

氏名	阿部 孝行
学位の種類	博士（食産業学）
学位記番号	第13号
学位授与年月日	平成28年3月18日
学位授与の条件	学位規程第3条第3項該当
学位論文題目	ペーパースラッジの農業水利施設補修材への利活用とその実用化
論文審査委員	主査 北辻 政文 副査 富樫 千之, 奥山 武彦

論文の要旨

わが国の農業は弥生時代から生産性の高い水田稲作が中心に行われ、利水や治水のために多くの農業水利施設が建設されてきた。そして、これらの農業水利施設は食糧生産のみならず地域の歴史や文化に多大な影響を及ぼしてきた。とくに昭和36年農業基本法が制定され、農業基盤整備事業として大型のダム、頭首工および用排水路などの農業水利施設が建設されたことにより、生産性は大きく向上した。さらに平成11年には食料・農業・農村基本法が制定され、食料の安定供給の確保、農業の持続的な発展、農村の振興、農業農村の多面的機能の発揮の4つの基本理念が掲げられ、農業水利施設はこれまでの食料生産の機能に加えて、自然環境の保全、良好な景観の形成および文化の伝承などの多面的な機能を担い、国民生活の安定向上や国民経済の健全な発展に寄与することが期待されている。

2009年、わが国の農業水利基幹的施設の数には約7,000箇所、農業用排水路は約40万kmに及び、それらの資産価値は32兆円に上ると言われている。しかし、これら農業水利施設の多くは高度成長期に建設されたため、近年では老朽化が進行し、標準耐用年数を迎える施設が急増している。このため、農業水利施設の長寿命化対策や防災対策を含めたストックマネジメントの推進が重要であり、効果的な補修・補強技術が求められている。

これら農業水利施設の多くは、コンクリートや土構造となっているため、補修材として気泡モルタル、ソイルセメント、さらに法面保護材として緑化基盤材等が利用されることが多い。しかし、気泡モルタルおよびソイルセメントには施工中に材料分離が生じ易いという問題がある。また、緑化基盤材には施工直後の降雨による流亡が多く、その対策技術が求められている。

そこで本研究では、それらの対策工法の資材としてパルプ・紙製造業において排出されるペーパースラッジ（以下、PSとする）に着目した。すなわちPSは細かなセルロース繊維が大量に含まれていることから、架橋効果により材料分離抵抗性や耐降雨浸食性を高めることが期待できると考えられる。さらにPSが建設資材として大量に利用できれば、同時に産業廃棄物の減量化の一助となり、わが国の循環型社会の構築へも貢献するものである。

本研究はPSを農業水利施設の補修工事に用いられる気泡モルタル、ソイルセメントおよび緑化基盤材の混和材として利用した際の効果およびPSの混和材としての実用化について検討したものである。

本研究で得られた主な結論と要約を以下に述べる。

第1章序論では、本研究の社会的背景および目的について概説し、論文構成内容を紹介した。

第2章では、PSの物理化学的性質および環境安全性について室内試験により確認した。その結果PSはセルロースなどの有機質分が33.8%含まれており、繊維系建設資材としての利用の可能性が高いこと、および27項目の重金属等の溶出量はすべての項目において土壤環境基準値を満足し、安全に建設資材として利用できることを明らかにした。また、PSは高温蒸気および消石灰により安定した品質で建設資材として利用できることを確認した。

第3章では、老朽化した農業用三面水路の補修工法であるFRP（繊維強化プラスチック）板ライニング工法の隙間充填材や老朽化した水路トンネルの背面裏込め充填材等に使用される気泡モルタルに、PSを混和材として適用した際の物性について室内および施工現場試験により評価した。その結果、PSを用いた気泡モルタルは充填材としての性能を満足し、さらに気泡モルタルの欠点である材料分離に対して高い抵抗力を示した。施工現場においてもその性能を発揮し、施工性の向上が確認された。

第4章では、農業用ため池の漏水対策や地下ダムの遮水壁等として使用されるソイルセメント地中連続壁工法のうち、砂質土地盤におけるソイルセメントに、PSを混和材として適用した際の物性について室内試験および施工現場により評価した。砂質土地盤におけるソイルセメントに材料分離が生じると、礫や砂などが沈降し、せん断強さが高まり、アースオーガの引き抜きや芯材の建込みが困難になるなどの施工不良を生じる場合がある。本章では、砂質土1m³に対して、PSを10kg程度混合したソイルセメントは、微細な独立気泡および繊維がソイルセメント内に導入され、流動性および材料分離抵抗性が向上し、良好な施工性を有することを確認した。ここで、微細な独立気泡はPSに含まれるリグニンがスルホン化され、空気を連行したものと考えられた。

第5章では、農業用ダム、ため池、水路および農道などの斜面崩壊や地滑りを防ぐ法面緑化工法において使用される緑化基盤材に、PSを適用した際の物性について室内およびフィールド試験により検討した。その結果、PSを用いた緑化基盤材は、通気性や透水性に及ぼす影響が大きい孔隙（0.3~3.0mm）の増加が認められ、植物の生育も良好であることを確認した。また、緑化基盤材の耐降雨浸食性を向上するためのPS混合割合は6%以上であることを明らかにした。さらに、フィールド試験により、施工性および施工6年経過後の植物の生育状況も良好であることを確認した。

