

津波対策のあり方

首藤伸夫

1. はじめに

津波防災対策は、今ひとつの転機にきている。常襲地帯においては中規模津波を考えた防災施設群が完成し、たとえば昭和43年十勝沖地震津波に対して効果を発揮した。これからは発生間隔の間遠な巨大津波に対する対策を、地域社会の日常生活や将来の発展を阻害することのないように実施しなくてはならない。

一方、非常襲地帯と考えられていた地域でも、日本海中部地震津波のごとき危険のあることが確認され、これに対処することが必要となった。

また、世の中が変ると被害の形態も変わってくる。本論では、津波発生より陸上へのうちあげまでについての研究の現状を概観したのち、過去の被害の形態をとりまとめ、ついで今後の防災対策のあり方を探ることとする。

2. 津波発生・増幅の機構と数値シミュレーション

寛政4年(1792年)に山腹崩壊が原因で有明海に生じたもののような、ごく少数の特殊例を除けば、津波の発生する原因は、断層運動に起因する海底面の鉛直変位である。

地震発生の機構は、プレートテクトニクスによって明快に説明されるようになった。この点については地震学の教科書や紹介書を参照されたい¹⁾。

地震の際に生じた断層の最大の長さは、1960年チリ津波時の800 km程度であると考えられている。日本近海で巨大津波を起こす断層では、200 km位である。断層の幅は100 km位で、これにより生ずる海底面の鉛直変位は数m、というのが、平均的な像である。

断層運動による海底面変位は、断層の平面位置および深さの他に、断層の長さ、断層の幅、食い違い変位量(横ズレおよび縦ズレの量)、断層の傾き、断層の走向のような、断層パラメータが与えられると計算できる。断層パラメータは、地震波や余震域など地震の特性から決定される。

海底下の地球を半無限の一樣な弾性体と仮定すれば、断層パラメータにもとづいて、マンシンハ・スマイリーの提案した方法で海底面変位がもとめられる²⁾。

断層運動は始まって終了するまで、100秒前後の時間がかかるが、瞬時に終了した場合でも津波発生効率 はほとんど同一である。

こうしてえられた海底面鉛直変位と全く同じ水面鉛直変位が生じ、津波初期波形となる。多くの場合、一山一谷の簡単な形であたえられる。このような初期波形が正しいか否かを直接確かめる手段は今の所なく、津波の伝播を計算して検潮記録との比較から間接的に判断する以外に方法はない。場合によっては、潮位記録から逆算して、地震波解析からは判読できない地盤変位が推定されたこともあった³⁾。

浅海や沿岸にたどりついた津波は、地形の影響をうけて屈折、回折、反射の効果の重なりあった、複雑なものとなり、最終的には陸上へうちあげる。場所によっては、海面上30 mにもおよぶうちあげ高を生ずる。

津波波高が沿岸部で大きくなる理由として、従来は、(1)浅水効果、(2)屈折や湾幅変化による集中効果、(3)湾などの地形固有の固有振動数と津波周期が近い時に生ずる共鳴効果、があげられていた。その他に(4)分散効果がある。過去の津波でもこの効果がきいたのではないかと考えられる例があったが、昭和58年日本

海中部地震津波で確認された。初期波形がある程度以上の波高を有し遠浅海岸に入射すると、分散効果が無視できなくなる。

高速大容量の電子計算機の御陰で、津波数値シミュレーションは、防災対策検討という実用上の目的に使用可能な有力な手段となった。最大うちあげ高をもとめるという事に限定するならば、過去の津波を±10%の誤差で再現することが可能となった。

日本近海に波源を有する津波のシミュレーションの場合、計算機容量とのかねあいもあって、外海計算と内海計算とに分けることが多い。外海計算に使用する式は局所加速度と圧力項のみを有する微小振幅長波の式である。コリオリ項や摩擦項は除外しても影響はほとんどない。外海計算とはいうものの、沿岸までふくめて計算する。ただし、沿岸での条件は流量零とするから、岸近くの結果は信頼できない。外海計算の結果の水深200 m 近辺の出力を進行波と反射波に分離し、岸へ向う進行波成分を境界条件として内海計算をおこなう。このとき、海底摩擦をふくんだ浅水理論を使用するのが普通の方法である。コリオリ力や水平渦動粘性項などは無視しても、津波の高さを対象とする限り問題はない。精度に関連するもっと重要な因子は空間格子の寸法であり、小さい程良い。陸上うちあげの先端条件を物理的に正しく与えることは不可能ではないが実用的ではなく、簡便な手法を用いざるをえないが、このときも空間格子の寸法によって結果の精度が左右される。²⁾

どの位の計算量になるかをしめそう。第一の例は、北海道根室から仙台湾にいたる南北 700 km, 東西 500 km を対象とした計算例で、深い所で一辺の長さ 5.4 km, 最も浅い所で 200 m とした場合、空間格子点数 13 万 5 千点、時間間隔 3 秒であった。うちあげ高を正しく評価するためには、最終の格子はさらに小さく、50 m 位にするのが望ましい。

第二の例は、日本海中部地震津波を対象として目下実施中のものである。前述したように分散項をふくんだ計算が必要となり、しかも波長 100 m 位の短周期波を正しく再現しなくてはならない。図-1 に領域分割の例をしめす。全領域は、渡島半島から秋田県をふくむ、270 km×200 km の範囲である。外海計算は $\Delta x = 2.43$ km の A 領域から $\Delta x = 90$ m の D 領域を使っておこなう。空間格子点数 27 万 5 千点、 $\Delta t = 1$ 秒であり、浅水理論までを使用する。D 領域の半ばから分散項を入れた式をつかい、最終格子寸法 10 m、 $\Delta t = 1$ 秒の計算となる。

このような計算を津波実時間につき 3 時間分位は実施しなくてはならないから、いかに膨大な計算であるかが想像できよう。

計算の結果が、最大うちあげ高に関しては±10%程度の誤差におさまることはわかっているが、その波形の詳細や流速については、対比すべき信頼に足る実測値がないために、まだ不明の事ばかりである。巨大津波が現存する防災施設を乗り越えた時に発生する事態を推定するためには、計算波形や流速の精度を向上する必要があるから、近い将来の重要な課題のひとつである。

3. 被害の形態

図-2 は、羽鳥がとりまとめた過去の津波の来襲エネルギー分布図である。⁴⁾ 白い部分は 1600 年から 1894 年の間に来襲した津波エネルギーの総和であり、黒塗りが 1894 年以降の 79 年間のものである。明治 29 年 (1896 年)、昭和 8 年 (1933 年) と近い過去に 2 度の三陸大津波があったために、津波といえば三陸地方を想起する人が多いが、むしろ紀伊半島から四国にかけての方が危険が大きいといわなくてはならない。また、日本海沿岸にも巨大津波が生ずることは、昭和 58 年の例でも実証された。

