

39. 排水性舗装機能回復車の施工性能について

酒井重工業株式会社 事業推進部：○後藤 春樹

1. はじめに

近年急速に普及している排水性舗装は、雨水排水機能、騒音低減機能等の優れた機能を有しているにもかかわらず、空隙に堆積する土砂等の空隙詰まり物質によって共用から 3～5 年程度でその機能は低下している。

一般に 10～15 年と言われる排水性舗装の寿命の中で、排水機能の低下を回避しつつ舗装の耐久寿命までその機能を継続させる機能回復作業は、舗装打換工事（切削オーバーレイ）よりも効率的かつ経済的でなくてはならない。

このような社会的要望を満足する為に、当社の排水性舗装機能回復車 CJ500 は、表面の空隙詰まり物質除去用として 10km/h までの高速洗浄方式と、舗装内部の空隙詰まり物質除去用として 3km/h までの低速キャビテーション洗浄方式との 2 つの洗浄方式の組み合わせにより、効率的に施工することを狙いとしたものである。

本報文では、高速洗浄からキャビテーション洗浄までの洗浄性能及び施工性能を明らかにすることで、現場に合わせた最適な洗浄方式と舗装のライフサイクルを最大限に活用する施工方法について述べる。

2. CJ500 の洗浄方式

上述した排水性舗装の空隙詰まりによる排水機能の低下を解消する為に、現状では、既に低下した排水機能を回復させる機能回復方式と、まだ機能低下に陥っていない排水性舗装を短い間隔で洗浄し、機能低下を防止する機能維持方式の両面に対応している。

当社排水性舗装機能回復車 CJ500 の洗浄方式は、従来の機能回復車に比べ洗浄性能及び吸引回収性

能をより効率化すると共に前述した機能回復と機能維持の両方に対応できる様、作業速度の高速化も行っている。

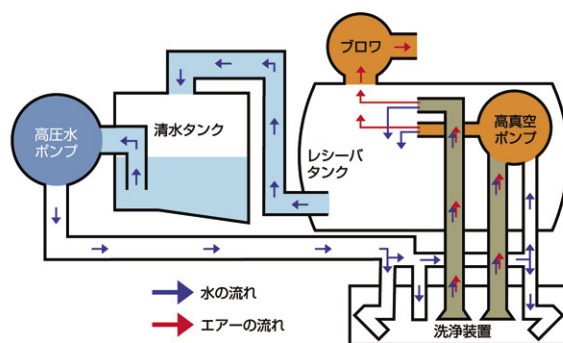


図 1：CJ500 洗浄水のフロー図

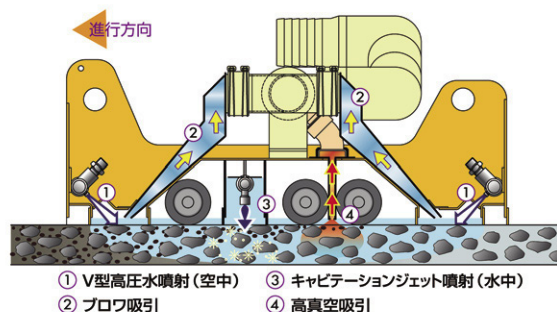


図 2：CJ500 洗浄装置断面図

図 1 に CJ500 の洗浄水の流れを示し、図 2 に洗浄装置の断面図を示す。ブロフ吸引（図 2 の②部）と高真空吸引（図 2 の④部）の 2 系統の吸引システムより回収した汚泥水はレシーバタンク内で効率的に沈殿濾過され、清水タンクへ送水される。また、図 2 に示す洗浄装置内の洗浄システムでは、図中①部の高圧水吹付と吸引回収を各々独立した空間で行うことにより、従来に比べ空気・水漏れ等を抑える効果が向上している。さらに、キャビテーション洗浄方式を採用することで、従来除去できなかった舗装深層部の空隙詰まり物質も除去できるようになっている。これは、図中③部において舗装路面と

