

論文 各種舗装材料を用いた道路舗装の環境負荷

岩谷 祐太*1・青木 雄祐*2・藤木 昭宏*3・河合 研至*4

要旨: 本論文では, アスファルト, インターロッキングブロック, セメントコンクリートの各道路舗装において, 舗設に伴う環境負荷を交通量の区分別に比較検討した。その結果, 舗装 100m² 当たりで比較すると, 交通量の区別によらず, アスファルト舗装が最も CO₂ 排出量が小さく, セメントコンクリート舗装が最も大きいことが分かった。ただし舗装の目標供用年数をアスファルト舗装で 10 年, インターロッキングブロック舗装, セメントコンクリート舗装で 20 年とすると, CO₂ 排出量を供用年数で除した値はインターロッキングブロック舗装が最も小さくなる。

キーワード: アスファルト舗装, インターロッキングブロック舗装, セメントコンクリート舗装, CO₂ 排出量

1. はじめに

現在, 環境問題の深刻化が世界中で叫ばれており, 土木分野においても無視できない問題となっている。土木分野では構造物が大規模なため膨大な量の CO₂ が排出され, 環境に大きな影響を与えていると考えられるが, 現在の構造物は力学性能を重視しており, 環境性能を考慮することは少ない。全国に張り巡らされている舗装においてもそれは同様であり, 舗装の種類が変わることで, 環境負荷の程度は大きく増減する可能性がある。そこで, 環境負荷低減を推進していくためにも, 舗装の種類ごとに環境負荷の程度を定量的に評価していく必要がある。

本研究では, アスファルト舗装, インターロッキングブロック舗装, セメントコンクリート舗装の 3 舗装のそれぞれについて, 材料の製造から舗装の施工までの行程に必要なインベントリデータを作成した。さらに, 作成したインベントリデータを用いて環境負荷の観点から最適な道路舗装について検討を行った。

2. 調査方法

アスファルト舗装, インターロッキングブロック舗装, セメントコンクリート舗装それぞれの施工条件, 施工方法, 使用機械, 使用材料などのデータを収集し, 各舗装の材料の製造から舗装の施工までの行程に必要なインベントリデータを作成した。さらにそのデータを用いて, 各舗装の施工に至るまでの環境負荷量を交通量の区分別に分類して定量的に評価した。なお, 環境負荷評価を行うインベントリは CO₂ 排出量のみを対象とし, 交通量の分類は, 表-1 の日本道路協会が定める交通量の区分¹⁾に従った。

3. CO₂ 排出量の積算方法

アスファルト舗装, インターロッキングブロック舗装, セメントコンクリート舗装それぞれを 100m² 施工した場合の, 材料の製造から舗装の施工に至るまでの CO₂ 排出量の積算を行った。積算で想定した作業行程を図-1 に示す。

表-1 交通量の区分¹⁾

交通量の区分	大型車交通量(台/日・一方向)
L 交通	100未満
A 交通	100以上 250未満
B 交通	250以上 1000未満
C 交通	1000以上 3000未満
D 交通	3000以上

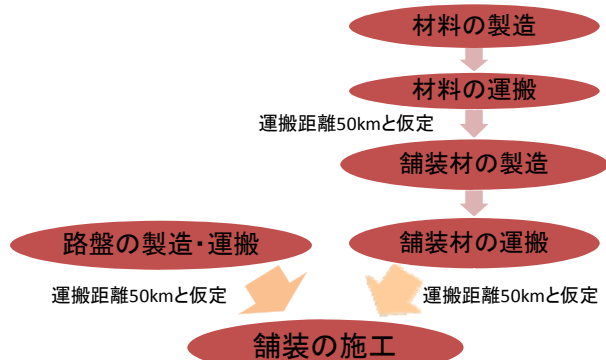


図-1 舗装施工までの作業行程

ここでの材料の製造とは, 舗装材の原料のことであり, セメントや骨材, アスファルトのことを指す。セメントコンクリート舗装に使用される棒鋼の製造, 運搬時の環境負荷量はそれぞれ材料の製造, 運搬に含めている。インターロッキングブロックの配合を表-2 に, セメント

*1 広島大学 工学部第四類 (正会員)

