

伏工施工地における地温変動の観測結果

藤澤示弘*・石渡和夫**・斎藤俊一**

Observed results of the soil temperature change in the covering work.

Tokihiro FUJISAWA*, Kazuo ISHIWATA** and Syun-ichi SAITOU**

要 旨

藤澤示弘・石渡和夫・斎藤俊一：伏工施工地における地温変動の観測結果 神奈川県自環保セ報告1：35-42, 2004 神奈川県丹沢山地内の堂平沢山腹崩壊地において、伏工の凍結融解侵食防止効果を検証するために、施工箇所の冬期間地温を観測した。その結果、12月中旬と3月上旬では凍結融解現象が、裸地では頻繁に、伏工施工地では時に発生していたと考えられ、伏工施工の効果は顕著であると思われた。

キーワード：凍結融解侵食、地温、伏工

I はじめに

丹沢山地は神奈川県西北部に横たわる面積約4万haの一大山塊である。首都圏の一角に位置するにも関わらず、豊かな自然が残されており、1965年には国定公園に指定されている。

しかし、近年はブナ、モミの立ち枯れが丹沢山、蛭ヶ岳、檜洞丸など標高1,000 m以上の山頂部や尾根部に多いことが報告されている(越地ら, 1996)。また、立ち枯れと共にニホンジカの採食による林床植生の退行も認められている(丹沢大山自然環境総合調査団, 1997)。

このような森林衰退が懸念される丹沢山地には、さらに山腹の崩壊という問題がある。1923年の関東大地震とその余震、またその後の降雨等により山中いたる所に崩壊地を生じ、現在なお拡大が続けている場所も多い(神奈川県, 1987)。丹沢山地は地質的に脆く、山稜や斜面に分布する厚いローム層は軟質

で浸透能が小さく、降雨が地表を容易に侵食し、ガリ地形を生ずる。尾根部緩斜面に見られる崩壊は、この侵食が上部へ進行してローム層が円弧すべり状に滑落している(棚瀬, 1997)。

さらに、このローム層は霜柱や凍上が発生しやすい(金ら, 1990)、凍結融解侵食をうけやすい特徴を持っている。

霜柱は寒気で土のごく表層が凍り、毛管によって水分が運搬されて凍結する現象である。さらに寒気がひどくなると、表層だけでなく土壌までもが凍結するが、これを土壌凍結と呼んでいる。

凍上とは、この土壌凍結、つまり水の体積膨張と凍結の際の集水のために、土が持ち上がる現象である。そして、持ち上げられた土は暖かくなると融解しつつ斜面下部に落下する。凍結と融解を繰り返した土は軟弱化し、雨水による侵食を受けやすくなる。

凍結融解による侵食量は、降雨などの他の要因に比較して非常に大きく、裸地区における侵食量全体

* 神奈川県自然環境保全センター研究部 (〒243-0121 神奈川県厚木市七沢657)

** 神奈川県県央地区農政事務所 (〒243-0004 厚木市水引1-11-13)

の約半分以上を占める、重要な問題である。

丹沢山地における崩壊地の多くは高標高地域にあり冬季は厳しい低温にさらされる。また、ニホンジカの生息密度が高く、その採食圧により緑化植物までもが被害を受け、自然植生の侵入による復旧はなおさら困難である。

さらに丹沢山地は国定公園指定されており、特別保護地区内では地形の変更は法的に規制され、法切工や山腹土留工は採用しにくい。したがって、山腹工事の実施には多くの制約があり、限られた工種しか実施できない状況にある。

一方、山腹緑化工の一工種である伏工は降雨、凍上、霜柱等による表土の侵食や崩落を防止して、植生の発芽生育環境を改善するために計画される。特に二次製品を用いた伏工資材は、寒冷地帯等にあってはその保温効果によって霜柱や凍上等を防止する目的で計画される(林野庁, 1983)。さらに、寒冷地では凍結と融解の繰り返しにより幼植物が地上に放出されたり倒伏して枯死する、緑化不良の被害も発生する(大木, 1991)が、伏工にはいわゆる持ち上げ枯死の防止や土壌水分の保持など大きな効果があると言われている。

