

論文 ポーラスコンクリートによるヨシ植栽工法の有効性の検討

武田 字浦^{*1}・田中 周平^{*2}・児島 孝之^{*3}

要旨：本研究では、琵琶湖湖岸へのヨシの簡易な植栽工法の確立を目的として、ポーラスコンクリート工法によるヨシ植栽の有効性について、琵琶湖で広く行われているヤシマット工法によるヨシの植栽と比較することにより検討を行った。ヨシ茎個体数の生存率は、ポーラスコンクリート工法の方が高く、活着率は60%となり、ポーラスコンクリート植栽基盤は消波ブロックの役割も果たす可能性が示唆された。また、植栽基盤部の空隙間には地下茎も観察され、空隙径がヨシの成長を阻害しないことも観察されたことから、ポーラスコンクリート工法は、現在より広範囲においてヨシの植栽が期待できる工法であると考えられる。

キーワード：ポーラスコンクリート、ヨシ、琵琶湖、空隙率、水準測量、活着率、ヨシの根

1. はじめに

かつて、琵琶湖には広大なヨシ群落が存在していた。しかし、都市化の進展に伴い1953年に268haあったヨシ群落は、1992年には128haにまで減少した。ヨシ群落は、水鳥や魚の生息場所であり、湖岸の浸食を防止するほか、水質保全にも役立つなど様々な機能を持っている。このため、ヨシ群落を積極的に保全し、その多様な機能を発揮させることは、琵琶湖の環境保全にもつながることとなる。滋賀県は、1992年にヨシ群落保全条例を制定し、2010年までに新たに20haのヨシ群落の再生などに努めることとしている。しかし、遠浅の湖岸が減少するなど、かつてヨシ群落が存在していた頃に比べ、湖岸状況が大きく変化していることから、ヨシ群落の復元は困難なものとなっている。

近年、エココンクリートとして注目されているポーラスコンクリート（以下、PoC）は、水や空気が内部を通過でき、植物の生育に必要な養分や根が侵入できる構造になっている。このため、植物を植栽できる緑化コンクリートとしての利用が期待でき、様々な植物の植栽を目的とした研究がされている。このPoCを用いてヨシ

を植栽することにより、(1) PoC部が消波ブロックの役割を果たすことでヨシ株の洗掘を防ぐ、(2)より水深の深い場所においてもPoCにヨシが活着することにより基盤部が重石となりヨシ株の流失を防ぐ、といった効果が期待できる。このため、より簡易で活着率の高いヨシの植栽が可能になると考えられる。

本研究では、琵琶湖湖岸へのヨシの簡易な植栽工法の確立を目的として、琵琶湖で広く行われているヤシマット工法（以下、マット工法）によるヨシの植栽と比較することにより、PoC工法によるヨシ植栽の有効性について検討を行った。なお、本実験は2003年に既発表の論文¹⁾の継続実験である。

2. PoC植栽基盤の作製¹⁾

2.1 使用材料

表-1にPoC植栽基盤に用いた使用材料を示す。PoCには、高炉スラグセメントB種を用い、その一部をシリカフュームで置換した。これは、環境負荷低減を目的としたpH値の低減と、運搬・設置時の植栽基盤強度確保のためである。また、粗骨材には粒径13~20mmの砕石を用い、

*1 立命館大学大学院 理工学研究科総合理工学専攻 工修（正会員）

*2 京都大学大学院 工学研究科附属環境質制御研究センター 工博

*3 立命館大学 理工学部建築都市デザイン学科教授 工博（正会員）

微粒分は空隙率に影響を与えるため、5mm ふるいで除去した後、気乾状態で使用した。

PoC への植栽用ヨシとして、 $\phi 15 \times 15\text{cm}$ の2年生育株（ヨシ高さ：50～100cm）のポット苗を用い、植栽用土壌にはマット工法と同様に、バーク堆肥と川砂を1：4の割合で混合したものを用いた。マット工法では、 $80 \times 120\text{cm}$ のヤシマットにヨシ子株を6～9株植栽後2.5年生育したヨシマット（ヨシ高さ：50～100cm）を使用した。マット工法とは、ヨシ株をヤシの繊維で作製したマットに植栽し、数年間育成したものをを用いるヨシ植栽工法の1つであり、軽量で簡単に植栽可能な反面、固定は木杭のみで行うため波浪によって流失しやすい工法でもある。

