

III-98 土中土圧計の応答特性

名古屋大学 正会員 市原 松平
名古屋大学 正会員 〇松沢 宏
日本道路公団 正会員 石井 恒久

1. おえがき

土圧計測に影響する因子には受圧器の形状、大きさならびに土圧を計測する機構等であり、受圧部の剛性（変形量と復元力）などがあることがわかってきた。¹⁾ 幾多の研究によれば、土中土圧計は軽量かつ扁平で、有効径 F できるだけ大きいものがよく、有効径 B と厚さ H の比が $B/H > 5$ であることが好ましい。WESによれば、受感部近くの土に生じうるアーチングを防ぐために、土中土圧計の受圧板のため δ は有効径 B の $1/2000$ 以下にする必要があると提唱している。²⁾ また、Trollopeは受圧板の復元力について、圧力の減少に対して、受感部自身の残留変形による残留指示値を示さないために、受圧板の復元力は $1.0 \sim 2.0 \times 10^{-4} \text{ cm/kg/cm}^2$ 以下でなくてはならないと述べている。³⁾

ここでは、上記の条件を満足し、十分な復元力を有するように試作した扁平な土中土圧計の検定結果について述べる。

2. 試作した土圧計

今回試作した土圧計は外径 $D=19\text{cm}$ 、厚さ $H=3\text{cm}$ 、有効径 $B=15\text{cm}$ であって、重さは約 6kg である。この土圧計は電気計測系・間接作動型であり、写真-1に受圧器の外観を、図-1に受圧器の断面を示す。土圧を受ける一次膜は厚さ 0.2mm のリン青銅板でできており、計測用の二次膜は直径が 3cm 、厚さが 0.4mm であって、一次膜と二次膜の間にシリコン油が封入されている。一次膜のタワミはこの油を介して二次膜を拡大され、この拡大したタワミによって生じる二次膜のヒズミをファイルゲージで測定するように作っている。

受圧器は同一形状のものを2台作り、そのうち1台の一次膜には厚さが 2.5mm の鋼製の補強板を点溶接で貼りつけた。

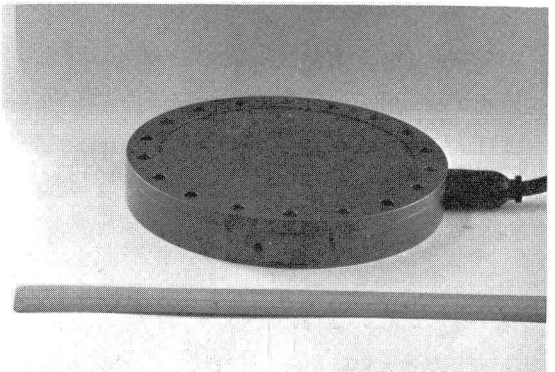


写真-1

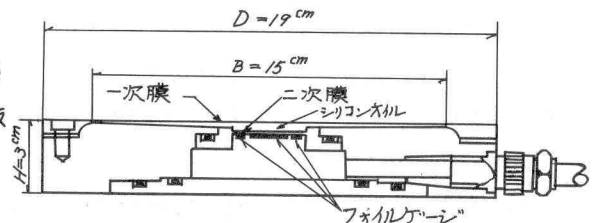


図-1

3. 検定装置と検定方法

図-2に検定装置の概要を示す。検定土槽は内径 75cm 、深さ 45cm の軟鋼製である。検定土槽内の圧力はコンプレッサーとバルブの操作により制御できる。

土圧計の検定は水压による検定（水压検定）と砂圧による検定（砂圧検定）を行なった。

水压検定は検定土槽内に深さが 15 ~ 20 cm 程度に水を注入し、受圧器を沈めた状態で空気圧を作用させ、作用圧力と指示計の指示値を記録した。

砂圧検定は検定用の砂（矢作川砂、 $G_s = 2.64$, $U_c = 5$, $D_{10} = 0.1 \text{ mm}$, $w = 7.3\%$ ）を所定の密度になるように厚さ 4.5 cm に詰め、ビニールシートの変位計を介して空気圧を作用させたときの土圧計の指示値を記録した。なお、土圧計の受圧器は土槽中央の位置に土被り厚が 0.9B となる位置に受圧板を上向きにして水平に埋めた。写真 - 2 に受圧器設置時の状況を示す。

