

重粘土の物理性改良に対するヒドロキシ アルミニウムの処理効果

田熊勝利*・河野 洋*・肥山浩樹*

平成2年5月31日受付

Effect of Hydroxy-aluminum on the Improvement of Physical Properties of Heavy Clay Soil

Katsutoshi TAKUMA*, Hiroshi KONO* and Hiroki HIYAMA*

The harrowing ratio and the trafficability of heavy clay soils are low in ploughing work by agricultural machine. These are possible to improve to a certain extent by improving physical properties of soil.

Experiments were carried out by varying the addition rate of hydroxy-Al. The effects of treatment on physical properties, the analysis of waterstable aggregates, the coefficients of permeability and the pF-soil moisture curves of soils were discussed against the rate of addition to cation exchange capacity. Then, the followings were observed. The effects of hydroxy-Al treatment are particularly remarkable on coefficients of permeability, and the effects of hydroxy-Al addition are more remarkable when additions were made after sufficient drying.

When hydroxy-Al treatments were applied at site in condition of ponding, soil tilths and trafficabilities seem to show little improvement. When hydroxy-Al treatments were made in farm condition, considerable effects were observed compared with ponding condition. Summarizing the results of experiment, it was found that the effects of hydroxy-Al addition were particularly remarkable when the addition was made and when the water content was lower.

緒 言

重粘土は日本各地域に存在し、水田土壌の約40%を占めている。この重粘土は圃場整備により再編された水田、あるいは畑転換圃区を利用するときに、農作業機械によ

る耕耘、碎土及び走行性を困難にし、畑作物の生育阻害の主要因となっている。これには土壌自体の物理性を改良することである程度改善される。近年、水処理凝集剤として市販されているヒドロキシアルミニウムを重粘土の物理性改良のため用い、土壌団粒を形成し、排水性、

* 鳥取大学農学部農林総合科学科生存環境科学講座

* Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University.

通気性の改善効果の報告³⁾がある。これは農作業時における耕耘、走行が容易となることを示唆しているものと考えられる。このヒドロキシャルミニウムを用いて室内・野外にて施用効果実験を行った。室内ではヒドロキシャルミニウム添加効果というものがあるのが土質工学的見地からどれくらいあるのか、どの土壌因子に効果が現われてくるのか、また、現地では水田、畑にヒドロキシャルミニウムを施用し、土壌改良に効果があるのかどうかを、大分県農業技術センター内圃場（宇佐市大字北宇佐）を使用して実験を行った。第1表に供試土の物理性を示す。

第1表 試料土の物理性

大分県農技土	
2~0.2mm	6.0%
0.2~0.02mm	9.0%
0.02~0.002mm	31.0%
0.002mm)	54.0%
比重	2.685
自然含水比	38.2%
液性限界	53.7%
塑性限界	26.9%
陽イオン交換容量(CEC)	15.6 me/100 g

実験内容与方法

実験に用いた土壌改良剤は平均陽荷電数1.5のヒドロキシャルミニウム溶液 ($\text{Al}(\text{OH})_{1.5} \text{Cl}_{1.5}$) である。ヒドロキシャルミニウムの添加割合は供試土の陽イオン交換容量(CEC)に対する%によった。その添加割合を第2、3表に示す。

第2表 ヒドロキシャルミニウムの添加量と透水係数

No.	添加量 (CECに対する割合)	透水係数 (cm/s)	
		横方向	縦方向
イ	0%	1.54×10^{-3}	3.73×10^{-5}
ロ	20	1.73	43.5
ハ	40	4.14	70.2

室内実験は、ヒドロキシャルミニウム添加効果を調べるために、無添加土試料(イ)と添加土2試料(ロ、ハ)の計3試料土にて行った。これら3試料土に対し、①液

第3表 試験区とヒドロキシャルミニウム施用量*

No.	圃区名	CECに対する割合 (%)	土壌100g 当たり Al (mg)	10 a 当たり 原液施用量 (t)
A	無施用	0	0	0
B	畑 -20	20.6	50	1.18
C	畑 -40	41.2	100	2.37
D	湛水 -20	20.6	50	1.18
E	湛水 -40	41.2	100	2.37

