都市間高速道路における工事車線規制時の交通流に関する分析

櫻井　光昭[1]・上畑　旬也[2]・青木　隆志[3]・野中　康弘[4]・小根山　裕之[5]

[1]非会員　中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京㈱（〒160 - 0023 東京都新宿区西新宿 1-23-7）
E-mail: m.sakurai.aa@c-nexco-het.jp

[2]非会員　中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京㈱（〒160 - 0023 東京都新宿区西新宿 1-23-7）
E-mail: j.uehata.aa@c-nexco-het.jp

[3]非会員　中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京㈱（〒160 - 0023 東京都新宿区西新宿 1-23-7）
E-mail: t.aoki.ac@c-nexco-het.jp

[4]正会員　㈱道路計画（〒170 – 0013 東京都豊島区東池袋 2 丁目 13-14）
E-mail: y_nonaka@doro.co.jp

[5]正会員　東京都立大学（〒192 - 0397 東京都八王子市南大沢 1-1）
E-mail: oneyama@tmu.ac.jp

お客様への安全・快適な高速道路空間を提供するために，近年では劣化が顕著な橋の架替え工事を進めている．一方，これら車線規制に伴う渋滞も多く，精度の高い渋滞予測情報の提供には適切な交通容量の設定が不可欠であり，それを規定する要因の把握が非常に重要である．また，様々な規制形態や条件下において，渋滞直前～解消に至るまでの車両の個別挙動はわかってはいない．本稿では，都市間高速道路である東名高速道路と中央自動車道で実施した工事車線規制を対象に，渋滞発生時交通流率及び渋滞中交通流率に着目した重回帰分析結果を再掲する．また，リニューアル工事で実施した 2 車線区間における昼夜連続車線規制（走行車線規制と追越車線規制）で収集した VTR カメラデータ等から交通流分析を行い，渋滞発生メカニズムについて考察した．

Key Words: *Inter-urban Expressways, Lane Closure, Capacity, Multiple Regression Analysis, Traffic congestion generation mechanism*

1. はじめに

我が国が管理する高速道路は開通から 50 年以上が経過する路線が増えており，老朽化が進展している．高速道路を運営・管理していく中で必要な日常の維持修繕工事，短期間に多くの箇所で舗装を打換える等の集中工事に加え，近年では高速道路の劣化が顕著な箇所は橋の架け替えなど大規模なリニューアル工事を進めている．一方，これらの工事による渋滞も多く発生しており，戦略的な工事規制計画の立案が非常に重要である．また，中日本高速道路㈱（以下，NEXCO 中日本）では，お客様に対してホームページ等を利用して渋滞予測情報を提供している．特に集中工事やリニューアル工事は，精度の高い渋滞予測情報が求められており，それらを提供するには適切な交通容量の設定が不可欠である．これまでの研究によって交通容量は道路構造，昼夜，大型車混入率など様々な要因で変動することが知られている．しかしながら，数多くの場所，条件下で実施される工事の車線規制においては，それらの条件等が完全に合致した交通容量を事前に把握することは困難である．したがって，渋滞予測では類似箇所における工事渋滞時の交通容量を準用して設定していることが多く，実態と異なる値が設定されるケースもあった．そのため，適切な渋滞予測を実施するためには，交通容量の変動に影響を及ぼす要因を把握することが重要である．

そこで本稿では，交通容量の変動に影響を及ぼす要因についての既往研究を整理する．次に，都市間高速道路である東名高速道路（東京 IC～豊川 IC）（以下，東名）及び中央自動車道（高井戸 IC～伊北 IC）（以下，中央道）で実施した工事車線規制（2021 年）で発生した渋滞を対象に，交通容量として渋滞発生時交通流率（以下，BDF(Breakdown Flow rate)）及び渋滞中交通流率

（以下，QDF(Queue Discharge Flow rate)）に着目して，交通容量と各種要因との関係について重回帰分析を行った結果を再掲する．また，リニューアル工事で実施した 2 車線区間における昼夜連続車線規制（走行車線規制と追越車線規制）で収集した VTR カメラデータ等から交通流分析を行い，渋滞発生メカニズムについて考察した．

2. 既往研究整理と本研究の目的

これまでの交通容量の変動に影響を及ぼす要因に関する研究事例について高速道路単路部の交通集中渋滞も含めて整理する．

我が国で交通容量に関する既往研究を整理した「道路の交通容量とサービスの質に関する研究 [1]」には，工事車線規制時の交通容量の影響要因として，昼夜，規制車線，規制延長，規制始端部からボトルネック（以下，BN）までの距離，工事状況が示されている．特に高橋ら [2]は，側方余裕の違いから追越車線規制が走行車線規制よりも交通容量が高いこと（特に夜間）や規制始端部～BN までの距離が長いほど交通容量が低下することを示している．また，高速道路単路部の BN においては，道路線形，トンネルの有無，車線幅員，側方余裕，降雨，明暗，大型車混入率，平休日，トリップ長に加えて，渋滞流中に巻込まれる時間が長くなると，交通容量が低下する“渋滞巻き込まれ時間”も示されている．重回帰分析による工事車線規制時の交通容量影響要因に関する研究としては，山下ら [3]による首都高速道路を対象とした分析が挙げられる．そこでは夜間と規制車線，最大縦断上り勾配の影響が大きいことを示している．近年では山本ら [4]は，リニューアル工事における対面通行規制時の分析しており，降雨や明暗の影響があること，規制区間延長が長くなるほど，渋滞中交通流率が低下する傾向にあることを示しているが，上述した影響要因に対する単回帰分析であり，複数の要因の影響を考慮した分析とはなっていない．Highway Capacity Manual 7th Edition（以下，HCM 7th）[5]には，Yeom, C ら [6]による工事規制時における交通容量算出モデル式を示しており，防護柵の種類，地域，側方余裕，昼夜をそれぞれ説明変数として設定している．上述したように，日本国内では様々な要因を考慮した工事車線規制時の交通容量影響要因に関する研究蓄積は多くなく，特に 2015 年以降の近年の分析はほとんど行われていない．また，降雨，渋滞巻き込まれ時間など，交通容量を規定する一部の要因については，重回帰分析による複合的な説明変数とし考慮された事例もこれまでない．

他方，工事車線規制時の渋滞発生メカニズムについて，同一規制区間で走行車線規制と追越車線規制の交通流分析を VTR データを用いて実施した事例は見られない．

そこで本稿では，東名及び中央道で実施した工事車線規制で発生した渋滞を対象に， BDF 及び QDF に着目して，交通容量と既往研究で設定していなかった各種要因を含めた関係の重回帰分析結果を再掲する．また，中央道（下り線）諏訪 IC～岡谷 JCT の小田井高架橋で実施したリニューアル工事で収集した VTR 調査データ等から，車線規制別の個別車両の速度や車尾時間，交通容量などを分析し，渋滞発生メカニズムについて考察した．

3. 重回帰分析による交通容量影響要因の把握

(1) 分析対象の工事

分析対象の路線位置図を図-1 に示す．対象路線は東京と名古屋を結ぶ都市間高速道路である東名と中央道の 2 路線である．それらの路線の内，中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京㈱が管理する IC 間，すなわち東名は東京 IC～豊川 IC（約 270km），中央道では高井戸 IC～伊北 IC（約 190km）において，2021 年の 1 年間に実施した工事車線規制を対象とした．また，工事車線規制時に渋滞が発生した件数は 587 件であった．なお，587 件の工事渋滞の内，車両感知器（以下，トラカン）で適切に交通量や速度を観測できた時間帯のデータを対象とした．

(2) 本分析における交通容量の定義

本分析における交通容量の定義は，図-2 に示すとおりとする．

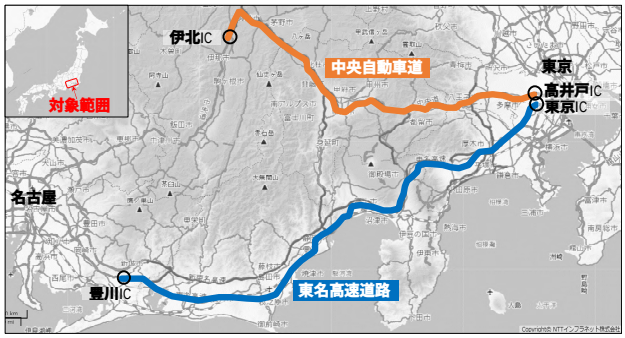


図-1 路線位置図

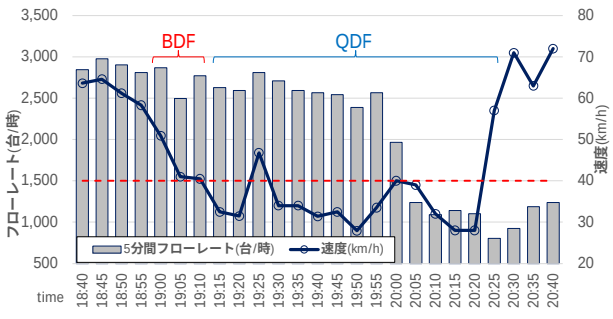


図-2 交通容量算出イメージ図

ここで，BDF は，5 分間平均速度が 40km/h 以下に低下した最初の 5 分間を除いたその直前の 15 分間の 5 分間フローレートとする．また，QDF は，5 分間平均速度が 40km/h 以下に低下し，その後 60km/h に速度回復するまでの 5 分間フローレートとする．なお，渋滞時間が 15 分間以上継続したものを対象とする．また，トラカンエラーなどがなく適切に渋滞時の交通量と速度が観測されている車両感知器のうち，BN に最も近いものを対象とした．なお，BN の定義は ETC2.0 プローブデータの速度コンター図で 20km/h 以下が観測された地点の内，最も下流側の位置とした．なお，後述する渋滞先頭位置については速度が 40km/h 以下の最も下流地点としている．

