

在来防波堤の風・風波制御効果に関する実験的研究

Experimental Study on Reducing Effect of
Breakwater on Wind and Wind-Waves

村木義男*・大平正浩**・竹内政夫***・佐伯浩****
Yoshio. Muraki, Masahiro. Ohira, Masao. Takeuchi, Hiroshi. Saeki

Experiments are carried out in a wind water tunnel. Wind velocity and wind-wave height behind the breakwater are measured. In this paper, wind-waves are the newly generated waves behind the breakwater by wind. Six kinds of model breakwater are used for the study. Breakwater with the mound of precast concrete armor units shows the largest reducing effect on wind and wind-waves behind it.

Keywords: breakwater, reducing effect, wind, wave generation

1. まえがき

ここでいう風波は防波堤背後水面に風により新たに発生する波のことである。海岸域における自然条件的障害要因としては、外来波浪の外に港内等小水面に発生する風波、直接風による風圧、雨雪による視程悪化、吹雪吹溜りなどあるが、これらは風の制御により大幅に軽減されることが予想される。漁港など比較的小さい港はこれら障害要因に大きく影響され、特に北海道における漁港は、直接外海に面している場合が多いため、強風時には港の機能が停止したり、また港内に設けた魚介類蓄養殖場の維持管理に障害が生じたりする例がかなりあると聞く。このような港を強風から守ることができれば、港の活動は大幅に増大するであろう。既存在来型防波堤に防風構造を付加することにより、港内風速を弱め、港内発生波を小さくし、岸壁埠頭域の風を弱くできれば、非常に都合よい。全天候型漁港の実現に貢献することになる。

在来防波堤にどのような防風構造をもたせたら優れた制御効果が得られるかなど研究を進めるには、まず、在来防波堤が、防波堤がない場合に比し、どのような効果、影響をもたらしているのかを知ることが、基本的に重要である。パラベットの効果、消波工の影響など検討分析する必要がある。この研究は、雄冬漁港をモデルに、風洞水路を用いた実験である。このような研究はこれまでのところ他に見あたらないようであり、結果は今後の港改善、栽培漁業の計画建設管理等に役立つものと考えここに報告する。

2. モデル漁港の概要

実験のモデルとした雄冬漁港は、北海道日本海沿岸のほぼ中央部に位置し、直接外海に面した小漁港である。この漁港をモデルにした理由は、まえがきでも述べたような障害要因がすべて存在していること、一方、港が小さくそのためこれら要因による影響が大きく、また港内に蓄養殖施設があるなどのことから港改善が望まれるであろうこと、さらに、防波堤上に防風柵を将来付加したと仮定した場合、その効果、有用性が確認しやすいことなどによるものである。

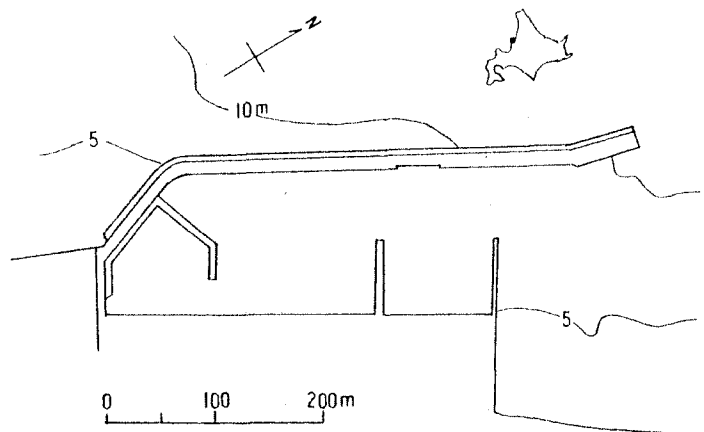
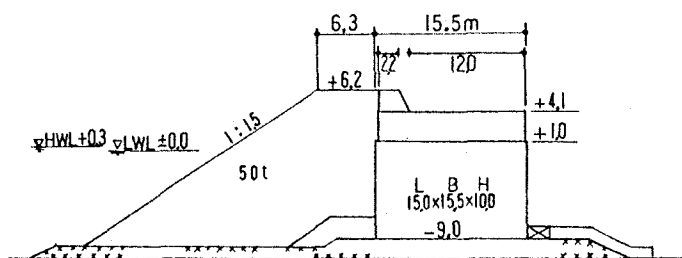


図 1 雄冬漁港平面図

- | | | |
|----------|-----------------|-------------------------|
| * 正会員 | 北海道工業大学工学部土木工学科 | (〒006 札幌市手稲区手稲前田7条15丁目) |
| ** 学会員 | 同 | 上 |
| *** 正会員 | 北海道開発局開発土木研究所 | |
| **** 正会員 | 北海道大学工学部土木工学科 | |