*2 広島大学 大学院工学研究科 (正会員)

*3 ランデス (株) 本部技術センター研究所所長 修(工) (正会員)

*4 広島大学 大学院工学研究科 准教授 工博 (正会員)

コンクリートの配合を表-3に示す。アスファルトは針入度40mmを超え60mm以下、軟化点47.0℃～55.0℃のものを使用し、アスファルト混合物の配合比は重量比でアスファルト5%、細骨材37%、粗骨材52%、フィラー6%とした。各舗装の供用年数は、関係者へのヒアリング等を実施したものの、現状の耐用年数が正確に把握できなかったため、設計時に目標とされる設計年数を文献^{2),3)}から引用して、それらを用いることとした。アスファルト舗装の目標設計年数は10年、インターロッキングブロック舗装およびセメントコンクリート舗装の目標供用年数

は20年である。材料の運搬、舗装材の運搬、路盤の運搬における運搬距離は、各舗装とも一律50kmと仮定し、行程の中で必要なインベントリデータについては、文献^{4),5),6)}の値を引用、あるいは道路会社へのヒアリングから得られた機械の施工能力に、文献⁷⁾の値を乗じて算出したものを用いた。使用したインベントリデータを表-4に示す。路盤材、アスファルト混合物、セメントコンクリートの使用量は表-5⁸⁾に従って算出した。さらに各舗装の構成図を図-2¹⁾、図-3³⁾、図-4⁹⁾に、各舗装の交通量別の設計厚さを表-6^{1),3),9)}に示す。

表-2 インターロッキングブロックの配合

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	
110	350	870	1000	2.33

表-3 セメントコンクリートの配合

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	
126	300	709	1243	2.38

表-4 使用したインベントリデータ

材料	単位 (*)	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /*)	使用機械	単位 (*)	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /*)
密粒度アスコン	t	104.2	20tディーゼルトラック	t-km	0.0714
セメント	t	766.6	10tダンプトラック	t-km	0.117
細骨材	t	3.7	生コンプラント	t	7.68
粗骨材	t	2.9	アスファルト フィニッシャ	m ²	0.529
敷砂	t	3.7			
異形棒鋼	t	1213	ブレード型スプレッタ	m ²	0.15
As安定処理	t	41.2	コンクリートフィニッシャ	m ²	0.15
粒度調整碎石	t	4.3	コンクリートレベラー	m ²	0.08
クラッシュラン	t	4.3	振動目地切り機械	m ²	0.03
アスファルト乳剤	ℓ	0.164	蒸気養生	m ³	38.5

表-5 材料の補正式⁸⁾

	補正式	補正係数K
路盤材	使用量(m ³)=設計量(m ³)×(1+K)	下層路盤20cm,上層路盤15cmまで K=0.27
アスファルト	使用量(t)=設計面積(m ²)×仕上がり厚さ(m) ×締固め後の密度(t/m ³)×(1+K)	車道の場合:K=0.07 歩道の場合:K=0.10
セメント コンクリート	使用量(m ³)=設計面積(m ²)×舗装厚(m)×(1+K)	舗装厚25cm未満:K=0.04 舗装厚25cm以上30cm以下:K=0.03

