

高速道路暫定2車線区間におけるボトルネック交通容量に関する考察*

A Study on Bottleneck Capacity on Divided Two-lane Expressways*

吉川良一**・長浜和実***・シン ジャン****・吉井稔雄*****・北村隆一*****

By Ryoichi YOSHIKAWA**・Kazumi NAGAHAMA***・Jian XING****

Toshio YOSHII *****・Ryuichi KITAMURA*****

1. はじめに

高速道路の単路部で縦断線形のサグ部やトンネル入り口付近が、交通容量上のボトルネックとなって交通渋滞が発生することが、広く知られている^{1)~4)}。このとき、渋滞発生前の近飽和状態における高い交通量レベルでは、走行車線と追越車線との間に速度差が生じ、追越車線に車線利用率が著しく偏る傾向がある。このため、車線利用率の不均等が生じることで、ボトルネックでの交通容量が低下する。このような、4車線以上の高速道路のボトルネック現象に関する調査・研究は、越ら^{1)~3)}によって1980年頃より始められ、渋滞発生メカニズムや交通容量について明らかになってきた。しかし、高速道路の暫定2車線(片側1車線)区間のボトルネック現象や交通容量などについては、十分に把握されているとは言えない。昨今の社会資本整備において費用対効果を重視する投資傾向から、高速道路の暫定2車線区間あるいは完成2車線区間が、今後ますます増えていくことが予想され、暫定2車線区間におけるボトルネック現象の解明とその渋滞対策の検討は、重要な課題である。

4車線以上の高速道路の渋滞対策としては、車線利用率の均等化を狙った付加車線の設置方策がある。この方策は、高速道路において一部実施事例があり、交通容量の改善効果も確認されている^{5)~7)}。

また、ボトルネック付近での付加車線の設置位置や長さなど、付加車線設置のあり方についての研究もなされている⁸⁾。これらの研究は、すべて4車線以上の高速道路を対象としており、付加車線の設置により車線利用率を均等化させ、渋滞発生を防ぐことを目的としたものである。しかし、高速道路の暫定2車線区間における付加車線設置による渋滞軽減効果については、これまで検討されていない。

そこで、本研究では、高速道路の暫定2車線区間におけるボトルネック現象やボトルネック交通容量に着目し、実観測データを用いた分析を通じて、(1)4車線区間と同様に渋滞発生後のボトルネック交通容量の低下現象が発生すること、(2)交通容量の低下割合が4車線区間と比較して大きいこと、(3)交通容量が4車線区間の1車線当たりの交通容量より小さいことを示すことで、4車線区間と対比しつつ暫定2車線区間に存在するボトルネック現象の特性について把握する。さらに、(4)暫定2車線区間のボトルネック交通容量と道路構造との関係を調べた後、(5)上流区間における付加車線設置がボトルネック容量を増大するメカニズムを考察する。

2. 暫定2車線区間のボトルネック交通容量

ボトルネック交通容量を分析するにあたっては、渋滞現象を定義することが必要となるが、本稿では「渋滞」、「渋滞発生時交通量」、「渋滞発生後捌け交通量」を以下にて定義する。

- ・ 渋滞：感知器による5分間平均の空間平均速度が40km/時以下の状態が連続15分間以上継続する状況。
- ・ 渋滞発生時交通量：渋滞の発生を引き起こす交通容量であり、ボトルネックを通過できる最大交通量を意味する。ここでは、ボトルネック直近上流地点の5分間空間平均速度が40km/h以下に低下した最初の5分間を除いたその直前15分間のフローレートとす

*キーワード：暫定2車線区間、交通流、交通容量、渋滞対策

**正員，工修，日本道路公団中部支社

(名古屋市中区錦2-18-19, TEL052-222-1181, FAX052-232-3740)

