

性能照査型道路計画設計に基づく多車線高速道路の登坂車線の設計概念*

Climbing Lane Design Concept for Multilane Highways Based on Performance-Oriented Highway Planning and Design*

洪性俊**・大口敬***

By Sungjoon HONG**・Takashi OGUCHI***

1. はじめに

道路は同じ設計速度区間において同一の走行状態が得られるように設計されなければならない¹⁾。そのため、道路構造令は上り坂においてトラックのような低速車両による交通パフォーマンスの低下を防ぐために、また、高速車両への追越機会を与えることによって事故発生を抑えるために登坂車線の設置基準を設けている。ところが、その設置基準は設計車両（最大積載時の出力重量比 10PS/t のトラック。以下、同様）の登坂性能に大きく依存しており、現行の設計基準によって実際に同一の走行状態が得られるか疑問である。また、一律に定められた設計基準は道路の交通サービスの質を重視する近年の道路設計概念（性能照査型道路計画設計）²⁾にも対応できない。

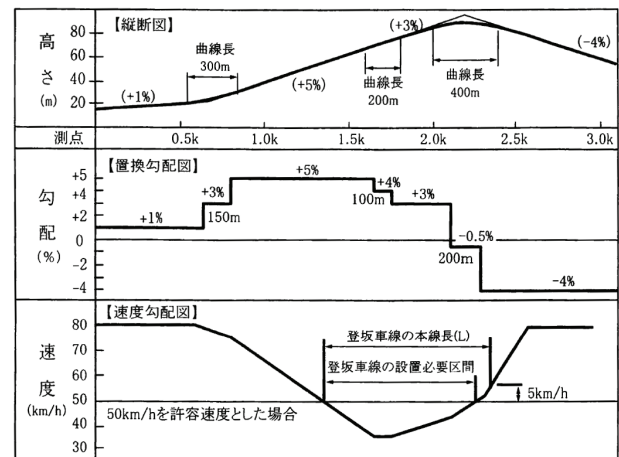
本稿では性能照査型道路計画設計を想定した登坂車線の新たな設計基準の概念について考察することを目的とする。そのために、まずは現行の設計基準（道路構造令）および海外の事例について考察を行い、現行の問題に基づいて新たな設計概念を提示する。ただし、本稿では多車線高速道路を対象とする。

2. 登坂車線の設計基準と海外の事例

(1) 道路構造令による設置要件と設計手法

「道路構造令の解説と運用」¹⁾（以下、道路構造令）には設計速度別に最大縦断勾配の規定値および特例値が定められており、特例値適用時における勾配別最大勾配長が同時に定められている。登坂車線は、その特例値が適用された場合に容量の低下等を考慮し必要に応じて設置するものとなっており、特に勾配長が最大勾配長以上の場合、すなわち、設計車両の速度が設計速度の 1/2 として定められる許容速度以下まで低下す

ると予想される場合に設置するものとなっている。登坂車線の設置場所は、設計車両の速度が許容速度以下になる区間として定められ、その区間は設計車両の登坂性能曲線に基づいて作成した速度勾配図で決定する（図-1）。



出典：道路構造令の解説と運用¹⁾

図-1 道路構造令による登坂車線区間
(設計速度 100km/h の場合の速度勾配図)

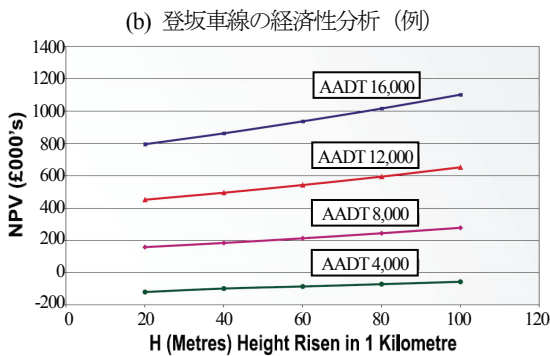
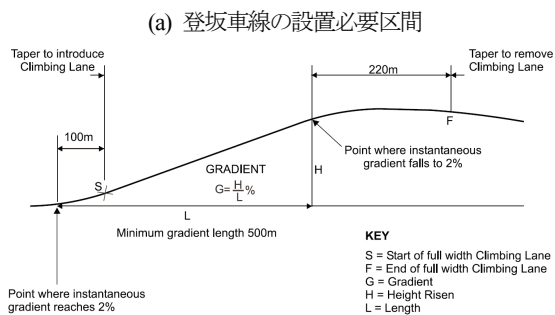
(2) イギリス

