

被災事例から見た海岸堤防・護岸に関する一考察

大河原 満*・橋本 宏**・斉藤雄三郎***

1. はじめに

海岸の堤防、護岸は、海岸災害を防止するための構造物として古い歴史を持っている。また現在、何らかの海岸保全施設により防護されている海岸の延長は約 8 700 km であるが、このうち堤防、護岸の延長が、それぞれ約 2 800 km, 5 600 km を占めており、今なおこれらが主要な海岸保全施設として位置づけられる状況にある。

現在の海岸堤防、護岸の設計基準は、昭和 28 年の 13 号台風および昭和 34 年の伊勢湾台風による被災経験を基に作成されたものであるが、その後、堤防、護岸前面の砂浜の侵食に起因する破壊、老朽化による目地の開きコンクリートの劣化等の事例が報告されるようになり、これらの新しい問題への対応をも含めた堤防、護岸の設計方法および維持管理手法の確立が強く望まれているところである。

このような要請と堤防、護岸の施工実績が増えていることに鑑み、建設省では、海岸堤防、護岸の被災事例に関する資料を統計的手法により分析することを主眼として、昭和 55 年度より 3 か年にわたり、「海岸堤防・護岸の安定性に関する研究」を実施した。

ここでは、本研究のうち、主として一般的な被災形態とその原因に関する研究成果を報告し、今後の堤防、護岸の計画、設計の参考に供したい。

2. 被災事例調査

建設省所管の堤防、護岸（以下、便宜上「堤防等」と総称する）について、直轄海岸は昭和 34 年 9 月～55 年 1 月、補助海岸は昭和 51 年 1 月～55 年 12 月における被災事例 337 件の調査を行った。併せて昭和 55 年度末現在の既設堤防等を対象に、諸元、海岸特性について資料収集を行った。これらの収集状況を表-1 に示す。

収集した被災事例の資料は、位置図、平面図、横断面図、被災状況写真、被災時の気象、海象データ等であるが、特に、写真は被災の形態、程度および海浜の底質等を知

る上で貴重な資料となった。一方、被災時の波高、潮位の観測記録があるものは 156 件と少なかったが、できるだけ近傍地の資料等により補足を行った。

既設堤防等に関する資料の収集率は、表-1 に示すように約 30% であり、全部を収集したものではないが、海岸を有する全都道府県から収集したものであり、特に近年の被災箇所を含む海岸は網羅されていることから、今回の収集資料は全体を代表するものと見なして検討を進めることとした。

3. 調査項目

上述の資料より、以下の項目について適宜データを読み取り、一定の様式にまとめ、被災資料集を作成した。

- 1) 地点、完成年および被災年月日
- 2) 海岸地形の特性
 - (a) 外洋に面している（外洋性）か内湾性かの区別
 - (b) 一様部か屈曲部かの区別
 - (c) 前浜の有無、前浜幅、前面地盤高
 - (d) 侵食速度（概ね 30 年間の年平均値）
 - (e) 底質（砂、砂礫、礫、礫岩、岩に 5 分類した。）
- 3) 気象、海象条件
 - (a) 計画波高・周期・潮位
 - (b) 被災時の最大波高・周期・潮位、最大風速
 - (c) 被災の外力要因（台風、低気圧、地震、その他）
- 4) 堤防等の諸元
 - (a) 天端高、天端幅、堤体前面施設の種類
 - (b) 型式；自立式、擁壁式、扶壁式、傾斜式、階台式、石積・ブロック積式（石張・ブロック張式を含む）
- 5) 被災規模
 - (a) 全破損；倒壊等の結果、堤体の全面的な修復、断面形の変更を要すると判断されたもの。
 - (b) 部分破損；部分的な被災箇所の修復だけで復旧が可能と判断されたもの。
 - (c) 無破損；背後地の被災だけで堤体自体の損傷がないもの（例えば、越波等により背後地が被害をうけ、堤体天端の嵩上げ、消波工の設置を実施した場合）。
- 6) 被災形態
 - (a) 前浜の侵食、洗掘による堤防等の破壊、(b) 波

