

平成11年6月29日の豪雨によって善徳地すべり地・大師堂周辺 で発生した斜面崩壊と水みちの分布

古谷 元*¹・末峯 章*²・小山内信智*³・原 龍一*⁴

**Distribution of slope failures caused by heavy rain on 29 June 1999 and
groundwater vein-streams in Taishido, Zentoku landslide, Shikoku Island, Japan.**

by

Gen FURUYA, Akira SUEMINE, Nobutomo OSANAI and Ryuichi HARA

Abstract

Many slope failures were occurred by a heavy rainfall 476mm/day on 29 June 1999 at the Zentoku landslide area in the central Shikoku Island, Japan. It is necessary to investigate the distribution and behavior of groundwater in the slopes, because the occurrences of slope failures and landslides are caused by increase of pore water pressure on the sliding surface. We determined soil temperatures in one-meter depth at Taishido and water temperatures in non-strainer boreholes along the line of extensometers at the Z6 block in the Zentoku landslide, in order to find groundwater vein-streams. Here we give a summary of our investigation as follows.

- 1) Two types of groundwater vein-streams are distinguished by the distribution of soil and water temperatures and are respectively derived from shallow and deep layers in the landslide mass.
- 2) The largest vein-stream of groundwater from deep layers is found from the north to east part of the study area, and probably flows toward the southeast direction. The lowest soil temperature in one-meter depth along the vein-stream shows 12.32°C and is close to water temperature at the bottom of boreholes in the upper slope. There are also two or three local groundwater vein-streams from deep layers in the study area.
- 3) Another large groundwater vein-stream is distributed from the west part of the study area to a large slope failure nearby Taishido and probably flows toward the east direction. The soil temperatures in one-meter depth along this vein-stream and the water temperature at a spring in the head scarp of the large slope failure are significantly higher than the soil temperatures along the above largest vein-stream from deep layers. This vein-stream flowing toward the east direction, therefore, is the shallow groundwater in origin.
- 4) The large slope failure nearby Taishido and a surface subsidence might be caused by groundwater from shallow layers, on the basis of the distribution of the vein-streams and slope failures. The slope failures located in the northeast part of the study area were influenced by groundwater from deep layers.

*¹ 新潟大学積雪地域災害研究センター

*² 京都大学防災研究所

*³ 建設省四国地方建設局四国山地砂防工事事務所

*⁴ 日本工営株式会社四国事務所

Keywords : Zentoku landslide, slope failure, investigation of one-meter depth temperature, groundwater vein-stream, borehole water temperature

キーワード : 善徳地すべり, 斜面崩壊, 1 m深地温探査, 地下水脈, 孔内水温

1. はじめに

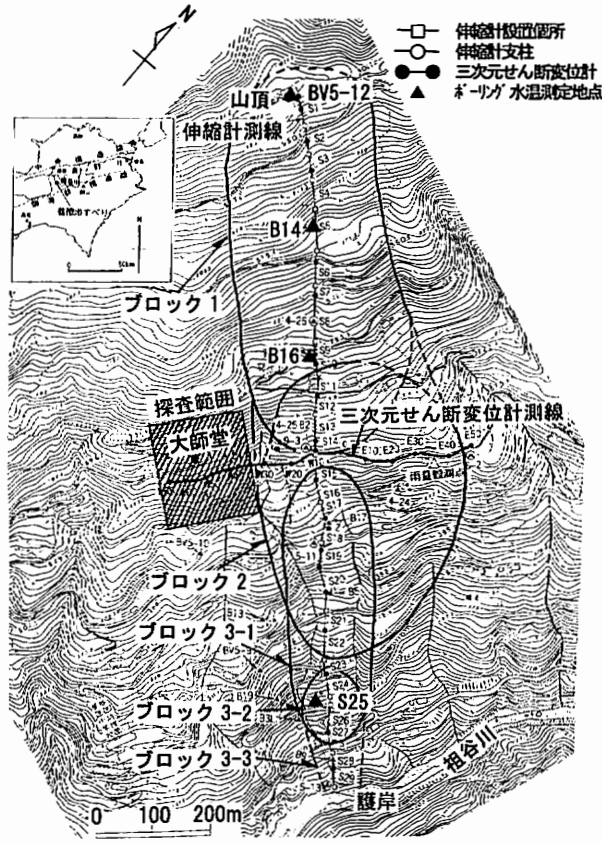
日本最大級の結晶片岩地すべりの善徳地すべり地がある徳島県三好郡西祖谷山村字善徳で、平成11年6月29日に最大日降雨量476mm、最大時間降雨量65mmの集中豪雨が発生した。この集中豪雨は80～100年の確率雨量であり（平松ほか、1999）、善徳地区では多数の土石流災害や表層の斜面崩壊が発生した。そのうち、善徳地すべりZ6ブロックでは、西側境界付近に位置する大師堂周辺をはじめとして村道の損壊等の被害が生じた。

一般に、地すべりや斜面崩壊は降雨や融雪水等が土層内に浸透して地下水を形成し、間隙水圧が上昇して弱面（すべり面）上の応力状態が破壊包絡線に達したときに生じるとされている。したがって、これらの災害における原因の解明では、間隙水圧の上昇に関与する地下水の状況をできるだけ正確に把握することが重要である。特に、Z6ブロックで発生した災害では斜面崩壊が多数見られたので、斜面崩壊に関与する地下水の流動経路を知る上でこの平面的な分布を知る必要がある。通常、土層内の地下水に関する情報を得るために、ボーリング孔を掘削して孔内水位の計測が行われる。地下水に関する情報の精度をあげるためにはボーリングの孔数を増やせばよいが、現実的にはコストの問題で難しい。

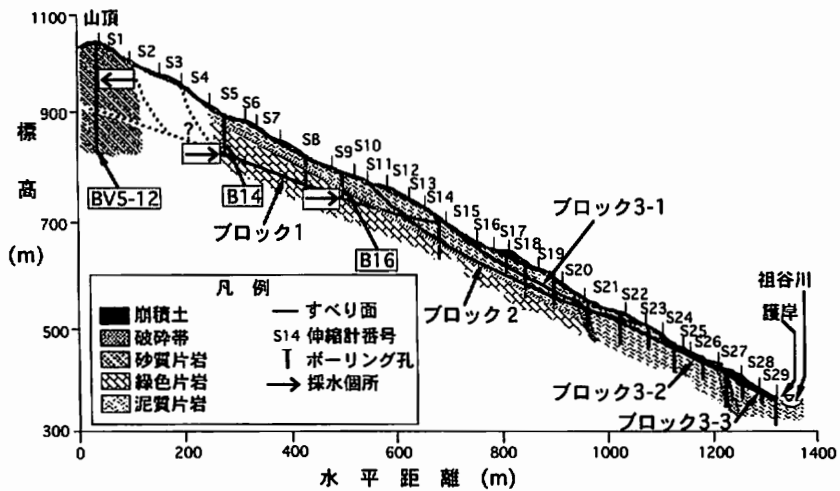
斜面における地下水は層状に均一に存在していることはまれであり、ほとんどの場合、水脈状に存在していると言われている。土層内部の比較的浅層の部分における地下水脈の平面的な分布を推定する方法のひとつとして、1 m深地温探査があげられる。この探査は地すべり地における浅層地下水脈の分布の推定やため池の漏水個所の検出等において良好な推定結果が得られている（例えば竹内ほか、1978、1981、1990；末峯ほか、1984）。そこで、本研究では善徳地すべりZ6ブロックの大師堂周辺において1 m深地温探査を行い、その地温分布から地下水脈の平面的な分布を把握する。そして、地下水脈の分布とZ6ブロック上部に設置されたボーリング孔における孔内水温の測定結果および湧水の水温測定の結果から、大師堂周辺で発生した斜面崩壊とそれに関与する地下水の関係について考察する。