2.2 示方配合

表－2 に PoC の示方配合を、配合要因とともに示す。ペースト粗骨材率（P/G）22.5%，水結合材比（W/B）22.5%，シリカフェーム置換率（SF/B）15%とした。ヨシの太い地下茎の伸長空間確保と、予備実験²⁾より目標空隙率35%，目標ペーストフロー値180とし高性能AE減水剤使用量により調整した。PoC 植栽基盤は、運搬・設置などによって破損しない程度の強度を有していればよく高い強度を必要としないことから、目標圧縮強度は 8N/mm^2 とした。

2.3 PoC 植栽基盤作製

PoC の練混ぜには、レディーミクストコンクリートプラントの実機ミキサを用いた。練混ぜ

終了後運搬車（タイヤショベル）に移し、植栽基盤作製場所に搬送した。

2.4 PoC の物性試験方法

PoC 物性試験用供試体は、JCI-SPO1 に準拠し作製した。供試体は、打設2日後に脱型し、所定材齢（材齢28日）まで水中養生を行った後、硬化後の物性試験を実施した。

空隙率試験は、JCI-SPO2-1 の容積法、圧縮強度試験は JIS A 1108 に準じて行った。また、圧縮強度試験用供試体には、空隙率試験と同一の円柱供試体を用いた。載荷試験実施時には、変心除去のため載荷点および支点到焼石膏キャッピング（早強セメント：焼石膏：水＝1：2：1.5）を施し平滑にした。

2.5 PoC の物性試験結果

表－3 に PoC の物性試験結果を示す。空隙率は、目標の35%を確保できた。圧縮強度は 6N/mm^2 となり、目標の 8N/mm^2 に満たなかったが、運搬・設置に伴う PoC 植栽基盤の破損は確認されなかったため、十分な耐力を有していたと推察される。

2.6 植栽基盤概要

図－1 に PoC 植栽基盤を示す。 $60 \times 59 \times 15\text{cm}$ の PoC に、ヨシ植栽用に $\phi 17.5 \times 15\text{cm}$ の円筒の箱抜きを4ヶ所設けた。また、運搬・設置時のクレーンのフック取付け用に、異形棒鋼（D16）を用いて取手を2箇所設置した。PoC 植栽基盤は打設2日後に脱型し、水中養生を行った。

表－1 PoC 植栽基盤の使用材料

材料	主要な性質
セメント(C)	高炉セメントB種、密度： 3.02g/cm^3 、粉末度： $3950\text{cm}^2/\text{g}$ 、高炉スラグ混入量：40～45%
シリカフェーム(SF)	ノルウェー産粉体、密度： 2.20g/cm^3 、 SiO_2 ：93.1%、粉末度： $2.0 \times 10^5\text{cm}^2/\text{g}$ 平均粒径： $0.15\mu\text{m}$
粗骨材(G)	土山産碎石、表乾密度： 2.68g/cm^3 、FM＝6.98、吸水率：0.45%、実績率：57.7% 粒径：13～20mm
高性能 AE 減水剤(SP)	ポリカルボン酸系、密度： 1.05g/cm^3

表－2 ポーラスコンクリートの示方配合

P/G (%)	W/B (%)	SF/B (%)	単位量 (kg/m^3)				SP (%)	目標 空隙率 (%)
			W	C	SF	G		
22.5	22.5	15	46.7	176.5	31.2	1432.4	1.1	35

3. 琵琶湖へのヨシの植栽

3.1 PoC へのヨシの植栽¹⁾

PoC 植栽基盤脱型後、約 5 週間の水中養生の後、レディーミクストコンクリートプラント内にてヨシの植栽を行った。ヨシ株植栽後の PoC 植栽基盤は、基盤上面から 5cm 以上冠水した状態を保ち、レディーミクストコンクリートプラントヤード内にて養生を行った。養生期間は 8 週間とし、この間、ヨシの生育調査を行った（調査項目は表-4 参照）。

