

和歌山の高潮対策工事について

和歌山高潮対策工事々務所長 西 川 源 一 郎

1. ま え が き

日本は世界でも有名な災害国である。災害原因には、地震、火事、津波、豪雨、台風、龍巻等いろいろあるが、中でも台風に起因する諸種の災害は最も数多く、被害もまた大きい。

九州、四国、近畿南部の諸地方は、特にその台風に見舞われる回数が多い。和歌山県も台風常襲の指定を受け、名実ともに台風銀座といったところである。ちなみに明治24年より昭和32年までの67年間に和歌山並びに阪神方面に襲撃した台風の回数は93回におよび、年平均1.4回の割合になっている。季節からいうと7,8,9月が最も多く、中でも9月が最高である。

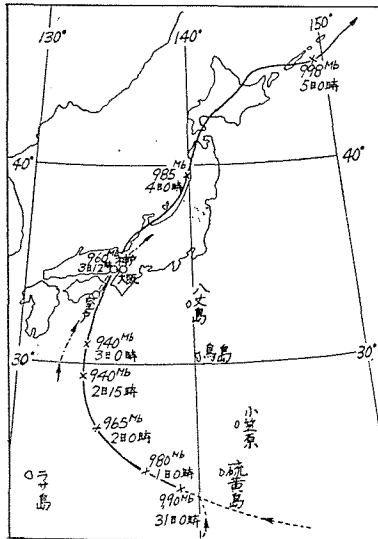
台風に起因する諸種の現象のうち、海岸ではやはり高潮に最も関心をもたなければならないと思う。和歌山県のように、太平洋に面した長い海岸線を有し、しかも台風コースに当たっている所では、特に高潮には敏感にならざるを得ないのであつて、以下筆者の行なっている高潮対策について報告する。