2. 善徳地すべりZ6ブロックおよび1 m深地温探査実施地域の概要

善徳地すべりは、図-1に示すように四国のほぼ中央部、中央構造線と御荷鉾構造線に挟まれた祖谷川中流域に位置する。この地すべりは7つの大ブロック（Z1～6および今久保ブロック）に分けられている。Z6ブロックの地質は、これまでのボーリングの結果から斜面の中腹部から末端部における基岩は一部に緑色片岩があるものの主として泥質片岩であり、斜面上部の基岩は砂質片岩である。そして、これらの基岩の上には崩積土が数～10m程度被っている（図-2）。基岩の傾斜は斜面の平均傾斜角度（28°）にほぼ平行である。善徳地すべりZ6ブロックの移動域は明瞭な境界が存在しないものの、これまでの長スパン伸縮計や三次元せん断変位計等の観測結果から地すべり土層の深さが20m以上になるブロック1およびブロック2、20m以下のブロック3-1、3-2、3-3が推定されている（古谷ほか、1997）。1 m深地温探査を実施した地域は標高730mの大師堂を中心とした標高



図一 善徳地すべり地Z6ブロックと探査範囲および水温測定地点の位置図



図二 伸縮計測線上における地質断面と採水深度図

650m～765m付近の斜面中腹部である(図一)。この地域はZ6ブロックの西側の境界付近に位置していると推定されている(例えば防災研究協会, 2000)。

図-3は大師堂周辺の地形図である。平成11年6月29日の集中豪雨において、大師堂周辺では斜面崩壊が4箇所、土層の小陥没が1箇所、道路の陥没が1箇所発生した。これらの斜面崩壊において、大師堂そばで発生した斜面崩壊（以後、大師堂の崩壊と呼ぶことにする）は、その深さが約3mで崩壊土量が二次的なものを含めて500m³程度であり、村道と擁壁を流した（写真1）。この崩壊は、三次元せん断変位計による移動観測結果から直接的なトリガーは6月29日の集中豪雨であったものの、少なくとも約2年の間クリープ的な前兆変位が生じていたことが報告されている（古谷ほか、2000）。他の3箇所の斜面崩壊はその深さが1～2mの表層部で発生し、崩壊土量が100m³程度である。土層の小陥没は深さが50cm程度で、陥没土量が数10m³程度である。大師堂の西側で発生した道路の陥没は、舗装の轍の間におけるバラスが抜け落ちたものである。大師堂周辺では、湧水点が大師堂の崩壊部（現在は村道の復旧工事のため

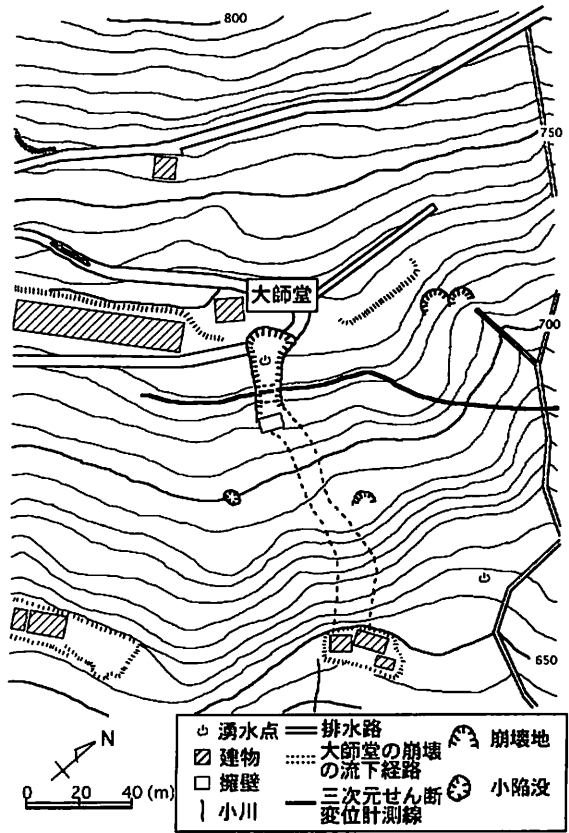


図-3 大師堂周辺の地形図

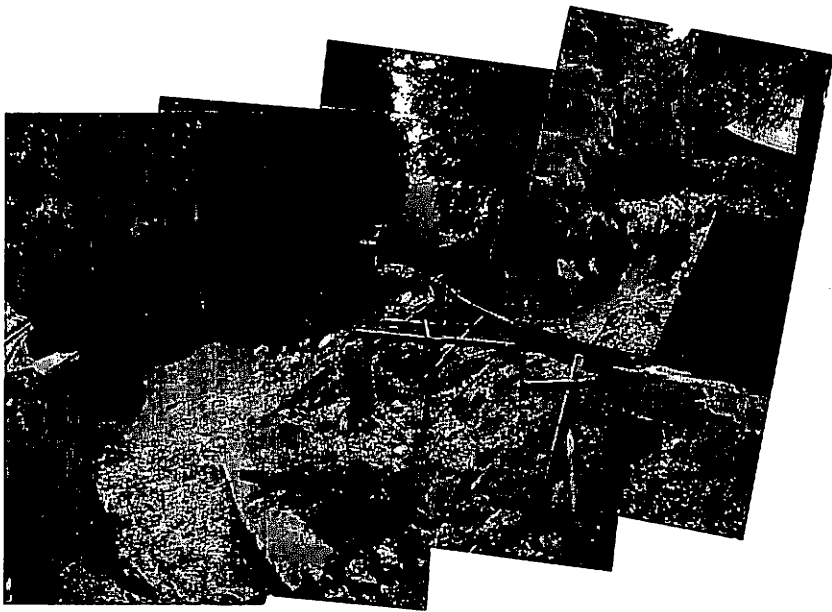


写真-1 大師堂そばの斜面崩壊

に湧水口が無くなっている)と標高670m付近に存在している。Z6ブロックの標高700m付近では、常時地下水が流出している湧水点や多雨時に流出する湧水点が数多く存在し、かつてこのような湧水を利用した水田で稲作が行われてきた。

3. 調査方法

図-4は1m深地温探査範囲の測点網である。測点網の間隔は斜面の横断方向に10m、縦断方向に15mである。実際に探査を行った測点数は259点である。大師堂周辺で発生した斜面崩壊の測点網上における位置は、崩壊土量が500m³程度のものがG9~10測点、100m³程度のものがF16測点、F17測点およびK13測点である。小陥没はK8測点である。

1m深地温探査を実施した時期は9月19日~21日である。地温測定にはサーミスタ型精密温度計とサーミスタ用温度測定器を使用した。測定の方法は、決められた測点上に径25mm、長さ150cmの半鋼製の鉄棒で深さ100cmの孔を穿ち、そこに測温体を挿入して10分後に地温を測定した。測定結果を表-1に示す。

