

# 道路工事における仮設信号の動的制御支援用 シミュレーションモデルの開発

Development of Simulation Model for Dynamic Control of Temporary Traffic Signals  
in Construction Work on Roads

名古屋工業大学 ○和田かおる\*  
名古屋工業大学大学院 飯田進一\*\*  
名古屋工業大学 山本幸司\*

By Kaoru WADA, Shinichi IIDA, Koshi YAMAMOTO

パイプライン敷設工事や電線の地中化工事、道路補修工事等のように道路を占有して行う工事では工事対象道路を通過する交通に大きな影響を与える。特に道路の片側全てを占有して工事を行う場合、通過交通は交互通行を強いられる。このように交互通行を行う場合、ガードマンや仮設信号によって交通制御が行われるが、人件費の高騰等から仮設信号により安全に効率よく交通を処理することが望ましい。しかしながら、従来の仮設信号では信号現示時間が固定されていることから、刻々と変化する道路交通を効率的に制御することは困難である。そこで、本研究では交通量の変化に応じて信号機の現示パターンを自動的に変化させ得る動的制御を提案し、信号制御システムを開発するためのシミュレーションモデルを構築する。

【キーワード】 工事管理, 自動化, 情報処理, シミュレーション

## 1. はじめに

土木工事を行う場合、工費および工期は計画策定時に考慮すべき重要な要件である。しかしながら、最近では工事による周辺環境への影響が大きな問題となっているため、これも工事計画を策定する際の大きな評価要素の1つとなってきた。特に、道路上で行う工事では騒音・振動といった住環境への影響に加え、道路占有に伴う道路交通への交通障害が大きな問題となる。

特に、パイプライン敷設工事のように通常2車線以下の道路を対象として行われることの多い工事では、工事期間中必然的に道路全面あるいは片側を工事用に占有しなければならない。道路全面が占有される場合は、通行止めとなるが、片側を占有する場合には片側交互通行となるため何らかの交通制御が

必要である。このような場合、ガードマンや仮設信号によって通過交通を制御する方法が一般的であるが、人件費の高騰等から仮設信号によって安全にかつ効率的に交通を制御することが必要になると思われる。しかしながら、従来の仮設信号の制御では信号現示時間が固定されていることから、刻々と変化する道路交通を効率的に制御することは困難である。そこで、本研究では交通量の変化に応じて信号機の現示パターンを自動的に変化させ得る動的制御法<sup>1)</sup><sup>2)</sup>を提案し、信号制御システムの開発を支援するためのシミュレーションモデルを構築する。

## 2. 仮設信号機による道路交通の動的制御

### (1) 道路占有にともなう交通対策

既設の道路上で行う工事では、必然的に交通障害が発生する。その際、このような交通障害を減少す

\* 社会開発工学科 052-732-2111

\*\* 社会開発工学専攻 052-732-2111

ることが課題となるが、どの程度の交通障害が発生するのかを的確に判断し、工事を行う期間、時刻、交通処理方法<sup>3)</sup>について、その区間の交通量、道路の幅員、迂回路、現場の状況などをもとに検討しなければならない。

特に、道路の片側1車線を占有して行う工事では、残りの1車線で上下方向の交通処理を行う片側交互通行が最も一般的な交通処理方法である。この場合ガードマンや仮設信号で制御されるが、本研究では人件費の削減、的確な交通処理を目的として、後者を考えることにする。

このように仮設信号を用いて円滑に交通処理を行うには、交通量が最も問題となるが、実際には当該道路への流入を制限することは難しい。しかしながら、交通処理の円滑化に対しては信号のサイクルタイムもその要因の一つであることに着目し、本研究では仮設信号の制御方法を提案する。すなわち、従来の仮設信号で固定されていたサイクルタイムを交通量に合わせて変化させることで、ピーク時やオフピーク時などそれぞれの時間帯に適した交通処理を行う仮設信号の動的制御方法について述べることにする。

(2) 仮設信号機による道路交通の制御方法

仮設信号機による制御は一定のサイクルタイムで制御するのが一般的であるが、このような制御方法では刻々と変化する道路交通を効率的に処理することは困難である。そこで、本研究では車両感知器から得られる情報によって仮設信号機のサイクルタイムを自動的に制御する方法を検討する。

まず事前に両方向の青信号現示時間について最大値と最小値を、両方向の交通に対して許容待ち台数を設定しておく。なお、以下では青信号現示時間の最大値、最小値をそれぞれ最長青時間、最短青時間、

