

報 文

現地試験による石膏の代掻き濁水浄化効果の検討
—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(3)—

赤 江 剛 夫*

Field Test of Gypsum Application Effect on Clarification of Puddled Water
—Clarification Method of Puddled Suspension by Ca Salt Addition(3)—

Takeo Akae

Faculty of Agriculture, Okayama University

Summary

In previous papers, the author determined the flocculation conditions of the puddled water of Kotoh area by Ca application on the basis of the hetero coagulation theory. The results were examined by a laboratory test using 8 flocculation aids. The agreement of the theoretical and experimental results was good and the puddled water was found to flocculate at conditions of Ca concentration $> 1 - 2 \text{ mmol/dm}^3$ or below $\text{pH} < 5$. To realize the condition, gypsum application of 1 g/dm^3 was considered to be the most effective among the aids tested. However, those results were confirmed only in 1 dm^3 volume of the suspensions and it is still unknown that the treatment is effective on the actual conditions of a puddled paddy field.

In this paper, gypsum application was examined in the test plots made on the two paddy fields of the area. The effect of basal fertilizer of usual rate on the flocculation was also tested. In addition, the effect of this treatment on the whole effluent load out of the paddy field was estimated. The findings were as follows; (1) gypsum application rate of 30 kg/10a was sufficient to decrease the suspended solid (SS) concentration under 0.1% in 12 hours. The criterion Ca concentration in the puddled water at rapid flocculation was $1 - 2 \text{ mmol/dm}^3$ in the field test, which coincides well with the results of the laboratory test. (2) Basal fertilizer promoted flocculation to some extent and did not hinder the flocculation by gypsum. (3) The rate of 30 kg/10a gypsum was estimated to reduce $70 - 80\%$ of the whole effluent of SS of the puddled water.

Key words: paddy field, puddled water, flocculation, gypsum, suspended solid

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69, 3-10, 1994)

I. はじめに

滋賀県では毎年の代掻き時に田面で発生する濁水が、河川や琵琶湖に流入するために生じる富栄養化、生態系への汚染問題が重大な問題となっている。過去10年以上にわたり、さまざまな方法でその解決が図られているが、未だに決定的な方法は得られていない。特に湖東の宇曾川流域では、濁水の発生が顕著であることが県の調査により報告され¹⁾、早急に効果的な対策の確立が求められ

ている。

これまでの検討の結果、宇曾川流域のうち湖東町土壌は中島土壌統に分類され、主要な粘土鉱物はハロイサイロであることが判明し、これをCaイオンにより凝集浄化する条件をヘテロ凝集理論より推定した。ついで、室内実験で凝集条件を確かめた。その結果、平衡外液中のCaイオン濃度を、 0.001 mol/dm^3 以上にすればよいことが明らかになった²⁾。そこで、Caを多く含む土壌改良資

*岡山大学農学部 〒700 岡山市津島中1-1

キーワード：水田、代掻き水、凝集、石膏、懸濁物質

材と肥料のうちから、凝集剤として最も適当なものを検索したところ、石膏 $1g/l$ を濁水上に散布すれば十分な凝集効果が得られることが分かった³⁾。

しかしながら、この結果は $1dm^3$ 程度の量のピーカー中の懸濁液における結果であり、実際の水田での代掻き作業における混合条件、表土や肥料などの多様な物質の存在する複雑な条件においても同様な結果が得られるかどうかは不明である。そこで、石膏散布の凝集浄化効果を実際の条件において確かめるために、湖東町水田の2カ所に試験区を設け現地代掻き試験を行なった。その際、通常の使用料の元肥施用が石膏の凝集効果に与える影響も調べた。さらに現地試験で得られた懸濁物質濃度の時間変化に基づいて、石膏処理が懸濁物質の全排出負荷量をどの程度削減するかを推定した。

II. 現地試験の方法

宇曾川水系中でも濁水濃度が高最も高い五の谷川、澗川流域の湖東町内水田に試験区を設けることにした。すでに室内試験を行っている中島統土壌に含まれた中一色地区、大沢地区において、試験代掻き用の用水が得られる水田を試験用に借用した (Fig.1)。大沢地区水田においては1991年10月26日～10月28日、中一色地区水田においては11月16日～11月20日にかけて、現地試験を実施した。

