

室蘭港西1号埠頭 -7.5 m 岸壁の土圧測定

織 田 敏 夫*
春 田 精 二**

1. 土圧計を取付けた西1号埠頭の概要

室蘭港の西1号埠頭は石炭をおもな取あつかい貨物として築設されたものであって、この港では中央埠頭につぐ第2の公共埠頭である。

昭和31年度に国の直轄事業として着工し、昭和34年度をもって完成した。埠頭の東側は -7.5 m 岸壁 250 m、仮護岸 183.5 m、西側は -5.5 m 岸壁 166 m、-4.5 m 岸壁 166 m、護岸 88 m、前面は埋立護岸 210 m よりなり、埋立土砂はポンプしゅんせつ船によりしゅんせつ土砂 340,000 m³ を流送した。土圧計は上記 -7.5 m 岸壁先端部より 51 m の位置に取付けた。

-7.5 m 岸壁は図-2 のような構造であるが、ケーソンの後趾を延長してL型となし、計算上、上部裏込石を堤体重量に加算して断面の節約をはかっている。

施工の順序はまず 1,000 HP ポンプしゅんせつ船で -9.3 m まで床掘りをなし、基礎捨石を投入し、てん圧基礎ならしを行ってから、ケーソン（長さ 14.0 m × 巾

7.5 m × 高さ 9.0 m）を据付け、つぎにケーソン内部に砂をしゅうてんし、裏込石を投入し最後に場所打コンクリートを施工した。各ケーソンの合端には埋立土砂の漏洩を防ぐためプレパクトコンクリートを注入している。

図-3 は地質調査図であるが、第三紀の凝灰岩層を基盤とし、上部のチュウ積層は粗砂、火山灰、細砂、沈泥からなっている。-9.0 m より深いところは硬質の火山灰層となり、N値も 30 以上を示す部分もあって、岸壁の基礎地盤としては良好である。

埋立土砂は有効径 0.3~0.15 mm、均等係数 1.38、比重 2.56、吸水率 1.02% であり又直接セン断試験による内部摩擦角は 40°~50° であった。裏込石は径 5.0 cm ~20.0 cm の安山岩を使用した。その比重は 2.53、吸水率は 5.32%、摩耗試験による損失率は 15.1% であった。

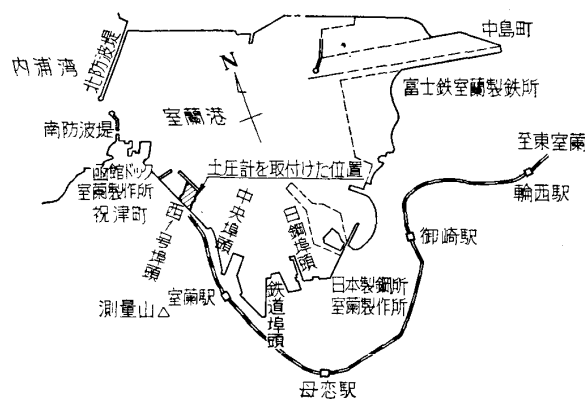


図-1 室蘭港平面図

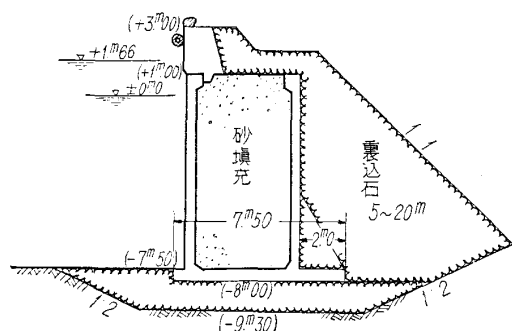


図-2 -7.5 m 岸壁構造図

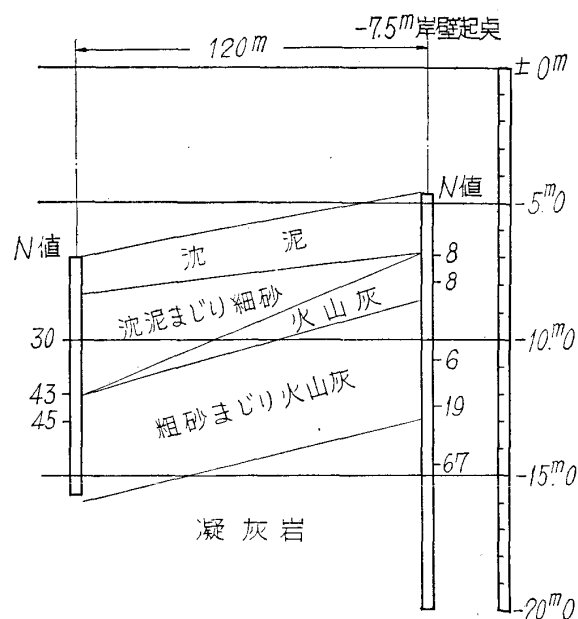


図-3 -7.5 m 岸壁地質調査図

2. 土圧計の配置および取付け

港湾構造物に対する土圧の測定の実施例は、和歌山港物揚場¹⁾、門司港田之浦岸壁²⁾、門司港小森江・型物揚場³⁾、その他⁴⁾⁵⁾があり、これら実測値の解析により土圧分布とその変化等にかんする一般的傾向はすでにあきらかとなっているところである。しかしながら岸壁の構造および外的諸条件はそれぞれ全く同一ではなくかつ北海道においては、現在まで岸壁土圧の実測値は皆無である

