

舗装用透水性コンクリートへの未洗浄ダム堆砂の適用性

APPLICABILITY OF UNWASHED DAM SEDIMENT
TO PERMEABLE CONCRETE FOR PAVEMENT

麓 隆行*・松本 嶺**・溝口達也**

by Takayuki FUMOTO, Ryo MATSUMOTO and Tatsuya MIZOGUCHI

1. はじめに

ダムは、河川の急な増水の防止、飲み水や灌漑用水の確保などを目的に建設されてきた。近年では集中豪雨などへの対策から、その存在価値を増している。しかし、その大きさ故に、新たに建設し続けることは難しく、現在のダムを延命利用することが望まれる。

ダムの延命利用に際して問題になるのは、堰き止めたことによる土砂の堆積である。そのため、副ダムなどの土砂堆積用の設備を上流側に設置して、定期的に浚渫している。堆積土砂は、上流側では粒径の大きな粒子が堆積するが、堤体に近づくほど粒子が細くなり、堤体近傍では粘土、シルト分を含むこととなる。また、落ち葉などの腐葉土も一部含まれる可能性がある。しかし、上流とはいえ良好な川砂粒子が存在することから、副ダム内の採取場所により、コンクリートやアスファルト混合物に使用可能な粒径範囲の砂分が採取できる。

ダムに堆積した砂分（以下、ダム堆砂と呼ぶ）を一般的な細骨材として利用するためには、洗浄等の処理が必要と考えられている¹⁾。ダム堆砂を、洗浄までの処理を行わず、建設用資材として利用する試みとして、簡易的なコンクリート舗装やアスファルト舗装への適用も行われている²⁾。その結果では、分級だけであれば、微粒分の影響で粘性が増加する傾向がみられた。

透水性能を期待する舗装で、ポーラスコンクリートが使用される。その際に必要な増粘材には、一般的に高分子や特殊混和剤が使用される。本研究では、その増粘効果をダム堆砂の微粒分で補うことが可能ではないかと考えた。

以下、舗装用ポーラスコンクリートのモルタル部分に、ダム堆砂を適用できるかを締固め試験と曲げ強度試験から検討し、さらにその試験結果を受けて、ダム堆砂中の微粒分がモルタル性状に及ぼす影響について実験した結果を報告する。

2. ダム堆砂の物理的性質

本研究では、奈良県にあるダムから計画的に引き上

げられた土砂のうち、コンクリート用細骨材として使用できると目視で判断された土砂をダム堆砂として検討した。それは、写真1のような分級しただけで未洗浄のもの（以下、未洗浄ダム堆砂と呼ぶ）と、写真2のような分級洗浄したもの（以下、洗浄ダム堆砂と呼ぶ）の2種類である。写真から未洗浄ダム堆砂に比べて、洗浄ダム堆砂のほうが粗い粒度の砂に見える。そこで粒度試験を行ったところ、図1のように、洗浄することにより微粒分が除去され、粒度曲線に差が生じることがわかった。

また、ダム堆砂に関するその他の基本的物性を表1に示す。未洗浄ダム堆砂では微粒分が6.7%であったが、洗浄ダム堆砂では、その微粒分が0.3%にまで低下することがわかる。有機不純物試験の結果では、未洗浄ダム堆砂では有機物の存在が示唆されるが、洗浄ダム堆砂では有機物の存在が低下することがわかる。すなわち、微粒分には有機物が混入している可能性が高い。そのため、細骨材としての吸水率が、未洗浄ダム堆砂