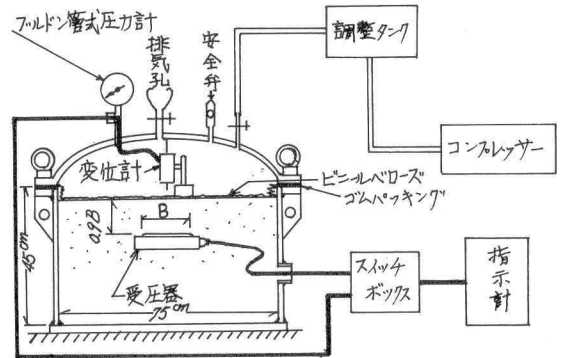


図 - 2

砂圧検定ではビニールシートの上に土槽のほぼ中心の位置に変位計を設置し、検定中における砂表面と土槽のふたの距離を電氣的に計測し、砂の圧縮変形量を測定した。また、砂の各所における砂の圧縮量と側壁摩擦の影響を調べるために 10 cm x 10 cm のトタン板を砂層中に埋めておいて、検定後にこの板下計測用の板の沈下量を測定した。

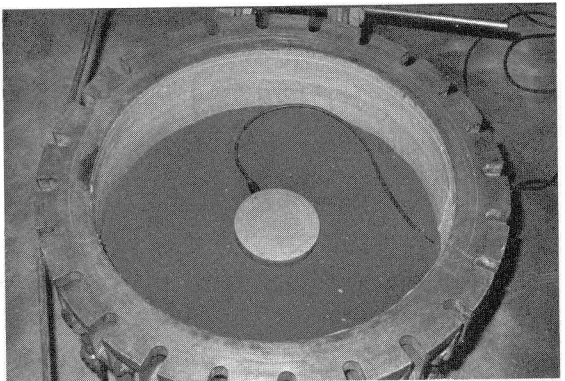


写真 - 2

砂圧検定における空気圧の加圧・減圧は繰返して作用させ、繰返し載荷回数と土圧計の指示値との関係も調べた。

4 結果と考察

4-1 検定結果と土圧計の特性

図 - 3 に比較的密な砂 ($\gamma_d = 1.55 \text{ g/cm}^3$) における砂圧検定結果の代表的一例を示す。図中 N の値は繰返し載荷のサイクル数である。この図には比較のために水压検定線と応力集中量 p_e の求め方の説明が示されている。なお、応力集中量とは砂圧検定時における測定圧力 p_m から作用圧力（真の圧力） p_0 を差引いた値のことという。

図に示されているように、水压に比べて砂圧による検定線はともに直線的であるが、同一圧力のもとでは砂圧による検定値の方が幾分か大きな値を示した。これは受圧器周囲の土に生じた応力集中に起因するものである。砂圧検定において、上載圧がゼロに戻ったと

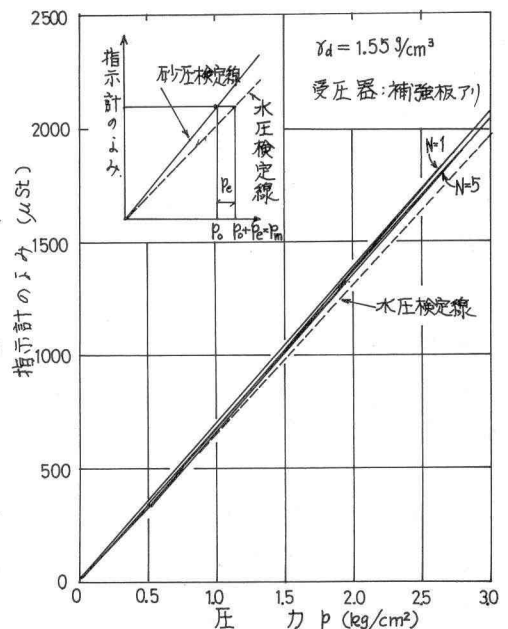


図 - 3

きの土圧計の指示値はつねに受圧器設置時の値に等しく、このことは受圧板の復元力が十分にあることを意味している。また、加圧・減圧における砂圧検定線のわずかなループは実用上無視できる。

