

鳴瀬川湾曲外岸に造成した高水敷の安定対策 としてのベーン工の効果

EFFECTS OF VANE WORKS FOR THE STABILITY OF THE HIGH WATER CHANNEL AT THE CURVED REACH IN THE NARUSE RIVER

関沢元治¹・佐々木誠²・西村 徹³・畑井言介⁴・又野康治⁵
Motoharu SEKIZAWA, Makoto SASAKI, Tohru NISHIMURA,
Gensuke HATAI and Koji MATANO

¹正会員 国土交通省 中部地方整備局 木曽川下流河川事務所長
(前 東北地方整備局 北上川下流河川事務所長)
(〒511-0002 三重県桑名市大字福島465)

²国土交通省 東北地方整備局 北上川下流河川事務所 工務第二課長
(〒986-0861 宮城県石巻市蛇田字新下沼80)

³正会員 国土交通省 東北地方整備局 道路管理課長補佐
(前 東北地方整備局 北上川下流河川事務所 工務第二課長)
(〒980-8602 宮城県仙台市青葉区二日町9番15号)

⁴国土交通省 東北地方整備局 長井ダム工事事務所 工事課工事第一係長
(前 東北地方整備局 北上川下流河川事務所 調査課 専門調査員)
(〒993-0011 山形県長井市館町北6-6)

⁵正会員 (株) 建設技術研究所 東北支社 (〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町2-15-1)

Vane works are new technology of river hydraulic structure to reduce excessive scouring induced by secondary currents in bends. In Japan, vane works have been utilized in Kurokawa River and Ohno River. However, examples of their use in real field are very a few.

In Naruse River, which had serious bank erosion problem, the high water channel was prepared near the outer bank bend as scour protection. Furthermore, vane works were installed to prevent the channel from scouring. From the investigation in the Naruse River, it is concluded that the vane works have been preventing the channel from serious scouring for 2 years.

Key Words : vane, curved river, secondary flow, scour protection, bank erosion,
arrangement of river course

1. はじめに

農業用水等の取水施設は、堆砂の影響が少ない湾曲部外側の滞筋部に設けられることが多く、低水路が堤防に近接する箇所であったり、取水位確保のための仮設的な固定堰が設置されるなど治水上の弱点となっている。

こうした取水樋管、固定堰を撤去する場合、堤防前面への低水護岸の設置、堰上流の河床低下への対応などが必要となり、多大な事業費が必要となる場合がある。

本論文は、樋管及び仮設的な固定堰撤去に伴う河岸防御対策として、外岸側に高水敷を造成し、高水敷の安定対策としてベーン工を用いることでコストを縮減した鳴瀬川における河岸防御計画及びベーン工設置後約2年の

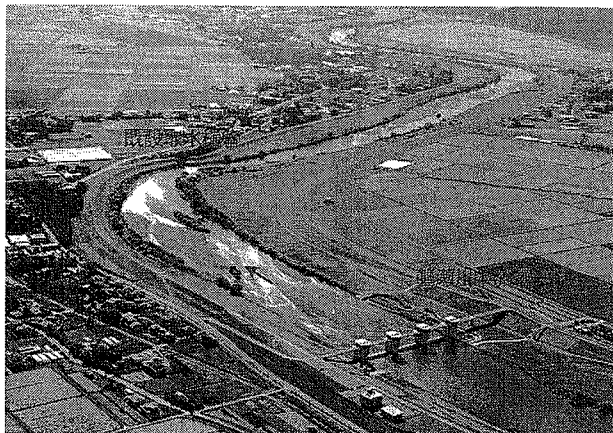


写真-1 鳴瀬川中流堰から下流を望む (H14.9)

