

# ヒアリングによる護岸の越波被災調査

鈴木康正\*・平石哲也\*\*・望月徳雄\*\*\*・森川高德\*\*\*\*

## 1. はじめに

近年，“人にやさしい”施設として、親水性護岸が各地に建設されている。それらは、沖合人工島、再開発港湾などの新しい空間だけでなく、既存の直立あるいはブロック積み消波護岸を撤去し、手すり、遊歩道、植栽等を整備することにより、全国の海岸・港湾区域で多く建設されている。護岸の設計にあたっては、施設の構造、背後の利用状況等から許容越波量を設定し、異常時の越波量が許容値を上回らないように、天端高さや構造が決定される。護岸の許容越波量は、主に、旧来の直立護岸およびブロック積み消波護岸の堤体本体の被災例をもとに設定されており（合田，1970）、通行人・車および背後家屋の安全性を保つためには、さらに小さい許容値を設定しなければならないことが指摘されている（福田ら，1973）。ただし、両者とも調査箇所は数箇所、充分とは言えない。また、近年の各種の親水性護岸に対しては、適切な許容越波量が設定されておらず、せっかく親水性に配慮しても、手すり、舗装などが破壊され、遊歩道として機能していない事例もみられる。このようなことから、本調査では、各種護岸構造と、その越波災害の実態を把握するとともに、護岸の堤体本体だけでなく、手すり、遊歩道、排水施設、植栽などの付帯構造物がどの程度の越波で被災するのかを、全国の担当機関にヒアリングすることにより調べ、設計における護岸の許容越波量の設定に資することとした。

## 2. 調査・分析方法

### (1) 調査方法および期間

越波情報の収集は、全国の港湾建設局、沖縄総合事務局、北海道開発局を通じて各港湾管理者にアンケートをお願いし、平成5年9月～11月の約2カ月間で実施した。

### (2) 調査対象護岸

調査対象護岸は、運輸省第一～第五港湾建設局管内、

- \* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室長
- \*\* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所水工部主任研究官
- \*\*\* 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室
- \*\*\*\* 正会員 玉野総合コンサルタント(株)海洋部

北海道開発局、沖縄総合事務局管内に直轄、補助、起債事業として建設された護岸のうち、過去3年以内に台風、冬季風浪などの気象擾乱で、被災の有無を問わず、顕著な越波を被った護岸とした。

### (3) 調査項目

アンケート調査の主要項目は、護岸の所在地、建設年月日、形状等の各種護岸諸元、水深、海底勾配等の海底地形情報、越波時の沖波諸元、堤前波諸元、被災状況等とした。

### (4) 護岸の分類

調査した護岸は、その形状により、『緩傾斜護岸』、『直立護岸』、『ブロック積み消波護岸Aタイプ（消波ブロック天端高  $h_s$  と護岸本体天端高  $h_c$  の比が0.5以下）』、『同Bタイプ（ $h_s$  と  $h_c$  の比が0.5以上）』、『直立消波護岸』の5種類に分類して整理した。

### (5) 越波流量の推定

収集した情報より、各ケース毎に護岸前面の換算沖波を求め、越波流量を推定した。

#### a) 換算沖波の算定

沖波諸元が回答されている場合には、屈折・回折係数を推算して、換算沖波を求めた。前面波高のみが回答されている場合には、合田（1975）の碎波帯内波高算定図より逆算して換算沖波を求めた。その他、周期のみが分かっている場合には、運輸省港湾局のNOWPHAS情報（永井ら，1994）等を参考にして当該護岸に対する換算沖波を決定した。

#### b) 越波流量の推定

越波流量の推定は、換算沖波や護岸前面水深、海底勾配、波形勾配等のパラメータを用いて行うが、護岸形状の種類が多様であることから、その推定に当たっては、高山ら（1982）の方法に従い、直立護岸への換算天端高係数を用いて天端高を変化させ、直立護岸として越波流量を推定した。

#### c) 被災状況の分類

被災状況については、被災箇所の観点からは、『直立壁（直立護岸、直立消波護岸）』、『のり面の斜面または階段（緩傾斜護岸）』、『消波工（ブロック積み消波護岸）』、『パラペット水叩工』、『排水工』、『手摺り』、『植栽類』の8分