霜柱の発生条件は、①凍上性の大きい土、②地中から水分が供給される、③地表面が 0°C 以下になること、である(金光, 1982)。これらの要素のうち、土や水分を除去するのは困難である。したがって、凍結融解侵食を防止するためには、地表面を 0°C 以上に保つ対策が現実的である。

また、土壌凍結は始めの頃には凍結融解を繰り返し、やがて凍結したままになる。凍結と融解を繰り返す回数、すなわち凍結融解期間が短ければ凍上被害も少なくなる(大木, 1991)。したがって、この期間を短くすることが重要である。

しかし、実際に被害が発生している急斜面において地温等の基礎的 data を計測した事例は少なく、施工にあたり必要な判断材料が乏しい。

そこで、凍結融解侵食の激しい山腹斜面に、保温効果が高いとされている不織布を用いた伏工を試験施工した。そして、その保温効果を検証するために、施工箇所並びに近接した非施工箇所の地温を計測したので報告する。

II 方 法

1 試験箇所

試験地の位置は北緯 $35^{\circ} 29'$ 東経 $139^{\circ} 10'$ 清川村宮ヶ瀬地内(治山細地区名 堂平沢)である(図1、2、写真1)。調査地の標高は1,175 m、斜面方位は東南東、傾斜は $35\sim 40^{\circ}$ である。

現地では凍結融解浸食により斜面がオーバーハングしており、ブナを主とした森林の面積が減少しつつある(写真2)。また、一般的な資材による伏工を施工した箇所もあるが、激しい凍上によりアンカーピン(止め釘)ごと約20 cmも持ち上げられ、破壊される被害を受けている(写真3、4)。

2 試験施工伏工

使用した資材はポリエステル繊維主体の不織布とポリエチレン製補強ネットで構成されている(表

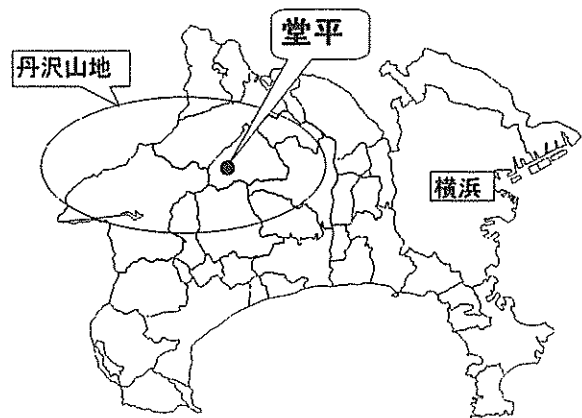


図1 位置図

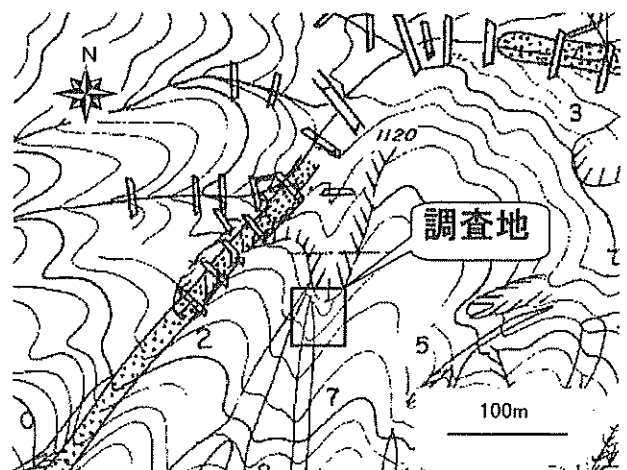


図2 調査箇所図

1、商品名：多機能フィルター SP-45)。この資材の特色は、柔らかい繊維層が表土に密着し、土壌侵食防止効果と気象環境緩和効果を発揮する点である(多機能フィルター、2002)。2002年9月、当該資材を幅3m、斜面長約15mにわたり設置した。植生の影響を排除するため、種子は播種しなかった。

