

高速道路横断面構成のライフサイクル評価 A Life Cycle Assessment of Cross-sectional Structure of Motorways

中村英樹*・加藤博和**・二村 達***・劉 俊晟****
by Hideki NAKAMURA, Hirokazu KATO, Toru FUTAMURA, Shunsei RYU

1. はじめに

道路の横断面構成や平面・縦断線形などの幾何構造は、a)道路の建設・維持管理費用、b)走行車両へのサービス水準、c)道路利用者の走行費用や時間短縮等の便益、d)建設・維持管理や供用後の交通流によるエネルギー消費・環境負荷発生量、を直接的に規定する要素である。幾何構造のうち、本研究で着目する横断面構成の場合には、その決定プロセスにおいて「サービス水準」をいかに設定するかが重要な位置を占めている。これに関する各国の考え方の違いについては、著者らが既報¹⁾で整理している。一方、今後わが国の高速道路建設は列島横断方向の路線が主体となることや、財政・環境上の制約が以前に増して厳しくなっていることから、サービス水準の設定には、これらに対しても適切に配慮した設定方法が求められている。

道路横断面を評価する1つのアプローチとして、英国の COBA²⁾やドイツの EWS³⁾など、ライフサイクルにわたる費用(Life Cycle Cost : LCC)を用いる方法がある。また、環境科学の分野においても、人間活動による環境負荷の評価手法として、ライフサイクルアセスメント(LCA)の考え方が注目されている。

そこで本研究では、高速道路を対象としてその横断面構成による LCC とライフサイクル CO₂(LC-CO₂)を推計する手法を構築し、これを用いて、それぞれが最小となる横断面構成を、地形・地域条件や AADT に応じて選定する。さらに、サービス水準の指標として交通量-交通容量比(v/c)を取り上げ、選定された横断面構成によって実現される値と、既往の手法によって設定される値との違いを考察する。

なお、LC-CO₂の算定とそれによる横断面構成の評価については別稿⁴⁾に譲り、本稿では特に LCC に着目した考察を行う。

keywords: 交通流、交通容量、道路幾何構造、道路計画

* 正会員 工博 名古屋大学大学院助教授 地圏環境工学専攻
〒464-8603 名古屋千種区不老町
TEL: 052-789-2771, FAX: 052-789-3837

** 正会員 博(工) 名古屋大学大学院助手 地圏環境工学専攻

*** 正会員 修(工) (株)オリエンタルコンサルタンツ

**** 学生会員 工修 名古屋大学大学院 博士後期課程

2. 横断面構成のライフサイクル評価手法

(1)評価手法の考え方

本研究で構築し横断面代替案の評価に使用する手法の全体構成は、図1に示すとおりである。ここで入力される条件は、①評価対象である横断面代替案、②地域・地形条件、および③AADT である。一方、評価指標である LCC と LC-CO₂ は、評価期間にわたる道路の建設・維持管理によるもの(狭義の LCC, LC-CO₂)と、道路走行車両によるものの両方を合わせた、いわば高速道路の「拡張された(Extended)ライフサイクル」全体で推計を行う。

①～③の各入力条件は、図1の各種変数を通して、LCC と LC-CO₂ に影響を及ぼす。まず、①横断面代替案別に建設・維持管理の部分が変化する。また、時間交通量～速度(Q-V)関係も異なるため、同じ交通量でも走行速度や燃費に違いが生じ、結果的に走行の部分に影響を及ぼす。

②地域・地形条件は、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。地域・地形条件により道路構造形式の延長比率や、供用後の交通量の変動特性・車種構成比率が異なり、それぞれ建設・維持管理の部分と走行に伴う部分に影響を及ぼすこととなる。

同地域・地形条件の場合、LCC や LC-CO₂ が最小となる横断面代替案は、③AADT によって異なってくる。例えば、LCC を評価指標とした場合、AADT が比較的小さい場合には、車線数の少ない横断面代替案が建設・維持管理費用が小さいため有利となるが、AADT があるレベルを越えると、この代替案では走行性が著しく低下し、走行費用が急激に増加するため不利となる。

(2)評価条件の設定

(a) 評価期間・基準年次

評価期間として、建設開始から高速道路の耐用年数とされる供用後40年までの期間を考える。また、費用計測の基準年次は平成8年(1996年)とし、評価期間の費用はすべて割引率(4%)を用いて基準年

