

## 関西一部地域の盛土諸元と動的コーン貫入試験結果の関係

### —大規模盛土造成地変動予測調査を活用して（中間報告）—

#### Correlation of Embankment's Factor and Automatic Ram-sounding tests Results

#### Carried out in a part of Kansai Region

沖村 孝 門田 浩一 片浦 正雄 網野 功輔  
Takashi Okimura Hirokazu Kadota Masao Kataura Kousuke Amino

前坂 巖 中川 渉 野 並 賢  
Iwao Maesaka Wataru Nakagawa Satoshi Nonami

#### 1. はじめに

##### 1. 1 本検討の背景と目的

1995 年兵庫県南部地震、2004 年新潟県中越地震などにおいて、大規模に盛土造成された宅地で滑動崩落による被害が数多く発生した。これを受けて、地震時の宅地の安全性を確保することを目的として平成 18 年に宅地造成等規制法（以下、宅造法と略す）が改正された。あわせて、滑動崩落を防止するために必要な調査や工事を支援する宅地耐震化推進事業が創設された<sup>1)</sup>。宅地耐震化推進事業で対象とする大規模盛土造成地は、盛土の面積が 3,000 平方メートル以上の谷埋め型大規模盛土造成地と、盛土をする前の地盤面（原地盤面）の水平面に対する角度が 20 度以上で、かつ、盛土の高さが 5 メートル以上の腹付け型大規模盛土造成地の、2 種類に大別されている。宅地耐震化推進事業のマニュアルである「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説」（以下、「ガイドライン」と省略する）では、原則として盛土造成地に関する資料に基づいて大規模盛土造成地を抽出する第一次スクリーニングと、現地調査および安定計算により滑動崩落のおそれ大きい大規模盛土造成地を抽出することを目的として行う第二次スクリーニングを経て、具体的な耐震対策を進めるとしている<sup>2)</sup>。

第一次スクリーニングで抽出される盛土は多数にのぼり、そのすべての盛土を対象に第二次スクリーニングを実施するには多くの時間と費用を要する。このため、第一次スクリーニングから第二次スクリーニングに進むための絞り込みおよび優先順位づけを行うことが望まれ、ガイドラインでは、その絞り込みを「第二次調査計画」として位置づけている。その一つの方法として、迅速に調査が可能であり経済的である動的コーン貫入試験<sup>3),4)</sup>を実施し、これから得られる  $N_v$  値と地下水位の情報を用いて絞り込みに反映することが挙げられる。関西地区では、第一次スクリーニングで絞り込まれた大規模盛土に対し多くの動的コーン貫入試験が行われ、締固め状況の把握、地下水のおよその深さの推定が把握され、調査データの累積が行われているところである。ただし、動的コーン貫入試験でも膨大な量の大規模宅地盛土すべてに対して実施することは、多くの経済的・時間的負担を要するのが実情である。一方、動的コーン貫入試験は試料採取ができないなどの制約があるが、比較的経済的であるため異なる地盤条件のデータを多数収集できるメリットがある。この特徴を活かせば、動的コーン貫入試験結果によって示される安全性が低い盛土、すなわち地下水位が高い盛土および締固め度が悪い盛土の傾向が把握できるものと考えられる。

本報告は以上の背景をもとに、これまでに関西地区の一部宅地盛土で実施されてきた動的コーン貫入試験と盛土地盤情報のデータを各自治体のご協力を得て利用させていただき、机上調査および現地踏査で得られる造成年代や表層地質、盛土厚などの盛土諸元と、地下水位および $N_d$ 値の関係を検討した中間報告を行うものである。ここでの検討結果は、大規模盛土の第二次スクリーニング優先順位の絞り込みに際して、有益なデータになるものと考えられる。なお、 $N_d$ 値の工学的な取り扱いに関しては、別途に報告を行う<sup>5)</sup>。

## 1. 2 過去の大規模宅地盛土の被災の特徴

盛土諸元と動的コーン貫入試験結果の関係を検討するに当たっては、過去の被災事例から地震動による宅地盛土の被災傾向を把握しておくことが望ましい。地震動による宅地盛土の被災事例は、平成7年の兵庫県南部地震で多く確認された。また、平成23年の東北地方太平洋沖地震では、仙台市の丘陵地部の宅地盛土において、160地区に及ぶ滑動崩落被害が発生した。これらの事例から、地震動による宅地盛土の被災傾向の留意点を示す。

### 1. 2. 1 兵庫県南部地震の大規模宅地盛土の被災の特徴

平成7年の兵庫県南部地震では、多くの宅地盛土が地すべり的な変形を生じ、家屋やライフライン構造物に変状を与えた<sup>6),7)</sup>。被災規模の比較的大きい40地区で各1~3本のボーリングによる地盤調査が行われ、このうちすべり面が特定された30地区についての被災形態分類が実施されている。ここではその概要を示した。

- ・被災域の幅B、長さLは様々なケースがある。これは、谷埋め盛土が多く、元地形を反映しているためと推測される。(被災した変状域の幅Bと傾斜方向の長さLの比をL/Bで表すと、谷型： $1.5 < L/B$ 、馬蹄型： $1.0 < L/B \leq 1.5$ 、帯型： $L/B \leq 1.0$ と表される)(図-1.1、図-1.2参照)
- ・緩い層(盛土+二次堆積物)の厚さは4~9mと薄いことが指摘される。(図-1.3参照)
- ・緩い層の底面傾斜角は、 $10^\circ$ 以内が80%を占めており、地震の水平動が地盤変位の主要原因になったことを推察させる。(図-1.4参照)
- ・地下水位は概ね高く、地表面下4m以内にあるものが80%近くある。(図-1.5参照)
- ・緩い層のN値は0~6が多い。10を超すところは礫の存在が認められ、概ね緩い層であった。(図-1.6参照)
- ・緩い層の底面の傾斜角とN値の関係より、砂質土、粘性土地盤ともN値が小さいものは浅い傾斜角で被災する傾向がある。(図-1.7参照)

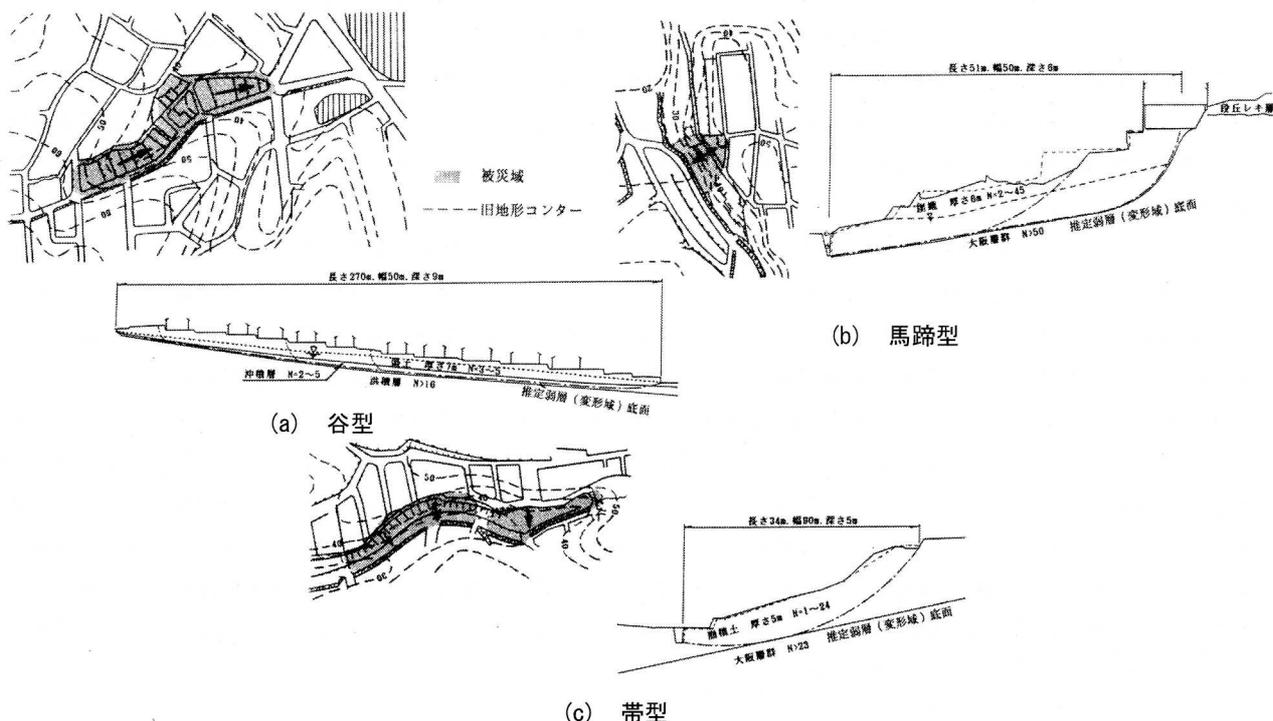


図-1.1 地すべり的な変形例の形態分類<sup>6)</sup>

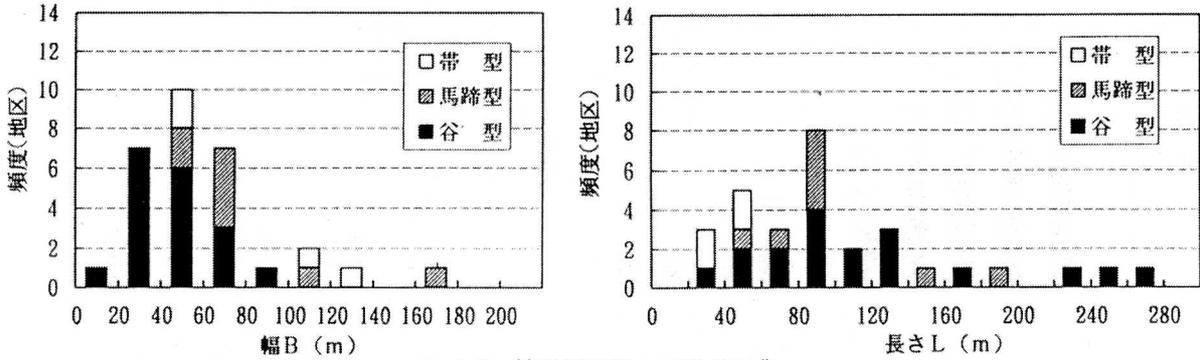


図-1.2 被災形態別の被災規模<sup>6)</sup>

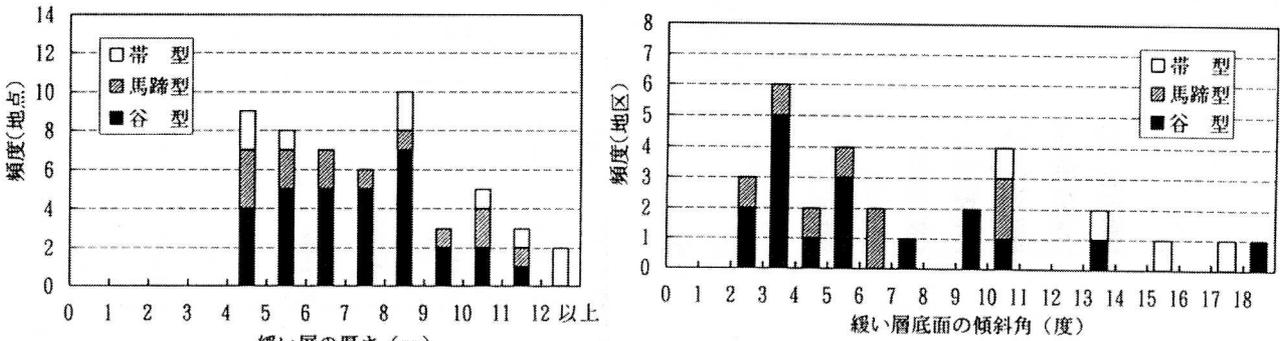


図-1.3 緩い層（盛土+二次堆積物）の厚さ<sup>6)</sup>

図-1.4 緩い層底面の傾斜角<sup>6)</sup>

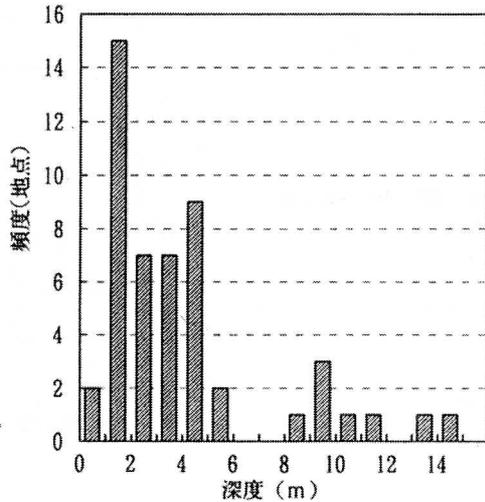
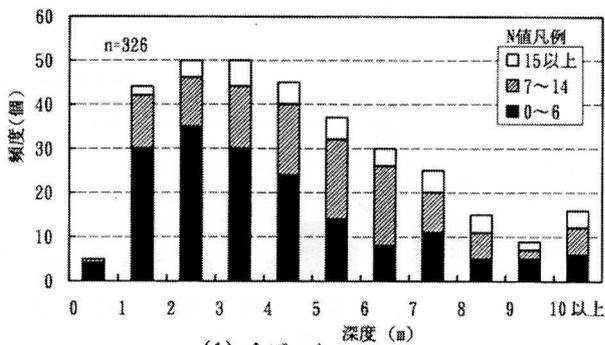


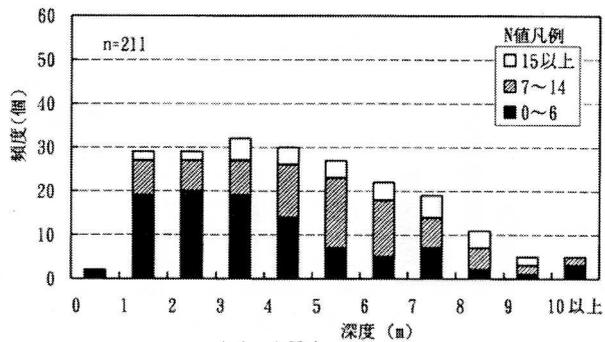
図-1.5 地下水位の地表面からの深度<sup>6)</sup>

図-1.8 はボーリング資料から読み取った変動ゾーンを中心面及び想定すべり面までの深度と地下水位の関係を示したものである<sup>8)</sup>。これより、地盤変状のあった箇所のはほとんどは、地下水位が変動土塊中にあったことがわかる。なお、ここでの整理対象とした盛土の最大移動量は1~2mであり、宮城県沖地震の寿山団地盛土や、兵庫県南部地震の仁川の住宅盛土の崩壊と比べると、崩壊の程度は小さいことが指摘される。これらの変状箇所と兵庫県南部地震の変状宅地を比べると、緩い層の厚さが概ね薄いことや、緩い層底面の傾斜角が緩い。また、基礎地盤の傾斜が緩く、規模の小さな盛土でも盛土内に水位があれば変状を生じると言うことは、盛土内に存在する水位が地震時の盛土の安定に大きな影響を与えることを示唆するものと考えられる。このほか、緩い層のN値が小さいことが指摘され、造成時に締固めを十分に行っていなかった可能性がある。古い造成地であることに起因すると考えられるが、地盤の締固めが盛土の安定に重要であることを示唆するものと考えられる。

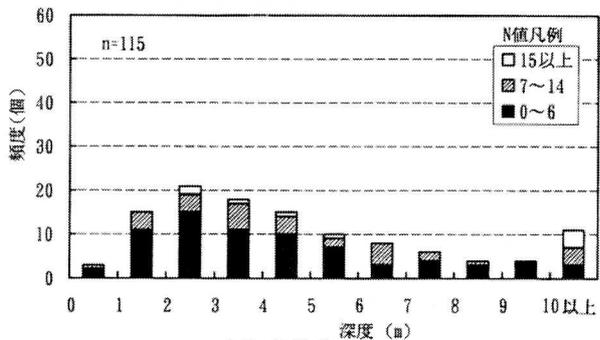
次に、擁壁に関する被害傾向として、神戸市における宅地被害状況を表-1.1にまとめた<sup>9)</sup>。これより、被災を受けた



(1) 全データ

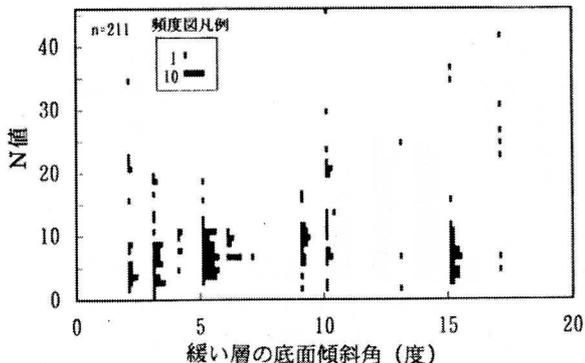


(2) 砂質土

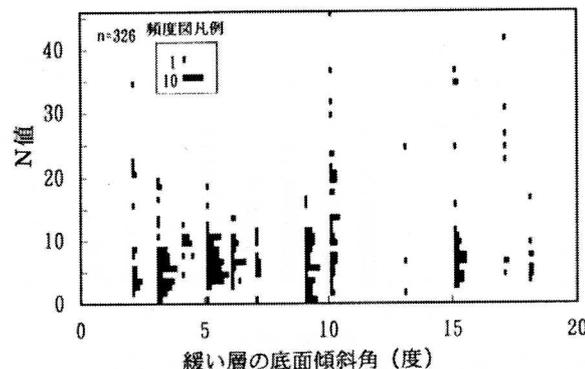


(3) 粘性土

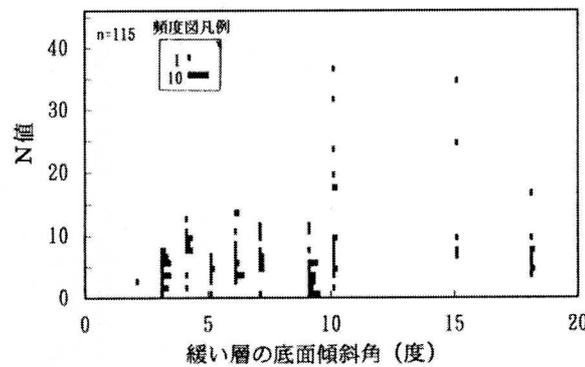
図-1.6 緩い層のN値<sup>6)</sup>



(1) 全データ



(2) 砂質土



(3) 粘性土

図-1.7 緩い層底面の傾斜角とN値の関係<sup>6)</sup>

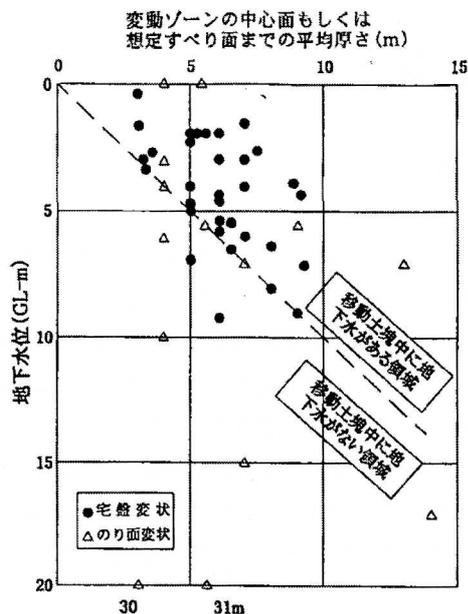


図-1.8 想定すべり面の深度と地下水位の関係<sup>8)</sup>

擁壁は、宅造法施工前に築造された擁壁が主であることがわかる。また、宅造法適用擁壁で被害を受けた93箇所の擁壁について被災原因の整理を行った結果が表-1.2である。これより、被災擁壁の傾向として以下の傾向が確認されている。

- ① 一定区域の地盤変状に起因して、擁壁本体に変状が発生
- ② 擁壁基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によって、擁壁本体に変状が発生
- ③ 不適切な増積擁壁等、設計を上回る载荷重の影響に起因して、擁壁本体に変状が発生
- ④ コンクリート打継目の処置が適切でなかったなど、施工不良に起因して擁壁本体に変状が発生

表-1.1 神戸市における宅地擁壁被災状況<sup>9)</sup>

神戸市の市街化区域 (面積 : 19803ha)			
宅造規制区域内 (面積 : 9887ha, 宅地数 : [203552宅地])			
S. 50年以降		S. 37~S. 49年	S. 36年以前
造成中	造成団地 (115団地)	造成団地 (94団地)	造成団地 (3団地)
面積 : 568ha 完成擁壁数 : 0箇所 被災擁壁数 : 0箇所 (0箇所) 被災率 : -	① 面積 : 2014ha 完成擁壁数 : 44937箇所 被災擁壁数 : 3箇所 (3箇所) 被災率 : 0.01% (0.01%)	③ 面積 : 3005ha 完成擁壁数 : 35072箇所 被災擁壁数 : 86箇所 (47箇所) 被災率 : 0.2% (0.1%)	④ 面積 : 68ha 完成擁壁数 : 1342箇所 被災擁壁数 : 54箇所 (13箇所) 被災率 : 4.0% (1.0%)
(既成市街地内でS. 50年以降宅造工事が行われた所)		(既成市街地内宅地+S. 36年以前の造成団地の一部)	
② 面積 : [ 343ha] 完成擁壁数 : 10732箇所 被災擁壁数 : 4箇所 (4箇所) 被災率 : 0.04% (0.04%)	⑤ 面積 : [ 3567ha] 完成擁壁数 : [111469箇所] 被災擁壁数 : 1331箇所 (1207箇所) 被災率 : [ 1.2% (1.1%) ]		
都市計画公園、ゴルフ場	面積 : 322ha		
宅造規制区域外 (面積 : 9916ha)			
⑥ (S. 50年以降都市計法による開発許可地) 被災擁壁数 : 0箇所		⑦ 被災擁壁数 : 229箇所	

