

II-25 苫小牧港東港防波堤の沈床工法について

北海道開発局港湾建設課 水野 雄三
北海道開発コンサルタント(株) 藤井不二也
" 花田 真吉

1. まえがき

軟弱地盤上に防波堤を築造する場合、防波堤の安全性の検討に際し、1)次下に対して、2)円弧スベリに対しての安定性が重要となる。これらの対策工として、サンドドレイン等の地盤改良、置換工法、基礎捨石の厚さ及び幅を広くしカウンターウェイトによる方法等が一般的であるが、本港においては、種々の工法の比較検討の結果円弧スベリの長さを増大させ、地盤の安定性を保つ様、図-1に示すH形鋼による沈床工法を採用した。

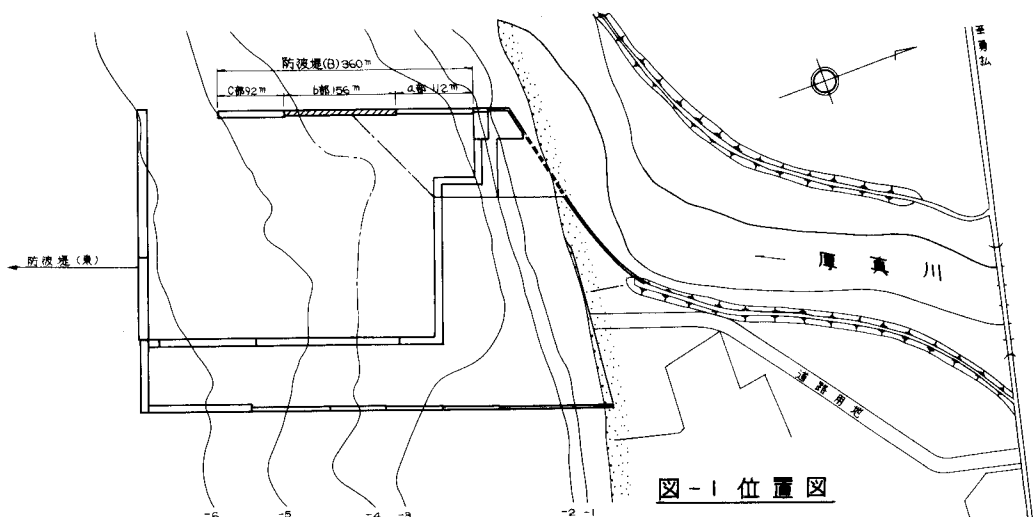
沈床工の設計は、基礎捨石荷重、ケーソン荷重、ケーソン波圧が作用した時の端趾圧及び換算集中荷重(円弧スベリによる)の荷重条件を組合せて、沈床工としてのH形鋼を弾性床上の梁として解析し断面決定を行っている例が多いが、設計上の仮定の1つである地盤反力係数と土質との関係が未だ不十分である。

本港において、図-1に示す(B)-b部の沈床工について応力測定を行ない、実測応力と弾性床上の梁として解析した応力と対比を行ったので報告するしだいである。

2. 防波堤及び沈床工の概要

防波堤(B)-b部は、図-2に示すとおりであり、基礎捨石の下に長さ15mのH形鋼を敷いた混成堤である。沈床工はH形鋼(H-390×300×10×6)12本を1組とし、50m間隔に並べて組立てられている(図-3)。

沈床工の長さは、マウンド下面で沈床工を1mずつのばして、円弧スベリ最小安全率が $F_s \geq 1.3$ となる点を求め、かつ $F_s \geq 1.3$ となる点がマウンド下面における端趾圧分布幅の内にある場合は、端趾圧分布幅をカバーする様に決定したものである。



