

都市間高速道路の横断面構成の相違による CO₂ 排出量のライフサイクル評価Life Cycle Assessment of CO₂ Emission from Inter-city Motorways by Road Cross-sectional Structure

中村 英樹* ・ 加藤 博和* ・ 丸田 浩史* ・ 二村 達**

Hideki NAKAMURA, Hirokazu KATO, Hiroshi MARUTA and Toru FUTAMURA

ABSTRACT: This paper proposes a method for the comprehensive assessment on cross-sectional structures of inter-city motorways in terms of CO₂ emission. The index employed in this study is the "Extended Life-cycle CO₂ (ELC-CO₂)" emission from highways. This takes into account of not only the CO₂ generated by highway construction and maintenance works, but also the CO₂ emission by traffic, which varies by highway cross-sectional design. Such traffic flow characteristics as traffic flow variations and/or speed-flow relationship is also investigated, which has not been considered in the conventional studies on LCA. The CO₂ emission by highway construction and maintenance works is estimated using "combined method", for elevated, mounded, and tunnel sections respectively. Furthermore, various cross-sectional structures by several geographical and land-use conditions are assessed, through the calculation of ELC-CO₂ from each alternative.

1 はじめに

道路の車線数や車線幅員といった横断面構成要素や縦断・平面線形などの幾何構造の決定は、建設や改良に際しての費用はもとより、供用後の道路性能をも左右する非常に重要なプロセスである。このため、その方法論の構築は、特に欧米各国において長年、研究および実務レベルで膨大な検討が続けられてきた課題である。また最近では、エネルギー・環境問題への対応という観点からの検討も必要となってきた。日本の高規格幹線道路網の整備計画においては、今後主に列島の横断方向を中心として建設されることとなるが、建設ルートには周辺環境保全や建設費用の面で特に慎重な計画が求められる中山間部が多いことや、これまで建設されてきた都市間高速道路に比べ交通需要が小さいと考えられることなどから、その幾何構造の適切な評価は非常に重要かつ今日的な検討課題である。

一方、道路建設や維持管理に伴う環境負荷を LCA の考え方に基づいて推計した既往研究としては、設計 CBR 値、幅員構成などの異なる代替案を設定して推計を行っている岩淵らの研究¹⁾、コンクリート舗装を対象として想定交通量による舗装厚や車線数の違いによる CO₂ の推計を行っている牧田らの研究²⁾がある。これらの研究では、道路建設の工事による排出と、投入資材や機械の製造による排出を合わせた、道路自体の内包環境負荷の評価を試みている。しかし実際には、道路幾何構造の違いは供用後の交通容量や速度といった交通状況を大きく左右するため、道路自体から生じる環境負荷のみならず、その上を走行する自動車から発生する負荷も異なってくる。このため、これらを考慮に入れた評価手法の開発が、より包括的な環境負荷評価の観点から必要である。これは、LCA の考え方を単に対象物の環境負荷発生に関する評価のみならず、その存在によって波及的に生じる環境負荷変化を含めた評価に拡張するものであり、交通状況改善を長期にわたって生じさせる交通インフラ整備を環境負荷の観点から評価するのに適した考え方である。

以上の方法論に関しては、著者らが既報^{3),4)}で提示し、それに基づいた推計を実際に行っている。しかし、これらの研究では、道路構造代替案によって交通状況が変化し、それによって環境負荷に差が生じる点については扱うことができなかった。

* 名古屋大学大学院工学研究科地圏環境工学専攻, Dept. of Geotechnical and Environmental Eng., Nagoya Univ.

** (株)オリエンタルコンサルタンツ, Oriental Consultants Co., Ltd.

そこで本研究では、都市間高速道路の単路部を対象として、道路幾何構造のうち特に横断面構成に着目し、その違いによるCO₂排出量の評価を行うことを目的とする。評価指標としては、道路自体のLC-CO₂である、建設・維持管理活動とそれによって間接的に発生する分に加え、車両走行により発生するCO₂を合わせた、道路の「拡張(Extended)LC-CO₂ (ELC-CO₂)」を考える。また、道路の計画・設計段階においては、交通量やそのピーク特性、ならびに交通量と走行速度との関係などが問題となる。既往のLCA研究では考慮されなかった、このような供用後の交通流特性についても詳細な分析を行うことにより、道路走行車両によるCO₂排出量の代替案間での相違を表現する。本研究はこれらを考慮することにより、道路幾何構造の設計段階においてLCAによる環境負荷評価の適用を目指すものである。

2 道路横断面構成の相違によるCO₂排出量のライフサイクル評価手法の枠組み

2.1 評価の全体構成

本研究におけるCO₂排出量推計の全体構成を図1に示す。入力データとして、横断面代替案と年平均日交通量 (Annual Average Daily Traffic; AADT) 及び地域・地形条件を与え、これらのそれぞれの組み合わせにおける道路構造物の建設・維持管理および車両走行によるCO₂排出量、以下の式(1)で推計する。