2. ジェーン台風による被害

表-1 ジェーン台風観測記録（昭和25年9月3日）

日	時	分	気 圧 (海面) +1000mb	気 温 °C	蒸気圧 mb	湿 度 %	風 向	風 速	降水量	天 気	雲 量	雲 形
2	12	00	13.6	25.3	28.6	89	南 々 西	2.6	0.1	小 雨	10	乱層雲, 高層雲, 積乱雲
	13	00	13.2	25.5	29.7	91	南 静 西	0.0	2.1			
	14	00	13.2	25.7	31.0	94	南 々 西	0.0	1.6	小 雨	10	乱層雲, 高層雲
	15	00	12.8	24.9	29.0	92	南 静 西	2.8	1.6	並 雨	10	乱層雲
	16	00	12.4	23.9	27.3	92	南 静 西	0.0	4.3			
	17	00	12.0	23.6	27.4	94	南 静 西	0.9	3.8			
	18	00	11.3	23.4	27.4	95	南 静 西	0.4	1.2	曇	10	層積雲, 乱層雲, 高層雲
	19	00	12.0	23.2	27.0	95	北 〃 東	0.2	—			
	20	00	12.3	22.9	26.8	96	北 〃 東	0.9	—			
	21	00	12.4	22.7	26.5	96	北 北 西	1.3	—	高 曇	10	高層雲, 層積雲, 巻層雲
	22	00	11.9	23.0	25.8	92	東 北 東	3.8	—	〃	10	高層雲
	23	00	11.1	22.8	26.2	94	〃 〃 〃	4.0	0.1			
	24	00	16.4	22.7	26.2	95	北 東 東	4.4	0.0	高 曇	10	乱層雲, 高層雲
	01	00	0.5	22.5	21.0	95	北 東 〃	3.2	—			
	02	00	8.3	22.6	26.0	95	〃 〃 〃	4.0	0.0			
	03	00	7.0	22.7	26.0	94	〃 〃 〃	4.4	0.1	小 雨	10	乱層雲, 高層雲
	04	00	6.3	22.2	25.4	95	〃 〃 〃	5.7	3.6			
	05	00	5.1	22.4	26.0	96	〃 〃 〃	5.2	1.5			
	06	00	2.0	22.5	25.9	95	〃 〃 〃	5.5	1.8	小 雨	10	乱層雲
	07	00	0.7	22.5	26.2	96	〃 〃 〃	4.2	2.2	〃	10	〃
	08	00	997.1	22.9	26.8	96	北 東 東	4.4	3.5	並 雨	10	〃
	09	00	992.1	23.3	27.4	96	北 北 東	9.1	3.8	小 雨	10	〃
	10	00	982.4	23.5	26.1	90	東 南 西	18.4	8.0	小 雨	10	〃
	11	00	969.3	23.4	27.1	94	東 南 西	19.1	20.9	〃	10	〃
	12	00	977.5	25.3	30.5	95	〃 〃 〃	36.5	7.5	〃	10	〃
3	13	00	994.3	24.4	29.7	97	西 南 西	27.0	0.8	並 雨	10	乱層雲, 層積雲, 高層雲
	14	00	998.8	25.8	26.9	81	〃 〃 〃	16.3	0.1	曇	10	層積雲, 乱層雲
	15	00	1.9	26.2	26.5	78	〃 〃 〃	13.0	—	〃	10	乱層雲, 層積雲, 高層雲
	16	00	3.7	25.6	26.9	82	〃 〃 〃	9.3	0.1	小 雨	10	乱層雲, 層積雲, 高層雲
	17	00	5.1	25.1	26.7	85	〃 〃 〃	3.0	0.5	〃	10	層積雲, 高層雲, 積雲
	18	00	6.2	25.3	26.7	83	静 西 西	0.0	0.0	曇	10	層積雲
	19	00	7.0	24.5	27.6	90	〃 北 〃	1.5	—			
	20	00	7.9	24.1	26.4	88	〃 〃 〃	1.1	0.0			
	21	00	4.1	23.5	27.0	93	〃 〃 〃	1.5	0.0	小 雨	10	乱層雲, 層積雲
	22	00	8.7	23.1	26.0	92	北 〃 西	2.8	0.0	曇	10	層積雲
	23	00	9.0	22.9	26.2	94	〃 〃 〃	1.7	—			
	24	00	9.1	22.5	26.2	96	〃 〃 〃	1.1	—	高 曇	10	高積雲
	01	00	9.2	22.1	25.5	96	北 〃 西	1.1	—			
	02	00	9.5	22.1	25.8	97	〃 〃 〃	2.0	—			
	03	00	9.5	21.7	25.2	97	東 北 東	0.9	—	曇	8	層積雲
	04	00	9.6	21.3	24.5	97	〃 〃 〃	2.2	—			
	05	00	10.4	21.1	24.0	96	〃 〃 〃	1.1	—			
	06	00	11.0	21.5	24.6	96	〃 〃 〃	2.2	—	曇	10	層積雲
	07	00	11.5	22.4	26.0	96	〃 〃 〃	3.2	—			
	08	00	11.7	25.1	28.7	90	〃 〃 〃	1.5	—			
	09	00	11.8	25.3	26.0	81	〃 〃 〃	0.7	—	晴	6	層積雲
	10	00	12.0	26.5	25.2	73	西 南 西	1.5	—	快 晴	2	積 雲

図-1 ジェーン台風進路図



註 ← ← 室戸台風進路

昭和25年9月3日、和歌山県並びに阪神一帯はジェーン台風の来襲を受け甚大なる被害を受けた。

図-1の台風進路図に見るように、8月31日0時、硫黄島付近に発生した熱帯性低気圧は最初中心示度990mbで北西に向い、次第に勢力を増しつつ方向を北～北々東に転じ、9月3日には四国沖より紀伊水道を抜け神戸に上陸、本土を横断したのである。

表-1を見ると、最低気圧は3日11時で969.3mbを示し、最大風速は同日12時の36.5m/secで、そのときの風向は南々西を示しており、最低気圧と最大風速には若干の時間的ずれがみられる。

