

IC 合流部の適正な車線規制方式による本線渋滞軽減効果の検証

中日本高速道路(株) 正会員 ○ 高橋秀喜
(財)高速道路調査会 正会員 Jian Xing
中日本ハイウェイ・エンジニアリング 東京(株) 正会員 山下和彦
大阪大学大学院 正会員 飯田克弘

1. はじめに

工事車線規制時の渋滞は、これまでの研究^{1),2)}により、発生する渋滞の多くが、車線規制区間内に存在する「サグ部」、「規制始端部」、「IC 合流部」がボトルネックとなることで発生し、IC 合流部の交通容量はサグ部に次いで低いことが報告されている。

また、IC 合流部における交通容量低下の要因については、IC からの流入交通による合流摩擦の影響などが挙げられるが、このような合流摩擦による交通容量の低下を避けるために、非渋滞時ではある長さ以上の合流延長が必要である。一方、渋滞時では長い合流延長において数個所で同時合流が発生し、合流摩擦の影響が顕著になり、本線の捌け交通量を低下させ、本線の渋滞が悪化してしまうことが考えられる。

このことは、図1に示したように、従来の工事規制区間内の IC 合流部では、本線が1車線しかないため、ランプ合流交通が多い場合はその合流摩擦の影響がさらに顕著になり、本線の捌け交通量をさらに低下させてしまう。

このように、IC から合流するランプ交通量の割合が高いと、本線側の交通量が捌けなくなり、本線の渋滞長さや渋滞時間が長くなるなどの悪影響が出るものと考えられる。

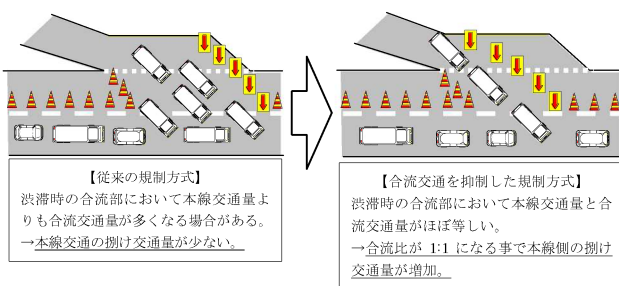


図1 規制方式変更による影響

そこで、本研究では、IC 合流部における本線側渋滞の軽減対策として、合流区間長を従来の規制方式よりも短くし、合流するポイントを少なくすることで、IC からのランプ合流交通を抑制し、ランプ合流交通量と本線交通量の合流割合がほぼ 50%の交互合流となるような車線規制方式を実施し、このときの渋滞軽減効果を検証した。

Keywords :合流部,工事車線規制,渋滞対策,交互合流

* 連絡先 : h.takahashi.ai@c-nexco.co.jp
(Phone)052-222-3632

2. IC 合流部における本線側渋滞軽減対策の実施概要

2.1 IC 合流部対策の実施概要

IC 合流部対策は、2009 年の東名集中工事期間中に上り清水 IC 合流部において実施した。対策実施前後の規制形態を表1に示す。

表1 実施概要

走行車線規制	対策実施前	
	対策実施後	
追越車線規制	対策実施前	
	対策実施後	

表1に示したように、合流部対策は走行車線規制時と追越車線規制時で実施し、合流区間長は、対策実施前は走行車線規制時が約255m、追越車線規制時が約240mであったものを対策実施後は約90mに短縮した規制形態で実施した。なお、実施前から実施後への規制形態切替は、IC 合流部付近の渋滞を現地で確認した後に規制の切替えを行った。

2.2 IC 合流部の交通量データ収集

IC 合流部対策実施前後の交通量データはビデオ撮影調査により取得したものをを使用した。なお、ビデオ撮影は合流前本線、合流部、合流後本線にそれぞれ設置したビデオカメラで撮影し、ビデオ画像の判読は合流部渋滞発生後3時間分を判読した。

