

研究報告

高知県菜生海岸における被災事例調査



岡安徹也

調査第一部
上席主任研究員

研究の背景と目的

海岸保全施設に工学的な設計手法が取り入れられるようになるのは、1950年（昭和25年）に開催された海岸工学国際会議に始まる。以来、工学的な設計基準を改良しながら、海岸保全施設を整備してきた。そもそも海岸保全施設は、自然を相手とし、その施設規模は大きくなるため、実物大実験が不可能であり、また、波力は変動が大きく、その現象を十分に把握するために必要な経験は蓄積されていないことから、人知を尽くして築造した施設でも予想外の事象により被災を免れない宿命にある。したがって、被災原因を究明して、さらに技術改良を加え、施設の信頼性を高めていくことが求められている。

平成16年10月20日、台風23号の激しい高波により、高知県室戸市の菜生海岸において海岸堤防が約30mにわたって倒壊した。越波等により背後の家屋13戸が被災し、3名の方が亡くなるという惨事となった。この人的被害、家屋被災の原因は、堤防を乗り越えた水塊が背後の家屋等を被災させるとともに、堤防の倒壊・流失により被害を拡大させた。この堤防の被災形態は、これまでの海岸災害では見られないものであった。

本論文は、国土交通省及び高知県からの依頼を受け検討された“菜生海岸災害の原因究明”と“菜生海岸災害の教訓を踏まえた今後の取り組み”に関する検討内容を報告するものである。

調査内容及び結果

1

台風23号による菜生海岸の被災概要

菜生海岸は土佐湾沿岸の東側の室戸市室戸岬町高浜地

区に位置し、北の室津港及び菜生漁港（市）と南の室戸岬漁港（県）に挟まれた保全区域延長942mの海岸である。海岸管理者は高知県である。

被災推定時刻は、消防署への通報状況および物証（被災団地に残されていた動きの止まった時計14:40）より、平成16年10月20日14:30頃と推定される。

（1）海岸堤防の被災状況

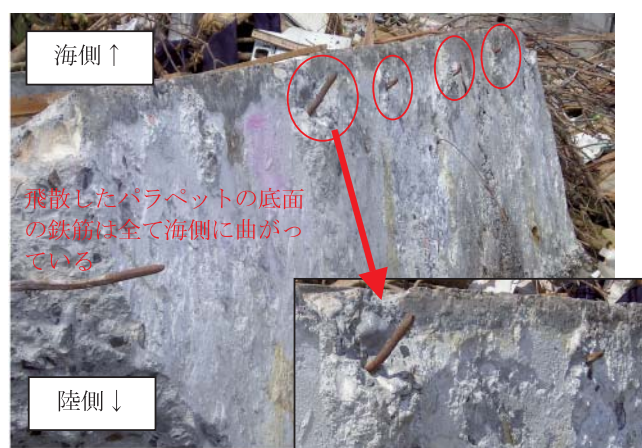
台風23号の通過により、海岸堤防のパラペット部（高さ1m）の延長29.8mが陸側に倒壊し、背後地の市営住宅側に散乱した。また、同時に堤防天端コンクリートが剥がされ背後地に散乱した。パラペット部の切断面並びに堤防天端の剥離面の損壊範囲は一致しているとともに、倒壊後に洗掘を受けたような痕跡は見られなかった。また、写真奥側（南側）のパラペットは、背後地まで散乱せず、その場で横に倒壊している状況であった。（写真－1参照）



写真－1 被災当日の17:00頃撮影の被災現場の様子

また、パラペット部の鉄筋の破断状況には、以下のよう
な特徴が見られた。(写真－2参照)

- ・飛散したパラペット側には、引きちぎられた鉄筋
(差し筋)が残っている
- ・上記の鉄筋は、全て海側に向かって曲がっている
- ・北側、南側ともに堤体側の鉄筋箇所はコーン破壊が
生じた跡が見られ、鉄筋が伸び切って破断している



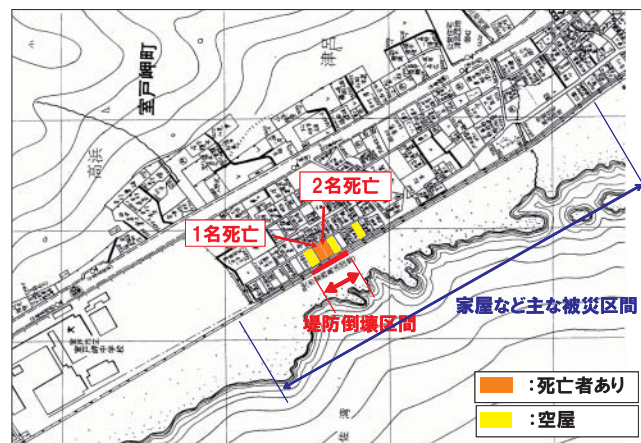
写真－2 鉄筋の破断状況

(2) 人的被害の状況

室戸市室戸岬町高浜地区における堤防の倒壊による死
者は高齢者3名であるが、倒壊した堤防そのものによる被
災ではなく、倒壊後の越波による海水の浸入・湛水によ
る溺死である。次に被災概要を示す。

