

2015 年度（第 51 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 15-B-8

これまでとこれからの沿岸防災・減災

関西大学 教授

河田 恵昭

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2015 年 8 月

これまでとこれからの沿岸防災・減災

Disaster Reduction and Resilience in Coast Evolved from Disaster Prevention

河 田 恵 昭

Yoshiaki KAWATA

1. まえがき

なぜ、表題のような小論を書くことになったのか。その理由から説明しよう。1961年に施行された災害対策基本法は、事後対策を進める法律である。すなわち、二度と被害を繰り返さないという思想で作られたために、災害対策を先行することは不可能であった。唯一、1978年に成立した大規模地震対策特別措置法は、東海地震が予知できるという前提で、事前対策が実行され、静岡県においておよそ2兆円弱の公共投資がこれまで実施されてきた。ところが、2013年12月に成立した南海トラフ沿いの地震と首都直下地震を対象とした特別措置法と国土強靱化の基本法は、事前対策を可能にしている。たとえば、津波防災地域づくりに関する法律は、事前対策を可能にした画期的な法律であるが、その趣旨が自治体に正確に理解されていないという問題がある。そのような状況では、予算の流用問題などが発生して、せっかくの立法の意図が実現できないことになる。

また、災害環境が新しいステージに入ったという見解がある。それは、外力となる自然力が、近年、明確に変わりつつあるという事実に基づいている。一方において、これは被災する私たちの社会が、明らかに災害に対して脆弱になりつつあるという認識と結びついている。

海岸災害に限っても、前者では、巨大な台風やハリケーンによる高潮、爆弾低気圧に伴う高波浪、想定外の巨大地震による津波が被害を直接大きくしている。しかも、海面と平均海面水温の継続する上昇は、これらの外力の諸特性に影響するばかりでなく、たとえば、浸水・水没面積の拡大や降雨量の増大などを通して、未経験の極端に大きな被害発生を可能とし、一部ではその影響が顕在化してきた。

さらに、指摘しなければならないのは1999年施行の改正海岸法は、海岸の防災と環境、利用との調和を基本とする新しい考え方であったが、それが設計の現場では根づいていないという事実である。それは東日本大震災の復旧・復興事業で顕著に表れている。1995年阪神・淡路大震災とそれ以後の災害は、つぎのような教訓を教えてくれた。すなわち、災害が起こった時、日ごろやっていることしかできない、ということである。付け焼刃ではできないということだ。

ここでは、防災・減災研究に40年間携わってきた筆者の知見に基づき、これまでの沿岸防災とこれからの沿岸減災のあり方について、具体的事例を示しながら、わが国の進むべき方向を提示したい。

2. これまでの沿岸防災の考え方

防災とは被害を発生させないということである。しかし、異常外力が働いたときに、被害をシャットアウトすることは、無理である。理想が先行したこの考え方は、東日本大震災を経験して、より現実的な減災へと変わった。筆者は1988年に減災を主張し、これまでこれに基づく対策を提示してきた。

防災を目的として建設される施設・構造物は、被害発生を許さないものであるから、それらの安全率は、機能そのものに対する値となっている。たとえば、混成堤防を構成するケーソンの滑動や転倒の安全率の類で

ある。たとえば、設計波力に対して、想定される抵抗力を 1.1 倍とか 1.2 倍に設定して、ケーソンの水中重量を算定するという方法である。この方法の問題点は、作用する外力の不確定性を考慮していないことである。すなわち、あくまでも“与えられる”という条件で設計する。したがって、東日本大震災によって巨大津波が押し寄せると、津波防災施設は機能を簡単に失ってしまった。

2.1 沿岸防災構造物の設計・施工

主たる外力となるのは、高波、高潮、津波である。これらは設計に際して確定的に与えられる。高波の場合は最大波、有義波、平均波であり、これらに基づく碎波圧や遡上高が求められる。もし、波浪観測値がない場合は、過去の天気図を利用して、風波の数値予知によって求められる。筆者が関係した事例は、新潟県の柏崎・刈羽原子力発電所の港湾建設に伴う設計波浪の推算であった。

この設計波浪の算定を間違えると、海岸施設・構造物の破壊につながる。1980 年代後半に起こった新長崎漁港¹⁾や白島洋上石油備蓄基地の混成堤の被災は、その典型例である。このように設計波浪が確定値で与えられるために、その値よりも大きな波浪が来襲した場合は確実に被災する。もちろん、堤防の余裕高とかケーソンの安全率のような設定も同時に行われているが、これらはあくまでも設計波浪の不確定性を補うものであって、構造物の設計では破壊のメカニズムは既知であることが前提である。

2011 年東日本大震災では、海岸護岸などが延長 190 km にわたって破堤した。これは、一言でいえば、粘りのない構造物であったことが原因である。つまり、想定された津波高を超える津波は来襲しないと考えた結果であり、したがって超えた場合はどうなのかという心配は、皆無であった。仮にそのようなことを考えれば、財務当局から過剰設計のそしりを免れなかった。設計側に自然現象に対する深い洞察が欠けていた結果とも言える。

ここに設計マニュアルがもつ本質的な欠陥が起こる。なぜなら、文章や数式という形式知で表現するために、その背景となっている被害経験などに基づく暗黙知が軽んじられるからである。例を挙げてみよう。防波堤に作用する波圧は、碎波圧や重複波圧で求められるが、それらの値は、構造物の前面水深や波浪特性などによって変化し、しかも現実には来襲方向が変化する不規則波浪であるから、すべての不確定要素を取り入れることは不可能である。ところが研究者は考えうる限りの要素は考慮できていると錯覚しがちであるから、設計時に用いられる設計指針に記載された図面や表は、何の疑いもなく用いられてしまうことになる。つまり、ここでは「私たちは自然現象のごく一部しか理解していない」という謙虚さが必要なのである。しかし、マニュアルはすべてわかったかのような錯覚を与える。このような設計思想で建設された過去の古い構造物は、破壊という危険を内在させているという心配を設計者は常時、もっていなければならない。

2.2 改正海岸法による利用と環境の配慮

古くは、防災を目的とする海岸施設や構造物は、それだけを目指にすればよかった。しかし、利用と環境を同時に考慮しなければならないという取り扱いが必要な時代を迎え、1999 年に海岸法が改正された。しかし、防災機能は定量的に設計されるのに対し、利用や環境は、ともすれば定性的に留まるという問題を有する。これは、設計指針は変わったけれど、その精神はなかなか具現化しないことにつながる。それがとくに顕在化するの、災害復旧・復興事業である。しかも、そこに原形復旧という壁が立ちふさがる。

東日本大震災で被災地は津波護岸・堤防の復旧事業が盛んであるが、いくら防災構造物であっても、利用や環境、景観を忘れてよいわけではない。そして、もっとも大事なことは、被災者の生活再建につながるものでなければならないということである。これは復興事業の常識である。ところが、どの被災地でも金太郎飴のようなコンクリート堤防・護岸が再建され、それに対して行政も住民もまったくと言ってもよいほど違和

感を伝えていない。これでは改正された海岸法が泣くというものである。なぜ、利用とか環境が軽視されるかといえば、配慮を求める社会的圧力が防災に比べて小さく、いまだに贅沢な機能と考えられているからに他ならない。

たとえば、海岸堤防は、原則的に釣り人の立ち入りを禁止している。しかし、書店で販売されている釣り雑誌には、全国の穴場情報として、多くの防波堤が紹介されている。そして、波浪注意報や警報が発令されている最中に、痛ましい事故が起こる。ここには、多くの誤解が重なっている。

