

心土破碎が傾斜畑の表面流出量と 圧力水頭・地温に与える影響

諸泉利嗣*・佐藤裕一**・佐藤幸一**・三浦健志*

Effects of Subsoil Breaking on Surface Runoff, Pressure Head
and Soil Temperature in a Sloping Field

Toshitsugu MOROIZUMI*, Yuichi SATO**, Koichi SATO** and Takeshi MIURA*

* Faculty of Environmental Science and Technology,
Okayama University, Okayama 700-8530, JAPAN

** School of Veterinary Medicine and Animal Sciences, Kitasato University,
Aomori 034-8628, JAPAN

Abstract

This paper discusses the effects of subsoil breaking on the change of pressure head, soil temperature and runoff discharge in space and time in a sloping field. A controlled comparison experiment was conducted in a subsoil breaking field and a no-subsoil breaking field. The results showed that the runoff ratio of the subsoil-breaking field was about 1/10 of that in the no-subsoil breaking field. This indicates that subsoil breaking promotes the infiltration of rainfall into the soil and can reduce the surface runoff discharge. The spatial distribution of the equi-pressure heads during rainfall was complicated, and the coefficients of variation were large. However, that of the equi-pressure heads before and after rainfall showed the similar patterns of variation in both fields. As for soil temperatures, we didn't observe a large difference between the subsoil breaking field and the no-subsoil breaking field, and the spatial variation was smaller than that of the pressure head.

Key words : Subsoil breaking, Pressure head, Soil temperature, Surface runoff discharge, Coefficient of variation

1. はじめに

中山間地での傾斜畑整備において、心土破碎により畑土壌の浸透能を高め地表流去水を抑制することは、降雨による土壌流失の軽減を図る工法の一つとして重要である。また、重粘土地帯のように作土が浅く、心土が緻密であるような場合、土層の通気、透水不良性を改良するために心土破碎が行われる。一方、こうした降雨の土壌中への浸透促進は、地下水面上昇や盛土部の飽和度を増大させることから、盛土法面や斜面の崩壊の原因ともなる。したがって、心土破碎が傾斜畑土壌中の水分状態に与える影響を検討しておくことは有益である。

土壌侵食防止の観点から、耕起や土性、降雨強度などが表層土壌の侵入能や表面流出と土壌侵食に与える効果を実験的に調べた研究が、古くから行われてきた（例えば、Musgrave, 1935; Musgrave and Free, 1936; Free, 1946; Lamb, *et al.*, 1944）。また、北海道開発局では、重粘土地帯における土層改良を目的として1960年代に一連の野外実験を行い、透水性と排水性に対する心土破碎方式の効果を明らかにした（鶴海ら, 1962; 渡辺ら, 1962）。佐藤（1988）および佐藤ら（1989）は、改良山成工で基盤造成を行った直後の傾斜畑に心土破碎を施し、心土破碎が降雨前後の土壌水分分布とその変化、および暗渠排水量に与える影響を調査・検討した。その結果、

* 岡山大学環境理工学部 〒700-8530 岡山市津島市 3-1-1, ** 北里大学獣医畜産学部 〒034-8628 十和田市東 23 番町 35-1
キーワード : 心土破碎, 圧力水頭, 地温, 表面流出量, 変動係数

破砕区と無破砕区では降雨後の土壌水分変動に明確な差が認められること、土中の側方流動水を分割処理することが暗渠による捕水量を増大させることを明らかにした。

以上のように、畑土壌に与える心土破砕の影響は、これまでどちらかという水分に関するものが中心であった。しかし、畑作物の生産や土壌の乾燥、土壌環境の形成を考える上では、耕起や心土破砕が表面流出量と土壌水分環境に与える効果だけでなく、温度環境も重要な要因となり、心土破砕が地温に与える影響を把握することも、今日的課題として必要である。

本報では、火山灰土地帯を対象に、心土破砕によって浸透能が異なった2つの試験区、破砕区と無破砕区を設け対照比較観測を行い、心土破砕が傾斜畑の表面流出量と土壌中の圧力水頭分布、および圧力水頭と地温の時空間分布に与える影響について検討した。

2. 試験概要

2.1 試験地概要

試験地は、A県T市に位置する傾斜地にあり、図1にその平面図を示す。同一圃場内に心土破砕した試験区(破砕区)と、それに隣接して心土破砕しない試験区(無破砕区)を対照区として設けた。破砕区および無破砕区の面積はそれぞれ684.9m²と591.0m²、畑面長と平均勾配は両区とも同じでそれぞれ71.12mと8.0%であった。なお、図中の仮標高とは破砕区の測点No.1の標高を基準(標高0m)とした相対的な標高である。

