

護岸の被災特性と新たな防災護岸

Characteristics of Seawall Damages and New Conceptual Seawalls
for Disaster Mitigation

高山知司 Tomoji TAKAYAMA (京都大学防災研究所)

今までに台風によって起こされた高潮や高波によって護岸が被災し、人命が失われるといった悲惨な災害が起きてきている。そこで、1992年から1996年の5年間における197件の被災護岸を対象にして統計解析を行って、護岸被災の全体的特徴を明らかにした。さらに、1999年や2004年の台風によって起きた護岸被災の事例を検討し、現行の護岸設計法にはいくつかの点で改良が必要であることを示した。そして、その対策として護岸前面の部分消波の見直しや粘り強い護岸への改良、護岸の設計において性能設計の導入を提案した。

キーワード：護岸被災，統計解析，高潮，部分消波，粘り強い護岸，性能設計（IGC：H-7）

1. はじめに

わが国の海岸の総延長は約35,000kmにも及び、その約半分は防災上何等かの防護施設を設置することが必要な海岸（海岸保全区域要指定区域）である。海岸構造物で既に防護されている海岸は海岸保全区域要指定区域のさらに半分程度である。8,000km以上の海岸は海岸防護対策が行われていない海岸である。未だ海岸防護は十分ではない状況にあるといえる。しかしながら、ここまで海岸防護が整備されてきたのは過去に多くの海岸災害を蒙ってきたからである。

海岸防護整備のさきがけとなったのが1959年に伊勢湾を襲った台風5915号で、この台風は伊勢湾台風と呼ばれ、この台風による高潮と高波は三重県から愛知県の沿岸部に未曾有の災害をもたらし、死者と行方不明者を合わせて、5000名以上に達した。この災害によって中部圏経済の発展が一時中断したとも言われている。伊勢湾台風による未曾有の災害を契機として、東京湾や伊勢湾、大阪湾の高潮対策事業が見直され、過去において各湾に大きな高潮を発生させた台風コースに伊勢湾台風を走らせて、それで発生する高潮と高波を対象にして高潮対策が行われるようになった。これ以外の海域でもこの方法が採用された例がある。伊勢湾台風から2年後に発生した第2室戸台風による大阪湾における高潮では、多くの地域が浸水被災したが、伊勢湾台風の経験もあり、徹底した避難によって、直接高潮で亡くなった人はいなかった。

第2室戸台風以降、長い間、高潮による直接の作用で人命が失われるような台風は発生してこなかったが、1999年に至り、台風18号によって八代海に発生した高潮によ

って不知火町松合地区で12名の方が溺れて亡くなった。また、2004年にはわが国に10個の台風が上陸し、高潮と高波によって大きな災害をもたらされた。高潮による浸水や高波で護岸パラペットが破壊され、大きな越波によって人が亡くなっている。このように、近年になって大きな海岸災害が多発するようになってきている。また、台風の規模も大きくなったように思える。このような変化は温暖化に伴う地球規模の気候変動の影響ではないかと言われてはいるが、確たる証拠はない。

そこで、本報告では、まず、1992年から1996年の5年間における護岸被災の統計的特徴について述べる。さらに、最近における護岸の被災特性を示すために、1999年の18号台風による周防灘沿岸部における護岸被災や2004年における台風16号や18号、23号による瀬戸内海沿岸や高知県沿岸における護岸被災に関して典型的な例を挙げて、その特徴を示す。そして、最後に今後の防災護岸に対する考え方について述べる。

2. 護岸被災の統計

国土交通省港湾局は、被災した海岸・港湾構造物について被災場所、被災携帯、復旧方法などをとりまとめて「港湾・海岸構造物被災施設集覧」を作成している。そこで、1992年度から1996年度の被災施設集覧の中から197件の護岸被災を抽出して、護岸被災特性の統計解析を行った結果について述べる^{1), 2), 3)}。

2.1 被災護岸の特徴

護岸はいろいろな気象現象によって被災している。そこで、気象現象として冬季季節風、台風、豪雨、移動性低気圧、その他に分類して、これらの気象現象によって生じた護岸被災の割合を図-1 に示している。この図によると、台風によって起こされた護岸被災は73%を占め、護岸を被災させる最も主要な原因が台風であることがわかる。2番目の主要な原因は冬季季節風で、護岸被災の15%を占めている。冬季季節風では日本海に大きな波浪を発生させるために、冬季季節風による護岸被害の90%以上は日本海沿岸部で発生している。移動性低気圧による護岸被害は4%と、予想以上に低いことがわかった。

次に、護岸が被災するまでの護岸の経過年数について調べ、経過年数に対する被災件数の分布を図-2 に示している。図-2 は明瞭な2つのピークを示しており、一つは経過年数が1-5年のところにあり、22件(11%)発生している。経過年数が6-10年では被災件数は7件と急激に減少するが、さらに経過年数が経つに連れて被災件数は増大し、経過年数が21-25年では32件(16%)となって、二つ目のピークになり、これが最大となる。さらに経過年数が増えると、被災は4~6件と大きな変化はない。

経過年数の小さい最初のピークは、建設直後においては護岸が被災を受けやすいことを示している。建設直後は堤体と基盤がなじまず、被災を受け易いと港湾・海岸技術者によって言われている事実によく一致している。つまり、建設直後は堤体が十分に安定せず、被災を受けやすく、ある程度大きな波を経験すると堤体が基盤と一体化し、安定し、被災しにくくなると考えられる。

