

1998年8月北関東・南東北豪雨災害調査報告

—土砂災害の実態調査—

地盤工学会北関東・南東北豪雨災害緊急調査団¹⁾

1. はじめに

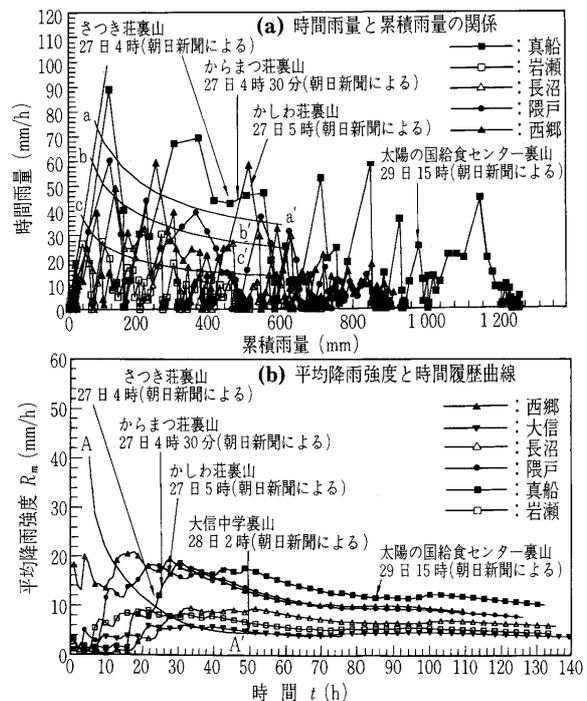
台風4号の接近に伴って活発化した前線の影響で、1998年8月26日から31日にかけて北日本の広い範囲に強い降雨があり、特に福島県西郷村や大信村では、時間雨量と総降雨量がそれぞれ90 mm/hと1 250 mm/hに達する記録的な集中豪雨となった。これにより、両村は多数の斜面崩壊や土石流に見舞われ、家屋の全壊15棟、死者8名の被害を受けた。本報告は前報¹⁾に引き続き、土砂災害の実態を地盤工学的観点から調査・分析してその特性を明らかにすることにより、今後の災害予測や防災対策に資することを目的としたものである。

2. 降雨量から見た土砂災害の特徴

今回の集中豪雨の異常さについては、例えば、西郷村真船の観測記録における最大日雨量の生起確率が1/300程度と推定されていることから明らかである²⁾。

図一1(a)には、雨量観測データが時間雨量と累積雨量との関係として示されている。図中の曲線aa', bb'は、千葉県、神奈川県(横須賀)、東京都(多摩)で過去発生した斜面崩壊を雨量との関係で整理して得られたもの³⁾であり、斜面崩壊を起こす危険な降雨条件の下限を示している。特に、曲線aa'を超える降雨は、大きな斜面崩壊を起こすことの危険性が高いとされている。西郷村真船「太陽の国」周辺(図中■印)では、曲線aa'を越す強い降雨にさらされていて、大きな斜面崩壊の起こる可能性の高かったことが示されている。また一方、岩瀬(図中□印)では、降雨は2度ほど曲線cc'をこえるものの曲線bb'の下で示されるように、崩壊発生の危険は小さかったと推定されるが、事実、崩壊発生の報告はない。これらの例は、限界降雨曲線aa', bb', cc'の有用性を示している。

図一1(b)は、同じ降雨データを使って、平均降雨強度を時間の関数としてプロットしたものである。図中の曲線AA'は、同じく、斜面崩壊を起こす大変危険な降雨の下限を与えている³⁾。ここで平均降雨強度とは、総雨量を降雨開始からの時間で除したものであり、降雨開始後の平均的な降雨強度を示している。こちらの図では、いずれの地域も降雨は曲線AA'の上であり、崩壊の危険にさらされていたことになる。よって、真船と岩瀬における土砂災害の違いを説明できていない。すなわち、本地域の崩壊降雨条件が千葉県等のそれとは異なってい