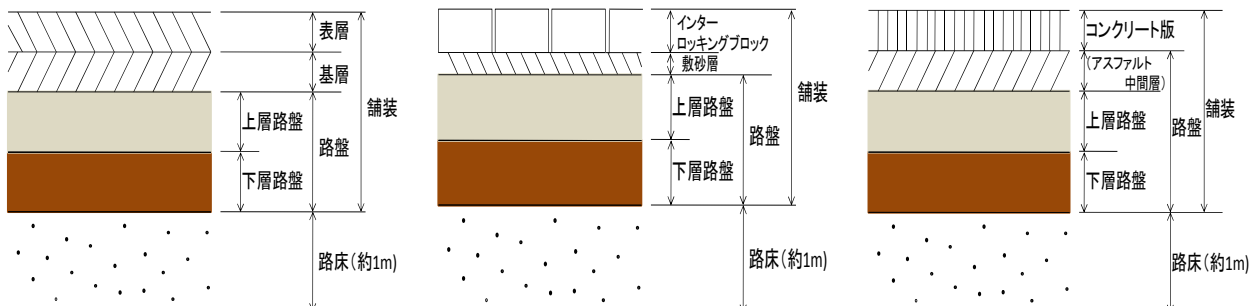


図-2 アスファルト舗装¹⁾

図-3 インターロッキングブロック舗装³⁾

図-4 コンクリート舗装⁹⁾

表-6 交通量別の設計厚さ¹⁾³⁾⁹⁾

舗装材料	交通量	表層+基層(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	粒度調整碎石	クラッシュラン
密粒度 アスファルト コンクリート	L交通	5	—	—	—	—	15	15
	A交通	5	—	—	—	—	20	25
	B交通	10	—	—	—	—	15	35
	C交通	10	—	—	—	8	20	35
	D交通	15	—	—	—	11	25	35
インター ロッキング ブロック	L交通	—	8	2	—	5	—	12
	A交通	—	8	2	—	8	—	23
	B交通	—	8	2	—	10	15	19
	C交通	—	8	2	—	15	25	29
	D交通	—	10	2	—	20	30	38
コンクリート	L交通	15	—	—	—	—	25	25
	A交通	20	—	—	—	—	25	25
	B交通	25	—	—	—	—	20	25
	C交通	28	—	—	4	—	10	25
	D交通	30	—	—	4	—	10	25

4. 調査結果および考察

(1)L交通

調査結果より、アスファルト舗装、インターロッキングブロック舗装、セメントコンクリート舗装の材料の製造から舗装の施工までに発生するCO₂排出量の比較を行った。比較結果を表-7、図-5に示す。なお、表-7に記載されているAs,ILB,Concはそれぞれアスファルト舗装、インターロッキングブロック舗装、セメントコンクリート舗装の略である。

表-7、図-5を見ると、舗装100m²当たりのCO₂排出量が、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>アスファルト舗装となっている。特に材料の製造が大きな割合を占めており、この部分で差が生じている。アスファルト舗装が他の舗装と比較して材料の製造の占める割合が小さいのは、コンクリートの原料となるセメントの製造時のCO₂排出量が極めて大きいこと、セメントコンクリート舗装の厚さが150mm、インターロッキングブロック舗装の厚さが80mmであるのに対し、アスファルト舗装の厚さは50mmであり100m²当たりの使用量が小さいことが原因であると考えられる。また、インターロッキングブロック舗装の施工に伴うCO₂排出量が他の舗装と比べて小さい。これは、他の舗装が機械で表層を舗設するのに対し、インターロッキングブロックは人力で舗設するため、表層の舗設に伴うCO₂が発生しないためである。

さらに、各舗装の環境負荷量を目標供用年数で除した値を図-6に示す。これを見ると、インターロッキングブロック舗装の供用年数1年当たりのCO₂排出量が最も小さくなった。これはインターロッキングブロック舗装の

表-7 L交通での各舗装のCO₂排出量(kg-CO₂/100m²)

	材料の 製造	材料の 運搬	舗装材の 製造	舗装材の 運搬	路盤の 製造・運搬	舗装の 施工	合計
As	874.4	78.3	380	73.9	847.6	137.2	2391
ILB	2207.3	106.2	400.9	66.5	1024.1	52.3	3857
Conc	4166.9	176.2	279.2	212.6	1112.4	125.3	6073