注1) ( )内は地盤変状区域内に存在する被災擁壁を除いた値である。

注2) 既成市街地の擁壁数は道路、学校、近隣公園等も含めて1宅地当たり320㎡として求めた。

注3) [ ]内の値は推定値である。

表-1.2 神戸市における擁壁タイプ別の変状原因<sup>9)</sup>

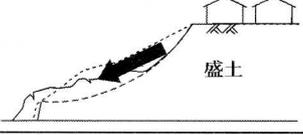
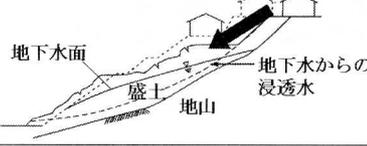
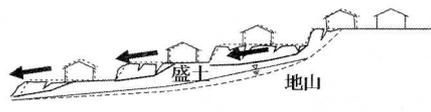
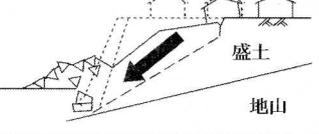
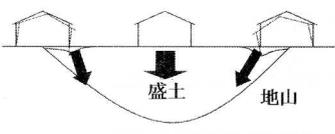
擁壁タイプ*	変状の原因	S. 37~S. 49年 (箇所)	S. 50年以降 (箇所)
石積擁壁	基礎地盤の支持力不足や基礎沈下によるもの	33	4
	増積擁壁(床版張出し)の影響, 基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるもの	3	2
	増積擁壁の影響	0	0
	増積擁壁の影響, 施工不良(コンクリートの打継目の処置が不良)	0	0
	施工不良(コンクリート打継目の処置が不良)	0	0
無筋コンクリート擁壁	基礎地盤の支持力不足や基礎沈下によるもの	1	0
	増積擁壁(床版張出し)の影響, 基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるもの	1	0
	増積擁壁の影響	1	0
	増積擁壁の影響, 施工不良(コンクリートの打継目の処置が不良)	2	0
	施工不良(コンクリート打継目の処置が不良)	0	0
鉄筋コンクリート擁壁	基礎地盤の支持力不足や基礎沈下によるもの	1	1
	増積擁壁(床版張出し)の影響, 基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるもの	0	0
	増積擁壁の影響	4	0
	増積擁壁の影響, 施工不良(コンクリートの打継目の処置が不良)	0	0
	施工不良(コンクリート打継目の処置が不良)	1	0
合計		47	7

### 1. 2. 2 東北地方太平洋沖地震での仙台市における滑動崩落被害

東北地方太平洋沖地震により、東北・関東地方の広範囲において、滑動崩落や個々の宅地の擁壁倒壊などの深刻な宅地被害が発生した<sup>10),11)</sup>。特に仙台市では、被害程度が中程度以上の被災宅地数は約5,700と報告されており、その内の約44%は丘陵地部の宅地盛土における滑動崩落による被害である。滑動崩落による被災盛土は締めが緩く、地下水位は高い状態にあったことなどが報告されている。

宅地盛土の被害形態を分類すると、斜面解放部における「盛土法面の不安定化によるすべり崩壊」、「盛土内の間隙水圧の上昇による流動的すべり崩壊」、盛土表層(ひな壇部分)を含めた「盛土と地山の境界などを不連続面とする地すべりの変形」、空石積み擁壁や増し積み擁壁が主体となる「擁壁と背面土の倒壊・変形」及び「切盛境界部や緩い盛土でみられる沈下・変形」など、大きくA~Eの5つに分類される(表-1.3、写真-1.1(a)~(d))。この中で、Cの「地すべりの変形」に止まらず、Bの「流動的すべり崩壊」に至った造成宅地は数例と少ない。また、Dの「擁壁の倒壊・変形」は、Cの「地すべりの変形」に伴って発生しているケースが多い。なお、Eの「沈下・変形」は滑動崩落現象で発生しているケースと、滑動崩落現象によらず、平坦地の切盛境界部や盛土内などで発生しているケースも見られた。

表-1.3 宅地盛土の被害形態の分類

分類	宅地盛土の被害形態	被害形態の模式図
A	盛土のり面の不安定化によるすべり崩壊	
B	盛土内の間隙水圧の上昇による流動的すべり崩壊	
C	盛土と地山の境界などを不連続面とする地すべりの変形	
D	擁壁倒壊・変形 背面土の崩壊・変形	
E※	切盛境界部等における沈下・変形 揺すり込み沈下・亀裂	

※:滑動崩落に該当しない平坦地での被災箇所もある



写真-1.1(a):被災形態分類A



写真-1.1(b):被災形態分類B

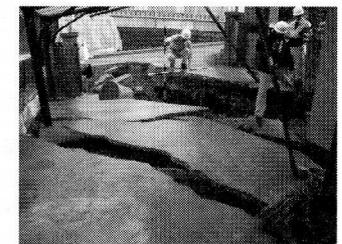


写真-1.1(c):被災形態分類C

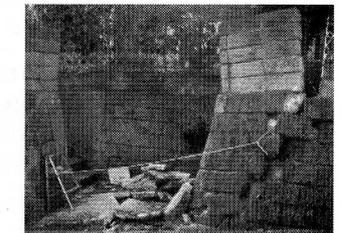


写真-1.1(d):被災形態分類D



写真-1.2 ひな壇部分の変形・崩壊被害

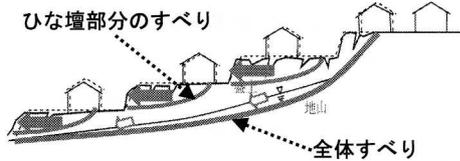
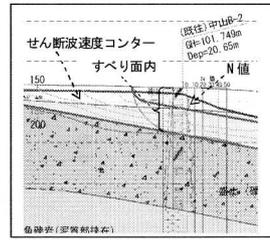


図-1.9 複合型すべりの模式図



[すべり面内側の N 値・ $V_s$  値の読み取り方法]

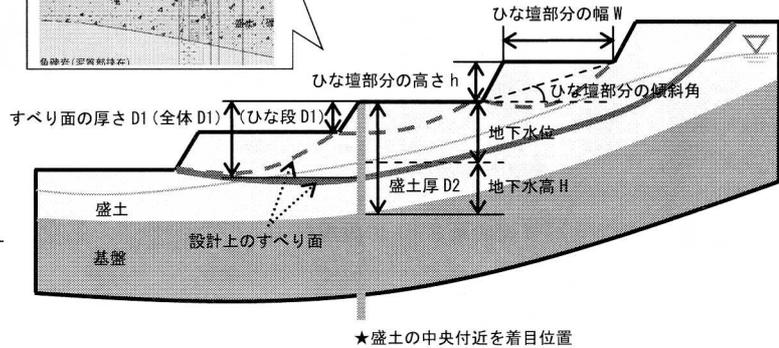


図-1.10 盛土形状・すべり面・地下水位の読み取り説明図

仙台市における被災した宅地盛土の中で、最も多かった被害形態は、C の「地すべり変形」である。この地すべり変形被害は、盛土表層のひな壇部分における崩壊・変形、ひな壇部分と盛土全体の崩壊・変形との複合型のすべり等が発生していることが特徴的であった(写真-1.2, 図-1.9)。そこで、地すべり変形被害の 30 地区(仙台市の滑動崩落被害 160 地区の約 2 割)について、被災部の地下水位、すべり面厚さ(すべり破壊だけでなく、変形発生境界面含む)、盛土形状、盛土の強度特性について調査し、以下の要領で被害要因について分析した。

- ・ 「地下水位」、「すべり面の厚さ D1」、「盛土厚さ D2」、「地下水高 H」: 各地区のすべり方向の断面を抽出し、盛土の中央付近を着目位置として、図-1.10 を参考に値を読み取った。
- ・ 「ひな壇部分の傾斜角  $h/W$ 」: ひな壇部分の高さ  $h$  を幅  $W$  で除し、傾斜角に変換した値を用いた。
- ・ 「N 値」および「せん断波速度」: 各地区のすべり方向の断面を抽出し、ボーリングの各深度の N 値と表面波探査のせん断波速度  $V_s$  の値をカウントした。なお、整理に当たっては、粘性土もしくは砂質土に分けて整理した。

すべり面の厚さ D1 は、2m~6m が主体であることがわかる(図-1.11)。D1 と盛土厚さ D2 との比 ( $D1/D2$ ) を取ると、盛土と地山の境界部でのすべり(すなわち  $D1/D2=1$ ) は、10 地区/30 地区であり、そのほかの地区では、盛土内(盛土表層のひな壇部分など)ですべりが発生していることがわかる(図-1.12)。

また、地下水高 H と盛土厚さ D2 との比 ( $H/D2$ ) をとると、0.2~0.8 が主体であり、盛土内の浅い位置に地下水位がある(図-1.13)。これは、主に宙水状に保水されている地下水であると考えられる。

ひな壇部分の傾斜角と地下水位の関係を図-1.14 に示す。傾斜角は  $5^\circ$  以上と急であり、傾斜角に係らず、地下水位は GL-2m~6m に分布しており、傾斜が急であっても地下水位は高い位置に保水されていることが特徴的である。

続いて、すべり面内の N 値とせん断波速度を図-1.15~1.18 に示す。N 値は砂質土で概ね  $N \leq 10$  (特に  $N \leq 5$  が主体)、粘性土で  $N \leq 4$  が多く分布し、せん断波速度は 140m/s~200m/s に多く分布しており、変状部分の強度は小さいことが分かる。

以上のことより、傾斜が急な盛土表層のひな壇部分や盛土内に、地山からの流入水等が宙水状に滞留し(盛土内に保水され)、強度も小さい(締固め度が小さい)ことなどが、盛土表層のひな壇部分における崩壊・変形、及び盛土内でのすべり(崩壊・変形)などにつながったと考えられる。

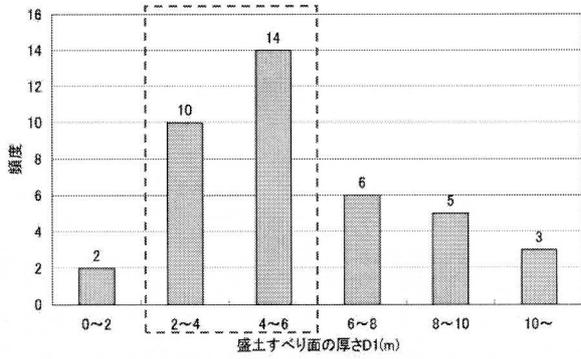


図-1.11 すべり面の厚さ D1 の頻度分布

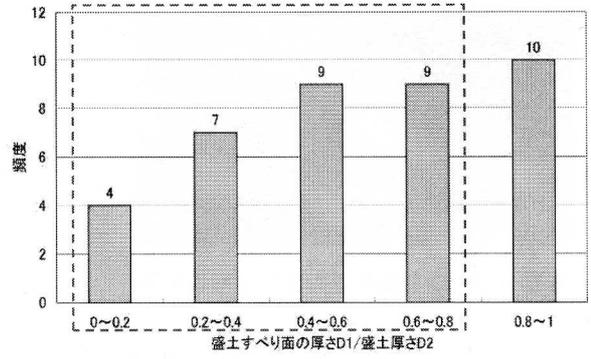


図-1.12 D1/D2 の頻度分布

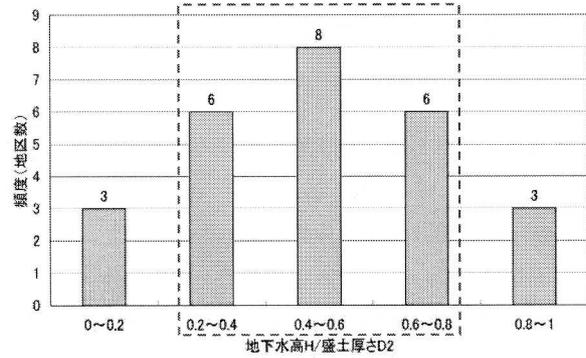


図-1.13 H/D2 の頻度分布

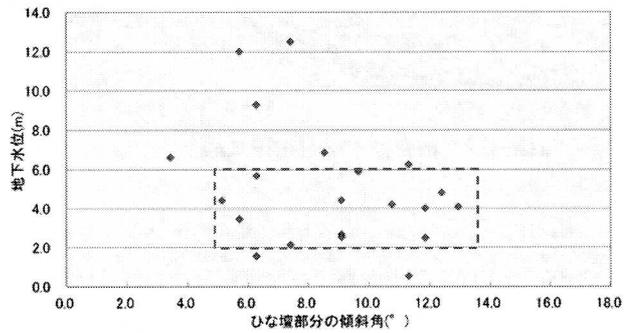


図-1.14 地下水位とひな壇部の傾斜角

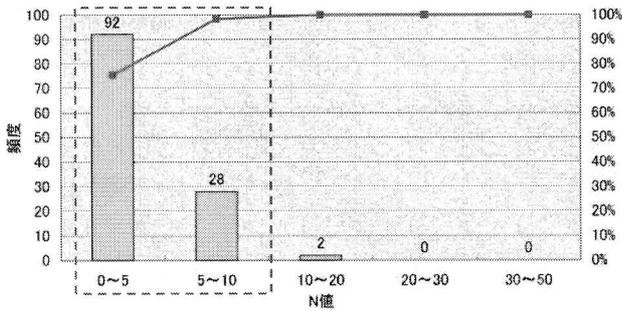


図-1.15 すべり面内の N 値 (砂質土)

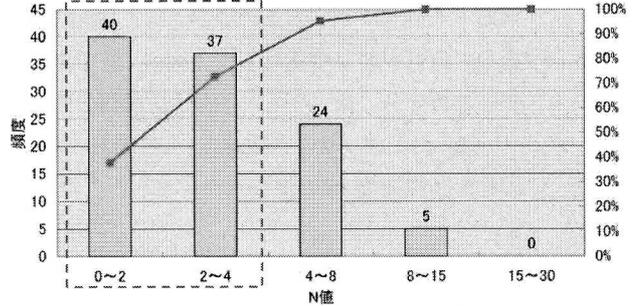


図-1.16 すべり面内の N 値 (粘性土)

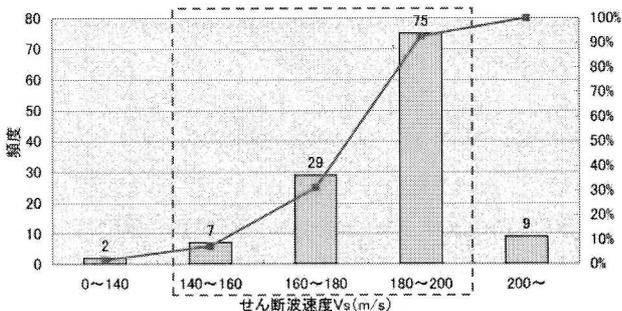


図-1.17 すべり面内のせん断波速度 (砂質土)

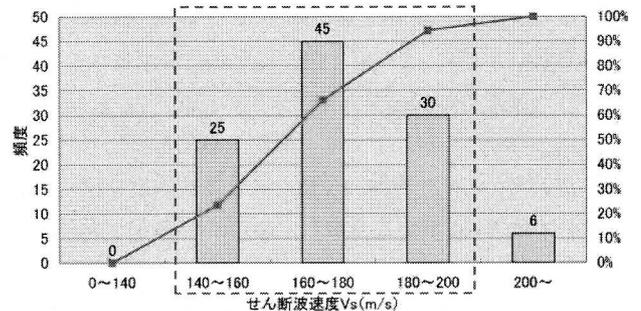


図-1.18 すべり面内のせん断波速度 (粘性土)

## 2. 収集したデータの概要

### 2.1 動的コーン貫入試験方法

動的コーン貫入試験は、先端にコーンを付けたロッドをハンマーの打撃によって地盤に打ち込み、貫入量と打撃回数との関係から地盤の硬軟を調べる試験である<sup>3)</sup>。スウェーデンで開発された試験であり、一般にオートマチックラムサ

ウンディングと称される。動的コーン貫入試験の単位面積当たりの打撃エネルギーは次式で定義される。

$$R_d = \frac{MgH}{A} \times \frac{N}{D'} \quad (2-1)$$

ここに、 $R_d$ ：貫入力(KJ/m<sup>2</sup>)、 $M$ ：ハンマー重量(kg)、 $g$ ：重力の加速度(mm<sup>2</sup>/s)、  
 $H$ ：落下高さ(mm)、 $A$ ：先端コーンの断面積(mm<sup>2</sup>)、 $N$ ：所定の $D'$ に達する打撃回数(回)、  
 $D'$ ：所定の貫入深度間隔(mm)、

動的コーン貫入試験は打撃エネルギーの違いに基づき、2種類の試験装置がある。図-2.1には打撃エネルギーが196(KJ/m<sup>2</sup>)の試験装置概要図を、図-2.2には打撃エネルギーが98(KJ/m<sup>2</sup>)の試験装置概要図を示した。本報文では、前者を一般ラム、後者をミニラムと称することとする。一般ラムは打撃エネルギーを標準貫入試験に準じて設定しており、サウンディングとしては大きな貫入力を有することが特徴である。一方ミニラムは一般ラムと比べて小型であるため、

