

不織布による河川堤防の強化に関する実験的研究

EXPERIMENTAL RESEARCH ON RIVERBANK STABILIZATION USING NONWOVEN FABRIC

吉川秀夫¹・馬場仁志²・船木淳悟³・長谷川茂⁴・竹本成行⁵・山口俊平⁶
Hideo KIKKAWA, Hitoshi BABA, Jungo FUNAKI, Shigeru HASEGAWA,
Masayuki TAKEMOTO and Shunpei YAMAGUCHI

¹正会員 工博 東京工業大学名誉教授 (〒166東京都杉並区久我山3-2-25)

²正会員 農修 北海道開発局開発土木研究所 河川研究室 (〒062札幌市豊平区平岸1-3)

³正会員 北海道開発局開発土木研究所 河川研究室 (〒062札幌市豊平区平岸1-3)

⁴正会員 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所研究第4部 (〒060札幌市中央区南1西7)

⁵正会員 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所研究第4部 (〒060札幌市中央区南1西7)

⁶医博 日本バイリーン株式会社 研究開発部 (〒306-02茨城県猿島郡総和町北利根7)

The possibility is considered of effective riverbank stabilization using a combination of vegetation and nonwoven fabric to make the bank and fabric strong enough, in such combination, to withstand damages caused by flowing water, rainwater and wild animals. This reinforcement eventually would make it possible to lessen the frequency of weeding presently done in riverbank maintenance and management. As a result, improved safety of the riverbank and reduced maintenance costs are expected, as well as diversification of vegetation toward fostering a grassland ecosystem.

This research seeks to verify the expected effects of the use of nonwoven fabric as a reinforcing material for riverbanks through experiments to examine the applicability of the material.

The effectiveness of the nonwoven fabric was confirmed in two experiments. One concerned the behavior of the fabric under the condition of maximum water velocity of 3m/s in a straight, 3-m wide, 40-m long waterway with 1/50 gradient. The other concerned characteristics of the permeability of the same fabric under the condition of a rainfall intensity of 60 mm using a one-meter-high experimental bank.

Key words: riverbank, countermeasures against erosion, geotextile, nonwoven fabric, hydraulic experiment.

1. はじめに

河川堤防の法面は、流水や雨水による侵食を防止するために植生で保護されている。こうした堤防は、亀裂やモグラ穴等による堤体の劣化を確認するなどの維持管理上の必要性¹⁾から北海道では年間2～3回、本州では5回程度の除草が行われている。定期的な除草は周辺植物の堤防への侵入を阻み、植生の不均一化による弱点箇所を未然に防ぐ効果がある反面、堤防整備の進捗に平行して維持管理の負担も増大していくことから、今後の高齢化社会に対応した効率的な維持管理技術が強く求められている。²⁾さ

らに、良好な河川環境の創出という点でも、堤防除草によって堤内側と河畔域とのビオトープの連続性を分断してしまうほか、背後地が自然的景観を有する地域に芝生単一の人工的な植生景観が共存するといった、景観上の課題も指摘されている。

一方、平成8年6月の河川審議会答申の中では、21世紀に向けた河川整備の推進方法の一つに堤防の質的強化技術開発が上げられており、堤防に関する質の高い技術に対する要請が高まっている。

近年、土木工事の分野では構造物の安定性や強度の向上、環境保全等の観点からジオテキスタイルを利用した施工が数多く試みられている。河川工事へ

の利用では、最近このジオテキスタイルを袋状にし中詰め材を充填したものを多自然型護岸工や護床工などに使用する事例が増えてきている³⁾。

ジオテキスタイルは高分子材料を用いた、織布や不織布などの繊維材のほかにプラスチックメッシュやメンブレンなども含めたものとされているが、⁴⁾
⁵⁾ 本研究ではこのうち不織布のシートに着目し、堤防補強材としての有効性について実験により検討する。

本報告は、流速 3 m/s 程度の流れ環境下で法面を被覆した不織布がどのような挙動をするのか観察した水路実験と⁶⁾、植生と不織布を組合せて被覆した堤高 1 m の試験堤防で降雨強度約 60 mm/hr の条件における透水特性の違いを調べた降雨実験の結果を報告するものである。