* 総理府技官 北海道開発局室蘭開発建設部

** 同 上

報 文・論 文

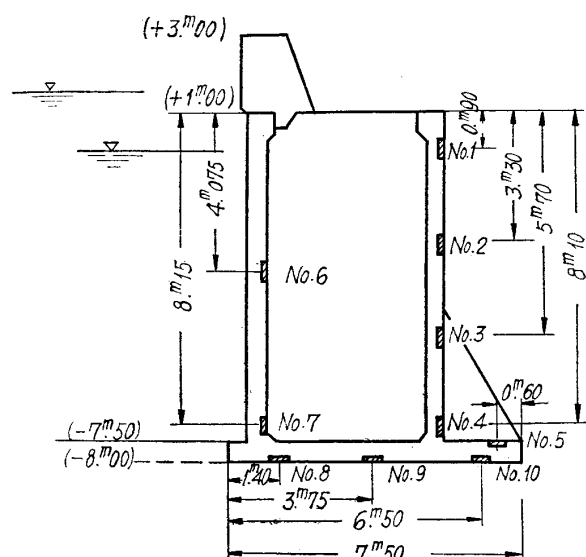


図-4 土圧計の設置

ことから、本埠頭に対する土圧の測定が計画されたのである。

土圧計の配置、器種の選定については運輸技術研究所市原松平博士、大津留喬久技官の指導をうけた。図-4は土圧計の配置図であるが、ゴールドベック港施7型および8型計 10 個を使用している。土圧計の配置はその測定目的別に4つのグループにわけられる。すなわち、

- 1) 背面土圧の測定 No. 1, 2, 3, 4 7型
- 2) 垂直圧力の測定 No. 5 7型
- 3) 底面圧力の測定 No. 8, 9, 10 7型
- 4) 内部圧力の測定 No. 6, 7 8型

となっている。このうち内圧の測定に8型を採用したのは圧力の最大が 70 t/m^2 以下であると推定したためである。これらの土圧計は製作後運輸技術研究所の検定をうけてから昭和33年10月上旬に納入を完了した。

土圧計を取付けたケーソンは同年9月10日より型ワクの組立を開始し、コンクリートは9月17日打設をおえたが土圧計はすべてケーソン製造台の上で取付けた。取付けたケ所にはあらかじめ十分余裕をもった木枠をおき埋込ボードは深さ10cmとして木枠に足を附した。木枠を取外してから径16mmの埋込ボルトをモルタルによって固定した。土圧計は壁面と面一になるように取付け周囲の凹所はモルタルで埋めた。土圧計のエアホースおよびコードは各土圧計ごとにまとめて1本の1 1/4吋ガス管におさめ、ケーソン頂部に導いた。ガス管の方向変換は直角又は 45° エルボーをもちい、又ガス管の壁面への固定には鉄板で製作したバンドを使用した。

ケーソンの進水は昭和33年10月10日に行ったが進水前および進水後に運輸技術研究所の大津留技官が立会って水温および取付状態による検定常数の調整を行った。このケーソンは10月28日に据付けを行ったが、捨石面に接するNo.8~No.10の土圧計に対しては、受圧

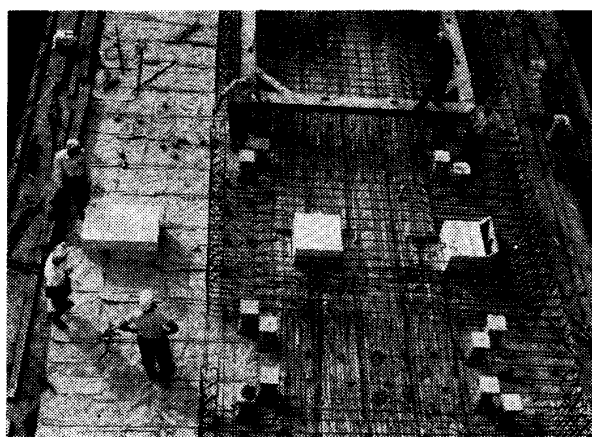


写真-1 土圧計取付けケ所の木枠とケーソン台上での作業状況



写真-2 土圧計取付け状況

板に対する粒径の過大による誤差の発生を防ぐため、基礎粗石面上に径10mm以下の小砂利を厚さ10cm程度にしきならした。また背面のNo.1~No.4土圧計は裏込石と接するので底面どうよう受圧板と接触する部分には小砂利をつみあげた、測定用のマンホールは昭和33年12月25日に岸壁天端後方に打設した。マンホールのフタは厚さ12mmの鋼板を用い、雨水の浸入をふせぐためゴムパッキンを挿入してボルトで締付けてある。

