

報告 緑化コンクリートの河川護岸への適用

柳橋邦生^{*1} 米澤敏男^{*2} 安藤慎一郎^{*3} 杉本 敦^{*4}

要旨： ポーラスコンクリートをベースとして空隙部に保水材を充填し、表層に客土を固着した構成を特徴とする緑化コンクリートを信濃川の護岸にて試験施工を行った。コンクリートの厚みや使用骨材、客土の厚み、植物の種類、緑化コンクリートの下部の条件を変化させた各区画における植物の生育は良好であった。河川増水後の植生は、芝を植栽した区画は客土の流失がなく、植生の復活も順調であった。現地に暴露した構造体を模擬した試験体の材令6ヶ月～1年までの長期強度は、施工時と比較して低下が認められなかった。

キーワード： コンクリート、ポーラスコンクリート、植栽、植物、緑化、護岸、施工

1. はじめに

緑化コンクリートは、建築物の外部や屋上、都市インフラストラクチャー、河川護岸、長大法面等の緑化を目的として開発されたものであり、コンクリートとしての力学的な機能と植栽基盤としての機能を併せ持つコンクリートである。近年、コンクリート製の護岸が生態系に与える影響の懸念や景観上の理由から、河川護岸では生物棲息用の空間や植物を取り入れた自然環境に近い多自然型護岸が採用されはじめている。通常の植栽基盤を護岸に適用した場合は、増水時に植栽基盤が流されてしまうことが多く、景観の維持が難しい。これに対して緑化コンクリートを護岸に適用すると、増水時における護岸自体の保護と植物の流出防止が期待できる。今回、信濃川の護岸に緑化コンクリートを適用し各種の試験を行う機会があったので、以下に施工と試験の概要、植生の観察結果、および河川の増水が緑化コンクリートへ及ぼす影響について報告する。

2. 緑化コンクリートの概要

緑化コンクリートは、図-1のような連続空隙硬化体（ポーラスコンクリート）をベースとしてその空隙内に保水材と肥料を充填し、表面を薄層客土で覆土した構造を持っている。硬化体のバインダーには、アルカリによる植物への影響を抑制する目的で低アルカリ性の高炉セメントC種を使用している。連続空隙硬化体の空隙は、保水材や肥料の充填空間と根の成長空間を兼ねている。薄層客土は発芽空間としての役割と硬化体内部からの水分の乾燥を防止する機能を兼ねている[1]。

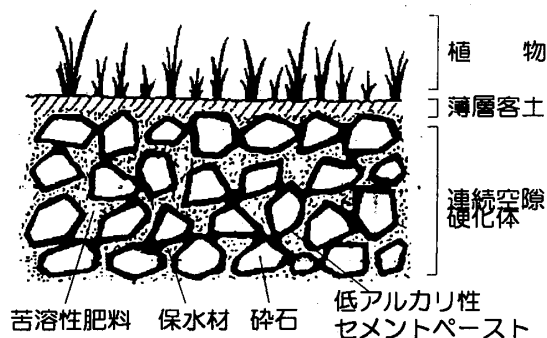


図-1 緑化コンクリートの構成

*1 (株)竹中工務店 技術研究所 (正会員)

*2 (株)竹中工務店 技術研究所 主任研究員 (正会員)

*3 (株)竹中土木 技術開発本部

*4 建設省 信濃川工事事務所

3. 試験工事の概要

試験施工は新潟県小千谷地区の信濃川中流部にて94年9～10月に行った。施工部の標準断面を図-2に示す。根固めに木工沈床を、法留めに巨石を用い、法覆工に緑化コンクリートを適用した。緑化コンクリート部は起伏を形成し、より自然な景観となるよう配慮した。

