

土壌圧縮について

土壌保全研究室

〔問1〕 土壌圧縮とはどのようなものですか。

〔回答〕 土壌圧縮 (soil compaction) は、外力による土壌の体積の減少と定義されます。土壌圧縮が起きますと、土壌構造の破壊、排水に寄与する重力水孔隙や保水性に関係した易有効水分孔隙といった土壌孔隙の減少、土壌孔隙の減少に伴う通気性、透水性および保水性の低下、土壌のち密度の増大が生じます⁹⁾。

農耕地の土壌圧縮は、農業機械による農作業、農地造成、除礫作業、パイプラインの埋設など、大型機械が圃場内を走行する作業で発生する可能性があります。

す。特に、使用する機械の接地圧や車軸荷重が大きい場合や走行回数が多い場合は、圧縮の程度が大きく、しかも圧縮が下層にまで及ぶ⁹⁾ので、〔問2〕の項で述べるような土壌圧縮による被害が増大します。したがって、大型機械が何度も圃場内を走行するような作業を行う場合は、土壌圧縮のモニタリングを行い、土壌圧縮による害が著しい場合は必要な対策を構ずることが肝要です。

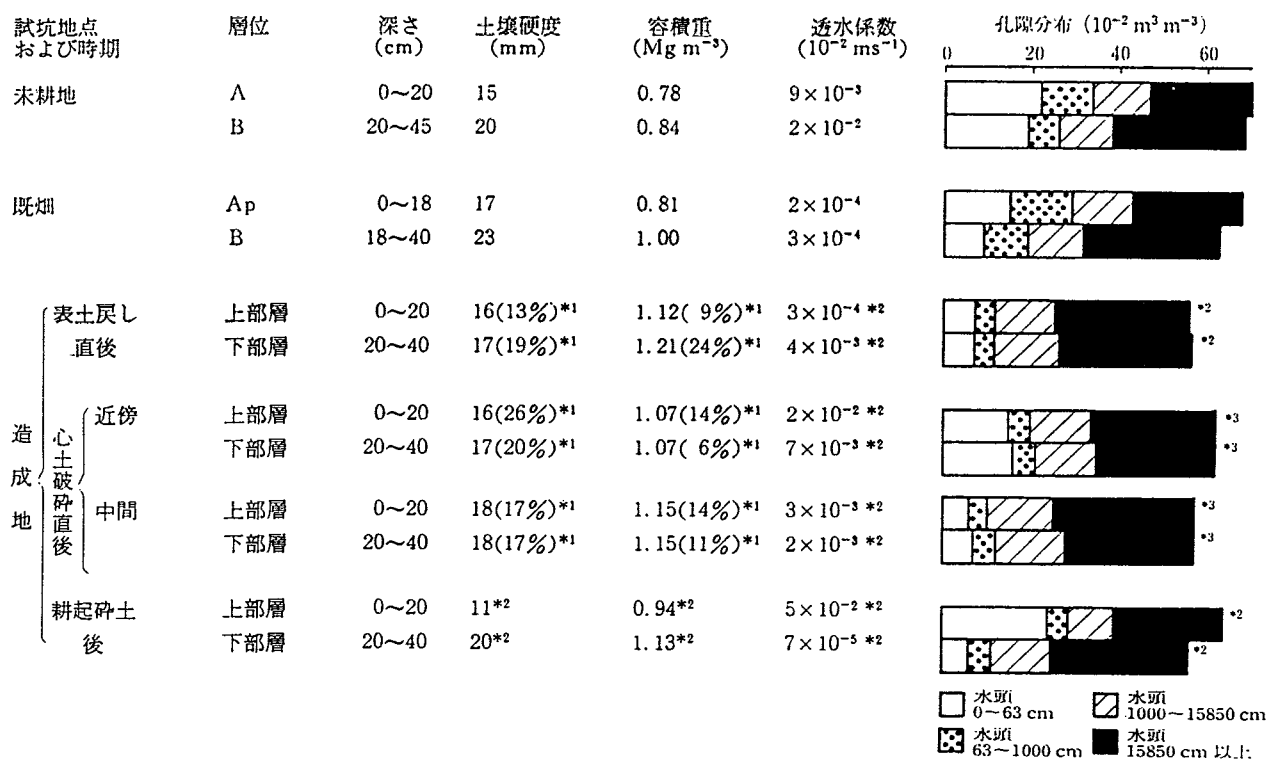


図-1 未耕地、既畑および造成地の土壌物理性²⁾
 *1: 20地点平均、*2: 2地点平均、*3: 3地点平均
 その他は代表地点の値。括弧内は変動係数。

図-1に、石渡ら³⁾の行った、改良山成工造成地における土壌圧縮の調査結果を示します。表土戻し直後の造成地では、未耕地や既畑に比べて容積重の増大と重力水孔隙（水分ポテンシャル：水頭63cm以下）および易有効水分孔隙（水分ポテンシャル：水頭63～

100cm）の減少が明らかです。このことは、改良山成工では、伐排根、傾斜改良、表土扱いなどの多くの工程で、大型機械が土壌の運搬や均平を行いつつ造成地内を走行するため、造成地の土壌が大型機械による練返しや踏圧を受け、圧縮されることを示しています。

〔問2〕 土壌圧縮は、農業にどのような影響をおよぼしますか。

〔回答〕 まず、土壌圧縮が作物におよぼす影響について述べます。表-1に土壌物理性とシコクビエの根部の発達との関係⁴⁾を示します。シコクビエの根部乾物重と全根長は、通気係数とは正の、硬度とは負の有意な相関を示しています。このように、植物根の伸長は、土壌における通気性の低下やち密度の増大により抑制されます。したがって、土壌の通気性の低下やち密化をもたらす土壌圧縮は、作物の根系の発達を阻害します。

