大型振動台模型実験による谷埋め盛土斜面の変形挙動の検討

Deformation behavior of model valley fills during shaking experiment

郷 隆之^{a)}*・笠原亮一^{b)}・釜井俊孝^{c)}

Takayuki GO, Ryouichi KASAHARA and Toshitaka KAMAI

Abstract

The 1995 Kobe earthquake triggered numerous landslides in hillside urban districts between the cities of Nishinomiya and Kobe. Landslides occurred mainly in artificial valley fills, hereafter referred to as fills. According to previous statistical analysis of topographic characteristic of fills, earthquake-induced deformation of the fills is strongly dependent on the width-depth ratio. However, the mechanism of deformation growth during an earthquake is not yet clear. Here, 1-G shaking-table tests were conducted on a model embankment constructed of dry sand as part of a comprehensive research program on the effect of 3-dimensional fill shape factors on earthquake-induced failure. Shaking table tests should that wide-shallow model fills (i.e., high width-depth ratio) with very low side friction were least stable. The present research, although limited to the imposed boundary conditions, agree with previous statistical analyses and field investigations in damaged valley fills.

Key words : valley fills, width-depth ratio, side friction, shaking table test

和文要旨

兵庫県南部地震では、都市域において多数の宅地谷埋め盛土が変形した。地震時谷埋め盛土斜面の崩壊は、谷底の横断面形状が大きな不安定化要因であることが確認されている。しかしその崩壊発生機構は未だ明確にされていない。そこで本研究では、盛土底面の横断面形状に着目し、模型谷埋め盛土地盤の正弦波加振実験を行い、変形に及ぼす影響について検討した。その結果、盛土の表面変位分布は、横断面形状によって著しく異なり、変位量は盛土の平均層厚（表面積に対する体積の割合）が薄いほど大きくなった。これらは、全体としては土層の自重によるせん断抵抗の増加（単純な摩擦則）を反映し、盛土が底面をすべり面として地すべりに類似した変形をする状況を示している。また、横断面形状比（幅／厚さ比）と横断面形状が模型盛土地盤の変形に与える影響を示し、振動台実験と現実の変形状況とが定性的に合致する結果が得られた。

キーワード：谷埋め盛土、横断面形状比、側部摩擦、振動台実験

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震では、西宮・神戸市間の都市域において震災に関連し確認された200ヶ所以上の斜面変形のうち、人工谷埋め盛土によるものは、過半数を占めた（釜井ほか、1996）。図-1に阪神間都市域の代表的な斜面災害分布図を示す。大規模な谷埋め盛土は、大都市が平野から丘陵地へ拡大する過程で生み出された人工地盤であり、今後都市直下型地震が発生した場合、このような宅地谷埋め盛土斜面が変形する危険が高い都市は数多く潜在すると思われる。

地震時における谷埋め盛土斜面の変形に関する支配的要因としては、盛土底面の横断面形状比（幅／厚さ比）に代表される旧谷底形状（盛土以前に存在した谷の形状）が挙げられる。谷埋め盛土底面の形状の代表値として、盛土中央部の幅／厚さ比をとり（変動盛土155ヶ所、非変動盛土114ヶ所、総数269ヶ所）、変動率との関係を調べたところ、兵庫県南部地震の事例では、図-2に示したように、横断面形状比（幅／厚さ比）の増加に対応し

て変動した割合も増加した（笠原、2003）。さらに、こうした被災事例に基づく多変量解析では、谷埋め盛土の変動・非変動を区分する要因のうち、影響の大きさ（レンジ）では盛土底面の横断面形状比（幅／厚さ比）が最も大きく、寄与率では全体の57%を占めている（Kamai *et al.*, 2000）。

本研究では、谷底横断面形状が谷埋め盛土斜面の変形に与える影響を調べるため、実験的に谷埋め盛土の不安定化を再現し新たな知見を得ることを主目的とした。そこで、乾燥砂大規模模型盛土地盤を作成し、大型振動台による正弦波加振実験を行った。