1つは、波浪注意報や警報は船舶に対して発令されているのであって、決して海岸施設や、まして釣り人は対象ではない。2つは、立ち入り禁止を無視するのは釣り人の責任だからというものである。自己責任というのは、安全策を講じなくてもよいという免罪符ではない。現実には建前論が破たんしているのであるから、釣り人に注意を促す看板やライフジャケットの着用などを促す啓発行為が必要であろう。防波堤の場合、立ち入らなければ事故は起きないのであるから、事故は立ち入った釣り人の責任であると考えがちである。しかし、公共事業で建設した施設は、特殊なものでない限り利用を考えるのは必然である。だから、最大限の事故防止策を講じて、それ以上の努力は自己責任に帰すという流れがまだまだ定着していない。わが国で排他的に採用されている混成堤と違って、捨石防波堤の設置が卓越する欧米では、釣り人の座席まで設置してある海岸堤防が散見され、決して立ち入り禁止とはなっていない現実をもっと参考にしなければならない。

一方、環境はどうなっているのだろうか。これについては、海岸埋立事業が活発であった時代には深刻な問題であった。しかし、一世を風靡した感がある臨海コンビナートの造成は、重厚長大産業の衰退とともに低調になり、砂浜や湿地の保存への脅威は大きくない。しかし、東日本大震災で明らかになったように、七北田川河口部の蒲生干潟の消失は大きなインパクトを与えた。現地からの報告は順調な回復を示すものであるが、隣接海岸における津波堤防の建設は、高潮や高波浪時の反射波による影響や自然景観に負のインパクトを与えかねないことを考慮する必要がある。

2.3 防災という考え方の弊害

被害をゼロにするという防災は、長い間、わが国の災害対策の基本となっていた。しかし、台風の高波や高潮に起因する規模が大きな災害や、漂砂源の変化による長期化する海岸侵食では、防災は原理的に無理である。前者については4章で詳述することにして、そこでは海岸侵食の問題を取り上げてみよう。

海岸侵食がなぜ起こるのかといえば、供給される漂砂より流失する漂砂の方が多からである。一般に、供給漂砂を増やすことは難しいから（サンドバイパスや養浜をやればよいが、なぜかわが国はこれが“嫌い”である）、流失漂砂を少なくすればよい。漂砂には沿岸漂砂と岸沖漂砂があるので、前者を減らすには、沿岸漂砂量は $\sin 2\theta$ (θ : 波の入射角) に比例するから、海岸線の方角を変える、すなわち θ を小さくすればよい。後者を減らすには、波高と海岸の反射率を小さくすればよく、細砂からなる緩勾配海浜の造成がもっともよいが、海岸構造物で波浪制御しても可能である。

代表的な防災構造物としてもっとも多用されてきたのは離岸堤である。これが曲者なのである。波浪制御と漂砂制御を兼ねた構造物であるが、一番の欠点は漂砂の捕捉率が定まらないことである。漂砂を貯めすぎて背後にトンボロができると、下手海岸は必ず侵食する。だから下手にも離岸堤を建設することになり、結果的には複数の離岸堤のオンパレードとなる。逆に貯まらないと、波浪制御に失敗したことになり、両端部ではブロックの不同沈下が起きやすい。

そこで改良することにした。その成功例が写真1の下新川海岸の生地鼻である。筆者はこの海岸の侵食対策委員長を10年以上継続した。ここには、現在、有脚式の突堤が4基設置されている。成功した理由は、下記の通りである。



写真1 生地鼻の有脚式離岸堤と突堤群（国土交通省黒部河川事務所提供）

①前浜勾配が約 1/6 と大きく、従来の離岸堤を設置することは不可能であった（長期にわたる維持管理ができないということ）。

②漂砂源となっている黒部川からの土砂供給が少なくなっているにもかかわらず、高波浪時の沿岸浮遊漂砂は期待できる。だから、透過型の構造物が望ましい。

③生地鼻で沿岸漂砂を止めてはいけない。

④離岸漂砂を少なくするために、反射率を小さくする必要があり、沖に向かって凸状の曲面をもつ透過型でかつ有脚式の形式とする。

この突堤群による漂砂制御、波浪制御が成功している証拠は、まず生地鼻の侵食が進んでいないこと、下手海岸の黒部漁港の北側の砂浜が堆積傾向を示していることから明らかである。2008 年 2 月には寄り廻り波（有義波高：6.62m、有義波周期：13.9s）の来襲に際し、現場のビデオは波浪制御する様子を克明に記録したため、建設が促進されたいきさつがある。

このように、海岸侵食を止めること（防災）はできないが、緩和すること（減災）は可能であり、そのためには海岸工学の知識を総動員する必要がある。

2.4 総合的な土砂管理の展開

海域への漂砂源は、多くの場合、流入河川である。したがって、この川の流域にダムなどの河川構造物が建設されると、下流への流砂が減少し、河口部海岸の侵食が始まる。ただし、ダムと河口の間の河床からの出水時の土砂流出は、河床にアーマーコートを形成しながら（粗粒化が起こる）当分の間継続するから、ダム建設の影響はすぐには発生しない。これが間違いで、対策の必要性に気づかずに放置されるから、河口部海岸の侵食に気が付いた時には手遅れになりがちである。

さて、具体的な海岸侵食過程を富山県下新川海岸（東は宮崎漁港、西は片貝川に至る延長 17.2km の海岸で、国の第一号の直轄海岸）とその近傍海岸を例にとって紹介し、海岸過程に影響を与えた自然的および人為的要因を示して、これまでにどのような対策がなされてきたかを示そう。なお、その続きとして 4 章の「これからの沿岸減災の考え方」において、将来にわたって海岸管理を進める試案を示すことにしたい。これが可能であるのは、筆者はこの海岸について過去 30 年以上にわたって海岸侵食過程について現地調査を交えて解析してきており、その成果は 19 年前の 1996 年にそれを当時の土木学会水工学に関する夏期研修会講義集の

テキスト²⁾として出版しているからである。その記述の検証が可能なのである。

図1は、その対象海岸である。東は姫川河口部、西は片貝川河口部に至るおよそ50kmの海岸である。順を追って漂砂の動態に影響を与えたイベントを紹介しよう。ただし、本テキストの空中写真はすべてグーグルアースを使用している。

①黒部川の流路の固定：黒部川は宇奈月を頂点として出水ごとに氾濫を繰り返し、その都度、流路が変わり、その結果、半円状の等高線をもつ美しい扇状地が形成された。上流にダムなどがなかった時代には河口付近で年間約170万 m^3 の土砂の供給があったと推定されている（扇状地の形成期にはこれが約400万 m^3 だった）。しかし、扇状地での農業にとって流路固定が望ましく、明治時代からその作業が始まり、現在に至っている。流路が変わるということはスポット状に土砂が海岸に供給されるということで、これが同心円状の扇状地の形成過程であった。逆に、固定によって宿命的な海岸侵食が始まり、扇状地は海岸線の後退を通して縮小過程に入った。

