

急流河川を対象とした堤防強化対策の検討 -堤防前腹付け工の効果について-

REINFORCEMENT OF RIVER LEVEE IN STEEP RIVER

— EFFECT OF FRONT LEVEE WIDENING

高田保彦¹・最上谷吉則¹・田代洋一²・畠中泰彦³・黒田勇一⁴・二俣秀⁵

Yasuhiko TAKADA, Yosinori MOGAMIYA, Yoichi TASHIRO
Yasuhiko HATANAKA, Yuichi KURODA and Hiizu FUTAMATA

¹正会員 財団法人 土木研究センター 研究開発一部 (〒110 東京都台東区台東1-6-4)

²技術士 財団法人 土木研究センター 研究開発一部 (〒110 東京都台東区台東1-6-4)

³国土交通省 北陸地方整備局 河川部 (前) 建設専門官 (〒951 新潟県新潟市白山浦1丁目425-2)

⁴国土交通省 富山河川国道事務所 (前) 調査第一課 (〒930 富山県富山市石金3-2-37)

⁵国土交通省 金沢河川国道事務所 (前) 調査第一課 (〒920 石川県金沢市西念4-23-5)

Front levees widening are useful measures to strengthen river levee in a steep river. Two river model experiments of the Jouganji and Tedoru Rivers in Hokuriku region are carried out and effect of a front levee widening was investigated. In the experiment, a two-dimensional, straight channel with a movable bed was used and the scale of the model is 1/100. Erosion width of a levee widening was investigated using the same hydrograph as the design discharge. As a result of experiment, we understood a region with a limit in the additional front levees widening. The experimental result is useful for the river channel design.

Key Words : Qualitative reinforcement of levees ,Front levee widening ,Tedoru River ,
Jouganji River , A steep river

1. はじめに

河岸の侵食状況は河道特性に支配されるが、天然河岸の侵食被害は河床勾配が1/1000より急な箇所が多く、侵食幅5m以上が全体の3割以上になっている。¹⁾

また、セグメント1相当で低水河岸高(高水敷-平均河床)が3~4m以下の急流河川では低水河岸高の10倍程度の河岸侵食幅になっている。¹⁾

一方、阿武隈川支川荒川では平成10年9月台風5号で堤防侵食開始から約30分で破堤に至る(図-1)ことが確認されている。²⁾ 前腹付け工は堤防の質的強化、破堤に至る時間を確保するねばり機能、ねばり機能による減災機能を持つ急流河川の堤防強化対策である。

本報告は、急流2河川に適用可能な前腹付け工の必要諸元を実験的に検討したものである。北陸の急流4河川のうちで最大河床勾配1/70の常願寺川と比較的緩勾配の1/160の手取川の扇状地下流部を対象³⁾とし、近年の洪水履歴と河岸侵食幅、砂州長、水衝部などの現地河道の侵

食状況を把握した。模型は縮尺1/100の移動床とし、直近の代表洪水を通水して、平均的侵食幅が一致することで模型上での再現性を確認した。本実験では、前腹付け工の高さ、法勾配、川幅・水深比をパラメータに、計画高水ハイドログラフを与えて前腹付け工の機能を評価した。

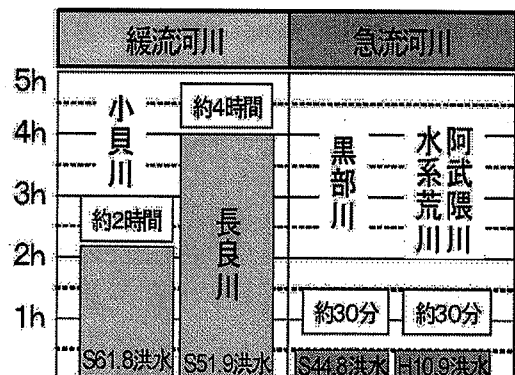


図-1 施設破損から破堤に至るまでの時間

2. 急流河川の特性と堤防強化について

(1) 急流河川の特性^{4),5)}

①洪水の流出特性

洪水波形がシャープであり洪水到達時間が短い。このため洪水の予測と安全な避難体制の確保が困難である。

②洪水の流下特性

砂州の移動が大きいため、みお筋は固定していない場合が多く、単列・複列の砂州が形成されている。また、砂州の移動、河床高の変化等を伴うため偏流や流れの集中等の乱れを発生させている。