2. 研究目的

本研究は、堤防補強材としての不織布の有効性の確認と敷設技術の開発を目的としている。堤防補強材として期待される効果は以下のとおりである。

- ① 引張強度や引裂抵抗を有する特性を生かし、堤防表面を覆うように敷設することによって雨水や流水による侵食、モグラ・ネズミ等の動物による劣化を防止できるのではないか。
- ② 透水性、通根性があるため、堤防に敷設した不織布の上に覆土することで植物が容易に活着し、かつ植物の根が不織布と一体となることによって、表土の流出を防ぎ、堤防保護効果を高めるのではないか。
- ③ 従来のコンクリートに代わる堤防補強材として、河川景観の向上や堤体表面の植生に多様性が生み出されるのではないか。

3. 水路実験

(1) 実験施設

図-1のような幅 3.0 m、深さ 1.0 m、長さ 40 m、勾配 1/50 の矩形直線水路に、法勾配 1 : 2、水路床幅 0.2 m の疑似堤防法面を設置した。この水路に、不織布そのものの流水に対する耐性を把握することを目的として、法の表面に不織布を暴露した状態で敷設した。

この水路を最大能力 1 m³/s の給水系に接続し、出水時の堤防近傍流速に近い 3 m/s 程度の流速を発生させ、不織布の高流速下での挙動や堤防表面の侵食について実験可能な施設となっている。

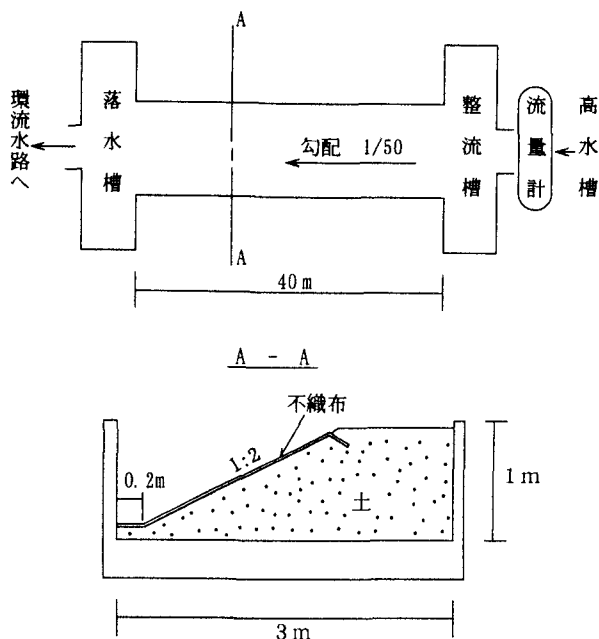


図-1 実験水路

(2) 実験に使用した不織布の特性

不織布はそれ自体吸い出し防止効果があるうえ、部分的に穴があいてもそこからほつれが拡大しにくい性質があることから、流水にさらされ砂礫や浮遊物の衝突によって損傷を受ける危険性が高い堤防法面の補強材としては他の種類よりも優れていると考えられる。不織布タイプのジオテキスタイルも素材、製法等により、その特性も異なる。堤体中に敷設する保護材としては、強度、透水性、土砂吸い出し防止性、土中耐久性、耐薬品性等に優れていること。更に、表層植生の流水に対する耐侵食を増すことを期待して通根性に優れていることが要求される。

これらの要件を勘案し、素材としてポリオレフィン系（ポリプロピレン、ポリエチレン等）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。

実験に使用した不織布の試験結果を表-1に示す。なお、実験に使用した不織布を地面に放置し、積雪下で一冬経過後の試験結果は同表に併記したとおりで、強度的には劣化は見られないようであるが、圧縮され透水係数が減少する結果となっている。

(3) 実験ケース

不織布の敷設方法によってどのような挙動をするかを把握するため、法面を流下方向に 5 m のブロックに区切り、それぞれ敷設方法を変えて比較実験した。まずケース 1～3 について実験 1 として行い、その結果を踏まえて敷設方法を再検討し、ケース 4～8 を実験 2 として行った。敷設方法を模式的に示すと図-2のようである。

a)実験1 (ケース 1～3)

不織布を敷設する場合にその固定方法として、図-2に示す固定金具 (径 6 mm 丸棒鋼, 引抜抵抗力 15 kg) を用いたとき, その配置によって流水による挙動の違いを確かめることを目的とした。継手部は, 15cm幅の重ね部分をステープラーにて密に接合した。また, 各敷設ケースの間は現象を独立させるためと, 一部の破壊が全体に及ばないようにとの配慮から, 間仕切り壁 (鋼板製) を設置した。なお, 水路の上流部15m, 下流部10mを実験区間から除外し, この区間は固定金具を密に打ち込んだ。

