

## 新たに開発した土圧計の精度と現場への適用性に関する実験

### A Few Experiments on Accuracy of Response and Practicability in the Field of Newly Developed Earth Pressure Gauges

大根 義男・成田 国朝・奥村 哲夫  
Yoshio OHNE, Kunitomo NARITA and Tetsuo OKUMURA

ABSTRACT : In order to investigate the accuracy of response and practicability in the field of newly developed earth pressure gauges, calibration tests by use of a pressure chamber to check the response of gauges in soils, and embankment tests in the field and laboratory to know their response, operation and durability for long term observation in the field were performed in the present study. These test results revealed that hard-type pressure gauges are the best in accuracy, showing a good correspondence with theoretical earth pressures, while soft-type ones show erroneous and abnormal behaviors due to leaning and leakage of oil enclosed in the gauge.

#### 1. はじめに

フィルダム等の施工管理や安定性の確認を目的として、土圧計や間隙水圧計による堤体内の応力状態の計測がしばしば行われる。従来の土圧測定には、ダイヤフラム型の土圧計が主流としてよく用いられていたが、計測されたデータを解析してみると、位置的・経時的に大きな変動やバラツキが見られたり理論的に解釈し難い複雑な挙動が観察される場合も少なくない<sup>1)2)</sup>。

この原因の一部は、まず埋設方法に問題がある場合である。埋設部の掘削（適正な幅・深さ）、計器とコードの設置、埋戻し土の締め固め等の一連の作業は正しく確実にを行う必要があり、これらは計器の精度以前の問題として、データの信頼性を確保するための重要な手続きである。

次に考えられるのは、土圧計の構造的な問題である。受圧板のタワミをひずみ測定して圧力に換算する在来のダイヤフラム型土圧計では、計器と周囲土の相対的な剛性差や受圧板の変形によって計器周辺でアーチ作用や応力集中が生じることがあり、これが正確な土圧測定を目指す上で大きな障害になって

いることが従来から指摘されていた。

本研究の話題とする土圧計は、一言で言えば“ひずまない”土圧計であり、特殊な油を外郭層で閉じ込めて一体の受圧部とし、その油圧をセンサーで感知して土圧に換算するものである。たわみが生じないため在来型のような障害がなく、また感応性が良好で土圧を平均化して取り出せるため、精度の高い計測が可能とされている。ただし、埋設土質による感応性や、現場計測における操作性・適用性、更に長期計測に対する耐久性等については未知数な点が多いため、今回この土圧計の実用化を目指して幾つかの実験を行ったので、その結果を報告する。

#### 2. 実験概要

##### 2.1 実験内容

図-1に、本研究で対象とした新たに開発した土圧計の概略の構造図を示す。2枚の受圧板で形成される空間内にシリコン油を封入し、その端部の圧力センサーで油圧を感知する構造になっている。受圧板の材質によって2種類の土圧計が試作されており、以下では、特殊繊維入りのゴムを受圧板に用いたものをソフトタイプ（写真-1）、スチール製の板を

用いたものをハードタイプ(写真-2)と称して区別する。これらの土圧計の精度や現場への適用性を調べるために、以下の3つの実験を行った。

①土槽実験: 室内実験として、実際に使用する土質を対象に、圧力土槽を用いて土圧計の検定を行った。また、この種の装置を用いた土圧検定における側壁摩擦の影響と、その軽減処理の効果を調べた。

②現場盛土実験: 実際のアースダムの建設現場を利用して土圧計測実験を行い、開発した計器の現場への適用性を調べた。

③学内盛土実験: タイプや大きさが異なる種々の土圧計を対象に、学内で土圧計測のための盛土実験を行い、各計器の精度や耐久性を調べた。

## 2.2 土槽実験<sup>3)</sup>

実験に用いた検定土槽は、 $\phi 750\text{mm} \times$  深さ $560\text{mm}$ の鋼製円筒容器であり、ゴムシートを介して詰めた土層に空気圧で載荷する構造になっている(図-2)。

実験に用いた試料は3号珪砂であり、比重 $2.64$ 、最大粒径 $D_{max}=2.0\text{mm}$ 、有効径 $D_{10}=0.98\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=1.33$ 、自然含水比は $0.2\%$ である。