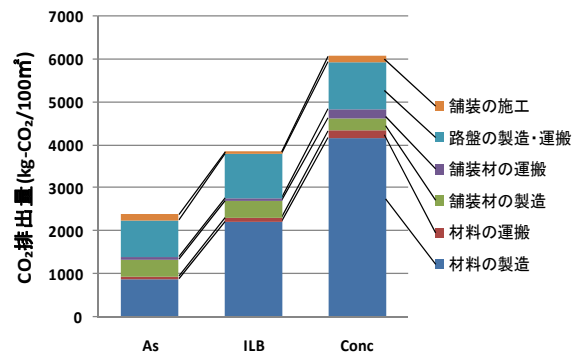


図-5 L交通での各舗装のCO₂排出量の比較

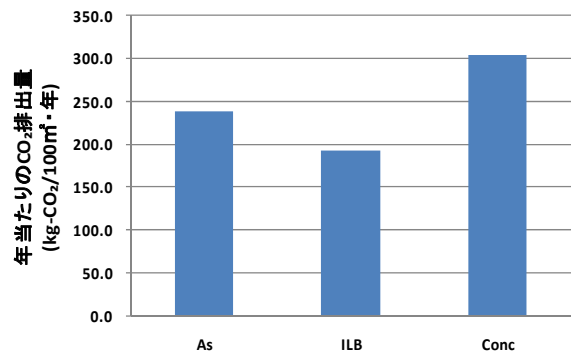


図-6 L交通での各舗装の年当たりのCO₂排出量

設計供用年数が 20 年であることが大きく影響していると考えられる。これより、L 交通の道路を施工する場合、目標供用年数まで供用したと仮定すれば、インターロッキングブロック舗装が最も環境負荷低減につながるといえる。

(2) A 交通

A 交通における各舗装の CO₂ 排出量の比較結果を表 8、図 7 に示す。表 8、図 7 を見ると、アスファルト舗装やインターロッキングブロック舗装が L 交通時の排出量とあまり大きな差がないのに対して、セメントコンクリート舗装は 1400kg-CO₂ 以上も増加している。これはコンクリート版の厚さが 150mm から 200mm になり、コンクリートの使用量が増加したことによる。

次に A 交通での各舗装の年当たりの CO₂ 排出量を図 8 に示す。各舗装とも年当たりの CO₂ は増加しているが、おおよそ L 交通と同じような結果になり、A 交通でも目標供用年数まで供用したと仮定すれば、インターロッキングブロック舗装が最も値が小さくなるという結果になった。セメントコンクリート舗装においては、他の舗装と比べて L 交通時よりも一段と差が開いており、環境負荷低減の観点からは舗装材料に適さないこととなり、環境負荷を低減させるためには、他の舗装との差が最も大きい材料の製造について、結合材としての高炉セメントの使用などの検討が必要となる。

(3) B 交通

B 交通における各舗装の CO₂ 排出量の比較結果を表 9、図 9 に示す。インターロッキングブロック舗装の CO₂ 排出量がほとんど増加していない反面、アスファルト舗装およびセメントコンクリート舗装の排出量が大きく増加している。これは、交通頻度の増大に伴いアスファルト舗装およびセメントコンクリート舗装は表層厚が増加するが、インターロッキングブロック舗装はブロックの厚さが変化しないことによる。

次に B 交通での各舗装の年当たりの CO₂ 排出量を図 10 に示す。インターロッキングブロック舗装の供用年数 1 年当たりの CO₂ 排出量が最も小さく、最も環境負荷低減につながるといえることに変わりはないが、アスファルト舗装とセメントコンクリート舗装の 1 年当たりの CO₂ 排出量がほぼ同量となっている。A 交通からの CO₂ 排出量の増加量は両舗装とも大差ないが、供用年数が 10 年と 20 年のため、年当たりの CO₂ 排出量で考えるとアスファルト舗装がセメントコンクリート舗装の約 2 倍の増加量を示している。

表 8 A 交通での各舗装の CO₂ 排出量 (kg-CO₂/100m²)

	材料の製造	材料の運搬	舗装材の製造	舗装材の運搬	路盤の製造・運搬	舗装の施工	合計
As	935.6	78.3	380.0	73.9	1000.3	137.2	2605
ILB	2207.3	106.2	400.9	66.5	1608.0	52.3	4441
Conc	5370.3	234.4	372.2	283.5	1112.4	125.3	7498

