

排水性舗装混合物のリサイクル技術の研究（中間報告）

研究プロジェクト参加メンバー

東亜道路工業(株)、奥村組土木興業(株)
(株)NIPPOコーポレーション
大林道路(株)、(株)コマツ
大阪市立大学大学院工学研究科（山田 優）
近畿大学理工学部（佐野正典）
国土交通省近畿地方整備局
（道路部、兵庫国道事務所、近畿技術事務所）

1．排水性舗装について

舗装には各種の性能が要求されるが、車道においては、車が安全に走行できるよう、路面のすべり抵抗の確保が最優先される。この路面のすべり抵抗は、車のタイヤが接する面の肌理の深さ（マイクロな粗さ）に係る。しかし、雨天時、路面上に水膜ができると、高速で走行する車はドロプレーニング現象により極端に滑りやすくなる。そこで従来の舗装では、路面に粗骨材の突出による凹凸あるいは溝を設けてタイヤが路面と水膜を介さずに接することができるようにしていたが、そうした路面のマクロな粗さは、騒音や振動の発生を余儀なくした。

その問題を解決するために登場したのが、図1-1に示す排水性舗装である。この舗装では、表層に開粒度アスファルト混合物など、写真1-1に示すようなポーラスな混合物を用い、雨水を表層内に浸透、排水させて路面に水膜を生じさせない。これにより、水跳ねもドロプレーニング現象もなくなって、雨天時でも車が安全に走行できるようになっただけでなく、タイヤと路面の間の空気が表層内の空隙に容易に逃げることができるためにタイヤ音が顕著に減少した。車のエンジン音など、他の騒音も路面に反射する際に吸収される。また、路面にマクロな凹凸がないため、従来のすべり止め舗装に比べて車の振動も少ない。表層の混合物はポーラスで、従来のアスファルトでは強度不足となるが、高粘度の改質アスファルトが使用され、結果的に従来の密粒度アスファルト混合物舗装よりも耐流動性が高く長寿命になる。

排水性舗装は、これらの性能が認められ、今や全国的に普及し、高速道路では従来の密粒度舗装に替わって標準工法になりつつある。その施工量の急速な伸び

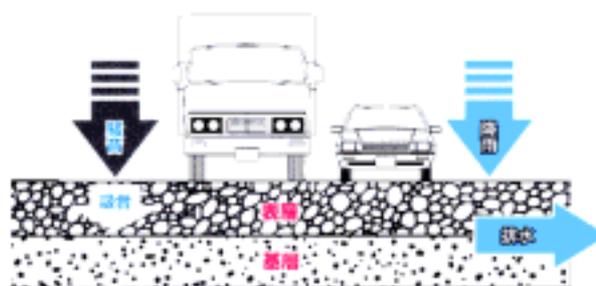


図 1-1 排水性舗装の断面と機能（文献1）より引用）



写真 1-1 排水性舗装路面の状況

は、図1-2に示す高粘度アスファルト出荷量の増加傾向から知ることができる。

しかし、この排水性舗装も、いずれは破損する。表層の混合物密度は低いので、壊れ始めると、破損箇所の広がりや速いと予想される。また、表層内の空隙が詰まると排水性舗装としての上記の性能が低下するため、破損していても、打換えが要求されるかもしれない。排水性舗装の施工は1995年頃から始まっており、大がかりな補修あるいは打換えの時期を迎える区間が多くなりつつある。

2. 排水性舗装混合物のリサイクル技術の研究がなぜ必要か

建設副産物のリサイクル推進が要求されるようになって久しく、再資源化率は大きく上昇してきている。特に、コンクリート塊とアスファルト塊の再資源化率は100%近くになっている。しかし、図2-1に示すとおり、コンクリート塊のほとんど、ならびにアスファルト塊の約半分は、利用用途が路盤材である。路盤材の需要が将来減少していくと予想されること、また利用用途不足に悩む建設発生土と建設汚泥の需要拡大のため、コンクリート塊のコンクリート材料としてのリサイクルとともに、アスファルト塊のアスファルト混合物用材料としてのリサイクルをさらに推進する必要がある。