洗浄装置の間に形成した水槽の中で高圧水を噴射することでキャビテーション気泡が発生し、その気泡が骨材に衝突した際に生ずる衝撃力で骨材に付着した空隙詰まり物質を遊離させるものである。図3にキャビテーション発生試験の状況を示し、図4に骨材に付着した空隙詰まり物質を遊離させる状況を図解したイメージ図を示す。図3の様に水中にて高圧水を噴射した場合、キャビテーション気泡によってノズルの噴射部が白濁していることがわかる。



図3：キャビテーション発生状況

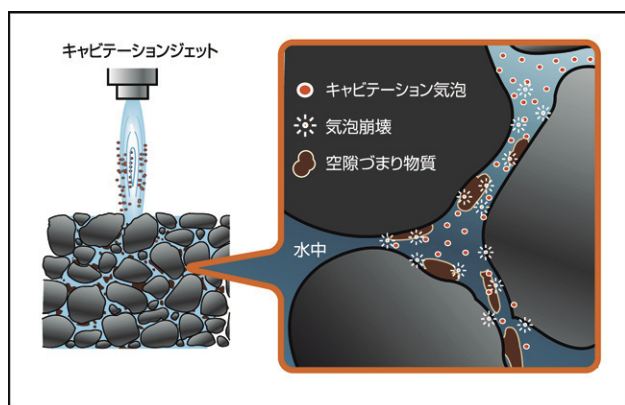


図4：キャビテーションによる洗浄イメージ図

3. 洗浄能力と洗浄効果

キャビテーションの洗浄能力を確認する為に、当社技術研究所内において従来の高圧水洗浄とキャビテーション洗浄を比較した。

図5は上述したキャビテーション洗浄(水中噴射)と従来高圧水洗浄(空中噴射)による比較試験の結果である。試験は、 $\phi 10\text{mm}$ の丸棒に石膏を塗布し、各々一定時間の噴射を行なったものである。図より

従来の空中高圧水噴射に比べキャビテーション洗浄(水中噴射)の方が上面、側面からの矢視共に石膏の除去範囲が広く、丸棒の裏側までその範囲が及んでいる事がわかる。

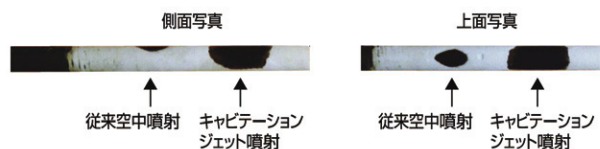


図5：丸棒による洗浄比較

また、図6は各々の洗浄方式で洗浄した後の舗装の断面を観察したものである。供試舗装は、場内に設置した舗装厚5cmの排水性舗装に石膏を混入した混合土砂を作成し、洗浄前に排水性舗装表面から散布し、タンパ等で舗装内に強制的に押し込み、養生したものを用いた。試験は、従来高圧水洗浄とキャビテーション洗浄にて各々作業速度0.6km/hで洗浄を行なった。結果、従来の洗浄方式では、舗装表面から1~2cmのみを洗浄できているのに対し、キャビテーション洗浄では、舗装深層部までの空隙詰まり物質を除去できていることがわかる。

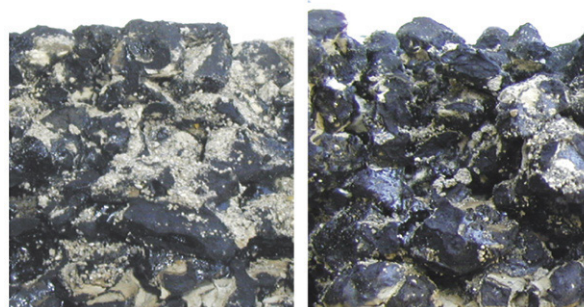


図6：洗浄後の舗装断面比較

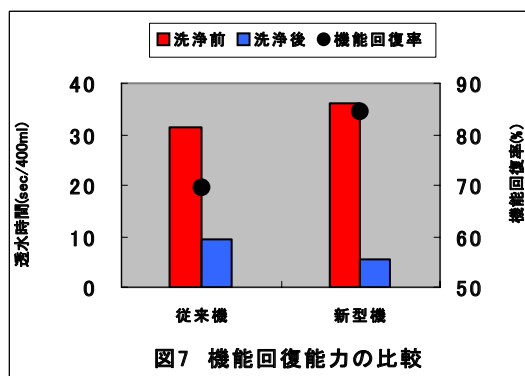


図7 機能回復能力の比較

さらに、図7に示す現場透水試験における従来高圧水洗浄とキャビテーション洗浄の比較においても、キャビテーション洗浄では、洗浄後に新設時の透水能に回復している等の優位性があり、従来洗浄に比べ2割以上の洗浄能力の差が認められた。

