

多自然型河岸防御工の被災過程

Damaging Processes of Rich-in-Nature Type River Bank Protections

平林 桂* 藤田 光一** 宇多 高明***

By Katsura HIRABAYASHI, Ko-ichi FUJITA and Takaaki UDA

ABSTRACT

Damaging processes of two typical rich-in-nature type river bank protection works were investigated through the field inspections. Two kinds of unique problems concerning rich-in-nature type bank protection works were pointed out; A decrease in strength of the embankment in flood period, and a local scour at the toe of the protection work protruded into the low water channel. Also some notes concerning non-cohesive embankments on existing revetments were found out; the erodibility can be estimated using the concept of critical shear stress, and vegetations on the surface of the embankments strengthen the stability.

KEY WORDS: rich-in-nature type river bank protections, damaging process, embankment

1. 概要

多自然型河岸防御工は、従来の治水機能に加え、施工場所の特性に応じて生態系保全・創生、景観向上、親水性等の機能を発揮することが要求される。このため、従来の護岸に比べ多様な構造を持ち、コンクリートブロックを中心とした従来の護岸用部材とは異なる部材が採用されることが多く、その設計においては標準的な護岸を想定した設計法を適用できない部分が特に耐力についてかなり多く残されている。このような状況から、筆者らは水理学的な裏付けを持った多自然型河岸防御工の設計法の確立を目指して調査・研究を進めている。

多自然型河岸防御工の被災過程の分析は、国・県管理の多自然型河岸防御工のうち、平成5年度に警戒水位以上に達する洪水の発生した箇所を対象に、河岸防御工の構造、設置地点の河道特性、洪水水理量のデータを収集し、被災原因の分析、河道特性別に見た被災の特徴等を調べ、多自然型河岸防御工の設計法の立案の一助とすることを目的として実施された。本論では被災過程の分析を実施した多くの事例から2事例を紹介する。また、近年多自然型工法としてしばしば実施される非粘着性材料を用いた覆土に関し、その流出発生条件の検討結果を述べる。さらに、これらの検討によって得られた教訓について述べる。

* 建設省土木研究所 河川部河川研究室 研究員（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）

**工博 同 上 主任研究員

***工博 同 上 室長

2. 個別事例の被災過程分析

調査は、補助区間も含む全国の直轄河川において平成5年度に発生した洪水を対象に実施した。収集した全事例数は79事例で、うち被災件数は21事例であり、その多くが覆土の流出事例であった。

ここでは、被災事例のうち、多自然型河岸防御工ならではの2事例を代表として取り上げ、個別にその原因・破壊過程を推定した結果を述べる。被災過程の分析方法は、まず河道法線形、砂州形状、河岸防御工の構造、河岸土質、被災後の状況写真等からいくつかの被災機構を推定し、これらの仮説について力学的観点からなるべく定量的に検証し、最も確からしいと推定される仮説を被災過程とするものである。

2.1 大型連結ブロック張りの背面土の流出に伴うブロックの崩壊

1) 被災の概要

被災は、平均河床勾配1/391、河床材料の平均粒径5mm程度、堤間幅220m、低水路幅110mで通常時は網状流路を形成している箇所が発生した。図-1に河岸防御工の平面形状および図-2に横断形状を示す。2割勾配の土羽の上に厚さ10mmの吸い出し防止材が敷設され、その上に厚さ120mm、重量340kg/m²の大型連結ブロックが設置されている。のり肩付近は張り芝で覆うことによって環境に配慮している。連結ブロックの脚部には根固工が設置されている。護岸の平面形状は緩勾配化に伴い全体的に低水路方向へ突出した状態になっており、上下流端は現況河岸にすりつけられている。

被災は直近の流量観測所でピーク流量1,602m³/s（計画高水流量は3,900m³/s）を記録した洪水によりもたらされ

た。被災状況を写真-1に示す。連結ブロックが張り芝ごとにはぎ取られ、裏込め材料が崩れ、河岸土が流出しているのがわかる。

2) 被災分析

この被災プロセスとしては次の2つの仮説を立てることができる。

・仮説①：吸い出し等によりのり面の土砂が流出し、基礎地盤の支持を失ったブロックの配置が乱れ、その結果ブロックの投影面積が大きくなり、大きな流体力を受けて流出した。

