

東日本大震災から10年、復興により津波に備える沿岸陸域の姿 (その1) 多様な防潮堤

常田賢一

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下「東日本大震災」という。）から10年が経過した。この間、社会基盤の復旧・復興は計画的かつ着実に実施されてきており、三陸沿岸道路の開通など、基本的な復興インフラの骨格は概成し、今後はその肉付けを図り、地域の防災性の向上、活性化を図ることが必要である。

本文は、本年3月に東日本大震災の津波（以下「3.11津波」という。）の被災地を訪れて調査した、10年間の復旧・復興の取組みにより、将来の津波に立ち向かう沿岸陸域に変貌した姿の報告である。ここで、本文での復興は、復興事業のうち、防潮堤の整備に加えて、交通インフラ活用の二線堤の整備、土地の嵩上げ、避難場所の整備など、津波ハード対策を対象にしている。

調査地は、リアス海岸の岩手県（田野畑村）から海岸平野の宮城県（山元町）までの39箇所である。本号（その1）では対津波の最前線にある「防潮堤」、次号（その2）では復興庁の復興の基本指針¹⁾、宮城県の震災復興計画²⁾に示された「多重防御」と「高台移転（集団移転）」に関する多様な実施事例を通じて、将来の津波に備えた復興に込められた思い、英知を学ぶことにしたい。なお、本文の3章以降は、次号に続く。

調査地に関する3.11津波前の堤防高、津波時の痕跡高、復興目標の堤防高設定値は表-1の通りである^{3)・4)}。同表の堤防高設定値は、設計津波の水位から求めた必要堤防高と高潮によるその高い方を基にし、環境保全等を総合的に判断して設定されている。同表によれば、堤防高設定値（レベル1津波対応）は、3.11津波の津波高（レベル2津波相当）より低く、被災前堤防高以上である。ここで、レベル2津波は、発生頻度は極めて低いも

の、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波とされ、住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で想定されている。そのため、防潮堤などの海岸保全施設等は、津波が堤防高を越えた場合に、堤防が壊れるまでの時間を遅らせることで、避難時間を稼ぐとともに、浸水面積や浸水深を減らすことに資するとされている。なお、本文で記載する表-1以外の数値は、概数であることに留意されたい。

2. 多様な防潮堤の構造

防潮堤（正式には海岸堤防または胸壁と言う。）は、津波・高潮などに対する基本的な防潮構造物であるが、調査地の防潮堤は図-1で分類した。

表-1 調査地の津波痕跡高、堤防高の諸元^{3)・4)}

地域海岸名	現地調査場所	被災前の堤防高	今次の津波痕跡高	復興時堤防高設定値
岩手県	日野畑海岸 ①田野畑村明戸海岸 ②同 鳥越	14.3	23.0	14.3
	田老海岸 ①宮古市田老漁港 ②同 田老三王	10.0~13.7	16.3	14.7
	宮古湾 ①宮古市新川町 ②同 閉伊川河口右岸 ③同 宮古港 ④同 藤の川	8.0~8.5	11.6	10.4
	大槌湾 大槌町浪板海岸	6.4	15.1	14.5
	両石湾 釜石市両石漁港	6.4~12.0	22.6	12.0
	釜石湾 釜石市釜石港	4.0~6.1	10.1	6.1
	広田湾 ①陸前高田市脇之沢漁港 ②同 高田松原	4.95~6.5	18.3	12.5
宮城県	唐桑半島東部 ①気仙沼市唐桑町石浜漁港	4.5~6.1	14.4	11.3
	唐桑半島西部② ①気仙沼市唐桑町西舞根	2.5~3.2	13.8	9.9
	本吉海岸 ①気仙沼市大谷漁港 ②同 大谷沼尻海岸 ③同 大谷海岸 ④同 中島海岸	2.5~5.5	18.8	9.8 14.7
	雄勝湾奥部 ①石巻市雄勝漁港 ②同 下雄勝	4.1~5.9	16.3	9.7
	女川湾 女川町中心部・女川漁港	3.2~5.8	18.0	6.6
	石巻海岸 ①石巻市長浜 ②同 魚町 ③同 雲雀野町 ④東松島市大曲浜	4.5~6.2	11.4	7.2
	仙台湾南部海岸① ①仙台市東部地域 ②同 荒浜 ③同 海浜公園冒険広場 ④同 井土浦：CSG堤 ⑤同 井土浦：河川堤防 ⑥名取市関上・関上浜 ⑦岩沼市千年希望の丘 ⑧同 下野郷浜 ⑨同 寺島	5.2~7.2	12.9	7.2
仙台湾南部海岸② ①亶理町島の海 ②同 大畑浜 ③同 吉田浜 ④山元町高瀬	6.2~7.2	13.6	7.2	

(注) 単位：m (T.P.)

