

仙台湾南部海岸におけるCSG海岸堤防の施工報告 ～井土浦地区の環境を考慮した工夫事例～

鳴原吉隆・漆原和也

1. はじめに

仙台湾南部海岸は、宮城県仙台市から福島県境までの3市2町（仙台市、名取市、岩沼市、亶理町、山元町）にまたがる延長約65kmの砂浜を有する海岸である。背後地は商業や工業など産業の集積が著しく、東北地方の中核拠点となっている。

2011年3月11日に発生した東日本大震災において、仙台湾南部海岸の全ての区間で津波が海岸堤防を越流し、津波の押し波や引き波により図-1のように海岸堤防が決壊し、沿岸地域では甚大な被害が発生した。

国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所では、宮城県知事からの要請を受け「東日本大震災による被害を受けた公共土木施設の災害復旧等に係る工事の国等による代行に関する法律」に基づき、宮城県が管理する区間の堤防復旧を代行し、従前より施行していた区間と合わせ29kmの災害復旧工事を平成28年度末迄に完成させた（図-2）。

復旧にあたっては、計画の堤防高を越える津波に対しても破堤しにくい「粘り強い構造の堤防」で整備している。その中でも名取川の河口北側に位置する井土浦地区では、優れた自然環境に配慮してCSG海岸堤防を実施したので、その設計・施工事例について報告するものである。

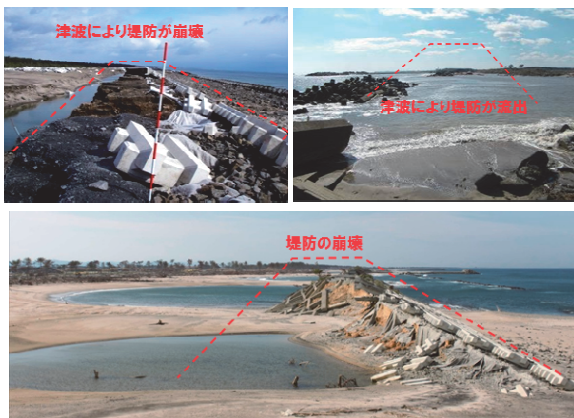


図-1 津波による堤防の被災状況

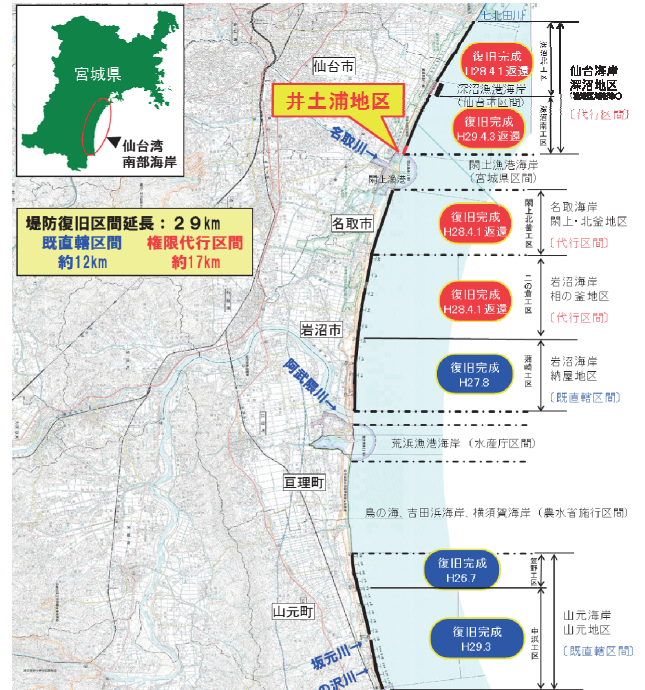


図-2 堤防復旧状況及び井土浦地区の位置

2. 井土浦地区の課題

2.1 震災前後の井土浦地区

井土浦地区の東日本大震災前及び震災直後、震災後約4年が経過した時点の海浜地形の状態を図-3に示す。

井土浦地区は、環境省の重要湿地や保全地区に選定されていたが、震災により井土浦の前面の海浜及びクロマツが消失した。また、井土浦は汽水域であったが、震災直後に直接海域とつながり汽水域が消失した状況となった。