この受圧器に生じた応力集中量 p_e は繰返し載荷の回数 N の値が増加すると減少したが、 $N=5$ 程度と越えると p_e の値は変化しなくなった。これは静荷の繰返し圧力の作用により、砂が次第に締固まったためであると考ええる。

以上の考察から、試作した土中土圧計は若干の応力集中の影響を受けるが、アーチ作用の影響は認められず、受圧板の復元力が十分にあると判断できる。

4-2 側壁摩擦の影響

砂圧検定ののちに、前述の砂下計測用の板の砂下量を規定したところ、側壁摩擦の影響は無視しうることがわかった。

4-3 応力集中について

図-3に示した方法で土圧計の応力集中量 p_e を求め、作用圧力 p_0 で除した値 (p_e/p_0) の百分率、すなわち応力集中度を求め、これを検定時の砂の単位体積重量 γ_d に対して示したものが図-4である。図中、白板きの記号は $N=1$ のものであり、黒く塗りつぶれた記号は $N=5$ のものである。また、丸印は補強板のない受圧器、三角印は補強板付の受圧器における応力集中度とあらわれている。補強板の有無に関係なく、応力集中度は密度が大きくなるほど小さくなり、また密度の増加にも関係するが、 N の値の増加（ただし、 $N=5$ 程度以下）とともに、応力集中度は減少していることが明白である。

Tsitovichは土中土圧計に生ずる応力集中は受感部と受圧器周囲部の土の圧縮性の差が原因であると考えて、弾性論の立場から土中土圧計に起こる応力集中度を求めるための式を導いた¹⁾⁾。

$$\frac{p_e}{p_0} = \frac{\frac{B}{D} \cdot \frac{E_s}{E_0} - 1}{1 + \frac{\pi(1-\nu_s^2)B}{4H} \cdot \frac{E_s}{E_0}} \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 E_s は受圧器の受感部の変形係数、 E_0 は土の変形係数、 ν は同じくポアソン比である。

実際に式(1)から求める応力集中度と比較するために、 E_s に代り E_0 を求めた。 E_s は受感部

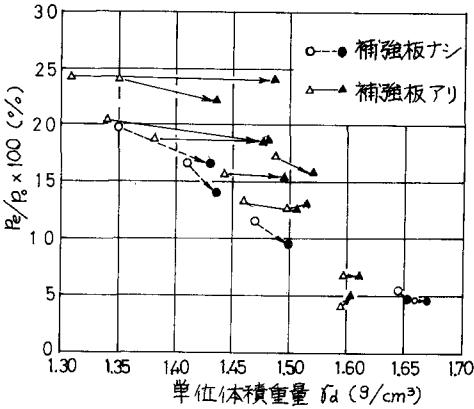


図-4

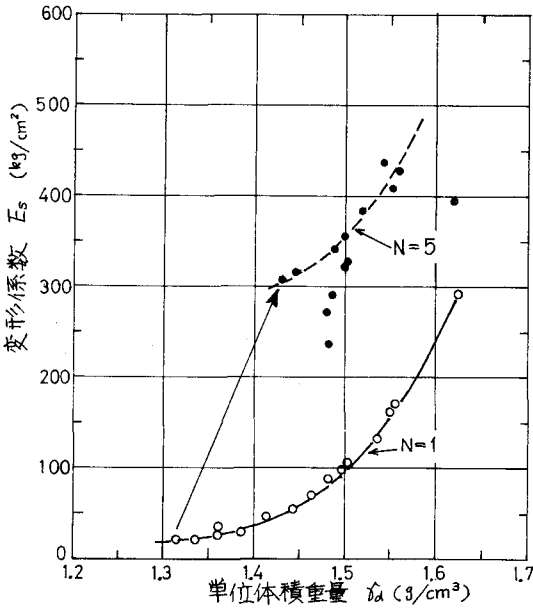


図-5

をアムスラーで一軸的に圧縮したときの圧力とひがみの関係係を求めて計算した。受感部の作用圧力とひがみの関係係は非線形形であったので、 E_g の値は応力～ひがみ曲線の割線係数とした。この結果、 E_g の値は作用圧力が 3.0 kg/cm^2 のとき、補強板がないので $E_g = 1070 \text{ kg/cm}^2$ 、補強板のあるもので $E_g = 1340 \text{ kg/cm}^2$ であった。

