

スウェーデンにおけるケーブル防護柵を設置した2 + 1車線道路の導入効果

宗広 一徳* 秋元 清寿** 浅野 基樹***

1. はじめに

本稿は、報告書「2+1-Roads with Cable Barriers—a Swedish Success Story」[Torsten Bergh：スウェーデン道路庁（SNRA）、Arne Carlsson：スウェーデン道路研究所（VTI）及びJan Moberg：スウェーデン道路庁（SNRA）による。]を翻訳、取りまとめ、報告するものである。北海道は、積雪寒冷地及び広域分散型であることをはじめとし、スウェーデンと多くの共通点を有している。このような観点から、同国の経験と知見を踏まえ、北海道の地域特性を考慮した望ましい道路構造を検討する際のポイントを整理する。

2. 報告書の概要

1990年代、スウェーデンでは13m幅員の2車線道路（延長3,500km）で、毎年、国民の約100名の死亡者と約400名の重傷者が記録された。これは、同国の国道総延長である約100,000kmのうち、全死亡者の25%、全重傷者の20%を占めていた。2車線道路の主たる課題は、全死亡者数の70%以上が逸脱及び正面衝突事故により引き起こされたことであった。このような事故の発生過程は、毎年、同様の傾向を示した。ドライバーは、ある原因により運転制御を失い、路側に設置されている対象物あるいは反対車線を走行する不運なドライバーに対して衝突する。スウェーデン道路庁（Swedish National Road Administration；SNRA）においては、1990年代、交通安全問題を改善するために、より低コストな方策を探究することへの要望が高まった。既設13m幅員の2車線道路の代替案として、フルアクセスコントロールと2.5mの中央分離帯を伴う18m幅員道路（以下、「4車線道路」という）が、1990年代中頃に、新しい建設方法として導入された。

1998年、スウェーデン道路庁は、6区間の既設13m幅員道路を対象とし、低コストな手法の活用により交通安全を改善する全体計画を決定した。この主たる代替案は、2 + 1車線道路の概念（既設の13m幅員道路の中に、ケーブル防護柵による分離を伴い、中央に追越車線を1.25km間隔により相互方向に設置すること）であり（以下、これを「2 + 1車線道路（ケーブル防

護柵あり）」という）、交通事故発生が深刻な区間において、20～50%の事故削減効果が期待された。この「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」は成功と判断され、これまでにおよそ1,000kmが開通している。

他方、既設の13m幅員道路の拡幅により、16m幅員道路とし、ケーブル防護柵により相互方向に2車線分離する道路（以下、「2 + 2車線道路（ケーブル防護柵あり）」という）と代替案の「4車線道路」の交通安全上の成果は、これまでのところ、「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」よりも安全ではないとして、少し失望されている。これは、死亡及び重傷者率を表すFSI率でみた場合、「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」と比較し、「2 + 2車線道路（ケーブル防護柵あり）」及び「4車線道路」のFSI率が同等か少し高くなっているからである。

下記3章～6章において、スウェーデン道路庁による低コストな交通安全施策である「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」（幅員13m）の概要を紹介すると共に、「2 + 2車線道路（ケーブル防護柵あり）」（幅員16m）及び「4車線道路」（幅員18m、中央分離帯の設置あり）も含めて、約1,000kmの開通区間から得られた主たる成果と知見について記載する。

3. スウェーデン道路庁による道路交通施策の変遷

3-1 かつてのスウェーデンの道路設計方針

(1) スウェーデンでは、元々は、2車線道路の横断面構成として、下記①の13m幅員道路のように路肩幅員が広い型が用いられていた。その後、交通安全、交通性能、投資及び維持コスト等の観点から、改善策として、一時的に下記②及び③による横断面構成の変遷を経ている。（図-1参照）

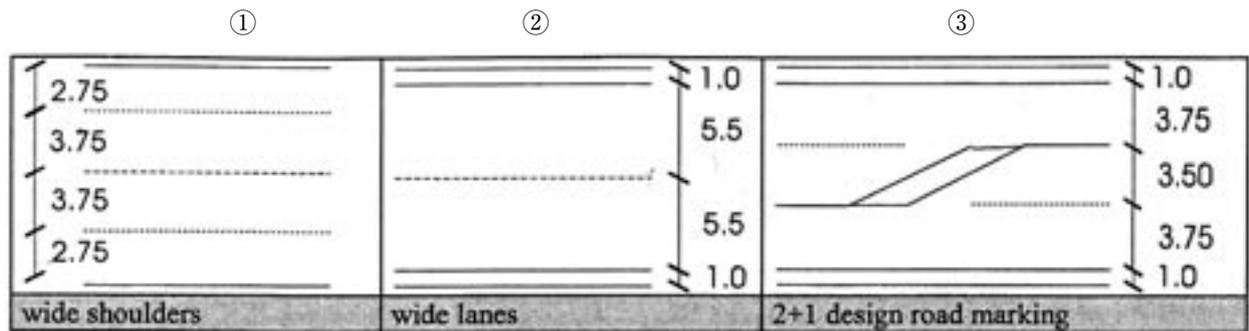
①13m幅員道路（2車線、路肩幅員が広い型：

wide shoulders）車線幅員：各3.75m、
路肩幅員：各2.75m

②13m幅員道路（2車線、車線幅員が広い型：

wide lanes）車線幅員：各5.5m、路肩幅員：各1.0m

③13m幅員道路〔「2 + 1車線道路（ケーブル防護



図一 スウェーデンの道路横断面構成（幅員：m）

柵なし）」（区画線を引き直しただけの型：2+1 design road marking）」
 車線幅員：3.75m、追越車線：3.50m、路肩幅員：1.0m、中央の追越車線が1～2.5km間隔で方向が変わる。

(2) 1990年代、交通安全に焦点をおき、上記③の区画線を引き直しただけの「2+1車線道路（ケーブル防護柵なし）」が導入された。当時の幹線国道ネットワークはほぼ10,000kmに及んでいるが、道路種別の構成は以下の通りであった。速度制限は、たい

(a) 13m幅員道路：

年平均日交通量4,000～20,000台/日

①路肩幅員が広い型：延長約3,600km、

年平均日交通量4,000～20,000台/日

②車線幅員が広い型：延長約800km、

③「2+1車線道路（ケーブル防護柵なし）」（区画線を引き直しただけの型）：延長約10km

(b) 高速道路：延長約1,500km

年平均日交通量8,000台/日

(c) 準高速道路：延長約300km

（準高速道路とは、13m幅員道路にインターチェンジ、フルアクセスコントロールが設置されており、歩行者、バイクまたは低速車両は通行できない）

(3) 1994年の道路設計ガイドライン¹¹⁾の施行により、以下の項目が変更された。

①13m幅員道路は、開通年の年平均日交通量が2,000～12,000台/日とされた。

②高速道路の道路横断面構成は、以下の設計値が推奨された。

- ・外側の路肩幅員：2.75m
- ・車線幅員：3.75m
- ・内側の路肩幅員：1.0m

・防護柵を伴う中央分離帯：4m

または防護柵を設置しない中央分離帯は最小13mの幅員とし、最小の総幅員が26.5m（制限速度110km/hの場合）

3-2 交通安全上の経験

(1) 13m幅員道路に関して、交通安全の観点からは、以下のような結果が得られていた。

①13m幅員道路（2車線道路：路肩幅員が広い型）は、9m幅員道路（注：原文には記載されていないが、2車線道路：車線幅員3.75m、路肩幅員0.75mと推察される。）よりも、人身事故率で約10%以上の安全性の向上が見られた。しかし、致死率（死亡者数/100万台・km）では、0.009（9m幅員道路）に比して0.013へと悪化した。

