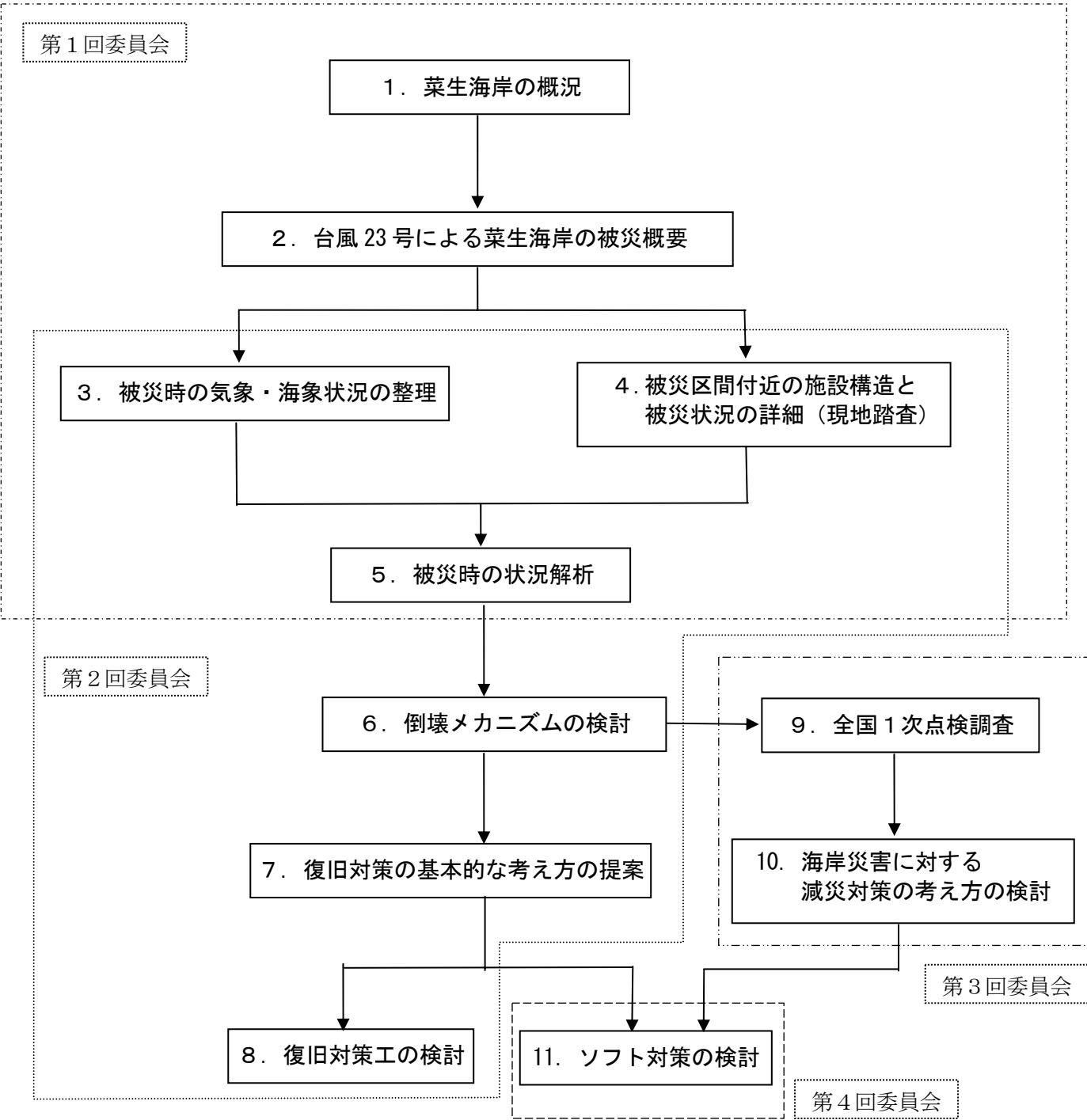


資料－5: 菜生海岸の堤防倒壊メカニズムと復旧対策について最終報告(案)



1. 菜生海岸の概要

菜生海岸 (L=942m) の位置 (土佐湾沿岸東側室戸市室戸岬町高浜地区) 等.

図－1 検討フロー

2. 台風 23 号による菜生海岸の被災概要

海岸保全施設堤防被災：約 30m 程度，被災日時(推定)：平成 16 年 10 月 20 日 14 時 30 分.

2.1 人的被害の状況

死者 (3 名) 重傷 (2 名) 軽傷 (2 名) .

2.2 住家被害等の状況

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

2.3 被災時間帯の室戸消防署の動きと避難の状況

室戸市で高波による越波のため，15 時 30 分に室戸岬町高浜地区 6 世帯 10 名に避難勧告. ⇒20 時避難勧告解除 (総避難者数 6 世帯 10 名) .

