

東北地方太平洋沖地震により仙台市で発生した盛土造成宅地災害 —滑動崩落ブロックの特徴—

三嶋 昭二*・西川 清治*・根本 雅夫*・佐々木 利明*・小松 守*・三明 崇史*

Some characteristic features on slide collapsing at residential area in Sendai city,
Miyagi, caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

Shoji Mishima*, Kiyoharu Nishigawa*, Masao Nemoto*, Toshiaki Sasaki*,
Mamoru Komatsu* and Takafumi Miake*

Abstract

Over 5080 housing lots in hillside area of the Sendai city, Miyagi, are damaged due to land deformation resulted from the strong ground motion by the Mw9.0 great Tohoku earthquake, March 11, 2011. The local government has been starting and is conducting the restoration program named “the Project for Emergency Landslide Measures in Residential Areas” for 170 heavily damaged areas. In this study, we summarize some characteristics such as type of land development, geology, slope characteristics, ground water head levels, and observed type of slope collapse, in order to describe overall features on land deformation at 44 slide collapsing blocks in 39 heavily damaged areas where authors are possible to survey closely.

According to our observations, examined blocks show following characteristics: high cut or retaining wall with height of four meters or more, higher ground water level, gentle slope inclination (3 to 10 degrees), slow shear wave velocities of land fill soils (less than 160 to 200 meters per second). If these blocks would have housing lots step-by-step, surface partial slips could be accompanied with main slide.

It is concluded that surficial mass slidings are commonly identified in the Sendai hillside area. We also propose some possibilities like those depth of the basement of estimated deformed zone could be evaluated from slope height, and slide-prone zone could be deduced three dimensionally from the extent of low shear-wave velocity zone.

Keywords: the Mw9.0 great Tohoku earthquake, housing lot, slide collapsing, earthquake

(要 旨)

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震により、仙台市市街地周辺部の丘陵地において広範囲にわたり盛土造成宅地で被害が多数発生した。これらの被災宅地の復旧のために仙台市では170地区に対して「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」などを進めている。本稿では、そのうちの39地区44箇所の滑動崩落ブロックについて、盛土タイプ・基盤地質・盛土状況・地下水状況・滑動崩落などの特徴を整理した。

その結果、滑動崩落が発生しやすい条件として、法面、又は約4 m以上の擁壁などの解放された斜面は滑動崩落ブロックの末端になりやすいこと、地下水位が存在した方が滑動崩落が発生する可能性が高いこと、滑動崩落ブロックの他にひな壇すべりが発生する可能性があること、斜面傾斜角（頭部-末端部）が約3°～10°の滑動崩落が多いこと、盛土地盤のS波速度が160～200 m/s程度以下の速度が分布する3次元的范围では滑動崩落が発生する可能性が高いことがあげられる。

* 応用地質(株)東北支社

* OYO Corporation Tohoku Branch

滑動崩落が発生した場合の被災形態や被災規模としては、仙台市のような丘陵地ではすべりによる変形が多いと考えられること、設計上のすべり面深度と斜面高さに一定の関係がみられるので事前に斜面高さを設定すれば設計上のすべり面深度を想定できること、上述した盛土地盤のS波速度から滑動崩落が発生する可能性が高い3次元元的範囲を特定できれば被災規模を想定できることがあげられる。

キーワード：東北地方太平洋沖地震，被災宅地，滑動崩落

1. まえがき

平成23年3月11日14時46分に発生した太平洋三陸沖（北緯38°06.2′ 東経142°51.6′）を震源とするマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震は、東北から関東にかけての東日本一帯に甚大な被害をもたらした。

この地震により、仙台市では市街地周辺部の丘陵地において広範囲にわたり盛土造成宅地で被害が多数発生した。

これらの被害に対して、被害が著しい地区を主体に、沖村他（2011）¹⁾、東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会（2013）²⁾などが被害状況を報告している。

一方、仙台市では被災直後から通報があった宅地の危険度判定を行うとともに、危険度「中」³⁾以上に判定された宅地周辺の調査を進め、平成24年5月31日時点で、危険度「中」以上と判定された宅地数5,080を公表している⁴⁾。

また、仙台市は、変状が著しく、滑動崩落の規模が大きいと判断した17地区に対して、いち早く調査・検討を行うとともに、仙台市宅地保全審議会技術専門委員会を開催し、変状メカニズム・対策方針などについて検討を進めた⁵⁾。

仙台市では現在、被災宅地に対して、新設された「造成宅地滑動崩落緊急対策事業」などの公共事業による復旧を170地区に対して進めている。

本稿では、各地区の被害状況を個別に示す^{1),2)}ので

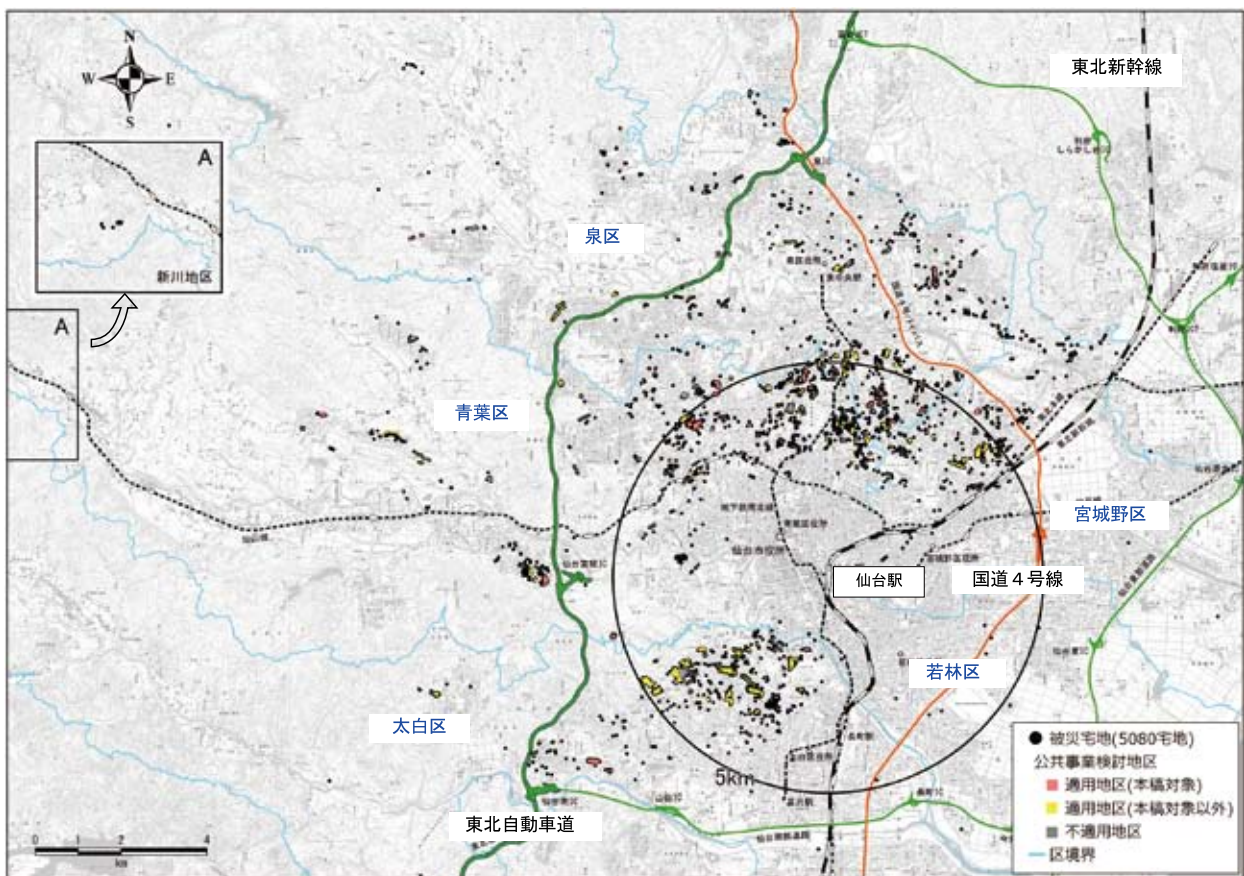


図-1 仙台市の被災宅地分布図（仙台市（2012）⁴⁾に編集・追記）

Fig. 1 Distribution of damaged housing lots in the Sendai area caused by the 2011 Tohoku earthquake. Most western part of the map designated as A is inserted. Examined area (red) are located northern-to-western part of the Sendai municipal area. Area within 5 km distance from the Sendai Station is indicated by black circle.

はなく、各地区の滑動崩落ブロックについて盛土のタイプ・盛土材料・断面形状などの特徴を整理し、滑動崩落ブロックに共通する特徴を検討した。検討対象地区とした滑動崩落ブロックは、仙台市で公共事業として復旧工事などを進めている170地区のうち執筆者らが調査・検討・設計に関わった造成宅地滑動崩落緊急対策事業など39地区の44箇所である。

図-1に仙台市の被災宅地分布と公共事業検討地区を示す。この中で本稿の検討対象地区とした赤色の地区は、仙台市北部に多く、仙台市南部では地区が少ないものの、比較的全体を網羅する状況になっている。

2. 仙台市における丘陵地の地形・地質と宅地災害の概要

2.1 仙台市の地形

仙台市の地形を概観すると、北西部から山地（泉ヶ岳他）、丘陵地・台地、東側の沖積平野に大別される（図-2）。大きな河川としては、北から七北田川、広瀬川、名取川が西北西から東南東に流下する。これらの河川沿いには、富谷丘陵、七北田丘陵、茂庭-白沢丘陵、青葉山丘陵が分布し、古くから盛土造成が行われてきた。



図-2 仙台市の地形概観（小岩他，（1994）⁶⁾を引用）赤円は図-1の黒円と同一の範囲を示す。

Fig. 2 Simplified geomorphological features in the Sendai area⁶⁾. (Red circle is the same as the black circle in Figure 1.)

2.2 仙台市の地質

仙台市の地質は、図-3及び表-1に示すように新第三紀及び第四紀に形成された地層が主体である。特に被災宅地が集中する丘陵地には、主に中新世の七北田

層、鮮新世の亀岡層・竜の口層・向山層・大年寺層が分布し、それらは主にシルト岩・砂岩・礫岩・凝灰岩類からなる。

なお、図-3に示す記号は表-1と同一であり、表-1は二つの参考文献^{7),8)}に基づき作成した。



図-3 仙台市の周辺の地質図（地質調査所，（1987）⁷⁾を編集・追記）赤円は図-1の黒円と同一の範囲を示す。

Fig. 3 Geological map of the Sendai area⁷⁾. (Legend is shown in Table 1. Red circle is the same as the black circle in Figure 1.)

表-1 仙台市の丘陵地及び低地を形成する地質構成表

Table 1 Geological succession of hillside area and lowland in the Sendai area. (This is composited from a couple of references^{7),8)}).

時代	地層名	図-3の記号	層相
第四紀	完新世	沖積層	a 礫・砂・泥
	更新世	段丘堆積物	td 礫・砂・泥
新第三紀	鮮新世	青葉山層	Ag 礫(砂・泥・火山灰などを伴う)
		大年寺層	Ss シルト岩・砂岩・礫岩・亜炭
		向山層	Ss 軽石凝灰岩・細粒凝灰岩 シルト岩・砂岩・礫岩
		竜の口層	Ks シルト岩・砂質シルト岩 凝灰岩・砂岩
	亀岡層	Ks 砂岩・凝灰岩・シルト岩・亜炭 礫岩・礫混じり砂岩	
	中新世	白沢層	St 酸性凝灰岩(泥を伴う)
		三滝層	Mb 安山岩-玄武岩質溶岩 火山角礫岩・凝灰角礫岩
七北田層		Ns 砂岩・軽石凝灰岩・礫岩	
中新世	綱木層	Tt 軽石凝灰岩・火山礫凝灰岩 砂岩・礫岩・凝灰角礫岩	
	旗立層	Hs 砂岩・シルト岩	

2.3 仙台市の宅地災害の概要

仙台市では多くの宅地が被災したため、公共事業（造成宅地滑動崩落緊急対策事業、災害関連地域防災がけ崩れ対策事業、防災集団移転促進事業（以下、それぞれを滑動崩落対策事業、がけ崩れ対策事業、集団移転促進事業と称す））を進め復旧に努めている。しかし、被災状況によっては公共事業を適用できない場合も多く、これらについて仙台市は独自の支援制度を設けている。

仙台市は公共事業を進めるために、被災宅地がまとまって分布している250地区をリストアップし、公共事業の適用性について調査した結果を公表している。その内訳は表-2に示すように、適用可能な地区は170、不実施地区は80となっている。また、適用可能な地区についての適用事業の内訳は、滑動崩落対策事業が160、がけ崩れ対策事業が9、集団移転促進事業が2となっている。緑ヶ丘4丁目では2つの公共事業が適用されている。

表-2 (1) 仙台市が公共事業の適用を検討した地区と適用事業及び宅地造成開始年代

Table 2 (1) List of damaged areas summarized by the Sendai City. In this table, for each area, category of public counter measures by the city and age (or decade) when land development work had begun, are also shown.

