

津波防潮水門の効果と設計波圧について

—— 小本川水門の場合 ——

富 樫 宏 由*・山 口 進 吾**・平 山 康 志***

1. はじめに

現在の三陸沿岸は津波を対象とした湾口防波堤、陸上防潮堤などの堡塁でとり囲まれているが、さらに近年はこうした津波対策の中では弱点とみなされていた河川遡上津波を防止するための防潮水門を設置する機運が高まり、現に随所に施工または計画中である。

ほとんどの場合、その天端高は昭和8年(1933)三陸津波か昭和35年(1960)チリ津波の浸水痕跡高にほぼ一致してとられているが、岩手県の小本川水門の場合も河口付近の最大痕跡高 T. P. 13.4 m にほぼ等しい T. P. 13.3 m と与えられている。ここで天端高決定の根拠となった過去の津波の痕跡高の評価の仕方が一つの問題となるが、水門がない場合の痕跡高にほぼ等しい大きさの波高をもった津波が同じ高さの水門に入射すれば、進行波性が強いほど反射重複波高が増大して大きく越流することが考えられる。したがって越流の可能性がある場合は、水門がその機能を十分に発揮しかつ安全であるためには、その遮蔽効果と設計波圧について水理学的に十分検討しておく必要がある。

しかし、今もって大津波の実態は十分よくわからないうえに、理論的にも実験的にも研究が困難で襲来時の被害を予測しがたいこともあって、入射波高が10m以上という大津波に対する防潮水門の水理についてはいまだかつて本格的に検討された例がなく、最も不明確でかつ重要な問題でありながら未解決のまま今日に至っている。

このような問題を単純化して理論的に数値解析することもある程度可能であるが、水門の具体的な形状とか門扉開度の影響などを詳細に検討するには不十分で、やはり水理模型実験によるのが一番の近道である。この結果は防潮堤の場合にもほぼ同様に適用できるであろう。

2. 小本の地形と津波および防潮水門計画

三陸海岸は図-1に示すように、宮古以南は湾入の著しい典型的なリアス式海岸であるのに対して、宮古以北は湾入の少ない比較的平坦な海岸線が続いていて、小本海岸もこの中に含まれている。この平面地形の相違は湾

水振動の有無に関係するので、海岸線から陸側の河川または陸上遡上津波の挙動を論ずる場合の重要な要素となる。

小本の海岸線は図-2に示すように偏平なU字形を成しており、わずかに湾入してはいるが顕著な湾水振動が起こる形とは認めがたくほぼ直線状とみなしてよいであろう。また小本川の河口汀線

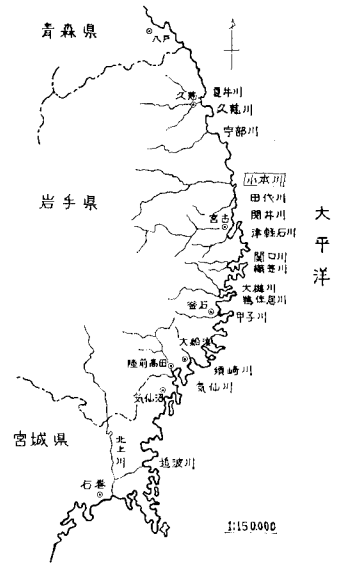


図-1 三陸海岸

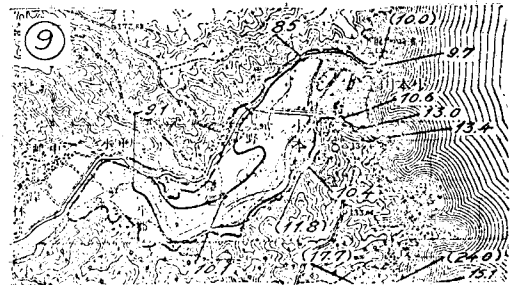


図-2 昭和8年と明治29年の津波による小本の浸水区域と痕跡高 (T. P.)

