

コンクリート矢板壁に働く土圧測定実験

片 山 梯*
井 口 弘**

2. ま え が き

昭和 33 年度末に一建新潟港工事事務所において、コンクリート矢板を使用した、作業船のための、繋船物揚場新設工事を施工した。砂地盤の矢板壁の設計法には周知のように、フリーアース・サポート法、フィクスト・アースサポート法、また Tschebotarioff が、Princeton 大学の実験結果に基づいて提唱された方法等、いろいろあり、われわれが設計計算を行なう場合に、どの方法を採用するのが適当であるか、迷うことが多い。

この物揚場の設計計算は、Tschebotarioff の提唱される方法、フリーアース・サポート法の両者について行ってみたが、前者の方法によれば、後者の方法よりも矢板断面は小さくてよいことになり、経済的なため Tschebotarioff の方法を採用した。この方法は矢板の反曲点が海底面にあるとの仮定に基づくものであり、その他係数の使用についても明確にされていない点もあるので、われわれが行なった設計計算を検討するため、土圧計、抵抗線ヒズミ計を使用して矢板に実際に働く土圧、曲げモーメントを測定することを試みた。また通例矢板岸壁の破壊は、矢板自身よりも、タイロッドの破壊に起因するものであるため、同時にタイロッドに働く張力、曲げモーメントを鉄筋計、および抵抗線ヒズミ計を使用して実測し、設計値を検討してみた。

施工位置は信濃川河口部左岸、一建新潟機械工場前面で、物揚場の構造は図-1 に示すように、法線の現地盤高は ± 0 m 程度のものであったが、矢板打込前に -1.7 m 程度に浚セツした。矢板は長井興農製 U-2 型、長さ

5 m のものを使用し、計器を取付けた矢板の打込にはすべてジェットを使用した。物揚場のテンバ高は $+2.3$ m で、工事は昭和 33 年 2 月に着工し、矢板テンバ面までの裏込は、割石捨込後陸上より砂を搬入して行なった。裏込は同年 4 月 15 日に完了し、土圧計のある部分の上部工は、同年 5 月 8 日に完成した。施工地点の土質は、ボーリング結果によれば、図-1 に併記した柱状図のように砂層であって、根入部は標準貫入試験 N 値 12~14 であった。これは Peck の表によれば、相対密度は「締った」部類に入り、内部摩擦角は約 30 度と推定される。また裏込部は N 値 3 で「極くゆるい」部類に入り、内部摩擦角は約 25 度と推定される。

2. 使用した測定計器およびこれらの取付

(1) 土圧計

土圧計はカールソン型土圧計を使用した。取付個数は予算の都合上、土圧分布を知るための最少限 4 個であって構造は図-2 に示すように、受圧板有効径 20 cm、受圧板の移動量は 1/1,000 mm 程度で、1 個の重量は約 4.5 kg である。この型の土圧計は受感部と変換部に分れているのが特色で、後者は小型のヒズミ計である。受感部は有効面積に比して極めて薄く、直径と厚さの比は約 13:1 となっている。したがって長さの変化に対してはほとんど影響を受けないものとされている。受感部は 0.3 mm の間ゲキに空気を残さぬように水銀を充噴してあり、この水銀膜によってタワミが拡大され、中央部にある小型のヒズミ計を充分作動させる機構になっている。これ等の土圧計は上より順に No. 1, No. 2, No. 3, No. 4 と番号を付けた。測定可能容量は No. 1, No. 2, No. 3, 各土圧計はそれぞれ 1 kg/cm^2 , No. 4 は 2 kg/cm^2 である。この土圧計を矢板テンバ面 ($+1.5$ m) より下方 1.7 m に No. 1, 2.7 m に No. 2, 3.3 m に No. 3, 4.3 m に No. 4 の深さの位置に取付けた。このうち No. 1, No. 2 で主働側、No. 3, No. 4 で受働側の土圧を測定した。矢板への取付方法は、図-3 に示すように、アンカーボルトによって固定したが、受働側は矢板表面が凹状をなして、矢板と土圧計背面との間に間ゲキを生じるので、この部分はモルタルで噴充した。また根入部に入る土圧計には打込の際の損傷を防護するため裏側に保護金具をかぶせた。

