

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2) 多様な多重防御・高台移転

常田賢一

前号の9月号に続き、本号では「多重防御」および「高台移転」の多様な事例を示す。なお、章節項、図表、文献の番号は前号に続く。

3. 多様な多重防御

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について、現地調査から図-6の分類ができる。ここで、多重防御は地形に関係するが、調査地点は宮古市を境とする三陸海岸の南部とされるリアス海岸と石巻平野、仙台平野の海岸平野に区分した。さらに、リアス海岸、海岸平野ともに、防潮堤・防災林・二線堤による多重防御があるが、リアス海岸では防潮構造にした、あるいは防潮機能を期待した道路がある。

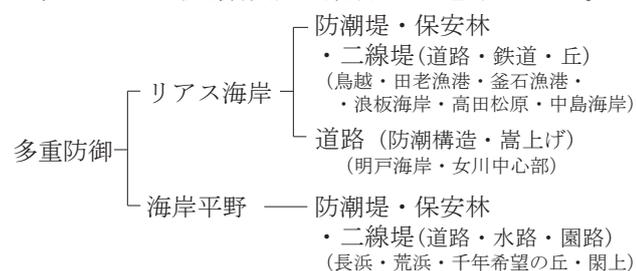


図-6 復興による多様な多重防御

3.1 リアス海岸の多重防御

リアス海岸でも河川沿いの低平地や相応の広さがある平坦地では、防潮堤と盛土などの複数の防潮構造による多重防御が形成されている。

3.1.1 大槌町・浪板海岸

浪板海岸では、津波前、直立堤（T.P.4m程、背面は地盤嵩上げ）、国道45号の道路盛土（T.P.9mほど）、旧JR山田線の鉄道盛土（T.P.17mほど）が浪板川の低平地を横断して多重防御を形成していた（写真-20）。3.11津波では、直立堤の被害は無く、道路盛土は越流深10～11m、鉄道盛土は同2～3mで越流（押し波・引き波）し、浪板川の道路橋は併設の歩道橋、鉄道橋は本橋が流出した。しかし、道路盛土は舗装が残留し、両法面の部分侵食に留まり、鉄道盛土のバラストは



写真-20 復旧による4重防御：大槌町浪板海岸



写真-21 復旧後の浪板地区

流出したが海側法面の侵食に留まり、破堤していない。本例は仙台市井土浦の河川堤防と同様に、土構造の盛土の粘り強さが示された事例¹⁵⁾である。

これらの2つの道路盛土と鉄道盛土による津波の浸水深、浸水到達時間の試算では、浪板川の低平地（幅200～300mほど）の遡上到達距離が海岸から700m程度と短い、3.11津波（想定津波高19m）に対して相応の効果が得られている¹⁶⁾。このため、リアス海岸では、津波が浸水する陸域に奥行きがある場合、多重防御効果が発現できる。

復興では、写真-21のように、リアス線に変わった鉄道盛土、国道45号の道路盛土が復旧されるとともに、両盛土間に新たな道路盛土（工事中）が整備され、4重の防御が形成されている。

3.1.2 陸前高田市・高田松原

奇跡の一本松で知られた陸前高田市高田松原は、全長 1,856m の海岸線の海～陸方向の第1線堤、保安林、第2線堤、水部（古川沼）の再構築が特徴であり、津波に対する4重の防御が形成されている（写真-22）²²⁾。なお、第2線堤背後の水部は津波前からあり、ウォータークッションによる裏法尻部の侵食、浸水流速の抑制が期待できる。

Reconstructed State of the Tohoku Pacific Coast Facing the Future Tsunamis Ten Years after the 2011 Great East Japan Earthquake -No.2-



