

# 1987年台風12号による防波堤決壊状況と その原因究明及び今後の対策に関する研究

加藤重一\* 富樫宏由\* 中村武弘\*

## A Study on Factors of Breaks of Breakwaters by Typhoon 8712 and Countermeasures

by

Jūichi KATOH\*, Hiroyoshi TOGASHI\* and Takehiro NAKAMURA\*

Typhoon 8712 struck Nagasaki district on August 30-31, 1987. Maximum instantaneous wind speeds were 55.6 m/s at Fukue, 53.2 m/s at Hirado and 52.1 m/s at Izuhara. These set up new records respectively. A total amount of damages were 87.8 billion yen in Nagasaki district. It also renewed past record. About 1/3 in the total amount of damages was of the facilities of harbours and fishing ports. In Nagasaki district, there are 110 harbours and 286 fishing ports. The 46 harbours and 111 fishing ports were damaged by this typhoon. Moreover about 90% of the damage amount on facilities was of breakwaters.

In this paper, factors of breaks of breakwaters by this typhoon will be investigated and countermeasures will be proposed.

### 1. まえがき

1987年8月30日から31日にかけて、大型で強い台風12号は、五島列島の西約70kmを通過し、対馬列島の西岸をかすめて、日本海に抜けた。長崎県にとっては進路の東側に当たる最悪のコースであった。台風12号は極めて強い風台風で、最大瞬間風速は福江で55.6m/s、平戸で53.2m/s、厳原で52.1m/sに達し、従来の記録を更新した。長崎県の被害総額は878億円(1987年9月30日現在)に達し、台風被害としては、史上最高額を記録した。なかでも港湾・漁港施設関係の被害額は被害総額の約1/3に達し、またそのうちの約90%は、防波堤の被害額である。

本論文は、この様に基大な被害を蒙った防波堤に関して、破壊状態からいくつかの決壊パターンに分類し、それぞれの決壊原因をつきとめ、その特性を明らかにすると同時に、今後における対策について論ずる。

### 2. 港湾・漁港施設の被害概況<sup>1)</sup>

長崎県下には、110の港湾があり、その内の42%にあたる46港が被災した。港湾の位置及び被災港を Fig. 1 に示す。被災件数は175件で、その内訳を防波堤、岸壁、護岸、道路、棧橋、船揚場の6項目に分類し、Table 1 に示す。港湾の被災額は、約24億円であり、その内訳も同じ項目に分類し、Table 1 に示す。他方、漁港は長崎県下に、286港があり、その内の39%にあたる111港が被災した。漁港の位置および被災港を Fig. 1 に示す。被災件数は248件、被災額は212億円であり、それらの内訳を Table 1 に示す。

以上より、港湾・漁港の被災港の割合はそれぞれ42%、39%とほぼ等しいにもかかわらず、被害額は漁港の方が港湾の8.8倍と圧倒的に大きいことがわかる。防波堤以外の被害額は港湾・漁港ともに約14億円と同じであることからして、被害額の差は防波堤の被害額の差であることもわかる。漁港の防波堤の被害額は198億円で、港湾の防波堤の被害額を加えた208億円は港湾・漁港施