③破堤特性

洪水時の侵食・洗掘の主な要因は、砂州の移動や河床高の変化等に起因する偏流によるものと推定され、みお筋が固定しないことから破堤地点を予測、特定することが困難である。破堤が生じると河道がつけ替わるようにして氾濫が生じており、破堤幅が広く、河床高付近まで洗掘されてしまう場合が多い。また、堤防侵食の開始から短時間で破堤している事例が多い。

④氾濫水の流下特性

河道沿い付近を中心に等高線と直角の方向に直線的に、地盤勾配に応じた速い速度で流下する。また、微地形の影響を受けやすく、旧河道や用排水路等のやや地盤が低い箇所を流下する傾向にある。

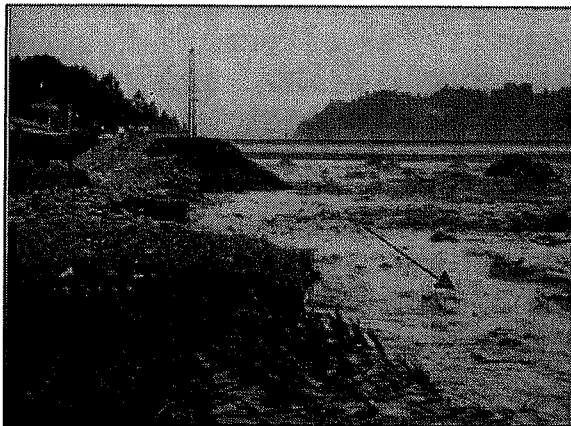


写真-1 計画高水位以下で破堤した状況²⁾
(常願寺川, S44年洪水, 流量約4,000m³/s)

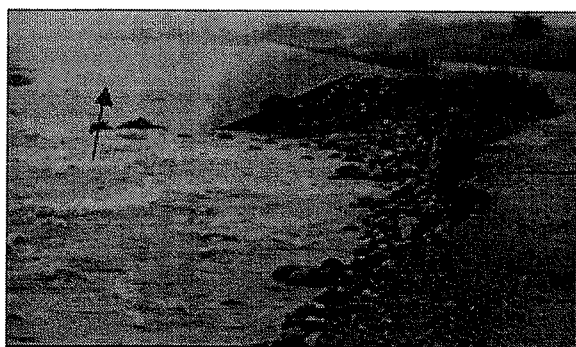


写真-2 中小洪水での被災事例²⁾
(常願寺川, H10年洪水, 流量約1,700m³/s)

(2) 堤防強化の必要性

急流河川における堤防強化の必要性は次のように整理される。

- ・ 勾配が極めて急峻で洪水の流れが速いため、大きなエネルギーによって護岸の基礎部の洗掘や高水敷の侵食が発生し、堤防が決壊する危険性があること。
- ・ 洪水時の河床の変動が激しく流れの偏りや乱れが発生するため、どこで局所洗掘や側方侵食が発生するか予測できないこと。
- ・ 扇状地区間の一部は地盤高より平均河床高が高い天井川となっており、破堤した場合のダメージポテンシャルが高いこと。
- ・ 氾濫の形態は拡散型で、被災区域は広範囲に及ぶこと。
- ・ 過去に堤防が被災し、そのたびに構築や補修が行われて来たため築造の履歴や材料構成が必ずしも明確ではないこと。
- ・ 過去に整備された堤防は必ずしも工学的に設計されたものではなく、場所によっては不安定な構造となっているものがあること。
- ・ 堤防整備により背後地人口や資産が集積している箇所があり、堤防の安全性の確保がますます重要になっていること。

このように急流河川は洪水外力が大きく一旦破堤するとその被害は甚大であるため、同種同規模の河川の管理の一般的な水準及び社会通念に照らして是認しうる安全性を備える必要がある。また破堤に至る時間が極めて短い。このため、被害を一部受けても機能は保持するというような「ねばり」、被災の早期発見、減災機能、また機械化水防が必要である。