②姫川から下新川海岸東端：東から姫川、青海川、境川が漂砂源となり、来襲波浪のエネルギーフラックスの分布から、沿岸漂砂の卓越方向は西向きであった。姫川河口を起点として、以東ではこれが東向であり、姫川港の堤防の大水深への延伸が、深刻な海岸侵食を引き起こしている。写真に見える親不知漁港、市振漁港、宮崎漁港、入善漁港（黒部川河口右岸）の修築と防波堤の延伸は、沿岸漂砂の連続性を遮断した。写真では、いずれも漁港の防波堤右側（東方向）に漂砂の堆積が確認できる。笹川河口付近から始まる下新川海岸では、平均的に年間1~2万 m^3 の沿岸漂砂量が現在も存在していることを忘れてはいけない。これだけの量が宮崎漁港方向から補給されないと、離岸堤・副離岸堤のシステムでは海岸侵食は止まらないことになる。現状がそうである。

③黒部川右岸海岸：1960年に直轄海岸になり、東から第1、2および3工区（延長：11.277km）と入善漁港区域（農水省）からなる海岸である。とくに第3工区は水深10から30m付近まで6本の海底谷が入り込んでおり、沿岸漂砂が発生してもそこに落ち込む現象が継続していると考えられる。こういう状況下でも、高波浪時には沿岸漂砂が発生していることを忘れてはいけない。

④黒部川左岸海岸から黒部漁港：西向き沿岸漂砂が発生している海岸であり、3基の有脚式離岸堤と4基の有脚式突堤群によって生地鼻の侵食傾向が平衡状態となっている。下手海岸の黒部漁港では防波堤の北側に漂砂が堆積しており、この区間の沿岸漂砂の連続性が維持されていることがうかがわれる。

⑤黒部漁港から片貝川河口：年間を通して波浪のエネルギーフラックスが比較的小さく、石田漁港は一番小さいところに建設され、侵食問題を発生させていないのはその証拠である。気を付けなければいけないことは、隣接海岸の海岸侵食対策工法を見て、まだ侵食も始まっていない自分たちの地元海岸にも離岸堤や消波ブロックを設置して欲しいという要求が出てくることである。海岸は生き物であり、短期的な変動が起こることは普通のことであるから、もし、それが起こっても対策工は不要ということを粘り強く説得しなければならない。とくに、地元の議会議員や海岸工学以外の分野の大学教員が地元の有識者になり主張すると問題がこじれてしまう可能性がある。海岸過程に関する深い見識が求められる。

これらは総合土砂管理事業の一環として行われたものである。漂砂源の減少は、ダムの築造や流路固定という行為の副作用として発生する。しかし、海岸侵食の最大の原因は沿岸漂砂の連続性を阻止する海岸構造物の築造であり、下新川海岸と隣接海岸の侵食では、漁港と港湾建設・拡張の影響がもっとも深刻である。現在の漁港は、古くは集落に近い船揚場として利用していたところである。近代に入って漁港整備が進み、漂砂の連続性が阻止され、下手海岸から砂礫が流失してしまったのである。しかも、具合が悪いことに、農水省は漁港区域しか管理しない。つまり、隣接海岸がどうなろうと、所管外なのである。縦割り行政の弊害である。

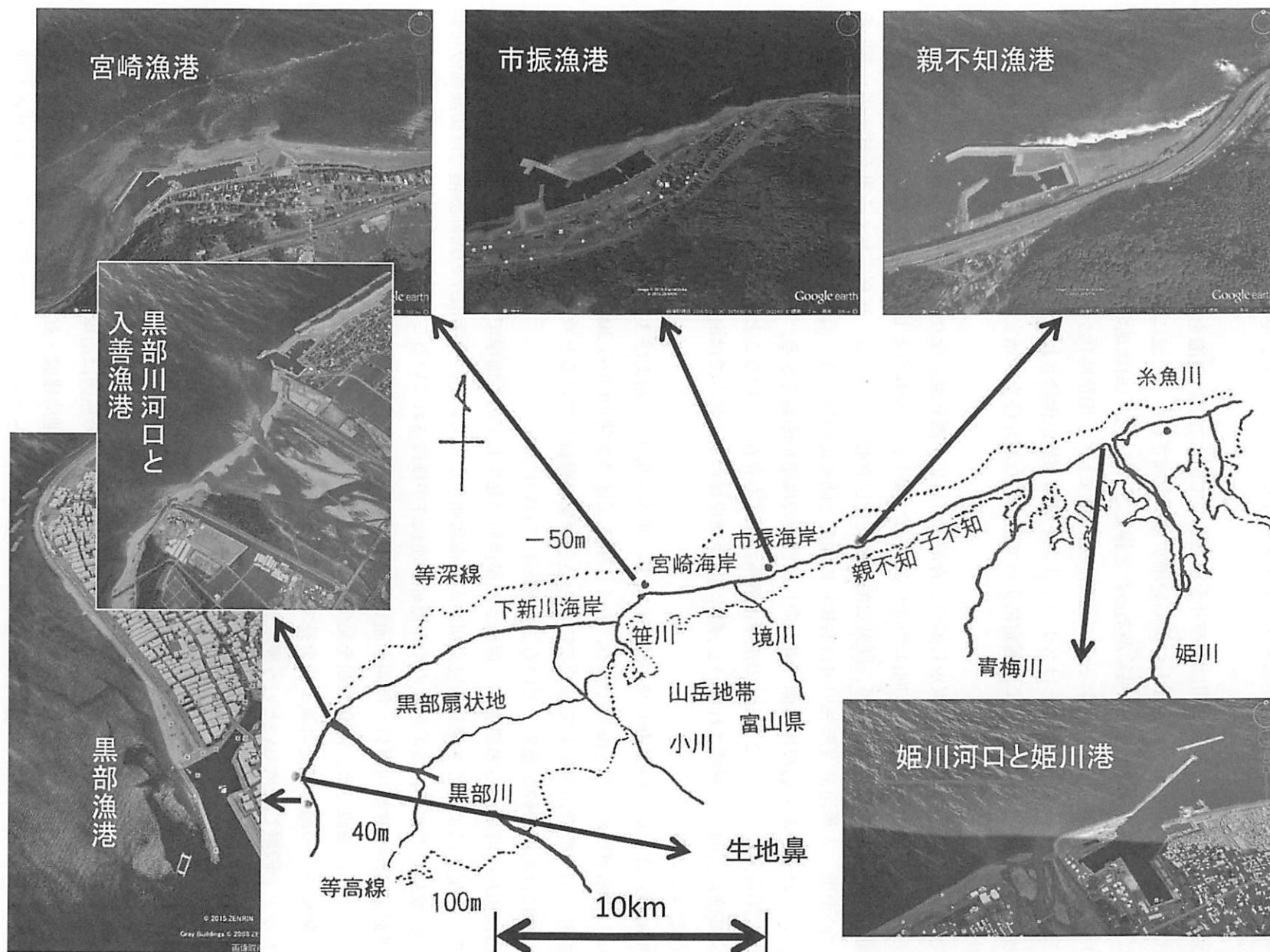


図1 姫川河口から片貝川河口まで、下新川海岸を含む漂砂系

これを阻止するためには、海岸過程に関係する省庁が円卓（ラウンドテーブル）について、まず情報交換を進めなければならない。成功例がある。EU では、二国間以上を流れる国際河川の洪水制御や複数国を襲う高潮予測では、ブリュッセルで円卓会議をやり、情報交換や事業調整することが憲法で謳われている。最上位の憲法で規定されているところが立派である。これによって、エルベ川河口のハンブルグの高潮問題やドナウ川のウィーンの洪水処理が格段の進展を見せたことが、私たちが進めた調査からわかっている。今回は取り上げなかったが、姫川港の防波堤は東向きの沿岸漂砂を完全に遮断しており、これでは糸魚川海岸の侵食は未来永劫にわたって止まらない。国土交通省水管理・国土保全局と港湾局の省内縦割りの弊害を打破する努力が必要となっている。