21-25年と大きな経過年数におけるピークは、経過年数が増えるに従って、大きな波浪に遭遇する可能性が増大するとともに、堤体の老朽化による耐力の低下が原因しているものと考えられる。このことは一つ目のピークを除けば、経過年数が増大するに従って被災件数が増えていることから推定できる。

建設後26年以上も経過すると、被災件数が非常に少なくなるのは、護岸が十分に安定し、壊れにくくなっているためだと考えられる。

2.2 護岸形式による被災特性

わが国の海岸に建設されている護岸の形状を直立護岸、消波ブロックで被覆したような消波護岸、一様勾配や階段式の緩傾斜護岸の3つに分類し、どのような割合で建設されているか、距離の分布割合を示したのが、図-3である。この図によると、直立護岸が82%を占め、100mの内82mが直立護岸であることを示している。そして、消波護岸

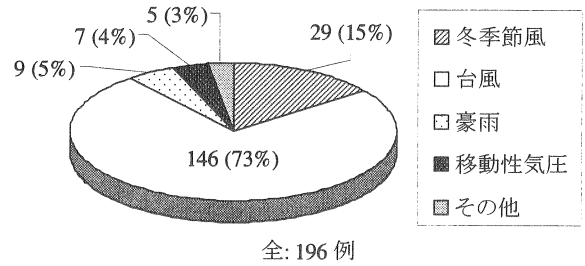


図-1 護岸被災を起こした気象擾乱

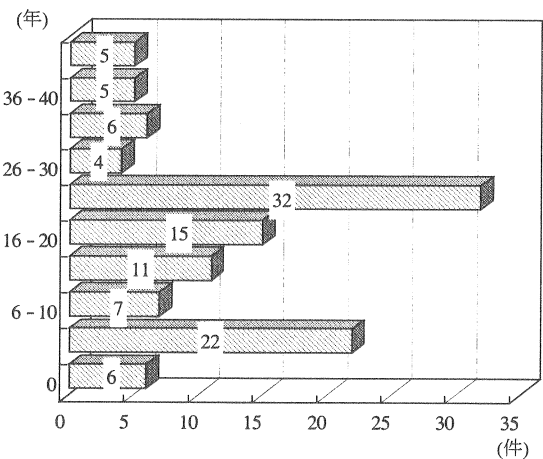


図-2 護岸被災に与える経年の影響

が10%で、残り8%が緩傾斜護岸である。

図-3 のような護岸形状の割合分布に対して被災した護岸の形状による分布は図-4 のようになった。ここでは、消波護岸は、消波工被覆護岸と消波工を堤体から離し、護岸の法先のところに積み上げた離れ消波護岸に分けている。また、緩傾斜護岸は斜面護岸と階段護岸に分けている。図-4 に示すように、直立護岸の被災は99件で、全被災護岸の51%を占めている。この割合は図-3 の直立護岸の建設割合よりかなり小さく、直立護岸は比較的被災し難い構造なのかわからない。次に、消波護岸のうち消波工被覆護岸は48件で、24%であり、また、離れ消波護岸は10件で、5%である。消波護岸としては58件、29%になる。消波護岸の建設割合が10%で、被災が約30%であるから、被災の割合が高いと考えられる。さらに、緩傾斜護岸のうち斜面護岸は11件で、6%となり、階段護岸は10件で、5%である。緩傾斜護岸としては21件で、11%である。この割合は、緩傾斜護岸の建設割合8%にほぼ近く、被災を受け易いとは言えない。

上述のように、直立消波護岸の被災率は高いが、建設割合に比べればかなり小さい。一方、消波護岸の被災率は、建設割合に比べて3倍高くなっている。このことは、消波

護岸が被災しやすい構造だといえる。ただし、消波護岸は越波低減効果が高いために、護岸天端を低くすることができるために、砕波状態の海域に設置されることが多いことも被災率が高くなる原因かもわからない。傾斜護岸の被災率は建設割合とほぼ同じで、それほど壊れ易い構造ではない。

2.3 護岸の被災原因

護岸被災を起す原因としては高波浪が唯一の原因であるが、波浪に伴う原因として次の3つの要素を考えた。ひとつは、堤体本体の破壊や消波工等の散乱などを起す波力であり、もう一つは、エプロンの破壊や裏込め砂の吸出しを起す越波であり、残りは、堤体や消波工、マウンドの変形をもたらす海底地盤の洗掘である。

図-5は、原因別における護岸の被災割合を示している。護岸の被災では唯一の原因で起きるもの以外に、波力と越波によって起こったと推定され、どちらが主要な原因であるか、判断が付かない場合のように複合した原因で起きるものがある。このような複合原因についても発生割合を示している。

波力が主原因で起きる護岸被災は44件で、22%である。波力と越波による複合原因で起きた被災は7%、波力と洗掘による複合原因は1%となり、波力と洗掘が複合した被災は少ないことがわかる。波力に関係した護岸被災は30%になる。越波が主原因になる護岸被災は28件の14%である。複合原因の波力と越波は既に述べたように7%、越波と洗掘は1%と非常に少ない。越波に関係する被災は22%となる。洗掘が主原因の被災は、99件の51%である。洗掘と係わる複合原因で起きた被災は、非常に少なく、波力と洗掘と越波と洗掘を加えても2%である。洗掘が主原因とわかる被災がほとんどであることを示している。