ケーソン据付後は条件の変化にしたがい、約10日おきに測定を行っているが、昭和33年10月29日よりNo.4 また同年11月19日よりNo.8土圧計は測定不能となり現在に至っている。

3. 土圧測定の経過および測定結果に対する考察

運研港施7型および8型土圧計（ゴールドベック改良型）は判別方式によって土圧を測定する型式である⁶⁾⁷⁾。

すなわち、土圧計内のペローズに除々に圧縮された空気をおくり、レバーにより接続している受圧板を1/1000mm程度土砂の方向に押し出して電気接点がはなれ判別

ランプが消えた時の圧力計の読み P_1 (up reading), ならびにベローズから徐々に空気を抜いてふたたび電気接点かとじ判別ランプが点灯した時の圧力計の読み P_2 (down reading)を測定する。この時土圧と釣合う真の圧力 P は

$$P_1 \gg P \gg P_2$$

なる関係から

$$P \doteq \frac{1}{2}(P_1 + P_2)$$

とおきこれより土圧を計算する。土圧は各土圧計ごとにキャリブレイトされた検定常数を用い次式により算定する。

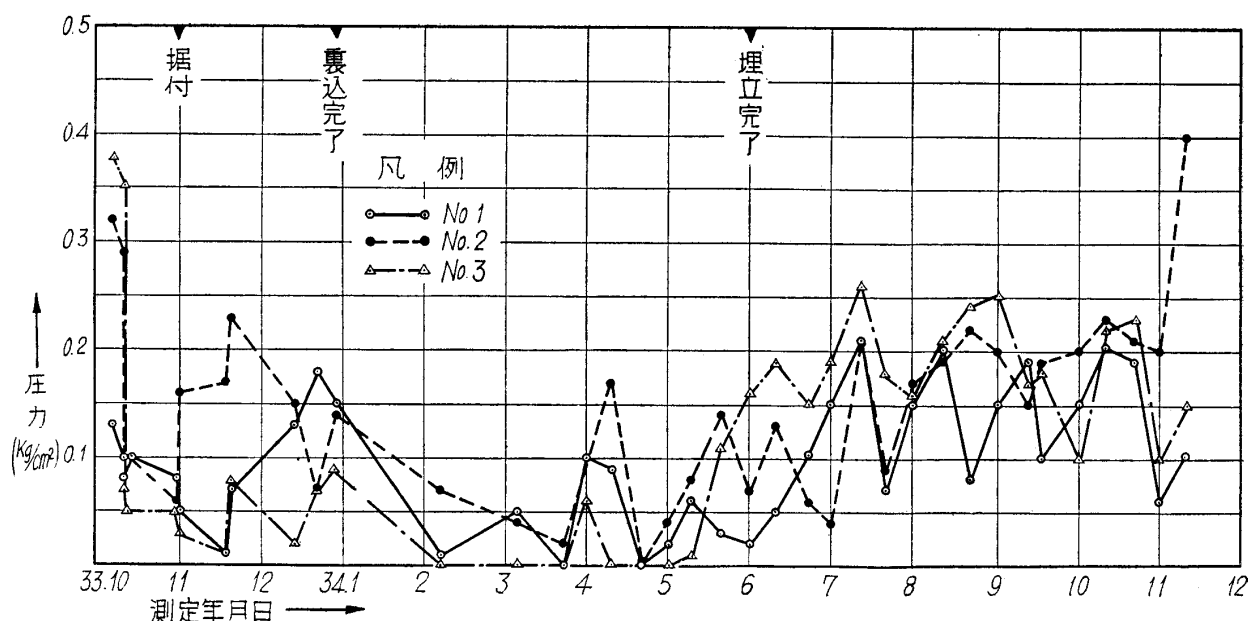
$$P = m(P_i - l) \dots \dots \dots (1)$$

ここに m, l は検定常数であって各土圧計の常数は表一1のとおりである。なおこの岸壁で実際に測定した値は $P_1 = P_2$ である。

表一1 各土圧計の検定常数及び配置

土圧計 No.	計測目的	検 定 常 数		土 圧 計 位 置 地表面よりの距離 m
		m	l	
1	背面土圧	3.14	0.01	2.90
2	"	3.11	-0.06	5.30
3	"	3.08	-0.07	7.70
4	"	3.07	0.08	10.10
5	垂直土圧	3.14	-0.02	10.50
6	内部圧力	2.60	0.11	6.075
7	"	2.60	0.25	10.15
8	底面圧力	3.13	-0.03	11.00
9	"	3.22	0.05	11.00
10	"	3.02	-0.05	11.00

つぎにケーソン据付後のおもな条件の変化をあげると、ケーソンの据付、昭和33年10月31日、ケーソン内部への砂のてんじゅう完了、同年11月19日、裏込入完了同年12月27日、埋立整地完了、昭和34年5月31日となっている。



図—5 背面土圧の変化

以下各グループ毎に測定の経過および測定結果に対する考察をのべる。

(1) 背面土圧

水圧を差引いた背面土圧の現在までの測定値を図—5に示す。背面土圧の分布形状を示す重要な部分であるNo.4土圧計は昭和33年10月29日より判別ランプが点灯せず測定不能に陥った。エアーホースを真空ポンプに接続して減圧すると接点が働いて点灯するので何らかの原因によって電気接点が離れなくなっているものと思われる。