主働側に配置した土圧計は裏込割石が直接受圧板に接

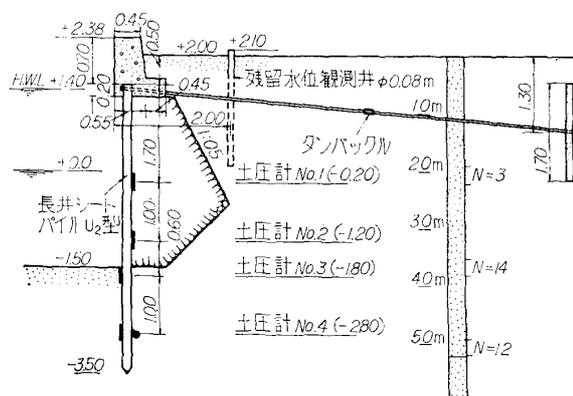


図-1 物揚場構造断面図

* 運輸省第一港湾建設局企画課長

** 新潟調査設計事務所建設専門官

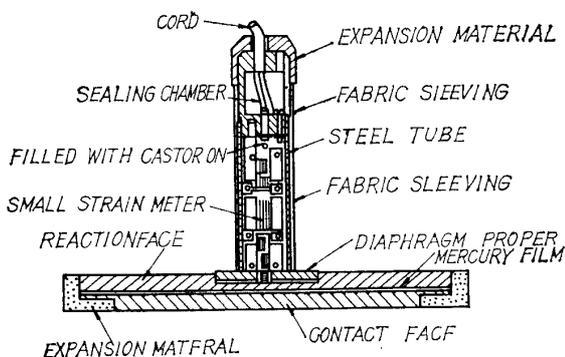


図-2

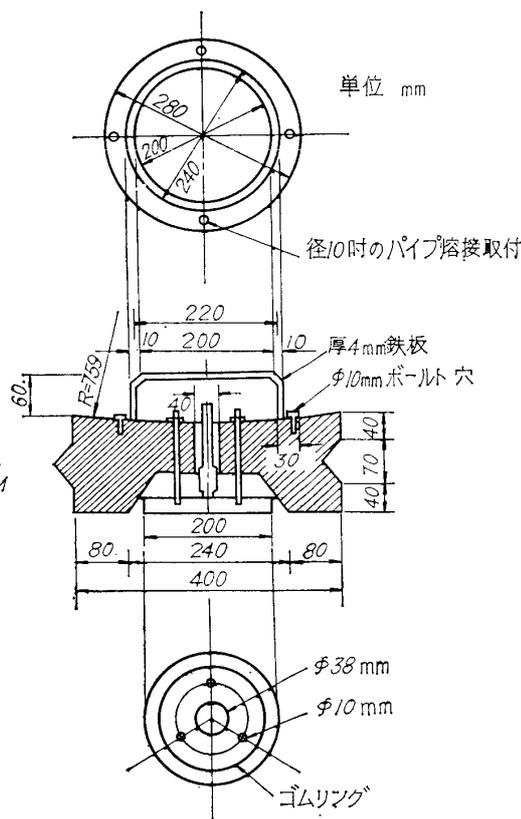


図-3

触しないよう、周囲に充分厚く砂を捨て込んだ。土圧計の検定は製作後運研港灣施設部に依頼した、当部では圧力槽（空気）を使用して行なわれたが、ほぼ良好な検定曲線を得たので現地に運搬した。現地に到着後、さらに信濃川の水深を利用し、ロープに吊して水圧検定を行なった。利用最大水深は 8m で、検定結果は温度変化によるためか、0 点のわずかな平行移動を認めたが、検定曲線自体の傾向は、運搬前と同じであった。

(2) タイロッド張力、曲げモーメント測定計器

タイロッドに働く張力の測定は、カールソンヒズミ計を応用した、鉄筋計（協和無線製 RF-25）を使用した。

図-4 は鉄筋計の構造を示すもので、これは内部に前記土圧計の変換部に使用されているのと同じようなカールソン型ヒズミ計が固定されている。ヒズミ計の内部には中性の油を一部空ゲキを残して充噴してあり、これに

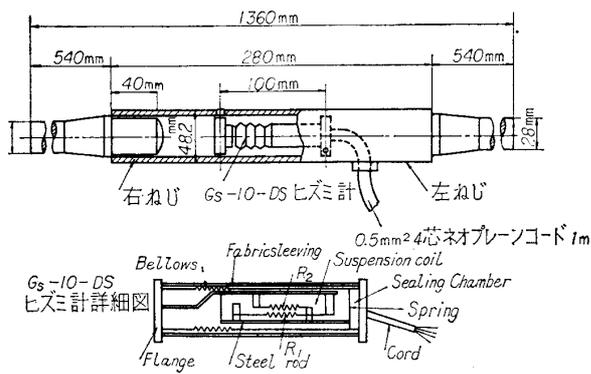


図-4 鉄筋計断面図

抵抗線を巻き込んだ機構になっている。これは直径約 6/100 mm の 2 本の鋼線がおのおの別のスチールロッドに取付けられていて、この鋼線にはあらかじめ適当な張力が加えられて巻かれている。したがってヒズミ計が伸びを生じると、1 本の抵抗線の抵抗値が増加し、他の 1 本の抵抗線の抵抗値が減少する。使用した鉄筋計のヒズミ測定可能範囲は $-1,000 \text{ kg/cm}^2$ (圧縮) $+2,000 \text{ kg/cm}^2$ (引張) であった。

鉄筋計の使用数は 3 個で、取付位置は 図-5 に示すように、3 本のタイロッドの各中央部、ターンパクルの後にガス溶接で接いだ。これ等の鉄筋計は上流側より順に No. 1, No. 2, No. 3 と番号を付けた。鉄筋計 No. 2 を取付けたタイロッドは、土圧計を取付けた矢板と緊結したものである。各鉄筋計はタイロッドに取付ける前に、アムスラー引張試験機を利用して、引張試験を行ない検定曲線が作られた。

鉄筋計は各タイロッドに 1 個しか取付けられておらず、これを補足する目的で抵抗線ヒズミ計を 3~4 箇所直接貼付けた。このヒズミ計の配線方法は曲げを取除き引張りのみを測定出来るように 4 ゲージに組んだ。またタイロッド上の載荷重によって生ずる曲げモーメントを測るために、丸鋼の上下におのヒズミ計を貼付けた。この配線方法も前と同様 4 ゲージに組んだ。使用したヒズミ計はポリエクテル台紙のもので、長さ 10 mm、抵抗値は 120Ω であった。ヒズミ計の貼付、ならびに検定

