

限界 LL=33%, 塑性限界 PL =25%, IP=8 である。図-4.4 に Bullionfield Soil の締め固め曲線を示したが、最適含水比 17.7% で最大乾燥密度  $1.67\text{g/cm}^3$  を得る。本実験ではこの最適含水比で試料を調整し、乾燥密度  $1.40\text{g/cm}^3$  (締め固め度 84%) となるよう締め固めて模型地盤を作成した。図-4.5 に水分特性曲線を示した。残念ながら、装置の限界から含水比 28% 以下のサクシオンは計測できておらず、本実験で使用した状態の試料の正確なサクシオンは不明である。また、強度特性や透水係数についても、別途詳細に検討する必要がある。

模型は幅 800mm, 奥行き 500mm, 高さ 500mm の剛性容器の背面を取り外し、一旦倒した状態で型枠を設置し、図-4.6 に示すように矩形ランマーで締め固めて作成した。締め固めは所定の乾燥密度  $1.40\text{g/cm}^3$  を得られるよう、締め固めエネルギー  $180\text{kJ/m}^3$  とした。図-4.7 に完成した模型地盤を示す。模型両脇には硬質発砲スチロールで作成したスペーサーを設置することにより降雨面積を減少させ、単位時間あたりの降雨量を増加させた。スペーサー背面下部には排水ドレーンを設置しており、雨水を適切に排水できるようにしている。図-4.1 から分かるように、右側のスペーサー上部にはピーカーを設置し、1本のノズルを挿入している。このピーカー底に設置した間隙水圧計を設置することで、ピーカー内の水位変化を計測し、総雨量を計測できるようにしている。模型地盤完成後、図-4.8 に示すように実験土槽上部に気候変動シミュレーターを設置し、遠心模型実験装置のプラットフォームに設置した。

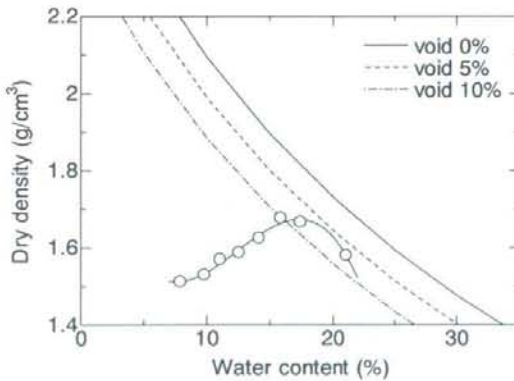


図-4.4 締め固め曲線

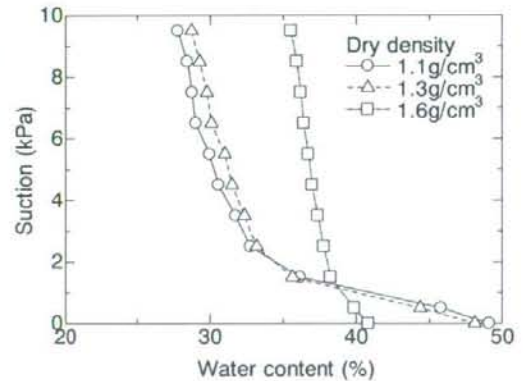


図-4.5 水分特性曲線



図-4.6 模型地盤の締め固め状況

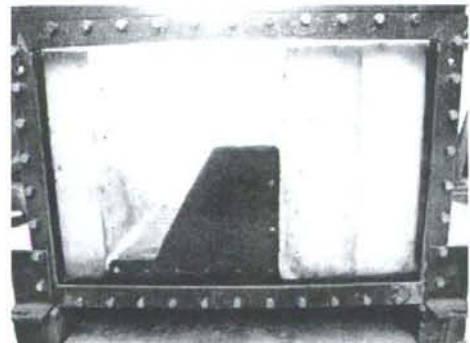


図-4.7 完成後の模型地盤

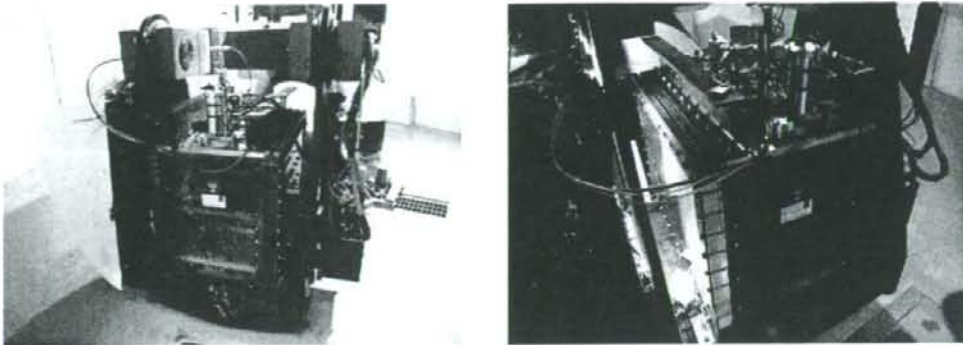


図-4.8 遠心装置への設置状況

#### 4.2.4 PIV を用いた画像解析

本実験では、実験中の模型の画像をデジタルカメラで撮影し、PIV(Particle Image Velocimetry)手法を用いて、模型の変形を求めた。PIV 解析にはオープンソースのソフトウェアである PyPIV を用いた。PyPIV は汎用数値解析ソフトウェア MATLAB ベースのオープンソース PIV プログラム“URAPIV”のクローンであり、オープンソースのプログラミング言語 Python とその無料プラットフォームを用いて構成されている。URAPIV は Iterative continuous window shift technique(Gui and Werely, 2002)を用いてピクセルロッキング現象を除去できるよう改良された PIV プログラムである。図に実験中に撮影した画像と、それを用いた PIV 解析中の様子を示した。模型以外の部分では大きなノイズが見られるが、模型部分の変形は精度良く計測できていることが分かる。

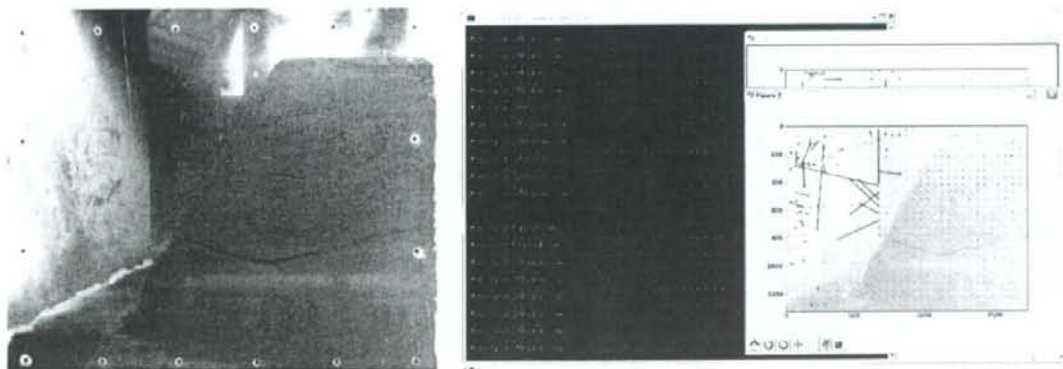


図-4.9 実験から得られたデジタル画像と PyPIV を用いた PIV 解析状況

### 4.3 実験結果および考察

本稿では、Case 1 の結果及び考察について述べる。また、以降の実験結果は全て実物換算値で示すこととする。図-4.10 に実験終了後の模型地盤の様子を示した。降雨により切土斜面表層部が大きく崩壊していることが分かる。ただし、前背面の亚克力板との摩擦はグリースを塗布することにより軽減させ