ここに、

$$E_j = \sum_{t=t_c}^{t_0} EC_{tj} + \sum_{t=t_0}^{t_0+Y} (EM_{tj} + ER_{tj}) \quad (1)$$

E_j : 横断面代替案 j の ELC-CO₂ 排出量

$EC_{tj}, EM_{tj}, ER_{tj}$: t 年における代替案 j の、建設、維持管理および車両走行に伴う CO₂ 排出量

Y : 供用期間 (都市間高速道路の耐用年数とされる 40 年を仮定)

t_c : 建設開始年

t_0 : 供用開始年

横断面構成の相違によるCO₂排出量の評価は地域・地形条件別に行うが、その区分には、道路構造令⁵⁾で用いられている都市部/平地部/山地部の区分を用いる。これらの地域・地形区分により、構造条件としての高架/土工/トンネルといった構造形式の延長比率、また交通条件としての交通量変動特性および車種構成比が異なり、これらはそれぞれ建設・維持管理および走行に伴うCO₂排出量に影響する。

2.2 評価条件の設定

地域・地形条件別に各横断面代替案のCO₂排出量を求める手順は次の通りである。(1)設定された各横断面代替案について、道路構造形式ごとにCO₂排出量を推

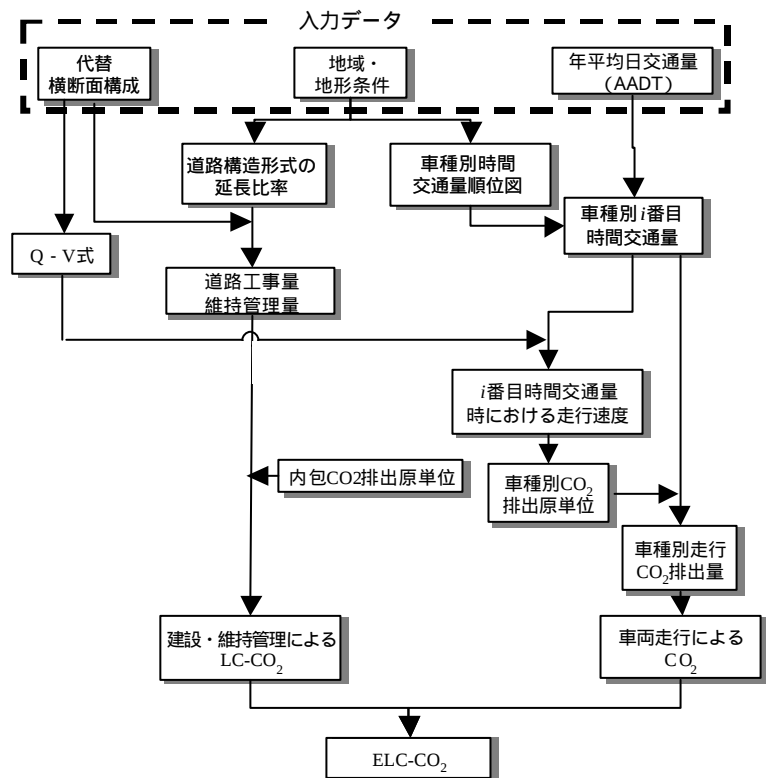


図1 ELC-CO₂評価の全体構成

表1 評価対象とする構造形式別横断面代替案

構造形式	種級区分	設計速度 [km/h]	規制速度 [km/h]	車線幅員 [m]	路肩 [m]	中央帯 [m]	往復合計 車線数
高架 ・ 橋梁	1 - 特*	140*	140*	3.75	3.25	6.00	6, 8
	1 - 1	120	100	3.50 (3.50)	3.00 (2.50)	4.50 (4.50)	4, 6, 8
	1 - 2	100	80	3.50 (3.50)	2.50 (2.50)	3.00 (3.00)	4, 6, 8
	1 - 4	60	60	3.50 (3.25)	1.25 (1.25)	2.25 (1.75)	4, 6, 8
土工	1 - 特*	140*	140*	3.75	3.25	7.50	6, 8
	1 - 1	120	100	3.50 (3.50)	3.00 (2.50)	4.50 (4.50)	4, 6, 8
	1 - 2	100	80	3.50 (3.50)	2.50 (2.50)	4.50 (4.50)	4, 6, 8
	1 - 4	60	60	3.50 (3.25)	1.75 (1.75)	3.00 (3.00)	4, 6, 8
トンネル	1 - 特*	140*	140*	3.75	2.50	1.25	6
	1 - 1	120	100	3.50 (3.50)	1.25 (1.25)	1.25 (1.25)	4, 6
	1 - 2	100	80	3.50 (3.50)	1.00 (1.00)	1.00 (1.00)	4, 6