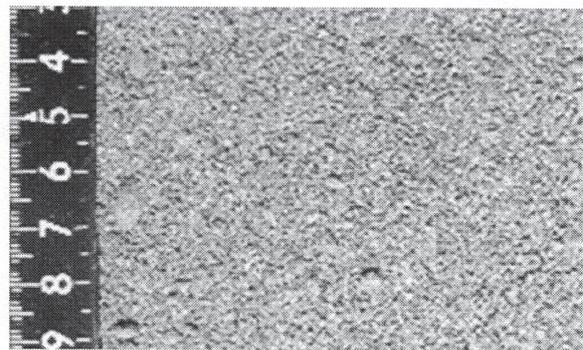


写真1 未洗浄ダム堆砂の外観

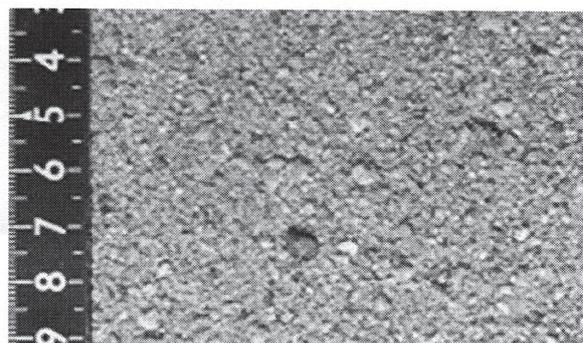


写真2 洗浄ダム堆砂の外観

* 近畿大学講師 理工学部社会環境工学科

**近畿大学大学院 総合理工学研究科環境系工学専攻

では一般的な細骨材に比べて2.99%と高くなり、そのことが表乾密度の低下に繋がったと考えられる。

3. ダム堆砂を用いたポーラスコンクリートの性状

3. 1 実験概要

(1) 使用材料, 練混ぜ手順および供試体作製方法

早強ポルトランドセメント (密度=3.13g/cm³, ブレーン値=4550cm²/g, 50%D=13.3μm), 1505碎石 (流紋岩, 表乾密度=2.60 g/cm³, 実積率=58.3%) を使用した。また, 混和剤にはポリカルボン酸系高性能AE減水剤を使用した。配合表を表2に示す。目標の全空隙率を20, 25および30%として, 粗骨材に対するモルタルの体積比 (m/a) を変えた。さらに, m/aを固定してモルタル中の細骨材の割合 (s/m) を変えて, その影響も調べた。容量600の二軸強制練りミキサを用いて, 1バッチの練混ぜ容量を430として練混ぜを行った。練混ぜは, 粗骨材, セメント, ダム堆砂の順にミキサに入れ30秒練り混ぜた後, 水と高性能AE減水剤を入れ90秒練り混ぜる手順で行った。

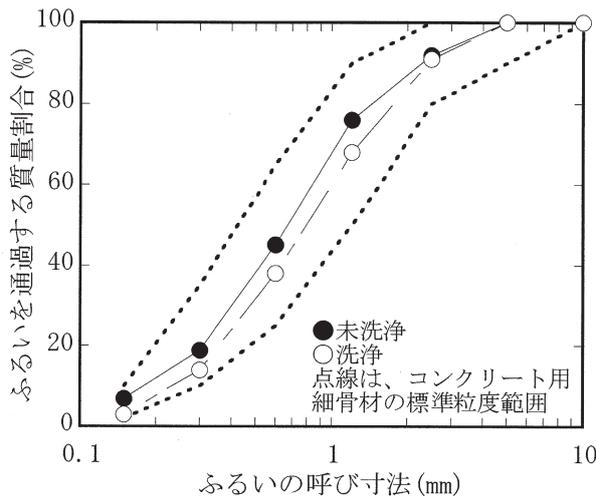


図1 洗浄の有無によるダム堆砂の粒度変化

(2) 締固め試験

ポーラスコンクリート舗装では, ローラーによる転圧を行わず, アスファルトフィニッシャーで上面から締固めを行なう施工が一般的である。そのため, 転圧を前提としているVC振動締固め試験では, 試料全体に振動エネルギーを与えていることから, 過剰なエネルギーを与えることになる。そのため前著³⁾で, 直径240mmの容器に詰めた試料7.25 kgの上面から20 kgの重さの振動機で40秒振動を与える上面振動締固め試験を提案した。本研究でも上面振動締固め試験により, フレッシュ性状を評価することとした。なお, 上面振動締固め試験から算出した締固め密度と配合表から求めた空隙がない場合の理論最大密度との関係から全空隙率を求めた。