3. IC合流部対策の渋滞軽減効果検証

3.1 対策実施前後の渋滞発生状況

図3に対策実施前後の渋滞発生状況を示す。

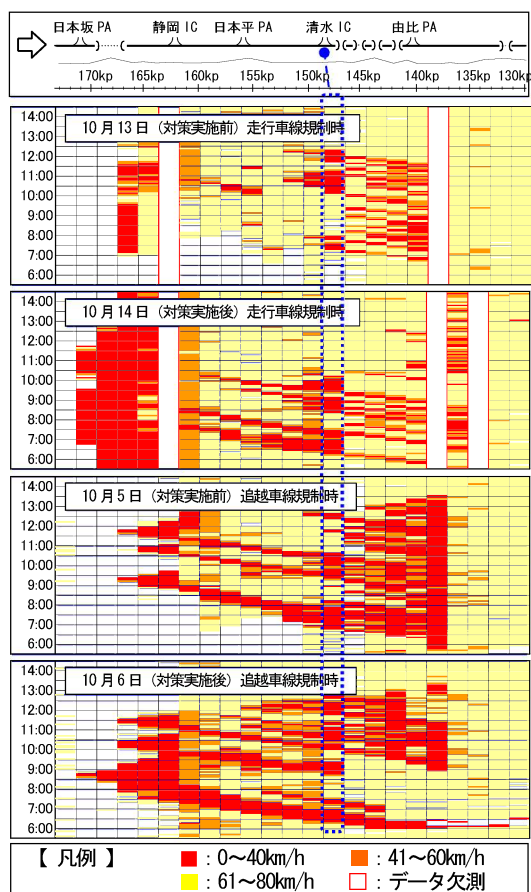


図3 対策実施前後の渋滞発生状況

図3は車両感知器データから作成した速度コンター図である。この図を見ると分かるように、各実施日に共通して清水 IC 合流部付近の渋滞は、10km 程度下流側のボトルネックで発生した渋滞が延伸したものと考えられ、合流部付近が渋滞先頭となる時間帯は多少含まれているものの、それ以外のほとんどの時間帯は下流側ボトルネックの影響を受けているものと考えられる。

IC 合流部対策実施前後の渋滞状況を比較すると、渋滞している時間帯、範囲は対策後のほうが若干広くなっており、これら渋滞状況の変化から対策効果を明確に確認することは出来なかった。しかし、これには日々の交通需要が異なる影響が含まれていることから、後述する 3.3 では需要交通量を同一にした場合の交通状況を試算し、合流部対策の渋滞軽減効果を確認した。

3.2 対策実施前後の合流状況

ここでは、ビデオ撮影調査により取得した交通量データをもとに対策実施前後の合流割合を算出し比較するが、対策実施による合流割合の変化を正確に評価するには、図1に示したような、ランプ交通量と合流前本線交通量の両方で常に合流待ち車両が存在している交通状況のみを抽出して合流割合を算出することが必要である。

今回対策を実施した清水 IC は、時間帯によっては必ずしもランプ交通量が多いとはいえない時間帯が確認され、また、ランプ交通量の変動が大きいことから合流待ち車両の有無も短時間で変動していた。

このことから、ビデオ画像から交通量を判読すると同時に、ランプ交通の滞留状態についても判読し、これらを1分集計した。集計した1分間交通量からランプが滞留状態にあるものを抽出して対策実施前後の合流割合を比較した。なお、本論文ではランプ滞留状態とは、1分間にわたって3台以上の合流待ち車両がある場合とした。

図4にランプ滞留状態にある時間帯のみ抽出して、対策実施前後の合流割合を比較したものを示す。なお、図中カッコ内の「n」は、集計で使用した1分間交通量のサンプル数である。

