

# 日本海中部地震津波の実態と二、三の考察

谷本勝利\* · 高山知司\*\* · 村上和男\*\*\*  
吉本靖俊\*\*\*\* · 平石哲也\*\*\*\*\*

## 1. まえがき

昭和 58 年 5 月 26 日 12 時 00 分、秋田県沖 (40.36°N, 139.08°E) を震源として発生した日本海中部地震により、日本海沿岸の各地は、大きな津波に見舞われた。この津波により、能代港ではケーソン上で作業中の作業員が波にさらわれるなど、秋田県・青森県・北海道渡島地方の日本海沿岸で多数の犠牲者がでた。さらに日本海沿岸の広い範囲で港湾施設・船舶等に被害が生じた。そこで、運輸省港湾技術研究所は、第一・第二港湾建設局、北海道開発局および青森県・秋田県・山形県・新潟県・石川県と協力して 6 月から 7 月にかけて現地踏査を行い、津波の実態を把握するとともに、観測記録の解析・津波の数値計算等によって津波のメカニズムを詳細に検討した<sup>1)</sup>。

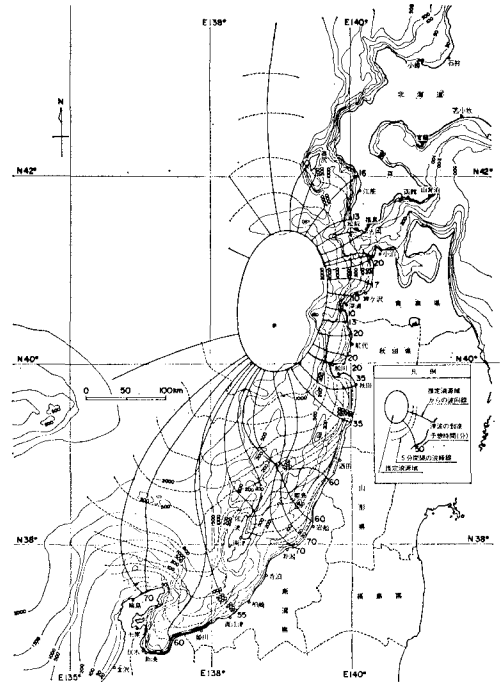
ここでは、その中から、そ上高分布等の津波の概況および防波堤の締切り効果、検潮井戸の応答等若干の考察結果を報告する。

## 2. 津波の概況

### (1) 津波の伝播特性

日本海沿岸の各地の検潮記録を収集することにより、津波の第 1 波の到達時刻がわかる。このうち、輪島港、伏木港、両津港、酒田港、能代港、函館港、松前港、江差港および小樽港における第 1 波到達時刻をもとにして、津波の逆伝播図を描いて浪源域を求めた。

図一の実線で囲んだ楕円が推定した浪源域である。次に浪源域の外縁から法線方向に波は進み始めると仮定して、屈折を考慮して津波の伝播図を求めた。図一において浪源域から放射状に伸びている実線が津波の波向線であり、浪源域を囲む破線は 5 分おきの波峯線である。各地の数値は伝播図より推定した津波の到達時間(分)である。波向線が複雑な形状をしているのは、佐渡島の北東に最上堆、鎌礁、向瀬などの水深 200 m 未満



図一 津波の伝播図 (20 km 格子での屈折計算結果)

の浅瀬が点在しているためである。図一の伝播図からわかるように、屈折によって津波のエネルギーが集中する傾向にある地域は、北海道奥尻島南部、青森県小泊地区などであり、逆に分散する傾向にある地域は、北海道渡島地方、秋田県南部などである。(2)で述べるように、奥尻島南部、小泊地区はそ上高が 5 m を超え、家屋、漁船の被害もかなり報告されており、逆に渡島地方、秋田県南部はそ上高が 2 m 以下であるので、屈折によるエネルギーの集中・分散とそ上高の大きさには、ある程度の相関があると思われる。