***正員，日本道路公団中部支社(同上)

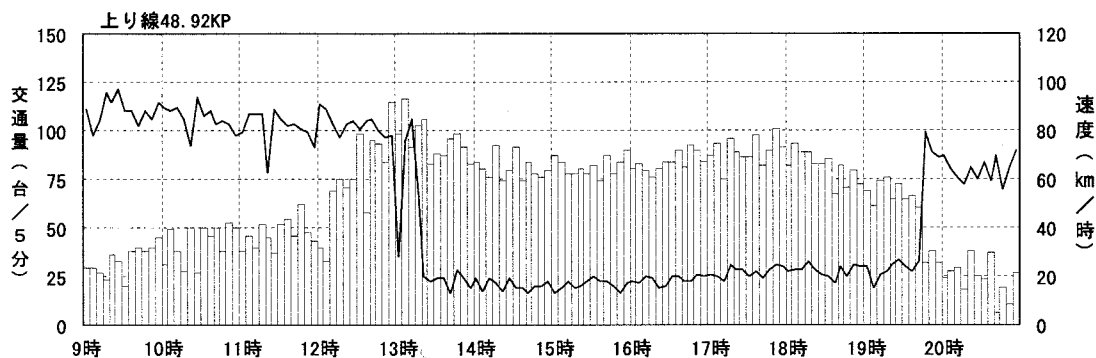
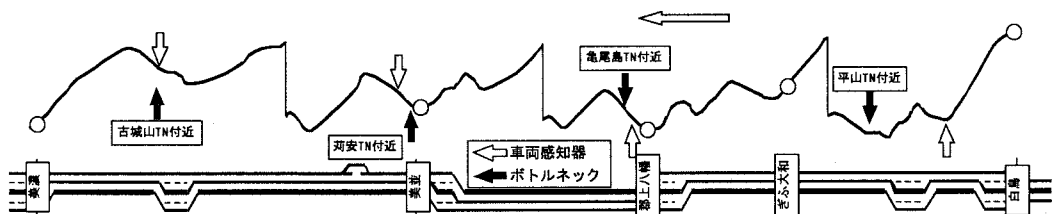
****正員，工博，財団法人 高速道路技術センター 交通研究課

(東京都千代田区霞が関3-7-2, TEL03-3503-2352, FAX03-3503-2308)

*****正員，博(工)，京都大学大学院 工学研究科

(京都市左京区吉田本町, TEL075-753-5135, FAX075-753-5916)

*****正員，Ph.D，京都大学大学院 工学研究科



る。

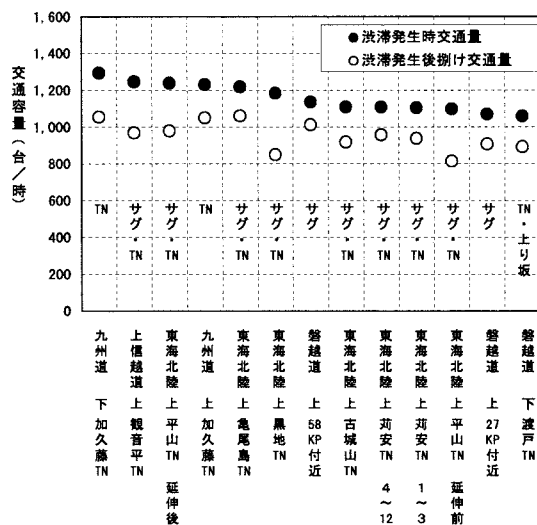
- ・ 渋滞発生後捌け交通量：渋滞発生後ボトルネックにおいて達成される平均フローレートである。渋滞（都市間高速道路では概ね40km/h以下）が発生した後、解消（速度上昇）するまでの全時間の平均フローレートとする。

図1に東海北陸自動車道の暫定2車線区間である美濃～白鳥間（上り線）の平面・縦断線形図およびボトルネック箇所を示す。当該区間のボトルネックは、古城山TN、荻安TN、亀尾島TN、平山TN付近である。図2には、車両感知器データを用いてプロットした荻安TN付近の5分間交通量と平均速度の時間変動を示す。