イギリスの登坂車線設計基準は DMRB³⁾によって定められている。基本的に、中央分離帯で両方向が分離された道路は「縦断勾配3%以上+勾配長 500 m 以上」を満足する必要がある（分離されていない道路は「2%+500m」）。登坂車線区間は、図-2(a)に示すように定められるが、終点部は低速車両が安全に合流できるように、また合流によって渋滞が生じないように必要に応じて延長すべきであると明記されている。ただし、実際に登坂車線を設置するかは経済性分析の結果、便益が費用を上回る場合に限定される（分析の例を図-2(b)に示す）。この経済性分析における考慮事項としてはAADT、大型車混入率、縦断勾配、事故発生率、建設費用等がある。イギリスにおける登坂車線は外側走行車線の延長として考えられ、実質的には内側に高速車両のための追越車線を付加する概念となっている。

*キーワード：登坂車線、性能照査型道路計画設計

**正員，博(工)，東京大学生産技術研究所（東京都目黒区駒場4-6-1, TEL: 03-5452-6098 (内線 58171), Email: mrhong@iis.u-tokyo.ac.jp

***正員，博(工)，首都大学東京都市環境科学研究科



出典：Design Manual for Roads and Bridges³⁾

図-2 イギリスの道路設計マニュアルによる登坂車線設計基準

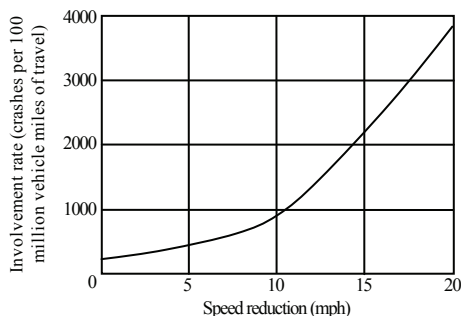
(3) アメリカ

アメリカでは道路設計マニュアルとして AASHTO 「Green Book⁴⁾」 が用いられており、登坂車線に関する設計基準もそこに定められている。勾配長が最大勾配長より長い場合に登坂車線の設置が検討されるという Green Book の基準は道路構造令と同様である。日本で道路構造令が導入された当時（1970年）のアメリカでは、①トラックの速度低下 > 15 mph（すなわち、勾配長 > 最大勾配長）、②当該勾配における計画交通量 > 交通容量、という登坂車線設置要件を設けており⁵⁾、容量ベースの設計手法であったといえる。

ところが、Polus ら⁶⁾は AASHTO の設置要件②における交通容量の代わりに、サービスレベル（以下、LOS）を考慮したサービス交通量を利用すべきと主張した。Green Book にもこのような概念が導入され、かつ、トラックの速度低下量とトラックによる事故発生率との関係（図-3）から AASHTO の設置要件①における値を 10 mph に変更した（最大勾配長規定の変更も同様に行われた⁴⁾。このような Green Book による登坂車線設置要件は以下の3点である。

- ① 交通量 200 vph 以上
- ② トラック交通量 20 vph 以上
- ③ 次の3点のうち1点以上満足
 - ・ 大型車の速度低下 10 mph 以上
 - ・ LOS E または F の場合
 - ・ LOS が 2 段階以上低下