図2-2は、すべての建設副産物を建

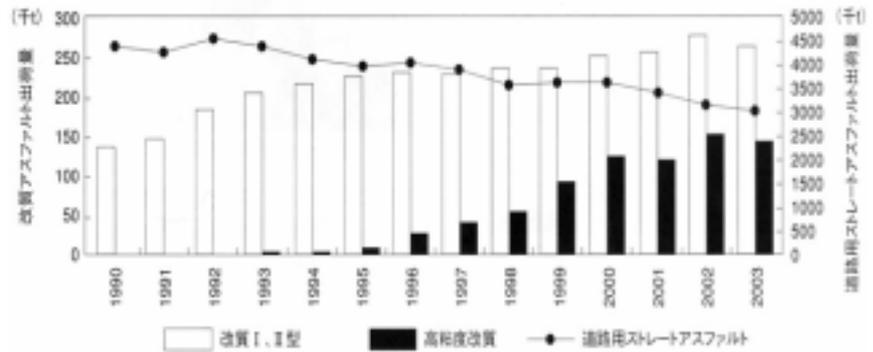


図1-2 高粘度改質アスファルトの出荷量(文献2)より引用)

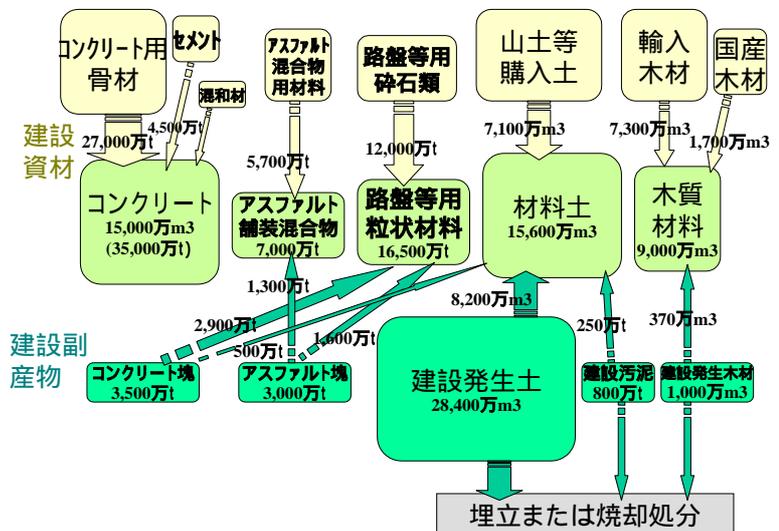


図2-1 主な建設副産物の発生と再利用の現状(2000年度)