このうち、常願寺川と手取川の堤防強化対策として計画されている前腹付け工について、その機能を有するための必要諸元（高さ、幅、構造等）を水理模型実験で検討したものである。

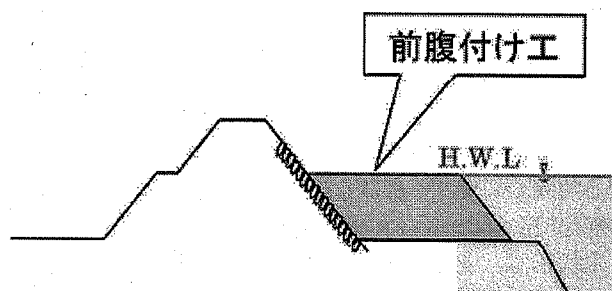


図-2 前腹付け工の概要図

3. 水理模型実験の概要

(1) 対象河川の概要

① 常願寺川

常願寺川は富山県富山市の北ノ俣岳に水源を発し、富山平野を形成する扇状地に出て北流し、日本海に注ぐ、幹川流路延長56km、流域面積368km²の一級河川である。そのうち扇状地に位置する下流部の河床勾配は、河口から横江堰堤までの区間で、約1/700から約1/60となっている。約3kmより上流区間の河床材料は主として礫である。本検討では、前腹付け工の施工が計画されている10km～15km地点を対象とした。

② 手取川

手取川は石川県石川郡の白山に水源を発し、加賀平野を西流し日本海に注ぐ幹川流路延長72km、流域面積809km²の一級河川である。そのうち扇状地に位置する下流部は、河口から17.3km上流の白山合口堰堤までの直轄管理区間にあたる。この区間の川幅は最大400m前後に達し、平均河床勾配は約1/165前後であり、河床材料は礫が主となっている。

本検討では、前腹付け工の施工が計画されている6km～8km地点を対象とした。表-1 に常願寺川と手取川の対象地点の河道諸元を示す。

表-1 急流2河川の対象区間と河道諸元一覧

	常願寺川	手取川
対象区間	10km～15km	6km～8km
平均河床勾配 I	1/70	1/160
平均粒径 d_m	270mm H14年度調査	105mm H11年度調査
平均川幅 B	300m	330m
計画高水流量 Q	4,600m ³ /s	5,000m ³ /s
平均年最大流量 Q	500m ³ /s	1,500m ³ /s
掃流力 τ_c	0.10	0.11
川幅水深比 B/h	100	106
水深粒径比 h/d	11	30

(2) 実験条件

① 模型

水路幅は対象地点の堤防間を再現できる二次元水路とし、模型縮尺は施設の規模や水理量の縮尺効果を考慮して $S=1/100$ とした。⁶⁾

対象地点を含む同一セグメント内の平均的な河道諸元（河床勾配、河床材料、低水路幅、砂州形状）を再現した今回の二次元模型実験では、相対評価法で腹付け諸元を決定する。同手法では対象区間に限定された河道固有の諸元（植生、固定砂州）が含まれないため、三次元模型実験よりは他の地点への適用が容易である。

