The Japanese Geotechnical Society

を解釈するが，後者の場合はDB作成者の解釈に頼る。いずれにしろ地層の解釈に関わる最新の知見（19, 20）をDB利用者が参照できる機能が今後求められるであろう。

管理者の責任でデータの品質保証や等級付けをするDBと，利用者の責任で品質判断をするDB等，各DBによって品質が異なり，DBの品質格付けが話題になるであろう。

都市域外では少ない地盤情報と地表面データとを組み合わせて地盤状況を推測する技術が求められ，世界の多くの人々にとって有用である。今回は地表面データを扱った論文が2編（14, 15）あったが，研究の発展を期待する。

ディスカッションセッション12
多相系地盤の力学（飽和・不飽和地盤解析）

総　括

㈱農業工学研究所　向後　雄二
㈱日建設計　角南　　進

DS12はTC34（Prediction Methods in Large Strain Geomechanics）国内委員会（委員長：岡　二三生）の主催で行われた。テーマは多相系地盤の力学で飽和・不飽和地盤の力の釣合い，浸透，熱および化学変化を含む解析の先端的問題が議論された。二つのセッションからなり，前半のセッションでは，話題提供が4名の方からなされた。後半のセッションでは，8編の論文について一般発表講演が行われた。

前半のセッションの概要は次のとおりである。

(1)　話題1

岡山大学の西垣先生より，「飽和-不飽和浸透流解析の意義」について話題提供がなされた。現在この解析が適用されている浸透，環境，資源等の様々な問題が示され，飽和-不飽和浸透解析の必要性，有用性が説明された。特に，地下水問題，堤防の安定問題，斜面の降雨問題，放射性廃棄物の解析の重要性が述べられた。また，不飽和の浸透特性試験とその試験法の現状が解説され，水分計測法の新しい方法も紹介された。今後の問題として，調査法では，3次元トモグラフィや水圧トモグラフィの利用，解析法では3次元解析，物性値のための逆解析，境界条件等々が述べられた。

質疑として，堤防の安定性を考える場合に，不飽和領域の空気については考えなくてよいということなのでしょうか，との質問があった。これに対して，現場で計れるものも，計れないものもあり，現時点の調査解析レベルでは，実務的な立場から，堤防ではあまり大きな影響がないと考えてもよいのではないかと思っている。研究的には多相の解析は必要であろうし，将来，実務的にも多相流解析が必要な事例も多くなると思われる。

(2)　話題2

農業工学研究所の向後より「多相系地盤の解析に用いる弾塑性モデルについて」と題した話題提供があった。内容としては，不飽和土の構成式が表現できなければならない典型的な力学的挙動，それを踏まえた不飽和土構成式の例，および解析例である。

表―1　研究内容の分類（DS-12　8編）

項　目	発表件数	内　容
飽和・不飽和土-水連成解析	4	ロックフィルダム（467, 468），河川堤防（469），蒸発散（470）
空気-水-土連成解析	2	平面ひずみ室内試験（471），浸透破壊（472）
土-水＋熱伝導等連成解析	2	メタンハイドレート（473），放射性廃棄物処分（474）

不飽和土の構成式が表現できなければならない典型的な力学的挙動としては，①サクションの増加による体積変化挙動と，②サクションの減少による体積変化挙動，つまり膨張と圧縮（飽和コラプス），である。これらの不飽和土独特の体積変化挙動を表現するためには，二つのサクション効果を考慮することが重要であることを示した。二つのサクション効果とは，(a)サクションの増加による有効応力の増加と，(b)サクションの増加は降伏応力を増加させるとともに，塑性変形に対する抵抗を増す，である。サクション効果(a)は，サクションと限界状態でのせん断強度の関係から見積もることができる。また，サクション効果(b)は，不飽和土の弾塑性体積変化挙動を表す状態面を定式化することによって見積もることができる。

上記の二つのサクション効果を考慮した弾塑性モデルの例を示し，そのモデルを用いた解析例を示した。解析例としては，不飽和砂，シルトおよびロック材の等方圧密，圧密，三軸圧縮試験等のシミュレーションで，定性・定量的によく試験挙動を表現できるとの結論を得ている。

今後の問題として，動特性の検討が必要であると述べている。

(3)　話題3

「多相系地盤材料の解析法と応力変数について」と題して，京都大学の岡先生より話題提供があった。数値解析の観点から，特に不飽和土における適切な応力変数の選択について述べられた。実務では不飽和地盤の解析は堤防の浸透-連成解析，メタンハイドレート含有地盤の

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

安定問題や環境問題など，多相系の化学-熱-水-土の連成問題解析の必要性が現実にある。一般的に，不飽和土の応力変数としては全応力，間隙水圧，間隙空気圧，サクションがある。コラプスが表現できないとして問題とされたBishopの有効応力式から，その後のFredlundら，軽部ら，向後らやBolzonらがどのような応力変数を取り上げてきたか，また，向後らは降伏関数にサクションを考慮すればコラプス問題は計算できること，サクションと飽和度の関係は構成式であること等が示された。さらにKhaliliなどの研究者により，有効応力式の一般化が試みられている事例を示した。また，岡らによって試みられている混合体理論の枠組みに，平均骨格応力を導入して不飽和土に関する一般的な数値解析が展開できることが紹介された。