*：道路構造令には規定されておらず、独自に設定 ()：道路構造令による最低値

計する。(2)地域・地形条件別に、道路延長に対する各構造形式の比率を設定することにより、各地域・地形条件における代替案別のCO₂排出量を推計する。

(1) 横断面代替案の設定

横断面代替案は、道路構造令で定められている道路種級区分ごとの車線や中央帯、路肩の幅員の基準値を基本とし、4.1節で述べる交通量・速度関係式(Q-V式)の設定に際して参考とする既存の高速道路区間の横断面構成を参考として設定する。ここで、道路横断面設計は道路構造形式によって異なるため、構造別に横断面を設定する。構造形式は、高架、橋梁、盛土、切土、トンネルなどに分けられるが、本研究では、高架と橋梁、盛土と切土をそれぞれ同一区分とし、高架・橋梁/土工/トンネルの3区分を設定する。

構造形式別に設定した横断面代替案を表1に示す。これらの各横断面代替案ごとに、建設・維持管理における資材投入量および工事量、ならびにQ-V式が異なってくる。代替案のうち1種特級(1-特)という種級区分は道路構造令には規定されておらず、その横断面はこれまで日本で例がない。しかしながら、第二東名・名神高速道路など近年の道路の高規格化を考慮して、ドイツの道路横断面構造基準 RAS-Q[®]や、第二名神高速道路の設計諸元を参考として独自に設定する。

(2) 地域・地形条件別構造形式の延長比率

実際の高速道路における構造形式の延長比率⁷⁾を参考に、地域・地形条件別の各構造形式の延長比率を表2のように設定する。

なお、評価期間は、建設開始から都市間高速道路の耐用年数とされる供用後40年までの期間とする。

3 建設・維持管理によるCO₂排出量の推計

3.1 建設CO₂

道路の建設によって生じるLC-CO₂の算定には、各資材・機械の使用量に、産業連関法を用いて別途推計された内包CO₂排出原単位を乗じて積み上げる「組み合わせ法」を採用する。この方法は、単体構造物の代替案比較に適し

表2 地域・地形条件別構造形式の延長比率

地域・地形 条件	道路延長に対する各構造形式の比率(%)		
	高架・橋梁	土工	トンネル
都市部	65	35	0
平地部	10	90	0
山地部	20	60	20

た方法で、既往研究でも一般的に用いられている。組み合わせ法は工事費の積算単価を CO₂ 排出原単位に置き換えた方法とみなせることから、CO₂ 排出量と同時に建設費用の推計も行うことができる。これは、以下のメリットを有する。