場内試験では、キャビテーションの効果を確認するために作業速度は0.6km/hで一定とした。しかしながら、実際の洗浄作業では作業速度10km/hまでの高速洗浄も行う為、ここでは、作業速度の増加に伴う洗浄能力を理論的且つ経験的な見地から考察を行うこととする。

実際の機能回復作業においては、作業速度の増加に伴い洗浄水の回収率が低下（洗浄水の消費量が増加）する現象が見られる。この回収率の低下が空隙詰まり物質回収量の低下や単位時間当たりの作業面積の低下を生じる原因となっている。図8に作業速度の増加に伴う洗浄水回収率と作業面積の変化を示す。また、図9に作業速度の増加に伴う連続作業時間の推移を示す。

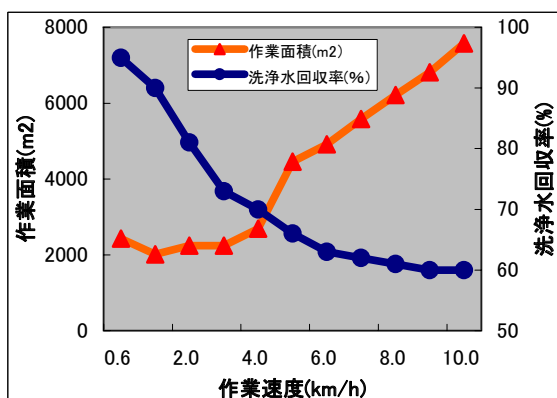


図8：給水4t 当たりの連続作業面積

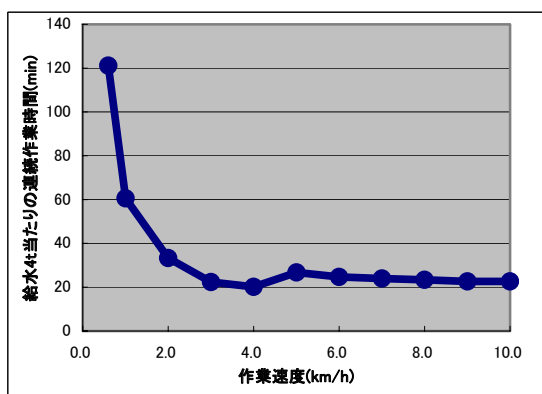


図9：給水4t 当たりの連続作業時間

ここで、図8の作業面積は、図9で示した4tの

洗浄水を消費する時間から算出した作業面積である。実際の機能回復工事においては、清水タンクに約3t、レシーバタンク約1tの水を補給しながら作業を行なっている。従って、ここで示した給水4tとは、最大積載量4tの給水車1回分の水量のことである。

洗浄水回収率の計測については、供用約1年の排水性舗装（実道）で行なった。洗浄前の透水時間が10（sec/400ml）以下と比較的回収率が低下しやすい状況ではあったものの、傾向としては、作業速度1km/h付近では90%以上の回収率が得られ、速度10km/hでは60%程度に低下している。また、給水4tを消費する為の作業面積については、作業速度1km/h付近では、消費時間120minにて約2000m²の作業能力（1000m²/h）があり、速度10km/hでは20minの消費時間で約8000m²の作業能力を有している事がわかる。

洗浄能力を論じる場合、単位時間当たりの作業面積だけでなく、舗装体内に堆積した空隙詰まり物質をどの程度除去回収できるかが重要な指標の一つである。前述した通り、作業速度の増加に伴う洗浄水回収率の減少によって空隙詰まり物質の回収量（以下、土砂回収量）も減少するが、ここでは、その関係を実測値に理論的要素を考慮して定量的に示す事とした。

