

護岸の力学的設計法の適用性 (平成10年災害を例として)

APPLICABILITY OF MECHANICAL DESIGN METHOD OF RETENTION WORKS
(WITH REFERENCE TO 1998 DISASTERS)

高橋 定雄¹・中山 修²・佐古 俊介³

Sadao TAKAHASHI, Osamu NAKAYAMA and Shunsuke SAKO

¹正会員 建設省 河川局治水課 (〒100-8944 東京都千代田区霞が関2丁目1-3)

²財団法人国土開発技術研究センター 調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目8-10 第15森ビル)

³正会員 工修 財団法人国土開発技術研究センター 調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目8-10 第15森ビル)

"Mechanical design method for revetment works" based on hydraulic and mechanical view point was released in 1998. In this design method, it is required to verify the relationship between the external forces and bearing capacity of the revetment by using a model, in which typical features of damage on revetments as well as previous experiences are taken into account. However, information to enable the practical use of this method were not sufficient.

Focusing on revetments damaged by the floods in 1998, this study covers statistical analysis on damaged sections and the features of damage; analysis on the characteristics of damage; analysis on the relationship between the dimensions of each section of a revetment, which are considered important from an engineering standpoint, and the dimensions of actually damaged revetments, and investigates the applicability of the above mentioned mechanical design method.

Key Words: Retention design, river bank protection,

1. はじめに

河川管理施設等構造令では、流水の作用から堤防を保護するため、必要がある場合には護岸、水制を施すものとしており、同解説において設置の基本的考え方を示している。また、河川砂防技術基準（案）において施設構造等を示している。

現在設置されている護岸等は、過去の災害の経験や実績を踏まえ、水衝部、河川横断構造物の上下流、高潮区間等で実施されているが、これまで体系的な力学設計論が十分に確立されていなかったことから、主として経験の積重ねと現場における工夫によって設計・施工がなされてきた。¹⁾

一方、平成10年には“護岸の力学的設計法”が公表され、従来の経験に加え、水理学的及び力学的知見を取り入れ、護岸の典型的被災形態を踏まえたモデル化を行うことによって外力と耐力の関係を明確にし、洪水に対して安全な護岸を設計する手法が提

案された。しかし、これらの手法の現地への適用性については十分な知見が得られていないのが現状であった。

本研究は平成10年の出水により被害のあった護岸について、被害の部位や被害形態等について統計的処理を行い、被害の特性を分析するとともに、護岸の力学設計法により必要とされる護岸の各部位の諸元と被害のあった地点に施工されていた護岸の諸元の関係を分析し、力学的設計法の適用性について考察を加えたものである。

2. 護岸の力学設計法について

(財)国土開発技術研究センターでは、それまで主に建設省や土木研究所を中心として行われてきた現地観測や室内実験等の結果をとりまとめるものとして、護岸・根固め工の設計方法に関する検討結果を平成8年3月にJICE資料として公開した。その後改

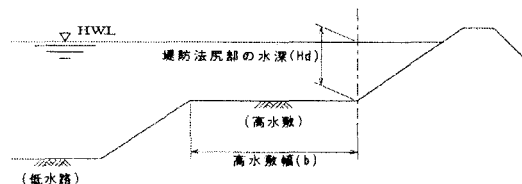
訂を経た後、平成 11 年 2 月に“護岸の力学設計法”として山海堂より発刊されている。本書は現時点における護岸の設計に関する知見をとりまとめた力学検討モデルを提案し、検討手法について提示したものであり、護岸設計におけるガイドブック的性格を持つものである。設計者は提案された設計手法に加え、それぞれの河川の持つ特性やこれまでの被災履歴などを勘案して設計しようとする護岸の安定性判断を行うことが望まれている。¹⁾したがって、“護岸の力学設計法”を適用する際には、対象区間の特性を把握し、その河道特性を反映させた設計条件を設定する必要がある。

力学的検討モデルの提案にあたっては、護岸の破壊形態、構造様式に分割し、共通的な構造モデルを定め、それらごとに力学的安定性を評価するための基本式を提示している。¹⁾すなわち、護岸の被災状況について、滑動やめくれなどの破壊形態を取り上げ、それらの安定検討として流体力や土圧などの作用外力と部材との力学的つりあいから耐力を評価する方法を用いることにより、法覆工控え厚、根固め工重量などの護岸の必要諸元を照査する方法について提示している。