たが、図-4.10 から分かるように完全な平面ひずみ状態は模擬できていなかったため模型前面にそのような大崩壊は見られず、崩壊発生時を正確に推定することは出来なかった。図-4.11 に実験終了後（6回の降雨イベント終了後）に計測した切土模型内の含水比分布を示す。切土上部から下部にかけて徐々に含水比は増加しており、実験中に雨水の浸透が底部にまで達していたことが分かる。崩壊土砂の含水比も30%を超えておらず、地盤が液性限界に達する前に斜面崩壊が発生していたと考えられる。

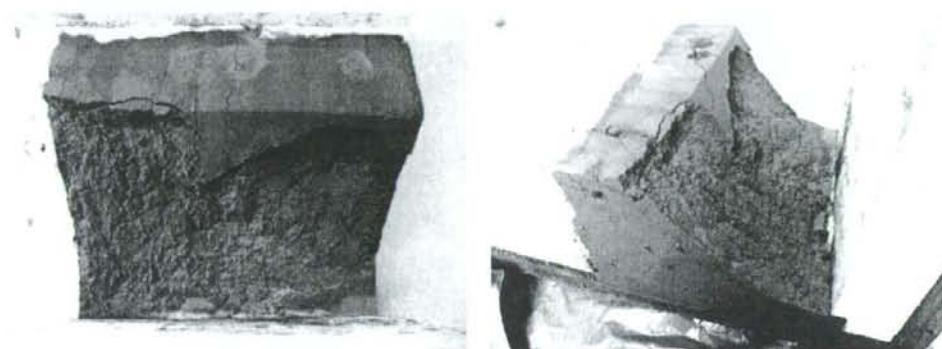


図-4.10 実験終了後の模型地盤

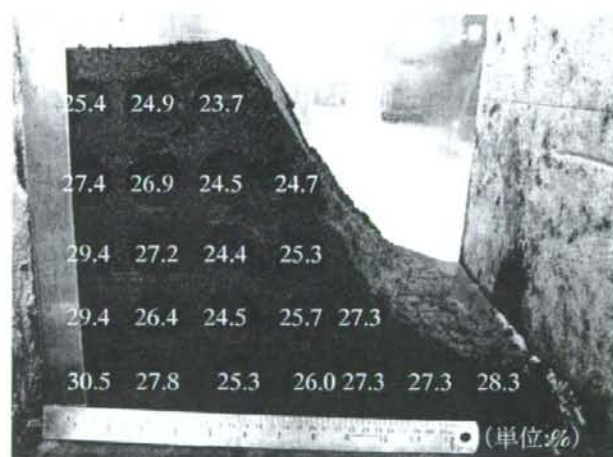


図-4.11 実験終了後の含水比分布

実験では6回の降雨をシミュレートしたが、ここでは最初の3回の降雨実験における切土斜面の挙動について述べる。図-4.12 にノズルに作用する水圧と総降雨量の時刻歴を示す。各降雨イベントの降雨速度は6.97mm/hr., 7.5mm/hr., 6.142mm/hr.と若干の誤差はあるものの、概ね7.0mm/hr.程度の降水速度を模擬している。これは気象庁の降雨レベルでは弱い雨の部類に該当しており、日常よくある降雨であると考えられる。また、総雨量はそれぞれ92.66mm, 150.5mm, 122.84mmである。上述の通り、模型の平面ひずみ条件を完全に満たすことが出来なかったため、デジタルカメラで撮影した画像から求めた変形は、模型内の変形とは異なることを注意する必要がある。ただし地盤の変形が比較的小さい、最初の3

回の降雨イベントでは、その影響もそれほど大きくないと考えられる。PIV 解析から求めた実験開始から降雨 2 回目直後まで変位ベクトル図、および実験開始から降雨 3 回目直前まで変位ベクトル図（変位は 5 倍表示）を図-4.13 に示す。天端付近はほぼ鉛直に沈下し、斜面表層が水平変位を伴いながら沈下していることが分かる。また 2 回目の降雨以降、3 回目の降雨直前までに大きな変形が生じている。図-4.14 に法肩から 75mm 地点の天端沈下および法尻から 100mm の高さでの水平変位の時刻歴を示す。この変位も全て PIV による画像解析から求めている。水平変位は 2 回目の降雨終了前の 90 時間経過した付近から比較的大きな変位を生じ始め、それに少し遅れて天端沈下が急激に増加している。したがって、降雨により切土斜面の表層部が斜め下方にまず変形し、それに伴い天端付近の沈下が卓越する変形モードであると考えられる。また、砂から切土斜面は降雨からある程度の時間をおいて変形が卓越する傾向にあり、降雨終了後も斜面の崩壊に留意する必要がある。

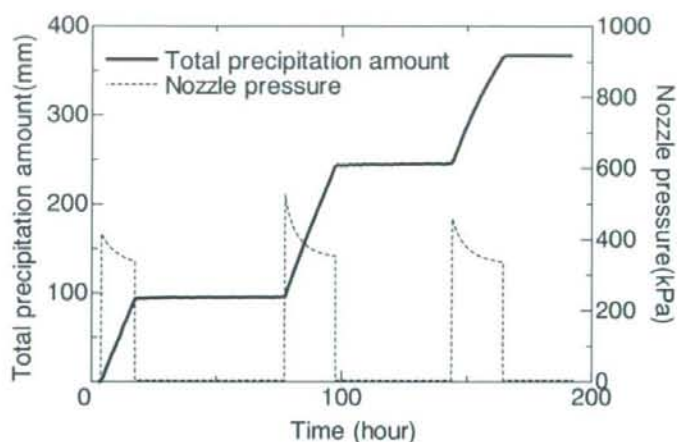
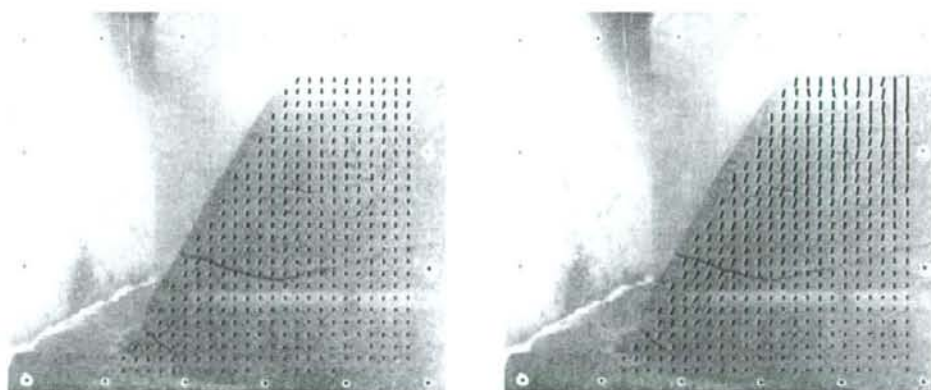