写真-22 高田松原～脇之沢漁港：Google earth に加筆

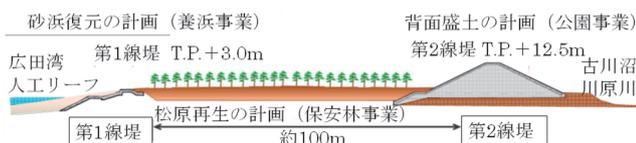


図-7 高田松原の海岸堤防の標準横断図案：22)に加筆



写真-23 復旧された防潮堤と保安林：陸前高田市
さらに、山側では地盤が嵩上げ（T.P.5m 以上）され、市街地を形成している（後述、写真-38）。

防潮堤の設計（図-7）²²⁾について、堤防前面の広田湾での 3.11 津波の津波痕跡高は 18.3m であったが、復旧した第 2 線堤（津波前：T.P.5.5m）の堤防高は広田湾の堤防高設定値の T.P.12.5m であり、第 1 線堤は T.P.3m である。なお、第 2 線堤は両法とも被覆コンクリートブロックであるが、陸側は高田松原復興祈念公園としての景観性から覆土・植栽されている。さらに、2 つの線堤の間（幅約 100m、写真-23）は松原の再生のために、4 万本（被災前は 7 万本）が植林されたが、津波前の高田松原の復元が望まれている。

3.1.3 気仙沼市・中島海岸

三陸沿岸道路は津谷川の低平地（幅約 850m）を横断するが、写真-24 のように、津谷川両岸などの 3 つの高盛土（最大高さ 25m）により高台間を塞ぐ配置になっている。他方、海岸には防潮堤（T.P.14.7m、9月号：2.4.1 参照）があり、それに繋がる津谷川の河川堤防は高盛土（海岸線から約 1.3km）の上流まで連続的に整備されている。このため、3.11 津波相当（T.P.18.8m）でも、津波流は高盛土で遮られ、津谷川の遡上は絞り込まれるので、上流への浸水の影響は抑制される。

本例は、地形を考慮した道路盛土が津波防潮に効果的であることを示唆する。なお、三陸沿岸道路の津谷川両岸の高盛土は、レベル 2 地震動に対する性能設計が行われている²³⁾。



写真-24 2 堤防・1 盛土の 3 重防御：気仙沼市中島海岸

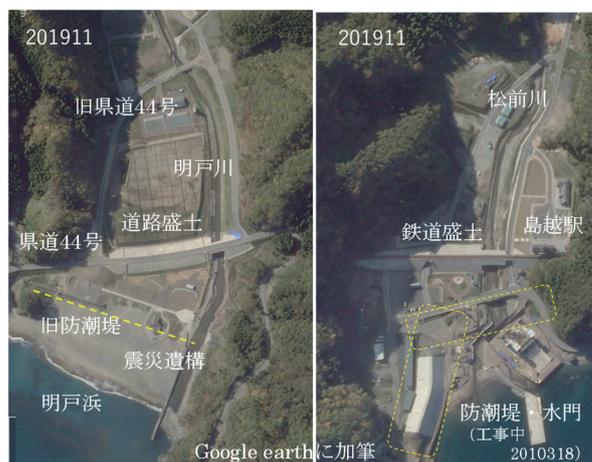
3.2 リアス海岸・防潮機能の道路/鉄道

道路盛土や鉄道盛土を防潮構造にしたり、道路盛土に防潮機能を持たせて、海岸護岸は原型復旧している例がある。

3.2.1 田野畑村・明戸海岸／鳥越

写真-25(a) は岩手県田野畑村の明戸海岸沿いの低平地（幅約 300m）を横断する県道 44 号の付け替え道路の盛土である。また、写真-25(b) は三陸鉄道リアス線の鳥越駅付近の低平地（幅約 250m）を横断する鉄道盛土である。

前者は、3.11 津波で決壊した防潮堤は復興されず、防潮構造にした道路盛土が防潮堤を兼ねている（写真-26）。ただし、河川は開口状態である。一方、後者は、鉄道盛土（T.P.13m 推定）を防潮構造にしているが、海岸沿いでは防潮堤（T.P.14.3m）が工事中である。なお、防潮堤で



