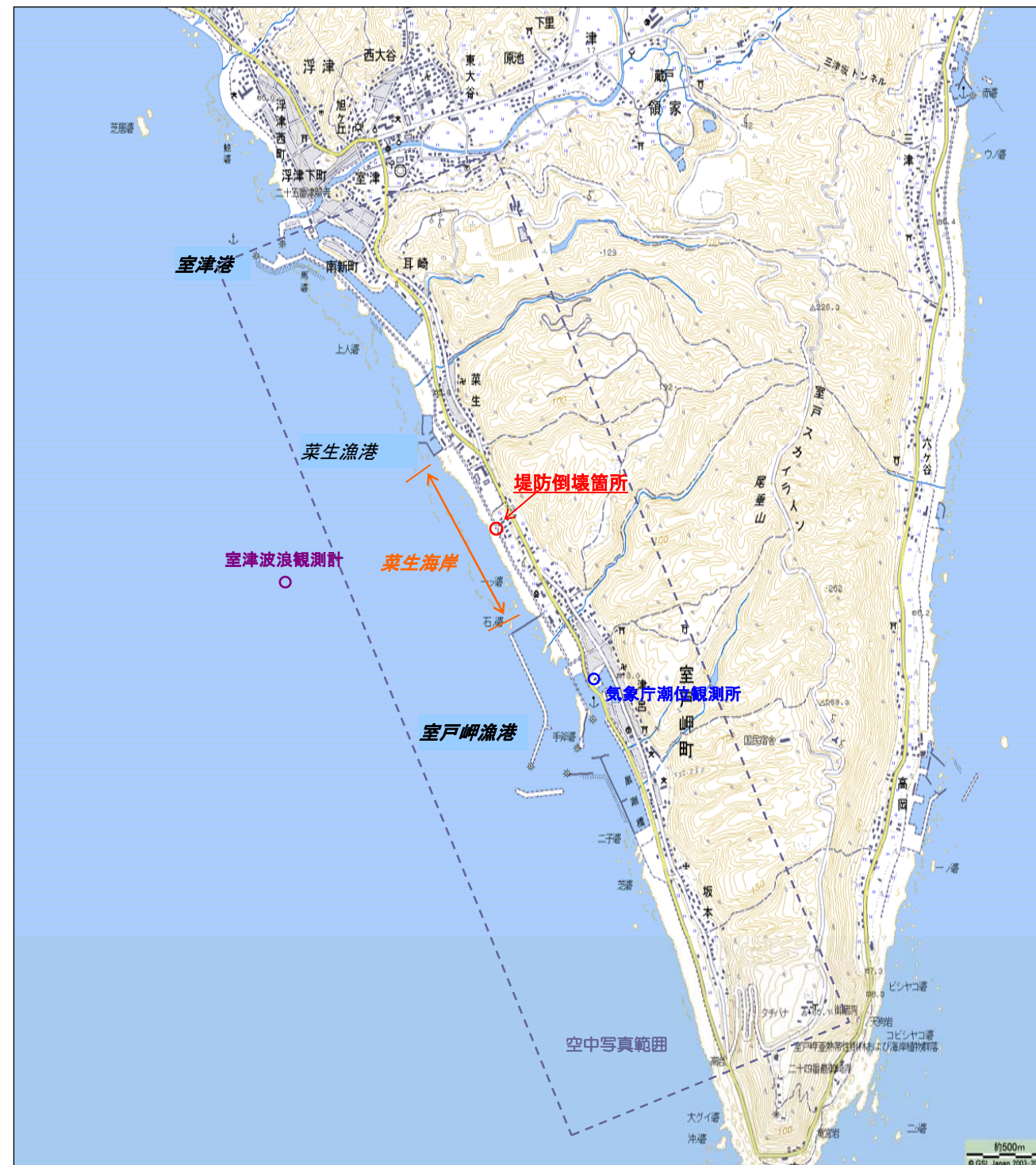


倒壊メカニズムについて（中間報告）

1. 菜生海岸の概要（第一回委員会資料補足）

1.1 空中写真による経時変化

- ・ 1947 年から近年までに撮影された 5 ヶ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る。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い。



