

高波や津波による海岸堤防・護岸の破壊機構の解明と 破堤限界値の平塚・茅ヶ崎海岸への適用

高梨弘晃^{*1}・山本吉道^{*2}

Study of Dyke Destruction Mechanism by Stormy Waves or Tsunamis
and Application of Destruction Criteria to Dykes and Revetments
on Hiratsuka and Chigasaki Coasts

by

Hiroaki TAKANASHI^{*1} and Yoshimichi YAMAMOTO^{*2}

(Received on 30 September 2005 & accepted on 14 January 2006)

Abstract

We derived the following results on destruction mechanisms from an experimental investigation of cases of damaged coastal dykes and revetments.

- (1) In the case of stormy waves, the complete break of concrete dykes and revetments, which water cannot permeate through the front and crown, is caused by front scour and sucking; moreover, the critical rate of wave overtopping against the complete break is $0.065 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$.
- (2) In the case of tsunamis, the complete break of concrete dykes and revetments is caused by incident wave pressure or back rush pressure, and the tentative critical tsunami heights are about 8m for the incident wave pressure and 5m~6m for the back rush pressure.

Key Words: Stormy Waves, Tsunami, Dyke Destruction Mechanism, Critical Wave Overtopping Rate against Dyke Breaks, Coastal Prevention, Coastal Mitigation

1. はじめに

2004年、国内での台風による高潮やスマトラ沖地震による津波などによって我々人類は甚大な被害をこうむった。このような海岸災害は世界の何処かで毎年のように発生しており、安全な海岸堤防・護岸が必要とされる。それゆえに、著者達は海岸堤防・護岸に関する実験や被災事例調査より破堤機構について検討した。そして、検討結果から得られた破堤限界値を現地海岸に適用し、その海岸の安全性評価を試みた。

2. 堤防・護岸の破堤機構の解明

(1) 高波による破堤機構

破堤機構を明らかにするために、海岸堤防・護岸の高波による被災資料（石川県、静岡県）を収集し、整理したところ、表-1に示すように、ほとんどが被災断面形状から判断して、前面洗掘と裏込材の吸

出しにより被災したと推定できるケースであった。また、これらの越波量も、ほとんどが無視できない量を示していた。岩崎ら¹⁾などが指摘しているように、波が堤防を越えると、海水が堤防内部へ浸透し内部の土砂が流出する。また、砂浜がない場合は、波が堤防に直接あたり前面が洗掘して、矢板下端より土砂が吸い出される。そして、堤防内部に空洞ができる破堤に至る機構が重要と考えられる。

それゆえ、水理模型実験によって、典型的な被災事例を再現してみた。図-1.(a)は広野海岸一帯に建造されている海岸堤防の断面図である。これらの堤防には平成9年7月26日の台風9号によって最大有義波高6.91m、周期13.9sの高波が来襲し、約10時間の間に堤体の空洞化が大幅に進み、その後の台風13号、18号による高波の作用で、図-1.(a)に示す堤防断面の天端高T.P. +7.26mの小段全部と天端高T.P. +10.0m部の一部が崩壊した。そこで、不規則波造波水路（長さ22m、深さ0.8m、幅0.5m）の大きさに対して、堤防模型が小さくなり過ぎないように模型スケールを1/30と決定し、空洞化の主要部分である天端高T.P. +7.26mの小段部だけの堤防模型を作った。図-1.(b)は模型堤防の断面図である。底質と堤体裏込材の粒径は、伊藤²⁾の底質に関する相似則から粒径スケールを1/3とし、公表された細粗混合での吸出し実験は無いようなので、当時の海岸の状況に合わせて、細粒分を0.2mmで、粗粒分を0.66mmの砂で代表させ、これらを2:1で混合したものを使用した。

* 1 工学研究科土木工学専攻修士課程

* 2 工学部土木工学科 教授・工博

表-1 高波による海岸堤防・護岸の被災事例一覧

(二面張り・三面張りとは原則的に表法が用心鉄筋の入ったコンクリート製で、天端、さらには裏法も被覆されていると定義する)