新潟県北部の沿岸における津波の第 1 波到達時刻は、富山県沿岸と比べると、浪源域からの距離が短いにもかかわらず 10 分程度遅くなっている。この傾向は検潮記録とも一致する。これは、富山県沿岸に到達する津波が佐渡島北方の 1000~2000 m の水深の深い海域を伝播するために、波速が 100 m/s~140 m/s と大きいのに比べ

* 正会員	運輸省港湾技術研究所	防波堤研究室長
** 正会員 工博	運輸省港湾技術研究所	波浪研究室長
*** 正会員 工修	運輸省港湾技術研究所	海水汚染水理研究室長
**** 正会員 工修	運輸省港湾技術研究所	防波堤研究室
***** 正会員 工修	運輸省港湾技術研究所	波浪研究室

て、新潟県北部に到達する津波は佐渡北東の 200~500 m の比較的水深の浅い海域を伝播するために波速が 50~100 m/s と小さくなることから説明できる。このように、津波の到達時刻は浪源域からの距離だけでなく伝播径路にも影響される。

(2) 津波のそ上高

図-2 は現地踏査で得た津波のそ上高分布を示した図である。図では、調査点が防波堤などの外郭施設の外側にあるか、内側にあるかによって港外と港内に区別し、港外でのそ上高を実線、港内でのそ上高を破線で示した。図-2 からそ上高分布の概略を述べると以下のようになる。

北海道渡島半島沿岸は南端を除いて 2m 以下の箇所がほとんどである。これに対して奥尻島ではやや大きく、西岸の神威脇漁港では最大で 5m になった。青森県では、津軽半島北西部の裏内、小泊漁港近辺において 4~5m 程度、小泊岬南岸から深浦港にかけては 3~4m 程度であるが、県境の大間越では 6m 程度と大きくなっている。秋田県北部~男鹿半島北岸は津波のそ上高が最も大きく、八森海岸では最大で 10m 程度に、峰浜海岸では 13m 程度になった。やや南の能代付近では 5~7m、男鹿半島北岸で 3~7m と若干小さくなっている。男鹿半島南岸より南側では、松ヶ崎漁港および佐渡島西岸を除くと、最大でもそ上高は 2m 程度である。

全体的に、港内でのそ上高は、港外でのそ上高より小さくなる傾向がある。この原因を次章で検討している。

3. 津波に対する防波堤の効果

(1) 流入方式

図-2 で示した港のうちの 26 港について、港内そ上高  $R_i$  と港外そ上高  $R_0$  との比  $R_i/R_0$  を調べると、極めて港内面積の小さい港を除いて、20 港で 0.37~0.94 となり、明らかに、港内の津波そ上高は港外のそ上高に比べて小さくなっている。この理由の 1 つとして、“防波堤による締め切り効果” が考えられる。そこで、堤内での場所的な波動性を無視して、流入方式<sup>2)</sup>によって締め切り効果を検討してみた。

流入方式を用いると、堤外の津波振幅に対する堤内の津波振幅の比  $\lambda$  は、次式で示す関数として表される。

$$\lambda = f(K_0, a/h) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

$$K_0 = \frac{A}{CBhT} \sqrt{\frac{a}{g}}$$

$$= \frac{A}{CBh} \frac{h}{\sqrt{gh}T} \sqrt{\frac{a}{h}} \dots\dots\dots (2)$$

である。A は堤内面積、B は港口幅、h は港口水深、a は堤外の津波振幅、T は津波の周期である。また C は損失係数で通常 0.8 を用いる。図-3 は過渡状態での  $\lambda$  の計算結果を示した図である。横軸に  $h/(T\sqrt{gh}) (= h/L)$  をとり、 $a/h$ ,  $A/Bh$  をパラメータとしている。図-3 から港口開口部の断面積  $Bh$  に対して堤内面積 A が広いほど、津波周期 T が短いほど堤内の津波振幅が小さくなるのがわかる。 $a/h$  については、この値が大きいほど  $\lambda$  の値が低下するが、それほど大きく影響していない。定常状態でもほぼ同じ結果を得た。ここに、過渡状態は静水状態の港内に津波の第 1 波が来襲した状態に対応し、定常状態は 2 波め以降の状態に対応する。