次に、護岸構造別にどのような原因で被災しているか調べた。その結果を図-6に示している。図中の数字は、発生件数を示している。直立護岸では、越波、波力、洗掘には発生割合が大きくなり、洗掘によって起きる被災は50%近くを占める。消波工被覆護岸では、60%の被災は洗掘によるもので、20%近くが波力によるものとなっている。離れ消波工護岸では、90%が洗掘による被災である。緩勾配護岸では、約半分近くが波

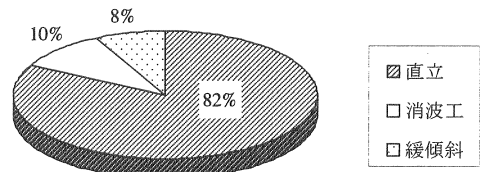


図-3 護岸形状の建設割合

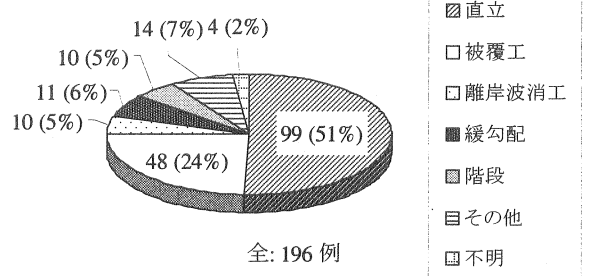


図-4 護岸形状別の被災割合

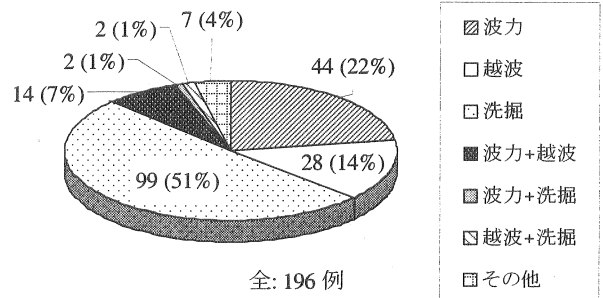


図-5 被災原因別の被災割合

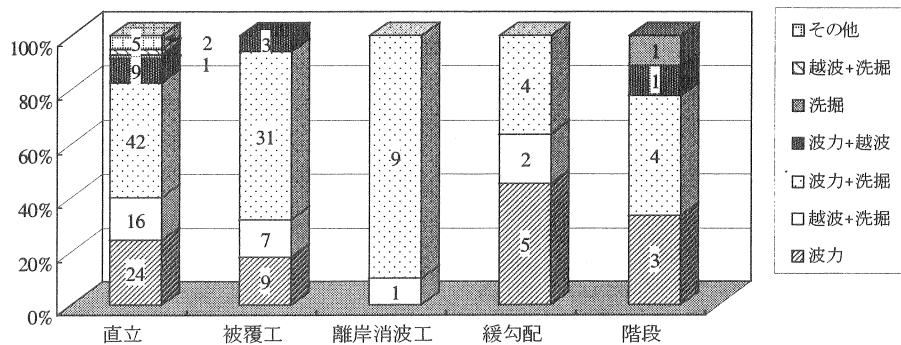


図-6 護岸構造毎における被災原因の割合

掘によって起きる被災は50%近くを占める。消波工被覆護岸では、60%の被災は洗掘によるもので、20%近くが波力によるものとなっている。離れ消波工護岸では、90%が洗掘による被災である。緩勾配護岸では、約半分近くが波

力によって被災している。階段護岸では洗掘による被災が波力によるものより多い。このような緩傾斜護岸では、波力による被災と洗掘による被災が拮抗していることがわかる。

護岸が被災した時に作用していた波高（有義波波高）と護岸の設計波高との関係を調べたのが図-7である。横軸が設計波高で、縦軸は被災時の波高である。また、図中の対角線より上にあれば設計波高より大きな波高が作用したことになる。波力や越波によって被災した護岸は一つの例外を除いて、被災時に設計波以上の波浪の作用を受けていたことがわかる。一方、洗掘による被災は来襲波高が設計波高以下でも生じており、洗掘による被災は大きな波浪でなくても起きることを示している。

2.4 護岸の洗掘被災

2.3 で述べたように、洗掘によって生じる護岸被災は全被災の 50%以上を占めている。洗掘被災の中でどのような形式の護岸が被災しているか、その割合を示したのが図-8である。この図でわかるように、洗掘による被災のうち 50%近くを占めるのが消波工護岸である。消波工護岸は海底地盤が洗掘されると、それによって消波工が容易に変形するため、被災し易いと考えられる。次に多いのが直立護岸である。護岸前面の海底地盤が洗掘されると、水深が増大し、碎波波高が大きくなり、そのために入射波が増大し、それだけ波力が大きくなって護岸が被災する。洗掘はある面では護岸被災に対して間接的な働きをしていると推測できる。

