10)$$

$$V_2 = \frac{A_2}{\Sigma(A_1 + A_2 + A_3)} \times V \quad (11)$$

$$V_3 = \frac{A_3}{\Sigma(A_1 + A_2 + A_3)} \times V \quad (12)$$

ここで、 C は地盤の粘着力(=0) (kN/m^2)、 $A_1 \sim A_3$ は
有効載荷面積中の各突起前面の面積 (m^2) $V_1 \sim V_3$ は
 $A_1 \sim A_3$ に作用する鉛直荷重 (kN)、 ϕ は地盤のせん断
抵抗角(=35°) (°)、 ϕ_B は摩擦角 (°) とする。

上記の条件で聖牛の滑動限界流速を算定すると、滑動
限界流速は横断方向の傾斜を考慮しない場合で約6.2m/s、
横断方向に45°傾斜していると考えた場合で約5.2 m/sと
なり1/10年～1/30年確率の洪水まで耐用可能となる。

5. まとめ

本考察では笛吹川で試験施工された木製中聖牛の被
災事例から、聖牛の安全性について簡易的な検証を行い、
安定性向上対策の一例を提示した。

笛吹川に試験施工された木製中聖牛の被災事例から
木製中聖牛の安全性を考察すると、聖牛の耐えられる流
速は3m/s程度であり、これは笛吹川では2年～3年に一度
以上起こりうる洪水で容易に発生する流速である。

提示した前合掌木および前立木を地中に埋め込んだ
コンクリートブロックと連結して安定性を向上させよう
という試算結果では、聖牛の素材(木材)の強度や腐食
などの問題、蛇籠や杵材に流木などが付着し透過性が失
われる問題などを考慮していなかったものの、聖牛の滑
動限界流速は5～6m/s程度まで向上させ1/10～30年確率
洪水にまで対応できるという結果を得た。

多自然型川づくりの推進とあわせて伝統工法の見直
しが進み、各地で日本古来からの伝統河川工法が取り入
れられている。これらの中には整備したものの、その後被
災を受けて放置されているものの散見される。伝統河川
工法について河川工学としての技術的な検証を行い、現
代に合ったものとして改良を加えてゆくことは、河川実
務担当者としての大きな責務であり、その意味で今回の
検討は大きな成果を得たと考える。

本考察における試算は簡易的なものであるが、今後も
施工した聖牛の継続的なモニタリングを行っていくと共
に、これらの工夫を行うことによって伝統工法の代表で
ある聖牛も一定の安全性が確保され、これまでの試験施
工的な位置づけを脱却し、河道計画の計画論に組み込ん
でいける治水施設として位置付けていけるものとする。

参考文献

- 1) 山本晃一, 1996 : 日本の水制, 山海堂
- 2) 高橋裕, 1990 : 河川工学, (財)東京大学出版会
- 3) 大熊孝責任編集, 1994 : 川を制した近代技術, 平凡社
- 4) (社)日本河川協会編, 1997, 改訂新版建設省河川砂防技術基
準(案)同解説, 設計編I
- 5) (財)国土開発技術研究センター編, 1999, 護岸の力学設計法
- 6) 建設省関東地方建設局甲府工事事務所, 1989 : 甲斐の道づく
り・富士川の治水 歴史資料集
- 7) 和田一範, 2003 : グラフ信玄堤 千二百年の系譜と大
陸からの潮流, 山梨日日新聞社

(2004. 4. 7受付)