(3) 重回帰分析結果

BDF（PCU，実台数），QDF（PCU，実台数）の 4 項目を目的変数とする重回帰分析の結果を表-1 に示す．なお，大型車の乗用車換算係数（PCE）は「道路と交通容量（社団法人日本道路協会，1984 年）」[7]に基づき，縦断勾配，勾配長，大型車混入率の違いによって 1.7～3.0 までの範囲で設定し，PCU 値を算出した．また，説明変数は全 24 項目としている．なお，設定した説明変数の詳細な説明等は，Sakurai et.al.[8]の論文を参照していただくとし，本論文では特筆すべき説明変数の説明を記載する．

LCSI(lane closure severity index)は車線数に対する工事車線規制を実施する割合の指標であり，HCM 7th [9]に記載されているものである．上り縦断勾配(BN)など，(BN)と記載されている説明変数は BN 地点の値を示している．rain ダミーは降雨量レベルによって 3 区分に分類した．Medium rain（2.54mm/h 以上 6.35mm/h 未満），Heavy rain（6.35mm/h 以上）の閾値は HCM 7th [10]に基づいている．上記 2 区分に残りの Light rain（< 2.54mm/h）を加えた合計 3 区分としている．昼夜区分は国立天文台が公表している日の出、日の入時刻から分類し、分析対象箇所に近い観測地点を採用した。

(4) 交通容量を規定する影響要因の考察

ここで，特に着目すべき交通容量影響要因について以下の通り考察する．

表-1 重回帰分析結果一覧表

No.	説明変数		BDF PCU 偏回帰係数	BDF PCU t値	BDF 実台数 偏回帰係数	BDF 実台数 t値	QDF PCU 偏回帰係数	QDF PCU t値	QDF 実台数 偏回帰係数	QDF 実台数 t値
1	LCSI	数値	-609.2	-23.9 **	-473.6	-23.0 **	-729.4	-73.4 **	-616.5	-77.2 **
2	規制長	数値(km)	-	-	-	-	-5.8	-3.0 **	-	-
3	規制時間	数値(時間)					-3.4	-4.7 **	-3.9	-6.3 **
4	付加車線・登坂車線ダミー	無:0、有:1	-	-	-	-	-	-	-	-
5	トンネルダミー	無:0、有:1	-	-	-	-	-106.9	-6.1 **	-60.6	-4.3 **
6	IC等分合流部ダミー	無:0、有:1	-	-	-	-	-32.6	-2.9 **	-42.2	-4.9 **
7	上り縦断勾配(BN)	数値(%)	-	-	-33.0	-4.9 **	-23.2	-5.1 **	-56.9	-15.6 **
8	下り縦断勾配(BN)	数値(%)	-	-	-	-	-36.3	-6.5 **	-41.1	-9.3 **
9	勾配延長(BN)	数値(m)	-0.1	-3.8 **	-	-	-0.1	-7.8 **	-0.05	-7.0 **
10	平面線形ダミー(BN)	R>800・直線・クロソイド曲線:0、R≦800:1	-	-	-	-	-	-	-	-
11	車線幅員(BN)	数値(m)	-	-	-	-	-	-	-	-
12	右側余裕幅(BN)	数値(m)	352.3	12.8 **	194.6	8.1 **	278.5	22.2 **	226.1	21.7 **
13	左側余裕幅(BN)	数値(m)	153.1	10.2 **	78.6	6.2 **	72.4	11.3 **	64.0	11.8 **
14	休日ダミー	平日:0、休日:1	-146.5	-5.0 **	-75.9	-3.2 **	-112.5	-7.4 **	-76.3	-6.0 **
15	夜間ダミー	昼間:0、夜間:1	-55.2	-2.6 **	-72.9	-4.3 **	-86.7	-9.0 **	-65.5	-8.5 **
16	Light rain ダミー	Light rain:1、Medium rain:0、Heavy rain:0	-	-	-	-	-	-	-	-
17	Medium rain ダミー	Light rain:0、Medium rain:1、Heavy rain:0	-	-	-	-	-	-	-	-
18	Heavy rain ダミー	Light rain:0、Medium rain:0、Heavy rain:1	-	-	-	-	-159.8	-2.3 *	-	-
19	渋滞継続時間	数値(分)					-1.0	-25.7 **	-0.8	-26.5 **
20	渋滞巻き込まれ時間	数値(分)					-6.4	-19.7 **	-5.1	-20.3 **
21	規制始端部～BNまでの距離	数値(km)	-14.2	-3.2 **	-29.7	-8.0 **	-	-	-18.1	-8.8 **
22	BN～渋滞先頭までの距離	数値(km)					-	-	-	-
23	平均車頭間隔	数値(m)	-14.1	-26.3 **	-12.0	-27.7 **	-4.2	-10.8 **	-3.0	-9.4 **
24	大型車混入率	数値(%)			-4.5	-11.0 **			-6.4	-34.5 **
-	定数項	-	3221.8	58.5 **	2856.3	66.4 **	2950.1	100.9 **	2648.5	111.4 **
-	Adjusted R^2	(自由度修正済み決定係数)	0.76		0.77		0.53		0.54	
-	回帰式の有意性（分散分析）	-	P < 0.001		P < 0.001		P < 0.001		P < 0.001	
-	有効ケース	-	1,761		1,754		12,961		12,646	

**：P<0.01，*：P<0.05　　- 目的変数と相関が高くない項目(P>0.05)　　対象外

右側余裕幅は 0.25～1.75m，左側余裕幅は 0.75～3.00m まで幅がある．なお，走行車線規制時では左側余裕幅を 0，右側余裕幅を BN 位置の中分幅員としている．また，追越車線規制時では右側余裕幅を 0，左側余裕幅を BN 位置の左側路肩幅員としている．偏回帰係数を見ると右側余裕幅のほうが左側余裕幅よりも大きい．すなわち，走行車線規制時のほうが追越車線規制時よりも交通容量が高いことを示している．また，櫻井ら[11]の交通容量分析によると走行車線規制時よりも追越車線規制時よりも大きくなっており，それとも整合している．なお，本分析で対象としたデータの約 68%は規制始端部が BN となっている．多くのドライバーが右ハンドルであると考えると，追越車線規制時では，左側（走行）車線への車線変更のしにくさの影響が出ている可能性も示唆される．

規制始端部～BN までの距離が長いほど BDF が減少する結果となった．高橋ら[2]や近田ら[12]と同様の結果であり，規制始端部から BN までの距離が長くなる，すなわち規制延長が長くなり，規制始端部よりも交通容量が低いサグ部などで渋滞するケースが多くなる結果であると考える．

渋滞巻き込まれ時間が長いほど QDF が減少する傾向であり，渋滞巻き込まれ時間については，中谷ら[13]が示している高速道路単路部のケースの結果と同様であった．

4. 渋滞発生メカニズム立証に向けた交通流分析

(1) 目的

これまでの研究[8)11)]では車線規制別の交通容量とそれらを規定する影響要因の分析を行ってきた．その中で，走行車線規制と追越車線規制で交通容量に違いがあることや，左右余裕幅の違いによって交通容量が変動する結果となっていたが，その原因が明確に分かっていなかった．また，代表的な工事渋滞である 2 車線区間の 1 車線規制（走行車線規制および追越車線規制）において，規制始端部を BN とする渋滞発生メカニズムについて，トラカンデータおよび ETC2.0 プローブデータで仮説を立てていた．しかしながら，規制始端部の車線利用率や交通密度（車群の形成状況）について，トラカンデータおよび ETC2.0 プローブデータで適切に把握することは難しい状況であった．そこで，渋滞発生メカニズムを立証するためには 2 車線区間でかつ走行車線規制と追越車線規制の双方を行う工事車線規制を対象に，渋滞に至るまでの個別車両の挙動をミクロに把握することが必要と考えた．そこで今回は，中央道（下り線）諏訪 IC～岡谷 JCT の小田井高架橋で実施したリニューアル工事を対象に VTR 調査を実施して，交通流分析を行い，渋滞発生メカニズムを考察した．

