

AIオートマチック信号制御を活用した 工事渋滞緩和の検討

三浦 淳¹・○原島 康輔²

- 1.元 国土交通省関東地方整備局 長野国道事務所 計画課（〒380-0902 長野市鶴賀字中堰 145）
現 国土交通省関東地方整備局 横浜国道事務所 調査課（〒221-0855 横浜市神奈川区三ツ沢西町 13-2）
2. 国土交通省関東地方整備局 長野国道事務所 計画課（〒380-0902 長野市鶴賀字中堰 145）

令和3年7月6日、国道19号犬戻トンネルの隣接地である長野市篠ノ井小松原で地すべりが発生した。それに伴い国道19号への土砂流出が懸念されるため、全面通行止めとし、早期開放に向けて応急復旧を進め、同年7月14日に昼間のみ片側交互通行規制で開放した。しかし、規制に伴う朝夕ピーク時の渋滞は非常に深刻であること、また、全面開放に向けた復旧作業は時間を要することから、片側交互通行のスムーズな運用による渋滞の緩和が求められた。そこで、可搬型ライブカメラを導入し、渋滞長の把握をAI画像解析で行うこととした。さらに、画像解析した渋滞長から適切な信号パターンを選定し、工事用信号機を制御するシステムを構築した。これにより、人員負担の軽減、信号制御の効率化及び渋滞緩和を図った。

Key Words: 渋滞長, AI解析, 信号制御, 時間占有率, 全赤時間

1. はじめに

近年、地震や台風等の自然災害が頻発・激甚化している。それに伴う道路への土砂崩落や地すべりによる道路への影響が見受けられる。このような状況下でも、道路は人や物を運ぶ重要な役目を担っており、常に通行を確保するための維持管理は必要不可欠である。だが、通行の確保を優先し、自然災害発生時や工事に伴う片側交互通行規制が行われた場合、規制区間の前後で渋滞が発生しスムーズな交通処理が難しくなるケースがある。直轄道路では規制時に常時人員を配置し、交通整理を行うことが現在の基本的な対応として挙げられる。しかし、人員による交通整理で管理することは肉体的・精神的、更にコスト的にも難しい。交通量が少ない箇所については予め設定された時間で切り替わる無人信号機による対応も挙げられるが、交通量の多い箇所では、このような対応が非効率となる場合もある。

このような背景を踏まえ、本報告では国道19号で災害復旧のために行われた片側交互通行規制箇所における円滑な通行の確保を目的に、AI画像解析を用いたオートマチック信号制御手法を採用した経過等を報告する。実際には、可搬型ライブカメラの導入による渋滞長のAI画像解析から、適切な信号パターンの選定、信号機の制御までの一連の流れを制御可能か、円滑な通行確保の観点より検討した。

2. 発災の状況

(1) 発災から交通解放までの経緯

令和3年7月6日（火）、長野県長野市篠ノ井小松原地先の国道19号に隣接する箇所において、地すべりが発生した。この地すべりによる国道19号路面への土砂流出は確認されなかったが、道路施設への影響として、国道19号犬戻トンネル上に設置されている電気室の建屋に土砂が押し寄せ、建屋が一部損壊した。この地すべりのさらなる動きによる、国道への土砂流出の可能性、一般交通への影響が懸念されたことから、同日に国道19号を全面通行止めとする措置をとった。

発災直後から応急復旧対策として、土砂流入防止のためのH型鋼製防護柵設置等を進め、発災から8日後の7月14日（火）6時、暫定的に昼間（6～21時）のみ片側交互通行規制に移行、終日の全面通行止めを解消した。なお令和4年2月1日に全面開放し24時間対面通行に移行した。

(2) 片側交互通行規制を設けた地形特性について

国道19号は長野地域と松本地域・北アルプス地域を結ぶ、地域の生活を支える重要な幹線道路であり、日交通量は20,277台（平成27年道路交通情勢調査）である。

また、当該箇所は山間部に位置するため、迂回路は山間

の幅員狭小や急勾配箇所もある道路となり、国道 19 号の通行規制は地域の生活に大きな影響を与えた。特に、迂回による利用者の移動距離や時間の増加、通常時は交通量が少ない通学路への迂回交通通過による安全性の低下、通学でバス交通を利用している学校の臨時休校、代替バスの運行、道の駅の来客数の減少等が生じた。これらのことから、早期の交通開放が求められていた。

3. 交通規制における課題の整理

片側交互通行規制に際しては、1 日約 2 万台という交通への影響を最小限とするため、規制延長を 300m と可能な限り短縮した。規制箇所での処理可能台数は、実測で約 1,300 台/時（上下線の合計）、通常時（通行止め直前 1 週間平均）の平日朝 7 時の時間交通量は約 1,500 台/時であった。そのため、朝夕の交通集中時には、交通を捌ききれず上下線とも最大約 3km 程度の渋滞が発生する事態が発生した。

