



International Bitumen
Emulsion Federation

アスファルト乳剤の 持続可能性

WHITE PAPER



Third EDITION / February 2025

はじめに

アスファルト乳剤(以下、乳剤)は、道路ネットワークの建設および維持管理において、重要な役割を果たしているものである。乳剤を用いる社会資本の保全手法は、地球規模での持続可能な開発の理念と合致するものである。

国際アスファルト乳剤連盟(IBEF)は、各国の乳剤製造業者をそれぞれの国内の協会やパートナー組織を通して結びつける国際組織である。現在、世界中から計 35 の加盟組織を擁しており、乳剤に関する技術の向上と情報交換を推進する国際的な団体として認められている。

本書は、アスファルト産業の取り組みと動向を記述することを目的としている。また、IBEF の執行委員であり、本書の完成に大きな役割を果たした故 Carl Robertus 氏を称えて作成されたものである。

寄稿者

AEMA	Arlis A Kadrmas
AEMA	Mike Tyree
AEMA	George Mariani
ARKEMA	Abdeltif Belkahia
REPSOL	Lucia Miranda Pérez
ATEB	Patricia Lamed Febles
IBEF	Carl Robertus
IBEF	Xavier Guyot
IBEF	Etienne Lebouteiller
IBEF	Hamidreza Sahebzamani
Ingevity	Stephane Charmot
SFERB	Brice Delaporte
REA	Dennis Day
SABITA	Phil Hendricks



目次

序論

1. 舗装の耐久性	8
1.1. 舗装の耐久性におけるプライムコートとタックコートの役割	8
1.1.1. プライムコート	8
1.1.2. タックコート	9
1.2. 維持管理:アスファルト乳剤の主要な適用分野	12
1.2.1. 予防的処理工法による環境負荷の低減効果	12
1.2.2. 表面処理の製品および工法	13
1.2.3. グラベルエマルジョンとマイクロサーフェシングの固有特性	16
1.2.4. 単層表面処理	18
1.2.5. ライフサイクル分析	22
2. 舗装の構造的改良	25
2.1. 舗装の構造的改良のための技術と工法	25
2.2. 現場製造とプラント製造	28
2.3. 現場製造時のエネルギー、温室効果ガス排出量、およびコスト削減	28
2.4. 運搬不要、資源節約など、適用分野における HSE(労働安全衛生・環境保全)の側面	31
3. 地球環境および社会的影響	34
3.1. エネルギー削減とCO ₂ 排出量の低減	34
3.2. 選択肢の拡大による新規材料(およびエネルギーやCO ₂ 排出量)の削減や 複数回のリサイクル	38
3.3. HSE(労働安全衛生・環境保全)の側面	40
3.4. アスファルト乳剤の技術とその活用による社会的影響	41
3.5. 経済性:材料とエネルギーの削減	42
参考文献	45

序論

本書では、持続可能性、持続可能な開発、および環境負荷低減に対して乳剤がどのように寄与するかを明確にし、その有効性を定義することで、道路建設における利用を促進することを目的としているものである。

持続可能性の観点から見た乳剤に関する本書の章題は、以下の通りである



4 SUSTAINABILITY OF BITUMEN EMULSIONS / WHITE PAPER / Third EDITION / February 2025

第 1 章 - 舗装の耐久性:

第 1 章では、乳剤の適用における主要な目的である、舗装の耐久性向上と供用寿命の最大化について述べる。この目的を達成する上で、乳剤を用いた各種工法は重要な役割を果たしている。

第 2 章 - 舗装の構造的改良:

第 2 章では、日常的な維持管理や予防保全の範囲を超えて損傷した舗装の構造的支持力を回復させる修繕工法について述べる。

第 3 章 - 地球環境および社会的影響:

第 3 章では、乳剤技術とその適用が地球環境および社会に与える影響を包括的に評価し、環境負荷低減・安全性向上・地域社会への貢献など、多面的な観点からその有効性を考察した。





PAVEMENT DURABILITY

1. 舗装の耐久性

1.1. 舗装の耐久性におけるプライムコートとタックコートの役割

1.1.1. プライムコート

新設または修繕された道路において、路盤の遮水性確保と安定化は極めて重要である。プライムコートを施工した路盤上に良好な接着性を有する加熱アスファルト混合物層を設けることにより、表層のずれ、ひび割れ、および剥離の発生を抑制し、これらに起因する多大な補修コストを低減することが可能である(図-1)。



図-1 プライムコートの施工

プライムコートは、加熱アスファルト混合物層と粒状路盤または安定処理路盤とのなじみを良くし、より強固で構造的に安定した基盤を形成するものであり、アスファルト基層または表層を施工する前の下地処理として、非アスファルト系の粒状路盤層にバインダを塗布する工程である。

プライムコートの主な目的は、以下の通りである。

- ・ 路盤と新設アスファルト基層または表層とのなじみを良くする
- ・ 路盤層への雨水の浸入を抑制する
- ・ 路盤表面に保護層を形成し、次工程に移行する際やアスファルト混合物の敷設時に使用するバインダの路盤内部への浸透を防ぐ
- ・ 新設の上層が施工されるまでの期間、一時的な交通開放に対応するため、路盤表面の細粒分の飛散を防止する

長年にわたり、プライムコートとして軟質アスファルトまたはカットバックアスファルトが広く使用されてきた。理由は、上述した目的に対する効果が高く、製造工程が比較的単純なためである。しかしながら、これらの材料は引火点が低く爆発の危険性があること、加熱時に溶剤が揮発すること、養生時間が長いことなど、多くの欠点を有している(参考文献 1)。

これに対し、乳剤系プライムコートは以下のような利点を有する。

- ・ 火災や爆発の危険性がない
- ・ 環境負荷が極めて小さい
- ・ 優れた造膜性と接着性を有する
- ・ 養生時間が短い

これらの実用的な利点に加え、常温施工が可能なため、乳剤系プライムコートが施工段階における必要不可欠なバインダとして、舗装の耐久性向上に大きく貢献している(参考文献 2、3)。

1.1.2. タックコート

舗装の構造設計は、各層が独立しているものではなく、全ての舗装構成層が一体となって機能することを前提としている。タックコートは、舗装構造を一体化させるため、各舗装層間の接着層として機能するものである。

既設舗装表面と新設アスファルト舗装層との間で適切な接着が得られない場合、層間剥離が発生し、層の分離を生じる可能性がある。層間剥離は様々な構造的損傷の要因となり、代表的な損傷形態としてせん断ひび割れおよび疲労ひび割れが挙げられる(参考文献 4)。

これらの損傷に対しては、補強層の設置もしくは接着不良層の切削・打換えが必要となり、多大な維持修繕費用を要する。タックコートの品質確保は極めて重要であり、その工程を省く、あるいは規定量を減ずることは、初期的なコスト削減にはなるものの、将来発生する補修費用と比較するとLCCの低下を招く(参考文献 5)。

タックコートに関しては、国や地域によって多くの仕様が確立されている。高品質な層間接着を実現するため、以下の項目が推奨される(参考文献 6、7)。

・ 材料の選定

カチオン系急硬型アスファルト乳剤が従来から使用されており、通常 50%から 65%のアスファルト分を含有する。特に薄層舗装の場合、ラテックスの添加や、ポリマー等でアスファルトを改質した改質乳剤の使用を強く推奨する。

・ 散布量の管理

タックコートの散布量は、残留バインダ量として通常の場合 0.30 L/m²以上とし、薄層舗装または開粒度混合物の場合には 0.40 L/m²以上とする。

・ 施工方法

既設舗装面への均一な被覆を確保するため、可能な限り散布量がキャリブレーションされた散

布機械を使用する。

- ・ 施工面の管理

タックコート施工前の路面は、うき砂や付着物を完全に除去した乾燥状態とする。また、湿潤部がある場合には、滞水が生じないように処理しなければならない。

なお、近年の技術革新によって、従来からの課題であったタイヤへの付着を抑制し、舗装性能を向上させた「タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤」が開発されている(図-3)。この材料は、良好な分解性能とタイヤ付着抑制性能を有するよう配合設計されている(参考文献 8)。



図-2 タックコートの施工状況



図-3 タイヤ付着抑制型アスファルト乳剤
ーアスファルト乳剤がトラックのタイヤに付着しない



1.2. 維持管理:アスファルト乳剤の主要な適用分野

1.2.1. 予防的処理工法による環境負荷の低減効果

既設舗装に予防的な処理を施すことで、舗装の延命化がなされ、その結果、ライフサイクルにおける環境負荷(CO₂排出量、以下、CO₂e)と天然資源の使用量を効果的に低減することが可能である。近年、道路管理機関が LCC を重視するようになり、舗装の予防保全工法の採用が増加している。従来は「舗装が損傷してから撤去・更新する」という事後保全的なアプローチであったが、現在は長期的な視点で道路の維持管理コストの最小化を図る予防保全方式に移行している。大規模修繕の時期を延ばすことで、予防保全工法はエネルギーおよび新規材料の使用を抑制し、持続可能性の向上に寄与している。