(2) 工事車線規制の概要

中央道（下り線）諏訪 IC～岡谷 JCT の小田井高架橋は諏訪湖 SA（下り線）の下流側にある本線橋であり，老朽化したコンクリート床板を打ち換えるリニューアル工事を行っていた（図-3）．

リニューアル工事期間は 2023 年 5 月 8 日～2023 年 7 月 19 日の 72 日間であり，5 月 8 日～6 月 13 日までは走行車線規制，6 月 13 日～7 月 19 日までは追越車線規制を昼夜連続で実施していた．

車線規制区間の概略図を図-4 に示す．走行車線規制時および追越車線規制時ともに規制区間は同様であり，179.0KP が規制始端部となる．そこから 300m で車線幅員が絞られ，179.3KP からは通行可能な車線が 1 車線となる構造となっている．規制終端部は小田井高架橋の下流側である花岡トンネル手前の 180.4KP である．規制延長は，テーパー部も含めると 1.4km である．また，小田井高架橋上では走行する車線と工事対象車線の境には鋼製ガードレールが設置されていた．しかし，追越車線規制時の VTR 調査日は工事終盤であり鋼製ガードレールは撤去され，その代わりにラバーコーンが設置されていた．なお，走行車線規制時と追越車線規制時の車線幅員

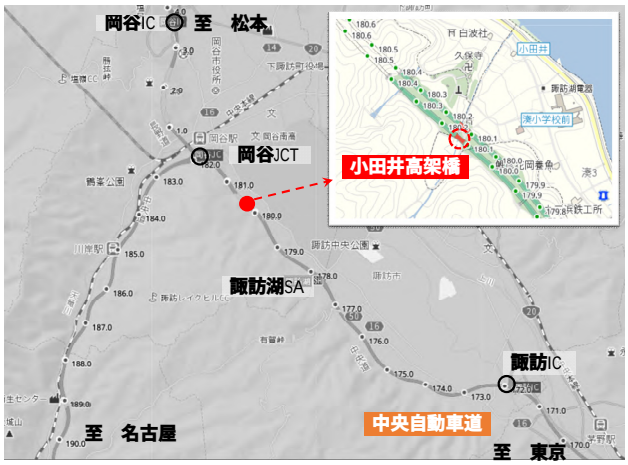


図-3　小田井高架橋位置図

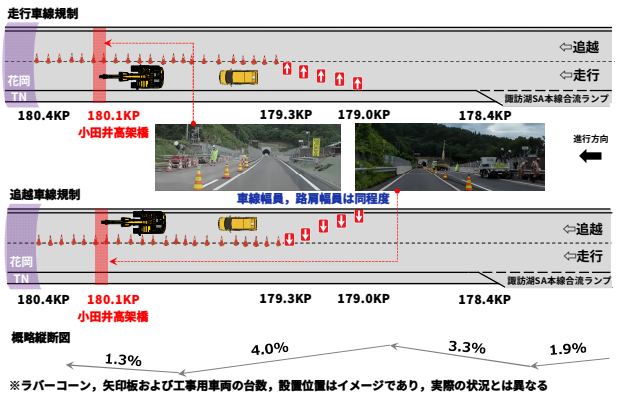


図-4　車線規制区間概略図

および路肩幅員に大きな違いは見られない．また，縦断勾配は諏訪湖 SA 合流部付近は 3.3%の上り坂であり，規制始端部から 4.0%の下り坂に転じ，小田井高架橋の手前で再び 1.3%の上り坂に転じるサグ部を有している．

(3) VTR 調査の概要

VTR 調査は走行車線規制時は 2023 年 5 月 26 日（金）～27（土）06:00～15:00 の 2 日間，追越車線規制時は 2023 年 7 月 14 日（金）～15（土）07:00～16:00 の 2 日間で行った．VTR カメラは諏訪湖 SA（下り線）合流部～小田井高架橋付近の区間で合計 18 台設置した（図-5）．また，後述する分析では，リニューアル工事期間中における安全管理や工程管理の目的で設置されていた WEB カメラのデータも使用した．

(4) VTR 調査日の渋滞発生状況

VTR 調査実施日の交通量および渋滞発生状況を表-2 に示す．渋滞長が 1km 以上かつ渋滞時間が 15 分以上の渋滞は，追越車線規制時の土曜日だけであった．その日は 3 連休の初日ということもあり，交通量も他の日と比べて多く約 23,500 台/日であった．また，走行車線規制時では土曜日に渋滞に至らない速度低下は見られた．

特に特徴的な渋滞発生と速度低下が見られた日の時空間速度コンター図（ETC2.0 プローブデータ）の走行車線規制時を図-6，追越車線規制時を図-7 に示す．

渋滞の発生は走行車線規制および追越車線規制ともに，小田井高架橋付近（180.1KP 付近）で最初に速度低下し，ショックウェーブとして上流側に伝播，規制始端部で最も速度が低下する定着現象が発生している．

分析時間帯は渋滞 15 分前～渋滞発生後 30 分間とした．なお，走行車線規制時では，上流側の諏訪 IC でも車線規制による渋滞が発生したため，本規制区間では情報板で提供されるような渋滞は発生しなかった．そのため，走行車線規制時では，初めの速度低下（40km/h 以下）が観測された 15 分前から速度低下終了までを対象とした．

表-2　VTR 調査実施日の交通量および渋滞発生状況

車線規制種別	年月日	曜日	交通量（台/日）	渋滞発生状況※
走行車線規制	2023/05/26	金	18,983	渋滞なし
	2023/05/27	土	18,496	渋滞なし（速度低下あり）
追越車線規制	2023/07/14	金	20,165	〃
	2023/07/15	土	23,466	渋滞あり

