

津波と被害

東北大学工学部 災害制御研究センター

教授 首藤伸夫

1 はじめに

1992年9月からの一年間は、津波の当たり年であった。

1992年9月のニカラグア地震津波は、陸上で感じた震度が大きくても高々2で、無感の人が多く、津波は10mを超えた。いわゆる津波地震で、2万2千人以上の死者、行方不明者を出した明治三陸大津波と似ていた。

1992年12月には、インドネシアのフローレス島周辺に津波が襲来した。発生頻度がきわめて小さいため、住民に津波を予想するものが少なく、しかも東海地震型で襲来までに殆ど時間的余裕が無く、最高打ち上げ高は26mに達する巨大なものであった。

そして、1993年7月12日の北海道南西沖地震津波である。最高打ち上げ高が一部で31mを超えたが、一番の衝撃は津波時に火災の生じた事であろう。しかし、実はこれは不意打ちではない。過去に例があり、繰り返されただけである。

津波の発生機構や増幅機構を簡単に紹介するとともに、津波被害の形態や対策について述べることにする。

2 津波の発生

地震が浅いところで起きると、これにもなう地盤の変形が海底面にも現われる。海底面が水平方向にズレても海水を動かすことにはならない。しかし、鉛直方向に海底面が変位すると、その上に乗っている海水もそれにしたがって持ち上げられ、あるいは引き下げられるから、海底面の鉛直変位がそのまま水面に生ずる事となる。これが津波の初期波形である。

おおまかに云うと、大津波なら、長さ100km程度、幅はその半分から1/3の広さの海底面が、高低差が数mの鉛直変位をする。長さ方向を長軸、幅方向を短軸としよう。簡単なモデルでは、山が一つ、谷が一つの単純な形をしていると想定される。短軸に沿った方向(長軸と直な方向)に、主な津波エネルギーが伝わって行く。出来たての津波は、一つの波からなっているというのが最も簡単な仮定である。津波の一波長は数10kmの長さとなる。

近年の最大であった1960年のチリ津波では、長さ800km、幅200km、鉛直高低差12mと推定されており、太平洋で生じた、あるいは生じ得る、最大級であろう。

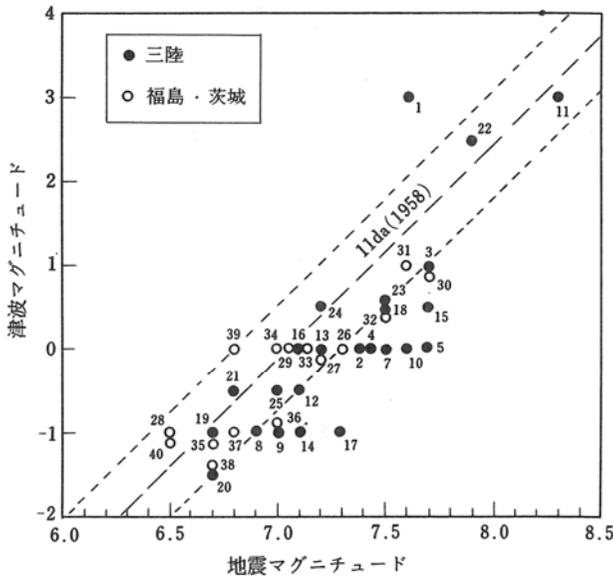


図1 地震マグニチュード M と津波
マグニチュード m との関係*

*一般的には地震の大きい方が津波も大きいのが例外がある。図中、添え番号1は明治三陸大津波である。地震は弱かったのに津波は極めて大きかった。(羽鳥徳太郎による)

一般的に、地震の大きい方が津波も大きい。図1は地震のマグニチュード M と津波のマグニチュード m とを比較したものであり、この事を示している。ところが、地震が小さいにも関わらず、津波がきわめて大きいものがある。その好例が明治三陸大津波で、地上での震度は大きくても3でしかなかった。

気象庁の行なっている津波予報では、地震の大きさ、震源の深さを基にして判断する。

北海道南西沖地震では、最善を尽くし5分以内に予報をだした。これ以上短縮することは出来ないであろう。

ところが、津波は予報より早く来襲した。きわめて近い波源の場合には、「地震すなわ

ち津波」と各個人が判断する以外に方法はない。さらに問題点として、明治三陸大津波のような津波を予測出来ないことがあげられる。過去に実績のある三陸地方は、盲点を抱えていることになる。

