

防波護岸の越波に関する現地観測（第1報）

西村 一 男*・入 江 功**

1. はしがき

最近、海岸地域の土地利用度はますます高くなりつつあり、それにつれて外海に直接面する海岸を埋立て、工業用地その他種々の目的のための用地を造成することが多くなった。このような埋立地前面の防波護岸は、従来の海岸堤防などに比べて前面水深が深いので波の作用も強くなり、前面脚部の洗掘、背後への越波などが大きな問題となってくる。特に防波護岸背後への越波の問題は、背後施設の位置、排水施設の規模を定める上にきわめて重要である。護岸の越波については、模型実験による研究がいくつかなされている。たとえば、富永¹⁾は、海岸護岸の越波量に関する実験を規則波を用いて実施しており、合田²⁾は、不規則波による越波量について、実験的に研究している。また、護岸越波水の水平飛散分布に関しては、高田³⁾による研究がある。これらの研究はすべて模型実験によるものであるが、越波という現象には、碎波帯内の波高変化、越波水柱の立上がりなど、縮尺効果の大きい要素がかなり含まれているものと思われる。この縮尺効果の影響がどの程度かを確かめるには、越波の現地観測が必要である

が、従来、その実施例は非常に少ない。著者らは、昭和46年度から昭和47年度の2カ年にわたって、新潟海岸の既設の防波護岸を利用した越波の現地観測を計画実施中であるが、本報告ではまず第1報として、昭和46年度冬期の観測で得られた成果について述べる。昭和47年度には、昭和46年度観測した防波護岸と断面条件を異にする護岸背後の越波も観測することになっているが、これらも含めた最終の成果は第2報として報告する予定である。

2. 観測場所および観測方法

観測は、図-1に示すように、新潟東港埋立地の防波護岸を利用して実施した。西防波堤から700m離れた位置において護岸法線方向20m区間を越波観測の区域と

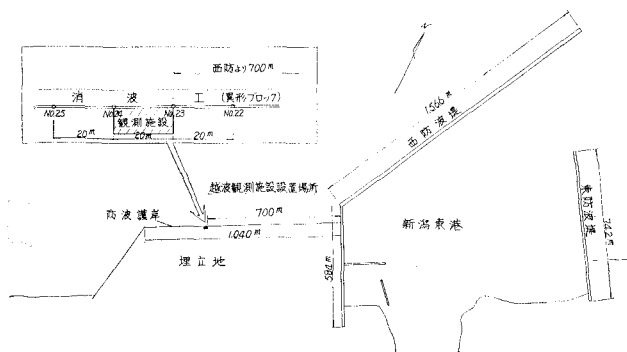


図-1 観測場所

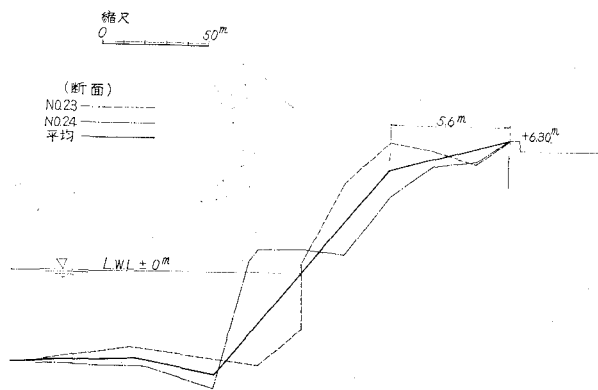
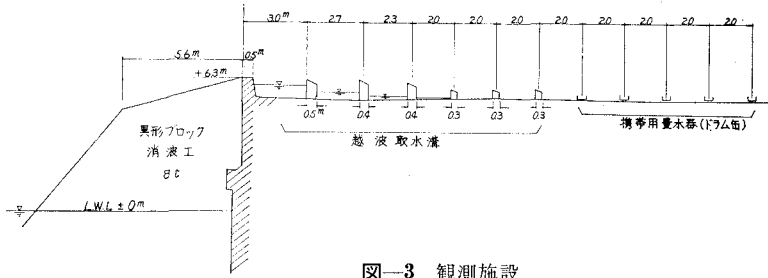