※渋滞長1km以上かつ渋滞時間15分以上の渋滞

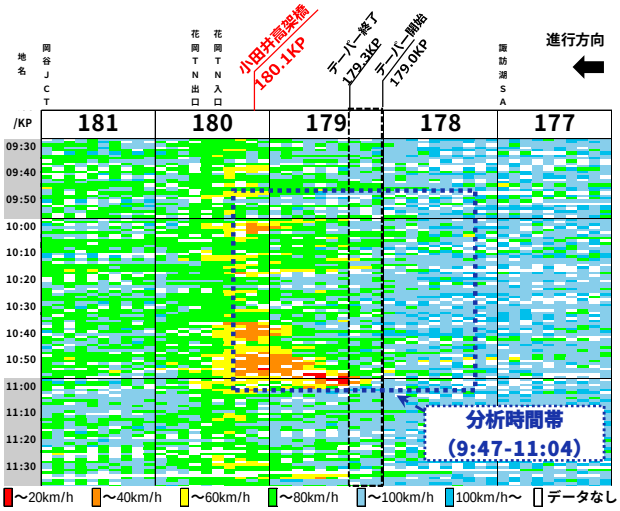


図-6　時空間速度コンター図（2023 年 5 月 27 日）

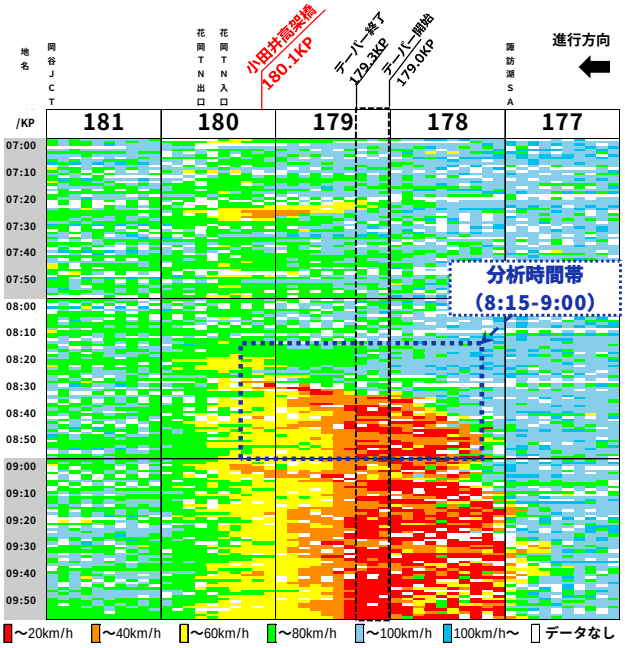


図-7　時空間速度コンター図（2023 年 7 月 15 日）

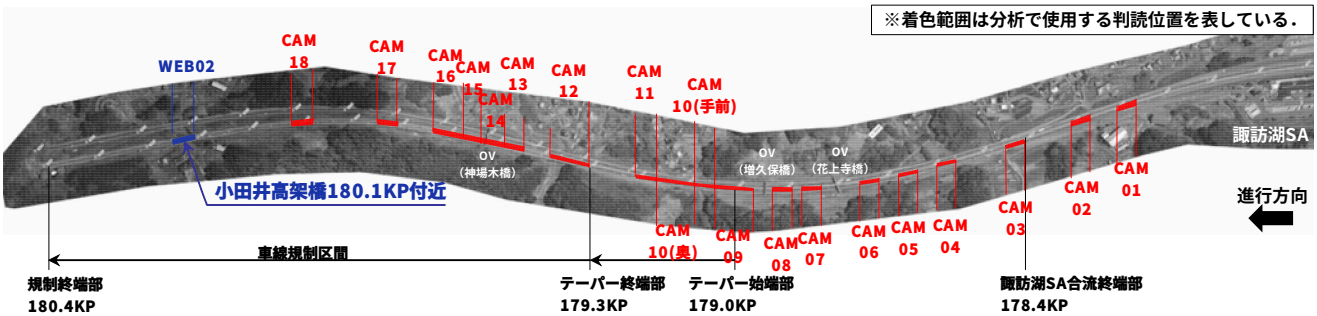


図-5　VTR カメラと判読位置

(5) VTR 調査ビデオ画像の分析手法

VTR 調査ビデオ画像の分析の目的は，WEB カメラを含む撮影した全 20 か所（CAM10 は手前と奥の 2 か所を判読）の個別車両の通過時刻，利用車線，車種を判読し，そのデータから，速度，交通量（交通容量），車群構成台数，車尾・車頭時間，車線利用率，車線間の速度差を算出することである．なお，車種は小型車，大型車，2 輪車，工事用車両（黄パト含む）の 4 区分とした．

判読時間帯は，「(4) VTR 調査日の渋滞発生状況」に記載のとおりである．

データの判読方法例を図-8 に示す．全 20 箇所に対して判読するラインを in ラインと out ラインの 2 本設定する．判読するラインの設置間隔は車線間に施工されている中央線を利用する．中央線の間隔が 20m であることを利用して，各ラインを通過する時刻を 1/100 秒単位で記録し，そこからライン間の区間速度を算出する．ライン間隔は原則 40m であるが，カメラの画角によっては 80m に設定するなど，適宜変更している．図-5 に記載されている赤いラインの長さが各カメラのライン間隔である．なお，走行車線規制時および追越車線規制時ともに，各カメラの判読位置は同一とした．また，判読は車線別に行い，その際に車種も合わせて記録した．集計や分析方法としては，交通量は単位時間あたりに通過した台数，車群構成台数は車尾・車頭時間が 3 秒以内を同一車群として集計した．車尾・車頭時間は前方を走行する車両との時間差（秒）である．車線利用率は単位時間あたりの各車線の利用台数の割合である．また，車線間の速度差は単位時間あたりの車線間の平均速度差であり，追越車線速度 - 走行車線速度とした．なお，車群構成台数，車尾・車頭時間は in ラインを判読時刻を基準に算出した．

(6) 規制内渋滞状況分析

走行車線規制および追越車線規制の双方とも，規制内である小田井高架橋付近から速度低下が発生している．そのため，小田井高架橋付近のカメラで渋滞状況を分析する．走行車線規制時の交通量速度時間図を図-9，追越車線規制時の交通量速度時間図を図-10 に示す．

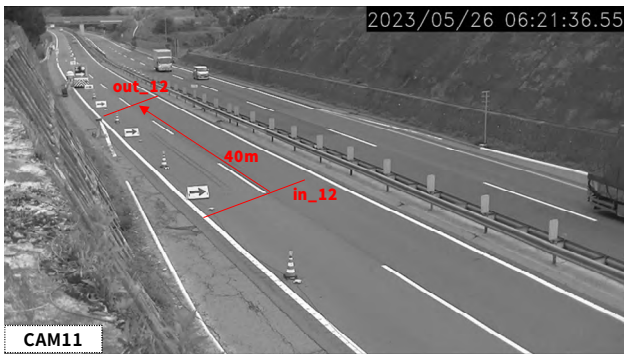


図-8 判読方法例（CAM11_走行車線規制時）

WEB02 の交通量は約 20～30 台/1 分であり，走行車線規制時と追越車線規制時で大きな違いはない．また，WEB02 の速度についても時間帯によって多少バラつきはあるが，約 40～60km/h で推移しており，工事対象区間を慎重に運転している様子が推察される．なお，本工事区間の規制速度は 50km/h である．また，一つ上流の CAM18 において，走行車線規制時では，70km/h から一気に 40km/h に低下するケースが約 4 回も存在する（図-9）．これは図-6 の時空間速度コンター図を見てもわかるように，速度が低下しては，回復を繰り返している状

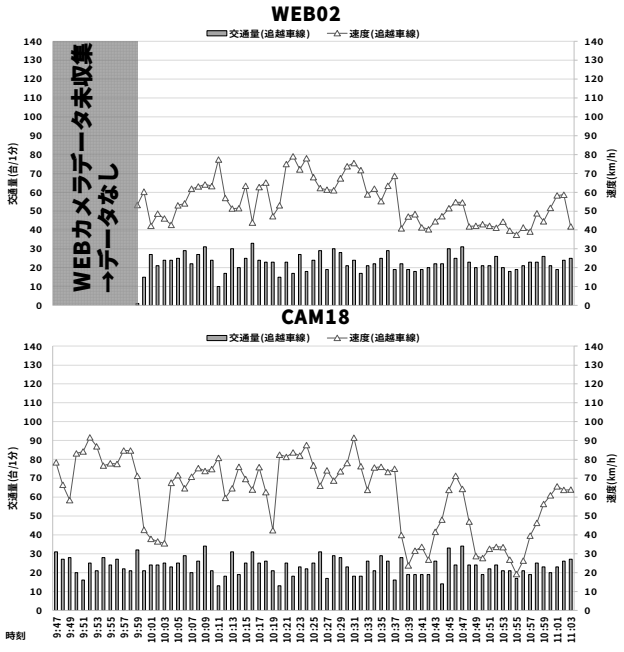


図-9 交通量速度時間図（走行車線規制時）

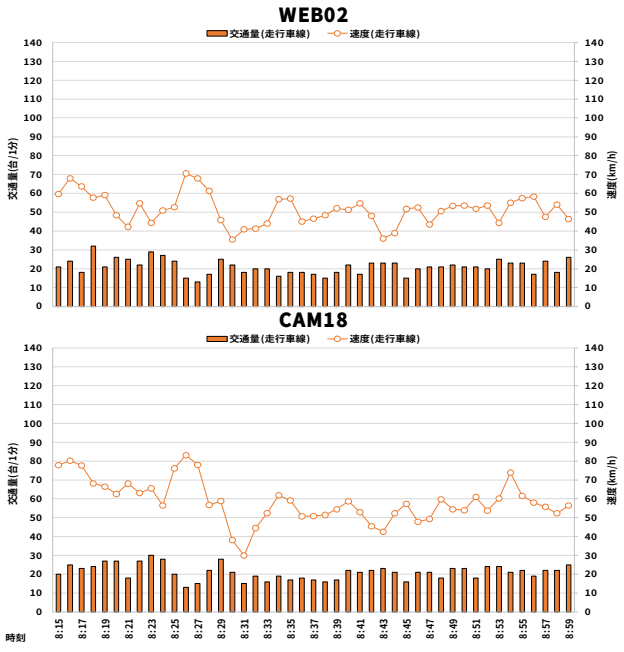


図-10 交通量速度時間図（追越車線規制時）

況が発生している．一方，追越車線規制時では，8:30～8:31 に 40km/h に低下後，8:32 には 40km/h 以上に速度が回復している．こちらも，図-7 を見ると上流側に速度低下が伝播され，当該箇所の速度が回復している様子がわかる．しかしながら，速度は 50km/h 程度にしか回復せず，規制速度を遵守しながら，工事区間を走行しているものと考える． また，最初の BN は小田井高架橋付近であり，下り坂 4.0%から上り坂 1.3%のサグ部の先で何かしらのきっかけで速度低下し，上流側に速度低下が伝播しているものと考える．

続いて，BN 付近である CAM18 の車群構成台数速度時間図を図-11，図-12 に示す．車群構成台数が多ければ，必ずしも速度が低下する傾向にはなっていないが，時間によってはそのような傾向になっている．また，走行車線規制時は，追越車線規制時と比べて，渋滞発生前の車群構成台数が多く見える．

