

学位論文題名

土層改良用サブソイラの性能向上に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究は高圧流体をチゼル先端のノズルから噴出させて、流体の圧力で土壌を破壊するサブソイラを開発することを目的とする。このサブソイラは重粘土層改良用パンブレーカのように心土を破壊し、同時に液体有機質肥料を下層土に拡散するのに使用できると判断された。一方で、アスパラガス圃場のような永年作物畑で地中に液肥を拡散圧入するインジェクタの開発の要請がある。この場合、永年作物の根を切断することは収量上好ましいことではないとされている。前者のパンブレーカは土壌の破壊度合いが出来るだけ大きい方が良い。後者のインジェクタは作物根の切断を出来るだけ小さくするため、土壌の破壊度合いは出来るだけ小さくして、液肥のみを根系に注入することが望まれる。そこで、著者はこれらを総称してサブソイラと定義し、このうち大型の土壌破壊を目的としたものをパンブレーカ、小型の液肥注入を目的にしたものをインジェクタと定義した。

単純な平板が土壌中を進行するときのけん引抵抗力の発生機構については多くの研究者によってこれまでも研究がなされているものの、土壌の破壊度合いについては誰も言及していない。また、それらは単純な平板が土壌に作用した場合であり、チゼルがつき、さらに流体が噴出する複雑な現象は誰も扱っていない。土壌の破壊度合は、基本的にはサブソイラの形状によるものであり、本研究が扱う流体を噴出する独特な形状でパンブレーカ及びインジェクタのそれぞれに最適な形状があるとの前提に立ち理論・実験両面から解析を試みたものである。

Ⅰ シャンク及びチゼルの形状と土壌破壊

土壌の破壊度合いがサブソイラのどの部分の形状によって影響されるのかを、まず空気を噴出しないで、基本的にシャンク及びチゼルの形状が土壌破壊状態にどのように影響するかを実験的に調べた。

パンブレーカとしては破壊効率を最大とする45-60°のシャンク角が最適であり、インジェクタとしては破壊度合、けん引抵抗が最小になる90°が最適である。破壊度合を小さくする目的のインジェクタでは、シャンク厚さを15mm以下とすべきであり、パンブレーカとして15-50mmの範

囲で破壊効率が変わらないため、どの厚さでも良いことが明らかになった。インジェクタとしてはチセル長さが130mm、パンブレーカとしては250mmが最適であった。なお、パンブレーカとしてはチセル太さを50 x 50mmとし、インジェクタ30 x 30mmとするのが有利であるとの結論が得られた。

II 流体噴出による土壌の破壊

流体を噴出しないサブソイラの形状を基本にしてチセル先端部分のノズル口からタンク圧で約1.2MPaの高圧空気を噴出して、けん引抵抗力が現象する最適なパンブレーカ及びインジェクタの各形状を決定した。土粒子間力のある土壌では、基本的な土壌の破壊はシャンクやチセルの進行による機械的な作用でなされ、空気噴出の流体的作用は機械的な破壊作用の補助するものと考えられた。パンブレーカとしてはチセルが長いほど破壊度合が増大するから、強度の許す限りこれは長い方がよい。インジェクタとしての最適チセル長は破壊度合を大きくしないで、空気噴出によるけん引抵抗力の減少効果が見られる250mmとすることが確かめられた。

III 有限要素法による土壌の解析

実験結果を裏付けるため、有限要素法で土壌の破壊度合及び破壊範囲を解析した。まず、流体が土壌の中を流れるときの難易によってどのような土壌破壊の可能性があるのかを、土壌層を近似的に2次元弾性体モデルとして扱って有限要素法で解析し、大まかな予測を得た。つぎに、より厳密に土壌層を3次元弾塑性体モデルとして扱って土壌の破壊度合及び破壊範囲を解析した。

シャンクのみが作用する場合、シャンク角が90°で、作用深が30cmである時、塑性応力は深さ約25cmまで働いた。地表面での土壌の垂直移動量はわずか0.5cmであった。シャンク角が45°の時は、塑性応力は深さ60cmまで働き、土壌の垂直移動量は2.5cmになった。これによりインジェクタのシャンク角を90°とし、パンブレーカのシャンクは90°以下にすべきであるとする設計原理は理論的に正しいことが裏付けられた。

流体を噴出しないパンブレーカのチセル先端に約0.005m²の範囲に高い塑性応力 $\sigma_x=0.814$ MPa, $\sigma_y=2.148$ MPa, $\sigma_z=0.392$ MPaが集中し、チセル先端から離れると塑性応力は漸次減少した。チセル先端は土壌を集中的に進行方向にのみ、押すことになるから、著者はこれをハード作用力と名付けた。流体を噴出するパンブレーカの場合もノズル周辺に高い塑性応力が働くが、ノズルから離れると塑性応力は急激に減少した。流体は比較的広い範囲に作用し、かつ方向が全方向であるため、著者はこれをソフト作用力と名付けた。

IV 流体を噴出するパンプレーカの応用事例

空気を噴出するパンプレーカにおいて、空気が含水比30%の土壤層に圧送されると、ノズル周辺に水平の亀裂を生じるのが観察された。ごく少量の空気圧送で、土壤は引張破壊することが確認された。チゼル先端が、亀裂の先端に達するまで、空気の圧送は必要ない。それゆえ、空気を脈流状に流して、圧送空気量を減少することができた。

都市下水汚泥を噴出するパンプレーカにおいて、下水汚泥圧送によるけん引抵抗力の減少は、速度・流量及び下水汚泥をまだ流していない初期のけん引抵抗力の大小に影響された。下水汚泥の粘度は高いほどけん引抵抗の減少も大きくなった。都市下水汚泥を噴出するパンプレーカは土壤を膨軟にすると同時に、心土に有機物を供給することができ、牧草地の更新や重粘土層の改良に有効と考えられる。