図一1はこの漁港の形状を示す平面図である。港内奥行きは、ほぼ130mである。防波堤堤体の代表断面形状は図一2のとおりで、港内側ケーソン部天端高は水面上4.1m、港外側バラベツト部天端高は水面上6.2mである。幅は15.5mで、かなり大きな防波堤である。

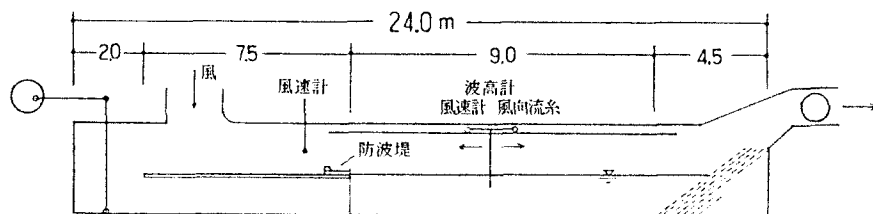


図一2 防波堤断面図

3. 実験方法

(1) 実験装置

実験に使用した水路は図一3に示すような幅0.6m、高さ1.0m、長さ24.0mの両面ガラス張りの風洞水路である。実験可能風速は0~15m/sである。防波堤前方の風速を、ほぼ平均風速の位置で、デジタル型熱線風速計を用い測定し到来風の風速とした。防波堤背後の風速、風向、波高を風洞内の移動測定台に取り付けたデジタル型熱線風速計、風向流系、容量式波高計を用い測定した。測定間隔は、20cmもしくは40cm（模型防波堤ケーソン部天端高8cmの2.5倍もしくは5.0倍）である。風向流系は長さ4cmの糸を細い金属線に静水面上5cmの位置に取り付けたものである。風速測定位置も静水面上5cmの位置である。実験にあたっては水は常に新しいものを用いた。データは1/10最大平均波高で整理した。



図一3 実験風洞水路

(2) 模型の種類

実験に供した模型は、図一4に示す寸法のもので、防波堤前面の消波工は、手持ちのテトラポットの乱積である。防波堤に対する実験ケースは、図一5に示すような7とおりである。現状防波堤を分解し、それぞれの分解要素がどのような効果をもつか知るようにつとめた。防波堤幅が大きいので、その大小による影響をみるために1/2長のものについても、さらに極端な場合として平面壁についても行った。海水交換性のよい消波工のみでつくった防波堤についても実験を行った。

(3) 実験風速等

実験風速は7m/s、9m/sの2種類である。風洞の性能と、議論に足る精度を与える大きさの風波を発生させるという立場から判断し、上記の風速とした。水深は45cm、模型縮尺は1/50である。

この種実験について厳密な相似則を得ることは困難であろう。風の流れは防波堤によって大きく乱される。この広い意味での乱れによって波の発生発達が制御されるものと理解される。このような考えのもとでは、乱れの構造が相似であるような相似則が第一義的には望ましいと考える。根本氏(1963)¹⁾は、自然風と模型風が、平均流のパターンのみならず乱れの構造についても、近似的に相似が期待できる相似則として、 $U_m/U_p = (L_m/L_p)^{1/2}$ なる式を提案している。ここで、mは模型、pは自然(実物)を表し、Uは風速、Lは物体の代表長である。この相似則を本実験にあてはめると、 $U_p = 26\text{m/s}, 33\text{m/s}$ となる。この風速は実際より大きいが、比較考察には許されるものと考ええる。

4. 実験結果と考察

図-5 に示した各ケースについて、防波堤背後の風速と波高を測定し、得た結果を場所的水平分布の形で図に示し、これを図-6～図-9に示した。これにより種々の考察を行った。さきの報告^{2)～5)}で、防風構造物背後の波高水平分布は、無発達領域とこれに続く成長領域とに区分されることを述べたが、この実験の場合も、すべての実験ケース（堤体なしの場合を除く）についてこれが成り立っている。

