

大深度地下空間での土木計測技術の課題と対策(その1)

大深度地下・現場計測・土圧計

東京電力(株)	正会員	佐藤 亘
地域地盤環境研究所	正会員	水原勝由
エスコ(株)	正会員	小嶋啓市
佐藤工業(株)	正会員	桐谷祥治
(株)間組	正会員	薄井昭則

1. はじめに

大深度地下空間での地下構造物の設計,施工においては,荷重の取り方,止水方法ならびに周辺環境への影響など様々な問題があり,これらの問題を解決または把握する方法として土木計測技術の重要性が高まっている.大深度地下では,これまで以上に高圧下での計測が必要となり,大深度地下空間に安全な地下構造物を建設するための計測技術の開発が急務と考える.本報では,土圧計に着目し,現状の課題と大深度地下への適用に向けた対策について考察¹⁾する

2. 土圧計の課題概要

地盤や構造物の諸現象を測定・予測する土木計測技術は,現象を検出して電気あるいは光変換する計測システムで構築されるものである.変形や応力変化を検出するセンサ自体はそれぞれの現象を電圧や周波数あるいは光の強さや周波数に変換して取り出すものであり,センサ自体の性能は測定精度として一般的な評価ができる.地盤の土圧を計測する上で共通する課題は,センサと測定対象物の相互関係に関するものが主と考える.

3. 測定対象とセンサの整合性に関する課題と対策

土圧計は壁面と地盤の境界あるいは土中に計器を設置し,受圧面に接する地盤圧力を測定する計器であり,計測器が存在しない時にその点に作用する応力が受圧面に忠実に作用することが要求される計測技術であり,次の課題がある.

1) 土圧計の測定精度に影響する重要な地盤パラメータは,変形係数と粒度分布である.このうち変形係数は,同一現場でも異なる計測地点があること,計測期間中に変化しうるもので,広い範囲の変形係数に対応する必要がある.土圧計は計器の剛性と地盤の剛性および形状をパラメータとした Tsitovitch の応答計算式⁽¹⁾で理論的な精度を計算することができる.式1は Tsitovitch の示した壁面,構造物底盤など境界型土圧計の応答計算式であり,計器と構造物の変形係数が等しいときに誤差がゼロになり,受圧板の大きさと剛性(単位圧力に対する変形量)が応答特性一定の地盤変形係数の範囲に寄与するとするものである.

$$\frac{P_e}{P} = \frac{\frac{E_s}{E_p} - 1}{\frac{\pi(1 - \mu_s^2)}{4} \cdot \frac{D}{fE_s} + 1} \quad \dots \dots \text{式1}$$

P : 真の土圧
 P_e : 誤差
 E_s : 土圧計の変形係数
 E_p : 構造物の変形係数
 E_s : 地盤の変形係数
 f : 0.1MPaでの受圧板の変形
 D : 受圧板の直径
 μ : 地盤のポアソン比

上記は,土圧計試験土槽を用いて現場試料を用いた検定試験によって実証することができる.土圧計の地盤材料による校正試験は図1.の例に示すように計測器を埋設した試験土槽上部にゴム膜を介して蓋で密閉し,蓋とゴム膜の間に水压を加え,水压を真の土圧として土圧計の応答との差を誤差とする手順で行われるのが一般的である.図2は試験用の土圧計によって地盤の変形係数に対して計器の剛性が不足している場合の応答性を調べた Clayton⁽²⁾の実験結果を示し,図中の実線は Tsitovitch の応答計算結果を示しており,以下より実測結果が応答計算式と一致していることが分かる.



図1. 土圧計試験の土槽

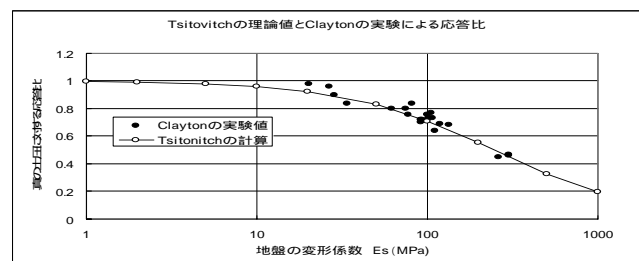


図2. 地盤の変形係数と土圧の応答比との関係

Subjects and countermeasures of the measurement for the structures in deep underground

Wataru Sato (Tokyo Electric Power Co.,Inc.), katsuyoshi Mizuhara (GeoResearch Insitute), keeichi Kojima (Esco Co.,Ltd.), Shojikiritani Kiritani (Satou-kogyo Construction Co.,Ltd), Akinori Hasui (Hasama Co.,Lt)

この地盤の変形係数と土圧の応答比との関係は、以下に示す通りである。

- ・ 試験土槽（この試験では三軸室）に計器を埋設し応力を加え、応答値を測定
- ・ 試料土の変形係数を算出（ E_s ）
- ・ 土圧計の構造から見かけの変形係数（ E_g ）を算出
- ・ Tsitovitch の式で求めた応答特性を算出
- ・ グラフの横軸を E_s とし、実験で得られた応答値と Tsitovitch の計算値をプロット