試験地の造成は、1990年5月25、26日に行われた。まず、18t級ブルドーザを用いて畑面勾配を修正し、次に18t級および4t級のブルドーザを用いて試験区境界の畦畔を造成した。破砕区は、18t級ブルドーザを用いて等高線および畑面傾斜方向にリッパーを用いた十字がけ心土破砕を行った。リッパーの爪間隔は95cm、平均砕土深は65cmであった。

また、破砕区の末端に2.5t級バックホーを用いて等高線とほぼ平行な方向に暗渠を埋設し、心土破砕爪跡の末端と接続するようにした。暗渠には内径10cmの有孔パイプを使用し、その周りには化学繊維製のマットで被覆、さらにモミ殻を被せた。暗渠埋設深は75.7cm、延長は10m、平均勾配は2.3%であった。

2.2 観測方法

図1に示す測点No.1~No.10において、テンシオメータ(深さ:10, 20, 30, 40, 65, 100cm)と熱電対(深さ:0, 5, 10, 15, 30, 50cm)を埋設し、土壌中の圧力水頭と地温を測定した。また、No.6付近には自記雨量計、小型蒸発計、気温測定用の熱電対を設置した。両区の周辺には、畦畔をめぐらし、No.1付近の傾斜末端

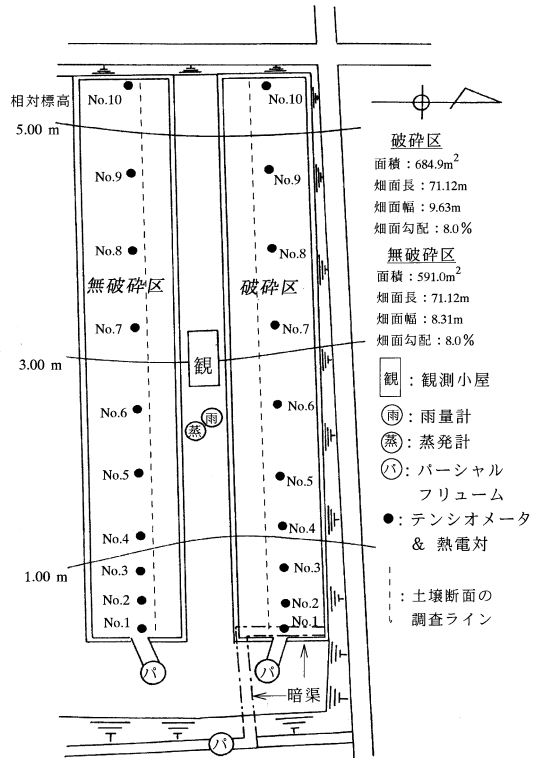


図-1 試験地概要

Fig. 1 Outline of trial field.

部と暗渠管排水口にパーシャルフリュウムを設置し、畑面からの表面流出量と暗渠排水量を測定した。テンシオメータは水銀マンオメータ式で、その測定は晴天時には1日1回、降雨日には1日3~6回行った。地温と気温の測定はデータロガーを用い2時間毎に自動記録した。観測は両区とも裸地状態で行い、期間は1990年7月13日から10月27日までであった。

なお、今回の観測では、暗渠排水量の水位がパーシャルフリュウムの水位流量換算表の最小値以下であったため、暗渠排水量を求めることは不可能であった。このため、以降の議論では暗渠排水量については述べられていない。

2.3 降雨概況

観測期間中10mm以上の降雨は12回あったが、その中で最大の降雨は暴風雨であったので、その時の圧力水頭は測定できなかった。本報では、2番目に降雨が大きかった、9月20日の降雨を例にとり、心土破砕が傾斜畑の土壌水分、表面流出量、地温に与える影響を検討する。この降雨は、1990年9月20日午前0時頃に開始し、同日14時に終了した。総降雨量は、73.5mm、1時間当た

