

## 強大台風による防波堤被災過程とその復旧について

Damages of Breakwater due to Huge Typhoons and Repairs

長野章\*・堀越伸幸\*・大塚浩二\*・星野均\*\*

Akira Nagano, Nobuyuki Horikoshi, Kouji Ootuka, Hitosi Hosino

South breakwater in Nagasaki fishing port was almost damaged by typhoon 8712. The south breakwater had repaired cautiously with amendment of design wave and improvement of breakwater type. The safety of breakwater was certified by hydraulic model test. But in 1991, three huge typhoons attacked west coast of Kyusyu where Nagasaki fishing port locates. South breakwater have been damaged heavy again. The process of these damages and repairs suggest many things about safety of breakwater and fluctuation of climate.

keywords: breakwater, typhoon, damage of breakwater, repair of breakwater

## 1. はじめに

1987年台風12号(8712号)により、長崎漁港南防波堤は、全延長1090mにわたり、滑動、転倒およびケーソンのマウンドへのめり込みによる傾斜等の被害を受けた。その後一年余で復旧を行い、1989年10月には、漁港の供用を開始し、年間水揚げ23万トン、金額905億円の大漁港として機能している。

8712号の災害復旧に際しては、本漁港における南防波堤の重要性から、再度災害の防止を目指し、大幅な設計波高の見直し、防波堤工法の変更および模型実験による復旧工法の安全性の確認を行った。

その後、1991年には、本漁港に大きな影響を与える強大な台風9109号、9117号及び9119号の3個が来襲した。9109号及び9117号においては、堤体に付帯する消波工の被災だけであったが、9119号においては、延長720mにわたり、滑動及び転倒の被害を受けた。

これらの過程及び被災の現状は、消波工付き混成防波堤の安定性、大ブロック消波工の安定性、波圧の作用形態及び気象の長期変動など防波堤設計に当たり、重要な多くのことを示唆している。

## 2. 被災過程(新長崎漁港南防波堤)

## 2.1 8712号による被災と復旧

新長崎漁港は、五島灘に面した三重浦に位置し、浦の規模は、奥行3km、幅2.5kmで、南西方向に口を開いている。また、湾口に神楽島と約1kmにわたる浅瀬があり、湾中間部にある防波堤は、南西方向の波浪により影響を受け、台風が接近するときの東の風、冬季の北西の風の影響を受けない地形となっており、波向き方向により港への影響の程度の大きく変化する港である。

1987年の台風12号は、五島西沖から、対馬の北端をかすめて日本海に抜けた。台風は、五島西沖を通過時点8月30日0時でも935mbで通過速度も45kmから50kmの早い速度であった。この台風による波浪は、長崎県三重浦で波高14.4m、周期14.4secと推算された。また気象庁の東シナ海ブイでは、最大波高12.3m、周期12.1mと世界的な異常波浪の観測が報告されている。

被災状況は、港全体としては、南防波堤1090m、内防波堤(D)20m、内防波堤(G)、突堤70mが被害を受けているが、南防波堤の被害の程度に比較して港内側の被害が少ない。台風が速く、強大な波浪が働いたが、作用時間が短かったことが伺える。

南防波堤の被災状況は、図-3の通りである。B工区690mのケーソン34函中23函は、転倒、8函は滑動傾

\* 正会員 (財)漁港漁村建設技術研究所(107 東京都港区赤坂6-13-16)

