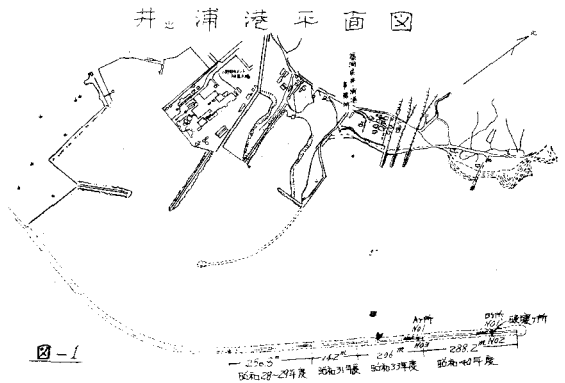


I-11 井の浦港防波堤について

福岡県土木部 〇 正員 久 富 一 久
 福岡大学工学部 正員 吉 田 信 夫
 九州復建事務所 正員 山 本 毅

まえがき

福岡県井の浦港は昭和29年度以来 図-1に示す様に防波堤を逐次延長して昭和34年度末に全延長(900m)に亘つてホ一段(天端高+1.0m)の捨石が完成する予定であったところが昭和35年3月9日、先端部より99mの位置で延長約30mの区向が陥没したこの破壊の原因を解明するために土質調査を行ない今後の施工方法を検討した。その結果本防波堤は徐々に施工すれば粘着力も計算上増加し安定であると考えられ、四段階に分けて施行することになった。ところが三段捨石断面(天端高+2.5m)に於てチェックボーリングを行なった所一部未圧密部分が見受けられ、又軟弱層が予想以上に深かったため(-8.0m)、安定計算の結果危険であることが判明した。以下それに就いて詳細に述べることにする



1. 土質調査 (昭和35年6月14日 ~ 7月6日)

被災箇所附近の破壊による影響のない所を6箇所選定して試錐及び土質試験を行なった。その結果を要約すれば

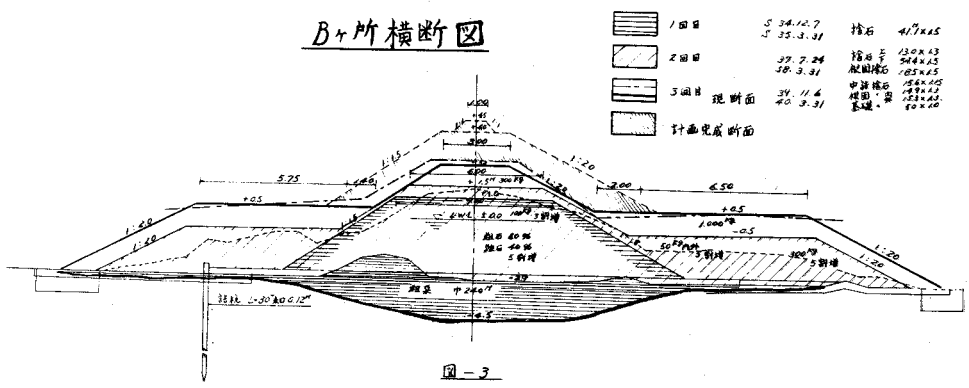
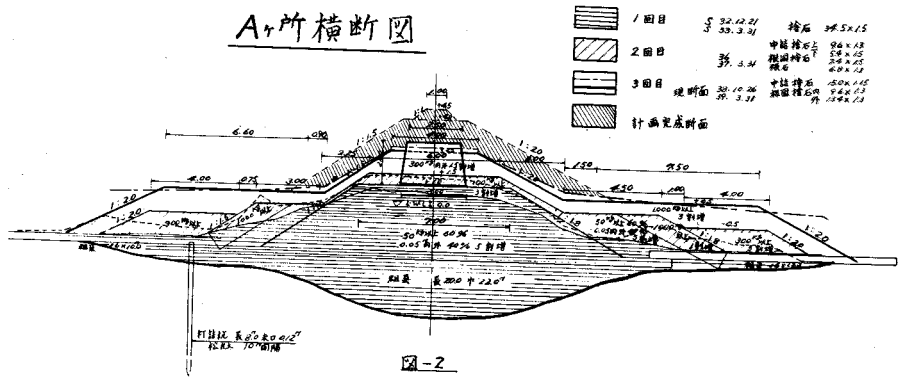
- a) 現存水深は概ね-2m、表層は厚さ2.5~4mの青灰色のシルト層で著しく軟弱である
 $W: 76 \sim 95\%$ 、 $e: 2.0 \sim 2.9$ 、 $f_u: 0.057 \sim 0.069 \text{ kg/cm}^2$ 以上の結果、粘着力 $C=0.3\%$ とする。
- b) その下-5m~-7mの向は厚さ0~2mの乳灰又は青灰色を呈する軟弱なシルト質粘土層が存在する。 $W: 75\%$ 程度、 $e: 2.0$ 、 $f_u: 0.13 \sim 0.19 \text{ kg/cm}^2$ 以上の結果、 $C=0.8\%$ とする。
- c) -7m~-9m附近は乳灰~黄灰色を呈する硬質粘土層が存在する。 $W: 30\%$ 以下
 $e: 0.85$ 以下で固結している。防波堤の基礎としては充分な支持力を有するものと推定される。

