

平成 26 年度 修士論文

4 年間にわたる
山岳地域における斜面崩壊観測

首都大学東京 都市境科学研究科

都市基盤環境学域 安全防災分野

学修番号 13885422 内藤 雄馬

指導教員 吉嶺 充俊 准教授

概要

本研究では 2010 年 10 月から 2014 年 10 月までの 4 年間にわたり、長野県大町市信濃川水系、高瀬川上流域不動沢の崖錐斜面において現地観測を行ってきた。表層崩壊の要因である地中間隙水圧の上昇に着目し、現地でモニタリングしている降雨量、間隙水圧、地中温度、地形測量及び採取した土質試料を用いて、斜面内の水圧変動についての分析を行った。

目次

概要.....	2
第1章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
第2章 不動沢の現地観測システム.....	3
2.1 不動沢の概要.....	3
2.2 不動沢観測地点概要.....	5
2.3 観測計器.....	7
2.3.1 テンシオメータ.....	7
2.3.2 雨量計.....	9
2.3.3 データロガー.....	10
2.3.4 積雪計.....	11
2.3.5 インターバルカメラ.....	12
2.4 計器の設置とその方法.....	13
2.4.1 テンシオメータの設置.....	13
2.4.2 雨量計の設置.....	19
2.4.3 データロガーの設置.....	22
2.4.5 積雪計の設置.....	25
2.5 観測とメンテナンス方法.....	27
2.5.1 データログの設定とメンテナンス方法.....	27
2.5.2 テンシオメータのメンテナンス方法.....	32
2.5.3 転倒ます型雨量計のメンテナンス方法.....	34
2.6 観測結果の整理.....	35
2.6.1 テンシオメータデータの校正方法.....	35
2.6.2 雨量・温度データ.....	37
2.6.3 インターバルカメラ及び積雪カメラデータ.....	38
2.7 デジタルカメラによる地形測量.....	39
2.7.1 計測目的.....	39
2.7.2 写真測量の概要.....	40
2.7.3 撮影方法.....	41
2.7.4 解析方法.....	46
第3章 広場Bの現地観測システム.....	50
3.1 広場Bの概要と設置目的.....	50
3.2 観測計器.....	52
3.3 観測計器設置方法.....	53

3.3.1	テンシオメータの設置	53
3.3.2	雨量計の設置	57
3.3.3	収納箱の設置	59
3.3.4	地下水位観測孔の掘削	61
3.4	観測とメンテナンス方法	62
3.4.1	データログのメンテナンス	62
3.4.2	地下水位の計測方法	63
第4章	粒度試験と土粒子密度試験	64
4.1	試料の採取	64
4.2	試験器具	65
4.3	試験方法	66
4.3.1	土粒子密度試験	66
4.3.2	ふるい分析	68
4.3.3	沈降分析	71
4.4	試験結果の整理	73
4.4.1	土粒子密度の計算	73
4.4.2	ふるい分析結果に対する粒度の計算	75
4.4.3	沈降分析結果に対する粒度の計算	76
第5章	観測結果	78
5.1	現地調査の記録	78
2010年	.....	78
2011年	.....	78
2012年	.....	78
2013年	.....	79
2014年	.....	79
5.2	不動沢観測結果	80
5.3	粒度試験結果	86
5.4	地形測量結果	113
5.5	インターバルカメラ観測結果	122
5.6	積雪計観測結果	124
5.7	広場 B 観測結果	125
第6章	間隙水圧と降雨量の考察と相関解析	133
6.1	既往の研究と目的	133
6.2	土壌雨量指数	134
6.3	土壌雨量指数と間隙水圧の対比	136
6.4	モデル式の作成	145

6.5	相関解析	149
6.6	考察	157
第7章	融雪期における地中間隙水圧の上昇に関する分析	158
7.1	降雨が水圧に反映されるまでの時間	159
7.2	雨量強度－累積雨量	161
7.3	考察	163
第8章	結論と今後の課題	164
	参考文献	166

第1章 序論

1.1 研究背景

ダム上流域で生産された土砂が貯水池に流入する事によって引き起こされる堆砂問題が多くのダムで発生している。ダム貯水池における堆砂は、貯水容量を減少させダムの治水・利水機能を低下させるだけでなく、貯水池上流の河床の上昇や、ダム下流での河床低下など、河川の環境に与える影響も少なくない。

近年では土木技術の進歩により、排砂システム等の有効な対策が実用化されて来ているが、このような技術をより効果的に利用するためには、流域内の土砂生産の強度を把握し、正確な流域管理を行うことが必要である。

山岳地では斜面の崩壊や侵食によって生産された土砂が斜面下部に堆積して崖錐を形成し、それが降雨期や融雪期に二次崩壊を起こすことで河川への土砂の流出が発生している。斜面の崩壊は土中の水分と密接な関係があり、土砂流出の様相を把握するには地盤内の水分変動を現場観測によって直接調べるのが望ましいが、山岳地ではそのような観測は困難であり、年間を通じた長期的な観測を行っている研究例は少ない。

1.2 研究目的

本論文では、長野県大町市信濃川水系高瀬川上流域不動沢の崖錐斜面における現地観測手法を示し、4年間にわたる観測結果を検討する。現地でモニタリングしている降雨量、積雪量、間隙水圧、地中温度、地形測量の結果を用いて、雨季における降雨量、及び積雪・降雪期における降雨量、積雪量、気温等の情報から、地中間隙水圧の変動について分析を行うことを目的とする。

第 2 章 不動沢の現地観測システム

2.1 不動沢の概要

本研究の対象とした不動沢は信濃川水系高瀬川最上流部の長野県大町市位置し、飛騨山脈の EL.2459m の船窪岳、EL.2628m の烏帽子岳に囲まれた急峻な山岳地域であり且つ脆弱な地質である為我が国屈指の土砂流出地域である。気候は、平均的な年間降水量及び最高・最低気温がダムサイト(EL.1280m)でそれぞれ 2100mm、 $-16\sim 30^{\circ}\text{C}$ 程度であり(井上 2000)、冬季は積雪が全流域を覆い、一部では夏季においても残雪が見られる厳しい条件である。植生は、流域の稜線が森林限界以上にあり、崩壊裸地斜面、草地、高山性灌木などによって構成されている。地形は、尾根部分及び沢部分を除いたほとんどの斜面が勾配 30° 以上の急斜面を形成している。地質はほとんどが古第三紀から白亜紀の中～粗粒の花崗岩類から成っており、一部で火山岩類の貫入及び第四紀の砂塵堆積物が見られる。花崗岩は全般に新鮮・賢硬であるが、一部に火山岩類の貫入等の影響により強い熱水変質作用あるいは破碎作用を受けて脆くなっている。(井上 2000)

不動沢最下流部の揚水式発電用高瀬ダムの調節池には、比堆砂量 $5020\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ と日本の山地平均の約 17 倍の大量の土砂が上流の崩壊地から流入堆積しており、中でも濁沢・不動沢地域からは $35000\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ と非常に多くの土砂が流入堆積している(東京電力 2010)。

このような土砂の主要供給源は崩壊地となっており、高瀬ダム流域全崩壊地の中で不動沢は約 20%を抱えている(井上 2000)。

崩壊地の岩盤は火山岩の貫入に伴う熱水変質作用及び破碎作用を受けており、細かい割れ目が発達しているとともに、割れ目に沿ってイライト、クロライト、モンモリロナイト、沸石等の粘土鉱物が存在し、劣化が深層まで及んでいる。これらの岩盤は強度の低い粘土鉱物を挟んでいる為に脆弱であり、モンモリロナイトの膨張性と沸石の乾燥時に粉状になる性質から亀裂や岩石の緩みが進行しやすい特徴がある(井上 2000)。

斜面崩壊状況は大別すると、岩盤が熱水変質作用・風化作用により土砂化していつ軟質岩盤部、細かい割れ目が密に発達したクラッキー岩盤部、流れ目の不連続面に沿って崩壊が発生している平面スベリ部の 3 種類が代表的なものである。いずれも雨水の浸透と冬期の凍結・融解の繰り返し作用、岩盤クリープ等により風化が促進され、著しい強度低下をきたしている。

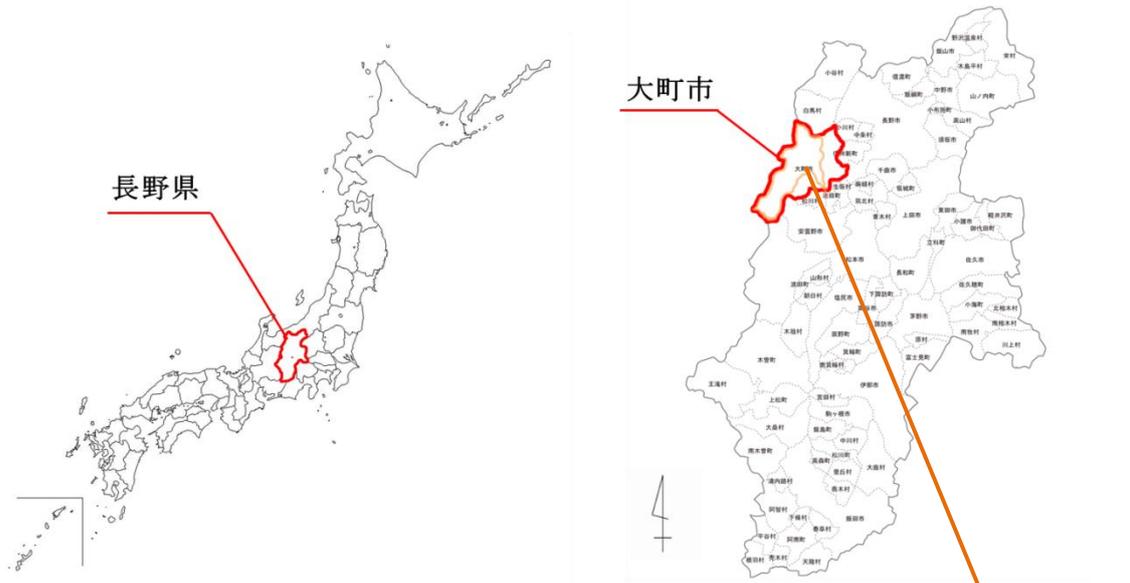


図 2.1 長野県大町市

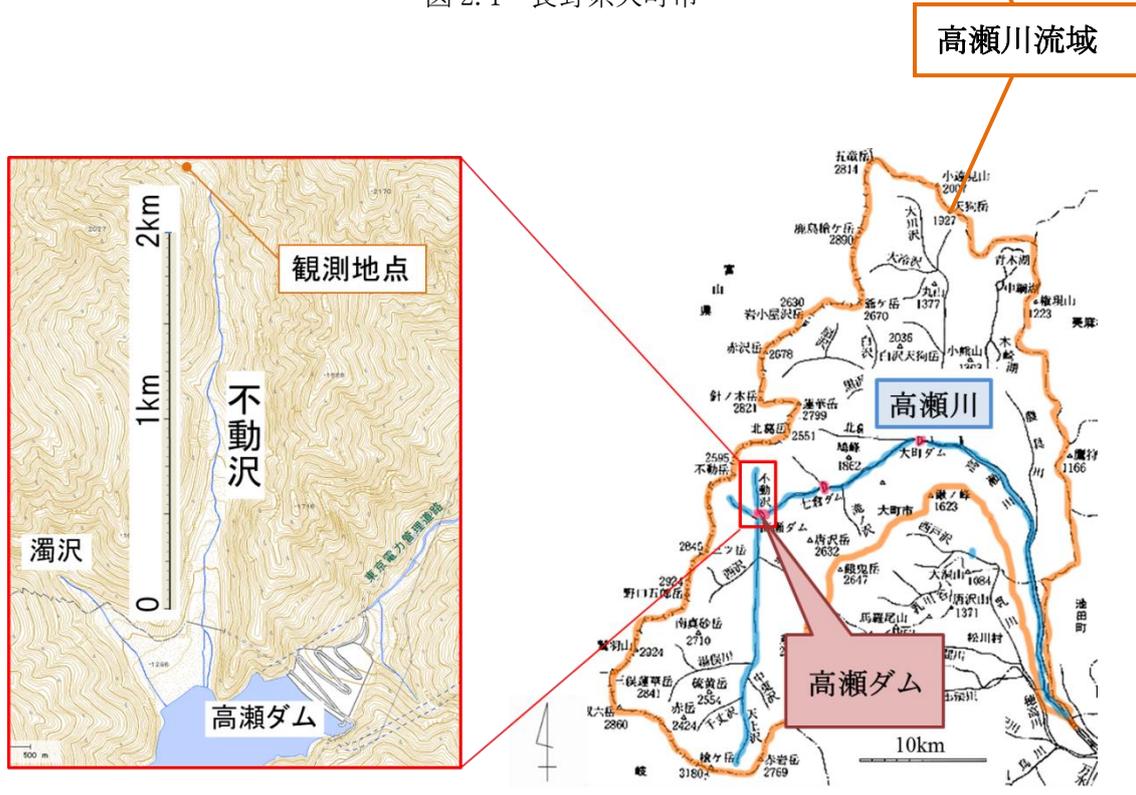


図 2.2 高瀬川流域不動沢

2.2 不動沢観測地点概要

計器設置地点を図 2.3 及び写真 2.1 に示す。現場は信濃川水系高瀬川の不動沢右岸熱水変質・破碎質の脆い花崗岩からの崩壊堆積物による崖錘部の斜面であり、飛騨山脈内 EL.約 1550m の急峻な山岳地域である。

写真 2.2 に計器設置地点における崩壊のプロセスについてまとめた。まず設置地点上部における岩盤の崩壊が発生する。岩盤は流れ目の不連続に沿って崩壊が生じている平面すべり部であり、雨水の浸透と冬季の凍結・融解により強度が低下し、井上(2000)によると 11 月から 6 月の降雪期から融雪期にかけて顕著に侵食が進んでいる。

次に斜面上部の土砂は斜面中腹部に崩落堆積物として斜面中腹部～下部に留まる。斜面上に残存した堆積土砂は徐々に不安定化し、豪雨時や融雪期の長雨による斜面内の間隙水圧上昇等による崩壊や、土石流による斜面下部の浸食を起因とする崩壊が起こり土砂供給の重要な場になっている。

以上のような崩壊プロセスは観測地点に限らず、不動沢における崩壊地の多くが同じプロセスを描いている。このような大規模な崩壊土砂が堆積している崖錘部において、いつ・どのような規模の崩壊あるいは流出が発生するかということ把握しておくことは、流域の土砂管理を行う上で重要なことであると言える。このような目的から本研究では、雨水等による斜面内の浸透を起因とする堆積土砂の崩壊に着目し、崖錘部に計器を設置した。

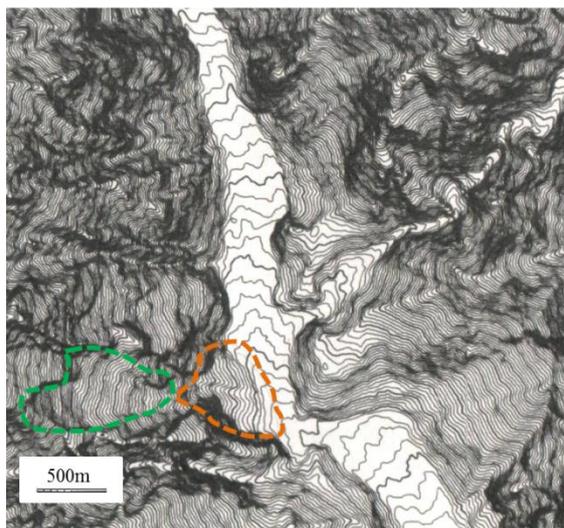


図 2.3 計器設置地点の地勢図



写真 2.1 計器設置地点の航空写真



写真 2.2 計器設置地点の崖錘部と崩壊プロセス

2.3 観測計器

2.3.1 テンシオメータ

間隙水圧計はテンシオメータ方式のサンケイ理化製アンサック SK5500-AEL を使用している。この計器はセラミック製のポーラスカップ、アクリル円筒の管内に満たされている脱気水、間隙水圧を計測するセンサーから成り立っており(図 2.5、写真 2.4)、ポーラスカップを介して、土中の水圧と平衡状態になったテンシオメータの脱気水の圧力を計測する仕組みである。流れを説明すると、設置時テンシオメータ内は大気圧であるが、不飽和の土壌内は負圧なので、カップ内の水に吸引圧がかかりテンシオメータ内の水圧が下がっていく。

脱気水の圧力はセンサーに 2V の電圧を与え、出力電圧を読む方式になっている。2V の電圧が出力された場合は大気圧であり、2V 以下の場合にはセンサーの脱気水が外に出ようとする力、つまり間隙水圧の負値、2V 以上の場合には水が流入しようとする力、つまり間隙水圧の正值となる。負圧状態のテンシオメータではアクリル円筒内の脱気水が土中に流れ、水が少なくなるため、定期的な脱気水の補給が必要である。脱気水の補給方法に関しては 2.5.2 項で詳しく述べる。

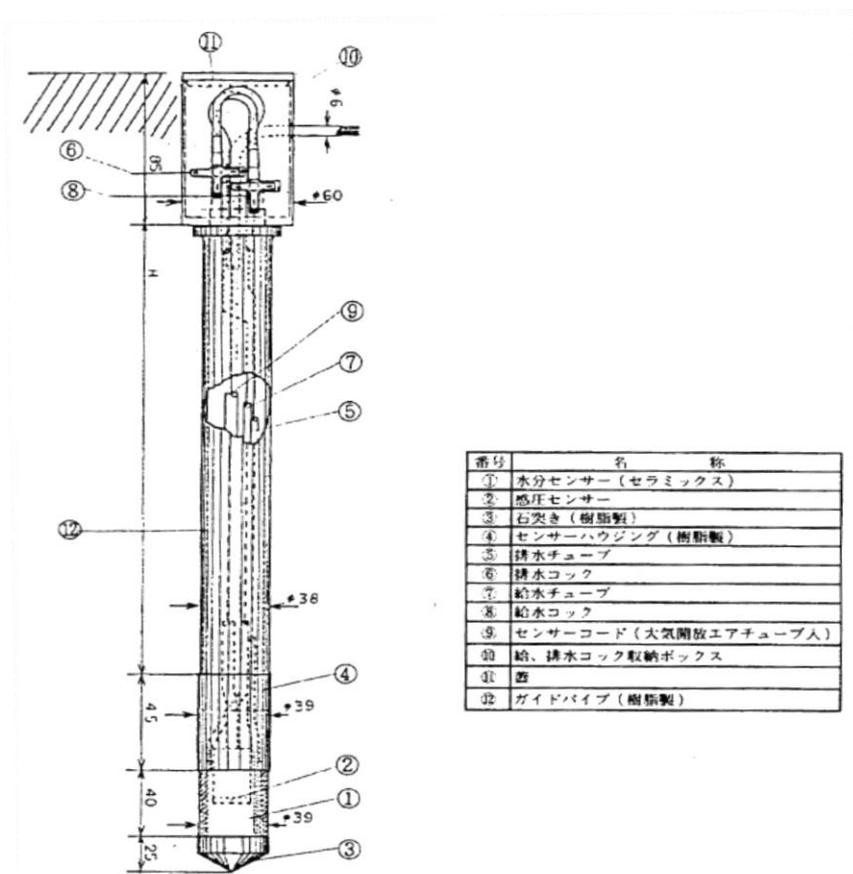


図 2.5 アンサック SK5500-AEL 説明図(サンケイ理化より)

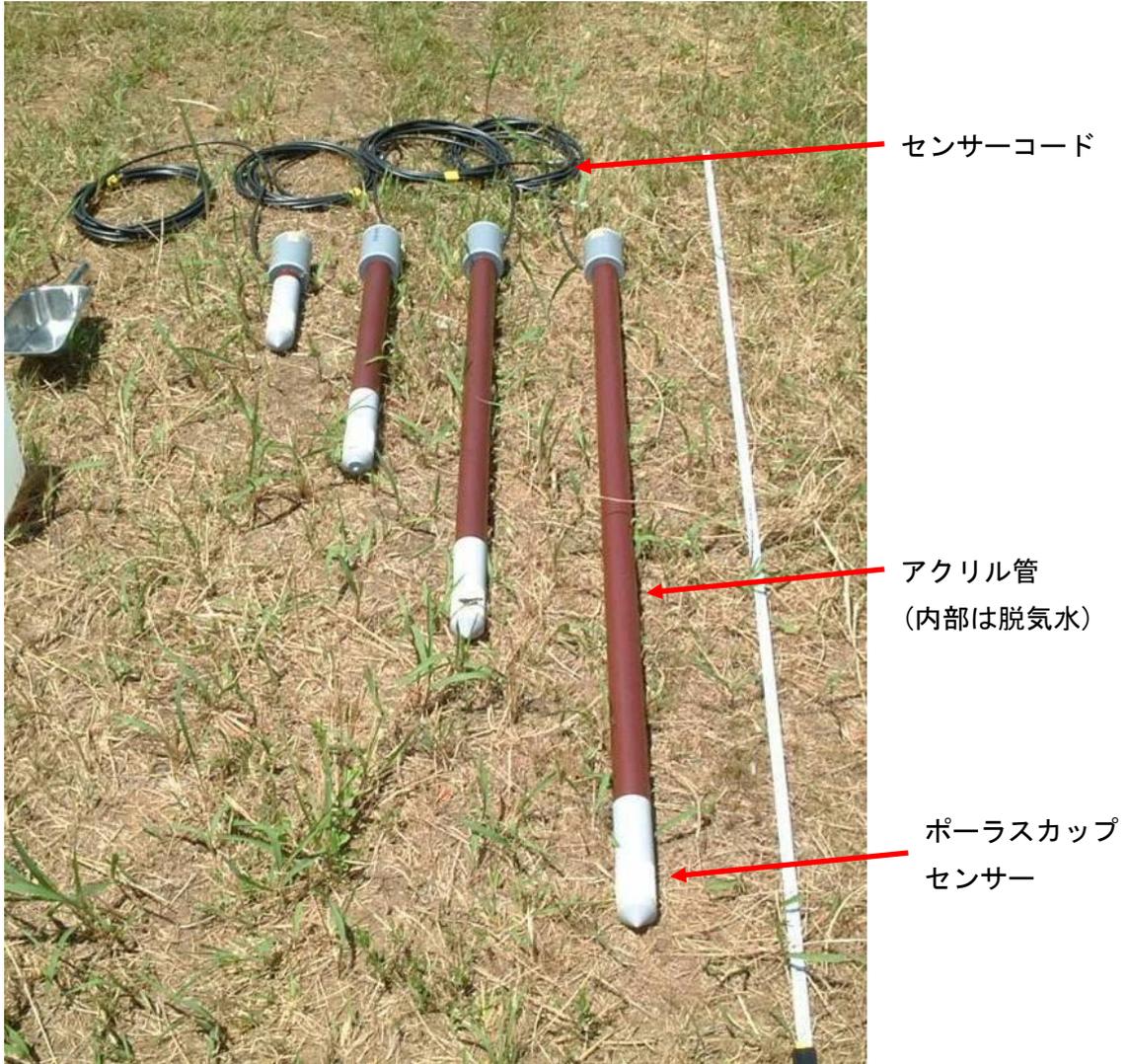


写真 2.4 サンケイ理化製テンシオメータ

2.3.2 雨量計

雨量計は大田計器製作所の転倒ます型雨量計(写真 2.5)を用いている。転倒ます型雨量計は気象庁をはじめ地方自治体や多くの事業者が使用している代表的な雨量計である。

口径 20cm の「受水器」に入った降水(雨や雪など)を「濾水器」で受け、転倒ますに注ぐ。転倒ますは2つの「ます」がシーソーのような構造になっており、降水量 0.5mm に相当する雨水が「ます」に貯まると反対方向に転倒して水を下に排出し、その転倒数を計測することによって「降水量」を知ることが出来る(写真 2.6)¹⁾。

降水量とは、ある時間内に降った雨や雪などの量で、降水が流れ去らずに地表面を覆ったときの水の深さ(雪などの固形降水の場合は溶かして水にしたときの深さ)である。寒冷地で使用されている雨量計はヒーターにより雪を溶かしてから降水量を測るように作られている。今回観測地点に設置した雨量計は普通式であり、雪による降水量は正確に計測できないという欠点がある。



写真 2.5 転倒ます型雨量計外観



写真 2.6 転倒ます型雨量計内部

1) 気象庁 HP http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/b1.htm より引用 (アクセス日時 2011/2/12 19:30)

2.3.3 データロガー

データロガーは写真 2.6 のように収納箱内にまとめている。テンシオメータの入力電圧は直流 12V のバッテリーから賄っており、この出力電圧を変圧器で直流 2V に変圧しテンシオメータに送っている。転倒ます型雨量計からは 1 回の転倒で 0.5mm の降水量という信号を送り、テンシオメータからの出力電圧と共に単三電池 4 本の電源で賄っているユニパルス社のデータロガー UL81 の CF カード内に CSV ファイルとして保存されている。データロガーはテンシオメータと雨量計のものと、地中及び外部温度計用の 2 個が設置してあり、それぞれデータが保存されている。また虫や小動物の侵入を防ぐために、ケーブル用の穴には粘土を詰めて塞いでいる。

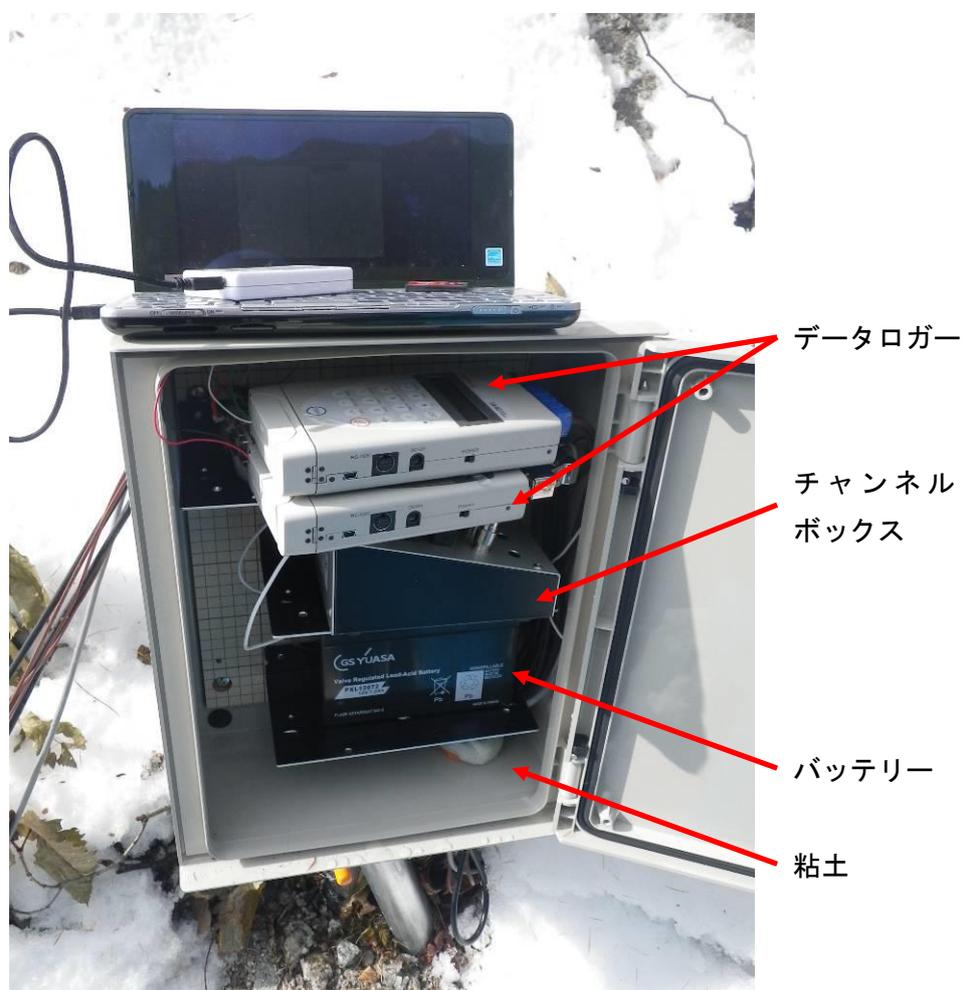


写真 2.7 収納箱内部

2.3.4 積雪計

2012年から2014年にかけては、現地の積雪の状態を確認するため、インターバルカメラとスタックによる簡易的な積雪計を設置した。ポールの上に固定したカメラで正面のスタックを撮影することで積雪の深さを確認する(図2)。ただし12月の中旬にはカメラ本体が雪に埋もれて撮影ができなくなるため、カメラを設置した高さが観測の限界となる。使用したインターバルカメラは、brinno製 Garden Watch Cam。

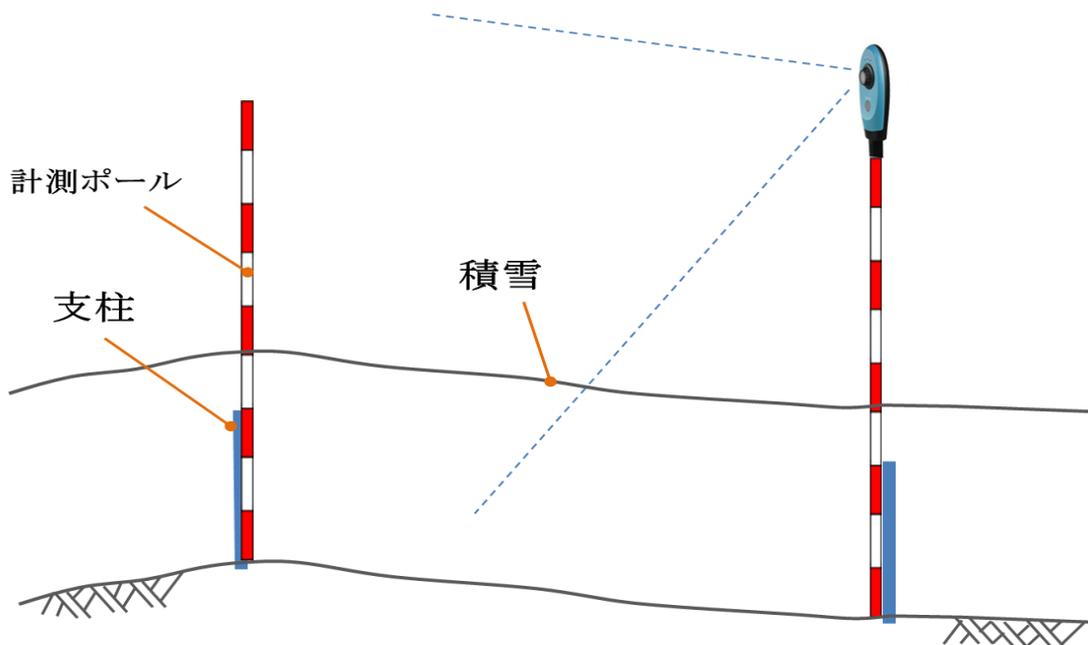


図 2.6 積雪計模式図



写真 2.8 積雪計設置後

2.3.5 インターバルカメラ

インターバルカメラは製「recolo」及 brinno 製「TLC2000」(写真 2.8)を使用した。TLC2000 には専用の防水カバーを装着して使用する。両者とも設定した撮影間隔で自動的に撮影を行い、SD カードに動画として記録される。設置するには洪水や積雪の影響を受けないよう、高い位置にあり、比較的幹の太い木を選んだ。また、2011~2012 年はビニールテープによる固定のみであったため、木から落下し数台のカメラが回収不可能となった。よって 2013 年からは金具と針金による固定を追加し、カメラの紛失を防いだ。



写真 2.9 recolo (上) TLC2000 (下)



写真 2.10 設置状況

2.4 計器の設置とその方法

2.4.1 テンシオメータの設置

使用した用具は以下の通りである。

- a) 写真 2.11 写真 2.12 のようなハンドオーガ・・・テンシオメータを入れる穴の掘削用に使用。
- b) テンシオメータ
- c) シャベル(小型のもの)またはヘラ・・・ハンドオーガに詰まった土砂を取り除くために使用。
- d) 水・・・掘削の穴を固定させるために使用。
- e) 試料採取用ビニール袋
- f) メジャー・・・深度を確認するために使用。



写真 2.11 ハンドオーガ使用時



写真 2.12 ハンドオーガ分解時

①ハンドオーガによる掘削

ハンドオーガは柄の先に刃がついており(写真 2.13)、レバーを回転させることによって掘削することが出来、掘削した土砂は写真 2.13 のようなスポットに収まる仕組みとなっている。そのためある程度掘削すると、スポットの土砂を排出する必要がある。スポットの土砂排出にはシャベル若しくはヘラを用いると容易である。ハンドオーガは柄の部分が取り外し追加可能で、穴の深さが深くなるにつれて、柄の長さを長くする。なお掘削時には自分の腹の高さにレバーが来る状態であると力が入りやすく、この状態であることが望ましい。掘削状況を写真 2.14 に示す。

不動沢は粗粒度の土質であり、掘削した穴が自立せず崩壊してしまう傾向がある。穴を自立させるために水を撒きながら掘削した(写真 2.15)。この方法である程度穴を自立させることは出来たが、完全には自立しておらず掘削速度はあまり上がらない。そのためケーソンを使用して穴を固定しながら掘削することが望ましい。

またある程度の大きさの礫があると、ハンドオーガが目詰まりを起こしてしまい掘削不可能になってしまう。そのため礫を避けて掘り進めるか写真 2.16 のように手で礫を掻き出す必要があり非常に非効率になってしまう。今後不動沢のような粗粒度の土質を掘削するにはなるべく大型のハンドオーガを用いる必要がある。

本来の予定では約深さ 3m 程掘削する予定であったが、以上のような条件下であった為、最も深いものでも深さ 135cm に留まった。



刃

掘削した土砂が入るスポット

写真 2.13 ハンドオーガの先端部



写真 2.14 掘削の様子



写真 2.15 穴に水を撒いて自立させている様子



写真 2.16 礫を手で取り除いている様子

②テンシオメータの設置

掘削した穴にテンシオメータを入れる。穴の壁に接触して崩壊しないように慎重に且つすばやく行うことが重要である。



写真 2.17 テンシオメータの設置

③脱気水の補給

テンシオメータの中に脱気水を充填させる必要があるため、補給を行う。補給方法については2.5.2項で詳しく述べる。



写真 2.18 脱気水の補給

④データロガとのケーブルを接続する

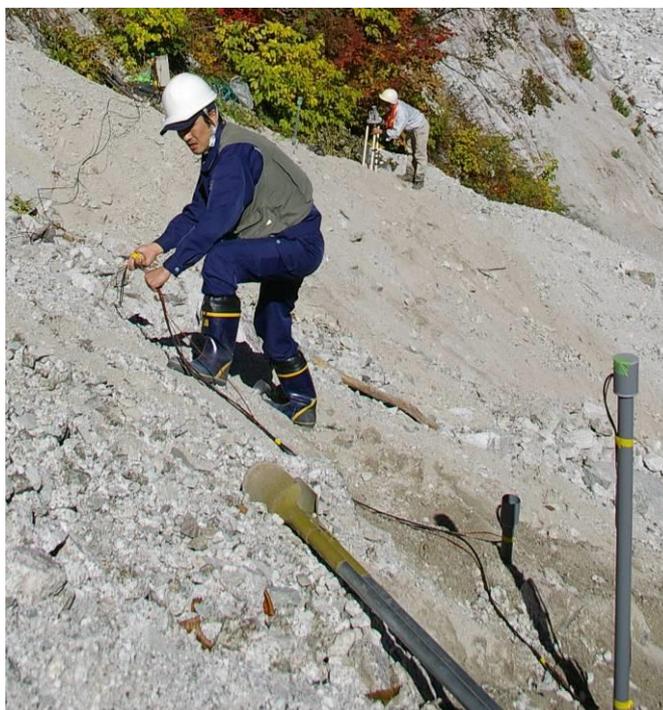


写真 2.19 ケーブルの接続

⑤土の埋め戻し

掘り起こした土を穴に埋め戻し、テンシオメータを安定させる。水を含ませ、締め固めながら埋め戻すのが好ましい。



写真 2.20 埋め戻しの様子

2.4.2 雨量計の設置

2010年

本来正確に雨量を観測するには、気象庁²⁾によると樹木の影響を受けないために樹木から約10mまたは高さの2~4倍離す必要があり、吹き上げ風を考慮して今回設置した斜面上に設置するのは好ましくはない。しかしケーブルの長さに制約がある点、付近に条件を満たし且つ安全である場所が見当たらない為、写真2.2の地点を選択した。

使用した用具は以下の通りである。

- a) 転倒まず型雨量計
- b) 雨量計の支え棒・・・1.5mを3本と接続用3本、雨量計固定用に使用。
- c) 留金具・・・支え棒同士を安定させるために使用。
- d) 六角レンチ・・・金具を固定用させるために使用。
- e) ドライバー・・・雨量計カバー取り外し、取り付ける為に使用。

①棒の設置

転倒まず型雨量計は地面からの跳ね返りを防ぐためある程度の高さに設置することが望ましい。且つ設置地点は斜面上にあるため雨量計を水平に設置する必要がある。そのため今回は写真2.17のような支え棒を用いた。支え棒1.5mの内1mを地中に差込んだ。

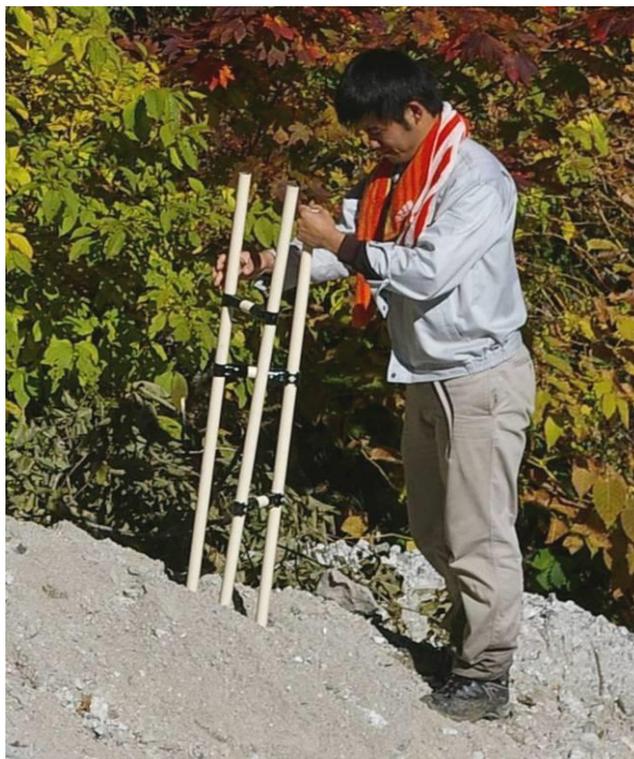


写真 2.21 杭の設置

2) 気象庁 HP http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/b2.htm (アクセス日 2011/02/14 17:00)

②雨量計の接続と水平調整

降った雨が正確に受水器へ入るためには水平に設置しなければならない。写真 2.5 で示した水準器を見ながら、支持棒の高さ調節を行い水平状態にした。最後に 3 本の棒を安定化させるために、棒を留金具それぞれ接続し、データロガと接続を行った。



写真 2.22 水平調整の様子



写真 2.23 設置後の様子

2013年

上記のように2010年には崖錐端部の斜面上に雨量計を設置し、その後はこの位置での観測を2013年の夏まで継続した。しかし毎年積雪や表層崩壊によって雨量計本体が傾く、台座から外れる等の損傷を受けており、2013年の8月には観測機器を設置していた斜面の表層が広い範囲で崩壊したことで本体が支柱ごと流され、回収不可能となった。また、この崩壊によって斜面の勾配がさらに急なものとなり、再度同位置に雨量計を設置するのは困難と思われた。

そこで2013年9月からは、斜面对岸において比較的浸食が少なく、崩壊の可能性が低い(図2.)の位置に雨量計を設置した。手順は2010年と同様である。

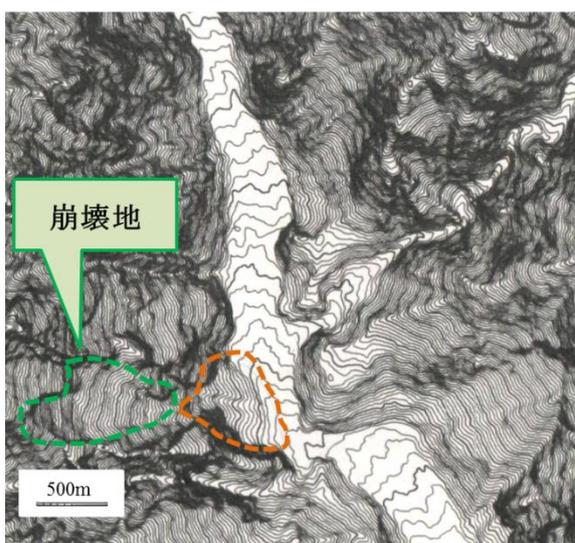


図 2.7 観測地点地勢図

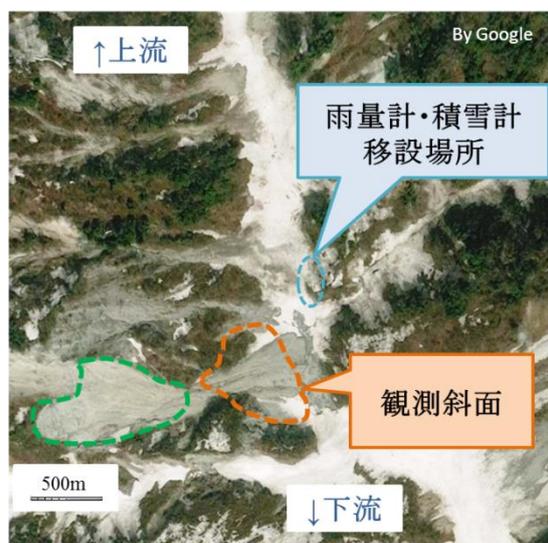


写真 2.24 観測地点航空写真



写真 2.25 対岸に移設した雨量計

2.4.3 データロガーの設置

テンシオメータ及び雨量計は崖錐部の不安定な場所に設置してあるため、大規模な崩壊が起こると消失してしまう可能性がある。もし計器が流出してしまう状況に陥っても、データだけは守る必要がある。そのため収納箱は地山に接した安定な場所(写真 2.2)に設置した。

使用した用具は以下の通りである。

- a) 金属性の杭 2 本
- b) 収納箱本体
- c) 接続金具
- d) 粘土

①杭の打ち込み

1 本を垂直方向に 1 本を斜めに打ち込んだ。



写真 2.26 杭の打ち込み

②収納箱の設置

接続金具を用いて杭と接続し収納箱を設置した。



写真 2.27 収納箱設置の様子



写真 2.28 設置後の様子

③データロガーの収納

設置した収納箱にデータロガー、チャンネルボックス、バッテリーを収納する。

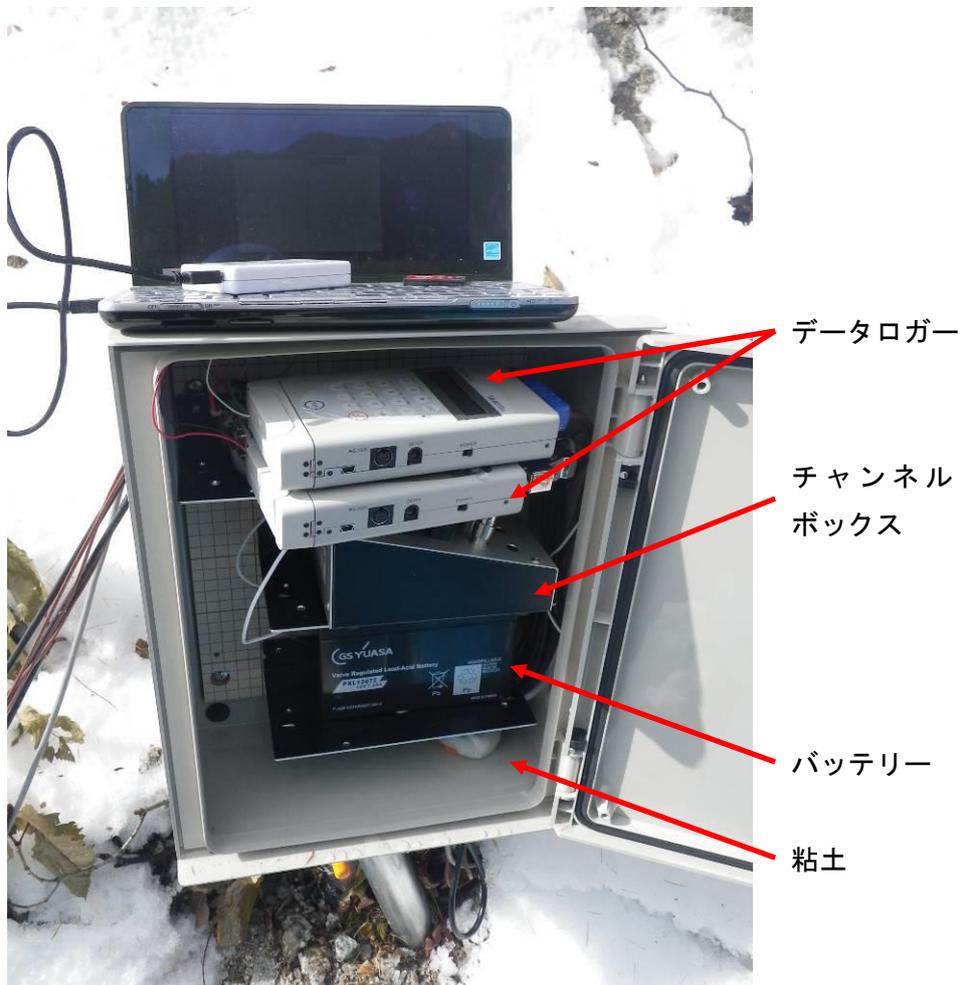


写真 2.29 収納箱内部

2.4.5 積雪計の設置

2012

使用した用具は以下の通りである。

- g) 観測用ポール
- h) 支柱
- i) ビニール紐・ワイヤー
- j) インターバルカメラ



写真 2.30 観測カメラを設置する様子



写真 2.31 観測ポール設置後

2012

雨量計の移設に伴い、積雪計を対岸の同地点に設置した。
設置方法は2013年と同様である。



写真 2.32 観測ポール（手前）及び観測カメラ（奥）

2.5 観測とメンテナンス方法

2.5.1 データログの設定とメンテナンス方法

データログはユニパルス社 UL81 を使用している。詳細な使用方法はユニパルス社 HP(<http://www.unipulse.com/jp/index.html>)に取扱い説明書が掲載されている。ここではデータ観測に必要な取扱いについて説明する。

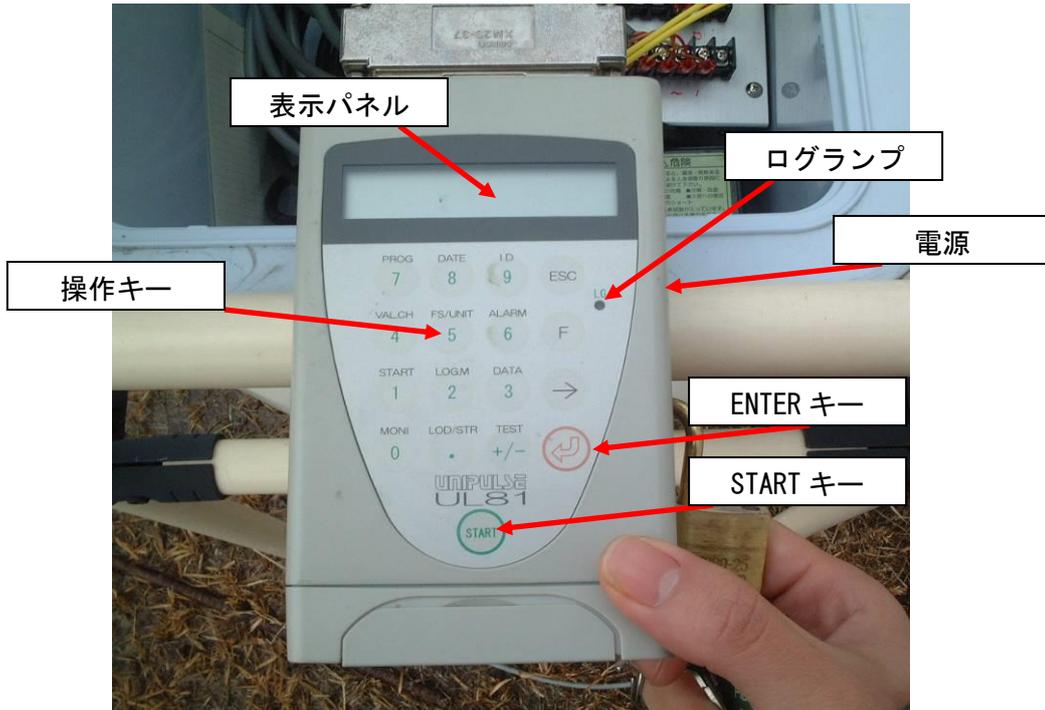


写真 2.33 データログ

キー操作の流れは図 2.8 の通りである。

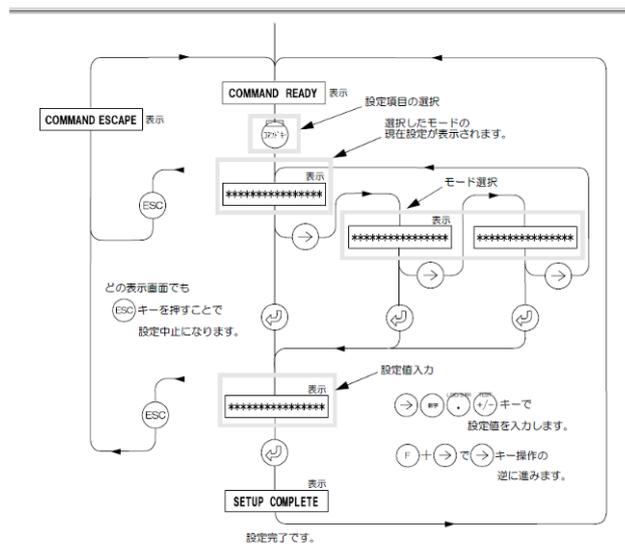


図 2.8 キー操作の流れ (UL81 取扱い説明書より引用)

