

心土破碎の施工法と効果

Subsoil Breaking Method and Its Effects.

千葉 豪*

I まえがき

重粘地においては土層が堅密なために生じる障害が大きい。すなわち土粒子が小さくて透水不良なため降雨によって上層は過湿、泥濘と化し、また有効水の移動が困難なため乾燥時には土壌が固結して干害を招きがちである。これに対して従来とられた対策は土管暗渠による耕土層の排水であり、地区によりせいぜい砂客土、泥炭客土などによる耕土層の改良であった。

しかし重粘地土壌の水分条件を根本的に改良するには土層の透水性と保水性を改良することが必要であり、このため昭和30年頃より心土破碎の作業機が用いられるようになってきた。その後十数年にわたる調査の結果、さまざまな地形や土壌の条件においてどのような施工方法を採用すればよいか、深さ、間隔はどうかなど、施工能率と効果およびその持続性に関してかなりの知見が得られた。ここでは心土破碎の全般にわたり成果の要約を述べる。

II 心土破碎による土壌の変化

1 土層断面の変化

図-1のようなパンブレーカーをトラクタによって土中に引き込むと、チゼルより上の土壌はチゼルの進行にともない順次持ち上げられて破壊をおこす。その破壊の断面は図-2の通りで支柱刃通過部附近が最も盛り上がり土層は膨軟になり、これから離れるにしたがって変化の程度は少なくなる。破碎はチゼル通過部より上方に向ってある角度をもって起きるが、破碎深度が大きいとき破碎角は大きく、深度が小さいときは破碎角も小さい。すなわち深く施工すれば破碎の範囲は狭くなり、浅く施工すれば広くなる傾向を持つ。破碎の程度はチゼル部から上方に行くほど小さくなり、耕土層においては支柱刃通過跡を除きほとんど変化が認められない。チゼル通過部は空洞となって排水機能を持つが、これが明瞭に見られるのはけん引式パンブレーカーを用いたときであり、

* 北海道農試

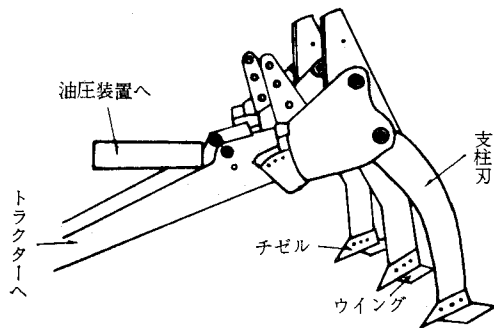


図-1 直装型三連パンブレーカー

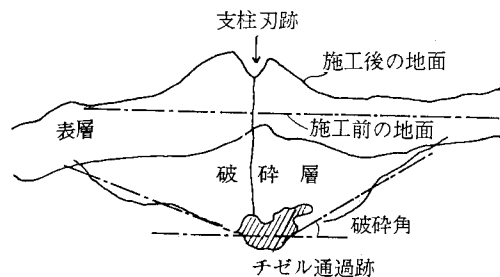


図-2 破碎断面

直装式パンブレーカーを用いたときには破碎状態が良いのに引き換え、水みちは少ない。

2 物理性の変化

良く破碎されて膨張した部分が軟らかいのは当然で、水平方向には支柱刃通過跡から離れるにしたがって硬く、垂直方向にはチゼル跡から上に向って硬くなる傾向が認められた。膨張は密度の減少をきたすが、この密度変化は施工時の土壌水分、土壌の種類などによって異なる。すなわち変化が明瞭に現われる場合と現われない場合があり、変化の及ぶ範囲もチゼル通過部附近に限られるものから全層に及ぶものまでさまざまである。

孔隙の変化は土層的な規模で多様に現われる。最も膨土量の大きい部分是非毛管孔隙の増加が著しくて毛管以下の孔隙は減少しているが、場所によっては有効孔隙の増加が認められるところもある。非毛管孔隙が増加した