図-4に示すように、探査範囲(測点網上)では大師堂の崩壊部のG9~10測点とM18測点下に湧水点が存在している。これらの湧水点において、大師堂の崩壊部が平成11年9月15日と平成12年9月20日(1m深地温探査時)、M18測点下が同9月21日(同)に水温の測定を実施した。平成11年9月15日の測定ではZ6ブロック下部斜面の伸縮計S25そばの横穴ボーリングにおいても実施した。これらの湧水点やボーリング孔における水温の計測方法は、温度計を湧水やボーリングの孔口に直接差し込むことにした。また、Z6ブロック測線上のボーリング孔において、平成12年9月23日に水温の測定を実施した。実施場所は図-1および図-2に示したBV5-12(山頂:E.L.1028m)、B14(E.L.890m)そしてBV16(E.L.790m)の3孔であり、いずれもストレーナ無しのボーリング孔である。測定方法はBV5-12が深度77m、B14が深度70mそしてBV16が深度49mまで採水器($\phi=30\text{mm}$, $l=570\text{mm}$)を下ろし、10分程度その場所に放置して周辺温度に馴染ました後に採水器を引き上げて水温を測った。これらの水温測定に使用した温度計は、平成11年9月15日の大師堂の崩壊部、S25そばの横穴ボーリング孔そして斜面上部のボーリング孔ではデジタル型温度計、平成12年9月20日の大師堂の崩壊部とM18測点ではサーミスタ型精密温度計である。

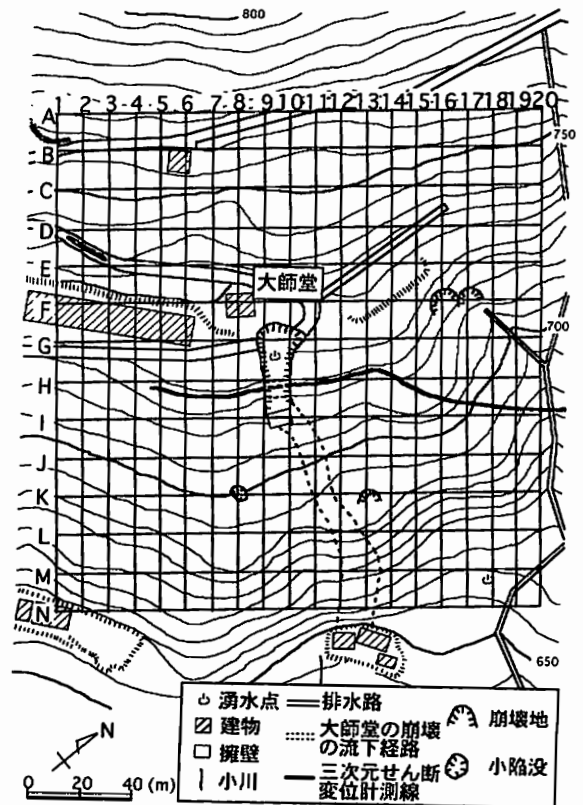


図-4 測点網図

表-1 1 m深地温測定値および補正結果

測点 No.	測温体 No.	地温測定 値 (°C)	測温体補 正值 (°C)	経日変化補 正值 (°C)	* 地況記号			記 事
					地況 *	A:裸地 E:草地 F:林地 F':雑木 F'':竹林 地況補正 値 (°C)	孔内水 の有無	
A7	D15	19.20	19.02	18.93	F'	18.47	×	
A8	D3	18.00	18.06	17.97	F'	17.51	×	
A9	D12	18.90	18.75	18.66	F'	18.20	×	
A10	D5	19.55	19.46	19.37	F'	18.91	×	
A11	D11	20.30	20.15	20.06	F'	19.60	×	道路の横へ移設
A12	D14	19.45	19.47	19.38	F'	18.92	×	道路の横へ移設
A13	D10	20.00	19.91	19.82	F'	19.36	×	
A14	D12	20.00	19.85	19.76	F'	19.30	×	
A15	D4	19.80	19.61	19.52	F	19.82	×	
A16	D3	18.45	18.51	18.42	F	18.72	×	
A17	D15	17.65	17.47	17.38	F	17.68	×	
A18	D5	17.75	17.66	17.57	F	17.87	×	
A19	D8	18.30	18.22	18.13	F	18.43	×	
A20	D9	15.20	15.10	15.01	F	15.31	×	水路傍(水路の流量は微少)
B1	D3	19.25	19.31	19.22	F	19.52	×	道路の横へ移設
B2	D9	19.25	19.15	19.06	F''	18.06	×	道路の横へ移設
B3	D14	19.00	19.02	18.93	F''	17.93	×	
B4	D10	20.85	20.76	20.67	F''	19.67	×	
B5	D2	22.50	22.44	22.35	A	20.89	×	
B6	D7	22.60	22.57	22.48	A	21.02	×	
B7	D12	20.20	20.05	19.96	A	18.50	×	
B8	D5	19.25	19.16	19.07	F'	18.61	×	
B9	D11	18.80	18.65	18.56	F'	18.10	×	
B10	D8	18.80	18.72	18.63	F	18.93	×	
B11	D4	19.10	18.91	18.82	F	19.12	×	
B12	D15	18.85	18.67	18.58	F	18.88	×	
B13	D14	18.40	18.42	18.33	F'	17.87	×	
B14	D3	17.75	17.81	17.72	F	18.02	×	
B15	D12	18.00	17.85	17.76	F	18.06	×	
B16	D13	18.10	18.04	17.95	F	18.25	×	
B17	D11	18.00	17.85	17.76	F'	17.30	×	
B18	D5	17.65	17.56	17.47	F	17.77	×	
B19	D8	16.90	16.82	16.73	F	17.03	×	
B20	D9	14.60	14.50	14.41	F	14.71	○	水路傍(水路の流量は微少)
C1	D3	17.30	17.36	17.27	F	17.57	×	
C2	D10	18.80	18.71	18.62	F''	17.62	×	
C3	D7	19.00	18.97	18.88	F''	17.88	×	
C4	D9	18.75	18.65	18.56	F''	17.56	×	
C5	D13	20.65	20.59	20.50	F''	19.50	×	
C6	D11	19.85	19.70	19.61	F'	19.15	×	
C7	D5	18.60	18.51	18.42	F'	17.96	×	
C8	D8	18.50	18.42	18.33	F'	17.87	×	
C9	D2	18.35	18.29	18.20	F	18.50	×	
C10	D12	18.80	18.65	18.56	F	18.86	×	
C11	D4	19.25	19.06	18.97	F	19.27	×	
C12	D14	18.45	18.47	18.38	F	18.68	×	
C13	D7	18.55	18.52	18.43	F	18.73	×	
C14	D15	18.40	18.22	18.13	F	18.43	×	
C15	D10	19.10	19.01	18.92	F	19.22	×	
C16	D3	18.60	18.67	18.58	F	18.88	×	