被災事例 の海岸名	発生 年 と 外力原 因	海岸堤防・ 護岸の 破壊程度と 破壊タイプ	海岸堤防・護岸特性				海浜特性			外力特性			越 波 量 (m ³ /m/s)
			構 造 タ イプ	表 法 被 覆 厚 (m)	矢 板 深 (TP:m)	天 端 高 (TP:m)	底 質	浜 幅 (m)	地盤高 (TP:m)	換 算 沖 波 有 効 波 高 (m)	周 期 (s)	潮 位 (TP:m)	
太平 洋沿 岸	富士海岸 吉原工区 66年台 風26号	半壊	三面張 り堤防	0.5	1.0	13.80	砂～ 小石	130	7.0	10.00	20.0	1.50	0.0500
	富士海岸 富士工区 66年台 風26号	破堤(侵食・洗 掘と吸出し)	三面張 り堤防	0.5	1.0	14.00	砂～ 小石	15	1.0	10.00	20.0	1.50	0.0800
	駿河海岸 焼津工区 66年台 風26号	破堤(波力によ る押し流し)	二面石 積堤防	—	—	6.60	砂～ 小石	130	4.5	10.00	20.0	1.00	0.7000
	駿河海岸 大井工区 68年台 風4号	破堤(侵食・洗 掘と吸出し)	三面張 り堤防	0.5	-1～ -2	6.20	砂～ 礫	0	-1.5	3.50	13.9	0.56	0.0650
	駿河海岸 大井工区 79年台 風20号	半壊(洗掘と変 形)	三面張 り堤防	0.5	-1～ -2	6.20	砂～ 礫	80	4.0	8.00	13.0	1.10	0.0520
	静岡海岸 79年台 風20号	全壊(侵食・洗 掘と吸出し)	二面張 り護岸	0.5	-1～ -2	7.26	砂～ 礫	0	0.0	10.20	13.0	1.10	0.1100
	静岡海岸 81年台 風15号	半壊(侵食・洗 掘と吸出し)	二面張 り護岸	0.5	-1～ -2	7.26	砂～ 礫	0	-0.5	6.85	14.0	0.95	0.0500
	静岡海岸 82年台 風18号	半壊(侵食・洗 掘と吸出し)	二面張 り護岸	0.5	-1～ -2	7.26	砂～ 礫	0	-1.0	7.62	12.9	0.92	0.0550
	静岡広野 海岸 97年台 風9号	半壊(侵食・洗 掘と吸出し)	三面張 り堤防	0.5	-1.5	7.26	砂～ 小石	0	-1.5	6.91	13.9	0.00	0.0240
	静岡広野 海岸 97年台 風18号	破堤(侵食・洗 掘と吸出し)	三面張 り堤防	0.5	-1.5	7.26	砂～ 小石	0	-2.0	4.45	13.6	0.70	0.0650
日本 海沿 岸	御前崎海 岸 03年4 月高波	半壊(侵食・洗 掘と吸出し)	三面張 り堤防	0.5	不明	7.08	砂	0	0.0	5.04	10.9	0.74	0.0060
	小松海岸 92年冬 期風浪	全壊(侵食・洗 掘と吸出し)	ブロッ ク護岸	—	—	5.40	砂～ 礫	0	0.0	2.78	10.9	0.33	0.0020
	小松海岸 93年冬 期風浪	全壊(侵食・洗 掘と吸出し)	ブロッ ク護岸	—	—	5.40	砂～ 礫	0	0.0	4.54	12.0	0.31	0.0090
	小松海岸 94年冬 期風浪	半壊(侵食・洗 掘と吸出し)	二面張 り護岸	0.5	-4.0	5.40	砂～ 礫	0	-1.0	4.38	12.3	0.44	0.0200
	小松海岸 00年冬 期風浪	半壊(侵食・洗 掘と吸出し)	二面張 り護岸	0.5	-4.0	5.40	砂～ 小石	0	-1.5	6.00	10.5	0.50	0.0500
	小松海岸 01年冬 期風浪	全壊(侵食・洗 掘と吸出し)	二面張 り護岸	0.5	-4.0	5.40	砂～ 小石	0	-2.2	5.58	11.7	0.71	0.0950
	小松海岸 01年台 風15号	全壊(侵食・洗 掘と吸出し)	二面張 り護岸	0.5	-2.5	5.40	砂～ 小石	0	-1.5	6.00	10.5	0.58	0.0650