* 正会員 建設省河川局海岸課長

** 正会員 建設省土木研究所河川研究室長

*** 建設省河川局海岸課課長補佐

表-1 都道府県別被災事例収集状況一覧表

都道府 県名	被災事例		既設堤防護岸		総延長	収集率	都道府 県名	被災事例		既設堤防護岸		総延長	収集率
	件数	延長	件数	延長				件数	延長	件数	延長		
	①	②	③	④				①	②	③	④		
	件	m	件	m	m	%		件	m	件	m	m	%
北海道	10	2,452	84	45,679	343,010	13.3	兵庫	20	2,053	18	4,932	90,370	5.5
青森	17	3,591	65	27,760	94,785	29.3	和歌山	6	333	13	4,672	57,280	8.2
岩手	4	231	15	6,282	15,767	39.8	鳥取	8	1,023	12	6,981	18,832	37.1
宮城	20	1,824	29	19,044	41,700	45.7	島根	0	0	8	3,953	10,049	39.3
秋田	4	244	12	16,034	20,602	77.8	岡山	0	0	5	16,621	48,165	34.5
山形	1	1,516	6	7,264	10,793	67.3	広島	15	812	39	24,518	45,623	53.7
福島	9	2,253	32	31,270	44,715	69.9	山口	8	791	28	23,223	61,408	37.8
茨城	8	3,640	28	23,042	33,290	69.2	徳島	2	368	10	13,608	27,587	49.3
千葉	21	2,652	36	44,270	77,749	56.9	香川	1	32	24	6,637	36,291	18.3
東京	9	848	6	2,391	10,240	23.3	愛媛	19	1,626	82	54,370	188,111	28.9
神奈川	5	488	7	3,561	32,194	11.1	高知	38	7,243	27	24,998	59,196	42.2
新潟	22	2,424	104	47,003	124,794	37.7	福岡	2	255	40	21,279	43,512	48.9
富山	4	1,294	12	5,655	37,384	15.1	佐賀	0	0	2	176	10,845	1.6
石川	2	1,151	40	27,613	78,487	35.2	長崎	27	1,801	71	20,465	202,465	10.1
静岡	26	10,797	20	26,025	85,492	30.4	熊本	3	424	31	11,664	94,762	12.3
愛知	4	807	45	51,825	138,587	37.4	大分	3	152	15	3,554	30,071	11.8
三重	1	2,140	74	36,404	147,338	24.7	宮崎	5	1,118	3	3,909	8,574	45.6
福井	7	231	19	12,267	14,990	81.8	鹿児島	4	287	99	67,939	113,221	60.0
京都	1	68	6	3,848	5,382	71.5	沖縄	1	51	28	12,859	65,344	19.7
大阪	0	0	6	5,331	29,428	18.1	合計	337	57,020	1,201	768,926	2,598,433	29.6

力、越波による破壊、(c) 老朽化による破壊、(d) 消波工、根固工等の沈下による堤防等の破壊、(e) 自然海浜の侵食、(f) 地震による破壊、(g) その他（大雨、強風等）に7分類した。また、被災形態が重複する場合も考慮した。

7) 復旧工事（復旧工法、復旧延長、復旧工事費）

8) 被災原因

以上のデータおよび資料中の記述等を基に総合的に検討し、被災原因を(a)施設の老朽化によると考えられるもの（根固、消波工等の沈下による堤体破壊を含む）、(b)設計外力以上の波浪（超過外力）によるもの、(c)侵食等により設計時の海浜条件が変化したことによるもの（侵食海岸での被災に限る）、(d)侵食防止工等を必要としたもの（侵食海岸に属さない箇所でも根固工等のなかったものおよび周辺の構造物の影響を受けたと考えられるもの）、(e)その他（内湾で見られるように石積、石張り等の在来護岸が無補強で存続していた場合等）に5分類した。

