

ジオテキスタイル補強土を用いた耐越流侵食河川堤防の提案

倉上由貴¹・二瓶泰雄²・川邊翔平³・菊池喜昭⁴・龍岡文夫⁵

近年、局所的異常豪雨に伴う超過洪水の発生により、堤防の越流決壊が各地で毎年報告されている。本研究では、省スペース・低コストな耐越流侵食強化堤防として、ジオテキスタイル補強土（GRS）と堤体表面のコンクリート製被覆工を一体化した新形式河川堤防を提案し、いくつかの条件下における越流実験を行い、新形式・従来形式堤防の耐越流侵食性を調べた。その結果、洗掘防止工を導入した新形式堤防は全く侵食されず、新形式堤防が極めて高い耐越流侵食性を有することが示された。また、新形式堤防は、裏のり面を5分と急勾配としても2割勾配と同様な高い耐越流侵食性を維持でき、かつ、その様子は全体・部分補強にて確認された。以上より、新形式堤防は省スペース・低コストで耐越流侵食性を大幅に強化し得る技術であることが示された。

キーワード：堤防，越流，侵食，超過洪水，ジオテキスタイル補強土

1. 序論

(1) 耐越流侵食強化堤防の必要性

近年、地球温暖化の進行を一因として、局所的な短時間異常豪雨の発生頻度が増加している¹⁾。この際、度々「これまでに経験したことのない大雨」が発生し、それに伴う超過洪水による堤防の越流決壊が報告されている。直近の3年間だけでもH23年の新潟・福島豪雨や紀伊半島災害、H24年九州北部豪雨災害、H25年の山形豪雨災害や山口・島根豪雨災害などにおいて堤防決壊やそれによる甚大な被害が報告されている^{2)~4)}。超過洪水のような想定外規模の水害被害を軽減する防災・減災先進社会を実現するには、耐越流侵食性を大幅に向上させた河川堤防強化技術の開発が社会的に喫緊の課題である。

一般的な河川堤防は、超過洪水に対応しておらず、計画高水位を上回り、長時間越流する超過洪水に耐えることを前提とした設計はなされていない⁵⁾。このような中、既存の耐越流侵食用の堤防としては、「高規格堤防（スーパー堤防）」及び「アーマ・レビー」が挙げられる⁶⁾。高規格堤防では、堤内地側に広大な用地買収が必要となり、膨大なコストと時間を要することになる。また、堤体表面（天端や表・裏のり面）がコンクリート製被覆工でカバーされているアーマ・レビー（図-1）では、越流対策として一定の効果が検証されているが、越

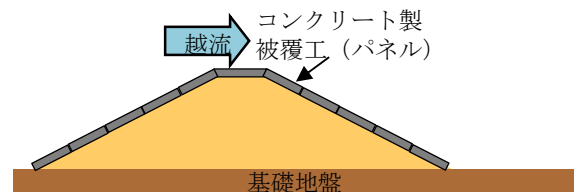


図-1 従来形式の耐越流侵食用堤防（アーマ・レビー）

流量が大きくなると堤体表面の被覆工が流失し、その後、破堤するケースが多く、そのような事例が東日本大震災における防潮堤や河川堤防でも確認された⁷⁾。また、重量があるコンクリート製被覆工を用いると、堤防の耐震安定性の低下も問題となる。そのため、単に堤体表面をコンクリート製被覆工でカバーするだけでは耐越流侵食性は不十分であり、抜本的に異なる河川堤防強化技術の開発が必要である。

(2) 新形式河川堤防について

上記の課題を克服するために、著者らは、ジオテキスタイル補強土（GRS）と堤体表面のコンクリート製被覆工を一体化し、堤体全体で被覆工流失を抑制し耐越流侵食性を大幅に向上させて、耐震性にも優れた新形式（GRS）河川堤防を提案し、その有効性について室内実験により検証した（倉上ら⁸⁾、以下、前報と呼ぶ）。