(2) 実測値との比較

図-4 は  $R_i/R_0$  を主要パラメータ  $K_0$  に対してプロットした図である。図中において記号に付した(数字)は、

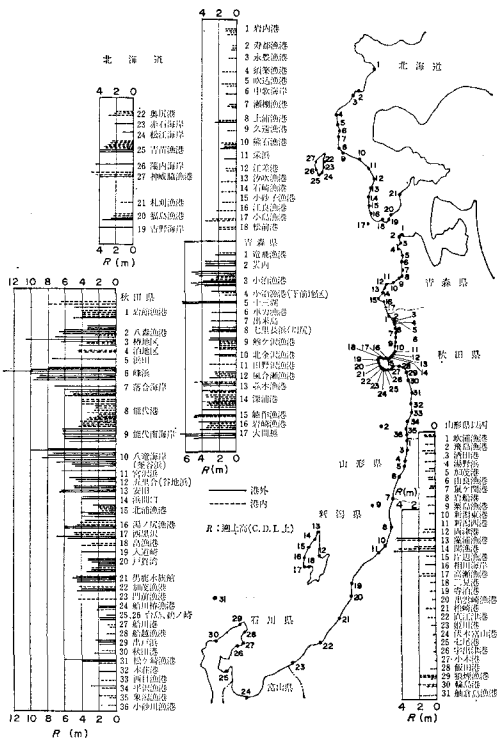


図-2 そ上高分布 (C.D.L. 上)

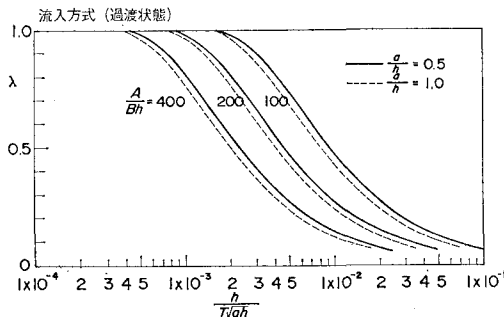


図-3  $\lambda$  に対する津波周期の影響

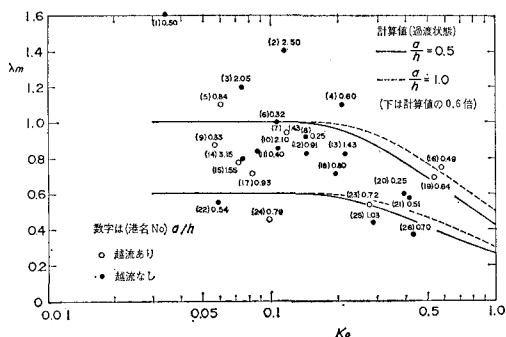


図-4  $K_0$  と港内そ上高の関係

港名番号であり、右肩の数字は  $a/h$  の値である。データは、防波堤を越流したものと、しないもので区別している。図-4 から、データは著しくばらついているけれども、 $K_0$  が大きくなるにつれて  $R_i/R_0$  の値は低下していく傾向にあることがわかる。 $R_i/R_0$  が 1.0 を越えている港は、堤内面積が非常に小さいものである。これらを除くと、図-4 では過渡状態に対する計算曲線を示してあるが、計算値は実測値のほぼ上限に対応していることがわかる。ちなみに、海岸でのそ上高と護岸背後の平地でのそ上高との相違を示す値として、水理模型実験で得られた比 0.6 を用いて、計算値を 0.6 倍した曲線も図-4 に示した。 $R_i/R_0$  の実測値の多くは、これら2つの計算曲線の間に分布している。なお、流入方式に用いる港外の津波振幅  $a$  は港口部での値であり、海岸でのそ上高とは当然異なる。しかし、一部を除いてこの値を推定することは困難であること、および流入方式の計算において  $a/h$  の値はそれほど大きく影響しないことなどから、 $a \approx R_0$  としている。図-4 の結論として、流入方式によるピークカット効果以上に、港内でのそ上高が港外でのそ上高より小さくなったと言える。その理由として、今回の津波は周期が比較的短く、通常の港湾であっても防波堤の縮切り効果がある程度発揮されたこと以外に、港内埋立護岸等の効果、港口に対する津波の来襲方向の影響などが考えられる。