3. 災害復旧・復興時に露呈する海岸防災技術の底の浅さ

なぜ、未熟さが顕在化するのかといえば、「災害時には日頃やっていることしかできない」からである。言い替えれば、日頃やっていないことは失敗するのである。しかも、災害復旧・復興を急ぐとチェック機能がおろそかになるのである。復旧・復興の最終目的は被災者の生活再建である。復旧・復興時には海岸の環境も利用も忘れてしまうのである。

3.1 原形復旧の弊害

これは防災施設よりも利用施設で見られる現象である。1995 年阪神・淡路大震災では、神戸市のポートアイランドと六甲アイランドのコンテナバースはほぼすべて全壊した。バースの水深は 12m で、当時でもコンテナ船の大型化に遅れており、12m 水深のバースはすべてが使われているわけではなかった。しかし、神戸港の被災施設は約 5 千億円ですべて原形復旧した。そして復旧しても使われることがなかったバースは、現在、撤去されて、その背後地には自動車学校や大学が誘致されている。現場の神戸市の若手技術者は、当時の運輸省の技官と、復旧方法などを検討していたのであるが、その頭ごなしに大臣と市長が原形復旧を決めてしまったのである。

とくに、海岸侵食対策に関しては、原形復旧は技術の進歩にとって弊害となっている。災害による復旧が認められれば、同じものができるので、離岸堤などは一度施工されると災害が起こるごとに、何度でも同じ場所に同じ構造のものが繰り返し作られる。違ったものを作ろうとすると、財政当局は、以前の設計・施工に問題があったことと受け取って、その理由を明示することを求めてくるからだ。ここに、土木技術者の弱みがある。

原形復旧とよく似た弊害は、施工が長期にわたる事業でも散見される。たとえば、前述した新長崎漁港の大水深混成堤による防波堤工事は 10 年以上要したが、開港寸前になった時に被災してほぼ全壊した。当時、砕波圧に関する最新の知見が海岸工学論文集などに掲載されており、設計を担当した N コンサルタンツは当然知っているはずであった。ところが、長崎県の担当課は当初の設計書や設計図（これらは 1982 年長崎豪雨水害で流失したと言い張ったが、N の本社で保存していたので、それを入手した）をまったく見直さず、毎年、作成年月日だけを書き換えて、国の予算を獲得していたことがわかっている。

3.2 改良復旧の弊害

それでは、改良復旧であればよいのかという問題が発生する。2011 年東日本大震災では津波防災施設が大規模に被災した。結果的には延長約 190km にわたって破堤などの被害を被ったわけであるが、その原因は、設計方法は正しかったが、外力がそれを大幅に上回ったということに帰着している。そんなに単純だろうか。以下に疑問になる諸点を整理してみた。

①設計外力の設定：波浪の場合、有義波の取扱いと波浪統計を適用して、設計波浪を決めている。たとえば、50年確率波がそうである。津波の場合は、震源モデルが決まれば、震源パラメーターが与えられて対象となる津波高さが決まる。高潮の場合は、東京湾、伊勢湾、大阪湾では既往最大の高潮を発生させた台風コースを伊勢湾台風モデルが通過するというものであった。それ以外の海域では、台風モデルとして、対象海域に過去に上陸した最大の台風を用いる。これらの決め方では、外力は一度決まると、それを上回る場合は考えないことになっていた。

②破壊過程の想定：防災構造物の安全率がそれをカバーするという考え方である。たとえば、混成堤防のケーソンの重量は、滑動や転動に対して1.1とか1.2倍して決めるやり方である。これは、破壊過程が厳密にわかっていないから、安全率でカバーするという思想である。しかし、水理実験で実現象がすべて再現できるわけではない。実験では相似則が適用され、波の場合はフルードの相似則である。しかし、構造物の破壊の力学過程はこの相似則だけでは不十分である。あくまでも破壊初期の単純な場合しか相似則ではカバーできないのである。これがともすれば忘れ去られるのである。

たとえば、混成堤防のケーソンの場合、まず滑動で始まるとは限らない。砕波によってロッキング現象が起こると、マウンドの表面を構成する栗石にケーソン端部が引っ掛かり、ここに凹凸が発生する。そうなる滑動や転動のほかにマウンド表面にできる凹凸の拡大が影響するようになる。このような現象発生は、安全率ではカバーできないものである。津波防波堤の場合は、もっと複雑である。

③利用や環境の視点の導入の落とし穴

具体例を挙げよう。石巻市長浜海岸では同じ高さ（T.P.+6.2m）の直立護岸と階段式緩傾斜護岸が隣接していたが、東日本大震災に際して、来襲した津波はまず、階段式緩傾斜護岸を乗り越え、氾濫水は、背後の松林に阻止され、直立護岸に沿って東進し、背後の住宅街を襲ったことがわかっている。

この事実は、形式の相違する護岸の高さだけを揃えることの不合理性を示している。階段式緩傾斜護岸の背後には幼稚園が立地しており、護岸の設置者は市民や園児にとって親水性護岸が優れていると判断したものと考えられる。この事例は、防災機能に対する深い理解が必要なことを示しており、利用や環境への配慮だけでは不十分であることを示している。

これを防ぐためには、海岸工学の分野の経験の長い複数の研究者・実務者からなる委員会を設置することが最低限必要だろう。

④レベル1の津波高さの設定方法

筆者が座長を務めた中防災会議の「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」では、レベル1とレベル2の津波を定義した。この思想は、どのような津波であっても避難することが犠牲者を減らす唯一の方法であるという認識である。筆者が今から35年前に宮古市田老地区（当時は田老町）を訪れた時、町長につぎのような質問をした。「防潮堤の高さは10mであるから、高さ15mの明治三陸津波が来れば、町内は深さ10mの湖となり、住民が大量に犠牲になるのではないかと」と問うと、町長は「町内に12か所の避難路が用意してあるから、住民は避難して助かる」と答えた。東日本大震災では、津波浸水地域人口の4.2%が死亡したことがわかっているが、田老地区の場合も4%であって、ほとんど同じである。高さ10mの津波防波堤の効果があつたとは取り立てては言えないのである。

わが国の場合、設計津波高が一義的に与えられなければ、構造物が設計できないという古い考えが今も通用している。まず、レベル1の津波は、単純なプレート境界地震で起こる津波で、三陸沿岸では江戸時代より37年に一度程度起こっていることがわかっている。一方、レベル2の津波は、プレート境界地震直後に海底の大量土砂がピストンで海溝軸めがけて突き落とされるようなメカニズム（圧縮力が働く）で起こることが海洋研究開発機構の近年の研究で明らかになってきた（メカニズム的には、プレート境界がずれた時に発

生する高熱が堆積している土砂の間隙水圧を高くすることによって引き起こされる)³⁾。このような背景では、レベル1の津波高さは、起こり得る最大値に設定したい誘惑に駆られる。これを可能にするのは数値シミュレーションであって、極論すれば、断層パラメータさえ与えれば幾らでも大きな津波を発生することができる。