②13m幅員道路（2車線道路：車線幅員が広い型）の適用によっても、交通安全の点では成功に至らなかった⁴⁾。

③区画線を引き直しただけの「2+1車線道路（ケーブル防護柵なし）」に関してのスウェーデンによるごく限られた経験⁵⁾によれば、ドイツの知見¹⁾のような前途有望なことは、1980年代においては、間違いなく見られなかった。

④高速道路は致死率0.002であり、13m幅員道路（2車線道路：路肩幅員が広い型）と比べて、およそ6分の1と優れていた。

(2) 13m幅員道路では、毎年、約100名の死亡者と約400名の重傷者が記録された。これは、国道における全死亡者の25%、全重傷者の20%を占めていた。主たる課題は、全ての負傷者の50%以上及び死亡者が、13m幅員道路を含む全ての2車線道路での事故が主として逸脱と正面衝突か出会い頭事故によるものであるということであった。このような事故の発生過程は、毎年、同様の傾向を示した。ドライバーは

ある原因により運転制御を失い、路側に設置されている対象物あるいは反対車線を走行する不運なドライバーに対して衝突することである。交通安全の問題は、ドライバーによる集中力の欠如、疲労及び単調な認知等に原因があると考えられている。正面衝突事故は、年平均日交通量3,000～5,000台/日の範囲で、最も顕著な重大事故となっている。薬物とアルコールに伴う事故も、特に逸脱事故において問題視されている。

3-3 新たな代替案の検討

(1) スウェーデン道路庁においては、1990年代に、交通安全を改善するために、費用効果のある方策の探求に対する要望が高まった。

1990年代半ば、交通安全を確保しつつコストと環境影響を減少させるために、代替案の「4車線道路」が新しい建設方法として導入された。この設計コンセプトは、以下に示す通り各幅員を厳しくしたものである。

- ・内側及び外側の路肩幅員：2.75mから0.5mへ
- ・車線幅員：3.75mから3.5mへ
- ・中央分離帯：4mから2.5mへ
- ・総幅員：26.5mから18.5mへ
- ・アクセスコントロール：高水準な出入口の代わりに、簡易インターチェンジを適用

しかしながら、このような道路形式は、元々、高速道路のように、速度面での効果やドライバーの認知性を向上させるためのものではなかった。

(2) 1998年、スウェーデン道路庁は、既設の13m幅員道路において、可能な限り道路用地の中で、低コストな方策を活用し、交通安全を改善するための全体計画を決定した³⁾。同概要は以下の通り。

- ①第一の代替案は、既設の13m幅員道路の中に、「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」を整備すること。
- ②第二の代替案はコストを考慮し、拡幅により「2+2車線道路(ケーブル防護柵あり)」(幅員15.75m)を整備し、速度性能の改善、故障車両に対する交通安全リスクの減少及び維持上の課題を容易にすること。

本計画の目的は、この手法による適切な設計手順、詳細設計と維持要領を明らかにすると共に、肯定的な交通安全効果の予測(「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」の重大事故と死亡者数が20～50%減少すること。「2+2車線道路(ケーブル防護柵

あり)」は、「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」よりもわずかによい効果を表すこと。)を確認することであった。本計画は、交通安全、交通流の変化とドライバーの評価、及び建設・維持のコストと課題に関し、集中的な事後調査研究を含んでいた。なお、予想されたマイナス面は、以下に関する課題であった。

- ・トラックの故障と事故時における閉塞のように1車線狭くなること
- ・緊急車両と規格外車両
- ・2車線から1車線へのすり付け区間
- ・沿道活動、歩行者・自転車利用者等へのサービス水準の悪化
- ・道路維持に関すること
- ・オートバイ利用者への影響

4. スウェーデン道路庁による現在の道路交通施策

4-1 現在の道路交通施策

(1) 最初に「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」

の対象としたE4道路：Gavle-Axmartavlan区間の整備から、1年半経過後、本手法が前途有望であると判断された。2000年春、スウェーデン道路庁は、さらに15区間を対象とし13m幅員の「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」を整備することを決定した。この15区間は、全て、国内の準高速道路を対象としたものであった。現在の整備延長と今後の整備計画は以下の通りである。

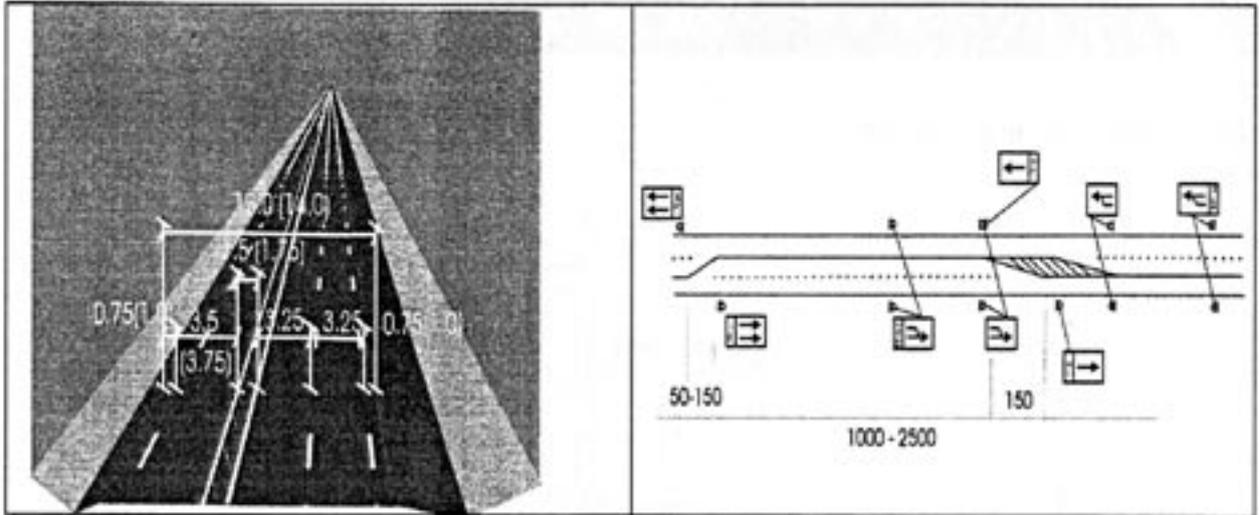
- ①2004年6月現在の整備延長：「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」の13m幅員道路(年平均日交通量が4,000～20,000台)の総延長約1,000km
- ②2007年までの計画：総延長1,850kmに延伸する予定。およそ450kmが準高速道路(50%が110km/h制限速度、50%が90km/h制限速度)である。残りは、交差点等を伴う一般国道であり、90km/h制限速度区間である。

③「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」の平均投資コストは、およそ2,000SEK/mである。(注：SEK;スウェーデンクローネ、1SEK=約15円)他方、わずかに2区間の「2+2車線道路(ケーブル防護柵あり)」が開通したが、両方とも制限速度90km/hである。代替案の「4車線道路」は、全て新設により、およそ70kmが開通している。制限速度：110km/h、交通負荷：7億6千万台・kmに及んでいる。