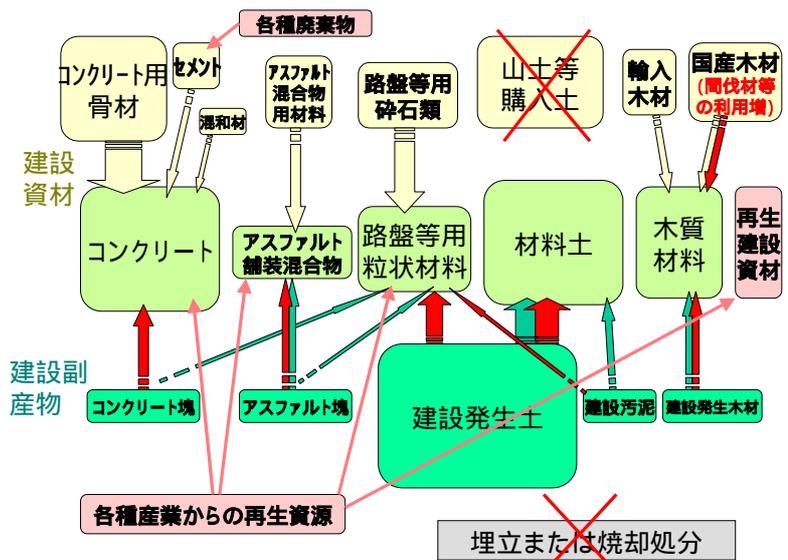


図2-2 望まれる建設資源リサイクルの方向

設資材として有効利用し、かつ建設以外の各種産業からの再生資源をも建設資源として受け入れるための施策として、望まれる建設資源リサイクルの方向を示す。コンクリート塊とアスファルト塊を路盤材ではなく、それぞれコンクリート用材料およびアスファルト混合物用材料として利用できれば、建設発生土と建設汚泥の路盤材としての需要が進むと考えられる³⁾。

アスファルト塊のアスファルト混合物用材料としてのリサイクルは、アスファルト塊を破碎、分級して再生骨材とし、新しい材料に混合して再加熱することで行われている。再生骨材には古いアスファルトが付着して、再生アスファルト混合物中でアスファルトバインダーの一部として機能する。古いアスファルトは、新しいアスファルトに比べて硬くて脆いが、新しいアスファルトとの混合あるいは再生用添加材を用いて性状調整が行われる。また、再生骨材粒子の多くは、いくつかの原骨材が古いアスファルトで接着されて団粒状になっている。大きい粒子に見えても、細粒分が集まってできている場合が多い。それゆえ、使用に当たっては、代表的な試料から骨材を抽出して粒度試験した結果を用いて配合されるが、新しい骨材を用いる場合に比べて粒度の調整精度は劣ることになる。しかし、再生骨材を通常、全骨材量の20～30%程度しか使用しないこと、また設定粒度には、ある程度の変動を許す幅があることから、密粒度や粗粒度などの従来の混合物では問題にならなかった。

ところが、排水性舗装からのアスファルト塊を再び排水性舗装に利用しようとする排水性舗装混合物のリサイクルでは、次のような理由で、上記した従来の方法をそのまま適用することは困難である。これらを解消する再生方法の修正が必要と言える。

- 1) SBS（スチレン・ブタジエン・スチレン共重合体）などのポリマーが多量に添加された高粘度の改質アスファルトが使用されているため、それが多く付着した再生骨材をドライヤーで加熱しようとする、内部の壁面や羽根にこびりつきやすい。
- 2) 再生混合物内で、古いアスファルトと新しいアスファルトが混合されにくいと考えられるので、再生アスファルトの性状を把握しにくい。
- 3) 排水性舗装混合物には、細粒分の少ない単粒に近い粒度の骨材が使用されているが、補修では切削によって混合物を撤去することが多く、その際に細粒化しやすいため、廃材をそのまま使うことは難しい。しかし、細粒分が団粒になっていて、それをふるい分けて除くということができない。

3. 本研究の目的と進捗状況

3.1 本研究の目的

本研究では、前記の問題を解決するため、図3-1に示すように、アスファルト塊から原骨材を回収して排水性舗装混合物の骨材として再び利用するリサイクル技術について検討している。既設の排水性舗装から混合物を切削撤去後、再生混合物製造時に支障となる付着アスファルトを分離除去して骨材を回収し、新しいアスファルトを用いて再生混合物を製造する。

検討課題は次のように分類できる。

- 1) 既設舗装から排水性舗装混合物を撤去収集する方法

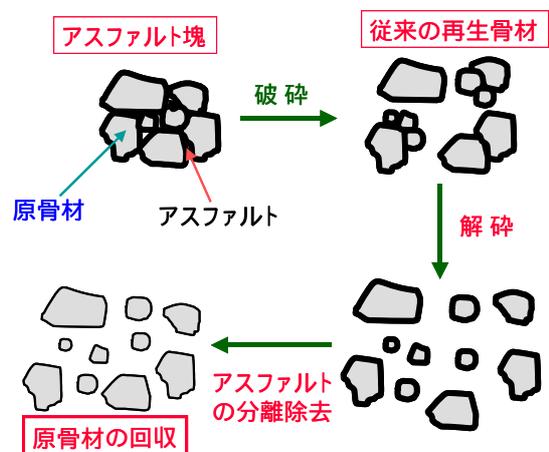


図3-1 排水性舗装混合物リサイクルのための骨材回収

- 2) 排水性舗装に再利用可能な再生骨材の分離処理方法
- 3) 排水性舗装用再生骨材分離後の残物を利用する方法
- 4) 再生骨材および再生骨材使用混合物の評価・管理方法