許容待ち台数を信号切替基準台数と呼ぶことにする。このように最短青時間を設定することによって一定の交通容量を保つことができ、また最長青時間の設定によって逆方向の待ち時間が長くなり過ぎるのを防ぐことが可能となる。さらに、信号待ち台数を制限することで周辺の交通や環境への影響を軽減できる。

以下、図-1に示すような工事区間A～Bでの信号制御法を図-2に示すフローにしたがって説明する。まず、仮設信号機Aについて最短青時間を経過させ、その後、車両感知器によって仮設信号機Bの信号待ち車両が信号切替基準台数に達しているかを感知し、基準台数に達していれば信号機Aを赤に切替える。その時点で待ち台数が基準台数に達していなければ、数秒ずつ青を延長してその都度信号機Bの待ち台数が切替台数に達しているかを感知し、基準台数に達した時点で信号機Aを赤に切替える。そして、信号機Bの待ち台数が基準台数に達していなくても、最長青時間が経過すれば信号機Aを赤に切替える。以上のいずれかの状況で信号機Aを赤に切

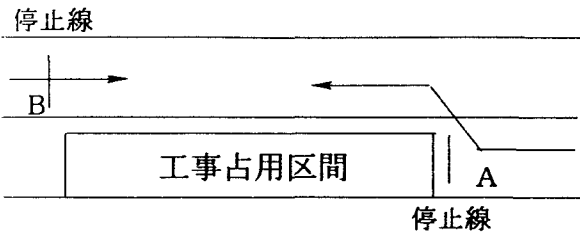


図-1 現場イメージ図

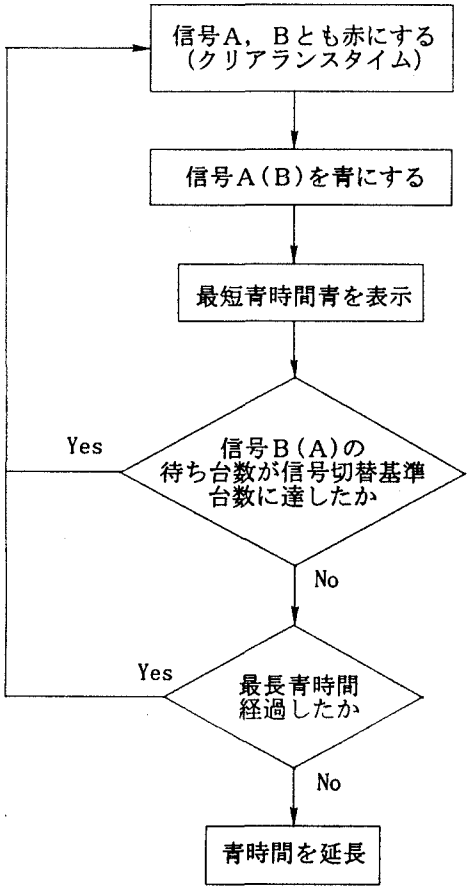


図-2 信号制御フロー図

替えた後、クリアランスタイムを経過させ、信号機 B を青に切替え上記と同様な制御を繰り返す。

このようにして車両感知機から得られる情報を利用することによって仮設信号の現示パターンを自動的に変化させ、サイクルタイムの制御を動的に行うことにする。

(3) 道路交通制御のための信号装置

信号制御のための車両感知器としては車両の存在検知性を1つの要件とするため、現在のところ制度、設置難易性、車線区分性、価格等から超音波式車両感知器とループ式車両感知器が代表的であるが、我が国では前者が主に使われている。そこで、前者の超音波式車両感知器を仮設信号機と組み合わせた制御システムを考える。図-3は仮設信号動的制御システムのイメージを示したもので、信号切替基準台数を感知するため、許容待ち行列長の最後尾が達する位置に1m程度の間隔で車両感知器を3~4個設置しておく。車両感知器を複数設置するのは、車間に感知器が来ることを防ぐためである。そして、これらの感知器、感知器から得られた情報を制御するための制御装置および仮設信号機とをオンライン化し、信号の切替えを行うこととする。ここで制御装置にはあらかじめ最短青時間、最長青時間等のデータをインプットしておく必要がある。