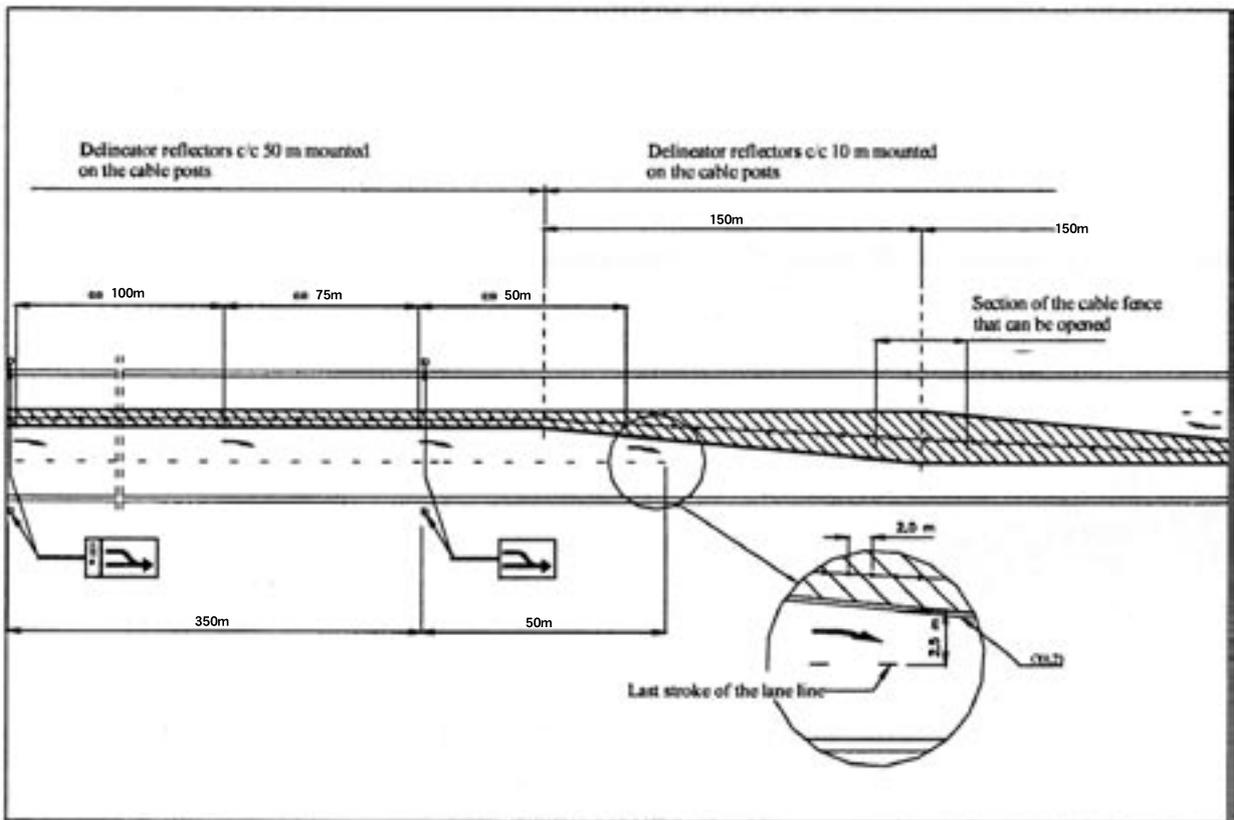
(2) 2001年春、スウェーデン道路庁は、伝統的な13m幅員道路に代わり、「2+1車線道路(ケーブル防

「護柵あり）」の設計コンセプトを新設と既設道路の改良に適用するための横断面構成の基準を決定した。なお、「2 + 1 車線道路（ケーブル防護柵あり）」による対策を導入するに際して、国の設計手順として、交通量の基準を以下の通り適用するとしている。「開通年の年平均日交通量が平日で約4,000台/日を最低とすること。」
 また、本対策は以下の事項を遵守するものとする。

- ①問題点の状況を適正化する。
 - ②適正な費用効果を与える。
 - ③適正な交通安全面での重要な評価、すなわち、年間の重傷者数または死亡者数の減少に対する投資コストが約100万米ドル未満とすることを与える。
 - ④設計時点における適正なサービス水準を与える。
- 本幾何構造ガイドライン（注：スウェーデン道路庁による道路構造ガイドライン。「2 + 1 車線道路（ケ



図－2 提案された13mの2 + 1 車線道路（ケーブル防護柵を伴う型）の基準



図－3 2車線から1車線へのすり付け区間の設計

ケーブル防護柵あり)」の設計について記載されている。)は2002年に出版¹²⁾されたが、2004年に幾つかの改訂¹³⁾が行われた。

また、「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」の事業効果については、FHWA(米国連邦道路庁)からも注目され、分析レポート⁷⁾が公表されている。

「2+2車線道路(ケーブル防護柵あり)」と代替案の「4車線道路」による事業の成果は、これまでのところ、予測よりも高い交通事故率(主として逸脱と追突、わずかに車両故障関連による)を示しており、成功してはいない。これらの横断面構成は、ガイドラインから外された。従来の高速道路の横断面構成は、よりスリムな高速道路設計(外側の路肩

幅員2m、車線幅員3.5m、内側の路肩幅員0.5m、ケーブル防護柵付きの中央分離帯幅員2.5m、総幅員21.5m、なお、車線を3.25m、内側路肩を含む中央分離帯を1.5mまで減少させることが認められている。)に代わっている。

4-2 設計コンセプト

「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」の推奨されている設計コンセプト¹³⁾は次の通りである。

- ①片方向の連続車線と組み合わせられる方向が変化する中央車線は1.0~2.5km間隔とされ(図-2参照)、その車線延長は、線形、交差点等の位置等によるものとする。1+1車線道路は、拡幅が高