①ロギング中の場合、「START キー」を長押しすると「Logging stop OK(Y or N)>Y」が表示される。ここで「ENTER キー」を押してロギングを終了させる。その後、CF カードを差し替える。

②ロギングモードの設定

「操作キー」の「2」で操作する。「ロギングインターバル」「サンプリングインターバル」「サンプリング回数」があるが(図 2.9)、設定では「ロギングインターバル」モードを使用している。現在不働沢のインターバル時間は1時間で設定している。

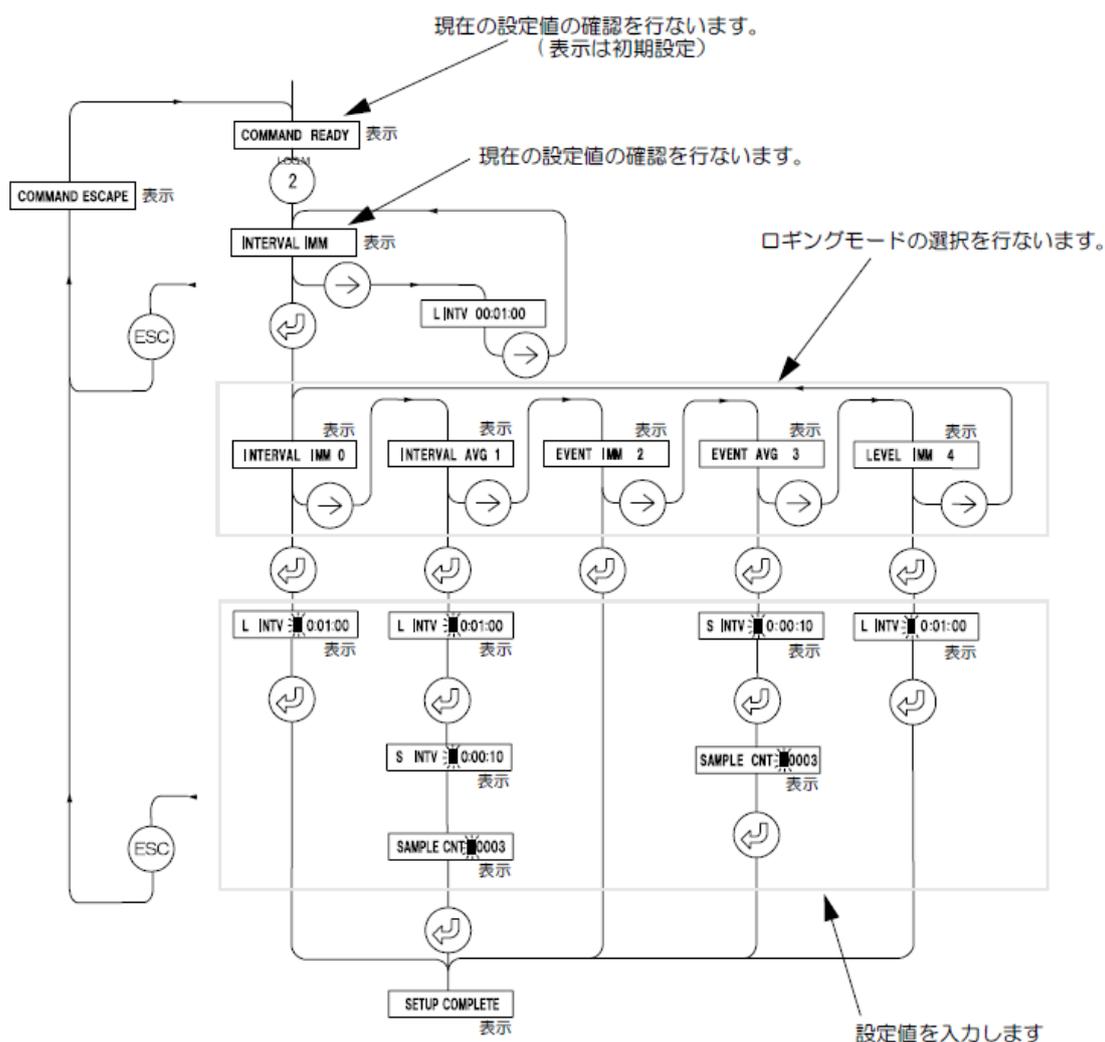


図 2.9 ロギングモード操作の流れ(UL81 取扱説明書より引用)

③時計の設定

データログには内部時計があるが、ずれていることがあるので調整が必要である。「操作キー」の「8」で操作する。日付、時刻の設定をして「ENTER キー」で設定終了時に秒桁は0にセットされる。

ある現在のスタートモードは「カレンダースタート」になっている。「カレンダースタート」を操作し、スタート日時をセットする。なおストップも設定することが出来るが、継続して観測するため設定をしていない。

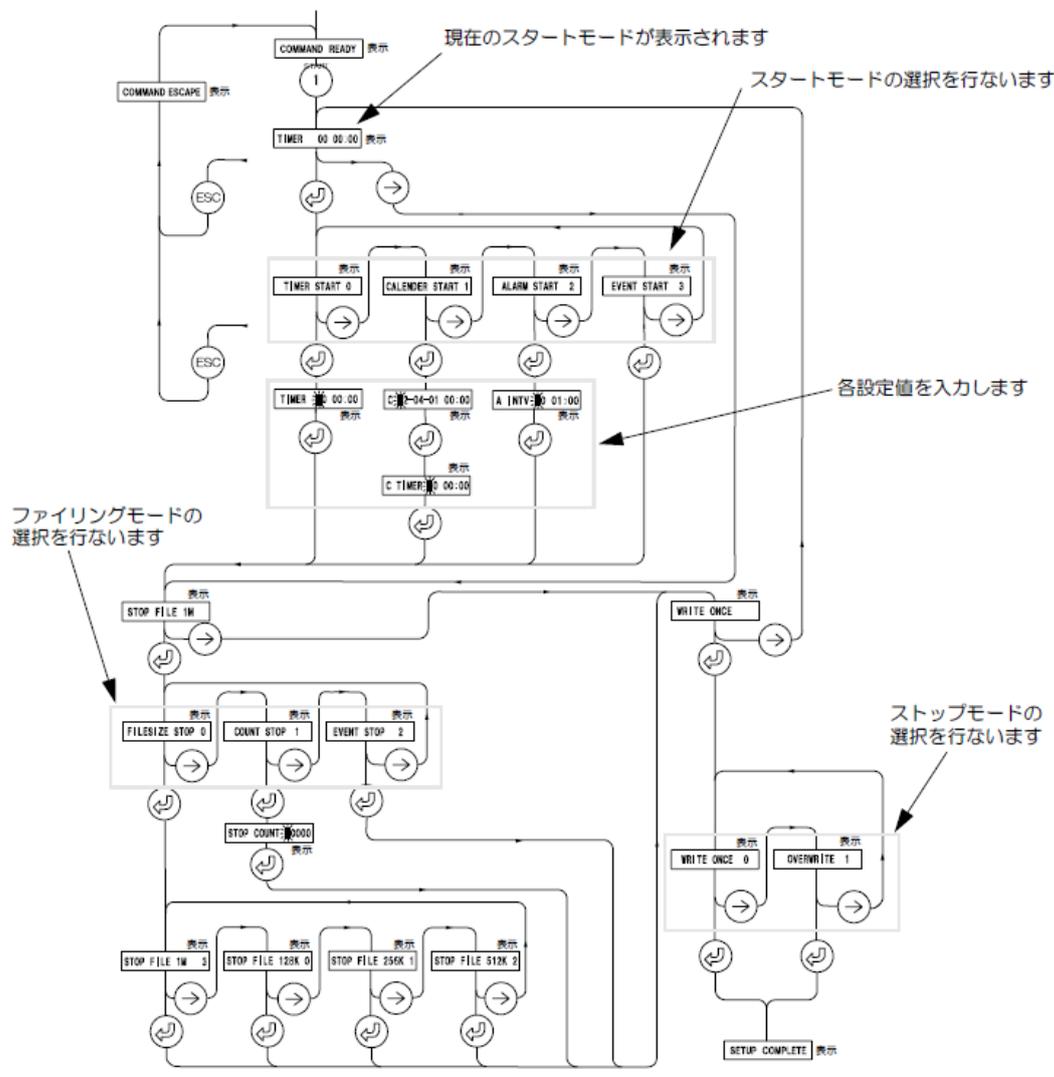


図 2.12 スタートストップモード操作の流れ(UL81 取扱説明書より引用)

⑥ロギングの開始

全ての設定後に行う。「START キー」を押すと「Logging start OK (Y or N) > Y」と表示されるので、「ENTER キー」を押すとロギングが開始され、「表示パネル」の表示が消え「ログランプ」が点滅する。なお電源は ON の状態にしておく。

メンテナンス方法

データロガーはそのデータを紛失することがないように、収納箱内にバッテリー、チャンネルボックスと共に収納してある。しかし毎年降雨や積雪による表層崩壊によって、収納箱本体が傾く、支柱ごと流出する等の損傷を受けており、その都度修復が必要となる。メンテナンスの内容は以下のとおりである。

- ・ 収納箱内の砂の除去
- ・ 配線の再接続
- ・ ロガー本体の清掃
- ・ バッテリーの交換
- ・ 収納箱の補修・交換
- ・ 支柱の再設・収納箱の固定



写真 2.34 斜面崩壊により破損した収納箱（左：2013年、右：2014年）



写真 2.35 修復・補強した収納箱（2014年）

2.5.2 テンシオメータのメンテナンス方法

補給水の交換

負圧状態のテンシオメータではアクリル円筒内の脱気水が土中に流れ、水が少なくなるため、定期的な脱気水の補給が必要である。北村・南部(2004)によると約2ヶ月に1度の脱気水補給が望ましいとされている。以下テンシオメータの脱気水補給方法について説明する。使用した器具は以下の通りである。

- a) 脱気水・・・実験室で作成したものを使用。
- b) 注射器・・・圧力をかけて脱気水をテンシオメータに通すために使用。
- c) 接続用ホース・・・延長用ホースとして使用。

手順を以下に述べる。

- ① テンシオメータの上部ケースを開ける
中には緑(給水用)と黄色(排水用)のホースが収納されている。
- ② 黄色のホースに注射器を接続し、緑のホースに接続用ホースを接続する。
- ③ 給水側接続用ホースの端部(重りがついている方)を脱気水タンクの水の中へしっかりと入れる。
- ④ 緑色、黄色のホースについているコンクを写真 2.36 のように開ける。
- ⑤ 注射器を引き上げる。

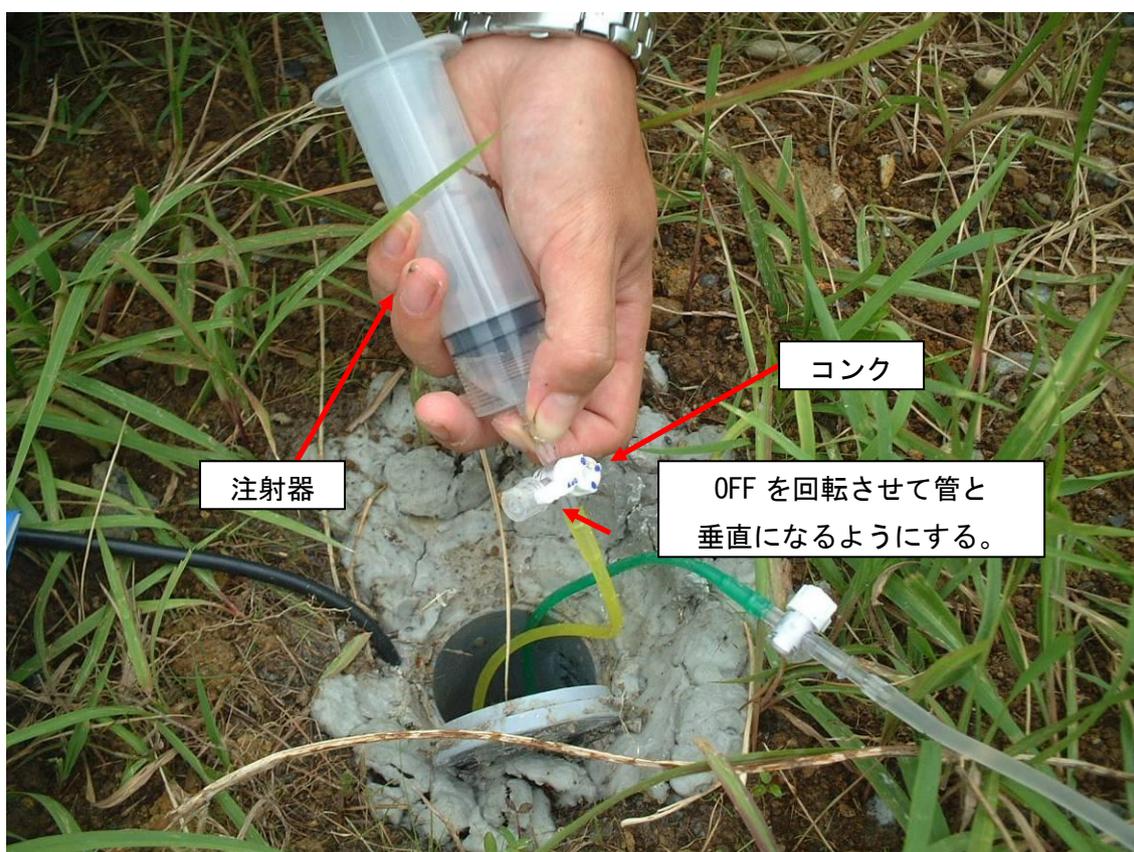


写真 2.36 テンシオメータ脱気水補給時の様子

- ⑥ 注射器に脱気水が入ったら補給完了。
- ⑦ 黄色のコンク(排水)を OFF 状態に戻す。
- ⑧ 緑色のコンク(給水)を OFF 状態に戻す。
黄色→緑色と閉めるがこれは注射器の空気が逆流しないようにする為である。
- ⑨ 注射器と接続用ホースを抜く。

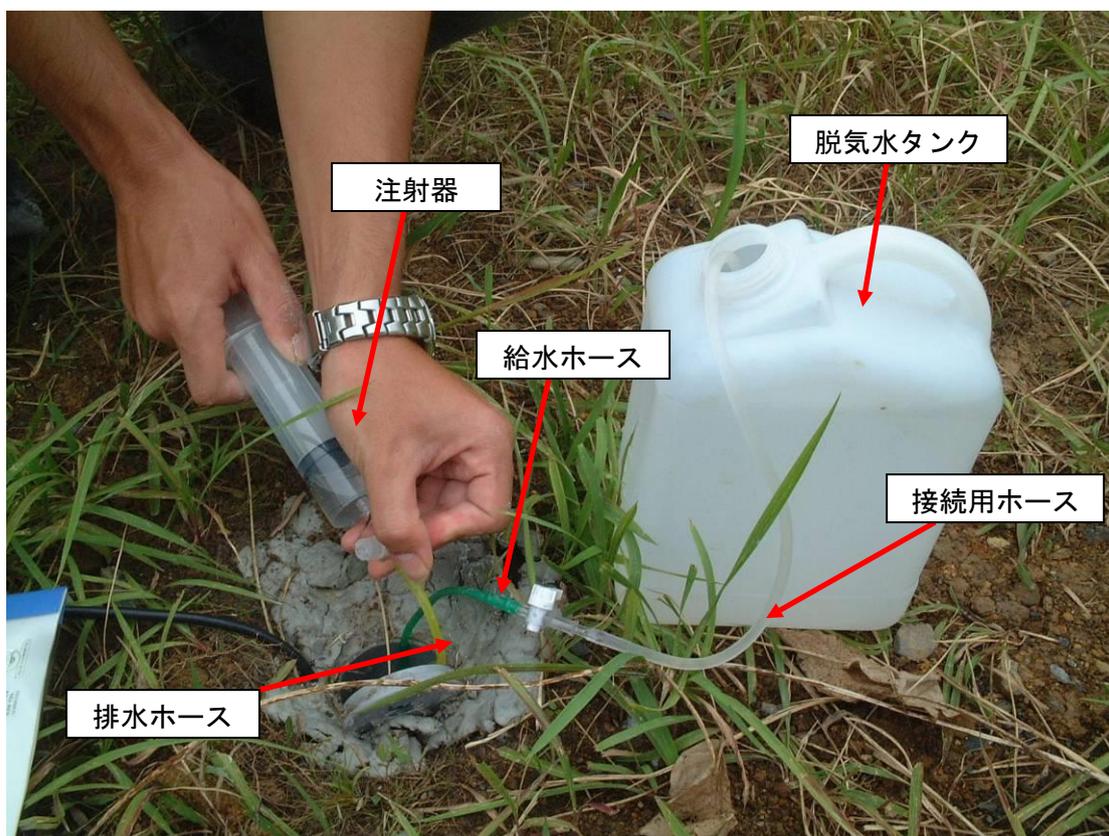


写真 2.37 テンシオメータ脱気水補給の様子(写真は広場 B での補給の様子)

補修

テンシオメータもまた他の機器と同様に積雪、降雨による表層崩壊によって損傷を受けた。特に 2012 年 9 月、2013 年 8 月には損傷が激しいため、本体を新しいものに取り換えた。

2.5.3 転倒ます型雨量計のメンテナンス方法

メンテナンス

転倒ます型雨量計はデリケートな部品を使用しているため保守には十分注意する必要がある。必要な道具は以下の通りである。

- a) プラスドライバー・・・雨量計外部カバーを取り外す為に使用。
- b) 六角レンチ・・・支え棒の金具を緩める為に使用。

以下にメンテナンスの注意点を挙げる。

①受水口や濾水器に落ち葉や砂等の異物が詰まっていないか。

特に樹木の近くにある不動沢では葉が入りやすく 2010年11月のデータ回収時に大量の針葉樹が受水口と濾水器に入っていたので確認が必要である。

②水滴が正しく転倒ますに入っているか。

③転倒ますが正しく動作するか。くもの巣等により正常に動かない恐れもある。

④本体が水平に保たれているか

不動沢では不安定な斜面上に設置しているため、現地での点検及びデータ回収毎に杭の高さ調整を行う必要がある。

補修

雨量計も他の機器同様補修が必要となるが、毎年支柱ごと破壊されるため、その都度付け替えを行っていた。また 2013 年には、斜面崩壊による破損を防ぐため、対岸の平地に雨量計を移設した。



写真 2.38 傾いた雨量計



写真 2.39 対岸に移設した雨量計

2.6 観測結果の整理

2.6.1 テンシオメータデータの校正方法

データログに CSV ファイル方式で保存されているデータは表 2.1 のようにエクセル等で開くことが可能である。しかしテンシオメータのデータは電圧で出力されており、電圧から圧力の単位(Pa、cmH₂O 等)に校正する必要がある。出力電圧から間隙水圧を求めるためには、印加圧力を加え校正した校正表(表 2.2)を基にセンサー毎に校正式を立て、間隙水圧へ変換する。

例：広場 B20cm の場合

$$\text{間隙水圧 P[cmH}_2\text{O]} = (\text{出力値 A[V]} - 1.9982[\text{V}]) / \{(1.9982[\text{V}] - 1.5080[\text{V}]) / 500[\text{cmH}_2\text{O}]\}$$

但し殆どが 0.1V 減少すると 100cmH₂O 下がるので、不動沢の校正式は、

$$\text{間隙水圧 P[cmH}_2\text{O]} = (\text{出力値 A[V]} - 2[\text{V}]) \times 1000$$

を用いて算出した。

```
header   :      UL81 Ver.1.08
ID       :      UL8 0000

start time :      2010/10/23  11:54:30
end time   :      2010/11/12  10:51:31
logging mo:      interval imme  2:00:00
end status:      stop operation
```

COUNT	DATE	TIME	A.CH1[V]	A.CH2[V]	A.CH3[V]	A.CH4[V]	P.CH1[mm]
1	2010/10/23	12:00:00	1.9817	1.9967	2.001	2.003	0
2	2010/10/23	14:00:00	1.9805	1.996	1.9982	2	0
3	2010/10/23	16:00:00	1.9797	1.9955	1.9962	1.9985	0
4	2010/10/23	18:00:00	1.979	1.9952	1.9942	1.997	0
5	2010/10/23	20:00:00	1.9785	1.9947	1.9925	1.996	0
6	2010/10/23	22:00:00	1.978	1.9945	1.991	1.995	0
7	2010/10/24	0:00:00	1.9775	1.9942	1.9895	1.994	0
8	2010/10/24	2:00:00	1.977	1.994	1.9885	1.9932	0
9	2010/10/24	4:00:00	1.9765	1.9937	1.987	1.9922	0
10	2010/10/24	6:00:00	1.976	1.9935	1.986	1.9912	0
11	2010/10/24	8:00:00	1.9755	1.993	1.985	1.9907	0
12	2010/10/24	10:00:00	1.9755	1.9927	1.9842	1.9895	0
13	2010/10/24	12:00:00	1.9752	1.9925	1.9835	1.9892	0
14	2010/10/24	14:00:00	1.975	1.9922	1.9827	1.9885	0
15	2010/10/24	16:00:00	1.9745	1.992	1.982	1.988	0
16	2010/10/24	18:00:00	1.9742	1.9915	1.9812	1.9872	2
17	2010/10/24	20:00:00	1.974	1.9912	1.9805	1.9865	6.5
18	2010/10/24	22:00:00	1.9737	1.991	1.98	1.986	7
19	2010/10/25	0:00:00	1.9735	1.9905	1.9792	1.9855	6.5
20	2010/10/25	2:00:00	1.9735	1.9902	1.9967	2.0075	9.5
21	2010/10/25	4:00:00	2.002	1.9902	2.0055	2.009	8
22	2010/10/25	6:00:00	2.0017	1.99	2.0052	2.0085	6.5
23	2010/10/25	8:00:00	2.0012	2.0015	2.0047	2.0075	1
24	2010/10/25	10:00:00	2.0005	2.0022	2.0042	2.0067	0.5

表 2.1 出力される CSV ファイルの 1 部(不動沢)

アンサック校正表

校正日 2010/7/28 気温 24.8°C

深度 センサーS/N	20cm 001111	50cm 001112	80cm 001113	120cm 001114
-5000	1.5080	1.5087	1.5040	1.5092
-4000	1.6060	1.6070	1.6025	1.6075
-3000	1.7040	1.7049	1.7002	1.7054
-2000	1.8020	1.8027	1.7980	1.8032
-1000	1.9001	1.9012	1.8965	1.9015
0 印可圧力(mmH ₂ O)	1.9982 (V)	1.9990 (V)	1.9945 (V)	1.9995 (V)

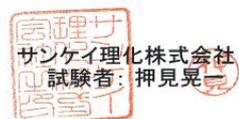


表 2.2 校正表(広場 B)

2.6.2 雨量・温度データ

雨量データと温度計もテンシオメータデータと同様にCFカードに記録されている。表2.2及び表2.3のように雨量データと温度計はそれぞれmm、℃の単位で記録されているためデータの校正の必要は無い。

```
header :          UL82 Ver.1.01
ID      :          UL8 0000

start time :      2010/10/23  11:47:46
end time   :      2010/11/12  10:52:09
logging mo :      interval imme  2:00:00
end status :      stop operation
```

COUNT	DATE	TIME	A.CH1[°C	A.CH2[°C	A.CH3[°C	A.CH4[°C	A.CH5[°C
1	2010/10/23	12:00:00	10.9	11.7	10.2	10.2	18.9
2	2010/10/23	14:00:00	10.9	11.6	9.9	10.1	15.5
3	2010/10/23	16:00:00	10.9	11.6	9.8	10.1	12.5
4	2010/10/23	18:00:00	10.7	11.4	9.6	9.9	9.4
5	2010/10/23	20:00:00	10.6	11.5	9.5	9.9	7.6
6	2010/10/23	22:00:00	10.5	11.4	9.4	9.8	6.1
7	2010/10/24	0:00:00	10.6	11.4	9.5	9.8	5.7
8	2010/10/24	2:00:00	10.6	11.5	9.5	9.9	5.9
9	2010/10/24	4:00:00	10.6	11.4	9.4	9.8	5.7
10	2010/10/24	6:00:00	10.5	11.4	9.4	9.8	5.9
11	2010/10/24	8:00:00	10.6	11.3	9.3	9.8	6.8
12	2010/10/24	10:00:00	10.7	11.4	9.5	9.9	9.1
13	2010/10/24	12:00:00	10.7	11.5	9.4	10	11.1
14	2010/10/24	14:00:00	10.7	11.5	9.4	10	12.7
15	2010/10/24	16:00:00	10.6	11.4	9.3	9.9	11.5
16	2010/10/24	18:00:00	10.5	11.4	9.3	9.9	9.9
17	2010/10/24	20:00:00	10.5	11.3	9.1	9.8	9.1
18	2010/10/24	22:00:00	10.5	11.3	9.2	9.8	8.9
19	2010/10/25	0:00:00	10.4	11.3	9.2	9.8	9
20	2010/10/25	2:00:00	10.5	11.4	9.2	9.8	9.4
21	2010/10/25	4:00:00	10.3	11.3	9.1	9.6	9.7
22	2010/10/25	6:00:00	10.2	11.2	9	9.5	10.1
23	2010/10/25	8:00:00	10.4	11.3	9.1	9.7	11
24	2010/10/25	10:00:00	10.4	11.3	9.2	9.7	12.2
25	2010/10/25	12:00:00	10.4	11.3	9.1	9.7	12.7

表 2.3 出力される CSV ファイルの一部(温度計データ)

2.6.3 インターバルカメラ及び積雪カメラデータ

インターバルカメラで撮影したデータはコマ送りの動画として記録される。そのため、観測結果を整理する際には斜面や積雪量に変化のあった日のコマをキャプチャーし、記録するという手法をとった。



写真 2.40 2013/11/20 の積雪状況



写真 2.41 2013/12/15 の積雪状況

2.7 デジタルカメラによる地形測量

2.7.1 計測目的

斜面崩壊状況を定量的に把握する手段としては、傾斜計の設置と測量が挙げられる。傾斜計を設置して斜面崩壊の様子を把握するのは、いつ崩壊が発生したかということにおいては大きな意味があるが、どの程度崩壊したかを把握するには多くの傾斜計を斜面上に設置しなければならない。測量はどの程度崩壊したかを把握するのに有効な手段である。

計器設置地点のような非常に不安定及び危険な場所で、斜面の形状変化を把握する手段としてステレオ写真測量が多く用いられている。中でも近年デジタルカメラの発達、普及により手軽に写真測量を行うことが可能になった。デジタルカメラでの測量の利点として以下のことが挙げられる。

- ・ フィルムの現像による時間損失がなくなり、リアルタイムでの計測に期待できる。
- ・ パソコンをしようすることによって、容易かつ効率的に写真座標を取得することが可能である。
- ・ 焦点距離が短いためピントが合わせやすく計測に適している。
- ・ フィルムに変わり CCD を用いているため平面性が一定である。

本論文では「デジカメ活用によるデジタル測量入門」(材木ほか 2000)で紹介されている VBA を使用した測量プログラム及び「写真測量ソフト SurveyFromPhoto」を用いて不動沢の解析を行った。

2.7.2 写真測量の概要

写真測量の原理は、フィルム面やデジタルカメラの CCD 面に投影された像と被写体との間の幾何学的関係から被写体の形状に関する情報を取得する技術であり、被写体とレンズ中心、フィルム面や CCD 面との像の 3 点が同一直線上にあるという共線条件を用いる。写真 1 枚では被写体の奥行きを含む 3 次元情報を取得することは困難であるが、異なる 2 ヶ所の位置から撮影した 2 枚 1 組の写真からステレオモデルを構成し、被写体を観測することによって 3 次元情報を求めていくことが出来る。

ステレオ写真を用いて被写体の奥行きを求める原理を図 2.13 に示す。この図から基線長と焦点距離がわかれば、対象物の 3 次元情報を手に入れることが出来る。例えば基線長を測定できない制約のある撮影条件であっても、大きさが既知ものを撮影対象物内に入れることで基線長等の条件を計算でき、写真内の他の対象物の 3 次元情報を手に入れることが出来る。

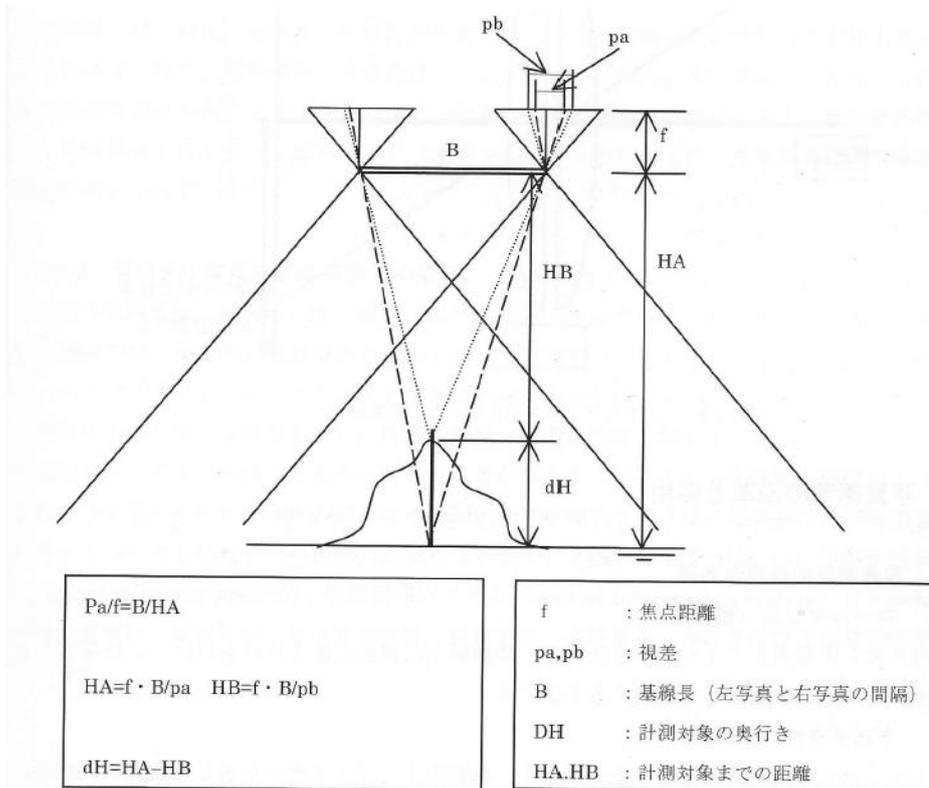


図 2.13 写真測量の原理(材木ほか 2000 より引用)

このような原理を用いた写真測量は、人工衛星・航空機・ラジコン飛行機等を用いて撮影した空中写真測量と、地上から人間の手を用いて撮影した地上写真測量の 2 種類が挙げられる。空中写真測量は、地図の作成、局所的な災害調査、地形調査、植生調査、遺跡調査などに用いられている。一方地上写真測量は、交通事故調査、遺跡調査、構造物の劣化調査、土砂災害調査などに用いられている。

2.7.3 撮影方法

本章では不動沢で実施したおおまかな流れを述べる。ステレオ写真測量の撮影方法は「平行撮影法」「偏角撮影法」「収斂撮影法」の3種類が挙げられる(図 2.14)。表 2.4 に各撮影法の特徴を示した。精度に関しては、2台のカメラ光軸を平行にしているため写真の縮尺が同じになる平行撮影法が高いが、不動沢のような地形が厳しく撮影条件が制約される場所で実施することが不可能であった。一方収斂撮影法は、複数の撮影地点から同一地点に向かって撮影する方法であり、被写体を斜めから撮影するため写真の左右で縮尺差が生じ精度が劣化するが、撮影時の制約が少なく自由度が高い撮影方法のため、地形が厳しい不動沢ではこの撮影方法を使用した。

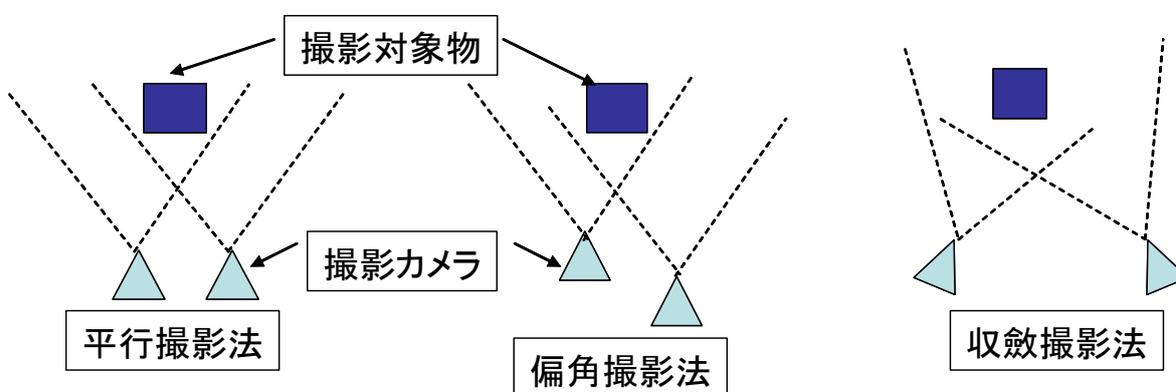


図 2.14 撮影方法模式図

撮影方法	説明	精度	場所
平行撮影法	2台のカメラ光軸を平行にし、基線と光軸が直角に交わるようにした撮影法	◎	△
偏角撮影法	カメラ軸を同じだけ偏角にして撮影する方法	○	○
収斂撮影法	複数の撮影地点から同一地点に向かって撮影する方法	△	◎(険しい地形でもOK)

表 2.4 各撮影方法の概要 はじめにカメラの各種情報を取得する必要がある。必要な情報は「カメラの焦点距離[mm]」「画素サイズ(CCDの分解能)[mm]」「縦横の撮影画像のピクセル数」である。「画素サイズ」に関しては、デジタルカメラの取り扱い説明書に記載されている「感光面サイズ」の縦または横の長さを、「画素数」の縦または横で割った値である。

撮影にはなるべく画素数の大きいカメラを使用する必要がある。本論文では「PENTAX 社 istDS2」を使用して撮影を行った。

次に写真撮影に必要な道具について述べる。必要な道具は以下の通りである。

- ・ 高画質デジタルカメラ…セルフタイマーモードがあるものが好ましい。
- ・ 三脚…カメラを安定させるために使用した。
- ・ 水準器 2 個(カメラ用、アングル材用)…カメラとアングル材をそれぞれ水平垂直に設置するために使用した。
- ・ アングル材 3 本…基準点として使用した。
- ・ アングル材接続用具
- ・ パスポイント用の目立つもの

以下写真測量の手順を述べる。

① 撮影場所の決定

撮影場所は、撮影対象となる不動沢の崖錘がフレームに入り、三脚の設置出来る安定した地点にする必要がある。また、今後定点観測を行っていくことを考慮し、地形変化の起こりづらい地点を選んだ。不動沢の撮影対象物は巨大であり、1対2枚の写真では収まらなかったため、向って左の下流側斜面と向って右の上流側斜面の2つに分けて撮影を行った。



写真 2.42 下流側斜面撮影点 1



写真 2.43 下流側斜面撮影点 2



写真 2.44 上流側斜面撮影点 1(人が写っている地点)



写真 2.45 上流側斜面撮影点 2(人が写っている地点)

② 基準点の設置

本論文では「収斂撮影法」を用いており、基線長が未知のため、撮影対象物内に大きさが既知のものを置く必要がある。そのため基準点として写真 2.46 のようなアングル材を XYZ3 方向でそれぞれ水平・垂直に置くことで、長さ情報と X 軸 Y 軸 Z 軸の設定を行った。この基準点設定を正確に行わなければ、写真測量の結果に誤差を生むことになるため、水準器を使用した。またこのアングル材を利用した基準点は、写真測量の際に 2 方向のカメラから写る目立つ上に安定した位置に設置する必要がある。



写真 2.47 アングル材を使用した基準点③ パスポイントの設置

不動沢の撮影地点は同じような礫が堆積している地形のため、冬季の積雪時を除いて 2 枚の写真を繋ぎ合わせる「パスポイント」の目印となるものが見つかることが困難になる。そこで写真 7.3 のような赤いビニルテープを巻いた棒を用いた。但しこの棒を用いても撮影地点から離れた斜面上部では見つかることが困難であったため改善が必要である。



写真 2.48 パスポイントに利用した棒④ 写真撮影

対象斜面が写るようにカメラを設置し、当倍率で撮影しなければならない。また、撮影時にカメラがぶれることを防ぐために、セルフタイマーを設定し撮影を行った。

2.7.4 解析方法

材木ほか(2000)による解析方法

ここでは「デジカメ撮影による デジタル測量入門」(森北出版 2000)の解析方法について述べる。解析方法の流れを表 5.2 に示す。

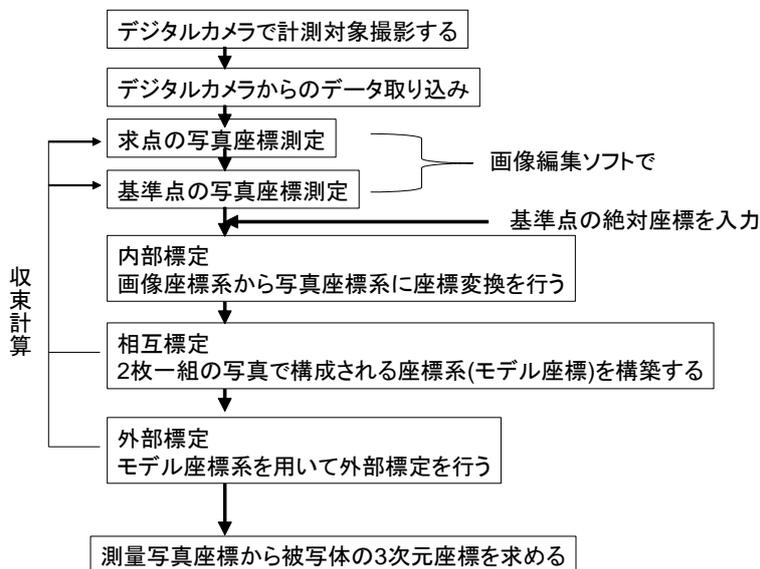


表 2.5 立体写真測量の流れ

画像に写っている求点(パスポイント)及び基準点の座標は、「Microsoft Paint」を使用して算出し、内部標定、相互標定、外部標定については「デジカメ撮影による デジタル測量入門」に記載されている VBA プログラムを使用した。

以下流れを説明する。

- ① 画像編集ソフト「Microsoft Paint」を使用した対応する求点座標の算出。

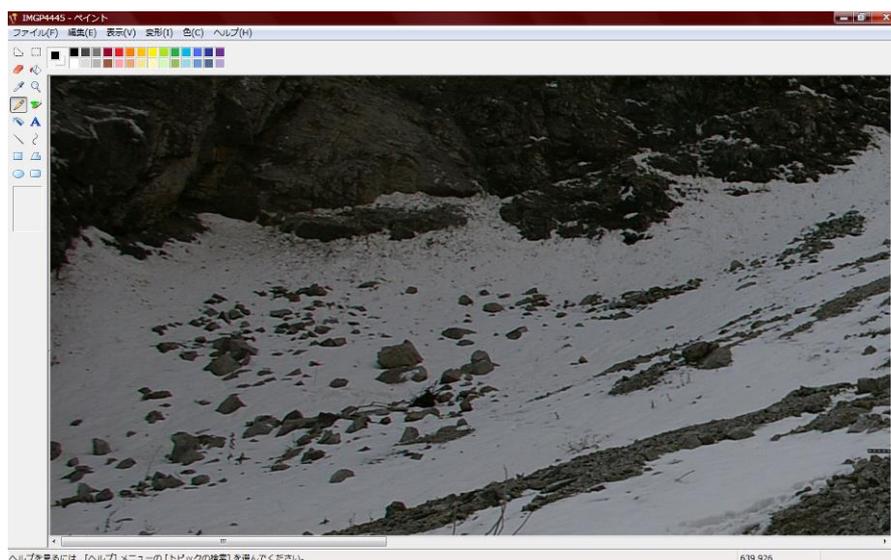


図 2.15 Microsoft Paint の様子(カーソルを合わせると右下に座標が表示される)

② 「Microsoft Excel」に各データを入力

求点を固定パスポイントとして入力する。また撮影カメラのデータ、基準点の座標データも合わせて入力する。求点以外の対応点を画像全体に 10 ヶ所程度まんべんなく配置し、パスポイントとして入力する。

③ マクロの実行

マクロを実行して対応点の座標を算出する。

「SurveyFromPhoto」の解析方法

「デジカメ撮影による デジタル測量入門」(森北出版 2000)の解析方法は、画像に写っている求点、基準点を「Microsoft Paint」等の画像編集ソフトを使用して手作業で座標を求める必要があるため、非常に作業効率が悪くなる。そこでデジタルカメラを使用した写真測量用のソフト「SurveyFromPhoto」を使用して解析を行った。

「SurveyFromPhoto」はフリーソフトであり使用できるツールこそ少ないものの、既製の測量ソフトとして有名なクラボウ社製 Kuraves と同様の原理で解析を行っている。このソフトは 2 枚のペア画像内で共通する地点をソフト上で指定しながら、三角測量の原理で三次元座標を得るものである。

このソフトの利点としては以下のことが挙げられる。

- ・ 画像上で共通する地点を選択でき、無駄な作業を省くことができる。
- ・ 3次元の立体図を組み立てることができる。
- ・ 距離計算のみでなく面積、体積計算を行うことも出来る。

以下、使用方法の流れを説明する。

- ① 2枚のペア画像内で共通する地点をソフト上で指定しながら結ぶ。

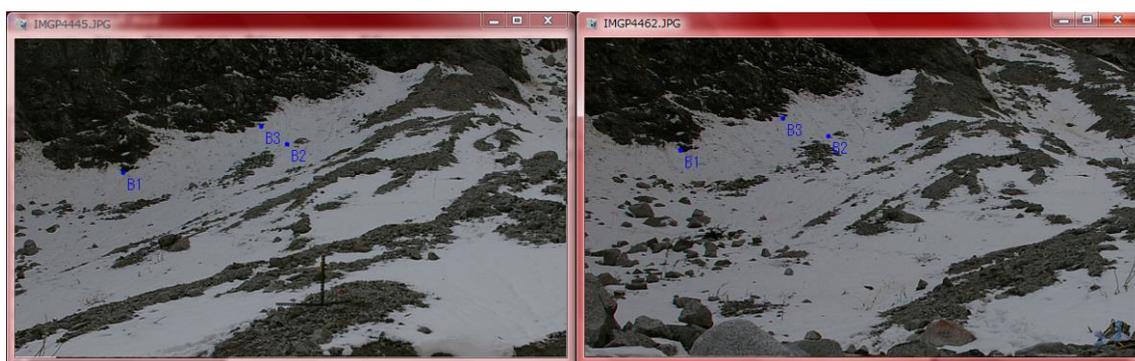


図 2.16 ポイントを結びつける様子

② 対象の3次元化及びポリゴンの作成

作成したポリゴンが不完全であれば(図 5.5)、対応点を増やしてより完全にしていく。対応点を増やせば増やすほど、3次元の立体図がより鮮明になっていく。

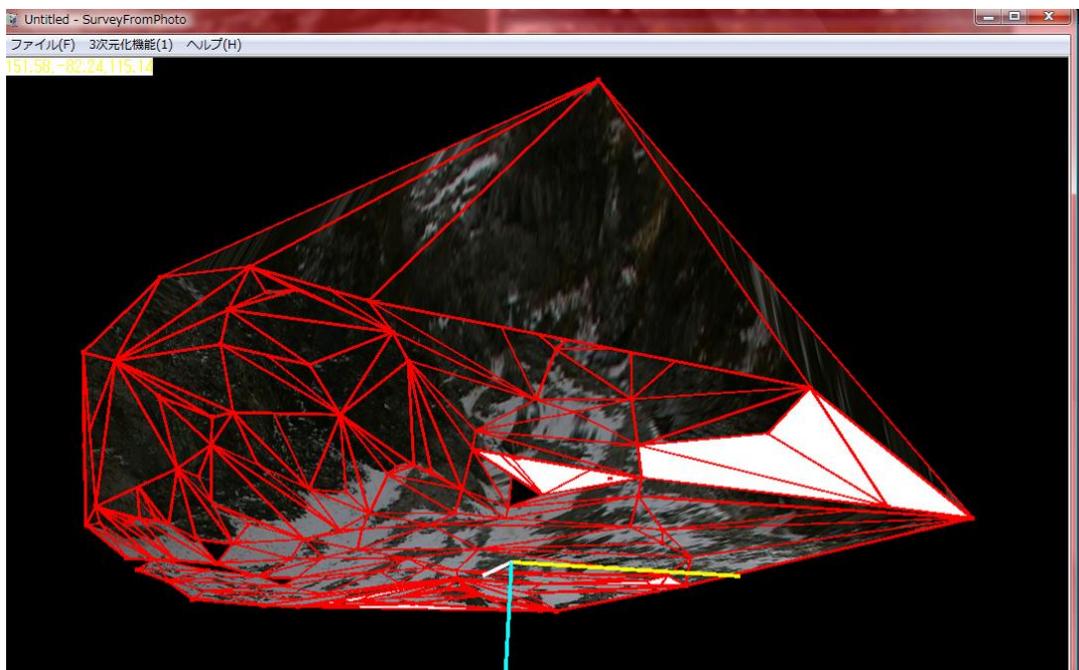


図 2.17 不完全な3次元データ

③ 基準点座標の入力

基準点の既知のデータを入力することで、3次元立体図の各長さを求めることが可能となる。

第3章 広場Bの現地観測システム

3.1 広場Bの概要と設置目的

首都大学東京内広場Bについて図3.1に示す。広場Bのある八王子市南大沢地域は元来図3.2のような多摩丘陵の起伏に富んだ地形であったが1960年代からの大規模造成によって切土・盛土が行われた。その結果、現在はEL.120m～130mの傾斜がない平坦な地形となっている。

広場Bの柱状図(図3.3)によると、広場Bは層厚約16mの盛土上に立地していることがわかる。今回の掘削によって推定した柱状図(図3.4)から深さ30cmまでは草の腐食等による表土があり、その下に黒色の細砂礫が深さ50cmまである。細砂礫の下はローム質の盛土によって構成されている。

年間平均降雨量と月間平均最高気温、最低気温、年間平均気温は現場から約5km離れたアメダス八王子にて、それぞれ1572mm、30℃、-2℃、26℃となっている。

現場は草によって覆われているが、夏場に除草が行われており、草の丈は最大時でも高さ50cm程度となっている。

不動沢は山岳地帯にありアクセスしにくく、冬季はアクセス不可能となるため常時観測状況を把握するのは困難である。広場Bは常に監視が出来る為トラブルに対処しやすいという利点がある。また不動沢のような山岳急傾斜地と広場Bのような平坦な土地が、観測結果にどのような差が出るのかという点がある。この2点が広場Bに計器を設置した目的である。

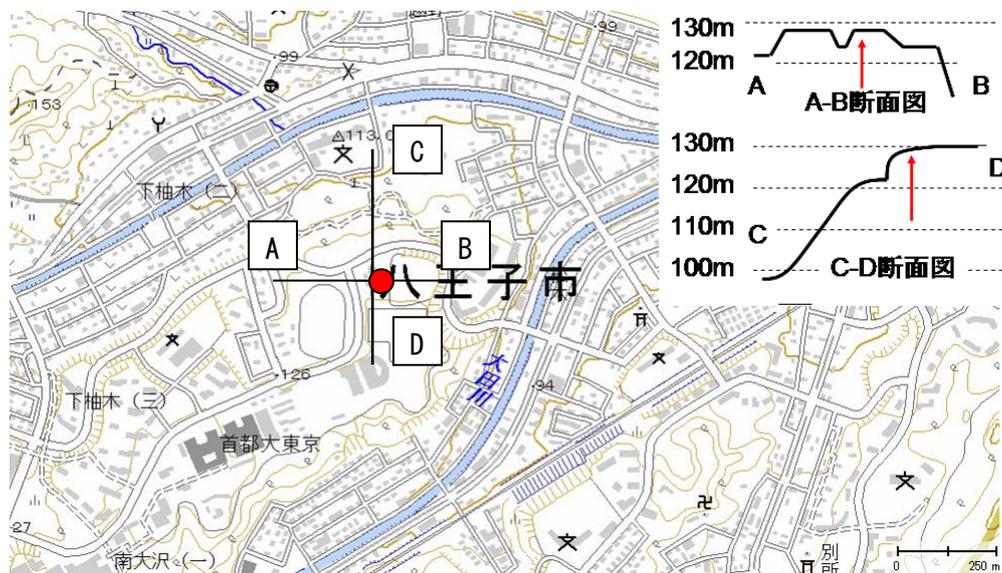
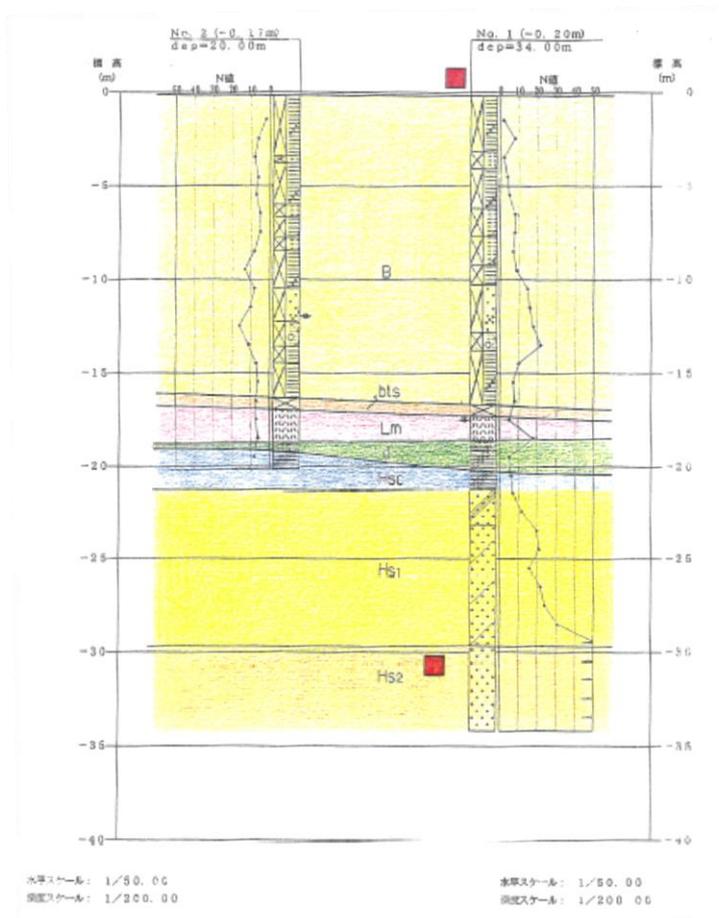