地図：国土地理院

図 1-1 菜生海岸位置図

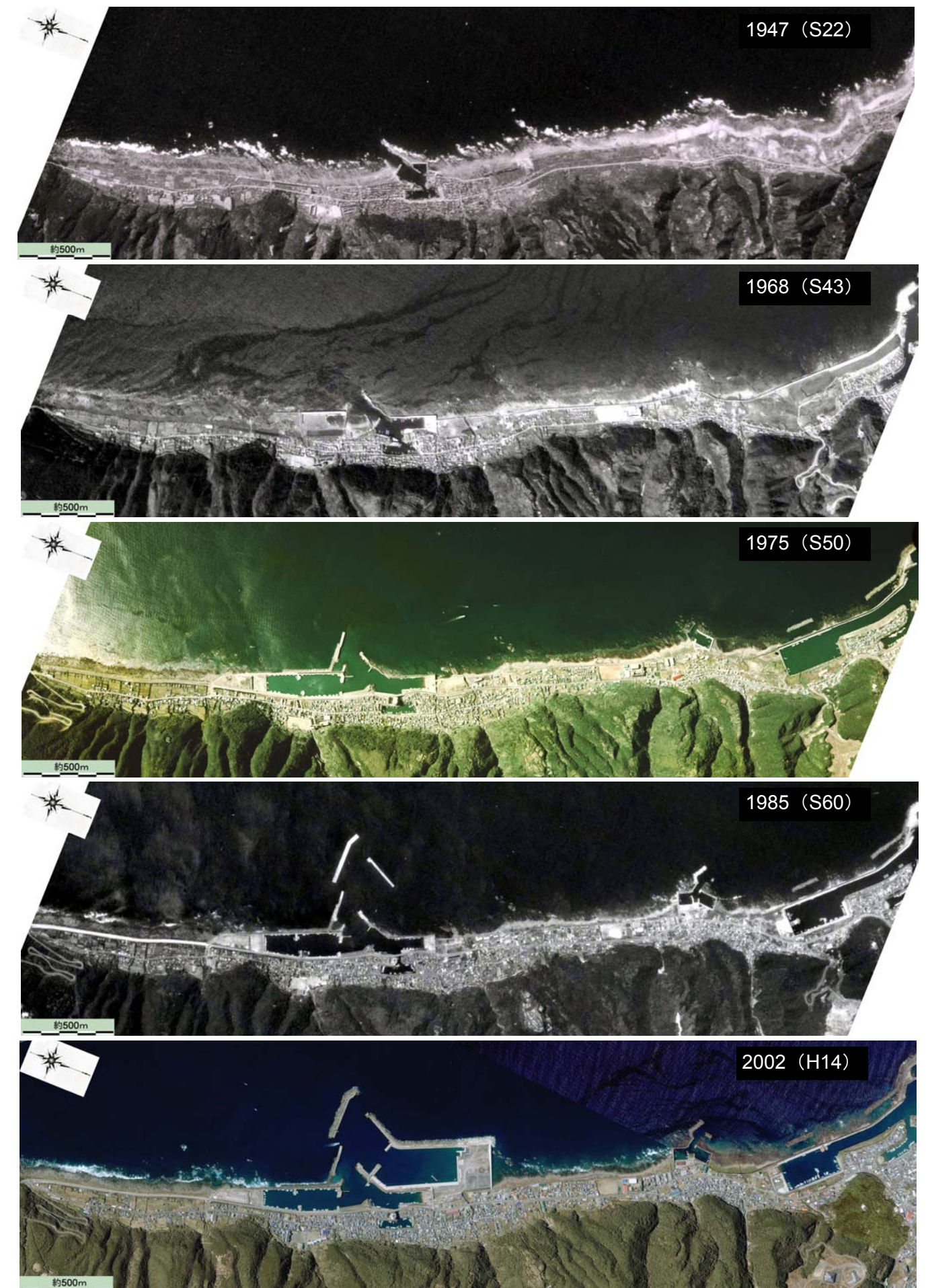


図 1-2 空中写真による経時変化

1.2 地形状況（深浅測量結果）

堤防倒壊箇所前面海域の地形形状は、全体的にほぼ平行等深線であるが、以下のような特徴がみられる。

- ・ 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。

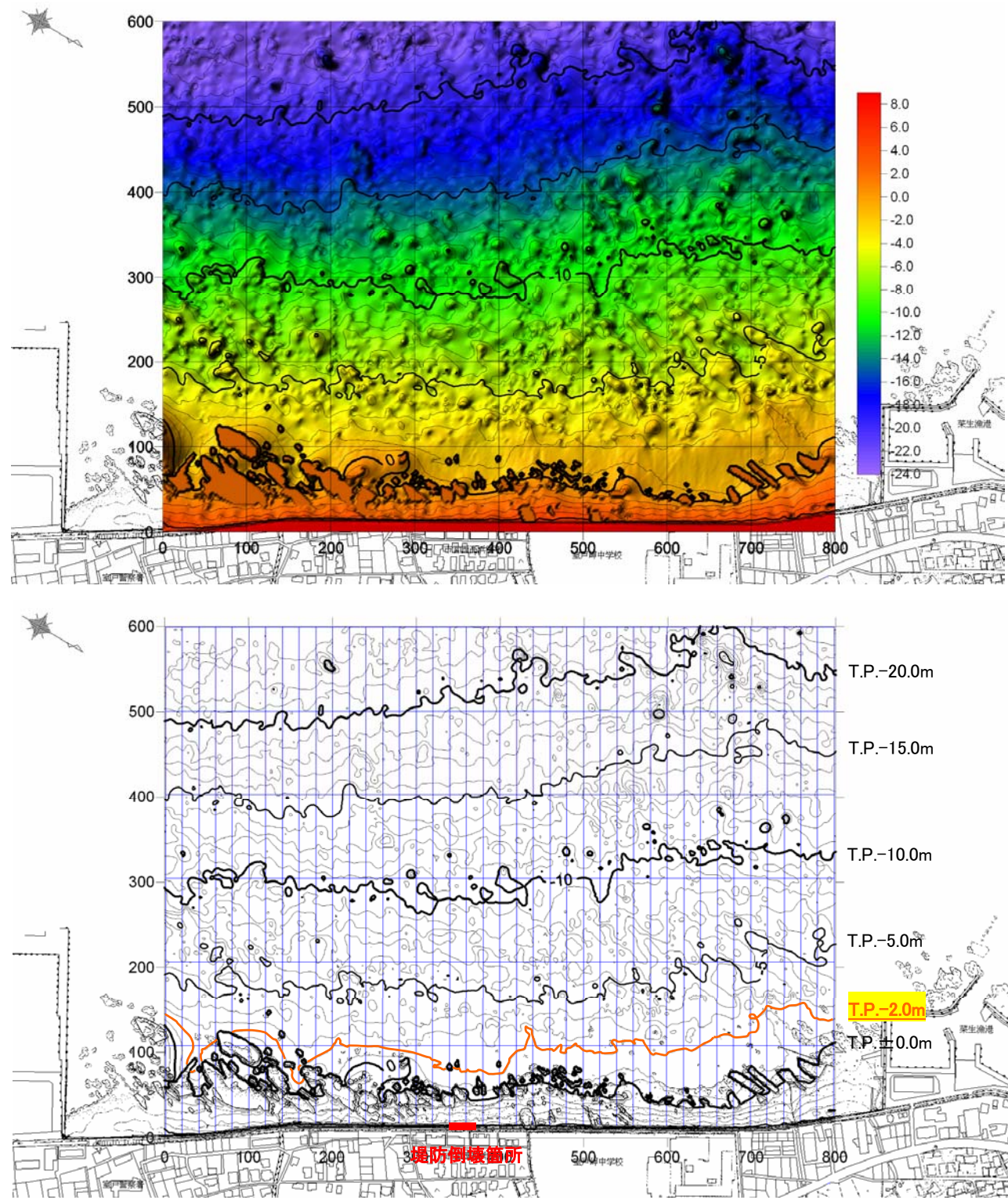


図 1-3 深浅測量結果

測量年月: 2004 年 11 月

2. 台風 23 号による菜生海岸の被災について（第一回委員会資料補足）

2.1 被災状況及び人的被害の整理

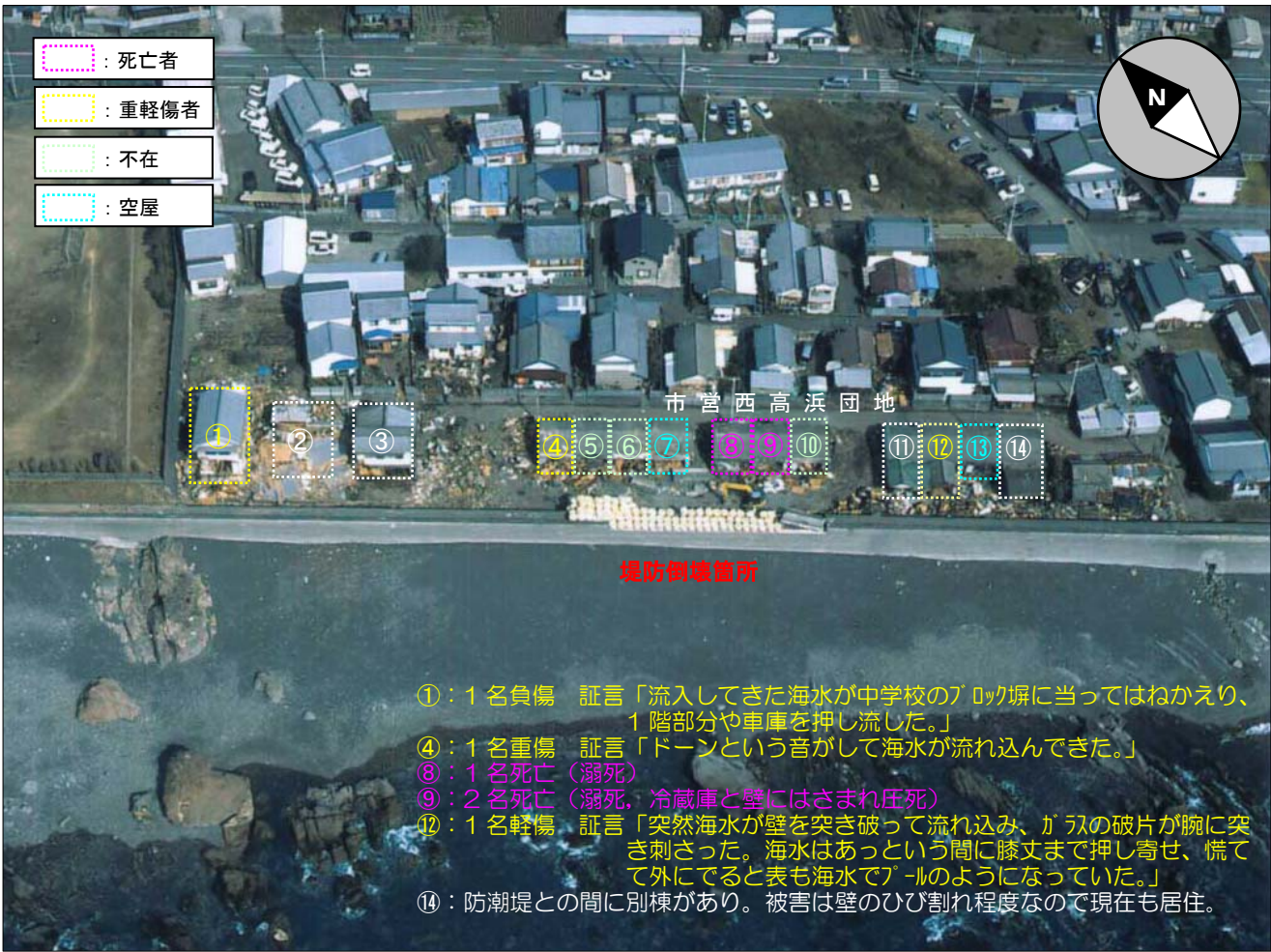


図 2-1 被災状況及び人的被害

情報提供：高知新聞社

2.2 被災時間帯の室戸消防署の動き

14:05	→通報：「波が民家へ打ち上げているので現場へ来てほしい」（高浜地区の住民より） →消防は他地区へ出動しており、この通報には対応できず。
14:36	→通報：「西高浜団地近くの住宅で高波被害を受け、逃げ遅れた人がある」 →通報：「岬港付近の国道上で人が倒れている」 →消防車、救急車が出動。
14:47	→14:36 の通報について、既に到着していた地元消防分団により、救出済み。（逃げ遅れは、室戸岬町の縫製工場付近の住民） →通報：「西高浜団地で新たな負傷者が発生」
14:57	→消防が現場到着。 →④、⑫の居住者（計 2 名）を救出し、室戸病院へ搬送。 →他の不明者の捜索を開始。
15:12	→室戸市の広報車が現場に到着。
15:28	→⑨の居住者（2 名のうちの 1 名）を救出。室戸病院へ搬送するが、既に死亡（圧死）。
15:30	→⑧の居住者（1 名）を救出したが、死亡（溺死） →室戸市災害対策本部が避難勧告を出す。
15:55	→⑨の居住者（2 名のうちの 1 名）を救出したが、死亡（溺死）。

※被災団地に残されていた時計は 14 時 40 分で止まっていた。

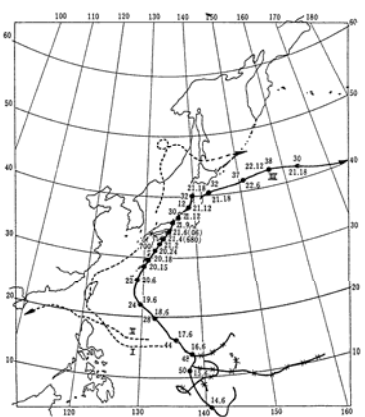
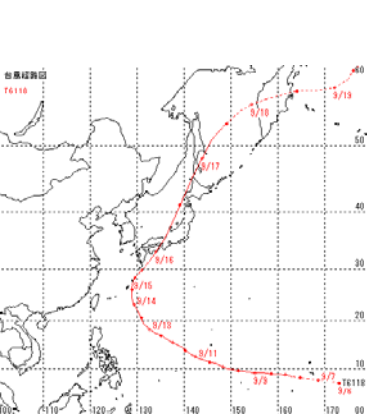
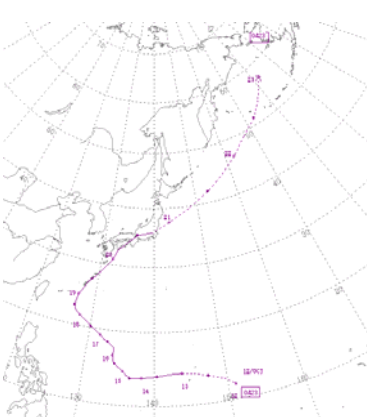
情報提供：高知新聞社