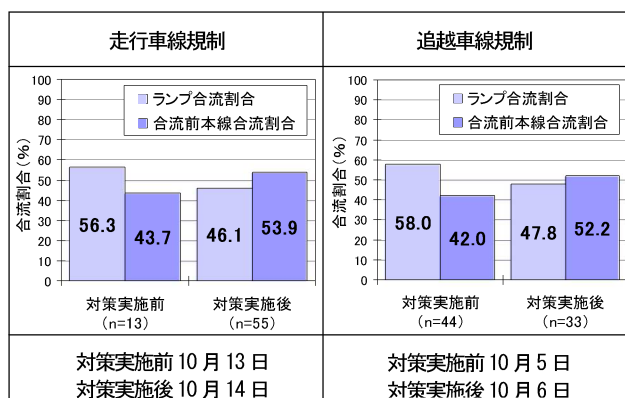


図4 清水 IC 合流部の渋滞発生後合流割合（滞留あり）

図4から分かるように、サンプル数が少ない中での比較ではあるが、IC 合流部対策の実施前後で合流割合に変化が見られた。

対策実施前の合流部では、走行、追越車線規制時の両方で、合流前本線交通量はランプからの合流交通量よりも少なく、走行車線規制時では合流前本線交通の合流割合は 43.7%、追越車線規制時では 42.0%であった。

一方、合流部対策実施後では、走行車線規制時の合流前本線の合流割合は 53.9%、追越車線規制時では 52.2%となっていて、ランプからの合流交通が合流部対策の規制により抑制され、合流前本線交通が多く流入できる状況、即ち、本線とランプの交互合流形式に変化したことが分かる。

なお、合流前本線交通の平均合流割合について、表2に示す対策前後合流割合の差の t 検定を行った結果、その差が有意水準 5%で有意である結果であった。

表2 平均合流割合の差の検定

		平均合流割合 (合流前本線交通量)	t値	有意確立 (両側)
走行車線規制	実施前	43.7%	-2.601	0.0120
	実施後	53.9%		
追越車線規制	実施前	42.0%	-3.463	0.0009
	実施後	52.2%		

3.3 清水 IC 合流部対策による渋滞軽減対策効果検証

上り清水 IC 合流部対策効果について、同一の交通需要を用いて合流部対策実施前後の交通状況を試算し比較した。試算は対策実施前に渋滞発生が確認されている追越車線規制時について行うが、2009 年 10 月 5 日に清水 IC 付近が渋滞であった 6:45~9:15 までの時間帯の需要交通量を算出し、これを用いて対策実施前後の渋滞軽減効果を試算により確認した。

(1) 需要交通量の算出

需要交通量は、渋滞長の変化量と自由流・渋滞流の密度差とを用いて超過需要交通量（捌け残り台数）を算出し、これに実績の捌け交通量を加えて対策実施前（10 月 5 日）の需要交通量を求めた。

(2) 対策実施前後の渋滞軽減対策効果

算出した対策実施前の需要交通量を用いて対策実施後の交通状況の試算を行う。ここで、対策実施後はランプ交通量を抑制する規制形態へ変更されていることから、ランプ合流割合を先に算出した対策実施後の合流割合（図 4、47.8%）に置き換えて試算する。

ただし、合流割合を置き換える条件として、対策実施前のランプ交通が滞留状態にあり、かつ先に算出した合流割合（図 4、47.8%）よりも大きい時間帯のみ置き換えて試算した。（表 3）

