

# 湛水下の水田土壌のせん断応力に関する基礎的研究 Study of shearing stress of paddy soil under ponded water

鈴木 匠<sup>1</sup>・松本佑介<sup>2</sup>・須永吉昭<sup>3</sup>・松井宏之<sup>4</sup>

SUZUKI Takumi, MATSUMOTO Yusuke, SUNAGA Yoshiaki, MATSUI Hiroyuki

## 1 はじめに

水田から排出される懸濁物質を計算する汎用的な手法として、 $L-Q$  式がある。 $L-Q$  式は負荷量  $L$  と流量  $Q$  の間の一対一の関係に基づいている。しかし、松井ら (2013) は代かき田植え期で同定した  $L-Q$  式をそれ以外の時期に用いると負荷量を過大評価することを指摘している。しかしながら、その理由については検討されておらず、検討する余地がある。そこで、本研究では、水田土壌の攪乱後、水田土壌面のせん断応力が増加することにより、同一のせん断応力に対して土壌が再懸濁しにくくなっているとの仮説を立て、その仮説の検証を行った。

## 2 実験方法

500ml ビーカーに供試土 20g、蒸留水を 400ml 入れ、攪拌機を用いて 200rpm (round per minute) で 2 分間攪拌した後、静置する。その後、1 日後、2 日後、3 日後、5 日後、7 日後に攪拌機で 2 分経過毎に 5rpm 上昇させ攪拌し、大坪ら (1985) が定義した流送限界 (単独の土塊が浮上し始める限界)、破壊限界 (底泥床面が破壊して連続的に大量の底泥が短時間に攪拌されてしまう限界) となる回転数を求め、底面に対するせん断応力へと換算する。また、有機物の底面せん断応力への影響を確かめるためにセルロースを水田土壌に対して 1%、2%、3% ずつ添加し同様の実験を行った。

実験試料は、宇都宮市下栗の水田土壌 (表層腐植質多湿黒ボク土壌、以下、土壌 I)、宇都宮大学付属農場の水田土壌 (多腐植質黒ボクグライ土、以下、土壌 II)、秋田県八郎潟の水田土壌 (細粒強グライ土、以下、土壌 III) とし、それぞれ風乾後 0.25mm ふるいを通過したものをを用いた。それぞれの粒度分布と炭素含有量を分析したところ、順にメディアン径  $D_{50}=121\mu\text{m}$ ,  $167\mu\text{m}$ ,  $85\mu\text{m}$  となり、炭素含有量は順に 5.5%、8.2%、2.5% となった。

## 3 結果および考察

下栗の水田土壌 (土壌 I) の実験結果を Fig.1、同じく宇都宮大学付属農場の水田土壌 (土壌 II) の結果を Fig.2、八郎潟の水田土壌 (土壌 III) の結果を Fig.3 に示す。なお、いずれの土壌とも経過日数毎に 3 サンプルずつを測定した。

**流送限界** 土壌 I (Fig.1)、土壌 II (Fig.2) は 1、2 日後の流送限界が 3、5、7 日後と比べ低い値を示し、土壌 III (Fig.3) は 1 日目の流送限界は低いものの 2 日目以降はおおむね同じような値を示している。Fig.1~Fig.3 を比較すると、土壌の違

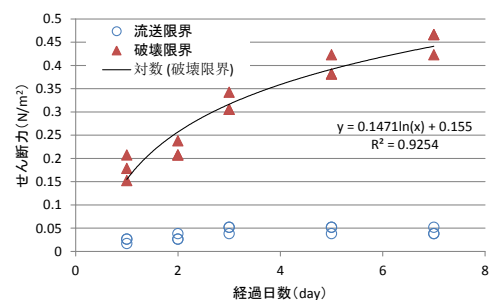


Fig.1 流送限界・破壊限界 (土壌 I)

1 宇都宮大学農学部 (現・栃木県), 2 日本工営・東京農工大学大学院連合農学研究科, 3 宇都宮大学大学院農学研究科 (現・林牧場), 4 宇都宮大学農学部  
キーワード: 水田土壌, 限界掃流力, 経時変化, クラスト

いに関わらず流送限界は  $0.05\text{N/m}^2$  付近となっている。このことから、単独の土塊が浮上し始める流送限界は  $0.05\text{N/m}^2$  付近であることが考えられる。