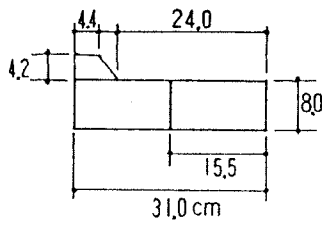


図-4 模型寸法

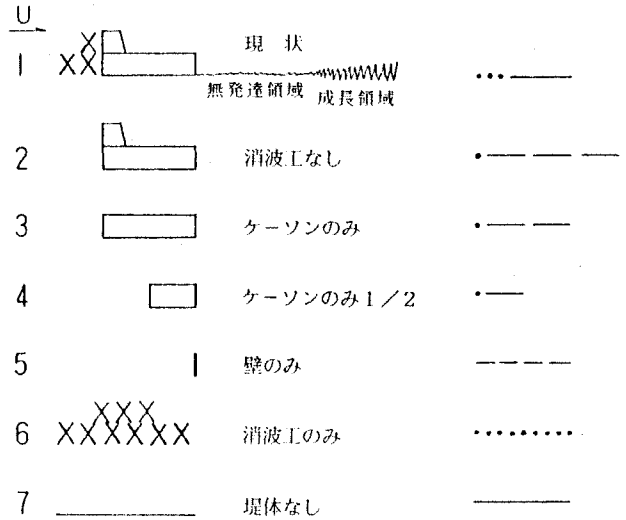


図-5 実験ケース一覧及び図中表示線区分

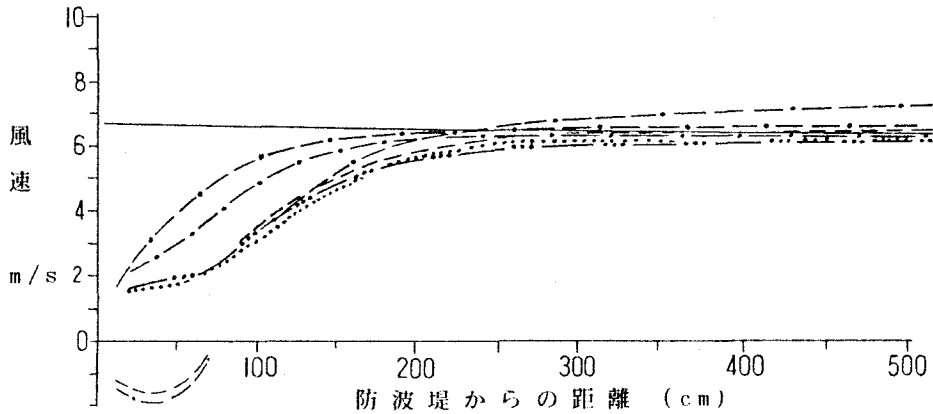


図-6 風速水平分布 (風速 7 m/s)

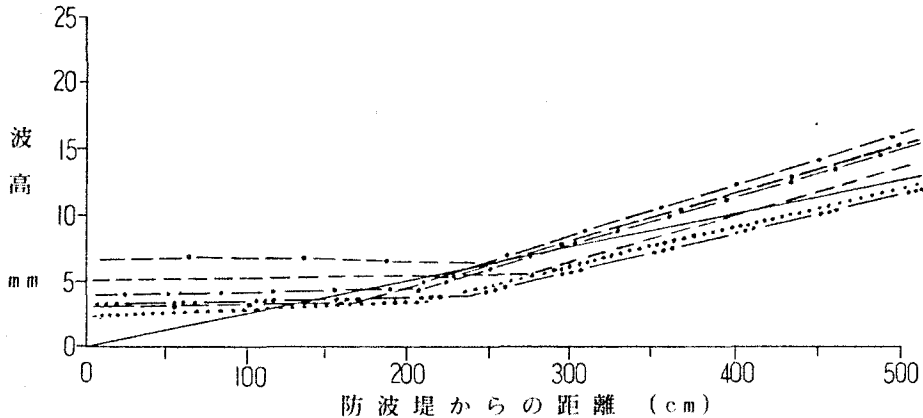


図-7 波高水平分布 (風速 7 m/s)

(1) ケーソンのみの場合の効果

図一5-3に示されるようなケーソンのみ設置した場合、図一6、図一8からわかるように、これによる風制御効果は小さい。堤背後のごく少ない範囲が、防波堤ない場合に対し風速減となっていることから理解される。全実験ケース中このケースが風制御効果が最もよくない。この場合の波高分布は図一7、図一9のとおりで風の分布特性に符合し、成長領域において波高が最も高く、そしてこれは防波堤なしの場合よりも高く逆効果の傾向を示している。

