

# 舗装道路の建設と維持修繕に伴う環境 負荷とコストのライフサイクル評価

天野耕二<sup>1</sup>・牧田和也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 立命館大学助教授 理工学部環境システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

<sup>2</sup>工修 (株)ホクコン (〒564-0062大阪府吹田市垂水町3-15-27)

舗装道路(アスファルトおよびコンクリート)の建設と維持修繕に伴う環境負荷とコストについて、様々な維持修繕モデルケース別に、設計解析期間30年間にわたるLCI(Life Cycle Inventory)を初期建設段階と維持修繕段階に分けて集計し、環境負荷・コスト両面からみた道路舗装のライフサイクル評価を試みた。建設・維持修繕いずれの段階においても、再生材料の活用により環境負荷を最大40%程度削減できることがわかった。アスファルト舗装については、維持修繕段階の占める割合が環境負荷・コストともに全体の40~50%となった。また、打換え工事の少ない軽微な補修を繰り返す維持修繕モデルケースがすべての環境負荷項目・コストについて有利であった。

**Key Words** : road paving material, life cycle inventory, environmental loading, construction cost, waste recycle

## 1. はじめに

戦後の高度成長期に蓄積された膨大な社会資本が二十世紀末から二十一世紀初頭にかけて更新期を迎えつつあり、建設廃棄物の発生量が急激に増加することが懸念されている。資源循環型の社会構築に向けて建設業の果たすべき役割は極めて大きいと言えるが、再生利用という点において比較的先行していた道路舗装分野についても、維持修繕事業の増大にともなって舗装発生材の供給が促進されることは間違いない。舗装発生材の適正処理と再利用を進めていくためには、新規材の製造プロセスだけでなく再生材のフローについても、環境負荷の発生状況とその改善策に関わる指針を示すことが重要となる。すなわち、多種多様な道路構造に対応できる形で、材料製造量あたり、または施工面積あたりの環境負荷発生原単位を整備し、施工から維持修繕まで考慮した道路のライフサイクル全体の各ステージにおいてどの程度の環境負荷の発生があるのかを設計段階にさかのぼって概算できるような評価手法が必要とされている。

道路のような大規模社会資本は一般的に膨大な資材や機械を投入して建設されるため、評価の対象となる環境負荷として、資材や機械を生産する際に発

生する部分も含めた「内包(Embodied)環境負荷」を評価することの必要性が論じられている<sup>1,2)</sup>。しかし、社会資本特有のライフサイクルの長さ、対象範囲設定の難しさ等のために、道路のライフサイクル全体にわたる維持管理や外部効果<sup>3)</sup>までを通じた評価事例は少ない。これまでに筆者らは、舗装道路の主な構成資材であるアスファルト混合物、セメント、路盤材、鉄などの製造と使用に伴う環境負荷(二酸化炭素排出量、エネルギー消費量、資源消費量)とコストを詳細に分析するとともに、アスファルト混合物と路盤材について、道路の初期建設段階における再生材投入による環境負荷低減効果を明らかにしてきた<sup>4)</sup>。実際の建設工事の企画・立案において、建設物の設計や施工方法の選択に大きな影響を与える要因のひとつはコスト(経済性)であるが、今後ますます、環境負荷のみ、建設コストのみといった一側面ではなく両者を組み合わせた総合的な評価が求められるべきであろう。

本研究では、本来コストについての検討から提示されている道路のライフサイクルモデルを環境負荷にも適用して、コスト・環境負荷両面からみた様々な維持修繕工事の組み合わせパターンの評価を試みる。環境負荷量の積み上げは、一般的なLCI(Life Cycle Inventory)手法にしたがって行うこととし、

建設コストについては、建設工事積算手法にしたがった。評価の対象年度は1995年度とするが、積算データ（使用材料単価）は1997年12月現在の京都・大津両市について報告されている値を用いた。

