

2011 年東北地方太平洋沖地震の 実被害に学ぶ土盛構造の耐津波特性とその活用

常田 賢一¹・谷本 隆介²

¹正会員 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 教授 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)

E-mail: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

²大阪大学工学部地球総合工学科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: rtanimoto@civil.eng.osaka-u.ac.jp

2011 年東北地方太平洋沖地震では、津波による越流により防潮堤、保安林など、多様な基盤インフラが破壊されたために、津波の抑制効果が無かったようなことも言われている。しかし、現地調査によれば、津波の越流に対して耐えて機能した構造物もあり、適正に評価することが必要である。本文は、河川堤防や道路盛土を含めた土盛構造に着目し、現地調査により把握できた仙台平野などの 13 事例の土盛構造について、津波前、津波後あるいは津波時の状況を現地調査および衛星写真などから比較、検証する。それらの結果に基づいて、ハード対策の一つとして土盛構造を活用するための有用な知見を提示するとともに、土盛構造を津波の抑制構造あるいは減勢構造として活用する設計概念を報告する。

Key Words: earthquake, tsunami, damage, earth structure, countermeasures

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では、津波による越流により防潮堤、保安林など、多様な基盤インフラが壊滅的な破壊を受けたために、それらの津波の抑制効果が無かったようなことも言われている。しかし、筆者らの現地調査^{1)~4)}によれば、津波の越流に対して耐えて機能した構造物も多数あり、今後の復旧、さらには復興に向けて、基盤インフラを適切に位置付けるためには、それらの機能を適正に評価しておくことが必要である。

本文は、河川堤防や道路盛土を含めた土盛構造に着目し、現地調査により把握した仙台平野、千葉県旭市および茨城県大洗海岸における 13 事例の土盛構造について、津波前、津波後あるいは津波時の状況を現地調査および衛星写真などのデータに基づいて比較、検証する。そして、それらの結果に基づいて、ハード対策の一つとして土盛構造を活用するための有用な知見を提示するとともに、土盛構造を津波の抑制構造あるいは減勢構造として活用する設計概念の考察結果を報告する。

2. 対象土盛構造と被害状況

(1) 検討対象

津波の抑制に係る構造は、たとえば以下のように分類できる。

海 域：防波堤、離岸堤、(人工)リーフ、磯 など
沿岸域：砂浜、防潮堤、消波ブロック、砂丘 など
陸 域：保安林あるいは防潮林、湿地、潟、湖沼、漁港水域、水路、河川(堤防)、道路盛土、鉄道盛土、土盛 など

現地調査^{1)~4)}によれば、これらの構造は津波、つまり、津波高、浸水高あるいは浸水深、遡上高のような高さの特性および流速のような速さあるいは水圧の要因の抑制あるいは減勢に寄与することが示唆されている。

本文は、これらの構造のうち、特に土を主体とする盛土構造(以下、土盛構造と呼ぶ)に着目しており、法がブロックなどで被覆されていないこと、日常的に水域に接していない状態にあることを基本とする。したがって、これらの条件に該当する道路盛土、鉄道盛土、河川堤防などは類似構造として扱う。

表-1 検討対象の土盛構造の概要

事例 No.	土盛 構造 の 分類	地点名	土盛部の構造諸元				津波条件	
			高さ (m)	法の 状態	表法の 勾配	その他	浸水深(m)	越流深(m)
1	河川 堤防	井土浦	表法側 3.9 裏法側 3.2 貞山堀法先 5.0	芝	1:2.7	表法L10.7m/H3.9m、天端幅6.9m、 裏法L10.9m/H3.2m、As舗装	7.75*	3.85*
2		東浦	裏法側2.7 貞山堀法先4.5	芝	1:3	堤防:L9.7m/H2.1m、天端幅6.5m、 無舗装	6.8*	4.1*
3	道路 盛土	竹野花・今泉	6**	ブロック 張・草 地・中低	-	4車線、ブロック張・高さ2m	1.6	無
4	盛土	関上	5.6	裸地 (砂)	1:2.7	表法L15m/H5.6m、天端幅24m、 延長150m、天端ネット表面敷設	6.1**	0.5**
5		関上南～空港東	1.5	草地・ 低木	1:7	表法幅11m、裏法幅4m、 表層0.6m下にネット敷設	6.1**	4.6**
6	人工 高台	冒険広場	14.9	中高木 草地	下部 1:4 上部 1:5	幅50m程度、長さ400m程度の船 型形状	10.55～13.8	無
7		日和山富士	6.55	草地	1:2.5	頂部: 12×20m程度	8.65	2.1
8		岩沼海浜緑地: 展望台	9.8	低木	表法 1:2 裏法 1:4	頂部: 直径10mの円形	6.8	無
9		岩沼海浜緑地: ローラー すべり台	9.5	草地	1:2.8	頂部: 20m×30m程度 底部: 60m×280m程度	3.9	無
10	盛土	足川浜(東)	1.5～2.5	草地	1:1**	ブロック積み護岸: 高さ3.5m程 度、パラペット無、法肩3.5m十 遊歩道3mの背後に盛土	2.5**	1.0～0**
11		西足洗	2.0	草地	1:1**	直立堤の高さは2m、パラペット高 0.7m、自転車道3m	3.2以上**	1.2以上**
12		三川	2.0	草地	1:1**	直立堤の高さは2m、パラペット高 0.9m、天端幅2.5m、裏法高1.5m～ 2m、自転車道3m	2.5～3.0**	0.5～1.0**
13	砂丘	大洗海岸	駐車場15m**、 トイレ13m**	草地、 法先: 裸地	1:3.3 ～1:10**	1:3.3斜面は一般部 1:10斜面は磯部	遡上高: 駐車場9**、 トイレ13.8**	駐車場無、 トイレ0.8

(注) *は仮想 (津波高10m)

**は推定。

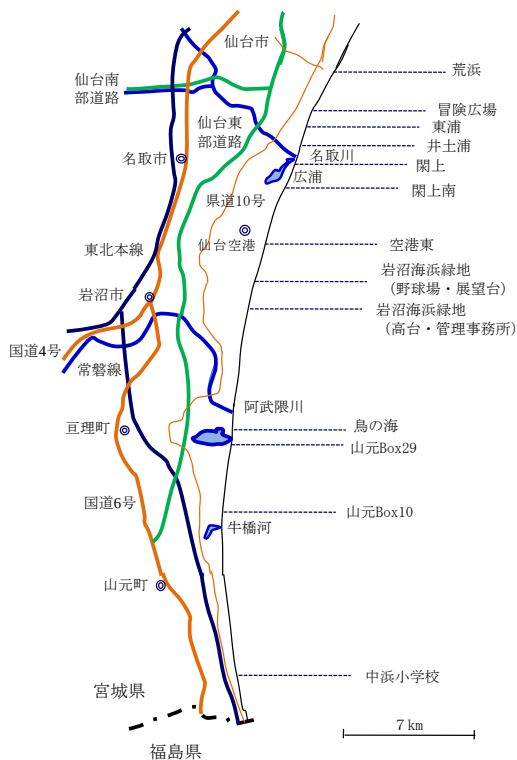


図-1 調査地点：仙台平野

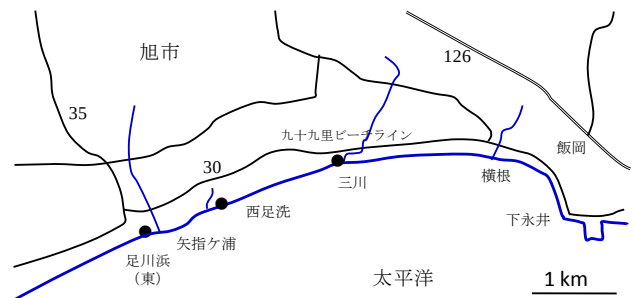


図-2 調査地点：千葉県旭市

平野では河川堤防、道路盛土、盛土および人工高台の9箇所である。ここで、事例1および事例2は貞山堀の嵩上げ堤防に位置づけられるが、土を主体とし、日常的に水域に接していないとして土盛構造としている。また、千葉県旭市では盛土の3箇所である。さらに、自然地形ではあるが、津波による土の斜面の侵食を考える際に参考になると思われることから、茨城県の大洗海岸の自然砂丘の1事例を対象としている。