BN 直近上流の CAM18 の走行車線規制時の交通容量を表-3，追越車線規制時の交通容量を表-4 に示す．BDF は平均速度が 40km/h 以下になった 1 分間を除いた 15 分間の車両台数を集計した．走行車線規制時の BDF は 1,408 台/時，追越車線規制時の BDF は 1,388 台/時であり，+20 台（+1.4%）となっており，これは，櫻井ら [11]の交通容量分析結果と整合している．しかし，走行車線規制時は 2 輪車が 284 台（実台数では 71 台）と非常に多く全体の約 20%を占めていたこと，追越車線規制時は雨が昼前くらいまで降っていたこと，さらに防護柵の種類が

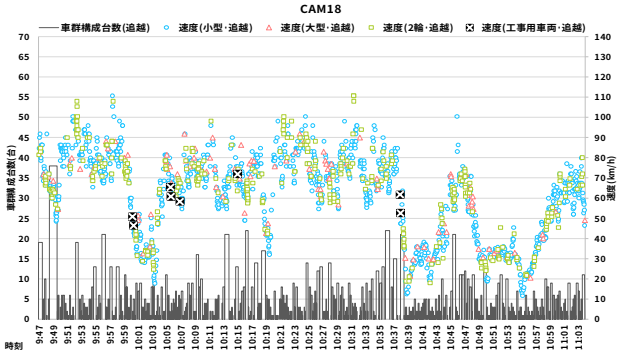


図-11　車群構成台数速度時間図（CAM18_走行車線規制時）

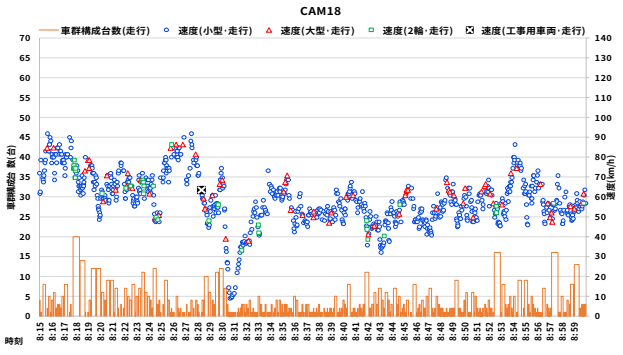


図-12　車群構成台数速度時間図（CAM18_追越車線規制時）

表-3　交通容量（CAM18_走行車線規制時）

交通容量		集計単位	小型	大型	2輪	工事用車両	合計	フローレート値	車尾時間(sec)
BDF	渋滞直前15分間 10:23-10:37	15分	259	20	71	2	352	1,408	2.6
QDF05	渋滞開始00～05分 10:38-10:42	5分	82	8	14		104	1,248	2.9
QDF10	渋滞開始05～10分 10:43-10:47	5分	81	13	37		131	1,572	2.3
QDF15	渋滞開始10～15分 10:48-10:52	5分	82	10	21		113	1,356	2.7
QDF20	渋滞開始15～20分 10:53-10:57	5分	79	4	16		99	1,188	3.0
QDF25	渋滞開始20～25分 10:58-11:02	5分	92	3	22		117	1,404	2.6
QDF30	渋滞開始25～30分	5分	-	-	-	-	-	-	-
QDF0515	渋滞開始～15分	15分	245	31	72	0	348	1,392	2.6
QDF0525	渋滞開始～25分	25分	416	38	110	0	564	1,354	2.7

表-4　交通容量（CAM18_追越車線規制時）

交通容量		集計単位	小型	大型	2輪	工事用車両	合計	フローレート値	車尾時間(sec)
BDF	渋滞直前15分間 08:15-08:29	15分	294	24	28	1	347	1,388	2.6
QDF05	渋滞開始00～05分 08:30-08:34	5分	84	3	3		90	1,080	3.3
QDF10	渋滞開始05～10分 08:35-08:39	5分	76	9			85	1,020	3.5
QDF15	渋滞開始10～15分 08:40-08:44	5分	98	5	6		109	1,308	2.8
QDF20	渋滞開始15～20分 08:45-08:49	5分	90	9			99	1,188	3.0
QDF25	渋滞開始20～25分 08:50-08:54	5分	98	10	2		110	1,320	2.7
QDF30	渋滞開始25～30分 08:55-08:59	5分	99	9	2		110	1,320	2.7
QDF0515	渋滞開始～15分	15分	258	17	9	0	284	1,136	3.2
QDF0530	渋滞開始～30分	30分	545	45	13	0	603	1,206	3.0

異なっているなど比較条件が完全に合致していなかったため，そのような特性の違いに留意する必要がある．一方，QDF は 5 分毎，渋滞開始～15 分間，渋滞開始～30 分間で集計した．なお，走行車線規制時では渋滞開始～25 分間までを対象としていたため，その時間帯で集計した．走行車線規制時，追越車線規制時ともに渋滞開始 5 分間の QDF が低い．また，全体を通してみても走行車線規制が追越車線規制よりも QDF が大きく，櫻井ら [11]の交通容量分析結果と整合している．走行車線規制のほうが車頭時間が短いため，前方車両へ追従している車両の割合が高いと考える．

(7)　規制始端部における渋滞状況分析

規制始端部である CAM09 の走行車線規制時の交通量速度時間図を図-13，追越車線規制時の交通量速度時間図を図-14 に示す．走行車線規制時では 50km/h 程度まで速度が低下する時間帯があるものの渋滞（40km/h 以下）は及んでいない状況である．交通量は約 20～30 台/1 分であり，この地点においては追越車線の交通量が多く事前に走行車線から車線変更している様子がわかる．なお，走行車線の速度が追越車線よりも高く，規制始端部に差し掛かり，追越車線に車線変更するためにドライバーは速度を上昇させているものと推察する． 一方，追越車線規制時では，下流側から渋滞の伝播が観測されている．交通量としては，走行車線規制時と同様に約 20～30 台/1 分である．また，渋滞直前 15 分前から速度差が大きく，渋滞発生後においても変わらない．

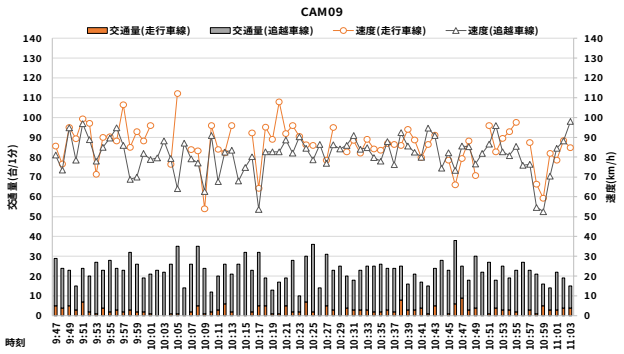


図-13　交通量速度時間図（CAM09_走行車線規制時）

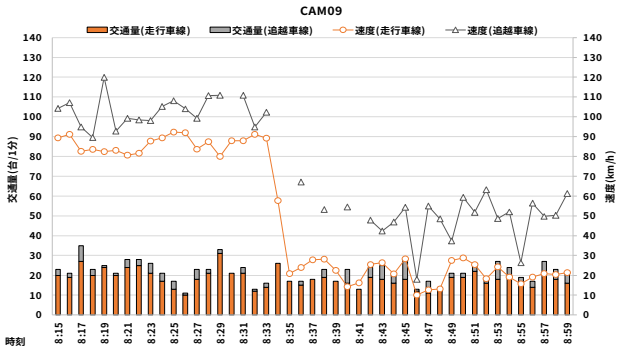


図-14　交通量速度時間図（CAM09_追越車線規制時）

渋滞の初期状態においては，規制解放車線（走行車線）が詰まっている一方で，規制車線（追越車線）は流れていることが考えられる．

続いて，CAM09 の車群構成台数速度時間図について，走行車線規制時の走行車線を図-15，走行車線規制時の追越車線を図-16，追越車線規制時の走行車線を図-17，追越車線規制時の追越車線を図-18 に示す． 走行車線規制時においては，事前に追越車線に車線変更することもあり，追越車線の車群構成台数が多い．一方，追越車線規制時においても規制解放車線（走行車線）が車群構成台数が多いが，下流側の CAM18 と同様に，走行車線規制時は，追越車線規制時と比べて，渋滞発生前の車群構成台数が多く見える．並走して走行することもある 2 輪車が走行車線規制時に多く含まれていたことが影響していると推察する．

さらに規制始端部を詳細に分析する．規制始端部付近の VTR カメラ判読範囲を図-19 に示す．規制始端部である 179.0KP からは矢印板が 16 枚設置されており，300m の区間において車線を徐々に 1 車線に絞る形となっている．なお，矢印板⑬と⑭の間に，標識車とバルーン式人型交通誘導安全標識が設置されている．規制始端部直前の CAM09 から 1 車線に絞られた直後の CAM12 までを対象に分析した．なお，CAM10 は一つが画角において，2 か所の判読断面を設けているため，CAM10（手前）と CAM10（奥）が存在する．渋滞状況分析にあたっては，