図3.1 広場B概要図



図 3.2 造成前の広場 B 周辺の様子



地層区分凡例

地質時代	地層名	記号	主な土質	上限分布深度	N値		
第四紀	現世	盛土	B	礫混じり粘土 細砂	-0.20~-0.17	2~22	
	更新世	旧表土	bls	黒ぼく	-16.70~-16.32	7	
		新期ローム層	Lm	火山灰質粘性土	-17.30~-16.97	5~7	
		崩積土層		砂礫 シルト質粘土	-18.72~-18.60	5~18	
			最上部砂泥層	HsC	砂質粘土	-20.20~-19.17	6~8
		第三紀	第1砂質土層	Hs1	粘土質細砂 粘土混じり細砂	-21.20	7~52m
			第2砂質土層	Hs2	細砂	-29.70	54~75m

備考: N値>50は貫入量30cmあたりに換算した値。

図 3.3 広場 B のボーリング柱状図と分類(野田 1999 より引用)

3.2 観測計器

広場 B に設置した計器は、テンシオメータ方式間隙水圧計(サンケイ理化製アンサック SK-5500-AEL)を深さ 20cm、50cm、80cm、120cm に計 4 本と大田計器製作所製の転倒ます型雨量計である。いずれも不動沢に設置した計器と同様の形式であり、各計器の仕様については 2.3 項に掲載しているため省略する。計器設置概要図及び写真を図 3.5 写真 3.1 にそれぞれ示す。

各データは収納箱内にあるデータログ(ユニパス社製 UL81)の CF カードに収納されている。

なお広場 B には地下水位観測用に穴を 1 つ掘削しており手動にて観測を行っている。

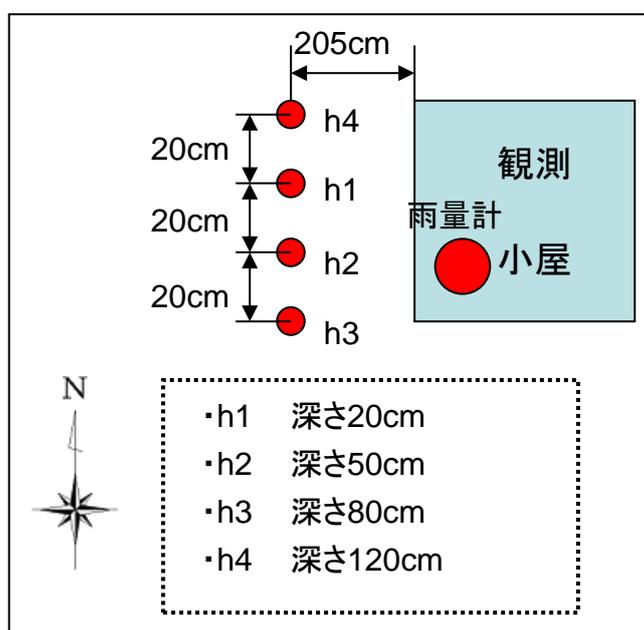


図 3.5 広場 B 計器設置状況概要図



写真 3.1 広場 B の様子 (2011/2/17 撮影)

3.3 観測計器設置方法

3.3.1 テンシオメータの設置

使用したテンシオメータを写真 3.2 に示す。使用した用具は以下の通りである。

- a) ハンドオーガ・・・テンシオメータを入れる穴の掘削用に使用。
- b) テンシオメータ
- c) シャベル(小型のもの)またはヘラ・・・ハンドオーガに詰まった土砂を取り除くために使用。
- d) 試料採取用ビニール袋
- e) メジャー・・・深度を確認するために使用。



写真 3.2 設置したテンシオメータ(右から 120cm、80cm、50cm、20cm)

①ハンドオーガによる掘削

設置手順は不動沢と同じであるが、広場 B は細粒度の土質であるため掘削した穴が自立しやすい。その為掘削は比較的容易であったが、図 3.5 に掲載したように一部で細砂礫が混入している層があり、この部分の掘削が困難であった。また粘り気の強いローム質の土質であったためハンドオーガのスポットに溜まった土を落とすことが難しく、シャベルやヘラを用いた。



写真 3.3 ハンドオーガによる掘削

②テンシオメータの設置

掘削した穴にテンシオメータを埋設した。



写真 3.4 テンシオメータの埋設

③土の埋め戻し

掘削で発生した土を締め固めながら埋め戻した。



写真 3.5 土の埋め戻し



写真 3.6 埋設後の状況

④データロガとテンシオメータをケーブルで接続する。

⑤ベントナイトを敷く

降雨時に雨水や表流水がテンシオメータの亚克力円筒を伝って流れることを防止するために表面に不透水層であるベントナイトを敷いた。



写真 3.7 ベントナイトを敷いた後の様子

3.3.2 雨量計の設置

2.4.2 項で挙げた気象庁²⁾が推奨している正確に雨量を観測する条件を考慮して、広場 B 地震観測小屋の屋上中心部に転倒まず型雨量計を設置した。

使用した用具は以下の通りである。

- a) 転倒まず型雨量計
- b) プラスドライバー・・・雨量計カバー取り外し、取り付ける為に使用。
- c) 鉄製アングル材 4 本・・・雨量計安定させる為に使用。
- d) 留め金・・・アングル同士を固定させる為に使用。
- e) アングル材用ボルトとナット・・・雨量計とアングル材を固定させる為に使用。



写真 3.8 使用した転倒まず型雨量計及びアングル

①アングル材の組み立て

広場 B では鉄製アングル材を用いて格子状に組立てることによって雨量計を安定させた。アングル材同士は留め金で固定した。

②雨量計の固定

転倒まず型雨量計の 3 本足とアングル材をボルトとナットを用いて固定した。



写真 3.9 設置後の転倒ます型雨量計

3.3.3 収納箱の設置

広場 B は誰でも入れる上に猫などの小動物がいる環境である。以上の点に注意して設置を行った。

使用した用具は以下の通りである。

- a) 収納箱本体
- b) 金属性棒・・・収納箱を安定させるために使用した。
- c) 金属性鎖・・・収納箱が関係者以外に開けられないようにするため設置した。
- d) 南京錠・・・収納箱が関係者以外に開けられないようにするため設置した。
- e) 接続金具・・・棒同士を固定させるために使用した。
- f) 六角レンチ・・・接続金具を締める為に使用した。
- g) ハンマー・・・棒を地面に打ち込む為に使用した。

①金属性棒の打ち込み

ハンマーを使い収納箱を安定させる棒を4本打ち込んだ。



写真 3.10 杭の打ち込み

②棒の組立と収納箱設置

収納箱を上に乗せられるように棒を組立て、金属金具で固定し、収納箱を上に乗せた。



写真 3.11 収納箱設置後

③鎖及び南京錠の取り付け

広場 B は誰でも入ることが出来る環境のため、収納箱が関係者以外に開けられないようにするため設置した。



写真 3.12 鍵及び鎖の取り付け

3.3.4 地下水位観測孔の掘削

地下水位を観測する為に穴を掘削した。使用した用具は以下の通りである。

- a) ハンドオーガ・・・掘削用に使用した。
- b) シャベルまたはヘラ・・・ハンドオーガのスポットに詰まった土の除去用に使用した。
- c) 塩化ビニル管・・・掘削後穴を自立させる為に使用した。

①観測孔の掘削

ハンドオーガを用いて掘削した。スポットに詰まった土砂の除去にシャベルやヘラを使用した。



写真 3.13 ハンドオーガを用いた掘削



写真 3.14 設置後の様子

3.4 観測とメンテナンス方法

テンシオメータのメンテナンス方法、転倒ます型雨量計のメンテナンス方法は不動沢と同様の為、2.5.2・2.5.3 項にそれぞれ記述した通りである。この項では広場 B におけるデータログのメンテナンスと地下水位の計測方法についてまとめる。

3.4.1 データログのメンテナンス

本観測システムはデータログが単三電池で、テンシオメータの計測はバッテリーで駆動しているため、両方とも定期的な電池交換及びバッテリーの充電が必要である。収納箱内の状況を写真 3.15 に示す。不動沢で観測状況を確認したのは 1 度のみであるため、広場 B での本年度の電池消耗状況から適切な交換時期について述べる。

過去 2 度電池が消耗し観測が行えなくなっている。2010/8/12 に観測を開始したが、2010/10/31 に電池消耗によって観測が出来なくなっている。また 2010/11/12 にデータ観測を再開したが、2011/2/12 に電池消耗によって観測が出来なくなっている。冬季は電池消耗しやすいところを加味して、継続して観測を行っていくためには、2 ヶ月に 1 回の電池交換が必要である。

バッテリーに関しては 2010/11/12 に充電したバッテリーが 2011/1/18 に消耗しており、2 ヶ月に 1 回の定期的な充電及びバッテリー交換が必要である。なおバッテリー取り付け時に極を逆に取り付けると変圧器が故障するため

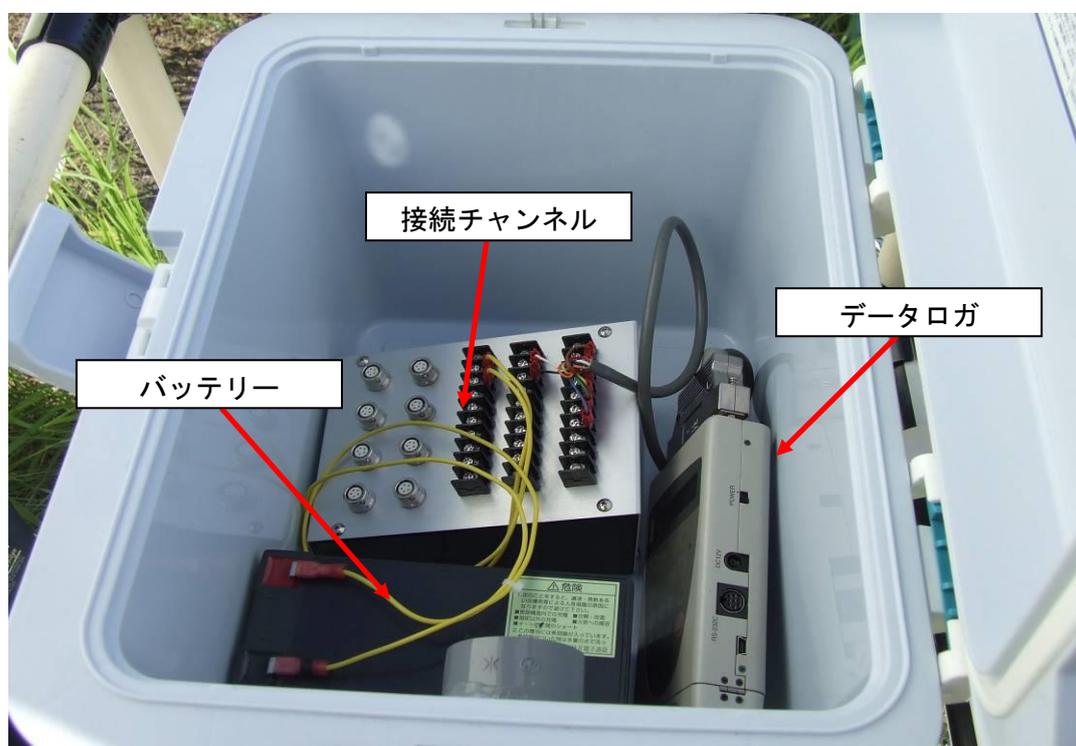


写真 3.15 収納箱内

3.4.2 地下水位の計測方法

地下水位は手動で観測している。観測に必要な道具は以下の通りである。

- a) 長さ 2m 程の棒
- b) 木の板・・・地下水の高さを判断しやすくする為に使用した。
- c) メジャー
- d) マジック

①棒と木の板を組み合わせて計測棒を作る。



写真 3.16 計測棒

②地下水高の計測

観測孔に観測棒を入れる。GL と平行な観測棒の部分にマジックで印を付け、観測棒を引き抜く。木の板が濡れている地点との差を計測することで地下水高を計測できる。計測にはメジャーを用いた。

第4章 粒度試験と土粒子密度試験

4.1 試料の採取

不動沢及び広場 B の計測地点でどのような土質であるかということを定量的に調べるため、粒度試験及び粒度試験の中の沈降分析に必要な土粒子密度試験を行った。

不動沢に関する試料は下記の5種類である。各試料は 2010/11/13 のデータ回収時に粒径 75mm 以上の石分をさけて採取した(図 4.1)。

①不動沢上流部で土中水分計測および雨量観測をしている崖錘の下流部から採取した4種類の試料(試料 No. 1~4)。試料は4種類あるがいずれも同一地点で採取した。

②不動沢中流部にある土砂ダムから採取した試料(試料 No. 5)。

広場 B についての試料は下記の4種類である。2010/6/17 の地下水観測孔掘削時に採取した試料を用いた。

①深さ 10cm、深さ 30cm、深さ 90cm、深さ 180cm

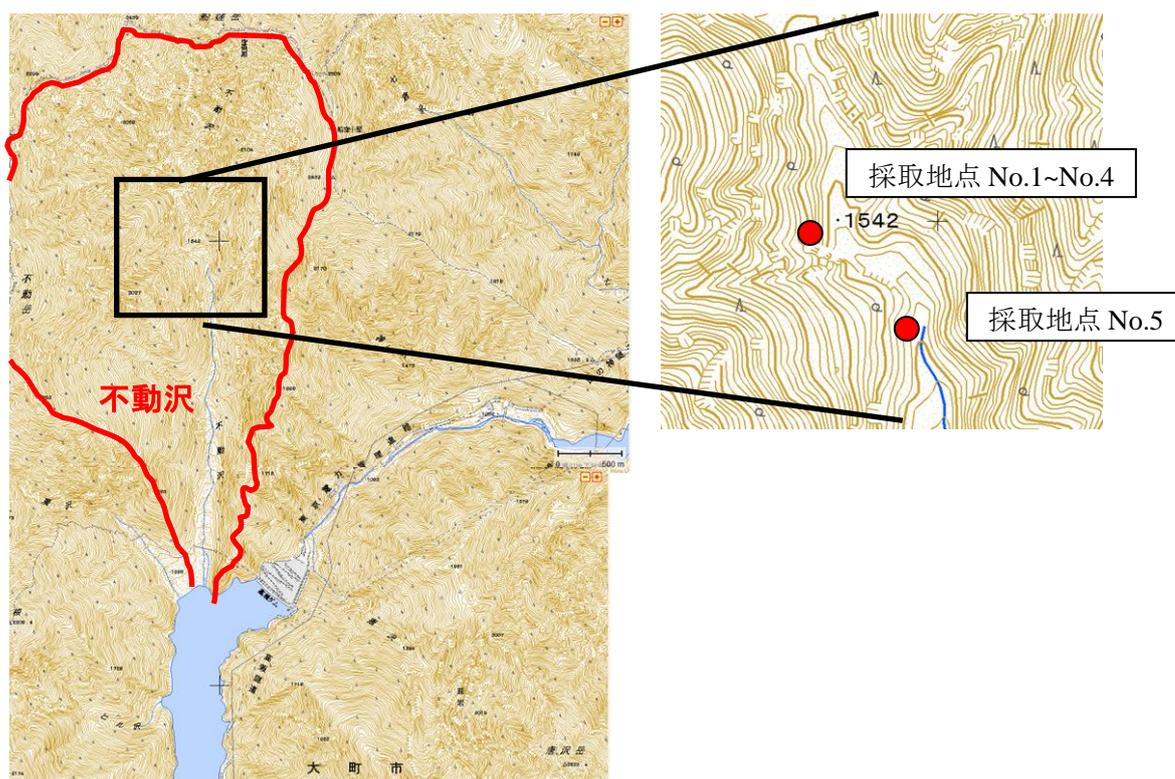


図 4.1 不動沢試料採取地点の概要

4.2 試験器具

粒度試験及び土粒子密度試験にて使用した試験用具を以下に述べる。

- a) ピクノメータ・・・土粒子密度を測定するガラス製の容器。瓶とストッパーに分かれている。
- b) ふるい・・・JISZ8801 で規定されている標準網ふるい、寸法は 75[μ m]、106[μ m]、250[μ m]、425[μ m]、850[μ m]、2[mm]、4.75[mm]、9.5[mm]、19[mm]、26.5[mm]、37.5[mm]、53[mm]、75[mm]のものを使用した。
- c) 浮標・・・比重 0.995~1.050 までの間に 0.001 ごとに目盛り線をつけたもの。
- d) 温度計・・・最小目盛 1℃のもの。
- e) 攪拌機・・・沈降分析での試料攪拌時に使用。
- f) 攪拌用容器
- h) 電子ばかり
- i) 沈降分析用メスシリンダ・・・1000ml のもの。
- j) 各種容器・・・各試料を炉乾燥する時に使用。
- k) 湯せん用具・・・土粒子密度試験で使用。
- l) ヘキサリン酸ナトリウム溶液・・・攪拌時の分散液として使用。
- m) ストップウォッチ・・・沈降分析時間計測に使用。



写真 4.1 実験で使用したピクノメータ

4.3 試験方法

4.3.1 土粒子密度試験

試験は粒径 2mm 以下の成分を用いて日本工業規格「土の土粒子密度試験方法」(JIS A 1202) に従って計測した。以下試験手順について述べる。

- ① ストッパーを取り付けた状態でピクノメータの質量 m_f [g] を計測する。
- ② ストッパー内に空気が残らないようにピクノメータに蒸留水を満たし、全質量 m_f [g] を計測する。



写真 4.2 ピクノメータに蒸留水を満たしている様子

- ③ ストッパーを外しピクノメータ内の水温 T_a [°C] を計測する。測定後蒸留水は全て捨てる。
- ④ 試料をピクノメータに入れ、次に蒸留水をピクノメータの 2/3 程度まで注ぐ。
- ⑤ 湯せん用具を用いてストッパーを外した状態で、試料の入ったピクノメータを煮沸する。なお試料中の気泡を十分に取り除くため、時々ピクノメータを振ったり、試料をかき混ぜるなどして、気泡の抜け出しを促進させる。煮沸は JIS では一般の土で 10 以上と定められているが気泡を十分取り除くため約 40 分行った。



写真 4.3 煮沸の様子

- ⑥ 煮沸が終了後、ピクノメータ内の温度を室温に近づけるため冷却する。



写真 4.4 冷却の様子

- ⑦ ⑥のピクノメータに蒸留水を注いで満たし、ストッパーを付けて全質量 m_b [g]を計測する。ストッパー内に空気が残らないようにする。
- ⑧ ストッパーを外してピクノメータ内に温度計を入れ水温 T_b [°C]を計測する。
- ⑨ ピクノメータの内容物の全量を取り出し、110[°C]で一定質量になるまで炉乾燥する。
- ⑩ 炉乾燥試料をほぼ室温になるまで冷まし、炉乾燥試料 m_s [g]の質量を計測する。

以上の手順で1試料あたり3回の土粒子密度試験を行う。

4.3.2 ふるい分析

粒度試験は、日本工業規格「土の粒度試験方法」(JIS A 1204)に従って実施した。

(1) 試験の準備及び2mmふるいによるふるい分け

- ① 採取した試料を「土質試験のための乱した土の試料調整方法」(JIST101)の空気乾燥法によって所定の含水比まで乾燥させる。
- ② 試料から1/4を取りその含水比 $w\%$ を求める。
- ③ 残りの試料を粒度試験用試料(以下全試料)とし質量 $m[g]$ を測定する。
- ④ 全試料を2mmふるいでふるい分けし、通過分を2mmふるい通過分、残留分を2mmふるい残留分とする。



写真 4.5 2mmふるいによるふるい分けの様子

(2) 2[mm]以上のふるい残留分に対するふるい分析

- ① 2mmふるい残留分の試料を2mmふるいの上で水洗いをし、2mmふるい通過分の土粒子を全て水で洗い流す。



写真 4.6 2mmふるい残留分の水洗い

- ② ふるいに残留した試料の全量を 110℃で一定質量になるまで炉乾燥する。
- ③ 炉乾燥試料をほぼ室温になるまで冷まし、質量 m_a [g]を計測する。
- ④ 炉乾燥試料の全量を 75[mm]、53[mm]、37.5[mm]、26.5[mm]、19[mm]、9.5[mm]、4.75[mm]ふるいを用いてふるい分ける。ふるい分けは連続した 1 分間でのふるい分けで、通過残留分が 1%以下になるまで行う。



写真 4.7 2mm ふるい分け残留分のふるい分け

- ⑤ ふるいの寸法前に残留した試料の質量 $m(d)$ [g]をそれぞれ計測する。



写真 4.8 2mm ふるい残留分ふるい分け試験概要写真

(3) 2[mm]ふるい通過分 75[μ m]ふるい残留分に対するふるい分析

- ① 沈降分析に用いた試料の全量を試料とする。
- ② 沈降分析を行った後、75 μ m ふるい上で試料を水洗いし 110°C で炉乾燥する。
- ③ 炉乾燥した試料を用い、850[μ m]、425[μ m]、250[μ m]、106[μ m]、75[μ m]の順に 2mm 通過分と同じような方法で試料をふるい分ける。



写真 4.9 2[mm]ふるい通過分 75[μ m]ふるい残留分に対するふるい分け

- ④ ふるいの寸法毎に残留した試料の質量 $m(d)$ [g]をそれぞれ計測する。

また、試料の含水比を算出するため、3つの容器に試料を入れそれぞれ質量 m_a [g]を計測する。その後炉乾燥し、炉乾燥試料が入った容器の質量 m_b [g]、容器の質量 m_c [g]をそれぞれ計測する。

4.3.3 沈降分析

- ① ふるい分析によって2[mm]のふるいを通過した試料に蒸留水を加え、一様になるようにかき混ぜる。



写真 4.10 沈降分析の準備

- ② 試料に分散剤のヘキサリン酸溶液を加え、攪拌機を使い内容物を1分間攪拌する。



写真 4.11 試料の攪拌

- ③ 攪拌した試料をメスシリンダに移し、蒸留水を加えて1[ℓ]にする。

- ④ メスシリンダを恒温室に置き、メスシリンダの内容物が均一な混合液となるよう、メスシリンダを上下に振り十分に攪拌混合する。
- ⑤ 静置後、直ちに計測を開始し所定の経過時間(設置後 1,2,5,15,30,60,240,1400[min])ごとにメスシリンダ内に浮標を浮かべ、その小数点部分の刻みをメカニカス上端で取り、その時の混合液の温度を読み取る。



写真 4.12 沈降分析の様子

4.4 試験結果の整理

4.4.1 土粒子密度の計算

- ① 蒸留水で満たしたピクノメータの容積(蒸留水の体積) V_f [cm³]を次式で算定する。

$$V_f = \frac{m_a - m_f}{\rho_{wa}}$$

ここに

m_a : 温度 T_a °C の蒸留水を満たしたピクノメータの質量[g]

m_f : ピクノメータの質量[g]

ρ_{wa} : T_a °C における蒸留水の密度で以下表 4.1 に示す値[g/cm³]

- ② 試料を含ませて蒸留水で満たした時の蒸留水の体積 V_{wb} [cm³]を次式で算定する。

$$V_{wb} = \frac{m_b - m_s - m_f}{\rho_{wb}}$$

ここに

m_b : 試料を入れ、温度 T °C の蒸留水で満たしたピクノメータの質量[g]

m_s : 炉乾燥試料の質量[g]

ρ_{wb} : T_b °C における蒸留水の密度で以下の表 4.1 に示す値[g/cm³]

- ③ 土粒子の密度 ρ [g/cm³]を次式で算定する。

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} = \frac{m_s}{V_f - V_{wb}}$$

ここに

V_s : 土粒子の体積[cm³](ピクノメータ容積から、試料を除いた蒸留水の体積。)

- ④ 実験 3 回分の ρ_s [g/cm³]を算出し、それぞれ平均値を取る。

蒸留水の密度 ρ_w (g/cm³)

温度 (T°C)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	0.99984	0.99985	0.99985	0.99986	0.99986	0.99987	0.99988	0.99988	0.99989	0.99989
1	0.99990	0.99990	0.99991	0.99991	0.99992	0.99992	0.99992	0.99993	0.99993	0.99994
2	0.99994	0.99994	0.99994	0.99995	0.99995	0.99995	0.99995	0.99995	0.99996	0.99996
3	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997
4	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996
5	0.99996	0.99996	0.99996	0.99995	0.99995	0.99995	0.99995	0.99995	0.99994	0.99994
6	0.99994	0.99994	0.99993	0.99993	0.99992	0.99992	0.99992	0.99991	0.99991	0.99990
7	0.99990	0.99990	0.99989	0.99989	0.99988	0.99988	0.99987	0.99987	0.99986	0.99986
8	0.99985	0.99984	0.99984	0.99983	0.99982	0.99982	0.99981	0.99980	0.99979	0.99979
9	0.99978	0.99977	0.99976	0.99976	0.99975	0.99974	0.99973	0.99972	0.99972	0.99971
10	0.99970	0.99969	0.99968	0.99967	0.99966	0.99966	0.99965	0.99964	0.99963	0.99962
11	0.99961	0.99960	0.99959	0.99957	0.99956	0.99955	0.99954	0.99953	0.99951	0.99950
12	0.99949	0.99948	0.99947	0.99946	0.99945	0.99944	0.99942	0.99941	0.99940	0.99939
13	0.99938	0.99937	0.99935	0.99934	0.99932	0.99931	0.99930	0.99928	0.99927	0.99925
14	0.99924	0.99923	0.99921	0.99920	0.99918	0.99917	0.99916	0.99914	0.99913	0.99911
15	0.99910	0.99908	0.99907	0.99905	0.99904	0.99902	0.99900	0.99899	0.99897	0.99896
16	0.99894	0.99892	0.99891	0.99889	0.99887	0.99886	0.99884	0.99882	0.99880	0.99879
17	0.99877	0.99875	0.99874	0.99872	0.99870	0.99869	0.99867	0.99865	0.99863	0.99862
18	0.99860	0.99858	0.99856	0.99854	0.99852	0.99851	0.99849	0.99847	0.99845	0.99843
19	0.99841	0.99839	0.99837	0.99835	0.99833	0.99831	0.99828	0.99826	0.99824	0.99822
20	0.99820	0.99818	0.99816	0.99814	0.99812	0.99810	0.99807	0.99805	0.99803	0.99801
21	0.99799	0.99797	0.99795	0.99792	0.99790	0.99788	0.99786	0.99784	0.99781	0.99779
22	0.99777	0.99775	0.99772	0.99770	0.99768	0.99766	0.99763	0.99761	0.99759	0.99756
23	0.99754	0.99752	0.99749	0.99747	0.99744	0.99742	0.99740	0.99737	0.99735	0.99732
24	0.99730	0.99727	0.99725	0.99722	0.99720	0.99717	0.99714	0.99712	0.99709	0.99707
25	0.99704	0.99701	0.99699	0.99696	0.99694	0.99691	0.99688	0.99686	0.99683	0.99681
26	0.99678	0.99675	0.99673	0.99670	0.99667	0.99665	0.99662	0.99659	0.99656	0.99654
27	0.99651	0.99648	0.99645	0.99643	0.99640	0.99637	0.99634	0.99631	0.99629	0.99626
28	0.99623	0.99620	0.99617	0.99614	0.99611	0.99609	0.99606	0.99603	0.99600	0.99597
29	0.99594	0.99591	0.99588	0.99585	0.99582	0.99580	0.99577	0.99574	0.99571	0.99568
30	0.99565	0.99562	0.99559	0.99556	0.99553	0.99550	0.99546	0.99543	0.99540	0.99537
31	0.99534	0.99531	0.99528	0.99525	0.99522	0.99519	0.99515	0.99512	0.99509	0.99506
32	0.99503	0.99500	0.99496	0.99493	0.99490	0.99487	0.99483	0.99480	0.99477	0.99473
33	0.99470	0.99467	0.99463	0.99460	0.99457	0.99454	0.99450	0.99447	0.99444	0.99440
34	0.99437	0.99434	0.99430	0.99427	0.99423	0.99420	0.99417	0.99413	0.99410	0.99406
35	0.99403	0.99400	0.99396	0.99393	0.99389	0.99386	0.99382	0.99379	0.99375	0.99372
36	0.99368	0.99365	0.99361	0.99358	0.99354	0.99351	0.99347	0.99344	0.99340	0.99337
37	0.99333	0.99329	0.99326	0.99322	0.99319	0.99315	0.99311	0.99308	0.99304	0.99301
38	0.99297	0.99293	0.99289	0.99286	0.99282	0.99278	0.99274	0.99270	0.99267	0.99263
39	0.99259	0.99255	0.99252	0.99248	0.99244	0.99241	0.99237	0.99233	0.99229	0.99226

表 4.1 温度 T°C における蒸留水の密度一覧表

4.4.2 ふるい分析結果に対する粒度の計算

(1) 2[mm]ふるい残留分の計算方法

- ① 2[mm]ふるい以上のふるいに残留した試料の粒径 d に対する通過質量百分率 $P(d)$ [%] は、次の式によって算出する。

$$P(d) = \left(1 - \frac{\sum m(d)}{m_s} \right) \times 100$$

$$m_s = \frac{m}{1 + \frac{w}{100}}$$

ここに

m_s : 全試料の炉乾燥質量[g]

m : 全試料の質量[g]

w : 全試料の含水比[%]

(2) 2[mm]ふるい通過分 75[μ m]ふるい残留分の計算方法

- ① 75[μ m]以上 2[mm]未満の粒径 d に対する通過質量百分率 $P(d)$ [%] を次の式によって算出する。

$$P(d) = \frac{m_s - m_{0s}}{m_s} \left(1 - \frac{\sum m(d)}{m_{1s}} \right) \times 100$$

$$m_{1s} = \frac{m_1}{1 + (\omega_1 / 100)}$$

$$\omega_1 = \frac{(m_1 - m_{1s})}{(m_{1s} - m_c)} \times 100$$

ここに

m_s : 全試料の炉乾燥質量[g]

$m(d)$: 各ふるいに残留した分の炉乾燥質量[g]

m_{0s} : 2[mm]ふるい残留分の炉乾燥質量[g]

m_{1s} : 沈降分析用試料の炉乾燥質量[g]

m_1 : 沈降分析用試料の質量[g]

ω_1 : 沈降分析用試料の含水比[%]

m_c : 容器の質量[g]

4.4.3 沈降分析結果に対する粒度の計算

① 浮標の小数点部分の読み r と浮標の有効深さ L [mm] との関係は次式より求める。

$$L = l_1 - 20(l_1 - l_2)(r + C_m) + \frac{1}{2} \left(L_B - 20 \frac{V_B}{A} \right)$$

ここに

l_1 : 浮標球部の上端から目盛り線 1.000 までの長さ[mm]

l_2 : 浮標球部の上端から目盛り線 1.050 までの長さ[mm]

L_B : 浮標球部の長さ[mm]

V_B : 浮標球部の体積[cm³]

A : メスシリンダの断面積[cm²]

② 粒度 d [mm] を次式により算出する。

$$d = \sqrt{\frac{30\eta}{g(\rho_s - \rho_w)} \cdot \frac{L}{t}}$$

ここに

t : メスシリンダ静置後、浮標を読み取るまでの時間[min]

η : 浮標の読みを取った時の混合液の温度 T に対する水の粘性係数[Pa·s]
(表 4.2 を参照)

ρ_s : 土粒子の密度[g/cm³]

ρ_w : 浮標の読みを取った時の混合液の温度 T に対する水の粘性係数[Pa·s]
(表 4.2 を参照)

g : 標準重力加速度(980[cm/s²])

③ 75[μm] を通過した粒径 d [mm] に対する通過質量百分率 $P(d)$ [%] を次式より算出する。

$$P(d) = \frac{m_s - m_{0s}}{m_s} \times \frac{V}{m_{1s}} \times \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} \times (r + C_m + F) \rho_w \times 100$$

ここに

V : 混合液の体積(=1000[cm³])

r : 浮標の小数部分の読み(メカニカス上端)

F : 表 2.2 に示す補正係数で、浮標の読みをとった時の混合液の温度に対する値

温度 ($T^{\circ}\text{C}$)	水の密度 ρ_w (g/cm^3)	水の粘性係数 η ($\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot 10^{-3}$)	浮標の読みの補正係数
4	1.000	1.568	-0.0005
5	1.000	1.519	-0.0005
6	1.000	1.473	-0.0005
7	1.000	1.428	-0.0005
8	1.000	1.386	-0.0005
9	1.000	1.346	-0.0005
10	1.000	1.307	-0.0005
11	1.000	1.270	-0.0005
12	1.000	1.235	0.0000
13	0.999	1.201	0.0000
14	0.999	1.169	0.0000
15	0.999	1.138	0.0000
16	0.999	1.108	0.0000
17	0.999	1.080	0.0005
18	0.999	1.053	0.0005
19	0.998	1.027	0.0005
20	0.998	1.002	0.0010
21	0.998	0.978	0.0010
22	0.998	0.955	0.0010
23	0.998	0.933	0.0015
24	0.997	0.911	0.0015
25	0.997	0.890	0.0020
26	0.997	0.870	0.0020
27	0.997	0.851	0.0025
28	0.996	0.832	0.0025
29	0.996	0.814	0.0030
30	0.996	0.797	0.0030
31	0.995	0.781	0.0035
32	0.995	0.764	0.0040
33	0.995	0.749	0.0040
34	0.994	0.734	0.0045
35	0.994	0.719	0.0045
36	0.994	0.705	0.0050
37	0.993	0.691	0.0055
38	0.993	0.678	0.0055
39	0.993	0.665	0.0060

表 4.2 水の密度・粘性係数・浮標の読みの補正係数(一覧表)

第5章 観測結果

5.1 現地調査の記録

2010/10/23 から 2014/10/3 までの現地調査及び作業内容を以下に示す。

2010年

2010/10/23	テンシオメータの設置
	雨量計の設置
	ロガーボックスの設置
2010/11/12	観測機器の動作確認

2011年

2011/8/5～6	破損した雨量計の簡易補修
	各計器の状態確認
2011/9/27～28	雨量計を新たな台座に固定
	テンシオメータの再設置
	気温計の設置
2011/10/14	観測機器の動作確認

2012年

2012/7/31	データロガーボックスの修復
	雨量計の修復
	インターバルカメラの設置
2012/8/22	データロガーボックスの修復
	テンシオメーターの修復
	インターバルカメラの設置
	斜面内部構造の探査
2012/10/27	データロガーボックスの修復
	テンシオメーターの修復
	積雪計の設置
2012/11/29	雨量計のメンテナンス
	積雪計の立て直し

2013 年

2013/7/7~8	2012~2013の冬を越した機材の回収		
調査内容	7日 (雨により撤退)	インターバルカメラの回収	比較的トンネルに近い位置に設置していた河床観測用のカメラを回収
	8日	インターバルカメラの回収 水圧・雨量計の修復	斜面对岸のカメラを回収 倒れていた雨量計及びロガーボックスの修復
2013/8/3	雨量計の修復、横断測量(吉嶺・内藤なし)		
調査内容	雨量計の修復 横断測量 河床観測カメラの設置		倒れていた雨量計及びロガーボックスの修復
2013/9/10~11	水圧計の修復、横断測量		
調査内容	10日	安全ロープの設置 水圧・雨量計の修復 水圧計の設置	斜面の勾配が以前より急になったため、安全ロープを設置 斜面崩壊により以前の水圧計及びロガーボックスが大きく 損傷していたため、ある程度の修復を試みた。 広場Bの水圧計を斜面へ移設。
	11日(小俣さん同)	インターバルカメラの設置 写真測量 横断測量	嵐で落下しないよう、金具を使って木に固定。 萬寶 萬寶
2013/10/22~24	越冬に向けた観測機材の設置		
調査内容	22日	安全ロープの修復 インターバルカメラの設置 写真測量、横断測量	安全を確保するため、ロープを修復。 雪で落下しないよう、金具を使って木に固定。 また、落ちていても発見しやすいよう、赤く塗装した。
	23日 (上野先生同行)	水圧計の補修 雨量計、積雪計の設置	前回広場Bから移動させた水圧計の補修、脱気水の交換。 これまで斜面に設置していた雨量計を対岸に移設。 積雪ボール・積雪カメラも同様に対岸へ移設した。
	24日 (上野先生同行) (大橋先生同行)	写真測量、横断測量 気温計、積雪計の設置	気温計を対岸の気に吊り下げる形で設置し、プラスチック製の傘をかぶせた。 また、その根元に地表温度計を設置した。斜面にも積雪ボールを設置。

2014 年

2014/7/28	2013~2014の冬を越した機材の回収		
調査内容	雨量計の補修 インターバルカメラの補修 気温計の傘を麦わら帽子に変更 水圧計の補修 データロガーのバッテリー交換 斜面の写真測量 透水試験		安全のため、再度ロープを設置 取れかかっていたものを強く固定 日差しによる温度上昇を防止 ロガーボックスが斜面に埋もれていたため、補修を行う 透水試験を試みるが失敗
2014/10/3	不動沢からの撤収		
調査内容	データの回収 全機材の撤収		全観測機材を持ち帰る

5.2 不動沢観測結果

4年間の観測結果を図2に、一年ごとの観測結果を図5以降に示す。降雨と積雪の観測は特に年末から7月頃にかけて観測機器の破損による欠測が多く、観測値ゼロが降雨等ゼロを意味しないことに注意を要する。

間隙水圧の全体的な傾向としては、夏季から秋季にかけては、降雨と連動して-30cm～+10cm程度の範囲で上下するが、厳冬期には積雪により水分が地中に供給されず、間隙水圧の値は低下し続ける。融雪期には融雪水が地盤内に供給されることで大幅に上昇し、水圧の最大値が降雨シーズンを上回る状態が2ヶ月程度続く。その後は再び降雨に伴う変動へと移行する。

間隙水圧計は2012年末頃から劣化が目立つようになり、その都度補修や交換、移設等の対策を行ってきたが、その他の機器も含めて斜面崩壊に伴う損傷が続き、2014年10月、これ以上の観測の続行は困難として全ての観測機器を撤収した。

