

# 論文 石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートの酸性河川への 中和材料としての適用

大塚孝義<sup>※1</sup>・富塚一寿<sup>※2</sup>・金井誠一郎<sup>※3</sup>・岡本享久<sup>※4</sup>

**要旨**：石灰石骨材を用いて製造したポーラスコンクリート・ブロックの酸性河川への中和反応材料としての適用性について、普通骨材を用いた場合との比較を混じえて検討した。室内実験では硫酸溶液下での石灰石骨材ポーラスコンクリートの中和反応効果に関する基本的な性状を把握し、続いて実際の酸性河川にて暴露試験を行い、中和反応材料としての有意性を明らかにした。石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートは、普通骨材よりも速い中和反応を示すこと、また河床材としてブロック化することにより、河川のもつ自然の流れによって効率的に酸性河川を中和させる効果が大きいことがわかった。

**キーワード**：ポーラスコンクリート、石灰石、空隙率、透水係数、中和材料

## 1. はじめに

近年、環境保全や景観向上を前提とした都市開発及び地域開発は、極めて当たり前になりつつあり、地球環境負荷の低減に寄与すると共に、生態系との調和、あるいは共存を図ることがキーワードとなっている。その中で、火山国である日本における特有な問題として、硫黄鉱山の排水により河川水がpH2.0以下にまで酸性化し、魚類等が生息しない「死の川」となっている河川も少なくないことが挙げられ、効率的な解決方法の開発が急務となっている。これまで石灰石を粉末にし、ミルク化して酸性河川に混入する方法が有力な方法として提案され、一部で適用されている。しかし、下流ダムへの余剰石灰石粉末の沈殿などの問題が顕在化し、必ずしも効率的な方法とはいえない。そこで、経済的にも構造的にも簡易な石灰石を骨材としたポーラスコンクリートを使って、酸性河川を中和反応させる方法をここに提案し、効果を明らかにすることを目的とし、室内実験及び暴露試験を実施した。すなわち、本研究は、石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートの酸性河川への中和反応効果を普通骨材を用いた場合と比較しながら定量的に評価し、使用骨材の相違、ポーラスコンクリートブロックが酸性河川に浸漬されて、のちのモルタルと粗骨材容積比、空隙率、透水係数の変化と中和度との関係について述べたものである。

## 2. 実験概要

### 2. 1 ポーラスコンクリート・ブロックの作製

#### (1) 使用材料

ポーラスコンクリートに用いる使用材料[1, 2, 3]を表-1に示す。ポーラスコンクリート作製において、結合材と重要な役割を果たす特殊混和材(PM)は、高強度を発現するカルシウムシリケートが主成分のセメント鉱物系のものである。また、粗骨材は普通骨材として6号砕石(13mm～5mm)を、石灰石として秩父産(20mm～5mm)を用いた。

※1 日本シビックコンサルタント(株) 首都圏事業部研究調査部部长 (正会員)

※2 日本シビックコンサルタント(株) 首都圏事業部技術第二部次長

※3 日本シビックコンサルタント(株) 首都圏事業部技術第二部課長

※4 日本セメント(株)中央研究所主席研究員 工博 (正会員)

表-1 ポーラスコンクリート作製のための使用材料

材料名	記号	種類	産地・物性など
セメント	C	早強ポルトランドセメント	比重 3.12、ブレン値 4.200cm <sup>2</sup> /g
混和材	PM	セメント鉱物系微粉末	比重 2.78、ブレン値 7.800cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S	7号珪砂	絶乾比重 2.62、粒径 0.3mm以下
粗骨材	G	6号砕石	青梅産、表乾比重 2.64、実積率 58.8%
		石灰石	秩父産 最大寸法 20mm

(2) 配合条件[2, 3]

ポーラスコンクリート製造における配合条件として、水給合材比(W/P)を22%に固定し、また硬化体の空隙率は単位時間当りのポーラスコンクリート内を透水する水量を変化させる目的で、モルタル粗骨材容積比(M/G)にして30%と40%に設定した。表-2にコンクリートの配合条件及び単位量を示す。

表-2 配合条件と単位量

M/G (Vol%)	W/P (Mass%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		C	PM	W	S	G
30	22	135	45	39	180	1471
40	22	180	60	52	240	1471

注) M/G:モルタル粗骨材比(Vol.%) W/P:水給合材比(Mass.%)