付近から沖に向かって最深部を通る海底勾配は、水深10mくらいまでは1/20とかなり急で、それから水深50mくらいまでは1/50というように曲折して、ほぼこの2つの勾配で近似できる。一方、小本川沿いの河床勾配は河口汀線付近から上流5kmくらいまでは約1/800で非常に緩やかであるが、平面的にはかなり蛇行している。

岩手県の震災災害土木誌によれば、小本における明治29年(1896)津波による痕跡高は18mで既往最大であり、昭和8年津波では15mとなっているが、この値は測定方法と場所がよくわからないので、一般にはあまり

* 正会員 工修 長崎大学助教授 工学部土木工学科

** 正会員

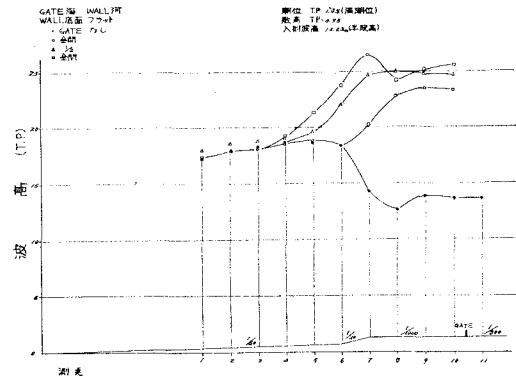
*** 長崎大学技官 工学部土木工学科

で、超小型圧力センサーを使用して全圧と静圧を測定し、差圧を動圧として取出す方法である。これによって初めに水のない状態から遡上波が襲来した場合の任意の深さの流速を測定することができる。

4. 実験結果と考察

(1) 浸水痕跡高

実験条件として、まず水門がない場合の水門位置における入射波高を 12.25 m (水位は T.P. 13.3 m) とした場合と、それに対して水門がある場合の門扉開度による部分重複波の各点の浸水痕跡高を比較したのが 図—5 で



図—5 浸水痕跡高線

ある。水槽末端を始点として側壁に水平に 2.5 m 間隔で鉛直に 1.0 cm 刻みの目盛りを付けたスケールによって、波が静まった後の浸水痕跡高を目測して得られた記録である。

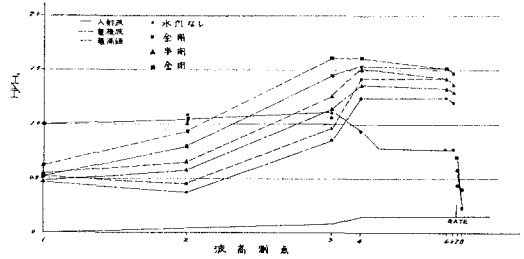
入射波の痕跡線については、河側の痕跡高にくらべて海側の痕跡高は一般に大きく、1/20 勾配始点前の測点 5 では最大 T.P. 19 m 近くもあって、海底斜面からの反射による重複波高が相当に大きいことと、このような重複波性を帯びた入射波がかなり急勾配の海から緩勾配の河に流入して射流状の波に変化する際に現われる測点 8 付近の凹みが目立って特徴的である。

また重複波の痕跡線については、重複波の上には水門に衝突反射する際に発生するクノイド波状の短周期波成分が重なっていて、その最高水位 (短周期波の山) が痕跡として記録されるが、重複波高はその平均値とみなされるものであるから、それよりは少し大き目の線が出ていることになる。門扉開度の影響としては、最高水位はやはり全閉時に最大で、水門前の値を平均すると約 25.5 m となり、半開から全開へと多少減少してはいるが、少なくとも 23.5 m 以上にはなるようである。また、重複波が急減して入射波高以下になる位置は全閉時には最も遠い海上までおよんでいるが、半開から全開へと開度が増大するにつれて重複波の影響範囲が小さくなる。しかし

その範囲は全開時でもまだ河口付近まで波及している。

(2) 入射波高と部分重複波高

1/50 海底勾配の始端 (法先水深 32.25 m) における入射波高 (H_1) を基準として、各点の波高 (H_2) の波高比 (H_2/H_1) をとって門扉開度による変化を見たのが 図—6 である。