図-4.12 ノズル圧力と総雨量の時刻歴



(a) 2 回目降雨直後 (at 97hours)

(b) 3 回目降雨直前 (at 144hours)

図-4.13 遠心加速度 20G 到達時からの変位ベクトル図

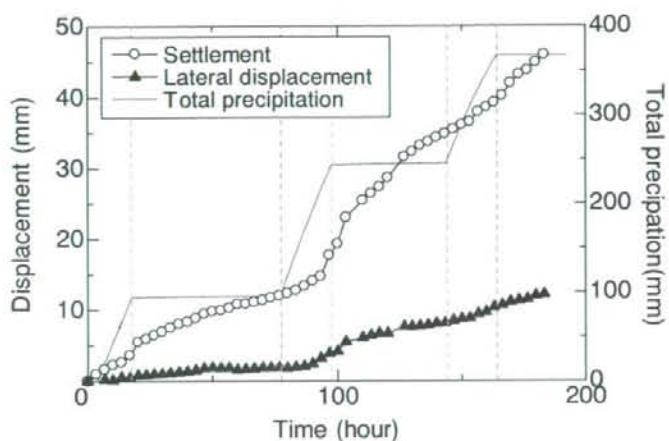


図-4.14 画像解析から求めた鉛直および水平変位時刻歴

#### 4.4 まとめ

本研究では労働安全衛生規則第 356 条・第 357 条に示された砂からなる切土の限界形状(斜面勾配  $60^\circ$ 、高さ 5m) と同一形状の遠心模型を作成し、降雨による変形挙動を観察した。実験では PIV による画像解析を行い、詳細な変形観察を行った。その結果、砂から切土斜面は降雨からある程度の時間において変形が卓越する傾向にあり、切土工事中は降雨終了後の斜面の変形に注意し、崩壊に留意する必要があることを示した。また、切土斜面の変形は斜面近傍の変形が先行し、それに伴って天端の沈下が急激に進行することを明らかにした。したがって、崩壊の予知には斜面の水平変位を計測する必要があると考えられる。

#### 4.5 謝辞

本稿は、労働安全衛生総合研究推進事業日本人研究者派遣事業からのサポートにより、英国スコットランド・ダンディ大学にて Dr. Fraser Bransby の指導の下行った研究成果の一部である。研究遂行にあたり Scottish Crop Research Institute の Dr. Glyn Bengough, Dr. Paul Hallett の各氏には、試料の採取および各種土質データの提供、および実験上の様々なアドバイスを頂いた。またダンディ大学博士課程の Mr. Peter Hudacsek, Mr. Waqas Ahmed, Ms. Xiaoling Zhang の各氏、およびダンディ大学の技官の方々には多大な協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

#### 4.6 参考文献

- 伊藤和也, 豊澤康男, 堀井宣幸, 切土掘削工事現場における斜面崩壊による労働災害の調査・分析, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告, No. 35, pp. 7-18, 2007.
- Gui, L. & Werely, S.T., A correlation-based continuous window-shift technique to reduce the peak-locking effect in digital PIV image evaluation. Experiments in Fluids 32, 506-51, 2002..

## 第5章 遠心場掘削シミュレーターの開発

### 5.1 はじめに

地盤は応力条件の変化の進行する形態によって変形・強度特性が異なることが知られている。このため、遠心模型実験を実際の地盤挙動に近づけるためには、遠心場においても出来るだけ忠実に実際の掘削過程を再現することが必要となる。遠心場にて掘削過程を再現する種々の方法が多く、研究者により工夫されている。本章では、遠心場での掘削過程の再現方法について、既往の研究事例を紹介する。その後、今回改良した遠心場掘削シミュレーターについて性能等を示す。

### 5.2 遠心場での掘削過程の再現

掘削によって地盤から土塊の一部が除去されると、できた空間に向かって周囲の地盤が変形する。これは力学的には安定問題として扱う。掘削問題は地盤の自重応力が強く関わるので実験的には遠心模型実験で扱うことが多い。その場合、掘削過程、あるいはその間の応力履歴をどう再現するかが要件となる<sup>1)</sup>。そのために、以下のような方法が採られる。

- ① 1g 場で掘削して作成した模型に、与える遠心加速度を増加して破壊させる。
- ② 模型実験の掘削範囲に地盤と同じ密度を持つ柔な錘を埋め、所定の加速度で引き上げる<sup>2)</sup>。あるいは重ねた板を錘として用い、一枚ずつ所定の時間間隔で引き上げる<sup>3)</sup>。
- ③ ②と同様であるが、錘の代わりに重液（塩化亜鉛水溶液やヨウ化ナトリウム水溶液）をゴム袋を介して満たしておき、それを外部に排出する<sup>4)</sup>。
- ④ 所定の遠心加速度場にて実際と同様に掘削を行う<sup>5)</sup>。

①は掘削過程を表すのではなく、安全率が1である実物の規模が、破壊時の加速度比（=重力加速度/遠心加速度）を縮尺とする模型で表わされるという意味を持つ。②、③も掘削範囲の土が初めから除かれているので、掘削過程を忠実に再現しているとはいえないが、周囲の地盤応力は近似していると言える。④は①～③のように間接的ではなく、直接的に掘削の再現をすることができるが、高重力下での掘削制御を行う点で、技術的レベルが高いものとなる。1990年代になると、遠心模型実験にて用いられる種々の載荷試験装置の開発が行われ、併せてそれらの制御技術も急速に発展したことにより、施工過程をある程度再現した実験が行われるようになった。遠心加速度場にて実際の掘削過程を再現させる④は、1992年に東京工業大学が遠心場掘削シミュレーター（写真-5.1、図-5.1）を開発し<sup>6)</sup>、様々な実験を精力的に実施して以降、シンガポール国立大学<sup>6)</sup>（シンガポール）、ルール・ボーフム大学<sup>7)</sup>（ドイツ）、労働省産業安全研究所<sup>8)</sup>（現、独立行政法人労働安全衛生総合研究所）など多くの研究機関にて開発され、実施されている。

最近では、専用システムではなく汎用性の高いロボットも開発されている。図-5.2は Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC, フランス土木研究所) が開発した 100g の遠心加速度場で動作するロボットである<sup>9)</sup>。ロボットアームは x,y,z の 3 方向に動くとともにアームの軸周りに回転する 4 軸を制御する

ことができるシステムである。ロボットにはツールマガジンがあり、コーン、ペーン、掘削用ブレード、フーチング載荷などのツールが最大3つまで搭載でき、これらのツールを高遠心加速度場にて交換して実験を行うことができる。図-5.3 も図-5.2 と同様の目的を持って香港科学技術大学にて開発されたロボット<sup>10)</sup>であり、LCPCと同様にx,y,zの3方向に動くとともにアームの軸周りに回転する。ツールボックスが4つあること以外はほとんど同じような性能を有している。

(独)労働安全衛生総合研究所では、平成18年から3次元遠心場掘削シミュレーターの開発を行っている。今回、遠心場にて掘削過程を再現できるように、比較的汎用性の高い制御システムへの改造を試みた。