図一1 降雨特性と土砂災害

るが、このような差がどのような理由によって起こるのかについては、次節以降で論じることとする。

3. 土質工学的検討

3.1 一般的な崩壊の特徴

土砂災害の集中した西郷村と大信村は那須岳火山群の北東麓に位置し、現河床との比高はせいぜい数十m程度の比較的緩やかな起伏の山地にある。その基盤岩は、いわゆる「白河石」と呼ばれる石英安山岩質溶結凝灰岩で構成され、その上を那須火山群起源と思われる火山性泥流堆積物や火山噴出物(今後ロームと呼ぶ)が広く覆っている。崩土は、ロームから成る表土(黒ぼく土、火山灰質粘性土、スコリア、軽石等)を主体とするが、強く風化した基盤岩の上部をも一部巻き込んでいる。

限られた崩壊箇所の調査からではあるが、崩壊をその形態で分類すれば、図一2の(a), (b), (c)のようにまとめることができる。図の(a)型は、表層滑落型で、最も多く見られるタイプである。表層の黒ぼくやローム層は、その基盤岩と不連続に接し、地形面とほぼ平行な基盤の上面をあたかもすべり台のごとく滑り落ちている。(c)型は、基本的に(a)型に属する。しかし基盤岩(軟質の

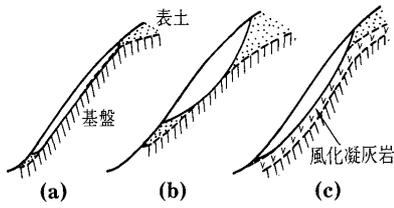
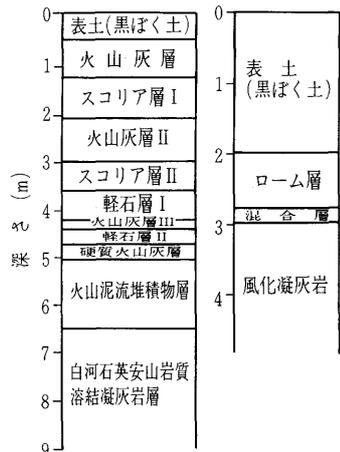


図-2 崩壊のタイプ別分類



(a) からまつ荘裏山 (b) 大信中学裏山

図-3 土壌断面

溶結凝灰岩)の上部が、著しく風化・軟弱化している、崩壊を起こした素因として重要な役割を担っている。また、(b)型は、円弧すべりの形態を示し、厚い表土に覆われた斜面に多い。もちろん、(a)、(b)、(c)の複合型、遷移型のほかに、三つの型に分類できない特異な場合も存在する。例えば、後で詳しく論ずるように、大信中学(大信村)の裏山で発生した崩壊は、その代表例である。

崩壊土砂(崩土)の到達距離 d は、崩壊の特徴を理解するためのみならず、防災対策を立てる上でも大変重要である。到達距離は、家屋などの障害物にも左右されるが、一般的には崩壊斜面の高さ H 、斜面形状(勾配など)、崩土の性質に大きく依存している⁴⁾。今回、到達距離の小さい($d/H \leq 1$)場合も見られたが、被害を伴う比較的規模の大きい崩壊では到達距離が大きく($d/H \geq 3$)、したがって崩土は高い流動を帯びて流下したものと考えられる。このような崩土の大きな流動性には、強い降雨がかかっていたことは間違いのないとしても、土の性質特に粒度組成にもその原因を求めることができる(後述)。