表-1では、現地の観察や計測による、津波の越流に係る土盛部の高さ、遡上あるいは侵食に係る法の状態・法勾配、その他の諸元を対比している。さらに、各事例の土盛構造に作用する津波条件となる浸水深および越流深は不明であるので、仙台平野では津波高を一律に10mと仮想して盛土高や推定した地盤高から推測し、その他の箇所では越流あるいは遡上の状況から推定している。

本文で土盛構造として整理した対象箇所は表-1の13箇所であり、大洗海岸以外の仙台平野および千葉県旭市の調査地点を、それぞれ図-1および図-2に示す。仙台

(2) 被害状況

表-1 の各事例について、津波前、津波後あるいは津波時の状況および知見は、以下の通りである。

a) 事例1：井土浦

仙台市若林区の井土浦について、写真-1 は地震後の衛星写真⁹⁾である。貞山堀の山側に隣接する幅約 200m の湿地を囲むように新設された高さ約 3.9m、延長約 1.5km の土盛があるが、貞山堀の堤防の嵩上げが目的と思われる。表-1 のように、堤防の越流深は 4m 弱と想定されるが、写真-2 (矢印は押し波の方向を示す、以下同じ) の津波後の表法は、張り芝に砂の堆積は見られるものの、顕著な侵食は皆無である。写真-3 の天端の As 舗装 (t=10cm) は部分的に剥離しているが軽微である。なお、写真-1 の左下隅で津波が集中したと思われる延長 100m 程度の箇所では、天端が 1m 程度侵食され、法面の芝は剥離し、表面が洗われているが、全体構造的な被害は小規模である。写真-4 は裏法および法先の状態であるが、裏法の侵食は表層に留っており、法先の地盤の侵食が軽微な箇所もある。また、写真-5 は裏法先に形成された落堀と法の部分欠落である。落堀の形成による不安定化による法の欠落と思われるが、規模は法面内留まりであり、天端に至る大規模なものではない。

ここで、特に注目されるのは、堤防背後に出現した落堀である。写真-6 は衛星写真⁹⁾であるが、落堀の背後の保安林は津波後も比較的残留しており、落堀の無い箇所との差は明確である。これは、落堀により津波が擾乱され、減勢されたためと思われる。したがって、落堀の発生は、津波抑制にはプラスに効くことが示唆される。



写真-1 井土浦の新設堤防 4/6：事例1



写真-2 津波後の新設堤防の表法 4/30：事例1



写真-3 津波後の新設堤防の天端 4/30：事例1



写真-4 津波後の新設堤防の裏法 4/30：事例1



写真-5 裏法尻での落堀の形成と法面の欠落 4/30：事例1



写真-6 堤防の裏法側の落堀の形成の有無と保安林 4/6：事例1

b) 事例2：東浦

写真-1 の井土浦の新設堤防は、その北端 (写真-1 の左端) から貞山堀に沿って整備されているが、約 600m 北側の東浦地先の堤防が当該箇所である。写真-7 は衛星写真⁹⁾であるが、堤防の背後に落堀が形成された箇所とそうでない箇所 (写真-8 参照) がある。保安林の残留との関係は事例1と同様であり、本例でも落堀の津波抑制効果が分かる。写真-9 のように貞山堀の既設堤防に約 2.1m 嵩上げされた盛土であるが、表法の張り芝は全て剥離しているものの、侵食は剥離だけに留まっている。また、写真-10 は裏法であるが、侵食は表層だけであり、法先には落堀が形成されている。

ここで、残留した保安林は延長約 225m、幅 150m 程度であるが、保安林の背後には写真-11 のように、津波に

より流出していない住宅がある。浸水深 3.5m 程度で 1 階天井まで浸水しているものの、残留した保安林により津波が減勢されたものと思われ、保安林の効果を示唆している。

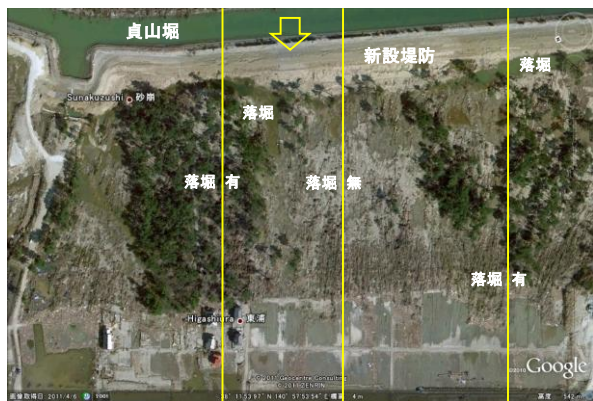


写真-7 新設堤防の背後の落堀と保安林 46: 事例 2



写真-8 落堀の有無と保安林の残留状況 430: 事例 2



写真-9 津波後の表法の状況 430: 事例 2



写真-10 津波後の裏法と落堀 430: 事例 2



写真-11 残った保安林とその背後の住宅 430: 事例 2

c) 事例 3: 竹野花・今泉

仙台平野での津波は内陸の奥深くまで達したが、仙台市から山元町までの間には、海岸線から 2.3km (名取川、亘理町付近) ~ 4.2km (若林区付近) の位置に仙台東部道路および常磐自動車道がある。ここで、名取川の河口から左岸上流 2.5km 付近の仙台東部道路の盛土構造について、写真-11 は山側の状況、写真-12 は海側の状況である。横断 Box および高架橋が介在するが、盛土高は 6m 程度であり、法尻は高さ 2m のブロック積み土留めである。浸水痕は、海側の盛土法面のブロック積みで 1.9m、横断 Box および高架橋橋脚で 1.6m、山側のブロック積みで 1.15m であり、道路盛土の山側の浸水深は海側の約 2/3 である。また、道路盛土から望む海側の住宅被害や漂流物の状況が山側よりも顕著であることから、道路盛土の抑制効果が見られる。なお、浸水深はブロック積み高以下であるので、法面の侵食、越流は見られない。

今回の津波に対して、道路盛土によるある程度の効果が見られるが、道路盛土の高架橋、河川、水路、横断ボックスなどの開口部では、津波を完全には抑制できないので、以下の 3 条件の考慮が必要である。

1) 道路盛土の越流の有無

仙台東部道路は海岸線からある程度の距離があるため、今回の津波は道路盛土を越流しなかったが、海岸線に近く越流する場合は、通行車両の被害の発生、道路管理方法、堤防と同じような構造上の配慮が必要である。