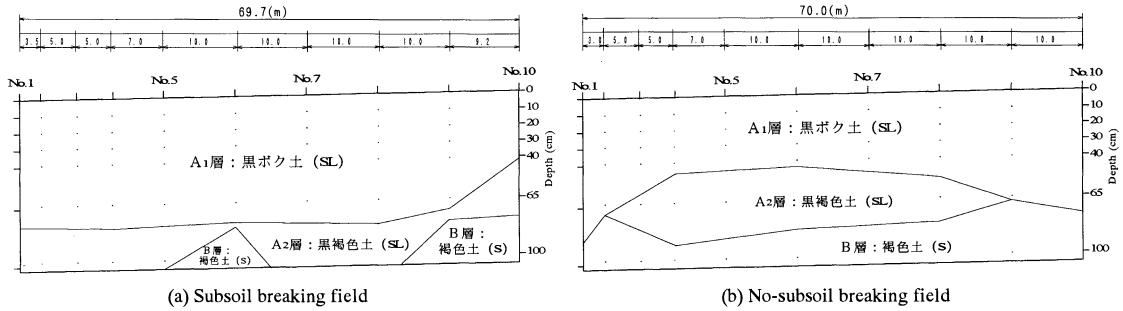


図-2 土層断面図
Fig. 2 Soil profile.

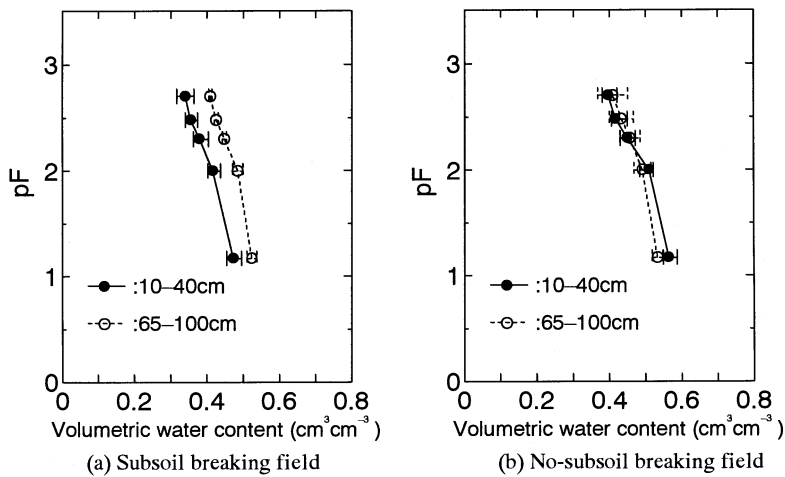


図-3 破砕区と無破砕区における土壌水分特性曲線

Fig. 3 Soil moisture characteristic curves for the subsoil breaking field and the no-subsoil breaking field.

りの最大降雨量は 9.5 mm であった。

3. 試験地土壌の物理性

試験区の土壌断面を図 2 に示す。両区ともほぼ一様で、地表面から深さ 80 cm までは黒色または黒褐色土であり土性は砂質壤土 (国際土壌学会分類), それ以深は褐色土で土性は砂土 (国際土壌学会分類) であった。

乾燥密度, 飽和透水係数, 水分特性曲線などを測定するために, 両区の測点 No. 9 の深さ 10, 20, 30, 40, 65 および 100 cm から 100 cc サンプラーによる採土を行った。その結果を表 1 に示す。透水係数は, 深さ 10, 20, 30, 40 cm で比較すると, 破砕区では $10^{-2} \sim 10^{-3}$ のオーダー (平均 $9.70 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$), 無破砕区では $10^{-4} \sim 10^{-5}$ のオーダー (平均 $2.42 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$) となり, 10~1000 程度破砕区の透水係数が大きかった。一方, 深さ 65 cm と 100

cm では両区とも 10^{-3} のオーダーとほぼ同じであったことから, 破砕区の破砕層である深さ 10, 20, 30, 40 cm では心土破砕による効果が現れていると考えられる。同様の比較から, 体積含水率, 湿潤密度, 乾燥密度においても, 心土破砕の効果が認められる。

図 3 に土の保水性試験の結果を示す。深さ 10~40 cm および深さ 65 と 100 cm の水分特性曲線は, 両区においてそれぞれほぼ同様な値を示したので, 平均をとり, 各 2 本の曲線で示している。破砕区においては, 破砕層である深さ 10~40 cm での水分特性曲線は, 無破砕層であるそれ以深の水分特性曲線と明らかに異なり, 保水性の低いことがわかる。これに対し, 無破砕区では, 深さ 10~40 cm の水分特性曲線と深さ 65~100 cm の水分特性曲線がほぼ同様の曲線となり, 破砕区無破砕層である深さ 65 cm と 100 cm の水分特性曲線ともほぼ同じ曲線と