なお、試験地に隣接した斜面には、本試験同様に

表1 使用伏工資材

項 目	内 容
品 名	SP-45
主素材	ポリエステル不織布(薄茶色)
補強ネット	ポリエチレン製(ダークグリーン)
製品規格	W=1m L=50m t=0.01m
主アンカー	φ9×200mm 87本/100m ²
止め釘	φ5×150mm 384本/100m ²



写真1 試験地状況

複数種類の植生マット工を2001年から2002年に試験施工し、経過観察中である(写真5～6)。

3 地温計測

計測深度は地下5、10、20cmの3深度とした。計測位置は伏工施工斜面(以降 filter 区)並びに隣接した非施工斜面(以降 cont 区)の上、中、下部とし、計6か所、18点である(図3・4、写真7・8)。計測機器は、ケーブル式の機器では土砂や積雪の移動による破壊が予想されるので、地中埋込可能な防水型温度計測ロガー StowAway Tidbit TBI32-20+50 (米Onset Computer 社製、計測範囲-20～+50℃(最大読取誤差±0.5℃)を18個用いた。計測間隔は1hr、計測開始時期は2002年10月5日、終期は2003年5月22日である。

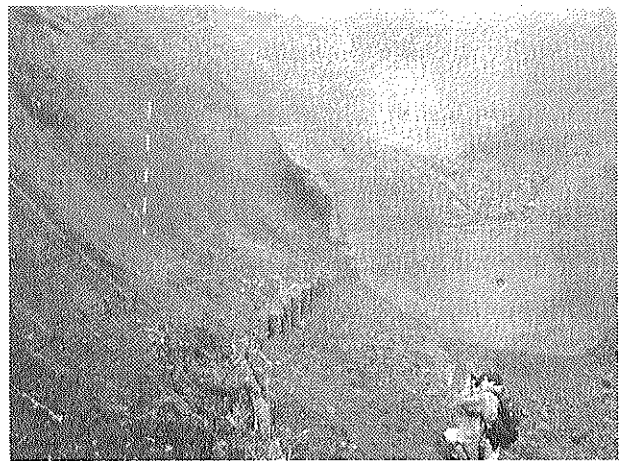


写真3 既設伏工の凍上被害



写真2 崩壊によるオーバーハングと斜面後退



写真4 凍上被害を受けた伏工アンカーピン

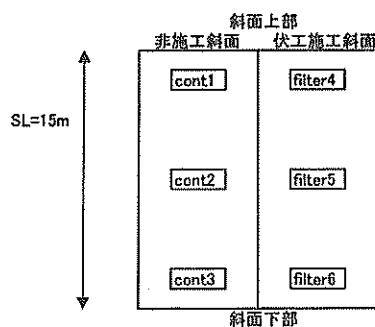


図3 地温計配置模式図

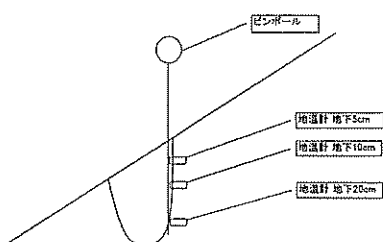


図4 地温計設置断面図

なお、期間中の2002年12月26日には凍上状況等を現地で確認した。

4 計測資料

2003年5月23日にロガーを掘り出し、計測dataを回収した。回収時に設置状況を確認したところ、設置伏工の損傷、表土流失のためロガー露出等の地点が3か所あった。これらの地点では正確なデータが得られていないと判断したため除外し、今回は残り3か所のうち、斜面上部の2点(以降cont1、filter4)の2002年10月～2003年4月の間について解析した(写真9)。

