

## 4 Bengal 湾に発生するサイクロンについて

水資源開発公団第二工務部 宇和川 正人

1961年9月から1963年9月まで、Colombo plan により東パキスタンに派遣され、Ganges 河口地帯の治水計画に従事した。

Ganges 河口デルタ地帯は、北海道の面積の約2倍のまったく平坦な沖積地帯で、Bengal 湾沿岸に建設中の150万haにわたる coastal embankment project (海岸堤防による農地造成事業)は、この国の一大国策として取り上げられている。

一方、この地方一帯に発生する暴風(サイクロンストーム)は、堤防・農地・住民・施設に莫大な損害を定常的に与えている。サイクロン対策は、事業が沿岸地帯に進み、大規模化するにつれて重大視されつつある。ここでは、主として Bengal 湾に発生するサイクロンの水文的な資料を収録した。

### I サイクロンについて

19世紀の中頃、英国人 Captain Henry Piddington (海洋気象学者・英国東インド会社・Calcutta 本社)は Indo 洋及び Bengal 湾に発生する暴風(gale, severe storm)について組織的な研究を加え、ギリシャ語の“Coil of a snake”の意味を有するサイクロン(cyclone)と命名した。この名が今ではこの地方に発生する熱帯性低気圧の固有名詞となっている。

熱帯性低気圧は、その源を赤道附近に発し、世界各地でハリケーン(hurricane)・台風(typhoon)・サイクロン(cyclone)として知られている。サイクロンは Bengal 湾及び Arabia 海に発生し、また南半球では Mourishas 島及び Madagascar 島東方の Indo 洋にも発生する。台風は中国沿岸と日本に、ハリケーンはアメリカ東沿岸に発生するもので、これらはすべて同一の気象的性質をもっている。これら熱帯性低気圧は、時として中心示度は 910mb に下り 300km 以上の半径で、風速は 60m/sec にも達し、30km/hr の速度で移動する。また、しばしば強雨をとめない、通過期間に 1,150mm にも達した記録(Carolina, July 14, 15, 1916)がある。強風・強雨のもたらす被害は、わが国においても、インド地方においても、アメリカ大陸においても、海岸地帯においてはなほだしい。(図一)

インド地方におけるサイクロンの科学的な気象観測は今から 100 年程前の1864年及び65年に Calcutta~Basulipatam 地方にそれぞれ80,000人、40,000人の死者を出した二大サイクロンを契機として、イギリス政府がインドの主要地点に観測所を設けてサイクロンの予報を試みようとしたことに発している。

