

論文 場所打ち緑化コンクリートの河川護岸への適用

田中博一*1・上野久*2・中野慎一*3・栗田守朗*4

要旨：松戸市国分川の河川改修にあたり、護岸および高水敷、低水路に緑化コンクリート（植物の生育が可能なポーラスコンクリート）を場所打ちで施工した。施工するにあたり施工方法等を検討するために、打込み基盤、締固め方法、締固め方向を要因とし、現地において実施工モデル試験体による確認試験を実施した。その結果、打込み基盤によって空隙率および圧縮強度に差が認められること、表面の目詰まりを抑制するためには合板を敷設した上から締め固めることが有効であることが明らかになった。また、コアの圧縮強度は標準養生供試体の80%程度であった。

キーワード：緑化コンクリート、場所打ち、現場打ち、施工、河川護岸

1. はじめに

近年、環境問題に対する社会的な意識の向上とともに、土木・建築の両分野においても、自然との調和あるいは共生を目指して様々な試みがなされている。河川護岸の整備においても、河川法が改正され、治水の確保のみならず河川環境の整備とその保全が目的に加えられた。その結果、環境に配慮した河川護岸工法として、緑化コンクリート（植物の生育が可能なポーラスコンクリート）を用いた河川護岸の事例が増加している^{1),2)}。

ポーラスコンクリートを用いた河川護岸の施工方法には、場所打ちで行う方法と工場製品であるプレキャストブロックを用いる方法があるが、筆者らは、レディミクストコンクリート工場で一般的に使用されている材料を用いた汎用性の高い場所打ちの緑化コンクリートの研究、開発を行っている³⁾。

今回、千葉県松戸市国分川の河川改修を実施するにあたり、護岸および河床に緑化を目的としたポーラスコンクリートを適用する機会を得た。ポーラスコンクリートを場所打ちで施工し

た例が少ないため、施工方法等を検討する目的で実施工モデル試験体による確認試験を実施した。本文では、確認試験の検討結果および実施工における施工方法、品質管理結果について述べる。

2. 施工概要

施工概要を表-1に、施工箇所の標準断面を図-1に示す。施工箇所は2割勾配の護岸のり面と平坦の高水敷および低水路である。

表-1 施工概要

施工場所	千葉県松戸市紙敷地先 一級河川国分川			
施工箇所	施工箇所	面積 (m ²)	厚さ (cm)	打設量 (m ³)
	護岸	189	20	37.8
	高水敷	107	20	21.4
	低水路	419	15	62.9
ポーラス コンクリート の仕様	圧縮強度：10N/mm ² 以上 (材齢28日) 空隙率(連続・全)：21±3%			

*1 清水建設(株) 技術研究所 土木研究開発部 工修(正会員)

*2 松戸市役所 建設局 土木部 河川課

*3 (財)リバーフロント整備センター 研究第三部

*4 清水建設(株) 技術研究所 土木研究開発部 主任研究員 工修(正会員)

3. 実施工モデル試験体による確認試験

3.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm³，比表面積：3320cm²/g），細骨材は，栃木県下都賀郡大平町産の山砂（表乾密度：2.58g/cm³，吸水率：2.07），粗骨材は，栃木県下都賀郡大平町産の碎石（表乾密度：2.72g/cm³，吸水率：0.98，粒径5～20mm），混和剤は，オキシカルボン酸系のAE減水剤を使用した。これらすべての材料は，現地のレディミクストコンクリート工場で通常使用されているものである。

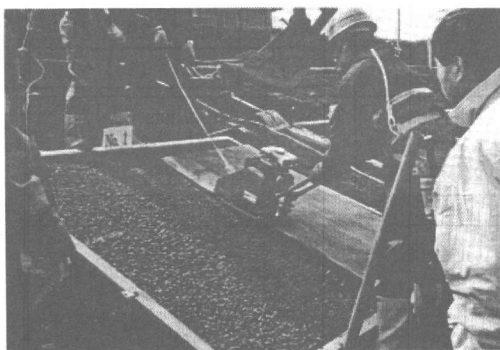
3.2 配合

配合を表一2に示す。ポーラスコンクリートは，細骨材を使用しないのが一般的であるが，ここでは，細骨材を使用している。これは，締固め時に振動を与えた場合，だれて分離するのを抑制するためである。

