

一般道路の供用段階における環境負荷量の算定に関する研究

Evaluation of Environmental Loads in Service Stage of Open Roads

三上 市藏*

窪田 諭**

奥 裕子***

Ichizou MIKAMI

Satoshi KUBOTA

Yuko OKU

ABSTRACT : A method for determination of environmental loads in service stage of open roads was presented. The environmental loads causing exhausting energy, global warming, acid rain, and air pollution were dealt. Energy consumption, CO₂, SO_x, NO_x, SPM, and HC were used as evaluation of environmental loads. The presented method was applied to the National highway 43. The environmental loads in service stage were compared with the environmental loads in construction stage. It was found that the environmental loads in one year service stage exceed the environmental loads in construction stage. The emissions of SPM and HC by motor traveling are large and the environmental provision should be devised a countermeasure for air pollution.

KEYWORDS ; Life Cycle Assessment, Environmental Loads, Open Roads, Service Stage

1. まえがき

社会インフラストラクチャから発生する環境負荷は膨大であり、そのライフサイクルにおける環境負荷の低減が要求されている。中でも、一般道路の利用における環境負荷の発生が重大な問題¹⁾となっている。我が国の幹線道路の沿道環境において、大気中の SPM (浮遊粒子状物質) の環境基準達成状況は平成 12 年度において全国で 66%、自動車 NO_x 法により指定された特定地域で 52%と低い。二酸化窒素についても特定地域における環境基準の達成率は 63%と低い。また、地球温暖化の原因となる CO₂ については、総排出量が 12 億 2500 万トンであり、そのうち運輸部門が 23.0%と大部分を占めている²⁾。道路利用により生じる環境負荷をできる限り低減させるには、道路利用に対する環境対策を施されなければならない。現在、環境施設帯の整備、大気質の常時観測局の設置などの様々な道路環境対策が推進されている。これらの対策を有効に行うためには、道路利用による環境への影響を把握し、道路管理者の意志決定に反映することが重要である。そのためには、道路利用が地球環境や周辺の地域環境に与える影響を定量的に評価する必要がある。

道路を対象とした環境評価に関する研究には、道路構造代替案の地球環境インパクトと周辺アメニティを評価する研究³⁾や道路構造代替案のライフサイクルにおける CO₂ 排出量を評価する研究⁴⁾がある。これらの研究では、各道路構造の代替案について、建設および供用段階の CO₂ 排出量を評価しており、道路構造の選択について考察している。このように、新技術や新工法の従来手法に対する環境面での優位性を証明するために、LCA 手法を用いた環境影響評価が多く行われている。特に、地球温暖化の原因物質である CO₂ を扱い、定量的に評価を行った研究が多く見られる。しかし、今後、道路環境対策を展開するにあたって、地球温暖化だけでなくエネルギー枯渇、酸性雨、大気汚染など地球環境問題と地域環境問題の両面での環境負荷の発生を抑制する必要がある。また、供用

* 関西大学工学部 土木工学科

Faculty of Engineering, Kansai University

** (株) オーガス総研 コンサルティング部

Osaka Gas Information System Research Institute Co., Ltd.

*** 関西大学大学院 工学研究科 土木工学専攻

Graduate School of Engineering, Kansai University

段階については自動車走行による環境負荷は扱われているが、保全作業は検討されていない。

本研究では、一般道路の供用段階における環境負荷を評価するために、地球環境問題ではエネルギー枯渇、地球温暖化、酸性雨を、地域環境問題では大気汚染を取り上げる。そして、環境問題を評価する環境負荷物質としてエネルギー消費量、CO₂、SO_x（硫黄酸化物）、NO_x（窒素酸化物）、SPM、HC（非メタン炭化水素）とし、その負荷量の算定式を作成する。

一般道路の供用段階においては、自動車走行と舗装の打換え工事による環境負荷を考える。そして、本手法を実道路に適用し、あわせて建設段階の環境負荷量を算出して比較し、供用段階における環境負荷の特徴を議論する。

2. 取り扱う環境問題と環境負荷物質

取り扱うべき環境問題は、評価の対象や目的によって異なる。本研究では、評価の結果を既設道路の供用段階における環境対策に利用することを考えている。これらの対策を有効に行い、環境負荷の少ない道路を実現するためには、地球環境問題と地域環境問題の両面で環境負荷の発生を抑制する必要がある。一般道路の供用段階において環境に影響を与えている要因は、自動車走行と保全作業によるものであり、図-1 に示すように、地球環境問題としては、エネルギー枯渇、地球温暖化、酸性雨、地域環境問題としては苦情件数が多く早急な改善が求められる大気汚染を扱う。四つの環境問題それぞれに対する環境負荷物質としては、排出を抑えることができれば環境問題が悪化しない主要因物質に着目する。