C17	D11	19.30	19.15	19.06	F	19.36	×	90cm深
C18	D9	18.55	18.45	18.36	F	18.66	×	80cm深
D1	D7	20.00	19.97	19.88	F'	19.42	×	道路の横へ移設
D2	D2	18.05	17.99	17.90	F'	17.44	×	
D3	D4	18.80	18.61	18.52	F''	17.52	×	
D4	D11	19.10	18.95	18.86	F''	17.86	×	
D5	D9	19.00	18.90	18.81	F''	17.81	×	
D6	D14	19.30	19.32	19.23	F''	18.23	×	
D7	D3	18.50	18.56	18.47	F'	18.01	×	
D8	D5	19.35	19.26	19.17	F'	18.71	×	
D9	D12	18.35	18.20	18.11	F	18.41	×	
D10	D13	18.30	18.24	18.15	F	18.45	×	
D11	D7	18.50	18.47	18.38	F	18.68	×	
D12	D15	18.45	18.27	18.18	F	18.48	×	
D13	D8	18.35	18.27	18.18	F	18.48	×	
D14	D14	18.00	18.02	17.93	F	18.23	×	
D15	D10	18.00	17.91	17.82	F	18.12	×	
D16	D2	18.30	18.24	18.15	F	18.45	×	
D17	D3	18.55	18.61	18.52	F	18.82	×	
D18	D5	17.80	17.71	17.62	F	17.92	×	
D19	D9	18.25	18.15	18.06	F	18.36	×	70cm深
D20	D11	18.60	18.45	18.36	F	18.66	×	水路傍(水温13.76℃)
E1	D8	19.00	18.92	18.83	F''	17.83	×	
E2	D9	20.15	20.05	19.96	F'	19.50	×	
E3	D3	19.90	19.96	19.87	F''	18.87	×	
E4	D11	19.90	19.75	19.66	F''	18.66	×	
E5	D10	19.70	19.61	19.52	F''	18.52	×	
E6	D13	20.45	20.39	20.30	F''	19.30	×	
E7	D15	19.30	19.21	19.12	F'	18.66	×	
E8	D4	19.00	18.81	18.72	F'	18.26	×	
E9	D5	18.45	18.36	18.27	F'	17.81	×	
E10	D12	18.60	18.45	18.36	F	18.66	×	
E11	D14	18.30	18.32	18.23	F	18.53	×	80cm深
E12	D2	18.10	18.04	17.95	F	18.25	×	
E13	D11	18.60	18.45	18.36	F	18.66	×	
E14	D3	18.35	18.41	18.32	F	18.62	×	
E15	D15	18.65	18.47	18.38	F	18.68	×	
E16	D8	18.65	18.57	18.48	F	18.78	×	
E17	D8	18.15	18.07	17.98	F	18.28	×	
E18	D11	18.00	17.85	17.76	F	18.06	×	90cm深
E19	D2	18.20	18.14	18.05	F	18.35	×	90cm深
E20	D13	18.30	18.24	18.15	F'	17.69	×	
F5	D5	19.30	19.21	19.20	F''	18.20	×	
F6	D3	19.40	19.46	19.45	F''	18.45	×	
F7	D11	18.40	18.25	18.24	E	16.78	×	
F9	D2	20.20	20.14	20.13	A	18.67	×	
F10	D13	20.40	20.34	20.33	A	18.87	×	
F11	D2	18.50	18.44	18.35	F	18.65	×	
F13	D5	15.90	15.81	15.72	F	16.02	×	
F14	D3	18.00	18.06	17.97	F	18.27	×	
F15	D4	17.85	17.66	17.57	F	17.87	×	
F16	D9	17.80	17.70	17.61	F	17.91	×	小崩壊部
F17	D10	12.20	12.11	12.02	F	12.32	○	小崩壊部
F18	D12	18.30	18.15	18.06	F	18.36	×	85cm深
F19	D14	18.10	18.12	18.03	F	18.33	×	
F20	D15	18.50	18.32	18.23	F	18.53	×	
G1	D3	18.85	18.91	18.90	F	19.20	×	道路の横へ移設

G2	D12	20.25	20.10	20.09	F	20.39	×	道路の横へ移設
G3	D5	20.20	20.11	20.10	F	20.40	×	道路の横へ移設
G4	D10	19.90	19.81	19.80	F	20.10	×	道路の横へ移設
G5	D11	19.65	19.50	19.49	E	18.03	×	道路の横へ移設
G6	D14	19.10	19.12	19.11	F	19.41	×	道路の横へ移設
G7	D4	19.35	19.16	19.15	F	19.45	×	道路の横へ移設
G8	D15	18.60	18.42	18.41	A	16.95	×	道路の横へ移設
G9	D8	19.20	19.12	19.11	A	17.65	○	大師堂の崩壊源頭部(旧湧水点)
G10	D7	19.10	19.07	19.06	A	17.60	○	// G9,10間の浸みだしの水温17.8℃
G11	D8	18.40	18.32	18.31	F	18.61	×	
G12	D4	17.85	17.66	17.65	F	17.95	×	
G13	D12	18.75	18.60	18.59	F	18.89	×	
G14	D10	18.20	18.11	18.10	F	18.40	×	
G15	D9	18.00	17.90	17.89	F	18.19	×	
G16	D14	15.10	15.12	15.11	F	15.41	×	昔の沢の跡
G17	D13	17.45	17.39	17.38	F	17.68	×	
G18	D15	17.45	17.27	17.26	F	17.56	×	
G19	D3	15.40	15.46	15.45	F	15.75	×	
G20	D5	18.60	18.51	18.50	F'	18.04	×	水路傍
H1	D13	19.25	19.19	19.18	F	19.48	×	
H2	D11	19.20	19.05	19.04	F	19.34	×	
H3	D15	20.00	19.82	19.81	F	20.11	×	90cm深
H4	D7	18.70	18.67	18.66	F	18.96	×	
H5	D15	18.20	18.02	18.01	F	18.31	×	
H6	D10	15.95	15.86	15.85	F	16.15	×	
H7	D12	15.40	15.25	15.24	F	15.54	×	
H8	D5	17.95	17.86	17.85	F	18.15	×	
H9	D3	18.30	18.36	18.35	A	16.89	×	大師堂の崩壊流下部
H10	D13	19.00	18.94	18.93	F	19.23	×	
H11	D2	17.90	17.84	17.83	F	18.13	×	
H12	D4	16.10	15.91	15.90	F	16.20	×	
H13	D8	15.00	14.92	14.91	F	15.21	×	
H14	D9	15.00	14.90	14.89	F	15.19	×	
H15	D14	16.35	16.37	16.36	F	16.66	×	
H16	D15	15.25	15.07	15.06	F	15.36	○	90cm深
H17	D10	14.20	14.11	14.10	F	14.40	×	
H18	D12	15.00	14.85	14.84	F	15.14	○	
H19	D7	18.00	17.97	17.96	F	18.26	×	
H20	D2	18.15	18.09	18.08	F'	17.62	×	
I1	D12	18.50	18.35	18.34	F	18.64	×	
I2	D2	18.30	18.24	18.23	F	18.53	×	
I3	D10	18.70	18.61	18.60	F	18.90	×	
I4	D3	18.00	18.06	18.05	F	18.35	×	
I5	D14	18.20	18.22	18.21	F	18.51	×	
I6	D5	18.45	18.36	18.35	F	18.65	×	
I7	D8	17.90	17.86	17.85	F	18.15	×	
I8	D11	18.25	18.10	18.09	F	18.39	×	
I9	D9	19.65	19.55	19.54	F	19.84	×	大師堂の崩壊流下部
I10	D15	20.30	20.12	20.11	A	18.65	×	大師堂の崩壊流下部
I11	D4	18.55	18.36	18.35	F	18.65	×	大師堂の崩壊流下部
I12	D2	17.60	17.54	17.53	F	17.83	×	
I13	D13	18.55	18.49	18.48	F	18.78	×	
I14	D3	17.35	17.41	17.40	F	17.70	×	
I15	D12	15.00	14.85	14.84	F	15.14	×	
I16	D5	18.75	18.66	18.65	F	18.95	×	
I17	D10	18.90	18.81	18.80	F	19.10	×	
I18	D4	17.35	17.16	17.15	F	17.45	×	