類に、被災の程度の観点からは『重度な被災（被災が広域的あるいは局所的でもひどいケース）』、『軽度な被災（前記以外の被災ケース）』、『被災なし』の3分類に分けた。

3. アンケート調査結果

(1) 収集情報数

図-1は、アンケート調査により情報を得た護岸の位置を示したものである。

収集した情報数は、被災情報が56ケース、非被災情報が58ケース、総計114ケースとなっている。管轄別みると、第四港湾建設局管内からの情報が最も多く、被災・非被災情報を合わせて36ケース、割合にして全体の32%を占めており、次いで、第一～第三港湾建設局が23ケース前後（同20%程度）でほぼ同様な情報数となっている。この割合は、被災情報に限ってみても、概ね同様となる。なお、第五港湾建設局管内および沖縄総合事務局管内からは、対象となる情報はなかった。護岸の種類別に分類すると、情報数はブロック積消波護岸Aタイプが32ケース、同Bタイプが47ケースと多くなっているのに対し、直立護岸、緩傾斜護岸、直立消波護岸のそれは、それぞれ15ケース、13ケースおよび7ケース、割合にして全体の10%程度と少なかった。

(2) 被災状況

図-2は、越波による被災状況を施設別に示したものである。これを見ると、水叩工が被災したケースが40ケースと最も多く、このうち、被災程度の重いものが本被災の40%強に当たる17ケースとなっている。一方、手摺

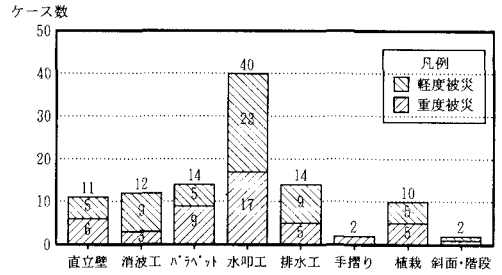


図-2 施設別にみた被災状況

りが被災したケースは2ケースと少なくなっている。これは、手摺りの設置された護岸自体が6断面と少なかったことによる。その他の施設では、いずれも10ケース強ではほぼ同様な被災数となっている。

また、被災の主な原因についてみると、直立壁、消波工、パラペット、水叩工、排水工などについては、護岸前面部の洗掘および背後裏込め土砂の吸出しによるものと推察される。このうち、前面部の洗掘は、越波による直接的な被災ではないかもしれないが、同時に越波も発生していることから、被災は波浪と越波の複合によって発生したものと考えられることとする。手摺りや緩傾斜護岸の階段部（のり面）などの被災については、越波による水流の衝突によって発生していることが、写真から推察され、植栽類については、越波による水流の衝突および海水漬けが主原因と考えられる。

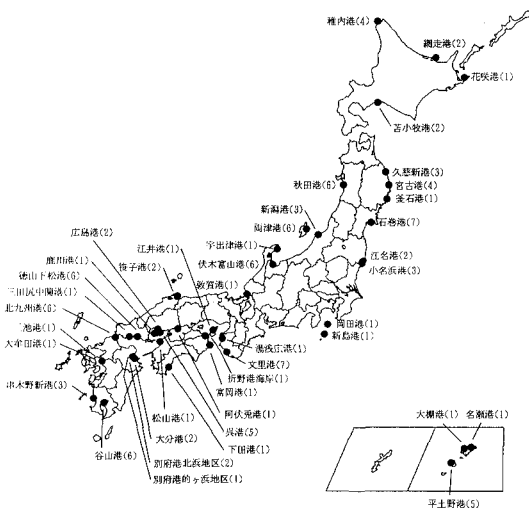
4. 考察

(1) 護岸の種類別、施設別にみた越波の被災特性

高山ら(1982)の手法に従って推定した越波流量と被災の関係より、護岸の種類別および施設別に越波の被災特性を検討した。これらの一例として、図-3は、ブロック積消波護岸Bタイプについて、施設別に越波流量と被災の関係を示したものである。

また、表-1は護岸種類別、施設別および気象擾乱別に、被災したケースの中の最小流量を抽出した結果である。ここで、括弧内の流量は、被災に特殊な要因（隣接被災部の影響が大きいこと等）が含まれたケースであり、限界流量の検討には括弧外の値を用いることとする。なお、直立護岸およびブロック積消波護岸Aタイプは、いずれも消波機能のない直立壁の露出度が高いことから、直立系としてまとめ、ブロック積消波護岸Bタイプは直立壁の露出度が少ないことからブロック積系とした。

はじめに、緩傾斜護岸についてみると、表のりの斜面・階段部は、 $0.3 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ 以上の越波が来襲すると、越波時の水流の衝突により被災する場合があることが分かった。ただ、情報量が少なく、被災流量が多いことから、さらに少ない流量でも被災を受ける可能性がある。