崩壊斜面の一般的な調査を踏まえ、「太陽の国」からまつ荘裏山、大信中学裏山の二つの典型的な崩壊を抽出し、以下の土質工学的検討を行った。

表-1 乱した土の物理特性

試料名	採取深さ(m)	土粒子の比重	粒度分布				コンシステンシー特性		
			礫(%)	砂(%)	シルト(%)	粘土(%)	液性限界(%)	塑性限界(%)	塑性指数
(a) からまつ荘裏山									
表土(黒ぼく土)	0.20	2.65	3.70	53.53	35.13	7.64	99.62	64.39	35.23
ローム層I	0.80	2.71	2.86	78.04	7.28	11.82	54.71	41.04	13.67
スコリア層I	1.80	2.90	64.45	22.40	7.75	5.40	90.40	60.19	30.21
ローム層II	2.80	2.87	17.92	24.90	53.30	3.88	113.86	75.69	38.17
スコリア層II	3.40	クラックが多いため採取不能							
軽石層I	3.65	2.87	27.87	23.11	17.07	31.95	70.01	46.36	23.65
硬質ローム層	4.80	2.83	19.59	30.56	46.03	3.82	85.07	49.38	35.69
(b) 大信中学裏山									
A サイト									
試料名	採取深さ(m)	土粒子の比重	粒度分布				コンシステンシー特性		
			礫(%)	砂(%)	シルト(%)	粘土(%)	液性限界(%)	塑性限界(%)	塑性指数
表土(上)(黒ぼく土)	0.20	2.64	1.53	51.74	38.78	7.95	71.86	57.67	14.19
表土(中)(黒ぼく土)	1.00	2.65	3.43	45.20	45.13	6.24	79.44	50.74	28.70
表土(下)(黒ぼく土)	1.80	2.66	3.78	49.78	36.32	10.12	92.47	59.09	33.38
ローム層	2.00~3.00	2.68	8.35	41.88	35.61	14.16	59.66	36.80	22.86
ロームと風化凝灰岩の混合層	2.00~3.00	2.68	4.06	58.15	28.18	9.61	52.93	37.02	15.91
風化凝灰岩	3.00>	2.65	12.68	59.50	9.29	18.53			
B サイト									
ロームと風化凝灰岩の混合層	3.00	2.65	14.20	53.04	22.84	9.92			
C サイト									
ロームと風化凝灰岩の混合層	4.00	2.65	10.98	68.27	4.18	16.57			

3.2 からまつ荘裏山の崩壊

西郷村「太陽の国」周辺では、13箇所の崩壊が比高40mの北東側斜面に発生した¹⁾。その中でも最も規模の大きい崩壊がからまつ荘の裏山で発生し、土石流化した崩土はからまつ荘を直撃し5名の犠牲者を出した。

崩壊のタイプは図-2の(b)であり、急傾斜の滑落崖を持つものの、基盤岩の勾配は12°から17°と緩傾斜となっている。滑落崖で観察された土壌断面を図-3(a)に示している。各層ごとに採取した不攪乱・攪乱試料(直径5cm、高さ10cm)を使って、各種物理試験、不飽和透水試験、非排水三軸圧縮試験の室内実験を行い、その結果を後述する大信中学裏山の場合も含めて表-1~3にまとめている。同様に、図-4に粒径加積曲線、図-5に含水比-サクシオン、図-6に透水係数-サクシオンの関係をそれぞれ示している。

崩壊に至るプロセスを厳密に議論するには、不飽和浸透と連成した斜面の安定計算が不可欠であるが、ここでは、実験結果を考慮した予察的・定性的な見解を述べるにとどめておきたい。

表土(黒ぼく土)の飽和透水係数は比較的大きな値(1.85×10^{-3} cm/s)を示し、また、それに続く被覆層(ローム層I・II, スコリア層I・II)の飽和透水係数

