

一般報告

83は、低応力下での過圧密土 σ' は実際にもよく見かけるところであり、興味ある結果も得ているので今後の発展を期待する。84は著者らの一連の研究の中で平面ひずみ状態の過圧密粘土の強度についての研究であり、過去の成果とも関連し興味深い。

85と86は有機質土の強度特性の研究である。有機質土の種類も多く、それぞれ特有の性質を示すと思われる。85は実際の有機質土を扱ったのではなく、粘土に泥炭を混入した場合、どの程度の混合で粘性土と有機質土の境界があるかを調べたものとして興味深い。また強度を示すパラメータとして有機質の混入の程度を示す強熱減量を用いているが、他の有機質土についても有用であるか今後の研究の発展をみたい。

86は黒ぼくの一軸圧縮強度を含水比と pF で表示しようとするものである。同じ pF でも含水比が異なる場合があるので、強度は両者の関数となると思われる。ここでは pF の程度に応じた土の構造変化を考慮して強度特性を説明している点興味がある。また同じ黒ぼくでも産地により特性がかなり異なるのは有機質土の力学的挙動の複雑さを示している。

87, 88は粘土に礫や砂が混入している土のせん断特性についての研究である。87は種々の力学特性から判断して、粘土に礫の混入率が50%以下であると粘土と同様の性質を示すとしている。これは砂が混入した場合も同様と考えると、今後の安定解析法の選択に一つの指針を与えるものである。しかし K_0 -値や K_0 -圧密されたときの間隙水圧係数 A_f などは礫混入量とともに一様に変化しており、50%以下で一定値となっていない。今後はせん断に関する諸係数とともに他の力学係数についても礫混入率に対し敏感なもの、値が一定となる範囲などについて詳細な検討が望まれる。

88では砂や礫が混入した粘土を単に粘土とか砂とみなすことに問題があるとして87と同様な問題を検討している。88の場合は粘土・シルト・砂が混じった試料を用いているので、砂の混入割合では整理せずに塑性指数をパラメータ

として興味ある定性的関係を得ている。今後は87と同様の問題点についての検討が期待される。

また、砂や礫混じり粘土の問題点であるサンプリング時の乱れについては87で、実際の地盤で排水と非排水の中間的な状態でせん断される不完全排水については、88でわずかではあるが取り上げられており今後の発展が望まれる。

89は砂質粘土に三主応力が異なった状態で繰返し応力が作用するといった非常に複雑な問題を扱っている。解析は主に弾性ひずみについてなされており、その外にも実験的に興味ある結果を得ているが、パラメータが多いためまだ種々の問題が残っているようである。この結果は路床などの設計など実用面に重要である一方、このような特殊な試験機は数多くあるわけではないので、従来の円柱形供試体による $\sigma_2 = \sigma_3$ の場合の三軸試験結果と比較検討し、その補正法についての具体的な指針が与えられることを期待する。

90と91は締固め土の強度・変形特性を扱ったものである。90では、粘性土と砂質土について、締固め方向に対してせん断面が水平のときと垂直のときの強度異方向性について調べている。粘性土と砂質土では強度異方向性が逆の傾向にあることや動的締固めでは砂質土の異方向性が水浸すると消滅することなど興味ある結果を得ている。今後、強度異方向性や上記結果の原因を知るために、強度成分 c , ϕ やダイレイタンスが、強度異方向性にどのように寄与しているかについての一層の検討が望まれる。

91については、締固め土の変形特性の一連の研究の中で三軸試験の端面摩擦の影響について詳しく検討している。材料として弾性の大きいゴムを用いているが端面摩擦が存在すると変形の様相が複雑で影響も大きいと思われる。三軸試験機は最も多く用いられている試験機であるので、今後の発展と具体的な補正法の検討が望まれる。

討論, その他

討論は各論文に関連性が少なかったため、各論文各々についての討論がなされた。それでも討論は時間的に十分ではなく、数々の議論が残されたように思われる。

せん断(砂) 第2日 午後の部 第1会場

埼玉大学 小田 匡寛

92 (D-6) 確率過程を用いた粒状体の力学モデル(2) (北村)