(2) ケーソン幅大小の影響

堤高同じであるケーソンのみの場合（図一5-3）、ケーソン幅1/2の場合（図一5-4）、平面壁のみの場合（図一5-5）、これらの風制御効果を比較すると、図一6、図一8に示されるように、平面壁が最も効果が大きく、ケーソンのみの場合が最も悪く、ケーソン幅1/2の場合がその間にあることが知られる。これらのケースは高さと同じであるので、同一効果を示すものと予想していたが、上記のとおりで、ケーソン幅が大きいほど風制御効果が少ないという結果を得、興味がもたれる。この理由は、堤体回りの流線が堤幅の大小により異なり、堤端のギャップにかかるときの流れの方向が、平面壁の場合上向きに、ケーソンのみ場合は水平もしくは下向きになっていて相異なることによるものと思われる。なお、平面壁の場合は背後にかなりの逆風を生じていることを記しておく。

図一7、図一9により波に対する制御効果をみると、成長領域では、波制御効果の順は風制御効果の順に合致し、平面壁の場合最も波高が小さくしたがって制御効果が大きく、ケーソン幅1/2、ケーソンのみの場合がこれに比し効果がかなり悪く、堤体のない場合よりも悪く逆効果を示している。ただし平面壁の場合は、逆風のため、無発達領域においては、他の2ケースより波が高くなっている。

(3) バラベットの効果

バラベットを堤体前部に設けた場合（図一5-2）、風の分布は図一6、図一8に示されるように、ケーソンのみに比し、風速半減距離（堤体のない場合に対する）は、ほぼ2.5倍となり大きな効果をもたらすが、しかしこの場合かなり広い範囲で逆風を生じる。また、ある距離（堤高のほぼ20倍）を過ぎると、風は堤体なしの場合よりむしろ大きくなる傾向を示す。これは1990年の海洋開発シンポジウムで報告³⁾した不透過ドーム型防風防波堤の場合と同じ傾向である。この場合の波高分布は図一7、図一9のとおりで、風速分布特性に合致し、無発達領域内では逆風のため波は顕著に高く、成長領域においても、ケーソンのみの場合と同程度に高く、全ケース中最も悪い逆効果を生じている。

(4) 消波工付加の効果（現状防波堤）

バラベット前面に消波工を付加した場合すなわち現状防波堤の場合（図一5-1）、風速分布は図一6、図一8のとおりで、逆風はなく、風速半減距離は堤高のほぼ9倍で最も大きく、全域にわたって堤体なしの場合より風速は小さく、最も制御効果の大きい状態を示している。消波工付加は(3)で示した逆効果を正（プラス）効果に転じ、その付加効果は大きい。消波工はよい防風工とみることができる。この場合の波高分布は図一7、図一9に示すとおりで、全ケース中最も小さく、かつ、堤体がない場合よりも若干小さく、ケーソンのみおよびこれにバラベットをつけた場合と明らかに区別され、効果が最大であることを示している。しかし、防波堤がない場合に比し、風速半減距離が堤高の9倍程度、発生風波の波高が10～15%減程度であり、全天候型化という立場からみた場合この程度では無益の範囲といえよう。

(5) 消波工のみでつくった防波堤の場合

防波堤全体を消波ブロックでつくった場合（図一5-6）、風速分布は図一6、図一8のとおりで、また、波高分布は図一7、図一9のとおりで、ともに(4)で述べた消波工を堤体前面に付加した場合とほとんど同じである。消波工付加の場合と同様全ケース中最大の効果を示す。