実験水路長の設定は、現地の砂州長が最大で川幅の10

倍程度となることから、最低でも2波長(1波長30m)は再現することを考えると60m以上は必要となることから、実験水路長は60mとした。

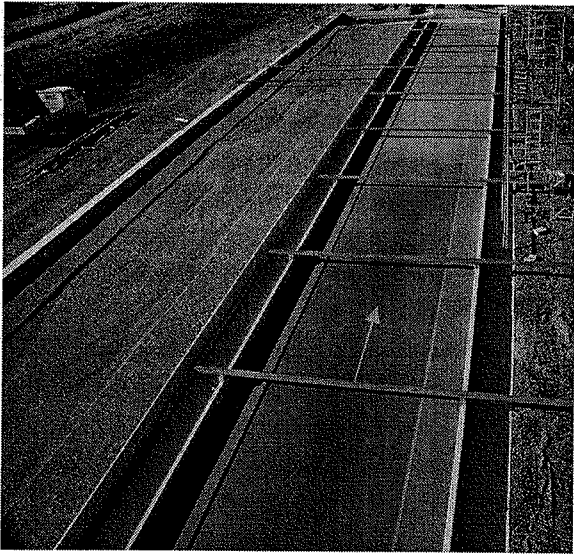


写真-3 実験水路の状況

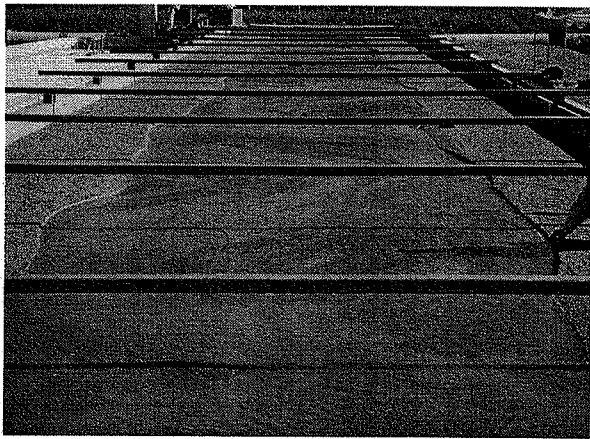


写真-4 実験時の侵食状況

② 流量条件

2種類の流量を実験で設定した。いずれも定常流ではなくハイドログラフ通水とした。

表-2 流量条件一覧表

	常願寺川	手取川
再現検証	平成10洪水 $Q_p=1,717\text{m}^3/\text{s}$	平成10洪水 $Q_p=2,833\text{m}^3/\text{s}$
諸元検討	計画流量ハイドロ $Q_p=4,600\text{m}^3/\text{s}$	計画流量ハイドロ $Q_p=5,000\text{m}^3/\text{s}$

③ 河床材料条件

模型材料は河床変動にも寄与しない粒径（浮遊する粒径）の0.1mm以下をカットして、現地粒度分布の混合砂に粒度調整を行った。

(3) 再現性の検証

実験手順は、模型が現地の河岸侵食を再現し得るかを
確認する再現性実験のあと前腹付け工の法勾配、高さ、
低水路幅比の効果を検討する本実験を行った。

再現性実験では、既往洪水時の河岸侵食量を再現する
ため、あらかじめ低水路満水流量と同規模の平成10年洪
水を通水して河床の擾乱や平面蛇行を発生させた。その
後侵食河岸部を直線河岸に整形し、再度平成10年洪水を
通水し、河岸侵食量の最大が現地と同程度であることを
検証した。

写真-5 は手取川における蛇行特性を模型実験水路で
再現した状況である。

図-3 は常願寺川における平成9年から13年までの横断
測量結果より河岸侵食箇所を抽出し整理したものである。
同じく、図-4 は模型における河岸侵食幅を整理したも
のである。両者にバラつきはあるが平均的に10m前後の
侵食状況が再現できていることが判る。また、表-3 は
前腹付け工の本実験で検討したケース一覧である。

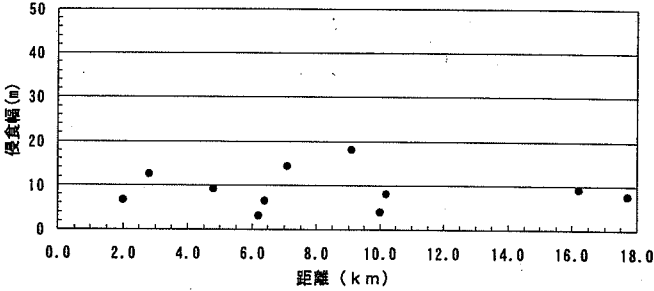


図-3 現地における河岸侵食量(常願寺川;H9～H13)

