

桂川に残る江戸初期の石積み水制に関する実験的検討*

Experimental Study on the Old Groin of Early Edo-era in Katsura River

石垣泰輔**, 田中尚人***

By ISHIGAKI Taisuke and TANAKA Naoto

Abstract

Recently, the design with nature becomes one of important factor in planning flood control measures. Hydraulic engineers recognize that some traditional counter measures for flood are good examples of the matter. Floods can not be fully controlled by the traditional engineering, however, the nature is not fully destroyed by that. Now is the time when the engineers have a better opinion of the engineering. A traditional counter measure has been reported in this paper. The hydraulic aspect of old groin, which has built in the early Edo-era in Katsura river, Kameoka, Kyoto, is investigated experimentally with a model of 1/100 scale. The results show that the groin was designed with consideration for the magnitude of flood.

1. はじめに

約40km²の亀岡盆地を流下する桂川は、上流部分の大堰川と呼ばれる区間と保津付近から下流の保津川と呼ばれる区間からなる。この地は、請田地点より下流の保津峡の狭窄部があるため、洪水流量が多くなると狭窄部により堰上げられて逆流氾濫を起こし、亀岡市とその周辺の平地が浸水する水害常襲地となっている。このように水害発生が回避できない地形であるが、古くより盆地周辺の段丘上に多くの集落が発達し、低平部は農地として利用されるとともに、河川を利用した木材や物資の集積地として利用されてきた。そのため、河川の氾濫原に生活する知恵として伝統的な水害対策がなされてきており、現在もその機能を失っていないものが存在している。

そのひとつが、ここで対象としている石積み水制であり、亀岡市内を流れる桂川の右岸に、上内膳・下内膳と呼ばれる水理構造物が残っている(図-1)。これは、慶長15年(1609)亀山藩主となった岡部内膳正長盛が、水害防止のために築いた石積み水制であり、河畔農地の侵食を防いだと言われている。現在、下内膳は一部が流失し、その形状は定かではないが、上内膳はその形状を測定することができる状態で残っている。これらは越流型の水制であり、河道横断測線より約65°下流に向いた下向き水制である。一般的に、越流型の下向き水制では、先端部で堆積が生じ、下流の河岸付近が洗掘・侵食されることが知られており、伝えられている設置目的(河岸農地の侵食防止)と矛盾する。したがって、ここでは、

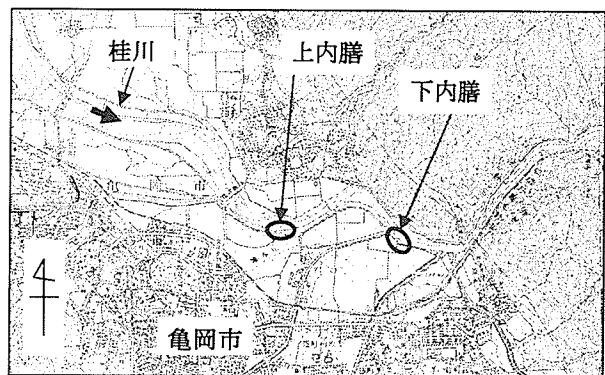


図-1 上内膳・下内膳位置図(京都府亀岡市)
(Fig.1 Survey map of old groins in Kameoka.)

形状が測量可能な上内膳を対象に水理模型実験(縮尺:1/100)を行い、その機能を検討することとした。

2. 上内膳・下内膳¹⁾

古くは葛野川、大堰川と呼ばれていた桂川に関する河川工事は、5世紀末に渡来した秦氏による葛野大堰の築造に始まり、慶長年間(1604-1606)の巨椋池との分離・合流点の引き下げ、角倉了以による大堰川の開削(1606)が挙げられる。ここに取り上げた上内膳・下内膳は、亀山藩主の岡部内膳正長盛が、河道屈曲外岸に形成された洲(内膳洲と呼ばれている)の上流側に設置した石積み水制である。上内膳は、雑水川との合流点の上流に築か