¹学生会員，東京理科大学大学院理工学研究科 土木工学専攻，修士課程（〒278-8510千葉県野田市山崎2641）

²非会員，東京理科大学理工学部 土木工学科，准教授（同上）

³正会員，東京理科大学理工学部 土木工学科，助教（同上）

⁴正会員，東京理科大学理工学部 土木工学科，教授（同上）

⁵非会員，東京理科大学理工学部 土木工学科，嘱託教授（同上）

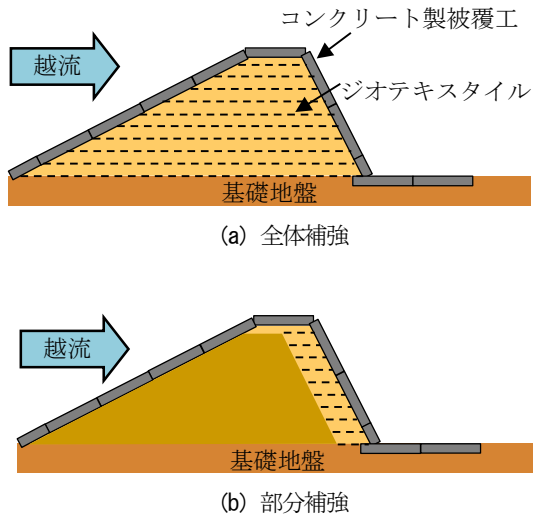


図-2 新形式河川堤防の概念図⁹⁾

この新形式河川堤防としては、図-2 に示す二種類の補強パターンを想定している。すなわち、新設の堤防を念頭にして GRS 補強材による堤体の補強を堤体全体にわたり行うケース（全体補強）と、既存堤防の上に盛土し嵩上げや裏腹付けなどをするという一般的な堤防補強を念頭にして上部と裏のり面のみを補強するケース（部分補強）を想定している。これらの新形式河川堤防では、ジオテキスタイルとしてジオグリッドを採用する。新形式河川堤防の特徴をまとめると、以下の4つが挙げられる。

- ①ジオグリッドと堤体表面の被覆工を結合して、被覆工の流失を堤体全体で抑制でき、アーマ・レビーと比べて耐越流侵食性を向上させることができる。
- ②ジオテキスタイルの敷設によって、盛土の層厚が管理されることに加えて鉛直荷重による盛土の水平伸び変形に伴う緩みが拘束されることにより、締固めが効率的になる。
- ③盛土・橋梁補強技術として実用化されている GRS 工法の耐震性は極めて優れている。
- ④GRS 工法を導入することにより、堤体のり面を急勾配化することができ、高規格堤防はもとよりアーマ・レビーよりも堤防スペースを大幅に減らすことが可能になり、結果として低コスト化を実現できる。

この新形式堤防と同様な検討を防潮堤についても行っており、高い津波越流侵食性も確認された^{9)~11)}。GRS 工法は耐震性に優れ^{12)~14)}、新形式堤防は地震と洪水（もしくは津波）の複合災害対策にもなり得る。特に、新形式堤防は、堤体断面積を増やさずに、耐越流侵食性や耐震性を大幅に強化することが可能な技術であると考えられる。

(3) 目的

前報では、開水路を用いて土堤や従来形式（アーマ・レビー）、新形式堤防の越流実験を行った結果、新形式堤防の耐越流侵食性が高いことが確認された。しか

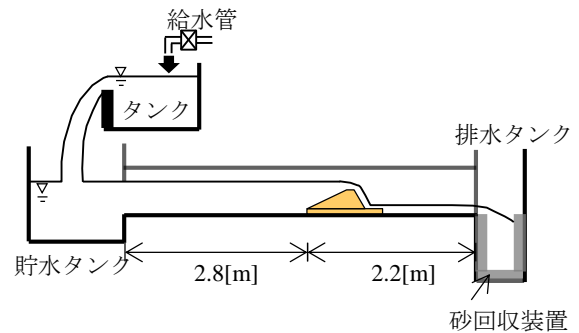


図-3 越流実験で用いた開水路の概略

しながら、新形式堤防においても、越流決壊で想定される越流時間内において大きく侵食されたことが確認された。本論文では、前報に引き続いて、従来形式及び新形式河川堤防の越流実験を行い、いくつかの条件下における新形式堤防の耐越流侵食性を調べ、GRS 補強土を用いた適切な耐越流侵食強化技術を検討する。ここでは、1) 堤防決壊要因となる裏のり尻部における洗掘防止工設置の有無の影響と、2) 新形式堤防の省スペース化の可能性を調べるため、裏のり面勾配の影響（2割（標準）と5分（急勾配））、を検討する。

2. 室内実験方法について

(1) 模型堤防と実験条件の概要

前報と同様に、新形式・従来形式河川堤防の越流実験を行うために、図-3 に示す水平開水路（長さ 5.0m、幅 0.2m、高さ 0.35m）を用いた。模型堤防は上流端から 2.8m 地点に設置した。模型堤防のサイズは、前報と同じく、模型縮尺 λ を 1/25 とし、図-4 に示すように、高さ 20cm（実スケール 5m）、天端幅 10cm とする。また、堤体のり面の勾配については、両方とも一般的な 2割という前報と同じケースに加えて、表のり面を 2割勾配、裏のり面を 5分勾配とするケースを新たに設定した。後者では、新形式堤防の特徴である裏のり面を急勾配にしても耐越流侵食性を維持できるかを検討する。本実験では、裏のり尻部での局所洗掘過程を再現するために、厚さ 5cm の基礎地盤を作製し、その上に模型堤防を設置した。裏のり尻部における局所洗掘は堤体高さと同程度かそれ以上に達することが考えられ¹⁵⁾、本来は、基礎地盤厚さを少なくとも堤体高さ程度確保する必要がある。ここでは、実験水路の制約から、堤体高さの 1/4 に相当する厚さ 5cm の基礎地盤を設けた。それでも、被覆工下部が洗掘され、それによる被覆工の不安定化や流出をかなり再現できており、従来形式・新形式河川堤防の越流侵食性を調べるには最低限の基礎地盤厚さを確保でき

