

鹿島建設技術研究所

正員 鈴木 音彦

〃

〃 田中 益弘

まえがき：土質工学における重要な計測項目のなかに土の間ゲキ水圧があるが、間ゲキ水圧の計測値に時間的遅延という現象がある。ここではその問題を検討するための一つのねらいとして、間ゲキ水圧測定値の時間的遅延の原因を、「土中の間ゲキ水の移動量と間ゲキ水圧計受圧部の変位に必要な水量とが釣り合うための時間経過がある」という仮説を立て、この仮説を実験的に検証することができぬかを試みた。実験には一般に市販されているK社のひずみゲージ式の変換器を有し、先端部を取り換えることによって押込み型にも埋設型にも使用できる直径30mm、長さ80mmまたは125mm、容量25%の小型間ゲキ水圧計を採用し、これを木節粘土で作製した人工粘土地盤中に設置して種々の載荷重に対する間ゲキ水圧計の応答状態を測定した。

実験装置：実験装置は図-1に示したようであるが、その大きさは直径600mm、高さ450mmであり、加圧には圧縮空気を使用するものである。また装置内の圧力値は上蓋の中央に取付けた圧力変換器で読み取るようになっている。

間ゲキ水圧計：実験に用いた間ゲキ水圧計の構造図を図-2に示す。ここで押込み型をA、埋設型をBと各付けるが、押込み型は受圧部の外側に先端コーンと円筒形フィルターを有し、埋設型は受圧部の外側に円板形フィルターを有するものである。フィルターとしては目寸法が各2、5、10、40、100×10⁻³mmの5種類のメタルフィルターを用いることにした。

粘土試料：実験に用いた粘土はカオリン系の木節粘土であり、その代表的土性値を表-1に示す。また図-3にはこの粘土の圧密試験および透水試験から求めた透水係数と間ゲキ比、含水比との関係を示す。

実験方法：まず間ゲキ水圧計を水压検定して検定線の直線性を確認した後、十分水中で煮沸することによって気泡を除去したメタルフィルターを水中において間ゲキ水圧計に連結し、飽和粘土中に埋設する。このように間ゲキ水圧計を埋設された飽和粘土に圧縮空気によって0.5～2.0%の4段階の載荷を行い、各載荷段階における間ゲキ水圧計の応答状態を測定した。実験は各載荷重に対し5回づつ繰り返して行った。

計測値の時間的遅延の理論式：いま飽和粘土地盤に或る応力が作用し、その結果地盤の間ゲキ水圧が u_0 となるとき、この粘土地盤中に埋設された間ゲキ水圧計の任意時間における計測値を u_t とおけば、粘土地盤中と間ゲキ水圧計中とに明らかな水压差があるものと考えれば、 $(u_0 - u_t)/\gamma_w$ の圧力水頭差によって粘土地盤中の間ゲキ水 V_w がフィルターを通して間ゲキ水圧計に流入することになる。これを次式で示す。

$$V_w = \left\{ (u_0 - u_t) / \gamma_w \right\} k \cdot A_f \cdots (1) \quad \text{ここで } k \text{ は粘土の透水係数、} \gamma_w \text{ は水の単位重量、} A_f \text{ は流入係数である。}$$

また、単位時間当り流入量 V_w と、間ゲキ水圧計の示度を1%上昇せしめるために必要な水量 V_m (Volume factor

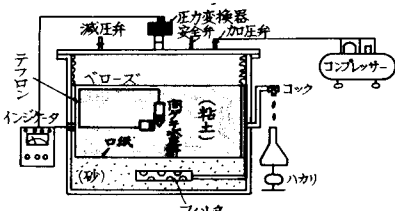


Fig-1 実験装置

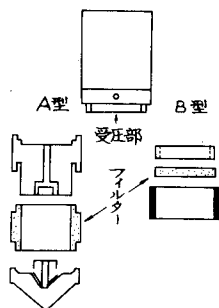


Fig-2 間ゲキ水圧計

Table-1 木節粘土の土性

土粒子の比重	2.60
液性限界	58 %
塑性限界	19 %
粒度組成	
砂分	9 %
シルト分	36 %
粘土分	22 %
コロイド分	33 %

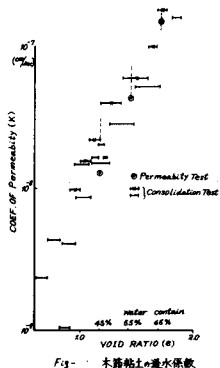


Fig-3 木節粘土の透水係数

$\frac{cm^2}{g}$) との関係は次式で示されるので

$$V_v = \left(\frac{\partial U_t}{\partial t} \right) V_m \dots (2)$$

これを(1)式に代入し積分すると次式が得られる。これは Hvorslev の式である。

$$\frac{U_0 - U_t}{U_0} = \exp \left(- \frac{R \cdot A_f}{r_w V_m} \cdot t \right) \dots (3)$$

なお、 A_f はフィルターの形状と大きさのみで決まる次式であたえられる。

$$\text{円筒形 } 2\pi l / 2.3 \log_{10} (l/d + \sqrt{1 + (l/d)^2}), \text{ 円板形 } 2.75 d$$