2) 河川からの越流の有無

今回は隣接する名取川からの越流は無かったと思われるが、河川が近く、津波の遡上により、道路盛土より上流で越流した場合は、抑制効果は得られない。

3) 道路盛土の平面線形の方法

今回は海からの津波の進行方向に対して、直角に近



写真-12 仙台東部道路盛土の山側の状況 430: 事例 3



写真-13 仙台東部道路盛土の海側の状況 430: 事例 3

い交差角度となる道路盛土の平面線形であったために、津波を防潮できることになったが、両者が平行方向に近い場合では道路盛土の防潮効果は期待できない。

今回の津波では、これらの3条件はいずれも該当しなかったが、その意味で幸運であったと言える。

d) 事例4：閑上

湖沼の広浦の一角を漁港とした掘込構造の閑上漁港では、海側に砂浜があるが、写真-14⁹⁾のように津波前から高さ5.6m、天端幅24m、表法勾配1:2.7、延長150m程度（計測は7/9）の盛土があった。造成の経緯は未確認であるが、漁港の浚渫土砂の堆積場であったと思われる。

写真-15は津波の襲来時の様子⁹⁾であるが、保護ネットが敷設された盛土により、津波が抑制されていることが分かる。この盛土は津波対策を意図したものではなかったが、その存在により背後の保安林が流出を免れ、保安林内の名取市サイクリングターミナルへの影響も抑制された（浸水深：4.3～50m）と思われる。海岸線方向に150m程度の延長で設置されているものの、盛土の両端部での津波の周り込みにより、効果は限定的であるが、盛土による津波抑制の可能性を示唆する。

越流の有無あるいは程度について、写真-15の天端のネットは津波前の衛星写真（20090814）⁹⁾でも確認できるので、覆土されていない状態であったと思われる。また、調査時（7/9）において、ほとんどが流出しているが、ネットの一部が天端に残留し、30cm程度の松の若木が残っていることから、越流深は僅か（表-1では0.5mと推定）であったと思われる。一方、写真-16は調査時の表法であるが、4箇月経過しているものの、顕著な侵食は見られない。また、写真-17は裏法側であるが、法の一部に窪みなどによる越流跡があるが、全体としては軽微な侵食である。なお、写真-18のように、盛土背面に高さ1.6m、幅12.8mの低盛土があるが、その表層は侵食されておらず（写真の奥側）、前面の盛土が低い箇所（写真の手前）では層厚0.6m程度の表層が流され、補強ネットが露出している。なお、盛土の南端から背後を見たのが写真-19であるが、倒れた樹木の向きが左から右奥方向にあり、盛土端での津波の周り込みが分かる。また、盛土の保護ネットが流されているのも分かる。

以上、僅かに越流したものの、盛土による背後地に対する津波の影響の抑制効果を示唆する事例である。



写真-14 浜辺に置かれた盛土：津波後4/6：事例4



写真-15 津波襲来時の盛土の状況 3/11：事例4



写真-16 盛土の表法 7/9：事例4



写真-17 盛土の裏法と背後 7/9：事例4

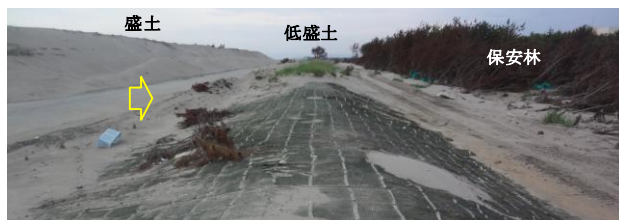


写真-18 盛土の表法 7/9：事例4



写真-19 盛土の南端からの回り込みの様子 7/9：事例4

e) 事例5：閑上南～空港東

事例4の南側から仙台空港の東海岸の間には、砂浜と保安林の境界部に低盛土が設置されていた。これは、事例4の盛土の背後の低盛土の延長上にあると考えられるが、写真-20の残留した盛土から、高さ1.5m程度、表法長11m程度、裏法長4m程度の三角形断面の砂の盛土であったと思われる。表面は草地あるいは松などの低木で覆われている（写真-21参照）が、写真のように0.3m程



写真-20 低盛土の侵食，落堀の形成 9/11：事例5



写真-21 侵食されていない表法の草地 9/11：事例5



写真-22 盛土全体が侵食，流出 9/11：事例5

度の覆土の下には，補強ネットが敷設されている。砂浜位置での浸水深について，隣接する事例4の閑上の6.1mと同じとすると，盛土の越流深は4.6m程度である。この比較的水深のある越流により，盛土背後に幅3m程度の簡易舗装道路，さらに保安林があったが，道路の背後が侵食され，落堀が形成された。落堀は深さ1.5m程度以下，幅10～15m程度であるが，その侵食が拡大した箇所では，舗装，裏法まで侵食され，さらに進行した箇所では表法の侵食により，盛土全体が流出している（写真-22参照）。なお，写真-20のように，ネットの補強により，覆土だけが流出し，その下の盛土は原形を留めている場合もあり，写真-18と同様に，ネットによる表面，表層の補強の有効性を示唆している。

f) 事例6：冒険広場

現地調査により，仙台市若林区に10mを超える写真-23の高台があることが分かり，その被害状況を調査した。この高台は冒険広場と呼ばれる公共地であり，写真-24の衛星写真⁹⁾のように，海岸線の約350m位置から，幅80m程度で陸側に約400mの延長の船形をしており，海側が最も高く，西側に向かって傾斜し平地につながっている。頂上付近は高さ5.85mの円錐形であるが，頂上には標高15.89mの表示がある。頂上の地盤高は14.9m（計測値）であり，園内の案内看板の損壊から推定した浸水深は，少なくとも10.55mである。芝山⁷⁾は頂上から1.1m下の浸水痕の報告をしているが，これによると浸水高（＝遡上高）は14.79mになる。一方，頂上の地

盤高を14.9mとすると，遡上による浸水深は13.8mになる。したがって，浸水深は10.55～13.8mと推定される。

冒険広場の高盛土は流線形に近い形状をしており，その先端方向から津波が来て，両側面に分流して，流下して行ったことになるが，津波が当たる先端部分は水衝部に相当する。このような形状の高盛土の津波に対する安定性の問題は，水衝部，側面部の法面の侵食である。

高盛土の側面の斜面は写真-25，海側の先端部分は写真-26であるが，いずれも崖状の植生斜面であり，通常の堤防と同程度あるいはやや緩い勾配（1:4～1:5，表-1）である。それぞれの侵食状況について，表面が侵食されている箇所（写真-27参照）もあるが，盛土全体の安定に及ぼすようなものではない。



写真-23 冒険広場の高台 52：事例6

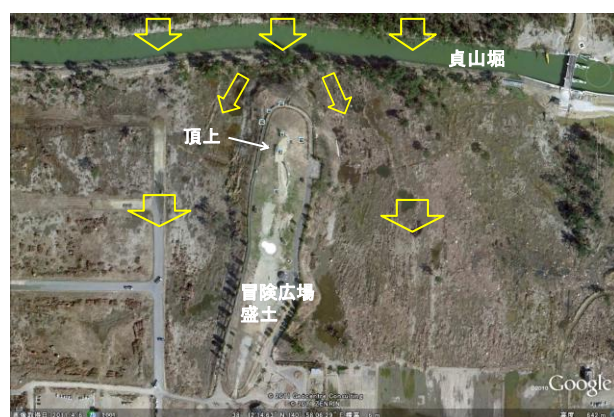


写真-24 上空からの冒険広場と周囲 46：事例6



写真-25 津波が周り込んだ冒険広場の側面 52：事例6



写真-26 冒険広場の高台の表法 52：事例6



写真-27 写真-26の一角の階段の侵食状況 52：事例6

g) 事例7：日和山富士

名取市の閑上地区は、津波の浸水により壊滅的な被害を受けたが、その一角に日和山富士と呼ばれる小高い丘がある。この丘は地盤高 6.55m（計測値）であり、頂部は 12m×20m 程度の平場になっている。この盛土は津波による越流を受けているが、柴山⁹⁾は頂部の松の木の高さ 2.1m での痕跡を報告しており、これによると当地の浸水深は 8.65m となる。写真-28 および写真-29 は、それぞれ全景および海岸側からの近景である（7/9 時点）が、法勾配は 1:2.5 程度であり、その表面は草地であったと思われる。津波により盛土が相当規模で侵食されたとも言われているが、日和山を囲む道路と盛土の規模を見る限りは、天端を含めて盛土の顕著な侵食は無かったと推測される。写真-29 の鳥居は、その新しさから津波後に復旧されたものと思われる。