表-1 土壌物理性とシコクビエの根の発達との関係
(文献3) 原表を一部改変)

	通気係数	硬 度
根 部 乾 物 重	0.730**	-0.578*
全 根 長	0.908**	-0.639*

*, ** 5%および1%水準で有意。

土壌圧縮により、根系の発達が阻害されると、作物は健全な生育に必要な養水分を十分に吸収できなくなります。この結果、土壌圧縮を受けた圃場の作物は、干ばつ害を受けやすくなり、肥料利用効率や耐病性が低下し、これらが重なって生育が抑制され、収量が低下します。参考までに、表-2に土壌ち密度の増大が作物の窒素吸収を阻害し、収量低下をもたらしたとい

表-2 かんがいされた栗色土における、穂ばらみ期の葉中窒素含量および子実重に対する容積量の影響
(文献9) 原表を一部改変、筆者和訳)

容 積 重 (Mg m^{-3})	大麦1979		冬小麦1980	
	葉中N (g kg^{-1})	子実重 (Mg ha^{-1})	葉中N (g kg^{-1})	子実重 (Mg ha^{-1})
1.20	52.3	5.36	—	—
1.25	51.2	5.59	—	—
1.30	50.8	4.42	43.4	5.32
1.35	44.6	3.90	40.2	4.72
1.40	35.7	2.99	36.5	3.63
1.45	27.6	2.98	33.9	3.43
LSD _{0.05}	4.4	0.44	4.5	0.56

う研究事例^{1,2)}を示しておきます。

また、土壌圧縮にともなう透水性の低下は、湿害の危険性を増大させ、保水性の低下は、前述した、根系の発達の阻害とあいまって、干ばつ害の発生の危険性を助長します。

次に、土壌圧縮がもたらす農地保全上の問題についてお話しします。圧縮を受けた土壌は透水性が低下します。このため、降雨時に表面流去水が発生しやすくなり、土壌侵食を受けやすくなります⁶⁾。

また、土壌圧縮は農作業面にも影響を与えます。土壌圧縮を受けた圃場では、透水性が低いため、降雨後の表面水の下方浸透が遅れます。このため、土壌が圧縮を受けた圃場では、適期に営農機械による農作業ができない場合があります。