2.4 周辺の被災状況

菜生海岸周辺の被災状況⇒台風 23 号により菜生海岸以外でも多数の被災あり.

3. 被災時の気象・海象状況

3.1 台風 23 号の概況

台風 23 号の経路と気圧変化の整理，及び既往台風との比較.

3.2 気象状況

風向風速・海面気圧の整理 (気象庁室戸岬観測所)

・気象庁室戸岬観測所において最大風速 43.3m/s，風向 s，海面気圧 963hpa (15:00) という大きな値が記録された.

3.3 海象状況

3.3.1 潮位

潮位の観測記録の整理 (室津港潮位観測所・気象庁室戸岬潮位観測所)

・気象庁室戸岬観測所において観測値 T.P.+2.863m (14:39)，潮位偏差が約 2.4m という大きな値が記録された.

・これは当海岸で設定されている計画潮位 T.P.+2.20m を越える値であった.

3.3.2 波浪

波浪の観測記録の整理 (室津波浪観測計ナウファス，室戸沖 GPS 津波計)

・ナウファスの室津波浪観測計で波高 $H_{1/3}=13.55\text{m}$ ，周期 $T_{1/3}=15.8\text{sec}$ の有義波が記録された.

・この値は，同観測所における既往最高値 ($H_{1/3}=9.45\text{m}$ ， $T_{1/3}=10.7\text{sec}$ ，1993 年 9 月 4 日，台風 13 号) を大きく上回る記録であり (観測開始：1990 年 1 月)，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.

・台風 23 号の来襲により，同じ土佐湾内のナウファス高知波浪観測地点やその他 7 地点において，既往最大有義波高が観測された.

・東大地震研究所が室戸沖 13km の海底に設置している GPS 津波計で観測された被災時の波高値は $H_{1/3}=15.0\text{m}$ ， $H_{\text{max}}=26.15\text{m}$ ， $T_{1/3}=13\sim 15\text{sec}$ であり，室津波浪観測計及び GPS 津波計における史上最高波を更新する記録となった. (GPS 津波計観測開始：2004 年 4 月)

3.3.3 高波浪来襲の要因についての考察（既往台風との比較）

台風 23 号は、以下の条件が重なったことから、過去の台風に比べて強大な超過外力（概ね 100 年確率波相当の波浪）を発生させたものと考えられた。

- ・日本に接近してから陸域沿いを進んだことで、うねりを打ち消す北西系の風が海域に吹き込みにくい状況であった。これは、室戸市が過去二回被害を受けた大きな台風と類似した経路を辿っていた。
- ・太平洋上（波浪発達エリア）での停滞時間が長く、波浪が発達しやすい環境にあった。
- ・過去の台風と比較して、暴風圏、強風圏が異常に大きかった。

3.4 被災時の波浪条件の算定

3.4.1 被災時の沖波波高

室津波浪観測計（水深 26.8m）における被災時の有義波を用いて、波浪変形計算（エネルギー平衡方程式）により沖波波高を算定した結果、沖波波高は $H_o=17.2\text{m}$ 、 $T=15.8\text{sec}$ と算出された。

3.4.2 設計条件との比較

台風 23 号来襲時に発生したと考えられる沖波波高 $H_o=17.2\text{m}$ 、 $T=15.8\text{sec}$ は、菜生海岸の 30 年確率波である設計波（ $H_o=13.5\text{m}$ 、 $T=15.2\text{sec}$ ）に対し、概ね 100 年確率波相当の高波浪であった。

3.4.3 沖波波高と土佐湾内の沖波再現確率波高との比較

台風 23 号来襲時に発生したと考えられる沖波波高 $H_o=17.2\text{m}$ 、 $T=15.8\text{sec}$ は、土佐湾内の 100 年確率波高を大きく上回る記録であった。

4. 被災区間付近の施設構造と被災状況の詳細（現地踏査）

4.1 堤防の構造

4.2 被災範囲と堤防背後の被災状況及び人的被害の整理

堤防倒壊区間のみならず、周辺区域においても家屋の被災が生じていた。

4.3 堤防被災状況の詳細（現地踏査）

4.3.1 堤防の倒壊状況

- ・堤防倒壊区間を中心に両隣の堤防にも連続して打継ぎ目に隙間が発生していた。
- ・最大隙間幅は堤防倒壊区間の下段で 4cm 程度であった。
- ・堤体（パラペット）が倒壊した範囲以外では、天端被覆工が損傷・破壊を受けていなかった。
- ・天端被覆工の破壊された範囲はほとんど洗掘を受けていなかった。
- ・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た。
- ・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た。
- ・なお、平成 16 年 9 月 13 日に海岸保全区域台帳の再整備のために現地踏査を実施した際には、目地等の隙間は確認されていない。