(3) 硬化後の注水試験および曲げ強度試験

目標の空隙率となるように, 供試体寸法から算出した質量の試料を型枠内に振動機を用いて詰め込み, 100×100×400 mmの角柱供試体を3本, φ100×200mmの円柱供試体を3本作製した。φ100×200 mmの円柱供試体では, 打設翌日, 注水法により連続空隙率を計測した。また, 100×100×400mmの角柱供試体は, 翌日脱型後, 材齢7日まで20℃の室内にて水中養生を行い, 曲げ強度試験を行った。

表1 本研究で使用したダム堆砂の物理的性質

記号	未洗浄	洗浄
表乾密度 (g/cm ³)	2.51	2.57
絶乾密度 (g/cm ³)	2.44	2.53
吸水率 (%)	2.99	1.68
微粒分率 (%)	6.7	0.3
粗粒率	2.68	2.86
有機不純物試験	濃い	薄い
備考	分級のみ	分級洗浄

表2 ダム堆砂を用いたポーラスコンクリートの配合

ダム堆砂	記号	W/C (%)	目標全空隙率 (%)	m/a (%)	s/m (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能AE減水剤 (C×%)
						水	セメント	ダム堆砂	粗骨材	
未洗浄	D3220	25.5	30	32.1	20	60	237	85	1378	2
	D5120	25.5	20	50.9	20	96	376	136	1378	2
	D4120	25.5	25	41.5	20	78	306	110	1378	2
	D4110	25.5	25	41.5	10	88	345	55	1378	1
	D4130	25.5	25	41.5	30	68	268	166	1378	3
洗浄	W3220	25.5	30	32.1	20	60	237	87	1378	2
	W5120	25.5	20	50.9	20	96	376	139	1378	2
	W4120	25.5	25	41.5	20	78	306	113	1378	2
	W4110	25.5	25	41.5	10	88	345	57	1378	1
	W4130	25.5	25	41.5	30	68	268	170	1378	3

3. 2 締固め性状に関する結果と考察

上面振動締固め試験で、40秒締固めて求めた空隙率の測定結果を図3に示す。モルタル中の細骨材量 (s/m) を一定にし、モルタル量 (m/a) を10%程度変化させることで、空隙率が5%程度変化した。未洗浄ダム堆砂を用いた場合 (黒)、目標空隙率と同程度に締固まった。一方、洗浄ダム堆砂を用いた場合 (白)、目標空隙率に比べて3~5%空隙率が低くなった。この原因は、微粒子が少なくなったため、モルタルの粘性が低下し、締固まりやすくなったことだと考えられる。一方、m/aを一定にし、s/mを変化させた場合、s/mを20~30%とすると、空隙率は目標空隙率と同程度と変化はない。しかし、s/mを10%とすると空隙率が5%ほど低下した。これは、s/mを10%とすると細骨材が少なくなり、締固めに対する抵抗が少なくなったためと考えられる。

次に、単位モルタル体積と上面振動締固め試験との関係を図4に示す。洗浄の有無に拘わらず、単位モルタル体積の増加に比例して、空隙率が減少した。ただ、s/mを10%とした場合は、その関係から離れていた。よ