図-2 消波工の断面

した。沖側は、約 1/100 勾配の比較的単調な海底地形である。護岸パラペットの天端高は +6.3m であり、前面には異形ブロック消波工が設置されているが、その断面は図-2に示すとおりである。図のように測線によって断面形状が異なるが、その平均断面では消波工天端幅 $B=5.6\text{m}$ となっている。防波護岸前面の水深は、基準潮位 (L.W.L.) 下約 4.5m である。観測施設としては、図-3に示すように観測区域 20m の区間を護岸法線に平行なコンクリート壁で6つの溝に仕切り、越波によりこれらの取水溝にたん水した水位を護岸から約 20m 陸側に設置した水位計により読み取った。また、6つの取水溝より陸側へ飛散した越波水については、取水溝背後に適宜半切りのドラム缶を設置して水量を計量した。1回の越波観測の時間を3時間とし、その間の風向風速を地上約 1.5m の高さでピラム式風向風速計にて観測した。波は観測の場所より約 15km 西の新潟西港 -14m

* 正会員 運輸省第一港湾建設局新潟港工事事務所長

** 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



図—3 観測施設

での波浪観測記録を用い、ミリ波レーダで観測された波向により波の屈折を考慮して求めた。表—1 は、観測期間中の諸条件を示したものである。

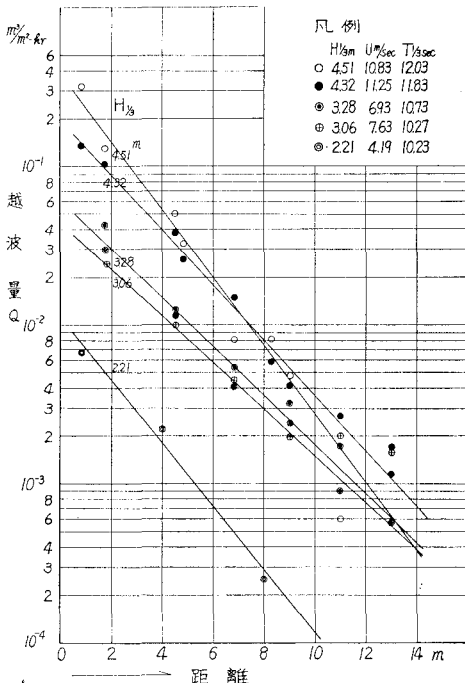
表—1

月 日	時 間	波高 $H_{1/3}$	周期 T	波 向	風 速	風 向
47.1.22	h min h min	m	sec		m/sec	
	12.40~15.25	3.06	10.27	NNW	7.63	WNW~WSW
2.15	10.20~13.20	3.38	11.10	NNW	5.16	N
2.15	13.50~16.50	3.25	11.08	NNW	4.50	N
2.21	11.20~14.20	3.30	10.70	NW	7.89	WNW
2.21	14.20~17.20	3.26	10.75	NNW	5.96	WNW
2.22	8.00~11.00	2.21	10.23	NNW	4.19	NW~WNW
2.28	10.15~13.15	4.32	11.83	NNW	11.25	W
2.28	13.15~16.15	4.51	12.03	NW	10.83	W

3. 観 測 結 果

(1) 越波量の水平分布

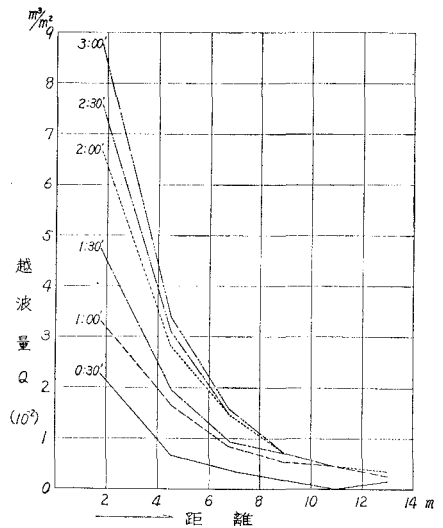
越波により地表へ落下してくる水を、ある規定量以下にするには防波護岸から背後へどれくらい離れればよい



図—4 越波量の水平分布

かを知るには、越波量の水平分布を明らかにする必要がある。図—4 は、越波量の水平分布に関する今回の現地観測結果を示したもので、縦軸は単位面積内に1時間あたりたん水する水位上昇高を対数表示で示し、横軸は防波護岸パラペット前面から測定した背後水平距離で示した

