

II-35

不織布を利用した河川堤防の保護に関する水理実験

開発土木研究所 正員 船木 淳悟
 同 上 正員 馬場 仁志
 (財)環境管理財団 正員 吉川 秀夫
 同 上 正員 竹本 成行

1. はじめに

近年、氾濫原に都市機能や住宅などの集積が加速される中、平成8年6月の河川審議会答申において、21世紀に向けた河川整備の推進方法の一つとして堤防の質的強化技術の開発が示された。また、治水事業の進捗に歩調を合わせて伸長する河川堤防に対し、除草や見回り点検といった維持管理業務も増大する一方であり、今後の低コスト化や高齢化社会に対応した効率的な河川構造物の維持管理技術への要請も高まっている。

こうした背景から、著者らは堤防の質的強化と管理の軽減化の双方を満足する工法の開発を目指して、近年土木分野において補強材として利用されている不織布に着目し、堤防補強材としての有効性について実験により検討した。本実験は平成8年度から大型開水路を用いて行われ、疑似堤防法面に不織布を露出状態で敷設し、3m/sec程度の流速条件下での侵食状況を把握した。その結果、不織布は透水性が高いため背面下に流れが生じ、またシート材が激しく動揺することから、堤体土の下方への流動と細粒分の流出による法面の変形が認められた。しかしこの課題は、敷設方法の工夫により解決すれば、堤体の壊滅的な破壊をくい止めたり進行を遅らせる効果が充分期待できるとの示唆を得た¹⁾。

本論文では、上記の結果を踏まえ、シート材の動揺を制御する工法を工夫し、その効果を確認するための水路実験と、堤防越流時の法面侵食実験を行ったので報告するものである。

2. 実験方法

2.1 実験に用いた不織布の特性

堤防法面の補強材として要求されるシート材の特性は、強度、透水性、土砂吸い出し防止性、土中耐久性、耐薬品性、通根性などである。これらの要件を勘案し、素材としてポリオレフィン系繊維を用いニードルパンチ法による結合と熱接着により作られた不織布を選定した。不織布の物性値は、引張強度(N/5cm幅)がタテ397、ヨコ286、また透水係数(cm/sec)は0.87であった。

2.2 水路実験

図-1に示すような長さ40m、幅3m、深さ1m、勾配1/50の矩形直線水路に法勾配が1:2の疑似堤防法面を設置した。そして水路の中央部20mを各5mの4ブロックに分割し、堤防表面にそれぞれパターンを変えて不織布を敷設した。測線No.10~15の区間に設置したパターンIは、法面を縦方向に仕切るように不織布を堤体内に長さ0.5m差し込んだ。測線No.15~20のパターンIIは、Iと対照的に不織布で法面を横方向に仕切るように0.5m差し込んだ。一方パターンIIIおよびIVは、不織布を土嚢状にした袋(70×50×20cm、重量30~35kg)を縦方向に帯状に連結し、隙間なく法面に敷設した。パターンIIIについては法面を不織布で覆った上に、この不織布袋を敷設した。

通水はまず0.5m³/secで83分実施し、その後流量を0.65m³/secに増やして90分行った。

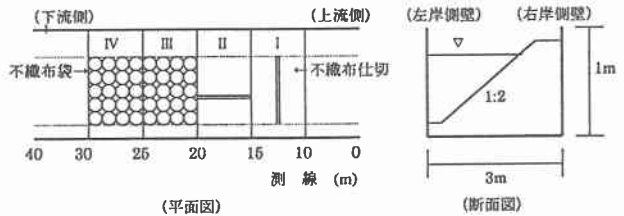


図-1 水路実験施設

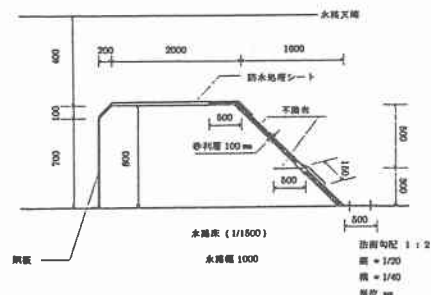


図-2 越流実験施設(ケース2)

Experiment on riverbank protection using nonwoven fabric
 by Jungo FUNAKI, Hitoshi BABA, Hideo KIKKAWA, Masayuki TAKEMOTO