研究予定期間は2005年度～2007年度の3年間で、現在、1)～3)について検討するとともに、2006年度に現段階で適用可能な範囲の技術による試験舗装を実施する準備を進めている。

3.2 これまでの成果と今後の課題

(1) 既設舗装から排水性舗装混合物を撤去収集する方法について

表層の排水性舗装混合物を基層以下の混合物と分離して撤去収集するためには、現状では、切削機による削り取りが行われる。しかし、その際に回収したい原骨材が破碎されやすい。その程度を調べるため、排水性舗装の表層混合物を切削機により削り取った廃材（切削材）と30～50cmの大きさの塊に荒割りして撤去した廃材（非切削材）から骨材を回収した。粒径1.2mm以上の再生骨材の粒度試験結果を図3-2に示す。粒径5mm以上が、非切削材では約90%含有するのに対し、切削材では45%程度に減少している。切削時に粗骨材が細粒化し、排水性舗装用再生骨材として回収したい粗骨材がかなり少なくなってしまうことが分かる。

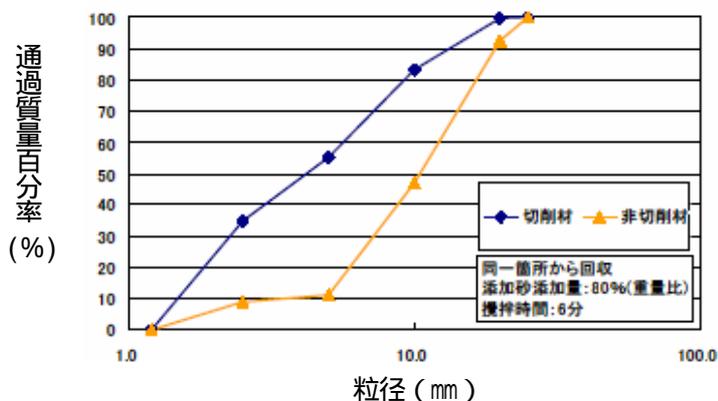


図3-2 切削と非切削による回収再生骨材の粒度の違い⁴⁾

このことから、粗骨材を細粒化させない撤去収集方法を早急に開発する必要があり、2006年度より、その検討を進めたい。ただし、現在準備中の試験舗装のための再生骨材については、現状の方法で収集された切削材を原料にするしかない。

(2) 排水性舗装に再利用可能な再生骨材の分離処理方法について

再生骨材の分離処理方法として、次章で紹介する（仮称）加熱式と（仮称）磨砕式の2方式の技術が適用可能と考え、検討を進めている。

再生骨材からアスファルトを完全に除去することはできない。また、その必要もない。どの程度までアスファルトを除去すべきかについては、今後、再生骨材を用いた混合物の品質試験および試験舗装の結果から検討することになるが、再生骨材の加熱方法によっても異なる。最近、アスファルトのこびりつきを少なくするドライヤーの改良例がある。その効果についても検討したい。

(3) 排水性舗装用再生骨材分離後の残物を利用する方法

（仮称）加熱式骨材分離では、微粉末等の添加材にアスファルトを付着させることから、再生骨材を回収した後にアスファルトが付着した添加材が残る。（仮称）磨砕式骨材分離では、再生骨材の磨砕によって生じたアスファルトを含む脱水ケーキ状の微粒分が残る。試験舗装のための再生骨材製造時に発生する残物を試料として、それらの利用方法を検討したい。