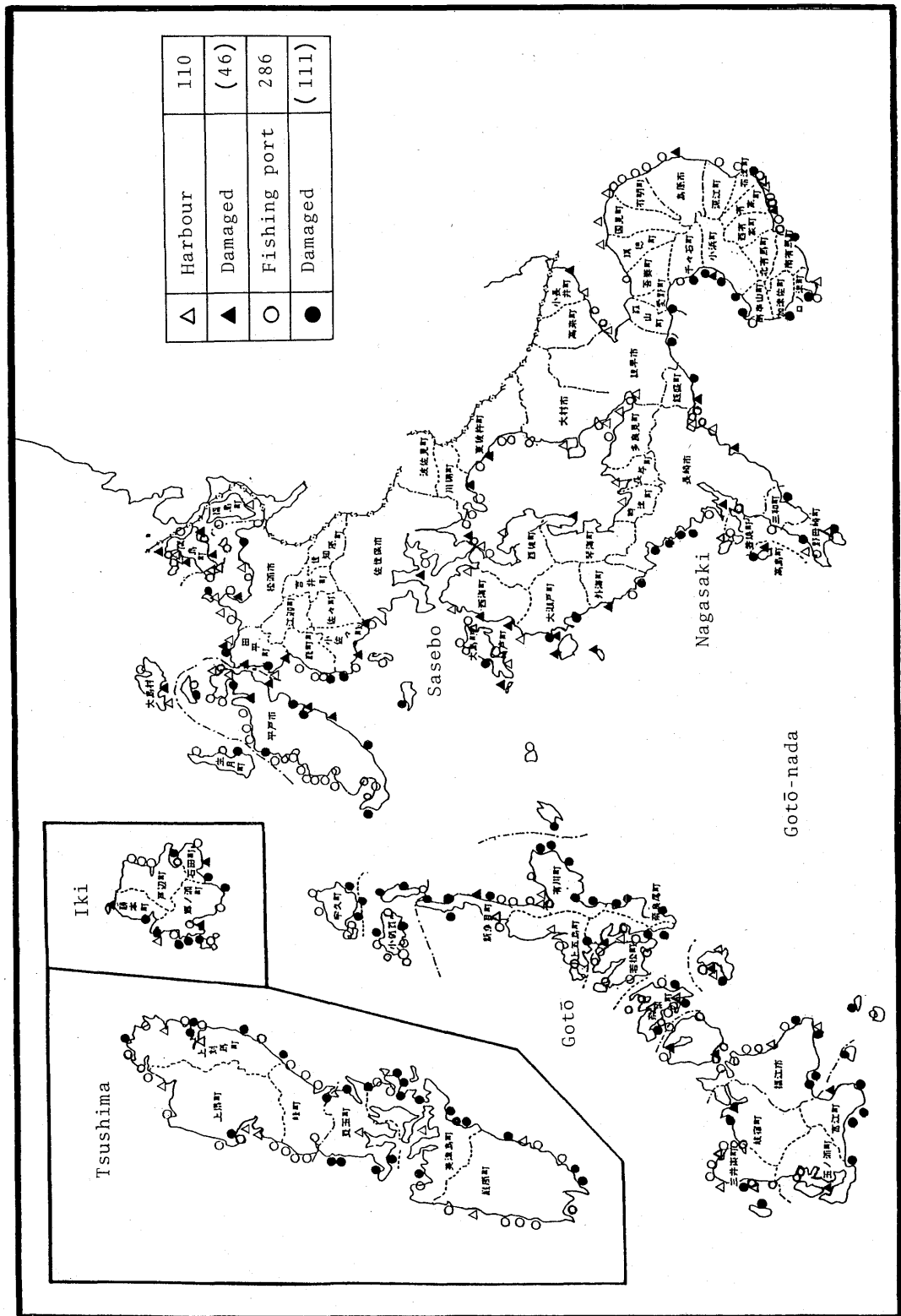


Fig. 1 Location of harbours and fishing ports in Nagasaki district

Table 1 Numbers and amounts of damaged facilities of harbours and fishing ports in Nagasaki district

	Harbour		Fishing port	
	number	amount	number	amount
Breakwater	33	1,006	91	19,842
Quaywall	10	52	16	337
Sea wall	123	1,301	105	701
Road	2	14	14	219
Landing pier	6	33	11	98
Boat lifting slope	1	7	11	50
Total	175	2,413	248	21,247

(unit: million yen)

