論文 ヨシ粉末配合モルタルの流動性に関する有機化学成分からの考察

兵頭 正浩*1・柴原 新弥*2・緒方 英彦*3・早乙女 梢*4

要旨: ヨシには、無機化学成分として SiO_2 が多く含まれており、有機化学成分としてリグニンが含まれている。著者らはこれまでの研究においてヨシに含有される SiO_2 成分の影響で、ヨシ灰がポゾラン材になる可能性を示してきた。本研究では、ヨシに含まれる有機化学成分のリグニンに着目し、モルタルの流動性向上について検討した。その結果、モルタルの流動性は、 $75\mu m$ 以下に粉砕したヨシ粉末を添加することで向上することを確認した。さらに、ヨシの部位(葉、茎)によってフェノール類(リグニン)の含有量は異なり、幼若・生長個体の葉の粉末を添加することで、モルタルの流動性がさらに向上することがわかった。

キーワード: ヨシ, フェノール類 (リグニン), 流動性, 幼若・生長個体, 部位 (葉, 茎)

1. はじめに

閉鎖性水域では、依然として生活環境項目の達成率が低く、浄化槽の整備などの具体的な対策には大きな費用が必要となっている。そこで提唱されてきたのが、自然浄化作用能力の向上である。湖岸域に植生帯を整備して、植物による栄養塩類の吸収や、幼貝や稚魚などの棲み処として動植物による栄養塩類の吸収作用効果を自然環境のもとで期待するものである¹)。幼貝や稚魚に関しては成長に伴って漁獲するなど栄養塩類の形外排出が可能であるが、大部分の植物体に関しては循環利用方法が確立されていない。そのため、近年においては植物の生育に伴って吸収した栄養塩類が、草枯れによって流域内に再回帰することが危惧されている。つまり、漁獲のように植物の系外排出が体系づけられると、継続的な水環境の保全につながると考える。

一方,河道の断面積が小さく,河床勾配も緩やかな小規模河川では,近年の集中豪雨に伴って洪水の危険性が高まっていることが懸念されている。従来構造そのものとしての課題も挙げられるが,河川に植生したヨシ原が流速低下を生じさせるため,河川水位の上昇の一因となることが挙げられている^{2,3)}。報告されている事例としては,荒川の流域面積2,940km²においてヨシ原は0.32%を占め,琵琶湖においては本湖と内湖を併せて256haにヨシが植生しているとの報告4)がある。正確な植生面積は不明ではあるが,小規模河川・湖沼などを含めると相当の賦存量があることが容易に推察される。一般的に,

ヨシ原は、各自治体における河川維持管理費によって管理されるが、自治体の年間予算が限られていることを考えると、刈り取ったヨシの機能性を適切に示すことが、持続的な循環利用スキームの構築につながると考える。

そこで, 著者らは持続的な水質浄化, 河川の維持管理 に貢献するために、コンクリート用混和材としてのヨシ の循環利用方法について検討してきた。表-1 に示すよ うに, 灰化したヨシ(以下, ヨシ灰という)には, 83% 程度のSiO2が含まれていることがわかる。この状態での SiO₂ は,結晶質であるが,500℃,2時間で燃焼すること によってヨシ灰に含有される SiO2 が非晶質になること を明らかにした。その結果, ヨシ灰をモルタルに配合す ることで、ポゾラン反応が生じることを確認している 5)。 しかしながら,本検討は、ヨシの無機化学成分のみに着 目した検討であり、有機化学成分については言及がなさ れていない。国内はもとより、世界各国に植生するヨシ の有効利用を図るためには、有機および無機化学の両者 の観点から循環利用方法を提案することが効果的と考え る。そこで、図-1 にヨシの有機化学成分の概要を示す が、含有する有機化学成分の内リグニンは、15~20%含 まれていることがわかる。コンクリート用混和剤として 一般的に利用されるリグニンは, スルホン酸塩であり, 減水剤・AE減水剤として用いられている⁶。つまり、ヨ シの無機化学成分と有機化学成分がコンクリート用混和 材(ポゾラン材)および混和剤(減水剤)としてコンク リートの打設時および供用時に性能を発揮する可能が考