(1) 河道条件

河道平面形状については、大別して直線部と湾曲部に分けることができる。湾曲部においては、湾曲内岸に生じる自由渦ならびに、外岸側下流端に生じる強制渦による流速の増加を見込む必要がある。力学設計法では、堤防法線の湾曲半径 (r) と川幅 (B) の比で整理を行うものとしている。具体的には $r/B > 5$ のとき直線部とみなす。¹⁾

河道断面形状については、図-1 に示すように、大別して単断面河道と複断面河道に分けることができる。単断面河道とは高水敷が無い、もしくは高水敷幅が狭く、高水敷による侵食抵抗が見込めない河道が該当する。このような河道における堤防は、堤防のり面を直接的に保護する方法（例えば護岸等の構造物）により侵食に対する防護を行う必要がある。



$b/H_d < 3$ のとき単断面河道

ここで、 b : 高水敷幅、 H_d : 堤防のり面部の水深

図-1 河道横断形状の概念図

また、複断面河道においては、高水敷が堤防への主流路からの側方侵食、洗掘に対する抵抗を発揮するこ

とを見込んで堤防の侵食に対する防護を行う必要がある。単断面河道と複断面河道の区別を図-1 に示す。

(2) 照査外力

照査に用いる外力は、代表流速と最深河床高とする。代表流速の算定法は、マンニングの平均流速公式で求めた平均流速 V_m に、対象断面の平面及び断面特性を反映させるために、マンニングの平均流速公式で考慮されない要因を水理的に評価し、補正する補正係数 α を乗じて (1a) 式によりを算定する。

ここで、流速は一般に計画高水位相当の水深が生じた場合が最も大きくなることから、計画高水位相当の水深を設計水深 H_d とし、その条件での粗度係数、エネルギー勾配を適切に評価して平均流速 V_m を求める。

代表流速 V_0 を求めるための補正係数 α は、河道の湾曲、低水路との流れの干渉、河床洗掘を考慮した補正係数である。¹⁾

$$V_0 = \alpha \cdot V_m \quad (1a)$$

$$V_m = (1/n) \cdot H_d^{2/3} \cdot I_e^{1/2} \quad (1b)$$

ここに、 V_0 : 代表流速 (m/sec)

V_m : マニングの流速公式から求めた平均流速 (m/sec)

n : マニングの粗度係数 (s/m^{1/3})

H_d : 設計水深 (m)

I_e : エネルギー勾配

α : 補正係数

最深河床高（推定最大洗掘深）については以下の方法で評価を行い、これを外力として設定している。¹⁾

- ・ 経年的な河床変動のデータから評価
- ・ 既往の研究成果をもとにした評価
- ・ 数値計算による評価
- ・ 移動床模型実験による評価

(3) 照査の内容

護岸の力学設計法の照査は、護岸の構造部位である法覆工および天端工等の付属工、基礎工、あるいは根固め工について実施する。その際にはそれぞれの部位における破壊要因、破壊形態及び設置状況を考慮し、流体力、土圧、河床低下等を外的要因とする“構造モデル”を提示し、それぞれの構造モデルごとに照査方法を示している。例えば、ブロックのように底面が平坦で、上下流端がすりつけ護岸で保護されている法覆工では、流体力によりコンクリートブロックが滑動する破壊形態となる。自然石のように丸みを帯びた材料では流れにより掃流されて破壊される形態をとる。また、小口が保護されていない場合には流体力により法覆工がめくられて破壊される形態をとる。さらに、考慮するのり面が急な場合には、背面からの土圧を考慮する。このような観点から構造モデルを分類し、それらの安定検討として流体力や土圧などの作用外力と部材

との力学的つりあいから耐力を評価する方法を用いることにより、安全性照査を行っている。

また、根固め工については、流体力に対して安定を保つことのできる重量以上とするとともに、予測される洗掘に対して基礎工全面を保護することのできるような施設幅、施設高の照査を行うものとする。根固め工についても法覆工の場合と同様にその形状や配置形態によって、“転動”、“滑動”、あるいは“掃流”等の被災形態毎にモデルを設定し、流体力やなどの作用外力と部材との力学的つりあいから耐力を評価する方法を用いることにより、安全性照査を行っている。

3. 力学的設計法の適用性検討

筆者らは、平成 10 年に建設省が実施した“護岸災害に関する実態調査結果”を基に、護岸の被災形態について明らかにするとともに「護岸の力学設計法」の適用性について検討を行った。

