

三陸沿岸の津波対策について

岩手県土木部河港課 佐々木 忍

1. 緒 言

岩手県の海岸は、いわゆるリアス式海岸として知られているように凹凸が激しく、北端より南端まで弓なりに計った距離 189 km に対して、海岸線延長は 535.25 km であって、1 km 当り 2.83 km であり凸部は断崖をなし、湾奥は河川の沖積厚として発達した低地であって、ここが都市、村落、耕地として三陸沿岸の生産地帯を形成している。大きい湾の奥には大船渡、釜石、宮古、久慈の商港および山田、大槌の三種漁港等、三陸沿岸の中心都市となり、岩手県分として港湾 5、四種漁港 1、三種漁港 4、二種漁港 8、一種漁港 97 と総計 115 の商漁港があって、海岸線 4.6 km 当り 1 港の港があることになり、これらはすべて湾奥の比較的外海の波に対して、しゃへいされた位置に立地している。

この三陸海岸においては、久慈以北の比較的单調な海岸において、一部海岸浸食が起きており、また久慈港、野田漁港、大田部漁港、島の越漁港等、外海に開放された港において波浪の問題があり、久慈港において 31 年度以来、波浪観測をしている

が、その他においては、海岸浸食、高潮、地盤沈下等の問題はなく、ただ過去において数 10 年に一度の割合で津波に襲われており、最近では明治 29 年、昭和 8 年と二度甚大な被害を受けているので、三陸海岸では最大の問題である。最近、普代海岸、津軽石海岸で防浪の計画を立案したのでこれについて報告する。

2. 三陸海岸の津波

三陸沿岸では最近、明治 29 年の津波で、死者、行方不明 18 000 人、人家流失倒壊 5 500 戸、昭和 8 年の津波で死者、行方不明 2 700 人、人家流失倒壊 4 000 戸の甚大な被害をうけたのであるが、有史以来古文書、口碑によれば

表-1 のごとくたびたび被害をうけている。これら数多くの津波のうち、第一級のもの、貞観 11 年、慶長 16 年、明治 29 年、第二級のもの、元和 2 年、延宝 5 年、元禄 2 年、安永 3 年、昭和 8 年という規模に対する見解も一致している。すなわち三陸海岸に甚大な被害をおよぼすと考えられる第二級以上の津波について見ると、貞観 11 年～慶長 16 年の間は 750 年もあるのに、津波がなかったとも考えられないので、この区間を除いて計算すると現在まで $348/7 \div 50$ 年に一度という概略の数字となる。

しかしながら、地震研究所業報の今村明恒博士によれば、三陸地震と関東地方における地震とは同じく太平洋側地震帯上に震源地を有するから相関があるということから「過去 300 年間三陸地方における津波発生には一盛一衰ありしこと、詳言すれば 17 世紀においては慶長 16 年津波を基として津波活動の時期なりしが元禄以後一世紀半ば極めて不活潑であった。そうして明治 29 年津波を主要なものとして、最近活動の時期を再現したもの

表-1 津波の歴史

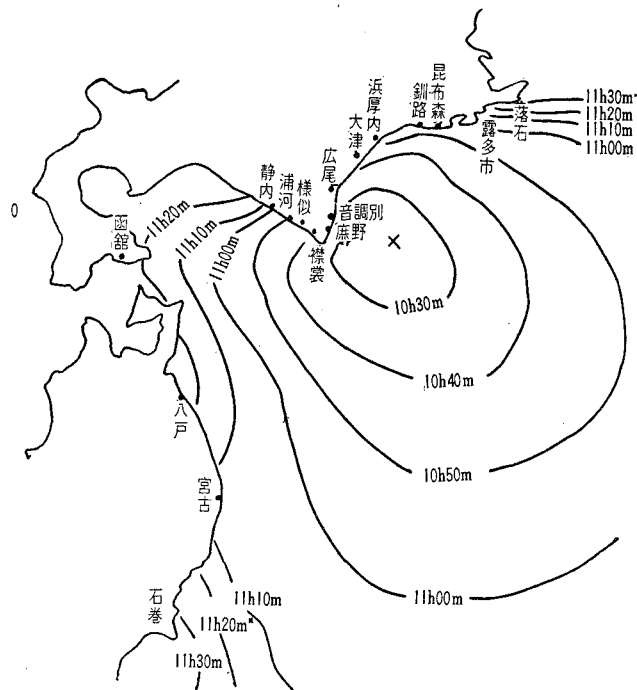
年 月 日	西暦	備 考
貞観 11 年 5 月 26 日	869	陸奥地方大いに震い津波を生じ溺死 1 000 名におよぶ。
天正 13 年 11 月 29 日	1586	畿央は三陸地方に非ざるも陸中地方まで津波あり。
慶長 16 年 10 月 23 日	1611	陸奥国に地震あり、震害甚きも震後大津波襲う、伊達領溺死、南部・津軽領の海辺人馬 300 余死す、北海道南東沿岸にも死者を生ず。
元和 2 年 10 月 23 日	1616	陸中沿岸に大津波あり。
慶長 4 年	1651	陸前互理郡に津波襲来す。
延宝 5 年 3 月 12 日	1677	陸中国南部領に数回の地震あり、震害少なきも津波襲来し、宮古・鉾田、大槌浦等にて家屋流失破損す。
貞享 4 年 9 月 17 日	1687	陸前互理郡に津波襲来す（あるいは貞享 3 年の地震か）。
元禄 2 年	1689	陸中海岸に津波襲来す。
〃 9 年 11 月 1 日	1696	牡鹿郡にて船 300 隻流失、溺死多し。
〃 16 年 9 月 7 日	1703	岩代桑折領地震、小津波陸中海岸を襲う、被害なし。
宝永 1 年 11 月 23 日	1703	相州地方津波余波を受け死傷者を出す。
宝暦 1 年 4 月 26 日	1751	越後国地震、小津波陸中海岸を襲う。
安永 3 年 5 月 3 日	1774	南部領箱崎浦に津波。
寛政 5 年 1 月 7 日	1793	大槌湾の珊瑚島海中に没す、大槌における死者 13 名。
安政 3 年 7 月 23 日	1856	震源地は北海道南東沖合で震後津波襲来、陸奥、陸中に至る。
明治 1 年 6 月	1868	本吉郡地方に小津波襲来す。
〃 27 年 3 月 22 日	1894	
〃 29 年 6 月 15 日	1896	三陸沿岸大津波あり、死者 21 953 人、負傷者 4 398 人、家屋流失 10 370 棟。
〃 30 年 2 月 20 日	1897	仙台地方地震、気仙沼地方海面 3 尺上昇。
大正 4 年 11 月 1 日	1915	三陸沖震央、志津川湾小津波生じ津波高 3 尺。
昭和 8 年 3 月 3 日	1933	三陸沿岸 および 北海道一部に津波あり、死者および行方不明 2 671 名、傷者 805 人、流失および倒壊家屋 4 080 戸、焼失家屋 201 戸。
〃 27 年 3 月 4 日	1952	十勝沖地方に小津波。
〃 27 年 11 月 5 日	1952	カムチャッカ沖震源地津波。