このケーソンは底版がL形状となっているから側壁の最下部に位置するNo.4土圧計に作用する圧力は、サイロ深部の側圧に類似しその値はNo.1~No.3に比し大なる値は示さないものと推定される。今背面土圧の分布形状を推定するためNo.4土圧計に加わる圧力 P_4 を他の測定値 $P_1 \sim P_3$ から近似的に

$$P_4 \doteq (P_1 + P_2 + P_3)/3 \dots \dots \dots (2)$$

と仮定し背面土圧の分布形状を描くと図—6のようになる。これらはいずれも1~2ヶ月間の平均で示したものであるが、おおよその傾向を知ることができる。すなわち土圧は深度に比例して増大せずむしろ5~8m深度で最大となりそれより深いところではかえって減少する傾向を有する。今埋立後4ヶ月目の値を例にとり裏込石の水中、水上での全深さにわたる調和平均の単位重量を1.30 t/m³として土圧係数を求めると、土圧計順に0.362, 0.300, 0.158, 0.133となり、又、土圧合力に対するそれは0.230となる。ここは一般の岸壁設計にさいし $\phi = 40^\circ$ としてRankine土圧式から求められる値の約50%である。

背面土圧の分布形状は壁体の沈下、傾斜等によって変

報 文・論 文

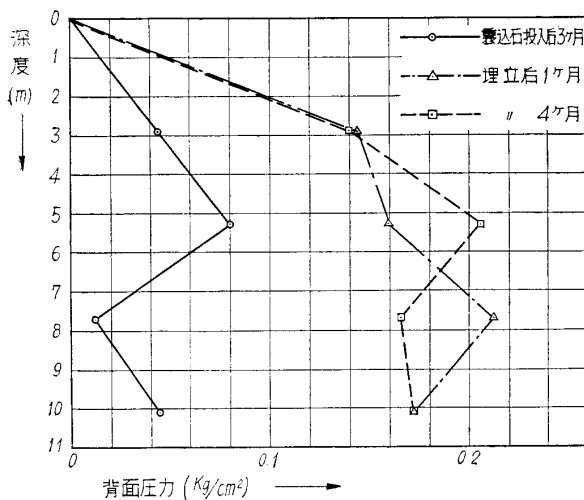


図-6 背面土圧の分布

動するものであり、現在は埋立後まだ5ヶ月余りで測定値の変動も大きい。今後とも実測をつづけ状況を観測したい。なお背面土圧と底面圧力との関係については後述する。

(2) 垂直圧力

裏込石の投入は昭和33年12月6日にはじまり27日をもって終了した。背面の埋立は昭和34年5月末で完了し、整地以来現在まで上載荷重はない。

垂直圧力の測定値を図-7に示すが、上記の条件の変化に対応し圧力の増力状態はよく一致している。

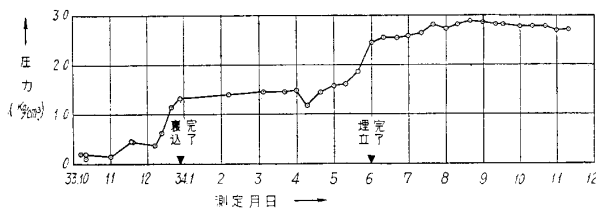


図-7 垂直圧力の測定値

構造物に作用する垂直圧力の実測例は「暗キヨに作用する鉛直土圧の実測⁹⁾」にも明かにされているが一般に直上の全土石重量よりも大きな圧力をうけることが知られている。

暗キヨについては上記報文において A. Marston の理論により直上の土柱がその周囲の土砂の沈下によって下方に引き下げられるために土柱の重量以上の鉛直圧力が作用すると説明されている。しかしながら L 形状壁体の底版上に作用する垂直圧力の場合は暗キヨと異なり1つの面は側壁によって支えられているので土柱周囲の沈下は底版後趾に沿う鉛直面にのみ発生するものと考えられる。すなわち、スベリ面が鉛直な平面である場合の応力分布⁹⁾に該当する。土圧計を取付けたケーソンは据付後昭和34年12月現在約一ケ年を経過しているが、その間約4cm沈下しており壁体背面には埋立土砂の陥没が認められるので以下上記の想定にもとづき考察をすすめる。

スベリ面が鉛直な平面の場合にスベリ面上の一点の法

線方向ならびに切線方向の応力は粘性がない場合次式で決定される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= r \cdot z \cos^2 \varphi \\ \tau &= r \cdot z \cos \varphi \cdot \sin \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ここに φ はスベリ面上の土砂の内部摩擦角、 r は土砂の単位重量、 z は土圧計上のかぶり深さである。したがって底版後趾上に作用する鉛直圧力 p_s は底版の長さを l とすれば次式で表わされる。(但し側壁面と土砂との摩擦応力は零とする。)

$$\begin{aligned} p_s &= (r \cdot z \cdot l + \int_0^H r \cdot z \sin \varphi \cos \varphi dz) / l \\ &= r \cdot z + \frac{1}{4} \sin 2\varphi \frac{r H^2}{l} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