道路のライフサイクルにおいて、CO₂e が最も多いのは舗装材料の製造段階である。この段階には、原材料の調達、混合物の製造、および舗装材料の製造現場への運搬が含まれる。次いで CO₂e が多いのは供用段階である。舗装の平坦性低下は国際ラフネス指数(IRI)で測定され、IRI の上昇に伴い走行車両の燃料消費量がわずかに増加する(参考文献 9)。1 台当たりの影響は小さいものの、交通量の多い道路では IRI に顕著な影響を及ぼす(参考文献 10)。

一部の道路管理機関では、最も舗装が損傷した箇所から優先して修繕する方式を採用しており、大規模修繕が必要となった時点で初めて維持管理を実施している。しかし、道路の供用期間において重要な知見が得られている。全供用期間を 100%とした場合、供用開始から 75%までの期間で舗装の品質が 40%低下し、その後わずか 12%という短期間でさらに 40%低下する(出典: roadresource.org)。この方式では、初期の材料製造段階や供用段階を効率的に活用できない。また、舗装が著しく損傷したまま供用を継続すると、走行車両の燃料消費量が継続的に増加する問題も生じる。

舗装における初期投資を最大限に活用し、CO₂e を抑制しつつ、かつ道路を良好な状態に維持するためには、舗装の予防保全が不可欠である。舗装予防保全工法では、温室効果ガスの削減に寄与する 2 つの重要な材料(乳剤と再生アスファルト混合物)を効果的に活用している。これらの材料により、新規アスファルトと新規骨材の使用量を抑制できる。さらに、多くの舗装予防保全工法ではアスファルトプラントが不要という利点もある。このように、新規材料の使用とプラント運営の削減に加え、舗装予防保全は良好な道路の状態を維持することで、資金と CO₂e の両面で初期投資を最大限に活用できる。

工法の選択において、処理に要する時間、供用期間の延長、CO₂e への影響は、現場の状況により異なる。

roadresource.org では、様々な工法の経済性と持続可能性を評価するための計算ツールを提供している(<https://roadresource.org/preservation/calculator>)。

研究事例では、3 つの予防保全工法(クラックシール、薄層舗装、チップシール)を比較検討し、

いずれの工法も道路のライフサイクルにおける IRI と CO₂e の低減に効果があることが実証されている(参考文献 11)。また、これらの工法の多くは、従来の加熱アスファルト混合物による充填やオーバーレイと比較して、交通開放までの時間を短縮できるという実用的な利点もある。

1.2.2. 表面処理の製品および工法

世界の道路舗装は、気候条件や交通量など、さまざまな要因の影響を受けている。

これらの要因は、表面の摩耗や骨材の磨滅によるすべり抵抗性の低下、過度な太陽光による表面のひび割れの発生につながる経年変化などの劣化現象をもたらす。

その他の劣化要因としては、舗装界面の剥離や水の浸入、地盤の動きによる構造的弱点があり、その結果、より深いひび割れが形成される。さらに、交通荷重の繰り返し作用によって、骨材の磨滅や変形を引き起こす可能性があり、バインダも時間の経過とともに劣化する。このような劣化現象を放置しておく、舗装は早期に損傷し、費用と資源を要する補修が必要となる。

上記の課題に対し、乳剤を利用した、いくつかの表面処理工法がある。

適切な時期に施工を行うことで、表面のひび割れを抑制し、すべり抵抗性を回復させ、表面を封かんして太陽光や水の影響を防ぎ、重交通に耐えることができる。これらの処理を実施することは、舗装長寿命化だけでなく、資源の消費とコストを削減することにもつながる。

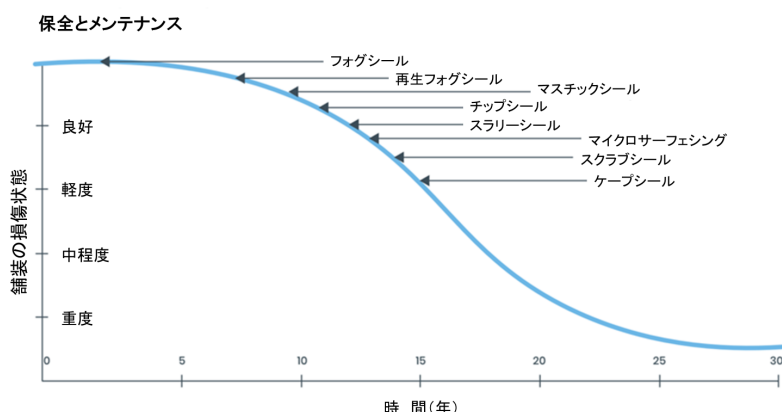


図-4 表面処理工法のマトリックス(舗装の経年変化)

フォグシールや再生フォグシールのような表面処理は、紫外線などによる表面の酸化劣化やひび割れの発生から既存の舗装表面を保護するために、早期に施工することが望ましい。

これらは、通常骨材を含まない表面処理であり、既設舗装の骨材飛散を防ぐために路面上に施工される。

また、粉塵の抑制や、新しく施工された表面処理に骨材を散布し、トップコートとして使用することもできる(参考文献 12)。

ただし、骨材を含まない表面処理はすべり抵抗性を回復できないため、非常に緻密な表面や表面テクスチャが失われた舗装面には適さない。

フォグシールの適用は、表面ひび割れの発生を抑制して舗装の長寿命化、および新設のチップ

シールの早期段階での骨材飛散を抑制することの効果が実証されている。

2023 年に発表された研究(参考文献 13)では、フォグシールを使用することで、最低 8 年間は表面ひび割れの発生を 20%低減できることを示している。

また、別の研究(参考文献 14)では、新設のチップシールの上にフォグシールを散布することで、紫外線などによる表面の酸化劣化や水の浸入が抑制され、施工面に被覆している骨材の初期飛散を抑制したことが実証されている。



図-5 農村の環境で施工されたフォグシール

表面処理工法のうち、骨材を散布する表面処理として、チップシール、マスチックシール、スクラブシールが挙げられる。

散布方法およびタイミングは、施工場所や道路のカテゴリー、損傷状態によって異なる。この 3 つの工法は、いずれもすべり抵抗性の回復や向上に寄与する。

若返り剤を含む表面処理工法は、すべり抵抗性を向上させるとともに、事前のひび割れ補修不要のためコスト削減が実証されている(参考文献 15)。

チップシールの設計と施工は、路盤の特性、地域の気候、交通量によって決定される(参考文献 16、17)。チップシールは、路面を封かんすることで水の浸入を防ぎ、ポットホールの発生を抑制する。それにより、持続可能かつ費用対効果の高い方法で舗装の長寿命化を図ることができる(参考文献 18)。

計画的な維持管理を進めるうえでチップシールを適切な間隔で施工することで、舗装の寿命を 60 年まで延ばすことができる。

この結果、ライフサイクルコストを 70%、CO₂e を 69%削減可能であることを示している(参考文献 18)。



図-6 チップシールの施工状況



図-7 スクラブシールの施工状況

乳剤を用いた混合物は、表面処理工法に比べ耐久性に優れていることが多く、しばしば「コールドアスファルト」に分類される。

スラリー状の路面舗装材は、人力、機械いずれにおいても施工できる。既往の研究(参考文献 19)では、マイクロサーフェシング工法を 1 回施工することで舗装の延命化効果が 15 年以上となることを立証した。その結果、一部の道路管理機関は、道路修繕にかかるコストを大幅に削減することができた。

上述した工法はいずれも舗装の長寿命化に有効であり、単一の表面処理としてもさまざまな持続可能な効果をもたらすが、複数の表面処理工法を組み合わせの方が有効な場合もある。例えば、ケーブシールは、チップシールとマイクロサーフェシングを組み合わせたもので、耐久性の向上と走行時の騒音低減を実現する。

