

File No. 50

肥料の固結

肥料の固結とは肥料粒子同士が固まって、硬い塊状になったことである。通常、肥料の固結は養分含有量など成分の変化がないが、施肥時に固結した塊により散布しにくかったり、散布できなかつたりして、施肥効率が落ちるだけでなく、所定量を均一に撒けなかつたとすれば、作物の生育のも悪影響を与える。特に機械施肥が発達した現在では、固結に対する許容性が狭まり、軽い程度の固結でも施肥作業に支障をきたす。従って、固結の有無は化学肥料の品質評価に非常に重要な指標であり、固結の理由で肥料が回収・廃棄処分される事例が多数ある。

肥料固結の根本な原因は肥料粒子の表面に水分（遊離水）が存在していることである。製造時の乾燥が不十分で水分が高い状態で出荷してしまって、粒子内部の残存水分がゆっくり表面に移行したほか、流通過程に何かの原因で肥料が空気中の湿気を吸着したことがある。特に梅雨や夏季のような高温多湿季節で製造した肥料や長期保管で気温差の大きい夏冬シーズンを経過した肥料は固結が発生しやすい。また、農家が開封した肥料を使い切らず、残りが吸湿して固結する現象もよくみられる。

肥料固結は 2 種類がある。一つは「真正固結」と呼ばれる状態で、固まった塊に強い外力を加えても崩れない。酷い場合は、肥料は個々の粒子が見分けできないほど全体が岩石のようになっている（図 1）。もう一つは「疑似固結」と呼ばれ、粒子が互いに嵌め込み、大小の塊を呈するが、外力を加えれば、すぐバラバラの状態に戻される（図 2）。

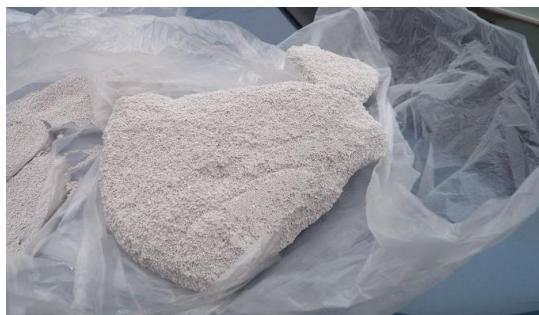


図 1. 流通過程の破袋による化成肥料の固結



図 2. 荷重による硫安ブリケット品の偽似固結

真正固結は次のようなメカニズムで起きる。

- ① 肥料粒子表面にある遊離水が粒子表面の成分を溶解し、肥料成分の飽和溶液を生成する。
- ② 肥料成分の飽和溶液が粒子と粒子の間に液架橋を形成する。
- ③ 肥料成分の飽和溶液が温度や湿度の変化により水分が蒸発して再結晶が起こり、または成分間の化学反応により生成物の結晶が析出する。結晶の発生により液架橋が固架橋に変化し、肥料粒子を接着させる。
- ④ 肥料成分の溶解と再結晶が繰り返して起こると、肥料粒子間の固架橋の数量と範囲が次第に増加し、粒子同士がくっついて大きな塊となってしまい、内部も固くなる。

図3は肥料の真正固結模式図を示す。

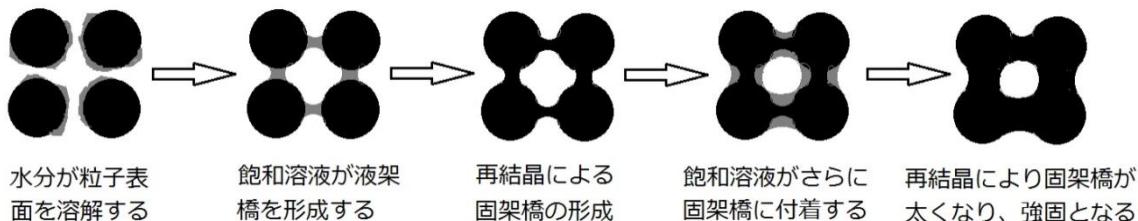


図3. 真正固結の模式図

疑似固結は粒子が互いに嵌め込むことによって生じた結合現象である。真正固結と異なって、粒子間に液架橋や固架橋の発生がほとんどなく、保管時の堆積が主因で、荷重により粒子同士が接触して嵌め込みが発生し、嵌め込み部位の摩擦力とファンデルワールス力、表面粘着力等により結合される（図4）。肥料の粒子が変形されやすく、粒径が小さく、不揃い、形状が不規則、小粒子や粉末が多く、保管期間が長い場合は発生しやすい。疑似固結の場合は外部から一定の力を加えれば、すぐ嵌め込みが解消され、バラバラの状態に戻る。なお、疑似固結はほぐされれば、肥料施用に支障が出ない。