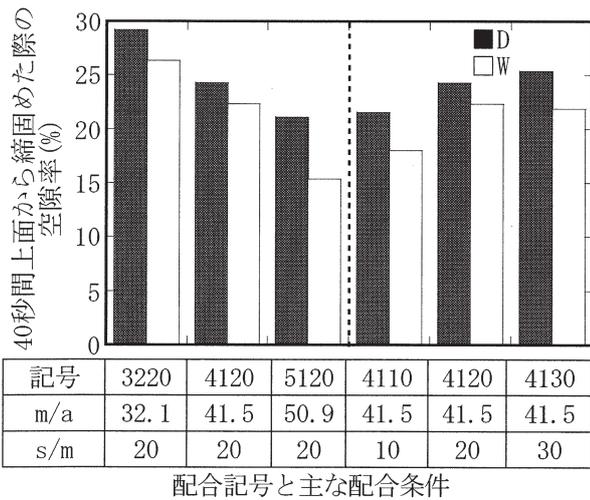


図3 上面振動締固め試験から見たフレッシュ性状

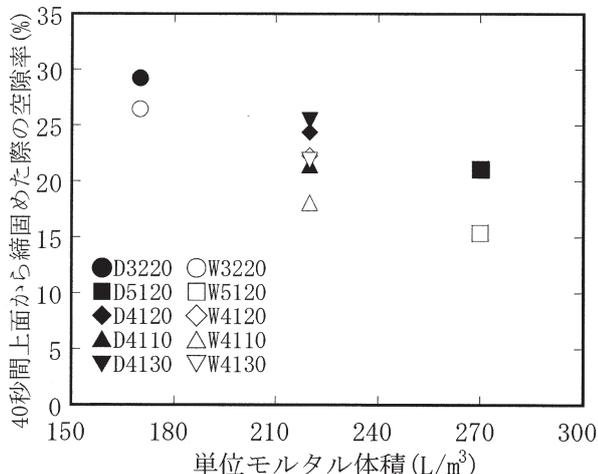


図4 単位モルタル体積とフレッシュ性状との関係

って、未洗浄ダム堆砂を使用し、s/mを20~30%として、モルタル体積の調整により配合設計すると、適切な空隙率を得られることがわかった。ただ、これらの傾向は、河川流域の岩種や単位粗骨材量、W/Cによって、変化する可能性があり、今後、それらの関係を調べる必要がある。

3. 3 硬化後の性状に関する結果と考察

図5に全空隙率と連続空隙率との関係を示す。全空隙率21%のところ、2%ほど連続空隙率が小さくなったが、計算により算出された全空隙率と注水法による連続空隙率はほぼ同じであり、大きなモルタルのダレや閉塞による独立空隙はないと考えられる。未洗浄ダム堆砂および洗浄ダム堆砂のどちらを用いた場合であっても、空隙つぶれ等は見られなかった。

図6に、目標空隙率に締め固めたポーラスコンクリートの全空隙率と曲げ強度との関係を示す。空隙率と曲げ強度は直線関係となった。全空隙率20%程度では、未洗浄ダム堆砂を用いた場合3.9N/mm²なのに対して、洗浄ダム堆砂を用いた場合では4.6N/mm²となった。車道に用いる舗装用コンクリートの設計基準強度は4.4N/mm²