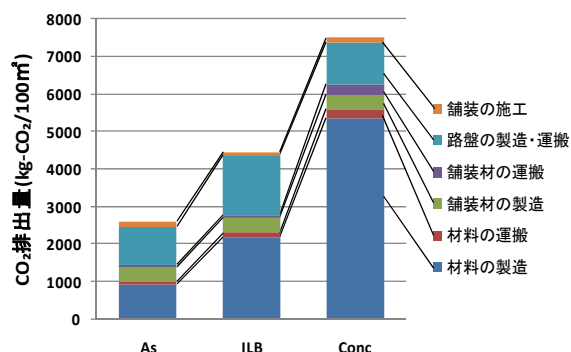


図 7 A 交通での各舗装の CO₂ 排出量の比較

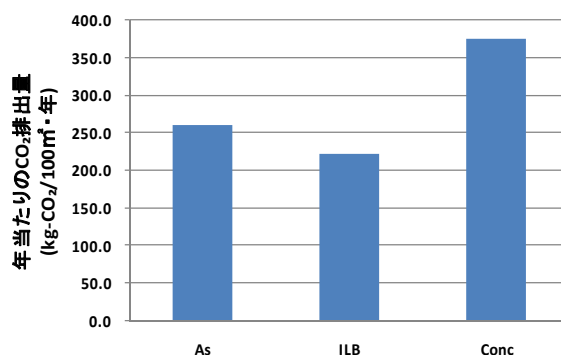


図 8 A 交通での各舗装の年当たりの CO₂ 排出量

表 9 B 交通での各舗装の CO₂ 排出量 (kg-CO₂/100m²)

	材料の製造	材料の運搬	舗装材の製造	舗装材の運搬	路盤の製造・運搬	舗装の施工	合計
As	1871.2	156.6	760.1	147.7	1200	137.2	4273
ILB	2207.3	106.2	400.9	66.5	1951.7	52.3	4785
Conc	6516	289.7	460.8	351	1000.3	125.3	8743

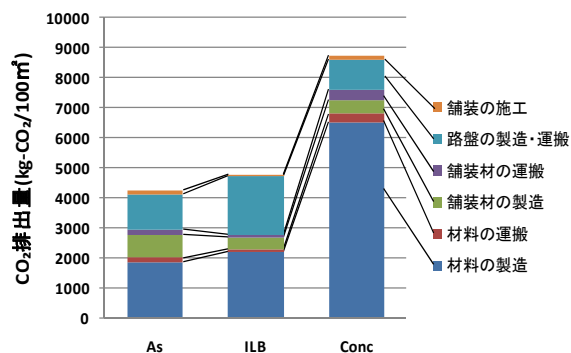


図 9 B 交通での各舗装の CO₂ 排出量の比較

(4) C 交通

C 交通における各舗装の CO₂ 排出量の比較結果を表 10、図-11 に示す。交通頻度の増大に伴い、各舗装とも路盤の製造・運搬に伴う CO₂ 排出量の大幅な増加が見られる。

次に C 交通での各舗装の年当たりの CO₂ 排出量を図-12 に示す。B 交通からの CO₂ 排出量の増加量はセメントコンクリート舗装が最も大きい、アスファルト舗装とセメントコンクリート舗装の年当たりの CO₂ 排出量の差がさらに縮まっている。これは B 交通と同様アスファルト舗装とセメントコンクリート舗装の供用年数の差が原因である。ここでもインターロッキングブロック舗装の年当たりの CO₂ 排出量が最も小さくなっており、その差は交通量が増大するにつれ顕著になっている。

(5) D 交通

D 交通における各舗装の CO₂ 排出量の比較結果を表 11、図-13 に示す。表-11、図-13 を見ると、アスファルト舗装とインターロッキングブロック舗装の CO₂ 排出量が C 交通の場合と比較して大幅に増加しているのが分かる。これはアスファルトの表層厚が 100mm から 150mm になったこと、インターロッキングブロックの厚さが 80mm から 100mm になったこと、および両舗装の路盤厚が増加したことによるものである。アスファルト舗装の CO₂ 排出量とインターロッキングブロック舗装の CO₂ 排出量はほぼ同量となっている。