図-9 に護岸被災の典型的な例を示す。この護岸は直立壁の前面に中空三角の消波ブロックを設置した、よく見かけるタイプである。一般には、中空三角ブロックの代わりにさまざまな消波ブロックが設置されている。この護岸は破線で示したように被災した。この被災後の形状から次のような被災過程が推測できる。まず、海底地盤の洗掘が起こり、消波工の中空三角ブロックが沈下して、直立壁には大きな波浪が作用するようになる。大きな波浪の作用は大きな越波を生じ、背後エプロンの破壊が生じ、裏込め砂の吸出しが起こり、直立壁を支えていた裏込め砂が消失したために波力によって、背後に傾斜した。このような被災過程の推測から、この被災は海底地盤の洗掘が主要な原因で、それに越波や波力の影響が加わった被災である。

3. 近年における護岸被災の特徴

3.1 台風 9918 号による護岸被災⁴⁾

台風 9918 号は、1999 年 9 月 19 日に台湾の東方沖で発生し、ゆっくり北上し、24 日午前 4 時ごろ中心気圧約 945hPa の勢力を保ちながら、熊本県牛深市に上陸した。八代海の湾軸と平行な北北東方向に進行し、有明海を横切

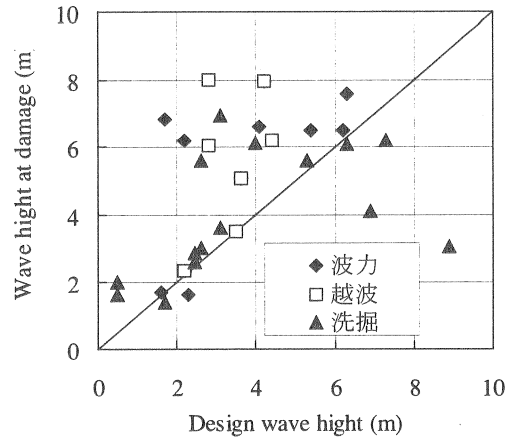


図-7 護岸被災の波高と設計波高との関係

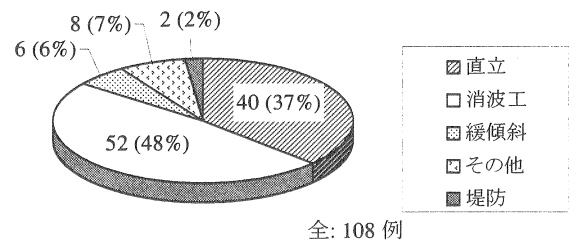


図-8 洗掘被災における護岸形状の割合

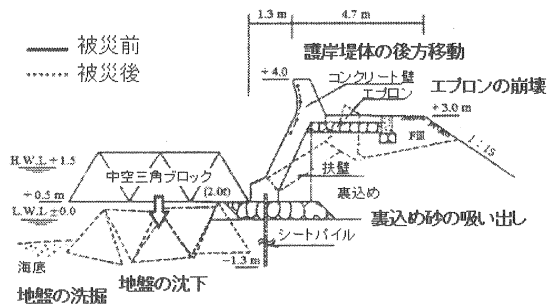


図-9 典型的な洗掘災害

って、9月24日午前6時ごろに熊本県大牟田市に再上陸した。福岡県内を北東に進み、周防灘を横切り、8時過ぎには山口県宇部市周辺に上陸した。このときの台風中心気圧は約 950hPa である。そして、9時過ぎには日本海に抜けた。このような台風の移動経路を図-10 に示している。牛深市では瞬間最大風速 66.2m/s を記録している。

台風 9918 号による高潮・高波災害は、特に周防灘周辺沿岸の海岸護岸や堤防において特徴的であった。山口宇部空港は埋立地上にあり、台風 9918 号によって空港護岸のパラペットが倒壊し、空港内へ多量の水塊が流入して、浸水被害は滑走路だけではなく駐車場などの空港施設にもおよび、1週間も空港を閉鎖するに至った。倒壊によって浸水を助長した護岸の被災前の標準形状を図-11 に示す。マウンド上の2段のコンクリート方塊上に 4.7m 高さのパ

ラペットを建設し、前面に消波工を設置した形状である。しかし、消波工はパラペットの天端（+9.20m）まで設置されているのではなく、パラペットの基部より0.2m上が消波工の天端（+4.70m）になっている。高潮・波浪推算によると、高潮による最高水位は9月24日8時に+5.5mとなり、前面消波工の天端より0.8m高くなっていた。このときの護岸前面波高は有義波高で3.64mであった。これによってパラペットはパラペット基部から1m上部の打ち継ぎ部分から倒壊した。打ち継ぎ部分の海側と陸側の差し筋のうち海側の差し筋が切れずに引き抜かれ、それによってパラペットは倒壊した。この倒壊によって、護岸越波量は急激に増大し、空港施設が1m以上も浸水することになった。

3.2 2004年の台風による護岸被災

(1) 台風0416号と0418号⁵⁾

台風0416号と0418号の移動経路を九州から中国地方にかけての範囲において図-12に示す。台風0416号はフィリピン東方沖で8月19日に発生し、8月30日9:00頃、中心気圧950hPaで鹿児島県大隈半島に上陸し、九州を縦断して周防灘を抜けた。同日18:00ごろ再び山口県に上陸し、21:00過ぎに鳥取県から日本海に抜けた。一方、台風0418号は8月28日に発生し、9月7日9:00ごろ中心気圧945hPaで長崎県に上陸し、九州北部を北東に進行し、同日12:00ごろ北九州市を通り、山口県長門市から日本海に抜けている。そして、山陰沿岸に平行して進行して行った。この台風0418号の軌跡は、台風9119号とほとんど同じであり、台風の規模も非常によく似ている。

