

コンクリートがれきを用いた CSG海岸堤防の設計

小林 裕

KOBAYASHI Yutaka
株式会社建設技術研究所
東京本社
ダム部
技師長

はじめに

東北地方太平洋沖地震の津波により既設の海岸堤防に未曾有の被害が発生した。この被災を受け、「設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物」の考え方が示されており、粘り強く効果を発揮する海岸堤防が各地で導入されている。¹⁾

今回報告を行う夏井地区海岸堤防は、延長920m、天端標高TP+7.2m、堤体積6万m³のうち4万m³を震災コンクリートがれきにセメント・水を加えたCSG (Cement Sand and Gravel) を用いて建設されたものである(図1)。

夏井地区では隣接する既設堤防も今次津波により被災した。CSG海岸堤防は、その北側の無堤区間に新設したもので、復旧復興事業とし

て福島県で最初に完成した堤防である(写真1)。

「粘り強い海岸堤防」とは

東北地方太平洋沖地震の津波による海岸堤防の被災形態は、津波が越流したことによる堤防盛土材料の流出や裏法尻の深掘れであった。

「粘り強い海岸堤防」は、設計対象の津波高を超える津波が来襲し、海岸堤防の天端を越流することにより海岸堤防が破壊・倒壊する場合でも、次の性能を有する堤防である。

- ・施設が破壊、倒壊するまでの時間を少しでも長くする。
- ・施設の「全壊」

に至る可能性を少しでも減らす。具体的には、裏法尻部の洗掘防止や、被覆工等の部材厚の確保等による盛土材料流失防止策が施された構造である(図2)。

CSGとは

CSGとは、建設現場周辺で手近に得られる岩石質材料(河床砂礫、風化岩など)を、分級・粒度調整、洗浄を行うことなく、オーバーサイズ除去や必要に応じて破碎を行う

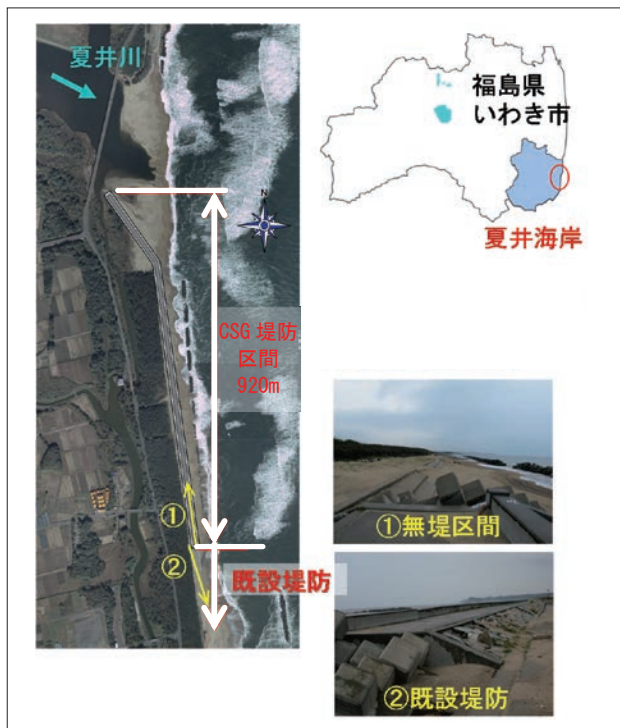
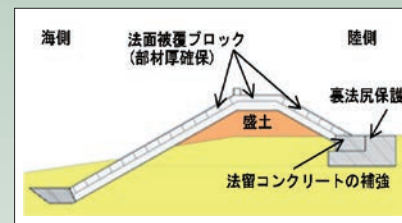
写真1 完成したCSG堤(北から望む)³⁾

図1 対象位置と海岸堤防

図2 粘り強い海岸堤防の概念図(土堤)³⁾

程度で、セメントと水を簡易な施設で混合したものである(写真2)。

CSGは、強度が定義され、強度決定手法と品質管理手法を有しており、設計上要求されるCSGの必要強度を確保することが可能なものである。このため、台形CSGダムに代表される重要永久構造物に用いられている²⁾。CSGとは、このように参考文献2)、3)に示す方法に従い、強度が確実に担保されているものをいう。

夏井地区へのCSG堤防導入

夏井地区においては、以下の点からCSGを用いることを検討した。
・現場周辺には処理すべき震災コンクリートがれきが多量にあり、これを破碎して利用することで、



写真3 近傍のコンクリートがれき

コスト削減が期待できる。

- ・CSGは汎用のブルドーザで撒出し、振動ローラで転圧することから、高速施工が期待される。事実夏井海岸地区では920mの堤防を約7ヵ月で完成させている。
- ・CSGは、土堤のように法面被覆ブロックの剥がれや波浪による浸食、吸出しの懸念がなく、大規模津波に対して大きな抵抗力を有している。