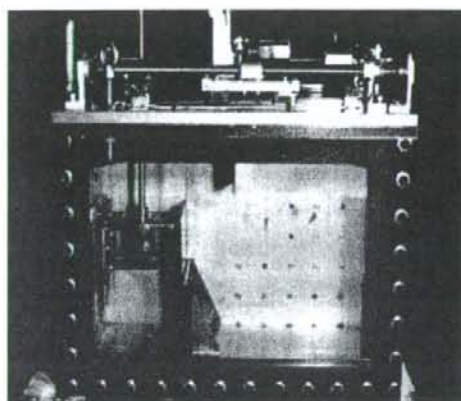


写真-5.1 遠心場掘削シミュレーター（東京工業大学）<sup>5)</sup>

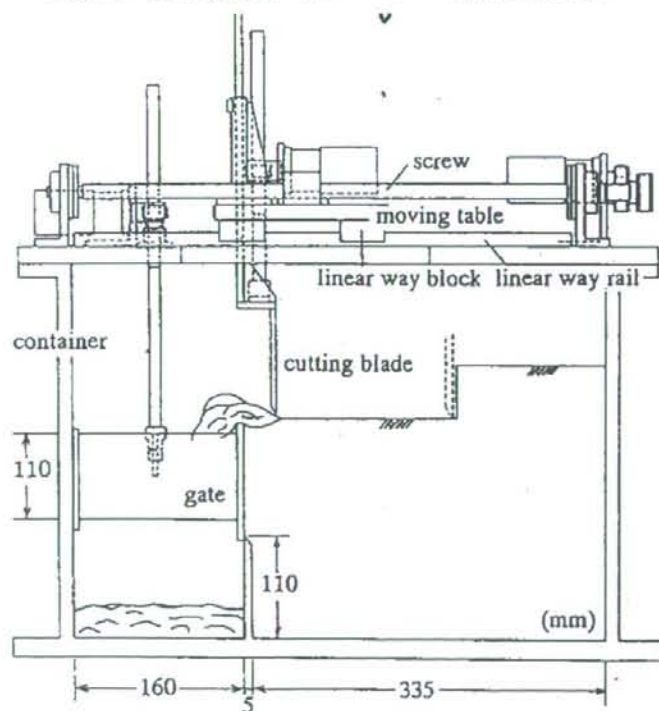


図-5.1 遠心場掘削シミュレーター（東京工業大学）<sup>5)</sup>

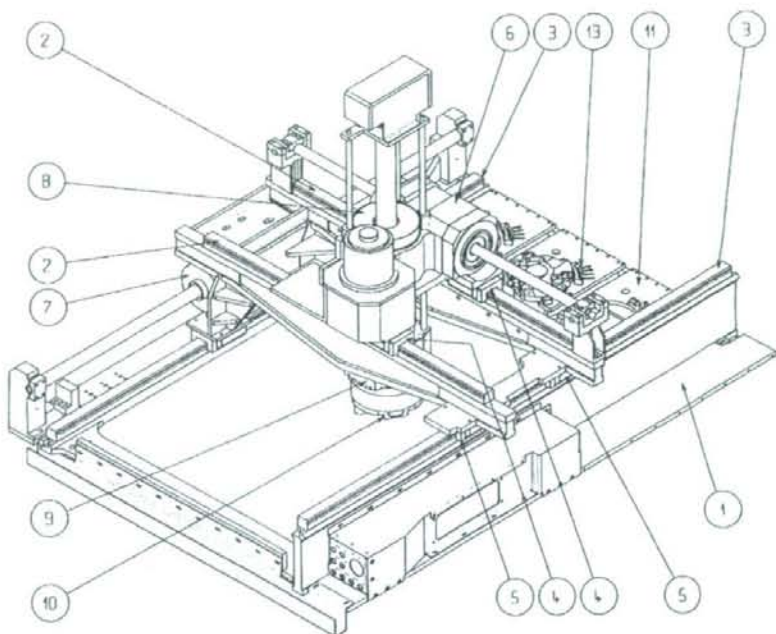


図-5.1 遠心実験用オンボードロボット (LCPC)<sup>9)</sup>

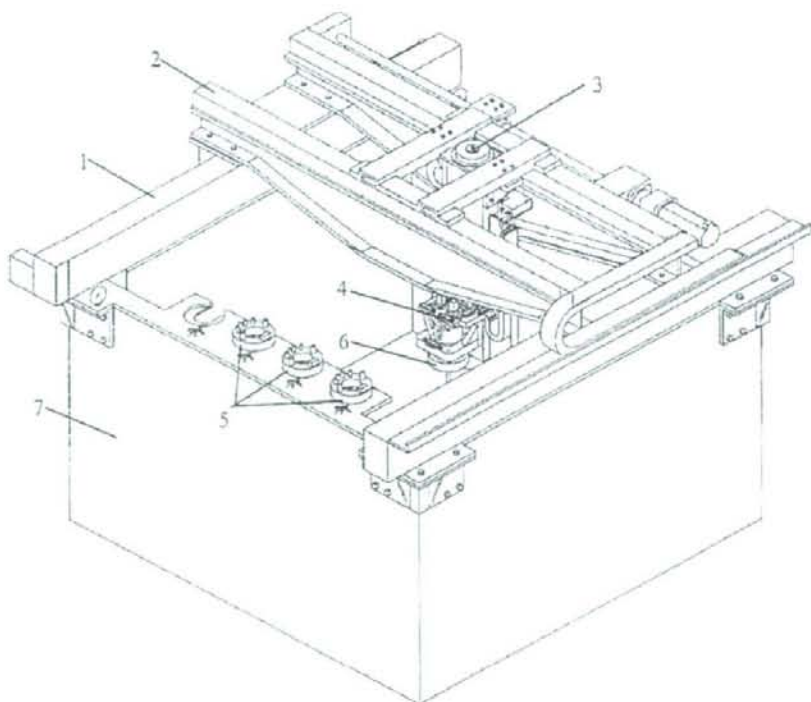


図-5.2 遠心場4軸ロボット (香港科学技術大学)<sup>10)</sup>



### 5.3 遠心場掘削シミュレーター（JNIOOSH In-flight Excavator 3D）の開発

今回改造した遠心場掘削シミュレーターを写真-5.2に、側面図・平面図を図-5.4に、スペックを表-5.1にそれぞれ示す。x,y,zの3方向に稼働する点は既往の研究の汎用ロボットと同様である。本装置の特徴は、z軸にある。本装置は、z軸を2軸設け、掘削専用軸と補強・調査専用軸とした。これにより、斜面を急勾配に掘削した後に何らかの補強対策を行うような実際の施工状況を再現することが可能となる。補強・調査専用軸は、チャック機能を設け、様々なツールを交換できるような仕様とした。しかしz軸を2軸にしたことによりx・y軸へは応分の負荷が掛かることが想定された。そこで、遠心加速度場にてy軸がどの程度変形するかを確認する検証実験を実施した。その後、実際の掘削および対策工施工過程を再現できるように、遠心場掘削シミュレーターの制御システムの改造を実施した。