2. 防波堤(ホ一段階天端高+1.0m)に対する所要の粘着力(C)及び圧密度(U_z)の検討

昭和31年度、33年度~34年度施工部

防波堤下に粗粒沈床を敷き、其の上にホ一段階(図-2.3)で示す断面迄捨石を施工し

た。この場合、粗朶次床の強度は安全側をとりえを無視すると、水深-7.5mを通る円弧上りは現地盤の粘着力で充分安全である。水深-5.0mを通る円弧上りは現地盤のCでは不足する。これが安定であったのは捨石施工期間中に上部層が圧密され、Cの増加があったものと考えた。即ち土質試験結果から上部層(-2.2m~-5.0m)の平均圧密度を算定してみると、 $U_E=0.95$ となりこの事からCの増加を考えると、円弧上りによる安全率(Fs)はFs=1.01となり一応安全である。尚、昭和35年3月9日の破壊の原因は、1日当りの捨石捨込量が既設防波堤施工時の50%増しの割合で施工されたため、施工速度が5割速くなったことで圧密期間が短縮し、粘着力の増加が捨石施工速度に追いつかず剪断破壊したものと考えられる。

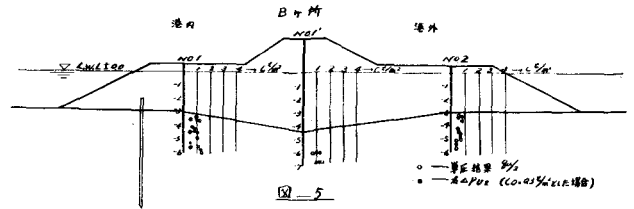
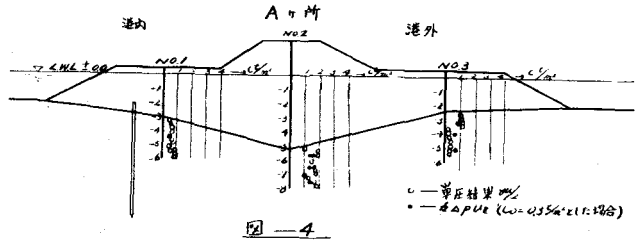


以上の考察から、本防波堤の施工方法は捨石施工高を今後3段階に分けた緩速施工で、粘着力の増加に応じて捨石を施工することとする。粘着力の増加は増加荷重の1/4とし、圧密度85%以上期待出来るものとして検討した。水深-5.0mを通る円弧上りに対する安全率(Fs)を最終捨石断面で1.5以上になる様に図-2,3の如く決定した。

3. 三段捨石断面(3回目、現断面)時に於けるチエックボーリング (昭和40年7月19日~10月26日)

図-1に示す様に捨石直下のAヶ所、Bヶ所に計6本のチエックボーリングを行なった

その結果を要約すれば、防波堤中央直下では深度-8m 附近迄軟弱な砂質シルト層で、破砕された貝殻やそのまゝの状態の貝殻が無数に混入している。特に港外側-5m ~ -6m 附近に多く密集している土質試験結果は含水比 $W: 57 \sim 73\%$ 、液性限界 $LL: 49 \sim 59\%$ 、塑性限界 $26\% \sim 30\%$ 、間隙比 $e: 1.5 \sim 2.0$ 、砂分: $10 \sim 27\%$ 、シルト分: $57 \sim 57 \sim 79\%$ 、粘土分: $9 \sim 19\%$ 、単位体積重量 $\gamma_t: 1.6 \text{ t/m}^3$ 内外、一軸圧縮強度 $\bar{\sigma}_u$ は図-4, 5に示す通りである。図に見る様に港内側