- ・死者3名：男性2名（80歳、75歳）、女性1名（89
歳）が死亡

- ・重傷2名：男性1名（58歳）、女性1名（52歳）が重傷
- ・軽傷2名：女性2名（65歳、74歳）が軽傷



図－1 堤防倒壊区間と人的被害の状況

(3) 住家被害の状況

- ・全壊（5棟） ・一部損壊（4棟） ・床下浸水（3棟）
- ・半壊（3棟） ・床上浸水（6棟）

2 被災時の状況解析

(1) 気象概況

台風23号来襲時の気象状況は、気象庁室戸観測所の観
測記録（10/20 15:00）より、最大風速43.3m/s、風
向S、海面気圧（最低値）963hpaであった。

(2) 海象概況

台風23号来襲時の海象状況は、表－1のとおりである。

表－1 台風23号来襲時の海象状況

観測有義波高H1/3	13.55m	ナウファス室戸 波浪観測計 (13:50~14:10)
観測有義波周期T1/3	15.8s	
観測波向	208°	
観測潮位	T.P.+2.863m	気象庁室津波浪観測所 (14:39)
最大潮位時の 潮位偏差	約2.4m	
沖波波高H ₀	17.2m	波が海底の影響を受けな い水深200~300mでの波高 波浪変形計算により算出
沖波周期T ₀	15.8s	
沖波波向	198°	

室津波浪観測計で記録した被災時の波高値（速報値）
は、H1/3=13.55m, T1/3=15.8secであり、同観測

所における既往最高値 ($H1/3=9.45\text{m}$, $T1/3=10.7\text{sec}$, 1993年9月4日, 台風13号) を大きく上回る記録 (観測開始: 1990年1月) であり、且つ全国のナウファス観測史上 (1970年～) において、既往最大観測有義波高であった。

(3) 設計条件との比較

台風23号による被災時の来襲波は $H_o=17.2\text{m}$, $T_o=15.8\text{sec}$ であり、これは30年確率波である設計波に対し、概ね100年確率波相当の高波浪であった。(表-2 参照)

表-2 菜生海岸の設計波高の確率評価

室津港沖波 再現確率波高	確率評価						
	10年	20年	30年	40年	50年	75年	100年
沖波波高 H_o (m)	11.2	12.7	13.5	14.1	14.6	15.4	16.0
沖波周期 T (sec)	13.8	14.7	15.2	15.6	15.9	16.4	16.8

3 菜生海外災害の原因(堤防倒壊メカニズム)に関する検討

(1) 被災前の状況

- ・菜生海岸の堤防は、昭和39年から41年にかけて築造されたものである。
- ・被災前 (平成16年9月13日) に海岸管理者 (高知県) が実施した施設点検では、ひび割れなどの異常は確認されていない。

(2) 被災時の施設状況

- ・堤体 (パラペット部) が倒壊した範囲以外では、天端被覆工が損傷・破壊を受けていない。
- ・天端被覆工の破壊された範囲が洗掘を受けていない。
- ・以上より、越波では、天端被覆工は破壊されていないと想定される。
- ・天端被覆工の破壊された範囲と堤体 (パラペット部) の倒壊範囲がほぼ一致している。
- ・天被災箇所南側端部の天端被覆工の滑動が天端部で止まっている。

表-3 コーン破壊現象の特徴

	埋込長が長い場合 (今回)	埋込長が短い場合
		
現象	埋込長が使用鉄筋の引張耐力に対応した長さとなっている場合に発生する現象である	埋込長が使用鉄筋の引張耐力に対応していない長さの場合に発生する現象である
特徴	・コーンの深さが浅い ・鉄筋が浅い位置で破断する	・コーンの深さが深い ・鉄筋の埋め込み部分全体がコーン破壊を起し、鉄筋は破断しない

- ・以上より、パラペット部の滑動により天端被覆工がほぼ同時に削りとられたことが想定される。
- ・堤体側のコーン破壊は、コーンの深さが浅く、鉄筋が浅い位置で破断していることから、使用している鉄筋の埋め込み長は十分であったと推測されるが、鉄筋に作用する引張が破断強度以上であったため、埋込部の浅い位置で鉄筋の伸びが生じ、破断面からコンクリートにコーン破壊が発生したものと考えられる。