## 2. 舗装道路の建設段階における環境負荷およびコストの算定

道路舗装設計に用いる交通量区分は、供用開始5年後の大型車一日一方向当たりの推定交通量により5区分（L, A, B, C, D）に分類されている<sup>5)</sup>。ここでは、アスファルトおよびコンクリートの各舗装種別に、交通量区分D交通道路（大型車交通量3000台以上/1日・1方向）の建設段階までの環境負荷量とコストを算定する。算定単位は、施工面積100m<sup>2</sup>あたりとし、CBR=3ないし4で路盤材に粒状材料を用いた場合の標準的な道路構造モデルを対象とする。算定の範囲については、舗装道路建設に使用するアスファルト混合物・再生アスファルト混合物・セメント・路盤材・再生路盤材・鉄の各使用材料起源および施工機械起源とする。使用材料起源の環境負荷量は、既報<sup>4)</sup>で算定した原単位を使用して求めた。施工機械起源のエネルギー消費量に関しては、積算データのエネルギー使用数量歩掛<sup>6)</sup>を使用することにより、単位施工面積あたりのエネルギー量を得た。各舗装材料の現場までの輸送は考慮せず、あらかじめ資材の損失量を想定した設計に基づいた積算を行った。再生路盤材については、コンクリート塊からの再生とアスファルト塊からの再生が考えられるが、両者の再生砕石への再資源化率がほぼ等しいため、混合比を1:1として平均排出量原単位を2.16kg-C/tとした。上層路盤に用いる再生粒度調整砕石は、販売が少数の地域に限られているため考慮しない。したがって、路盤における再生材の投入対象は下層路盤のみである。各材料の価格は、1997年12月現在の京都・大津両市における価格<sup>7)</sup>を計算に用いた。計算結果を表-1に示す。

アスファルト舗装における再生材の投入効果に着目すると、二酸化炭素排出量について42%という削減率が得られており、エネルギー消費量についても同様の結果となっている。資源消費量については、下層路盤を100%再生資源で生産したと仮定したときの全層トータルでの削減率が35%程度となっている。アスファルト舗装に再生材を投入することによる、二酸化炭素排出量とエネルギー消費量の削減効果は、軽交通から重交通道路に向かって段階的に優

表-1 道路舗装の初期建設に伴う環境負荷およびコスト算定結果

		二酸化炭素排出量 kg-c/100m <sup>2</sup>	エネルギー消費量 10 <sup>4</sup> kcal/100m <sup>2</sup>	資源消費量 t/100m <sup>2</sup>	建設コスト 千円/100m <sup>2</sup>
アスファルト舗装	新規材	1280.9	1762.7	186.9	816.7
	再生材	798.8	932.1	87.8	725.2
コンクリート舗装	新規材	2683.5	1440.8	193.3	1235.5
	再生材	2763.9	1456.1	120.8	1159.2

位性が増すことが特徴となっているが<sup>4)</sup>、資源消費量とコストの低減効果は交通量に関わらずそれぞれ35%程度（資源消費量）および12%程度（コスト）見込まれることがわかる。

一方、コンクリート舗装については、舗装発生材のコンクリート骨材への再生が品質的に困難であることから、再生材の投入は路盤材のみで可能とされている。再生路盤材では、廃材輸送の必要や中間処理工程の技術的な問題などから、二酸化炭素排出量とエネルギー消費量は新規材と比較して微増しており、全層トータルとしての環境負荷も再生材投入の場合の方が微増している。しかし、資源消費量に関しては20%、コストは5~6%の削減効果が得られている。コンクリート舗装は、交通量ごとに舗装構造に大きな差がないため、再生材の投入による環境負荷削減効果も交通量区分に関わらずほぼ同様である。建設コストの低減効果は、それほど高い値であるとはいえないが、資源消費量に関しては十分に高い再生材投入効果があると言える。このように、コンクリート舗装における再生材の投入効果は、アスファルト舗装と比較して小さく、二酸化炭素排出量については再生材を使用することで微増している。

## 3. 道路舗装の維持修繕工事施工に伴う環境負荷量の算定

道路舗装は日常の維持修繕を行うことを前提として造られる構造物であって、建設時だけでなく維持修繕プロセスも考慮に入れて舗装を長期的に評価することが必要となってくる。この点が、道路と他の大規模者社会資本との違いであるといえよう。道路舗装の維持管理においては、路面の破損状態や供用状況に応じた維持修繕工法の選定が必要とされる。工法選定の条件としては、破損のタイプと原因、破損の面的な規模、補修の時期、交通条件、沿道条件（沿道環境、作業環境など）等が挙げられる。

ここで、維持修繕工事に伴う環境負荷量とコスト

表-2 道路舗装の修理修繕工に伴う環境負荷およびコスト算定結果

			二酸化炭素排出量	エネルギー消費量	資源消費量	建設コスト
			kg-c/100m <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup> kcal/100m <sup>2</sup>	t/100m <sup>2</sup>	千円/100m <sup>2</sup>
アスファルト舗装	打換え	新規材	1194.5	1654.0	38.8	869.3
		再生材	615.8	805.2	26.8	-
	切削OL	新規材	421.5	582.7	13.5	185.0
		再生材	221.5	289.3	9.3	-
	表層再生	新規材	165.5	228.5	5.2	102.1
		再生材	88.3	115.3	3.6	-
	表面再生	新規材	235.6	326.6	7.7	74.9
		再生材	119.9	157.0	5.3	-
コンクリート舗装	オーバーレイ	新規材	640.3	889.0	21.5	200.3
		再生材	319.6	418.6	6.7	-
	表面処理	新規材	204.7	283.7	6.7	76.8
		再生材	104.7	137.0	4.6	-

