

教訓ノート1-1

1. 構造物対策

構造物による津波対策



著者

石渡幹夫：世界銀行

相良純子：建設技術研究所

教訓ノート 1-1

1. 構造物対策

構造物による津波対策

堤防などの構造物は、津波、洪水、土砂災害等の防災に重要な役割を果たす。しかし、構造物は災害が設計レベルを上回ると機能を発揮できないため、構造物のみではすべての規模の災害を防止することはできない。東日本大震災では、構造物対策に過度に依存してきた日本の防災体制の限界が露呈した。今後は構造物と非構造物対策から成り、住民の安全な避難を確保する多重防御によって被害を抑える減災アプローチが求められる。

日本では、堤防、ダムなどの構造物は、災害リスクを管理する対策の中核をなすと考えられてきた。2000年近くにわたり洪水対策のために堤防が建設されてきた。最初の堤防システムは、4世紀に大阪の淀川に建造された。中世および近世において、城や都市などの重要区域を防御するために、堤防が利用されてきた。19世紀後半の明治維新により成立した新政府は、オランダや西洋諸国から導入された近代技術を用いて、構造物によって洪水、高潮、土砂災害、津波を制御する対策を推し進めてきた。こうして災害被害は、構造物への集中的な投資により大幅に減少した (KN6-1)。

日本は海に囲まれており、約35,000kmに及ぶ複雑な海岸線を有している。人口、産業基盤、社会資本は、限られた陸地に点在する面積の小さい沿岸の平地に集中している。沿岸地域は、他に類を見ない地震の多発地帯に位置していることに加え、台風や冬の風浪等の厳しい自然現象にさらされている。歴史的に津波、高潮、高波などにより深刻な被害を受けてきた。こうした災害から海岸沿いに集中した生命と財産を守るために、日本はここ50年の間、海岸・港湾施設を整備してきた。

知見

東日本大震災の被災地域における構造物対策

2011年3月に津波が東日本の沿岸を襲った時点で、300kmに及ぶ堤防が、一部では15mの高さで建設されていた（図1）。堤防建設の主たる責任は県にあり（総費用の約3分の2は国の補助金を受けて）270kmを建設し、残りの30kmは国が直接、建設した。さらに、国は海岸事業で使用される技術基準、指針、マニュアルを策定していた。東日本大震災によって生じた約3000億円（37億5千万ドル）という堤防への被害額を考えると、岩手、宮城、福島での堤防建設に、数千億円の規模で投資されてきたと考えられる。また、釜石、久慈、大船渡等の主要な港湾では湾口防波堤の建設に、4000億円（50億ドル）が投じられた。これらの投資の費用便益分析手法は、KN6-1に説明されている。

被災地域は、1896年6月および1933年3月の三陸大津波、1960年のチリ沖地震によって引き起こされた津波を含め、津波による壊滅的な被害をたびたび受けてきた。1933年の昭和三陸津波は、国や県の主導での近代的な津波対策を促すこととなった最初の災害であった。高台移転や5カ所での堤防建設が主な対策である（Box 1）。