設の総被害額の88%にも達する。

### 3. 被災例

ここでは、防波堤に甚大な被害を被った3漁港を取り挙げその被害状況を説明する。

#### (1) 新長崎漁港<sup>2)</sup>

最も被害の大きかった漁港である。沖合い600m,水深20mの湾口に位置し,全長1,090mの南防波堤には,



Fig. 2 New Nagasaki fishing port (aerial photo after disaster)



Fig. 3 Photo of damaged breakwater

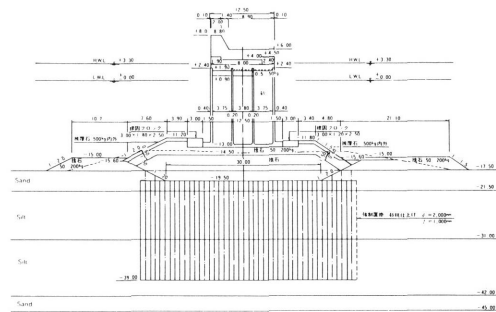


Fig. 4 Cross section of damaged breakwater

中央屈曲部のセルラーコンクリート堤(30m)を挟んで長さ20mのケーソンが西側に19函,東側に34函据え付けられていた。その内の42函が滑動又は転倒した。特に屈曲部の東側では水面に見えるのは僅かに7函で他の23函は完全に水没している。他に突堤,岸壁等にも被害を受け,被害額は1,242百万円に上り,これだけで全漁港の被害総額の59%に達している。被災状況をFig. 2, 3に被災断面をFig. 4に示す。

#### (2) 木津漁港

湾口部の西防波堤は先端部2函がケーソン堤(L=15m)で,残り4函はセルラーブロック堤(L=15m)

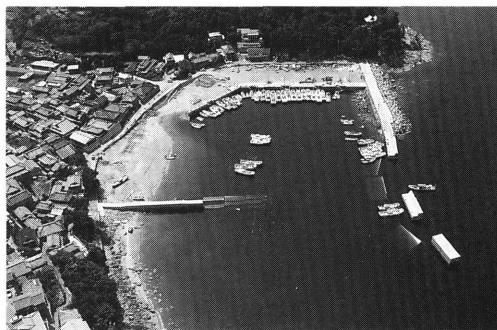


Fig. 5 Kizu fishing port (aerial photo after disaster)



Fig. 6 Photo of damaged breakwater



⑤ ケーソンの積み上げに対して施工十分なこと等があげることが出来る。

c) 異常な入射波力による場合

特殊な決壊状況を示す場合で、2度、3度の反射波の重複によって不慮の巨大な波力を受けた場合や水深が偏差により高くなった場合などが今回の調査にみられた。

d) 老朽化が弱点となった場合

築堤後の修理補修の不備により堤体に老朽箇所があった場合、b)と同様な過程で決壊に至る。老朽の状態の主なものとしては、平素の波浪による堤脚地盤の洗掘、負圧による盛土の吸い出し、それによる防波堤基礎等における空洞化、獣害による洞穴の存在、防波堤外部の欠損部分の存在や又、全体的に堤体がルーズ化している場合等があげられよう。

(2) 二次元帯状構造物の特質による諸原因

e) 施工の斉一性を保つことの困難なこと

一般に防波堤は法線方向に長い距離をもつ。したがって、各セクションを標準断面と同一に施工することが難しく、その変化点が弱点となる場合がありがちである。又、材質も法線方向に一樣ということは種々の見地より困難な場合がある。行政、工費の節約等は現場にはつきものである。今回の災害もこの種の原因による決壊が目立つ。

f) 海岸線の不規則性によること

一般に海岸線は複雑ではしたがって、屈曲した防波堤設置が普通である。これは風浪の入射に時としては決定的な外力を生起することになるからで、現場ではごく普通にみられる。海岸は開放性、閉塞性、屈曲型、多島海等に分類され、風浪、海の流れなど防波堤への外力に著しい影響を与えるものである。

g) 地盤の斉一性が乏しいこと

地盤が局部的に沈下、洗掘等を生起し、これが弱点となつて、決壊に至らしめる場合も珍しくない。

h) 堤防の局所的な変化箇所存在によるもの

たとえば隅角部、足場（漁夫、漁船保留のため）等の突出部が往々にして破壊されている場合をみる。

i) 二次的原因によるもの

防波堤のある一部分又は消波ブロックのある箇所等が越波により欠損し、これらが弱点となつて本体が決壊する場合である。たとえば堤前壁の逆方向への倒壊、連続的な決壊状況を示す場合はこの原因によるものである。