報 文・論 文

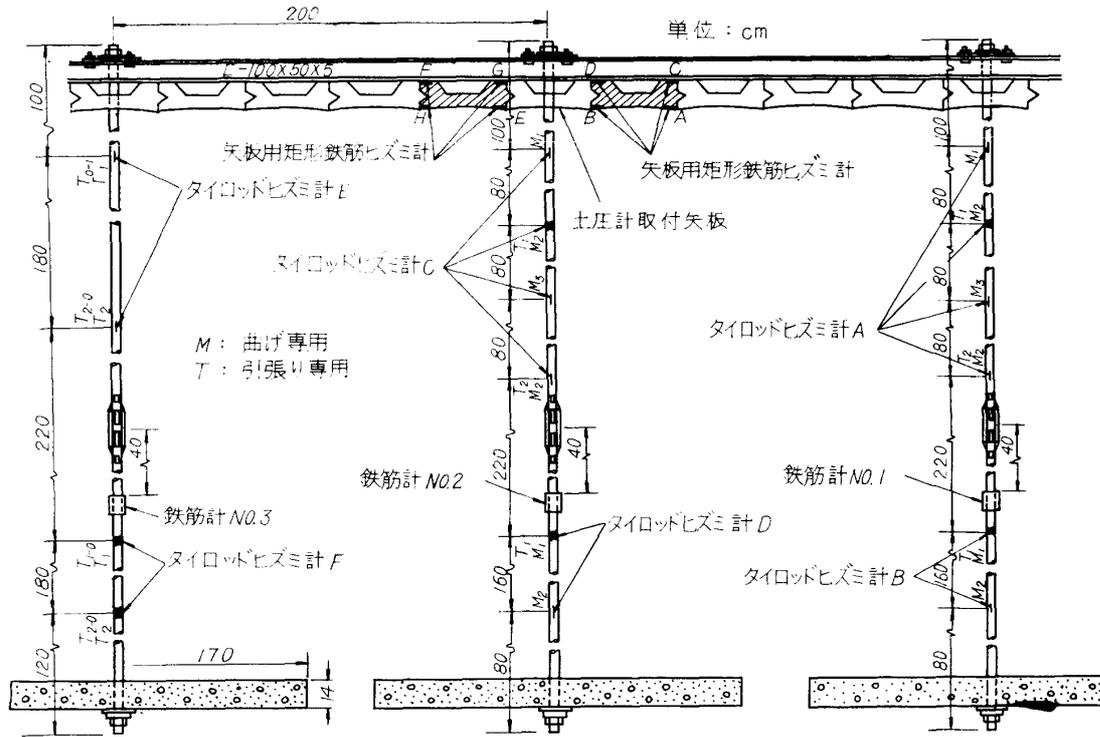


図-5 各種計器配置平面図

は運研港湾土質部に依頼した。

(3) 矢板に働く曲げモーメント測定計器

土圧のために矢板に働く曲げモーメントは、コンクリート内の鉄筋の曲げヒズミを測ることによって求めることを考えた。それは水中に長期間入るので、コンクリートの表面に直接ヒズミ計を貼付けることは防水の点でなかなか困難で、鋼矢板の場合ですら失敗することが多いからである。U-2型の主鉄筋は径9mmであって、これにヒズミ計を貼っても、丸鋼表面が平らでないため完全に貼付けることは困難である。そこで貼付を容易にするためこれと同一断面係数を有する矩形断面の8×12mmの鉄筋を別途製作し、これをタイロッドに貼付けたものと同一の抵抗線ヒズミ計を貼付けた。

ポリエステル台紙のゲージを使用したのは、この種のもは、ペークライトゲージよりも接着技術が易しく、防水性も劣らないためである。図-6はヒズミ計の貼付位置を示すもので、Type-1は10箇所、Type-2は6箇所、それぞれ裏表に貼って2ゲージに配線した。

ヒズミ計はもっと間隔をつめて数多くの箇所に貼付けたかったが、貼付けた後、防水処理を施すと、鉄筋露出面が少なくなり鉄筋とコンクリートの付着力の減退が心配になったので最少限に止めた。防水処理はポリエステル樹脂を塗布し、その上にガラス布を重さね、さらにポリエステル樹脂を塗布する方法を用いた。温度補正用ヒズミ計は、矩形鉄筋の切断片に貼付け、これを小型の鉄製箱内に力のかからぬような方法で納め、内部には防水のためワセリンを満して蓋をした後、この箱を組立てた鉄

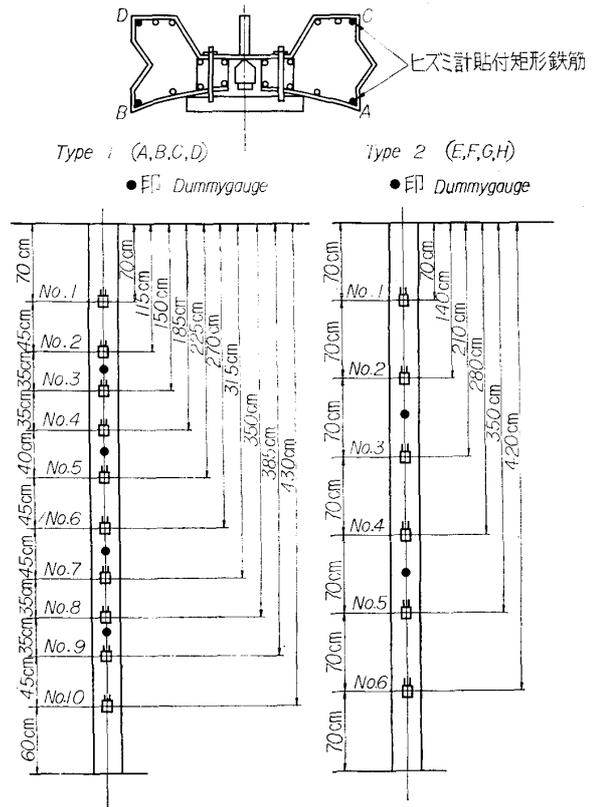


図-6 矢板用ヒズミ計貼付位置図

筋に結びつけておいた。矢板はこのような作業を終えた後鉄筋を組立て、工場に運び円心力によって製作した。以上のヒズミ計貼付作業は現地において、われわれの手によって行なった。

