

## 地盤破壊の三次元的評価に関するシンポジウム開催報告

地盤破壊の三次元的評価に関する研究委員会

### 1. はじめに

地盤破壊の三次元的評価に関するシンポジウムは、平成7年3月31日（金）、東京・神田錦町の東京電機大学で開催された。当日は年度末にもかかわらず約130名ののぼる参加者を得て、大変盛況であった。

今回のシンポジウムは、委員会報告、川本眺万先生（愛知工業大学教授）による特別講演「地盤の破壊現象に関する予測と実際」、ならびに三つのセッションに分かれた計32編の公募論文の発表により構成した。

標記シンポジウムを主催した研究委員会（委員長 鵜飼恵三：群馬大学）は、平成4年4月に設置され、平成7年3月をもって終了した。委員会活動は、四つに分けた各ワーキンググループ（WG）を中心にして行った。また、委員会開催時には、委員はもとより、国内外から第1線で活躍中の研究者を講師として招き、話題提供と講演をお願いした。さらに、14の参加機関の協力を得て、三次元一斉支持力実験（重力場実験、遠心力場実験）を実施し、三次元の支持力・破壊特性について比較、検討を行った。

### 2. 委員会活動成果の概要

本研究委員会の活動成果の詳細については、「シンポジウム発表論文集」を参照されたい。委員会各WGの概略の内容は次のようである。第1WG「三次元斜面安定解析法」、第2WG「三次元一斉支持力実験」、第3WG「三次元有限要素法」、第4WG「実際問題への適用と設計法」。

第1WGでは、極限平衡法を中心にした三次元斜面安定解析法の研究を行った。三次元安定解析法の現況報告と新たな解析法の提案を行うとともに、現在の斜面对策工の設計上の問題点が指摘された。第2WGは、三次元一斉支持力実験を実施した。詳細については、「土と基礎」誌上に別途報告する予定である。第3WGでは、三次元弾塑性FEMの適用性、地盤破壊評価の現状、解析にあたっての制約条件などについて現況をまとめた。また、各機関の現有ソフトのアンケート結果を報告した。第4WGでは、各機関の設計基準類について三次元性を考慮したケースのピックアップを行うとともに、実際問題における三次元的評価の現況総括を行った。

### 3. セッションI：支持力実験と解析

委員会報告：成田国朝（愛知工業大学）  
座 長：斉藤邦夫（㈱日建設計）

副 座 長：今泉繁良（宇都宮大学）

- I-1 砂地盤における浅い基礎の支持力実験／小林永明・赤津武男・坂口 勝・佐々木拓
- I-2 円形・正方形基礎の破壊形状と支持力／今泉繁良・源 寛輝・横山幸満・藤本英悟
- I-3 砂地盤における三次元の変形・破壊に関する遠心模型実験／岸田 了・佐藤正義
- I-4 砂地盤における遠心支持力実験／加藤泰寛・三宅達夫・濱田雅美
- I-5 支持力特性に及ぼす基礎の形状について／池田朋広・北詰昌樹
- I-6 砂地盤の支持力特性に及ぼす基礎の形状と寸法の影響について／岡村未対・奎谷真一・竹村次朗・木村 孟
- I-7 砂地盤の支持力値における形状ならびに根入れ効果／大石幹太・斉藤邦夫・片桐雅明・片上典久
- I-8 自然堆積地盤上の三次元基礎に見られる支持力・破壊性状／大内正敏・萩原敏行・日下部治・前田良刀
- I-9 砂地盤内に形成されるせん断層の三次元構造のX線CTによる観察／谷 和夫・上田圭一
- I-10 斜面上の直接基礎の支持力に関する模型実験／林 貞夫
- I-11 矩形載荷に伴う水平および傾斜砂地盤の破壊形態と支持力特性について／成田国朝・奥村哲夫

