

isotach 則

isotach rule

今井五郎 (いまい ごろう)

横浜国立大学教授 大学院

1. はじめに

タイトルに用いた“isotach”は、Šuklje (スクリエ) の造語 isotaches から取った圧密用語であり、我が国ではこれまで『アイソタッチ』と呼ばれてきた。この用語については、その読み方から始まって内容の解釈や用語の使用方法に至るまで、多くの誤解があった。そこで、用語としての“isotach”を正しく使っていただけるように、以下、次の順序で説明を加えたい。①いかなる意味で『アイソタッチ』という言葉が使われてきたのか。②Šuklje が“isotaches”という用語に託した本義は何だったのか。③“isotach”をどのように発音したら良いのか。④圧縮則としての“isotach”は実証されたのか。⑤“isotach 則”に関する今後の検討課題は何か。

2. 従来の用語『アイソタッチ』の使われ方

二次圧密に関心のある人は図—1を良く目にするだろう。記号上のバーは粘土層全体の平均を表す。点線で示した $\bar{\sigma}' = \bar{\sigma}'_f$ 一定 (ここで $\bar{\sigma}'_f$ は初期応力 $\bar{\sigma}'_0$ に Δp が加わった状態)の下での $\bar{e}-\log t$ 曲線は小層厚 (供試体) に対する圧密試験で得られる、いわゆるクリープ圧縮を表す曲線である。その曲線との関係において、同じ初期状態 ($\bar{e}_0, \bar{\sigma}'_0$) から始まる大層厚 (現場) の圧密過程がどうなるか (ただし、 Δp 値はどちらも同じ)。これが圧密予測における最大の関心事である。ある人は一次圧密中のクリープ圧縮は無いと考え、Terzaghi の H^2 則が成り立つタイプAになると言う。しかし、常にクリープ圧縮が生じると考える人は、その分が徐々に加算されていってタイプBになるはずだと言う。そしてタイプBになる場合を“アイソタッチする”と言う人が多かった。すなわち、その粘土に固有のクリープ曲線に漸近収束するか否かを“アイソタッチするしない”と表現し、“アイソタッチ”をその判断に用いる基準用語であるかのように考えていたわけである。

さらに、タイプAなのかそれ以外なのかは、単に一次圧密中のクリープ圧縮の有無のみによって決まることであるにもかかわらず、タイプBならそのクリープ圧縮則は“アイソタッチ型”、タイプAなら“非アイソタッチ型”であるとも言われるようになった。しかし、クリープ圧縮の有無に関するタイプAかBかという問題と、圧縮則がアイソタッチ型か否かは別問題なのである。ごく最近の研究結果¹⁾によると、いわゆる“アイソタ

ッチ型”と言われる圧縮則に支配される粘土であっても、タイプAやAとBの中間の挙動を示す場合がある。“タイプAなのかBなのか”とか“アイソタッチするのしないのか”は結果として圧密パターンに表れる個別現象なのであって、それらを圧密予測時に当てはめる基準パターンとして使うべきではない。大切なことは粘土の骨格がいかなる圧縮則に従うのか、なのである。このことを正しく理解するためには、Šuklje が“isotaches”という用語に託した本義を知る必要がある。

3. Šuklje の“isotaches”

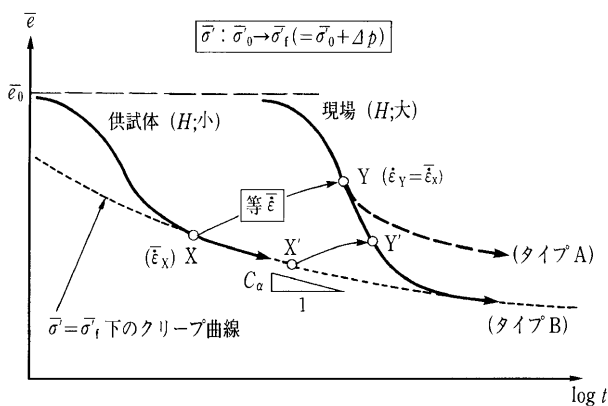
二次圧密を示す現場粘土層の圧密過程を予測するために、Šuklje は“isotaches method”と彼自らが呼んだ図式解法を提案した²⁾。