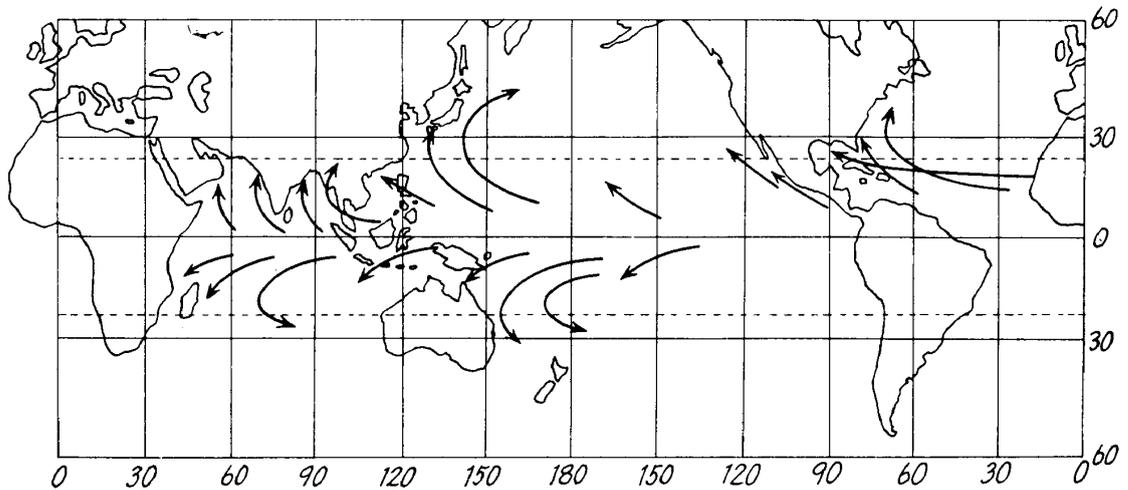


図-1 熱帯性低気圧の発生及び進路

1891年から1923年の33年間に発生したサイクロンを線の太さによりそれらの大きさを示した monthly charts が Indian Meteorological Department から “Storm track in the bay of Bengal” として発表されている。

これらによると1月、2月には殆んど発生しない。4月、5月の雨季前サイクロン (Pre-monsoon cyclone, 季節風未吹走期サイクロン) は主として東海岸 Cox's Bazar 附近を経て東北に進む。これらは時々しか発生しないが、大きい被害をもたらすものである。6, 7, 8月のモンスーン中のサイクロンは頻度は多いが、中等の規模のものが殆んどで、中部 Bengal 湾に発生し、Orissa, West Bengal を通り北西に進む。これらの被害は他に比べて小さいのが常である。9, 10, 11, 12月の雨季後サイクロン, 季節風後退期サイクロン (Post-monsoon cyclone) は他に比べて一番大きく、West and East Bengal, Burma, Madras など Bengal 湾一帯を襲う。一般に雨季後サイクロンは、半径が小さく進行速度が早く、雨季前サイクロンは半径が大きく速度は遅い。

Bengal 地方のサイクロンによる被害を論ずる前に Ganges 河口地帯の地形を述べておく必要がある。なぜならば次項に述べるサイクロンの歴史からみても、また近年における被害からみても、それらによる災害の想像以上に大きいのは、この地方が極度に平坦なデルタ地帯 (Gangetic delta) であるのに起因しているからである。

## II Ganges 河口地帯の地形

Himalaya 連峰と平行して、その北麓に源を発した Brahmaputra 河と、Himalaya の南麓を平行して同じく東方に流下する Ganges 河は、東パキスタンのほぼ中央部で合流して Meghna 河となり Bengal 湾に流入する<sup>1)</sup>。Ganges 河はこの500年の間に雨季の洪水のたび

1) Ganges, Brahmaputra, Meghna 三大河川の特性については、Session 4 木村隆重氏論文を参照。

に流路を東へ東へと遷え、現在までに約 240 km 移動しているから10年間に 5 km の割合で移動して今日に至ったことになる。この Ganges の“eastern movement”と洪水期の氾濫沈没作用によって形成されたのが東パキスタン州の大部分をなす Ganges デルタ地帯で、無数の大小河川と、これらを縫うように網の目状に入り組んだ channel (Khal) で形成された14万 km<sup>2</sup> にも及ぶ低標高地帯である。