2.3 越流実験

長さ 40m、幅 1m、深さ 1.2m、勾配 1/1,500 の直線矩形水路に図-2 に示すような疑似堤防を設置し、上流側から水を供給して越流させ、法面の侵食状況を観察した。実験は以下に示す 3 ケースで実施した。ケース 1 は堤防土にじかに不織布を敷設し、堤防天端から 0.5m のところで水平に 0.5m 不織布を差し込んだ。このときの堤防法勾配は 1:2 である。ケース 2 および 3 は法の表面 0.1m を砂利層 (0~40mm) で被覆したのち不織布を敷設した。法勾配はケース 2 を 1:2、ケース 3 を 1:3 とした。また、ケース 1 では堤防高と水路天端高との間に余裕が無く、十分な越流水深が確保できなかったため、ケース 2、3 においては堤防高を 0.2m 低くして実験している。

通水条件は、ケース 1 がまず 0.1m³/sec で 71 分、ついで 170m³/sec にして 39 分行った。ケース 2 と 3 については、はじめに 0.2m³/sec、その後 0.4m³/sec に流量を増やして各 70 分程度通水した。

3. 実験結果と考察

3.1 水路実験結果

図-3 に流量 0.65m³/sec で 71 分間通水時点での水位縦断を示す。測線 No.19 より上流側で水面勾配の逆転が生じているが、これは測線 20~30 区間に敷設した不織布袋の厚みにより水路断面が狭くなったため、これにより各敷設パターンで必ずしも一様の水理条件とはならなくなってしまった。

この水面勾配の逆転により、測線 No.13 付近で水路の中央部に形成されていた流速 2.6m/sec 以上の高流速域が、測線 No.18 付近では流速の大きなところでも 2.0m/sec 程度となり、不織布袋による堰上げの影響が出ている。

図-4 は不織布の仕切方向の異なるパターン I と II での、法面変形の違いを示したものである。不織布による仕切を法面縦方向にした測線 No.14 (パターン I) では、前回の実験¹⁾と同様に法肩部で侵食、法尻部で堆積によるはらみ出しが生じており、斜面下方への土砂の流動が発生していると考えられる。一方、不織布による仕切を横方向にした測線 No.16 (パターン II) では、仕切位置で法面の変形が一旦規制され、測線 No.14 のような法面の侵食-堆積という変形が横仕切の上面で発生し、側壁からの距離 1.0m 付近に侵食から堆積への移行点が形成されている。また、全体的にパターン I で生じたような変形に比べ変形量が小さくなっている。このことから、横仕切は法肩部からの崩落土砂が法尻まで到達するのを抑制し、さらに法面の中間部分に侵食に耐える固定点を形成することで、法面全体にわたって侵食が拡大するのを抑制する働きがあるようである。

上記で仮定したような法尻部の堆積が主に法面上部からの崩落・流動であるならば、堤防土の構成材料の中でも相対的に粒度の大きなものが堆積物中に多く含まれていると考えられる。そこで、測線 No.14 の断面において、洗掘部と堆積部からそれぞれ試料を取り、実験水路の堤防造成に用いた土とともに粒度分析を行った (図-5)。堆積部の粒度分布は洗掘部に比べ細粒分の割合が小さく

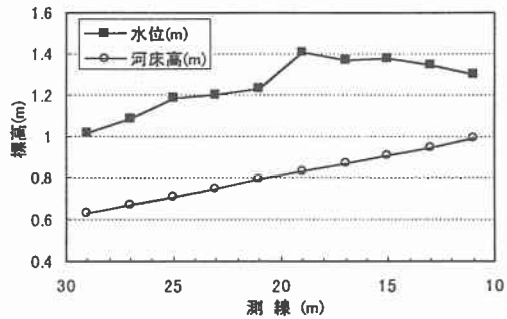


図-3 水位縦断図

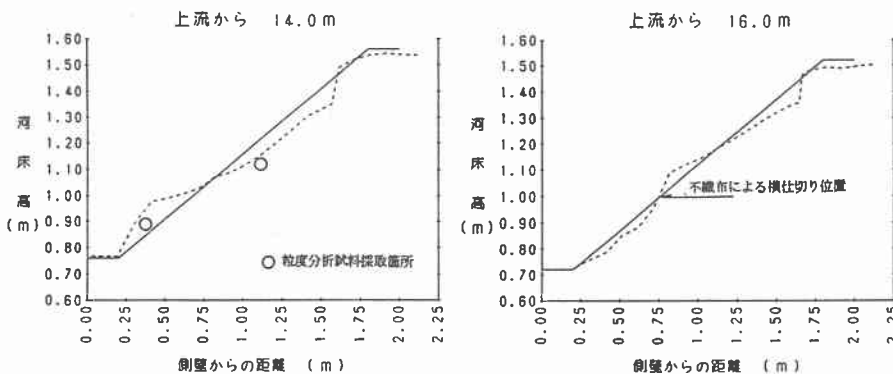


図-4 法面変形の例

逆に粗粒分の割合が大きくなっている。また実験に使用した堤防土に比べどちらも細粒分の割合が小さくなっている。このことから流れにより全体的に細粒分が流出していること、法肩部から法尻部へ粒径の大きなものが移動したことが確かめられた。