3. 被災時の気象・海象状況

3.1 被害をもたらした二つの台風と台風 23 号の比較

- ・ 室戸市は過去二回大きな台風により被害を受けている。
- ・ 台風 23 号を含め三つの台風は、室戸市に上陸するまでどれも類似した経路を辿っている。

表 3-1 室戸に被害をもたらした三台風

	室戸台風	第二室戸台風	台風第0423号(TOKAGE)
台風経路			
上陸年月日時 (室戸岬)	1934(S9)年9月21日 09:00すぎ	1961(S36)年9月16日 09:00すぎ	2004(H15)年10月20日 14:30すぎ
中心気圧(hPa)	911.6	930.4	955.0
最大風速(m/s)	60	66.7	40
最大瞬間風速(m/s)	〈不明〉	≥ 84.5	59
大きさ	大型	大型	大型
強さ	〈不明〉	強い	強い
波浪	「海水天を蹴って荒れ狂い、大海の激浪の高さ四十尺(十二メートル)、轟然として海岸に來襲すること三回」 (記念碑「昭和九年颱風海嘯記念」)	推算値:H1/3=15.8m, T1/3=16.8 (洋上分布メッシュNo.43室戸岬付近)	観測値:H1/3=13.55m, T1/3=15.8 (ナウファス室津波浪観測地点)
全国の被害状況	死者2866人、負傷者15361人 全壊家屋27303戸、浸水家屋392023戸 (「わが国の災害誌」社)全国防災協会)	死者194人、負傷者4972人 全壊家屋15238棟、浸水家屋384120棟 (気象庁HP)	死者92人、負傷者486人 全壊家屋192棟、浸水家屋62164棟 (総務省HP)
室戸の被害状況	死者63人、負傷者310人 (記念碑「昭和九年颱風海嘯記念」)	死者なし、負傷者17人 (高知県)	死者3人、負傷者4人 全壊家屋5棟、浸水家屋3棟 (高知気象台HP)

3.2 波浪観測記録について

(1) 室津波浪観測地点の記録

- ・ ナウファス室津波浪観測地点の超音波式波浪観測計は欠測。
- ・ 水圧式波浪観測計の記録は毎偶数正時の前後 10 分の計 20 分間。連続観測は記録していない。
- ・ 14 時 (13:50~14:10) 及び 16 時 (15:50~16:10) には、記録限界値 (5~5kg/m²) を越えた観測記録が存在した。
- ・ この記録をもとに当時の有義波高 (H_{1/3}=13.55m, T_{1/3}=15.8s) の推算を実施している。よって、実際はさらに大きな波高が来襲していた可能性も考えられる。