3.2 現場設置¹⁾

ヨシの植栽実験は、琵琶湖試験ヤード〔琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター（Biyo センター）〕にて行った。図-2 に、琵琶湖試験ヤードにおける PoC 工法とマット工法の配置図を示す。両工法により植栽したヨシの生育状況を比較するため、PoC 工法とマット工法を交互に配列した。植栽面積は、PoC 工法 40m²、マット工法 40m² の計 80m² とし、供試体寸法が異なるため、1×2m の区画内に、PoC 植栽基盤は 2 基、ヨシマットは 1 枚ずつ設置した。

設置場所の地盤高は、琵琶湖標準水位（以下 B.S.L.、標高 84.371m=B.S.L.±0cm）-92~-66cm の範囲とした。これは、従来ヨシの植栽が行われている範囲より 20~30cm 深い範囲となっている。

(1) PoC 工法によるヨシの植栽

レディーミクストコンクリートプラントヤード内での養生後、PoC 植栽基盤を琵琶湖試験ヤードに運搬・設置した。運搬の際、植栽基盤の

取手に、クレーンのフックを取付けた。この時、ヨシは植栽基盤底面から横方向に多くの地下茎および根を伸ばしていたため、株が抜け落ちることはなかった。このことから、ヨシは 8 週間の養生期間があれば、PoC 植栽基盤に根付くことを確認した。