93 (D-6) 粒状体の応力・変形モデル (松岡・阪上・竹田・西岡)

94 (D-6) 空間滑動面に基づいた砂の応力・ヒズミ関係 (中井・松岡・中島・山内)

95 (D-6) 弾塑性論に基づく砂の応力・ひずみ関係につ

いて (小西・大谷)

96 (D-6) 異方性体としての土の三主応力下の応力ヒズミ関係 (吉田)

97 (D-6) 砂の後発異方性と応力ヒズミの増分関係について (棚橋)

98 (D-6) 砂の強度異方性 (小田・西)

99 (D-6) 砂の変形における応力経路依存性に関する一考察 (柳沢・諸戸・飛田)

100 (D-6) 三軸圧縮試験における砂のせん断定数のモ

ビライジングプロセス (林・山内)

101 (D-6) 粒状土の流れ則に関する実験的研究—特に主応力方向と主ひずみ方向の不一致について— (八木・G. de Josselin de Jong)

102 (D-6) 砂の変形・強度特性と粒子配列についての一考察 (小林)

103 (D-6) ステレオ写真による砂のセン断時の変位測定 (村山・井上)

104 (D-6) 立方体三軸セン断装置による砂の非排水繰返し載荷試験 (石原・山田・沢)

105 (D-6) 三軸試験における砂の接線弾性係数 (矢野・今井・川原)

106 (D-6) 特にゆるい砂の非排水セン断特性 (龍岡・大河内・宮崎)

107 (D-6) 三軸圧縮・三軸伸張および平面ヒズミ状態における砂のセン断特性 (下辺)

最近の動向

砂で代表される粒状体の応力—ひずみに関する研究は、研究発表の多さからも知れるように、土質力学の重要な研究テーマとして定着している。砂質地盤上での巨大土木構造物の建設や砂の液状化などの問題を考えれば、その研究の重要性は、おのずと明らかに見える。ここで注意したいことは、研究の目的・意義が自明のように見えるからこそ、個々の具体的テーマでの目的意識(何のための研究か?)が希薄になりはしないか、という点である。著者自身の反省をも含めて、この問題について若干の私見を述べてみたい。

1) soil science としての砂の研究 (雑誌 Geotechnique, 土質工学会論文報告集の掲載論文の一部は、この範ちゅうに入る): 工学と科学は車の両輪として進歩するといわれる。土質力学の発展も例外ではなからう。従って、具体的で実用性の高い研究成果を直接の目的とせず、粒状体の本質を窮めて、土の新しい見方を確立しようとする soil science としての研究は、それ自身で立派に価値あるものといえる。現場で役に立たないという理由で、その研究の価値を割り引いてはならないと考える。92, 99, 101, 102, 103などの研究は、soil science 的なものである。92の研究では、“粒状体の個々の運動を一つの確率過程としてとらえ、巨視的量である応力やひずみは、粒子の確率的運動を平均化したものである”、との考えから出発している。この考えの妥当性について、たとえ100%ではないにしても(土質力学で100%完璧な理論が存在するとは思えないが…)、なんらかの保証が得られれば、粒状体の本質の1側面が明らかになったといえる。このような意味から、soil science としての研究は、核となる考えをできるだけ尊重して理論は展開されるべきであり、いたずらにみせかけの実用性を追求すべきものではないといえる。研究の目的意

識を喪失した展開は、いかにそれが実際の応力—ひずみ関係と一致するものであったとしても、十分なものとはみなし難い(92の研究では、このことのないように慎重に配慮されている)。どの程度役に立つかではなく、どの程度粒状体の本質にせまり得たかが、soil science としての研究の核とならう。