以上は防波堤の風浪による被害原因を分析したものである。これはいわゆる天災的な決壊として修復されつつある。なぜなら防波堤築堤工事の制限下で妥当と

思われる設計波候を想定して建設され、決壊は不可抗力とみられるからである。しかしながら、広々として、不適当な外力状態（これをしも予算的に採算を考慮して設計された準天災的な決壊とみることが出来るかもしれないが）の想定がその因となっている場合が皆無ではないかもしれない。たとえば開放海域での外洋に直接面した防波堤前面形状の不適当な場合や、行政事情もあつて、多様多様な消波ブロックの使用、これがひいては、各種ブロック毎の特性の異なることが無視された場合におこる直接原因の発生やさらに直感（とくに施工）のみによる諸設計等が挙げられる。災害の最も重要な要素はこれらの点にあり、次に述べる通りである。

## 5. 風浪による防波堤決壊原因について

何故に決壊したか。どのような外力を受けたかということとは、一応既存の波圧強度計算式で説明しうる。これらの計算（設計）手法は、簡易化したモデルによつたもので、実情は決してそう単純なものではない。例えば、入射波が重複波か砕波かなど区別し得るものではなく、一般に、沖の重複波（部分重複波）は、堤体に入射する瞬前に何らかの局所的な要素（地形、水位、堤体形状及び構造等）によって、砕波条件を満足し、集中荷重として砕波点衝撃又はそれに近い巨大な波圧強度をうけるものと思われる。

今回の被害はかなり大きい確率波浪によるものには相違ないが、だからといって従来通りの設計手法を踏襲し単に強度（安全度）を大とするのみでよいかどうか。もっと大きい波浪が来ないという保証がない限り、この種の災害は後を絶たないであろう。この際、防波堤の入射波に対する特性を考慮に入れ、今一度防波堤建設計画設計指針に根本的な考え方を新たに導入する必要があるであろうか。

### (1) 入射波のモデル化とその特性

実際に防波堤に入射する台風時の波浪は、かなり複雑で、一般に不規則波と称される。普通は数回反射した重複波（＝部分重複波）であり風により白波がたち、水位の偏差も加わつて、異常な状態となる。したがって揚圧力等も考慮に入れる必要がある。その基本的特性を知るため、ここでは防波堤の法線方向に対して直角に入射する有義波とし、防波堤標準断面の前面壁は直線であつて単一勾配と仮定する。