次の価値に換算する。

(b)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横断面構成要素の基準値と、既存の高速道路区間における横断面構成の実例を参考に、高架・橋梁／土工／トンネルの道路構造形式ごとに設定する(表 1)。代替案のうち設計速度 140[km/h]の横断面は、ドイツの道路横断面構造基準 RAS-Q(1996)⁹⁾や、第二東名・名神高速道路の設計諸元を参考として独自に設定し、「1 種特級」と称する。なお、各種級ごとに幅員を一定とし、車線数のみ変化させる。

(c)地形条件別の構造形式延長比率

既存の高速道路を参考に、地域・地形条件別の各構造形式延長比率⁷⁾を表 2 のように設定する。

(d)時間交通量順位図

交通量変動特性や車種構成比率は地域・地形条件と関連性があるため、これらの条件別に時間交通量順位図を与えることでその相違を表現する。これらは、日本道路公団管内の高速道路における年間時間交通量順位データ⁸⁾を用いて設定する。

(e)交通量の経年変化

交通量の経年変化は、供用初年度における伸び率を 2.5%と設定し、20 年後に伸び率がゼロとなるように、伸び率を一定量で低減させる。さらに残りの 20 年間は伸び率をゼロと仮定する。

(f)Q-V 曲線

日本道路公団管内の高速道路単路部に設置されているトラフィックカウンターの 5 分間交通量及び平均速度データ(平成 9 年 10 月)から、横断面代替案別に Q-V 曲線を設定する(図 2)。なお、1 種特級はドイツにおける規制速度無制限の場合の Q-V 式⁹⁾を参考とする。交通容量は上記の観測データと過去の観測例¹⁰⁾を考慮し、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。

(3)LCC 及び LC-CO₂の推計

(a)建設・維持管理費用

建設費用は、高速道路の設計・工事実績を参考に、標準的な地形・地盤における構造物を想定し、積算及び過去の実績から直接工事費を推計する⁴⁾。

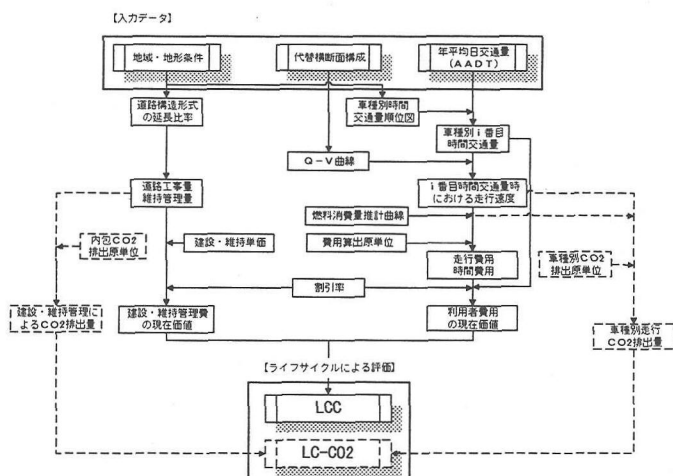


図 1 道路横断面構成のライフサイクル評価の全体構成

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

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

なお、用地・補償費は考慮しない。また、維持管理費用は日本道路公団の資料に基づいて道路構造形式別に算出する。

(b)利用者費用

利用者費用として、走行費用及び時間費用を取り上げる。走行費用は、燃料費、油脂費を対象とする。なお、タイヤ・チューブ費、車両整備費、車両償却費は横断面代替案間で差が生じないと考えられるため除外する。また交通事故費用は、横断面構成

の違いによるデータ不足のため考慮しない。

①走行費用：燃料費は、日本¹¹⁾・ドイツ³⁾の推計式から設定した速度－車種別燃料消費曲線(図3)に、各車種別のガソリン／ディーゼル車比率で重み付けした燃料単価(表3)を乗じて求める。また、油脂費は、燃料費に油脂費係数¹²⁾(表3)を乗じて求める。

②時間費用：Q-V 曲線から求めた旅行速度により旅行時間を算出し、これに建設省の平成8年車種別時間価値原単位¹²⁾(表3)を乗じて算出する。

(c)CO₂ 排出量

CO₂ 排出量は、著者らが既報⁴⁾で示した方法により、道路自体の建設・維持管理活動とそれによって間接的に発生する CO₂ に加え、車両走行により発生する CO₂ を合わせた排出量を推計する。