世界最大といわれた昭和9年9月21日の室戸台風との比較を表-2で見ると、和歌山と神戸の場合は、最低気圧は室戸の方が低いが風速は瞬間風速も平均風速もジェーンの方が大である。大阪の場合は室戸の方が大きかったようである。これからみてもジェーン台風の規模がほぼ想像がつくであろう。

図-2はジェーン台風通過時の和歌山港の検潮記録と、その日の予定潮位(推算潮位)を示したものであるが、異常潮位は12時15分におこり予定の満潮時は10時で、2時間15分ずれていた。もしこの異常潮位が10時に起つていたとすれば、さらに高い潮位を示したであろう。

表-2(a) 和歌山港

	室戸台風	ジェーン台風
瞬間最大風速	南42.0 m/sec	南々西460 m/sec
同上上起時	昭和9年9月21日7時40分	3日11時45分
10分間平均最大風速	南25.1 m/sec	南々西365 m/sec以上
同上上起時	7時40分	3日11時30分～12時00分
最低気圧(海面)	959.0 ミリバール	961.9 ミリバール
同上上起時	6時40分	3日11時35分
総降水量	77.1 mm	54.5 mm
雨の降り始めの時刻	20日23時49分	2日22時48分
雨の降り終りの時刻	21日8時40分	3日21時40分

表-2(b) 神戸港

	室戸台風	ジェーン台風
最低気圧	954 mb(715.5 mm)	964.3 mb(723.4 mm)
最大風速	21.9 m/sec(10分間平均)	33.4 m/sec(20分間平均)
同上風向	ESE	NE
瞬間最大風速	33.0 m/sec	47.6 m/sec
瞬間最大風向	ESE	NE
総降水量	81.3 mm	85.7 mm

表-2(c) 大阪港

	室戸台風	ジェーン台風
最低気圧	954.4 mb(715.8 mm)	970.3 mb(727.7 mm)
最大風速	40 m/sec(海上)	28.1 m/sec(10分間平均)
同上風向	S	S
瞬間最大風速	60 m/sec	44.7 m/sec
同上風向	S	S
総降水量	19.5 mm	66.2 mm