なお、設置必要区間はトラック速度が 10 mph 以上低下する区間である。

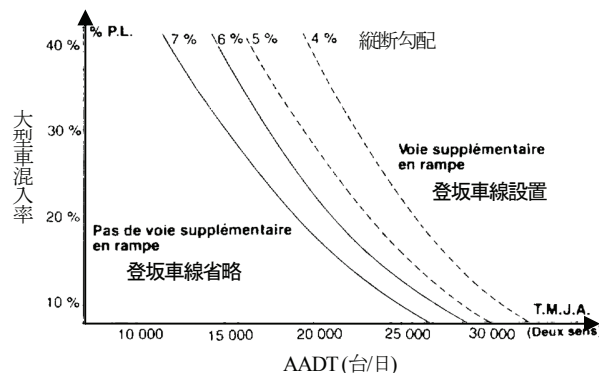


出典：A Policy on Geometric Design of Highways and Streets⁴⁾

図-3 トラックの速度低下量とトラックによる事故発生率との関係

(4) フランス

フランスの登坂車線設計基準は ICTAAL⁷⁾によって定められており、低速車両の速度が 50 km/h を下回る区間を検討対象区間としている。ただし、設置要件としては、縦断勾配、交通量、大型車混入率、経済性との関係から図4のような具体的基準を設けている。



出典：Implantation des Voies Supplémentaires en Rampes sur Infrastructures à 2 X 2 Voies⁸⁾

図-4 AADT、大型車混入率、縦断勾配による登坂車線設置要件の例（勾配長 < 500m の場合）

3. 各国の設計マニュアルに関する考察

(1) 経済性の検討

その手法においては経済的な観点から3つの思想があると考えられる。1つ目は道路構造令¹⁾のように当該区間における交通性能の低下をある範囲まで許容することで経済性を確保する思想である。同マニュアルでは設計車両の速度低下を一定速度（許容速度、設計速度の 1/2）以下になるまで登坂車線の設置を控え、経済性を確保する。問題は、登坂車線の経済性と直接的な関係を持つ交通量のような交通条件を考慮しないため、地方部のように交通量が少ない、あるいは大型車

の少ない道路においても機械的に登坂車線を計画することである。これは登坂車線の設置工事費の増加のみならず、場合によっては道路線形の見直しの原因ともなり得る。または、交通性能低下の許容範囲の不適切な設定によって、実際は設置が必要なケースにも検討されない可能性もある。2つ目は、経済性の確保を条件で登坂車線の設置を決定する思想であり、イギリスとフランスの基準がここに該当する。3つ目は、経済性よりは当該区間における交通性能の低下を優先的に考慮する思想である。ここにはAASHTO Green Book⁴⁾が該当する。この設計基準では、LOS概念を用い、必ずしも経済性が確保されなくても、最小限の交通量および大型車交通量の基準と、LOSの2段階低下という要件を満たせば、全区間におけるLOSの観点から登坂車線を設置することになる。ただし、登坂車線の設置が決定された場合の設計基準(トラック速度が10mph以上低下する区間に設置)と、LOS概念による設置要件には乖離が生じる。

(2) 交通流への影響の検討

登坂車線設計の基本的な考え方は当該区間の交通流への影響を最小限にすることである。しかし、道路構造令とフランスのマニュアルにより実際に適用される設計基準は、設計車両の速度低下のみに焦点が当てられている。この場合、全ての設計車両が登坂車線を利用するとしても登坂車線の始点・終点部(特に、合流が行われる終点部)では乗用車との大きな速度差によって交通流への影響は大きいと考えられる。また、大型車は積載状態によって登坂性能のばらつきが大きいと考えられ、低速車両が更に低速の他車両を追い越そうとする運転挙動、このような低速車両を追い越そうとする高速車両の運転挙動による容量の低下は、大型車換算係数を用いるAASHTO Green Book⁴⁾の方式でも評価できない。

(3) 大型車の走行性能

道路構造令における設計車両は最大積載時における10PS/tの普通トラックであるが¹⁾、その基準は1970年に定められたままである。しかし、近年の大型車の走行性能は大幅に向上しているため、速度勾配図の作成に必要な登坂性能曲線も改正されなければならない。また、前述のように大型車は積載状態によって登坂性能に大きなばらつきがあるため、一律的な登坂性能曲線を用いることも問題であると考えられる。しかしながら、道路上を走行する大型車の積載状況を知ることが簡単ではない。