(1) 護岸の被災実態

平成 10 年の護岸被災の調査は、被災箇所によると全国で 283 事例収集された。

本調査では、“美しい山河を守る災害復旧基本方針”³⁾に付加されている災害復旧箇所河川特性整理票と設計流速算定表を中心に、被災リスト、改修計画平面図、被災状況写真、被災施設の完成時と被災状況図、航空写真、治水地形分類時、出水前後の横断面図と経年変化、最深河床縦断面図等の図面等の収集を行ったものである。

図-2 に被災形態別の整理を、図-3 に被災箇所別の整理を行った結果を示す。

まず、被災形態別に見ると、河床洗掘が 255 例中 156 例と全体の 61%を占めており、圧倒的多数を占めている。また、被災箇所別に見ると、低水護岸・堤防護岸の被災が 258 事例中 146 例の 56. 5%と半数を超えている。

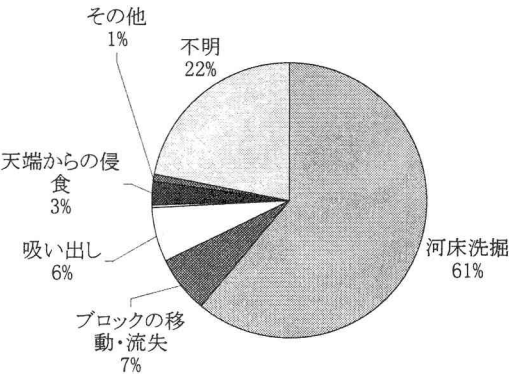


図-2 被災形態別グラフ

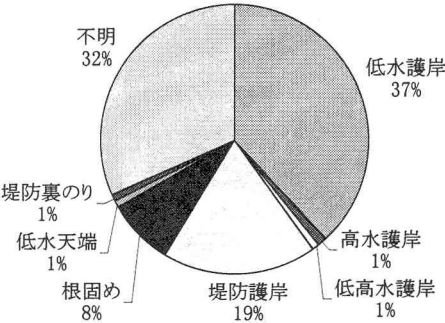


図-3 被災箇所別グラフ

そこで、被災箇所と被災形態の関連性について検討を行うために、被災箇所と被災形態の両方が明かなものについて表-1 に再整理を行った結果、低水護岸の河床洗掘を原因とする被災は 20 事例中 17 事例と 85%を占め、また、堤防護岸の河床洗掘を原因とする被災は 15 事例中 11 事例と 73%を占めた。

表-1 被災箇所と被災形態の関連性

	低水護岸	高水護岸	堤防護岸	根固め	堤防裏のり	不明	計
河床洗掘	17	1	11	6	0	3	38
ブロックの移動・流失	1	0	0	0	0	0	1
吸い出し	0	0	2	0	0	0	2
残留水	0	0	1	0	0	0	1
天端からの侵食	1	0	1	0	0	0	2
衝撃	0	0	0	0	0	0	0
侵食	0	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	1	0	1
不明	1	0	0	0	0	5	6
合計	20	1	15	6	1	8	51

護岸の過去の被災事例において、最も顕著なものは、基礎工前面の河床洗掘を契機として、基礎工およびのり覆工が被災をうける事例が多いとされている通り¹⁾、本調査による護岸被災も河床洗掘によるものが圧倒的に多い。このことは、護岸の設計において最深河床高が重要な設計条件であることを示している。しかし最深河床高は洪水時の洗掘現象や埋め戻しによって変化し、その変化形態は河道特性によって異なる。現象の複雑さ、定量的な評価に必要なデータ収集も、観測が難しいこともあって現段階では不十分なことから、最深河床高の定量的評価は困難であるとされてきていた。

そこで、本研究では 根固め工の諸元（重量・敷設幅）に着目して“護岸の力学設計法”においても紹介されている、洗掘の定量的な評価に関する既往の研究成果⁴⁾より洗掘深の評価を行い、算定された必要な根固め工の諸元（重量・敷設幅）と、実際に施工されていた根固め工の諸元との比較をおこなうことで、洗掘を原因とする被災護岸における力学的設計法の適用性に関する検討を行うこととした。

(2) 力学的設計法の適用性検討

a) 検討のアプローチ

力学的設計法の適用性に関する検討にあたっては、平成 10 年の“護岸災害に関する実態調査結果”の調査にて収集した 283 事例のうち、洗掘を被災原因とし、被災水位、根固め工の重量・敷設幅等の明らかな事例について追加調査等を行い、37 事例の護岸被災箇所を対象として“護岸の力学設計法”による照査を行うことにより、その適用性の検討を行った。照査を行った結果を図-4 と図-5 に、まとめを表-2 に示す。なお、図の横軸には被災箇所に施工されていた根固めの重量、または敷設幅を、縦軸には“護岸の力学設計法”により算定した被災箇所における根固め工の必要重量、または敷設幅をとりプロットを行っている。