\*\* (株)漁港浅海開発コンサルタント

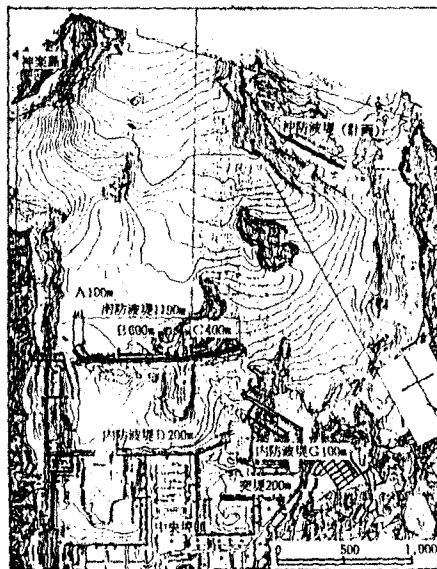


図-1 長崎漁港平面図

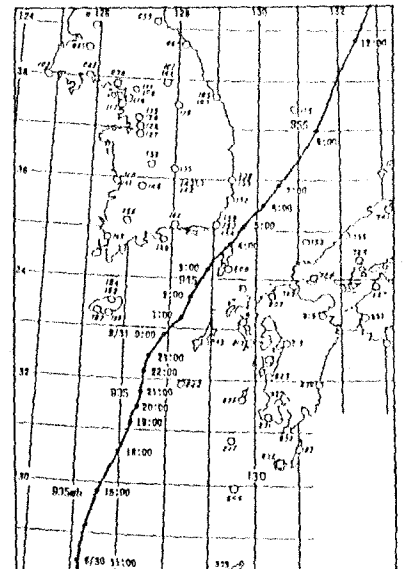


図-2 8712号経路図

斜、3両は現状維持であった。C工区400mのケーソン19両は11両が滑動傾斜、8両が現状維持であった。

当初の設計の考え方は、1951年以降長崎漁港に影響を与える台風の中から、最も波高の大きい5906号を、設計波を推算する台風とした。沖波波高10.9m、周期11.3sとし堤前まで分散、屈折を考慮し、表-1のような設計波高を得ている。堤体の安定計算は、サンプル式により行われており、B工区においては、転倒安全率1.8、滑動安全率1.5及びC工区においては、転倒安全率1.9、滑動

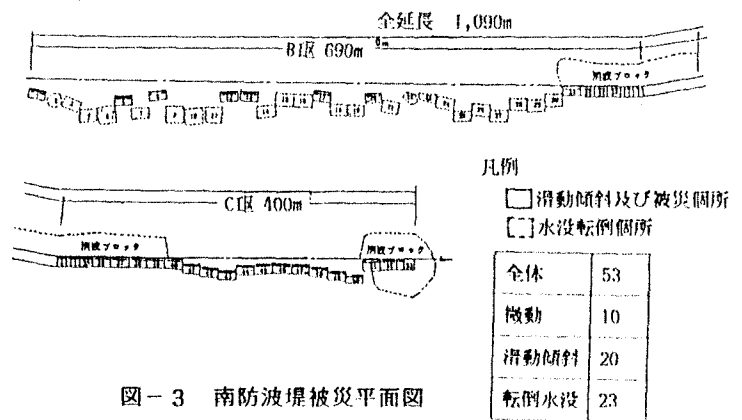


図-3 南防波堤被災平面図

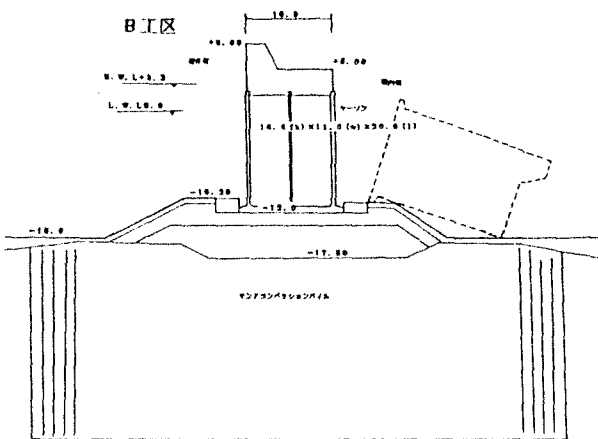


図-4 8712号による南防波堤B工区断面図

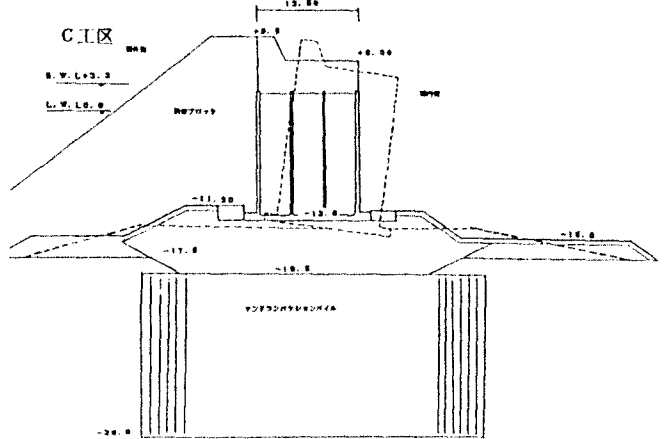


図-5 8712号による南防波堤C工区断面図

安全率1.5を得ている。地耐力を許容値50kN/m<sup>2</sup>におさまるように堤体幅が決まっている。

本災害をもたらした波浪は、ウィルソンの図解法により沖波を推算し、分散と屈折を考慮し表-1の通りB工区、C工区の堤前波高をそれぞれ7.5m、8.1mと推算した。表-1 原設計波高、推算表波高と被災限界波高の比較

