

護岸被災事例の統計的解析

Statistical Analysis of Damaged Sea Walls

高山知司*・間瀬 肇**・山田雅彦***

Tomotsuka Takayama*・Hajime Mase**・Masahiko Yamada***

Abstract

A large number of coastal and port structures, which have been constructed to prevent wave overtopping or beach erosion, have been damaged in Japan by severe marine climates caused by strong monsoons in winter and huge typhoons in summer to autumn. The reports of damaged structures, especially sea walls, for the past five years from 1992 to 1996 are selected from the annual books of damaged facilities edited by Port Bureau of Ministry of Transport in order to investigate the characteristics and causes of their damages. We have made statistical analysis for 197 cases of damaged sea walls. The analytical results show that scoring is a main cause of sea wall damages for each type of sea wall and therefore the establishment of countermeasures against scoring is of great importance to reduce sea wall damages.

keywords: sea wall, damage causes, statistical analysis

1. まえがき

わが国の海岸線延長は約35,000kmにも及び、そのうち海岸防災上なんらかの防護施設を設置する必要性がある海岸線は全延長の半分近くの16,000kmになる。しかし、実際に構造物で防護されている海岸線は防護必要な海岸線の約半分に過ぎない。そのため、今後とも適切な防護施設を設置してゆかなければならない現状にある。既に防護施設が設置されている海岸であっても、高波等の来襲によって防護施設が破壊され、その結果として背後海岸が被災することが起きている。海岸を構造物等で防護するためには、十分にその機能が発揮できる安全な構造物を設置する必要がある。既存の構造物の被災事例を収集し、被災原因を究明することは安全な海岸構造物の設計に役立つと考える。

そこで、本研究では、運輸省港湾局が作成している「海岸構造物被災施設集覧」および「港湾構造物被災施設集覧」を用いて、過去5年間（1992～1996年度）における海岸災害として護岸災害の実例を収集し、護岸が被害を受ける原因を究明した。護岸構造物を調査の対象にしたのは、構造物等で防御されている海岸の98%は越波対策のためであって、対策のほとんどが護岸や堤防で、非常に数多く建設されていることによる。このような被災海岸構造物の事例解析については過去にいくつか行われており^{1)～4)}、それらを参照しながら異なった観点で被災形態や被災原因を中心にその割合分布を解析している。

前述の構造物被災施設集覧には、護岸の設置場所や建設及び改良年月日、過去の被災経歴、被災時の海・気象条件、被災状況、被災後岸の設計条件、復旧方法と条件などが記載されている。この資料から196例の護岸災害事例を抽出し、それらのデータベースを作成した。このデータベースを用いて、護岸の被災形態や被災原因を護岸形式毎に調べ、護岸の被災特性を明らかにしている。

2. 被災護岸の特徴

2.1 被災護岸の分布特性

(1) 被災護岸の地域分布

196例の護岸被災がどのような地域に分布しているか調べた。地域として日本沿岸を6地域に分けた。北から北海道、春先の移動性低気圧による波の影響を受けやすい東北・北関東太平洋岸、台風の影響が強い南関東から四国の太平洋沿岸と九州、比較的波浪の小さい瀬戸内海沿岸、冬季の季節風の影響を受ける日本海沿岸である。図-1に被災護岸の地域分布を示す。護岸の被災の半分近くが九州で起きている。次に被災の多いのが瀬戸内海沿岸で、20%を占める。第3番目が日本海沿岸で、14%である。その他の地域は10%以下で、ほぼ同じような値で