なお、各ロガーの誤差については、設置前に氷水に約5時間浸して計測し、結果と0℃との誤差を求めて計測値を補正した。

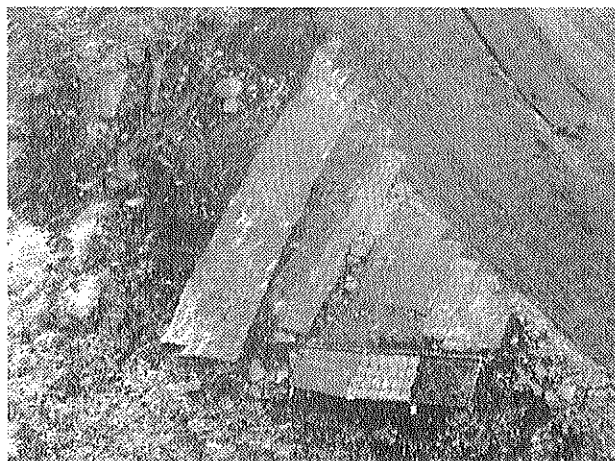


写真5 試験施工後 遠景



写真7 伏工資材と地温計設置状況

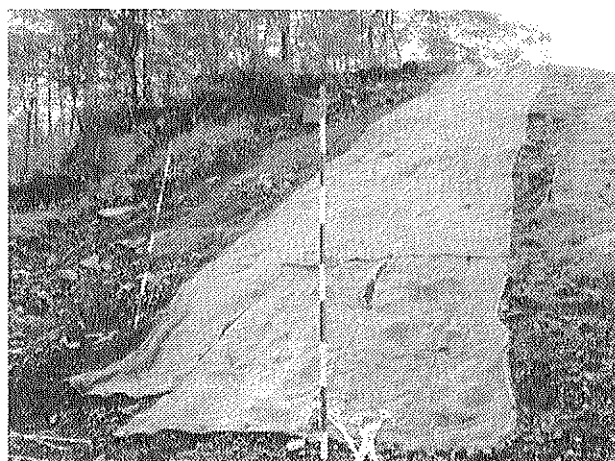


写真6 試験施工後 全景

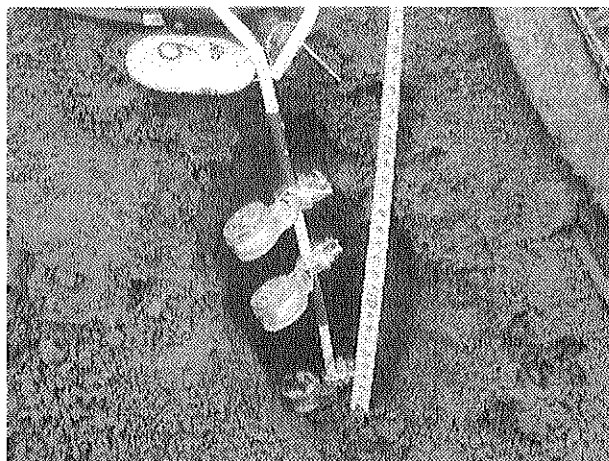


写真8 地温計埋設状況

Ⅲ 結果と考察

1 月平均地温

計測深度別に表2～4に示した。

深度5 cm部では最低地温並びに平均地温の差が大きく、特に厳冬期(12～2月)においてはcont1では氷点下になるのに対し、filter4では最低でも0℃であった。深度10 cmにおいても同傾向であるが、深度20 cmでは差は小さくなった。いずれにしてもfilter4では氷点下になることはなかった。表層部では外気や放射冷却の影響を受けやすく低温になりやすいが、伏工の保温効果と放射冷却遮断により、filter4では低温になりにくいと考えられた。