(3) パラペット部に作用する波圧の算定

堤防倒壊区間及びその周辺断面 (打上高の計算と同様断面) に対して、来襲波浪によるパラペットに作用する波圧力を富永・九津見の波圧算定式 (1971年S46年) を用いて算出し、この波圧力と堤体抵抗力 (堤体重量、背面土砂、鉄筋¹⁾) をもとに、せん断耐力照査及び引張耐力の照査を実施した。

また、築造時は富永・九津見の波圧算定式が存在しないため、断面照査はされていないが、計画波の波圧力が作用した場合について耐力照査を行った。(表-4参照)

表-4 パラペット部に作用する波圧算定の検討ケース

		検討目的	H_o^1	T_o	潮位	備考
Case1	被災時	被災時の状況解析	14.2m	15.8s	T.P. +2.86m	
Case2	計画波	計画波が作用した場合の検証	11.7m	15.2s	T.P. +2.20m	
Case3	過去10年最大波*	過去に被災しなかったことの検証	9.9m	10.9s	T.P. +0.04m	1993.9.4 台風13号

※過去10年間の最大波の計算波高はナウファス室津波観測計の観測記録より、碎波水深に深の換算沖波をエネルギー平衡方程式により算出して設定。

¹ 鉄筋径は実測値の平均値(腐食後の値) = $\phi 11\text{mm}$

表－５ 波圧算定結果一覧表

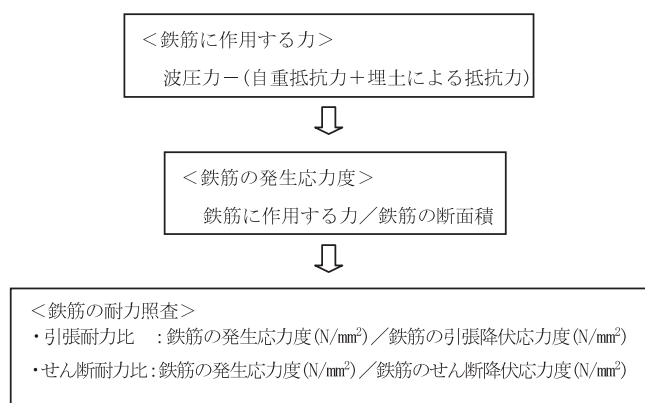
		No. 1断面	No. 2断面	No. 3断面	No. 4断面	No. 5断面	備 考
Case1	被災時	120.69	159.20	158.47	154.03	142.77	
Case2	計画波	71.63	110.05	100.24	105.87	71.15	
Case3	過去 10年 最大波	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1993. 9. 4 台風13号
	被災時／計画 波	1.68	1.44	1.58	1.45	2.01	

パラペットに作用する波圧力（波圧合力ΣP）の算定結果を表－５に示す。これらの結果より、被災時は、計画波の約1.4～2.0倍程度の波圧が作用していたと想定される。

なお、過去10年における最大波ではパラペットまで波圧が作用しなかったため、波圧力は0 k N/mとなった。

（４）パラペット部の耐力照査

堤体（パラペット部）の耐力は、以下の考え方に基づき、鉄筋に作用する外力及び発生応力度を算定し、鉄筋の耐力評価で行った。なお、鉄筋の耐力は耐力比（引張、せん断）を算定することにより照査した。

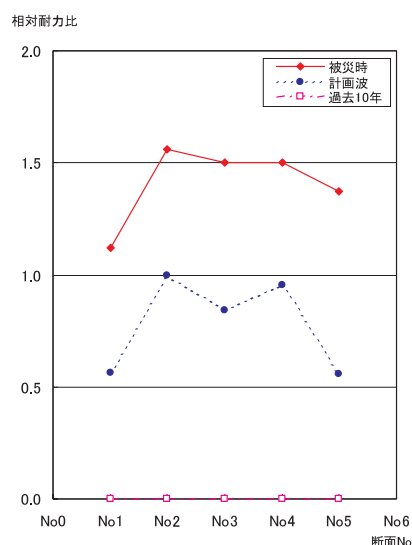


計画波で最大の耐力比が発生しているNo2断面の耐力比を1.0とした場合の相対耐力比の照査結果を図－２，図－３に示す。

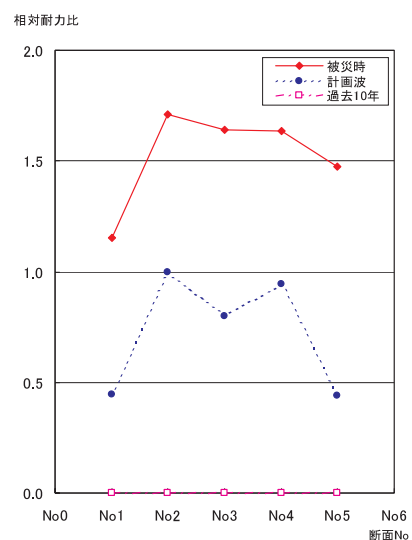
また、各断面と堤防損傷状況との関係を図2.5に示す。検討結果より、次のようなことが考察される。