表-1 500℃で2時間焼成したヨシ灰に含まれる化学成分

(%)

Condition	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	ZnO
500°C•2h	0.76	2.28	0.15	83.28	8.83	4.06	0.39	0.19	0.08

- *1 鳥取大学 農学部生命環境農学科 准教授 博士(農学) (正会員)
- *2 鳥取大学大学院 持続性社会創生科学研究科 学士(農学) (非会員)
- *3 鳥取大学 農学部生命環境農学科 教授 博士 (農学) (正会員)
- *4 鳥取大学 農学部附属菌類きのこ遺伝資源研究センター 准教授 博士(農学) (非会員)

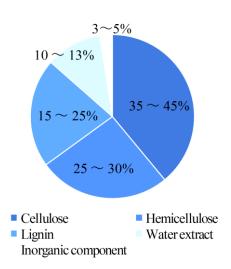


図-1 ヨシに含まれる有機化学成分

えられた。そこで、本研究ではヨシの有機化学成分であるフェノール類(リグニン)が、コンクリート用混和剤として、モルタルの流動性に与える影響を評価した。

2. 実験方法

2.1 ヨシ試料の刈り取りおよび処理方法

本実験で用いたヨシは、鳥取県鳥取市に位置する湖山池(汽水域)に植生していたものである。抽水植物であるため、比較的浅い場所で植生し、根群域は水中の土壌にある。生育特性としては、4月下旬から発芽し始め、7月下旬の出穂時期まで草丈は伸長する。10月頃には枯れ葉が多くなり、11月頃には地上部がすべて枯れ、地下部は翌年の発芽に向けて休眠する。本実験で用いたヨシは、生長した2016年10月に刈り取り、晴天時に連続して1週間の自然乾燥を行った後に、葉および茎の長さを約20cmに裁断し、60℃で24時間の炉乾をおこなった。炉乾後のヨシは葉と茎を混在させた状態で微粉砕機を用いて破砕し、ふるい分けにより75 μ m以下、75~150 μ m、150~300 μ m に分級した。

2.2 フェノール類 (リグニン) の測定方法

リグニンは、複雑な構造であり測定が困難であることから、図-2 に示すように、構造骨格内にフェノール性水酸基をもつリグニンとして簡易定量した。ヨシ粉末は、モルタル中の水酸化カルシウム成分によって溶解することが考えられる。そこで本試験では、水酸化カルシウム飽和水溶液にヨシ粉末を溶解させ、その溶液中に含まれるフェノール性水酸基を紫外可視分光光度計(以下、UV-Vis)によって定量した。定量に用いた試験液は、ヨシ粉末 1.0g と水酸化カルシウム飽和水溶液 30ml をバイアル瓶に投入し、撹拌機を用いて攪拌した後に、粒径保持能4μm のろ紙でろ過して得られたものである。この工程をヨシ粉末の各粒径条件ごとに3回行い、得られた3つの

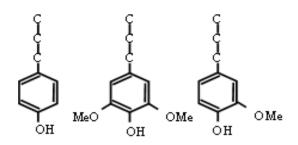


図-2 骨格構造内のフェノール成分

試験液の定量結果を平均して、その粒径条件のフェノール定量結果とした。試験液の攪拌時間は、モルタルの練り混ぜ開始からフロー測定までの時間を概算して5分間とし、攪拌速度は240rpmとした。試験液は、含まれるフェノール量が UV-Vis のフェノール定量範囲内(0.5~5.0mg/L)となるよう1/10に希釈し、試験結果は等倍換算にて算出した。