ここまで多い交通需要があると、片側交互通行規制時に渋滞を発生させないよう、交通処理を行うことは難しいと判断した。そこで信号制御の最適化により上下線の滞留車両をいかにバランスよく流すかが最重要と考えた。

片側交互通行における信号制御について、主な流れは以下の通りである。まず、上下線共に渋滞末尾を把握し、それぞれの渋滞長を判定する。その後、上下線それぞれの渋滞長を基に予め設定した信号パターン（青時間の長さ）を選定する。最後に選定したパターンで信号制御を行う。

この一連の流れを当初は規制保安員、渋滞長確認の監視員、カメラ監視員等、全て人員により行っていたため、正確かつ効率よく行う事が非常に難しかった。

また、当時の気象状況として、連日最高気温 30 度超えが続き、35 度に達する日もみられ、継続性への課題と、信号パターンの選定についても、個人によるばらつきが生じてしまう状況であった。

そこで、可搬型ライブカメラによる AI 画像解析を用いた信号制御の自動化を試みた。今回自動化の流れは①渋滞長の把握、②信号パターンの選定、③仮設信号機の制御方式の大きく 3 つであり、全 3 段階に分けて実施及び改善を行った。

4. AI オートマチック信号制御手法の検討

(1) 渋滞長の把握

まず、AI による信号制御において、渋滞長の把握に着目した。前述したとおり、人員による目視での確認には限界があり、スムーズな交通規制の実現は難しい。そこで、対象地域の国道 19 号沿線に全 12 箇所の可搬型ライブカメラ



図-1 ライブカメラ設置位置図

を設置し、目視による把握からリアルタイムな画像による把握に切り替えた。しかし、映像を見るだけでは具体的な渋滞長の算出は難しいため、AI による画像解析を用いて、渋滞長を算出した。AI 画像解析では、車種別に検知してトラッキングしているため、交通量、速度、時間占有率（Occ）等が算出可能である。今回 AI による画像解析を採用した理由は大きく 2 つある。1 つめは、従来のセンサー（車両感知器）を用いた場合、長時間、車両が停止するような状況下においては、車両の有無を正確に区分できないため、渋滞長の正確性に欠ける、これに対し、渋滞長を逐次正確に把握する事ができることである。2 つめは、リアルタイムに渋滞長を把握する事が可能である。他に ETC2.0 のプローブ情報を活用する方法も挙げられるが、タイムラグが生じてしまうため、実用的ではない。また、AI を活用しない場合、背景差分やテンプレートマッチングを活用して車両検出を行うことも考えられるが、背景差分は昼夜や日照条件(影)に精度が左右されること、テンプレートマッチングは複数角度で精度高くテンプレートを準備することに時間的制約があるため、精度の高い AI を採用した。実際の活用方法として、設置カメラに映っている映像の中で、2 点間の時間占有率（車両が存在した時間の割合）を用いて渋滞末尾の判定を行う事とした。それぞれの設置箇所を図-1 に示す。AI による画像解析を行うためには一定の精度を確保するために、ある程度の高さからの画角を要する。そのため、電工標識等の足場がある箇所については活用し、それ以外の箇所についてはポールを用いて 7~10m の位置に設置した。この高さについては、国土交通省国土技術政策総合研究所発行の画像認識型交通量観測装置機器仕様書（案）を参考に設置した（高さ 6m 以上、俯角 20-30 度等を確保することが望ましいと記載）。

AI 画像解析による渋滞末尾の把握方法について、目視による渋滞末尾と時間占有率を照らし合わせ、最適な時

間占有率を設定した。つまり、各カメラにおいて、画像解析の結果により算出された時間占有率が予め指定した時間占有率に達した場合、「渋滞」と判定するよう設定した。基本的には上下線において、規制区間から近い順に渋滞と判定していき、一番遠い箇所まで渋滞と判定した箇所が渋滞末尾と判断する。

当システムを導入するにあたり、事前に 10 日程度の期間で時間占有率のデータを取得した。なお、当初は全カメラにおいて、時間占有率 70%と設定し、集計時間単位を 10 分と設定して画像解析を行った。

(2) 信号パターンの選定

カメラの画像解析により算出した渋滞末尾を基に、上下線それぞれの青時間の組合せ（信号パターン）を選定する。コントロールポイント（以下 CP）として、上り線はカメラ⑨の小松原トンネル西交差点（BP 側）、下り線はカメラ②の笹平トンネル東交差点を設定し、CP 以降に渋滞末尾が来ないように青時間を調節した。CP に選定した理由について、この交差点を渋滞長が超えると、速度が大幅に低下することから選定した。