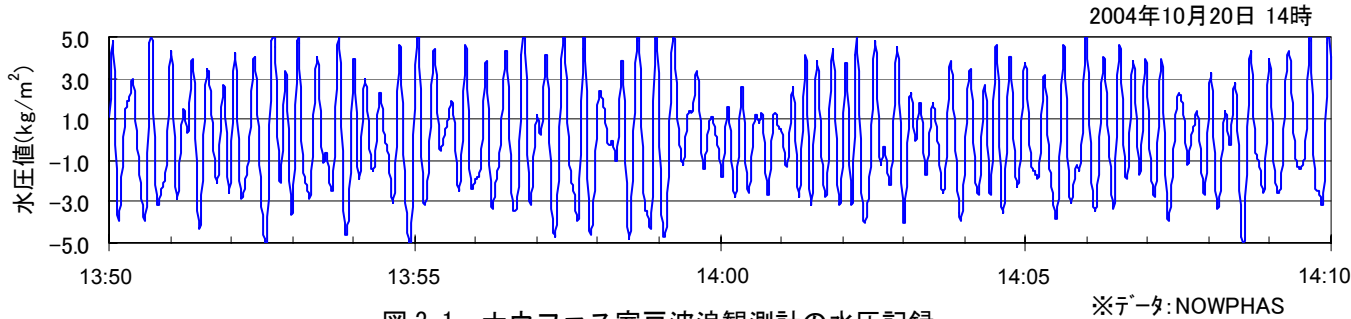


図 3-1 ナウファス室戸波浪観測計の水圧記録

(2) 台風 23 号による沿岸波浪観測結果

- ・ 室津では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が観測された。
- ・ 同じ土佐湾内のナウファス高知波浪観測地点においても既往最大観測有義波高が観測された。
- ・ この室津・高知以外にも、台風 23 号の来襲により 5 地点 (計 7 地点) において、既往最大有義波高が観測された。

図 3-2 既往最大観測有義波高が観測された地点

	中城湾	高知	室津	小松島	潮岬	伏木富山	富山
有義波高 H1/3(m)	11.93	12.49	13.55	3.98	10.22	6.53	6.75
有義波周期 T1/3(s)	13.6	16.4	15.8	7.8	15.7	8.4	8.3
設置水深 h(m)	46.0	25.0	26.8	21.5	55.6	46.6	19.6
発生日時	19日12時	20日14時	20日14時	20日4時	20日18時	20日22時	20日22時

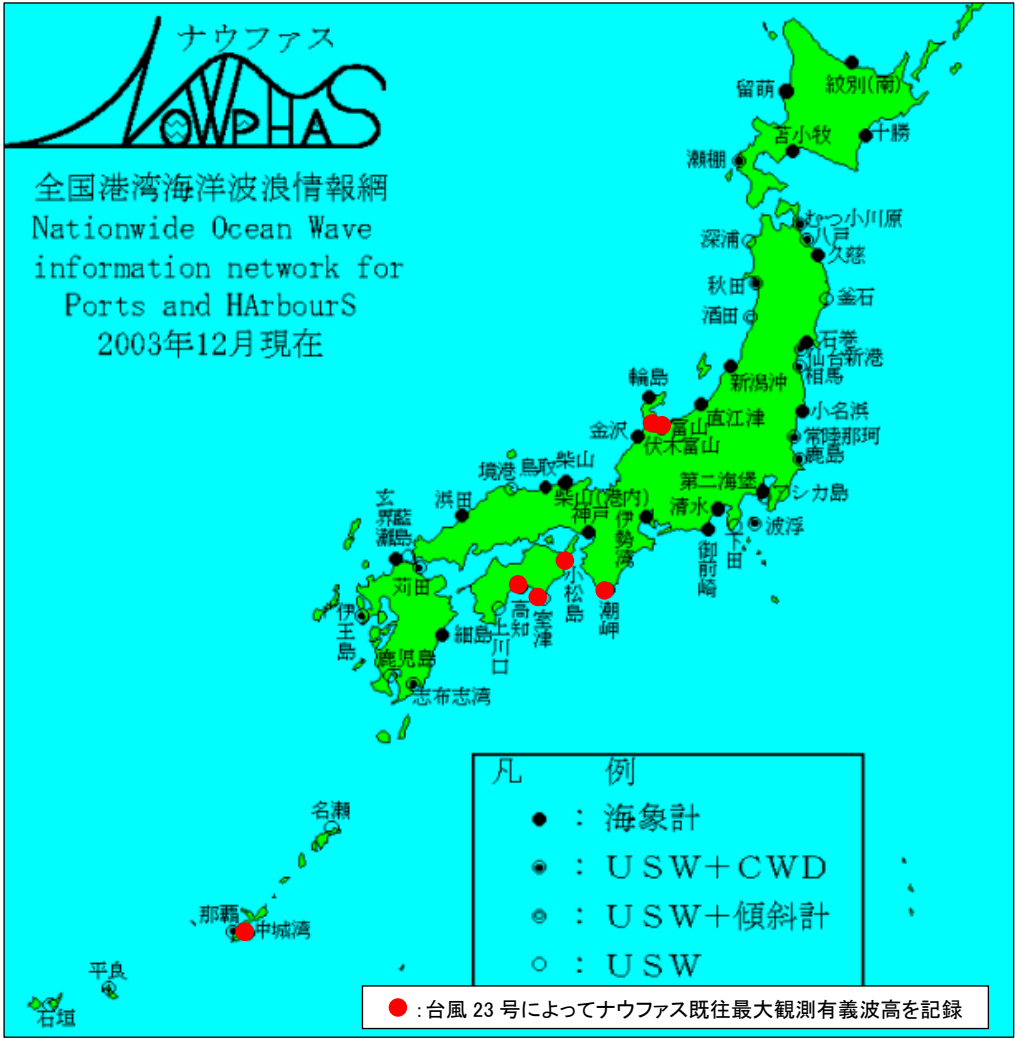


図 3-2 既往最大観測有義波高が観測された地点

3.3 海象状況の整理

(1) 波浪・潮位の観測値と沖波

菜生海岸周辺の観測所記録より、台風 23 号来襲時における波浪及び潮位の状況を下表に示す。

被災推定時刻	10月20日 14:30 前後	消防署への通報状況及び物証(被災団地に残されていた時計 14:40)より推定
観測有義波高 H1/3	13.55m	ナウファス室津波浪観測計(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	気象庁室戸岬観測所(14:39)
沖波波高 Ho	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(エネルギー平衡方程式)により算出
沖波周期 To	15.8s	
沖波波向	198°	