さらに、チップシール工法の処理後、fog seal を塗布することで、初期の骨材飛散を抑制し、チップシールの耐久性を高めることができる。

ケーブシールを適用した事例(参考文献 20)では、60 マイル(約 100 km)分の舗装の延命化に寄与したことを示している。

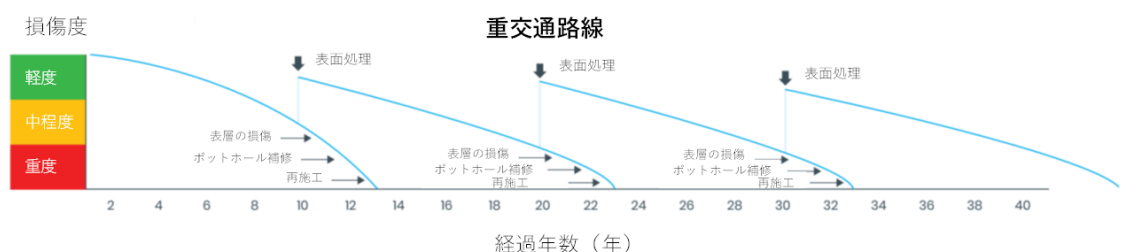


図-8 舗装メンテナンスの手順—画像提供:RSTA



図-9 マイクロサーフェシングの施工状況

1.2.3. グラベルエマルジョンとマイクロサーフェシングの固有特性

フランスの道路管理局では「グラベルエマルジョンは、表面処理に最も適した材料」といわれている。

その理由として、グラベルエマルジョンは、骨材(10～20 mm)が乳剤中の残留アスファルト量の多いモルタルの中に骨格として存在しており、骨材同士の高い内部摩擦により、さまざまな厚さにおいてもわだち掘れに対して抵抗性がある。一方で、材料のモルタルが表面処理層に直接接着することを可能にし、表面処理が主な目的である場合には材料の節約にもつながる。

グラベルエマルジョンはひび割れ発生抑制工法であり、十分な厚さで使用することで、「リフレクションクラック」の発生を抑制することができる。これは特に丘陵地帯の道路にあてはまる。このような地域では、基層としてグラベルエマルジョン層を使用し、その上にマイクロサーフェシングを重ねる構造が理想である。それにより、積雪地域における除雪車のブレードに対して非常に耐性があることが実証されている。また、アスファルトプラントから遠距離にある現場では、加熱アスファルト混合物の長距離運搬における温度管理が難しく、さらに丘陵地帯では、迂回路の設置がほとんど不可能だが、グラベルエマルジョンは施工中であっても交通開放が可能な工法である。



図-10 グラベルエマルジョンの施工状況

グラベルエマルジョンの製造に移動式プラントを使用することは、アスファルトプラントから離れた地域での道路工事において、経済的な選択肢となり、場合によっては、唯一の選択肢となり得る。これは、山岳地帯や、人口密度が低い地域で効果を発揮する。

マイクロサーフェッシングは、劣化した路面のリフレッシュが可能である。さらに、施工厚さが薄く、他の多くの技術よりもはるかにコスト効率に優れている。

そのため、マイクロサーフェッシングは、適切に使用することで、非常に経済的な技術である。例えば、フランスのヴェルサイユ地区では、乳剤関連工法(マイクロサーフェッシングやチップシール)の使用に伴って、単位面積当たりの施工単価が 25%削減されたことが示されている(参考文献 21)。

マイクロサーフェッシングは、基盤が良好であれば、事前の不陸整正を行わずに施工を進めることができる。また、道路標示、標識、路面センサ、インフラ設備の養生や撤去をすることなく工事を行うことができる。

さらに、軽微な損傷に対しては、同じ移動式プラントで常温アスファルト混合物を製造して補修を行うことができる。

最後に交通量のある道路での維持管理技術の主な利点のひとつは、マイクロサーフェッシングを施工した後、非常に短時間(30 分未満)で交通開放できることである。



図-11 グラベルエマルジョン施工後



図-12 グラベルエマルジョン上にマイクロサーフェッシングを適用した際の表面

1.2.4. 単層表面処理

乳剤は、スクラブシールやフォグシール、チップシール、スラリーシール、マイクロサーフェッシングなど、さまざまな表面処理工法の選択肢を提供することができる。

これらの表面処理工法は、以下に示すように相互に組み合わせて使用することができる。:

- ・ 2 層式チップシール
- ・ ケープシール
- ・ 2 層式マイクロサーフェッシング

最も適した表面処理工法または組み合わせを選定するには、次のような要因に依存する。

- ・ 舗装の状態
- ・ 予想される交通量
- ・ メンテナンス費用

表面処理工法は、施工厚さが薄いため、舗装体の支持力が向上するわけではない。しかし、表面処理を施すことで、舗装の防水性が向上し、路盤以下への水の浸入を抑制し、結果的に支持力が維持される。

舗装の状態は主に表面テクスチャ、つまりアスファルトが適切に被覆しているか、剥離していないかによって決まる。表面処理工法の選択肢は幅広く、最も適した工法を選択することができる。米国を含む多くの国では、表面処理工法に関するマニュアルやガイドラインが作成されている(参考文献 22)。

いずれの表面処理工法においても耐久性は、交通量の関係と密接な関係がある。

改質バインダを使用することや、繊維を混合することでせん断抵抗性を向上することができる。

また、表面処理の層を厚くすることで、供用年数を延ばすことができる。表層の供用年数は、通常 10 年から 15 年の範囲を考慮する必要がある(**参考文献 23**)。

予算は道路管理機関が適切な工法を選択する際の重要な要素である。一般的に、厚層表面処理工法よりもコストが低い薄層表面処理工法を選択すると、供用年数が短くなる傾向がある。選択プロセスでは、最も費用対効果の高い解決策を見つけることを優先するべきである。

マイクロサーフェッシングは、特に農村地域に適している。一方、チップシールは舗装構造に問題がなく、舗装表面にわずかな損傷が発生している場合などに有効である。



図-13 南アフリカでチップシールを実施した際の仕上がり面

カットバックアスファルトをベースにした表面処理工法と比較すると、乳剤をベースにした表面処理工法の方が、破損のリスクが大幅に低減することが示されている(**参考文献 24**)。

排水性舗装は、重交通路線で脆くなることがあるが、マイクロサーフェッシングは非常に多用途な工法であり、骨材の飛散や摩耗などの早期劣化を起こしている排水性舗装の上に適用することもできる。

その場合、損傷した排水性舗装にマイクロサーフェッシングを適用することで、表面の結合力が向上し、舗装の劣化を遅らせ、延命化することが可能であり、道路管理機関の財政状況に応じた修繕工法の選択が可能となる(**参考文献 25**)。

乳剤は、世界中で加熱アスファルトによる散布工法に代わってますます適用されることが多くな

っている。この変化の主な理由は、加熱アスファルトを散布する際の火傷などの危険性や固着(冷えると固まりやすくなり散布性が低下するため、骨材に接着しづらくなる)に問題があるためである。改質乳剤の開発により、速やかな分解が可能となり、残留バインダが高い結合力(最大 $1.2\text{J}/\text{cm}^2$)を示すため迅速な交通開放が実現された。

単層チップシールに関しては、「ラックド・イン・システム」を使用することが最良の選択肢とされている(参考文献 26～29)。

「ラックド・イン・チップシール」とは、最初に粗骨材層を薄く適用し、その後に細骨材のみを散布して大きな骨材間隔を埋めるタイプのチップシールを指す。



図-14 チップシール用のポリマー改質乳剤



図-15 速分解型乳剤を用いた
マイクロサーフェシング



22 SUSTAINABILITY OF BITUMEN EMULSIONS / WHITE PAPER / Third EDITION / February 2025

1.2.5. ライフサイクル分析

ライフサイクル分析はメンテナンスサイクルにおける最適なタイミングを決定し、その効果を評価するものである。

補修を行うタイミングは、補修により得られる効果に大きく影響する可能性がある。一部の機関では、軽度に劣化している状態、他の機関ではオーバーレイや厚層表面処理を行った直後に薄層表面処理を施すことを推奨している。米国ミネソタ州で実施された試験では、早期に表面処理工法を適用することの利点が示されている(参考文献 30、31)。

常温の路上表層再生工法(CIR)や路上路盤再生工法(FDR)などの補修工法は、通常、舗装が表面処理工法だけでは費用対効果が得られないほど劣化した場合に実施される。

これらの処理を行うタイミングは、走行性、交通量増加、および舗装構造の支持力に基づいて決定される。リサイクル材料を使用する際のライフサイクルと持続可能性の側面を比較することは、効果的なアプローチである(参考文献 32)。

特定の損傷に対処することを目的とした処理を含む、予防保全を実施することで、ライフサイクルコストの抑制と道路管理機関が管理する道路システムの全体的な改善につながる(参考文献 33)。





2. 舗装の構造的改良

2.1. 舗装の構造的改良のための技術と工法

舗装修繕は通常の維持管理や保全方法だけでは不十分であり、劣化した舗装の支持力を回復させることが目的である。以下に示す効果的な技術は、現場状況とニーズによって選択される。