河床変動の評価結果を報告するものである。

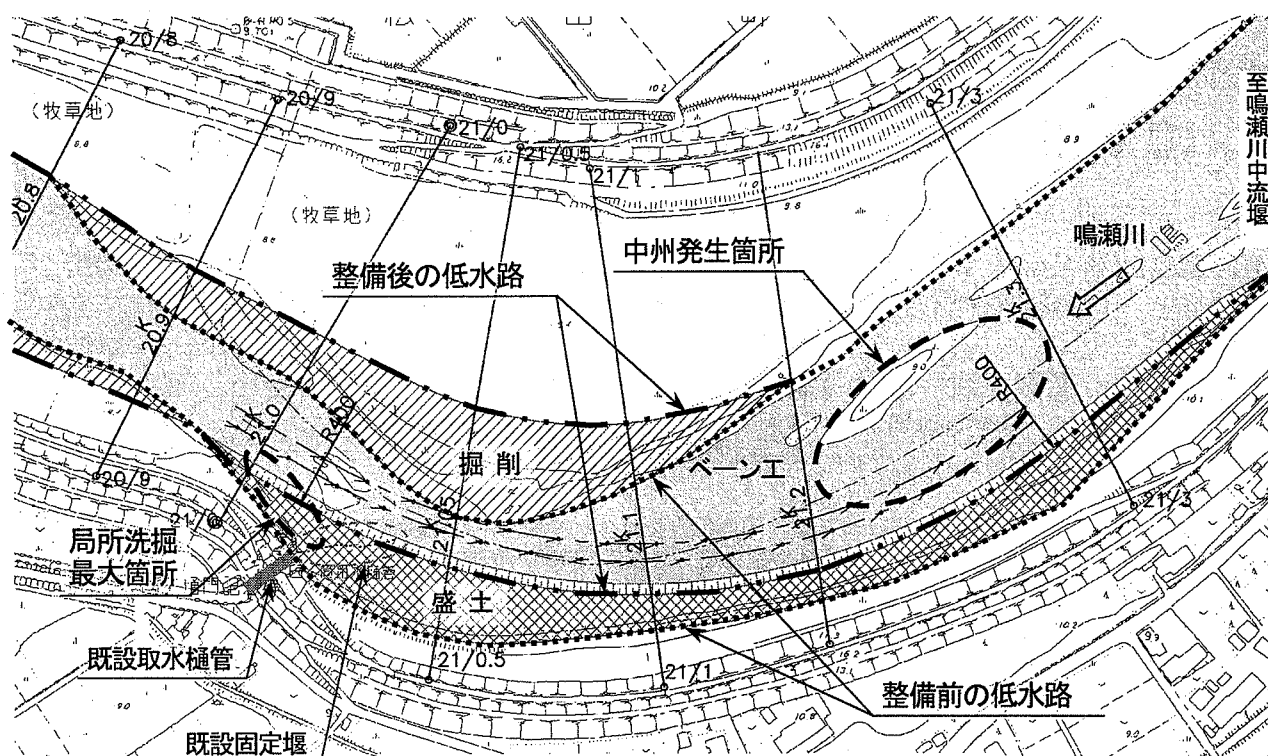


図-1 鳴瀬川湾曲部における河道整正，ベーン工平面図

2. 河道整正，ベーン工設置の目的と概要

鳴瀬川は、宮城・山形県境の船形山（標高1,500m）に源を発し、奥羽山脈の山水を集め東流し、途中新江合川を合わせ我が国有数の穀倉地帯大崎平野を貫流、河口付近で吉田川を合流する幹線流路延長89km、流域面積1,130km²の一級河川である。

対象の湾曲部は、平成14年5月に21.7k地点に完成した鳴瀬川中流堰の下流側に位置する。堰下流側の河道では、図-1に示すように①21.0k付近上流にて低水路の屈曲が原因と考えられる局所洗掘が堤防に接近して生じている、②21.2k付近上流にて低水路幅が部分的に広く掃流力が小さいことが原因と考えられる中州が発生しお筋が河岸に寄り水衝部になっているといった治水安全上、河川管理上の問題が生じていた。

このため、堰の完成に伴い不要となった湾曲部取水樋管及び固定堰の撤去に併せて、①21.0k付近上流の低水路河岸（防御ライン）を堤防から離すこと、②21.2k付近上流の低水路幅を狭め掃流力を高めて州の発生を抑えることを主目的とした図-1に示すような高水敷造成、河岸掘削を伴う河道整正を行うこととした。

その際、外岸に造成する高水敷の安定対策として、湾曲部の二次流に伴う深掘れを抑える効果がありかつ経済性に優れるベーン工で対応することとした。

ベーン工に期待する効果は、①湾曲区間外岸に造成する高水敷前面での局所洗掘の防止、②局所洗掘防止による高水敷の安定、③湾曲区間整正河道の安定であった。

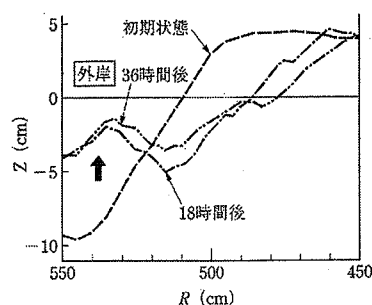
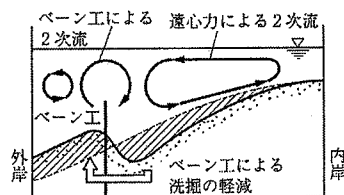