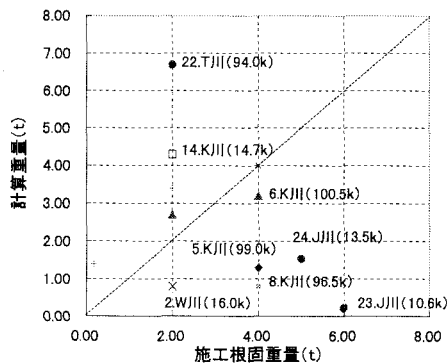


図-4 被災護岸における根固め工重量の実測値と計算値の比較

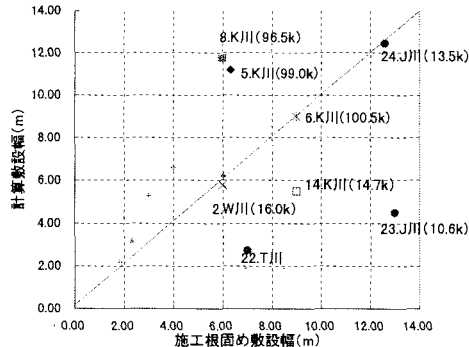


図-5 被災護岸における根固め工敷設幅の実測値と計算値の比較

表-2 根固め工被災原因のまとめ

設計条件	被災護岸整理番号							
	2	5	6	8	14	22	23	24
根固め重量について満足していたか	○	○	○	○	×	×	○	○
敷設幅について満足していたか	○	×	×	×	○	○	○	×
以上を合わせ、被災を設計法により説明できるか	×	○	○	○	○	○	×	○

b) 結果

図と表より、根固め重量と、敷設幅の 2 つについて照査を行った結果、根固め重量を満足していたにもかかわらず敷設幅が不足していたことにより被災を生じ

たものは番号 5, 6, 8, 24 の根固め工であり、敷設幅について満足していたが、根固め重量が不足により被災を生じたものは番号 14, 22 であった。これらについては、施工されていた根固め重量、もしくは敷設幅の不足が原因で、根固め工が流体力によって破壊され、結果、洗掘による被災を生じたものであると推定される。また、両諸元とも計算上必要なものが施工されていたにも関わらず被災した 2 事例 (2, 23) は、いずれも横断工作物の直下に施工されており、予想以上の洗掘に見舞われたと考えられる例 (2) や、すりつけ部からの侵食を受けた例 (23) である。このような特殊な条件を除き、本調査事例においては、被災原因を“護岸の力学設計法”により説明できたとと言える。

4. おわりに

今回の調査では、平成 10 年の“護岸災害に関する実態調査結果”を用い、護岸基礎の洗掘による被災割合を明らかにするとともに、限られた調査事例ではあるが、基礎工洗掘を防護するための根固め工について“護岸の力学設計法”による根固め重量と、敷設幅照査を行った。その結果、横断工作物周辺護岸の被災を除けば、被災した護岸の“護岸の力学設計法”による説明が可能であることを明らかにした。今回の力学設計法の妥当性検証は、一部の事例について行ったに過ぎず、また、ある工学的な割り切りのもとに照査を行っているため、今後も出水時における護岸の力学的設計法を用いた照査を行い、妥当性の検証を行ったうえで手法の改良を図ることが必要であると考えられる。そのためには、侵食に対する河道断面の抵抗度を考慮した外力の算定手法の検討や、様々なブロックタイプの抗力係数や揚力係数のような基礎的データの蓄積、洪水時における洗掘部の埋め戻し現象や、定量的な評価に必要なデータの観測・蓄積等が特に重要であると考えられ、これらの点を踏まえながら、さらに精度の高い定量的評価手法の提案を行う必要がある。今回の力学的設計法を用いた照査は、前述したような改良点はあるにせよ、そのような視点を与えた点からみても意義があるといえる。

参考文献

1) 山海堂：建設省河川砂防技術基準（案）同解説 平成 9 年 10 月
2) 山海堂：護岸の力学設計法 平成 11 年 2 月
3) (社) 全国防災協会：美しい山河を守る災害復旧基本方針 平成 10 年 5 月
4) 山本晃一：沖積河川学、山海堂、1994 年

(2000. 4. 17 受付)