

## 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）

Lessons from Tsunami Disaster and Future Views for Hard Countermeasures

常田 賢一（ときだ けんいち）  
大阪大学大学院 教授小泉 圭吾（こいずみ けいご）  
大阪大学大学院 助教

（その1）<sup>1)</sup>の続編として、視点3、視点4および視点5に関して得られた知見は、以下のとおりである。

## 3.3 視点3：保安林の機能

仙台平野の太平洋沿岸には、広い所では海岸の防潮堤から600 mにも及ぶ幅がある松林が帯状に分布している。

また、陸前高田市では高田松原と呼ばれる保安林が海岸沿いにあった。津波は、この松林を突きぬけて、あるいはなぎ倒して内陸部に浸入し、加えて流木によっても甚大な被害を及ぼしたため、防潮機能は発揮されなかったとも言われているが、保安林は津波に対して機能したのか、あるいは将来の津波に対して機能するのかが視点3の課題認識である。

ここで、保安林は、海・陸方向の幅、海岸線方向の延長、樹木密度、樹種、樹高などが基本特性として考えられるが、樹林の残存状況、後背地の浸水およびそれに起因する被害が評価対象になる。なお、“防潮林”の呼称があるが、調査地の保安林が防潮を意図したものか否か、把握できていないので、本文では“保安林”と呼ぶ。

以下に、保安林の被災およびその影響の状況から推察される知見を示す。

## 【知見13】保安林、樹木は津波の力を減勢できる

写真—35は津波後の住宅の状況であるが、海岸線から650 m程度離れている。住宅と海岸の防潮堤の650 mほどの間には貞山堀があるが、その大部分は松の保安林であった。津波により、写真の手前のように保安林はほとんどが流出してしまったが、残存している箇所もあり、その一例が写真—35である。写真の住宅の1階部分は損傷を受けているが、基本的な構造は残っており、海側に隣接して残存した保安林（幅230 mほど）の効果と言える。このように、保安林といえどもある程度の減勢効果はあるはずであり、本事例が証である。なお、保安林が倒れても、その場に残れば、下流域の流木被害を減ずることができる。上空から見た当該場所は写真—36であり、写真—35の住宅は写真中央下に見え、住宅の存否と保安林の流出の有無の対応は明確である。同場所での流された保安林と残存した保安林の様子は、写真—47からも分かる。

また、写真—37の旭市の事例がある。これは下永井海岸なぎさリフレッシュ事業の海岸であり、防潮堤は緩傾斜化されている。防潮堤の背後は、自転車道、さらに九十九里ビーチラインがあり、その先が住宅地である。事業の一環として、防潮堤の海側の法肩付近には、写真—

37のように、幅10 m、長さ15 mほどの松林の植栽帯が15 mほどの間隔で設置されている。ここで、長さ15 mほどの松林の空いた空間があるが、空いた箇所と松林がある箇所を比較すると、松林がある箇所の方が、写真—38のように住宅の被害が小さいように思われる。

また、写真—39は、保安林の中を海岸線に向かって作られた道路盛土である。貞山堀の水門から防潮堤まで280 m程度であり、天端幅6 mの両法肩は地震前から鉄板が幅1 mで全長に置かれていた。盛土は高さ3 m程度であり、法面は芝である。道路盛土の中間部分



写真—35 保安林により流出を免れている住宅：東浦④



写真—36 津波後の保安林と写真—35の住宅：東浦④



写真—37(a) なぎさリフレッシュ事業による保安林：横根 F



写真—37(b) 写真—37(a)の上空からの状況：横根 F



写真-38 写真-37の保安林の山側の状況：横根 F



写真-39 海側から見た海岸への進入路：井土浜③



写真-40 写真-39の突き当たりの水門付近の被害：井土浜③



写真-41 松に守られた祠：荒浜①

の被害は無いが、水門側は全体的に侵食を受け、アスファルト舗装が剥離し、鉄板が飛ばされている。他方、防潮堤側は両法面、法尻が侵食し、防潮堤の裏法の侵食部分につながっている。水門周辺の貞山堀では、写真-40のように、堤防の侵食、重機の転落が見られる。このように、保安林を取り除いたオープンな空間である道路は、津波の通路になり、被害を大きくしたと思われ、言い換えれば、保安林の減勢効果を減じたということになる。