**Q：**一斉実験で評価された形状係数について、正方形基礎と円形基礎でその値が異なる理由は何か。

**A：**A1 正方形基礎では隅角部での応力がほかと異なるので、正方形基礎の方が円形基礎より支持力が大きく、結果として形状係数も正方形基礎の方が大きくなる。

A2 正方形基礎では地表面に現れるすべり域が必ずしも円形ではなく、受働域の面積も円形基礎のものより大きいことが原因と考えられる。

A3 中間主応力の違いと考える。すなわち、円形基礎では地盤の押出し方向がすべて三次元的であるのに対し、正方形基礎下では押出し方向が二次元的になる（平面ひずみ状態）部分があるので、正方形基礎の方が大きいのではないか。

**Q：**軟化しない支持力の降伏強度を求めるのに、初期の直線部と後半の直線部との交点で評価しているがこれでよいのか。

**A：**定義の仕方として、そのような方法に疑問を持っているが、大変難しい問題である。

**Q：**一斉実験での強度は大変形を含めた評価として見るべきかあるいは大変形の影響は小さいのか。

**A：**すべり線に着目して強度や摩擦角（パラメーター）

## 学会活動から

を解析してみると、残留時の値と対応させてしか論じられない。その意味では、大変形の問題であるようだ。

**Q:** 一斉実験において、各機関とも相対密度を85%に統一して実験し、かつそのばらつきも比較的小さいのに、支持力強度としては大きくばらつくのはなぜか。

**A:** **A1** 模型地盤密度の評価の仕方（重量・体積の測定方法）が機関ごとに異なるので、各機関でいう85%という数値が同じ意味であるかは疑わしい。ことに体積の評価は難しく、その計測方法によっては相対密度が数% 近く異なる可能性がある。

**A2** 模型地盤の表面の不陸整正に伴う乱れの違い、表面近傍での密度の不均一性も模型基礎幅が3 cm と小さい今回の実験では、支持力に影響していると考えられる。

## I-9

**Q:** X線CTによる観察から得られた知見を、実際問題でどのように使うつもりか。

**A:** 重要構造物の築造においては必ず断層調査が行われるが、確認された断層の活動性の評価、すなわち、第四紀に動いたか、どういう方向に動いたか、動いた範囲はどの程度であるか、さらに震源断層であるかどうかの評価に利用する。

**Q:** X線CT技術は、支持力実験において時々刻々発達するすべり線を観察するのに利用できるか。また、制約条件はどのようであるか。

**A:** X線の吸収率は対象物の密度に依存し、せん断層（すべり線）では間隙が大きくなるので、基本的には可能である。

## 4. セッション II: 斜面安定および地震時挙動

委員会報告: 植田康宏 (阪神コンサルタンツ)

座 長: 山上拓男 (徳島大学)

副 座 長: 沖村 孝 (神戸大学)

II-1 砂地盤における泥水掘削溝の安定性に関する三次元的评价法/樋口雄一・名倉克博・東田 淳

II-2 三次元臨界すべり面探索について/山上拓男・蔭景彩

II-3 三次元簡易 Janbu 法に基づくアンカー力評価法/山上拓男・山川 治・細野和博

II-4 地すべり対策工におけるアンカー力の三次元的评价/山上拓男・植田康宏・山川 治

II-5 自然斜面を対象とした三次元安定解析による表層崩壊規模の推定/沖村 孝

II-6 大規模地すべり地における三次元安定解析の事例について/小野勝利・畠田和弘

II-7 千葉県嶺岡隆起帯における浅層すべりの三次元弾塑性解析/川本 治・田中忠次

II-8 地震時斜面の動的三次元弾塑性 FEM による解析/鶴飼恵三・井田寿朗・高橋淳夫

II-9 液状化問題における二次元解析の適用限界と三次元解析の利点/福武毅芳・大槻 明・藤川 智

II-10 水-構造物連成系の三次元地震応答解析とその可視化/上部達生

## II-1

**Q:** 特に破壊形状のところで、三次元効果として掘削溝付近での水平アーチということですが、感覚的によくわからない。掘削溝のところで水平というか、端部の方に移動というか、土圧が分散していると言うふうにとらえればいいのか。

**A:** 深さごとに  $\Sigma X$  の値は異なるのですが、共通して言えることはこの溝の端部のところで大きくなって、溝から離れるにしたがって次第に小さくなる。このため、溝に向かってすべろうとする力がアーチによって溝の端部に流れていると解釈しました。

