

ディスカッション：長尺摩擦杭の支持機構から見た設計上の留意点

(平山英喜著 Vol. 40, No. 2, pp. 35~40)

半 沢 秀 郎 (はんざわ ひでお)

東亜建設工業㈱ 技術研究所長

長尺摩擦杭小特集（2月号）に掲載された平山英喜氏（以下、著者と称する）の報文、「長尺摩擦杭の支持機構から見た設計上の留意点」は、①全応力法、および②設計の基本姿勢の2点について、基本的とも言える誤解に基づいている。以下、上記の2点について、筆者の見解を示す。

1. 全応力法

図-5は、理想的せん断試験におけるせん断応力 τ と有効応力 σ' の関係を示したものである。非排水および排水せん断強度、 $\tau_{f(u)}$ および $\tau_{f(a)}$ は、全応力法、有効応力法では次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \tau_{f(u)} &= F(\sigma'_0) = \sigma'_0 \tan \phi_{cu} \text{ (全応力法)} \\ &= F(\sigma'_f) = \sigma'_f \tan \phi' \\ &= (\sigma'_0 - \Delta u_f) \tan \phi' \text{ (有効応力法)} \\ \tau_{f(a)} &= \sigma'_f \tan \phi_a = \sigma'_0 \tan \phi_a \end{aligned} \right\} \dots(10)$$

(全応力法, 有効応力法)

ここに、

σ'_0 = せん断開始前のせん断面上の有効直応力

σ'_f = 破壊時のせん断面上の有効直応力

Δu_f = 破壊時の過剰間隙水圧

全応力法による $\tau_{f(u)} = F(\sigma'_0)$ なる表示法は、せん断強度を粘着力と摩擦成分に分割するのではなく、 σ'_0 （通常業務では σ'_0 に代えて有効土被り圧 σ'_{v0} が用いられる）と関連づけ、全せん断強度として評価するものである。(1)式や(2)式で示される c_u は、通常、 σ'_{v0} （または深度）の関数として求められ、したがって全応力表示による $\tau_{f(u)}$ であるが、(3)式の c に対応するものでは断じてない。著者の指摘に従えば、せん断挙動が非排水状態であれば、 f は σ_h によらず（= σ'_{v0} によらず）一定値（= c ）となることから明らかである。したがって(3)式に基づき著者が全応力法と称して示した解析はもち論、これを(1)式または(2)式の土質力学的解釈とする指摘

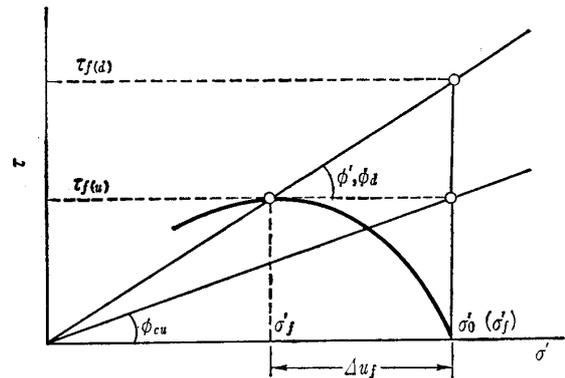


図-5 理想的せん断試験における τ - σ' 経路

は承服し難いところである。なお著者は、 f を評価するに際し、 c_u/σ'_{v0} 比（= $\tau_{f(u)}/\sigma'_{v0}$ 比）を用いることを推奨しているように見受けられるが、この比（=(10)式の $\tan \phi_{cu}$ ）は、全応力法による強度表示以外の何者でもないことも併せて指摘したい。

2. 設計の基本姿勢

設計の基本姿勢は、構造物の実際の挙動を解析することではなく、考え得る最も危険な状態を想定して設計することにより、大きなトラブルなしに構造物を建設するところにある。せん断強度について言えば、与えられた载荷条件や予想される排水条件のもとで、より安全側のせん断強度を用いる必要がある。通常の粘土や砂についてそれぞれ $\tau_{f(u)}$ と $\tau_{f(a)}$ を、重過圧密粘土や細粒子を多量に含むルーズな砂については、逆に $\tau_{f(a)}$ と $\tau_{f(u)}$ を用いる理由はこの点にある。

著者は、载荷試験中に杭周面に発生する Δu は、一般に σ_h に比べてさほど大きくないとし、 $\Delta u_f = 0$ でのせん断強度（= $\tau_{f(a)}$ ）を f として用いることを推奨している。しかし上記の設計の基本姿勢に基づけば、「 Δu が σ_h に比べてさほど大きくない」とい

った極めてあいまいな条件のもとで、 $f \doteq \tau_{f(a)}$ とする
 ような手法は許されるべきではない。更に、せん
 断強度を支配する基本要素である排水条件の違いに
 目をつぶり、 $\sigma_{v0}' \times K_0 \tan \phi' (\Delta u_f = 0) \doteq \sigma_{v0}' \tan \phi_{cu}$

($\Delta u_f > 0$)とし、これを $f \doteq c_u$ なる土質力学的解釈と
 する点も筆者には承服し難いところであり、設計の
 基本姿勢と併せて著者の見解を求めたい。

(原稿受理 1992.3.23)

ディスカッションに対する回答：

長尺摩擦杭の支持機構から見た設計上の留意点

平山英喜 (ひらやま ひでき)