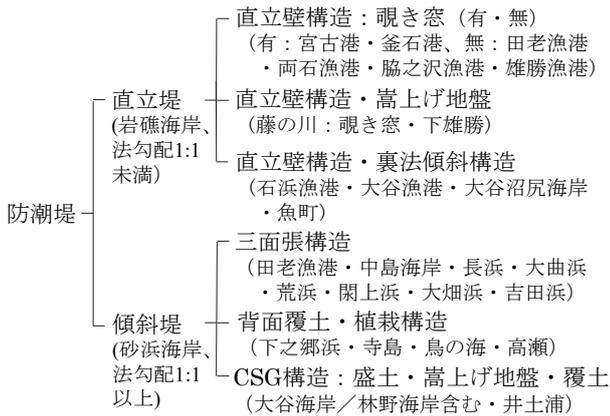


図-1 復興における多様な防潮堤の構造

基本性能

- 1)構造機能 : 外力に対する安定性の保有
- 2)耐久性 : 所要の安定性の保持
- 3)津波減勢性 : L-1津波（時に、3.11津波）対応

復興に際しての所要性能

- 4)海陸交流性
 - 往来性: 防潮扉・オーバーパス
 - 避難性: 同上・階段・高架通路
 - 視認性: 防潮扉・覗き窓
 - 河川通水・津波遮水性: 水門・水路
- 5)景観性・自然性: 覆土/植生・CSG堤・無堤
- 6)空間利用性: 背面地盤嵩上げ・道路兼用

今後、留意すべき性能

- 7)点検性・補修性
- 8)経済性

図-2 復興における防潮堤の性能⁶⁾

ここで、調査地の防潮堤の堤防形式は直立堤と傾斜堤に大別できるが、それらは法勾配で区分され、それぞれ岩礁海岸と砂浜海岸での整備が基本である⁵⁾。復興に際しての特徴的な構造には、嵩上げ地盤と複合化した直立堤、覆土・植栽した傾斜堤、盛土材を改良した傾斜堤（CSG構造）などがあるが、地域事情を踏まえた構造であり、多様である。なお、防潮堤の付属構造には、防潮扉、直立壁に穿った覗き窓、階段、水門などがある。

また、復興に際して防潮堤に必要とされた性能として、筆者は図-2に示す8つを提案している⁶⁾。1)構造機能、2)耐久性、3)津波減勢性は第1義的に考慮されるが、復興では、4)海陸交流性、5)景観性・自然性および6)空間利用性も重視されている。なお、7)点検性・補修性、8)経済性は、今後、留意すべき性能である。なお、図-2の性能は、海岸保全施設（堤防）の基本的性能とは違い、復興に際して、地元事情により、必要とされ、考慮された性能である。

さらに、復興状況によれば、防潮堤の取扱いに関して図-3の分類もできる。つまり、復興により新たに整備する防潮堤だけでなく、旧防潮堤の一

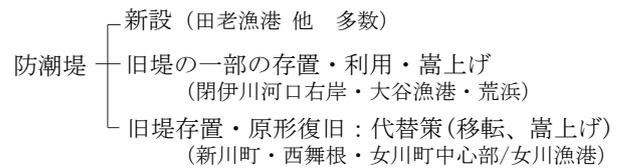


図-3 防潮堤の整備の位置づけ

部を存置し、活用して新堤を嵩上げしたり、さらには、防潮堤の代替策により、旧堤の原形復旧したり、防潮堤を整備しない場合もある。以下では、復興による防潮堤の構造に関して、図-1～図-3の視点から、主な該当事例（図-1、図-3に調査地名を略記）を示す。