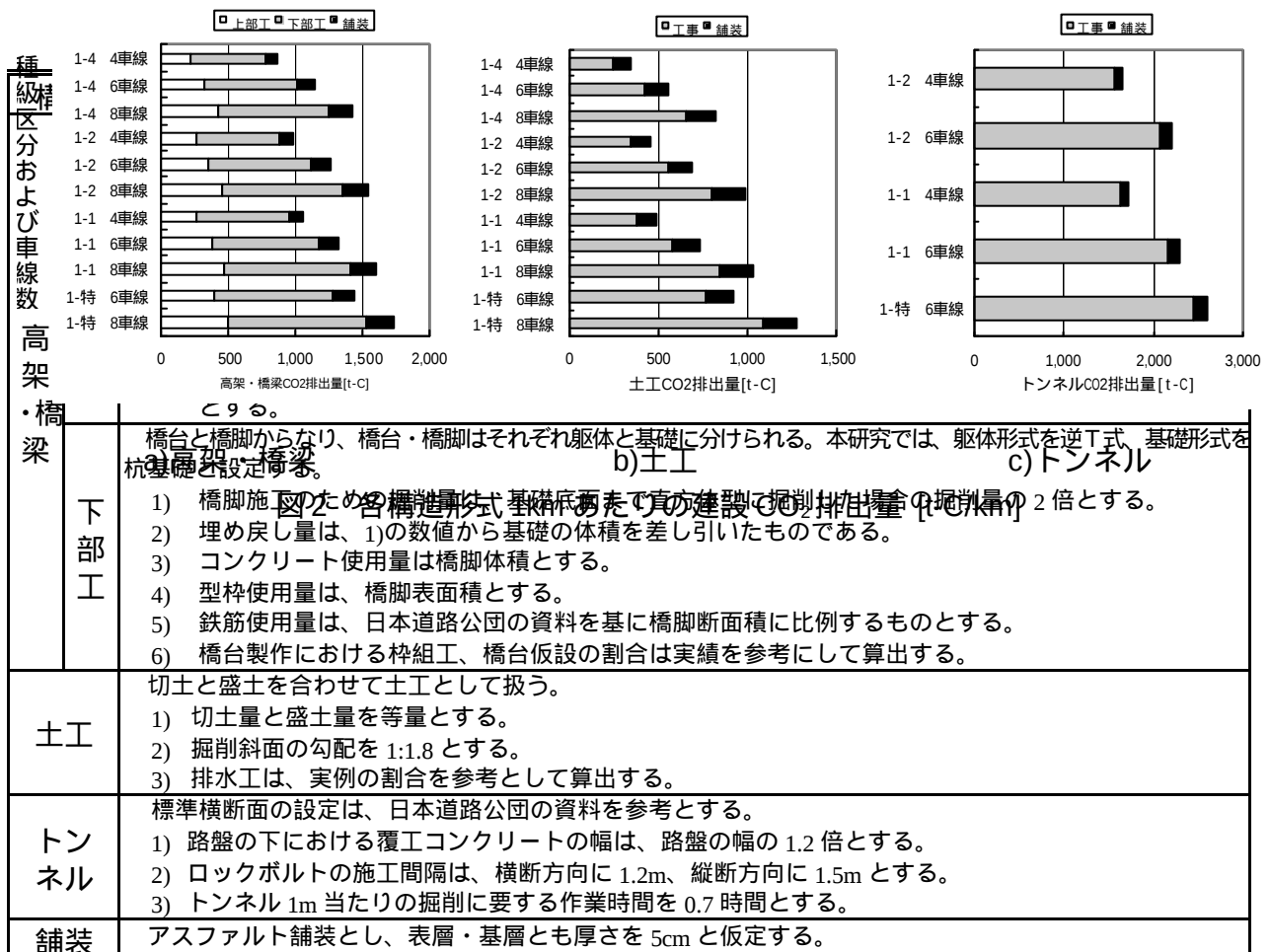
各代替案の工事費と CO₂ 排出量との関係性を評価することができる。

推計された CO₂ 排出量のオーダーをチェックすることは困難であるが、積算工事費のチェックは過去の施工実績からマクロに推計される工事費用を用いて可能であり、これによって間接的に CO₂ 排出量のオーダーを確認することができる。

算出された建設費用については、建設省中部地方建設局及び日本道路公団の資料を用いて、値のオーダーを確認している。ただし、ここで算定する建設・維持管理費には、用地費や間接工事費を含めないものとする。

道路構造物として扱う範囲は、道路を構成する高架・橋梁/土工/トンネルと、その上の舗装とする。建設による CO₂ 排出は、同一の道路構造物形式でも地形や地盤条件等によって大きな差が生じる。しかしながら、本研究ではこれらの違いについては捨象し、実際の高速道路の構造物を参考として、標準的な地形・地盤における標準構造物を想定する。そして、横断面代替案によって施工断面積や体積、投入資材の重量が変化すると仮定する。このほか、推計に際しての諸仮定を表3にまとめる。

使用した CO₂ 排出原単位は、酒井⁹⁾、鶴巻ら¹⁰⁾による、原材料の製造・運搬を考慮した内包 CO₂ 排出原単位量である。また、工事費の積算に使用する建設資材等の単価には、名古屋の1996年の値¹¹⁾を用いる。



各構造形式の代替案別の建設 CO₂ 排出量推計結果を図2に示す。この結果より以下のことが分かる。

同一の種級区分ではトンネルの CO₂ 排出量が最も多く、高架・橋梁、土工の順に小さくなる。高架・橋梁やトンネルに比べ、土工は規格が高くなることによる CO₂ 排出量の増加率が高い。これは、切土・盛土量が道路幅員の 2 乗に比例して増加する設定になっているためである。

舗装による CO₂ 排出量は、いずれの場合も建設全体の 1 割未満である。

ところで、地域・地形区分による建設 CO₂ 排出量を比較すると、土工の割合の多い平地部が最も値が小さく、高架・橋梁の多い都市部が最も大きいという結果となる。

3.2 維持管理 CO₂

道路供用後の維持管理によって生じる CO₂ については、一般的な積算例がないため、組み合わせ法により算定することが困難である。そこで、次善の方法として、日本道路公団の資料に基づき道路構造形式別・車線数別の延長 1km あたり維持管理費を算定し、その値に国立環境研究所¹²⁾による単位維持管理費あたりの CO₂ 排出原単位を乗じることによって求める。維持管理費として考慮したものは、橋梁/道路/トンネル維持費、道路清掃費、照明費、冰雪対策費、オーバーレイ費、間接経費である。トンネル維持費は換気無し/換気あり(ジェットファン)/換気あり(その他)の平均値を、冰雪対策費は普通地帯の単価を用いる。各費目で単位費用あたり CO₂ 排出原単位は当然異なってくるが、ここでは共通の原単位を使用しているため、結果として求められる CO₂ 排出量の信頼度は建設 CO₂ に比べて低くなる。

推計された 40 年間の維持管理 CO₂ を建設 CO₂ に対する比率で見ると、高架・橋梁構造では 130~170%、土工では 45~90%、トンネルでは 40~65% となった。この結果は、従来は推計例の少なかった維持管理による環境負荷発生について、道路の場合は無視できないことを示している。また、同一構造形式では、車線数や車線幅員が小さい方が、維持管理 CO₂ の比率が大きくなる傾向にある。これは、維持管理 CO₂ が車線数・幅の増加によってそれほど増加しないことによる。