台風0416号は、岡山県水島地区や香川県高松市に大きい高潮を発生させた。特に、この地域では、図-13に示した高松の観測潮位からわかるように、大潮の満潮と高潮のピークが重なったために海面が異常に高くなった。その結果、高松や宇野において台風0416号による最高潮位は既往の最高潮位よりも高くなっている。神戸でも既往最高潮位を越えている。このように台風0416号では瀬戸内海の東側で非常に大きな潮位となったが、瀬戸内海中央の広島では、高潮による潮位偏差は図-13の高松における1.2mよりも大きな1.5mであったけれども、満潮とずれたために、潮位がそれほど高くはならなかった。このことは広島における観測潮位の変化を示す図-14からもわかる。

台風0418号では、高松や宇野にも高潮が生じたが、高潮も台風0416号より小さく、1.0m程度であったことや図-13に示すようにそのときは小潮であったこともあって、大きな潮位は生じなかった。一方、広島においては図-14に示したように潮位観測が欠測になったために、どの程度

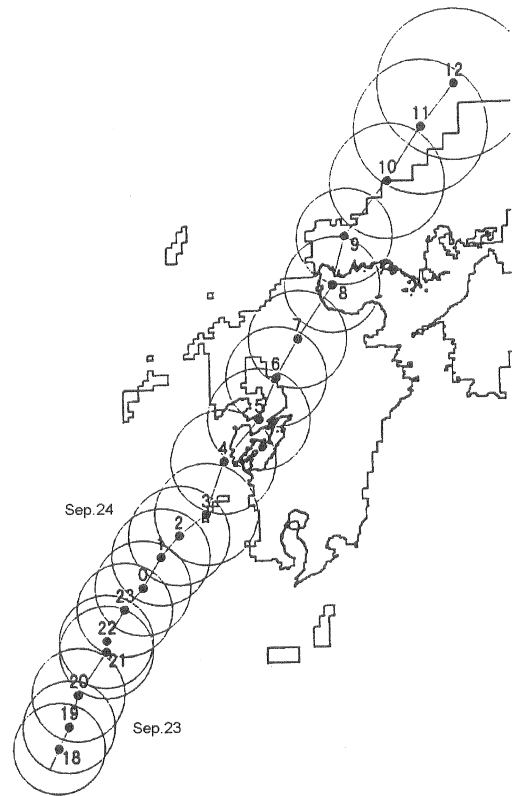


図-10 台風9918号の経路

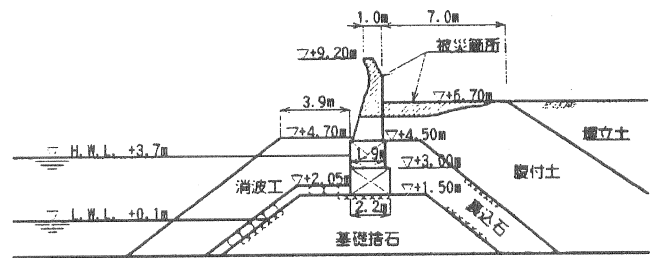


図-11 山口宇部空港における新設護岸の標準断面

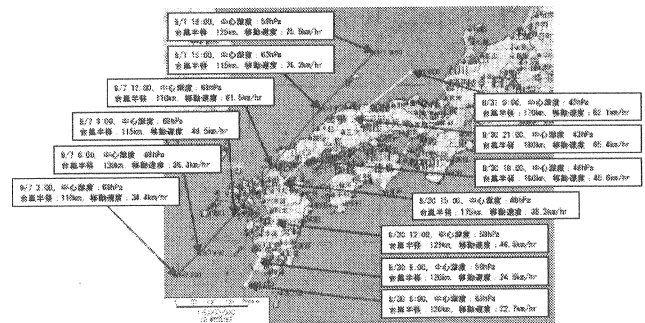


図-12 台風0416号と0418号の経路

の高潮が生じたのか不明である。ただし、高潮推算値によると、2.5m程度の高潮が発生していたと考えられる。

台風0416号では、岡山県で大きな災害が発生した。写真-1は、護岸ではないが、岡山県水島港の防波堤が32m

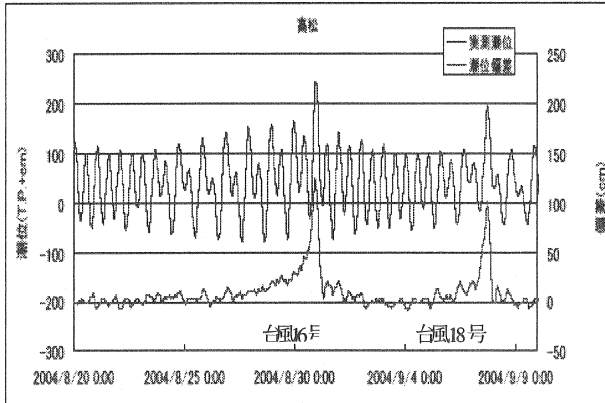


図-13 高松における台風 0416 号と 0418 号による観測潮位と潮位偏差の変化

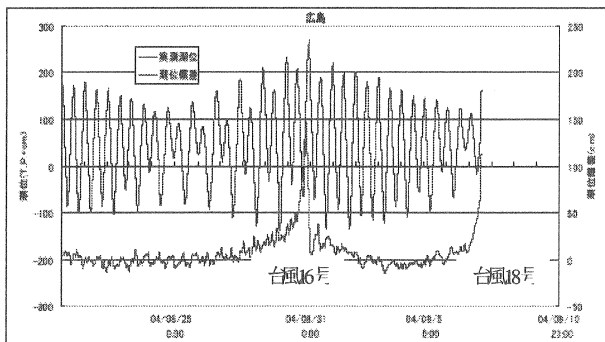


図-14 広島における台風 0416 号と 0418 号による観測潮位と潮位偏差の変化

にわたって大きく転倒した状況を示している。高潮による潮位の増大で、既往の潮位を超えたために、堤体に大きな浮力が作用し、さらに、海面付近に大きな波力が作用して、転倒したと思われる。

