

論文 コンクリート舗装の環境影響評価および環境負荷低減策の検討

岩谷 祐太*¹・河合 研至*²

要旨: 本論文では、一般道路舗装におけるセメントコンクリートおよびインターロッキングブロック舗装について環境負荷量(CO₂, SO_x, NO_x, ばいじん排出量)を評価し、その低減策の検討を行った。新規舗設では、CO₂, NO_x 排出量全体のそれぞれ 67~70%, 42~48%をセメント製造に伴う排出量が、SO_x, ばいじん排出量全体のそれぞれ 50~64%, 34~42%を A 重油の使用に伴う排出量が占める。またセメントコンクリート舗装の環境負荷低減策として、結合材の種類, 舗装の種類を変更することで、大型車交通量 250 台/日・方向以上でのライフサイクル CO₂, SO_x, NO_x, ばいじん排出量をそれぞれ 59~66%, 7~16%, 22~28%, 15~22%低減できる。

キーワード: セメントコンクリート舗装, インターロッキングブロック舗装, 環境負荷評価

1. はじめに

現在、道路舗装は大別してアスファルト舗装（以下、As 舗装と略記）とセメントコンクリート舗装（以下、Con 舗装と略記）に分類される。しかし、日本における道路舗装のほとんどは As 舗装であり、Con 舗装は全体の 5%程度にとどまっている。その原因として、1960 年代に道路整備が急速に進められた際、建設費用が安く早期に交通開放できる As 舗装が採用されたことが挙げられる。しかし、輸入に頼っているアスファルトは原油価格の影響を受けやすく、価格の大幅な変動により供給が不安定になる可能性があり、今後は積極的に Con 舗装を普及していく必要があると考える。一方、Con 舗装は構成材料であるセメントの生産時に大量の CO₂ が排出され、As 舗装より環境に与える影響が大きい可能性がある。ただし、同様にセメントを用いた場合でも、インターロッキングブロック舗装（以下、ILB 舗装と略記）では Con 舗装と比較して CO₂ 排出量が大幅に軽減されることを既往の研究で明らかとしている¹⁾。環境問題への意識が高まっている現在、環境負荷の考慮は不可避の問題である。

そこで本研究では、Con 舗装および ILB 舗装の新規舗設および補修を考慮したライフサイクルでの環境負荷評価を、複数の環境負荷(CO₂, SO_x, NO_x, ばいじん排出量)について行い、環境負荷低減策の検討を行った。

2. 環境負荷評価の概要

2.1 評価の対象・範囲

本研究では、Con 舗装および ILB 舗装の、新規舗設および補修を考慮したライフサイクルでの環境負荷量を 100m² 当たりで定量的に評価した。評価は日本道路協会が定める交通量の区分²⁾別に行った（表-1）。各種舗装の環境影響評価を行った範囲を図-1 に示す。図中の構

成材料の製造とは舗装材料の原料となるセメントや細骨材、粗骨材などの製造を指し、舗装材料の製造とはアスファルト混合物やセメントコンクリートの製造を指す。本研究では、比較的データが充実している CO₂ 排出量, SO_x 排出量, NO_x 排出量, ばいじん排出量, 廃棄物発生量を評価対象とした。

2.2 セメントコンクリート舗装

本研究で評価の対象とした Con 舗装の構造³⁾を図-2 に、舗装材料に用いたセメントコンクリートの配合を表-2 に示す。この配合は関連機関へのヒアリングで得られたものを用いた。また、コンクリート中には文献³⁾に従い、ダウエルバー、タイバー、鉄網および縁部補強鉄筋を挿入し、ダウエルバーには径 28mm の丸鋼、タイバーには径 22mm 異形棒鋼を用いるとした。鉄網は径 6mm の異

表-1 交通量の区分

大型車交通量 (台/日・方向)	100未満
	100以上250未満
	250以上1000未満
	1000以上3000未満
	3000以上

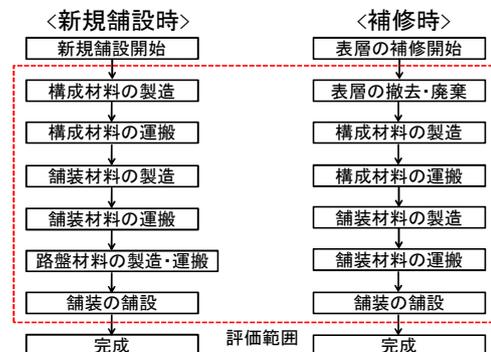


図-1 環境負荷評価範囲

*1 広島大学 大学院工学研究科社会環境システム専攻 (正会員)