* フェロー 京都大学 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

** 正会員 京都大学 防災研究所

*** 正会員 近畿日本鉄道

ある。

1992～1996年度の5年間で九州と瀬戸内海で護岸の災害が他の地域に比べて非常に多く、この原因を調べた。その結果、1993年に巨大台風13号が9月3日に南九州に上陸し、九州を縦断して、豊後水道から愛媛県八幡浜市付近を通して瀬戸内海を抜け、広島県福山市に上陸して中国地方を横断して行ったことがわかった。この台風は、九州上陸直前の9月3日15時には中心気圧が930hPa、最大風速が50m/sに達する巨大な台風であった。この台風による護岸災害は九州から瀬戸内海にかけて40件、全体の約20%に達している。図-1中の九州と瀬戸内海沿岸の部分で外枠を点線で示している部分が台風13号によって被災を受けた護岸の割合を示している。

今回のように調査対象期間が5年間で短いと、調査期間中に発生した巨大台風がどの海域を通過したかによって護岸被災の地域分布が大きく変動することがわかった。災害の地域分布を調べるためには調査対象期間をさらに長くにとって解析する必要がある。

(2) 気象条件別被災

図-1の地域別分布からもわかるように、九州や瀬戸内海で被災が多く、台風によって起こされた波による被災が大きな割合を示すと推測できる。気象条件による護岸被災の割合を調べた。その結果を図-2に示す。この図-2から台風による護岸被災が146例、73%を占める。4つの護岸のうち3つは台風による被災であることがわかる。冬季風浪は日本海沿岸に大きな影響を及ぼすために、これによる被災は、図-3の日本海沿岸における被災の割合である14%とほとんど同じで、15%である。低気圧による被災は想像したより少なく、4%である。その他は非常に少ない。

(3) 経年変化別被災

護岸建設後あるいは被災した護岸の修復後の経過年数別の被災護岸の割合を調べた。図-3はその結果を示す。この図でわかるように、経過年数に対して2つの山がある。一つ目の山は護岸建設あるいは修復後1～5年にあり、もう一つの山は21～25年にある。最初の山は、建設後の初期の段階で被災する護岸が多いことを示している。このように建設初期に被災する護岸は、護岸本体がマウンドと馴染まないなど十分安定化していないことが原因ではないかと推測される。この結果は、建設直後に構造物の被災が多いといわれていることを裏付けている。この最初の山の直後は被災が少なくなり、そして、経年するに従って次第に被災件数が増え、21～25年で第2の山を迎える。この第2の山が最大の被災件数となっている。このように経年とともに被災件数が増大するのは、年が経つに従ってより厳しい海象条件の出現する可能性が高くなり、そのような海象条件で被災したものと考えられる。しかしながら、このように考えると経年とともに被災件数が増大して行くことになり、21～25年後に山を迎えるのかの説明にはならない。21～25年も過ぎると、護岸が安定し、被災が少なくなるのかもわからないが、この原因は不明である。

2.2 護岸形式別被災特性

(1) 被災護岸の割合

護岸の形式としては、前面が急傾斜の直立護岸、護岸の前面に消波工を設置した消波工護岸、緩傾斜の前面勾配を有する傾斜護岸の3つに大きく分類される。これらの護岸形式をさらに細かく分けると、消波工護岸は、護岸前面を消波工で覆った前面消波工護岸と消波工が護岸から少し離れた場所に設置してある離れ消波工護岸の2つに分けることができる。また、傾斜護岸は護岸前面が緩い勾配斜面の緩傾斜護岸と前面が階段状になっている階段護岸に分類できる。護岸で防護されている運輸海岸の総延長における護岸形式毎の海岸線の割合を示したの