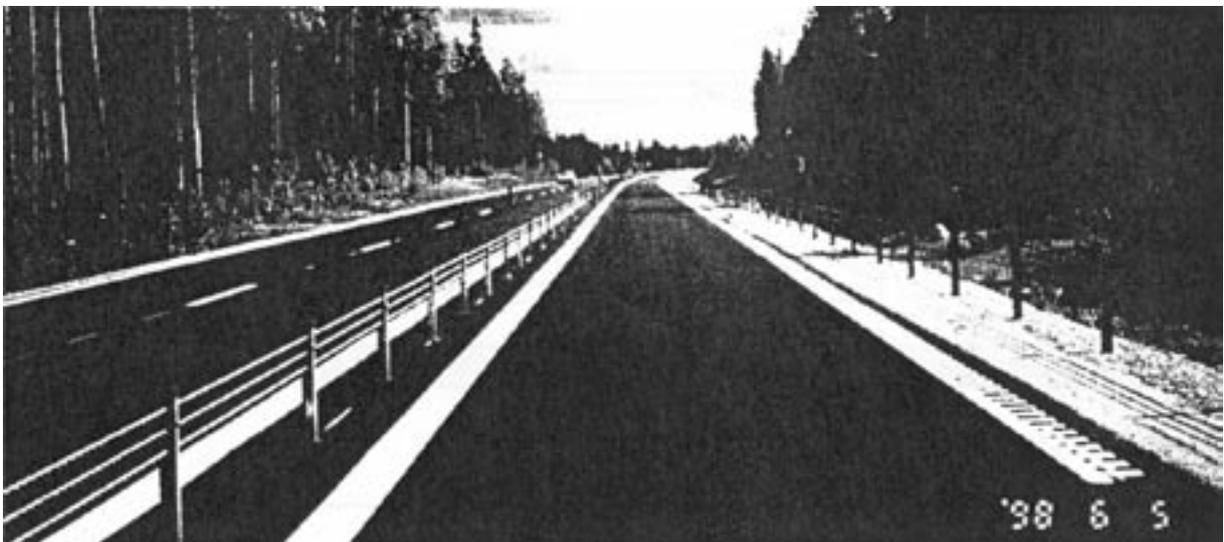


図-4 森林地域におけるケーブル防護柵の設置事例

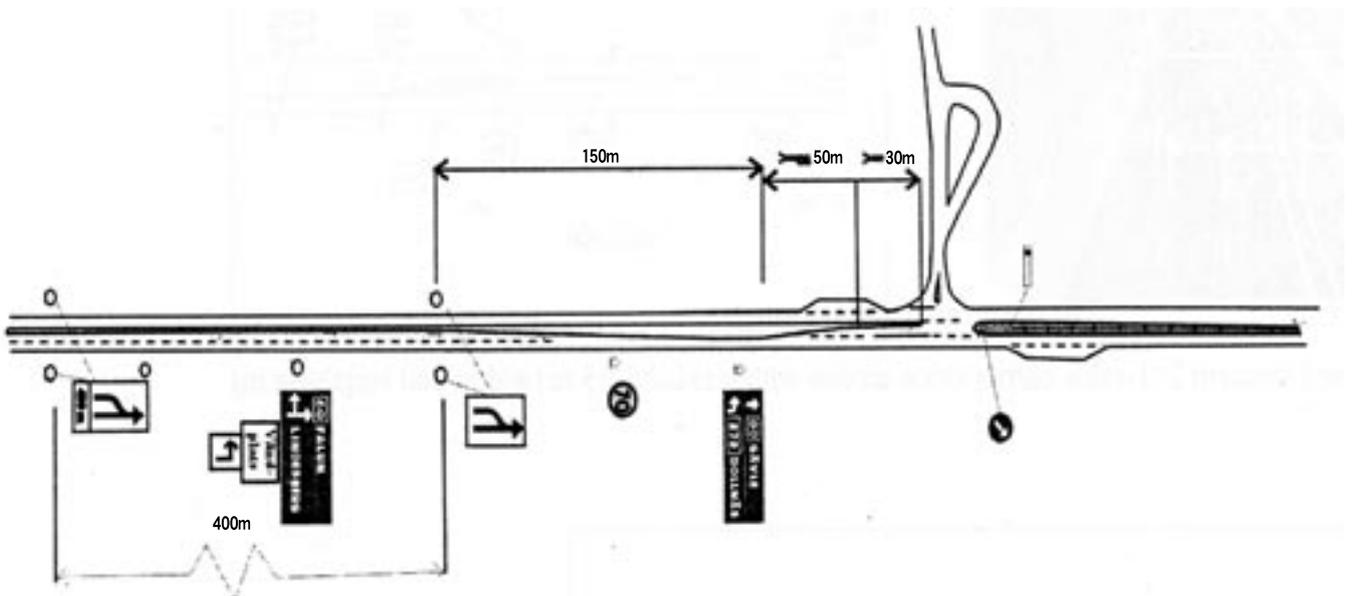


図-5 Uターン施設を伴う交差点部の設計

額となる長い橋梁部、及び分離することが高額となるか不可能となる取付道路、歩行者と自転車利用者が頻発する区間で適用されるものとした。「2 + 2車線道路(ケーブル防護柵あり)」についても、山を越える区間で1車線区間を避けること、及び拡幅が低コストである区間の交通性能を改善するために必要とされた。区間延長の情報を表示する標識は、必ず設置しなければならない。2車線区間の割合は、各方向で少なくとも35～40%とするべきである。

②横断面構成は、基本的に既設の13m幅員道路または14m幅員道路で選択されている。全ての13m幅員道路(括弧内は14mの値)は、次の設計値を推奨する(図-2参照)。

- ・ 1.5 (1.75) mの中央分離帯に連続的にケーブル防護柵を設置する。CEN (Comite European de Normalisation: 欧州標準化委員会) のN2クラスと有効幅員 W5 (ヨーロッパ機能要件システム N2; 試験車両1,500kg、速度110km/h、衝突角度20度、W: 有効幅員; クラス5、最大2m)
- ・ 2車線区間で幅員3.25m、1車線区間で幅員3.5 (3.75) m。
- ・ 外側の路肩は0.75 (1.0) mとし、少数の歩行者と自転車利用者に利用される。

実際の事業においては、細部については変更できるものとする。14m道路幅員の主たる利点は、オ

ートバイ利用者と歩行者に配慮されていることである。

- ③ 2車線から1車線へのすり付け区間の延長は150mとし、双方向で計300mとする。すり付け区間はケーブル支柱に視線誘導標を10m間隔で設置し、すり付け区間の始まる400m手前とすり付け区間の始まる地点において標識を設置するものとする(図-3参照)。クイック・ロック(簡易な鍵)の設置により、各すり付け区間で数秒のうちにケーブル防護柵を手動でオープンさせることを可能とする。1車線から2車線へのすり付け区間延長は50～100mとする。
- ④ 既設の路側区域は、道路用地として平坦であるべきであり、望ましくは7～11m程度何も無いことが推奨される。これは、森林等が取り除かれていることである。路側のケーブル防護柵は、岩盤の切土、低い切土及び森林地域の盛土におけるカーブ区間のように危険な位置に設置されるべきである(図-4参照)。
- ⑤ 維持の基準は、次の要件を満たすものとする。
 - ・ 橋梁点検、オーバーレイ等は、交通量が最小時に行うものとする。視線誘導標の洗浄作業等は、交通量が少ない時に行うものとする。
 - ・ 雪は、中央分離帯から0.4mのところを除雪されるものとする。外側線が見えることとする。
- ⑥ 緊急事態に備え、3～5km間隔で、救急車両の転

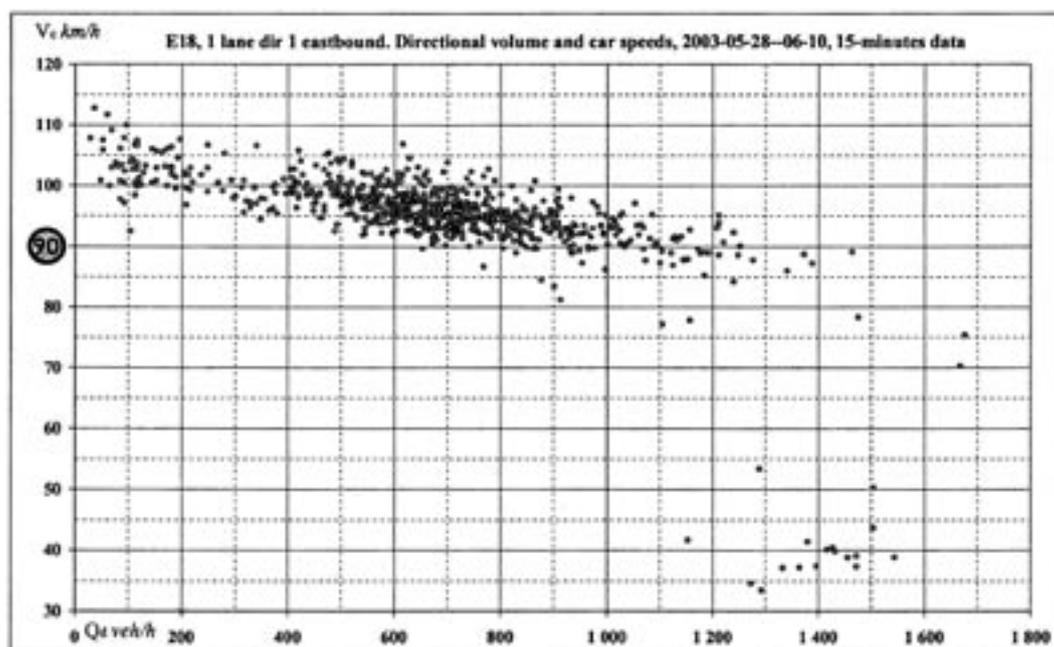


図-6 1車線区間の始点部における平均車両速度と片方向の交通量 (E18・Vasterasの15分間データに基づく)