その後、海浜は徐々に回復し、井土浦の表面積は以前の約6割程度に減少したものの、汽水域が

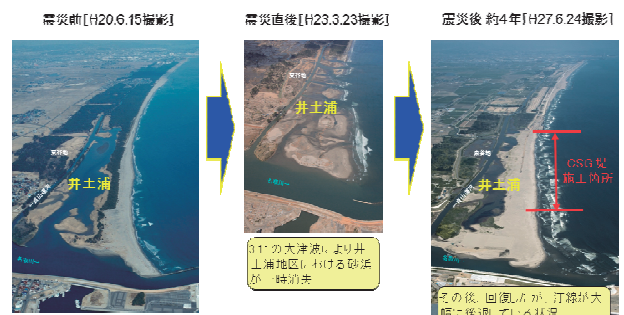


図-3 井土浦地区における海浜地形の変化

再形成された。回復した潟湖、海浜においては、多様な動植物の回復も著しく、非常に良好な自然環境となってきた。

2.2 井土浦地区での海岸堤防整備の課題

井土浦地区の海岸堤防の復旧に際して、以下に述べる課題があった。

ひとつは、図-4に示すように太平洋と井土浦に挟まれた地形条件から、堤防の復旧箇所の岸沖方向の幅が約40～60mと狭隘で堤防用地が限られることが挙げられる。

また、日本の重要湿地500に選定された井土浦の希少な汽水環境に隣接し貴重な動植物が多数生息しているため自然環境に配慮する必要がある。

さらに、井土浦地区において消失した海浜が回復し安定するのを待ったことで、復旧の最終工区となり、堤防復旧工事が完成した工区での工事用道路等の撤去により大量の発生土(図-5参照)が生じ、それらを有効活用する方策が必要であった。

これらの課題を克服するために、井土浦地区の海岸堤防は、以降で述べる検討を経て従来の傾斜堤ではなくCSG海岸堤防で整備した。

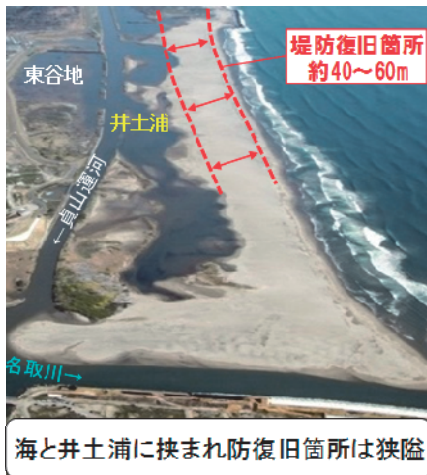


図-4 深沼地区海岸(井土浦地区)の地形条件



図-5 他工区工事完了による大量の現地発生材

3. CSG海岸堤防について

3.1 CSGの概要

CSG (Cement Sand and Gravel) とは、建設現場周辺で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砕を行う程度で、セメントと水を簡易な施設で混合して作る材料である。

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。CSGとはこのように強度が確実に担保されているものをいう。

3.2 CSGの海岸堤防への適用例

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侵食、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。

また、砂質地盤上に高さ6～8m程度の剛体構造を構築するため、CSG海岸堤防の形状は、台形形状を基本とする。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。前例では、福島県いわき市の夏井地区海岸、静岡県浜松市の浜松沿岸域で採用されている。

4. 井土浦地区の堤防形式の選定

4.1 堤防形式の1次選定

井土浦地区の堤防構造は、図-6に示す構造形式の堤防を抽出し、「基礎地盤への適用(耐震性)」「堤体材料の確保」「施工性」「砂浜への影響」「施工実績」等の各種項目から概略的に構造の適用性を検討し、①仙台湾南部海岸の堤防構造(傾斜堤)に準じる形式、②粘り強い海岸堤防として技術的評価や知見が得られている構造形式であるという2点から、【傾斜型】【CSG海岸堤防】を1次選定した。

| 概要図 | 傾斜型 | | | 直立型 | | |
|-----|-----|------|----------|-----|-----|----------|
| | 傾斜型 | 緩傾斜型 | 傾斜型(波返し) | 重力式 | CSG | ジオテキスタイル |
| | | | | | | |