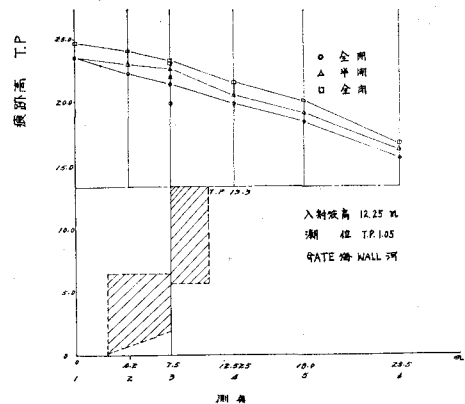
図—6 波高比の変化

入射波高の変化については、測点 3 (1/20 勾配始点) までは門扉開度の影響を受けないようで、ほとんど同一の曲線となってその差が現われていない。

しかし、部分重複波高の変化には顕著な相違が見られる。破線と一点鎖線の差は前述の短周期波の半振幅に相当するもので、それは全閉時には水門直前では生じないが、測点 4 から海側に入るにつれて発生してくる。しかし、半開と全開時には水門位置からすでに発生し、開度が大きいほどこの振幅も大きい。こうした現象差はあっても、平均波高は痕跡高と定性的によく似た傾向を示している。

(3) 越流曲線、越流波高および越流時間

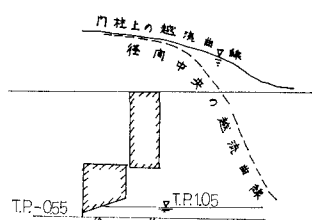
図—7 は門柱上における越流曲線であり、径間中央に



図—7 門柱上の越流曲線 (痕跡高)

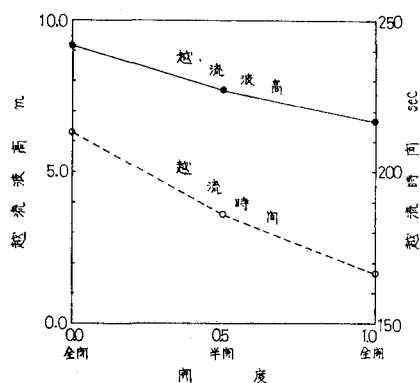
における越流曲線とはかなり異なり、背後の曲線形が緩やかになっている。図中測点 3 の○△□印は径間中央の越流波高であるが、門柱上よりも若干小さくなっている。その相違の模式図を 図—8 に示しておく。図—7 によ

ば、門扉開度の影響が重複波高の大小となって明瞭に現われたのに相応して、越流曲線形状は変わらないままで上下したかたちになっている。



図—8 越流曲線模式図

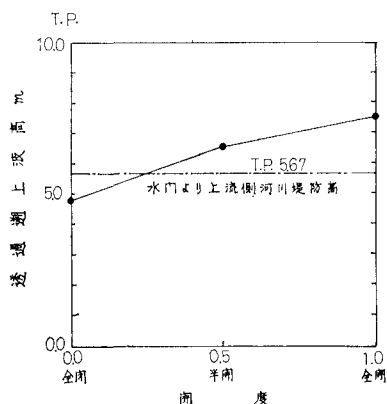
これを幕壁天端上の始端部測点3における越流波高と越流時間に対する門扉開度の関係で示したのが図—9である。これから開度の如何を問わず、いずれにしても越流量は相当大きいことが推察される。



図—9 越流波高と越流時間

(4) 水門背後への透過遡上波高

門扉全閉時には幕壁天端上を越流し、半開または全開時にはさらに門扉からの流出も加わる水門背後への透過遡上波高(実寸で水門後方位置の測点8)の開度による影響を調べたのが図—10である。ここでは透過波高に満潮位を加えた T.P. 上の水位で表わしてある。水門背後の上流側の現状の河川堤防天端高は T.P. 5.67 m であるから、図—10 によれば全閉時には安全であって問題ないが、半開または全開時には兩岸から溢流することに