・仮説②：連接ブロックが流体力によりはぎ取られ、むき出しとなった河岸土羽が流体力により削られた。

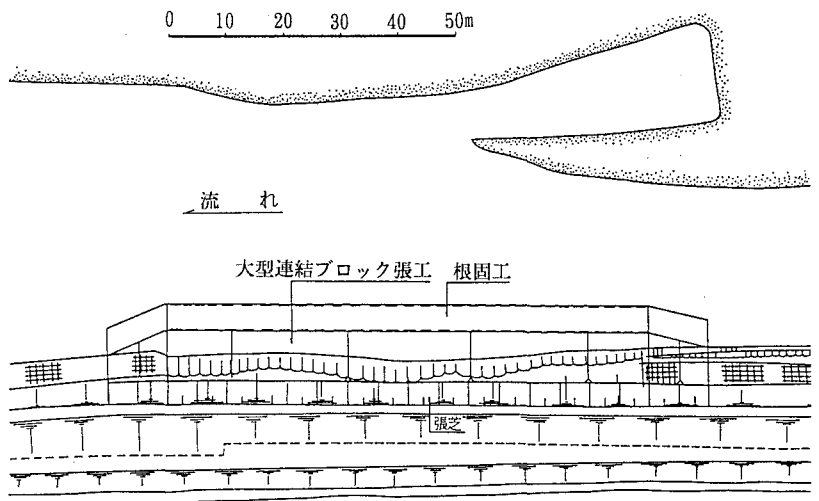


図-1 多自然型河岸防御工近傍の河道平面形状

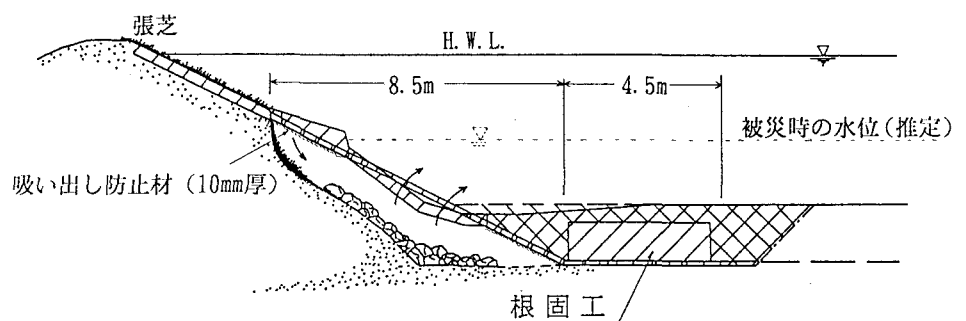


図-2 横断形状および被災状況

2つの仮説のうち、まず仮説①について検証を行うことにする。

図-2の護岸の横断形状、図-1の平面形状からもわかるように、護岸の上下流方向の中央部付近には緩勾配化のために河岸脚部にかかなり多くの盛土がなされた可能性が高い。一般に河岸土は様々な透水性を有する土が層構造をなしているが、一旦ほぐして混合すると微細粒径の土が大粒径の土の間隙を埋めるような組成となり透水係数が小さくなるので、河川工事のようにウェットな状況下では締固めが困難となる。締固めが不十分な土は含水時に強度低下しやすくなることから、本事例においては、次のような被災のプロセスを想定することができる。

間隙水による盛土の強度低下
↓
接続ブロックの変形、ブロック
に作用する流体力の増大
↓
ブロック、吸い出し防止材の流出
↓
盛土の流出、被災範囲の拡大

なお、仮説2については、福岡ほか(1988)の研究に基づきブロックに作用する抗力、揚力、摩擦力、重力のつりあい関係を調べたところ、本洪水では移動しないことが示された。以上から、今回の事例の被災過程は仮説1によると推断される。