2. 谷埋め盛土斜面の変形

地震時における斜面災害の中で、谷埋め盛土に代表される宅地造成盛土斜面の変形事例は、1978年の宮城県沖地震で発生した仙台市近郊住宅地の地すべりににおいて注目されはじめた（阿部ほか、1982）。また1968年十勝沖地震、1987年千葉県東方沖地震、1993年釧路沖地震、1994年北海道東方沖地震、1995年兵庫県南部地震でも同様に被害が報告されている（井口、1995）。

こうした地震時宅地谷埋め盛土斜面の変形による被災事例に関する研究は、地質調査や現地踏査に基づき行われてきた（秋田、1982、釜井、1996）。その結果判明した多くの具体的事例では、比較的幅が広く浅い盛土が不

* 連絡著者／corresponding author

a) 京都大学大学院理学研究科
Graduate School of Science, Kyoto University
〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 地盤災害研究部門
Division of Geo-Disaster, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University,
Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011, Japan
b) 日本工営株式会社
Nippon Koei Co., Ltd.
c) 京都大学防災研究所
DPRI, Kyoto University

図-1 兵庫県南部地震における代表的な阪神間都市域の斜面災害分布図 (釜井, 1996)
Fig. 1 Distribution of major landslides caused by Kobe earthquake (Kamai, 1996)

図-2 変動発生率と横断面形状比の関係
Fig. 2 Number of the valley fills and percentage displaced ones against width-depth ratio

安定化しやすいことが示された (Kamai *et al.*, 2000)。例えば図-3 に示す芦屋市と神戸市の境界付近に位置する盛土でその傾向が典型的に現れている。すなわち、横断面形状比が大きい (幅が広く浅い谷) 森北町や三条町の谷埋め盛土は顕著な変形が認められたが、隣接する横断面形状比が小さい (幅が狭く深い谷) 甲南台は比較的安定を保った。

このような被災事例の傾向は前述のように、変形において盛土底面の横断面形状が大きく影響し、3次元的な検討が必要であることを示している。室内動的実験によって盛土斜面の変形機構を検討した事例としては、例えば、林ほか(1997)、小島ほか(2000)、松尾ほか(2001)、Matsuo *et al.* (2002) などを挙げることができる。いずれも盛土の締固め度や初期せん断応力 (斜面ののり面勾配) などが不安定化に大きく影響を及ぼしていることを示している。しかし、2次元的な実験であり、横断面形

図-3 芦屋市と神戸市の境界付近における谷埋め盛土の分布及び被害分布図
Fig. 3 Valley fills and damaged districts on hillsides of the Rokkou Mountains

状を考慮し、3次元的現象を把握することを試みた研究事例は極めて少ない。したがって、谷埋め盛土の不安定化機構を具体的に明らかにするためには、動的3次元模型実験による検討が必要とされていた。

3. 実験装置・模型地盤の概要及び実験方法

3.1 実験装置の仕様

振動台は京都大学防災研究所所有の水理構造物3次元強振動実験装置 (米国MTS社製) を使用した。図-4

3軸6自由度の変位, 速度, 加速度
の3要素演算制御加振が可能

直径3.5mのテーブルと模型地盤

垂直方向加振機とパーキングシリンダ

水平方向加振機

図-4 水理構造物3次元強振動実験装置
Fig. 4 Underwater shaking-table apparatus

に実験装置, 表-1に振動台の性能を示す。本振動台は実大規模の模型を搭載して, 兵庫県南部地震で観測されたような強震動や模擬地震動を水平・垂直3軸6自由度で精度よく再現することができる。テーブル寸法は直径3.5mであり, 積載荷重は最大で10kNまで可能である。加振力は油圧式アクチュエータによって, 最大加速度各軸1G (10kN載荷時) が得られる。加振ストロークは, 各軸 $\pm 200\text{mm}$, 最大速度はX, Y, Z軸それぞれ $\pm 60\text{cm/sec}$, $Y \pm 60\text{cm/sec}$, $Z \pm 37\text{cm/sec}$ となっている。加振波形は正弦波, 三角波, 矩形波, 任意波の入力が可能である。また, 入力波の補償にリアルタイム動特性補償技術を採用することにより, デジタルに変換された変位・速度・加速度の3成分フィードバック信号を用いてリアルタイムに演算補償し, 多様な実験条件に対応できる。