4 車両走行による CO₂ 排出量の推計

4.1 推計における諸条件の設定

横断面代替案 j における、車両走行によって生じる CO₂ (式(1)の ER_j) は、以下の式(2)によって推計される。

$$ER_j = \sum_{s=1}^{8760} L \sum_{i=1}^{n_s} Q_{si} e_s(V_i^j) \quad (2)$$

ここに、

Q_{si} : 車種 s の i 番目時間交通量 [台/時]

$e_s(V_i^j)$: 横断面代替案 j の i 番目時間交通量時の走行速度 V_i^j における

車種 s の CO₂ 排出原単位 (走行あたり CO₂ 排出量) [g-C/台 km]

L : 対象区間長 (1km に設定する)

交通量の入力データは AADT で与えるが、実際の交通量は時間的にも経年的にも変動する。そこで、交通量の時間変動については、1 年間(8760 時間)の各時間交通量を多い順に並べた「時間交通量順位図」を導入することによって表現する。一方、経年的な交通量増加は各年次別の AADT の変化として表し、時間交通量順位図と車種構成比を通じて、各年次の交通量を車種別時間帯別に取扱う。

一方、CO₂ 排出原単位は走行速度の関数で表し、走行速度は Q-V 式によって交通量から算出される。横断面構成によって Q-V 式が異なるため、同一交通量であっても走行速度や CO₂ 排出原単位が変化することとなる。

以下に、(1)時間交通量順位図、(2)交通量の経年変化、(3)Q-V 式、の設定方法を述べる。

(1) 時間交通量順位図の設定

時間交通量順位図は、日本道路公団名古屋管理局管内の高速道路の年間時間交通量順位データ¹³⁾を用いて、地域・地形条件ごとに図3のように設定する。地域・地形条件別に設定するのは、一般に都市部ほど交通量のピーク率が小さく逆に山地部では大きいという特性があるためであり、時間交通量順位図の設定においては一般的な分類である。

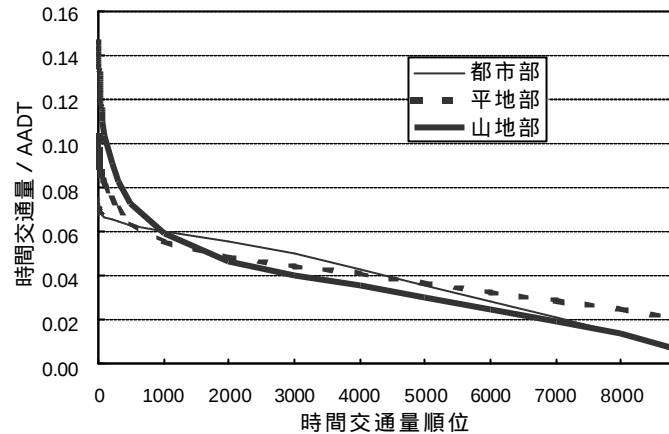


図3 設定した時間交通量順位図

(2) 交通量の経年変化の表現

本研究では、供用初年度における伸び率を2.5%と設定し、その20年後に伸び率がゼロとなるように、伸び率を一定量で逓減させる。さらに、残りの20年間は伸び率をゼロとする。

(3) Q-V 式の設定

日本道路公団名古屋管理局管内の高速道路単路部に設置されている、代表的なトラフィックカウンターの5分間交通量および平均速度データ(平成9年10月の1ヶ月分)を用いてQ-V式の設定を行う。Q-V式は、代替横断面別に、類似の横断面を持つ区間のデータを用いて与える。ただし、1種特級については、ドイツにおける規制速度無制限の場合のQ-V式¹⁴⁾を参考として設定する。