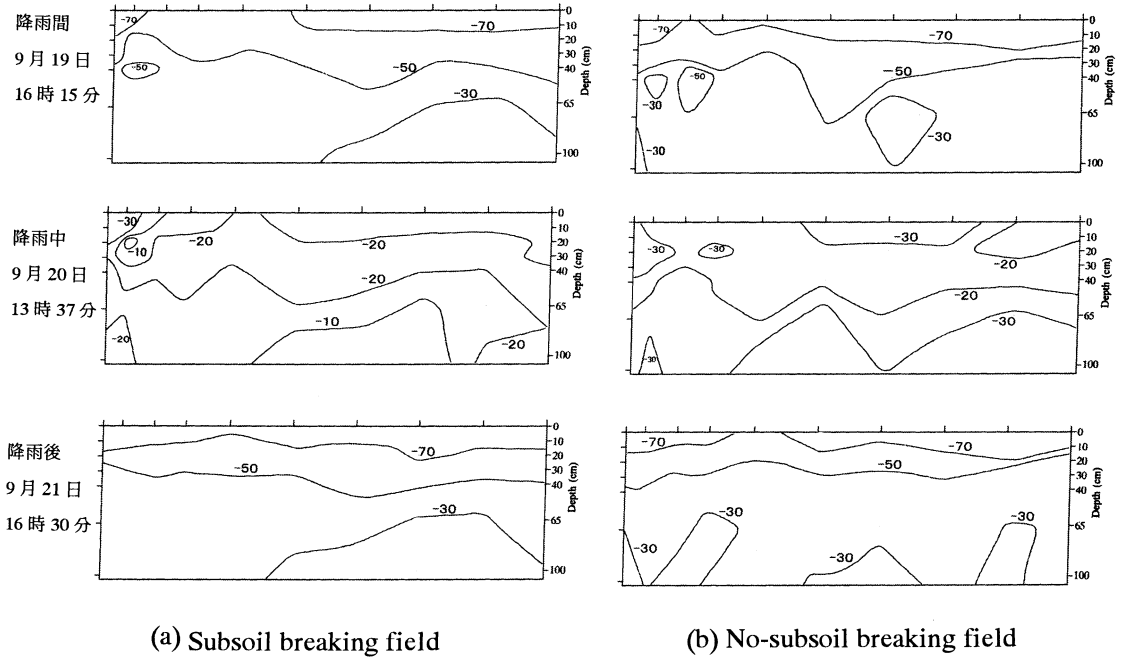


図-4 降雨前・中・後における等圧力水頭線の変化 (単位: cm H₂O)
 Fig. 4 Temporal changes of the equivalent pressure heads (Unit : cm H₂O).

表-1 試験地土壌の物理性
 Table 1 Physical properties of soils

深 さ (cm)	破 碎 区				無 破 碎 区			
	含水率 (%)	湿潤密度 (g cm ⁻³)	乾燥密度 (g cm ⁻³)	飽和透水係数 (cm s ⁻¹)	含水率 (%)	湿潤密度 (g cm ⁻³)	乾燥密度 (g cm ⁻³)	飽和透水係数 (cm s ⁻¹)
10	33.5	1.013	0.678	1.19×10 ⁻²	45.2	1.344	0.892	8.85×10 ⁻⁵
20	36.7	1.055	0.688	1.01×10 ⁻²	45.3	1.311	0.859	1.92×10 ⁻⁴
30	39.0	1.049	0.696	7.42×10 ⁻³	44.9	1.318	0.869	1.68×10 ⁻⁴
40	39.9	1.101	0.702	9.36×10 ⁻³	43.1	1.175	0.744	5.20×10 ⁻⁴
65	47.3	1.166	0.693	6.43×10 ⁻³	45.5	1.119	0.665	5.15×10 ⁻³
100	44.9	1.224	0.775	8.45×10 ⁻³	54.7	1.396	0.849	1.76×10 ⁻³

なった。すなわち、破砕区の破砕層である深さ10~40 cmの水分特性曲線だけが、異なっていたことがわかる。この相違は、砕土による効果によって生じたと考えられる。また、このような水分保持特性の違いから、表1に示した体積含水率の違いが生じたものと考えられる。

4. 結果と考察

4.1 圧力水頭変化

降雨前・中・後の破砕区と無破砕区における等圧力水頭線の変化を図4に示す。

降雨開始前では、-70 cmH₂Oラインが、破砕区では

測点 No. 1 付近と No. 6 から No. 10 の深さ 10~15 cm にあり、無破砕区では測点 No. 1, No. 3~No. 10 にかけて深さ 5~15 cm 付近にある。-50 cmH₂O ラインは両区とも深さ 30~60 cm の間にかけて分布している。-30 cmH₂O ラインは破砕区では測点 No. 6 から No.10 にかけて 65 cm 以深に分布するが、無破砕区では測点 No. 1 から No. 2 にかけて 70 cm 以深と 40~50 cm 深に分布している。