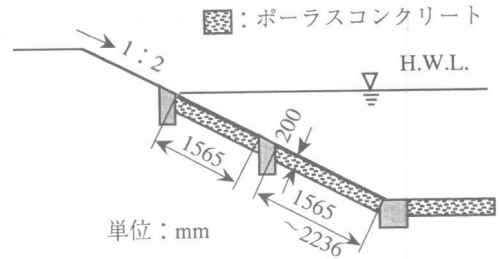
3.3 試験体の形状および種類

試験体は，形状をたて200cm×よこ200cm×厚さ20cmとし，実施工を行う予定と同じ仕様ののり面に型枠を設置し作製した。

試験体の種類を表一3に示す。試験要因は，基盤の種類，締固め方法，締固め方向とした。基盤の種類は，現地の地盤が非常に軟弱であったので，基盤の影響を検討するために，コンクリートを打込む基盤の種類は，碎石を15cmの厚さで敷設したものと原地盤を人力土羽打ちで仕上げたものの2種類とした。締固め方法は，合板を敷設した上から行う方法（写真一1参照）と



写真一1 締固め状況（のり面垂直方向）



図一1 施工箇所の標準断面図

表一2 配合

W/C (%)	全空隙率 (%)	単位量(kg/m ³)				AE減水剤 (C×%)
		W	C	S	G	
30	21	85	283	142	1523	0.025

表一3 試験体の種類

試験体 No.	基盤の種類	締固め方法	締固め方向
1	碎石	合板不使用	のり面垂直
2	碎石	合板使用	のり面垂直
3	原地盤	合板不使用	のり面垂直
4	原地盤	合板使用	のり面垂直
5	碎石	合板不使用	重力方向

合板を敷設せず直接締固める方法の2種類とした。締固め方向は，のり面に対して垂直方向（写真一1参照）と重力方向（写真一2参照）の2種類とした。

3.4 試験体の作製方法

ポーラスコンクリートは，松戸市内のレディミクストコンクリート工場にて容量3m³の強制2軸練りミキサを使用して製造した。

打込みは，0.2m³のバケツを装着したバックホウを用いて行い，所定の撒き出し厚さになる



写真一2 締固め状況（重力方向）

まで均等に敷き均した。撒き出し厚さは以下の方法で設定した。50cm×50cm×(設計厚さ)とした場合の容積に相当するコンクリートの質量を配合から算出する。算出した質量のコンクリートを計量し、50cm×50cmの型枠に投入し転圧せずに均等に敷き均す。その時の厚さを撒き出し厚さとした。試験した結果、設計厚さ20cmの場合、撒き出し厚さは24cmとなった。締固めは、小型の振動コンパクターを用いて設計厚さになるまで行った。締固め終了後、ただちに養生シートで覆い養生した。

空隙率および圧縮強度を測定するために、材齢26日において、各試験体からφ10cmのコアを4本ずつ採取し、両端面をコンクリートカッターを用いて整形した後、試験を実施するまで20℃の水中に養生した。なお、コアと比較するため、同じバッチの試料で、φ10×20cmの標準養生供試体を各材齢につき3本ずつ作製した。

3.5 試験項目

(1) 施工性の評価

設定した各種の施工方法について、目視により施工性を評価した。

(2) 空隙率

コアおよび標準養生供試体について、連続空隙率および全空隙率を測定した。試験方法は、JCIのエココンクリート研究委員会から提案されている「ポーラスコンクリートの空隙率測定方法(案)」の容積法に準拠した。