3 浅海での津波の増幅

発生したときには、数 m に過ぎなかった津波が、30m 以上にも這い上がる。その秘密は津波のエネルギー伝播速度 C_0 (津波の場合には、波速 C と同じ速度でもある) が、水深 h の平方根に比例することにある。すなわち、

$$C_0 = C = \sqrt{gh}$$

ここで、 g は重力の加速度で 9.8m/s^2 であるが、 10m/s^2 として計算しても殆ど違いはない。例えば、水深 1,000m ならば 100m/s (360 km/h)、水深 10m なら 10m/s (36 km/h) である。

津波の波長は数 10 km と長い。先端が陸に近づいて浅い海に到達しても、後ろはまだ深い所に居る。先端のエネルギー伝播速度は遅いのに後ろが追いついて来る。水は上に伸びる以外に行く先が無い。こうして、浅くなるほど津波が高くなる。これを残水効果という。

V 字状をした湾に津波が入ると、だんだんと狭い湾奥に押し込まれ、やはり上へ伸びるしか仕方が無くなる。これを集中効果という。

集中効果は、屈折によっても生ずる。津波は浅い所で遅い。播粉木を前に押しやって

も真っ直ぐには進まない。径の小さい方へ曲がりこんで行く。これが屈折現象である。2本の播粉木を径の小さい方を合わせて前方へ押しやると、径の太い方も集まって来る。

このように、屈折現象が津波の集中を起こすことがある。陸上の地形だけを見ていたのでは判断できない。

そのほかに湾の共鳴効果によっても津波は大きくなる。まずどの湾にも発生しやすい固有の振動があることから始めよう。片端を持ち上げた盟に水をはる。盟の底は傾いていても水面は水平となる。そこで、持ち上げた端を急に手を離して落とす。水面も急に落ちるから、盟の底が下に落ち着いたとき、水面は傾き、こちらの端では波の谷、他端では波の山となっている。こうして水が動き出し、今度はこちらの端では山、他端で谷となり、こうした運動を繰り返す。つまり、盟の中には、端から端までが半波長の振動が起きるのである。湾には、湾奥だけにしか端が無い。したがって、盟の中の波を半分の長さにした振動となる。湾奥には波の山や谷が繰り返し現われるが、湾口の水面は上下にあまり変位しない。これが湾に生ずる固有振動であり、湾内に1/4波長分だけ入っていることとなる。

さて、この条件を満たす津波が襲来すると湾内にエネルギーが溜まり、湾奥での波高は次々と大きくなる。これが共鳴効果である。

波源が近くにある近地津波では、短い波長の成分が多く含まれているため、短い湾の奥で津波が大きくなる。ところが、チリ津波のように遠くからくる津波では、太平洋

を伝播する途上で長い波長の成分が生き残り、長い湾と共鳴するため、長い湾の奥で被害が目立つこととなるのである。

4 津波による被害の種類

津波による被害と云うと、誰でも人命損失、浸水被害程度しか思いつかない。こうした直接的な被害の他、日常生活への障害など多種多様にわたるのが津波による被害である。

表1は、過去の例の一覧表である。

5 津波と火災

北海道南西沖の津波では、青苗地区が津波後の火災で壊滅した。「水は火を消すはずだ」と意外に思われたようであるが、過去にも例がある。

昭和8年三陸大津波では、3例ある。田老町では、流される家に台所の火が移って燃え始めた。他の家、漂流する人々が津波の渦に巻き込まれてこの家に引き寄せられ、次々と火が移り、40人近くが焼死した。

釜石では、第4回目の津波が襲来しまだ水が引かない中に、3箇所から発火、目抜き通りが燃えてしまった。津波の危険がなくなってから消火に努めたが196軒が焼失した。火元は9漏電ではないかとの説もある。