盛土の構築過程、内部構造は不明であるが、8m を超える浸水深、2m 程度の越流に対して、高台の天端、前面および側面における侵食は小規模であり、機能上の問題は無いと言える。



写真-28 山側からの日和山 7/9：事例7



写真-29 海側からの日和山 7/9：事例7



写真-30 展望台の全景 7/8：事例8

h) 事例8：岩沼海浜緑地・展望台

岩沼市の海岸近くにある岩沼海浜緑地には、野球場の南隣に造成された小規模な高台がある。写真-30 は全景であるが、地盤高 9.8m で、頂部は直径 10m の円形、勾配は 1:2（表法）～1:4（裏法）程度の人工盛土である。法面には低木が植栽されているが、登坂にあるパイプ手すりのうち、傾いている柱の基礎の位置を津波の浸水位置と見なすと、浸水深は 6.8m である。天端の越流は無く、浸水した法面の顕著な侵食は皆無である。

事例6から事例8からは、津波による天端の越流、盛土前面での衝突あるいは側面の迂回流によって、盛土には致命的な欠損は発生しないことが推察できる。

i) 事例9：岩沼海浜緑地・ローラーすべり台

事例7の南側に繋がる緑地の一角に、ローラーすべり台用の高台がある（写真-31 参照）。西側は貞山堀が隣接し、東側は海岸（ブロック積み護岸がある）つながる保安林の低地であり、低地から高さ 2.6m 程度は下部盛土として造成され、さらに上部の盛土が行われ、その南側の緩傾斜地にローラーすべり台（9/12 時点では見当たらない）が設置されていたようである（写真-32 参照）。

上部盛土の底面は 60m×280m 程度で海岸線方向に細長い。天端は 20m×30m 程度の広場であり、東側の低地からの高さは 9.5m である。頂上の広場はブロック敷きであるが、写真-33 のように地震動により南北方向に波打った変状、亀裂が発生しており、両側の盛土斜面のクラックにつながっている（写真-34 参照）。南斜面の下方には、噴砂らしい砂の堆積痕（写真-35 参照）があり、下部盛土あるいは基礎地盤の液状化の発生が推察される。

写真-32 のように、上部盛土から 30m 程度離れた位置に管理事務所があるが、玄関のガラスの浸水痕による浸水深は 1.3m である。海側に低地が隣接しているが、低地からの浸水深は 3.9m となる。言い換えると、下部盛土により管理事務所の浸水深は低減されたこととなる。なお、上部盛土の高さは 6.9m であるので、浸水深 1.3m では、高台は越流しておらず、津波は高台を回り込んで、貞山堀、さらに背後地に浸水したと思われる。ここで、貞山堀の山側の天端道路（写真-31 の貞山堀の右側）のガードレールについて、高台背後では流出しないで残存している箇所があり、高台による津波の減勢を示唆する。

以上の状況から、盛土による浸水深の低減効果とともに、新たに盛土を造成する場合、地震動による盛土の安定性の照査、確保の必要性が示唆される。



写真-31 貞山堀に隣接する高台9/12：事例9



写真-32 高台の海側の状況9/12：事例9



写真-33 高台の頂部の広場のクラック9/12：事例9



写真-34 南側法面のクラック 写真-35 噴砂跡9/12：事例9

j) 事例10：足川浜（東）

九十九里浜の北端に位置する旭市の海岸である。当浜の西側は大型ブロックによる緩傾斜堤であり、ここで取り上げる東側はブロック積み護岸である。ブロック積み護岸は、高さが3.5m程度で、天端にパラペットはなく、幅3.5mののり肩に隣接して幅3mの自転車道がある。写真-36は自転車道の背後に整備された高さ2mの盛土（表法勾配1:1、推定）である。津波高を隣接する矢指ヶ浦と同じ6m程度とすると、護岸の天端位置で2m以上の越流深と思われる。盛土の天端の草の状況あるいは裏法尻の侵食痕により越流が確認できるが、越流深0.5m程度の小規模な越流であったと推察される。したがって、越流が小規模であるために、盛土の全表面の植生は、侵食されておらず、植生の被覆でも十分である。

写真-37は小規模な津波が、密生するやや低木の松の保安林に浸水した後の状況であるが、倒れている保安林は海側の限られた範囲に留まり、密な保安林の減勢作用が効いていたと思われる。

また、写真-38は護岸の背後に整備された盛土であるが、その高さは1.5～2mであり、不ぞろいになっている箇所である。したがって、盛土の越流深も、堤防の高さ1.5m、2.0mおよび2.5mに対して、それぞれ1m、0.5m



写真-36 津波(低越流)を受けた盛土天端4/23：足川浜（東）



写真-37 津波(低越流)後の保安林4/23：足川浜（東）



写真-38 高さが不ぞろいの盛土4/23：足川浜（東）



写真-39 写真-38の盛土横切る通路4/23：足川浜（東）

および0mと推察される。

また、写真-39は写真-38の盛土の一角であり、背後地と海岸を連絡する通路のために、盛土が開けられている箇所である。手前の海側からの浸水の集中により、通路の両側の盛土が侵食されている。このような箇所は、盛土の天端高より低い浸水の進入を許容し、開口部の拡大による浸水の促進の恐れがある。

津波の越流、浸水は、低い所、開口部から展開しやすいこと、構造的な不連続部が侵食しやすいことが基本原理であり、このような弱部を作らないことが必要である。

k) 事例11：西足洗

写真-40は野中川河口の左岸部であるが、河口の前後で盛土が途切れ、盛土の端部は津波の浸水の回り込みによる集中により侵食されている。なお、河口から50mほど上流にある日の出橋では、海側に隣接した自転車専用道橋が、津波により単支間の桁が8.5mほど飛ばされ、道路橋の路面上に打ち上げられている。

河口の東西の海岸の防潮堤は、パラペット付きの直立堤であり、幅3m程度の自転車専用道を挟んで盛土がある。直立堤の高さは2m、パラペットの高さは0.7mであり、盛土高は2mである。当地点では、直立堤の前の消波ブロックが設置されているが、汀線は近く、直立堤との高度差も小さい。ここで、津波高を4.5m以上と見



写真-40 河口で途切れた盛土の端部の侵食4/23：西足洗



写真-41 裏法尻での樹木の侵食4/23：西足洗

なし、汀線と直立堤の下端が同レベルとすると、パラペット上端での越流深は 2.5m、自転車道からの津波高は 3.2m となり、盛土の越流深さは 1.2m 以上であったと推定される（表-1）。