C:セメント G:粗骨材 W:水 P=C+PM

(3) 供試体寸法及び物性値

供試体の形状及び寸法は、φ10×20cmの円柱とし、表-3に酸性水への浸漬対策に供する前の各物性値を示す。尚、養生は蒸気養生とした。

表-3 空隙率、透水係数および圧縮強度(14日強度)測定結果

M/G(%), 骨材種類	空隙率(%)	透水係数(cm/s)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )
30-石灰石	31.74	5.81	9.45
40-石灰石	28.53	3.77	14.59
30-普通骨材	33.44	7.78	9.21
40-普通骨材	28.22	4.14	15.35

2. 2 室内実験

(1) 実験目的及び方法

酸性河川への中和材料として石灰石骨材の中和効果度を把握するために、人工酸性水(初期pH 2)による普通骨材との中和効果の比較を目的に、室内での基礎実験を行った。

実験方法は図-1に示す通り、反応槽(塩化ビニール管150A)に供試体(3個)を入れて、反応槽下部からポンプにより送水し、中和反応させ、上部から反応水槽に送り、pHを測定できる装置とした。

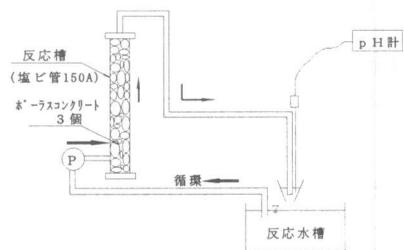


図-1 実験装置概要図

## (2) 実験結果および考察

図-2に反応水槽のpHの経時変化を示す。この結果から、普通骨材及び石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートと共に、骨材周辺モルタル量の少なく、連続空隙率の大きなM/G=30%の方が中和反応が早く始まっている。すなわち、空隙率が大きく透水係数が高いことから、人工酸性水に早く触れるためと考えられる。このことは、供試体物性値と一致している。

また、ほぼ同一の透水係数を有するポーラスコンクリートでも、普通骨材より石灰石骨材を用いた方が中和反応が急激に進み、石灰石の効果が明瞭に表われ、30-石灰石供試体では、5時間程度でpH7~8程度（中性域）の平衡域に達することがわかる。石灰石を用いたポーラスコンクリートのpH上昇に伴う経過時間の差はM/Gの相違により約2時間あり、この原因は透水係数5.81(cm/s)と3.77(cm/s)の差と考えられる。

従って、この実験結果からは、石灰石骨材を用いて透水係数を高めたポーラスコンクリートは早く中和反応を促し、有効な中和材料であることがわかる。

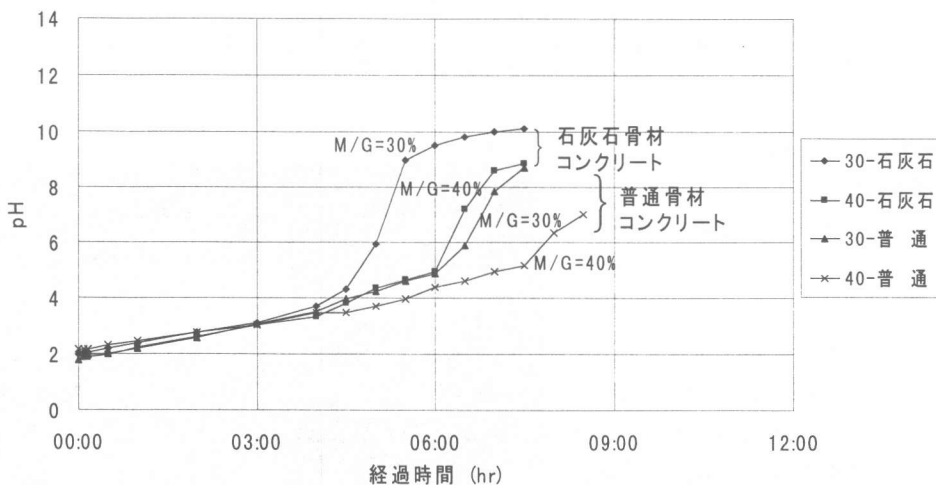


図-2 ポーラスコンクリートを人工酸性水に浸漬した場合の溶液中のpH値の経時変化

## 2. 3 暴露試験

### (1) 目的

室内実験では、石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートが有効な中和材料であることがわかったが、実際の酸性河川では、2価鉄 ( $Fe^{2+}$ ) 等の不純物が溶存し、自然な流れによる酸化作用によって骨材表面に酸化鉄が付着し、中和反応の妨げとなる可能性がある。そこで、室内実験に供したものと同一供試体を用いて暴露試験を行い、適用性を評価することを目的とした。

