

技術報文

地震・津波に粘り強く抵抗する 強靱な三面一体化堤防の構築技術

農研機構 農村工学研究所 松島健一・毛利栄征・小林宏康・川邊翔平

東京理科大学 龍岡文夫・菊池善昭

(株)竹中土木 大串和紀

揚力の作用で、ブロックが
最も引き剥がれやすくなる部分

1. はじめに

東日本大震災以前の防潮堤の設計においては、津波が堤防を乗り越えることが想定されておらず、越流した津波によって多くの防潮堤に壊滅的な被害が生じました。沿岸域では堤防機能の一部喪失により、津波が減勢されることなく背後地深くまで流れ込み、甚大な被害を招いた箇所が多くありました。このような状況を受けて中央防災会議では、巨大災害に対して被害を最小限に留める減災対策の必要性が提唱され (H23.12)、津波に粘り強い堤防の構築技術の必要性が示されました。

これを受けて、地震・津波に粘り強く抵抗する強靱な堤防の構造及びその構築技術の開発を目的として、堤防の法面と天端の三面の被覆工と盛土を一体化させた「地震・津波に対して強靱な三面一体化堤防」(以下、本工法と呼びます)を開発しました¹⁾。本工法は、図-1 に示すように①背面にジオテキスタイルを連結したプレキャストコンクリートブロックと、②透水性が低く、一定の強度を有するセメント改良土を組み合わせた「盛土と被覆ブロックの一体化構造」を特徴としています。また、法面の被覆ブロックは、波力に対抗するため、ジョイント部材によって相互に結合しています。これにより、津波が堤防に衝突する際に生じる被覆ブロックの巻き上がり、越流した時に懸念される被覆ブロックの剥離および堤体下流のり先地盤の洗堀による被覆ブロックの不安定から始まる堤体の侵食破壊に対して抵抗力を大幅に向上させています。また、本工法は、ジオテキスタイルによる耐震補強技術を適用しており、地震力に対して堤防本体と被覆工の耐震性を大幅に向上させています。

2. 従来形式の堤防の問題点

図-2 および図-3 のように、津波が来襲する前の地震力による堤防の損傷、津波が防潮堤に衝突した際に生じる波力による破壊、越流した際に生じる被覆コンクリートの破損や剥離、背後地盤の洗堀に伴う被覆工の不安定化など複合的な要因によって崩壊が引き起こされました。ここでは、堤防の崩壊に繋がる堤防の損傷について述べます²⁾。

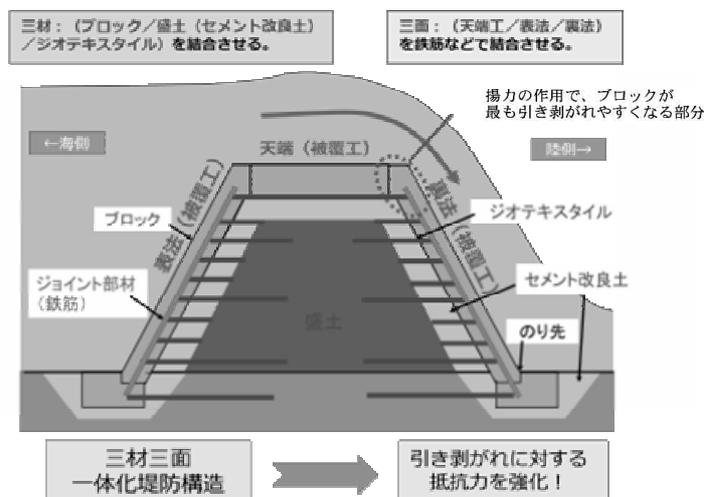


図-1 三面一体化堤防 (津波・地震に粘り強く抵抗する強靱な堤防構造)

(1) 地震力による堤防の損傷

越流津波に対する耐侵食性を確保するためには、津波来襲前に発生する地震に対して、盛土および被覆工などに構造上の性能が保持されている必要があります。具体的には、あらかじめ想定される地震動に対して、盛土に発生する損傷の程度とその損傷が耐侵食性に与える影響を把握することが重要になります。

地震による盛土の被害としては、**図-2**に示したように、①基礎地盤の不同沈下、②揺すり込み沈下やはらみ出し、③法面のすべり、④天端付近の引張クラックなどがあります。このような損傷が生じると、①根固工の沈下、②被覆工の滑動や不陸、③目地の開きなどが生じ、津波越流時の耐侵食性が著しく低下します。ずれが確認された部分

図-4に東北地方太平洋沖地震によって崩壊した宮城県亘理・山元地区の海岸堤防の様子を示しています。**図-4(a)**に堤防の断面構造を示しています。避難中に撮影されたものであるため、少しわかりにくい部分がありますが、**図-4(b)**に見られるように、津波来襲前の地震動によって堤防裏法面に損傷が生じていました。拡大図を見ると、裏法面の被覆コンクリートがズレ落ち、裏法肩部に隙間が生じています。**図-4(c)**は、その後の津波越流によって堤防が崩壊した状況です。越流した津波によって天端工や裏法被覆工の流失、裏法尻付近の地盤の洗掘などが生じました。津波の規模が大きかったため、地震動による損傷の有無にかかわらず、破堤した可能性があります。被覆工の損傷によって本来の耐侵食性よりも性能が低下し、崩壊に要する時間が短くなった可能性があります。

