

防波護岸の越波に関する現地観測（第2報）

福田 伸 男*・宇 野 俊 泰**・入 江 功***

1. はし が き

防波護岸は、埋立てにより確保された土地を海から守るためのものであるが、そのすぐ背後には道路、工場施設など直接人命財産にかかわるものが配置されることが多い。この場合、防波護岸自体を前面洗掘、あるいは越波による被害から守ることは当然であるが、護岸背後の利用目的によっては、背後への越波流量を相当制限せねばならないものと思われる。すなわち防波護岸の越波については、護岸構造物自体の防災が対象になるような大越波の場合と同時に、護岸背後の人、道路、家屋などに対する影響を考えるような小越波の場合についても、十分把握しておく必要がある。著者らは、昭和46年度に新潟東港の埋立防波護岸を対象に越波の現地観測を実施し、さきに第1報として報告したが、今回はこれに昭和47年度実施分もあわせて整理解析した結果を報告する。

2. 観測場所および方法

観測には、昭和46年度に使用した施設をそのまま、昭和47年度も使用する予定であったが、昭和47年12月初めのしけによる越波でその施設が破壊してしまったので、昭和47年度の観測にあたっては、図-1に示すように、

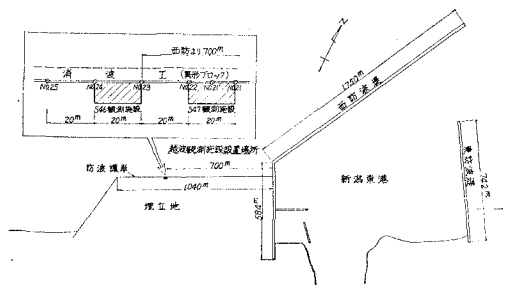


図-1 観測の場所

それより20m東隣に前回とほとんど同じ形状の観測施設をつくり、観測を続行した。昭和47年度観測時の前面消波ブロック、および海底形状を昭和46年度観測時のそれと比較して示したのが図-2である。昭和47年度における消波工断面の方が、前年度のそれよりやや大きめで

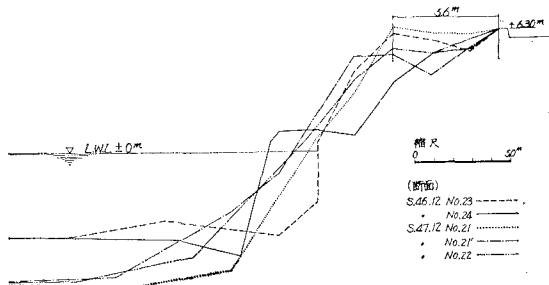


図-2 消波工の断面

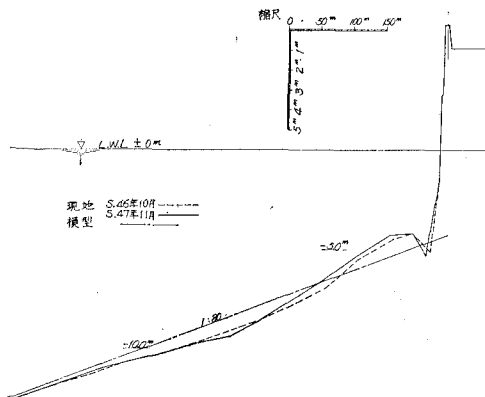


図-3 防波護岸沖の海底断面

あるが、ほとんど大差ないといってよい。しかし前面水深は、昭和47年度の方が2m近く大きくなっているが、これは、深浅測量の前に来襲した12月初めの大しけにより、前面が洗掘されたためと思われる。越波量の観測も前回と同様に、観測区域20mの区間を護岸法線に平行なコンクリート壁で6つに仕切り、越波によりたん水した水位を、水位計により読み取った。これら6つの取水溝より岸側に飛散した越波水は、半切りのドラム缶を適宜設置して水量を計量した。観測は、1日6時間連続して行なった。越波流量の整理にあたっては、昨年(昭和46年)の3時間観測データとあわせるため、3時間毎に区切って計算した。波は観測場所の沖の水深-24.2m地点に設置された超音波式波高計により観測した。昨年は、本観測地域から約15km西の新潟西海岸の-14m地点の水圧式波高計によったが、これを今回と整合させるため、佐渡ヶ島のしゃへい効果、海底による屈折効果を考慮して、