#### a) 部分重複波

我々がみる波は一般に部分重複波であるといひうる。普通は数度、種々な反射率をもつ波が重なつた部分重複波が基本となろう。そこで微小振幅波理論を用いて

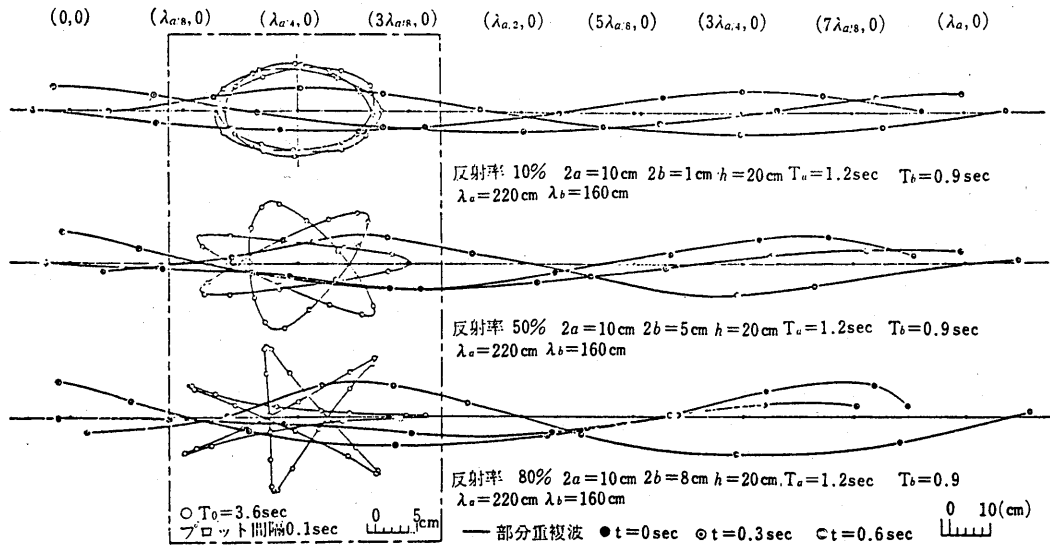


Fig. 11 Loci of water molecular motion of partial clapotis (water surface)

10%反射, 50%反射および80%反射の各場合の水分子運動軌跡を再記する<sup>3)</sup>と Fig. 11 のようである。

ここで留意すべき点は, 図からわかるように水分子の閉曲(楕円)運動の軸が回転することで, 時には多極的(星形の閉曲運動)となることである。さらに水分子速度は極付近でゆるく, 極と極との間で大となることに注目すべきである。これは入射波が重複波であっても, イナシャーにより普通の計算値よりかなり大となる。又前面壁が垂直でなく, それに近い傾斜壁でも砕波点衝撃を受ける場合のあることを示唆している。これは重要なことがらである。

#### b) 砕波点衝撃

砕波は形状で崩れ波, 巻き波そして砕け寄せ波と分類されているが, これは十分合理的でないように思われる。このことはさておき, ここでの基本となる重要な砕波は砕け寄せ波と称呼されるものであろう。20分の1勾配以下のゆるい海浜に打ち寄せるような砕波の特性を知る必要がある。詳細<sup>4)</sup>は省略するが, 水深が岸に向かって徐々に小さくなると, 入射する波はその波形をついに保ち得ず砕ける。そのところの波形は, 理論上の特異点で実際では複雑な波形となる。それを概念的に砕波点と呼んでいる。この砕波点が丁度防波堤等の前面壁上に生じた場合は想像に余る衝撃圧が加わるのである。これを砕波点衝撃と呼ぶことにする。防波堤等の決壊はこの衝撃圧が最たるものとなるわけである。

#### c) 防波堤等にあたる波

防波堤に入射する波の状態は複雑であるが, モデル

化して考えるとこれを規制する条件は主として次の諸要素によっておおよその入射状態が決まることに特に注目したい。

#### 自然条件

I 入射波の規模(波形勾配 Steepness,  $H/L$ )の大きさ

II 岸または構造物基部の水深

#### 人工的な要素

III 岸または構造物の前面形状(主として前面勾配)

IV 曲線施工の有無

種々な岸または前面形状の構造物に入射する波の状態を説明するために, その基本的な形状を主に単一勾配の傾斜面より3つに分けて説明しよう。

- 1) 直立形状
- 2) 緩勾配形状
- 3) その他

#### 1) 直立堤に入射する波の状態

すでに知れるように, 垂直的な壁面に入射する波の状態は, (a)重複波で入射する場合, (b)砕波で入射する場合の二様がある。

(a)の場合は, 入射波の規模が水深に比して小なる場合か, その基部の水深が入射波の規模に比して大なる場合の何れかで, ともに入射波は重複波として壁面に反射する。この場合の反射率は, 実際は80%以下とみなしてよいであろう。後述のようにその時の波力は砕波入射の場合に比して小さく, この場合は実際上はあまり重要ではない。