現地の慣用的な代掻き実施手順に従って代掻き作業を実施した。荒起こしを行った後、用水を約5cm水深まで導入した。畦畔板 (塩化ビニル製波板) で水田の一部約 $20m \times 40m$ を畦畔に沿って仕切って試験区とし、その内部を念入りに代掻きした。代掻き終了後ただちに、試

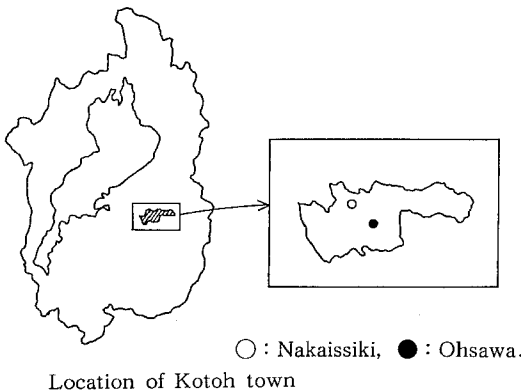


Fig. 1 Location of Kotoh town and the field test plots.

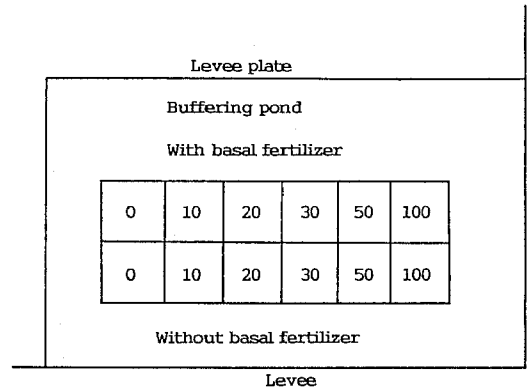


Fig. 2 Diagram of the test plot established in the paddy field.

Numbers in the section denote the rate of applied gypsum in $kg/10a$.

験区内に6連2列合計12区の $5m \times 5m$ の試験枠を設けた (Fig.2)。各区の仕切りには塩ビ波板の畦畔板を用いた。仕切畦畔板には畦塗りをし相互に田面水の移動が生じないように配慮した。

仕切りを行なった後ただちに石膏 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) を $CaSO_4$ 相当量として0, 10, 20, 30, 50, 100 $kg/10a$ 代掻きをした水面上に様に散布した。半分の6区には、元肥として合成肥料「8-8-8」(N,P,Kの含有量各8%)を、当地区での通常施用量である20 $kg/10a$ 、石膏と併せて施用した。石膏を散布してから、1, 2, 3, 6, 12, 24, 48時間後に、表層2~3cmの田面水を水面を乱さないように気をつけながら柄杓で約500ml採水容器に採取した。採取後ただちに携帯用pHメーターでpHを測定した。

採水した田面水を実験室へ持ち帰って、懸濁物質濃度 (SS), Caイオン濃度, 電気伝導度 (EC) を測定した。イオン濃度は、原子吸光法で測定した。

III. 実験結果と考察

1. 代掻き水中懸濁物質濃度の時間的変化

(1) 中一色試験地

代掻き水の懸濁物質濃度と石膏散布後の時間の関係を Fig.3に示す。中一色では、代掻き直後の対照区の懸濁物質濃度は約4%と非常に濃厚であった。その後時間の経過とともに懸濁物質濃度は徐々に減少するものの、元肥無しの対照区の懸濁物質濃度は24時間後で0.7%, 48時間後でも0.3%と長時間にわたって高い濃度が続いた。肉眼による観察でかなり透明に近いと見えるのは懸濁物質濃度で0.1% (=1000ppm) 以下となった状態である。

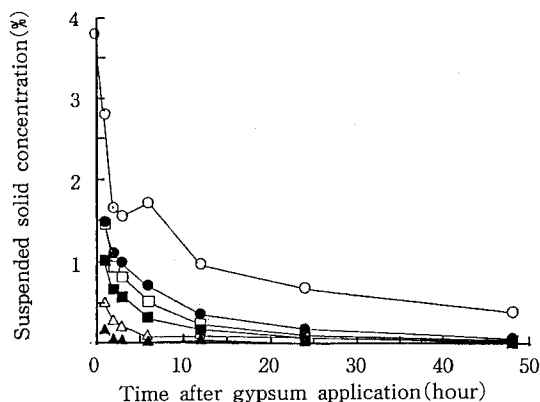


Fig. 3a Change of suspended solid concentration in the puddled water after gypsum application. (Nakaissiki without basal dressing)
Gypsum application rates are; ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