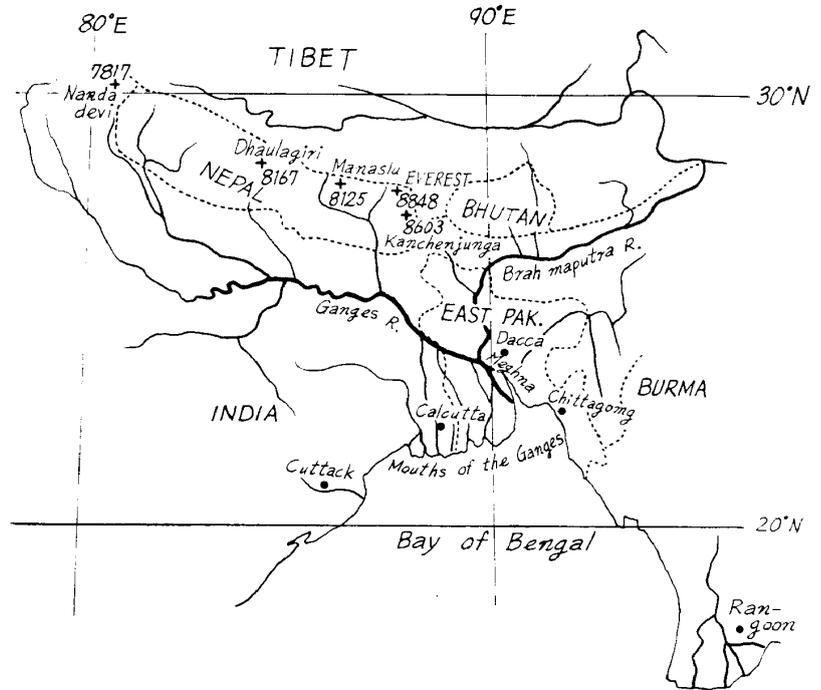


図-2 Ganges 流域地帯

海岸線より160kmの地帯は標

高 2, 3 m で、内陸部300kmまで潮位の影響 (tidal influence) を受け、130km まで塩水の影響 (saline influence) を受けている<sup>2)</sup>。

### III 歴史に残っているサイクロンの被害

1960年のサイクロンの被害について東パキスタン政府へ提出されたこの国のある気象学者の報告文の introduction に次のような文があった。

A cyclone is a natural phenomenon like a flood, an earthquake or lightning. We in our ignorance attribute it to God's "Qahar", but this is, to my mind, a wrong belief, as God who is so merciful does not cause distress to His creatures.

It is, if at all, a manifestation of God's Power to remind man of his insignificance in the Universe. To an engineer it must be regarded merely as a reminder to build safely against the Powers of nature.....

ここに、Qahar は punishment of God の Bengali 語である。

Quhar として歴史に残っているサイクロンの記録をみてみよう。

古いもので、1584年東パキスタンの Barisal を襲ったサイクロンの模様が Ain-i-Akbari (アクバリ、モゴール帝の史記) に残っている。当時の“海鳴り”の状況や気象の変化が詳細

2) 次項の論文を参照。

に記されており約20万人が高潮に吞まれて死んだ。

1797年には Noakhali の島々が高潮のため全滅したことが Bengal District Gazetteer に記載されている。1822年6月6～8日のサイクロンでは Hatiya, Bakerganj で72,746人、牛が98,834頭海水にさらわれた。

1864, 65年と続いて Calcutta Basulipatam 地方では8万人と4万人それぞれ死者を出し、時の英総督府はインド連邦の主要地点に気象観測センターを設けてサイクロンの予報を開始した。

1876年10月31日、11月1日の暴風は“Backergunge Cyclone”として比較的詳細な記録がある<sup>3)</sup>。このサイクロンは Bakerganj, Noakhali, Chittagong 地方に被害をもたらした。Bakerganj 地方は人口437,000人のうち105,000人が死に、Noakhali では403,000人のうち90,000人が、Chittagong 地方では222,000人のうち20,000人が高潮のため溺れ死んだ。(計1,062,000人のうち215,000人が死んだ)このうち、約10万人は数分のうちに、Meghna 河の surging のため流れが一時停止したことにより溺れ死んだもので、残りの死者はサイクロンのあと、疫病の発生によるものである。

以上が歴史に残った大規模のものであるが比較的小さいものとしては、1825, 32, 55, 67, 69, 70, 93, 95, 1910年などが記録されている。このうち後述するものとともに、1869年と1960年(10月10日、31日)は1ヶ月間に同一地方を2回襲ったもので珍しい例とされている。

最近では1958年5月16～19日に第一級のサイクロンが Noakhali, Chittagong, Sandwip 島一帯を、同年10月21～24日に Noakhali, Barisal 地方を襲っている。