たとえば、岩手県津波防災技術専門委員会は陸前高田市の津波高さとして、想定宮城県沖地震で起こる11.5mに設定した。既往最大津波高さの約2倍である。この設定は間違いである。なぜなら、約7万本の松からなる高田松原は、400年の歴史をもっており、この間に11.5mの津波が来襲しておれば、松はすべて流失しているはずである（東日本大震災の経験から、津波高さが樹高の約1/2以上になると松は流失することがわかっている）。専門調査会では、レベル1の津波の内、最大を採用しなさいとは言っていないのである。最大値を採用すれば、住民は再び避難しなくなってしまうだろう。常識的にはレベル1の津波群の平均高さ程度でよいのである。

このような決定方法では、産業が誘致できないという不満があろう。しかし、被災地以外では、全国のどの海岸でも公共事業でつくる防潮堤で企業の津波被害を守ってはいない。これはあくまでも自助努力でやっている。たとえば、シャープは大阪府の堺泉北コンビナートに進出するとき、敷地の高さはO.P.+8.55m、すなわち、大阪湾で高潮と津波が同時生起しても水没しない条件を設定している。

設計津波の高さは、あくまでも目安であって、重要なことはこの値を超えることが起こるということを常識にすることである。すなわち、施設や構造物が所定の機能のあるレベル以上で発揮することが重要であって、それは絶対安全という錯覚であってはならない。

3.3 事例の紹介：陸前高田市の高田松原地区・防災メモリアル公園ゾーンの形成

東日本大震災の象徴的な臨海地帯の復興プランを紹介し、問題点を指摘してみよう。この事業費は71億円である。図2は、平面図案と横断図案である。写真2は、この震災の前年10月に筆者が撮影したもので、直後の写真も比較のために掲載してある。まず、第二線堤防が高すぎるのは論外として、どうしてこのようなデザインになるのかが理解できない。理由を列举してみよう。

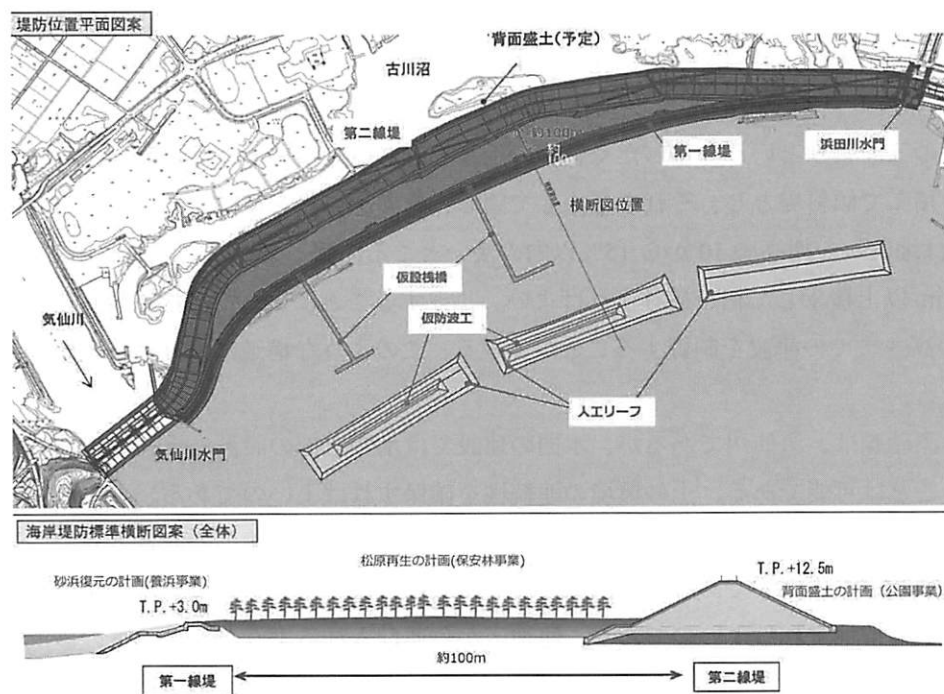


図2 陸前高田市の鎮魂の森と津波堤防完成図（国土交通省ホームページより）

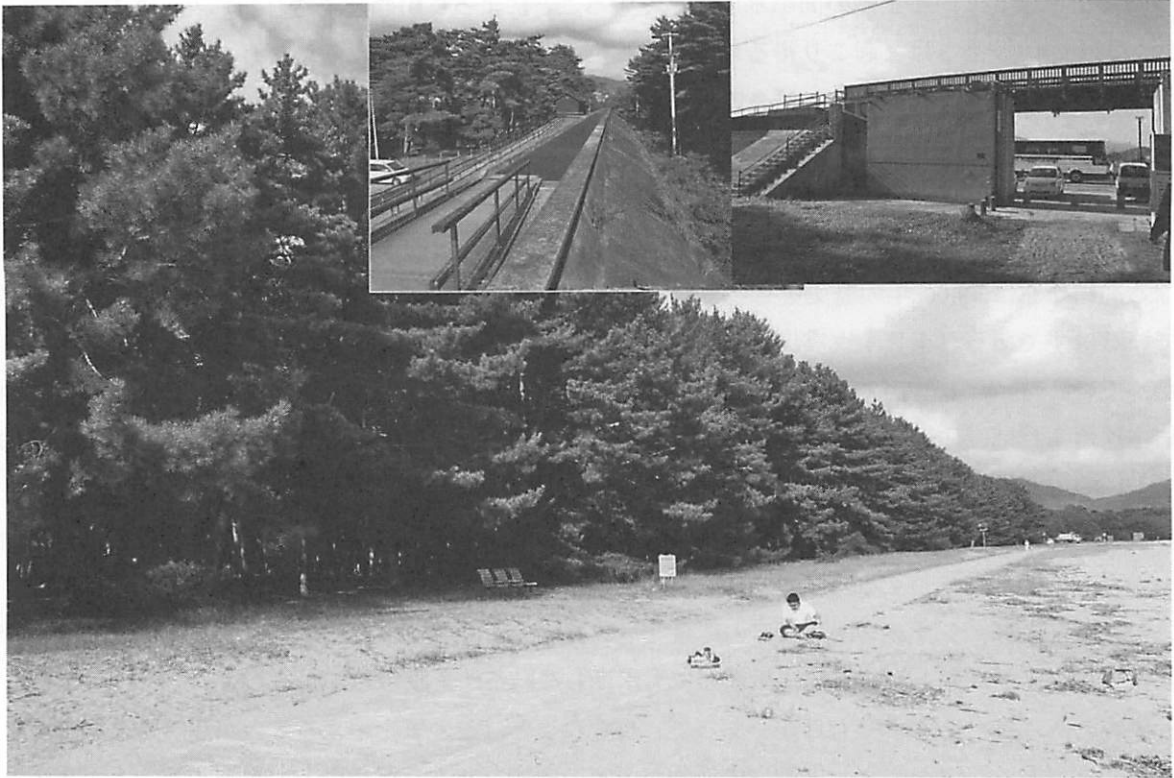


写真2 高田松原と防潮林内に設置された高さ約6mのコンクリート造の津波堤防
(2010年10月 筆者撮影)

①鎮魂の森の松林は、第二線堤が邪魔をして市街地からまったく見えない。これでは、シンボルの意味さえ失ってしまう。しかもこのままではレベル1以下の津波でも、松林全体が流失してしまうことになる。そもそも高田松原はなぜできたかを考えれば、それは防潮林の役割を期待したからであろう。被災前に、砂浜の背後に松林が直接続くのはその理由である。しかし、1854年安政南海地震を契機として作られた和歌山県広村の世界初の盛土式の津波堤防は、基礎の部分は高さ3m程度、石垣で補強してある。しかも、盛土部分の松は一本一本の幹が太く、日頃から間伐などの手入れをしていることがうかがわれる。この堤防が完成してから80年後に来襲した昭和南海地震の津波でもビクともせず、背後の集落を守ったことがわかっている。