さらに、写真-41は若林区の県道10号沿いで、大小12本ほどの松に囲まれた祠が、高さ1.5 m程の小さな丘の上に残っている様子である。ここは海岸線から1 kmほどであり、津波が浸水しているはずであるが、その姿を留めているのは、松の木の減勢の効果によると思われる。

【知見14】保安林の幅は、大きいほど減勢効果がある

保安林の減勢効果の大小に関係する要因の一つである保安林の幅の効果に着目して事例の考察をする。

写真-42は、保安林の幅が異なる住宅地における津波後の衛星写真である。ここでは、600 mほどの幅がある保安林を切り開いて造成されており、保安林の狭小部は50 m程度であり、広い箇所は、元来、写真のように二



写真-42 保安林を開拓した住宅地〔地震後〕荒浜①



写真-43(a) 幅が広い保安林の背後地：荒浜①



写真-43(b) 幅が狭い保安林の背後地：荒浜①



写真-44 保安林の開発による住宅、工場：二の倉⑦



写真-45 保安林幅が狭い防潮堤背後の住宅被害：二の倉⑦

重になっていたかは不明であるが、300~450 mの幅である。防潮堤から250 mほどに貞山堀があるが、写真-43は貞山堀から山側を遠望した状況であり、写真-43(a)は幅が広い保安林の背後地であり、写真-43(b)は幅が狭い保安林の背後地である。衛星写真および現地状況から、幅が広い保安林の背後地では残存している住宅も見られるが、幅が狭い保安林の背後地では住宅はほとんど流出していることが分かる。このように、保安林の幅が住宅の被害の程度に関係があることが示唆される。

また、類似の事例として、写真-44は津波後の衛星写



写真一46(a) 盛土の裏法尻に形成の落堀と保安林：東浦④



写真一46(b) 写真一46(a)に隣接した保安林の流出箇所：東浦④

真であるが、海岸線から900 m 辺りに貞山堀(写真の下)があり、写真一42と同様に、幅600 m 程度の保安林を切り開いて、貞山堀と海岸の間に住宅や工場が建てられている。そのため、海側に残された保安林の幅は50 m 程度であるが、道路が通っていたり、松の木の生え方がまばらである印象が強く、防潮機能は小さいと思われる。そのため、写真一45のように、海に近い住宅は流出し、住宅地内のアスファルト舗装の道路の山側が洗掘されたりしている。なお、写真一44を詳細にみると、工場の建物が残留しており、一般住宅との構造の違いはあるものの、工場位置での保安林の幅が住宅地の3倍程度あることから、保安林の幅の効果も示唆していると思われる。**【知見15】**落堀が保安林に対する減勢に効く

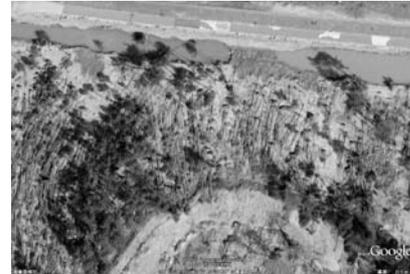
写真一46(a)は津波により堤防の裏法先に形成された落堀と残された保安林の状況である。また、写真一46(b)は写真一46(a)の残された保安林から左方向に目を転じた山側の遠望であるが、津波で流出した保安林が目立つ。さらに、同じ場所で角度を変えてみたのが写真一47であるが、子細に見ると落堀の位置(奥の○印)で保安林が残り、法先が洗掘されていない位置(手前の○印)では保安林が流出している。つまり、津波により形成された落堀が津波の減勢に係ることが示唆される。

さらに、衛星による上空からの写真一48は中央上の落堀(左右に広がる帯状部分)の途切れた箇所が、写真一47で法先が洗掘されていない箇所である。同箇所の背後(写真の下側)は保安林が流出しているが、同箇所の左側の落堀の背後の保安林は残存していることが分かる。