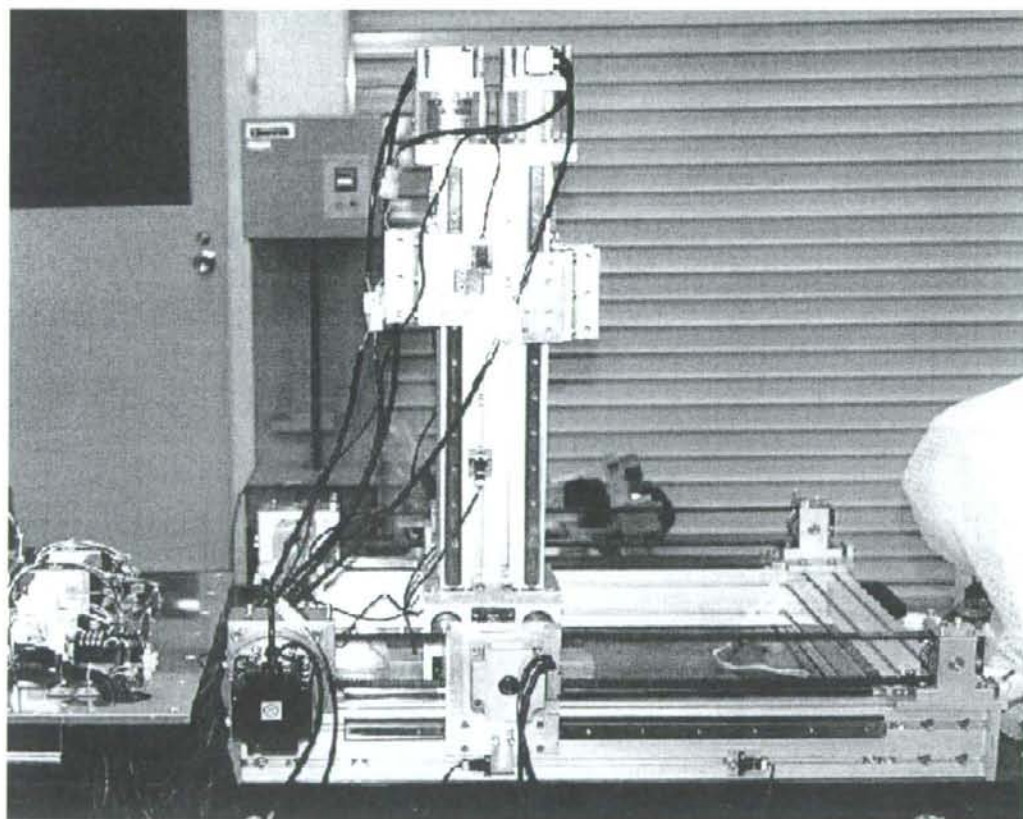
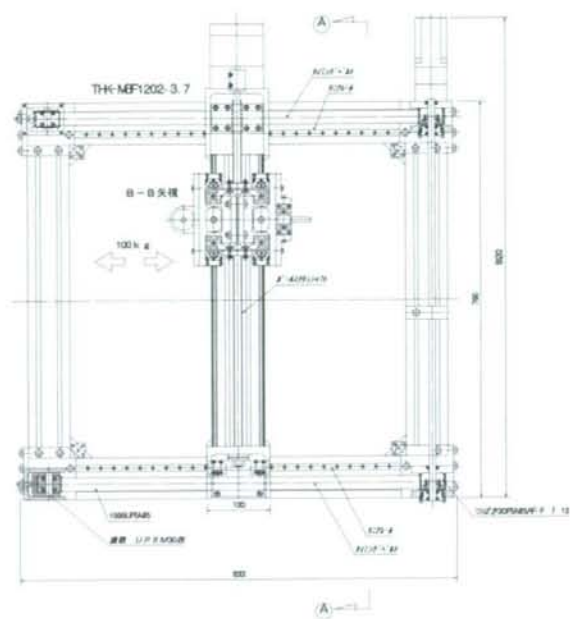
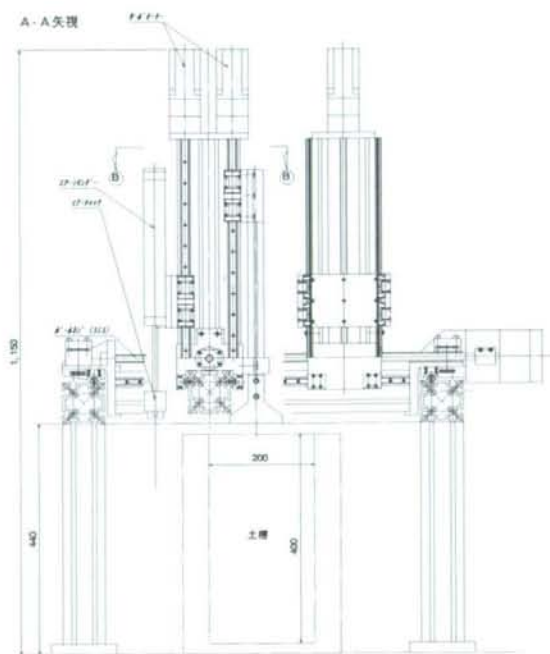


写真-5.2 遠心場掘削シミュレーター



(1) 平面図



(2) 側面図

図-5.4 遠心場掘削シミュレーター (独)労働安全衛生総合研究所

表-5.1 遠心場掘削シミュレーターのスペック一覧

軸	X	Y	Z
稼働範囲(mm)	450	400	300
スピード(mm/秒)	0~75	0~10	0~5

### 5.3.1 遠心加速度場での検証実験

遠心場掘削シミュレーターは、z軸を2軸にしたことによりy軸に応分の負荷が掛かることが想定された。すなわち、遠心加速度場においてy軸が撓むことによってモーターに負荷が掛かりアンペア不足、最悪の場合には遠心模型実験装置内の電源のショートなどの危険性が懸念された。そこで、遠心加速度場にてy軸がどの程度変形するのかを確認する検証実験を実施した。

写真-5.3 にプラットホームに設置した状況を示す。z軸は、y軸の中心付近に移動させ、その際の変位量を接触型変位計にて計測した(写真-5.4)。実験は段階的に遠心加速度60gまで上昇させ、60g場にて約20分間放置し、その際の挙動を確認した。

遠心加速度および変位計の経時変化を図-5.5に示す。変位量は60g場にて1mmと許容範囲内であった。また、60G一定加速度下においても0.1mmほどの変位を生じているが、収束傾向となっており問題がないことが確認された。

