

質疑応答と総合討論

司会	鬼鞍	豊 (農事試)	石井	和夫 (北農試)
講演者	千葉	豪 (北農試)	岩間	秀矩 (北農試)
	前田	隆 (北大)	東山	勇 (山形大)

石井 (北農試) 心土破碎に関する論議は時間の都合により次の2点にしばって討論したい。① 心土破碎の破碎効果 (透水性などの物理性改善効果), およびその持続効果が土壌によって異なるという内容の説明があったが, この理由は何かを, とくに土壌の面から考えてみたい。これは本日のメインテーマになっている土のコンシステンシーに関連するものと思われるので, できればそういう観点からの討論をお願いする。② 心土破碎の透水性改善効果については異論のないところであるが, 保水効果については土壌によって, また既往のデータをみても異なり不明な点が多い。また保水性に対する考え方も農業土木と土壌肥料関係者によって見解を異にする点もみられる。これらについて十分討議し, 保水効果があるかどうか, またその根拠を明らかにしたい。

山口 (道立中央農試) 心土破碎施行の効果が顕著に認められ, かつ持続性のある土壌と, 効果の持続性がほとんど認められない土壌を一般物理性, 土質試験, 粘土鉱物等から比較検討した結果, 粘土鉱物と凝集力の面から特長的な差異を見出すことができた。すなわち心土破碎効果の持続性が顕著である小向土壌等の粘土鉱物はモンモリロナイトが多く, 凝集力 (含水比 10% における固結力 10 kg/cm^2 以上) が明らかに高い。他方効果の持続性がほとんど認められない仙美里土壌等の粘土鉱物はカオリン族のメタハロイサイトが優勢であり, かつ凝集力 (含水比 10% における固結度 5 kg/cm^2 以下) が顕著に低い特異的土壌であることが判明した。

古畑 (北農試) 十勝における灰褐色土層の心土破碎の効果の持続性について試験をおこなっているが, 灰褐色土層の理学的性質は大ざっぱにいて高位の地形面と低位の地形面で V_L/V_S に差が認められる。乾燥履歴にちがいがあられると思われる。また高位地形面の中では原土水分状態でスレーキングを起こすものも認められる。コンシステンシー指数も相違がある。心土破碎の効果という点ではコンシステンシー指数の低い土層では小さく, また持続性が低いものが多い。コンシステンシー指

数の高い土層では効果は上るが, 持続性でスレーキングを起こす土層では 2~3 年で透水性が施工前と同様になってしまうものがある。これは塑性が低いことにも関係があらう。

千葉 (北農試) 持続性について, 粘土鉱物, 凝集力, スレーキングなどが関係あることにはうなずける。いろいろな事項が関係すると思うが, 持続性と明確に対応する事項を模索している。心土破碎はたしかに保水性を高める。これは流出機構からも水分分布からも言い得る。テンシオメーター法, 部分的な採土法などによって保水性の増大を立証するのは不可能であらう。心土破碎の効果と持続性を上げるには, 亀裂の発生と保持をはかることが第 1 条件で, そのためには亀裂内への他物質の圧入は有効である。

鬼鞍 (農事試) 北海道におけるいくつかの事例をまとめてみると, 土壌粘土鉱物組成の面からみるとモンモリロナイト質のもの, 地形的にみると高位置にあって土壌乾燥履歴が進んだものほど, 心土破碎の効果が出易く, かつ効果が長持ちするし, 逆にカオリン質あるいはアロフェン質のもの, あるいは低位置にあって乾燥履歴が進んでいないものは, そうでないことになるが, これをコンシステンシーの立場からはどのように説明したら妥当なのか。

前田 (北大) コンシステンシーを支配するのは土粒子の粒子間力であり, 粒子間力は粒子の比表面積が最も大きな支配因子であるから, 土の物理性改善 (心土破碎の効果, 持続性も含めて) は結局, コンシステンシーを低下 (安定) させることである。すなわち粒子間力を弱め, 粒子の比表面積を減少させることが必要である。前者の場合はすでにコンシステンシーが低下し安定化している場合であり, 後者の場合はコンシステンシーの改善が見られない場合と考える。

東山 (山形大) 粘土鉱物と乾湿履歴が, 団粒の強度と安定にどのように影響するかの問題だが, 行動単位の大きさとその安定は, 当然コンシステンシーに反映され

るわけであるが、実際的な問題はよくわからない。

山口 心土破碎効果の持続性と粘土鉱物の関係は、前述のとおりであるが、心土破碎は人為的に土壌へ亀裂を生成することである。亀裂が生成されると当然ながら通気、通水性が良好となるので、この効果判定には現場において浸透能を測定し、排水機能の評価を試みた。