* 正会員 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所所長

** 正会員 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所次長

*** 正会員 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所調査課長

表-1 観測結果

年月日	時 間 n min n min	波 高 $H_{1/3}$ m	周 期 T sec	波 向	風 速 m/sec	風 向	風 速 ベクトル m/sec	平均潮位 (L.W.L.基準) cm	越 波 流 量 $m^3/m \text{ sec}$
47. 1.22	12.40~15.25	3.70	10.27	NNW	11.77	WNW~WSW	8.92	25	2.70×10^{-5}
2.21	11.20~14.20	4.06	10.70	NW	13.03	WNW	9.87	25	3.469×10^{-5}
2.21	14.20~17.20	3.94	10.75	NNW	11.38	WNW	8.62	25	4.278×10^{-5}
2.22	8.00~11.00	2.67	10.23	NNW	6.8	NW~WNW	6.78	120	6.50×10^{-6}
2.28	10.15~13.15	5.23	11.83	NNW	15.03	W	6.76	40	1.113×10^{-4}
2.28	13.15~16.15	5.55	12.03	NW	15.95	W	7.18	40	2.197×10^{-4}
48. 2. 7	11.00~14.00	4.03	9.3	NW	18.0	WNW	13.64	31	6.417×10^{-5}
2. 7	14.10~17.10	4.49	10.2	NW	17.6	WNW	13.33	31	7.118×10^{-5}
3. 1	10.45~13.45	2.83	8.1	NW	10.8	WNW	8.18	39	6.82×10^{-6}
3. 1	10.45~13.45	2.83	8.1	NW	10.8	WNW	8.18	39	7.36×10^{-6}
3. 1	14.00~17.00	3.68	8.6	NW	11.7	NW	11.12	43	9.07×10^{-6}
3. 1	14.00~17.00	3.68	8.6	NW	11.7	NW	11.12	43	7.452×10^{-5}
3. 6	9.45~12.45	3.02	7.9	NW	10.8	NW	10.27	16	3.66×10^{-6}
3. 9	10.15~13.15	2.82	8.3	NW	9.3	NW	8.84	22	1.126×10^{-5}
3. 9	13.15~16.15	3.14	10.2	NNW	8.1	NW	7.70	28	6.17×10^{-6}
3. 9	16.15~19.15	3.14	10.2	NNW	5.7	WNW	4.32	34	2.80×10^{-6}
3.14	12.45~15.45	3.03	8.6	NW	11.8	NW	11.21	42	5.37×10^{-6}

新潟東港での波高に換算した。風の測定は、今回は、観測施設の位置、海面上+10 mの高さに、コーシンペン型風速計を取付け、これにより風向風速を測定した。この風についても、昨年は、地上1.5 mの位置で、ピラム式風向風速計により測定したので、これを今回のものと整合させるため、昨年、本年と同じ連続して観測されていた新潟東港の地上11.5 m、海上21.2 mコーシンペン風速計の記録を用いて修正した。表-1は、昭和46年度実施の観測結果に上に述べた修正を加え、昭和47年度分と共に示したものである。表中において、風速ベクトルとは、風速の護岸に対して直角方向の成分を意味するものである。さらに、現地で越波を観測している間、1時間ごとに10分間だけ、8ミリカメラにより、越波状況を撮影した。これは、昨年と同様に実施したので、これもあわせて、観測された越波量と、実際の状況との関係について後述するようにいくつかの検討を行なった。