実験手順は、①試料を $D$ 値 $95\%$ 程度の密度で所定の深度までバイブレーターで締め固めて詰め、②その上に土圧計を水平に設置し、③先と同様の密度で表面まで試料を詰めて埋戻し、④表面にゴムシートを敷いて空気が漏れないようにロックボルトを締め、⑤空気圧により載荷重を与える。この種の実験では側壁摩擦の影響が大きいと考えられるので、ビニールの間にグリスを塗布したものを土槽内壁に設置した場合と、無処理の場合について比較実験を行い、摩擦軽減の効果について調べた。なお、土圧計測は土槽表面より $10\text{cm}$ ごとに深さ $50\text{cm}$ まで行った。

## 2.3 現場盛土実験

現場実験は、金沢川調整池工事(静岡県裾野市)の材料仮置き場を利用して行った。その概略のスケッチを図-3に示す。盛土材料を水平に敷均した後、 $5\text{m}$ 四方 $\times$ 深さ $1\text{m}$ の掘削を行い、 $45^\circ$ に整形した斜面に一对の土圧計( $\phi 25\text{cm}$ ソフトタイプ、 $\phi 60\text{cm}$ ハードタイプ)を設置して埋め戻し、水平に均してから更に一对の土圧計を設置した。そして、 $1\text{m}$ ずつ盛土(ブルドーザー転圧)と計測を繰り返して約 $6\text{m}$ まで盛立て、その後 $1\text{m}$ 間隔で掘削しながら除荷時の計測を行った。写真-3は斜面部の土圧計設

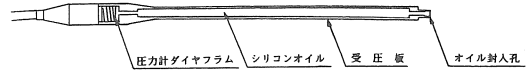


図-1 土圧計構造図

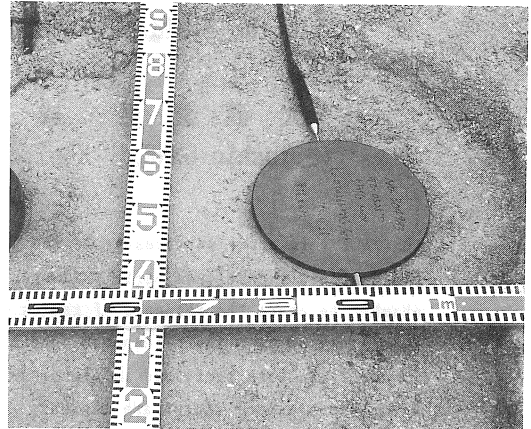


写真-1 ソフトタイプ土圧計

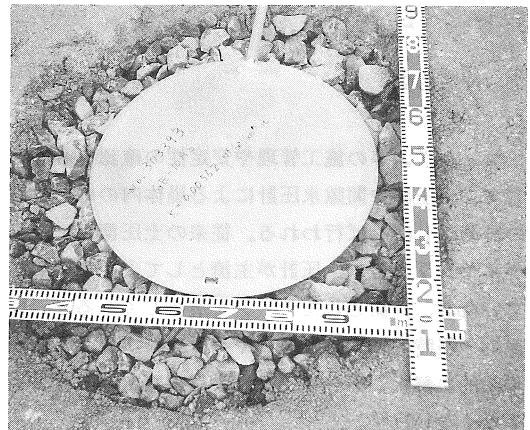


写真-2 ハードタイプ土圧計

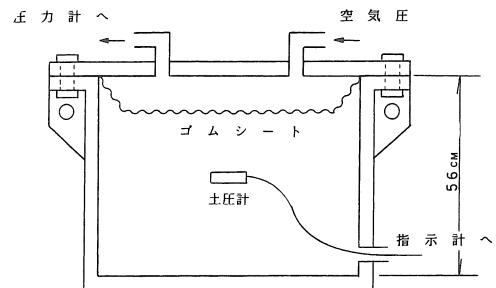


図-2 土槽検定実験

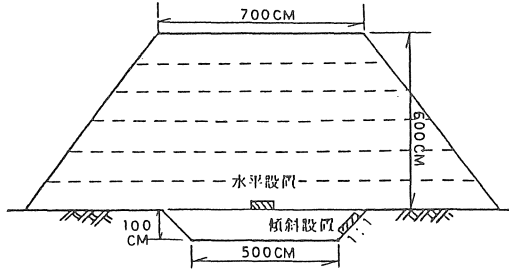


図-3 現場盛土実験

置状況、写真-4は途中の盛立て状況を示す。

使用した盛土材料は最大粒径 $D_{max}=30\text{cm}$ の粒度分布の良い礫混じり土であり、盛土の中高部で現場密度試験を行った結果、 $\gamma_t=2.22\text{tf/}$ を得た。