*keywords: 石積み水制, 江戸初期, 水理実験

**正会員 工博 京都大学防災研究所附属災害観測実験センター

***正会員 工博 岐阜大学工学部社会基盤工学科

(〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

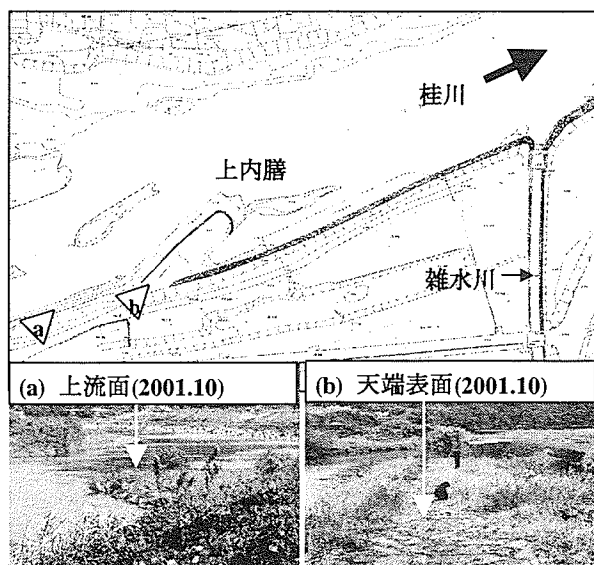


図-2 桂川右岸の上内膳（石積み水制）
Fig.2 Old Groins called as “Kami-Naizen” in Kameoka.

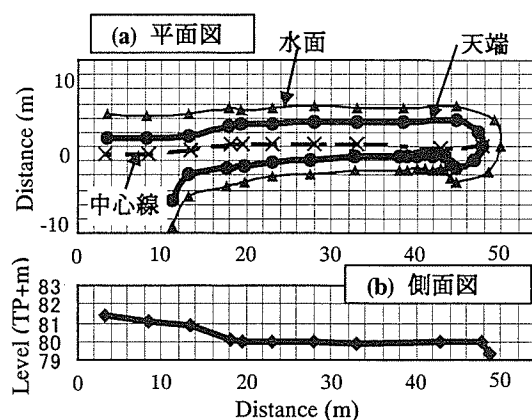


図-3 上内膳の形状（2001.12 測量結果）
Fig.3 Ground plan and side plan of “Kami-Naizen”.

れた長さ 20 間半 (36.9m) の石堤、下内膳は、年谷川との合流点の下流側に築かれた長さ 50 間 (90m) の石堤であり、いずれも河畔の農地の侵食を防ぐために築いたとされている (永光²⁾, 1984)。これらの石堤は、水制工の一種であり、水刳ねの機能を持つことから石刳と呼ばれている。現在、これらは、図-1 に示すように、保津川下りの乗船場と、保津峡の狭さく部の入り口との間の桂川右岸に残されている。上内膳については、補強工事がなされ、ほぼその全容が残されていると思われるが、下内膳については、残念ながら先端部分が流失している。なお、先端部分の石積みについては、1988 年まで部分的に残っていた記録がある (黒川³⁾, 1988)。

図-2 は、現在の上内膳の状況を、図-3 は、その形状を測量した結果である。水制周辺は、コンクリートブロックで保護されているが、天端面の状況から石積堤であることが確認された (図-2 (b))。図-3 より、石積みと確認される部分の全長は、史料の 20 間半 (36.9m) より長く、ほぼ全体が残っているものと考えられる。また、先端は丸く、天端がほぼ水平な区間が約 30m 程続き、

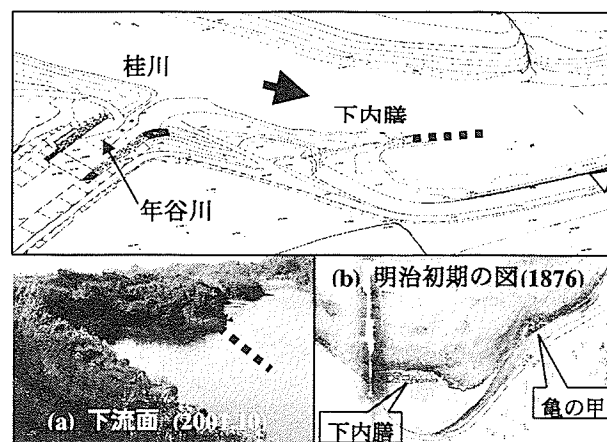


図-4 桂川右岸の下内膳
Fig.4 Old groin called as “Shimo-Naizen” in Kameoka.

