

防波堤の構造の違いによる消波実験

兵庫県立神戸高等学校 総合理学科 2年 4名

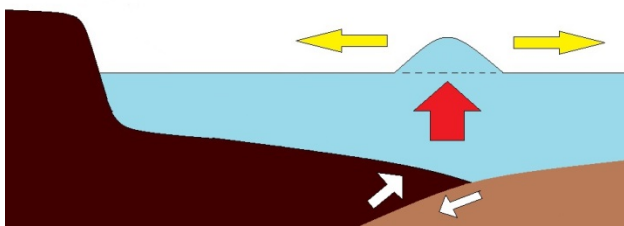
1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災によって生じた津波における甚大な被害は記憶にも新しいであろう。この地震における津波は日本全域に襲来し、2万人におよぶ人的被害を引き起こした。津波による人命、財産の被害を最小限に抑えるためには、津波とはどのようなものであるかを知る自然科学に始まり、対策法とその効果を追求する工学の力を駆使し、さらには人間の反応をも理解したうえで対応するといった社会科学的な手法も必要とする。そのような「津波」について私たちは、理解を深めて対策法を研究した。

2. 津波の発生

津波とは、主に地震や火山活動による海底地形の急変により海に生じる大規模な波の伝播現象である。強風によって生じる高波、および気圧の低下によって生じる高潮とは異なるものである。また、津波の発生要因はおおまかに ①地震②火山活動③地すべり④隕石衝突 に分けられる。

①地震による津波発生のメカニズム

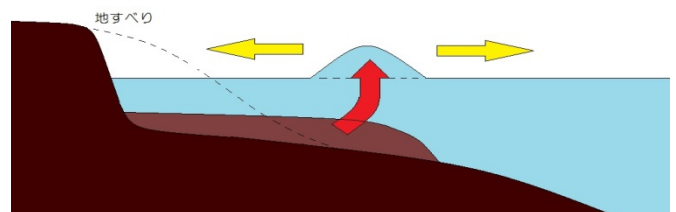


津波発生の要因のほとんどが、地震による海底の隆起、沈降によるものである。左図のように、大地震による急激な海底地盤の上下運動が、海水の上下運動となり四方八方に伝播する。例としては東日本大震災(2011)、スマトラ島沖地震津波(2004)、チリ地震津波(1960)などがある。「引き波の後に津波が来る」という言い伝えがあるが、津波が発生した場所と海岸との位置関係によっては、潮が引くことなく最初に大きな波が海岸に押し寄せる場合もある。津波は引き波で始まるとは限らないのである。

②火山活動による津波発生のメカニズム

火山噴火に関連した津波の発生機構は様々あると言われている。大きく分類すると、(a)噴火に伴う局所的な地震(b)海中噴火(c)山体崩壊や火砕流などの海域への突入(d)カルデラの陥没または沈降(e)爆発による大気波 などがある。例としてはインドネシアのクラタカウ火山噴火による津波(1883)が有名である。

③地すべりによる津波発生のメカニズム



地震動などにより地すべりが発生すると、その一部が海域に流入し、津波を発生させる。地震による津波と異なり、伝播方向へのエネルギーが高く局所的に大きな津波波高が発生するとされている。例としてはアラスカのリツヤ湾津波(1958)があり、地理的な要因も加わり波高は実に525mまで達したと推定されている。

④隕石衝突による津波

隕石による津波発生頻度はとても低いですが、他の津波をはるかに上回る甚大なエネルギーや被害が発生する可能性がある。この代表例が6500万年前、白亜紀末期のK/T-impactといわれる津波である。この津波は恐竜などの生物の絶滅と関連して議論されている。