対照区の懸濁物質濃度は、代掻き後1週間経過しても田面水の濁りが持続する当地区代掻き水の実態を裏付ける結果となった。

一方、石膏を添加した場合に特徴的なことは、懸濁物質濃度の低下が散布直後の比較的短い時間帯に集中的に生じたことである。例えば懸濁物質濃度が1%以下まで低下する時間を見ると、対照では12時間要したのに対し、10kg/10a添加では3時間、20kg/10a添加で2時間、30kg/10a以上の添加では1時間以内で1%以下となっている。さらに0.1%の低懸濁物質濃度に達する時間については、100kg/10aで3時間、50kg/10aで6時間、30kg/10aで12時間、20kg/10a以下でも24時間後であった。このように対照区と比べ高濃度の濁水を速やかに0.1%程度の濃度までに落とす顕著な浄化効果が認められた (Fig. 3a)。しかし、懸濁濃度曲線の勾配は時間とともに低下しており、0.1%程度の濁水をさらに低濃度まで落とすのはかなり困難で、100kg/10a以上の多量の添加が必要となる。

元肥を同時に施用した場合 (Fig. 3b)、石膏0kg/10aでは元肥を施用しない場合と比べ20~30%低い懸濁物質濃度を示した。石膏を少量 (10kg/10a, 20kg/10a) 添加した場合にも元肥なしの場合より幾分低い値を示した。30kg/10a以上では、元肥施用による差は見られない。元肥は懸濁物質濃度の減少に幾分有効ではあるものの、元肥だけでは不十分であり、石膏の施用が不可欠である。

(2) 大沢試験地

大沢試験地で対照区の元肥無しの懸濁物質濃度は、代掻き直後1.05%であり、中一色試験地の3.8%よりもかなり小さい値を示した。その後の時間の経過に従う減少

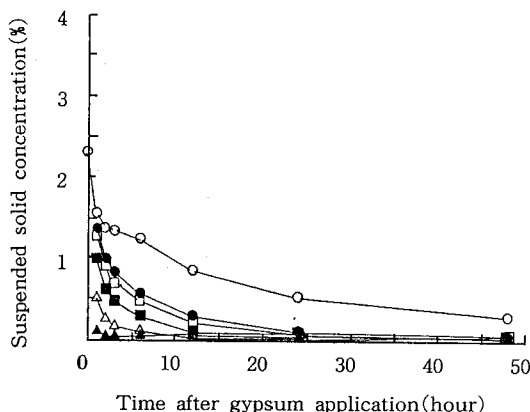


Fig. 3b Change of suspended solid concentration in the puddled water after gypsum application. (Nakaissiki with basal dressing)
Gypsum application rates are; ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

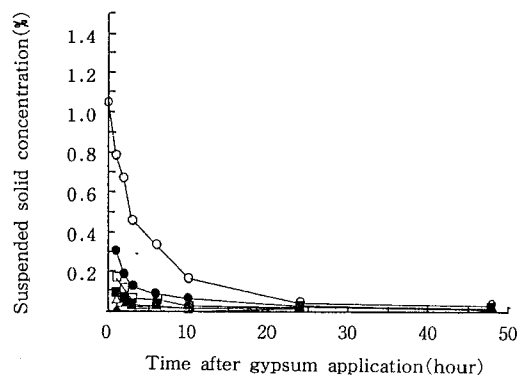


Fig. 3c Change of suspended solid concentration in the puddled water after gypsum application. (Ohsawa without basal dressing)
Gypsum application rates are; ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

も速やかに進み、24時間で0.1%以下となった (Fig. 3c)。石膏添加の効果は、中一色試験地よりも顕著であった。10kg/10aの添加物でも対照区の懸濁物質濃度の25%程度の値をとり、6時間後に0.1%以下となった。添加量の増加に伴う凝集効果の増大は著しく、30kg/10aでは1時間後に0.1%以下となった。この添加量で凝集効果はほぼ最大限発揮されており、それ以上に添加量を増大させても凝集効果の増大はほとんどみられなかった。