図-2 ジェーン台風通過時の検潮記録

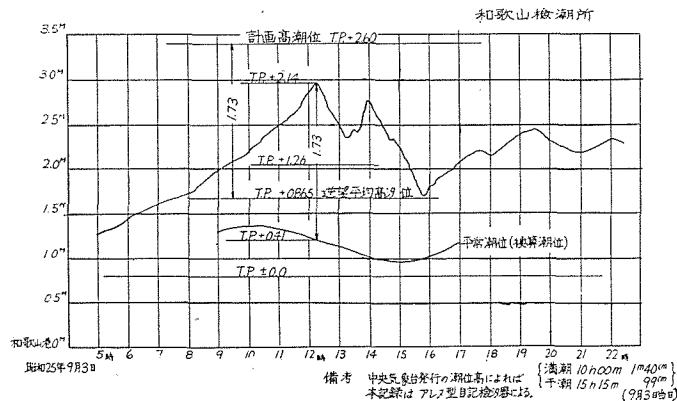


表-3 ジェーン台風被害状況（和歌山県）

郡 市 別		和歌山市	海南市	田辺市	新宮市	海草郡	那賀郡	伊都郡	有田郡	日高郡	西牟婁郡	東牟婁郡	計
区 分													
罹 災 者 総 数		22 084	6 837	4 321	158	10 467	11 552	7 974	13 418	22 713	17 089	7 544	124 157
A 人 的 被 害	1. 死 者	4	—	2	1	2	2	3	11	1	3	1	30
	2. 行 方 不 明	4	1	2	—	7	—	—	5	3	2	—	24
	負 重 傷	16	4	5	—	48	11	1	9	30	13	—	137
	傷 軽 傷	20.3	16	—	—	360	317	94	61	390	235	11	1 687
	小 計	22.7	21	9	1	417	330	98	86	424	253	12	1 878
B 住 居 の 被 害	全 戸 数	604	27	92	12	435	397	229	213	524	427	25	2 985
	壊 人 員	3 341	108	387	50	1 655	1 702	1 037	1 047	2 399	1 913	118	13 757
	流 戸 数	—	—	—	—	10	3	—	2	7	—	—	78
	失 人 員	221	—	—	—	42	15	—	12	35	—	—	325
	半 戸 数	1 992	200	489	26	1 427	1 112	835	1 313	2 853	2 093	1 395	13 735
	壊 人 員	8 643	850	2 053	107	557	5 081	3 398	6 589	13 101	9 499	11 572	61 462
	没 床 戸 数	693	460	29	—	145	200	64	138	133	387	123	2 380
		3 020	1 540	121	—	497	1 006	266	610	343	1 651	477	9 531
	水 床 戸 数	1 539	1 081	415	—	767	742	597	1 333	1 621	1 154	86	9 335
		6 632	4 318	1 751	—	2 285	3 418	3 175	5 074	6 411	3 775	365	30 304
C 非 の 住 被 家 害	計 戸 数	4 884	1 768	1 025	38	2 784	2 464	1 725	2 999	5 138	4 061	1 629	28 513
	人 員 計	21 851	6 816	4 312	157	10 050	11 223	7 876	13 332	22 289	16 936	7 532	122 219
C 非 の 住 被 家 害	人 般	1 015	300	307	30	1 001	4 219	3 516	2 600	5 691	11 557	953	31 189
	公 共 物	21	135	32	14	109	126	55	164	372	305	68	1 401
	計	1 036	435	339	44	1 110	4 345	3 571	2 764	6 063	11 862	1 021	32 590

表-3 はジェーン台風の和歌山県の被害状況調査であるが、和歌山市は、特に被害甚大で浸水面積 14 km²、罹災者 22 000 人にもおよんだ。

室戸台風との被害比較を示すと表-4 のとおりとなる。

和歌山市においては、特に和歌川下流 和田川、紀三井寺川、中津川の各沿岸地帯は高潮による浸水で堤防は破堤し、護岸は決壊し多大の被害を受けた。また和歌浦海岸は外海に面した海岸のため波浪により、海岸堤防ははなはだししく痛めつけられた。

建設省の災害査定では、和歌浦海岸、1 億 900 万円、和歌川水系、約 1 億 5 000 万円であった。ただし和歌山県の高潮対策は和歌浦海岸を除き和歌川のみについてやっているのをおことりしておく。

次に高潮の原因等から考えた和歌山の状況について述べよう。

表-4 ジェーン台風と室戸台風の被害比較

種 別	台 風	室 戸 台 風	ジェーン 台 風	室 戸 台 風	ジェーン 台 風
		(全 体)	(全 体)	(和歌山県)	(和歌山県)
死 者 (人)		2 702	398	29	37
傷 者 (人)		14 994	26 062	388	1 836
行 方 不 明 (人)		334	141	9	21
家 屋 全 潰 (戸)		38 771	17 062	2 380	2 784
半 潰 (人)		49 275	101 792	2 548	10 949
流 失 (人)		4 277	2 069	108	87
没 水 (人)		401 157	402 076	4 290	11 632
学 校 全 潰 (人)		293		24	
半 潰 (人)		124		36	
船 舶 流 失 沈 没 (隻)		14 421	1 216	915	196
船 舶 破 損 (人)		13 173	1 926	1 011	521
橋 梁 (カ所)		5 800	1 461	59	152
道 路 (人)		17 703	5 360	365	1 456
堤 防 (人)		11 594	3 027	78	153
被 害 総 額 (円)		7 億	1 800 億		