堤防との接続部で高くなっている。一方、現在の下内膳は、図-4 に示すようであり、図中の破線部分、すなわち、(b) の古図面 (山本村字内膳測資³⁾, 1876) に示された石積部分は流失した状態である。この流失部分を合わせた長さが、史料の 50 間 (90m) に相当するものと考えられる。

いずれも越流型の下向き水制である。その角度は約 65° であり、これは、下流に向かって 2 間下がり、川側に 1 間出す割合に相当する。

これらの水制は、上下流の桂川の形態と周辺地形を考慮すると、中小洪水時に機能したのと考えられる。その理由は、大洪水の際には下流の狭さく部 (保津峡) の影響で亀岡盆地全体が湛水するため、水制としての機能は必要としないためである。

3. 上内膳に関する実験的検討

1. において、下向き水制周りの水理現象と設置目的とが矛盾することを指摘した。また、必要な機能が限定された洪水規模を対象としている可能性を前章で指摘した。これらの点について検討するため、図-3 のデータに基づいて写真-1 に示す縮尺 1/100 の上内膳水理模型を作成し、水制周りの流れと洗掘現象に関する実験を行った。なお、水制先端部分の形状は単純化し、写真に示すように円形とした。また、洗掘対象範囲を大きくするため直立河岸としており、洗掘現象と流れに着目するため、静的洗掘条件での実験を行った。

実験には、幅 1m、深さ 30cm、長さ 10m の流量制御装置付き水路を用いた。水理模型は、珪砂 7 号を敷設した移動床区間 (長さ 1.8m、深さ 20cm) に設置した。なお、10cm 幅の河岸を設置したため、水路幅は 90cm、水制先端付近の幅は約 70cm である。実験では、レーザ変位計による河床形状計測、超音波水位計による水面形状計測、電磁流速計による流速計測、および水面流況等の可視化を行った。実験条件は、表-1 に示すように、非越流状態と越流状態の 5 ケースを設定した。以下の結果は、水深と水制高の比 H/h で整理して示しており、1 以上が越

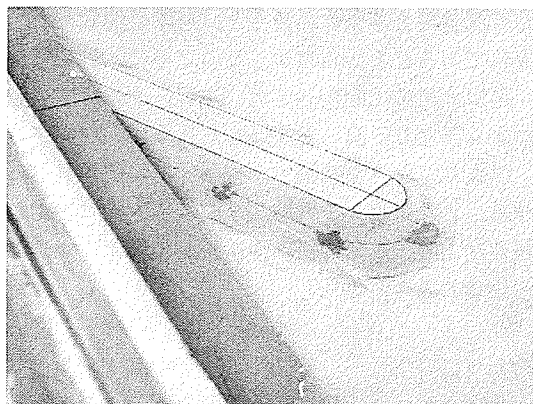


写真-1 上内膳の水理模型 (縮尺: 1/100)
(Photo.1 Hydraulic model of “Kami-Naizen”; $s=1/100$).

表-1 実験条件
(Table 1 Hydraulic condition.)

ケース	H/h	H (cm)	Q (l/s)	流れ
1	0.82	4.08	7.27	非越流
2	1.22	6.06	10.78	越流
3	1.41	7.00	12.60	越流
4	1.62	8.00	14.40	越流
5	1.92	9.48	17.38	越流

H:水深, h:水制高=4.95cm, Q:流量, 水路幅=90cm, 水路長=10m, 河床材料:珪砂7号 ($d_m=0.26\text{mm}$)

流状態の流れである。静的洗掘条件下で同程度の掃流力とするため、断面平均流速を一定とし、水深と流量を変化させる条件設定を行った。なお、用いた河床材料の限界摩擦速度 u_{*c} と流れの摩擦速度 u_* の比 u_*/u_{*c} は、0.83～0.91 の範囲である。

写真-2は、水面におが屑を散布して水面流況を可視化し、非越流時と越流時の結果を比較して示したものである。非越流時には、上流からの流れは水制により刎ねられて水路中央部へ向かい、水制下流には死水域が形成される。一方、越流時には、上流からの流れの一部は水制により刎ねられるが、一部は水制を乗り越えて下流の河岸に向かう。したがって、越流する場合には、下流側が洗掘されるとともに河岸も侵食される。しかしながら、越流条件によっては、下流側の河床や河岸に作用する掃流力が大きくならず、洗掘や侵食の程度がそれほど大きくならない可能性もある。図-5は、ほぼ同程度の掃流力とした場合の3ケースにおける洗掘・堆積形状の計測結果を示したものである。なお、通水時間は、すべてのケースで1時間とし、初期河床高からの変化量を等高線で示している（堆積：正，洗掘：負）。流れは、左から右である。図より、非越流の場合（上段の図）、水制により刎ねられた流れが先端付近に集中し、その流れによって先端下流側に洗掘孔が形成されている。一つ目の洗掘孔の下流に形成された堆積域を越える流れが下流側に新たな洗掘孔を形成し、同様のメカニズムで順次堆積域と洗