また被災は状況から、サンプル式、部分砕波を考慮したサンプル式及び合田式により、防波堤が活動及び転倒する限界の波高を求めると表-1のようになり、概ね推算した堤前波高で被災したものと考えられる。

本防波堤の復旧は、被災をもたらした波浪が当海域での既往最大の波浪であり、台風に関する既存の資料からも中心示度、勢力及びコースからも今後この波浪を大幅に越えるものは出現しないと考えられることから、被災波浪を設計波浪として採用した。工法については、C工区の消波工付きの混成堤が被害が少なかったこと、また作用時間が少ない場合は、消波工付きの堤体が安全であることから、被害の大きかったB工区は、消波工付き混成防波堤とした。C工区は、ケーソンの滑動、傾斜だけであったので、堤体背後に控工を置き受動圧を期待する構造とした。消波工の重量は、ハドソン式でB工区、C工区それぞれ50トン、60トンとした。復旧工事は、1年半後の1989年4月に完成した。

|        |                                         | B工区                                                 | C工区                                       |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 原設計波   | 沖波<br>設計波                               | H=8.1m T=11.3sec SW<br>H=4.7m T=10.0sec             | H=8.1m T=11.3sec SW<br>H=5.5m T=11.3sec   |
| 推算被災波  | 沖波<br>堤前波<br>復旧対象波                      | H=14.5m T=14.5sec SSW<br>H=7.5m T=14.5sec β=1°<br>" | H=8.1m T=14.5sec β=13°<br>"               |
| 被災限界波高 | 状況<br>被災限界状況                            | ほとんど転倒<br>転倒限界条件                                    | スライド<br>滑動し転倒しない条件                        |
|        | リフルー式                                   | >7.5m                                               | >8.0m                                     |
|        | リフルー式で部分<br>砕波圧を作用させる                   | >6.5m                                               | 7.5m> >7.0m                               |
|        | 合田式 T=10.0sec<br>T=12.0sec<br>T=14.0sec | >6.0m<br>>5.5m<br>>4.7m                             | 7.0m> >6.5m<br>6.5m> >6.0m<br>6.0m> >5.5m |

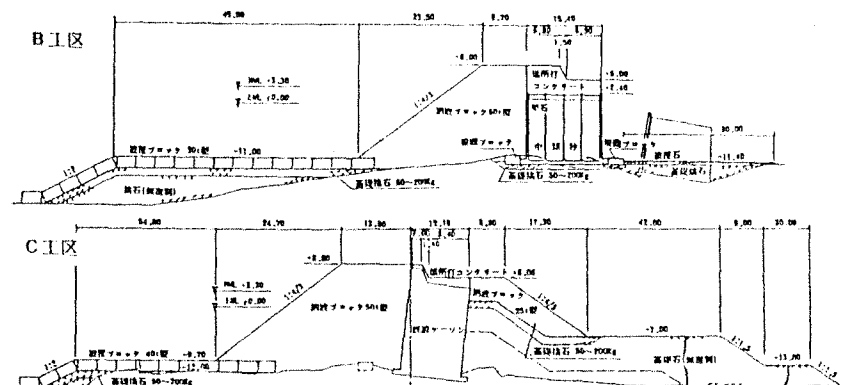


図-6 8712号被災復旧断面図

## 2.2 9109号、9117号及び9119号による波浪

その後、1990年には多くの台風が日本に上陸したが、東シナ海に面した長崎漁港に影響するものはなかった。しかし、1991年に入り、9109号、9117号、9119号の3個の大きな台風が東シナ海に入り長崎漁港に影響を与えた。

9109号は、平成3年7月29日6時に五島西を通過する時点で、中心気圧950mb、最大風速40m/s、暴風半径110km～190kmと中型で強い勢力であった。この台風により長崎漁港沖の最大有義波高を示す波浪は、波向きSW、波高8.8m、周期11.7sであった。

9117号は、9月14日午前5時30分長崎市に上陸した。上陸前の午前3時には、中心気圧960mbで中型の台風であったが、そのコースから、長崎漁港に影響を与えた。この台風による長崎漁港沖の最大有義波高を示す波浪は、波向きS、波高6.1m、周期12.6sであった。

9119号は、9月27日午後4時に長崎県佐世保市に上陸した。このときにおいても中心気圧935mb、中心付近の最大風速は、50m/sで、暴風半径は260km～330kmと大型で非常に強い台風であった。この台風による長崎漁港沖の波浪は、波向きS、波高9.0m、周期14.5mであった。

