

IV-31

山岳トンネル開通によるインパクト計測に関する研究

北海道大学 学生員 前弘和秀

北海道大学 正 員 高野伸栄

北海道大学 正 員 佐藤馨一

1. はじめに

近年自動車交通の増加に伴い、高規格道路をはじめとする道路整備が全国的に行なわれている。北海道においてもその例外ではない。山岳部、それは主に峠部であるが、その道路整備については昭和40年代にほとんどの箇所で見直し改築済みである。しかしその整備状況は、その後さらに整備がなされているものもいくつか見られるが、まだ充分とはいえないのが実状である。冬期間のことを考えると、この山岳部の交通は一層厳しい条件下にあることは確かである。北海道においていわゆる峠部といわれているものは51箇所余り存在するが、地方間の都市間を結ぶ交通の要所となっている峠も少なくない。また峠交通の特性として、大型車混入率が比較的高いことがあげられる。したがって、地域間の結びつきを強める上でも、この山岳部の一層の道路整備が必要となってくる。

道路整備によるインパクトの計測に関する研究はかなり以前から行なわれているが、その大多数は主に走行時間短縮・走行経費節減による効果を取り上げたものである。山岳部において道路整備が行われることにより、走行条件がよくなることは明らかである。ここでいう道路整備とは、曲線部の曲率半径と縦断勾配の緩和による道路構造の改良である。その整備による効果は、走行時間短縮や走行経費節減の効果以上に走行条件、つまり走りやすさの向上である。しかし、この点に着目した効果計測はほとんど行なわれていない。

そこで本研究では、この走行条件の向上による効果に着目し、曲線部と勾配部を考慮に入れた道路整備効果の計測、特に山岳部整備による転移交通量の計測を行なうことを目的とする。

2. 峠部道路の特性

2-1 峠部道路の状況

表-1、2は北海道における主な峠の現状を示したものである。

標高は石北峠・三国峠・日勝峠が1000mを越え、いずれも日高山脈周辺に在り、交通の大きな障害となっている。

カーブ数では上記の3箇所に加えて、北見峠・霧立峠において特に多く見られ、これらは特に厳しい条件下にある。また、曲率半径 200m未満を見ても、

表-1 標高とカーブ数

峠 名	国道	標 高 (m)	カーブ数 (箇所)	
				R200m未満
稲穂峠	5	267	31	5
狩勝峠	38	644	36	11
石北峠	39	1050	123	48
中山峠	230	836	75	17
霧立峠	239	380	127	70
土別峠	239	262	20	1
釧路峠	240	594	42	5
美幌峠	243	493	55	19
根北峠	244	487	77	18
三国峠	273	1139	141	43
日勝峠	274	1023	123	59
北見峠	333	857	101	44

表-2 勾配別区間距離

峠 名	総距離 (km)	勾配別区間距離 (km)							
		0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~	
稲穂峠	21.2	1.2	5.3	8.8	0	2.4	3.5	0	
狩勝峠	25.6	0	10.1	1.3	0	4.6	9.6	0	
石北峠	53.5	5.3	2.7	11.7	6.1	2.6	6.7	18.3	
中山峠	37.2	6.0	4.5	9.7	6.8	2.2	8.0	0	
霧立峠	42.6	31.5	3.8	3.4	2.8	0	1.0	0	
土別峠	13.8	8.3	2.1	0.7	1.3	0.6	0.8	0	
釧路峠	19.1	0	9.4	1.6	3.5	0	4.6	0	
美幌峠	28.2	3.5	8.8	0	0	0	12.1	3.8	
根北峠	42.9	2.0	7.9	11.0	13.3	4.5	0	4.2	
三国峠	55.9	6.2	3.4	20.1	4.4	1.4	16.4	4.1	
日勝峠	47.1	3.3	0	15.0	4.7	6.0	2.9	15.2	
北見峠	40.0	0	19.3	5.1	1.7	0	9.2	4.8	

An Impact Study on Mountain Tunnel

by Kazuhide ZENBUTSU, Shinei TAKANO and Keiichi SATOH

これらの箇所特に多い。

縦断勾配では石北峠・日勝峠において特に厳しく、勾配4%を越える区間が全区間の50%以上にも及んでいる。

2-2 峠部の交通状況

表-3は、昭和60年度道路センサスのデータをもとに、北海道における主な峠部交通の現状を示したものである。

峠部における交通量は年々増加の傾向にあり、中山峠・稲穂峠において12時間交通量で5000台を越えている。そのほかを見ても、交通量の多い区間が数箇所見られ、市町村間を結ぶ交通の要所であることが分かる。