大沢試験地に元肥を施用した場合 (Fig. 3d)、石膏無添加時においても元肥なしの場合の約1/2程度に懸

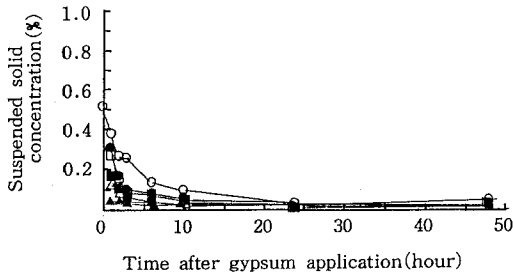


Fig. 3d Change of suspended solid concentration in the puddled water after gypsum application. (Ohsawa with basal dressing)
Gypsum application rates are: ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

濁物質濃度が減少し、10時間後には0.1%を下回った。大沢試験地では、中一色よりも元肥の効果はかなり大きいことが認められた。石膏添加の効果は10kg/10aの少量でも著しく、元肥無しの場合よりもさらにやや小さい値を示した。この場合も30kg/10aの石膏添加で凝集効果は最大限発揮され、2時間で0.1%以下となった。

以上のように中一色、大沢試験地とも、石膏の凝集効果は顕著であった。添加量としては30kg/10aで十分な効果が得られた。元肥を施した場合には、懸濁物質濃度が無添加よりもやや低くなる傾向が、中一色、大沢ともに認められた。これは、溶解した肥料成分により代掻き

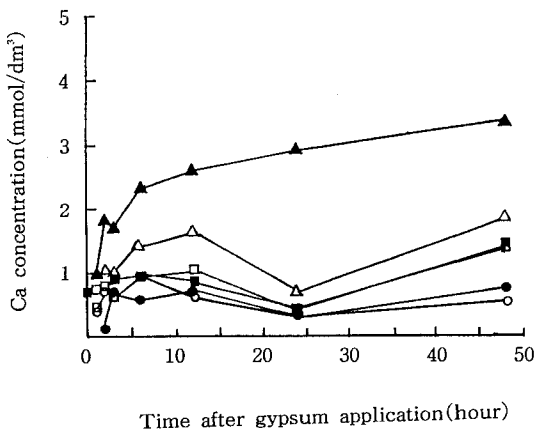


Fig. 4a Change of Ca concentration of the puddled water after gypsum application. (Nakaissiki without basal dressing)
Gypsum application rates are: ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

水中塩濃度が幾分上昇したためであると考えられる。またこの効果は、相対的に細粒分の少ない大沢試験地で大きく現れた。

2. 代掻き水中のCaイオン濃度と凝集効果

(1) Caイオン濃度の時間変化

代掻き水中のCaイオン濃度は経時的に増大し、Caイオン濃度の増大とともに凝集も進行する。このときの増加速度と到達濃度は石膏添加量に依存する。

Fig. 4aは、中一色の元肥無し区の代掻き水中Caイオン濃度の時間的変化をプロットしたものである。対照区のCaイオン濃度は、終始1mmol/dm³以下の濃度である。10kg/10a添加をしても代掻き水中に検出されるCaイオン濃度は、無添加とほぼ同程度の濃度である。20kg/10a, 30kg/10aでは散布後12時間以降になって対照区よりもCaイオン濃度の増大が顕在化した。その程度は対照区と比べ20-30%高い程度である。48時間後は対照区よりも2倍程度高い値を示した。50kg/10a, 100kg/10aでは散布後6時間までCaイオン濃度の急速な増大が認められ、その後も増加傾向は継続した。24時間後の値を除き、100kg/10aは50kg/10aの約2倍のCaイオン濃度となった。なお、24時間後の測定値が小さく出た理由については不明である。

元肥施用した場合も全体的な変化の傾向は元肥無しの場合に良く類似していた。0kg/10aでは0.7mmol/dm³程度で推移し、10kg/10a, 20kg/10aではこれより30%ほど高い1mmol/dm³でほぼ一定であった。30kg/10a以上