1960年10月9～10日を30～31日に Noakhali, Chittagong, Bakerganj 地方を襲ったものはこの地方の住民を恐怖に陥し入れた。9～10日の風速は、33m/sec, 30～31日のは55m/sec で中心示度は980.5mb, 随伴雨量は Chittagong Air Port で76mm, Barisal で51mm, Cox's Bazar で76mm, Narayanganj, Khulna で38mm と記録されている。(表-1, 図-3 参照)

表-1 1960年10月9,10日と30,31日のサイクロンの被害

	人 口	死 人	人 家	全潰家屋	半壊家屋
	人	人	戸	戸	戸
Noakhali 地方	790,000	4,742	157,000	21,100	96,600
Chittagong 地方	840,000	9,163	181,700	26,700	81,200
Bakerganj 地方	250,000	2,952	50,000	—	—
計	1,880,000	16,857	388,700	47,800	177,800

1961年5月9日 Barisal Khulna 地方、同30日 Chittagong 地方を中規模のサイクロンが襲っている。

3) 「Report of the Vizagapatam and Backergunge Cyclone of Oct., 1876 : Commission of Chittagong Division」

1963年5月28, 29日に Chittagong 附近を襲ったものは、現地で体験することができ、各機関からデータを集めることができたのでつぎにやや詳しく述べよう。

(被害)

東パキスタン政府よりつぎのように発表された。

- a 死者 9,742名
  - 9,675名…Chittagong 地方
  - 65名…Noakhali 地方
  - 2名…Chittagong Hill Tracts
- b 被災住居 660,100戸
  - 完全被災 231,100戸
  - 部分被災 429,000戸
- c 被害農地 110,000 ha
  - 水稲(Aus 稲 27,600 ha, Amon 稲80,000 ha)
  - Banana 1,020 ha, Betelnut 300 ha, Sugar cane 166 ha, Coconut 96 ha など
- d 家畜被害
  - 牛 25,000頭
  - 羊 50,000頭
  - 鶏 125,000羽

(気象データ)

低気圧の中心示度は 969 mb (Chittagong Forecasting Office, Patenga Airport)で、25日東インド洋に発生し図-3の経路で北進した。進行速度は30km/hr と推定される。表-2は風速・風向を Chittagong Airport で記録したものである。