(2) マット工法によるヨシの植栽

マット工法によるヨシの植栽では、ヨシマットを各設置位置に仮置きした後、流失を防ぐため、1 マットにつき木杭を 4 本打設し中央部に盛土をした。

3.3 地盤測量

植栽工法が地盤高の変動に及ぼす影響を検討するため、水準測量によりヨシ植栽地域の地盤

表-3 PoC植栽基盤部の物性

容積法		圧縮強度 (MPa)
全空隙率 (%)	連続空隙率 (%)	
38.1	36.6	6.93

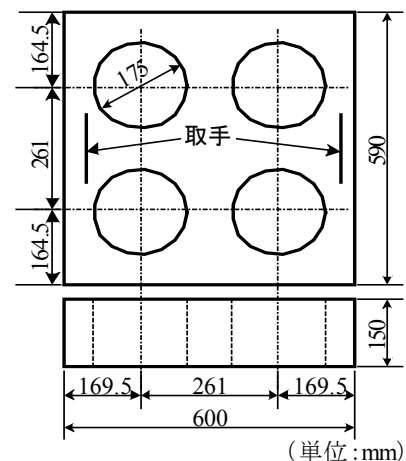


図-1 PoC 植栽基盤

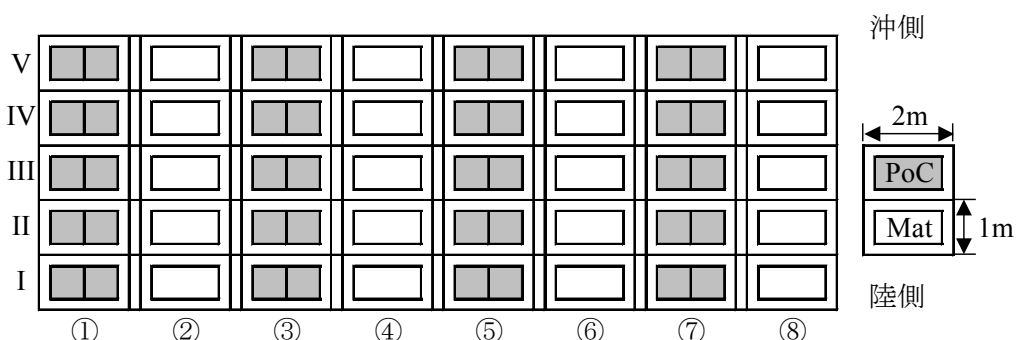


図-2 供試体配置図

測量を行った。測定は、植栽1年目～5年目まで各年9月に実施した。

3.4 ヨシの生育調査

(1) ヨシの生育調査項目

表－4にヨシの生育調査項目を示す。ヨシの生育調査項目は、ヨシ茎個体数、茎径、ヨシ高さ、株内最長ヨシ高さとした。

植栽1年目のヨシの生育調査は、PoC植栽基盤へのヨシ植栽直後（7月）、琵琶湖試験ヤード設置直後（9月）、試験ヤードへの設置から2ヶ月後（11月）の計3回行った。同様に、マット工法においては試験ヤード設置直後（9月）、試験ヤード設置から2ヵ月後（11月）の計2回行った。さらに、植栽2年目以降は、両工法とも、4月から11月まで毎月1回生育調査を行った。1～3月および12月の冬季には、ヨシの発芽が期待できないため、生育調査を実施しなかった。

(2) ヨシの根の観察

琵琶湖に設置後、1年6ヶ月が経過したPoC植栽基盤内部に伸びたヨシの根の観察を行った。検討項目は、植栽基盤内部の観察および内部に伸びた根の乾燥質量とした。

4. 結果および考察

4.1 地盤測量結果

図－3に地盤測量結果を示す。PoC工法によりヨシを植栽した範囲では、地盤高の変動はほとんど観察されなかった。一方、マット工法による植栽範囲では5年間で約10cmの地盤高の低下が確認された。特に、陸側での地盤高の低下が沖側に比べて大きかった。これは、引いていく波が地盤を浸食していったためと推察される。

このことから、PoC植栽基盤部には、地盤の侵食を防ぐ機能があり、消波ブロックの役割を果たす可能性が示唆された。

4.2 ヨシの生育調査結果

(1) 茎固体総数の生存率

図－4に、植栽1年目9月に対する2年目以降各年9月のヨシ茎固体総数の生存率を示す。水深は、琵琶湖河川事務所が毎日発表している琵琶湖の水位より、各調査月の平均水位を求めヨシ植栽範囲の水深を算出したものである。植栽2年目の茎個体数は、1年目の約1/3と大きく低下した。PoC工法においては、植栽4年目まで生存率が低下傾向にあったが、5年目で若干上昇した。しかし、マット工法では低下し続け、5年目においては1年目の4%となった。

植栽1年目9月での水深はほぼ0cmで、ヨシ株がほとんど水に浸かっていない状態であったが、2年目以降では水位が大きく上昇し、水深が30cm以上となった。水位の上昇に伴い茎個体総数が減少したことから、ヨシの生育は水位、即ち冠水深さに影響されると推察できる。

(2) 活着率

図－5にヨシ茎現存箇所を示す。灰色の箇所が、植栽5年目9月において、ヨシの茎個体数が確認できた箇所である。植栽区画数と現存箇所から両工法でのヨシ株の活着率を求めた結果、PoC工法で60%、マット工法で15%となった。PoC工法によるヨシの植栽では、植栽基盤に植栽した8株のうち全てが流失・枯死する場合と、その一部のみが流失・枯死する場合がある。これに対し、マット工法においては、波浪の影響でヨシマット自体が流失してしまい、植栽希望箇所

表－4 ヨシの生育調査項目

測定項目	ヨシ植栽工法	
	PoC工法 (PoC)	マット工法 (Mat)
	測定年月	測定年月
ヨシ茎個体数 茎径 ヨシ高さ 株内最長ヨシ高さ	・植栽1年目 7月(植栽直後), 9月(湖岸設置直後), 11月 ・植栽2年目～5年目 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11月	・植栽1年目 9月(湖岸設置直後), 11月 ・植栽2年目～5年目 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11月

所にヨシが全くない状態となる。このため、マット工法による活着率が PoC 工法によるものより大幅に減少した。

一般に、マット工法によるヨシ植栽の活着率は、B.S.L.-50cm までの範囲で 30.4%とされている³⁾。しかし、本実験では従来の植栽範囲よりも 20~30cm 水深の深い位置において植栽実験を行ったため、一般的な値より小さい値となったと考えられる。今回提案した PoC 工法では、マット工法より大きい活着率を示したことから、より水深の深い範囲でもヨシの植栽が可能になると期待できる。