部分は透水性を増すが、ここに集まった水は亀裂、排水施設などの水みちによって地区外に排除されない限りむしろ長く保水される。心土破碎の跡または構造的な亀裂部によく見られる湿潤状態はこのようなものである。

3 異なる土壌の心土破碎による変化

類似の土壌においては心土破碎の効果がほぼ同様に現われるが、はじめから明確に異なる土壌の場合、物理性の変化にもかなりの差違が認められる。その例として褐色森林土、疑似グライ土という母材、生成過程を異にする土壌の2地区を比較した。前者は固相率30数%、壤土系土壌で中可塑性、透水係数 10^{-4} 以上であるが、後者は固相率50数%、埴土系土壌で強可塑性、透水係数は 10^{-4} 以下であった。すなわち疑似グライ土は細粒より成り、堅密で透水不良なのに対し、褐色森林土は比較的排水の良好な土壌である。

心土破碎による膨土率を比較すると、褐色森林土は疑似グライ土の3倍に達し、とくに非毛管孔隙の増加が著しかった。このため透水係数の変化にも差が大きく、前者が施工によって 10^2 くらい大きくなるのに対し、後者は10倍以下の増加しか示さなかった。また透水性の変化する土層範囲も前者においてはチゼル位置から耕土層まで及んでいるが、後者の場合はチゼル通過附近に限られていた。

III 土壌の変化、けん引抵抗などの予測

土壌の違いによって心土破碎の効果に差のあることは明らかであるが、この両者を量的に表現して関連させることができれば、土壌調査によって施工効果を予想することが可能なわけである。

まず心土破碎によって土壌の受ける種々な変化は構造が破壊されて膨張することに原因があると思われるので、土壌の変化量として膨土量を用いることにした。次に土壌が膨張した原因を考えて見ると、トラクターがある一定の仕事量を土壌になしたことに由来し、これはけん引抵抗に関するものということができよう。すなわちトラクタのなした仕事量と土壌の受けた変化量の間一定のエネルギー関係が成り立つとすれば、膨土量とけん引抵抗の間にも何等かの関係が成り立つと考えてよいであろう。

まずパンプレーカーが土壌を破碎する際の仕事を考えて第1にチゼルより上の土を持ち上げる作用、第2に土壌構造を破壊する作用、第3に土壌を膨張させる作用で、膨土にあずかるエネルギーは第3の作用に用いられるものである。したがって第1、第2の作用に対する抗力を土壌の重量と凝集力と考えれば、けん引抵抗が受け

持つエネルギーの中で、これらの抗力に打ち勝った残り分だけが膨土にあずかると考えてよいであろう。

土壌の重量としてチゼル深さまでの平均密度 G をとり、凝集性としてはやはりこの範囲の塑性指数 I_p をとることにする。 $G \times I_p$ を仮に破碎抵抗と名付け

けん引抵抗(K)/破碎抵抗($G \times I_p$)=破碎指数(B)と置く。破碎指数は単位重量、単位塑性当たりのけん引抵抗を意味し、これはけん引抵抗の中で破碎に要した仕事分が補正されたもので、膨土にあずかった分と対応すると考える。つまり同じけん引抵抗を要した場合でも密度が大で塑性の強い土壌の膨土は少ないということになるわけである。

いま10数地点において行なったけん引試験と土壌調査の結果から破碎指数と膨土量の関係を図示すると図-3のようになる。破碎指数が小さくなると膨土量は0に近づくが、破碎指数が大きくなったからといって膨土量が無限に大きくなることはない。