c) 昭和8年の津波でもいえることであるが、短周期の津波では湾の静振が20~30時間でおさまっている

表—3 十勝沖, カムチャッカ沖, 地震による津波状況

十勝沖地震にともなう津波					カムチャッカ沖地震にともなう津波				
地震 27 年 3 月 4 日 10 時 23 分 25 秒 津波時潮位 +1.10 m (退潮) (基準平均水面下 0.993 m)					地震 27 年 11 月 5 日 2 時 2 分 30 秒 津波時潮位 +1.40 m (漲潮) 満潮 7 時, 16 時				
周 期	第 一 波		摘 要		周 期	第 一 波		最 高 潮 位	
	波 高	時 刻				波 高	時 刻	潮 位	時 刻
宮 古	20分	1.95	11時20分	振巾 3 m	59	1.80 m (最大振巾 1.73) 8 時10分	4 時30分 (始 4.05)	1.83	7 時頃
津 軽 石		1.0~1.5	11時15~30分	振巾 2.0 m~2.5 m 間込み		2.4~3.0 (痕跡) (最大振巾 3 m)			
八 戸	30分	0.30	11時26分		67	0.48 (最大振巾 1.78) 10 時19分	4 時18分	1.61	15 時12分
小 名 浜	22分	0.17	11時40分		60	0.40 最大振巾 1.63 (15 時48分)	4 時43分	常時正常潮位 上 0.73	16 時15分
女 川					75	0.66 最大振巾 1.78 (13 時30分)	4 時32分	1.74	16 時23分
広 尾	15~20分	1.70	10時55分						
庶 野	15分	1.50	地震後 10分						
湾内の静振は 20~30 時間でほとんどおさまる。					一般的に静振が減衰せず 3~4 日残る。				

図—3 十勝沖地震津波伝播状況図 (昭.27.3.4)



が、カムチャッカ沖地震の津波では 3~4 日間静振が止まらず、また、満潮時に静振の振巾が大きくなり、カムチャッカ沖では、第一波襲来後 12 時間後の 16 時の満潮時に各地で最高水位に達している。

なお 28 年の房総半島沖地震においては、2 時 51 分に地震が発生してから、宮古港で第一波が 4 時に到達して約 70 分で到達し、振巾 12 cm 周期 20 分であって、静振とほとんど区別がつかない程度である。

5. 明治 29 年, 昭和 8 年の津波

明治 29 年の津波は、ほぼ満潮時に、昭和 8 年の津波は、ほぼ平均水位漲潮時に発生したようであるが、これを考慮してもなお、明治 29 年の津波の規模が大きかったようであり、両津波の三陸沿岸の浸水高は表—4 のごとくである。各文献により多少の差があるが(これについては資料の出所は 4 系統あると思われる)、これについ