* 大分県農業技術センター資料による

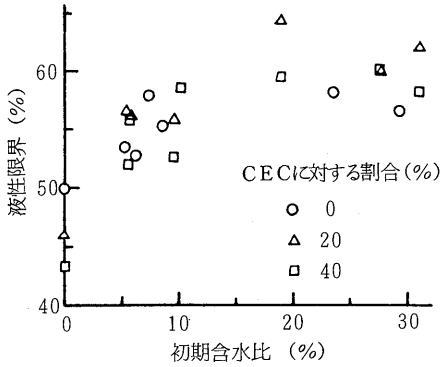
性・塑性限界試験、②pF-水分曲線、③透水試験、④ペーン剪断試験、⑤一面剪断試験を主に行った。なお、ヒドロキシャルミニウム添加土はヒドロキシャルミニウム添加後24時間放置し、その後実験に供した。

現地実験は大分県農業技術センター内圃場を使用して行った。第3表は圃場状態とヒドロキシャルミニウム施用量を示す。試験圃区は、1圃区の大きさが $4 \times 40 \text{m}^2$ で5圃区あり、真中に無施用区を設置した。ヒドロキシャルミニウム施用法は、a.畑状態施用の場合、原液を2倍に希釈し、液の散布、攪拌2回であり、b.湛水状態施用の場合、湛水代かきで土壌と混合、2日後落水であった。現地実験は、ヒドロキシャルミニウムが試験圃場に施用されて1年経過後に行った。実験は、ヒドロキシャルミニウム施用効果を調べるために、第3表に示す5圃区に対し、①液性・塑性限界試験、②pF-水分曲線、③バーグラフ剪断試験、④ロータリー耕による耕比燃費試験などを行った。バーグラフ剪断試験とは現場一面剪断試験のことである。

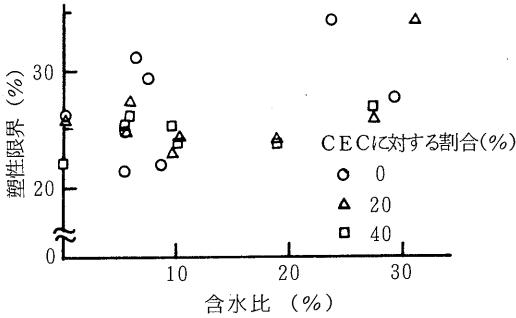
室内実験

(1) 液性・塑性限界の変化

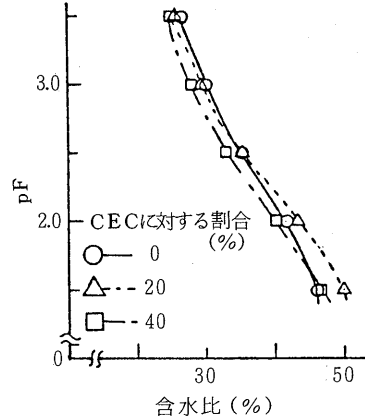
第1、2図は供試土についての実験結果である。液性・塑性限界試験開始時の含水比が自然含水比より低下するにつれ、液性・塑性限界は減少するが、ヒドロキシャルミニウムの添加が液性限界や塑性限界に与える影響は顕著でない。しかし絶乾土にヒドロキシャルミニウムを添加した場合、液性限界、塑性限界は明らかに低下した。これらのことから、供試土をかなり乾燥しないとCECの20、40%の添加量では効果が現れないと思われる。また、供試土のCECが15.6me/100gと重粘土としては小さい値であったことも、液性限界、塑性限界に明瞭なる違いが認められなかった一因であろう。