台風 0418 号では、広島で風速 60m/s 以上の風が吹いたために、大きな高潮と高波が発生し、甚大な被災を被った。写真-2 と 3 は広島港内の廿日市埋め立て護岸の被災状況を示している。小潮ではあったが、2.5m にもなる大きな高潮によって潮位は非常に高くなったと推測される。これに 3m 近くにもなる大きな波浪が作用したために、このような被害が発生したものである。このような被災が起きる過程については、いくつかのシナリオを描くことができる。一つは、護岸のパラペット部が波力によって破壊され、その結果、越波が大きくなって背後が大きく洗掘される場合である。もう一つは、越波によって背後が大きく叩かれ、一部吸出しを受けて沈下し、波力に対する抵抗力が弱まって、護岸本体が後方に傾いた場合である。この場合には、護岸パラペットの被災はあまり起きていない。前者の場合の被災は写真-2 で、後者の被災は写真-3 である。台風 0418 号による被災では、前者のような被災が多く見られた。写

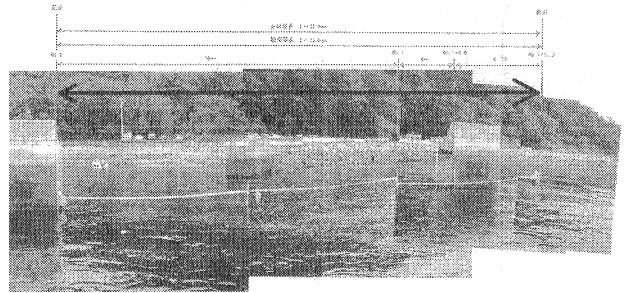


写真-1 岡山県水島港の防波堤の被災状況



写真-2 広島県廿日市埋立地の護岸被災 (パラペットの散乱)

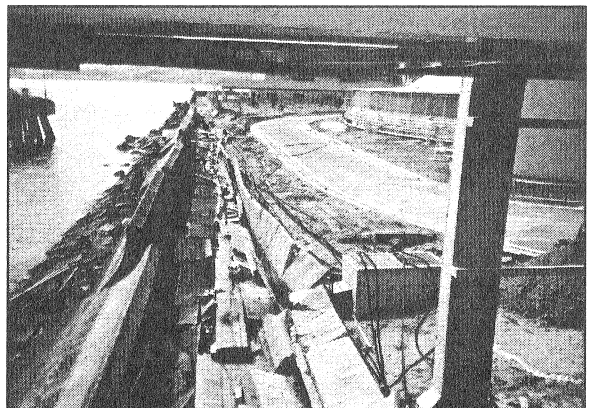


写真-3 広島県廿日市埋立地の護岸被災 (護岸の傾斜)

真-4 は他の被災現場でのパラペットの破壊状況を示している。

(2) 台風 0423 号⁶⁾

台風 0423 号は、図-15 に示すように 10 月 12 日ごろフィリピン東方沖で発生し、四国沿岸を走り、10 月 20 日朝 6 時ごろ中心気圧 950hPa で室戸岬に上陸し、北東に移動し、再度紀伊半島に上陸した。

この台風は室戸沖で観測史上最大の 13.5m の高波を発生させた。この台風による高波は高知県室戸市室戸岬町菜生海岸の防潮堤パラペットを破壊し、大量の越波水が流入して 3 名の住民を死亡させた。写真-4 は被災した防潮堤パラペット部を海側から見たものである。防潮堤延長 942m

中の 30m 部分のバラベットの打ち継ぎ目から崩壊した。崩壊したコンクリートバラベットの背後の市営住宅に飛び込んだ様子を写真-5 に示す。この防潮堤の断面を図-16 に示す。この防潮堤のバラベットの部分が波浪によって破壊されたため、大量の越波水が流入した。

4. 今後の対策

過去における護岸災害の統計的な特徴を調べて、被災護岸の 50%以上が洗掘によって被災している。また、護岸前面に消波工を設置した護岸の被災割合が建設割合に比べて大きいことを示している。そして、近年における大きな護岸被災について、1999 年の台風 18 号や 2004 年の台風 16 号、18 号、23 号による具体的な実例を示した。そしてこのような護岸災害を軽減するための今後の対策について以下に述べる。