3. 高潮の原因

高潮の生ずる原因としては、

- (1) 気圧の低下による海面の吸上げ、
- (2) 強風による海水の吹き寄せ、
- (3) 台風によつて誘発せられる湾内副振動の卓越、

等であると考えられている。

(1) 気圧低下による海面の上昇

静的な状態で気圧が ΔP だけ減少すると、水位上昇量 η は、

$$\begin{aligned}\eta &= 13.2 \times \Delta P \quad (\Delta P: \text{mm-Hg}) \\ &= 0.991 \times \Delta P \quad (\Delta P: \text{mb})\end{aligned}$$

和歌山における最低気圧のときの海面上昇量を上式から求めると $\eta = 43.3 \text{ cm}$ となる。

(2) 風の吹き寄せ

中心付近の風速については、

$$V_{\max} = 5.2 \sqrt{1015 - Pc} \text{ m/sec}$$

Pc : 中心示度 (mb)

ただし、

和歌山の場合上式で計算すると、

$$V_{\max} = 33.8 \text{ m/sec}$$

となり実測値 36.5 m/sec に近い値になる。

さて海面を風が吹きよせるときは、風のセン断力によつて水面に傾斜ができる。潮位上昇量 ζ は、次式であらわされている。

$$\zeta = 4.8 \times 10^{-2} \frac{FV^2}{h} \cos^2 \theta$$

ただし、 F : 吹送距離、 V : 風速、 θ : 風向と海岸線の垂線となす角、 h : 平均水深

和歌山の場合上式で計算してみると、 $\zeta = 63.6 \text{ cm}$ となる。

(3) 副振動の卓越

これはそれだけでは大した影響はないが、吹き寄せ現象などをもつた場合には注意を要する。

ところが和歌山においては実際に 図-2 に見るように最大偏差 1.73 m を示している。静的な気圧低下による海面の吸上げと風の吹き寄せによる上昇以外にも何か原因があつたものと思う。“海岸保全施設設計便覧”によると、「台風が通過する際における高潮の一般的傾向としては、高潮の最高は、湾内長波の速度と、台風の進行速度が接近するほど大きくなり、静的な気圧低下による上昇よりはるかに大きくなる」とあるから、そういうところに原因があつて、異常の潮位が出たのではないかと思う。

4. 高潮対策

(1) 計画

高潮対策をたてる基本となるものは、潮位と波高である。

(a) 計画潮位 まず偏差について述べると、偏差とは観測潮位と予定潮位(推算潮位)の差であつて、この差の最大を最大偏差という。最大偏差は必ずしも予定満潮のときに生じるとは限らないが、たまたま満潮を最大偏差が重なつたとすれば、最も危険な状態になるといえるので、実際上なかなか重要なことである。そこで計画潮位としては既往最大をとることもあるが、やはり最大偏差を考えることが妥当であろう。すなわち計画潮位は最大偏差と満潮位を重ね合わせばよいということだが、この場合、満潮位として普通期望平均満潮位をとつていようである。和歌山の場合も前述したとおり最大偏差 1.73 m で、これに期望平均満潮位 0.865 m を加えて $TP + 2.60 \text{ m}$ を計画潮位と決定している。

過去の例から見ると、昭和9年の室戸台風のときの最大偏差は 図-3 (a), (b), (c), (d) に見るように最大偏差 1.74 m で観測潮位は $TP + 2.14 \text{ m}$ であつた。表に示したように室戸とジェーンのときの偏差は最近のうちでは最高を示している。この計画潮位の決定値は比較的安全率の高いものと思つている。