として算定する値の基礎情報としては、環境負荷については修繕で新たに投入される材料起源，施工機械が消費する燃料起源，現場で発生する廃材輸送起源のものとし，コストについては直接工事費（労務費+機械運転経費+材料費）とする．ただし，路盤材を除く舗装材料コストについては新規材と再生材の価格差がほとんどなかったため，舗装部分の維持修繕工に再生材料を投入した場合の建設コストは評価対象外とした．工事対象は，交通量区分D交通道路（大型車交通量3000台以上/1日・1方向）の維持修繕工事で単位施工面積は100m<sup>2</sup>とする．得られた結果を，各維持修繕工法別に表-2に示す．

最も工費と手間がかかるとされている打換え工法による修繕が，二酸化炭素排出，エネルギー消費および資源消費のすべての環境負荷項目において，他の工法よりも明らかに多くの負荷を発生させており，環境面でも不利であることがわかる．次いで切削オーバーレイ（OL）となっているが，その負荷量は，いずれの指標も打換え工法の3分の1程度となっている．表層再生や表面処理については，工事規模，使用材料ともに比較的小規模であるため，環境負荷発生量は比較的小さく，打換え工法と比較して7分の1程度となっている．標準的な修繕工法として最も多用されている切削オーバーレイ（OL）と比較しても，表層再生工法により発生する環境負荷は約60%前後，コストは45%程度であり，表層再生工法の総合的な優位性がうかがわれる．さらに，環境負荷項目では表面処理工法が表層再生工法と比較して若干優位であるにもかかわらず，コストでは逆の傾向を示している点が環境・コスト両面での評価を考えさせられると言えよう．今回対象としたコンクリート舗装における修繕工法は，施工厚8cmのオー

バーレイと施工厚2.5cmの表面処理であるが，オーバーレイ工法は表面処理と比較して二酸化炭素排出，エネルギー消費および資源消費の各環境指標でそれぞれ7倍，10倍，14倍程度の負荷を発生させており，コスト面でも約2.6倍となった．

アスファルト，コンクリート両舗装のすべての修繕工法に共通して言えるのは，材料起源の環境負荷量とコストが大きいことである．いずれの工法についても，二酸化炭素排出量の90%以上が材料起源である．道路舗装の維持修繕による環境負荷やコストの大部分は，それに使用されるアスファルト混合物が背負ってくるものであり，新設舗装工と同様に，現場での施工機械や廃材輸送による環境負荷やコストの割合は比較的小さい．このため，維持修繕工事に再生材を投入することにより，環境負荷量については多くの削減が見込めることが示されている．再生材料による負荷削減率は，二酸化炭素排出量について47～50%，エネルギー消費量について50～53%，資源消費量について31～69%程度である．

#### 4．道路舗装の維持修繕パターン別のライフサイクル評価

ここでは，各種維持修繕工の組み合わせモデルケースをいくつか設定し，各モデルケースごとのライフサイクル評価を行うことにより，環境・コスト両面で有効な道路舗装の維持管理計画を検討してみる．まず，アスファルト舗装の標準耐用年数を10年，コンクリート舗装の標準耐用年数を20年として，交通量区分D交通道路（大型車交通量3000台以上/1日・1方向）の設計解析期間30年間における環境負

荷とコストのLCI (Life Cycle Inventory) を集計する。アスファルト舗装については、最も工事規模・コストの大きい打換え工の回数に着目して4つのモデルケース<sup>9)</sup> (I, II, III, IV) を設定する。コンクリート舗装については、期間中に行われる修繕は比較的軽微なものであるとして、アスファルト混合物を用いたオーバーレイと表面処理を各1回ずつ行うこととする。道路舗装面の性状については建設省によるMCI (Maintenance Control Index: 維持管理指数, 範囲は1~10) を目安として、いずれのモデルケースも舗装面の劣化をMCIで3.0~5.0にとどめる状況で設定してある。MCIは路面の損傷要因(ひび割れ, わだち掘れ, 縦断方向凹凸)について、維持修繕の必要性という観点から総合的に評価する指標として用いられている。それぞれのモデルケース概要を次に示す。

アスファルト舗装維持修繕ケース I: 解析期間(30年間)に、供用開始から10年ごとに、打換え工事を計2回行う。

アスファルト舗装維持修繕ケース II: 解析期間(30年間)に、打換え工事を1回(施工後15年)行う。その前後に、切削オーバーレイを2回(施工後8年および23年)行う。

アスファルト舗装維持修繕ケース III: 解析期間(30年間)に、打換え工事を1回(施工後13年)行う。その前後に、表層再生工(施工後7年)と表面処理工(施工後23年)を各1回行う。