回場所を設けるものとする。

- ⑦交差点部は、できるだけ、すり付け部に位置させるものとする。取付道路は撤去されると共に、歩行者とオートバイ利用者は分離されるべきである。残存させる取付道路は、交差点部において、右折だけのUターン施設を伴って設計されるものとする。(図-5参照)

なお、これに対し、主たる批判的な意見は、取付道路、歩行者や自転車利用者への配慮、狭くなる1車線区間に関することである。同1車線区間では、緊急時のトラック車両の停止による閉塞、緊急時のサービス及び維持条件の悪化について懸念されている。

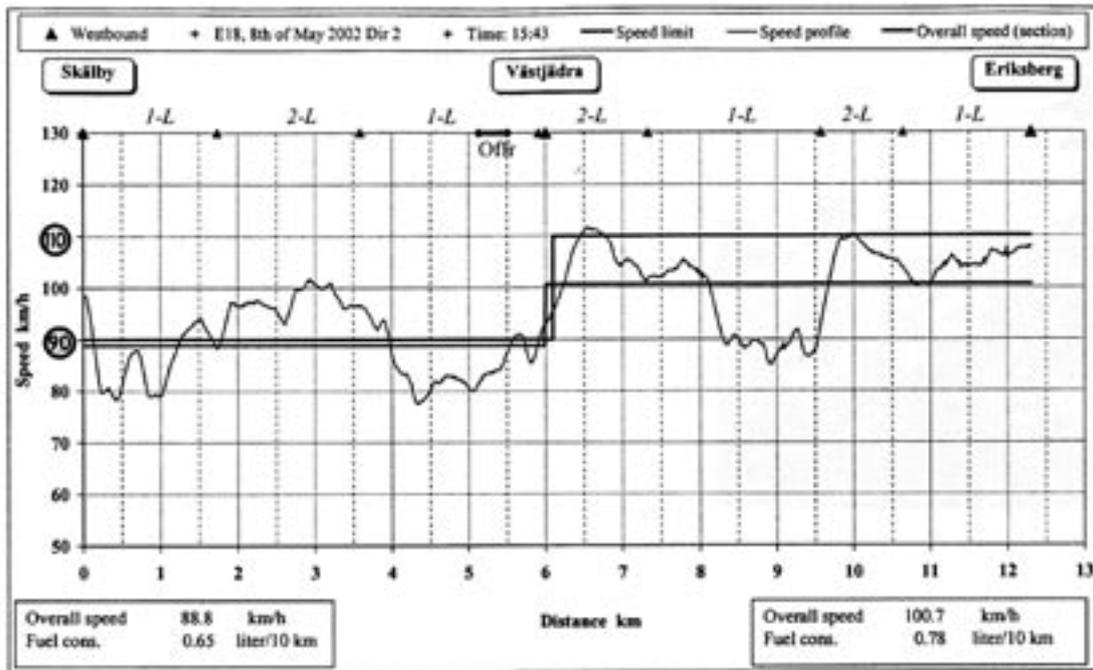


図-7 片方向1,560台/hのフローティング調査に基づく速度状況 (E18道路: Vasteras の第1区間)

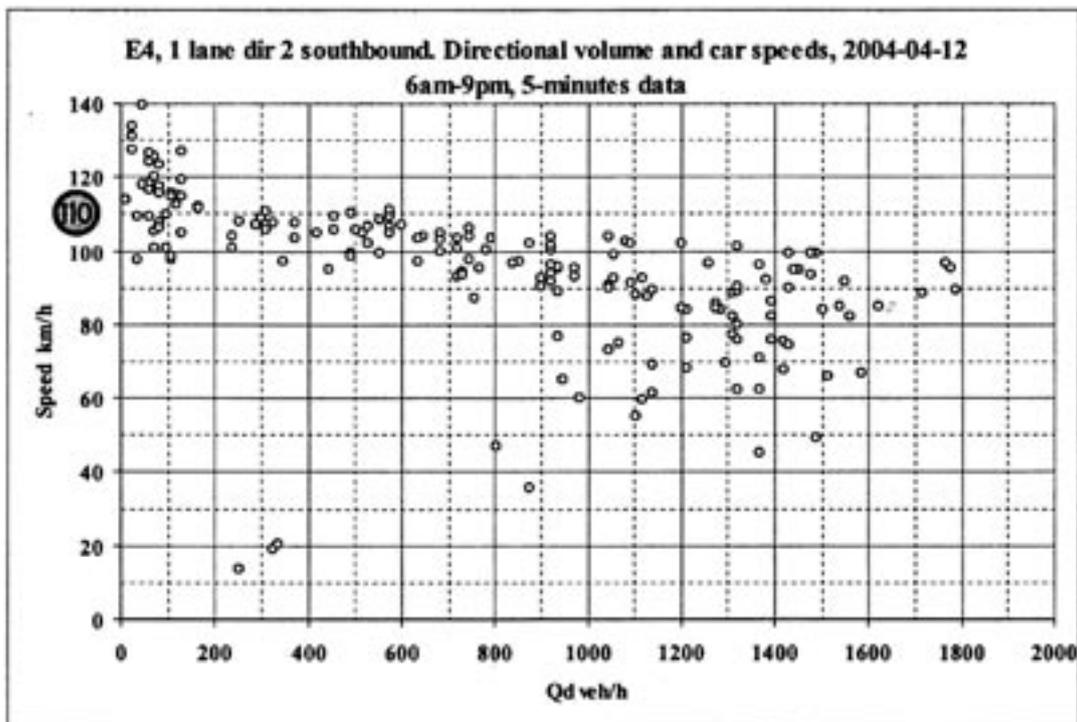


図-8 1車線区間における平均速度と交通量 (E4道路: Gavle の5分間データに基づく)

5. 2 + 1車線道路により得られた知見

5-1 速度特性の知見

事前のフィジビリティ調査^{3), 6)}によれば、「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」の導入により、自由流の車両速度は、数km/h減少すると予測された。これは、「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵なし）」（区画線を引き直しただけの型）の設計及びシミュレーションの経験に基づいたものであった。一部の専門家は、車両の故障・事故による道路閉鎖と共に、緊急車両と規格外トラックのサービスレベルに関する課題についても懸念していた。

結論は、速度性能が低から中レベルの交通量において改善されているが、元々の13m幅員道路（路肩幅員が広い型）よりもおよそ15%交通容量が低くなっていることである。トラックの故障による閉塞と緊急車両に関することは懸念されるが、全般的な印象としては、これらの課題は小さなことであり、対処可能なものである。