なお、既出の写真一10(b)<sup>1)</sup>では防潮堤が全体的な破壊をすると、落堀が形成されないことに言及した。さらに、同写真の上方あるいは下方の落堀の背後を見ると、保安林はある程度が残留し、その前面の防潮堤では落堀が形成され、かつ裏法は表層侵食に留まっている。ここで、防潮堤が全体的な破壊をすると、落堀が形成されないため、落堀の形成による減勢効果を期待する場合は、防潮堤が破壊しないこと、させないことが前提条件になると思われる。なお、ある程度の規模がある落堀は、視



写真一47 盛土の裏法尻の侵食と保安林：井土浦⑤



写真一48 写真一47の上空からの状況：井土浦⑤：上方が新設堤防と落堀



写真一49 津波の通りやすさと被害の差異：写真上は防潮堤から遠望・写真下は背後の住宅地：荒浜①

点5の水域相当と考えられ、減勢効果も考えられる。

**【知見16】**保安林の樹木は、密生していると減勢効果は高いが、樹高、浸水深に依存する

防潮林の幅が狭い箇所において、樹木密度が小さい、あるいは倒木により低密度化した箇所は、津波が通りやすくなるため、住宅地の被害が大きいように思われる。

写真一49は津波の保安林の通りやすさと被害の差異を比較したものであり、上の写真は防潮堤からの遠望であり、樹木あるいは立木の密度差がうかがえる。他方、下の写真はその背後の住宅地であり、津波の通りやすい箇所(写真の手前の矢印)では、アスファルト舗装の剥離があり、路肩の洗掘が大きいといった状況にある。他方、津波の通り難い箇所(写真の奥の矢印)では、アスファルト舗装の剥離が無く、宅地の侵食の程度も小さい。

写真一50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。他方、写真一51は大規模な津波が密生する、やや高木の松の保安林に浸水した後の状況であるが、保安林はほとんどが倒されており、密な保安林の減勢効果はそれほど発揮できなかったと思われる。

**【知見17】**裏法先付近の樹木は、法尻の侵食の影響を受



写真—50 津波（小規模）後の保安林：足川浜 B



写真—51 津波（大規模）後の保安林：井土浜③



写真—52 裏法尻で樹木の侵食：荒浜①



写真—53 裏法尻での樹木の侵食：西足洗 D

け、その程度により根洗い、倒木、流出がある。防潮堤の裏法先は、樹木が植生されていることが多いが、越流により法先が洗掘される。写真—52は侵食により、倒木あるいは流出した状況であるが、写真—53は侵食が写真—52より軽微であり、樹木も残存している。さらに、侵食が小規模な場合は発生しないこともある。

### 3.4 視点4：高盛土の機能

仙台平野は平坦であるため、本地震の津波は内陸の奥深くまで達するとともに、避難の際も、数や場所が限られる学校などの比較的高さのある施設に依存したと思われる。したがって、仙台平野の沿岸には高台は無いが、現地調査の際に、仙台市若林区の海浜公園の一角に造成された高盛土の存在が判明した。そこで、このような人工の高盛土が津波に対して機能したのか、あるいは将来の津波に対して機能するのかが視点4の課題認識である。

なお、視点4の高盛土は、前述の河川堤防、後述の土盛り・土堤防と類似の構造であるが、相当規模の土構造物として、堤防などと区別する。さらに、類似の防潮機能が期待できる自然砂丘にも目を向けるが、詳細は視点9で取り上げる。ここで、高盛土では、浸水深、盛土法面の侵食状況などが、自然砂丘では、高さ、勾配などが評価対象になる。

以下に、高盛土および旭市の自然砂丘、大洗港の自然



写真—54(a) 津波を避けた高盛土：海浜公園冒険広場②



写真—54(b) 写真—54(a)の海側からの状況：冒険広場②

砂丘を引用し、それらの状況から推察される知見を示す。

【知見18】所要の高さがある高盛土は、越流を免れる

津波は津波高あるいは浸水高と言われるように、その高さは重要な要素の一つである。そして、基本的には、盛土の天端が津波高、さらに遡上高以上の海拔であれば、越流しないので、浸水も発生しないことになる。