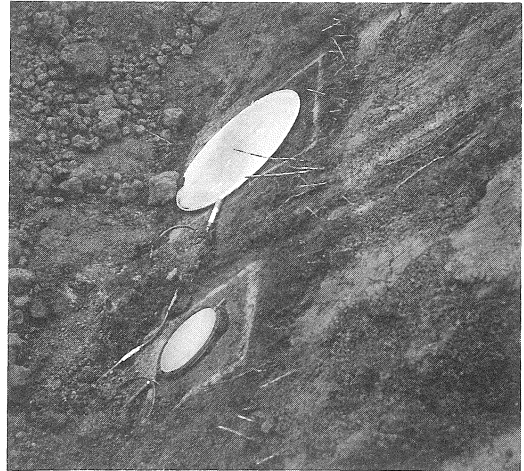


写真-3 斜面部の土圧計設置

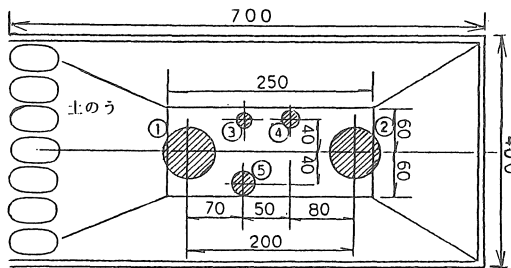
#### 2.4 学内盛土実験

図-4に学内盛土実験の概況を示す。7m×4mのヤード内に厚さ20cmの盛土材と同じ基盤層を設け、その上に5個の土圧計を水平に設置して盛り立てを行った。①、②は大型ハードタイプ土圧計(φ60cm)であり、②は土粒子の突角が土圧計測に与える影響を調べるために、上下に粒径の大きい碎石を敷いて埋設した。③は在来のダイヤフラム型土圧計(φ20cm)、④は小型ソフトタイプ土圧計(φ25cm)、⑤は小型ハードタイプ土圧計(φ30cm)である。実験は、まき出し厚を30cmとし、小型パイプレーターで締め固めたのち直ちに土圧計測をする形で、最終的

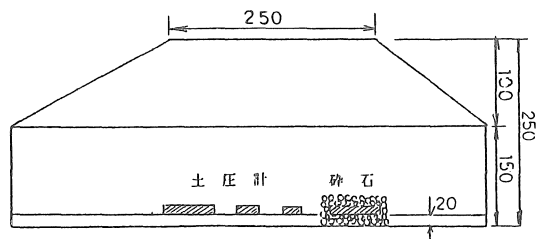


写真-4 盛立て状況

- ①: 大型ハード土圧計(φ600)    ③: 在来型土圧計(φ200)
- ②: 大型ハード土圧計(φ600)    ④: 小型ソフト土圧計(φ250)
- ⑤: 小型ハード土圧計(φ300)



平面図



側面図 単位(cm)

図-4 学内盛土実験



写真-5 土圧計設置



写真-6 盛土状況

に 230cmまで盛り立てた。そして、盛土完了後は数日毎に定期的に計測して土圧の経時変化を調べた。なお、ヤードの3方がコンクリート壁で囲われ、側壁摩擦の影響が大きいと考えられるので、土槽実験と同様にビニールの間にグリスを塗布したものを内壁に設置して摩擦軽減を図った。写真-5, 6に土圧計の設置状況と盛り立て中の状況を示す。

使用した盛土材料は最大粒径 $D_{max}=19mm$ 、均等係数 $U_c=264$ の粒度分布の良い粘土混じり礫質土であり、盛り立て時の含水比 $w=21.3\%$ 、現場密度試験の結果は $\gamma_t=1.86tf/$ を得た。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 土槽実験