速度の効果については、2つの準高速道路での事業において、以下の調査方法により分析された。

- ・事前／事後の地点速度測定
- ・フローティング調査（交通実態調査）
- ・連続車線における地点速度測定

なお、事前事後の地点速度測定については、いくつかの他の事業においても実施されている。

制限速度90km/hと110km/hの区間における測定結果から得られた主たる結論⁹⁾は、次の通りである。

- ①制限速度90km/h区間：平均旅行速度が約2km/h上昇。
- ②制限速度110km/h区間：平均旅行速度108.5km/h、2車線区間は111km/h、1車線区間は106km/hである。
- ③追越車線の速度は、平均120km/h（低い交通量）。
- ④交通量500台/h超は、速度低下につながる。
交通量900台/h超は、個々の車両と道路状況により、速度の大きな変動が見られる。
- ⑤フローティング調査によれば、1方向で交通量1,300～1,400台/hに達しており、良質のサービス水準が確認された。
- ⑥交通容量は、15分間データから換算した場合、1方向で1,600～1,700台/hと予測される。これは、元々の13m幅員道路（路肩幅員が広い型）よりも、およそ300台少なくなり、15%の損出である。

上記の結果に関し、E18道路：Vasteras（準高速道路で、制限速度90km/h、年平均日交通量21,000台/日）にお

ける2車線から1車線へのすり付け区間で取得した1車線区間の始点での速度データは、図-6に示す通りである。車両速度（15分間データの平均値）は、交通量1,300～1,400台/hまでは85km/hよりも高くなっている。最大交通量1,700台/hでは、およそ75km/hまで速度が低下している。速度40km/h付近で交通量1,300～1,500台/日では、すり付け区間における平均的な交通密度はおよそ35台/kmである。

「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」の連続的な区間における典型的な速度変動は、図-7に示す通りである。これは、最初の5km区間を越えた片方向1,560台/hのフローティング調査に基づくものである。全区間延長はおよそ12kmであり、制限速度90km/h区間及び110km/h区間が混在している。グラフの上部に、1車線区間と2車線区間の位置を示している。大きな速度変化が、2車線区間と1車線区間の間で観測されている。全体的な速度は、1,560台/hによる制限速度90km/h区間で平均速度89km/h、1,160台/hによる制限速度110km/h区間で平均速度101km/hとなっている。

E4道路のGavle北部は、年平均日交通量がおおよそ9,000台/日、速度制限110km/hであり、特にイースターの休日のときは南行きに交通ピークを伴う。図-8は、イースターの休日の2004年4月12日（月）において、1車線区間で15時間測定されたデータを示している。各プロット値は、5分間の平均車両速度と片方向の交通量（台/h）である。交通量（台/h）は5分間データを換算したものであるため、安定していないが、1,800台/hまでは90～100km/hに達している。

5-2 交通安全の知見

(1) 事前のフィジビリティ調査によれば、「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」は、重傷及び死亡者が20～50%に減少し、準高速道路は、一般道路よりも致死率が高くなると予測された。「2 + 2車線道路（ケーブル防護柵あり）」については、ほぼ同じか、わずかによい性能を示すと判断されていた。新規に建設された代替案の「4車線道路」は、高速道路に近い形、すなわち65%の減少が最大の効果となると予測されていた。物損と軽傷事故は、2 + 1車線道路と2 + 2車線道路のケーブル防護柵の設置により、増加すると予測されていた。

「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」の事業区間（制限速度110km/h区間を40%と制限速度90km/h区間を60%）における2004年6月までの交通事故データは、以下の通りである。

①野生動物との事故による2名を含む11名の死亡者数を数え、致死率0.0017(死亡者数/百万台・km)となった。同数値は、事前の予測値0.011よりも低く、制限速度110km/hの高速道路での予測値0.002とほぼ等しくなっている¹⁰⁾。このことは、死亡者数の85%の減少がもたらされたことになる。スウェーデン道路庁及びスウェーデン道路研究所によれば、長期的には死亡者数の75%減少、年間でおおよそ25人を救うと予測している。

②FSI率(死亡及び重傷者率=死亡及び重傷者数/百万台・km、交差点と野生動物の事故を除く)は、59億台・kmのデータに基づき0.018となった。すなわち、FSI率は55%の減少に至っている。これは、予測値よりもさらに良い結果となっている。制限速度110km/h区間は、同90km/h区間と比して、FSI率が50%高くなっている。しかし、この制限速度による差は小さなものであり、あるとすれば道路規格による差であると考えられる。

他方、2区間だけの「2+2車線道路(ケーブル防護柵あり)」は、両方とも制限速度90km/hであるが、2004年6月現在で、2億5千万台・kmでFSI率が0.016である。代替案の「4車線道路」は、全て制限速度110km/hであり、7億6千万台・kmでFSI率は0.024である。これらの結果は、これまでのところ、「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」と比較して、安全性がよいとは言えないとして、少し失望されている。(注:この理由については原文では言及されていない。「2+2車線道路(ケーブル防護柵あり)」と「4車線道路」のFSI率が、「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」と同等か少し高いことが特徴である。各幅員を厳しくしていることや速度特性に影響されているものと考えられる。)

(2)「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」の事前のフィジビリティ調査によれば、概ね、全ての正面衝突事故と追越事故、約40%の重大な結果を伴う単独の逸脱事故は無くなると予測された。最大の予測値として、準高速道路のうち、制限速度110km/h区間で78%の減少、制限速度90km/h区間で55%の減少とされた。実際の結果は、これまでのところ、準高速道路では、制限速度110km/h区間で48%減少、制限速度90km/h区間で60~70%減少した。交通事故のタイプに関する結果は、以下のように要約¹⁰⁾できる。

①正面衝突事故は、期待された通り、ほとんどなくなったが、唯一、ゴースト・ドライバー(逆送に

よる)の事故が発生した。

②単独の逸脱事故として死亡者1名及び重傷者28名が準高速道路の制限速度110km/h区間で発生したが、単独事故の割合が減少しないことを示した。これに対し、制限速度90km/h区間では、死亡者2名と重傷者24名が記録され、50%に近い減少となった。

③追越事故は、予想以上に少なく、全体で11件であり、おおよそ45%の減少となった。

④追突事故は増加した。すなわち、準高速道路の制限速度110km/h区間では、死亡者3名及び重傷者13名が記録され、200%の増加となった。制限速度90km/h区間の準高速道路は、重傷者8名となり、ほぼ300%増加した。

⑤歩行者及び自転車の事故は、準高速道路で死亡者3名を数えたものの、この割合は変化しなかった。上記の結果に関し、交通量は毎年おおよそ1~2%の平均的な伸びとなっており、特定の影響を与えてはいないと判断されている。単独の逸脱及び追突事故は、「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」の主たる重大事故を構成している。これは、準高速道路の制限速度110km/h区間の90%、準高速道路の制限速度90km/h区間の80%、一般国道の「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」の制限速度90km/h区間の50%を占めている。準高速道路の「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」の制限速度110km/h区間と90km/h区間の大きな違いは、主として単独の逸脱事故の結果により説明できる。この仮説は、代替案の「4車線道路」事業の単独逸脱事故の安全性が乏しいことにより、強調される。

5-3 中央分離帯のケーブル防護柵への衝突

(1)ケーブル防護柵への衝突は、予測通り頻発しているが、通常は重大な結果をもたらすことはない。事前のフィジビリティ調査では、0.5~1件/百万台・kmとなると予測された。実測結果¹⁰⁾は、これまでのところ、0.51件/百万台・kmである。これは、平均で約2件/km・年を示している。これに対し、4区間で整備された代替案の「4車線道路」では、平均0.28件/百万台・kmであり、「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」より低くなっているが、接近している。