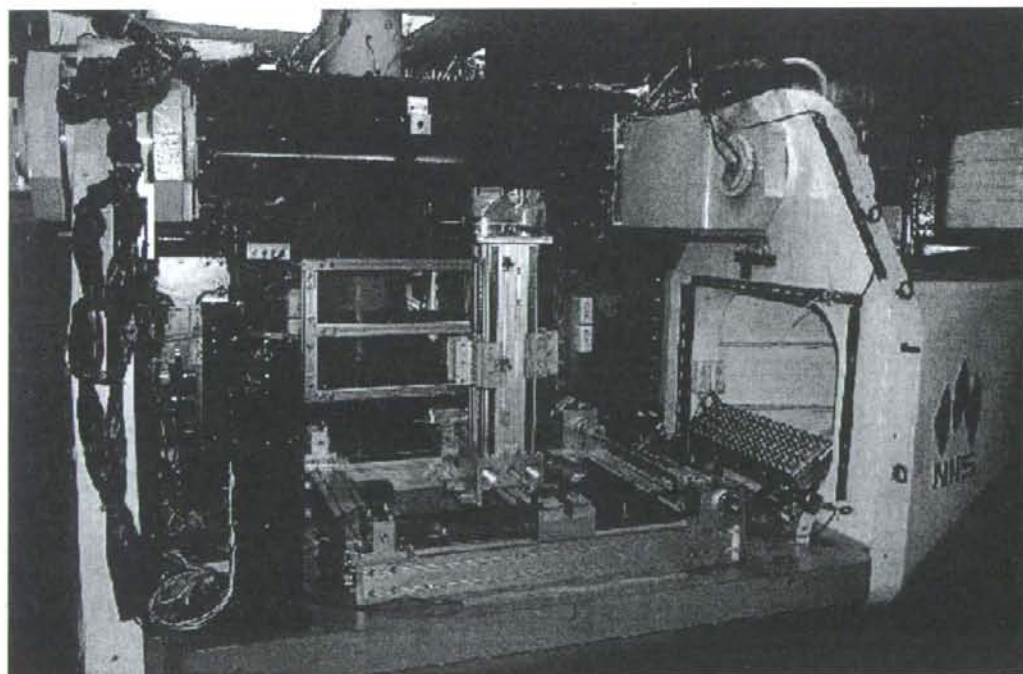


写真-5.3 検証実験時の状況

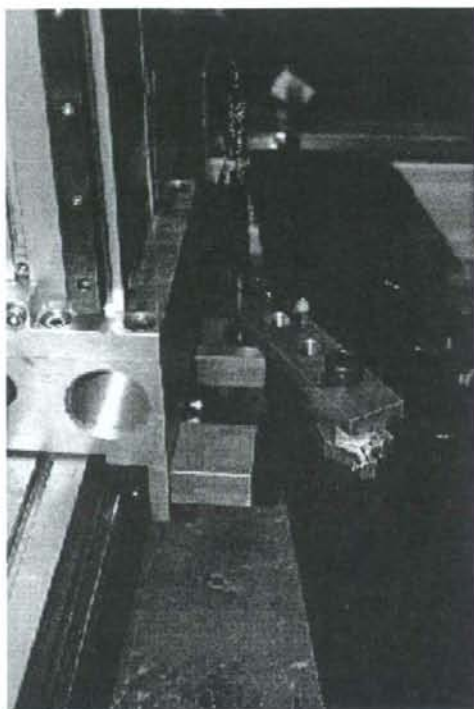


写真-5.4 z軸に設置された接触型変位計

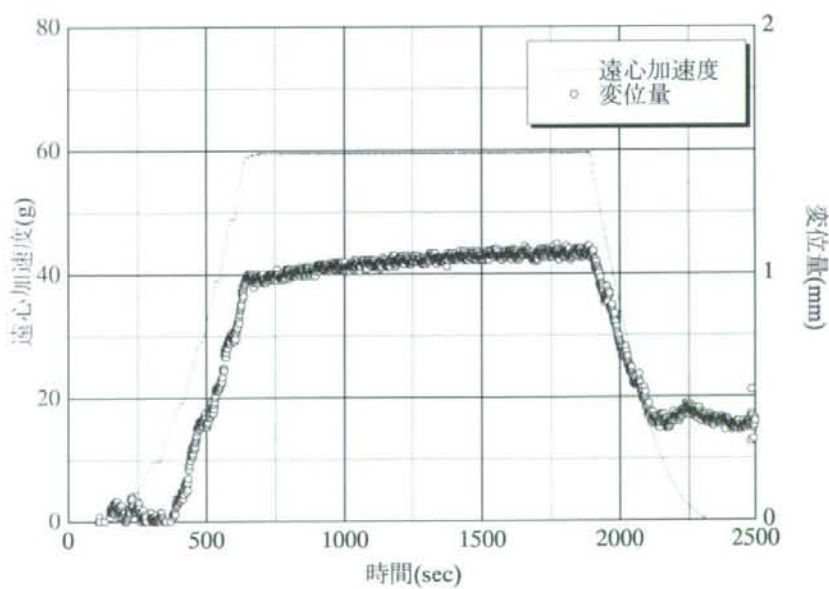


図-5.5 遠心加速度と変位量の経時変化

### 5.3.2 制御システムの流れ

システム構成図を図-5.6 に示す。操作室にある操作パネルからスリップリングを介して RS485 通信にてコントローラーボックス（遠心模型実験装置中央部ラックに収納）を経由してプラットフォームに設置されている遠心場掘削シミュレーターを制御する。新たに製作した操作パネルの外観を写真-5.5、配置図を図-5.7 に示す。それぞれの機能は以下のようなものである。

- ・ ジョイスティック（左）  
ステージ X-Y 操作を行う
- ・ ジョイスティック（右）  
掘込み・打込，操作を行う
- ・ ファンクションスイッチ  
動作モードに合わせた機能動作します。  
例：F1:原点復帰，F2:チャック解除，F3:角度付掘込
- ・ 表示灯  
動作表示，有効スティック指示，その他
- ・ タッチパネルディスプレイ  
モード選択，設定数値入力，現在動作表示

これらの操作は 1g 場において，確認作業は全て終了している。本報告書執筆前に遠心場にて検証を行う予定であったが，遠心模型実験装置の映像システム設置工事等により，現在まで実施できていない。従って，これらの成果は次年度に報告することとする。