(a)道路盛土 (b)鉄道盛土

写真-25 防潮機能の盛土：田野畑村

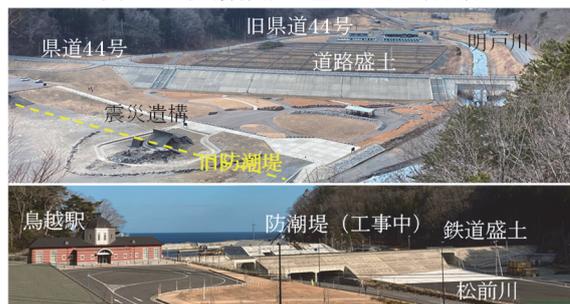


写真-26 復旧状況：上／明戸海岸、下／鳥越

土研センター

は松前川に水門が設置され、道路部は防潮扉による遮断構造になっている。

これらは、地域事情により、道路あるいは鉄道の盛土に防潮機能を持たせた事例である。

3.2.2 女川町・中心部／女川漁港

女川町の復興まちづくりでは、海岸護岸は原形復旧に留め、国道398号の嵩上げにより、防潮堤を設けず、海が臨めるレベル1津波対応が特徴である。また、図-8は断面（文献24から作成）であるが、次の4つのエリアに地域区分し、高台移転も併用したレベル2津波（3.11津波：T.P.18.0m）も考慮した復興が特徴である²⁴⁾。

Aエリア：レベル2津波に対しても安全なように標高25.0m以上に新たな造成地を計画。

A'エリア：レベル2津波に対して浸水しない高さまで盛土。

Bエリア：防潮堤の計画天端高。*余裕高を考慮して盛土。

Cエリア：沈下量相当の盛土（原形復旧）。

なお、国道398号はT.P.5.4mで嵩上げされた盛土構造になり、レベル1津波に対して防潮堤を代替する防潮機能が想定されている（写真-27）。

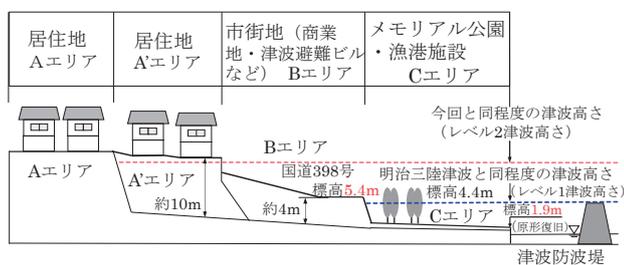


図-8 高台・地盤嵩上げによる津波防潮：女川町²⁴⁾



写真-27 国道398号の嵩上げ状況

3.3 海岸平野の多重防御

仙台平野のような海岸平野では、相当規模の延長がある防潮堤、盛土、水路、保安林などによる多重防御が実施しやすく、復興でも仙台平野での事例が多い。

3.3.1 仙台市・荒浜

県道10号の塩釜・亘理線の七北田川～名取川の10kmは、津波前は平坦道路であったが、盛土（高さ約6m）で復興された¹⁷⁾。写真-28は道路天端の状況であるが、両法肩は津波の越流を考慮し



写真-28 嵩上げ道路盛土：仙台市荒浜／2020.7



写真-29 平野部の海岸の広域多重防御：仙台市荒浜で保護され、特に、山側の法尻はコンクリート（Co）版、側溝により侵食防止が施されている。

当地は、防潮堤（T.P.7.2m：海岸線から150m）、保安林、道路盛土（同約1km）、貞山堀（同450m）、仙台東部道路（同3km）の5重の防潮構造で多重防御が形成されている（写真-29）。

3.3.2 岩沼市・千年希望の丘

4.3.2の岩沼海岸沿岸の「千年希望の丘」の整備地区について、岩沼市は「千年希望の丘」を多重防御の一要素と位置付けており、防潮堤（海岸線から約50m）～千年希望の丘（同300～700m）～貞山堀（同300～900m）～玉浦希望ライン（嵩上げ道路：同1.2km、写真-30）の4重の防御を津波対策の柱に位置付けている²⁵⁾。