表—4 明治 29 年および昭和 8 年津波の波高

		松 尾		便 覧		石本：地震とその研究		内 務 省		震災災害土木誌		彙報	気 象 台		湾 形	固有振動
		明29	昭 8	明29	昭 8	明29	昭 8	明29	昭 8	明29	昭 8	昭 8	明29	昭 8		
八戸(鯨)		3.0	4.6	3.3	2.9	3.3	2.9	—	—	—	—	—	3.0	2.1	偏平	20.4
八木		18.3	7.2	—	—	—	—	11.6	6.8	21.7	7.5	3.5	10.7	6.0	偏平	
久慈		—	8.7	—	—	—	—	15.7	6.7	16.3	7.3	4.0	—	4.5	大きなU字形	
野田		20.0	15.6	—	—	—	—	—	—	9.8	4.7	5.5	—	5.5	偏平	
普代		—	16.9	—	—	—	—	18.1	13.0	18.8	14.0	7.5	—	11.5	小さいU字形(偏形)	46.0
小本		11.8	13.4	—	—	—	—	5.4	2.4	18.0	15.0	4.4	12.2	13.0	小さいU字形(偏平)	
田老		14.6	6.4	14.5	10.0	14.5	10.0	13.6	7.6	14.3	9.9	10.0	14.6	10.1	小さいU字形	
宮古		9.1	8.2	4.5	4.0	—	—	8.5	3.4	9.2	4.3	4.0	4.6	3.6	大きい湾	
金浜		6.3	3.5	—	—	—	—	7.3	2.3	7.9	3.0	2.0	4.0	1.2	大きい湾	15.6
姉吉		18.8	14.0	18.8	20.0	18.8	20.0	16.2	10.2	16.9	10.9	21.0	18.9	12.4	小さいV字形	
大山		3.9	4.4	3.9	2.0	3.9	2.0	6.6	4.8	7.3	5.4	2.5	4.0	6.0	大きい湾内	
山田		5.5	4.2	5.5	3.0	5.5	3.0	6.6	4.8	7.2	5.4	4.0	5.5	4.5	大きい湾内	
大槌		4.2	3.4	2.7	3.3	2.7	3.3	3.8	2.3	4.5	3.8	3.3	2.7	3.9	大きい湾	34.0
両石		11.7	9.5	11.2	10.4	11.2	10.4	6.7	5.5	13.7	9.8	10.4	10.6	6.4	V字形	31.0
釜石		6.0	4.4	6.3	3.7	6.3	3.7	7.9	4.1	7.6	4.6	3.7	5.4	5.4	2重V字形	39.1分
本郷		15.3	9.9	13.9	11.5	13.9	11.5	14.5	9.3	14.2	10.0	12.0	—	—	小さいV字形	
小浜		17.3	12.1	—	—	—	—	14.6	9.6	15.8	12.5	11.8	16.7	6.0	V字形	
吉浜		26.3	14.6	24.0	16.3	24.0	16.3	26.1	14.3	26.8	15.0	16.3	24.4	9.0	V字形	
越喜来		11.3	6.3	10.3	9.9	10.3	9.9	11.6	7.8	14.0	9.3	9.9	10.4	3.0	V字形	39.1分
白浜(綾里)		38.2	29.3	21.7	28.7	21.7	28.7	25.6	18.6	23.7	19.3	28.7	22.0	23.0	V字形	
大船		5.8	3.1	3.3	3.4	3.3	3.4	3.2	1.8	3.2	2.7	3.4	3.4	2.4	大きい湾	
細浦		—	—	6.6	4.1	6.6	4.1	5.0	3.0	5.7	3.7	6.2	6.7	3.1	上記の中間地点	
志津		10.5	8.5	—	—	8.4	7.4	—	—	—	—	—	—	—	—	39.1分
川		3.8	2.2	1.3	1.3	1.3	1.3	—	—	—	—	—	—	—	—	
女川		3.3	2.5	—	—	—	—	1.4	2.3	—	—	—	—	2.7	2.4	
鮎川		2.1	1.3	2.1	3.2	2.1	3.2	—	—	—	—	—	2.1	2.4	—	
石巻		0.6	1.0	0.6	1.0	0.6	1.0	—	—	—	—	—	0.6	2.0	—	39.1分
釜釜		—	0.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.0	—	

ては、測定 of 誤差のみとは考えられず、同一地点でも、一様な浸水高を示さず、地形的に相当の変化があると考えるのが至当であろう。昭和 8 年の津波について

- 地震発生(2時 32 分)後約 30~40分(3時 9~12分)で三陸海岸に第一波が襲来している。
- 津波の周期は約 12 分程度であった。
- 津波の襲来は 5~7 回のようであるが、陸上まで遡上したのは 3 回程度であった。

d) 三陸沿岸(岩手県分)については 図—4 の伝播状況によって、震源地と当該地点の湾口を結ぶ直線方向に進行してくると仮定してよい。

e) 津波の浸水高は一般的に

- 大きい湾では 3~6m 程度である。
- V字形の湾では 10~25m 程度である。
- U字形の湾では 8~10m 程度である。
- 偏平な海岸では 5~7m 程度である。

6. 普代海岸の津波対策

津波の浸水高は地形の影響を受けるので昭和 8 年以後の地形の変化も考慮すべく慎重を期したのであるが普代海岸の検討に当っては、普代の谷の浸水状況のよくわかる松尾博士の調査によることとし、上流端については現地の調査により、浸水区域を明らかにした。この浸水情況は 図—5, 6 (a) のごとくであるが、これによれ