2.1 直立壁構造

写真-1は宮古市新川町の閉伊川左岸にある直立壁構造（地盤高約3m）であり、3.11津波では漂流した車や船舶が越流したが、破壊せず、現存している。現存した理由は、壁背面の基礎が越流水で侵食し難い構造であったことによる⁷⁾。このような直立壁構造は、限られた用地で所要の高さの防潮機能が必要な場合に適している。

そのため、復興に際しても、用地の制約がある海岸では、直立堤が随所で見られる。



写真-1 津波の越流に耐えた直立壁構造：宮古市新川町

2.1.1 宮古市・田老漁港

津波前に「万里の長城」と呼ばれたT.P.10mの傾斜堤があったが、越流（痕跡高16.8m）で壊滅的な被害を受けた田老漁港では、X形状の山側の旧堤を残して、海側に新堤（T.P.14.7m）が整備されている。写真-2の通り、新堤は直立堤と傾斜堤が連続しているので、両構造の差異が分かる。

直立堤の場合、防潮堤を横断する海陸交流性（図-2：以下、同様。）の確保が必須である。田老漁港では、傾斜堤の階段（避難性）、直立堤の防潮扉（往来性、避難性、視認性）、水路・水門の開口部（河川通水性）があるが、往来用の傾斜堤（地盤高10m程度）をオーバーパスする道路（山側：盛土、海側：橋梁）の設置が特筆できる。

土研センター

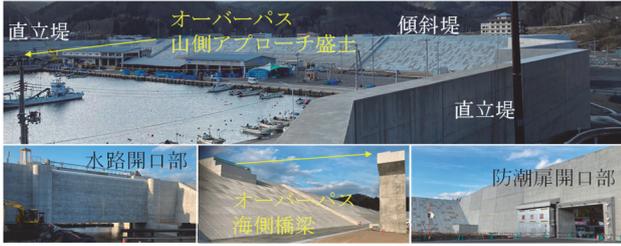


写真-2 直立堤と傾斜堤の新防潮堤：釜石市田老漁港

2.1.2 宮古市・閉伊川河口左岸／宮古港

写真-1の下流の河口部では、新たな水門とそれに連続する防潮堤（T.P.10.4m）が整備されているが、津波を最前線で抑えるものである。写真-3は閉伊川河口右岸にある新旧の防潮堤であり、新堤（T.P.10.4m）は旧堤より2mほど高いが、旧堤の下部を存置、利用し、嵩上げしている（図-3参照）。また、新堤の階段の他、新旧いずれにも視き窓（0.5mほどの正方形型）があり、海陸交流性（避難性、視認性）が配慮されている。

また、写真-4は宮古港の直立堤であるが、新堤（T.P.10.4m）の天端の地盤高は7.5mほどであり、陸側にある旧堤よりも5mほど高い。防潮扉は大規模な壁全面型であり、階段、視き窓（0.6×1.8mほどの矩形縦型）により、交流性（往来性、避難性、視認性）が確保されている。

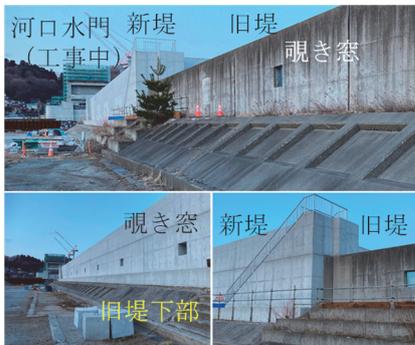


写真-3 水門と新旧の防潮堤：宮古市閉伊川河口右岸



写真-4 水門と新旧の防潮堤：宮古市宮古港

2.1.3 釜石市・港町

3.11津波による釜石港の津波高は10.1mであるが、当該地区の地域性に基づく設計津波の水位に



写真-5 防潮堤と嵩上げ盛土：釜石市港町

よる堤防高設定値はT.P.6.1mであり、写真-5のように、防潮堤天端の地盤高は4mほどである。壁全面型の防潮扉と矩形縦型の視き窓（0.4×1.0mほど）が設置され、交流性（往来性、視認性）が確保されている。なお、防潮堤の背後にある道路・高架橋に隣接して、嵩上げ盛土（T.P.11m推定）があり、高所避難を兼ねた多重防御になっている。

