

Ⅲ－B127 粘性土地盤におけるシールドの設計土水圧に関する実験的研究

東京都立大学大学院 正会員 土門 剛
 前田建設工業(株) 正会員 青柳茂男
 東京都立大学大学院 正会員 西村和夫
 東京都立大学大学院 正会員 今田 徹

1. はじめに

シールド覆工設計における土水圧の取り扱い方には、土と水を分離して取り扱う考え方（土水分離）と、水を土の一部として包含する考え方（土水一体）がある。土水分離の考え方は、全土圧を有効土圧と間隙水圧とに分けて評価する方法で、一般に砂質土に対して適用されている。一方、土水一体の考え方は、覆工設計特有の概念で、全土圧として、すなわち水圧変動を考慮することなく評価する方法で、一般に粘性土に対して適用される。しかし、土水一体の考え方は実設計上においていくつかの問題が指摘されている。例えば、一口に粘性土と言ってもその範囲は広く、それらをひとつの概念で考えるのは地山の個性に合わせた設計として反映しにくいこと、また、短期では水圧変動等に起因して覆工が危険な状態にあるので土水一体の概念で設計しても実状に合うが、その水圧変動も落ち着き、静水圧に達した状態では土水分離でも理論的に問題はなく、むしろ分離の方が合理的で設計上も有利であること、等が指摘されている。これらの問題点は、水圧が卓越したトンネルでは特に顕著となる。

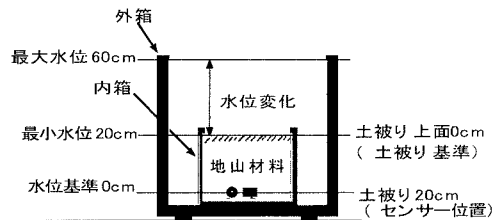
そこで著者らは、水圧挙動が不明確だとされる粘性土に関して、水圧卓越状態を想定した水位変化実験を行って、粘性土における土水圧の挙動を明確にするとともに、透水係数をパラメータとして粘性土の土水分離の適用範囲について考察を試みてきた。その中で、実験で得られた土水圧挙動は単に透水係数の違いだけでは説明が困難であることも指摘した。それを受けて本報告では、水位変化初期の不明確な水圧挙動は、一部有効土圧が担っていると仮定した場合に土水一体の考え方で説明ができることを示し、それを定量的には地山の飽和度をも考慮した Skempton の B 値で説明できる可能性が高いことを示した。

2. 実験概要

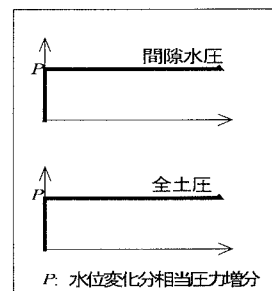
本研究で行った水位変化実験は、図－1 に示した実験装置を用いて、土被りの3倍となる位置に水位を設定し、水位変化（上昇・下降）後の土水圧の経時変化について計測したものである。用いた地山材料は表－1 に示すとおりで、透水係数をパラメータとし、ケース1として中間土を想定した透水係数 $k=10^{-6}(\text{cm/sec})$ のもの、ケース2として粘性土を想定した透水係数 $k=10^{-8}(\text{cm/sec})$ のものを採用した。

表－1 用いた地山材料

ケース	重量比 カオリン：ベントナイト：砂	透水係数 (cm/sec)	飽和度(%)	
			練り混ぜ直後	実験直後
1	7：0：3	10^{-6}	94.6	97.9
2	23：6：71	10^{-8}	88.0	－



図－1 実験装置概略図



図－2 Terzaghi の圧密理論

キーワード：シールドトンネル、水位変化実験、間隙水圧、土圧

〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学大学院 工学研究科 TEL：0426-77-1111（内 4567）

3. 実験結果と考察

水位変化による Terzaghi の圧密理論上の土水圧の経時変化を示す（図－2）。Terzaghi の圧密理論では、飽和土であれば、間隙水圧は水位変化分に相当する水圧が即時的に増加し時間依存性はない。そこで計測結果の解釈として、計測される間隙水圧が図－2 の様な挙動、すなわち水位変化に対して間隙水圧増加が即時的でその後一定である場合に、ここではその地山は短期的にも土水分離として取り扱うことができるとする。

