

Ⅱ-44 圧密現象とセン断現象の見方について

大阪市立大学工学部 正員 三笠正人

1. まえがき

筆者は13年前、粘土の間ゲキ水压の問題を¹⁾考えてみなりがきっかけで土質力学の研究に入ったのであるが、それ以来、間ゲキ水压、有効応力の概念は、土の力学における中心的指導原理となるべき性格のもりではない、との感じをずっと抱いてきたのである。比喩的に言えば、間ゲキ水压とは実体にもなう影のようなものであり、“応力として有効応力を考えよ”というのは、“影にまどみせれず実体を直視せよ”と言うに等しく、きわめて大切な注意ではあるが、それだけですべてが解決されるわけのもりではなく、単に研究の対象を正しく捕えた、つまり正しい出発点に立ったという以上の意味はないのである。

このことを認識せず、間ゲキ水压の概念がすべての鍵であるかのような偶像崇拜が行なわれ、これが土質力学の発展にとってしばしば重い足かせ²⁾となっていることを、最近強く感じるのである。以下圧密現象とセン断現象について、この点を中心として筆者の見解を述べよう。

2. 圧密現象

Terzaghi は過剰水压 (u) なる概念を創り出し、これによって圧密現象を説明した。微分方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots\dots\dots (1)$$

および図-1 のモデルによれば、過剰水压が圧密現象の主役であることは疑う余地のないことのように思われる。しかし筆者は3年前軟弱粘土の圧密現象を解析する必要から、Terzaghi 理論よりも適用範囲の広い(透水性、圧縮性、圧密圧力の変動を許した)圧縮ヒズミ ε に関する方程式

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = C_\varepsilon \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} \dots\dots\dots (2)$$

を導き、またこれをさらに一般化したいくつかの方程式をも導いて、過剰水压が絶対的のもりでないことを示した³⁾。ここではさらに図-1 のモデルを新理論の立場から眺めてみよう。

いま図-1 を簡単化して図-2 (a) のようにしてみると、これは図-2 (b) の Voigt モデルと全く同じものであることが理解できよう。したがってその圧縮特性は

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \dots\dots\dots (3)$$

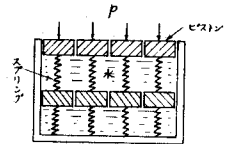
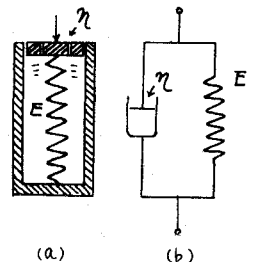


図-1 圧密現象のモデル (テルツァギー)



(a) 簡単化したテルツァギーモデル (b) Voigt モデル

図-2

の式で表わされ、その際過剰水圧の概念は入っていない。間ゲキ水の絞り力はピストンの移動に対する抵抗として右辺第2項に表現されている。過剰水圧はこの抵抗の reaction として実体に伴う影のように発生するが、これを考慮しなくてもピストンの運動は解けるのである。

このことは図-1のモデルについて全く同様に言えるのであって、これは新しい方程式の⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾モデルが見出されたわけである。

もっとも同じモデルを逆の立場から眺めたわけであるから、それによって新しい見方の正しさ、あるいは有利さを主張する根拠にはならない。しかし新理論には、①式(2)は式(1)よりも誘導が簡単であり、しかも適用範囲が広い。②式(2)はさらに複雑な多くの場合に対する一般化が可能である。③これまで圧密試験や現場の沈下観測で認められたのは式(2)の妥当性であって、式(1)のそれではない。などの優れた点があるので、これらを考えあわせると、圧密現象を非定常透水路問題として捕えた Terzaghi は、その出発点において「誤った」とは言えないまでも「要しき道」を選んだことが明らかである。過剰水圧の束縛から離れ、土の骨組の挙動に直接着目することによって、圧密現象を正しく理解することができるのである。

3. セン断現象

せん断強度を表わすクーロンの式

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad \text{----- (4)}$$

は Terzaghi のよって間ゲキ水圧 u をとり入れて

$$\tau_f = c + (\sigma - u) \tan \phi \quad \text{----- (5)}$$

と書きかえられ、全応力の σ でなく有効応力 $\sigma' = \sigma - u$ に対して摩擦力を考えねばならぬと主張された。これは加えられたせん断応力と関係なく以前から存在していた自然間ゲキ水圧については明らかに正しい。⁽⁴⁾しかしこれをさらに進めてせん断現象に伴う u の変化に及ぼすことは正しくない。