次に、各敷設パターンによる法面変形の程度を比較するため、初期河床からの変形量を縦断的に求めた(図-6)。図中の側壁から0.3m地点とは、パターンIで見られた堆積が顕著な法尻部であり、同じく1.2mは侵食が目立った法肩付近である。まず目に付くのはパターンIの変形量が他の3パターンに対し非常に大きいことである。縦方向の仕切が入っている測線 No.13 付近では堆積・侵食ともに小さく、仕切の効果が現れているものの、その下流区間では法肩部が大きく侵食し、法尻部に堆積している。測線 No.10~12で法面の全面が侵食傾向にあるのは、水路の上流助走区間が非侵食性の河床であることからこの境界部において侵食が集中したためである。

パターンIIは、先に述べた堰上げ部に位置することも関与しているものの、侵食量・堆積量ともにパターンIに比べて小さく、両者を平均した断面平均変形量は-0.05m未満となっている。

これに対し、不織布袋を敷設した区間ではほとんど変形が生じていない。とくにシート状に敷設した不織布と不織布袋とを組み合わせたパターンIIIでは、法面は極めて安定している。パターンIVで法尻部が大きく侵食されている箇所が見られるが、これは、実験開始前に不織布袋の最下流列を法面にしっかり固定していなかったことから、流水によって不織布袋がずれ、激しい乱流が生じてしまったためである。

法面変形に対する効果をパターン別に評価すると、不織布をシート状と袋状にした2層構造のパターンIIが最も優れており、法面はほとんど侵食されない。不織布袋だけを敷設したパターンIVについても敷設方法を工夫し隙間やゆるみが発生しないようにすれば、パターンIIと同等の効果が期待できると考えられる。シート状の不織布だけを敷設した場合は、不織布袋よりも効果は劣るが、水平方向に仕切を入れることにより侵食量をかなり抑えられることがわかった。