*2 広島大学 大学院工学研究院社会環境空間部門 教授 工博 (正会員)

形棒鋼を用いて 1m²につき約 3kg、縁部補強鉄筋は縦縁部に径 13mm の異形棒鋼を 3 本挿入するとした。構成材料、舗装材料、路盤材料の運搬・廃棄に伴う運搬距離は一律 50km と仮定した。また新規舗設後補修を必要とするまでの耐用年数は、文献⁴⁾の値を引用し、大型車交通量 1000 台/日・方向未満（以下、「交通量 1000 未満」等と略記）では 29 年、交通量 1000 以上では 32 年とし、補修方法は、コンクリート版を全て切削し、同厚で新たに再舗設する打ち換え工法とした。なお、文献⁴⁾の値は、高速道路に関する補修間隔のデータであるが、一般道路の補修間隔に関するデータを文献等によって取得することができなかったため、ここではやむなく文献⁴⁾の値を引用した。

2.3 インターロッキングブロック舗装

本研究で評価の対象としたILB舗装の構造⁵⁾を図-3に、舗装材料に用いたインターロッキングブロックの配合を表-3に示す。ブロックの配合は、ブロック製造会社へのヒアリングより得た値を用いた。ブロック製造工場から現場までの運搬距離は、ブロック製造工場数が限定されることを考慮し100kmと仮定し、それ以外の構成材料や舗装材料等の運搬距離は50kmとした。また新規舗設後補修を必要とするまでの耐用年数は20年とし⁵⁾、全施工面積の2.7%のブロックが使用不可能になるとして抜き取った後廃棄し、新品ブロックを舗設する⁶⁾とした。

本研究で用いた交通量別の各舗装の設計厚さ^{3),5)}を表-4に示す。設計厚さは日本道路協会が定めている値を引用した。新規舗設時および補修時の環境負荷評価は、基本的に各舗装とも表-1に示した交通量の区分に従って行うが、現実的にはILB舗装は交通量1000以上の道路ではほとんど供用されていないことを考慮し、交通量1000以上ではCon舗装のみ評価した。また、ライフサイクルでの環境負荷評価時には、比較対象としてAs舗装の環境負荷評価も行った。As舗装の構造を図-4に示す。

3. 環境負荷評価

3.1 インベントリ分析

本研究の環境負荷評価に用いたインベントリデータを表-5に示す。主に土木学会「コンクリートの環境負荷評価(その2)⁷⁾」に記載されている数値を用いたが、足りないデータについては文献⁸⁾を用いて作成した。数値を作成できなかった部分は空欄とした。なお、環境負荷量は、表-5に示すインベントリデータに、材料使用量、輸送量・輸送距離、施工面積等乗じ、それらの和を取ることによって算出した。

3.2 インベントリ分析結果

交通量100未満における各舗装の100m²新規舗設した場合のCO₂排出量、NO_x排出量、SO_x排出量、ばいじん排出量の比較を図-5～図-8に示す。

表-2 セメントコンクリートの配合

W/C (%)	単位量(kg/m ³)				単位容積質量 (t/m ³)
	水	セメント	細骨材	粗骨材	
42.0	126	300	709	1243	2.38

表-3 インターロッキングブロックの配合

W/C (%)	単位量(kg/m ³)				単位容積質量 (t/m ³)
	水	セメント	細骨材	粗骨材	
29.2	117	399	1360	619	2.495