写真-30 丘、盛土、堀の防御：千年希望の丘地区

3.3.3 名取市・閑上～仙台空港付近

閑上～仙台空港付近までは、防潮堤、保安林、広浦・貞山堀（海岸線から約1km）、道路盛土（第二次防御ライン：市道閑上南北線・同広浦北釜線、同1.5～1.8km）により4重の防御が形成されている（写真-31）。なお、上記の道路盛土は4.2.3の嵩上げ地盤の住宅地に連続している。



写真-31 平野部の海岸の広域多重防御：名取市閑上

4. 多様な高所防御

集団移転などのための高台移転について、現地調査から図-9のように分類できる。復興に際しての高台移転は、主としてリアス海岸で想定されていたが、復興の実際では、海岸平野でも居住地、避難地のための高所の整備がなされ、対象範囲が広い。そのため、本文では「高所防御」と呼ぶ。

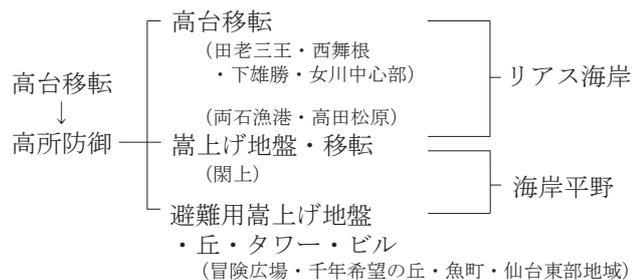


図-9 復興において高台移転から高所防御へ

4.1 高台移転

平地に限られたリアス海岸では、新たに山地を造成した、レベル2津波でも安全な高台移転の復興が数多い。いわゆる、土地利用の変更である。

4.1.1 宮古市・田老三王

田老漁港の防潮堤（9月号、2.1.1：T.P.14.7m）の整備に伴い、田老三王地区（写真-32、標高40～60m）を新たに造成して高台移転している。



写真-32 山地造成による高台移転：宮古市田老三王

4.1.2 気仙沼市・西舞根

気仙沼市西舞根・舞根2区は舞根湾奥（低平地幅150mほど）の集落である。復興では、住民の総意により山地を造成した高台（標高40mほど）に移転した（写真-33）。しかし、生態環境の保全、防潮堤で守るものが無いため、防潮堤（T.P.9.9m）は不要とされ、護岸の原形復旧に留まる（写真-34）。また、西舞根川では左岸護岸の一部撤去、右岸側の生態配慮の護岸改修により、河川～海～湿地の水循環を図った湿地が保全された²⁶⁾。



写真-33 防潮堤が不要な高台移転：気仙沼市西舞根



写真-34 護岸、高台を臨む：気仙沼市西舞根

4.1.3 宮古市・雄勝町下雄勝

雄勝町下雄勝地区は、海岸沿いに直立堤（9月号、2.2.2：T.P.9.7m）が整備されている。3.11津波の痕跡高はT.P.16.3mであるが、山地を造成し、防潮堤背後の嵩上げ地盤と一体的な住宅地（T.P.20～25mほど）を整備している（写真-35）。



写真-35 防潮堤と高台住宅地：宮古市雄勝町下雄勝

4.2 嵩上げ地盤・移転

山地造成による高台移転の他に、平坦部の地盤を嵩上げて移転高台とすることが、海岸平野に限らず、リアス海岸でも実施されている。

4.2.1 釜石市・両石漁港

両石漁港では、直立堤（T.P.12.0m）が整備されているが、津波前でも居住地であった背後の谷状の低平地（幅100mほど）を嵩上げ造成（T.P.20m推定）して、新たな居住地にして高台移転している（写真-36）。居住地には同レベルに嵩上げた国道45号が隣接しているので、今次規模の津波（T.P.22.6m）に対しても、浸水は抑制され、さらなる高所への避難が容易である（写真-37）。