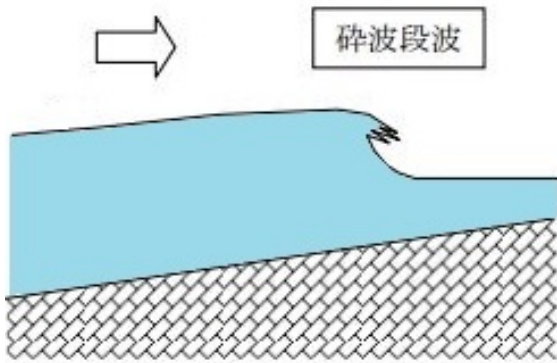
3. 津波の伝播

・砕波

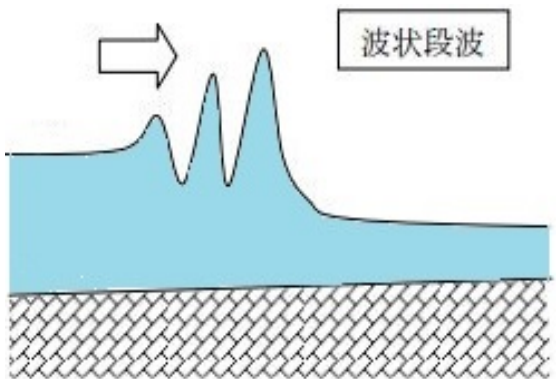
沖合から浅海域に波が到達すると浅水変形によって波高が変化し、水深が波高に近づいた時点で前方へと崩れ運動が乱れる現象。

・波状段波(ソリトン分裂波)

津波が溯上して行く過程で波形や水深などの条件により、周期の短い複数の波に分裂し波高が増幅する現象。

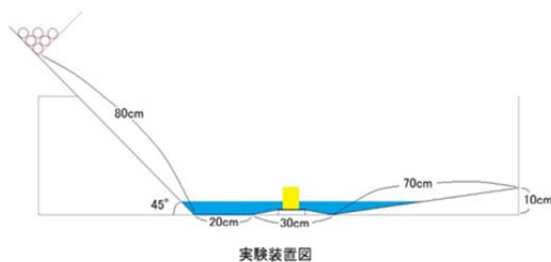


砕波段波の図



波状段波の図

これらの現象が示すように、津波とは綺麗な正弦波で表すことはできない。専門の研究機関でさえ津波学が発達したのはごく最近である。したがって私たちの研究も、実際の海で起こる津波とは異なる点も多くなってしまふ。だが、実験結果を応用すれば実際の海にも使用できるような方法があるに違いないと思い、実験を行った。

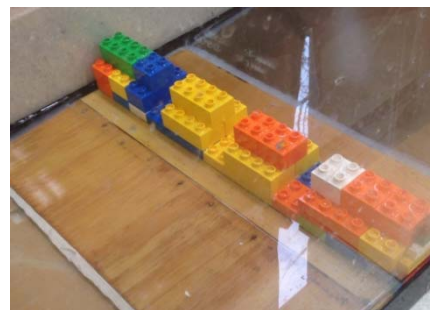


4. 実験方法

実験は上図のような装置を用いて行った。専門的な機関におけるこのような実験は、通常大型の水路と自動の造波装置が用いられる。しかしそのような実験を行うことは現実的に不可能である。そこで私たちは実験装置を、試行錯誤を繰り返しながらも市販の材料だけで一から制作した。水槽のサイズは45cm×45cm×180cm。水深は5cmとした。

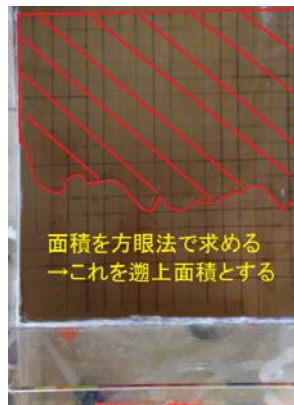


まず造波の仕組みであるが、製作の中でこの工程が非常に難しかった。様々な方法を試した結果、2の③で説明した地すべりによる津波発生メカニズムを用いた方法がより津波に近く、一定の波を起こせると分かった。その方法とは、ビー玉600個(1.5kg)を土砂と見立てて、それらを斜面(木材に亚克力板を貼り付け、ビー玉との摩擦を軽減。長さ1m)上の下から80cmの場所に仕切り板を用いて固定する。仕切り板を抜くことにより、ビー玉を水面に対して45°の角度で流入させる。



次は防波堤モデルである。マウンド部分は木材にニス塗装したものを加工して底面に接着した。ケーソン部分であるが、これは過去に総合理学科で消波の研究が行われた時と同様に玩具のブロック(レゴ®)を用いた。レゴブロックの利点は形の組み換えが容易であることである。また、固定のためにマウンド部分の上面にレゴブロックの基盤を貼り付けた。

