

# 第1回スコフィールドレクチャー

## 遠心载荷モデリング：予期しない挙動の予測 ボルトン教授

Schofield Lecture (Malcolm Bolton)

中 田 幸 男 (なかた ゆきお)

山口大学 教授 大学院

### 1. はじめに

国際地盤工学会の第1回スコフィールドレクチャーの演者としてボルトン教授が選ばれた。このことは、地盤工学の研究者であれば、ごく自然のことと理解できる。講演は、1969年にスコフィールド先生からマンチェスターからケンブリッジに来るよう促されたという話から始まった。そこから、ボルトン教授は、土質力学と遠心模型実験に関する研究を多くの学生と共同で実施されてきた。講演では、これまで遠心载荷装置を用いて行われた研究プロジェクトの中から5つの話題が取り上げられていた。これらの話題を通して、科学、技術、実用という3つの用語の関係をまとめられた。

会議2日目の午後の最初の時間帯に、この講演は、設定されていた。昼食後のセッションということで、聴衆する人の集まりが遅く、5分は遅れて始まった。いつもより緊張している雰囲気、途中でスライドの操作が上手くいかない場面もあった。用意されたスライドは、55枚であった。予定よりも長めの講演となり、司会の早く終わるようにという合図を送られていた。しかし、ボルトン教授は全く気付かない様子で、最後まで自分のペースで予定していたスライドすべてを紹介された。

### 2. 講演内容

講演は、図-1に示すスライドから始まった。まず、遠心模型実験の一般的な位置づけが説明された。その後、遠心模型実験を用いて取り組まれた研究プロジェクトの説明があった。内容は、粘土地盤の掘削、地震時主働崩

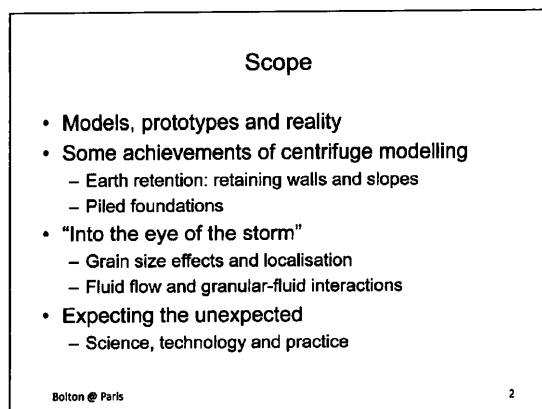


図-1 講演の内容を紹介するスライド

壊、粘土の斜面安定、杭の地震時の座屈、杭貫入補助としての高圧水噴射に関するものであった。この実験では常に、粒子径の調整や液-粒状体の相互作用により、実際の現象とは異なるのではないかと議論が取り上げられてきたという点に触れられた。

#### 2.1 粘土地盤の掘削

粘着力を有する粘土地盤において地下水位が地表面に近いところにある場合の掘削問題が、最初の話題として紹介された。遠心場で掘削を施すと、矢板天端からある深さまで粘土地盤と矢板の間にクラックが発生することが提示された。この結果の理解には、高い地下水位状態からもたらされる水圧の作用を無視できないことを述べられた。この現象は、2005年のアメリカニューオーリンズに上陸したハリケーンカトリナによる洪水の発生時に実際に発生したという説明があった。矢板で補強された堤防であったが、越流する前に破堤したという実際の挙動は、遠心実験で再現されたものであり、事前には予期できていないものであったことが述べられた。

#### 2.2 地震時主働崩壊

重力式擁壁に作用する地震時主働土圧に対する遠心模型実験が2つ目の話題であった。乾燥砂の裏込めを有する擁壁に作用する加速度がある経過時間から減少し、擁壁の変位が増加する現象が紹介された。これは、主働破壊した土塊をブロックとしたすべり解析を適用することで、せん断断面上に動員されるせん断抵抗角が最大角から、限界状態角に遷移することで説明されることと、およそ10粒子程度の変位でこの軟化が生じることを示された。実際には、壁の高さに対する粒子径は無限小であるとみなせることから、高い安定性が要求される構造物の設計では、最初のピーク強度を無視して、単に限界状態強度を使うべきであるという指摘があった。

#### 2.3 粘土の斜面安定

3つ目は、過圧密粘土斜面の局所化と進行性破壊に対する話題であった。遠心模型土槽にある粘土斜面に雨期と乾期という季節変化を繰返し与え、斜面内の間隙水圧が増減を繰返す中で、ひずみが蓄積されていくという現象の紹介であった。斜面内の水位が、雨期の間に上昇し、乾期で減少することを繰返ししながら、繰返し後半には、限界状態に達することでせん断変形が生じることを、円弧すべり解析に実際に模型土槽で得られた間隙水圧の変化を取り入れ、動員されているせん断抵抗角に対

## Honour Lectures

する分析を加味して示された。

この実験を行っている頃、筆者はスコフィールドセンタに滞在していた。模型土槽に手製のエアコンを取り付け、湿度を制御するとともに、霧状の雨を斜面に散布する装置を導入して行われていた。研究室所属のテクニカルスタッフ全員が何度も試行錯誤をして一つのプロジェクトの目標を達成しようとしている様子に、センターの活発な活動の源をみたような気がしたのを思い出した。