図-6 1次比較により選定した構造形式

| | | 傾斜堤(標準構造) | CSG堤 |
|-------|-------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 概要図 | | | |
| 構造安定性 | 水理的安定性 | コンクリートブロック(2型)により3面被覆 | 剛体として安定 |
| | 耐震性 | 耐震計算上特に問題無し | 耐震計算上特に問題無し |
| 環境性 | 粘り強い構造の評価 | 噛み合わせブロック、基礎工、地盤改良 | 破壊しにくい(耐侵食性材料(CSG))、地盤改良 |
| | 海浜への影響 | 堤敷幅が約33mとなり、CSG堤と比較すると改良面積は大きい | 堤敷幅が約19mであり、傾斜堤と比較すると改良面積は小さい |
| | 井土浦湿地環境への影響 | 作業ヤード等による改良面積が大きい(クレーン、工事用道路、ブロック設置等) | 工事用道路のみで改良面積は少ない 止水矢板や地盤改良貫入が深いため地下水等、特に影響はない |
| 適用性 | 施工性 | 標準構造であり実績も多く問題無し | 汎用機械での施工が可能であり、施工性は比較的良いが、傾斜堤と比べるとCSG製造工程が追加されるため劣る |
| | 維持管理性 | 堤体土の吸出しや沈下等による空河川の可能性がある | 地盤改良も合わせて実施しており、沈下や吸出し等による影響も少なく維持管理性は良い |
| | 現場発生材の活用 | 購入土等と混合し粒度調整することで、他工区からの現地発生材を有効活用することが可能 | CSG母材として他工区からの現地発生材を有効活用することが可能 |
| 総合評価 | | △ | ○ |

図-7 2次比較：傾斜堤とCSG堤の比較

4.2 堤防形式の2次選定

2次選定では井土浦地区の以下の条件をもとに最適な構造型式を検討した。①堤防の安定性の確保、さらに海浜植生の生育可能な砂浜幅を確保するために前浜幅は30m程度必要であること、②工事用道路の残材(岩ズリ)などストック材や現地発生材を有効活用し、環境保全や経済性に配慮した構造形式とする必要があること、③海岸堤防として実績のある構造形式であることとした。具体的には、図-7に示す傾斜堤(標準構造)、CSG海岸堤防(直角台形および等脚台形)で比較検討を行った。構造安定性、環境影響・適用性の観点より比較評価を行い、CSG海岸堤防(等脚台形)を井土浦地区における堤防構造として選定した。

5. CSG海岸堤防の設計

5.1 設計手順

CSG海岸堤防は、図-8に示す構造検討フローで照査を行った。①堤体の安定(常時、地震時(L1・L2))、②基礎を通る円弧すべりに対する安定(常時、地震時(L1・L2))、③液状化による沈下量照査(地震時(L2))の項目について照査を実施し、所要の安全性を確保できない場合、地盤改良対策を検討することとした。その後、対策を実施した場合の安定性を確認した。

5.2 詳細構造の検討

現況地盤を照査した結果、①堤体の安定性、②基礎の安定性、③液状化による影響の全てで安定性を満足していない結果となった。そのため、支

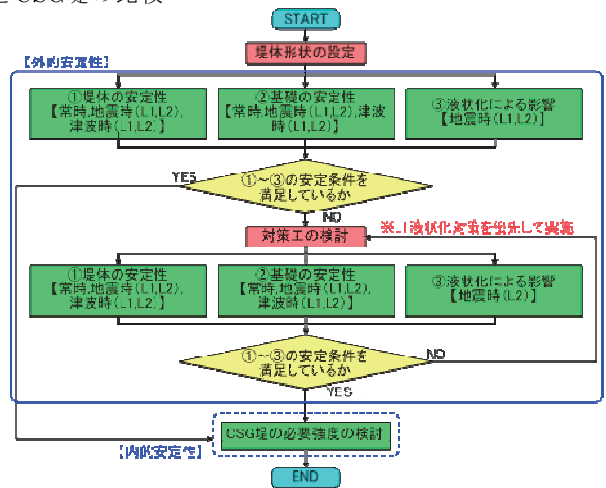


図-8 CSG海岸の構造検討フロー

持力対策として、N値=10相当の地盤が現れる位置まで浅層改良することとした。また、液状化対策として、液状化層を全層改良するものとした。対策工を含むCSG海岸堤防の標準断面は、図-7に示すCSG堤のとおりである。コンクリートと比べ耐久性で劣ることから、常時波浪や外気にさらされる法表面と天端は厚さ50cm程度のコンクリートで保護する構造とした。また同様に陸側の背面も保護盛土で保護することとした。