3. 測定結果

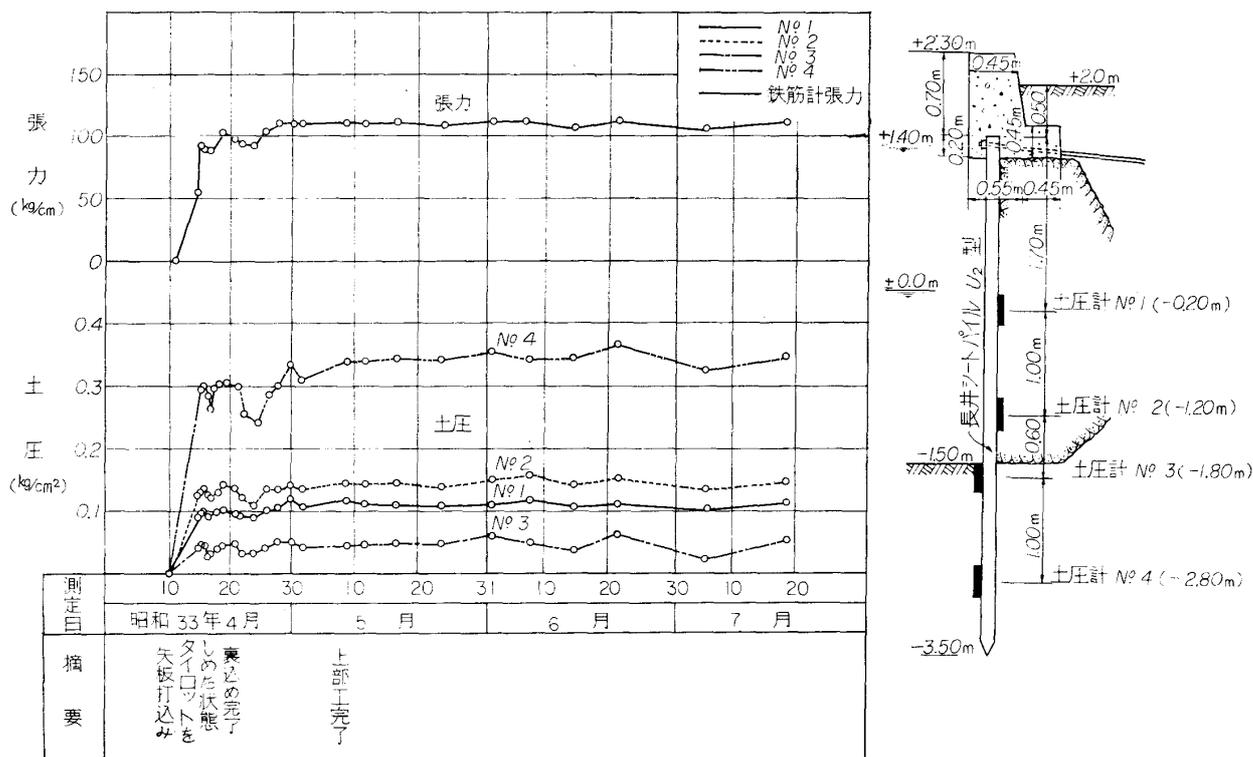


図-7 土圧計長期測定結果

(1) 土圧

土圧計の取付は4月8日、土圧計を取付けた矢板の打込を完了したのは4月9日であった。取付位置は、川下側終端より10m、26枚目の矢板である。残留水位は径8cmの鉄管を埋設して観測したが、ほとんど0に近かった。土圧計は4月9日、打込前に取付けた状態で水圧測定を行ない、検定値と比較した。この結果、取付による影響が表われたので、各土圧計の検定曲線をこれによって修正し、最終の抵抗比-圧力関係曲線として用いた。

土圧の測定期間は1年2カ月にわたり、矢板立込の4月9日を原点とした、その期間中の測定結果は図-7に示してあるように、裏込め、および上部工完了直後土圧は急激に増大しているが、上部工完了後はほとんど一定となっている。

図-7の測定結果は、土圧+水圧の測定値より、水圧を差引き、なおその期間中の温度による影響を取除いたものである。温度の変化による影響は図-8に示してあるように、その傾向はNo.1よりNo.4の順に、取付深度に逆比例して大きくなっている。温度変化による測定誤差の修正は、圧力変化がほとんど認められない4月4日30日より7月18日の期間中の、各土圧計測定値(抵抗比の読み)を縦軸にその日の水温を横軸にとってプロットした結果、両者の関係がほぼ一次曲線となったので、この直線の勾配より、各土圧計の温度補正係数を決めた。

残留水位の観測結果より、残留水位を0と考えて、

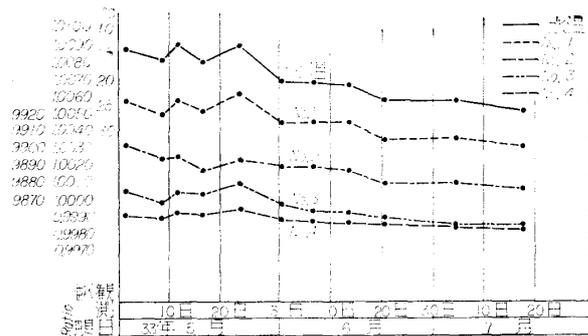


図-8 土圧計抵抗比と温度比較図

LWL以上の土砂の単位体積重量 $\gamma = 1.0 \text{ t/m}^3$ として、 $p = \gamma ZK$ の関係より土圧係数 K を求めると、期間中の土圧係数の変化は図-9に示す通りである。これによると No. 1 は平均 $K = 0.38$ 、No. 2 は $K = 0.36$ 、No. 3 は $K = 1.46$ 、No. 4 は $K = 2.91$ となり、主働土圧全体の平均値は $K_A = 0.37$ 程度と考えられる。No. 3 の値が予想よりも小さく、また変動が大きいのは、これは取付位置が海底面にごく近いので、河流によって海底面土砂が移動するためと考えられる。