そのほかの各ケースの条件は以下のとおりある。

ケース 1 (測線NO. 15～20) : 四隅, 中央部, および水路床設置部で計12点固定

ケース 2 (測線NO. 20～25) : 敷設面の四隅のみ金具で固定

ケース 3 (測線NO. 25～30) : 敷設面に対し固定金具を用いない

実験は先ず0.5 m³/sを通水し, 約25分間観察した。不織布の水流による上下動は見られるが, 長時間通水でも破壊には至らないと判断されたので, 0.75 m³/sを約10分間通水して様子を見た後, 1.0 m³/sを35分間通水した。合計の通水時間は約80分である。

b)実験2 (ケース 4～8)

実験1での問題点を踏まえて敷設方法を検討し, 固定金具を押さえブロック (重量8 kg) にかえて実験した。また継手部のステープラー止め間隔を30cm程度に粗くするとともに, 各敷設ケースの上流側の巻き込み処理を袋状にし, 土を詰めた。さらに各区間の境界部の間仕切り固定壁はない方が良いと判断されたので撤去し, また, 実験1の水面形から, 流入部から10m地点より下流25m区間を実験区間とすることができると判断し, 5ケースを配置することとした。なお, 実験区間外の上下流部は不織布の裏面を径40mm以下の切込砂利層とした。

そのほかの条件は次のとおりである。

ケース 4 (測線NO. 10～15) : 押さえブロックを四隅と中央部に計5個配置

ケース 5 (測線NO. 15～20) : 敷設区間の後ろ側に重点的に計5個配置

ケース 6 (測線NO. 20～25) : 敷設区間の後ろ側の両隅と中央部の計3個配置

ケース 7 (測線NO. 25～30) : ブロックを配置しない

ケース 8 (測線NO. 30～35) : ブロックを敷設せず, 実験1と同様の巻き込み処理

実験は流量0.5 m³/sを約30分通水した後, 1.0 m³/sを約45分間通水後停水し観察した。一部流出した押さえブロックを元に戻し, 更に35分間1.0 m³/sを通水

した。合計通水時間は約110分である。

表-1 実験に用いた不織布の特性値

材 質 項 目	ポリオフィン系繊維		備 考
	通水前	通水後	
質量(g/ m ²)	253	396	通水後は土を含む
厚み(mm)	6.0	4.8	押圧 2.0kPa
引張強度 (N/5cm幅)	タテ 397	383	JIS L1085
	ヨコ 286	285	
伸び率(%)	タテ 19.4	19.8	JIS L1085
	ヨコ 80.0	68.6	
透水係数(cm/sec)	0.87	0.51	JIS A1218

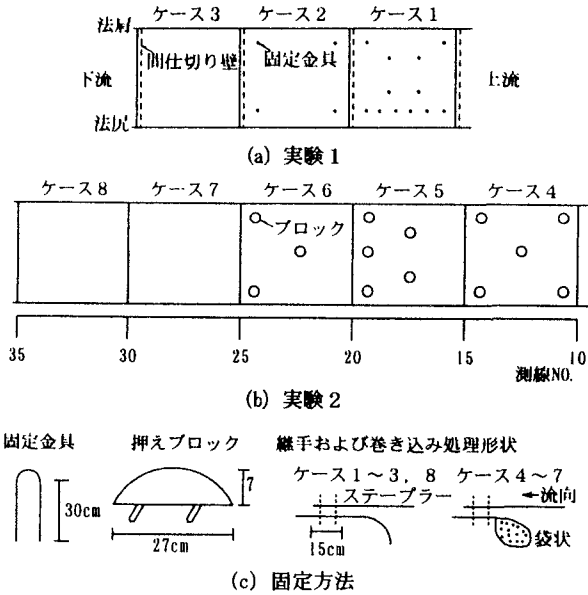


図-2 敷設ケース

(4)結果と考察

a) 流況と不織布の挙動

流れは射流領域にあり, 水面は動揺の激しい流況となっている。これに伴ない不織布は波動的に振動し, 水面付近の背面土砂の崩落が起きている。また, 不織布は透水性が大きいため, 背面への通過流入水量が多く, 堤体上の細粒分を掃流する程度の流れが背面に生じているようである。

実験1では継手部を密に止めたため, 背面の流れによりこの部分がふくらみ, 動揺の振幅がより大きくなる現象が見られた。また, 固定金具は堤体土表層の湿潤化と流れの振動等による弛みから抵抗力が減じたことも一因して, 殆んど金具が浮き上っており, 効果が充分発揮されなかった。ただし, 堤体