地震による被覆工のズレには基礎地盤の液状化や盛土のすべりなどさまざまな原因が考えられますが、従



図-2 地震力による堤防の損傷

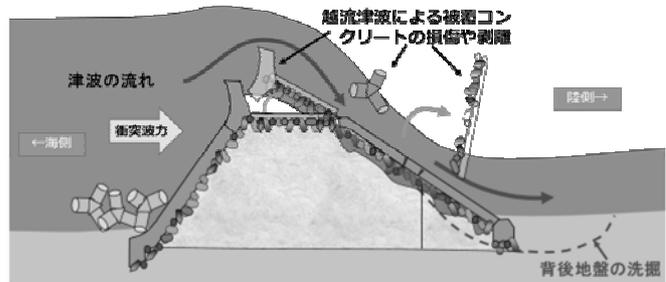
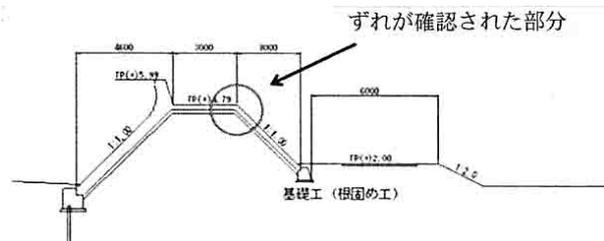


図-3 レベル2津波による堤防の損傷



(a) 堤防断面図



(b) 地震直後の堤防の損傷状況



(c) 津波来襲後の堤防の崩壊状況

図-4 地震力による堤防の損傷

来のコンクリート三面張り堤防は、法面上に被覆コンクリートを設置した構造であり、被覆コンクリートは盛土との摩擦と根固工の支持によって安定性が保たれています。このため、地震動によって基礎地盤の沈下などに伴って根固工が多少でも変位してしまうと、被覆工がズレ落ちてしまいます。大井ら(2012)の定常越流条件での海岸堤防の水理破壊実験によれば、裏込め材に栗石を配置したコンクリートブロックを用いた被覆構造は、法尻部の根固工が変位しない条件では、6.0 m程度の越流水深まで耐えられますが、根固工が変位した条件では裏法面の被覆工が滑動し、2.0 m程度の低い越流水深で崩壊を引き起こすことが報告されています。

このような問題に対応するためには、地震による多少の変形が生じても堤防の耐侵食性が著しく損なわれない工夫を取り入れる必要があります。

(2) 衝突波力による滑動破壊

同一の津波高さであっても、湾の形状や地形条件によってさまざまな波高、周期の津波が出現します。例えば、図-5に示すようにaの津波波形では海水面が緩やかに上昇し、静水圧に近い波圧が堤防に作用しますが、bの段波を含む津波波形の場合は静水圧

を大きく上回る水圧が堤防に作用する場合があります。図-6に岩手県野田市十府ヶ浦で撮影された津波

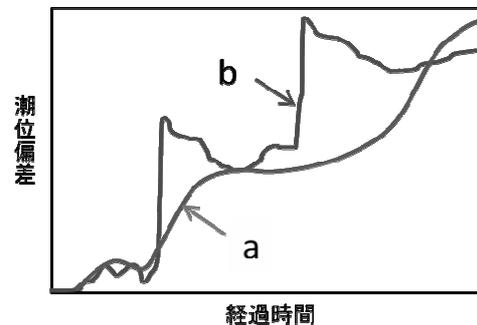
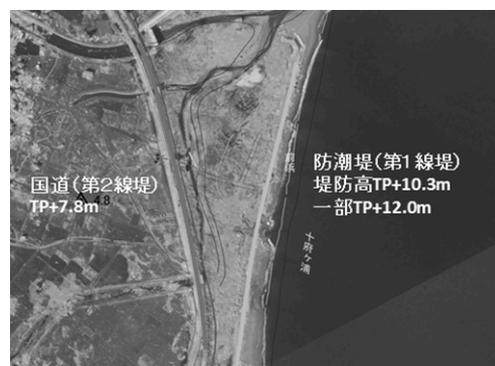


図-5 さまざまな津波波形



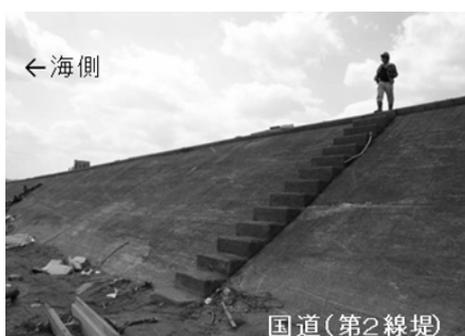
(a) 被災した堤防の航空写真(国土地理院)