5.3 必要CSG強度の検討

CSG海岸堤防の内部応力は、FEM解析を実施し評価した。必要強度の検討に用いる弾性係数は、浅層改良地盤の平板載荷試験及び標準供試体試験の結果より、基礎の弾性係数：900MN/m²、CSG堤体の弾性係数：2,000N/mm²とした。このように地盤改良により基礎地盤の剛性を高くすると、

CSGの必要強度が小さくなり、後述するように単位セメント量は40kg/m³程度でも十分な結果となった。

CSG海岸堤防の内部応力解析結果を図-9に示す。圧縮側および引張側応力の最大値より、CSG必要強度は=0.81 N/mm²(=0.201N/mm²×安全率4)と求められた。

6. CSG強度の設定

CSGの強度は、施工時に試験施工ならびに室内でCSG試験を行い、ひし形を作成することで求めた。用いたCSG材は、堤防工事用の道路に使用した岩ズリと名取川河口の掘削砂を混合したもので、最大40%の河口砂を混合し、粒径5mm以下の砂分を最大70%含んだものである。

試験施工の結果、1層30cmを4t振動ローラ(4t)8回(有振)、2回(無振)で締固めることとした。これと同等のエネルギーで作成した供試体にもとづき、図-10に示すひし形を作成した。単位セメント量40kg/m³でCSG強度が0.9N/mm²が確保され、CSG必要強度0.81 N/mm²(図-10参照)を満足することが確認された。

7. おわりに

用地、環境、材料等の課題があった井土浦地区に「CSG海岸堤防」を採用し、課題を克服する

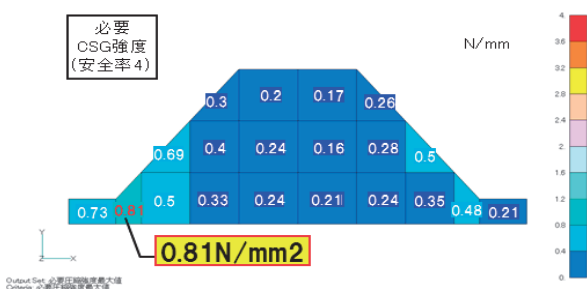


図-9 必要CSG強度の算出結果(地震時)

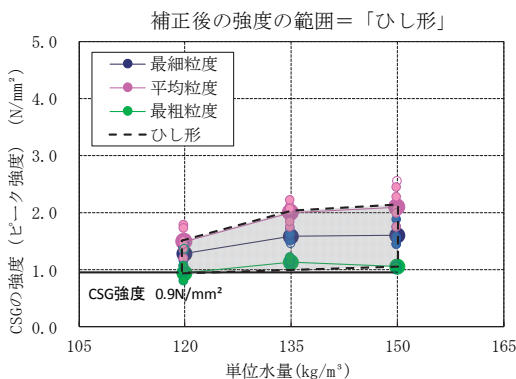


図-10 作成された「ひし形」とCSG強度



図-11 完成したCSG海岸堤防

とともに井土浦に適した粘り強い海岸堤防を整備することができた。また、緩い地盤条件下において、地盤改良することでCSG海岸堤防の安全性を確保する提案もでき、さらに、基礎浅部を地盤改良することで、CSGの必要強度も小さくなり、海岸に多く賦存する粒径5mm以下の砂分を最大70%含んだCSGが適用できることを示すことができた。最後に、今後の海岸堤防計画の際に、参考にさせていただければ幸いである。

謝 辞

井土浦地区におけるCSG海岸堤防の検討に際し、井土浦海岸堤防構造検討会、国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室、国立研究開発法人土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム、一般財団法人ダム技術センターの関係者には、多大なる技術指導を頂いた。前田建設工業株式会社には、試験施工結果等の資料提供を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) (財)ダム技術センター：台形CSGダム設計・施工・品質管理技術資料、平成24年6月
- 2) 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

鳴原吉隆



国土交通省東北地方整備局
仙台河川国道事務所
副所長
Yoshitaka SHIGIHARA

漆原和也



国土交通省東北地方整備局
仙台河川国道事務所
建設専門官
Kazuya URUSHIHARA