E_s と ν の値は真チエウ製の薄肉リング（内径 75 mm ×高さ 20 mm ×肉厚 0.2 mm ）を用いた土の繰返し載荷試験の結果から、おおゆ（ $= \frac{K_0}{1+K_0}$ ）を求め、この ν と土槽内の沈下の測定値と一箇にれて、一般化されたフックの法則から求めた。図-5に作用圧力が 3.0 kg/cm^2 における E_s の値と砂の単位体積重量に対して、 $N=1$ と $N=5$ について示してある。

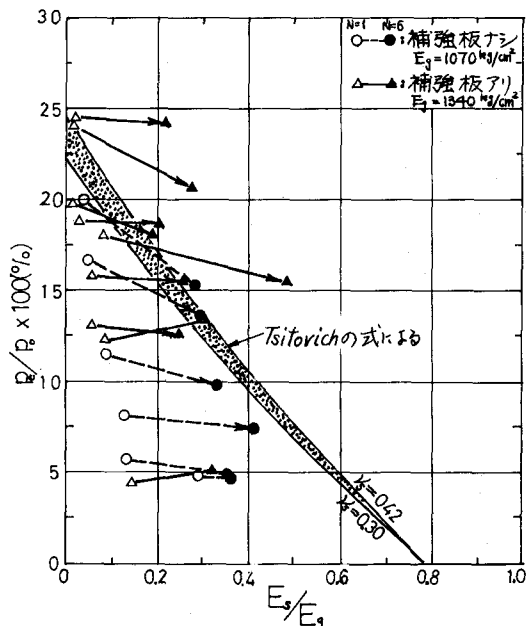


図-6

このようにして求めた E_g 、 E_s 、 ν をそれぞれ受圧器の寸法（ B 、 D 、 H ）を式（1）に代入して求めた p/p_v と E_g/E_s に対して示すと図-6の影を付けた部分がえられる。 $\nu=0.42$ は検定に使用した砂が示したポアソン比の最大値であり、 $\nu=0.3$ は最小値である。式（1）の ν を除く他の変数を一定とみれば、 p/p_v は ν のみの関数となる。すなわち、図の影を付けた部分は式（1）が示している応力集中度（ただし、使用した砂について）を示している。この図には試作した2種類の土圧計による実測値が $N=1$ （白板きの記号）と $N=5$ について示してある。図によれば、実測の応力集中度に計算値が合致する部分が存在するが、 E_g/E_s の値の変化に依る実測の p/p_v の変化の様相を式（1）で説明するわけにはゆかないようである。これに代わって E_g 、 E_s 、 ν の値の決定方法にも一考を要すると思われる。

5. 結 語

今回試作した土圧計に対して、砂の密度を変えた一連の検定を行った結果、試作した土圧計はアーネ作用の影響を受けず、減圧に対して受圧板の復元力も十分あることがわかった。アーネ作用や復元力に関する問題は受感部の剛性を大きくすることで解決するといわれているが、その結果、受感部と周囲の土の圧縮性がますます大になり、応力集中度が増加してしう（式（1）、図-6）。しかしながら、今回試作した土圧計は概ね砂で20~25%、かたりに腐った土では数パーセントのオーダーの応力集中度であること、また作用圧力と指示値の関係は実用上直線であり、履歴ループを描かないかたりに安定した計測ができる計器であることがわかった。

参考文献

- 1) 市原・松平“土質工学20年の歩み・計測”土と基礎、142、Vol. 17、No. 12、pp. 30~34。
- 2) 市原・古川“土圧計の検定に関する実験的研究”土木学会論文集 135号、昭和41年1月。
- 3) Tsitovich, N. A. and D. S. Baranov: "On the accuracy of the method for direct pressure measurements in soils," Proc. 5th Int. Conf. on SMFE, Vol. 3, 1964。
- 4) 市原・松平“変位中における土圧特性と裏込め砂のせん断特性の関連”土木学会論文報告集 176号、昭和45年4月。