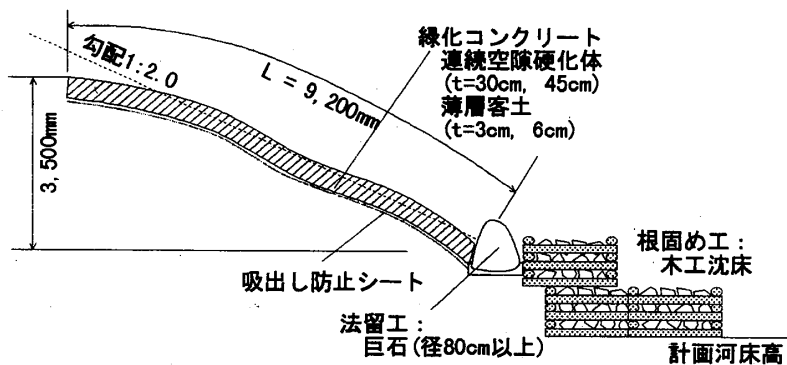


図-2 施工部の標準断面

試験施工は、表-1の因子と水

準に従い、幅約3～6m、法長9.2mに区画し、全体幅70mにわたって実施した。各試験区における因子と水準の組合せを表-2に示す。

表-1 実験の因子と水準

因子	水準
使用骨材	5号砕石、混合(5号砕石:川砂利=2:1)
連続空隙硬化体厚み	30cm, 45cm
背面の状態	土壌、コンクリート
薄層客土厚み	3cm, 6cm
植物の種類	芝、ワイルドフラワー

植物の種類は表-1に示す芝(ケンタッキー31フェスク、クリーピングレッドフェスク、ヤマハギ、コマツナギ、メドハギ、ホワイトクローバー)、およびワイルドフラワー(オオキンケイギク、シャスターデイジー、カワラナデシコ、桔梗、西洋タンポポ、西洋ミヤコノグサ、ポピー、矢車草、サボナリア)の種子を客土に混入して吹付けた。

表-2 各試験区における因子と水準の組み合わせ

試験区	使用骨材	硬化体厚 (cm)	背面状態	客土厚 (cm)	播種植物
1	5号砕石	30	土壌	3	ワイルドフラワー
2	5号砕石	30	土壌	3	芝
3	5号砕石	30	土壌	6	ワイルドフラワー
4	5号砕石	30	土壌	6	芝
5	5号砕石	45	土壌	3	ワイルドフラワー
6	5号砕石	45	土壌	3	芝
7	5号砕石	45	土壌	6	ワイルドフラワー
8	5号砕石	45	土壌	6	芝
9	混合	30	土壌	3	ワイルドフラワー
10	混合	30	土壌	3	芝
11	混合	30	土壌	6	ワイルドフラワー
12	混合	30	土壌	6	芝
13	5号砕石	30	コンクリート	3	ワイルドフラワー
14	5号砕石	30	コンクリート	3	芝
15	5号砕石	30	コンクリート	6	ワイルドフラワー
16	5号砕石	30	コンクリート	6	芝

4. 施工方法

緑化コンクリートの施工は、木工沈床工、巨石工の後、連続空隙硬化体の打設と養生、保水材スラリーの充填、薄層客土の吹き付けの順に行った。

連続空隙硬化体の使用材料と配合は施工前に試験練りを行って決定した。

表-3に使用材料を示す。コンクリート

は、表-4の2種類の配合条件で、生コン

工場にて練り混ぜ、10tダンプにて運搬し、バックホウにて整形と締固めを行った。打設後は1週間、散水とシートにより養生を行った。

保水材として粉碎し

たピートモスを粉末状緩効性肥料とともにス

表-3 コンクリートの使用材料

セメント	高炉セメントC種	比重2.98	比表面積4150cm ² /g
骨材	信濃川産川砂利	粒径40～25mm	表乾比重2.72
	JIS5号砕石	粒径20～13mm	表乾比重2.76
混和材	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤	比重1.07	

表-4 コンクリートの配合

No.	骨材最大寸法	P/C* (%)	W/C (%)	混和剤 (C x %)	単位量 (kg/m ³)			
					水	セメント	5号砕石	川砂利
A	20	25	25	0.85	60.5	250	1,617	0
B	40	25	25	0.82	64.3	257	1,078	579

ラリー化し、スクィーズ式のもルタルポンプにて圧送し充填した。保水材スラリーの充填量は打設したコンクリート1m³あたりの空隙部分に相当する約0.3m³を目安とした。