図-2 ベーン工による洗掘防止⁶⁾

3. ベーン工の設計

(1) ベーン工とは

ベーン工は、図-2に示すように、湾曲部での遠心力による二次流によって生じる洗掘を、この二次流を遮断することで軽減する工法であり、1980年代後半から90年代前半にかけて土木研究所（当時）河川研究室を中心に研究開発が行なわれている。

実河川への設置事例としては白川支川の黒川（熊本）、球磨川（熊本）、大野川（大分）、小矢部川（富山）⁶⁾阿賀野川（新潟）などがあり、模型実験等による検討事例としては利根川、阿賀野川がある。

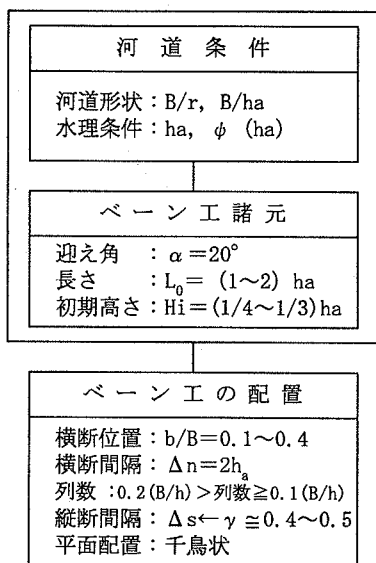


図-3 ベーン工設計フロー

(2) ベーン工の鳴瀬川当該箇所への適用性

a) 一般的適用条件

ベーン工は、遠心力による二次流が十分に発達し、これによって局所洗掘が生じている様な場に適用することが望ましい¹⁾。また、ベーン工が機能を発揮するには水深が大きく、流れ場が安定している必要がある¹⁾。河道の曲率半径がほぼ一定でしかも湾曲区間長が比較的長い箇所が適地である⁵⁾。また、土砂の移動が活発な河川で効果が大きい⁶⁾。

洪水時に水深が浅く、流れ場が乱流するような河道についての適用は避けるべきである¹⁾。また、流れの集中を原因とする局所洗掘に対しては直接的な効果を発揮できない⁵⁾。

b) 鳴瀬川当該箇所への適用性

鳴瀬川当該箇所は、①洪水時の水深が小さくなく、流れ場も安定していると考えられる、②屈曲した河道を曲率半径が一定の河道に人工的に整正する、③HWL時の無次元掃流力が、大野川の0.095³⁾に対し鳴瀬川は0.4と大きく土砂移動が多いと想定されることより、適用性は高いと考えた。

(3) ベーン工の諸元・構造の決定

ベーン工設置区間の計画河床勾配は1/2190、計画高水流量は3,900m³/s、平均年最大流量は800m³/s、河床材料の平均粒径は $d_{60}=1.0\text{mm}$ である。河道の平面形は、屈曲しかつ蛇行したものであるが、前述の通り河道を現状より緩やかなカーブに整正した上で高水敷・河道維持のためベーン工を設置した。