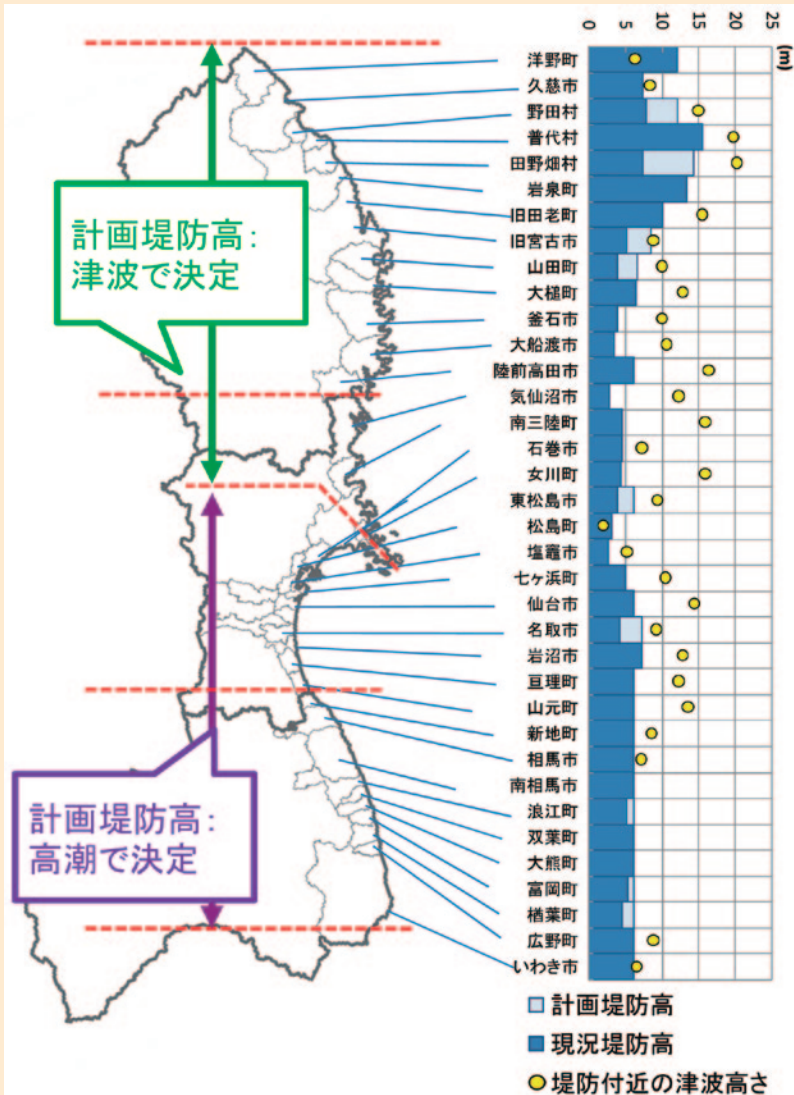
Box 1：岩手県宮古市田老地区の巨大防潮堤



東北地方の住民は、何十年にもわたって防潮堤を建設し維持してきた。田老町では、1896年の明治三陸津波にて15m級の津波に襲われ、285戸の家が押し流され、1,447名の村民が命を落とした。1933年の昭和三陸津波では、7.6mの津波が襲い、503戸の家を押し流し、村民2,950名のうち889名が命を落とした。対策とし

て500戸の家に十分な広さの高台が見つからなかったため、村は堤防を築くことを選択した。工事は借入金を用いて1934年に着工し、完成まで30年以上の歳月を費やした。最大の堤防は長さ2433mで高さ7mである（海拔10.65m）。上幅3m、基盤の幅は25mであった。2011年3月11日の津波は、この防潮堤をも呑み込んで破壊し、町内全域に死と破壊の爪痕を残した。

図1：堤防高の決定



出所：国交省

1960年のチリ地震津波は、この地方で広範囲にわたって堤防建設を促進した。当初、堤防高は、1960年津波の高さに基づいていたが、その後何度も見直され、それ以前の120年間に発生した他の主な津波や、高潮水位の予測も考慮に入れることとなった。これらの堤防は、予測された津波や高潮水位のうち最大級のものに耐え得るよう設計されて