3.2 重力場での相似則

実地盤の挙動は, その材料及び自重の影響を大きく受ける。よって, 模型実験を行う際は, 実物に対する模型地盤の応力, ひずみ, 変位ならびに時間の力学変量に関する相似則を満たす必要がある。しかし, 重力場での振動台実験の場合, 実物と同等の応力状態を再現できる遠心力場での実験と異なり, 出来るだけ大規模な模型を用いるなど, これらの相似則を近似的に満たす必要がある。表-2に重力場と遠心力場での相似則 (Iai, 1988) を示す。そこで, 本実験においては次の3点を工夫した。1. 可能な限り大規模な模型地盤を作成する。2. 盛土地盤試料の粒径を細かくする。3. 実地盤と模型地盤の卓越振動モードを一致させる。

表-1 水理構造物3次元強振動実験装置の性能
Table 1 Specification of the DPRI shaking table

項目	諸元
テーブル	円形・直径3.5m
加振方向	3軸6自由度制御
加振機台数	水平2軸各2台
	垂直1軸4台
最大積載重量	10kN
駆動方式	電気油圧サーボ方式
最大変位	水平・垂直各軸 $\pm 200\text{mm}$
最大速度	水平・垂直各軸 $\pm 60\text{cm/s}$
	垂直 $\pm 37\text{cm/s}$
最大加速度	水平・垂直各軸 $\pm 1\text{G}$ (10kN載荷時)
加振周波数範囲	DC~100Hz
加振入力波形	正弦波, 三角波, 矩形波, 任意波

表-2 重力場と遠心力場での相似則 (Iai, 1988)
Table 2 Similarity rule of gravitational and centrifugal fields (Iai, 1988)

単位	重力場	遠心力場
長さ	l / n	l / n
単位体積重量	1	$1 / n$
時間	$1 / n^{0.75}$	$1 / n$
応力	$1 / n$	1
間隙水圧	$1 / n$	1
変位	$1 / n^{1.5}$	$1 / n$
加速度	1	n
透水係数	$1 / n^{0.75}$	1

3.3 模型地盤の概要

図-5に谷埋め盛土模型地盤の断面, 平面及び各種計測器配置状況を示す。模型地盤は, 直径3.5mの振動台

図-5 谷埋め盛土模型地盤概要
Fig. 5 Cross section of the model valley fills

テーブル全体を利用して、奥行き220cm、幅220cm、高さ70cmの鉄筋で補強したコンクリートブロック製の土槽内に作製した。

六甲山地山腹の丘陵地において、谷埋め盛土地盤材料には、主に大阪層群及び神戸層群の堆積物を母材として用いている。そこで模型盛土地盤の試料は、京都盆地南部の大阪層群相当層から採取された城陽ろ過砂を使用した。模型の地山地盤もまた、同層による粒径 5μ 未満の粘土を突き固めて作製した。現実の大阪層群や神戸層群は広い粒径分布の幅を持っており、模型の盛土地盤（土層）には、現実と同様に出来るだけ粒径の幅を広くするため、均等係数が高くなるよう調節した。さらに可能な限り粒径を細かくしたろ過砂（ $\phi_{80}=0.282$, $G_s=2.65$, $\rho_s=1.44\text{g/cm}^3$ ）を用いた。図-6に粒径加積曲線を示す。全ての実験において、盛土地盤は、気乾状態のろ過砂を空中落下法により構築し、相対密度約30%を目標とした緩詰め地盤とした。

模型地盤の各形状パラメータは、兵庫県南部地震による谷埋め盛土斜面の変形が顕著であった兵庫県宝塚市仁川から神戸市東灘区並びに長田区にかけての盛土形状データを参考にした。すなわち、新旧2時期の地形図をGIS（地理情報システム）ソフト（米国MicroImages社製TNTmips）を用いて数値化してDEM（数値標高モデル）を作成し、標高差をとって谷埋め盛土を抽出しサンプルされた幅、奥行き、盛土厚のデータを参考にした。六甲山地山腹の丘陵地にある谷埋め盛土の底面傾斜角は3-