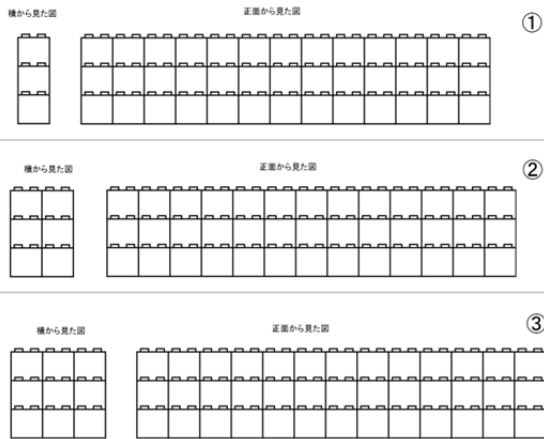
最後は、防波堤より陸地側の海岸のモデルである。長さ70cmのアルミ板を用いて左図のように斜面を作った。そのアルミ板上に、2.5cm四方の正方形で区切りを入れる。上から動画を撮影し、波の最高到達点での遡上面積を算出する。この方法により、どのような形でどのような配置の防波堤モデルが効率よく津波の朔上を軽減できるかを実験する。



5. 各種防波堤モデルの実験とその結果と考察

実験は防波堤の体積に対する遡上面積、最高遡上点を各々のモデルで実験して比較した。というのは、確かにとっても高くとても分厚い巨大な防波堤を使用すれば被害は軽減するであろう。だがそのような防波堤を建設するには莫大な費用がかかり、またその巨大さから周囲の景観を害してしまうからである。

i) 防波堤の厚さの違いにおける比較



図①～③のように高さ一定で厚さを1ブロックずつ増やしたモデルを用いて実験を行った。③になるにつれて遡上面積が減少するのは予想できる。しかし体積との比較で、どの厚さが消波効率が良いかを調べる。

結果

	1	2	3
体積	39	78	117
遡上面積	183	138	115
最高到達点	12.5	8	7

結果から①～②にかけては顕著に消波効果が現れたが、②～③になると①～②ほどの消波効果の増加量は見られなかった。よって対費用効果が高いのはモデル②のような厚さの防波堤だと考えられる。

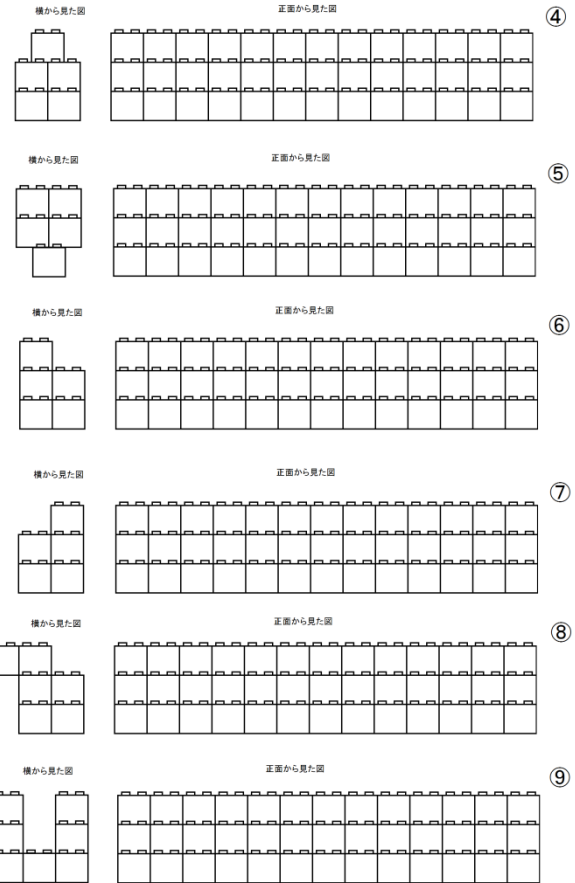
ii) 様々なモデルでの比較

i) の結果に基づき、横から見た幅は2ブロックとした。使用したモデルは右上図の④～⑨を用いた。

結果

	④	⑤	⑥
体積	65	65	65
遡上面積	180	155	175
最高到達点	12	9	11

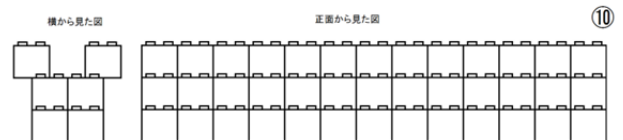
	⑦	⑧	⑨
体積	65	78	91
遡上面積	139	112	86
最高到達点	9	7	4