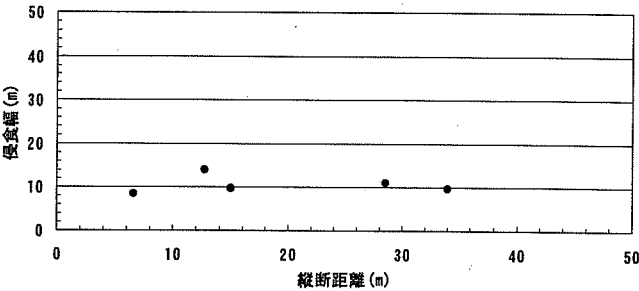


図-4 模型における河岸侵食量(常願寺川)

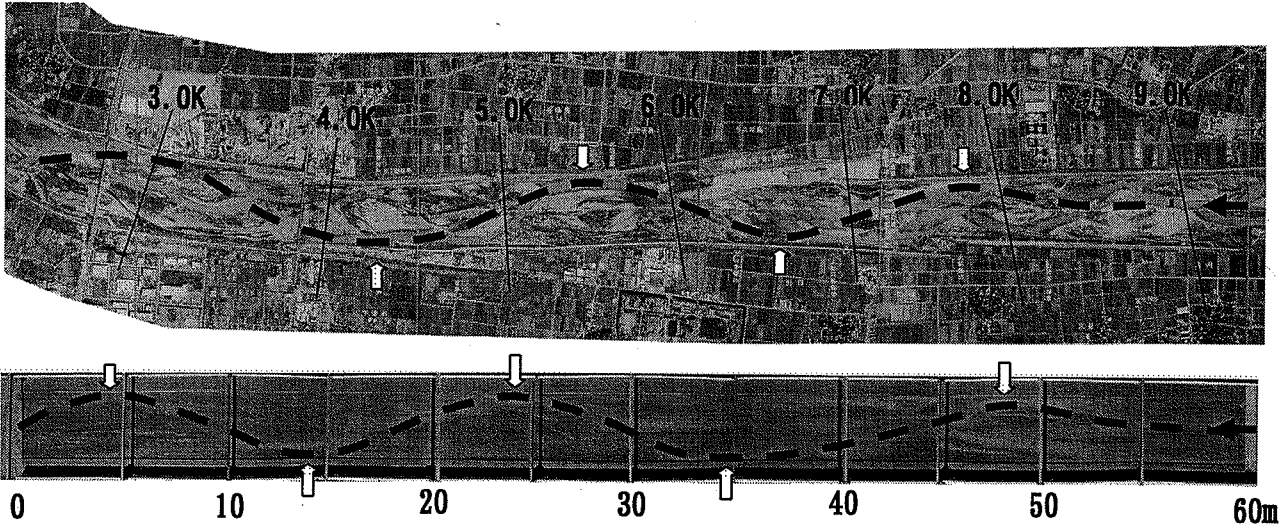


写真 - 5 現地と模型における流況再現状況(手取川のケース)

表 - 3 実験検討ケース一覧表

備 考	実験No	対象洪水	腹付け工法勾配	腹付け工高さ	低水路幅
常願寺川再現性の検討	I-1	H10洪水	現況河岸	現況河岸	$b/h=100(b=300m)$
・法勾配の効果検討	I-2	計画洪水	1:2	HML高	$b/h=100(b=300m)$
・法勾配の効果検討	I-3		1:5	HML高	
・高さの効果検討	I-4		1:2	高水敷高	
・b/hの効果検討	I-5		1:2	HML高	
手取川再現性の検討	II-1	H10洪水	現況河岸	現況河岸	$b/h=110(b=330m)$
・高さの効果検討	II-2	計画洪水	1:3	HML高	$b/h=110(b=330m)$
・高さの効果検討	II-3		1:3	設定高	
・腹付け幅の効果検討	II-4		1:3	HML高	$b/h=103(b=310m)$
・腹付け幅の効果検討	II-5		1:3	HML高	$b/h=97(b=290m)$

4. 前腹付け工の機能検討

(1) 法勾配の効果

図-5 は法勾配1:2（基本形）と1:5（緩勾配）の違いについて前腹付けの侵食幅との関係で整理したものである。この結果、法勾配に関わらず侵食幅はほぼ一定であることが判る。このため緩勾配法面は施工土量が少なく優位となる。