ベーン工の設置範囲は図-1に示した通りであるが、現況みお筋を参照し、上流端は主流がベーン工設置位置よりも上流側から外岸側に入り込まないように、

表-1 鳴瀬川ベーン工の諸元

河道諸元					
	単位	21.0k	21.05k	21.1k	備考
河床幅 B	m	80	80	85	
曲率半径 r	m	400	400	400	
計画河床高 h_1	m	6.52	6.18	6.36	
最深河床高 h_2	m	4.304	5.18	5.36	
平均河床高 h_a	m	5.412	5.68	5.86	
対象水位、流量					
	単位	21.0k	21.05k	21.1k	備考
設計対象水位 H_s	SP.m	9.2	9.2	9.2	
平均断面水深 h_a	m	3.788	3.52	3.34	
粗度係数 n_b		0.022	0.022	0.022	
流速係数 ϕ		18.119	17.899	17.743	
ベーン工諸元					
	単位	21.0k	21.05k	21.1k	備考
ベーン工の迎え角 α	°	20	20	20	
ベーン工の高さ H_1	m	1.038	1.02	1.04	
ベーン工の頭部標高 H_b	SP.m	6.45	6.7	6.9	
ベーン工の長さ L_0	m	6.3	6.3	6.3	
ベーン工の列数 N_v	列	2	2	2	
ベーン工の横断間距離 ΔB	m	10	10	10	
二次流相殺率					
	単位	21.0k	21.05k	21.1k	備考
カルマン定数 κ		0.5	0.5	0.5	
補正係数 f		1	1	1	
河床幅 B	m	80	80	85	
曲率半径 r	m	400	400	400	
流速係数 ϕ		18.119	17.899	17.743	
ベーン工の面積 A	m ²	13.52	9.576	9.702	
ベーン工の突出高 H	m	2.146	1.52	1.54	
補正係数 β_a		0.254	0.194	0.196	
ベーン工の長さ L_0	m	6.3	6.3	6.3	
ベーン工の迎え角 α	°	20	20	20	
ベーン工の縦断間距離 ΔS	m	35	30	30	
ベーン工の列数 N_v	列	2	2	2	
二次相殺率 γ		0.48	0.42	0.39	