この越流による盛土の裏法の状況が写真-41 であるが、裏法面、法尻、法先の侵食は軽微であり、樹木も残存しており、1m 強の越流に対して、高さ 2m の盛土は十分に耐津波性があると言える。

l) 事例 12：三川

当該地点も事例11と同様な海岸特性であり、写真-42のようにパラペット（高さ0.9m）付きの高さ2mの直立堤であり、自転車専用道を挟んで高さ2mの盛土がある（写真-42参照）。写真-43は直立堤の防潮堤の背後で自転車道を挟んで整備された盛土の表法であるが、盛土の天端幅は2.5mであり、裏法高は2m～1.5mである。ここで、直立堤の下端と汀線の高度差を1mと想定すると、盛土天端の汀線高は4.5mとなるが、津波は盛土を越流しているの、浸水高は4.5m以上と想定される。盛土の越流深は不明であるが、天端あるいは裏法の侵食の状況などから0.5m～1m程度と推定される（表-1）。

ここで、写真-44は盛土の裏法尻の状況であるが、ほとんど侵食されていないので、0.5～1m程度の越流深の場合、1.5m～2m程度の裏法高では、裏法先の侵食は発生しないと思われる。また、写真-45は盛土の裏法が小段状である箇所である。海側の盛土高は2m、天端幅は2.2mであり、裏法側の小段（幅4.5m）の上および下の盛土高は、それぞれ1.2mおよび1.5mであり、表法側より裏法先の地盤は低いが、小段下側の法面が若干侵食している。

現地調査^{1)～4)}により、緩傾斜護岸での津波の遡上の恐れ、緩勾配の自然砂丘での遡上の注意、さらに直立堤が望ましいとの考察をしているが、新しい堤防、盛土の整備においても、防潮機能を高めるためには、必要



写真-42 直立堤の防潮堤4/23：三川



写真-43 津波(低越流)を受けた盛土の表法面4/23：三川



写真-44 津波(低越流)による軽微な裏法尻侵食4/23：三川



写真-45 小段構造の裏法4/23：三川

に応じて補強を施して、安定性を確保しながら、可能な限り表法面に勾配を持たせることが有効である。たとえば、事例 11 あるいは事例 12 のような直立堤の背後に整備した高さ 2m の盛土は、高さは低い緩傾斜堤あるいは自然砂丘よりも勾配 (1:1, 推定) がある例である。

m) 事例 13：大洗海岸

茨城県の大洗海岸の背後は自然砂丘であるが、土盛構造を考える場合の参考になることから、現地調査を実施した。自然砂丘の形態は、大別すると、単一な片斜面の場合と裏法がある両斜面の場合があり、前者では遡上が、後者では遡上と越流が課題となる。ここで、大洗海岸の自然砂丘は片斜面であるので、津波高でなく、遡上高が問題となる。なお、自然砂丘の斜面勾配は、通常、安息角で安定しているが、下部は日常的な侵食を受けている

ために、部分的に急勾配化していると思われる。

自然砂丘は場所により斜面勾配が異なり、**写真-46**（A地点とする）は一般的な地形であり、**写真-47**（B地点とする）は砂浜の先が磯である地形である。大洗海岸では海拔15m程度の高さに道路があり、駐車場などの施設が整備されているが、これらの施設から海岸線までの水平距離は、A地点で50m程度、B地点で120m程度であり、B地点では磯の存在により砂浜の幅が広い。さらに、A地点の駐車場位置の海拔が15m程度、B地点のトイレ位置（**写真-49**参照）の海拔が13m程度であるので、斜面の平均勾配は、A地点で1:3.3、B地点で1:10程度である。

今回の地震による大洗海岸の津波高は不明であるが、北側に隣接する那珂湊港および南側に隣接する大洗港では、津波高が3.5m程度（潮位補正無し）と想定できるので、大洗海岸の津波高は最大で4m程度と予想している。また、津波の遡上高は、A地点では**写真-48**の左上の柵付近（**写真-52**参照）の海拔として9m程度、B地点では**写真-49**の左奥のトイレの建物が浸水（浸水深0.8m程度）していることから13.8m程度と推定できるので、斜面勾配の緩いB地点の遡上高はA地点より高い。

自然砂丘は人工堤防と異なり、斜面の下部は、常時、台風などの潮位変動の下で恒常的に波の侵食作用を受けて裸地になっている砂浜帯と、その上部で波のかからない位置に形成された植生帯で構成されている。**写真-50**および**写真-51**は、自然砂丘の斜面の侵食状況である。これらが津波によるものか不明であるが、津波が到来し、砂浜帯の高さ以上の遡上高になる場合は、砂浜帯と植生帯の境界部が侵食され、植生帯の剥離、流出が発生し、さらに遡上高に応じて上方に拡大すると思われる。このような箇所は、斜面の断面方向の不整形部、構造的な弱部である。通常、自然砂丘の斜面は平坦ではなく、海岸線方向あるいは断面方向に凹凸がある3次元不整形構造である。**写真-52**は、海拔15mの駐車場から6mほど下にある凹部の侵食の状況である。このような斜面の上部では、津波以外に侵食原因は考えられないので、今回の津波による侵食と考えられるが、このような斜面上に有る凹部には津波が集中し、侵食も発生しやすいと思われる。津波前の自然砂丘は安定した状態にあることから、津波により斜面の前面の水位が上昇したとしても、それは短時間であるので、砂丘内の地下水位の顕著な変化（＝上昇）には至らず、仮に表層部の侵食が発生しても、斜面全体が崩壊することにはならないと思われる。ただし、砂丘内の日常的な地下水位の状況を把握し、特に、地下水位が高い場合は、表層下部の侵食による斜面の不安化の有無の検証が必要である。

写真-50あるいは**写真-51**の表層の侵食深はおおむね1m程度であるが、仮に今回の津波による侵食だとしても、侵食の程度はこの程度であると言える。元斜面は残された植生帯の表面の高さで、砂浜方向に伸びていたと想定でき、今回の津波による下部の侵食を含めて、長年月を経て斜面は後退するが、地震毎の植生帯に至る津波では**写真-50**のような部分的な侵食に留まると思

われる。

なお、裏法がある両斜面構造の自然砂丘では、越流しない場合、単一な片斜面と同様に取り扱えばよいが、越流するあるいは越流を想定する場合は、天端、裏法面、法先の侵食および裏法先の欠落、さらに、背後地の浸水の考慮が必要になる。ここで、裏法構造の安定は、土盛・土堤防と同様に法先の地表面上に滞水しない限り、致命的な崩壊には至らないと思われる。ただし、背後地の浸水は水処理が必要であり、浸水深あるいは流速が大きく、背後地に影響する場合は、それらの影響を低減あ



写真-46 一般的な勾配 (1:3.3) の斜面 : A地点



写真-47 勾配が緩い (1:10) 斜面 : B地点



写真-48 一般的な勾配斜面の遡上位置 : 左上柵付近 : A地点



写真-49 緩勾配の斜面の遡上位置 : 左奥トイレ付近 : B地点



写真-50 津波により侵食された植生帯



写真-51 斜面下部の侵食跡



写真-52 斜面上部の窪地の侵食の状況

るいは抑制することが必要である。さらに、自然砂丘の横断方向だけでなく、平面的な地形あるいは河川の有無など、平面方向の津波の影響の面的評価が必要である。

3. 浸水深およびその距離低減特性

土盛構造を始めとして、基盤インフラの津波抑制の効果を評価し、検証するためには、津波による背後地の浸水深が必要になる。ここでは、現地調査により計測した浸水深を表-2 で整理している。図-3 は海岸線からの距離と浸水深の関係である。同図では、筆者らによる 14 箇所に加えて、(独)港湾空港技術研究所⁶⁾(1 箇所)および柴山ら⁷⁾(3 箇所)の報告を併記しているが、個々のデータは図-6 の汎例を参照されたい。データ数