3. 越波流量

越波流量というのは、一定時間内の総越波量の時間的平均値のことであるが、この平均値の計算時間をあまり短くとると、越波流量が平均値計算時間によって異なった値をとる。著者らは、越波量の時間変動率について検討した結果、これが3時間以上あれば、十分であることを確認した。3時間あたりの越波量の平均値として求めた越波流量の観測値を、その間の平均有義波高に対してプロットしたのが図-4である。図中の各点に添えてある数字は、護岸法線に直角方向の風速成分である。観測された越波流量は、 $10^{-4} \sim 10^{-6} m^3/m \cdot sec$ の範囲内にあり、越波流量は、波高の増大とともに大きくなっている。昭和46年度の越波流量の観測値が、昭和47年度の観

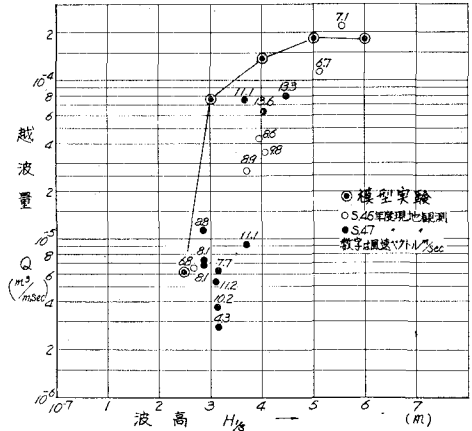


図-4 越波流量と波高との関係 (模型実験は、潮位+1.5m)

測値より大きくなっているが、これが昭和47年度に風が強かったことによるものか、図-2に示したように前面水深が深かったことによるものかは、明確でない。

ある特定の護岸断面に対する越波流量は、模型実験により求められることが多い。その場合、模型実験の現地再現性については、常に議論的となってきたが、これを確かめた例はほとんどない。今回は、図-4に示す越波流量の現地観測結果が得られたので、これに対する二次元の模型実験を行ない、越波実験の再現性を調べてみた。模型縮尺を1/50とし、図-3のように、現地海底勾配にあわせて、1/80の勾配の模型床をつくり、護岸法先水深をL.W.L. 以下-4.3 mとして、図-2に示す断面の平均断面の模型護岸をつくった。潮位を、+1.0、+1.5、+2.0、+2.5、+3.0、+4.0 mと変化させ、各潮位に対して波高 $H=4 m \sim 7 m$ 、周期 12 sec の波を作