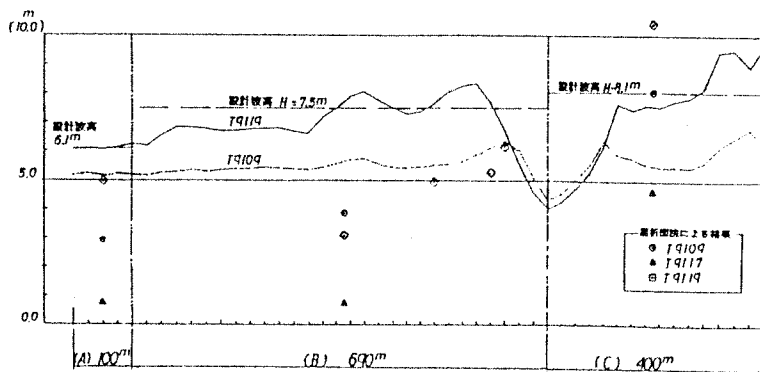


図-7 9109号、9117号、9119号の波浪推算値比較

それぞれの波浪は、浅水変形を経て、図-7のような堤前波となっている。

## 2.3 9109号、9117号及び9119号による被災と復旧

9109号と9114号により南防波堤は、堤体前面の消波工に被災を受けているが、9114号来襲後の被災状況は、計測していないので不明である。9109号による南防波堤の消波工沈下の結果は、図-8、図-9の通りであり、その後9114号が来襲しており、この消波ブロックの沈下の度合いが強まったものと推測できる。

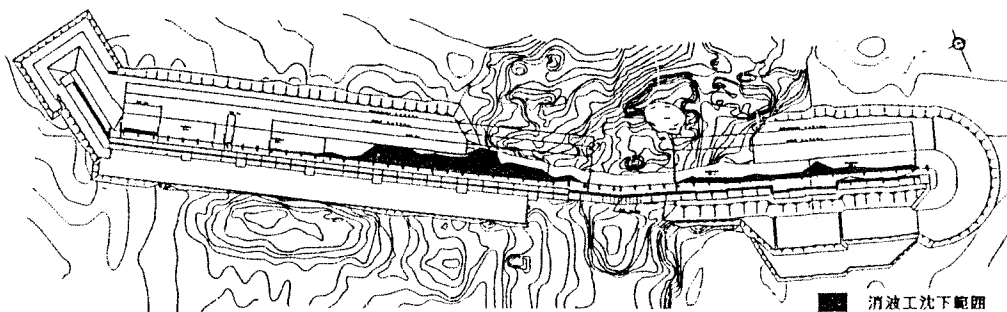


図-8 9109号による南防波堤被災平面図

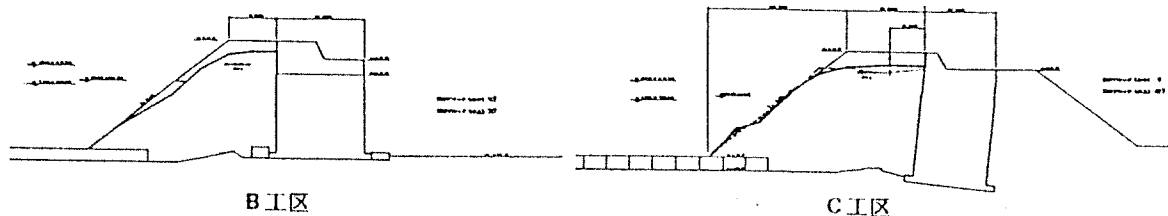


図-9 9109号による南防波堤被災断面図

この二つの台風の後來襲した9119号により、南防波堤A工区とB工区は大きな被害を受けた。被災の状況は、A工区100mがケーソン6函の全部が滑動



図-10 9119号による南防波堤被災平面図

、転倒している。B工区690mにおいては、消波工が全面にわたり沈下及び破損し、ケーソンは36箇中33箇滑動しており、最大滑動量は10.6mとなっている。C工区においては、消波工の沈下が見られた。

A工区は、8712号被災後、建設されたもので、設計諸元はH=6.1m、T=14.9sである。この設計波高は、1/200の縮尺水理模型実験により、A工区の進行波高を求め、隅角部の増大効果を考慮したものとなっている。