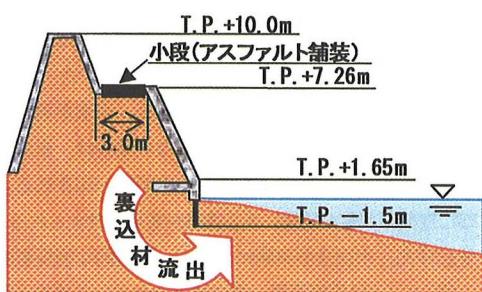


図-1. (a) 被災堤防の断面図

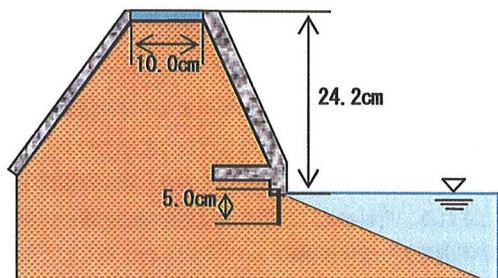


図-1. (b) 模型堤防の断面図



表一2 来襲波と実験波の波浪特性

時間	来襲波		実験波	
	波高	周期	波高	周期
1. 0hr	6.4m	15.2sec	21.33cm	2.78sec
1. 0hr— 1.72hr	6.7m	14.5sec	22.33cm	2.65sec
1.72hr— 2.08hr	6.2m	13.6sec	20.67cm	2.48sec

表-2は台風9号が来襲した時の広野海岸地先における波浪特性の継時変化とフルード則で縮尺した実験波の波浪特性を示す。入力条件は、約10時間続いた高波の継時変化に合わせ、開始時から1時間は有義波高21.33cm、周期2.78sを、1時間後から0.72時間は同22.33cm、2.65sを、1.72時間後から0.36時間は20.67cm、2.48sの不規則波を入射させて、被災状況の再現を試みた。

堤防は波力によって直接的に破壊されることなく、前面洗掘が進み、造波開始後27.4分後（現地時間2.5時間後）には、矢板下端より堤体裏込材の流出が始まり、造波時間1.36時間後（7.5時間後）には裏込材の相当量が抜けてしまい、矢板の下端に裏込材の粗砂分が溜まついくにつれて裏込材は流出しなくなった（写真-1～3を参照）。このことは、吸出し防止には、裏込に粗粒材を用いた方が良い場合があることを示しており、加藤ら³⁾の提案している前面地盤への高透水性材の併用とから、堤防の強度を高められる可能性がある（ただし、止水性を別の付帯工で高める必要がある）。

さて、本実験で、波力による直接的破壊より吸出しによる破壊が先行した理由は、次のようにある。

表-3(a)は、我が国でよく見かける諸元の海岸堤防（天端幅3.5m、天端高7m、のり勾配1:1）の水平滑動に対する安定性を、本間ら⁴⁾の算定式（碎波域のため前面波高が水深によって規定されるとしている）を用いて波力を求め検討したものであるが、前面水深3mでも波力により水平滑動することは無いことが判る。また、断面がこの様な台形の場合、重心位置が低いため転倒することは考えにくい。すなわち、前面水深が無い、または浅い海岸では、波力による直接的な破壊より先に、越

波・吸出しにより破堤に至ると考えられる。

表-3(b)は、表-3(a)と同じ諸元の海岸堤防の円弧スベリ破壊に対する安全性を、乾燥砂を盛土しただけで、波の作用や前面水深はない条件下で検討した例であるが、かろうじて安定となっている。

実際の堤防では、盛土表面をコンクリート等で覆っているが、前面水深と波の作用が存在すれば、堤体内部へ海水が浸透し、間隙水圧の発生による抵抗力の低下から円弧スベリが生じ易くなり、さらに流動水によって吸出しが生じて、破壊に至ることから、この観点からも越波と吸出しによって評価して良いと言える。

表一3 (a) 堤体断面の水平滑動に対する検討

前面水深 (m)	全波力 P(kN)	堤体摩擦抵抗力 μW (kN)	安全率 $\mu W/P$
1.0	41	639	15.6
3.0	369	507	1.4

表一3 (b) 堤体断面の円弧スベリに対する検討

抵抗力 (kN) $R=c \sum I + \tan \phi \sum W \cos \alpha$	起動力 (kN) $M=\sum W s \sin \alpha$	安全率 R/M
303.2	283.9	1.1