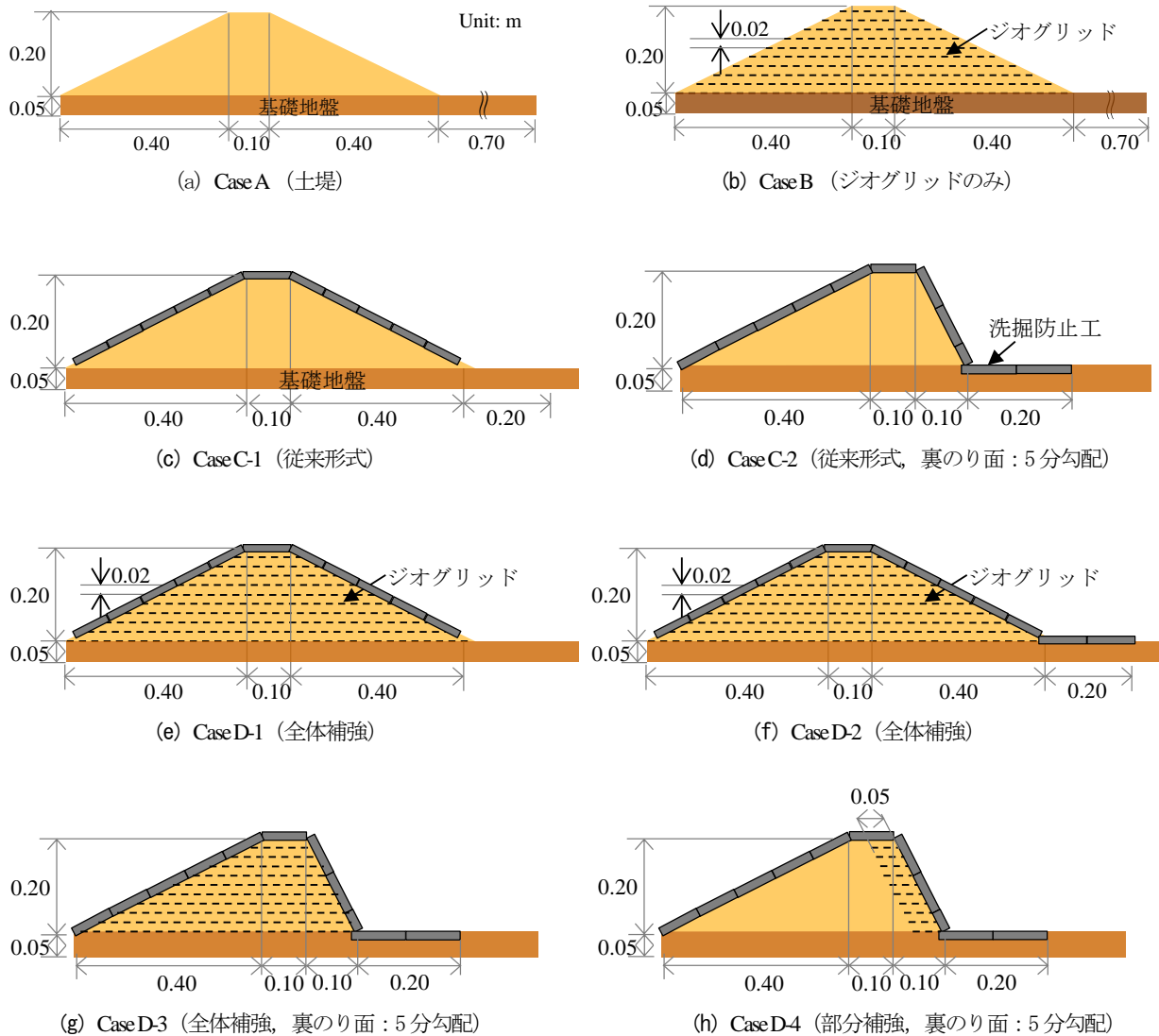


図-4 模型堤防の断面形（記載の無いのり面は全て2割勾配，Case C-2，D-2～D-4のみ洗掘防止工有）

ていると考えられる。

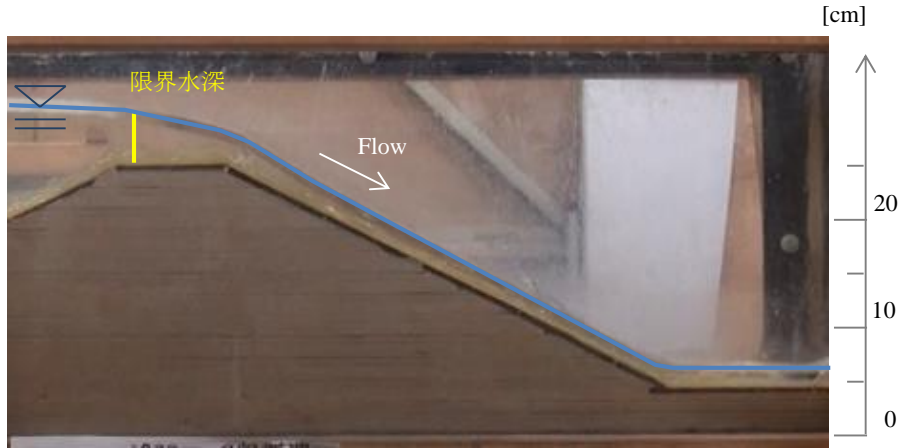
本実験における流況としては、前報と同じく、流量 Q を $5.61 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ 、越流水深を 60cm（実スケール 1.5m）とした。既存の堤防決壊資料をまとめた結果によると¹⁶⁾、堤防決壊を引き起こす越流水深と越流時間の関係より、実スケールの越流水深 1.5m では、決壊にかかる越流時間は約 50 分となっている。フルードの相似則では時間的縮尺は $\lambda^{1/2}$ ($=1/5$) となるため、模型実験では約 10 分の越流時間を設定する必要がある。そのため、本実験では、越流時間を 10 分とした。