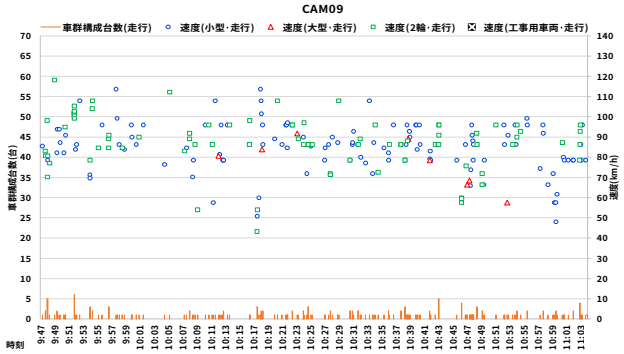


図-15　車群構成台数速度時間図（CAM09_走行車線規制時_走行車線）

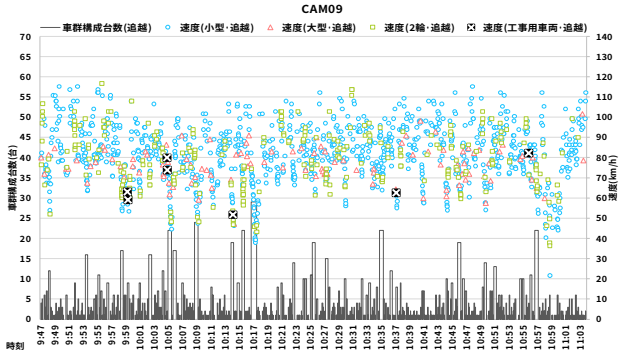


図-16　車群構成台数速度時間図（CAM09_走行車線規制時_追越車線）

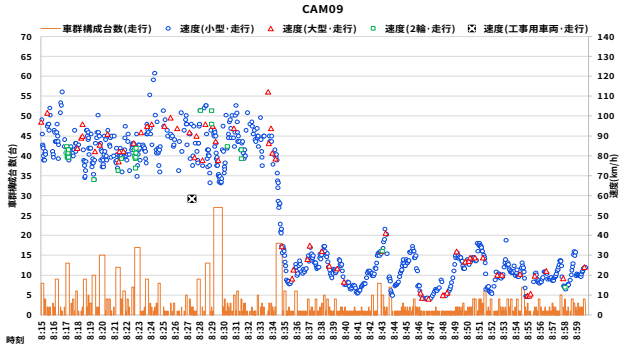


図-17　車群構成台数速度時間図（CAM09_追越車線規制時_走行車線）

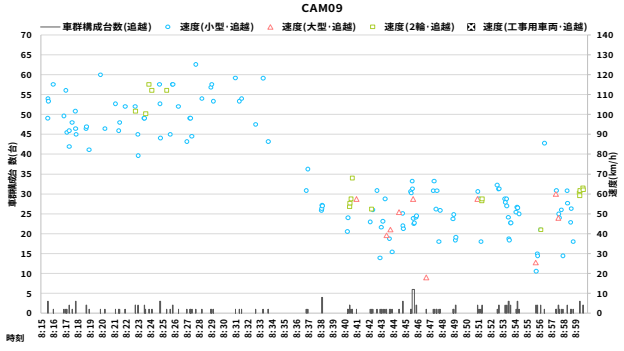


図-18　車群構成台数速度時間図（CAM09_追越車線規制時_追越車線）

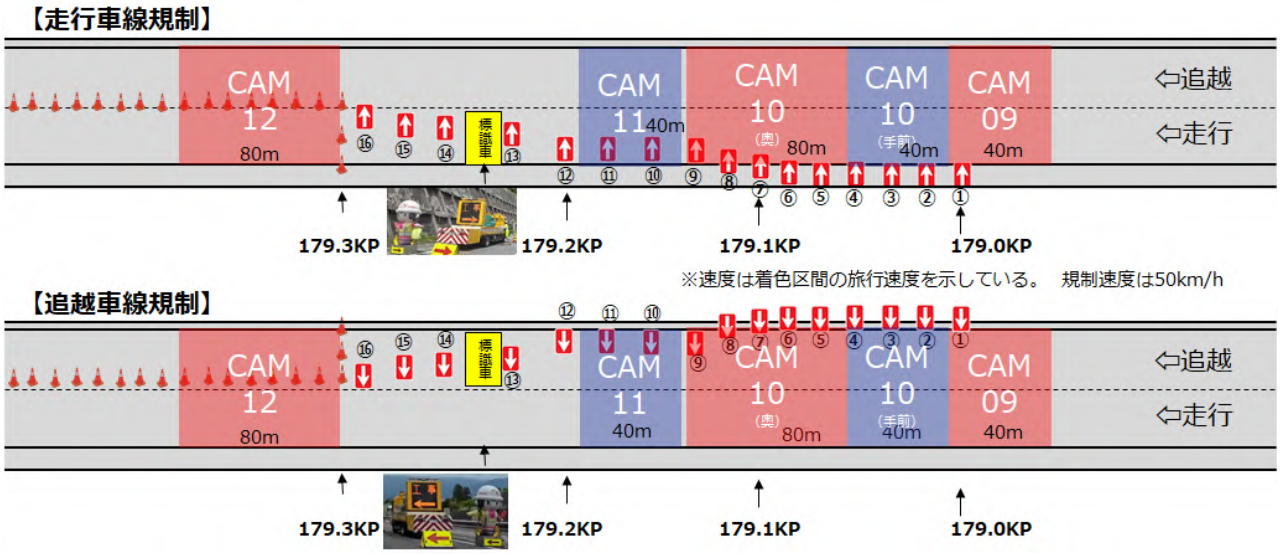


図-19　規制始端部付近の VTR カメラ判読範囲

渋滞直前 15 分間と渋滞中の 2 つの交通状況別に行った．なお，走行車線規制，追越車線規制の双方とも下流側の小田井高架橋付近から速度低下が伝播しているため，例えば，渋滞直前の 15 分間の交通量は規制始端部の BDF ではなく，需要交通量であることに留意が必要である．また，渋滞直前 15 分間は各カメラで集計した 1 分間の平均速度が 40km/h 以下になった 1 分間を除いた 15 分間を対象としているため，カメラ毎に対象時間がわずかではあるが異なる点にも留意が必要である．さらに，走行車線規制時の CAM09 は平均速度が 40km/h にならなかった．そのため，渋滞直前 15 分間と渋滞中の時間の境界は CAM10（手前）に合わせることにした．

渋滞開始 15 分前交通量と QDF を**表-5** に示す．渋滞開始 15 分前の交通量は走行車線規制時で 1,464 台/時，追越車線規制時では 1,335 台/時であった．なお，これらは規制始端部の BDF ではなく需要交通量になる．規制内の BDF が走行車線規制時で 1,408 台/時，追越車線規制時で 1,388 台/時であり，規制内から渋滞が始まったことを考えると，追越車線規制時の規制始端部の BDF は 1,388 台/時以上であることが推察される．一方，QDF は規制内と同様に 5 分毎，渋滞開始～15 分間，渋滞開始～30 分間で集計した．なお，走行車線規制時では渋滞開始～5 分間までしか渋滞していなかったため，その時間帯で集計した．走行車線規制，追越車線規制ともに渋滞開始 5 分間の QDF が低い．走行車線規制時では 1,072 台/時，追越車線規制時では 1,068 台/時でほとんど差が無かった．これは，渋滞直後においては，規制解放車線に隊列することから，走行車線規制と追越車線規制で大きな違いがなかった可能性も考えられる．また，追越車線規制の時間経過に伴う QDF の変化であるが一様ではなく，非常にバラつきが生じている．**図-7** の時空間速度コンター図を見ても，渋滞先頭位置（40km/h 以下の最下流点）が短時間で伸縮している様子がわかる．これらの下流側の交通状況の変動によって，上流側にある規制始端部の QDF も変化しているものと考える．