図－3 にケース1における実験結果を示す。この結果から、水位変化直後の鉛直全土圧にはほとんど時間依存性（以下、これを「遅れ」とよぶ）がないものの、水平全土圧と間隙水圧には遅れがあることがわかる。ただし、水位変化直後を除けば、両者とも直ちにほぼ一定値（理論値）となり、この時点で土水分離として取り扱うことが可能だと言える。ケース2についても、遅れの大きさは異なるが同じ傾向が得られた。

次に、水位変化直後の水平全土圧と間隙水圧の遅れについての解釈を試みる。水平全土圧の遅れに関しては、間隙水圧に遅れがあると仮定すれば、その間隙水圧の遅れ分を有効土圧が担っている（全土圧＝有効土圧＋間隙水圧）と考えることで説明できる。つまり、（水平有効土圧＝側方土圧係数 λ ×鉛直有効土圧、 $0<\lambda<1$ ）より、水位変化直後、見かけ上、水平有効土圧が小さい値を示すが、時間が経過するにしたがって間隙水圧の一定値に落ちつくにしたがって、水平全土圧も安定するということである。また、間隙水圧の一部を有効土圧が担っているとすれば、土水一体の考え方も理論的に説明できる。

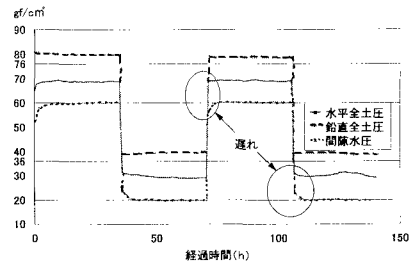
間隙水圧の遅れについては実験結果（図－4）より以下のように考察する。ケース1と2を比較すると、水位上昇時も水位下降時もケース2の方が水位変化直後の間隙水圧の遅れが明らかに大きいことがわかる。この遅れの違いは、透水係数の違いでは説明できないので、これを説明するパラメータのひとつとしてここでは飽和度に着目する（表－1）。ケース1、2ともに、比較的高い飽和度を有しているが、練混ぜ直後の両者の飽和度の違いから判断して、実験中でもケース2の方が飽和度が低かった可能性も否定できない。そこで、この僅かな飽和度の違いが、水位変化直後の間隙水圧の遅れに影響を及ぼしている可能性があるとして、Skempton の B 値（間隙水圧係数）を引用する。Skempton は、等方応力下の応力変化瞬間における間隙水圧の増分を式－1 のように定義した。また、飽和度と B 値の関係は多く研究者によって例えば図－5 が得られている。図－5 から、応力増分に対して飽和度 95%では約 9 割、90%では 4 割程度しか間隙水圧は増えないことがわかる。

以上のことから、水位変化瞬間における間隙水圧の遅れに地山の不飽和性が影響を及ぼしている可能性が高いと思われる。

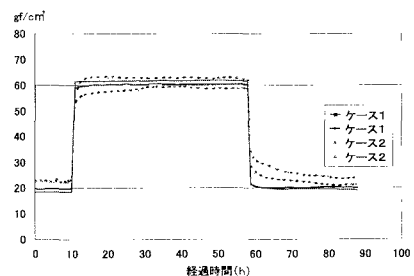
4. まとめ

粘性土において、水位変化瞬間の間隙水圧の遅れに地山の不飽和性が影響を及ぼしている可能性が高い。一方で、水圧が卓越した環境において、間隙水圧が静水圧に達し安定した後は、粘性土においても土水分離として取り扱うことができる。

謝 辞：本研究の一部は、平成 10 年度文部省科学研究費奨励研究(A)（課題番号：10750380）を受けて実施された。ここに記して謝意を表する。



図－3 ケース1における土水圧の経時変化



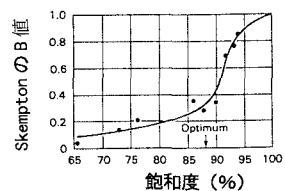
図－4 ケース1,2における
間隙水圧の挙動の比較

式－1 Skempton の定義

$$\Delta u_w = B \times \sigma_1$$

ここに、 Δu_w ：間隙水圧の増分(kgf/cm²)

σ_1 ：応力増分(kgf/cm²)



図－5 Skempton の B 値と飽和度の関係