**破壊限界** Fig.1～Fig.3 から、全ての土壌において破壊限界は時間経過とともに底面せん断力に対する抵抗力が大きくなり、一定値に漸近していく傾向が認められる。破壊限界後の土壌 I および土壌 II を見ると破壊された土壌断面にクラストが形成されており、経過日数が増すごとにクラストが厚くなっていくことが視認された。一方、土壌 III では 7 日経過後においてもクラストの形成を確認することができなかった。3 つの土壌を比較すると、いずれの経過日においても土壌 I の底面せん断力に対する抵抗力が大きくなり、順に土壌 II、土壌 III となっている。土壌 III で抵抗力が小さい理由としてはクラストが形成されなかったためと考えられる。

**破壊限界の規定要因** 土壌間で差が生じた要因として粒径の影響を考えると、最も  $D_{50}$  が大きいのは土壌 II であり、抵抗力の大小と整合しない。さらに、 $0.075\text{mm}$  ふるいを通過させた土壌 I ( $D_{50}=22\mu\text{m}$ ) を用いて同様の破壊限界を求めたところ、3 日経過時点で  $0.26\text{N/m}^2$ 、5 日経過時点で  $0.36\text{N/m}^2$  となり、土壌 III ( $D_{50}=85\mu\text{m}$ ) よりも大きい値となった。このことから、今回の供試土に関しては粒径の影響はあまり大きくないと考えられる。

次に、炭素含有量に着目すると、最も抵抗力の大きい土壌 I の C 含有量が 5.5%、順に土壌 II で 8.2%、土壌 III で 2.5% となっている。ここで、畑地土壌では有機物含量が多いとクラストが形成されにくいことを踏まえ、土壌 I へのセルロース添加実験を行った結果を Fig.4 に示す。土壌 I にセルロースを添加することにより、土壌 II の結果に比較的近い経日変化となっている。土壌 I および土壌 II は地理的に比較的近い地点での黒ボク土であることから、セルロース添加により土壌 I が土壌 II に近い性状を呈したと考えられる。一方、土壌 III では C 含有量が少ないにもかかわらず、クラストの形成を確認できなかった。これらの結果から、土性の違いの影響は無視できないものの、炭素含有量と抵抗力の間には 1 対 1 の関係ではなく、抵抗力を最大にする炭素含有量があり、その値を頂点とする上に凸の関係となる可能性が示唆された。

#### 参考文献

- (1)松井・須永 (2013) : 石垣島・水田地帯からの浮遊土砂流出量の長期観測および L-Q 式の適用, 水工学論文集, 57 : 955~960 (2)大坪・村岡 (1985) : 底泥の物性および限界掃流力に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.363/II-4 : 225~234

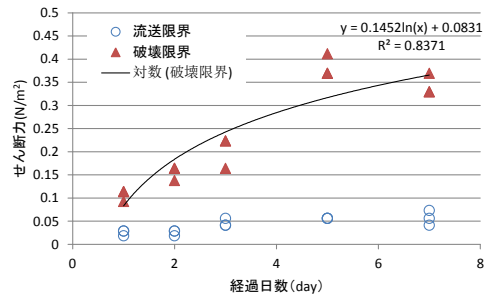


Fig. 2 流送限界・破壊限界 (土壌 II)

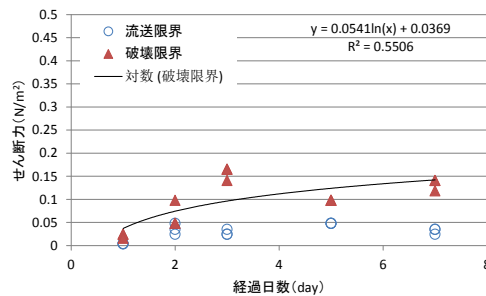


Fig. 3 流送限界・破壊限界 (土壌 III)

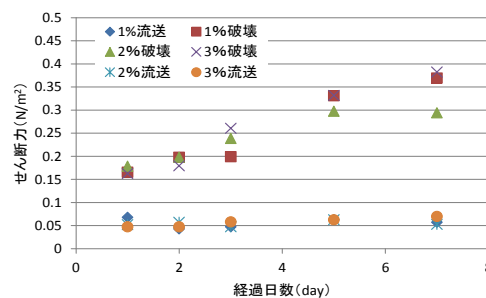


Fig. 4 セルロース添加時の流送限界・破壊限界 (土壌 I)