堤防条件としては、図-4 と表-1 に示すように、「土堤（無補強）」（Case A），ジオグリッドのみを敷設する「補強材のみ」（Case B），アーマ・レバータイプの「従来形式」（Case C-1, 2），新形式堤防のうちジオグリッドを全面に敷く「全体補強」（Case D-1, 2, 3），一部のみに敷く「部分補強」（Case D-4）とし、各条件にて洗

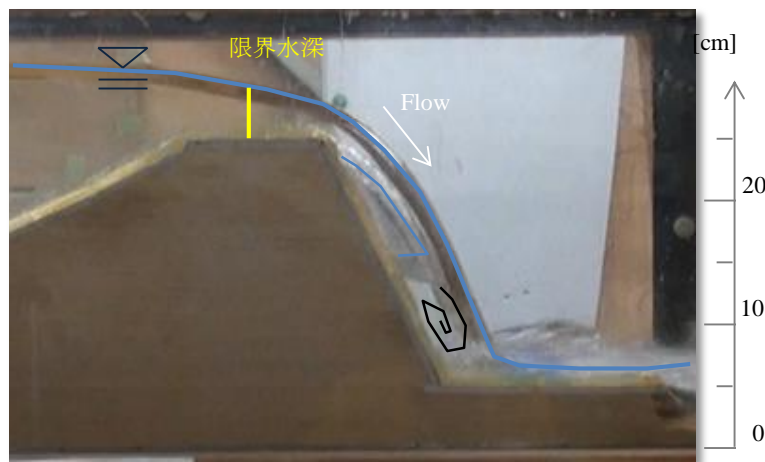
表-1 本実験の堤防条件

Case	堤防	裏のり面勾配	D_c (%)	洗掘防止工
A	土堤	2割	85	無
B	補強材のみ	2割	85	無
C-1	従来	2割	85	無
C-2		5分	90	有
D-1	GRS (全体)	2割	85	無
D-2		2割	85	有
D-3		5分	90	有
D-4	GRS (部分)	5分	90	有

掘防止工の有無や締固め度 D_c を変化させた全 8 ケースを行った。表中の締固め度 D_c は、JIS A 1210 の標準プロクターに基づいて与えており、ここでは 85% もしくは



(a) 裏のり面が2割勾配の場合 (Case D-2)



(b) 裏のり面が5分勾配場合 (Case D-3)

図-5 堤体裏のり面付近における流況パターン

90%とした。なお、Case A, B, C-1, D-1 の実験結果の一部は前報に示しているが、本論文でも比較用として用いる。ここで採用されたジオグリッドは、ポリエチレン製の補強拘束ネット（引張強度 16kN/m, 前田工織機製）であり、厚さ 2cm 間隔で敷設した。また、被覆工としては、コンクリートと比重がほぼ同じであるアルミニウム板（厚さ 0.5cm）を使用した。堤体及び基礎地盤の材料としては、最適含水比 16%の湿潤豊浦砂を用い、ジオグリッドと同じく厚さ 2cm 毎に締固めて作成した。上記の補強条件のうち、補強材のみ (Case B) とは、堤体内にジオグリッドを敷設し、堤体表面には被覆工を置かないケースである。また、部分補強の Case D-4 では、図-4 (h) に示すように、裏のり面側だけに長さ 5cm のジオグリッドを敷設している。洗掘防止工については、被覆工と同じアルミニウム板を用い、従来形式堤防では基礎地盤上（もしくは基礎地盤内）に洗掘防止工を置くだけであるのに対して、新形式堤防では堤体最下層のジ

オグリッドと繋いだ形で洗掘防止工を設置した。なお、模型堤防と水路側面との境界部分には、グリースを塗布するなどによりその隙間を埋め、この隙間において水みちの形成等の悪影響が生じるのを最小化するように努めた。その結果、目視より、水みちの形成がグリースにより防げていることを確認した。

越流実験時における堤体・基礎地盤の侵食状況や被覆工の流出挙動を把握するために、側面と上面からデジタルビデオカメラ（HDR-XR550V, SONY 製）による撮影を行った。上面からの撮影結果に基づいて、堤体侵食状況の奥行き方向変化が概ね生じていないことを確認した。これより、側面からの撮影データを用いて、堤防全体の侵食量を定量化した。なお、今後、レーザー距離計等を用いて、奥行き方向の侵食形状変化を詳細に検討する必要がある。