〔問3〕 土壌圧縮の被害を軽減する対策について教えてください。

〔回答〕 土壌圧縮の被害を軽減する対策は、土壌圧縮の発生を抑制するための対策と既に起きてしまった土壌圧縮を改善するための対策の2つに大別できま

す。前者の対策としては、多水分時の機械走行を避けることがあげられます。いわゆる締固め試験により算出される最適含水比より水分が多い時に機械を走行

させると、土壌は機械の荷重による静的圧縮の他に、車輪のスリップによるせん断破壊を原因とした圧縮を受けます⁹⁾。土壌が最適含水比より乾燥しているときには、車輪のスリップを原因とした圧縮はほとんど発生しませんので、機械作業は、できるだけ土壌が乾燥している時期に行うことが肝要です。また、機械の走行回数をできるだけ減らすことも効果的です。図-2の根部の発達と機械の走行回数との関係⁹⁾からわかるとおり、機械の走行回数が増えるほど、土壌圧縮の影響は大きくなります。したがって、機械走行の作業計画をしっかりと立て、同じ場所を何度も走行するような無駄な作業を行わないようにする必要があります。

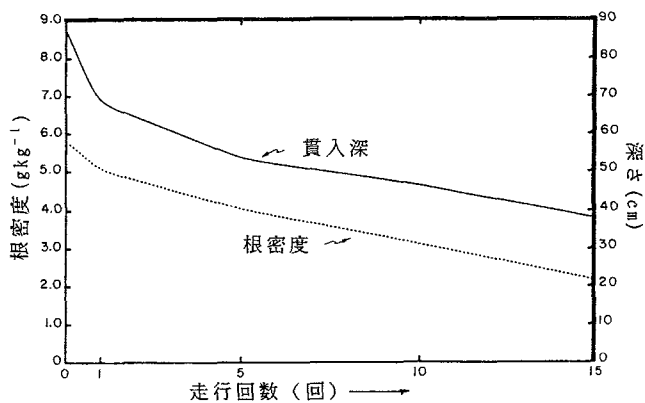


図-2 粘質土における農業機械の走行回数と根の貫入深および密度との関係
(文献6) 原表を筆者和訳)

次に、後者の対策についてお話しします。まず最初にあげられるのが、土壌の機械的膨軟化です。作土層のみが圧縮されている場合は、通常の耕起作業のみで問題を解決できます。しかし、大型の機械を使用する作業を経た圃場では、下層まで圧縮されていることが多いので、心土破碎など、下層を膨軟化する対策が必要です。図-1の改良山成工造成地における表土戻し直後、心土破碎直後および耕起碎土直後の土壌物理性をご覧下さい。改良山成工造成により圧縮された土壌に耕起碎土を行った場合、上部層のみで重力水孔隙（水分ポテンシャル：水頭63cm以下）および透水性の増大、容積重の減少が生じ、土壌が膨軟化していますが、心土破碎を行った場合では、チゼル跡近傍において、上部層のみならず下部層まで膨軟化しているのがわかります。耕起や心土破碎により、圧縮された土層を膨軟化できれば、土壌の透水性が増大しますので、暗渠との併用により圃場の排水不良を改善できますし、表面流去水の発生による土壌侵食も抑制できます

⁶⁾。また、圧縮土層の機械的膨軟化は、土壌の機械的抵抗性と通気性を改善するため、根系の十分な発達を可能とし、作物の養水分の吸収を改善します。例えば、Vepraskas¹¹⁾は、アメリカ合衆国のノースカロライナ州におけるタバコの収量と降水データを解析し、心土破碎を行った圃場では、タバコの根が下層にまで伸長し、作物の水分利用率が高まるため、心土破碎を行っていない圃場に比べて平年で約12%、乾燥の著しい年では、最高で約25%もの収量増加になることを明らかにしています。しかし、図-1からわかるとおり、土壌の保水性に関係する易有効水分孔隙（水分ポテンシャル：水頭63~1000cm）は、土壌圧縮により減少し、一度失われた易有効水分孔隙は、土壌を機械的に膨軟化しても回復させることはできません。