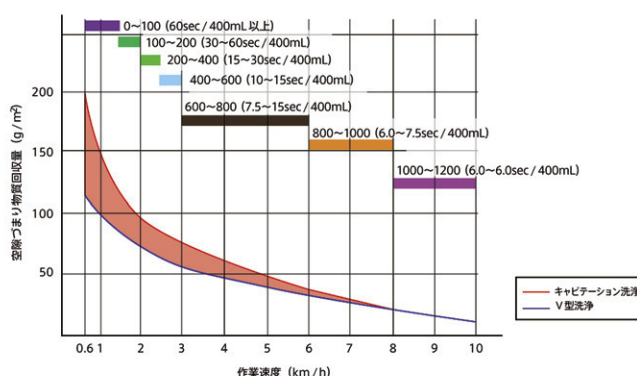


図10：推奨作業速度と土砂回収量の関係

現場での試験において、各々異なる現場での作業速度0.5～1.0km/hと4～6km/hの単位面積当たりの土砂回収量を計測した。一方、洗浄水がある単位面積を通過する時間を作業速度との関係で曲線を作成し、上記2つの作業速度域の点をこの曲線上の基

準とし、図 10 を作成した。さらに、図中に示した洗浄前の現場透水量は、回収された土砂回収量に対応して経験上どの程度透水機能が低下しているかを表したものである。洗浄方法としては、キャビテーション洗浄、V 型高圧水洗浄を曲線で表している。ここで、実施工における V 型高圧水洗浄とは、V 型高圧水洗浄、ブロウ吸引、高真空吸引を総合した洗浄・吸引システムであり、キャビテーション洗浄とは、上記洗浄システムにキャビテーション洗浄を含めたものを言う。推定した回収量曲線の妥当性は、図 8 の洗浄水回収量曲線と土砂回収量曲線が同様の漸近線で表されている事で示されるものと考えられる。図より作業速度 1km/h 付近の土砂回収量は 100~200g/m² であり、この時の洗浄前現場透水量は 100ml/15sec 以下とある程度透水機能が低下している状態と考えられる。また、作業速度 10km/h 付近では、約 20g/m² の土砂回収量となり、これに対応する 1000ml/15sec 付近の現場透水量は透水機能が維持されている状態の舗装であると言える。言い換えれば、1000ml/15sec の場所では、舗装体内に堆積する空隙詰まり物質の量も少ないものと考えられる。透水能の高い場所では V 型高圧水洗浄にて作業速度を上げ、空隙詰まり物質の堆積量が多いと思われる 0~100ml/15sec の様な透水能の低い場所では、より低速のキャビテーション洗浄が有効であると言える。また、低速作業域にてキャビテーション洗浄の土砂回収量が V 型洗浄のそれより多く、高速作業域では両洗浄方式共にほぼ同一の値を示すのは、前章で述べた通り、キャビテーション洗浄方式は洗浄装置と舗装表面との間に水槽を形成し、水中にてキャビテーション気泡を発生させる事が特徴であり、その気泡の衝撃力で骨材に付着した空隙詰まり物質を遊離させ、吸引回収する洗浄方式である。従って、作業速度が低速である場合は、十分に水槽形成が可能であり、キャビテーション気泡が発生しているものと考えられ、高速作業域では、洗浄水の回収率が低下する現象と共に水槽形成が困難になるため、V 型洗浄方式とキャビテーション洗浄方式がほぼ同一の土砂回収量になるものと考えられる。

このような状況から、一般的に言われる低下した

機能を回復させる機能回復作業には、キャビテーション洗浄方式を、機能低下が生じる前に洗浄する機能維持作業には、V 型洗浄方式を選択した上で、それぞれ洗浄前の現場透水量と舗装体内に堆積した空隙詰まり物質の量によって作業速度を選択することができれば、より効率的な施工を行う事が出来るものと思われる。

4. 舗装寿命と施工性能

一般的に 10~15 年と言われる排水性舗装の寿命の中で、排水機能の低下を回避する為には、何らかの機能回復・維持の措置を取る必要がある。ここでは、年間の空隙詰まり物質の堆積量と機能回復車による土砂回収量の関係を示す事で、舗装（機能）寿命を舗装の耐久寿命まで延長させる為の効率的な施工法について述べる。