しかるに、(b)の碎波入射の場合は、前者(a)とは全く異なった状態を示す。すなわち、碎波入射と一口にいても、前述の砕け寄せ波にみるように碎波には碎波点(B. P.)、碎波高の最大となる点(M. P.)および巻き込んで一挙にエネルギーを放出する落下点(D. P.)などの著しい状態が生起するわけで、碎波入射はこれらの特徴的な状態の何れの個所で壁面に入射(衝突)するかを知る必要がある。なぜならば、これらの著しく異なった状態の波力は互いに全く異なるからであり、一概に碎波入射として片付けるわけにはいかないのである。この点を実際、計画設計に際してあまり指摘されていないうらみがないでもない。これは、災害に直結する事柄で、波浪構造物全般のポイントとって過言ではない。

碎波点衝撃は堤防構造論中最も重要な事柄で、丁度碎波点が瞬間的に壁面に発生する場合の入射状態をいう。一見これは直前まで重複波であるので、重複波入射と錯覚しやすく、かつ見積りも困難である。つまり入射波と水深との関係から、極めて微妙に重複波より碎波に急に変化するわけである。しかもこの碎波点衝撃が他のどの入射状態の場合より波力は強烈で、それは意外なほどである。入射波の規模が大きくなれば極めて危険な状態となることが首肯しうる。この状態を説明するに、波が壁面に入射する時にB. P.が生ずるとはその瞬間に空気の層が閉じ込められ、これが圧縮されて爆発的に強い力が壁面にかかるといわれている。これをBagnold効果といっている。

つぎに入射前に碎波点が生じ、砕け寄せる場合については、B. P.を除いた後の碎波状態で壁面にあたる場合である。この場合はM. P.で壁面に入射する時が最も波力が大きく、他の各点で入射する場合はそれ以下であることはいうまでもない。この場合は、前者と比して同一状態の入射波の波力は比較にならないほど小さい。

要するに、直立堤に入射する場合は碎波点衝撃をマークすることが、最も大切なのである。

また直立堤に曲線を挿入した場合について述べよう。折線堤防断面では極めて派手に波を打ち上げるが、曲線施工の場合は曲線に沿って這い上がるのみで、衝撃圧は生じないことが確められている。このように、曲線施工は防波に対して有効であるが、その曲線の度(曲率)と入射波の不規則性から常にスムーズに入射する場合のみとは限らないことに注意すべきである。その好例を航行する船舶先端の打ち上げにおいてもみることができる。

## 2) 緩勾配堤, その他類似の壁面に入射する場合

この場合の入射状況は、前面直立壁入射の場合とは全く異なる。この場合は堤脚部(基部)の入射状態が重複波であっても碎波であっても、傾斜断面への入射状態は画一的に規制される。つまり、傾斜壁面上のどこかの点で入射波高と水深の関係から必ず碎波点が生じ、その短区間で最高点をマークし、そらにその近傍で巻き込んで落下する。のち、残存勢力は傾斜壁に沿って流れとなって遡上し、その後、流れは沖方に引き返してつぎの波に重複することを繰り返す。つまり傾斜上の水深は一樣に変化しているので、碎波指標からもわかるように斜面のある個所(入射波高とほぼ等しい水深のところ)で、必ず碎波点が生ずるわけである。堤脚以前に碎波である場合も碎波点以後の状態は傾斜面でも同様である。つまり傾斜壁では碎波点衝撃は発生しないという防災上の利点をもっているといえることができる。

### 3) その他の場合

上記の2つの基本型以外の壁面形態は無数にあり、それらはすべていま述べた2つの防波堤基本型の変形を示すものに過ぎない。実用的な一例として大階段をもつ堤防は、堤脚部で碎波点B. P.を人工的に発生せしめ、段上を最高点M. P.が移行する(この間でエネルギーを減殺させる)ようにその長さを決定し、のち立ち上がり壁面直前で落下点D. P.が生ずるよう設計した堤防断面形状である。入射波力を減殺するに合理的な堤防断面といえることができる。