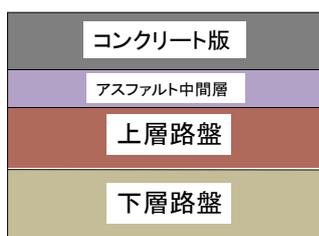


図-2 セメントコンクリート舗装の構造

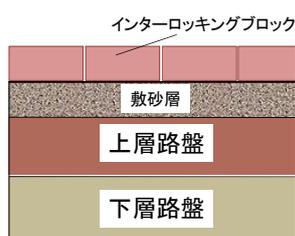


図-3 インターロッキングブロック舗装の構造

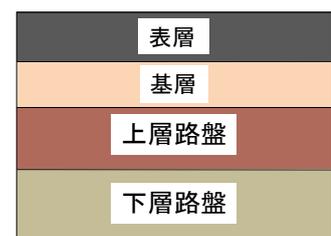


図-4 アスファルト舗装の構造

表-4 各舗装の設計厚さ

舗装材料	交通量 (台/日・方向)	表層 (cm)	ブロック層(cm)		アスファルト中間層(cm)	上層路盤(cm)		下層路盤(cm)
			ブロック	敷砂		瀝青安定処理混合物	粒度調整砕石	
セメントコンクリート	100 未満	15	—	—	—	—	25	—
	100 以上 250 未満	20	—	—	—	—	25	—
	250 以上 1000 未満	25	—	—	—	—	20	25
	1000 以上 3000 未満	28	—	—	4	—	10	25
	3000 以上	30	—	—	4	—	10	25
インターロッキングブロック	100 未満	—	8	2	—	5	—	12
	100 以上 250 未満	—	8	2	—	8	—	23
	250 以上 1000 未満	—	8	2	—	10	15	19

表-5 使用したインベントリデータ

大分類	小分類	単位 (*)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /*)	SO _x 排出量 (kg-SO _x /*)	NO _x 排出量 (kg-NO _x /*)	ばいじん排出量 (kg-PM/*)
材料	細骨材	t	3.7	8.60.E-03	5.86.E-03	1.99.E-03
	粗骨材	t	2.9	6.07.E-03	4.15.E-03	1.41.E-03
	粒度調整砕石	t	1.25	9.64.E-04	1.31.E-02	9.51.E-04
	クラッシュラン	t	1.25	9.64.E-04	1.31.E-02	9.51.E-04
	瀝青安定処理混合物	t	44.0	1.23.E-01	8.10.E-02	3.17.E-02
	アスファルト乳剤	L	0.167	8.30.E-04	5.89.E-04	1.35.E-06
	電気炉鋼	t	767.4	1.34.E-01	1.24.E-01	1.01.E-02
	ポルトランドセメント	t	766.6	1.22.E-01	1.55.E+00	3.58.E-02
輸送	高炉セメント B 種	t	458.7	8.09.E-02	9.19.E-01	2.18.E-02
	10t ダンプトラック	km・t	0.117	9.01.E-05	8.75.E-04	7.35.E-05
	20t ディーゼルトラック	km・t	0.071	5.49.E-05	5.34.E-04	4.48.E-05
製造	バラセメント運搬車	km・t	0.117	9.01.E-05	8.75.E-04	7.35.E-05
	生コンプラント	t	7.68	3.42.E-03	6.51.E-02	3.31.E-03
施工	ブロック製造工場	t	38.51	2.80.E-02	4.24.E-02	7.62.E-03
	上層路盤および下層路盤の施工	m ²	0.523			
	ディストリビュータ	m ²	0.207	1.60.E-04	3.10.E-03	1.57.E-04
	ブレード型スプレッダ	m ²	0.151	1.17.E-04	2.26.E-03	1.15.E-04
	コンクリートフィニッシャ	m ²	0.151	1.17.E-04	2.26.E-03	1.15.E-04
	コンクリートレベラー	m ²	0.082	6.36.E-05	1.24.E-03	6.27.E-05
解体・廃棄	振動目地切り機械	m ²	0.026	2.02.E-05	3.93.E-04	2.00.E-05
	路面清掃車	m ²	0.450	3.48.E-04	6.75.E-03	3.43.E-04
	コンクリートの解体工 バックホウ平積 0.6m ³	m ³	9.0	6.92.E-03	1.35.E-01	6.83.E-03
エネルギー	バックホウ平積 0.6m ³	m ³	7.9	6.11.E-03	1.19.E-01	6.00.E-03
	電力	kWh	0.407	1.30.E-04	1.60.E-04	3.00.E-05
	A 重油	L	2.77	1.30.E-02	2.38.E-03	3.00.E-03
	軽油	L	2.64	2.04.E-03	3.96.E-02	2.01.E-03