すなわち、No.5 土圧計に作用する圧力は直上の裏込石重量 $r \cdot z$ にスベリ面上の切線方向の応力によって生ずる圧力 $\frac{1}{4} \sin 2\varphi \frac{r H^2}{l}$ が加算された値であることを知る。

事実昭和34年7月～10月4ヶ月間の平均値は 2.79 kg/cm^2 であって土圧計直上の裏込石重量による圧力 1.36 kg/cm^2 の約2倍となっている。

つぎに以下の計算の必要上(4)式により実測垂直圧力 $P_s = 2.79 \text{ kg/cm}^2 = 27.9 \text{ t/m}^2$ および $r = 1.30 \text{ t/m}^3$ (調和平均値) $z = 10.5 \text{ m}$ から裏込石の内部摩擦角を求めると $\varphi = 63^\circ 32'$ が得られる。

(3) ケーソン内部の填充砂による圧力

砂填充はケーソン据付後の昭和33年11月から始め、11月17日に終了した。図-8は測定値の変化を示す。

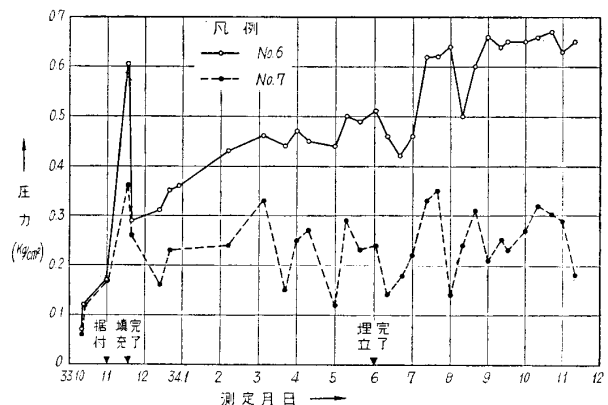


図-8 ケーソン内部圧力の変化

填充完了後下部の圧力は減少しそのまゝ埋立後もほとんどその影響を受けずに経過しているが上部では填充中圧力は大きくなり、その後直ちに減少しており、さらに時日の経過とともに増大している。又埋立後はその影響をうけて圧力が増加しているが次第に一定値に近づくものと推定される。No.6, No.7 の測定値を比較すれば、上部の圧力がはるかに大きく約2.5倍に達する。すなわち内圧は上部で大きく深さが増大するにしたがい側壁面と填充砂との摩擦によるせん断応力が増加するので下部

においてはむしろ小さくなる。これはサイロ内圧に見れる現象⁹⁾であって、予想されていたところである。図-9は内圧の分布形状を示したものである。

内圧を鉛直圧力の関数として土圧係数を求めると填充終了時の実測値をとり、砂の単位重量を 1.30 t/m^3 とすれば No.6 深度で 0.53, No.7 深度で 0.17 となる。

(4) 底面圧力

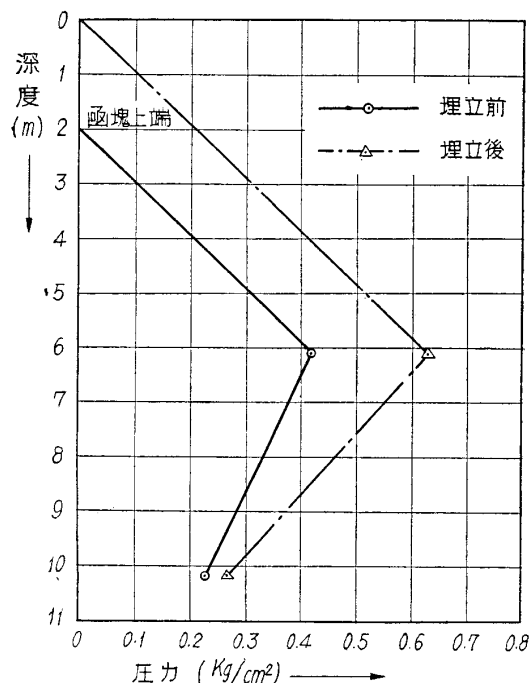


図-9 内圧の分布

底面圧力の測定値を図-10に示す。

底面前趾附近の圧力を測定すべき No.8 土圧計はケーソン据付後異常に大きな圧力を示し、送気圧が 4.0 kg/cm^2 以上となっても接点が開かず計器の耐圧限度をこえる危険があり測定不能となった。これは受圧板と本体とが接触したまま動かなくなり送気しても接点がはなれなくなったものであろう。