N0.1 では粘着力 $C = 1 \text{ t/m}^2$ 内外で、粘着力 $C \sim$ 深度 Z の関係に於ては C の増加は $1/8 \sim 1/10$ を示している。中央に於ては $C = 1 \sim 2 \text{ t/m}^2$ で深度による C の増加はあまり期待されない港外側 Aヶ所 N0.3, Bヶ所 N0.2 では深度による C の分布はむしろ逆向きで、 $0.7 \sim 1 \text{ t/m}^2$ から $0.3 \sim 0.4 \text{ t/m}^2$ である。この試験結果を確認するために圧密試験に於ける $e - \log P$ 曲線の間隙比から圧密度 U_z を計算し、単圧結果 $\bar{\sigma}_u/2$ と比較してみた。

即ち
$$U_z = \frac{e_1 - e}{e_1 - e_2} \times 100$$

但し e_1 : 始めの間隙比 : 捨石に影響ない時の自然間隙比。

e_2 : 終りの間隙比 : $e - \log P$ 曲線より捨石荷重を計算した時の間隙比。

e : 途中の間隙比 : 捨石の影響ある時の自然間隙比。

圧密が殆んど完了していれば $e \doteq e_2$ となり U_z は 100% に近くなるわけである。然るに U_z 計算の結果は、防波堤中央で 70 ~ 100%、両側 -4.0m 迄は 70 ~ 90% の圧密度を示しているが、両側 -4.0m 以下は 50 ~ 60% で特に Bヶ所 N0.2 -5 ~ -6m では U_z は約 20% に過ぎなかつた捨石の影響ない時の粘着力 C_0 を 0.3 t/m^2 とした場合、 $C = K \Delta P U_z$ ($\because K = 0.2, \Delta P$: 捨石荷重による各点の応力) より C を計算してみると図-4, 5の通りで、殆んど単圧結果と一致した。

4. 設計条件

粘着力

以上の結果から図-6, 7の如く、深度 -5.5 ~ -6.0m 迄は C の増加は期待出来ないものとして決定する。深度 -5.5m (Aヶ所) 及び -6.0m (Bヶ所) 以下はその面を $C_0 (= 0.8$ 又は $1.0 \text{ t/m}^2)$ とし、深度ごとに $K = 0.2$ の割合で増加するものとする。即ち、 $C = C_0 + KZ$ 。捨石の影響ない部分は 0.3 t/m^2 とする。

単位体積重量

最上部コンクリート $\gamma_t = 2.3 \text{ t/m}^3$, 捨石 $\gamma_t = 2.0 \text{ t/m}^3$ (水中にて

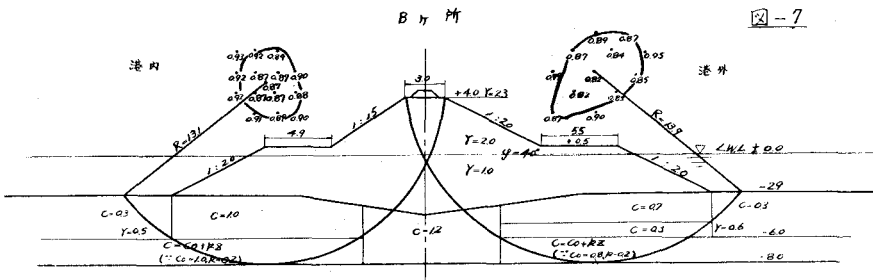
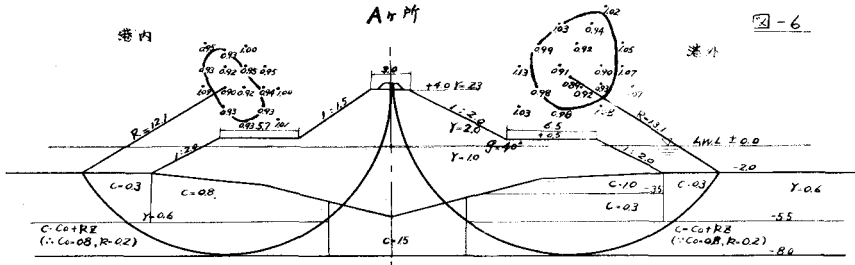
1.0 t/m^2), 軟弱層 $\gamma t = 0.6 \text{ t/m}^3$ (木中)