3. 道路交通制御用シミュレーションモデルの構築

(1) 道路交通制御の分析方法

道路占用区間を通過する車をサービスを受ける客、

信号機をサービス窓口とみなすことによって、待ち行列現象として捉えることができる。したがって、これを分析する手法としては、待ち行列理論が考えられる。とくに、モデル化の簡単な待ち現象において定常状態の想定が差し支えない場合には数学モデルの適用が可能であり、解析も容易である。しかしながら、本研究では、両方向の交通に対する待ち行列現象を分析する必要があり、さらに待ち行列長によって信号を制御することから、かなり複雑な待ち行列現象を分析しなければならない。したがって、数学モデルの適用は困難であると判断し、シミュレーション手法を用いて分析を行うことにする。シミュレーションモデルの構築においては、シミュレーション言語 S L A M II / P C を用いることにした。<sup>4)</sup> なお、シミュレーション結果の出力としては、信号待ち時間、信号待ち台数、青信号現示時間などを考えていくことにする。

(2) 仮設信号の動的制御シミュレーションモデルの構築

本研究で構築する信号制御モデルでは3つの異なる制御が同時に行われる。これらは、北行きの車の流れ、南行きの車の流れ、および信号のサイクルの制御である。ここではそれぞれのプロセスを各サブネットワークとしてモデル化することになる。しかしながら、両方向の車の流れは同様な方法で制御されるため、同じモデルを用いることが可能である。したがって、以下では車の流れのモデル化および信号制御のモデル化について説明する。表-1に本モデルで用いる変数を示す。