図—4 三陸津波の伝播

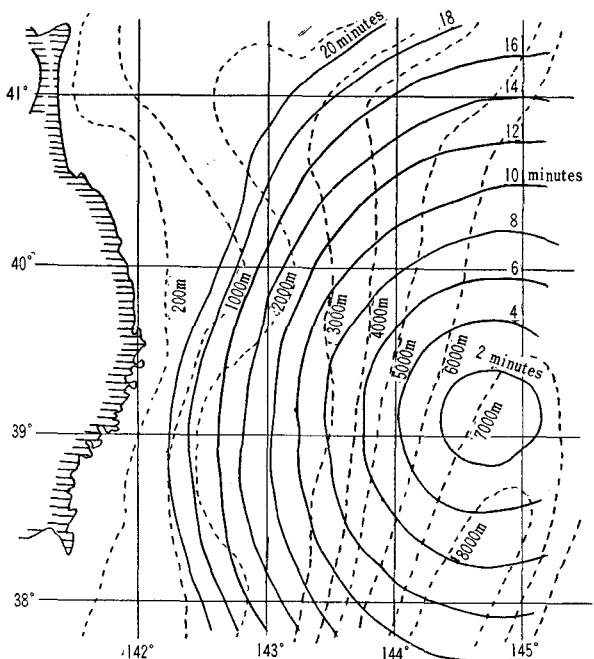
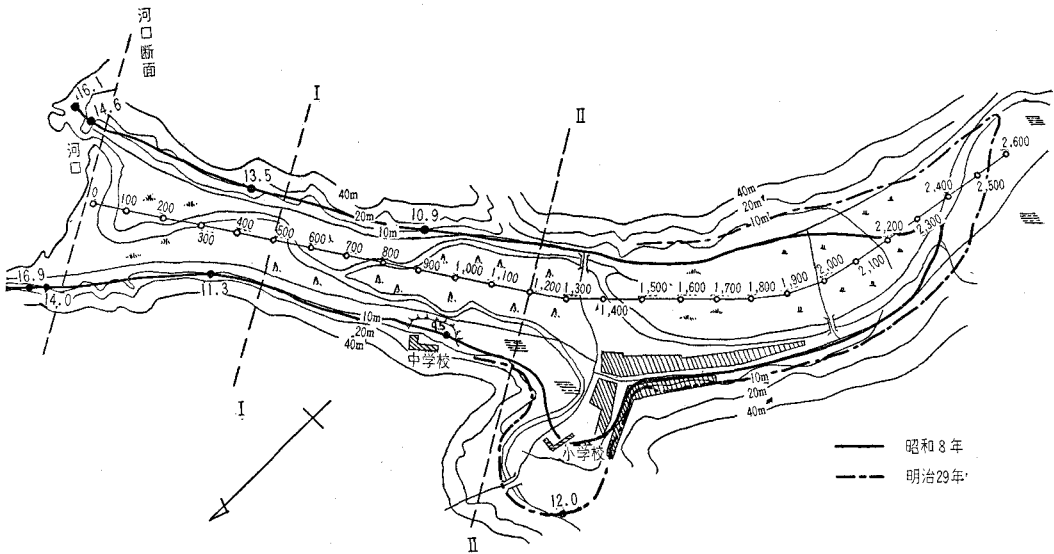


図-5 普代川下流現地における痕跡調査



ば津波は、海岸部左岸に突き当たってのち、右岸沿いに進み、その後普代川および支流茂市川沿いの2つに分れて遡上したと思われる。

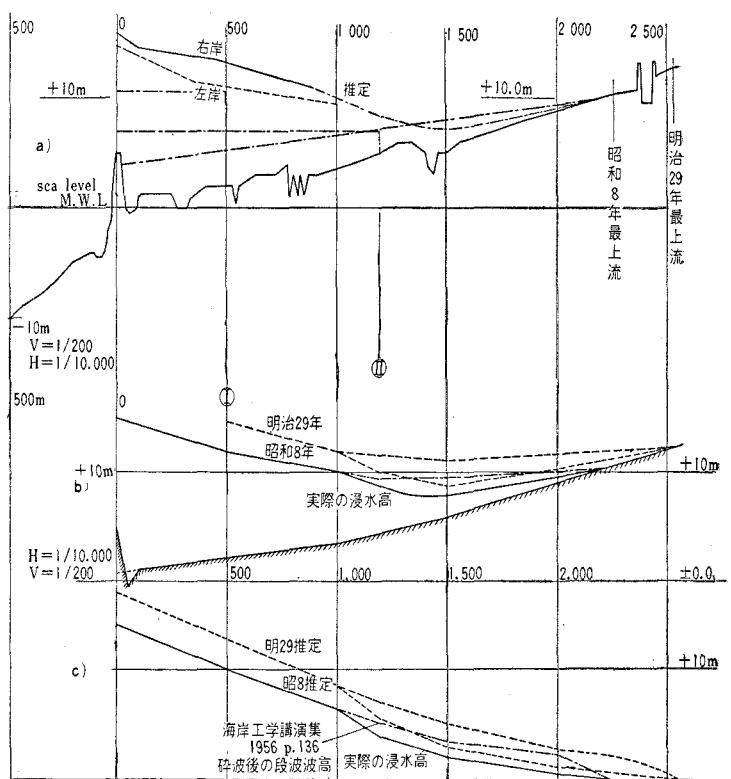
(1) 普代海岸の遡上高

従来、湾内の津波の高さは、Greenの法則を適用して来たが、これは外海に直面したV字型の湾のみ適用して説明してきたのであるが、普代のように外海に直面した巾500m、奥行300mの偏平な小さい湾形をなした所ではGreenの法則ではとうてい説明できない。