(2) 基本的な流況

本実験における基本的な越流状況を把握するために、

裏のり面が2割勾配 (Case D-2) と5分勾配 (Case D-3) における流況パターンを図-5 に示す。これらは堤体形状の変形が生じる前のものであり、いずれも各裏のり面勾配における典型的な流況である。また、流況を見やすくするために、水面形を水色の線で、単位幅流量から求められた限界水深 (=4.3cm) の位置を黄色の線でそれぞれを表示した。これより、裏のり面が2割勾配の時には、水面形は天端から裏のり面、洗掘防止工設置部へと滑らかに変化した。この場合、裏のり尻付近では水深が約1cmまで減少し、流速は2m/sを超えた⁸⁾。一方、裏のり面が5分勾配の場合には、天端の裏のり肩から流れが剥離し、裏のり尻部へ落水し、大きな渦が発生した。そのため、裏のり面の上部は空気塊と接し、水面は裏のり面中央部まで上昇した。この部分では、一種の落堀のようになり、裏のり尻部付近における流速は2割勾配のケースよりも小さく、結果として、裏のり尻部での洗掘作用も小さくなっているものと考えられる。

また、堤体内の浸透状況としては、表のり面側の基礎地盤から堤体内への浸透の様子が確認されたが、表・裏のり面上の被覆工接合部からの明確な浸透流は見られなかった。

3. 結果と考察

(1) 全ケースにおける面積・高さ残存率の時間変化

各補強条件下における堤体の侵食状況を比較・検討するために、全8ケースにおける堤体の高さ残存率と面積残存率の時間変化を図-6 に示す。ここで、高さ残存率及び面積残存率は、側面からビデオ撮影した堤体断面の画像から時々刻々の堤体高さ・断面積を求め、それを越流開始時の初期値でそれぞれ除したものである。横軸は越流開始からの経過時間 t である。なお、新形式堤防の Case D-2, 3, 4 は、いずれも高さ・面積の残存率がほぼ100%を保ったので、ここでは一つの線で表示している。この図より、まず、土堤 (Case A) や補強材のみ (Case B) では、越流開始直後から堤体高さや断面積が減少し、土堤では45s、補強材のみでは90s後には完全に破堤した。これより、ジオグリッド敷設による一定の補強効果が現れているが、これのみでは十分な耐越流侵食対策技術とは言えないことが分かる。

次に、従来形式 (Case C-1, 2) に着目すると、洗掘防止工が無い Case C-1 では堤体高さや断面積が100%を維持する時間が土堤 (Case A) や補強材のみ (Case B) よりも長い、 $t=55s$ を過ぎると堤体高さや断面積が急激に減少し、両残存率は0まで低下した。洗掘防止工が有る Case C-2 では、堤体高さ・面積を維持する時間が飛躍的に長くなるが、 $t=300s$ を越えると Case C-1 と同じく急激に高さ・面積共に減少し、最終的には完全な破堤に至った。このように従来形式のアーマ・レビーは、所定の越流時間 (=10分) に達せず急激に堤体高さや面積を減少させる、という点では“粘り強い”堤防とは言えない。なお、Case C-1 と C-2 の堤体条件は、洗掘防止工の

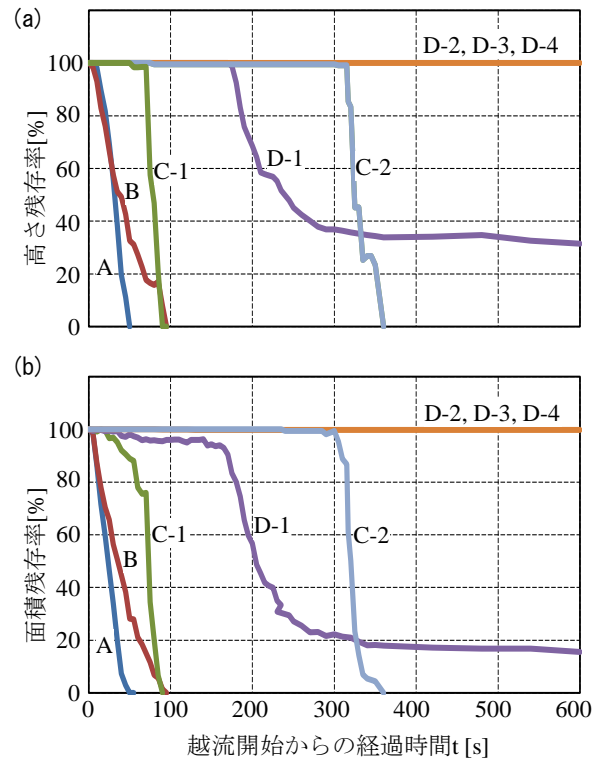


図-6 全ケースにおける高さ残存率 (a)、面積残存率 (b) の時間変化

有無の違いのみならず、裏のり面勾配や締め固め度も異なっているため、洗掘防止工の影響のみで両者の侵食状況が異なるとは言えない。特に裏のり面勾配は大きく影響するものと考えられるが、今回の実験ケースのみでは、勾配の影響を十分に抽出できるほどの実験データが得られておらず、今後、検討すべき課題である。