**Q:** 破壊のすべりの進行が二次元と三次元ではどこから始まっているか。明確な違いがあれば教えていただきたい。

**A:** たまたま1回だけうまくビデオの記録がとれた例が三次元実験であった。それは掘削溝の底部から始まり、あとから地表面が落ちる進行性破壊だった。しかし二次元の時でどうかというと難しく、遠心実験では細かいところまでは確認できていない。

## II-3

**Q:** 提案はアンカー力が作用する分割辺の位置が違いうことでよろしいのか。式としては変わらないのか。

**A:** 現行の方法はすべり面に働くことと仮定している。しかし現実には地表面に働くため、地表面に移したためで作用位置が違う。

**Q:** アンカーというのは点としての集中力で評価されるため、三次元の場合に分割帯の切り方によってどの程度の差がでてくるのか。

**A:** コラム分割の粗密による影響は十分に検討していない。ただ二次元は常識的にスライス10~20がいいと言われているが、それと同じことを南北と東西に考えていけばいいのではないかと。

## II-5

**Q:** Hovland (ホブランド) 法を用いていますが、もう少し精度の高い合理的な安全率算定式を三次元の安全率算定式に用いた場合、もっとその結果が変わってくるのではないかと。

**A:** 基本的に二次元解析はスライス簡便法が一般的に使われているため、Hovland 法で三次元の評価をした。いろいろな三次元解析を行うにあたって、計算にならない現象がかなりあるため、解析結果を比較することが必要で、今後は三次元シミュレーションができるような調査データを蓄えていくことが必要と思う。

## II-8

**Q:** こういう計算で  $L/H$  を増やしていくと、二次元解に近づくとおもいますが、ここではかなり差が大きいため二次元に近づかないような気がする。理由は。

**A:**  $L/H$  は、4と16で計算した。4の場合、応答曲線は二次元と三次元では、山が一つというきれいな応答曲線が描かれるが、16の場合はほかにもう一つ応答増幅率が大きくなるピークの部分が出て、山が二つになるような結果になった。それはおそらく、 $L/H$  が16

の場合は斜面に平行というか、断面に直行する方向の振動の影響が出るため2箇所にもわたって応答が増幅される部分が出るのではないか。

Q: Reileigh (レイリー) 減衰を使った理由は。

A: 粘性減衰を表す簡便なものであるから。

## II-10

Q: 今問題になっている神戸のポートアイランドについての解析を考えているか。実際にやられておられるなら、実被害との関連などについてお話をしたい。

A: 解析はまだやっていない。いまモデルをつくったところである。今お見せしたモデルは設定数が4000くらいで、モデルとしては地盤もない簡単なモデルである。計算は始めればそんなに時間はかからないが、まだ今のところ計算には入っていない。

Q: 水の要素に特別な工夫をしているか。

A: 通常の波動方程式を離散化させて解いております。

## 5. セッション III: 各種構造物と解析法

委員会報告: 河 邑 真 (豊橋技術科学大学)

座 長: 大津康宏 (大成建設株)

副 座 長: 荻迫栄治 (清水建設株)