- ・ 常温路上表層再生工法(CIR)
- ・ 中央混合方式常温再生工法(CCPR)
- ・ 路上路盤再生工法(FDR)
- ・ 路盤安定処理
- ・ 常温および中温化再生
- ・ 常温材料によるパッチング(スプレーおよび手練り)

常温再生とは、施工工程で加熱せずにアスファルト舗装を再生することを指し、FDR や CIR が該当する(参考文献 34～37)。CIR および CCPR は、劣化したアスファルトコンクリート層を処理して改良する。一方 FDR は路盤を含めた、舗装構成全体を改良する。

常温路上表層再生工法(CIR)

CIR は、処理から転圧までを単一または複数の施工車両を用いて、表層 5～12 cmのアスファルトコンクリートを再生する工法である。CIR は、主に既存の材料を現場で再利用することで、輸送量、時間、新規材料の使用量、そしてコストを大幅に削減する。

中央混合方式常温再生工法(CCPR)

CCPR は、目的の粒径に破碎可能な再生骨材のストックと固定式の常温混合用プラントを用いた、中央拠点でアスファルトコンクリートの再生を行う工程である。固定式プラントは、アスファルトコンクリート再生骨材(以下、RAP)用のコールドビンとバグミルミキサーを備え、RAP、水、活性フィラー、乳剤、その他の添加剤を混合する設計が可能である。

また、破碎機のない CIR 施工車両を固定して設置することも可能であるため、様々な車両を適用させられる。CCPR は物流上の理由により既設舗装をその場で再生できない場合、または既設のアスファルトコンクリートを撤去して下層部を処理する必要がある場合に適した、厚さ 75～150 mmの層を敷設する工法である。さらに、アスファルトコンクリート舗装の破碎により RAP が蓄積されるため、CCPR ではこの利用可能な RAP を効果的に活用し、高品質で費用対効果が高く、環境に優しい舗装材を製造できる。

路上路盤再生工法(FDR)

FDR は、表層から路床までの所定部分を破碎する修繕技術であり、均質で改良された材料が製造される。再生材料の特性は、アスファルト安定処理によってさらに向上させることができる。

FDR は、損傷が激しい道路や構造容量の増強が必要な道路にとって、有効な工法である。FDR

の施工には、様々な機器や構成が利用可能であるスクリード搭載型、またはスクリード非搭載型の再生機、あるいは再生機を施工機械に直接供給するなど選択肢がある。

路盤安定処理

路盤安定処理は、アスファルトコンクリートの下層にある材料(上層路盤、下層路盤、路床など)を破砕・混合する修繕技術であり、均質で改良された層を形成できる。再生材料の特性は、アスファルト安定処理によってさらに向上させることができる。路盤安定処理は、路盤層の構造的価値を高め、路盤下における公共設備への支障を回避し、アスファルトコンクリートオーバーレイの必要厚を低減するための魅力的な工法である。

常温・中温化再生

RAP を使用した混合物は骨材が既にバインダで被覆されているため、製造する際に使用する新規アスファルト量が低減するという大きなメリットがある。

さらに、RAP を常温もしくはそれ以下の温度で混合する以外に、乳剤を用いた中温化再生を利用するという選択肢もある(参考文献 38)。中温化乳剤混合物は加熱混合物と比較した場合、性能が同等であることに加え、通常 80～90℃の温度で製造されるため製造時に必要なエネルギーが少なく、熱劣化も抑えられる。また、乳剤は流動性があり、RAP の古いバインダと混合することができる。

中温化再生は主に 2 種類の製造方法がある。あらかじめ製造された乳剤混合物を常温混合プラントで徐々に加温する方法の場合、RAP 含有量は通常 50～100%の範囲になる。別の方法では、温めた粗骨材や細骨材に RAP と乳剤を混合する。この際、骨材の一部または全部が加熱される。この方法の場合、RAP 含有量は最大 60%となる。



図-16 常温路上表層再生工法、ユニット施工車両



図-17 中央混合方式常温再生工法
プラント(CCPR)



図-18 路上路盤再生工法

常温材料によるパッチング

ポットホールは交通による損傷、水分の浸透、そして凍結融解の繰り返しによって発生する。走行性と安全性を確保し、車両の損傷を防ぐために、これらのポットホールは補修する必要がある。ポットホール補修材は、手作業またはスプレーインジェクションパッチング装置を使用して施工できることが示されている(参考文献 39)。

スプレーインジェクションパッチングは、特殊な装置を用いて骨材と加熱した乳剤を同時に混合する。その後、この混合物をホースとノズルを通してポットホールに直接流し入れる工法である。乳剤ベースの常温混合物は、新規骨材や再生骨材を使用して製造できることが示されている(参考文献 40)。

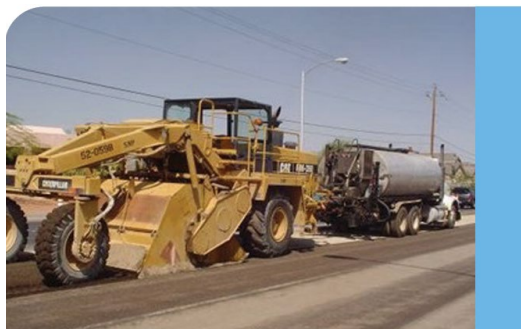


図-19 乳剤を用いた路盤安定処理



図-20 スプレーインジェクション
パッチング装置

2.2. 現場製造とプラント製造

プロジェクトにおける選択肢、性能、施工速度、持続可能性の観点から、現場製造とプラント製造の違いを理解し、使い分けることが重要である。

プラント製造の大きな利点のひとつは、均一な混合物の製造により品質を制御できることである。RAP の粒度を細分化することで均一性が高まり、品質管理工程の一環として混合物の水分含有量や粒度分布などの因子を容易に測定・計算できることが示されている(参考文献 41)。

路上路盤再生工法(FDR)は RAP と反応前の材料を配合するため、温度依存性による剛性への影響が少ない。一方、中央混合方式常温再生工法(CCPR)と常温路上表層再生工法(CIR)は主に RAP で構成されていることから、温度依存性が剛性に与える影響が大きい。FDR 供試体が CCPR 供試体や CIR 供試体よりも変形量が小さいことを示したという報告もある(参考文献 42)。

現場製造は、プラント製造と比較してエネルギー消費量と CO₂e の点で大きなメリットをもたらす。これは主に輸送への影響の軽減によるものであり、プラントと現場の距離によって異なる。

ライフサイクルアセスメント(LCA)データによると、常温再生技術は、従来の切削オーバーレイ工法と比較して、エネルギー消費量 50%以上、温室効果ガス排出量 40%以上をそれぞれ削減できる。CIR は、主に輸送への影響により、CCPR と比較してエネルギー消費量と温室効果ガス排出量がわずかに少なくなることが示されている(参考文献 43)。

現場製造のもうひとつのメリットは、施工時間の短縮である。これにより、交通への影響が最小限に抑えられる。そのため、乳剤を用いた粒状路盤安定処理は、交通量の多い市街地道路の修繕に効果的な方法である。ラスベガスで行われたプロジェクトでは、従来の修繕方法と比較して工期を 120 日から 40 日に短縮できることが実証された。この工期短縮は、現場周辺の住民、企業、道路利用者に好評であった。市は約 30%のコスト削減(約 32 万ドル)に成功したことが示されている(参考文献 44)。

2.3 現場製造時のエネルギー、温室効果ガス排出量、およびコスト削減

現位置で行う再生工法、特に路上路盤再生工法(FDR)は、損傷したアスファルトコンクリート層を完全に除去して改良する従来の切削オーバーレイ工法と比較されることが多い。

修繕工法の中で、常温路上表層再生工法は最も環境に配慮した解決策である。さまざまな舗装メンテナンスプロジェクトにおいて、乳剤ベースの常温路上表層再生工法を用いることで、従来の切削オーバーレイ工法と比較して、温室効果ガス(GHG)排出量とエネルギー消費量(材料輸送、アスファルト混合物の製造、輸送、および施工に関連)を半減できることが実証されている。

RoadResources.org によると、常温路上表層再生工法は、従来の修繕・再構築技術と比較して20～50%のコスト削減を実現する。これらのコスト削減は、以下の方法で実現される。

- ・ 材料消費量(再生率は98%以上)と輸送作業(300回以上のトラック移動)の大幅な削減(主な費用は、必要に応じて乳剤、セメント、補足材などの追加材料に関連するものである)
- ・ 施工速度の向上(従来の技術と比較して20%～40%速い)
- ・ 現場における機器および人員の移動の削減