地区名	NO	検討対象地区	工区No.	工区名	適用事業等	宅地造成開始年	地区名	NO	検討対象地区	工区No.	工区名	適用事業等	宅地造成開始年
青葉町	001		1	青葉町	公共事業不実施	不明	西花苑1丁目	066		58	西花苑1丁目	滑動崩落緊急対策事業	1976
赤坂2丁目	002	★	2	赤坂2丁目	滑動崩落緊急対策事業	1980年代	西花苑2丁目	067		314	西花苑2丁目	滑動崩落緊急対策事業	1976
赤坂3丁目	003	★	3	赤坂3丁目	滑動崩落緊急対策事業	1980年代	台原2丁目	068		59	台原2丁目	滑動崩落緊急対策事業	1954
あけぼの町	004	★	4	あけぼの町	滑動崩落緊急対策事業	1962	台原3丁目	069		272	台原3丁目	がけ崩れ対策事業	1954
旭ヶ丘1丁目	005		5	旭ヶ丘1丁目第1	滑動崩落緊急対策事業	1959	台原3丁目	070		273	台原3丁目1	がけ崩れ対策事業	
	006		6	旭ヶ丘1丁目第2	公共事業不実施		高野原1丁目	071		60	高野原1丁目(南)	滑動崩落緊急対策事業	1989
	007		7	旭ヶ丘2丁目第1	滑動崩落緊急対策事業		高野原1丁目(北)	072		61	高野原1丁目(北)	滑動崩落緊急対策事業	
	008		8	旭ヶ丘2丁目第2	滑動崩落緊急対策事業		高野原2丁目	073		62	高野原2丁目	滑動崩落緊急対策事業	1989
	009		9	旭ヶ丘2丁目第3	公共事業不実施		高松3丁目	074		65	高松3丁目第1	公共事業不実施	
	010		10	旭ヶ丘2丁目第4	滑動崩落緊急対策事業		高松3丁目	075		66	高松3丁目第2	滑動崩落緊急対策事業	不明
	011		11	旭ヶ丘2丁目第5	滑動崩落緊急対策事業		千代田町	076		67	千代田町	滑動崩落緊急対策事業	1970年代
	012		270	旭ヶ丘2丁目	公共事業不実施		堤町3丁目	077		68	堤町3丁目	公共事業不実施	1964
	013		271	旭ヶ丘2丁目43	がけ崩れ対策事業		中山1丁目	078	★	69	中山1丁目第1	滑動崩落緊急対策事業	1965
	014		12	旭ヶ丘3丁目第1	公共事業不実施				079	★	70	中山1丁目第2	滑動崩落緊急対策事業
旭ヶ丘3丁目	015		13	旭ヶ丘3丁目第2	公共事業不実施		中山2丁目	080		71	中山2丁目第1	滑動崩落緊急対策事業	1965
	016		14	旭ヶ丘3丁目第3	公共事業不実施				081	★	72	中山2丁目第2	
旭ヶ丘4丁目	017		15	旭ヶ丘4丁目	公共事業不実施		中山5丁目	082		73	中山5丁目	滑動崩落緊急対策事業	1965
荒巻字青葉	018	★	16	荒巻字青葉	滑動崩落緊急対策事業	中山8丁目	083		74	中山8丁目	公共事業不実施		
荒巻本沢1丁目	019		17	荒巻本沢1丁目	公共事業不実施	中山台3丁目	084		75	中山台3丁目	滑動崩落緊急対策事業	1980年代	
	020		18	荒巻本沢3丁目第1	滑動崩落緊急対策事業	中山吉成3丁目	085		76	中山吉成3丁目	公共事業不実施	1970年代	
荒巻本沢3丁目	021		19	荒巻本沢3丁目第2	滑動崩落緊急対策事業	八幡6丁目	086		96	八幡6丁目第1	公共事業不実施	1985	
	022		20	荒巻本沢3丁目第3	滑動崩落緊急対策事業	東勝山1丁目	087		97	八幡6丁目第2	滑動崩落緊急対策事業		
折立4丁目	023		21	折立4丁目	滑動崩落緊急対策事業	東勝山1丁目	088		77	東勝山1丁目	滑動崩落緊急対策事業	1968	
折立5丁目	024	★	22	折立5丁目	滑動崩落緊急対策事業	東勝山3丁目	089		78	東勝山3丁目第1	滑動崩落緊急対策事業		
折立5丁目	025		309	折立5丁目第2	滑動崩落緊急対策事業		090		79	東勝山3丁目第2	公共事業不実施		
折立6丁目	026		23	折立6丁目	滑動崩落緊急対策事業	藤松	091		80	藤松第1	滑動崩落緊急対策事業	1963	
	027		24	貝ヶ森1丁目第1	公共事業不実施		092		81	藤松第2	公共事業不実施		
	028		25	貝ヶ森1丁目第2	滑動崩落緊急対策事業		093		82	藤松第3	公共事業不実施		
	029		26	貝ヶ森1丁目第3	滑動崩落緊急対策事業		094		83	藤松第4	公共事業不実施		
	030		27	貝ヶ森1丁目第4	滑動崩落緊急対策事業		095		84	双葉ヶ丘1丁目第1	滑動崩落緊急対策事業		
	031		28	貝ヶ森1丁目第5	公共事業不実施		096	★	85	双葉ヶ丘1丁目第2	滑動崩落緊急対策事業		
貝ヶ森3丁目	032		266	貝ヶ森3丁目	滑動崩落緊急対策事業		097	★	86	双葉ヶ丘1丁目第3	滑動崩落緊急対策事業		1962
川内三十人町	033		29	川内三十人町	滑動崩落緊急対策事業		098		87	双葉ヶ丘1丁目第4	滑動崩落緊急対策事業		
川平2丁目	034		30	川平2丁目	公共事業不実施	099	★	88	双葉ヶ丘1丁目第5	滑動崩落緊急対策事業			
川平4丁目	035		31	川平4丁目第1	公共事業不実施	双葉ヶ丘2丁目	100		89	双葉ヶ丘2丁目	滑動崩落緊急対策事業	1962	
川平4丁目	036		32	川平4丁目第2	公共事業不実施	水の森1丁目	101	★	90	水の森1丁目第1	滑動崩落緊急対策事業		
北根1丁目	037		274	北根1丁目	がけ崩れ対策事業	102		91	水の森1丁目第2	滑動崩落緊急対策事業	1960		
北根2丁目	038		33	北根2丁目第1	滑動崩落緊急対策事業	南吉成7丁目	103		92	南吉成7丁目		公共事業不実施	
北根2丁目	039		34	北根2丁目第2	滑動崩落緊急対策事業	みやぎ台2丁目	104		93	みやぎ台2丁目第1	公共事業不実施	1980年代	
北根3丁目	040		35	北根3丁目第1	公共事業不実施	105		94	みやぎ台2丁目第2	滑動崩落緊急対策事業			
	041		36	北根3丁目第2	滑動崩落緊急対策事業	向田	106		95	向田	公共事業不実施	1960年代	
	042		37	北根黒松第1	滑動崩落緊急対策事業	吉成2丁目	107		315	吉成2丁目第1	滑動崩落緊急対策事業		
	043		38	北根黒松第2	滑動崩落緊急対策事業	108		316	吉成2丁目第2	滑動崩落緊急対策事業	1972		
	044		310	北根黒松	滑動崩落緊急対策事業	安養寺1丁目	109		317	安養寺1丁目第1		滑動崩落緊急対策事業	
北山3丁目	045		39	北山3丁目	公共事業不実施	110		318	安養寺1丁目第2	滑動崩落緊急対策事業	1966		
国見1丁目	046		40	国見1丁目	公共事業不実施	岩切字若宮前	111		98	岩切字若宮		滑動崩落緊急対策事業	
国見ヶ丘1丁目	047		41	国見ヶ丘1丁目	公共事業不実施	112		99	小鶴1丁目第1	滑動崩落緊急対策事業	不明		
国見ヶ丘5丁目	048		42	国見ヶ丘5丁目	公共事業不実施	113		100	小鶴1丁目第2	滑動崩落緊急対策事業	不明		
	049		43	小松島2丁目第1	公共事業不実施	新田3丁目	114		101	新田3丁目	公共事業不実施	不明	
小松島2丁目	050		44	小松島2丁目第2	公共事業不実施	115		102	燕沢2丁目第1	滑動崩落緊急対策事業			
	051		311	小松島2丁目	滑動崩落緊急対策事業	116		103	燕沢2丁目第2	滑動崩落緊急対策事業	1962		
小松島4丁目	052		45	小松島4丁目	滑動崩落緊急対策事業	117		104	燕沢2丁目第3	滑動崩落緊急対策事業			
小松島新堤	053		312	小松島新堤	滑動崩落緊急対策事業	118		105	燕沢2丁目第4	滑動崩落緊急対策事業	1962		
	054		46	鷺ヶ森1丁目第1	公共事業不実施	119		106	燕沢2丁目第5	滑動崩落緊急対策事業			
	055		47	鷺ヶ森1丁目第2	公共事業不実施	120		107	燕沢2丁目第6	滑動崩落緊急対策事業			
	056		48	鷺ヶ森2丁目第1	公共事業不実施	121		108	燕沢3丁目第1	滑動崩落緊急対策事業	1962		
	057		49	鷺ヶ森2丁目第2	公共事業不実施	122		109	燕沢3丁目第2	滑動崩落緊急対策事業			
桜ヶ丘1丁目	058		50	桜ヶ丘1丁目	滑動崩落緊急対策事業	123		110	燕沢3丁目第3	滑動崩落緊急対策事業	1965		
桜ヶ丘2丁目	059	★	51	桜ヶ丘2丁目	滑動崩落緊急対策事業	124		111	燕沢3丁目第4	滑動崩落緊急対策事業			
桜ヶ丘3丁目	060		313	桜ヶ丘3丁目	滑動崩落緊急対策事業	125		112	燕沢3丁目	公共事業不実施	不明		
桜ヶ丘4丁目	061	★	52	桜ヶ丘4丁目第1	滑動崩落緊急対策事業								
桜ヶ丘4丁目	062	★	53	桜ヶ丘4丁目第2	滑動崩落緊急対策事業								
桜ヶ丘5丁目	063	★	54	桜ヶ丘5丁目	公共事業不実施								
桜ヶ丘7丁目	064		55	桜ヶ丘7丁目第1	公共事業不実施								
桜ヶ丘7丁目	065		56	桜ヶ丘7丁目第2	公共事業不実施								

表-2 (2) 仙台市が公共事業の適用を検討した地区と適用事業及び宅地造成開始年代 (続き)
Table 2 (2) (continued)