大船渡湾細浦では、大型の竜神丸という発動機船が路上に打ち上げられ、その発動機室より発火し、船体が半焼した。

チリ津波(1960年)時には、大事にはならなかったが、北上川河口付近での漁船の発火があった。

十勝沖地震津波(1968年)では、釜石港で保管庫の中の移動用給油装置に鉄のシャッ

表1 過去の津波災害の例

人 命 被 害	形態 溺死、漂流物による打撲・骨折、漂流中の異物呑込みによる病気など 原因 避難行動無し……無知識、津波軽視、地震無感知及び警報非伝達等。避難の遅れ……水中作業者、体力過言、過多情報への不信感等。救命胴衣不着衣
家 屋 被 害	形態 流出、破壊、浸水 原因 津波による波力、浮力や流水力。流木・流出船舶・流出家屋・車の衝突力。浸水による電気製品などの障害
防災構造物被害	洗掘による破壊、倒壊、変位。漂流物の大外力による破損。ブロック堤の沈下・散乱。落石防止工の転倒
交 通 障 害	鉄道 法面洗掘、道床欠壊、軌条の移動、鉄橋の変位、臨港線の土砂による埋没 道路 漂流物衝突による変位または落橋、橋台周辺の洗掘が原因の落橋、法面洗掘、漂流物堆積による交通閉鎖 港湾 土砂堆積による水深低下、局所洗掘による港湾構造物の破壊、流出物による港口閉塞等の機能障害
ライフライン	水 道 漂流物衝突による消火栓破壊、給水栓破壊、河川よりの取水口の破壊 電 力 電柱倒伏・流出による送電停止、発電所の浸水による障害 通 信 電柱や架空ケーブルの被害、地下ケーブルの立ち上がり部切断、電話機の冠水被害 下水道 排水溝を通じての浸水
水 産 業 被 害	養殖筏や漁網の流出、漁船流出・破壊、漁船発火焼失
商 工 業 被 害	浸水による商品価値の喪失
農 業 被 害	冠水による作物被害、流入土砂による農耕地埋没、土砂または漂流物による用水路埋没
森 林 被 害	幹折れ・倒伏・土壌洗掘などの物理的被害、浸塩水・埋砂による生理被害
火 事	流出家屋台所から出火、漁船機関室からの出火、ガソリン保管庫への漂流物衝突による出火、漏電、衝突による発火、不明火元
石 油 流 出	火事の火元及び延焼の原因、環境汚染
地 形 変 形	河口砂州切断、浅瀬の変化、砂浜の変形、河川内堆砂等

ターを突き破った流木があたり、転倒して発火したが、発見が早く大事に至らなかった。

津波と石油が絡むと大事となる。1964年のアラスカ地震の際には、アラスカで3件、遠く離れたカリフォルニアで1件の火事が生じている。

アラスカの Valdez では、地震とともに地滑りが生じた。その直後に襲った津波の高さは10m以上であった。地震と津波とで石油タンクが破壊され、油が流出した。数時間

後、小型船舶地の東にある燃料油貯蔵タンク群の所から火が出て、石油タンク群は全滅した。

Whittier では、津波は第2波、第3波が大きく、10m から 13m あった。津波により UnionOil、軍の石油タンクが傾き油が流出し、火を発して、町の約8平方kmが焼けた。

Seward では、地震が始まって30~40秒経った頃、StandardOil のタンクのパイプとバルブが壊れ、油が洩れ始めた。タンクが傾き、海へ向かって滑り始めると、轟音と共に火

を発生し 70m 近い火柱が立った。津波で運ばれた火は、他のタンクや鉄道の油槽列車のタンクを次々に誘爆させ、火は数日間続いた。

遠く離れたカリフォルニアのクレセント市では、Texaco 石油近くに駐車していたタンクローリーが、津波第 3 波に流され、車庫の扉を破って飛び込み、扉の側にあった配電箱に衝突して火がつき、その火が石油タンクへと引火して三日間燃えた。

日本でも、同年の新潟地震の時、石油タンクの関係する火災が 2 箇所で起きている。第 1 出火点の火事には津波は関係していない。地震で亀裂の入った昭和石油 No. 33 タンクからのガソリンは、震動で砂丘から絞り出された地下水と津波で運び込まれた海水とが湛水した上を、拡がった。地震から 5 時間後、発火し、水面上の油を伝わって燃え広がり、臨港町の一般民家約 300 戸が焼失したのである。発火原因は 3 つ位考えられているが、特定されてはいない。

そのほか、津波で石油タンクが破壊あるいは動かされた例、港内の石油タンカーが十分な操作が出来なかった例があり、火事につながる危険が常に存在していることを示唆している。

6 おわりに

我が国の津波対策は、世界に例を見ないほど行き届いている。しかしその反面、余りにも過去の被害例のみに関心がよせられ、ここ 30 年来の沿岸地帯の変貌に考慮が払われていない嫌いがある。

沿岸域には、大量の可燃物、漁船や木材が貯蔵され、危険の度合は増えている。

また、多数の船舶が速度を落として航行する東京湾、一度も津波を経験したことの無い原発など、沿岸地帯は経済的社会的に重要度を増している。思わぬ被害が発生した北海道南西沖地震津波を良い契機として、今一度、新しい視点から点検しなおすべきである。

