

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¹⁾。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²⁾。

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^{3),4)}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⁵⁾。

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^{6),7)}。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° 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)

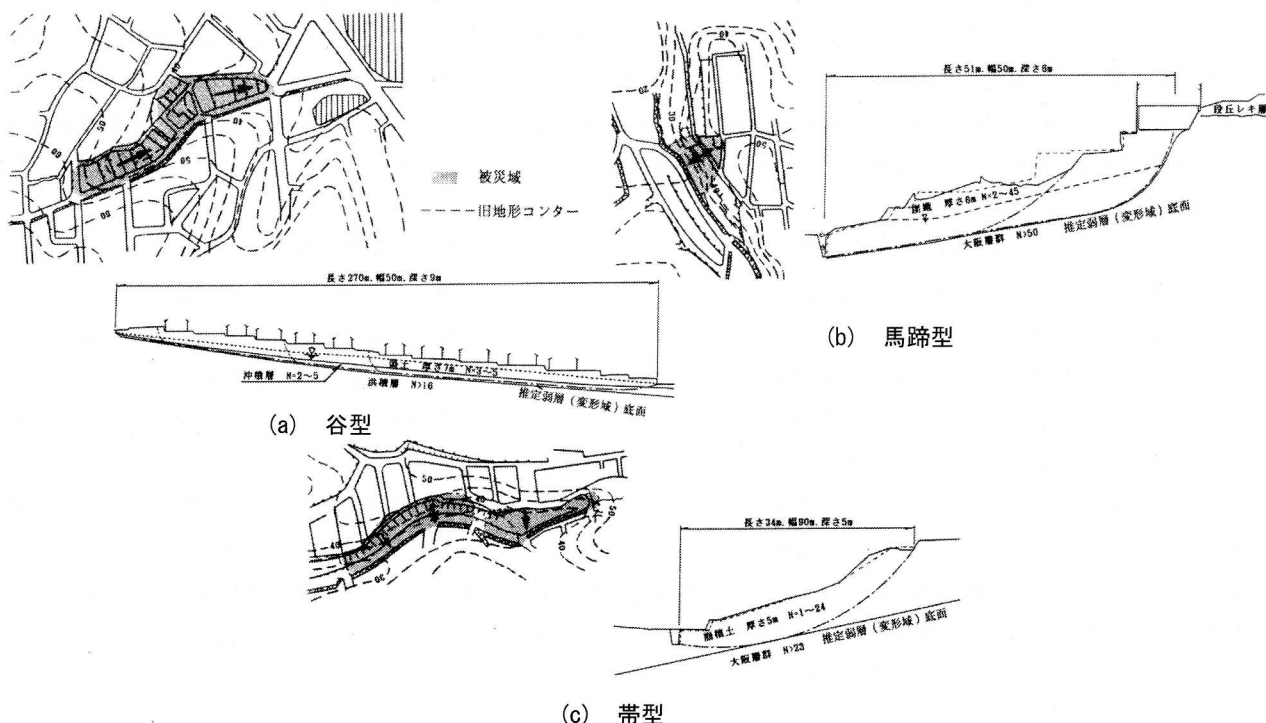


図-1.1 地すべり的な変形例の形態分類⁶⁾

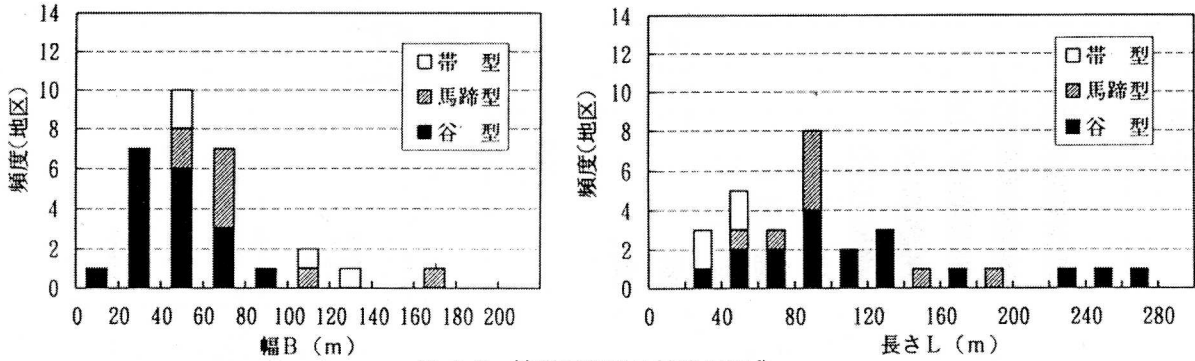


図-1.2 被災形態別の被災規模⁶⁾

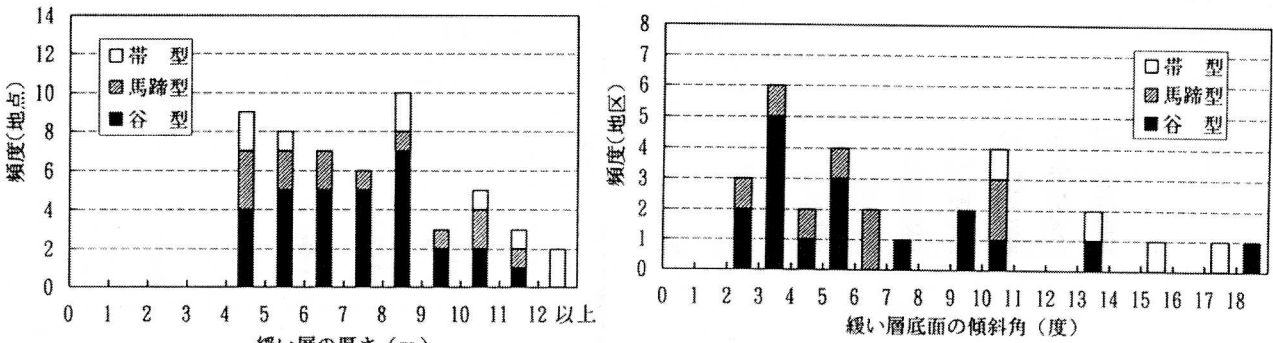


図-1.3 緩い層（盛土+二次堆積物）の厚さ⁶⁾

図-1.4 緩い層底面の傾斜角⁶⁾

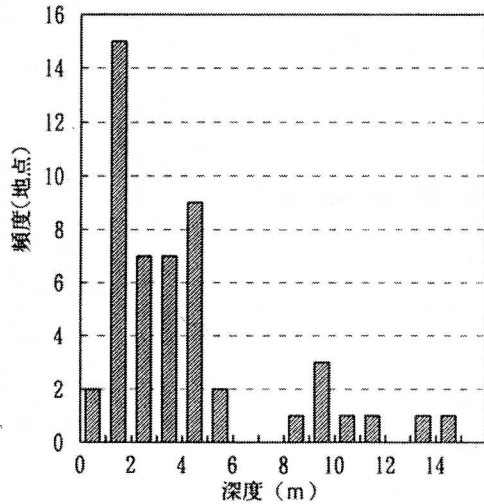


図-1.5 地下水位の地表面からの深度⁶⁾

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⁸⁾。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⁹⁾。これより、被災を受けた