利用方法としては、含有するアスファルトをいかに利用するかが課題と考えられる。

4. 本研究の基礎となる新技術

4.1 (仮称)加熱式骨材分離技術

(1) 技術の概要

(仮称)加熱式骨材分離の工程を図4-1に、その技術的原理を図4-2に示す^{5), 6), 7)}。まず、加熱溶解した切削材中に表4-1に示すような添加材を投入し、攪拌混合する。この時点ですでに粗・細骨材に付着あるいは骨材間を充填していたアスファルトの大半は投入した添加材にはほぼ均等に付着する。その結果、切削材中の骨材は被膜アスファルトが減少してアスファルト混合物としての固結能力を失い、個々に分離独立した原形状態に近い再生骨材とアスファルトで被覆された細粒化材料に分解される。それを所定の粒径範囲にふるい分け、再生骨材と細粒アスファルト材を得る。これらの再生材料の主な特徴を列挙すると次のとおりである。

- 1) 再生骨材の粒子表面には、まだ薄膜状のアスファルトが付着している。
- 2) 骨材は再生工程中には破碎されないため、再生粗・細骨材とも、再生前の骨材形状を保持している。
- 3) 細粒アスファルト材は、高い防水性を有し、吸油性に優れている。
- 4) いずれの再生材料とも、細粒分の取り扱い時に粉塵の発生などはなく、作業性が容易である。

なお、原料の切削材と添加材を混合する際の温度および添加材の量は、再生骨材表面に薄膜状態で残留付着しているアスファルトの量もしくはフィラーアスファルト類の付着量（以下、付着物量）を骨材再生度の評価指標として実験結果から決定する。

(2) 骨材分離実験結果

この骨材分離技術では、切削材中に含まれる既存の高粘度アスファルトを添加材表面に付着転化することから、添加材が保有する表面積の大きさが重要となり、比表面積が大きい微粉末が添加材として好ましいと考えられる。しかし、これまでの研究から粒子の硬度の影響も無視できないことが判明したため、高炉微粉末と水砕スラグを用いて実験を行った。切削材は、実際の排水性舗装の修繕工事で得られた切削廃材で、5.0～5.4%の高粘度アスファルトを含有していた

切削材と添加材との適切な混合温度は、160～180℃である



図 4-1 加熱式骨材分離工程

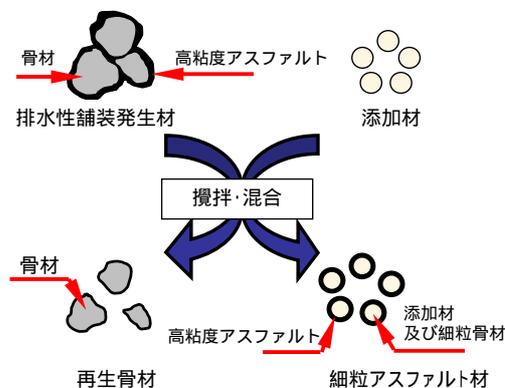


図 4-2 加熱式骨材分離の原理

表 4-1 添加材の種類と比表面積

微粉末材	比表面積(cm ² /g)
人工ゼオライト	6,090
石粉	4,760
高炉微粉末	4,750
コンクリート粉末	4,040
製鋼スラグ粉末	3,730
セメント	3,360
フライアッシュ	2,910
火山灰	2,060
原石スラグ	2,000
シラス	1,690
泥水固形土	1,180

ことが分かった。

図4-3は、添加材として水砕スラグを用いて得られた再生骨材の残留付着物量を示す。残留付着物量は、添加量が90%（飛散分をみて100%）の時に最小となった。アスファルト量は0.6~0.7%で、排水性舗装用として再利用可能な再生骨材と判断した。