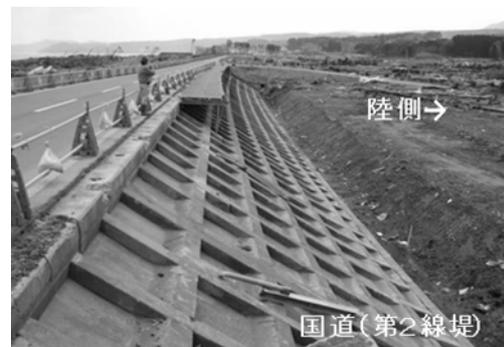
(b) 段波衝突時の状況



(c) 被災後の状況



(d) 被災後の第2線堤表法側の状況



(e) 被災後の第2線堤裏法面の状況

図-6 岩手県野田市十府ヶ浦における被災事例

映像を示しています。同図(a)には、第1線堤の防潮堤と、第2線堤の国道の位置関係を示しています。同図(b)は、第1線堤の防潮堤に段波が衝突した映像を示しています。津波衝突によって巨大な水柱が出現していることがわかります。このことから、高流速の段波が衝突していた様子が伺えます。同図(c)に被災後の様子を示しています。堤防の大部分が大破し、壊滅的な被害が生じていることがわかります。その一方、第1線堤の防潮堤から陸側に100m~300m離れた第2線堤（TP+7.8m）では、津波痕跡高さから推定7.0m以上の大規模な越流が生じましたが、同図(d)、(e)に示すように表法および裏法とも軽微な損傷に留まっていた⁴⁾。このことから、第1線堤を含む前浜区間で津波が大きく減勢され、第2線堤への被害が著しく軽減された可能性があります。

以上のことから、第1線堤の防潮堤の安定性については、単に津波高さだけでなく、海岸地区毎の津波の入射特性（段波特性）を考慮することが重要になると考えられます。

(3) 揚力による法肩ブロックの剥離

津波越流時には越流水の遠心力によって揚力と呼ばれる力が堤防の裏法肩部分に作用します。これは、高流速の越水が堤防天端を通過して陸側法肩から下流法面に向かって流下する際、法肩から外側に飛び出そうとするために生じる現象です。身近なところでは、ダム洪水吐のクレスト部分で見られる現象です。

津波による越流水深が深くなると、法肩ブロックの外側に負圧が生じ、法面外側へ強く引っ張られます。その結果、図-7のようにブロックが引き剥がれることがあります。実際に図-8に示すように堤防を乗り越えた津波によって裏法側の法肩ブロックが流出した事例が報告されており、揚力によってブロックが引き剥がれた可能性が指摘されています。このような揚力に対しては、単に被覆ブロックの重量を増加させるだけで、抵抗させることは困難であると考えられています⁵⁾。

国土交通省国土技術政策総合研究所(つくば市)の実験結果⁶⁾をもとに、図-9に示した負圧分布を

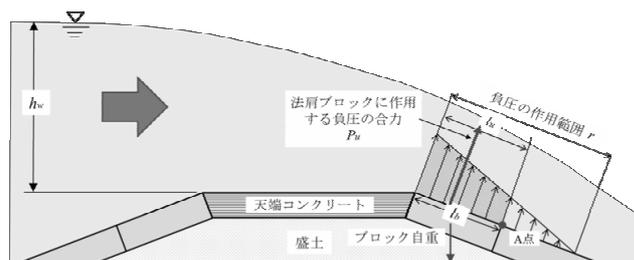


図-9 堤防越流時における裏法肩付近への負圧の作用図



図-7 揚力による法肩ブロックの引き剥がれ現象



図-8 東北地方太平洋沖地震津波による裏法側の被覆コンクリートの損傷事例（岩手県宮古市宮古湾：筆者ら撮影）

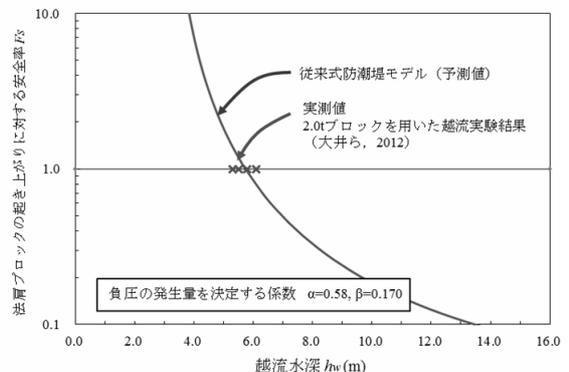


図-10 通常の2.0t型被覆ブロックの引き剥がれに対する安全率 F_s と越流水深 h_w の理論的關係と実測値の比較

仮定し、揚力の推定式から従来の被覆ブロックの安定性について検討を行いました。その計算結果を図-10 に示します。計算モデルでは開口部を有する 2.0t ブロックを対象としました。剥離に対する安全率は越流水深 5.7m 付近で 1.0 を切っていることが分かります（松島ら、2014a）。この結果は、図中の同じ 2.0t ブロックを用いた既往実験結果（大井ら、2012）と一致します。

(4) 背後地盤の洗堀からはじまる堤防の侵食

図-11 に示すように堤防背後の根固工付近に洗堀が生じると、根固工の受働土圧が喪失し、滑動抵抗力が著しく低下します。根固工には流水による掃流力に加えて、盛土からの浸透圧や土圧が作用していますので、滑動が引き起こされる危険性が一気に高まります。そして、根固工が滑動すると、根固工に支えられていた裏法被覆工がズレ落ちます。その結果、本来の耐侵食性よりも性能が低下し、被覆工の流出と盛土の侵食が引き起こされる可能性が高くなります。