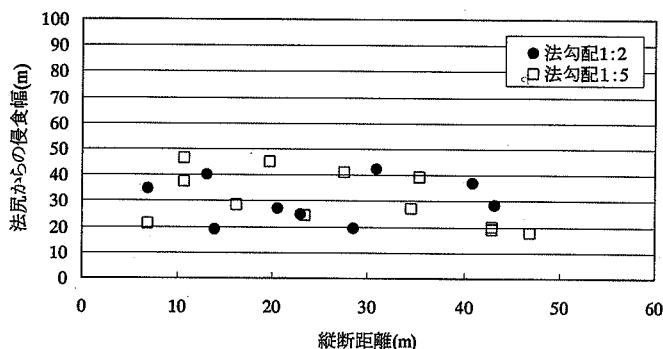


図-5 法勾配の違いによる河岸侵食量の関係

(2) 高さの効果

図-6, 7 は前腹付け工の高さをHWL相当の6mと現地高水敷高さ相当の3mにした際の侵食幅を比較したものである。蛇行砂州の発達で洪水流が高水敷に乗り上げやすくなる3mの高さでは、侵食幅が乗り上げない箇所2倍程度まで増大することが判った。洪水流が高水敷に乗り上げない他の箇所では、高さの違いによる影響は認められないことから、前腹付け工の高さは河道内の砂州の変動に伴う水位上昇分を考慮し、計画高水流量規模の河道水位まで必要であると考ええる。

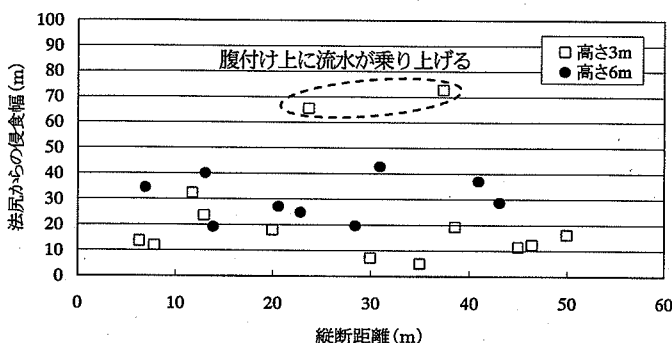


図-6 前腹付け高さで河岸侵食量の関係（常願寺川）

腹付け高さ6mの場合、蛇行砂州が腹付け工に接近すると砂州前縁部の流れは法面に沿って法尻部に沈み込む二次流を発生させながら、河岸を侵食させる。一方、腹付け高さが低い3mでは、前縁砂州上の速い流れがそのまま直進し、腹付け天端付近に達するため横侵食も急激に拡大することになる。（写真-6）

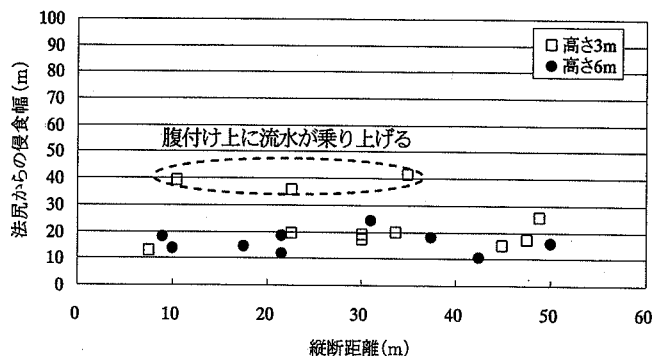


図-7 前腹付け高さで河岸侵食量の関係（手取川）

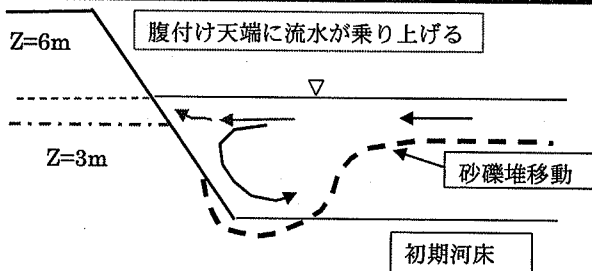
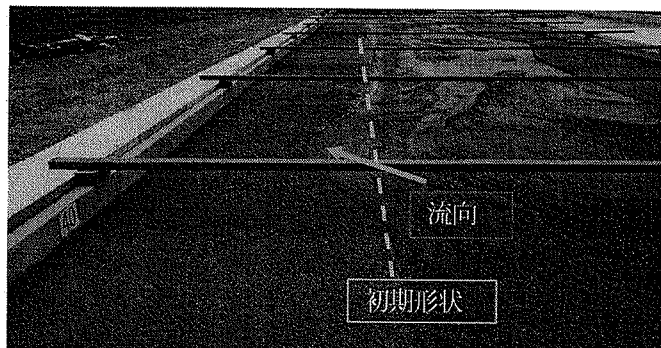