すなわち、両対数紙に積算浸入量および時間をとり測定をプロットすると

$$D = CT^n$$

D; 積算浸入量。T; 時間 (min),

C; $D = CT^n$ において $T = 1 \text{ min}$ 時の積算浸入量

D(mm) を意味する, n; 時間の経過によるDの増加の割合 (両対数紙上の D-T 曲線の勾配)

であらわされる。浸透速度は上式を微分して $I = \alpha D / \alpha T = Cn T^{n-1}$ で求められる。Cの値は土壌の水分条件に左右され変動が大きい。そのためインテークレートは異なった条件あるいは他土壌との比較に不便である。むしろnの値が土壌体の本質的な性質、すなわち孔隙内容を反映すると考えられ、n値の大小により排水の評価をした。

定数nの値が重粘土壌では一般に最初の10分前後とそれ以降とは、ことなつた傾向をとるから実際の評価には浸入状態の安定する10分以降の値が妥当であると思われ、nの値が0.7以上で透水良好、0.4以下ではかなり透水不良である。したがって心土破碎効果をインテークレートのnの値0.7以上になるよう、そして経年的効果の目安となる。

佐々木 (北大) 小向土壌では不活性なモンモリロナイトであるが、ほかに SiO_2 が多いため、破碎がよく $\text{Si}(\text{OH})_4$ の脱水があるため持続効果が高いと思う。仙美里の土は 1:1 型と思うが、心土破碎機を入れるときの水分状態が問題である。

石井 そのようなことは考えられるが、データがないのでなんともいえない。心土破碎の持続効果は土壌自体の物理工学性ばかりでなく、その土地の水分環境、土壌断面における構造の違いが影響しているので、これらの要因を分けて整理する必要がある。

久保田 (農技研) 心土破碎の持続性の土壌間差異について土壌酸性が強い土壌 (下層土) で、または施工部位の土壌の酸性が強い時に持続性に高いという傾向はないでしょうか。

古畑 調査対象とした灰褐色土層の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は 5.0 ~ 6.5 の範囲にあり、土壌酸性の強い土壌でとくに持続性が高いという (傾向が認められるという) ほどの pH にはなっていない。上記の pH の間ではそのような傾向

は認めがたい。

東山 持続性と効果とは、何の持続性か、例えば透水性とか、形状変化とか、そこを教えてください。

千葉 密度、三相比などは 2~3 年、透水性は 5~6 年、栽培に対する効果は 5~6 年以上と思われる。つまり土層的な規模の変化はいつまでも残り、栽培に有利に作用する。

石井 心土破碎の保水効果について、千葉さんのデータからみると、大孔隙の増大のみで有効水分領域の孔隙の増加はほとんど見られないが、保水効果の根拠は何か。

千葉 のちほどの寺沢さんの質問と一括して説明したい。

山口 心土破碎を一方向に施行した場合に排水の効果はきわめて顕著であったが、それがむしろ干ばつ年では過干の傾向にあった。重粘土壌は衆知のとおり排水不良と反面では孔隙不足からなる保水性に乏しいから、保水性を増すための心土破碎施行法が考えられないだろうか、例えば十字方向心土破碎の施行は排水量が緩慢であった。これが保水性とみなされるか。

千葉 十字方向の心土破碎が土壌変化の上からも牧草収量の上からも有利であることはこれまでの試験で明らかである。施工により土壌中にできた大孔隙はいつまでもその状態を保つことはなく次第にバランスのとれた孔隙形態に移行する。冷害年、干ばつ年などにおいては、心土破碎にかぎらず土地改良をおこなった圃場に不利な状態が見られることがあるが、改良は妥当な管理によって効果を発揮するものと思う。心土破碎を一方向に施工した場合の排水性、保水性は傾斜に対する施工方向によってかなり相違がある。

山口 心土破碎を施行して生成した亀裂、孔隙が再びもとの壁状で孔隙のほとんど見受けられない土壌へ戻る場合がある。そこで亀裂のなかへ異物を流し込んでふさがらないようにする方法を考えられないか、例えば有機物 (ふん尿、麦稈)、高分子化合物等はその効果が期待できるか。

千葉 亀裂の中にもみがらを挿入する試験がすでにおこなわれており、効果が期待できる。また目的はちがうが、ふん尿処理のためパンフレター下部から土壌中に圧入する方式があり、これも効果があると思われる。ただ見掛け上亀裂、孔隙がもとに戻っても実は透水性およびチゼル跡の状態などはかなり長く残り、とくに栽培効果などは根の伸長の影響なども加わって長期におよぶと推定される。

後藤 (道立中央農試) 心土破碎を施行した場合、降

雨があると滝川の重粘地での試験では3~5月は施工区の水分は多いが、乾燥に向った場合はむしろ乾燥を助長している。したがって保水にはならないのではないか。保水は破碎して二次的に構造が造成されなければ保水につながらないと考えられる。