図 11 に排水性舗装のライフサイクルのイメージ図を示す。

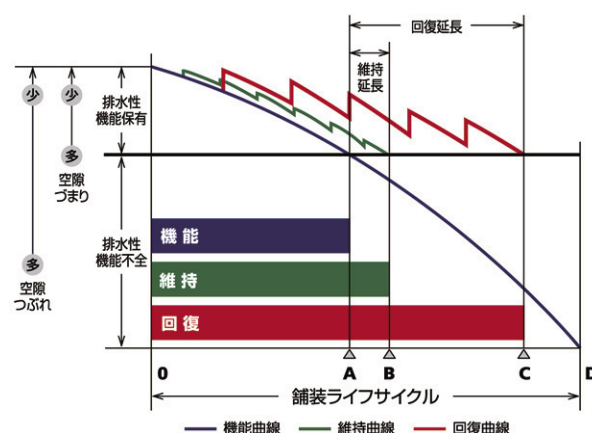


図 11：排水性舗装のライフサイクル図

図中機能曲線は、共用後に機能回復・維持作業を行わず放置した状態を表している。D 点を耐久寿命とした場合、共用後 A 点で、空隙詰まりによって不透水状態に陥っていることを示している。ここで機能維持作業に着目すると、洗浄効果が舗装表面から 1~2cm のみの洗浄効果に留まっている為、出来るだけ短いインターバル（空隙詰まりの舗装体底部への進行を抑える）で洗浄せざるを得ないこととなる。ただし、一度深部まで進行した空隙詰まり物質は、機能維持作業では除去できないということになる。

一方、機能回復作業を見るとキャビテーション洗浄により舗装体底部まで洗浄効果があり、比較的長いインターバルにて洗浄施工を行うことが出来る特徴を持つ。図中にて機能維持作業（A 点から B 点へ機能寿命の延長）に比べ機能回復作業（A 点から C 点へ機能寿命の延長）の方が排水機能をより長く延長できているのは、機能維持作業で取残された、あるいは洗浄のインターバルよりも早い間隔で進行する空隙詰まりに機能維持作業は対応できず、機能回復作業（キャビテーション洗浄）の方が確実に空隙詰まり物質を回収する能力に優位性が見られるためである。

次に土砂回収量から見た機能回復作業の施工サイクルを検証する。図 12 に一般的な年間の推定空隙詰まり量と機能回復作業によって回収されなければならない空隙詰まり物質質量回収量を示す。

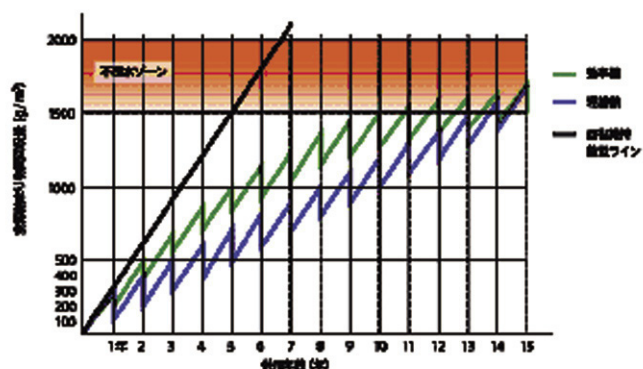


図 12：推定空隙詰まり量と必要土砂回収量の関係

図中、回復・維持放置ラインを見ると共用後約 5 年で空隙詰まり物質質量が 1500~2000g/m² に達すると不透水となっていることがわかる。これは、年間の空隙詰まり堆積量が約 300g/m² にて共用年数が 5 年程度で不透水となる舗装が多いとした過去の実績より推定したものである。ここで、理論値のラインは、排水性舗装の耐久寿命を 15 年と仮定した場合に図中、放置ラインで見られる共用 5 年で 1500g/m² の点を共用 15 年へスライドさせ、耐久寿命 15 年まで不透水状態から回避させる事を狙った値である。図より、機能回復作業を 1 年に 1 回行なう事で、理論的には前章で求めた空隙詰まり物質 200g/m² を回収できれば、15 年の耐久寿命において排水機能を保持する事が出来るものと考えられる。