4. 被災頻度分布

被災事例337件を対象に、その外力要因、被災形態および被災の直接の原因について一般的傾向を見るため、次のように頻度（件数）分布を求めた。

(1) 外力要因別分布

外力要因別被災件数、復旧延長および復旧工費を図-1に示す。台風による被災が最も多く、次に低気圧とな

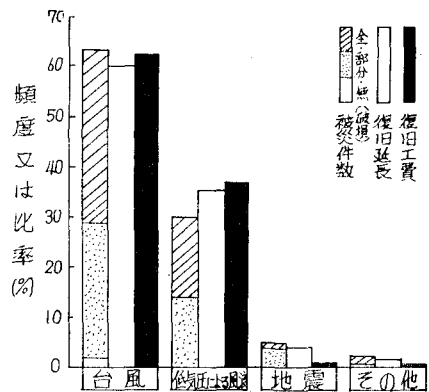


図-1 外力要因別被災頻度分布

っており、この2要因による被災件数が全体の90%以上を占めている。地震による被災は、53年の宮城県沖地震による14件と39年および43年の各1件、計16件であるが、昭和50年度以前の被災資料が十分でなく参考にとどめる。また、その他の7件は、大雨による堤体中の土砂流出および堤体背後の崖等の崩壊に伴う被災である。

図-2は波高、周期および潮位について、被災時外力と設計外力との比をとり、さらにランク分けを行い頻度分布を表わしたものである。なお、設計潮位としては既往最大潮位を代用したものが多く、波高、周期、潮位のいずれについても設計値より小さい外力条件下での被災が圧倒的に多いことがわかる。

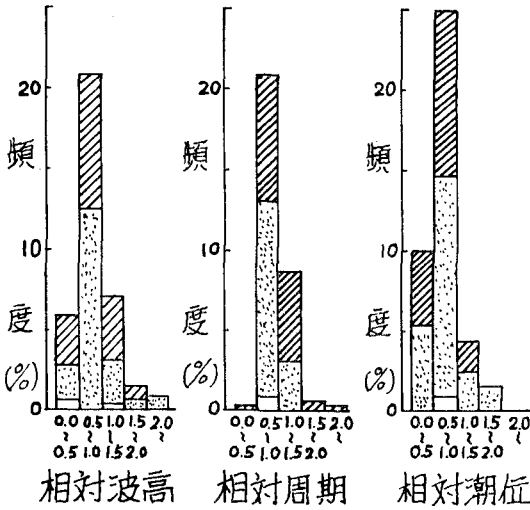


図-2 外力規模別被災頻度分布

(2) 被災形態別分布

被災形態別の被災頻度を図-3に示す。侵食、洗掘、吸出し(空洞化)による被災頻度が最も多く、次いで波力・越波、老朽化の順となっており、この三形態が全体のほとんどを占めている。

また、老朽化による被災の場合、大半が侵食、洗掘、吸出しおよび波力・越波による被災と重複している。

根固、消波工の沈下による堤体破壊の被災は6件と少ないが、これは資料判読上被災前に根固、消波工等の前面施設が沈下していた場合に限定したため、実際にはその件数はより多いものと考えられる。ちなみに、堤体の被災後、根固、消波工等が沈下していた件数は44件であった。

(3) 被災原因別分布

被災原因別分布は、図-4 のようになる。最も多いの

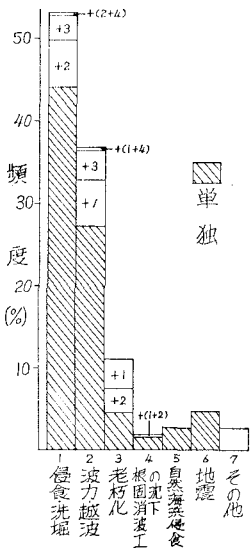


図-3 被災形態別頻度分布

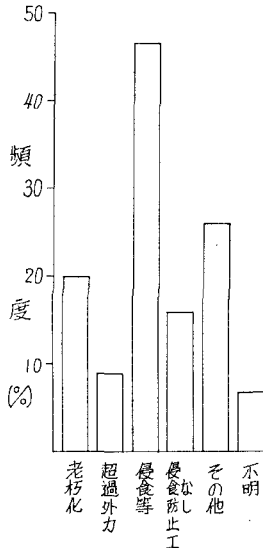


図-4 被災原因別頻度分布

は、侵食により海浜断面等が設計時の条件等より変化した場合であり、近年における傾向が明確に示されている。

5. 被災率

堤防等の被災に大きく関与している要因を把握するため、3. の各項目別に、被災率(被災延長/既設堤防等の延長)を求めた。また、参考のため、各分類別の既設堤防等の延長および被災延長の総延長に占める割合をも求めた。以下に、その結果と考察を述べる。