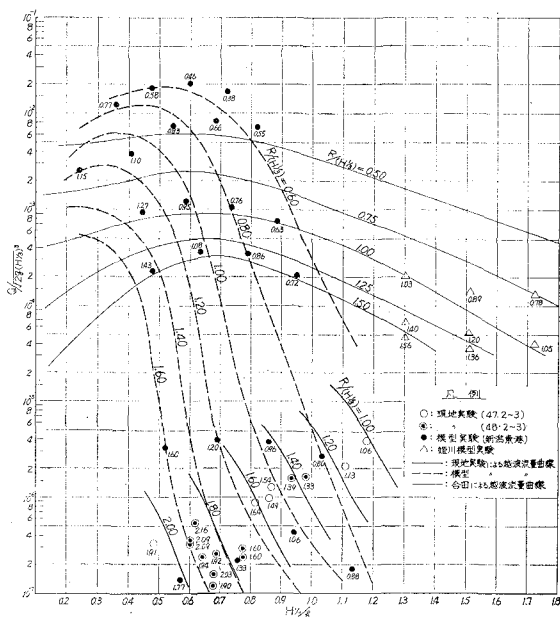


図-5 越波流量についての現地観測と模型実験との比較

提案した期待越波流量の計算方式にて、有義波高 $H_{1/3}$ と、越波流量を求め、同じく合田の期待越波流量の算定図表の表示方法にて図示したのが図-5の黒丸の点である。図中の黒丸点に付してある数字は、護岸パラベット天端高 R と有義波高 $H_{1/3}$ との比であるが、これらの値から、同じ $R/H_{1/3}$ の値を示す線を引いたのが、図中の破線である。これに対し、現地観測値のほうは、図中の白丸および二重丸の点で、同じく $R/H_{1/3}$ のコンターを引くと、図中、実線のようにになる。さきにも述べたように、現地の越波については、風の影響があるはずであるが、ここでは、越波流量の観測値をそのまま用い、また、模型実験においては、風の影響は入れていない。ただし、図-4の越波流量と波高の図からわかるとおり、越波に対する風の影響は、越波流量のオーダーを変えるほどのものではないことは確かである。さて、図中には、合田による主として、海底勾配が $1/10 \sim 1/30$ の場合の $R/H_{1/3}$ に関する曲線が細線で示してあるが、今回の実験の結果(破線)はこれと比較して、 $H_{1/3}/h$ の増大とともに越波流量が急激に減少している。そのため、現地(実線)と模型(破線)とを比較した場合、 $H_{1/3}/h$ (あるいは $R/H_{1/3}$) のわずかなちがいにより、越波流量が極端に異なる結果となっている。本実験と、合田による越波流量曲線がこのような異なるのは、実験時の海底勾配が異なるためと思われる。海底勾配が今回のように緩やかになれば、波高が大きくなるにつれ、海底の影響により碎波し、護岸に到達するまでのエネルギー逸散量が多くなるので、越波流量が急激に減少するものと思われる。

る。図-5には、著者らが実験を行なった同じ二次元水槽内で、海底勾配 $1/10$ の姫川護岸の越波実験の結果が(Δ)印で示してあるが、これは合田による曲線ときわめてよく一致している。図-5で、越波量曲線が、現地と模型で必ずしも一致していないが、これはいかなる理由によるものであろうか。一つ考えられることは、現地における前面水深のとり方が、海底地形の複雑さ、前面における Wave Set-up 測定の困難さなどのため非常にむずかしいことであろう。現地のデータの整理にあたっては、港内検潮記録から水位をつかったが、図-5の結果をみると、現地観測結果に対しては、前面水深を浅く読みすぎたか、あるいは、当時の潮位を低くみすぎたものと思われる。このように、もし、模型実験による越波流量が、現地より小さくなるとすれば、重大なことといわねばならないが、現地における潮位に対し、模型内の潮位を高めにとるようにすれば、ある程度解決できるであろう。たとえば、図-4において、模型内の潮位が $+1.5\text{m}$ としたとき越波流量が現地観測結果と比較してあるが、ほとんどの場合模型実験値の方が現地観測値の上にきている。表-1にあるように、この場合、現地での潮位は、 $0.2 \sim 1.2\text{m}$ 程度であったが、これより少し高めの潮位をとることで、海底勾配が緩勾配のときの越波実験の再現性は十分確保できるようである。また、海底勾配が、急勾配($1/10 \sim 1/30$)で、合田による曲線のように、その傾きが比較的フラットな場合は、前面水深の誤差による越波流量のちがいは小さくなるので、模型の現地再現性も良いのではないと思われる。

4. 越波量の水平分布

護岸前面から陸側への距離と、そこへ落下して来る単位面積あたりの越波水量との関係、すなわち越波量の水分布の現地観測結果を図-6に示す。このデータと降雨量との比較を容易にするため、単位は $[\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}]$ で示してある。この図によれば、越波量の水平分布の勾配は、単位面積あたり越波量が多いところほど、急勾配で、しかも風の影響に関係なく一定の勾配に近く、逆に越波量が少ない所ほど、勾配は緩やかで、また風の影響による分散が大きい。これは、越波量が少ないところほど、水塊が分離して水滴状になっているため、風により飛散する率が大きいためであろう。そこで、単位面積あたり越波量 $(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr})$ と、越波量水平分布の勾配 $(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}/\text{m})$ との関係、風速ベクトル (m/sec) をパラメーターにしてプロットしたのが図-7である。各点に付してある数字は、風速ベクトルであるが、最小二乗法によって等風速ベクトル線を引くと、図の実線のようにになる。これによれば、風の越波量水平分布に対す