図4-4は、添加材として高炉微粉末を用いたときの結果で、最適添加量は17%（飛散分をみて18%）と小さくなったが、残留付着量は8%程度と大きくなった。

そこで、それらと同等の比表面積となる水砕スラグ16%、高炉微粉末15%の混合添加材でも実験を行った。

以上3種類の添加材を用いた実験結果を図4-5に示す。切削材に対する骨材再生量は、3者ともに50~60%で、類似した傾向にある。しかし付着量は、水砕スラグの3~4%に対し、高炉微粉末と混合添加材では7~8%と大きい値であった。このことから、添加材として水砕スラグが好ましいと考えられる。しかし、細粒アスファルト材の増量は課題として残された。

（3）骨材再生機の試作

以上のバッチ式ミキサーによる実験の結果を踏まえ、骨材を連続的に再生することが可能な、写真4-1、表4-2に示す骨材再生機を試作した。添加材を混合した切削材は、投入口付近で160~180℃、排出口付近では140~150℃の炉内温度中を12~15分間を要して移動する。この過程で切削材中の高粘度アスファルトは骨材から分離して添加材に付着し、上記の実験と同様の再生骨材を得ることができ、今後、本機を用いて各種の実験を予定している。

表 4-2 骨材再生機の仕様

容積	85L(ドラム下部容積)	
回転速度	5~40rpm	
本体サイズ	長さ	1530mm
	幅	700mm
	高さ	920mm
加熱燃料	LPガス	

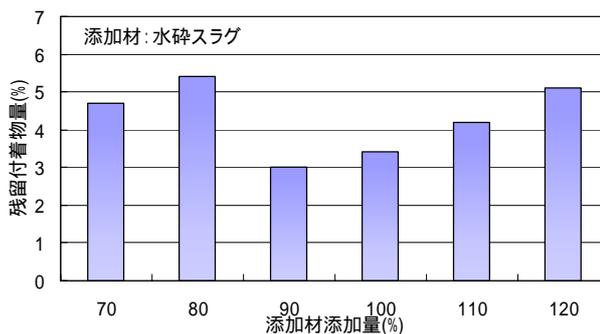


図 4-3 残留付着物量と添加材添加量との関係（水砕スラグ）

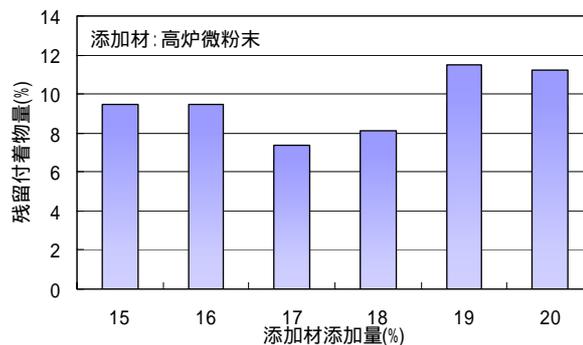


図 4-4 残留付着物量と添加材添加量との関係（高炉微粉末）

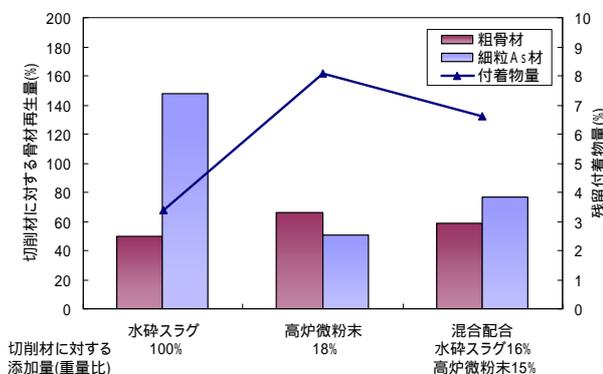


図 4-5 添加材による骨材の再生量と残留付着物量との関係



写真 4-1 骨材再生機

4.2 (仮称)磨砕式骨材分離技術

(1) 技術の概要

(仮称)磨砕式骨材分離に使用する磨砕機の構造を図4-6に示す。円筒状のドラムの中に中心軸に対して任意の角度に取り付けられた磨砕羽根があり、その磨砕羽根で仕切られた各部屋に鉄球が充填されている。投入口より切削材と水を投入すると、磨砕羽根が回転することにより切削材と鉄球は上下前後に攪拌され、その際に切削材と鉄球、切削材どうしが互いに擦れあうことで切削材表面に付着しているアス