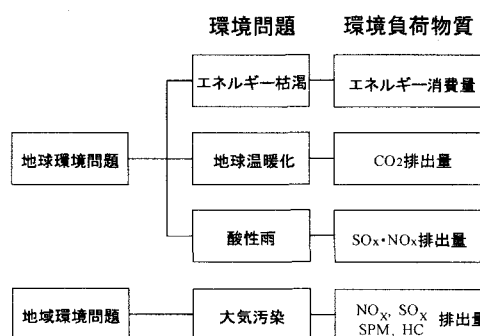


図-1 取り扱う環境問題と環境負荷物質

2.1 エネルギー枯渇

全世界のエネルギー資源の確認埋蔵量は採掘可能年数で100年に満たず、資源枯渇が目前である。道路利用の場合も、自動車走行によるガソリンや軽油などの大量消費が起こり、エネルギー枯渇問題は無視できない。そこで、エネルギー枯渇の環境負荷物質として石油燃料（ガソリン、軽油）を熱量に換算したエネルギー消費量を扱う。

2.2 地球温暖化

地球温暖化の環境負荷物質としては、CO₂の他にCH₄、N₂O、CFC_s、CF₃Br、CHCl₃が考えられるが、ここでは地球温暖化への寄与度が64%であるCO₂を扱う。我が国全体のCO₂排出量の20%を運輸部門が占めており、地球温暖化対策推進大綱²⁾策定時の予測では、運輸部門は今後何も対策をとらなければCO₂排出量が増加するので、大幅な抑制が求められている。

2.3 酸性雨

酸性雨を解決するために長距離越境大気汚染条約、ヘルシンキ議定書、ソフィア議定書の三つの国際的な取り決めにより、硫黄の排出量、窒素酸化物の排出量を削減することが決定している。酸性雨の主要因となるSO_x、NO_xは、一般道路を走行する自動車や保全作業の際に建設機械によって排出され、陸水の酸性化に大きな影響を与えている。そこで、酸性雨の環境負荷物質としては、SO_x、NO_xを扱う。

2.4 大気汚染

道路沿道の大気中に大気汚染物質としてNO_x、SPM、HCが多く含まれている。NO_xやHCは光化学反応により、

二次的に光化学オキシダントを生成し、人体に大きな影響を及ぼす。SPM はディーゼル車から多く排出され呼吸器などに大きな影響を及ぼす。これらは、いずれも環境基準を超えている。特に、SPM と HC の環境基準の達成状況は非常に悪く²⁾、これらの濃度をいかに低下させるかが課題である。そこで、大気汚染の環境負荷物質としてはNO_x、SPM、HC を扱う。

3. 一般道路における環境負荷量の算定法

一般道路の供用段階において、自動車走行と保全作業による環境負荷量を算定するために、環境負荷原単位を用いた環境負荷物質の算定式を作成する。これらの算定式は、100m を算定区間とする。

3.1 自動車走行による環境負荷物質の算定

自動車走行による環境負荷量の算定にあたっては、走行する車両の車種や使用燃料、道路構造などを考慮する。

(1) 車種分類

自動車走行による環境負荷量は、自動車排出ガスの量に關係する。自動車排出ガスの量は、使用燃料、車両重量によって異なる。

本研究では表-1 に示すように車両重量によって車種を七つに分類する。そして、各車種は二種類の使用燃料を考える。

(2) エネルギー消費量の算定

自動車走行によるエネルギー消費量は、自動車走行に要する燃料消費量を算定し、それを熱量に換算して求める。

まず、燃料消費量を算定するために必要な燃費として表-2 の値を用いる。全車種のガソリン車と乗用車のディーゼル車の燃費は、温室効果ガス排出量算定法に関する検討結果⁵⁾の値である。車両重量が等しい場合の燃費はディーゼル車がガソリン車の約1.3 倍である⁶⁾ことから、残りの車の燃費は、同車種のガソリン車の燃費に1.3 を乗じた。