地区名	N0	検討対象地区	工区 No.	工区名	状況	宅地造成開始年	地区名	N0	検討対象地区	工区 No.	工区名	状況	宅地造成開始年
燕沢東3丁目	126		275	燕沢東3丁目	がけ崩れ対策事業	不明	八木山南4丁目	188		166	八木山南4丁目	滑动崩落緊急対策事業	1971
鶴ヶ谷1丁目	127		113	鶴ヶ谷1丁目	滑动崩落緊急対策事業	1965	若葉町	189		278	若葉町	がけ崩れ対策事業	1965
鶴ヶ谷3丁目	128		114	鶴ヶ谷3丁目第1	公共事業不実施		明石南2丁目	190		170	明石南2丁目	滑动崩落緊急対策事業	1990年代
	129		115	鶴ヶ谷3丁目第2	滑动崩落緊急対策事業	1965	旭丘堤2丁目	191		301	旭丘堤2丁目第2	滑动崩落緊急対策事業	1962
鶴ヶ谷5丁目	130		116	鶴ヶ谷5丁目	公共事業不実施	1965	旭丘堤2丁目第1	192		302	旭丘堤2丁目第1	滑动崩落緊急対策事業	
鶴ヶ谷6丁目	131		117	鶴ヶ谷6丁目第1	公共事業不実施		泉ヶ丘3丁目	193		171	泉ヶ丘3丁目	公共事業不実施	1960年代
	132		118	鶴ヶ谷6丁目第2	公共事業不実施	1965	泉ヶ丘5丁目	194		303	泉ヶ丘5丁目	滑动崩落緊急対策事業	1960年代
鶴ヶ谷東2丁目	133		276	鶴ヶ谷東2丁目	がけ崩れ対策事業	1975	泉中央3丁目	195		172	泉中央3丁目第1	公共事業不実施	
鶴ヶ谷東4丁目	134	★	119	鶴ヶ谷東4丁目	滑动崩落緊急対策事業	1975	泉中央3丁目第2	196		173	泉中央3丁目第2	滑动崩落緊急対策事業	1980年代
	135		120	東仙台1丁目			泉中央3丁目第3	197		174	泉中央3丁目第3	滑动崩落緊急対策事業	
東仙台1丁目	136		277	東仙台1丁目	滑动崩落緊急対策事業	不明	市名坂宇野蔵	198		175	市名坂宇野蔵	公共事業不実施	1970年代
	137	★	319	東仙台1丁目	がけ崩れ対策事業		加茂2丁目	199	★	176	加茂2丁目	滑动崩落緊急対策事業	1970年代
	138	★	320	東仙台1丁目			加茂5丁目	200		177	加茂5丁目	滑动崩落緊急対策事業	1970年代
東仙台6丁目	139		121	東仙台6丁目	公共事業不実施	不明	北中山1丁目	201		178	北中山1丁目	滑动崩落緊急対策事業	1970年代
青山1丁目	140		122	青山1丁目	滑动崩落緊急対策事業	1960	北中山3丁目	202		179	北中山3丁目	滑动崩落緊急対策事業	
青山2丁目	141		123	青山2丁目第1	滑动崩落緊急対策事業		北中山3丁目・4丁目	203		180	北中山3丁目・4丁目	滑动崩落緊急対策事業	1970年代
	142		124	青山2丁目第2	滑动崩落緊急対策事業	1960	黒松1丁目	204	★	181	黒松1丁目	滑动崩落緊急対策事業	1960
	143		321	青山2丁目	滑动崩落緊急対策事業		黒松2丁目	205		182	黒松2丁目	滑动崩落緊急対策事業	1960
大崎町	144		265	大崎町	滑动崩落緊急対策事業	1962	黒松3丁目	206	★	304	黒松3丁目第1	滑动崩落緊急対策事業	
鹿野本町	145		126	鹿野本町	公共事業不実施	不明	黒松3丁目第2	207		183	黒松3丁目第2	滑动崩落緊急対策事業	
恵和町	146		125	恵和町	滑动崩落緊急対策事業	1965	黒松3丁目第3	208		184	黒松3丁目第3	滑动崩落緊急対策事業	1960
土手内1丁目	147		127	土手内1丁目	公共事業不実施	1980年代	狩野9丁目	209		185	狩野9丁目	滑动崩落緊急対策事業	
長嶺	148		128	長嶺	滑动崩落緊急対策事業	1960年代	松陵5丁目	210		186	松陵5丁目	滑动崩落緊急対策事業	1960年代
	149		131	萩ヶ丘第1	公共事業不実施		陣ヶ原	211		187	陣ヶ原	集团移転促進事業	1970年代
萩ヶ丘	150		132	萩ヶ丘第2	滑动崩落緊急対策事業	1961	住吉台西3丁目	212	★	188	住吉台西3丁目第1	滑动崩落緊急対策事業	1970年代
	151		133	萩ヶ丘第3	滑动崩落緊急対策事業		住吉台東3丁目・4丁目	213	★	189	住吉台東3丁目第2	滑动崩落緊急対策事業	1970年代
羽黒台	152	★	129	羽黒台第1	滑动崩落緊急対策事業	1965	住吉台東3丁目・4丁目	214	★	190	住吉台東3丁目・4丁目	公共事業不実施	1970年代
	153	★	130	羽黒台第2	滑动崩落緊急対策事業		高森6丁目	215		191	高森6丁目第1	滑动崩落緊急対策事業	
人来田1丁目	154		134	人来田1丁目第1	滑动崩落緊急対策事業	1963	高森6丁目第2	216		192	高森6丁目第2	滑动崩落緊急対策事業	1972
	155		135	人来田1丁目第2	公共事業不実施		鶴ヶ丘2丁目	217		193	鶴ヶ丘2丁目第1	公共事業不実施	
ひより台	156		136	ひより台	滑动崩落緊急対策事業	1967	鶴ヶ丘2丁目第2	218		194	鶴ヶ丘2丁目第2	公共事業不実施	
松ヶ丘	157		137	松ヶ丘第1	滑动崩落緊急対策事業		鶴ヶ丘2丁目第3	219		195	鶴ヶ丘2丁目第3	公共事業不実施	1970年代
	158		138	松ヶ丘第2	滑动崩落緊急対策事業	1960	七北田字八乙女	220		196	七北田字八乙女	公共事業不実施	
	159		139	松ヶ丘第3	公共事業不実施		南光台1丁目	221	★	197	南光台1丁目第1	滑动崩落緊急対策事業	1962
緑ヶ丘1丁目	160		140	緑ヶ丘1丁目	公共事業不実施	1960	南光台2丁目	222		198	南光台2丁目第1	公共事業不実施	
緑ヶ丘2丁目	161		141	緑ヶ丘2丁目	滑动崩落緊急対策事業	1960	南光台2丁目第2	223		199	南光台2丁目第2	公共事業不実施	
緑ヶ丘3丁目	162		142	緑ヶ丘3丁目第1-1	滑动崩落緊急対策事業	1960	南光台2丁目第3	224		200	南光台2丁目第3	公共事業不実施	
				緑ヶ丘3丁目第1-2	滑动崩落緊急対策事業		南光台3丁目	225		201	南光台3丁目第1	公共事業不実施	1962
				緑ヶ丘3丁目第2	公共事業不実施			226		202	南光台3丁目第2	公共事業不実施	
緑ヶ丘4丁目	163		144	緑ヶ丘4丁目	集团移転促進事業	1960	南光台3丁目第3	227		203	南光台3丁目第3	公共事業不実施	
					公共事業不実施		南光台4丁目	228		204	南光台4丁目第1	公共事業不実施	
向山2丁目	164		145	向山2丁目第1	公共事業不実施	1967	南光台4丁目第2	229	★	205	南光台4丁目第2	滑动崩落緊急対策事業	1962
	165		146	向山2丁目第2	公共事業不実施			230	★	206	南光台4丁目第3	滑动崩落緊急対策事業	
	166		147	向山2丁目第3	公共事業不実施		南光台6丁目	231	★	207	南光台6丁目	滑动崩落緊急対策事業	1962
	167		148	向山2丁目第4	公共事業不実施								
向山4丁目	168		149	向山4丁目	公共事業不実施	1967	南光台東1丁目	232		208	南光台東1丁目第1	滑动崩落緊急対策事業	1980
茂ヶ崎3丁目	169		150	茂ヶ崎3丁目	滑动崩落緊急対策事業	1964	南光台東2丁目	233		209	南光台東1丁目第2	公共事業不実施	
茂庭台5丁目	170		151	茂庭台5丁目	滑动崩落緊急対策事業	1978	南光台東2丁目第1	234		210	南光台東2丁目	公共事業不実施	1980
八木山香澄町	171		152	八木山香澄町第1	滑动崩落緊急対策事業	1965	南光台東2丁目第2	235		211	南光台東3丁目第1	公共事業不実施	1980
	172		153	八木山香澄町第2	滑动崩落緊急対策事業		南光台東3丁目	236		212	南光台東3丁目第2	公共事業不実施	
八木山東1丁目	173		154	八木山東1丁目	滑动崩落緊急対策事業	1965	南光台南2丁目	237	★	213	南光台南2丁目第1	滑动崩落緊急対策事業	1963
八木山東2丁目	174		155	八木山東2丁目	滑动崩落緊急対策事業	1965	南光台南2丁目第1	238	★	214	南光台南2丁目第2	公共事業不実施	
八木山本町1丁目	175		156	八木山本町1丁目第1	滑动崩落緊急対策事業	1965	南光台南2丁目第2	239		215	南光台南3丁目	滑动崩落緊急対策事業	1963
	176		157	八木山本町1丁目第2	滑动崩落緊急対策事業		南光台南3丁目	240	★	305	南光台南3丁目第1	公共事業不実施	
	177		158	八木山本町1丁目第3	滑动崩落緊急対策事業			241	★	306	南光台南3丁目第2	公共事業不実施	1968
	178		159	八木山本町1丁目第4	滑动崩落緊急対策事業		東黒松	242		216	東黒松	公共事業不実施	
八木山本町2丁目	179		160	八木山本町2丁目第1	公共事業不実施		東黒松	243		307	東黒松	滑动崩落緊急対策事業	
	180		161	八木山本町2丁目第2	滑动崩落緊急対策事業	1965	歩坂町第1	244	★	217	歩坂町第1	滑动崩落緊急対策事業	1983
	181		162	八木山本町2丁目第3	公共事業不実施		歩坂町第2	245	★	218	歩坂町第2	滑动崩落緊急対策事業	
	182		163	八木山本町2丁目第4	公共事業不実施		歩坂町第3	246	★	219	歩坂町第3	滑动崩落緊急対策事業	
八木山松波町	183		167	八木山松波町第1	滑动崩落緊急対策事業	1965	松森明神	247		279	松森明神	がけ崩れ対策事業	1968
	184		168	八木山松波町第2	公共事業不実施		松森宇明神	248		308	松森宇明神	滑动崩落緊急対策事業	1968
	185		169	桜木町	公共事業不実施		紫山5丁目	249	★	220	紫山5丁目	滑动崩落緊急対策事業	1990年代
八木山南1丁目	186		164	八木山南1丁目第1	滑动崩落緊急対策事業	1971	山の寺1丁目	250		221	山の寺1丁目	公共事業不実施	1960年代
	187		165	八木山南1丁目第2	滑动崩落緊急対策事業								

※この一覧表作成に当たっては、仙台市のHP⁹⁾に基づき作成した。但し、造成開始年・年代については、年表示が東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会(2013)¹⁰⁾、年代表示が仙台市のHP¹¹⁾による。

また、検討対象地区の欄で★印がついている地区は本稿の対象地区である。

(List of 250 damaged areas after the Sendai city⁹⁾. In this table, year¹⁰⁾ or decade¹¹⁾ when land develop work had begun are also shown. Sites marked by stars (★) are corresponding to the areas where we have closely examined in this study.)

造成開始年代をみると、造成年代が不明な18地区を除く被災232地区では、図-4のように1960年代の造成が160地区(69%)、1970年代と1980年代が各27地区(各12%)、1990年代以降が2地区(1%)であり、2000年代以降は認められない。

宅地の耐震化については、宅地造成等規制法(施行1962年)及び都市計画法(施行1969年)には盛り込まれていないが、宅地防災マニュアル(1989年発刊)には盛土の耐震化が盛り込まれている。これらの法制化の動きに合わせて、1970年代・80年代の盛土施工地区数は、60年代に比較して約17%の数になっており、更に、耐震化対策が必要になった1990年代以降では全体のわずか1%となっている。

なお、本稿の39検討対象地区の造成開始年代も全体の造成開始年代の頻度傾向とほぼ同様である。

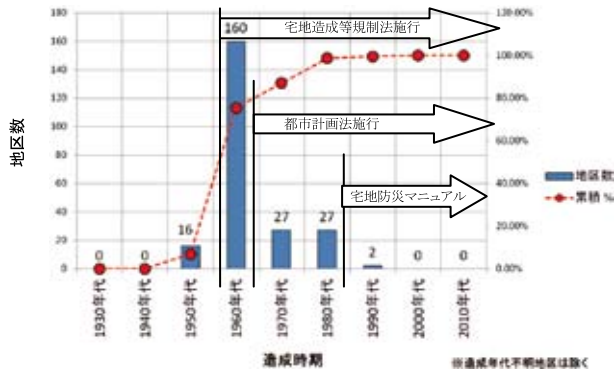


図-4 被災232地区の造成開始年代
Fig. 4 Histogram of damaged areas where housing lots are severely damaged, as function of land developing work started period. Enforcement times of related acts and regulations are also shown by allows.

3. 調査・検討の方法

3.1 斜面変動に関する用語について

震災後、丘陵地での造成宅地の被害がクローズアップされてから、盛土斜面の変動を表現する用語として、滑動崩落¹²⁾、人工地盤の地すべり¹³⁾、造成地盛土地すべり¹⁴⁾、地すべり性地表変動¹⁵⁾などが用いられている。

本稿では、国土交通省が公表している「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説」¹⁶⁾(以下ガイドラインと称す)に示された被害形態である「滑動崩落」の用語を用いる。この滑動崩落は被害形態をもとに表-3に示すように区分される。なお、これらをさらに細分した被害形態もガイドラインでは示されている。

表-3 滑動崩落の区分(国交省都市局, (2012)¹⁶⁾を引用)

Table 3 Schematic diagrams of the types and their morphological characters of slide collapsing deformation¹⁶⁾.