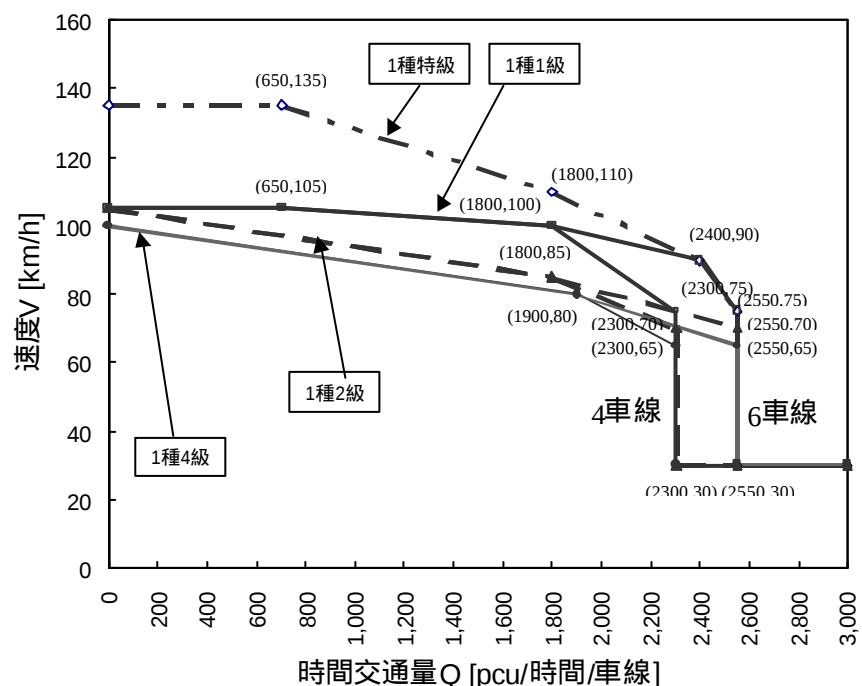
Q-V曲線の交通容量は、今回の観測データと過去の観測例¹⁵⁾を併せて考慮し、4車線道路は2,300[pcu/時/車線]、6車線道路は2,550[pcu/時/車線]と設定する。ここに、pcuとは乗用車換算台数(passenger car unit)を意味する。なお、これを超える交通量の場合には、一定速度30km/hで走行するものとする。

4.2 走行CO₂排出原単位の設定

走行CO₂排出原単位 e_s は、式(2)でも示したように、走行速度 V の関数として車種 s 別に設定する。ここではまず燃料消費量推計式を設定し、それを用いて燃料消費量を推計した後、CO₂排出量に変換する方法をとる。

(1) 燃料消費量推計式の設定

燃料消費量推計式の設定にあたっては、これまで主に渋滞域の評価を目的として作成



されてきた日本の推計式¹⁶⁾を低速側に、高速域の評価も行われているドイツの推計式¹⁷⁾を高速側にそれぞれ適用し、補正を加えた上で、表4のように車種別に設定する。いずれの車種についても、走行速度 60km/h 前後で最小値をとる。

(2) CO₂ 排出原単位への変換

CO₂ 排出原単位は、表4の燃料消費量推計式に、車種別のCO₂ 排出係数を乗じることにより求める。車種別CO₂ 排出係数は、ガソリンと軽油の燃焼に伴う1リットルあたりCO₂ 排出量を、各車種別のガソリン/ディーゼル車比率¹⁸⁾で重み付けして求める。さらに、ガソリンおよび軽油の製造・輸送時のCO₂ 排出も考慮するため、森口ら¹⁹⁾による推計値をもとに、1.09を乗じて得られた値が、表5に示される車種別のCO₂ 排出係数である。

5 横断面構成による ELC-CO₂ の評価

以上の方法により、各横断面代替案による、地域・地形条件別、AADT 別の ELC-CO₂ を算出し、さらにそれが最小となる横断面構成について検討を行うことができる。