(1) 型式

型式別の既設および被災延長のシェアと被災率を図-5に示す。既設の堤防等では扶壁式が40%と圧倒的に多く、次いで傾斜式、石積・ブロック積式の順となっている。

被災率についても同じ順位となっている。扶壁式、傾斜式の被災率が石積・ブロック積式より大きいのは、被災率を延長比としたためであり、これを件数比で表現すると逆転する。よって、扶壁式等コンクリート被覆型の堤防等は1件当たりの被災延長が大きいことがわかる。

さらに、被災率を内湾、外洋別に見ると、扶壁式、傾斜式は外洋での被災が多いのに対し、石積・ブロック積式は内湾での被災が目立っている。これは、扶壁式、傾斜式が波浪の大きな外洋性の海岸に多く設置され、厳しい外力条件で被災するが、堤体強度の小さい石積式等は内湾に多く残っており、比較的弱い波浪で被災していることを示しているものと考えられる。

(2) 完成年

図-6において、完成年不明の既設延長シェアが約20%を占めているが、その被災率が最も高いことから、ほとんどが昭和29年以前のものと推定される。

昭和40年代に設置されたものの被災率が30年代に

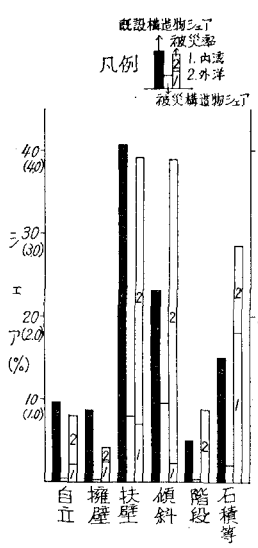


図-5 型式別被災率

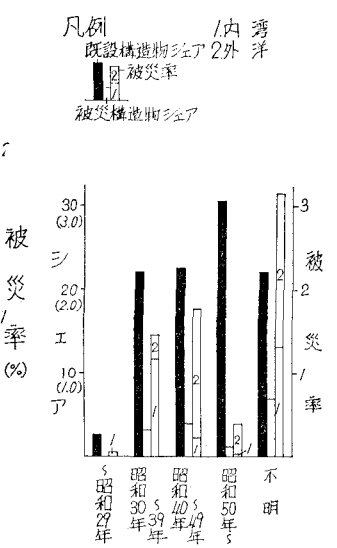
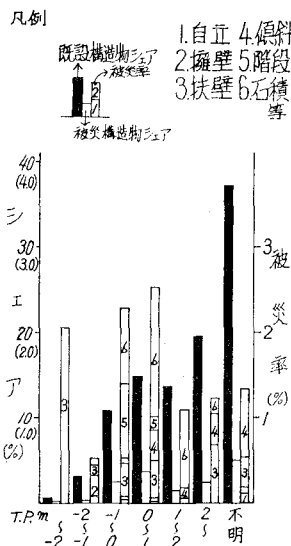


図-6 完成年別被災率



图—7 前面地盘高別被災率

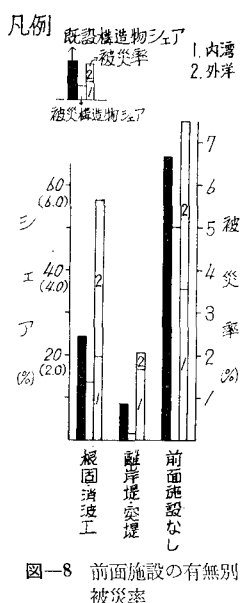
比し大きいのは、40年代に入り外洋性の海岸における海岸事業が盛んになったことによる影響と推測される。

(3) 前面地盤高

図-7によると、不明を除けば前面地盤高が T.P. - 1 m 以上の箇所に堤防等の大半が設置されている。一方、被災率について見ると、前面地盤高が T.P. - 1~1 m の範囲で最も大きく、また、包括的には、前面地盤高 T.P. 1 m 以下で被災率が高いことが注目される。

(4) 前面施設の有無

図—8 に前面施設の有無別の既設および被災件数のシェアと被災率を示す。堤防等の約 70% は前面施設の無い状況である。



図—8 前面施設の有無別被災率

被災率は前面施設無しの方が高く、前面施設としては離岸堤、突堤のほうが優っており、特に外洋性の海岸において根固、消波工との差が明確に出ている。

(5) 海岸位置 (内湾, 外洋别)