2.3 ヨシ粉末の吸水量測定方法

モルタルの流動性は、ヨシ粉末の吸水作用によって低下することが考えられた。そのため、各粒径に対するヨシ粉末の吸水量を測定した。試験方法は、各粒径条件のヨシ粉末を用いて JIS K 7223:1996「高吸水性樹脂の吸水量試験」に規定されているティーバッグ法を採用した。ティーバッグは、目開き 57μm のナイロン製メッシュをヒートシールによって作製し、試験液には 0.9wt%の塩化ナトリウム水溶液を用いた。ヨシ粉末の試験液への浸漬時間は、フェノール定量試験と同様の理由から 5 分間とした。なお、本試験には 63μm 以上の粒径が対象となっていることから、粒径が 75μm 以下のヨシ粉末については、JIS K 0069:1992「化学製品のふるい分け試験方法」に記載されている乾式ふるい分けに準拠して、目開き63μmのふるいにかけ、粒径 63~75μm のヨシ粉末として用いた。

2.4 モルタル流動性の測定方法

流動性を評価する方法として、モルタルフローが挙げられる。使用するモルタルの作製方法及びフロー値の測定方法は、JIS R 5201:2015「セメントの物理試験方法」に準拠した。各試験体の配合を表-2 に示す。モルタルに添加するヨシ粉末の添加量は、減水剤としての効果を検証するために、セメントの外割 1~3%となるように添加した。ヨシ粉末を添加していないモルタルを NM、1%のヨシ粉末を添加したモルタルを RM1%、2%のヨシ粉末を添加したモルタルを RM2%、3%のヨシ粉末を添加したモルタルを RM3%とした。

2.5 ヨシの生育状況および部位が溶出量に与える影響

ョシは生育状況および部位(葉,茎)に応じて,含有するフェノール類(リグニン)の割合が異なることが考えられた。2017年10月に採取した生長個体に加えて,

表-2 モルタルフロー試験の配合

(g)

名称	セメント	細骨材※3	水	ヨシ粉末
NM ^{*1}			-	
RM1%*2	4.50	42.50	22.5	4.5
RM2% ^{**2}	450	1350	225	9.0
RM3% ^{*2}				13.5

※1 NM: Normal Mortar, ※2 RM: Reed Mortar, ※3 標準砂を示す。

2018年5月に採取した幼若個体に関する特性についても評価を実施した。なお、幼若・生長個体は葉と茎に分別し、既述した2016年10月に刈り取ったヨシと同様の処理方法を施した。炉乾後のヨシ(葉、茎)は、微粉砕機でそれぞれを破砕し、ふるい分けにより75μm以下となるように調整した。

3. 結果と考察

3.1 粒径ごとにおけるフェノール濃度

水酸化カルシウム飽和溶液中に浸漬したヨシ粉末か ら溶出するフェノール量を評価した結果を表-3に示す。 フェノール定量の結果は、粒径 75µm 以下で 25.5mg/L, 75~150μm で 25.0mg/L となり概ね同程度となり、150~ 300μm で 12.6mg/L となり 150μm 以下と比較すると半分 程度となった。これは、ヨシ体内のリグニンが細胞壁内 に蓄積していることに起因すると考えられた。ヨシ粉末 と水酸化カルシウム飽和溶液の接触面積が大きくなるた め細胞壁が溶解しやすい環境にあったこと, 粉末度が大 きいことからフェノール類(リグニン)が細胞壁の崩壊 する割合が多くなったことに起因することが考えられた。 よって、フェノールの溶出量から考慮すると、ヨシ粉末 の粒径は 150μm 以下に調整することが適切と考えられ た。また、図-1では、イネ科植物の乾燥質量に対して 15~20%程度リグニンが含有されているとの報告であり、 別の報告⁵⁾でも15~25%程度など記載されている。本試 験では、ヨシ粉末 3.0g を水酸化カルシウム飽和水溶液 50ml に溶解していることからヨシ粉末に含まれている リグニン15%が水酸化カルシウム飽和水溶にすべて溶解 したと仮定した場合は、5,000mg/L((1.0g×15%)/30mL) となる。明らかに、試験結果と計算結果は異なるが、こ れは当然の結果である。天然リグニンは、植物細胞壁中 で、多糖類(セルロース、ヘミセルロース)と共に強固 な複合組織を形成しているため、化学構造の変性を伴わ ない天然リグニンの単離は、非常に困難 7,8)であること、 リグニンは難溶解性であることが要因として挙げられる。 一方で、紙パルプ製造における工業リグニンとして抽出 されるクラフトリグニンについては、様々な工程を踏ま えているため, 本研究においては比較対象としない。