(株)ジオトップ 基礎研究室

著者の報文に対する半沢秀郎氏（以下、討議者と
 記させていただきます）のディスカッションに回答
 させていただきます。

1. 全応力法

討議者は、(10)式で非排水せん断強度 $\tau_{f(u)}$ の「全
 応力法」による定義を、 $\tau_{f(u)} = F(\sigma_0') = \sigma_0' \tan \phi_{cu}$
 とされています。これは、一般全応力法²⁸⁾の立場か
 らの定義になると思います²⁹⁾。しかしながら、現状
 では大半の教科書・参考書等において、強度定数と
 して $c_u - \phi_u \cdot c_a - \phi_a$ (または $c' - \phi'$)を用いる斜面安
 定解析法が、全応力法 (または $\phi_u = 0$ —法)・有効応
 力法と呼ばれています。杭の周面摩擦問題におい
 て、このように慣用されています³⁰⁾。確かに、これ
 らは非排水条件解析法・排水条件解析法とも呼ぶ
 方が分かりやすいものとは思いますが、報文の 2.2
 節で用いた全応力法・有効応力法という用語が、こ
 の慣用に従ったものであることは、『土と基礎』の
 報文として誤解なく分かると思います。

討議者は、図-5において慣用全応力法または
 $\phi_u = 0$ —法における $\tau_{f(u)}$ の定義

$$\left. \begin{aligned} \tau_{f(u)} &= F(\sigma_0') = c_u + \sigma_0' \tan \phi_u \\ \tau_{f(u)} &= F(\sigma_0') = \left[\sigma_0' \text{の圧力で(地盤中で)} \right. \\ &\quad \left. \text{事前に圧密された含水比での} \right] c_u \end{aligned} \right\} \dots\dots(11)$$

をまったく無視され、(11)式に基づく報文における考
 察、すなわち(3)式を批判されておられますが、その
 意図は理解しかねます。したがって、討議者の用い
 られた「全応力法」という各用語に、一般・慣用な
 どを付けた上で解釈せざるをえませんが、『全応力
 法とは一般全応力法そのものであり、慣用全応力法

を全応力法と呼ぶことは許されない』というのが、
 討議者の見解の要旨だと推測されます。このような
 見解自体は理解できますが、現状においてそれを主
 張することは納得しかねます。

なお、慣用全応力法の考え方に影響を及ぼしてき
 たTomlinson (トムリンソン) は、周面摩擦 (skin
 friction) に対して、『 $\phi = 0$ の純粋な粘性土におい
 ては、単純に言えば、周面摩擦はない。しかしながら、
 粘性土中の杭の周面の付着 (adhesion) あるいは粘
 着 (cohesion) を示すのに、周面摩擦という用語が
 広く用いられている』と注釈を付けている³¹⁾。この
 ようなことを考慮すれば、杭の周面摩擦問題におい
 て慣用されている全応力法・有効応力法は、付着説
 ・摩擦説と呼ぶ方が分かりやすいかもしれない。

2. 設計の基本姿勢

討議者のいう設計の基本姿勢に対応させて、設計
 の基本方針として考えるところを述べれば、『構造
 物の実際の挙動を考慮し、さらに考える種々の危
 険な状態が、どのようなメカニズムでどの程度の確
 率で生じ、どのような影響を及ぼすかを検討した上
 で、合理的・経済的な構造物を建設する』となりま
 す。

斜面安定問題と比較して、杭基礎の鉛直支持問題
 の特徴の一つに、一種の現場実験である単杭の載荷
 試験のデータが数多くあることが挙げられます。そ
 の結果、現行の設計基準類の杭の鉛直支持力算定式
 は、載荷試験データの統計的解析に基づき、先端抵
 抗 q および周面抵抗 f に対して、 N 値・ q_u と線形関
 係を仮定し上限値 $q_{lim} \cdot f_{lim}$ を設定しています³²⁾。

ひろば

したがって、せん断強度を直接用い比較的小さい安全率を採用している斜面安定問題に対して、杭の場合の f は載荷試験のデータをフィルターとして間接的あるいはインデックス的な形でせん断強度を用い、安全率も3程度のものが採用されています。

このような経験的相関式は、今後も改良されながら用いられると思われます。その際に、メカニズムを考慮した上で統計的解析を行えば、ばらつきの原因が不明なために、安全側の仮定として背景の明確でない上限値を導入するというようなまったくの経験式から、土質力学的な考察も含まれた相関式が得られ、より良い相関関係が得られるとともに適用限界も明らかになる可能性があることを指摘することが報文の主旨です。このような観点から、既往の載荷試験は排水状態と見なしうることを、および前述の

摩擦説（有効応力法）に基づいた座標上で解釈する方が既往の載荷試験のデータベースに対してより良い相関関係が得られることを紹介したものです。

参考文献

- 28) 三笠正人：土の力学における2つの視点について、土質力学展望—全応力法と有効応力法によるアプローチ—、土質工学会関西支部，pp.19~33, 1978.
- 29) 半沢秀郎：第1章 問題の所在，土の強さと地盤の破壊入門，土質工学会，pp.1~26, 1987.
- 30) たとえば，土質工学会：杭基礎の設計法とその解説，pp.277~278, 1985.
- 31) Tomlinson, M.J.: Foundation Design and Construction, 5th Ed., Longman Scientific & Technical, Essex, England, p.414, 1986.
- 32) 平山英喜：基礎設計における基準の背景と用い方 7-1 杭基礎の設計（鉛直支持），土と基礎，Vol.40, No.6, pp.57~64, 1992.

（原稿受理 1992.6.10）