

### III-25 改訂された「土質試験法」における せん断試験法の考へ方と問題点

大阪市立大学 正員 三 笠 正 人

#### 1. まえがき

筆者はかつて(1962年)「土の力学的性質とその試験法」という一文のあとがきに次のように書いた。

“土圧論、支荷力論、沈下論などのいわゆる理論土質力学の成果を実際の工事に適用するに当っては、 $c$ ,  $\phi$ ,  $m$ ,  $n$  などの力学的諸常数の決定が、技術者にとって最もをずかし、また責任の重い仕事となる。現在の学問はこれについて最終的な解答を与えていず、今後の努力にまつ所が多い。問題の本質的な理解にもとづいたデータの累積こそ、その正しい方向でなければならぬ。”

それ以来8年間の間、筆者はこれまで以上の考への下に土のせん断試験の問題をいろいろな角度からとりあげて研究してきた。また最近数年間は土質工学会のせん断試験法委員会の一員に加えて頂いて、委員長を拝しはじめ、多くの方々と討論を重ね、啓蒙される機会を得た。しかしひとつの事実が明らかになれば2つの疑問が生じるというふうに限がなく(今回同時に発表する3つの報告のいずれにしてもすべてこれにたいして最終的な解答を与えていない)という点では8年余と全く同じと云わざるを得ない。

しかしこのような事情の下で工事は行われなければならない、技術者は着工して行かなければならない。そして工学は、現時点での技術と工事にとらえなくとも忠実に奉仕する義務がある。この故を以て、土質工学会せん断試験法委員会では、1968年5月に現時点の認識にもとづいて「わかり易いせん断試験法の解説書」を作成することを思いつけたが、その後「土質試験法」(1964年版:赤本)を全面改訂する話が出て、これは合流したわけである。筆者はけがらすもその原稿のまとめ役を仰せつかったが、大学給費のさげから小委員会、本委員会あわせて30回あまりの会合を重ね、ヒヤヒヤと徹して討論し、編集委員をハラハラさせるから委員長諸氏の熟慮と必死のまとめが昨年秋に出版された「土質試験法」の序と篇である。ここではその意図、考へ方を要約し、いくつかの問題点に触れ、各位の御理解と御批判を頂きたい。

#### 2. せん断試験法改訂の基本方針

土のせん断に関してこれまで積み重ねられてきた研究成果は膨大なものがあるが、今回の試験法の改訂は実際にせん断試験を行ない、その結果を現実の問題に適用するのに必要な最小限度の事項に限ることとし、その代り、試験の方法については最大の努力を傾けて検討し、大々的改訂を行った。またその表現についても各章間一統一、他の編との統合を考慮し、特筆の苦心を払った。すなわち一言で言えば「技術者のためのせん断試験法」の立場を貫いた。これは「土質試験法」初版の改訂時、各章充実した野心作心でありながら、一般技術者に「難しすぎる」と敬遠されたことが反省

省の上に立て、せん断試験法委員会が、当初「わかり易いせん断試験の解説書」の出版を企図したところからの基本的な立場であった。そしてこの方針は必合通り達成されたものと思つてゐる。残りの1分は、土の性質の避けようのない複雑さによるものであり、他の1分は委員会の表現能力の限界を表わすものである。これ理めるのは読者の努力に期待するほかない。

### 3. 理論的な立場

しかしそう言うものの、単なる仕様書や技術指導書であつてはならず、やはりせん断現象の本質に根拠に正しい思想で整理されていなければ、試験方法の正しい理解も得られなことは明らかである。「せん断現象の本質を正しくとらえよ」として現在最も多くの研究者の支持を得ているのは Hoorslev の有効粘着力  $c_e$ 、有効摩擦角  $\phi_e$  の説である、およびそれから発展した, Roscoe, Schofield, Wroth らの降伏曲面の説である。わが国では、太田、最上による同じ流水の研究があり、理論的には興味深いものがあるが、現在のところ直接実用にはつかうことがないで、この立場にはいつまで触れなかった。ついでに私見を述べると、この立場は現象の定量的表示として最も一般性を持た得るもので、もちろん物理的な意味づけも十分であるが、従つてより一般的でない理論と同様土の性質のキーポイントである（筆者が考へてゐる）「構造」を直接扱うものではないので、本質的にはやはり不完全なものであり、定性的、包括的な説明には向かひないものである。また土粒子の集まりと見てもつみあげとしてせん断の問題を考へる立場もある（Rowe, 最上, 村山……）が、実用上の観測からとりあげられなかった。さて上の立場よりも更に広くとりあげられ、特に粘土のせん断に關しては多くの実験的事実をうまく説明できると考へてゐる  $c, \phi$  法は、いわば理論的立場、実用的立場の妥協の産物で、これとていへば  $\sigma_1$  の平均率に類する有用性を有しているかのように見える。しかしこの方法は本質的、実用的にいくつかの致命的な欠点を有することは筆者も先に指摘した。中核はせん断現象の説明にこれをを用い、山口は塑性論に  $c, \phi$  を用ひながら、いずれも破壊時の有効応力を推定することの困難さに触れてゐる。筆者の考へでは、この困難さは、直接にせん断現象自体を推定する困難さとは全く同質であり、その限りにおいて事象の設計にこれをを用いることは無意味である。もつても間接的な圧縮度による施工管理を行つたさうには有用である。Terzaghi-Peck の新版が、 $c, \phi$  法にとらわれぬ書き方をしているのはさすがである。

結局最も信頼できる普遍的なせん断試験の指針は、「与へられた応力履歴とせん断条件（排水条件、せん断速度）の下に、いかなる見かけの強度常數が得られるか」という平凡な考へ方に歸するものであつて、その際得られる強度常數その種の排水条件に對し

|          |                     |
|----------|---------------------|
| 非圧密排水せん断 | $c_u, \phi_u$       |
| 圧密 " "   | $c_{cu}, \phi_{cu}$ |
| 圧密排水せん断  | $c_d, \phi_d$       |