図—10 透過波高

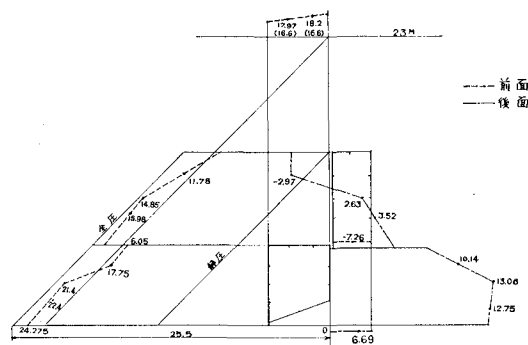
なり、津波遮蔽効果としては思わしくない状態になる。

(5) 波 圧

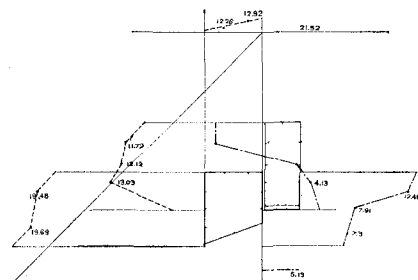
a) 波圧分布

最大波圧は各点の重複波が同時に最大となる時点での最高水位によって与えられ、先端波の衝撃波圧はいずれの場合もこれより小さいことが波圧記録より確認された。

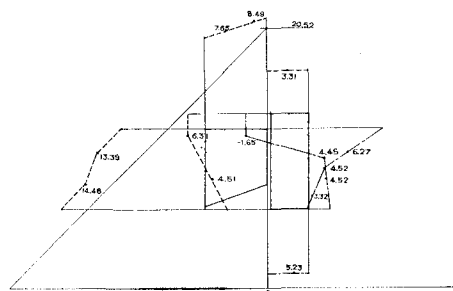
最大波圧時に門扉と幕壁に作用する波圧分布を門扉開度に応じて調べた結果が図—11, 12, 13 である。これを



図—11 全閉時の最大波圧分布



図—12 半開時の最大波圧分布



図—13 全開時の最大波圧分布

見くらべてわかることは、門扉と幕壁に作用する水平波力は全閉時が最大で、半開から全開となるにつれて減少しており、門扉の背圧についても同様な傾向を示している。しかし、幕壁の背圧については上面から背後にかけては負圧が働いており、背圧は開度が大きくなるにつれ

て一般に増大する傾向がある。また、いずれか一つの図に着目して開度一定の場合で見ても、波圧分布は一様ではなく複雑に変化していて、三角形で示した静水圧分布とは異なり、周辺の流況とか流速が微妙に影響していることがわかる。特に幕壁上面から背面上部にかけての負圧の発生は、現象の観察によれば、越流に伴って背面に巻込まれた空気が越流波高の増大とともに次第に流れに混入して縮少し、それが最小になる頃に上面の始端部から流れがはく離し、幕壁は広頂堰から狭頂堰または刃形堰の性質を帯び、同時に越流波高も最大になるといった流況の変化によるものと考えられる。

b) 流速分布

水門前 20 cm (実寸 15 m) における最高水位時 (即ち最大波圧時) の水平流速の鉛直分布を調べたのが図-14 である。もちろん水門がない場合の流速が最大ではあるが、この場合はすでに常流に変わっているようである。開度が減少するにつれて一般に流速も次第に減少する傾向があるが、全閉時でも 2~4.5 m/sec 程度の流速があり、これが水門に衝突した場合の全波圧に対する動水圧の寄与を説明するものと思われる。それは河床面上の負の流速が門扉底部にある淀み点の存在を裏付けることでもわかる。