図-5は $\phi 50cm$ のハードタイプ土圧計を用いた土槽検定実験の結果であり、埋設深度10cmごとに50cmまでの加圧力と計測土圧値の関係をプロットしている。図中の直線は両圧力の一一致度合を知るために引いた $45^\circ$ の参照線、●▲印は土槽の内壁に摩擦軽減処理をした場合、○△印は無処理の場合であり、載荷過程と除荷過程に分けてプロットしている。

図から、無処理の場合は深さ20cmで既に側壁摩擦の影響(測定土圧が加圧力より低下する性質)が現れ、また深さとともに載荷・除荷のループが大きくなる傾向が認められる。一方、摩擦軽減処理した場合は深さ約40cmまで測定値がほぼ $45^\circ$ 線上に載り、この程度の処理でも軽減効果がよく発揮されていることが分かる。

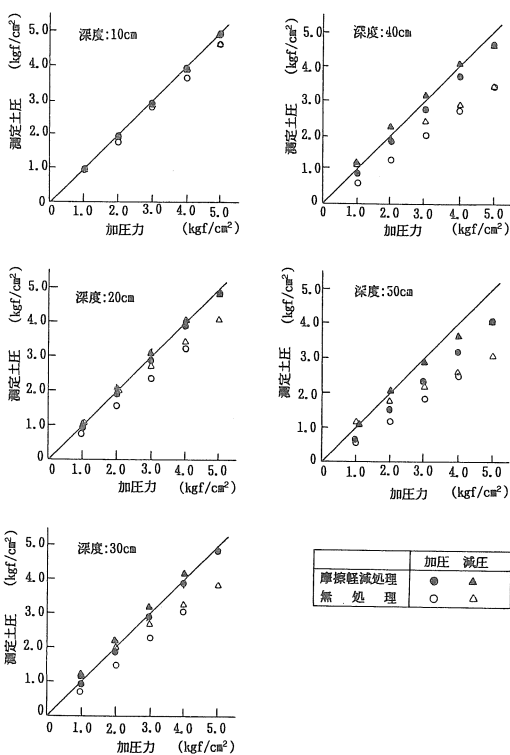


図-5 深度ごとの土圧測定結果

図-6は、図-5の加圧力 5.0kgf/ で計測された土圧値の加圧力からの誤差を埋設深さとの関係を整理したものである。図から、無処理の場合は深さにほぼ比例して誤差が増加すること、上に述べたように摩擦軽減処理をした場合は深さ40cm程度までは精度が保証されると見て良いことが知れる。

3.2 現場盛土実験

図-7は盛立て高と測定土圧の関係をプロットしたものであり、(a)は図-3で水平部に設置された土圧計、(b)は斜面部に設置された土圧計の値である。また、●▲印はハードタイプ、○△印はソフトタイプであり、載荷過程と除荷過程に分けて示している。更に、解析値とは、図-3の盛土断面について有限要素解析を行った結果であり、各土圧計に対応する応力値として、(a)では鉛直応力、(b)では平均垂直応力の値をプロットしている。なお、(a)には現場密度を用いた土被り圧線  $\sigma = \gamma_t h$  も参考に示した。

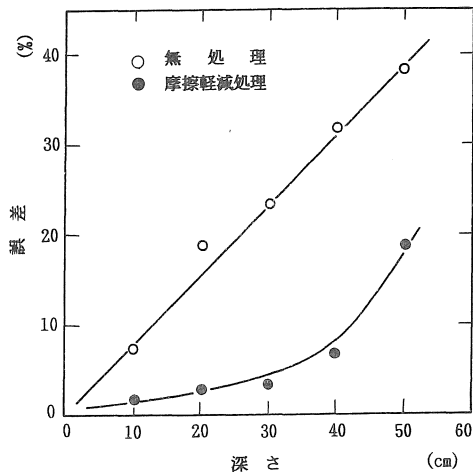


図-6 摩擦軽減処理の効果

(a)水平設置のハードタイプ土圧計は、載荷・除荷過程ともほとんど土被り圧線を推移し、また解析値の変動傾向とも類似している。解析値と同様、最終盛土付近で僅かな折れ曲がりが見られるのは、盛土が天端に向かって先細りになった(図-3)ためであり、鉛直土圧が理想的な土被り圧から徐々にずれる様子を表している。このような細かい変動まで感知したことは、ハードタイプ土圧計がかなり高い精度を有していることの実証になろう。一方、ソフトタイプ土圧計の値や変動は、初期部分を除けば明らかに異常であり、解釈が困難である。