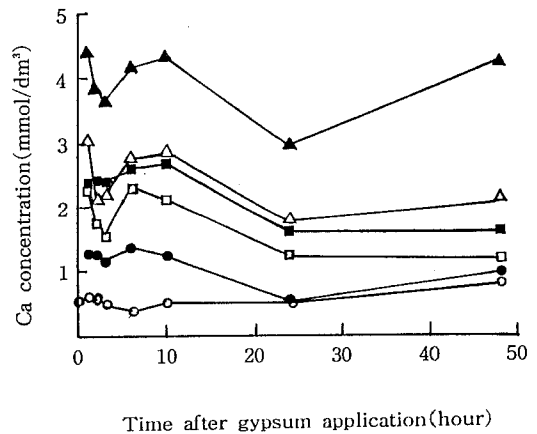


Fig. 4b Change of Ca concentration of the puddled water after gypsum application. (Ohsawa without basal dressing)
Gypsum application rates are: ○:0, ●:10, □:20, ■:30, △:50, ▲:100kg/10a, respectively.

の添加ではかなり明確にCaイオン濃度の増加が生じた。

一方、大沢試験地では、元肥無添加の場合、10kg/10aの添加量でもCaイオン濃度の増大が明らかに生じており、添加量の増大にはほぼ比例してCaイオン濃度の増大が見られた (Fig. 4b)。またCaイオン濃度の絶対値も中一色に比べ、かなり高く10kg/10aで 1mmol/dm^3 を越えている。元肥を添加した場合、添加しない場合と比べややCaイオン濃度が高く、0kg/10a石膏添加でも5分後以降 1mmol/dm^3 を示した。また、10kg/10a以上の石膏の添加にともない、石膏添加量にはほぼ比例してCaイオン濃度が増大した。石膏添加時のCaイオン濃度は元肥無添加の場合とほぼ同じ値であった。

以上に見たように、相対的に凝集傾向の強い大沢試験地土壌では、代掻き水中のCaイオン濃度も高く、添加した石膏量に対するCaイオン濃度増大のレスポンスも敏感であった。これに対し、中一色試験地では30kg/10a以下の石膏添加で凝集効果は現れたが、代掻き水中のCaイオン濃度の顕著な増大はみられなかった。電気伝導度 (EC) は、石膏添加量に応じて増大していることから (Fig. 5)、溶解イオンの総量は低添加量でも増大していることが分かる。したがって、石膏20~30kg/10a添加でCaイオン濃度が増大しなかった原因は、添加したCaのはほぼ全量が選択的に吸着されたためであろう。濃度4%、深さ10cmの濁水中粒子量に対し、石膏20kg/10aは約7 me/100gに相当する。CEC (11me/100g) を考えると、起こり得ないことではない。一方、凝集そのものは、外液中のCaイオン濃度上昇に先だって、粒子表面吸着イオンがCa化されることで進行するものと考

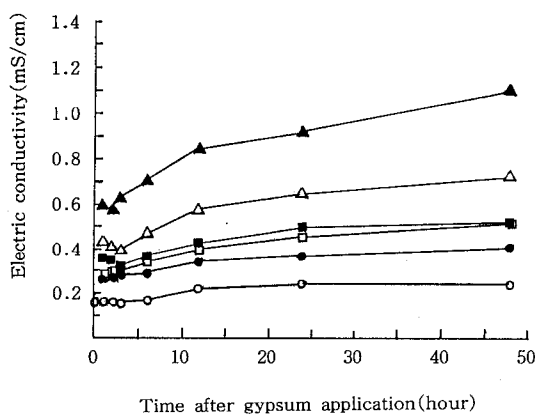


Fig. 5 Change of Electric conductivity (EC) of the puddled water after gypsum application. (Nakai without basal dressing) Gypsum application rates are: ○: 0, □: 10, ■: 20, ●: 30, △: 50, ▲: 100kg/10a, respectively.

えられる。

(2) 懸濁物質濃度とCaイオン濃度

Fig. 6aは中一色試験地で採水した代掻き水について、石膏処理量、採水時間にかかわらず、その懸濁物質濃度をCaイオン濃度に対しすべてプロットしたものである。この図で特徴的なことは、Caイオン濃度が 1.3mmol/l 以上では、全てのサンプルの懸濁物質濃度が非常に低い値を示したことである。すなわち、1時間以上経過すれば0.1%以上の濁水はほとんど発生しない事実上限界のCaイオン濃度が存在し、その濃度が中一色試験地では 1.3mmol/dm^3 なのである。このことは、元肥を加えた場合についても成り立つことがFig. 6aより読み取れる。