第1図 風乾に伴う液性限界の変化



第2図 風乾に伴う塑性限界の変化



第3図 ヒドロキシャルミニウム添加量の違いによるpF-水分曲線

0.80以上が畑転換における耕耘作業のためには理想的な値としている。供試土をこの値から判定するとまだまだかなりの改良が必要な土壌である。

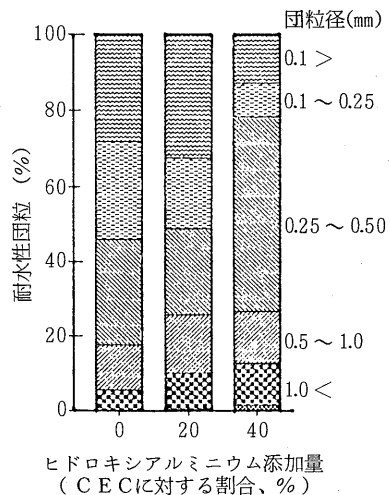
(3) 土壌団粒の耐水性

土壌団粒の耐水性については、2mm目ふるい通過の風乾土に対し、一定量の水あるいはヒドロキシャルミニウム+水を添加し、その供試土を陰干しし、白く乾かない前に手のひらで軽くもみほぐすことができるまで乾燥し、その後、24時間水で毛管飽和した後、水中浸漬を24時間、次に往復振とうを2時間行った後、25分間水中篩別によ

(2) pF-水分曲線

ヒドロキシャルミニウム添加土、無添加土のpF-水分曲線を第3図に示す。pF2.0以下ではヒドロキシャルミニウム添加効果は表れていない。このことは水分の多い場合にはヒドロキシャルミニウム添加効果に差異がないことが分る。pF2.5以上になると添加量の増加とともに含水比が減ってきており、土の団粒化に伴い土の構造が少しずつ変化していると思われる。島崎ら²⁾は、最大容水量の約80%以下の水分量で反応させるとヒドロキシャルミニウムによる団粒形成効果が顕著に認められるとしている。供試土における最大容水量の約80%はpF2.5付近の水分量に相当する。このことからヒドロキシャルミニウム添加がpF2.5付近から土の物理性をわずかながら変化させていると考えられる。

中野¹⁾は、畑地化の進行程度を表す土壌の易耕性の指標として、塑性限界とpF1.8含水比との比率(塑性限界/pF1.8)を提案している。いま、ヒドロキシャルミニウム無添加土、添加土についてこの指標を算定してみると、イ=0.56、ロ=0.53、ハ=0.59となる。中野によると



第4図 土壌団粒に対するヒドロキシャルミニウムの効果

る団粒分析試験により検討した。第4図に示すように耐水性団粒の含量はヒドロキシアルミニウムの施用量が多くなるに従って増加した。特に、0.25mm以上の耐水性団粒は大幅に増加している。この結果は、ヒドロキシアルミニウム添加が土壌の団粒化を促進する効果があることを示すものであり、そして土の透水性がヒドロキシアルミニウム添加量の増加とともに大きくなることを示唆するものである。

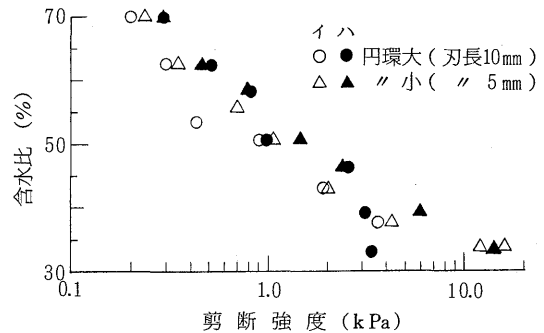
(4) 透水係数

ヒドロキシアルミニウム添加効果というのが土壌の団粒化にあるので、透水係数にはその影響が顕著に表れるものと推測される。第2表に透水試験の結果を示す。横方向、縦方向の透水係数においてヒドロキシアルミニウム添加効果が違っている。すなわち、横方向透水係数に対してはヒドロキシアルミニウム添加による効果が少なく、透水係数はほとんど変化しない。これは試料の作成が円筒形への圧縮による締固めの方法であるため、水平な層が形成されていたと考えられる。縦方向透水係数ではヒドロキシアルミニウム添加効果が大きく、対CEC 20%ヒドロキシアルミニウム添加でも透水係数が大いに改良される、その後ヒドロキシアルミニウム添加量を増加しても透水係数は漸増するのみである。この縦方向透水係数の改良は他の土壌要因へも影響を及ぼしていることが考えられる。例えば、土の含水比の低下へとつながるはずであり、この含水比の低下は農業機械による耕耘作業——耕耘碎土性並びに機械走行性(易耕性)——への改善につながるものと思われる。