図5.1に4年間の観測結果を、図5.2～図5.6に年毎の観測結果を示す。

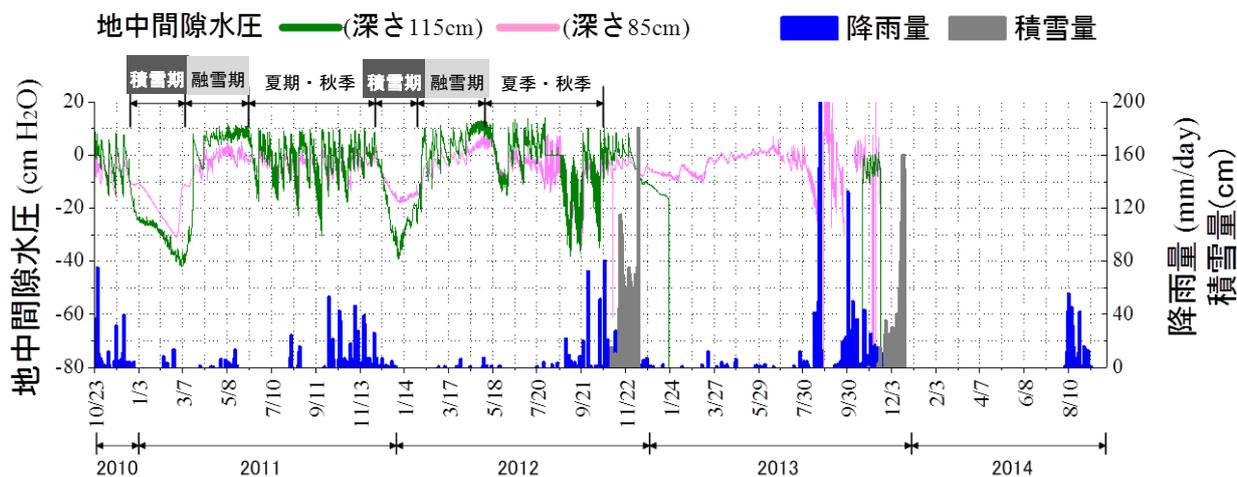


図 5.1 4年間の地中間隙水圧 (CH.1、CH3 のみ表示)、降雨量及び積雪量

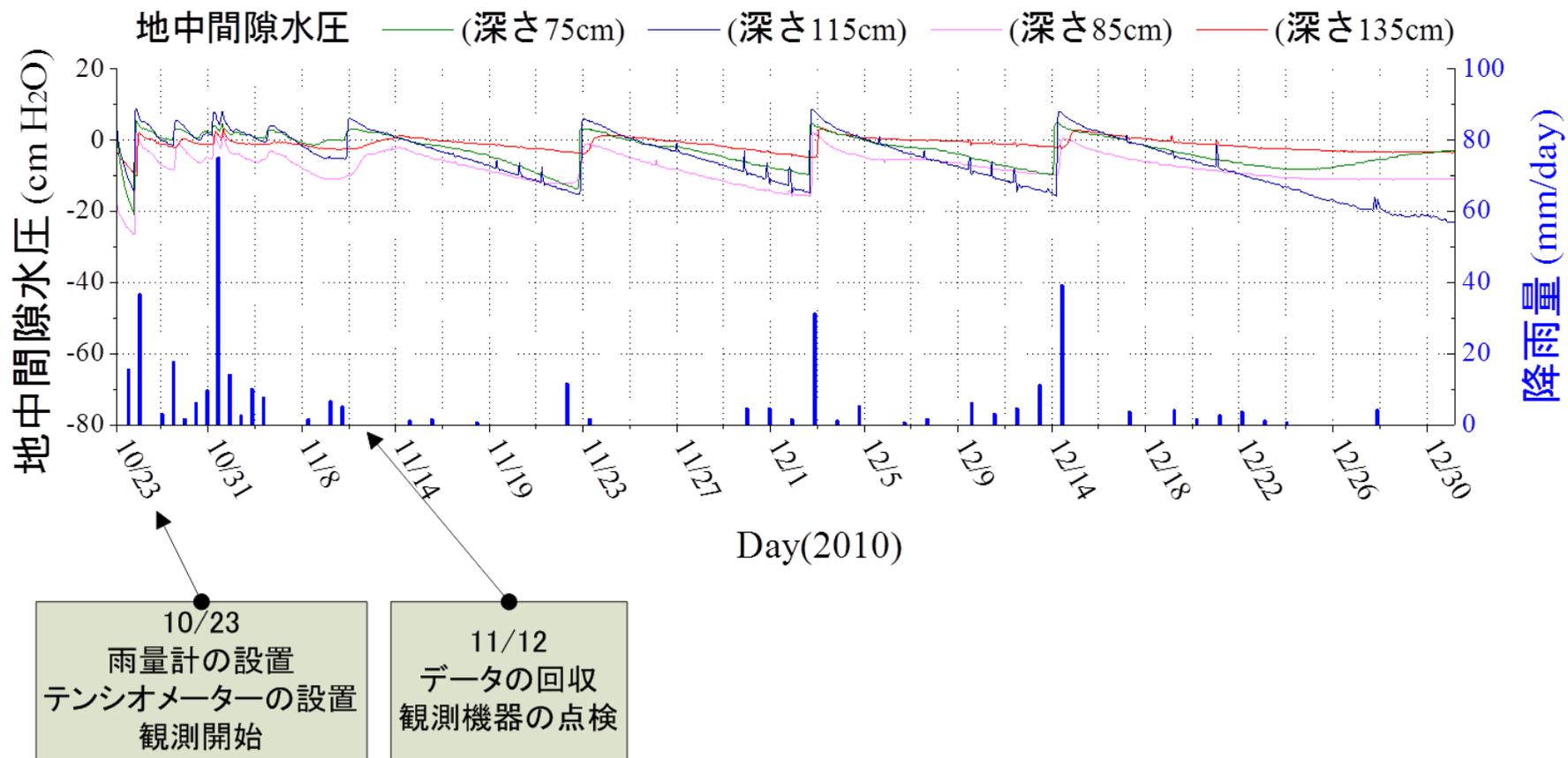


図 5.2 2010 年の地中間隙水圧及び降雨量

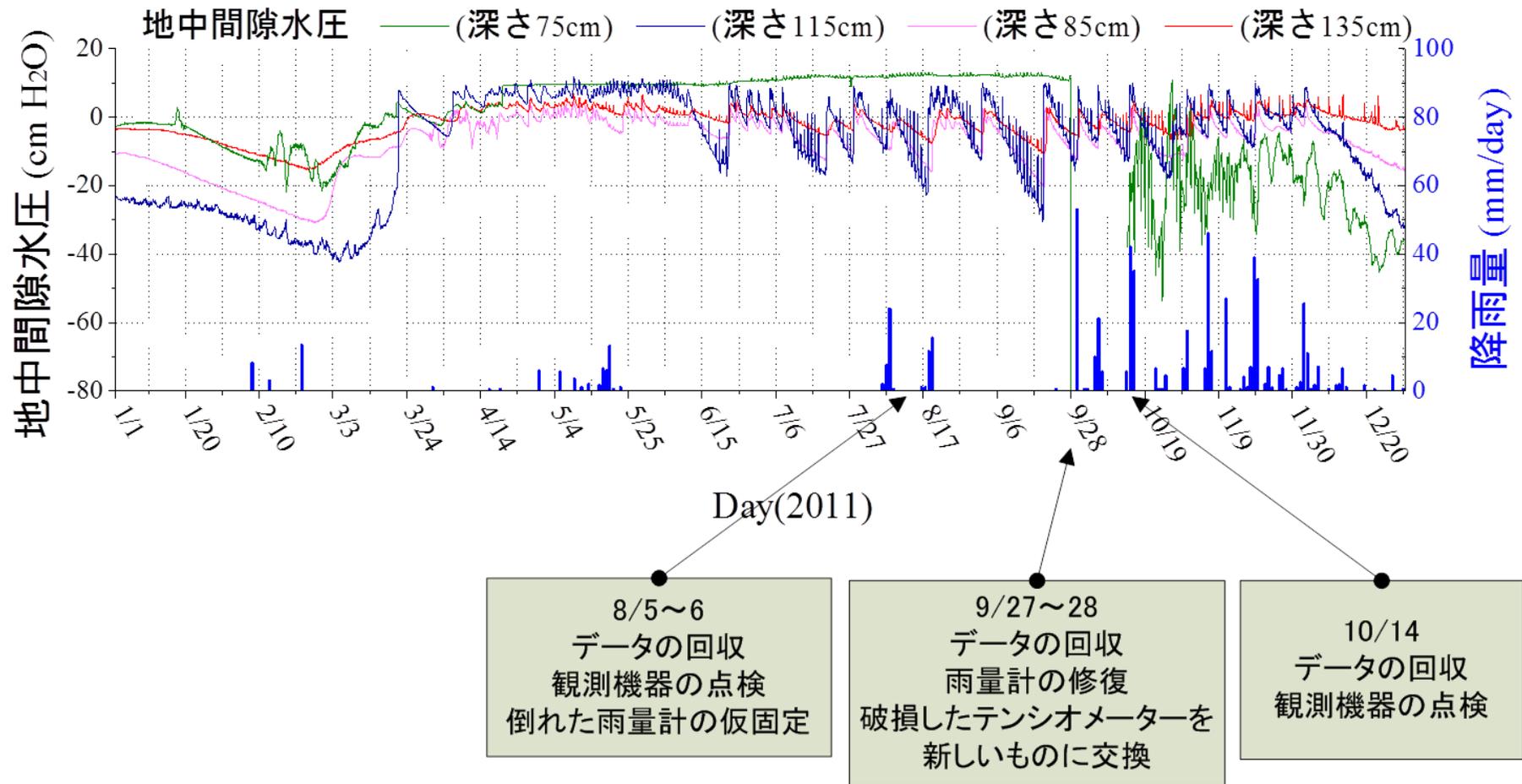


図 5.3 2011 年の地中間隙水圧及び降雨量

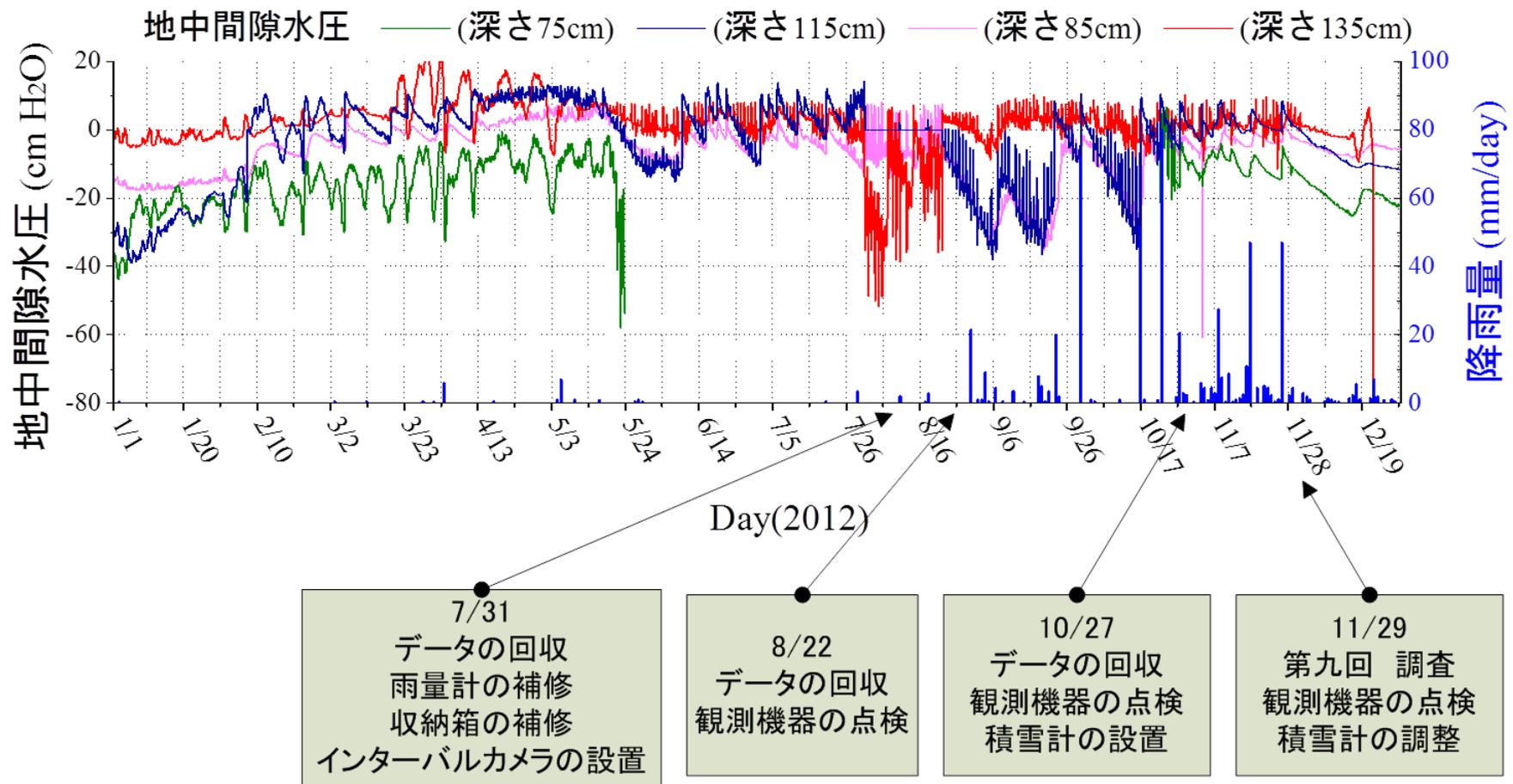


図 5.4 2012 年の地中間隙水圧及び降雨量

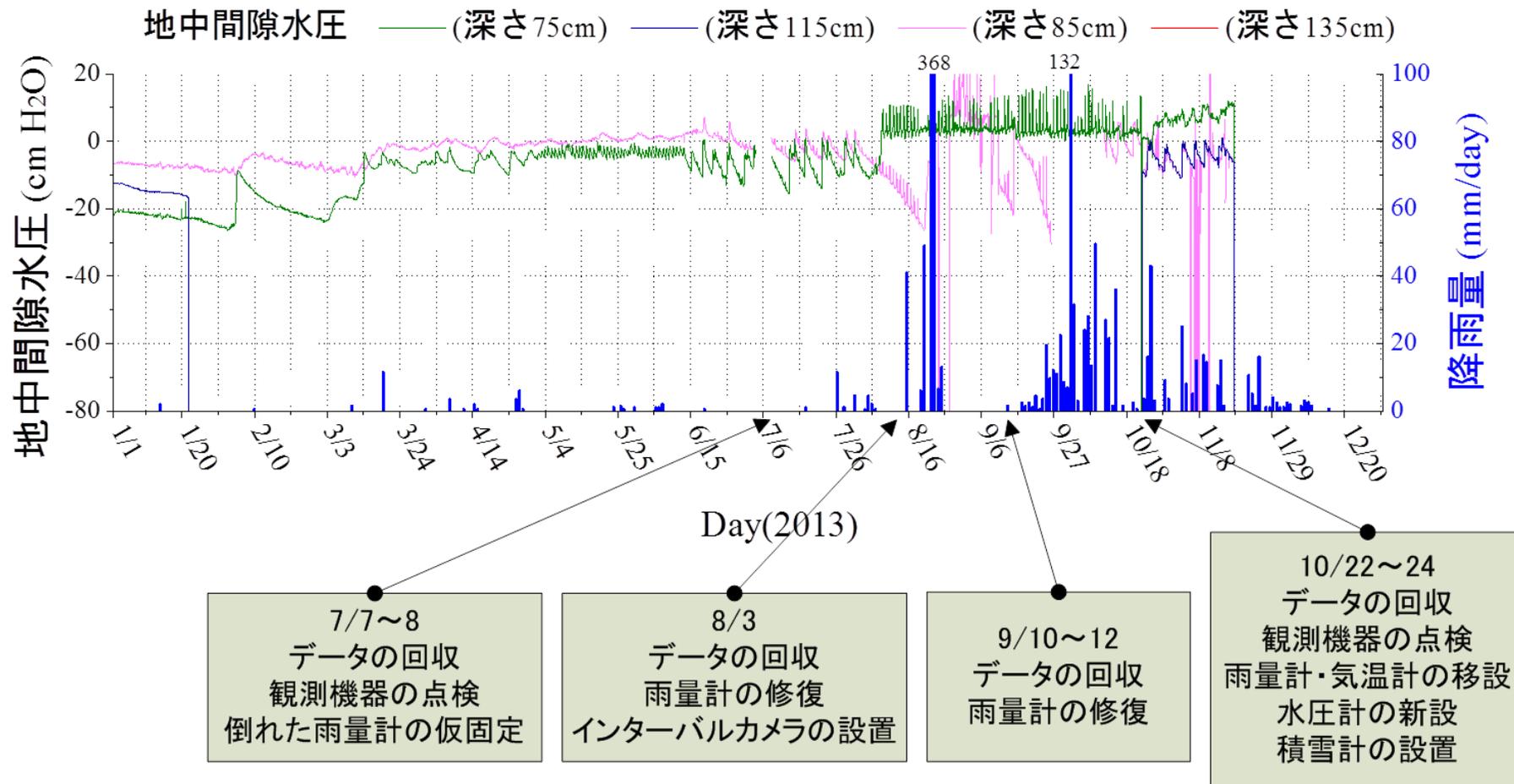


図 5.5 2013 年の地中間隙水圧及び降雨量

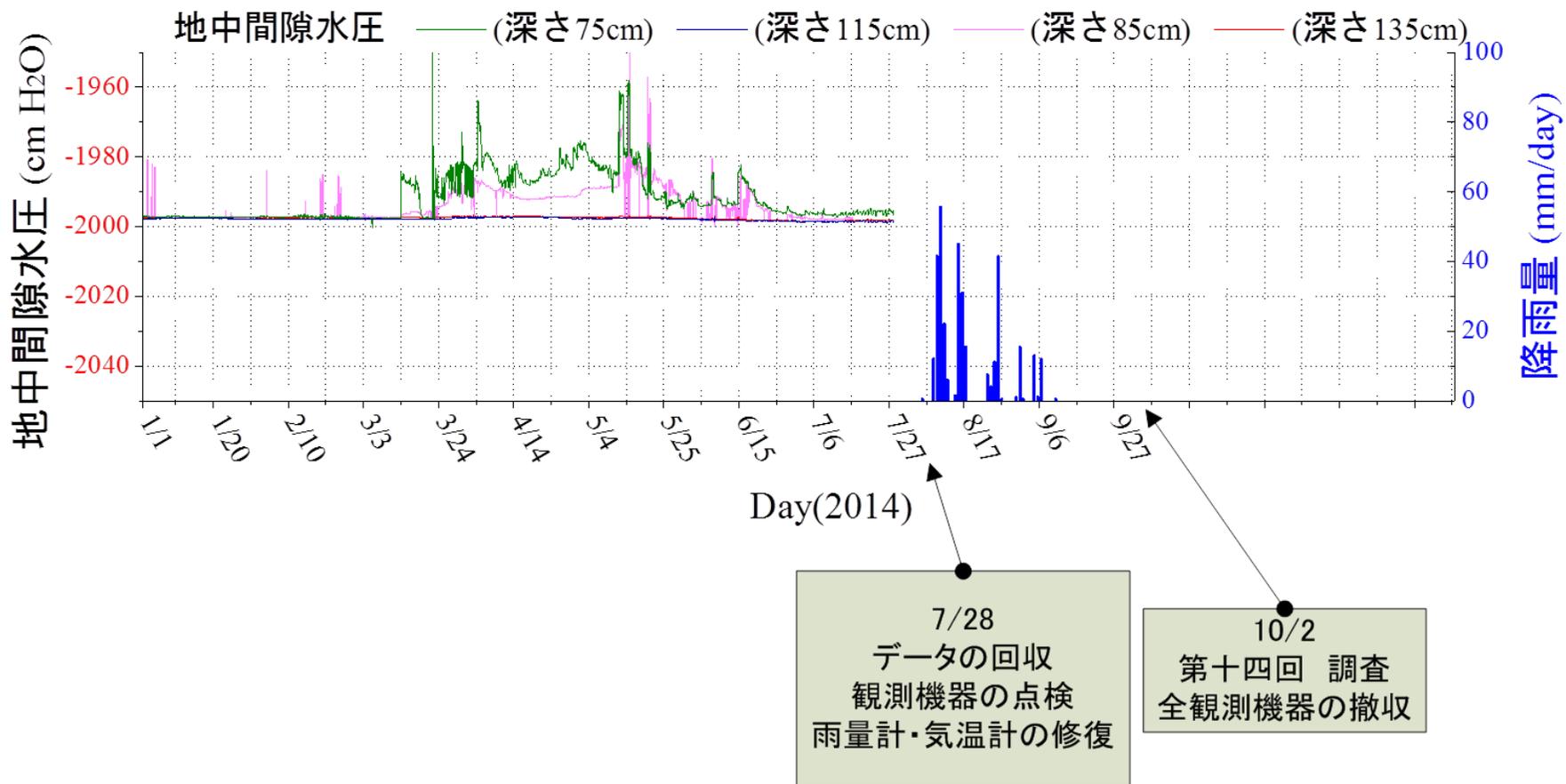


図 5.6 2014 年の地中間隙水圧及び降雨量

5.3 粒度試験結果

不動沢 5 種類(No.1~No.5)の土粒子密度試験の結果を表 6.1~6.5 に、ふるい分析の結果を表 6.6~6.10 に、沈降分析の結果及びふるい分析・沈降分析の結果から求められる粒径加積曲線を表 6.11~6.15 にそれぞれ示す。不動沢 5 種類での粒径加積曲線の結果を図 6.10 にまとめた。また、広場 B の 4 種類(深さ 10cm、深さ 30cm、深さ 90cm、深さ 180cm)についてのふるい分析の結果を表 6.16~6.19、沈降分析及び粒径加積曲線の結果を表 6.20~6.23 に示す。広場 B4 種類での粒径加積曲線の結果を図 6.11 にまとめた。なお、土粒子密度試験はそれぞれの試料について 3 回ずつ測定を行い、その平均値を土粒子密度として採用した。

ピクノメータ No.			84	74	82	
ピクノメータ の検定	空のピクノメータの質量	m_f g	54.319	50.977	47.073	
	蒸留水を満たしたピクノメータの質量	m_a g	148.112	146.416	144.071	
	m_a をはかったときの蒸留水の質量	m_{wa} g	93.793	95.439	96.998	
	m_a をはかったときの蒸留水の温度	T_a °C	18.5	18.7	19.3	
	T_a °Cにおける蒸留水の密度	ρ_{wa} g/cm ³	0.99851	0.99847	0.99835	
	蒸留水の体積 = ピクノメータの容積	V_f cm ³	93.933	95.586	97.159	
	土粒子 の質量 と体積 の測定	試料を入れ、蒸留水で満たしたピクノメータの質量	m_b g	178.405	177.233	172.044
m_b をはかったときの蒸留水の温度		T_b °C	17.5	17.8	18.0	
T_b °Cにおける蒸留水の密度		ρ_{wb} g/cm ³	0.99869	0.99863	0.99860	
容器 No.			84	74	82	
土粒子 質量の 測定		(炉乾燥試料+容器)質量	g	119.232	130.791	127.428
		容器質量	g	70.790	81.550	82.781
		炉乾燥試料質量	m_s g	48.442	49.241	44.647
		m_b をはかったときの蒸留水の質量	m_{wb} g	75.644	77.015	80.324
		m_b をはかったときの蒸留水の体積	V_{wb} cm ³	75.744	77.120	80.437
		土粒子の体積	V_s cm ³	18.190	18.465	16.722
	土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.663	2.667	2.670	
	平均値	ρ_s g/cm ³		2.667		

表 5.1 土粒子密度試験結果(不動況 No. 1)

ピクノメータ No.			64	88	67	
ピクノメータの検定	空のピクノメータの質量	m_f g	39.192	48.183	36.446	
	蒸留水を満たしたピクノメータの質量	m_a g	139.092	144.693	137.684	
	m_a をはかったときの蒸留水の質量	m_{wa} g	99.900	96.510	101.238	
	m_a をはかったときの蒸留水の温度	T_a °C	18.8	18.8	18.8	
	T_a °Cにおける蒸留水の密度	ρ_{wa} g/cm ³	0.99845	0.99845	0.99845	
	蒸留水の体積 = ピクノメータの容積	V_f cm ³	100.055	96.660	101.395	
	土粒子の質量と体積の測定	試料を入れ、蒸留水で満たしたピクノメータの質量	m_b g	175.360	179.128	175.834
m_b をはかったときの蒸留水の温度		T_b °C	18.1	18.0	17.8	
T_b °Cにおける蒸留水の密度		ρ_{wb} g/cm ³	0.99858	0.99860	0.99863	
土粒子質量の測定		容器 No.		64	88	67
		(炉乾燥試料+容器)質量	g	139.592	114.773	135.520
		容器質量	g	81.641	59.761	74.554
		炉乾燥試料質量	m_s g	57.951	55.012	60.966
m_b をはかったときの蒸留水の質量		m_{wb} g	78.217	75.933	78.422	
m_b をはかったときの蒸留水の体積		V_{wb} cm ³	78.328	76.039	78.529	
土粒子の体積		V_s cm ³	21.727	20.621	22.866	
土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.667	2.668	2.666		
平均値	ρ_s g/cm ³	2.667				

表 5.2 土粒子密度試験結果(不動況 No. 2)

ピクノメータ No.		84	82	12		
ピクノメータ の検定	空のピクノメータの質量	m_f g	54.315	47.072	40.428	
	蒸留水を満たしたピクノメータの質量	m_a g	148.103	144.082	143.921	
	m_a をはかったときの蒸留水の質量	m_{wa} g	93.788	97.010	103.493	
	m_a をはかったときの蒸留水の温度	T_a °C	19.0	19.0	19.5	
	T_a °Cにおける蒸留水の密度	ρ_{wa} g/cm ³	0.99841	0.99841	0.99831	
	蒸留水の体積 = ピクノメータの容積	V_f cm ³	93.937	97.164	103.669	
	土粒子 の質量 と体積 の測定	試料を入れ、蒸留水で満たしたピクノメータの質量	m_b g	165.913	157.254	162.078
m_b をはかったときの蒸留水の温度		T_b °C	18.8	19.2	18.8	
T_b °Cにおける蒸留水の密度		ρ_{wb} g/cm ³	0.99845	0.99837	0.99845	
容器 No.			84	82	52	
土粒子 質量の 測定		(炉乾燥試料+容器)質量	g	99.245	103.824	107.983
		容器質量	g	70.787	82.809	79.000
		炉乾燥試料質量	m_s g	28.458	21.015	28.983
		m_b をはかったときの蒸留水の質量	m_{wb} g	83.140	89.167	92.667
		m_b をはかったときの蒸留水の体積	V_{wb} cm ³	83.269	89.313	92.811
		土粒子の体積	V_s cm ³	10.668	7.852	10.858
	土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.668	2.676	2.669	
	平均値	ρ_s g/cm ³		2.671		

表 5.3 土粒子密度試験結果(不動沢 No. 3)

ピクノメータ No.			64	88	57	
ピクノメータ の検定	空のピクノメータの質量	m_f g	39.190	48.180	45.103	
	蒸留水を満たしたピクノメータの質量	m_a g	139.087	144.685	142.531	
	m_a をはかったときの蒸留水の質量	m_{wa} g	99.897	96.505	97.428	
	m_a をはかったときの蒸留水の温度	T_a °C	19.0	18.8	19.0	
	T_a °Cにおける蒸留水の密度	ρ_{wa} g/cm ³	0.99841	0.99845	0.99841	
	蒸留水の体積 = ピクノメータの容積	V_f cm ³	100.056	96.655	97.583	
	土粒子 の質量 と体積 の測定	試料を入れ、蒸留水で満たしたピクノメータの質量	m_b g	154.598	160.715	163.774
m_b をはかったときの蒸留水の温度		T_b °C	18.5	19.2	18.2	
T_b °Cにおける蒸留水の密度		ρ_{wb} g/cm ³	0.99851	0.99837	0.99856	
容器 No.			64	88	57	
土粒子 質量の 測定		(炉乾燥試料+容器)質量	g	106.426	85.378	102.616
容器質量		g	81.659	59.760	68.657	
炉乾燥試料質量		m_s g	24.767	25.618	33.959	
m_b をはかったときの蒸留水の質量		m_{wb} g	90.641	86.917	84.712	
m_b をはかったときの蒸留水の体積		V_{wb} cm ³	90.777	87.059	84.834	
土粒子の体積		V_s cm ³	9.279	9.596	12.749	
土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.669	2.670	2.664		
平均値	ρ_s g/cm ³		2.667			

表 5.4 土粒子密度試験結果(不動沢 No. 4)

ピクノメータ No.			24	16	5	
ピクノメータ の検定	空のピクノメータの質量	m_f g	42.612	41.126	39.907	
	蒸留水を満たしたピクノメータの質量	m_a g	148.259	144.717	146.711	
	m_a をはかったときの蒸留水の質量	m_{wa} g	105.647	103.591	106.804	
	m_a をはかったときの蒸留水の温度	T_a °C	18.8	18.8	18.8	
	T_a °Cにおける蒸留水の密度	ρ_{wa} g/cm ³	0.99845	0.99845	0.99845	
	蒸留水の体積 = ピクノメータの容積	V_f cm ³	105.811	103.752	106.970	
	土粒子 の質量 と体積 の測定	試料を入れ、蒸留水で満たしたピクノメータの質量	m_b g	162.781	161.099	164.021
m_b をはかったときの蒸留水の温度		T_b °C	19.5	19.2	19.5	
T_b °Cにおける蒸留水の密度		ρ_{wb} g/cm ³	0.99831	0.99837	0.99831	
土粒子 質量の 測定		容器 No.		24	16	5
		(炉乾燥試料+容器)質量	g	106.242	104.695	106.925
		容器質量	g	82.988	78.458	79.215
		炉乾燥試料質量	m_s g	23.254	26.237	27.710
m_b をはかったときの蒸留水の質量		m_{wb} g	96.915	93.736	96.404	
m_b をはかったときの蒸留水の体積		V_{wb} cm ³	97.080	93.889	96.568	
土粒子の体積		V_s cm ³	8.732	9.863	10.402	
土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.663	2.660	2.664		
平均値	ρ_s g/cm ³		2.662			

表 5.5 土粒子密度試験結果(不動沢 No. 5)

全試料の含水比				2mmふるい通過試料の含水比			
容器 No.	11	12	13	容器 No.	59	41	36
m_a g	993.41	848.05	861.68	m_a g	54.33	55.40	46.60
m_b g	991.75	846.71	859.96	m_b g	54.22	55.29	46.51
m_c g	176.27	179.39	161.12	m_c g	22.61	22.41	19.28
w %	0.2	0.2	0.2	w_1 %	0.3	0.3	0.3
平均値 w %	0.2			%	0.3		
(全試料+容器)質量 g			8581.0	(2mmふるい通過試料+容器)質量 g			190.65
容器質量 g			779.0	容器質量 g			78.98
全試料質量 g			7802.0	2mmふるい通過試料の質量 g			111.67
全試料の炉乾燥質量 m_S g			7785.1	2mmふるい通過試料炉乾燥質量 m_{1S}			111.29
2mmふるい 残留分の水 洗後の試料	(全試料+容器)質量 g	5847.0	全試料の炉乾燥質量に対する2mm ふるい通過試料の炉乾燥質量の比				0.380
	容器質量 g	1020.0					
	炉乾燥質量 m_{0S} g	4827.0					

2mmふるい残留分 m_{0S} のふるい分析

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
75.0				0.0	0.0	0.0	100.0
53.0				0.0	0.0	0.0	100.0
37.5	1	1021.4	550.1	471.4	6.1	6.1	93.9
26.5	2	835.0	535.9	299.1	3.8	9.9	90.1
19.0	3	817.3	549.3	268.1	3.4	13.3	86.7
9.5	4	1372.6	541.3	831.3	10.7	24.0	76.0
4.8	5	2494.2	501.4	1992.9	25.6	49.6	50.4
2.0	6	1921.1	375.4	1545.7	19.9	69.5	30.5

2mmふるい通過分 m_{1S} のふるい分析 (沈降分析を行う場合には、沈降分析の後に行う)

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
0.850	16	469.79	425.38	44.41	39.9	39.9	22.8
0.425	17	424.97	398.39	26.58	23.9	63.8	13.8
0.250	18	387.49	374.90	12.59	11.3	75.1	9.5
0.106	19	368.64	356.57	12.07	10.8	85.9	5.3
0.075	20	350.96	348.18	2.78	2.5	88.4	4.4

表 5.6 土の粒度試験ふるい分析の結果(不動沢 No. 1)

全試料の含水比				2mmふるい通過試料の含水比			
容器 No.	21	22	23	容器 No.	50	49	83
m_a g	577.68	612.70	695.21	m_a g	55.86	51.53	55.26
m_b g	576.84	611.18	694.12	m_b g	55.75	51.42	55.14
m_c g	163.96	163.65	176.47	m_c g	22.35	21.53	23.28
w %	0.2	0.3	0.2	w_1 %	0.3	0.4	0.4
平均値 w %	0.3			%	0.4		
(全試料+容器)質量 g			4135.0	(2mmふるい通過試料+容器)質量 g			180.44
容器質量 g			770.0	容器質量 g			78.98
全試料質量 g			3365.0	2mmふるい通過試料の質量 g			101.46
全試料の炉乾燥質量 m_S g			3356.6	2mmふるい通過試料炉乾燥質量 m_{1S}			101.10
2mmふるい 残留分の水 洗後の試料	(全試料+容器)質量 g	2868.0	全試料の炉乾燥質量に対する2mm ふるい通過試料の炉乾燥質量の比				0.378
	容器質量 g	779.0					
	炉乾燥質量 m_{0S} g	2089.0					

2mmふるい残留分 m_{0S} のふるい分析

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
75.0				0.0	0.0	0.0	100.0
53.0				0.0	0.0	0.0	100.0
37.5	1	774.9	550.0	224.8	6.7	6.7	93.3
26.5	2	671.6	535.8	135.8	4.0	10.7	89.3
19.0	3	641.9	549.3	92.6	2.8	13.5	86.5
9.5	4	940.2	541.4	398.8	11.9	25.4	74.6
4.8	5	1127.2	501.4	625.8	18.6	44.0	56.0
2.0	6	1019.7	375.5	644.2	19.2	63.2	36.8

2mmふるい通過分 m_{1S} のふるい分析 (沈降分析を行う場合には、沈降分析の後に行う)

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
0.850	7	471.35	425.28	46.07	45.6	45.6	20.6
0.425	8	421.36	398.40	22.96	22.7	68.3	12.0
0.250	9	385.04	374.88	10.16	10.0	78.3	8.2
0.106	10	366.14	356.59	9.55	9.4	87.8	4.6
0.075	11	350.18	348.08	2.10	2.1	89.9	3.8

表 5.7 土の粒度試験ふるい分析の結果(不動沢 No. 2)

全試料の含水比				2mmふるい通過試料の含水比			
容器 No.	31	32	33	容器 No.	26	27	40
m_a g	737.21	767.83	648.81	m_a g	63.33	50.54	56.61
m_b g	736.03	766.81	648.00	m_b g	63.16	50.45	56.48
m_c g	173.16	163.68	163.91	m_c g	22.00	22.80	22.25
w %	0.2	0.2	0.2	w_1 %	0.4	0.3	0.4
平均値 w %	0.2			%	0.4		
(全試料+容器)質量 g			8673.0	(2mmふるい通過試料+容器)質量 g			297.64
容器質量 g			1007.0	容器質量 g			182.24
全試料質量 g			7666.0	2mmふるい通過試料の質量 g			115.40
全試料の炉乾燥質量 m_S g			7652.1	2mmふるい通過試料炉乾燥質量 m_{1S}			114.97
2mmふるい 残留分の水 洗後の試料	(全試料+容器)質量 g	5692.0	全試料の炉乾燥質量に対する2mm ふるい通過試料の炉乾燥質量の比				0.358
	容器質量 g	777.0					
	炉乾燥質量 m_{0S} g	4915.0					

2mmふるい残留分 m_{0S} のふるい分析

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
75.0				0.0	0.0	0.0	100.0
53.0				0.0	0.0	0.0	100.0
37.5	1	867.4	550.0	317.4	4.1	4.1	95.9
26.5	2	884.8	535.8	349.0	4.6	8.7	91.3
19.0	3	860.8	549.4	311.5	4.1	12.8	87.2
9.5	4	1727.0	541.3	1185.7	15.5	28.3	71.7
4.8	5	2118.2	501.3	1616.9	21.1	49.4	50.6
2.0	6	1513.7	375.4	1138.3	14.9	64.3	35.7

2mmふるい通過分 m_{1S} のふるい分析(沈降分析を行う場合には、沈降分析の後に行う)

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
0.850	7	474.02	425.26	48.76	42.4	42.4	20.6
0.425	8	422.39	398.43	23.96	20.8	63.3	13.1
0.250	9	386.56	374.88	11.68	10.2	73.4	9.5
0.106	10	368.94	356.59	12.35	10.7	84.2	5.7
0.075	11	351.01	348.05	2.96	2.6	86.7	4.7

表 5.8 土の粒度試験ふるい分析の結果(不動沢 No. 3)

全試料の含水比				2mmふるい通過試料の含水比			
容器 No.	41	42	43	容器 No.	83	49	50
m_a g	513.41	432.50	554.85	m_a g	59.92	56.04	55.33
m_b g	512.47	431.82	553.91	m_b g	59.79	55.92	55.22
m_c g	176.05	169.81	175.36	m_c g	23.28	21.53	22.35
w %	0.3	0.3	0.2	w_1 %	0.4	0.3	0.3
平均値 w %	0.3			%	0.3		
(全試料+容器)質量 g			5268.0	(2mmふるい通過試料+容器)質量 g			321.87
容器質量 g			1076.0	容器質量 g			209.87
全試料質量 g			4192.0	2mmふるい通過試料の質量 g			112.00
全試料の炉乾燥質量 m_S g			4181.0	2mmふるい通過試料炉乾燥質量 m_{1S}			111.61
2mmふるい 残留分の水 洗後の試料	(全試料+容器)質量 g	3514.0	全試料の炉乾燥質量に対する2mm ふるい通過試料の炉乾燥質量の比				0.416
	容器質量 g	1073.0					
	炉乾燥質量 m_{0S} g	2441.0					

2mmふるい残留分 m_{0S} のふるい分析

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
75.0				0.0	0.0	0.0	100.0
53.0				0.0	0.0	0.0	100.0
37.5				0.0	0.0	0.0	100.0
26.5	1	806.8	535.8	271.0	6.5	6.5	93.5
19.0	2	668.0	549.4	118.7	2.8	9.3	90.7
9.5	3	1088.1	541.3	546.7	13.1	22.4	77.6
4.8	4	1382.0	501.4	880.6	21.1	43.5	56.5
2.0	5	1001.4	375.5	626.0	15.0	58.4	41.6

2mmふるい通過分 m_{1S} のふるい分析 (沈降分析を行う場合には、沈降分析の後に行う)

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
0.850	6	468.44	425.24	43.20	38.7	38.7	25.5
0.425	7	424.99	398.41	26.58	23.8	62.5	15.6
0.250	8	388.45	374.87	13.58	12.2	74.7	10.5
0.106	9	368.88	356.54	12.34	11.1	85.7	5.9
0.075	10	350.60	348.04	2.56	2.3	88.0	5.0

表 5.9 土の粒度試験ふるい分析の結果(不動沢 No. 4)

全試料の含水比				2mmふるい通過試料の含水比			
容器 No.	51	52	53	容器 No.	36	41	59
m_a g	554.52	559.04	542.98	m_a g	55.55	59.26	58.46
m_b g	554.16	558.65	542.63	m_b g	55.48	59.19	58.38
m_c g	175.93	164.78	164.66	m_c g	19.28	22.41	22.61
w %	0.1	0.1	0.1	w_1 %	0.2	0.2	0.2
平均値 w %	0.1			%	0.2		
(全試料+容器)質量 g			4655.0	(2mmふるい通過試料+容器)質量 g			289.09
容器質量 g			1076.0	容器質量 g			179.20
全試料質量 g			3579.0	2mmふるい通過試料の質量 g			109.89
全試料の炉乾燥質量 m_S g			3575.6	2mmふるい通過試料炉乾燥質量 m_{1S}			109.67
2mmふるい 残留分の水 洗後の試料	(全試料+容器)質量 g	2384.0	全試料の炉乾燥質量に対する2mm ふるい通過試料の炉乾燥質量の比				0.619
	容器質量 g	1020.0					
	炉乾燥質量 m_{0S} g	1364.0					

2mmふるい残留分 m_{0S} のふるい分析

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
75.0				0.0	0.0	0.0	100.0
53.0				0.0	0.0	0.0	100.0
37.5				0.0	0.0	0.0	100.0
26.5	11	535.8	535.8	0.0	0.0	0.0	100.0
19.0	12	549.2	549.2	0.0	0.0	0.0	100.0
9.5	13	750.0	294.3	455.7	12.7	12.7	87.3
4.8	14	940.5	501.3	439.1	12.3	25.0	75.0
2.0	15	1094.2	375.4	718.7	20.1	45.1	54.9

2mmふるい通過分 m_{1S} のふるい分析(沈降分析を行う場合には、沈降分析の後に行う)

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
0.850	16	465.17	425.22	39.95	36.4	36.4	39.3
0.425	17	423.67	398.42	25.25	23.0	59.5	25.1
0.250	18	389.09	374.88	14.21	13.0	72.4	17.1
0.106	19	370.53	356.58	13.95	12.7	85.1	9.2
0.075	20	350.82	348.03	2.79	2.5	87.7	7.6

表 5.10 土の粒度試験ふるい分析の結果(不動沢 No. 5)

2mmふるい通過試料の含水比				浮標の検定	
容器 No.	59	41	36	球部の上端から目盛線1.000までの長さ l_1 mm	125.67
m_a g	54.33	55.40	46.60	球部の上端から目盛線1.050までの長さ l_2 mm	24.99
m_b g	54.22	55.29	46.51	浮標球部の長さ L_B mm	133.21
m_c g	22.61	22.41	19.28	浮標球部の体積 V_B cm ³	38.000
w_1 %	0.35	0.33	0.33	メニスカス補正 C_m	0.0005
平均値 w_1 %	0.3			メスシリンダーの断面積 A cm ²	32.17
(沈降分析用試料+容器)質量	190.65			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.667
容器質量 g	78.98			全試料の炉乾燥質量に対する 2mmふるい通過試料の炉乾燥質量の比	0.380
沈降分析用試料の質量 g	111.67				
沈降分析試料炉乾燥質量 m_{1S}	111.29				

沈降分析

測定時刻	経過時間	浮標の読み		測定時の水温 °C	有効深さ L mm	粒径 d mm	補正係数 F	加積通過率 P %	通過質量百分 $P(d)$ %
	t min	読み r	$r + C_m$						
13:40	0								
13:41	1	1.0115	1.0120	19	167.5	0.0562	0.0005	17.9	6.8
13:42	2	1.0100	1.0105	19	170.5	0.0401	0.0005	15.8	6.0
13:45	5	1.0095	1.0100	19	171.5	0.0254	0.0005	15.0	5.7
13:55	15	1.0075	1.0080	19	175.6	0.0148	0.0005	12.2	4.6
14:10	30	1.0070	1.0075	19	176.6	0.0105	0.0005	11.5	4.4
14:40	60	1.0060	1.0065	19	178.6	0.0076	0.0005	10.0	3.8
17:40	240	1.0050	1.0055	19	180.6	0.0038	0.0005	8.6	3.3
17:00	1640	1.0050	1.0055	18	180.6	0.0015	0.0005	8.6	3.3

粒径加積曲線

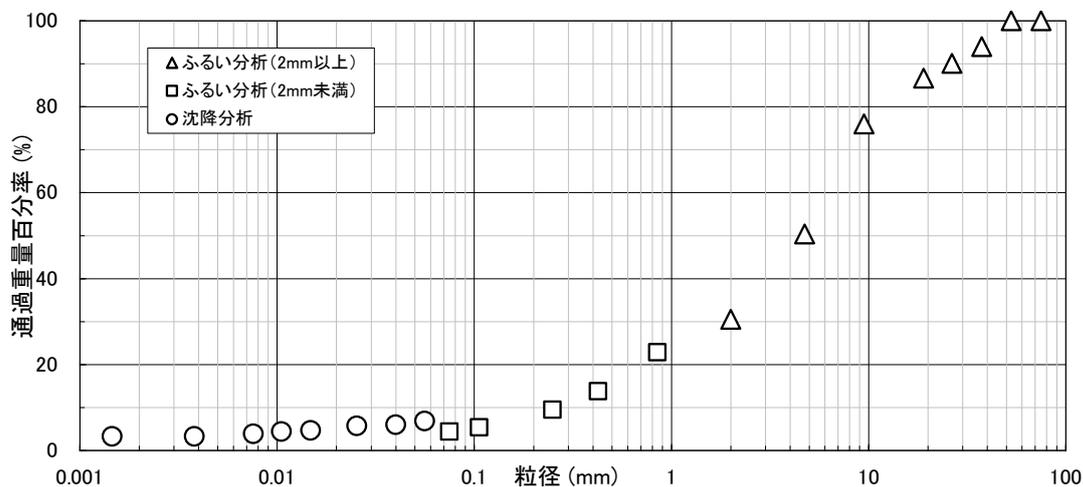


表 5.11 土の粒度試験沈降分析の結果と粒径加積曲線(不動沢 No. 1)

2mmふるい通過試料の含水比				浮標の検定	
容器 No.	50	49	83	球部の上端から目盛線1.000までの長さ l_1 mm	127.18
m_a g	55.86	51.53	55.26	球部の上端から目盛線1.050までの長さ l_2 mm	26.63
m_b g	55.75	51.42	55.14	浮標球部の長さ L_B mm	131.48
m_c g	22.35	21.53	23.28	浮標球部の体積 V_B cm ³	38.000
w_1 %	0.33	0.37	0.38	メニスカス補正 C_m	0.0005
平均値 w_1 %	0.4			メスシリンダーの断面積 A cm ²	32.17
(沈降分析用試料+容器)質量	180.44			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.667
容器質量 g	78.98			全試料の炉乾燥質量に対する 2mmふるい通過試料の炉乾燥質量の比	0.378
沈降分析用試料の質量 g	101.46				
沈降分析試料炉乾燥質量 m_{1S}	101.10				

沈降分析

測定時刻	経過時間	浮標の読み		測定時の水温 °C	有効深さ L mm	粒径 d mm	補正係数 F	加積通過率 P %	通過質量百分 $P(d)$ %
	t min	読み r	$r + C_m$						
13:50	0								
13:51	1	1.0115	1.0120	19	168.2	0.0563	0.0005	19.7	7.4
13:52	2	1.0105	1.0110	19	170.2	0.0400	0.0005	18.1	6.9
13:55	5	1.0095	1.0100	19	172.2	0.0255	0.0005	16.6	6.3
14:05	15	1.0085	1.0090	19	174.2	0.0148	0.0005	15.0	5.7
14:20	30	1.0080	1.0085	19	175.2	0.0105	0.0005	14.2	5.4
14:50	60	1.0075	1.0080	19	176.2	0.0074	0.0005	13.4	5.1
17:50	240	1.0075	1.0080	19	176.2	0.0037	0.0005	13.4	5.1
16:00	1570	1.0070	1.0075	18	177.2	0.0015	0.0005	12.6	4.8

粒径加積曲線

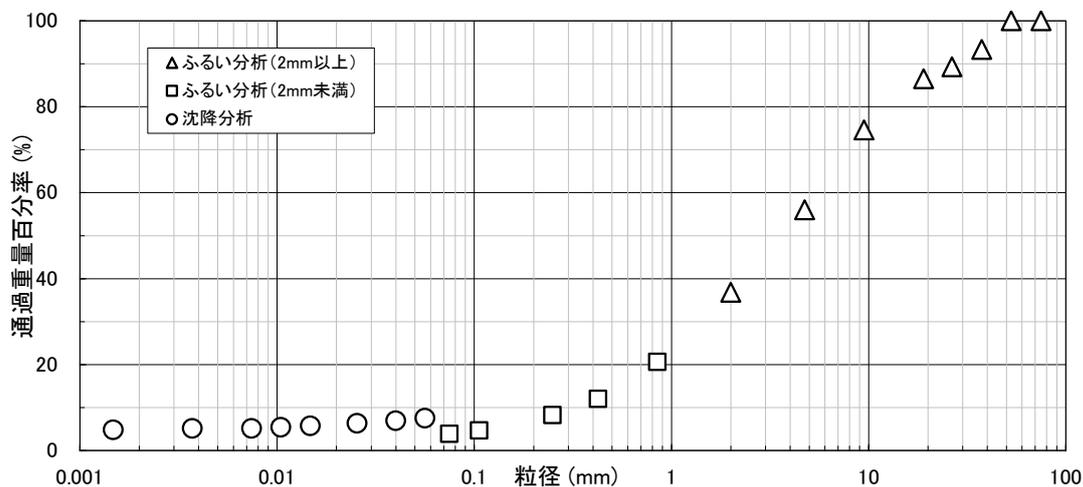


表 5.12 土の粒度試験沈降分析の結果と粒径加積曲線 (不動沢 No. 2)

2mmふるい通過試料の含水比				浮標の検定	
容器 No.	26	27	40	球部の上端から目盛線1.000までの長さ l_1 mm	125.67
m_a g	63.33	50.54	56.61	球部の上端から目盛線1.050までの長さ l_2 mm	24.99
m_b g	63.16	50.45	56.48	浮標球部の長さ L_B mm	133.21
m_c g	22.00	22.80	22.25	浮標球部の体積 V_B cm ³	38.000
w_1 %	0.41	0.33	0.38	メニスカス補正 C_m	0.0005
平均値 w_1 %	0.4			メスシリンダーの断面積 A cm ²	32.17
(沈降分析用試料+容器)質量	297.64			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.671
容器質量 g	182.24			全試料の炉乾燥質量に対する 2mmふるい通過試料の炉乾燥質量の比	0.358
沈降分析用試料の質量 g	115.40				
沈降分析試料炉乾燥質量 m_{1S}	114.97				

沈降分析

測定時刻	経過時間 t min	浮標の読み		測定時の水温 °C	有効深さ L mm	粒径 d mm	補正係数 F	加積通過率 P %	通過質量百分 $P(d)$ %
		読み r	$r + C_m$						
12:15	0								
12:16	1	1.0140	1.0145	19	162.5	0.0553	0.0005	20.8	7.4
12:17	2	1.0125	1.0130	19	165.5	0.0394	0.0005	18.7	6.7
12:20	5	1.0115	1.0120	19	167.5	0.0251	0.0005	17.3	6.2
12:30	15	1.0100	1.0105	19	170.5	0.0146	0.0005	15.2	5.5
12:45	30	1.0095	1.0100	19	171.5	0.0104	0.0005	14.6	5.2
13:15	60	1.0095	1.0100	19	171.5	0.0073	0.0005	14.6	5.2
16:24	249	1.0090	1.0095	19	172.6	0.0036	0.0005	13.9	5.0
15:00	1605	1.0080	1.0085	19	174.6	0.0014	0.0005	12.5	4.5

粒径加積曲線

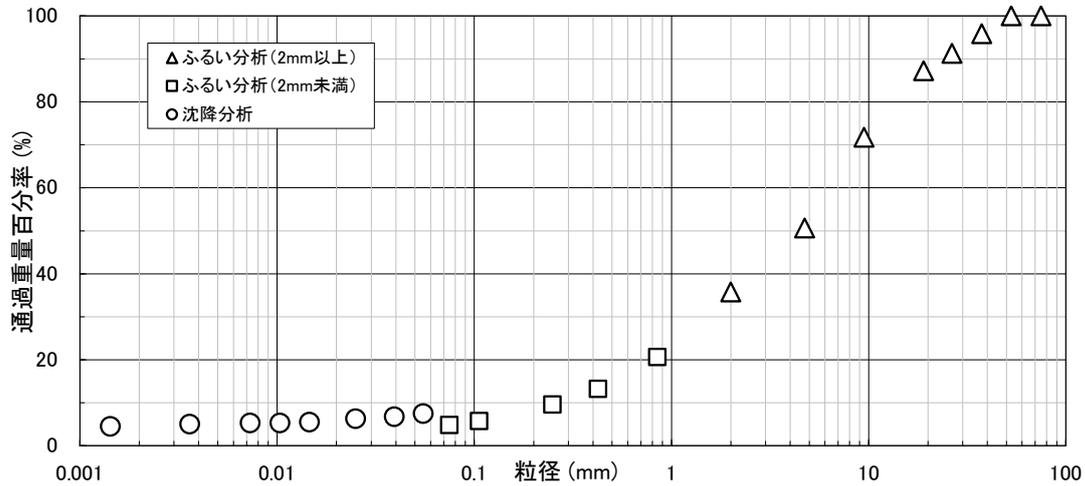


表 5.13 土の粒度試験沈降分析の結果と粒径加積曲線 (不動沢 No. 3)

2mmふるい通過試料の含水比				浮標の検定	
容器 No.	83	49	50	球部の上端から目盛線1.000までの長さ l_1 mm	127.18
m_a g	59.92	56.04	55.33	球部の上端から目盛線1.050までの長さ l_2 mm	26.63
m_b g	59.79	55.92	55.22	浮標球部の長さ L_B mm	131.48
m_c g	23.28	21.53	22.35	浮標球部の体積 V_B cm ³	38.000
w_1 %	0.36	0.35	0.33	メニスカス補正 C_m	0.0005
平均値 w_1 %	0.3			メスシリンダーの断面積 A cm ²	32.17
(沈降分析用試料+容器)質量	321.87			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.667
容器質量 g	209.87			全試料の炉乾燥質量に対する 2mmふるい通過試料の炉乾燥質量の比	0.416
沈降分析用試料の質量 g	112.00				
沈降分析試料炉乾燥質量 m_{1S}	111.61				

沈降分析

測定時刻	経過時間 t min	浮標の読み		測定時の水温 °C	有効深さ L mm	粒径 d mm	補正係数 F	加積通過率 P %	通過質量百分 $P(d)$ %
		読み r	$r + C_m$						
12:22	0								
12:23	1	1.0130	1.0135	19	165.2	0.0558	0.0005	20.0	8.3
12:24	2	1.0120	1.0125	19	167.2	0.0397	0.0005	18.6	7.7
12:27	5	1.0100	1.0105	19	171.2	0.0254	0.0005	15.7	6.5
12:37	15	1.0090	1.0095	19	173.2	0.0147	0.0005	14.3	5.9
12:52	30	1.0080	1.0085	19	175.2	0.0105	0.0005	12.9	5.4
13:22	60	1.0075	1.0080	19	176.2	0.0074	0.0005	12.1	5.1
16:25	243	1.0065	1.0070	19	178.3	0.0037	0.0005	10.7	4.5
12:22	1440	1.0065	1.0070	19	178.3	0.0015	0.0005	10.7	4.5

粒径加積曲線

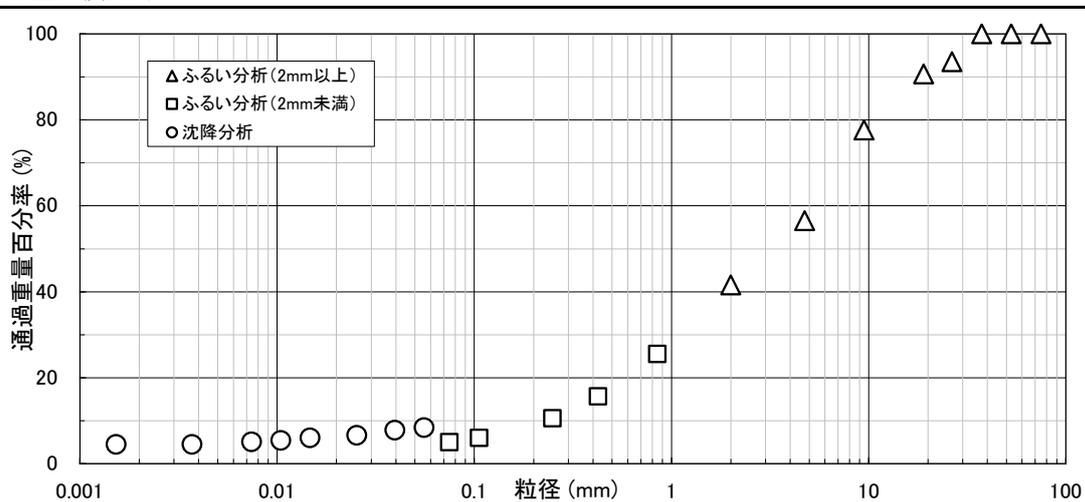


表 5.14 土の粒度試験沈降分析の結果と粒径加積曲線(不動沢 No. 4)

2mmふるい通過試料の含水比				浮標の検定	
容器 No.	36	41	59	球部の上端から目盛線1.000までの長さ l_1 mm	101.70
m_a g	55.55	59.26	58.46	球部の上端から目盛線1.050までの長さ l_2 mm	13.20
m_b g	55.48	59.19	58.38	浮標球部の長さ L_B mm	137.00
m_c g	19.28	22.41	22.61	浮標球部の体積 V_B cm ³	46.000
w_1 %	0.19	0.19	0.22	メニスカス補正 C_m	0.0005
平均値 w_1 %	0.2			メスシリンダーの断面積 A cm ²	32.17
(沈降分析用試料+容器)質量	289.09			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.662
容器質量 g	179.20			全試料の炉乾燥質量に対する 2mmふるい通過試料の炉乾燥質量の比	0.619
沈降分析用試料の質量 g	109.89				
沈降分析試料炉乾燥質量 m_{1s}	109.67				

沈降分析

測定時刻	経過時間 t min	浮標の読み		測定時の水温 °C	有効深さ L mm	粒径 d mm	補正係数 F	加積通過率 P %	通過質量百分 $P(d)$ %
		読み r	$r + C_m$						
9:30	0								
9:31	1	1.0165	1.0170	19	139.4	0.0520	0.0005	25.5	15.8
9:32	2	1.0150	1.0155	19	142.1	0.0371	0.0005	23.3	14.4
9:35	5	1.0135	1.0140	19	144.7	0.0237	0.0005	21.1	13.1
9:45	15	1.0120	1.0125	19	147.4	0.0138	0.0005	19.0	11.7
10:00	30	1.0120	1.0125	19	147.4	0.0098	0.0005	19.0	11.7
10:30	60	1.0110	1.0115	19	149.1	0.0069	0.0005	17.5	10.8
13:30	240	1.0110	1.0115	19	149.1	0.0035	0.0005	17.5	10.8
9:30	1440	1.0095	1.0100	19	151.8	0.0014	0.0005	15.3	9.5

粒径加積曲線

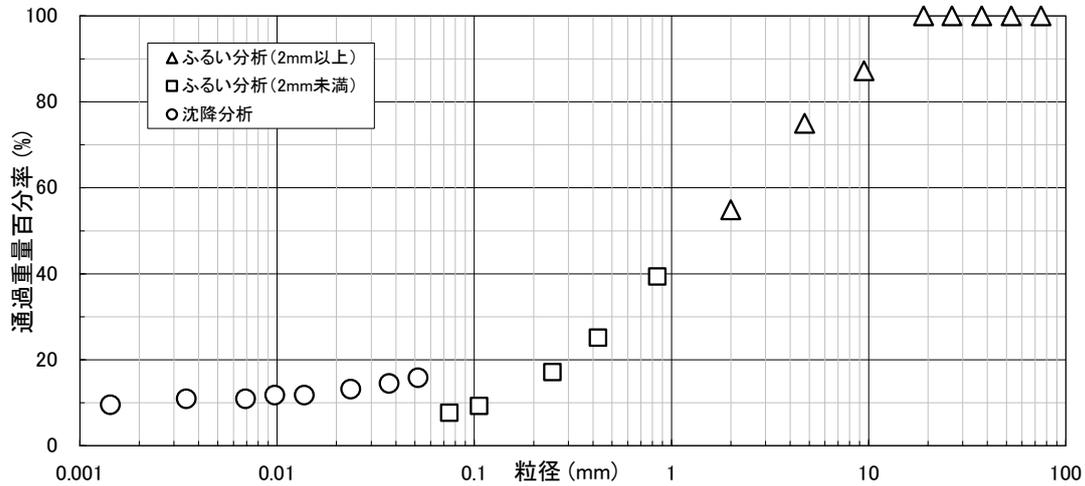


表 5.15 土の粒度試験沈降分析の結果と粒径加積曲線 (不動沢 No. 5)