4.1 部分消波の見直し

台風 9918 号では多くの護岸が倒壊し、その結果として高潮の浸水が助長され、大きな災害になっている。倒壊した多くの護岸は消波工が前面に設置してあったが、護岸バラベットの天端まで設置してあるのではなく、図-11 に示したようにバラベットの基部までの中途半端な設置であった。高潮・波浪推算によると満潮と高潮の最高位とが重なって、9月24日午前8時に海面が+5.5mにもなった。この水位は消波工の天端より約 1m も高い値である。このときの護岸前面の有義波高は 3.6m であった。その結果、護岸バラベットの基部には直接砕波が作用し、砕波の衝撃的な波力によってバラベットの基部が倒壊したものと推測できる。

宇部空港護岸以外でも周防灘沿岸部で多くの護岸バラベットの基部が倒壊しているが、そのほとんどが消波工による全断面被覆ではなく、部分被覆であった。部分被覆は消波工が少なくすみ、経済的であることから、海岸保全施設築造基準では、必ずしもバラベットの天端まで消波工で被覆することは必要ないとしている。しかし、大きな高潮が来襲する可能性がある海域では、満潮と高潮の最高位が重なって、砕波がバラベットの基部に直接作用するようになるために、全断面を消波工で被覆することが必要となる。

4.2 粘り強い護岸

台風 9918 号や台風 0418 号、0423 号では護岸のバラベットの基部が波浪によって被災している。バラベットの基部が被災して倒壊すると、護岸天端が 1m 以上低くなるために、越波量が急激に増大する。もし護岸背後に民家等があると越波によって人命が失われる可能性が高まる。3. で述べた台風

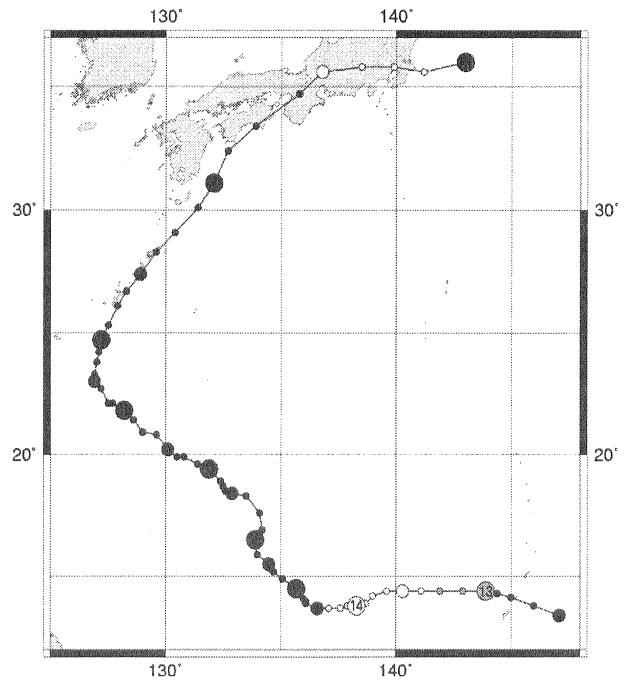


図-15 台風 0423 号の経路

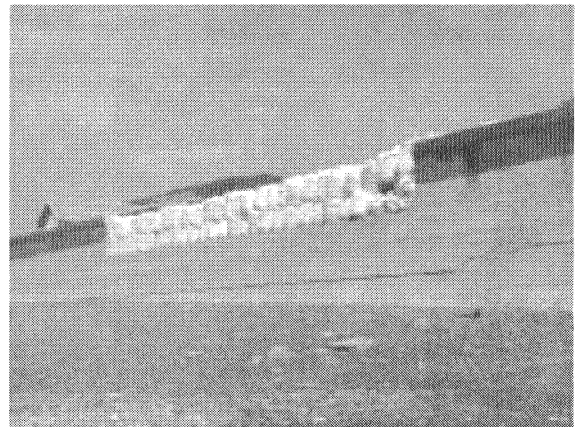


写真-4 海側から見た被災護岸の写真



写真-5 海側から見た被災護岸の写真

0423号による室戸市での護岸災害では3名の市民が越波で亡くなった。このように護岸のパラベットが被災すると非常に危険になるので、容易に崩壊しない構造にすることが重要である⁸⁾。

現在のパラベットの設計では、パラベットはその重量による摩擦で外力に抵抗するようになっている。護岸本体との打ち継ぎ目の部分に使われる小さな刺し筋は護岸本体とを繋ぐために入れられるもので、荷重を受け持つようにはなっていない。そのために、設計外力より大きな力が作用すると簡単に崩壊するようになっている。外力が設計条件を超えると、パラベットは崩壊し、急激に越波量が増大する。つまり、護岸の機能が大きく失われることを意味する。

このように外力が設計条件を超えると急激にその機能が低下するのではなく、機能を失うとしても徐々に失うといった粘り強い護岸にすべきであろう。特に、護岸背後に住宅地が広がっているような重要な海岸では、粘り強い護岸になるような設計法をとる必要がある。特に、パラベットについては変形はするけれどもすぐには崩壊しないような構造にすることが重要である。

4.3 性能設計の導入

現行の設計法では、設計条件に対応した外力が作用する場合には、想定した機能が発揮されることが期待できるけれども、設計条件以上の外力が作用したときに、構造物の防災機能あるいは安定性がどのように低下するかについては、全く検討していない。つまり、構造物の性能に対する評価をしていない。人命に係わる防災構造物では、設計条件以上の外力が発生したときに、どのような災害が発生するのか、つまり、構造物の防災機能がどの程度低減するのか性能照査を行っておく必要がある。設計条件を少し越えるだけで、大きな災害に繋がる可能性がある場合には、他の構造形式に変更するなどの対策をとることが重要である。これは4.2で述べた粘り強い護岸の採用でもある。