## (2) 対象河川と設置箇所

わが国には、温泉水、硫黄鉱山跡排水によって河川水質が酸性化し、流域に多面的に酸害をもたらしている事例も少なくない。その内で代表的な酸性河川である遅沢川を対象に暴露試験を行った。

遅沢川は図-3に示す通り、群馬県北西部を流れる吾妻川の支流で表-4に水質調査結果を示す。pH 2～3程度の強酸性河川で魚類の息は全く見られない。供試体は3箇所(No. 2, No. 3, No. 7)に設置した。

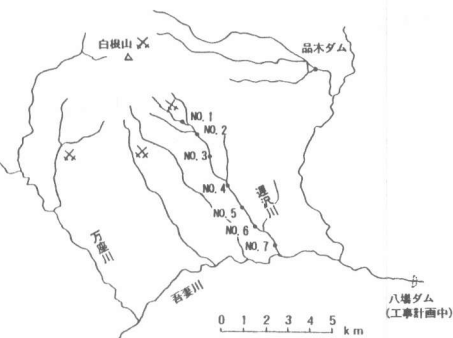


図-3 遅沢川位置図

表-4 遅沢川流域の水質調査結果[4]

位置	pH	水温 (°C)	流速 (m/s)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	Fe <sup>2+</sup> (mg/l)
NO. 1	1.83	18.3	1.5	0.52	150
NO. 2※	2.11	14.9	2.0	0.74	100
NO. 3※	2.14	16.5	1.2	1.20	60
NO. 4	2.45	15.6	0.45	0.41	3
NO. 5	2.46	16.1	1.1	1.30	7
NO. 6	2.49	16.8	0.8	0.55	5
NO. 7※	2.73	16.8	1.1	1.10	5

注) : ※はポーラスコンクリートを設置した箇所

## (3) 試験結果および考察

### ① 中和反応状態

写真-1にNo. 2地点での設置から15日後のポーラスコンクリート中和反応状態を示す。

石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートは、石灰石表面に茶褐色の酸化鉄が点在しているが、中和反応によって石灰石粒径は明らかに減少し、空隙面積が増加していることがわかる。一部には、骨材回りを覆っているセメントペースト及び石灰石がない状態の箇所も見受けられる。これは石灰石骨材を結合形成しているセメントペーストが中和反応によって溶解され、接合力が減じたためである。



写真-1 No. 2地点ポーラスコンクリート状態

このような現象は、茶褐色の酸化鉄及び中和反応による石膏 (C.S.O<sub>4</sub>) の付着によって、反応効果の妨げとはならず、石灰石骨材が減少した原因は、遅沢川自体の流れによるSS分(汚泥)の衝突によってはがれ落ち、新しい石灰石表面が表れたものと考えられる。

## ②空隙率

図-4に骨材種類別、モルタル粗骨材比(M/G)毎の空隙率との関係を示す。

汚泥を洗い流す前の値は、河川内の状態であり、洗い流した後の値は、供試体設置時との比較を示すものである。

石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートは、空隙率がM/G=30%では40~55%、M/G=40%では25~35%程度増加している。

一方、普通骨材を用いたポーラスコンクリートの全空隙率は変化が見られない。これらのことから、石灰石骨材を用いた場合には、時間経過と共に空隙率が増加していくことがわかった。これは中和反応による石灰石骨材の減少が主要因であるためである。

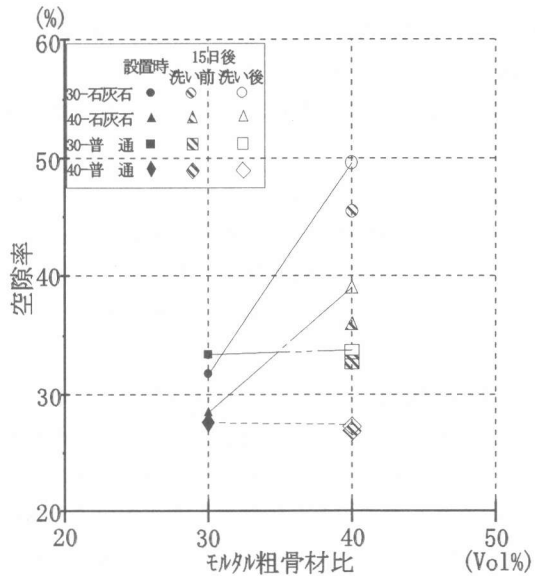


図-4 モルタル粗骨材比と空隙率の関係  
(※：供試体の汚泥を洗い流す前と後)