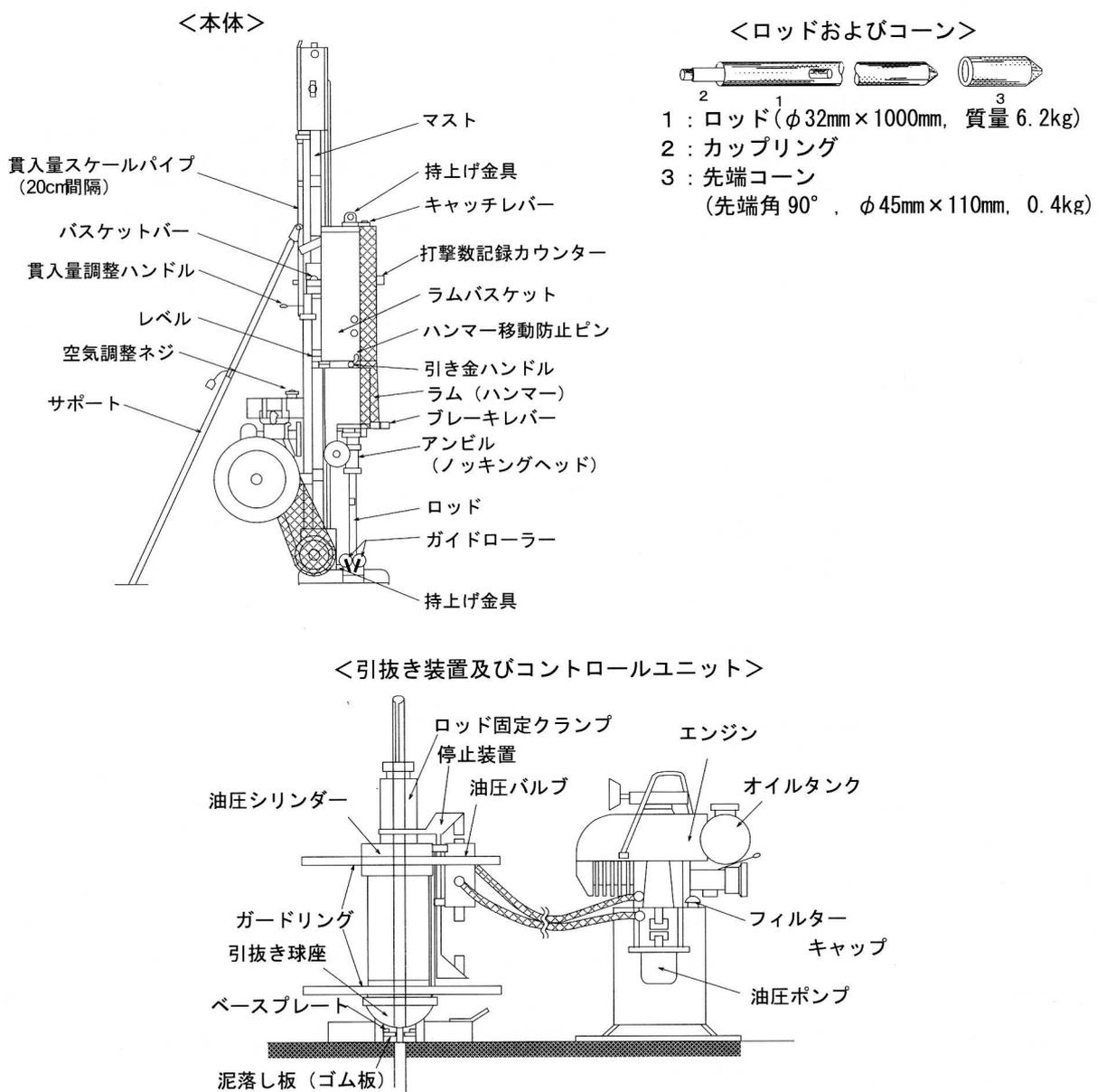


図-2.1 一般ラム試験装置<sup>3)</sup>を一部修正

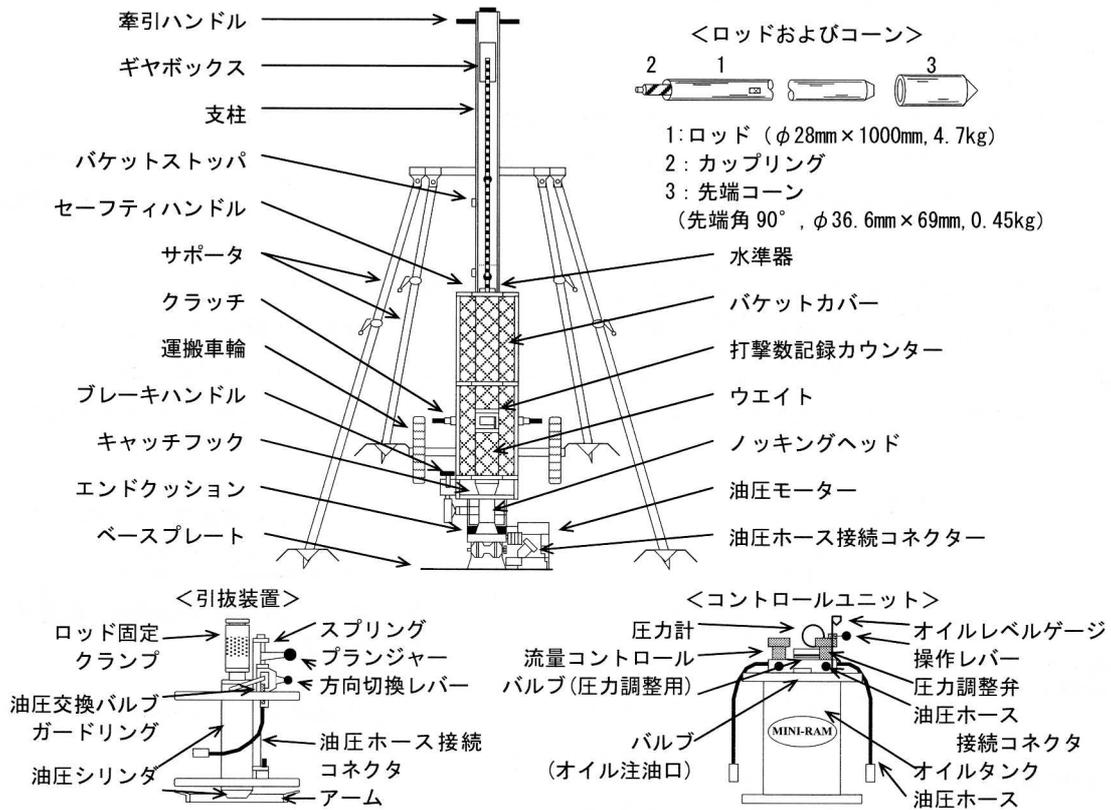


図-2.2 ミニラム試験装置 4)を参考に記述

表-2.1 動的コーン貫入試験装置の仕様

	一般ラム	ミニラム
打撃エネルギー	196(kJ/m <sup>2</sup> )	98(kJ/m <sup>2</sup> )
試験時の機械高さ	2.8m	2.5m
試験機本体の全幅	0.9m	0.84m
試験機の全重量	210kg	135kg
ハンマーの重量	63.5kg	30kg
ハンマーの落下高さ	50cm	35cm
標準打撃回数	24 回/分	24 回/分

2m 四方程度の面積で実施可能であり、振動音もやや小さい等、宅地内の公園や余地で試験の実施に向いている。表-2.1 に、両者の試験装置の仕様を示した。

試験方法は、一般ラムは 63.5kg のハンマーを 50cm の高さから自由落下させ（ミニラムはハンマーの質量 30kg、落下高さは 35cm）、20cm 貫入するのに要する打撃回数  $N_m$  を測定する。サウンディングロッドは、ハンマーによって機械的に打込むため、人為的誤差の小さいことが特徴である。 $N_m > 5$  の状態では、ロッドを時計回りに 2 回転させて次の貫入を行う。回転はトルクレンチを用いて行い、回転に要する最大トルクを測定する。これは、ロッド周辺摩擦による  $N$  値を求め、測定  $N_d$  値から先端コーン貫入抵抗による  $N$  値を分離計算するためである。ただし、打撃回数が 20cm 当たり 5 回以下の場合には、ロッド接続時 1m 毎に 2 回転させる。

打撃回数から測定値  $N_d$  への換算式について、一般ラムの  $N_d'$  値、 $N_d$  値は次式で求められる<sup>3)</sup>。

$$N_d' = N_m \tag{2-2}$$

$$N_d = N_m - 0.04M_r \tag{2-3}$$

ここに、 $N_d'$ ：一般ラムによって得られる換算N値（トルク補正なし）  
 $N_d$ ：一般ラムによって得られる換算N値（トルク補正あり）  
 $N_m$ ：打撃回数（単位：回）  
 $M_r$ ：測定したトルク（単位：kg・cm）

次に、ミニラムの $N_{da}$ 値、 $N_{db}$ 値は次式で求められる<sup>4)</sup>。

○砂質土地盤

$$N_{da} = \frac{1}{2} N_m \quad (2-4)$$

○粘性土地盤（貫入中のロッドの摩擦力を考慮して）

$$N_{db} = \frac{1}{2} N_m - 0.016 M_r \quad (2-5)$$

ここに、 $N_{da}$ ：一般ラムによって得られる換算N値（砂質土地盤）  
 $N_{db}$ ：一般ラムによって得られる換算N値（粘性土地盤）

なお、以下で行う検討では議論を簡潔にするため、 $N_d'$ 値・ $N_d$ 値・ $N_{da}$ 値・ $N_{db}$ 値を包括して単に $N_d$ 値と表現することとする。

## 2. 2 収集データ一覧

表-2.2に、本検討で用いた大規模盛土諸元および動的コーン貫入試験のデータ一覧の一例を示した。収集したデータは281箇所である。これらのデータは原則として宅地耐震化推進事業にかかる調査の一環で得られたものであり、提供を受けた自治体は天津市、京都市、神戸市、宝塚市、西宮市、兵庫県である。表-2.1は右側から机上調査、現地踏査結果、動的コーン貫入試験結果の順に並べている。

表-2.2 大規模盛土諸元および動的コーン貫入試験のデータ一覧の一例

造成年代 (区分)	盛土タイプ	面積(m <sup>2</sup> )	盛土長さ (m)	盛土幅 (m)	盛土高さ (m)	机上調査						現地調査結果				動的コーン貫入試験結果															
						原地盤の勾配 (°)	盛土厚さ(D) (m)	幅/厚さ (m)	調整池の有無	旧ため池の有無	地質(解釈)	新旧DEM高低差(盛土厚)	地下水の有無	地下水位(h/D)	末端部変状の有無	実施年月 年 月	試験位置		試験機種別	地下水位(GL,m)	地下水位(h/D)	盛土厚(m)	ラム盛土厚-DEM盛土厚	推定盛土材料	盛土のNd' (ミニラムはNda)		盛土のトルク補正Nd (ミニラムはNdb)		盛土の土被り補正Nd (Nd' or Nda)		
						平均値	最小値	平均値	最小値	平均値	最小値																				
S40~S49	腹付	1,000	30	40	11	20.1	5.0	8.0	無	無	花崗岩	5.0	不明	不明	無	2012	12	法肩	袖部	ミニラム	無	-	2	1.9	砂質土	7.4	3.0	7.1	3.0	10.1	4.3
S50~S59	谷埋	4,000	71	50	12.7	8.0	7.0	7.1	無	無	中古生層	9.0	不明	-	石積み擁壁に水平クラック	2014	6	中央	谷底	一般ラム	無	-	2.6	1.4	砂質土・粘性土	14.2	0.0	13.5	0.0	14.2	0.0
S39以前	谷埋	5,000	160	30	6	2.1	3.0	10.0	無	無	大阪層群	-0.6	不明	-	無	2013	12	法肩	谷底	ミニラム	無	-	7.4	1.5	砂質土	9.7	0	8.3	0	11.6	0.0
S40~S49	谷埋	5,000	141	38	21	8.5	4.0	9.4	無	無	大阪層群	4.0	不明	-	無	2014	2	中央	谷底	一般ラム	0.9	0.44	1.6	3.6	砂質土	9.7	1.0	7.3	0.0	12.7	1.4
S40~S49	谷埋	7,000	220	30	22.1	4.0	8.0	3.8	有	無	大阪層群	9.0	不明	-	無	2012	1	法尻	谷底	一般ラム	無	-	3.2	1.8	砂質土・粘性土	6.2	2.0	3.2	0.0	8.3	2.4
S40~S49	谷埋	8,000	157	68	20	7.3	5.0	13.7	有	無	花崗岩	4.8	有	-	有	2013	2	中央	谷底	一般ラム	無	-	2.8	-1.7	砂質土	18.4	5	15.5	3.2	21.1	4.533
S40~S49	谷埋	9,000	187	51	32	9.7	15.0	3.4	無	無	大阪層群	16.5	不明	不明	不明	2013	12	法肩	谷底	一般ラム	3.4	0.7	11.4	-3.4	砂質土	4	0	3.4	0	3.8	0
S40~S49	谷埋	11,000	137	80	10.7	4.0	6.0	13.3	無	無	花崗岩	9.0	有	-	無	2013	3	法肩	谷底	ミニラム	無	-	11.2	0.3	砂質土・粘性土	10.4	2.0	3.4	0.0	11.1	2.6
S40~S49	谷埋	14,000	82	48	26	17.5	10.0	4.8	無	無	古琵琶湖層群	8	不明	-	無	2013	2	法肩	谷底	ミニラム	3.4	0.54	7.4	-0.8	砂質土	7.5	1	6.6	1	8.295	1.417
S40~S49	谷埋	16,000	160	90	30	10.6	18.0	5.0	無	有	第三紀層	9.1	有	0.1	末端の擁壁にクラック	2010	11	中央	袖部	ミニラム	無	-	1.6	10.4	礫質土	15.1	0	11.8	0	10.3	0.0
S40~S49	谷埋	19,000	240	50	27	6.4	10.0	5.0	無	有	第三紀層	10.0	有	0.25	無	2013	12	法肩	谷底	ミニラム	無	-	5.8	-2.1	互層	4.8	2.0	2.6	0.0	5.5	1.6
S40~S49	谷埋	22,000	260	40	24	5.3	7.0	5.7	無	無	大阪層群	7.0	有	0.33	擁壁にクラック	2013	12	法肩	谷底	一般ラム	無	不明	境界不明	不明	砂質土	22.7	5.5	14.2	0.0	18.9	4.2
S50~S59	谷埋	25,000	280	80	11.4	1.0	7.0	11.4	無	無	花崗岩	9.0	不明	-	無	2013	1	中央	谷底	ミニラム	無	-	7.8	3.3	砂質土・粘性土	27.8	3.0	26.4	3.0	27.7	0.0
S50~S59	谷埋	34,000	392	100	24.1	4.0	11.0	9.1	無	有	中古生層	16.0	不明	-	無	2013	1	法肩	谷底	ミニラム	無	-	4.8	0.3	砂質土・粘性土	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
S50~S59	谷埋	40,000	350	120	20	3.3	9.0	13.3	無	無	大阪層群	12.0	無	-	無	2011	12	法肩	谷底	一般ラム	2.6	0.86	18.8	-7.8	砂質土	12.9	7	5.1	0	14.7	6.8
S60以降	谷埋	44,000	300	90	36	6.8	10.0	9.0	無	無	大阪層群	19.2	不明	-	無	2012	3	法尻	袖部	ミニラム	7.6	-0.03	7.4	2.5	砂質土	10.1	0	8.4	0	7.2	0.0
S40~S49	谷埋	54,000	140	120	44	17.4	11.0	10.9	無	有	第三紀層	11.0	無	-	無	2011	12	法肩	谷底	ミニラム	無	-	14.0以上	不明	礫質土	8.3	1.0	4.0	0.0	9.0	1.4
S60以降	谷埋	62,000	390	120	32	4.7	10.0	12.0	有	無	大阪層群	12.7	不明	-	無	2011	3	法肩	谷底	ミニラム	無	-	8	2.8	砂質土	16	2	7.9	0	14.9	2.2
S40~S49	谷埋	67,000	490	90	35	4.1	17.0	5.3	有	有	第三紀層	18.7	有	不明	無	2011	12	中央	谷底	ミニラム	1.8	0.8	9.2	-4.2	礫質土	15.6	2	6.4	0	13.9	2.8
S50~S59	谷埋	85,000	350	150	37	6.0	9.0	16.7	無	無	大阪層群	21.2	無	-	無	2014	1	法尻	谷底	ミニラム	1.6	0.86	11.8	-2.1	砂質土	23.7	9	10.1	0	21.7	10.5
S50~S59	谷埋	113,000	553	106	90	9.2	10.0	10.6	無	無	第三紀層	5.7	不明	不明	無	2010	1	法肩	谷底	一般ラム	18	-0.23	14.6	-4.6	砂質土	3.5	1.5	3	0.7	5	2.1
S40~S49	谷埋	142,000	520	100	40	4.4	3.0	33.3	無	有	沖積層	0.0	有	0.1	無	2012	12	中央	谷底	ミニラム	無	-	9.2	-5.5	礫質土	18.6	6	12.1	2.5	13.5	6.3
S40~S49	谷埋	233,000	520	160	40	4.4	12.0	13.3	無	有	大阪層群	6.0	有	不明	盛土末端部土のせり出し	2010	1	法肩	谷底	ミニラム	無	-	12	0.5	礫質土	14.7	10	6.2	0	20.6	14.2
S60以降	谷埋	290,000	950	200	95	5.7	40.0	5.0	無	有	大阪層群	23.0	有	0	無	2012	1	中央	谷底	ミニラム	無	-	10.8	2.8	礫質土	28.9	7.5	17	4.3	22.3	10.6
S40~S49	谷埋	670,000	2160	200	79	2.1	21.0	9.5	無	有	大阪層群	7.5	不明	-	無	2011	2	法尻	袖部	ミニラム	4.6	0.43	8	0.5	礫質土	10.3	2	5.9	0	11.3	2.8

### 2. 3 近畿地方の表層地質概要

動的コーン貫入試験は試料採取ができないため、盛土材料を把握することが困難である。一方、宅地造成に当たっては切盛土量のバランスを図ることが一般的であるため、盛土基盤の表層地質は盛土材料とある程度関連付けられると考えられる。この観点に基づき盛土基盤の表層地質の概要を示した。

対象とする盛土基盤の地質は、中生層、花崗岩類、第三紀層、大阪層群、古琵琶湖層群ならびに段丘堆積層の6種類に分類している。

以下に各地層について概要を述べる。

#### 【中生層】

近畿の中生層は、兵庫県、京都府の中部～北部、大阪の豊能～甲賀にかけて広く分布している。兵庫県の南部においても一部の地域で点在する。中生層は、古生代二畳紀の堆積岩類である丹波層群、舞鶴層群の泥質岩、砂岩、礫岩、チャート等が主体で、さらに兵庫県の東部で中生代の生野層群の砂岩、泥質岩が分布している。

中生層を構成する地域の地形は、急峻な老齡型山地地形を呈しており、V次谷を呈する沢地形が複雑に分布する。

#### 【花崗岩類】

花崗岩類は、白亜紀後期から古第三紀の深成岩類であり近畿南部に位置する領家帯、南部から中部に分布する山陽帯、中部から北部に分布する山陰帯に区別されている。対象となる花崗岩類は、山陽帯と山陰帯であり、最も多い六甲山系を構成する六甲花崗岩は山陽帯に属している。

山陽帯の花崗岩は、黒雲母花崗岩を主体とし、六甲山の一部地域に布引花崗閃緑岩等の領家帯の花崗岩類が分布している。

また兵庫県の中部、滋賀県南東部においても山陽型の花崗岩類が分布しており、一部に領家体の花崗岩に属する信楽花崗岩が分布している。

兵庫県北部には和田山花崗岩、宮津花崗岩等山陰型の花崗岩類が分布している。

花崗岩類を形成する地形は、山地型の急峻な地形が主体であり、顕著なV次谷が発達している。しかしながら、大阪湾、瀬戸内海沿岸付近の花崗岩類分布地域は、都市化により幅広く造成されている人工地域が広がっている。

#### 【第三紀層】

今回の検討で対象とする第三紀層は、神戸・三田地域に広く分布する神戸層群ならびに、豊岡周辺に広く分布する北但層群である。近畿地域の第三紀層としては、紀伊半島を構成する四万十層群が広く分布しており、これらの他に京都府から滋賀県にかけて綴喜層群、鮎河層群等や田辺層群等が狭い範囲に点在している。

第三紀層は、砂岩、泥岩を主体として礫岩、凝灰岩などで構成されている。地すべり地が多いことが特徴的である。第三紀層の形成する地形は、丘陵地形が主体であり、北摂地域などでは広く造成地として利用されている。

#### 【大阪層群】

近畿地方の主な盆地には、鮮新～更新統の堆積層が分布している。近畿の鮮新～更新統を代表する地質として大阪層群、古琵琶湖層群がある。

大阪層群は、淡路島、播磨盆地、大阪盆地、奈良盆地、京都盆地に分布し、主に未固結の礫、砂、シルト、粘土層と鍵層となる火山灰層から構成されている。本層群の下半部は陸水性の堆積層であり、上半部は海成・陸生の両堆積物から構成される。特に上半部は下位から順にMa-1～Ma10と呼ばれる海成粘土層と陸生の砂礫、シルトの規則的な互層からなる。全体の層厚は丘陵地で300～400m、低地部では1000mに達するとされている<sup>12)</sup>。

#### 【古琵琶湖層群】

古琵琶湖層群は、標高70m～250mの上野盆地～近江盆地に分布する。本層群は内陸盆地に堆積した湖沼成および河川

成の礫、砂、シルト、粘土からなる鮮新～更新統の堆積物である。林ら<sup>13)</sup>は、古琵琶湖層群を下位から伊賀、蒲生、草津、堅田および高島の6つの累層に区別した。

古琵琶湖層群が分布する地域は、丘陵性のなだらかな緩斜面が多く、各所において宅地造成地として改変されている地域が多い。

大阪層群の特徴として砂、礫層を挟在することが多いことに対して、古琵琶湖層群は粘土・シルトが多く雄琴地すべりをはじめ地すべりとして発達していることが多い。

#### 【段丘堆積層】

大阪平野や播磨平野では段丘地形が多く認められ、高位段丘、中位段丘及び低位段丘に区分される。各々を構成する堆積層を、高位段丘堆積層、中位段丘堆積層、低位段丘堆積層という。

高位段丘堆積層は、山地において標高 200m 以上であるが、沿岸部では標高 30m 前後に分布している。この堆積物は、赤色土壌化のすすんだ風化礫層によって構成される。

中位段丘堆積層は、大阪平野において上町台地を構成する上町累層を模式地としている。上町累層は下部砂礫層、中部海成粘土層、上部砂層から構成されている。沿岸部における中位段丘堆積層は、標高 20m 付近に分布し、なだらかな平坦面を形成し、地形面の開析はすすんでいない。段丘構成層の表層部は赤色土壌化し、明褐色～褐色を呈している。低位段丘堆積層は現在の河谷沿いに分布し、層厚 10m 前後の礫層を主とする侵食段丘の構成層である。

### 3. 盛土厚の評価と盛土諸元との関係

本章では、動的コーン貫入試験による盛土厚の評価方法と、基礎地盤表層地質およびDEM (Digital Element Map) から得られる盛土厚との比較結果をとりまとめた。結果の概要は以下のとおりである。

- ①  $N_d$  値の変化のみから切盛境界を評価することは困難であり、切盛境界の評価はDEM データに基づく盛土厚と  $N_d$  値の変化を用いて総合的に判断することが重要である。
- ② 基礎地盤の表層地質が硬質なものほど、礫あたりによって貫入不能となった箇所が多くなるため、動的コーン貫入試験で盛土厚を把握することができなくなる割合が高くなる。
- ③ 盛土厚が厚く、特に 20m を超える箇所に対してはラムの貫入力では盛土厚の確認が困難である傾向が確認された。このことより、動的コーン貫入試験の信頼性は、およそ 15m 程度であると考えられる。

以下に、検討結果を示す。

#### 3. 1 盛土厚の評価方法に関する検討

盛土諸元と動的コーン貫入試験結果の関係を検討するに当たっては、動的コーン貫入試験による盛土厚の評価が課題となる。ここで、動的コーン貫入試験の結果のみから客観的に切盛境界を設定できるかを検討するため、ある自治体で実施した 33 地点のミニラムによるデータに対し、 $N_d$  値の変化率に着目した検討を行った。 $N_d$  値の変化率に着目したのは、盛土に比べて地山が硬質の場合、変化率が急増するためその深度を切盛境界と判断できると考えたためである。 $N_d$  値の変化率は図-3.1 に示すように、深度方向に 60cm 毎の  $N_d$  値と深度の回帰直線の傾きとして定義した。なお、本条件は予備検討結果より回帰直線の範囲を 1m とした場合や、 $N_d$  値そのものの傾き、および変化率増分等を指標とした場合よりも適用性が高いことを試行錯誤的に確認している。