性能照査については、いくつかのレベルを決めてチェックするのがよい。高潮対策についてもいくつかのレベルの外力について照査するのがよいであろう。例えば、30～100年のレベルⅠ、100～1,000年のレベルⅡ、1,000～10,000年のレベルⅢが考えられる⁹⁾。レベルⅠは、人命には直接影響しないような構造物の設計レベルである。また、レベルⅡは東京湾や伊勢湾、大阪湾で取られている高潮対策に対応するレベルである。レベルⅢは極限のレベルで、一旦被災すると非常に多くの犠牲者と財産が失われる場合に取られるレベルで、オランダの高潮対策がこのレベルである。

このようにいくつかの外力レベルに対してどのような災害が発生するのか、あるいは構造物の性能がどのように失われてゆくのかを明らかにしておく必要がある。そして、

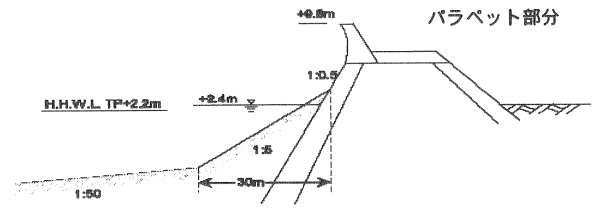


図-16 被災防潮堤の断面図

このような性能照査を公開することも必要である。構造物の建設費用との関係で災害の規模を公表し、市民に選択を委ねることも必要であろう。

構造物で防御する場合には人命と財産の両方を守ることができるが、避難では人命のみで、貴重な財産であっても防護しないことが前提になる。どのレベルまで構造物で防御するのかそれを明らかにすることが重要になるが、これはある面では住民の選択でもある。我々は技術的な情報を提供するが、最終的な決定は被害を蒙る住民の判断に任してもよいように思う。

5. おわりに

1992年から1996年の5年間における護岸災害、197件に対して統計解析を行い、護岸形式による被災の特性や原因を明らかにした。近年、特に大きな台風が来襲して、護岸が被災し、それによって人命の喪失に結びつくような災害が生じている。そこで、最近における護岸災害の事例から、通常よく用いられている消波工による部分消波は、高潮の発生しやすい海域で衝撃砕波圧を発生させる可能性があること、護岸のパラベットが崩壊して、耐越波機能が急激に低下するようなことがない粘り強い護岸の設計が必要であること、さらには、護岸の性能設計を行い、設計外力以上の外力に対しても護岸性能を照査しておくことを提案した。

このような提案を実行するためには、設計条件以上の外力に対する護岸変形の推定精度の向上など更なる研究が必要であるが、これを達成しなければ安全に海岸を防御することはできない。今後の研究の進展に期待するものである。

謝辞

本報告を作成するに当たって参考資料の提供を受けた京都大学防災研究所の間瀬 肇助教授と安田誠宏助手に深く感謝申し上げます。また、瀬戸内海における高潮災害の資料の提供をいただいた国土交通省中国地方整備局広島技術調査事務所 松本英雄所長には深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 高山知司・間瀬 肇・山田雅彦：護岸被災事例の統計的解析，海洋開発論文集，Vol. 14， pp. 179-184，1998.
- 2) 高山知司・間瀬 肇・安田誠宏・井上雅夫：護岸の洗掘被災特性，海洋開発論文集，Vol. 15， pp. 37-49，1999.
- 3) Tomotsuka Takayama, Hajime Mase, Masahiko Yamada and Tomohiro Yasuda : Statistics of sea walls and banks damaged by waves in Japan, International Workshop on Natural Disaster by Storm Waves and Their Reproduction in Experimental Basin (Wave Generation '99), Kyoto Japan, pp.1-8, 1999.
- 4) 高山知司：最近の高潮災害－台風 9918 号高潮が残したもの－，京都大学防災研究所 研究集会「21 世紀の水防災研究所急を考える－最近の水災害から見えてくるもの－」，pp.30-39，2000.
- 5) 国土交通省中国整備局広島港湾空港技術調査事務所・(財)沿岸技術センター：平成 16 年度瀬戸内海における高潮・高波浪防災検討調査報告書，2005.
- 6) 間瀬 肇・安田誠宏・金 泰民・高山知司・平石哲・平山克也：平成 16 年度台風 23 号による室戸市およびすさみ町の高波災害，京都大学防災研究所年報，第 48 巻 A，2005 (投稿中).
- 7) 高橋重雄・大木泰憲・下迫健一郎・諫山貞雄・石貫国朗：台風 9918 号による護岸の被災とその対策に関する水理実験，港湾技研資料，No. 973，50p.，2000.
- 8) 山形延文ほか：災害に強い港湾構造物の考察，海岸工学論文集，第 49 巻，pp. 916-920，2002.
- 9) 高橋重雄・河合弘泰・高山知司：1999 年の台風 18 号による災害と今後の高潮・高波対策について－高潮対策施設の性能照査と性能設計－，土木学会誌，Vol.85，Oct.，pp.67-70，2000.

(2005 年 9 月 12 日 受付)