降雨中では、両区とも土壤断面中央部に-20 cmH₂O ラインがあり、また、表層部の深さ 0~20 cm にかけては、破砕区では-20 cmH₂O ラインが支配的であるのに

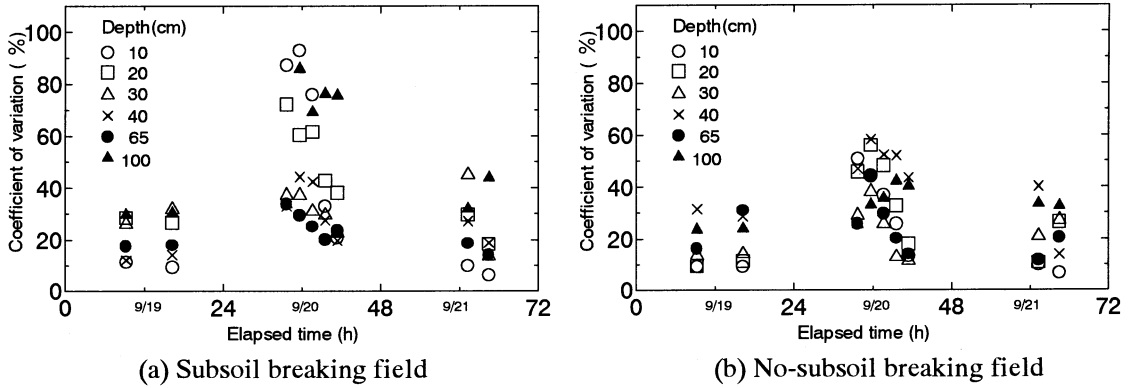


図-5 圧力水頭に対するの変動係数の経時変化

Fig. 5 Coefficients of variation for pressure heads in (a) subsoil breaking field and (b) no-subsoil breaking field.

対して、無破砕区では $-30\text{ cmH}_2\text{O}$ ラインの占める割合が大きい。これらを図3の水分特性曲線を用いて体積含水率に変換すると、無破砕区の体積含水率が破砕区よりも約10ポイント大きく、無破砕区の方が僅かではあるが湿潤状態であった。深さ65cm以深では、破砕区では $-10\text{ cmH}_2\text{O}$ と $-20\text{ cmH}_2\text{O}$ ラインが支配的であるのに対して、無破砕区では $-30\text{ cmH}_2\text{O}$ ラインが多くみられる。

降雨後は、破砕区では $-50\text{ cmH}_2\text{O}$ ラインと $-70\text{ cmH}_2\text{O}$ ラインがそれぞれ深さ30~40cmと深さ10~20cmにかけて分布しているが、無破砕区ではそれぞれ深さ20~40cmと畑面~深さ20cmに分布しており、破砕区は無破砕区に比べて表層部の土壤水分が若干少ない。また、降雨前と似たような等圧力水頭線分布になった。無破砕区においても、深さ65cm以深での分布が降雨前とは異なるものの、それより浅い層では、破砕区と同じ様に降雨前と似たような分布になった。

次に、圧力水頭の空間的なバラツキを検討するために、図5に破砕区と無破砕区の各深さごとの圧力水頭の変動係数を示す。降雨前は、両区とも深さによって若干の違いはあるものの、変動係数は10~30%であった。降雨中は、降雨に伴い変動係数が増大し、特に、破砕区の深さ10, 20, 100cmでは60~90%となり、無破砕区に比べると平均で25ポイント程度バラツキが大きい。しかし、降雨終了後は、再び変動係数は減少し、降雨前と同じ傾向になった。

4.2 降雨と畑面流出量および圧力分布割合との関係

降雨、畑面流出量および畑縦断面に占める圧力水頭の圧力分布割合を図6に示す。圧力分布割合とは、圧力水頭の測定地点No.1とNo.10を結ぶ直線上の畑縦断面と、テンシオメータを埋設した10cm~100cm深に囲ま

れる全縦断面積に占める各圧力部分（本研究の場合、 $-50\text{ cmH}_2\text{O}$ 以下の部分と $-50\sim 0\text{ cmH}_2\text{O}$ の部分）の面積割合を百分率で示したものである。また、ここで言う流出率とは、畑面からの総表面流出量を試験地への総降雨量で除し、百分率で示した値である。