- III-1 粒状体のせん断挙動に関する三次元 DEM 解析/羽上田裕章・河 邑 真・野瀬達哉
- III-2 三次元繰返し荷重に対する構造物の安定性評価/大塚 悟・山田英司・松尾 稔
- III-3 群杭の水平挙動に関する実験と解析/若井明彦・鶴飼恵三
- III-4 即製杭打込みによる周辺地盤の変形に関する三次元的変形予測手法に関する一考察/増田 進・島峰徹夫・渡邊明之
- III-5 短杭と擁壁の三次元弾塑性有限要素解析と模型実験/森 洋・田中忠次
- III-6 補強土擁壁の安定性についての三次元 FEM 解析/河 邑 真・岡林宏二郎・足立有史
- III-7 橋台側方移動の二次元、三次元弾塑性 FEM 解析/松田哲夫・鶴飼恵三・若井明彦・五瀬伸吾・原 隆史
- III-8 三次元有限要素法による超々高層建築物地下構造-基礎-地盤の一体解析/荻迫栄治・西崎晶士・鈴木 健・吉田 順
- III-9 深い円形立坑に作用する主動土圧の弾塑性 FEM 解析/萩原敏行・藤井利侑・鶴飼恵三
- III-10 NATM トンネルの二次元および三次元弾塑性 FEM 解析の比較/桶土井清裕・森川誠司
- III-11 トンネル掘削問題を対象とした二次元場と三次元場での応力・浸透連成解析結果の相違について/大津康宏・瀧 治雄

## III-5

Q: 過去の例では、回転していくとすべり線が最初上から出て次第に下に下がるという実験結果が出ている。ここで使用している構成式では、それらの現象がかなり追えるのではないかと考えるが、ひずみがどう発達していくかという現象は、解析でとらえられているか。

A: 今回ひずみ分布は出していないが、せん断面は発達し

てくるので、大まかにはそのようなひずみ分布は出てくる。回転角度にして6度くらいからそのような傾向が出てくるが、解析でもその付近で出ているようだ。また、すべり線の発達過程としては、最初に斜めから出て斜め下に向かうものと、下から上へ向かうもののが実験から観察されている。

## III-6

Q: 補強材の敷設長が長い場合と短い場合について解析されているが、短い場合はらみ出しが大きく補強材の張力が小さいという結果は、むしろ逆のような気がする。はらみ出しが大きければ補強材の伸びが大きく、したがって、張力が大きくなるのではないか。

A: メカニズム的には補強材の張力は壁面にかかる土圧の大きさに依存していると考ええる。土圧が大きければ補強材張力も大きいと考えられる。この場合は主動側になるので、壁面のはらみ出しによって壁面に作用する土圧は小さくなり、したがって、補強材の張力も小さくなると解釈している。

## III-9

Q: 図-8から図-10において、 $r/D$  が小さくなる、すなわち立坑に近づくにつれて  $\sigma_t$  が増加し、 $\sigma_r$  が減少していくと考えられる。 $\sigma_t$  が増加しているのはアーチのようなものが作用していると考えてよいのか。 $\sigma_t$  が最大の所で最も強力なアーチが生じているとして、破壊の位置、すべり線の位置とこの  $\sigma_t$  がピークになる位置は一致していると考えてよいのか。

A: 御指摘のとおり円杭周辺部にアーチ効果が作用していると考えられます。また、今回の解析においては完全にはチェックしておりませんが、大まかには  $\sigma_t$  がピークの領域と破壊面とは一致し、Lade (レイデ) らの示した結論と同様な結果となっています。

## III-10

Q: これまで二次元で用いてきた時の応力解放率は二次元解析を行うための経験値であったと思われる。この解放率には当然三次元的なファクターも入っていたものと考えられるが、そう考えると三次元解析を行った時の応力解放率はどのように算定されたのか。

A: 図-3で示すように、切羽位置と内空変位の関係で切羽位置が対称断面に到達した時の内空変位の割合が、素掘り時の切羽が到達した時の掘削解放率の割合と同じだと考えて解析している。

## III-11

Q: 図-3で二次元解析と三次元解析の応力経路の違いを比較されているが、検証の意味で実測値との比較は行っているか。実際には地盤内の応力を測定することは難しいと思うが、できない場合どのような方法で精度の検証を行ったらよいのか。

A: 実測値との検証はやっていない。確かにトンネル計測のほとんどは変位で、地盤内の応力を実測した例は見えない。

(原稿受理: 1995.7.21)