4.3.2 堤体(パラペット)の飛散状況

4.3.3 鉄筋の破断状況

- ・飛散したパラペット側には、引きちぎられた鉄筋（差し筋）が残っており、これらは全て海側に向かって曲がっていた。
- ・北側、南側ともに堤体側の鉄筋箇所はコーン破壊（次頁参照）が発生した跡が見られた。

4.3.4 家屋などの被災状況

5. 被災時の状況解析

5.1 経年的な地形変化の照査（空中写真による判読）

1947 年から近年までに撮影された 5 ヵ年の空中写真の比較より、当海岸では海側へ徐々に宅地開発が進み、周辺では漁港・港湾施設が拡大するなどの変化がみられた。一方、当海岸の汀線形状については岩礁海岸であることもあり、大きな変化はみられなかった。

5.2 地形的な特徴の整理（深淺測量・横断測量結果より）

堤防倒壊箇所前面の海浜及び海域について、以下のような地形的な特徴がみられた。

- ・T.P. -10m 以深では、堤防倒壊箇所の北側が沖にむかって張り出した地形形状を呈している。
- ・T.P. -10m 以浅では、堤防倒壊箇所付近を中心に非常に緩やかな凹状の地形形状を呈している。
- ・堤防倒壊箇所前面では、他と比べて T.P. -2.0m の等深線が陸側に近づいており、前浜幅は相対的に狭い。
- ・堤防倒壊区間の前浜は周辺区域と比べて相対的に狭く、前浜幅は 30m 程度で、勾配は 1：7～1：8 程度である。

5.3 被災時の被災箇所周辺前面海域の状況（波高分布）

被災時の被災箇所前面海域を含む周辺海域の波高の空間分布を把握するため、波浪変形計算（非定常緩勾配不規則波波動方程式）を実施した。これより、被災時の被災箇所前面海域の状況は周辺海域と同程度の波浪状況であったと考えられるが、計算結果並びに汀線付近の地形的な特徴により、以下の様な特徴が読み取れた。

- ・被災箇所の南側（A、室戸岬側）は、室戸岬漁港の防波堤による波の遮蔽効果と岩礁などの浅い海底地形が沖合に広がっているため、波高の比較的低いエリアが沖に広がっている。
- ・被災箇所前面は海岸形状がやや凹状であるということもあり、波高 4.0～6.0m の波高ランクのエリアが陸側に存在する。

5.4 被災時の波の打上げ高さ

来襲波浪による堤体への打上高を、中村らの改良仮想勾配法(1972 年 S47 年)を用いて算出し、堤防倒壊区間及び周辺との比較を行った。

- ・被災時では全ての断面において、来襲波による打上高さは堤防天端高（T.P. +9.8m）を大きく越える結果となった。また、これは計画波による打上高の約 1.2 倍であった。
- ・これらのことから、被災時では堤防倒壊箇所だけでなく、その周辺においても来襲波が堤防を越えていたと推測された。

5.5 被災時の来襲波によるパラペットに作用する波圧と耐力照査

堤防倒壊区間及びその周辺断面に対して、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をもとに、波浪条件の異なる 3 ケース（被災時、計画波、過去 10 年最大波）について、せん断耐力照査及び引張耐力照査を実施した。

- ・引張耐力は、被災時の被災箇所付近では、引張が計画波の約 1.5 倍程度、せん断が計画波の約 1.7 倍程度の耐力比となっていることから、被災時は計画を大きく上回る波圧力（1.4～2.0 倍程度）が作用したと推測された。
- ・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で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た。
- ・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た。

6. 倒壊メカニズムの検討

6.1 堤防倒壊に至るまでの状況整理

堤防の倒壊に至るまでの状況を次のように整理した。なお、堤防倒壊時刻は消防署への通報状況及び物証より 10 月 20 日 14:30 前後と推定された。

- ・台風 23 号通過時前後の菜生海岸には、国内観測史上最大（室津波浪観測史上最大）の波（室津波浪観測計 13:50～14:10 $H1/3=13.5\text{m}$, $T=15.8\text{s}$ ）が来襲した。
- ・この観測有義波高は沖波で $H_o=17.2\text{m}$ と推定され、これは当海岸において設定されていた計画波高（ $H_o=13.5$, $T=15.2\text{s}$ ）を大きくこえる値であり、且つ、当海岸における 1/100 確率波（ $H_o=16.0\text{m}$, $T=16.8\text{s}$ ）をも越える値であった。
- ・潮位については、気象庁室戸岬観測所において観測値 T.P. +2.863m（14:39）、潮位偏差が約 2.4m という大きな値を記録した。なお、これは当海岸で設定されている計画潮位 T.P. +2.20m を越える値であった。
- ・このような海象状況下で、沖で碎波しながら岩礁部と砂利海岸を遡上した来襲波は、被災箇所を含め菜生海岸全域にわたって堤防に打ち上がっていた状況であった。
- ・ここで、被災箇所の前面付近は水深 2m 付近のコンターが大きく陸側に接近しており、また、周囲に比べて浜幅が狭く、汀線（岩礁部）が凹状の形状を呈していること等から、周囲と比較し波あたりが強く、被害が甚大であったと考えられた。
- ・波浪が強まるにつれて、被災箇所では、来襲波が堤防を大きく越波し、かつ強く打ちつけることによって、パラペット部が倒壊した。