アスファルト舗装維持修繕ケース IV: 解析期間(30年間)に、打換え工事を1度も行わず、比較的小規模な修繕工事を4回に分けて行う。その内訳は、切削オーバーレイを2回(施工後12年および23年), 表層再生工(施工後7年)と表面処理工(施工後18年)を各1回である。

コンクリート舗装維持修繕ケース: 解析期間(30年間)に、アスファルト混合物によるオーバーレイ(施工後18年)と表面処理工(施工後25年)を各1回行う。

以上の維持修繕モデルケース別に、3つの指標による環境負荷とコストのLCI (Life Cycle Inventory) 集計結果を、初期建設段階と建設後の維持修繕段階とに分けて図-1, 2, 3, 4に示す。

アスファルト舗装の初期建設段階と維持修繕段階を比較してみると、二酸化炭素排出量とエネルギー消費量に関しては、ケース I では維持修繕段階がライフサイクル全体の65%を占め、ケース IV では同50%を占めている。これらの環境負荷指標については、建設時だけでなく、供用後の維持修繕時も無視できない負荷を発生させていることがわかる。資源

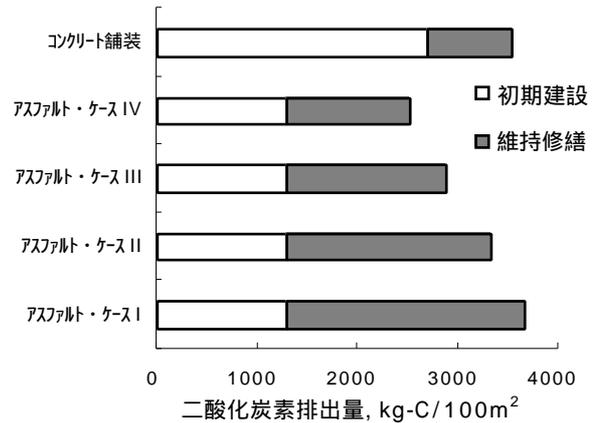


図-1 維持・修繕ケース別のライフサイクル(30年間) 二酸化炭素排出量

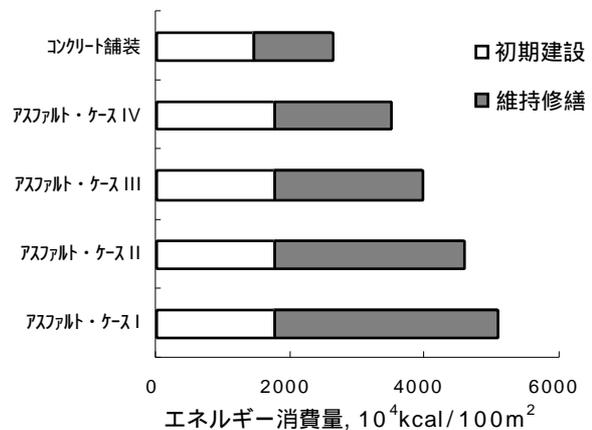


図-2 維持・修繕ケース別のライフサイクル(30年間) エネルギー消費量

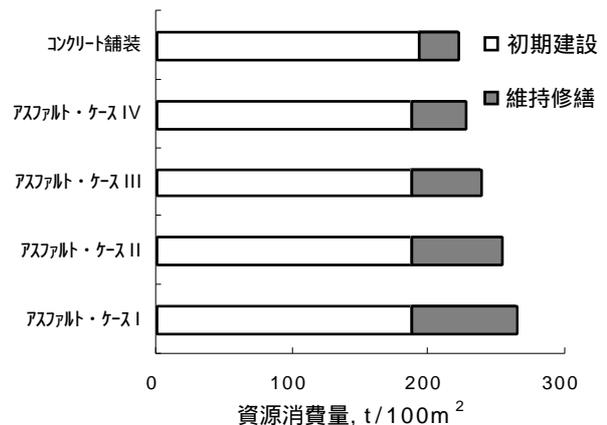


図-3 維持・修繕ケース別のライフサイクル(30年間) 資源消費量

消費量に関しては、建設時に膨大な資材を投入するため、維持修繕段階の投入量は、これに比べて低い値となっている。コストについては、ケース I で維持修繕段階がライフサイクルコストの70%を占めているのを筆頭に、ケース I からIIIまでを通して、維持修繕コストが初期建設コストを上回っている。このように、資源消費量以外の各指標においては、施工後の供用期間中の負担が初期建設段階よりも大きくなっており、アスファルト舗装道路のライフサイクルを考える上では、維持修繕段階の詳細な分析が重要であることがわかる。