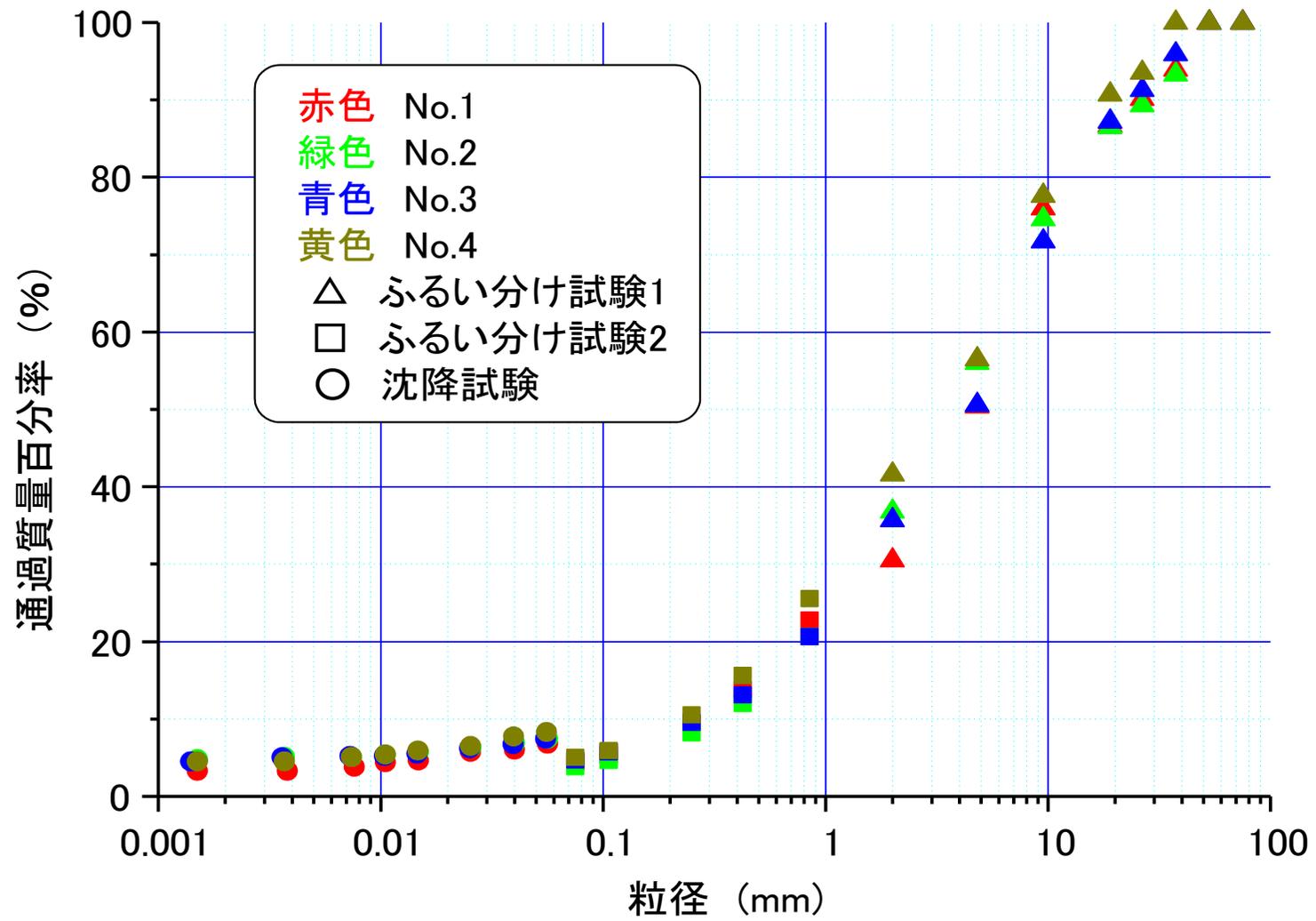


図 5.7 不動沢の粒径加積曲線

全試料の含水比				2mmふるい通過試料の含水比			
容器 No.	86	58	127	容器 No.	86	58	127
m_a g	28.60	38.64	33.43	m_a g	28.60	38.64	33.43
m_b g	25.57	34.62	30.17	m_b g	25.57	34.62	30.17
m_c g	19.07	12.77	12.67	m_c g	19.07	12.77	12.67
w %	46.6	18.4	18.6	w_1 %	46.6	18.4	18.6
平均値 w %	27.9			%	27.9		
(全試料+容器)質量 g			245.0	(2mmふるい通過試料+容器)質量 g			245.03
容器質量 g			182.3	容器質量 g			182.25
全試料質量 g			62.8	2mmふるい通過試料の質量 g			62.78
全試料の炉乾燥質量 m_S g			49.1	2mmふるい通過試料炉乾燥質量 m_{1S}			49.09
2mmふるい 残留分の水 洗後の試料	(全試料+容器)質量 g	0.0		全試料の炉乾燥質量に対する2mm ふるい通過試料の炉乾燥質量の比			1.000
	容器質量 g	0.0					
	炉乾燥質量 m_{0S} g	0.0					

2mmふるい残留分 m_{0S} のふるい分析

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
75.0				0.0	0.0	0.0	100.0
53.0				0.0	0.0	0.0	100.0
37.5				0.0	0.0	0.0	100.0
26.5				0.0	0.0	0.0	100.0
19.0				0.0	0.0	0.0	100.0
9.5				0.0	0.0	0.0	100.0
4.8				0.0	0.0	0.0	100.0
2.0				0.0	0.0	0.0	100.0

2mmふるい通過分 m_{1S} のふるい分析 (沈降分析を行う場合には、沈降分析の後に行う)

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
0.850	16	441.72	438.49	3.23	6.6	6.6	93.4
0.425	17	404.20	400.32	3.88	7.9	14.5	85.5
0.250	18	376.10	372.25	3.85	7.8	22.3	77.7
0.106	19	362.93	356.16	6.77	13.8	36.1	63.9
0.075	20	348.06	346.25	1.81	3.7	39.8	60.2

表 5.16 土の粒度試験ふるい分析の結果 (広場 B 深さ 10cm)

全試料の含水比				2mmふるい通過試料の含水比			
容器 No.	134	346	181	容器 No.	216	183	25
m_a g	29.37	30.69	30.39	m_a g	24.47	25.26	26.26
m_b g	29.04	30.33	30.08	m_b g	24.06	24.76	25.75
m_c g	20.53	19.98	19.00	m_c g	19.88	19.55	20.15
w %	3.9	3.5	2.8	w_1 %	9.8	9.6	9.1
平均値 w %	3.4			%	9.5		
(全試料+容器)質量 g			406.6	(2mmふるい通過試料+容器)質量 g			250.45
容器質量 g			209.8	容器質量 g			183.13
全試料質量 g			196.7	2mmふるい通過試料の質量 g			67.32
全試料の炉乾燥質量 m_S g			190.3	2mmふるい通過試料炉乾燥質量 m_{1S} g			61.48
2mmふるい 残留分の水 洗後の試料	(全試料+容器)質量 g	96.0	全試料の炉乾燥質量に対する2mm ふるい通過試料の炉乾燥質量の比				0.495
	容器質量 g	0.0					
	炉乾燥質量 m_{0S} g	96.0					

2mmふるい残留分 m_{0S} のふるい分析

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
75.0				0.0	0.0	0.0	100.0
53.0				0.0	0.0	0.0	100.0
37.5				0.0	0.0	0.0	100.0
26.5				0.0	0.0	0.0	100.0
19.0	1	560.2	549.3	10.9	5.7	5.7	94.3
9.5	2	568.6	541.4	27.2	14.3	20.0	80.0
4.8	3	622.2	593.1	29.2	15.3	35.4	64.6
2.0	4	578.7	550.0	28.7	15.1	50.5	49.5

2mmふるい通過分 m_{1S} のふるい分析 (沈降分析を行う場合には、沈降分析の後に行う)

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
0.850	16	449.91	438.49	11.42	18.6	18.6	40.3
0.425	17	409.77	400.32	9.45	15.4	33.9	32.7
0.250	18	378.00	372.25	5.75	9.4	43.3	28.1
0.106	19	363.22	356.14	7.08	11.5	54.8	22.4
0.075	20	348.36	346.21	2.15	3.5	58.3	20.6

表 5.17 土の粒度試験ふるい分析の結果 (広場 B 深さ 30cm)

全試料の含水比				2mmふるい通過試料の含水比			
容器 No.	379	353	233	容器 No.	379	353	233
m_a g	29.63	31.93	29.88	m_a g	29.63	31.93	29.88
m_b g	27.47	29.51	27.75	m_b g	27.47	29.51	27.75
m_c g	18.88	20.01	19.46	m_c g	18.88	20.01	19.46
w %	25.1	25.5	25.7	w_1 %	25.1	25.5	25.7
平均値 w %	25.4			%	25.4		
(全試料+容器)質量 g			251.3	(2mmふるい通過試料+容器)質量 g			251.28
容器質量 g			179.2	容器質量 g			179.21
全試料質量 g			72.1	2mmふるい通過試料の質量 g			72.07
全試料の炉乾燥質量 m_S g			57.5	2mmふるい通過試料炉乾燥質量 m_{1S}			57.45
2mmふるい 残留分の水 洗後の試料	(全試料+容器)質量 g	0.0		全試料の炉乾燥質量に対する2mm ふるい通過試料の炉乾燥質量の比			1.000
	容器質量 g	0.0					
	炉乾燥質量 m_{0S} g	0.0					

2mmふるい残留分 m_{0S} のふるい分析

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
75.0				0.0	0.0	0.0	100.0
53.0				0.0	0.0	0.0	100.0
37.5				0.0	0.0	0.0	100.0
26.5				0.0	0.0	0.0	100.0
19.0				0.0	0.0	0.0	100.0
9.5				0.0	0.0	0.0	100.0
4.8				0.0	0.0	0.0	100.0
2.0				0.0	0.0	0.0	100.0

2mmふるい通過分 m_{1S} のふるい分析 (沈降分析を行う場合には、沈降分析の後に行う)

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
0.850	16	442.43	438.49	3.94	6.9	6.9	93.1
0.425	17	404.90	400.30	4.60	8.0	14.9	85.1
0.250	18	375.91	372.23	3.68	6.4	21.3	78.7
0.106	19	362.13	356.12	6.01	10.5	31.7	68.3
0.075	20	347.74	346.20	1.54	2.7	34.4	65.6

表 5.18 土の粒度試験ふるい分析の結果 (広場 B 深さ 90cm)

全試料の含水比				2mmふるい通過試料の含水比			
容器 No.	127	319	272	容器 No.	127	319	272
m_a g	29.59	28.43	27.47	m_a g	29.59	28.43	27.47
m_b g	27.35	26.03	25.50	m_b g	27.35	26.03	25.50
m_c g	20.78	18.91	19.73	m_c g	20.78	18.91	19.73
w %	34.1	33.7	34.1	w_1 %	34.1	33.7	34.1
平均値 w %	34.0			%	34.0		
(全試料+容器)質量 g			250.5	(2mmふるい通過試料+容器)質量 g			250.45
容器質量 g			183.1	容器質量 g			183.13
全試料質量 g			67.3	2mmふるい通過試料の質量 g			67.32
全試料の炉乾燥質量 m_S g			50.2	2mmふるい通過試料炉乾燥質量 m_{1S}			50.25
2mmふるい 残留分の水 洗後の試料	(全試料+容器)質量 g	0.0		全試料の炉乾燥質量に対する2mm ふるい通過試料の炉乾燥質量の比			1.000
	容器質量 g	0.0					
	炉乾燥質量 m_{0S} g	0.0					

2mmふるい残留分 m_{0S} のふるい分析

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
75.0				0.0	0.0	0.0	100.0
53.0				0.0	0.0	0.0	100.0
37.5				0.0	0.0	0.0	100.0
26.5				0.0	0.0	0.0	100.0
19.0				0.0	0.0	0.0	100.0
9.5				0.0	0.0	0.0	100.0
4.8				0.0	0.0	0.0	100.0
2.0				0.0	0.0	0.0	100.0

2mmふるい通過分 m_{1S} のふるい分析 (沈降分析を行う場合には、沈降分析の後に行う)

ふるい mm	容器 No.	(残留試料+ 容器)質量 g	容器質量 g	残留試料質 量 g	残留率 %	加積残留率 %	通過質量 百分率 %
0.850	16	440.52	438.48	2.04	4.1	4.1	95.9
0.425	17	403.09	400.30	2.79	5.6	9.6	90.4
0.250	18	375.37	372.23	3.14	6.2	15.9	84.1
0.106	19	363.30	356.07	7.23	14.4	30.3	69.7
0.075	20	347.62	346.17	1.45	2.9	33.1	66.9

表 5.19 土の粒度試験ふるい分析の結果(広場 B 深さ 180cm)

2mmふるい通過試料の含水比				浮標の検定	
容器 No.	86	58	127	球部の上端から目盛線1.000までの長さ l_1 mm	125.67
m_a g	28.60	38.64	33.43	球部の上端から目盛線1.050までの長さ l_2 mm	24.99
m_b g	25.57	34.62	30.17	浮標球部の長さ L_B mm	133.21
m_c g	19.07	12.77	12.67	浮標球部の体積 V_B cm ³	38.000
w_1 %	46.62	18.40	18.63	メニスカス補正 C_m	0.0005
平均値 w_1 %	27.9			メスシリンダーの断面積 A cm ²	29.51
(沈降分析用試料+容器)質量	245.03			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.700
容器質量 g	182.25			全試料の炉乾燥質量に対する 2mmふるい通過試料の炉乾燥質量の比	1.000
沈降分析用試料の質量 g	62.78				
沈降分析試料炉乾燥質量 m_{1S}	49.09				

沈降分析

測定時刻	経過時間 t min	浮標の読み		測定時の水温 °C	有効深さ L mm	粒径 d mm	補正係数 F	加積通過率 P %	通過質量百分 $P(d)$ %
		読み r	$r + C_m$						
14:00	0								
14:01	1	1.0148	1.0153	26	160.8	0.0502	0.002	55.7	55.7
14:02	2	1.0130	1.0135	26	164.4	0.0359	0.002	49.9	49.9
14:05	5	1.0110	1.0115	26	168.5	0.0230	0.002	43.5	43.5
14:15	15	1.0087	1.0092	26	173.1	0.0134	0.002	36.1	36.1
14:30	30	1.0074	1.0079	26	175.7	0.0096	0.002	31.9	31.9
15:00	60	1.0066	1.0071	26	177.3	0.0068	0.002	29.3	29.3
18:03	243	1.0048	1.0053	26	181.0	0.0034	0.002	23.5	23.5
14:00	1440	1.0028	1.0033	27	185.0	0.0014	0.0025	18.7	18.7

粒径加積曲線

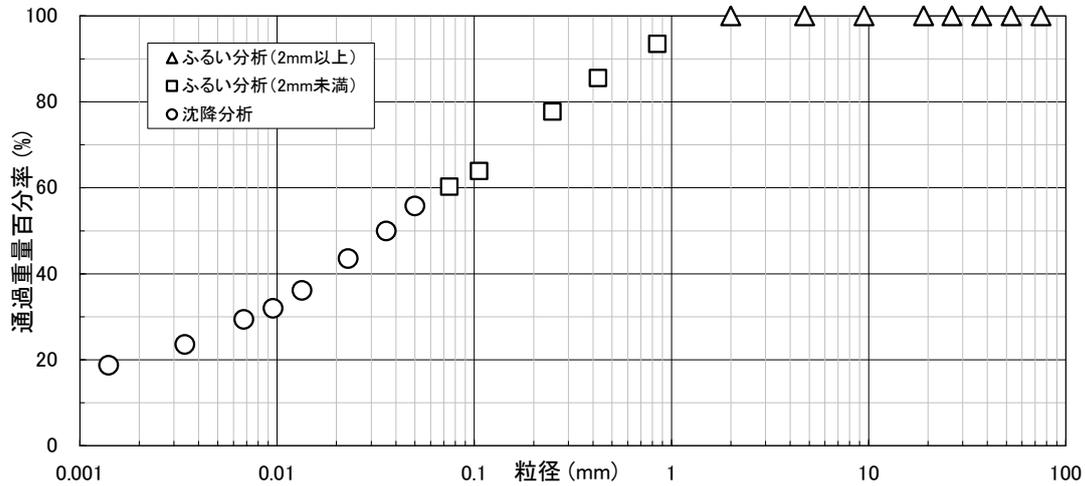


表 5.20 土の粒度試験沈降分析の結果と粒径加積曲線 (広場 B 深さ 10cm)

2mmふるい通過試料の含水比				浮標の検定	
容器 No.	216	183	25	球部の上端から目盛線1.000までの長さ l_1 mm	125.67
m_a g	24.47	25.26	26.26	球部の上端から目盛線1.050までの長さ l_2 mm	24.99
m_b g	24.06	24.76	25.75	浮標球部の長さ L_B mm	133.21
m_c g	19.88	19.55	20.15	浮標球部の体積 V_B cm ³	38.000
w_1 %	9.81	9.60	9.11	メニスカス補正 C_m	0.0005
平均値 w_1 %	9.5			メスシリンダーの断面積 A cm ²	28.09
(沈降分析用試料+容器)質量	250.45			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.700
容器質量 g	183.13			全試料の炉乾燥質量に対する 2mmふるい通過試料の炉乾燥質量の比	0.495
沈降分析用試料の質量 g	67.32				
沈降分析試料炉乾燥質量 m_{1S}	61.48				

沈降分析

測定時刻	経過時間 t min	浮標の読み		測定時の水温 °C	有効深さ L mm	粒径 d mm	補正係数 F	加積通過率 P %	通過質量百分 $P(d)$ %
		読み r	$r + C_m$						
14:08	0								
14:09	1	1.0110	1.0115	26	168.4	0.0513	0.002	34.7	17.2
14:10	2	1.0099	1.0104	26	170.7	0.0365	0.002	31.9	15.8
14:13	5	1.0078	1.0083	26	174.9	0.0234	0.002	26.5	13.1
14:23	15	1.0056	1.0061	26	179.3	0.0137	0.002	20.8	10.3
14:38	30	1.0050	1.0055	26	180.5	0.0097	0.002	19.3	9.6
15:08	60	1.0042	1.0047	26	182.1	0.0069	0.002	17.2	8.5
18:11	243	1.0032	1.0037	26	184.1	0.0034	0.002	14.7	7.3
14:08	1440	1.0028	1.0033	27	185.0	0.0014	0.0025	14.9	7.4

粒径加積曲線

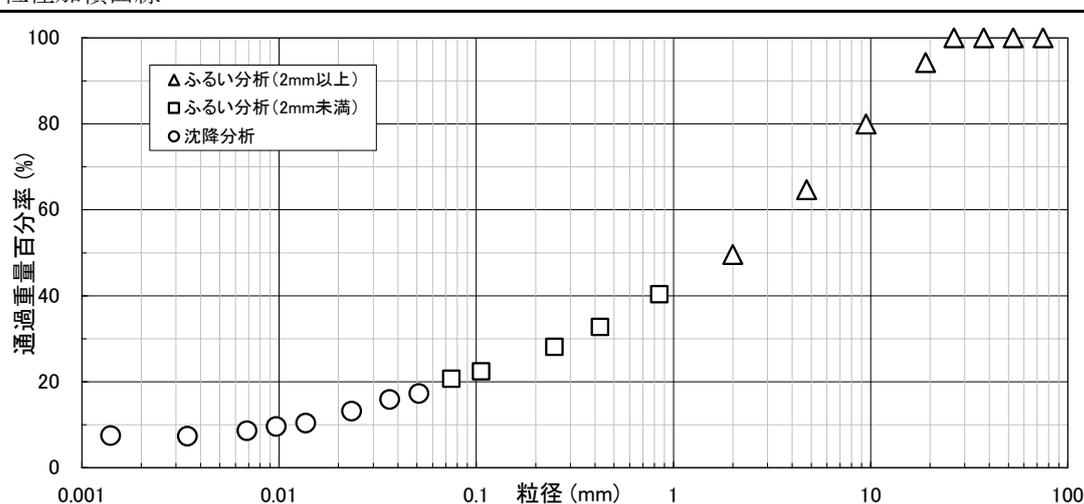


表 5.21 土の粒度試験沈降分析の結果と粒径加積曲線(広場 B 深さ 30cm)

2mmふるい通過試料の含水比				浮標の検定	
容器 No.	379	353	233	球部の上端から目盛線1.000までの長さ l_1 mm	125.67
m_a g	29.63	31.93	29.88	球部の上端から目盛線1.050までの長さ l_2 mm	24.99
m_b g	27.47	29.51	27.75	浮標球部の長さ L_B mm	133.21
m_c g	18.88	20.01	19.46	浮標球部の体積 V_B cm ³	38.000
w_1 %	25.15	25.47	25.69	メニスカス補正 C_m	0.0005
平均値 w_1 %	25.4			メスシリンダーの断面積 A cm ²	28.27
(沈降分析用試料+容器)質量	251.28			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.700
容器質量 g	179.21			全試料の炉乾燥質量に対する 2mmふるい通過試料の炉乾燥質量の比	1.000
沈降分析用試料の質量 g	72.07				
沈降分析試料炉乾燥質量 m_{1S}	57.45				

沈降分析

測定時刻	経過時間 t min	浮標の読み 読み r $r + C_m$		測定時の水温 °C	有効深さ L mm	粒径 d mm	補正係数 F	加積通過率 P %	通過質量百分 $P(d)$ %
14:07	0								
14:08	1	1.0174	1.0179	26	155.6	0.0493	0.002	54.7	54.7
14:09	2	1.0163	1.0168	26	157.8	0.0351	0.002	51.7	51.7
14:12	5	1.0138	1.0143	26	162.8	0.0226	0.002	44.8	44.8
14:22	15	1.0113	1.0118	26	167.8	0.0132	0.002	38.0	38.0
14:37	30	1.0101	1.0106	26	170.3	0.0094	0.002	34.7	34.7
15:07	60	1.0092	1.0097	26	172.1	0.0067	0.002	32.2	32.2
18:10	243	1.0065	1.0070	26	177.5	0.0034	0.002	24.8	24.8
14:07	1440	1.0044	1.0049	27	181.7	0.0014	0.0025	20.4	20.4

粒径加積曲線

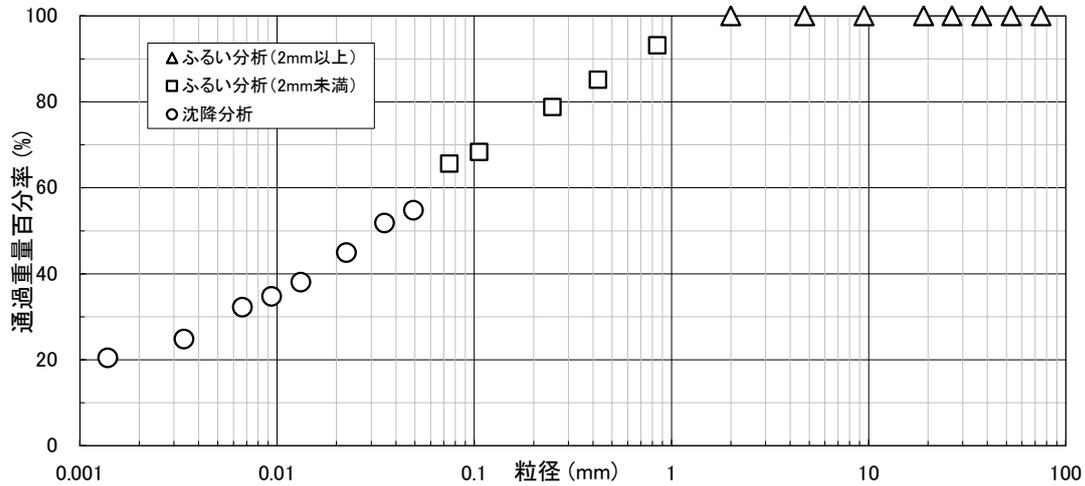


表 5.22 土の粒度試験沈降分析の結果と粒径加積曲線(広場B 深さ 90cm)

2mmふるい通過試料の含水比				浮標の検定	
容器 No.	127	319	272	球部の上端から目盛線1.000までの長さ l_1 mm	125.67
m_a g	29.59	28.43	27.47	球部の上端から目盛線1.050までの長さ l_2 mm	24.99
m_b g	27.35	26.03	25.50	浮標球部の長さ L_B mm	133.21
m_c g	20.78	18.91	19.73	浮標球部の体積 V_B cm ³	38.000
w_1 %	34.09	33.71	34.14	メニスカス補正 C_m	0.0005
平均値 w_1 %	34.0			メスシリンダーの断面積 A cm ²	36.10
(沈降分析用試料+容器)質量	250.45			土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.700
容器質量 g	183.13			全試料の炉乾燥質量に対する 2mmふるい通過試料の炉乾燥質量の比	1.000
沈降分析用試料の質量 g	67.32				
沈降分析試料炉乾燥質量 m_{1S} g	50.25				

沈降分析

測定時刻	経過時間 t min	浮標の読み		測定時の水温 °C	有効深さ L mm	粒径 d mm	補正係数 F	加積通過率 P %	通過質量百分 $P(d)$ %
		読み r	$r + C_m$						
14:08	0								
14:09	1	1.0180	1.0185	26	154.5	0.0492	0.002	64.5	64.5
14:10	2	1.0175	1.0180	26	155.5	0.0349	0.002	62.9	62.9
14:13	5	1.0153	1.0158	26	159.9	0.0224	0.002	56.0	56.0
14:23	15	1.0134	1.0139	26	163.8	0.0131	0.002	50.0	50.0
14:38	30	1.0122	1.0127	26	166.2	0.0093	0.002	46.2	46.2
15:08	60	1.0110	1.0115	26	168.6	0.0066	0.002	42.5	42.5
18:11	243	1.0086	1.0091	26	173.4	0.0033	0.002	34.9	34.9
14:08	1440	1.0052	1.0057	27	180.3	0.0014	0.0025	25.8	25.8

粒径加積曲線

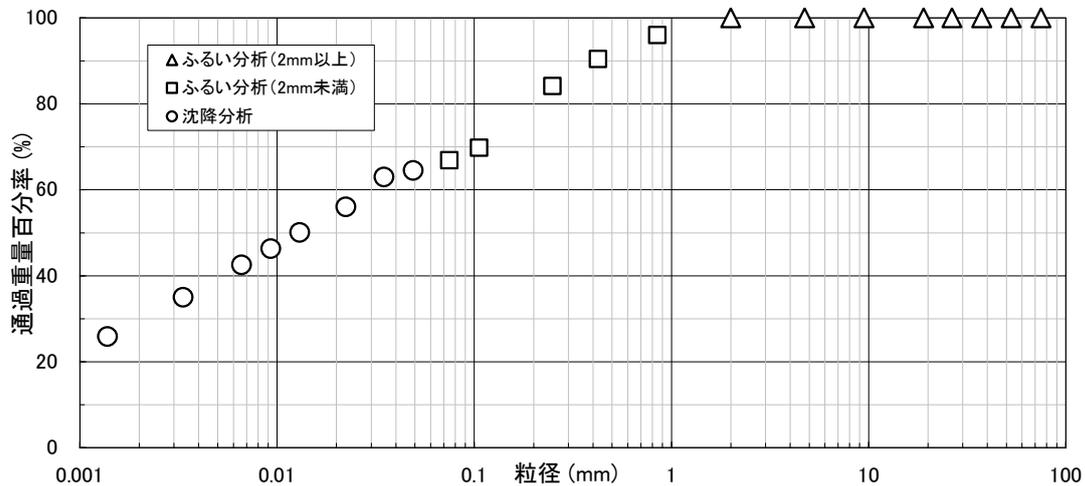


表 5.23 土の粒度試験沈降分析の結果と粒径加積曲線(広場 B 深さ 180cm)

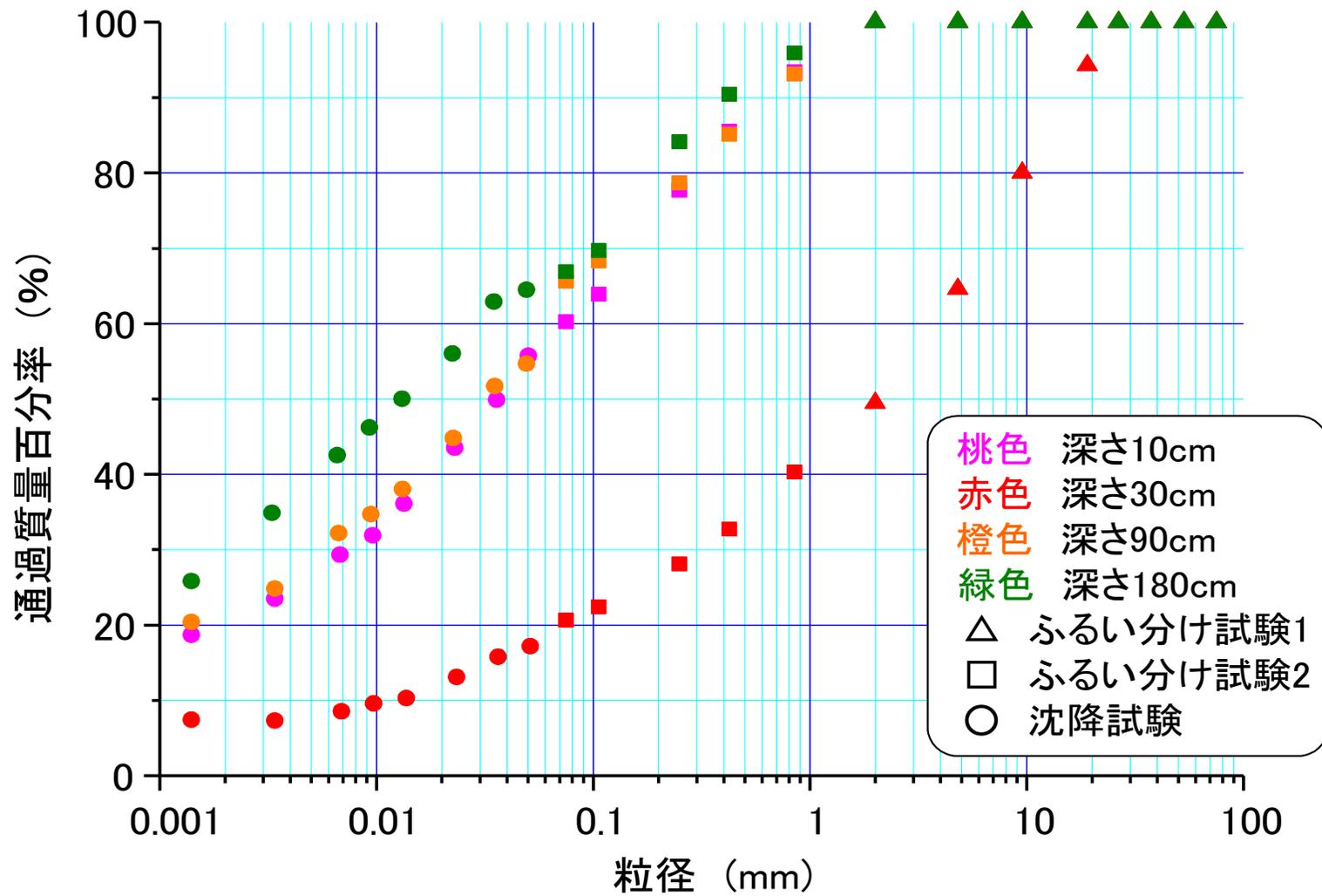


図 5.8 広場Bの粒径加積曲線

考察

図 6.10 及び表 6.11～表 6.15 に掲載した不動沢の粒径加積曲線を見ると、ふるい分け試験によって求めた $75\mu\text{m}$ 以上の部分と沈降分析試験によって求めた $75\mu\text{m}$ 未満の部分の粒径加積曲線が連続していない。しかし沈降分析で用いる表 6.1～表 6.5 に掲載した土粒子密度試験は、安定してデータを取得出来ている上に No.1～No.4 の同地点での粒度試験結果はほぼ同値の試験結果を得ているが、全てのサンプルで粒径加積曲線が連続していない。そのためこの理由として、試料の粒形が角張っているうえに表面の粗度もたかく、沈降分析が仮定している表面が滑らかな球体に比べて沈降速度が遅くなり、その分、粒径が小さく評価されていることが考えられる。しかし、粒径加積曲線の不連続は通過質量率にして数%程度であり、誤差の絶対量はそれほど大きくはないといえる。

また 10%通過粒径はいずれの試料についても $75\mu\text{m}$ 以上であるので、粒径 $75\mu\text{m}$ 未満の細粒分の粒径分布データはあまり重要ではないと考えられる。

次にまとめた不動沢観測地点 No.1～No.4 の粒度試験結果から 50%通過質量百分率(D_{50})、30%通過質量百分率(D_{30})及び粒径 2mm 通過百分率をそれぞれ算出した(表 6.28)。

D_{50}	約4.5mm
D_{30}	約1.5mm
粒径2mm通過百分率	約35%

表 5.28 不動沢粒度試験各計測値

D_{50} が約 4.5mm、粒径 2mm 通過百分率が約 35%となっており不動沢が粒度の粗い土質であることがわかる。

次に図 6.11 及び表 6.20～表 6.23 に掲載した広場 B の粒径加積曲線を見ると、深さ 30cm とそれ以外で土質が大きく異なっているということがわかる。粒度試験結果から 50%通過質量百分率(D_{50})、30%通過質量百分率(D_{30})及び粒径 2mm 通過百分率をそれぞれ算出した(表 6.29)。

	深さ10cm	深さ30cm	深さ90cm	深さ180cm
D_{50}	0.025mm	2mm	0.02mm	0.013mm
D_{30}	0.007mm	0.3mm	0.006mm	0.002mm
粒径2mmの通過百分率	100%	50%	100%	100%

表 5.29 不動沢粒度試験各計測値

深さ 30cm は D_{50} が 2mm、粒径 2mm の通過百分率が 50%とやや粒度の粗い土質となっているが、深さ 10cm・90cm・180cm に関しては D_{50} が 0.03mm 以下で、粒径 2mm の通過百分率がいずれも 100%と粒度の細かい土質となっていることがわかる。

以上のことから不動沢は粒度の粗い水はけの良い土質、広場 B が深さ 30cm を除いて粒度の細かい水はけの悪い土質であることがわかる。

5.4 地形測量結果

用いた写真は、下流側斜面が写真 5.1 と写真 5.2、上流側斜面が写真 5.3 と写真 5.4 である。

図 5.9 にメジャーを使い、手動で計測した不動沢の実測値を示した。

「デジカメ活用による デジタル測量入門」のプログラムは求点と基準点、パスポイントを合わせて下流側斜面で 22 個、上流側斜面で 24 個設定し解析を行った。この下流側斜面の結果を図 5.10 に、上流側斜面の結果を図 5.11 にそれぞれ示した。

「SurveyFromPhoto」はペア画像内の共通点を下流側斜面で 215 個、上流側斜面で 240 個設定して 3 次元化を行った。この下流側斜面の結果を図 5.12 図 5.13 に、上流側斜面の結果を図 5.14 図 5.15 にそれぞれ示した。この 3 次元化データから算出した各距離の下流側斜面の結果を図 5.16 に、上流側斜面の結果を図 5.17 にそれぞれ示した。