コンクリートの三面張りという、まったく技術の進歩を感じさせないような堤防ではなく、1個2、3トン以上の捨石を積んで傾斜堤とし、それを覆土して隠し、その上に松を植林するのである。いくら大木の松であっても、根は地表から樹高の10から15%以内の浅いところに張っていることがわかっている。だから、捨石傾斜堤を2m以上覆土して松を植林すればよい。こうすることによって、捨石傾斜堤の高さと松の樹高の1/2の合計の高さまでの津波を制御することができる。このような構造にすれば、景観や環境に十分配慮したことにもなる。

②松原海岸の漂砂源は、気仙川であるが、水門の建設では水叩き部の設計によって、流砂が海岸に流入できるようにすることは可能である。土砂環境の連続性を確保すればよいのである。人工養浜を守るために人工リーフを3基入れるような計画であるが、同時施工する理由がない。養浜の底質として、被災前の粒径に近いものを選べば安定するはずである。養浜は、沖の海底に堆積している底質をポンプで吸い上げて盛り上げてブルドーザーで整地すればよいのであり、他地区から運び入れるような高コストの砂浜づくりをやってはいけない。

ここで指摘するように、従来からわかっている海岸工学の知識を適用すれば、津波によって流失してしま

った高田松原は、魅力的な海岸として再生することは可能である。そこでは、利用や環境の配慮も十分可能である。この海岸の基本設計に関与したKセンターは、震災復興事業の重要性と震災が起こったからこそ挑戦できるデザインを提示して、魅力的な海岸を創造しなければならなかった。被災地に見られる金太郎飴のような防潮堤のオンパレードでは、被災住民の誇りにもならず、ましてや観光資源にもならない。せつかくの公共事業としての価値が失われるというものである。復興事業に参画するシンクタンク、コンサルタントの技術力、デザイン力とガバナンスが問われている。

4. これからの沿岸減災の考え方

これまでの沿岸防災の考え方は今、破綻している。なぜなら、外力となっている波浪、高潮、津波が“新たなステージに入っている”という明確な証拠があるからである。地球温暖化の影響によって、スーパー台風やハリケーン、爆弾低気圧が発生し、波浪や高潮に関する既往最大値をいとも簡単に大きくしてしまう。極論すれば、これら以外の雨量や気温などのあらゆる気象要因が異常な値を観測するようになり、従来の極値統計の扱いが適用できなくなる事態が発生している。たとえば、2000年東海豪雨水害で記録した名古屋市の日最大降雨量は、428mmでおよそ350年に一度発生する大雨であり、市内の約37%が浸水するという異常さであった。

異常に大きな外力による被災経験は、それまでの構造物、建物の設計方法の変更をもたらしている。たとえば、1995年阪神・淡路大震災を経験して、地震力に対して構造物の性能設計が主流となり、すでに地震動の大きさを確率で表示することはしなくなったからである。現実には、2011年東日本大震災の揺れを経験した構造物は、再現期間が何年の地震動を経験したという表現は使われていない。しかし、海岸工学では50年確率波という表現をいまだに使っている。そして、東日本大震災後、超過外力に対して防災ではなく減災の考え方が主流となっている。本章ではこれらの問題に対する筆者の主張を紹介しよう。

4.1 新たなステージに入った外力（ハザード）の発生

ここでは、近年の海岸のハザードの異常現象の例を紹介しよう。

(1) 波浪：

①2004年には高知県菜生海岸沖合1.5kmの国土交通省室津波浪観測所では有義波高13.5m（沖波換算値17.2m）を観測し、100年確率波（16.0m）を大きく上回る波を観測した。

②2008年には富山県下新川海岸で寄り廻り波災害が発生し、これをきっかけとして可能最大有義波浪を推算したところ、沖波有義波高9.2m、有義波周期16.7sとなり、50年確率波の7.4m、13.9sを大きく上回ることがわかった⁴⁾。なお、田中観測所で観測された2009年以降の年最大有義波高は、ほぼ年々増加している特徴が見られる。

(2) 高潮：

①2005年にアメリカ合衆国ニューオーリンズを襲ったハリケーン・カトリーナはアメリカ大気海洋庁（NOAA）の観測史上4つ目のカテゴリー5（上陸時902hPa）で、発生した高潮は、近くのオーシャンズブリッジで6mの偏差をもたらした。

②東京湾と大阪湾では計画高潮の潮位偏差はそれぞれ3mであるが、モデル台風を伊勢湾台風（上陸時930hPa）から室戸台風（上陸時911hPa）に変えると、それぞれ40cmおよび80cm上昇することがわかっている⁵⁾。なお、2013年11月にフィリピン・レイテ島を襲った台風30号は、上陸時の中心気圧が895hPaであって、暴風、高波、高潮が引き起こした複合災害となった。

(3) 津波：

南海トラフ巨大地震が地震マグニチュード9で発生した場合、10mを超える津波が、11都県の90市町村に及ぶ。大阪市と名古屋市はいずれも3.8mで計画高潮を上回る。最大値は高知県黒潮町の34.4mである。なお、東日本大震災と違って巨大な津波が10分以内に来る自治体が前述の90市町の約半数に達し⁶⁾、避難は容易ではない。

(4) 地震：

これは近年、特に活発化しており、直接の外力とはならないが、海岸構造物に作用する間接的な外力として重要である。とくに古い構造物の場合、耐震性が十分でなく、液状化対策も不備のものが大半である。したがって、地震で構造物が被災すれば、それほど大きくない波浪、高潮、津波で容易に被害が拡大し、複合災害になることを忘れてはならない。

(5) 複合外力：

複数の台風がよく似たコースを時間差で来襲すれば、波浪と高潮によって繰り返し被災することが起こる。1959年伊勢湾台風による高潮被害は、6年前の台風13号による被災から復旧していない海岸堤防から発生したことがわかっている。貧しい時代には、6年経過しても海岸堤防が復旧しておらず、そこから再度、被害が広がったわけである。東日本大震災の被災地で海岸堤防や津波護岸の早期着工の理由は、台風シーズンには暴風波浪が来襲する危険性があるからである。

このように、複合災害の発生を念頭に置けば、被災後の各種防災施設の復旧の順序がある程度見えてくる。着工しやすいものから始めるという愚を犯さないことが大切である。

4.2 減災 (Disaster Reduction) と縮災 (Disaster Resilience)

(1) 減災とは

東日本大震災が起こり、政府の復興構想会議では、わが国のこれからの災害政策は「防災」ではなく「減災」という理念で進めることになった。この減災という言葉は、1988年に筆者が主張した理念であって、それが間違いなく使われるようにする責任があるので、ここに示しておきたい。

「減災」とは、被害をゼロにできる見込みが明らかでない場合、総被害（起こった直後のみならず、復旧過程を含む全過程を対象、図3の縦軸の値D）の最小化を目指すことと定義される。そして、