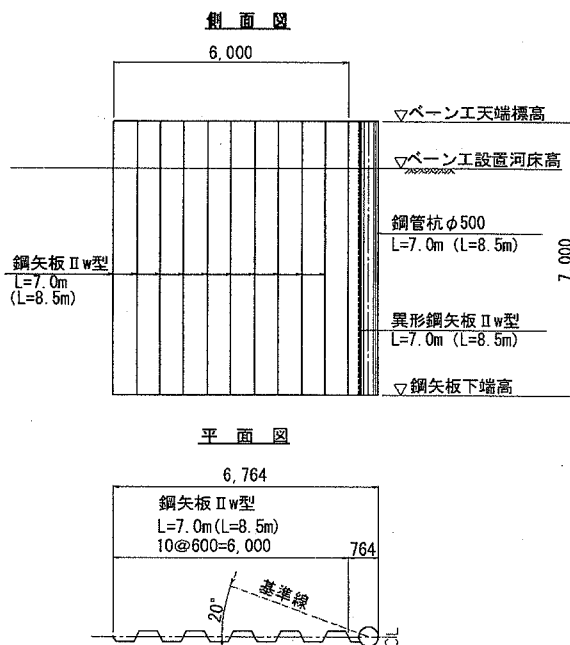


図-4 鳴瀬川ベーン工の構造

主流線がベーン工設置区間でベーン工の内岸側に生じるみお筋とつながるように設定した。下流端は深掘れ区間をカバーできる湾曲の終了点とした。

ベーン工の設計諸元は、渡邊、福岡により提案された設計法¹⁾²⁾に基づき、図-3のフローに従い設定した。

河道条件は、整正する河道の諸元とし、ベーン工の効果が発揮できる頻度を高めるため、設計対象水位 H_s は低水路満杯程度の流量規模500m³/sを想定した。

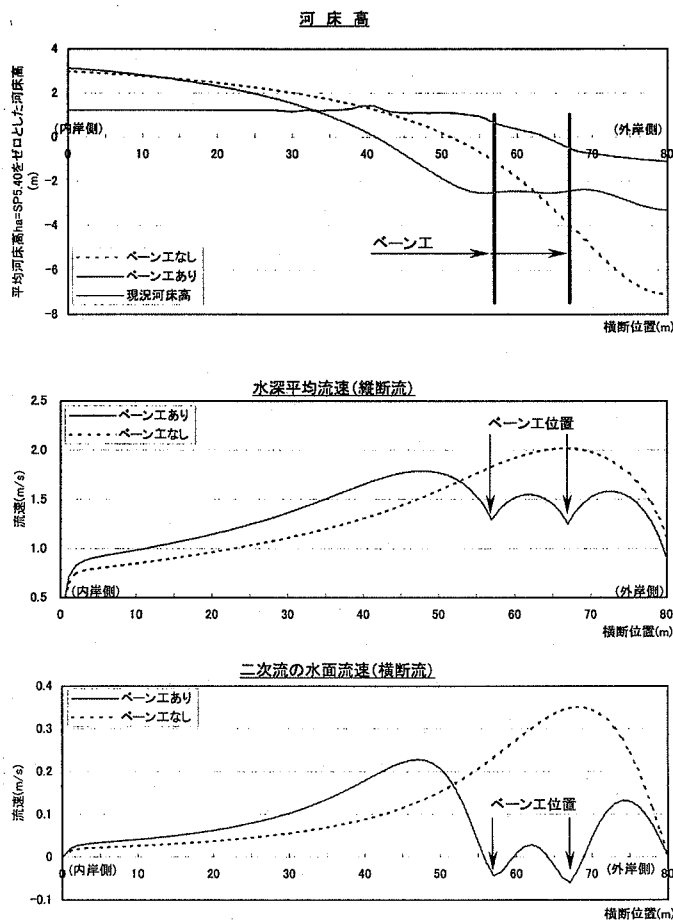


図-5 ベーン工による効果の計算結果 (21.0k地点,
Q=500m³/s)

ベーン工の諸元は、ベーン工の機能が効率的に働く条件として二次流相殺率 γ が0.4~0.5となるようにトライアルで設定した。設定した諸元を表-1に示す。

$$\gamma = f \times \frac{(\phi - 2/\kappa)^2 \cdot \kappa \cdot r}{(\phi - 0.5/\kappa) \cdot 6 \cdot B} \times \frac{\beta_a \cdot \pi \cdot L_0 \cdot \sin \alpha}{\Delta s} \times N_v$$

ここで、 κ はカルマン定数(=0.5)、 f は補正係数(=1.0)、 β_a は補正係数(= $\beta_a = 1/(1+A/H^2)$)、 A はベーン工の面積(= $A = H \times L_0$)、 H はベーン工の突出高(=ベーン工頭部標高 H_b -最深河床高 h_2)である。

なお、通常ベーン工の天端高は平水時に水面から出ない高さとして設定しているが、鳴瀬川は水利用が多く渇水が発生しやすい河川であり、渇水時にはベーン工が水面上に現れることになる。

ベーン工の構造は、図-4に示すように、施工性及び経済性等を考慮し広幅型鋼矢板と鋼管杭を組み合わせたものとした。構造上必要な強度として、ベーン工自体の構造破壊を防ぐ断面力を有するものとするともに、転倒を防ぐ必要根入れ長を確保した。

(4) ベーン工設置の効果予測

数値計算⁹⁾でベーン工による設計水位における湾曲部

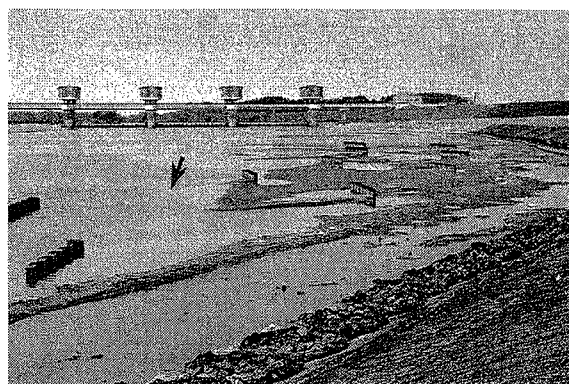


写真-2 施工後間もないベーン工 (H15.5)

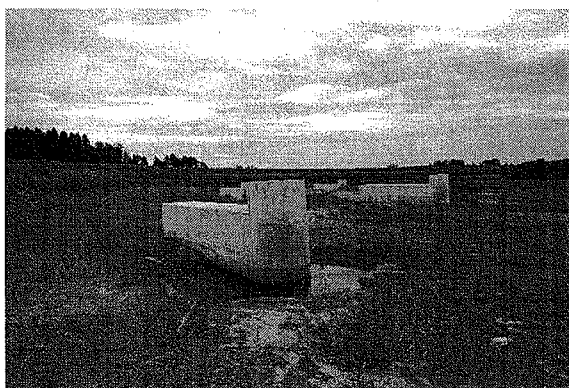


写真-3 修景したベーン (H16.9)

の洗堀低減効果を確認した。計算結果を図-5に示す。

計算で分かる効果として「①縦断方向の最大流速が河道の中央に移動、②横断方向の二次流がベーン工により相殺、③外岸側の洗堀が半分以下」が挙げられる。なお、数値計算のモデル上、経過時間は考慮されず、計算結果は十分に時間が経過した後の平衡状態を示すものである。