被害形態	模式図	備考
崩壊	A	盛土内の間隙水圧上昇による流動的すべり崩壊など
	B	擁壁の不安定化による擁壁倒壊・背面土の崩壊など
変形	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(盛土表面の変形、切盛境界の不動沈下を含む)など
	D	擁壁と背面土の変形

3.2 滑動崩落ブロックの整理にあたって

最初に、ここで示す滑動崩落ブロックとは、門田他(2013)¹⁷⁾が示す「主たる変状範囲」と同一のもので、まとまった地盤がほぼ同様な方向に水平移動した移動体を示す。この滑動崩落ブロックは、複数の技術者による地表踏査によりクラックの分布状況、移動方向などを確認した上で、抽出されている。なお、滑動崩落ブロック内には分化したものも認められる。

仙台市で滑動崩落緊急対策事業などが進められている地区の約25%(39/170)にあたる39地区の44滑動崩落ブロックに対して、盛土のタイプ、基盤地質、盛土状況、地下水位、滑動崩落ブロックの規模や末端部付近の形状などに着目して整理を行った。

これらについての整理方法を以下に示す。各指標の前に示した(1)や①の番号は後述する4.1項の指標番号及び表-4の指標番号と統一した。

なお、整理に当たっての判断は、主に現地踏査、測量、ボーリング調査によった。これ以外のものについては、各指標で説明する。

(1) 盛土のタイプ

谷埋め型盛土、腹付け型盛土のいずれかを表記した。この判断は仙台市が保有する造成前の旧都市計画図と現都市計画図の比較による。なお、旧都市計画図が無い場合は、国土地理院発行の1/25,000の旧地形図(造成前)を参考にした。

(2) 基盤地質

該当地区に分布する固結層を対象にして、砂岩、シルト岩などの岩種を表記した。

(3) 基礎地盤の状況

基盤地質の上位に盛土が直接分布していれば、基盤

地質と同じ岩種を表記した。基盤地質の上位に未固結層が分布している場合は、粘性土層、砂質土などと表記した。

(4) 盛土状況

①盛土厚さ

滑動崩落ブロック中央の厚さを表記した。

②原地盤の勾配

主測線で計測した。

原則ガイドラインに準じるが、盛土規模に対して滑動崩落ブロックが小さい場合は、滑動崩落ブロック周辺で設定した。凹状などの断面形状を示すブロックは「-」と表記した。

③地下水位の有無

ボーリング調査などで盛土内に地下水位を確認したものを「有」、無いものを「無」と表記した。なお、盛土の厚さが20 m以上と厚く、設計上のすべり面と地下水位の離隔が大きく、盛土底部付近に分布している場合は「無」と表記した。

ボーリングでの地下水位は、無水掘りで確認した初期水位とした。但し、その後の清水位が初期水位より高くなった場合は、静水位を地下水位とした。なお、調査をした期間は主に2012年5月～10月である。

④盛土高さ

原則ガイドラインに準じるが、盛土規模に対して滑動崩落ブロックが小さい場合は、滑動崩落ブロック周辺で設定した。

⑤盛土材料

盛土を構成する主たる材料について、粘性土、砂質土、礫質土などの内、主たる材料1種類を表記し

た。

(5) 設計上のすべり面上位の地下水位

設計上のすべり面より上位に地下水位の高さを示した。

設計上のすべり面は、変形・すべり・崩壊が発生した移動地盤と不動地盤との境界面とする。この設定に当たっては、主に表面波探査の結果を考慮している。これは以下の理由による。

表面波探査の結果、せん断波速度（S波速度） $V_s = 160 \sim 200$ m/s以下を示す範囲が、滑動崩落ブロック及びその周辺で確認された被災宅地の分布範囲と概ね一致した¹⁷⁾ことから、その速度分布を深度方向にも適用し、設計上のすべり面とした。

(6) 滑動崩落

斜面長・深度・斜面傾斜角（頭部-末端）は上野¹⁸⁾に準じた。

①被害形態

表-3に示した被災形態をA～Dで表記した。

②幅

滑動方向の直交方向での最大幅で示した。

③斜面長

滑動崩落の頭部と末端部を結んだ斜距離で示した。

④深度

設計上のすべり面の鉛直方向の最大深度で示した。

⑤面積

滑動崩落ブロックの面積を示した。

⑥・⑦斜面傾斜角（頭部-末端）・（平均主部）

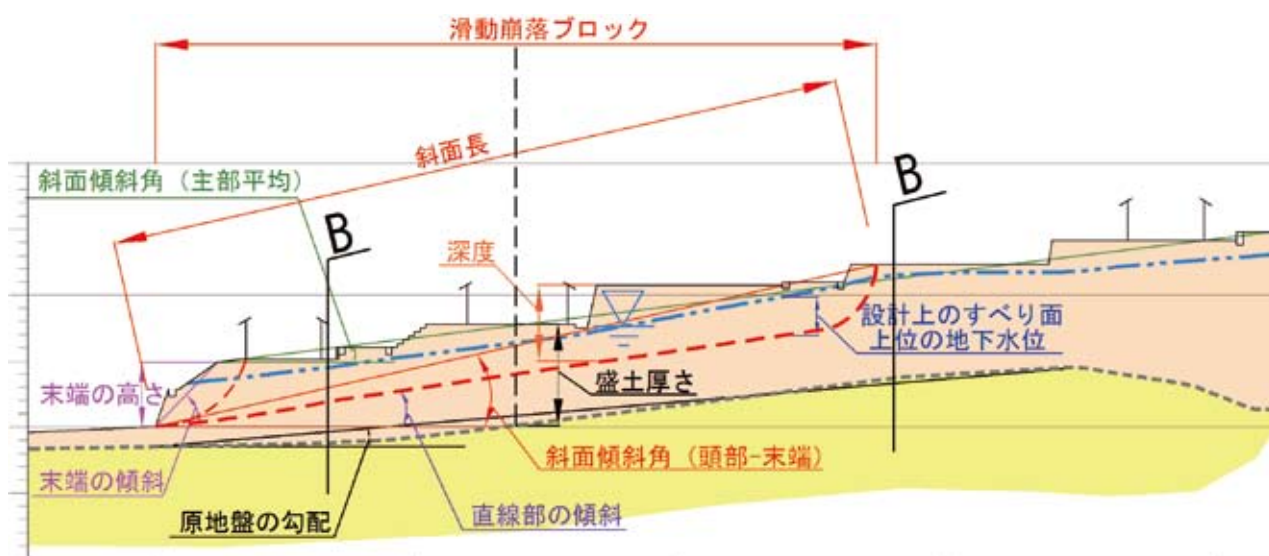


図-5 滑動崩落を特徴づける指標

Fig. 5 Definitions for parameters characterizing slide collapses.

滑動崩落後の地形に基づいて主測線で計測した。最急勾配と主測線は斜交する場合があるため、その場合は斜面傾斜角は最急勾配より緩くなる。斜面傾斜角は、頭部-末端と主部平均の2種類とした。

頭部-末端：滑動崩落の頭部と末端部を結ぶ直線と水平線が交わる角度を示す。

主部平均：宅地が分布する範囲の平均地表面傾斜を示す。

⑧末端部の形状

斜面傾斜角（主部平均）の線以下の末端斜面について高さ（m）と傾斜を示す。なお、高さ1.5m以上を対象にし、それ未満は「-」と表記した。

⑨すべり形態

円弧-直線-円弧、直線-円弧などを表記した。

⑩直線部の傾斜

設計上のすべり面における直線部の傾斜角である。

⑪割合

設計上のすべり面の直線部においてすべり面がとおる盛土区間と盛土と地山境界（付近）区間の割合を示す。

4. 各地区での滑動崩落の特徴

4.1 39地区での滑動崩落の特徴

39地区で確認された44箇所の滑動崩落ブロックを整理し、表-4に示した。

表-4で示した指標について、以下に示す。

(1) 盛土のタイプ

谷埋め型盛土が42ブロック、腹付盛土が2ブロックであり、谷埋め型盛土が95%を占める。

(2) 基盤地質

基盤地質は、砂岩が20ブロック、シルト岩が11ブロック、凝灰岩類が13ブロックであり、砂岩及びシルト岩を合わせた碎屑岩の割合が約70%を占め、残り約30%が凝灰岩類である。

(3) 基礎地盤の状況

基盤地質の上位に粘性土層などの未固結層が分布しているブロックが21ブロックで、約50%を占める。

(4) 盛土状況

①盛土の厚さ

最大34m、最小約3mで多くは7m～20mである。

②原地盤の勾配

最大約21°で多くは約5°～15°である。なお、13ブロックは凹状地形などを示すため勾配測定の対象外とした。後述するように、盛土と地山の境界付近が設計上のすべり面となる滑動崩落は約25%みられる。これらの中には原地盤の勾配に起因したと考

えられる滑動崩落がいくつか認められる。

③盛土内の地下水位の有無

盛土内に地下水が存在するのは39ブロックで、約90%である。このうち湧水が認められたのは6ブロックである。一方、地下水が無いのが5ブロックで、約10%である。

④盛土高さ

最大約45m、最小約5mで、約70%（31/44）が10m～25m未満である。

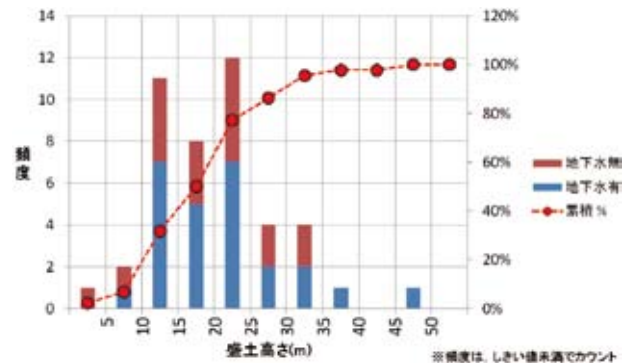


図-6 滑動崩落ブロックの盛土高さの頻度分布

Fig. 6 Histogram of embankment height of slide collapsing block.

⑤盛土材料

粘性土が33ブロック、砂質土が11ブロックと粘性土が砂質土の3倍を示す。

(5) 設計上のすべり面上位の地下水位

設計上のすべり面より上位に地下水位が認められたのは26ブロック（約60%）であるが、残りの18ブロック（約40%）はそれより上位に地下水位が無い状況である。

(6) 滑動崩落

①被害形態

表-3に示すC（すべりによる変形）が43ブロックで、A（すべり崩壊）が1ブロックである。この1ブロックのすべり崩壊は盛土内の間隙水圧の上昇に起因している。

②滑動崩落ブロックの幅

最大約215m、最小約20mで、約55%（24/44）が30m～60m未満の範囲で、約85%（37/44）が90m未満である。滑動崩落ブロック内の地下水位の有無をみると、最も幅が広い2つのブロックでは地下水位が認められない状況にある。一つは、幅が215mで斜面長が16mの地区であり、当地区は急斜面を横方向に長く造成した腹付盛土である。もう一つは、幅166m、斜面長98mで面積が約12,000m²と広い滑動崩落ブロックである。

表-4 39地区44滑動崩落ブロックの特徴一覧

Table 4 Summary of characteristic parameters for 44 slide collapsing blocks in 39 damaged areas.

Table with 32 columns: 地区名, 造成年代, 盛土のタイプ, 基礎地質, 基礎地盤の状況, 盛土厚さ, 原地面の勾配, 地下水位, 盛土高さ, 盛土材料, 設計上のすべり面上位の地下水位, 被害形状, ①幅, ②幅, ③幅, ④深さ, ⑤面積, ⑥頭部-末梢, ⑦主部平均高さ, ⑧末梢新行坂の形状, 設計上のすべり面, ⑨すべり形態, ⑩割合, 地山残存. The table lists 44 slide collapsing blocks across 39 damaged areas, providing detailed parameters for each.

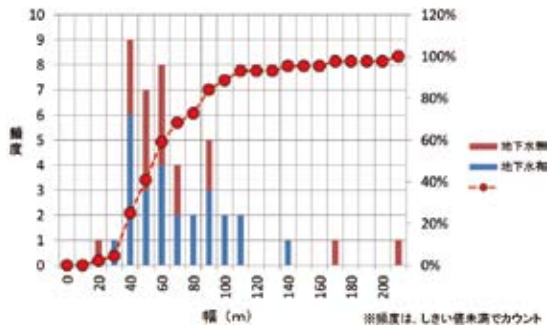


図-7 滑動崩落ブロックの幅の頻度分布
Fig. 7 Histogram of width of slide collapsing block.

③斜面長

最大約 190 m, 最小約 7 m で, 約 60% (27/44) が 7 m ~ 60 m 未満, 約 85% (37/44) が 100 m 未満である。滑動崩落ブロック内の地下水位の有無をみると, 50 m 未満では約 80% (13/16) が地下水位が無い状況にある。一方, 70 m 以上では約 80% (13/16) で地下水位が認められる。

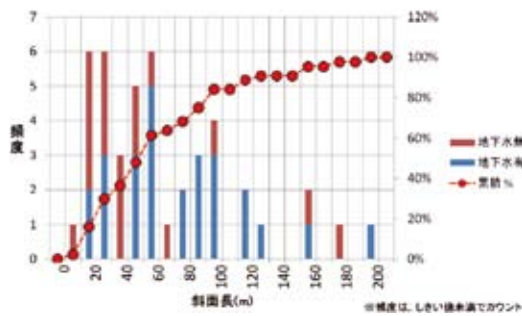


図-8 滑動崩落ブロックの斜面長の頻度分布
Fig. 8 Histogram of slope length of slide collapsing block.