コンクリート舗装における二酸化炭素排出量をみると、初期建設段階の値に比べて維持修繕段階の排出量が少なく、全体の25%程度となっている。コンクリート舗装の場合、初期建設段階ではエネルギー起源のみでなく石灰石起源の二酸化炭素排出が多く、運用時の補修にはアスファルト混合物を用いることが多いため、このような大きな差となっている。エネルギー消費量では、初期建設段階と維持修繕段階の差はそれほど大きくないが、資源消費量とコストについても、維持修繕段階の占める部分は比較的小さい。このように、コンクリート舗装に関しては、エネルギー消費以外の各指標について、維持修繕段階が占める割合は比較的小さく、アスファルト舗装のライフサイクルとは対照的な傾向を示している。アスファルト舗装で大規模な修繕を頻繁に行うよりも、コンクリート舗装を最小限の維持修繕で運用した方が環境負荷・コスト両面で有利な結果となるモデルケースもあり得ると言えよう。

## 5. 再生アスファルト混合物の維持修繕工への投入効果

道路舗装の初期建設工ならびに維持修繕工において舗装再生材料を活用した場合、ライフサイクルで見てどの程度の環境負荷削減が見込まれるかという試算を行った。モデルケースとして、前節のライフサイクル評価において最も二酸化炭素排出量の少なかったアスファルト維持修繕ケース IV を取り上げ、評価項目は、二酸化炭素排出量と資源消費量とした。結果を図-5（二酸化炭素排出量）と図-6（資源消費量）に示す。

初期建設段階と維持修繕段階のすべてにわたって再生材料を投入した場合、両指標について40~50%の負荷削減が見込まれている。建設時には新規材料を用いて再生材を維持修繕時のみに用いた場合は、二酸化炭素排出量については20%あまりの削減効果

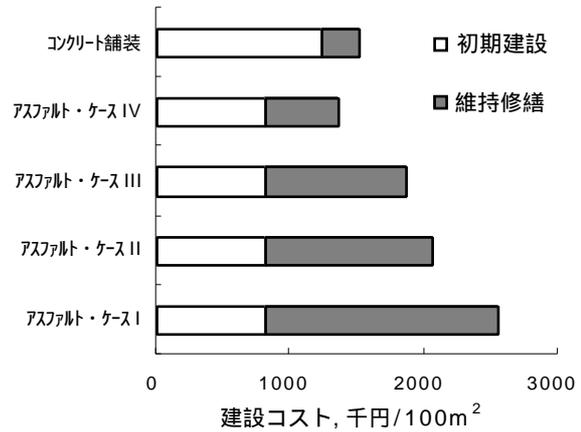


図-4 維持・修繕ケース別のライフサイクル（30年間）建設・維持修繕コスト

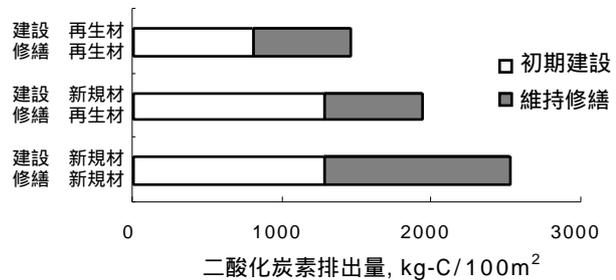


図-5 ライフサイクル（30年間）二酸化炭素排出量における再生材料投入効果（維持・修繕ケースIV）

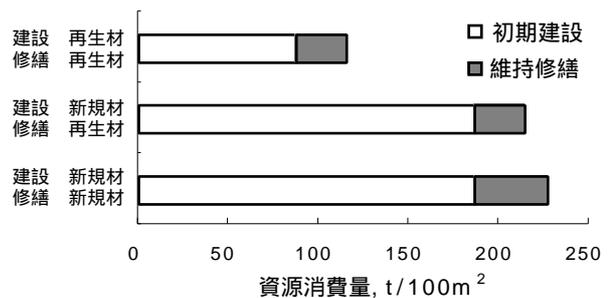


図-6 ライフサイクル（30年間）資源消費量における再生材料投入効果（維持・修繕ケースIV）

が得られるが、資源消費量に関しては5%程度の削減にとどまっている。これは、環境負荷項目によって初期建設段階がライフサイクル全体に占める割合が異なることからきている。現状では、再生材がどのような使われ方をされているかということについての詳細は不明であるが、ライフサイクルのいずれ