具体的には，サクションの効果を粘塑性材料パラメータのサクション依存性として考慮し，不飽和シルトの排水排気試験，非排気非排水試験をシミュレートした例が示された。応力変数選択については解析法と整合的である理論が実験との検証により今後とも継続して研究される必要があること，間隙流体の圧縮性についても考慮する必要がある場合があることなどが指摘された。今後，混合体理論，多孔質体理論の立場からのこの領域の研究の必要性が述べられた。

質疑として，①Bishopの式などを用いた不飽和の構成式は混合体の枠組みには入らないのではないか？との質問に対して，異なる観点に立てば，枠組みに十分入ると考えられる。実際に混合体理論に組み入れた解析がこの研究発表会でも発表されている。②粒状体の締固め等で，水分分布に起因する異方性は考えなくてよいか？の質疑に対して異方性はあるかもしれない。水分分布に関するミクロな内部構造の研究などが必要であろう。（向後のコメント：水分分布による異方性は小さいのではないかと思う。）

(4)　話題4

「地盤工学的視点における人工干潟造成について」と題して，東洋建設㈱の三宅達夫氏より話題提供があった。

2004年2月に完成した大阪府岸和田市約1 km沖の阪南2区人工干潟の造成概要について述べられた。内容は，1）干潟造成の背景：浚渫により多量に発生する軟弱粘性土を干潟基盤材料に活用，2）干潟の計画概要：面積＝約5.4 ha，潮間帯面積＝約1.6 ha，水深＝8.0～11.0 m，軟弱な浚渫粘性土約33万 m^3 による造成，地表面勾配＝1/50，浚渫粘性土上に海砂で覆砂する2層構造形式，3）施工上の課題：遠心模型実験と現地試験により，1/50の勾配が確保できないこと，および覆砂が粘性土に潜り込むことが分かった，4）解決策：勾配確保には中仕切り堤の築造，また，覆砂の安定確保には生物の生息・生育環境の面から生分解性シートを併用する施工法へ変更し，現地試験にてそれらの対策法の有効性を確認した，5）完成後，7ヶ月経過時点で1/55～1/80の勾配を有する約1.6 haの潮間帯が維持されている。

その造成経験から人工干潟の設計・施工に対する地盤工学的な課題として，1）生物の生息・生育環境には地形変動が大きく影響する。人工干潟は造成後の地形変動が大きいため，機能を保つには長期のモニタリングとメインテナンスが重要となる，2）人工干潟の物理的安定性として，潮位変動による潮間帯のサクション発生と地盤の密度変化，高密度化すると生物の生息環境が悪化する。時化などの波浪による砂の移動と性状変化（洗堀・堆積：密度変化・分級：透水性変動）と軟質基盤への影響予測法，3）潮汐による密度変化はサクション変動と弾塑性モデルによる予測法，4）波浪による砂の移動と性状変化はNS式とDEMとの連成による予測法，5）潮位変動・波浪による地盤内の水圧応答・サクション-水分密度関係の現地観測が重要，6）飽和・不飽和対を有する干潟内の水の流れとそれに伴うDOおよび栄養塩の変動予測法，などが必要となる。

質疑として，安定処理土を人工干潟においてどのように使うのか？　遠心実験の結果から所定の勾配の確保ができることが分かったので，生物が生息しないと思われる地表から－2 m以深で使用できると考えている。また，波浪と砂との相互作用モデルで砂にDEMを使うのは液状化を表現するためか漂砂を表現するためか？　液状化を表現するのであればFEMでよい。漂砂というより砂の移動と密度変化・分級を表現するためである。

後半のセッションでは，8編の論文について一般発表講演が行われた。発表論文を分類すると**表―1**のようになり，従来からの水に対する連続の式と力の釣合い式を用いた飽和・不飽和圧密解析から空気に対しても連続の式を考慮する解析，さらに熱伝導，化学反応をも考慮した解析法が示された点が目新しい。

このディスカッションセッションで示された解析は，不飽和土に対する初期値・境界値問題の研究であるが，さらに次のような点を考慮し，実際の地盤の解析と設計に活用されることを期待したい。今後考慮すべき点として，(1)微視的な観点から不飽和土の力学および水理特性の把握，(2)広範な応力状態での不飽和土の静力学的な挙動の把握，(3)動力学的挙動の把握，(4)構成則（応力-ひずみ関係，保水，透水等）のさらなる研究，および(5)環境問題への適用の研究等である。(1)では，特にひずみの局所化を考慮する必要がある。不飽和土は飽和土に比較してその挙動はより過圧密的であるからである。(2)および(3)は(4)の構成則を考える上で，重要なデータとなる。多くの研究者のこの分野への参加を期待したい。

最後に，本稿をまとめるにあたり，貴重なメモをいただいた講演者の方々に感謝いたします。また，講演の概要は，下記のWeb siteでもご覧いただけます。

http://nakisuna2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/tc34/nctc34/

NII-Electronic Library Service