降雨前、破砕区、無破砕区とも $-50\sim 0\text{ cmH}_2\text{O}$ の圧力部分が約60%、 $-50\text{ cmH}_2\text{O}$ 以下の圧力部分が約40%とほぼ同じ割合であった。降雨中は、降雨に伴い両区とも $-50\sim 0\text{ cmH}_2\text{O}$ の圧力部分が増大し、 $-50\text{ cmH}_2\text{O}$ 以下の圧力が減少したが、その変化の仕方は、破砕区の方が早く、9月20日7時35分の $-50\sim 0\text{ cmH}_2\text{O}$ の圧力部分は、破砕区で89.9%であったのに対し、無破砕区では69.3%であった。これは、心土破砕の効果により、破砕区の降雨浸透が無破砕区よりも速かったためであると考えられる。降雨後、両区とも $-50\sim 0\text{ cmH}_2\text{O}$ の圧力部分が減少するとともに、 $-50\text{ cmH}_2\text{O}$ 以下の圧力部分が増大したことから、土壌が湿潤状態から乾燥状態に向かっているのがわかる。9月21日16時30分における破砕区での $-50\sim 0\text{ cmH}_2\text{O}$ の圧力部の割合は63.8%であったのに対し、無破砕区では74.0%と約10ポイント大きくなった。このことより、無破砕区の方が水分保持が大きく、乾燥に向かう速度が遅いことが推察される。

次に、畑面からの表面流出量について検討する。無破砕区では、総表面流出量は 13.28 m^3 、時間当たりの最大表面流出量は $2.55\text{ m}^3/\text{h}$ 、流出率は30.6%であった。これに対して、破砕区では、総表面流出量が 1.56 m^3 、時間当たりの最大表面流出量が $0.86\text{ m}^3/\text{h}$ 、流出率が3.10%となった。破砕区の流出率は無破砕区の約1/10となり、かなり小さいことがわかる。このことから、心土破砕を行うことにより降雨の土壌中への浸透が促進され、その

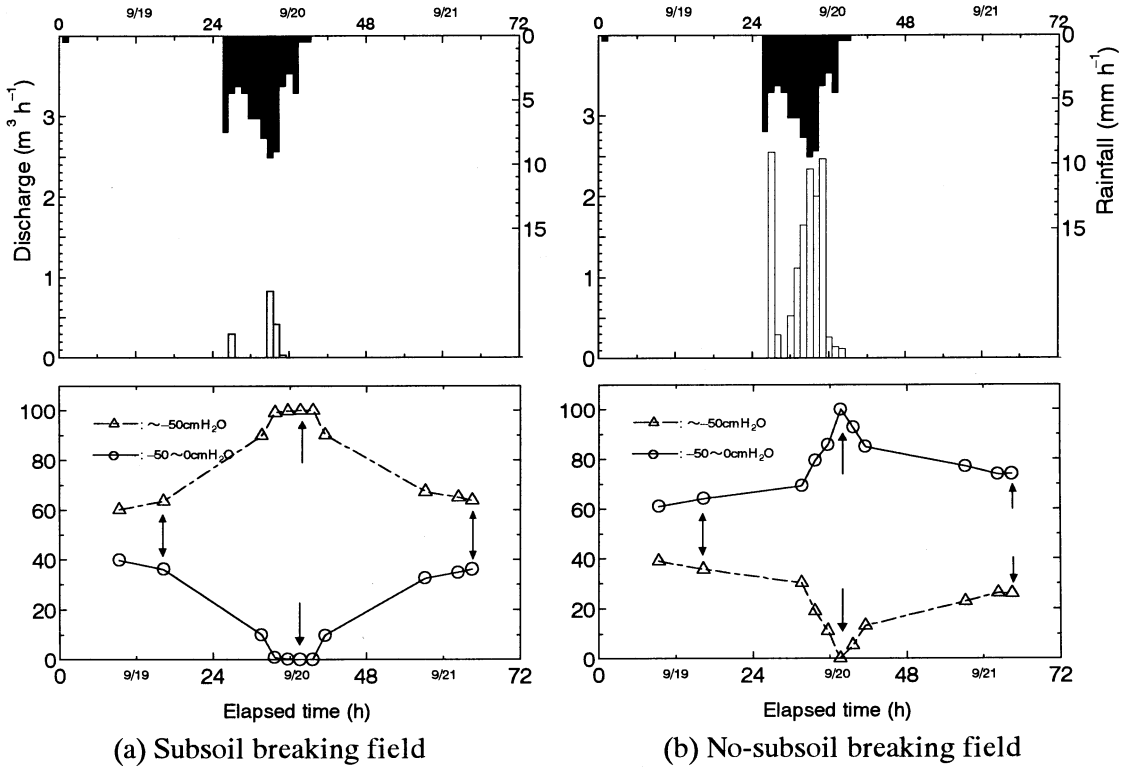


図-6 降雨と畑面流出量および圧力水頭分布割合の関係 (↑↓は図4の日時に対応)