注：（ ）内数値は情報数を示す。

図-1 調査対象護岸の位置

表一 護岸別，施設別の被災限界

単位：m<sup>3</sup>/m・sec

護岸種類	施設	冬季風浪	台風			
緩傾斜護岸 (被災4ケース)	斜面・階段	0.3	2.21			
	パラペット	—	—			
	水叩工	—	—			
	排水工	—	—			
	手摺り	—	—			
	植栽類	—	2.21			
直立系	直立護岸 (被災14ケース)	直立壁	0.003	0.07		
		パラペット	0.2	0.07		
		水叩工	0.003	0.07		
		排水工	—	0.1		
		手摺り	—	—		
		植栽類	—	—		
	ブロック積 消波護岸A (被災13ケース)	消波工	—	0.002(0.0007)		
		パラペット	—	0.002		
		水叩工	0.009	0.002		
		排水工	0.009	0.006		
		手摺り	—	—		
		植栽類	—	0.006		
		ブロック積系	ブロック積 消波護岸B (被災21ケース)	消波工	0.006	0.01
				パラペット	0.03	—
水叩工	0.006(0.001)			0.01		
排水工	0.006			0.01		
手摺り	(0.007)			0.03		
植栽類	—			0.03		
直立消波護岸 (被災4ケース)	直立壁	—	—			
	パラペット	—	—			
	水叩工	—	0.04			
	排水工	—	—			
	手摺り	—	0.3			
	植栽類	—	—			

直立系の護岸（直立護岸およびブロック積消波護岸Aタイプ）では，直立壁，消波工，パラペット，水叩工は0.002 m<sup>3</sup>/m・sec 以上，排水工，植栽類は0.006 m<sup>3</sup>/m・sec 以上の越波が来襲すると被災する場合があることが判明した。

ブロック積系護岸では，消波工，水叩工，排水工は0.006 m<sup>3</sup>/m・sec 以上，パラペットは0.03 m<sup>3</sup>/m・sec 以上，手摺り，植栽類は0.03 m<sup>3</sup>/m・sec 以上の越波によって被災する可能性があることが判明した。ただ，直立系，ブロック積系とも，手摺り，植栽類などについては，情報量が少ないことから，下限値を決定することは困難である。

直立消波護岸では，水叩工が0.04 m<sup>3</sup>/m・sec 以上，手摺りが0.3 m<sup>3</sup>/m・sec 以上の越波で被災する場合があることが判明した。

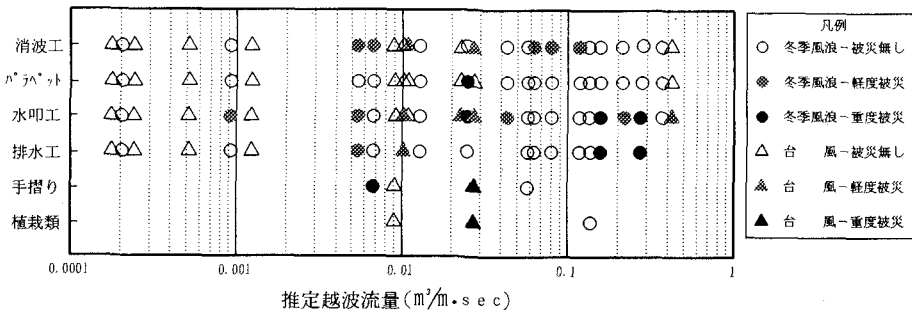
なお，前記までに示した流量は，各々，被災ケースの中の最低流量であり，当該値以上の流量でも被災していないケースが多々みられることから，かなり安全側の性質を有しているものと言える。さらに，越波流量の推定に際して使用した換算沖波は，分析方法で述べたように，屈折，回折図からの推算や碎波図からの逆算によって求めたものであることから，推定越波流量自体，概算的な要素が強く，オーダーのレベルで取り扱うことが妥当であるものと推察する。

(2) 気象擾乱の違いによる限界値への影響

図一4は，冬季風浪時と台風時の両データがほぼ同様な数得られ，かつ，最も一般的な護岸であるブロック積消波護岸Bタイプにおいての，気象擾乱の違いによる越波流量と被災の関係を表したものである。

これをみると，冬季風浪時の被災は台風時のそれに比較して，やや低い越波流量で発生している傾向にある。先の表一1においても，当該護岸では，いずれの施設も冬季風浪時の最低被災流量が台風のそれを下回っている。