今回、変化率が 20 を超えると  $N_d$  値が急増する深度とみなし、最初にこの値を超えた深度を切盛境界とした。ただし、礫打ちを行うことによる局所的な  $N_d$  値の急増については、直下で変化率が負の値になることから、そのような箇所は切盛境界として評価しないこととした。この条件によって得られた切盛境界がDEM データによる切盛境界とほぼ一致した割合を図-3.2 に示した。これより、およそ 7 割程度が上記条件に合致する結果となり、動的コーン貫入試験によってもある程度は客観的に切盛境界を設定できるものと考えられる。しかし、基礎地盤が未固結層であったことから  $N_d$  値が盛土とそれほど変わらず、 $N_d$  値の変化率のみでは評価が難しい箇所があった。また、 $N_d$  値の変化率が 20 を超える箇所があるものの、DEM データによる切盛境界と比べても大きな差異がみられた場所もあったため、DEM データの切盛境界付近で

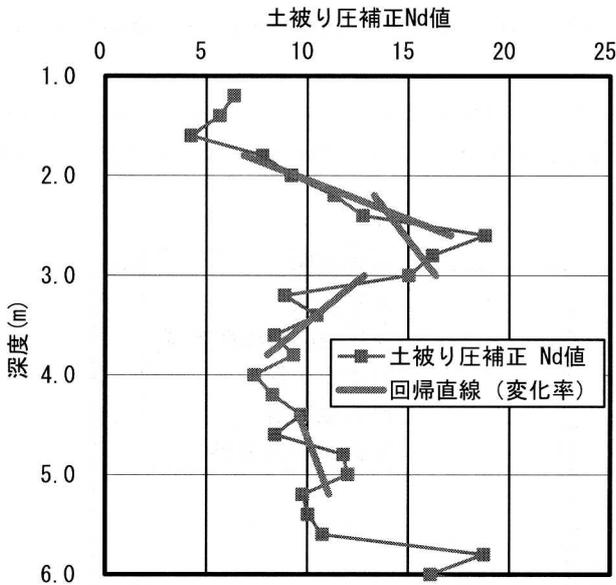


図-3.1  $N_d$  値の変化率の定義

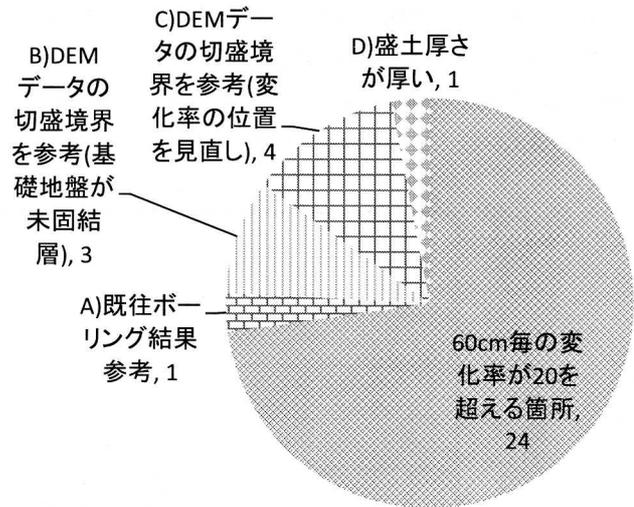


図-3.2 切盛境界の評価方法の割合

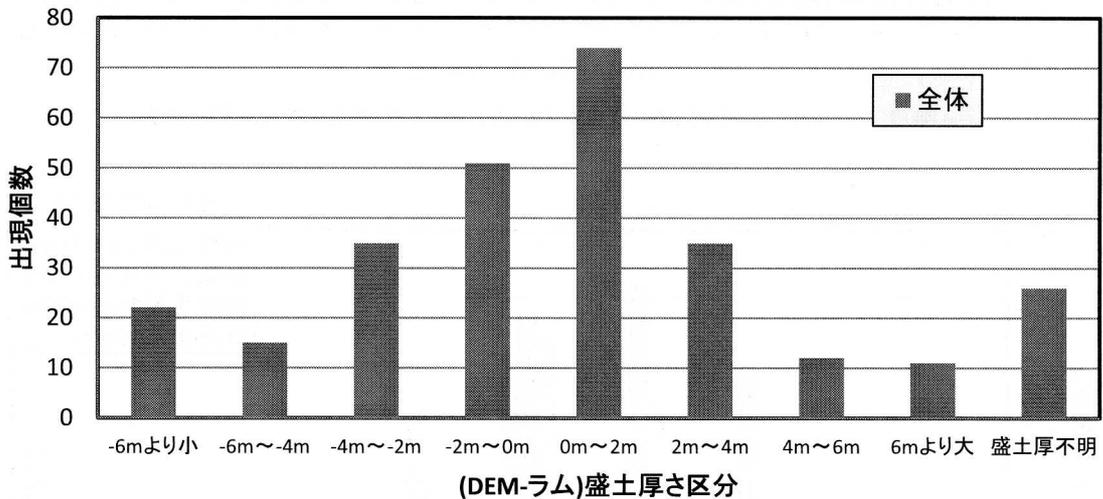


図-3.3 (DEMによる盛土厚)-(ラムでの盛土厚)の出現頻度

ルールに従った境界を設定する必要のあった箇所も見られた。これらを踏まえると、切盛境界の評価はDEMデータに基づく盛土厚と  $N_d$  値の変化を用いて総合的に判断することが重要である。また、動的コーン貫入試験を実施する際には、DEMデータによる盛土厚をあらかじめ把握したうえで掘留基準を設けることが望ましいと考えられる。

次に、図-3.3に(DEMによる盛土厚)-(ラムでの盛土厚)の出現頻度分布図を示した。これより、盛土厚が不明であった箇所を除くと、 $\pm 2m$ の範囲に50%、 $\pm 4m$ の範囲に77%が入るという精度となった。ずれの原因としては、動的コーン貫入試験は試料を採取できないため、詳細な土質の変化を把握することに限界があるに加え、DEMデータにも用いた地区の縮尺に応じて誤差を有していることが挙げられる。このように動的コーン貫入試験による盛土厚の評価には誤差が含まれており、動的コーン貫入試験のみで盛土の性状を定量的に評価するのは慎重な対応が必要になると考えられる。

### 3. 2 盛土厚と盛土諸元の関係

図-3.4に(DEMによる盛土厚)-(ラムでの盛土厚)と基礎地盤表層地質の関係の頻度分布図を示した。これより、基礎地盤の表層地質が硬質なものほど、「盛土厚不明」となる割合が高いことがわかる。前述したように大規模盛土造成は切盛バランスを取りながら造成を行うことが一般的であり、基礎地盤の表層地質と盛土材料の性状には相関があると考えら

れる。このことを踏まえると、中生層のように基礎地盤が硬質な場合は盛土材料に礫分が多くなり、礫あたりによって貫入不能となった箇所が多くなるためと考えられる。

図-3.5 には (DEM による盛土厚)-(ラムでの盛土厚) と盛土厚の関係の頻度分布図を示した。これより、盛土厚が厚く、特に 20m を超える箇所に対してはラムの貫入力では盛土厚の確認が困難である傾向が確認された。このことより、動的コーン貫入試験の信頼性は、およそ 15m 程度であると考えられる。

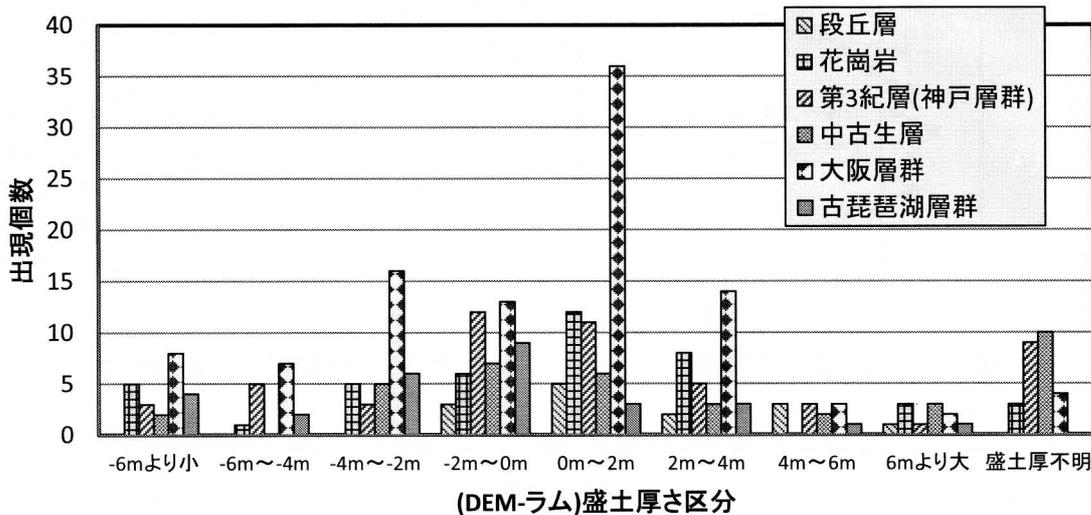


図-3.4 (DEMによる盛土厚)-(ラムでの盛土厚)と基礎地盤表層地質の関係

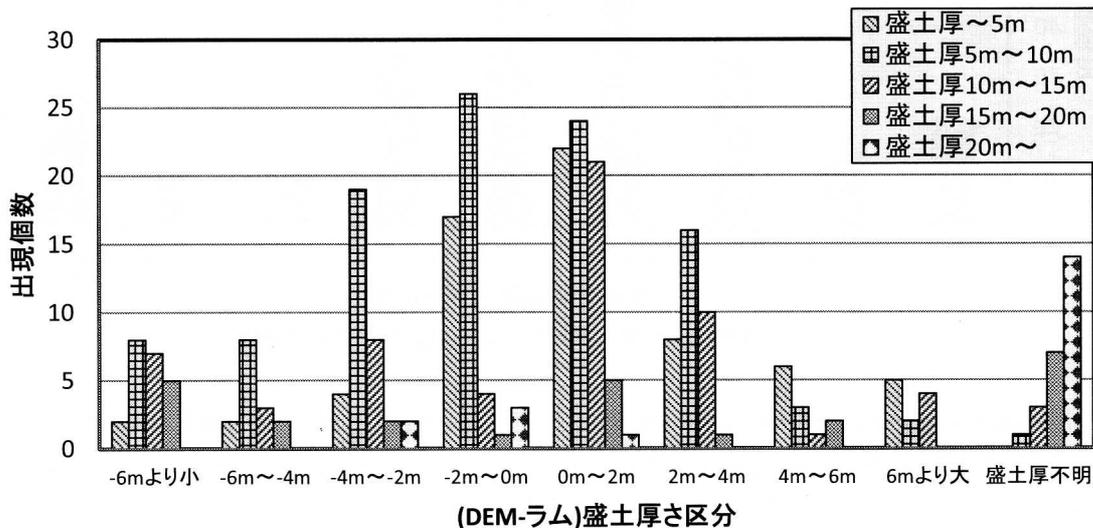


図-3.5 (DEMによる盛土厚)-(ラムでの盛土厚)と盛土厚の関係

#### 4. 地下水位に関する整理結果

地下水位の分布状況は、盛土の安定性に大きく影響している要因の一つとして広く知られている。特に、豪雨・地震時の盛土の崩壊事例では、盛土内の水の存在が被害の程度を大きくさせていることが知られており<sup>14)</sup>、平成17年山口県岩国市における山陽自動車道の盛土崩壊など、実際の盛土崩壊事例が挙げられている。また、盛土内部への地下水位の侵入は、宅造法で指定する「造成宅地防災区域」の指定に関する要件の1つに指定されている<sup>15)</sup>。

本章では、盛土の安定性に影響を与える地下水位の出現傾向を把握することにより、安全性の低い盛土の抽出に役立てることを目的として、これまで得られた動的コーン貫入試験結果のうち、地下水位に関するデータについて、盛土諸元との関連について整理、検討を行った。

動的コーン貫入試験における地下水位の把握方法は、主に次に示す2つの方法による。

- (1) 貫入試験実施後、周辺地盤の水位が反映されるようストレーナー加工した塩ビ管を建て込んで、管内に生ずる地下水面を測定して把握する方法
- (2) ロッド引抜きの際のロッド表面の濡れ具合に基づき地下水位の存在を推定する方法。

ただし、これらの方法はあくまで簡便な把握法である。複数の帯水層を形成している、あるいは宙水が存在する場合等には厳密な地下水位把握が困難であるため、第二次スクリーニング等の厳密な盛土の安定性評価が必要な局面では、専用の地下水位観測孔を設けるなどの精査が必要となってくる。

なお、試験結果の整理に当たっては、次のような取扱いを行った。

- ① 地下水位の分布位置については、当該調査地点における推定盛土厚で除して正規化し、 $h/D$  比で表示した ( $D$ : 推定盛土厚、 $h$ : 盛土中における地下水位高さ)。
- ② 地下水位が確認できないケースについては、試験時の状況により次に述べる「水位不明」または「水位なし」として整理した。
  - ・水位不明：貫入不能等で深度 10m 以浅までに貫入試験により推定される盛土地山境界が確認されなかった盛土で、水位が確認されなかったケース
  - ・水位なし：盛土地山境界まで確認された盛土のうち、盛土内に水位がなかったもの、もしくは 10m 以深まで掘削を行い、水位が確認されなかった盛土（盛土地山境界が確認されなかったものを含む）

本章の結果の概要は以下のとおりである。

- ① 盛土内に地下水位の分布が認められるのは、調査事例全体の約 4 分の 1 である。
- ② 地下水位の出現頻度は基礎地盤表層地質により大きな差がみられ、盛土材料が中生層や花崗岩など硬岩起源である場合は出現頻度が小さく、段丘層や古琵琶湖層群など細粒な材料起源で出現頻度が大きい。
- ③ 造成年代が新しくなるにしたがって、地下水位なしと評価される事例の割合は減少する。
- ④ 盛土厚さが厚くなるにしたがって、地下水位の出現割合が増加する。ただし、盛土厚 20m 以上では、地下水位出現割合が小さくなる。
- ⑤ 盛土面積が大きくなるにしたがって、地下水位の出現割合が増加する。ただし、盛土面積 80,000 $m^2$  以上では、地下水位出現割合が小さくなる。
- ⑥ 基礎地盤の平均勾配が緩くなるにしたがって、地下水位の出現割合が大きくなる。
- ⑦ 盛土長が長くなるにしたがって、地下水位の出現割合が増加するようであるが、明瞭な傾向は見出しにくい。
- ⑧ 旧ため池や調整池が存在する盛土の方が、地下水位の出現割合が大きい傾向がある。
- ⑨ 盛土末端部に変状が認められる箇所の方が、地下水位の出現割合が大きい傾向がある。
- ⑩ 現地調査にて地下水位が確認された箇所の方が、地下水位の出現割合がやや大きい傾向がある。
- ⑪  $N_d$  値の平均値と地下水位の有無の間に、明瞭な相関は認められない。

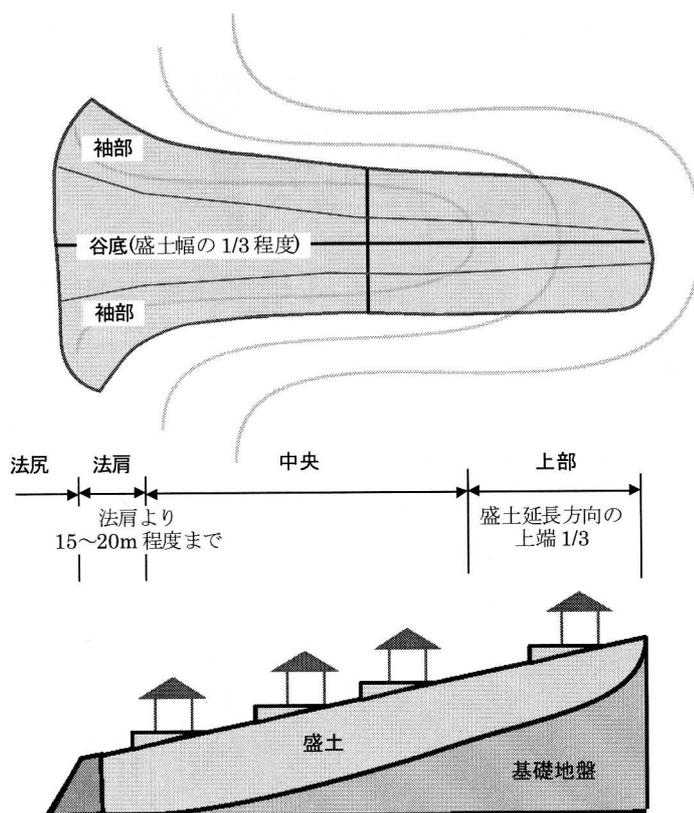


図-4.1 盛土位置の評価の考え方

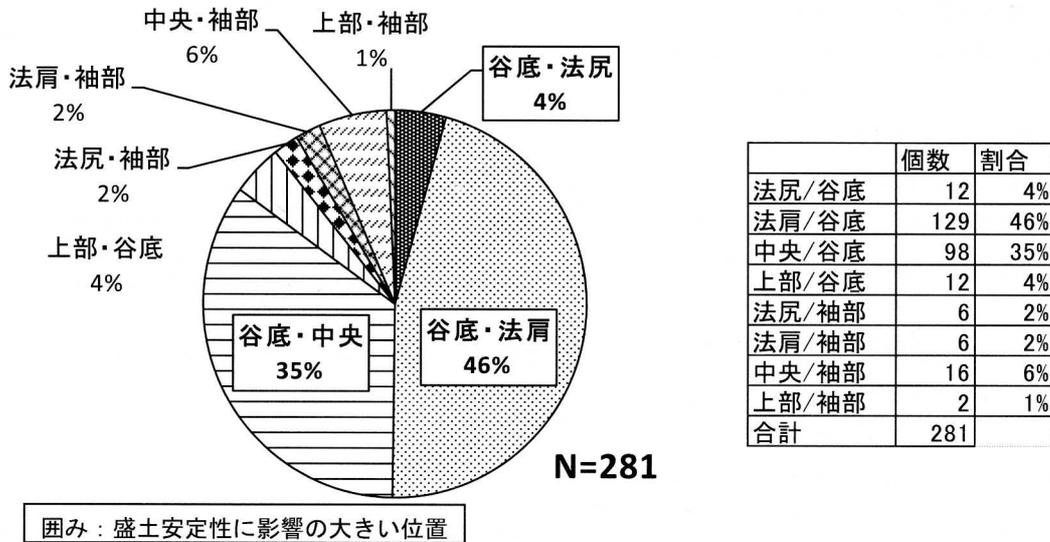


図-4.2 調査実施位置の頻度分布

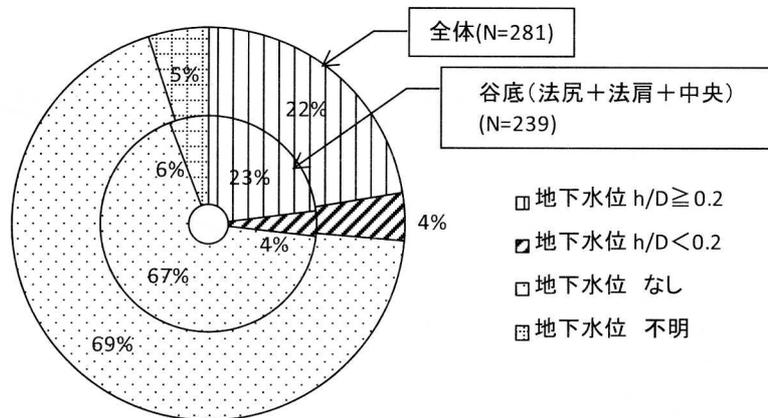


図-4.3 盛土内地下水位の出現頻度(全体および谷底・(法尻+法肩+中央))

#### 4.1 調査地点の整理

調査地点の盛土内の相対的な位置を、図-4.1 に示すとおり、谷筋縦断方向について「法尻」「法肩」「中央」「上部」の4区分、谷筋横断方向について「谷底」「袖部」の2区分を行った。収集事例(N=281)のうち、盛土の安定性に影響が大きいと考えられる「谷底・法尻」「谷底・法肩」「谷底・中央」の位置で試験が実施された例は全体の約85%に及んでいる(図-4.2)。これは、収集事例における調査計画段階で、盛土の安定性を評価するにあたり、試験位置の選定が重要であることが認識されており、現地条件等による制約がない場合優先的にこれらの位置で実施されていることを反映しているものと考えられる。

次に、盛土内での地下水位の出現状況について整理する。収集事例全体、および収集事例のうち斜面安定性に影響の大きいと考えられる調査位置(「谷底・法尻」「谷底・法肩」「谷底・中央」)での盛土内地下水位の出現頻度を図-4.3に示す。また、調査実施位置毎の盛土内地下水位出現深度を図-4.4に示す。

これより、検討対象の絞り込みの有無にかかわらず、地下水位が確認された事例はいずれも全体の1/4程度であり、傾向に変化はみられない。上記傾向は、盛土内水位は地山からの浸透や、上流から切盛境部を流下する地下水に加え、雨水の浸透による宙水の発生、地下水排水工の不能などが原因となることも多いことを示唆しているとも考えられるが、詳細は不明である。