たとえばゆるぎめの飽和した砂や、敏感な粘土がせん断されると u が増え、そのため σ' が減って式(5)から τ_f が減る、というふうによく説明されるが、これは次の2つの点で誤っている。ひとつは u が増えたために σ' が減ったというのは順序が逆であること、すなわち正しくはせん断に伴う構造の変化のため σ' が減り、釣合りの式⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾

$$\sigma = \sigma' + u \quad \text{----- (6)}$$

を満足するよう u が発生するものであること (σ' の影りのように)、そひとつはそのときの σ' の変化が複雑な構造の変化に起因するために、 σ' と τ_f との関係を式(5)で簡単に片付けてしまうわけにはいかないという点である。⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾

はじめの点はせん断現象を眺める立場の問題で、すべての認識の出発点となるものである。ふたつ測定するのは u であって σ' の方ではないけれども、そのため考え方の順序

を誤ると本質を見失ってしまう。Skempton の間ゲキ圧係数¹⁰⁾

$$A = \Delta U / \Delta (\sigma_1 - \sigma_3) \dots \dots \dots (7)$$

は三軸圧縮試験から求めるので、圧縮中の平均圧力の増加に等しい間ゲキ水圧の増分¹⁰⁾

$$U_b = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \dots \dots \dots (8)$$

と、構造の変化に起因するダイレイタンシーによる間ゲキ水圧の増分²⁾⁸⁾ U_d の2つの成分が
いっしょに入っており、そのため物理的な意味が明確でないが、⁸⁾ これも間ゲキ水圧に重き
をおきすぎたためである。

あとの長はさらに進んでいける“有効応力の原理”を、“破壊時の有効応力さえわか
れば強度が定まる”と解釈した英国および北欧学派の C', ϕ' 解析法⁴⁾へと導かれるもので、
この解析法が実験的事実と矛盾し、また実用的にも使いにくいものであることを、筆者は
先に具体的に指摘した。⁴⁾

以上の長から考えれば、せん断現象を解明するには間ゲキ水圧や有効圧力などの媒介物
に頼るよりも、むしろ与えられた条件とせん断強度や体積変化などの直接必要なデー
タとの間の直接的な関係を実験的にしらべ、法則を見出していくのが正道であると結論する
ことができればよい。この講演会で別に発表する“振動斜面の安定計算について”もそのよう
な立場から研究したものである。

4. あとがき

土質の問題を考えるには、土の骨組の挙動を正面から直視すべきである。この至極あり
まじのことかこれまでの土質力学ではとがくたおざりにされてきたようである。間ゲキ
水圧を中心とするこれまでの行き方はなかなか根強いもので、筆者自身もその束縛から自
由になるのに 10 年がかつたのである。ありまじのことがありまじとして通る日の早
く来ることを希う次第である。

参 考 文 献

- 1) MIKASA, M. : On the Settlement of Clay Layer by Partial Load, Proc. 1st Japan
National Congress for App. Mech. p.303, 1951
- 2) 三笠正人 : 不等方応力による粘土の過剰水圧について, 第9回土木学会年次講演
会概要, 1953
- 3) 三笠正人 : 軟弱粘土の圧密理論, 昭和35年度土質工学会秋期講演会概要,
1960
- 4) 三笠正人 : 粘土の強度の考え方について — C', ϕ' 解析法の批判を中心として —
土と基礎特集号 (軟弱地盤における土質力学上の諸問題) 1963
- 5) Terzaghi & Peck : Soil Mechanics in Engineering Practice, 1948
- 6) 三笠正人 : 土の力学的性質とその試験法, 「道路のための土質工学」土質工学会
関西支部, 1962

- 7) 三笠正人 : 土の力学における構造の概念の意義について, 昭和37年度土木学会年次講演会概要, 1962
- 8) 三笠正人 : 土の圧縮とせん断における問題点の考察, 「土質材料の力学と試験法における最近の問題点」, 日本材料試験協会関西支部, 1962
- 9) 三笠正人 : 土の強度と安定計算法, 「基礎のたぬの土質工学」, 土質工学会関西支部, 1963
- 10) Skempton, A.W.: The Pore-pressure coefficients A and B , *Geotechnique* vol.4, 1954