3. 応力測定

応力測定は表-1に示す時期に行った。尚、代表的な時期の縁応力分布を防護工による断面係数の補正を行い図-4に示す。

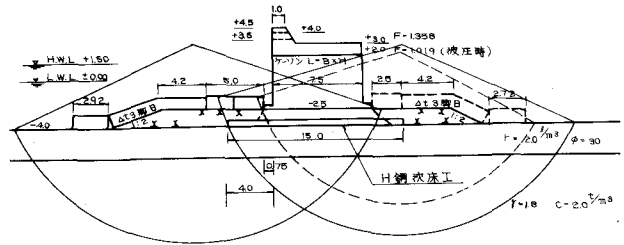


図-2 断面図

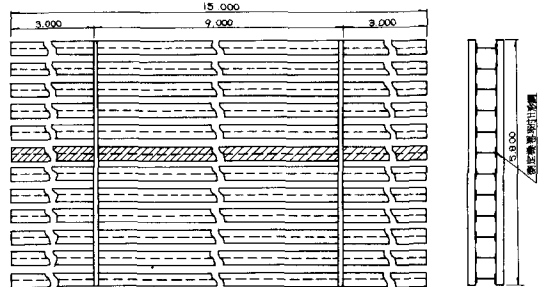
4. 弾性床上の梁として解析

沈床工を弾性床上の梁として次の仮定のもとに解析する。

弾性支承は均一で梁も均一なものとし、荷重は集中荷重と直線分布荷重とする。

境界条件は、両端自由の場合と両端単純支持の場合について行う。

図-3 沈床工組立図



4-1. 弾性方程式

弾性方程式は

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Rdy = f(P)$$

ここに E ; 梁の弾性係数、 I ; 梁の断面2次モーメント、 R ; 地盤反力係数、 b ; 梁幅、 $f(P)$; 荷重強度、 y ; たわみ、 x ; 距離

この一般解は

$$y = e^{ax}(A \cdot \cos ax + B \sin ax) + e^{-ax}(C \cos ax + D \sin ax) + \frac{f(P)}{Rb}$$