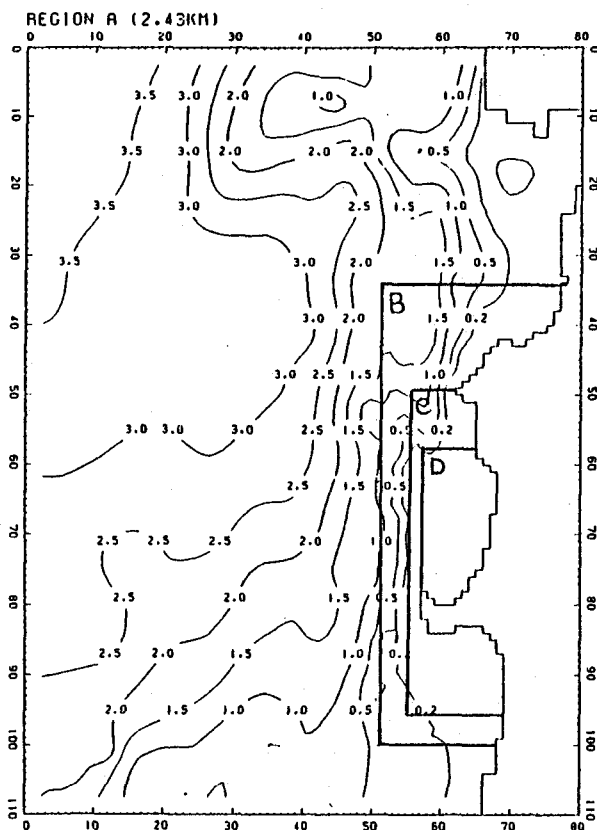


図-1 領域分割の例。空間格子は 2.43 km(A), 810 m(B), 270 m(C), 90 m(D), 30 m~10 m(E) としてある。

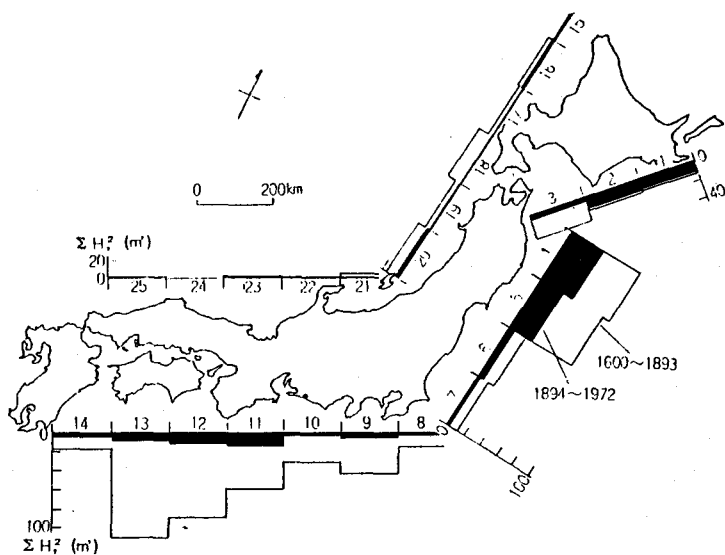


図-2 1894年以降79年間とそれ以前294年間に入射した津波エネルギーの積算値(羽鳥による)

日本沿岸各地で津波の危険のある事を覚悟しておく方が良い。沿岸地域の開発や海岸保全工事の際にこれを忘れると、新しい形の災害の原因ともなりかねない。

以下に津波による被害の形態を例示しよう。

3-1 人命被害

三陸大津波では、明治29年に約2万2千人、昭和8年には約3千人の人命が失われたといわれる。

巨大津波の陸上での波速は10m/s前後が多く、屈強の男子でも下手をすると逃げ切れない。早目に逃げると助かるのである。このとき、津波に対する常識の差がものを云う。2度の三陸大津波を体験した3つの集落で次のように違った結果が生じた。両石（岩手県釜石市）では、明治の津波を体験した古老が昭和8年の地震時に、津波が来るかも知れぬと夜間に浜に出て監視し、異常を認めて警告したために助かった⁵⁾。姉吉（岩手県宮古市）では、明治の津波で全員死亡したため経験者が居らず、昭和8年にも多数遭難して2,3名のみ助かった⁵⁾。荒屋敷（宮城県雄勝町）では、明治29年には地震が弱くて大津波があり、その翌年に地震が強くて津波が来なかった例を体験した人が居た。そのため、昭和8年の地震が大きかったので今度も津波は来ないだろうと判断して悲惨な目にあった。⁶⁾

避難の一時のためらいや、慾が身をほろぼす。昭和8年、「宮城県本吉郡唐桑村只越の人達、グラグラッとあの大地震に夜更けの夢を破られたが、いつとはなしに聞かされていた古老の言葉がピンと頭に来て、その後に襲い来る恐ろしいものを予期して一同逃げ始めたが、部落切つての素封家の与七爺さんは地震直後浜辺まで出て見て大丈夫と思ったか一人家に戻り重要書類とかシコタマ現ナマを持って逃げんとするところをドドッと来た大津波にのまれておだ仏、黄金と心中した訳だ」⁷⁾。体力に自信のある人程、この種の遭難が多い。津波のあい間に貴重品をとりに戻るからである。

日本海中部地震津波では釣人の遭難が多かった。揺れる海面を見続けているために地震に気付かないこと、陸上からの警報やサイレンが聞えないこと、救命衣をつけていなかったこと、避難しかけてから釣竿をとりに戻ったこと、などが死者をふやした主因である。レジャー客に対する対策は難しく、今後の問題である。

また、この津波で、海岸保全施設のために逃げ場を失った例が生じた。海食崖の洗掘防止のために砂浜上に長大な消波堤が築かれていた地点（男鹿市五里合）において、浜前面で作業していた人が消波堤を横切れず、浜に沿って走り遭難した。津波からの避難は高台へ素早く行わねばならないが、その退路を人工構造物が遮断してしまったのである。

3-2 家屋被害

昭和8年の調査結果から⁸⁾、津波の速さが10m/s以下の時

- i) 地上1～1.5mの浸水で家はだいたい半壊する、
- ii) 1.5mの浸水で土台に固定してない家は浮き出す、
- iii) 地上2階以上になると、1階は倒壊して2階は地上に落ち、平屋や構造の弱い家はほとんど破損する、事が知られた。また、崖を背にした所では反射波のために流速が落ちるから、水深2.5mまでは倒壊しない。

コンクリート土台にボルトで緊結してある家の破壊条件は良く分らない。昭和8年の例では、岩手県小本の海浜近くの木造小屋が4m以上の津波で流され⁹⁾、同県山田町大沢の製造工場が3.5mの浸水に耐えて残っている¹⁰⁾。チリ津波で宮城県志津川町の木造家屋は、土台毎浮きあがって流出した。2階の床上30cm位の水位で浮きだしたものが多かったという。これで見ると、土台にボルト締めした家屋の流出は、2階あるいは1階建ての屋根裏が水に没してしまってから始まるのであろう。

日本海中部地震津波では、きわめて短時間のあいだに衝撃的な力が働き、ボルトが曲がり、あるいはコン

クリート土台とともに欠け抜けた例があった。浸水位そのものは1階の天井にも達して居らず、しかも崖を背にした家屋が流されたのである。

このように、津波の作用は津波毎に異なり、波力や浮力の詳細な検討は将来の問題である。また、この他に、木材、船舶、流出家屋が衝突する事も考慮されなくてはならない。チリ津波時の志津川町の経験では、径60～100cmの材木が衝突すると家屋が倒壊した。

3-3 木材の流出

前記志津川町の木材流出は地上貯木場からの流出であった。陸上および水中に貯蔵されている木材の量は過去にくらべ大量となっているので、家屋などへの破壊力・漂流する人への凶器と化さないよう、十分な管理が必要である。