写真-1 被災状況

2.2 局所洗掘の発達に伴うのり崩れ

1) 地点の概要

被災は、河床勾配1/1000、河床材料の平均粒径40mm、堤間幅75m、低水路幅30mの小規模河川で発生した。被災の発生した洪水のピーク流量は $930\text{m}^3/\text{s}$ であり、これは当該地点の計画高水流量と一致する。被災発生地点周辺の平面図を図-3に示す。当該地点は湾曲部内岸側にあたる。川幅は上下流に比べ局所的に広がっている。河岸防御工は低水路に突出した形で設置されており、将来の延長を考え上下流端は練石積みの取り付け護岸によって周辺河岸にすり付けられている。

図-4に河岸防御工の横断形状を示す。

河岸防御工のタイプは、1割5分勾配の

のり面に杭による柵工を階段上に配置し、柵工の間に栗石を平坦に置く梯子式土留工である。柵工に用いられた杭は長さ1.5mであり、そのうち1.1mがのり面に打ち込まれている。のり尻には幅2.5mの根固め工が数設

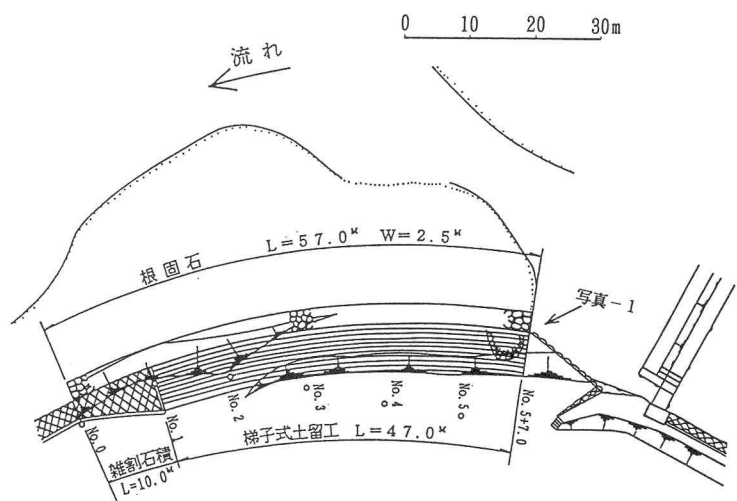


図-3 多自然型河岸防御工近傍の河道平面形状

されているが、その範囲は完成護岸部に限られており、取り付け護岸部までは延長されていない。

被災は河岸防御工最上流部の取り付け護岸との境界部で発生した。被災状況を写真－２に示す。のり崩れが発生し、のり面を覆っていた栗石が散乱しているのがわかる。

2) 被災分析

上記の被災状況から、被災原因として次の２つの仮説を挙げることができる。

・仮説①：柵工間の平場に設置した栗石が流体力によって移動し、むき出しとなった土羽が侵食・流送された。

・仮説②：取り付け護岸部で局所洗掘が発生してすべり破壊を起こした。また、杭の打設過多が土羽の強度低下を引き起こし、すべり面が形成されやすくなったことも被災を助長した。

次にこの２つの仮説について検証することにする。

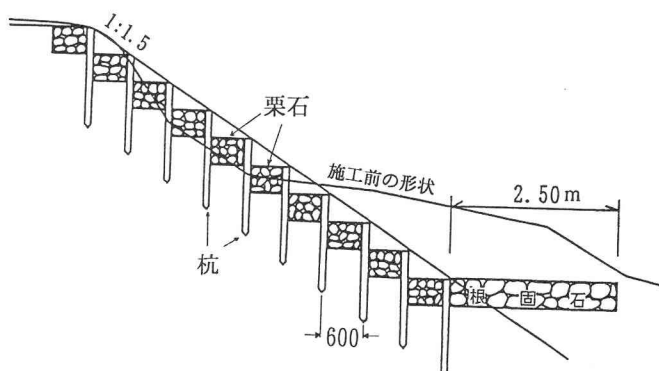
< 仮説① >

洪水ピーク時における栗石に対する無次元掃流力を計算すると0.0081を得る。この値は無次元限界掃流力よりもかなり小さいので、河岸防御工の平面的な突出による流速の局所的な増大を見込んだとしても栗石は移動するには至らないと推定される。