④設計上のすべり面深度

最大約 13 m, 最小約 2 m で, 約 90% (40/44) が 2 m ~ 8 m 未満の範囲にある。滑動崩落ブロック内の地下水位の有無をみると, 深度 8 m 未満では深度が浅くなるほど地下水位の無い割合が多く, 深度 2 ~ 4 m 未満が特に多くなっている。

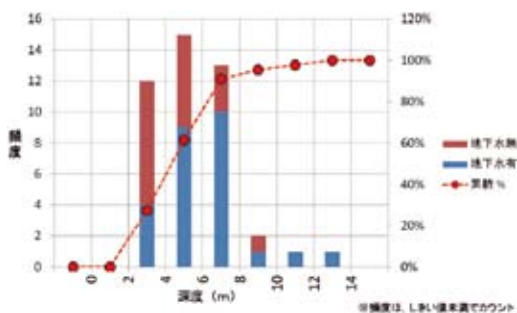


図-9 滑動崩落ブロックの設計上のすべり面深度の頻度分布
Fig. 9 Histogram of depth of the basement of estimated deformation zone.

⑤滑動崩落ブロックの面積

最大約 12,000 m², 最小約 400 m² で, 約 60% (27/44) が 3,000 m² 未満, 75% (33/44) が 4,000 m² 未満である。一方, 10,000 m² 以上は約 10% (5/44) である。滑動崩落ブロック内の地下水位の有無をみると, 1,400 m² 以下で約 60% (10/16) が地下水位が無いとなっている。

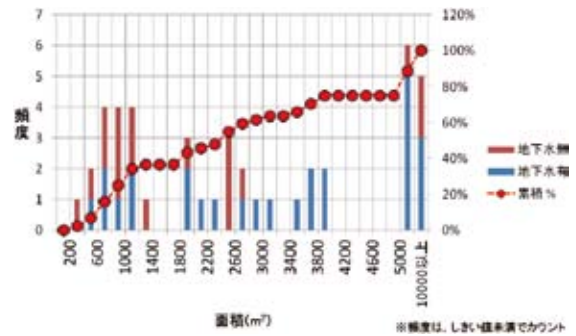


図-10 滑動崩落ブロックの面積の頻度分布
Fig. 10 Histogram of area of slide collapsing block.

⑥斜面傾斜角 (頭部-末端)

最大約 21°, 最小 2.6° で, 約 75% (32/44) が 10° 未満である。10° 以上では 18° ~ 20° 未満が 5 ブロックあり, 突出している。滑動崩落ブロック内の地下水位の有無をみると, 無が 10° 未満で約 40% (12/32), 10° 以上が約 50% (6/12) と, 斜面傾斜角が急になると地下水位無しとの割合が少し多くなる。

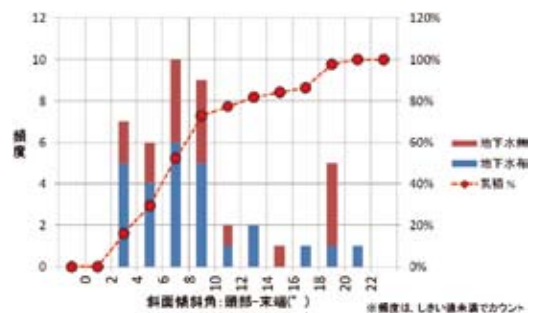


図-11 滑動崩落ブロックの斜面傾斜角 (頭部-末端) の頻度分布
Fig. 11 Histogram of inclined angle of the basement of estimated deformation zone.

⑦斜面傾斜角 (主部平均)

最大 9.5°, 最小 0° で, 約 60% (27/44) が 4° 未満で, その中でも 3° ~ 4° 未満は約 25% (10/44) と多い。滑動崩落ブロック内の地下水位の有無をみると, 5° ~ 6° 未満だけの割合が 80% (4/5) と突出しているが, それ以外は概ね平均的な割合である。

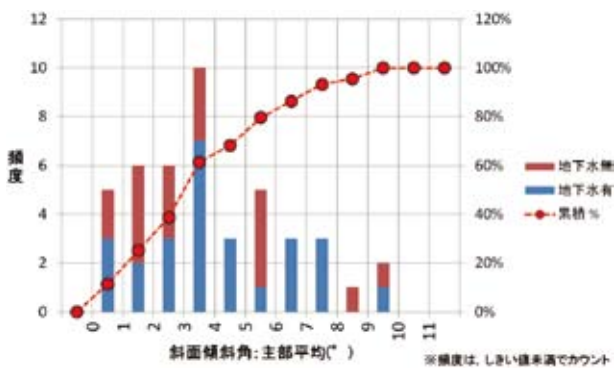


図-12 滑動崩落ブロックの斜面傾斜角（主部平均）の頻度分布
Fig. 12 Histogram of slope angle of housing lot gallery.

⑧末端部の形状

末端部の高さは8 m 未満が約 90% (40/44), 2 ~ 4 m 未満が約 25% (12/44) である。傾斜は緩傾斜のため計測していないものが約 20% (9/44), 20° ~ 50° 未満が約 40% (18/44), 55° 以上が約 40% (17/44) である。高さ 5 m 以上, かつ, 傾斜が 45° 以上のブロックは 2 ブロック存在する。

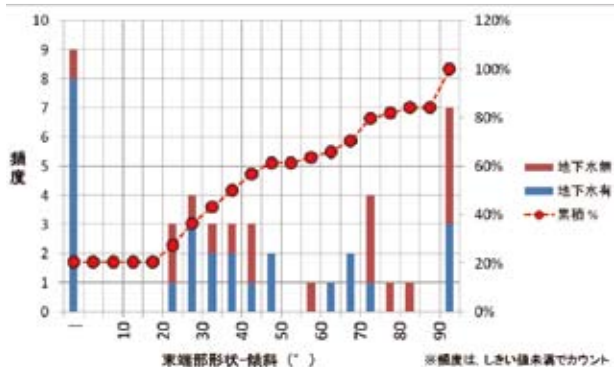
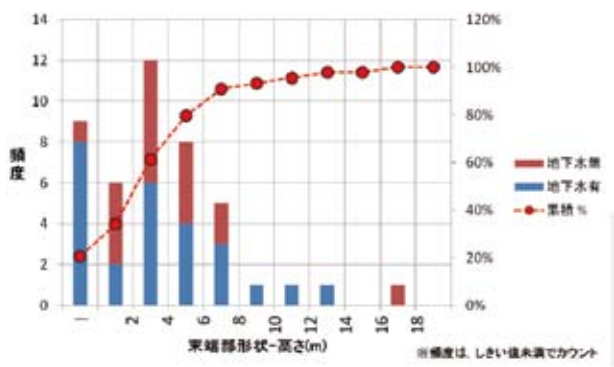


図-13 滑動崩落ブロックの末端部の形状（高さ・傾斜）の頻度分布

Fig. 13 Histograms of (top) slope height at lower-end slide block, and (bottom) slope angle at lower-end slide block. Frequencies of blocks with high groundwater level are shown by red bar.

⑨すべり形態

すべり形態は, 円弧-直線が 24 ブロックの 55% (24/44), 円弧-直線-円弧が 17 ブロックの約 40% (17/44) で, この二つのすべり形態が非常に多い。

滑動崩落ブロック内の地下水位の有無をみると, 円弧-直線では地下水位無しが約 60% (14/24) と有りより多いが, 円弧-直線-円弧では地下水位有りが約 90% (15/17) を占める。

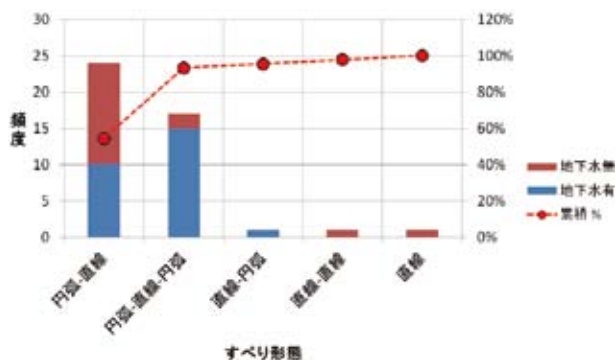


図-14 滑動崩落ブロックの末端部のすべり形態の頻度分布図

Fig. 14 Frequencies of slip-configuration types of slide block. Rotational slips are predominant. Blocks with high groundwater level are shown by red bar.

⑩設計上のすべり面の直線部の角度

最大約 21°, 最小 1° で, 約 70% (30/44) が 2° ~ 8° 未満の範囲で, 特に 2° ~ 4° 未満は約 35% (16/44) と突出している。滑動崩落ブロック内の地下水位の有無をみると, 特に 2° ~ 4° 未満では無しが約 55% と割合が高い。

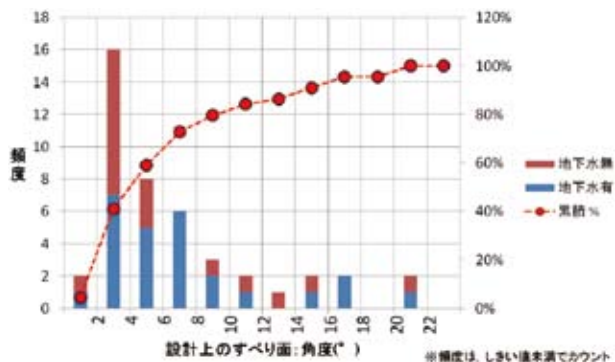


図-15 滑動崩落ブロックの設計上のすべり面の直線部の角度の頻度分布

Fig. 15 Histogram of inclined angle of the basement of estimated deformation zone. Blocks with high groundwater level are shown by red bar.

①設計上のすべり面の直線部での地盤割合

設計上のすべり面の直線部で盛土区間が大半なのは34ブロックの約75%、盛土と地山(付近)境界区間が大半なブロックは10ブロックの約25%である。これは、滑動崩落の多くは、盛土内で発生していることを示している。

滑動崩落ブロックの設計上のすべり面深度と幅・斜面長・面積の関係を図-16に示す。これによると、深度(D)は幅(W)の概ね1/4~1/25の範囲、斜面長の概ね1/3.5~1/20の範囲である。面積については1/100~1/900の範囲に概ね存在するが面積が5,000m²を超えると1/900より小さくなることが多い。なお、この図では盛土材料の違いも示したが、粘性土・砂質土の違いによる差は認められなかった。

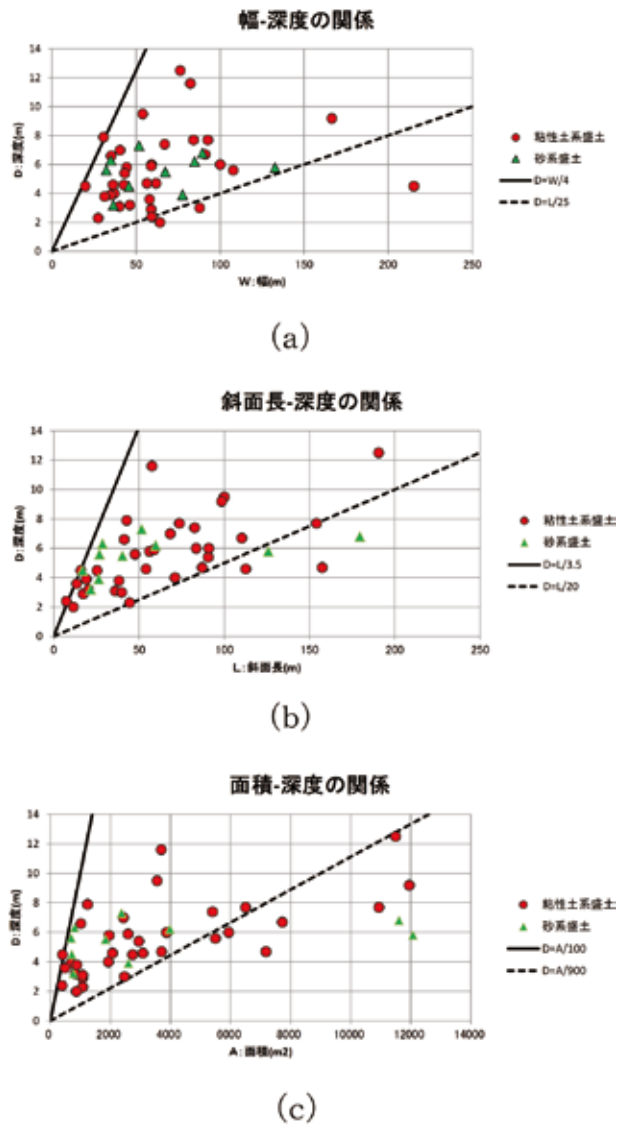


図-16 滑動崩落ブロックにおける幅-深度、斜面長-深度、面積-深度の関係

Fig. 16 Relationship of a) block width (W) and depth of the basement of estimated deformation zone (D); b) block length (L) and depth of the basement of estimated deformation zone (D); c) block area (A) and depth of the basement of estimated deformation zone (D).