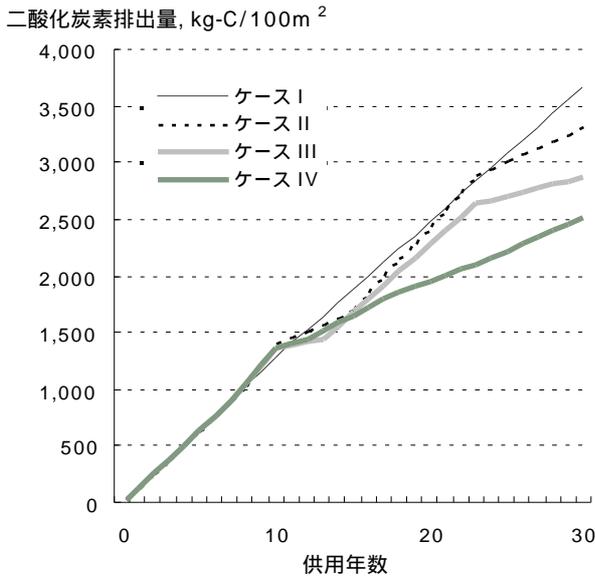


図-7 アスファルト舗装の維持・修繕パターン別のライフサイクル(30年間)二酸化炭素排出量の経年積み上げ評価

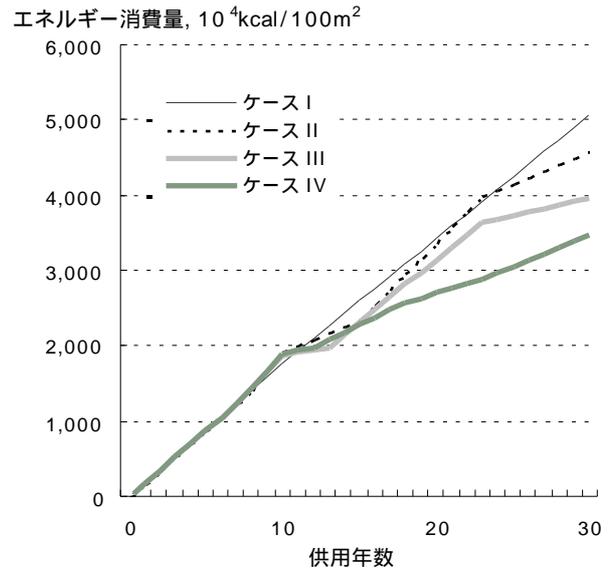


図-8 アスファルト舗装の維持・修繕パターン別のライフサイクル(30年間)エネルギー消費量の経年積み上げ評価

の段階においても再生資源を投入することによる負荷削減効果は無視できないと言える。

## 6. 環境負荷とコストの積み上げによるライフサイクル値の経年変化

アスファルト舗装について、新設道路施工時から設計解析期間30年間にわたるライフサイクルで積み上げられる環境負荷量とコストを単純な減価償却の考え方にしたがって各年ごとに配分してみる。このように、毎年積み上げられるライフサイクル値の経年的な変化を各種の維持修繕モデルケースごとに比較することにより、環境優位性やコスト優位性の逆転が起こる大まかな供用年数について考察することができる。各年ごとの1年あたりの環境負荷量およびコストは、次のように配分する。新設道路施工後、アスファルト舗装の耐用年数である最初の10年間について、各年ごとに初期建設段階の環境負荷とコストの10分の1ずつを積み上げていく。さらに、最初の補修が行われた時に発生した環境負荷とコストは、次の補修年までの各年に均等に配分しながら積み上げていく。たとえば、1回目の補修における発生負荷量を10 [単位]として次の補修まで5年ある場合、この5年間は毎年2 [単位]の環境負荷を配分しながら5年後に全部で10 [単位]の負荷量となるように積み上げる。コストの償還については一般的に金利負担を伴い、元本Xに年利率a(%)の金利負担を

加えてn年間で償還する場合を考えると、元本均等払の金利負担総額は $a(n+1)X/200$ になる。すなわち、年利率2~3%で7~10年償還の場合の金利負担総額は元本の8~17%程度と予想される。本研究で想定した維持修繕モデルケースはいずれも修繕間隔7~10年の組み合わせで設定しており償還期間に大きな差がないためモデルケースによる金利負担分の差は考慮しないが、急激な金利上昇や償還期間の延長等がある場合は金利負担分を加えた積み上げコストとして評価する必要がある。このようにして、二酸化炭素排出量、エネルギー消費量、資源消費量、コストについて積み上げた結果をそれぞれ図-7, 8, 9, 10に示す。

打換え工事の回数が2回であるケース I の二酸化炭素排出量とエネルギー消費量については、最初の打換え工事がなされる10年目以降は他のパターンを上回る負荷量が積み上げられていき、最終的には最も多くの負荷排出となる。コストについても同様の傾向を示しており、ケース II, III, IVの順に10年目以降の負荷が少なくなっている。ケース IIは、修繕回数(手間)自体は少なくて済むものの、経年的にみたライフサイクルの環境負荷・コスト値が常時大きくなっていることがわかる。