ここでは、外海に対しては、中央気象台「三陸沖強震および津波報告」の本多氏による波高を適用し、湾内にはGreenの法則による波高の変化を追跡し、浜においてKaplanの実験公式を採用して、綾里湾、吉浜湾について試算した結果、比較的よく一致したので、普代についてもこの方法によって計算した。本多氏によれば、

「G. Greenは切口が矩形でしかも巾 B と深さ H とが少しずつ変化している小さな直水道を波が進むと波の高さ η はその場所の巾の平方根に逆比例し、深さの4乗根に逆比例する。すなわち A を常数とすると、 $\eta = \frac{A}{B^{1/2}H^{1/4}}$ であって、水道が浅くなればなるほど波は高くなり、巾が狭くなれば波は高くなる。その後長岡博士は切口が矩形でないときには、 H は切口の平均の深さを用いてよいことが示され、高谷氏は巾や深さの変化がそんなに小さくない場合を研究されている。さて、今回の地震は岩手県釜石湾、吉浜湾などの付近海岸の東方約240kmの沖合に当り、震源の深さはきわめて浅いとされている。しかしてこの辺の海深は7000m前後である。い

図-6(a) 普代谷縦断勾配図



まごく簡単に津波は海底の震源における地震変動によって生じたとする。また、海の深さも平均を取ってかりに 2800 m の一様な深さとし、海底の震源地域で半径 40 km の地域が突然 3.8 m だけ（あるいはこれと同じだけの体積）陥落したとする。

前記の佐野、長谷川両氏の計算の結果を応用すると震源から 200 km の場所では、海面は最高 31 cm 上昇することになる。ところでこれには海岸に近づくにつれ、海が浅くなるための影響を考えに入れていない。この補正は困難であるから、ここではかりに波の高さは海の深さの 4 乗根に逆比例すると仮定すると、前記海岸近くの 100 m の外洋では波の高さは約 72 cm になる。津波の周期は前記のように 12 分程度であるから、

a) 水深 100 m 地点 $H=0.72$ m $L=\sqrt{9.8 \times 100 \times 12 \times 60}=22500$ m

b) 綾里湾 綾里湾の湾口は水深約 50 m であるから、ここまでは水深の 4 乗根に逆比例とすれば

	湾口水深 50 m	湾奥水深 10 m	遡上高 1/30	湾口断崖水深 10 m
H	0.855	3.63	15.2 m	1.28 m
L	16 050	9 200		7 200
	$H=H_0 \sqrt[4]{\frac{h_0}{h}}$	Green	Kaplan	

いま津波は長波であるが、波の遡上高の実験が適用されるものと仮定すれば（海岸工学講演集 1955 p. 68）

$$\frac{h}{L} = \frac{10}{7200} = 0.014 \quad \frac{H}{L} = \frac{1.28}{7200} = 0.00018$$

であって、 $R/H=6\sim7$ になるであろうと想定されるので、ほぼ現地に一致する。

c) 吉浜湾 吉浜湾の湾口は水深ほぼ 100 m であるから、

	湾口	湾奥	遡上高
水深	100 m	10 m	1/30
H	0.72	2.95	13.2
L	22 500	7 200	—
		Green	Kaplan

以上のように、綾里湾および吉浜湾においては、ほぼ現地に一致するが、浜勾配については、海図および 1/50 000 図より推定したものであって、勾配が急であれば、さらに遡上するものと思われる。

d) 普代海岸 上記の計算方式により普代海岸の遡上高は -10 m までは Green により以後 Kaplan によれば

$$H_{-10} = H_{100} \sqrt[4]{\frac{100}{10}} = 0.72 \times 1.775 = 1.28$$

普代海岸の縦断勾配は、図-5 のごとく 1/60 と 1/20 の二つの勾配から成るから 1/60 の場合

$$R = H \times 0.206 (H/L)^{-0.315}$$

$$\log R = \log H + \log 0.206 - 0.315 (\log H - \log L) = 0.602365$$

$$R = 4.00 \text{ m}$$

1/30 の場合

$$R = H \times 0.381 (H/L)^{-0.316}$$

$$\log R = \log H + \log 0.381 - 0.316 (\log H - \log L) = 0.876334$$

$$R = 7.52 \text{ m}$$

いま Kaplan の式が勾配に関して直線的に変化すると、Assume すれば、浜勾配 1/20 程度で、11~13 m 程度まで遡上することになりほぼ現地に一致する。

(2) 谷の津波現象

松尾博士調査の図-5 によれば、谷の両岸の高さに差異があることおよび谷の奥に入るに従って浸水高が低いことが目につくが、いま図-6 (a) のごとく、谷の縦断図にこの浸水高を記入すると、500 m 付近が特に右岸が高い。また図-5 のごとく茂市川寄りにも遡上の傾向が見られるので、この谷を津波が進入するに当って前記のごとく左岸の海岸部に激突した津波が反射して、右岸 500 m 付近に当り、さらにここで反射して奥に進入したと考えられる。いま津波が一応 Sin-Wave と仮定し、1 周期当り、陸側に移動した水量を巾 1 m 当り

$$q = \frac{H_0 L_0}{2\pi}$$

とすれば、普代の河口付近の巾 400 m の間より流入した水量は $Q=400 \times \frac{H_0 L_0}{2\pi} = 400 \times \frac{0.72 \times 22\,500}{2 \times 3.14} = 1\,030\,000 \text{ m}^3$ 、一方 図-5 のように区間を区切って、この間の貯水量を計算すれば 図-7 のごとくなり、図-6 (a) の浸水高まで貯水したとすれば