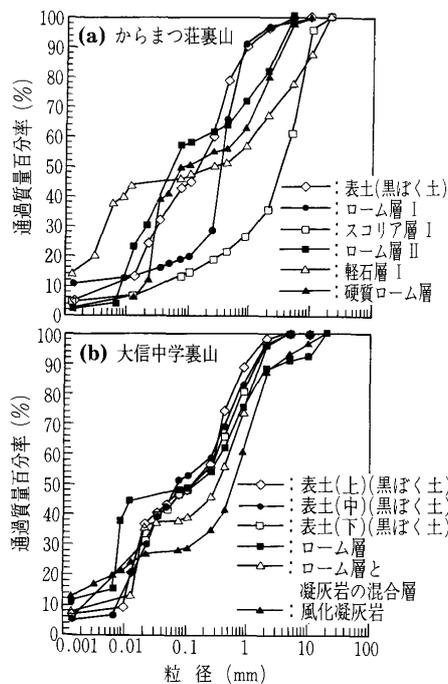


図-4 粒径加積曲線

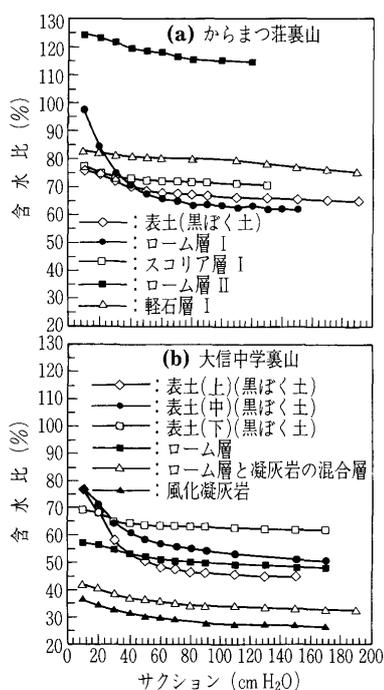


図-5 含水比-サクシオン

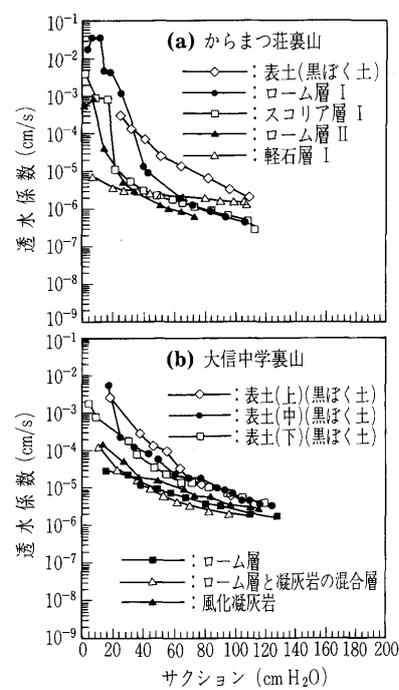


図-6 透水係数-サクシオン

表-2 乱さない土の水利特性

(a) からまつ荘裏山				
試料名	採取深さ (m)	自然含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	飽和透水係数 (cm/s, 20°Cに補正)
表土(黒ぼく土)	0.20	68.82	0.80	1.85×10^{-3}
ローム層 I	0.80	49.41	0.64	1.76×10^{-2}
スコリア層 I	1.80	68.84	0.78	2.05×10^{-2}
ローム層 II	2.80	107.88	0.59	2.55×10^{-3}
スコリア層 II	3.40	クラックが多いため採取不能		
軽石層 I	3.65	63.84	0.80	1.18×10^{-5}
硬質ローム層	4.80	79.51		
(b) 大信中学裏山				
A サイト				
試料名	採取深さ (m)	自然含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	飽和透水係数 (cm/s, 20°Cに補正)
表土(上)(黒ぼく土)	0.20	46.25	0.73	1.76×10^{-2}
表土(中)(黒ぼく土)	1.00	52.13	0.76	1.00×10^{-2}
表土(下)(黒ぼく土)	1.80	62.75	0.81	2.88×10^{-3}
ローム層	2.00~3.00	44.12	1.00	3.89×10^{-5}
ロームと風化凝灰岩の混合層	2.00~3.00	34.92	1.16	2.74×10^{-4}
風化凝灰岩	3.00>	26.49	1.20	1.52×10^{-3}
B サイト				
ロームと風化凝灰岩の混合層	3.00	33.64	1.09	6.68×10^{-3}
C サイト				
ロームと風化凝灰岩の混合層	4.00	25.64	1.20	1.58×10^{-2}

も、 10^{-2} cm/s から 10^{-3} cm/s と高い値を示していて、黒ぼくを含めた被覆層の平均的な鉛直方向の飽和透水係数は、 4.5×10^{-3} cm/s と推定された。ただし、木の根やクラックの影響を無視していることもあり、内輪の推