I19	D14	17.55	17.57	17.56	F	17.86	×	昔の沢の跡
I20	D9	17.85	17.75	17.74	F	18.04	×	水路傍
J1	D10	19.00	18.91	18.90	F	19.20	×	
J2	D9	18.80	18.76	18.75	F	19.05	×	
J3	D15	18.00	17.82	17.81	F	18.11	×	
J4	D3	18.05	18.11	18.10	F	18.40	×	
J5	D5	17.85	17.76	17.75	F	18.05	×	
J6	D12	18.15	18.00	17.99	F	18.29	×	
J7	D11	19.55	19.40	19.39	F	19.69	×	
J8	D4	18.65	18.46	18.45	F	18.75	×	90cm深
J9	D8	17.75	17.67	17.66	F	17.96	×	
J10	D10	19.25	19.16	19.15	E	17.69	×	
J11	D13	19.85	19.79	19.78	E	18.32	○	大師堂の崩壊流下部
J12	D14	18.30	18.32	18.31	F	18.61	×	大師堂の崩壊流下部
J13	D2	17.70	17.64	17.63	F	17.93	×	
J14	D9	17.70	17.60	17.59	F	17.89	×	
J15	D5	17.40	17.31	17.30	F	17.60	×	
J16	D11	18.65	18.50	18.49	F	18.79	×	
J17	D15	18.85	18.67	18.66	F	18.96	×	
J18	D8	18.25	18.17	18.16	F	18.46	×	
J19	D12	18.30	18.15	18.14	F	18.44	×	
J20	D3	17.40	17.46	17.45	F	16.99	×	水路傍
K1	D2	17.90	17.84	17.83	F	18.13	×	
K2	D8	17.85	17.77	17.76	F	18.06	×	
K3	D11	17.95	17.80	17.79	F	18.09	×	
K4	D13	17.30	17.24	17.23	F	17.53	×	
K5	D4	17.45	17.26	17.25	F	17.55	×	
K6	D3	17.60	17.66	17.65	F	17.95	×	
K7	D9	18.05	17.95	17.94	F	18.24	×	
K8	D5	17.40	17.31	17.30	F	17.60	×	小窪地
K9	D15	18.30	18.12	18.11	F	18.41	×	
K10	D14	18.15	18.17	18.16	F	18.46	×	
K11	D12	19.25	19.10	19.09	F	19.39	×	大師堂の崩壊流下部
K12	D8	18.90	18.82	18.81	F	19.11	×	
K13	D10	15.50	15.41	15.40	F	15.70	○	小崩壊部
K14	D2	17.85	17.79	17.78	F	18.08	×	
K15	D8	18.35	18.27	18.36	F	18.66	×	
K16	D15	18.05	17.87	17.96	F	18.26	×	
K17	D11	17.95	17.80	17.89	F	18.19	×	
K18	D9	16.80	16.70	16.79	F	17.09	○	
K19	D14	18.10	18.12	18.21	F	18.51	×	
K20	D4	17.40	17.21	17.30	F	17.60	×	水路傍
L2	D10	18.20	18.11	18.20	F	18.50	×	
L3	D14	17.60	17.62	17.71	F	18.01	×	
L4	D4	17.75	17.56	17.65	F	17.95	×	
L5	D6	17.90	17.91	18.00	F	18.30	×	
L6	D3	17.70	17.76	17.85	F	18.15	×	
L7	D13	17.70	17.64	17.73	F	18.03	×	
L8	D2	17.65	17.59	17.68	F	17.98	×	
L9	D12	18.15	18.00	18.09	F	18.39	×	90cm深
L10	D11	18.55	18.40	18.49	F	18.79	×	
L11	D11	18.60	18.45	18.54	F	18.84	×	大師堂の崩壊流下部
L12	D9	18.10	18.00	18.09	F	18.39	×	大師堂の崩壊流下部
L13	D8	18.40	18.32	18.41	F	18.71	×	
L14	D12	17.55	17.40	17.49	F	17.79	×	
L15	D15	15.70	15.52	15.61	F	15.91	×	小崩壊部
L16	D10	17.95	17.86	17.95	F	18.25	×	

L17	D5	18.00	17.91	18.00	F	18.30	×	
L18	D13	18.30	18.24	18.33	F	18.63	×	
L19	D2	17.90	17.84	17.93	F	18.23	×	
L20	D3	19.00	19.06	19.15	F	19.45	×	水路傍
M1	D9	18.45	18.35	18.44	F	18.74	×	
M2	D15	18.45	18.27	18.36	F	18.66	×	
M3	D8	18.00	17.92	18.01	F	18.31	×	
M4	D12	18.80	17.85	17.94	F	18.24	×	
M5	D11	18.80	18.65	18.74	F	19.04	×	
M6	D2	18.60	18.54	18.63	F	18.93	×	
M7	D13	18.40	18.34	18.43	F	18.73	×	
M8	D3	18.50	18.56	18.65	F	18.95	×	
M9	D5	18.50	18.41	18.50	F	18.80	×	
M10	D10	18.40	18.31	18.40	F	18.70	×	
M11	D14	18.25	18.27	18.36	F	18.66	×	
M12	D4	18.70	18.51	18.60	F	18.90	×	大師堂の崩壊流下部
M13	D8	18.20	18.12	18.21	F	18.51	×	大師堂の崩壊流下部
M14	D9	18.70	18.60	18.69	F	18.99	×	大師堂の崩壊流下部
M15	D15	17.90	17.72	17.81	F	18.11	×	
M16	D11	18.70	18.55	18.64	F	18.94	×	
M17	D2	18.35	18.29	18.38	F	18.68	×	
M18	D12	14.70	14.55	14.64	F'	14.18	×	石垣上(石垣下の湧水点の水温14.85℃)
M19	D5	18.45	18.36	18.45	F'	17.99	×	
N5	D11	18.25	18.10	18.19	F	18.49	×	
N6	D5	18.45	18.36	18.45	F''	17.45	×	
N7	D13	18.30	18.24	18.33	F''	17.33	×	
N8	D10	19.25	19.16	19.25	F	19.55	×	
N9	D12	18.00	17.85	17.94	F	18.24	×	
N10	D2	18.25	18.19	18.28	F	18.58	×	
N11	D9	18.00	17.90	17.99	F	18.29	×	
N12	D15	18.10	17.92	18.01	F	18.31	×	大師堂の崩壊流下部・90cm深
N13	D8	18.25	18.17	18.26	F	18.56	×	大師堂の崩壊流下部
N14	D4	18.50	18.31	18.40	F'	17.94	×	
N15	D14	18.75	18.77	18.86	E	17.40	×	
N16	D3	18.90	18.96	19.05	E	17.59	×	
N17	D10	19.50	19.41	19.50	E	18.04	×	
N18	D13	17.75	17.69	17.78	F	18.08	×	

定点

F12	D6	18.30	18.31		F		×	9/19 9:00
"	"	18.20	18.21	9/19平均値	"		"	11:46
"	"	18.20	18.21	18.24	"		"	15:22
"	"	18.05	18.06		"		"	9/20 8:57
"	"	18.20	18.21	9/20平均値	"		"	12:13
"	"	18.20	18.21	18.16	"		"	15:00
"	"	18.10	18.11	9/21平均値	"		"	9/21 8:44
"	"	18.00	18.01	18.06	"		"	12:11
平均値				18.15		18.45		

4. 調査結果

4-1. 1 m 深地温探査における測定値の補正

現場で得られた1 m 深地温の測定値には、測温体間の誤差、経日変化、微地形、地質、および地表面の状況など種々の因子が関与している。これらの因子について以下のとおり検討し、適宜補正を行った。

各測温体間で温度の指示に相違が存在する場合、解析結果に影響をおよぼす。そこで、ほぼ一定の温度を示す水の中に使用する測温体を入れ、各々の値と別途準備した検定済みの温度計との差を求め、これらの差の符号を逆にした値を補正值とした。得られた測温体補正值を表-2に示すとともに実測値の補正結果を表-1の地況補正值の欄に示す。