河口～Ⅰ区域	平均	13 m	1 400 000 m ³
Ⅰ～Ⅱ	"	10 m	950 000 "
Ⅱより上流	"	8 m	300 000 "
計			2 650 000 m ³

また 1 030 000 t の貯水量に見合う区間は、ほぼ

河口～Ⅰ区間	高さ	10.3 m
河口～Ⅱ区間	"	7.0 m

となる。このことは、津波はこの谷に満水したのではなく、図-6 (b) のような状態で進入したものと考えられる。図-5 の現地盤を単純化し浸水高と現地盤との間の水深を 図-6 (a) のごとく直すと、それぞれ昭和 8 年の津波高は実線のごとくなる。これの河口部の高さと谷に入ったときの高さの関係は 1 000 m 付近までは岸氏の実験結果 (海岸工学講演集 1956 年, p. 136) にほぼ一致し、1 000 m より上流側は実験結果よりは低い。これは、1 000 m より上流側は 1 000 m を境界として谷が広まっているための影響であると判断される。

以上、諸種の事実より普代においては、津波は海底勾配の影響を受けて遡上し、砂丘付近で砕けながら段波の形となって普代の谷へ進入したものと考えられる。

(3) 明治 29 年津波の推定

昭和 8 年の津波については、上記のごとくであるが、明治 29 年の津波については、最上流端が 12.5 m まで登ったという現地確認以外に資料がない。

いま大胆な仮定であるが波形は長波として伝わり、これと同じ速度で流入するものとし 12 000 m 地点と最上流端では、昭和 8 年津波時には 2 m の高低差があったから速度のエネルギーが位置のエネルギーに変わり、その間の摩擦損失を省略すれば

$$\frac{V^2}{2g} = 2\text{m} \quad \therefore V = 6.3 \text{ m}$$

$$\sqrt{gh} = 6.3 \text{ m} \quad \therefore h = 4 \text{ m}$$

で現地とほぼ一致する。

そこで、この関係を明治 29 年に逆算すると、 $h=5.5 \text{ m}$ と仮定すれば

$$V = \sqrt{gh} = \sqrt{9.8 \times 5.5} = 7.35 \text{ m} \quad \frac{V^2}{2g} = \frac{7.35^2}{2 \times 9.8} = 2.75 \text{ m}$$

従って、最上流端の高さ $= 4.50 + 5.50 + 2.75 = 12.75 \text{ m}$
(現地盤)

で、明治 29 年の最上流端の高さが 12.5 m であるからほぼ一致する。従って、12 000 m 地点の明治 29 年の浸水高を +10 m と仮定して、図-6 (a) のように河口付近の高さと、途中の高さの関係を進入した距離との関係において逆算すると、河口での浸水高は 17 m となり

$$\frac{\text{明治 29 年}}{\text{昭和 8 年}} = \frac{17}{14} = 1.21$$

となり、各地のこの比率が 1.1~1.4 などであるから、普代における明治 29 年の津波の規模もほぼこの程度のものであったろうと推定される。

(8) 過去の防浪堤計画

普代海岸については、昭和 8 年の津波を受けてから特に防浪堤の要望が強く、それ以来 図-8 の第一案および

図-6 (b)

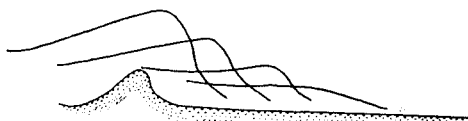


図-7 貯留量曲線

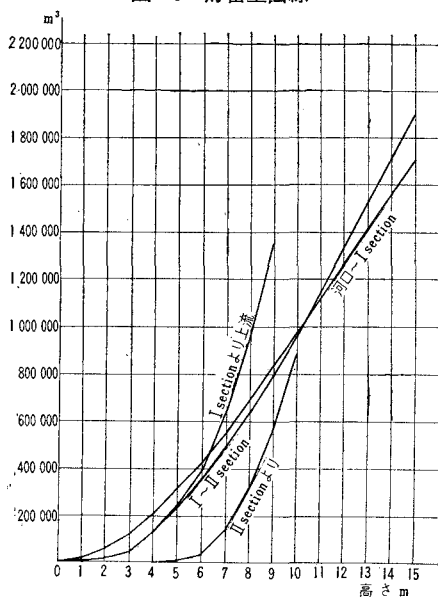
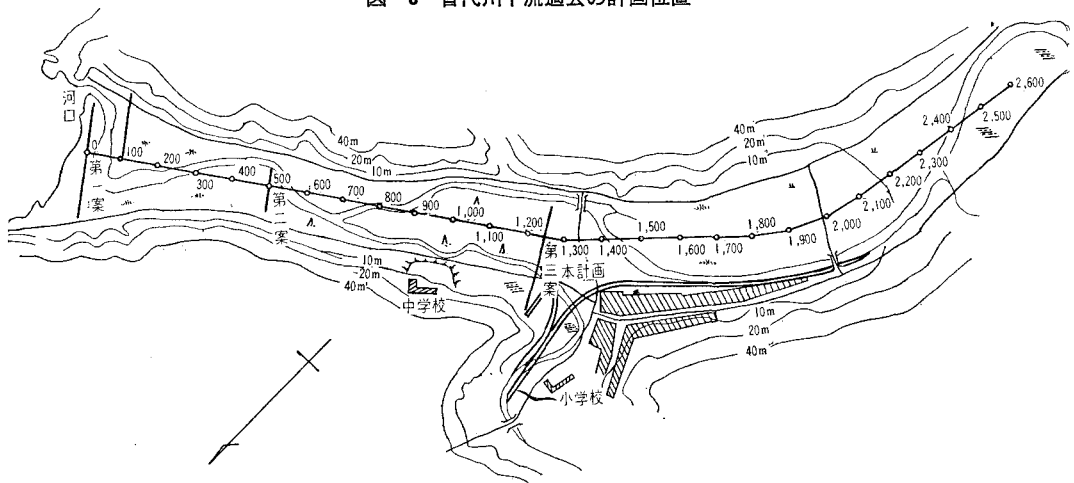