表 3 清水 IC における渋滞軽減対策効果（試算）

対策実施前（実績交通量）													
時刻	合流前交通量					ランプ交通量					合流割合		合流後
	需要 交通量	捌け 交通量	超過 需要	累積超過 需要	渋滞長さ	需要 交通量	捌け 交通量	超過 需要	累積超過 需要	渋滞長さ	合流前 本線	合流後 ランプ	
6:00	208	208	0	0	0.0	70	70				74.8%	25.2%	278
6:15	206	206	0	0	0.0	99	99				67.5%	32.5%	305
6:30	263	219	44	44	1.7	56	56				79.6%	20.4%	275
6:45	203	154	49	93	3.5	68	68				69.4%	30.6%	222
7:00	119	77	42	135	5.2	164	164				32.0%	68.0%	241
7:15	166	166	0	135	5.2	30	30				84.7%	15.3%	196
7:30	124	71	53	188	7.2	81	81				46.7%	53.3%	152
7:45	191	136	55	243	9.3	56	56				70.8%	29.2%	192
8:00	105	102	3	246	9.4	115	115				47.0%	53.0%	217
8:15	39	118	-79	167	6.4	84	84				58.4%	41.6%	202
8:30	126	131	-5	162	6.2	73	73				64.2%	35.8%	204
8:45	123	180	-57	105	4.0	98	98				64.7%	35.3%	278
9:00	107	161	-54	51	1.9	60	60				72.9%	27.1%	221
9:15	144	195	-51	0	0.0	54	54				78.3%	21.7%	249
9:30	160	160	0	0	0.0	94	94				63.0%	37.0%	254
9:45	166	166	0	0	0.0	34	34				83.0%	17.0%	200
渋滞損失時間（時）					392.25	渋滞損失時間（時）					0.00		

対策実施後の（試算）													
時刻	合流前交通量					ランプ交通量					合流割合		合流後
	需要 交通量	捌け 交通量	超過 需要	累積超過 需要	渋滞長さ	需要 交通量	捌け 交通量	超過 需要	累積超過 需要	渋滞長さ	合流前 本線	合流後 ランプ	
6:00	208	208	0	0	0.0	70	70	0	0	0	74.8%	25.2%	278
6:15	206	206	0	0	0.0	99	99	0	0	0	67.5%	32.5%	305
6:30	263	219	44	44	1.7	56	56	0	0	0	79.6%	20.4%	275
6:45	203	154	49	93	3.5	68	68	0	0	0	69.4%	30.6%	222
7:00	119	126	-7	86	3.3	164	115	49	49	1.9	52.2%	47.8%	241
7:15	166	117	49	135	5.2	30	79	-49	0	0.0	59.7%	40.3%	196
7:30	124	79	45	180	6.9	81	73	8	8	0.3	52.2%	47.8%	152
7:45	191	128	63	243	9.3	56	64	-8	0	0.0	66.7%	33.3%	192
8:00	105	113	-8	235	9.0	115	104	11	11	0.4	52.2%	47.8%	217
8:15	39	108	-69	166	6.3	84	94	-10	1	0.0	53.4%	46.6%	202
8:30	126	130	-4	162	6.2	73	74	-1	0	0.0	63.7%	36.3%	204
8:45	123	180	-57	105	4.0	98	98	0	0	0	64.7%	35.3%	278
9:00	107	161	-54	51	1.9	60	60	0	0	0	72.9%	27.1%	221
9:15	144	195	-51	0	0.0	54	54	0	0	0	78.3%	21.7%	249
9:30	160	160	0	0	0.0	94	94	0	0	0	63.0%	37.0%	254
9:45	166	166	0	0	0.0	34	34	0	0	0	83.0%	17.0%	200
渋滞損失時間（時）					375.00	渋滞損失時間（時）					17.25		

① 需要交通量を算出する。これを対策実施後の試算へ使用する。

② ランプ滞留かつ、ランプ合流割合が図 5 で算出した 47.8% よりも大きい時間帯は置換える。

③ 置換えた合流割合と合流後実績交通量を用いて通過交通量を算出。

④ 算出した通過交通量と需要交通量から超過需要、累積超過需要、渋滞長を算出。

⑤ 次の時間帯→次の時間帯へと繰り返していく。

表 3 は試算結果である。10 月 5 日の需要交通量を用いた対策実施後では、ランプからの合流交通が抑制されるため、ランプ内に滞留車両が発生する。ランプ滞留が発生した次の時間帯では、ランプ滞留車両を放出するため、ランプ合流割合 47.8%を超えない範囲で、ランプの通過交通量は増加する。これらは累積超過需要がなくなるまで繰り返し試算した。