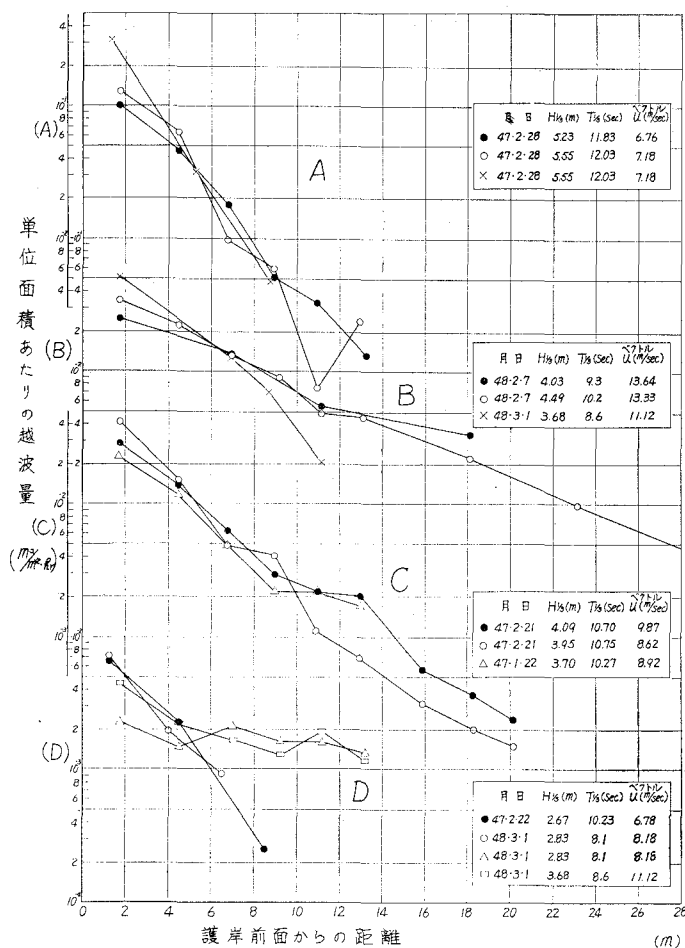


図-6 越波量の水平分布

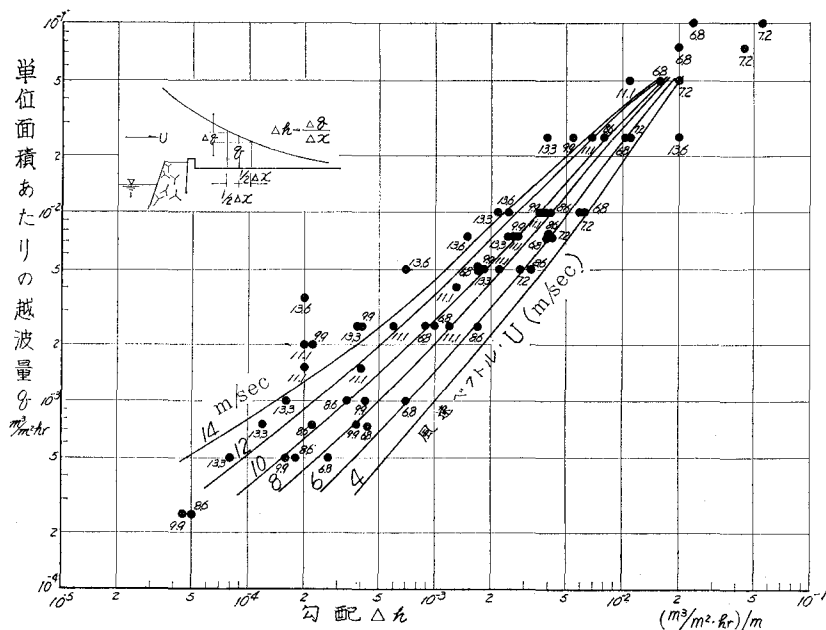


図-7 越波量水平分布の勾配に対する風の影響

る効果が明りょうに出ており、単位面積あたり越波量が少ない所ほど越波量水平分布の勾配が緩やかになり、また風の影響も大きくなっている。この結果は、越波に対する風の影響についての模型実験再現性の検討にきわめて有用であろう。