ここに A, B, C, D は積分常数

$$a = \sqrt{\frac{Rb}{4EI}}$$

上式よりたわみ y 、たわみ角 θ 、曲げモーメント M 、せん断力 S 、反力 R の式を求め、荷重条件を適合して連立方程式を解く。

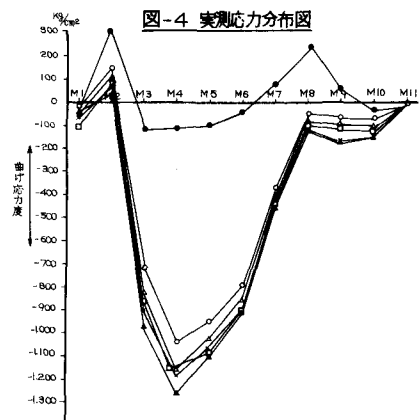


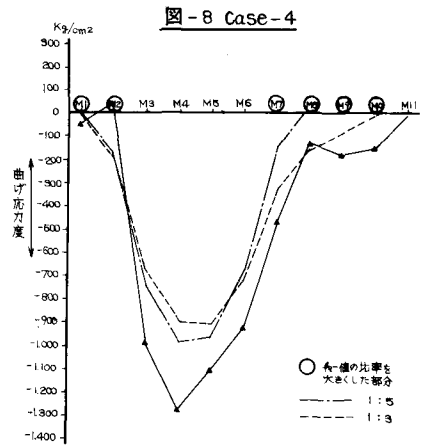
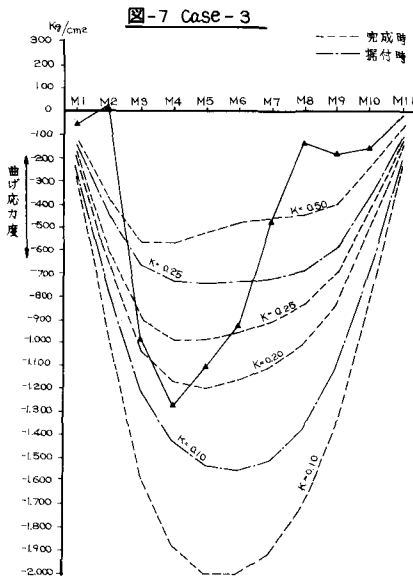
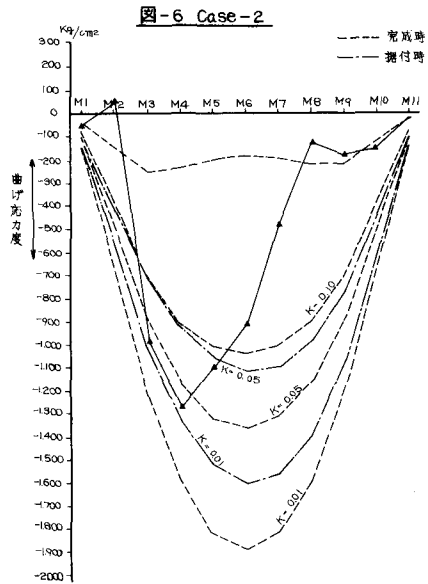
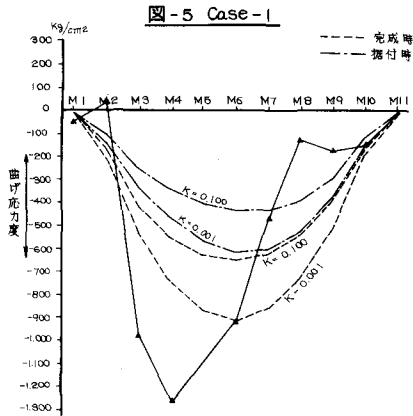
図-4 実測応力分布図

測定年月日	現況状況	記号	測定年月日	現況状況	記号
S51.11.24	橋台終工完了	←→	S52.8.13	場所竣工了	←→
12.1	ケーシング埋付後(15日)	○—○			
			S52.9.22	防護堤完成	←→
S52.1.27	ケーシング埋付後(62日)	○—○			
	(224日)	○—○			

表-1

4-2. 計算結果

図-4の実測応力との対比より、荷重及び境界条件を次の様に仮定し、各地盤反力係数について梁の応力度を求めた。



Case-1 全荷重に対して両端自由梁とした場合

Case-2 等分布荷重に対しては両端単純支持梁、部分荷重に対して両端自由梁とした場合

Case-3 全荷重に対して両端単純支持梁とした場合

Case-4 全荷重に対して両端自由梁とするが、地盤反力係数を中央と端部で変えた場合

尚Case-4はI.B.MアプリケーションプログラムSTRESSを用いた。

各ケースの計算結果を図-5、6、7、8に示す。

図中の▲-▲線はS52.9.22防波堤完成時の実測応力である。

図-5、6、7と図-8とでは応力分布は非常に異なっており、実測応力分布と計算応力分布を近似させる為には、Case-4の様に地盤反力係数を変化させなければならない。

しかし、一般性を持った均一の地盤反力係数を推定する為には、Case-4の場合は適しておらず、よってCase-1、2、3と実測応力の各々の最大応力を対比して求める事にした。

その結果 Case-1 ---- R = 極小
 Case-2 ---- R = 0.07 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$
 Case-3 ---- R = 0.19 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$ となった。

5. 各種設計基準より地盤反力係数を求めた場合

各種設計基準より地盤反力係数を求めると下記の様になる。

- (1) くい基礎の設計篇 ---- R = 0.17 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$ ---- 沈下量は20^{cm}とする
- (2) 直接基礎の設計篇・砂質土 ---- R = 0.58 "
 粘性土 ---- R = 0.16 "
- (3) ケーソン基礎の設計篇 ---- R = 0.17 "
- (4) Terzaghi の方法・砂質土 ---- R = 0.12 " ---- 沈下量は20^{cm}とする
 粘性土 ---- R = 0.26 " ---- "
- (5) 横山の方法 ---- R = 2.0 " ---- N値=10と仮定 R=0.2 N
- (6) 港研方式 ---- R = 3.0 " ---- N値=10と仮定