あらゆる側面を考慮すると、乳剤を用いた常温路上表層再生工法は、環境への影響を最小限に抑え、プロジェクト管理を効率化し、費用対効果を高めるという点で最良の選択肢となることが示されている(参考文献 45～47)。



図-21 フランスにおける
常温路上表層再生工法



図-22 サウジアラビアにおける
常温路上表層再生工法



32 SUSTAINABILITY OF BITUMEN EMULSIONS / WHITE PAPER / Third EDITION / February 2025

2.4 運搬不要、資源節約など、適用分野における HSE(労働安全衛生・環境保全)の側面

常温路上表層再生工法は、健康、安全、環境(HSE)の面でも大きなメリットもたらす。実際、道路材料の一次破碎、二次破碎、混合を同じ機械で行うことができるため、現場での作業事故のリスクは大幅に低減される。また、破碎材料の運搬が不要なため、トラック輸送や現場の交通に関連する事故も最小限に抑えられる。

さらに、施工中に乳剤を加熱しないため、煙や揮発性有機化合物(VOC)が発生せず、現場作業員の作業環境の安全性向上に貢献することが示されている(参考文献 48)。



図-23 ベトナムにおける常温路上表層再生工法





ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACT

3. 地球環境および社会的影響

3.1 エネルギー削減とCO₂排出量の低減

常温アスファルト混合物は、RAP(アスファルトコンクリート再生骨材)を含む骨材に乳剤を被覆して製造する。従来の加熱アスファルト混合物とは異なり、常温アスファルト混合物は製造時の乾燥や加熱を必要としないため、エネルギー消費量を削減できる。環境負荷低減の観点からも、常温アスファルト混合物は特に有効な材料であるといえる(参考文献 49～53)。

プラントで製造される常温アスファルト混合物

常温アスファルト混合物の環境負荷については、数々の研究により定量的に評価されている。加熱アスファルト混合物と比較すると、常温アスファルト混合物のエネルギー消費量には次のような傾向がみられる。

- ・ 使用する乳剤の製造工程の影響により、原材料段階でわずかに増加する。
- ・ 加熱が不要なため、製造段階で大幅に削減できる。
- ・ 材料調達から施工までを対象としたライフサイクル全体では、著しく削減できる。

図-24 に示す事例では、材料調達から施工までの範囲で加熱アスファルト混合物と比較すると、常温アスファルト混合物は 33%のエネルギー消費量を削減できる。また、材料や輸送距離などの条件次第では、最大 50%の削減に達することもある。

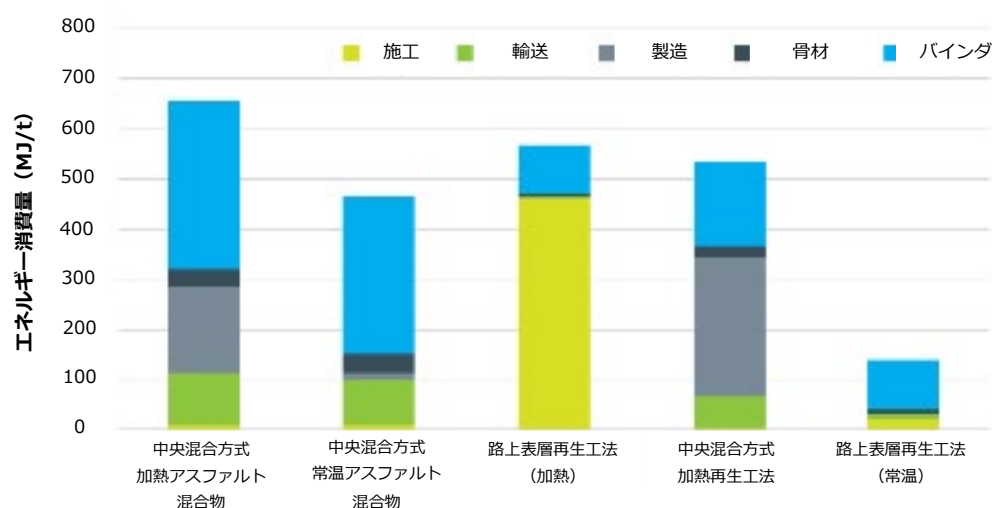


図-24 各種舗装技術におけるエネルギー消費量

常温アスファルト混合物の製造工程は、エネルギー消費量だけでなく GHG(温室効果ガス)排出量にも大きな影響を与える。例えば、Jain らの研究では、常温アスファルト混合物と加熱アスファルト混合物の GHG 排出量の差は、「原材料、製造、輸送および施工」の範囲で 32%となると推定されている(図-25)。さらに、一部の研究では、その差は最大 60%にもなると報告されている。

フランスでは、Routes de France が実施したライフサイクルアセスメント研究の成果として、2022 年に「軽車両用常温アスファルト舗装」に関する EPD(製品環境宣言)が公表された。「材料の調達から施工まで」の範囲において、従来の加熱アスファルト混合物と比較すると、アスファルト 1t あたりでは、製造工程におけるエネルギー消費量約 21%、温室効果ガス排出量約 31%を削減できることが示されている。

フランスでは、2020 年に IDRRIM(道路、街路、モビリティ基盤研究所)が発行したガイドライン「プラントで製造される常温アスファルト混合物」において、SEVE 社製の比較型環境評価ツールを用いた材料および作業現場規模での環境負荷を比較している。表-1 に示す事例は、1,000 m² の一般的な新設舗装工事に関するもので、乳剤の輸送距離が異なる厚さ 13 cm のグラベルエマルジョン構造と厚さ 12 cm の加熱アスファルト混合物構造を比較した。いずれも 2 層のチップシール (ESU) が施されている。これらの GHG 排出量の差は約 37%であった。

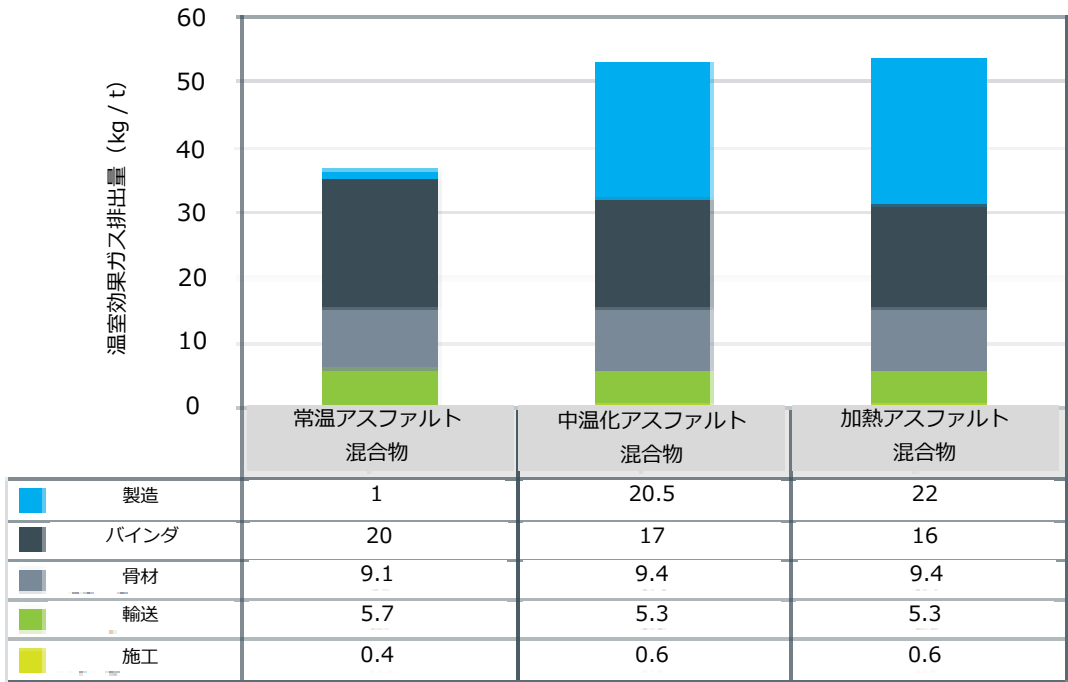


表-1 異なる舗装構造の作業現場(1,000 m²)における
GHG 排出量(tCO₂e 排出量)削減率の比較

舗装構造	材料	上流への 輸送	混合物の 製造	現場への 輸送	施工	計	比較
加熱アスファルト混合物(12cm)+ESU 2層	4.3	1.7	4.8	0.7	0.0	11.5	
グラベルエマルジョン(13cm)(乳剤の輸送距離40km)+ESU 2層	4.6	1.5	0.4	0.8	0.0	7.3	-36.8%
グラベルエマルジョン(13cm)(乳剤の輸送距離0km)+ESU 2層	4.6	1.4	0.4	0.8	0.0	7.2	-37.4%