※数値を作成できなかった部分は空欄とした

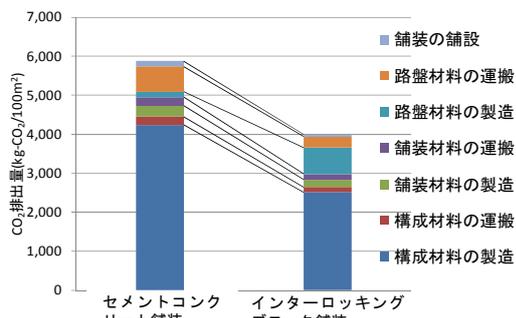


図-5 交通量 100 未満での新規舗設時 CO₂ 排出量

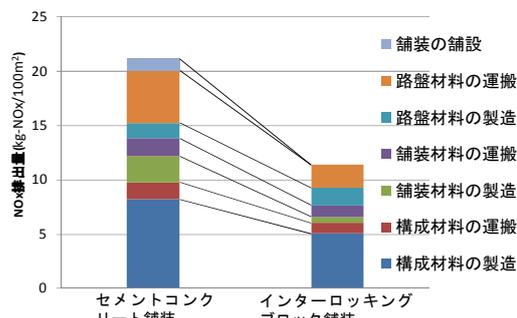


図-6 交通量 100 未満での新規舗設時 NO_x 排出量

CO₂ 排出量では、Con 舗装が ILB 舗装を大きく上回っている。工程別では、構成材料の製造に伴う排出量で大きく差がついている。Con 舗装では全体の 77%を構成材料の製造に伴う排出量が、その中の 87%をセメントの製造に伴う排出量が占めており、セメントの使用量が全体の CO₂ 排出量に大きく影響している。NO_x 排出量でも同様の結果であり、Con 舗装の全排出量の 43%を構成材料の製造が、その内の 97%をセメントの製造に伴う排出量が占めている。

他の交通量においても同様の結果であり、CO₂ 排出量では構成材料の製造に伴う排出量が全体の 74~78%、NO_x では 43~49%と最も大きな割合を占めており、CO₂ ではその内の 87~92%を、NO_x では 97~98%をセメントの製造に伴う排出量が占めている。

一方、SO_x およびばいじん排出量は、ILB 舗装のほうが Con 舗装よりも大きくなった。工程別では、路盤材料

の製造に伴う排出量が最も大きな割合を占めている。これは路盤材料の瀝青安定処理混合物製造時の A 重油の使用に伴う排出量が非常に大きいためである。

他の交通量においても同様の結果であり、SO_x 排出量では路盤材料の製造に伴う排出量が全体の 54~70%、ばいじんでは 43~55%と最も大きな割合を占めており、SO_x ではその内の 91~93%を、ばいじんでは 75~79%を A 重油の使用に伴う排出量が占めている。

次に、交通量 100 未満における各舗装の補修した場合の CO₂ 排出量、NO_x 排出量、SO_x 排出量、ばいじん排出量の比較を図-9~図-12 に示す。

各環境負荷要素において、Con 舗装のほうが大きな値を示した。ILB 舗装の排出量が極めて小さいのは、補修面積が新規舗設時の施工面積の 2.7%と非常に小さいことが原因である。Con 舗装を工程別に見ると、CO₂、NO_x、SO_x 排出量では構成材料の製造に伴う排出量が最も大き

