

本セッションで発表された10編の論文の共通テーマは粘性土の構成式であり、前半の5編(240~244)は時間依存性を考慮しないもの、後半の5編(245~249)は時間依存性を考慮したものである。

前半の5編の論文のうち、240, 241, 243は中間主応力の影響を考慮したものである。240では発表者らによって提案されている弾塑性構成式の三主応力場への拡張が計られ、応力経路によってパラメーターを変えることの是非について議論がなされた。241は構造異方性が三主応力場での正規圧密粘土のせん断特性に及ぼす影響を検討したものであり、構造異方性の定量化、モデル化に向けて更なる実験の蓄積が期待される。243では、粘着成分を有する摩擦性材料の構成式として、発表者らが提案する Extended SMP に基づく構成式の適用性が検討された。粘着成分を有する摩擦性材料として過圧密粘土を用いること、およびパラメーター  $\sigma_0$  について議論があった。242は、弾塑性構成式の降伏曲面と弾塑性パラメーターを逆算する方法を示すものであり、逆算されたパラメーターを用いて正規圧密粘土のせん断挙動が論じられた。244は、変形の局所化に関するものであり、せん断帯の生成により常にひずみ硬化する弾塑性構成式を用いても三軸圧縮試験で限界状態やひずみ軟化現象が現れることが示された。

粘性土の時間依存性を考慮した後半の5編の論文のうち、

245と246は応力緩和特性に関するものであり、247, 248, 249は弾粘塑性構成式の定式化と適用性に関するものである。245は、不攪乱沖積粘土の応力緩和特性を実験的に明らかにしたものである。主応力差の小さいところで主応力差が少し増加していることについて質問があった。246では、正規圧密粘土の応力緩和特性が発表者らの提案する弾粘塑性構成式を用いた解析と既往の実験結果によって検討された。応力緩和現象に平衡状態が存在するののかという問いに対して、245と246とも存在するとの答えであった。247では、クリープポテンシャル理論に基づく弾粘塑性構成式が新たに提案されるとともに、ほかのタイプの構成式との関連性について検討された。248では、発表者らによって開発された中間主応力の影響、応力速度方向依存性、および時間依存性を考慮できる構成式 VP *uf*-clay モデルの適用性が検討され、良好な対応が得られたことが報告された。249は、変形の局所化と繰返し載荷時の挙動を表現するためにひずみ勾配と非線形移動硬化則を導入した弾粘塑性構成式の提案である。応力とひずみの反転時期のずれについて質問があった。

本セッションで特徴的なことは、中間主応力の影響を考慮した研究が増えたこと(240, 241, 243, 248)、および変形の局所化が取り扱われ始めてきたこと(244, 249)である。この傾向は今後も続くものと思われる。

### せん断3(一般, 特殊土)

#### 総括

#### 八戸工業大学 諸戸靖史

Coulomb(クーロン)が土体内に1本の線を入れ、土塊が壁から受ける反力の大きさの最大・最小の問題を解いてから200年以上も過ぎた。第8回国際土質基礎工学会議がモスクワで開催された折(1973年)、フランスの Kerizel(ケリゼル)は1773年に発表された Coulomb の業績の200周年を記念して特別講演を行った。このへんの事情については網干が「土と基礎」に書いている。網干によると Coulomb はエンジニアとしての立場から次のように記述している:

- ① 新しく掘り乱された土の  $c$  はゼロとしてよい。
- ② 壁面と土の摩擦は土の内部摩擦より小さい。
- ③ 土中を流れる水はしばしば壁面に集まってくるので、土圧が摩擦性でない流体圧に変化することがある。これを避けるためにドレーンパイプを土の中に挿入して排水すれば良いが、よくこれが詰まったり、凍結したりして役に立たなくなっていることが多い。
- ④ 彼は例題の中で  $c=0$ ,  $\phi=45^\circ$  という値をよく用いている。
- ⑤ 土の中の含水量は土の重量を増加させるだけでなく、