表-2 海岸線からの距離と浸水深

No.	市町	浸水深測定箇所	海岸線からの距離 (m)	浸水深 (m)
1.	仙台市	荒浜 (港湾空港技術研究所)	223	4.4
2		荒浜小学校 (柴山ら)	720	5.05
3		冒険広場: 高台	350	10.55
4		東浦: 保安林の背後の住宅	650	3.5
5	名取市	仙台東部道路: 竹之花	2400	1.6
6		関上: 日和田	600	8.65
7		関上漁港 (柴山ら)	440	8.3
8	岩沼市	仙台空港 (柴山ら)	1120	2.98
9		岩沼海浜緑地: 野球場スポーツコート	350	6.7
10		岩沼海浜緑地: 展望台	300	6.8
11		藤曽根: 住宅	900	3.7
12	亶理町	岩沼海浜緑地: 管理事務所	800	3.9
13		亶理漁港東側: 鳥の海ホテル	270	5.0
14		亶理漁港北側: 漁協の建物	600	4.6
15		亶理漁港西側: 住宅	810	3.9
16	山元町	仙台東部道路: Box山元29	2450	1.5
17		仙台東部道路: Box山元10	3150	0.8
18		中浜小学校	400	9.1

は限られるが、海岸線からの距離にしたがって浸水深は低減する。

ここで、表-2 の 18 データの平均は (1) 式で近似できるが、 $R^2=0.827$ である。

$$H=8.23 \times \text{EXP}(-0.000728 \times X) \quad (1)$$

ここに、H: 浸水深(m), x: 海岸線からの距離(m)

図-3 から分かるように、海岸線から近い位置において、平均より大きい浸水高の事例が見られる。また、

(1) 式では海岸線位置での浸水深は 8.25m であるが、仙台平野における津波高は 10m とも言われている。海岸線で想定される津波高を (1) 式における海岸線の浸水深と見なし、(2) 式の定数 a を任意に設定してみる。

$$H=a \times \text{EXP}(b \times X) \quad (2)$$

ここで、a および b は定数であるが、a を 10m から 15m まで、1m 間隔で変化させ、定数 b および R^2 を求めると表-2 になる。これによると、a が 10m から 12m であると、図-4 に例示した 12m の場合のように、浸水深 8~9m のデータが外れてしまう。また、浸水深 8~9m のデータを包絡するようにすると、a を 14m あるいは 15m にするのが適当であるが、図-5 に例示した 15m の場合のように、離れた位置ではやや過小評価になる。したがって、本文では、(2) 式で表記する場合、両者の中間の $a=13m$ を想定する。この場合、浸水深は (3) 式で定式化され、図-6 の曲線で図示できるが、 $X=1,000m$ の浸水深は 4.8m、 $X=2,000m$ のそれは 1.76m になる。

$$H=13 \times \text{EXP}(-0.001 \times X) \quad (3)$$

表-3 浸水深の近似方法および主要距離の浸水深の比較

近似方法	定数		R^2	距離 X (m)				
	a	b		250	500	1000	2000	3000
基本	8.23	-0.000728	0.827	6.9	5.7	4.0	1.92	0.93
a=10	10	-0.000844	0.788	8.1	6.6	4.3	1.85	0.79
a=11	11	-0.000901	0.741	8.8	7.0	4.5	1.81	0.74
a=12	12	-0.000954	0.681	9.5	7.4	4.6	1.78	0.69
a=13	13	-0.00100	0.613	10.1	7.9	4.8	1.76	0.65
a=14	14	-0.00105	0.537	10.8	8.3	4.9	1.71	0.60
a=15	15	-0.00109	0.457	11.4	8.7	5.0	1.70	0.57
(4) 式				10.8	8.5	4.0	2.50	1.00

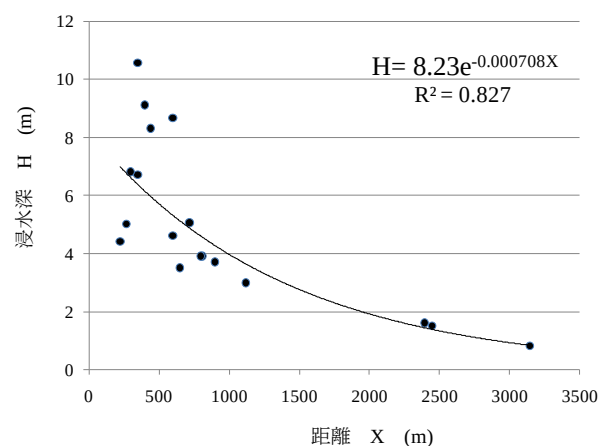


図-3 浸水深の距離低減: 平均値の場合

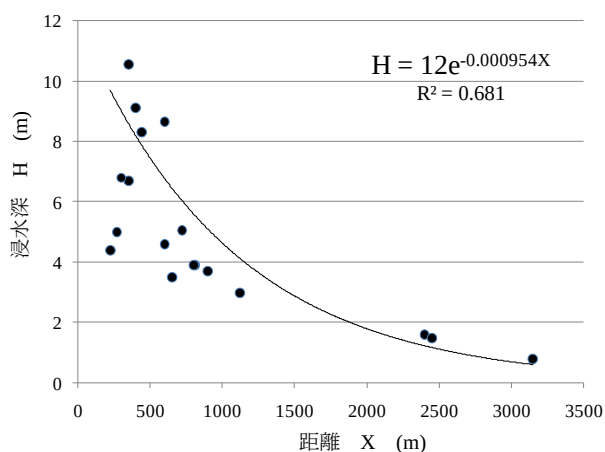


図-4 浸水深の距離低減：a=12の場合

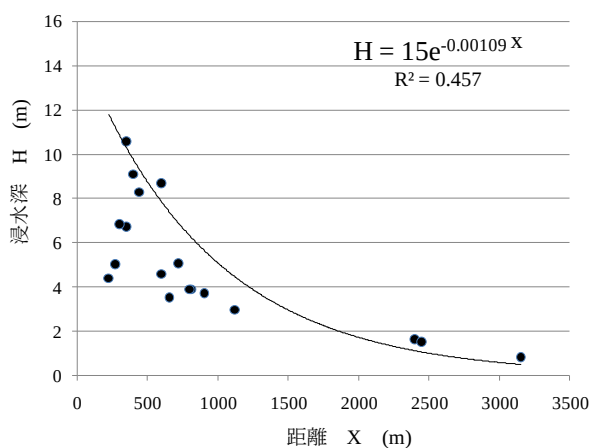


図-5 浸水深の距離低減：a=15の場合

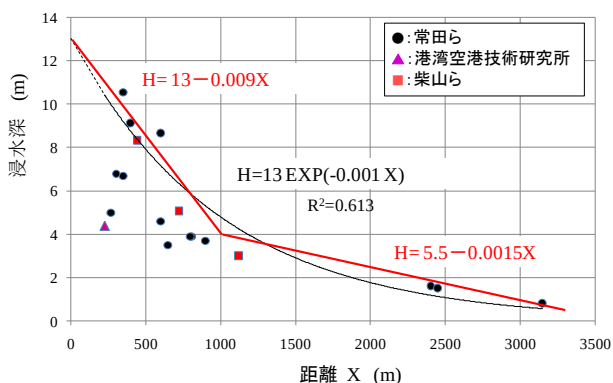


図-6 浸水深の距離低減：a=13および(4)式の場合

一方、離れた位置でやや過小になる (3) 式に替えて、安全側を考慮して、図-6 の通り、18 データをほぼ包絡するように 2 つの直線で近似させると、(4) 式が提示できる。ここで、海岸線の浸水深は (3) 式に合わせて 13m としたが、(4) 式によると、X=1,000m の浸水深は 4.0m、X=2,000m のそれは 2.5m になる。