5. 越波が護岸背後へおよぼす影響

越波の現地観測をする時に、観測施設へ越波してくる様子を1時間ごとに10分間、8ミリ撮影により記録した。その記録映画を、港湾建設の調査、研究などの指導的立場にある8人の技術者に見せ、越波の影響度を判断してもらった。すなわち、図-8に示すように、歩行、自動車、家屋なる3項目に対する影響度を、それぞれ「少しこわい」、「こわい」、「危険」、および「高速通過」「スピード落とす」、「運転に障害あり」および「大丈夫」、「ガラス戸一部障害あり」、「侵水破損」の3段階に分けた調査票を各人に配布し、越波の様子を1波ごとに8人で同時に観察して、もし図-8の下端に示した星印の位置(護岸のすぐ背後、約11m離れた所の2箇所)を人が歩いたら、「少しこわい」程度か、「こわい」か、「危険」かを判断し、該当する欄にチェックを入れる。同様に、そこを自動車が行った場合、家屋があった場合も、それぞ

れ該当欄にチェックを入れる。このようにして、「歩行」、「自動車」、「家屋」なる項目別のチェック率をパーセント単位で示したのが図-8の黒丸点に付してある数字である。すなわち、黒丸点に付してある数字が大きいということは、そこにチェックした人が多いことを意味する。図の横軸は、各越波観測時の3時間平均で求めた越波流量である。図中、50%を示した斜めの線は、ある越波流量のときの越波が50%の人はその線の位置より安全側であると判断し、残り50%の人は危険側であると判断す