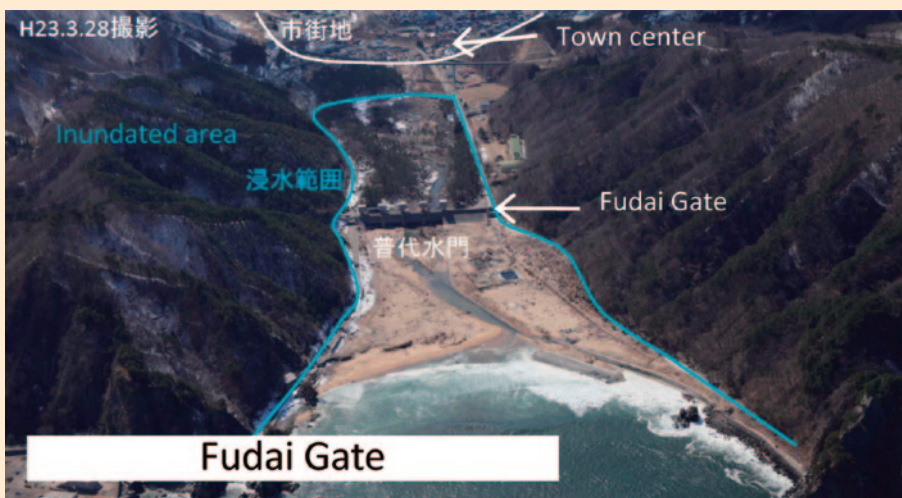
いた。岩手県および宮城県北部では、堤防高は津波の実績と予測に基づいて設定され、宮城県南部および福島県では、堤防高は、予測された高潮水位に基づいて設定された。リスク評価の方法は、KN5-1で説明されている。

構造物の津波に対する挙動

東北地方のいくつかの地域では、津波が堤防を超えることがあっても、堤防により被害は減少している。岩手県普代村では、1984年完成の15.5mの水門が村と3,000人の住民を守った。1896年の明治三陸津波（高さ15.2m）、1933年の昭和三陸津波（高さ11.5m）、1960年のチリ地震津波（高さ11.5m）によって、普代村は深刻な被害を受けた。その後、1980年代前半に村長は、15m級の津波がいつか再びこの村を襲うことがあるとの確信を抱き、村内を流れる普代川の河口から約300m内陸に入った地点に、幅200mの水門建設を推進した。こうして東日本大震災では、高さ20mの津波が水門の頂点に達したが、津波が村の中心に到達するのを防いだのである（図2）。崖に囲まれ海に面する幅が狭い地形が、これほど高い水門の建設を可能にする上で有利であった。

洋野町の例（図3）が示すとおり、津波が堤防の高さに達しなかった地域（岩手県北部、青森県、茨城県他）では、堤防は集落を防御するのに役立った。

図2：岩手県普代村の浸水範囲

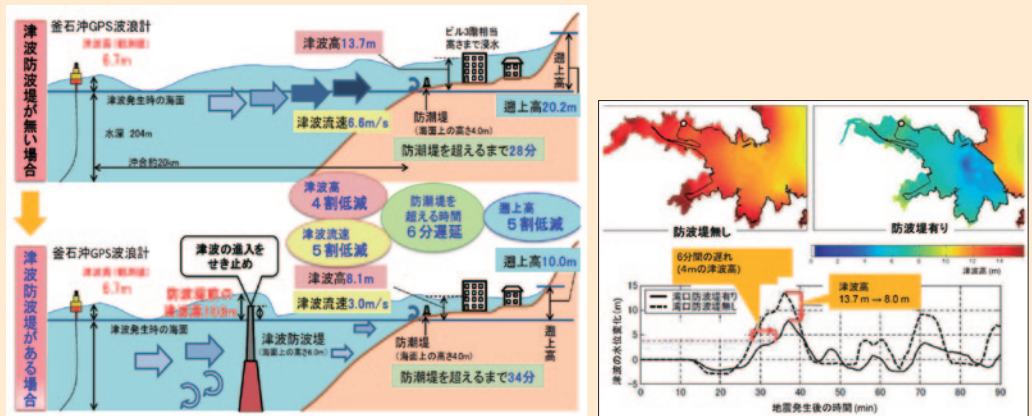


出所：国交省

図3：岩手県洋野町では津波の浸水がなかった



図4：釜石湾口防波堤の効果



出所：国交省

防波堤が津波の被害を軽減するのに効果的だった例がある。岩手県釜石市の湾口防波堤は、総費用約1200億円（15億ドル）をかけて2009年に完成した世界一の深さを有する防波堤であった。東日本大震災の津波で破壊されたものの、津波の威力、そして津波高を約40%減少させ、津波の到達を約6分遅延し、住民が高台に避難するための貴重な時間を確保した（図4）。