積雪寒冷条件(特に、雪煙及び地吹雪)を伴うスウェーデン北部の事業と、降雪が少ないスウェーデン南部の事業の間では、事故率が0.56と0.43など明



図－9 防護柵の修繕作業

らかな違いが表れている。制限速度110km/h区間は、制限速度90km/h区間よりも、およそ15～20%事故率が高くなっている。全ての中央分離帯の衝突事故の約65～70%は、1車線区間で発生している。「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」の区間延長は、約50%が1車線区間、約40%が2車線区間であり、残りの約10%が2車線から1車線へのすり付け区間である。

防護柵衝突事故の約5%が、2車線から1車線へのすり付け区間で発生している。これは、すり付け区間延長の割合(10～12%)よりも、明らかに小さくなっている。衝突事故の45～50%が冬期間(12月～3月)に発生しており、高い割合を示している。この割合は、冬期間の交通マイル長が28～30%であることを考慮すると、たいへん多くなっている。

(2) 3区間²⁾の牽引作業実態を通じ、詳細な調査研究が行われている。牽引率(牽引作業/百万台・km)は平均2.2であり、約15%が車両単独事故により発生したものである。これは、ケーブル防護柵への衝突を含む車両単独事故のおよそ40～70%に該当すると予測されている。全ての防護柵衝突事故の20～25%が牽引作業を必要としている。これらのケースにおいて、支柱に衝突し牽引作業を伴ったものは15～20件に過ぎない。

衝突割合を低下及び最小化させるために、代替となる防護柵の反射体、エッジラインの設計、中央分離帯の幅員と車線幅員について等、多くの調査研究が実施されている。従来のハイ・ビームに代わり、反射体の位置を考慮したロー・ビームが防護柵の認

知性を改善している。衝突割合は、長期に亘り、わずかに減少するという明らかな傾向が見られている。

(3) 防護柵の修繕作業は、交通安全上の主たる関心事である。修繕作業は、制限速度を70km/hまで減速させ、TMA防護(Truck Mounted Attenuator protection)を用いて、追越車線側から行われる(図－9参照)。反対方向車線の速度制限は、作業エリアを保護するために幾つかのコーンを用いて、通常50km/hに減速させている。作業エリアは、たいへん厳しい作業条件である。交通管理者により作業エリアが閉鎖されることは少なく、作業エリアの交通計画については、事前に許可を得ている。

防護柵の設計についても多くの議論が交わされてきた。現在のN2クラスの防護柵は、高速道路で用いられているが、唯一、乗用車による正式な衝突実験を行っている。N2クラスの防護柵が、重量トラックを捕らえると共に、十分な防護機能を発揮したケースが沢山見られている。これは、平均的にたいへん小さい衝突角度によるものである。

5-4 ドライバーによる評価

(1) 「2+1車線道路(ケーブル防護柵あり)」を導入する最初の対象となったE4道路: Gavle-Axmartavlanでのドライバーによる評価に関する調査は、1998年秋並びに1999年秋の2回実施された。本調査による結果概要は以下の通りである。

①1998年秋の調査からは、ドライバーは、「2+1車線道路(ケーブル防護柵なし)」(区画線の引き直しだけの型)の方が、元々の2車線道路よりも

好ましいとしている。なお、1%以下が「2+1車線道路（ケーブル防護柵あり）」がベストな選択と回答した。

②新たに実施した1999年秋の調査によれば、ドライバーのうちの40%が「2+1車線道路（ケーブル防護柵あり）」が最善の道路設計であるとし、30%が区画線の引き直しのみによる「2+1車線道路（ケーブル防護柵なし）」を支持している。この評価の変化は、たいへん大きなものである。

2+1車線道路事業が開通し、実際にドライバーが経験する以前は、一部の自動車ジャーナリストと公衆の意見によれば、このような驚異的な変化は、マイナスかつ現実的ではないとされていた。

(2) ドライバーによる評価調査はE18道路でも実施され、よりよい結果を得ている。なお、同調査によれば、以下のような結果及びコメントが得られている。

- ①多くのドライバーが、以前と比較して、運転がより安全・快適でストレスが減少すると考えている。
- ②高齢者ドライバーのうち歓迎しているものは、少ない。
- ③バス並びにトラックの運転手からは、2車線から1車線へのすり付け区間での「チキンレース」について、しばしば不平を寄せられている。

5-5 オートバイ

「2+1車線道路（ケーブル防護柵あり）」におけるオートバイの事故は、詳細に研究されてきた。8件の事故が発生し、2名の死亡者と7名の重傷者を伴った。これら8件のうち、ケーブル防護柵での事故5件を含んでいる。事故が、ケーブル防護柵の設置により、発生した、或いはより重大になったとの報告は、これまでのところ得られていない。

5-6 維持

(1) 道路維持に関し、事前のフィジビリティ調査によれば、維持コストの80%増加、すなわち、年平均日交通量5,000～10,000台で125,000SEKから175,000SEK（1SEK＝約15円）の追加の社会経済コストとなると予測された。これは、防護柵の修繕が30%、冬期コストが30%、定常的な維持作業が20%、閉塞と修繕に伴う道路ユーザーのコストが20%で構成されている。長期的なオーバーレイコストに関する意見が、以前から、いまもなお激しく議論されている。フィジビリティ調査の結論によれば、PMS（Pavement Management System; 舗装マネジメ

ントシステム）の分析に基づきわずかに増加であった。

ケーブル防護柵の修繕は、高いコストが必要とされており、交通安全上の課題に影響を及ぼした。1件のケーブル防護柵の衝突に伴って必要となるコストは、ケーブル防護柵の修繕費用が10,000SEK、車両修繕費用が25,000SEK、合計35,000SEKである。ケーブル防護柵の衝突事故率は、平均値で1.5～2件/km・年であるが、年平均日交通量7,500～10,000台/日、年間財政コスト50,000～70,000SEK/kmである。スウェーデン道路庁は4,000SEK/ケーブル修繕を費用負担し、残りの費用は保険会社により負担されている。

(2) 冬期維持に関する結果は概要以下の通りとなっている。

①冬期維持コストは、5,000～10,000SEK/km・年で増加しているが、当初予測よりも少ない。これは、中央分離帯の視線誘導標の支柱並びに反射体の清掃コストが低くなっているからである。というのは、維持業者により、必要とされる要件が達せられていないからである。

②除雪作業時の速度は、わずかに減速している。ドライバーからは、このような除雪作業は、ふつうの除雪作業よりも、よりストレスが大きいと不平が寄せられている。多くの交通事故及びヒヤリ事象が発生した。除雪計画は、伝統的には一列に並んでおよそ100mの追越車線に第一車両、走行車線に第二車両が走行しているが、事故を避けるために次第に変化している。待避場の設置は、除雪車が追い越しを許すために、実施された。塩の散布量は、増加が予測されていたが、塩の散布エリアを縮小したために、減少した。

③舗装されたE4道路：Gavle-Axmartavlanにおいて、わだちの深さを計測したところ、いまのところ、フィジビリティ調査通りに、深化が進行している。長期的な年間維持コストは、最大で10,000SEKに増加すると予測されている。