(2) タイロッド張力、曲げモーメント

鉄筋計、ヒズミ計を取付けたタイロッドは4月13日に取付けられ、ただちに測定を開始した。タイロッドの間隔は2.0mで、護岸総延長51mにわたって25本が取付けられ、この内の3本について測定を行なった。測定したタイロッドは土圧計を取付けた矢板を中心とし、それとこれに隣接して左右2m離れたもの計3本である。これを上より順に AB, CD, EF と呼ぶことにす

報 文・論 文

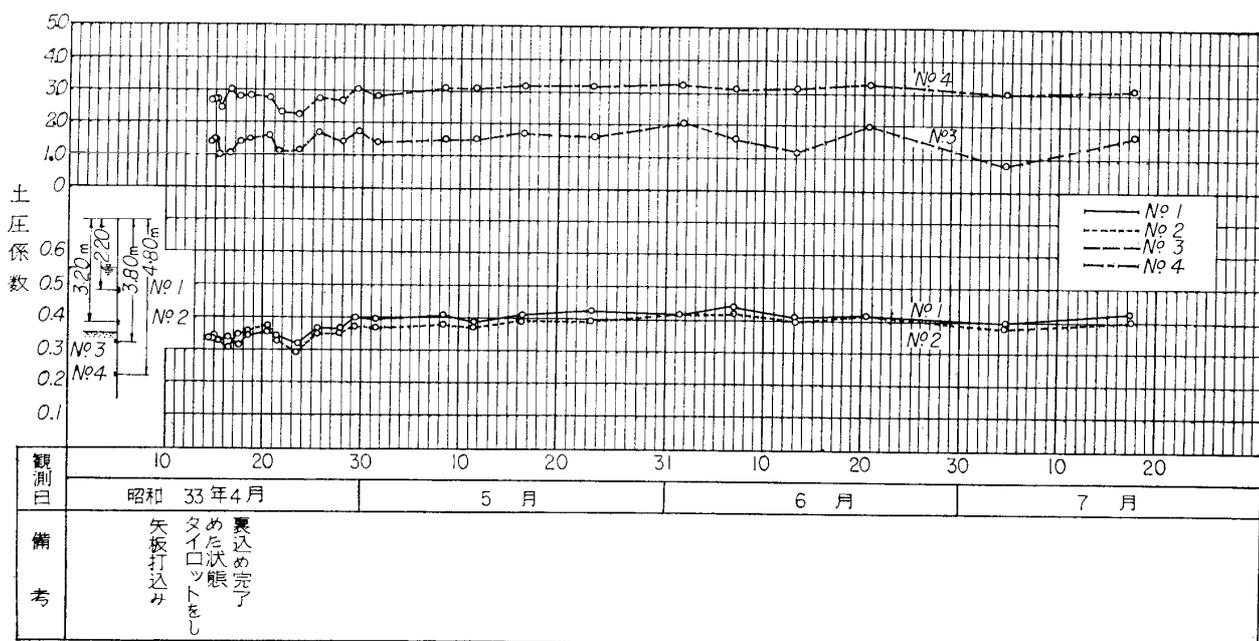


図-9 土圧係数長期変動図

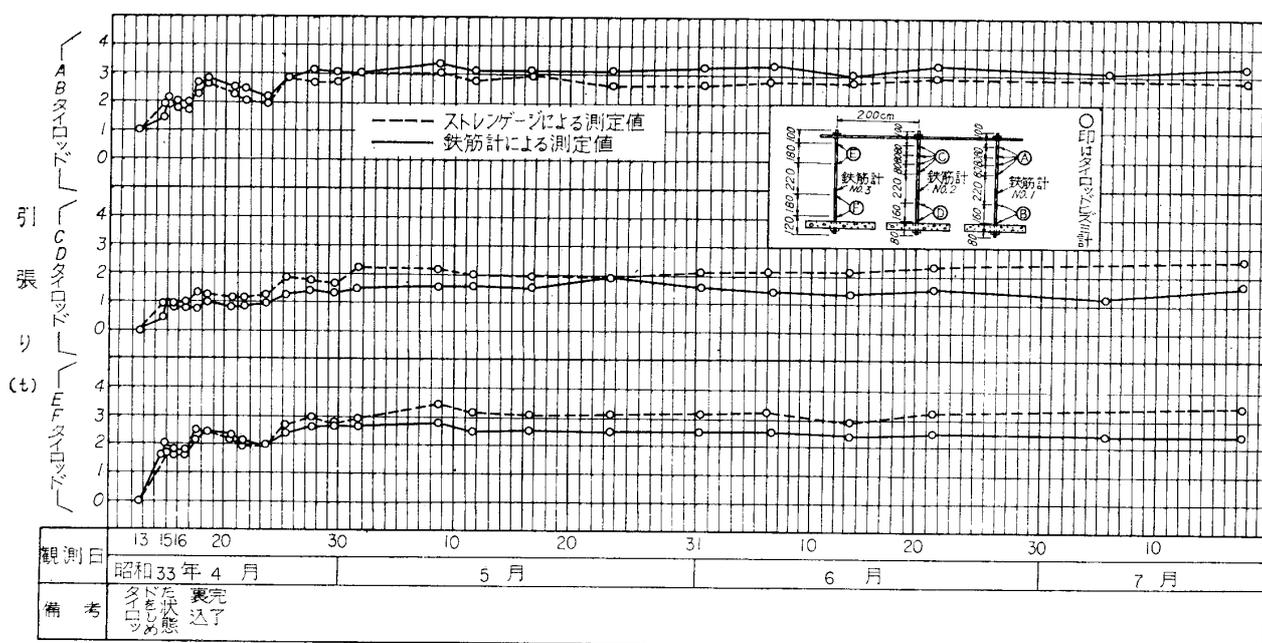


図-10 鉄筋計ヒズミ計長期測定時結果比較図

る。測定期間は鉄筋計が1年2カ月、ヒズミ計が5カ月で、これ以降は絶縁抵抗が落ち計落の読みが不安定になったため測定を打切った。

図-10 は鉄筋計、ヒズミ計による張力測定値の長期変化を示すものである。図-10 より明らかなように、両者によって得られた実測値はほぼ一致している。タイロッドごとについて測定値に差があり、AB タイロッドは平均 3t、CD タイロッドは平均 2t、EF タイロッドは平均 2.8t となっているが、いずれも裏込、盛土が進むにしたがって測定値は増大している。タイロッドを締め時の4月13日を原点とすると、4月16日の盛土と同時に平均約 1.5t 増加し、以後漸増して5月9日に

は平均約 2.7t 増加を示している。

図-11 はヒズミ計による曲げモーメント測定値の長期変化を示すもので、同様に盛土の進むにしたがって増大し、測点の内モーメントの最大位置は M_0 で、平均約 4,000 kg-cm となっている。