水中貯木場からの大量流出としては、チリ津波時に宮古湾鯨ヶ崎港からの流出木材が船舶などに被害をあたえた例、昭和43年の十勝沖地震津波での苫小牧工業港区から1,800本のニュージーランド松材の流出や宮古湾神林貯木場の4,700本のうち3,700本のラワン材の流出、日本海中部地震津波による秋田港の流出例などがある。

宮古湾神林の場合、木材はコンクリートパイル三脚の係留杭につないであったが、綱が切れて流動し、湾内中部より奥に漂着した。たまたま当日の午後の風向きが北寄りとなったため、湾外に出たものは数本にとどまった。流動時の木材の衝突力は大きく、多数の係留杭が基部より折損し倒壊している。^{11), 12)}

このような木材の動きを数値実験することも現在では可能となった。¹³⁾

3-4 養殖筏

津波と高潮では養殖筏の被災の状況が異なる。津波では深い所でも水の動きが激しく、高潮では水表面近くでのみ激しいからである。

ごく小さな津波であれば、餌や排泄物で汚れた海底の掃除となるので寧ろ喜ばれる。

被害が出始めるのは、津波のマグニチュード $M=0$ 、津波々高では0.3～0.5m位からである。¹⁴⁾ はまちなどの網のいけすでは、流速 1m/s でいけすとしての機能が失われた。¹⁵⁾ 真珠筏では 4m/s で中程度の被害が生ずる。¹⁶⁾

真珠筏の被災例では、昭和34年の伊勢湾台風、翌年のチリ津波を経験した鳥羽湾がある。台風時の養殖真珠の被災は主として海面近くに生じ、筏も岸边へ打寄せられることが多く、その途中で落下した母貝は通路のごとくにならんでいたため、大多数は回収可能であった。津波の場合には、筏の上下運動にくわえ、渦を巻く急な流れのため筏が流失大破して母貝は落下する。筏が破損にいたらない場合でも、つってある貝類の多くは海底へ落ちてしまった。海水の動きは底面近くでも大きく、砂や泥が母貝の上につみかさなり、回収不能となると共に、母貝は窒息死してしまった。¹⁴⁾

筏や係留索に働く力の評価は可能になりつつある。¹⁷⁾

養殖筏が流出して破壊力にかわった例はまだない。しかし、経済価値からいうと水産養殖の損害は額が大きくなる。

3-5 船舶・漁具

海震による船の被害はなく、プロペラの空転、スクリュウの異常、のような震動を感じている。⁶⁾

深い海で海震を感じない場所では、津波を認めえない事が多い。明治29年の津波の時、沖合で作業中の漁夫は、急に北方から南へと一筋の黒線が突き抜け、これと同時に漁網がグラグラと揺れ魚が全部逃げたのを体験した。別段危険がなかったので不思議に思っただけであったが、翌日帰ってみると津波のため家も家族

もいなかった。¹⁸⁾また、昭和8年時、北海道幌満の沖合を進行中だった船では、襟裳灯台が突如視界から消え去ったのを体験した。⁶⁾これらは、海面が傾斜したことのためだが、上昇下降の時間が長く流速も小さいため、津波とは気付かず、また危険もない。

浅い所では、津波の波高・流速とも増加する。ロシア軍艦ディアナ号（船長52.7m、幅13.3m、吃水4.3m、乗組員487名、備砲52門）は、伊豆下田で安政の津波を体験している。20m以浅の水深の所に投錨していた模様である。錨の効果がなく、高さ6,7mの津波にともなつて大きな渦が発生し、30分間に40回も回転した。第2波のとき、周期30秒最大波高11mの短周期波群に襲われる。第3波来襲とともに一方の岸から他の岸へ、まるで空中を飛んでいるような速さで動かされた。¹⁹⁾

遠浅海岸に大きな津波が襲来すると、風波程度の短周期成分が発達する。日本海中部地震津波を秋田県八森の水深25～30m付近で乗り切った人は、「電柱1本位の高さで三日月のようにまくれてきた。まくれてしまうと半分位になったが、それでも5m位はあっただろう。前面の勾配は2割位だった」と話している。

津波の大きさや形状は、津波ごと場所ごとに異なるので、どの位の水深があれば船にとって安全なのかは一概には云えない。過去の記録や数値計算例から見る限り、水深100mもあれば、ほぼ大丈夫である。もし可能であるならば、津波来襲以前に、この位の水深の所へ沖出しすれば船、船員共無事で、しかも船が危険物に化する可能性を防いでくれる。ただし、小型船の場合、沖出し途上で巨大津波に遭遇するとかえって危険であり、一律な対処方法は採用されにくい。²⁰⁾

沖出しできない船は碇泊することになるが、ロープには思いもよぬ程大きな力が働く事がある。チリ津波時に岩手県田老町では、0.3tonの船をつなぐ親指程のロープが切れた。千葉県大原港では、船の大きさはふれられていないが、退潮時に径10cmのマニラロープが切れている。¹⁴⁾係留索に働く力の見積りも可能になりつつある。²¹⁾

図-3は、²²⁾岸辺につないだ小型船の被害率と津波の大きさの関係を、昭和8年の三陸大津波について調べたものである。ここでの被害は単なる流出をふくまず、衝突などによって全半壊することを意味する。津波高2m位から被害が出始める。

最近では立派な漁港防波堤の完成している所が多い。日本海中部地震津波では、港口付近の航路や泊地が流出した漁具、漁網や破損した漁船などで閉塞し機能障害が発生した。²³⁾

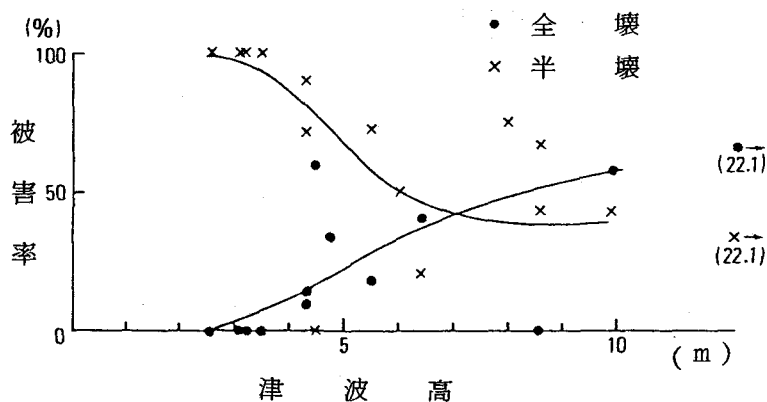


図-3 津波高と船の被害率（昭和8年三陸大津波時）

3-6 構造物被害

(1) 防波堤

防波堤先端部付近は激しい流れのために洗掘されやすい。昭和8年、岩手県広田湾長部では、港口で津波波高3 m位であったが、港口付近が2 m余も洗掘され、コンクリート防波堤が破壊されて陸地の方へ流された。⁹⁾ 同じ時、宮古湾では、水深約5.5 mにあったコンクリート方塊(2.5 m×1.8 m×1.1 m, 12トン)7個が、原位置より約30 mの距離に散乱、またケーソンの下部基礎は1個150 kgのもので構成されていたが12.5 m×5 mの範囲にわたって深さ1.2 m以上洗掘された。²⁴⁾

波圧による転倒と思われるのは、昭和58年の秋田県岩館漁港の防波堤で、港内へ転倒してしまった。砕波段波が近くの岩壁からはねかえって衝突したのでであろうと推測している。