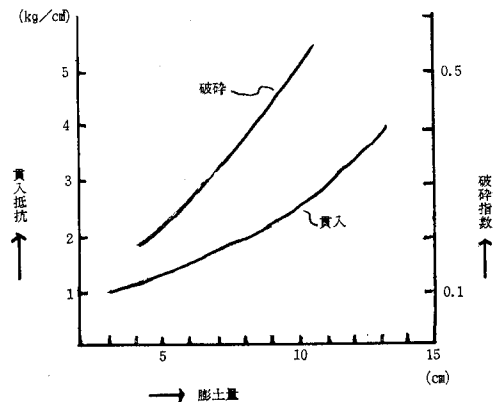


図-3 貫入抵抗、破碎指数と膨土量

一方土壌の貫入抵抗をチゼルの深さまで平均すると膨土量との間に図-3の関係が認められた。つまりコーンは土壌の重みと凝集性に対してはかなり自由に貫入され、ちょうど破碎指数のような性質を持つものと思われる。そこで土壌に対する貫入抵抗を実測して図-3より膨土量を求め、次に同じ図から膨土量に対する破碎指数を読み取れば、これに G と I_p を乗ずることによってけん引抵抗が求められるわけである。以上によって土壌の貫入抵抗、密度、塑性指数を測定すれば、心土破碎における膨土量とトラクタのけん引抵抗を予想できることがわかる。したがって作業上においては圃場の土壌型、土性、水分などの状態に応じて作業時期の選択およびトラクタの選定などに益することができる。

IV 傾斜に対する施工方向と水分の関係

重粘地は透水その他による水の移動が困難なため、下層はいつも飽水に近い状態にあって水分の変化をあまり示さない。表層は下層よりも多くの孔隙を持つのが普通なので、乾燥時を除けば下層よりも多くの水分を持ち、その変化も比較的大きい。図-4は傾斜地に心土破碎を施

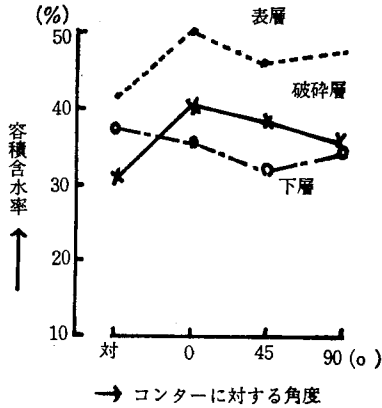


図-4 施工方向と水分

工したときの土壤水分を表層、破碎層、下層に分けて比較した1つの例である。図の中でコンターに対する角度というのは心土破碎の方向を意味し、0°は等高線の方、90°は傾斜の方向である。図によれば各区とも大体において上層ほど水分が多いことがわかる。

次に水分移動が比較的容易に行われる破碎層に着目すると等高線に施工した区(水平区)は水分が多く、傾斜の方向に施工した区(垂直区)は水分が少ないこと、施工区はいずれも未施工区に比べて水分が多いことなどが示されている。すなわち心土破碎によって土層は保水量を増すが、垂直区は水平区よりも排水が良いということになる。

傾斜の上部と下部を比較すれば、水平区は傾斜上部が下部より湿潤であり、垂直区は下部の方が上部よりも湿潤であるから、これによっても水平区はより保水的であり、垂直区は排水的であることがわかる。

V 施工方法と効果およびその持続性

1 施工方法と土壌の変化およびその持続性

心土破碎を能率よく安価に施工し、しかも効果を十分発揮させるためにはどの程度の施工が必要かを調べるため、表-1のような試験区を苦前、剣淵の2地区に設けた。2連40cm区は3連パンブレーカーの中央の支柱刃をはずして施工した区、3連方格区は1方向に深さ

表-1 試験区

項目	チゼル深さ (cm)	チゼル間隔 (cm)
対照区	—	—
2連40cm区	40	150
3連40cm区	40	75
3連60cm区	60	75
3連方格区	40・60	75

40cm、これと直角に深さ60cmに施工した区である。

各区の特徴としては3連方格区は最も膨軟になって透水性も増加したが、2連40cm区は支柱刃通過跡附近のみ膨軟になり、2列の跡の中間部には破碎が及ばなかった。3連40cm区と3連60cm区は前二者の中間に位置したが、3連40cm区の方が浅い部分でよく破碎される傾向を示した。膨土率は3連40cm区が約25%、方格区が15%以上、60cm区7~15%であった。