次に、車種*i*において走行距離100m あたりの燃料消費量 $[l/100m]$ $1/P_G$ (ガソリン車) と $1/P_D$ (ディーゼル車) を表-2 から求める。使用燃料の熱量⁷⁾はガソリンが $R_G=8,400kcal/l$ 、軽油が $R_D=9,200kcal/l$ であるから、 R/P から100m あたり・車1 台あたりの排出熱量が得られる。ここで、算定区間の車種別交通量 S_i [台/日/100m] に車種別のガソリン車とディーゼル車の構成比 $K_G : K_D$ を乗じると対象車の台数が決まる。これを R/P に乗ずると車種別エネルギー消費量 W_{ei} が算定できる。そして、総計すると、算定区間を走行する全車両のエネルギー消費量 $W_{e0}[kcal/100m]$ が得られる。エネルギー消費量の算定式を次に示す。

表-1 車種分類

	車種	使用燃料
1	軽自動車	ガソリン
		ディーゼル
2	乗用車	ガソリン
		ディーゼル
3	軽貨物車	ガソリン
		ディーゼル
4	小型貨物車	ガソリン
		ディーゼル
5	普通貨物車	ガソリン
		ディーゼル
6	バス	ガソリン
		ディーゼル
7	特種用途車	ガソリン
		ディーゼル

表-2 各車種の燃費

ガソリン(LPG)	燃費 (km/l)	ディーゼル	燃費 (km/l)
軽自動車	11.1	軽自動車	14.4
乗用車	8.3	乗用車	9.1
軽貨物車	10.7	軽貨物車	13.9
小型貨物車	9.0	小型貨物車	11.7
普通貨物車	5.2	普通貨物車	6.8
バス	5.2	バス	6.8
特種用途車	6.4	特種用途車	8.3

注) 10.15 モードによる燃費

$$W_{(e)} = \sum_{i=1}^7 W_{(e)i} \quad \text{ただし、} W_{(e)i} = \frac{R_G}{P_G} S_i K_G + \frac{R_D}{P_D} S_i K_D \quad (1)$$

(3) CO₂ 排出量の算定

CO₂は燃料の燃焼によって発生する環境負荷物質であるので、燃料消費量から排出量を算定する。エネルギー消費量の算定と同様にして車種*i*のエネルギー消費量を算定する。そこで、CO₂排出量は算定した熱量から熱量あたりの排出原単位⁷⁾ $U_{(CO_2)G}$ (ガソリン車) [t-C/kcal]と $U_{(CO_2)D}$ (ディーゼル車) [t-C/kcal]を用いて算定できる。算定区間を走行する全車両のCO₂排出量 $W_{(CO_2)}$ が次のように得られる。

$$W_{(CO_2)} = \sum_{i=1}^7 W_{(CO_2)i} \quad \text{ただし、} W_{(CO_2)i} = \left(\frac{R_{iG}}{P_{iG}} S_i K_G \right) U_{(CO_2)G} + \left(\frac{R_{iD}}{P_{iD}} S_i K_D \right) U_{(CO_2)D} \quad (2)$$

(4) SO_x 排出量の算定

SO_xも燃料の燃焼によって発生する環境負荷物質であるため、燃料消費量から排出量を算定する。CO₂排出量と同様にして算定できるが、排出原単位⁷⁾としてSO_xに対する値 $U_{(SO_x)G}$ (ガソリン車) [g/kcal]と $U_{(SO_x)D}$ (ディーゼル車) [g/kcal]を用いる。

(5) HC 排出量の算定

HCは、燃料の燃焼に直接的な関係なく、走行速度や道路形状などの走行条件によって影響を受ける。実際の走行状況は排出係数はエンジン形式、燃料、排出規制の適用状況、走行時重量の自動車排出ガス特性に関連しており、パラメータとして七車種に分類された走行速度域別環境負荷排出係数⁸⁾ E_i [g/100m/台]を用い、算定区間の車種別交通量 S_i [台/日/100m]を乗じると車種*i*のHC排出量 $W_{(HC)i}$ が得られる。算定区間を走行する全車両のHC排出量 $W_{(HC)}$ が次のように得られる。

$$W_{(HC)} = \sum_{i=1}^7 W_{(HC)i} \quad \text{ただし、} W_{(HC)i} = E_{(HC)i} S_i \quad (3)$$