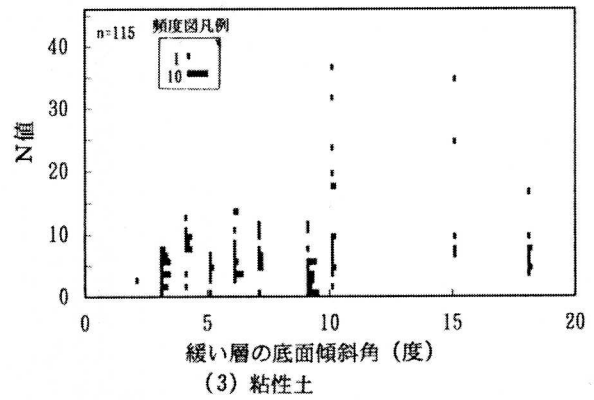
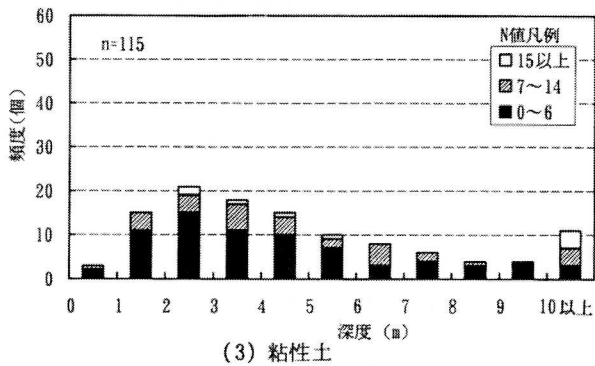
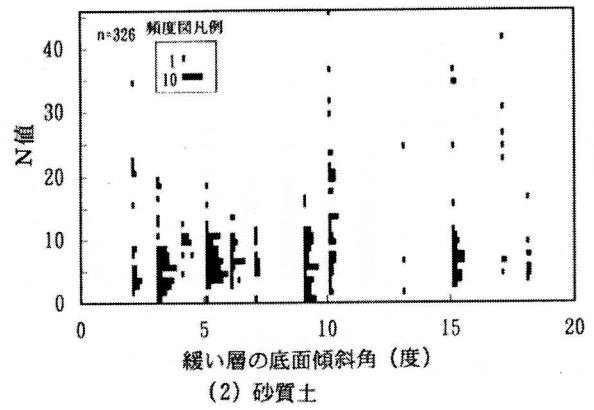
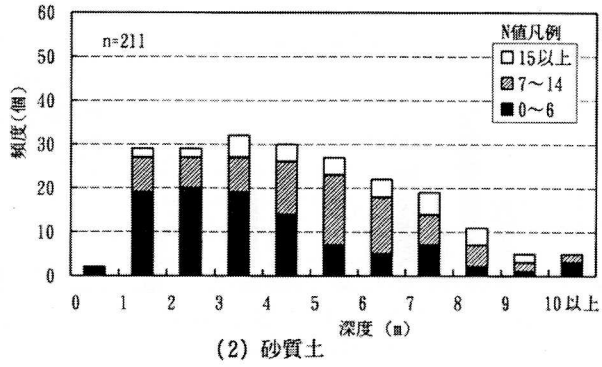
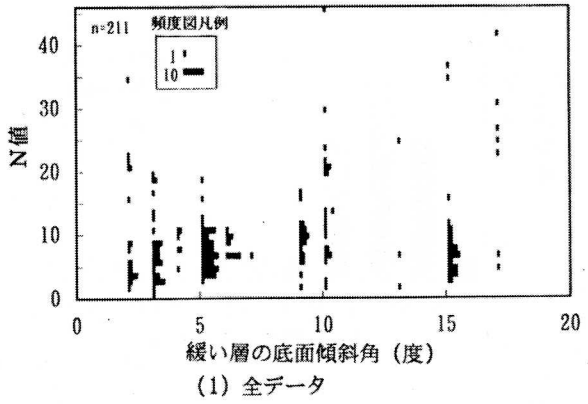
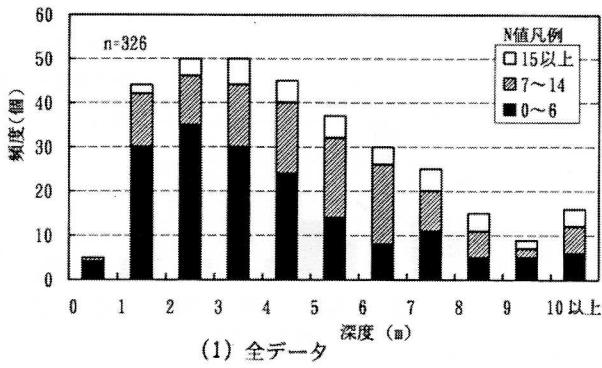