図-3(b) ケイト台風潮位記録

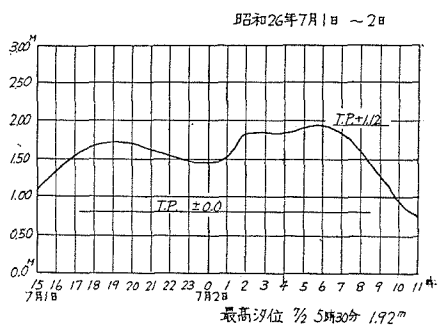


図-3(d) アグネス台風検潮記録

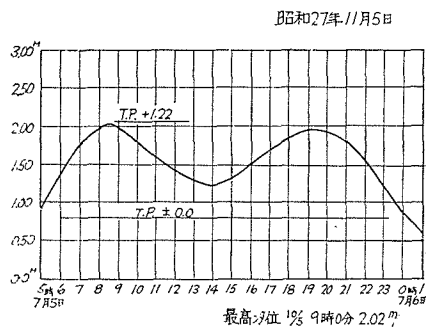
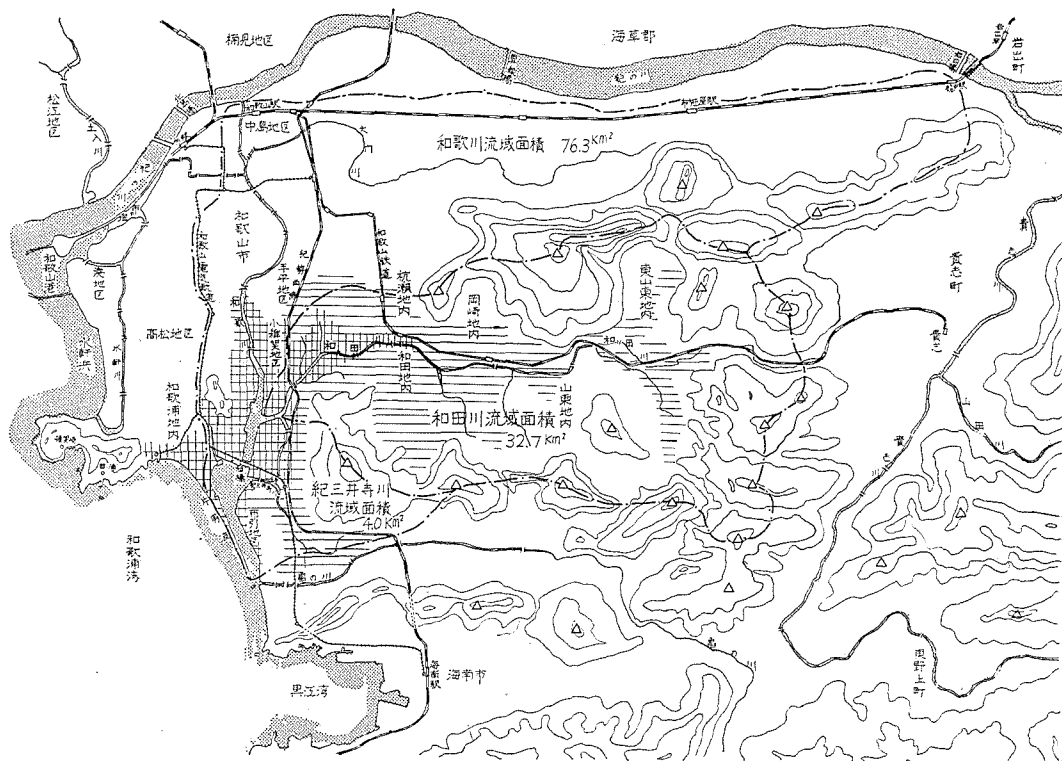


图-4



(b) 計画波高 波高はまた堤高決定にはぜひ考慮しなければならないことである。波高は対岸距離と風速によって、ほぼ推定できるので、風速を考慮することが必要となる。

ただし和歌川の場合は直接外海に面していないので、大きい波の影響は受けないものと想定のもとに計画したので、この計画波高については考えていない。ただ和歌川下流においては多少のうねりを考慮して波よけコンクリートをつけている程度である。