当初は目視による渋滞長の把握から朝昼夕でそれぞれ 4 つのパターン信号パターンを設定していたが、AI の画像解析を導入したことにより、複雑な状況にも対応が可能になったため、26 パターンを設定した（表-1）。これらのパターンは、上下線の AI 画像解析の結果より算出した渋滞末尾の位置で自動的に選定されるように構築した。渋滞末尾のカメラ位置と信号制御パターンの関係を表-2 に示す。

今回のような片側交互通行規制の場合、一般的なサイクル長（90~180 秒）ではクリアランス（全赤時間）が長くなってしまふ。そこで、上下線の CP を考慮して、青時間は長くても 5 分まで、基本的には 2 分で設定した（事前の調査において、当該地域は 1 分で渋滞を 160m 捌けることを基に検討した）。

(3) 信号制御

信号パターンを選定した後に、実際に信号機にパターンを伝達する。本システムでは、プログラムで動作する規制用の信号機と司令室の信号パターンを選定するパソコンを Wi-Fi で接続して行った。

当初は信号パターンを選定し、司令室の合図でパターンの実行を行っていた。AI 画像解析を導入後は、AI が選定した信号パターンを自動で信号機に伝達し、実行しようとした。しかし、全赤時間から青に切り替える（次の信号パターンを実行する）際に、規制区間内に車両が通行していないことを確認する必要がある。この作業は AI では難しく、規制解除の最後まで目視による確認を行った。その結果、全 26 信号パターンにおける全赤時間（クリア

表-1 信号制御自動化に向けた信号制御パターン

方向別	上り線 長野←松本 (子機側)						
	青時間	60	120	180	240	300	360
下り線 松本→長野 (親機側)	60	2 (超開放時)					
	120		1 (開放時基本)	3	4	5	18 (松本側 渋滞悪化)
	180		6	7	8	9	
	240		10	11	12	13	青緑: 方向2優先
	300		14	15	16	17 (両方向 渋滞max)	
	360		19 (長野側 渋滞悪化)		赤緑: 方向1優先		

※白枠内の数字はパターン番号

ランス) を長めに設定し、目視で車両が区間内を通行していないことを確認してから手動で全赤時間を切り替えていた。

表-2 渋滞末尾カメラ位置と信号制御パターンの関係

ライブカメラによる渋滞末尾位置		信号制御 パターン
下り線(親機) 松本→長野	上り線(子機) 松本←長野	
なし	なし	3
⑥	なし	3
⑤	なし	3
④	なし	3
③	なし	3
②	なし	10
①	なし	14
なし	⑧	3
⑥	⑧	3
⑤	⑧	3
④	⑧	3
③	⑧	3
②	⑧	10
①	⑧	14
なし	⑨	4
⑥	⑨	4
⑤	⑨	4
④	⑨	4
③	⑨	4
②	⑨	12
①	⑨	16
なし	⑩(⑩と⑫も含む)	5
⑥	⑩(⑩と⑫も含む)	5
⑤	⑩(⑩と⑫も含む)	5
④	⑩(⑩と⑫も含む)	5
③	⑩(⑩と⑫も含む)	5
②	⑩(⑩と⑫も含む)	13
①	⑩(⑩と⑫も含む)	17
なし	⑫	4
⑥	⑫	4
⑤	⑫	4
④	⑫	4
③	⑫	4
②	⑫	12
①	⑫	16

5. 結果

AI による信号制御を導入する前における ETC2.0 プロローブ情報で算出した時間帯別渋滞長（令和 3 年 7 月 16 日）を図-2 に、AI 導入後の時間帯別渋滞長（令和 3 年 12 月 17

日)を図-3に示す。図-2より、AI導入前には同じ時間帯における上下線の渋滞長にばらつきがあることがわかる。これは、選定した信号パターン(上下線の青時間の組合せ)が適切ではなく、一方のみが渋滞を伸ばしている事になる。このような現象が発生すると、上下線での捌け交通量のバランスが悪化し、CP等の交差点にも影響が及んでしまう。図-3より、AIを導入した後は上下線での渋滞長のバランスにばらつきが少なく、信号パターンが適切に選定できていたと言える。

適切な信号パターンを選定するためには、渋滞末尾をリアルタイムで正確かつ素早く把握する必要がある。今回、AIによる画像解析を用いたことにより、リアルタイムな渋滞長を把握する事ができた。また、AIの学習により、時間占有率の設定値を更新することで最終的にはカメラごとに最適値を算出する事ができた。