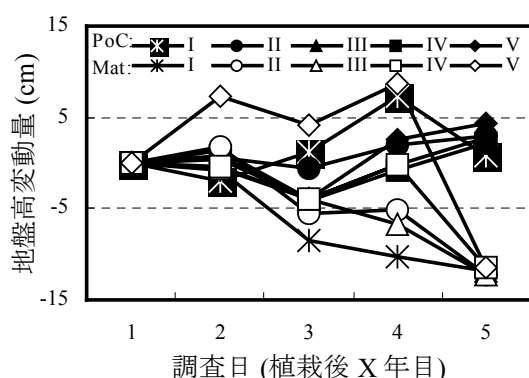


図-3 地盤測量結果

(3) 茎径の増加率

図-6 に、植栽 1 年目 9 月に対する 2 年目以降の平均茎径の増加率を示す。平均茎径には、株内最長ヨシの茎径の平均値を用いた。両工法とも、植栽 2 年目および 3 年目では、平均茎径が減少することもあったが、4 年目および 5 年目にかけて成長率は増加傾向にあった。PoC 工法では、4 年目で 210%の増加率となったが、5 年目では 160%となった。マット工法においては、3 年目では増加率が減少傾向にあったが、それ以降は平均茎径が増加していた。また、植栽工法に関係なく、平均茎径増加率への水深の影響は