写真-36 防潮堤と嵩上げ居住地：釜石市両石漁港

土研センター



写真-37 防潮堤、嵩上げ居住地、国道45号

4.2.2 陸前高田市・市街地

陸前高田市では3.1.2の防潮堤の整備に合わせて、山側の平坦部の地盤を嵩上げして市街地(T.P.5m以上)の整備をしている(写真-38)。



写真-38 嵩上げによる陸前高田市の新市街地

4.2.3 名取市・閑上地区

名取市閑上地区では、津波浸水为了避免するために、地盤を嵩上げた盛土(約32ha)を移転地としている¹⁸⁾。盛土高は3.11津波の海岸の津波高10mを元に、防波堤と海岸堤防(T.P.7.2m)を越流した浸水の盛土位置(海岸から約1~2km)での浸水高をT.P.5mとし、地盤を3.9m嵩上げた。レベル2相当の3.11津波を考慮している。

なお、前記の写真-31および写真-39のように、嵩上げの住宅地は道路盛土と同一レベルで繋がっているが、個々の対策の連続化により、津波減勢性、避難性の性能は向上する。



写真-39 嵩上げ地盤による移転住宅地：名取市閑上

4.3 津波避難用嵩上げ地盤・丘・タワー・ビル

津波浸水からの避難には、高い場所を造ればよいが、復興では地盤の嵩上げによる盛土、丘、津波避難用のタワーやビルが整備されている。

4.3.1 仙台市・冒険広場

仙台市の海浜公園冒険広場は、津波前に整備された嵩上げ盛土(写真-40)である。東西に島状(延長約400m、幅約50~100m)であり、頂上の展望台はT.P.15mであり、津波(浸水深10m程度)により上部は浸水せず、付近の住民の避難場所に



写真-40 嵩上げによる公園広場/2020.7

なった。津波流を受けた盛土の海側の前面および側面の侵食は表層に留まり、致命的な被害にはなっていない¹⁹⁾。これは、盛土が津波流に対して侵食し難い、言い換えれば、粘り強いことによる。

なお、写真-40のように、復興された道路盛土と繋がっているため、避難性が向上している。

4.3.2 岩沼市・千年希望の丘

岩沼市の約10kmの岩沼海岸と貞山堀の間では、千年希望の丘として6つの公園が整備された²⁵⁾。14基の丘と園路で構成される施設群であるが、丘は避難場所であり、丘と丘を繋ぐ園路は津波の抑制と避難路である(写真-41)。例えば、第1号丘は高さ8mの円錐形で、天端は100m²の広場である。園路は高さ3mであるが、2020年までに約35万本が植樹されている。

このような嵩上げによる丘の設置例は仙台平野で多く見られるが、津波に対して粘り強く、避難場所として有効である。なお、これらの丘は、古くから静岡県にある「命山」²⁰⁾に通じるものであり、現代版の命山と言える。



写真-41 千年希望の丘/1号~3号丘：岩沼市下野郷浜

4.3.3 津波避難タワー・ビル

避難用の高所が得難い平野部では、津波避難施設が整備されている。例えば、仙台市は仙台東部



写真-42 津波避難タワー
(左：仙台市東部地域、右：石巻市魚町)

道路の海側の東部地域において、徒歩避難のための13箇所の津波避難施設（タワー型6箇所／写真42：全収容人員1,325人、ビル型5箇所：同1,450人、津波避難屋外階段2箇所）を整備している²⁷⁾。

5. まとめ

岩手県および宮城県の限られた範囲での現地調査ではあるが、3.11津波後10年が経過した被災地において、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、津波ハード対策による復興の姿を捉えることができた。

本調査から、津波ハード対策の視点は表-2のように整理できるが、復興に際して想定された視点は、復興の進捗に伴い、地域性に基づいた柔軟かつ多様な視点が加わり展開したことが分かる。