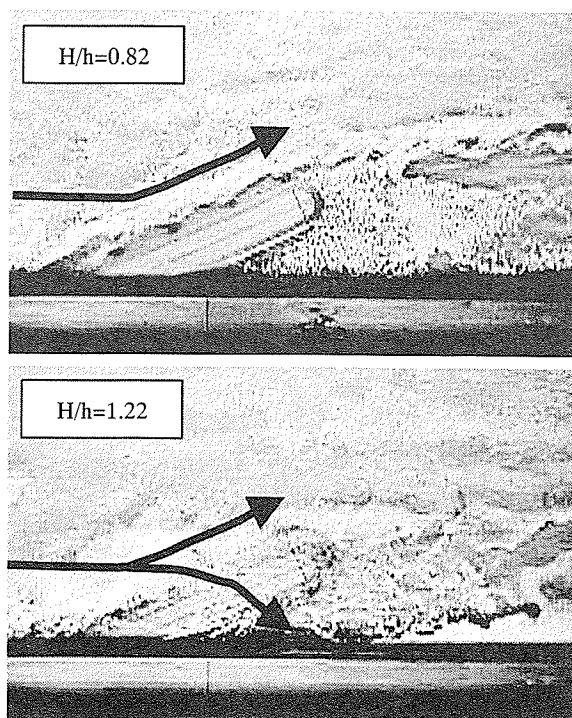


写真-2 非越流時（上段）と越流時（下段）の水面流況比較

(Photo.2 Flow patterns on the water surface in case of non-submerged and submerged flow.)

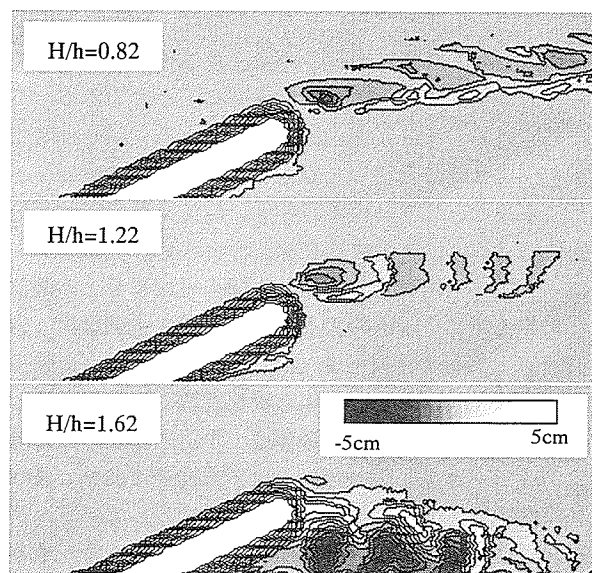
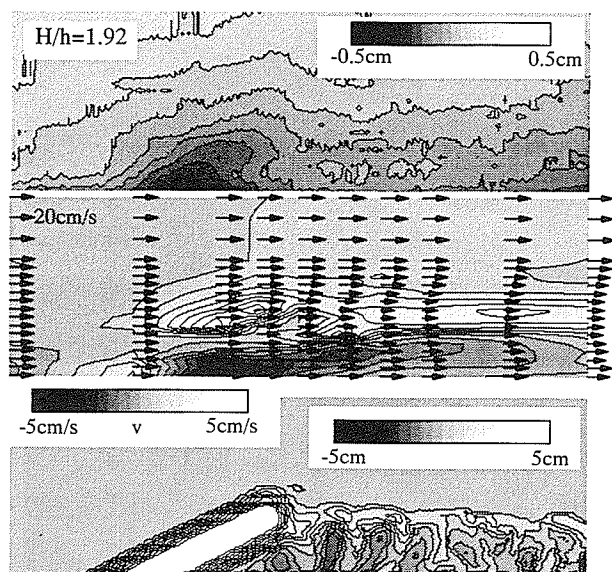


図-5 水制周りの洗掘・堆積形状
(Fig.5 Bed forms around the groin.)