図2より、5分間フローレートで1,380台/時（115台/5分）の交通量が荻安TN付近に到着すると、車両の平均速度が40km/h以下に低下し、渋滞が発生していること、さらには、その後に達成される渋滞発生後捌け交通量が、渋滞発生時交通量と比較してかなり低いレベル（約80台/5分）で推移していることが読み取れる。なお13時頃速度低し一時的に回復したのは、後続車群との間隔が空いたためと思われる。

また、ボトルネック交通容量の箇所数を増やすために、

下記の条件により全国の高速道路暫定2車線区間におけ



る対象ボトルネックを選定し、それぞれに渋滞発生時交通量、渋滞発生後捌け交通量を算定した。その算定結果を表1と図3に示す。

- ・ 1年間に交通集中渋滞(事故・工事渋滞、先詰まり渋滞等除外)が1回でも発生している。

道路名	上下	ボトルネック			道路構造										付加車線		交通容量	
		名 称	原因	測点 (KP)	平面曲線半径 (m)				縦断線形 (%)			下流側 勾配 区間長	上流 単路 区間長	付加 車線長	渋滞発生時 交通量 (台/時)	渋滞発生後 捌け交通量 (台/時)		
					上流側		下流側		上流側	下流側	勾配差							
					向	半径	向	半径										
磐越道	上	27KP付近	サグ	27.0	L	3,000	L	1,000	-2.8	4.0	6.8	1,680	7,400	2,000	1,070	908		
	下	58KP付近	サグ	58.0		∞	R	3,000	1.5	2.6	1.1	660	3,800	2,700	1,137	1,013		
上信越道	上	渡戸TN	TN・上り坂	12.0	L	800		∞	0.6	2.6	2.0	1,240	2,400	2,100	1,060	893		
	上	観音平TN付近	サグ・TN	195.2	L	1,400	R	1,600	-3.0	1.4	4.4	1,360	—	—	1,247	969		
東海 北陸道	上	古城山TN付近	サグ・TN	37.8	R	2,000	L	2,000	-0.6	2.0	2.6	1,610	200	1,000	1,110	920		
		黒地TN付近	サグ・TN	44.1	R	700	L	620	-2.4	3.0	5.4	890	6,800	500	1,185	850		
		菊安TN付近	サグ・TN	48.6	R	700	L	2,000	-0.6	2.6	3.1	760	2,300	500	1,109	958		
		魚尾島TN付近	サグ・TN	58.7	R	700	L	2,000	-0.5	2.6	3.1	760	11,300	500	1,105	939		
		平山TN付近	サグ・TN	69.4	R	1,000	L	920	0.8	3.0	2.2	1,390	1,800	800	1,221	1,062		
九州道	上	加久藤TN付近	TN	270.0	R	1,600		∞	-0.4	1.7	2.1	1,550	1,200	500	1,099	816		
	下	加久藤TN付近	TN	265.0	R	1,200		∞	-0.4	1.7	2.1	1,550	1,200	1,750	1,240	980		
平均 値															1,162	955		

注1：菊安TN付近の上流側単路区間長：4～12月→2,300m 1～3月→11,300m

注2：平山TN付近の上流側付加車線長：延伸前→525m 延伸後→1,745m なお延伸後(H16)は実測値

- 交通容量を分析するための車両感知器が、ボトルネックの直近上流(概ね3 km 以内)の同一IC 区間に存在している。

ここで算出された暫定2車線区間のボトルネック交通容量のレンジと平均値は、以下の通りとなっている。

- 渋滞発生時交通量： 1,000～1,200 台/時
平均値 1,160 台/時
- 渋滞発生後捌け交通量： 900～1,100 台/時
平均値 955 台/時

渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量を比較すると、渋滞発生後捌け交通量が渋滞発生時交通量より約200 台/時程度(約18%)低下している。なお、渋滞発生時交通量と渋滞発生後捌け交通量の平均値の差について検定を行った結果、1%有意水準でその差が有意であることが示された。従って、4車線区間と同様に暫定2車線区間のボトルネックにおいても、渋滞発生後に交通容量の低下現象が発生することが示された。

3. 暫定2車線区間と4車線区間のボトルネック交通容量の比較

通常の4車線区間の渋滞は、交通量の追越車線への偏り(約6割強)により、追越車線が先に渋滞し、その後、追越車線の一部の車両が走行車線へ車線変更することで、走行車線もほぼ同時に渋滞に陥ってしまう。また、一旦渋滞が発生すると、渋滞発生後の交通量が捌け交通量で決まり、その値が渋滞発生前の交通量より低下することが報告されている²⁾³⁾。

表2 暫定2車線区間と4車線区間のボトルネック交通容量の比較

区間	車線	渋滞発生時交通量	渋滞発生後捌け交通量
暫定2車線区間		1,160	955
4車線区間 ¹⁾	走行	1,280	1,300
	追越	1,850	1,500
	2車線計	3,130	2,800
	1車線当たり	1,565	1,400

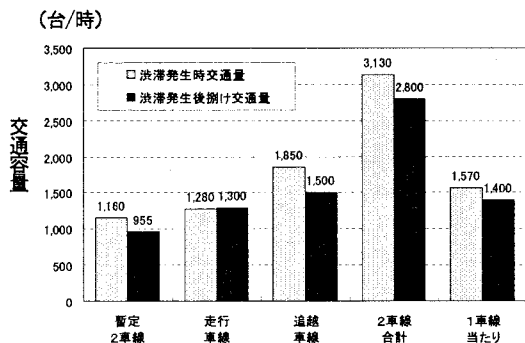


図4 暫定2車線区間と4車線区間のボトルネック交通容量の比較

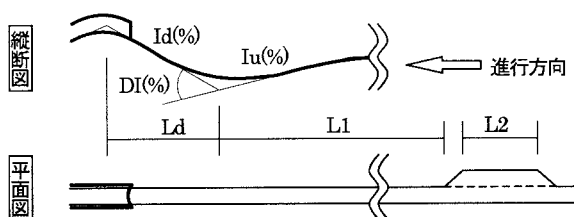
表2と図4に、暫定2車線区間ボトルネックの平均的な交通容量と通常の4車線区間ボトルネックの平均的な交通容量⁴⁾を示す。4車線区間の渋滞発生時交通量は2車線合計で約3,130 台/時で、車線別にみると追越車線では約1,850 台/時、走行車線では1,280 台/時となっている。渋滞発生後の捌け交通量は、2車線合計で約2,800 台/時で、追越車線では約1,500 台/時、走行車線では1,300 台/時となっている。4車線区間のボトルネック交

通容量の低下は、車線別にみると、追越車線では約 19% の低下、走行車線では逆に約 2% の増加と異なる傾向を示している。これは、渋滞発生時の車線利用率の不均衡に起因するもので、渋滞発生時の走行車線の交通量が、走行車線の持つ本来の渋滞発生時交通容量に到達することなく容量以下となっているため、走行車線の渋滞発生後の捌け交通量レベルに達していない状況が発生しているものと考えられる。対して、暫定 2 車線区間におけるボトルネックでは、4 車線区間の渋滞発生車線である追越車線と同様に約 20% 低下しており、4 車線区間における 2 車線合計のボトルネック容量が約 10% の低下となっていることと比較して、遥かに大きな割合で容量が低下していることが確認された。この結果より、暫定 2 車線区間のボトルネックにおいては、渋滞発生後の交通容量低下割合が 4 車線区間と比較して大きいことが示された。