新形式堤防に関しては、洗掘防止工が無い Case D-1 では、 $t=180s$ までは堤体高さ・面積はほぼ初期状態を維持しているが、その後、大きく減少した。しかしながら、その減少の様子は従来形式と比べると緩やかであり、最終的には完全には破堤しなかった。また、洗掘防止工が有る Case D-2, 3, 4 では、越流開始から10分間にわたり堤体高さ・面積残存率は100%を維持し、全く越流侵食が生じなかった。以上のことから、新形式堤防は、耐越流侵食性が極めて高く、特に、洗掘防止工の導入により、その効果がより顕著になることが分かる。さらに特筆すべきことは、裏のり面勾配が5分である全体補強 (Case D-3) や部分補強 (D-4) においても全く越流侵食しておらず、新形式堤防の長所である急勾配のり面を採用しても高い越流侵食性が維持されたことや、このジオグリッドの効果が全体補強だけでなく部分補強においても有効に作用することが明らかとなった。

(2) 堤体侵食及び被覆工流出過程

前述したように、補強条件と洗掘防止工の有無により堤体の越流侵食状況が異なることが判明した。その詳細を調べるために、堤体侵食状況及び被覆工の流出状況の

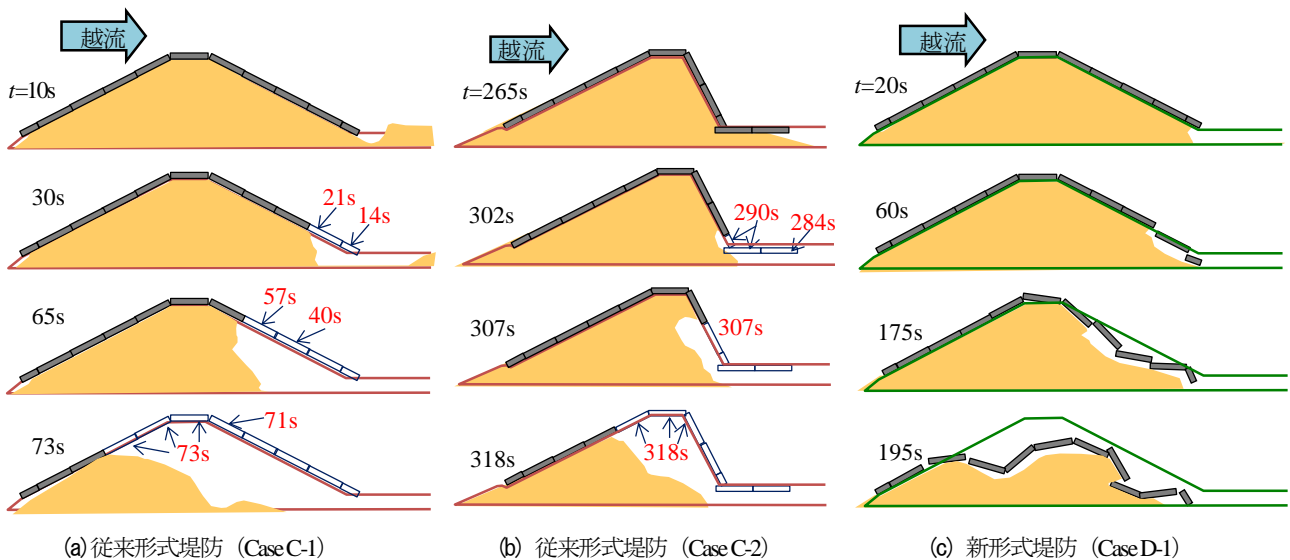


図-7 堤体侵食・被覆工流出状況の時間変化（黒字：越流開始からの時間 t ，赤字：被覆工が流出した時間，(c) ではジオグリッドを省略）

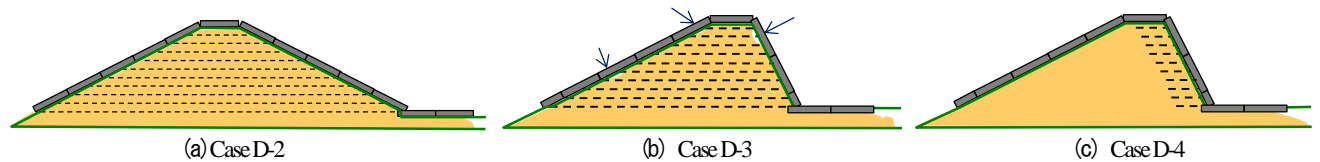


図-8 越流開始10分後における堤体状況（新形式堤防，洗掘防止工有）

時間変化を図-7に示す．ここでは，洗掘防止工の無い従来形式（Case C-1, C-2）と新形式堤防（Case D-1）の結果を表示する．また，特徴的な変化が見られた時間での状況を描写すると共に，被覆工の流出時間も記されている（図中赤字）．まず，裏のり面勾配が2割で洗掘防止工が無い従来形式（Case C-1）では，初期に裏のり尻部分の基礎地盤が局所洗掘された（ $t=10s$ ）．裏のり面最下部の被覆工下側の土砂が流送され，その被覆工が不安定化して流出し，堤体表面が露出した部分から急速な侵食が開始した（ $t=30s$ ）．その後，これらの侵食過程を繰り返して天端付近まで侵食されると，天端崩落が発生した（ $t=65s, 70s$ ）．このケースでは，裏のり尻部の被覆工流出から天端崩落まで50s程度で進行しており，急激に破堤が生じていることが分かる．次に，裏のり面勾配が5分で洗掘防止工が有る従来形式のCase C-2では，洗掘防止工の効果により裏のり尻部における洗掘は抑制されるが，徐々に洗掘防止工下側の土砂が流送し始めた（ $t=265s$ ）．その後，洗掘防止工が流出すると，裏のり尻部の局所洗掘が進んで窪み部分が形成され，そこで発生する渦がこの部分の土砂を掻き出し，被覆工下側が大きく侵食され，裏のり面最下部の被覆工が流出した．そのような過程を短時間で繰り返し，天端崩落の発生に至った．このケースでは裏のり面最下部の被覆工流出から天端崩落までわずか28sであり，裏のり面勾配が2割のCase C-1の半分程度である．これは，裏のり面勾配が急になるほど，洗掘防止工が流出した後に被覆工がより不

安定化するためである．