彼の考え方の根幹を図—1に基づいて紹介しよう。彼の最も大切な考えは、現場粘土層から採取した供試体の二次圧密段階における $\bar{e}-\log t$ データを使うという点にある。図示の点Xは一定 $\bar{\sigma}'$ 値 ($=\bar{\sigma}'_f$) の下で時間と共に $\bar{e}-\log t$ 曲線上を移動し、それに伴い $\bar{e}$ とひずみ速度 $\bar{\dot{e}}$ ($=-\bar{\dot{e}}/(1+\bar{e})$) 値は減少していく。すなわち、ある大きさの $\bar{\sigma}'$ に対してその粘土に固有な $\bar{e}-\bar{\dot{e}}$ 関係が求まる。段階載荷試験を実施すると異なる $\bar{\sigma}'$ に対する数組の $\bar{e}-\bar{\dot{e}}$ 関係が求まるので、それらを組み立て直すことにより種々な $\bar{e}$ 値に対する $\bar{e}-\bar{\dot{e}}$ 関係が求まる。それらをまとめてŠuklje は“a set of isotaches $\bar{e}-\bar{\dot{e}}$ ”と呼んだ。

$\bar{\dot{e}}$ は骨格の圧縮速度を表す量だから、“isotaches $\bar{e}-\bar{\dot{e}}$ ”とは要するに、同一速度の圧縮という条件下で成り立つ $\bar{e}-\bar{\dot{e}}$ 関係を表すことになる。

次に、これら複数の“isotaches $\bar{e}-\bar{\dot{e}}$ ”が一次圧密中の現場粘土の骨格にも適用される、とŠuklje は仮定した。ただし、その適用を可能にするためには、力学的に整合性のとれた仮定を設ける必要があった。その一つとして彼は、図—1のクリープ曲線は直線であるとした。つまり、二次圧密係数 $C_\alpha (= -\Delta \bar{e} / \Delta \log t)$ はそれぞれの $\bar{\sigma}'$ に対して定値であり、さらに供試体の C_α 値と現場粘土のそれは (同じ大きさの $\bar{\sigma}'_f$ に対して) 等しいとした。もう一つの仮定は、一次圧密においてだけでなく二次圧密過程でも、粘土層内で過剰間隙水圧は放物線分布するというものである。二次圧密中の粘土層において過剰間隙水圧一様 $=0$ とすると、水のしぼり出しがなくて常に $\bar{\dot{e}}=0$ となり、供試体の二次圧密過程に対して異なる $\bar{e}$ に対する $\bar{e}-\bar{\dot{e}}$ 関係を求められないのである。

技術手帳



図－1 圧密予測におけるいくつかの考え方

これらの仮定を設けると、供試体の二次圧密過程における任意X点における $\bar{e}$ と同じ大きさの $\bar{e}$ を示す現場粘土層の一次圧密過程における $(\bar{e}, \bar{\sigma}')$ を、すなわち図－1のX点に対応するY点の位置を図式的に特定することができ、 $X \rightarrow X'$ におけるデータを次々に使って $Y \rightarrow Y'$ 曲線を描ける。この手法をŠukljeは“isotaches method”と呼んだのである。

1日载荷の範囲だと、二次圧密中の $\bar{e}$ 値が大きすぎるために、現場の小さな $\bar{e}$ に対するY点を特定できないことがある。そのために、はるかに小さな $\bar{e}$ (X' 点)に対する $\bar{e}-\bar{\sigma}'$ 関係が得られるように C_α 一定を仮定せざるを得なかったのだが、彼の卓抜した洞察力と論理構成には感嘆せざるを得ない。