続いて、暫定 2 車線区間と 4 車線区間の 1 車線当たりのボトルネック交通容量を比較すると、暫定 2 車線区間では、渋滞発生時交通量が平均で約 1,160 台/時で、4 車線区間の 1 車線当たりのそれより約 25% 低く、車線別にみると、4 車線区間の追越車線より約 40%、走行車線より約 10% 低くなっている。また、暫定 2 車線区間の渋滞発生後捌け交通量は、平均で約 955 台/時で、4 車線区間の 1 車線当たりのそれより約 30% 低く、車線別では、4 車線区間の追越車線より約 35%、走行車線より約 25% 低くなっている。このことより、暫定 2 車線区間のボトルネック交通容量が 4 車線区間の 1 車線当たりの交通容量より小さいことが示された。これは、それぞれの道路を走る交通流の車群特性（車頭時間・車間距離等）の違いによるものと考えられる。車線変更可能な 4 車線区間では、他の車両に割り込まれる可能性があるため、大きな車間距離をあまり取らないで走行するが、暫定 2 車線区間では、追越不可能なために他の車に割り込まれることがないため、4 車線区間より車間距離を空けて走行する傾向があると考えられる。

4. 暫定 2 車線区間ボトルネック交通容量と道路構造との関係

暫定 2 車線区間のボトルネック交通容量と道路構造との関係を考えてみる。表 3 に各道路構造の影響変数と交通容量との単相間表を示す。表中の各変数は、図 5 の模



	Iu	Id	di	Ld	L1	L2	Q0	Q1
Iu	1.00							
Id	-0.78	1.00						
di	-0.50	0.44	1.00					
Ld	0.71	-0.72	0.09	1.00				
L1	-0.43	0.53	0.52	-0.37	1.00			
L2	0.60	-0.46	-0.04	0.68	-0.15	1.00		
Q0	0.60	-0.58	-0.13	0.62	-0.30	0.59	1.00	
Q1	0.73	-0.36	-0.29	0.48	-0.23	0.43	0.68	1.00

(1) 渋滞発生時交通量

モデル	AIC	R	修正済R
① Ld	135.253	0.62	0.57
② Ld, Iu	135.253	0.66	0.56
③ Ld, L2	136.123	0.67	0.56
④ Ld, Id	136.511	0.65	0.54
⑤ Ld, Id, L2	137.180	0.70	0.54
⑥ Ld, Iu, L2	137.464	0.69	0.52
⑦ Ld, Iu, Id	138.100	0.67	0.48
⑧ Ld, Iu, Id, L2	139.076	0.70	0.44

(2) 渋滞発生後捌け交通量

モデル	AIC	R	修正済R
① Iu	133.349	0.73	0.70
② Iu, Ld	135.254	0.73	0.66
③ Iu, L2	135.349	0.73	0.66
④ Iu, Ld, L2	137.236	0.73	0.61

式図に示し、表 1 中のものとも対応している。交通容量と相関の高い変数は以下の通りである。

- ・ 渋滞発生時交通量 Q0：下流側勾配区間長 Ld (0.62)、上流区間縦断勾配 Iu (0.60)、上流付加車線区間長 L2 (0.59)、下流縦断勾配 Id (-0.58)
- ・ 渋滞発生後捌け交通量 Q1：上流区間縦断勾配 Iu (0.73)、下流側勾配区間長 Ld (0.48)、上流付加車線区間長 L2 (0.43)

以下、二つの交通容量と相関の相対的に高い道路構造変数との関係を重回帰分析を用いて算出し、その結果を表 4 に示す。

(1) 渋滞発生時交通量

表 4 に示す重回帰分析結果から、AIC 値、自由度調整済 R 値より、適合度が最も高いと考えられる①下流側勾配区間長 Ld のみを説明変数とする回帰式を採用する。図 6 に渋滞発生時交通量 Q0 と下流側勾配区間長 Ld と