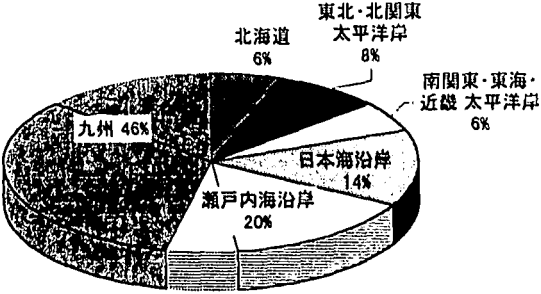


図-1 被災護岸の地域分布

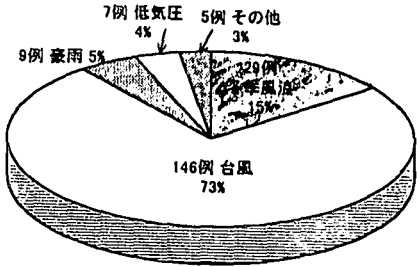


図-2 被災護岸の気象条件別分布

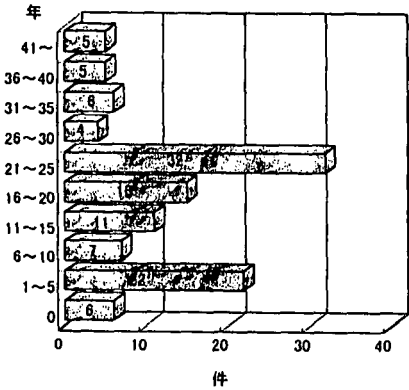


図-3 被災護岸の経年変化分布

が図-4である。図-4に示すように、直立護岸が全体の82%を占め、海岸線で1590 kmになる。消波工護岸は10%で、190 kmになる。傾斜護岸は残り8%で、150 kmである。このようにほとんどが直立護岸である。

1992年度から1996年度の5カ年間に被災した護岸の各形式毎の割合を図-5に示す。この図における護岸形式は前述の細かく分けた分類で示している。図-5に示すように、直立護岸の被災は一番多く、51%を占め、次に多いのが前面消波工護岸で、24%を占めている。離れ消波工護岸の5%を加えて、消波工護岸の被災の割合は29%になる。傾斜護岸は、緩傾斜護岸の6%と階段護岸の5%を合わせて11%になる。直立護岸は、護岸全体の82%を占めるが、被災した護岸については51%であり、比較的被災しにくい護岸形式である。一方、消波工護岸は、護岸全体の10%を占めるのに対して、被災した護岸では24%を占め、被災し易い護岸形式であると言える。傾斜護岸は、護岸全体で占める割合も、被災した護岸の中での割合もほぼ同じで、護岸の占有率に釣り合っていると言える。

(2) 護岸形式別被災形態

護岸の被災形態としては、構造物被災施設集覧に記述してある被災状況から判断して、護岸本体に係わる被災と被覆工や消波工などの被災、堤脚等の洗掘に係わる被災、護岸背後の水叩き部や裏込め土などの被災に分け、それらをさらに細かく分けている。本体に係わる被災は本体の滑動、本体の沈下、本体の破壊の3つに分けた。被覆工や消波工に係わる被災については、被覆工の散乱、捨石の散乱、根固め工の散乱、消波工の散乱の4つに分類している。水叩き部や裏込め土などの被災については、水叩きの損傷、裏込め土の流出の2つに分けている。

護岸形式別に被災形態の割合を示したのが図-6である。この図で各護岸形式に関して被災形態の割合の合計が100%を越えているのは、洗掘と本体の破壊が一緒に起きているといったように被災形態が複合して起きているためである。この図でわかるように、直立護岸では本体の破壊と洗掘が30%以上の大きな割合となっており、その他は20%以下と小さい。消波工護岸では消波工の散乱や洗掘、水叩きの損傷の3つの被災形態がそれぞれ40%以上と大きな割合になっているのに対して、その他の被災形態は15%以下と少ない。傾斜護岸では被覆工の散乱と洗掘が40%を越え、本体の破壊が30%近くになっている。洗掘という被災形態は護岸形式に関係なく大きな割合を示しているが、その他の被災形態は護岸形式によって大きく異なる。特に、消波工護岸では、消波工の散乱被害が大きいことは当然と考えられるが、これ以外に水叩き部の損傷の割合が他の護岸形に比べて特に大きい。この原因として、消波工護岸では、護岸前面に設置した消波工の越波防止効果が大きいために、前面洗掘や散乱によって消波工の機能が低下すると、越波量が急激に増え、その結果水叩き部が損傷することが考えられる。一方、直立護岸や傾斜護岸では、護岸本体が損傷を受けて天端が低下することが起きない限り、越波量の急激な増大は考えられず、護岸本体が破壊されるときは当然水叩き部も損傷し、この場合には本体の破壊に含まれる。そのため、水叩きの損傷の割合が少ないと考えられる。