### (2) 合理的な防波堤等の標準断面形状について

傾斜壁では、その基部の水深を基準としてその断面に対し、入射する波が重複波であっても、碎波であっても、その傾斜面上では碎波点、最高点および落下点が順次短い距離(時間)の間で明確に生起して、入射波エネルギーを瞬時にではなくて、ある時間内に消費させるに役立つ。これは、前述基本とした砕け寄せ波におけるB. P., M. P.およびD. P.の生ずる距離が傾斜の大きい程短くなることを意味する。逆に傾斜度が緩なる程、B. P., M. P.およびD. P.の距離が長くなって入射波エネルギー消費を徐々に放出消費されることになって波圧強度に対して有利となる。

一方垂直壁をもつということは、この壁面上に碎波以前の重複波、碎波点、最高点および落下点、その後の遡上域等のいずれかの現象が個々に単独に生起することを意味し、もしその壁面(垂直面)上に丁度碎波点が生起した場合は、Bagnold効果を伴った爆発的衝撃荷重がかかることになるわけである。つまり垂直壁では碎波点衝撃の起こる可能性が存するわけである。要するに傾斜面では碎波点衝撃は生起しないが、垂直

面では生起する可能性を持っているわけである。

これが防波堤設計の基本であるが、実際では前述のように、数度の反射、つまり反射波の繰り返しが不規則に現出し、たとえ重複波入射と想定しても、実情は、大低の場合沖波の規模での碎波入射となるものとしてよい。つまり設計重複波の碎波限界をマークする必要があるというわけである。ゆえに、重要港湾の防波堤にあつては、外洋に直接面する防波堤が垂直壁をもつことは、大いに疑問視されるゆえんなのである。原点にかえて設計する、入射波特性を考慮するということがこのことである。傾斜堤は工費がかさむことは当然である。そのことだけの理由で、もし設計の基準が決められているならば、重大事である。そのような防波堤建設は技術的ないしは科学的でないといえよう。

#### 6. 今後の課題

防波堤は傾斜堤が基準でなければならないことを、これまでの考察で理解しえた。そこで、どの程度の傾斜が妥当であるかが問題となる。つまり、傾斜度と、B. P. ~ D. P. の距離との関係を知る必要がある。これについては全くこれまでに研究がなされていない。傾斜度(防波堤前面壁と海底面との角度  $\theta$ ) が小さい程、入射波強度に対しては有利であるが、施工、工費に対しては困難となる。この辺の事情を総合的に考慮した水理実験の結果が待たれるわけである。次号はそれに

ついて報告しよう。

#### 謝 辞

被災調査を行うに際し、長崎県水産部漁港計画課、土木部港湾課、五島支庁建設部、有川土木事務所、長崎土木事務所河港課、諫早土木事務所河港課、県北振興局建設部河港課、有川町役場建設課、新魚目町役場建設課、小浜町役場建設課の方々には、災害査定の多忙な時期にもかかわらず調査に御協力を頂き、心より感謝申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 加藤重一・富樫宏由・中村武弘：港湾・漁港施設の災害，1987年九州西北部における台風12号による強風災害の調査研究，文部省科学研究費重点領域〔自然災害〕研究成果（研究代表者 元田雄四郎），PP. 73~118, 1988.
- 2) 中村武弘・富樫宏由・松尾貞巳・平山康志：台風12号による新長崎漁港の被害概況，自然災害科学研究西部地区部会報，第5号，PP. 59~65, 1988.
- 3) 加藤重一・白石英彦：部分重複波について，農業土木研究，26巻6号，PP. 22~25, 1959.
- 4) 加藤重一：水産土木概論，恒星社厚生閣，PP. 182~187, 1984