また大型車混入率が、30%を越える箇所が数箇所見られ、物流交通でも要所となっていることがうかがえる。特に、狩勝峠・日勝峠は道央と道東を結ぶ重要なポイントである。

昼夜率では、石北峠で最も高く、そのほか日勝峠・狩勝峠・稲穂峠において比較的高い値となっている。

3. 峠部における走行抵抗

3-1 走行抵抗の算出

峠部においては、道路条件から考えて、平地部に比べ勾配部と曲線部、特に曲率半径の小さい曲線部が多く存在し、自動車交通の障害となっていることは明かである。そこで、走行抵抗にこの勾配部と曲線部による抵抗を要因に取り入れることを考える。つまり、この2つの要因を用いて距離を補正するのである。この補正された距離が、山岳部における走行抵抗を考慮にいれた距離となる。走行抵抗の勾配部と曲線部については、それぞれ次のように算出した。

勾配部については、その勾配別の燃料費を用いて補正を行なうものとする。この場合、勾配とは縦断勾配をいう。表-4は車種別に勾配別の燃料費を示したもので、既存データでは勾配2~4%と4~6%のみであった。そこで他の勾配については力学的に勾配と燃料費の関係は比例関係にあるとして算出した。なお既存データは開発局の資料である。

すなわち勾配部については以下の式を用いて、燃

料費のデータをもとに補正を行なう。

$$\alpha_g = \frac{\text{縦断勾配 } \theta \text{ の燃料費}}{\text{勾配 } 0 \sim 2 \% \text{ の燃料費}} \quad (\text{式 } 1)$$

この α_g を補正係数とする。この指標を用いることによって、勾配部における走行抵抗を表現することが可能になる。

表-3 峠部の交通状況

峠 名	交 通 量 (台/12h)	大型車混 入率 (%)	昼夜率
稲穂峠	5107	19.5	1.37
狩勝峠	2308	33.4	1.41
石北峠	2541	29.7	1.46
中山峠	5618	23.4	1.31
霧立峠	517	27.3	1.16
士別峠	1805	27.1	1.19
釧北峠	1990	38.8	1.26
美幌峠	1450	25.1	1.15
根北峠	447	28.0	1.15
三国峠	497	32.4	1.09
日勝峠	1508	39.2	1.41
北見峠	1696	23.2	1.26

表-4 勾配別燃料費 (単位: 円/km)

車 種	0~2%	2~4%	4~6%	6~8%	8%~
乗用車	16.26	17.42	18.58	19.74	20.90
バス	22.88	28.64	34.40	40.16	45.92
小型貨物	12.66	14.78	16.90	19.02	21.14
普通貨物	22.12	28.24	34.36	40.48	46.60

燃料費は道路構造(勾配やカーブ)等の道路条件により大きな影響を受けると考えられる。燃料費は道路構造(勾配やカーブ)等の道路条件により大きく左右され、道路条件は走行抵抗と強い関係にあるから、走行抵抗を燃料費の比を用いて表現することが可能であると考えられる。その比の大きさが勾配部における走行抵抗の大きさを表わすのである。それは、勾配が増加するにしたがって、燃料費も増加している状況からも判断できよう。

曲線部については、合成勾配を用いて補正を行なうこととする。合成勾配とは、縦断勾配と片勾配によって求められるものであり、雨水の流れる方向の勾配を示している。(式2)片勾配とは、曲線部において自動車が曲がり易いようにするために設置さ

れるものである。これは設計速度と曲率半径により決定されるものである。この場合、設計速度は時速40kmを用いた。設計速度は峠部の設計速度からこの値を用いた。この合成勾配を用いることにより、縦断勾配と同様に曲線部も勾配として扱うことが可能になる。つまり、合成勾配を用いて、曲線部における走行抵抗を表現するのである。

合成勾配の算出にあたっては、道路構造令より以下の条件を設ける。

- ①片勾配は6%以下とする
- ②曲率半径 600m以上は片勾配は付けない。

$$\text{合成勾配 } S = \sqrt{(\text{縦断勾配})^2 + (\text{片勾配})^2} \quad (\text{式2})$$

この合成勾配は縦断勾配と同様に勾配として扱えるので、

縦断勾配の燃料費=合成勾配の燃料費と考えることができる。よって、勾配部と同様に曲線部についても、式1に合成勾配を代入すると補正係数を算出することができる。式3は曲線部についての補正係数 β_θ を求めるものである。

$$\beta_\theta = \frac{\text{合成勾配 } S \text{ の燃料費}}{\text{勾配 } 0 \sim 2\% \text{ の燃料費}} \quad (\text{式3})$$