2) 土圧計の実用面ではこの他に種々の制約があり土圧測定の信頼性を確保するため、必要な計器あるいは設置上多くの課題がありその対応は、表1の様に提案されている。

表1. 土圧測定における計器あるいは設置条件の課題⁽³⁾

要因	誤差の説明	対策	提案者
アスペクト比 厚さ/外径 = L/D	厚さが大きくなると土の応力状態が変化する	計器自身はなるべく薄い形状が好ましい $L/D < 1/5$	W.E.S 1944 Askegaard 1963 Collin ほか 1972
ダイヤフラムの撓み	大きなたわみは受圧板表面の応力分布を変化させる	受感部の直径(B) > 2000 ~ 5000 撓み(δ) 100,000 ~ 200,000(松沢)	W.E.S 1944 Taylor 1945 Trollop & Lee 1967 松沢 1982
設置方法の影響	土圧計の設置は周辺地盤を乱す可能性がある	誤差がランダムに出るので、複数点を測定して評価する	Taylor 1945 Hadars 1967 Reiff & Linger 1967
偏心, 不均一荷重	土粒子径が大きい場合誤差が生じる	$\frac{B}{D_{50}} \geq 10$ B: 受圧面の直径	Kallstenius 1956 Brown & Pell 1967 Weiler & Kulhawy 1978

このうち土圧計の設置上の具体的課題は、以下がある。

- 壁面土圧測定では、壁へのジャッキアップによる設置時の壁面の凹凸による応力分布、点当たりや押し過ぎセグメントに作用する土圧測定では、曲面に作用する土圧の評価
- 土中土圧測定では埋戻し材料による応力条件の乱れ、不均一な転圧への配慮

4. 大深度地下空間への適用に向けた動向

土圧計では、設置条件、設置技術によって土圧測定の信頼性が決まる要素があることは否めない。また、大深度地下での地盤の変形係数、粒度分布、高土圧を考慮した計測器のバランスより誤差が低減できる対策が必要である。期待する土圧測定精度を得るためには次の検討ステップが望まれる。

- 【step1】 土圧計の性能と対象地盤の関係 現地地盤パラメータによる応答計算
- 【step2】 土圧計の校正試験 土槽による現地地盤での応答の確認
- 【step3】 設置上の問題点検討 地盤条件に基づく設置法の検討

また、パッド式土圧計⁽⁴⁾はシールドセグメントの曲面に設置するために可撓性のある受圧板を使用して曲面に作用する土圧測定を合理化した土圧計である。また、複眼土圧計⁽⁵⁾は受感部を多数の土圧測定ユニットに分割することにより土圧分布を測定する試みであり、いずれも土圧計設置技術のむずかしさを軽減することに期待している。

5. おわりに

本報では、大深度地下で計測を実施する上での課題のうち、土圧計の計測に関する信頼性向上の課題と対策を記述した。今後、この部分での構造物建設拡大に向けてセンサ、ケーブル等の個別課題に対する解決策の検討が重要と考える。図3は、土圧測定システムの信頼性に係わる課題を整理した。これらの課題克服に向け、計測器本体機能と設置技術の改良・開発に期待したい。

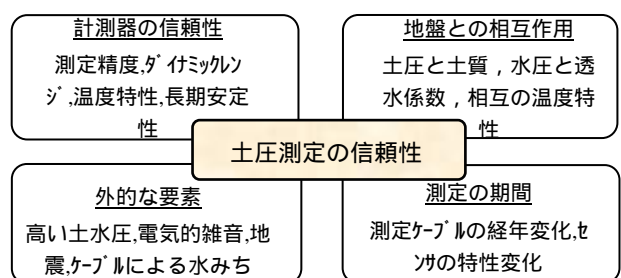


図3. 土圧計計測の信頼性に係わる要因

【参考文献】

- (1) Tsitovitch, N.A. & Baranov, D.S: On the accuracy of the method for direct pressure measurement in soils, Proc. of the 5th Int. Conf. On SMFE, Vol. , p337 ~ 338, 1961.
- (2) Scandinavica. Civil Engineering and Building Construction Series. No.11. Copenhagen: Technical University of Denmark. C.R.I. Clayton & A.V.D. Bica, The design of diaphragm-type boundary total stress cells. Geotechnique 43, No.4, 523--535
- (3) 針生幸治 土圧測定における誤差と補正法, 土と基礎, 土質工学会, 1984年3月
- (4) 橋本, 矢部, 山根, 伊藤: パッド式シールドセグメント用土圧計の開発, 第28回土質工学研究発表会講演概要集, pp2055 ~ 2058
- (5) 古藤田喜久雄, 間瀬辰也, 上田達也, 矢島淳二: 複眼式土圧計を用いた接地圧分布に関する研究, 第23回土質工学会研究発表会, 1988年6月