海岸公園の冒険広場になっている高盛土は、東側の貞山堀と西側の県道10号の間にある幅50 m程度、長さ400 m程度の船型形状であり、海・陸方向、つまり、東西方向に細長い。さらに、写真—54(a)のように海側（写真の右方向）の貞山堀側が高く、県道10号に向かって傾斜して低くなっている。高盛土と貞山堀の間は20 mほど離れているが、貞山堀の堤防の天端から3 mほど低い窪地となっており、コルゲートパイプを設置と土盛りをして、貞山堀から高台へのアクセス歩道が付けられている。高盛土への遊歩階段があるが、登り切った遊歩道位置の高さは、貞山堀の堤防の天端から5.5 m程度である。

高盛土は、上記の遊歩道から、さらに、お椀型に土盛りされた構造であり、その高さは6 mほどである。したがって、貞山堀の堤防の天端からはおおよそ11.5 mの高さになる。遊歩道沿いの2本の鉄柱に支持された園内の案内看板（ほぼ海に面した向き）が根元で折れて、17 mほど移動している。これから、遊歩道より1~1.5 m程度の高さまでは津波が達したものと推察され、貞山堀（堤防高3 m）の水面あるいは高盛土の周辺地盤面からの高盛土頂点の高さは14.5 mとなり、水面からの浸水高は9.5~10 mと推定される。なお、高盛土の外周法面は、写真—54(b)の下部で表面侵食が見られるが、致命的な侵食ではない。

さらに、写真—55は地震後の衛星写真である。上方の左右の帯が貞山堀であり、流線型の高盛土を回り込むようにある倒木の様子から、津波の流れ方が見てとれる。また、範囲は定かではないが、高盛土の下側（山側）の半分程度の低い盛土部分は浸水していることがうかがえる。ここで、写真の左側の空き地は、がれきや漂流物の1次集積場である。



写真—55 上空からの高盛土：冒険広場②：上が海側



写真—56 高盛土からの俯瞰（南側）：海浜公園冒険広場②



写真—57 津波を受けた高盛土の前面：海浜公園冒険広場②

なお、写真—56は展望台から見た高盛土の南側の様子であるが、写真—54(b)の倒木から分かるように、隣接してあった保安林の立木は見当たらない。

【知見19】水衝構造の高盛土であっても、自然植生法面の侵食はわずかである

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と考えられる。したがって、このような形状の高盛土の津波に対する安定性が問題となるが、その一つが水衝部および側面部の法面の侵食である。

高盛土の側面の斜面は写真—54(b)、海側の先端部分は写真—57のような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急な勾配である。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もあるが、盛土全体の安定に及ぼすようなものではない。

【知見20】自然砂丘は、規模に応じた防潮機能が発揮できるが、緩勾配では遡上に注意が必要である

冒険広場の高盛土は人工盛土であり、砂丘は自然の作用により創出された自然盛土と言え、その意義を考える。

写真—58は茨城県大洗町の大洗港であり、海側からの北側の住宅地の遠望である。岸壁から約200 m からは高さ20~30 m 程度の砂丘地形の高台であり、斜面南向きに住宅地が形成されている。岸壁から100 m 程度離れ



写真—58 港側からの砂丘上の住宅地の遠望：大洗港



写真—59 津波を避けた自然砂丘地形：横根 F



写真—60 写真—59の砂丘背後の三峰神社と道路沿いの海拔表示：横根 F



写真—61 勾配の緩い自然砂丘：足川浜 A

たコンビニエンスストアでの浸水深は約1.5 m であり、海面からの岸壁高を2 m とすると、浸水深は3.5 m 程度と想定される。したがって、津波は砂丘斜面下端部に達した程度であるが、さらに高い津波では遡上が発生すると思われる。