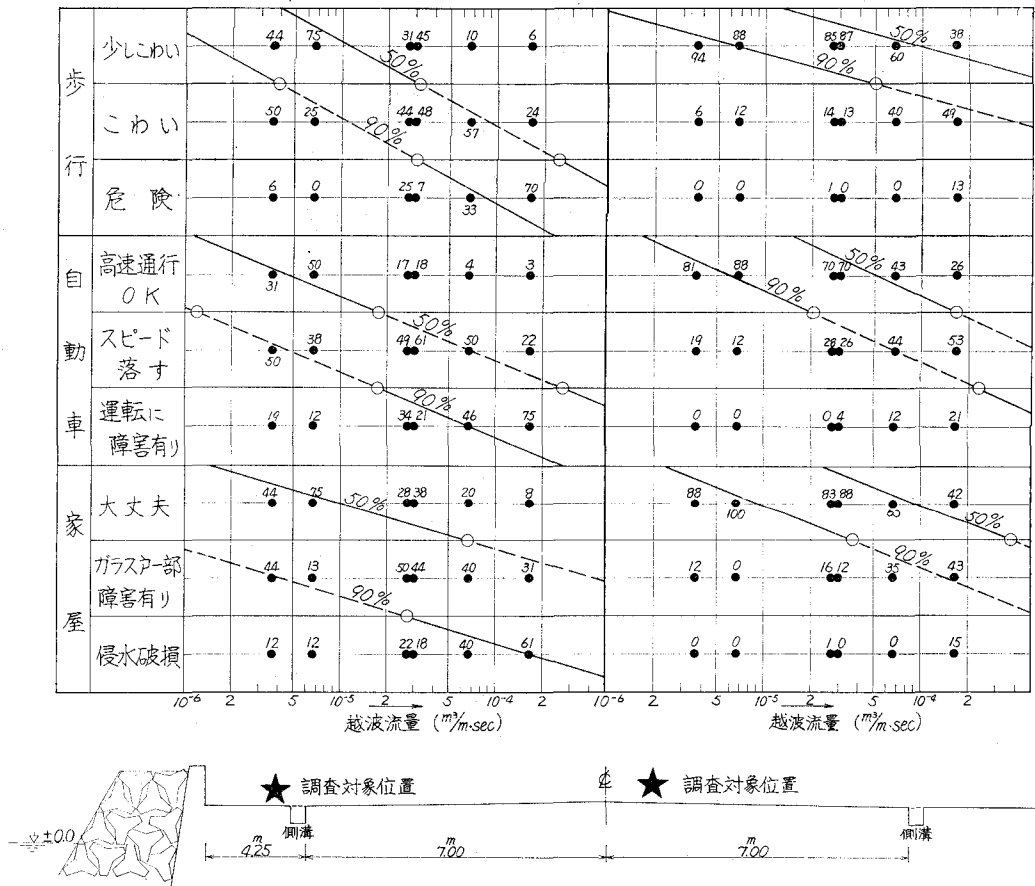


図-8 越波が護岸背後へおよぼす影響

る境界線を示すものである。同様に90%を示す斜めの線は、90%の人がそれより安全側と判断、残り10%の人がその線の位置より危険側と判断する境界の線を示す。すなわち、越波の影響度を90%の安全度で判断するには、この90%境界線をつかう必要がある。図-8から、次のことがわかる。

- (1) 護岸のすぐ背後を、人が危険なく歩行するには、越波流量を次の値以下にする必要がある。
50%安全度で、 $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ 以下
90%安全度で、 $3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ 以下
- (2) すぐ背後を高速で自動車が通過するためには、
50%安全度で、 $2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ 以下
90%安全度で、 $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ 以下
- (3) すぐ背後で、家屋が大丈夫であるためには、
50%安全度で、 $7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ 以下
90%安全度で、 $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ 以下

図-8から、護岸より10m程度離れた地点では、上の越波流量が、1けた大きくてもよいことがわかる。写真-1は、越波流量 $Q=2.2 \times 10^{-4}$ のときの最大級の越波の様子を示すが、これを見ると、50%安全度はかなり

危険であり、また90%安全度では多少安全を見込み過ぎの感じがし、結局これらの中間位が最も妥当ではないかと思われる。

以上、越波流量が $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ の場合の護岸背後への影響について述べたが、越波流量がこれより大きくなると、堤体自体の維持が問題となる。ここでは、昭和47年12月初旬に来襲したしけで被災した例を2つ紹介する。その1つは新潟東海岸の防波護岸で被災前の断面は図-9に示すとおりで、天端工および裏のりは、

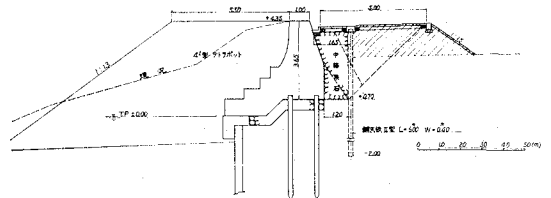


図-9 新潟東海岸の護岸断面

50 cm × 50 cm × 10 cm のコンクリート板を張りつけたものであるが、表-2に示すように波高5.2m、周期13.2 secの波が来襲し、図-9の斜線で示した部分が完

全に消失してしまった。このときの推定越波流量は、模型実験により求められ、表-2のように $1.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ であった。このとき現地で観察されたほぼ最大級の越波の様子を、写真-2に示す。いま一つは、姫川護岸の被災で、断面は図-10に示すとおりである。姫川港の海底勾配は1/10のオーダーであり、被災時の波高

表-2 被災時の条件

場 所	波			模型実験による 推定越波流量
	波 向	波 高	周 期	
新潟東海岸	NNW	5.2 m	13.6 sec	1.9×10^{-3}
姫 川 港	NNW	5.6	12.0	1.5×10^{-2}