(b)傾斜設置の土圧計の動向を見ると、ハードタイプ土圧計は載荷・除荷過程でほぼ直線的に同じ経路を通って変動しており、解析値と若干差があるものの、定性的には対応した結果を得ている。これに対し、ソフトタイプ土圧計は載荷・除荷のループや絶対値から見てやはり異常値を示していると考えざるを得ない。

このようなソフトタイプ土圧計の異常値の原因としては、礫の突角部が計器に点接触したり、封入したシリコン油が一方に偏ったりして、土圧が均等に伝達されないことが考えられる。今回の実験ではシリコン油の液漏れはなかったようであるが、今後は受圧板のシール方法を含め、その材質や構造的な改良が必要と思われる。

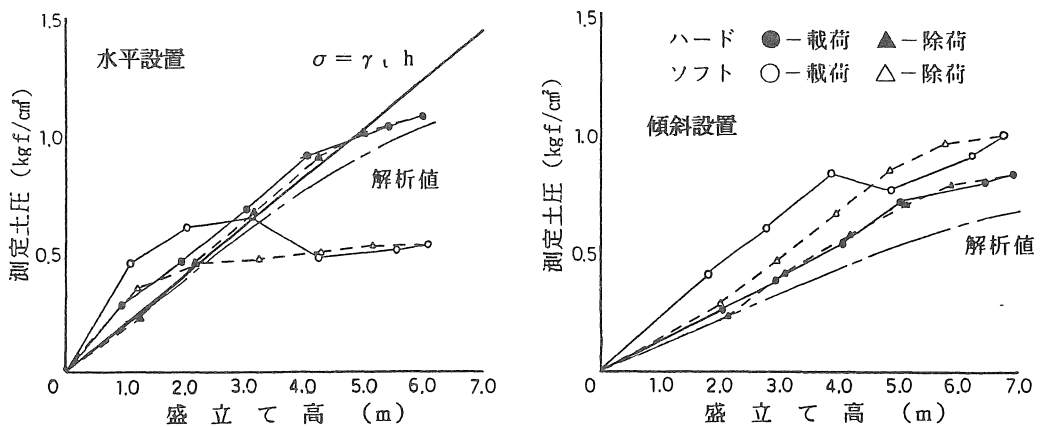


図-7 現場盛土実験における土圧測定結果

3.3 学内盛土実験

図-8は埋設した5個の土圧計について盛立て高と測定土圧の関係をプロットしたものである。大型ハードタイプ土圧計の初期部分を除けば、今回開発した土圧計はいずれも現場密度を用いた土被り圧線  $\sigma = \gamma_t h$  に沿って変動しており、最終段階では盛土の先細りの影響で折れ曲がりが見られる。これに対し在来のダイヤフラム型土圧計は、初期から最終段階まで土被り圧線を大きく上回り、その誤差は最大で約30%にも達している。なお、礫を挟んで埋設した②の大型ハードタイプ土圧計が土被り圧線から若干大きめに変動していることについては、土圧計と盛土材料との剛性差や馴染み、あるいは対象盛土に不釣合いな計器寸法等の影響が想定され、今後とも深く追求すべき問題と考えられる。

図-9は盛土後の日数経過に伴う測定土圧の変動を見たものである。ソフトタイプ土圧計は1ヶ月で約80%低下しており、明らかに液漏れ等の異常が想定される。他の土圧計の読みはほとんど変化がなく、耐久性の面では問題ないと思われる。