CSG堤の位置

夏井地区の堤防法線は、隣接する既存堤防との接続や用地的な制約を考慮して決定した(図1)。

CSG堤の形状

砂質地盤上に高さ約8mの剛体構造物を構築するため、CSG堤の形状は、台形状を基本とした。これは台形とすることで、①常時・地震時の反力変動が小さいこと、②堤体内に曲げ引張応力が発生せず、堤体必要強度を低く抑えることが可能となること、を考慮したものである。

堤体形状はCSGを用いたダムの実績をもとに上下流面勾配は合計で1:1.5程度とした(図3)。

なお、CSGはコンクリートと比べ耐久性で劣ることから、常時波浪や



写真2 コンクリートがれきを用いたCSG

外気にさらされる法表面(海側)と天端は厚さ50cm程度のコンクリートで保護する構造とした。

また粘り強さを発揮するため、CSG堤は、「岩手・宮城・福島3県の建設海岸堤防設計の考え方」における盛土による粘り強い海岸堤防の考え方も参考に図2に示す堤防と同等の機能を有するように図3に示す構造とした。

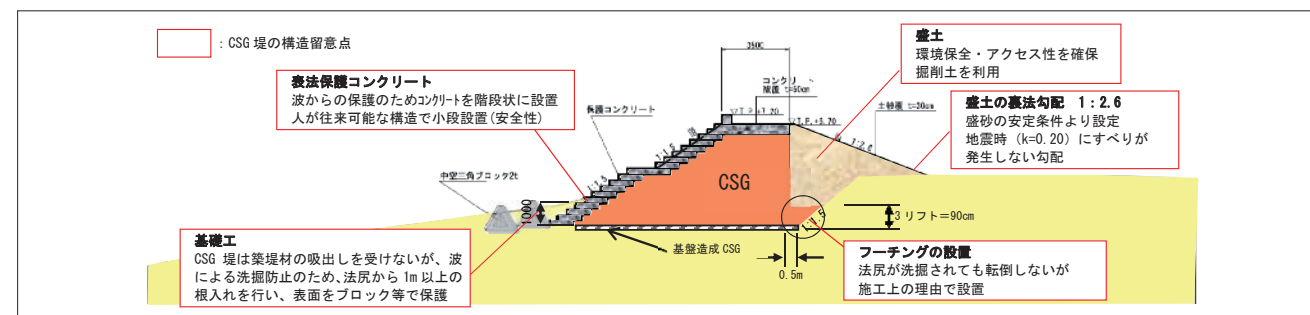
また海岸利用者の退避や安全性を考慮し、CSG堤の表法(海側)は1:1.5の勾配とし、小段をつけた階段状のものとした(図3)。

さらに裏法は1:2.6の盛土とした。この盛土は、利用者の安全性確保の他、CSG堤と同時に築堤することで工事用道路としても利用できるとともに、完成後は植生工を施し、景観にも寄与するものである。

CSG堤の設計手順

CSG堤の設計は、基礎と堤体の安定性および液状化による沈下量検討を行い、CSG堤の強度を設定するという手順で実施した。

図4にそのフローを示す。

図3 CSG堤の基本構造³⁾

基礎地盤高の設定

結果をもとに、支持力が確保できる地盤をCSG堤の基礎とすることを原則として基礎地盤高を設定した。なお、後述するようにN値が小さく基礎として十分でない箇所については、地盤改良を前提として基礎標高を設定した。

地盤改良前（無対策）の安定検討

図4のCSG堤の検討フローに基づき、安定検討を行った。夏井地区の地盤のうち、最も軟弱であった夏井川に近い堤防の基礎地盤を、図7に示す3層にモデル化した。表層はN値10未満、下層はN値50以上、中層はN値が10～20程度であった。

CSG堤は、図6に示すモデルで検討し、堤体底面の滑動・基礎の反力・基礎地盤の支持力について安定性を検討した。

底面反力は全域で圧縮となり、滑動の条件も満足したが、基礎の支持力条件は満足しなかった。

CSG堤と基礎地盤を通るすべりについて、図7のモデルで安定検討を実施したが、L1地震時で安全率が1.0未満(0.99)となった。

表層から中層はL2地震時に液状化を生じる結果となった。このため、L2地震時の液状化による沈下計算をFEM解析を使用して算出した。その結果、堤防天端は設計水位以下に沈下してしまうこととなった(図8)。

このように安定条件を満足しないため、基礎地盤を改良することとした。なお、図2に示した傾斜堤(土堤)の場合でも基礎の安定性や液状化による沈下も満足せず、同様の対策が必要であるとの結論に至った。