写真-6 侵食状況と侵食模式図

(3) 川幅・水深比について

前腹付け工を高水敷がない箇所に設置する場合は、低水路幅を狭くすることになる。図-8 は低水路幅(B)・平均水深(h)比と侵食幅の関係を整理したものである。B/h が90より小さくなると侵食量が急激に増え、そのバラツキも大きくなることが判る。

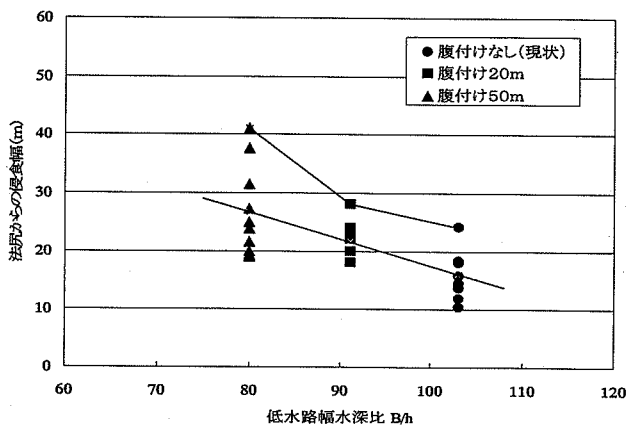


図-8 低水路幅水深比と侵食幅の関係

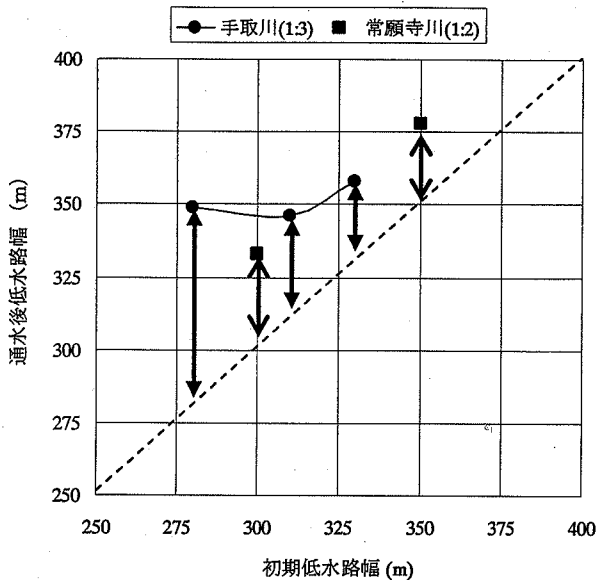


図-9 低水路幅と侵食幅の関係

腹付け幅を大きくとり低水路幅を狭くすると、河岸近傍の流速が増大し侵食幅も比例して増大することになるため、必要以上に腹付け幅を確保しても施工量が増大するだけで、腹付け工の効果は低減する。

また、図-9 は腹付け工によって狭められた初期低水路幅と洪水後の低水路幅を示したものである。わずか3点のデータであるが、最も効果的な低水路幅は310m、すなわち330mから片岸10mずつ腹付けした場合である。それ以上縮小するとリバウンドが大きく、もとの低水路幅に近づこうとする傾向が判る。さらに低水路幅の影響検討が必要であるが、河床勾配と流量と河床粒径で決まる蛇行特性は変わらない為、適切な低水路幅を越える断面縮小はかえって侵食幅を増大するだけである。^{7),8)}