越流による破壊例では、昭和43年十勝沖地震津波による八戸港河原木防波堤がある。港口が狭いため内外水位差が4 m以上となり、防波堤天端で0.5 m位の越流水深となった。津波および当日の風波の方向は防波堤と平行であったから、動圧はあまり大きくなかった模様である。事後の調査によると防波堤背後のマウンドが著しく変形していた。越流水のドロップハンマー作用および浸透水流によって堤体背後の基礎マウンドが不安定となり、それに静水圧的な外力が作用して、滑動あるいは転倒がおこったものと考えられている。¹²⁾

(2) 堤防・護岸

古い時代の被覆のない土堤は、津波の越流が始まると急速に破壊されている。前ノリの被覆しかない場合にも、20 cm位の越流水深があると破堤した(昭和8年宮城県気仙沼波路上)。⁶⁾

引波時に壊された例では、昭和8年宮城県本吉郡伊里前川の高さ3.6 mのコンクリート堤の上を約1 mの水深で水が越え、その引波時に破壊された。^{6), 9)}

昭和58年秋田県峰浜村では、T.P.14 m以上のうちあげ高の生じた個所で、高さ1.5 mのパラベットが押し波で倒壊した。これは短周期成分の波圧が原因らしい。

日本海中部地震津波による護岸被害のその他の原因は、(i)引波の戻り流れによる背後からの力、(ii)引波による護岸埋込土の洗掘、(iii)流れによる基礎の洗掘、などがあげられた。

堤防護岸があったために生じた被害としては、昭和43年十勝沖地震津波時の宮古湾奥赤前の例がある。チリ津波時に被害を受けた隣接地点には防潮堤が完成し、当時被災しなかった赤前地先は無防備のままであった。このため、防潮堤で防ぎとめられた津波がまわりこんできたのである。¹¹⁾ 同様な例が、昭和8年宮城県雄勝湾であったといわれる。⁶⁾

津波常襲地帯には、地盤上5 m以上の三面張りの海岸堤防が存在する。もし巨大津波がくると、天端上の越流水深は5 m近くになる場合もある。この時どんな事態になるのか、まだ誰も知らない。

(3) 岸壁

大破壊の例として、チリ津波時の八戸市小中野第二魚市場の岸壁がある。延長200 mが欠壊した。この附近の浸水深は護岸天端上1.3~1.8 mである。背後地が低平であるため、津波の浸水により海水が大量に貯溜され、戻り時に岸壁から流れおちて深掘れを生じたこと、さらに場所によっては13 m/sにも達したと推定される港内の激しい流れにより、基礎がえぐりとられたのである。—3 m水深の岸壁であったが、—9 mの水深となり、局所的な最大洗掘深は7 mにも及んだ。引潮になると背面土圧のため基礎が破壊され、函体8基(80 m)が中心部2基(20 m)を残して転倒または沈下し、5基が水没した。²⁶⁾

(4) 橋梁

1854年安政南海道地震では、大阪の木津川宇治川に津波が押しあがり、船がつきあたって多くの橋が落

橋した。「津波の時は橋を渡るな」と古くからいわれている。同種の落橋は、日本海中部地震津波でも、隠岐島西郷町中村で発生した。

昭和8年三陸大津波では、岩手県大槌で5本の鉄桁を渡したコンクリート橋が落ちている。津波の高さ3.5m、橋床の高さ3mで、漂流物の衝突か津波そのものの流体力なのかは判っていない。⁹⁾

橋脚の洗掘倒壊の例はみないが、橋台裏の洗掘による倒壊(昭和8年陸中八木川鉄橋²⁷⁾)、橋取付部の盛土部の洗掘による倒壊(昭和35年北海道霧多布大橋、汐見橋¹⁴⁾)などがある。

破壊ではないが橋梁の機能障害として、鉄橋橋脚へのハシケの激突のため、線路が60cmゆがんで不通となったことが、昭和35年八戸市内の八戸線で生じた。¹⁴⁾

(5) ブロック構造物

離岸堤や消波堤は最近の構造物で、昭和58年の日本海中部地震津波で始めて被災した。

離岸堤はブロックの散乱や堤体の沈下が生じた。島根県中村漁港の離岸堤は基礎には沈下対策としてロックマットを施工してあったが、全延長74mが0.9～2.0mもの沈下をしめした。²³⁾

消波堤のブロックの散乱は、秋田県峰浜村で大規模に発生した。1個4tonというブロックが高さにして原位置より5m以上、水平距離にして130m以上も陸側に運ばれたものがある。もともとの計画波浪は波高5.7m、周期11秒であった。これをはるかに上まわる外力が働いたと考えられるが、この移動の機構は判っていない。

3-7 交通障害

道路や鉄道は災害後の救援活動にとってきわめて重要であり、その確保は他の何よりも迅速に行われなくてはならない。

海岸道路の構造物としての破壊損傷は堤防や護岸のそれと類似している。その他の原因で交通不能となるのは、流木・家屋・船舶で閉塞されることである。大土工機械を投入しないとこの解消には時間がかかる。これら機械の接近路を複数本確保しておくが良い。

鉄道築堤では、越流しない場合は陸側付近の流水による洗掘が生じやすい。越流すると、道床や築堤の欠壊、線路流失がおこる。臨港線では、浸水にともなう土砂堆積のため使用不可能となった例がある。¹⁴⁾

3-8 火災

昭和8年、岩手県田老では、津波のため町、川向方面の家屋が荒谷の沢に集められ、そこから発火して40数名が焼死した。²⁸⁾ 釜石では第4波が来て海水が退く以前に2ヶ所から発火、目抜き通りの196軒を焼失した。⁶⁾ 大船渡細浦では、道路上にうちあげられた大型漁船の機関室から発火したが、この船が半焼しただけでおさまった。⁶⁾

昭和43年十勝沖地震津波では、釜石の保管庫の中の移動用給油装置に、鉄のシャッターを突き破った材木があたり、装置が転倒して発火したが発見が早く大事にいたらなかった。¹¹⁾

3-9 石油の流出

津波が直接の原因となった石油流出は、昭和43年に八戸港内でタンカーの油槽1個が破損した例があるが、¹¹⁾ 重大なものは地震が主因で流出し津波で運ばれる場合である。古くは関東大震災時の横須賀の海軍の重油タンク、最近の重大事故は昭和39年新潟地震時の昭和石油タンクの事故がある。後者の場合、石油に火がついて津波浸水域に運ばれて大火災となった。前者では、東京湾奥に沈没して長期にわたり海底汚染をおこしたといわれている。

火がつかなくとも大量に流出すると、漂流する人の命取りとなりかねない。明治29年青森県三沢付近で流

された人が、大量に流出した魚油の中にまきこまれ、油を吞んで体をこわした。²⁹⁾ 石油を吞めば一命が危ないであろう。

3-10 地形変動

大きな地形変動としては、明応7年(1498年)の津波で浜名湖に幅4 kmの新河口が生じた例、元禄16年(1703年)伊豆大島の波浮で池が切れて現在の港となった例がある。⁴⁾ 最近でもチリ津波で霧多布のトンボロが切れて島が出来た。¹⁴⁾