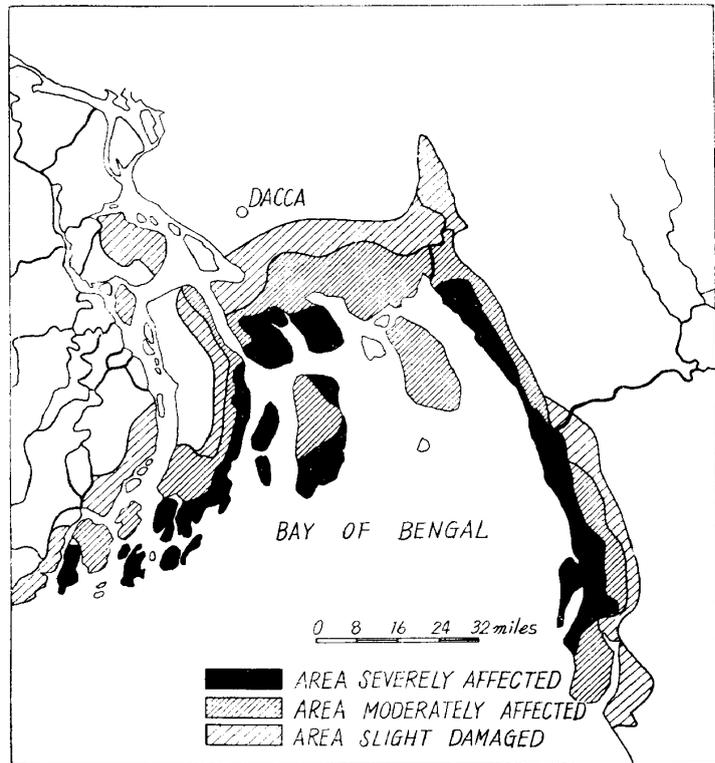


図-3 1960年10月10, 31日のサイクロンによる被害地域

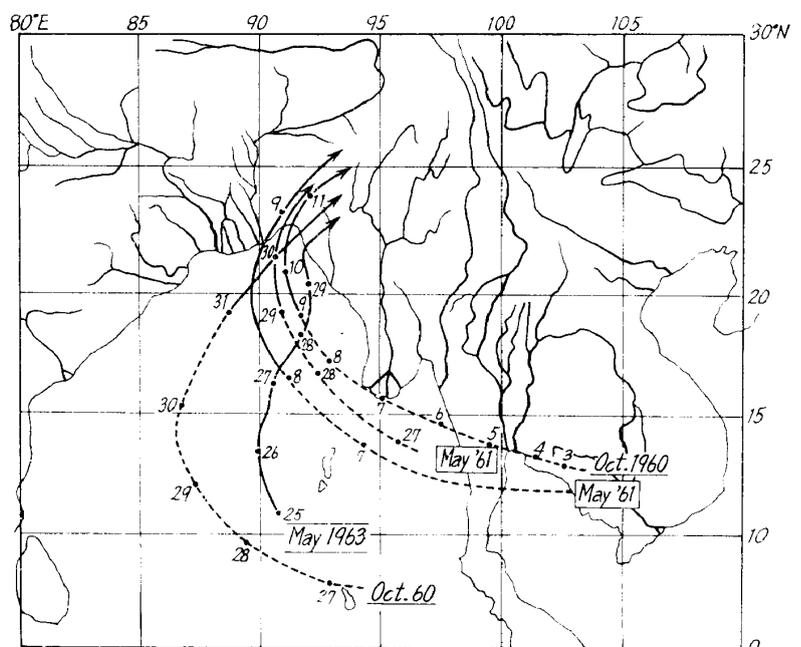


図-4 最近のサイクロンの経路

1965年5月2日 Barisal 地方に発生したサイクロンは風力10程度のものであった。

インド地方の暴風の表現法として、風力7以下を depression, 風力8, 9を moderate storm, 風力10以上を severe storm といっている。1890年から1950年にベンガル湾に発生した depression を集計した月別の表を次に掲げる。

表-2 Chittagong 空港で観測された1963・5・28~29サイクロンの風向, 風速

日	時	風 向	風 速	瞬間風速
5月28日	21	NE	12m/s	
	22	〃	18	
	23	〃	22	
	24	〃	22	44m/s
29日	1	ENE	35	42
	2	SE	44	56(max)
	3	S	35	43
	4	SSW	33	36
	5	SW	24	
	6	SW	24	

表-3 1890~1950年間に Bengal 湾で発生した disturbance と cyclonic storm の数 (P. Koteswaram による)

Items	month												計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Disturbances of all intensities	9	2	4	25	48	76	113	129	132	119	92	44	793
Percentage frequency	1	0.3	0.5	3	6	10	14	16	7	15	12	5	
Cyclonic storms	4	1	3	14	22	30	36	22	29	54	15	22	288
Percentage frequency	1	0.3	1	5	8	10	12	8	10	19	18	8	