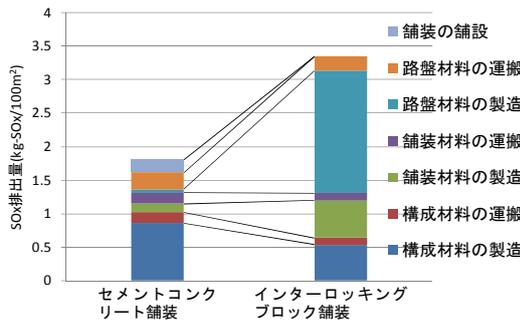


図-7 交通量 100 未満での新規舗設時 SOx 排出量

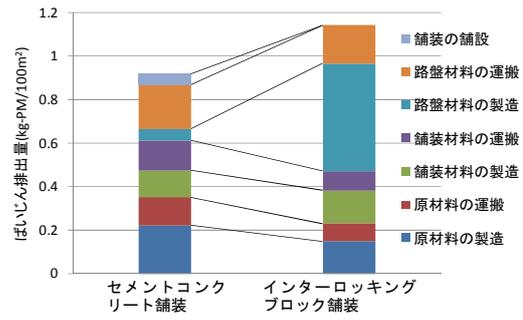


図-8 交通量 100 未満での新規舗設時ばいじん排出量

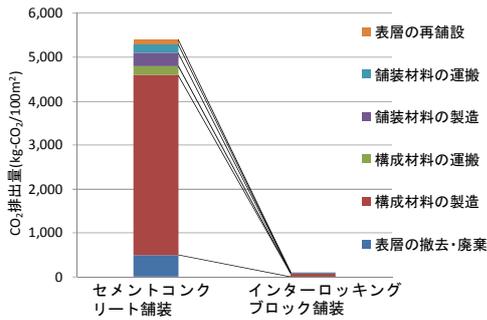


図-9 交通量 100 未満での補修時 CO₂ 排出量

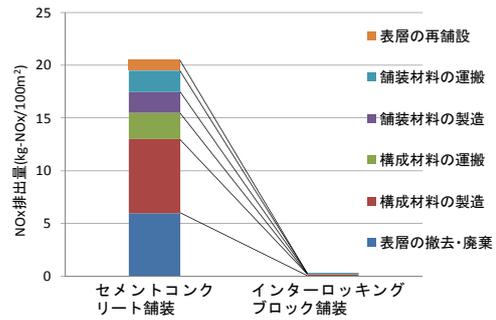


図-10 交通量 100 未満での補修時 NOx 排出量

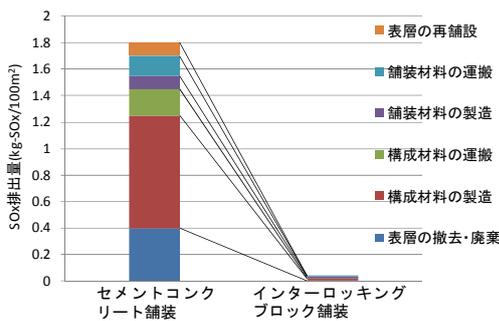


図-11 交通量 100 未満での補修時 SOx 排出量

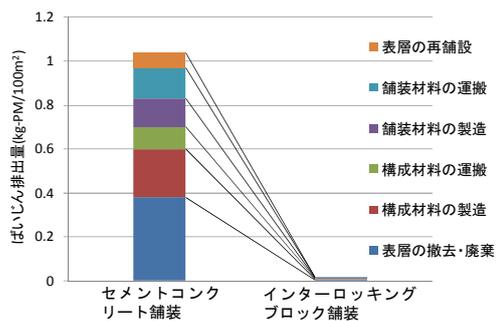


図-12 交通量 100 未満での補修時ばいじん排出量

な割合を占めている。これは新規舗設時同様セメントの製造に伴う排出量に起因している。

この傾向は全ての交通量において同様であり、CO₂、SOx、NOx ではそれぞれ、排出量全体の 76%、48%、38% を構成材料の製造に伴う排出量が占めており、そのうち CO₂ では 87~92%、SOx では 66~69%、NOx では 97~98% をセメントの製造に伴う排出量が占めている。一方、ばいじんでは全体の 36% を表層の撤去・廃棄に伴う排出量が占めている。これはコンクリート版の解体や廃棄に用いた建設機械やダンプトラックによる排出量に起因している。

さらにこれらの結果を用いて、新規舗設から 100 年間補修を繰り返した場合のライフサイクルでの環境負荷量を算出した。ここでは比較のため As 舗装のライフサイクル排出量の評価も行った。新規舗設時の舗装材料として密粒度アスファルト混合物を、補修時の舗装材料として再生密粒度アスファルト混合物を用いるとし、その配合は文献⁸⁾に記載されている値を引用した。また運搬距離は一律 50km と仮定した。新規舗設後、補修を必要