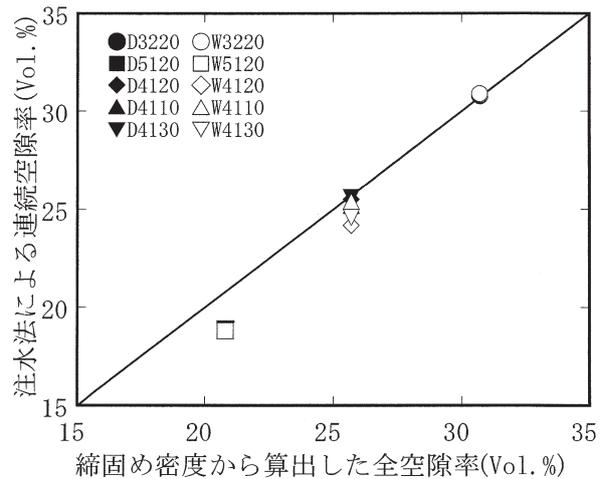


図5 全空隙率と連続空隙率の関係

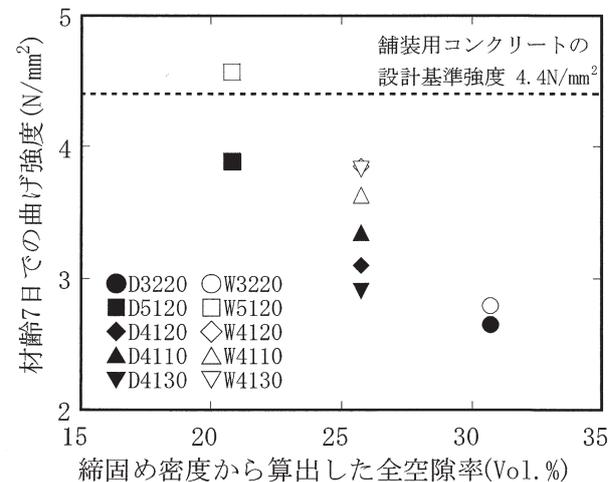


図6 全空隙率と材齢7日の曲げ強度との関係

である。洗浄ダム堆砂を用いた場合では、空隙率20%でその強度に達する。強度と空隙率の関係が直線だと仮定すると、未洗浄ダム堆砂を用いた場合では、空隙率が16%程度であれば4.4N/mm²程度となると考えられ、車道用として使用できる程度の強度が得られると考えられる。なお、舗装用ポーラスコンクリートであれば、空隙率が16%程度あると、十分な透水性能を持っていることは、既に筆者のこれまでの研究で確かめられている⁴⁾。

また、未洗浄ダム堆砂を用いた場合と、洗浄ダム堆砂を用いた場合の曲げ強度の差は、空隙率が小さいほど、大きくなる傾向がある。これは、空隙率が小さいほどモルタルの使用量が多くなったためと考えられる。

以上から、未洗浄ダム堆砂を用いた場合でも、16%程度の目標空隙率になるように締め固めれば、車道に使用可能なポーラスコンクリートを製造できることがわかった。

4. 未洗浄ダム堆砂の微粒分がモルタルに及ぼす影響

4. 1 実験概要

次に、未洗浄ダム堆砂に含まれる微粒分が、コンクリートの硬化後の性状に及ぼす影響を確認するため、モルタルを用いて検討した。0.15mmのふるいで分級し、0.15mm以上の未洗浄ダム堆砂をSd、0.15mm以下の微粒分（ここでは0.15mm以下を微粒分として取り扱った）をPdとし、実験に用いた。なお、ふるい分けした際、未洗浄ダム堆砂に占める0.15mm以下の微粒分の質量割合は8.2%であった。使用材料の組み合わせと配合を表3に示す。配合条件として、W/C=55%、S/C=2.1とした。また、早強ポルトランドセメント(密度3.13g/cm³)およびポリカルボン酸系高性能AE減水剤((C+F)×0.5%)、細骨材にSdを用いた。この配合に種類の異なる微粒分を適量混入した。本実験ではPdの混入率が質量で0、1.5、3.0、4.4および8.2%となるように調整し、混入率

による影響を調べた。比較として、細骨材にSdを用い、産地の異なる砕砂製造時に発生する砕石粉Aおよび砕石粉Bを、細骨材中の質量割合3.0%混入したモルタルを作製した。砕石粉を用いた場合とPdを用いた場合を比較することで、付着する有機物などの影響を明らかにできると考えた。さらに、洗浄の有無の比較として洗浄ダム堆砂を用いたモルタルも作製した。なお、微粒分の密度をJIS A1202「土粒子の密度試験方法」に準じて測定し、粒度をレーザー回折式粒度計により測定した。

練混ぜには、オムニミキサを使用し、空練りとして、セメントと細骨材および微粒分を低速30秒練り混ぜ、水を投入後、低速30秒、高速90秒、計120秒攪拌した。練混ぜ時に、細骨材、微粒分ともに、温度20℃、湿度60%の部屋で保管した気乾状態で使用した。

練混ぜ直後の性状としてJIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準じた手法で15打モルタルフローを測定した。また、硬化後の性状試験のために40×40×160mmの試験体を3本作製した。そして、20℃の水中で材齢7日まで養生し、JIS R 5201に準じて曲げ強度試験と圧縮強度試験に用いた。

4. 2 未洗浄ダム堆砂に含まれる微粒分の性質

表4に使用した微粒分の物性を、そして図7に粒度を示す。Pdは、10μm以上で砕石粉Aと同程度であるが、10μm以下の粒子が多かった。この粒度に有機物を含むため、Pdの密度が、砕石粉に比べて小さくなったと考えられる。