膨土にともなって土壌の密度、三相分布なども変化した。これら採取試料にもとづく性質は施工直後に比較的明瞭であったのみで、2~3年後にはほとんど施工前の状態に復元した。これに対し土層の規模で変化した事項は変化が明瞭であり、持続性もあった。エマルジョン着色剤を水に溶いて地面から浸透させ、土層断面から浸み出して来る状態を観察すると、対照区においては植物根の跡などから薄くじみ出ているにすぎないのに対し、施工区においてはチゼル跡および亀裂に沿ってかなりの浸出が認められた。測定結果としては施工区の現場透水試験による透水係数が1~2けた大で5~6年は持続すると見られ、また亀裂部に集まった水のため、湿潤で軟らかい部分が多かった。図-5は施工4年目における剣淵の

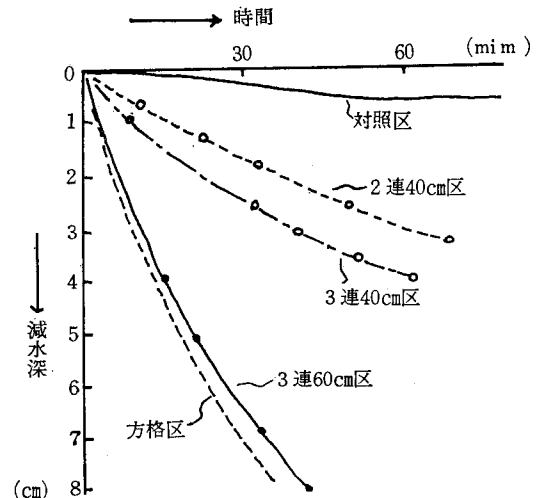


図-5 無底円筒による現場透水試験

試験区に無底円筒を打ち込み、水を注入して減水深を測定した結果であるが、各区の差違、持続性が明らかに認められる。

2 栽培調査より見た効果と持続性

心土破碎の牧草生育収量に対する効果は各年度において認められた。図-6は苫前の例であるが未墾地を開墾造成した草地であるため初年度は雑草も多く、掃除刈り後の収量として非常に少なかった。また43年度の減収は干ばつのためであった。

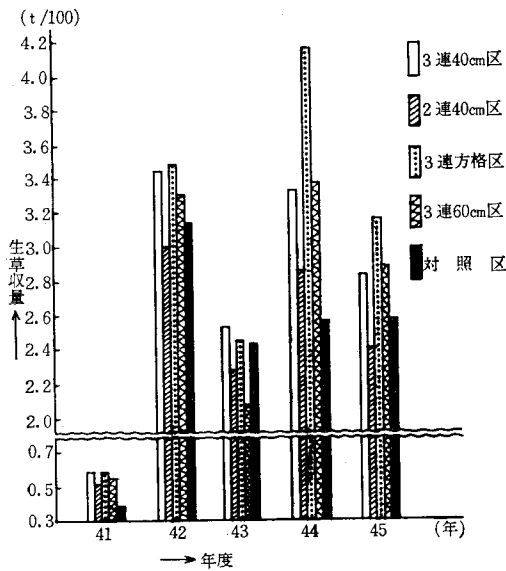


図-6 生草収量の推移

平年の状態を見ると対照区と2連40cm区が悪く、3連方格区がとくに良かった。すなわち心土破碎は密に行なうほど効果が上がるが、牧草に対しては40cmくらいの深さで十分であり、少なくとも5~6年は効果が持続することが認められた。

VI 施工能率に関する調査

1 施工距離と能率

一行程の距離が2倍になればその施工時間が2倍になるというふうに、距離と時間は一般に比例するはずであるが、実際にはパンブレーカーの支柱刃に笹の根その他植物体がかみつき、その除去のために時間を要して比例関係が成り立たなくなることが多い。開墾地においては施工距離が100m以上になるとこの現象が多いようである。