侵食防止の観点からはほぼ満足すべき状況であった。

実験2ではシートとともに押さえブロックが振動しており、大きな圧力変動が生じていると推察された。ケース5で押さえブロックを3個並べた箇所ではやや縮流効果が現われ、下流に強い流れが見られた。また、堤体上の変形に伴ない押さえブロックの座りが不安定となって裏面に流水を受けて一部ブロックが流出した。

実験1, 2ともにステープラー止めの一部に不織布が切断され、あるいはピンが伸びてはずれている箇所が見られた。

しかし、不織布の損傷や流出するような挙動は見られず、堤体土の表層部の変形は起きるが、堤体の壊滅的破壊をくい止める、あるいは進行を遅らせる効果は充分期待できると思われた。

b) 断面流速分布

通水中に測定した断面流速分布の一例を図-3に示す。流速は側壁寄りの流心部で約3 m/s、法面の近傍で1 m/s以上の高速流が発生していることが確認された。

c) 断面変化

通水後に断面変化を計測した結果は、実験1, 2ともに洗掘傾向となっており、通水時間が長い実験2のほうが全体として洗掘量が大きくなっている。不織布は吸い出し防止効果が高く、疑似堤防盛土材料に用いた土質が最大粒径19mm、50%粒径0.38mmで細砂・粗砂がほとんどを占めていることから、吸い出しによって洗掘が生じたものではなく、主な堤体材料の流出は、不織布の下面と堤体間に流水が生じ、これにより堤体材料が掃流されることと、不織布の上下方向の振動に伴う堤体との間の水の流動による堤体材料の下方への落下、ならびに不織布のふいご作用に伴う不織布の継目からの土砂の流出である。

次に実験1, 2についてそれぞれ見てみる。

(実験1)

各ケース間に仕切壁を設置していたため、仕切壁の箇所では図-4(a)の測線N0.20に見られるように、その前面で著しい洗掘傾向が見られるが、それ以外の測線上の洗掘量に大きな差はなく、断面形状は図-4(b)に示したように法面の上方からの崩れ、あるいは上流側からの流送土砂の堆積によって法面の下方にはらみ出しが生じ、見かけ上平均洗掘深が小さくなっている。

(実験2)

押さえブロックを敷設した測線N0.10～25の区間で、実験1と逆の結果となった。すなわち、敷設パターンの境界付近(測線N0.15, 20, 25)よりも中央部の方が相対的に洗掘量が大きくなっている(図-5)。

このことは、押さえブロックによって、洗掘による法面の変形に追従して不織布を法面に密着させたことで、かえって両者の間を通過する流れが強まったためと考えられる。

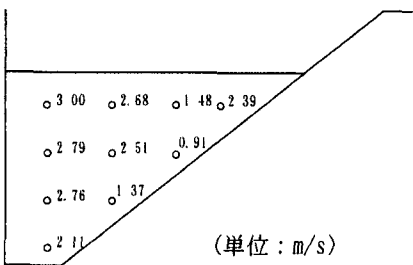
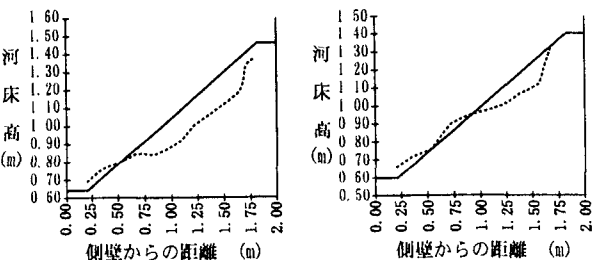
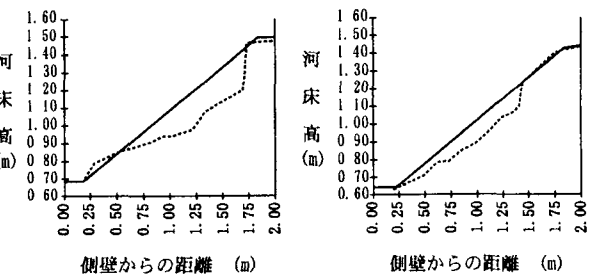


図-3 断面流速分布(実験2. 測線No.9)



(a) 測線No.20 (b) 測線No.22

図-4 洗掘による法面変形の例(1)



(a) 測線No.18 (b) 測線No.20

図-5 洗掘による法面変形の例(2)