測定値をみると 10 月 10 日の仮置より裏込めの終了頃迄は測定値の変動がはげしい。これは捨石基礎とケーソン底面の接触が不安定であったためと考えられる。ケーソン後趾の底面圧力は裏込め完了後埋立終了までゆるやかに増加し埋立後はほとんど一定で 0.8 kg/cm^2 前後の値をとっているが最近減少の傾向がある。これに反し、中央部のそれは裏込め終了後次第に増加し、埋立完了後は急激に増大して、埋立後約 1.5 ヶ月で最大値 2.53 kg/cm^2 となり後減少の傾向を示しつつ経過したが、埋立後 3.5 ヶ月にして急激に減少してその値は後趾の圧力よりも小さくなっている。このケーソンは据付後約 4 cm 沈下し背面に埋立土砂の陥没が認められることから、ケーソン後趾に沿って鉛直スベリ面が発生したものと想定し³⁾、底面反力の合力およびその着力点 a を求める。

計算はつぎの 2 つ過程によって行う。

(a) 鉛直なスベリ面を仮定した場合。

図-11においてケーソン後趾に沿う鉛直なスベリ面を考える。AB 面より左側の壁体ならびに土石の重量を

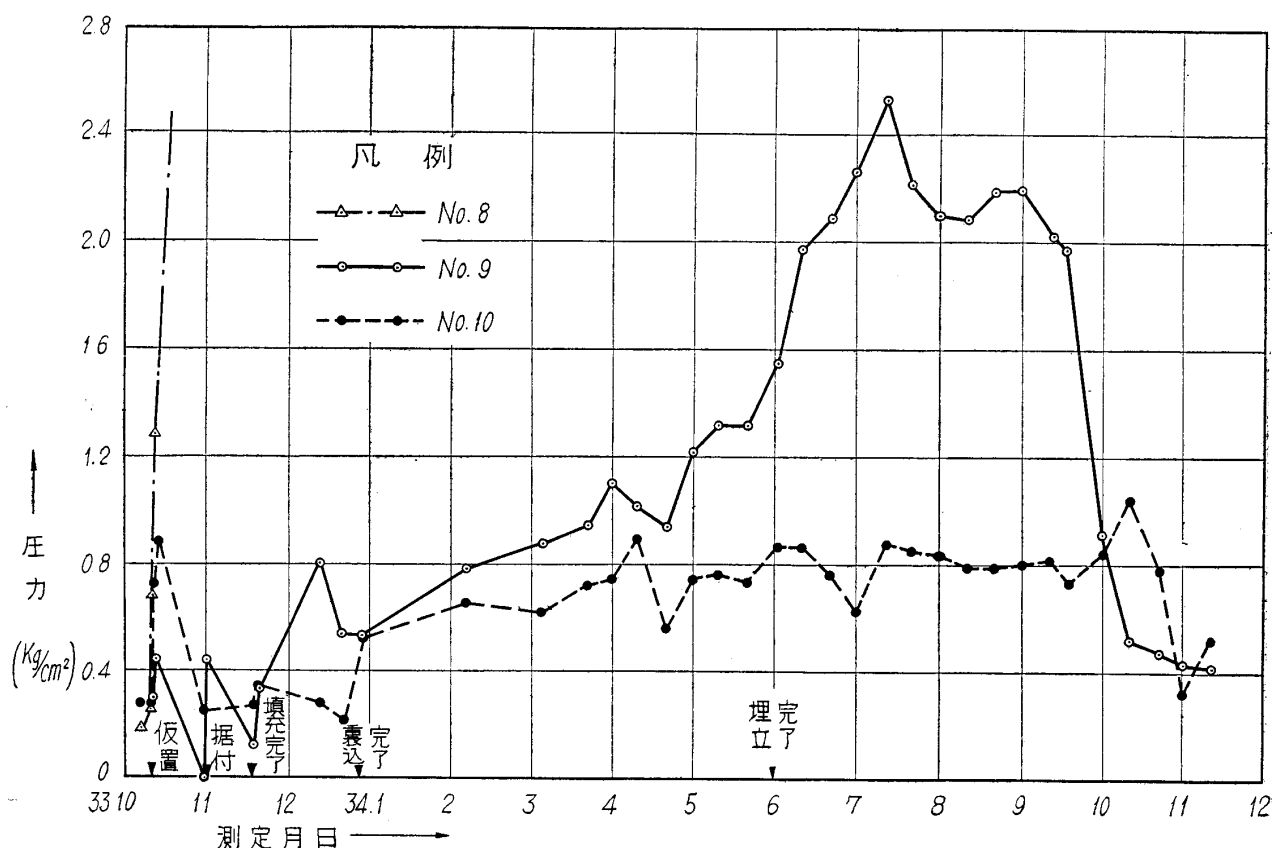


図-10 底面圧力の変化

報 文・論 文

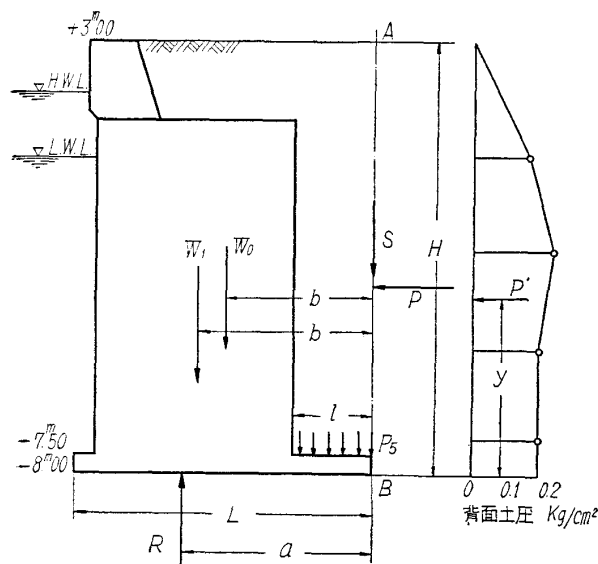


図-11 底面反力の合力および着力点

W_0 , AB 面より重心までの水平距離を b とする。スベリ面 AB に作用する全水平力 P , 全せん断力 S は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{1}{2} r H^2 \cos^2 \varphi \\ S &= \frac{1}{2} r H^2 \sin \varphi \cdot \cos \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

底面反力の合力 R ならびにその着力点 a は力の平衡条件より

$$\left. \begin{aligned} R &= W_0 + \frac{1}{2} r H^2 \cos \varphi \cdot \sin \varphi \\ R \cdot a &= W_0 \cdot b + \frac{1}{6} r H^3 \cos^2 \varphi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

いま内部摩擦角は前節において算定した $\varphi=63^\circ 32'$, 単位重量は H.W.L. 以上 1.60 t/m^3 , H.W.L.~L.W.L. を 2.0 t/m^3 , L.W.L. 以下を 1.0 t/m^3 とし H.W.L. および L.W.L. の場合につき R, a を求める。

H.W.L. の場合 $W_0=90.2 \text{ t/m}$, $b=3.67 \text{ m}$
 $R=119 \text{ t/m}$, $a=2.97 \text{ m}$