このように、耕起や心土破碎といった土壌の機械的膨軟化は、圧縮土壌の保水性を回復させることはできないものの、透水性、機械的抵抗や通気性の改善に大きな効果を発揮します。しかし、その効果は、灰色低地土の心土破碎で3年後には消失した²⁾という例からもわかるように、経時的に漸減するので、毎年1回はこれらの作業を行うのがよいでしょう。

植物の根により、圧縮土壌の物理性を改善する方法も研究されています。Lalら⁵⁾は被覆作物（地表面被覆率が高く、根系の発達も良好で、休閑時における土壌侵食防止のために栽培される植物）の栽培が、圧縮された表層土壌の膨軟化（表-3）、浸透能および保水性の改善に効果があることを明らかにしています。日本においても、キマメが圧縮土層を貫通して下層にまで根を伸長させることが報告され、キマメの栽培により、圧縮された下層土の透水性を改善できる可能性が言及されています⁷⁾。

表-3 容積量に及ぼす被覆作物の影響
(文献4) 原表を一部改変、筆者和訳)

処 理	容 積 重 (Mgm ⁻³)
プロストレーティングナルグラス栽培区	1.34±0.06
バヒアグラス栽培区	1.35±0.04
スターグラス栽培区	1.30±0.02
プエロ栽培区	1.32±0.03
ステイロ栽培区	1.33±0.04
ヴェルヴェットビーン栽培区	1.33±0.03
ワイルドウィングドビーン栽培区	1.14±0.40
セントロ栽培区	1.33±0.04
対 照 区	1.42±0.05
LSD 0.05	0.041

表-4 畑土壌に対する有機物施用の効果(文献7)原表を一部一部改変)

項 目	全 体		黒ボク土		褐色森林土		灰色台地土		赤・黄色土		低 地 土	
	区数	平均効果	区数	平均効果	区数	平均効果	区数	平均効果	区数	平均効果	区数	平均効果
容積重	70	96.6	38	99.8	8	93.6	1	93.2	16	91.0	5	96.0
孔隙率	75	102.5	38	100.0	8	104.4	3	101.5	18	106.6	6	102.9
硬度	36	92.8	15	97.8	6	89.5	0	—	10	83.5	3	91.4
T-C	109	131.7	55	105.7	11	181.9	7	164.9	25	160.3	9	123.2
T-N	109	124.9	55	106.6	11	142.5	7	148.9	25	147.9	9	118.4
磷酸吸収係数	54	95.6	29	97.5	6	96.3	2	99.2	13	89.7	4	98.6
C E C	107	106.9	54	103.9	9	111.2	7	117.5	24	110.3	11	104.5
p H	113	101.7	57	101.4	11	101.2	7	101.5	25	103.5	11	99.7
可給態磷酸	110	141.0	55	148.1	11	129.3	6	127.4	25	144.6	11	124.5
交換性Ca	113	116.8	57	115.7	11	115.6	7	128.8	25	122.5	11	102.3
交換性Mg	113	142.4	57	153.4	11	132.4	7	136.2	25	137.0	11	107.9
交換性K	113	155.5	57	167.6	11	150.9	7	143.1	25	147.8	11	129.8

備考：平均効果は毎年ごとに化学肥料単用区の跡地分析値を100として求めた指数。

植物の根を用いた圧縮土壌の改良手法は、農業機械が普及していない発展途上国の圃場や、断根による収量の低下の恐れがあるため、農業機械による土壌の膨軟化を積極的に行えない果樹園や茶園での導入に期待が持てます。しかし、下層土の物理性の改善効果はまだ十分に実証されているとはいえません。