薄層客土はバーク堆肥およびピートモスを混合した生育基盤材に肥料およびアクリル酸エステル樹脂を土壌安定材として加え、これに芝や、ワイルドフラワーの種子を所定量を混合して吹き付けた。施工の進捗状況を写真-1～3に、施工完了から8ヶ月が経過した95年6月の状況を写真-4に示す。

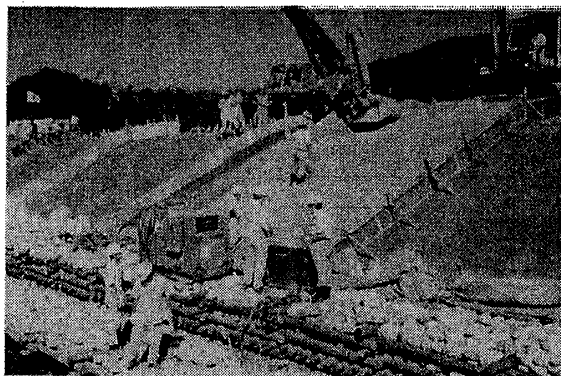


写真-1 連続空隙硬化体の打設状況

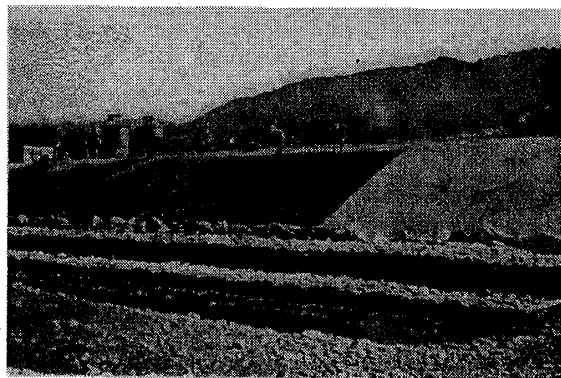


写真-2 保水材の充填状況



写真-3 薄層客土の吹付け状況

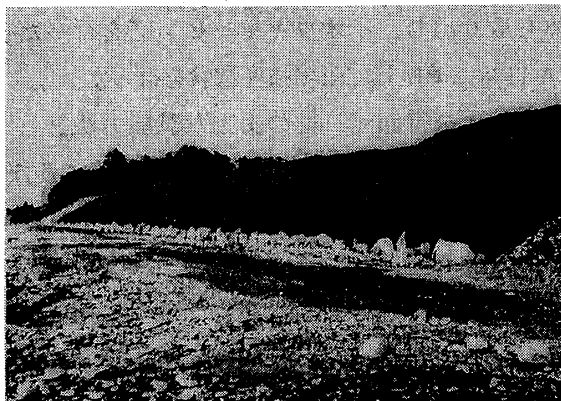


写真-4 施工後の植生状況(95年6月)

5. 連続空隙硬化体に関する試験

5.1 施工時の試験

施工の際に現場にて採取した連続空隙硬化体について空隙率と圧縮強度の測定を行った。

(1) 試験方法

圧縮強度試験用の試験体は、型枠底面に少量のセメントペーストを敷いてからコンクリートを打設し、さらに打設翌日に上面をキャッピングすることにより、上下面をキャッピングした。打設後、3日目に脱型した後、材令まで20℃の室内にて封緘養生を行った。試験体寸法はφ15cm×30cmとし、1材令あたり3本の試験体を作製した。

空隙率はJIS A 1128 (フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法) に従って容器につめた時の重量と、容器上面まで注水した後の重量差から算出した。圧縮強度試験は、材令1週および4週経過時にJIS A 1108に準拠して行った。

(2) 試験結果

試験結果を表-5に示す。空隙率は配(調)合A(最大寸法20mm)で28%、B(最大寸法40mm)で25%であった。材令4週の圧縮強度は、配(調)合Aで平均133kgf/cm²、Bで160kgf/cm²であった。