4. 3 フレッシュ性状に関する結果と考察

図8に配合から算出した密度と脱型直後の試験体密度との関係を示す。Pdを混入すると、密度が低下した。空気量にして約2.7%である。砕石粉を混入しても密度低下は小さく、空気量にして約1.5%であった。一方、洗浄ダム堆砂を用いた場合では、試験体密度が、配合密度より大きくなった。これは、粘性が低く、ブリー

表3 使用材料の組み合わせと配合

記号	細骨材種類	微粒分種類	W/C (%)	S/C	微粒分混入率*1 (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能AE減水剤 ((C+F)×%)
						水 W	セメント C	細骨材 S	微粒分 F	
D0	0.15mm以上の未洗浄ダム堆砂(Sd)	—	55	2.1	0.0	328	597	1253	0	0.5
D15		未洗浄ダム堆砂中の0.15mm以下の微粒分(Pd)	55	2.1	1.5	326	592	1244	19	0.5
D30		55	2.1	3.0	323	588	1235	38	0.5	
D44		55	2.1	4.4	321	584	1226	57	0.5	
D82		55	2.1	8.2	315	572	1202	107	0.5	
DCa		砕石粉A	55	2.1	3.0	323	588	1235	38	0.5
DCb		砕石粉B	55	2.1	3.0	324	588	1235	38	0.5
W0	洗浄ダム堆砂	—	55	2.1	0.0	329	599	1257	0	0.5

*1 細骨材中の微粒分の質量割合のこと。F÷(S+F)により算出される。

ディングを起こし、密度が増加したと考えられる。以上から、Pdにより、碎石粉よりもエントラップドエアが多くなる場合があるが、その量は少なく、モルタルのフレッシュ性状への影響は小さいと考えられる。

図9に細骨材中の微粒分の混入率と15打モルタルフローとの関係を示す。微粒分を混入すると、微粒分の種類やエントラップドエアの影響に拘わらず、混入率が大きいほど15打モルタルフローが小さくなった。混入率4.4%で5%ほど、混入率8.2%で30%ほどフロー値が低

下した。その傾向は、碎石粉の場合とほとんど変わらない。一方、洗浄ダム堆砂の場合、Sdの場合に比べてフロー値が30%ほど大きくなった。洗浄による有機物の除去が影響したと考えられる。

以上から、未洗浄ダム堆砂を用いたモルタルのフレッシュ性状には、骨材粒子に付着する有機物と混入した微粒分表面による拘束水量増加が影響することがわかった。なお、微粒分に付着した有機物の影響は、拘束水量の増加に比べて小さい。有機物と微粒分のフローへの影響度の違いは、今後の検討課題である。

4. 4 曲げ強度および圧縮強度に関する結果と考察

図10に細骨材中の微粒分の混入率と曲げ強度との関係を示す。微粒分が混入すると、曲げ強度は5%ほど増加した。その傾向は、碎石粉の場合とほとんど変わらない。微粒分の混入によるモルタルの強度増加は、筆者らの他の試験結果でもみられている傾向である⁵⁾。一方、洗浄ダム堆砂を用いた場合、Sdを用いた場合に比べて15%ほど強度が増加した。

また、図11に細骨材中の微粒分の混入率と圧縮強

表4 微粒分の比較

微粒分の種類	密度 (g/cm ³)	ブレン値 (cm ² /g)	BET 比表面積 (m ² /g)
Pd (未洗浄ダム堆砂中の0.15mm以下の微粒分)	2.64	1275	8.24
碎石粉A	2.69	1781	2.76
碎石粉B	2.74	7703	4.18