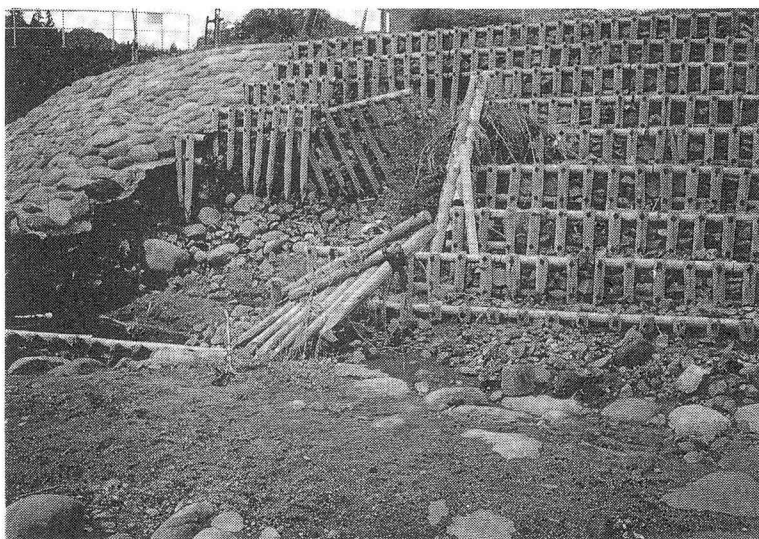
< 仮説② >

図－３に示すように、被災発生箇所は平面的に低水路側の突出した形状を有する河岸防御工の最上流端であること、根固め工の設置範囲が上流方向に短く、河岸防御工の平面形状の影響

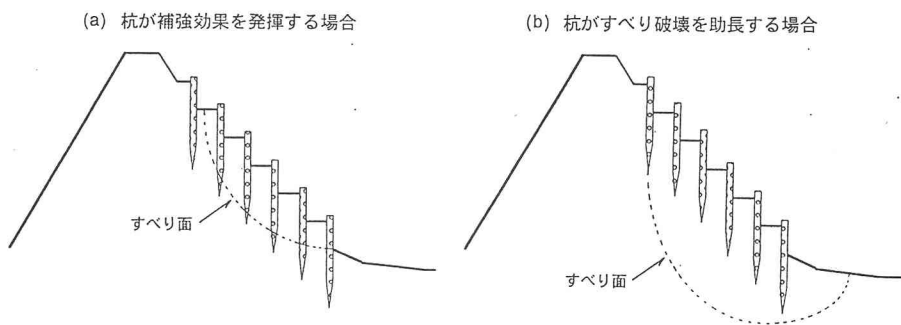
で発生が予測される局所洗掘範囲を完全にカバーしていないと考えられることから、洪水時には被災発生箇所ののり尻近傍で局所洗掘が発生していたと推定される。河岸の土質特性や洪水時の局所洗掘深については既存の資料の範囲では調べることができないので定量的な分析はできないものの、局所洗掘の発生が河岸のすべりに対する抑え土圧を減少させてすべり破壊を誘発した可能性が高い。なお、杭の打設が河岸の強度に



図－４ 横断形状



写真－２ 被災状況



図－５ すべり面の位置と杭打設の影響

及ぼす影響については、すべり面の形成位置いかんによってすべり破壊に対する補強とも弱体化ともなりうると思われる。すなわち、図－5(a)のような場合、すべり面に対して杭は補強効果を発揮するが、(b)のようなすべり面に対しては、直径100mmの杭が250mm間隔で打設されているので杭群の打設面では土の面積が40%減少し、その分粘着力も低下することになる。また、部分的には打設面上にクラックが入る可能性もある。ただし、既存の資料ではすべり面の位置まで確認できないので杭の打設の良否については評価できない。