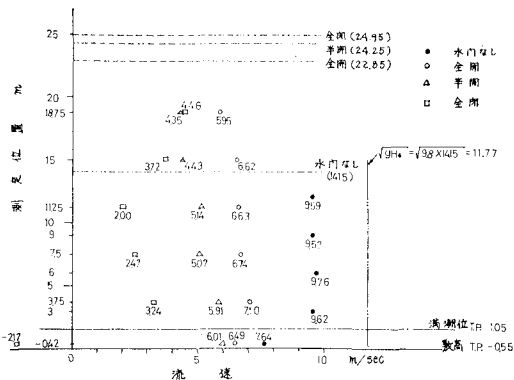


図-14 水平流速の鉛直分布

c) 設計波圧

これまでに述べた波圧記録、波圧分布および流速分布に対する考察から、設計波圧としては門扉全閉時の全波圧をとればよいことがわかったので、その場合に限りて検討してみる。たとえば、門扉の場合、背圧を考慮すると合力が相殺されて最も合理的な取扱いになるが、より単純に背圧を除いて前圧だけを対象に危険側の条件で考えることは、結果的にはより安全側の設計になるので、簡便でもあるし、むしろその方がよいであろう。

図-11 より、門扉に作用する全波圧 P_t は

$$P_t = 127.02 \text{ t/m} \dots \dots \dots (1)$$

と計算される。ところで、これを三角形分布の静水圧の

みとして計算すると

$$P_s = 123.38 \text{ t/m} \dots \dots \dots (2)$$

となるが、その比は

$$P_t/P_s = 127.02/123.38 = 1.03 \dots \dots \dots (3)$$

となる。また、図-11 の門扉中央部の最大波圧点では

$$P_t'/P_s' = 21.4/19.78 = 1.08 \dots \dots \dots (4)$$

となる。この比で示される差圧は動水圧によるものであるが、その大きさは高高静水圧の 10% 以内である。したがって、設計波圧は水門位置の最大越流波高の最高水位で与えられる静水圧の約 10% 増の全波圧か、あるいは水門前の最大重複波高の最高水位で与えられる静水圧を全波圧として採用すればよいであろう。しかし、現在のところこの最高水位を見積もることは、実際問題としては事例解析によらざるを得ない。

一方、従来の慣用的な設計波圧のとり方は、水位は幕壁天端高と等しいとにおいて静水圧 P_s を求め (図-11 の静圧)、これに波速 ($V = \sqrt{gh}$, g : 重力の加速度, h : 水深) に伴う動水圧 P_a と称して、 $P_a = 0.1 V^2$ を加算したものを全波圧 (図-11 の全圧) としてきたが、この計算では

$$P_t = P_s + P_a = 66.65 + 72.23 = 138.88 \text{ t/m} \dots (5)$$

となり、式 (1) で与えられた実験値のほぼ 10% 増の波圧になる。このような算定の仕方に理論的な根拠はないから、全く偶然の一致としかいようがないが、それにしても非常に近い値が出ていて感心するほどである。しかし、この算定法は入射波高だけで決まるもので、水門の設置位置とか形状、背圧の有無とは無関係であるから、常に一致することはあり得ない。

次に、幕壁下面に作用する揚圧力 P_n については、下面の圧力に上面の負圧が加算されるので、図-11 より、

$$P_n = 6.69 + 7.26 = 13.95 \text{ t/m} \dots \dots \dots (6)$$

となるが、幕壁の自重よりは小さいようで、この構造では浮上する危険性はないようである。

5. 結 論

小本川における津波防潮水門は、大津波来襲時の水門前の溢流は避けられないが、水門位置の両岸堤防に直角に副堤を設けるなどの二重構えで災害減少策を講じ、門扉全閉状態で対処すれば、かなりの遮蔽効果が期待できるし、設計波圧には満潮位に入射波高の約 2 倍の部分重複波高を加えた水門前の最高水位による静水圧をとれば十分であろう。

なお、現在岩手県が施工、計画中の幕壁海・門扉河側配置の場合については別の機会に報告する予定である。

参 考 文 献

- 1) 松尾春雄：三陸津波調査報告、内務省土木試験所報告、第24号、昭和8年。