また、設計上のすべり面深度と盛土厚さの関係を図-17に示す。これによると、設計上のすべり面深度は盛土厚さの0.1~0.5倍未満が45% (20/44)、0.5~0.9倍が25% (11/44)、0.9倍以上が30% (13/44)である。なお、0.9倍以上のうち設計上のすべり面が盛土と地山の境界付近に設定されるものが11ブロックである。

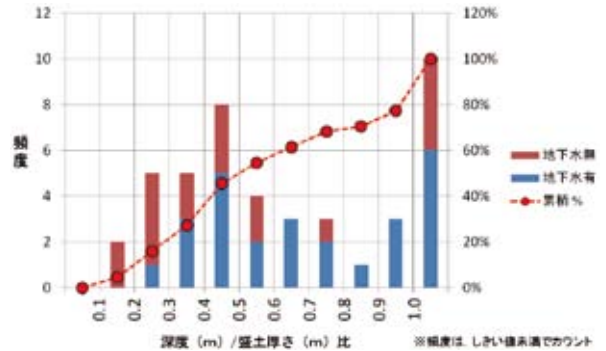


図-17 設計上のすべり面深度と盛土厚さ関係
Fig. 17 Histogram of the ratio of depth of the basement of estimated deformation zone (D) against filled soil thickness.

斜面長と斜面傾斜角(頭部-末端)の関係を図-18に示す。これによると、斜面長が長くなるほど斜面傾斜角が緩くなる傾向にある。

設計上のすべり面深度と斜面高さ(斜面長×sin(斜面傾斜角(頭部-末端)))の関係を図-19に示す。これによると、設計上のすべり面深度(D)は概ね次式で表せられる。

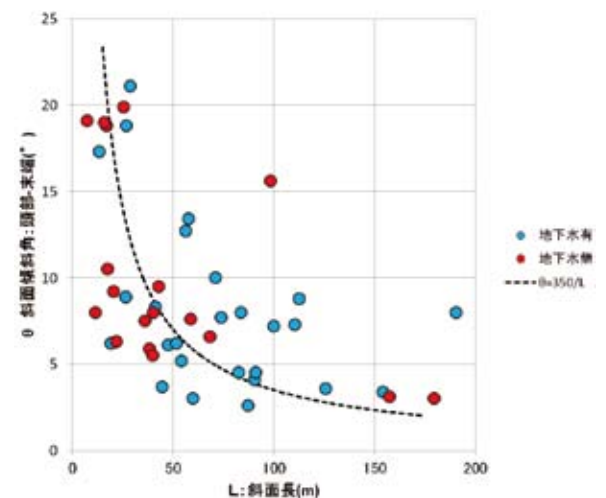


図-18 斜面傾斜角(頭部-末端)と斜面長の関係図
Fig. 18 Slope length (L) versus slope angle (theta: head-to-end inclination). Red dots show that head of groundwater level is confirmed within the slide block, blue dots are not.

$$D = 0.34 \cdot Sh + 3.06$$

ここに D：設計上のすべり面深度 (m)

Sh：斜面高さ (m) = L × sin (θ)

L：斜面長 (m)

θ：斜面傾斜角 (頭部-末端)

この関係式から、盛土造成地で滑動崩落が確認された場合、現地では斜面高さを把握すれば、設計上のすべり面深度を概略的に推測できることになる。

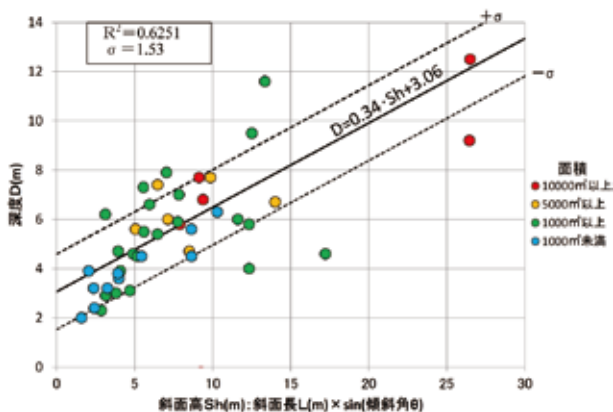


図-19 設計上のすべり面深度と斜面高さの関係

Fig. 19 Relationship between height (Sh) and depth of the basement of estimated deformation zone (D).

以上、滑動崩落ブロックにおける各種の指標について認められる傾向を示したが、簡単にまとめると次のようになる。

44箇所の滑動崩落ブロックの主な特徴は、盛土タイプとしては谷埋め型盛土が95%を占め、滑動崩落ブロックの規模は、概ね幅が30 m ~ 90 m、斜面長が10 m ~ 100 m、設計上のすべり面深度が2 m ~ 8 m、面積が700 m² ~ 4,000 m²、斜面傾斜角 (頭部-末端) が10°未満、設計上のすべり面が主に盛土内に設定したが75%である。また、設計上のすべり面より上位に地下水位が認められたのが約60%で、残りの約40%の滑動崩落ブロックには地下水位が認められない。

それぞれの指標についての関係を見ると、設計上のすべり面深度と幅・斜面長・面積にはある程度の範囲で、斜面長と斜面傾斜角 (頭部-末端) の間にも関係が認められる。また、設計上のすべり面深度と斜面高さには概略的な関係が成り立ち、盛土造成地で滑動崩落が確認された場合、現地では斜面高さを把握すれば、設計上のすべり面深度を概略的に推測できる。

4.2 各滑動崩落ブロックの断面図

44箇所の滑動崩落ブロックの断面図を図-20(1) ~ (6)に示した。断面図の配置は最初に滑動崩落ブロック内の地下水位の有無で2区分し、それぞれ斜面傾斜

角 (頭部-末端) が急なものから緩い順とした。断面図の縦横比は1:1で縮尺は1/2,000に、滑動崩落ブロックの下方側 (移動方向側) を左側になるように統一し、地区番号・ブロック番号、造成年代・年代、斜面傾斜角 (頭部-末端) を表示した。

滑動崩落ブロックの末端付近の地形に着目すると、法面の存在、又は、宅地間などに約4 m以上の擁壁などが存在し末端付近が解放されている斜面と、宅地が連続した比較的なだらかで解放されていない斜面に大きく分類される特徴がある。

また、図-20に示すように滑動崩落ブロックの断面形状は、深度は浅く深度に対して斜面長が長く、設計上のすべり面の角度も緩いものが多い。これはせん断破壊された「すべり」ではなく、せん断破壊に至らない変位 (変形) によるものであることを形状から示唆していると考えられる。

これまで滑動崩落ブロックについて述べてきた。

一方で、図-20に示すようにこの滑動崩落ブロック内にも設計上のすべり面を示した。例えば、図-20(1)の地区番号022に示したように盛土と地山の境界部を設計上のすべり面とする大きなすべりの他に、ひな壇を巻き込む小さなすべり (以下、ひな壇すべりと称す。) を設定している。これはひな壇毎の擁壁の変状状況を踏まえて設定したものである。他地区を含めてこのひな壇すべりは、ひな壇の高さが約2 m以上で多く発生している。このことから、ひな壇の高さが約2 m以上であれば、全体のすべりの他にひな壇すべりが発生する可能性が高いと考えられる。

凡 例			
b	盛土	Ss	砂岩
dt	崩積土	Lt	火山礫凝灰岩
Ac	粘性土	Tb	凝灰角礫岩
As	砂質土	Tf	凝灰岩
s2	粘性土	K	凝灰岩主体
Q2	火山灰質粘性土	B	ボーリング位置
Qg	礫質土	S	サウンディング位置
Ms	シルト岩		地下水位
Ag	礫質土		設計上のすべり面

図-20 (1) 滑動崩落ブロックの断面図 (凡例)

Fig. 20 (1) Geotechnical cross sections of selected blocks (Legend).

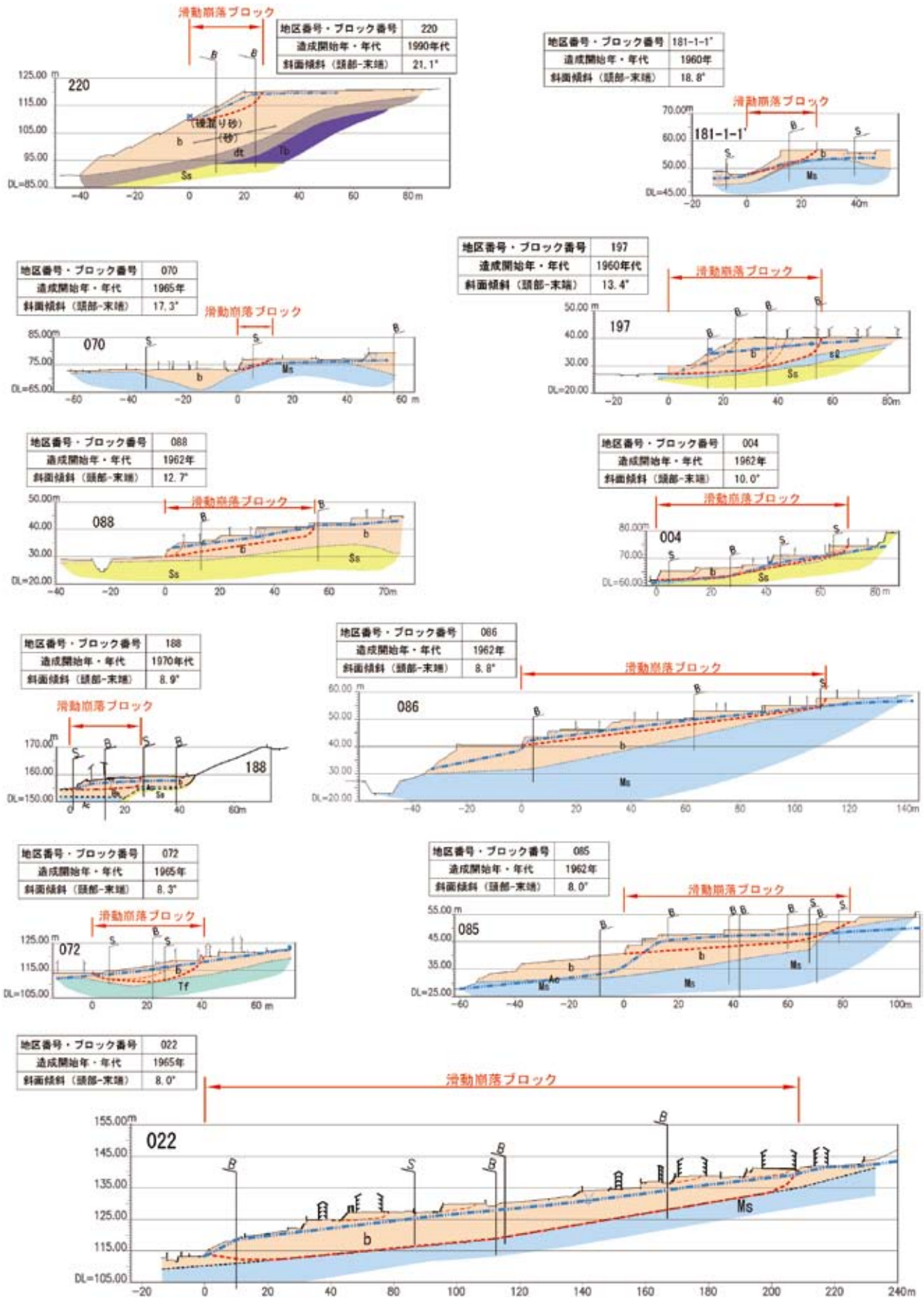


図-20 (2) 各滑动崩落ブロックの断面図(地下水水位有)

Fig. 20 (2) Geotechnical cross sections of selected blocks with groundwater level. (Block number appeared in Tables 2 and 5 are attached in each section. Geology is also shown by color. Estimated bottom of deformation block is depicted with red broken line, and ground water head with blue chain line.)