Fig. 6 Observed discharges and distribution rate of pressure heads in (a) subsoil breaking field and (b) no-subsoil breaking field. The arrows (↑↓) show the date of Fig. 4.

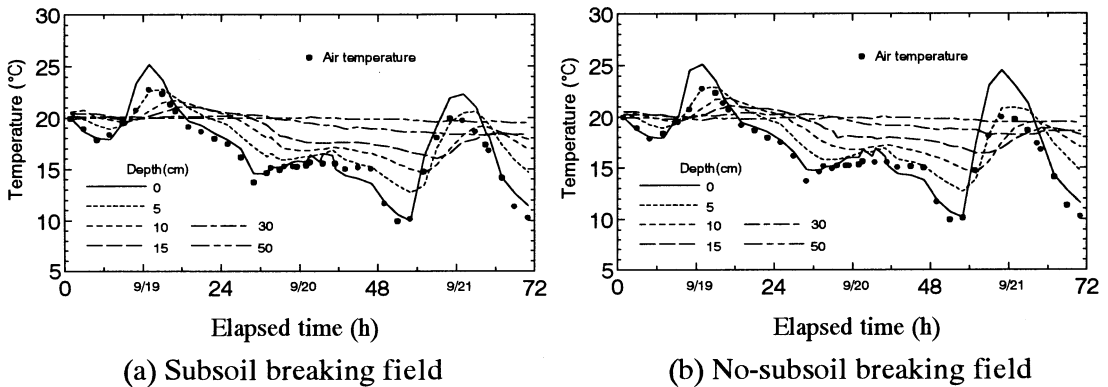


図-7 破砕区と無破砕区における地温と気温の経時変化

Fig. 7 Temporal changes in soil temperatures and air temperature in (a) subsoil breaking field and (b) no-subsoil breaking field.

結果、表面流出量が無破砕区に比べて減少したと言える。

4.3 地温変化

図7に破砕区と無破砕区における各深さの平均地温の経時変化を示す。降雨前後は地温特有の典型的な日変化

を示し、土層が深くなるに従い振幅が減少し、位相が遅れていることがわかる。日中の地表面温度は、破砕区、無破砕区とも25°C近くまで上昇した。これに対して、降雨中は日中の気温変化が小さかったため、日中の地表面

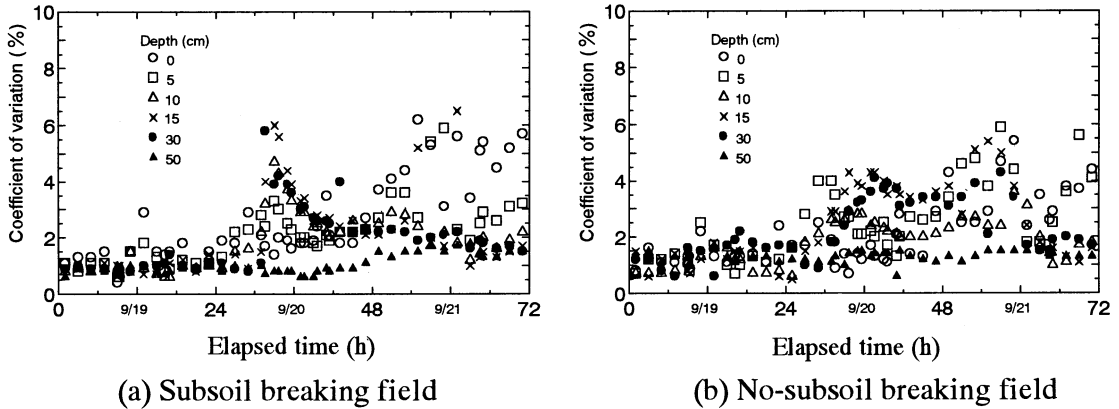


図-8 地温に対する変動係数の経時変化

Fig. 8 Temporal changes in coefficients of variation for soil temperatures in (a) subsoil breaking field and (b) no-subsoil breaking field.