以上のように従来形式の堤防は、高潮時の多少の越波などに対して裏法面を被覆コンクリート等で保護する構造が採用されていますが、地震力に対して、①堤体にすべり等の変状が生じさせず、②被覆構造の耐侵食性を低下させない工夫を取り入れる必要があると考えられます。また、堤防を乗り越える段波に対しては、③波力に対して滑動などの有害な変形を堤防に生じさせない、④揚力に対して被覆ブロックを剥離させない、さらに⑤背後地盤の洗堀による堤防の不安定化を引き起こさせない、などの新たな対策を導入していく必要があると考えられます。

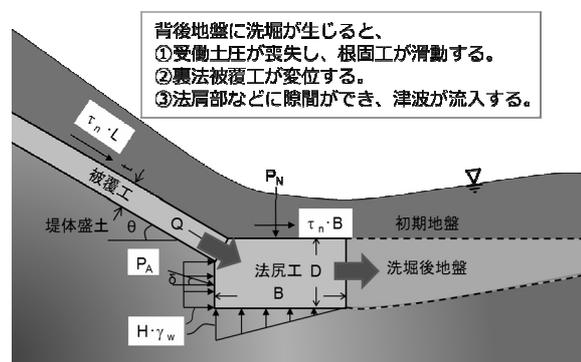


図-11 背後地盤の洗堀に伴う被覆工の不安定化

3. 新形式の防潮堤

従来形式の堤防の構造的課題を解決するために、図-12 に示すように堤防の法面と天端の三面の被覆工と盛土を一体化させた「地震・津波に対して強靱な三面一体化堤防」を提案します。以下、その耐侵食性を紹介します。

(1) 津波衝突時の安定性向上

段波衝突時の衝撃的な波力に対して堤防の安定性を確保するためには、盛土自体の滑動抵抗力に加えて、被覆工の滑動抵抗力の確保が重要になります。特に、表法面勾配を急勾配にした場合は、水平方向の波力が卓越するため、堤防の滑動に対する安定性確保が困難になります。このため、本工法では、ブロック同士のジョイント穴を通じて鉄筋コンクリートで連結する構造を採用しまし

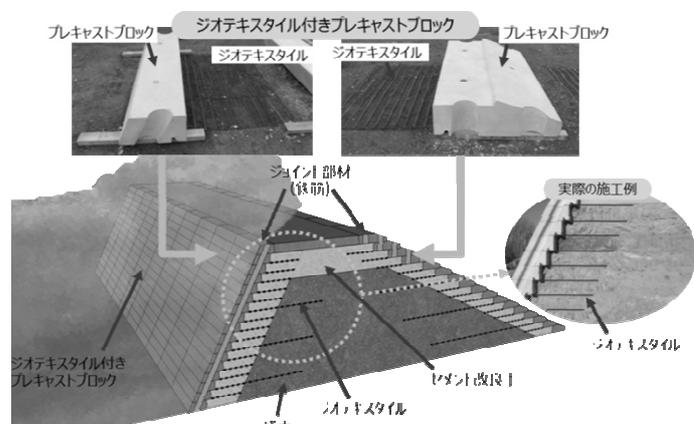


図-12 三面一体化堤防の実施例

た。これにより、ブロック間のせん断強度が向上し、衝突波力に対する抵抗力を向上させることができます。また同時に、段波津波が衝突する際には、瞬間的に被覆ブロック背面に揚圧力が発生し、被覆ブロックが巻き上がることがあります。この問題を解決するため、ジオテキスタイルで被覆ブロックを盛土に固定し、かつ、ブロック同士をジョイントで結合させた構造を採用しました。これにより、ジオテキスタイルによるアンカー力とジョイント構造による一体化が図れるので、ブロックの巻き上げに対する抵抗力を向上させることができます。その効果は、**図-13** に示すようにレベル 2 津波の段波を想定した水理実験によって確認されています⁸⁾。

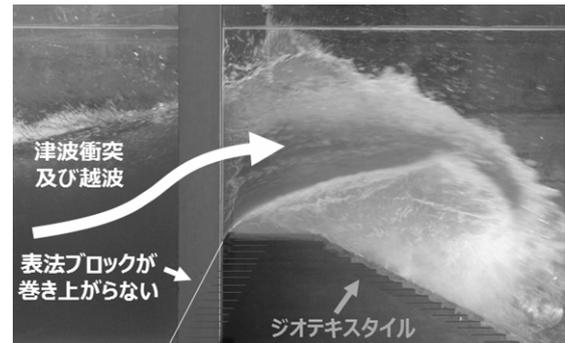


図-13 津波衝突に対する被覆ブロック巻き上げ対策の検証

(2) 堤防内部への津波浸入を防止

段波によって堤防内部に発生する強い浸透流の発生を防止するため、開口部を有さないブロックを隙間なく配置し、堤防内部への津波の流入量を低減しました。さらに、ブロック背面に難透水性のセメント改良土を設置することで、津波が盛土に浸入することを防ぎました。その効果は、先ほど示した**図-13** に示した段波による水理実験によって確認されています⁸⁾。

(3) 法肩ブロックの剥離を防止

法肩付近に発生する負圧に対しては、ブロック重量で対抗する方法は限界があるため、法肩ブロックと天端ブロックを連結した構造を採用しています。上記の連結構造によって、**図-14** に示すように法肩ブロックの引き剥がれに対して、天端コンクリートとその上の越流水の重量がカウンターウェイトとして作用します。その結果、**図-15** に示すように、深い越流水深でも法肩ブロックの引き剥がれに対する安全率を 1.0 以上確保できることが理論的に予測できます。