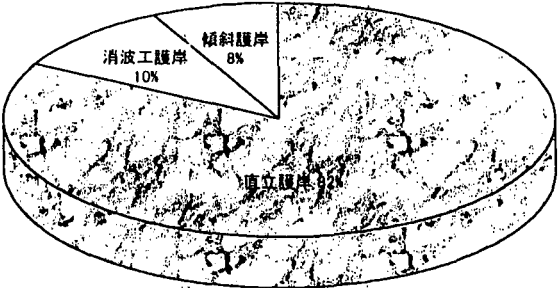


図-4 既存の護岸の形式別分布

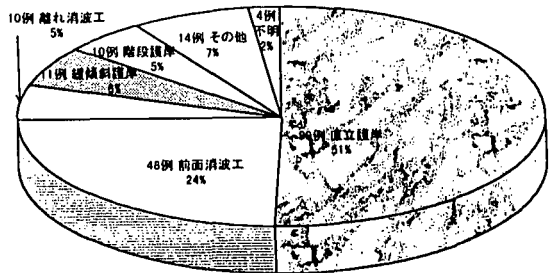


図-5 被災護岸の形式別分布

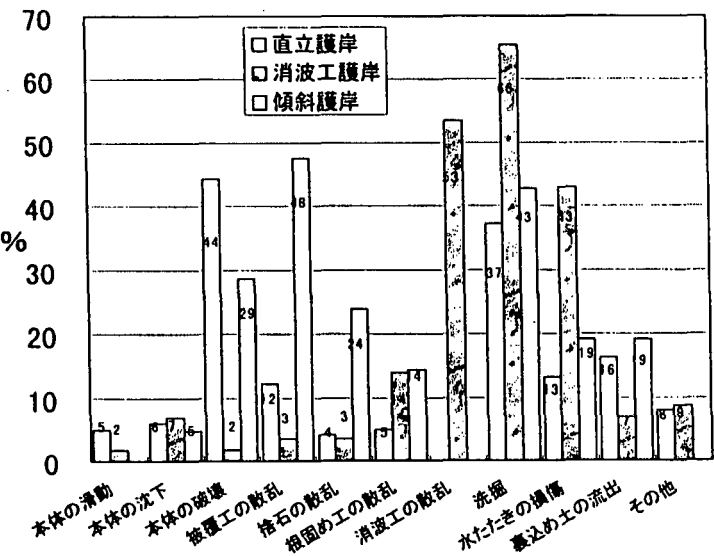


図-6 護岸形式別被災形態の分布

3. 被災原因の特性

3.1 護岸形式別被災原因の割合

(1) 被災原因とその分布

2.2で述べたように、護岸の被災形態は大きく分類すると、本体に係わる被害と被覆石や消波工の被害、洗掘に係わる被害、護岸背後の被害になる。このように分類された被害は大きく3つの原因に分類できる。ひとつは波力を主たる原因、もう一つは洗掘を主とする原因、残りの一つは越波を主たる原因にするものである。波力を原因とする被害としては、本体に係わる被害や消波工・捨石の散乱などが含まれる。洗掘を主とする原因の被災としては、堤脚部や消波工の洗掘などが含まれる。越波を主とする原因の被災としては、護岸背後の裏込め土や水叩き部の損傷など護岸背後の被災が対応する。しかし、実際の被災状況からでは被災原因が一つに特定できなく、複合した原因による被災と考えられるものも少なくなかった。