舗装構造ごとの事例

SFERB は、交通量区分に応じて各種舗装構造の環境負荷を比較する調査を実施した。例えば、常温アスファルト混合物とグラベルエマルジョン(図-26 黄色線)を用いた乳剤技術は、加熱アスファルト混合物(図-26 黒色線)を用いた加熱混合技術と比較して、舗装工事に伴う GHG 排出量を 50%以上削減できることがわかっている(図-26)。さらに、高弾性アスファルト混合物と比較しても約 30%の削減できる。また、同様な結果は、エネルギー消費量からも把握できる。

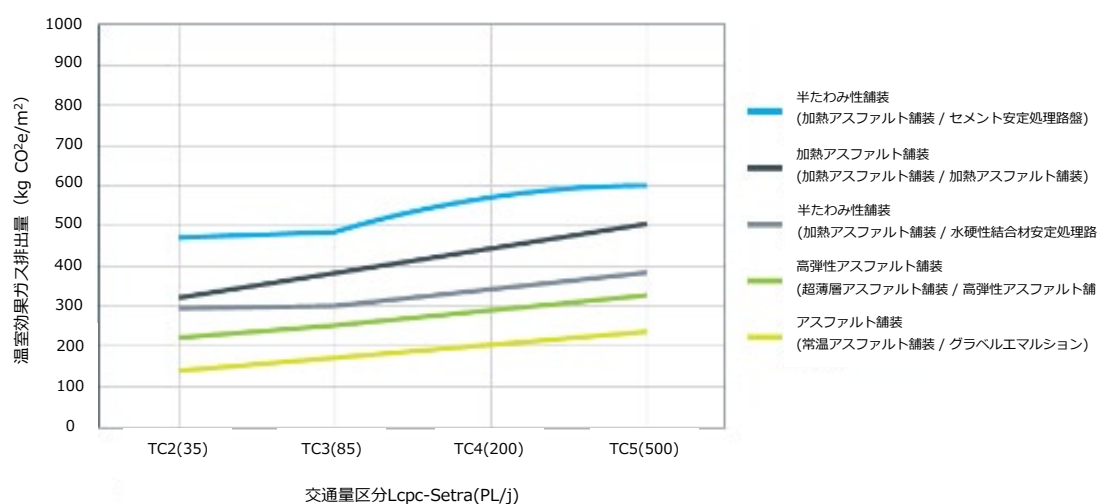


図-26 PF2 プラットフォームにおける舗装構造

1 mあたりの交通量区分ごとの舗装工事の GWP(地球温暖化係数)排出量

常温路上表層再生工法

プラントで製造する常温混合技術と比較して、常温路上表層再生工法は、次の 2 つの主要な利点を有する。

- ・天然資源の保護に繋がる(現地発生材を利用するため)。
- ・材料の輸送が不要になる(配合修正を目的とした少量の骨材を除く)。

また、加熱混合技術と比較しても、地球環境への影響が大幅に軽減される利点がある。

Xiao らの研究では、常温路上表層再生工法により、エネルギー消費量を 75%以上削減できることを実証した。また、フランスでは、比較型環境評価ツールを用いて、具体的な事例や再生の方法に応じた GHG 排出量を 55~70%削減できると推定した。さらに、パラメトリックス解析の結果は、これら 2 つの方法の環境負荷軽減効果の差異を評価するのにも有効である。



SUSTAINABILITY OF BITUMEN EMULSIONS / WHITE PAPER / Third EDITION / February 2025 39

3.2 選択肢の拡大による、新規材料(およびエネルギーや CO₂ 排出量)の削減や複数回のリサイクル

持続可能性の重要な要素として、数十年にわたり、将来のための資源の保全・保護が強調されてきた。この目標を達成するためには、今ある資源の再利用および天然資源の使用量の削減が必要不可欠である。乳剤を用いる表面処理工法や他の工法の活用により、道路管理者や建設業者は、一度利用した道路用資材(産業副産物である鉄鋼スラグのような骨材)を、修繕や維持管理工事で再利用できる。骨材の再利用は、採石や輸送に伴うエネルギー消費量と CO₂ 排出量の削減にも貢献する。

表面処理工法

-骨材

これまで、チップシール施工後の道路清掃で回収した骨材(以下、回収骨材)は、従来、埋め立て地に廃棄されるか、他の用途に転用されてきた。しかし現在では、移動式の再生・洗浄プラントの改良と発展により、回収骨材を貯蔵して洗浄することで、再利用が可能になった。2023 年、英国のある地方自治体(参考文献 54)では、220 kmのチップシール施工計画において、使用する骨材 21,000t のうち 12,000t は回収骨材を使用した。これにより、新規材料の使用量を 57%も削減した。さらに、施工時に発生した余剰骨材も新たな回収骨材として利用することで、チップシールの回収骨材を繰り返し活用できている。こうした継続的な取組が、長期的な原材料の使用量の削減に繋がっている。

また、製鋼工程で副生される鉄鋼スラグは、数十年にわたってチップシールに活用されている。鉄鋼スラグの活用は、すべり抵抗性の向上がもたらす舗装表面の機能の持続による利点だけでなく、天然骨材使用量の抑制に伴うエネルギー消費量の削減や天然資源の保全・保護にも繋がる。

- RAP

RAP と RAGG(再生アスファルト舗装用骨材)は、スクラブシール、チップシール、スラリーシールおよびマイクロサーフェシングなどの各種表面処理工法へ活用することができ、その有用性について報告されている(参考文献 55)。ロサンゼルスでは、保全、再利用、強化に重点を置いた高速道路の持続可能性の目標を設定し、2018 年、舗装プログラムの予算の約 35%を、RAP を使用した舗装の修繕費用として割り当てた。報告書では、持続可能な舗装の修繕プログラムに RAP を活用することにより、従来の方法と比較して、費用を 5,200 万ドル、温室効果ガス排出量を 84%、エネルギー消費量を 80%、埋め立て堆積量を 765 m³削減したと報告している。

修繕

- CCPR

CCPR(中央混合方式常温再生工法)は、数十年にわたり国際的に広く利用されている工法である。この工法では、粒度調整碎石、他の再生材料および乳剤を施工区外のプラントで混合する。

2008 年、スコットランドの主要幹線道路に関して(参考文献 56)、800m の区間に常温アスファルト混合物を使用するという契約が交わされ、この取組により CO₂e を 43t 削減した。

また、Tayset(スコットランドの再生常温アスファルト混合物の製品名)の使用により、従来の材料と比較して 1t あたり 25 kg の CO₂e が削減された(参考文献 57)。スウェーデンで実施された研究(参考文献 58)において、Lundberg らは、CCPR による混合物の製造および輸送(距離 48 km)を標準的な加熱混合物と比較し、アスファルト 1t あたりの CO₂e を 68%、エネルギー消費量を 50% 削減できると明らかにした。施工後のアスファルト 1 m²あたりでは、CO₂e を 64%、エネルギー消費量を 48%削減した。さらに、スコットランドとスウェーデンのどちらの事例においても、CCPR で製造した混合物は、供用 10 年以上経過しても良好な状態を保持している。



図-27 CCPR 混合物の
製造



図-28 CCPR の施工



図-29 CCPR 施工後の路面

- CIR

乳剤を用いた常温路上表層再生工法(CIR)は、既設舗装を現場で破碎し、乳剤と混合後、敷きならしめる工法である。そのため、現場から舗装発生材を運搬せずに再利用することができる。必要に応じて、設計粒度を満足するために少量の骨材を加えることもある。

この工法では、すべての材料を現場で再利用するため、新規材料の使用量を大幅に削減するとともに、現場への新規材料の輸送に伴うエネルギー消費量および CO₂e も削減することができる。

Lysenko は、CIR により、舗装工事に必要なエネルギー消費量を 84.3%、CO₂e を 85%削減できると報告している(参考文献 59)。

3.3 HSE(労働安全衛生・環境保全)の側面

乳剤は、施工時のヒューム低減や作業環境の改善など、様々な労働安全衛生・環境保全(HSE)上の利点をもたらす。乳剤の環境への影響はライフサイクルアセスメント(LCA)で数値化し、製品環境宣言(EPD)で公表されている。これにより、情報の透明性が保たれ、道路建設業界での環境に配慮した施工が推進される。