(3) 圧縮強度

コアおよび標準養生供試体について、両面をキャッピングした後、JIS A 1108に準拠した試験方法で圧縮強度を材齢28日で測定した。

4. 結果および考察

図-2~7に示される値は、各試験体から採取した4本のコアの平均値である。各試験体における変動係数は、全空隙率で2~10%程度、圧縮強度で8~11%程度であった。

4.1 基盤の種類の影響

(1) 空隙率

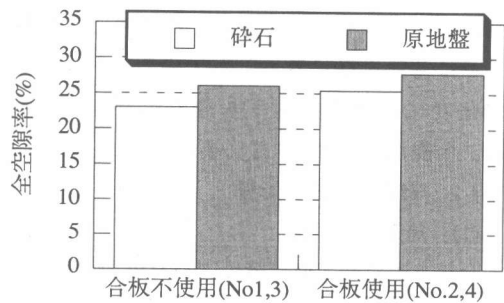


図-2 空隙率に及ぼす基盤の種類の影響

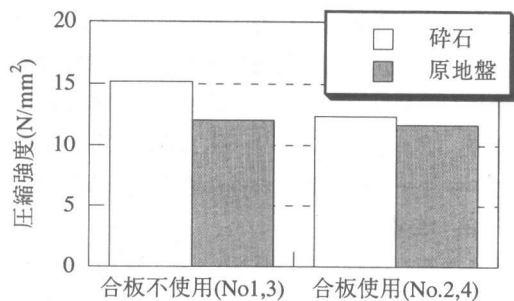


図-3 圧縮強度に及ぼす基盤の種類の影響

基盤を砕石とした試験体No.1および2と原地盤とした試験体No.3および4の全空隙率を図-2に示す。原地盤は、砕石と比較して、いずれの締固め方法においても、全空隙率が3%程度大きくなった。連続空隙率についても同様であった。これは、原地盤の場合、締固め時に基盤が沈下したためと考えられる。

(2) 圧縮強度

基盤を砕石とした試験体No.1および2と原地盤とした試験体No.3および4の圧縮強度を図-3に示す。原地盤は、砕石を敷いた基盤と比較して、圧縮強度は若干小さくなった。これは、先述したように原地盤での全空隙率が砕石を敷いた基盤と比較して大きくなったためと考えられる。ポーラスコンクリートでは、空隙率が大きくなるにつれ圧縮強度が低下するという既往の研究³⁾と一致する。

以上の結果より、いずれの基盤においても、圧縮強度の下限値である10N/mm²を満足しており、また、植物の根がポーラスコンクリートを貫通し基盤に達した場合、砕石より

原地盤の方が有効であることを考慮し、実施工では基盤を原地盤とした。空隙率および圧縮強度に対する打込み基盤の影響については、今後さらに検討する必要がある。

4.2 締固め方法の影響

(1) 施工性の評価

合板を敷設せず直接締め固めた場合、ポーラスコンクリートの表面に目詰まりを生じやすく、不陸が生じやすかった。一方、合板を敷設した場合、目詰まりは生じず、不陸も生じにくかった。これは、合板を敷設することにより締固め面積が増加し、かつ合板が緩衝材となることにより、ポーラスコンクリートの表面にかかる振動エネルギーが分散されるためと考えられる。

(2) 空隙率

直接締め固めた試験体No.1および3と合板を敷設して締め固めた試験体No.2および4の全空隙率を図-4に示す。基盤の種類によらず、合板を敷設した場合は、直接締め固めた場合より全空隙率が2%程度大きくなった。連続空隙率についても同様であった。

(3) 圧縮強度

直接締め固めた試験体No.1および3と合板を敷設して締め固めた試験体No.2および4の圧縮強度を図-5に示す。基盤の種類によらず、合板を敷設した場合は、直接締め固めた場合と比較して圧縮強度が若干小さくなったが、下限値である10N/mm²を満足した。圧縮強度が若干小さくなったのは、合板を敷設した場合は、直接締め固めた場合より全空隙率が大きくなったためと考えられる。

以上の結果より、空隙率および圧縮強度については、締固め方法により顕著な差が認められなかったが、いずれの場合でも圧縮強度の下限値を満足しており、施工性、表面の目詰まりについては、合板を敷設した方が良好であったので、実施工では、合板を敷設した上から締め固めることとした。