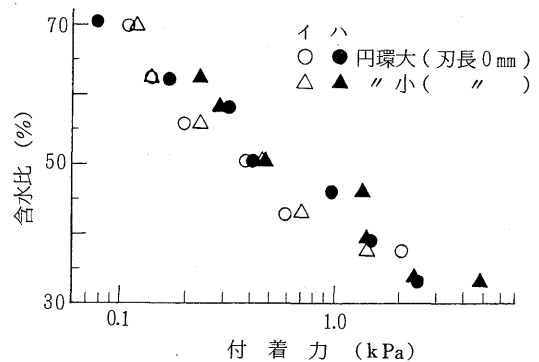
(5) 剪断強度、付着力の含水比による変化

SR-II型土壌抵抗測定器による摩擦抵抗試験、剪断抵抗試験と同様の試験を大小の円環(直径3と6cm, 刃長0と5, 10mm)を用いて行った。

実験は供試土の自然含水比より水分量を増加させて行った。供試土のヒドロキシアルミニウム添加量はCECに対し0, 40%である。第5, 6図に示すように、刃の有無と円環の大小によるそれらの差異がみられなかった。剪断強度、付着力とも含水比が増加するとそれらの値は減少する。ヒドロキシアルミニウム添加土は無添加土に比べ同含水比では、剪断強度、付着力とも増加している。ヒドロキシアルミニウム添加により土壌は団粒化し、含水比の低下を招いている。そして剪断強度、付着力が自然含水比より大きい含水比での実験であったことなどから、これら剪断強度、付着力のみからは、ヒドロキシアルミニウム添加効果を評価することはできないと考える。



第5図 練返し粘土の剪断強度と含水比の関係
(CECに対する割合：イ=0, ハ=40%)



第6図 付着力の含水比による変化
(CECに対する割合：イ=0, ハ=40%)

(6) 一面剪断試験

機械による土壌の破砕性に対するヒドロキシアルミニウム添加効果を調べるためには、土の剪断強さ並びに付着力を知る必要がある。ここでは、改良型一面剪断試験機を使用し、圧密非排水試験(CU)を行った。また、付着力の試験は土と鉄板との剪断試験を行い、その剪断強さをもって土の付着力とした。自然土とヒドロキシアルミニウムの添加量がCECに対して40%の添加土とのCU試験の結果は、ヒドロキシアルミニウム添加により剪断応

第4表 付着力・剪断応力比

垂直応力 σ (kPa)	付着力/剪断応力 イ/ロ	
49	1.09	0.39
98	0.86	0.48
196	0.85	0.64
294	0.80	0.56

力が増加し、付着力が減少した。これだけではヒドロキシャルミニウム添加効果ははっきりしないので剪断応力と付着力の比を取る（第4表）。第4表に示されるように垂直応力に対しそれらの比が自然土では、1.09~0.80の範囲なのに、ヒドロキシャルミニウム添加土では、0.39~0.64と低減していることが分かる。農業機械による耕耘作業において、問題となるのは土の破碎し易さと走行し易さであると考えられるのでヒドロキシャルミニウム添加によりこれらの点が改善されることを剪断試験結果は示し、易耕性評価のための指標への一つの足掛りを示していると考えられる。

現地施用効果

ヒドロキシャルミニウム施用効果について、実際に現地での施用に関して十分に土壌と混合しているのか、そして1年経過後の持続効果を評価するために2、3の検討を加えた。

(1) 土の含水比、乾燥密度

第5表に現地実験時の含水比、乾燥密度とpHを示す。表より現場採取土の含水比、乾燥密度及びpHから、ヒドロキシャルミニウム施用効果は乾燥密度にはほとんど現れないが、他方pH、含水比では少しずつ効果が認められる。pH、含水比はヒドロキシャルミニウム施用により低下している。このヒドロキシャルミニウム施用によるpHの低下は、作物生育への阻害となる。この改善策として白石³⁾はカルシウムとマグネシウムあるいは珪酸苦土石灰などを補給する必要があるとしている。また湛水状態施用土に比べ、畑状態施用土の方が含水比が低く、土が乾燥していることが分かる。このように施用方法にて差異があり、ヒドロキシャルミニウムを畑状態の時に施用した方が効果が顕著である。すなわち、土がなるべく乾燥している時にヒドロキシャルミニウムを施用する方が効果が大きい。これは耕耘作業、走行能の改善となっていると考えられる。