(2) 津波による破堤機構

破堤機構を明らかにするために、海岸堤防・護岸の津波による被災資料（北海道南西沖地震に対する北海道庁資料、日本海中部地震に対する秋田県庁資料）を収集し、整理すると、表一4に示すようになり、被災断面形状から判断して、津波の入射波力、あるいは背後からの流体力によって倒壊したと推定できるケースがほとんどであった。津波は高波と言うより洪水流に近く、繰返し波の作用に起因する洗掘・吸出しそれも、入射波力と静水圧が陸側受動土圧を上回れば倒壊すると考えるべきである。そして、重要なことであるが、入射時に耐えても、戻り流れ時に、海側に抵抗してくれる土圧が無いため、より低い流体力で倒壊し得ることが明らかになった。

表一4 津波による海岸堤防・護岸の被災事例一覧

（本堤防・護岸は一部例外を除いて、無筋コンクリート製である）

被災月日	被災海岸名	構造タイプ	破壊程度	破壊タイプ	天端高 (TP.m)	波高 (m)	周期 (s)	津波高 (TP.m)	越流量 (m³/s)
北海道 (1993年7月12日)	大成町平浜海岸	護岸(天端被覆一部無し)	全壊	波力による倒壊	6.00	6.0	480以上	8.0	4.87
	奥尻町海栄前海岸	自立堤防(天端被覆無し)	破堤	波力による倒壊	5.30	8.5	480以上	8.7	10.79
	奥尻町藻内海岸	自立護岸(天端被覆無し)	全壊	波力による倒壊	6.50	15.5	480以上	21.0	95.07
	奥尻町青苗海岸	自立護岸(天端被覆無し)	全壊	裏側海岸からの押し流しによる倒壊	4.50	10.5	480以上	12.4	38.23
秋田県 (1983年5月26日)	小泊漁港海岸	ブロック被覆護岸(天端被覆無し)	全壊	背後からの戻り流れによる倒壊	4.00		1200以上	5.3	2.55
	墨木漁港海岸	自立護岸(天端被覆無し)	半壊	背後からの戻り流れによる部分倒壊	3.70		1200以上	4.0	0.28
	岩館漁港海岸	自立護岸(天端被覆無し)	半壊	波力による部分倒壊	4.65		1200以上	7.0	6.12
	岩館漁港海岸	自立護岸(天端被覆無し)	半壊	波力による部分倒壊	5.65		1200以上	8.8	9.81
	峰浜海岸	自立護岸(天端被覆無し)	半壊	波力による部分倒壊	5.30		1200以上	6.9	3.52
	琴浜海岸	被覆護岸(用心鉄筋・天端被覆有り)	全壊	波力による表法被覆の破壊と裏込材流出	5.25		1200以上	8.5	10.09

3. 破堤限界値の検討

(1) 高波による破堤の場合

高波による被災事例は表-1に示してある。これらの事例の被災の程度を支配するパラメータとして、外力関係の波高、周期、波向、越波量、波力、海浜関係の浜幅、堤体前面の地盤高（前面水深）、底質粒径、そして、構造タイプと材質強度などが考えられる。今、外力に関するパラメータとしては、波力と相関のある波高、波高と周期の関数となる越波量を考慮する。

断面地形に関するパラメータとしては、表-1において、堤体前面に水深が存在し、浜幅0mの場合が多数あることから、前面の地盤高（前面水深）を採用する。底質は岩石海岸のデータが無かったため、砂・礫・小石に対するデータに限定される。構造タイプは典型的なコンクリート現場打ちとコンクリートブロック被覆の堤防・護岸に限り、矢板の根入長をパラメータとして考慮する。以上のパラメータの組合せで、表-1の被災データの分布を調べると、図-2、3、4を得た。なお、高波の越波量計算には合田の算定図を用いた。