V 液体肥料インジェクタの応用事例

土壤の破壊度合が小さく、根をなるべく切断しないで液肥を圧入できるインジェクタを前章で決定した。このインジェクタを実際にアスパラガス圃場で施工して、アスパラガスの収量を調べた。アスパラガスの根は深さ10-30cmに大部分あり、横の広がりには50cmであった。したがって、この根域をさけて圧入する必要がある。けん引抵抗力を減少するのに粘土質ロームで最低400 g/m²・畦の液体肥料が必要であった。また、施肥距離は畦中央部から0.6mが最適であった。これはアスパラガス根系は、半径約0.6mで広がっており、2本のインジェクタの距離が1.2m以上では根系のない部分に施肥されるため、Growth Intensity (G.I. = 平均草丈cm x 1株当たり総茎径) が減少するものと考えられる。実験結果からは、施肥量が増えるに従い G.I. 値も比例して増える留ことが確認された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 寺 尾 日出男

副 査 教 授 南 部 悟

副 査 教 授 前 田 隆

本研究は高圧流体をチゼル先端のノズルから噴出させて、流体の圧力で土壤を破壊し、けん引抵抗を減少させ、かつ作業に要する全エネルギーの節減を図るサブソイラを開発することを意図し

て実施されたものである。著者は、サブソイラのうち大型の土壤破壊を目的としたものをパンブレーカ、小型の液肥注入を目的としたものをインジェクタと定義し、土壤の破壊度合は基本的にはサブソイラの形状によるものであり、本研究のように流体を噴出させる独特な方式でパンブレーカ及びインジェクタのそれぞれに最適な形状が存在するとの前提から理論と実験の解析が試みられた。

本論文はその成果を7章・図83・表8・引用文献98などを含む総頁196和文論文にまとめている。別に参考論文14編が添えられている。

第1章は序論で、用語の定義、研究の背景、研究の目的及び範囲について記述してある。

第2章はシャンク及びチゼル形状と土の破壊で、土壤の破壊がサブソイラのどの部分の形状によって影響されるかを実験によって調べている。パンブレーカとしては破壊効率を最大とする45-60°のシャンク角が最適であり、シャンク厚さは15-50mmの範囲ではどの厚さでもよい。チゼル長さは250mm、径は50 x 50mmが最適であった。破壊度合及びけん引抵抗が最小となるインジェクタはシャンク角90°が最適であった。シャンク厚さは15mm以下、チゼル長は130mm、径は30 x 30mmとの結果が得られた。

第3章は流体噴出による土壤の破壊で、チゼル先端部分のノズルからタンク圧で約1.2MPaの高圧空気を噴出して、けん引抵抗力が減少する最適なパンブレーカ及びインジェクタの各形状を決定した。粘性土壤では、基本的な土壤の破壊シャンクやチゼルの進行による機械的な作用でなされ、空気噴出の流体的作用は機械的な破壊作用の補助をするものと考えられた。パンブレーカはチゼルが長いほど破壊度合が増大するから、強度の許す限りこれは長い方がよい。インジェクタは空気噴出によるけん引抵抗力の減少効果のみられる250mmが理想との結果を得た。

第4章は有限要素法による土壤破壊の解析で、流体が土壤の中を流れるときの難易によってどのような土壤破壊の可能性があるかにつき土壤層を3次元弾塑性体モデルとして扱って土壤の破壊度合及び破壊範囲を解析した。シャンク単独ではシャンク角が90°で、作用深さ30cmであるとき、塑性応力は深さ約25cmであった。シャンク角45°では深さ60cmまで作用し、垂直移動量は2.5cmまで作用が及び、地表面での土壤の垂直移動量はわずか0.5cmになった。これによりインジェクタのシャンク角を90°とし、パンブレーカは90°以下にすべきであるとする設計原理は正しいことが確認された。

第5章は流体を噴出するパンブレーカの応用で、空気を噴出するパンブレーカにおいて、空気含水比30%の土壤層に圧送されると、ノズル周辺に水平の亀裂を生じ、ごく少量の空気圧送で土壤は引張破壊することが確認された。チゼル先端が亀裂の先端に達するまで空気の圧送は必要

ない。それゆえ、空気を脈流状に流して圧送空気量を減少することができた。都市下水汚泥を噴出するパンプレカにおいて、下水汚泥圧送によるけん引抵抗の減少は、速度・流量及び下水汚泥をまだ流していない初期のけん引抵抗力の大小に影響された。下水汚泥の粘度は高いほどけん引抵抗の減少も大きくなった。

第6章は液体肥料圧入インジェクタ応用で、土壌の破壊度が小さく、根をなるべく切断しないで液肥を圧入できるインジェクタを前章で決定した。圃場調査からアスパラガスの根は深さ10-20cmに大部分あり、横の広がり50cmであった。したがって、この根域をさけて圧入する必要がある。けん引抵抗力を減少するのに粘土質ロームで最低400 g/m・畦の液体肥料が必要であった。また、施肥距離は畦中央部から0.6mが最適であった。これはアスパラガス根系は、半径約0.6mで広がっており、2本のインジェクタの距離が1.2m以上では根系のない部分に施肥されるため、Growth Intensity (G.I.=平均草丈cm x 1株当たり総茎径)が減少するものと考えられる。

第7章は総括である。

以上は、高圧流体の圧力で土壌を破壊し、また液体有機肥料を下層土に拡散する目的にも使用できるサブソイラの開発を試みたものであり、ここに得られた成果は学術上重要な新知見を加えたばかりでなく、土層改良技術面からも高く評価される。よって審査員一同は別に行った学力確認試験の結果と合わせて、本論文の提出者高 鋭は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。