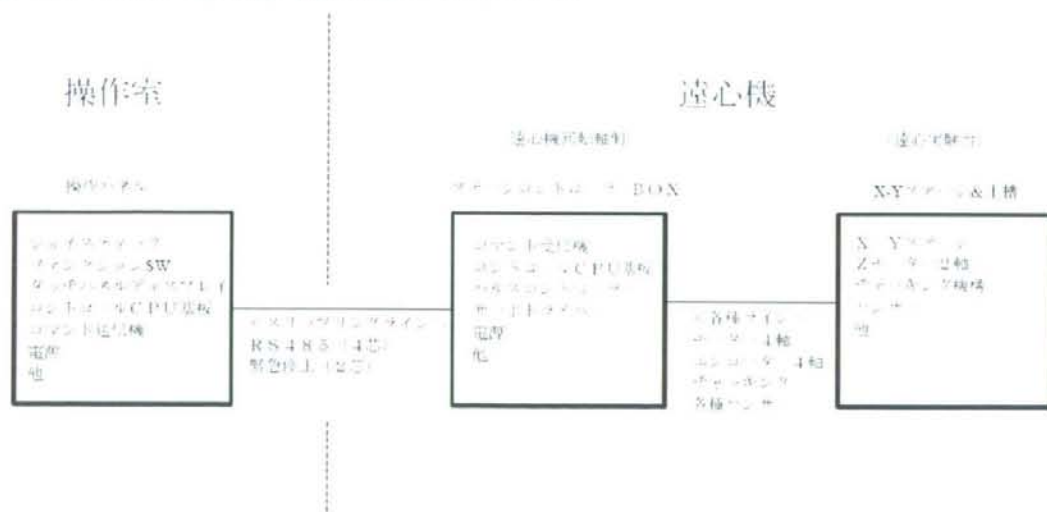


図-5.6 システム構成図

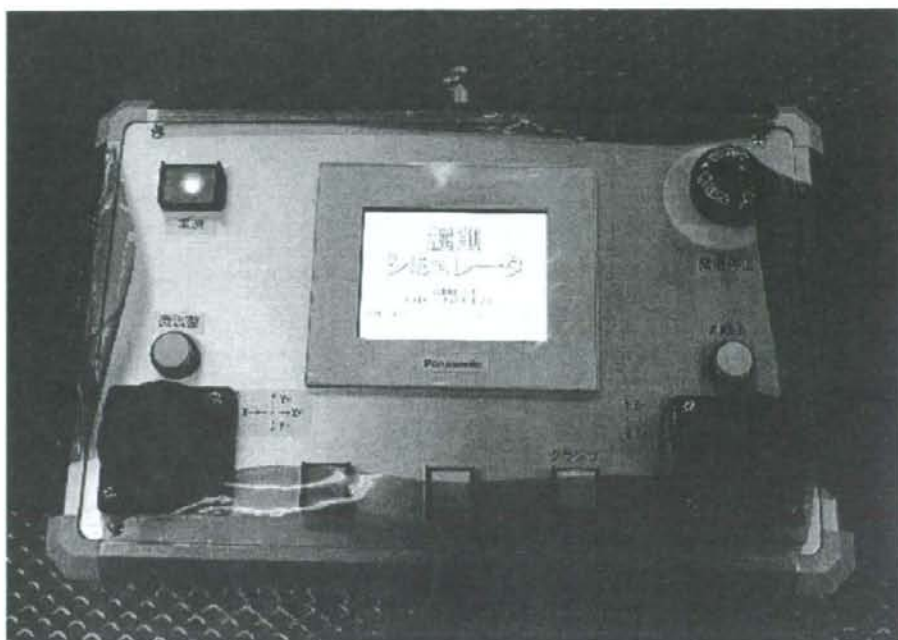


写真-5.5 操作パネル外観

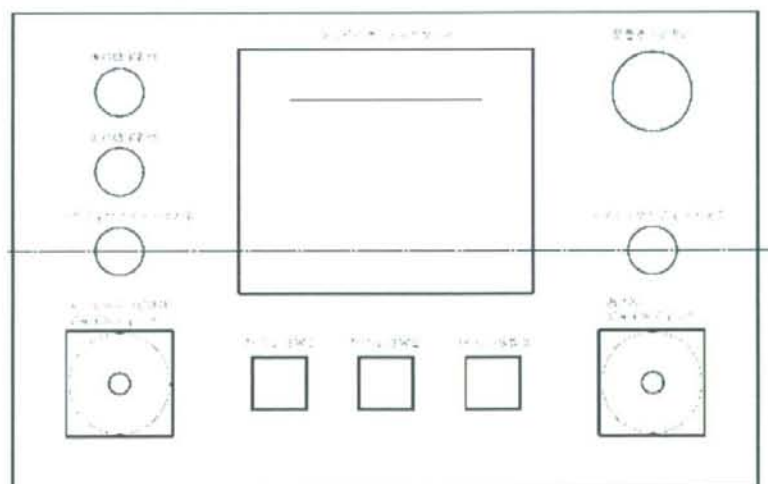


図-5.7 操作パネル配置図

#### 5.4 参考文献

1. 地盤工学における模型実験入門編集委員会：掘削過程の再現，入門シリーズ19「地盤工学における模型実験入門」，pp.120-122，1994.
2. Azevedo, R.F. and H. -Y. Ko : Proc. of Centrifuge 88, pp. 119-124, 1988.
3. Craig, W. H. and Yildirim, S.: Modelling excavations and excavation process, Proc. 6<sup>th</sup> European Conf. on SMFE, Vol. 1, pp. 33- 36,1976
4. Lade, P. V., Jessberger, H. C., Makowski, E. and Jordan, P. : Modelling of deep shafts in centrifuge tests, Proc. 10<sup>th</sup> ICSMFE, Vol. 1, pp. 683-691, 1981.
5. Kimura, T., Takemura, J., Hiro-Oka, A., Okamura, M. and Park., J. : Excavation in soft clay using in-flight excavator, Proc. of Centrifuge 94, pp. 649-654, 1994.
6. Loh, C. K., Tan, T. S. and Lee, F. H. : Three-dimensional excavation tests, Proc. of Centrifuge 98, pp. 649-654, 1998.
7. Laue, J. : Centrifuge technology. Constitutive geotechnical centrifuge technology: Two extremes, Ascona Workshop, 28 p, 2001.
8. Toyosawa, Y. Horii, N., Tamate, S., Suemasa, N., and Katada, T.: Failure mechanism of anchored retaining wall, Proc. of Centrifuge 98, pp. 667-672, 1998.
9. Derkx, F., Merliot, E., Garnier, J., and Cottineau, L. M.: On-board remote-controlled centrifuge robot, Proc. of Centrifuge 98, pp. 97-102, 1998.
10. Ng, C. W. W., Van Laak, P. A., Zhang, L. M., Tang, W. H., Zong, G. H., Wang, Z. L., Xu, G. M., and Liu, S. H.: Development of a four-axis robotic manipulator for centrifuge modeling at HKUST, Proc. of ICPMG '02, pp. 71-76, 2002.

## 第6章 まとめ

### 6.1 はじめに

本研究は、工事中の土砂崩壊災害を防止するため、中小規模の掘削工事に特化した対策工の基本概念および最適設計手法を提案し、安全に掘削工事を行える工法の開発または高度化を図ることを目的として平成20年度より3カ年計画で開始した。本研究では、以下の3項目について研究を行う。

- ① 災害事例および土砂崩壊防止対策に関する設計手法の調査
- ② 土砂崩壊防止のための対策工の各種要因の影響評価
- ③ 土砂崩壊防止のための対策工に関する最適設計手法の提案

研究初年度である平成20年度は主に①、②について実施した。本章では、本報告書のまとめとして、各章で得られた知見を要約する。

### 6.2 第2章の要約

「斜面崩壊による労働災害事例のデータベース化」では、災害事例収集の努力を行い、系統的な災害事例情報のデータベース化と災害事例の類型化を試みた結果を記述した。主な結果を下記に示す。

- 1) 斜面掘削工事の安全化を図るには、①施工途上の斜面安定性の検討、②安全な施工方法の開発・普及、③計測施工方法の開発・普及および④切り取り斜面下で行う各種作業の必要性の見直しなどによる計画・設計から施工に至るまでの適切な安全対策が必要である
- 2) 斜面掘削工事中の土砂崩壊による死亡災害事例について、地盤工学に携わる技術者から見た崩壊形態・崩壊原因の傾向について分析を行った。その結果、
  - ① 崩壊形態として規模別には表層崩壊や落石のような小規模崩壊、地質別としては基盤層に堆積した崩壊土・風化表層土によって多くが被災していることが分かった。
  - ② 崩壊原因として降雨・雪、地下水・湧水など水が崩壊に影響を及ぼしている傾向が見られた。
  - ③ 施工箇所に崩壊履歴があったり小石がバラバラ落ちるなど、崩壊前に何らかの前兆現象がある場合が半分以上あった。すなわち、半数以上の災害については、専門的な知識をもった技術者の的確な対応により災害を未然に防げた可能性がある。