最高地温については、厳冬期ではfilter4が上回るが、それ以外の期間はほぼ同じか、cont1の方が高い結果になった。

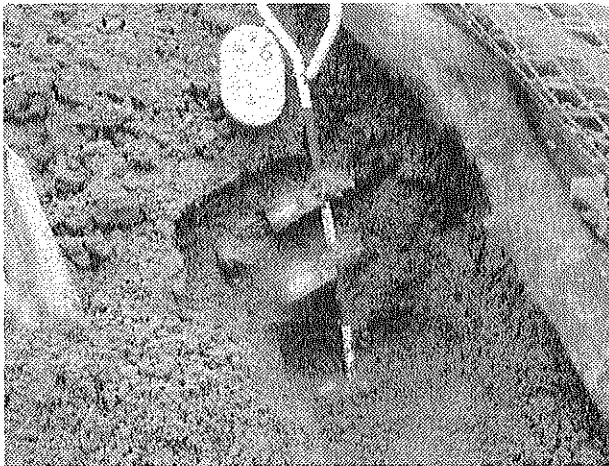


写真9 地温計回収状況 filter区

伏工損傷・表土流出無し

表2 月別平均地温 5cm部

	最高地温		最低地温		平均地温	
	cont1	filter4	cont1	filter4	cont1	filter4
10月	21.1	18.1	1.8	3.9	9.7	11.3
11月	8.2	8.5	0.3	1.5	2.8	4.3
12月	7.9	7	-0.3	0.9	1.1	2.1
1月	0	0.9	-0.6	0	-0.3	0.6
2月	-0.3	0.9	-0.6	0	-0.6	0.2
3月	10.2	7.6	-0.6	0	0.1	1.1
4月	20.5	14.6	0	1.5	7.5	7.7
計測期間 平均	9.7	8.2	0	1.1	2.9	3.9

表2～4、いずれも10月は5日から。

2 地温変動

(1) 長期間の地温推移

計測期間の内、2002年11月～2003年3月について図5、6に示した。

12月下旬以降～2月下旬の間は、地温変化がわずかになっている。これは根雪の影響と思われる。根雪期間内は凍上融解侵食は発生しないので、その前後の期間、11月上旬～12月中旬と3月上旬～下旬が危険な期間と考えられる。

この両期間の深度5 cm部の地温を見てみると、cont1は激しく変化し、頻繁に1℃以下になっていた。地下5 cmの地温が1℃以下ということは、表面はおそらく0℃以下になっていると推察される。したがって、cont1では頻繁に凍結融解が発生していたと考えられる。一方、filter4では深度5 cm地点が1℃以下になることは少なく、また変化も大変緩やかになっていた。

表3 月別平均地温 10cm部

	最高地温		最低地温		平均地温	
	cont1	filter4	cont1	filter4	cont1	filter4
10月	17.2	16.6	3.9	5.6	10.5	11.8
11月	7.9	8.8	1.5	2.4	3.8	4.9
12月	6.7	6.5	0.3	1.5	1.8	2.6
1月	0.9	1.5	-0.3	0.6	0.4	1.0
2月	0.3	0.9	-0.3	0.3	0.1	0.6
3月	6.7	5.6	-0.3	0.3	0.6	1.3
4月	14.8	12.5	0.9	2.1	7.4	7.5
計測期間 平均	7.8	7.5	0.8	1.8	3.5	4.2

表4 月別平均地温 20cm部

	最高地温		最低地温		平均地温	
	cont1	filter4	cont1	filter4	cont1	filter4
10月	15.7	15.4	6.5	7.3	11.5	12.0
11月	8.2	8.8	3.3	3.3	5.0	5.6
12月	5.6	5.6	0.9	1.8	2.7	3.0
1月	1.5	1.8	0.3	0.6	1.2	1.3
2月	0.9	0.9	0.3	0.6	0.7	0.7
3月	3.9	3.6	0.0	0.3	0.9	1.1
4月	11.6	10.2	1.8	2.7	6.9	6.5
計測期間 平均	6.8	6.6	1.9	2.4	4.1	4.3

したがって、伏工の施工によりほとんど凍結融解侵食が発生していないのではないかと推察できる。また、filter 4 では深度 5 cm の地温が 0℃以下になることが少なく、cont 1 よりも約 1.5℃高い値であり、全般に緩やかな変化となっている。

これらのことから、12月中旬と3月上旬では凍結融解現象が、裸地である cont 1 では頻繁に、伏工施工地である filter 4 では時に発生していると考えられ、伏工施工の効果は顕著であると思われる。