腐植の少ない土壌では、有機物の施用も対策として考えられます。表-4¹⁰⁾は、農林水産省が全国で行っている土壌環境基礎調査事業の1976年から1983年までの調査データから、畑土壌における有機物施用の効果を解析したものです。調査結果からは、有機物施用によるT-C(全炭素含量)の増加が著しい土壌、つまり元来腐植が少なかった土壌での容積重および硬度の減少と孔隙率の増加が認められ、このような土壌での有機物施用による土壌の膨軟化が明らかです。また、有機物の施用により、土壌の保水性が増加することも知られています⁸⁾。有機物の施用は、土壌の物理性の改善のみならず、保肥力や保肥量といった土壌の化学性の改善にも効果があり(表-4)、土壌肥沃度を総合的に改善する対策として位置付けられます。しか

し、有機物施用による土壌物理性の改良の試みは、作土層に対しては多くの実例が報告されていますが、下層土に対してはまだあまり行われていません。

以上、土壌圧縮の被害の軽減対策について述べましたが、圧縮を受けた下層土の保水性を改善する手法がまだ十分に確立していないのが現状で、この手法の確立が今後の課題として残っています。また、ち密で保水性に乏しい重粘性土壌では、植物にとって粗孔隙が水分の貯留・供給源として重要な意味を持つことが明らかにされつつあります¹⁾。このことから、圧縮を受けた下層土を機械的に膨軟化したときに生ずる粗孔隙が、作物に対する水分供給源としてどの程度寄与するかを明らかにする研究も必要と考えられます。

なお、平成7年度より、本局の農用地活性化研究会、開発土木研究所の土壌保全研究室および各開発建設部の土地改良情報対策官室が主体となって、土壌圧縮の改善対策についての総合的な調査研究が開始されており、研究成果は平成12年度に取りまとめられることになっています。

(文責 横濱 充宏)

参考文献

- 1) 波多野隆介：重粘性土壌における水と溶存イオンの移動・分布に関する研究、一とくに粗孔隙の関与を中心として一、土肥誌58(3), 289-290(1987)。
- 2) 北海道開発局開発土木研究所農業開発部土壌保全研究室：暗渠排水の機能不良要因の解明とその改善対策、北海道農業試験会議成績会議資料, 1-22(1993)。
- 3) 石渡輝夫・斉藤万之助：改良山成工により造成した畑土壌の性状、土肥誌、63(6), 669-676(1992)。
- 4) 河野憲治・尾形昭逸・多幾山進：圧密条件下における土壌物理性の変化と草類根系の発達、土肥誌63(2), 154-160(1992)。
- 5) Lal, R., Wilson, G. F. and Okigbo, B. N.: Changes in Properties of an Alfisol Produced by Various Crop Covers, Soil Sci., 127(6), 377-382(1979)。

- 6) Lindstrom, M. J., Voorhees, W. B. and Randall, G. W. : Long - Term Tillage Effects on Interrow Runoff and Infiltration, Soil Sci. Soc. Am. J. 45 945-948 (1981).
- 7) 松本 順・久保田徹・加藤英孝・遅沢省子・有原文二・阿江教治：キマメ根の締め固め土層中への貫入伸長，土壤の物理性（64），3-9 (1992).
- 8) 小川和夫：有機物管理、北海道農業と土壤肥料 1987, 197-208 (1987).
- 9) Raghavan, G. S. V. , Alvo, P. and McKyes, E. : Soil Compaction in Agriculture - A View Toward Managing the Problem - , Adv. in Soil Sci., 11, 1-36 (1990).
- 10) 上沢正志：化学肥料・有機物の連用が土壤・作物収量に与える影響の全国的解析、農業技術, 46 (9) 393-397 (1991).
- 11) Vepraskas, M. J. : A Method to Estimate the Probability that Subsoiling will Increase Crop Yields, Soil Sci. Am. J., 52, 229-232 (1988).
- 12) Voronin, A. I. : Bulk Density of an Irrigated Chestnut Soil and its Productivity, Soviet Soil Sci. 14 (3), 78-84 (1982).