(6) NO_x 排出量の算定

NO_xも燃料の燃焼に直接的な関係がなく、走行速度や道路形状などの走行条件によって影響を受ける。HC排出量と同様の算定法によるが、NO_x排出量は道路勾配により異なるので、排出係数 E を縦断勾配補正係数⁹⁾ H_i で修正する。ただし、算定区間内で勾配が変わることがあるので、算定区間を勾配ごとに区切り、その長さを算定区間との比率で L_k とすると、排出係数 E に H と L を乗じることになる。算定区間を走行する全車両のNO_x排出量 $W_{(NO_x)}$ が次のように得られる。

$$W_{(NO_x)} = \sum_{i=1}^7 W_{(NO_x)i} \quad \text{ただし、} W_{(NO_x)i} = \left(E_{(NO_x)i} \sum_{k=1}^m H_{ik} L_k \right) S_i \quad (4)$$

(7) SPM 排出量の算定

SPMも燃料の燃焼に直接的な関係がなく、走行速度や道路形状などの走行条件によって影響を受ける。HC排出量と同様の算定法によるが、SPM排出量も道路勾配により異なるので、NO_x排出量の算定法と同様に排出係数 E を縦断勾配補正係数 H と一定勾配区間長比 L で修正する。SPMの場合は、タイヤ摩耗による排出量を加算する必要がある。排出量は車種別排出係数 T_i ⁹⁾と車種別交通量 S_i とから算定できる。したがって、算定区間を走行する全車両のSPM排出量 $W_{(SPM)}$ が次のように得られる。

$$W_{(SPM)} = \sum_{i=1}^7 W_{(SPM)i} + \sum_{i=1}^7 T_i S_i \quad \text{ただし、} W_{(SPM)i} = \left(E_{(SPM)i} \sum_{k=1}^m H_{ik} L_k \right) S_i \quad (5)$$

3.2 保全作業による環境負荷量の算定

保全工事としては、舗装の打換え工事のみを対象とし、資材製造と打換え作業に対する環境負荷量を算定する。

(1) 資材製造による環境負荷量

資材製造におけるエネルギー消費量、CO₂、SO_x、NO_x、SPM、HC排出量は、材料の環境負荷原単位⁷⁾ (生産額100万円あたり)に材料使用金額を乗じて算定する。アスファルト混合物 (粒度別) については「舗装材料」部門

の原単位を、アスファルト乳剤については「石油製品」部門の原単位を用いた。

(2) 打換え作業による環境負荷量

打換え作業においては、建設機械としてバックホウ、ブルドーザ、タイヤローラ、ロードローラ、アスファルトフィニッシャを考えた。建設機械の作動によって発生する燃料消費量を道路維持修繕の施工と積算¹⁰⁾から、建設機械の作動時間を土木工事積算基準¹¹⁾から求め、熱量に換算してエネルギー消費量とした。CO₂、SO_x、NO_x、SPM排出量については、「建設補修」部門の環境負荷原単位⁷⁾はわかるので、これによるエネルギー消費量原単位と打換え作業について算定されたエネルギー消費量との比率からCO₂、SO_x、NO_x、SPMの排出量を計算した。例としてCO₂排出量の算定式を次に示す。

$$\begin{aligned} \text{打換え作業によるCO}_2\text{排出量}[\text{t-C}] &= \text{打換え作業によるエネルギー消費量}[\text{Mcal}] \\ &\times \frac{\text{CO}_2\text{排出量原単位}[\text{t-C}/100\text{万円}]}{\text{エネルギー消費量原単位}[10^4\text{Mcal}/100\text{万円}]} \end{aligned} \quad (6)$$

国土交通省が定めた排出ガス対策型建設機械の規制値¹²⁾によると、HC排出量はNO_x排出量の0.18倍に制限されている。この比率を使ってNO_x排出量からHC排出量を算出することにした。

4. 本手法の実道路への適用

本手法を国道43号線に適用する。ただし、中央上部には阪神高速道路が通っており、環境負荷は高速道路と一般道路の国道43号線の総和として発生しているが、ここでは、一般道路部分に本手法を適用し、環境負荷を議論する。

4.1 供用段階の環境負荷量

国道43号線のうち大阪市大正区泉尾3丁目～大阪市港区磯路1丁目間を対象とした。交通量は国土交通省が平成11年に実施した道路交通センサスによる調査結果を、道路勾配は道路台帳の値を用いた。自動車走行による環境負荷量の算定結果は表-3のようになった。

表-3 自動車走行による環境負荷量

負荷物質	エネルギー消費量 (10 ⁷ kcal)	CO ₂ (t-c)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	SPM (kg)	HC (kg)
算定量(1日)	0.332	0.290	3.963	0.502	0.742	1.318
算定量(10年)	1213	1060	14465	1832	2708	4811