3. LCC 最小からみた最適横断面構成とサービス水準

以上のような横断面構成の LCC, LC-CO₂ 推計手法を用いて、ここでは次の2つの観点から考察を行う。すなわち、(1)あるAADTにおけるLCC最小の横断面構成、(2)LCC 最小で評価した最適車線数とAADTとの関係、である。

(1) LCC 最小の横断面構成

図4は、AADTと6車線各代替案横断面のLCCの関係(平地部)を示したものであるが、同一のAADTで横断面の規格が高くなるほどLCCが小さくなっている。また図5は、今回設定した全代替横断面について、AADTが88,000台のときのLCCとその内訳を示したものである。同一車線数で比較すると、建設・維持管理費用については、高規格な横断面ほど大きくなるが、利用者費用の部分では逆に小さくなっていることがわかる。一般に高速域では速度の上昇に伴い走行費用も増大するが、その増加分よりも所要時間の短縮による時間費用節約効果の方がはるかに大きい。このため、40年間にわたり利用者費用が積み重ねられると、高規格な横断面の方が有利となるのである。このように、少なくとも道路管理者と利用者の直接費用の観点からは、長期的には高規格な横断面構成が望ましいこととなる。なお、LC-CO₂については、自由流領域においては逆に規格の高い横断面ほど排出量が多くなる⁴⁾。

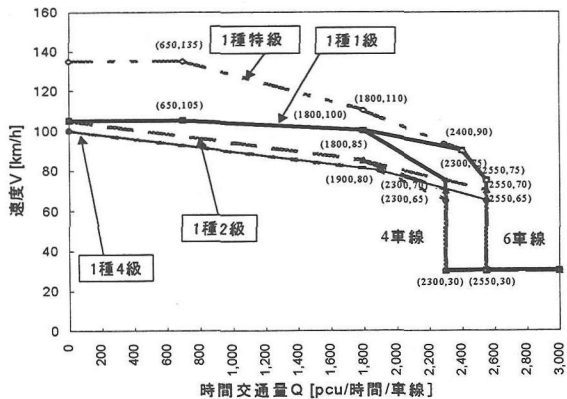


図2 種級区別・車線数別 Q-V 関係

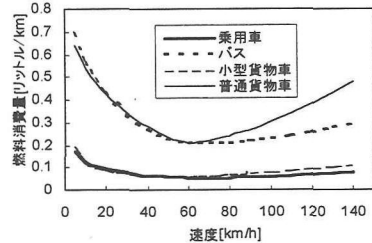


図3 車種別燃料消費量推計曲線

表3 燃料単価(税抜き)・油脂費係数及び時間価値原単位 (平成8年)

車種	燃料単価 [円/ℓ]	油脂費係数 [円/円]	時間価値原単位 [円/分・台]
乗用車	51.74	0.052	54.25
小型貨物車	50.51	0.045	41.88
普通貨物車	49.70	0.035	56.07
バス	49.70	0.035	289.08

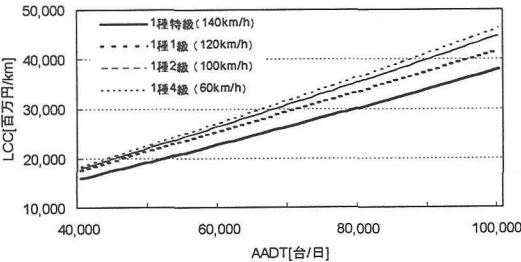


図4 AADT と LCC の関係(平地部)

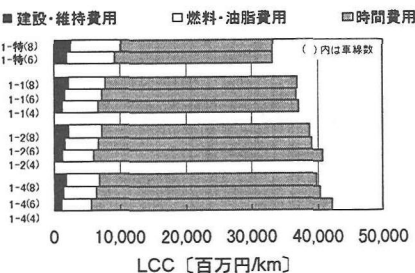


図5 代替横断面別 LCC とその内訳(AADT=88,000 台/日)