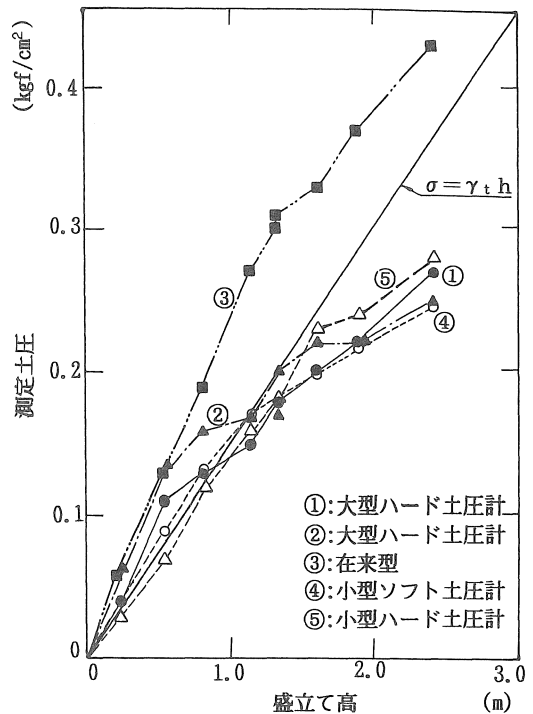


図-8 学内盛土実験における土圧測定結果

4. まとめ

以上の一連の実験結果を整理すると、以下のようにまとめられる。

- 1) 土槽検定実験では摩擦軽減処理の効果が極めて大きく、土槽の約70%深さまで信頼性の高い結果が得られることが確かめられた。
- 2) 盛土実験では、ソフトタイプ土圧計に、礫の突角部の点接触やシリコン油の偏り等の影響による異常値が発生した。また学内実験では液漏れ等の原因による土圧低下が見られ、耐久性にも問題があることが知れた。
- 3) 在来のダイヤフラム型土圧計は、理論値と比べて誤差が大きく、信頼性の面で問題があることが確かめられた。
- 4) 以上を総括して、ハードタイプ土圧計が精度的に最も優れていると思われるが、盛土材料との剛性

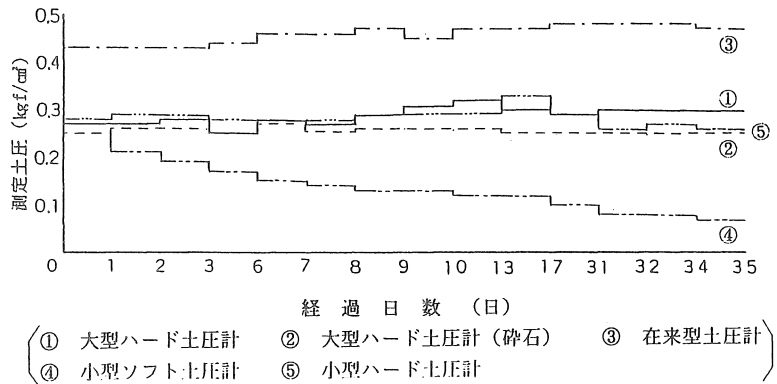


図-9 土圧の経時変化

差や馴染み、あるいは対象構造物に合った計器寸法等の問題を今後解決していく必要がある。

謝辞

末尾ではあるが、土圧計の開発や測定には榎東横エルメスの谷越義夫・小林賢二両氏の多大なるご理解とご助力を得た。また、現場盛土実験では飛島建

設 備 金 沢 川 ダ ム 作 業 所 ( 広 瀬 成 道 前 所 長 ・ 長 屋 光 記 現 所 長 ) 及 び 水 谷 建 設 備 の 方 々 、 並 び に 備 ア イ コ の 中 村 吉 男 氏 に 多 大 な る ご 協 力 を 頂 いた 。 こ こ に 、 深 く 謝 意 を 表 す る 。 な お 、 本 研 究 は 文 部 省 科 学 研 究 費 補 助 金 ( 課 題 番 号 04555121 ) の 援 助 を 受 け た 研 究 の 一 部 で あ る こ と を 付 記 し 併 せ て 謝 意 を 表 す る 。

#### 参考文献

1) 大根義男・成田国朝：都田川ダムの埋設計器観測

結果の報告と堤体挙動の解析（施工中から貯水前まで），1985。

2) 大根義男・成田国朝他：藤岡ダムの施工管理結果と埋設計器観測結果についての報告と検討，愛知工業大学研究報告No.19B, 205-215, 1984。

3) 奥村哲夫・成田国朝・大根義男：土圧計の検定に関する基礎的研究，愛知工業大学研究報告No.16B, 151-157, 1981。

(受理 平成 6年 3月20日)