図—9 に示すごとく、既設堤防等の内湾、外洋別延長はほぼ同程度であるが、被災率は外洋のほうが圧倒的に高い。

(6) 曲率半径

海岸線を円弧とみなし、その曲率半径による被災率等を求め、図-10 に示した。曲率半径の大きい海岸、すなわち、一樣な海岸ほど被災率が高く、逆に出入りの著しい海岸ほど低い傾向が明確である。

(7) 砂 浜 幅

図-11 は、10m 以上の砂浜を有する海岸での被災率がきわめて低いことを示している。これは、砂浜が来襲波のエネルギーを減衰させる機能を有するためと考えられ、砂浜の保全、育成が、海岸保全上重要であることを裏付けていると理解される。

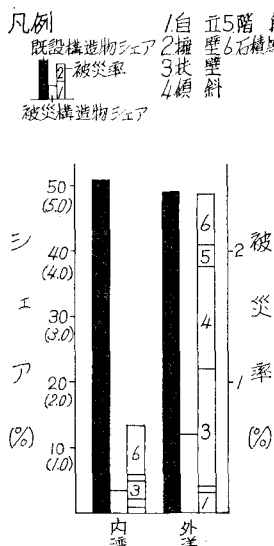
(8) 前浜勾配

図-12 から、堤防等の延長は前浜勾配の緩い箇所ほど長くなっている一方、被災率は勾配の緩い箇所ほど低くなっていることが明らかである。これは、前浜勾配の急な海岸ほど砕波点が汀線に近く、波がエネルギーの損失の少ないまま、堤防等に来襲するためと考えられる。

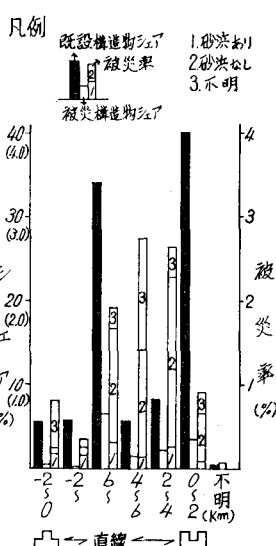
また、底質別に見ると、前浜勾配が 1/5 より急な海岸の被災箇所は大半が砂質であること、また、勾配が 1/5 より緩い海浜では、砂礫または礫質の海岸での被災率が大きいことが注目される。