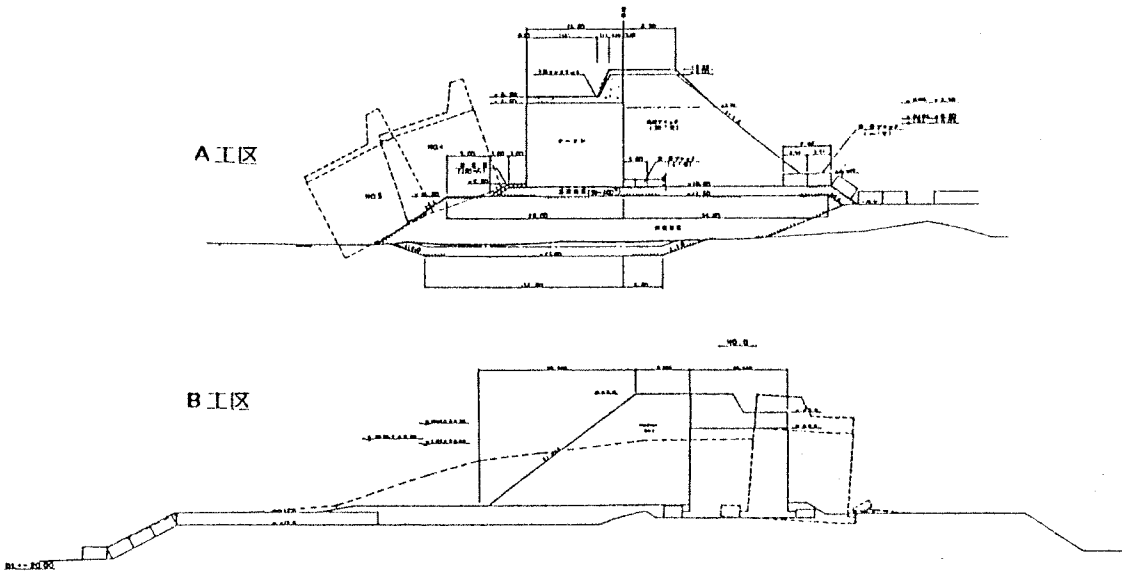


図-11 9119号による南防波堤被災断面図

B、A工区の復旧は図-12のような断面である。B工区においては、C工区の背後の控工に受動土圧を期待した形式が安全性があることが確認されたこと、工費が原形に復旧するより安価であることにより、背後の控工をおく工法としたが、A工区においては、堤内側が航路になっていることから設計波高を見直して同様の消波工付き混成防波堤として復旧した。ただし、地盤の安定性を考慮され、背後控工の形状が決まっている。A工区については、原形断面が被災する限界波高を求めその波高により復旧断面を決定した。これは、今回の波浪によるA工区の進行波浪としての波高を求めると、被災に至らずと言うことになるとともに、隅角部の波高増大効果も明確ではないことによる。