打換え工事の回数が1回であるケース IIとケース IIIを比較すると、いずれの環境負荷項目も供用開始後18年前後まではほぼ同値であるが、その後はケース IIの毎年の積み上げ負荷が大きくなり、最終的にはわずかにケース IIの場合が大きくなるという結果

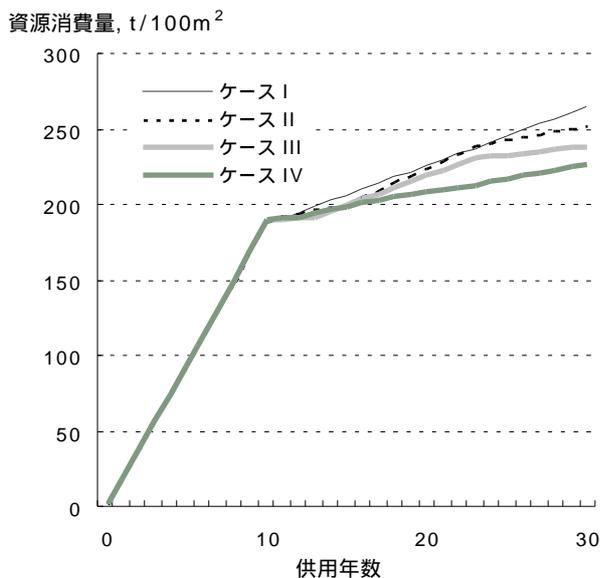


図-9 アスファルト舗装の維持・修繕パターン別のライフサイクル（30年間）資源消費量の経年積み上げ評価

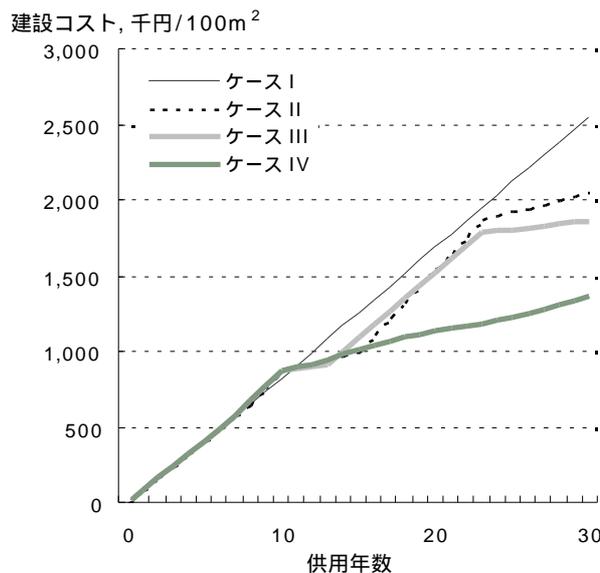


図-10 アスファルト舗装の維持・修繕パターン別のライフサイクル（30年間）コストの経年積み上げ評価

になっている。このように、打換え工事を1回行う合間に、破損のレベルが比較的高いときに確実な機能回復を期待できる切削オーバーレイ（OL）で修繕する場合（ケース II）と、破損のレベルが比較的小さいときに用いられる表層再生や表面処理で修繕する場合（ケース III）とでは環境負荷・コスト共に大きな開きは認められなかった。これは、切削オーバーレイ（OL）と表層再生・表面処理との工法比較においては、およそ2倍程度切削オーバーレイ（OL）に伴う環境負荷とコストが高いにもかかわらず、打換え工事に伴う環境負荷とコストがそれらに比べて非常に大きな値となっているため、ライフサイクルとしての合計にはさほど反映されなかったためである。

そこで、打換え工事を全く行わないケース IVに着目してみる。ケース IVでは修繕工事が解析期間中に4回あるにも関わらず、供用開始15年後以降はすべての環境負荷項目で最も小さいライフサイクル値が積み上げられており、このことから打換え工事を回避する効果が明らかに示されている。コストに関しても、このような傾向が強く表れており、アスファルト舗装道路のライフサイクルにおける環境負荷とコストを低減するには、比較的軽微な修繕工事を短いサイクルで行う維持管理計画が有効であることがわかる。実際には、工事回数の増加による道路供用サービスの低下（交通混雑による時間損失や料金収入の減少など）や間接的環境負荷（渋滞による大気系排出負荷の増加など）を考慮した上でのケ

ース比較を行う必要があり、本研究では道路性状を一定に保持する維持修繕モデルケース内での単純比較にとどまっている。

## 7. まとめ

本研究では、道路舗装（アスファルトおよびコンクリート）に関わる環境負荷量とコストについて、様々な維持修繕モデルケース別に、初期建設段階から維持修繕段階に至る設計解析期間30年間のLCI（Life Cycle Inventory）を集計し、環境負荷・コスト両面からみた道路舗装の詳細なライフサイクル評価を試みた。得られた成果を次にまとめる。