また、計画高水位の流量でも同様に計算を行ない、二次流の相殺効果は劣るものの洗堀を抑える作用があることも確認した。

4. 河道整正・ベーン工の施工

左岸側の高水敷造成には、右岸側掘削で発生した砂質土を用いた。洪水時の流速が2m/sを超えるため、高水敷法面に侵食抑制シートを張り、法尻にシートのめくれ防止として写真-2に示す袋型根固めを設置した。

ベーン工の施工については、外岸側に作業足場兼用の盛土を行なった上で、陸上から矢板等の打込みを行なったため、平成15年2月からの2ヶ月間で施工を完了した。また、かんがい期の流量が少ない鳴瀬川では、ベーン工が露出することが多いため、写真-3に示すように、鋼矢板と鋼管をコンクリートで巻立てる修景を上流側区間で行った。

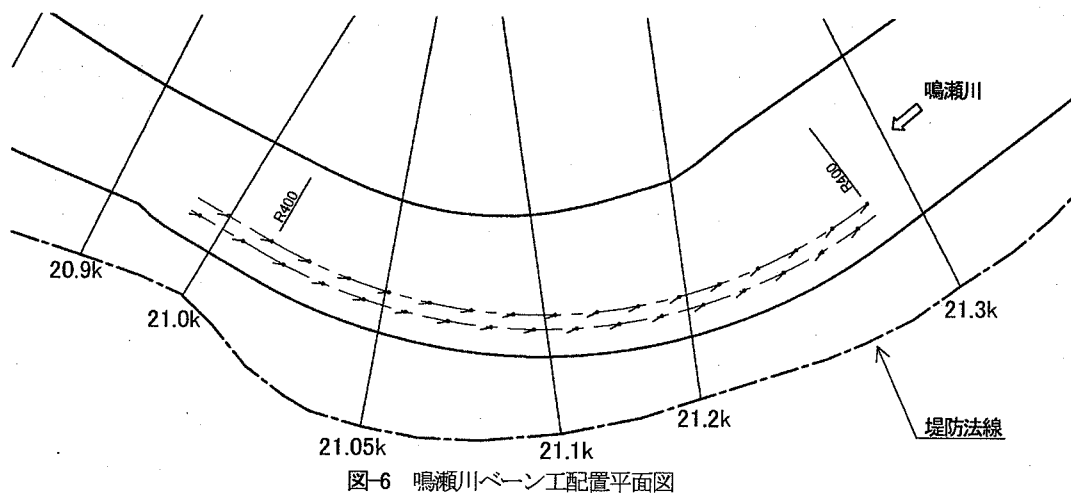
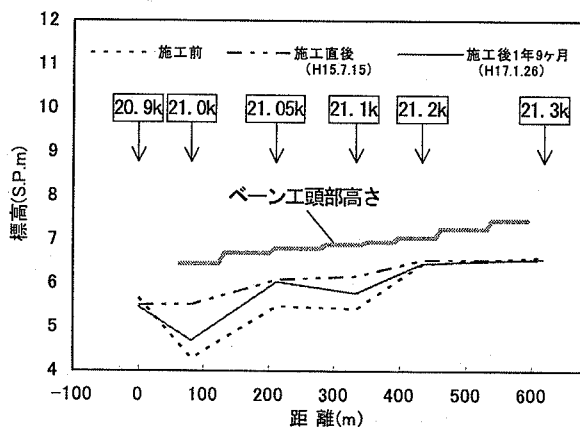
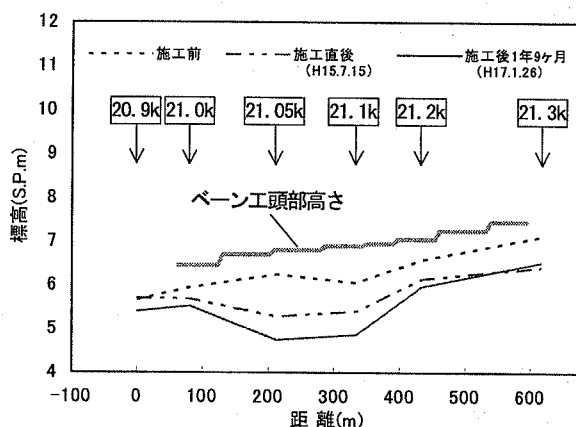