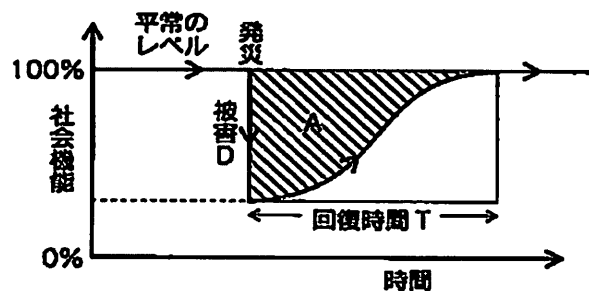


図3 減災の概念図

- ① 人的な被害の場合は、一人でも犠牲者を少なくするように努力する（積み上げ方式）。
- ② 基本は事前のハード対策（例：海岸堤防や護岸のかさ上げや耐震補強）であり、足りないところを事前と事後のソフト対策（率先避難、災害情報の活用など）で補う。
- ③ ハード対策のマネジメント（たとえば、水門・鉄扉・陸閘の操作など）はソフト対策に含まれるので、ハード対策はソフト対策に含まれる。

- ④ 事前対策と事後対策を組み合わせ、総被害を減らす。
- ⑤ 被害を受けても、素早く、かつしなやかに回復できる縮災を目指す。図 3 の横軸の時間 T を早め、早期回復を目指すことになる。

国土交通省は、東日本大震災後、レベル 1 とレベル 2 の津波高さを設定して、それらを津波防災地域づくりに関する法律や防潮堤の高さの決定に用いている。これら 2 つのレベルは津波来襲時の被害を「防災」と「減災」に対応するものと考えられているが、少なくとも「減災」は時間スケールが復旧過程にまで「縮災」と組み合わせられることを忘れてはならない。

この「減災」と「縮災」が災害対策基本法で早急に言及されることが必要と考えていたが、2013 年 4 月 12 日に国会に提出された第二次改正案で、新たに基本理念が追加され、つぎのように明文化され、6 月 17 日に参議院本会議で可決・成立した。

(基本理念)

第二条の二 災害対策は、次に掲げる事項を基本理念として行われるものとする。

一 我が国の自然的特性に鑑み、人口、産業その他の社会経済情勢の変化を踏まえ、災害の発生を常に想定するとともに、災害が発生した場合における被害の最小化及びその迅速な回復を図ること。

(2) 減災と縮災の違い

ここで指摘したように、「減災」と「縮災」は被害を少なくするという用語であり、これについての定義は、図 4 を参照すれば、つぎのようになる。

①減災とは、 D を小さくすることであり、それはハザード（加害力）と脆弱性（社会の防災力）、対策の関係で与えられる。

②縮災とは、 R を小さくすることであり、 D と人間のコミュニティの抵抗力 A と回復時間 T の関数で与えられることになる。この resilience を別の英語 1 語で表すことは困難と言われており、たとえば、アメリカ地震工学会は、頑強なこと（Robustness）、ゆとりがあること（Redundancy）、資源の豊かなこと（Resourcefulness）、回復がすばやいこと（Rapidity）から構成されていると定義している。とくに最初の「頑強なこと」は、従来の社会の防災力が大きいことと同義であって、災害が発生する前の、主としてハード対策による被害抑止（Mitigation）と主としてソフト対策による被害軽減（Preparedness）から構成されている。

• 減災（Disaster Reduction）

$$\text{被害 } D = F(H, V, C)$$

H ：ハザード（外力）

V ：脆弱性

C ：対策

• 縮災（Disaster Resilience）

$$\text{被害 } R = F(D, A, T)$$

A ：政府から家庭までの共同体での人間活動

T ：時間（回復時間）

図 4 減災と縮災の関係

4.3 アメリカ合衆国における海岸災害の縮災事例

アメリカ合衆国では、2005 年ハリケーン・カトリナ、2012 年ハリケーン・サンディによる高潮災害が、歴史上 1 位と 2 位の社会経済被害をもたらしている。前者は 1,250 億ドル、後者は 800 億ドルで、1994 年ノースリッジ地震は 3 位の 300 億ドルである。

(1) ハリケーン・カトリーナ高潮災害の復旧・復興事業

アメリカ合衆国では、80年ぶりにハリケーン災害で死者が千人を超え、約1,800人も発生した大災害であった。ニューオーリンズの北側に位置するポンチャートレーン湖の湖岸堤防とこれにつながる運河の堤防は、カテゴリー3のハリケーンを想定したものであった。これが不十分であることは事前にわかっていたが、工事費用の約2千億円が捻出できずにそのまま放置されていた。しかも、そのような事情は市民に知らされていなかった。

被災地はミシシッピ川の河口デルタ上に位置しているので、低湿地である。そこで、復興事業は、堤防高さは100年確率の潮位とし、多重防御となっている。堤外地側は湿地を積極的に復元し、湿地の生態系に配慮した緩衝地帯を構成している。堤内地側は、被災家屋には水害保険が適用され補償されるが、元の場所に住み続ける場合は、ピロティ形式の住居を基本とし、どの高さまで床を上げるかは、持ち主の意向次第で、工事費の30%は公的に支援されることになった。写真3のように、再建された住宅の床の高さが、各住宅によって異なることがわかる。アメリカ合衆国では、住民の自己責任の原則が徹底されている。



写真3 ニューオーリンズ郊外のピロティ形式の再建された住宅
(床の高さが家ごとに不揃いとなっている)

(2) ハリケーン・サンディ高潮災害の復旧・復興事業

ニューヨークのロワー（南部）・マンハッタンが約4mの高潮の浸水・水没被害を被った。同地域は高潮に対するハード対策は皆無であった。高潮災害は1938年以来、発生しなかったからである。この高潮氾濫で、道路トンネル2本が完全に水没し、8つの地下鉄駅から浸水し、その内、海に近いサウス・フェリー駅は完全に水没した。地下鉄トンネル内には防水扉などの防災施設は全くなかったので、高潮が去って海面が下がりに、浸水が止まるまでトンネル内に氾濫水は入り続けた。何が縮災だったのかを列挙してみよう。

①ハリケーンが上陸する1日前に地下鉄の運行を停止した。車両を地上に上げ、地下の外すことができる施設や装置は外して、地上に上げた。これによって、浸水後1週間で仮復旧が可能となった。

②道路トンネルではあらかじめ水没することを予想していたので、特殊な排水車を投入して、排水作業を早く終えることができた。

③民間ビルや病院の地下階の水没などの被害は、ほぼ損害保険でカバーできたので、将来の高潮災害に備えた防災計画に対する住民や企業などからの要求はない。もちろん、NPOなどが復興計画策定の委員会などに参画しているので、そこで意見を十分反映したことになる。

④スタッテン島の臨海住宅地浸水対策としては、写真4のように養浜の積み増し（沖からサンドポンプで砂を運び上げる）によって、高潮防御能力を高める。この養浜工が経年的に侵食されるようであれば離岸堤群を投入することを当初計画に入れておく（わが国では、このような不確実な対処を最初から決めておくこ



写真4 ニューヨーク・スタッテン島の養浜による浜の嵩上げ

とはできない。浸水家屋の被災度を評価し、「Buyout（バイアウト）」によって引っ越し費用を水害保険で支払うが、希望するなら元の場所に住み続けてもよい。その場合も再建費用は水害保険から支出される。住宅がなくなれば、そこは市街化になる前の湿地に戻し、公園化する。