いずれにしても、このようなŠukljeの“isotaches”は、これまで使われていた『アイソタッチ』という言葉の意味とはまるで違う。

4. “isotach”の語源と読み方

“isotaches”が「等速度」を意味すると分かったところで、その語源を調べて得た結果について述べる。

isoはギリシャ語でアイソと読み、「等しい」を意味する接頭語である。今も isochrone (等時曲線), isotherm (等温線), isotropic (等方性の) などの接頭語として使われている。曲物は taches である。それはギリシャ語で(回転数をベースに測った)速度を表す tachos (タコス)に由来すると分かった。tachometer (回転速度計), tachograph (自記速度計)などの英語、仏語の tachymetre (タキメトル)や tachygraphe (タキグラフ)として残っている。

これらの語法によると、ヨーロッパでは tachos の語幹を tach とした、と判断できる。そうであるならば、Šuklje が等速度圧縮下の複数の $\bar{e}$ に対する $\bar{e}-\bar{\sigma}'$ 関係に対して“isotaches”という複数形の用語を当てたことが納得できる。したがって、単数ならば“isotach”とするのが妥当であり、それを「アイソタック」と読むのが日本語の発音として落ち着くだろう。以上の検討から、“isotach”という用語に対して次の読み方と定義を与えるのが適切だと考える。

【isotach】アイソタック；土の圧縮において、その骨格

に固有の $\bar{e}-\bar{\sigma}'$ 関係が圧縮速度の違いに応じてそれぞれ一意的に定まっていること。

5. アイソタックの実験的検証と今後の課題

Šuklje の仮定には検証済みのものもあるし、未検証のまま残されているものもある。

まず最初に、二次圧密過程で得られるアイソタック $\bar{e}-\bar{\sigma}'$ 関係が、一次圧密段階でもそのまま成り立つのか、という問題がある。室内供試体の層厚に限ると、分割型圧密試験や定ひずみ速度圧密試験、数カ月乃至長期試験などを含めた広範な実験の結果に基づいて³⁾、既にその成立は検証済みである。

2番目の問題は C_α 値の一定性である。Terzaghiの H^2 -則を検討した網干の実験結果によると⁴⁾、厚さ1m粘土層の C_α 値は時と共に減少している。それにとどまらず、最近実施されるようになった長期圧密試験の結果を見ると、すべて C_α 値は時と共に減少していく。だからと言ってアイソタック則が成り立たないわけではない。その低下傾向を定式化したアイソタック則も提案されており³⁾、 C_α 値は変化しても良いのである。

こうして少しずつではあるが、圧密における粘土骨格の圧縮則が見えるようになってきたし、それに基づく予測計算方法も進歩してきている。しかしながら、数日オーダーの室内試験で得られた圧縮則が数年～数十年にわたる現場粘土の圧密でそのまま成り立つのかと言われると、答に窮する。また、アイソタック則の成立がこれまで確認されたのは、膠結作用(セメンテーション)や鋭敏な構造を持たない正規圧密粘土に限られる。構造軟化を伴う粘土や軟泥岩などの圧密でアイソタック則が成り立つのか否かは、今後の大切な検討課題の一つと思われる。

6. おわりに

どの学問分野でもそうなのだが、言葉の定義は極めて大切である。特に外来語をそのまま用いる場合、その定義を明確に示さないでいると、いつの間にか言葉が一人歩きしてしまい、混乱を招く。自戒の意をこめて注意したいものである。

参 考 文 献

- 1) 今井五郎：アイソタック則に基づく圧密理論とその適用方法，圧密沈下予測の新しい考え方と手法講習会，講演資料，pp. 117～165，(特に，当日配付資料版の図54, 55)。
- 2) Šuklje: The analysis of the consolidation process by the isotaches method, Proc. of the IV-th ICSMFE (1), pp. 200～206, 1957.
- 3) Imai, G.: One-dimensional consolidation modeling based on the isotach law for normally consolidated clays, Soils and Foundation, Vol. 43, No. 4, pp. 173～188, 2003.
- 4) Aboshi, H.: Some problems on settlement and stabilization of soft grounds, Proc. of the Soft Ground Engineering in Coastal Areas, —The Nakase Memorial Symposium—, pp. 81～92, 2002.

(原稿受理 2003.8.27)