

# 地盤の破壊とひずみの局所化に関する研究委員会現況報告

地盤の破壊とひずみの局所化に関する研究委員会 委員長 岡 二三生

## 1. はじめに

本研究委員会は平成3年の4月に発足し、すでに2年が経ちました。2年間の委員会の活動と今後の展望について以下にまとめてみました。まず、その目的は、地盤材料の変形から破壊までの挙動を力学的観点から取り扱う場合、せん断帯（面）の形成にみられるような変形の局所化を伴って破壊に至る変形過程の定式化の方法を明らかにすること、また、そのための変形挙動の実験的解明と室内試験を含めた観測はどうあるべきかを明らかにすることです。

## 2. 委員会活動の現況

委員会は、平成3年4月6日より始められ、すでに6回の委員会が開かれ、研究発表、研究連絡、討議が行われました。土質工学研究発表会会期中に開く委員会では研究連絡を中心とし数時間、通常の委員会は午前と午後の1日を使って開催しております。委員会では51名の委員とオブザーバーに出席いただき、時間の許す限り活発に討議を行っております。

### 2.1 委員会での研究報告

委員会での研究報告は、これまでに表—1に示す

ような内容で行っています。

委員会研究発表で公表された資料残部について、コピーを希望される方は連絡いただければ送付いたします。

### 2.2 ブラインドテストの解析

ブラインドテストと解析コンペの提案が第1回の委員会で龍岡文夫幹事委員から提案され、討議を経て、ウォームアップのための予備解析とブラインドテスト解析コンペが行われることに決まりました。主旨は境界値問題において、変形の局所化の解析法の開発のために、代表的問題として支持力試験を取り上げ、現在ある解析法の現状と今後の問題を明らかにすることにあります。したがって、コンペと言う要素はありますが、現在、せん断帯発生から破壊にいたる予測の解析法が成熟しているわけではない現状から、開発のための共通の研究課題として実施したいと考えております。「土と基礎」の平成4年1月号で案内しましたように、すでに予備解析については豊浦砂と深草粘土についてのデータを配布し、いくつかの報告を出していただいております。ブラインドテスト本解析は、Silver Leighton Buzzard sand、微量の豊浦砂の粉末をまぜ合わせた神戸海成

表—1 委員会で作成された研究報告

開催日	報告題目	報告者
平成3年4月6日	トンネルと斜面工における破壊の現状と考察 粒状体構造内部の変形の可視化と解析 シミュレーションによる粒状体の変形局所化の解析 液状化した砂地盤の力学的特性	木村 宏氏（日本鉄道建設公団） 小長井一男委員 岸野祐次委員 東畑郁夫委員
平成3年9月20日	せん断層の寸法と粒子形状・粒度分布の関係 DEMによる二次元せん断帯試験 降下床モデル実験 降下床モデル実験の数値シミュレーション	三浦均也委員 中瀬 仁委員 中井照夫委員 八嶋 厚委員
平成4年3月31日	平面ひずみ試験における SLB 砂のせん断帯の構成関係 支持力試験について 分岐解析の基礎 せん断帯シミュレーションにおける有限要素の選択	吉田 輝氏（東京大学大学院） 日下部治委員 岩熊哲夫委員 飯塚 敦委員
平成4年10月1日	偶応力と地盤力学 二重すべりモデル：非共軸性と増分非線形性	小田匡寛委員 飛田善雄委員

## 学会活動から

粘土、アルミ棒材料、アクリル棒材料、人工軟岩を材料として予定し、室内物性試験のデータから支持力実験の予測を呼びかけるものです。データ配布4月をめざして用意しておりますので委員以外にも広く参加をお願いいたします。このブラインドテストについては、ISSMFE NEWS Vol. 19, No. 2, 1992でもアナウンスをすでに行っており、海外からの問い合わせも10件をこえております。したがって、本解析結果は今後予定している国際シンポジウムなどでも取り上げる予定です。

### 2.3 現況報告の作成

委員会でのもう一つの活動は現況報告の作成です。地盤材料の変形の局所化現象については、実験、理論および現場でのデータ収集という観点から多面的に研究がなされるべきであるが、現在すべてが確立されているわけではありません。したがって、この問題に関係する多くの問題点についてその現況報告を作成し、今後の研究開発に役立てるため委員会では地盤の破壊とひずみの局所化に関する現況報告を分科会を作って作成する作業を行っています。分科会で取り上げているテーマは次のとおりです。

実験（砂質土、粘性土、岩）

有限要素法、境界要素法（解法、一般論）

個別要素法（DEM）、粒状要素法（GEM）

剛塑性有限要素法、大変形解析

二重すべりモデル

ひずみ軟化

非局所解析

非線形構成式

動的問題

極限つりあい法

マイクロメカニクス

計測技術

地質工学における変形の局所化

支持力

コッセラ体理論

粒状体理論

変形の局所化での間隙水の果たす役割

斜面の安定

Homogenization

分岐解析

すでに8テーマについて原稿が提出されていますが、現在、今年度中に完成を目指して各分担委員に執筆していただいております。

### 3. 地盤材料の破壊と変形の局所化研究の現況と問題点

変形が進むと極度に変形の集中した領域が現れるが、この領域は消えることなく成長し破壊へと至る。このような地盤材料の破壊と変形の局所化研究の現況は、2.2と2.3の内容に見られるように、多くの側面をもっています。特に、問題は破壊の前兆現象としてのひずみの局所化、せん断帯の形成のメカニズムの把握、その予測とシミュレーション手法の開発です。このような問題は地盤材料だけでなく、金属材料やコンクリートなどの構造材料でも研究されているが、金属結合による延性が卓越する金属材料から、より脆性的な岩やコンクリート、水を含む地盤材料といった材料特性の違いによってもそのメカニズムは必ずしも同じではありません。したがって、問題の解決には重層的な手法で望む必要があると考えられます。問題を大きく分けると、次の二つに分けることができます。