(3) 視線誘導標支柱、橋梁、側溝の清掃のような通常の維持作業は、少い交通量の条件下で実施されている。E4道路：Gavle-Axmartavlan区間では、このような作業は、片方向の通行により実施されている。他方向は、E4道路入口に設置された固定標識及び可変標識により、反対方向の通行を指示されている。このような追加コストは、10,000～20,000SEK/km・年と予測されている。

6. まとめ

スウェーデン道路庁による「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」事業により、2004年上半期までに得られた主たる成果と知見は、以下の通りまとめられる。

- (1) 「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」の平均的な交通量におけるサービス水準は、当初予測よりも良好である。片方向で1,500～1,600台/hの交通容量で、交通量1,400台/hに等しいかそれ以上となっており、元々の13m幅員道路（路肩は広い型）よりもほぼ300台/h減少している。緊急及び救難用車両、並びに車両故障による通行止め等の懸念された事項は、主たる課題となることなく、対処されている。
- (2) 「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」の交通安全上の効果は、当初の予測と等しいか、より向上している。高速道路での11名の死亡者数から、致死率は0.0017（死亡者数/100万台・km）であり、以前と比較してほぼ80%改善されている。重傷者数を含む減少は55%である。制限速度110km/h区間は、制限速度90km/h区間よりも、死亡者数と重傷者数の発生が50%高くなった。「2 + 2車線道路（ケーブル防護柵あり）」と新規に建設された「4車線道路」は、今のところ、少し驚いたことには、「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」よりも交通安全性能がよいとは言えない。
- (3) 中央分離帯のケーブル防護柵への衝突事故は、予測された通り、交通安全上の課題を創出している。より積雪の多いスウェーデン北部地方における事業区間、及び制限速度110km/h区間では、このような衝突事故の率が高くなっている。
- (4) 維持の課題は、防護柵の修繕と通常の維持作業に関する事前予測よりも、小さくなっている。社会経済コストは、およそ70%もしくはおよそ100,000SEK/km・年が増加した。（1SEK = 約15円）このうち、65%が防護柵の修繕によるものである。
- (5) ドライバー並びに世論は、「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」の導入に対し、たいへん肯定的である。
- (6) 1998年以降、スウェーデン道路庁により1,000km以上の「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」が開通している。今後3年間に、年200～300kmが延伸される計画である。スウェーデンにおける全ての準高速道路は、「2 + 1車線道路（ケーブル防護柵あり）」に転換されている。

7. 北海道の地域特性を考慮した道路構造の検討

北海道は、積雪寒冷地及び広域分散型であることをはじめとし、スウェーデンと多くの共通点を有している。このような観点から、同国による2 + 1車線道路の経験と知見を踏まえ、北海道の地域特性を考慮した望ましい道路構造を検討することが求められている。北海道における検討の際のポイントとしては、以下のような事項が列挙できる。

(1) 地形

2 + 1車線道路は、平坦な地形や起伏の小さな地形で採用することが望ましいと考えられる。

(2) 交通量

スウェーデンでは、年平均交通量およそ4,000台/日以上を主たる対象とし、13m幅員道路において2 + 1車線道路を導入している。予定事業区間の観測交通量をもとに、適切な横断面構成について検討する必要がある。

(3) 追越車線の長さ

スウェーデンでは追越車線長を1.0～2.5kmとしつつも、地形などを考慮して変更できることとしている。他方、我が国では第1種道路の付加追越車線長は1.0～1.5kmを標準とし、地形の状況等により増減できるものとされている。このことから、予定事業区間の地形や交通量を踏まえ、適切な追越車線長の検討が求められる。

(4) アクセスコントロール

取付道路が多いことは交通事故の頻発が懸念される。スウェーデンは、このような取付道路をできるだけ集約した形で、平面交差を適用している。アクセスコントロールの推進が、交通事故の抑制につながるものと考えられる。

(5) 分離構造

スウェーデンでは、中央分離帯にケーブル防護柵を設置することにより、死亡及び重傷者事故の減少に至っているものの、物損や軽傷事故は増加している。同国の知見と経験を参考にしつつ、北海道における適正な分離構造について検討する必要がある。

(6) 交通安全対策

ケーブル防護柵を設置した2 + 1車線道路構造の導入により、全般的に交通事故は減少に至っているが、追突事故だけは顕著に増加している。また、季節別の統計によれば、冬期にケーブル防護柵間の事故発生が高くなっている。よって、追突事故対策や冬期路面管理を考慮した事故対策についても検討する必要があると考えられる。

(7) 規制速度

我が国及び北海道における2車線道路の規制速度がスウェーデン及び諸外国と比し、格段に低いことは全く基本的な条件の相違である。このことを考慮し検討する必要がある。

(8) 冬期道路管理

北海道はスウェーデンに比して、降雪量は格段に多くなっている。このことから、より適切な冬期道路管理の確保が求められている。また、スウェーデンでは冬期道路管理の性能規定が導入されている等、北海道とは異なる現状がある。この点についても留意する必要がある。

8. おわりに

本稿により、スウェーデンにおけるケーブル防護柵を設置した2+1車線道路の成果と知見について報告すると共に、北海道の地域特性を考慮する際のポイントについて整理を行った。今後、他の諸外国の事例等も参考にしながら、北海道における望ましい道路構造に関する研究を推進する予定である。

最後に、貴重な資料提供を賜ったスウェーデン道路研究所の Arne Carlsson 氏に対し、深く謝意を表す。

参考文献

- 1) BRANNOLTE, U etc.; Sicherheitsbewertung von Querschnitten ausserortlicher Strassen, BAST, 1993
- 2) BERDICA, K.etc.; 2+1 Semi-motorway Cable Barrier Roads – a vulnebarity, 2002
- 3) BERGH, T ; 13 m roads – Alternative Traffic Safety Countermeasures, 1997
- 4) BRUDE, U and LARSSON, J; Wide Lanes – Safety Effects, 1996
- 5) BRUDE, U and LARSSON, J ; Summary – Effect of 2+1 Design, 1997
- 6) BRUDE, U and CARLSSON, A ; Alternative Performance of 13m Roads and Semi Motorways – Overall Effects, VTI memo, 1997
- 7) POTTS and HARWOOD; Application of European 2+1 Roadway Designs, NCHRP Research Result Digests. 2002, 2002
- 8) BERGH, CARLSSON and PETTERSSON ; 2+1 ROADS WITH CABLE BARRIERS – Safety and Traffic Performance Results, ITE Conference paper, 2003
- 9) Carlsson A and BRUDE U ; Evaluation of Alternative 13m roads – Half year report 2002:1, VTI Notat 9-2003, 2003
- 10) Carlsson A and BRUDE U ; Evaluation of Alternative 13m Roads – Half year report 2003:2, VTI Notat 3-2005, 2005
- 11) SNRA ; VU94-SNRA Guidelines on Geometric Design, 1994
- 12) SNRA ; VU94S2 – SNRA Guidelines on Geometric Design, 2002
- 13) SNRA ; VGU-SNRA Guidelines on Geometric Design, 2002
- 14) B. Ray Derr; Application of European 2+1 Roadway Designs, NCHRP Research Result Digests.2003, 2003



宗広 一徳*

北海道開発土木研究所
道路部
交通研究室
研究員
技術士（建設）



秋元 清寿**

北海道開発土木研究所
道路部
交通研究室
研究員



浅野 基樹***

北海道開発土木研究所
道路部
交通研究室
室長
技術士（建設・総合）