図-8 普代川下流過去の計画位置



第二案が、そのときに立案されていた。しかしながら今回前述のように普代海岸の津波の特性について検討を進めた結果、第一案については、図-6 (a) のように、浸水高がきわめて高く、しかもこの地点においては津波が砕ける可能性も多分にあるのでこの地点において津波に対抗することが不適当であり、この砂丘の中も狭く構造物を造るほどの巾もなく、加えて、河口より 1300 m の区間は、従来の防潮林であって、経済的価値もないので、本地点での第一案は不適当であるという結論に達した。

第二案については、この地点が選定された唯一の理由は谷の巾が本地点が一番狭いので工費が一番安いということにあったと思われるが、この地点まで後退してもなお浸水高が相当高いことが第一、さらに普代川の洪水量を流下するためには、川巾を 55 m 程度はぜひ必要なのであるが、この場合、谷の巾は約 170 m であって、1/3 の川巾が開放されることになる。このような状態において津波を受けた場合、三陸海岸において被害を受けている津波の回数数は三波であるから、引波においては水面勾配でのみ水が引くのであるから、普代のように平らな地形では、これを Neglect すれば、堤防を設置しなかったと同じ状態まで、上流部においては浸水するであろうことが想定される。わずかに効果として認められる点は、上流部への流入のエネルギーが削減されるであろうというだけにとどまる結果になる。

第三案は、上記の理由によりここまで後退すれば地盤高も上り、浸水高も下るので、堤体の高さを前二案に比してはるかに小さくできることと、谷の巾は約 300 m 川巾が 55 m で約 1/6 を開放するにすぎないので、三波を受けても上流の浸水高を 1/2 に減少できるので本計画の当初においては、第三案を採用しようとした。しかしながらこの第三案は昭和 33 年 9 月 22 号台風による洪水に対して、普代川の流出量を検討した上での計画ではあるが、谷を横過する構造物であって、河川環境を悪化するものであり、これを突堤化して茂市川寄への遡上を防ぎ、普代本村を取巻く防浪堤とし、洪水防御も兼用とした計画の最終案に到達した。

(5) 天端高

普代の谷の浸水高は図-6 のごとくであるが、昭和 8 年の浸水高は図のように 1000 m より上流において特に低くなっているが、これは前述のごとく谷が広まっているためと考えられるが、いま突堤を出した場合は従来より谷巾が狭くなったと考えて支障ないので、この浸水高を修正した浸水高で計画すれば安全側である。ただこの場合、昭和 8 年前とくらべて防潮林が密集しており、また厚さも 500 m もあり、津波により折損されとしても相当の抵抗があり、浸水高も減少するものと考えられるので、昭和 8 年の実際の津波の浸水高を修正した高さで計画してよいと考える。

a) 突堤 本突堤は 500 m 付近右岸で反射して進入してきて茂市川寄りに遡上する津波を防ぐ効果を持たせたものであって遡上を防ぐため流速の茂市川上流に向う factor を極力少なくするためと、この突堤により普代本村の人家密集地に向う津波を右岸寄りにはね返す効果をも持たせるため法線を上流側に傾斜させた。また天端高については、背後に直接人家もなく、上記の効果が目的なので必ずしも完全に津波をさえぎる必要もないので、先端において昭和 8 年程度の津波で想定される高さである +10 m として基部において流れが先端方向に向うように +11 m としてわずかながら勾配をつけた。

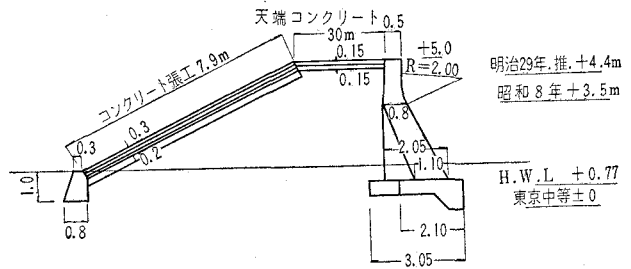
b) 堤防 500 m 付近右岸で反射して進入してくる津波に対して、突堤によってはねてもなお、堤防の曲線部

表—5 おもなる湾の固有振動

$$T = \frac{4L}{\sqrt{gh}}$$

	平均水深	湾の長さ	T
大船渡	18 m	7 800 m	39.1
宮古	15	8 400	46.0
釜石	25.8	3 700	15.6
大槌	33.6	8 400	31.0
山田	35.6	8 500	34.0
久慈	15	縦 4 500 横 3 000	10.4 13.6