L.W.L. の場合 $W_0=98.4 \text{ t/m}$, $b=3.62 \text{ m}$
 $R=127 \text{ t/m}$, $a=2.98 \text{ m}$

が得られる。

(b) 実測値による場合,

つぎに背面土圧の測定値より土圧の全合力 P' をもとめ, B 点よりの高さを y とし, 又垂直圧力の測定値 p_s を用い, 更に壁体みの重量 W_1 および B 点より壁体の重心までの水平距離を b' とすれば力の平衡条件から次式がえられる。(但し, 側壁と土砂との摩擦力は無視する。)

$$\left. \begin{aligned} R &= W_1 + p_s \cdot l \\ R \cdot a &= W_1 b' + y \cdot P' + \frac{1}{2} p_s l^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

いま p_s を昭和 34 年 7 月~10 月の平均値 27.9 t/m^2 ,

P' は埋立後 4 ケ月間の平均値 15.4 t/m , 又その作用高 $y=4.65 \text{ m}$ を採用して, H.W.L. 及び L.W.L. の場合につき R, a を求めると,

H.W.L. の場合 $W_1=67.6 \text{ t/m}$, $b'=4.56 \text{ m}$

$R=123 \text{ t/m}$, $a=3.53 \text{ m}$

L.W.L. の場合 $W_1=72.4 \text{ t/m}$, $b'=4.56 \text{ m}$

$R=128 \text{ t/m}$, $a=3.57 \text{ m}$

が得られる。

すなわち, 鉛直なスベリ面をケーソン後趾に考えて力学的に解いた場合と, 実測値をあてはめて計算した場合とでは底面反力の合力 R およびその着力点 a の値はおおむね一致している。したがって上述の仮定は正しいものと判断される。

つぎに上記 4 ケの底面反力合力の平均値 $R=124 \text{ t/m}$, およびその着力点の平均値 $a=3.26 \text{ m}$ を採用し, 底面圧力は三角形分布をなすものと仮定してその分布形状を描いたのが図-12 である。この計算によると底面圧力はケーソン後趾より 2.25 m の位置で最大値 33.1 t/m^2 を示す。同図には No.9, No.10 土圧計の埋立後 6 ケ月の各月平均値および上記 $R=124 \text{ t/m}$ を一定として各月の No.9, No.10 土圧計の示す値と最大値 33.1 t/m^2 を用い No.8 土圧計の値を未知数として求めたものも示してある。実測値は計算値と必ずしもよく一致していないがこの理由としては 1) 底面圧力をもっと複雑な分布形状を呈しているためと 2) 基礎均し面は完全に凹凸なく仕上ってはいないためと考えられる。

実測値が埋立後 5 ケ月にして減少の傾向をたどっているのは土圧計と捨石との接触面の小砂利が捨石間に沈下したためとも解されるが, この点の把握は今後の実測にまつ以外にない。