(9) 侵食速度

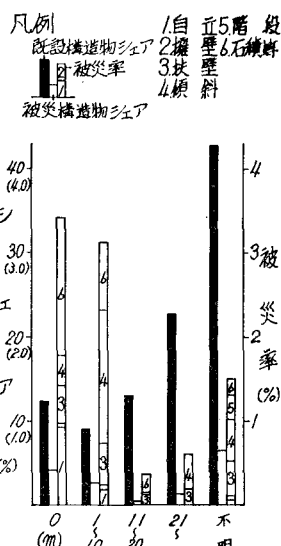
侵食速度の不明な海岸が約 70% となっており、資料



圖一9 海岸位置別被災率



圖—10 曲率半徑別被災率



图一11 砂浜幅別被災率

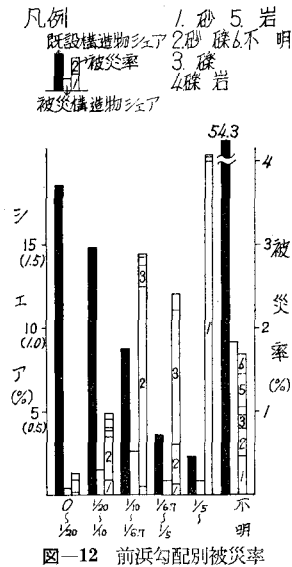


図-12 前浜勾配別被災率

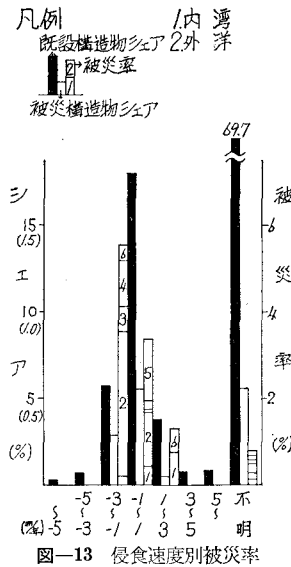


図-13 侵食速度別被災率

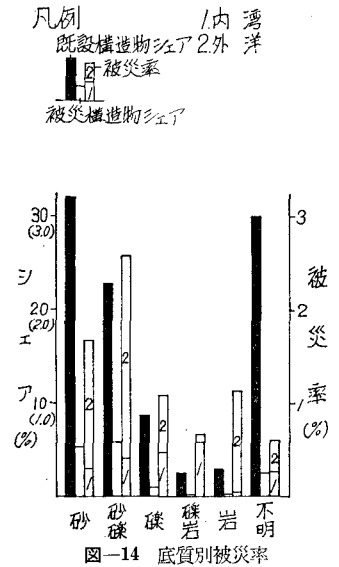


図-14 底質別被災率

数に乏しいが、図-13の被災率を見ると、侵食速度の大きいほど被災率が高く、また、堆積傾向の3~5m/年以上では、全く被災例のないことが特筆される。

(10) 底 質

図-14によると、堤防等の延長は、砂海岸で最も大きく、次いで砂礫海岸となっており、両者を合わせると全体の半数以上を占める。被災率は、砂礫海岸が最も高く、次いで砂海岸となっており、礫、礫岩、岩の海岸では低い傾向を示している。

6. 結 論

本研究の結論を要約すると次の通りである。

1) 被災時の潮位、来襲波の波高、周期をそれぞれの計画値と比較すると、計画値以下での被災が大半であり、単に波浪のみならず種々の要因が堤防等の被災に関与していると考えられる。前節での被災率の検討によりその要因として、前面地盤高、砂浜幅、前浜勾配、底質等の海岸特性が重要な意味を有していると考えられる。

2) 外洋性の海岸では堤体前面の洗掘、吸出しによる被災が多く、中でも扶壁式および傾斜式に多く見られる。一方、内湾における被災率は外洋性の海岸の約1/3であるが、形態としては、石積・ブロック積式護岸が波力により決壊するか、越波により土砂が流出する例が多い。

3) 消波工等前面施設が無い場合の被災率は比較的高く、しかも、全壊の例が多い。特に、外洋性の海岸においては、離岸堤等の消波施設を設置することが望ましい。

4) 海岸特性については、砂浜幅が広く、勾配が緩いほど被災率が低い。また、被災箇所の底質は砂または砂礫が大半である。特に、砂浜幅10m未満で勾配1/10

以上の海岸における被災率が高い。一方、前面地盤高については、T.P. -1~1mの範囲で被災率が高い。

5) 被災の原因としては、侵食により前浜が失われたことによる事例が多く、中には扶壁式等直立型の堤防護岸による反射波によって前浜が洗掘され被災に至ったと考えられる例が多く見られた。従って、堤防等の計画に際しては、将来における海浜形状の変化を十分予測することが必要である。

以上を総合して、今後の海岸事業の実施にあたっては従来のように堤防、護岸を主体に海岸線において海岸保全を図る方式(線的防護方式)から脱皮し、海浜造成効果をもつ離岸堤の設置および養浜工等により砂浜の保全、育成を図り、さらにその背後に堤防、護岸が必要であれば、できるだけ反射波の発生を抑制すべく、緩傾斜堤防、護岸とし、これらをして一体的に海岸保全機能を発揮させる、いわゆる面的防護方式を取り入れるよう提案したい。この面的防護方式は次の利点をもつと考えられる。

- 1) 面的防護により、海岸災害に対する安全度が高まる。
- 2) 堤防、護岸の天端高は砂浜の消波機能の分だけ低くなり、海浜利用、景観の面で有利である。
- 3) 砂浜および緩傾斜堤により、しほぎ等の被害は軽減されるため、背後地の居住性が向上する。
- 4) 砂浜はレクリエーション等多目的に利用できる。
- 5) 砂浜の存在すること自体が快適な海岸環境の創出に寄与する。

最後に、本研究にあたり、膨大な資料の収集にご協力いただいた全国の各都道府県および北海道開発局、沖縄総合事務局、建設省の担当諸氏に心から謝意を表する。