図-7は、このような被災原因別の護岸災害の発生割合である。最も多いのが洗掘による被災で、51%を占めている。他の原因と複合している被災が2%あり、洗掘に絡む被災は53%になる。次に多いのが、波力によるもので、22%を占めている。波力と複合している被災が8%あり、これを含めると30%が波力による被災である。波力の複合被災の中で最も多いのが越波との複合被災で全体の7%を占める。越波による被災は他の2つに比較して割合が少なく、14%である。複合しているものを含めると、22%になる。このように、被災原因別に見ると、洗掘による被災が最も多いことがわかる。このように洗掘に対する被災が多いことは、洗掘に対する対策がまだ十分に確立していないことを意味しており、今後、洗掘対策技術を確立する努力が必要である。

(2) 構造形式別被災原因の割合

護岸形式毎に被災原因の割合を調べたのが図-8である。護岸形式として、直立護岸と前面消波工護岸、離れ消波工護岸、緩傾斜護岸、階段護岸の5つに分類している。直立護岸では、洗掘による被災が42%と最も多く、次が波力による本体の被災である。洗掘としては、本体の堤脚部が局所洗掘されて、堤体が傾斜するなどの被害である。消波工護岸では、洗掘による被災が最も大きく、前面消波工護岸で62%、離れ消波工護岸で90%となっている。このように消波工護岸ではほとんどの被災が洗掘で起きており、消波工が洗掘によって沈下散乱することが大きな要因である。傾斜護岸でもやはり洗掘による被災の割合が緩傾斜護岸で36%、階段護岸で44%と大きい。他の護岸形式と異なり、波力を原因とする被災が増えてきている。緩傾斜護岸では波力による被害が45%と洗掘によるものよ