$$0 \text{ m} \leq X \leq 1,000 \text{ m}$$

$$H = 13 - 0.009 \times X \quad (4-1)$$

$$1,000 \text{ m} \leq X \leq 3,500 \text{ m}$$

$$H = 5.5 - 0.0015 \times X \quad (4-2)$$

4. 土盛構造による津波ハード対策の方向性

(1) 津波対策のための津波特性

津波特性および現地調査に基づいて、工学的な津波規模を表-4で例示する。通常は津波高、浸水深あるいは遡上高が注目されるが、津波による住宅などの被害に係するのは浸水深である。本文では飯塚ら⁹⁾による浸水深を参考にして、浸水深を1.5m以下、1.5～4mおよび4m以上に3区分した。また、津波高は便宜的に浸水深の2倍程度としている。なお、浸水深の3区分は、以下のように定義する。

大規模津波（津波高8m以上、浸水深：4m以上）

2階以上で浸水し、家屋が流出する浸水規模

中規模津波（津波高4～8m、浸水深：1.5～4m）

1階床上から2階が浸水し、流出する家屋もある浸水規模

小規模津波（津波高4m以下、浸水深：1.5m以下）

床下あるいは床上の浸水に止まり、家屋が流出しない浸水規模

(2) 津波ハード対策のための性能評価方法

津波のハード対策の基本理念は、避難による人命の守護だけに止まらず、住宅などの生活・社会基盤の致命的な被害を防ぐこととする。ここで、生活・社会基盤の被害を防ぐことは、人命の守護にもなる。その場合、予め想定する津波規模だけでなく、津波の不確定性も考えたハード対策の想定が必要になるが、ハード対策が目標とする性能を明確にする性能評価が、合理的であるとともに、国民に対する説明責任を果たす上でも望ましい。

性能評価の視点は、通常の土木構造物の性能設計と同様に、ハード対策自体の安全性、供用性および修復性であるが、津波の場合、その影響を受ける住宅などの安全性、供用性および修復性も考える。ここで、住宅などの性能は、ハード対策自体の供用性とも見ることができ、本文では区別する。まず、ハード対策自体では、

- 1) 越流しない状態のハード対策が安定であること
- 2) 越流した状態のハード対策が安定であること、言い換えると、損傷しても致命的な決壊はしないこと

これらは、通常考えられているが、津波ではハード対策の影響の明確化のために、さらに、次の性能を考える。

- 3) 越流による浸水により、住宅などが所定の被害レベルにあること

ここで、所定の被害レベル、つまり性能の評価のため

表-4 背後地の影響を考慮した浸水深による津波規模の区分例

津波規模	津波高	浸水深	備考
大規模	8m 以上	4m 以上	仙台平野沿岸
中規模	4～8m	1.5～4m	旭市：足川浜・矢指ヶ浦・横根・下永井
小規模	4m 以下	1.5m 以下	

表-5 津波に対する住宅などの要求性能の区分

区 分	性能の水準	浸水深 H (m)	流速 u(m/s)
性能1	浸水しない	0	0
性能2	浸水が住宅の床下に止まる	$0 < H \leq 0.5$	$0 < u \leq 4.2$
性能3	浸水が床上1m程度以下であり、住宅は中破に至らず、流されないレベル	$0.5 < H \leq 1.5$	
性能4	浸水は1階が浸る程度以上となり、住宅は中破あるいは大破し、流されなくとも損傷が大きいあるいは流されるレベル	$1.5 < H$	$4.2 < u$

(注)中破、大破、浸水深の1.5m、流速4.2m/sは、飯塚・松富(2000)による

には、住宅の位置での津波の評価指標および許容値を設定する必要がある。飯塚ら⁹⁾は住宅の中破あるいは大破に係る浸水深および流速を提示しているが、本文では住宅が流されない状態を飯塚らの中破に至らない状態とし、中破の判断基準である浸水深1.5mおよび流速4.2m/sを参照して、津波に対する性能を以下のように設定する。

性能1：浸水しないレベル

性能2：浸水が住宅の床下（0.5m程度）に止まるレベル

性能3：浸水が床上1m程度以下であり、住宅は中破に至らず、流されないレベル

性能4：浸水は1階が浸る程度以上となり、住宅は中破あるいは大破し、流されなくとも損傷が大きいあるいは流されるレベル

ここで、性能1から性能4までの性能に対応する浸水深および流速は、表-5で例示できる。これらの性能と表-4の津波規模を対応させると、性能1～性能3が小規模津波、性能4が中規模津波あるいは大規模津波である。

なお、住宅の浸水深および流速は、ハード対策の位置の越流深および流速と関係するので、それに基づいてハード対策の規模が規定される。ここで、住宅およびハード対策位置の間に、津波を減勢する機能、例えば、盛土、保安林、水路などがあれば、それを定量的に評価する。

(3) 津波ハード対策の基本的な考え方

現地調査^{1)~4)}および前述の性能評価の視点に基づくと、津波のハード対策の基本的な考え方は、以下のように例示できる。

- 1) 津波は海、河川、湖沼などの水域に封じ込める、換言すれば、背後地に浸水させないことを基本とする。
- 2) 封じ込めは、防波堤、防潮堤、河川堤防、砂浜、離岸堤の基本構造による。なお、本文で減勢機能が示唆された堤防、盛土との併用構造も考える。
- 3) 封じ込めが困難あるいは想定以上の津波の可能性を考慮する場合は、基本構造および併用構造における越流による浸水を許容する。
- 4) 越流による浸水では、落堀、保安林、水路、水域など、住宅に至る経路における減勢機能を評価する。
- 5) 浸水の評価は、木造あるいは簡易鉄骨構造の住宅の機能で行い、浸水深および流速を評価指標とする。

- 6) 浸水の許容値は、表-5の性能1から性能3のいずれかを満足し、住宅の損傷は大きくなく、流されないこととする。

以上は暫定的であるので、今後、検証が必要である。

(4) 津波のハード対策の概念

現地調査^{1)~4)}で明らかになった平野部のハード対策を、海岸から陸地内部にかけた、おおよその位置および類似の抑止あるいは減勢の機能を考慮すると、以下のように対策要素が抽出され、配置できる。

離岸堤・岩礁・砂浜・平坦岩礁・潟～防潮堤・砂丘～保安林～堤防・盛土～落堀・水路・水域～保安林～水路・水域～高台・道路盛土

現地調査によれば、これらの対策要素は、大なり小なりの津波の抑制あるいは減勢の機能があり、その定量評価は今後、検討が必要である。ここで、入力としての遡上高と流速（水圧）に対して、順次、減勢し、許容される浸水深と流速に至るプロセスの概念は、図-7のように考えられる。同図のように、減勢機能毎の減勢量が設定できれば、それらの組み合わせにより所要の減勢量を満足するハード対策が設計できる。