以上、仮説①が成立しないこと、仮説②の妥当性を定性的にはあるが評価できることから、仮説②が有力な被災原因であると結論づけられる。

3. 覆土の安定性評価

次に、覆土の流出機構について検討してみる。非粘着性土を用いた覆土の場合、洪水時の最大せん断力が覆土材料の限界掃流力よりも大きくなった場合に流出すること、また表面に植生を有する場合には植生が覆土材料に作用するせん断力を緩和する作用があることが推定される。そこで、非粘着性覆土を対象に、限界掃流力と洪水時最大せん断力との関係を調べることにした。限界掃流力については基本的には岩垣の式により求めるものとしたが、斜面上にある場合はLaneの補正係数をこれに乗じた。限界掃流力の算定に必要な覆土材料の粒径については基本的に平均粒径を用いた。洪水時の最大せん断力 τ_0 は式(1)により求めた。

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot h \cdot I \quad (1)$$

ここに、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 h は洪水中での覆土の法尻での最大水深、 I は水面（河床）勾配である。

このようにして求めた洪水時最大せん断力 τ_0 と覆土材料の限界掃流力 τ_c との関係を図－6に示す。この図において、 $\tau_0 = \tau_c$ の斜線より上の領域が覆土の流出領域を、下が非流出領域をそれぞれ表している。また、黒塗りが流出ありを、白抜きが流出なしをそれぞれ表している。非粘着性土でかつ表面に植生を有しない覆土は流出していない事例が1事例しかないという問題はあるものの、これによれば流出の有無は限界掃流力の概念で整理できることがわかる。また、表面に植生を有する覆土で流出なしの事例がいくつか破壊領域にあるが、これは表面の植生が覆土の耐侵食強度を増強していることを表している。なお、流出領域において $\tau_0 = \tau_c$ の斜線から離れるほど覆土の安定性にとっては厳しいことを表しているが、今のところ資料数が少ないので植生の耐侵食強度の上限値に関する知見を得るには至っていない。

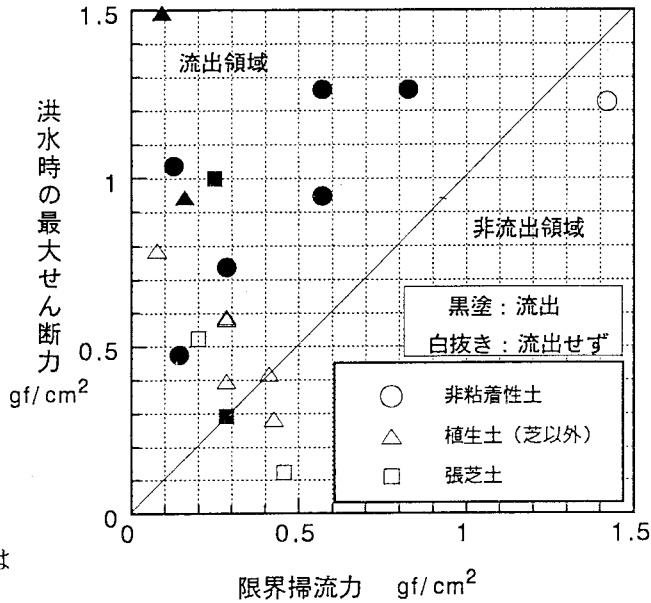
4. 得られた教訓

4.1 構造上の課題

ここでは、上記の検討を通じ明らかとなった多自然型河岸防御工の構造上の課題について列挙する。

1) 緩勾配化・アンジュレーション付加による法線形の突出

低水路河岸に設けられる多自然型河岸防御工は、河岸線に変化をもたすべくしばしばアンジュレーションが付けられる。また従来の護岸よりも緩勾配化が図られることも多い。その結果、多自然型護岸の一部または全部が低水路側に突出する場合があるが、洪水時、こうしたところで局所洗掘が発生し、護岸の被災の原