第5表 供試土の実験時条件

No.	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	pH
A	42.5	1.123	6.4
B	37.0	1.128	5.3
C	36.5	1.091	5.1
D	40.5	1.183	5.7
E	40.8	1.187	5.7

(2) 液性・塑性限界

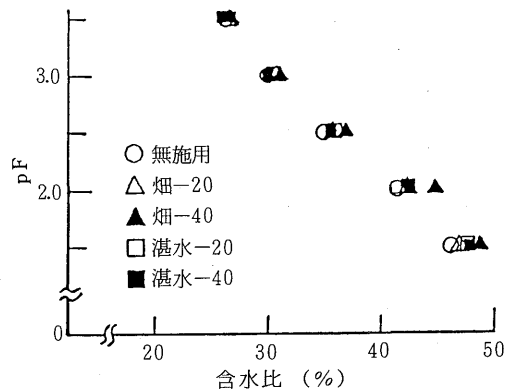
第6表に現場から採土した土の液性・塑性限界試験結果を示す。室内でヒドロキシャルミニウムが丁寧に添加され混合された液性限界試験結果でも、初期含水比が風乾状態（約5.3%）まではヒドロキシャルミニウム添加効果がみられず、絶乾土でのみそれが認められていた。現場採取土の液性限界試験において、湛水状態ではヒドロキシャルミニウム施用効果がほとんど認められないが、畑状態施用土では若干効果がみられる。また塑性限界値も第6表に示すように無施用土に比べ畑状態施用土では低下し、湛水状態施用土では上昇しており、液性限界と全く同様な傾向であった。これは畑、湛水状態での施用方法の違いと、そして液性限界、塑性限界測定開始時の含水比が約2.3、2.4%と畑状態施用土では絶乾状態に近い含水比であったことも一因であると推測する。

第6表 土の液性・塑性限界

No.	初期含水比 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)
A	5.3	53.5	24.8
B	2.3	52.3	23.3
C	2.4	52.4	21.2
D	4.0	54.0	25.7
E	3.5	59.7	29.1

(3) pF-水分曲線

pF-水分曲線は、土の保水性を示すものであり、ヒドロキシャルミニウム施用により土の団粒化が促進され、疎水化が進んでおれば、同じpF値における含水比が減少するはずである。現場採取土のpF-水分曲線を第7図に示す。現場採取土に関してはほとんど施用効果はみられ

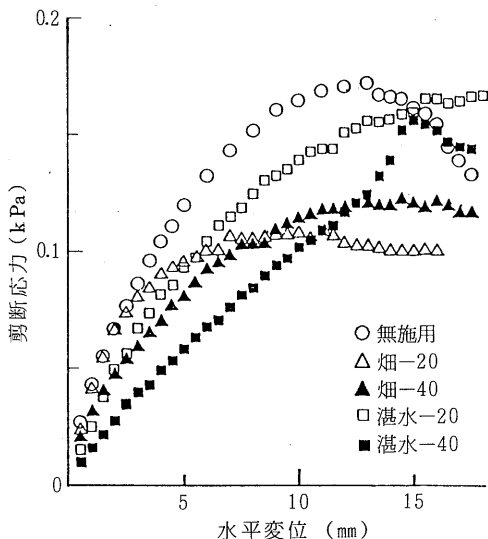


第7図 pF-水分曲線

ない。室内実験でのヒドロキシャルミニウム添加土は、添加割合が0%と40%（CECに対する割合）におけるpF 3.0含水比の差で2.0%となっており、施用効果が認められていたことから、ヒドロキシャルミニウムと土とのなじみの違いだと考える。

(4) バーグラフ剪断

バーグラフ剪断は、表層5cmでの土の剪断であり、圃区を表層土壌状態の違いを如実に示すものと考えられ、ヒドロキシャルミニウム添加効果の違いも顕著にできることが推測される。第8図にひずみと剪断応力との関係を示す。各ヒドロキシャルミニウム施用土は明らかにひずみの増加と共に剪断応力が無施用土に比べ小さくなっており、特に畑状態施用土では顕著である。そして、湛水状態施用土40%（CECに対する割合）でも、ピーク剪断力前までは剪断力の低下が著しい。これを第7表に示すピーク剪断力でみると、無施用土と湛水状態施用土ではあまり差異がみられないが、畑状態施用土ではピーク剪断力が大きく低下している。畑状態施用土では、ヒドロキシャルミニウム施用の効果が顕著であり、現場でも土を乾燥状態でヒドロキシャルミニウムを施用すればかなり土の粘着力が小さくなり、土の砕土性が改善されることが分かる。