2) 具体的で実用性の高い成果を追求する研究 (ASCE 掲載の論文の多くは、もち論例外もあるが、この範ちゅうに入る): この種の研究では、多くの場合、既往の理論体系(例えば、非線型弾性論や弾塑性論など)を基礎として、そのわく内でできるだけ粒状体の特性を加味した理論展開が試みられる。例えば、粒状体のダイレイタンス特性を異方弾性体で近似しようとする96, 97の研究、また、粒状体の特性を加味した塑性論を示した95の研究などは、実用性を意図したものといえる。実用性を意図する以上は、具体的な境界値問題に適用してみて、実用し得るか否かを検討するとともに、その適用限界などについても研究を深める必要があるのは当然である。

土の力学は、上に述べた2つでは分類しきれない、もっと広範な研究分野である(例えば93, 94のように、soil science と実用との橋渡しを意図する研究も当然あり得る)。しかし、研究の目的・意義は a priori に与えられたものではなく、常に獲得されるものであることを銘記すべきであろう。粒状体の力学のように、さしあたっては役に立ちそうもない soil science 的色彩の濃い分野では、特にこの点が痛感される。

個々の論文に対するコメント

92: “粒状体の力学的挙動は、どの程度確率過程としてとらえ得るか?”がこの論文の主題であろう。小手先の技巧にとらわれることなく、論文の主題をまっとうされることを期待したい。

93: 変形している粒状体の微視的構造に関する研究から、作用している応力比やそれに伴うひずみ増分比は、それぞれその時の構造特性と密接に関係することが知られている。これらの関係を用いて応力—ひずみの関係(応力比—ひずみ増分比の関係ではなく)を得るには、さらに、粒状体の構造変化とひずみ増分との間で成立する方程式を必要とするはずである。93の研究は、消滅及び発生する接点角の度数分布の考えを導入して、この困難な問題に新しい方向を示したものである。理論の誘導中になされた仮定の実験的検証は、粒状体の力学における量も重要な研究課題と思われる。今後の実験的裏付けに期待したい。

94: この論文では、新しくひずみ増分 de^*_{SMP} , dy^*_{SMP} を導入し、ストレスパスに依存しないユニークに成立する応力比—ひずみ比の関係を報告している。このひずみ増分の概念は、主応力軸方向を軸とする幾何学的空間を、主ひずみ増分空間 (de_1 , de_2 , de_3 を軸とする空間) に重ね合わせることによって定義されるもので、ベクトル, テンソルの

一般報告

いずれでもない新しい物理量のようなものである。新しいひずみ増分の解釈は、今後の課題となろう。

95: 塑性論の立場から粒状体の応力～ひずみの関係を考える時、最近の傾向として、(1) non-associated flow ruleの適用、(2) 圧密とせん断によるひずみの分離、などがあげられる。具体的な境界値問題への適用によりさらに研究を深め、“塑性体としての粒状体”の概念の確立を期待したい。

99: 粒状体のひずみ増分 de_{ij} が、全微分型式で表せるかどうかについての研究である。

101: この論文は、ヨセリン (de Josselin de Jong) による粒状体の sliding model を実験的に検証しようとしたものである。理論から導かれる結論の一つは、主応力軸と主ひずみ増分軸とのなす角を i として、次式で表わせる。

$$-\frac{1}{2}\phi \leq i \leq +\frac{1}{2}\phi \quad (\phi: \text{摩擦角})$$

一般の塑性論では、衆知のとおり、両主軸は一致するものと a priori に仮定され(すなわち $i=0^\circ$)、ロスコー(Roscoe)らの実験はこの一致を支持しているとみなされている。今回の実験結果は、ドレッシャー (Drescher)、小田と小西らによる実験結果とともに、両主軸の不一致を主張している。粒状体の塑性論に一つの問題提起をしている。

102: 研究の特徴は、粒状体の力学的挙動を一すじの砂粒子の列の挙動に置き換えた点にある。得られた計算結果が、土質力学上どのような意味を持つものであるかについて、より丁寧な記述が望まれる。ただ、等方的な試料の作り方は、今後の研究に大いに参考となろう。

103: この研究の特色は、ステレオ写真の方法を利用して、直接せん断中の砂の動きを粒子のスケールでとらえた点にある。ひずみ分布の不均一性などの評価に利用できる方法となろう。今後のデータの集積を待ちたい。