6.2 パラペット部の倒壊要因の整理

被災状況及び状況解析より、パラペット部の倒壊要因を次のように整理した。

- ・鉄筋が伸びきって引張により破壊したと思われる。
- ・コーン破壊の状況から鉄筋の埋込長（付着）は十分であったと思われる。
- ・堤体の滑動により天端被覆工が削り取られたことが想定される。
- ・鉄筋の引張耐力は、被災時の被災箇所付近では、引張は計画波の約 1.5 倍程度、せん断は計画波の約 1.7 倍程度の耐力比となっていることから、今回は、計画を大きく上回る波圧力が作用したと推測される。
- ・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で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、それ以外の区間より相対耐力比が大きい値となっている。

6.3 堤防倒壊メカニズム

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（イメージ図）を推定した。

7. 復旧対策の基本的な考え方の提案

菜生海岸における設計波高が 1/30 確率波であったのに対し、今回災害をもたらした波浪（沖波換算）は 1/100 確率波を超える超過外力であったことから、復旧対策工の基本的な考え方を以下のように整理した。

- ・堤防の高さは、従前の堤防高さを越えた堤防の整備は、被害ポテンシャルの増大を招くことから、従前の堤防高さを踏襲する。
- ・計画波高（1/30 確率波）に対しては、波浪打ち上げ高が堤防天端高を超えないよう施設整備を行う。
- ・今回来襲した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。
- ・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。

このような考えのもと、被災原因とされる波圧力を低減する 3 案（①嵩上げ＋堤防補強案、②堤防前面消波施設設置＋堤防補強案、③沖合消波施設設置＋堤防補強案）の対策工を抽出し、比較検討を行った。

8. 復旧対策工の検討

堤防本体の復旧対策工の検討を行った。

8.1 復旧方針

当海岸の被災箇所の復旧方法は、以下に示す考え方により、今回来襲した規模の外力に対し「既設構造を補強する方法（パラペットを中心とする堤体本体を強固なものにする）」を基本とした。

- ・被災箇所の外観調査の結果や、応急対策（トン袋を天端に上載）による天端構造の変状がみられないこと等から、堤体内が空洞化している可能性は低いと判断される。
- ・被災堤防の法先は、周辺が岩礁帯であり岩着されていると考えられることから、吸出し等の可能性が低いと判断される。
- ・堤体を新規に施工する場合、仮設堤防の設置など大掛かりな仮設工事が必要とされる。
- ・被災地の周辺状況より、大型重機の搬入が困難であることから、陸側からの大きな消波ブロックの設置などが不可能である。

8.2 堤体本体の補強対策ポイント

堤防（パラペット部）の倒壊メカニズムから、パラペット部を中心とした堤防本体の補強対策ポイント及びその具体的な対策案を示した。

8.3 復旧範囲について

復旧範囲は、堤防倒壊区間を含む堤防損傷区間の両端から既設とのすり付けを考慮した延長約 100m を基本とした。

また、この範囲以外の隣接堤防においても、堤防本体に劣化がみられ、今回の被災箇所と同程度に浜幅が狭い箇所については、そこでの相対耐力比の結果によっては復旧対象とすることが望ましいこととした。

8.4 復旧対策工の比較検討

堤防本体の補強対策ポイントをもとに、3 案（①鉄筋補強案、②扶壁補強案、③支持杭補強案）の堤体の復旧対策工案を検討し、比較検討を行った。

9. 全国緊急点検調査（第3回委員会 検討内容）

9.1 点検目的

9.2 点検対象

9.3 主な点検項目

9.4 記入要領

9.5 点検結果

10. 海岸災害に対する減災対策の考え方（第3回委員会 検討内容）

10.1 今後の重点点検調査の基本的な考え方

10.2 全国緊急点検結果を踏まえた監視体制及びソフト対策の考え方

10.3 海岸災害に対する減災対策の考え方

10.4 海岸災害に対するソフト対策のフィージビリティスタディ

菜生海岸をモデルとしたソフト対策の検討。（第4回委員会の検討内容）