写真—59は防潮堤から50 m ほどでの状況であり、中央の樹木に覆われた自然砂丘の背後に住宅があるが、海側は整地されており、津波により被災した家屋が撤去されたと思われる。この自然砂丘は2~4 m の高さがあるが、既出の写真—37(b)では、右上部の上下の二つの道路に挟まれた木立の場所であり、西側(写真の左側)に川がある。砂丘の背後にある住宅の住人によれば、津波は隣接する河川方向から砂丘を回り込んで浸水し、浸水深は2 m 程度であったと言う。なお、砂丘の一角には写真—60の山側に向かって置かれた三峰神社があるが、道路面から2.5 m ほどの祠は浸水しなかったという。写真—59のビーチライン位置での海拔は4.1 m (写真—60参照)であり、浸水深の2 m から浸水深は6.1 m 程度と算定でき、防潮堤上の自転車道はビーチラインの道路面から0.7 m 高いので、防潮堤位置の越流深は1.3 m 程度

になる。このように、砂丘高さと浸水深との関係で、自然砂丘が防潮機能を発揮することがあること、回り込みがない連続性が必要であることが示唆される。

なお、写真—61は自然砂丘であり、ほぼ安息角の勾配で形成されている。自然の作用では、それほど急な斜面の形成にはならないので、津波に対しては、緩傾斜堤と同様に遡上が懸念されるので、注意が必要である。

### 3.5 視点5：水域の機能

仙台平野の太平洋沿岸には、保安林が带状に分布しているが、その内部あるいは山側の外縁を南北に走る貞山堀がある。また、随所に井土浦、閑上港、広浦、荒浜港、鳥の海といった相当規模の水域が存在する。津波は、これらの水域に流入し、通過したと思われるが、これらの水域が津波に対して、何らかの機能を果たしたのか、あるいは将来の津波に対して機能を果たせるのかが視点5の課題認識である。

ここで、水路では水路幅、堤防構造が、港湾では面積、護岸構造などが基本特性として考えられ、被害状況、後背地の浸水およびそれに起因する被害が評価対象になる。

以下に、水域の被災およびその影響の状況から推察される知見を示す。

#### 【知見21】陸域の水域は、津波の減勢、貯留に資する

水路、港湾などは、津波が浸入した場合、その空間の規模に応じた貯留機能に加えて、乱流状態が形成されることによる津波の減勢が想定される。実際の減勢効果の定量的評価は難しいが、事例から可能性を探る。

写真—62は津波が浸入し、通過した貞山堀であるが、防潮堤から250 mほどに位置し、幅30 m程度、水面から天端までの高さが1.2 mほどであり、水深は1 m程度と思われる。写真からでも、若干の貯留の可能性は想定でき、浸水深が小さければ、この程度の貯留機能も有効となる。なお、減勢については不明である。

写真—63(a)は荒浜漁港であるが、上の写真は海側からの浸水が水域に入り込む側を、下の写真は水域から出る側である。特に興味を引くのは下の写真であり、護岸背後の住宅の損傷が、水域の背後にない住宅よりも小さいように思われる。前者の住宅にも水域以外からの浸水があった可能性もあるが、漁港水域の減勢効果がうかがえる。また、漁港水域の規模は縦（海・陸方向）400 m程度、横200 m程度、岸壁の水面高1.5 m程度であるので、相応の貯留機能があると思われる。なお、当漁港は“鳥の海”の湖の一角にあるので、河口から湖への津波の遡上も考慮する必要がある。

以上の現地状況に対して、写真—63(b)は地震後の衛星写真であるが、漁港の湾内の西側（写真の左側）の住宅の状況と、北側および東側のそれは異なっており、漁港水域が被害軽減に関係することが示唆される。

#### 【知見22】新たに形成される落堀は、水域として津波の減勢に資する

裏法侵食について、知見7<sup>1)</sup>では越流による裏法先の侵食、知見17では裏法先付近の樹木に対する裏法の侵食の影響、知見15では落堀の保安林に対する減勢効果



写真—62 津波が通過した貞山堀：荒浜①



写真—63(a) 荒浜港の沿岸：写真上は背後の海側から流入、写真下は港の北側の様子：荒浜港⑥



写真—63(b) 津波後の荒浜港周辺：右が海側



写真—64 堤防の裏法尻に形成された落堀：井土浦⑤

を考察したが、ここでは落堀を水域として捉える。現地調査では、洪水時と同様に、防潮堤、堤防などの裏法先で形成される落堀が随所で見られているが、津波の浸水中に新たに形成される水域として見ると、対策に関係すると思われる新たな知見が見えてくる。