(3) 矢板に働く曲げモーメント

鉄筋に抵抗線ヒズミ計を貼付けた矢板の製作は、ヒズミ計を損傷しないように最初現場打に予定していたが、年度末で工期の関係上やむを得ず円心力利用の工場製作に変更した。工場製作によると 130/回分の速度で振り廻され、またその後 60°C の蒸気養生を経て水槽につけられる。かように非常に可酷な取扱いを受けるので、織

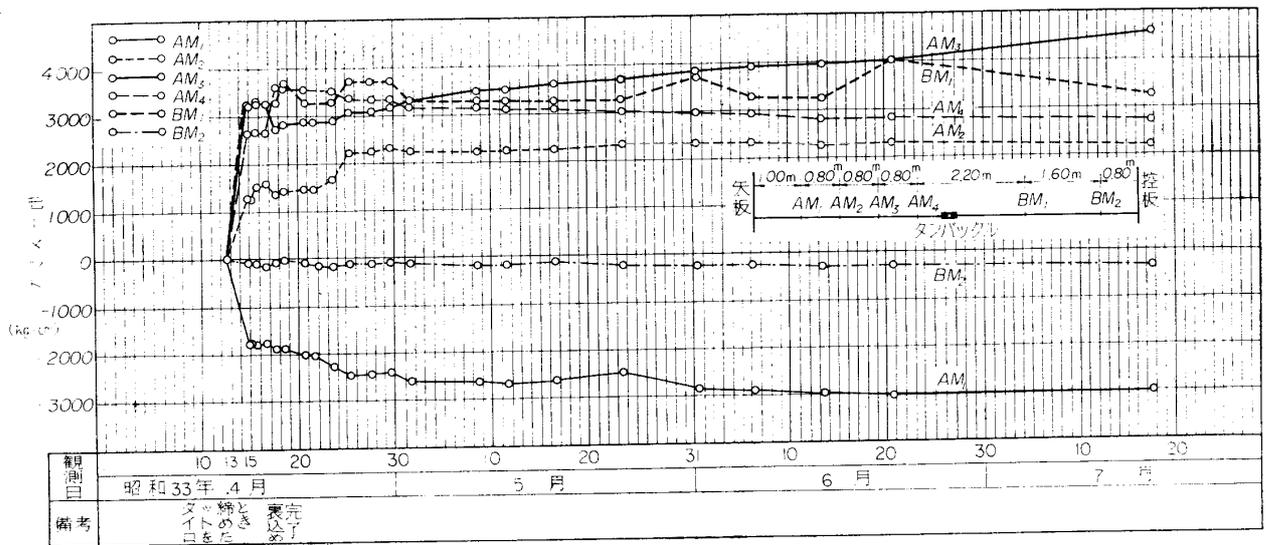


図-11 タイロッド曲げモーメント長期測定結果図

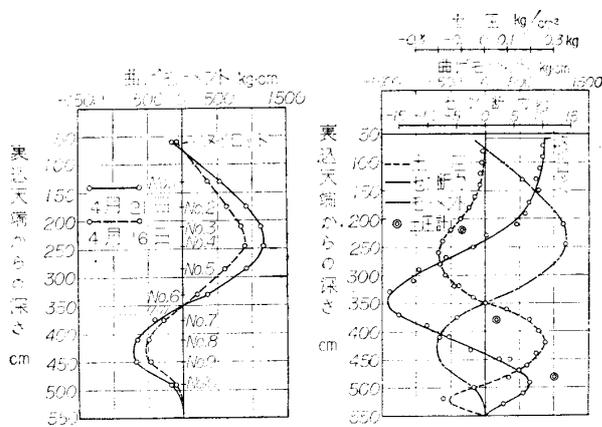


図-12

図-13

細なヒズミ期によって断線あるいは絶縁抵抗の低下をまねく恐れがあるので心配された。事実 Type-2 のものはこれが原因となり測定不能な個所が多く、測定記録の解析ができなかった。曲げモーメントは次式より求めた。

$$M = \xi \frac{IE}{y}$$

I = コンクリート矢板の断面 2 次モーメント

E = コンクリートの弾性係数

y = 中立軸より測定点までの距離

ξ = 測定した曲げヒズミ

以上の計算値を深度に対してプロットし、図-12に示すような曲げモーメント分布図を得た。この図は Type-1 の AB 鉄筋測定値より求めた代表的な日の曲げモーメント分布図で、4月16日と4月21日のものを比較すると、21日のものは土圧の増加による影響を明らかに示しており、両者とも反曲点はほぼ海底面にある。この曲げモーメント分布曲線を微分するとせん断力が求まり、さらにもう一度微分すると土圧が求まる。測点が少いからこの方法に精度を期待するのは無理かとは思ったが、一応計算してみた結果は図-13のようになった。