ここではその代表例として、都市部における1種特級および1種2級の横断面代替案についての算定結果を

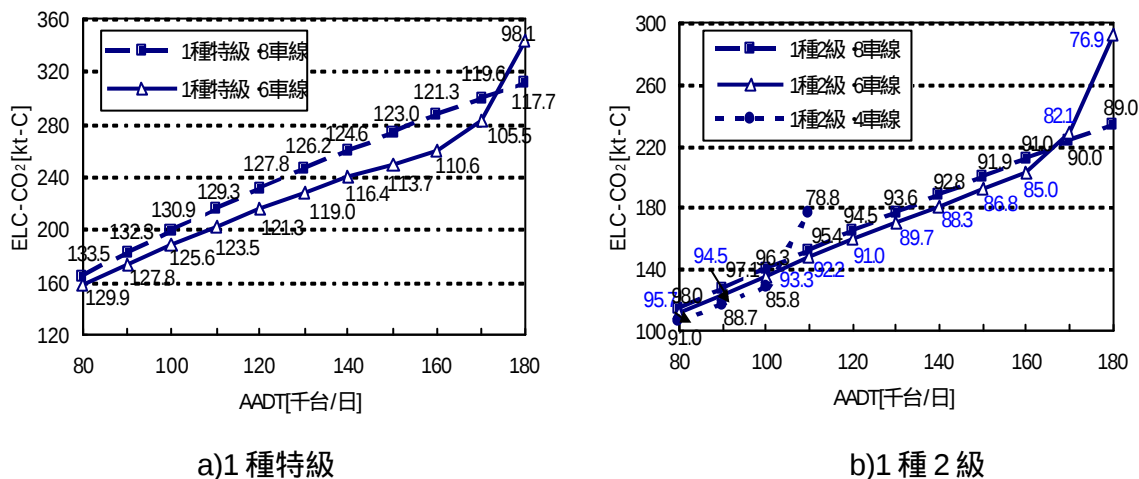


図5 AADTとELC-CO₂との関係（都市部の例）

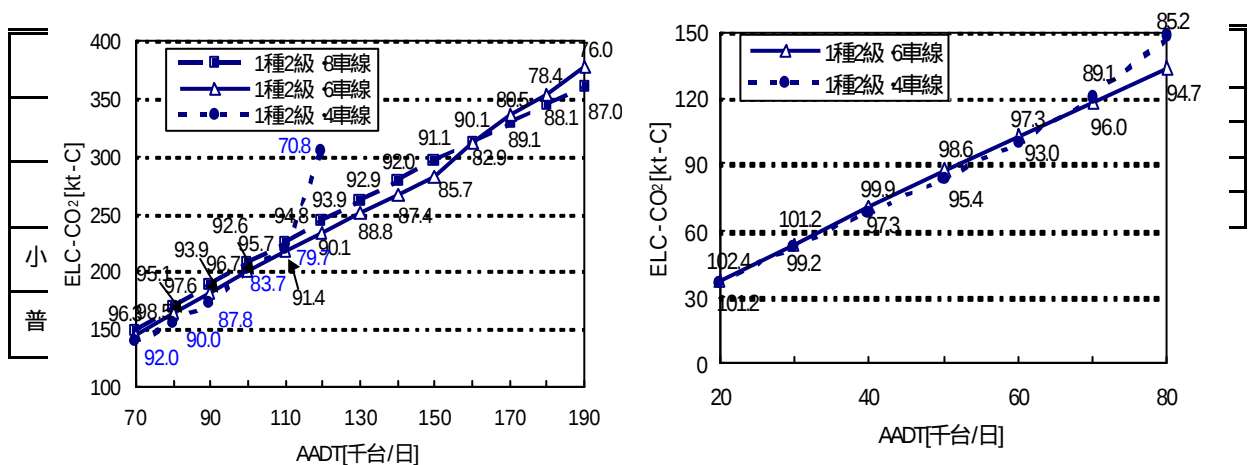


図6 AADTとELC-CO₂との関係（1種2級、平地部）

図7 AADTとELC-CO₂との関係（1種2級、山地部）

この図より、車線数が同一であっても、種級が高いほど ELC-CO₂ が大きくなっていることが分かる。これは、道路の規格が高くなると平均速度が上昇し、また、建設・維持管理の CO₂ 排出量も増加するためであり、いずれの AADT についてもあてはまる。

また、b)1種2級の例で特徴的なのが、AADT が9万台の場合は4車線横断面で最も ELC-CO₂ が小さいが、AADT=10万台付近から急速に上昇し、他の横断面より排出量が大きくなることである。これは、都市部の4車線横断面では10万台付近で交通容量を超過する交通需要の時間帯が多くなり、渋滞の発生によって走行 CO₂ 排出原単位が大きくなってしまったためである。なお、6車線横断面では AADT=17万台付近で同様の現象が発生している。このような傾向は他の種級区分や地域・地形条件でも同様に生じる。すなわち、道路の速達性や快適性などのいわゆるサービス水準はさておき、ELC-CO₂ の抑制という観点で考えれば、渋滞させてはならないものの、なるべく少ない車線数で、交通容量付近の交通状態を保つことが望ましいということが示唆される。

一方、図6および図7は、それぞれ平地部および山地部における1種2級の横断面代替案について ELC-CO₂ を算定した結果を示したものである。これらと図5b)の都市部の算定結果を比較することにより、地域・地形条件の違いの検討が可能である。これらの結果から、平地部や山地部では都市部よりも大型車混入率が高く、また交通需要のピーク特性が大きいため、同じ AADT でも都市部よりも ELC-CO₂ は大きくなる傾向にある。また、平地部、山地部となるにつれて、同じ AADT でも渋滞時間が多くなるため、ELC-CO₂ を最小とする車線数が増加する傾向にあることも分かる。

なお、ELC-CO₂ のうち走行 CO₂ が占める割合は、図5の例で AADT=10万台の場合、98~99%となり、ELC-CO₂ の違いは走行 CO₂ によってほぼ決定されている。すなわち、4車線以上の道路構造代替案では、建設・維持管理 CO₂ の違いはほとんど影響を与えないことが分かった。ただし、交通需要が少ないほど建設・維持管理 CO₂ の割合は増加する傾向にあり、例えば都市部における1種2級4車線横断面の場合、AADT=2万台では、ELC-CO₂ に占める走行 CO₂ の割合は92.9%まで低下する。

6 結論と今後の課題

本研究では、道路横断面構成の相違による CO₂ 排出の違いを包括的に把握するために、道路建設・維持管理による LC-CO₂ と走行車両の燃料消費による CO₂ の両者を、道路のライフサイクル全体で合計した ELC-CO₂ を用いて評価する方法を構築した。この中で、40年間の維持管理による CO₂ 排出量は、建設 CO₂ と比較して無視できないレベルであることが明らかとなった。