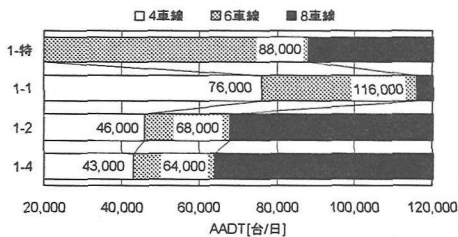


図6 AADT と LCC 最小車線数の関係(平地部)

(2)AADT と LCC 最小車線数の関係

同一規格(種級区分)での各車線数の LCC の大小関係は、AADT により異なってくる。図 6 は、LCC 最小の観点から見た最適車線数と AADT との関係を示し、平地部を例として示したものである。ここで、1 種特級については、4 車線の代替横断面を設定していない。また、表 4 は、必要車線数が変化する AADT のときのサービス水準を表す指標として、時間交通量－交通容量比(v/c)を示したものである。これらから、1 種 4 級から 1 種 1 級までは、規格が上がるにつれて、必要車線数が変化する AADT およびそのときの v/c が増加する傾向が見られる。

これは、車線増による建設・維持管理費用増と時間費用節約との大小関係により決まる。すなわち、規格が低い場合には車線増による建設・維持管理費用の増加が、混雑時間費用減よりも小さいために、低い AADT で車線数が増加することとなるのである。この結果は、高規格な道路ほど上質なサービスを提供するという一般の考え方と相反している。

また、1 種特級では、AADT=88,000 台で 6 車線から 8 車線へと移行している。これは、図 2 からわかるように、1 種特級の自由流領域での走行速度が、約 80km/h～約 140km/h と時間交通量により大きく異なり、車線増により時間費用が飛躍的に節減されるためである。

また、LC-CO₂ の観点からは、渋滞流領域に入る直前の状態(v/c≒1.0)で車線数を増やすことが望ましいという結果が得られている⁴⁾。

4. まとめと今後の課題

本研究では、高速道路の横断面構成を対象として、LCC と LC-CO₂ を推計する手法を構築し、これらの観点から最適な横断面構成や車線数を評価するとともに、サービス水準の一つの指標である v/c の

表 4 LCC 評価による v/c の算出値と
現行値との比較 (平地部の例)

種級区分	設計速度 [km/h]	車線数	AADT [台/日]	v/c	
				LCC 評価	現行道路構造令
1-特	140	6	88,000	0.80	0.75 (計画水準 1)
1-1	120	6	116,000	1.00	
		4	76,000	1.00	
1-2	100	6	68,000	0.62	
		4	46,000	0.69	
1-4	60	6	64,000	0.58	
		4	43,000	0.65	

算出を行った。その結果、規格の高い道路ほど LCC が小さくなり、これは LC-CO₂ の観点から見た場合と全く逆の傾向となることがわかった。さらに、LCC 最小の観点で道路横断面を評価すると、規格が上がるにしたがって v/c も上昇し、サービスが低下する場合もあることがわかった。

本手法による評価は、LCC の大部分を占める時間費用により特に大きく左右されるため、Q-V 曲線の設定が非常に重要であり、その精度の向上を図ることが必要である。また、車両の移動の自由度など、道路が本来提供すべき走行性に関するサービスからの評価も必要であるため、今後はこれを表現する適切な交通工学的指標を検討する。そして、これを含めた総合的な評価を行い、合理的なサービス水準の設定を目指す。

本研究を進めるにあたり、貴重な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) 中村・二村・劉：多車線道路単路部における車線数決定要因に関する国際比較分析，第 18 回交通工学研究発表会論文報告集，1998。
- 2) 中村：英国における道路横断面の決定方法，高速道路と自動車，第 36 巻，第 7 号，pp.29～pp.36, 1993.7。
- 3) FGSV: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen, EWS, 1997。
- 4) 中村・加藤・丸田・二村：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，土木学会環境システム研究，No.26, 1998。
- 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：名古屋管理局内交通統計等作成報告書，1997.3。
- 9) Brilon, Großmann, Blanke: "Deutsches HCM", Entwurf eines Handbuchs- Teil A, 1993。
- 10) 日本道路協会：道路の交通容量，1984.9。
- 11) 建設省道路局・三菱総合研究所：道路整備による効果の推計に関する調査報告書，1992.3。
- 12) 建設省道路局企画課道路経済調査室：道路投資の効果分析手法の検討，1996。