これらにより、人員や人為的ミス等の懸念事項を軽減できたことが本システムの優位性であると言える。

6. 今後の課題

今回のAIオートマチック信号制御は、片側交互通行規制において、上下線の交通をバランス良く流す事を目的として他に例のない形で実施した。実際の検証により、ほぼ全自動での運用が可能となり、渋滞長のバランスを取れる事を確認した。しかし、規制区間に車両が通行していないことの確認(全赤時間の切り替え)がAIのみの判断では難しいのが現状である。

課題としては、①渋滞長の把握から信号制御までの一連の流れを自動化すること、②渋滞長のバランスを取る事に加えて、同一時刻の所要時間を均等にする事で、1日の損失時間が最小になる状態等、時間を考慮したシステムを構築することが最適解として考えられる。

今後、自然災害等の影響により、片側交互通行規制を行う箇所は増加する可能性がある。本研究で導入したシステムについて、上記の課題を改善し、さらに高度化することが期待される。そのため、規制区間内における安全確認の自動化やAIの学習精度を高め、活躍の場を広げていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 三浦淳, 吉田幸男, 武島正佳, 永江浩一郎, 野中康弘, 深井靖史, 石田貴志, 柳沼秀樹: AIオートマチック信号制御を活用した工事渋滞緩和の検討, 土木計画学研究・講演集, Vol64, 2021.

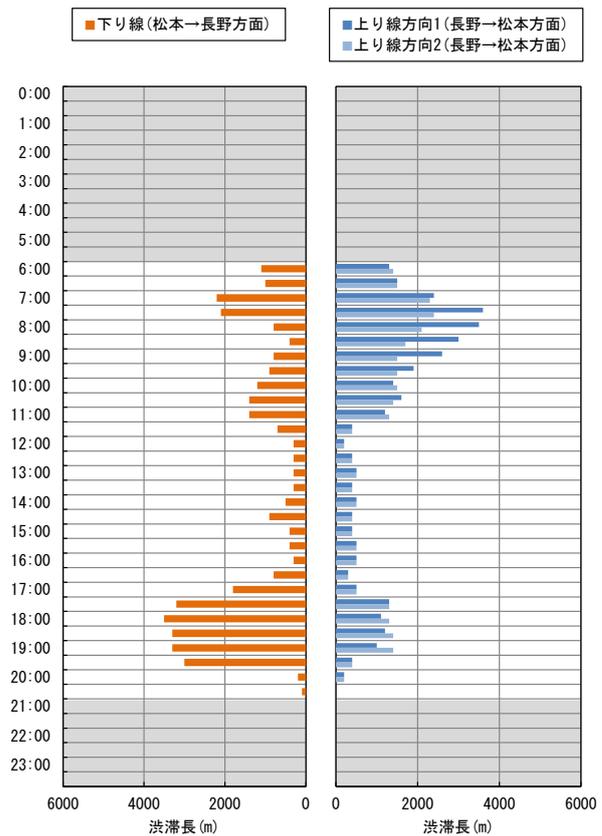


図-2 AI運用前：令和3年7月16日(金)における時間帯別渋滞長(ETC2.0プローブ情報)

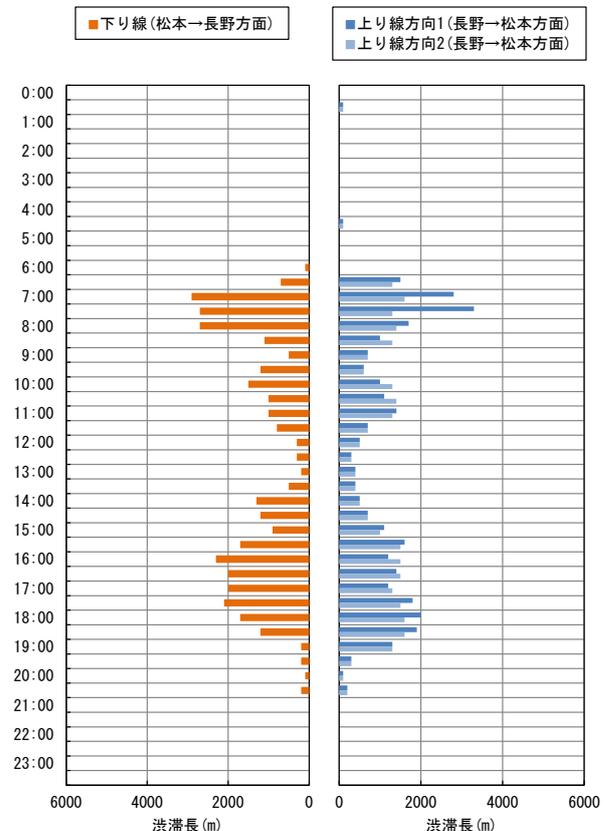


図-3 AI運用後：令和3年12月17日(金)における時間帯別渋滞長(ETC2.0プローブ情報)