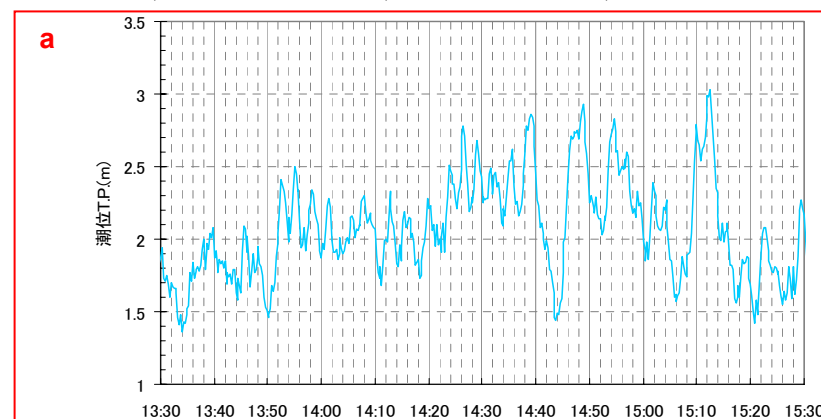
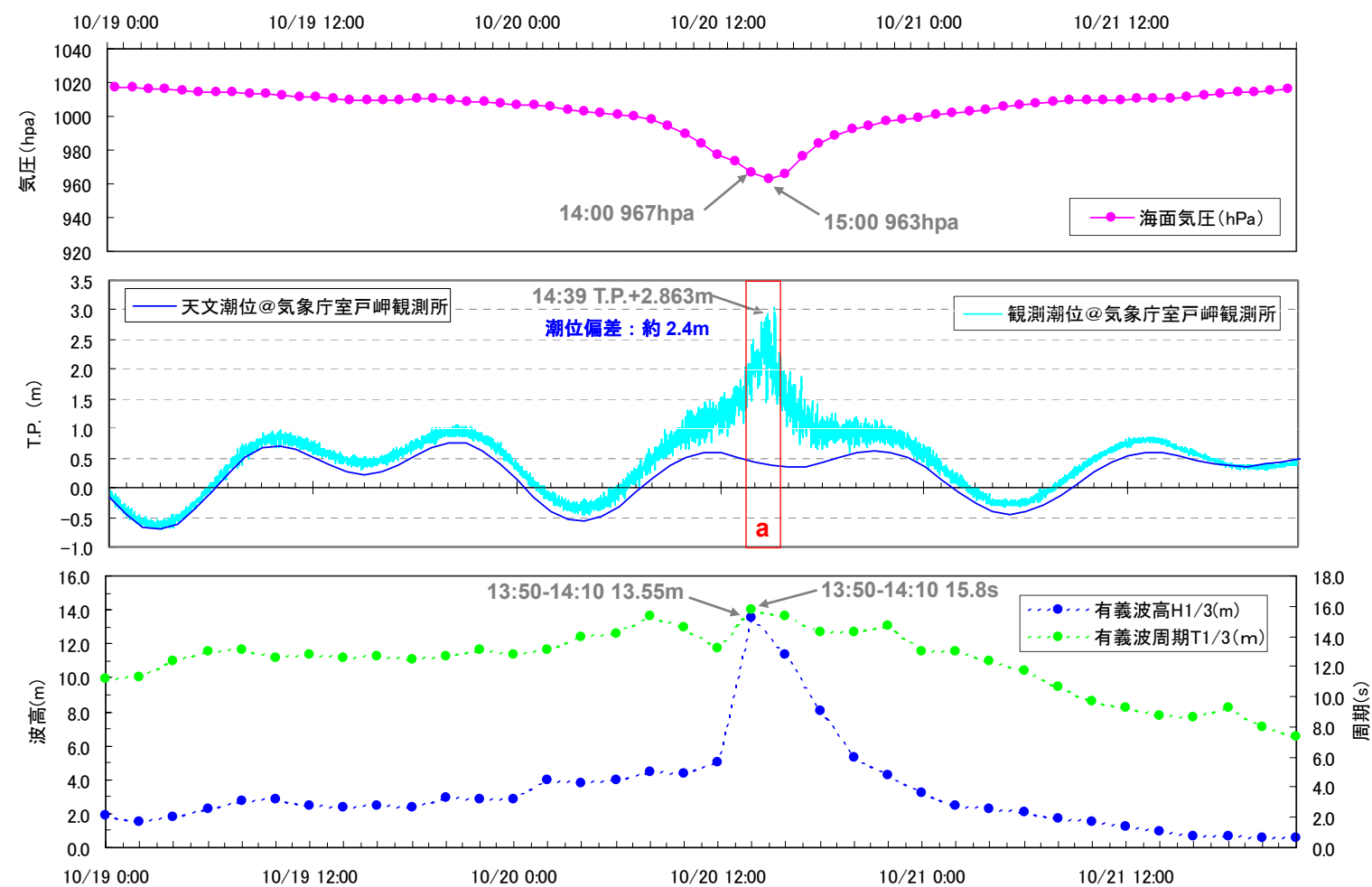


図 3-3 被災時刻前後の海面気圧，潮位，波高・周期の変化

(2) 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 $H_o=17.2\text{m}$ 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。



	土佐湾沿岸		
区 域	西部	中部	東部
	足摺岬～佐賀町	窪川町～芸西村	安芸市～室戸岬
設計波高 Ho(m) *1 (1/30確率波)	11.6	12.3-13.0	13.5
設計波周期 T(s) *1	15.0	15.5-15.6	15.2
計画潮位 T.P.(m) *1	2.2	2.2	2.2
1/100確率波 Ho(m) *2	13.2	13.8	16.0
1/100確率波周期 T(s) *2	16.4	16.9	16.8

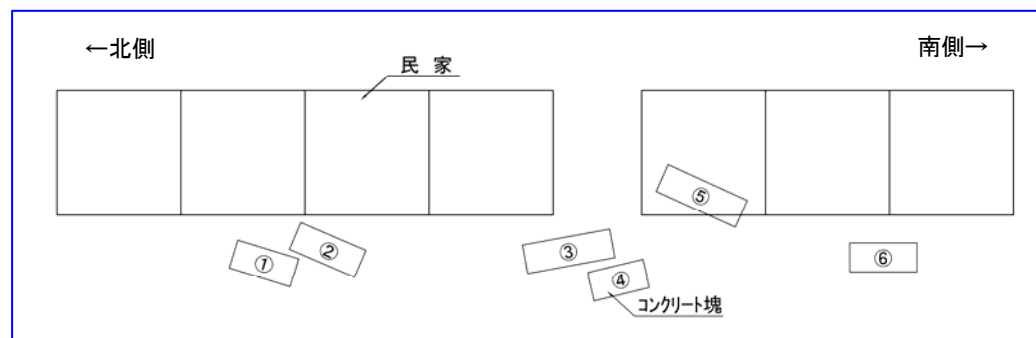
出典：*1 高知県「土佐湾沿岸海岸保全基本計画」、*2 高知県「港湾構造物設計指針」

図 3-4 土佐湾沿岸の沖波再現確率波高

４．堤防(パラペット部)倒壊状況の整理

堤防(パラペット部)倒壊のメカニズムを推測するために、堤防倒壊の状況を整理し、以下に示す。

パラペットの飛散状況



数量表

番号	断面(m2)	延長(m)	体積(m3)
①	1.0	3.6	3.6
②	1.0	4.0	4.0
③	1.0	5.0	5.0
④	1.0	3.2	3.2
⑤	1.0	4.9	4.9
⑥	1.0	3.8	3.8