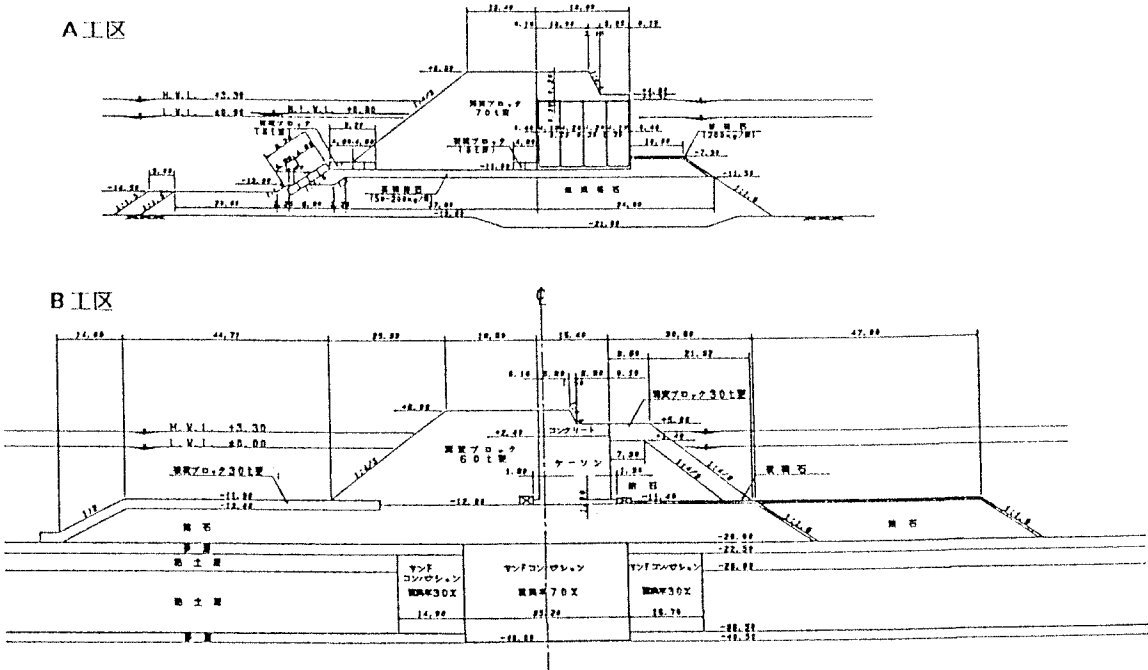


図-12 9119号被災復旧断面図

消波工については、前面は、すべて50トンから60トンに重量を増加し、背後は、その半分の30トンとした。

### 3. 各災害における被災原因について

#### 3.1 各被災における来襲波浪の推定

最初の設計波の決定から、8712号、9109号、9117号、9119号の来襲波浪の推算と、それぞれの被災による設計諸元の変更の考え方を表-2に示す。

8712号による被災について、被災波浪より大きな波浪を作用させる水理模型実験をしており、B、C工区全延長にわたり、滑動、傾斜から転倒水没まで被災の過程を示す被災形状が出現しているが、一断面による被災過程においてもこのような滑動、地耐力不足による傾斜から転倒に至ることが再現できた。実験によると、まずケーソンが振動し、その後、後しがマウンドに食い込み堤体が沈下傾斜し、さらに波が作用すると転倒に至る被災形態と堤体の活動が起こり、活動量が大きくなるとケーソン後しがマウンド法肩に至り、マウンドの前壊により転倒する被災形態である。これらの実験による被災形態は、図-4、図-5の被災を再現していると言える。

設計波浪の決定について、既往最大の波浪を採用する方法をとっていたが、8712号以前は、長崎漁港に影響を与える台風のうち北緯30度を越え、中心示度が940mbを下回る強いものは3個しかなく、さらに設計波浪発生のためとされる5909号は、長崎沖では、965mbであり、台風としては、中型であった(図-15)。しかし、8712号以後5年間に於いて、北緯30°を越え中心示度が940mbを示すものは、3個を数え、1991年には、連続2個の巨大な台風が来襲している。

表-2 9119号復旧設計までの考え方

|                |            | A工区                                            | B工区                                            | C工区                                               |
|----------------|------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 原設計<br>(5609号) | 沖波         | —                                              | $H_0=8.1\text{m}, T=11.3\text{s}, \text{SW}$   | $H_0=8.1\text{m}, T=11.3\text{s}, \text{SW}$      |
|                | 設計波        | —                                              | $H=4.7\text{m}, T=10.0\text{s}$                | $H=5.5\text{m}, T=10.0\text{s}$                   |
| 8712号被災        | 沖波         | —                                              | $H_0=14.5\text{m}, T=14.5\text{s}, \text{SSW}$ | $H_0=14.5\text{m}, T=14.5\text{s}, \text{SSW}$    |
|                | 被災波        | —                                              | $H=7.5\text{m}, T=14.5\text{s}, J=1^\circ$     | $H=8.1\text{m}, T=14.5\text{s}, J=13^\circ$       |
|                | 復旧         | 沖波                                             | 被災沖波と同じ                                        | 被災沖波と同じ                                           |
|                | 〃の考え方      | 8712号を考慮した30年確立                                | 8712号被災波浪                                      | 8712号被災波浪                                         |
| 9119号推算        | 設計波        | $H=6.1\text{m}, T=14.9\text{s}, J=5^\circ$     | 被災波と同じ                                         | 被災波と同じ                                            |
|                | 〃の考え方      | 実験結果・沖防波堤を考慮                                   | 実験(H=12.6m)安定を確認                               |                                                   |
|                | 沖波         | $H_0=10.8\text{m}, T=15.7\text{s}, \text{SSW}$ | $H_0=10.8\text{m}, T=15.7\text{s}, \text{SSW}$ | $H_0=10.8\text{m}, T=15.7\text{s}, \text{SSW}$    |
|                | 堤前波(部陸)    | $H=4.98\text{m}, T=15.7\text{s}, J=0^\circ$    | $H=4.95\text{m}, T=15.7\text{s}, J=0^\circ$    | $H=10.48\text{m}, T=15.7\text{s}, J=0^\circ$      |
|                | (244F-2動式) | $H=6.23\text{m}, T=15.7\text{s}, J=20^\circ$   | $H=8.31\text{m}, T=15.7\text{s}, J=0^\circ$    | $H=9.63\text{m}, T=15.7\text{s}, J=0^\circ$       |
|                | 被災         | 被災波                                            | $H=8.1\text{m}, T=15.7\text{s}, J=0^\circ$     | $H=9.63\text{m}, T=15.7\text{s}, J=0^\circ$       |
|                | 被災原因とその考え方 | 隅各部収斂による波高増大<br>被災限界波高(Fs1.0)を安定計算から逆算         | 9109号(H=6.4m, 244F-2動式)による消波工沈下<br>→波圧増大       | 9109号(H=6.8m, 244F-2動式)による消波工沈下、8712号復旧工効果により滑動なし |
|                | 復旧         | 復旧方針                                           | 控え工の設置                                         | 消波工復旧                                             |
|                | 設計波        | $H=8.1\text{m}, T=15.7\text{s}, J=0^\circ$     | $H=7.5\text{m}, T=14.5\text{s}, J=1^\circ$     | $H=8.1\text{m}, T=14.5\text{s}, J=13^\circ$       |