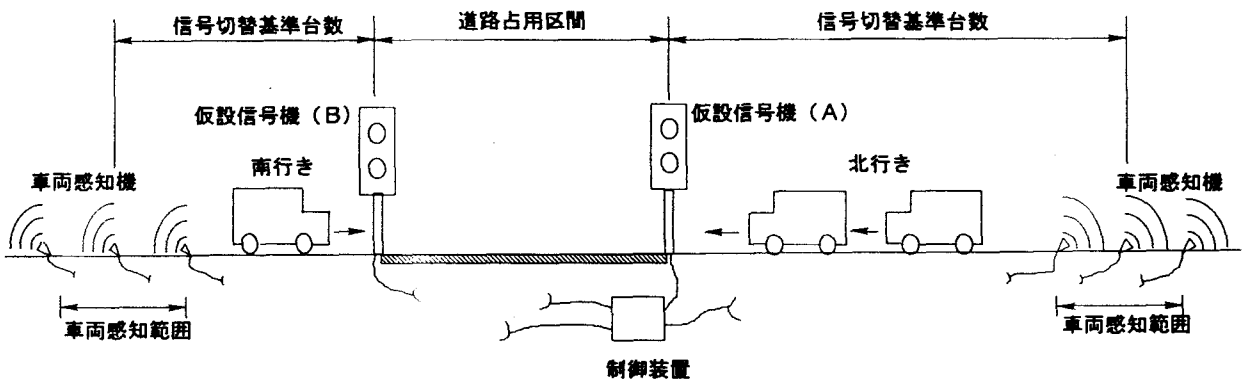


図-3 動的信号制御システム

①車の流れのモデル化

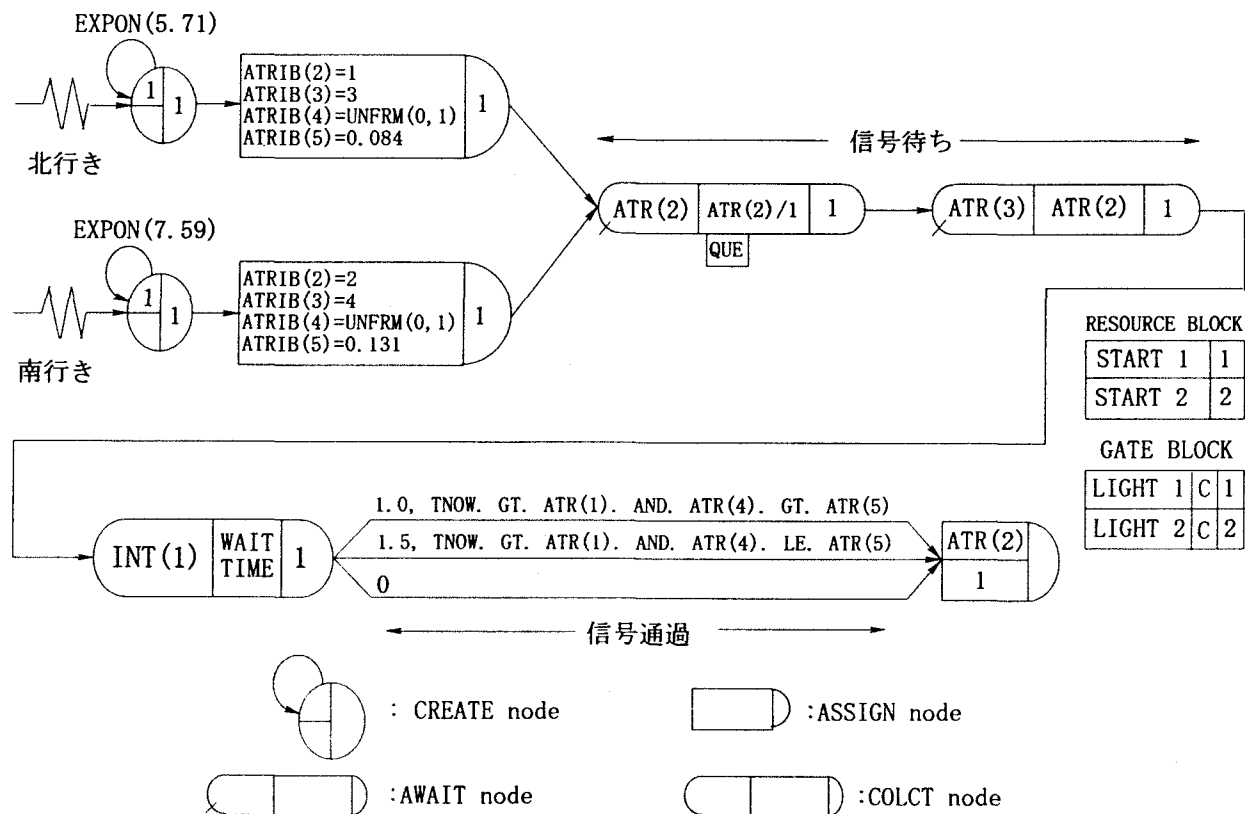
図－４は車の流れのネットワークモデルである。まず、北行きの信号（信号１）と南行きの信号（信号２）をそれぞれLIGHT1、LIGHT2というGATEブロックで表わし、開状態を青信号、閉状態を赤信号とする。また車を１台ずつ順番に信号を通過させるため、北行きはSTART1、南行きはSTART2というRESOURCEブロックを用いる。すなわち、車は信号を通過する際、RESOURCEを占有し、信号を通過すると同時にこれを開放し、次の車がRESOURCEを占有することになる。

北行き、南行きの車はCREATEノードで要素として生成され、ASSIGNノードで必要な属性値を付与される。続いて、信号を通過するためにAWAITノードに進み、属性値によって該当するRESOURCEを占有する。RESOURCEがすでに占有されている場合は、RESOURCEが開放されるまで属性値で指定されたファイルで待機することになる。RESOURCEを占有した後、次のAWAITノードで該当する信号の状態を調べ、信号が青であればCOLCTノードで信号待ち時間の統計値をとり、属性値によって普通車と大型車を区別して信号通過時間を与え、信号を通過し、RESOURCEを開放す

る。信号が赤であれば、属性値で指定されたファイルで信号が青に変わるまで待機する。

表－１ S L A M変数の一覧

|        |            |                          |
|--------|------------|--------------------------|
| システム変数 | x x (1)    | 道路占用長(m)                 |
|        | x x (2)    | 最短青時間(秒)                 |
|        | x x (3)    | 北行き信号切替基準待ち台数(台)         |
|        | x x (4)    | 南行き信号切替基準待ち台数(台)         |
|        | x x (5)    | 両方向赤時間(秒)<br>(クリアランスタイム) |
|        | x x (6)    | 北行き最長青時間(秒)              |
|        | x x (7)    | 南行き最長青時間(秒)              |
|        | x x (8)    | 延長青時間(秒)                 |
|        | x x (9)    | サイクルタイム(秒)               |
|        | x x (10)   | 信号が青に切替わった時刻             |
|        | x x (11)   | 車が信号を通過するまでの時間(秒)        |
|        | x x (12)   | 青信号現示時間(秒)               |
| 要素の属性値 | ATRI B (1) | 車が信号に到着した時刻              |
|        | ATRI B (2) | 北行きの車＝１，南行きの車＝２          |
|        | ATRI B (3) | 北行きの車＝３，南行きの車＝４          |
|        | ATRI B (4) | ０から１までの乱数                |
|        | ATRI B (5) | 大型車混入率                   |
| その他    | NN Q (1)   | 北行きの信号待ち行列台数(台)          |
|        | NN Q (2)   | 南行きの信号待ち行列台数(台)          |
|        | TNOW       | シミュレーションの現在時刻            |