堤体天端の被災状況



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・破壊を受けていない

天端被覆工の破壊された範囲がほとんど洗掘を受けていない



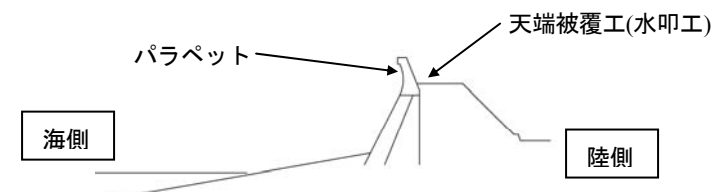
越波では、天端被覆工は破壊されていないと想定される

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

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

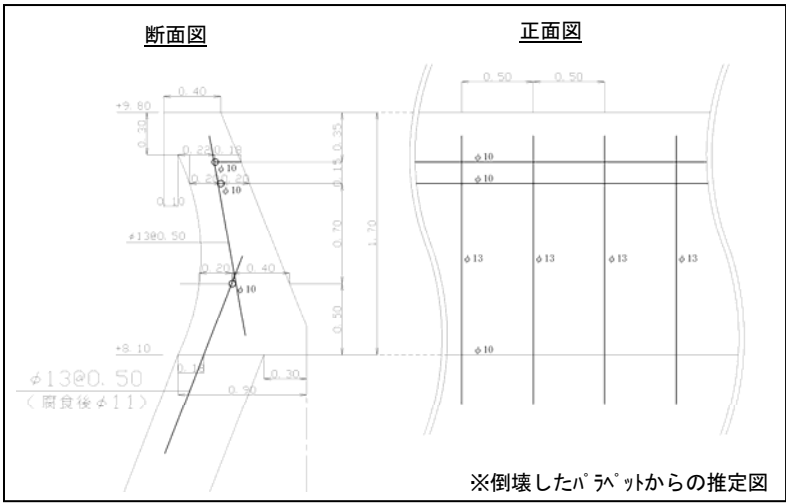


パラペットの滑動により天端被覆工がほぼ同時に削り取られたことが想定される



鉄筋の破断状況

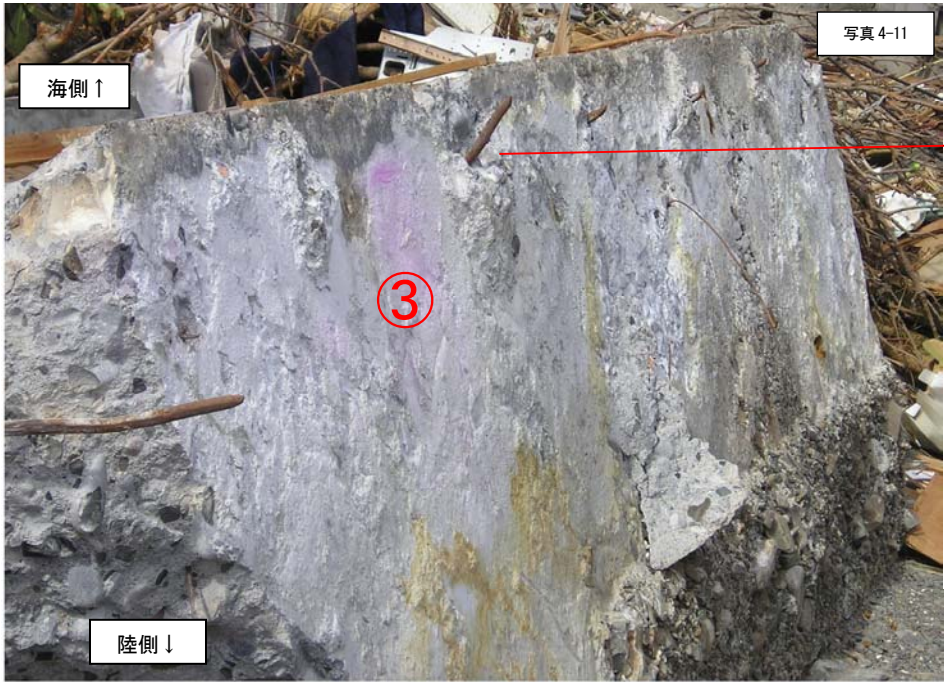
- ・ 飛散したパラペット側には、引きちぎられた鉄筋(差し筋)が残っている
 - ・ 上記の鉄筋は、全て海側に向かって曲がっている
 - ・ 北側、南側ともに堤体側の鉄筋箇所はコーン破壊(次頁参照)が発生した跡が見られる
- ↓
- ・ 鉄筋が延びきって引張により破壊したと思われる
 - ・ コーン破壊の状況から鉄筋の埋込長(付着)は十分であったと思われる



パラペットの鉄筋の配筋図

堤体側の鉄筋箇所はコーン破壊が発生した跡が見られる

飛散したパラペット底面の鉄筋状況



飛散したパラペット側には、引きちぎられた鉄筋(差し筋)が残っている



飛散したパラペット側に残っている鉄筋は、全て海側に向かって曲がっている

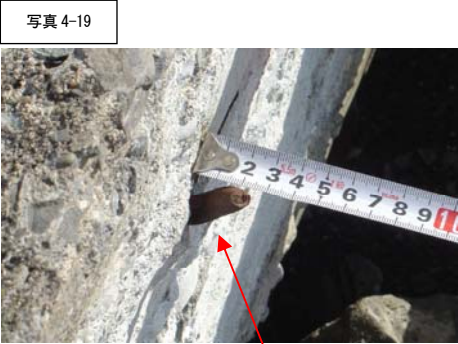
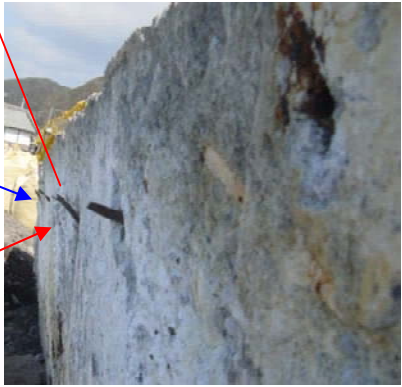


写真 4-20

飛散したパラペット底面の鉄筋状況



被災箇所南側端部のパラペット及び堤体打継目状況

被災箇所北側端部の堤体打継目状況

写真 4-16

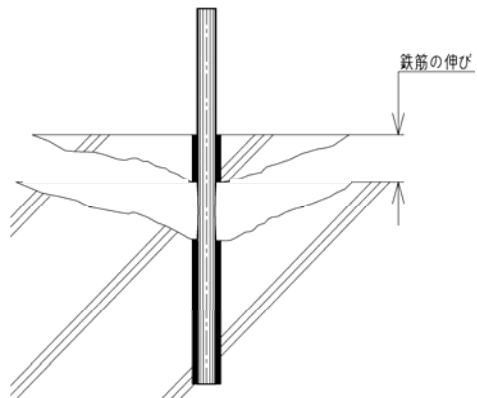
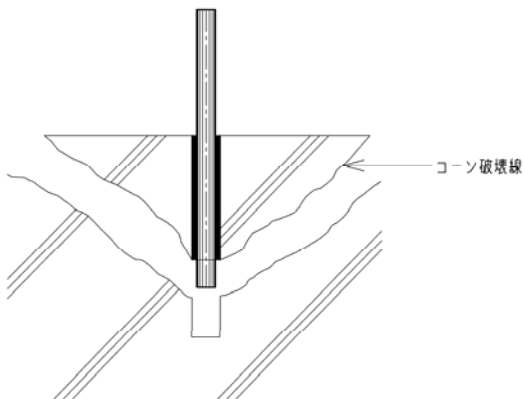
←陸側