この要因は，冬季風浪による越波は，その作用時間が長く，かつ，冬季は日常的に発生するといった特性を持っているためと考えられる。このため，たとえ平均的な



図一3 ブロック積消波護岸Bタイプの越波流量と被災の関係

越波流量は少なくとも、総流量は多大なものとなり被災に直結するケースもあれば、潜在的かつ日常的に僅かずつの洗掘や吸出しが発生し、ある時期に一気に被災するケースもあると考えられる。

ただし、越波の継続時間や総流量と被災の関係は未だ不明の点が多く、今後さらに検討すべき重要な課題の1つである。

(3) 全体的検討

上記までの検討結果を踏まえ、被災発生限界に対する総括的な検討を試みる。図-5は、越波流量と重要施設(直立壁、のり面の斜面または階段、消波工、パラペット、水叩工、排水工など護岸本体の安定に大きく影響する施設)の被災の関係を護岸種類別に一覧にしたものである。なお、本図では、隣接部の被災の影響を受けて少量の越波で被災したケースは除き、有意な被災ケースのみを掲載してある。これを見ると傾向的に以下の特徴を挙げることができる。

① 直立護岸、ブロック積消波護岸Aタイプは、0.005 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>sec以下の越波流量で被災するケースがみられる。

② ブロック積消波護岸Bタイプは、冬季風浪時に0.01 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>sec以下、台風時に0.01 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>sec程度の越波流量で被災がみられる。

③ 護岸本体に危険を及ぼす『重度な被災』のみに注目すると、緩傾斜護岸、ブロック積消波護岸Bタイプ、直立消波護岸では、重要施設は合田(1970)が示した天端被覆済み護岸の被災限界流量0.2 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>sec付近で発生する例が多いが、直立護岸、ブロック積消波護岸Aタイプでは、0.1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>sec程度の流量での被災例もみられる。

これらの特徴を被災発生限界の観点よりまとめれば、次のような関係を得ることができる。

すなわち、直立系護岸(直立護岸、ブロック積消波護岸Aタイプ)は、ブロック積系護岸(Bタイプ)に比べて被災発生限界流量は低くなる傾向にある。これは、直立系では、波浪の直接作用により、護岸本体隙間からの水流の出入りとそれに伴う吸い出し現象が起りやすくなるためと推察できる。

一方、同一護岸系の中では、冬季風浪による越波の頻度が高いほど、被災発生限界は下がる傾向にある、これは、冬季風浪による越波の特性(長時間性、日常性)が影響するためと考えられる。