(2) 設 計

和歌川水系は図-4に示したように和歌川本川および支川和田川、紀三井寺川、中津川よりなり大部分が平地を流れる緩流河川(河床勾配は $1/6000 \sim 1/3000$ 程度)で、このためいずれも感潮区域が長く、なお昭和21年の南海地震以来、地盤の変動をきたし和歌山市においては、約40cm沈下したので潮位はさらに高上し、高潮の浸水はますますはなはだしく、また疏通能力を粗害されるので、上流部のはんらんもしばしばある状態であり、どの河川も堤防はきわめて貧弱なものであつた。

しかもこの和歌川本川は和歌山市街地の中央部を貫流する河川で、背後地は人家、工場の連担地であり、また利用面からは、舟運、筏流、排水等に不可欠の重要河川であり、また支川和田川は、その堤内地としては数1000町歩におよぶ田園と多数の人家を擁し、利用面から和歌山市周辺の沃野をかんがいする大切な川で、ともになおざりにはできない、いわゆる経済効果のきわめて大きい水系である。

(a) 和歌川本川 和歌川本川は流路延長30kmであるが、高潮対策計画区域は河口より約5.6km白樫橋までとした。

この河は主として平野を流れ、自己流量も少ない上に高潮計画区域内の河幅も60~200mと比較的に広いので、法線は現法線に沿うこととした。計画高は前述のとおり計画潮位を $TP+2.60m$ と決定し、これに0.40mの余裕高を見込んで、堤防高は $TP+3.00m$ とした。また堤防縦断勾配は改良目的よりして潮位のみを基準とし、上流まで一定の規準 $TP+3.00m$ の水平にした。

断面は図-5(a),(b),(c)に示したように、基礎にはコンクリートのブロックを入れ、護岸ノリ面は7分勾配

図-5(a) 和歌川支川紀三井寺川標準横断面図

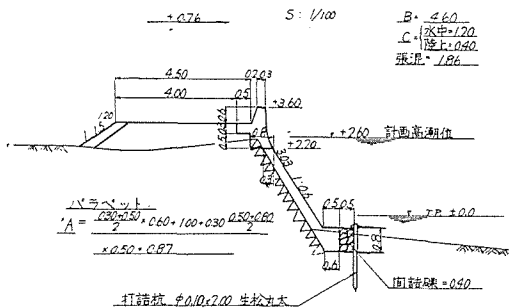


図-5(c) 和田川標準横断面図

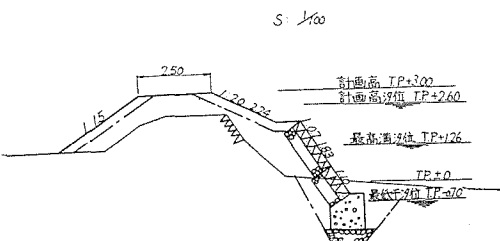
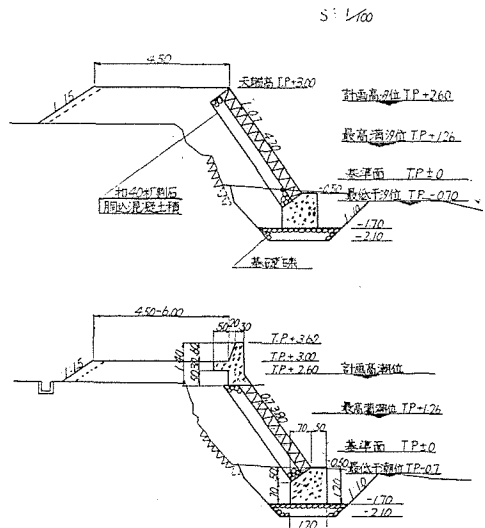