長期間調査を行う場合、測定値が1 m 深地温の年変化の影響を受ける可能性がある。本研究では、現地のF12測点を定点観測点とし、作業前、昼食後、作業後にそれぞれ測定を行った。その結果を表-3に示す。今回の探査では最大で0.3℃の差が認められたので、各観測日の測温体補正值の平均値と3日間の測温体補正值の平均値との差を求め、これらの差の符号を逆にした値を補正值(表-3)とした。この補正を行った後の値を表-1の経日変化補正值の欄に示す。

地質の相違による地温への影響は地質を構成する岩石や土壌の熱伝導率の違いに起因していることが知られている。大師堂周辺の地質は、一部、泥質片岩を主体とした基岩の露頭がでているものの崩積土層に覆われている。したがって、著しく熱伝導率が異なる状況ではないので、熱的にはほぼ均一

表-2 測温体補正值一覧表

測温体番号	補正值(℃)	測温体番号	補正值(℃)
D2	-0.06	D9	-0.10
D3	0.06	D10	-0.09
D4	-0.19	D11	-0.15
D5	-0.09	D12	-0.15
D6	0.01	D13	-0.06
D7	-0.03	D14	0.02
D8	-0.08	D15	-0.18

表-3 定点観測結果および経日変化補正值

月日	時間	測定値(℃)	平均値(℃)	天候	補正值(℃)
9/19	9:00	18.31	18.24	快晴	-0.09
	11:46	18.21		快晴	
	15:22	18.21		快晴	
9/20	8:57	18.06	18.16	晴れ	-0.01
	12:13	18.21		晴れ	
	15:00	18.21		晴れ	
9/21	8:44	18.11	18.06	晴れ	+0.09
	12:11	18.01		晴れ	
全期間			18.15		

な状態であると見なして1 m深地温に与える地質の影響は無視した。

斜面の傾斜方向および標高差等の地形的因子が地温に影響を及ぼすことが知られている。善徳地すべりZ6ブロックはほぼ南東向き斜面に位置しているので、斜面の傾斜方向の違いによる地温の影響はないと判断した。竹内(1996)によると、標高差350m以内では1 m深地温に有意な影響を与えないことが指摘されている。今回の大師堂周辺における探査では測点の最高標高が770m付近、最低標高が655m付近であり、両者の差は115m程度である。したがって、この程度の標高差では1 m深地温に有意な影響を及ぼさないと考えられるので、標高差の補正は行わなかった。

地温測定に際し、微地形の影響は顕著に測定値に反映されることが知られている。そこで、予定した測定地点が微地形急変点付近に存在する場合は、その影響を受けないと思われる場所に移設し、測定を行った。また、急傾斜が連続的に続く斜面においては、斜面に直交する方向に鉄棒を打ち込んだ。

地表面の植生等の状況(地況)の相違が1 m深地温に影響を与えることが、これまでの数多くの事例によって明らかにされている。そこで、竹内(1973)の分類をもとに探査範囲内の地況を以下の通りに分類した。

- A : 裸地
- E : 草地
- F : 林地(杉, 檜)
- F' : 雑木(広葉樹, 灌木等)
- F'' : 竹林

探査範囲における地況分布図を図-5に示す。この図より全体としては林地の割合が多いがその他の地況も存在している。このような地況分布状況が1 m深地温に対して影響を及ぼす可能性があると思われたので、各地況間の影響の強さについて検討を行った。なお、裸地(A)と草地(E)は双方ともに個数が少ないものの、日当たりが他の地況に比べてよかったので合算して検討した。その結果を表-4に示す。この表より、大師堂周辺では74.1%が林地, 11.6%が雑木, 7.7%が竹林, 6.6%が裸地および草地である。得られたこれらの情報をもとに、全体の温度出現頻度分布状況と地況別の温度出現頻度分布状況を示したものが図-6である。この図から、各出現頻度はほぼ正規分布に近いと思われたので単純に統計処理を行うことにした。この結果は表-4に載せている。表-4より、各地況の平均地温間において裸地+草地と林地との

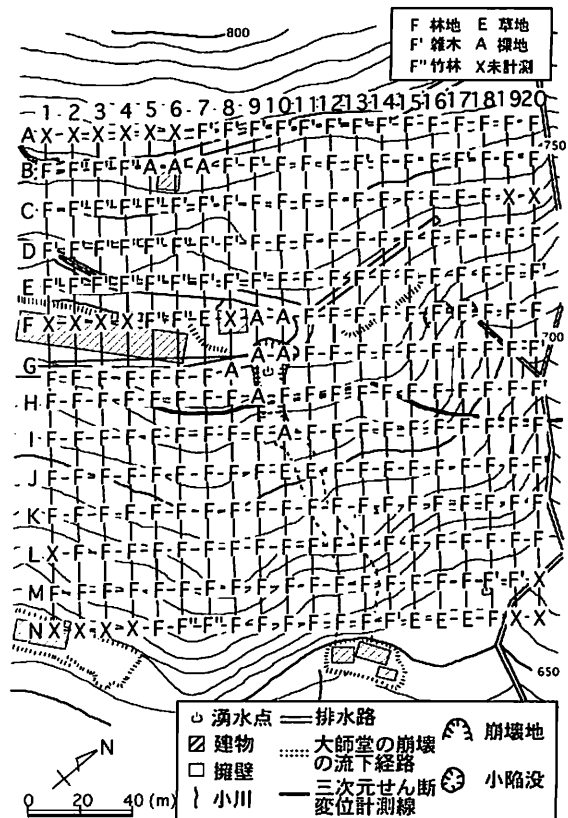
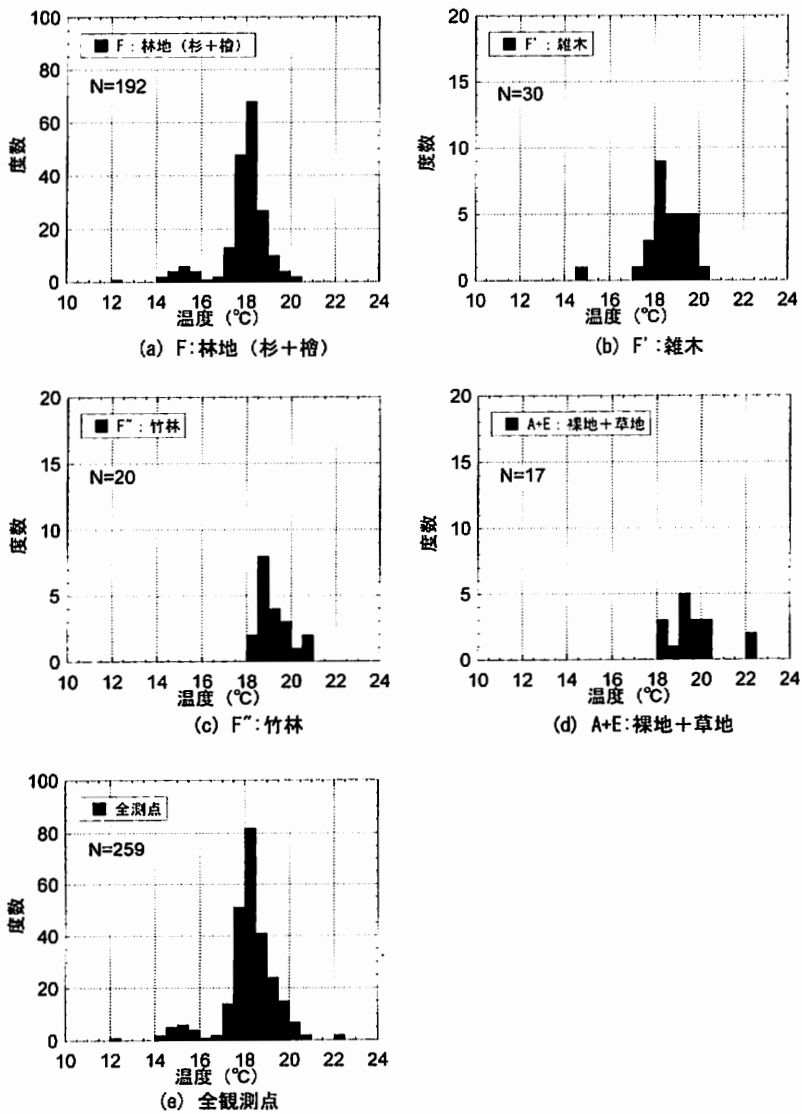