ここで、 l はフィルターの長さ、 d はフィルターの直径である。

実験結果と検討: いま実験結果をフィルターの目寸法を変えた間ゲキ水圧計(A)、(B)の $(U_0 - U_t)/U_0$ と応答時間との関係として示すと図-4の点線のようになる。図中の実線は(3)式より $V_m = 1 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/g$ と仮定して求めた計算値である。それぞれ A_f の大きい間ゲキ水圧計(A)の方が応答時間が早い。間ゲキ水圧計(B)の実測値と(3)式より V_m を求めると図-5のようになり、 $10^{-4} \text{ cm}^2/g$ のオーダーにある。この V_m は $(U_0 - U_t)/U_0$ が小さくなるにしたがい大きくなり、この傾向は目寸法の大きいものほど卓越していることが知られる。本実験では、 l は変化せず同一チップを用いているので V_m も一定であると仮定出来るので、理論的には目寸法によらず変化しない A_f が変化(減少)したことも考えられる。

図-6はフィルターの目寸法の大きさと計測値の時間的遅れとの関係を示す。図から目寸法の大きいものほど時間的遅れが大きいことが知られる。いま間ゲキ水圧計(A)の A_f を(B)と同一にありとした場合の時間的遅れを(3)式より求めると図中のX印のようになり、同一の大きさの A_f を持つフィルターでは円板形よりも円筒形の方が必ずしも計測値の時間的遅れが小さいことになる。図-7は、同一目寸法のフィルターを持つ間ゲキ水圧計(B)による異なる粘土中の応答時間を示す。(3)式より l の異なる粘土中、 l の変化した割合だけ、時間的遅れが変化する。

いま含水比65% ($K = 1.5 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$) の時間的遅れ(36 min)基準とすると、55%では $K \div 3$ 倍、45%では $K \div 10$ 倍となり、実測値に比較して大きいので、含水比の高い時の計測値の時間的遅れが大きいことになる。計測値の時間的遅延を求める(3)式では、 l 、 r_w 、 A_f 、 V_m は定数として取扱われているが、計測値に時間的遅延があるということは、 A_f が V_m が変数でなければならないと考える。しかし、ここでは同一のチップによるもので、 V_m は定数であっても差支えなくむしろ目寸法の影響により水の移動を規制する A_f が変化するものと考えるのが妥当と思われる。

まとめ: 実験結果を要約すると次のようになる。1). この間ゲキ水圧計の V_m は 10^{-4} のオーダーにあり従来から言われている 10^{-3} のオーダーより小さいので、実用上時間的遅延は無視できる。2). フィルターの目寸法の選定は、土の粒径、溶解度などを考慮し、フィルター自身の透水性が問題にならない範囲で小さいものを選ぶ方が有利である。3). 同一大きさの A_f を持つフィルターでは、理設に伴う問題を除けば形状としては円板形よりも円筒形の方が有利である。なお今後、 A_f 、 V_m の特性についての検討を続けてゆく所存である。

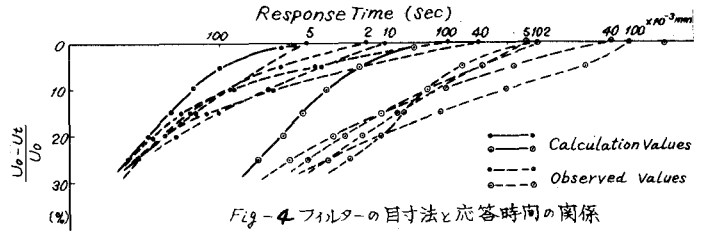


Fig-4 フィルターの目寸法と応答時間の関係

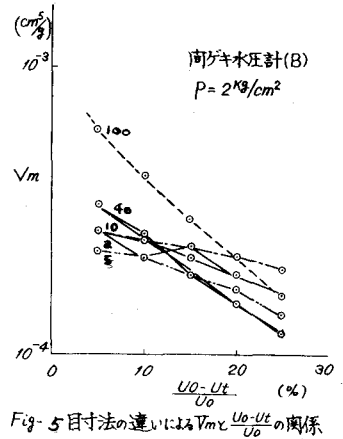


Fig-5 目寸法の違いによる V_m と $(U_0 - U_t)/U_0$ の関係

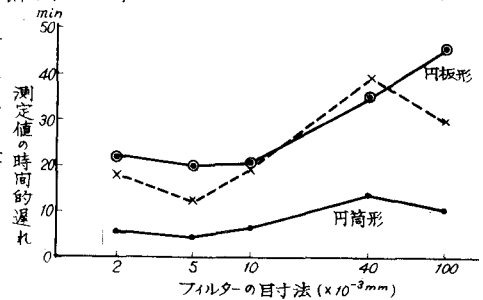


Fig-6 フィルターの目寸法と測定値の時間的遅れの関係

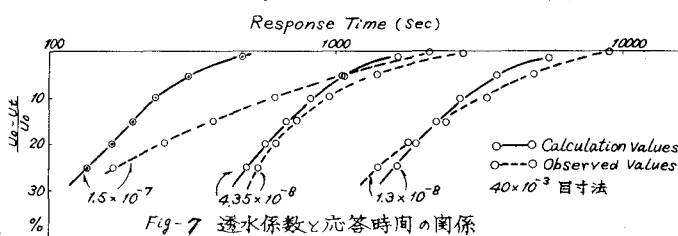


Fig-7 透水係数と応答時間の関係