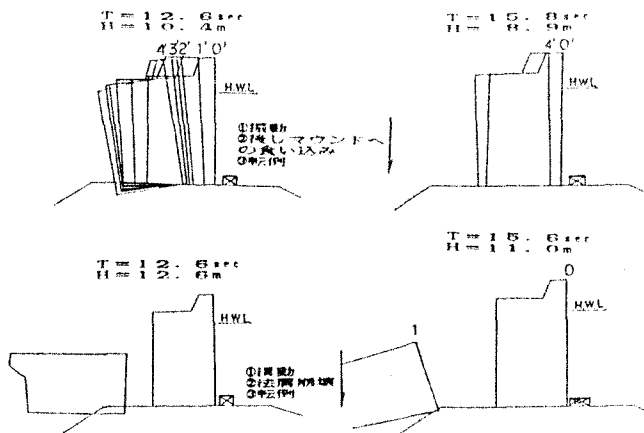


図-13 8712号の被災実験

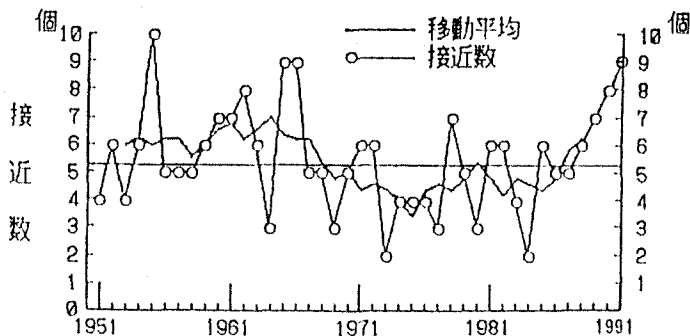


図-14 台風来襲頻度の長期変動

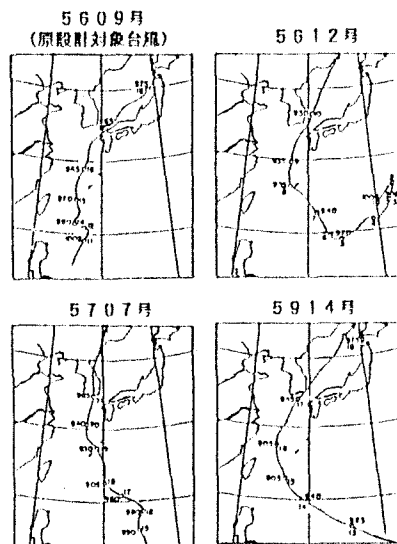


図-15 8712号以前の大きな台風

台風来襲の長期変動については、岡田、磯崎等の研究があり、30年周期の変動があることが指摘されている(図-14)。そして、1960年代後半から1980年代前半までは台風来襲の頻度の少ない期間であり、それ以後は台風来襲頻度の多い時期にあたる。さらに、九州に限って見れば、1991年は九州への接近台風数が5個と平年より少し多めであったが、九州西岸域に高波を発生させる非常に強い台風が相次いで3個通過したのが特徴であった。

### 3. 2 8712号復旧断面の安定性

図-7に見るように9119号による被災は来襲波高が設計波高より少し小さいにもかかわらず起きていることについて、その原因を見るために8712号の復旧断面の安定性の検討がどのように行われているかを見る。

8712号の復旧断面についての水理模型実験は、1/40の二次元水路で行い規則波、不規則波による実験を行っている。その結果は表-3の通りである。周期12.6secの場合、波高が12m以上になってもケーソン堤は振動、滑動及びマウンドへの沈下もなかった。また前面の消波ブロックの安定については、波高10mを越えるところから振動するブロックが出現している。また周期15.8sの波については、波高が9mになると消波ブロックの振動が始まると共にケーソンの振動、滑動及び後しの沈下も始まっている。さらに波高12mでは、消波ブロックの大量の転落があった。このように、周期の長い波に堤体、消波ブロックとも被災し易く、作用回数、作用時間が長くなればさらに被災の確率は大きくなるであろう。