これらを用いて、直線部と曲線部における距離補正を行なう。

3-2 峠部の補正距離の算出

補正距離の算出については図-1の通りである。勾配 θ の区間を直線部と曲線部に分けて、それぞれの区間において補正距離の算出を行なう。

直線部については、勾配 θ 、つまり縦断勾配より求めた補正係数 α_θ を用い距離の補正を行なう。距離は、直線部における実距離である。この α_θ に直線部距離を掛けて、直線部における補正距離を算出する。これを峠部全区間について行なう。(式4)

$$L_{s'} = \sum \alpha_\theta \cdot L_{s\theta} \quad (\text{式4})$$

$L_{s'}$: 直線部の補正距離

$L_{s\theta}$: 直線部の実距離

α_θ : 補正係数

曲線部については、縦断勾配と片勾配により求められる合成勾配により算出した補正係数 β_θ を用いて補正距離算出を行なう。実距離は曲線長を用いる。合成勾配は、この区間の全ての曲線部について行なう。この β_θ を曲線部実距離に掛けることにより、曲線部の補正距離を算出する。(式5)

$$L_{c'} = \sum \beta_\theta \cdot L_{c\theta} \quad (\text{式5})$$

$L_{c'}$: 曲線部の補正距離

$L_{c\theta}$: 曲線部の実距離

β_θ : 補正係数

峠部における補正距離は直線部と曲線部の補正距離を加えることによって求められる。

$$L' = L_{s'} + L_{c'} \quad (\text{式6})$$

L' : 補正距離

$L_{s'}$: 直線部の補正距離

$L_{c'}$: 曲線部の補正距離

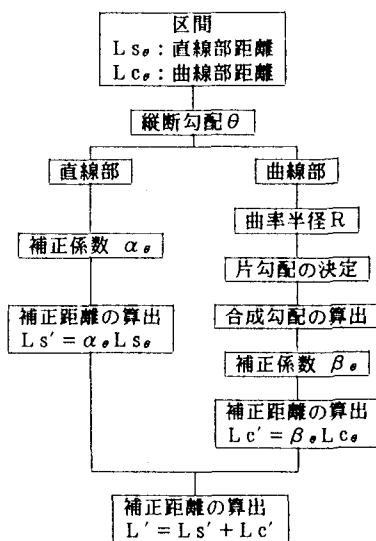


図-1 補正距離算出のフロー

補正距離算出の例として狩勝峠と日勝峠を取りあげる。表-5は、曲率半径ごとに曲線部の距離を全区間の曲線部について求めたものである。この算出

には、開発局のデータを用いている。さらに表－6は、直線部については縦断勾配、曲線部については合成勾配について距離をそれぞれ求め、勾配別の距離を算出したものである。

表－5(1) 曲線部の距離(日勝峠)(単位: m)

勾配 (%)	区間距離 (m)	曲率半径 (m)				
		~160	160~210	210~280	280~400	400~600
0~2	3300	450	150	240	0	270
2~4	19740	2620	1230	390	660	300
4~6	8820	3170	1650	480	1020	2040
6~	15240	2150	900	270	450	1650

表－5(2) 曲線部の距離(狩勝峠)(単位: m)

勾配 (%)	区間距離 (m)	曲率半径 (m)				
		~160	160~210	210~280	280~400	400~600
0~2	10100	0	0	0	0	450
2~4	1300	0	240	450	0	0
4~6	14600	2660	1170	600	1380	1020

表－6 勾配別区間距離(単位: m)

	0~2%	2~4%	4~6%	6~8%	8~%	合計
日勝峠	2190	15770	18220	8410	2510	47100
狩勝峠	9560	1060	10690	4200	0	25600

3-3 補正距離の算出結果

式6を用いて補正距離を求めたものを表－7に示す。これは北海道における主な峠12箇所について、車種別に補正距離を求めたものである。表－7において上段は補正距離を、下段は補正距離と実距離との比を示している。

その算出結果で(補正距離) / (実距離)の値は、勾配部と曲線部を考慮に入れた走行抵抗を示している。この値を見ると、石北峠・日勝峠において特に高い値となっている。また、バス・普通貨物の大型車においてこの値は他の車種に比べ高いものとなっている。