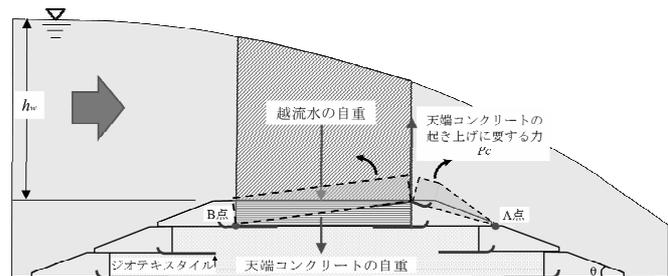


図-14 法肩ブロックと天端コンクリートを連結した堤防モデル

この理論的予測は、**図-16** で示すように越流水深 13.1m（静水頭換算）での実験結果と整合し

この理論的予測は、**図-16** で示すように越流水深 13.1m（静水頭換算）での実験結果と整合し

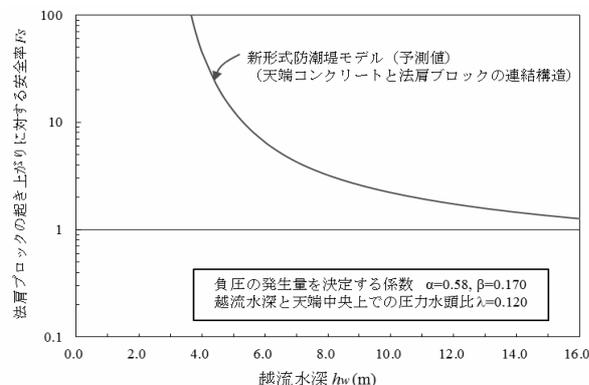


図-15 法肩ブロックと天端コンクリートの連結した堤防モデルにおける引き剥がれに対する安全率 F_s と越流水深 h_w の理論的關係

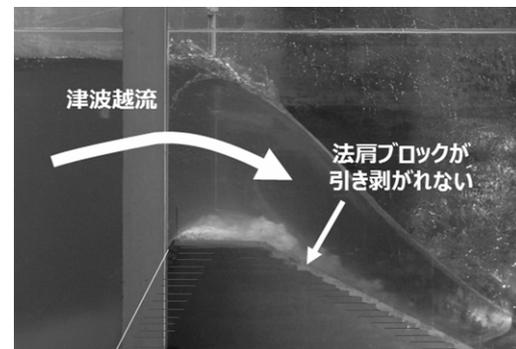


図-16 津波越流に対する法肩ブロックの引き剥がれ対策の検証（静水頭換算：越流水深 13.1m）

ます。このことはここで提案する方法によって引き剥がれを防止できることを示しています⁷⁾。

なお、天端コンクリート底面に水が回り込まない状態を維持するためには、難透水性の改良土を一定の範囲に配置させる必要があります。また、**図-14**では法肩ブロックが起き上がった状態を示していますが、上記のカウンターウェイトを見込めるのは、天端コンクリート底面に水圧が回り込まず、起き上がっていない状態であることに注意が必要です。

4. 三面一体化堤防の実施例

図-12に示したように上記の三面一体化堤防を実現するため、プレキャストコンクリートブロック背面にジオテキスタイルを連結した特殊な被覆ブロック（以下、ジオテキブロックと呼びます）を開発しました。**図-17**に3種類のジオテキブロックを例示しています。いずれも高さ0.30m、幅2.0mです。SJ型ブロックは、5分の急勾配用ブロックで、側面にはジョイント用の半円形の円筒が設けられています。GJ型ブロックは2割の緩勾配用ブロックであり、同様に側面にジョイント用の半円形の円筒が設けられています。GS型ブロックは、法尻方向に越流水を流下させることを目的としたもので、ストッパーのみが設けられています。GJ型ブロックに比べて軽量化を図ることができます。これらのブロック以外にも現場条件に応じてあらゆる勾配に適合したブロックを製造することも可能です。以下に、農研機構農村工学研究所の敷地内で実施した施工確認試験結果を紹介します。