図-6 ろ過砂の粒径加積曲線
Fig. 6 Grain-size distribution of the pit sand

15度であり、本実験では、土層底面の縦断面方向の傾斜角を10度とした。横断面形状については、簡単のため、谷の最も単純な形状である箱型と楔型の2タイプとし、幅180cm奥行き180cmに設定した。また、被災事例分析より横断面形状比10を境に被害の有無が分かれていく傾向が認められるため、形状比は15, 12, 10, 8の4タイプに変化させた。

3.4 実験装置の仕様

入力地震動は、実地盤と模型地盤との卓越振動モードを一致させるため、地表面付近でのせん断弾性波における相似則（中川ほか, 2000）に従い、周波数を設定した。例えば、盛土斜面の表層の層厚 H_p が4m、模型の層厚 H_m が0.18mのケースを考える。兵庫県南部地震を想定し、軟弱地盤層でのせん断弾性波速度 V_{sp} を140m/s、卓越周波数 f_p を1Hz（新関西地盤, 1998）と設定する。実物の基準となる周波数を f_{op} すると、

$$f_{op} = V_{sp}/H_p = 35\text{Hz} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$f_p/f_{op} = f_m/f_{om} = 0.03 \quad \dots\dots\dots(2)$$

となる。ここに、 f_m ：模型の卓越周波数、 f_{om} ：模型の基準となる周波数である。また、模型のせん断弾性速度を V_{sm} とすると、

$$f_{om} = V_{sm}/H_m \quad \dots\dots\dots(3)$$

とおける。一般に、せん断弾性波速度がせん断剛性率の $1/2$ 乗に、せん断剛性率が地盤にかかる垂直応力のほぼ $1/2$ 乗に比例し（Iwasaki and Tatsuoaka, 1977）、垂直応力は層厚に比例すると考えると、

$$V_{sm} = (H_m/H_p)^{1/4} \cdot V_{sp} \approx 64.5\text{m/s} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。よって式(3)より $f_{om} \approx 358\text{Hz}$ となり、式(2)から $f_m = 10.7\text{Hz}$ となる。

本実験で土層厚を設定するにあたり求めた模型の卓越周波数と実地盤厚の関係を図-7に示す。この図から両者は比例関係にあり、本相似則に従えば、模型の卓越周波数が高くなると、より大規模な実地盤を表せることがわかる。ここで、模型地盤の固有振動数は17-20Hzの

領域にあり、共振による影響を避け、また、実験の利便性を図るため周波数は5 Hz、10 Hz、15 Hzの3タイプに設定した。振幅と加振継続時間に関しては、土層が確実に変形するように350 galの振幅で15秒間加振を継続させた。

計測項目は、土層の表面変位、土層底面のせん断力、土層表面の加速度及び土層上流端の沈下量である。表面変位挙動を時系列で観察するため加振中の様子をデジタルビデオカメラ（30フレーム/秒）で撮影した。計測用ターゲットには珪砂8号（ $\phi_{50}=0.05\text{mm}$ ）相当の砂に染料を用いて彩色した色砂を、土層表面に4 cm間隔にメッシュを切るために利用した。また、谷側部のせん断力を定量的に評価するため、せん断力計（エス・エス・ケー社製 S25-02）を土層中央底面と側部に設置した。加速度計（東京測器研究所製 ARF-10A）は、模型の地山地盤と盛土地盤のそれぞれ表面に配置した。また、加速度計は加振中でも水平を保つように40 mm四方の板に接着し、安定を図った。実験データのサンプリング周波数は、せん断力計は200 Hz、その他は250 Hzである。表-3に実験条件を示す。

4. 実験結果及び考察

4.1 土層底面のせん断力

谷側部のせん断力分布を評価するため、せん断力計を土層中央底面（中央部）と側部底面（側部）に配置した。ここで、盛土-地山地境界でせん断（すべり面）が生じているか検証するため、地中ひずみ計による相対ひずみ