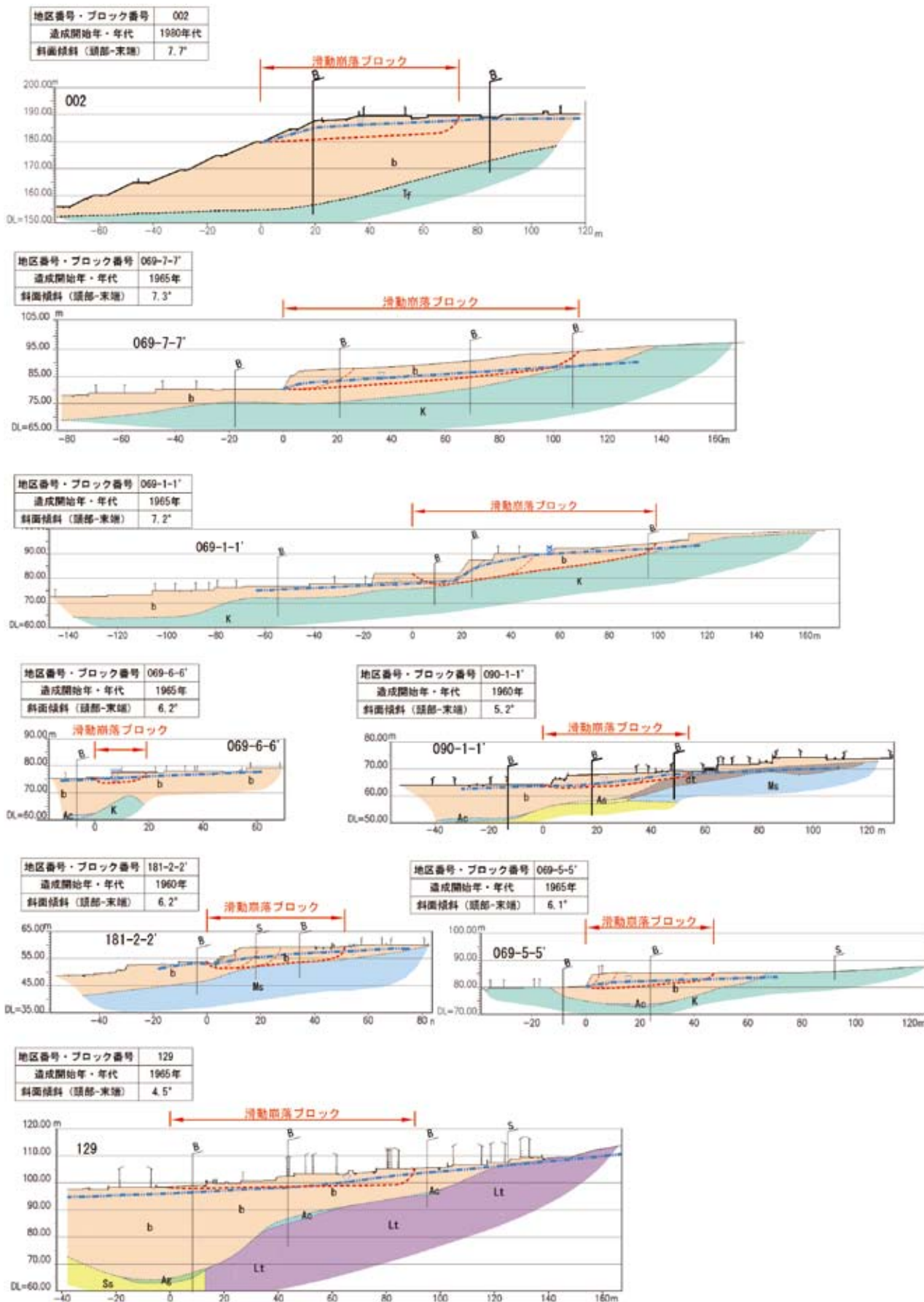


図-20 (3) 滑動崩落ブロックの断面図 (地下水水位有)

Fig. 20 (3) Geotechnical cross sections of selected blocks with groundwater level. (Block number appeared in Tables 2 and 5 are attached in each section. Geology is also shown by color. Estimated bottom of deformation block is depicted with red broken line, and ground water head with blue chain line.)

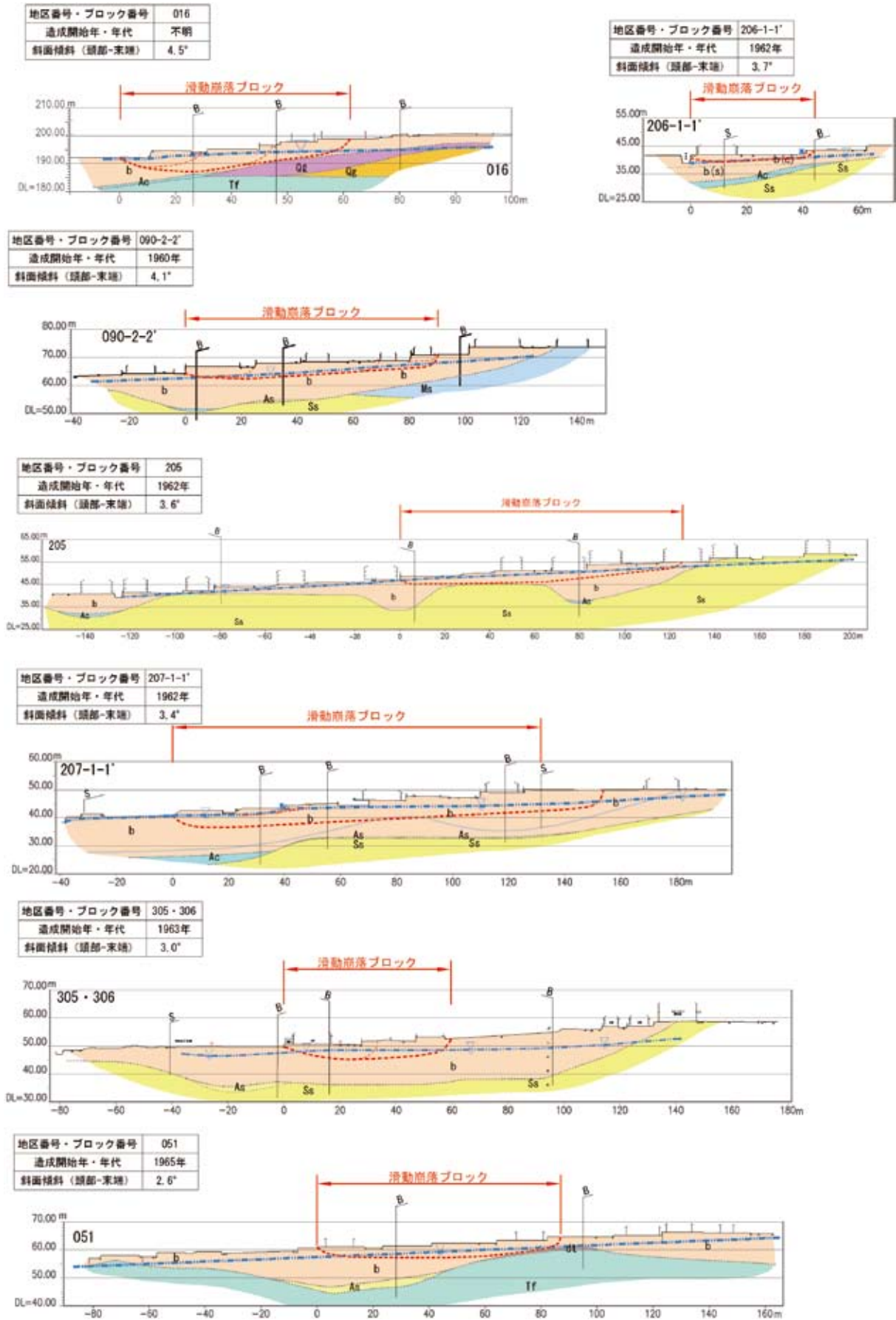


図-20 (4) 滑动崩落ブロックの断面図 (地下水位有)

Fig. 20 (4) Geotechnical cross sections of selected blocks with groundwater level. (Block number appeared in Tables 2 and 5 are attached in each section. Geology is also shown by color. Estimated bottom of deformation block is depicted with red broken line, and ground water head with blue chain line.)

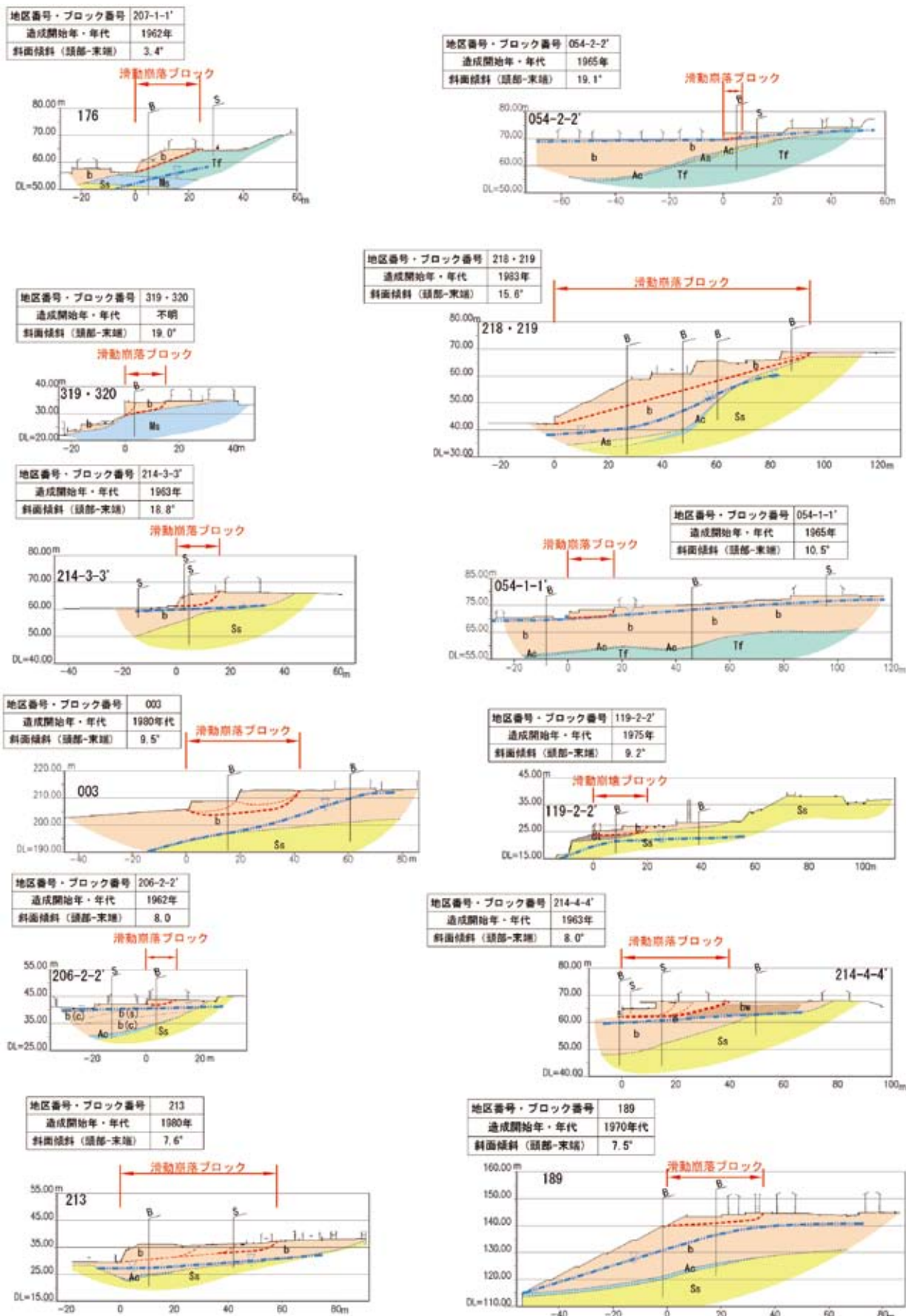
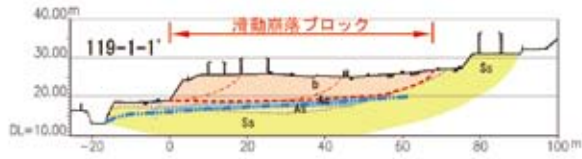


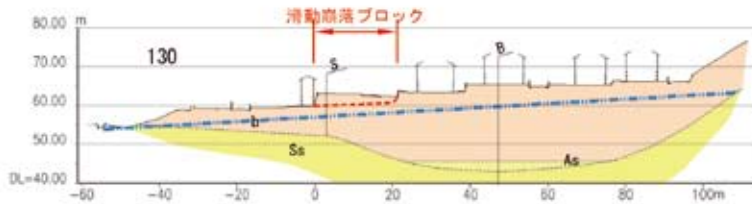
図-20 (5) 滑動崩落ブロックの断面図 (地下水位無)

Fig. 20 (5) Geotechnical cross sections of selected blocks without groundwater level. (Block number appeared in Tables 2 and 5 are attached in each section. Geology is also shown by color. Estimated bottom of deformation block is depicted with red broken line, and ground water head with blue chain line.)