尚 (1)~(3)は、日本道路協会 道路橋下部構造設計指針

(4)~(6)は、日本港湾協会 港湾構造物設計基準 による。

Case-1 ~ 3の地盤反力係数の内、上記指針から求められた地盤反力係数が比較的一致するのは、Case-3の地盤反力係数と(1)~(4)の地盤反力係数である。

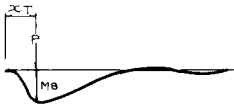
この内、沈床工と支持機構が類似しているのは、(2)、(3)の指針である。

Case-3の条件で設計地盤反力係数を推定するには、(2)、(3)によれば良い様に思われる。

6. 境界条件の影響

境界条件が両端自由の場合と単純支持の場合について荷重が梁端部よりいくら離れたら、これらの支持条件による差が無くなるかを調べる。

方法としては、集中荷重を用いて荷重を梁端部より1T ($T = \sqrt[4]{EI/R_b}$ 、単位は長さ) ずつ移動させ、荷重直下での曲げモーメントを比較した (表-2)。



条件としては、R = 0.22 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$ 、E = 2.1 × 10⁶ $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
 I = 38.700 ^{cm⁴}、b = 30^{cm}、T = 3.33

図-9より
 載過位置が
 2T以上梁
 端部より離
 れれば支持
 条件の差が
 無くなる事
 が分る。

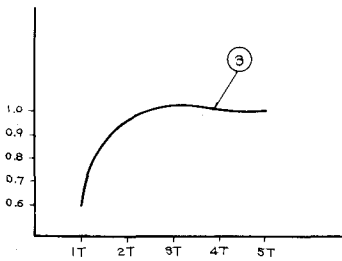


図-9 支持条件比較図

表-2 曲げモーメント比較表

	①	②	③
梁端部より荷重のはなれ	両端自由の時の曲げモーメント	両端単純支持の時の曲げモーメント	$\frac{①}{②}$
T	8.500 tm	14.159 tm	0.600 (40%)
2T	12.225	12.655	0.966 (34%)
3T	12.005	11.703	1.025 (2.5%)
4T	11.768	11.720	1.005 (0.6%)
5T	11.763	11.777	0.999
梁中央	11.778	11.777	1.000

7. 考察

沈床工について、実測応力と計算応力の対比及び各種基準との対比を行ったが、その結果、

- ①全荷重に対して、両端単純支持の弾性床上の梁として解析した場合、道路橋下部構造設計指針、直接基礎の設計篇及びケーソン基礎の設計篇より算出した地盤反力係数を用いれば、最大曲げ応力度は、実測値と比較的近い値を得る事が出来る。
- ②支持条件が両端単純支持の場合と両端自由の場合で荷重が梁端部より $2T(\sqrt[3]{\frac{T}{EI}K_b})$ 入れば、この両者の支持条件の影響は無くなる。又、表-2より両端単純支持で梁端部に荷重が作用する場合は、断面力が大きくなる。
- ③弾性床上の梁とした場合の応力分布と実測値の応力分布を一致させる為には、本港の場合、図-8に示す様に端部の地盤反力係数を中央より大きくする必要があった。

8. あとがき

以上実測値と解析値を比較してきたが、今後不均一地盤での土質常数の解明、圧密沈下等による土質常数の時間的变化等の解明に基ずく合理的設計法の確立が期待される所であり、資料の1つにでもなれば幸いと思い報告する次第である。

最後に、この発表に当り御指導いただいた苫小牧港湾建設事務所第2計画課長堤敏郎氏、山縣技官に深く感謝の意を表する。