図-6 鳴瀬川べん工配置平面図



(a) べん工群の外岸側



(b) べん工群の内岸側

図-7 最深河床縦断面図

5. べん工による高水敷盛土の維持効果

鳴瀬川べん工の設置目的は、屈曲した河道を解消するために湾曲部外側に造成した高水敷を洗掘から守り維持することである。したがって、測量成果に基づき、べん工による高水敷を維持する効果について考察する。なお、高水敷造成、べん工の施工のため、施工直後は高水敷前面が埋め立てられた状態であるため、べん工の通常の施工例のように湾曲外側が埋め戻される効果は期待できない。

べん工施工区間における河床形状の測量は、施工前後を含めて平成14年11月（施工前）、平成15年7月（施工3ヶ月後、同月の出水前）、平成17年1月（施工後1年9ヶ月）の3回実施されている。

べん工施工後の主な出水状況は図-8のとおりであり、設計流量（500m³/s）規模の出水を3回受けている。

図-7 にはべん工群をはさんで外岸側および内岸側における最深河床縦断面図を示す。

べん工設置区間内の21.0k、21.05k、21.1k、21.2kの4断面に着目し、施工直後の平成15年7月と1年9ヶ月後の平成17年1月を比較する。

図-7 (a) に示すべん工外岸側の最深河床をみると

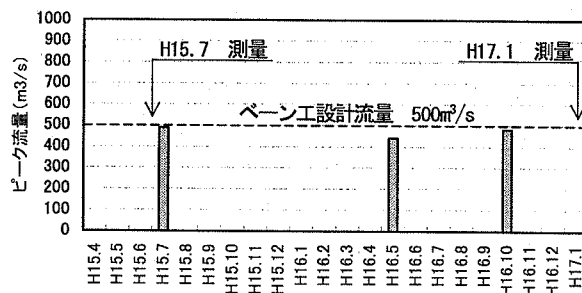


図-8 べん工施工後の主な出水

21.0kで1m程度の洗掘を受けているが21.05k、21.1k、21.2kではほとんど変化がなしか小さな洗掘にとどまっている。図-7 (b) に示す内岸側の最深河床については、21.0k、21.2kでほとんど変動がなして、21.05k、21.1kで洗掘傾向にある。

べん工外岸側21.0kの洗掘は図-9 (a) に示すように外岸側べん付近を中心とした洗掘であり、全体的に見れば、べん工の外岸側では変動が小さくべん工の内岸側で洗掘傾向にあることがわかる。

べん工の効果を、二次流のコントロールで河岸前面の洗掘を抑え河道中央寄りに洗掘を生じさせるという観点から見れば、現時点においては効果が発揮される傾向にあることが認められる。