押さえブロックを敷設していない区間では、ケース7と8の巻き込み処理の違いによる差はほとんどなかった。

法面変形の状況を縦断的に見ると図-6のようである。図の上段の線は左岸側壁から90cm地点(河床からの水深35cm)、下段は40cm地点(10cm)の通水後の縦断線を現わしている。

全ケースとも法面上部は崩落しており、ケース6を除いて下部に堆積してはらみ出し箇所が生じている。ケース6は前述したようにケース5の区間の影

実験継続時間が 100分程度と実際の洪水継続時間から見れば短い、不織布自体の有効性はほぼ確認することができたと考えられる。

していると思われるが、一層目からの排水効果が非常に大きいことが示された。観察窓からの観察でも、不織布なしの法面は全体に湿潤状態が見られるのに対して、不織布一層の法面では明確な湿潤層は不織布の下方2～5cmまでであった。

5. まとめ

自然環境の保全に配慮した堤防強化工法として、植生の特性をより発揮させ、かつ維持管理の労・費の軽減を視野に入れて、不織布の有効性について実験により検討した。実験の結果をまとめると以下のようである。

水路実験からは、

①不織布の透水性が高いこと。シート状であることから、背面下に流れが生じ、また3m/s程度の水面動揺の激しい流れに伴ない不織布が振動し、堤体土の下方への流動と細粒分の流出により、法面の变形が見られた。

②この不織布の振動を抑えるためには、更に工夫が必要であることが示された。

③しかし、不織布の損傷や、簡単な巻込み敷設ながら不織布が流出するような挙動は見られなかった。今回の実験は2時間弱の通水であるが、実際の堤防が植生で被覆されることも考慮すれば、堤体の壊滅的破壊をくい止める、あるいは進行を遅らせる工法開発へ継げることが充分期待できると思われた。

④また、堤体の变形には、法面の緩傾斜化、不織布敷設面の表土層の材質により不織布の有効性がより高められるとの示唆を受けた。

降雨実験からは、

⑤不織布のドレーンとしての機能が強く、一層でも充分その効果が発揮されることが示され、雨水の堤体内への浸透による弱体化を防止する工法として、非常に有効な方法と考えられた。

今回の水路実験は、洪水により覆土が完全に流出した場合を想定した実験である。したがって、今後

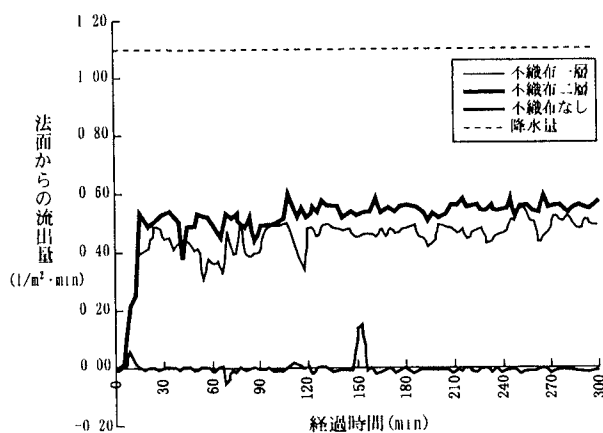


図-8 法面からの流出量の経時変化

は不織布と覆土、植生という3つの要素によって堤防強度がどれだけ向上するのかについても合わせて実験を重ねていくこととする。

参考文献

- 1) 北川 明, 宇多高明, 福岡捷二, 竹本典道, 服部 敦, 浜口憲一郎: 一閑遊水地における越流小堤の耐侵食力に関する現地実験, 水工学論文集, 第39巻, pp.492-494, 1995年2月.
- 2) 北川 明, 宇多高明, 竹本典道, 栗田信博, 服部 敦: 植生の遷移と堤防の管理, 水工学論文集, 第39巻, pp.883-886, 1995年2月.
- 3) 吉川秀夫, 立石芳信: テンダーバックによる河川環境の創出, 河川環境総合研究所報告第1号, pp.103-106, 1995年7月.
- 4) 吉岡 淳: ジオテキスタイルー土質安定用繊維材ー, 月刊建設, Vol.30, pp.59, 1986年2月.
- 5) 久楽勝行, 青山憲明: 建設分野へ利用される新素材・新材料(その6)ー盛土・地盤用新材料ー, 土木技術資料33-5, pp.64, 1991年.
- 6) 船木淳悟: ジオテキスタイルを用いた河岸浸食防止に関する実験, 第44回(平成8年度)北海道開発局技術研究発表会発表概要集(3), pp.151-156, 1997年2月.

(1997. 9. 30受付)