試算した結果、対策実施前後の本線の渋滞損失時間を比較すると、対策実施前は 392.25 時であったものが、実施後には 375.00 時になり、約 4.4%減少する試算結果であった。一方ランプ側では、本線側渋滞が軽減した分、車両が滞留し、渋滞が発生することが試算された。ここで本線渋滞損失時間軽減効果が小さい理由は、ランプでの合流交通需要がそれほど多くなくランプで滞留する時間帯が少ないからである。次節では、ランプの合流交通需要が多い場合を想定し、合流部対策（交互合流）による渋滞軽減効果を考えることにする。

3.4 IC 合流部対策による渋滞軽減対策効果予測

今回試算で使用した清水 IC の交通量はランプからの交通需要が多い時間が連続しておらず、表 3 に示した交通量実績のように、7:00~8:15 までの間に交通量が多い時間と少ない時間が繰り返し発生しているような交通需要であった。IC 合流部対策を他の IC へ適用することを想定した場合、需要変動は IC や対策実施日で異なり、ランプからの交通量が多い時間帯が連続して発生する場合も予想される。

このことから、ランプからの交通需要が多い時間帯が連続して発生した場合の交通状況を想定し、この場合の合流部対策効果を確認することとした。

想定した交通状況は、表 3 の対策実施時をもとにして、次のように設定した。朝ピーク時のランプ需要が少ない時間帯（7:15~7:30、7:45~8:00）の本線とランプ合流割合をランプ需要の多い時間帯の平均合流割合（図 4 中の本線 42%、ランプ 58%）に設定し、この合流割合と合流後本線交通量から、本線とランプの捌け交通量を算出した。ただし、合流後の捌け交通量（下流側のボトルネック交通容量）は変えずにそのまま用いることとし、また、求めたランプ捌け交通量をランプ交通需要と仮定した。

想定した本線とランプの交通需要と捌け交通量（合流割合）、渋滞損失時間などを表 4 に示す。なお、対策実施後の本線とランプそれぞれの捌け交通量は、図 4 に示す観測された合流交通が滞留した時の対策後の平均合流割合と合流後の捌け交通量を用いて算出した。

表 4 の渋滞損失時間に示してあるように、ランプ交通量の多い時間が連続していた場合の本線渋滞損失時間は、759.25 時から 609.67 時に減少し、対策実施前に比べて約 150 時少なく、約 20%の本線渋滞軽減効果が試算され

た。なお、ランプについては、本線渋滞が軽減した分の渋滞が逆に増加することも試算により確認された。

表 4 合流交通が多い時間帯が連続して発生したケース

時刻	合流前交通量						ランプ交通量						合流割合		合流後 実績 交通量
	需要 交通量	捌け 交通量	超過 需要	果積超過 需要	渋滞長		需要 交通量	捌け 交通量	超過 需要	果積超過 需要	渋滞長		合流前 本線	ランプ	
6:00	208	208	0	0	0.0	70	70						74.8%	25.2%	278
6:15	206	206	0	0	0.0	99	99						67.5%	32.5%	305
6:30	263	219	44	44	1.7	56	56						79.6%	20.4%	275
6:45	203	154	49	93	3.5	68	68						69.4%	30.6%	222
7:00	119	77	42	135	5.2	164	164						32.0%	68.0%	241
7:15	166	82	84	219	8.4	114	114						42.0%	58.0%	196
7:30	124	71	53	272	10.4	81	81						46.7%	53.3%	152
7:45	191	81	110	382	14.6	111	111						42.0%	58.0%	192
8:00	105	102	3	385	14.7	115	115						47.0%	53.0%	217
8:15	39	118	-79	306	11.7	84	84						58.4%	41.6%	202
8:30	126	131	-5	301	11.5	73	73						64.2%	35.8%	204
8:45	123	180	-57	244	9.3	98	98						64.7%	35.3%	278
9:00	107	161	-54	190	7.3	60	60						72.9%	27.1%	221
9:15	144	195	-51	139	5.3	54	54						78.3%	21.7%	249
9:30	160	160	0	139	5.3	94	94						63.0%	37.0%	254
9:45	166	206	-40	99	3.8	34	34						85.8%	14.2%	240
10:00	173	183	-10	89	3.4	53	53						77.5%	22.5%	236
10:15	75	164	-89	0	0.0	93	93						63.8%	36.2%	257
10:30	171	171	0	0	0.0	96	96						64.0%	36.0%	267
10:45	192	192	0	0	0.0	46	46						80.7%	19.3%	238
渋滞損失時間(時)						759.25	渋滞損失時間(時)						0.00		