図-5(b) 和歌川標準断面図



の練石積とし、天端幅は4.50mとした。下流部では、波よけコンクリートをつけて、計画高 $TP+3.60m$ と $TP+4.00m$ にしたところがある。このさい波といつても河川であるので、外海のように強い波力を考えることはないとして、コンクリート厚も0.30cm程度の小さいものとしている。また上流部でも市街地においては、堤防高と堤内地の高さの関係を考慮し、堤防高は背後地高に合わせ計画高に不足分は、胸壁にしたところもある。また在来護岸で比較的程度のよいものは、これを利用し、これに被覆コンクリートを施して補強し、上部に胸壁をつけたり、あるいは胸壁のみを乗せた部分もあるが、これは全体の20%程度である。付帯工事としては橋梁のかさ上げ、樋門の改築等である。

(b) 和田川 和田川は、山地より流出する自己流量もある上に河積狭少で、下流で潮位が上昇すれば、疏通能力は粗害され、はんらんするので、この河川については、和歌川との合流点付近で、潮位が計画潮位に上つたときに、この河川としての計画流量(140 m/sec)が流下しうるように計画した。従つて河川には縦断勾配をつけ、河道を整正する計画にしたので、中流以上の河幅の狭いところではある程度の引堤も行なつた。堤防断面としては、図-5 に示したよう、基礎はコンクリートブロックとし、護岸ノリ面は高さ、TP+2.00 m までは練石積、上部は表ノリ2割、裏ノリ1.5 割の土羽堤とし、天端幅は 2.50 m とした。この河も堤防が県道等に兼用されている所は、パラペットとして道路面を上げることを選んだところもある。この河川では旧護岸を利用した所は1カ所もない。付帯工事としては和歌川同様、橋梁のかさ上げ、樋門の改築、樋管埋設等である。

(c) 紀三井寺川および中津川 この両河川は流域面積も少なく、降雨による流出量も大したことはない。ただ高潮による被災を防げばよいという見方から護岸かさ上げと比較の上、防潮水門設置に決定した。設置位置は紀三井寺川は下流より 320 m、中津川は 10 m の場所にした。もちろん樋門より下流は和歌川、和田川のそれぞれの工法による護岸かさ上げ工を設計している。水門高は紀三井寺川 TP+3.60 m、中津川 TP+3.00 m (いずれも下流護岸堤防高と同じ) としている。

ただ水門の場合、開閉の操作が問題であつて、例えば洪水と高潮が同時に起こつた場合、あるいは高潮時が長く続いた場合等、操作の上になかなかむずかしい点が多々あるが、これは十分検討して、操作規定をつくり、操作に遺憾のないようにしたいと思つている。

次に事業費関係について述べると、

総事業費	386 000 000				
内	{	災害費	155 000 000	和田川	145 000 000 延長 3 331 m
	{	対策費	231 000 000	紀三井寺川	35 000 000 " 320 m および水門 1
和歌川	201 000 000	延長	5 618 m	中津川	5 000 000 水門 1

(3) 施 工

工事施工は昭和 25 年度より継続事業として進めてきて、昭和 33 年度をもつて完結する。

施工方法はおもに直営施工によつた。床掘はクラムシェルを用いたので、床掘についての締切り、水替えはなかつた。基礎ブロックは場所打ちでなく、別に製作し、クラムシェルで釣り込んだ。ただし、ブロックのつり込みや下部石積についての水替えは、クラムシェルによる床掘土をそのまま前方に積みおいて締切りとし、潮待ちとポンプ排水によつて、作業を行なつた。在来護岸利用の被覆コンクリート施工の場合は、やむを得ず矢板締切を行なつた。次にこれは工法上の問題ではないが、沿岸には人家調密地帯が多く、この取除きに強い抵抗があり、難航したことも再三ではなく、また施工中の不便等の苦情など、いろいろ苦勞も多かつた。

(4) 効 果

以上の高潮対策が完成すると、

被害をまぬがれる耕地面積	1 050 町歩	改修によつて減少する水災損失額	99 000 000 円
同 上 戸 数	890 戸	同 上 増 収 見 込 額	24 000 000 円

と経済的効果は顕著のものあり、また半面、高潮の脅威がさつたという、住民に与える安心感は何よりも大きな精神的効果といえよう。

図-6