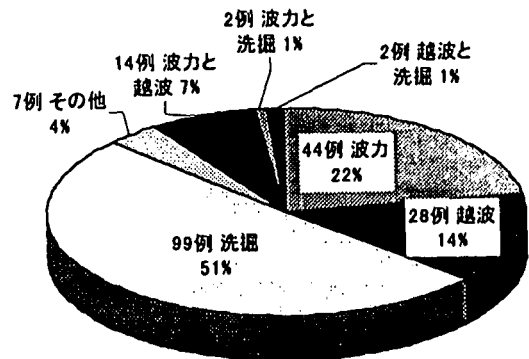


図-7 被災護岸の被災原因分布

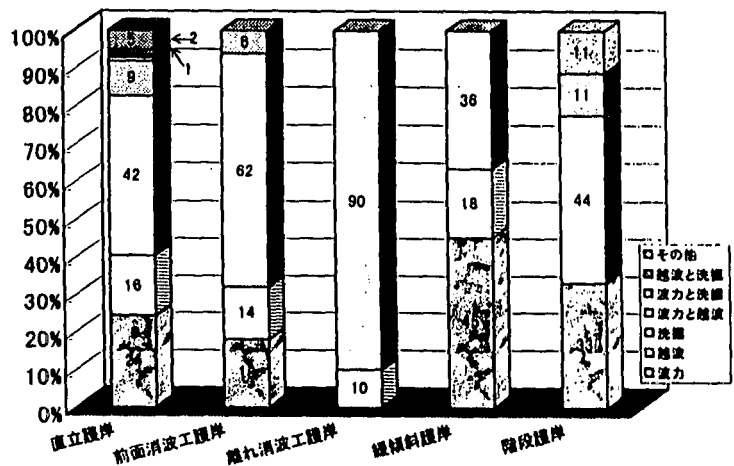


図-8 護岸形式別被災原因分布

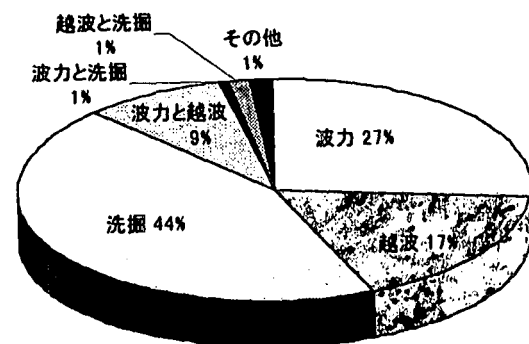


図-9 台風による護岸の被災原因

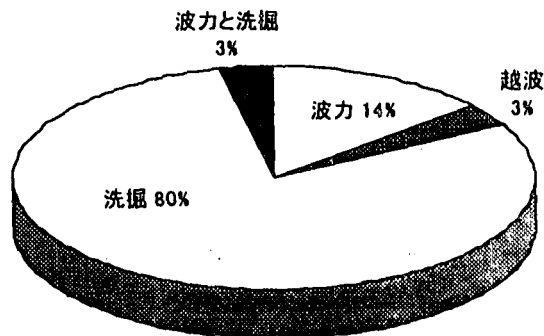


図-10 冬季風浪による護岸の被災原因

り大きくなっている。また、階段護岸では33%とかなりの割合になっている。傾斜護岸の被災は、斜面先端部での洗掘によるものと斜面上での砕波波力によって斜面部が崩壊するものが主である。波力によるものの中には、斜面の下土砂が吸い出され、そこに波力が作用して破壊したものもあると考えられるが、記述からだけではこのことを特定することはできなかった。

(3) 気象条件別被災原因の割合

図-2に示したように護岸災害の気象条件として、台風による災害が一番多く、ついで冬季風浪であった。そこで、各気象条件毎に被災原因がどのような割合になっているか調べた。

図-9は台風の場合である。この図が示すように、洗掘による被災が44%を占め、ついで、波力によるものが27%、越波が17%である。波力と越波が複合した原因による被災の割合が9%あるから、波力と越波による原因を加えると、53%になり、洗掘より大きくなる。洗掘に比較して、波力と越波は波高と直接関係し、波高が高くなるほど大きくなる。このような傾向によって、台風による被災では越波や波力による被災が多くなると考えられる。

図-10は冬季風浪の場合である。冬季風浪による被災は、その80%が洗掘である。波力や越波による被災はそれぞれ14%と3%となっており、台風による場合より小さい。冬季風浪の場合、毎年、ほぼ設計波に近い波が来襲してくるために、それに耐えるような構造物として設計されている。その結果として、越波や洗掘による被災が冬季風浪の場合には少なくなると考えられる。

3.2 被災時の波の諸元

(1) 被災時の有義波高

被災護岸の報告書の中には設計波高と被災時の来襲波高を有義波高表示で記述しているものがある。そこで、設計波高と被災時の来襲波高との関係を調べた。その結果を図-11に示している。図-11は、波力や越波による被災では、ほとんどのケースで被災時の波高が設計波高を越えているのに対して、洗掘による被災では来襲波高が設計波高を大きく下回る場合があることを示している。このように洗掘による被災では設計波高より小さな波高が来襲しても起きる可能性があるが、越波や波力による被災では、設計波高より大きな波高が来襲しないと災害が起きにくいことを示している。設計波高の2倍以上にもなる波が来襲しているのは、4 m以下と比較的設計波高が小さい場合である。

(2) 被災時の有義波周期

被災時の有義波周期がどのように分布しているか調べたのが図-12である。被災件数が多いのは8～14秒の波で多い。これらの波による被災護岸のほとんどは、外洋に位置しており、外洋発生波による被災であることがわかる。湾内波に関しては4～6秒で一つのピークを示している。当然のことながら、湾内では比較的周期の短い波で、湾外では比較的周期の長い8～14秒で被災している。

4. あとがき

1992年から1996年の5カ年における197の護岸の災害事例を収集し、被災の地域分布や気象条件別分布、経年変化に対する分布を調べ、護岸の被災は台風によるものが最も多く、また、建設後1～5年で被災するものと21～25年で被災するものとに大きく分けることができた。護岸の被災原因としては、洗掘、波力、越波に分けることができるが、これらの原因が複合して発生している場合もかなりある。被災原因としては、洗掘によるもの