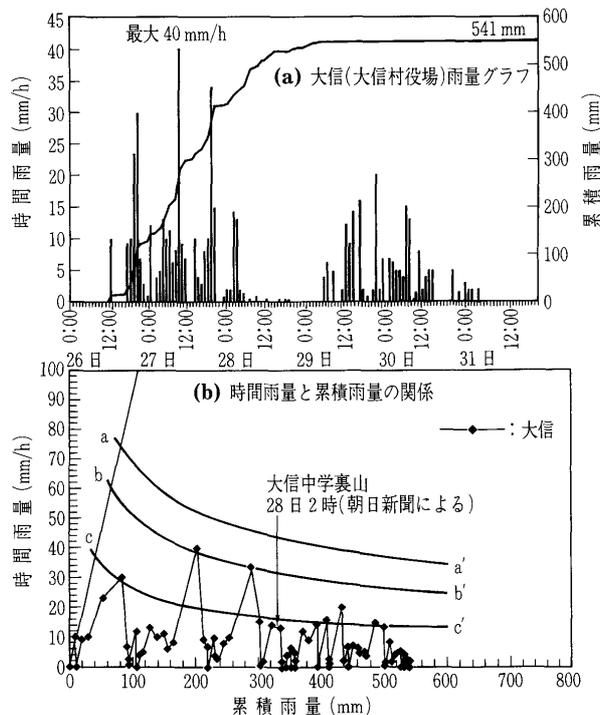


図-7 大信中学裏山崩壊降雨

定値と理解できよう。その下にある(深さ3.65 m)軽石層は、 10^{-5} cm/s の飽和透水係数を持ち、事実上の不透水層と考えられる。

集中豪雨時の時間雨量ならびに初期のサクシオン 200 cmH₂O を用いて、不飽和浸透流(鉛直一次元)解析により検討した。それによると降雨が開始してから約25時間後、27日1時には浸潤前線が不透水層に到達し、崩壊時間27日4時には、黒ぼく層を含めた被覆層(3.65 m)は、ほぼ飽和の状態にあったとの結果が得られた。

崩壊は、すでに指摘したように、高い流動性を帯びて

表—3 乱さない土の強度特性

(a) からまつ荘裏山

試料名	採取深さ (m)	圧密応力 (kPa)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	間隙比 e	間隙圧係数 B 値	間隙圧係数 A_f	非排水せん断強さ c_u (kPa)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c' (kPa)
表土(黒ぼく土)	0.20		(0.80)						
ローム層 I	0.80	98.10	0.69	2.93	0.99				
スコリア層 I	1.80		(0.78)						
ローム層 II	2.80	49.05	0.59	3.87	0.92			26.37	20.06
		98.10	0.61	3.71	0.85	0.78	53.02		
スコリア層 II	3.40								
軽石層 I	3.65	49.05	0.73	2.94	0.96	0.56	33.49	41.12	5.13
		98.10	0.72	2.99	0.95	1.15	26.88		
硬質ローム層	4.80								

(b) 大信中学裏山

A サイト

試料名	採取深さ (m)	圧密応力 (kPa)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	間隙比 e	間隙圧係数 B 値	間隙圧係数 A_f	非排水せん断強さ c_u (kPa)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c' (kPa)
表土(上)(黒ぼく土)	0.20		(0.73)						
表土(中)(黒ぼく土)	1.00		(0.76)						
表土(下)(黒ぼく土)	1.80		(0.81)						
ローム層	2.00~3.00	98.10	0.95	1.82	0.98	0.90	33.33		
ロームと風化凝灰岩の混合層	2.00~3.00	49.05	1.08	1.48	0.98	0.91	16.64	13.02	8.64
		98.10	1.13	1.27	0.84	1.37	23.90		
風化凝灰岩	3.00>	49.05	1.23	1.16	0.98	0.13	61.97	41.02	2.75
		98.10	1.17	1.27	0.91				

B サイト

ロームと風化凝灰岩の混合層	3.00	98.10	1.17	1.17	0.93	0.95	34.38		
---------------	------	-------	------	------	------	------	-------	--	--

C サイト

風化凝灰岩	4.00	49.05	1.16	1.29	0.99	0.75	34.38	18.37	4.31
		98.10	1.14	1.33	0.93	1.15	26.09		