⑤マンハッタンの高潮防御計画では、復興事業費としておよそ 400 億ドル（約 4.8 兆円）を準備し（連邦政府、ニューヨーク州、市政府）、そのプロジェクトを進める。コロンビア大学など周辺の 5 つの大学からなるコンソーシアムを作り、そこで、高潮の数値シミュレーションやマンハッタンの高潮防御原案を作成することになっている。もちろんこのコンソーシアムには街づくりのノウハウをもっているデザイナー企業も参画している。

このように、(1)と(2)に共通していることは、コミュニティ単位で加入できる公的な水害保険が復興資金の原資になっていることである。災害復興に自己責任の原則が徹底されていると考えてよいだろう。

4.4 わが国における津波災害の縮災事例

2011 年東日本大震災の後、国土交通省は津波防災地域づくりに関する法律を施行した。この法律は従来の同種の法律に比べて画期的といえ、縮災の考え方が採用されている。図 4 はその概要である。どの点にそれが反映されているかは、次の通りである。

①特別警戒区域などのゾーニングを初めて採用した。災害に先行して土地利用に法律で制限を加えており、事前に津波被害軽減を実現することが可能となった。

②多重防御の考え方を適用しやすくしている。被災地域が限定されるので、堤内地全体を視野に入れる必要がなく、対策を効果的に進めることができる。

③仮にレベル 2 の津波が来襲しても、それを視野に入れたまちづくりが行われているので、被害はこの法律が適用されなかった場合より 小さく、かつ復旧時間を短くとることができる。

このように、この法律は津波被害をシャットアウトすることが目的ではなく、できるだけ小さくしようという減災の視点がまず打ち立てられている。さらに、土地所有者すなわち、住民や企業の事前協力、すなわちコミュニティ力を期待したものであり、かつ復旧が早いという、縮災の精神も備えているといえよう。

4.5 縮災に必要な性能設計の概念

阪神・淡路大震災では、高速道路や建築物が強い地震動で被災し、犠牲者の発生に至った例も少なくない。その後、土木学会や建築学会では構造物の築造に対して、性能設計の概念を採用することにした。地震動レ

で、つぎに海岸侵食対策の中で、どのように縮災を実現すればよいかを示してみよう。

(1) 下新川海岸の場合：

前述したように、下新川海岸の東端から第1，2および3工区付近では、現在でも海岸侵食が進行しており、離岸堤群と副離岸堤群で侵食を軽減する努力が続けられている。この主たる原因は、高波浪で浮遊漂砂が発生し、一部は離岸漂砂として、残りは沿岸漂砂、すなわちフラックスとして流出しているのである。これは、離岸堤と副離岸堤群からなる一線堤の方向が来襲波浪のエネルギーフラックスの主方向と直角になっていないことが問題となっている。写真5のように現在の離岸堤はその背後の護岸と局所的には平行に作られている。これを並行にせず、少し角度を持たせるのである。

このようにするのは、離岸堤と副離岸堤で安定海浜工法の閉漂砂海岸を作ろうと企図しているのである。なぜ、閉漂砂海岸というかといえば、隣接する海岸間で沿岸漂砂の授受が行われず、離岸漂砂だけがフラックスとして流出することになるからである。縮災を成功させるためには、侵食のメカニズムを明らかにしなければならない。対策工施行前に、前浜勾配が約 1/6 と急こう配であり大きな礫からなる海浜であったが、高波浪時には沿岸漂砂が存在するという確信が、侵食対策の成功につながったのであろう。

離岸堤の問題点は、前述のように漂砂の捕捉率が不安定ということである。成功率はおよそ 30%程度であることがわかっているの、その適用性を確かめながら施工しなければならない。生地鼻で新型突堤と離岸堤が成功したのは、沿岸漂砂をすべて捕捉しないように、有脚式透過型にしたことにある。下手川海岸の黒部漁港に沿岸漂砂の堆積が認められ、これらの制御システムが成功したことが証明されたわけである。



写真5 下新川海岸の離岸堤と副離岸堤群（海岸侵食が進行している）

(2) 西湘海岸の場合：

海岸決壊が露呈したのは 2007 年台風 9 号による高波の来襲によってであった。この海岸過程は下新川海岸の初期とよく似ている。相模川と酒匂川という漂砂源がダム築造や都市化などによってやせ細り、この海岸では高波浪時の沿岸漂砂と離岸漂砂によって、海底勾配が徐々にきつくなったのであろう。このような状態で台風などの高波が来襲すると、突然、海岸決壊が露呈する。実はそれまでに徐々に海岸侵食が進行していたことを忘れていたから、突然の事態に驚くわけである。

上述した漂砂源の現象だけではなく、とくに東端の相模川河口部右岸の船溜まりの建設や大磯港の防波堤の整備は、侵食を助長していることを忘れてはならない。国土交通省はこの港の西端から酒匂川までを対象海岸としているが、これは間違いで、相模川河口部まで対象としなければならない。このことは、この地方港湾を管理する神奈川県も対策推進のための円卓会議に参加しなければならないことを示している。国と県にまたがる問題であるとの認識が関係者間に必要で、かつそれを実行しないと解決しない。

侵食原因が、沿岸漂砂量の徐々の減少であるから、対策は養浜が最適だろう。被災時に約 50 万 m^3 が流失したと推定されているので、一度に養浜せず、5 年くらいかけて養浜工を施工すればよい。沖からポンプで

漂砂を吸い上げて前浜に盛り上げるのである。前浜上に新型の侵食制御工を施工する予定であるが、これは沿岸漂砂の動態に影響することは明らかであり、このような“硬い”構造物の施工には慎重が必要である。天橋立海岸で成功したのは、卓越波浪の波向きがほぼ一定していたからであって、西湘海岸のように沖を通過する台風によって波向きが激しく変化する場合には、適用できないかもしれない。縮災を成功させるにはメカニズムが明確に理解できないと不可能であることを知る必要がある。

5. あとがき

研修講義テキストという性格から、大学の講義に用いるようなつもりで本文を執筆することができた。筆者は40歳を境にして、それまでの水工学や海岸工学だけでなく広く防災・減災学を学び、研究するようになった。ここで取り上げた下新川海岸の侵食問題の一つの解は、40年近い研究履歴の所産である。大学の研究者としてこれほど長く追及できたこと自体をとっても感謝している。私たちがもっている海岸工学の知識は、海岸で発生する諸現象のごく一部を解析した結果であり、まだまだ分からないことは山積している。したがって、ここで紹介した減災や縮災の考え方が現場で定着するためには、さらに長年月を要するだろう。一人の研究者が一代でできることはしれており、リレー競技のようにそのバトンが若い研究者に渡され、継続性を担保出来ることを願っている。

参考文献

- 1) 河田恵昭：黎明期における防波堤の工法選択とお雇い技師（1）－防波堤工法の変遷－、自然災害科学、Vol.7, No.2, pp.21-35、1988.
- 2) 河田恵昭：自然観と海岸侵食、土木学会水工学シリーズ、96-B-2、pp.1-15、海岸工学委員会・水理委員会、1996.
- 3) 海洋研究開発機構：ここまで分かった巨大地震・巨大津波の謎、Blue Earth、130、pp.1-21、2014.
- 4) 北川正良・金谷孝雄・徳島美幸：下新川海岸における可能最大外力の算定について、国土交通省北陸地方整備局平成21年度事業評価資料、2009.
- 5) 内閣府：東京湾の大規模高潮浸水想定、大規模水害対策に関する専門調査会第14回資料、2009.
- 6) 内閣府：南海トラフ巨大地震対策について（最終報告）、南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、中央防災会議 防災対策推進検討会議、2013.