1) 現象の科学的・定量的な把握と観察方法の開発。

2) 現象の予測法の開発。

1)については、材料表面の観察法の高度化のみでなく、地盤材料内部の変形過程までも観察できる手法（例えば、レーザーによる方法やCTスキャン）が使われてきています。特に、CT（コンピュータトモグラフィ）スキャンは高価ですが有望な方法で、せん断帯の地盤材料内部の観察には最適ではないかと考えられます。

2)については、材料非線形性と幾何学的非線形性が問題となります。従来より、座屈解析に見られるように、幾何学的非線形性からみた手法として分岐解析が行われております。つまり、有限変形解析を行う過程で、一様変形から局所的な変形モードへの移行を分岐現象として見る方法です。この方法の適用自体も従来十分でなく、現在、精力的に研究されております。また、このような分岐解析で用いる構成式の非線形性の取扱いは種々提案されており開発途中といえます。破壊後挙動に注目すれば、非線形

構成式として、ひずみ軟化構成式が考えられますが、古典的な定式化では、解析結果の強度の有限要素メッシュ依存性が問題となります。この問題の解決には、分岐解析に基づくせん断面の存在の仮定や、粘塑性型の構成式が考えられています。すべりモデルや非共軸構成式の導入によって分岐する方向、つまり、せん断面の方向の予測は比較的容易ですが、破壊後挙動の解析には手法上越えるべき問題があるようです。一方、せん断帯の幅は無限小ではなく、砂の場合、粒子径の約20倍程度と言う報告などから、構成式に粒子径の大きさの導入が必要であると考えられます。このような観点から、偶応力を考慮したコッセラ体としての構成式の定式化や塑性ひずみの勾配を導入した非局所理論などが提案されています。

一方、粘性土を考えると、粘性の効果も導入すべきで、粘塑性構成式が用いられることになります。弾粘塑性体としての定式化は塑性体に比べ解析が容易であることから粘塑性型のひずみ軟化を導入すると、変形の局所が比較的容易にシミュレーションでできることがわかってきました。図-1は、粘性土を用いた平面ひずみ圧縮試験のせん断帯シミュレーションの結果です。弾塑性体に人工粘性を導入する方法も行われています。さらに、以上のような現象論的な構成式のみではなく、微視的なメカニズム、マイクロメカニクスに基づく手法も有力な手法として提案されています。このような方法は、直接変形のメカニズムに関する微視的なモデルを組み込み、その評価ができる利点があり、数学的な取扱いが容易になればもっと用いられるべきものと考えられます。

また、個別要素法などの直接粒状体をモデル化した方法も変形の局所化解析に用いられ、成果が上がっております。このような方法は、一種の非局所理論とも考えられ、計算機の発達とメカニズムの的確な把握から有用な情報がえられるようになってきま

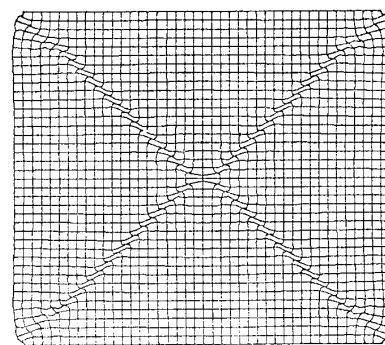


図-1 せん断帯の数値シミュレーション例<sup>2)</sup>

した。

以上、研究活動のごく一部を概観しましたが、観察手法がより高度化され、これらすべての研究が将来どのようにリンクするのか、また、それがどのように現場に活かされるのかを考え、今後の委員会活動を続けて行きたいと思います。

#### 4. 今後の予定

本研究委員会の今後の活動については、4月上旬、6月、10月下旬に委員会、平成5年に国内シンポジウムを実施する予定です。その後できれば、1996年頃に国際シンポジウムまたはワークショップの開催を考えております。国際シンポジウムは本年9月にフランスの Aussois で開催される『第3回土と岩の局所化と分岐に関する国際ワークショップ』の次回として開催できればと思っております。これまでの皆様のご支援に感謝しますと共に、今後一層の土質工学会会員の皆様のご支援をお願いいたします。

#### 参考文献

- 1) 岡二三生・龍岡文夫・市川康明：第2回粒状体の局所化と分岐の数値解析法に関する国際ワークショップ，土と基礎，Vol. 38, No. 2, pp. 115~120, 1990.
- 2) 岡二三生・八嶋 厚：粘土の粘塑性構成式と塑性不安定，第42回応用力学連合講演会，pp. 425~428, 1993.

(原稿受理 1993. 2. 12)