の計測を、中央及び側部の土層底部で行った。地中ひずみ計は、厚さ0.2 mmの銅板にひずみゲージを2ゲージ法で深さ方向に貼付けて製作した。図-8に相対ひずみの時刻歴を示す。盛土-地山地境界においてマイナス方向に残留変位が発生している。マイナスのひずみは銅板が谷側（滑動方向）に変位していることを示している。その上部40 mm地点では、プラス方向（滑動に抵抗する方向）に残留変位が生じていることがわかる。つまり、プラスマイナスのペアが現れていることは、その間にせん断面が存在することを意味している。また、模型の地山地盤と盛土地盤の材料物性も異なることから、すべり面は土層底部であるといえる。

せん断力計の時刻歴の一例を図-9に示す。せん断力は楔型、箱型ともに側部よりも中央部の方が2倍以上大きいことがわかる。一般に、せん断力は垂直荷重（応力）に比例し、せん断力計に作用する垂直荷重は盛土の厚さに比例するとみなすことができる。なお、側部に配置したせん断力計と側壁とは約45 cm離れているため土のアーチング効果による影響は無視できる。したがって、土層厚が中央部から側部にかけて一様な箱型の場合、側部の方が中央部に比べてせん断力が小さいという、不均一なせん断力分布を説明するためには、側壁と盛土間のせん断抵抗力すなわち側部摩擦力の存在を考慮する必要があるといえる。

4.2 平均表面変位量

盛土の規模を表すインデックスとして、盛土の平均層厚（体積/表面積）を定義する。模型盛土底面の表面積（実測値）を用いて算出した平均層厚と横断面形状比には有意な関係は認められない。図-10に平均表面変位と盛土の平均層厚の関係を示す。平均層厚が同じ場合、横断面形状が箱型の方が楔型よりすべり土塊の表面変位量が大きいことがわかる。つまり、変位量は横断面形状に大きく依存することを示唆している。さらに、平均層厚が小さいほど、表面変位量が大きいことが認められる。表面変位20 mm以上をしきい値として変形すると判断するならば、この結果は、小規模な谷埋め盛土ほど変形頻度が多かった兵庫県南部地震の被災事例と概ね合致する。

4.3 表面変位分布

図-11は、形状比が同一で谷筋の土層厚が等しい場合の箱型と楔型の表面変位分布の一例を示している。表面変位は、加振初期（2秒後）の計測ターゲットの移動状況をデジタルビデオカメラで撮影し、得られた画像を数値化することによって求めた。等高線の分布を見ると

図-7 実地盤の厚さと模型の卓越周波数の関係

Fig. 7 Relationship between thickness of the prototype soil layer and frequency of the model

表-3 実験条件一覧
Table 3 Test cases and conditions

模型地盤条件			入力地震動		
横断面形状比	土層厚 (mm)	横断形状	周波数 (Hz)	振幅 (gal)	継続時間 (sec)
15	120	箱型・楔型	5・10・15	350	15
12	150	箱型・楔型	5・10・15	350	15
10	180	箱型・楔型	5・10・15	350	15
8	230	箱型・楔型	5・10・15	350	15

図-8 土層底面における地中ひずみ計の時刻歴 (楔型, 横断面形状比15, 5 Hz, 350gal)
Fig. 8 Time sequence of relative strain at the bottom of the soil (Triangle type, width-depth ratio15, 5 Hz, 350gal)

図-9 セン断力計の時刻歴の一例 (形状比同一)
Fig. 9 Time sequence of shearing force, Box and Triangle type (same width-depth ratios)

図-10 平均表面変位と盛土の平均層厚の関係

Fig. 10 Relationship between surface horizontal displacement and thickness of sand layer

横断面形状が箱型の場合、すべり土塊のほぼ全域で変位が発生し、ほぼ一様の変位量で、表面全体が一体となって変形している様子がわかる。一方、横断面形状が楔型の場合、すべり土塊は谷筋を中心とした局所的挙動を示した。このように、土層底面の横断面形状の違いによって、表面変位分布は著しく異なることがわかった。

図-12は、楔型の横断面形状比を小さく（より土層厚が厚い）した場合の実験結果である。図-11右側と比較すると、谷筋を中心として変位している傾向は同様だが、谷側部に向かうにしたがい、より変位は小さくなっていることがわかる。また、箱型の場合も同様な傾向が得られた。形状比が小さくなると全体的な変位、特に谷側部の変位がより拘束される傾向にあることがわかる。これらの傾向は、表面の変形における側部摩擦の影響であると考えることができる。