4.3 締固め方向の影響

(1) 施工性の評価

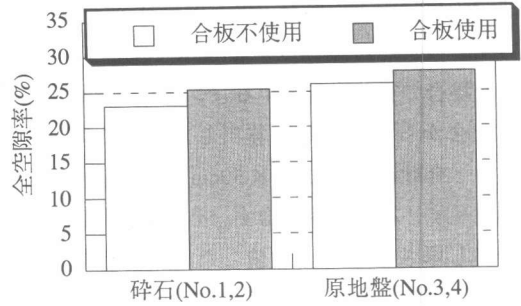


図-4 空隙率に及ぼす締固め方法の影響

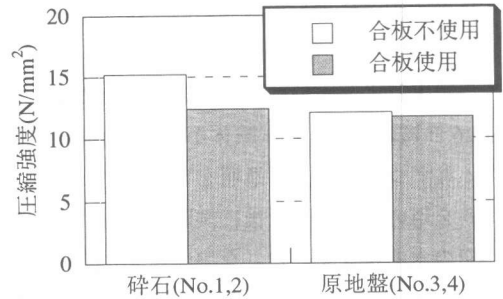


図-5 圧縮強度に及ぼす締固め方法の影響

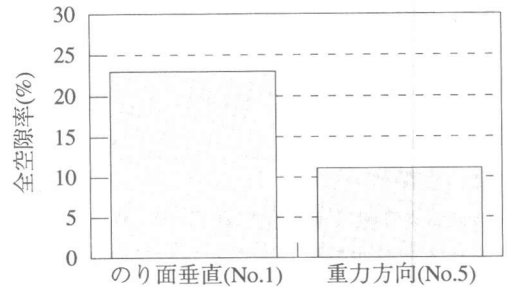


図-6 空隙率に及ぼす締固め方向の影響

重力方向に締め固めた場合、不陸が生じた。施工速度は、重力方向よりのり面に対し垂直方向の方が速かった。

(2) 空隙率

のり面垂直方向に締め固めた試験体No.1と重力方向に締め固めた試験体No.5の全空隙率を図-6に示す。重力方向で締め固めた場合、のり面垂直方向と比較して全空隙率が半分以下になった。連続空隙率についても同様である。垂直方向に締め固めた場合、施工上の制約から、締固めの程度をコントロールすることが困難であるため、過度に締め固まり、全空隙率が小さくなったと考えられる。

(3) 圧縮強度

のり面垂直方向に締め固めた試験体No.1と重力方向に締め固めた試験体No.5の圧縮強度を図-7に示す。重力方向で締め固めた場合、のり面垂直方向と比較して圧縮強度が2倍以上となった。これは、重力方向に締め固めた場合、締め固め過ぎにより全空隙率が半分以下となったためと考えられる。

以上の結果より、重力方向に締め固める方法は、施工性が悪く、所定の空隙率を確保することが困難であることから、実施工では、のり面に対し垂直方向で締め固めることとした。

4.4 空隙率と圧縮強度の関係

コアおよび標準養生供試体の全空隙率と圧縮強度の関係を図-8に示す。図中の回帰直線は、コアの結果のみから得られたものである。空隙率と圧縮強度の関係は相関性が高く、直線で近似が可能であり、今回の検討範囲では、同一空隙率におけるコアの圧縮強度は標準養生供試体の圧縮強度の80%程度であった。コアの圧縮強度が標準養生供試体より低下するのは、コア採取時の影響などが考えられる。

コアと標準養生供試体の強度差については、今後データをさらに蓄積して確認する必要がある。

5. 実施工

5.1 施工方法

ポーラスコンクリートの使用材料、配合および製造は、実施工モデル試験体による確認試験と同様である。現場までの運搬にはアジテータトラックを用いた。施工状況を写真-3に示す。打込みは、0.2m³のバケツを装着したバックホウを用いて所定の撒き出し厚さまで行い、レーキ等を用いて人力により均等に敷き均した。打込み箇所が遠くてバックホウが使用できない場合は、ワイヤモックに1回0.3~0.4m³程度積み込みクレーンを用いて打込みを行った。

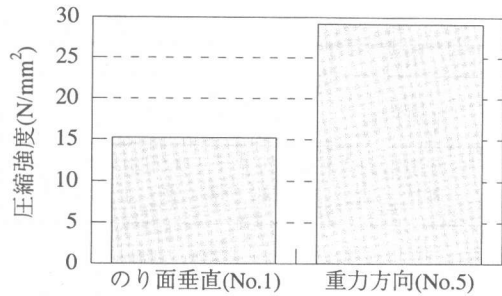


図-7 圧縮強度に及ぼす締め固め方向の影響

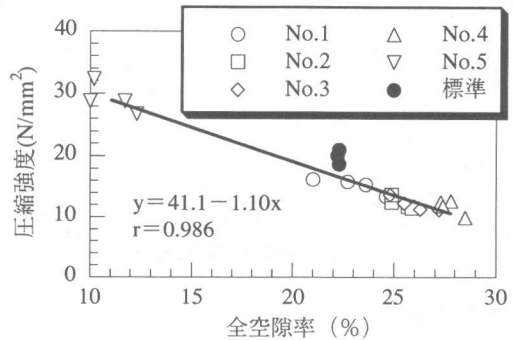


図-8 空隙率と圧縮強度の関係



写真-3 施工状況

所定の撒き出し厚さまで均等に敷き均したことを確認した後、表面の空隙の目詰まりを防ぐために合板を敷いた上から振動コンパクタを用いて設計厚さになるまで締め固めた。締め固め終了後、養生シートで覆って養生し、乾燥しないように適時散水した。