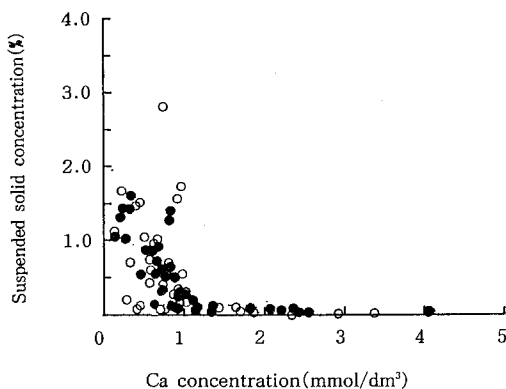


Fig. 6a Suspended solid concentration and Ca concentration in the puddled water of Nakai ssiki. ○: Without basal dressing, ●: With basal dressing.

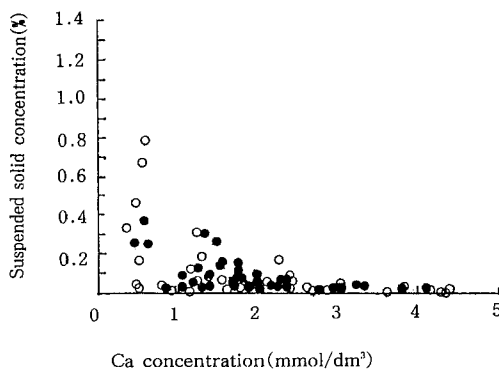


Fig. 6b Suspended solid concentration and Ca concentration in the puddled water of Ohsawa. ○: Without basal dressing, ●: With basal dressing.

大沢試験地については、全体的に懸濁物質濃度が低く、中一色ほど懸濁物質濃度の分布範囲は大きくないが同様の現象が起こっている (Fig.6b)。大沢試験地では1時間後の1点を除いて、 2mmol/l/dm^3 以上のCaイオン濃度では、懸濁物質濃度は0.1%を示した。以上に述べたような懸濁物質濃度とCaイオン濃度の関係は、理論的に推定された中一色試験地土壌の主要粘土鉱物であるメタハロイサイトのCaイオンによる急速凝集限界濃度 2mmol/dm^3 にはほとんど一致しているし、Ca添加実験による凝集濃度 1mmol/dm^3 ともほぼ等しい²⁾。さらに、各種凝集剤を用いた時の限界凝集Caイオン濃度 2mmol/dm^3 ともほぼ一致している³⁾。すなわち、当地区での実際の代掻きにおいても、理論的推定で仮定された室内実験で確かめられた凝集機構が、基本的にはそのまま機能していると考えて良いと思われる。

(3) 代掻き水のpHの時間変化

石膏散布が土壌のpHに与える影響が心配されるところであるが、凝集剤の検索試験では石膏添加によって懸濁水のpHがわずかに低下する結果が得られている。現地水田においては室内試験にない多くの因子が関わりと考えられるので、実際の代掻き水のpHを追跡調査し、影響を確かめる必要がある。

Fig.7には中一色試験地の元肥無し区のpHの時間的変化を示している。代掻き水のpHは6.3であったものが最初の2時間にわずかな低下を示し、最も低いもので5.7の値を示した。その後時間の経過とともにpHは徐々に少しずつ上昇し、24時間、48時間後にはほぼ6.5の値に達した。こうした傾向は対照区でも、また添加量の多少

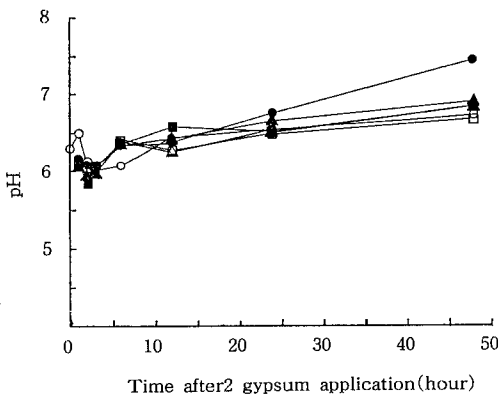


Fig. 7 Change of pH of the puddled water after gypsum application. (Nakaissiki without basal dressing)

Gypsum application rates are; ○:0, ●:10, □:20, △:30, ▲:50, ■:100 kg/10a, respectively.