#### IV Coastal Embankment Project による海岸堤防の耐サイクロン性に関する技術的一考察

##### 1. Coastal Embankment Project について

第2項で Ganges 河口地帯の地形について述べたが、西部のインド・パキスタン国境から Khulna, Faridpur, Barisal, Noakhali, Chittagong 地方にかけて、海岸線より 50~80km の巾で標高1~3mの低標高陸地が展開している。Khulna 地方から Meghna 河にかけて Ganges 系の沖積層、Meghna 河から東方は Brahmaputra 系の沖積土より形成されている。また西部河口地帯に発達した Sundarbans は世界でも代表的な海岸森林地帯である。この約150万 ha にわたる平坦地は、古くからヒンズー教徒により輪中堤による農地化が進められて来たのであるが、1947年のインド・パキスタンの分離によってこの地帯で農耕に従事していたヒンズー教徒はインドに去り、輪中堤の手入れは、疎かになり広大な低位耕地は荒廃しつつあった。独立後のパキスタン政府は、東パキスタン州の開発事業の筆頭に、Coastal embankment の建設、補修をあげ1958年から60年にかけて大規模な荒廢堤の補修工事に着手した。この事業の有利性は、人口密度 1 km<sup>2</sup> 当り350人にも達する豊富な人的資源を利用して堤防を造り、河川横

断個所には簡単な sluice gate を設置するだけで、殆んど外貨を使わずに、広大な農地を造成植民することができることにある。これらの土壤に含まれる塩分は潮位の変動を利用して sluice gate を操作することにより2, 3年のうちに洗い流されてこれらの土地は立派な稲田とすることができ、full benefit を期待することができる。また1963年頃から、今まで手のつけられなかった大規模な輸中築造工事がアメリカのコンサルタンツの指導とアメリカの資金により着手された。この事業の建設重点工事は、数多くの中小河川を横断する大規模な sluice を乾季の半年間に完成することにある。設計は合理的で重要部分は凡て基準化され、処理されていた。この project の資金は約1.7億ドル、全堤防延長は実に 4,500km に及んでいる。

ここで問題になるのは、事業が大型化し、海岸部に進展するにつれてサイクロンとの関係が密接になってくることであって、歴史に残っており、また近年における災害の大半をみても高潮による堤防の欠潰によるものである。

## 2. 海岸堤防の耐サイクロン性に関する技術的一考察

1963年5月28, 29日におけるサイクロン被害について収集した資料からこれら一連の関係を技術的にチェックしてみよう。

このサイクロンに関する諸資料は前項で述べたとおりである。このサイクロンは陸に近づいてから、Chittagong 海岸と Sandwip 島との約24km の水道を通り海岸に沿って北上したので現在建設中の海岸堤防を寸断する結果を招いた。しかし図-5 からすれば中等潮位で低気圧