海側→

コーン破壊現象としては、「埋込長が長い場合」「埋込長が短い場合」の大きく2種類が考えられ、これらの特徴を下表に示す。この特徴から以下のことが言える。

- ・鉄筋が破断していることから、使用している鉄筋に対する埋込長は十分であったと推測される。
- ・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。

コーン破壊現象の特徴

	埋込長が長い場合	埋込長が短い場合
		
現象	埋込長が使用鉄筋の引張耐力に十分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（埋込長が不足）
現象の特徴	・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、鉄筋の破断しない

5. 被災時の状況解析

5.1 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、砕波帯付近の波浪変形が比較的再現できるため一般的に用いられている非定常緩勾配不規則波波動方程式による波浪変形計算を実施した。

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る。

- ・ 被災箇所は南側（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。

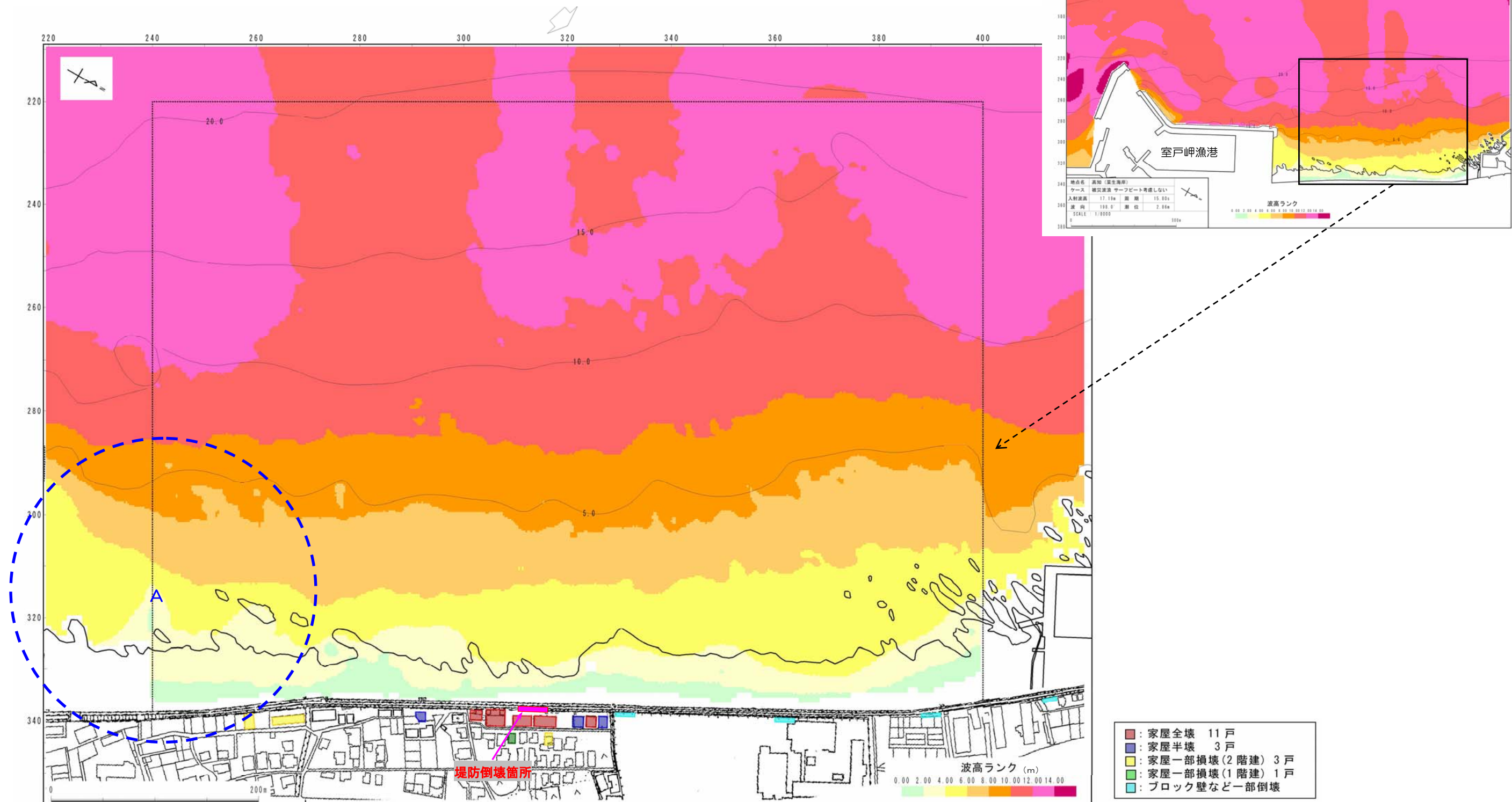


図 5-1 非定常緩勾配不規則波波動方程式による被災時の前面海域の波高算定結果

5.2 被災時の波の打上げ高さ

(1) 検討方法

来襲波浪による堤体への打上高を、一般的に広く用いられている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。