・過去10年ではパラペットに波力が作用せず、計算結果だけで判断すれば、これまでの来襲波浪はパラペット部を損傷させるような波浪ではなかったと推測される。

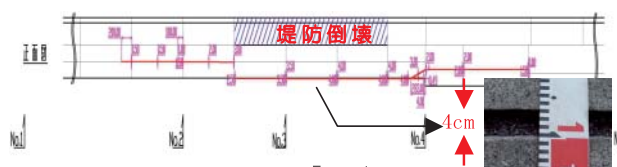
・倒壊及び損傷した区間（No2,No3,No4）は、それ以外の区間（No1,No5）より相対耐力比が大きい値となっている。



図－２ 引張耐力の相対耐力比



図－３ せん断耐力の相対耐力比



図－４ 各断面と堤防損傷状況（正面）

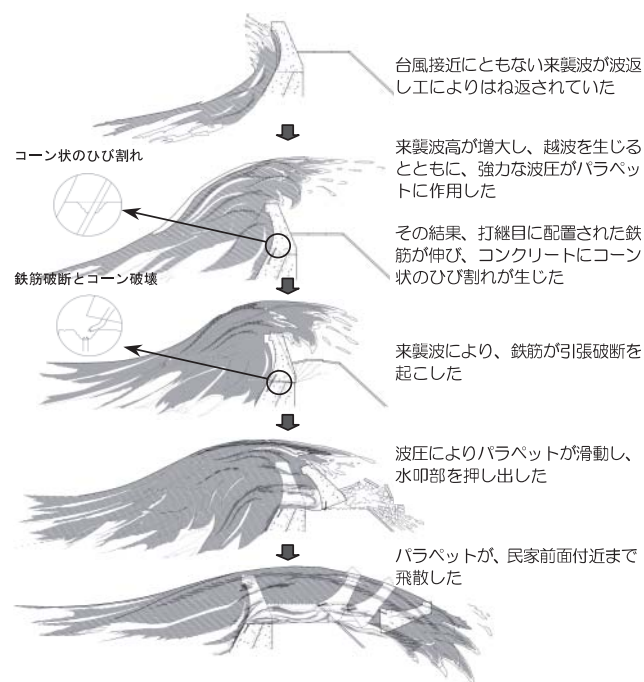
(5) 堤防倒壊のメカニズム

現地調査による堤防の被災状況、観測データの整理による被災時の海象状況（波浪・潮位）及び被災時の状況解析結果より、台風23号来襲による堤防倒壊の被災メカニズムは以下のように推測された。（図－5参照）

台風23号は、沖縄の南海上を北上、沖縄本島から奄美諸島沿いに進み、中心気圧950ヘクトパスカル前後で大型の勢力を維持したまま高知県土佐清水市付近に上陸し、室戸市付近に再上陸した。

このため、長時間、長距離にわたり強い風力が加わったことにより、潮位が上昇するとともに、高波が形成されて菜生海岸に来襲し、その規模は国内観測史上最大の波として、当海岸の計画波高を大きく越えるものとなった。

また、高波を減衰させるには、堤防前面の砂浜が重要な役割を担うが、堤防倒壊部の砂浜は、もともと周囲に比べ浜幅が狭い海岸地形であったため、波当たりが相対的に強かったと想定される。



図－5 堤防倒壊イメージ図

このような状況のもと、波が堤防を大きく越え、結果として、パラペット部には鉄筋の引張耐力を越える強い

波圧が作用し、堤防とパラペットのコンクリート打ち継ぎ目より、パラペットは、天端被覆工とともに一気に倒壊・流失したと考えられる。

4 災害復旧工法の考え方

計画波高を大きく越える波浪（超過外力）により被災したことを踏まえ、超過外力作用時でも壊滅的被害を回避することとする。

- ①従前の堤防高さを越えた堤防の整備は、施設依存の安心から防災意識の低下を招くことから、従前の堤防高さを踏襲する。
- ②計画波高（1/30確率波）に対しては、波浪打ち上げ高が計画堤防高を超えないよう沖合施設等を設置する。
- ③超過外力に対しては、波圧に対して堤防が倒壊しない構造に補強する。
- ④施設整備とあわせて、避難のための情報収集・伝達システムの構築などソフト対策を講じる。