以上のことを考慮すると、限界越波流量に関する護岸タイプと気象擾乱の関係は、概ね、表-2に示すようなマトリックスで表すことができる。

つまり、全体傾向として、A-「直立系-冬季風浪型」

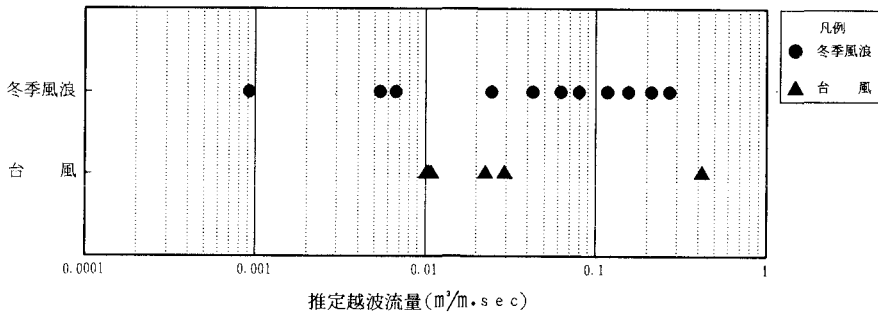


図-4 気象擾乱別の越波流量と被災の関係

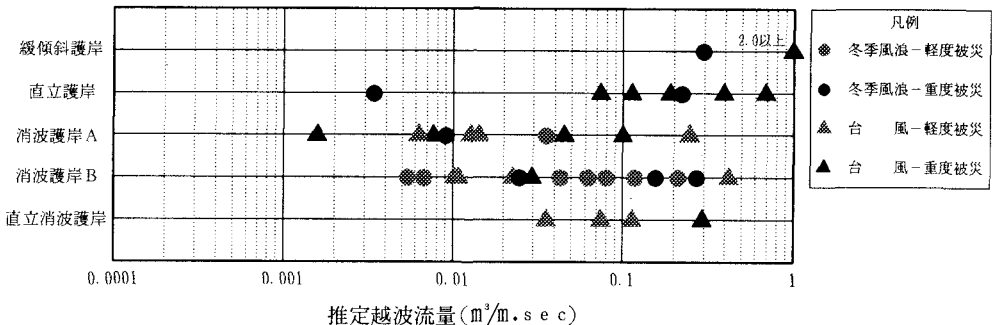


図-5 護岸タイプ別の越波流量と被災の関係

表-2 限界越波流量に関する護岸タイプと気象擾乱の関係

護岸タイプ	冬季風浪型	台風型
直立系護岸	A	B
ブロック積系護岸	B	C

注) A:被災発生限界値が低い  
B:被災発生限界値が中程度  
C:被災発生限界値が高い

が最も限界値が低く、以降、C-「ブロック積系-台風型」の順に限界値が高くなるものと予想できる。

福田ら(1973)は、防波護岸の越波に関する現地観測の中で、新潟東海岸護岸が $0.0019 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ の越波流量により消波工に被災を受け、姫川港護岸では、 $0.015 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ の越波流量によりパラベット、水叩工に多大な被害が生じたことを報告し、 $10^{-2} \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ のオーダーの越波流量が想像以上に厳しいことを示している。これらの被災ケースは、いずれも日本海側の冬季風浪時に発生したもので、同時に、当該護岸は消波工天端高の高いブロック積系護岸であり、表-2のマトリックスではBの「ブロック積系-冬季風浪型」に相当する。したがって、この被災は「直立系-台風型」の護岸においても十分ありえ、「直立系-冬季風浪型」では、さらに少ない流量で被災する可能性もある。

このような過去の調査を踏まえれば、 $10^{-2} \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ のオーダーを指標として、被災発生限界の目安を表-3のように設定することができる。

## 5. まとめ

本調査では、護岸の越波災害の実態をアンケート調査を基に把握し、被災に対する護岸の堤体本体や付帯構造物と越波流量の関係を明らかにし、今後の各種護岸の許容越波量の設定に資することを試みた。その結果、主に以下のことが確かめられた。

① 護岸本体に危険を及ぼす『重度な被災』のみに注目すると、緩傾斜護岸、ブロック積消波護岸Bタイプ、直立消波護岸では、重要施設は合田(1970)が示した天端被覆済み護岸の被災限界流量 $0.2 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ 付近で発生する例が多いが、直立護岸、ブロック積消波護岸Aタイプでは、 $0.1 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ 程度の流量での被災例もみられ

表-3 護岸タイプ別、気象擾乱別の被災発生限界指標

護岸タイプ	冬季風浪	台風
直立系護岸	0.01以下	0.01
ブロック積系護岸	0.01	0.01以上

る。

② 直立系護岸(直立護岸およびブロック積消波護岸Aタイプ)は、ブロック積系護岸(ブロック積消波護岸Bタイプ)に比べ被災発生限界流量は低くなる傾向にある。

③ 同一護岸系では、冬季風浪による越波の頻度が高いほど、被災発生限界は下がる傾向にある。

④ 親水性護岸の付帯施設である手摺り、植栽類(植木)、歩道ブロックなどは、越波による水流の衝突で破損する場合があることが分かった。よって、越波が水流状になりやすい緩傾斜護岸では特に注意する必要がある。

⑤ 上記までの結果を踏まえ、かつ、過去の被災事例を参考にすれば、安全側の視点より、越波の被災発生限界の指標を次のように設定することができる。

すなわち、冬季風浪による越波の頻度が高い護岸においては、直立系護岸で $0.01 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ 以下、ブロック積系護岸で $0.01 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ 程度が被災発生限界越波流量と考えられる。一方、冬季風浪による越波の頻度が低い護岸では、直立系護岸で $0.01 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ 程度、ブロック積系護岸で $0.01 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ をやや越えたところが被災発生限界越波流量と考える。

なお、本アンケート調査に際しては、全国の担当機関に多大なるご協力をいただき、深く感謝する次第である。

## 参考文献

- 合田良実(1970): 防波護岸の越波流量に関する研究, 港研報告, 第9巻, 第4号, pp. 3-42.  
合田良実(1975): 浅海域における波浪の碎波変形, 港研報告, 第14巻, 第3号, pp. 59-106.  
高山知司・永井紀彦・西田一彦(1982): 各種消波工による越波流量の減少効果, 港研報告, 第21巻, 第2号, pp. 151-205.  
永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井正: 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 1992), 港研資料 No. 770, 301 p.  
福田伸男・宇野俊泰・入江功(1973): 防波護岸の越波に関する現地観測(第2報), 第20回海講論文集, pp. 113-118.