ヒューム、粉塵および VOC 排出量の低減

乳剤ベースの材料は通常のアスファルトベースの材料よりも低温で扱われるため、揮発性有機化合物(VOC)を含むヒュームおよび粉塵の発生を抑制できる。

作業環境の改善

施工温度の低減は、より安全な作業環境の実現に貢献する。乳剤は、取り扱いや散布が容易なため、作業効率の向上、作業スケジュールの柔軟化および作業員の身体的負担の軽減につながる。さらに、乳剤は不燃性であるため、保管および取り扱い時の安全性が向上する。ただし、具体的な用途、使用する乳剤の種類、作業環境での安全対策など、いくつかの要因によって効果が左右される可能性がある。

環境影響の数値化

LCA による建設資材の環境影響の数値化は、原材料の抽出から製品の廃棄に至るまでの環境負荷を評価することである。具体的な LCA は、乳剤の種類、製造方法、地域によって異なる場合があるため、注意すべきである。研究者や施工者は、正確で適切な結果を得るために、それぞれの状況に合わせて LCA を実施することができる。また、乳剤の EPD(製品環境宣言)は様々な方法で入手可能であり、その内容は乳剤を製造するメーカーや組織によって異なる。EPD は、製品のライフサイクル全体にわたる環境性能に関する情報を、規格に準拠して提供する文書である。EPD の入手は地域によって難しい場合があり、すべての製品に関連する EPD があるわけではないことに注意が必要である。EPD または材料の環境性能に関する情報を見つけるための情報源を以下に記す。

- ・ メーカーのウェブサイト
- ・ 業界団体
- ・ サステナビリティ認証プログラム
- ・ 政府または環境庁
- ・ 第三者認証機関
- ・ 研究調査および文献



図-30 乳剤による路盤安定化

3.4 アスファルト乳剤の技術とその活用による社会的影響

道路建設に使用される乳剤は、施工工程の効率と持続可能性を向上させるだけでなく、道路利用者と地域社会に様々な影響をもたらす(参考文献 62、63)。主な影響を以下に記す。

臭気の抑制

乳剤は、加熱アスファルトよりも低い温度で施工されるため、ヒュームの発生が少なくなり臭気が抑えられる。道路建設現場における臭気の低減は、作業員の環境改善と近隣住民の健康に貢献する。

すべり抵抗性の向上

アスファルト舗装におけるすべり抵抗性は、骨材の種類、配合粒度、表面テクスチャといった要因に左右される。乳剤は、摩擦に重要な表面テクスチャに影響を与えるため、すべり抵抗性の向上や回復を図る等の用途に使用されている。乳剤を用いたメンテナンス用途の代表的な例は以下の通りである。

- ・ 表面処理工法: チップシール、スラリーシール、マイクロサーフェッシングなどがあり、舗装表面の粗度が向上するためすべり抵抗性の改善が期待できる。また、乳剤は表面処理工法において再生剤として機能し、表層の劣化したアスファルト性状や表面テクスチャを回復させる。

作業期間の短縮

- ・ 工期の短縮：

乳剤は、加熱アスファルト混合物と比較し低温で施工できるため、作業スケジュールの柔軟性が向上する。

- ・ 施工設備の簡素化／省人化：

乳剤は専用の加熱装置や多くの作業員を必要としないため、運搬が容易となる。

安全性の向上

乳剤の使用は、建設およびメンテナンス中の安全性向上に大きく貢献する。

- ・ 乳剤は加熱を必要とせず、施工時のヒュームの発生も少なくなる。
- ・ 散布温度が低く揮発性が低いため、運搬、取り扱い、および環境へのリスクが軽減する。また、飛散時のリスクも軽減する。

3.5 経済性：材料とエネルギーの削減

前項より、乳剤は様々な表面処理工法やリサイクル用途に使用されており、従来の施工と比較し材料とエネルギー消費量が削減できるため、コスト削減効果が確認されている。

表面処理工法は、単独または組み合わせて使用することで既設舗装の寿命を延ばし、さらにエネルギー消費量を削減することができる。CIR、路盤安定処理、CCPRなどの用途では、道路の既存材料を活用する。CIRと路盤安定処理は、リサイクル材料を破砕混合し道路に直接施工することで、輸送費用の削減に役立つ。

これらの用途の性能とコスト削減を明確に示すプレゼンテーションは、発注者がその利点を理解するために活用されている(参考文献 65、66)。

乳剤は、混合物の製造温度を抑制できるためエネルギーの削減に貢献する。これは、コールドミックス、CIR、CCPRの用途で特に顕著である。また、エネルギーの削減が最終製品の性能を損なうことはない。

表面処理工法に用いる乳剤は散布温度が低いため、エネルギー消費量の削減効果を実感しやすく、大きなメリットとなる(参考文献 64)。



図-31 リサイクルプロジェクト

<略語一覧>

略語	定義	和訳
GHG	Green House Gase	温室効果ガス
HSE	Health Safety Environment	労働安全衛生・環境保全
CIR/CIPR	Cold in place Recycling	常温路上表層再生工法
FDR	Full-Depth Reclamation	路上路盤再生工法
CCPR	Cold Central Plant Recycling	中央混合方式常温再生工法
RAP	Reclaimed Asphalt Pavement	アスファルトコンクリート再生骨材
EPD	Environmental Product Declaration	製品環境宣言
BBE	<i>Béton Bitumineux à IÉmulsion</i> Emulsion Cold Mix	アスファルト乳剤混合物
GC3	<i>Grave Ciment 3</i> Cement Treated Base Class 3	セメント安定処理路盤
GLR3	<i>Grave au Liant Hydraulique Routier</i> Hydraulic Binder Treated Base Class 3	水硬性結合材安定処理路盤
BBTM	<i>Béton Bitumineux Très Mince</i> Very Thin Layer Asphalt	超薄層アスファルト舗装
EME2	<i>Enrobé à Module Élevé</i> High Modulus Asphalt Class 2	高弾性アスファルト混合物
BBF	<i>Béton Bitumineux à Froid</i> Cold Mix Asphalt	常温アスファルト混合物
RAGG	Reclaimed Asphalt pavement Aggregate	再生アスファルト舗装用骨材
LCA	Life Cycle Assessment	ライフサイクルアセスメント
BSM	Bitumen Stabilized Material	瀝青安定処理材料
VOC	Volatile Organic Compounds	揮発性有機化合物



図-32 乳剤を用いた常温路上表層再生工法

<参考文献>

1	Congres Mondial Emulsion	CEPSA / Maria del Mar Colas	2006	Spain	New Impregnating Emulsion With Ecologics Fluxes
2	Newsletter Issue 23	Texas Pavement Preservation Center	2011	USA	Evaluation of the Curing Time and Other Characteristics of Prime Coats applied to a granular base
3	Thesis University of Texas	Osman Okuyucu	2014	USA	Comparing Various Characteristics of Oven Cured and Field Cured Prime Coat Materials applied to Granular Bases
4	South African Pavement Engineering Manual	SANRAL	2013	South Africa	Chapter 9 Extract - Materials Utilisation and Design
5	Annexe au Bulletin CRR n 90	Centre de Recherches routieres	2012	Belgique	Les emulsions cationiques bitumineuses en tant que couche de collage
6	National Cooperative Highway Research Program	Danny Gierhart and Dabid R.Johnson	2018	USA	Tack Coat Specifications, Materials and Constrction Practices
7	Technical Data Sheet n 5	Road Emulsion Association Limited	2023	United Kingdom	Bond Coating
8	Japan Emulsified Asphalt Emulsion	JEAA	2007	Japan	Trackless Asphalt Emulsion
9	International Journal of Sustainable Transportation	Department of Civil and Environmental Engineering Rutgers University	2020	USA	Quantifying greenhouse gas emission of asphalt pavement preservation at construction and use stages using life-cycle assessment
10	Transportation Research Part D:Transport and Environment	University of South Florida	2012	USA	Life cycle assessment of pavement:Methodology and case study
11	Materials and Structures Jounal	LUNAM Université, IFSTTAR	2012	France	Evaluation of the structure - induced rolling resistance(SRR) for pavements including viscoelastic material layers
12	MTAG Volume I Flexible Pavement Preservation 2nd Edition	Caltrans division of maintenance	2007	USA	Chapter 6 - Fog and Rejuvenating Seals
13	NPPC 2023	NCAT - Adriana Vargas	2023	USA	NCAT Preservation Flndings
14	Web article	Bituchem	2012	United Kingdom	Fortseal Carriageway Preservation System
15	Web article	Ergon	2015	USA	Scrub seal cuts costs, seals mass cracking
16	TRL	Bateman	2016	United Kingdom	Design Guide for Road Surface Dressing
17	Technical report	Oregon DOT & FHWA	2016	USA	Chip Seal Design and Specification Final Report
18	RSTA Website	RSTA / REA	2023	United Kingdom	The case for surface dressing
19	Road resource.org	Mississippi DOT	2020	USA	Microsurfacing success story
20	Road resource.org	PPRA	2021	USA	cape seal success story
21	Le Moniteur Magazine	Conseil General Yvelines	2012	France	Route - Les defis de l'entretien
22	National Cooperative Highway Research Program	Colorado State University/Texas A&M University	2011	USA	Report 680 - Manual for Emulsion Based Chip Seals for Pavement Preservation
23	Publication	ADEPT/RSTA	2017	United Kingdom	The Service Life of Road Surface Treatments for Asset Management Purposes