3.2 粒径ごとにおける吸水量

各粒径におけるヨシ粉末の吸水量を表-4 に示す。吸

表-3 フェノールの定量結果

粒径(μm)	定量結果(mg/L)		
150~300	12.6		
75~150	25.0		
75 以下	25.5		

表一4 吸水量試験結果

粒径(μm)	吸水量(g/g)			
150~300	1.80			
75~150	1.75			
63~75	1.59			

水量に関しては、フェノール定量の結果とは異なり、粒 径 $150\sim300\mu m$ で 1.80g/g, $75\sim150\mu m$ で 1.75g/g, $63\sim$ 75μm で 1.59g/g の順に大きくなることを確認した。一般 的には粒径が小さくなることで溶液との接触面積が大き くなるため、粒径が小さいほど吸水量が多くなることが 予想されたが、粒径が大きいほど吸水量が多くなる結果 となった。吸水量試験は、フェノール溶出試験とは異な り、ヨシ粉末の分散剤として塩化ナトリウムを溶液とし ているため、ヨシ粉末に溶解は生じない。そのうえで考 察を加えると、ロータス効果によるものと考えられる。 植物の表皮は細胞を分化することによって, 植物体と外 環境間の相互作用の一端を担っているが、そのもっとも 基本的な物理作用としてロータス効果(撥水作用)があ る。既往の研究⁹⁾ において、イネは超撥水性を有するこ とが明らかにされていることから, イネ科植物であるヨ シにおいても同様にロータス効果が見られたと考えられ る。つまり、粒径の細かいヨシ粉末は、粒径の粗いヨシ 粉末よりも比表面積が大きくなることからロータス効果 が生じやすかったことが推察された。

3.3 モルタルのフロー試験結果

フェノール濃度は高い値を示し、吸水量は低い値を示すことが、モルタルフローの向上に適切と考えたことから、流動性の評価試験に用いたヨシ粉末の粒径は 75μm以下とした。モルタルのフロー試験結果を図ー3 に示す。ヨシ粉末を添加していない NM、RM1%のフローを比較すると、RM1%のフローの方が 5%程度大きくなることを確認した。しかしながら、RM2%においては概ね NM と同程度のフロー値となり、RM3%においては NM と比較すると 4%程度フロー値が減少した。著者らの既往の研究では、ヨシ粉末をセメントに添加した際は、凝結遅延によって水和熱量が低下することを確認している 10。一方で、表ー4 で示したように、ヨシ粉末には吸水作用がある。そのため、ヨシ粉末による凝結遅延と、吸水作用を考慮して、ヨシ粉末の添加割合とフロー値の結果につ

いて考察すると以下のように考えられた。1%のヨシ粉末を添加した場合は、吸水量よりも凝結遅延の影響が大きくなったことから RM1%のフロー値は NMのフロー値よりも大きくなった。2%のヨシ粉末を添加した場合は吸水量と凝結遅延の影響が同程度となったことから、RM2%と NMのフロー値は同程度となった。さらに、3%のヨシ粉末を添加することで、吸水量よりも凝結遅延の影響が小さくなったことから、RM3%のフロー値は NMのフロー値よりも小さくなった。