2.2 直立壁構造・嵩上げ地盤

直立堤であるが、背面の地盤が嵩上げされて、道路などに利用されている事例である。

2.2.1 宮古市・藤の川

海岸沿いに盛土構造の道路があった場所であり、嵩上げされた新たな防潮堤（T.P.10.4m）の背後で再構築された道路は空間利用率と言える。道路側の天端高は2.4mほどであり、写真-6のように矩形横型の視き窓（0.8×1.2mほど）が多数ある。道路面が高いため、視き窓からの視認性がよい。



写真-6 道路盛土前面の防潮堤：宮古市藤の川

2.2.2 石巻市・雄勝漁港～下雄勝

雄勝湾奥部の雄勝漁港の大原川の河口部は、直立堤の防潮堤（T.P.9.7m）と傾斜堤の河川堤防が連続的に整備されている（写真-7）。連続性は、津波減勢性（図-2）の確保から必須である。また、階段と門型の開口構造の防潮扉により、海陸交流性（往来性、避難性、視認性）が確保されている。

雄勝漁港の防潮堤は下雄勝地区に繋がっているが、同地区では高台移転（4.1.3参照）の一環で、写真-7のように、直立堤の背後の地盤は嵩上げされて、空間利用率が実現されている。

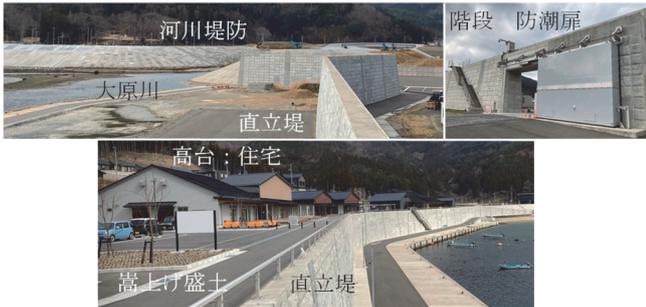


写真-7 嵩上げ地盤との複合構造：雄勝漁港～下雄勝

2.3 直立堤・裏法傾斜構造

直立堤であるが、防潮堤の裏法勾配を緩和して傾斜堤の特徴を活かしている場合である。

写真-8は気仙沼市石浜漁港（T.P.11.3m）、写真-9は石巻市雲雀野町（T.P.7.2m）の防潮堤であるが、他に、大谷漁港、大谷沼尻海岸も同様である。いずれも、直立堤により津波を効果的に抑え、傾斜堤により陸側からの遮蔽性、閉塞性を緩和し、アクセス性を向上している。



写真-8 裏法傾斜構造の防潮堤：気仙沼市石浜漁港



写真-9 裏法傾斜構造の防潮堤：石巻市雲雀野町

2.4 傾斜堤：三面張構造

本構造は盛土をコンクリートブロックなどで被覆した三面張構造であり、砂浜海岸では一般的な堤防構造である（図-1参照）。2.1の直立堤と比べて、用地の確保が必要であるが、海陸交流性、景観性に優れるなどの構造的な特徴がある。

2.4.1 気仙沼市・中島海岸

中島海岸では、写真-10の傾斜堤（T.P.14.7m）が整備されているが、天端幅は5mほどあり、他例と比較しても大規模な構造である。津谷川の河口にあるが、防潮堤と河川堤防との連続性が確保されている。なお、3.1.3で後述するが、河口から1.3kmほど上流には、三陸沿岸道路の高盛土があり、防潮堤との多重防御になっている。



写真-10 防潮堤と河川堤防の連続：気仙沼市中島海岸

2.4.2 石巻市・長浜

写真-11の傾斜堤（T.P.7.2m）が復興されている。防潮堤の背後の延長約1.2km区間は海岸保安林（幅約130～200m）があり、その背後は住宅地である。後藤ら¹¹⁾によれば、当時の防潮堤（T.P.6.2m）を超えた津波の浸水深は3m程度であるが、当該の保安林による浸水深さと家屋破壊の緩和の効果が報告されている。なお、保安林の津波抑制例は、仙台平野でも確認されている⁸⁾。