摩擦にも影響を与えている。

上記の Coulomb の土の力学は、取りも直さず土の摩擦則、破壊規準を導入したものであり、①、④と⑤の事項は強度定数の現実的な設定を経験と直観により取り行ったものである。②は土と異物間の摩擦についての知見である。つまり今日風に言えば“interface”の摩擦角現象で杭の周面摩擦や補強土における挿入材と土の間の摩擦の問題に通じている。③は土中水の問題であり、“水”の問題は建設工事において最も重要なものであることは実践的な技術者は良く認識していることである。

さらに Schofield (スコフィールド) と Wroth (ロス) の著書(Critical State Soil Mechanics)によると、Coulomb は擁壁の設計に極限釣り合いに必要な強度より0.25の余裕をつけることを欲していた。つまりその当時にして1.25の荷重係数(安全率)を考えたわけである。

時はルイ15世の治世、フランスから遠く離れたカリブ海のマルチニーク島で27歳から8年間築城工事の責任者として1200人の人達を使って工事を遂行した経験を Coulomb は持っていたのである。これが土圧論や土性の深い認識となって実を結んだのであろうことは想像するにたたくない。

さらに彼は船台のスリップウエーの設計という実際の問題に関連して、木材の摩擦をダイレイタンシーという考え

## 総括・一般報告

方を使って説明している。

20世紀になって土質試験が盛んに行われるようになり Terzaghi (テルツァーギ) は内部摩擦角  $\phi$  はほとんど応力経路に依存しない量であることを書いている。Taylor (テイラー) は内部摩擦角にはエネルギー消散やひっかかりの成分を含んでいることを述べている。Rowe (ロウ) はエネルギー論的に内部摩擦角をダイレイタンスの立場から論じ、小田や小西は Fabric の異方性をダイレイタンスとの関連で研究した。最上は間隙比とその偏差でダイレイタンスを表現しようとした。龍岡はせん断時にはせん断ひずみ  $\gamma$  が大切であることを実験的に見だし、諸戸は摩擦性塑性体ではせん断ひずみ  $\gamma$  が応力比  $\eta$  に一義的に依存し、ダイレイタンスが生ずることにより、消散エネルギーよりも  $S_s = \int dw_s^p / p$  ( $dw_s^p$ : せん断塑性仕事増分,  $p$ : 平均有効応力) を状態量として用いるべきことを示した。松岡は SMP 上で応力やひずみの諸量を考えた。

以上のような研究成果をふまえて、土のような粒状材料の摩擦角現象は流れ則 (Flow rule) のかたちで、応力比とひずみ増分比を使用して表現されるに至っている。ただこの場合、応力の主軸とひずみ増分の主軸のずれが問題となっている。単純せん断の強度を考える場合にも、せん断力  $\tau$  の垂直応力  $\sigma_n$  に対する比が最大なる面の方向は水平面ではない。つまり  $\phi_s = \tan^{-1}(\tau/\sigma)$  と  $\phi_p = \sin^{-1}\{(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3)\}$  とは異なる。この異なりの程度を解析するにも、主軸のずれや Flow rule の表現の仕方が問題となってくる。

龍岡は最近、すべり層の問題を重視して実験を進めている。この研究は従来から言われていた進行性破壊の問題や応力・ひずみ曲線のピーク以降における粒状材料の不連続体挙動を今後考察していく上で重要な実験的資料を提供するものである。すべり層の方向を特定するのは精密な実験以外にはないと考えられるが、最大応力傾角面やいわゆる Non-extension 面の方向とどのように関係しているのだろうか。また、材料の安定・不安定の問題も定式化していく必要がある。

それと共に強度を取り扱う場合に古くて重要な問題は粒子の物性と内部摩擦角の関係および材料の締まり具合と内部摩擦角の関係である。筆者は粒状材料のせん断強さ定数のような量を粒状体物性と呼び、ラウンドネスや粒度のような量を粒子物性と名付け、粒状体物性 =  $f$ (粒子の配列構造, 粒子物性) という式で表した。砂や礫の強さを評価する上で、工学的にみて使用しやすいのは粒子物性としては、ラウンドネス, 粒度 (均等係数のようなもの) および破碎率 (例えば Marsal (マーシャル) のもの,  $B_M$ ) であると考えられる。せん断試験で重要な量であるピーク時のダイレイタンス係数は粒度と締まり具合を一定にした異なった試料の試験において、粒子の破碎率, ラウンドネスによって支配されるというのが筆者の実験的に見た知見である。粒度が強度定数にどのように影響するかももう一度実験的