次に D 交通での各舗装の年当たりの CO₂ 排出量を図-14 に示す。これを見ると、セメントコンクリート舗装の CO₂ 排出量はインターロッキングブロック舗装の 1.5 倍、アスファルト舗装においてはインターロッキングブロック舗装の 2 倍の CO₂ 排出量を示しており、他の交通区分の場合と同様インターロッキングブロック舗装の年当たりの CO₂ 排出量が最も小さくなるという結果に変わりはなかった。他の舗装が交通量によって表層およびコンクリート版の厚さが変化するのに対し、インターロッキングブロック舗装は交通量にかかわらず、ほとんどインターロッキングブロックの厚さが変わらないのが最も大きな原因であると考えられる。また、C 交通までは年当たりの CO₂ 排出量で比較するとセメントコンクリート舗装が最も大きかったのに対し、D 交通ではアスファルト舗装が最も大きな値を示した。アスファルト舗装は 10 年、セメントコンクリート舗装は 20 年という設定供用年数の違いが影響している。

(6) 供用後の考慮について

今回の検討では、舗装に伴う環境負荷を目標供用年数で除した値で比較すると、インターロッキングブロック

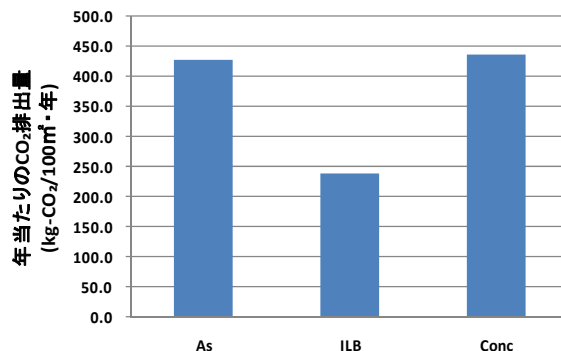


図-10 B 交通での各舗装の年当たりの CO₂ 排出量

表-10 C 交通での各舗装の CO₂ 排出量 (kg-CO₂/100m²)

	材料の製造	材料の運搬	舗装材の製造	舗装材の運搬	路盤の製造・運搬	舗装の施工	合計
As	1871.2	156.6	760.1	147.7	2087.3	137.2	5160
ILB	2207.3	106.2	400.9	66.5	2824.6	52.3	5658
Conc	7231.1	324.3	516.1	393.1	1875.7	125.3	10466

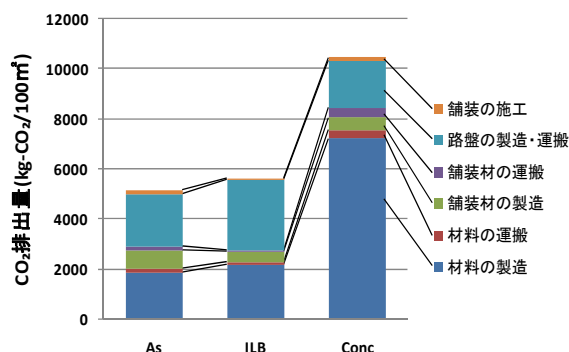


図-11 C 交通での各舗装の CO₂ 排出量の比較

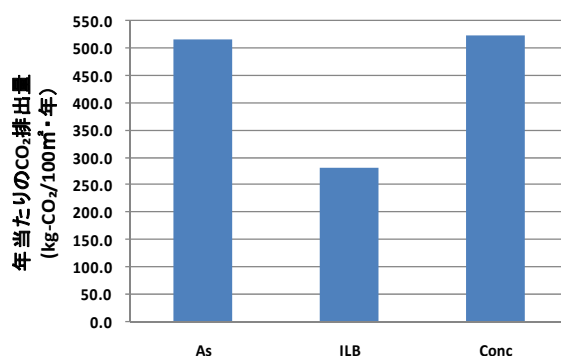


図-12 C 交通での各舗装の年当たりの CO₂ 排出量

表-11 D 交通での各舗装の CO₂ 排出量 (kg-CO₂/100m²)

	材料の製造	材料の運搬	舗装材の製造	舗装材の運搬	路盤の製造・運搬	舗装の施工	合計
As	2806.8	234.8	1140.1	221.6	2524.1	137.2	7065
ILB	2759.1	132.8	501.2	83.2	3676.8	52.3	7205
Conc	7707.9	347.4	552.9	421.2	1875.7	125.3	11030