今後の課題

菜生海岸災害の教訓を踏まえた全国緊急点検と減災対策に向けた今後の取り組みについての考えを以下に述べる。

1 全国海外堤防の緊急点検

菜生海岸災害の原因究明により新しく得た被災形態に関する知見をもとに、全国の堤防においても同様な危険性を有すると想定される海岸について国土交通省をはじめとする海岸4省庁で緊急点検を実施した。

具体的には、パラペットが倒壊した場合、背後地に立地する民家等に対して人的被害を含む甚大な被害を生じさせるおそれがある海岸を対象とし、点検内容は、海岸保全施設の監視体制、波高を増幅させる海岸侵食の進行状況、避難のための体制等である。

表－6 全国海外堤防の緊急点検実施箇所

点検対象海岸数	2, 862箇所(全国の海岸箇所数 11,848箇所)
点検対象海岸延長	2, 361km(全国の海岸保全区域延長 14,425km)

2 重点緊急点検の実施

全国緊急点検実施箇所のうち489箇所、511kmについては、重点緊急点検対象箇所とし、施設の変状等について詳細点検をおこなった上で、必要に応じ、海岸保全施設の強化及び維持補修を行うとともに、異常な高波浪が来襲した場合においても壊滅的被害にならない対策を講じる必要がある。

表－7 全国海岸堤防の重点緊急点検対象箇所

項 目	箇所数	海岸延長
①現状において護岸、堤防本体に損傷がある	247 (8. 6%) <2. 1%>	308km (13. 0%) <2. 1%>
②被災履歴があるにもかかわらず、補修改修がなされていない	49 (1. 7%) <0. 4%>	41km (1. 7%) <0. 3%>
③施工年次が古く、監視体制が整っていない	106 (3. 7%) <0. 9%>	71km (3. 0%) <0. 5%>
④海岸が侵食傾向にあるにもかかわらず、堤防以外の保全対策（人工リーフ等）がなされていない	125 (4. 4%) <1. 1%>	131km (5. 5%) <0. 9%>
①～④で重複している箇所 ^{注)}	38 (1. 3%) <0. 3%>	40km (1. 7%) <0. 3%>
合 計	489 (17. 1%) <4. 5%>	511km (21. 6%) <3. 5%>

※() : 全国緊急点検箇所に占める割合

< > : 全国の海岸保全区域に占める割合

注) 重複は2項目以下である

なお、重点緊急点検対象箇所として抽出したその他の海岸においても、海岸管理者が必要と判断した場合は、点検を行うものとする。

3 点検・監視体制の強化と施設設計法の確立

菜生海岸災害の教訓並びに全国緊急点検の結果を踏まえると、以下の課題についての的確な対策を講じていくことが望まれる。

《海岸堤防の継続的な点検・監視体制の強化》

- ・堤防本体（コンクリート）の損傷状況の確認
- ・施設全体の変状の確認
- ・損傷・返上の進行度合の確認

《パラペットなどの施設設計法の確立》

- ・海岸堤防の目標とする性能を明確にした上で、施設の性能を評価できる性能設計の確立
- ・施設の耐力評価方法（波力算定、配筋）の確立

おわりに

菜生海岸は、室戸台風（S9）、第二室戸台風（S36）と過去にも被災を受けている。今回の台風23号は言わば第三室戸台風に相当する規模であった。

往時と比較して被害規模は格段に縮小しているが、室戸台風の被災後に物理学者の寺田寅彦氏が「天災と国防」（昭和9年11月）の中で述べられた教訓が70年を経た今でも通ずることを肝に銘じ、防災に取り組む必要があることを改めて痛感した。以下にその一節を転載する。

『いつも忘れがちな重大な要項がある。それは文明が進めば進むほど天然の暴威による災害がその激烈の度を増すという事実である。（中略）今度のような烈風の可能性を知らなかったあるいは忘れていたことがすべての災厄の根本原因である事には疑いない。』

最後に、本検討を実施するにあたり、ご指導・ご協力を頂いた佐藤慎司委員長（東京大学大学院工学系研究科教授）をはじめ「菜生海岸災害調査検討委員会」の各委員に、末筆ながらここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高知県港湾局港湾課、1986年3月、「南海地域沖波水産調査報告書」
- 2) (社) 全国海岸協会、2004年6月、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」