温度は最高でも 16.9°C までしか上昇せず、振幅もほとんどない。降雨前後の日中の地表面温度は、気温よりも 2~5°C 程度高かったのに対し、降雨中は気温とほとんど同じであった。これは、雨滴の温度が気温とほぼ同じであったため、地表面温度に直接影響したためと考えられる。

図 8 に破碎区と無破碎区における各深さごとの地温の変動係数を示す。両区とも降雨前は 1~2% と変動係数は小さいが、降雨に伴い深さ 15 cm と 30 cm での変動係数が大きくなり、日中は 4% 前後となった。この変動係数の増大は、降雨終了後も続き、地表面~深さ 15 cm で特に大きく、6% 前後となった。これは、圧力水頭では見られなかった傾向である。しかし、降雨前・中・後、いずれの場合にも、圧力水頭の変動係数に比べると 1/10 程度と小さい。このことから、地温は、圧力水頭ほど空間的なバラツキが大きいことがわかる。

また、破碎区と無破碎区の比較であるが、地温の経時変化・変動係数ともに両区でほとんど同じ傾向を示したが、各深さについて詳細に見ると、若干異なっている。この相違がどの程度心土破碎によるものなのか、あるいは、元々存在する土壤の不均一性に由来するものなのか、本調査結果から明らかにすることは不可能であった。今後の課題としたい。

5. おわりに

本調査では、心土破碎が傾斜畑の圧力水頭と地温の時空間変動、および表面流出量と圧力水頭分布にどのような影響を与えるかを調べるために、破碎区と無破碎区を設け対照比較観測を行った。その結果を要約すると以下ようになる。

1) 降雨前後の等圧力水頭線は、破碎区・無破碎区と

もに地表面に近い方から順に -70 cmH₂O、-50 cmH₂O、-30 cmH₂O のラインが地表面とほぼ並行に現れる変化パターンを示した。一方、降雨中の等圧力水頭線は、降雨前後の場合のように地表面とほぼ平行な分布パターンを示すことはなく、複雑な分布となった。

2) 圧力水頭の変動係数は、降雨中に増大し、深さ 10, 20, 100 cm では破碎区の方が無破碎区よりも平均で約 25 ポイント大きくなった。

3) 畑面からの流出率は、破碎区では無破碎区の約 1/10 となった。心土破碎によって降雨の土壤中への浸透を促進し、表面流出量を減少できることが確認できた。

4) 地温に関しては、破碎区と無破碎区で大きな差は観測されなかった。また、地温の空間変動は圧力水頭ほど激しくなく、変動係数で比較すると約 1/10 であった。

謝 辞

長期にわたる観測とデータ整理は、北里大学獣医畜産学部畜産土木工学科飼料農地造成学研究室の平成 2 年度専攻生の協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

Free, G.W. (1946) : Evidences of the effects of erosion on the organic matter and erodibility of honeoye soil. *Journal of the American Society of Agronomy*, **38**(3) : 2, 07-217.

Lamb, J.Jr., Free, G.R. and Wilson, H.H.Jr. (1944) : The seasonal occurrence of soil erosion in New York as related to rainfall intensities. *Journal of the American Society of Agronomy*, **36**(1) : 37-

45.

Musgrave, G.W. (1935) : The infiltration capacity of soils in relation to the control of surface runoff and erosion. *Journal of the American Society of Agronomy*, **27**(5) : 336-345.

Musgrave, G.W. and Free, G.R.(1936) : Some factors which modify the rate and total amount of infiltration of field soils. *Journal of the American Society of Agronomy*, **28**(9) : 727-739.

佐藤裕一 (1988) : 改良山成畑造成直後の土壌水分の移動とその分布. *農業土木学会誌*, **56**(4) : 45-51.

佐藤裕一・工藤祐晃・吉田 力・秀島好昭 (1989) : 傾

斜畑における土壌水分移動とその分布—畑面流出水および暗渠流出水との関わり—, *農業土木学会誌*, **57**(12) : 39-44.

鶴海寅和・北川芳男・望月由三・長勢明男 (1962) : 重粘土地における流出機構調査. *北海道開発局技術研究発表会論文集*, **6** : 109-117.

渡辺 忠・吉村 戌・宮田 巖 (1962) : 居辺地区排水工法試験について. *北海道開発局技術研究発表会論文集*, **6** : 427-430.

受稿年月日 : 2001年3月31日

受理年月日 : 2001年6月11日