堆積することも勿論ある。昭和8年田老の低湿地に3 m以上土砂が堆積した。チリ津波では釧路川で接岸用の護岸前面が1 m以上浅くなって使用できなくなった。¹⁴⁾

3-11 防潮林

飛砂防止、塩害防止、あるいは津波対策としての防潮林は、津波が大きくなりすぎると樹木が切損あるいは倒壊されてしまう。樹種、下生えの有無、地形などの条件は不明であるが、過去の例をとりまめると、図-4のような限界がうかがいあがってくる。

津波そのものにはもちこたえた樹木が、林にもちこまれた大量の漂流物や砂礫、地下に浸み込んだ塩分、流れによって揺り動かされ根が傷んだ事、などのために枯死する場合がある。

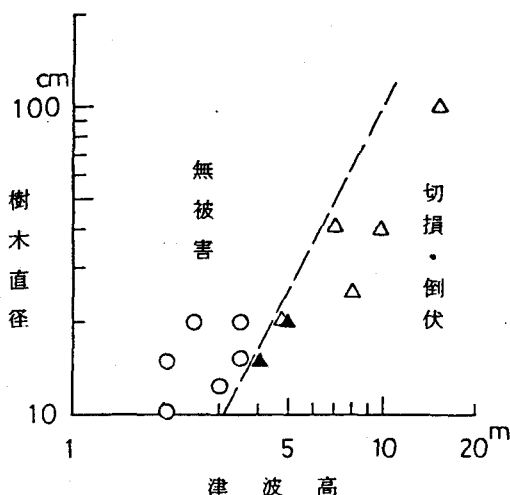


図-4 津波による樹木切断倒伏の限界

4. 津波対策とその問題点

前に見たように、日本近海で発生する巨大津波の初期波形の平均像は、平面的な広がり方が100 km×200 kmの程度、鉛直変位は数mということはわかってきたが、これでは津波対策という実用上の目的には不十分である。発生しうる最大の津波がどの位の大きさをきめることが、近い将来に可能になるとは考えられない。

図-5は、岩手県山田町の昭和8年(1933年)、明治29年(1896年)、慶長16年(1611年)の最大うちあげ高をしめす。³⁰⁾ ここ100年の間に三陸地方は巨大津波を2度も経験したのであるが、350年もさかのぼると、さらに大きな津波が存在したのである。場所によっては、貞観11年(869年)の津波はもっと大きかったとの言い伝えもある。発生しうる最大の津波を過去の記録で確定することも不可能といわなくてはならない。

津波は発生間隔が間遠で、しかも精度の高い資料はごく最近のもののみであるから、生起確率の計算もあてにすることができない。

このような現状であっても、防災対策を立案するにはどの津波を対象とするかを決定しなければならない。対象津波をどの位の規模のものに設定するかは、経済状況や社会的要請の重要度によっても異なる。いまの所現実的な線は、ここ100～150年間の既往最大津波を対象津波として選定する事であろう。比較的大きな津波が各地で一度は生じており、その記録も最大うちあげ高としては数多く残っているからである。ただしこの際、つねにこの対象津波を上まわるもののありうる事を前提としておく必要がある。

巨大津波を防災施設のみで防ぐことには、いくつかの問題点がある。防災施設、防災地域計画、防災体制



図－5 岩手県山田町の過去の津波浸水域。(—：昭和8年，――：明治29年，
····：慶長16年)(今村による)

の3種類を，その土地に適したように組合せるのが良い。

4-1 防災施設

津波の陸地への侵入を阻止あるいは軽減する構造物である。防潮堤，津波水門，河川堤防の嵩上げ（高潮堤）は侵入阻止，津波防波堤は侵入水量軽減を目的とする。後者の効果をもつものに防浪地区や防潮林もあるが，これは，防災地域計画の項で論じよう。

防潮堤はその構造によっては防潮壁，防浪堤などと呼ばれる。古い時代にはこれも防波堤（ただし陸上の）と呼ばれていた。陸上の構造物であって，その天端の高さを津波侵入を直接できる高さにとることが先ず基本となる。ただし，万一越流したとしても簡単に破壊されるものであってはいけない。三面張りにする。

防潮堤は防災施設の最も根幹をなす構造物であるが，いくつかの問題を派生させる。

第一の問題は日常生活との調和である。ごく少数の住民からだが，風通し，日当り，景観が悪く，漁業にとって不便だとのつぶやきがもれは始めている。埋立地に出た駐車場への出入りのために防潮壁をこわしその事後策を講じていない所がある。土地が狭いからといって防潮壁の海側に住みつく。

第二は，見かけの堅牢さに安心して，防潮堤背後の過去の氾濫域に移住する事である。三陸地方でのいく

つかの堤防は昭和8年の津波を防ぎうる高さをもっている。しかし、明治29年の津波はさらに高く、場所によっては天端上の越流水深が5 mにもなる。背後の洗掘に対し、はたして持ち耐えてくれるだろうか。それどころではない。もっと重要な問題さえ未知である。現存防潮堤が完全に効力を発揮した昭和43年十勝沖地震津波は、昭和8年三陸大津波とは全くことなる型のものだったと体験者はいう。巨大津波の衝突波力はまだ正確には見積られない。

第三の問題は、もし巨大津波の衝突・越流に耐えた場合、堤内地に湛水する海水の排除方法がほとんど配慮されていない。各地に大きな塩水湖が出現するが、一体どう手当てするつもりであろうか。

第四の問題は、巨大堤防の外側に階段などが少ないことである。特に侵食対策、高潮対策が主眼となつてつくられたものでは、皆無の例さえある。津波は高潮と違い、ある日突然発生する。その時浜に居た人が逃げ場を失うことのないよう考えておかねばならない。

防潮堤は津波の侵入を阻止するものである、計画対象津波を阻止するために必要な高さをとれば良い、という所で思考が停止しているから、このような問題点が残されるのである。

河川堤防の嵩上げは防潮堤の河川敷への延長と見なせよう。津波水門は河川堤防嵩上げ延長が長くなることによる工費増をおさえるために、河口部近くで川を横断して建造される。

防潮堤の建設にあたってともすれば忘れられるのが施工順序である。用地取得の困難な人口稠密な地域の築造が遅れ、それに隣接する人のあまり住まない所のものが先に完成することがある。いつ発生するか予測出来ない津波に対し、わざわざ守りたい地域を危険におとしめていることになる。

経済性の低い所は後に述べる緩衝地区として残し、無堤あるいは低い堤防にとどめ、そこに吸収される水量の分だけ隣接する人口稠密地帯の危険度が小さくなるような配慮が望まれる。

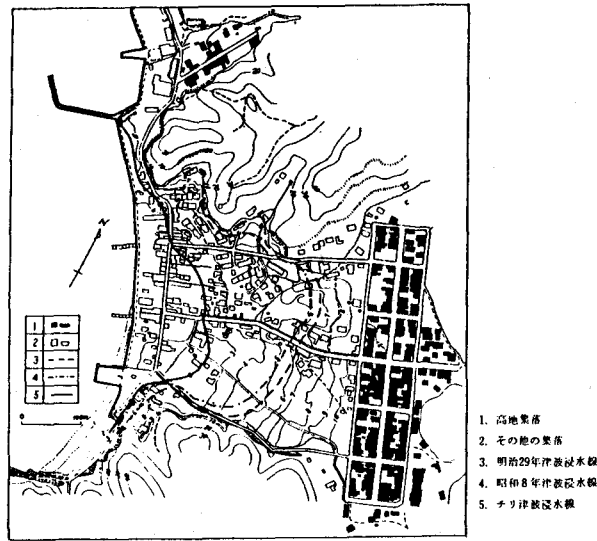
津波防波堤は、大船渡、女川に存在し、釜石では建設途上にある。その港口の開口面積は流出入する水量を制限し、防波堤の位置は湾の固有振動を変え津波との共振特性を通じて津波を減少させる。漁港の防波堤でも効果のある場合があるが、周波数特性があるから、つねにきくとは限らない。海水交換が悪くなることにより平常時の生活や養殖漁業への影響が問題になる事もある。