なお、2002年12月26日に凍上状況等を現地で確認した際には、非施工地に約5cmの高さに生長した霜柱が認められた(写真9、10)。直前の地温変化から、霜柱の形成時期は12月15日から20日の間で、その後降雪があったと推察された。施工地については積雪のため試験区境界の確定が不可能になり、霜柱の形成を確認できなかった。

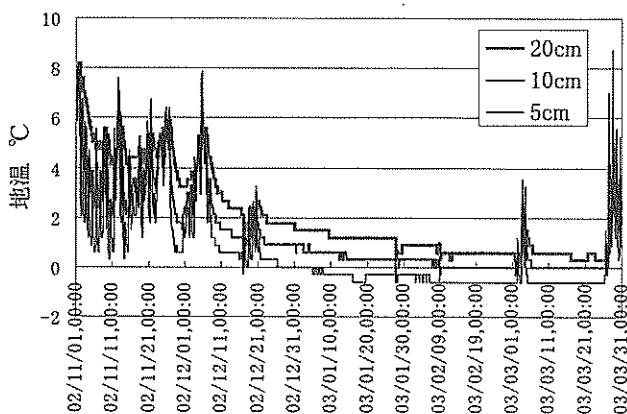


図5 対照区(cont1)
深度別地温変化

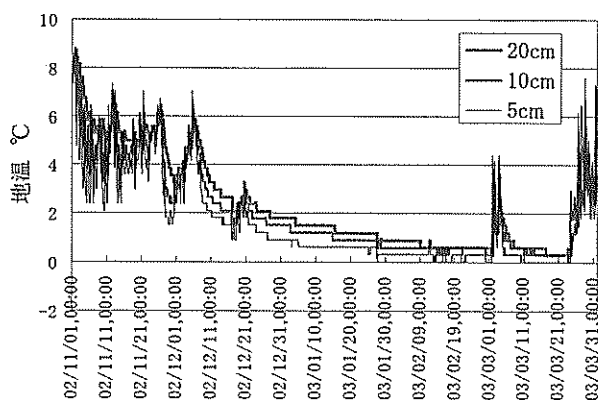


図6 伏工施工区(filter4)
深度別地温変化

(2) 短期間の地温推移

12月中旬と3月上旬の一時的な日変動期間における地温推移を、図7～10に示した。

12月の深度5cm部では、cont 1 では12月17日早朝に氷点下のスパイクが認められる。しかし、filter 4 ではスパイクが小さく氷点下ではない。その後の推移も比較的穏やかであり、10、20cm部についても同様であった。

3月の深度5cm部においても、cont 1 では3月2日夜間より氷点下になり、3月3日と4日の午後には急激に昇温している。しかし、filter 4 では氷点下にはならず、4日の昇温も観察されなかった。これも10、20cm部については同様であり、filter 4 については明らかに地温の日変化が緩和されていた。