図－４ 交通流のネットワークフロー

②信号制御のモデル化

仮設信号の制御については、図－２のフローにしたがってモデル化される。GATEは最初、両方とも閉状態とし、信号を赤にしておき、まず、信号という要素をCREATEノードから１つ生成する。この要素がネットワーク内を動きまわることで、信号の切り替えや、信号現示時間の経過あるいは延長等の処理が行える。制御方法については２（２）に述べた通りであり、信号の切替や、延長はシステム変数XX(3)、XX(4)とNNQ(1)、NNQ(2)を比較することで行うことになる。なお、クリアランスタイムは車が工事区間を30km/hで通過すると仮定し、道路占用長および保安時間（５秒）を用いて次式のように設定する。

XX(5)=0.12×XX(1)+5 (1)

4. シミュレーションによる仮設信号制御の分析

(1)シミュレーションの実行

本モデルではシミュレーション実行にあたって、現地調査結果に基づいて工事による道路占用長を50m、到着時間間隔を位相５のアーラン分布に従うとし、北行き、南行き交通の交通発生量をそれぞれ591(台/時)、392(台/時)と仮定している。また信号切替基準台数は南北両方向とも10台とし、最短青時間を10秒から60秒まで、最長青時間もこの範囲でそれぞれ5秒あるいは10秒間隔でパラメトリックに設定した。ここで、最短青時間と最長青時間が同じである場合は従来のサイクルタイム固定の信号と同様となっている。表－２に本事例で用いたシステム変数を示す。

シミュレーションを実行し、表－３に示す結果を得た。以下、各分析結果について考察する。

(2)信号待ち台数の分析

最短青時間および最長青時間の設定の違いにより、図－５に示すような信号待ち台数が得られた。この図からわかるように、北行きの方が南行きよりも交通量が多いた

め、平均待ち台数、最大待ち台数とも北行きの方が多くなっている。

南行きについてはほとんど全てのケースで待ち行列台数が許容台数内に納まり、また平均待ち台数も３台以内であることから周辺への影響は少ないと思われる。ここで、最大待ち台数が10台を超えている

表－２ 適用事例の変数値

|                     |         |
|---------------------|---------|
| xx(1):道路占用長         | 50m     |
| xx(2):最短青時間         | 10秒～60秒 |
| xx(3):北行き信号切替基準待ち台数 | 10台     |
| xx(4):南行き信号切替基準待ち台数 | 10台     |
| xx(5):クリアランスタイム     | 11秒     |
| xx(6):北行き最長青時間      | 10秒～60秒 |
| xx(7):南行き最長青時間      | 10秒～60秒 |
| xx(8):延長青時間         | 1秒      |
| 北行き交通量              | 591台/時  |
| 南行き交通量              | 392台/時  |