5.2 連続空隙硬化体の構造体強度

連続空隙硬化体の現位置での構造体強度は、打設時の締め固め条件や養生条件等の施工条件とともに根から供給される根酸や環境条件により、標準養生の試験体の強度とは異なることが推定される。このため、現位置での連続空隙硬化体の長期構造体強度について、試験を行った。

(1) 試験方法

試験施工区の護岸上部に図-3に示す試験体設置用の穴つき連続空隙硬化体版を打設し、この穴に試験施工時に現場にて採取したを $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ の試験体を挿入した。1週間、散水とシートにて養生を行った後、上記の試験施工と同一の手順で保水材の充填、芝の種子を混入した薄層客土の吹き付けを行った。

材令6ヶ月および9ヶ月経過時に $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ の試験体を取り出し、イオウキャッピングを行った後、JIS A 1108に準拠して圧縮強度試験を行った。

コア採取を行わず、このような試験方法としたのは、圧縮強度が低いため、コア採取が強度に及ぼす影響が強いと判断したためである。

(2) 試験結果

試験結果を表-6に示す。実際に植物が生育した状態で6ヶ月～1年が経過したが、全般的に表-5に示した標準養生の試験体の圧縮強度(材令4週)と比較して大きな差は認められなかった。材令12ヶ月の配合Aの試験体は、やや低い値を示したがこれが試験体のばらつきによるものかどうかはさらに長期の試験結果を調べる必要がある。参考文献[2]のように硬化体のみを1年間暴露した場合の圧縮強度も低下していないことを考慮すると、現時点では屋外環境であることと植物の根のいづれも連続空隙硬化体の長期強度に影響を与えていないと判断できる。

表-5 施工時のコンクリート試験結果

試料 No.	配合 No.	空隙率 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	
			材令1週	材令4週
1	A	28.0	87	141
2	A	28.0	105	146
3	A	28.1	93	112
4	B	26.0	95	140
5	B	24.7	147	179

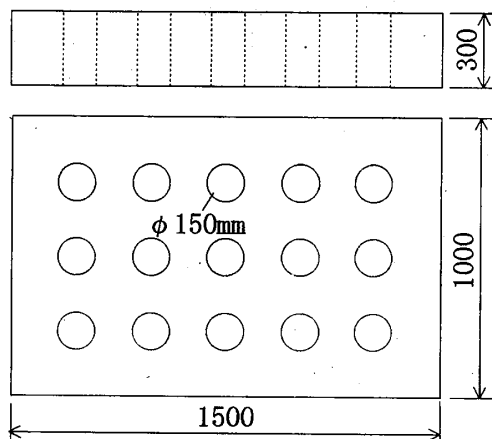


図-3 構造体強度確認用試験版

表-6 耐久性確認試験結果

配合 No.	圧縮強度 (kgf/cm ²)		
	6ヶ月後	9ヶ月後	12ヶ月後
A	148	167	102
B	140	141	186

6. 河川増水前の植生評価試験

6.1 試験項目と試験方法

表-2の試験区No.1～16の各々の植生の評価を行うため、発芽数量、植被率、生育高さを調べた。また、試験区No.2およびNo.10に相当する配(調)合条件がAおよびBの試験体の根の侵入深さを調べた。発芽数量は、施工後6ヶ月目に上部、中央、下部からランダムに $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の部分を10箇所選出して生育本数を数えた。10箇所の発芽数量の平均値を100倍し、 1m^2 あたりの発芽数量とした。植被率は、試験区全体を写真撮影し、植物で覆われている面積の割合を目視にて5%単位で評価した。生育高さの測定は、各植物をランダムに5本選出して高さを測定し、その平均値により評価した。根の侵入深さは、5.2の構造体強度を測定した試験体を割裂し、測定した。

6.2 試験結果

施工6ヶ月後および9ヶ月後の発芽数量、植被率、生育高さを各々図-4～6に示す。

芝の発芽数量は900本/m²前後で一定であり、使用骨材、コンクリート厚、背面状態による差は認められなかった。ワイルドフラワーの発芽数量は、背面条件が土壌、使用骨材が5号砕石、コンクリート厚30cmの条件の試験区が他の試験区より多い傾向が見られたが、理由は明確でない。