表5 東海北陸自動車道（上り線）
ぎふ大和～白鳥間の渋滞発生状況

ボトルネック：平山 TN 付近

年	交通量 (台/日)	渋滞 回数	渋滞長(km)		渋滞時間(h)	
			延べ	平均	延べ	平均
H13	4,190	11	68.4	6.2	27.5	2.5
H14	4,270	14*	93.2	6.7	29.7	2.1
H15	4,250	3	6.8	2.3	2.9	1.0
H16	4,175	3	8.9	3.0	2.5	0.8

*総て付加車線延伸前に発生。

図8に東海北陸自動車道（上り線）ぎふ大和～白鳥間におけるボトルネック（平山 TN 付近）と、その上流にある付加車線の設置状況を示す。当該区間のボトルネックは、付加車線終点から約 1.2km 下流にある平山 TN 坑口部付近である。供用当初から設置されていた付加車線は延長 525m であったが、平成 14 年 11 月にそれを上流側に延伸し、1,745m となった。

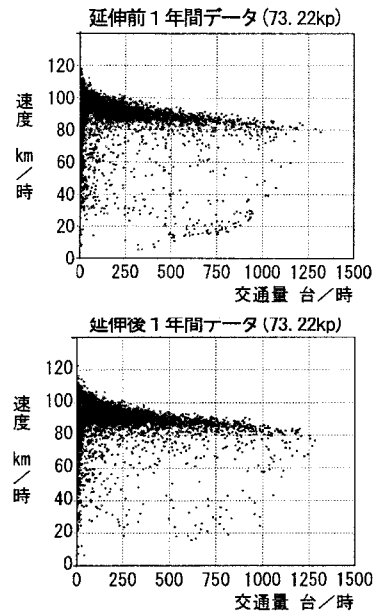
付加車線延伸前後の平山 TN 付近を先頭とする渋滞の発生状況を表5に示す。延伸前には、年間の渋滞発生回数は 11～14 回であったが、延伸後の平成 15～16 年は 3 回と大きく減少している。一方、平成 13 年～16 年における上り線の日交通量（表5），および付加車線上流側の Q・V 図（図9）を見ると、付加車線延伸前後の日交通量・時間交通量はあまり変化していないことが分かる。

このことから、付加車線の延伸前後で需要交通量に大きな変化は見られないが、付加車線の延伸が渋滞を軽減させたことがうかがえる。

すなわち、延伸前の付加車線長（525 m）では、複数の車両が車群先頭の追越に十分な延長がなかったのに対して、1,745 mに延伸したことにより、十分に追越ができるようになったものと考えられる。この結果は、付加車線を延伸することによって、より以上に低速車両の前方ギャップを埋めることが可能となり、ボトルネックにおける交通容量を増加させることが可能であるという前節での考えを支持するものである。

6. おわりに

本研究では、実データを用いて暫定2車線区間におけるボトルネック交通容量の分析を行い、通常の4車線区



間のボトルネックと同様に、渋滞による捌け交通量の低下現象を確認した。さらに、4車線区間のボトルネックとの比較において、交通容量の低下割合が大きいこと、ならびに渋滞発生時、発生後ともに4車線区間の1車線当たりの交通容量より小さいことを示した。

続いて、暫定2車線区間のボトルネック交通容量と道路構造との関係进行分析し、渋滞発生時交通量はボトルネックの下流側縦断勾配区間長、渋滞発生後捌け交通量はボトルネックの上流区間縦断勾配に影響される可能性が高いという知見を得た。また、該当するそれぞれの説明変数を用いてボトルネック交通容量を推定する回帰式が十分な説明力があることを確認した。最後に、ボトルネックの上流に一定長以上の付加車線を設置することによって、下流側ボトルネックの容量が増大するメカニズムを考察した。

今後は、付加車線設置の効果も含めて2車線区間におけるボトルネック容量を規定する要因分析を行う予定である。

暫定2車線区間の渋滞対策としては、全線4車線化することが抜本的改善策ではあるが、もともと投資効率が良くないために暫定としていることから考えると、その対策としては、付加車線を設置することも有力な対策の