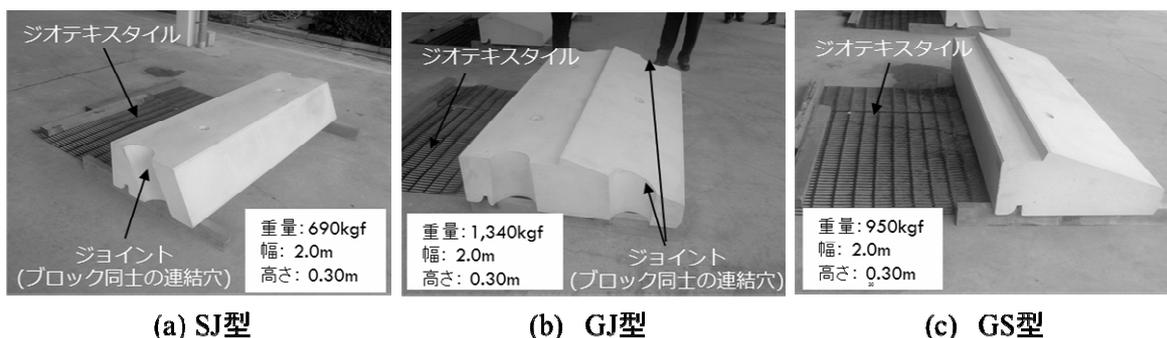


図-17 ジオテキスタイルが連結したプレキャストコンクリートブロック

(1) 施工確認試験の概要

図-18に、施工性を確認しながら構築した三面一体化堤防の実大模型を示します。ブロック背面には長さ1.0mのジオテキスタイルを敷設しています。セメント改良土も同様に幅1.0mです。今回は、一軸圧縮強度を 500kN/m^2 に、透水係数は難透水性材料としてため池のコア材料を目安に $1.0 \times 10^{-4} \sim 10^{-5} \text{cm/sec}$ 以下と決めました。なお、遮水性に関しては、津波来襲時における潮位とその継続時間、堤体内部に許容する浸透量などから定める方法があります。しかし、適正な透水係数は、これ以外に基礎地盤からの揚圧力や間隙空気圧の問題などの影



図-18 三面一体化堤防の実施例（試験場所：農研機構）

響を含めて堤体内部の構造を総合的に検討して決定する必要があります。

(2) ジオテキブロックの工夫

盛土形式の海岸堤防は、剛な被覆工と柔な地盤材料で構成されているため、盛土に沈下や収縮が生じた場合、ブロックと盛土をつなぎ合わせている部分に局所的に大きなひずみが生じて、ジオテキスタイルが破断する虞があります。この問題を解消するため、ブロック背面にセメント改良土を配置し、圧縮剛性を高めて局所的な段差が生じないようにしています。また、万が一、盛土側が沈下しても、**図-19**のようにブロック底面にジオテキスタイルを連結することによって、多少の盛土沈下が生じて、局所的に大きなひずみがジオテキスタイルに生じないように工夫しています。さらに引っ張りに対してジオテキスタイルがエッジ切れを起こさないように、ジオテキスタイルを引き出す部分に丸み部分を設けています。この丸み部分に面圧を発生させることで、敷設方向に沿って均等に引張り力を発達させています⁹⁾。

(3) ブロック設置と盛土築堤

本工法の施工手順を**図-20**に示します。各工程において特殊な作業はなく、ほぼ標準的な作業で構成されています。なお、ブロック同士を積み上げるため、施工上のポイントとしては、最下段のブロックの据え付け精度を確保していくことが重要になります¹⁰⁾。

築堤工において、ジオテキブロックを設置した後、盛土材の撒き出し、転圧を交互に繰り返して構築しますので、ブロックの据え付けが作業性を大きく左右します。このため、小型のクレーンで運搬が可能で、バールなどでブロックを人力で微調整できる程度の重量にしました。また、ブロックを水平に積層するため、脱着が容易なデーハ型アンカーと専用吊り具を用い、水平にブ

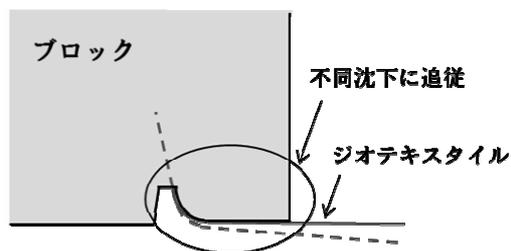


図-19 ジオテキスタイルの引き出し部位の工夫

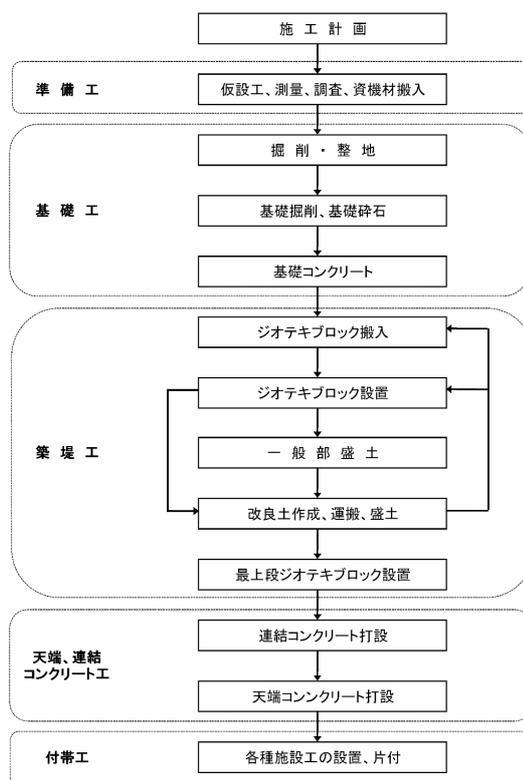


図-20 施工手順



(a) ジオテキブロックの据え付け



(b) 裏込め材の撒きだし



(c) 裏込め材の転圧

図-21 ジオテキブロックによる築堤手順

ックを吊り上げられるようにしました（図-21）。

(4) 天端コンクリートと法肩ブロックの連結

法肩ブロックと天端コンクリート（以下、天端コン）をジオテキスタイルによって連結するため、ジオテキスタイルの上に、生コンを打設し、天端コンにジオテキスタイルを付着させています。天端コンと法肩ブロックを連結した断面構造を図-22 に示します。なお、天端コン底面に水が回り込まないように、セメント改良土を一定範囲に用い、遮水性を高めています。