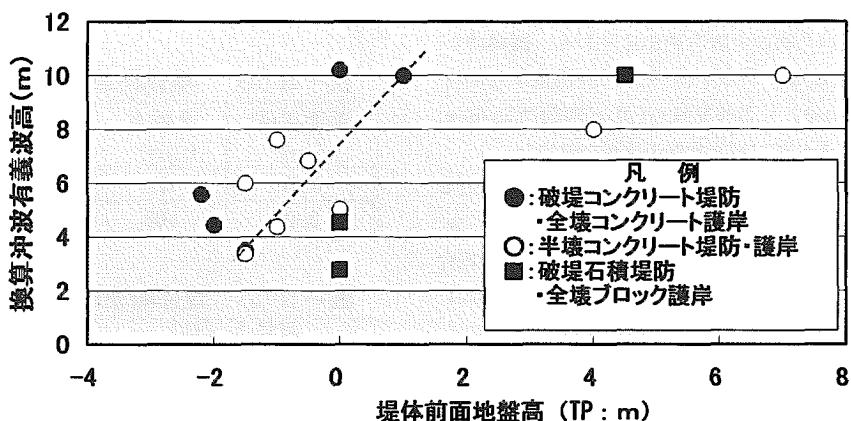


図-2 高波による被災事例の地盤高と有義波高の関係

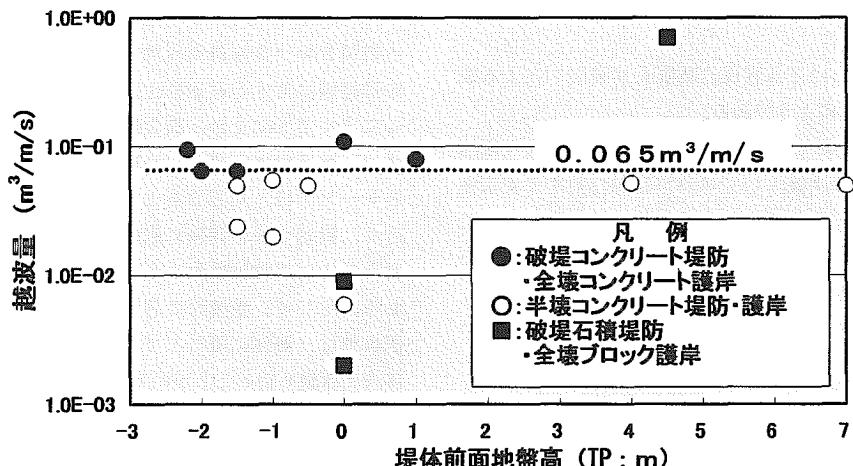


図-3 高波による被災事例の地盤高と越波量の関係

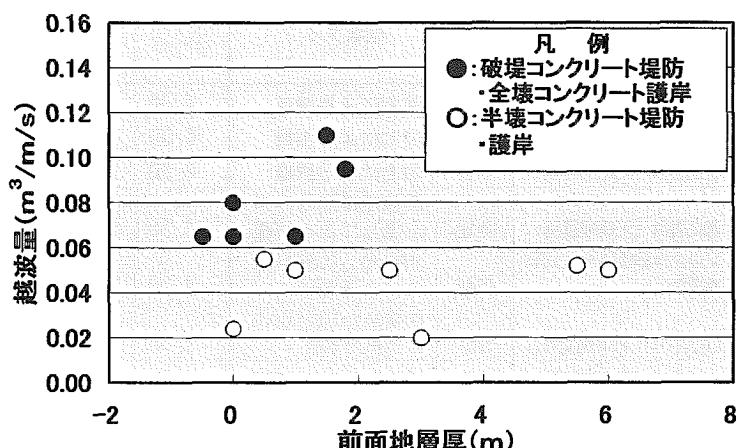


図-4 高波による被災事例の前面地層厚と越波量の関係

(図中の前面地層厚が負のケースは前面洗掘が矢板下端以下まで進んだことを意味する)