4. 走行抵抗

走行抵抗の一般型について考えてみる。走行抵抗は山岳部だけではなく、平地部にも存在する。平地部では、勾配によるものはほとんどないといってもよいが、それ以外に道路渋滞等の混雑によるものが

考えられる。この要因は、山岳部についても同様に考えられる。そこでその混雑度を考慮に入れた補正距離算出式を式7に示す。

$$L' = \sum \gamma \alpha_o L_{so} + \sum \gamma \beta_o L_{co} \quad (式7)$$

γ : 混雑抵抗

混雑抵抗 γ は混雑度とQ-Vの関係から求められることとする。

これにより、平地部でも適用できる走行抵抗の算出を行なうことが可能になる。

今回は、式7ではなく式8を用いて、補正距離の算出を行なった。

表－7 補正距離

峠名	区間距離 (m)	補正距離 (単位: m)			
		乗用車	バス	小型貨物	普通貨物
稲穂峠	21200	22834	26968	25036	27539
		1.08	1.27	1.18	1.30
狩勝峠	25600	28100	34421	31468	35295
		1.10	1.34	1.23	1.38
石北峠	53480	61237	80853	71688	83563
		1.15	1.51	1.34	1.56
中山峠	37150	40799	50027	45715	51302
		1.10	1.35	1.23	1.38
霧立峠	42110	45532	54186	50143	55382
		1.08	1.29	1.19	1.32
土別峠	13800	14348	15733	15086	15925
		1.04	1.14	1.09	1.15
釧北峠	19050	20524	24251	22510	24766
		1.08	1.27	1.18	1.30
美幌峠	28200	31102	38441	35012	39455
		1.10	1.36	1.24	1.40
榎北峠	42900	46703	56321	51827	57649
		1.09	1.31	1.21	1.34
三内峠	55900	62314	78532	70954	80773
		1.11	1.40	1.27	1.44
日勝峠	47100	53341	69123	61749	71303
		1.13	1.47	1.31	1.51
北見峠	40000	43850	53584	49036	54929
		1.10	1.34	1.23	1.37

5 道路整備による走行抵抗軽減効果の算出

5-1 対象路線

整備対象路線としては、国道 274号にある日勝峠を取りあげる。(図-2) この峠は、表-7からも分かるように、走行抵抗の大きな峠部である。

そこで、この区間で道路整備がなされた場合の効果計測を行なう。ここでいう道路整備とは下記の2点である。

① 勾配と曲率半径の緩和

② トンネルの整備による延長の短縮と、勾配と曲率半径の緩和

①については、単に道路整備がなされて勾配と曲率半径が緩和されることをいう。②については、トンネル整備により区間延長が短縮され、それに伴い勾配部と曲線部が減少し、勾配と曲率半径が緩和されることをいう。この整備がなされたときの走行抵抗軽減効果の計測を行なう。

日勝峠における道路整備は、上記に従い以下のような整備を行なったものと想定する。

- ① 合成勾配は全区間で6%未満にする。
- ② トンネルは図-3に示す区間に2つ設置するものとする。

図-3においてトンネル①は延長 6.6km、勾配 4.5%、トンネル②は延長 8.5km、勾配 3.2%である。

5-2 転移交通量の予測法

道路整備の効果計測は、図-4にしたがって行なう。道路整備による効果は、転移交通量の計測から捉えるものとする。

整備前については、3-2で述べた方法より算出した表-7の補正距離を用いる。

整備後については5-1で述べたように整備区間を想定して、直線部と曲線部における距離と、縦断勾配・合成勾配を算出し、補正距離を求める。その算出方法は、整備前と同様である。表-8は整備後の勾配別の区間距離である。なおこれには曲線部も含まれている。表-9は整備後の補正距離を車種別に算出したものである。