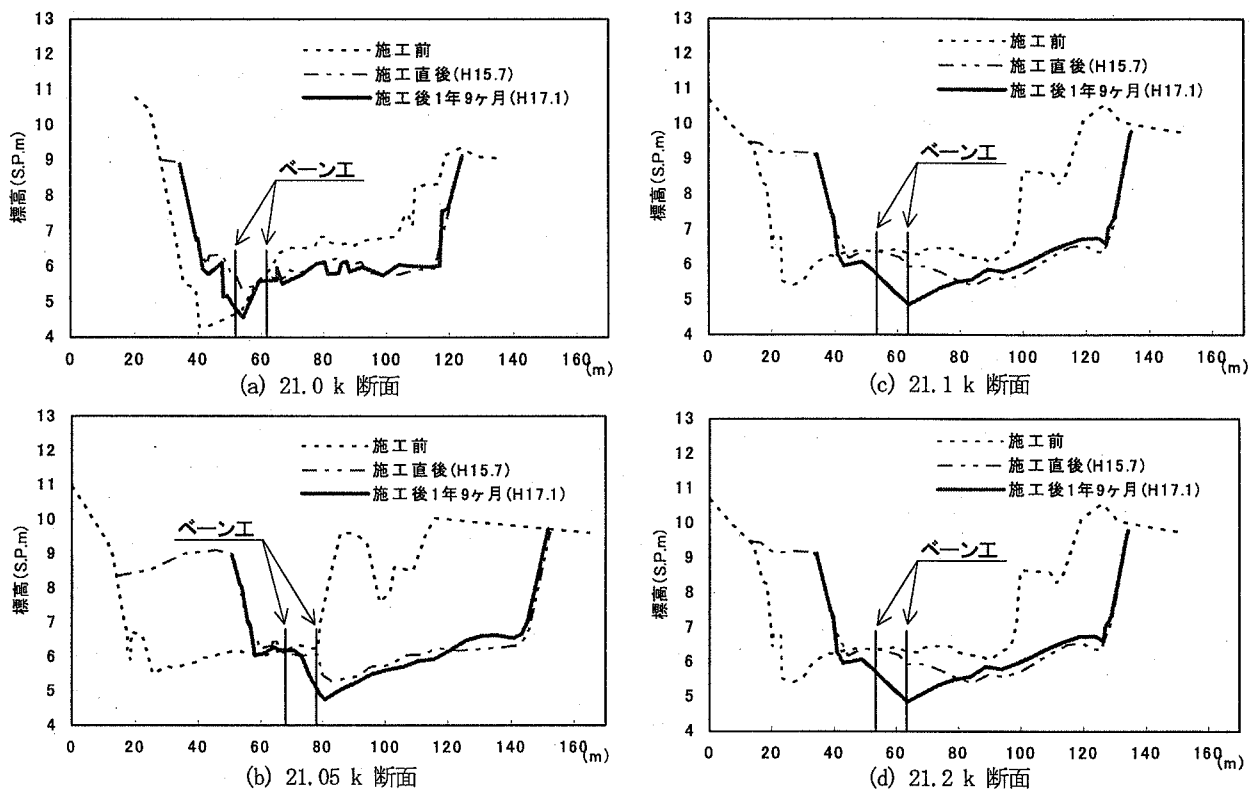


図-9 横断河床形状の経年変化

図-9にはベーン工設置区間内の21.0k～21.2kの4断面について河床横断形状の経年変化を示した。

各断面の横断河床形状の経年変化をみると、21.05k、21.1k、21.2kでは、内岸側の列のベーン工付近を中心に洗掘が生じていることが分かる。一方、21.0kでは外岸側のベーン工付近で洗掘が生じている。しかし、洗掘範囲は高水敷法尻からは10m近く離れており、現時点で高水敷の安全性に影響を与えるものではない。

これらより、ベーン工による洪水時における二次流のコントロールにより高水敷前面の洗掘が抑えられ、逆に河道中心寄りに洗掘が生じたものと考えられる。

したがって、現時点では、外岸側に造成した高水敷を維持する観点から、ベーン工は有効に機能しているものと考えられる。

6. おわりに

鳴瀬川において、屈曲した河道の対策として実施した高水敷盛土（河道整正）の安定対策として、護岸・根固めに代わり、安価なベーン工を活用したことで、直接工事費を1/3以下に縮減することができた。

ベーン工設置後2年間に、ベーン工設計流量レベル（500m³/s）の出水を3回経験したが、高水敷の安定性に影響を与えるような深掘れは生じておらず、法線を変更した低水路も維持され、当初期待した①局所洗掘の防止、②湾曲区間外岸高水敷の安定、③湾曲区間整正河道の安定の3項目の効果はほぼ発揮されている。

今後、更に大きな出水での河床変動、経年的な変化について観測を継続する予定である。

なお、ベーン工が通常局所洗掘対策として現況河道に設置されるのに対し、本件では整正した河道にベーン工を設置したことが他事例とは異なる点である。

通常のベーン工の設計では、実河川と検討モデルとの差異による効果発揮に対する不確定要素が生ずやすい。これに対し、本件ではベーン工の検討モデルも考慮した河道整正ができたため、機能発揮の確実性が高まり、この点で有利であったといえる。

参考文献

- 1) 渡辺明英，福岡捷二：河岸侵食を防止するベーン工の設計法の研究，土木学会論文集，No. 485/ II -26, pp. 55-64, 1994. 2
- 2) 渡辺明英：ベーン工の設計に関する調査，土木研究所資料第2956号，1991年3月。
- 3) 渡辺明英，福岡捷二，山本喜光，田村浩敏，堀田哲夫：大野川湾曲部の局所洗掘対策工としてのベーン工の効果，水工学論文集，第46巻，pp. 451-456, 2002. 2
- 4) 土木学会，水理公式集改訂委員会：水理公式集例題プログラム集 平成13年版，2002. 3
- 5) 宇多高明，平林 桂，服部 敦，伊藤克雄：ベーン工の実河川への適用検討と設計上の留意点-利根川洗掘対策水理模型実験を通じて-，土木技術資料，37-1, pp. 70-75, 1995
- 6) 末次忠司：河川の減災マニュアル，pp184-185, 2004

(2005. 4. 7 受付)