図－6 覆土の限界掃流力と洪水時最大せん断力との関係

因になる場合がある。根固工等による局所洗掘対策を怠らないことが重要であるが、従来護岸と多自然型護岸との接続については、勾配の違いによる景観上の問題、また、接続部での侵食強度の低下や疎通能力への影響等、治水上の課題も残されており、十分吟味する必要がある。

2) 盛土

本調査において、盛土の泥濘化が原因と思われる被災例が本論で紹介した事例以外にも幾つか見られた。従来の治水を主目的とした護岸は、多くの場合流下能力確保のため低水路の拡幅とセットで計画されたので、高水敷の切り土面に設置されることが多かった。一般にセグメント2よりも下流の河川の高水敷は、洪水の度に浮遊砂が堆積して長い年月をかけて形成されたものであるから、圧密がかなりの段階まで進んでいると推定される。このため洪水時に飽和しても強度低下量が少なく、結果として護岸の安定性を大きく損なうことがなかったと考えられる。ところが多自然型河岸防御工の場合は、しばしば工事発生土を利用した盛土とセットで施工されるので、2.1で述べたように含水時に強度低下し河岸防御工の安定性が損なわれることがある。この問題については、土質改良などを含めた抜本的な対策法の検討が必要である。

3) 河道特性と覆土の適応性の関係

3. で述べたように、覆土材料の安定性は流水のせん断力と材料の限界掃流力の大小により決まるので、大きなせん断力の発生する急流河川では覆土材料に大粒径のものが要求される。しかし、急流河川においては河床材料以上の粒径の覆土材料を調達するのが困難であること、本論では紹介しなかったが、大粒径の覆土材料を用いた場合、例えば表面に植生を繁茂させても補強効果が得られにくいことが明らかにされていることから、覆土工法は急流河川にマッチした工法とは言いがたい。緩勾配化、多孔質化など、覆土工法と同様の効果を得るのならば、強度の点で覆土よりも有利な工法、例えばかご工等を用いるべきであると言える。かご工の隙間に粘着性土などで間詰しておけば、そこに植生の再生を期待することができる。

4.2 計画上の課題

従来の川づくりは、疎通能力の確保を大前提とし、標準断面をよりどころとして河道拡幅、河床掘削等を行うことが中心課題であったから、河川を変化の乏しい、いわゆる定規断面にしてしまったことは否めない。ところが新しい川づくりの潮流は、川には砂州や瀬・淵が本来あるべきものであるとし、それを人間が社会生活を送る上で支障のない範囲で許しつつ治水安全度を確保するとの方向に向かっている。これはもともと環境保全の立場から発生した考え方であったが、結果として河岸防御工の安全度を高め、維持管理を容易なものにすることが期待できる。例えば湾曲部外岸側の深掘れ対策として根固工を設置する場合、将来発生する深掘れを想定して設置高さを低めに設定すると、高めに設置した場合よりもブロックの必要重量・敷設範囲を小さくしても安定性を保持できることが知られている（山本ほか、1991）。これは、瀬・淵を残すことによって河岸防御工の安全度も高めた「河岸防御工の高度化」の好例といえる。今後は「河岸処理の高度化」に向けて、生態系、景観、親水性、安定性等の課題をどう位置づけ、バランスさせていくかの検討が必要である。

<謝辞>

本研究の遂行に際し、河川局治水課北村匡課長補佐には多大なご指導を賜った。また、河川局治水課宮武晃司調査基準係長、九州地建河川計画課は沢穀専門官、高橋英一技官をはじめ現場の皆様には調査実施のうちに多大なる御協力を賜った。末尾ながらここに記して謝意を表します。

<参考文献>

- 山本晃一(1994)：沖積河川学 堆積環境の視点から、山海堂、470p.
福岡捷二・藤田光一・森田克史(1988)：護岸法覆工の水理設計法に関する研究、土研資料第2635号、pp. 15-19.
山本晃一・平林 桂・鈴木一孝(1991)：物部川床止め計画模型実験報告書、土木研究所資料第2984号、325p.