24	SaferRoads International Conference	Sean Bearsley - Darcy Rogers	2017	New Zealand	Emulsion Chipsealing : Generating Conscious Capital
25	ISSA 50th Annual Convention	Abdeltif Belkahia	2012	France	High performance laboratory tests for microsurfacing
26	European Roads Review	Colas	2013	France	New High Performance emulsions for surface dressings aimed at heavy traffic with heavy constraints
27	ISSA 51th Annual Convention	Abdeltif Belkahia - Christine Deneuvillers	2013	France	French High Traffic Chip Seal
28	RSTA	Paul Boss	2021	United Kingdom	Whole lifecycle cost planning for sustainability
29	RSTA Virtual conference	Roy O'Connor	2021	United Kingdom	Future Concerns and Positives for the Road Surface Treatment Industry
30	Asphalt Institute Presentation	Minnesota DOT Zeinali. Blankenship Mahboub	2016	USA	Quantifying the Pavement Preservation Value of Chip Seals
31	Road Materials and Pavement Design	Minnesota DOT Zeinali. Blankenship Mahboub	2016	USA	Evaluation of the DC(T) test in discerning the variations in cracking properties of asphalt mixtures
32	Resources, Conservation and Recycling Journal	Giani and al	2015	Italy	Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in place recycling
33	Brochure	SABITA	2005	South Africa	Why you need to maintain surfaced roads
34	FHWA - HIF - 17 - 042, Federal Highway Administration	Wagner, C.	2018	USA	Overview of Project Selection Guidelines for Cold In place and Cold Central Plant Pavement Recycling
35	National Cooperative Highway Research Program	Stroup - Gardiner, M.	2011	USA	NCHRP Synthesis of Highway Practice 421 : Recycling and Reclamation of Asphalt Pavements Using In - Place Methods.
36	Comite Francais pour les Techniques Routieres(CFTR)	Service d'Etude Techniques des Routes et Autoroutes(SETRA)	2004	France	Guide technique Retraitement en place à froid des anciennes chaussées.
37	FHWA - HIF - 14 - 001	Asphalt Recycling and Reclaiming Association(ARRA)	2015	USA	Basic Asphalt Recycling Manual(BARM)
38	Sustainability	Ana R.Pasandín, Ignacio Pérez and Breixo Gómez - Meijide	2020	USA	Performance of High RAP Half - Warm Mix Asphalt
39	National Cooperative Highway Research Program 463	McDaniel, R.S., Olek, J., Magee, B. J., Behnood, A., & Pollock, R.	2014	USA	Pavement Patching Practices - A Synthesis of Highway Practice.
40	Construction and Building Materials	Bong Ju Kwon, Dahae Kim, Suk - Keun Rhee, Y. Richard Kim.	2018	USA	Spray injection patching for pothole repair using 100 percent reclaimed asphalt pavement.
41	National Cooperative Highway Research Program 569	M. Stroup - Gardiner	2021	USA	Practice and Performance of Cold In Place Recycling and Cold Central Plant Recycling
42	National Cooperative Highway Research Program 863	Schwartz, C. W., B. K. Diefenderfer, and B. F. Bowers.	2017	USA	Material Properties of Cold In - Place Recycled and Full - Depth Reclamation Asphalt Concrete.
43	Journal of Cleaner Production	Fan Gu a, Wangyu Ma a, Randy C. West a, Adam J. Taylor a, Yuqing Zhang	2018	USA	"Structural performance and sustainability assessment of cold central - plant and in - place recycled asphalt pavements : A case study"

44	Transportation Research Board Annual Meeting	Finberg, Quire, and Thomas	2008	USA	Granular Base Stabilization with Emulsion in Las Vegas, Nevada
45	European Roads Review	S. Bemanian - Optimum Pavement	2007	France	Cold In Place Recycling in Nevada
46	Transportation Research Record 2179	Robinette and Epps	2010	United States	Energy, Emissions, Material Conservation, and Prices Associated with Construction, Rehabilitation, and Material Alternatives for Flexible Pavement
47	Recycled Materials Resource Center	Dr. Arpad Horvath University of California at Berkeley	2004	United States	Report Project 23 A Life - Cycle Analysis Model and Decision - support Tool for Selecting Recycled Versus Virgin Materials for Highway Applications
48	ISAP Conference 2008	Uhlmeier et al	2008	United States	Case study : Cold In - Place Recycling In Washington State
49	Construction and Building Materials	Xiao et al	2018	China	A literature review on cold recycling technology of asphalt pavement
50	ISAP Conference 2012	Goyer et al.	2012	France	Environmental data of cold mix using emulsified bitumen for a better selection of road materials
51	SFERB	SFERB	2008	France	Bitumen Emulsions handbook
52	E&E Congress 2016	Lundberg et al.	2016	Sweden	Production and durability of cold mix asphalt
53	Journal of Cleaner Production	Jain et al.	2021	India	Cold mix asphalt : An overview
54	Web	Lincolnshire county council	2023	United Kingdom	Dressing up the roads network
55	FHWA	Gregory Duncan et al	2020	USA	Using reclaimed asphalt pavement in Pavement - Preservation Treatments
56	JTTE 2019 ; 6(4) : 359 - 365	Day et al	2019	United Kingdom	Emulsion cold mix in the UK : a decade of site and laboratory experience
57	ISSA world congress 2010	Day D et al	2010	United Kingdom	Developing a Strategy for Sustainable Development and Carbon Management
58	NCC Roads	Lundberg et al.	2016	Sweden	Production and durability of cold mix asphalt
59	World of Emulsion Lyon 2010	Lysenko J et al	2010	Australia	Sustainable Development
60	SABITA	SABITA	2020	South Africa	Technical Guideline TG2 3rd edition Bitumen Stabilised Materials
61	WSP - OPUS Report	Kate Mora, Jeremy Wu, Phil Herrington	2019	New Zealand	Implications of the substitution of Cut - Back Bitumens with bitumen emulsions for chip sealing
62	EDC - 4 Pavement Preservation : How Implementation Plan	US Department of Transportation - FHWA	2017	USA	Pavement Preservation : How
63	Best Practices for EMULSION TACK COATS	NAPA - Author Dale S. Decker, P. E.	2020	USA	Quality Improvement Publication 128
64	E&E Congress 2020	Marimar Colás, Vicente Pérez, Antonio García CEPSA	2020	Spain	High Performance Recycling with Bituminous Emulsions
65	National Pavement Preservation Conference	Adriana Vargas - Nordbeck - NCAT	2023	USA	NCAT Preservation Findings
66	National Pavement Preservation Conference	Jerry Geib - MnROAD	2023	USA	MnROAD NCAT Preservation Study

Full Members



Aema
USA



AfPA
Australia



Amaac
Mexico



Ateb
Spain



Fbk e.V.
Germany



Jea
Japan



PSWNA
Poland



Rea
United Kingdom



Sabita
South Africa



Sferb
France



Siteb
Italy

Associated Members



Arkema
France



BASF SE – Asphalt
Performance
Germany



BitChem Asphalt
Technologies
Limited
India



Buckau-Wolf
Germany



Chemoran
Ireland



China Emulsified
Asphalt Association
China



Enfalt
Turkey



Hincol
India



Ingevity
USA



Insung
Korea



Kandovan Pars
Iran



Nouryon
Sweden



NTRO
Australia



Ooms Products
Netherlands



Paragon
Technical Services
USA



Prasol
India



Patpribor Ltd
Bulgaria



Quimi Kao
Mexico



Rad Group
Russia



SAE Fayat Group
France



SurfactGreen SAS
France



Tipco Asphalt
Thailand



Total BTM
France



VALOCHEM
France



Vialab
France



VIALIT
Austria



Xi Yuefa Group
China



SUSTAINABILITY OF BITUMEN EMULSIONS / WHITE PAPER / Third EDITION / February 2025 51



International Bitumen Emulsion Federation

9 rue de Berri – 75008 Paris – France
Tél. +33 1 44 13 32 81
contact@ibef.net