とするまでの耐用年数は 10 年とし³⁾、表層の密粒度アスファルト混合物を全て切削、同厚で再生密粒度アスファルト混合物を再舗設するものとした。

評価結果を図-13~図-16 に示す。CO₂ および NOx については、Con 舗装が最も大きくなり、CO₂ 排出量では As 舗装の 1.44~2.50 倍、NOx 排出量では 1.27~1.67 倍の値を示した。逆に SOx およびばいじんについては、As 舗装が最も大きくなり、Con 舗装の SOx 排出量は As 舗装の 0.22~0.40 倍、ばいじん排出量は 0.38~0.62 倍と小さな値となった。ILB 舗装は、どの環境影響物質とも全ての交通量において最も小さくなった。これより、交通量 1000 未満の一般道路では、ILB 舗装を施工・供用することで最も環境影響が小さくなると言える。

4. 低減策の検討

以上の結果より、Con 舗装におけるライフサイクルの環境負荷量を As 舗装より小さくするためには、Con 舗装における CO₂ および NOx 排出量を低減する必要がある。Con 舗装の新規舗設時および補修時の CO₂、NOx 排

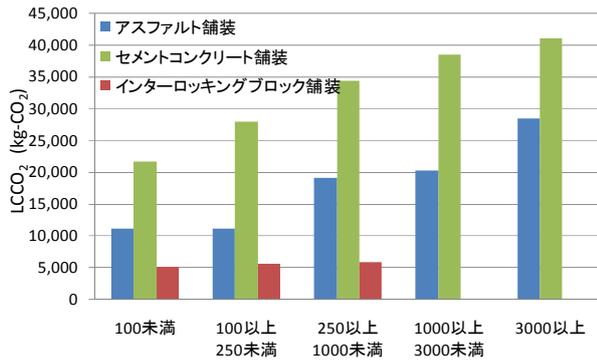


図-13 新規舗設後 100 年間のライフサイクル CO₂

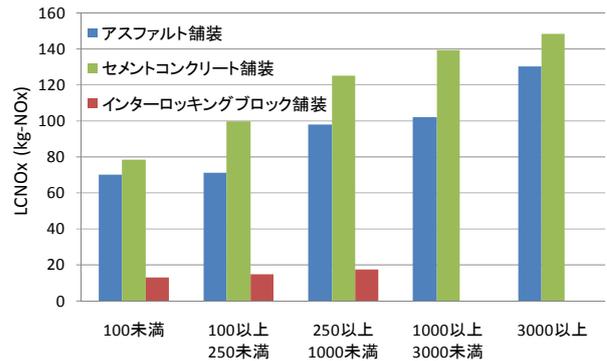


図-14 新規舗設後 100 年間のライフサイクル NO_x

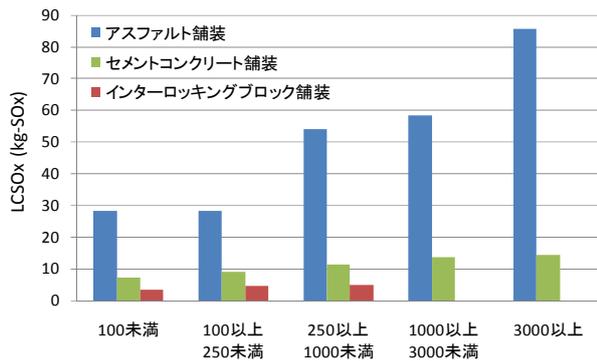


図-15 新規舗設後100年間のライフサイクルSO_x

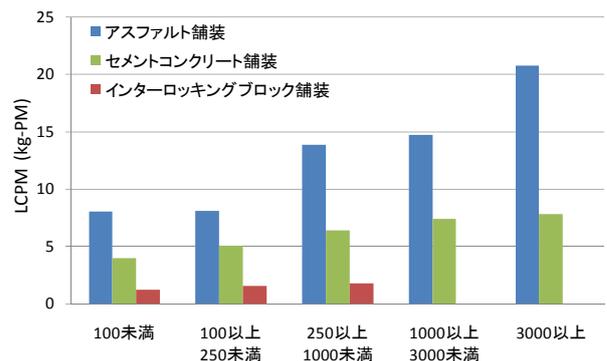


図-16 新規舗設後 100 年間のライフサイクルばいじん

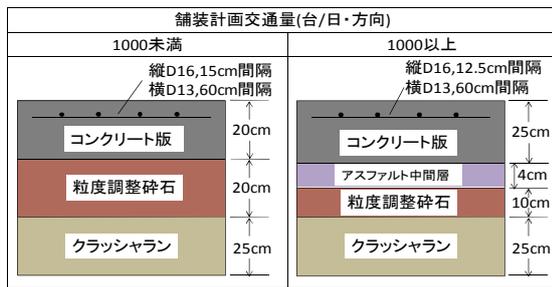


図-17 連続鉄筋コンクリート舗装の構造

出量を見ると、構成材料の製造が大きな割合を占める。したがって、構成材料の製造に伴う排出量を低減することで、全体の排出量を低減できると考えられる。