5.2 品質管理

(1) 品質管理項目

ポーラスコンクリートの品質管理項目を表-4に示す。なお、品質管理は、製造直後に作製

表-4 品質管理項目

項目	試験方法	時期・回数	判定規準
圧縮強度	JCIの「ポーラスコンクリートの試験方法(案)」に準拠	50m ³ に1回および1回/日以上 試験材齢7日および28日	10N/mm ² 以上 (材齢28日)
全空隙率および連続空隙率	JCIの「ポーラスコンクリートの試験方法(案)」に準拠	50m ³ に1回および1回/日以上 試験材齢7日	21±3%

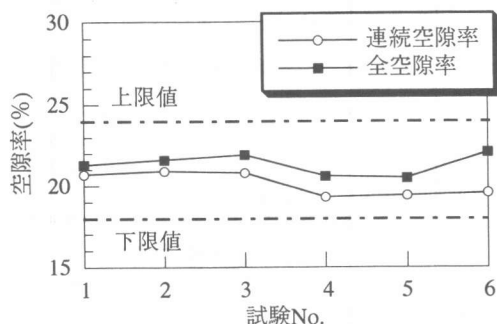


図-9 空隙率の品質管理結果

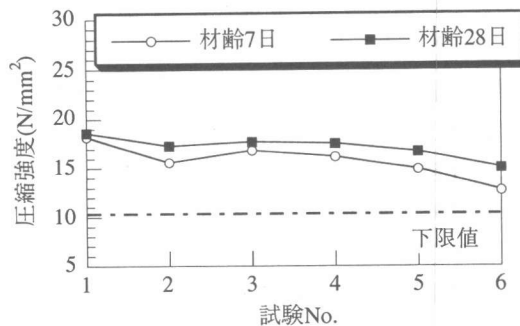


図-10 圧縮強度の品質管理結果

した標準養生供試体を用いて行った。

(2) 品質管理試験結果

全空隙率および連続空隙率の品質管理結果を図-9に、圧縮強度の品質管理結果を図-10に示す。また、品質管理結果から得られた平均値、標準偏差および変動係数を表-5に示す。

空隙率および圧縮強度は、いずれも管理範囲に入っている。圧縮強度については、材齢28日では材齢7日と比較し平均値で1.4N/mm²増加し、変動係数は材齢28日で4.6%であった。

6. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 打込み基盤によって、空隙率および圧縮強度に差が認められた。これは、基盤が締め固め時に沈下したためと考えられる。したがって、場所打ちで施工する際には打込み基盤の影響に留意する必要がある。
- (2) 植生に対する影響が大きいため、締め固め時にポーラスコンクリートの表面が目詰まりしないようにする必要がある。目詰まりを抑制するには、合板を敷設した上から締め固めることが有効である。
- (3) 同一空隙率におけるコアの圧縮強度は標準養

表-5 品質管理結果

	圧縮強度(N/mm ²)		空隙率(%)	
	材齢7日	材齢28日	連続空隙	全空隙
平均	15.7	17.1	20.1	21.3
標準偏差	1.34	0.79	0.79	0.67
変動係数(%)	8.5	4.6	3.9	3.1

生供試体の80%程度であった。

(4) 実施工における品質管理の結果、ポーラスコンクリートの圧縮強度の変動係数は、材齢28日で5%程度、空隙率の変動係数は3~4%程度であった。

参考文献

- 1) 柳橋邦生・米澤敏男・安藤慎一郎・杉本敦：緑化コンクリートの河川護岸への適用，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.1，pp.1017-1022，1996
- 2) 岸田秀樹：コンクリート構造物の景観向上技術の開発—その3・緑化に関する検討，セメント・コンクリート，No.610，pp.11-16，1997.12
- 3) 田中博一・今井実：緑化コンクリートの強度特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.1，pp.283-288，1999