図-13によれば土圧計による測定値と比較して似た傾向を示している。なおこの結果を検討するために、土圧計による測定値から得た土圧分布を荷重にとり、矢板を梁と考えた場合の理論計算を行なってみたが、両者によって得た曲げモーメント分布曲線の傾向はほぼ一致していた。

4. 測定結果に対する考察

(1) 土圧

土圧計による土圧実測値より測定日毎の土圧分布図を作り、タイロッド取付位置を支点とした場合、この周りに作用する水平力、モーメントの釣合条件を検査してみたが、いずれも $\sum P = 0$, $\sum M = 0$ の条件を満足せしめた。図-14は代表的な日の土圧分布を示すもので、(I)は裏込直後、(II)は裏込5日後、(III)は安定した時の状態のものである。(III)の図中で鎖線で示してあるのは貫入試験の N 値より推定した内部摩擦角、裏込部 $\phi = 25$ 度、 $K_A = 0.41$ 、根入部 $\phi = 30$ 度、 $K_P = 3.0$ いずれも矢板背面と土の摩擦角 $\delta = 0$ として計算した理論値をプロットしたものである。また点線で示してあるのは裏込部の $\phi = 30$ 度、 $K_A = 0.33$ として、Tschebotarioff の次式により求めた設計値である。

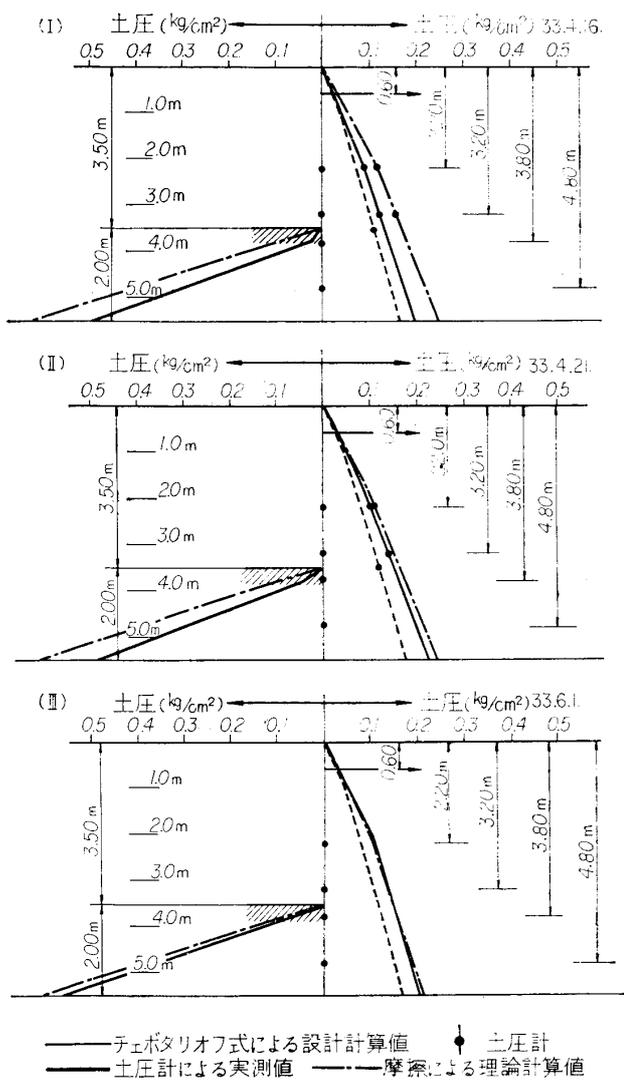
$$K_A = \left(1 - \frac{a}{f'M}\right) = 0.33f'''$$

f''' = 矢板背面と裏込との摩擦角を示す係数で 0.9 を採用

f' = タイロッド取付付近に起り得る受働土圧および砂が水を含んだ場合に生ずる粘着力の影響を示す係数で 3.5 を採用した。

(III)の安定状態における主働土圧の三者を比較すると、実測値は鎖線で示した理論計算値よりもやや小さく、設計値よりやや大きい。しかし計算上で $\delta = +20$ 度 (主働) とし、また Tschebotarioff 式での ϕ を貫入試

報 文・論 文

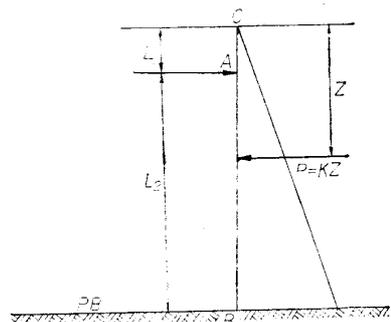


図—14 土圧分布図

験の N 値に合わせて 25 度とすれば三者の値はよく合う。これと異なり受働土圧では、実測値は $\delta=0$ の理論値とよく合っている。受働土圧と同様矢板背面の摩擦が働き $\delta=-20$ 度とすれば $\delta=0$ の場合よりも 1.5~2.0 倍位大きな値を示すのが普通であり、理論計算では $\delta=-20$ 度のときは土圧係数 $K_p=6.1$ となる。それゆえ実測値を信用するならば受働側においては矢板背面との摩擦が 0 に近いことになる。

(2) タイロッド張力

設計計算ではタイロッド張力、および矢板の最大曲げモーメントは砂地盤であるため、Tschebotarioff の提案にしたがい、海底面およびタイロッド取付位置を支点と考えた単純