## 2.4 地震時の杭の座屈

液化化と杭基礎の座屈の問題が4番目のテーマであった。積層状土槽を遠心場で繰り返し振動させるもので、いわゆる遠心場での振動台実験である。死荷重をうけた群杭が飽和砂内に設置され、群杭の上端が振動方向に慣性力をうけないように拘束された杭の模型土層である。この群杭が振動終了後にしばらくしてから座屈するというもので、杭から離れた場所で液化化が発生することで地盤全体に水頭差が生じ、杭周辺に水が流入することで地盤の軟化が生じたためと考察されていた。この現象は、1964年の新潟地震の際に、昭和橋が地震停止1分後に倒壊した現象を説明しているのではないかと指摘された。その上で、設計法には取り入れられていない現象であり、“予期されていない”現象であると紹介された。

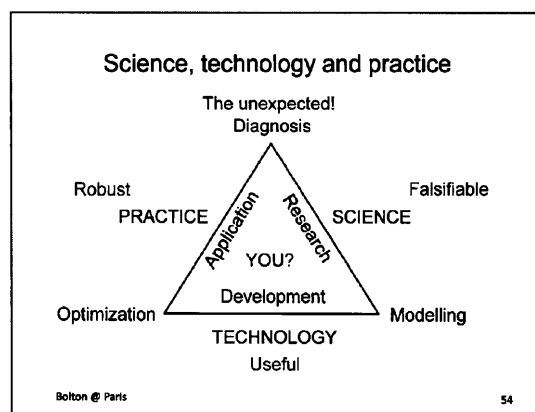
## 2.5 杭貫入補助としての高圧水噴射

最後は、技術に関する話題である。杭貫入を容易にするために杭先端での高圧水の噴射の適用に関する遠心模型実験についてであった。この実験から、噴射の有無によらず、杭貫入抵抗の軽減が認められなくなる限界深さが存在することが取り上げられた。杭周辺は間隙水圧が上昇し有効応力がほぼ小さくなるが、深度の増加にともなって、相対的に有効応力の低下が少なくなり、最後は高圧水の流出が不可能になるというものであった。これは、ある深さまでは、杭の半径の2倍の領域までで有効応力が0、いわゆる液化化状態になり、杭貫入に対して抵抗0の条件を再現することができるが、限界深度以深では、有効応力の減少が小さく、杭貫入抵抗の増加、粒子破碎の発生、透水性の低下、杭周辺に不透水層の形成をすると解説された。

## 2.6 遠心载荷モデリング

遠心模型モデリングの地盤工学における役割について、5つの研究プロジェクトは、以下のようにまとめられた。

遠心载荷モデリングでは、多くの土質力学の基本的性質うちのいくつかを再確認できる一方で、意外な結果を知ることができる。また、モデル実験では、様々な連続画像データや変位の過程を理解するための膨大な測定データを入手できる。ただ、現象に対する説明や解説を提供できる単純化されたメカニズムの明示が必要である。これは、単純なメカニズムだけが、技術に転用できるものとなり、実務の課題に対して適用できるためである。このため、モデル実験に携わる研究者は、模型実験と実物大実験とのスケールの相違に注意しながら、そのメカニズムを明らかにする必要があるということであった。



図ー2 “科学、技術そして実務”を説明したスライド

## 2.7 科学、技術そして実務

最後に、地盤工学における科学、技術そして実務に対し、図ー2を示しながら説明があった。

研究者は研究を通して科学を追求するが、この科学は誤認を解消する役割を担っている。研究において、観察はどのような科学的理論をもくつがえしうるデータを提供できるものとなる。専門家は、新しい研究成果を考慮に入れ、工学的な有用性のある新しい技術を開発する。そして実務者はその機会を見極め、利用可能である新しい技術を用いて直面する困難を克服する。研究と開発の間では、遠心モデリングと同様に、解析的なモデリングも利用できる。技術と実務の間では最適化を見出すことになる。これは、実務の目的が明確であることから、理想的な解決方法が選択される必要があることによる。実務と科学の合流点では、分析が求められる。遠心模型での研究において意外な出来事を観察できるため、新しいメカニズムの分析する必要がある。ただし、分析することができるのは単に遠心模型モデリングを行う研究者だけでなく、実務者も分析する必要がある。これは、実務者が実物の構造物の建設する際に、モニタリングによって意外な結果に遭遇する可能性があるからである。この時には、実務者も、研究者と同様にこの意外な結果の単純なメカニズムを分析する必要がある。

最後では、おおよそこのようなことを述べられていた。

## 3. おわりに

講演終了後に、ボルトン先生に出会った。「いい講演でしたね。」と声をかけたら、いつものように熱い思いを主張できたという返事が返ってきた。この情熱の源は、スコフィールド先生から「土質力学の教科書に書いてあったことを一度白紙にして、自分の実験結果を受け止めるべきである。」という言葉にあったことを聞いた。

講演の中でも取り上げられていたが、スコフィールド先生から遠心模型モデリングを用いて研究することを支援してもらったことで、今の自分がある、次は、私が、若い世代の研究者の支援をする番であると言われていた。紹介した5つの話題のすべてで、関わった学生の名前と現職を口頭で説明されていたことの真の思いを感じた。

(原稿受理 2013.10.11)