復興により、保安林内には高さ4mほどの遊歩道を兼ねた盛土が新たに造成されているが、防潮堤、保安林、盛土による多重防御と言える。



写真-11 防潮堤、保安林、盛土：石巻市長浜

2.4.3 東松島市・大曲浜

背後に航空自衛隊松島基地がある当海岸は、3.11津波前は延長約6kmにわたり、突堤（8基、設置間隔約900m）が整備されていたが、防潮堤は無く、砂丘と保安林の海岸であった（2010.4：Google earthから）。復興により、写真-12の傾斜堤（T.P.7.2m）が新たに整備されている。なお、背後には保安林、北上運河、盛土があり、多重防御が形成されている。



写真-12 防潮堤、運河、盛土：東松島市大曲浜

2.4.4 仙台市・荒浜

津波遺構の荒浜小学校がある荒浜地区の住宅地

土研センター

は甚大な津波被害を受けた。3.11津波では、写真-13のような防潮堤前面の堆砂により、防潮堤自身の被害が軽微である箇所もあった⁹⁾。

国土交通省が復興した仙台湾南部海岸（仙台市～山元町）の防潮堤は、図-4の断面が基本とされている¹²⁾。同海岸で復興された防潮堤はT.P.7.2mであるが、津波前はT.P.5.2m～7.2mであった。

なお、復興では、写真-14のように、直立堤を存置し、その背後に2mほど高い新堤を構築したり、旧堤の表法の下部を存置・活用して上部の1.5m～天端～裏法を新設している（図-3参照）。

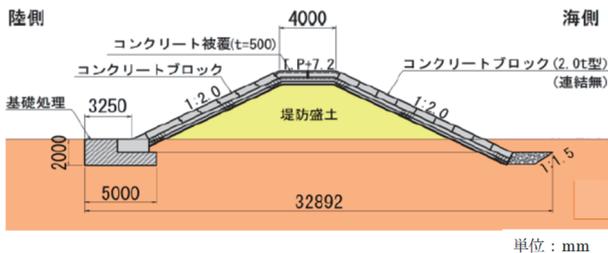


図-4 国土交通省の基本的な堤防構造：文献¹²⁾の抜粋



写真-13 津波直後と復興後の防潮堤：仙台市荒浜



写真-14 旧堤と新堤：仙台市荒浜

2.4.4 山元町・高瀬

突堤、離岸堤がある海岸の防潮堤が破堤し、背後地が大規模に侵食された箇所である¹⁰⁾。写真-15の傾斜堤（T.P.7.2m）で復興されている。当地でも「緑の防潮堤」（2.5.1参照）のプロジェクトが実施されている。



写真-15 被災時と復興後の比較：岩沼市高瀬

2.5 傾斜堤：覆土・植栽構造

本構造は2.4の傾斜堤の法面に覆土した複合構造であり、覆土の植栽による景観性や空間利用性、さらに覆土の嵩上げによるレベル1を越える津波防潮性などの機能向上を図る防潮堤である。

2.5.1 岩沼市・下之郷・寺島／山元町・高瀬

岩沼市下野郷浜では、堤防と一体的に盛土や植生を配置した粘り強い海岸堤防の整備を目的とする「緑の防潮堤」プロジェクトを実施している。

同プロジェクトは、宮脇昭氏（横浜国立大学名誉教授）提唱の“潜在自然植生に合致した広葉樹が混成する森で防潮堤を作る”という「いのちを守る森の防潮堤」の考え方が取り入れられている¹³⁾。なお、当該地点では、ブロックによる三面張構造の裏法の空間において、腹付け盛土を行い、植栽（延長100m、4,000本）している（写真-16）。なお、堤防背後では千年希望の丘が整備されているが、防潮堤の緑化は同地域の景観性、修景性の向上に繋がっている。なお、同プロジェクトは岩沼市寺島でも実施されている。



写真-16 覆土・緑化による景観向上：岩沼市下野郷浜

2.5.2 亘理町・鳥の海

亘理町鳥の海では、写真-17のように、阿武隈川右岸河口から延長約800mの区間において、レベル1津波対応の傾斜堤（T.P.7.2m）の裏法を、津波瓦礫の利用により覆土しているが、天端高はT.P.10mに嵩上げしている。木本類の植栽はないが、3.11津波レベルの津波減勢性および景観性の向上が図られている。