一つであると考えられ、暫定2車線区間のボトルネック上流に付加車線を設置することによるボトルネック容量増大のメカニズムを解明し、最適な付加車線長やその渋滞軽減効果を検証していく必要がある。さらに、近年の高速道路で実施されている需要交通の分散を促す情報提供TDMや、渋滞発生後の捌け交通量を増加させるためのLED標識による情報提供など、ソフト的な渋滞対策と併せた複合的な渋滞対策についても、合わせて検討する必要があると考えている。

参考文献

- 1) 越 正毅：高速道路トンネルの交通現象，国際交通安全学会誌，Vol.10 No.1, pp32-38, 1984
- 2) 越 正毅：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集，第371号/IV-5, pp1-7, 1986.7.
- 3) 越 正毅，桑原雅夫，赤羽弘和：高速道路のトンネル，サグにおける渋滞現象に関する研究，土木学会論文集，No.458/4-18, pp65-71, 1993.
- 4) 交通工学研究会：高速道路の交通容量に関する調査検討報告書（日本道路公団委託），1998.2.
- 5) 栗原光二，日置洋平：高速道路ボトルネックの交通容量改善策，土木計画学・論文集 No.12, pp731-738, 1995.8.
- 6) 栗原光二，羽山 章，安積淳一：ボトルネック対策としての付加車線の効用，高速道路と自動車，第42巻第7号，pp29-36, 1999.7.
- 7) 大口 敬，桑原雅夫，赤羽弘和，渡邊 亨：ボトルネック上流における車線利用率の矯正効果と付加車線設置形態，交通工学，Vol.36 No.1, pp59-69, 2001.
- 8) 渡邊 亨，逢坂光博，平井章一：高速道路における渋滞対策としての単路部付加車線のあり方，交通工学，Vol.38 増刊号，pp41-44, 2003.

高速道路暫定2車線区間におけるボトルネック交通容量に関する考察*

吉川良一**・長浜和実***・シン ジャン****・吉井稔雄*****・北村隆一*****

本論文は、高速道路の暫定2車線区間におけるボトルネック現象やボトルネック交通容量に着目し、実観測データを用いた分析を通じて、(1)4車線区間と同様に渋滞発生後のボトルネック交通容量の低下現象が発生すること、(2)交通容量の低下割合が4車線区間と比較して大きいこと、(3)交通容量が4車線区間の1車線当たりの交通容量より小さいことを示すことで、4車線区間と対比しつつ暫定2車線区間に存在するボトルネック現象の特性について把握できた。さらに、(4)暫定2車線区間のボトルネック交通容量と道路構造との関係を調べた後、(5)上流区間における付加車線設置がボトルネック容量を増大するメカニズムを考察した。

A Study on Bottleneck Capacity on Divided Two-lane Expressways*

By Ryoichi YOSHIKAWA**・Kazumi NAGAHAMA***・Jian XING****
Toshio YOSHII *****・Ryuichi KITAMURA*****

The paper deals with the bottleneck phenomenon and capacity analysis of the divided two-lane expressways in Japan, which has not been studied so far, although those of the multi-lane expressways have been done sufficiently. It is found from the observed data that (1) the bottleneck phenomenon of capacity reduction from the maximum flow rate just before congestion to that discharged from the congestion queue behind bottleneck occurs on the divided two-lane expressways as similar to that of multi-lane expressways; (2) the capacity reduction for the divided two-lane expressways is larger than that for the multiple-lane expressways; (3) the bottleneck capacity of the divided two-lane expressways is less than the average capacity per lane of the multi-lane expressways. In additions, (4) the relationship between bottleneck capacity and highway geometric characteristics is studied. Finally it suggests a mechanism of improvement of bottleneck capacity by adding an auxiliary lane upstream of the bottleneck for the divided two-lane expressways.