そこで環境負荷低減策として、セメントコンクリートに使用するセメントを普通ポルトランドセメントから高炉セメント B 種に変更し、さらに舗装種別を普通コンクリート舗装から連続鉄筋コンクリート舗装に変更した場合の環境負荷評価を行った。連続鉄筋コンクリート舗装の構造を図-17 に示す。低減策を考慮した場合の各環境負荷要素のライフサイクル排出量を図-18～図-21 に示す。

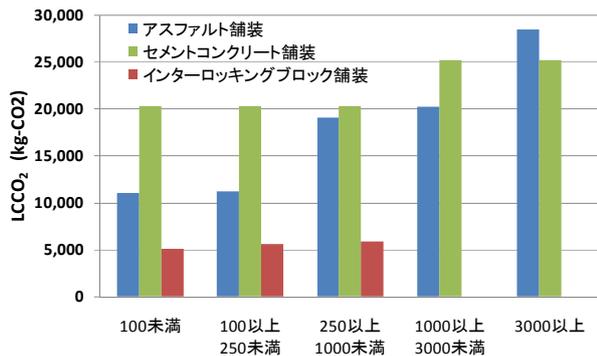
図より交通量 250 以上では、Con 舗装の CO₂ 排出量、SO_x 排出量、NO_x 排出量、ばいじん排出量は、それぞれ 59~66%、7~16%、22~28%、15~22%低減していることが分かる。また As 舗装と比べても、CO₂ 排出量では 0.89~1.25 倍、SO_x 排出量では 0.19~0.28 倍、NO_x 排出量

では 0.93~1.30 倍、ばいじん排出量では 0.3~0.43 倍と、ほぼ同等の値あるいはそれ以下に低減することができた。これより、交通量 250 以上の重交通では Con 舗装を供用することにより、環境影響を As 舗装と同水準以下に抑えることができると考えられる。

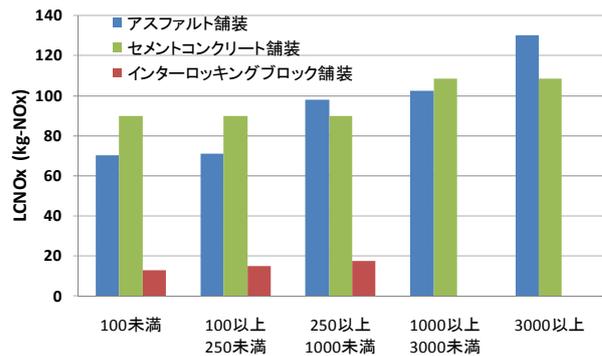
5. 結論

本研究では、セメントコンクリート舗装およびインターロッキングブロック舗装の新規舗設・補修を考慮したライフサイクルにおける環境負荷評価を行った。また、アスファルト舗装の評価結果と比較し、環境負荷低減策の検討を行った。その結果を以下に示す。

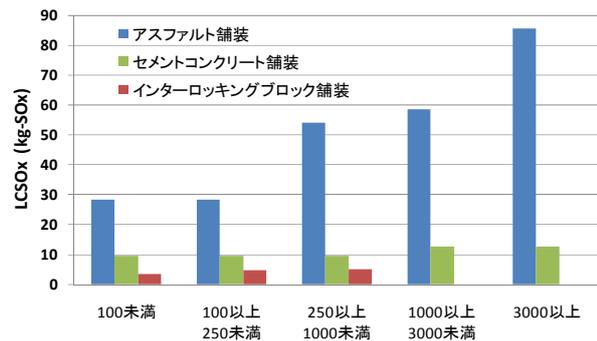
- (1) 新規舗設時の環境負荷量において、CO₂ および NO_x 排出量では全ての交通量でセメントコンクリート舗装のほうがインターロッキングブロック舗装よりも大きくなった。工程別に見ると構成材料の製造に伴う排出量が、CO₂ では全体の 74~78%、NO_x では 43~49%と最も大きな割合を占めており、CO₂ ではその内の 87~92%を、NO_x では 97~98%をセメントの製造に伴う排出量が占めている。
- (2) 新規舗設時の環境負荷量について、SO_x およびばいじん排出量では全ての交通量でインターロッキングブロック舗装のほうがセメントコンクリート舗装よりも大きくなった。工程別に見ると路盤材料の製造に伴う排出量が、SO_x では全体の 54~70%、ばいじんでは 43~55%と最も大きな割合を占めており、