4-2 防災地域計画

人命や資産に重要な関連をもつ住宅や施設を被災の危険性の少ない場所に立地させること、危険性のある場所は被害が小さくなるような形で有効に利用すること、が防災地域計画の目的である。

高地移転は、過去にも採用された、抜本的な津波対策である。図-6は岩手県山田町田ノ浜の例である。³⁷⁾山手に黒塗りでしめした整然とした区域が、昭和8年に土地造成をして移動した集落、白塗りの家々はその後に低地に建ったものである。現在防潮堤があるものの、明治29年の津波に対しては無力なのである。高地移転は過去の大津波時には度々実施され、数年で駄目になった例が数多い。漁業が主産業の場合浜から200m以上離れると不便である、段丘上に移動すると飲料水が不足する、主要交通路から離れると日常生活に不便、などが原因であった。³¹⁾しかし、こうした問題は、自動車や水道の普及などにより解消されやすい状況になっているのにくわえて、バイパス道路は海岸の屈曲した路線を避け山手側に建設される所が多くなっているから、現在では解決しやすい。長年月をかけても、津波に強い集落にするには、高地移転が最良の策である。

土地利用を規制する方策としては、災害危険区域の指定、宅地造成工事規制区域の指定など、現行法によっても規制可能である。都市河川で一部実施されているように氾濫の経歴を公表したいものである。たとえばハワイ諸島中のカウアイ島ではワイニハの日常用品店の外壁に氾濫地図を掲示して、常に住民の注意を喚起している。³²⁾これをしないと次第に忘れられ、現に病院や学校が危険地域に立地してしまった個所がある。



図－6 高地移転集落とその後の住居建設の例（岩手県山田町田ノ浜）

市町村役場庁舎、学校、病院等の公共施設は、地域の土地利用を誘導し、さらに災害時の避難や救援の拠点であるから、その配置や構造には特に留意しなくてはならない。

同じ意味で道路や鉄道の配置も重要である。万一の災害時にも被災しにくい場所や構造をえらぶ。少数個所での被災が全線の交通遮断につながらないように、弱点の発見とその処置を実施したい。また、場所によっては道路や鉄道の築堤を2線堤として使用することも出来よう。

防浪地区は古くから提案されたが³³⁾ほとんど実現しなかった。津波被害の調査で、強固な建物の背後では家屋の倒壊や流失が軽微であることが認められ、前面の家屋群を堅牢な鉄筋コンクリート造のものとするよう提唱された。しかし、高価なこと、海水の浸入を完全には遮断せずその効果を定量的に評価できないこと、などが実現を見なかった原因だと考えられる。いまでは効果は算定できる。³⁴⁾ 防災施設を越えうる津波のあることを覚悟しなくてはならないから、もう一度見直して良い手法である。浸水効果以上に期待されるのは漂流物阻止の効果である。図－7にアメリカの考え方をしめす。³²⁾

防潮林は3－11でのべたような限界はあるけれども、温存したい方策のひとつである。この効果は、第1に津波の水位・流速を減衰せしめ背後地の負担を軽くすること、第2に漂流物をおしとどめその破壊力から背後地を守ること、第3に津波にさらわれた人のすがりつく対象となること、である。第1、第2の効果の大略をしめすと図－8のとおりである。防潮林の設計では、「主材木は黒松或は地方によりては赤松とし、副材木には海岸に自生する樹種、即ち、ヤマモモ、トベラ、ニッケイ、ウバメガシ、マサキ、ツバキ、ハルグミ、ヤブニッケイ、タブ、ハマヒサキ等を用ゆべし。ダンチクは耐潮力最も大なる故最前線に造成す可し」とされた。³⁵⁾ 防潮林にすがって助かった人の話は数限りない。樹木どころか電柱や電線さえそれにしがみつく人の一命を救っている。⁷⁾ 利用できる土地を求める圧力のため折角の防潮林が切られる所が出はじめている。心すべき事であろう。

土地利用度の低い土地を緩衝地区として残し、津波の運び込む水量の一部をそこで吸収して、隣接地区の

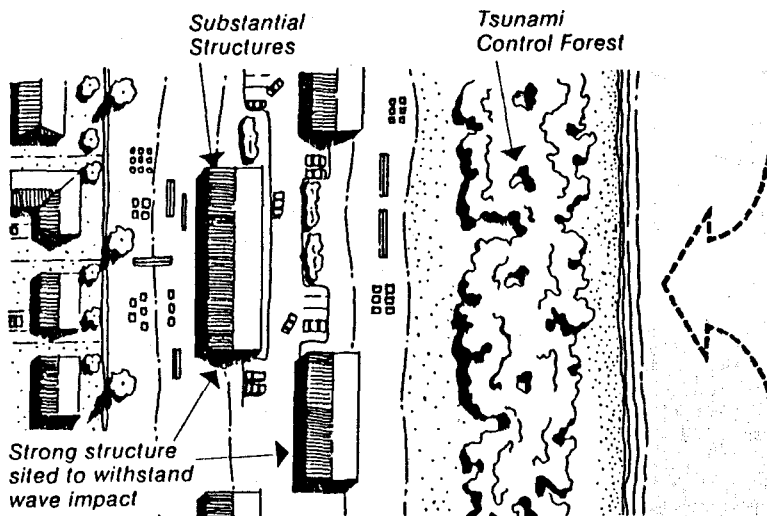


図-7 アメリカの防浪地区案。1階建てあるいは2階建ての堅固な工場を前面に配置している。

安全度を高める手法もある。

建物の堅牢化耐水化^{32),36)}、危険物対策、通信・電力・水道の確保なども津波を考えて対策を講じておく必要がある。

4-3 防災体制

大別すると4種類となる。

- (1) 防災施設の維持・管理および緊急時の操作、
- (2) 避難場所・避難路の整備、避難訓練の実施、予警報体制の充実など、緊急時に少なくとも人命だけは守りうる体制にしておくこと、
- (3) 被災時の救援体制、
- (4) 正しい津波の知識や防災に対する考え方などの、いわゆる災害文化の継承、

である。

防災施設の維持管理および操作には、主として地元の水防団があたっている。引戸式のゲートのレールの位置が若干低くなっているために冬季に氷が張りやすく操作に支障をきたすとか、古いゲートが塩害腐食のため駄目になったとか、角落し用木材が紛失してしまった、などの事故に、もう少しテキパキと対処できないものであろうか。低湿地に作られた三面張りの海岸堤防の内部土砂とコンクリート法覆いの間に間隙が生じていないか。地盤沈下のため、計画天端高がもう失われてはいないか。こうした点をチェックし修正する体制はまだ確立されていないように思われる。