これらの分析から、以下の諸点が明らかになった。a) 図-2に示す換算沖波波高と前面の地盤高（マイナスは前面水深）との関係からは、コンクリート製堤防・護岸の被堤・全壊の限界として、図中の破線が引けそうである（堤体前面標高が高いほど、波高が大きくなれば、被堤を引き起こすに足る越波量や波力が作用しないと考えて、右上がりとした）が、周期などの違いによってばらついており、明瞭でない。

b) 図-3に示す単位幅・単位時間当たりの越波量と前面の地盤高との関係からは、コンクリート製堤防・護岸（三面張り・二面張り）の被堤・全壊の限界の目安として、越波量 $0.065\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ の破線が引けそうである（浜地形に関わらず、ある値以上の越波量や波力で壊れると考えた）。この値は、合田⁵⁾の三面張り堤防で被災の生じる限界値 $0.05\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ に対して妥当と考えられるが、二面張り護岸の限界値 $0.2\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ に対してより厳しい値となっている。しかし、鈴木ら⁶⁾は二面張り護岸に対して、台風時の被害大の限界値は $0.07\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ 、冬季風浪時の限界値は $0.03\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ としており、台風時の値は著者らの見出した値と同程度であり、冬季風浪時の値は、鈴木ら自身が述べているように、冬場の侵食・洗掘が十分に考慮されていない可能性が高い。実際に、表-1の小松海岸の越波量は、海浜断面地形に定期測量データ（主に静穏期に実施）を用いると低い値になり、被災直後の臨時測量データを用いると表-1の示す値になった。

c) 図-4に示す単位幅・単位時間当たりの越波量と矢板下端から前面地盤高までの地層厚（=前面地盤高-矢板深さ）との関係からは、コンクリート製堤防・護岸（三面張り・二面張り）の被堤・全壊領域は、地層厚 2m 以下の場合は越波量 $0.065\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ 以上と言えそうである。地層厚が 2m を超えると、限界越波量が増加する可能性があり、今後の検討すべき課題である。

(2) 津波による被堤の場合

津波による被災事例は表-4に示してある。これらの事例の被災原因を探るため、外力に関わるパラメータとしては、堤防・護岸前面での津波高と単位幅・単位時間当たりの平均越流量を考慮する。断面地形については、波長が非常に長い津波にとって、浜地形の違いの影響は小さいとして無視する。底質については、その違いが構造物周辺の洗掘に大きな影響を与えると思われるが、十分なデータが揃わなかったので、今後の課題である。構造タイプについては、コンクリート製自立堤防・護岸とコンクリート現場打ちかコンクリートブロックによる被覆護岸にほぼ区別できた。

なお、平均越流量 q は次式から求めた。

$$q = 0.55 \times \sqrt{gh} \times h \quad (1)$$

ここに、 g は重力加速度、 h は越流高（津波高一天端高）、 0.55 は補正係数である。この無次元補正係数は以下に述べる実験を行って決定した。

前述の造波水路に堤防模型を設置し、周期を水深に対する長波条件を満足するように 5sec とし、波高を $15\text{cm} \sim 19\text{cm}$ の 5 種類、水深を 37cm と 38cm の 2 種類で変化させて、一波当たりの越流量と越流高を実測した。図-5は越流量から求めた単位幅・単位時間当たりの平均越流量 q と $\sqrt{gh} \cdot h$ との関係をプロットしたも

のである。この図から(1)式に示す補正係数を 0.55 と定めた。

さて、図-6は、表-4に示す単位幅・単位時間当たりの平均越流量と海岸線での津波高で、堤防・護岸の被災限界値の分布特性を調べたものである。この図からコンクリート製堤防・護岸は、津波高が約 8m （平均越流量 $5\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ ）以上だと入射時に、津波高が $5 \sim 6\text{m}$ （平均越流量 $2.5\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ ）以下だと戻り流れ時に、被堤・全壊する危険性が高いと言える。既往の津波による破壊基準は家屋などに対して調査されており、首藤⁷⁾は津波高 8m で石造家屋が全壊する、飯塚・松富⁸⁾は家屋前面の浸水深 7m 以上で無・有鉄筋コンクリート家屋が大破するとしている。これらの全壊や大破が太い柱も壊れることを意味するならば、上記の堤防・護岸に対する被堤・全壊限界値が妥当である可能性は低くないが、さらに、データを追加して検討を続ける予定である。