ものである。これより、どの波高に対しても、越波水の観測値は、防波護岸から離れるにつれ片対数方眼紙上でほぼ直線的に減少しているのがわかる。観測期間中の風速は、凡例に示すように7 m/sec~11 m/secであったが、この風速範囲では、風の越波量分布形状に対する影響は少ないようである。図—4 の各位置における単位面積当たりのたん水量を、降雨量と比較してみると、意外に少ないように思えるかもしれないが、この越波量は平均越波量であることに注意する必要がある。1波ごとに対応した越波流量自体は、図—4 に示す値よりはるかに多くなる。越波量の水平分布が対数紙上でほぼ直線分布をなすということは、防波護岸のすぐ後ろと、少し離れた所では、落下水量が大きく異なることを意味する。たとえば図—5 は、越波量水平分布の時間的変化をリニヤスケールにて示したものであるが、防波護岸からの距離約5m くらいを境にしてみると、それより海側と岸側では、越波水の量が大きく異なるのがわかるであろう。また、図では30分ごとの越波量水平分布が示してあるが、その間の越波流量は必ずしも一定ではなく、ある変動がみられる。この変動の性質については後述する。高田³⁾は、無風時³⁾の越波量水平分布が両対数紙上で直線分布になることを実験的に確かめているが、本観測結果では片対数



図—5 越波量水平分布の時間的変化

紙上で直線の分布となっており、その差異の原因については今後の検討課題であらう。

（2）越波水平到達距離

防波護岸の越波の様子を観察してみると、護岸前面で立ち上がった水柱が、白い水滴の集団となって背後地面にたたきつけられたあと、霧状になった水滴が、風に乗って非常に速くまで運ばれているのが見られる。しかし越波に関して工学上問題となるのは、このような霧状の水滴より白い水柱の落下そのものであろう。そこで、白い水滴の集団が地面へ落下した時の陸側最先端を、ここでは越波水平到達距離とよび、この性質をいくつか調べてみる。この越波水平到達距離は、当然のことながら、1波ごとに異なった値を示す。図-6 は、越波観測区間での10分間における越波水平到達距離の頻度分布の1例を示したものである。このような統計的性質を有する量を統一的に扱うため、図に示すように越波水平到達距離の平均値 l_{mean} と、最大値 l_{max} を用いることにする。ここでまず l_{mean} と l_{max} との関係を調べておくと、図-7 のようになり、 l_{max} は、 l_{mean} の3倍程度になり得ることがわかる。さて、この越波水平到達距離の諸特性を調べるため、越波量観測区間を含む約400mの護岸法線にわたって、目視観測を行なった。方法は、20m区間ごとに、その間へ落下して来る越波水の到達距離を、越波するごとに目視で測り、各区間ごとに10分間ずつ観測した。その結果を前面水深、消波工天端幅、天端