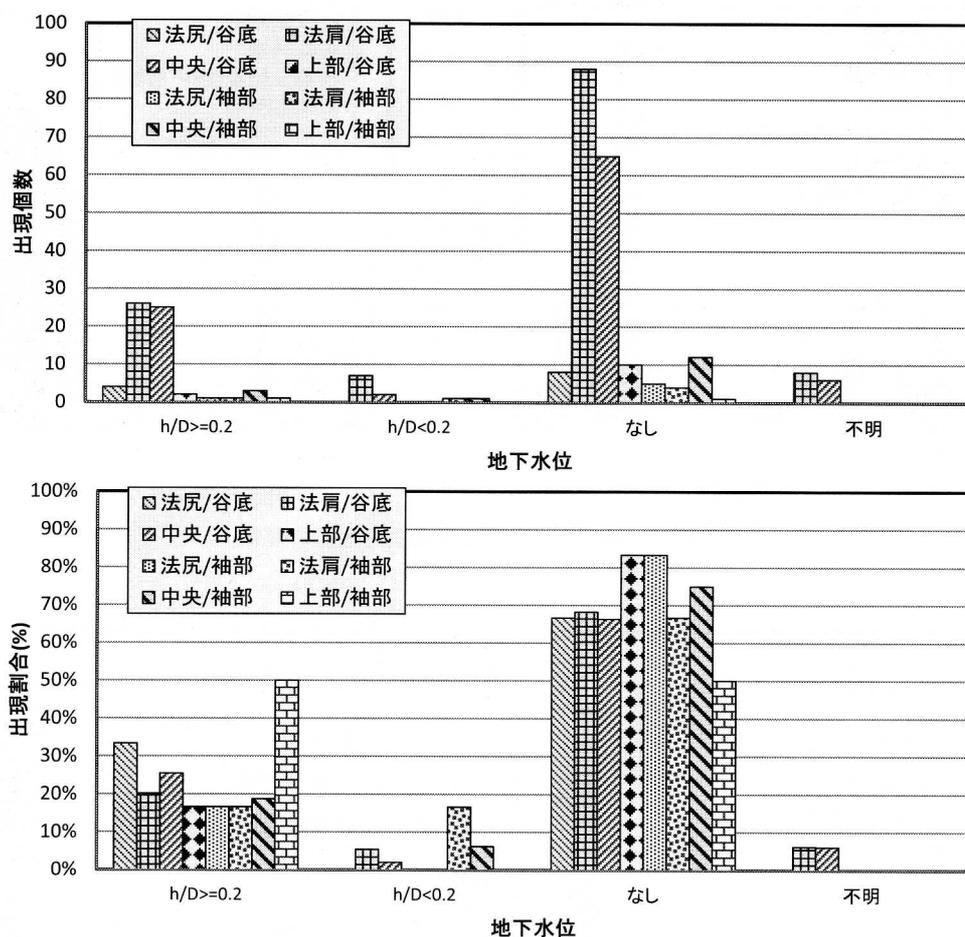


図-4.4 調査位置毎の盛土内地下水出現深度

#### 4.2 盛土諸元との関係

ここでは、地下水位の分布と盛土諸元との関係についてより詳しく検討し、地下水位が高くないやすい盛土諸元としてどのようなものがあるかを整理するため、調査事例のうち、盛土安定性への影響が大きいと考えられる谷底・(法尻+法肩+中央)における調査結果に着目して整理した。なお、地下水位が不明の事例については除外して整理した。

以下に、検討結果を示す。

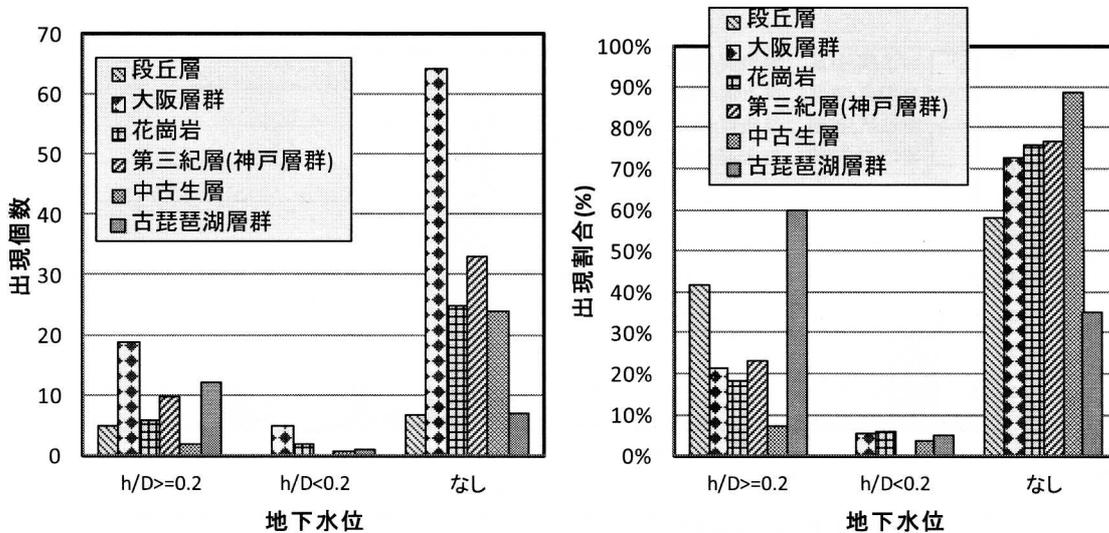


図-4.5 地下水水位と基礎地盤表層地質の関係

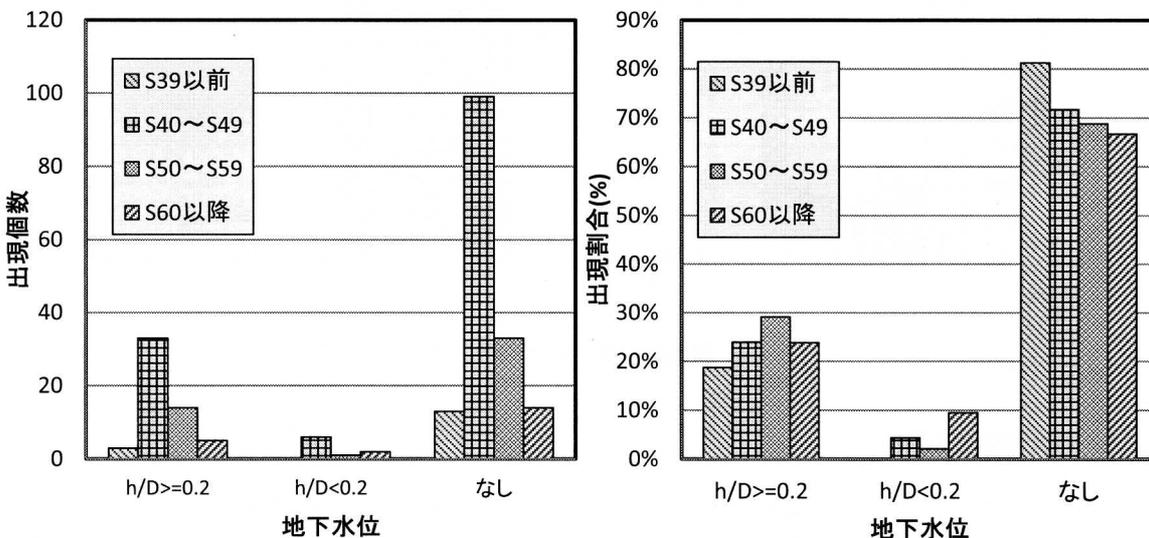


図-4.6 地下水水位と造成年代の関係

・基礎地盤表層地質との関係

地下水水位の分布状況と基礎地盤表層地質との関係を図-4.5 に示す。全事例では地下水水位の出現割合が24%程度となるのに対し、基盤表層地質が段丘層の場合で42%、古琵琶湖層群の場合には65%と高い割合となっている。一方、中生層の場合には7%と小さく、基礎地盤表層地質の違いが盛土の地下水水位に影響を与えており、細粒な材料で盛られているものほど高くなる傾向がみられるようである。古琵琶湖層群で特に高くなっているのは、古琵琶湖層群の構成材料として泥質岩が優勢であることから、盛土構築の際にも透水性が小さい粘性土が主体となっていることが反映している可能性があると考えられる。

・造成年代との関係

地下水水位の分布状況と造成年代の関係を図-4.6 に示す。明瞭な傾向は見出しがたいが、造成年代を問わず全体の24%前後の事例について盛土内に地下水水位が認められるほか、地下水水位なしと評価される事例の割合は、造成年代が新しくなるに従って漸減している。

なお、動的コーン貫入試験の実施箇所は、過去の被災事例を参考に造成年代が比較的古い盛土を中心に選定している自治体もあり、実施数の割合が盛土個数の割合に比例しているわけではないことに留意されたい。

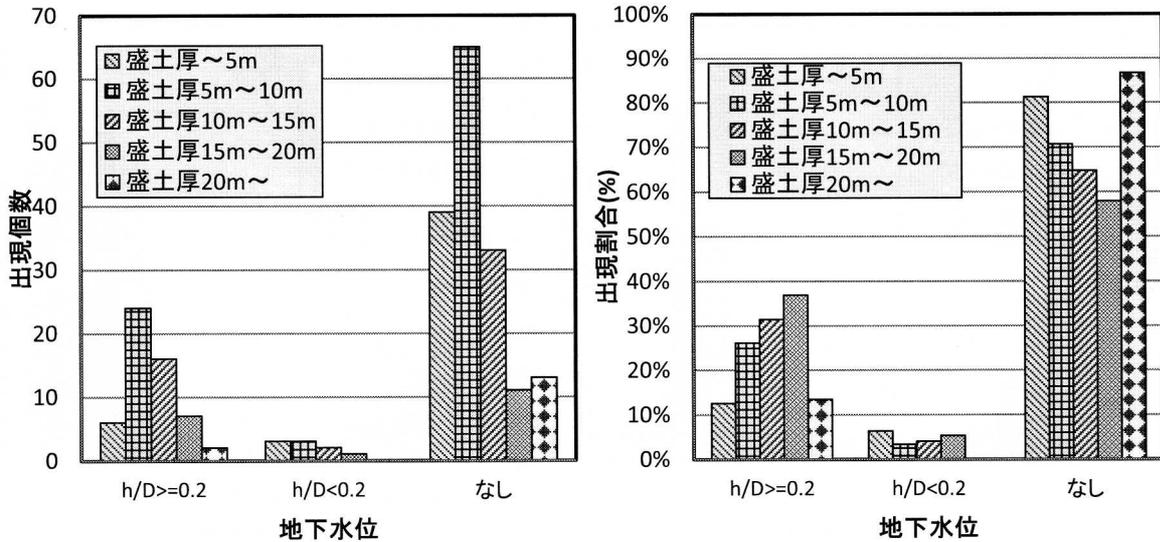


図-4.7 地下水水位と盛土厚の関係

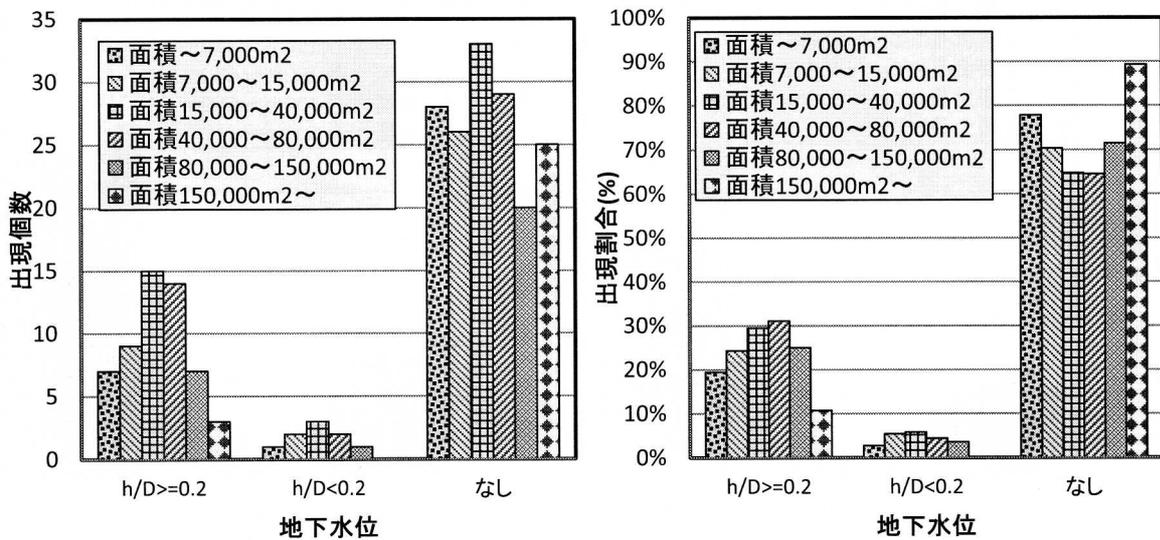


図-4.8 地下水水位と盛土面積の関係

・盛土厚との関係

地下水水位の分布状況と盛土厚の関係を図-4.7に示す。盛土厚が厚くなるに従って地下水水位の出現割合は増加する傾向があり、厚さ5m未満では19%の出現割合だったものが、厚さ15m以上20m未満では42%に達している。一方、盛土内の地下水水位は盛土材の保水性能と不均質性に影響を受けると考えられる。すなわち、透水性の低い材料は浸透した水が抜けにくいいため地下水水位を形成し、局部的に透水性が低い粘性土が分布するとその上部に宙水を形成する。このため、盛土厚が厚いほど排水距離が長くなり、盛土内に水位が形成されやすくなる。また、盛土厚が厚いほど盛土厚が厚くなるにしたがって盛土内に不均質な箇所が出現する割合が高くなり、地下水水位を形成されやすくなるものと考えられる。一方、盛土厚が20mを超える場合には一転して地下水の出現割合が小さくなっている。これは、特に規模の大きい宅地開発の場合には盛土施工の管理がより厳格に行われる、あるいは大規模造成の施工時期そのものが相対的に新しい等の理由が考えられる。このほか、動的コーン貫入試験の適用限界はおおよそ15m程度であり、宅地盛土が大規模であると地下水水位の確認が難しくなることも指摘される。

・盛土面積との関係

地下水水位の分布状況と盛土面積の関係を図-4.8に示す。盛土面積が大きくなるに従って、地下水水位の出現割合が増加

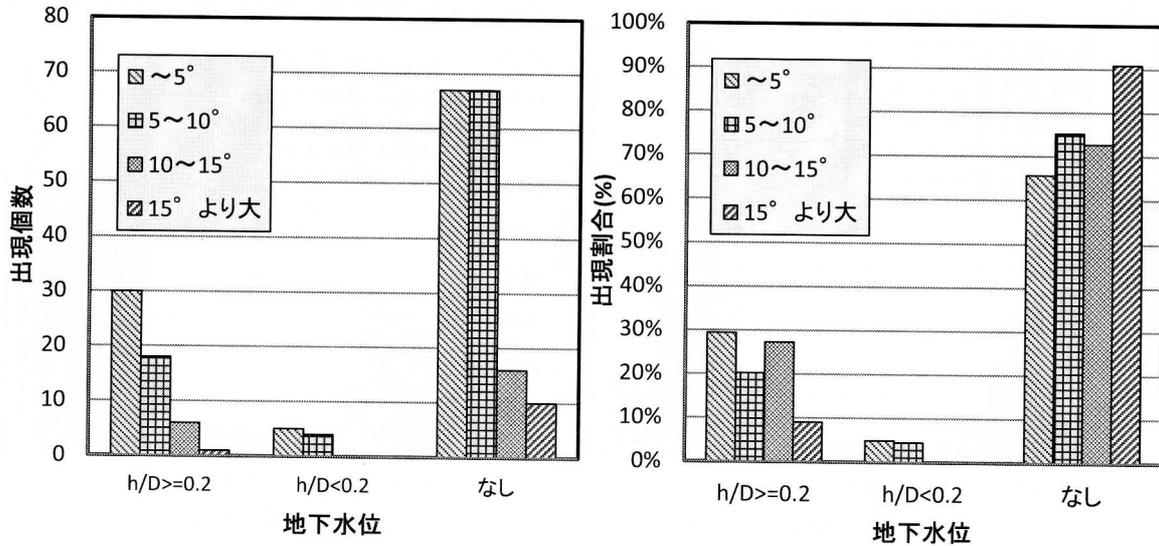


図-4.9 地下水水位と基礎地盤の平均勾配の関係

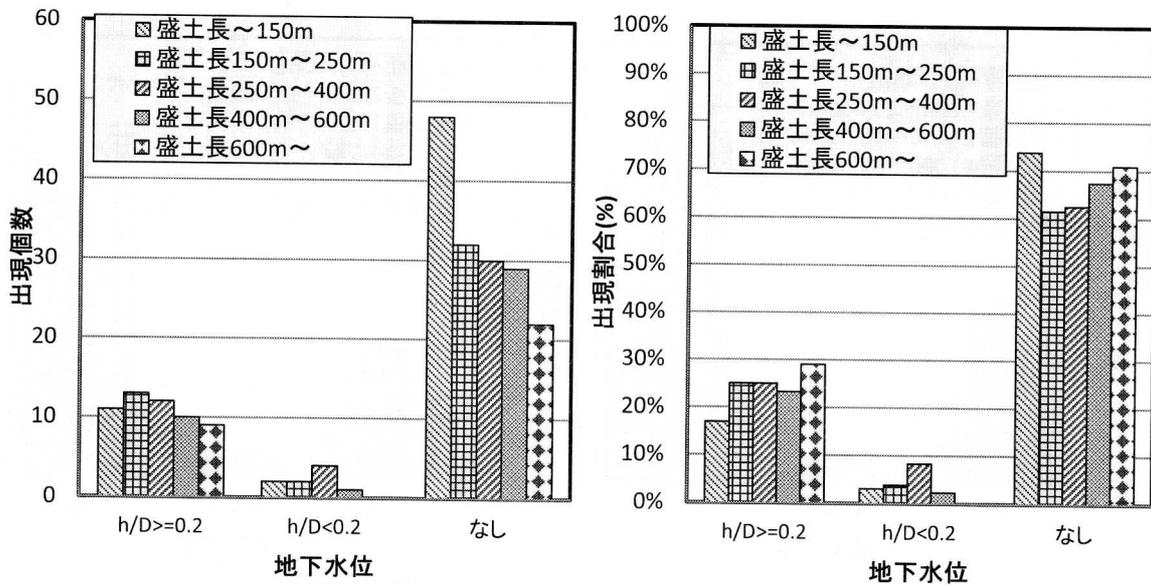


図-4.10 地下水水位と盛土長の関係

していく傾向が認められ、面積 15,000m<sup>2</sup>以上 40,000m<sup>2</sup>未満、40,000m<sup>2</sup>以上 80,000m<sup>2</sup>未満でいずれも 35%となっている。ただしこれよりも面積が大きくなると、地下水水位出現割合は小さくなっており、盛土厚と類似した傾向を示している。

・基礎地盤の平均勾配との関係

地下水水位の分布状況と基礎地盤の平均勾配の関係を図-4.9に示す。平均勾配が15°より大きい盛土で地下水水位が認められた事例は1つ(9%)にとどまっているが、勾配が緩くなるにつれて地下水水位の出現割合が大きくなる傾向となり、平均勾配5°未満では、地下水水位が比較的高いh/D ≥ 0.2となるケースが29%に達する。基礎地盤の平均勾配は、地下水面の動水勾配にも影響を与えていると考えられ、緩い傾斜ほど地下水水面も形成されやすい傾向にあると思われる。

・盛土長との関係

地下水水位の分布状況と盛土長を関係を図-4.10に示す。地下水水位が比較的高いh/D ≥ 0.2となるケースについては、盛土長150m未満で18%だったものが盛土長600m超では29%に達するなど、盛土長が長くなるにしたがって出現割合が多くなるようであるが、出現個数が明らかに多くなっている状況ではなく、明瞭な傾向は見出しにくい。