図—15

梁として計算を行なっている 図—15 においてタイロッド取付位置、ならびに海底面の位置をそれぞれ A・B とする。土圧は水平的に分布するものとすれば、裏込テンバ高 C 点よりの深さ Z の点の土圧は、 $P=kZ$ で示される、ここに $k=K\gamma$ 、この K は土圧係数で、前項で求めた値を採用した。 γ は近似的に CB 区間にわたる土砂の平均単位体積重量、LWL 以上を 1.8 t/m^3 、LWL 以下を 1.0 t/m^3 とした。CB を単純梁と考えて A 点の支点反力 P_A を求めると次のごとくなる¹⁾。

$$P_A = \frac{k}{6L^2} (L_1 + L_2)^3$$

上記 P_A の値にタイロッド間隔 20 m を乗じた値 $2P_A$ をタイロッド張力としてわれわれは採用している。この値を鉄筋計、ヒズミ計による張力実測値と比較すると表—1 の通りとなる。

表—1

月日	計算値 kg	実測値 kg
4月21日	10.86	9.40
5月24日	12.28	11.85
6月21日	12.28	12.35

となり計算値はほぼ一致している。タイロッドの設計引張力は 3.3 t で、これは 図—10 に示した実測値とよく合っている。

(3) タイロッド曲げモーメント

ヒズミ計によるタイロッド曲げモーメントの実測値を長さの方向に対しプロットし、曲げモーメントの分布を調べたが、この結果を検討するため、タイロッドを矢板と控壁における両端固定梁と考え、これに盛土荷重が等分布荷重として働くと仮定して理論計算を行ない、この計算値を同様な方法でプロットしてみたが、曲げモーメントの分布傾向、および曲げモーメント最大位置、絶対値ともほぼ似ていた。

5. 結 び

計器取付後約 1 年間にわたって測定を行ない、その結果に対して考察を加えたが、それにより得られた要旨について次に述べる。

(1) 土圧

土圧は錨定桿取付支点の周りの水平力、モーメント平衡条件を満足せしめており、また土圧計、ヒズミ計による両測定結果もほぼ似ている。

それ故土圧計による測定結果は一応信頼してよいと考える。しかし主働側土圧が矢板背面との摩擦を考慮に入れた理論値とよく一致するのに、受働側においては摩擦を考慮に入れない理論値と一致している点についてはなお検討を加える必要がある。土圧計の取付数がもう 3 個程多ければ土圧分布も相当詳細に分ったのではないかと考

える。

(2) タイロッド張力

タイロッド張力の測定結果は、今回の測定のうち最も精度の良いもので、タイロッド張力は海底面とタイロッド取付位置を支点とした単純梁と仮定した簡易計算法による計算値と一致している。しかしこれは海底地盤が良好な砂質であつたためと思われる。海底が軟弱粘土、ゆるい砂層等の場合は支点は海底面よりやや下にあるのが普通である。伏木港³⁾における同様な土圧、張力測定結果によれば約 30% 下になっている。

(3) タイロッド曲げ応力

従来一般にタイロッドは張力についてのみ強度計算を行い、曲げについては計算を行っていないが、今回の

測定結果によれば曲げ応力も相当大きいものが認められ、今後設計に当っては強度計算を行なうか、施工上特に考慮を払う必要があると考える。

本実験に当っては運研港湾施設部市原構造研究室長、同港湾土質部久保技官より種々ご指導ならびに御協力していただき、ここに厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 市原松平：伏木港岸壁土圧測定報告，告矢板岸壁に作用する土圧，控え桿の張力の実測，昭和 35 年 1 月
- 2) Tschebotarioff : Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures'
- 3) Tschebotarioff : "Large Scale Earth Pressure Test with Model Flexible Bulkheads".

“土と基礎” PR のページについてのお願い

土質工学会編集委員会

“土と基礎”は発刊以来すでに 46 号をかぞえ、各号にもられた会員諸氏の貴重なご経験、あるいは研究成果は斯学の発展に大いに貢献してまいりました。

号を追うとともに会員数も増加し、“土と基礎”の編集方針について有益な御意見も多々よせられております。編集委員会といたしましては、できるだけそのご要望に答えるべく、全会員のお役に立つような種々の企画について鋭意検討を加えております。

その新企画の一つとして、ここに次のような新しい欄の新設を決定し、会員諸氏の御協力をお願いいたす次第であります。

最近の施工法、施工機械のめざましい進歩により、すぐれた特許工法、特殊機械などをおもちの会社がふえてまいりましたが、“土と基礎”誌上にはそれらを技術的なデータを加えて積極的に紹介して頂く機会にめぐまれませんでした。

そこで“土と基礎”にいわば「PR のページ」というべき欄を、従来の広告ページ以外に設けるべきであろうということになりました。

これにより、一般会員にそれらの工法、機械をより詳細に理解して頂くことができるとともに、学会自体も、そのご協賛によって、さらに活発な活動ができるものと

信じます。

この企画の成果は上記のような新工法、特殊機械をおもちの会社、機関がご好意をもって資料をご提供いただくことによって決定されます。

よって下記の登載要領をご通覧の上、従来のご協力に加えて、当 PR ページの充実のためにご援助を賜りたいと存じます。

土と基礎 PR ページの登載要領

1. 体裁は本文の報文論文と同等とし（8 ポ 48 行 2 段組）ただし上隅に〔PR のページ〕と入れる。
2. ページ数は 2,4,6, あるいは 8 ページとする（写真、図を含む）
3. 登載ページは、編集後記の前を原則とする。
4. 提供して頂いた資料にもとづき土質工学会編集委員会が提供者とご相談の上、掲載原稿を作成する。登載の順序に関しては編集委員会が決定する。
5. 登載する原稿については本文 1 ページあたり 50,000 円の登載料を要する。
6. 資料提供者には別刷 300 部は無料で送付する。ただしそれ以上の別刷については印刷実費を要する。
7. 投稿の申し込み先 土質工学会編集部