さらに、本手法を用いて、地域・地形条件や交通量の相違による横断面構成の評価を ELC-CO₂ 排出量の観点から行った。その結果、本研究で検討した、4・6・8車線の選択のような交通需要の多いケースでは、ELC-CO₂ のほとんどが走行 CO₂ で占められることが分かった。また、高規格の道路では走行速度が上昇するために走行 CO₂ が必然的に大きくなることや、渋滞させてはならないものの交通容量付近の交通状態で運用されるのが望ましいことが明らかとなった。交通容量付近の交通状態とは、車線変更などの自由は著しく拘束され、走行 CO₂ が最も少ない 60~80km/h 程度の速度でほぼ全車両が整然と追従走行している状態である。このような走行状態は、現在検討が進められている高速道路における自動運転システム(AHS)により実現することも可能である。

実際に道路横断面構成の設計は、走行車両に対するサービス水準の観点から、ある程度自由に走行できるように余裕をもたせており、本研究で得られた ELC-CO₂ の観点からの結論とは乖離がある。このため、道路のサービス水準や、供用によって生じる純便益、そして NO_x 等の局地環境負荷を同時に推計し、環境負荷と合わせた横断面構成の評価を行う方法論の構築を行う必要がある。CO₂ 以外の環境負荷や純便益の算定については、本研究と全く同様の方法で、CO₂ 排出原単位を他の原単位に置き換えることによって可能である。

したがって、これらの評価指標をいかに総合評価するかが大きな課題となる。

本研究の試算例では、道路横断面代替案として4車線以上のものを扱ってきた。交通需要が少ない路線においては、代替案として、2車線と4車線、あるいはドイツ等で例が見られる3車線など中間的な幅員をもつ横断面構成についても検討する必要がある。しかし、2車線・3車線の場合、日本の高速道路におけるQ-V曲線計測例がほとんど存在していないため今回は扱っていない。今後はこれに関しても検討を行う必要がある。この場合、建設・維持管理CO₂の割合が増加するため、交通需要が多い場合に比べてELC-CO₂による評価がいっそう意味を持つようになってくると考えられる。

また、試算においては、標準的な地形・地盤における標準構造物を想定しており、試算結果はあくまで仮想的な条件下でのものである。実際の道路幾何構造設計の局面では、より詳細な設計仕様を考慮する必要があるのはもちろんのこと、地形・地盤条件や構造物の種類・材料の違いによるELC-CO₂の変化についても検討する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、資料を提供いただいた日本道路公団名古屋管理局・同建設局の関係各位に謝意を表す。また本研究は、文部省科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))の補助を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 岩淵省、中嶋芳紀、松本亨、井村秀文：道路整備のライフサイクルアセスメントに関する研究、土木学会第51回年次学術講演会、pp.494～pp.495、1996.9.
- 2) 牧田和也、天野耕二、宮崎元紀：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、土木学会第52回年次学術講演会、pp.114～pp.115、1997.9.
- 3) 林良嗣、京谷孝史、加藤博和、中島義人：環境負荷および周辺空間への影響を考慮した交通社会資本整備における地下空間利用価値の定量的評価、地下空間シンポジウム論文・報告集 第1巻、pp.45-54、1995.12.
- 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 Vol.24、pp.282-293、1996.10.
- 5) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用、1983.2.
- 6) Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Querschnitte, RAS-Q, 1996.
- 7) 建設省道路局：高速道路便覧、1997.
- 8) 日本道路公団名古屋管理局：東海北陸自動車道 尾西高架橋工事 数量総括表、1990.3.
- 9) 酒井寛二：土木建設物の二酸化炭素排出量原単位の推定、土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集、pp.43-48、1996.7.
- 10) 鶴巻峰夫、野池達也：LCAにおける多項目環境負荷量の定量化に関する研究、環境システム研究 Vol. 25、pp.217-227、1997.10.
- 11) (財)建設物価調査会：月刊-建設物価 1998年1月版
- 12) 環境庁国立環境研究所：産業連関表による二酸化炭素排出原単位、1997.3.
- 13) 日本道路公団名古屋管理局：名古屋管理局内交通統計等作成報告書、1997.3.
- 14) Brilon, Großmann, Blanke: „Deutsches HCM“, Entwurf eines Handbuchs- Teil A, 1993.
- 15) 日本道路協会：道路の交通容量、1984.9.
- 16) 東京都環境保全局：車種別速度別排出係数，都内自動車走行量及び自動車排出ガス量算出調査報告書，1996.3.
- 17) Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen：Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen,

EWS , Ausgabe 1997.

- 18) 自動車検査登録協力会：自動車保有車両数、1996.
- 19) 森口祐一、近藤美則、清水浩、石谷久：自動車による CO₂ 排出のライフサイクル分析、エネルギー・資源学会第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集、1993.