4. 新たな登坂車線設計基準に関する考察

性能照査型道路計画設計とは、実現すると予想される交通性能を道路計画段階で推定し、当該道路の目的・機能に応じて定められたLOS目標値をみたく照査してその結果を設計に反映する設計手法である⁹⁾。LOS目標値のみを考えれば経済的でないかも知れない。しかし、この設計手法ではある道路ネットワークにおいて各々の道路が持つべき目的と機能を考慮して各リンクのLOS目標値を定めるため、一部区間(例えば、登坂車線設置区間)の経済性は良くなくても、リンク全体、道路ネットワーク全体からは見た場合は有効であると考えられる。

この手法に対応するためには、与えられた交通状態における全車両の交通性能低下の推定手法と、サービスレベル別の確保すべき交通性能の規定値、これに伴う具体的な登坂車線必要区間の決め方が必要である。

高速道路のような幹線道路では道路の通行性能が最も重要であるため、サービスレベルの評価指標としては速度が考えられる。すなわち、ある高速道路における提供すべき交通サービスレベルの目標値としては速度をLOS別に設定し、当該区間における速度の空間変動を調べて速度がその基準値以下になる区間があるかを照査して道路計画設計の見直しを行う。このような過程において速度低下の原因が上り坂である場合に登坂車線を検討すればよい。このような概念を図式化すると図-5のようになる。その後、登坂車線を適用した場合の速度の空間変動を再び調べ、サービス目標値が確保されるまで修正・照査を繰り返す。

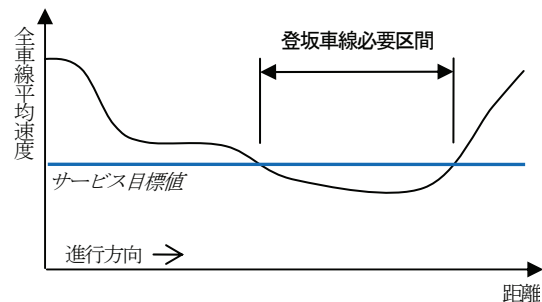


図-5 登坂車線設置必要区間の新たな決定手法

速度の空間変動としては現行の道路構造令のような大型車の速度ではなく、与えられる交通量、大型車混入率、線形条件から予想される全車線平均速度の空間変動を利用する。この全車線平均速度の変動が与えられた条件において適切な手法および高い精度で推定されるものであれば、これは上り坂における大型車の交通流への影響が正しく反映されたものとみなすことができると考えられる。したがって、以上の手法を利用すれば第3章2節で述べた問題は解決できると考えられる。また、第3章3節で述べた設計車両に関する問

題は、実データの統計的分析に基づく速度推定式のパラメータの設定による現実的な速度推定で解決できると考えられる。

このような速度の空間変動の推定手法については洪・大口¹⁰⁾の例が挙げられる。この手法とは、単に一方方向の断面交通量（例えば、計画交通量）から直接その区間の平均速度を推定するのではなく、①一方方向の断面交通量と大型車混入率から車種別車線利用率（車種別交通量の車線分布）を推定し、②平面・縦断線形条件、車線交通量と大型車混入率から各車線の平均速度を推定して、それらの重み付き平均からその断面の平均速度を推定することである。その例を図-6に示す。