にかかわらず同じであった。元肥施用の場合にも、ほとんど同じ動きを示し、しかも添加量の多少による差も認められなかった。

大沢試験地の元肥無しの場合は中一色よりもややpHの分布範囲が広く、やや低い5.5~6.5の間にほとんどすべてのデータが収まった。時間の経過とともに幾分上昇し、48時間後には6.2~6.5の値を示した。石膏添加量とpHの間には特別な傾向は認められなかった。元肥施用した場合は、pH分布範囲がさらに広がったが時間とともにやや増大し、石膏添加量による差が認められないという全般的な傾向は同じであった。

3. 濁水排出負荷量の削減効果

排水路や河川の濁水が問題になるのは、圃場で濁水が発生し、しかもその濁水が圃場外へ流出するからである。特に中一色試験地土壌は乾燥したときに収縮が大きく、大きな亀裂を発生しやすい。荒起こしや代掻きによって鉛直方向の浸透はある程度抑える効果はあると思われるが、かなりの量が浸透している。畦畔浸透についても畦畔板をはじめコンクリート畦畔、ビニールシート、畦塗りなどで抑制を図ってはいるが、落水口を閉じていても排水路に濁水が流出するのが代掻き時の調査で認められた。漏水量が大きく抑止しにくいのがこの地域の土壌の特徴である。現地試験における代掻き時にも、試験区に導入した用水が畦畔を浸透して下流側の水田へ流出し、また農道を隔てた側方の水田にもかなり多量に流入し、周囲の水田を灌水させた。漏水をなくすことができれば排出はなくなるのだが、それが困難である現状を考えると、排出濁水濃度の低下が頼るべき有効な手段となる。

排水路に接する単位長さの畦畔から、排水路へ流出する懸濁物質の総排出負荷量 Q_{ss} は、排出される濁水の濃度 $C_{ss}(t)$ と濁水量 $q(t)$ の積を流出時間について積分して求められる

$$Q_{ss} = \int_0^t q(t) \cdot C_{ss}(t) \cdot dt \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 Q_{ss} : 懸濁物質の総排出負荷量、 $q(t)$: 単位長さの畦畔より流出する濁水の流量、 $C_{ss}(t)$ 濁水の懸濁物質濃度、 t : 流出時間である。

圃場の下層土や畦畔の浸透特性 ($q(t)$) は、代掻き水表面への石膏散布によって大きく変化するとは考えられないので、懸濁物質の排出負荷量は実際上排出される濁水の懸濁物質濃度 $C_{ss}(t)$ に支配される。濁水の懸濁物質濃度を実測した懸濁物質濃度を用いて、石膏散布による懸濁物質排出負荷の削減率 $R(\%)$ を、次式で計算することができる。

$$R(\%) = (Q_{ss,0} - Q_{ss}) / Q_{ss,0} \times 100 \quad \dots\dots(2)$$

ただし、 $Q_{ss,0}$: 無添加の時の総排出負荷量である。

Fig. 8aは、中一色試験地元肥無添加における懸濁物質排出負荷量の削減率と石膏添加量の関係を示したものである。石膏添加量の増大とともに削減率は急激に増大する。石膏添加量が50kg/10a以上になると排出負荷削減率の増大はほとんどみられなくなり、このときの最大削減率は約90%である。削減率は散布後の経過時間にも依存する。当然経過時間が増大すると代掻き水の浄化が進み、削減率は増大する。Fig. 8aには12, 24, 48時間後の削減率を示しているが、凝集は散布直後に集中的に進行するのでこれぐらい時間が経過すると削減率の差はわずかである。具体的に48時間での削減率を見てみると、10kg/10aで63%、20kg/10aの添加で73%、30kg/10aで81%懸濁物質の排出量を削減できることが分かる。元肥施用の場合、短時間後の削減率が幾分多いが、その後はほぼ同じ削減率を示した。

大沢試験地の元肥無し区の場合をFig. 8bに示す。大沢では中一色より曲線の立ち上がりが急なことから、石膏添加量の増大に対する反応が早く、しかも経過時間による差も小さいことが読み取れる。例えば、10kg/10aの添加ですでに69%が削減でき、20kg/10aで83%、30kg/10aで87%が削減できるものと推定された。元肥施用区では、散布後短時間での削減率が高いが、その後はやや高い程度で推移した。