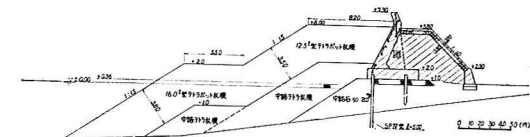
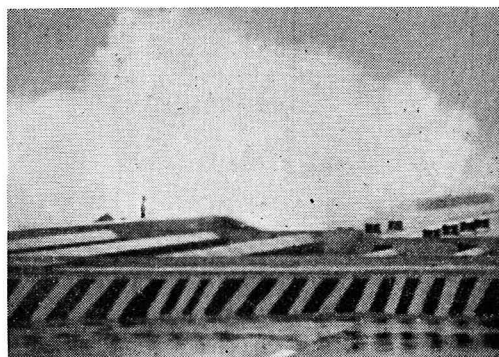
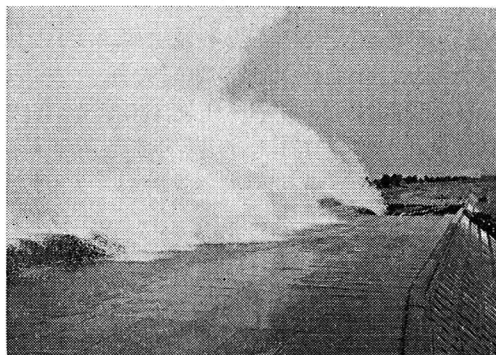
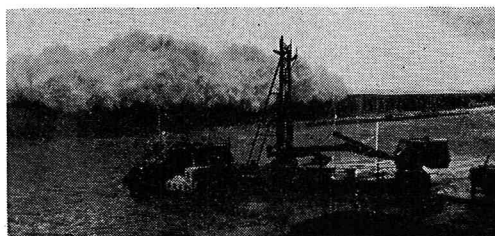


図-10 姫川港の護岸断面

写真-1 新潟東海岸護岸の越波状況 (昭47.2.28,
越波流量 $Q=2.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$)写真-2 新潟東海岸護岸の越波状況 (昭47.12.2,
越波流量 $Q=1.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$)写真-3 姫川港護岸の越波状況 (47.12.2,
越波流量 $Q=1.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$)

が 5.6 m 程度にもかかわらず、越波量は非常に多く、実験による推定越波量は、表-2のように、 $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ に達した。そのため、裏のり工の根元が洗掘され、まず天端工、裏のり工が破壊するや、間もなく前面のバラベットの倒壊してしまった。当時の越波状況を写真-3に示すが、越波流量が $10^{-2} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ のオーダーの越波がいかにげしいかがよくわかる。

6. 結 語

防波護岸の現地観測を2年にわたり実施し、そのデータをできるだけ活用できるように整理して報告してきた。著者らの力では十分考察がおよばなかった点多々あったと思うが、本成果が、今後越波の研究をされる方々の一助となれば幸いである。

なお、越波の現地観測の実施、および資料整理にあたっては、新潟調査設計事務所調査課水工係長高田満夫、および係員広瀬憲治の両氏に多大な労苦をお願いした。また現地被災データ収集に際しては、新潟県港湾課に協力を願った。ここに記して謝意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 合田良実：防波護岸の越波流量に関する研究，港湾技術研究所報告，第9巻，第4号，pp. 3~41，昭45。
- 2) 富永正照：越波と根固め，水工学シリーズ70—08，土木学会水理委員会，1970—7。
- 3) 橋本 宏：越波とはり上がり，水工学シリーズ72—B—2，土木学会水理委員会，1972—7。
- 4) 豊島 修：海岸保全，水工学シリーズ68—05，土木学会水理委員会，1968，8。
- 5) 高田 彰：越波の飛散分布について，第19回海岸工学講演会論文集，昭47.11。
- 6) 西村一男・入江 功：防波護岸の越波に関する現地観測（第1報），第19回海岸工学講演会論文集昭47.11。