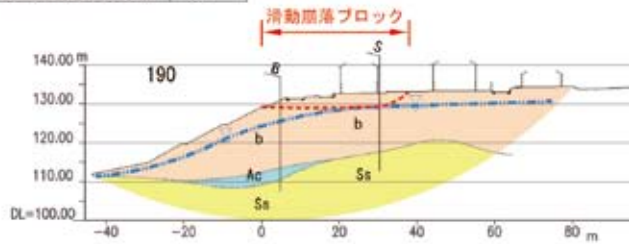
地区番号・ブロック番号	119-1-1'
造成開始年・年代	1975年
斜面傾斜(頭部-末端)	6.6°



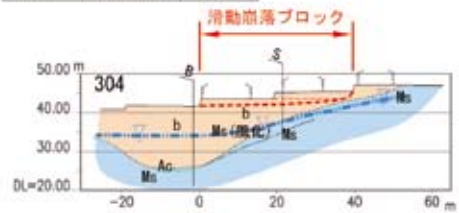
地区番号・ブロック番号	130
造成開始年・年代	1965年
斜面傾斜(頭部-末端)	6.3°



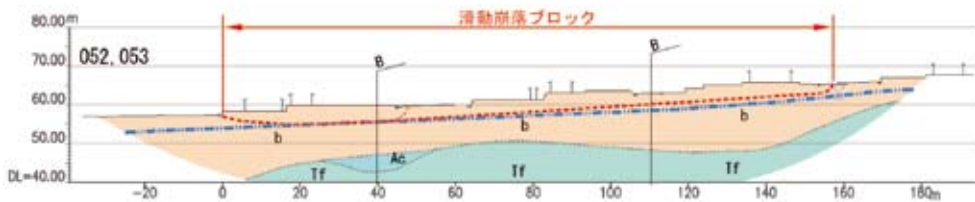
地区番号・ブロック番号	190
造成開始年・年代	1970年代
斜面傾斜(頭部-末端)	5.9°



地区番号・ブロック番号	304
造成開始年・年代	1960年
斜面傾斜(頭部-末端)	5.5°



地区番号・ブロック番号	052・053
造成開始年・年代	1965年
斜面傾斜(頭部-末端)	3.1°



地区番号・ブロック番号	217
造成開始年・年代	1983年
斜面傾斜(頭部-末端)	3.0°

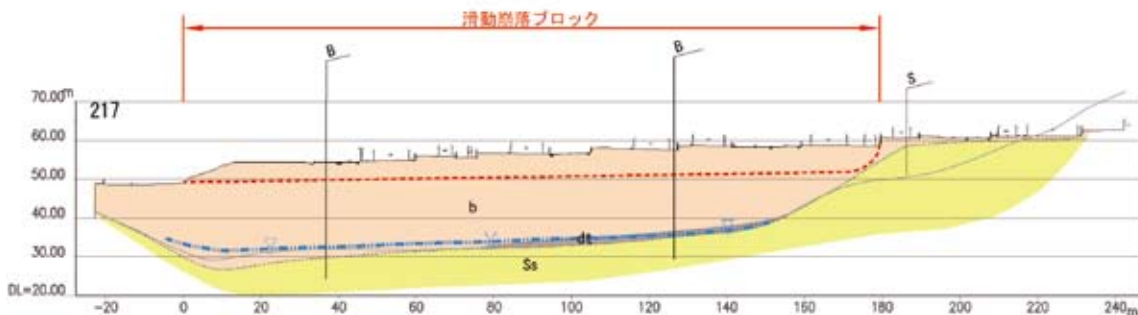


図-20 (6) 滑動崩落ブロックの断面図(地下水水位無)

Fig. 20 (6) Geotechnical cross sections of selected blocks without groundwater level. (Block number appeared in Tables 2 and 5 are attached in each section. Geology is also shown by color. Estimated bottom of deformation block is depicted with red broken line, and ground water head with blue chain line.)

4.3 滑動崩落ブロック内に地下水位が無いブロックについて

一般に、地下水の存在は滑動崩落に大きく影響すると考えられる。しかし、対象とした44の滑動崩落ブロックのうち、設計上のすべり面より上位に地下水位が無いものが18ブロック(約40%)存在する。

各滑動崩落ブロックの地下水位は、地震後1年以上経過した時点のデータであるため、このデータの信頼性について以下に述べる。

森他(2010)¹⁹⁾によると、仙台市内の谷埋め盛土斜面(宮城野区1地区)で観測(2007.1~2009.1)した地下水位は、12~3月にかけて低く、5~11月はやや地下水位が高いことを示している。また、2011年の1月~3月の降水量は図-21に示すように平年値よりやや少ないことから、地震が発生した3月11日においても地下水位が低かったと考えられる。一方、ボーリング調査を実施した2012年5月~10月にかけては比較的降水量もあり、3月に比較して地下水位が高いことが推察される。また、ボーリング調査での地下水位は無水掘りでの初期水位、又は、初期水位より高い静水位とし、日々確認した地下水位の中では高い水位を採用していることを考慮すると、調査時に確認した地下水位は3月11日の地震時より高いと考えられる。

このようなことから、これら約40%の滑動崩落ブロック内では、設計上のすべり面より上位に地下水位が地震当日に無かったことは確かと考えられる。

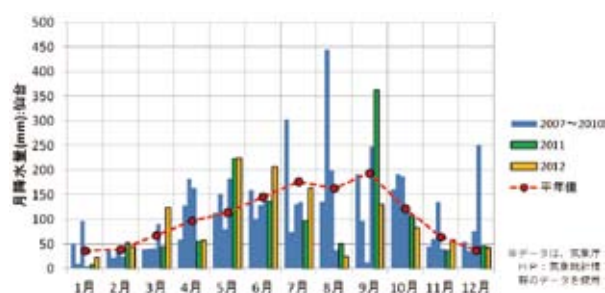


図-21 仙台市における月別降水量

Fig. 21 Monthly precipitation in Sendai.

設計上のすべり面より上位に地下水位が無いブロックの主な特徴として、斜面長が50 m未満、設計上のすべり面深度が2~4 m、面積が1,400 m²未満があげられる。このことから地下水位が無い場合は、比較的小規模な滑動崩落ブロックになりやすいということが示唆される。

5. 今後に向けて

ガイドラインに示される大規模盛土造成地の滑動崩落は、谷埋め型盛土では宅地造成前の谷底付近をすべ

り面として、盛土全体又は大部分が斜面下方に移動するとともに、腹付盛土では盛土全体又は大部分が斜面下方に移動するとされる。一方、本稿の事例では、このような滑動崩落が25%あったものの、残り75%の滑動崩落は、盛土内に設計上のすべり面を有していた。また、盛土の規模に比較して小さな滑動崩落(3,000 m²未満が約60%)が多かった。加えて、滑動崩落ブロック内で高さ2 m程度以上のひな壇があればその足元付近に抜けるひな壇すべりも認められた。

これらについてガイドラインでは具体的に示されていないため、仙台市の事例を取り入れた危険度評価や想定被害規模などの評価手法について検討し、ガイドラインに反映していくことも必要と考える。

設計上のすべり面深度は、表面波探査から得られた地盤のS波速度(160~200 m/s程度)から主に決定した。これは地盤のS波速度が160~200 m/s以下を示す範囲が、滑動崩落ブロック及びその周辺で確認された被災宅地の分布範囲と概ね一致した¹⁷⁾ことによる。

このことは、造成盛土のS波速度が160~200 m/s程度以下であれば、大規模地震発生時に滑動崩落が発生する可能性が高いことを示唆していると考ええる。ガイドラインでは表面波探査の使用法として、盛土と地山の境界を把握するための面的調査として紹介されているが、滑動崩落発生の可能性が高い地区を特定する手法として利用できる可能性があると考ええる。

但し、仙台市で実施した表面波探査は、滑動崩落が発生した地区、又は、被害が多い地区で実施し、被害を受けていない地区では実施していない。このため、被害を受けていない地区でもS波速度などの情報を得た上で、滑動崩落した地区としなかった地区の違いを明らかにしていくことでS波速度の適用性についての精度を高めていくことも重要と考える。

6. まとめ

滑動崩落が発生した地区と被害がなかった地区との比較はできていないが、前述したことを踏まえて、滑動崩落が発生しやすい条件及び滑動崩落が発生した場合の被災形態や被災規模について示し、これをまとめとする。

(1) 滑動崩落が発生しやすい条件

- ・法面、又は4 m程度以上の擁壁などの解放された斜面は、滑動崩落ブロックの末端になりやすい。
- ・地下水位の有無に関わらず、滑動崩落は発生するが、地下水位が存在した方が滑動崩落が発生する可能性が高い。
- ・高さ2 m程度以上のひな壇を有する盛土造成地では滑動崩落ブロックの他に、ひな壇すべりが発生する可能性がある。
- ・斜面傾斜角(頭部-末端部)が約3°~10°の滑動

崩落が多い。

- ・S波速度が160～200 m/s程度以下の速度が分布する3次元的な範囲では、滑動崩落が発生する可能性が高い。

(2) 滑動崩落が発生した場合の被災形態や被災規模

- ・仙台市のような丘陵地における盛土造成地での被害形態は、すべりによる変形が多いと考えられる。
- ・設計上のすべり面深度と斜面高さに一定の関係がみられるので、事前に斜面高さを設定すれば、設計上のすべり面深度を概略的に推測できる。
- ・滑動崩落の発生する可能性が高い範囲を上述したS波速度から3次元的な範囲を特定できれば、被災規模を概略想定できる。

7. おわりに

近い将来、「首都直下型地震」、「東海・東南海・南海連動地震」の発生が予想されており、このような大規模地震が発生した場合、盛土造成地で滑動崩落現象が多数発生すると考えられる。

仙台市で発生した滑動崩落ブロックの特徴及び断面形状を整理することは、今後発生するであろう滑動崩落及び現在進められている盛土造成地の耐震化を検討する上で参考になると考える。このため、本稿では実務を担当している技術者を念頭にし、滑動崩落ブロックのデータを主体に示した。

なお、本稿で検討対象とした39地区は全地区の約25%である。成果の精度を高めるために、その他の地区も取り込んで整理していくことも今後重要と考える。

8. 謝辞

本稿は、東日本大震災で発生した仙台市の宅地被害をとりまとめたものである。

宅地被害データや現地調査データといった資料については、仙台市復興事業局 宅地復興部よりご提供頂いた。

また、仙台市宅地保全審議会技術専門委員会においては、東北学院大学の飛田善雄教授、吉田望教授、東北大学の風間基樹教授、東北工業大学の今西肇教授、千葉則行教授、山形大学の三辻和弥准教授、地盤工学会東北支部の吉川謙造氏に貴重なご意見を頂いた。

加えて、(株)復建技術コンサルタントの佐藤真吾氏、パシフィックコンサルタンツ(株)の門田浩一氏には、調査方法や調査結果の考え方などについて再三にわたり意見の交換をさせて頂いた。

ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 沖村孝, 鍋島康之, 岡田肇, 野並賢(2011): 東北地方太平洋沖地震による仙台市内及び周辺の宅地被害調査報告, 公益社団法人地盤工学会, 東北地方太平洋沖地震の災害調査情報, <https://www.jiban.or.jp/file/file/saigai-okimura_nabeshima_okada_nonami_0430_mini.pdf> [閲覧日2011年6月27日].
- 2) 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会(2013): 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会 報告書, 3.3.2 仙台市(仙台市宅地保全審議会による検討実施団地).
- 3) 被災宅地危険度判定連絡協議会(2011): 被災宅地の調査・危険度判定マニュアル, <<http://www.hisaitakuti.jp/pdf/manual200710.pdf>> [閲覧日2011年7月1日]
- 4) 仙台市(2012): 仙台市被災宅地状況図, <http://www.city.sendai.jp/jutaku/takuchihisai_010.html> [閲覧日2012年10月1日].
- 5) 仙台市(2011): 平成23年度仙台市宅地保全審議会 http://www.city.sendai.jp/fuzoku/1204043_2699.html
- 6) 小岩直人, 平野信一, 松本秀明(1994): 仙台平野とその周辺地域, 日本の地形3東北 小池一之, 田村敏和, 鎮西清隆, 宮城豊彦編, 東京大学出版会, 114.
- 7) 通商産業省工業技術院 地質調査所(1987): 1:200,000地質図仙台, 地質調査所.
- 8) 北村信, 石井武政, 寒川旭, 中川久夫(1986): 仙台地域の地質, 地域地質研究報告, 地質調査所.
- 9) 仙台市(2013): 宅地被害について, <<http://www.city.sendai.jp/jutaku/takuchihisai.html>> [閲覧日2013年11月20日].
- 10) 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会(2013):, 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会 報告書, 3.3.1 仙台市の被害の概要.
- 11) 仙台市(2013): 仙台市宅地造成履歴等情報マップ, <<http://www.city.sendai.jp/kurashi/shobo/bosai/rirekimap.html>> [閲覧日2013年11月20日].
- 12) 若井明彦(2013): 宅地盛土斜面の地震時被害とそのメカニズム, 地盤工学会誌, 61, 4, 6-9.
- 13) 社団法人日本地すべり学会(2011): 日本地すべり学会誌, 48, 表紙タイトル.
- 14) 太田英将・釜井俊孝(2011): 2011年東北地方太平洋地震に伴う造成地盛土の地すべり, 平成23年度応用地質学会関西支部研究発表会.
- 15) 佐藤浩・中埜貴元(2011): 仙台市の丘陵地にお

- ける地すべり性地表変動の状況，2011年地球惑星科学連合大会予稿．
- 16) 国土交通省都市局：大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説，<<http://www.mlit.go.jp/common/000209181.pdf>> [閲覧日2012年4月].
 - 17) 門田浩一，佐藤真吾，三嶋昭二，比留間誠之(2013)：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，**61**, 4, 26-29.
 - 18) 上野将司(2000)：地すべり，日本応用地質学会編，山地の地形工学，古今書院．
 - 19) 森友宏，千葉崇，渦岡良介，風間基樹(2010)：谷埋め盛土地盤における降雨に伴う水分変化と地震応答特性，日本地震工学会論文集，10, 4, 1-13.