東日本大震災の津波は、数多くの海岸構造物を破壊した。岩手、宮城、福島各県の1700kmの海岸線にわたってつくられた総延長300kmの堤防のうち、190kmは破壊されたかまたは著しい被害を受けた。多くの場合、津波の高さが、堤防高の2倍に達した（図1）。東北地方の太平洋岸（青森県から茨城県）の計21カ所の港で、堤防、埠頭、その他施設に甚大な被害を受け、港湾機能が停止した。

図5：北上川と旧北上川の流域の津波による浸水範囲



出所：国交省

津波の河川遡上は、主要河川沿いに甚大な被害を引き起こした。例えば遡上の痕跡は、北上川の河口から49km上流でも見られた。宮城県石巻市は北上川が海に流れ込む土地であるが、ここでは、沿岸部の津波の直撃に加えて、深刻な津波遡上が見られた。北上川流域の約73km²の範囲、すなわち市全体の13%が浸水した(図5)。石巻は、3,280名の死者と539名の行方不明者(2012年3月11日現在)という深刻な被害を受けている。20,901戸の家が全壊し、10,923戸の家が半壊となった(2011年10月21日現在)。

東日本大震災を教訓とする新たな構造物対策についての考え方

東日本大震災では、過度に構造物対策に依存する防災対策の限界が露呈した。堤防は発生頻度が比較的高い津波から防御するべく設計されており、ある程度の高さの津波の被害を防止するには有効であった。しかし、東日本大震災では津波高は設計をはるかに上回った。構造物が水位を低減させ、津波の到達を遅延し、海岸線を維持するのに役立ったとはいえ、津波は多くの構造物を乗り越え、内陸に甚大な被害をもたらした。

日本では、今回の震災を教訓に、発生し得る最大レベルの災害にも備えるという政策変更を行った。20-30m級の堤防を建造するのは現実的ではなく、経済、社会、環境の側面から実用化できるものでもない。しかし、他の手段、特に、住民の安全な避難を確保するために、構造物対策と非構造物対策とを結びつけた多重防御により、人命を守ることは可能であり、必要でもある（KN6-5）。非構造物対策は、クラスター2の教訓ノートで論じられる。多重防御の計画策定は、過去の津波の歴史的記録、文書および津波痕跡などの総合的評価に基づき、さらには最新の地震学の調査研究とシミュレーションを根拠として行われる。

東日本大震災以後、政府は二つのレベルで対策を行うこととした。レベル1は、100年ごとの頻度で発生し重大な被害を引き起こす津波を対象とし、レベル2は、発生頻度は非常に低い（1000年に一度）が壊滅的被害を引き起こす、考えられ得る最大の津波を対象とする（図6）¹。従来の堤防のような構造物による対策は、レベル1の津波に対しては、人命と財産を防御し、地域の経済活動を安定化させる。レベル2の津波に耐え得るものとするには、耐久性を高め洗掘による決壊の可能性を低減するよう構造物を改良する必要がある（図7）。補強済みだった堤防の約87%は、この度の津波に呑み込まれたにもかかわらず、被害を受けなかった。

政府は、構造物の景観や地域ごとの特性、生態系、持続可能性、さらには財政上の実現性といった問題を考慮に入れ、河川および海岸構造物の改築に関する新たな指針を発表した。