緩勾配の斜面を流下している。この事実は、崩土が砂・シルト分からなる粒度特性を持つことと、強い降雨によりほぼ飽和の状態でのり始めたことによって説明できる。

今回の崩壊が千葉県等のものと比較して、より厳しい降雨条件下で発生したことは、本地域が今回のような集中的な豪雨にさらされることなく、また比較的長期にわたって安定していたことを意味している。すなわち斜面には厚いところで3 mにも及ぶ黒ぼく土化した火山性ロームがあったが、この被覆層が十分雨水の浸潤を受けて安定を失うには、それなりの時間が必要であったに違いない。また、豪雨時の斜面安定を論ずるには、被覆層の厚さとその不飽和浸透特性が極めて重要であることを示唆している。

3.3 大信中学(大信村立)裏山の崩壊

大信村役場の降雨記録⁵⁾によれば、総雨量は541 mmである(図—7(a))。決して少ない降雨ではないが、1200 mmを越す降雨の中心(レインバンド)からは遠く外れていた点をまず指摘しておかねばならない。

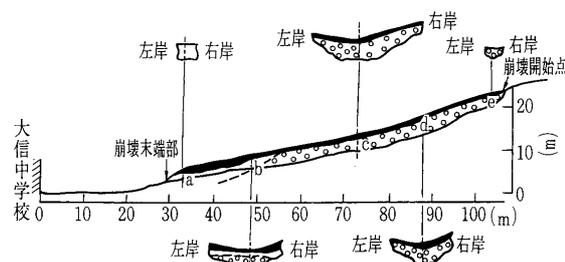
この崩壊のすべてを直接目撃した人は無く、そのプロ

セスの詳細が明らかなわけではない。しかし筆者らは、最初に斜面の前面が高さ4 m×幅約4.5 m×奥行き数mのブロックとして崩れ、その後に多量の水を含んだ土砂が緩斜面を数度に分けて流れ出し学校の運動場を広く埋めた、と推測している。推測の根拠は、斜面の前面にあったローム層がその堆積構造を残しつつ、斜面前方約20 mの位置にあった物置小屋に突っ込んでいた事実である。ブロック状の崩壊とその後の流動とを想定することによってのみ、現地でのこの観察が説明できると考えている。

図—7(b)は、図—7(a)の降雨データをもとに、時間雨量と累積雨量の関係としてプロットし直したものである。また、曲線aa'とbb'は、図—1(a)の場合と同じものであり、従来の調査から割り出された崩壊を発生する降雨の下限を与えている。大信中学付近の降雨は、曲線bb'を辛うじて越すものの、曲線aa'の下にあり、本地域に限って言えば、大きな斜面崩壊を引き起こす降雨とはみなし難いものであった。少なくとも、大信中学付近には目立つ斜面崩壊は皆無であった点に注意しよう。

この点からも、本崩壊がかなり特異なものであったと言える。

図—3(b)の滑落崖での土壌断面、ならびに表—1~3、図—4~6の実験結果を踏まえて、予察的に崩壊の原因を述べてみよう。図—8は、野外調査の結果を梅村・森ら⁵⁾の作成した崩壊斜面の縦・横断面図に模式的に書き込んだものである。黒で塗りつぶした部分は、 1.0×10^{-2} cm/s から 2.88×10^{-3} cm/s の比較的大きな飽和透水係数を持つ黒ぼく土を示すが、少なくとも40 mm/h



図—8 大信中学裏山崩壊土層断面 (梅村ら⁵⁾の図に加筆)

の程度の降雨は、地表に湛水することなく土中に浸潤していたと考えられる。また白丸の記号で示す部分は、一部再堆積ロームを含む強く風化した(溶結)凝灰岩層であり、 10^{-2} cm/s から 10^{-3} cm/s の飽和透水係数の示すとおり、透水・貯水層と考えられる(表-2)。一方、黒ぼく土の下にある(曲線 ab の下の部分)ローム層と混合層は、 2.74×10^{-4} cm/s から 3.89×10^{-5} cm/s の飽和透水係数が示すとおり、降雨時ほとんど不透水層として機能したと考えられる。特に注目されるのは、この事実上の不透水層が斜面の出口を遮断・遮水している点である。すなわち、黒ぼく層(部分的には 2 m の層厚、斜面上部では 1 m 以下)を浸潤してきた水は、水のはけ口を見出せず、強く風化した凝灰岩層に大部分貯留され、一種の地下ダムを形成していたと考えられる。このように特異な土層構造がどのような地形発展プロセスで作られたかは明らかでないが、極めて重要な崩壊の素因となったことは確かである。