### 6.3 第3章の要約

「斜面の安定性に関する斜面高さと勾配の安定性評価」では、切土掘削工事における国内の各機関で用いられている掘削勾配に関する規制・設計基準類を整理するとともに、仮設時に最低限遵守すべき基準である労働安全衛生規則について、その制定の背景および土質力学視点から理論的背景を検討した。主な結果を下記に示す。



- 1) 仮設について検討されているものの全てにおいて「労働安全衛生規則第 356 条の規定を満足しなければならない」との記載がなされている。すなわち、施工中の法面勾配については、事実上、労働安全衛生規則が最低限遵守すべき基準となっている。
- 2) 安衛則第 356 条および第 357 条の切取勾配と高さの基準は、過去の災害事例における斜面勾配と高さから決定したと言われている。しかし、それ以外にも直線すべり法による数値解析なども行って理論的な検討もされていた。
- 3) Chen らによる対数螺旋による安定係数の結果と直線すべり法と剛塑性有限要素法の結果を比較したところ、剛塑性有限要素法から得られた安定係数は Chen の安定係数と一致する傾向を示した。一方、直線すべり法による結果は 90 度に近づくにつれて一致するが、勾配が緩やかな場合には大きく異なる結果となった。これは、決定するすべり線の違いが安定係数に影響を与えているといえ、言い換えれば、急勾配掘削において簡易的に安定係数を求める場合には、直線すべり法でも大きな差とはならない。

#### 6.4 第 4 章の要約

「砂からなる切土斜面の安定性に及ぼす降雨の影響」では、死亡事故現場が多い斜面高さと勾配を対象に遠心場における降雨実験を行い切土斜面変形と崩壊に関する時系列把握を行った中間的な分析結果を示した。主な結果を下記に示す。

- 1) 砂から切土斜面は降雨からある程度の時間において変形が卓越する傾向にあり、切土工事中は降雨終了後の斜面の変形に注意し、崩壊に留意する必要がある。
- 2) 切土斜面の変形は斜面近傍の変形が先行し、それに伴って天端の沈下が急激に進行することが明らかとなった。したがって、崩壊の予知には斜面の水平変位を計測する必要があると考えられる。

#### 6.5 第 5 章の要約

「遠心場掘削シミュレータの開発」では、遠心場実験を用いた溝掘削、切土掘削のシミュレーションのために掘削施工過程の忠実な再現が望まれるが、今回 3 次元掘削シミュレータの開発を行い、設計コンセプトを紹介するとともに試作品の操作性能試験結果を取りまとめた。

#### 6.6 健康危険情報

健康に危険を及ぼすような情報は無し。

#### 6.7 研究成果による特許権等の知的財産権の出願・登録状況

特に無し。

## 研究成果の刊行に関する一覧

平成 20 年度に発表した研究成果を以下に示す。

発表者 氏名	論文 タイトル	発表誌	巻号	ページ	年
伊藤和也 豊澤康男	斜面崩壊による労働災害の調査分析と対策	(社) 日本建設機械化協会 「建設の施工企画」	No. 701	77-82	2008
伊藤和也 豊澤康男 井澤 淳 高橋章浩 竹村次朗 日下部治	斜面掘削工事中の土砂崩壊による労働災害の崩壊形態・崩壊原因の傾向について	(社) 地盤工学会 地盤工学研究発表会	第 44 回	DVD-ROM	2009
豊澤康男 伊藤和也 日下部治 竹村次朗 高橋章浩 井澤 淳	斜面掘削工事中の土砂崩壊による労働災害の特徴とその対策について	(社) 地盤工学会 地盤工学研究発表会	第 44 回	DVD-ROM	2009

## 研究成果の刊行物・別刷り

## 斜面崩壊による労働災害の調査分析と対策

伊藤和也・豊澤康男

土砂崩壊による労働災害は毎年繰り返し発生し、それらの中には一時に3人以上の死傷者を出す重大災害が多く含まれる。建設工事中の斜面崩壊は、崩壊が小規模であり、崩壊発生の前兆現象が明確に現れず、一瞬のうちに土塊が滑動することが多い。そのため、作業員が避難する十分な時間的余裕がなく被災に至る場合が多い。本報告では、切土掘削工事における斜面崩壊による労働災害について、最近14年間の労働災害事例の調査・分析結果から、労働災害の傾向を示した。これらの調査・分析結果を踏まえて実施した実物大斜面崩壊実験および遠心模型実験の結果について紹介する。

キーワード：労働災害、斜面崩壊、実物大実験、遠心模型実験

### 1. はじめに

土砂崩壊による労働災害は毎年繰り返し発生し、それらの中には一時に3人以上の死傷者を出す重大災害が多く含まれる。土砂崩壊による労働災害は、①溝掘削工事、②切土掘削工事、③トンネル工事、④土石流などで発生し、死亡災害の大半は①溝掘削工事と②切土掘削工事が占めている。図-1は建設業全体および土砂崩壊に関係した労働災害による死亡者の年度別推移を示したものである。建設業全体としては、1980年代まで1000人前後で横ばいだったものが1996年から減少傾向となり、2005年には初めて500人以下となった。土砂崩壊を詳細に見ると、溝掘削工事の中土砂崩壊による死亡者数は、1980年代までは50人前後だったものが近年では半数程度に激減している。これは、厚生労働省や国土交通省が推進している「土

止め先行工法」など安全対策の普及が要因として考えられている。一方、切土掘削工事中の斜面崩壊による死亡者数は、20人前後で相変わらず横ばいとなっている。そこで本報では、切土掘削工事における斜面崩壊による労働災害について取り上げる。

はじめに最近14年間の労働災害事例の調査・分析結果から、労働災害の傾向を明らかにする。これらの調査・分析結果を踏まえて実施した実物大斜面崩壊実験および遠心模型実験の結果について紹介する。

### 2. 斜面崩壊による労働災害事例の調査・分析結果から分かる施工上の諸問題

本報告では、1989年～2002年までの14年間に発生した死亡災害および重大災害の計180件の災害から、詳細について把握することができた131件について調査・分析を行った。そのうち工事種別としては、擁壁工に関係した労働災害が95件と全体の7割を占めていた。ここでは擁壁工の施工上の問題点を主に挙げることにした。図-2は擁壁工に関係する工事において被災した作業員が災害発生時に従事していた作業を分類したものである。各種作業について、災害件数および死亡者・被災者数から以下のことが言える。

#### (1) 地山・法面掘削、床掘り

擁壁工に関係する工事では、地山・法面掘削(14件)や床掘り(9件)のように擁壁を施工するために行う掘削作業中に多くの災害が発生している。擁壁工

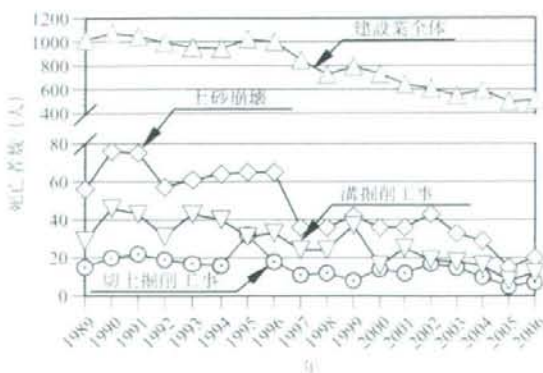


図-1 労働災害の年度別推移