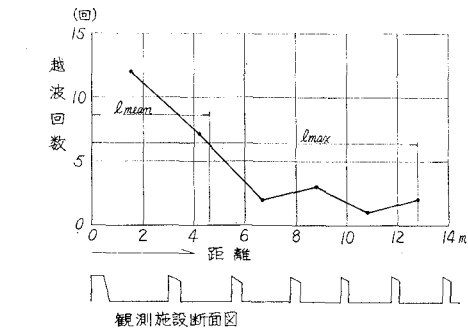


図-6 越波水平到達距離の頻度分布

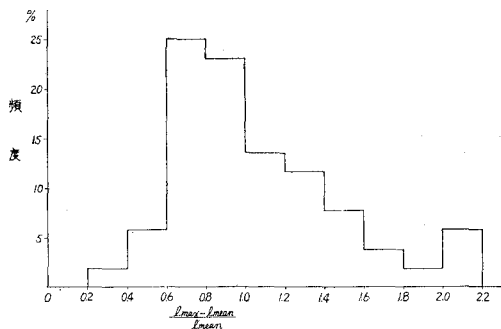


図-7 l_{max} と l_{mean} との関係

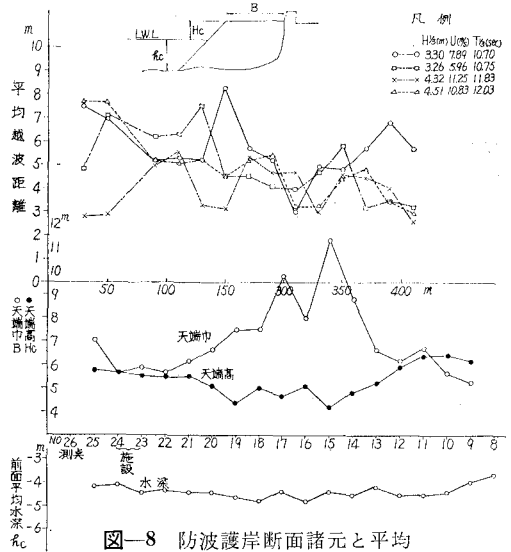


図-8 防波護岸断面諸元と平均越波距離 l_{mean} との関係

高とともに示したのが図-8である。図のように、平均越波距離は護岸法線方向に一様ではなく、ある傾向を示している。測定番号の若い方が西防波堤に近いわけであるが、平均越波距離はそれより遠ざかるにつれ増大する傾向を示しており、また、測点15～17区間が、いずれの場合も平均越波距離が小さい。そこで、これを消波工断面条件と対比してみると、前面水深は-4.5mとほぼ一様であるが、消波工の天端幅 B 、天端高 H は、きわめて変化が激しい。平均越波距離が小さかった測点 No. 15～17 区間では、天端高 H は低目となっているが、天端幅 B が非常に大きくなっている。ここで、天端高が低いということは、平均越波距離を小さくするよりむしろ大きくする原因となるものと思われるが、天端幅が大きいということは、平均越波距離を小さくする原因となり得る。すなわち、測定 No. 15～17 での平均越波距離の減少は、その区間での消波工天端幅 B が非常に大きかったことによるものと推定される。図-9 は、各区間における平均越波距離の平均値と消波工天端幅との関係をプロットしたものであるが、両者の間にある程度の相関を認めることができる。天端幅が8m以上

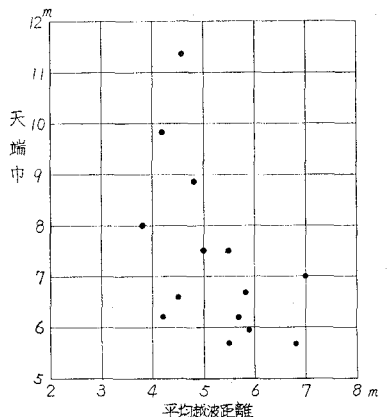


図-9 消波工天端幅と平均越波距離との関係

の場合は、平均越波距離は 5m 以下となっている。

(3) 越波量の時間的変動率

さきにも述べたように、現地での越波量は、時間的に一定したものではなく、ある範囲で変動している。したがって、長時間観測して得られた平均越波量を用いて、防波護岸背後の排水施設を設計する場合、この変動による流量増を考慮に入れておかないと、間接的に排水施設が越水する恐れがでてくる。図-10 は、今回の観測

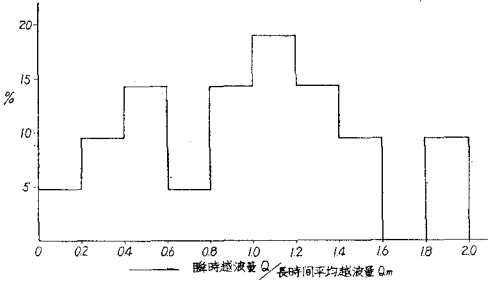


図-10 瞬時越波量 Q と長時間平均越波量 Q_m

期間中最大の波高が来襲した観測日における瞬時越波量 Q の長時間平均越波量 Q_m との比の頻度分布を示したものである。ここで、瞬時越波量 Q としては、15 分間の平均越波量、長時間平均越波量 Q_m としては、観測期間 3 時間における平均越波量を用いた。この図によれば、瞬時越波量は、長時間越波量の 2 倍程度に大きくなることがわかる。このような越波量の変動は、どれくらいの時間スケールで生じているのであろうか。これを調べるため、越波変動量 $(Q-Q_m)$ の自己相関を計算したのが 図-11 である。図から、同じ越波の状態が続くのは、30 分以上であることはめったになく、ほとんどの場合が、15 分程度以内で異なる越波の状態に変化しているといえる。

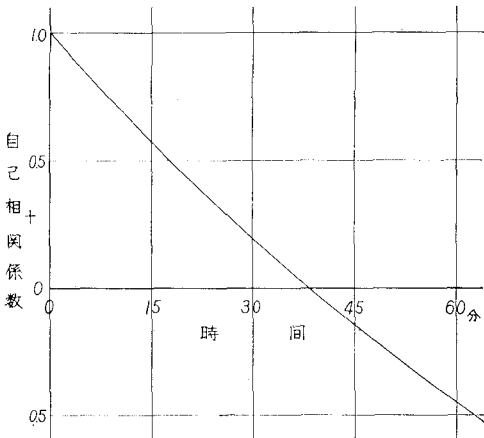


図-11 越波変動量 $(Q-Q_m)$ の自己相関

4. 模型実験との比較

(1) 越波量の水平分布

ある特定断面をもつ護岸等の越波量を求めるには、模型実験によるか、あるいは、類似した断面の模型実験により得られた算定曲線を用いる方法がとられる。しかし模型実験により得られた結果が、どの程度現地を再現しているかを確かめた例はほとんどなかった。今回、現地観測による越波量が測得できたので、観測位置での防波護岸断面をそのまま模型水槽内に再現し、実験の再現性を調べてみた。実験は、幅 50 cm の造波水路内に 1/100 勾配の模型床を作り、図-2 に示した観測施設前面の消波工、パラペットを縮尺 1/50 の模型で作った。波は、波高 $H=2.5\sim 7.0$ m, 周期 $T=12$ sec と一定にし、150 波分の越波量を測定した。送風機の施設がなかったので、本実験には風の影響が入っていない。図-12 は、こう