(1) アスファルト舗装の修繕工事では、打換え工事が環境負荷とコストの両面で他の工法よりも有意に大きな値を示した。打換え工事の回数を最小限に抑えた維持管理計画が望ましいことがわかった。

(2) 道路舗装の建設・維持修繕に伴う環境負荷とコストの大部分は、主たる舗装材料、すなわち、アスファルト混合物によるものである。建設・維持修繕いずれの段階においても、アスファルト再生混合物を有効利用することにより環境負荷を最大40%程度削減できることがわかった。

(3) 解析設計期間30年にわたるライフサイクル評価を行った結果、アスファルト舗装については、維持修繕段階の環境負荷が全体の50%程度、また、維持修繕段階のコストが40%以上を占めていた。維持

修繕段階の詳細な検討が道路舗装のライフサイクルには不可欠である。

(4) アスファルト舗装の維持修繕については、最も大規模な打換え工事の回数が多いほど、環境負荷およびコストの総負担が大きくなる値となった。補修回数や手間は多くかかっても、打換えの少ない軽微な補修を繰り返す維持修繕モデルケースの方がすべての指標について有利と判断できる。

(5) コンクリート舗装については、維持修繕段階の占める割合がそれほど大きな値を占めていなかったが、初期建設段階に発生する環境負荷やコストの低減策も検討の余地がある。

本研究で試みたように、道路舗装の維持修繕プロセスを詳細に検討して環境負荷やコストのライフサイクル評価を行う場合は、道路の着工距離や面積、維持修繕工事の着工実績等に関する膨大なデータが必要となる。また、道路の構造や周辺状況は現場の条件や利用目的などにより複雑多岐にわたっているが、個別の道路工事についての基礎情報が入手困難な場合も多い。金利負担の問題や路上工事に伴う間接的なコストや環境負荷なども考えると、本研究におけるモデルケース分析で得られた結果は道路舗装のあらゆるケースを想定したものではないが、舗装道路の建設や維持修繕に伴う環境負荷とコストをライフサイクル全体にわたって合理的に評価する手法のひとつとして活用できるものとする。

謝辞：本研究の一部は平成10年度文部省科学研究費補助金（特定領域研究#292，ゼロエミッション）の交付を受けておこなわれたことを記し謝意を表します。また、元データの収集に際して詳細なヒアリン

グ調査にご協力頂いたアスファルト合材協会、セメント協会、日本道路協会の各協会団体の方々に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 岩淵省，松本亨，井村秀文：再生路盤材のライフサイクルアセスメント，環境システム研究，No.24，pp.430～434，1996.
- 2) 中野加都子，三浦浩之，和田安彦：廃アスファルトコンクリートの再資源化による環境インパクト低減化の評価，土木学会論文集，No.559/VII-2，pp.81～89，1997.
- 3) 加藤博和，林良嗣，登秀樹：道路構造代替案の環境負荷に関するライフサイクルの評価手法，環境システム研究，No.24，pp.282～293，1996.
- 4) 天野耕二，牧田和也：舗装発生材のリサイクルによる二酸化炭素排出と建設コストの低減効果について，環境システム研究，No.26，pp.391-396，1998.
- 5) 社団法人日本道路協会編：アスファルト舗装要綱，324p.，1996.
- 6) 池田秀昭，井村秀文：社会資本整備に伴う環境インパクトの定量化に関する研究，環境システム研究，No.21，pp.192～199，1993.
- 7) (財)建設物価調査会：月刊建設物価12月号，880p.，1997.
- 8) (財)建設物価調査会道路維持修繕積算研究会編：道路維持修繕の施工と積算，pp.1～28，1994.
- 9) 山之口浩，丸山暉彦：アスファルト舗装修繕技術，pp.215～224，山海堂，1997.
- 10) 中村俊行，久保和幸，木村慎：プラント再生舗装の現状と課題について，アスファルト，No.38，pp.4～8，1996.

(1999.9.9 受付)

## LIFE CYCLE EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL LOADING AND CONSTRUCTION COST IN PAVING PROCESSES

Koji AMANO and Kazuya MAKITA

An optimal scheme of road paving maintenance was investigated by examining the environmental loading and cost considerations of pavement operations over a 30-year life cycle. Results indicated that the application of recycled materials in pavement construction and repair reduced the effects of environmental loading over the life cycle by approximately 40%. Furthermore, it was observed that environmental loading conditions associated with the maintenance repair stage of asphalt paving comprised 50% of the total environmental loading determined for the 30-year life cycle. Conversely, costs of the maintenance repair stage were 40% of the total life cycle costs. Finally, results suggest that environmental load and cost considerations will be improved and made more efficient over a life cycle period if a regular maintenance routine of simple asphalt repairs is established.