寺沢(農技研) 心土破碎により pF 1.8 以下の粗孔隙量が増加するので、保水性が低下すると思われる。しかし心土破碎処理した土壌は圃場の容積水分では多くなっているのは矛盾しているが、どのように考えるか。また心土破碎処理土壌は、有効水分が多くなるのか。

千葉 チゼル、支柱刃通過附近は非毛管孔隙の増加が多い。しかしここに集まった水はなんらかの水みちによって地区外に排除されなければ長く保水されることになる。もっともこのような状態を保水性の増大とはいえないが、施工後次第に粗孔隙が崩壊して膨潤になり、保水性が増す状態が認められる。またチゼル通過部よりはなれた位置においては堅密な土壌に細かな亀裂が入り、その周辺に水分の保留が認められる。圃場内からの中間水の流出を測定すると心土破碎を施工した圃場からの流出は徐々におこなわれ、土層全体としての保水性を明瞭に示している。

佐久間(北大) 心土破碎の直接的効果が、圧密、硬化した土層の緻密な構造を壊して粗孔隙を増加せしめることにあり、その結果土層の自然排水能が改善されることは指摘のとおりであり、多くのプロジェクトで暗渠排水の補助工法としての心土破碎が重視されている。一方、心土破碎の施工によって土層中に生成する孔隙がきわめて多様であり、その経時の変化にも対象土壌の性状、施工時の水分条件、施工の方法などによって著しい相違が見られることも、千葉さんの資料から明らかである。心土破碎施工跡地土壌の有効水分が施工前に比べて増加するか減少するかは、上記の諸条件が複雑にからみあってくるので一概にはいえない面がある。一般に施工直後の調査では、施工による孔隙量の増加は気相容量の増加にほぼ一致し、増加分はほとんど重力水孔隙とみなされる。しかし、施工後時間を経るにしたがって、破碎層位の孔隙状態は変化(全孔隙量の減少、とくに重力水孔隙の減少とその毛管孔隙への変化)し、結果的に有効水分量を増加せしめると推定される。この推定は、小向、雄武地区における水収支調査や心土破碎施工跡地の追跡調査によって確かめられている。通常、含水率が高く、壁状構造を呈し、施工時可塑性の強い条件にあった土壌では、土層の脆性的破壊が起こらないために、心土破碎は水路造成の域をはずし、したがって排水機能が効果の主体になる。しかし、乾燥、硬化し、角塊状ないし角

柱状の構造を呈する土層が効果的に破碎された場合は、土塊の分布が大きく細粒側に移行し、種々の径の孔隙が造成され、それらが毛管孔隙量の増加につながっていく可能性をもつと思われる。つぎに、排水工法としての暗渠と心土破碎との比較では、前者が高いピーク流量、短時間流出であるのに対して、後者は中間流出が長引く傾向にある。また心土破碎孔は施工技術的にも、地表面の小起伏に平行して造成せざるを得ない現況にある。これらの点は補助排水工法としては好ましくないものであるが、対象地の条件に応じて、施工の方向や施工法を調整していくことによって結果的に圃場全体として有効水分量の高い水準に保つことを可能にする条件であると受取れることもできる。

鬼鞍 液性限界と塑性限界の測定に風乾土を供試したのか生土を供試したのか、耕耘作業、走行性などの現場の土の問題を検討しようとするとき、一つの指標としてコンシステンシー指数などがよく用いられるが、その際、生土についての値か、風乾土についての値かによって基準の考え方も違ってくるし、また実際問題を考えるとき、風乾土についての値を利用して差支えないかという問題もある。しばらく、この生土供試か風乾土供試かについて論議したい。

岩間(北農試) 砂混合土の水分の比較は含水比では充分にできないのでコンシステンシー指数を用いた。 pF 値を用いてもほぼ(碎土適水分範囲は)同様の傾向が得られる。また、碎土適水分範囲は一定のコンシステンシー指数で明確に規定できない。小向の重粘土は元来風乾によるアッターベルク限界の変化は比較的小さく、また本試験では作土層を対象にしているので、アッターベルク限界は風乾細土について測定した。

寺沢 アッターベルク限界は生土と風乾土とはかわる。どのような試料を用いたらよいかは、風乾により保水力がかわるアロフェン土は問題になるが、ほかの土は、保水力がもどるのであまり問題にはならないと思う。一般論としては、風乾により土壌構成物質の理化学性が極端にかわる場合は、その原因を考えてアッターベルク限界をはかる必要がある。

国分(農事試) コンシステンシー測定の場合に生土を用いるか、風乾土を使うかという問題は目的によってことなるのではないか。風乾土は安定しているので土の基本的性質として見る場合にはよいが、現場の問題を取扱うときには不適当なことが多い。例えばトラクターの走行性の指標としてコンシステンシー指数を使おうとするときには、土壌によって生土と風乾土の差が大きいものがあり、この場合は生土には多少変動があっても、こ