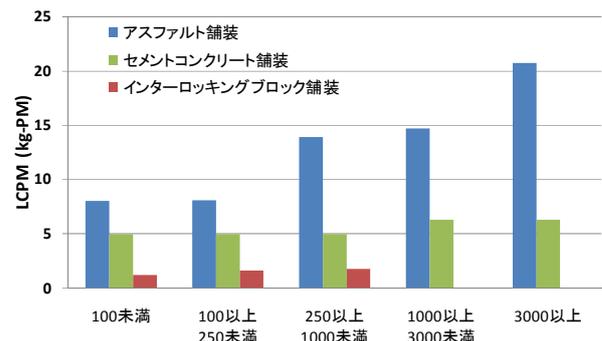
図一18 低減策考慮時のライフサイクルCO₂



図一19 低減策考慮時のライフサイクルNO_x



図一20 低減策考慮時のライフサイクルSO_x



図一21 低減策考慮時のライフサイクルばいじん

SO_xではその内の91~93%を、ばいじんでは75~79%をA重油の使用に伴う排出量が占めている。

- セメントコンクリート舗装の補修時の環境負荷量について、CO₂、NO_x、SO_xそれぞれの排出量全体の76%、48%、38%を構成材料の製造が、ばいじん排出量全体の36%を表層の撤去・廃棄に伴う排出量が占めている。
- 新規舗設から100年間補修を繰り返した場合のライフサイクルでの環境負荷量で考えた場合、セメントコンクリート舗装のCO₂排出量、SO_x排出量、NO_x排出量、ばいじん排出量はそれぞれ、アスファルト舗装の1.44~2.50倍、0.22~0.40倍、1.27~1.67倍、0.38~0.62倍の値を示した。
- 環境負荷量低減策として、セメントコンクリート舗装に使用するセメントを高炉セメントB種に変更し、連続鉄筋コンクリート舗装に変更することで、交通量250以上では、CO₂排出量では59~66%、SO_x排出量では7~16%、NO_x排出量では22~28%、ばいじん排出量では15~22%低減できる。これにより、交通量250以上では、環境影響をアスファルト舗装と同水準以下に抑えることができる。

謝辞

本研究を行うにあたり、セメント協会吉本徹氏にコンクリート舗装に関する各種データのご提供を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 岩谷祐太, 青木雄祐, 藤木昭宏, 河合研至: 各種舗装材料を用いた道路舗装の環境負荷, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.1597-1602, 2009.7
- 日本道路協会編: アスファルト舗装要綱, 日本道路協会, pp.7-196, 1990
- 日本道路協会: セメントコンクリート舗装要綱, pp.7-221, 日本道路協会, 1990
- 熊田一彦ほか: モニタリングデータを用いた高速道路舗装の統計的劣化モデルの検討, 土木学会舗装工学論文集, 第14巻, pp.229-237, 2009
- (社)インターロッキングブロック舗装技術協会編, インターロッキングブロック舗装設計施工要領, (社)インターロッキングブロック舗装技術協会, pp.7-100, 2007
- 唐沢明彦ほか: 車道におけるインターロッキングブロック舗装の長期供用性調査とライフサイクルコスト試算, 土木学会舗装工学論文集, 第14巻, pp.5-6, 2009
- 土木学会: コンクリートの環境負荷評価(その2), pp.39-40, 2004
- (社)日本建設機械化協会編: 建設機械等損料表, (社)日本建設機械化協会, pp.288-292, 2007
- 日本道路協会編: 舗装性能評価法 別冊, pp.178-187, 2008