に確かめてみる必要があるように感じている。

Critical state あるいは steady state という状態は変形の終わりの方である。Skempton (スケンプトン) は residual state の強度定数を斜面の解析に用いている。ただし、このような初期状態に無関係な状態の定数を安定解析に使用するならば、何のために締固めをするのかが分からなくなってくる。締固めをすれば土体は強くなることは経験的に認識されているのであるから、強度定数の選定には良く現象を洞察する必要が出てくる。つまり、盛土によって構築される土体と自然堆積土の切土の場合とを区別して考える必要がありそうである。

極限設計 (limit design) は現象を不等号で取り扱える。つまり例えば、壁に作用する土圧力  $x$  は不静定であるが設計土圧  $x'$  は  $a \leq x' \leq b$  として求められ、設計は  $x' = a$  か  $x' = b$  で操作できる。一方、変形  $y$  はそうはいかない。  $y = c$  が求められる。また、 $dy = l(p, q)dp + m(p, q)dq$  と表したとき  $dy$  は一般に経路に依存する可能性が大であるからである。土要素にせん断だけが加わる場合は別であるが、せん断と圧縮が複合して作用すると応力経路依存性が大きくなるものと想像されるのである。一方、内部摩擦角  $\phi'$  は応力経路には鈍感である。

このようなことを考えると土体を設計する時の思想を今後発酵させていかなければならないことを痛切に感ずるのである。

半沢は土のローカル性と土質技術の地域性を力説している。ロームと言えば関東ロームの研究だけで間に合うかというところではない。日本全国が問題なのに東京の土だけを詳しく調べても仕方がない、と故最上武雄も言っている。例えば、関東ロームと青森県内のロームとは趣が異なるのである。筆者はロームの研究では地山と盛土とを区別し、地山の問題であれば続成作用とサクションが問題となると思っている。盛土であれば力学的特性は例えば空気間隙比  $e_a = e(1 - S_r/100)$  のようなものとの相関が良いと考えている。

最初に Coulomb について述べた。我々は彼のような非凡な才能も無ければ豊富な現場経験もないのが普通である。アンシャンレジームの最後のあがきという時代の中からそのような先駆的な業績が出たのも歴史的事実である。今の世にあって今後どのような形で先人を乗り越え、新しい土質力学の道筋が開発されるのであろうか。新しい土質力学の体系が必要であると太田秀樹は言っている。

## 一般報告

豊橋技術科学大学 河邑 眞

250 Effect of Consolidation Stress Path on Undrained Simple Shear behaviour of Kaolin (Ampadu・龍岡)

251 正規粘土の非排水せん断時のひずみ増分比～応力比

土と基礎, 38-10 (393)

## 関係について(原・上原)

252 ひずみ軟化型弾塑性構成式による有限要素解析(八嶋・足立・岡・後藤)

253 泥炭の弾塑性モデルについて(松尾・網干・吉國・森脇)

254 せん断変形時の粒子の三次元的な運動についての検討(森本・河邑)

255 火山灰質砂質土の評価方法(村木・正木・浅見)

256 大型三軸圧縮試験装置による桜島火山成堆積土の土質力学特性(岡林・村田)

257 中間土の強度発現機構に関する考察(その2)(平田・八尾)

あえて共通項を探すと、A:構成式に関するもの(251, 252, 253, 255)とB:せん断挙動の解明に関するもの(250, 254, 256, 257)の二つのグループに大別される。以下この順で研究の要点などについてふれる。