水門と陸閘の動作

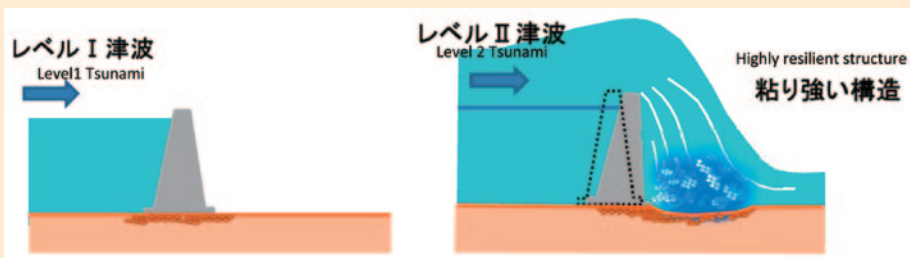
水門と陸閘の操作が東日本大震災では問題となった。水門やゲートは津波到来の前に閉鎖されることになっているが、この操作が津波到達までに完了せず、消防団員や作業員が作業中に命を落とした。さらに、機器類の停止や作業員が渋滞に巻き込まれ現場に到着できなかったなどの理由で、多くの水門類が開放されたままになっていた。また、電源喪失のため機能しなくなった水門もあった。

2011年12月に水防法が改正され、水門や陸閘その他の施設で作業する消防団員や作業員の安全を確保するよう定められた。2012年3月に、国交省および消防庁は、自治体などの関係機関に対して次のように通知した。

- 不要な水門を撤去し、残りの水門が自動、半自動または遠隔操作により操作可能であるか確認する。

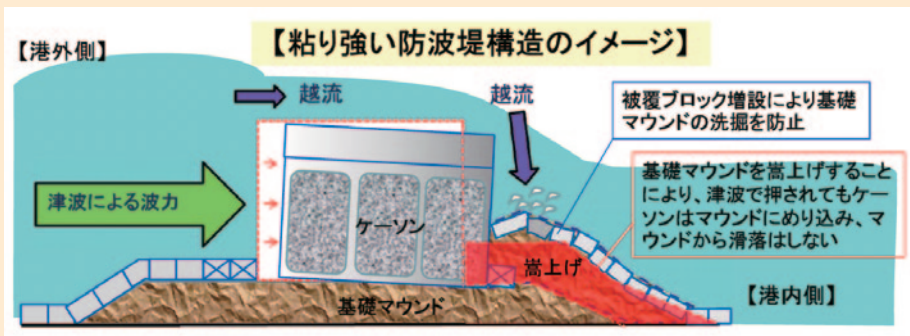
1 二つのレベルによる手法は、他の主要なインフラ、例えばダムや堤防の設計にも採用されている。ダムは設計の際、最大確率洪水または再現期間が10000年の洪水を考慮し、洪水調節操作においては、100年－200年の洪水を考慮する。また、東京など重要な地域を防御するために、堤防の設計基準をさらに高くし、100年－200年の洪水の基準を上回るレベルとした。

図6：レベル1及びレベル2の津波に対する対策



出所：国交省

図7：粘り強い堤防の構造



出所：国交省

- ・ 陸閘は常に閉鎖しておく。遠隔操作、スロープや階段を設置する。
- ・ 緊急用電源を設置し、施設を耐震性とする。

教訓

東日本大震災で体験した巨大津波により、構造物に過度に依存した防災体制の限界が明らかになった。構造物では、津波災害を完全に防止することはできない。ただし、津波により破壊されたが、堤防は浸水範囲の減少など被害軽減にある程度有効であった。

過去の災害に学び、対策を見直すことが重要である。東日本大震災の被災地においては、さまざまな構造物対策が、歴史的な災害に鑑みて実施され、これまで被害の軽減に成果を収めてきた。

災害リスクを管理するには、考えられ得る最大の災害を見据えたシナリオを対象とすべきである。被害を最大限に軽減するには、構造物対策と非構造物対策の適切な組み合わせが必要となる。構造物対策は、レベル1の災害に対しては人命および財産への損害を防止し、レベル2の災害に対しては被害を軽減するように計画される。

考えられ得る最大の災害から防御するのに十分な大きさの構造物を構築することは非現実的であるが、構造物は強化する必要がある。災害が設計の仕様を上回っても被害を軽減するよう、構造物は建設されるべきである。「崩壊する過程でも一定の機能を果たす」ことで、津波の襲来を遅延しそのエネルギーを軽減することができる。このため、これまで予測していなかった災害についても設計に組み込む必要がある。