4. 検潮井戸の津波に対する応答

(1) こん跡と検潮記録の相違

今回の津波においては、検潮記録による最高潮位が、現地における実際のこん跡高と比較して、小さい場合が多い。その例を表-1 に示す。表-1 の地点は、検潮記録および目視観測あるいはこん跡の両方が精度良く得られた場所に限定している。なお、数値は推定潮位からの偏差に換算したものである。表-1 のなかでは、No. 1, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11 の港で、検潮記録とこん跡の比 ( $A/B$ ) が 0.19~0.89 になり、検潮記録による値が明らかに小さい。

表-1 検潮記録とこん跡高の比 (偏差を基準として)

	A 検潮記録による偏差	B こん跡または目視による偏差	A/B
1	0.56 m	0.63	0.89
2	1.25	1.3	0.96
3	0.75	1.1	0.68
4	0.61	3.2	0.19
5*	1.94	2.8	0.69
6	0.32	0.7	0.46
7	0.81	1.3	0.62
8*	0.73	0.7	1.04
9	0.78	1.0	0.78
10	0.50	1.0	0.50
11	1.17	1.5	0.78
12	0.59	0.6	0.98
13	1.01	1.0	1.01
14	0.72	0.7	1.03

\* 第1波目が最高潮位を示したもの

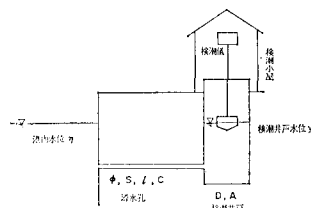


図-5 検潮井戸の構造

(2) 流入方式による検討

こうした検潮井戸の津波に対する応答を 3. と同様に流入方式<sup>2)</sup>を用いて検討した。まず検潮井戸を表-5 に示すようにモデル化した。図-5 において、

- D; 検潮井戸の内径
- A; 検潮井戸の面積 ( $=\pi D^2/4$ )
- $\phi$ ; 導水孔の内径
- S; 導水孔の面積 ( $=\pi \phi^2/4$ )
- C; 抵抗係数 ( $=1/\sqrt{f_e + f' l/R + f_0}$ )
- l; 導水孔の長さ
- R; 導水孔の径深,  $f'$ ; 摩擦損失係数
- $f_e$ ; 流入損失係数,  $f_0$ ; 流出損失係数

である。さらに、次の二つの仮定を導入した。

i) 導水孔の流速  $u$  は、内外の水位差によって与えられる。

$$u = C\sqrt{2g|\eta - y|} \dots\dots\dots(3)$$

ii) 検潮井戸の水位は導水孔の流入量に応じて変化する。

$$A \frac{dy}{dt} = uS \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 $\eta$  は検潮井戸外側の水位、 $y$  は検潮井戸の水

位,  $u$  は導水孔内の流速,  $g$  は重力加速度である。

流入方式による近似計算の結果, 波高の減衰比  $\lambda$  は, 次のパラメータの関数として示される。

$$\lambda = f(E_0, T) \dots\dots\dots (5)$$

ここに,  $T$  は津波の周期であり,  $E_0$  は検潮所の構造を表す係数として次式で定義した。

$$E_0 = \frac{A}{\sqrt{2g}CS} \dots\dots\dots (6)$$

図-6 は, 周期を  $T=10$  分に固定した場合の定常状態における構造係数 ( $E_0$ ) と波高の減衰比 ( $\lambda$ ) との関係を示したものである。この図から,  $E_0$  が 20 以上では  $E_0$  が大きくなるにつれて減衰比  $\lambda$  の値が小さくなるのがわかる。なお  $f'$  の計算をする際に, マニングの粗度係数としては, 導水孔はヒューム管で設計されることが多いので,  $n=0.013$  を使用した。しかし, 導水孔にゴミ等が付着している可能性も考えられるので, 粗度係数を 2 倍にした  $n=0.026$  についても検討した。