写真 5.1 不動沢左側斜面 1



写真 5.2 不動沢左側斜面 2



写真 5.3 不動沢右側斜面 1



写真 5.4 不動沢右側斜面 2

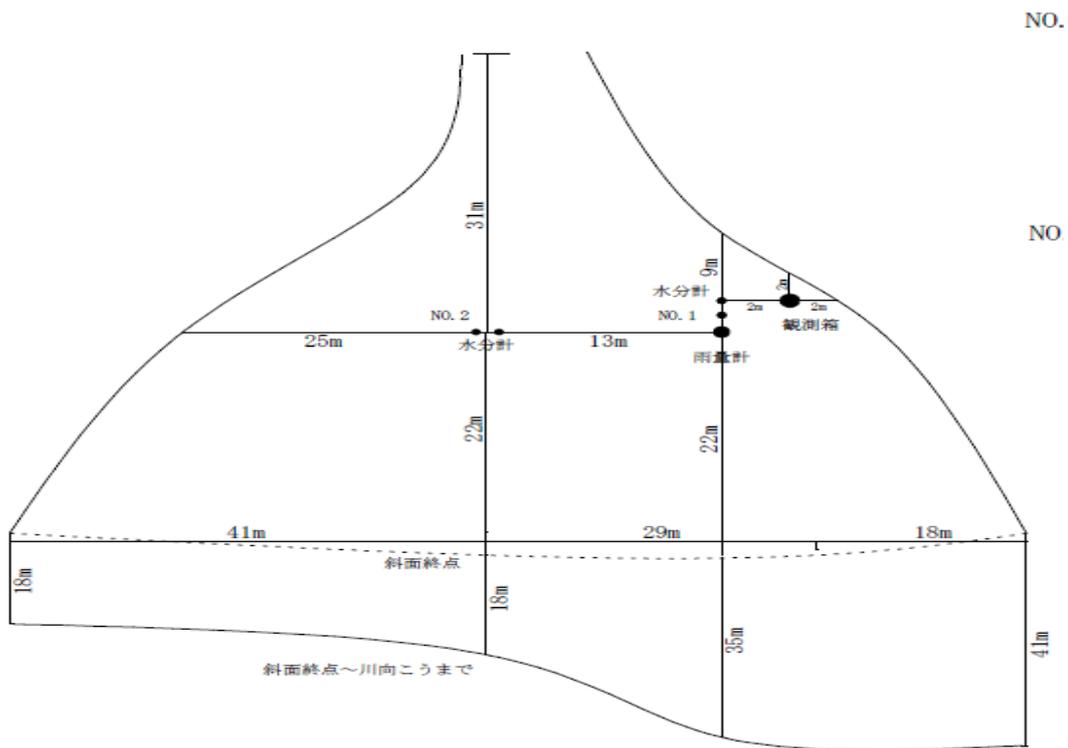


図 5.9 不動沢の実測図

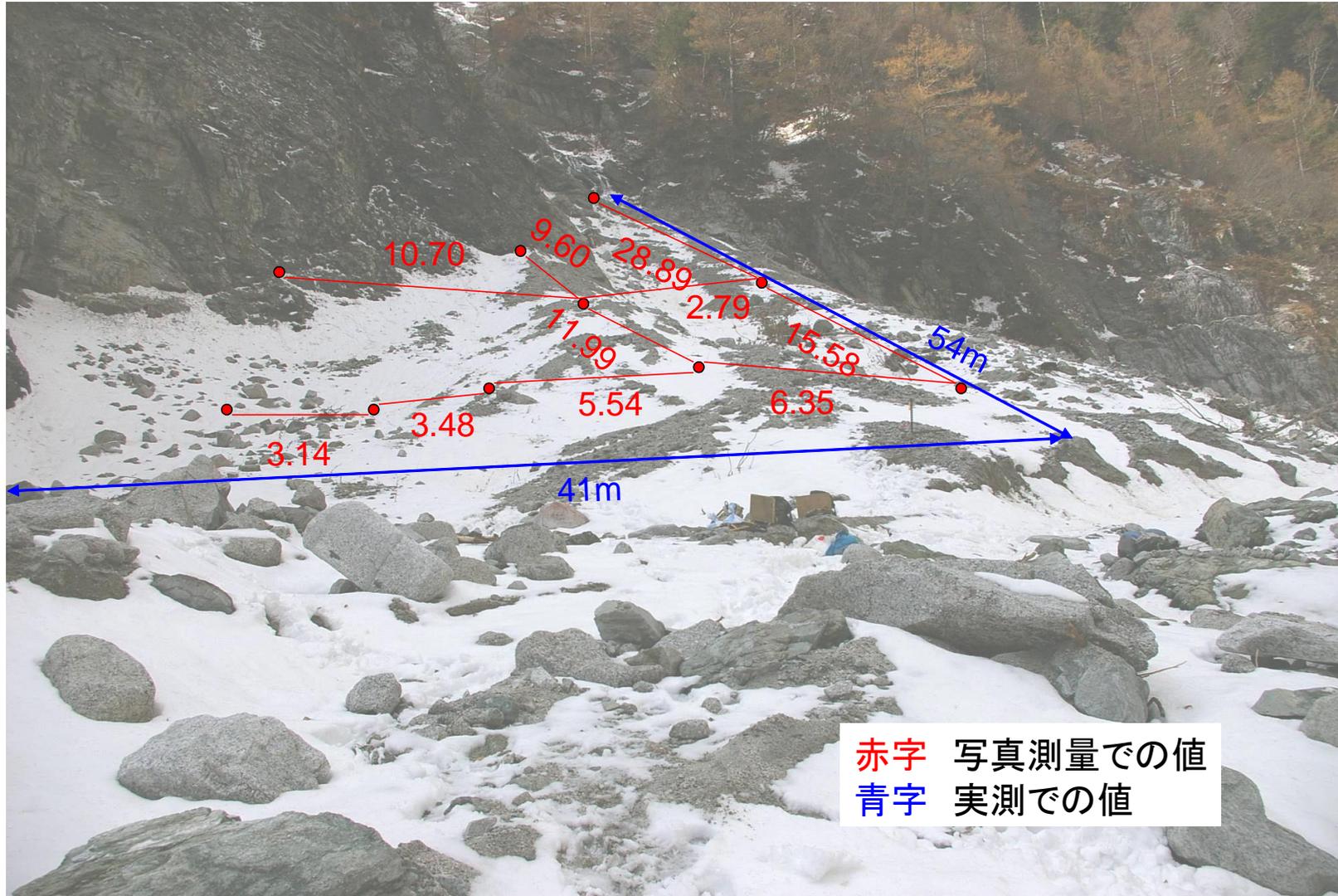


図 5.10 「デジカメ活用による デジタル測量入門」プログラムを使用した不動沢下流側斜面の解析結果

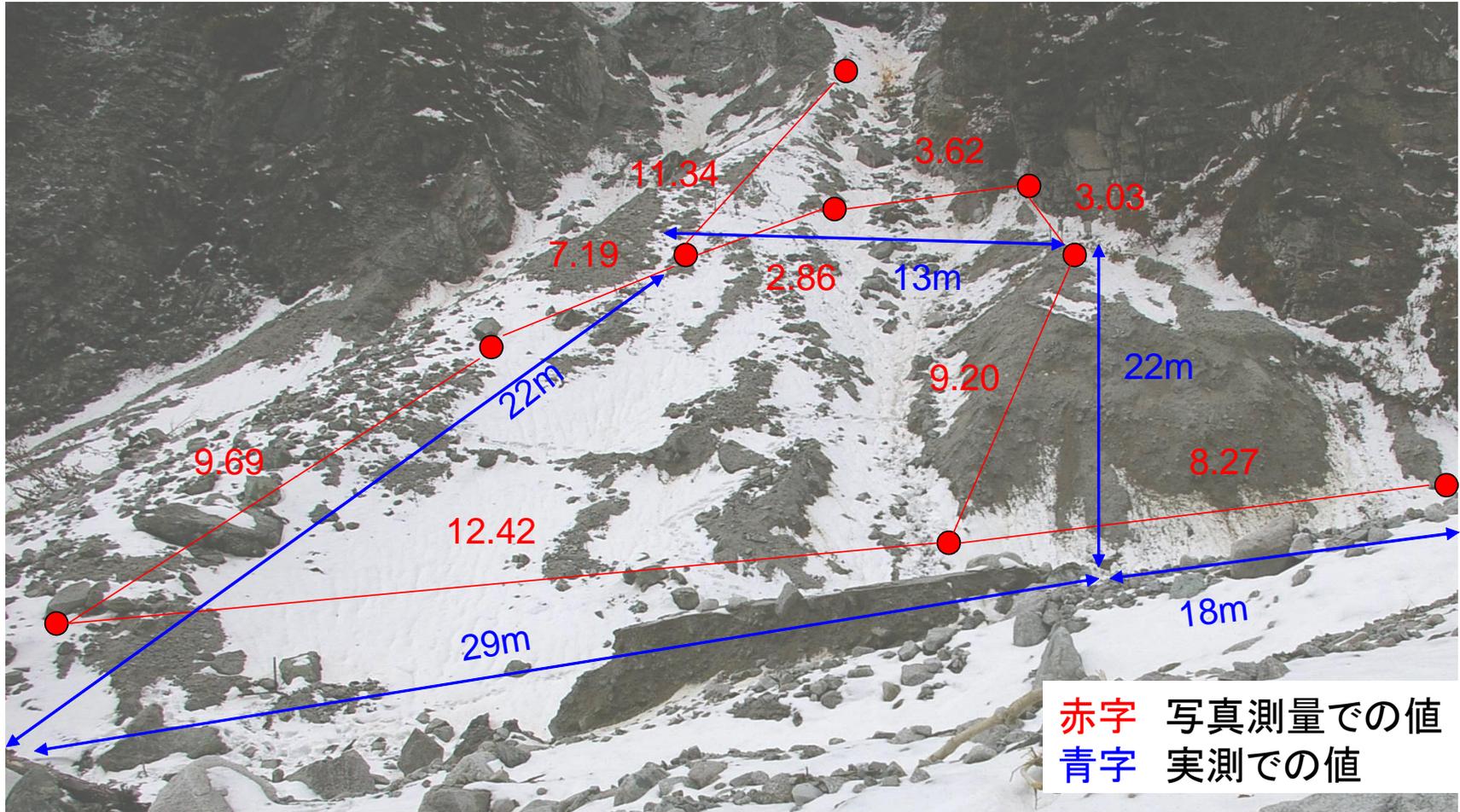


図 5.11 「デジカメ活用による デジタル測量入門」プログラムを使用した不動沢上流側斜面の解析結果

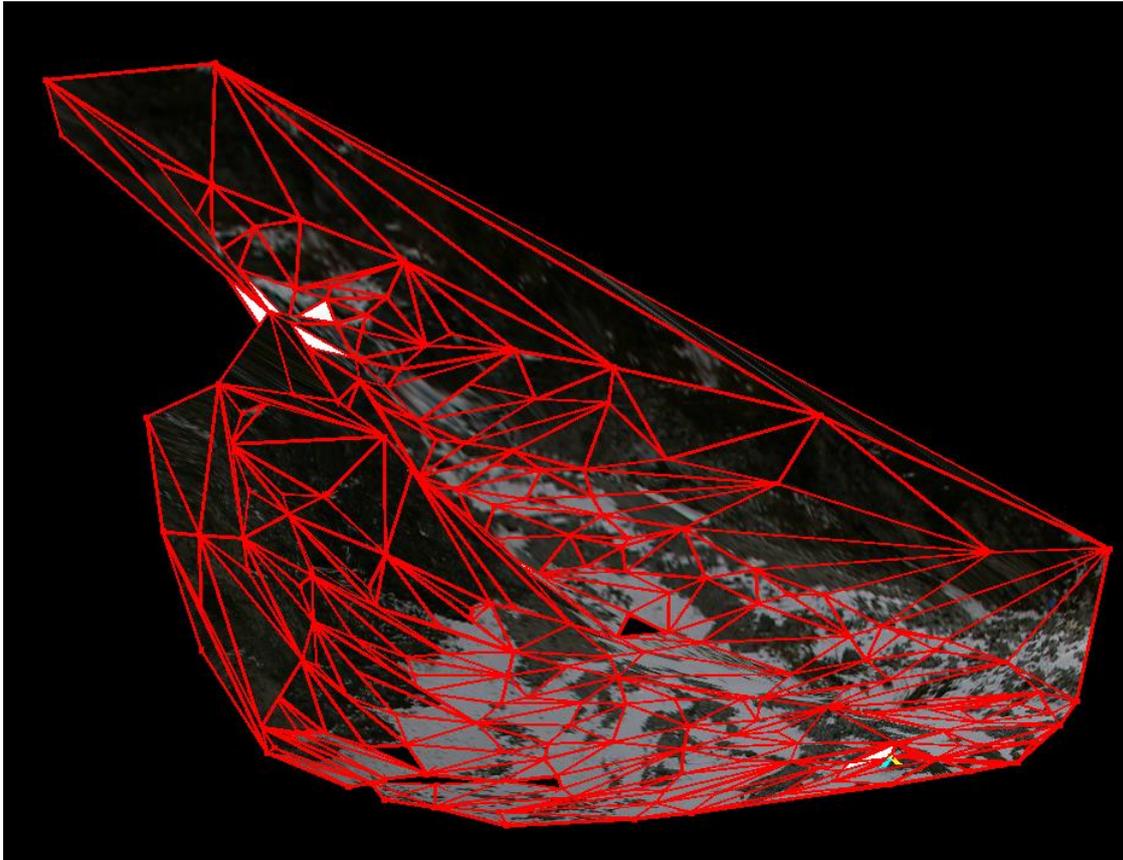


図 5.12 「SurveyFromPhoto」を使用した不動沢下流側斜面のパスとポリゴン

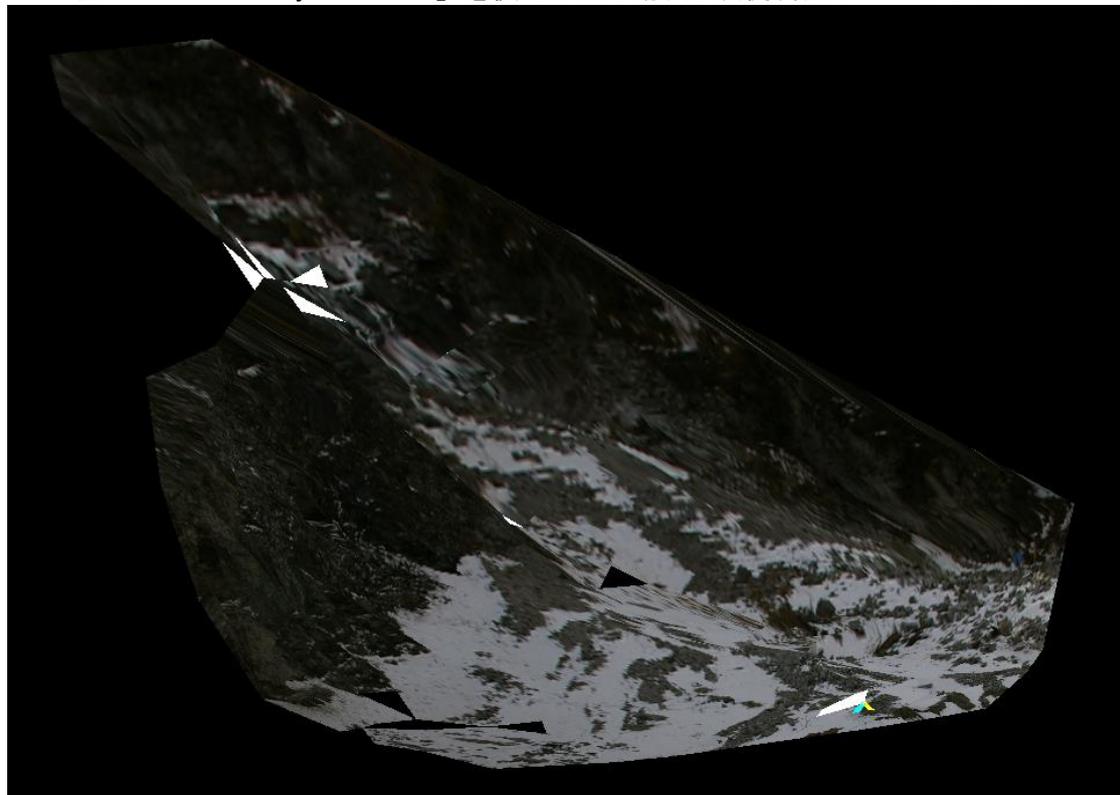


図 5.13 「SurveyFromPhoto」を使用した不動沢下流側斜面の3次元化結果

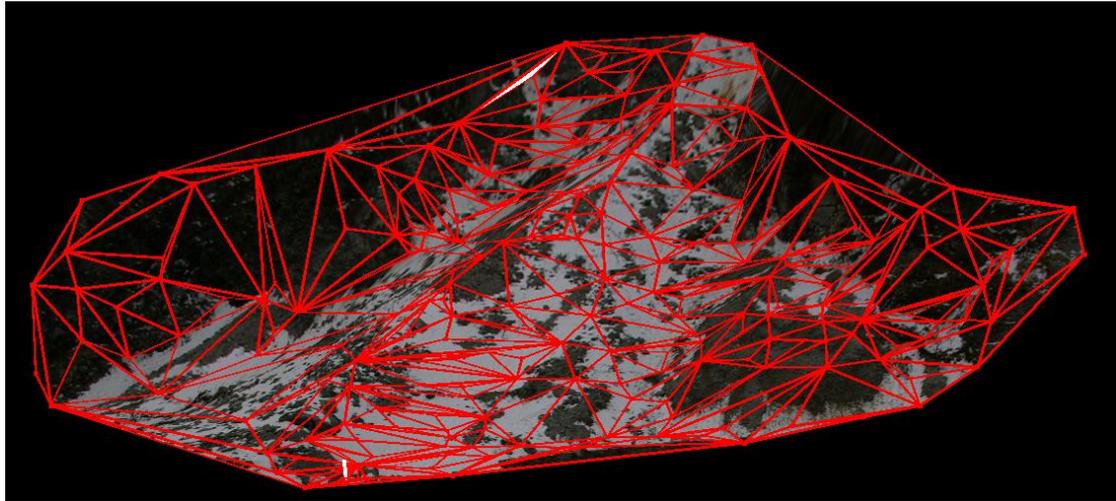


図 5.14 「SurveyFromPhoto」を使用した不動沢上流側斜面のパスとポリゴン



図 5.15 「SurveyFromPhoto」を使用した不動沢上流側斜面の3次元化結果

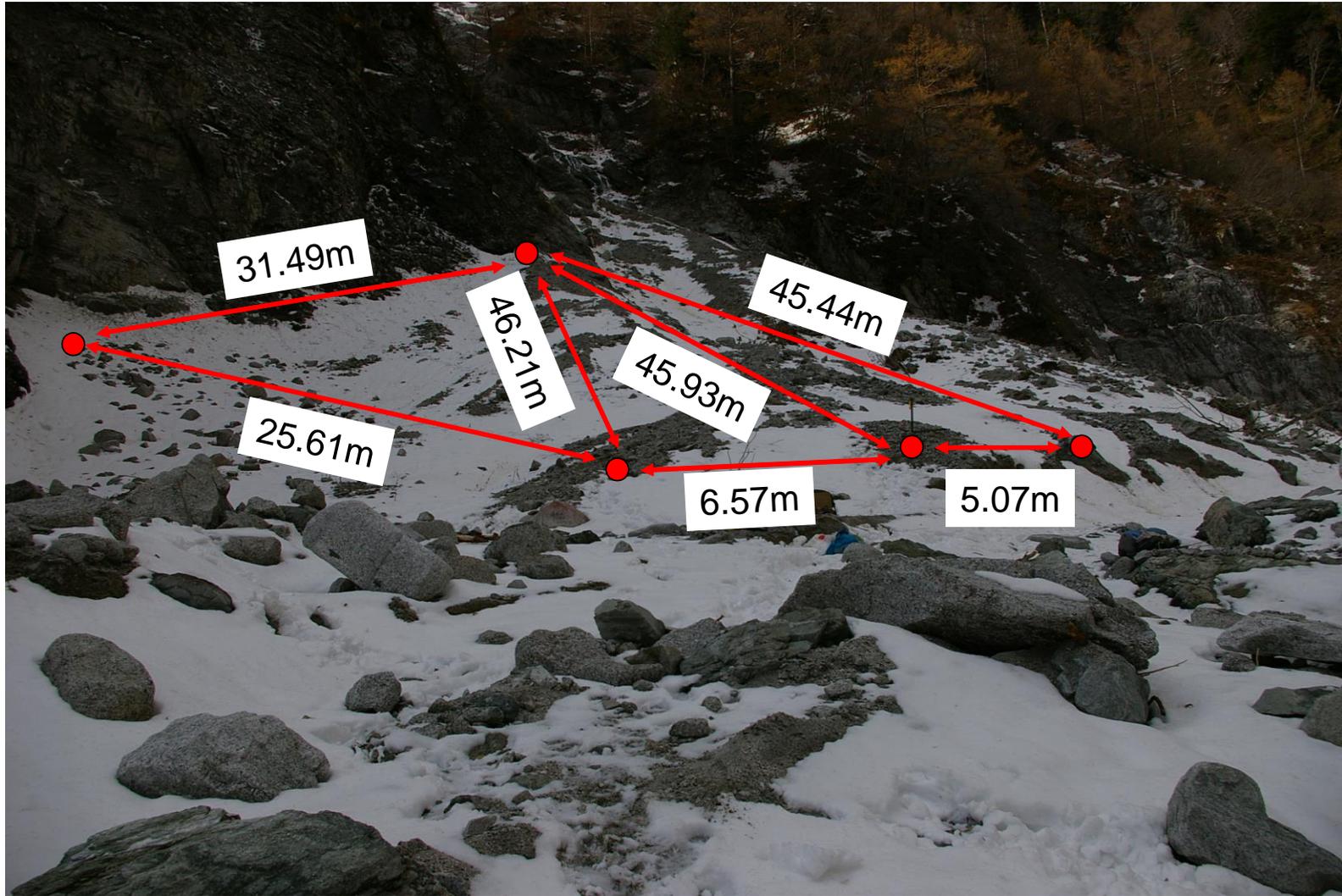


図 5.16 「SurveyFromPhoto」を使用した不動沢下流側斜面の計測結果

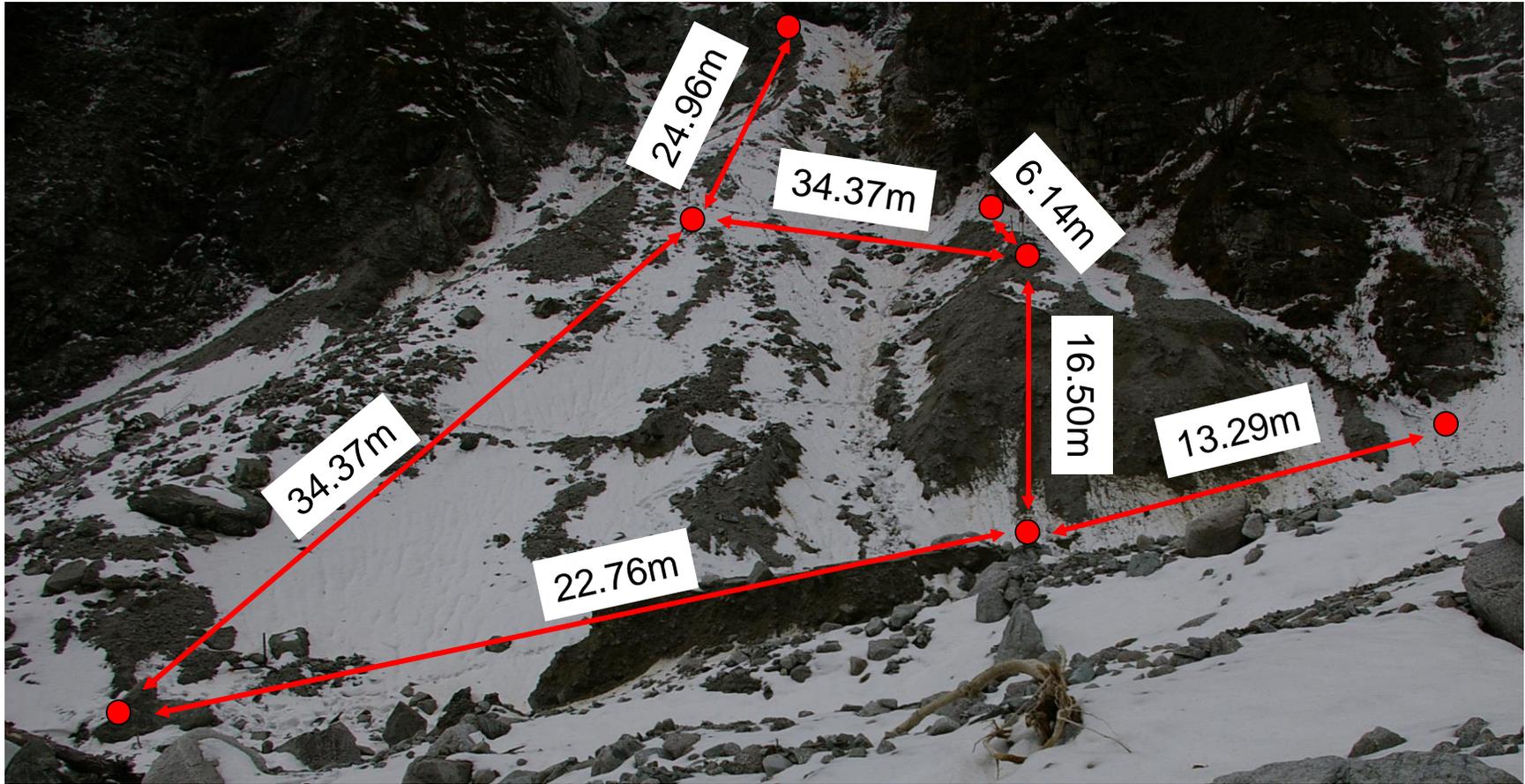


図 5.17 「SurveyFromPhoto」を使用した不動沢上流側斜面の計測

5.5 インターバルカメラ観測結果

インターバルカメラにより、豪雨時の斜面崩壊・河床変化の様子を捉えることに成功した。



写真 5. 2012/9/29 崩壊前



写真 5. 2012/9/30 崩壊後



写真 5.5 2013/8/23 崩壊前



写真 5.6 2013/8/23 豪雨時



写真 5.7 2013/8/23 崩壊後

5.6 積雪計観測結果

積雪計の設置により、2012年から2014年までの積雪状況を観測することができた。ただしカメラが雪に埋もれてからは観測ができないため、積雪がカメラの高さを超えるまでが観測の限界である。

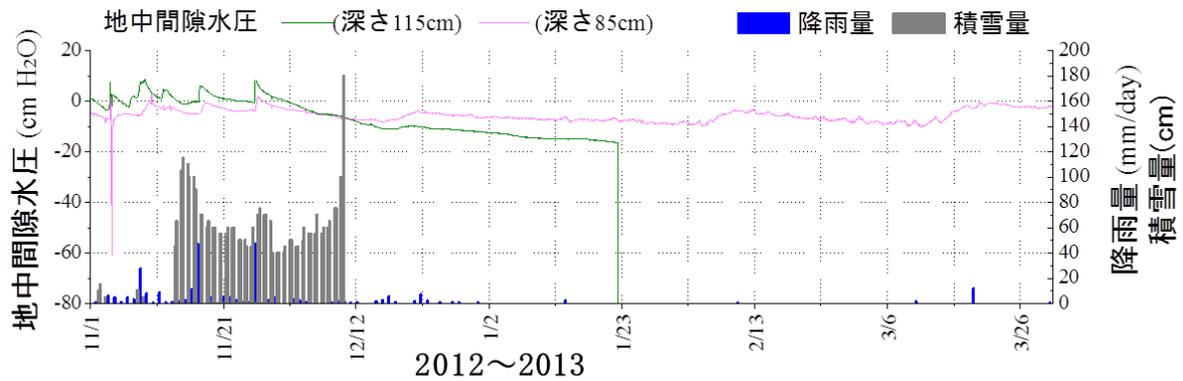


図 5.18 2012年～2013年の積雪量

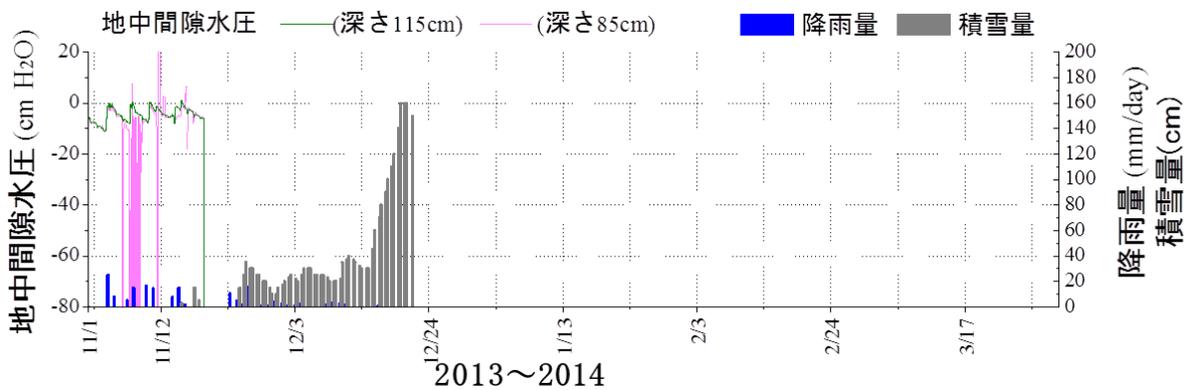


図 5.19 2013年～2014年の積雪量

5.7 広場 B 観測結果

広場 B の観測は、間隙水圧が 2010/8/12 1:30 から 2010/10/31 17:00 までと 2010/12/27 16:40 から 2011/1/26 2:00 までである。雨量計は 2010/10/13 16:40 から 10/31 17:10 までと 2010/11/12 14:00 から 2011/2/12 3:30 までである。計測間隔は 10 分である。以下に月ごとの観測結果を示す。

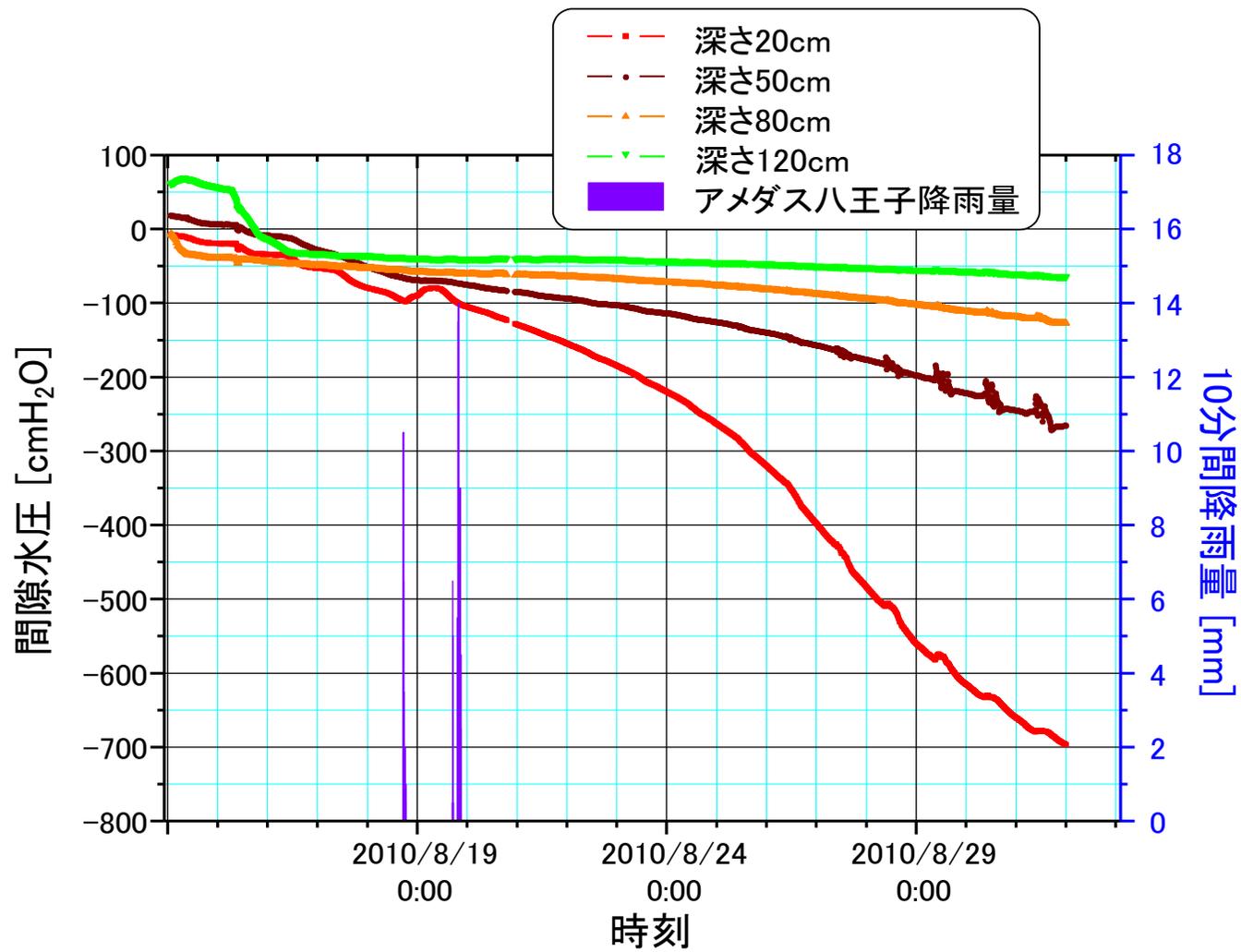


図 5.10 広場 B8 月分観測データ

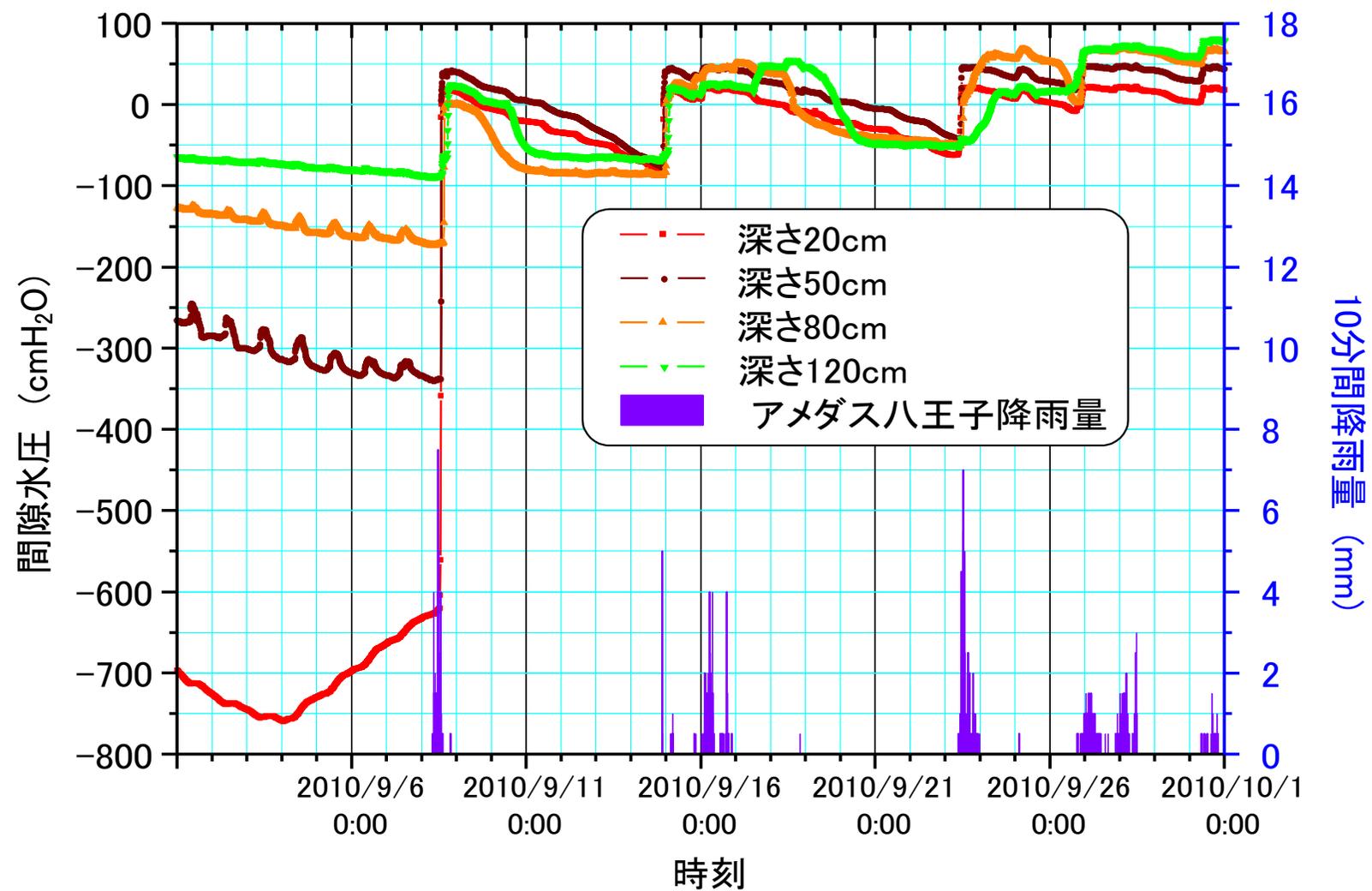


図 5.11 広場 B9 月分観測データ

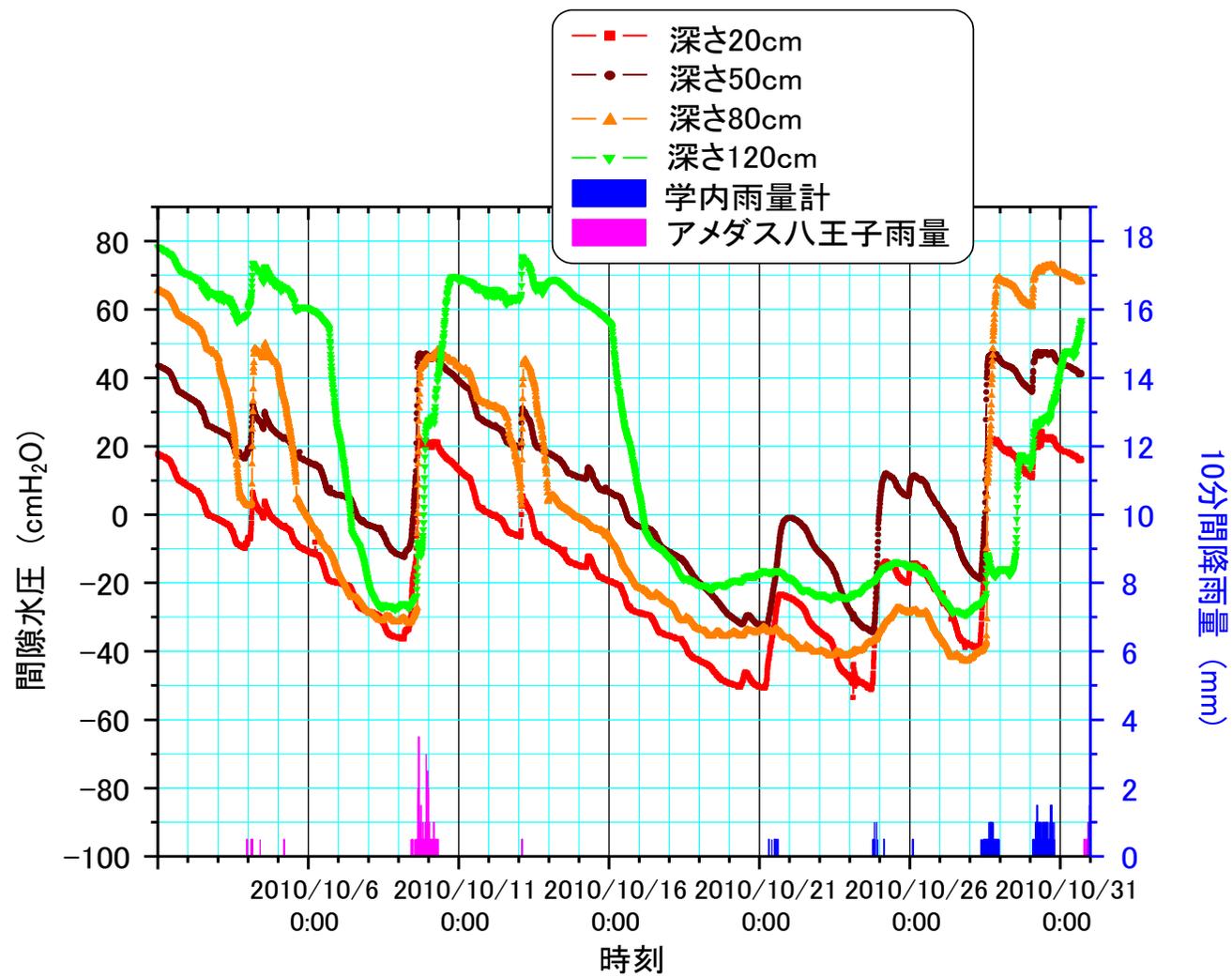


図 5.12 広場 B10 月分観測データ

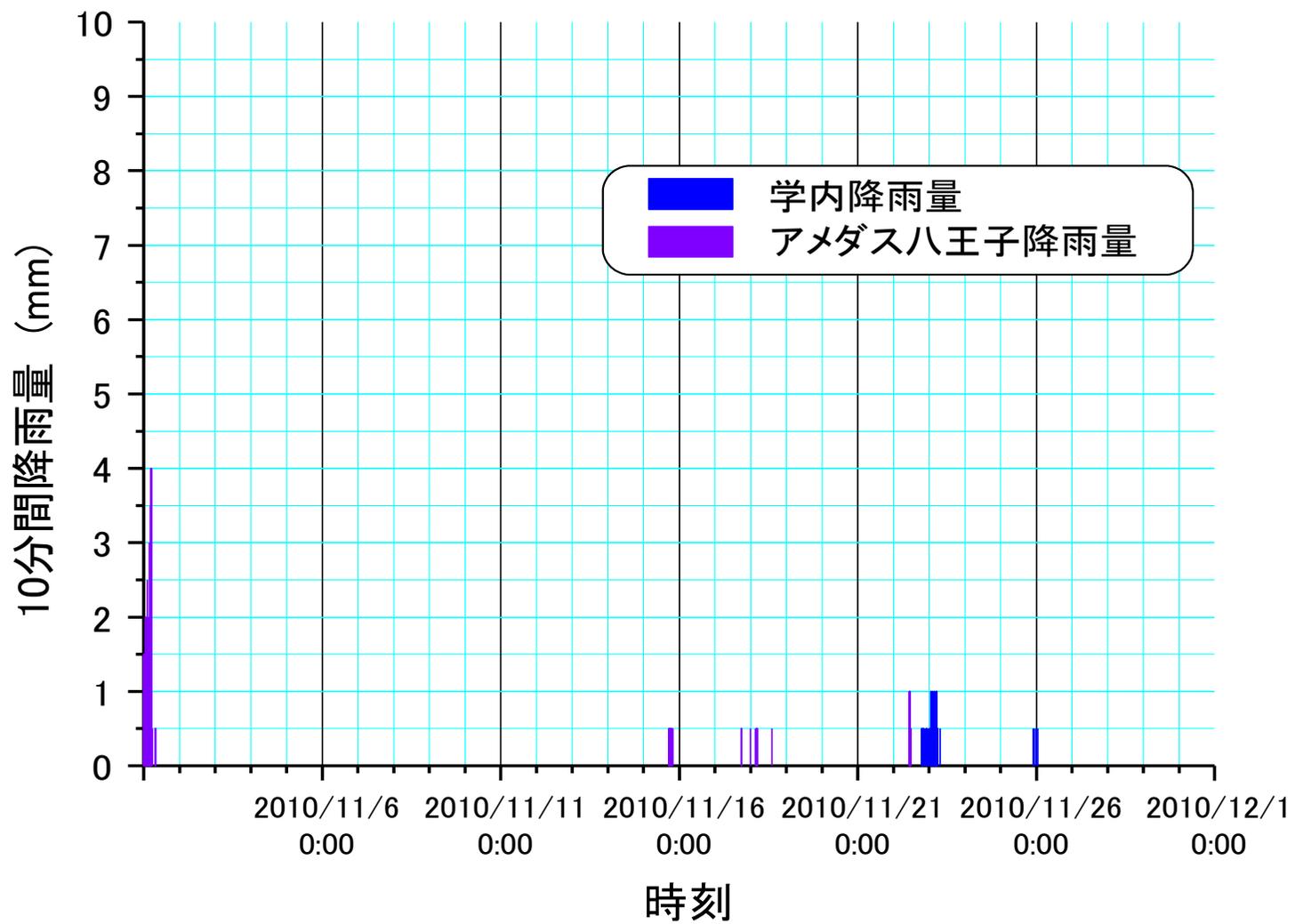


図 5.13 広場 B11 月分観測データ

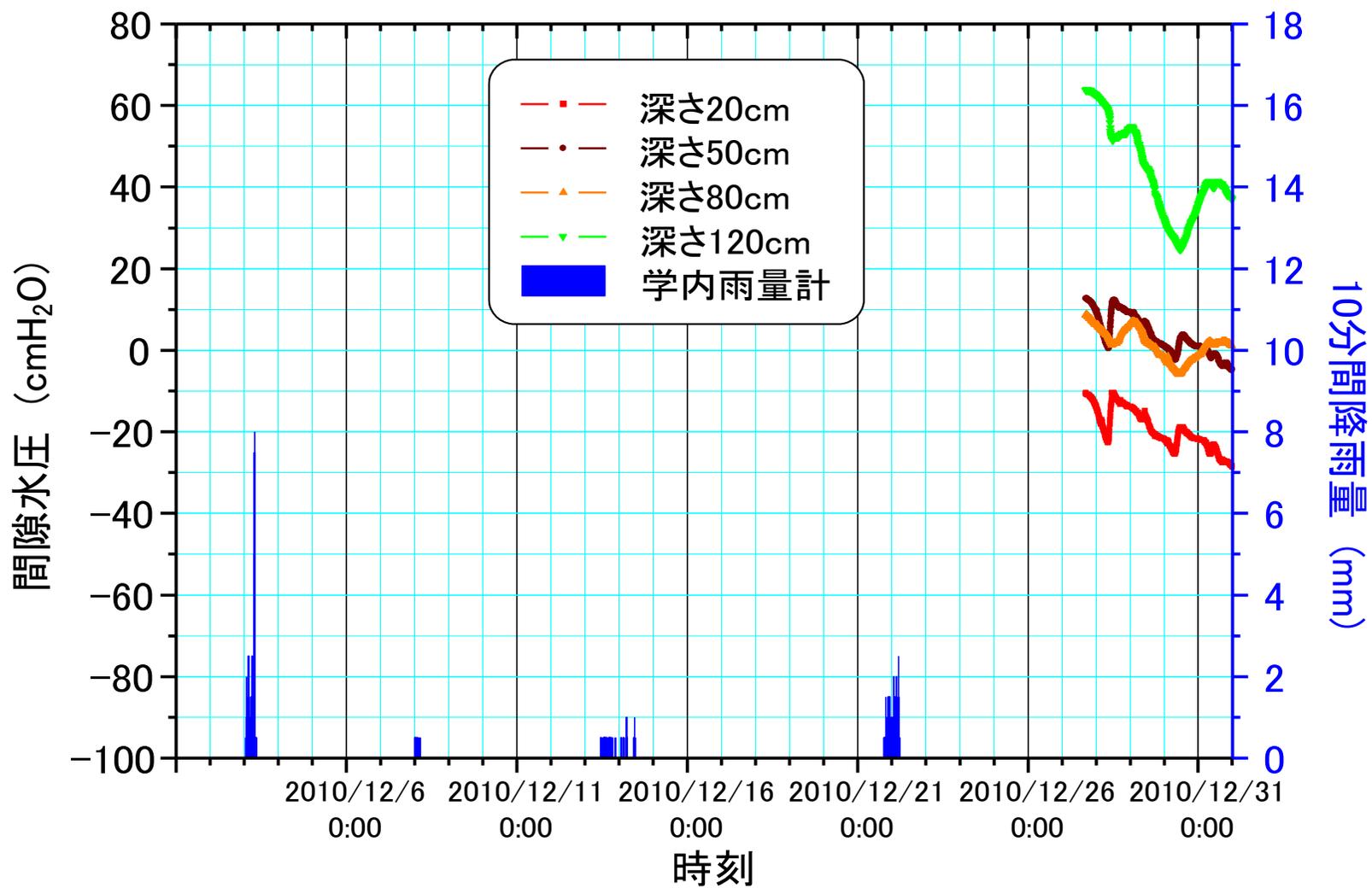


図 5.14 広場 B12 月分観測データ

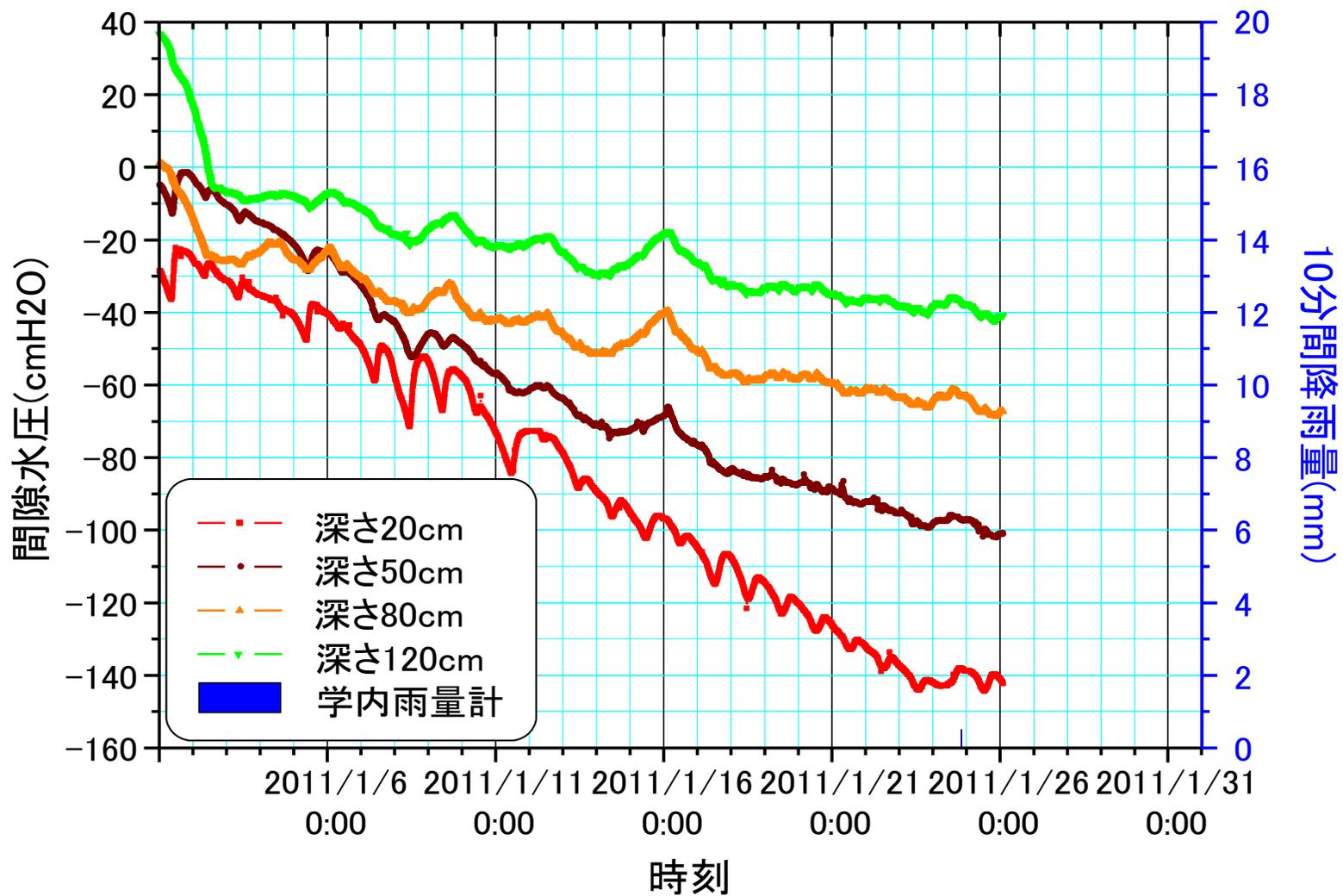


図 5.15 広場 B1 月分観測データ

考察

全体的に不動況と同じように降雨が観測されしばらくしてから間隙水圧の値が負値の不飽和状態から正值の飽和状態へと急激に上がり、無降雨時には間隙水圧が低下するという傾向が見られ、これを繰り返している。10/28の降雨イベントを図5.16に示した。深さ20cm、深さ50cmは降雨開始と共に間隙水圧の上昇を確認出来るが、深さ80cm、深さ120cmに関しては降雨開始後暫くしてからの上昇が見られる。この原因として、深さ50cmまでは比較的粒度の粗い土質であり(図5.18)水が染み込みやすく、一方で深さ80cm、深さ120cmに関しては粒度の細かい土質であり(図5.19)染み込みにくいいためこのようなタイムラグが生じたと考えられる。10/23降雨時から深さ20cm間隙水圧よりも深さ50cmの間隙水圧のほうが早く飽和状態になった。この要因として、深さ50cm間隙水圧計の表層を覆っていた不透水のベントナイトが流出してしまっただけのためテンシオメータのパイプを伝って染み込んで行った事が考えられる。定期的にベントナイトを補充する必要がある。

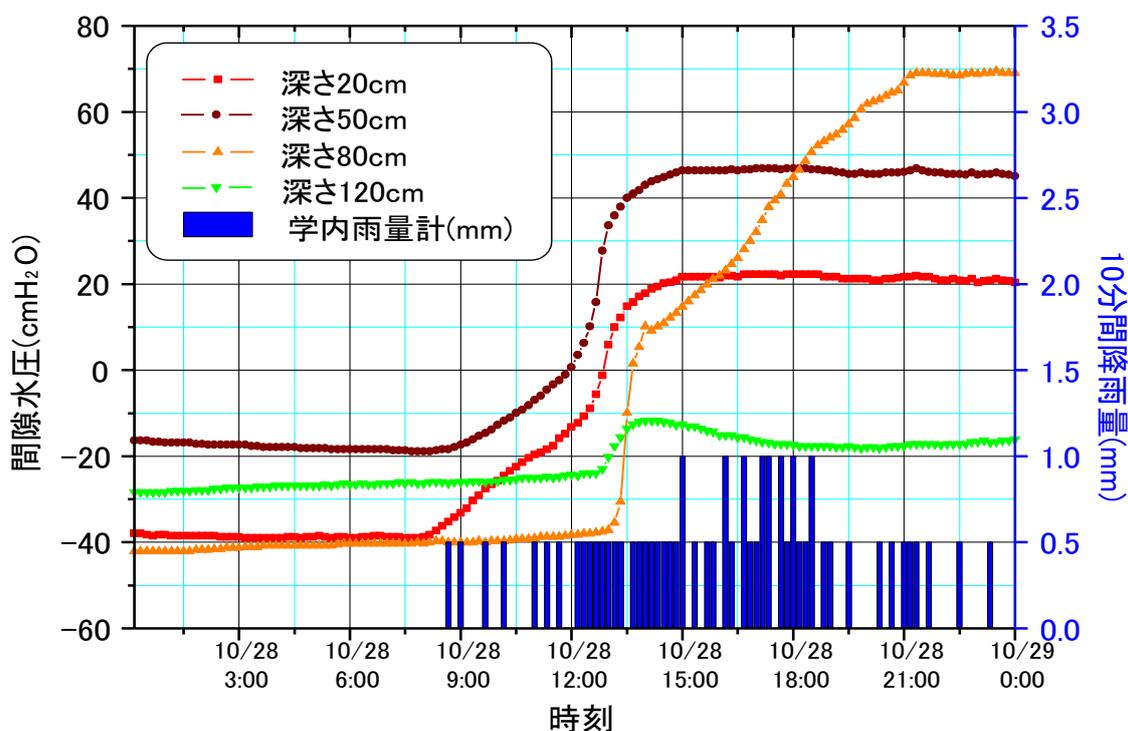


図 5.16 広場 B 2010/10/28 の観測状況

第 6 章 間隙水圧と降雨量の考察と相関解析

6.1 既往の研究と目的

間隙水圧計は非常に高価であるうえに設置の手間がかかり、地域全体に高密度に設置するのは現実的ではないので、雨量だけから地盤の崩壊を予測できることが望ましい(図 7.1)。そのためには、地盤中の間隙水圧を定量的な降雨指標と関連付ける必要がある。

間隙水圧と降雨量を結びつけ現地観測による表層崩壊危険度の研究を行っている例として、北村・南部(2008)を初めとした鹿児島大学の研究が挙げられる。これは間隙モデル・粘着モデル浸透モデル斜面安定解析モデルの 4 つの数値力学モデルで構成されていて、コンピュータの中で対象となる斜面と同じ不飽和状態を作り出しており、これに計測中の間隙水圧、降雨量及び事前に行った粒度試験や間隙比等の土質試験を当てはめ、表層崩壊の危険度を算出している。

里見ほか(2009)では計測した降雨量と間隙水圧で主成分分析を行い、計測地点付近で過去に崩壊したときの降雨量を主成分得点の最大値として使用し、崩壊確率をリアルタイムで求めるという手法を使っている。最終的には間隙水圧計を除去して雨量計のみで崩壊確率を求めることを目標としている。

一方、表層崩壊危険度予測をより精度良く行うには不飽和地盤の浸透及び保水特性解明が必要であり、現場で観測している体積含水率及び間隙水圧を用いて水分特性曲線を求め、そのモデル式確立の研究(加納ほか 2007)、(佐々木・加納 2004)が行われている。

そこで本論文では、水分特性曲線の体積含水率を定量的な降雨の指標で置き換え、モデル式を確立し、降雨のみで間隙水圧を判断することを目標とするために、過去の降雨を考慮した土壌雨量指数を導入する。

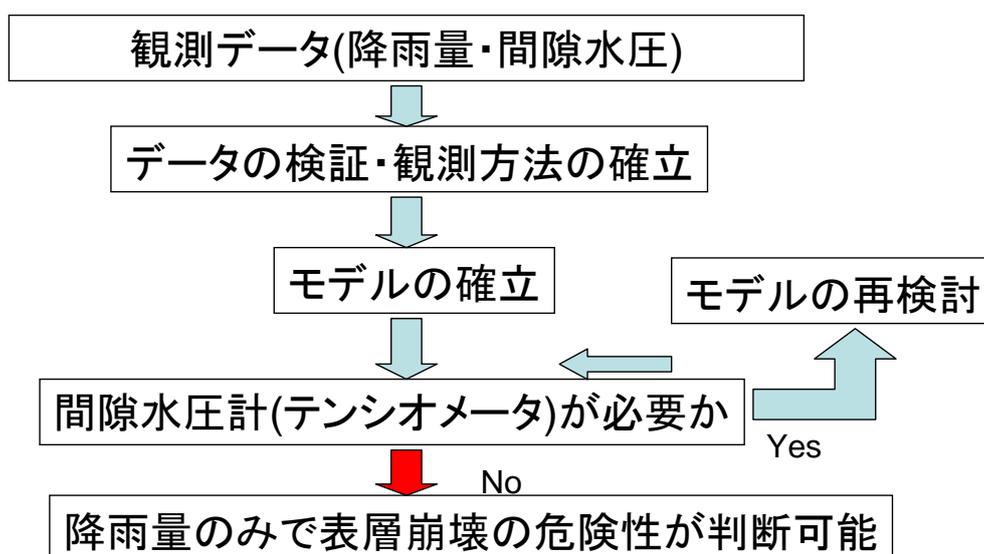


図 6.1 間隙水圧と降雨量の相関解析のフローチャート

6.2 土壌雨量指数

土壌雨量指数は気象庁が発令する土砂災害警戒情報の指標として使用しており、直列 3 段のタンクモデル(後述)を用いることにより地盤の含水の状態を示している。土壌雨量指数は過去の降雨履歴を考慮しており、里見ほか(2009)では同様の降雨履歴を用いた積算雨量、実効雨量との比較で一番有効なモデルと述べている。

タンクモデルはもともと河川の水位予測のために、国立防災科学技術センターで開発されたモデルであり、ある流域に降った雨が時間的遅延をもって川に流れ込む状況を表現している。タンク残留分の水が土壌中に残っている水分と表現できることから、昭和 50 年頃から土砂災害の分野でも用いられている。タンクモデルには、流出孔の位置や段数に様々なバリエーションが存在するが、土壌雨量指数には Ishihara and Kobatake(1979)の直列 3 段のタンクモデルを用いている。Ishihara and Kobatake(1979)の 3 段直列タンクモデルのパラメータは地質の違いによって 5 種類あり、それぞれ土壌雨量指数の値は異なるが、今回は気象庁が土壌雨量指数として全国一律で使用している花崗岩が多く含む地層の値を用いた。

用いるタンクモデルは直列 3 段のタンクモデル(図 6.2)であり、上から第 1 タンク、第 2 タンク、第 3 タンクと呼び、それぞれ表面流出、表層浸透流出、地下水流出を表している(第 1 タンクの横孔は豪雨時の地表を流れる雨に相当する)。降水は時間の経過と共に上から下のタンクへ移動していき、豪雨時には横孔からも流出する。各タンクの貯留量の和が土壌雨量指数である。以下に土壌雨量指数の計算式(岡田ほか 2001)を示す。

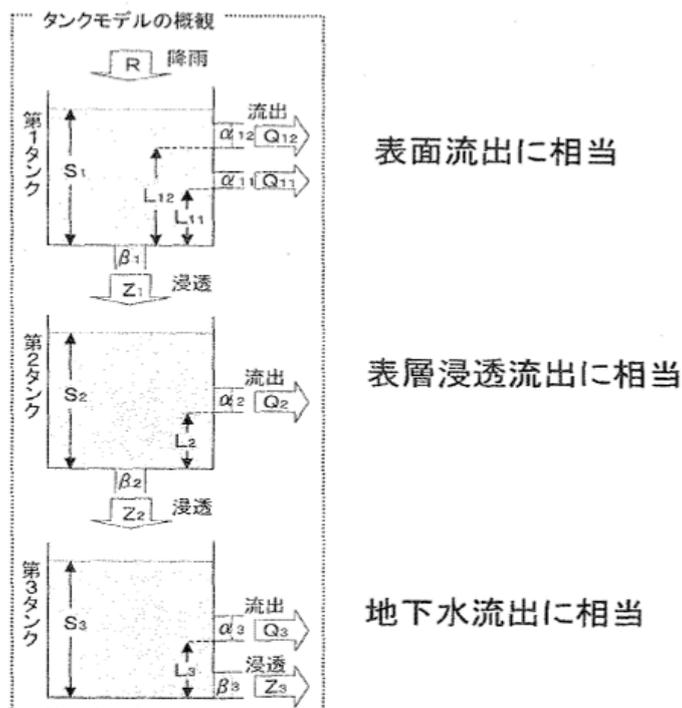


図 6.2 用いるタンクモデルとそのパラメータ(岡田ほか 2001 より引用)

各タンクからの流出量 Q

$$\begin{aligned} Q_{11}(t) &= \alpha_{11} \times [S_1(t) - L_{11}] && (S_1(t) > L_{11} \text{の時}) \\ Q_{11}(t) &= 0 && (S_1(t) \leq L_{11} \text{の時}) \\ Q_{12}(t) &= \alpha_{12} \times [S_1(t) - L_{12}] && (S_1(t) > L_{12} \text{の時}) \\ Q_{12}(t) &= 0 && (S_1(t) \leq L_{12} \text{の時}) \\ Q_2(t) &= \alpha_2 \times [S_2(t) - L_2] && (S_2(t) > L_2 \text{の時}) \\ Q_2(t) &= 0 && (S_2(t) \leq L_2 \text{の時}) \\ Q_3(t) &= \alpha_3 \times [S_3(t) - L_3] && (S_3(t) > L_3 \text{の時}) \\ Q_3(t) &= 0 && (S_3(t) \leq L_3 \text{の時}) \end{aligned}$$

・各タンクからの浸透量 Z

$$\begin{aligned} Z_1(t) &= \beta_1 \times S_1(t) \\ Z_2(t) &= \beta_2 \times S_2(t) \\ Z_3(t) &= \beta_3 \times S_3(t) \end{aligned}$$

・各タンク内の貯留量 S

$$\begin{aligned} S_1(t + \Delta t) &= S_1(t) - [Q_{11}(t) + Q_{12}(t) + Z_1(t)] + R(\Delta t) \\ S_2(t + \Delta t) &= S_2(t) - [Q_2(t) + Z_2(t)] + Z_1(\Delta t) \\ S_3(t + \Delta t) &= S_3(t) - [Q_3(t) + Z_3(t)] + Z_2(\Delta t) \end{aligned}$$

・パラメータ

$$\begin{aligned} L_{11} &= 15 \quad L_{12} = 60 \quad L_2 = 15 \quad (mm) \\ \alpha_{11} &= 0.10 \quad \alpha_{12} = 0.15 \quad \alpha_2 = 0.05 \quad \alpha_3 = 0.01 \quad \left(\frac{l}{\text{時}}\right) \\ \beta_1 &= 0.12 \quad \beta_2 = 0.05 \quad \beta_3 = 0.01 \quad \left(\frac{l}{\text{時}}\right) \end{aligned}$$