251の発表は三軸試験結果から構成式のパラメーターを決定する場合の問題点を扱ったものである。測定結果を時間( $\log t$ )の多項式近似で表し、微小変動量を求める方法を提案している。252の発表は降伏曲面の縮小のない、ひずみ軟化型構成式を用いて軟岩のせん断挙動をFEMでシミュレートしたものである。また応力履歴テンソルに非局所化をはかり、解析結果のメッシュ依存性への影響についても検討している。これらの発表に対して、測定結果に表れる不連続性の意味、あるいは軟化現象に及ぼす供試体の境界条件の影響といった点についての質疑が行われた。253の研究は泥炭の沈下解析に必要な構成式の提案を行ったものである。提案されたモデルは浦和、大宮で採取された泥炭の有効応力径路を的確に表現している。255は火山灰質砂質土の沈下解析にカム・クレイモデルを採用したものである。解析による沈下量は実測値と良い対応を示している。これらの研究については提案の手法がどのような種類の土に対して適用可能であるかの検討が待たれる。

つぎに、せん断挙動に関する研究について紹介する。250の発表は圧密時の応力径路がせん断特性に与える影響を考察したものである。圧密時の応力径路がカオリンの非排水強度に与える影響は小さいとしている。254の研究はDEMを用いて単純せん断試験における粒状体の挙動を三次元解析したものである。結果を図形出力することにより、個々の粒子の運動や粒子間の力の伝達機構の評価が可能となっている。これらの研究については多数の分析により結果を吟味することが望まれる。256は桜島の斜面崩壊機構を解明するために、火山成堆積土の大型三軸試験を行った

ものである。密度によるせん断強度特性の違いなどが報告されている。257は粘土、シルト、砂の混合した中間土の強度発現機構についての研究である。粒度組成や圧密圧力と一面せん断強度との関係が導かれている。両者の発表についても、結果の適用可能な土の種類についての質疑が行われた。

福山大学 西原 晃

258 粘土-鋼材間の摩擦挙動に及ぼす試験装置の影響(椿原・内川・岸田)

259 単純せん断型試験機による粘土-鋼材の摩擦(内川・椿原・岸田)

260 中型単純せん断試験機を用いた砂-鋼板間の摩擦試験(その1-砂の密度と表面粗さの影響)(加藤・山肩・伊藤・小椋)

261 三軸圧縮供試体の端面境界条件がセメント改良砂質土の変形強度に与える影響(金・佐藤・龍岡)

262 各種土質材料の変形係数とせん断強度の関係(佐藤・金・澁谷・龍岡)

263 孔内水平載荷試験における降伏圧と変形係数の関係(野月平・本澤)

本セッションの前半の3編は杭の周面摩擦に関連した研究である。258, 259は鋼材と粘土の間の摩擦に関して、種々の要因の影響を調べたもので、周面摩擦においても有効応力の概念が適用できるとの興味深い実験結果が報告されている。260は、鋼材と砂の間の摩擦を扱ったものであるが、砂の場合、ダイレイタンシー補正や粒子破碎の影響についての検討が必要であり、また摩擦面の粗さの影響については面の粗さと砂の $D_{50}$ との比(正規化粗さ)を考えるのが有効ではないかとの指摘があった。

261は、いわゆる要素試験において境界条件や供試体の寸法などに左右されない客観的な変形・強度特性を測定し得るのかというせん断試験の本質に関わる研究であるが、この問題は最近注目され始めた変形の局所化の問題とも密接にかかわっており、その解明につながる研究としても期待される。

262, 263は、室内試験と原位置試験と試験方法は異なるが、いずれも広範囲にわたる土質材料の変形係数と強度(降伏圧)との関係を調べた研究である。討論では、実務で多用されている $E_{50}$ と強度の相関関係について議論が交わされたが、これは、変形係数の決定に際して、ひずみレベルと応力レベルのいずれを考慮すべきかという問題にも関連し、解析・設計の精度の問題とからめて今後さらに検討を要する課題であろう。

## 動的性質1(砂質土)

## 総括

京都大学 柴田 徹

土や地盤の動的な性質と問題を扱った発表は、全体の15