また、実際の空隙詰まり物質の堆積状況や回収効率を加味した効率値のラインは、図 13 に示す実道にて実測した供用年数の経過に伴う土砂回収量を考慮し、供用初期から徐々に土砂回収量を増加させたものである。

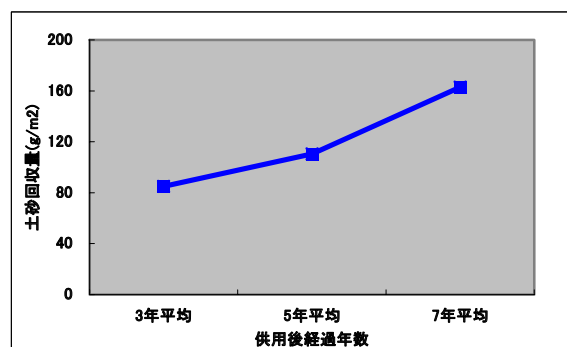


図 13：供用年数と土砂回収量の関係

機能回復・維持工事の最も重要な目的の一つは、排水機能を耐久寿命まで確保することであり、排水性舗装の機能が失われた時点で、舗装の打換作業を行うことを想定すれば、供用後 5 年サイクルで打換作業を行わなければならない。図 14 に透水機能の低下によって打換えられる排水性舗装のサイクルと透水機能の回復ラインを示す。耐久寿命 15 年の場合は、5 年に 1 度、計 3 回の打換作業を行うこととなるが、これを機能回復・維持工事を行う事によって 1 回（舗装の耐久寿命時）に削減出来る事を意味し、機能回復工事が舗装打換工事に比べ経済的であることを示しているものである。

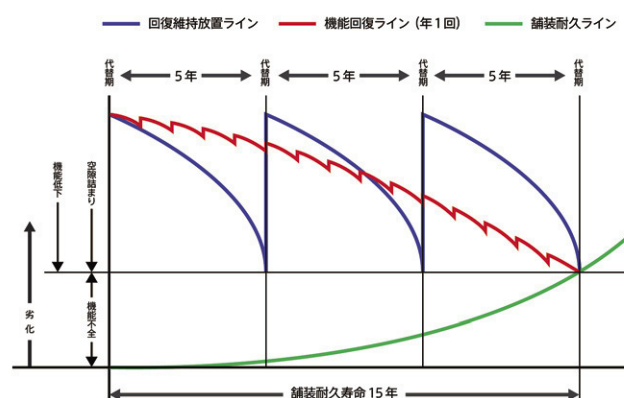


図 14：機能回復工事でライフサイクルの関係

5. まとめ

本報文では、キャビテーション洗浄及び高速 V 型

洗浄に関する洗浄性能並びに施工性能を明らかにすることで、舗装の耐久寿命まで排水機能を継続させる為の最適な施工方法を示した。

結論として、

- 1) キャビテーション洗浄方式は、低速時の洗浄性能が優れており、舗装体底部までの空隙詰まり物質を遊離除去できる能力を有している事がわかった。また、作業速度 1km/h 付近での土砂回収量が 100~200g/m² と排水機能が既に低下した舗装の洗浄に非常に有効である事がわかった。
- 2) V 型高圧水洗浄方式においては、作業速度 10km/h までの高速洗浄域での作業が可能であり、土砂回収能力としては 20~100g/m²、作業能力としては、給水 4t の洗浄水を 20min で消費し、約 8000m² の洗浄作業が可能となる事がわかった。
- 3) より効率的な機能回復・維持工事を行う為に、

洗浄前の現場透水量と舗装体内部の空隙詰まり物質の堆積量から最適な作業速度と洗浄方式を選択できる事がわかった。

- 4) 排水性舗装の耐久寿命が 10~15 年であるのに対し、透水機能は 5 年程度で不透水の状態となっている。排水性舗装の耐久寿命まで透水機能を確保する方法として、1 年に 1 回 200g/m² の回収を行う方法を示した。この施工方法では、透水機能不全の為の舗装打換作業に対しても十分経済性があるものと考えられる。

以上、排水性舗装の機能回復・維持工事に関わる技術的な施工方法について述べてきたが、今後は、この資料を基に本施工への技術指針として提案していきたいと考えている。