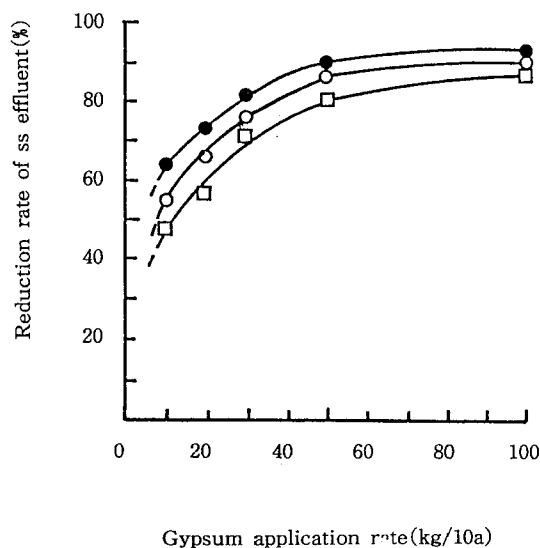


Fig. 8a Reduction rate of suspended solid effluent load and the rates of gypsum application. (Nakaissiki without basal dressing)
The symbols denote elapsed time after gypsum application; □: 12, ○: 24, ●: 48 hours, respectively.

IV. おわりに

滋賀県湖東町水田の代掻き時濁水を石膏散布による凝集浄化の可能性を確かめるために、現地水田での代掻き試験を2つの地区で行った。その結果、以下に述べるような知見が得られた。

- (1) 石膏の添加により代掻き水の懸濁物質濃度は著しく減少した。場所により差はあるが12時間以内に0.1%とするに必要な添加量は30kg/10aであった。
- (2) 元肥の施用は代掻き濁水の浄化に幾分有効であるが、それのみでは十分な浄化効果は得られない。
- (3) 凝集効果が顕著になる限りCaイオン濃度は、1.3~2mmol/dm³であり、これは理論的推定結果および室内実験結果とも一致した。
- (4) 石膏処理が代掻き水のpHに与える影響はわずかであった。
- (6) 20~30kg/10aの添加で、懸濁物質の総排出負荷量の約70%~80%以上が削減できるものと推定された。

謝辞

現地試験で圃場を提供し、代掻きを行っていただいた大沢区の福田金佐衛門氏、中一色の平居英二郎氏、圃場の選定、畦畔板の提供等、現地試験にあたって便宜をはかっていただいた湖東町役場の関係者の方々に感謝致します。現地試験、試料の分析、結果の整理に協力してし

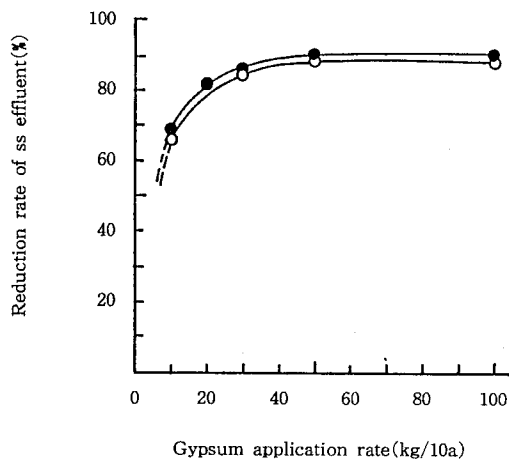


Fig. 8b Reduction rate of suspended solid effluent load and the rates of gypsum application. (Ohsawa without basal dressing)
The symbols denote elapsed time after gypsum application; ○: 24, ●: 48 hours, respectively.

ただいた滋賀県立短期大学学生，平野重久君（現農水省近畿農政局），岩崎昌之君（現滋賀県庁），鶴田泰伸君（現愛媛大学学生）に感謝致します。

引用文献

- 1) 滋賀県農林部：平成2年度農業排水対策事業実績書（1991）
- 2) 赤江剛夫：代掻き濁水の塩添加による凝集条件—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(1)—，土壌の物理性64，pp. 37-44(1992)
- 3) 赤江剛夫：代掻き濁水の凝集沈降剤の検索と施用法の検討—代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(2)—，土壌の物理性64，pp. 45-52（1992）

（受稿年月日 1993年9月29日）