津波来襲時に避難することは、高地移転と並び、津波防災対策の最も重要な基本策のひとつである。避難

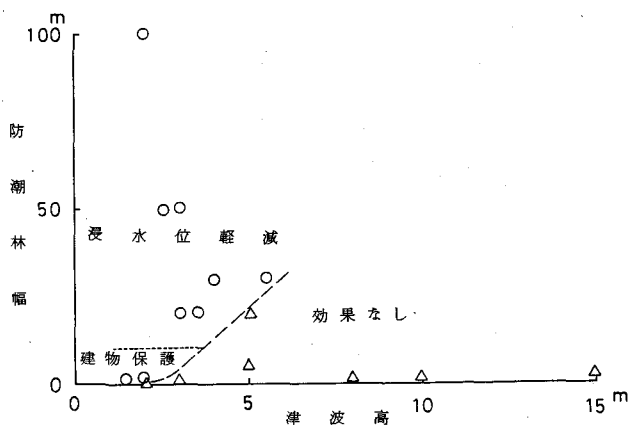


図-8 防潮林の効果

では距離をかせぐより、高さを得ることが必要である。曾って浜沿いの道の両脇に並んだ家々のために浜に直行して山へと走る通路がなく、そのために逃げ遅れた例がかなりある。高所へ通ずる最短距離を用意し、闇夜を走る外来者でさえ、安全な避難所へ逃げられるようにしておかねばならない。

避難場所は、防災施設があろうとも、過去の津波浸水域より高所に用意し、事態によってはさらに高所へ移動できる通路の準備が必要である。浜近くに高所の存在しない場合、数列の高層の防浪ビル群を用意し、その三列目より陸側のビルの屋上を利用するという方法もあろう。

常襲地帯では過去の津波記念日に避難訓練を実施している所が多い。ところが年々参加者はへり、老人と子供以外は傍観している人がふえた。新興住宅地でベッタウン的な地域では、津波に無関心な住民が増加しつつある。

津波予報は信頼できるとする人は勿論大多数であるが、たびたび警報が出され今迄にはさほど危険がなかったからとの理由で無視する人の数が少しずつ増えてきている。それ所か、津波警報とともに車で海へ見物に出かける人がある。現存防災施設が昭和43年十勝沖地震津波を完全に防いだのを目撃したための安心感のなせるわざであるらしい。

救援体制には、被災直後に各地先で住民が力をあわせておこなう遭難者救助や医療活動、周辺地域からの日用品や医療品の供給を確保することなどがあげられる。土木技術者としては、道路交通の確保が最大緊急の課題となる。孤立した集落への援助には、今後大型ヘリコプターが威力を発揮するとおもわれるが、急なヘリポートの開設は飛行認可をうるのに時間を消費してしまうことがあるので、平常時から用意しておく事であらう。

正しい災害文化を継承していく事は、津波に強い集落を長期的な展望の下で作り上げ、巨大津波発生時に人命被害を少ならしめるための、もうひとつの基本的事項である。所が、過去の津波浸水高をしめす石柱が道路改良工事の際に抜きとられて忘れられてしまう例、津波記念碑が藪の中にうまって眼にとまらなくなった例など、常襲地帯でも風化がおこりつつある。極端なものになると、「夏には津波は来ないものだ」と信じ切って、外来者の多い夏場は安全だとの口実のもとに、海辺のキャンプ場に防災施設も避難所の指示も緊急放送のシステムも一切存在しない所がある。

4-4 防災対策の例

(1) 岩手県田老町

図-9は、昭和8年三陸大津波のあとで震災予防評議会が提案した例である。住宅地のまず第一線には防波堤（図中としては防浪堤と呼んでいる）があり、その隣接地は緩衝地区として働くことを期待されている。ついで防潮林があり、また高地移転のための住宅地造成が考えられていた。防波堤建造に費用がかかりすぎる事が第一の理由で、直線状の線形の代りに主な住宅地をかこむ防潮堤のみが建設された。これが図-10のOld dikeとされる。＼く／の字形のものである。天端高は昭和8年三陸大津波の痕跡高でT.P.10mである。その後、New dikeがつくられ、田代川の河口は津波水門でしめきられた。この天端もT.P.10mである。明治の津波はこれよりも5m高い。このふたつの痕跡は、漁港入口の岩壁の上にペンキで大きく描かれている。