4.4 加速度増幅率

図-13に平均表面変位と台加速度に対する増幅率との関係を示す。加速度増幅率が大きいほど、表面変位は減少する傾向にある。また、図-10より、平均表面変位と平均層厚は反比例にあることから、平均層厚が大きいほど、すなわち柔らかい地盤が厚いほど加速度増幅率も大きくなる。これは、一般的傾向と一致する。加速度増幅率が大きければ、表層において慣性力の影響を受けやすく、変位も大きくなるはずである。しかし、実際には平均層厚が小さいほど表面変位量は大きく、逆の傾向が示された。このことは、土層の層厚が厚いほど側面が広いために、より大きい側面摩擦が動員され、変位が抑制された結果と考えられる。すなわち、表面変位は慣性力の大きさだけで決定されるのではなく、すべり面上の摩擦状況にも影響を受けていると考えられる。

ど、すなわち柔らかい地盤が厚いほど加速度増幅率も大きくなる。これは、一般的傾向と一致する。加速度増幅率が大きければ、表層において慣性力の影響を受けやすく、変位も大きくなるはずである。しかし、実際には平均層厚が小さいほど表面変位量は大きく、逆の傾向が示された。このことは、土層の層厚が厚いほど側面が広いために、より大きい側面摩擦が動員され、変位が抑制された結果と考えられる。すなわち、表面変位は慣性力の大きさだけで決定されるのではなく、すべり面上の摩擦状況にも影響を受けていると考えられる。

4.5 等価摩擦係数

加振終了後（15秒後）の等価摩擦係数と横断面形状比の関係を図-14に示す。等価摩擦係数（見通し角）は、崩壊後のすべり土塊上端から水平面までの高さを、上端から末端までの最大到達水平距離で除して算出した。楔型の方が箱型と比較して、等価摩擦係数が大きく、すべり土塊の永久変位量が小さいことがわかる。また等価摩擦係数は、横断面形状比が小さいほど、大きい値を示す。加振初期において横断面形状比は、変位に及ぼす影響が小さいことから、永久変位量に寄与することがわかった。

5. 今後の課題

本研究で得られた結果は、限られた境界条件に対するものであるが、谷埋め盛土の不安定化を再現し、その変形挙動は基本的には被災事例の統計的性質と一致した。しかし、せん断力分布すなわち側部摩擦力の影響範囲や、土層内のひずみ分布、地盤密度の変化による沈下の評価など残された課題はある。また現実の谷埋め盛土地盤では、谷筋や側壁に沿って浸透水が存在する。地震時にこうした谷埋め盛土内部では、しばしば液状化することが現地踏査等により確認されている。こうした液状化に起因される盛土斜面の不安定化現象は、強震動模型実験においても確認されている（Go *et al.*, 2002）。したがって今後は、側部摩擦（滑動抑止力）分布の把握と、液状

図-11 箱型と楔型の表面変位分布の一例（形状比同一）

Fig. 11 Comparison of typical contours displacement, Box and Triangle type (same width-depth ratio)

図-12 横断面形状比を変化させた場合の表面変位分布の一例

Fig. 12 Comparison of the Triangle type changed width-depth ratio

図-13 平均表面変位と台加速度に対する増幅率との関係
Fig. 13 Relationship between surface horizontal displacement and shaking amplitude against base acceleration

図-14 等価摩擦係数と横断面形状比の関係
Fig. 14 Relationship between apparent friction and width-depth ratio

化による変形（滑動力）を重要視した研究が必要である。

6. まとめ

谷埋め盛土地盤底面の横断面形状に着目し、正弦波加振実験を行った。主な結果は以下の通りである。

- 1) 加振初期段階において、表面変位分布は、横断形状によって著しく異なることがわかった。横断形状が箱型の場合、滑り土塊が一体となって変形する。一方、楔型の場合は、土層厚が最も厚い場所(谷筋)を中心とする局所的な変位挙動を示す。
- 2) 表面変位は盛土の平均層厚（表面積に対する体積の割合）が薄いほど大きくなった。
- 3) 箱型、楔型ともに側部はせん断力が小さく、底面と側部ではせん断力が大きく異なった。このことから、側部摩擦がせん断力分布に影響を及ぼしていることがわかった。
- 4) 表面変位量は、すべり土塊の加速度増幅だけで決定されるのではないことが示された。
- 5) 加振終了後の等価摩擦係数は、横断面形状比が小さいほど、大きい値であった。すなわち、横断面形状比は、永久変位に寄与することがわかった。