表-5　渋滞開始 15 分前交通量と QDF（規制始端部付近）

規制種別	交通容量種別		CAM12	CAM11	CAM10 (奥)	CAM10 (手前)	CAM09	平均
走行車線規制	-	渋滞直前15分間	1,432	1,468	1,472	1,468	1,480	1,464
	QDF05	渋滞開始00～05分※	1,188	1,110	1,020	1,020	1,020	1,072
追越車線規制	-	渋滞直前15分間	1,412	1,316	1,304	1,316	1,324	1,334
	QDF05	渋滞開始00～05分	924	1,128	1,092	1,092	1,104	1,068
	QDF10	渋滞開始05～10分	1,092	1,140	1,200	1,272	1,260	1,193
	QDF15	渋滞開始10～15分	1,224	1,164	1,104	1,140	1,116	1,150
	QDF20	渋滞開始15～20分	1,164	1,332	1,332	1,380	1,404	1,322
	QDF25	渋滞開始20～25分	1,272	1,320	1,296	1,320	1,284	1,298
	QDF30	渋滞開始25～30分※	1,400	-	-	-	-	1,400
	QDF0515	渋滞開始～15分	1,080	1,144	1,132	1,168	1,160	1,137
	QDF0530	渋滞開始～30分	1,179	1,217	1,205	1,241	1,234	1,215

※カメラによっては5分間分収集できていない．3分以上収集できたものを対象とした．

車線利用率を**表-6** に示す．渋滞直前 15 分間においては，規制テーパー終端部付近の CAM11 では，走行車線規制時の規制車線（走行車線）の車線利用率が 1.3%である．それに対して，追越車線規制時では，規制車線（追越車線）の車線利用率が 4.3%であり，規制テーパー終端部付近まで進入してくる車両がわずかに多い．これは走行車線規制時に比べて追越車線規制時のほうが合流摩擦が大きくなる可能性も示唆される．一方，渋滞中の車線利用率は渋滞直前 15 分間よりも規制車線の車線利用率が上昇する．しかし，追越車線規制時の渋滞開始～5 分間の規制車線（追越車線）の車線利用率が 3.8%と渋滞直前 15 分間（6.4%）よりも低下しており，渋滞直

表-6　車線利用率（規制始端部付近）

規制種別	交通容量種別		車線区分	CAM12	CAM11	CAM10（奥）	CAM10（手前）	CAM09	平均
走行車線規制	-	渋滞直前15分間	追越車線	100.0%	98.7%	92.3%	91.3%	87.8%	94.0%
			走行車線	0.0%	1.3%	7.7%	8.7%	12.2%	6.0%
	QDF05	渋滞開始00～05分※	追越車線	100.0%	95.8%	92.9%	87.0%	80.9%	91.3%
			走行車線	0.0%	4.2%	7.1%	13.0%	19.1%	8.7%
追越車線規制	-	渋滞直前15分間	追越車線	0.0%	4.3%	7.8%	8.4%	11.3%	6.4%
			走行車線	100.0%	95.7%	92.2%	91.6%	88.7%	93.6%
	QDF05	渋滞開始00～05分	追越車線	0.0%	1.9%	5.7%	5.8%	5.8%	3.8%
			走行車線	100.0%	98.1%	94.3%	94.2%	94.2%	96.2%
	QDF0530	渋滞開始～30分	追越車線	0.0%	2.6%	15.1%	15.5%	17.4%	10.1%
			走行車線	100.0%	97.4%	84.9%	84.5%	82.6%	89.9%

※カメラによっては5分間分収集できていない．3分以上収集できたものを対象とした．

表-7　車線間速度差（追越－走行）（規制始端部付近）

規制種別	交通容量種別		CAM12	CAM11	CAM10（奥）	CAM10（手前）	CAM09	平均
走行車線規制	-	渋滞直前15分間	-	4.4	4.0	-8.6	-1.5	-0.4
	QDF05	渋滞開始00～05分※	-	-32.0	0.5	-14.5	-10.0	-14.0
追越車線規制	-	渋滞直前15分間	-	0.0	16.0	12.6	16.0	11.2
	QDF05	渋滞開始00～05分	-	-0.7	14.6	25.0	34.0	18.2
	QDF0530	渋滞開始～30分	-	7.0	11.1	18.4	28.5	16.3

※カメラによっては5分間分収集できていない．3分以上収集できたものを対象とした．

表-8　車尾時間（規制始端部付近）

規制種別	交通容量種別		車線区分	CAM12	CAM11	CAM10（奥）	CAM10（手前）	CAM09	平均
走行車線規制	-	渋滞直前15分間	追越車線	2.6	2.5	2.8	2.8	2.9	2.7
			走行車線	-	277.0	55.5	48.1	36.0	104.1
	QDF05	渋滞開始00～05分※	追越車線	3.1	3.4	3.8	4.0	4.3	3.7
			走行車線	-	102.2	57.7	33.8	25.3	54.7
追越車線規制	-	渋滞直前15分間	追越車線	-	81.6	37.6	39.2	26.4	46.2
			走行車線	2.7	3.1	3.3	3.3	3.4	3.2
	QDF05	渋滞開始00～05分	追越車線	-	170.2	80.7	80.4	57.9	97.3
			走行車線	4.0	3.3	3.5	3.5	3.5	3.6
	QDF0530	渋滞開始～30分	追越車線	-	123.7	27.0	28.3	21.9	50.2
			走行車線	3.2	3.1	3.7	3.6	3.7	3.4

※カメラによっては5分間分収集できていない．3分以上収集できたものを対象とした．

後に，走行車線に車線変更する車両が多かったと考えられる．また，渋滞開始～30 分後には規制車線（追越車線）の車線利用率 10.1%に上昇しており，走行車線側の車列が延伸していくにつれて，少しでも早く前方へ進みたいドライバーは追越車線へ車線変更していくと推察される．

車線間の速度差を表-7 に示す．追越車線から走行車線を差し引いた速度である．走行車線規制時の渋滞直前 15 分間では，CAM09～CAM10（手前）までは，走行車線の速度が高い．これは，規制始端部に進入したところで，追越車線を走行する車両を抜いて合流するため，速度を上げているものと推察される．CAM10（奥）～CAM11 は車線幅員も縮小されることもあり追越車線の速度にアジャストしながら合流しているものと推察する．また，渋滞開始～5 分後においては隊列する車両に空いている車線から車線変更するため，概ね走行車線の速度が高い．なお，CAM11 は速度が高い 2 輪車が走行車線を走行したため-32.0km/h といった結果となっている．一方，追越車線規制時では，渋滞直前 15 分間および渋滞中においてもほぼ追越車線の速度が大きい結果となっている．走行車線規制時と追越車線規制時の大きな違いとしては，渋滞直前 15 分間において，規制始端部全体としてみた場合，走行車線規制では速度差はほぼない（-0.4km/h）が，追越車線規制時では 11.2km/h もの差がある．これは，走行車線規制時では走行車線車両が追越車線車両の速度にアジャストしながら合流していく一方で，追越車線規制時では追越車線車両が走行車線車両にアジャストするではなく，高い速度を維持しつつ空いたギャップへ車線変更しているのではないかと考える．

車尾時間を表-8 に示す．渋滞直前 15 分間において，走行車線規制時の規制解放車線（追越車線）が 2.7 秒に対して，規制車線（走行車線）が 104.1 秒である．また，追越車線規制時の規制解放車線（走行車線）が 3.2 秒に対して，規制車線（走行車線）が 46.2 秒である．これらから，走行車線規制時は追越車線規制時よりも，事前に規制解放車線に車線変更している一方で，追越車線規制時は規制始端部に進入してから車線変更する車両が走行車線規制時よりも多いことが想定される．

(8)　渋滞発生メカニズム

「(6)　規制内渋滞状況分析」および「(7)　規制始端部における渋滞状況分析」から想定される渋滞発生メカニズムについて，以下のとおり考察する．

走行車線規制時の渋滞発生メカニズムを図-20 に示す．



図-20　渋滞発生メカニズム（走行車線規制）

(a)渋滞直前 15 分間では，事前に走行車線から追越車線に車線変更をしている．また，規制始端部では走行車線の車両台数が少なく，車線間の速度差が小さい．走行車線車両は追越車線車両にアジャストする形でスムーズに追越車線に車線変更していると推察する．なお，小田井高架橋付近のサグ部から初めに速度が低下する．

(b)渋滞発生時は小田井高架橋付近で速度が低い車両が存在することによって上流側に速度低下が伝播する．なお，走行車線規制時は約 4 回速度低下を繰り返していた．また，規制内サグ部のほうが規制始端部よりも BDF が高いため，規制内サグ部で渋滞が発生する．

(c)渋滞中は規制始端部に最終的に渋滞が定着する．その際，下流側は速度が上昇するが規制速度を遵守しながら慎重に走行しているものと推察する．なお，追越車線側に隊列するため規制始端部の車線間速度差は若干生じている．

続いて，追越車線規制時の渋滞発生メカニズムを図-21 に示す．

(a)渋滞直前 15 分間では，事前に追越車線から走行車線に車線変更をしている．しかし，走行車線規制時よりも規制始端部に進入する車両が多く，車線間の速度差が大きい．追越車線車両は走行車線車両にアジャストするのではなく，高速度で走行車線に車線変更していると推察される．