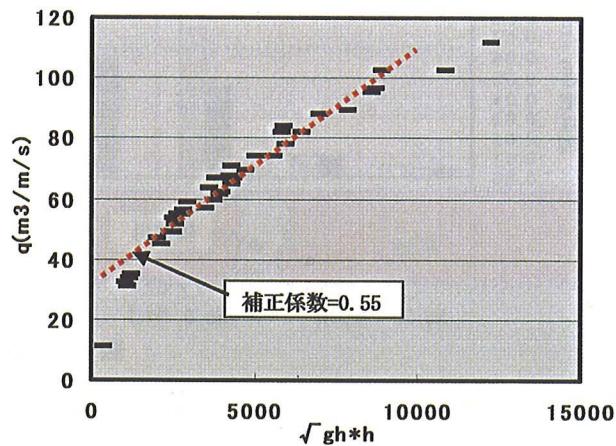


図-5 平均越流量 q と $\sqrt{gh} \cdot h$ の関係

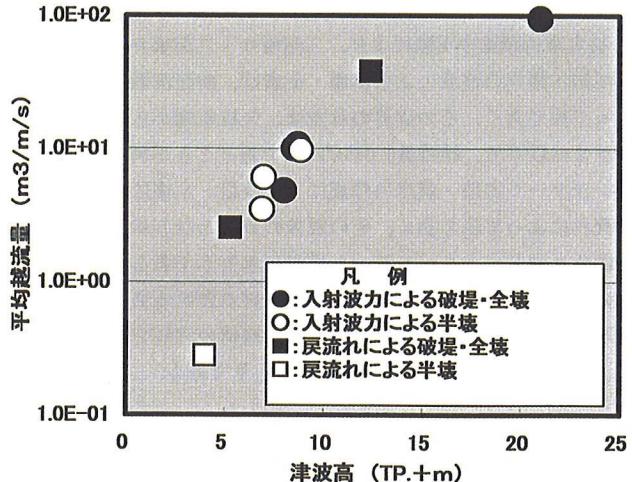


図-6 津波被災事例の津波高と平均越流量の関係

4. 高波被堤基準の現地海岸への適用

神奈川県平塚市～茅ヶ崎市の侵食海岸を対象に高波による危険度を、前節の成果を用いて評価する。

まず、（独）港湾空港技術研究所の全国波浪情報網による波浮の波浪データから、本海岸の10年確率波を有義波高 7m 、周期 14s と算出し、この高波に対する侵食の激しい地点の越流量を合田の算定図を用いて求め、表-5にまとめた。なお、将来の堤防・

護岸前面の地盤高は、同県県土整備部砂防海岸課提供の対象海岸各地点の侵食速度より将来の汀線位置を推定し、各地点の海浜勾配が将来も変わらないと仮定して地盤高へ換算した。

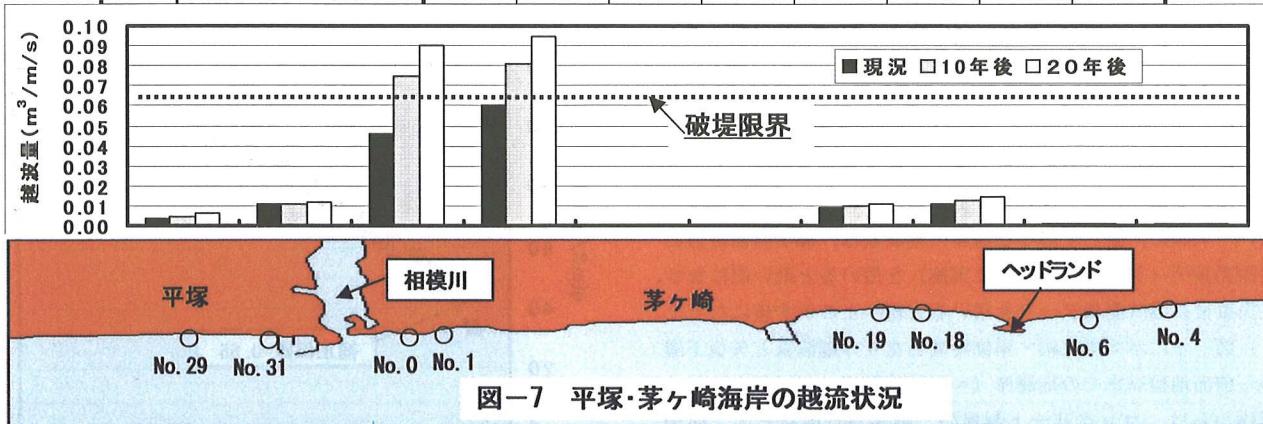
表-5の算定結果を図化した図-7から、現況で茅ヶ崎海岸の測

線No. 0～No. 1間が、破堤限界越流量0.065m³/m/sに迫っており、被災のおそれがある。実際に、本地先では堤防表法面が一部陥没しており、このまま放置していると、10年以内に破堤すると考えられ、現在対策工事が実施されつつある。