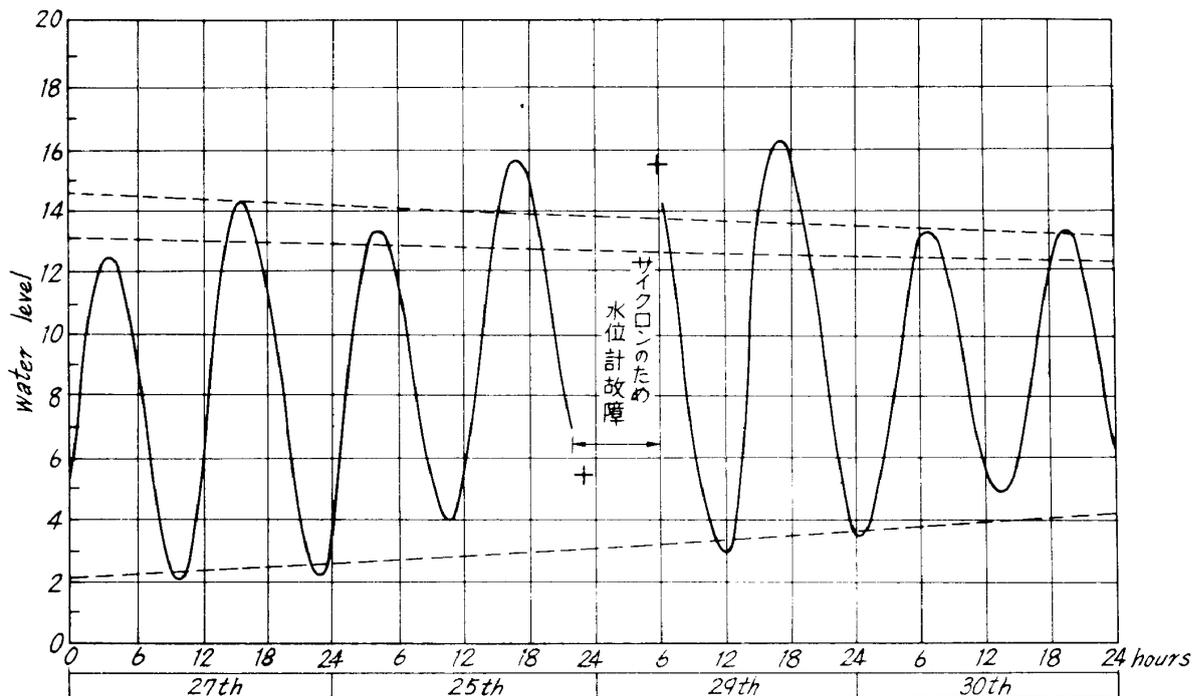


図-5 Chittagong 港における1963年5月28, 29日のサイクロンによる潮位変動 (Chittagong Port Trust による)

の中心が通過したので前掲程度の被害で喰い止められたのは不幸中の幸いであった。

海岸地帯に建設中の堤防は、最高潮位(H.T.L.)に1.5m (5 ft)の余裕を加えた堤高で設計され、海岸側を10割でH.T.L.まで築造し、1.5m (5 ft)の部分を3割で盛り上げ、4.2m (14 ft)の頂巾、1割5分で陸側に配した人力施工の土堤で、何らの法面保護もしていないものである(図-6)。計算の結果は次式に示すとおりである。

height of dyke = max. high tide level (20.0')

- + (a) rising up due to low pressure (2.3')
  - + (b) rise due to drift (4.7')
  - + (c) resonatic tide oscillation ( $\cong 0$ )
  - + (d) washing wave (6.6')
  - + (e) free boad (3' ~ 5')
- = 33.6' + (3' ~ 5') = 36' ~ 38'

となり、 $(38' \sim 36') - 25' = 13' \sim 11'$ がこの程度のサイクロンに対して高さにおいて不足していることになる。さらに海岸側の法面は十分に保護しなければならない。もし完全な防潮堤を計画できないのであれば、海岸線附近の農地化、植民を中止すべきではなからうか。

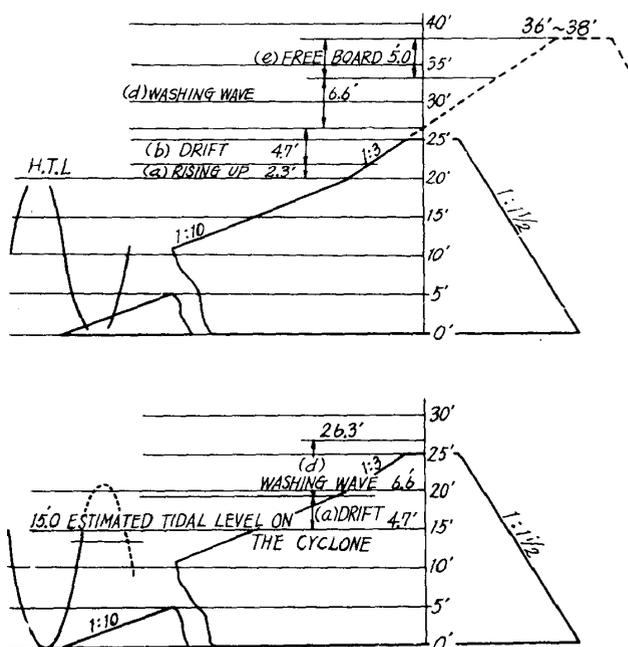


図-6 海岸堤防断面図