たとえば、図-7の例1では多様な減勢機能を考慮して許容浸水深などにする場合である。ここで、現地調査によれば、盛土による津波の抑止あるいは減勢の機能が活用が推奨できるが、例2は防潮堤と盛土の組み合わせにより津波を抑止する場合であり、その概念は図-8で例示できる。つまり、津波の遡上高に対して、盛土での越流

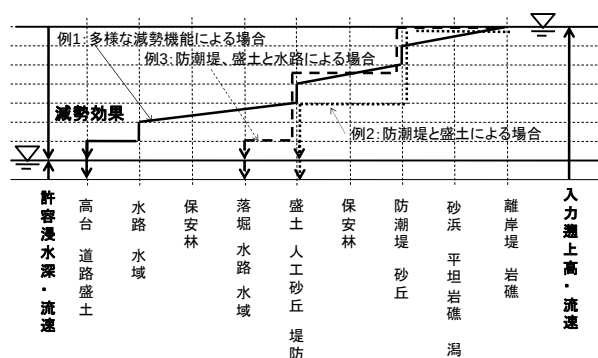


図-7 多様な減勢機能の活用・連携の概念

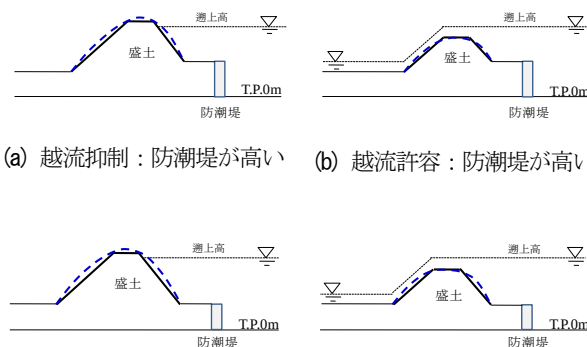


図-8 防潮堤と盛土による津波抑止・減勢対策の概念

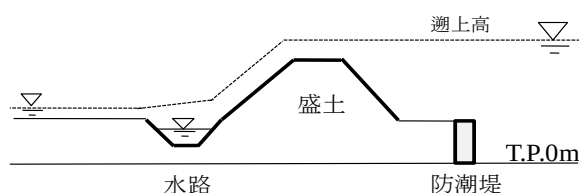


図-9 越流に対する水路の減勢を付加した対策の概念

を抑制する場合と許容する場合に分けられ、さらに、防潮堤と盛土による減勢の機能分坦は、防潮堤を高くする場合と盛土を高くする場合が考えられる。ここで、機能分坦とはそれぞれが受け持つ津波の遡上高であり、防潮堤、盛土に関する当該地点の諸条件に依存する。なお、図中の盛土に併記した破線は、のり面を曲線状にした盛土を想定している。

さらに、現地調査でも推察されたように、越流を許容する場合、盛土は全体的な破壊に至らず、さらに、落堀が形成されるようにしておくと、それによる減勢効果が期待できるが、落堀と同様な効果を期待して、積極的な対応として既存水路を活用する、あるいは予め整備しておくことにすると、図-7 の例 3 および図-9 のような対策が例示できる。

なお、以上のような多様な減勢機能を組み合わせる概念は、多重防御の一つの形態と考えることができる。

5. おわりに

本文は、2011年東北地方太平洋沖地震における仙台平野などの津波災害において、土盛構造の津波抑制、さらに耐侵食性に着目し、現地調査および衛星写真などのデータに基づいて検証した。その結果、ハード対策の一つとして土盛構造を活用するため、以下の有用な知見が得られた。

- 1) 津波に対して有効と言われるも、平野部では事例が少ない高地、高台について、現地調査により、土盛構造の検証に係る、主として人工的に造成された13箇所（仙台平野9箇所、旭市3箇所、大洗海岸1箇所）を抽出した。
- 2) 土盛構造には、堤防、盛土、人工高台、砂丘があるが、その表面はアスファルトの他、裸地、芝、草地、低木・中高木による場合など多様であるが、比較的規模が大きい（高さが概ね4m以上）土盛構造では、津波に対する前面、側面の法面の侵食は、表層的であり、土盛構造が決壊する規模には至りにくい。なお、盛土高が低く（たとえば、1.5m程度）、越流深が大きい（3～4m以上）大きい場合は、流出に至ることがある。
- 3) 津波が土盛構造を越流する場合、背後に落堀ができることがあり、これにより津波は減勢される。この落堀による津波の減勢により、その背後の保安林、さら

に住宅は津波による流出を免れることがある。なお、今回の地震による落堀の構造特性については、文献10を参照されたい。

- 4) 津波のハード対策のためには、守護すべき対象、その対象に必要な要求性能を明らかにし、所要の津波特性（浸水深、流速）を明確にした性能設計の概念が必要かつ有効である。
- 5) 土盛構造は、その耐震性を確保して、既存の防潮堤の防潮機能を補完して、津波の遡上を封じ込める、あるいは越流を許容して守護すべき対象の要求性能を確保するために有効である。

ここで、津波対策では人命が最優先であることは必然であるものの、避難により“安全”は確保できるが、“安心”は得られないことを肝に銘じ、“安全と安心”が確保できるハード対策による財産・資産の保全も必要である。

謝辞：本文に係る現地調査に際しては、（株）NIPPO 常磐道相馬工事事務所の陳 文仲氏および本学大学院工学研究科地球総合工学専攻博士前期課程の秋田 剛君の協力を得ている。記して感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 常田賢一・小泉圭吾：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その1）、地盤工学会誌、Vol.59, No.8, pp.36～42, 2011.
- 2) 常田賢一・小泉圭吾：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その2）、地盤工学会誌、Vol.59, No.9, pp.34～40, 2011.
- 3) 常田賢一・小泉圭吾：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その3）、地盤工学会誌、Vol.59, No.10, pp.37-43, 2011.
- 4) 常田賢一・谷本隆介：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その4）、地盤工学会誌、Vol.59, No.11, 2011.（投稿中）
- 5) ©2011 Google, 地図データ©2011 ZENRIN.
- 6) 海上保安庁提供：航空機 MH906 撮影、時事通信社 HP から
- 7) 高橋重雄他：2011 年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報、港湾空港技術研究所資料、No.1231, 2011.
- 8) 柴山知也・松丸亮・Miguel Esteban・三上貴仁：宮城県・福島県津波被害調査、土木学会東日本大震災震災調査速報会、2011.
- 9) 飯塚・松富：津波氾濫流の被害想定、海岸工学論文集、第 47 巻、pp.381-385, 2000.
- 10) 谷本隆介・常田賢一・秋田 剛：2011 年東北地方太平洋沖地震の津波により形成された落堀に関わる現地調査、第 31 回土木学会地震工学研究発表会講演論文集、2011.（投稿中）

RESISTANCE AND APPLICATION AS HARD COUNTERMEASURES OF EARTH BANK
AGAINST TSUNAMI BASED ON LESSONS
IN THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE

Ken-ichi TOKIDA and Ryusuke TANIMOTO

In the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, very huge damages of civil engineering structures etc. occurred by tsunami attacks along the rias coast and plain coast of the Pacific Ocean. For the urgent repair and the future reconstruction of these structures, the fundamental damage characteristics of these structures should be clarified by the field surveys from which effective lessons can be expected. In this paper, several important lessons on the resistance characteristics of 13 earth structures such as river dykes and sand banks which are obtained from the field surveys conducted by the authors are indicated. Furthermore, based on the above lessons, new design concepts of the hard countermeasures against tsunami with use of the earth structures are discussed and proposed from the geotechnical engineering view points.