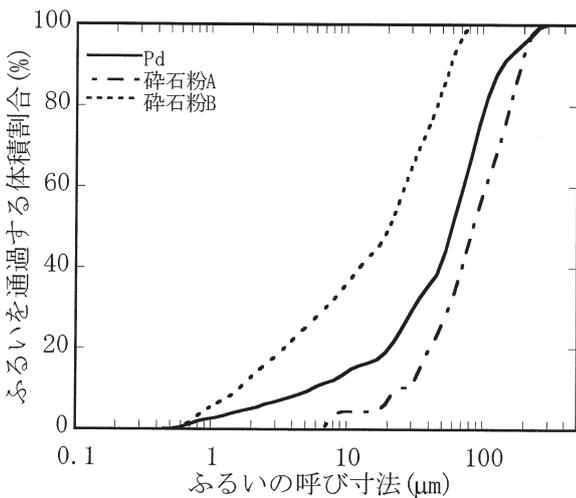


図7 使用した微粒分の粒度分布

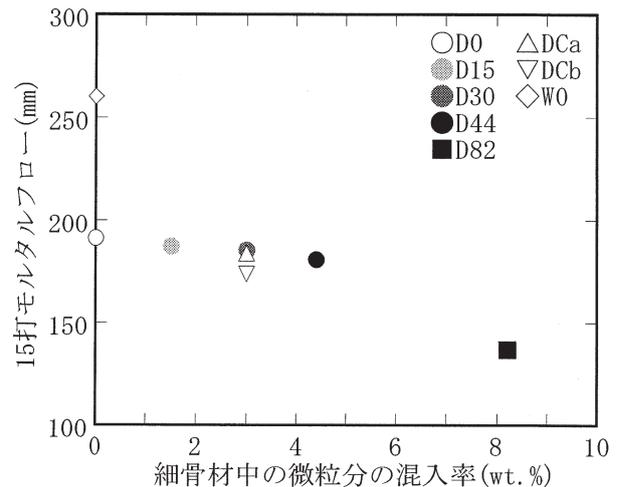


図9 微粒分の混入率と15打モルタルフローとの関係

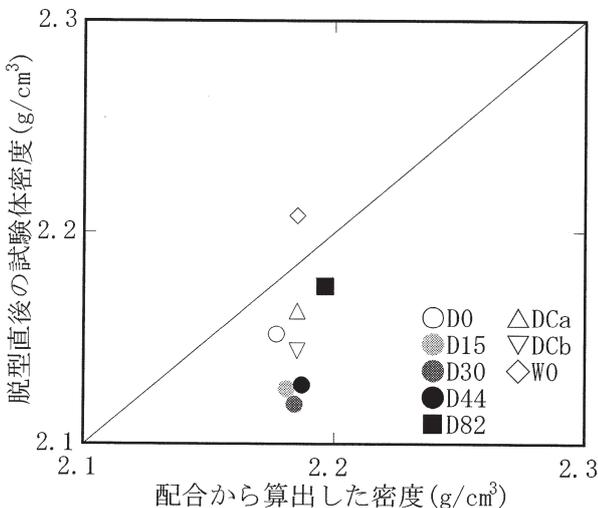


図8 配合密度と脱型直後の試験体密度との関係

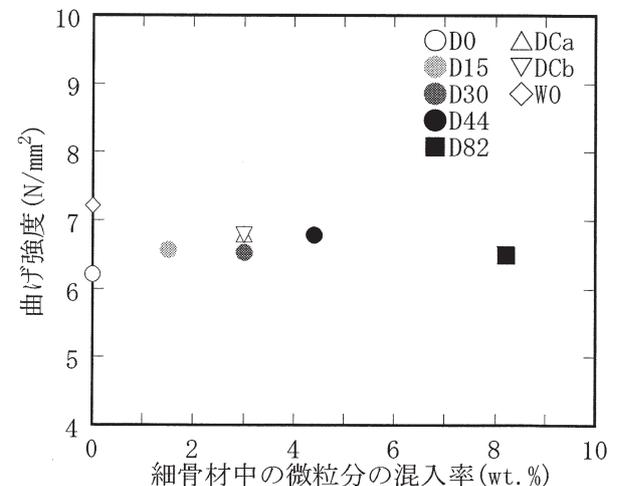


図10 微粒分の混入率と曲げ強度との関係

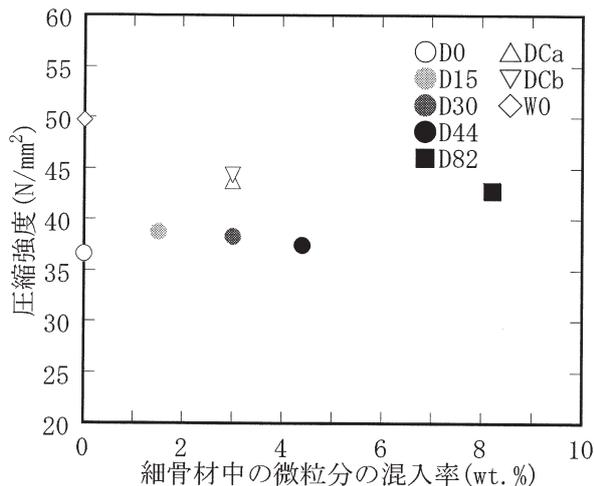


図 1-1 微粒分の混入率と圧縮強度との関係

度との関係を示す。微粒分の混入により、圧縮強度も5%ほど増加した。ただ、碎石粉を用いた場合、Pdを用いた場合より圧縮強度が大きくなった。一方、曲げ強度と同様に、洗浄ダム堆砂を用いた場合、Sdを用いた場合に比べて、圧縮強度が30%ほど大きくなった。

以上から、未洗浄ダム堆砂に含まれる微粒分による強度の低下は小さく、ダム堆砂自体に付着する有機物が曲げ強度や圧縮強度に影響を及ぼすと考えられる。

以上から、未洗浄ダム堆砂を用いたモルタルの硬化後の強度には、骨材粒子に付着する有機物による影響が大きい。微粒分の混入による強度低下は小さく、ペーストの緻密化により、曲げ強度や圧縮強度は増加する傾向もみられることがわかった。

5. 結論

ダム堆砂を用いた舗装用ポーラスコンクリートのフレッシュおよび硬化後の試験、および微粒分を用いたモルタル実験から以下のことがわかった。

- (1) ポーラスコンクリートにおいて、ダレが少なく、適切な空隙率を確保するために、未洗浄ダム堆砂をs/m=20~30%使用し、モルタル体積を適量に調整することが有効である。
- (2) 未洗浄ダム堆砂を使用すると、ポーラスコンクリートの曲げ強度が低下し、その影響は全空隙率が小さくなるにつれて大きくなる。ただし、未洗浄ダム