図—12 津軽石海岸堤防



ごとくなり、宮古湾の対岸側を津波が進行することとなり、また湾口に津波が達してから津軽石に達するまで12～15分、宮古港付近からは10分を要すること、金浜側は津波に直面せず回浪を受けることなどが推察され、これらは宮古測候所の観測による藤原前面の波頭の方角とほぼ一致し、屈折回折は大きい湾における津波の様相を推定するに有力な方法であると思われる。いま普代海岸において適用した Green と Kaplan の組合わせによる方法を宮古湾にも採用するに当たって、宮古湾の湾軸は湾口と震源を結ぶ線に対して $\theta = 82^\circ 10'$ 傾斜しているので、これによる修正をしてから Green, Kaplan によるものとする。

a) 水深 100 m 地点

$$H = 0.72 \quad L = \sqrt{9.8 \times 100} \times 12 \times 60 \div 22500 \text{ m}$$

b) 宮古湾口の水深は 45 m であるから

$$H = H_0 \sqrt[4]{\frac{h_0}{h}} = 0.72 \sqrt[4]{\frac{100}{45}} = 0.88 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{9.8 \times 45} \times 12 \times 60 = 15100 \text{ m}$$

c) 方向による修正 $H = H_0 \left(1 - \frac{\theta}{240}\right) = 0.88 \left(1 - \frac{82.16}{240}\right) = 0.578 \text{ m}$

宮古港付近

	宮古港付近	藤原前面	同遡上高	津軽石	同遡上高
水深	13 m	6 m	1/30	3 m	1/60
H	0.79 m	0.95 m	6.7 m	1.96 m	4.42 m
L	8.10 m	5.57	—	3.90 m	—
	Green	Green	Kaplan	Green	Kaplan

となり、現地調査とはほぼ一致する。

1. 天端高

前記のごとく昭和8年の津波の遡上高を 4.40 m と仮定、本堤防により波が反射してはね上がる高さは、本堤防が汀線よりはるかに後退しているため、津波が汀線付近でくだけてくるものと仮定すれば天端高を波高の1.3倍に取れば越波をほとんど防ぐことができる。

$$\text{現地盤高} = +1.50 \sim +2.0$$

$$\text{遡上高} = +4.40$$

$$\begin{aligned} \text{天端高} &= \{(4.40 - 1.50) \times 1.3 + 1.50\} \sim \{(4.40 - 2.0) \times 1.3 + 2.0\} \\ &= 5.27 \text{ m} \sim 5.12 \text{ m} \end{aligned}$$

天端高 +5.0 m であれば、堤防の背面を十分保護すれば、背面に人家などがいないので目的は達せられる。

2. 堤体断面

堤体断面の決定に際しては普代海岸同様、堤体に作用する圧力を津波が押し寄せる動水圧および静水圧を天端まで作用させ 図—12 の断面を決定した。

8. 結 語

三陸海岸においては、昭和8年の津波後、津波堤防としては、吉浜の防浪堤、田老防浪堤と2カ所であり、吉浜の防浪堤は背後地の浸水を防ぐだけの高さがなく、津波後災害復旧として完成し、田老防浪堤は昭和8年の浸水高 10.0 m を天端高として昭和9年～昭和15年および昭和29年～昭和32年で延長 1400 m を完成した。

本格的津波堤防としては田老に続いて本計画（普代海岸，津軽石海岸）が初めてであって，上記検討のごとく大きい湾あるいは普代のように特殊な地形の場合には対策を樹てうるようと思われるが，津波現象が不明解な点のみであるので，構造物としても不安が残っているので，堤防の背後には相当の空地を残すべきであるし，また V 字形の湾については到底津波に抵抗できないので，津波の場合には早急に避難できるような態勢がぜひ必要である。現在における津波情報の伝達について宮古測候所を中心に考えると，津波警報を測候所で受けるまでに 10～15 分，測候所より関係官公所への伝達が 10～20 分を要し，ここから末端への伝達はきわめて不円滑である。管区气象台より市町村役場まで 20～35 分を必要とするのであるが，三陸沖を震源とする津波では 30～40 分で津波が襲来するので，警報を有効にするためには津波警報を早く出すことと市町村役場より末端への伝達組織を整備する必要がある，一方 NHK 放送は地震後 15～20 分で放送されているので，放送を利用する方法が伝達時間を短縮できる。

参 考 文 献

- 1) 盛岡測候所，宮古測候所：カムチャッカ沖地震に伴う津波踏査報告，28 年 2 月
- 2) 宮古測候所：十勝沖地震に伴う津波踏査報告，27 年 3 月 19 日
- 3) 札幌管区气象台：十勝沖地震概報，27 年 3 月 15 日
- 4) 松尾春雄：三陸津波調査報告
- 5) 内務大臣官房都市計画課：三陸津波に因る被害町村の復興計画報告書
- 6) 地震研究所彙報別冊 No. 1：昭和 8 年 3 月 3 日三陸地方津波に関する論文及報告
- 7) 岩手県土木課：震災災害土木誌
- 8) 石本己四雄：地震とその研究
- 9) 和達清夫：地球と人
- 10) 中央气象台：昭和 8 年 3 月 3 日三陸沖強震及津波報告
- 11) 海岸工学講演会講演集 1956
- 12) 全国防災協会：災害原因の探究，32 年 4 月