図-23 に先述の理論的關係から計算された天端コンクリートと法肩ブロックに必要な連結強度を示しています。この図から越流水深 16.0m でも、連結強度 20.0kN/m 以上あれば安定性が確保できることがわかります。なお、一般的なジオグリッドの引張強度は、30.0～80.0kN/m の範囲であるため、十分に達成可能な値です。施工性については、図-24 に示すように法肩ブロックがコンクリート打設時の外型枠になるので施工が簡便になります。

(5) ブロック同士のジョイント構造

図-25 に示すようにジョイント穴は、ブロック側面に設けられた半円形の円筒を互いに合わせることで形成されています。直径 200mm のジョイント部分に、コンクリートを打設し、その中心に鉄筋棒（D22@1本）を挿入して連結を行いました。鉄筋の被り厚 80mm 以上確保されています。なお、ジョイント部に必要なせん断強度や引き抜け強度については、想定される地震力や波力の大きさによって調整できます。

5. 適用性について

(1) 経済性

法面が 2 割勾配で同一の場合は、従来形式の堤防と比較すると、ジオテキスタイルと改良土の資材費が追加されるため、割高になります。しかし、片側でも 5 分の急勾配法面にすれば、法長が縮小して、コストが低減します。一方、同じ 5 分勾配の急勾配

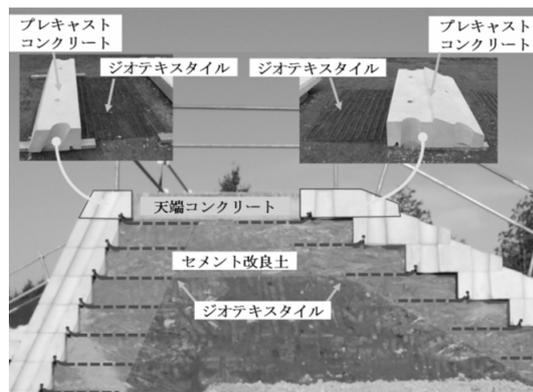


図-22 天端コンと法肩ブロックの連結構造

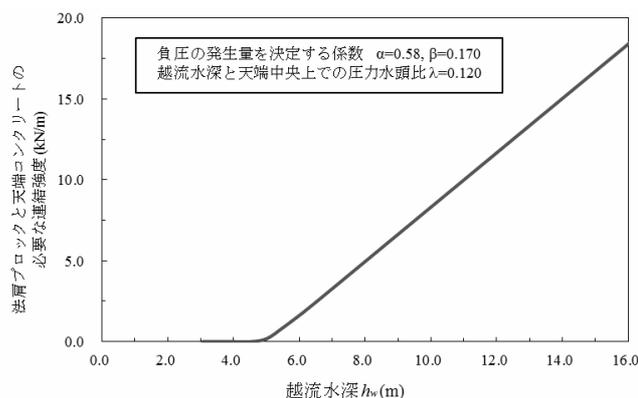


図-23 越流水深 h_w に対する法肩ブロックと天端コンクリートに必要な連結強度の關係

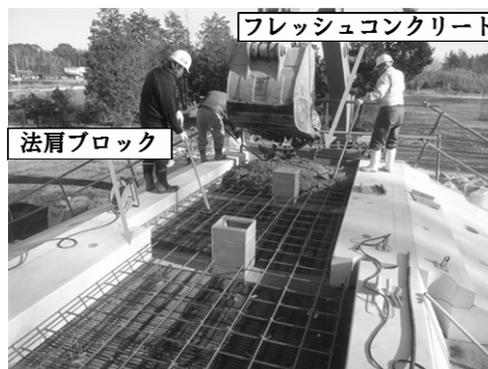


図-24 天端コンクリートの施工状況



図-25 ジョイント穴を用いた連結方法

法面で比較した場合は、大型ブロックや重力式擁壁に比べて、ジオテキスタイルとセメント改良土の組み合わせによって盛土が補強されるので、従来工法よりもコンクリートの厚みを薄くでき、この分の資材費を削減できます。このコスト削減効果は、堤高が大きいほど大きくなり、条件によってはトータルコストで20%以上の削減が期待できます。

(2) 活用上のポイント

堤防の嵩上げなどに伴い建設用地を新たに取得する必要がありますが、本工法は堤防の急勾配化が図れるため、**図-26**に示すように限られた建設用地でも適用することができます。また既設防潮堤に対しても、従来よりも少ない建設用地で嵩上げできます。また、**図-27**に示すように陸側を急勾配化することで、環境や景観に調和させることも可能です。

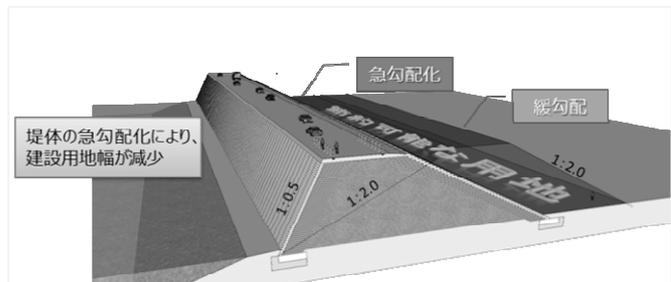


図-26 急勾配化による建設用地の削減

コンクリートブロックの法面もステップを設けることで、避難用の階段を設置することができます。さらに、ブロックの段差によって幾何学的な形状を持った法面に仕上げられるため、景観に配慮したデザインも可能になります。