したがって、このことから伏工施工は凍結融解の防止または緩和効果があると推察された。

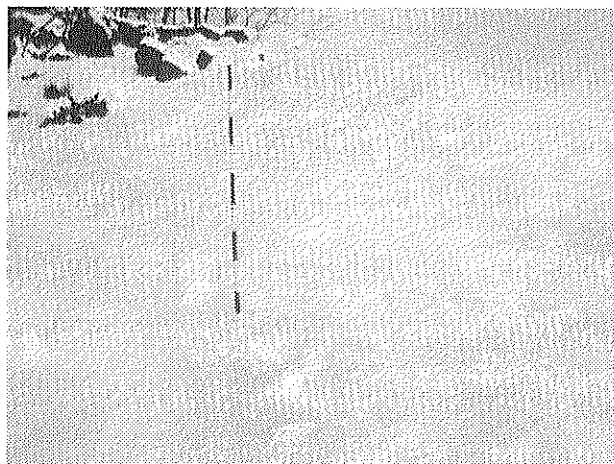


写真10 2002年12月26日積雪状況

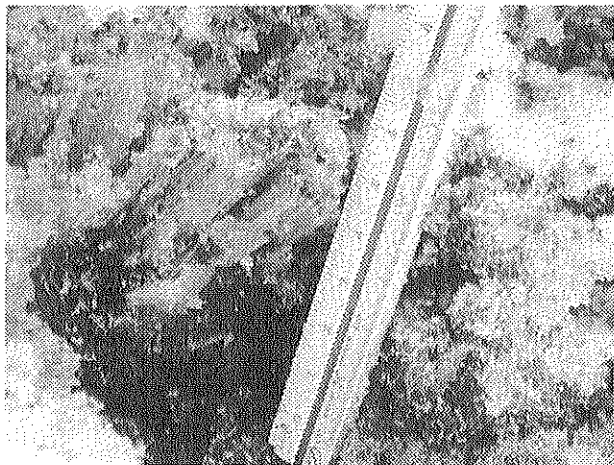


写真11 2002年12月26日非施工地霜柱状況

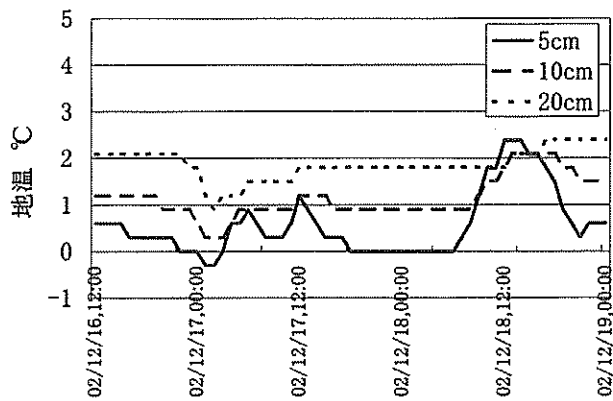


図7 対照区(cont1)
12月中旬の深度別地温変化

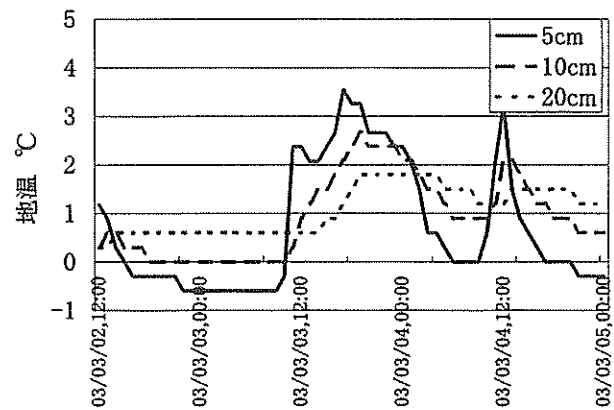


図9 対照区(cont1)
3月中旬の深度別地温変化

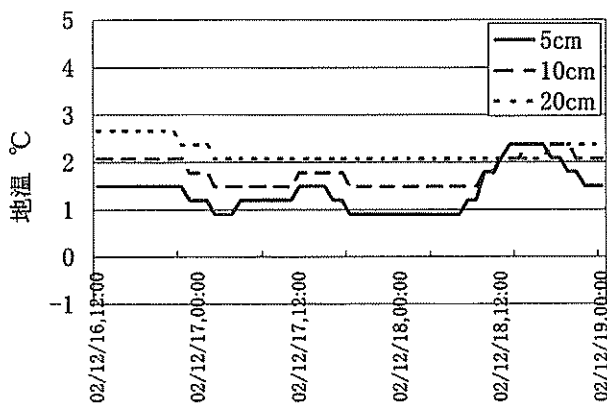


図8 伏工施工区(filter4)
12月中旬の深度別地温変化

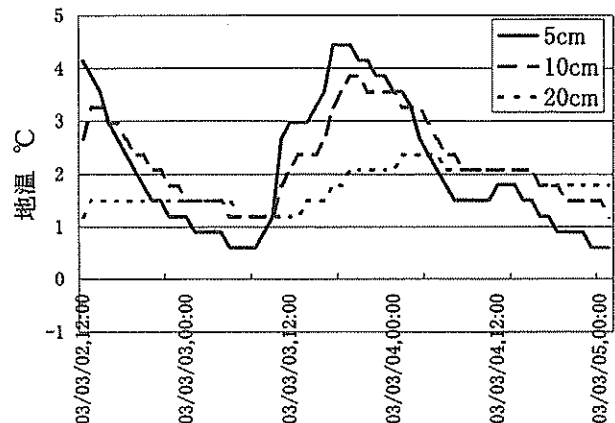


図10 伏工施工区(filter4)
3月中旬の深度別地温変化

IV おわりに

冬期間の地温計測事例は、A₀層の影響、造林地内積雪の有無、わら伏工や植生の有無を比較したものがあるが、二次製品についての計測例はほとんど無い。今回の計測結果から、使用した伏工資材には表層地温の日較差緩和効果があったと思われる。

しかし、試験地はローム層中に角礫が含まれており、当該資材はその角礫落下により損傷を受けた(写真12)。したがって、実際の施工にあたっては、耐久性のある資材が望ましいと思われた。また、地温計測機器も傾斜地では土砂移動の影響を受けやすく、今回も6か所の内、被害を受けなかったのは3か所にとどまった。今後は平坦地で計測すべきである。

さらに、実際の凍結融解侵食防止効果については、地温計測のみでは検証不可能であり、斜面後退量や土砂生産量を併せて計測する必要がある。

丹沢山地のような豊かな自然を有する区域における治山事業は、自然との調和を図りながら実施する必要がある。凍結融解侵食地復旧についても、人工的な二次製品資材のみに頼るのではなく、緑化植物による対策が望ましい。今後は菌根菌資材の導入等