のほうが適していると思われる。水田の場合問題が多い。

石井 砂客土による易耕性の改善効果については、トラクターの稼動日数の増大、圧縮性の軽減、碎土率および碎土適水分範囲の拡大など広範囲にわたる説明がなされたが、今日は、メインテーマとなっているコンシステンシーに特に関連すると思われる碎土と砂客土との関係について討論したい。碎土適水分範囲の高水分側の限界を塑性流動水分点、低水分側の限界を一軸圧縮強度 5 kg/cm^2 とした点について土質関係の方はどう考えるか。

八幡(東大) 客土の研究には、不均一性の問題をさけることはできない。一軸圧縮試験や L.L 試験に用いた試料のもつ混合度の均一性は実際の圃場では到底保証されないのではないか。この間の結びつきを今後の研究に期待したい。

岩間 重粘土壌に砂客土をおこなう場合、地表に撒布した砂をブラウで反転して、作土の下層に砂がたまっているような極端な事例は論外としても、通常の機械力で攪拌混合しても土塊の存在等により砂は不均質に分布する。したがって、砂が均質に土壌に混合するよりも砂含量の多い部分が部分的に存在することになり、それが土壌のやや大きい単位において、砂が均質に土壌に混合した場合より、排水を促進させ、強度および固結性を低下させると推測されるが、データとして把握することがむずかしい。

石井 碎土に関して、東海近畿農試のデータはどうなっていたでしょう。

森(中央農試) 碎土作業における適水分を経験的にとらえて、それをコンシステンシーに結びつけていたものであるが、実際の機械運行とコンシステンシーの関係まで実証的検討が不十分であったと思う。

木下(九州農試) 碎土率の向上に対する砂客土の効果は、砂の混入による土性の粗への変化の結果として解釈できると思う。しかし透水性のような部面での改良効果は、土塊内に砂がヘテロに混存する結果として認めればよいと思う。

鬼鞍 時間もないので、次のコンシステンシーに関する基礎的な問題の方に移りたい。

久保田 粒子表面から水膜の厚さにより、塑性限界→液性限界と連続する中で、もし挙動粒子の構造を破壊したり、表面活性を変えたりすることにより、塑性限界と液性限界が同一方向に変化するばかりでなく例えば液性

限界を増加させ、同時に塑性限界を低下させるというようなことが、理論上可能であるでしょうか。

東山 液性限界の増加は水膜の厚さをますことであるから、構造破壊や表面活性をかえることにより達せられる。塑性限界は粒子系の最密充填だから、行動単位の大きさや形が関係する。塑性指数は、有機物とか、土壌の処理のしかたで増加するが、普通は両者とくに液性限界が増大する。液性限界が増え、しかも逆に塑性限界がへるのはどうもよくわからない。

鬼鞍 液性限界を支配するのは土粒子の比表面積という結論であるが、この場合の比表面積とは、全表面積のことか、外表面積のことか、または相互に強く結びついた微細な数ヶの粒子の場合は、個々の粒子の表面積は考えず1個の粒子とみなしての外表面積を考えるというような、いわば実効的な表面積を考えているのか。

前田 基本的には、土粒子の粒子間力を支配するのは土粒子の外表面積である。そして液性限界を考えるときの土粒子としては、単一の粒子ではなく、数個の粒子が集合した微細粒子団を基本単位と考える。したがって、この場合の表面積としては流動抵抗に関与する基本単位の実効的な表面積、すなわち外表面積を考えている。

中村(愛媛大) 岩間さん、前田さんの発表中、土一水系での特異点を指摘されているこれらの諸特異点を総合して、東山さんの土一水系についての観点からどのように考えられるか、むしろ大胆な感想ともいえるような解釈をおうかがいしたい。

東山 あまり(問題が)大きすぎてどうも、土一水系においてアッターベルク限界の意味を、力学的転移点としてみたわけですが、土壌の力学的状態は外力Pと土壌水の状態量pFで定まるわけです。いまの場合はPもかわっているので、Pがかわれば、特異点もかわると思う。

鬼鞍 前田さんが考えている比表面積については、具体的にはどのような測定法を適用するのですか。

前田 現在の粒子の比表面積測定は風乾土でおこなっているので、風乾によって物理性がかわる試料については真の比表面積測定はできない。試料の乾燥にあたって、凍結乾燥や真空乾燥のように粒子の形態的、質的变化を少なくともすれば現在の比表面積測定法でも真の値に近づいた値が得られるものと考えている。

鬼鞍 暑い中、熱心なご討論ありがとうございました。ではこのへんで (文責 編集委員会)