ヨシ粉末の添加量がモルタルのフローに与える影響 について明らかになった一方で, ヨシの刈り取り時期に よってフローの結果に相違が生じることが明らかになっ た。具体的な試験結果を図-4に示す。試験 A は 4 月に 刈り取った幼若個体であるヨシ粉末を添加し、試験Bは 10 月に刈り取った生長個体のヨシ粉末を添加したもの である。A, B 試験はともに、セメント質量の外割で1% 添加したモルタルであり、JIS R 5201:2015「セメントの 物理試験方法」に準拠している。試験 A では、1%モルタ ルは 0%モルタル (通常のモルタル) よりもフローが向 上したが、試験 B においては 1%モルタルのフローは通 常のモルタルのフローよりも低下した。フロー試験方法 は統一していることから, 結果に違いが生じた理由は, 使用した材料によるものと考えられた。それぞれの実験 に用いたヨシ粉末の決定的な違いとしては、刈り取り時 期と粉砕した部位(茎,葉)が挙げられる。上述したよ うに、試験Aに用いたヨシ試料は4月に刈り取ったヨシ の茎と葉を 75μm 以下の粉末にしたものであり、試験 B に用いたヨシ試料は 10 月に刈り取ったヨシの茎と葉を 75µm 以下の粉末にしたものである。そこで、ヨシの生育 状況および部位(茎,葉)がモルタルのフローに与える 影響について評価した結果を次節に述べる。

3.4 生育状況および部位におけるフェノール溶出量

ヨシの細胞壁は、生育に伴ってセルロースやへミセルロースなどから構成される組織構造が複雑かつ強固になる 11)。また、茎と葉では細胞の配列が異なり、茎の断面では細胞間隙(細胞間の空隙)が存在しないのに対して、葉の断面では細胞間隙が発達している。よって、生育が進んだ個体の細胞壁ほどモルタル中での化学的反応性が低下すると考えられた。本研究では、モルタルのアルカリ成分がヨシの細胞壁を溶解させるため、細胞壁内の有機化学成分であるフェノール類(リグニン)がモルタル中に遊離すると考えている。つまり、生育による細胞壁の組織構造の違いと、部位による細胞の比表面積の違いが、フローの結果に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、表-5 に示す刈り取り時期および部位を考慮したヨシ粉末を用いて、水酸化カルシウム飽和溶液中におけるフェノール溶出量について検討を実施した。ヨシの刈

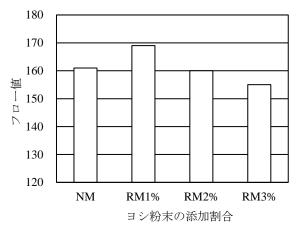


図-3 フロー試験の結果(2016年10月刈り取り)

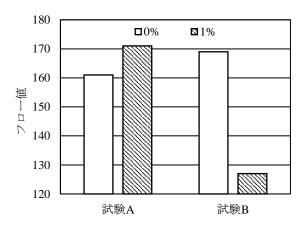


図-4 試験時期におけるフローの違い

表-5 刈り取り時期と部位を考慮したヨシ粉末

刈り取 り時期	状態	部位	粒径	名称※
	. 1	茎+葉		SL5
5 月	生長 個体	茎	75μm 以下	S5
		葉		L5
10 月	幼若 個体	茎+葉		SL10
		茎		S10
		葉		L10

※S: Straw (茎), L: Leaf (葉), 5 or 10: 刈り取り月を示す。

り取り時期は 5 月と 10 月であり、幼若個体と生長個体を対象とした。刈り取ったヨシは、2.5 節に記載したとおりに処理をした。

ョシの生育状況および部位がフェノール濃度に与える影響を図-5に示す。まず、5月に刈り取ったョシのフェノール濃度について記述する。フェノール濃度は、L5(葉)>SL5(茎+葉)>S5(茎)の順に高くなった。最も高い L5 では 14.6mg/L、最も低い S5 では 11.4mg/L となり 28%程度ほど L5 の方が高い値を示した。SL5 においては L5 と S5 の中間値を示し、12.3mg/L となった。ま