掘孔が形成されて行く。このメカニズムはいずれのケースでも同様である。中段および下段の図は、いずれも越流する場合の結果であるが、洗掘・堆積位置が大きく異なっている。H/h が小さな中段の結果では、非越流の場合と同様に水制先端から下流に向かって洗掘孔と堆積域が形成されるのに対し、H/h が大きな下段の結果では水制下流の河岸沿いに深い洗掘孔と堆積域が形成されている。この結果は、越流条件 (H/h) により越流する流れの



図－6 越流時の水面形状（上段）、流速（中段）及び河床形状（下段）

(Fig.6 Profiles of water-surface (upper), velocity (middle) and bed (lower) in case of submerged flow.)

掃流力、つまり、越流する流れの速度が異なることで説明できる。すなわち、越流水深が大きくなるにつれて越流する流れの流速が大きくなり、掃流力が増大する。この結果について、異なった見方をすれば、越流水深によっては、水制下流側の洗掘や河岸侵食はそれほど大きくならない範囲があるという知見を得ることができる。この結果を考慮すると、上内膳の設置による河岸侵食防止法が中小洪水時に限定した対策であり、河岸の侵食が小さくて水刳ねとしての機能が有効な越流条件の範囲が経験的に知られていたと推定することも可能である。

図－6は、水制周りの流れと洗掘・堆積現象との関係を検討するため、 H/h の大きな条件下で、水面形状、水制天端直上1cmの速度分布（流下方向速度成分 u と鉛直方向速度成分 v ）および河床形状を計測した結果を示したものである。なお、水面形状は、平均水面との差の等高線で表し、速度については、流下方向速度成分 u をベクトルで鉛直方向速度成分 v を等高線で示している。河床形状については、図－5と同様である。図より、水制上部で水面低下が大きいことから、この領域で流れが加速されていることが分かる。また、速度ベクトルの分布より、水制先端の下流では速度が減少しているものの、河岸付近では水路中央と同程度の速度となっており、高速の流れが河岸付近を流れていることが分かる。一方、鉛直方向速度の分布より、水制の上流側で上昇する流れ、下流側で下降する流れの存在が確認され、河岸付近の高速流が下降していることが分かる。この下降流は、河床

形状の計測結果と考え合わせると、河床の洗掘を引き起こす流れであることが知れる。このように、越流した流れは、河岸と河床に向かって流れるが、その速度は越流水深により異なり、図－5で示したように、洗掘される場所、つまり、大きな掃流力が作用する場所が異なることとなる。これより、上内膳のような下向き水制では、越流条件により、周りの流れや洗掘・堆積状況が異なるという結論が得られる。

4. おわりに

以上のように、上内膳が洪水規模（水深）を経験的に考慮した構造物であったことが推定された。この結果は、河岸の侵食を防止するために、河岸付近の洗掘や侵食の発生する可能性が高い下向き水制を採用するという矛盾を説明するものであり、川の個性と歴史を考慮した伝統的な河川技術の有効性を示すものであると言える。

しかしながら、同じように設置された下内膳では、先端の石積み部分が流失している。これは、中小洪水時にも大きな掃流力が作用していることを示唆している。石積み部分の流失が最近のことであることから、下内膳については、何らかの対策がなされていたと考えられる。この点については、長年、保津川下りの船頭をしてもらった長沢秀雄氏へのヒアリングの結果で説明できる。その内容は、「この石刳（下内膳）は、下水（底層部分の流れ）を刳ねることが目的であり、上水（上層部分の流れ）は下流側の護岸に設置したもう一つの石刳（図－4に示した亀の甲）で刳ねる二段構えになっていた」である。

また、ここで得られた結果より、このような下向き水制の下流には洶が形成され、条件によっては、適度の洗掘が生じてピオトープが形成される可能性があることが指摘できる。実際に、上内膳、下内膳についても、下流側の洶は内膳洶と呼ばれ、以前は筏の組み替えや船だまりとして利用されていたこともあり、格好の釣り場として現在でも訪れる人が多い。

以上のことより、伝統的な水害対策が「減勢治水」という考え方に基づいたものであり、結果的に環境保全にも有益であったことが再確認される。

参考文献

- 1) 石垣泰輔・馬場康之・吉田由香：京都周辺における伝統的水害防備法について、京都大学防災研究所年報、第45号B、pp.423-431、2002。
- 2) 永光尚：桑下漫録、南郷書房、1984。
- 3) 黒川孝宏：下内膳私蔵写真、1988。
- 4) 山本村字内膳洶資料、京都府総合資料館蔵、1876。