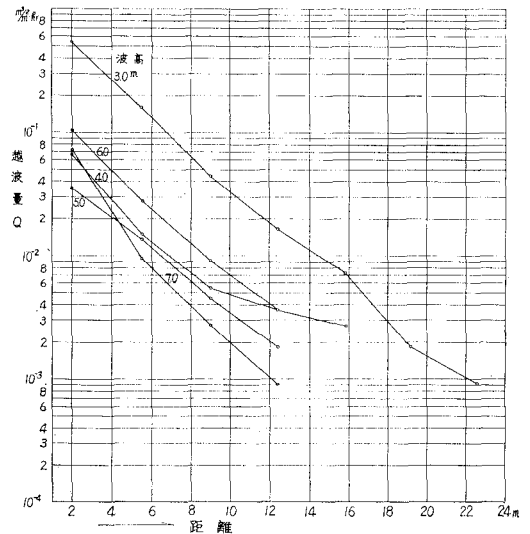
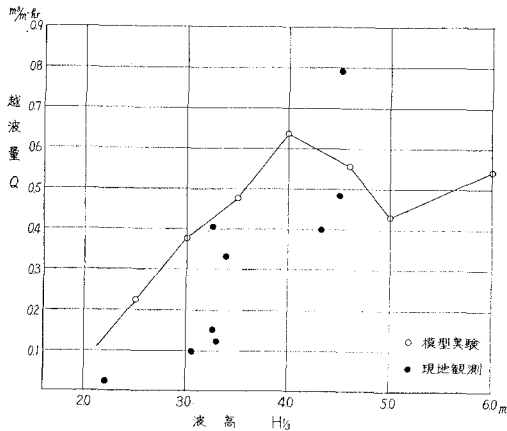


図-12 模型実験による越波量水平分布

して求めた越波量の水平分布を、各波高に対して示したものである。越波量は必ずしも波高とともに増大するわけではなく、波高 $H=3.0$ m でほぼ最大となり、それより高い波高に対しては、逆に減少している。越波量水平分布は、片対数紙上で直線分布をなしている。ただし、これらは規則波によるものであり、不規則な波が常に来襲する現地とそのまま比較することはできない。規則的な波による模型実験の結果から、不規則な波に対する越波量を求める手法は、合田²⁾によって提案されている。図-12 に示す模型実験結果から、合田²⁾による手法を用いて有義波 $H_{1/3}$ に対する越波量を求め、これを現地観測結果とともに示したのが 図-13 である。 $H_{1/3}=4.0$ m 以下に対しては、模型実験値の方が現地観測値を上回っているが、それ以上になると、模型実験値は減少しているのに対し、現地観測は、少なくとも $H_{1/3}=4.5$ m まで



図—13 越波量の現地観測と模型実験との比較

は増大している。この $H_{1/3}=4.0\text{ m}$ 以上における両者の相違は、砕波現象の相違によるものであろう。 $H_{1/3}=5.0\text{ m}$, 6.0 m に対しては、現地観測した年が暖冬異変であったため、データを得ることができなかったが、護岸前面水深が -4.5 m であることを考えると、これらの波高に対して、越波量が増大することはないものと考え

られる。したがって、図—13の結果をみる限り、越波に関する模型実験の現地再現性は、ほぼ満足できるものと思われる。ただし、これは、本観測におけるように、風の影響が小さい場合にいえることであり、それが大きい場合は別途研究が必要であらう。

5. 結 語

特定の防波護岸断面をモデルとして、現地観測を実施し、越波の諸特性についていくつかの興味ある事実を明らかにすることができた。しかし、護岸前面水深の異なった場合や、さらに大きな波に対する越波については、今後予定している観測成果によらざるを得ないが、それらは、第2報として報告する予定である。

参 考 文 献

- 1) 富永正照・佐久間 襄：海岸堤防の越波について，第15回海岸工学講演会講演集，昭 43.12.
- 2) 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.
- 3) 高田 彰：海岸堤防越波の飛散（水平）分布について，第15回海岸工学講演会講演集，昭 43.12.