第8図 ひずみと剪断応力(バーグラフ剪断より)

最後に、同時に実施されたロータリーによる耕耘実験の耕比燃費結果を第7表に示す。耕比燃費は全燃費から基礎的燃費（ロータリーを空転させながらトラクターを空走させた時の燃費）を差し引いた値として求めた。表

よりヒドロキシャルミニウム施用効果は畑状態施用区で10%あまり向上しているが、湛水状態施用区ではむしろ大きな値となった。これは土壌水分条件が影響したものと推定される。

第7表 ピーク剪断力(τ_i)と耕比燃費

No.	τ_i^a (kPa)	耕比燃費 ^b	同左指数 ^b
A	17.2	18.22	100
B	10.9	16.14	88.6
C	12.3	16.14	88.6
D	16.7	21.64	118.8
E	15.7	22.64	124.3

a : バーグラフ剪断より

b : 大分県農業技術センター資料による

総 括

重粘土の土壌改良のためヒドロキシャルミニウム添加効果を土の物理性、力学性の面から検討した。その添加効果は特に透水係数に顕著であることが判明した。また、土を十分に乾燥してからヒドロキシャルミニウムを添加すれば土壌の物理性は改善される。ヒドロキシャルミニウム添加により、液性限界、塑性限界は低下し、pF-水分曲線においては、同じpF値に対する含水比は低下する。ヒドロキシャルミニウム添加効果はこのように土を団粒化して、土の構造に変化をもたらし、吸着水を低下させることにあると考えられる。耕耘作業における易耕性評価の一つの目安として、付着力と剪断応力との比を取り上げた。この比はヒドロキシャルミニウム添加により無添加土に比べ大幅に減少した。

ヒドロキシャルミニウム施用1年経過後の現地実験結果から、現場ではヒドロキシャルミニウムを湛水状態で施用した場合、易耕性、走行性が少し向上すると思われる。畑状態でヒドロキシャルミニウムを施用した場合は湛水状態に比べかなり効果がみられた。実験結果を総合して考えると、ヒドロキシャルミニウムは土の含水比が低い方に添加した場合、特に効果が現れることが分かった。よってヒドロキシャルミニウムは重粘土の土壌改良剤として有効であるが、その施用時の含水比には十分に注意する必要がある。問題点は土壌へのヒドロキシャルミニウムによる改良効果の持続性である。この点については、白石⁴⁾によると、重粘土水田へのヒドロキシャルミニウム施用後6年を経過しても耐水性団粒の含量にお

いて効果が認められたとしている。またヒドロキシャルミニウムの安全性、作物生育への影響について、白石³⁾は、ヒドロキシャルミニウムの施用が土壌pHの低下、置換性塩基含量の減少を伴うので、施用量の多い場合には作物の生育が阻害され減収を招くので、ヒドロキシャルミニウム施用後適当な時期（最低2週間以上経過後）にカルシウムとマグネシウムあるいは珪酸苦土石灰などを補給する必要があるとしている。

謝 辞

ヒドロキシャルミニウム（市販名ハイドラール）を提供して頂いた多木化学株式会社には、ここに記して謝意を表す。

引 用 文 献

1) 中野啓三：重粘土転換畑における易耕性の評価—一

性限界とpF1.8—含水比の関係—。土壤の物理性，**48**，38—43（1983）

- 2) 島崎英紀，松井敏彦，森純生：ヒドロキシャルミニウムによる重粘土壌の耐水性団粒形成（ヒドロキシャルミニウムの利用に関する試験成績 第1集），九州土壤肥料研究会・土壤改良剤研究会，福岡（1981）pp. 106—115
- 3) 白石勝恵：ヒドロキシャルミニウムの土壤物理性改善効果に関する研究（第3報 土壤に対する施用効果）。九農試報，**22**(2) 203—257（1982）
- 4) 白石勝恵：重粘土水田の土壤物理性改良に対するヒドロキシャルミニウムの施用効果。学位論文（東京農業大学）（1984）