表-2の復興の特徴、課題は、以下の通りである。

1) 海岸堤防／防潮堤は、津波越流時にも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造とすることを基本としているが、地域性により、傾斜堤に留まらず、直立堤、さらに盛土・覆土あるいは盛土材を改良した複合構造化など多様化し、防潮堤の性能は、海陸交流性、景観性、空間利用性が考慮され、対応が図られている。さらに、防潮堤を新設しない高台移転、まちづくりも選択されている。

今後は、防潮堤の維持管理が課題である。

2) 復興の方針とされた「多重防御」は、当初通りに、平野部の数多くの地区でレベル2津波に対して計画的に実施されている。他方、復興では、海岸平野に留まらず、リアス海岸の低平地や狭隘な沢などにおいても、地域性に応じて、多重防御が図られている。

表-2 復興による津波防災の視点の展開

| 復興当初の視点 | 復興推進における柔軟・多様な視点 |
|---|--|
| (1) 海岸堤防 ・傾斜堤・直立堤 ・性能：構造機能・耐久性・津波減勢性 ・堤防高：レベル1津波対応 ・レベル2津波対応 粘り強い防潮堤 | (1) 海岸堤防 ・傾斜堤の覆土・植栽 盛土材改良：瓦礫利用 ・性能：海陸交流性・景観性 ・空間利用性も考慮 ・堤防高：レベル1津波対応 時に3.11津波想定 |
| (2) 多重防御 ・海岸平野が主対象 ・レベル2津波対応 | (2) 多重防御 ・リアス海岸／低平地も対象 道路・鉄道盛土の防潮構造 ・レベル2津波対応 |
| (3) 高台移転 ・リアス海岸で山地造成 ・目的：職住分離 居住の安全性 ・レベル2津波対応 | (3) 高所防御 ・リアス海岸の谷部の嵩上げ ・平野部の嵩上げ地盤・丘 嵩上げ地盤・盛土の連続化 ・津波避難タワー・ビル ・目的：避難も付加 ・レベル2津波対応 |

3) 復興の方針とされた「高台移転」は、リアス海岸での安全な居住地確保のために、広く進められている。他方、リアス海岸の低平地や海岸平野でも、嵩上げ地盤、避難用タワー・ビルなど、多様な高所の整備が図られている。これらは、高台移転とは別の高所構築であり、「高所防御」と言える。なお、平野部の嵩上げ地盤と道路盛土の連続化は、多重防御や避難の性能向上に有効である。

4) 防潮堤構造の多様化、多重防御の盛土、地盤の嵩上げなど、津波対策の多様化には土構造が深く関与しており、時に3.11津波対応にも繋がっている。これは、土構造が柔軟かつ津波に対して粘り強いためであり、その活用が有効である²¹⁾。

最後に、東日本大震災から10年を経て、津波に備える姿として新たな沿岸陸域の風景になった復興インフラに込められた英知、思いが、将来の東北地方での巨大地震、南海トラフ巨大地震などに対する津波防災で発現されることを祈っている。

参考文献（9月号から続く）

- 15) 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.59、2016。
- 16) 文献15)p.202. 17)文献15)p.232. 18)文献15)p.241.
- 19) 文献15)p.43. 20)文献15)p.238. 21)文献15)p.108.
- 22) 岩手県：水管理・国土保全局海岸災害復旧事業、高田地区海岸災害復旧事業概要、更新日：平成31年2月20日
- 23) 佐藤 忍：道路盛土における大規模地震時の評価手法と対策について、第32回日本道路会議、No.4004、平成29年10月。
- 24) 女川町：女川町復興まちづくり説明会（町中心部）、資料、平成24年7月。
- 25) 千年希望の丘交流センター：千年希望の丘、sennen-kibouno-oka.com
- 26) 横山勝英：舞根湾の震災復興調査から開く世界、2019年度 地球環境『自然学』講座 第16回、認定NPO法人・シニア自然大学校、2019.12.14
- 27) 仙台市：津波避難施設の整備について、更新日：2020年3月23日

常田賢一



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