・計算上の注意

- (1) 貯留量の和 $【=S_1(t + \Delta t) + S_2(t + \Delta t) + S_3(t + \Delta t)】$ を土壌雨量指数としている。
- (2) 指数という意味から単位はつけていないが、ミリ相当と考えても構わない。
- (3) Δt は 20 分とし、1 時間毎に雨量を計測している場合は 3 等分して入力する。
- (4) 定常状態を再現するには最低 2 週間遡って計算を開始することが必要。

6.3 土壌雨量指数と間隙水圧の対比

算出した土壌雨量指数と計測した間隙水圧の対比図を図 6.3(不動沢)、図 6.4～図 6.7(広場 B)にそれぞれまとめた。

不動沢の土壌雨量指数は、間隙水圧及び降雨量の計測開始時を土壌雨量指数 0 と仮定して計算し、広場 B の土壌雨量指数は、9/8 以前半月以上降雨が観測されなかったため、9/8 0:00 を土壌雨量指数 0 と仮定して計算した。なお広場 B の雨量を計測できなかった期間に関しては、アメダス八王子の雨量データを使用している。広場 B は 2011/1/6 14:40 までのデータを用いた。

この図から不動沢、広場 B いずれのケースも土壌雨量指数と間隙水圧に相関性が見られることがわかる。

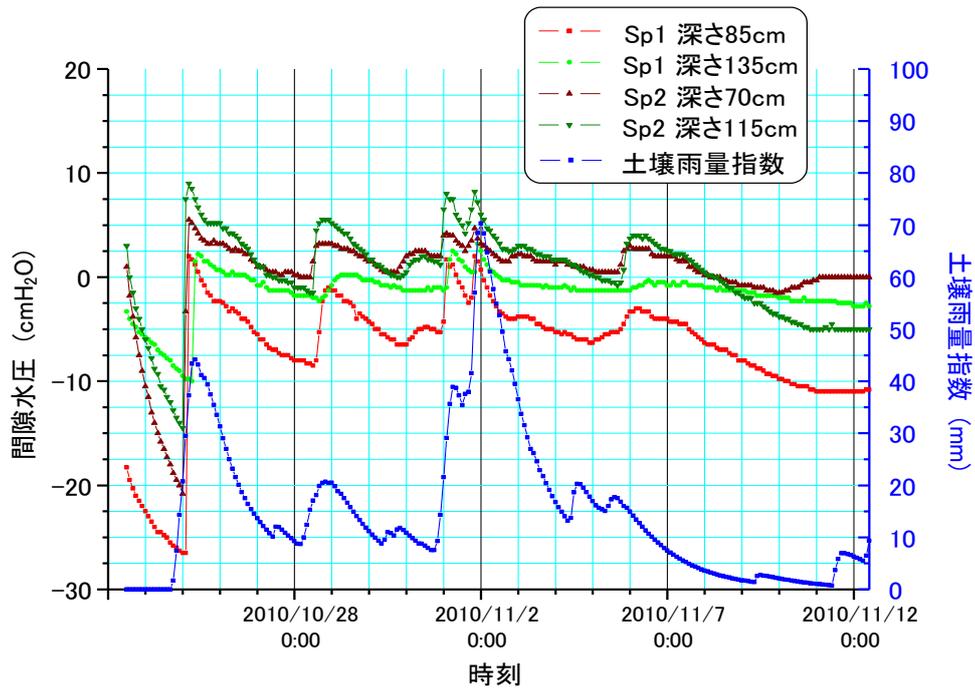


図 6.3 不動況の土壤雨量指数と間隙水圧の対比図

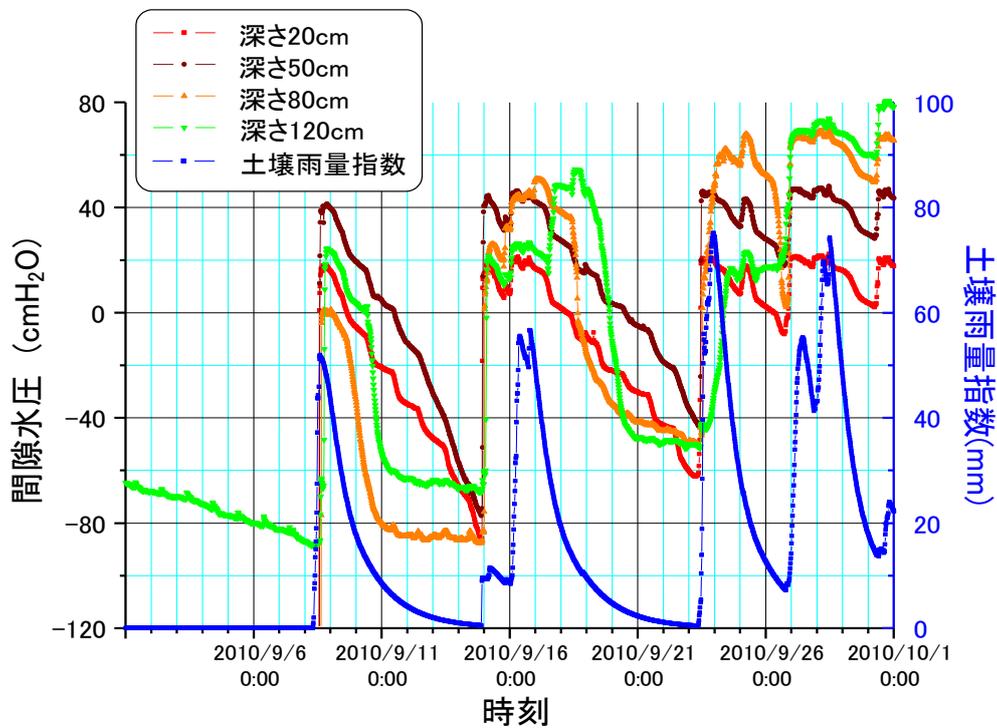


図 6.4 広場 B 9 月分の土壤雨量指数と間隙水圧の対比図

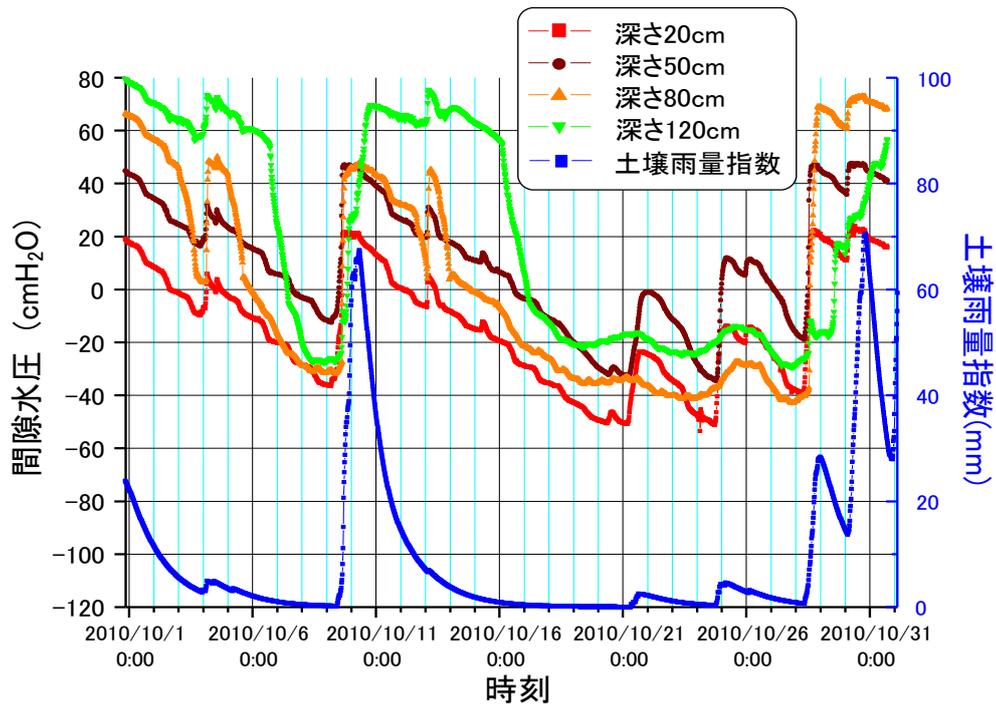


図 6.5 広場 B 10 月分の土壌雨量指数と間隙水圧の対比図

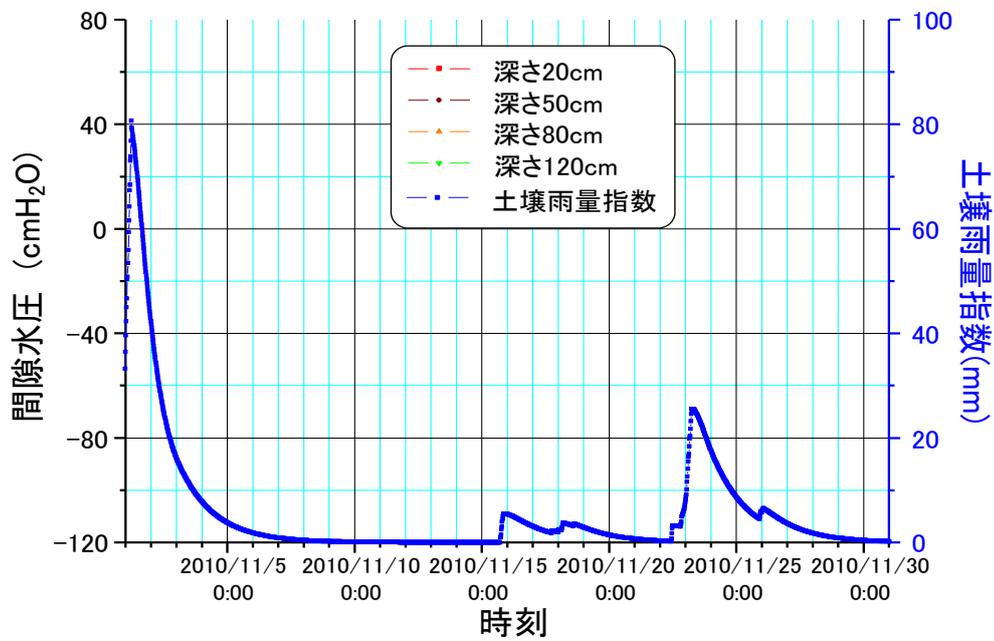


図 6.6 広場 B 11 月分の土壌雨量指数と間隙水圧の対比図

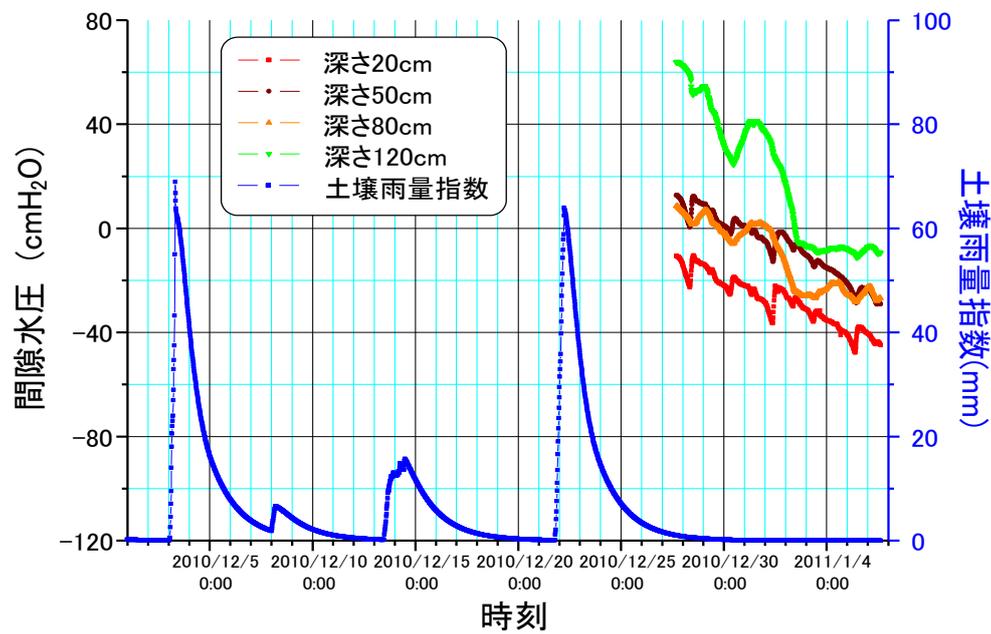


図 6.7 広場 B 12 月分の土壌雨量指数と間隙水圧の対比図

次にさらに詳しく降雨ごとの履歴を見る為、12時間連続無降雨の場合を1区切りとして土壌雨量指数－間隙水圧の関係を描いた。これは不飽和地盤の浸透特性解明に使われている体積含水率－間隙水圧の水分特性曲線の体積含水率を、土壌雨量指数に置き換えたものである。

図 6.8 に広場 B 深さ 20cm の 9/8 から 10/12 までの降雨イベントを示した。広場 B は降雨が開始すると急激に間隙水圧が上昇し、ある一定値になると間隙水圧は一定値になる。その後降雨終了と共に間隙水圧が減少する。このように吸水と排水で異なる履歴を描いていることがわかる。

広場 B 深さ 20cm の 9 月から 10/13 までの土壌雨量指数－間隙水圧グラフの降雨履歴を図 6.9 に、深さ 50cm を図 7.10 に、深さ 80cm を図 7.11 に、深さ 120cm を図 6.12 にそれぞれ描いた。

この結果を見ると、降雨時に深さ 20cm と深さ 50cm に関しては、急上昇した後 20cmH₂O と 47cmH₂O 付近でそれぞれ一定値になっているのがわかるが、深さ 80cm 及び深さ 120cm に関してはある程度収束しているものも必ずしも一定値になっていないことがわかる。このことは、降雨時に深さ 20cm・深さ 50cm の各観測点が飽和した後、地上部まで完全飽和状態になったことを示している。しかし深さ 50cm より深い部分は、粒度が細かい土質のため深さ 80cm 及び深さ 120cm のところまで染み込まず、一部空気が間隙にあることを示していると考えられる。

次に不動沢 Sp1 深さ 85cm 本年度計測期間における土壌雨量指数－間隙水圧グラフの降雨履歴を図 6.13 に、Sp1 深さ 135cm を図 6.14 に、Sp2 深さ 70cm を図 6.15 に、Sp2 深さ 115cm を図 6.16 にそれぞれ描いた。

この結果を見ると、ある程度吸水と排水の履歴がわかれているが、広場 B ほど顕著ではなく一定値に収束する、すなわち地表まで飽和状態になるということは見られない。これは不動沢が粒度の粗い土質であるためと考えられる。

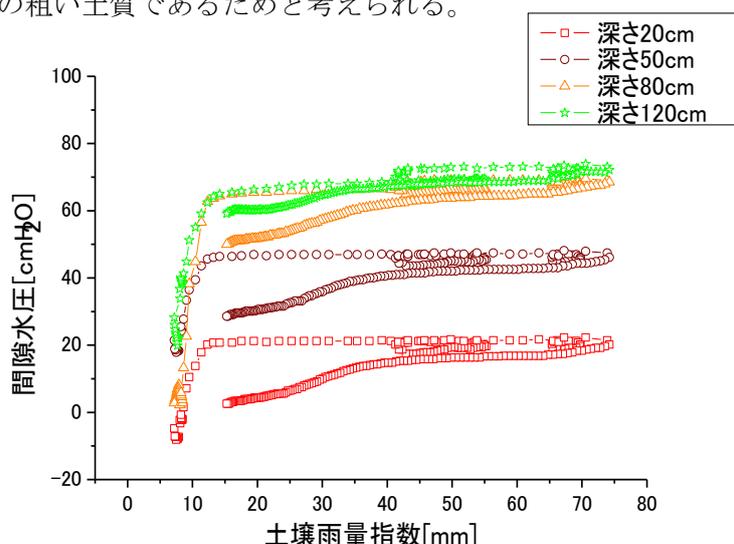


図 6.8 広場 B 9/8 から 10/12 までの間隙水圧－土壌雨量指数グラフ

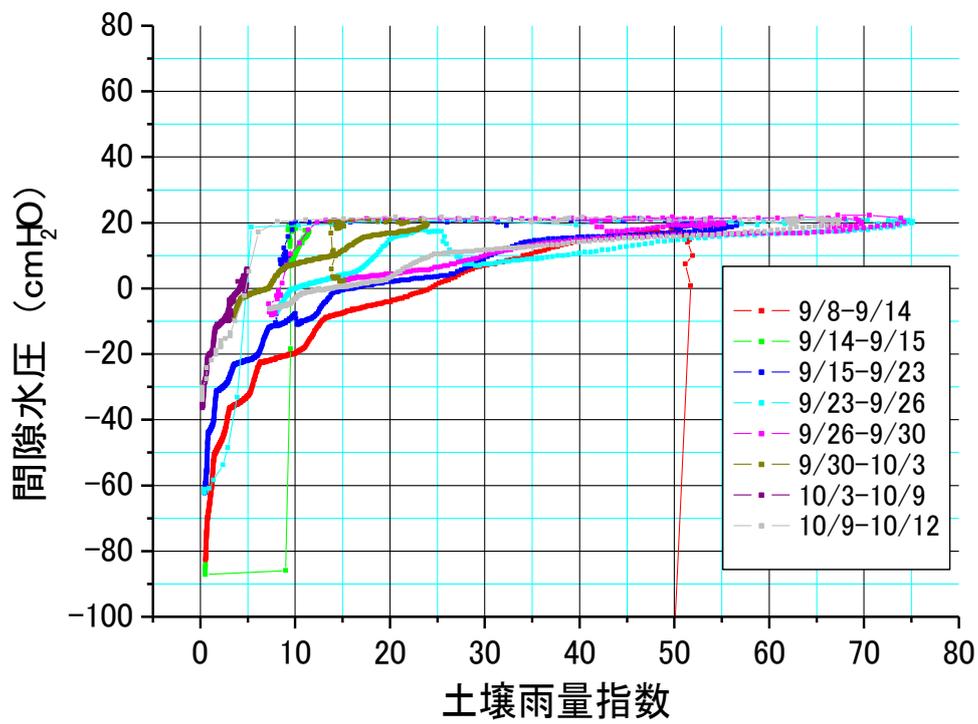


図 6.9 広場 B 深さ 20cm 間隙水圧-土壌雨量指数グラフ

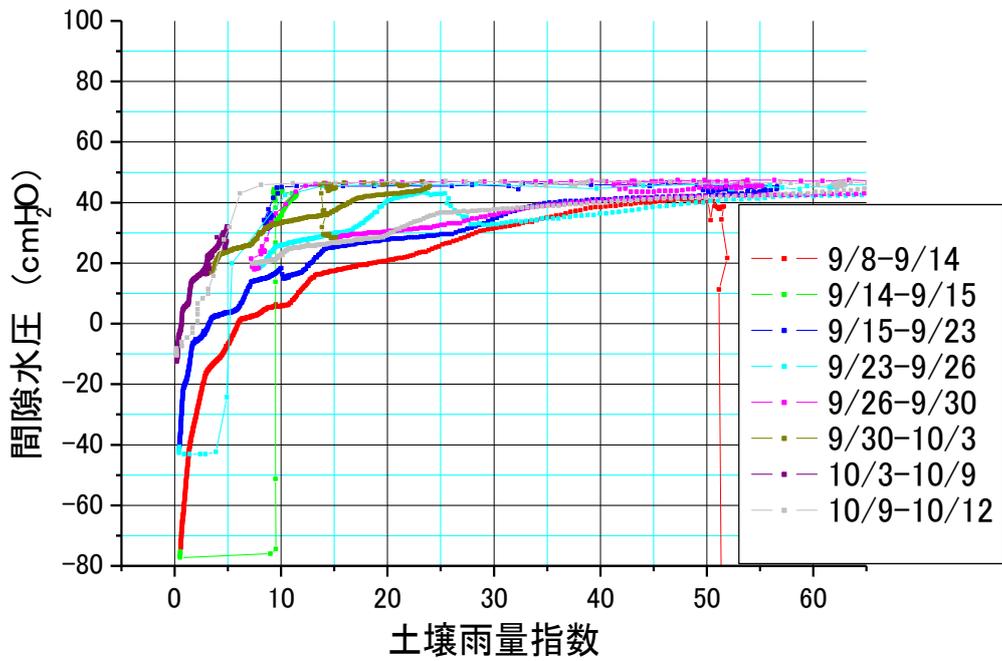


図 6.10 広場 B 深さ 50cm 間隙水圧-土壌雨量指数グラフ

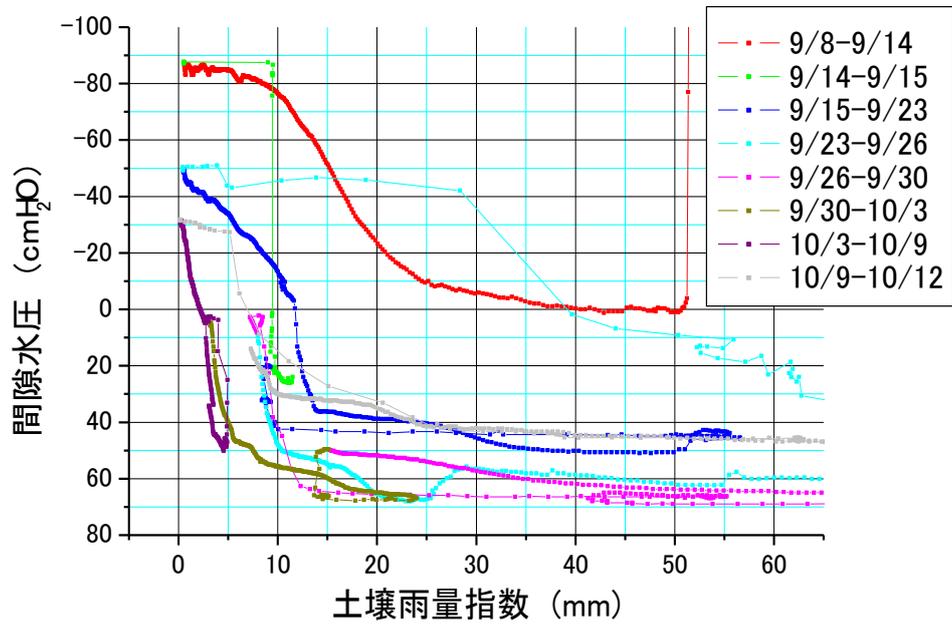


図 6.11 広場 B 深さ 80cm 間隙水圧-土壌雨量指数グラフ

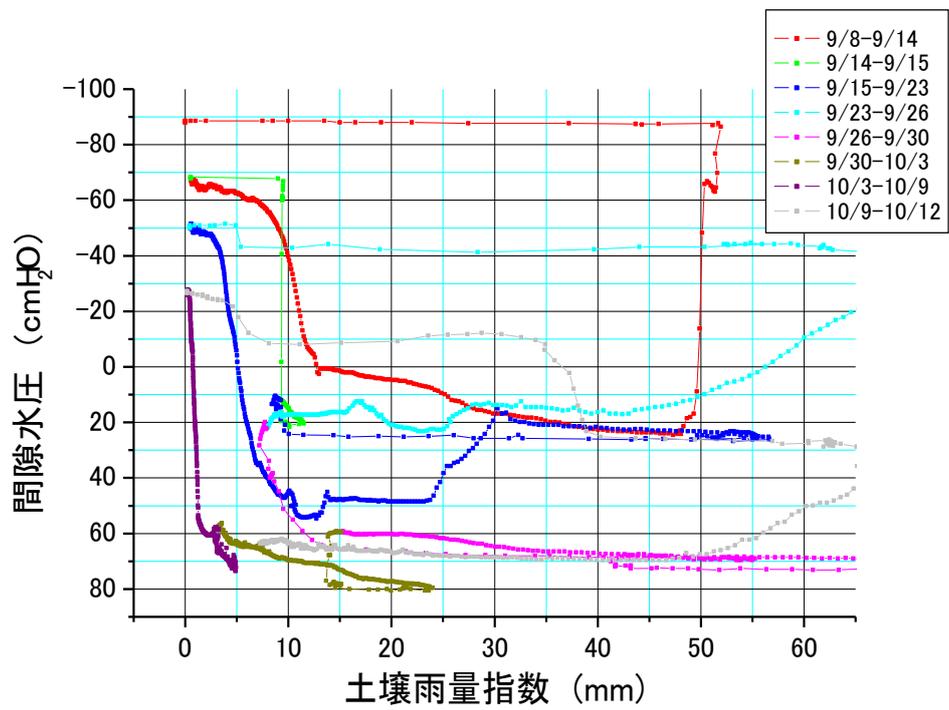


図 6.12 広場 B 深さ 50cm 間隙水圧-土壌雨量指数グラフ

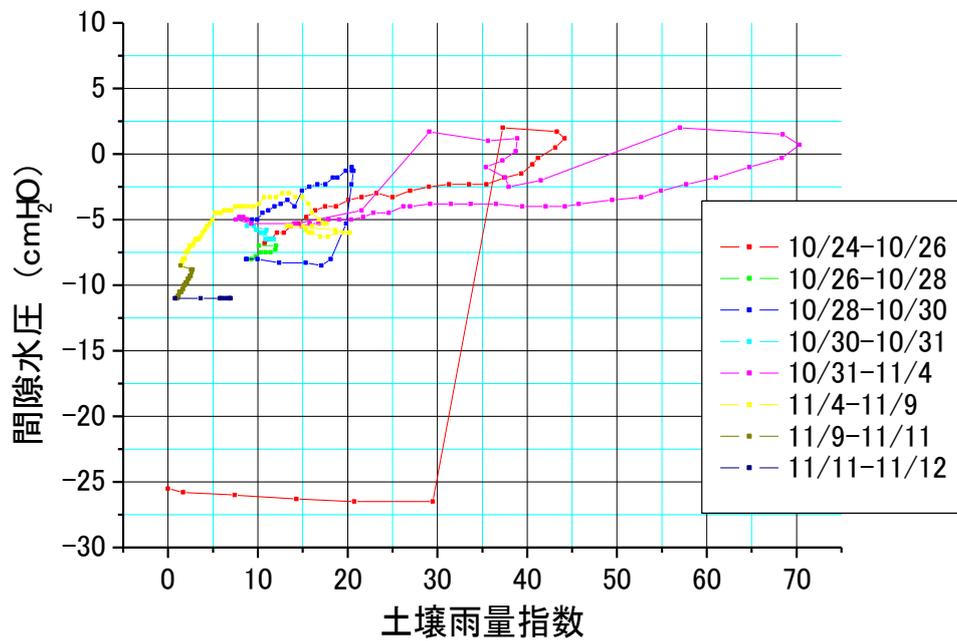


図 6.13 不動沢 Sp1 深さ 85cm 間隙水圧ー土壤雨量指数グラフ

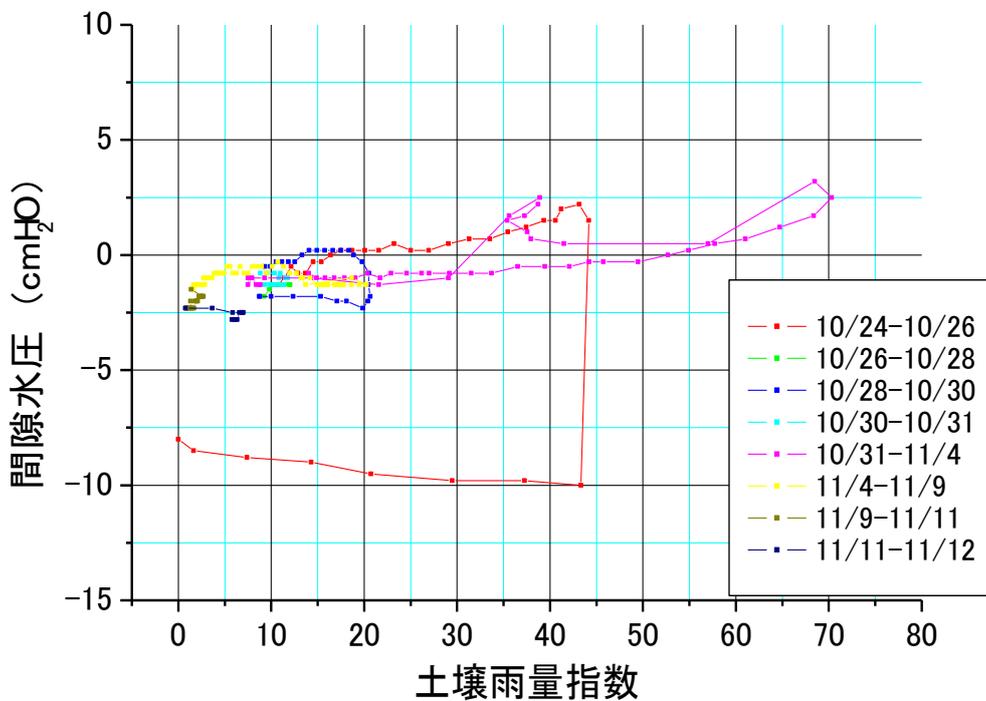


図 6.14 不動沢 Sp1 深さ 135cm 間隙水圧ー土壤雨量指数グラフ

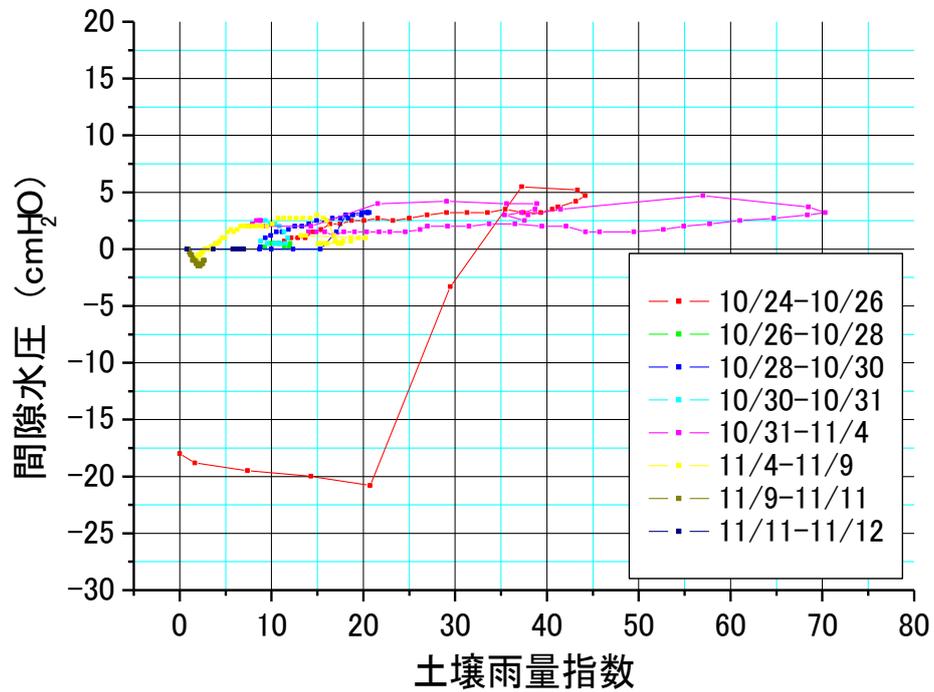


図 6.15 不動沢 Sp2 深さ 70cm 間隙水圧ー土壤雨量指数グラフ

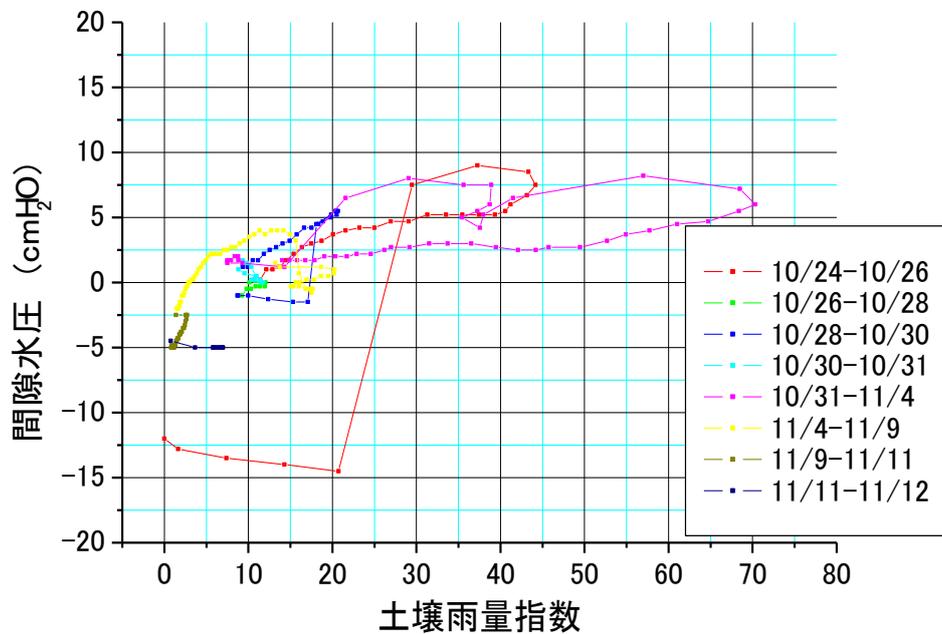


図 6.16 不動沢 Sp2 深さ 115cm 間隙水圧ー土壤雨量指数グラフ

6.4 モデル式の作成

前述のように土壌雨量指数－間隙水圧グラフでは吸水と排水でそれぞれ異なる履歴を描いている。降雨量から間隙水圧を予測するためには、土壌雨量指数－間隙水圧のモデル式を作成することが必要である。そこで深さ毎に吸水と排水でそれぞれモデル式を作成した。

はじめに吸水時のモデル式について述べる。まず各降雨イベントの土壌雨量指数最高値と間隙水圧最高値をプロットした(図 6.17)。このプロット値はいずれも対数形式の相関曲線を描いた時、2つの確率変数の間の相関係数を示す R^2 値が、0.67 から 0.89 と高い値を示す(1 に近づくほど相関がある)。よってこの結果から、対数形式の近似曲線を採用した。なお広場 B 深さ 20cm と深さ 50cm はそれぞれ間隙水圧が一定値に収束することから、一定値になっていない降雨イベントの土壌雨量指数最高値と間隙水圧最高値をプロットし近似曲線を描いた(図 7.18)。この近似曲線の式を吸水モデルとして採用する。

$$Su = a \times \log Sr - b \quad (\text{式 6.1})$$

ここに

Su = 間隙水圧 [cmH_2O]

Sr = 土壌雨量指数

a = 変数

b = 変数

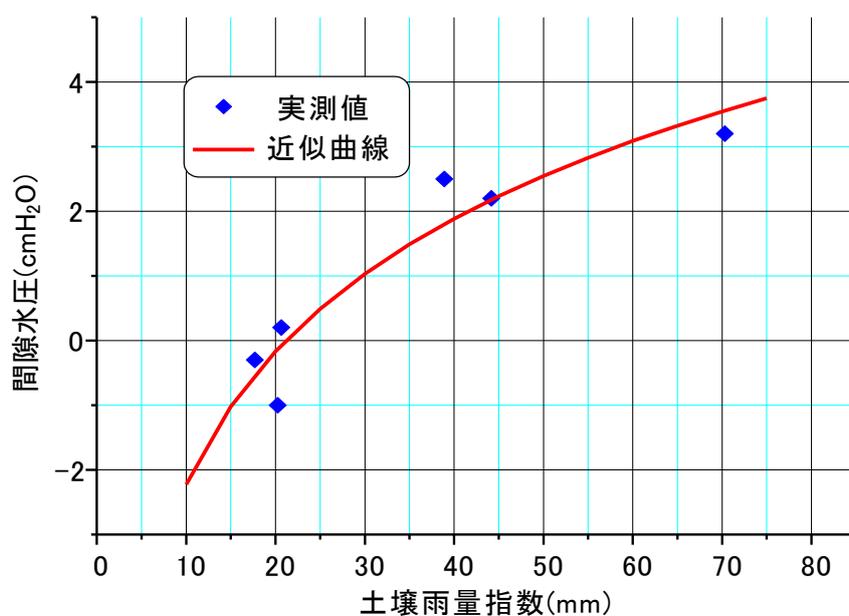


図 6.17 不動産 Sp1 深さ 135cm の吸水時のプロットと近似曲線図

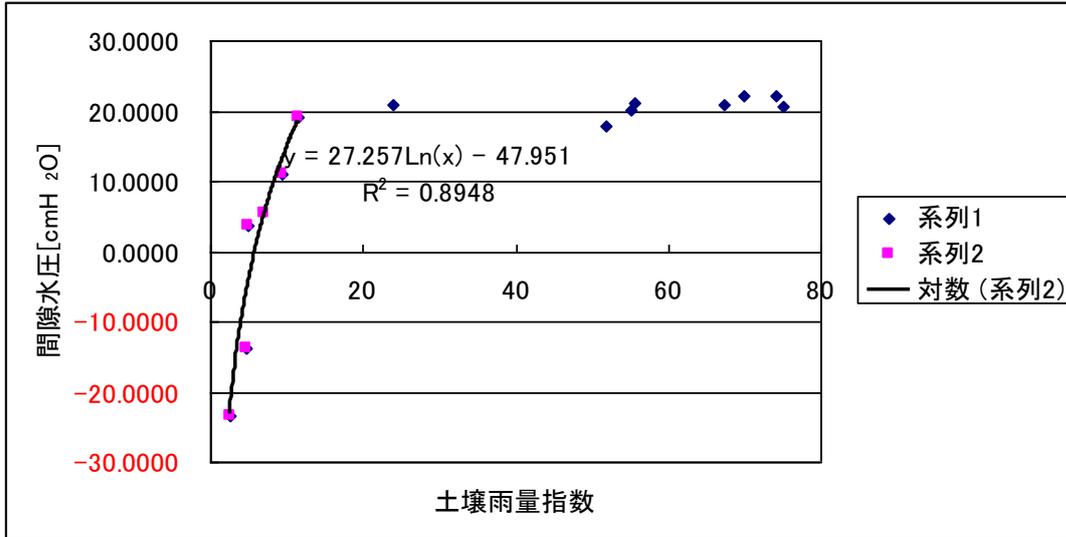


図 6.18 広場 B 深さ 50cm の吸水時のプロットと近似曲線図

また初期間隙水圧が非常に低い値の時は、雨が降っても間隙に水が染み込むのが遅れるという現象が見られる。この現象を説明するために、降雨開始直前の初期間隙水圧と、降雨開始から間隙水圧が上昇する時間をプロットした(図 6.19)。その結果、この点は線形式で近似すると R^2 値が非常に高い値を示す。そのため線形での近似式を作成した。

$$t = a \times Su_1 + b \quad (\text{式 6.2})$$

ここに

t = 降雨開始から間隙水圧上昇開始まで時間[分]

Su_1 = 排水初期間隙水圧[cmH_2O]

a = 変数

b = 変数

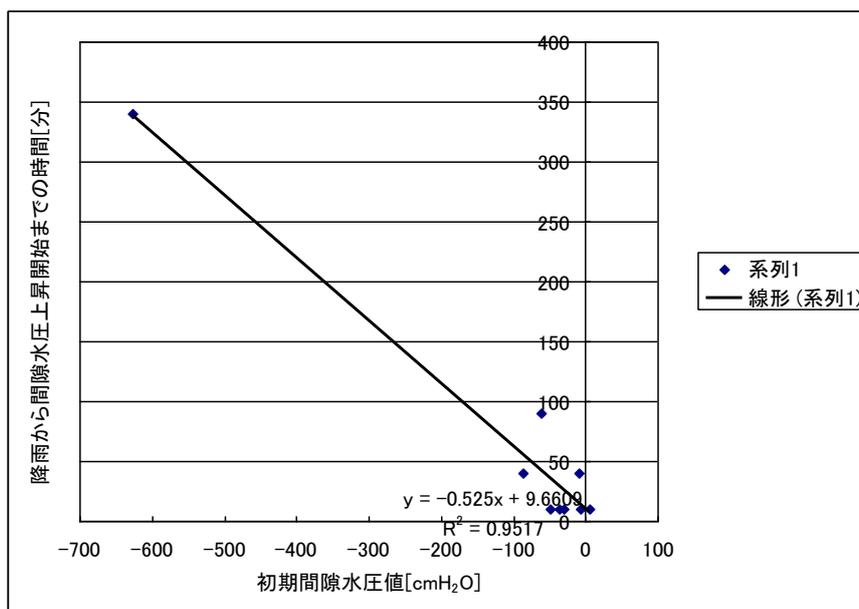


図 6.19 広場 B 初期間隙水圧と降雨開始から間隙水圧上昇開始までの時間

次に排水時のモデル式について述べる。まず各降雨イベントの降雨終了後から、次回降雨開始 1 時間前までの、土壌雨量指数－間隙水圧の値をプロットした(図 6.20)。このプロット値に注目すると、対数曲線に近いばらつきであるが、降雨イベント毎に降雨終了時の間隙水圧が異なっている(図 6.20)。そのため本論文では対数形式の近似曲線求めた上で、深さ毎にその傾きの値を求め、その後降雨イベント毎に降雨終了時の間隙水圧を代入し、値を求めていく方法を考案した。以下に式を述べる。

$$Su = a \times \log Sr - b \quad (\text{式 6.3})$$

ここに

Su = 間隙水圧[cmH_2O]

Sr = 土壌雨量指数

a = 変数(近似曲線の傾きの平均値)

b = 変数(各降雨イベントの降雨終了時の間隙水圧によって変動)

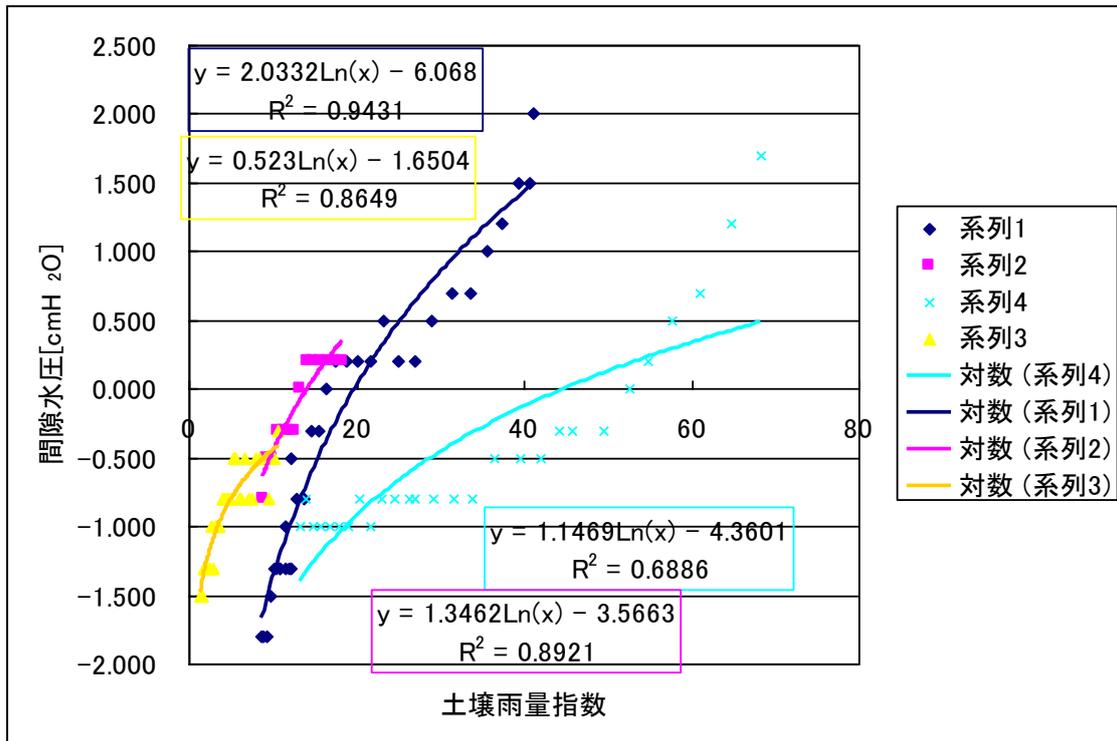


図 6.20 不動況 Sp1 深さ 135cm の排水時のプロットと近似曲線図

6.5 相関解析

前述の吸水モデル式と排水モデル式を使い、土壌雨量指数から間隙水圧を算出する方法について述べる。

- 1) 吸水モデル式(式 6.1)を使い、最初の降雨イベントにおける土壌雨量指数最高値から、間隙水圧を算出する。但し間隙水圧が一定値になる広場 B 深さ 20cm、深さ 50cm において、一定値を上回る間隙水圧が算出された場合は棄却し、一定値を使用する。
- 2) 求めた間隙水圧最高値から式 6.3 を使い、変数 b を求める。
- 3) 排水時に式 6.3 を使い、土壌雨量指数から間隙水圧を次の降雨開始まで求めていく。
- 4) 次の降雨開始時に式 7.2 を使い、その時の間隙水圧から、降雨開始から間隙水圧上昇までの所要時間 t を求める。
- 5) 間隙水圧上昇開始までは降雨開始時の間隙水圧と同値が続くと考え、同じ値を代入する。
- 6) 間隙水圧上昇開始時間から吸水モデル式(式 6.1)を使い、土壌雨量指数から間隙水圧を求める。但し間隙水圧が一定値になる広場 B 深さ 20cm、深さ 50cm において、一定値を上回る間隙水圧が算出された場合は棄却し、一定値を使用する。その後 2) に戻り繰り返す。

以上の方法によって求めた不動沢の間隙水圧モデル値を図 6.21～図 6.24 に、広場 B の間隙水圧モデル値を図 6.25～図 6.28 にそれぞれ示す。なお比較として間隙水圧実測値も示した。