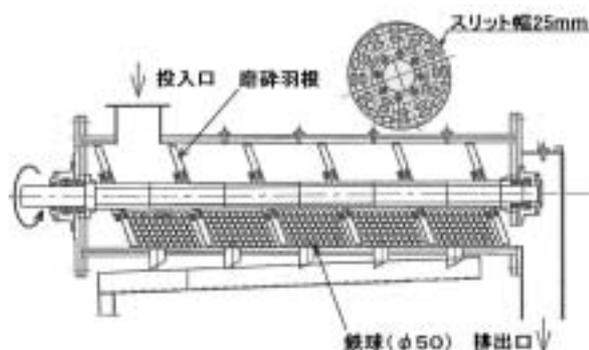


図4-6 磨砕機本体構造

ファルトが分離していく。磨砕羽根にはスリットがあり、切削材はスリットを通過して順次各部屋に送り込まれて磨砕され、最後に排出口より骨材とアスファルトが分離して排出される。切削材と一緒に投入される水量により各部屋での切削材の滞留時間が増減し、骨材のアスファルト分離品質が変動する。

磨砕式骨材分離システムのフローを図4-7に、その全景を写真4-2に示す。切削材は、スパイラル分級機にて泥分、ごみ分を洗い流されて磨砕機に入り、磨砕された後に振動ふるいにて水洗いととも粗骨材 (5~13 mm) と5 mm以下とに選別され、粗骨材はコンベアにて山積みされていく。5 mm以下は、泥水ポンプにて次の振動ふるいとサイクロンにより細骨材と微粒分とに選別され、細骨材はコンベアに排出される。微粒分を含んだ濁水は、シックナー槽にて凝集、沈殿し、最後、デカンタにて脱水されて排出される。シックナー槽の上澄み水は、清水タンクに戻されて再使用される。