(3) 実測値との比較

各港の検潮井戸について, その構造から構造係数を求め, 各検潮井戸の津波に対する減衰比を計算した。図-7 はこの計算値と実測で得られた減衰比(検潮記録/こん跡または目視)の比較を示した図である。No. 4, 7 および 10 の港を除いて, 黒丸 ( $n=0.013$ ) および白丸 ( $n=0.026$ ) とともに,  $45^\circ$  の斜めの直線の周辺に分布しており, 検潮井戸の津波に対するレスポンスは, 流入方式によってかなり説明できると考えられる。結果が合わないもののうち No. 4 および 10 の港では導水孔に何ら

かのつまりが生じていたのではないと思われるが, 明確なことは言えない。No. 7 の港では, 津波高の分布の局所的な相違が大きかったためと思われる。

以上のことから, 現在の検潮井戸の構造・記録方式では, 今回のような周期の短い津波に対しては良い応答性を得られないと言える。検潮井戸のレスポンスを高める一つの手段としては, 図-6 に示したように, 構造係数  $E_0$  をより小さくすることが考えられる。すなわち, 導水孔の内径を大きくし, かつ長さを短くして, ごみあるいは生物等の付着を防ぐ構造を持った検潮井戸が望ましい。

5. 津波の数値計算

(1) 計算手法と断層モデル

本章では, 相田<sup>9)</sup>によって開発された数値計算法を用いて津波のシミュレーション計算を行い, 津波の最高水位の分布特性あるいは周期特性を定性的に明らかにすることを試みた。本計算法では, 初期水位の分布を設定しなければならぬので, 断層モデルを用いて地盤変動量を計算し<sup>4)</sup>, 地盤変動量が初期水位に等しくなると仮定した。断層モデルについては, 余震分布および強震観測記録から求めた日本海中部地震の暫定的なモデルを島崎・森\*が提案しているのので, そのモデルを採用した。島崎・森モデルによると, 地震断層面は図-8 に破線で示した長方形面で, 南北二つの面があり, 各断層面の諸元は表-2 に示した。この断層モデルから求まる海底地盤変動量を, 図-8 に細い実線および破線で示した。実

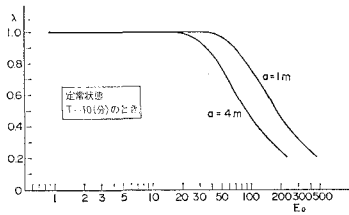


図-6 減衰比 ( $\lambda$ ) と構造係数 ( $E_0$ ) の関係 (定常状態,  $T=10$  分)

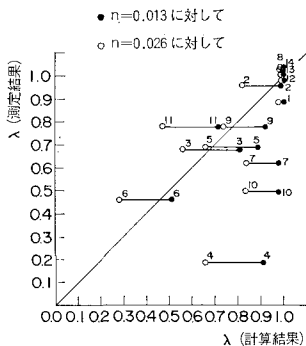


図-7 計算結果と実測値による減衰比  $\lambda$  の比較

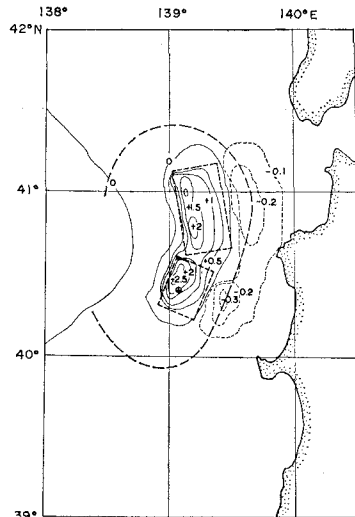


図-8 地震断層面の位置および海底地盤変動量

\* この地震断層モデルは, 島崎邦彦・森ジム西氏が, 東京大学地震研究所第 587 回談話会 (昭和 58 年 6 月 28 日), および第 588 回談話会 (7 月 26 日) の席上 '1983 年 5 月日本海中部地震のメカニズム (速報, 続報)' という題で発表されたもので, 以下, 島崎・森モデルと呼ぶ。