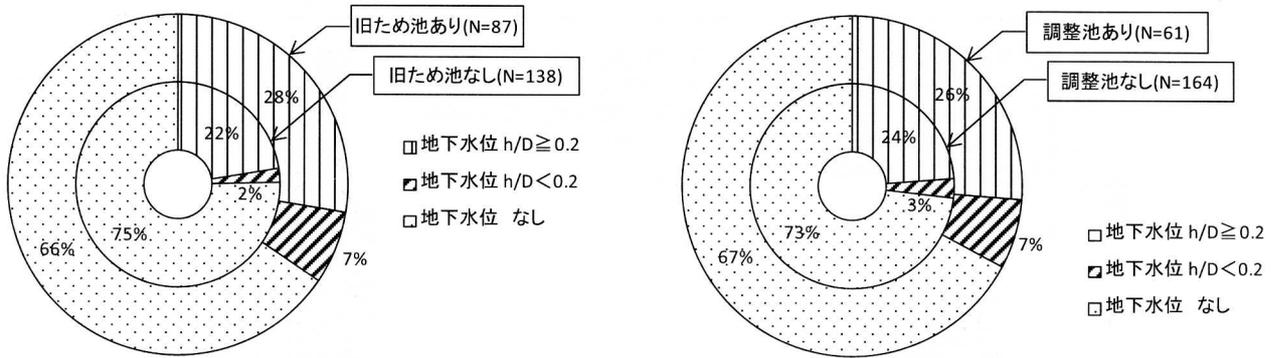


図-4.11 地下水位と旧ため池・調整池の有無の関係

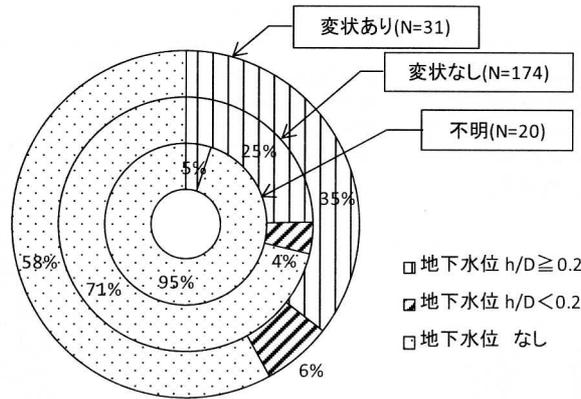


図-4.12 地下水位と末端部変状の有無の関係

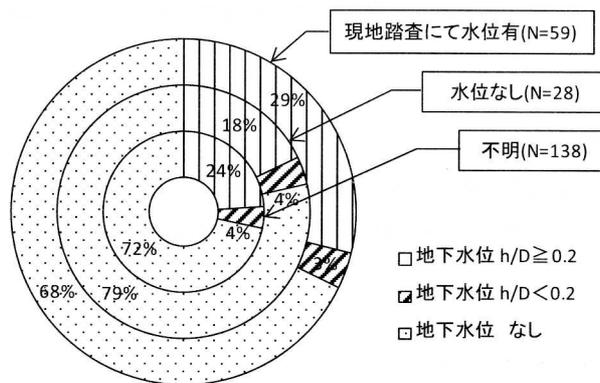


図-4.13 地下水位と現地踏査による地下水位の有無の関係

・旧ため池および調整池の有無との関係

地下水位の分布状況と旧ため池・調整池の関係を図-4.11に示す。ここで、「旧ため池あり」とした盛土は盛土範囲内のいずれかにため池が存在したものを指している。一方「調整池あり」とした盛土は、盛土前面に調整池がある場合を指している。いずれも、旧ため池・調整池が存在する盛土の方が、存在しない盛土と比較して地下水位が分布する割合が大きくなっている。また、調整池よりも旧ため池の方が傾向は若干明瞭に現れている。今回確認された傾向について、旧ため池があった盛土は典型的な集水地形であったり、基礎地盤からの湧水が存在していた可能性があり、その影響で地下水位が存在しやすいことが指摘される。また調整池が存在する盛土は、旧ため池と同じく典型的な集水地形であることや、調整池が滞水した時の地下水位の残留の影響などにより、地下水位が存在しやすいことが指摘される。

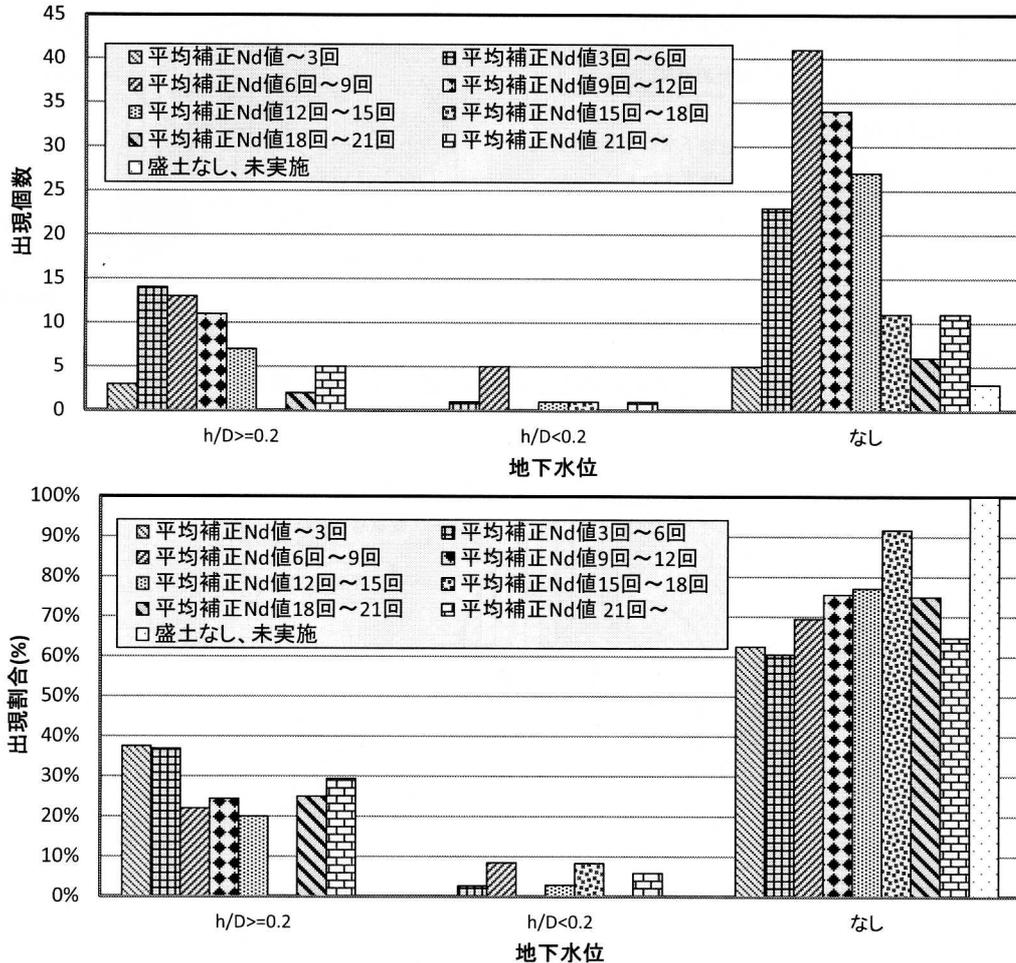


図-4.14 地下水位と盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値の関係

・末端部変状の有無との関係

地下水位の分布状況と末端部変状の有無との関係を図-4.12 に示す。末端部に変状が認められる箇所では、地下水位が存在する割合が高くなっている。なお、変状の有無が不明の箇所では地下水位が認められなかった箇所がほとんどを占めている。

・現地踏査における水位確認の有無との関係

地下水位の分布状況と現地踏査における水位確認の有無との関係を図-4.13 に示す。現地踏査によって地下水位があるとされた盛土は盛土内水位が出現しやすくなっているが、10%程度の差にとどまっている。この一因として、宙水の存在など盛土内の水位分布は複雑であり、現地踏査で確認される法尻付近の水位と調査地点の水位に連続性のないことが挙げられる。なお、法尻付近の水位は盛土の安定性に大きな影響を与えることから、現地踏査の結果は重要視されるものであろう。ただし、擁壁水抜孔からの浸出や漏水などは排水対策が機能を発揮している結果であることもあり、慎重な評価が求められると考えられる。

・土被り圧補正した  $N_d$  値の平均値との関係

地下水位の分布状況と土被り補正  $N_d$  値の平均値との関係を図-4.14 に示す。 $N_d$  値の平均値が 15 以下の範囲では  $N_d$  値が小さいほど地下水位の出現する確率がやや上がる傾向がみられるが、 $N_d$  の平均値 20 回以上の盛土も地下水位の出現する確率が高くなっていることがわかる。以上から、地下水分布の間には、明瞭な相関は認められないといえる。

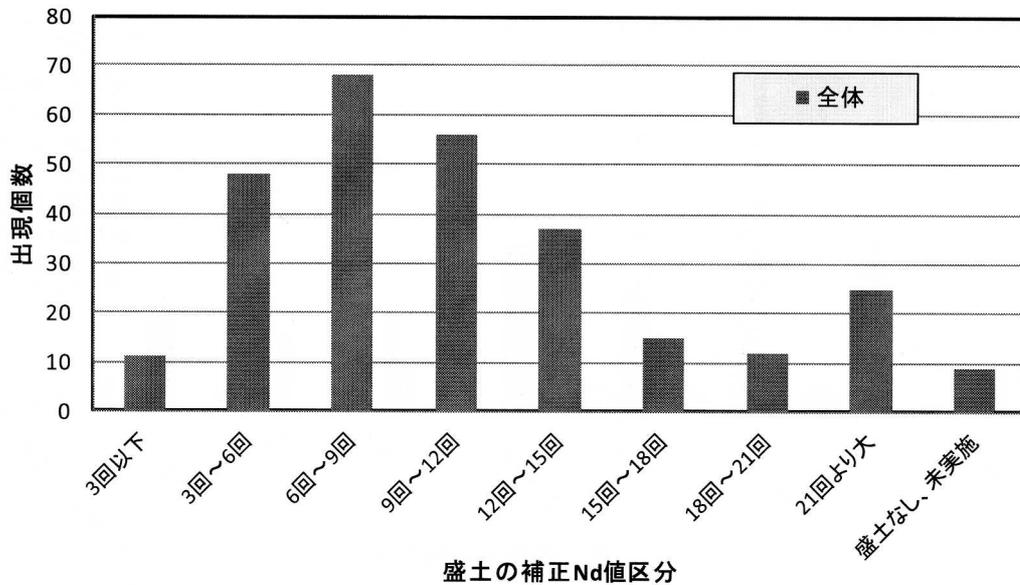


図-5.1 盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値の出現頻度

## 5. 土被り圧補正 $N_d$ 値の平均値に関する整理結果

$N_d$  値は、盛土の安定性に大きく影響している要因の一つとして広く知られている。これまでの大規模宅地盛土の被災事例でも明らかなように、地震時に被災する盛土は動的強度が小さく、このような盛土は  $N$  値が小さい傾向があることが知られている。本章では、盛土の安定性に影響を与える  $N_d$  値の出現傾向を把握することにより、安全性の低い盛土の抽出に役立てることを目的として、これまで得られた動的コーン貫入試験結果のうち、 $N_d$  値に関するデータについて、盛土諸元との関連について整理、検討を行った。

なお  $N_d$  値は土被り圧の影響を受けるため、異なる盛土厚の盛土の評価を行うにあたっては、土被り圧の影響を補正しておくことが望ましい。そこで、以下に示す道路橋示方書の式<sup>16)</sup>に基づいて正規化を行ったうえで検討をしている。また、別途実施している検討結果<sup>5)</sup>に基づき、トルク補正を施さない  $N_d$  値を採用している。

$$N_1 = \frac{170 \times N}{\sigma_v' + 70} \quad (5-1)$$

ここで、 $\sigma_v'$  : 有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)       $N$  :  $N$  値 ( $N_d$  値)

$N_1$  : 有効上載圧 100 (kN/m<sup>2</sup>) 相当に換算した  $N$  値。

ただし、原位置での  $\sigma_v'$  が 50 (kN/m<sup>2</sup>) 以下である場合は、 $\sigma_v' = 50$  (kN/m<sup>2</sup>) として算出。

本章の結果の概要は以下のとおりである。

- ①  $N_d$  値の平均は 11.2 で、15 回以下が全体の 78% と大部分を占めている。
- ② 谷筋縦断方向（法尻/法肩/中央/上部）、谷筋横断方向（谷底/袖部）を対象として盛土内の相対的な調査実施箇所の違いに着目したところ、実施箇所の違いが平均  $N_d$  値に与える影響は明確ではなかった。
- ③ 基礎地盤の表層地質が硬質な材料からなるものほど、平均  $N_d$  値が大きくなる傾向がある。また、盛土厚も厚くなる傾向がある。
- ④ 造成年代が古い盛土ほど、平均  $N_d$  値が小さくなる傾向がある。また、盛土厚は薄い傾向がある。
- ⑤ 表層地質と造成年代の間に相関がみられ、関西地方の経済の中心部に当たる大阪市の近くで分布頻度が高い段丘層、大阪層群は造成年代が古く、基礎地盤表層地質の傾向も相まって平均  $N_d$  値が小さくなるものとみられる。大阪市から比較的離れたところに出現する第三紀層（神戸層群）及び中古生層は造成年代が新しく、平均  $N_d$  値が大きい。

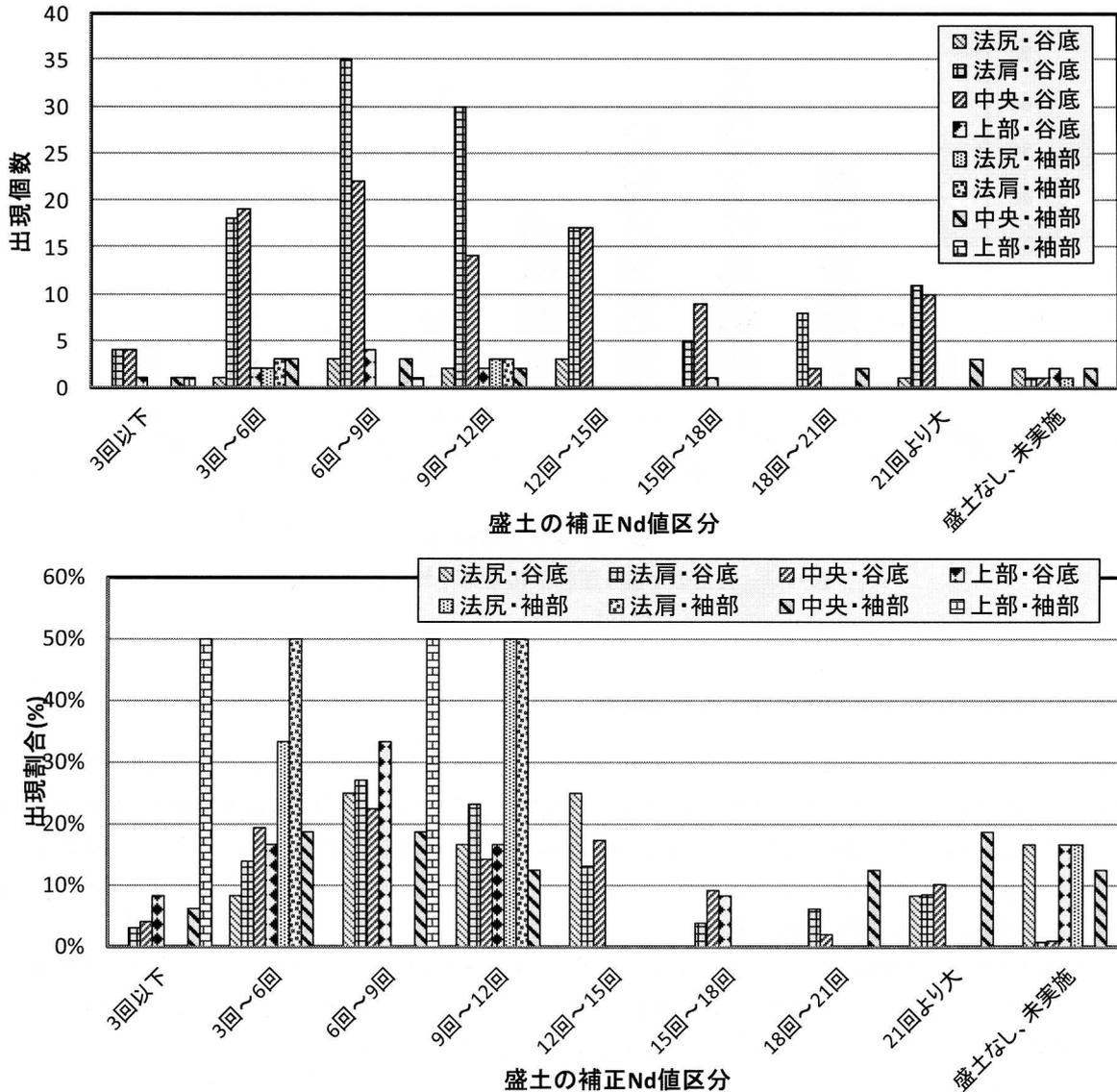


図-5.2 盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と調査実施位置の関係

(平均値 全体:11.2、法尻・谷底:11.3、法肩・谷底:11.5、中央・谷底:11.5、上部・谷底:7.7、法尻・袖部:8.3、法肩・袖部:7.3、中央・袖部:12.4、上部・袖部:4.9)

- ⑥ 大阪市に近い山地で分布頻度の高い花崗岩は造成年代が古いものの、表層地質の影響を受け平均  $N_d$  値が大きい。盛土厚については明確な傾向が読み取れない。
- ⑦ 古琵琶湖層群は造成年代が比較的新しいものの、地形が緩やかで表層地質が軟質な材料から構成されている割合が高いため、平均  $N_d$  値は小さく盛土厚が薄い。
- ⑧ 盛土面積が小さく盛土長さが小さいほど、平均  $N_d$  値が小さくなる傾向がある。
- ⑨ 盛土末端部に変状が見られる盛土は、そうでないものと比べて平均  $N_d$  値が小さくなる傾向がある。

以下に、検討結果を示す。

・盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値の出現頻度

盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値の出現頻度を図-5.1 に示す。  $N_d$  値 6 回~9 回の出現頻度が全体の 24% と一番多く、次いで 9 回~12 回が 20% となっている。また 15 回以下が全体の 78% と大部分を占めており、15 回以上が 18% となっている。全体の  $N_d$  値の平均は、11.2 である。ただし、  $N_d$  値 6 回以下の出現頻度も 21% を占めている。  $N_d$  値が小さいだけで、

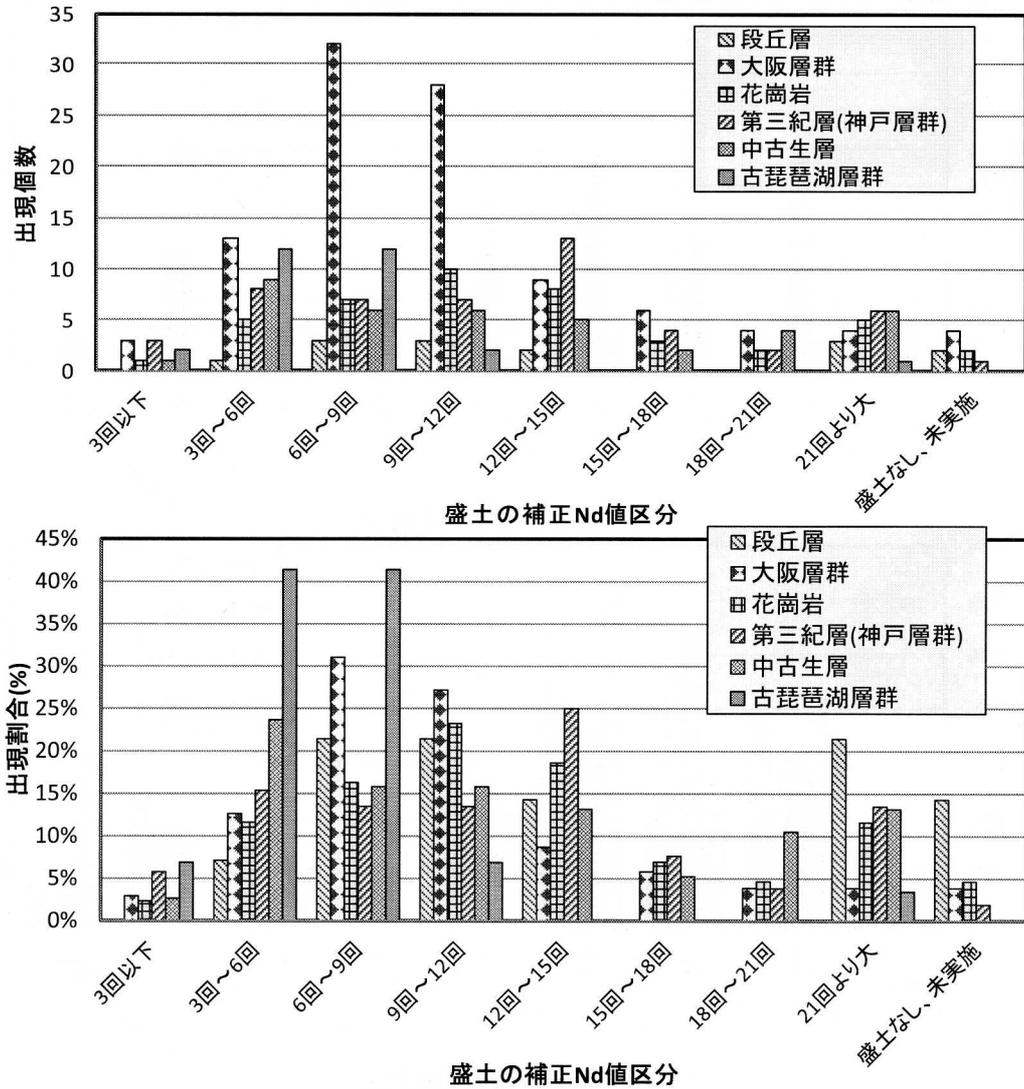


図-5.3 盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と基礎地盤表層地質の関係

(平均値 全体:11.2、段丘層:13.4、大阪層群:10.4、花崗岩:13.3、第三紀層(神戸層群):12.0、中生層:13.3、古琵琶湖層群:6.7)

盛土の安定度が低いとは一概に言えないが、地下水位以下に  $N_d$  値が低い部分があると、その部分は地震時に脆弱化する可能性があり、留意が必要である。

・調査実施位置との関係

盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と調査実施位置の関係を図-5.2 に示す。調査実施位置は、4. 1 節の調査地点の整理で示した、8 種類に分類した。どの調査実施位置でも全体の傾向と同様に 6 回~9 回が一番多く、19%~50%の割合である。一方  $N_d$  値の平均値は、上部・袖部の位置が 4.9、法肩・袖部が 7.3、上部・谷底が 7.7、法尻・袖部が 8.3 と、上部もしくは袖部に当たるもので小さくなる傾向があった。これらは盛土の端部にあたり、施工時に十分締固められていない可能性がある。ただし、調査実施位置の約 9 割が谷底部に集中しており、袖部は約 1 割程度と少ないため、すべての袖部の  $N_d$  値が谷底部に比べて小さいとは断定できない。また、谷底の法尻・法肩・中央・上部における  $N_d$  値の出現分布はすべて 6 回~9 回の出現頻度を中心に正規分布に近い形状となっており、同様の傾向を示している。