舗装が最も CO₂ 排出量が小さくなるという結果になった。しかし、今回の検討では各舗装を 1 回舗設したときの環境負荷についてのみを検討しており、舗装の廃棄、再利用、表層の補修を含めた長期的なサイクルでの環境負荷量は考慮していない。関係機関へのヒアリングの結果では、現在インターロッキングブロック舗装は使用后 2,3 割しか再利用されず、残りは廃棄されているのに対し、アスファルト混合物はほとんど全て再利用されている。したがって長期的なサイクルで検討した場合、インターロッキングブロック舗装が最も環境負荷低減につながることは一概には言えず、解体・廃棄・再利用および表層の補修を含めた長期的な比較がさらに必要であると考えられる。それを踏まえた上で、インターロッキングブロック舗装やセメントコンクリート舗装では、解体コンクリートの体系的な再利用方法を検討することが必要となってくるものと思われる。

5. 結論

本研究では、土木分野での環境負荷低減を図っていくために、アスファルト舗装、インターロッキングブロック舗装、セメントコンクリート舗装の 3 舗装について、交通量の区別に材料の製造から舗装の施工までの行程で排出される CO₂ を積算し、どの舗装が環境負荷低減につながるかを検討した。その結果を以下に示す。

- (1) 100m² 当たりの CO₂ 排出量で比較した場合、いずれの交通量の区別でも、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 > アスファルト舗装となり、アスファルト舗装が最も CO₂ 排出量が小さい。
- (2) 各舗装の供用年数をアスファルト舗装は 10 年、インターロッキングブロック舗装およびセメントコンクリート舗装は 20 年と仮定した場合、いずれの交通量の区別でも CO₂ 排出量を供用年数で除した値はインターロッキングブロック舗装が最も小さくなる。
- (3) 上記の供用年数を仮定した場合、CO₂ 排出量を供用年数で除した値について、アスファルト舗装とセメントコンクリート舗装を比較すると、L, A, B, C 交通の道路の場合はアスファルト舗装のほうが、D 交通の道路の場合はセメントコンクリート舗装のほうが値は小さくなる。

参考文献

- 1) 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

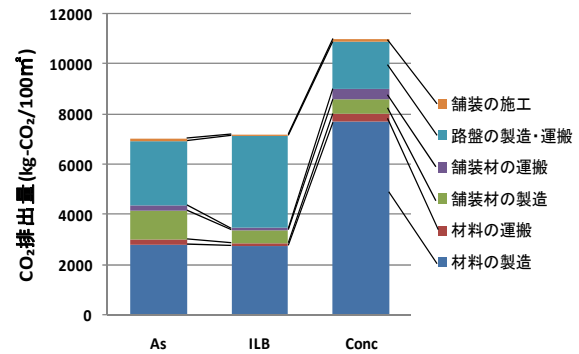


図-13 D 交通での各舗装の CO₂ 排出量の比較

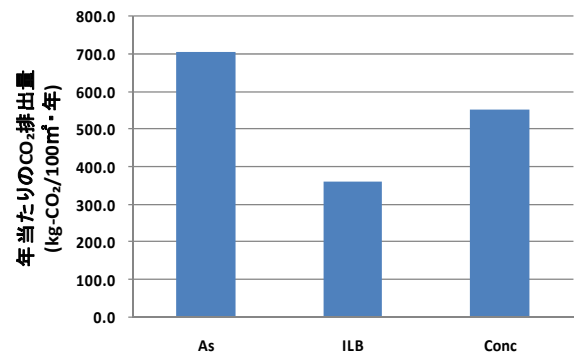


図-14 D 交通での各舗装の年当たりの CO₂ 排出量

- 2) 藤波 督編：疑問に答えるアスファルト舗装の設計・施工ノウハウ，(株)近代図書，pp.11，2003
- 3) (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
- 4) 土木学会編：コンクリートの環境負荷評価(その2)，pp.39-40，2004
- 5) 牧田 和也ほか：セメント産業を中心とした舗装道路建設に伴うライフサイクル CO₂ 排出量評価，平成 9 年度土木学会全国大会年次学術講演会，1997
- 6) 天野耕二ほか：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，1998
- 7) (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
- 8) 建設物価調査会積算委員会編：建設工事標準歩掛，建設物価調査会，pp.361-370，2007
- 9) 日本道路協会編：セメントコンクリート舗装要綱，日本道路協会，pp.3-13，1991