## ③透水係数

図-5に骨材種類別の空隙率と透水係数の関係を示す。

石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートは、空隙率が高くなるに従い透水係数は大きくなり、空隙率と透水係数は高い相関性を示した。

一方、普通骨材を用いたポーラスコンクリートでは、空隙率、透水係数とも変化していないことがわかる。

これらのことから、石灰石骨材は中和材料として有効に適用すると言える。

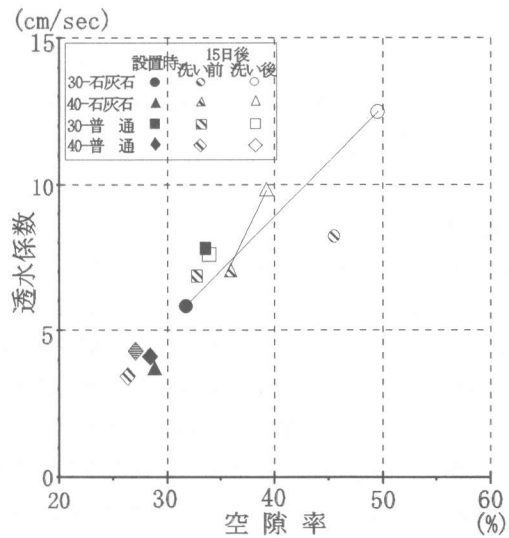


図-5 空隙率と透水係数の関係

### 3. まとめ

本研究は、石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートの遅沢川を対象とする酸性河川の中和材料としての適用性を検証するための基礎実験である。室内実験及び現地河川での暴露試験を行い、その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 酸性河川における中和材料として石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートの適用は有効である。
- (2) 石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートは、酸化鉄等が付着するものの、河川自体の流速によるSS分の衝突で、付着物が除去される傾向にある。
- (3) これらのことから、酸性河川において、河床に石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートをブロック化して設置した場合、河川自身がもつ自然な流れによって中和処理できる可能性があると考えられる。
- (4) 今回の暴露実験では、石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートは15日間という短期間に急激な中和反応が起こり、空隙率、透水係数の増加が著しかったこと、及び河川内に溶存するSS分による空隙率、透水係数の違いがあったことを考慮すると、以下のことが今後の課題として考えられ、さらに研究を進めていく方針である。
  - a) 酸性度（pH値）の違いによる石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートの中和反応速度と配合条件、物性値の関係
  - b) 上記の関係から河床材としての石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートブロックの配置、形状、ブロック量の影響
  - c) 中和反応速度と空隙率、透水係数の関係から、河川内に溶存する不純物（SS分、酸化鉄）の付着、詰まりの状態把握

（謝辞）本研究を進めるに当たり、日本シビックコンサルタントの落合紘一氏、日本セメント中央研究所の後藤孝治氏、中島裕氏、同建材事業部の堀籠浩史氏からも化学面を中心とした貴重な御意見、御助言を賜りました。ここに深く謝意を表します。

#### 【参考文献】

- [1] 堀口 剛，管 和利，伊藤 弘樹，岡本 享久：植生ポーラスコンクリートブロックの流水抵抗に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol. 17, No. 1, pp. 301-306、1995
- [2] 吉森和人，岡本享久，下山善秀，堀口剛：植生ポーラスコンクリートの製造と耐久性に関する実験的研究、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. 39-46、1995. 11
- [3] 吉森和人，藤原浩巳，伊藤修一，岡本享久，下山善秀：ポーラスコンクリートの強度と耐久性に関する研究、セメントコンクリート論文集、No. 49, pp. 650-655、1995
- [4] 富塚一寿，金井誠一郎，落合紘一，瀧和夫：石灰を用いた酸性化河川の再生、第2回エコバランス国際会議講演集、pp. 437-442、1996. 11