写真—64は代表的な落堀であるが、写真—46と同様に背後の保安林は、すべてではないが残存している。落堀の保安林に対する津波の減勢効果は知見15で考察したが、別に保安林だけでなく、住宅であってもよい。つまり、落堀を水路や漁港水域と同様に、津波の減勢に資する水域空間と捉えると理解しやすい。言い換えると、防潮堤や堤防が決壊しない範囲において、落堀の形成を許容すること、さらに、裏法先に落堀に相当する水域空間を設けることなど、防潮堤の設計に結びつくヒントにな



写真-65 貞山堀の津波が下る側の法面：荒浜①



写真-66 貞山堀の海側の表法：東浦④



写真-67 貞山堀の山側の堤防：写真上は破堤，写真下は侵食止まり：井土浦⑤

る。

なお、写真-64などは落堀の規模が小さい（幅 5～10 m 程度）が、写真-22<sup>1)</sup>の防潮堤では裏法崩壊が発生しており、落堀は幅 20 m 程度で大規模である。

【知見23】水路は堤防、護岸と同じ防潮機能があるが、裏法面の侵食に注意が必要である

貞山堀のような水路に期待できる、津波に対する機能には三つ考えられる。一つは防潮機能であり、これは堤防の高さとその安定性が課題である。二つ目は減勢機能、三つ目は貯留機能であり、幅、深さなどの規模が課題である。後者の二つは知見21で考察しているの、ここでは前者の安定性、つまり、耐侵食性を考える。

写真-62でも津波に対する裏法（左側の堤防の表法）では侵食されているが、表法（右側の堤防の表法）では軽微である。写真-65は上記の裏法の近景であり、住宅地内のアスファルト舗装道路（残存）と同レベルの堤防天端の法肩から裏法での侵食が分かる。

写真-66は別な場所の貞山堀において、津波に対する表法の状況である。水面から下部のブロック張りが 2 m、上部の土堤が 1 m である 3 m の高さの堤防であるが、表法の侵食は見られない。なお、この場所では貞山堀の山側に隣接して、新たな堤防が 1 m 高く造成されており、その表法面の張り芝だけがすべて剥離しているが、



写真-68 広大な湿地，浦などの存在：井土浦⑤



写真-69 防潮堤の前の白亜紀層海岸：茨城県ひたちなか市

その原因は知見28（その3）で考察する。

写真-67は貞山堀に近接した2箇所の山側の堤防である。堤防の水面高は 3 m ほどであり、上の写真の箇所では津波により堤防が決壊しているが、裏法の侵食が進行したためである。一方、裏法の侵食の程度が小さい場合は、下の写真のように天端のアスファルト舗装の剥離や裏法の小規模な侵食に留まる。

【知見24】相応の幅の遠浅海岸，湿地帯であれば，津波の増勢を抑制できる

写真-68は名取川左岸河口付近に広がる井土浦とそれに隣接する湿地帯である。両者の間に貞山堀があるが、海岸線から湿地帯の山側縁までの距離は 400～500 m にも及び、湿地帯だけでも幅 150 m 強の大規模な平担地形である。津波に対して、この広大な空間の機能に興味があるが、人工リーフと同様、ここを津波が進行する間は、少なくとも津波高あるいは水位の変化（増加）の抑制が期待できると思われる。

茨城県ひたちなか市には、阿字ヶ浦漁港から南下した所に、白亜紀層海岸がある。この海岸は東向きであり、写真-69のように海岸の防潮堤は数 m と比較的低いが、海側は白亜紀層が 50 m 程度以上で露頭したリーフ状の磯である。海岸沿いの県道沿いの住宅で明確な津波被害は見られない。定量的評価はできないが、本事例のように、砂浜海岸ではなく、防潮堤の前浜がリーフ状の磯海岸の場合も、人工リーフと同様に津波の増勢（波高あるいは水位の増加）を抑制する機能があるように思われる。

#### 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）、土と基礎、Vol. 59, No. 8, pp. 36～42, 2011.
- 2) ©2011 Google, 地図データ©2011 ZENRIN.

(原稿受理 2011.6.9)