(4) 前腹付け工の評価

- ①侵食機構：砂州の発達により腹付け工近傍には、1)縦侵食と横侵食、2)横侵食、3)縦侵食の3種の侵食過程が複合的に発生する。
- ②腹付け工高：法尻からの侵食幅は腹付け工高が高い方が小さい。洪水が冠水する場合は、寄州の影響により前腹付け工近傍の流速が増大し、大きな侵食幅となる。
- ③腹付け工法勾配：法尻からの侵食幅は法勾配に関わらずほぼ一定となる。このため必要腹付け工断面積は緩勾配の方が少なくなる。
- ④川幅水深比：川幅が広がり水深が低下すればそれだけ侵食幅は小さくなる。

図-10, 11は洪水前後の低水路幅比 (B'/B_0) と洪水ピーク流量を低水路幅で除した単位幅流量および無次元掃流力 (τ_*) との関係を整理したものである。今後、このデータを補足充実させることで、適用範囲 ($\tau_* = 0.8 \sim 0.13$) が広がるものと考え。

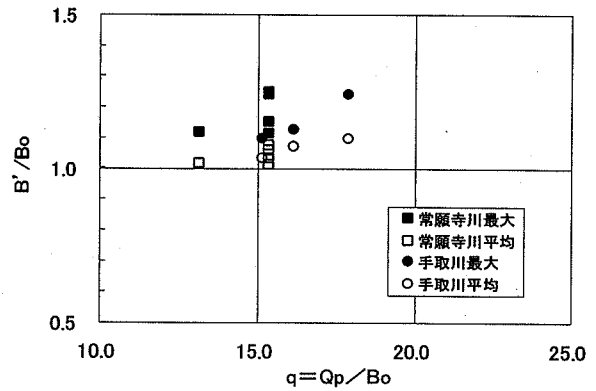


図-10 単位幅流量と洪水後侵食幅比の関係

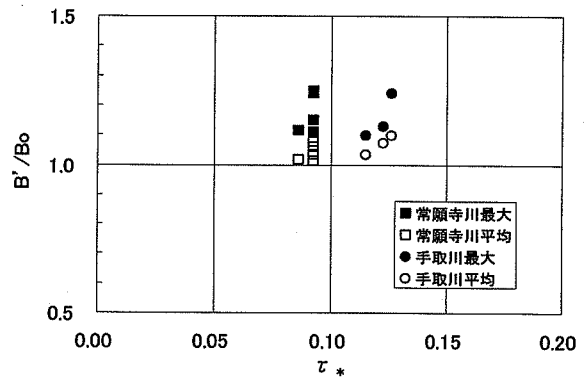


図-11 無次元掃流力と洪水後侵食幅比の関係

5. まとめ

急流河川における堤防強化としての前腹付け工の機能について評価したものである。今後は、現地試験を実施し、モニタリングを行いながら、この対策工の実効性を検証したいと考えている。

参考文献

- 1) 末次忠司, 板垣修: 堤防・河岸の侵食実態と侵食対策, 第2回粘着性土の侵食に関するシンポジウム, 2004. 12
- 2) 国土交通省河川局ホームページ: 第18回河川整備基本方針検討小委員会資料2-1
- 3) 北陸地整河川計画課, 河川環境管理財団: 急流河川の洗掘・側方侵食に対する安全評価手引き書 (案), 2004. 4
- 4) 福岡捷二: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版株式会社
- 5) 北陸地方整備局: 急流河川における浸水想定区域検討の手引き, 2003. 9
- 6) 望月達也, 藤田光一, 坂野章, 服部敦, 塚原隆夫, 梶野浩一, 平舘治, 二村貴幸: 水理模型実験による常願寺川河道計画の検討, 土研資料, 第3704号, 2000. 3
- 7) 山本晃一, 藤田光一, 佐々木克也, 有澤俊治: 河岸形成における水と植生の役割, 土木技術資料 Vol. 35, 1993. 8
- 8) 宇多高明, 望月達也, 藤田光一, 平林桂, 佐々木克也, 服部敦, 藤井政人, 深谷渉, 平舘治: 洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動, 土研資料, 第3489号, 1997. 1

(2006. 4. 6受付)