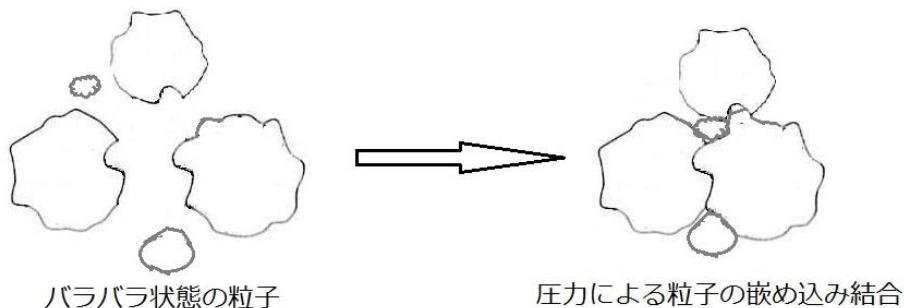


図4. 偽似固結の模式図

肥料固結を引き起こす要因は内部的なものと外部的なものがある。内部的なものは肥料の含水率、吸湿性、粒子の形状などがあり、外部的なものは大気の相対湿度、製品包装時の温度、保管時の堆積高度（重量）と保管期間、流通過程の破袋などがある。また、これらの要因が複合的に作用する場合が多い。

外部的な要因を無視する場合は肥料の固結性は次のような傾向がある。

- ① 単肥： 硝安>尿素>塩安>硫安>DAP>塩化加里>過りん酸石灰=重過りん酸石灰>硫酸加里
- ② 化成肥料： 高度化成>普通化成、
- ③ 化成肥料中の窒素成分種類： 硝酸系化成>尿素系化成>塩安系化成=硫安系化成
- ④ 粒子形態： 粒径が小さく、粉の多い肥料>粒径が大きく、粉の少ない肥料
粒子表面が不規則の肥料>粒子表面が平滑の肥料

肥料の固結防止には上述の固結要因を取り除くことが基本である。その手法としては

- ① 化成肥料や BB 肥料を設計するに当たって、各肥料成分が混合後の臨界相対湿度の変化を把握し、吸湿性の低い配合処方にする。
- ② 肥料生産工程では造粒後の乾燥の温度と時間を制御して、普通化成は含水率を 1.5%未満、尿素または硝安を原料とする高度化成は含水率を 1.0%以下、できれば 0.5%以下に抑える。
- ③ 肥料粒子の粒径を均一にして、粉や小さい粒子を取り除き、粒子表面を平滑にする。
- ④ 包装袋が透湿性の低い材質の使用、脱気包装、堆積高度の制限、室外で長期間保管をしない。

などがある。しかし、設備的、技術的または経済的な理由で、上記の施策が取れない場合は、固結防止材を使用することもある程度有効である。現実に固結防止材は尿素、硝安、化成肥料の固結防止に広く使用されている。

固結防止材はその成分と性質により有機系固結防止材と無機系固結防止材に、その作用メカニズムにより化学的防止作用と物理的防止作用に分けられる。よく使われているのは無機系のシリカゲル、タルク（滑石）粉末、クレー、シリカヒュームと有機系の界面活性剤である。

無機系固結防止材はほとんど粉末状のもので、肥料粒子の表面に付着して、液架橋の発生を阻害する。再結晶で固架橋が発生しても架橋の片側は固結防止材の微粒子なので、脆くて崩壊しやすい。但し、これらの固結防止材粉末の添加量 3%以上が必要で、肥料有効成分の低下と施肥時の粉塵飛散が問題となることもある。

シリカゲルは無機系固結防止材の中には異類のもので、強力な乾燥剤であるため、肥料粒子表面に生成した遊離水を吸着してしまい、肥料の含水率を下げる効果が抜群である。また、球状粒子であるため、化成肥料や BB 肥料に混ぜても粉塵の問題が発生しない。固結防止材に使う A 型シリカゲルは低湿度での水分吸着力が特に大きく、室温に於いて吸着した水分を再度に放出しない。相対湿度 20%の低い湿度でも自身重量の 10%の水分を吸着できる。相対湿度 80%の場合は自身重量の 34%以上を吸着するなど、化成肥料や BB 肥料に 0.5%位を添加すれば、優れた固結防止効果がみられる。

一方、有機系の界面活性剤は肥料粒子表面に発生した肥料成分の飽和溶液に溶け込み、肥料成分の再結晶の際に結晶中の分子間凝集力に影響を及ぼし、結晶の形成を阻害して、粒子間に固架橋の形成を妨害する。また、界面活性剤が優れた表面活性を有し、肥料粒子の表面に均一に拡散されやすく、粒子間の摩擦力とファンデルワールス力、表面粘着力を減少する効果もある。固結防止材に適用されるのは主に陰イオン（アニオン）界面活性剤と陽イオン（カチオン）界面活性剤の 2 種類である。非イオン（ノニオン）界面活性剤と両性界面活性剤は固結防止作用が弱く、ほとんど使われていない。

界面活性剤は添加量が 0.05～0.1%だけで優れた固結防止効果が見られ、コストパフォーマンスが良いため、1980 年代から尿素、硝安、化成肥料の固結防止材として使用されるようになり、現在は固結防止材の主流となっている。

肥料種類により単一の界面活性剤はその固結防止効果に局限性があるため、通常 2 種類以上の界面活性剤が配合して使用する。また、界面活性剤と無機系固結防止材（タルク、クレーの粉末など）と同時に使用することは相乗効果があり、固結防止効果がさらによくなる。