高地での住宅地造成と緩衝地区の確保は実現していない。

(2) ハワイ

津波来襲時の避難場所が指定されており、電話帳に図示されている。また、緊急時のサイレンの意味も掲載されている。

ヒロの下町を改良する案の一例を図-11にしめす。最前線に津波防潮林があり、ついで現存のカメハメハ

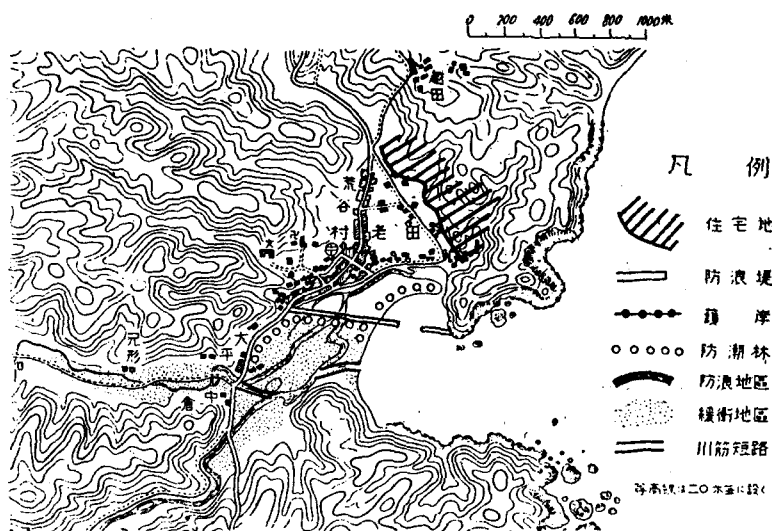


図-9 岩手県田老の津波対策案（昭和8年直後）

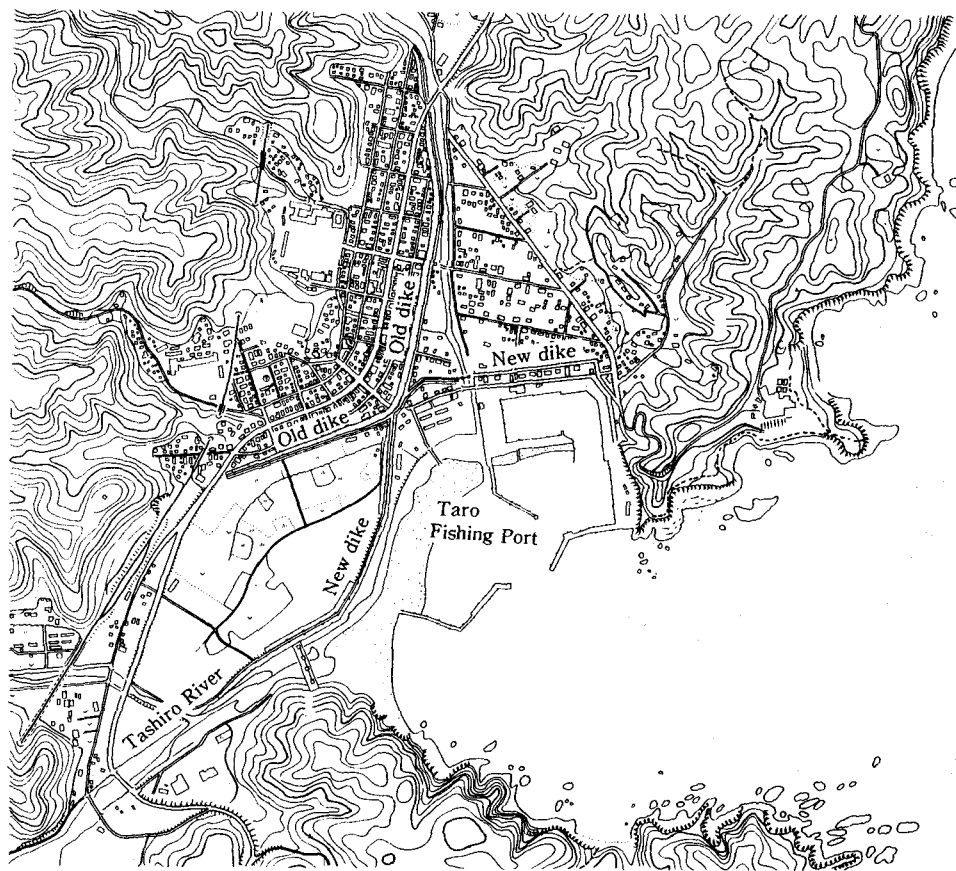


図-10 岩手県田老の現況（昭和56年現在）

商店街を点線の箇所から陸側の2階以上へと移転する。一階は駐車場とする。ここで津波の勢いを殺ぎ、その陸側にこれから建設される強固なビルで津波を防ぐことになっている。³²⁾

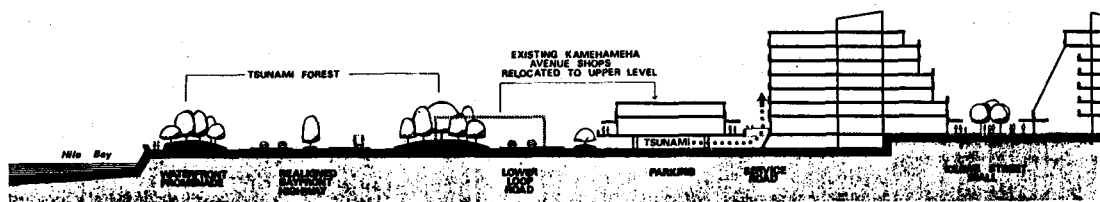


図-11 ハワイ・ヒロ下町の改造案

5. おわりに

対象津波の規模を大きなものに設定するとき、防災施設のみで対応することには限界がある。防災地域計画、防災体制との組合せのもとに、キメ細い対策をたてねばなるまい。もはや、土木技術者の力だけで防災計画を立案し実施する時代ではなくなった。衆知をあつめ、それ程遠くない将来に発生するであろう巨大津波に対処したいものである。

参 考 文 献

- 1) たとえば、日本物理学会編：地球の物理—現代の地球観，丸善，371 p., 昭和57年度改訂増補版。
- 2) たとえば、土木学会：水理公式集，昭和59年度版。
- 3) 相田 勇：1978年伊豆大島近海地震に伴った津波の数値実験，地震研究所彙報，Vol. 53，pp. 863～873，1978。
- 4) 羽鳥徳太郎：歴史津波，いるかブックス，125 p., 昭和52年。
- 5) 山口弥一郎：津浪と村，212 p., 恒春閣書房，昭和18年。
- 6) 中央気象台：昭和八年三月三日三陸沖強震及津浪報告，驗震時報，第7巻第2報，昭和9年。
- 7) 三陸大震災史刊行会：三陸大震災史，185 p., 友文堂，昭和8年。
- 8) Nasu, N.: Heights of tsunamis and damages to structures, 地震研究所彙報別冊第1号，pp. 218～227，昭和9年。
- 9) 昭和8年三陸地震津浪調査報告，地震研究所彙報別冊第1号，昭和9年。
- 10) 農林省水産局：三陸地方津浪災害予防調査報告，p. 661，昭和8年。
- 11) 気象庁：1968年十勝沖地震調査報告，気象庁技術報告第68号，昭和44年。
- 12) 運輸省：1968年十勝沖地震港湾被害報告津波調査報告，281 p., 昭和43年。
- 13) 後藤智明：津波による木材の流出に関する計算，第30回海講，pp. 594～597，昭和58年。
- 14) 気象庁：昭和35年5月24日チリ地震津波調査報告，気象庁技術調査報告第8号，p. 389，1961。
- 15) 石田善久：魚類養殖施設の現況と問題点，水産土木 Vol. 9, No.2, pp. 1～7，1973。
- 16) 佐藤忠勇：三重県下におけるチリ地震津波と養殖イカダの被害状況，水産増殖，Vol. 8, No. 3, pp. 193～202，1960。
- 17) 村上仁士：係留物の流出—養殖筏—，科研費研究成果・陸上に氾濫した津波の挙動と津波の流動による被災のメカニズムに関する研究（研究代表者・堀川清司），133 p., 昭和58年。

- 18) 海嘯義損小説, 博文館, 明治29年.
- 19) ワシーソイ・マホフ: フレガート・ディアーナ号航海誌, 高野・島田訳ゴンチャロフ日本渡航記の付録, 新異国叢書, 雄松堂書店, 昭和53年.
- 20) 日本海難防止協会: 海難防止の調査研究事業報告書—地震に伴う津波に対する安全防災対策の調査研究—, 117p., 昭和57年.
- 21) 斎藤 晃: 係留物の流出—船舶, 前出 17) に同じ.
- 22) Horikawa, K. and N. Shuto: Tsunami disasters and protection measures in Japan, *Tsunamis: Their Science and Engineering*, Terra Sci. Pub. Co., 1983.
- 23) 長野 章: 漁港施設の被害について, 漁港第25巻第4号, 1983.
- 24) 松尾春雄: 三陸津浪調査報告, 内務省土木試験所報告第24号, 昭和8年.
- 25) 野口篤美: 地震津浪膝栗毛, 宮城県昭和震嘯誌, 昭和10年.
- 26) 八戸港工事々務所: 八戸港を中心としたチリ地震津波資料集覧, 昭和36年.
- 27) 東奥日報記事, 昭和8年3月4日.
- 28) 田老町教育委員会: 防災の町, 119p., 昭和46年.
- 29) 東奥日報, 明治29年6月23日, 25日, 28日.
- 30) 今村明恒: 三陸沿岸に於ける過去の津浪に就て, 地震研究所彙報別刷第1号, pp. 1~16, 昭和9年.
- 31) 山口弥一郎: 津波常襲地三陸海岸地域の集落移動, 山口弥一郎選集第6巻, pp. 331~430, 世界文庫, 昭和47年.
- 32) Urban Regional Research: Land Management Guidelines in Tsunami Hazard Zones, 258p., 1982.
- 33) 文部省震災予防評議会: 津波災害予防に関する注意書, 昭和8年. たとえば宮城県昭和震嘯誌(昭和10年)に収録.
- 34) Goto, C. and N. Shuto: Effects of large obstacles on tsunami inundations, *Tsunamis: Their Science and Engineering*, Terra Sci. Pub. Co., 563p., 1983.
- 35) 農林省山林局: 津波災害予防林(防潮林)造成に関する技術的考察, 22p., 昭和10年.
- 36) 建設省土木研究所河川部総合治水研究室: 建築物の耐水化に関する研究, 土研資料第1916号, 221p., 昭和58年.
- 37) 国土地理院: チリ地震津波調査報告書, 100p., 1961.