植被率は6ヶ月経過時には芝、ワイルドフラワーともコンクリート厚や背面状態による差は小さかったが、客土厚では、6cmの試験区の方が3cmの試験区よりも高い植被率を示し、使用骨材では、5号砕石を使用した試験区が川砂利と5号砕石を混合した試験区よりやや高い植被率を示した。9ヶ月経過時の植被率は6ヶ月経過時の植被率に比較して高くなり、客土厚や使用骨材による差は、認められなくなった。

6ヶ月経過時の生育高さはいずれの試験区も極めて小さかった。これは雪解けからの期間が短く、植物が十分生育していないことによると考えられる。客土厚が6cmの試験区の9ヶ月経過時の芝およびワイルドフラワーの生育高さは、3cmの試験区より高い植被率を示すものが多かった。コンクリート厚による芝の生育高さの差は小さかった。使用骨材が川砂利と5号砕石の混合品の試験区では、9ヶ月経過時の芝の生育高さは5号砕石を使用した試験区に比較してやや低かった。背面状態がコンクリートの試験区の9ヶ月経過時の芝の生育高さは背面が土壌の試験区に比較して低い傾向を示した。ワイルドフラワーの生育高さは、客土の厚み以外の影響は顕著には見られなかった。

施工後6～12ヶ月の根の侵入深さを表-8に示す。根の侵入深さは6ヶ月経過時には配合による差は認められなかったが、9ヶ月経過時には配合Bの試験体の根の侵入深さがやや大きかった。12ヶ月経過時には根は試験体のほぼ底部に達したことが判明した。

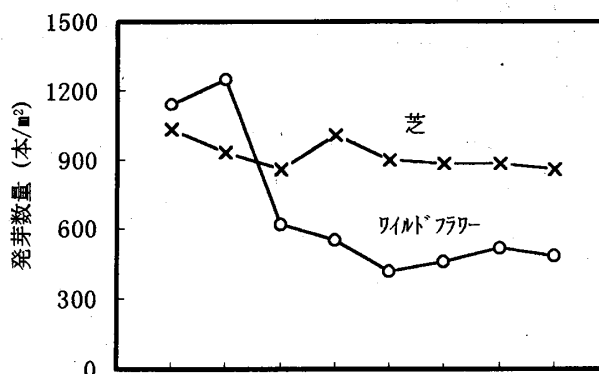


図-4 発芽数量の比較

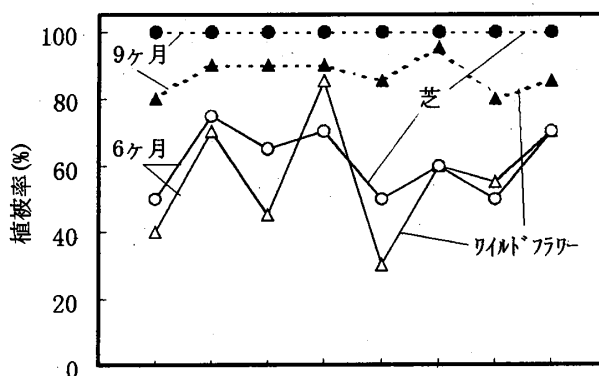


図-5 植被率の比較

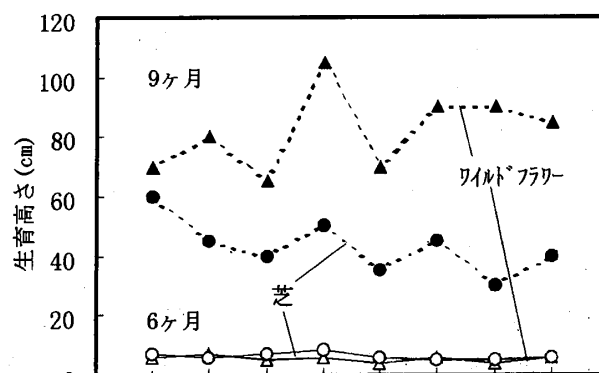


図-6 生育高さの比較

7. 河川増水による客土および植生への影響

試験区の堤体の高さは350cmであるが、95年4月には雪解け水により24日間、緑化コンクリートの下部から平均で44cm、最高で199cmの高さまで水没した。7月には集中豪雨があり、17日間、平均で69cm、最高で348cmの高さまで水没した。このときの緑化コンクリート施工部分における流速は2.0～2.4m/sであった。