表-2 断層モデルのパラメータ

	断層面の長さ		幅	横ずれ変位	縦ずれ変位	断層面の傾き	断層面上縁の深さ
	2L (km)	W (km)	$U$ (m)	$U_v$ (m)	$\theta$ (°)	$Z_0$ (km)	
断層1(南側)	35	30	0	-6	30	4	
断層2(北側)	60	35	0	-4	30	4	

線が海底地盤が上昇した場合、破線が下降した場合の等高線である。なお図-8の太い破線で囲まれた楕円形の部分は推定浪源域を示している。地盤変動の様子をみると、断層面が東下りの逆断層となっているため、海底地盤の隆起の頂点から東側はゆるやかな下り坂となり、やがて変動量は負になる。しかし、降水量は小さく30cm以内である。この海底変動量を初期水位として計算を開始するため、東側の沿岸では、津波の初動はわずかに引き波となり、この傾向は各地の実測とも一致している。

(2) 計算結果

地震発生後2時間にわたって津波計算を行った。図-9が計算津波高と実測の津波高を比較した図である。実測津波高には、局所的な地形の影響が強く含まれ、さらに、計算メッシュを5km(小泊~秋田の沿岸付近は2.5km)と大きくとったため、津波高の絶対値を一致させることはできなかった。しかし、図-9からわかるように、地域的な津波高の分布傾向はよく表せたと思える。さらに、各地の第1波のピーク時を検潮記録のそれと比較すると、例えば深浦港および能代港での計算結果

はそれぞれ14分、30分であるのに対して、検潮記録ではそれぞれ12分、31分であったという様に、よく一致した。従って、断層モデルを用いた津波計算によって、最高水位の地域的な分布特性および各地の水位変動の時間的な特性を明らかにすることができる。津波高についても、地域の局所的な詳しい地形データを与える、あるいは、そ上計算を行うなどによって、実測値と計算値をより一致させることが可能になると思われる。

6. あとがき

本調査・研究は津波発生直後の現地調査に基づき、比較的短時間のうちに種々の問題を検討し、一日も早く全ぼうを示すべくとりまとめたものである。そのため個々の問題については考察に不備な点が見られ、今後、詳細な学術的検討が必要である。例えば、津波計算について言えば、2.5kmより小さいメッシュで地形を再現すること、断層のパラメータを再検討すること、そ上計算を行うことなどである。

なお、本調査・研究には、現地調査および資料収集の際に、非常に多くの方々へ協力して頂いた。ここに、改めてお礼を申し上げる次第である。また、現地調査には筆者らのほかに、港湾技術研究所から村田繁・高橋重雄・森川雅行が参加したことを付記する。

参考文献

- 1) 谷本勝利・他9名: 1983年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察, 港湾技研資料, No. 470, 299 p., 1983.
- 2) 運輸省港湾局調査設計室: 長周期波に対する防波堤の効果に関する計算, 47 p., 1962.
- 3) 相田 勇: 1923年関東地震津波の数値実験, 地震研究所彙報, Vol. 48, pp. 73~86, 1970.
- 4) L. Mansinha and D. E. Smylie: The displacement fields of inclined faults, Bull. of the Seismological Soc. of America, Vol. 61, No. 5, pp. 1433~1440, 1971.

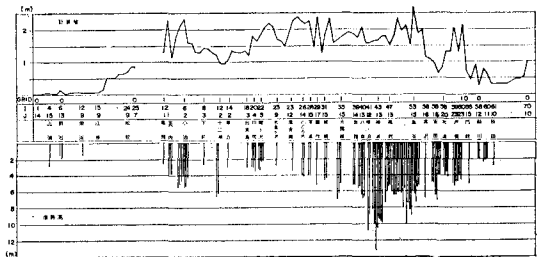


図-9 計算値とこゑ跡高の比較