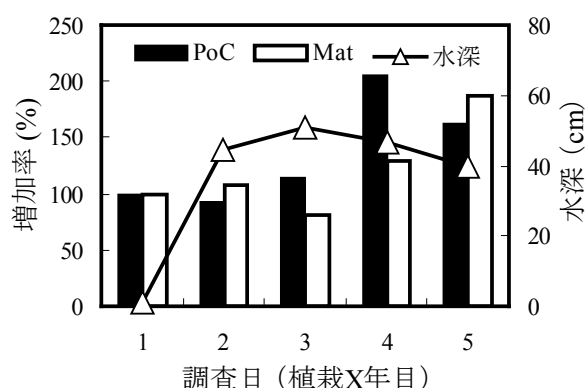


図-6 平均茎径の増加率

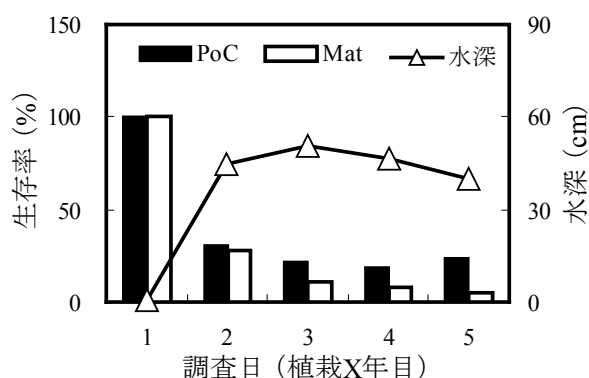


図-4 ヨシ茎固体数の増加率

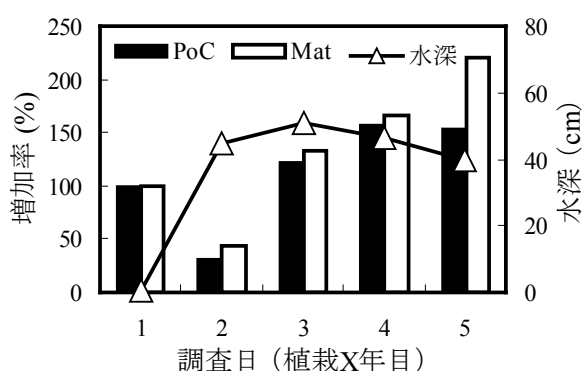


図-7 最長ヨシ高さの増加率

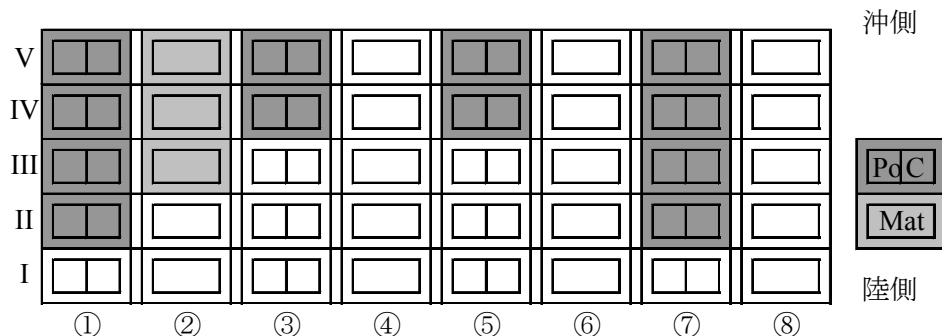


図-5 ヨシ茎現存箇所

観察されなかった。

(4) ヨシ高さの増加率

図-7 に植栽1年目9月に対する2年目以降の平均株内最長ヨシ高さの増加率を示す。ヨシ植栽工法に因らず、2年目では、9月に上陸した台風によってヨシ茎が倒されていた。倒れているヨシについては、倒れている状態でヨシ高さを測定したため、株内最長ヨシ高さの増加率が大きく低下したと考えられる。3年目以降は経時変化とともに増加率が上昇し、マット工法に因るものの方が高い増加率を示した。両工法とも、ヨシ高さへの水深の影響は観察されなかった。

(5) 根の調査

表-5 に PoC 供試体内部に伸びたヨシの根の乾燥質量を示す。琵琶湖試験ヤードにてヨシを植栽していた PoC 植栽基盤2基(琵琶湖供試体)を実験室に持ち帰り、PoC 空隙間に伸びたヨシの根の観察を行った。また、実験室において3年間植栽実験を行っていた PoC 植栽基盤(実験室供試体)と比較した。

琵琶湖供試体の沖側部分内部には、ヨシの根が多く、また、しっかりとした太い地下茎も伸びており、35%の空隙率があれば根の伸長は阻害されることはないと考えられる。一方、陸側においては、細い根しか観察されなかった。

実験室供試体と琵琶湖供試体の断面を比較すると、琵琶湖供試体内部に伸びた根の乾燥質量は、実験室供試体の1/8~1/10となり、空隙内に伸びている根の量が全く異なる結果となった。しかし、時間の経過により、琵琶湖供試体においても実験室供試体のように根が伸びると考えられる。

琵琶湖供試体内部からは、数種類の虫や巻貝などが出てきたことから、PoC 植栽基盤の空隙は小動物の生息場としても有効であり、生態系を維持しながらヨシの植栽をすることが可能になると期待できる。

5. まとめ

(1) PoC 植栽基盤が地盤高の変動に与える影響は

表-5 ヨシの根の乾燥質量

供試体	乾燥質量 (g)
琵琶湖-沖側	14.9
琵琶湖-陸側	11.7
実験室	120

ほとんどなく、消波ブロックの役割も果たせる可能性が示唆された。

(2) PoC 工法により植栽したヨシの生育状況は、従来工法であるマット工法により植栽したヨシと比較すると、植栽効果が高い傾向が見られた。ヨシ株の活着率は、PoC 工法で60%、マット工法で15%となり、PoC 工法により植栽したヨシの方が高い活着率を示した。

(3) PoC 内部の空隙量は、ヨシの根の伸長を阻害することなく、植栽基盤内部には多くの根が伸びていた。また、琵琶湖に設置していた PoC 植栽基盤内部からは、数種類の虫や巻貝などが出てきたことから、PoC を用いて生態系を維持しながらヨシの植栽をすることは可能であると期待できる。

以上の結果から、PoC によるヨシの植栽は、従来工法に比べ植栽効果が高く、より水深の深い範囲においてもヨシの植栽が期待できる工法である。

【参考文献】

- 1) 武田字浦, 田中周平, 高木宣章, 児島孝之: ポーラスコンクリートを用いたヨシの琵琶湖への植栽, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1175-1180, 2003.7
- 2) 大島正記, 阿佐見雅子, 高木宣章, 児島孝之: 再生骨材を用いたポーラスコンクリートによる琵琶湖へのヨシの植栽, 第45回日本学術会議材料研究連合講演会講演論文集, pp278-279, 2001.9
- 3) 淡海環境保全財団: 琵琶湖のヨシ再生に向けた植栽条件に係る調査研究報告書