表-5 平塚・茅ヶ崎海岸の越流量分布の変化

波高・周期は10年確率波とし、潮位は相模湾のH.W.L (T.P. +0.74m) 時とする。

測線 No.	29	31	0	1	19	18	6	4
天端高 (T.P. +m)	7.96	6.66	5.76	5.76	7.03	6.72	5.15	5.18
現況	前面地盤高 (T.P. +m)	5.26	5.76	-1.74	-2.24	5.46	5.46	4.56
	越流量 (m ³ /m/s)	0.004	0.011	0.046	0.060	0.009	0.011	0.0008
20年後	前面地盤高 (T.P. +m)	3.06	5.06	-2.74	-2.84	4.19	4.01	1.87
	越流量 (m ³ /m/s)	0.0063	0.012	0.09	0.95	0.011	0.014	0.0012



5.まとめ

被災事例調査や実験により、三面張り・二面張りコンクリート堤防・護岸の高波による破堤・全壊は、前面洗掘と吸出しによって生じ易く、その限界の目安は、矢板先端からの前面地層厚が2m以下で、越流量0.065m³/m/sであることが判った。また、コンクリート堤防・護岸の津波による破堤・全壊は入射波力と戻流れによって生じ易く、その限界の目安となる津波高は暫定的に各々約8mと5m～6mと推測出来そうである。今後も、他の構造タイプや前面地盤が高い事例の資料収集、収集事例の不明事項の現地確認等に努め、被災機構の理解を深めることによって、海岸防災・減災に資するつもりである。

謝辞：本研究のために貴重な被災事例資料を提供して下さった国交省国土技術政策総合研究所海岸研究室室長 福濱方哉氏、（独）港湾空港技術研究所主席研究官 富田孝史氏、秋田県建設交通部河川課、石川県土木部河川課、静岡県土木部河川海岸整備室、北海道建設部砂防災害課、また、平塚・茅ヶ崎海岸の資料を提供して下さった神奈川県県土整備部砂防海岸課に深く謝意を表します。そして、調査当時に東海大学学生であった池田大介（現株式会社東洋スタビ）、金沢隆（現千葉窯業株式会社）、小杉重之（現菱和設備株式会社）の各氏には、実験、データ整理に際して全面的な協力を頂いたここに謝意を表します。また、本研究の一部は、2004年度工学部研究教育補助金の助成を受けて行ったものである。

参考文献

- 岩崎福久、田中茂信、佐藤慎司、名合宏之、前野詩朗、小谷裕司：海岸堤防の空洞化発生機構に関する実験的研究、海岸工学論文集第42巻, pp. 1026-1030, 1995.
- 伊藤正博：二次元海浜変形の特性とその相似則に関する研究、京都大学学位論文, 1986.
- 加藤史訓、佐藤慎司、田中茂信：波浪による海岸堤防周辺地盤の間隙水圧変動、海岸工学論文集第43巻, pp. 1011-1015, 1996.
- 本間仁、堀川清司、長谷直樹：海岸堤防（護岸）に作用する波圧の分布について、第10回海岸工学講演会講演集、土木学会, pp. 116-120, 1963.
- 合田良実：防波護岸の越波流量に関する研究、港湾技研報告 第9巻4号, pp. 3-41, 1970.
- 鈴木康正、平石哲也、望月徳雄、森川高徳：ヒアリングによる護岸の越波被災調査、海岸工学論文集第41巻, pp. 681-685, 1994.
- 首藤伸夫：津波強度と被害、津波工学研究報告第9号, pp. 101-136, 1992.
- 飯塚秀則、松富英夫：津波氾濫流の被害想定、海岸工学論文集第47巻, pp. 381-385, 2000.