内部摩擦角 捨石 $\varphi = 40^\circ$ 軟弱層 $\varphi = 0$ とする。

深度 -0.0 m 迄を軟弱層とし計算の対象とする。作図は安全側をとり $L \cdot W \cdot L = \pm 0.0$ とする。

5. 安定計算

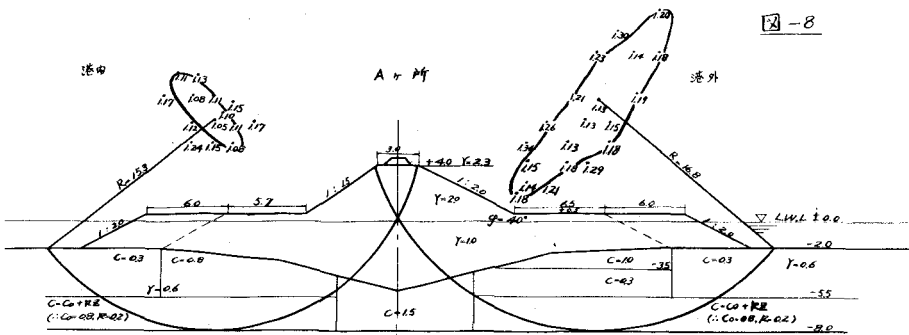
以上の条件に基づきすべりに対する安定計算を行なうと図-6, 7の通りである。これはすべて深度 -0.0 m を通る円弧で計算したものである。

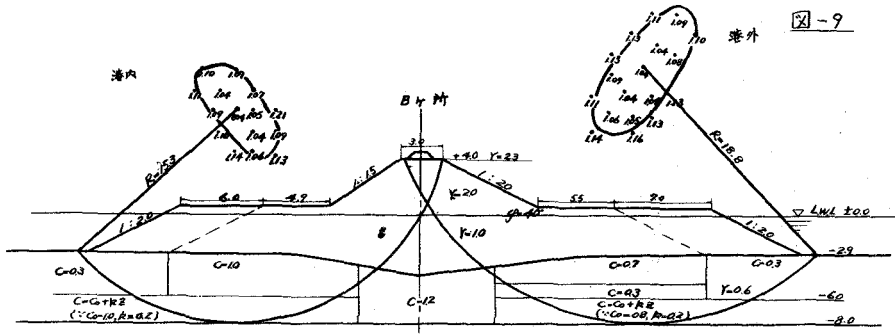


図の様にAヶ所では $F_s \text{ min } 0.9$ Bヶ所港内側で $F_s \text{ min } 0.87$, 港外側が一番小さく $F_s \text{ min } 0.82$ という結果が出た。これは明らかに危険であり、断面を変更する必要がある。

6. 断面決定

現在の計画完成断面では危険であることが判明したため、捨石を施工して両側に押え、





即ちカウンターを広げる必要がある。現断面いわゆる三段捨石断面時で当設計条件に基づいてすべりの安定度を調べてみると、Bヶ所港外側が最も安定度が低くFs最少1.0であった故にFs最少を少なくとも1.0以上にしなければならぬ。亦、船舶航行に支障を来たさぬ様に余り広げることも出来ない。それを加味して決定したのが図-8, 9に示す断面である

結論

井の浦港東防波堤は今尚、圧密は進行している。現在未圧密な箇所も長期間経てば圧密度も80%以上となり粘着力が増大して当所の計画断面でも安定となるであろう。然るに層厚6mの軟弱層が圧密度80%に達する迄には計算上からは7年以上かかることになる。即ち、軟弱層内の排水は土質状態からみて下部からは抜け得ない。徴少乍ら上部からのみ排水されるだけである。その状態は、港内側に松杭が1m間隔で打ってあるがそれが木みちとなり排水され、僅か乍ら粘着力が増大していることから考えられる。亦、当所の計画断面で危険となったもう一つの原因は、捨石直下に軟弱層が-8m附近迄堆積していたことである。そのために当所の計画より3m多量の軟弱層を対象にせねばならなくなり、安全率も低下したことが考えられる。最後に御助言頂いた水戸港湾建設局小倉調査設計事務所各所に感謝致します。

参考文献

井の浦港捨石防波堤の施工計画 昭和35年12月

水戸港湾建設局 小倉調査設計事務所