図-1.6 緩い層のN値⁶⁾

図-1.7 緩い層底面の傾斜角とN値の関係⁶⁾

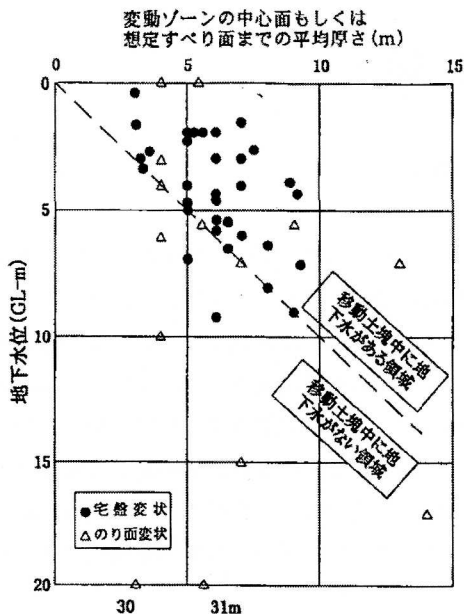


図-1.8 想定すべり面の深度と地下水位の関係⁸⁾

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⁹⁾

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⁹⁾

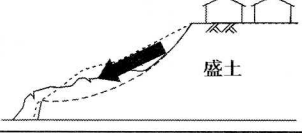
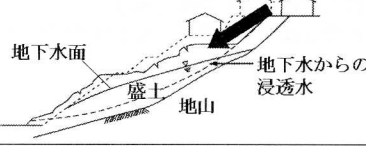
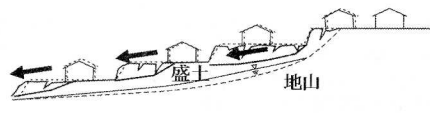
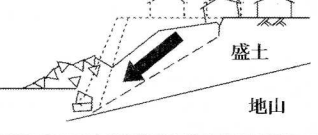
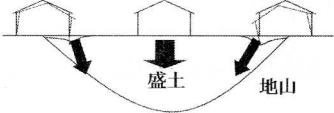
擁壁タイプ*	変状の原因	S. 37~S. 49年 (箇所)	S. 50年以降 (箇所)
石積擁壁	基礎地盤の支持力不足や基礎沈下によるもの	33	4
	増積擁壁(床版張出し)の影響, 基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるもの	3	2
	増積擁壁の影響	0	0
	増積擁壁の影響, 施工不良(コンクリートの打継目の処置が不良)	0	0
	施工不良(コンクリート打継目の処置が不良)	0	0
無筋コンクリート擁壁	基礎地盤の支持力不足や基礎沈下によるもの	1	0
	増積擁壁(床版張出し)の影響, 基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるもの	1	0
	増積擁壁の影響	1	0
	増積擁壁の影響, 施工不良(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^{10),11)}。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

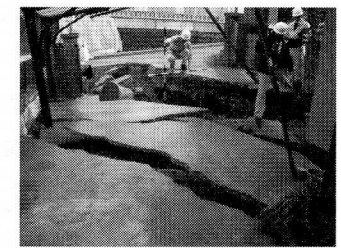


写真-1.1(c):被災形態分類C

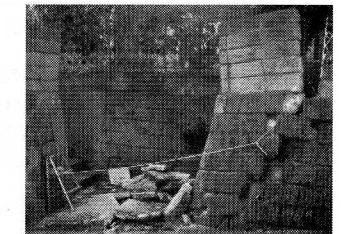


写真-1.1(d):被災形態分類D



写真-1.2 ひな壇部分の変形・崩壊被害

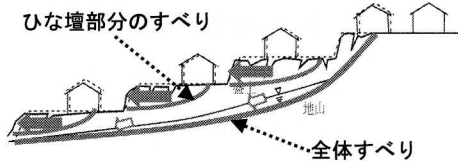


図-1.9 複合型すべりの模式図

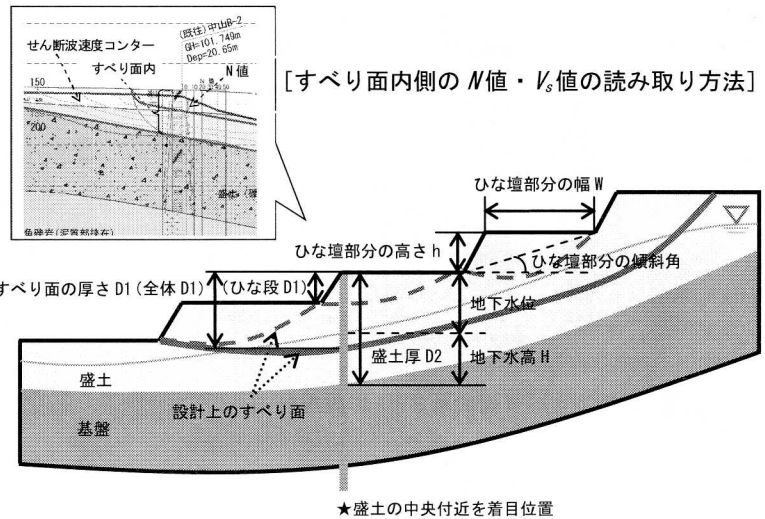


図-1.10 盛土形状・すべり面・地下水位の読み取り説明図

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° 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。