堆砂を使用して、16%程度の目標空隙率になるように締め固めれば、十分な曲げ強度が得られ、車道用ポーラスコンクリートとして用いることが可能である。

- (3) 未洗浄ダム堆砂を用いたモルタルのフレッシュ性状には、骨材粒子に付着する有機物と混入した微粒分表面による拘束水量増加が影響する。なお、微粒分に付着した有機物の影響は、拘束水量の増加に比べて小さい。
- (4) 未洗浄ダム堆砂を用いたモルタルの硬化後の強度には、骨材粒子に付着する有機物による影響が大きい。微粒分の混入による強度低下は小さく、ペーストの緻密化により、曲げ強度や圧縮強度は増加する傾向もみられる。

謝辞

本研究では、新都市社会技術融合創造研究会の舗装用骨材資源の有効利用に関する研究プロジェクト（リーダー 大阪市立大学名誉教授 山田優）のために準備されたダム堆砂をご提供いただき使用しました。関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) 大矢通弘他：ダム堆砂の性状把握とその利用法，ダム工学，Vol. 12, No. 3, pp. 174-187, 2002.
- 2) 前田恵佑他：簡易処理ダム堆砂を使用した生コン舗装に関する研究，セメント技術大会講演要旨，pp. 234-235, 2011.
- 3) 麓隆行他：粗骨材粒子径が碎石粉を用いた舗装用透水性コンクリートの性状に及ぼす影響，セメント・コンクリート論文集，No. 62, pp. 269 - 276, 2008.
- 4) 柏木洗一他：フィニッシャで施工した碎石粉混入透水性コンクリートの締固め密度評価の検討，セメント技術大会講演要旨，pp. 96-97, 2010.
- 5) 溝口達也他：碎石粉を混合したモルタルの初期乾燥収縮ひずみに関する基礎研究，資源・素材2011（秋季大会），企画発表・一般発表(A)講演資料，pp. 109-112, 2011.9.

(2012年1月11日受付 2012年2月24日受理)