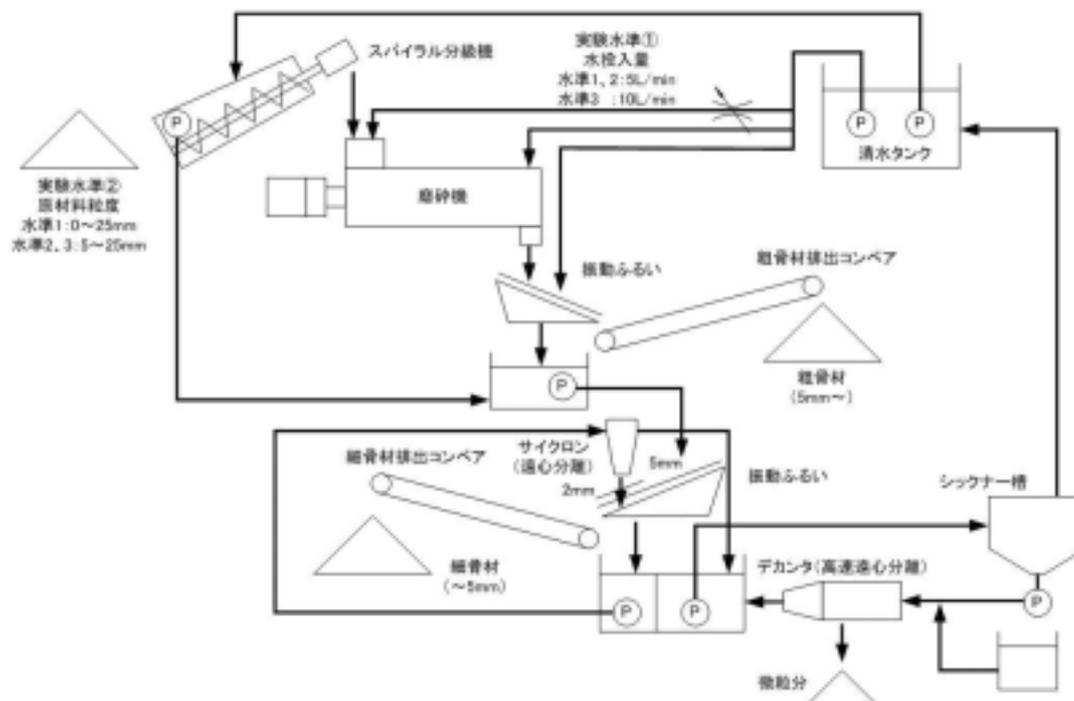


図4-7 磨砕式骨材分離システムのフロー



写真 4-2 実験に用いたシステムの全体

(3) 骨材分離実験結果

表 4-3 のとおり、投入切削材の粒径範囲を 0~20 mm および 5~20 mm、添加水量を 5 l/min および 10 l/min に変え、計 3 水準で骨材分離実験を行った。水準 1 の 0~20 mm の切削材は、既設排水性舗装の切削で得られたままのものであり、水準 2 および 3 の 5~20mm の切削材は、それを振動ふるいでふるい分けて 5 mm 以下を除去したものである。

表 4-4 に、各水準での実験結果、すなわち再生骨材の生産量と品質を示す。また、写真 4-3 に再生骨材の状態を示す。添加水量を増やすと磨砕機での磨砕時間が短くなって生産量は増加するが、アスファルト付着量が増加する。5 mm 以下の細粒分も一緒に磨砕した場合は、それらが邪魔をして磨砕効率が低下し、骨材の生産量は減少することが判明した。この実験結果より、5 mm 以下を事前に除去し、添加水量を 10 l/min とした水準 3 でもアスファルト量が 0.65% で排水性舗装用として再利用可能な再生骨材が生産できると判断し、今後さらに磨砕機等のシステムの改良も行って詳細な実験を進めていく予定である。

表 4-3 骨材分離実験における項目と水準

項目	水準		
	1	2	3
投入切削材の粒径 (mm)	0~20	5~20	5~20
添加水量 (l/min)	5	5	10

表 4-4 実験結果 (生産量と再生骨材の品質)

項目	水準			
	1	2	3	
生産量 (kg/h)	720	1,128	1,705	
再生粗骨材 (13-5) の品質	アスファルト量 (%)	0.30	0.30	0.65
	見かけ密度 (g/cm ³)	2.720	2.719	-
	表乾密度 (g/cm ³)	2.683	2.685	-
	吸水率 (%)	0.80	0.75	-



投入切削材 水準 1 での再生粗骨材 水準 2 での再生粗骨材 水準 3 での再生粗骨材
写真 4-3 投入切削材と再生粗骨材の状態

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団監修：阪神高速道路 震災から復旧まで[写真集]，p. 23，1997.
- 2) 深代勝弘・黄木秀実：改質アスファルトの舗装維持への貢献，改質アスファルト，No. 25，2005.
- 3) 山田優・西元央・麓隆行・佐野正典：骨材資源リサイクルの方向，骨材資源，No. 142，pp. 73-78，2004.
- 4) 古城憲二・佐野正典・山田優・加藤俊昌：排水性舗装混合物の切削回収材の骨材特性について，第 26 回日本道路会議論文集，論文 No. 12113，2005.
- 5) 佐野正典・柳下文夫・山田優・久利良夫：アスファルト混合物発生材の再材料化の一提案，舗装，Vol. 29，No. 9，pp. 17-21，1994.
- 6) 久利良夫・佐野正典・柳下文夫・山田優：微粉末材料を活用したアスファルト舗装発生材の再材料化に関する研究，土木学会論文集，No. 627/V-44，pp. 27-36，1999.
- 7) 藤森章記・佐野正典・山田優・大野宣孝：排水性舗装発生材の再材料化について，土木学会関西支部年次学術講演概要，第 V 部門，2005.