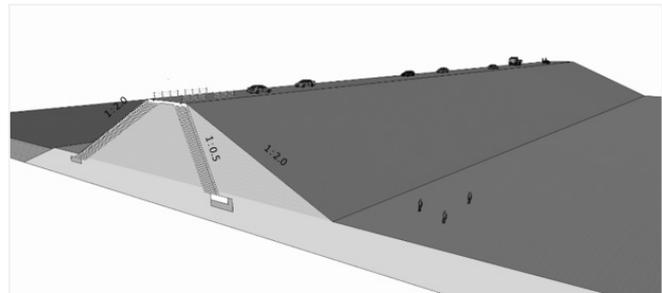


図-27 環境・景観に配慮したグラウンドデザイン

6. まとめ

盛土形式の防潮堤は、被覆ブロックが一部でも流出すると、そこが破壊の起点となって連鎖的に全体の崩壊に発展する可能性が大きくなります。このような崩壊を防ぐためには、被覆構造を維持することが必須になります。今回、紹介した「三面一体化堤防」の主な構造的長と導入メリットを以下にまとめました。

<主な特徴>

- ① 堤防表面にジオテキスタイルで固定されたプレキャストコンクリートブロックとセメント改良土層を用いることで、盛土本体とも一体化した強固な表面被覆構造を構築できます。
- ② ブロック同士をジョイント結合し、堤防の天端コンクリートとも連結して、さらにのり先地盤をセメント改良土で改良して洗堀に対して強化することで、表と裏の法面、天端の三面に安定的な一体化した被覆構造を構築できます。

<導入のメリット>

- ③ 地震力に対する堤防と被覆工の耐震性が大幅に向上するため、津波来襲時に弱部が形成されにくくなります。
- ④ 津波の衝突や越流による被覆ブロックの剥離・不安定化に対しても抵抗力が大幅に向上します。
- ⑤ 経済性に関しては、急勾配化を図ることで、従来の緩勾配堤防に比べてトータルの資材費・施工費が削減でき、コスト削減が見込めます。また限られた建設用地でも適用可能です。

- ⑥ 施工条件に関しては、プレキャストコンクリートブロックの使用により、現場での生コン等の資材不足に対応することが可能です。
- ⑦ また、ブロック部分にステップを設けることで、緊急時の避難路を簡単に設置することができます。

今後の課題：本報告で紹介した地震・津波に対する強化対策以外に、地盤の液状化対策や基礎地盤の洗堀、揚圧力、洗堀などについて別途検討を要します。また地盤条件、長期維持管理性などの課題も検討を要します。

謝辞：共同研究（技研興業（株）、（公財）鉄道総合技術研究所、前田工織（株）、丸栄コンクリート（株））による研究成果を一部用いました。農林水産省食料生産地域再生のための先端技術展開事業及び農研機構交付金の補助を受けました。

参考文献

- 1) 農研機構：「地震・津波に対して強靱で低コスト、施工性に優れた「三面一体化堤防」、プレスリリース、平成 26 年 6 月 5 日。
- 2) 東日本大震災合同報告書 共通編 2「津波と特性被害」
- 3) 大井邦昭・林建二郎・河野茂樹(2012)：海岸越流に対する海岸堤防及び防波堤の強化に関する実験的研究，土木学会論文集 B3（海洋開発）特集号，Vol.68, No.2, pp.196-1101.
- 4) 松島健一・毛利栄征・龍岡文夫・菊池善昭・渡辺健治・大串和紀(2014)：段波津波に粘り強く抵抗する強靱な防潮堤の提案，地盤工学会特別シンポジウム-東日本大震災を乗り越えて-，pp.651-659.
- 5) 松島健一・毛利栄征・桐博英・丹治肇・堀俊和(2012)：越流津波による盛土形式の防潮堤の水理模型実験－後ろ法面のコンクリートブロックのめくれ上がり現象－，土木学会第 67 回年次学術講演会，pp.441-442.
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部(2012b)：粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討(第 2 報)，No. 3, 平成 24 年 8 月 10 日。
- 7) 松島健一・大井邦昭・毛利栄征・龍岡文夫・平井卓・桐博英(2014a)：越流津波時の揚力による防潮堤法肩ブロックの引き剥がれとその対策，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 70, 掲載予定。
- 8) 松島健一・毛利栄征・大串和紀・龍岡文夫・桐博英(2014b)：段波津波に対する被覆ブロック式堤防の構造的課題とその対策，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.70, 掲載予定。
- 9) 辻慎一郎・竜田尚希・渡部健・松島健一・武智修(2014)津波に対して強靱な堤防構造に用いるブロックの開発、農業農村工学会大会講演要旨集、掲載予定
- 10) 大串和紀・松島健一・武智修・瀧川明彦(2014)：ジオテキスタイルを埋め込んだ法面被覆ブロックの施工確認試験、農業農村工学会大会講演要旨集、掲載予定。