一方，洗掘防止工の無い新形式堤防（Case D-1）では，初期に裏のり尻部の局所洗掘やそれに伴う被覆工下部の侵食が生じるが，被覆工自体は流出せず，その場に留まった（ $t=20s, 60s$ ）．これは，被覆工がジオグリッドと結合されている効果である．その後，堤体内部から砂の吸出しが生じるが，ジオグリッドと繋がっている被覆工は流出せず，盛土変形に合わせて被覆工の位置も変化した（ $t=175s$ ）．その砂の吸出しが天端付近まで到達すると，堤体高さは維持できなかった．天端や表・裏のり面の被覆工は初期位置から変位したが，被覆工は一枚も流出せず，全てジオグリッドと結合したままであった．そのため，図-6に示したように，本ケースでは，越流開始から10分後でも堤体高さや断面積が初期の1/3, 1/5程度をそれぞれ維持できたものと考えられる．

洗掘防止工が有る新形式堤防の3ケース（Case D-2, 3, 4）では，図-8に示すように，越流開始から10分後においても初期の堤体形状をほぼ完全に維持していることが分かる．この図に示すように，洗掘防止工よりも下流側の基礎地盤は侵食されるが，その侵食面は洗掘防止工付近で留まり，裏のり面の被覆工下側には到達しなかった．これらのケースでは，洗掘防止工は堤体内に敷設されたジオグリッドと結合していた．それらの結果，洗掘防止工の流出が抑制され，Case D-1の結果（図-7(c)）で見られた裏のり面側の侵食やそこでの被覆工の変位が生じなかったものと考えられる．これより，新形式堤防に盛土

底部の補強材に連結した洗掘防止工を設置することにより、耐越流侵食性が大幅に向上することが明らかとなった。また、裏のり面が5分勾配の場合では、従来形式堤防では洗掘防止工の流出とそれに伴う裏のり面側の被覆工流出が見られたが、新形式堤防ではそのような現象は生じなかった。これは、堤体内に敷設されたジオグリッドによる洗掘防止工流出抑制と裏のり面の被覆工流出抑制、急勾配盛土の安定化、という3つの効果が発揮されたためである。今回のケースでは、全体補強でなくてもジオグリッド長5cmの部分補強でもその効果が十分に発現された。しかしながら、実構造物に本提案工法を適用できるようにするためには、部分補強における必要なジオグリッド長に関しては解析的検討を行う必要があり、現在、その検討を開始しており¹¹⁾、別途報告する予定である。

図-8を詳細に見ると、盛土からの吸出しにより被覆工と盛土間のごく一部において隙間が生じていたことが分かる(図-8(b)の矢印)。これらが拡大すると大きな水みちが形成され、堤体高さ・断面積の大幅な減少に繋がる恐れがある。そのため、新形式堤防においては被覆工と盛土の間に吸出し防止シートを敷設する必要があり、今後、それに対する対応策を検討する予定である。

4. 結論

本研究では、前報に引き続いて、新形式河川堤防の耐越流侵食性の検証を行うために、いくつかの条件下で越流実験を実施した。主な結論は以下の通りである。

- (1) 本実験条件下では、洗掘防止工を導入することにより、新形式堤防は所定の越流時間(=10分)において全く侵食されなかった。これより、新形式堤防が極めて高い耐越流侵食性を有することが示された。
- (2) 裏のり面を5分と急勾配にしても、2割勾配と同様な高い耐越流侵食性を維持できた。また、ジオグリッドの効果は全体・部分補強の両方において確認された。以上より、新形式堤防は、省スペース・低コスト・高耐震性で耐越流侵食性を大幅に強化し得る技術であることが示された。