と別々に定義し、無理に統一性、一般性を求めることを避けたのが今回の行方である。これに非常によく似た定性的考へ方として、土のせん断強度に影響する因子を考へて

$$\tau_f = f(\text{土の種類, 密度, 含水量, 骨組構造, } \sigma')$$

とし、さらに  $\sigma'$  が ( ) 内の他の4要素によつて定まることからこれを消去して

γ- $\rho$  (土の種類, 密度, 含水量, 骨組構造)

という関係が明らかになり、これから土のダイレイタンスを説明し、それから排水条件の重要性を述べると説明した。

このような定性的な考察はせん断試験に関連して最小限度必要なものと思われる。

#### 4. 主な改訂箇所

徹底的な討議の結果改訂に踏みをつけた数は数多いがその主なものを個条書きとして示そう。

##### ○ 一軸圧縮試験

- i) 繰り返し試験に対する試験を規格から除く。これがつて鋭敏性は規格に定めない。(∵実用上必要のない場合が多いため、また相対含水量(いわゆる液性指数)から繰り返し強度が推定可能)
- ii) 応力制御の試験機、試験法を規格から除く。(∵実用上使いにくく、あまり用いられていない)
- iii) 供試体の高さは直径の2倍以上とせず2倍を標準とする。
- iv) 試験中読み取りは一定時間ごとに行われるが、一定圧増量ごとに行おう。また初期高土の15%で定める。(試験が楽になる)
- v) 変形係数を規格に定め、報告事項に入れる。(∵変形に関する工学的な要求が増えている)

##### ○ 一面せん断試験

- i) 従来の試験機のほか、等体積せん断の必要最小限度の改良型一面せん断試験機について説明した。
- ii) したがって三軸と同様に各種の排水条件による試験方法を説明し、試験例を示した。
- iii) 密度常数のいわゆるダイレイタンス補正は、行わないことにした(∵現場のせん断においてもやはりこの項は有効に働くとは考えられるから)
- iv) 試験法に関する多くの問題点をまとめ、解説した。

##### ○ 三軸圧縮試験

- i) 原理的考察は必要最小限度に止め、具体的試験の手順をいろいろ説明した。
- ii) 圧縮試験はもとよりせん断試験とも同様に求めるもの、という立場を鮮明にし、モール円の包絡線はよく図にして近似的なものとの前提に立つて実用的な整理方法を示した。
- iii) 試験法の種類が多いため、簡明を期する意味で標準的なものだけに限り、他は「特殊試験法」にゆずった。また結果の応用は「試験結果の解釈と利用」の章にゆずり問題点を具体的試験法に関するものに止めた。
- iv) 一面せん断と三軸はデータシートについて十分検討してできるだけ統一のものにするよう努力した。

##### ○ 試験結果の解釈と利用

- i) 実用上の立場に徹し、多くの新しい知見を含めて、できるだけ多くの場合について密度常数の具体的な利用法を示した。これはまた直ちに試験法を選ぶための指針となるもので、いわばこの編の骨幹に当るものである。その際、 $c$ ,  $\phi$  は  $c_d$ ,  $\phi_d$  の代用としてのみ言及した。
- ii) 土の種類とせん断試験の適用性に関する統計的な表を示した。
- iii) ベクトルカブクレディグの応力空間の簡単な解説を付した。

## ・特殊せん断試験

土のせん断試験法とせん断試験法を系統的に分類し、これにもとづいて、その本質的な意味だけを簡明に述べた。多くの代表的な文献を紹介し詳細はこれにゆづった。

## 5. 残された問題点

先之が主に述べた通り、土のせん断についての現在のわが国での理解からすれば、むしろ問題ではないものを採りあげてみるのである。

i) まず一面せん断、三軸圧縮のいずれも、試験機自体も多くの問題を試しており、いろいろと改良工夫が加えられつつある現状であるが、そのデータが旧い試験機によるデータと並べて検討されるのでは、試験機の比較にはなつても、土力学的性質自体を比較検討することはむづかしい。有田博士が言ふれば、土のせん断の研究は、まだスタートラインにつく前、スパイク選別の段階にあるとも見えないことは確かである。試験機の種類は一面、三軸の何れかに数多く、わが国せん断、平面せん断等の実用上有望なものもあり、これから相互間のデータの比較検討もまだ十分でない。標準的な試験機、試験方法の確立こそ、急務であり、JISの制定もこれによつてはじめて可能になるのである。

ii) そうは言うものの試験機はともかく、試験方法については、なかなか標準的なものを定めるのはむづかしい。たとえば一面せん断の問題点として挙げたもののうち、試料の詰め方（構造の影響<sup>\*</sup>）、含水状態の影響、圧密時間の影響<sup>\*</sup>、せん断速度の影響<sup>\*</sup>などは、問題としてはごく単純だが、その正しい解答は非常に困難であることは、今回筆者らが発表する※印の報告を御覧頂ければ解つて頂けよう。このように一見単純作業的でしかた面倒な研究を積重ねることなくしては、信頼できる試験方法は確立されまいと思うのである。しかしこれらの純粋に実用的なものの研究は、すくなくとも土力学的挙動の本質に直結していることは疑いない。この現場技術者にとって *discouraging* な見方が土力学的研究者にとっては、むしろ *encouraging* な働きをすることを希うものである。

終りに一言あるにわたつてこの「せん断試験法」の生けの若しを共にした土工学会せん断委員会、おかげでせん断小委員会、諸氏にあつたため心から敬意と感謝の支持をお伝えしたいと思う。