※ 渋滞損失時間(時) : ランプ合流割合が対策時の合流割合を超えているもの
渋滞損失時間(時) : 平均合流割合に置き換えて交通量を再算出したもの

時刻	合流前交通量						ランプ交通量						合流割合		合流後 実績 交通量
	需要 交通量	捌け 交通量	超過 需要	果積超過 需要	渋滞長		需要 交通量	捌け 交通量	超過 需要	果積超過 需要	渋滞長		合流前 本線	ランプ	
6:00	208	208	0	0	0.0	70	70	0	0	0.0	74.8%	25.2%	74.8%	25.2%	278
6:15	206	206	0	0	0.0	99	99	0	0	0.0	67.5%	32.5%	67.5%	32.5%	305
6:30	263	219	44	44	1.7	56	56	0	0	0.0	79.6%	20.4%	79.6%	20.4%	275
6:45	203	154	49	93	3.5	68	68	0	0	0.0	69.4%	30.6%	69.4%	30.6%	222
7:00	119	126	-7	86	3.3	164	115	49	49	1.9	52.2%	47.8%	52.2%	47.8%	241
7:15	166	102	64	150	5.7	114	94	20	69	2.6	52.2%	47.8%	52.2%	47.8%	196
7:30	124	79	45	195	7.4	81	73	8	77	3.0	52.2%	47.8%	52.2%	47.8%	152
7:45	191	100	91	285	10.9	111	92	19	97	3.7	52.2%	47.8%	52.2%	47.8%	192
8:00	105	113	-8	277	10.6	115	104	11	108	4.1	52.2%	47.8%	52.2%	47.8%	217
8:15	39	105	-66	211	8.1	84	97	-13	95	3.6	52.2%	47.8%	52.2%	47.8%	202
8:30	126	106	20	231	8.8	73	98	-25	70	2.7	52.2%	47.8%	52.2%	47.8%	204
8:45	123	145	-22	209	8.0	98	133	-35	35	1.3	52.2%	47.8%	52.2%	47.8%	278
9:00	107	126	-19	190	7.3	60	95	-35	0	0.0	57.2%	42.8%	57.2%	42.8%	221
9:15	144	195	-51	139	5.3	54	54	0	0	0.0	78.3%	21.7%	78.3%	21.7%	249
9:30	160	160	0	139	5.3	94	94	0	0	0.0	63.0%	37.0%	63.0%	37.0%	254
9:45	166	206	-40	99	3.8	34	34	0	0	0.0	85.8%	14.2%	85.8%	14.2%	240
10:00	173	183	-10	89	3.4	53	53	0	0	0.0	77.5%	22.5%	77.5%	22.5%	236
10:15	75	164	-89	0	0.0	93	93	0	0	0.0	63.8%	36.2%	63.8%	36.2%	257
10:30	171	171	0	0	0.0	96	96	0	0	0.0	64.0%	36.0%	64.0%	36.0%	267
10:45	192	192	0	0	0.0	46	46	0	0	0.0	80.7%	19.3%	80.7%	19.3%	238
渋滞損失時間(時)						609.67	渋滞損失時間(時)						149.58		