地盤改良後の安定検討

液状化対策として、図5に示すサン

ドコンパクションパイル工法を計画した。対策後の地盤強度は、N値が21程度(内部摩擦角 ϕ 36°、常時の許容支持力196kN/m²)に向上した。

そして再度、安定検討を実施結果、支持力、基礎の円弧すべり、液状化時の沈下量のすべての条件を満足することとなった(表1)。

液状化時の沈下も小さく、万一沈下してもオーバーレイによる

復旧が容易なレベルである(図9)。

また、L2地震時(k=0.35)でも堤

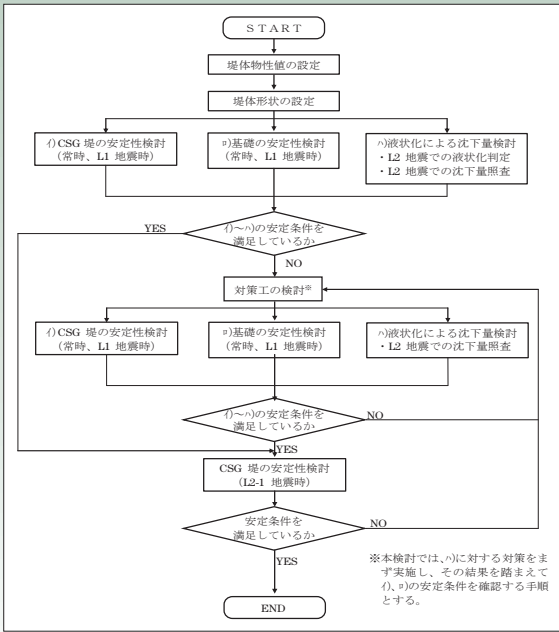


図4 CSG堤の検討フロー 3)

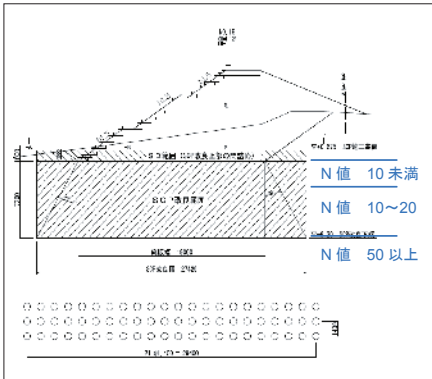


図5 サンドコンパクション改良概要図

体の安定性を確認しており、滑動や底面反力、基礎の支持力のいずれも満足する結果となった。

CSG堤の強度の設定

CSG堤の必要圧縮強度は、FEM

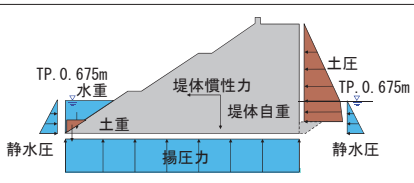


図6 安定計算荷重図 (地震時 k=0.20) 高さ9.1m³⁾

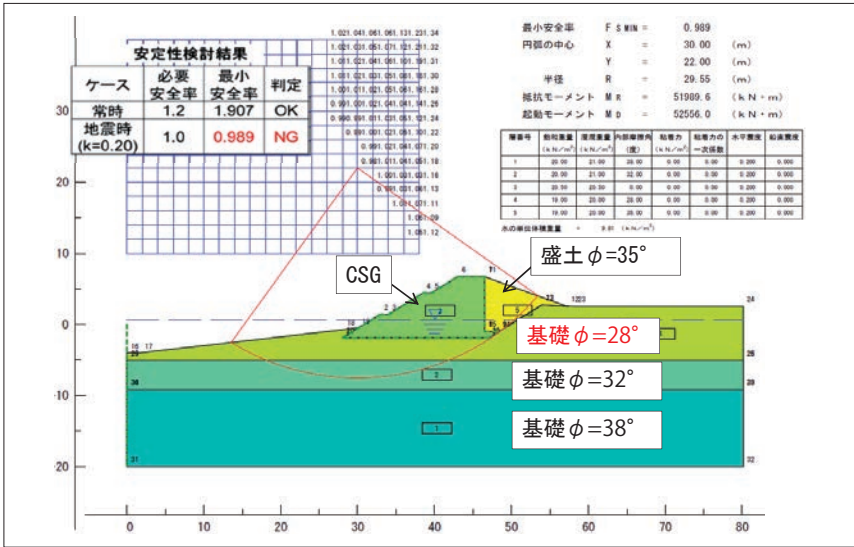


図7 地盤モデルと円弧すべり計算結果³⁾ (液状化対策前)