本実験では、実験水路の制約により、堤体高さは20cm、基礎地盤厚さは5cmと設置した。これらのスケールは、実スケールを考えると十分な大きさとならないため、より大型模型を用いた実験を実施する必要がある。また、流況等についても1ケースしかできておらず、さらに同一条件での実験を繰り返し行った事例も十分でないことから、本実験の再現性を含め、実験事例を積み重ねる必要があり、喫緊の課題である。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金・基盤研究

(B) (研究代表者：二瓶泰雄)によって実施された。また、本実験を遂行するに当たり、東京理科大学理工学部土木工学科水理研究室の学生諸氏には、多大なご協力を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 和田一範：地球温暖化に伴う洪水・渇水リスクの評価に関する研究，地球環境，Vol.11，No.1，pp.67-78，2006。
- 2) 玉井信行：2011年7月新潟・福島豪雨災害の概要と超過洪水対策について，平成23年度河川災害に関するシンポジウム，pp.1-14，2012。
- 3) 角哲也，竹林洋史：2011年台風12号に伴う紀伊半島の災害概要と総合土砂管理への課題，平成23年度河川災害に関するシンポジウム，pp.15-24，2012。
- 4) 土木学会九州北部豪雨災害調査団：平成24年7月九州北部豪雨災害調査報告書，pp.3-104，2013。
- 5) (社)日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編 I]，pp.3-30，1997。
- 6) 土木学会：水理公式集 [平成11年版]，丸善，pp.194-205，1999。
- 7) 福島雅紀，佐野岳生，成田秋義，服部敦：航空測量データ等を用いた津波による河川堤防の侵食実態調査，河川技術論文集，Vol.18，pp.369-374，2012。
- 8) 倉上由貴，二瓶泰雄，矢田孝次朗，山崎達也，山口晋平，川邊翔平，菊池喜昭，龍岡文夫：耐越流侵食性向上のための河川堤防補強技術の提案，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.69，No.4，pp.I.1219-I.1224，2013。
- 9) 柳沢舞美，二瓶泰雄，山口晋平，川邊翔平，龍岡文夫：海岸砂丘と補強盛土技術を組み合わせた新形式防潮堤の提案，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.59，pp.I.886-I.890，2012。
- 10) 山口晋平，柳沢舞美，川邊翔平，龍岡文夫，二瓶泰雄：小型模型実験による防潮堤の越流津波に対する安定性の評価，ジオシンセティックス論文集，Vol.27，2012。
- 11) 二瓶泰雄，縄野惇郎，柳沢舞美，川邊翔平，菊池喜昭，龍岡文夫：GRS防潮堤の耐越流侵食性に関する実験的・理論的検討，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.60，2013 (印刷中)。
- 12) Tatsuoka, F., M. Tateyama, T. Uchimura and J. Koseki: Geosynthetic-reinforced soil retaining walls as important permanent structures, 1996-1997 Mercer Lecture, *Geosynthetic International*, Vol.4, No.2, pp.81-136, 1997.
- 13) Tatsuoka, F., J. Koseki, M. Tateyama, Y. Munaf and N. Horii: Seismic stability against high seismic loads of geosynthetic-reinforced soil retaining structures, Keynote Lecture, *Proc. 6th Int. Conf. on Geosynthetics*, Atlanta, Vol.1, pp.103-142, 1998.
- 14) Tatsuoka, F., D. Hirakawa, M. Nojiri, H. Aizawa, H. Nishikiori, R. Soma, M. Tateyama and K. Watanabe: A new type integral bridge comprising geosynthetic-reinforced soil walls, *Geosynthetics International*, IS Kyushu 2007 Special Issue, Vol.16, No.4, pp.301-326, 2009.
- 15) 諏訪義雄：津波越流に対して粘り強く機能する海岸堤防とは，建設物価，4月号，pp.10-16，2013。
- 16) 吉川勝秀(編著)：河川堤防学 新しい河川工学，技報堂出版，pp.1-278，2008。

A NEW LEVEE TYPE COMPRISING GEOSYNTHETIC-REINFORCED SOIL TO INCREASE RESISTANCE AGAINST OVERFLOW EROSION

Yuki KURAKAMI, Yasuo NIHEI, Shohei KAWABE, Yoshiaki KIKUCHI
and Fumio TATSUOKA

Overflows of huge floods caused levee breaches at a great number of places. As a reinforcing technology to increase the resistance against overflow erosion, we performed a series of model tests on a new type of levee in which concrete panels connected to geo-grid layers reinforcing the backfill cover the slopes and crest of the levee, as well as conventional types. The model test revealed that 1) with a slope protection in front of the toe of downstream slope, the new type levee exhibits much higher resistance against overflow erosion than the conventional type levee; 2) the new type levee even with a steep back-slope of 1:0.5 can maintain the high resistance of overflow erosion. It is shown that the new type levee can function effectively as a flood barrier at low cost and small cross section.

KEYWORDS: Levee, Overflow, Erosion, Extreme flood, Geosynthetic-Reinforced Soil