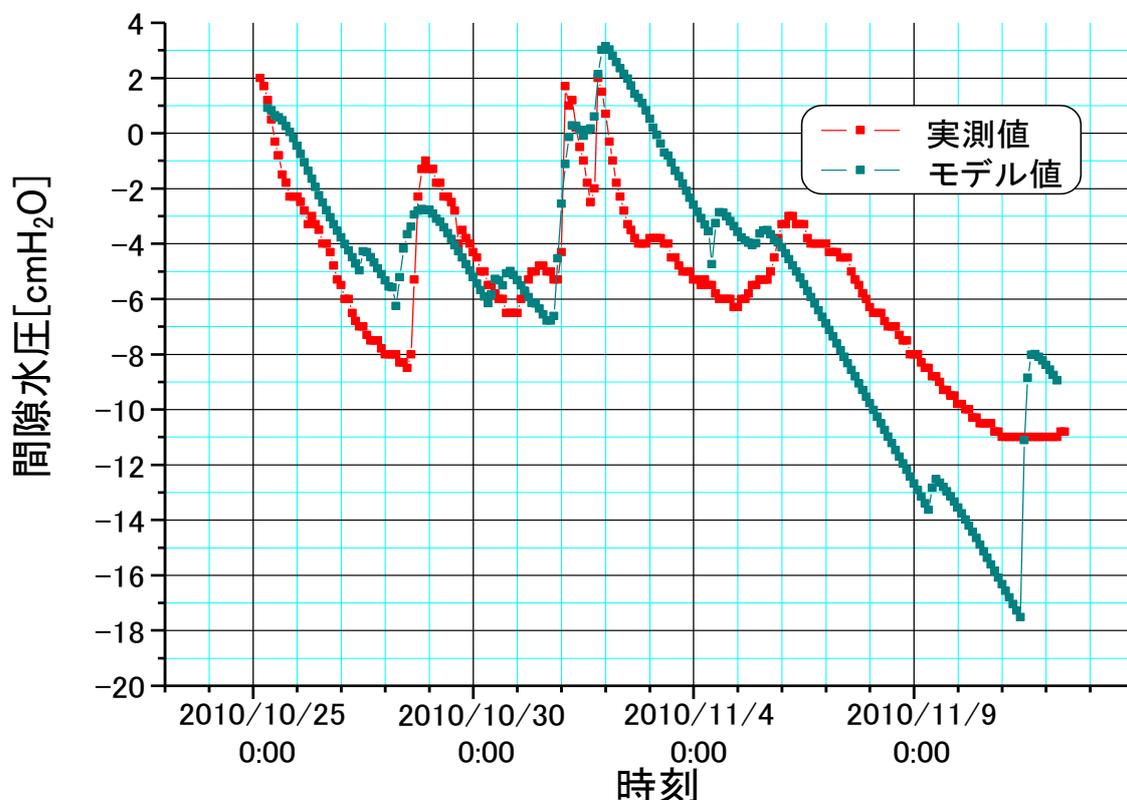


図 6.21 不動沢 Sp1 深さ 70cm のモデル値と実測値

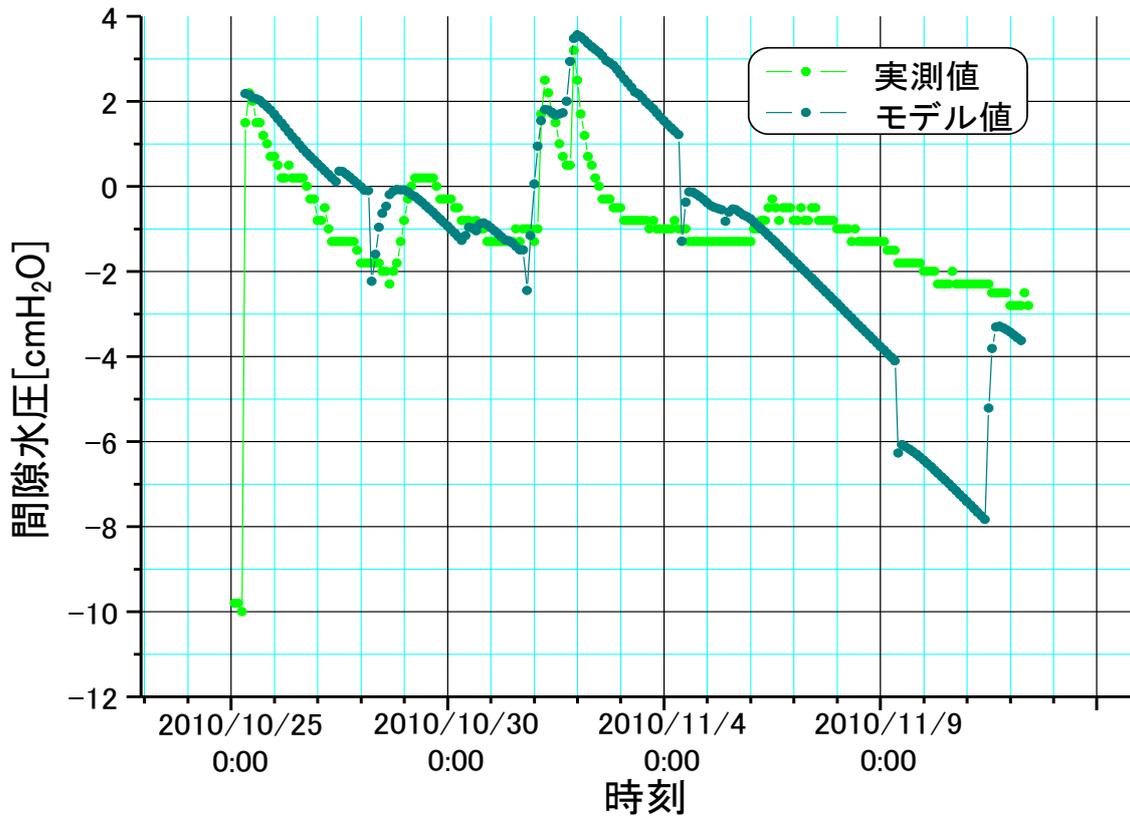


図 6.22 不働沢 Sp1 深さ 135cm のモデル値と実測値

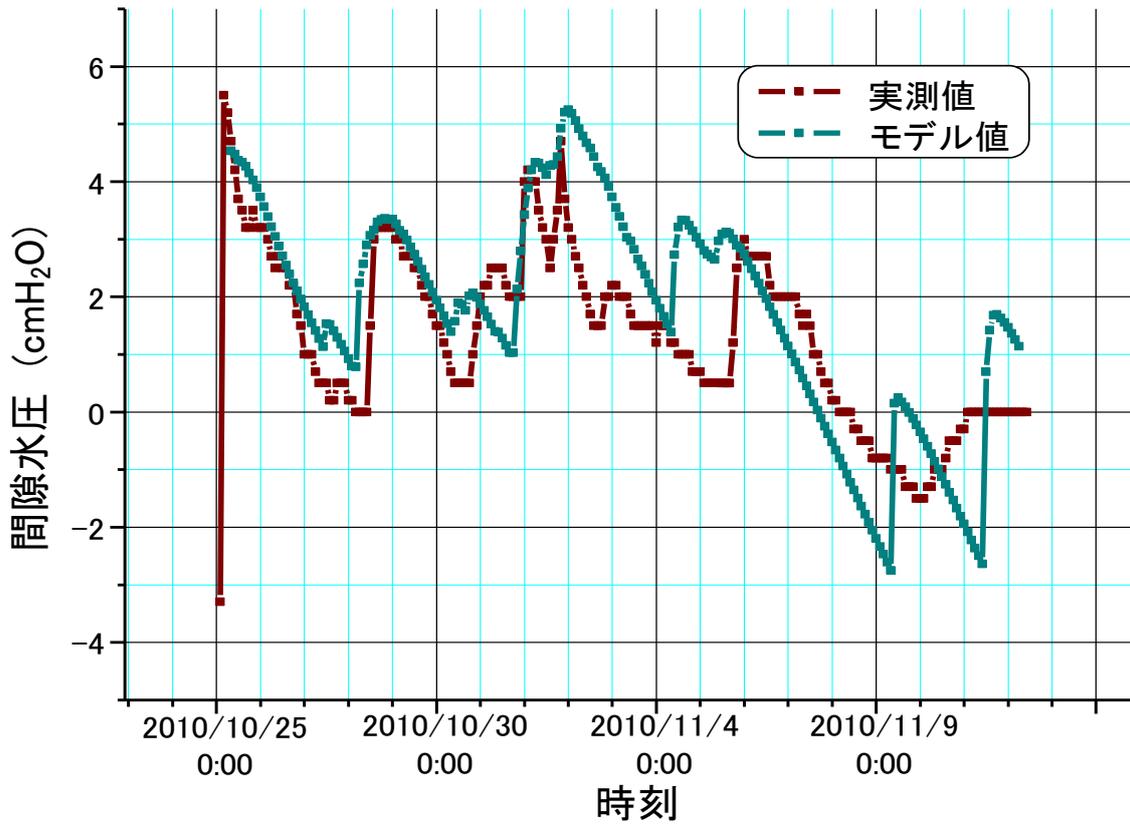


図 6.23 不動況 Sp2 深さ 85cm のモデル値と実測値

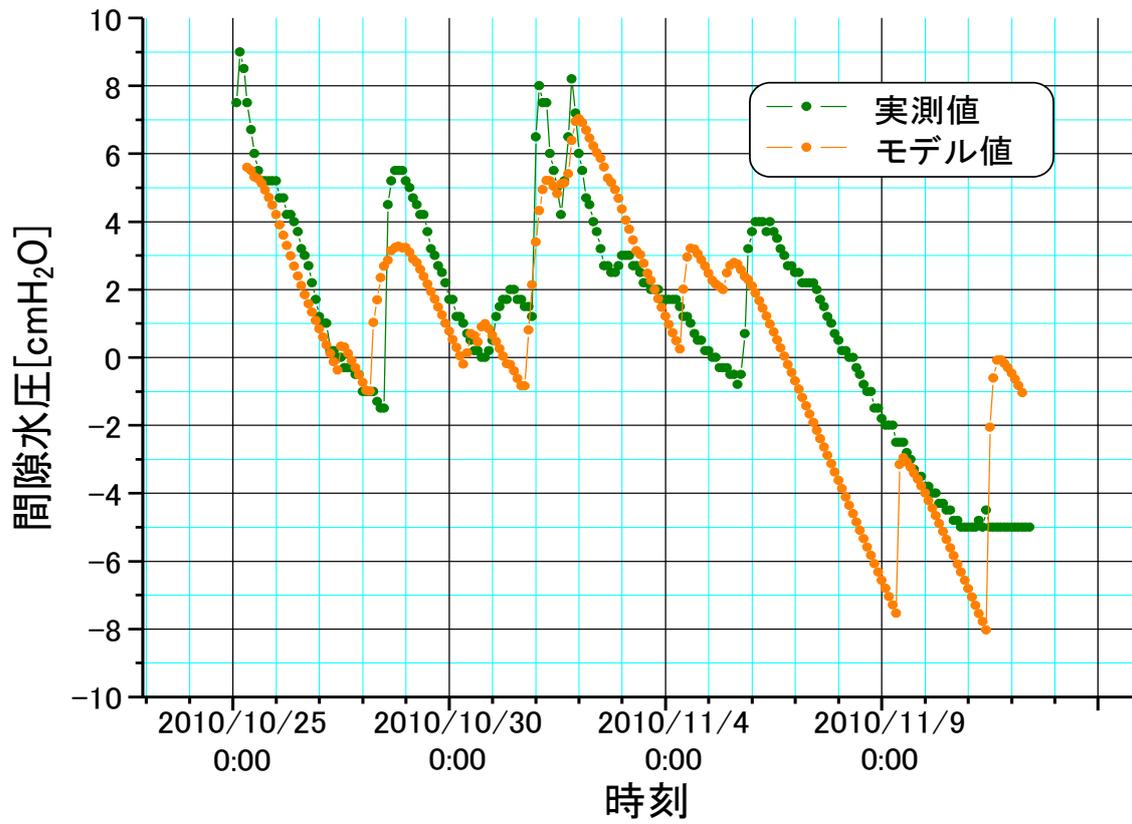


図 6.24 不動況 Sp2 深さ 115cm のモデル値と実測値

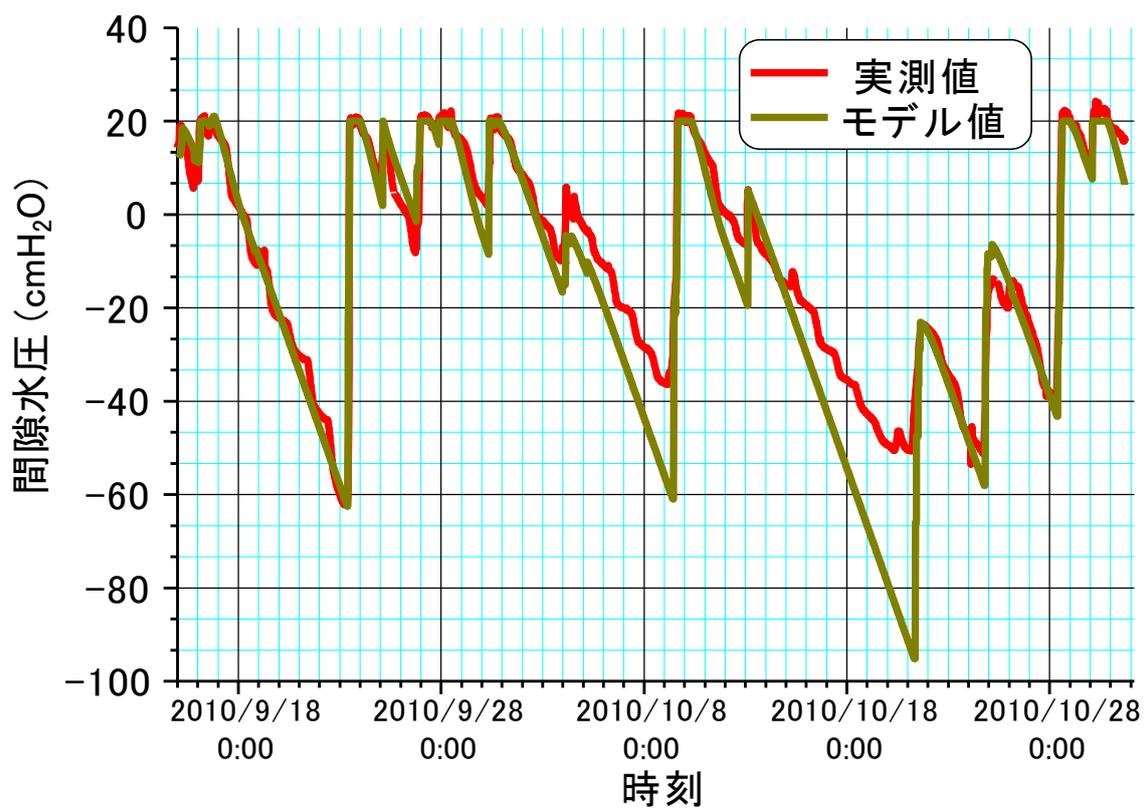


図 6.25 広場 B 深さ 20cm のモデル値と実測値

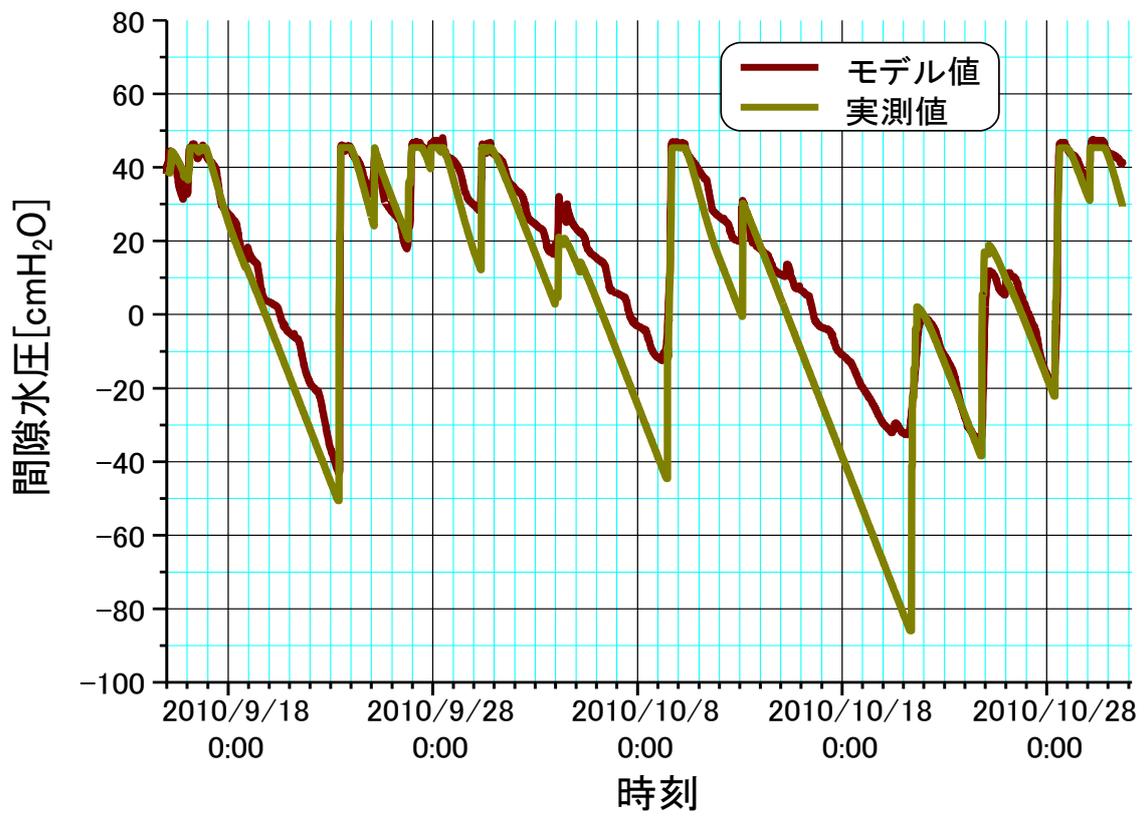


図 6.26 広場 B 深さ 50cm のモデル値と実測値

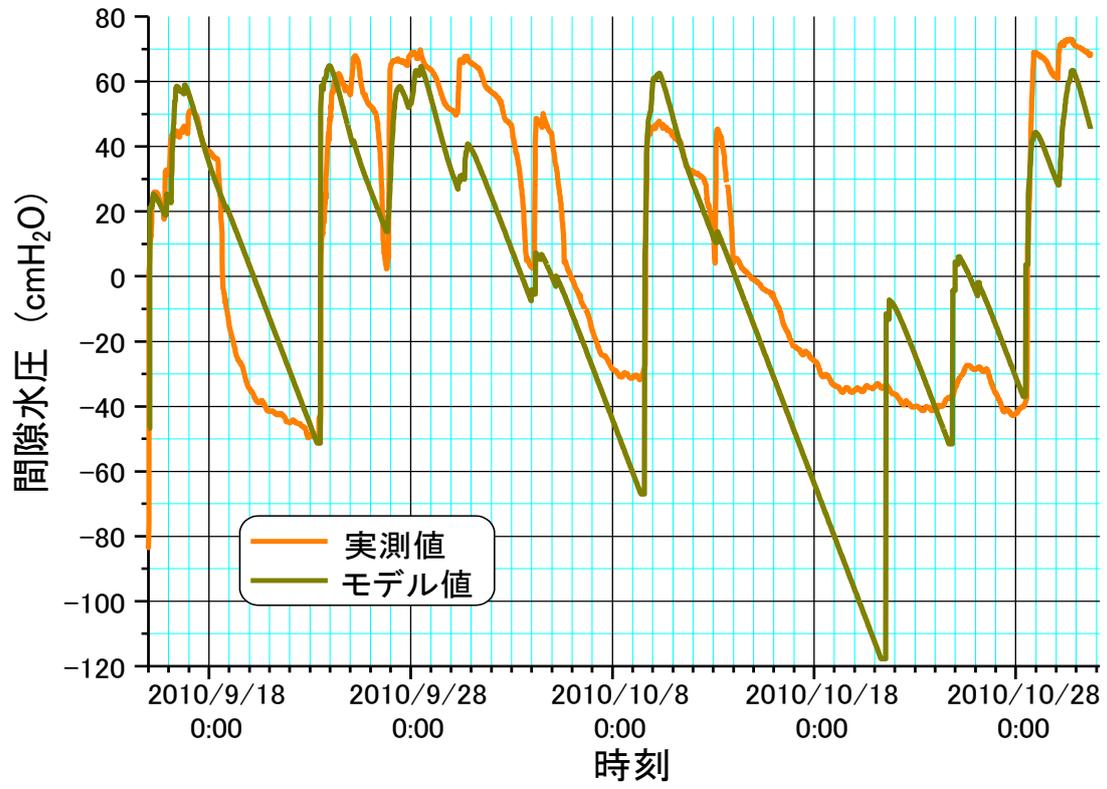


図 6.27 広場 B 深さ 80cm のモデル値と実測値

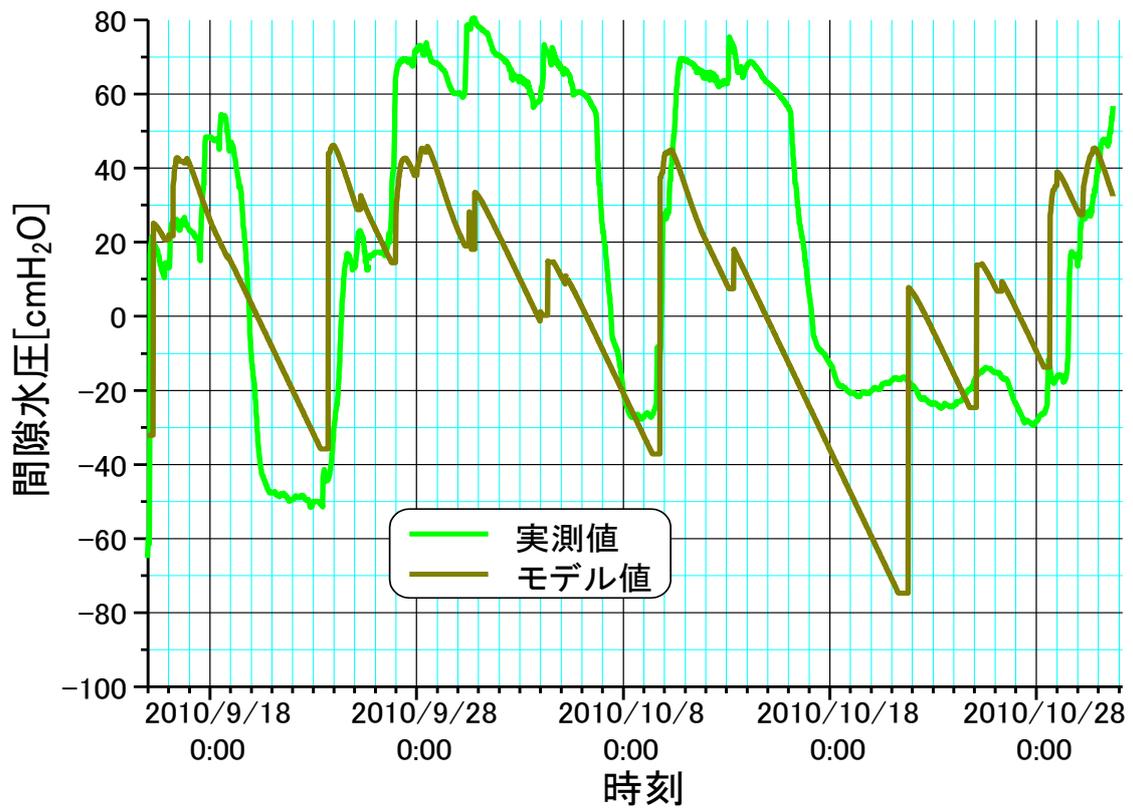


図 6.28 広場 B 深さ 120cm のモデル値と実測値

6.6 考察

土壌雨量指数を用いたモデル式を使い、不動沢及び広場 B 深さ 20cm・50cm に関して実測値と比較的近い値を示すことが出来た(図 6.21～図 6.28)。

不動沢において 11/4・11/5・11/9 にて降雨量と間隙水圧が一致していない部分がある。これは雪の影響による雨量計の反応の遅れか、雨量計へ落葉が入っていたため雨量計が実際の降雨よりも遅れて反応したものであると考えられる。このデータだけではどちらの影響であるか考えづらいが、11/12 のデータ回収時に落葉を除去したため、これ以降のデータを見るとどちらの影響であるか判断できると考えられる。しかし現場には積雪のためアクセスできないので、2011 年夏のデータ回収時に確認する必要がある。

一方広場 B においては深さ 80cm・120cm はあまり近い値を示すことが出来なかった。これは広場 B の土質が細粒分であり透水性が悪く、間隙に水が十分浸透しなかった為と考えられる。特に深さ 120cm において、各降雨イベントの土壌雨量指数最高値と間隙水圧最高値のプロットが大きくばらついており、そのため土壌雨量指数吸水式(式 7.1)を立てる際の近似曲線の R2 値が 0.1411 と非常に低い値を示している(図 6.29)。これが深さ 120cm の値が大きく異なってしまった原因だと考えられる。

今回不動沢及び広場 B 深さ 20cm・50cm に関して実測値と比較的近い値を示すことが出来たが、不動沢に関しては約 1 ヶ月のデータ、広場 B に関しては約 5 ヶ月のデータ(間隙水圧に関しては約 3 ヶ月)しか得られておらず年間を通してのデータが得られていない。そのため今後も継続して観測を行っていきデータを注意深く見る必要がある。

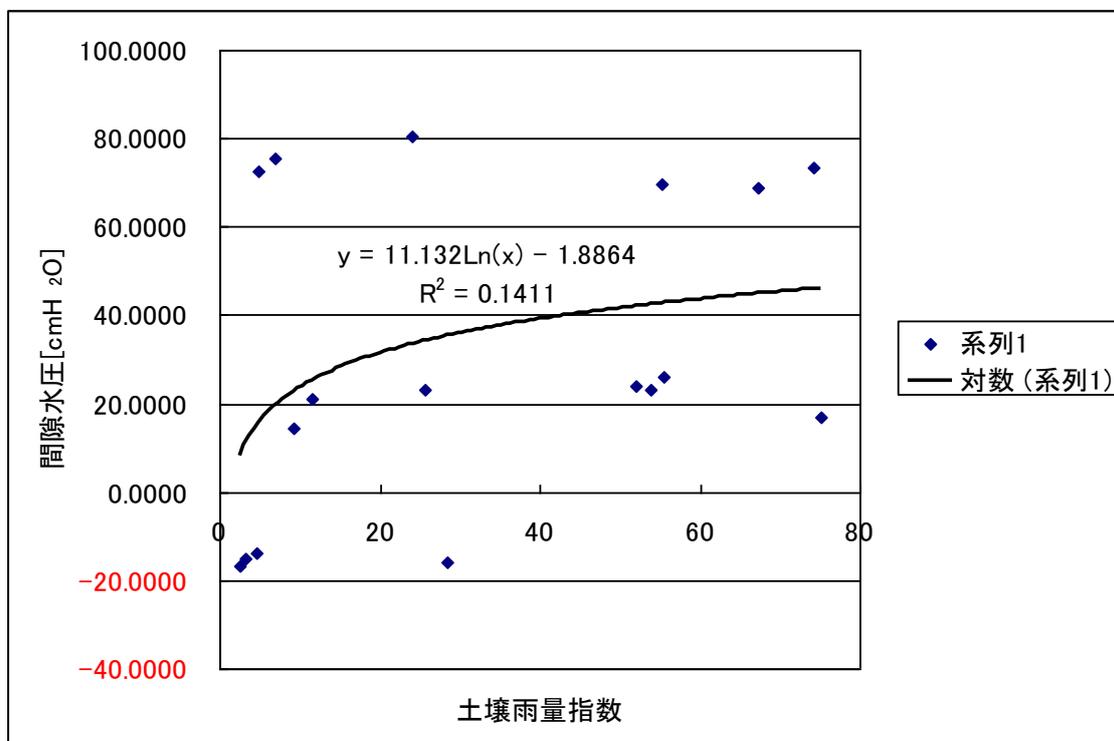


図 6.29 不動沢 Sp1 深さ 135cm の吸水時のプロットと近似曲線図

第7章 融雪期における地中間隙水圧の上昇に関する分析

夏季・秋季には降雨と連動して水圧が上下するが、一定以上の降雨があった場合、図7.1のように最大値を示しそれ以上の上昇は見られない。しかし融雪期にはこの値を超える水圧が記録される場合があり、融雪水の浸透量の大きさが伺える。そこで融雪期における斜面への水分の供給量を推定するために、降雨シーズンにおいて水圧が最大値に達した際の降雨状況を分析し、融雪期との比較を行った。

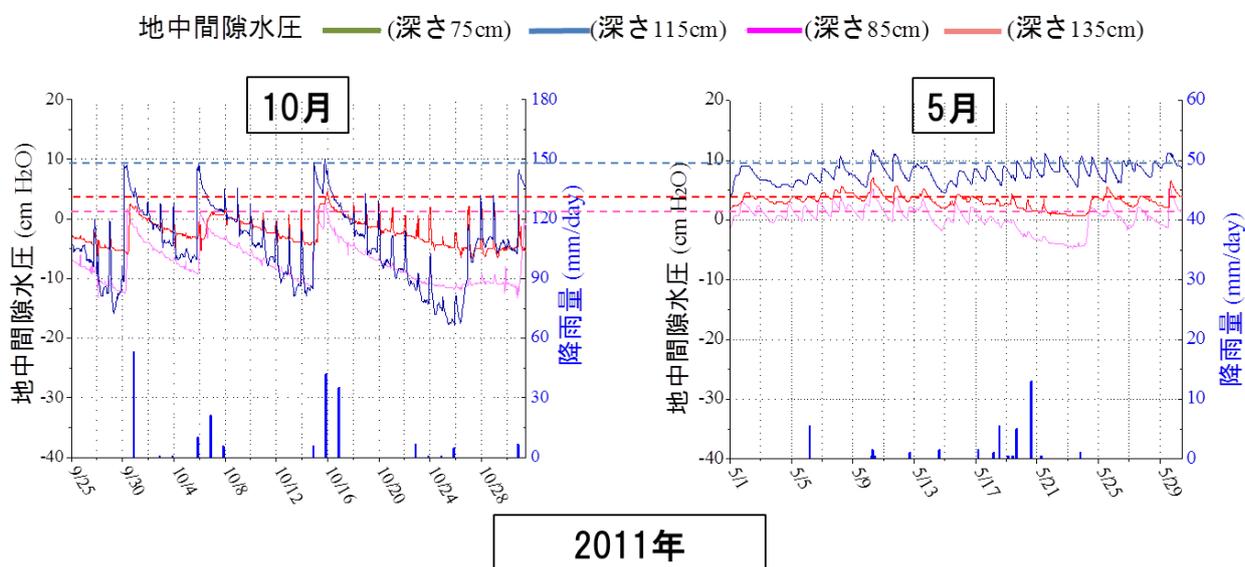


図7.1 2011年における水圧変動の比較

7.1 降雨が水圧に反映されるまでの時間

これまでの観測結果から、降雨の開始から水圧が上昇するまでに数時間のタイムラグが存在することがわかった。図 7.2 に示すように降雨開始直後には水圧は反応せず低下し続けているが、その後しばらくしてから上昇に転じている。また、降雨が水圧に反映されるまでの時間は降雨開始時の間隙水圧が低いほど長く、高いほど短いことがわかっている。そこで設置深さの異なる 4 本のテンシオメーターそれぞれについて、反応時間—初期間隙水圧のグラフを作成したところ、図 7.3 ように初期水圧と反応時間にはある程度の比例関係があることが読み取れる結果となった。なお、2.5mm/hour 以下の降雨では水圧は反応しないことがわかっているため、3mm/hour 以上の降雨があった時のみ考慮した。

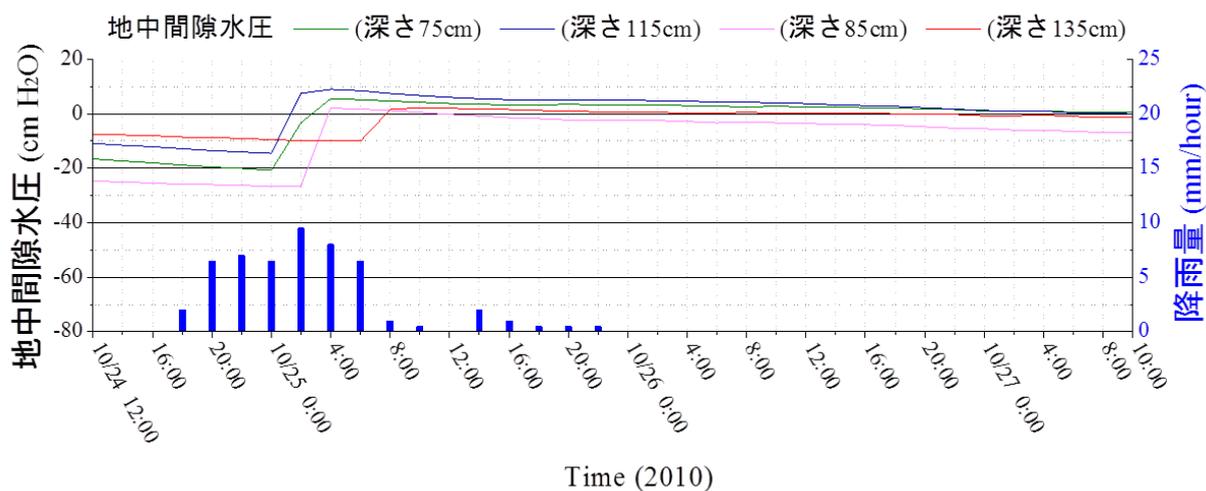


図 7.2 2010/10/24~2010/10/25 の降雨

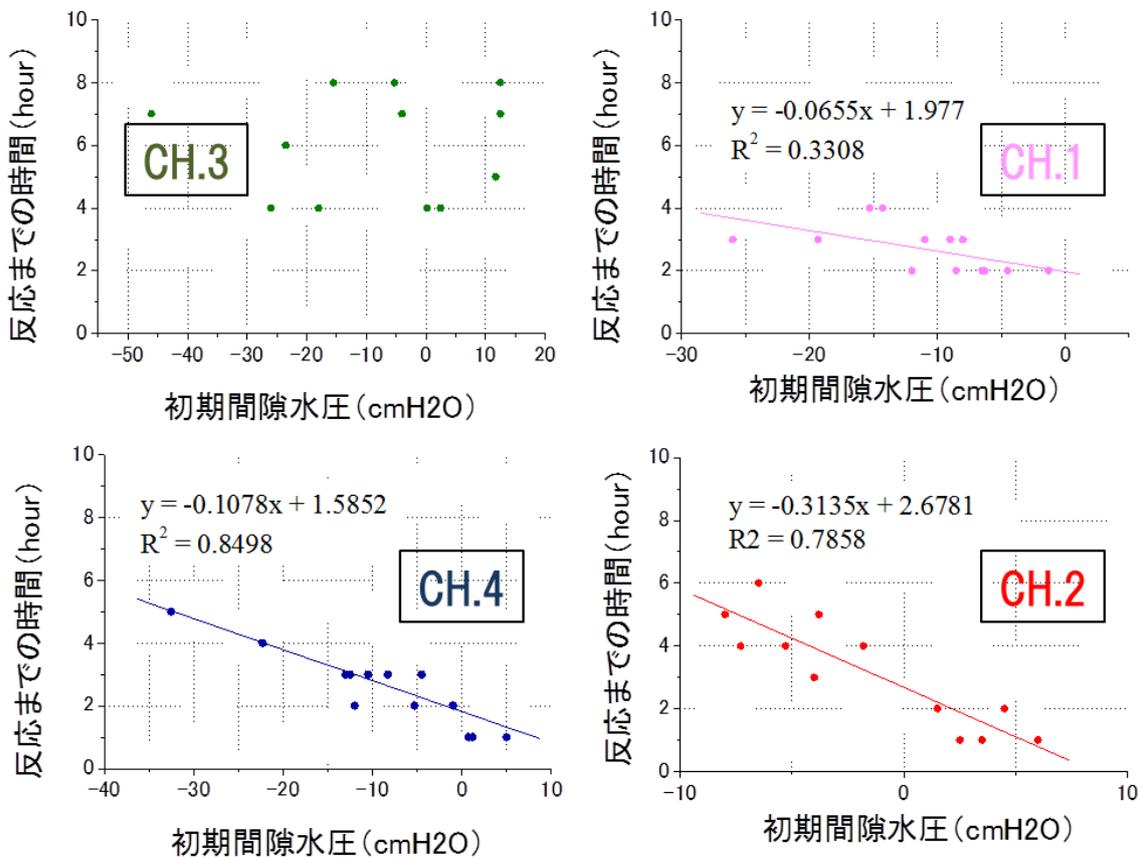


図 7.3 降雨が水圧に反映されるまでに要する時間と初期水圧の関係

7.2 雨量強度－累積雨量

次に地中間隙水圧が最大値に達する時の降雨状況について分析する。水圧が最大値に達するのは強い降雨があった場合と、弱い降雨でも長時間降り続いた場合とがある。水圧が最大値に達した時の降雨状況を調べるために、雨量強度と累積雨量の推移を示すグラフを作成した。図 7.5 にその一例を示す。赤い線が 10/15 の降雨（図 7.4 の左側の降雨）の推移、緑の線が 10/16 の降雨（図 7.4 の右側の降雨）の推移を表している。

ここで図 7.5 において前述した水圧反映までのタイムラグを考慮し、最大水圧に達するのに影響したと思われる降雨のみを表示すると、図 7.6 のようになる。

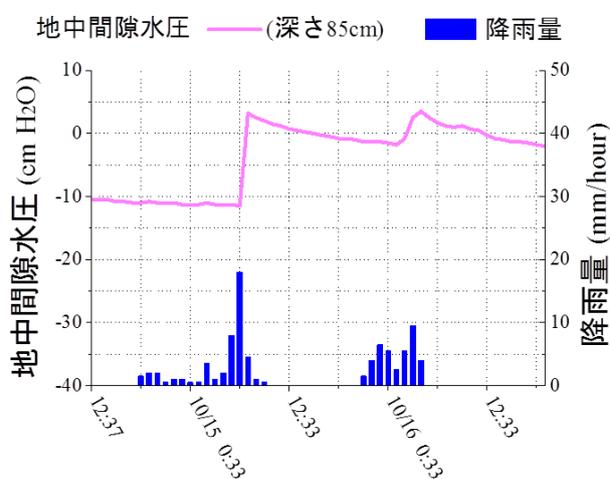


図 7.4 2011 年 10/15～10/16 の降雨と水圧

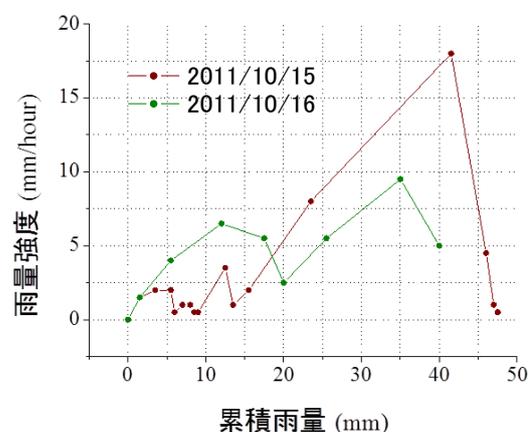


図 7.5 左記降雨の雨量強度－累積雨量

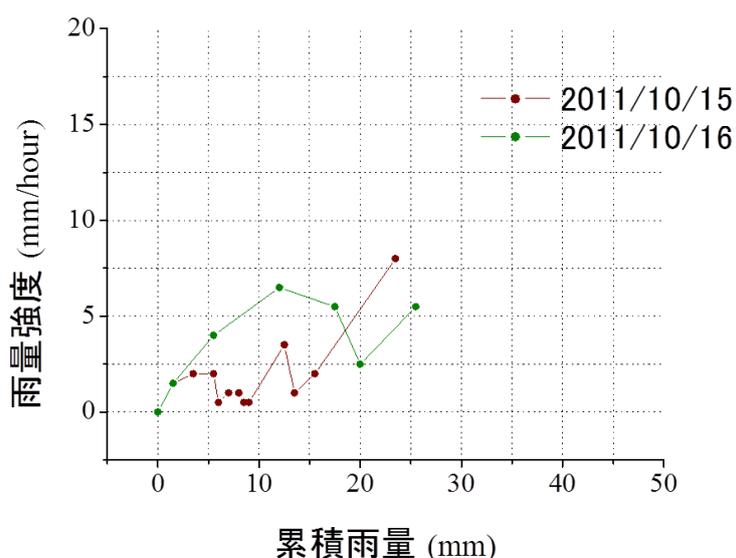


図 7.6 最大水圧到達までに影響した降雨の雨量強度－累積雨量（一例）

この作業を、水圧が最大値に達し、尚且降雨が正常に記録されている全ての観測日で行った結果が図 7.7 である。これを見ると水圧が最大に達する点に一定の境界線があり（図 7.8）、この線よりも上側に位置する降雨があった場合、最大水圧に達するものとみられる。つまりこの最大値を超えるような水圧を記録した融雪期には、図 4 に描いた点線よりも上側に位置する降雨量に相当する融雪水が連日斜面に供給されていたと考えることができる。

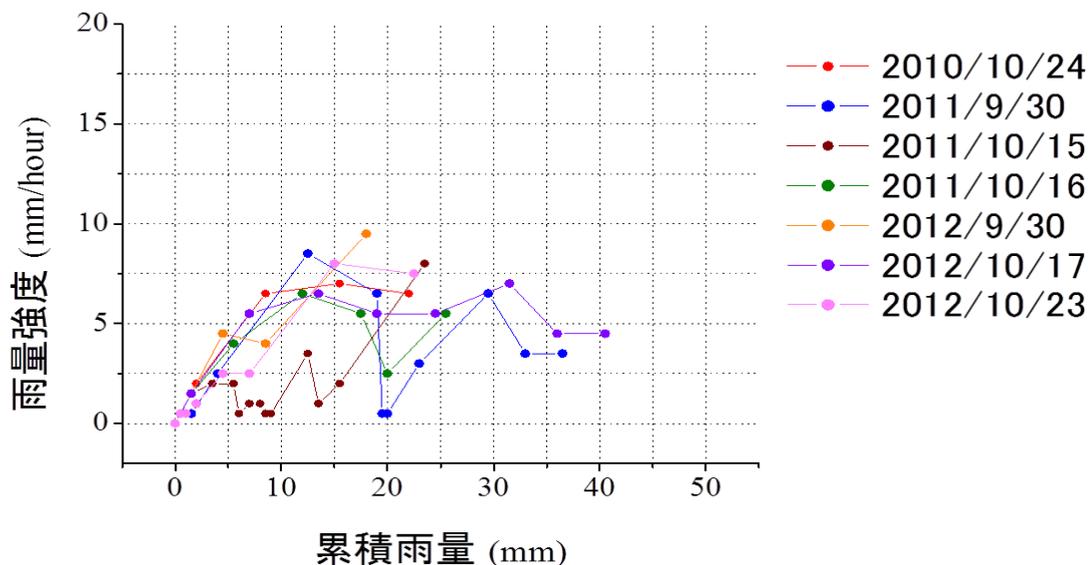


図 7.7 最大水圧到達までに影響した降雨の雨量強度－累積雨量

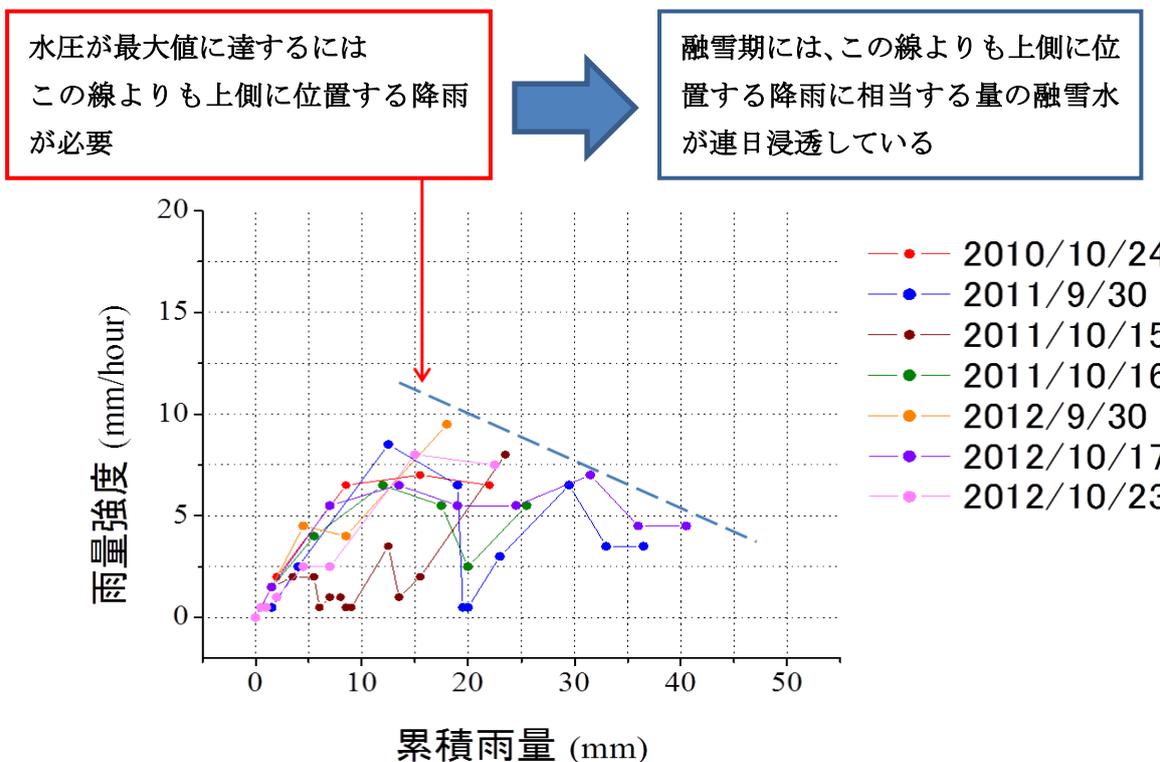


図 7.8 最大水圧に達する境界線

7.3 考察

夏季・秋季において、降雨が地中間隙水圧を上昇させるまでのタイムラグを考慮し、水圧が最大値に達するまでの雨量強度-累積雨量を一降雨ごとにプロットした(図 7.7-7.8)。このグラフから、短時間でも雨量強度が 10mm/hour 程度の降雨があれば、もしくは雨量強度が 3mm/hour 程度でも累積雨量が 30~40mm を超えるような降雨があれば、水圧は最大値に達することが明らかになった。すなわちこの最大値を超えるような水圧を記録した融雪期には、図 7.8 に描いた点線よりも上側に位置する降雨量に相当する融雪水が連日斜面に供給されていたと考えることができる。

これまで融雪期における斜面崩壊の危険性は多く論じられてきたが、実際に融雪期によってどの程度の融雪水が供給されているのか、定量的な現地観測を行っている例は少なかった。本研究では夏季・秋季の水圧変動との比較により、融雪期に水圧が上昇する様相をかなり定量的に捉えることができたと言えるだろう。

第 8 章 結論と今後の課題

本論文では長野県大町市信濃川水系高瀬川上流域不動沢の崖錐斜面において 4 年間にわたり観測を行い、分析・検討を行った結果をまとめた。本章ではそれぞれの項目についての結論と今後の課題を述べる。

1. 観測機器の設置、長期にわたる観測手法の検討

不動沢において計器の設置を行い、地盤中の間隙水圧及び降雨量データを取得することに成功した。雨量計やデータロガー等の観測機器については、斜面崩壊に伴う損傷を避けるため崖錐端部に設置していたが、崩壊や積雪により毎年大きく損傷していたため、2013 年に対岸の平地へ移設する対策をとった。しかしそれでも次の年には雨量計が積雪により破壊され、山岳地での観測の難しさを実感する結果となった。また、インターバルカメラを用いた観測でも一部の斜面崩壊や河床の変化、積雪の状況を捉えることに成功したが、落下や位置ずれ等により長期間連続しての撮影記録はやはり困難であった。

以上のことから、斜面観測を行う際にはテンシオメーターと雨量計を近傍の地点に分け、後者を平地に設置できるような土地条件の観測地を選定すべきだと考える。さらに雨量計、積雪計を設置する地点は降雨による増水の影響を受けず、尚且横方向から積雪の重さを受けないような場所が望ましいと言える。

2. 観測斜面の土質調査

現地の土質試料を採取し土の粒度試験を行い、不動沢が粒度の粗い土質であり、水はけのよい土質条件であることが明らかになった。

3. 観測斜面の写真測量

不動沢の計器設置地点でデジタルカメラを使用した写真測量を行い、「デジカメ活用による デジタル測量入門」プログラムと「SurveyFromPhoto」という 2 種類の解析手法を検討し解析を行った結果、「SurveyFromPhoto」からある程度の測量結果を得ることが出来、3次元化することに成功した。

4. 降雨期における地中間隙水圧変動の分析

地盤内間隙水圧と降雨量の関係を把握するために、直列 3 段のタンクモデルを用いた土壌雨量指数という指標を利用し、降雨量と間隙水圧のモデル式から推定値を得ることに成功したが、パラメーターには気象庁が使用している値を採用したため、必ずしも正確とは言えない。特に矢田部(2001)によると、地盤内間隙水圧は湿潤前線が通り過ぎると急上昇し、飽和状態になるとあり、排水条件とは異なり、吸水条件をモデル式化することは難しい。

降雨から間隙水圧が上昇するまでの様子を定量的に求めるには、飽和-不飽和地盤解析を行っていく必要があり、飽和-不飽和地盤解析を行うためには、地盤の保水特性を示した、地盤内間隙水圧-体積含水率のモデル式「水分特性曲線」が必要である。しかし本観測では間隙水圧と降雨量を使用しているため、体積含水率を求めるには、土質材料を利用した土質実験か、テンシオメータと同じ深度に体積含水率計を設置する必要がある。しかしながら、土質実験は大きな手間と実験道具が必要となるため、今後、本観測システムに体積含水率計の設置することを提案する。

5. 融雪期における地中間隙水圧上昇の分析

これまで融雪期における斜面崩壊の危険性は多く論じられてきた。しかし実際に融雪期によってどの程度の融雪水が供給されているのか、定量的な現地観測を行っている例は少ない。本研究では夏季・秋季の水圧変動との比較により、融雪期に水圧が上昇する様相を定量的に捉えることができた。しかし水圧・降雨共に機器の劣化や破損による欠測が多く、4年間という長い観測期間に対してデータ量が少ない。そのため分析結果は必ずしも精度の良いものとは言えず、今後更に信頼性の高い結果を得るためには、観測時の機材の保護に注意すべきだと考えられる。

参考文献

- (1) shihara.Y. and S.Kobatake,1979:Runoff model for flood forecasting. Bull. Disaster Prevention Res. Inst. Kyoto Univ.
- (2) 井上素行：発電用貯水池における流入土砂の予測と制御に関する研究，2000.
- (3) 岡田憲治，牧原康隆，新保明彦，永田和彦，国次雅司，斉藤清：土壌雨量指数，天気，2001.
- (4) Kazunari Sako, Ryosuke Kitamura:A PRACTICAL NUMERICAL MODEL FOR SEEPAGE BEHAVIOR OF UNSATURATED SOIL,2006.
- (5) 加納誠二，土田孝，菅和暁，木村洋介，土井豆聡之：自然斜面におけるごく表層付近の土中水分変動の原位置観測，広島大学大学院工学研究科研究報告，2007.
- (6) 嘉門雅史，日下部治，西垣誠：地盤環境工学ハンドブック，朝倉書院，2007.
- (7) 北村良介，南部光弘：豪雨時における斜面崩壊メカニズムと危険度予測－5. 豪雨時における斜面崩壊危険度予測(その2)－，土と基礎，2004.
- (8) 佐々木康，加納誠二：降雨時のまさ土斜面における土中水分の変動と無効雨量，広島大学大学院工学研究科研究報告，2004.
- (9) 笹原克夫，山口純平，酒井直樹，植竹政樹，福園輝旗：繰り返し降雨履歴が降雨時の斜面変形に与える影響，地盤工学研究発表会概要集，2010.
- (10) 里見知明,酒匂一成,石田優子,安川郁夫,深川良一：降雨時斜面の崩壊危険度評価による現地計測システムの効率化-京都市東山区の重要文化財後背斜面を対象として-, 歴史都市防災論文集, 2009.
- (11) 材木広和，田中成典，吉田均，北川悦司，野田肇：デジカメ活用によるデジタル測量入門，森北出版，2000.
- (12) 寺尾陽明：地盤内間隙水圧と降雨量の現地観測とその相関関係,首都大学東京都市基盤環境学科卒業論文,2011
- (13) 千葉崇：降雨による谷埋め盛土斜面内の水分変化モニタリングとその解析，東北大学土木工学科卒業論文，2007.
- (14) 土質工学会：土質試験の方法と解説．三美出版株式会社.
- (15) 土木研究所，秋山調査設計，坂田電機株式会社，株式会社拓和，中央開発株式会社，日本工営株式会社：土砂災害の警戒避難支援のための斜面崩壊検知センサの開発，土木研究所 土砂管理研究グループ，2009.
- (16) 野田幹雄：表層地盤のモデル化及び地震応答解析，東京都立大学大学院修士論文，1999.
- (17) 矢田部龍一：降雨時の斜面安定解析の現状と課題，地すべり，2001.

謝辞

本研究は吉嶺先生のご指導のもと、2010年から2014年にかけて行った崩壊斜面観測の結果をまとめたものであります。吉嶺先生には体調のすぐれない中、観測の方法から論文作成までたくさんのご指導をいただきました。井上素行先生には不動沢調査の手配や観測のご指導だけでなく、着眼点や研究方針等にも多くのご助言をいただきました。また、現地調査を行うにあたり、小田義也先生、上野敦先生には不動沢の機器設置及び撤収にご協力いただきました。ここに修士論文を形にできましたことを心より感謝申し上げます。

内藤 雄馬