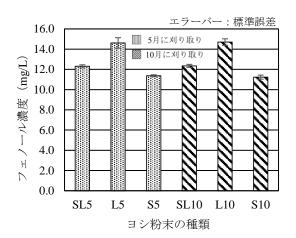


図-5 ヨシの生育状況および部位がフェノール濃度に与える影響

表-6 ヨシの生育状況および使用部位ごとの名称と

※川	(g)			
名称	セメント	細骨材	水	ヨシ粉末
SLM5	- 450	1350	225	4.5 (SL5)
SM5				4.5 (S5)
LM5				4.5 (L5)
SLM10				4.5 (SL10)
SM10				4.5 (S10)
LM10				4.5 (L10)

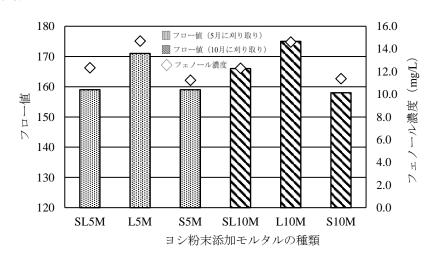


図-6 フロー値とフェノール濃度の関係

た、同様に 10 月に刈り取ったヨシについても 5 月に刈り取ったヨシと概ね同様の傾向を示し、L10 (葉)、SL10 (茎+葉)、S10 (茎)の順にフェノール濃度が高くなり、最も高いL10 では 14.7mg/L、最も低い S10 では 11.2mg/Lとなり 32%程度ほど L5 の方が高い値を示した。SL10 においては L10 と S10 の中間値を示し、12.3mg/Lとなった。一般的には、リグニンが多く含まれる部位は、茎部分であることが言われているが、アルカリ環境下においては、組織構造が軟弱となる葉の方が溶解しやすくなり、フェノール類(リグニン)が多く抽出されたことに起因すると推察された。以上の結果より、刈り取り時期においてフェノール類(リグニン)の溶出量に大きな差異は生じないことがわかった。また、アルカリ環境下でフェノール濃度が最も高くなる部位は、葉であることを確認した。

3.5 生育および部位を考慮したモルタルフロー

ヨシの生育状況と使用部位ごとにおけるモルタルの 名称と添加量を表-6に示す。モルタルの配合は、JIS R 5201:2015「セメントの物理試験方法」に準拠し、セメン トの外割1%のヨシ粉末(75μm 以下)を添加した。モル タルフロー試験の結果と、図-5 に示したフェノール濃度の関係を併せて図-6 に示す。まず、5 月に刈り取ったヨシを添加したモルタルフロー試験の結果について述べる。フロー値は、L5M>SL5M>S5M の順に大きくなった。最も大きなフロー値を示した L5M では 175 となり、SL5M では 166、S5M では 158 を示した。最大値を示した L5M と最小値を示した S5M では 10%程度ほど差異が生じた。続いて、10 月に刈り取ったヨシを添加したモルタルフロー試験については L10M が 171 で最も大きな値を示し、SL10M、S10M が 159 で同じ値を示した。最大値である L10M と最小値であるよび L5M では 7%程度ほど差異が生じた。5 月および 10 月に刈り取ったヨシを添加したモルタルのフロー特性としては、葉のみを添加したモルタルのフローが最も大きくなり、茎のみを添加したモルタルではフローが小さくなる傾向が確認された。

以上より、フェノール濃度が高い葉を添加することで フロー値が大きくなり、フェノール濃度が低い茎を添加 することでフロー値が小さくなることを確認した。

4. まとめと今後の展開

本研究ではヨシの有効利用と水域の水質改善を持続的に行うことを目的とし、ヨシに含有される有機化学成分の観点からコンクリート用混和剤としての利用性を検討した。得られた知見および結論を以下に整理する。