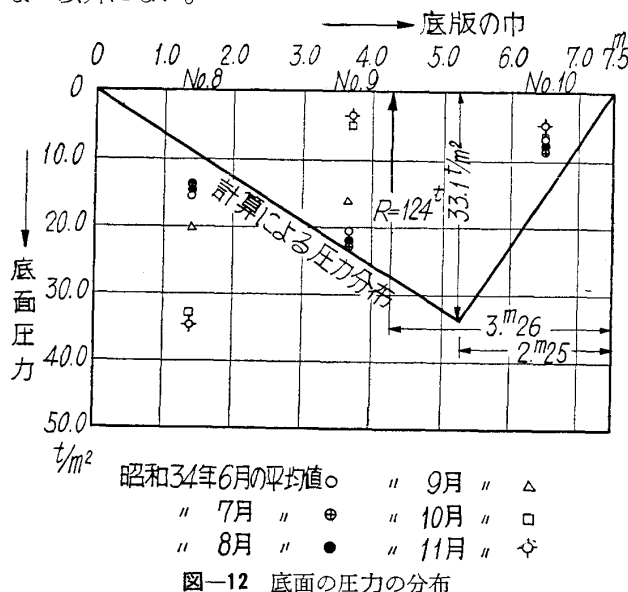


図-12 底面の圧力の分布

4. あとがき

西 1 号埠頭の -7.5 m 岸壁に土圧計をとりつけ過去

1 ケ年間測定を継続し、測定結果について取りまとめを行ったが、比較的良好に測定値を説明することができた。えられた結果を要約すると次のようになる。

(1) 背面土圧の分圧形状は No. 4 土圧計の圧力を近似的に No.1~No.3 の平均値にとることにより推定できる。この仮定はケーソン後趾がL形状となっているから許容しうるものと思う。

背面土圧の実測値からえられる合力は 15.4 t/m でこれは一般の岸壁設計にさいし $\varphi=40^\circ$ とし・Rankine 土圧式から求められる値の約 50% である。

(2) 垂直圧力は直上の土石重量よりも大なる荷重をうける。これはケーソン後趾に鉛直スベリ面を想定することにより説明がつく。又仮定によって算定される裏込土石の内部摩擦角は $63^\circ 32'$ であった。

(3) ケーソン内部の中詰砂による圧力は深部において減少する。この現象はサイロ内圧と同様である。

(4) 底面反力の合力とその着点の位置は側壁の実測土圧ならびに底版後趾上に作用する土石による実測した鉛直圧力から求めた値と、壁体後趾を通る鉛直スベリ面に応力を働かせて求めた値とがおおむね一致した。このことから計算によって求めた底面反力合力と着点の位置につき確信をもった。

(5) 底面反力合力から No.8 土圧計の圧力を推定したが、総体的に底面反力の分布は複雑であって計算値と必ずしも一致しない。この点については今後実測をつづけ状況を把握したい。

今回の土圧測定の計画および実施にさいし終始絶大な御指導をいただいた運輸技術研究所港湾施設部市原松平博士、大津留喬久技官又土圧の測定に御協力いただいた室蘭港修築事業所の方々にあつく謝意を表します。

又この報文のとりまとめにさいし、測定値の解析に懇切なる御教示をたまわった市原松平博士に対し特に記して深甚なる感謝の意を表する次第です。

参 考 文 献

- 1) 宗宮義正, 西田俊策, 市原松平, 大津留喬久: 和歌山港 2.5 m 物揚場に作用する土圧の長期変化, 「土と基礎」第 4 巻第 5 号 pp.23~29, 昭和 31 年 10 月
- 2) 土橋宣夫: 門司港田の浦 9 m 岸壁の基礎杭に作用する荷重ならびに基礎地盤の接触圧力の実測, 「土と基礎」第 5 巻第 3 号 pp.4~10, 昭和 32 年 6 月
- 3) 市原松平, 土橋宣夫: 門司港小森江型物揚場に作用する土圧ならびに壁体底面の接地圧に対する考察, 「土と基礎」第 7 巻第 5 号 pp.43~51
- 4) 北川典生, 市原松平, 大津留喬久: 宇部港 9.0 m 岸壁の土圧測定について, 「土と基礎」第 3 巻第 8 号 pp.4~12, 昭和 30 年 1 月
- 5) 神戸港工事々務所: 神戸製鋼所灘浜岸壁の土圧測定について pp.1~55, 昭和 33 年 8 月
- 6) 近藤正夫, 長谷川源太郎, 市原松平: 土圧計 3 種, 運研報告, 第 3 巻第 4 号, pp.17~25, 昭和 28 年 4 月
- 7) 近藤正夫, 長谷川源太郎, 市原松平: 続土圧計 4 種, 運研報告, 第 7 巻第 9 号 pp.14~25, 昭和 30 年 1 月
- 8) 市原松平, 林 裕貴, 遠藤慎治: 暗渠に作用する鉛直土圧の実測, 「土と基礎」第 6 巻第 2 号 pp.9~16, 昭和 33 年 4 月
- 9) 石井靖丸訳, チェボタリオフ土質工学, 上巻, p.278.

土 質 工 学 会 発 行 図 書

“平 易 な る 土 質 工 学”

最 上 武 雄・渡 辺 隆 共 著

B 6 版 1 7 0 ページ 上質紙 印刷並製

土質工学会々員	頒 価	¥ 1 5 0 円	} 送料 24 円
非 会 員	印刷実費	¥ 2 0 0 円	

土 質 試 験 用 デ ー タ ー シ ー ト

「土 の 分 類」

新 発 売