(b)渋滞発生時も走行車線規制時と同様に小田井高架橋付近のサグ部から速度低下する．なお，規制内サグ部のほうが規制始端部よりも BDF が高いため，規制内サグ部で渋滞が発生する．

(c)渋滞中は最終的には規制始端部に渋滞が定着する．その際，下流側は速度が上昇するが規制速度を遵守しながら慎重に走行しているものと推察する．なお，走行車線側に隊列するため規制始端部の車線間速度差は生じている．

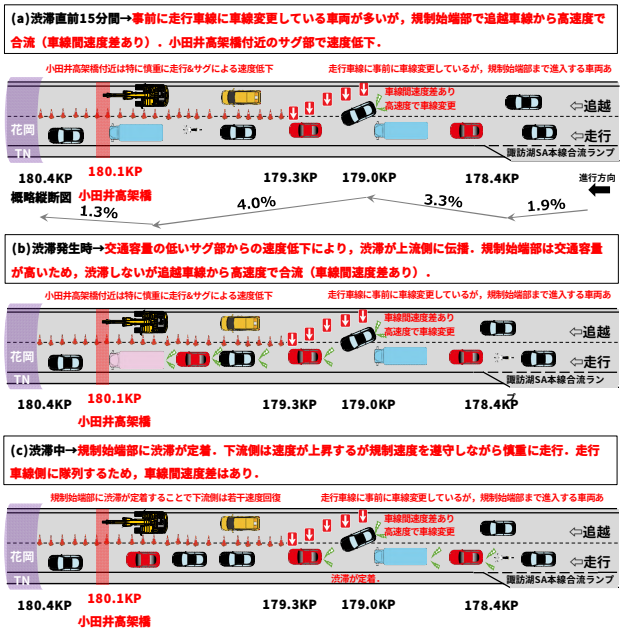


図-21　渋滞発生メカニズム（追越車線規制）

がら慎重に走行しているものと推察する．なお，走行車線側に隊列するため規制始端部の車線間速度差は生じている．

今回の渋滞発生メカニズムの考察は“規制内に BN が存在するケース”である．なお，櫻井ら [11] が示した規制始端部が BN となるケースも存在し，その場合には異なる渋滞発生メカニズムが作用することに留意する必要がある．

5.　まとめと今後の方針

(1)　まとめ

都市間高速道路である東名と中央道で実施した工事車線規制を対象に，交通容量を規定する要因を明らかにするため，BDF 及び QDF に着目して重回帰分析を再掲した．ここでは，特に着目すべき要因について以下の通り考察する．

偏回帰係数を見ると右側余裕幅のほうが左側余裕幅よりも大きい．すなわち，走行車線規制時のほうが追越車線規制時よりも交通容量が高くなることを示している．また，櫻井ら [11]の交通容量分析によると走行車線規制時よりも追越車線規制時よりも大きくなっており，それとも整合している．多くのドライバーが右側ハンドルであることを考慮すると，追越車線規制時では，左側（走行）車線への車線変更のしにくさの影響が出ている可能性も示唆される．

規制始端部～BN までの距離が長いほど BDF が減少する結果となった．規制始端部から BN までの距離が長くなる，すなわち規制延長が長くなり，規制始端部よりも交通容量が低いサグ部などで渋滞するケースが多くなる結果であると考える．

渋滞巻き込まれ時間が長いほど QDF が減少する傾向であり，渋滞巻き込まれ時間については，中谷ら [13]が示している高速道路単路部のケースの結果と同様であった．

中央道（下り線）諏訪 IC～岡谷 JCT の小田井高架橋で収集した VTR カメラデータで走行車線規制時と追越車線規制時の交通流分析を行い，渋滞発生メカニズムを考察した．

まず，走行車線規制および追越車線規制ともに，規制内である小田井高架橋付近が最初の BN となり，それが上流側に伝播する状況であった．重回帰分析の結果においても，規制始端部～BN までの距離が長いと BDF が低下する傾向となったいた．これは，規制始端部よりも交通容量が低いサグ部が今回の VTR 調査でも有していたことから，高橋ら [2]や近田ら [12] の既往研究と同様の結果が得られたと考える．また，小田井高架橋付近の BDF は走行車線規制時では，1,408 台/時，追越車線規制時では 1,388 台/時であり，走行車線規制時のほうが 20 台多

く（+1.4%），櫻井ら[11]の交通容量分析結果と整合している．しかしながら，走行車線規制時は 2 輪車が 284 台（実台数では 71 台）と非常に多く全体の約 20%を占めていたこと，追越車線規制時は雨が昼前くらいまで降っていたこと，さらに防護柵の種類が異なっているなど比較条件が完全に合致していない特性の違いに留意が必要である． また，小田井高架橋の QDF も走行車線規制が追越車線規制よりも大きく，櫻井ら[11]の交通容量分析結果と整合している．走行車線規制のほうが車頭時間が短いため，前方車両へ追従している車両の割合が高いと考える．

一方，規制始端部では走行車線規制時と追越車線規制時で車線間の速度が生じていた．走行車線規制時では，走行車線車両は追越車線車両の速度にアジャストして合流する傾向であった．また，追越車線規制時では合流してくる追越車線車両の速度は高く，かつ規制始端部に流入してくる車両の割合が走行車線規制時と比べて高かった．これが規制始端部で最初に渋滞が発生するケースであった場合，上述した車線別の交通状況の違いによって，BDF が変動する可能性もあるのでないかと推察する．

規制始端部の QDF は渋滞開始～5 分間を比較すると走行車線規制時では 1,072 台/時，追越車線規制時では 1,068 台/時でほとんど差が無かった．これは，渋滞直後においては，規制解放車線に隊列することから，走行車線規制と追越車線規制で大きな違いがなかった可能性も考えられる．渋滞時間，渋滞長が長くなれば車線規制側の規制始端部へ進入してくる車両台数が増えてくると推察される．また，追越車線規制時の QDF では，時間経過に伴う QDF のバラつきが大きい．これは下流側の小田井高架橋の交通状況の変動によって規制始端部の QDF も変化しているものと考える．

(2) 今後の方針

今回は小田井高架橋付近と規制始端部において，個別車両の速度や，車群構成台数，交通容量，車線利用率，車線間の速度差，車尾時間などを分析した．今後は CAM01～WEB02 までを時空間的に，より詳細に分析していく．また，渋滞を引き起こした車両が上流側～下流側にかけてどのように走行したのかを明らかにする．さらに，下流側の小田井高架橋付近の交通状況の変動による規制始端部の QDF の変化も分析していく．

謝辞：本研究に用いたデータは NEXCO 中日本から提供されたものです．この場をお借りして，NEXCO 中日本の皆様に対しお礼を申し上げます．

参考文献

1) （一社）交通工学研究会：道路の交通容量とサービスの質に関する研究 成果報告書（交通容量編），2021.
2) 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.
3) 山下賢一郎，深井靖史，遠藤学史，渡辺剛史，浅野靖：首都高速道路における工事規制箇所の交通容量影響要因に関する基礎的分析，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.51，2015
4) 山本 隆，上水 一路，花田 大輝，鶴 元史，中林 悠，下川 澄雄：都市間高速道路における対面通行規制時の交通容量に関する基礎分析，交通工学研究発表会論文集，Vol.42，pp.427-434，2022.
5) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual 7th Edition, 2022.
6) Yeom, C., Hajbabaie, A., Schroeder, B. J., Vaughan, C., Xuan, X., and Rouphail, N. M. (2015) Innovative work zone capacity models from nationwide field and archival sources. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2485, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2015, pp. 51-60.
7) (一社)日本道路協会：道路の交通容量，1984.
8) Mitsuaki Sakurai, Hiroyuki Oneyama, Junya Uehata, Takashi Aoki: Research on factors influencing traffic capacity during lane closures on inter-urban expressways: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2023
9) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual 7th Edition, 2022, p.10-42
10) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual 7th Edition, 2022, p.11-43
11) 櫻井光昭, 上畑旬也，青木隆志, 小根山裕之：都市間高速道路における車線規制時の交通容量に関する分析，,第 43 回交通工学研究発表会論文集, pp.529-536, 2023.
12) 近田博之, 平井章一, Jian Xing, 高橋秀喜：高速道路における工事規制区間の短縮化による渋滞対策効果検証,第 31 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.163-166, 2011.
13) 中谷了, 皆方忠雄, 佐藤久長, 市川昌：渋滞巻き込まれ時間を考慮した LED 標識による速度回復情報提供の効果検証, 交通工学研究発表会論文報告集, Vol.25, pp.173-176, 2005.

Analysis of Traffic flow during Lane Closures on Inter-urban Expressways

Mitsuaki SAKURAI, Junya UEHATA, Takashi AOKI, Yasuhiro NONAKA and Hiroyuki ONEYAMA