水門のような施設は、停電や操作員の不在時にも適切に管理されるよう設計しなければならない。災害時の安全な操作のために、標準化された指針が策定される必要がある。

途上国への提言

構造物対策と非構造物対策とを組み合わせることで災害に備える。 災害リスクを管理するには、二つのレベルの災害を対象とすべきである。レベル1の災害は比較的頻度が高く、重大な被害を及ぼす。レベル2の災害、すなわち考えられ得る最大の災害は、非常に低頻度だが、壊滅的な影響を及ぼす。あらゆる構造物対策と非構造物対策とを用いて、レベル2の災害に備える必要がある。構造物は、レベル1の災害から住民、資産、社会経済活動を防御し、レベル2の災害には被害を軽減するよう建設される。

地方政府に技術・財政支援を提供する。中央政府は国全体で災害リスクを軽減する上で重要な役割を担っている。中央政府は財政支援により、地方政府が構造物対策を推進するよう促し、技術的指針およびマニュアルを作成して構造物の最低限の要件を遵守するよう指導する必要がある。また、中央政府が、計画、設計、運転、維持管理について地方政府の専門職員に技術支援を行うことも重要である。

粘り強い構造とし、一気に崩壊しない設計、改良を検討する。ダムや堤防のような施設は、災害が設計レベルを上回った場合にも被害を軽減するように設計される必要がある。設計にあたっては、地震、洪水などの災害による極端な外力も検討される必要がある。構造物が破壊される場合でも、できる限り被害の軽減に役立つような機能が求められる。

国の経済的社会的条件を考え、堤防高さを段階的に上げる。レベル2の災害に備える安全基準や構造物の設計には、防御される地域の人口密度や資産を考慮する必要がある。レベル2の災害に耐え得るような堤防を構築することは不可能だとしても、堤防の設計には適正かつ実現可能な目標が設定される必要がある。

緊急時に主要施設を確実に操作する。緊急時にインフラ施設は安全かつ信頼できる操作が確保されなければならない。水門のような構造物は、例えば停電や操作員の不在など、厳しい状況下で操作不能となると、防災の機能が発揮できない。このため多重の対策が確保される必要がある。十分な人数の能力のある操作員が災害時に現場に限らず待機していることが必要である。マニュアルを策定し定期的に訓練を実施することが平時にも求められる。また、災害時の操作員の危険は軽減されなければならない。

著者

石渡幹夫：世界銀行

相良純子：建設技術研究所

参考文献

Ishiwatari, M. "Review of Countermeasures in the East Japan Earthquake and Tsunami." In *East Japan Earthquake and Tsunami: Evacuation, Communication, Education and Volunteerism*, ed. R. Shaw and Y. Takeuchi. Singapore: Research Publishing.

石巻市（2011）「石巻を襲った大津波と復興計画」

http://www.thr.mlit.go.jp/iwate/kawa/seibi_keikaku/dai6/image/dai6_02.pdf

東北地方太平洋沖地震を踏まえた河口堰・水門等技術検討委員会（2011）「東日本大震災を踏まえた堰・水門等の設計、操作のあり方について」

http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kakouzeki_suimon/arikata/arikata110930.pdf

<http://www.jice.or.jp/sonota/t1/pdf/02arikata.pdf>

http://www.jice.or.jp/sonota/t1/pdf/04shiryu_3-1.pdf

http://www.jice.or.jp/sonota/t1/pdf/04shiryu_3-2.pdf

河川津波対策検討会（2011）「河川への遡上津波対策に関する緊急提言」

<http://www.mlit.go.jp/common/000163992.pdf>

交通政策審議会港湾分科会防災部会（2011）「港湾における総合的な津波対策のあり方（中間とりまとめ）」

<http://www.mlit.go.jp/common/000149434.pdf>

国土交通省（2011）「河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引きについて」

http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/hukkyuukeikan/tebiki/tebiki.pdf