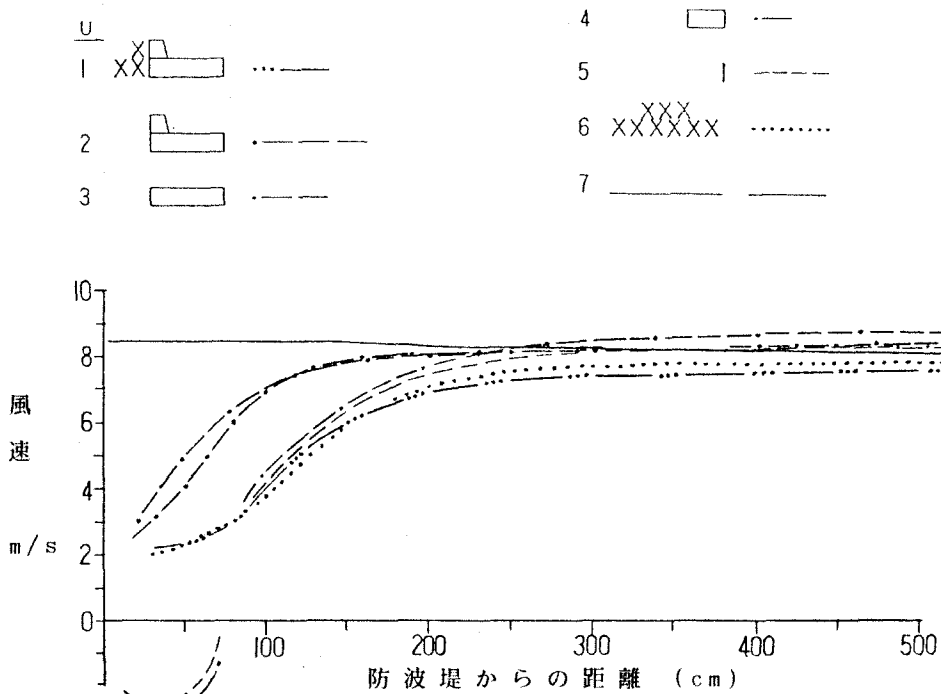
(6) 無発達領域内での波高

この領域内にあっては、バラベットはあるが消波工がない場合に図一7、図一9で示されるように波が目立って大きく、平面壁の場合はこれについて大きい。これの大小順は逆風の大小順と一致している。

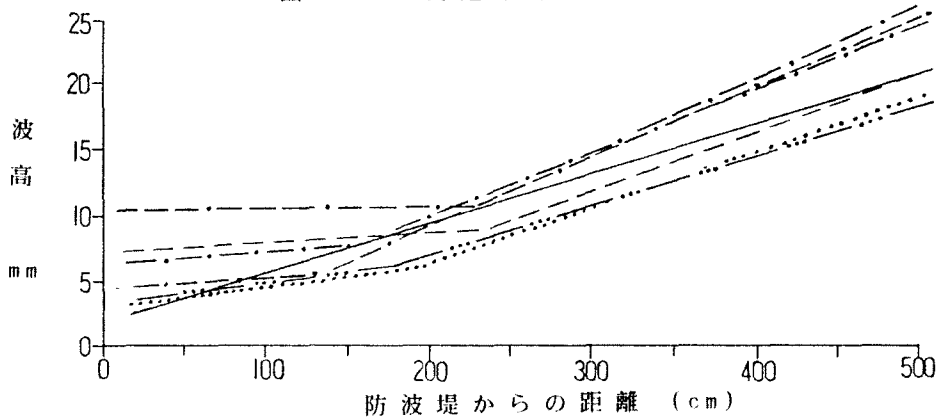
(7) 成長領域における波高

ケーソンのみおよびこれにバラベットをつけた場合の成長領域内における波高は、図一7、図一9に示されるように、消波工をもつ場合の波高より明確に大きい。そしてそれは、堤体なしの場合の波高よりも大きい。したがってこの場合逆効果を生じていることになる。

以上述べたことは、実験風速7m/s、9m/sいずれの場合にも認められた。



図一 8 風速水平分布 (風速 9 m/s)



図一 9 波高水平分布 (風速 9 m/s)

5. まとめ

- (1) 前項において種々結果を述べたが、そのうち特に記したいことは、消波工が風、風波制御効果に大きな好影響をもたらすことである。消波工は防風工の役目も果たすといえる。
- (2) 雄冬漁港に現在ある防波堤構造は、実験ケースの中で最もよい制御効果を示している。しかし、これを現地にあてはめると、風については堤体のない場合に比し、港内のおおむね半分以上が風速半減内であるが、岸壁付近ではほとんど効果は認められず、また波については、堤体なしに比し若干程度 (10~15%減) の制御効果が示されているに過ぎない。効果を顕著に増大さすには何らかの工夫が必要である。防波堤上に防風柵を設けるのも一策と考える。
- (3) 消波工の設置が風、風波の制御により影響をもたらす。これは消波工の複雑な凹凸により風が乱されるためと思われる。消波工は防風工でもある。高く積まれた消波工からなる防波堤は、風、風波の制御も大きく、かつ、海水交換もよいと思われるので、魚介類養殖水域に適していると考ええる。

参考文献

- 1) 根本茂：自然風を対象とした風洞模型実験の相似則，航空学会誌，第11巻，第116号，1963，9.
- 2) 村木義男・竹内政夫・佐伯浩：防風柵による小水域風波の制御に関する実験的研究，海洋開発論文集，Vol. 5, 1989.
- 3) 村木義男・竹内政夫・佐伯浩：ドーム型防風構造物の小水域の風と風波におよぼす制御効果に関する実験的研究，海洋開発論文集，Vol. 6, 1990.
- 4) 村木義男・竹内政夫・佐伯浩：柵型防風構造物による風と風波の制御に関する実験的研究，海岸工学論文集，第37巻，1990.
- 5) 村木義男・竹内政夫・佐伯浩：多連浮防風柵による風と風波の制御に関する実験的研究，海洋開発論文集，Vol. 7, 1991.