表1 構造検討結果一覧

	項目	無対策	地盤改良後
堤体安定性	滑動 反力 支持力	OK OK NG	OK OK OK
基礎地盤安定性	基礎を通る 円弧すべり	NG	OK
液状化による沈下量	沈下後 天端標高と 設計水位	NG	OK

解析から求めた。

① 検討条件

必要強度は、静的弾性解析で堤体に発生する最大・最小主応力をもとに算定した。作用荷重は、自重・地震力(L1)・水重・静水圧・動水圧とした(図10)。

② 安全率の設定

計算結果に対し、必要CSG強度はダム基準に準じ安全率4を確保することとした。これは、施設の重要度・解析手法(静的)を考慮し、ダムの基準に準じたものである。

③ 検討結果

静的弾性解析による必要CSG強度の分布を図11に示す。CSG堤の変形に伴い、堤敷で必要CSG強度が最大の2.67N/mm²となった。

CSGの強度と単位セメント量

CSGの強度は、施工時に試験施工と共に、室内でCSG試験を行い、ひし形を作成することで求めた(参考文献2)。

CSG試験結果をもとに、TP+2.3mを境として配合を変更した。すなわち、標高が高く堤高が小さい箇所は、単位セメント量を80kg/m³とし、基礎に近く堤高が大きい箇所は120kg/m³とした。

まとめ

海岸堤防としてのCSG堤は、コンクリートガレキの活用性、経済性、

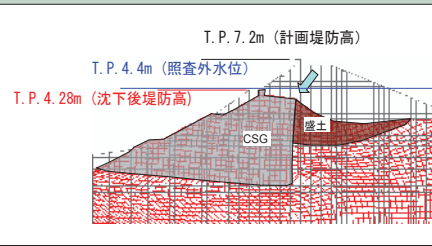


図8 変形解析結果³⁾ (液状化対策前)

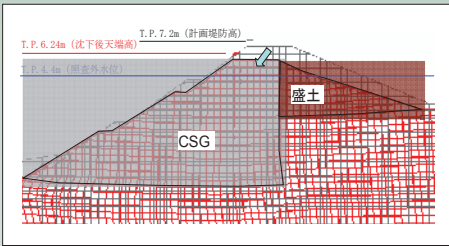


図9 変形解析結果³⁾ (液状化対策後)

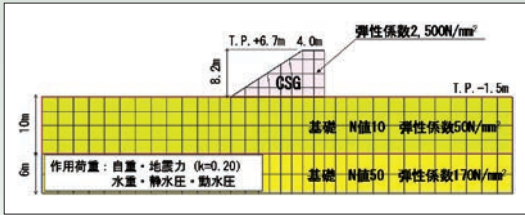


図10 CSG堤の変形解析モデル³⁾

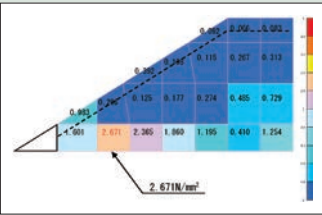


図11 CSG堤の必要強度分布図³⁾



写真4 CSG堤を南側から鳥瞰する (H25.11)³⁾



写真5 完成から約1年半経過した裏法盛土部

工程短縮面で有用であることが判明した。そして、約7か月間という短期間で約1kmの対象区間が概成し、平成25年10月に完成した。

最後にCSG海岸堤防を検討する上での留意点をいくつか記述する。

砂質地質上に剛な構造を築造することから、基礎の設計が重要である。このため、ボーリング調査や現位置試験等により地盤条件や支持力を把握して、基礎の安定性、液状化の判定や対策の必要性について検討する。そして、大規模地震時後に到来するL2津波に対して粘り強い堤防として機能するように設計することが重要である。

また、海浜地形は高潮等で大きく変動するため、法線の決定の際には、入念な検討が必要と考えている。

CSGは、岩石質の材料であればコンクリートがれきに限らず適用の可能性がある。材料の賦存量(採取可能量)、賦存状態、基本的な物性・品質を調査し、経済性や施工性、環境負荷を考慮して適地を選定する必要がある。そして破碎が必要な場合は、破碎後の基本物性を把握することが必要である。

今後の大規模地震に備え、堤防整備が必要な場所は数多く、本工法の採用の増加が期待される。

<参考文献>

- 国土交通省東北地方整備局 仙台河川国道事務所：「明日へつなぐ」仙台湾南部海岸堤防復旧プロジェクト、http://www.thr.mlit.go.jp/sendai/kasen_kaigan/fukkou/index.html
- 台形CSGダム技術資料作成検討会：台形CSGダム設計・施工・品質管理技術資料、財団法人ダム技術センター、平成24年6月
- 福島県いわき建設事務所：夏井地区海岸CSG海岸堤防技術資料、平成25年10月