このように、土堤構造の柔軟性により、所要の



写真-17 覆土による防潮堤の嵩上げ：亘理町鳥の海

堤防高を越える高さ、相応の粘り強さを確保することが比較的容易かつ経済的に実現できる。

2.6 傾斜堤：CSG構造

本構造は2.4の傾斜堤の適用に際して、盛土材の改良により法面の急勾配化を図り、用地幅を縮小して傾斜堤の影響を低減するものである。今次の復興に際しても、地域事情からCSG（セメント改良した砂礫）構造が適用されている。

2.6.1 気仙沼市・大谷海岸

当海岸（対象区間 800m）は農林海岸であり、林野庁は防災林を守るために傾斜堤を予定したが、背後の国道45号を存置するため、防潮堤（T.P. 9.8m）は海側に迫り出し、海水浴場の砂浜が狭まる計画であった。しかし、地元から海水浴場を守る要望があり、i)農林海岸を建設海岸に移管し、ii)傾斜堤を両法から片法の台形状に、iii)CSG方式で表法勾配の1:3を1:1.5に、iv)国道45号を嵩上げし、防潮堤との複合構造に変更した。その結果、砂浜は養浜せずに確保でき、背後の嵩上げ地盤は、道の駅などの地域交流ゾーンとして整備された（写真-18）¹⁴⁾。

本例は、関係者の横断的協力、防潮堤と道路の一体化により、海水浴場が復元され、加えてコミュニティの場への展開が図られている。なお、隣接の林野海岸は両法面が覆土のCSG堤である。



写真-18 傾斜堤(奥)とCSG堤(手前)：気仙沼市大谷海岸

2.6.2 仙台市・井土浦

3.11津波前は無堤区間であったが、井土浦特別保護地区などの生態系への配慮、現地発生材の活



図-5 生態等に配慮したCSG堤：仙台市井土浦



写真-19 CSG構造による防潮堤：仙台市井土浦
用のため、裏法面を盛土し、CSG体の表法を保護コンクリート、裏法側を盛土、覆砂した防潮堤¹²⁾（図-5、写真-19）が新設されている。

以下、3章以降は、（その2）多様な多重防
御・高台移転に関して、次号（10月号）に続く。

参考文献

- 1) 東日本大震災復興対策本部：東日本大震災からの復興の基本方針、平成23年7月29日
- 2) 宮城県：宮城県震災復興計画～宮城・東北・日本の絆 再生からさらなる発展へ～、平成23年10月
- 3) 岩手県：岩手県沿岸における 海岸堤防高さの設定について（第2回）、平成23年10月20日
- 4) 宮城県：宮城県沿岸部における海岸堤防高さの 設定について、宮城県沿岸域現地連絡調整会議、資料-2、平成23年9月9日
- 5) 宮城県土木部：宮城県河川海岸施設設計マニュアル（案）【津波・高潮対策編】平成26年11月
- 6) 常田賢一・秦 吉弥：東日本大震災の津波から学び粘り強い盛土で減災、理工図書、pp.101、2016.
- 7) 文献6) p.166. 8) 文献6) p.36.
- 9) 文献6) p.24. 10) 文献6) p.70.
- 11) 後藤 浩・有馬勇人・石野和男・竹澤三雄・玉井信之：東北地方太平洋沖地震津波における海岸保安林の効果および被災に関する現地調査、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol.68、No.2、2012、I_1366-I_1370
- 12) 国土交通省仙台河川国道事務所：仙台湾南部海岸堤防復旧の取り組み、深沼地区海岸（井土浦地区）堤防復旧概要、2017.1
- 13) 国土交通省仙台河川国道事務所：「緑の防潮堤」岩沼海岸植樹式 実施状況、平成25年6月
- 14) 宮城県気仙沼土木事務所：大谷海岸防潮堤について、H28.7.30

常田賢一



（一財）土木研究センター
顧問、博士（工学）
Dr. TOKIDA Ken-ichi