討論

総括報告者(小田)の不手際により、総括報告が討論時間にくい込み、十分な討論ができなかった点がくやまれる。研究発表会は総じて活発であった。

東京工業大学 陶野 郁雄

最近の動向

近年の砂のせん断性状に関する研究を大別すると、砂の基本的性質に関する実験的研究(98, 100, 104, 106, 107)と土の応力～ひずみ～時間関係の確立を目指す力学モデルに関する研究とに分けられる。力学モデルに関する研究としては砂を粒の集合体(粒状体)として取り扱うもの(92, 93, 94, 102, 103)と砂を塑性理論的な連続体として取り扱うもの(95, 96, 97, 99, 101)とに分けることができるようである。

発表論文で用いられた材料を見ると、大半の人が豊浦標準砂(92, 93, 94, 97, 98, 99, 100, 102, 106, 107)を

用いている。その他、ふるい分けした砂(95, 98, 104)や理想化した砂(93, 98, 101)が用いられている。砂質堆積物は砂粒子間の接点付近に必ずといっていいほど微細な鉱物質が介在しており、この微細な物質がせん断応力の伝達に重要な役割を果たしていると考えられる。それ故、乱さない砂はもとより乱した砂による実験がなされていないことは残念なことである。

砂質堆積物の基本的性質を模式的に示すと次のようになると考える。

- 1) 材質……結晶鉱物及び非晶質(含イオン)の組成
- 2) 形状……粒子形状及び粒度組成
- 3) 配列……粒子配列〔粒子の配列状態〕及び粒子構造〔粒子の組合せ方〕
- 4) 状態……密度及び含水状態
- 5) 形態……堆積構造〔葉理・級化層理・斜交層理・れん痕・層間異常しゅう曲・団塊・生物遺痕など〕

実験的な研究を細分すると、次のようになると考える。砂質堆積物の基本的性質に関する研究として、98は粒子配列、106は密度に重点をおいている。102も98と同様な実験を行っている。一方、試験条件に重点をおいているものに、100(破壊条件)と104・107(応力条件)の発表があった。今回発表論文の中で、異方性に関して直接的あるいは間接的に論じたものが多かった。

砂の異方性は前述の配列によるものと考え。すなわち、異方性は粒子の配列状態に起因するものと組合せ方に起因するものがあると考え。また、材質・形状・状態の不均一性によっても応力・変形状が異なることもあるが、この場合は必ずしも土の異方性とはいえないと思う。異方性について小田は粒子配列に起因するものを、粒子の長軸の定方向配列によるものと、また粒子構造に起因するものを粒子間接点での法線方向の卓越配列によるものと詳しく規定している。

問題点及び将来の展望

96, 97は三主応力方向の応力～変形に関する異方性について理論的に研究したものである。96によると、ダイレイタンシーを土の変形の異方性に基づく現象であるとしている。97は負荷を受けて生ずる後発異方性による応力～ひずみ増分関係について論じている。両者とも土(砂質堆積物)の応力～変形状に関する必要十分条件を満足させるには、まだ努力が必要であると感ぜられる。

98は砂の強度異方性に関する実験的研究である。球形のガラス玉によっても、堆積面の方向が変わると応力～変形状が変わるという注目すべき実験結果が示されており、砂の異方性に関する研究が更に前進をとげていることが分かる。

100は砂のせん断定数(c , ϕ)のモビライジングプロセスを示したものである。104はせん断方向をいろいろ変えて繰返し載荷した静的な液化試験結果について論じた

ものである。106は超ゆる詰め砂の非排水せん断試験結果について論じたものである。107は種々の試験（応力）条件における砂のせん断性状に関する実験的研究である。これらの実験的研究はいずれも現在進行途上の研究のように思われる。今後さらに試験条件を厳密に規定し、試験誤差が明示できるような信頼性の高いデータを積み重ねていられること望む。