※ 渋滞損失時間(時) : ランプ合流割合が対策時の合流割合に置き換えたもの
渋滞損失時間(時) : 平均合流割合に置き換えて交通量を再算出したもの

これらのことから、ランプ交通量が多い時間が連続して発生している場合のほうが、本線渋滞の軽減効果は大きいと試算された。これについては、今後現地にてさらに検討する必要がある。

図 5 は合流割合を変化させた場合の、本線とランプの渋滞損失時間の変動状況を試算したものである。合流対策実施前は、本線合流割合が 41.9%で、ランプ交通には渋滞が発生せず、本線交通の渋滞のみ 759.25 時発生していたが、この時、合流対策を実施することで本線合流割合は増加し、本線渋滞損失時間が低減していくことがわかる。本線合流割合が 50%になると、本線の渋滞損失時間は 14.4%減少し、本線合流割合が 55%になると、本線渋滞損失時間は 28.3%減少した。なお、図 5 の試算で使用している交通需要は表 4 と同じものを用いており、本線とランプそれぞれの捌け交通量は仮定の合流割合と合流後の捌け交通量を用いて算出した。

この様に、本線合流割合を 50%にすることで、15%近い渋滞損失時間を軽減させられることが確認できた。実際の事例でも図 5 に示すように、合流部の区間長を 240m

から 90m に短縮することによって、42.0%から 52.2%に増加させることは可能であったことから、本線合流割合を 50%以上にして、本線渋滞損失を大幅に軽減することが可能であると考える。

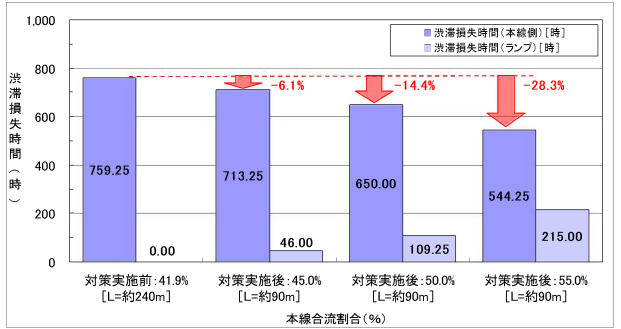


図 5 本線合流割合の違いによる渋滞軽減効果試算結果

4. まとめ

上り清水 IC 合流部で 2009 年集中工事時に実施された合流部対策の分析は、合流交通が多く渋滞する IC 合流部や、本線下流から渋滞列が伸びてきて渋滞している IC 合流部では、規制材の配置を工夫し、合流範囲を狭くする合流部対策を実施することにより、本線とランプの交互合流を実現することで、本線交通とランプ交通の合流摩擦を軽減し、ランプ側からの合流を抑制し、本線捌け交通量の増加や、その結果として本線渋滞損失時間を軽減させることが可能なことを試算で確認した。また、本線の渋滞損失時間を低減する代償としてランプ合流交通の渋滞損失時間を増加させたことを確認した。

規制材配置変更による合流区間長の短縮で交互合流は本線とランプを合わせた渋滞損失時間を軽減できないが、筆者らの過去の研究成果^{2), 3), 4)}を踏まえて考えると、本線渋滞軽減による交通安全性の大きな向上は期待できる。

参考文献

- 1) 高橋秀喜・Jian Xing・伊東弘行・飯田克弘：東名高速道路集中工事区間のボトルネック交通容量分析，第28回交通工学研究発表会論文報告集，pp.97-100，2008.10
- 2) Jian Xing, Hideki Takahashi and Katsuhiro Iida：Analysis of bottleneck capacity and traffic safety in Japanese expressway work zones, Paper presented at the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2010.1
- 3) 高橋秀喜・Jian Xing・山下和彦・飯田克弘：東名高速道路における集中工事区間の交通事故特性分析，高速道路と自動車 Vol.52 No.11，pp.22-30，2009.11
- 4) 高橋秀喜・Jian Xing・山下和彦・飯田克弘：高速道路における連続車線規制区間の分割・規制区間短縮による交通運用効果，高速道路と自動車（投稿中・掲載決定）