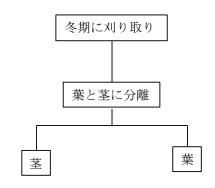
- (1) アルカリ環境,かつヨシ粉末の最大粒径を 300μm とした条件下では、粒径を 150μm 以下とすることでフェノール溶出濃度が高くなることがわかった。
- (2) ヨシ粉末による吸水作用は、粒径が細かくなるほど 高くなることが予想されたが、ロータス効果(撥水作 用)により、粒径が細かいほど吸水量が少なることが 推察された。
- (3) モルタルにヨシ粉末を添加することで, 流動性 (フロー) が向上することを確認した。その要因としてはヨシ粉末に含まれているフェノール類 (リグニン) の作用によるものと考えられた。
- (4) モルタルの流動性は、ヨシ粉末に含まれるフェノール類 (リグニン) の影響で上昇する一方で、ヨシ粉末による吸水作用によって低下する。そのため、有機化学成分の割合と吸水作用を考慮したうえで、ヨシ粉末の添加量を検討する必要がある。
- (5) ヨシの生育状況は、フェノール (リグニン) 濃度に影響を及ぼさないが、部位 (葉と茎) によって溶出するフェノール (リグニン) 濃度が異なることがわかった。

今後の展開としては、ヨシ粉末を添加した際の強度特性について評価を行う予定である。植生する植物を添加していることから、特に強度発現には慎重に評価する必要がある。これまでの著者らの研究においては、ヨシ粉末を添加した際のセメント初期反応熱について評価してきた。その結果、168hまでの検討ではあるが、通常セメントと同程度の反応熱が生じることが明らかになっている100。しかし、長期的な強度特性の検討については、実施できていないことから今後明らかにする予定である。

以上を踏まえたうえでヨシの刈り取り時期と利用用途について図-7 にまとめる。水質浄化、生物多様性空間の創出を目的に、冬期まではヨシの生育を促し、冬期に草枯れが生じるまでに地上部の刈り取りを実施する。地下部は、翌年の生育に備えて刈り取りを行わない。刈り取った地上部は、茎と葉に分離し、それぞれをコンクリート用混和剤(材)として利用することで、持続的な循環利用スキームの構築につながると考える。

参考文献

1) 細川恭史, 三好栄一, 古川恵太: ヨシ原による水質 浄化の特性, 運輸省港湾技術研究所 港湾技術研究



ポゾラン材として利用 減水剤として利用

図-7 ヨシの刈り取り時期と部位に応じた利用用途

所報告, Vol.30, No.1, pp.205-238, 1991

- 2) 山西博幸,木塚 綾,大峯貴裕,高致晟,長濱裕美: 植生管理に向けた新たな河川工作物の提案とその 効果に関する実証研究,土木学会論文集 G (環境), Vol.71, No.7, Ⅲ 221-Ⅲ 228, 2015
- 3) 土屋十圀,池田駿介(1998):ヨシの植生体のある複 断面河道における水理,水工学論文集,Vol.42, pp.403-408,1998
- 4) 滋賀県:ヨシ群落の保全,滋賀県ホームページ<https://www.pref.shiga.lg.jp/ippan/kankyoshizen/biwako/14060.html>,参照日 (2019.12.26)
- 5) 兵頭正浩,緒方英彦,原一生:異なる燃焼温度で作製したヨシ灰のポゾラン反応に関する研究,コンクリート工学年次論文集,Vol.38, No.1, pp.1767-1772,2016
- 6) 島健太郎: コンクリート混和剤技術,シーエムシー 出版,pp.44-48,pp.99-101,2006
- 7) 高野俊幸: リグニンの利用に向けて,ネットワークポリマー, Vol.31, No.5, 213-223, 2015
- 8) 布村昭夫: リグニン利用の現状と二, 三の動向, http://www.fpri.hro.or.jp/rsgetu/07342056001.pdf, 参照 日 (2019.12.26)
- 9) 相賀彩織,伊藤純一(2015):葉の表面構造と撥水性 の発現機構-イネの葉における微細構造とロータス 効果-,植物科学最前線, Vol.6, No.3, pp.102-111, 2015
- Hyodo, M., Shibahara.,S., Ogata, H.: Influence of organic components and inorganic components of reed as a concrete admixture, Paddy and Water Environment, Vol.17, No.3, pp.411-417, 2019
- 横山隆亮,鳴川秀樹,工藤光子,西川和彦:化学と 生物,日本農芸化学会,Vol.53,No.2,pp.109-110, 2015