実験結果は、全体としては単純な摩擦則を反映し、

すべり土塊が変形する状況をあらわしている。また、横断面形状比と横断面形状が模型盛土地盤の変形に与える影響を、側部摩擦力の存在を示唆する実験結果とともに示した。

謝辞

本研究を行うにあたり、京都大学宇治川オープンラボラトリー（旧宇治川水理実験所）のスタッフの方々、特に文部科学技官の藤原清司氏、並びに、(株)伊勢屋機械製作所の上田幸伸氏には暖かい支援を得た。また、関西大学工学研究科の藤田喜彦氏、同大学工学部の大藪剛士氏には実験に際し大きな協力を得た。記して深謝の意を表する。

参考文献

- 釜井俊孝, 鈴木清文, 磯部一洋 (1996): 平成7年兵庫県南部地震による都市域の斜面変動, 地調月報, 47-2/3, pp.175-200.
- 笠原亮一 (2003): 地震による人工埋設谷地形の変動要因と被害予測, 京都大学修士論文, pp.7-18.
- Kamai, T., Kobayashi, Y., Jinbo, C. and Shuzui, H. (2000): Earthquake risk assessments of fill-slope instability in urban residential areas in Japan, Proceedings 8th ISL/Landslides, pp.801-806.
- 阿部 隆, 村山良之 (1982): 仙台南部の地形改変と都市問題, 地理, Vol.27, No.9, pp.44-51.
- 井口 隆 (1995): 谷埋め盛土地盤における地震時地すべりの事例と若干の考察, 兵庫県南部地震等に伴う地すべり・斜面崩壊研究報告書, 地すべり学会, pp.101-117.
- 浅田秋江 (1982): 宅地造成地盤の地震時危険度の予測法と防止工法に関する研究, 土質工学論文報告集, Vol.22, No.4, pp.191-202.
- 林 宏親, 西川純一, 谷口啓二郎 (1997): 遠心模型実験による道路盛土の耐震性に関する検討, 北海道開発土木研究所月報第535号, pp.2-11.
- 小島謙一, 館山 勝, 木村英樹, 堀井克己 (2000): 大径補強材による盛土耐震補強法に関する研究, 地震時の斜面の不安定化メカニズムと設計法に関するシンポジウム発表論文集, pp.67-72.
- 松尾 修, 齊藤由紀子, 佐々木哲也, 小関潤一, 堤 達也, 近藤浩市 (2001): 山岳盛土の地震時流動破壊現象に関する実験的研究報告書, 土木研究所資料, 第3807号
- Matsuo, O., Saito, Y., Sasaki, T., Kondoh, K. and Sato, T. (2002): Earthquake-induced flow slides of fills and infinite slopes, Soils and foundations, 42(1), pp.89-104.
- Iai, S. (1988): Similitude for shaking table tests on soil-structure-fluid model in 1 g gravitational field, Report of the Port and Harbor Research Institute, Vol.27, No.3, pp.3-23.
- 中川 一, 高橋 保, 里深好文, 辰巳正人 (2000): 地震時の斜面崩壊に対する基盤面形状の影響に関する研究, 砂防学会誌, Vol.52, No.5, pp.4-15.
- 関西地盤情報活用協議会地盤研究委員会 (1998): 新関西地盤一神戸および阪神間一, pp.147-151, pp.169-173.
- Iwasaki, T., Tatsuoka, F. (1977): Effects of grain size and grading on dynamic shear module of sands, Soils and Foundations, Vol.17, No.3, pp.19-35.
- Go, T., Kamai, T. (2002): Deformation behaviour of model embankment under strong-motion shaking experiment, Proceedings of the Xth International Conference and Fieldtrip on Landslides in Poland, pp.65-76.

(原稿受付2003年6月30日, 原稿受理2003年12月19日)