写真12 落下角礫岩による伏工損傷

を検討し、早期緑化による凍結融解侵食地の復旧技術を検討したい。

V 謝 辞

本研究の実施にあたり、国立信州大学農学部森林科学科の北原曜教授には、報告内容について有益なご助言を頂いた。(独)森林総合研究所森林微生物研究領域微生物生態研究室の岡部宏秋室長には、伏工資材について貴重なご意見を頂いた。多機能フィルター株式会社には、伏工資材を快く供試して頂いた。神奈川県県央地区農政事務所 平山和幸森林保全課長、同鈴木清市森林土木課長、東京大学大学院新領域創成科学研究科生物圏機能学研究室 猪頭友子氏、西村幹雄氏には、計測機器設置回収にあたりご協力を頂いた。ここにお礼申し上げる。

VI 引用文献

- 神奈川県(1987)土地分類基本調査 秦野・山中湖。79pp, 神奈川県企画部, 横浜。
- 金 俊珠・金光達太郎・矢橋辰吾(1990)霜柱発生の難易に関与する土の物理性, 造園雑誌53(5): 103-108
- 越地 正・鈴木 清・須賀 一夫(1996)丹沢山地における森林衰退の調査研究(1) ブナ、モミ等の枯損実態. 神奈川県森林研報22: 7-18
- 金光達太郎(1982)霜柱の生長に関する研究. 千葉大学園学報30: 63
- 大木正夫(1991)長野県高冷地の山腹緑化. 治山研究発表会論文集29: 95-97
- 多機能フィルター(2002)法面保護機能に優れた新しい緑化工法(技術資料). 25pp, 多機能フィルター, 山口。
- 棚瀬充(1997)丹沢山地のマスマーブメント. 64-73. 丹沢大山総合調査報告書. (財)神奈川県公園協会・丹沢大山総合調査団企画委員会編, 635pp, 神奈川県環境部, 横浜。
- 丹沢大山自然環境総合調査団(1997)調査のまとめと自然環境保全のための提言. 1-11. 丹沢大山総合調査報告書. (財)神奈川県公園協会・丹沢大山総合調査団企画委員会編, 635pp, 神奈川県環境部, 横浜。
- 林野庁(1983)治山技術解説(総則・山地治山編). 365pp, 日本治山治水協会, 東京。