10月に調査した植物と客土の状態を表-9に示す。芝を植栽した試験区は、茎の倒れが認められたが、薄層客土の流失や崩壊はなかった。ワイルドフラワーを植栽した試験区では、薄層客土の一部が流失していたが、中部～上部は植物の倒れが見られる程度であった。各試験区の下部では、初期に導入した植物に替って、在来種のアメリカセンダンソウ、オオイヌタデ、メヒシバ、オナモミ、エノコログサ、ネムノキが繁茂していた。ただし、客土の流失した部分にはこれらの植物はほとんど生育していなかった。

以上の結果から芝を植栽した緑化コンクリートは冠水と水流に対して強い抵抗性を有しており、冠水後の植生の復活が早いことが判明した。

8. まとめ

緑化コンクリートを信濃川の護岸へ試験施工を行い、評価・観察を行った結果、連続空隙硬化体の耐久性に問題のないこと、植物が良好に生育することや芝の試験区では増水時に植物と基盤の流失がないことが確認できた。緑化コンクリートは河川護岸の保護と緑化に適した材料であると判断されるが、連続空隙硬化体の長期の構造体強度や植生状況について、今後5年目まで評価試験を継続することを予定している。

今後も多自然型護岸の構築技術のひとつとして緑化コンクリートが適用されるよう引き続き研究を進める予定である。

参考文献

- [1]柳橋邦生他：緑化コンクリートの研究、日本建築学会技術報告集、No.1、pp.61-66、1995.12
- [2]中西康博他：緑化コンクリートに用いる連続空隙硬化体の長期強度とpH、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第5部、pp.170-171、1995.9
- [3]柳橋邦生他：緑化コンクリートの施工—河川護岸における適用事例、自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文報告集、pp.97-102、1995.11

表-8 根の侵入深さ測定結果

配合 No.	根の侵入深さ(cm)		
	6ヶ月後	9ヶ月後	12ヶ月後
A	10	22	27
B	10	25	28

表-9 冠水後の水際部に生育した植物と薄層客土の状態

試験区 No.	初期に導入した植物	初期導入植物以外に観察された植物の種類	客土流出部分(巨石工部分からの高さ)
1	ワイルドフラワー	A, B, C, D, E, F	下部から2m
2	芝	A, B, E, F, G, K	下部から20cm
3	ワイルドフラワー	A, B, C, D, E, G	下部から50cm
4	芝	A, B, C, D, E, F, G, H	なし
5	ワイルドフラワー	A, B, C, D, F, G, I	下部から1m
6	芝	A, B, E, F, H, J, K	なし
7	ワイルドフラワー	A, B, C, D, E, G, I	下部から2m
8	芝	A, B, E, F, G, J	なし
9	ワイルドフラワー	B, D, G, H, I	下部から1m
10	芝	A, B, E, F, G, I, J	なし
11	ワイルドフラワー	A, B, D, E, F, G, I	下部から1.5m
12	芝	A, B, E, F, G, I, J	なし
13	ワイルドフラワー	A, B, D, E, G, I	下部から1m
14	芝	A, B, F, G	なし
15	ワイルドフラワー	B, D, G, L	下部から50cm
16	芝	B, E, G	下部から10cm

注) 植物の種類はそれぞれ A:オナモミ、B:アメリカセンダンソウ、C:ケンタッキ-31フェスク、D:クリーピングレッドフェスク、E:メヒシバ、F:ネムノキ、G:オオイヌタデ、H:カタツムリ、I:ワイルドフラワー、J:エノコログサ、K:ヨモギ、L:メヒシバを表す。