・基礎地盤表層地質との関係

盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と基礎地盤表層地質の関係を図-5.3 に示す。 $N_d$  値の平均値において、全体より大き

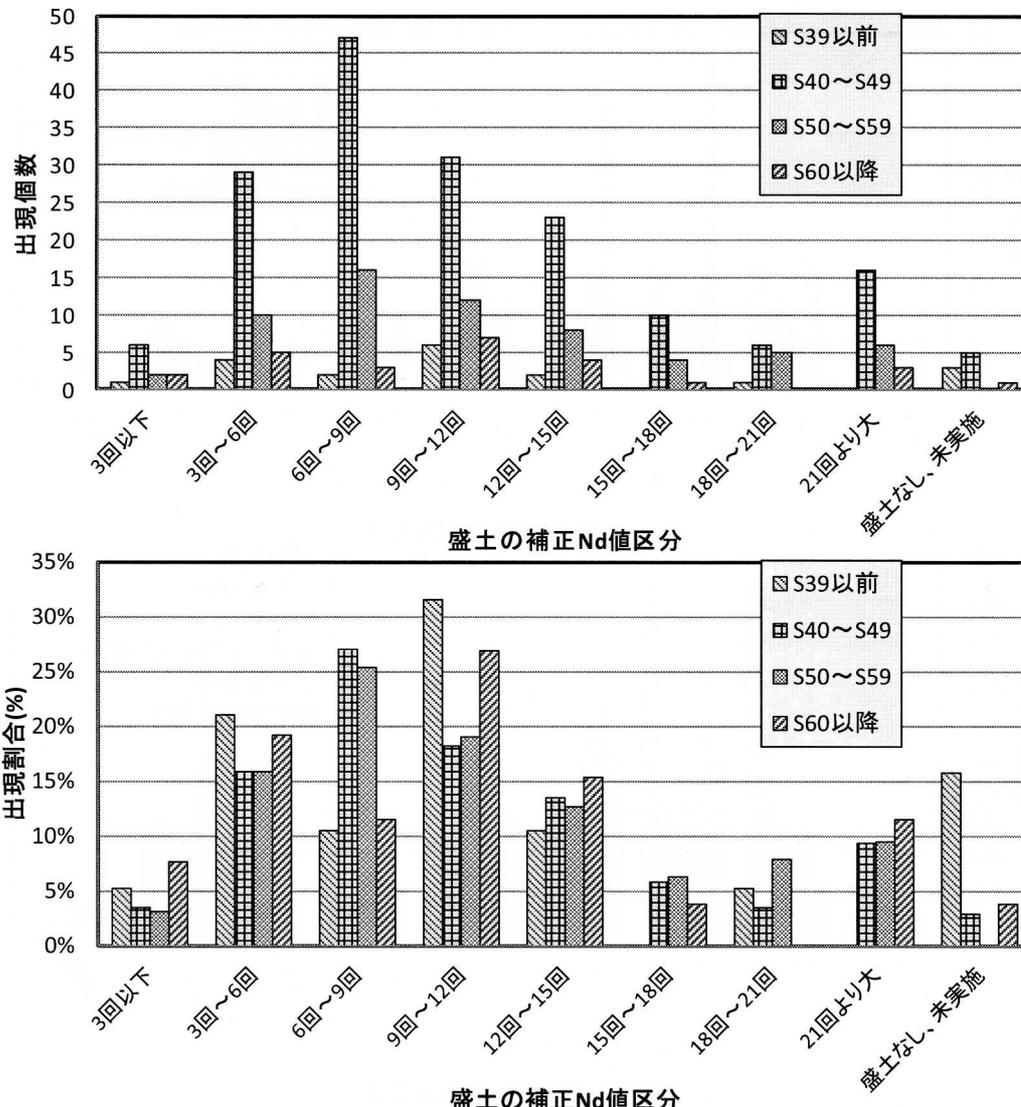


図-5.4 盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と造成年代の関係

(平均値 全体:11.2、S39以前:9.3、S40~S49:11.1、S50~S59: 12.3、S60以降: 11.2)

かったのが段丘層・花崗岩・第三紀層（神戸層群）・中生層であり、12.0~13.4であった。花崗岩・第三紀層（神戸層群）・中生層は基礎岩盤が硬質であるため、盛土材料も礫質土が主体となり、 $N_d$ 値が大きくなっている可能性がある。段丘層については21回より大きいものが平均値を押し上げており、この影響を除くと平均値は小さくなる。また、神戸層群については12~15回にピークが現れているが、3~6回にも小さなピークが確認される。これは、堆積軟岩特有のスレーキング現象により、盛土材料の強度が低下しているものがある可能性を示唆していると考えられる。

一方、平均値が全体より小さかったのが、大阪層群・古琵琶湖層群であり、6.7~10.4であった。特に古琵琶湖層群の平均  $N_d$  値は6.7と小さく、これは、古琵琶湖層群は泥質岩が優勢であるため、盛土材料も粘性土が主体となっていることなどが理由であると考えられる。

#### ・造成年代との関係

盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と造成年代の関係を図-5.4 に示す。造成年代の古い盛土ほど、 $N_d$  値が小さくなる傾向がある。これは、造成年代が古い場合、施工機械の性能が低い、宅造法の制定以前に施工されていることなどにより、締固めが十分でなく、緩い状態にあると考えられる。

以上の検討では造成年代と基礎地盤表層地質が  $N_d$  値に影響を与えることが示唆されたが、ここで両者の関係を把握するために、造成年代と基礎地盤表層地質の関係を図-5.5 に示す。造成年代別では S40～S49 年が 62% と一番多く、次いで S50～S59 年が 22% で、S60 年以降が 9%、S39 年以前が 7% と少なかった。各地質別で見ると、造成年代が古い表層地質は、大阪層群・段丘層・花崗岩であり、表層地質が第三紀層（神戸層群）・中生層・古琵琶湖層群では比較的新しくかった。これら造成年代が古い盛土は、比較的地形勾配の緩い丘陵地で施工されている可能性があり、それらの表層地質が大阪層群・段丘層が主体であるためと考えられる。

#### ・盛土厚との関係

盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と盛土厚の関係を図-5.6 に示す。盛土厚さが薄い盛土ほど、補正  $N_d$  値が小さくなる傾向がある。これは盛土厚が薄い盛土ほど造成規模が小さく、造成年代が古いものが多いためと考えられる。一方、盛土厚の厚い盛土は中生層など造成前の地形勾配が大きい山地であることが多く、大規模な開発で造成年代も比較的新しいため、 $N_d$  値が大きくなる傾向にあると考えられる。なお、それらの表層地質は第三紀層（神戸層群）・花崗岩・中生層が主体である。

以上の検討では盛土厚が  $N_d$  値に影響を与えることが示唆されたが、ここで造成年代および基礎地盤表層地質と盛土厚の関係の把握を行うこととした。表層地質と盛土厚の関係を図-5.7 に示す。全体としては、5～10m が 33% と一番多く、次いで 5m までが 30% で、10～15m が 19%、15～20m が 13%、20m 以上が 5% 少なかった。概ね 15m までが 82% と大部分を占めている。各地質別で見ると、全体に比べて盛土厚が薄いのが、段丘層・古琵琶湖層群であった。これらは、比較的地形勾配の緩い丘陵地であることが多いため、地形変化が小さく盛土厚が薄くなっていると考えられる。一方全体に比べて盛土厚が厚いのが、第三紀層（神戸層群）・中生層であった。これらは地域的に大規模な開発がされている箇所が多いため、盛土厚が厚くなっていると考えられる。

次に、造成年代と盛土厚の関係を図-5.8 に示す。造成年代の新しい盛土ほど、盛土厚が厚くなる傾向がある。これは、造成年代が新しいものほど大規模な開発がされる傾向が高いためと考えられる。

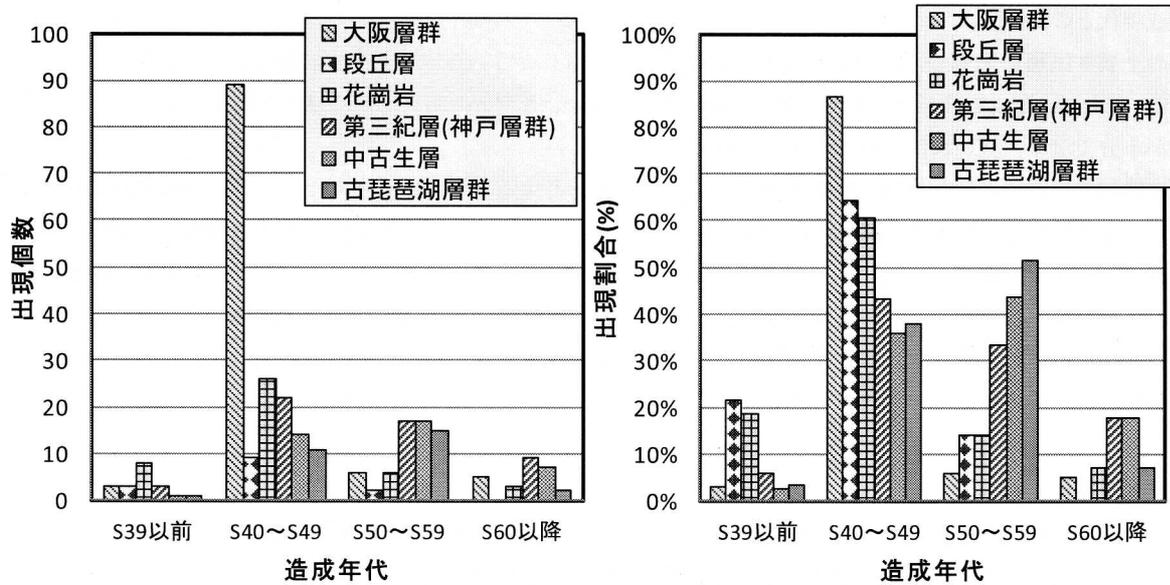


図-5.5 造成年代と基礎地盤表層地質の関係

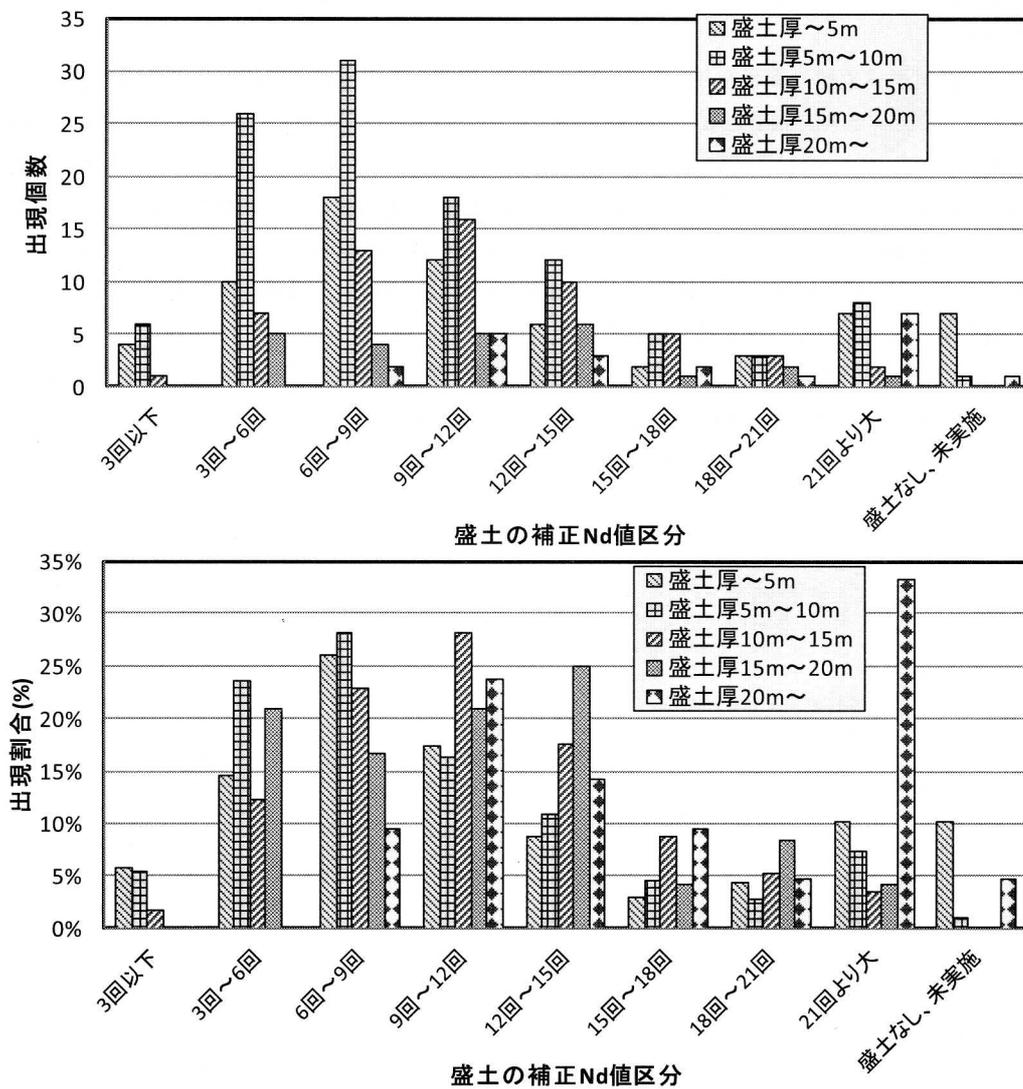


図-5.6 盛土の土被り圧補正  $N_p$  値の平均値と盛土厚の関係

(平均値 全体: 11.2、盛土厚~5m: 11.1、盛土厚 5m~10m: 9.7、盛土厚 10m~15m: 11.6、盛土厚 15m~20m: 11.0、盛土厚 20m~: 19.8)

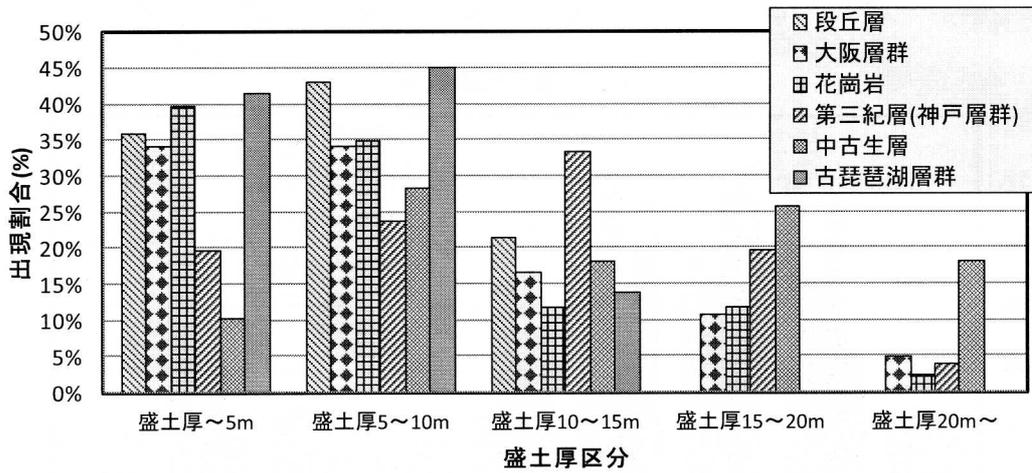
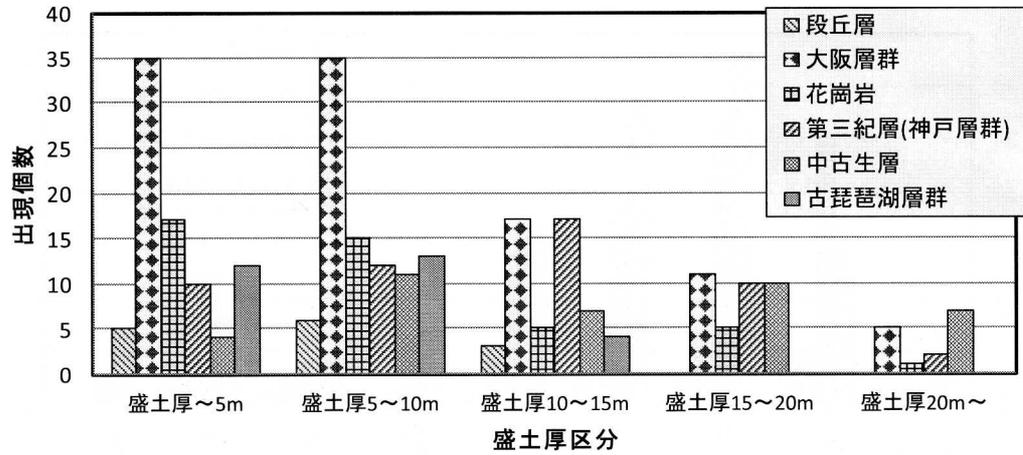


図-5.7 盛土厚と基礎地盤表層地質の関係

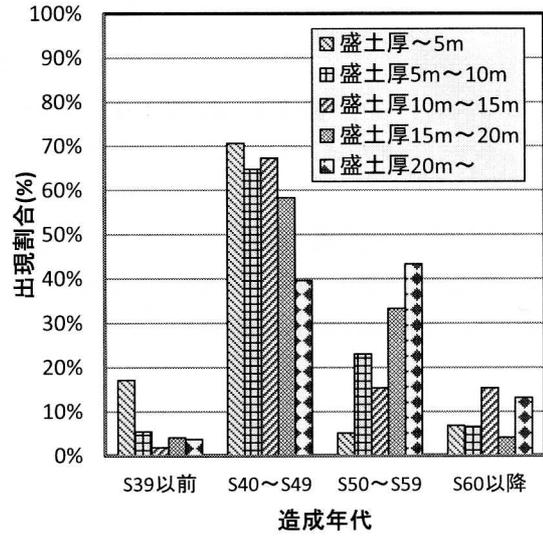
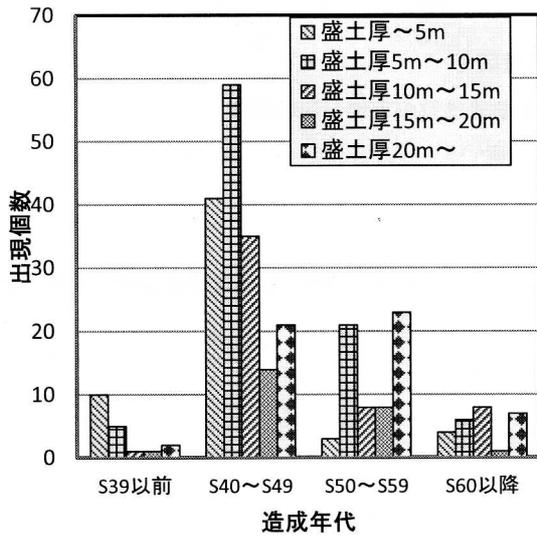


図-5.8 造成年代と盛土厚の関係

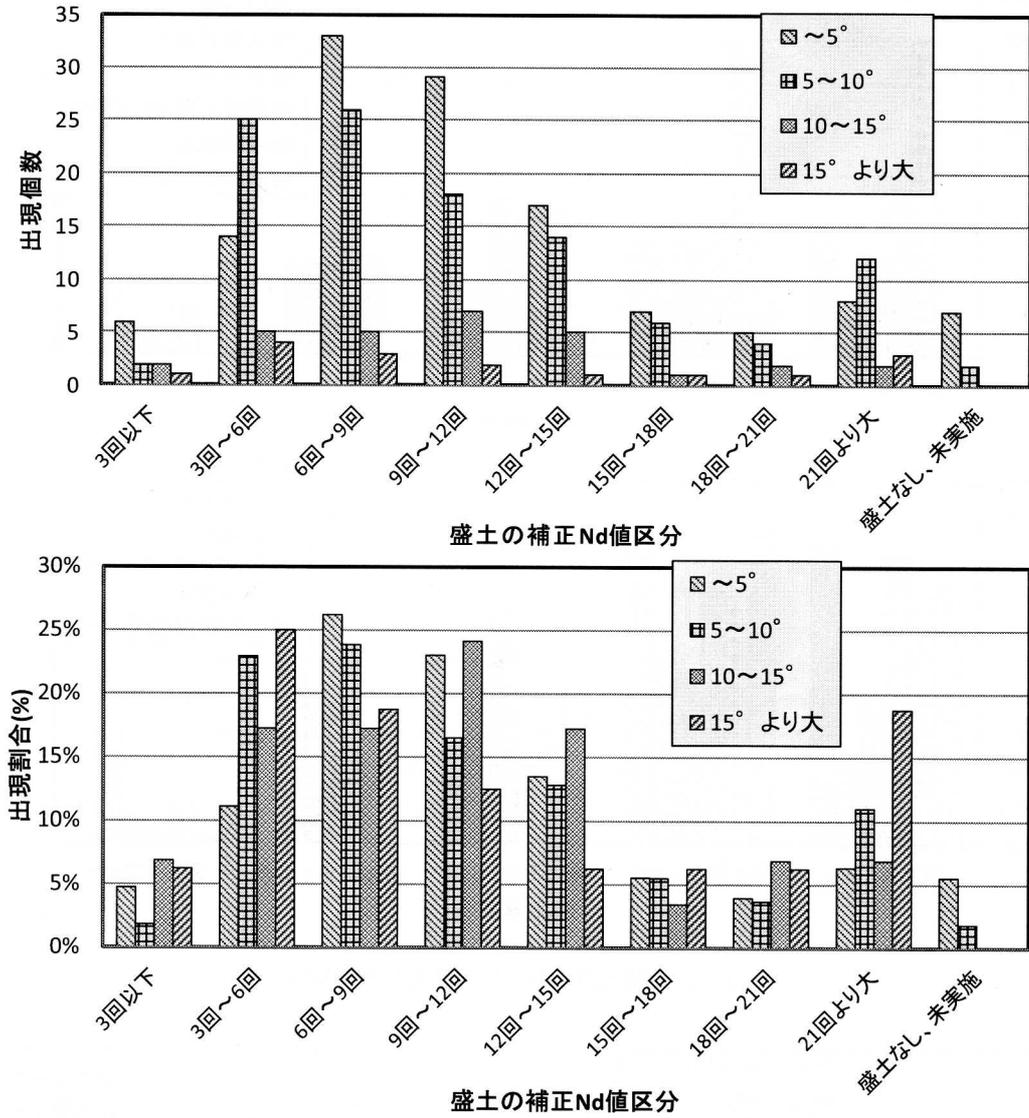


図-5.9 盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と基礎地盤の平均勾配の関係

(平均値 全体: 11.2、 $\sim 5^\circ$  : 11.0、 $5\sim 10^\circ$  : 11.0、 $10\sim 15^\circ$  : 12.2、 $15^\circ$  より大: 12.4)