4. 終わりに

調査の結果を将来役に立つものとしてまとめるには、時間不足を痛感している。本報告の一部は、限られた資料からの予察を含んでいて、今後の精査によって補いかつ訂正されなければならない性質のものであることをお

断りしておきたい。今後は、更に表土も含めた斜面地盤の不飽和浸透特性データの蓄積、すなわちデータベース化が地盤工学会としても必要と思われる。なお、詳細は文献 6) を参照していただきたい。

参考文献

- 1) 地盤工学会北関東・南東北豪雨災害緊急調査団：1998年8月北関東・南東北豪雨災害調査報告—土砂災害の概要一、土と基礎、Vol. 47, No. 1, pp. 39~42, 1999.
- 2) 土木学会緊急災害調査団：1998年南東北・北関東の集中豪雨に伴う水害調査報告書, 1998.
- 3) 風間秀彦：土質工学的な短期のゆるみと崩壊に対する降雨条件、自然災害特別研究成果(研究代表者、芥川真知)「地盤の劣化とその地域特性を考慮した崩壊危険度の評価に関する研究」、1985.
- 4) 地盤工学会編：土砂災害の予知と対策、土質基礎工学ライブラリー, 1985.
- 5) 梅村 順・森 芳信・丸山一大・吉岡大地：1998年8月豪雨災害報告—福島県南部の土砂災害、第41回日本大学工学部学術研究報告会, pp. 1~12, 1998.
- 6) 小田匡寛・鈴木輝一・川本 健：1998年南東北・北関東の集中豪雨による土砂災害の実態調査、文部省科学研究成果(研究代表者・真野 明)「1998年南東北・北関東の集中豪雨災害に関する調査研究」、1998.

(文責：小田匡寛・鈴木輝一・川本 健)

(原稿受理 1999.2.22)

金沢大学工学部 土木建設工学科 教官公募について

採用職名：助教授または助手

募集人員：1名

専門分野：地盤工学

担当科目：土質力学、地盤基礎工学、土木建設工学実験、土木建設工学設計法および演習など、土質力学系の講義および実験・演習ほか(助手は実験・演習が中心)

応募資格：強い熱意をもって教育・研究に当たることのできる方で、下記の条件を満たすこと。

- (1) 博士の学位を有する方、または近い将来(2年以内に)取得可能な方
- (2) 年齢は35歳位までの方
- (3) 心身ともに健康な方

採用時期：原則として平成11年度中

- 応募書類：(1) 自筆履歴書(市販の書式により最近の写真を貼付し、学歴は高校卒以降、学位、職歴、賞罰、特技について記入すること)
- (2) 研究業績目録(博士論文名、査読審査を受けた論文、その他論文、著書・解説、口頭発表などに分類すること)
- (3) 印刷・公表された主要論文・著書などの別刷りまたはコピー5編以内
- (4) 主要研究業績の概要(2000字程度)

(5) もしあれば、教育歴(大学などで教えた科目名、学年、教えた年数など)。大学などで教えた科目名、学年などについてはシラバスのコピーで代用可。

(6) 今後の教育・研究計画(2000字程度)

(7) 本人について所見を求め得る人の氏名と連絡先

注：(2)、(4)~(6)はA4判で作成して下さい。

応募締切り日：平成11年8月31日(火)(必着)

書類提出先：〒920-8667 金沢市小立野2-40-20

金沢大学工学部土木建設工学科

学科長 前川 幸次(「教官応募書類」と朱書。郵送の場合は簡易書留郵便で願います)

問い合わせ先：金沢大学工学部土木建設工学科 教授

北浦 勝

電話 076-234-4654(直通)

FAX 076-234-4644(学科)

e-mail: kitaura@t.kanazawa-u.ac.jp

選考方法：書類審査と面接(書類審査合格者)

その他：選考の状況により、改めて健康診断書および推薦書などの提出をお願いすることがありますので、あらかじめご承知おき下さい。