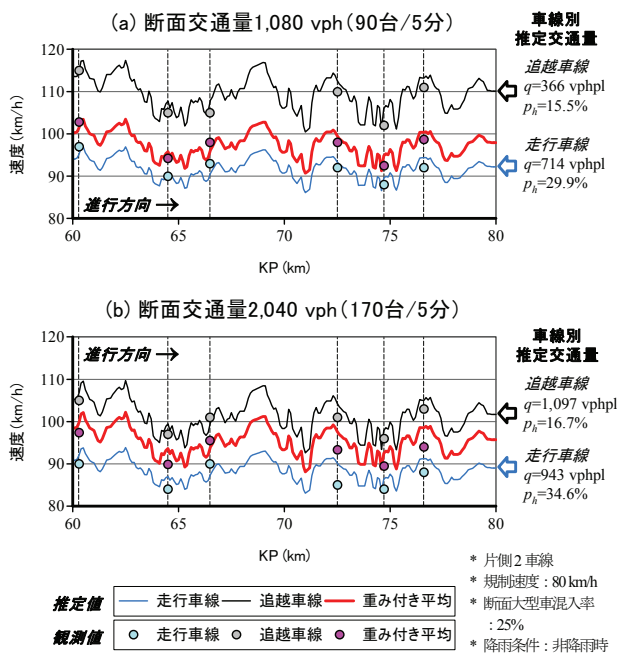


図-6 洪・大口¹⁰⁾による速度空間変動推定の例
(東名高速道路, 下り方向・左ルート)

洪・大口による車線利用率の推定式はまだ勾配の影響を考慮するまで至っていないため、図-6には多少の誤差が存在する。しかし、推定速度の空間変動パターンは概ね実際の変動パターンを再現しているものと考えられ、以上の手法は本稿で考察している新たな登坂車線設計手法として利用できるものと考えられる。このとき、考慮すべき事項を次のようにまとめる。

- ① 与えられる交通量, 大型車交通量(大型車混入率), 車線数等と縦断勾配を考慮した車種別車線利用率の推定モデルが必要である。登坂車線がある場合も対象にしなければならない。
- ② 速度推定式には縦断勾配と車線変更特性との関係とその交通流への影響を調べて反映させる。
- ③ 登坂車線の終点側における合流(車線数減少)による交通流への影響を考慮する。

④ 車線利用率および速度推定式におけるパラメータは、交通容量状態に近い実データを用いて統計的に分析し推定する。

⑤ 単に速度の平均値を用いて登坂車線の設計基準にするよりは、そのばらつきと経済性を考慮して設計基準とサービス目標値を設定する。

5. おわりに

本稿では多車線高速道路の観点から道路構造令や海外の設計マニュアルにおける登坂車線の設計基準について調査し、性能照査型道路計画設計に対応するための登坂車線設計基準の見直しについて考察した。その最も重要な見直し項目は大型車による交通流への影響をどのように設計に反映するかであり、本稿では、高速道路の交通性能の評価指標として全車線の平均速度を考え、全車線平均速度の空間変動と、同じ評価指標として設定されるサービス目標値との比較から登坂車線の必要性および設置区間を判断する手法を提案した。

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用, 2004.
- 2) 中村英樹：道路機能に対応した性能照査型道路計画と交通運用, IATSS Review, Vol. 31, No. 1, pp. 75-80, 2006.
- 3) Highways Agency, U.K.: Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 6, Part 1, 2002.
- 4) American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Fifth Edition, 2004.
- 5) American Association of State Highway Officials (AASHTO): A Policy on Geometric Design of Rural Highways, 1965.
- 6) Polus, A., J. Craus, and I. Grinberg: Applying the Level-of-Service Concept to Climbing Lanes, Transportation Research Record, Issue 806, TRB, pp. 28-33, 1981.
- 7) Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA): Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (ICTAAL, 英訳: National Instruction on Technical Design Requirements for Rural Motorways), 2000.
- 8) Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA): Implantation des Voies Supplémentaires en Rampes sur Infrastructures à 2 X 2 Voies, 1989.
- 9) 内海泰輔, 中村英樹：性能照査型道路計画設計のための道路の利用特性に応じたカテゴリ分類に関する研究, 交通工学, Vol. 42, No. 5, 交通工学研究会, pp. 53-64, 2007.
- 10) 洪性俊, 大口敬：多車線高速道路における統合型速度推定モデル, 土木学会論文集「特集：性能照査型道路計画設計論」(査読合格, 出版未定).