表-3 8712号復旧断面安定確認実験表

|        | 波高 | 周期   | ありなし | 中の数字は |
|--------|----|------|------|-------|
|        |    |      |      |       |
| ケーソン堤体 | 振動 | 7.0m | ●    | 1     |
|        | 滑動 | 8.0m | ●    | 1     |
|        | 振動 | 9.0m | ●    | 1     |
| 消波ブロック | 振動 | 7.0m | ●    | 1     |
|        | 滑動 | 8.0m | ●    | 1     |
|        | 振動 | 9.0m | ●    | 1     |

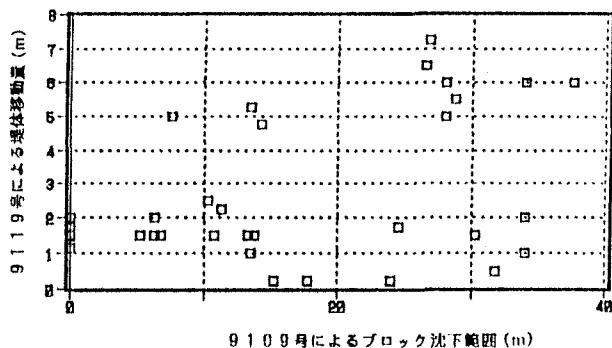


図-16 ブロック沈下範囲と堤体移動量の関係

### 3. 3 9119号による被災の原因

9119号による被災は、B工区にだけ限っても、その来襲波浪である $H=8.31m$ 、 $T=15.7s$ の値では、被災しないという実験結果から、原因は、9119号以前に二回の台風が来襲しており、その台風による消波工の沈下が考えられる。図-16は、9109号による消波工沈下と9119号による滑動量の関係を示したものである。消波工が堤体の前面に部分的に被災することによる波圧の増大は、山本等により報告されている。9109号により、消波ブロックが沈下したが、この値を+6.0m、台風来襲時の潮位を+2.0mとし、山本の実験から消波ブロック沈下による波圧係数(波圧/(波高×w))が2.0~12.0であり、この変動幅のうち小さいほうの3.0をとって、滑動の計算しても、B工区で滑動が起きることを説明できる。

堤体の滑動が、消波工の沈下が原因であっても、消波工が何故沈下したのかが問題となる。消波工は、ある被害率を想定しているので、波浪の来襲回数、作用時間が多くなると消波工は被害を受けること、1190mと言う一連の長い防波堤延長では、平均的波高が作用するのではなく消波工については、局所的な波高増大により被害を受けること、水深が大きい所に全断面消波工としていることによる下部消波工の構造的な耐性不足が考えられる。大消波工の多段積みによる消波工の耐性不足については、山本等の研究があり、これによると5段で消波工の一脚にかかる圧力は、コンクリートの許容圧縮応力をはるかに越えている。この防波堤の前面消波工の段数は、7段であり、これに波圧の変動力が加わることになり、下部消波工の耐性不足により、消波工の被災が考えられる。

### 4. おわりに

長崎漁港の8712号における被災は、本漁港の移転をひかえ、技術的問題と共に社会問題ともなった。その原因の調査と復旧には、万全を尽くしたが、1991年3個の強い台風により再度被災してしまった。これらの復旧と災害の過程において、消波工付き混成防波堤の安定性において、大消波ブロックの安定性に関する課題と控工の受動圧を期待する消波工付き控工堤の安全性がわかった。また、設計波の採用に当たり、気象の台風来襲個数の変動に長期的な変動があり、この変動を含んだ中での統計処理が必要であることがわかった。

### 参考文献

- 1) 三上信雄、山本正昭：施工途中での消波工による波圧増大とその対策、海洋工学論文集38巻(1991)2、長崎県水産部：台風8712号の記録、1987年
- 2) 山本正昭：台風8712号による新長崎漁港防波堤被災様態の調査、1992年日本水産工学論文集(4) 山本正昭、本田浩隆：大波浪に対する消波ブロック堤の安定に関する実験的研究、水産工学研究所技報(水産土木)1号(1991)5、岡山弘一、磯崎一郎：巨大波浪について一台風災害の12号、沿岸海洋研究ノート(1989)
- 3) 高橋宏由：沿岸施設設計上の諸問題ー8712号による沿岸施設災害の原因究明ー、沿岸海洋研究ノート(1989)