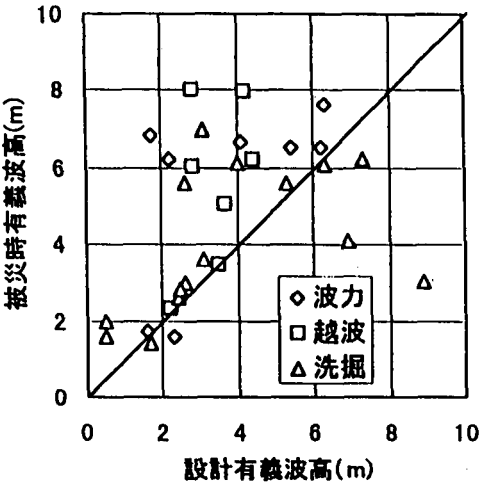


図-11 護岸被災時の有義波高

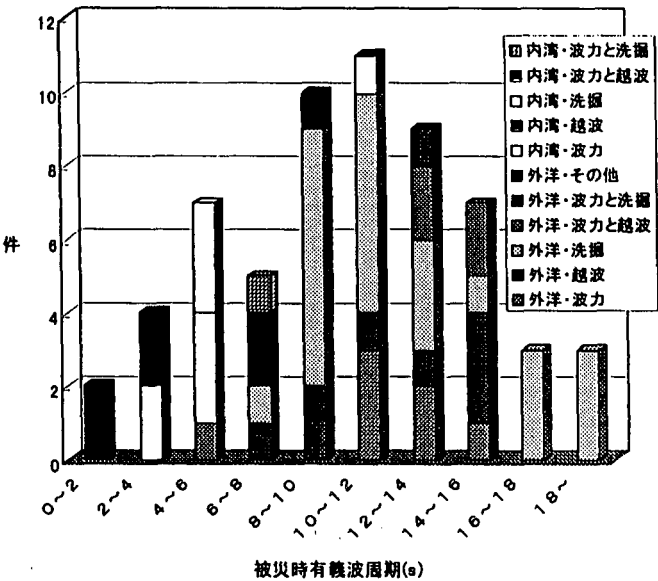


図-12 護岸被災時の有義波周期

のが最も多く、半分以上が洗掘による被害である。しかしながら、洗掘による被災の割合は護岸形式によって異なり、消波工護岸では洗掘の割合が高く、傾斜護岸では洗掘による被災の割合が低下し、波力による被災の割合が増える。洗掘による被災は、護岸の設計波高より小さい波高でも起こり、越波や波力による被災は設計波を超える波によって起こる。

被災事例に基づいた統計的解析結果の主要な結論は以上のようなものであるが、護岸とほぼ同じ機能を有し、形状が少し異なる堤防について今後解析し、越波防止を対象にする施設の被災特性を明らかにするとともに、さらに被災原因と被災形態の関係を定量的に明らかにしたいと考えている。

最後に、本研究を遂行するに当たり、貴重な資料の提供して頂いた運輸省港湾局海岸・防災課の関係者に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 安間 清・石渡知夫 (1986): 海岸保全施設の維持管理手法, 港湾技研資料, No.557, 52p.
- 2) 大河原 満・橋本 宏・斉藤雄三郎 (1983): 被災事例から見た海岸堤防・護岸に関する一考察, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 264 - 268.
- 3) 鹿島遼一・今泉正次・戸田泰和 (1986): 海岸災害事例から見た防波堤・防波護岸の波浪被災特性, 第33回海岸工学講演会論文集, pp.626-630.
- 4) 宇多高明・小菅 晋・柳澤 修 (1991): 緩傾斜堤の安定性に関する全国実態調査, 海岸工学論文集, 第38巻, pp.651-655.