2 傾斜と作業能率

傾斜1度から9度までを含む5地区178工程の調査結果によれば傾斜2度で上りは下りの10%増、9度にな

れば上りは下りの2倍近くの時間を要することがわかった。これは走行抵抗、けん引抵抗の増大によるスリップなどのほか、変速ギヤの操作など複雑な要因の結果現われたものである。また回行時間も上りのときは下りよりも大きい傾向があった。

3 圃場の形と施工能率

施工能率は実作業に対する回行時間が短いほど良いから、面積が一定のときには長辺に対する短辺の比が小さいほど良いことになる。平坦地において3連式パンブレーカーを使用して実測した結果、1haの圃場につき100m×100m、50m×200m、20m×500m、10m×1,000mの各場合の回行時間はそれぞれ45分、22分、8分、3.5分となった。普通の圃場においては車速が0.5~0.7m/secのことが多いので、圃場の形と面積がわかれば大体の作業時間を計算することができるわけである。

圃場が単純な形である場合には能率的な施工方向をただちに決めることができ、作業時間を予測することも容易であるが、不整形であるときにはこれらが必ずしも簡単でない。そこで心土破碎の能率を対象とした場合の圃場の形状を量的に現わす手段として回行数/施工面積=Kを採用した。これは単位面積あたりの持つ回行数ということになり、圃場の面積、形、施工方向などによって異なる。

図-7はKと回行比（回行時間/総作業時間×100%）の関係を実測して図示したもので、Kの値が小さいほど回行比が小さく作業能率は良いことになる。ただしここでKは1a当たりの回行数である。

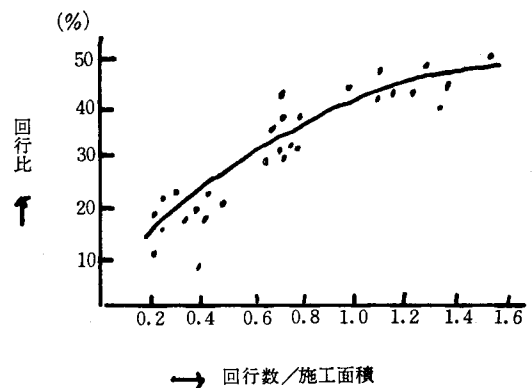


図-7 圃場形状と回行比

いま心土破碎1行程の作業幅を1という長さの単位にとれば、回行数はこの単位によって表現した圃場幅の長さを意味する。したがって単位を普通のmに移せば、Kは圃場幅/施工面積ということになる。1例として不整形

の圃場が与えられた場合、最も回行比を小さくするためには K を小さくすることが必要で、次のようにすれば良いことになる。与えられた圃場は面積が一定であるから、 K を小さくするためには作業幅を小さくすることが必要である。そこである直線をこれに対する圃場の投影が最も短くなる方向に選び、これに直角に作業方向をとることである。この直線が2本以上になっても投影の総和が最小になれば良いわけで、このことは圃場を2つ以上に分割することを意味する。

一方施工予定圃場が与えられ、種々な条件を考慮して施工方向がきまれば、 K を求めることによって回行比を図-7より求め、施工能率の概略を知ることができる。

4 その他

土壌の種類、水分、地被状態などにより能率には差があらわれた。これらについてはけん引抵抗とすべり率およびこれらの土壌状態との関係など、トラフイカビリテイの問題として研究が進められている。

参考文献

- 1) 千葉豪：北農，35，(1)，(昭43)
- 2) 塩崎尚郎，石井和夫，池盛重：農事試験調査資料，129，北農試(昭46)
- 3) 北海道開発局：北海道北部の土壌(1967)
- 4) 佐久間敏雄：土木試験所報告，第55号(昭46)
- 5) 千葉豪，久末勉：農土誌，31，(7)，(昭39)
- 6) 千葉豪，北川芳男，佐久間敏雄：北海道開発局技術研究発表会論文集，第8回，(昭39)
- 7) 山口吉五郎，大山敏明
同 上