打換え工事による環境負荷量の算定にあたっては、道路延長100m、歩道面積900m²、車道面積1,600m²の道路を対象とし、工事面積と土木工事積算基準¹¹⁾から工事に要する資材投入量と建設機械の燃料消費量を求め、環境負荷量を算定した。その結果は表-4のようになった。

表-4 打換え作業による環境負荷量(工事一回あたり)

負荷物質	エネルギー消費量 (10 ⁷ kcal)	CO ₂ (t-c)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	SPM (kg)	HC (kg)
算定量	5.260	3.919	30.839	20.374	4.217	5.551

打換え工事は通常10年間隔で発生する。自動車走行の場合と打換え工事の場合の環境負荷量を比較すると、自動車走行による環境負荷量は打換え工事による環境負荷量より極端に多く、エネルギー消費量が約231倍、CO₂が約270倍、NO_xが約469倍、SO_xが約90倍、SPMが約642倍、HCが約867倍である。SPMとHCの排出量が大きく、自動車走行による大気汚染が問題であることがわかる。

4.2 建設段階の環境負荷量

土木工事積算基準¹¹⁾から工事に要する資材投入量と建設機械の燃料消費量を求め、建設段階における環境負荷量を算定した。ただし、建設段階の算定には「道路関係公共事業」部門の環境負荷原単位⁷⁾を用いた。その結果は表-5のようになった。

表-5 建設段階における環境負荷量

負荷物質	エネルギー消費量 (10 ⁷ kcal)	CO ₂ (t-c)	NO _x (kg)	SO _x (kg)	SPM (kg)	HC (kg)
算定量	7.869	5.934	68.916	27.911	7.880	12.404

自動車走行の場合と建設段階の場合の環境負荷量を比較すると、一日あたりの自動車走行による環境負荷量は建設段階の環境負荷量より小さいが、全ての環境負荷物質が供用一年以内に建設段階の環境負荷量に達することがわかる。自動車走行による SPM と HC の排出量は、建設段階と比べて環境負荷が大きい。これから、建設段階と比較しても自動車走行による環境負荷が非常に大きいことがわかる。

5. あとがき

本研究では、一般道路の供用段階における環境負荷を評価するために、エネルギー枯渇、地球温暖化、酸性雨、大気汚染を環境問題として取り上げた。供用段階においては自動車走行による環境負荷量と舗装の打換え工事による環境負荷量の算定式を作成した。そして、本手法を実道路（国道 43 号線の一部）に適用し、あわせて建設段階の環境負荷量を算出して比較し、供用段階における環境負荷の特徴を議論した。その結果、国道 43 号線の検討区間では、建設段階や舗装の打換え工事と比較して自動車走行による環境負荷は意外に大きく、特に SPM と HC の排出量が大きく、大気汚染が問題であることがわかった。

本研究では六種類の環境負荷物質を個々に検討したが、統合的な評価を行うことが今後の課題である。

参考文献

- 1) 桐越信：道路環境対策，道路，日本道路協会，pp.26-27，2001.4.
- 2) 環境省：環境白書 平成 14 年版，ぎょうせい，2002.5.
- 3) 林良嗣，京谷孝史，加藤博和，中島義人：地球環境インパクトと周辺アメニティを考慮した道路構造代替案の評価手法に関する研究，環境システム研究論文集，土木学会，Vol.23，pp.314-320，1995.8.
- 4) 加藤博和，林良嗣，登秀樹：道路構造代替案の地球環境負荷に関するライフサイクル的評価手法，環境システム研究論文集，土木学会，Vol.24，pp.282-293，1996.10.
- 5) 環境庁 運輸分科会：温室効果ガス排出量算定法に関する検討結果，2000.9.
- 6) 志村節，森光信孝：次世代環境対応型自動車の動向，トライボロジスト，日本潤滑学会，第 43 巻，第 9 号，pp.42-47，1998.
- 7) 南斎規介，森口祐一，東野進：産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID），国立環境研究所 地球環境研究センター，2002.3.
- 8) 野村総合研究所：自動車排ガス原単位および総量に関する調査，平成 9 年度 環境庁委託調査業務報告書，環境庁，1997.3.
- 9) 道路環境研究所：道路環境影響評価の技術手法，第 2 巻，財団法人 道路環境研究所，2000.11
- 10) 道路維持修繕積算研究会：道路維持修繕の施工と積算，建設物価調査会，1996.6.
- 11) 建設大臣官房技術調査室：建設省土木工事積算基準—平成 11 年度版—，建設物価調査会，1998.6.
- 12) 国土交通省：建設機械に関する技術指針，1991.10.