交通量算出については、昭和60年度OD調査の集約市区町村データを用いる。そして下記の条件にもとづき、それぞれの峠部の交通量の算出を行なった。

- ① 対象市町村は全道の人口1万人以上の市町65カ所とする。
- ② 対象道路は一般国道とする。
- ③ 経路選択は最短経路選択として、交通量の配分を行なう。

5-3 転移交通量の算出

表-10はこの補正距離を用いた場合と用いない場合について交通量を算出し、実交通量と比較したものである。この結果、補正距離を用いない場合は実



図-2 日勝峠と狩勝峠

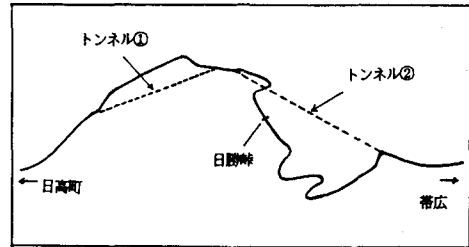


図-3 トンネル整備の想定ルート

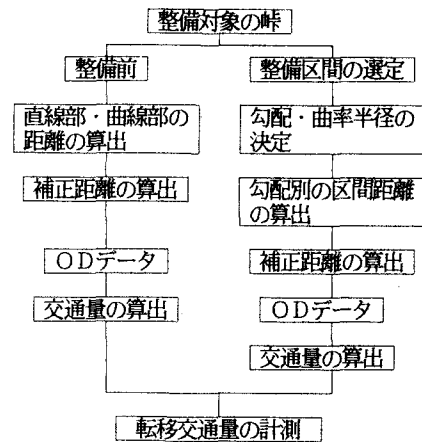


図-4 転移交通量計測のフロー

表-8 整備後の距離 (単位: m)

勾配	0~2%	2~4%	4~6%	合計
区間距離	1420	19040	9360	29840

表-9 整備後の補正距離 (単位: m)

車種	乗用車	バス	小型貨物	普通貨物
補正距離	32514	39326	36143	40267

表-10 交通量の計算値と実測値（単位：台/日）

	補正前	補正後	実交通量
狩勝峠	1559	2988	3254
日勝峠	3925	2459	2126

測値とかなりの差がみられるが、補正距離を用いた場合は実測値にかなり近い値となっている。これから、交通量の配分計算法に問題がないとすればこのモデルが現状をよく表現していることが分かる。もし配分計算法に問題があったとしても、このモデルは道路計画に有効である。

表-11は日勝峠における整備前後の走行抵抗を示したものである。図-3のように日勝峠においてトンネルを2箇所設置し、さらに曲率半径の緩和を行った結果、走行抵抗がかなり減少している。表-12は日勝峠において上記の道路整備が行われた場合と整備前の交通量を、狩勝峠と日勝峠において算出したものである。交通量を比較すると、日勝峠では約1.6倍に増加しており、かなりの変化がみられる。一方、狩勝峠の交通量はかなり減少している。この2つの峠の位置から考えて、主に交通量は狩勝峠から日勝峠に転移してきたことが分かる。この交通量の増加は、日勝峠の走行抵抗軽減による効果である。この結果、山岳部におけるトンネル整備の重要性が、この走行抵抗を用いて転移交通量を求めることにより明らかになった。

表-11 整備前後の走行抵抗

	走行抵抗			
	乗用車	バス	小型貨物	大型貨物
整備前	1.13	1.47	1.31	1.51
整備後	1.09	1.32	1.21	1.35

表-12 整備前後の交通量（単位：台/日）

	整備前	整備後
狩勝峠	2988	1522
日勝峠	2459	3964

6. おわりに

山岳部の道路条件を表現するために、勾配部と曲線部を考慮に入れた走行抵抗を考え、その算出を行なった。今後、平地部にも適用できる混雑度を考慮に入れた走行抵抗の算出を行なう必要がある。

道路整備による効果としては、走行時間の短縮・走行抵抗の減少・誘発交通量等による交通量の増加が考えられる。本研究では、走行抵抗の減少に着目し、それによる転移交通量の計測を行なった。走行抵抗を用いることによって、道路整備による転移交通量の計測が可能になった。また、その走行抵抗と転移交通量を見ることにより、山岳部におけるトンネル整備の重要性を明らかにすることができた。

今回は対象路線として日勝峠を取りあげた。この日勝峠は道央と道東を結ぶ重要なルートである。にもかかわらず、現状は厳しい道路条件下にある。平成3年9月には国道274号が全線開通し、それによりこの峠がより一層重要な路線になることは明かである。そのため、今後道央と道東との結びつきを強める上でもこの峠部の道路整備が一層必要となってくる。

参考文献

- (1) 北海道開発局 平成元年度「峠道路の安全性・信頼性に関する調査業務」
- (2) 昭和60年度OD調査
- (3) 小林利之 「第10次道路整備五箇年計画の経済効果」 道路交通経済 1987 vol.47
- (4) 伊藤雅之・国久荘太郎 「道路整備五箇年計画の経済効果」 道路交通経済 1987 vol.41