(2) 検討断面

検討断面は、被災後に実施された横断測量断面とした。

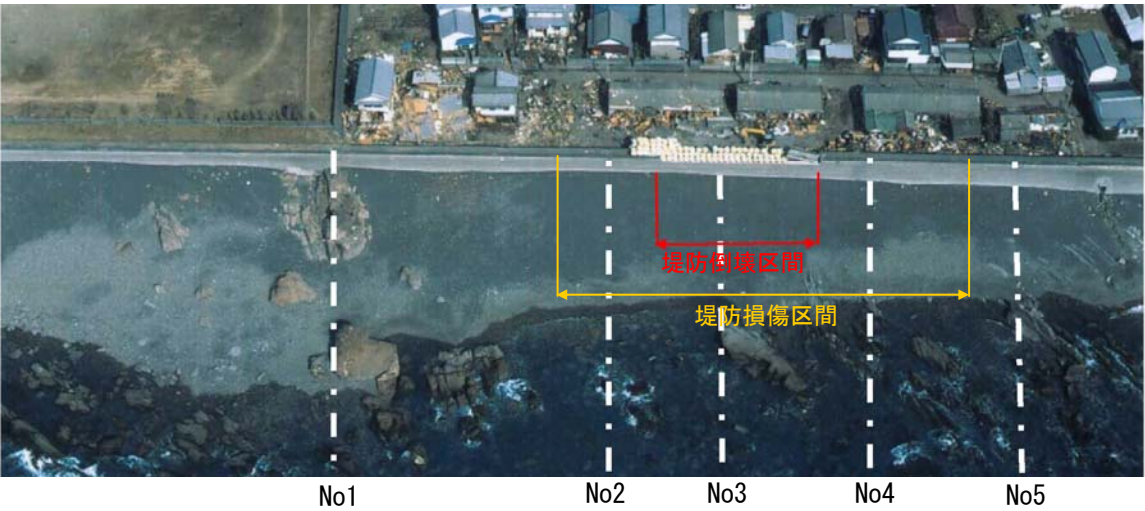


図 5-2 検討断面位置図

(3) 検討結果

打上高の算定結果を図 5-3、計画波の打上高に対する被災時の打上高の比を図 5-4 に示す。

これより、被災時ではすべて断面において、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る。

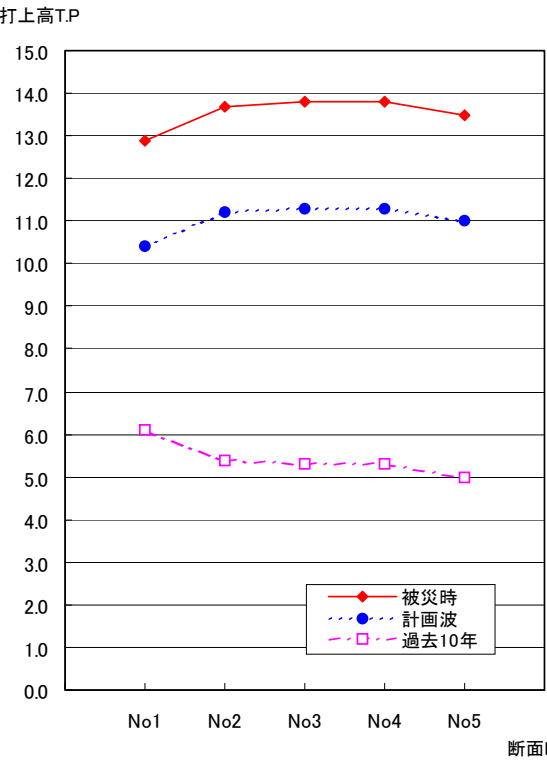


図 5-3 打上高

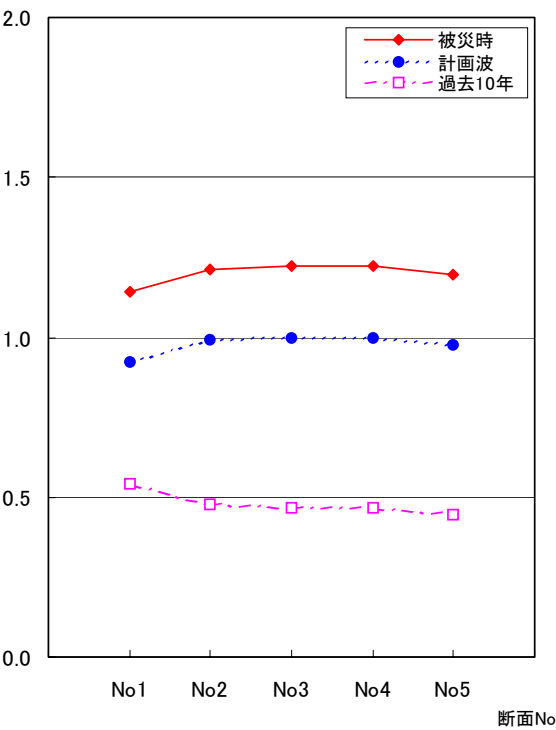


図 5-4 被災時の打上高／計画波の打上高

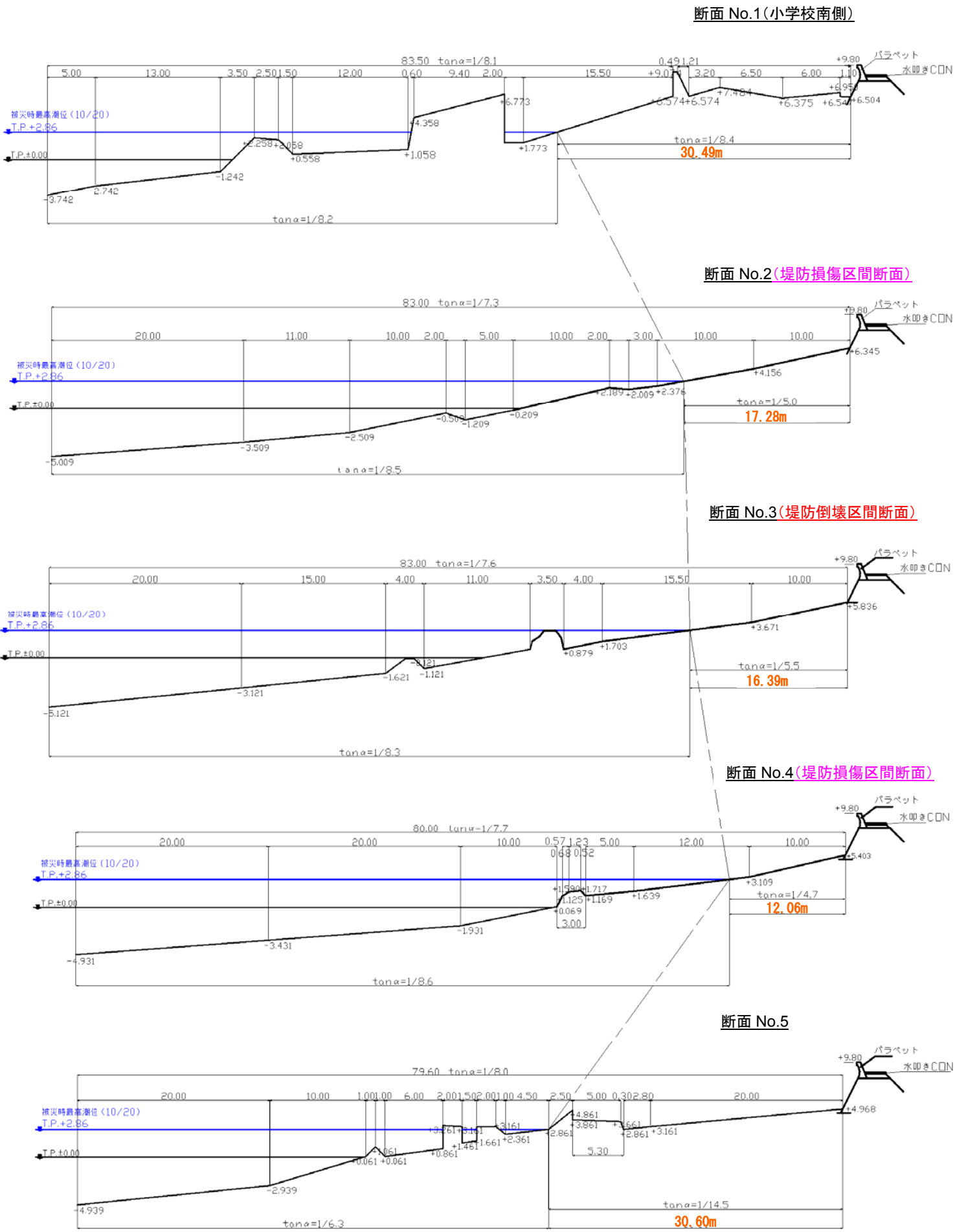


図 5-4 検討断面図（横断測量結果）

6. 倒壊メカニズムについて

6.1 堤防倒壊に至るまでの状況整理

これまでの調査結果より、堤防倒壊の原因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。

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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。
- ⑤ 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から、周囲にくらべて波あたりが強く、被害が甚大であったと考えられる。
- ⑥ 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。

パラペット部の倒壊要因を以下のように整理する。

- ・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。

6.2 堤防倒壊メカニズム（イメージ図）

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る。

堤防倒壊メカニズム（イメージ図）