図-5 地況分布図

表一 4 地況別の地温とその補正係数

地況	個 数	占有率 (%)	最高値 (°C)	最低値 (°C)	温度差 (°C)	標 準 偏 差	平均値 (°C)	補 正 係 数
A+E	17	6.6	22.48	18.24	4.24	1.21	19.67	-1.46
F	192	74.1	20.10	12.02	8.08	1.11	17.91	+0.30
F'	30	11.6	20.06	14.64	5.42	1.03	18.67	-0.46
F''	20	7.7	20.67	18.33	2.34	0.69	19.21	-1.00
計	259	100.0	22.48	12.02	10.46		18.21	



図一 6 地況別温度出現頻度の分布図

差が最大であり、1.76℃に達していた。この値は1 m深地温分布図を描き地下水脈を推定する上で無視できない値である。そこで、全平均地温と各地況における平均地温の差を取り、表-4に示すように各地況毎に補正を行った。補正後の各測点における値を表-1の地況補正值の欄に示す。

大師堂周辺では、表-1に示すように9測点において孔内に水の存在がはっきりと認められた。これらの孔内水は孔壁から浸出したものであり、地表面からの流入したものではないので特別な補正は行わなかった。また、12測点において1 mの深さまで孔を穿つことができなかった。これらの測点は全て林地の中に存在し、周辺の測点と比較して浅深の影響による著しい地温の違いが認められなかった。したがって、今回の探査結果の整理では深度の違いによる影響を無視することにした。

4-2. 1 m深地温分布

図-7は最終的に補正を行って得られた結果を測線網上で、12℃から22℃の間を1℃毎に表したものである(以下、1 m深地温は補正後の地温のことを指す)。図中の等温線の点線部分は、家屋や岩の露頭等で計測できなかったので周辺の地温分布より推定したものである。探査範囲内での1 m深地温の最高温度はB6測点の21.02℃、最低温度はF17測点の12.32℃、平均1 m深地温は18.21℃であった。

この図より、全般的な1 m深地温分布の傾向は測線網の右(東)側半分が低く、逆に左(西)側半分が高いことが認められる。図中18℃未満の分布を見ると、A17~19測点付近からD20測点付近まで、E17測点付近からほぼ南東方向のL12測点付近を通り、さらにN15測点の方向まで、C1およびC3測点付近から、途中、E6測点に高温部があるもののほぼ東側に向かってG9測点周辺までの幅広い温度分布を示すところがある。これらの部分のうちで、B20測点付近と大師堂の北東約60mのH15測点を中心としたほぼ南北方向を軸としたX字型の幅約60m程の範囲で16℃未満の低温部が存在している。範囲は狭いが大師堂直下のH7測点付近とM18測点付近でも16℃未満の低温部が存在している。

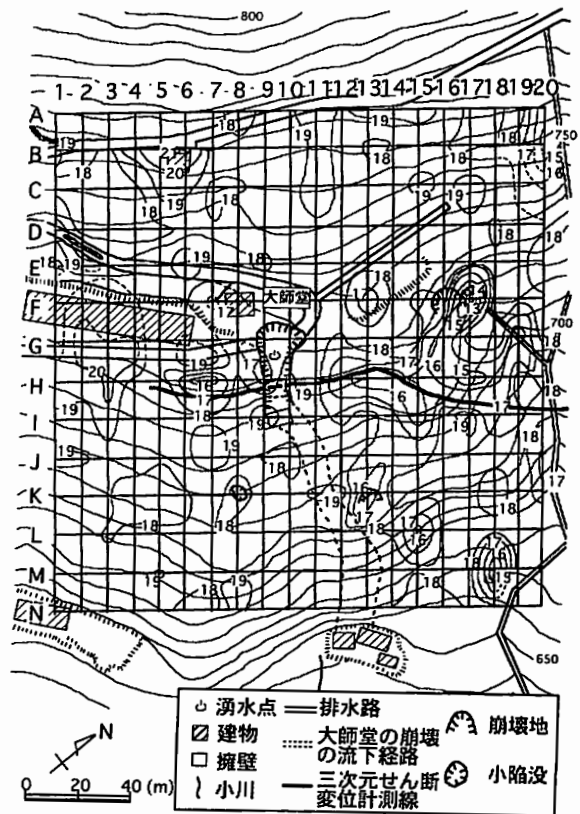


図-7 大師堂周辺における1 m深地温分布図

4-3. 水温測定結果

大師堂の崩壊(G9~10測点)およびM18測点下、BV5-12、BV14、BV16およびS25横の横穴ボーリング孔における水温測定結果を表-5に示す。この表において、平成11年9月15日の結果を見ると、

大師堂の崩壊における湧水の水温が18.8℃であるのに対して、同日測定した横穴ボーリング孔の各孔口における水温は13.9～16.8℃である。また、平成12年9月20日に測定した大師堂の崩壊における湧水の水温は17.8℃であるのに対して、同9月23日に斜面上部に設置されているボーリングの孔内水温は11.8～12.8℃である。つまり、大師堂の崩壊における湧水は測定されたボーリング孔の孔内水温より高い。したがって、大師堂の崩壊部における湧水は伸縮計測線上における地下水と異なることが考えられる。

5. 考 察

5-1. 地下水脈の推定

平均1m深地温が18.21℃であったので、その値より若干低い18℃未満の地温分布を抽出し(図-8)、水温測定結果(表-5)と比較、検討を行った。

表-5において平成12年9月23日のボーリング孔内水温は11.8～12.8℃であり、図-8のF17測点の1m深地温にはほぼ等しい。F17測点周辺では18℃未満の低温部が広く分布しているので、この測点周辺では深層の地下水の流れ(水脈)が地表面付近に上がり、地温を下げていると解釈できる。この水脈の本流はF17付近からほぼ南東方向に流れている。H測線上では水脈の本流に合流するような支流的な流れが存在すると考えられる。この深層地下水の水脈は、地温分布の形状からいったん土層深部に潜り込んだ後に再びK13測点付近、そしてL15測点付近に上がっていると考えられる。

探査範囲の北側を流れる水路そばにある

B20測点は、1m深地温が測点網の中で4番目に低い14.71℃であった。B20測点付近の水路は湿っていたものの水温測定ができるほどの流量がなかった。そこで、この測点から約30m下流側のD20測点の横で水温を測定したところ、13.76℃であった。本研究ではこの水路の反対側では実施していないが、B20測点周辺の探査結果や水路内の水温の状況から判断して、測点網の北側に上述のボーリング孔内水温に近い地温が生じている部分、言い換えると深層地下水の水脈が存在すると思われる。