・基礎地盤の平均勾配の関係

盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と基礎地盤の平均勾配の関係を図-5.9 に示す。補正  $N_d$  値と基礎地盤の平均勾配との関係で、明瞭な傾向は見られない。

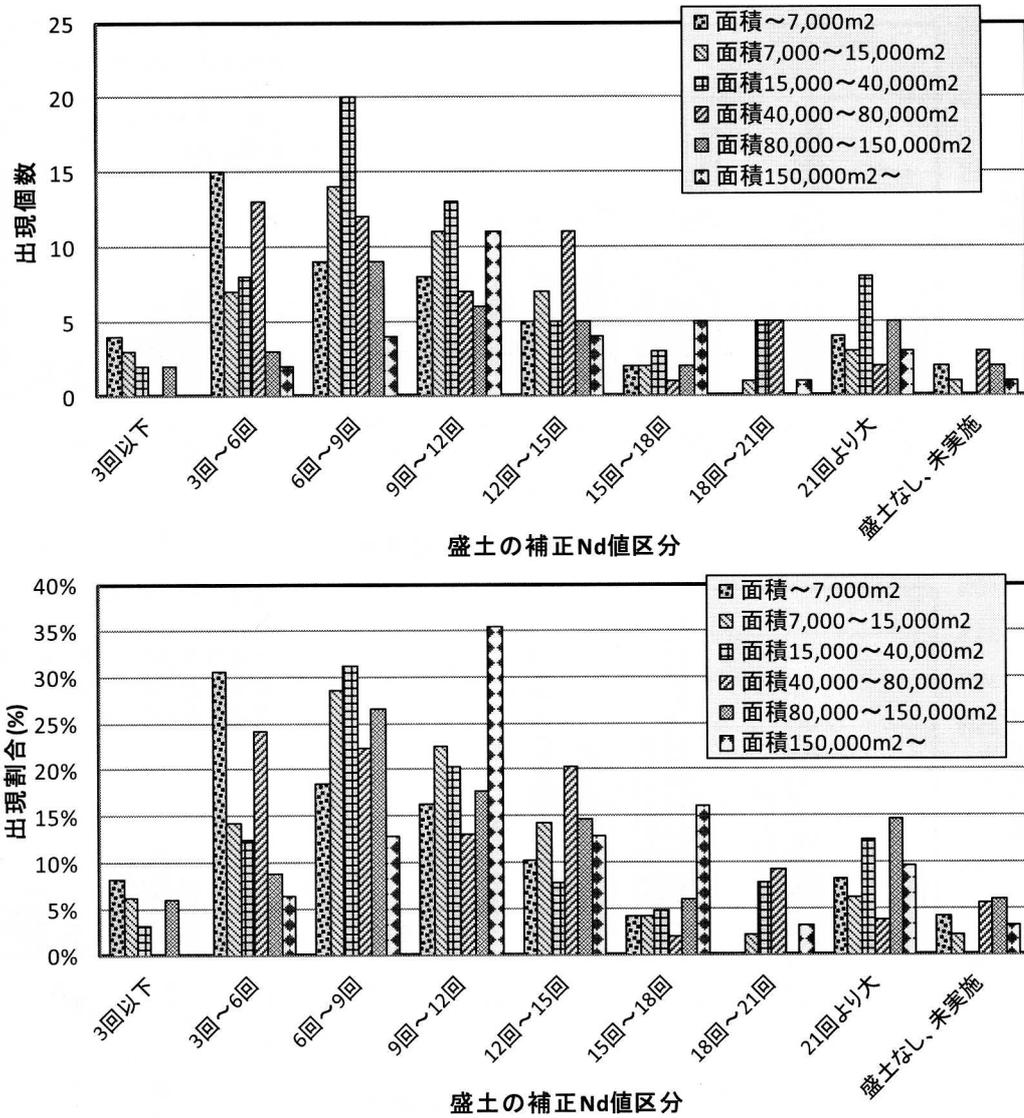


図-5.10 盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と盛土面積の関係

(平均値 全体: 11.2、面積 $\sim 7,000\text{m}^2$ : 9.0、面積  $7,000\sim 15,000\text{m}^2$ : 10.2、面積  $15,000\sim 40,000\text{m}^2$ : 12.6、面積  $40,000\sim 80,000\text{m}^2$ : 10.6、面積  $80,000\sim 150,000\text{m}^2$ : 11.7、面積  $150,000\text{m}^2\sim$ : 14.2)

・盛土面積との関係

盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と盛土面積の関係を図-5.10 に示す。補正  $N_d$  値と盛土面積との関係で、明瞭な傾向は見出しがたいが、盛土面積が大きくなると  $N_d$  値も大きくなるようである。これは、規模の大きい開発の場合には盛土施工の管理がより厳格に行われるため、 $N_d$  値が大きくなっていることが一因として挙げられる。

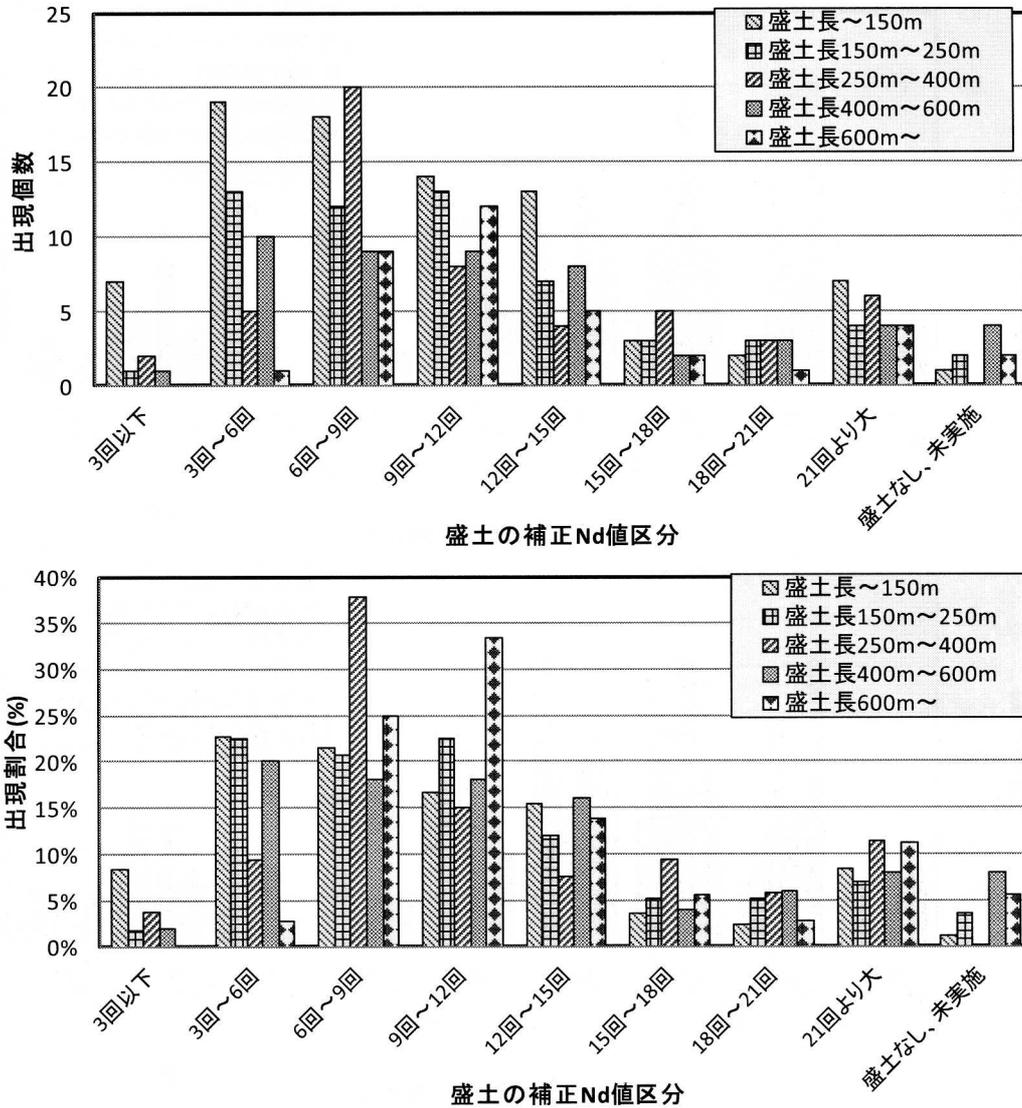


図-5.11 盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と盛土長の関係

(平均値 全体:11.2、盛土長~150m:9.7、盛土長 150m~250m:11.6、盛土長 250m~400m:11.8、盛土長 400m~600m:11.4、盛土長 600m~:12.4)

・盛土長との関係

盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と盛土長との関係を図-5.11 に示す。補正  $N_d$  値と盛土長との関係で、明瞭な傾向は見出しがたいが、盛土長が大きくなると  $N_d$  値も大きくなるようである。これは前述の盛土面積と同様、規模の大きい開発の場合には盛土施工の管理がより厳格に行われるため、 $N_d$  値が大きくなっていると考えられる。

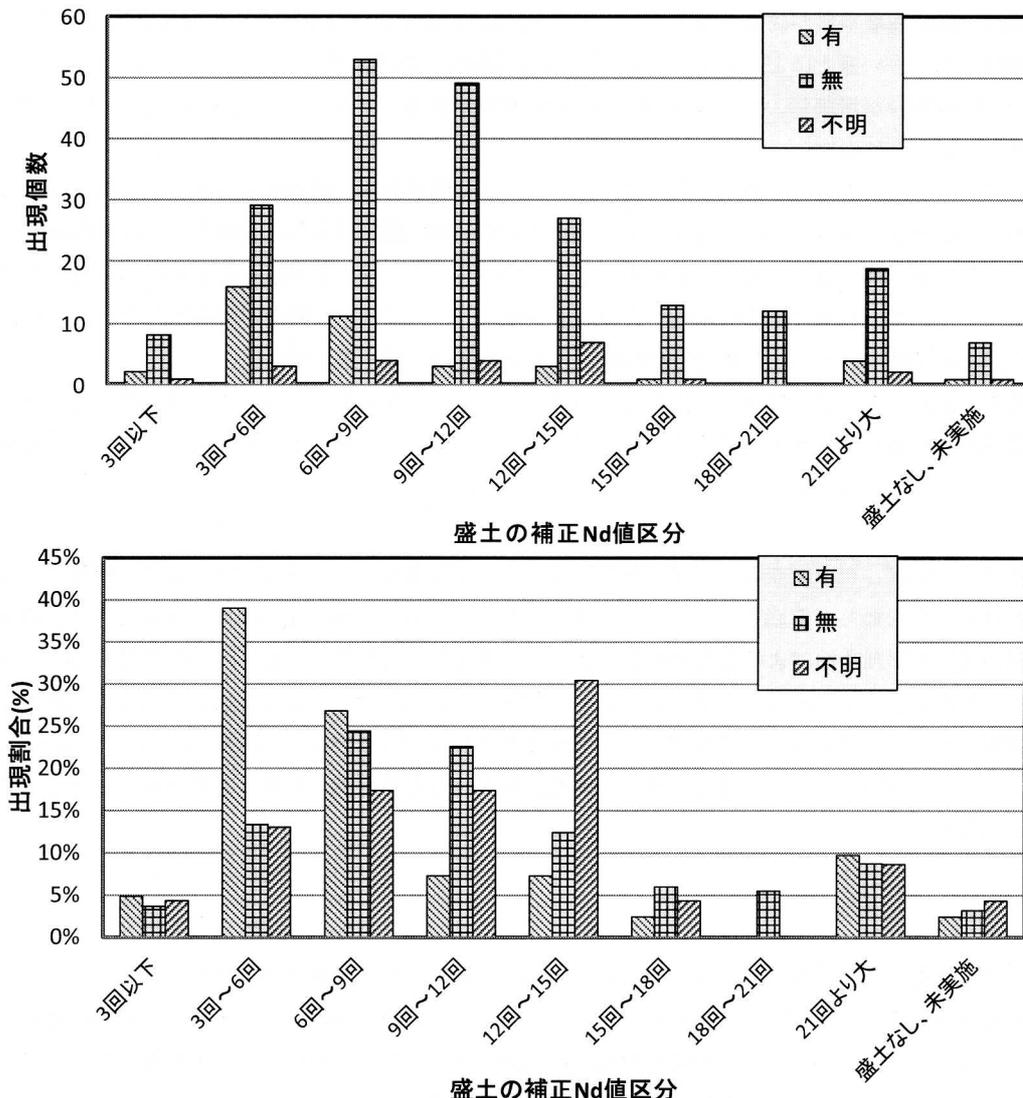


図-5.12 盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と末端部変状の関係

(平均値 全体:11.2、有:9.3、無:11.6、不明:11.2)

・末端部変状との関係

盛土の土被り圧補正  $N_d$  値の平均値と末端部変状の関係を図-5.12 に示す。このうち不明としているものは、盛土末端部が民地であり現地踏査時に確認ができなかったものや、法先の層厚が薄く末端部の位置が不明であったものを指している。変状のある盛土の方が、補正  $N_d$  値が小さくなる傾向がある。これは、盛土末端部の変状のなかに、締めめが緩いことに起因しているものが存在することを示すものと考えられる。

## 6. おわりに

本報告はこれまでに関西地区の一部宅地盛土で実施されてきた動的コーン貫入試験結果に基づき、机上調査および現地踏査で得られた盛土諸元と、地下水位および平均  $N_d$  値の関係を検討した。結果の概要は以下のとおりである。

- ① 動的コーン貫入試験による盛土厚の評価方法を検討したところ、切盛境界の評価はDEMデータに基づく盛土厚と  $N_d$  値の変化を用いて総合的に判断する必要があることが示された。また、盛土地盤における動的コーン貫入試験の信頼性は貫入能力を考慮するとおよそ15m程度であると考えられる。
- ② 基礎地盤および造成年代、盛土厚さは地下水位の出現頻度と平均  $N_d$  値に影響を与える。盛土材料との関連が指摘

される基礎地盤の表層地質が硬質な盛土ほど、平均  $N_d$  値が大きく、地下水位の出現頻度は低くなる傾向がある。一方、造成年代が古い盛土ほど、平均  $N_d$  値が小さくなる傾向がある。また、盛土厚さが厚くなるにしたがって、地下水位の出現割合が増加し、平均  $N_d$  値は大きくなる傾向がある。ただし、平均  $N_d$  値と地下水位の有無の間に、明瞭な相関は認められない。

- ③ 関西地方においては表層地質と造成年代、盛土厚の間には相関があり、経済の中心部に当たる大阪市の近くで分布頻度が高い段丘層、大阪層群は造成年代が古く、盛土厚が薄い傾向がある。大阪市から比較的離れたところに出現する第三紀層（神戸層群）及び中生層は造成年代が新しく、盛土厚が厚くなる傾向がある。大阪に近い山地で分布頻度の高い花崗岩は造成年代が古い盛土厚については明確な傾向が読み取れない。古琵琶湖層群は造成年代が比較的新しいものの、地形や表層地質の性状を反映し盛土厚が薄い。
- ④ 盛土末端部に変状がある盛土は地下水位の出現割合が大きく、平均  $N_d$  値が小さくなる傾向がある。また旧ため池および調整池のある盛土は地下水位の出現割合が大きくなる傾向があり、これらは机上調査および現地踏査の重要性を示すものと考えられる。

以上の傾向を考慮すれば、机上調査および現地踏査によって、大規模盛土の地震時安定性評価が概略である程度可能になると考えられる。すなわち、造成年代が古く、基礎地盤表層地質が段丘層もしくは大阪層群であり、盛土厚が厚い盛土で、末端部の変状や旧ため池および調整池のある盛土は地下水位の出現頻度が高く、平均  $N_d$  値も小さい傾向を示すことがわかった。ただし、上記に該当する盛土でも地下水位がなく平均  $N_d$  値も大きな盛土があることを踏まえると、動的コーン貫入試験の傾向のみで盛土の地震時安定性を把握できるわけではないことも指摘される。したがって、詳細な安定性評価は、ボーリング調査や盛土の強度試験、空間的、時間的分布を考慮した地下水位測定を行ったうえで行う必要があると考えられる。

## 謝辞

本研究を遂行するに際して、貴重なデータの提供をして頂いた兵庫県県土整備部住宅建築局、神戸市建設局総務部、西宮市都市局建築開発指導部、宝塚市都市整備部、京都市都市計画局都市景観部、大津市都市計画部に対し、甚深なる謝意を表します。さらにこれらのデータの整理や解釈の研究会に参加していただいた応用地質株式会社、パシフィックコンサルタンツ株式会社、日本工営株式会社の関係各位に厚くお礼申し上げます。

この成果が、現在進められている大規模盛土変動調査に少しでも貢献できればこれ以上の喜びはありません。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：わが家の宅地安全マニュアル滑動崩落編，2010.
- 2) 国土交通省：大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説，2012.
- 3) 地盤工学会編：地盤調査法 第13章 規格・基準以外の方法、pp.460-470，2013.
- 4) 応用地質株式会社：ミニラムパンフレット、〈<http://www.oyo.jp/product/11-in-situ/miniram.html>〉，2005 [閲覧日 2014年10月1日].
- 5) 沖村 孝、岡野 靖、野並 賢、網野功輔、前坂 巖、門田浩一、片浦正雄：関西一部地域で実施された盛土の  $N_d$  値と  $N$  値の関係に関する検討、建設工学研究所論文報告集第56号掲載予定、2014.
- 6) 地盤工学会、阪神大震災調査委員会編：阪神・淡路大震災調査報告書、PP.266-273，1996.
- 7) 地盤工学会、阪神大震災調査委員会編：阪神・淡路大震災調査報告書、PP.315-322，1996.
- 8) 沖村孝・二木幹夫・岡本敦・南部光広：兵庫県南部地震による宅地地盤被害と各種要因との関係分析、土木学会論文集 No.623/VI-43，pp259-270，1999.
- 9) 沖村孝・二木幹夫・岡本敦・南部光広：兵庫県南部地震による宅地擁壁被害の特徴と原因、土木学会論文集 No.637/VI-45，pp63-77，1999.
- 10) 門田浩一、佐藤真吾、三嶋昭二：東北地方太平洋沖地震における仙台市の被災造成宅地の復旧及び耐震対策、

地盤工学会誌, Vol. 61, No. 4, Ser. No. 663, pp. 26-29, 2013.

- 11) 上野誠, 本橋あずさ, 門田浩一, 吉田桂治: 東日本大震災において被災した盛土造成地の滑動崩落による被害要因に関する一考察, 土木学会第 69 回年次学術講演会, III-251, pp. 501-502, 2014.
- 12) 中沢圭二・市川浩一郎・市原実: 日本の地質「近畿地方」、p133, 1993.
- 13) 林 隆夫・古琵琶湖団体研究グループ: 琵琶湖の生いたち、地学教育と科学運動 10、pp. 92-97, 1981.
- 14) 社団法人 日本道路協会: 道路土工-盛土工指針 (平成 22 年版)、pp. 149-151、2010.
- 15) 宅地造成等規制法施行令第 19 条
- 16) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説、I 共通編 IV 下部構造編、pp604-605、2012.

## 著 者

沖村 孝	所員, 理学博士, 地盤工学, 地形工学
門田 浩一	パシフィックコンサルタンツ株式会社, 博士 (工学), 地盤工学
片浦 正雄	パシフィックコンサルタンツ株式会社, 修士 (理学), 地盤工学
網野 功輔	日本工営株式会社, 学士 (理学), 地質工学
前坂 巖	日本工営株式会社, 修士 (理学), 地質工学
中川 渉	客員研究員 (応用地質株式会社), 博士 (工学), 地質工学
野並 賢	応用地質株式会社, 博士 (工学), 地盤工学