第6章では、農業用管水路埋戻し工法の埋戻し材に使用される流動モルタルおよび農業用ダムやため池の止水材として使用されるセメントベントナイトに、PSを適用した際の物性について室内試験を行い評価した。その結果、PSを用いた流動モルタルでは一軸圧縮強さのばらつきが小さいこと、および靱性が向上することを明らかにした。また、PSを用いたセメントベントナイトではブリーディングの抑制効果を明らかにした。このことから、PSの流動モルタルおよびセメントベントナイトの混和材としての利用の可能性が高いことを示唆した。

第7章では、本論文の総括と今後の研究の課題について示した。

以上のことから、農業用水利施設の補修材として使用される気泡モルタル、ソイルセメントおよび緑化基盤材にPSを混和材として適用することにより物性および作業性が向上することを証明した。また、同時に本研究の成果はパルプ・紙製造業において排出される産業廃棄物の減量化の一助となる可能性を有するものである。

審査結果の要旨

わが国の農業は、生産性の高い水田稲作が古くから営まれ、それに伴い、利水や治水のための農業水利施設が多数建設されてきた。そして、これらの農業水利施設は食糧生産のみならず、自然環境の保全、良好な景観の形成および文化の伝承などの多面的な機能を担っており、地域の歴史や文化にも多大な影響を及ぼしてきた。しかし、多くの施設は老朽化が進み耐用年数を迎える割合が増えており、本来の機能を回復させるためのストックマネジメントを推進するとともに効果的な補修技術が求められている。

本論文は、農業水利施設等の更生対策工法の補修材として用いられる気泡モルタル、ソイルセメントおよび法面保護材の緑化基盤材等の資材の混和材として、パルプ・紙製造業から排出されるペーパースラッジ（以下、PS とする）の利活用について取りまとめたものである。

審査委員会は、口頭発表会で用いたスライドによる詳細な説明を課し、主査および2名の副査が試問した。まず①論文題目を「ペーパースラッジの農業水利施設補修材への利活用とその実用化」と変更することを了承し、次に②表現および表へ加筆・修正、および③論文の食産業との関わりについて審査を行った。審査結果の要約は以下のとおりである。

本論文は、第1章の序論から第7章の総括の構成であり、論文を構成する核となる部分は、農業農村工学会論文集の掲載論文2編に基づいており、基準を満たしている。

第1章序論では、本研究の社会的背景および目的について概説している。審査委員会は、研究目的と食産業との関わりについて試問し明確な回答を得た。

第2章では、PSの物理化学的性質および環境安全性について試験し、セルロースやリグニンなどの有機質分が33.8%含まれていること、および環境安全性はすべての項目において土壤環境基準値を満足したことを確認している。審査委員会は、PSの物理化学的性質について試問し明確な回答を得た。

第3章では、老朽化した農業用三面水路補修工法等の隙間充填材気泡モルタルにPSを用いた場合、モルタルの欠点である材料分離に対して、セルロース繊維の架橋効果により高い抵抗力を示すことを明らかにしている。審査委員会は、農業用三面水路におけるコンクリート劣化の主要原因である凍結融解作用のメカニズムを質問し、明確な回答を得た。

第4章では、農業用ため池の漏水対策等として使用されるソイルセメント地中連続壁工法のうち、砂質土地盤における評価をしている。砂質土1m³に対して、PSを10kg程度混合したソイルセメントは、リグニンによる微細な独立気泡およびセルロース繊維がソイルセメント内に導入され、流動性および材料分離抵抗性が向上し、良好な施工性が得られることを確認している。審査委員会は、ソイルセメント地中連続壁工法と農業との関わりについて意見を求めた。その結果、具体的な事例を交え、明確な回答を得た。

第5章では、法面緑化工法において用いられる緑化基盤材への適用を検討し、PSを用いた場合、通気性や透水性に及ぼす影響が大きい孔隙（0.3～3.0mm）の増加が認められ、植物の生育も良好なことを示している。また、緑化基盤材の耐降雨浸食性を向上するためのPS混合割合は6%以上であることを明らかにしている。審査委員会は、緑化基盤材における複数年の植物の生育経過について質問し、明確な回答を得た。

第6章では、農業用管水路埋戻し工法の埋戻し材に使用される流動モルタルおよび農業用ダムやため池の止水材として使用されるセメントベントナイトへのPSの効果を、室内試験から評価している。その結果、前者は強度ばらつきが小さくなることおよび靱性が大きくなること、後者はブリーディングの抑制効果が大きいことを明らかにしている。審査委員会は、PSを用いた流動モルタルおよびセメントベントナイトのフィールドにおける実用性について質問し、その可能性が高いとの回答を得た。

第7章では、論文の総括と展望を述べている。

以上のことから、学位論文として十分な新規性、有効性等を有するものであり、食産業学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士論文に値するものと認める。