M18測点は測点網内で2番目に低い1m深地温(14.18℃)であった。この測点の周辺は、17～18℃の地温分布の連続性から上述した深層地下水の水脈が流入しているのではなく、別の水脈が地表面に上がっていると考えられる。大師堂の南側約30mのH7測点付近にも比較的1m深地温が低い部分が現れて

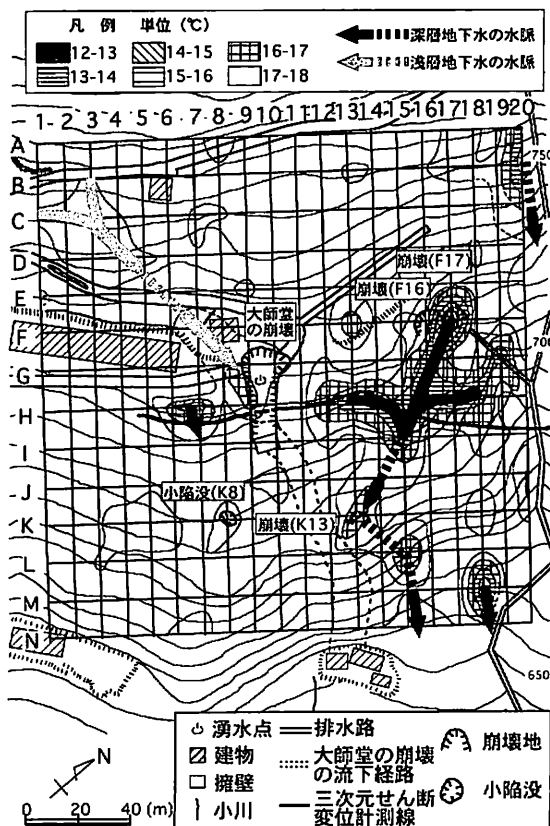


図-8 地下水脈図

表-5 水温測定結果

場 所	年 月 日	水温(°C)	記 事
伸縮計 S25 横の横穴ボー リング孔左から1番目	1999/9/15	14.8	
同 2番目	同	16.8	
同 3番目	同	13.9	
同 6番目	同	14.3	
同 8番目	同	14.3	
大師堂の崩壊	同	18.8	湧水口
同	2000/9/20	17.8	擁壁下の浸みだし
M18 測点下	2000/9/21	14.9	
BV5-12(E.L.1028m)	2000/9/23	11.8	深度 77m(ストレーナなし)
B14(E.L.890m)	同	12.6	深度 70m(同)
B16(E.L.790m)	同	12.8	深度 49m(同)

いる。この測点付近では、深層の地下水が局所的に上がっている可能性がある。

C1 および C3 測点付近からほぼ東の方向に延びる(途中 E6 測点で高温部があるが) 17~18°C の低温部内では、G8 ~ H9 測点付近に 16~17°C の部分(最低地温は H9 測点の 16.89°C)がある。これらの低温部は F17 測点付近からの深層地下水の水脈の分布方向と明らかに異なる。そして、H9 測点の地温は各ボーリング孔の孔内水温に比べて最大で約 4°C 高い。このような特徴から、大師堂から西側では上述した深層地下水の水脈とは別に浅層地下水の水脈が存在すると考えられる。

5-2. 地下水脈と斜面崩壊の関係

表層の斜面崩壊は、そのほとんどが浅層地下水の関与が考えられている。そこで、1m 深地温探査により推定した地下水脈と斜面崩壊および小陥没の位置について検討した。

F17 付近からほぼ南東方向に流れている深層地下水の水脈上において、F16 および F17 測点で前述した 100m² 程度の表層崩壊が発生している。これらの崩壊は地温が非常に低い部分で発生しているので、豪雨の雨がすぐ流出するようなごく表層の地下水だけでなく深層地下水も関与していると考えられる。深層地下水も関与したと考えられる表層崩壊は、K13 測点でも発生している。

1m 深地温探査の範囲内でもっとも大きかった大師堂の崩壊は、道路の陥没から集中豪雨の雨水が浸透したことが相乗効果になった可能性があるが、基本的には 1) 崩壊部の湧水の水温と 1m 深地温分布の関係、2) 大師堂の下に設置している三次元せん断変位計にクリープ的な前兆変位が現れていたことから、C1 および B3 測点からほぼ東へ流れている浅層地下水の水脈が関与していると考えられる。K8 測点の小陥没は、周辺にかなり低い値を示す地温分布がないことから、この測点の周辺部に存在する浅層地下水によって形成されたと考えられる。

6. ま と め

本研究では、平成11年6月29日に徳島県・善徳地すべり地の大師堂周辺で発生した集中豪雨による斜面崩壊と地下水の平面的な分布について検討を行った。その結果、以下の知見が明らかになった。

- 1) 大師堂周辺では2種類の地下水脈、つまり深層地下水の水脈と浅層地下水の水脈が考えられる。
- 2) 深層地下水の水脈のうちで大きな水脈は大師堂の北～東側にあり、ほぼ南東方向に流れていると考えられる。この水脈で一番低い1m深地温は12.32℃であり、探査範囲の上部斜面にあるストレーナなしのボーリング孔の孔内水温にほぼ等しい。そして、大師堂周辺では、南東方向へ流れる大きな深層地下水の水脈以外に局所的な水脈が2～3個所存在している。
- 3) 大師堂の西側から大師堂の崩壊にかけては、2)とは別の地下水脈の存在が考えられる。この水脈は1m深地温探査結果および崩壊部の湧水の水温から浅層の地下水であると考えられる。
- 4) 大師堂周辺で発生した斜面崩壊や小陥没において、大師堂の崩壊と土層の小陥没は浅層地下水の水脈が関与したものと考えられる。一方、大師堂の北～東側にある表層崩壊は深層地下水の水脈も関与したと考えられる。

謝 辞

本研究では、徳島県三好郡西祖谷山村の向井道文氏と京都大学防災研究所の竹内篤雄博士にお世話になった。紙面を借りて御礼申し上げます。

文 献

- 防災研究協会 (2000)：平成11年度善徳地すべり調査・観測業務委託報告書，71p.
- 古谷 元・佐々恭二・福岡 浩・日浦啓全 (1997)：善徳地すべりにおける地下侵食と地すべり移動の関係，地すべり，Vol. 34, No. 2, 9-16.
- 古谷 元・佐々恭二・日浦啓全 (2000)：徳島県善徳地すべりで発生した小規模流動性崩壊の前兆現象，第39回日本地すべり学会研究発表会講演集，529-532.
- 平松晋也・石川芳治・小山内信智・三好岩生 (1999)：1999年6月29日徳島県西祖谷山村で発生した土砂災害 (速報)，新砂防，Vol. 52, No. 3, 44-49.
- 末峯 章・島 通保・小西利史 (1984)：結晶片岩地すべり地における地温探査と地下水検層の一調査例，地すべり，Vol. 21, No. 2, 22-30.
- 竹内篤雄 (1973)：地すべり地における地温測定調査について(4)，地すべり，Vol. 9, No. 3, 18-22.
- 竹内篤雄・島 通保 (1978)：宮神地すべり地における1m深地温探査調査結果に基づく排水工事とその効果について，地すべり，Vol. 15, No. 1, 17-22.
- 竹内篤雄・永野正展・中村和弘 (1981)：冬期における破砕帯型地すべり地での1m深地温調査結果について，地すべり，Vol. 18, No. 1, 33-41.
- 竹内篤雄・門川泰人・窪田開拓 (1990)：ため池漏水箇所検出に対する地温測定調査の有効性について，応用地質，Vol. 31, No. 2, 20-27.
- 竹内篤雄 (1996)：温度測定による流動地下水調査法，古今書院，90-93.