106の超ゆる詰め砂の密度分布の不均一さを、供試体を凍結させることなどによって測定し、さらにせん断による密度分布の変化を知ることができれば、より一層興味深い研究となろう。104の実験によると、引張り側で約0.4%のひずみに達すると急激に液状化へ向かっている。このようなことは、静的な液状化現象の解明に対する有力な手掛りになると思われるので、今後の発展が期待される。さらに欲をいえば、液状化現象に関する静的及び動的問題の間に存在する問題の解明へと発展されることを望むものである。

討 論

異方性について討論がかわされ、「96, 97の考えている

異方性と普通の意味での土の異方性とは少し違うのではないか。」などの意見が出た。

また、異方性について司会者から次のようなコメントがあった。

- 1) 97の後発生と言われているものの中には、土試料作成後、試験時点までの応力履歴の影響もあるようで、すべてを後発生とみてよいかどうか分からない。
- 2) 土の異方性は総括で示されたものでよいと思う。これは微視的構造の状態から見た異方性であるが、挙動の現われ方から見て異方性を言うこともある。応力伝達の異方性もあるが挙動の異方性の一つであろう。

その他

講演集を見ると、図や表が細かすぎたり、不鮮明なものがいくつかあり、中には全く読み取れないものもあった。毎年注意がなされているにもかかわらず、図表の表現方法に不適切なものがあることは残念である。図表は理論の検証や実験事実に基づく考察を理解させる上で、最も重要な表現方法の一つであることを念頭におかれることを望む。

せん断（砂、礫） 第2日 午後の部 第1会場

京都大学 太田 秀樹

108 (D-6) 砂質堆積物における酸化作用の三軸圧縮性状に及ぼす影響（陶野）

109 (D-6) 応力・歪履歴と砂の構造との関係（石原・三木・細見）

110 (D-6) 砂と金属材料との間の摩擦抵抗（その2）（摩擦力～変位関係および摩擦時の砂の体積変化）（岸田・吉見・植木）

111 (D-6) 浸透水圧を受ける砂のせん断強度について（内田・村田）

112 (D-6) 静的および動的せん断応力によるマサ土の粒子破碎（大原・三浦）

113 (D-6) 浸水に伴う土のせん断抵抗の低下について（福田・小川）

114 (D-6) 砂質凍土の一軸圧縮強度（高志・生頼・山本・岡本）

115 (D-6) 軟岩ロック・フィル材料のクリープ特性について（神崎・中崎・春木）

116 (D-6) 標準砂およびロック材料の一面せん断試験結果について（赤司・尚田・山下）

最近の動向

砂や礫などの粒状体を例えば三軸試験装置などにセット

して実験をする場合、その実験の再現可能性が問題になる。例えばある人がある砂に対して行った実験を別の人が全く同じように追試しようとした場合、どの程度の再現可能性があるだろうか。このような点を中心にしてごく最近の内外の研究を読んだ結果を紹介する。

シルバー、チャン、ラッド、リー、ティードマン、タウンセンド、ベリーラ、ウィルソン（1976）が集まって一斉試験をした結果が大変興味深い。彼らはそれぞれ自分の研究所にある装置を使って同じ実験を別個に行った。彼らの結論の一部は次のようである。乾燥密度で 8 mg/cm^3 の誤差の範囲におさえなければ、全く再現性がない。この精度を保つためには、試料作成時に使用するモールドの内径をそのまま試料径としては不十分である。

ビーガノウスキー、マーキュソン（1976）は模型実験のための土槽に砂を一様に詰めるための装置を研究しているが、その中で砂の密度を測定する小さな箱状の機械を用いると $\pm 4.8 \text{ mg/cm}^3$ の精度で密度が測定できると述べている。吉見、時松（1977）は模型実験用土槽に砂を入れるに際して、グリセリンの水溶液中を一定距離落下させる方法で5%前後の相対密度という精度を得ている。アルバ、シード、チャン（1976）はクレーンにのせた砂まき機械を用いて土槽に砂を詰めている。ラディ、ダンカン（1976）は砂をセットするとき飽和度を上げるために炭酸ガス処理をしている。小野寺、小田、南（1976）はまさ土の不かく