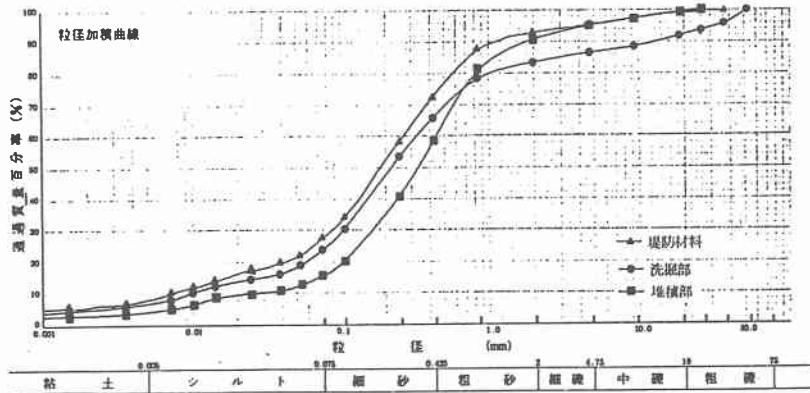


図-5 洗掘・堆積による粒度分布の変化

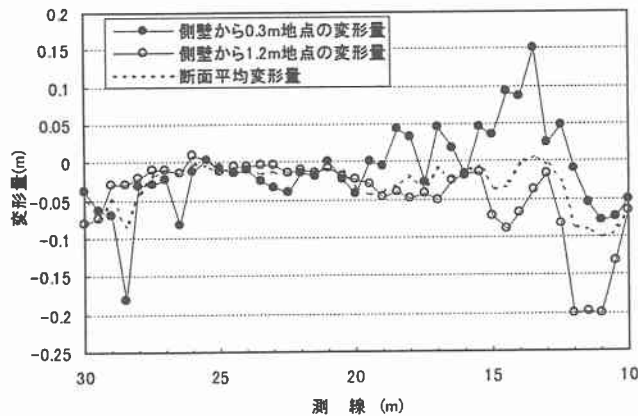


図-6 法面変形量縦断面

3.2 越流実験結果

通水後の各ケースの法面形状を比較すると(図-7)、砂利層のないケース1において、法肩直下の側壁際で強い侵食が生じている。砂利層があるケース2や3では局所的な強い侵食が見られず、侵食深は平均的で小さい。また、当然ながら法勾配の緩いケース3の侵食量が最も小さくなった。実河川において堤防越流が生じた場合、まず破壊が発生する箇所は堤内側の堤防法肩であり、ケース1はこの現象をよく再現している。したがって、不織布と砂利層との層構造であるケース2、3においてこうしたタイプの侵食が顕著でなかったことから、本手法は堤防越流に対して効果があるものと考えられる。

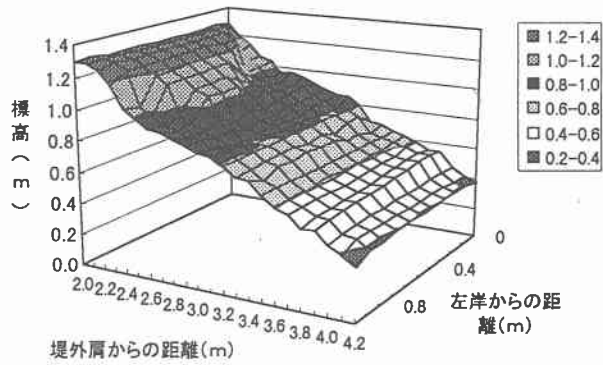
また、本実験の観察中に認められた興味深い現象として、流量を $0.2\text{m}^3/\text{sec}$ から $0.4\text{m}^3/\text{sec}$ に増加した段階で、むしろ堤体材料の不織布の隙間からの流出が止まったことがあげられる。実験の際越流水の流速を計測していなかったため推定の域を出ないが、流量を増したことによって不織布が越流水に強く押し付けられ、結果的に堤体を安定させる作用が働いたのではないかと考える。

4. まとめ

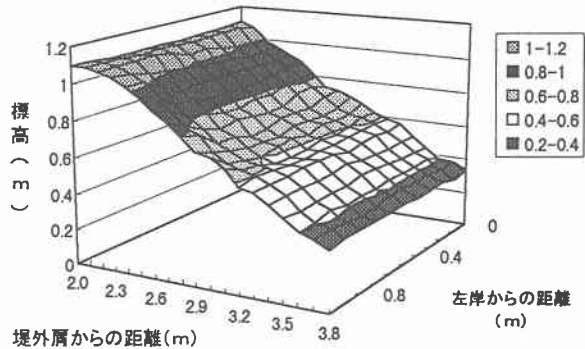
流水の侵食作用から堤防を保護する工法として不織布に着目し、効果的な敷設方法を探る実験を行った。その結果、不織布袋を用いた工法が耐侵食効果が最も高いが、シート材のみでも不織布を横断方向に仕切を入れて堤体に差し込むことで、堤体の法尻方向への崩落と侵食の拡大を防ぐ効果が確認され、侵食防止工法として有効であることが示された。また、堤防越流に対しては堤体表面を砂利層と不織布との層構造にすることによって、侵食防止効果が高められること、とくに越流時に弱点となる堤防法肩部の保護に高い効果を発揮することがわかった。今後は、今回得られた工法の有効性を現地施工に展開していくため、芝生やその他在来植生と不織布とを組み合わせた実験を重ねていくこととする。

参考文献

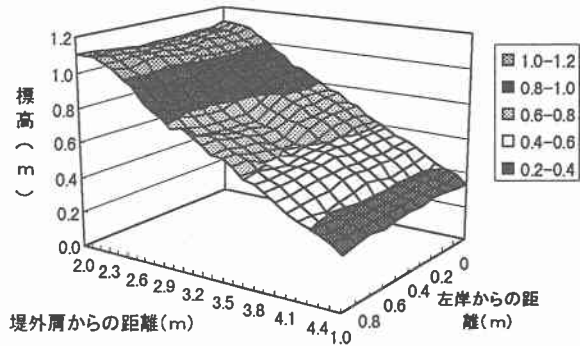
- 1) 吉川秀夫, 馬場仁志, 船木淳悟, 長谷川茂, 竹本成行, 山口俊平: 不織布による河川堤防の強化に関する実験的研究, 水工学論文集, 第42巻, 1998年2月(投稿中)



(a) ケース1



(b) ケース2



(c) ケース3

図-7 越流実験における法面の変形