まず④と⑤であるが、②より体積は少ないもののどちらも遡上面積、最高到達点ともに②を上回った。④より⑤の方が効果はあったが、その形状から不安定になるので有用性は低いであろう。

次に⑥と⑦である。体積は同じであり構造もほとんど同じであるが効果には大きな差が見られた。この理由は、波が防波堤を超えたときに、その背後で強い流れが生じる越流波圧という現象に起因すると思われる。⑥は波の進行方向に向かっての傾斜があるので効果が低かったのだと推測できる。最後に⑧と⑨であるが、これらは高い効果を示した。特に⑨はほとんど波の遡上が見られなかった。1つ目のブロックを越えた波が間の空洞に入り込み3つ目のブロックを超える流量が軽減したためだと考えた。

iii) 効果的なモデルの考案



上図のように⑧と⑨を合わせたようなモデルで実験を行った。これが一番高い効果が得られるのではないかと予想した。

結果

	⑩
体積	78
遡上面積	84
最高到達点	5

結果は⑨とほぼ同じであった。これではどのモデルが一番効果が高いのか分からないので、ビー玉の量を1.5倍にして再度⑨と⑩を用いて実験を行った。

結果（ビー玉1.5倍）

	⑨増量	⑩増量
体積	91	78
遡上面積	125	145
最高到達点	8	9

結果は⑨のほうが効果が高いということが顕著に表れた。実際の巨大津波の場合には⑨のモデルが一番有用性があるという結果が得られた。

6. 研究を通しての考察

全ての実験結果より、モデル⑨のような防波堤が消波効果が大きいと分かった。③のようにただ幅を厚くしても防波堤の上面を波が進むため減衰させることはできないのであろう。

今回実験したのは防波堤のケーソン部分の違いにおける消波効果である。しかし東日本大震災においては、波を減衰できなただけでなく、防波堤のマウンド部分が波に洗掘されて防波堤が破壊されてしまい、効果を発揮できないという被害例も見られた。私たちはこのことについては研究できなかったが、今後減災を考えるにあたってはこのことも研究されなければならない。

7. おわりに

今回の研究で行った実験は実際の津波を正確に再現することはできなかったものの、得られたこの結果は「津波の対策」に汎用できるものではないかと考えている。水、その中でも特に扱いづらい津波を研究テーマとしたため課題研究開始当初は失敗の連続であった。造波の仕組みを試行錯誤することに多大な時間を取られ、この実験方法に決まった時期が非常に遅かったため肝心の実験に多くの時間を割けなかったことを残念に思う。

津波対策については現在、今回実験で取り扱った防波堤以外にも様々な方法がとられている。最初にも述べたように、津波の被害を抑えるためには津波とはどういうものかを知る自然科学、対策とその効果を追求する工学、そして人間の反応を理解したうえで対応するといった社会科学が必要である。この地震が多い日本ではこれらすべての研究がさらに重ねられることが不可欠である。

最後に、課題研究を指導、監督してくださった佐伯先生をはじめとする先生方、中間発表などで適切なアドバイスをしていただいた方々、その他お世話になった方々にこの場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- 1, 津波の事典 首藤伸夫 著 朝倉書店
- 2, 測地・津波 今村文彦 著 共立出版
- 3, 津波を知る (株)フォーラムエイト
- 4, 山体崩壊による津波発生実験 古川竜男
- 5, 高精度津波予測と干渉によって津波を消散させる防波堤 富山大学 奥村弘
- 6, ソリトン分裂波を考慮した津波シミュレーション (株)応用地質 大藪剛