表－３ シミュレーション結果

|    |    | 北行き交通 |    |      |      |        |    | 南行き交通 |    |      |      |        |    |
|----|----|-------|----|------|------|--------|----|-------|----|------|------|--------|----|
| ①  | ②  | 待ち台数  |    | 待ち時間 |      | 信号切替回数 |    | 待ち台数  |    | 待ち時間 |      | 信号切替回数 |    |
|    |    | 平均    | 最大 | 平均   | 最大   | 最長     | 台数 | 平均    | 最大 | 平均   | 最大   | 最長     | 台数 |
| 10 | 10 | 1.6   | 8  | 14.1 | 33.9 | 8      | 0  | 0.8   | 5  | 13.2 | 32.0 | 8      | 0  |
|    | 15 | 2.0   | 9  | 16.1 | 36.7 | 6      | 0  | 0.9   | 5  | 14.2 | 37.0 | 6      | 0  |
|    | 20 | 2.2   | 10 | 17.1 | 42.0 | 5      | 0  | 1.1   | 6  | 15.4 | 42.0 | 5      | 0  |
|    | 25 | 2.3   | 10 | 17.7 | 46.8 | 5      | 0  | 1.3   | 7  | 17.2 | 47.0 | 5      | 0  |
|    | 30 | 2.5   | 11 | 18.9 | 51.9 | 4      | 0  | 1.4   | 7  | 18.1 | 52.0 | 4      | 0  |
|    | 35 | 3.0   | 12 | 21.9 | 56.9 | 3      | 0  | 1.5   | 8  | 19.3 | 57.0 | 3      | 1  |
|    | 40 | 3.1   | 12 | 22.3 | 61.9 | 3      | 0  | 1.8   | 9  | 21.6 | 62.0 | 3      | 1  |
|    | 45 | 3.3   | 12 | 23.2 | 66.9 | 3      | 0  | 1.9   | 8  | 22.7 | 67.0 | 2      | 6  |
|    | 50 | 3.4   | 14 | 23.8 | 71.6 | 3      | 0  | 2.2   | 8  | 25.7 | 72.0 | 2      | 9  |
|    | 55 | 3.4   | 14 | 24.4 | 76.8 | 2      | 0  | 2.3   | 10 | 26.7 | 77.0 | 1      | 11 |
|    | 60 | 3.4   | 13 | 23.8 | 81.2 | 2      | 0  | 2.4   | 10 | 27.1 | 82.0 | 7      | 19 |
| 20 | 20 | 2.2   | 10 | 17.1 | 42.0 | 5      | 0  | 1.1   | 6  | 15.4 | 42.0 | 5      | 0  |
|    | 30 | 2.5   | 11 | 18.9 | 51.9 | 4      | 0  | 1.4   | 7  | 18.1 | 52.0 | 4      | 0  |
|    | 40 | 3.1   | 12 | 22.3 | 61.9 | 3      | 0  | 1.8   | 9  | 21.6 | 62.0 | 3      | 1  |
|    | 50 | 3.4   | 14 | 23.8 | 71.6 | 3      | 0  | 2.2   | 8  | 25.7 | 72.0 | 2      | 9  |
|    | 60 | 3.4   | 13 | 23.8 | 81.2 | 2      | 0  | 2.4   | 10 | 27.1 | 82.0 | 7      | 19 |
| 30 | 30 | 2.5   | 11 | 18.9 | 51.9 | 4      | 0  | 1.4   | 7  | 18.1 | 52.0 | 4      | 0  |
|    | 40 | 3.1   | 12 | 22.3 | 61.9 | 3      | 0  | 1.8   | 9  | 21.6 | 62.0 | 3      | 1  |
|    | 50 | 3.4   | 14 | 23.8 | 71.6 | 3      | 0  | 2.2   | 8  | 25.7 | 72.0 | 2      | 9  |
|    | 60 | 3.4   | 13 | 23.9 | 81.2 | 2      | 0  | 2.4   | 10 | 27.2 | 82.0 | 7      | 19 |
| 40 | 40 | 3.1   | 12 | 22.3 | 61.9 | 3      | 0  | 1.8   | 8  | 21.5 | 62.0 | 3      | 0  |
|    | 50 | 3.4   | 14 | 24.2 | 71.6 | 3      | 0  | 2.3   | 8  | 26.0 | 72.0 | 1      | 10 |
|    | 60 | 3.6   | 14 | 25.0 | 81.6 | 2      | 0  | 2.6   | 11 | 29.1 | 82.0 | 1      | 16 |
| 50 | 50 | 3.7   | 17 | 26.1 | 72.0 | 3      | 0  | 2.0   | 9  | 23.0 | 72.0 | 2      | 9  |
|    | 60 | 3.7   | 16 | 25.8 | 81.2 | 2      | 0  | 2.5   | 11 | 28.6 | 82.0 | 6      | 20 |
| 60 | 60 | 3.7   | 16 | 26.1 | 81.8 | 2      | 0  | 2.3   | 11 | 26.3 | 82.0 | 2      | 5  |

①:最短青時間(秒), ②:最長青時間(秒)

ケースが見られるが、これはクリアランスタイム内に到着した車があるためと考えられる。

一方、北行きについては最長青時間が30秒までであれば、待ち台数は南行きと同様に11台以内になるが、最長時間を長くすると待ち台数がさらに多くなる。また、最短青時間が50秒、60秒のケースでは最短青時間が経過するまでに車が信号切替基準台数を

超えて到着するため、待ち台数がかなり多くなることがわかる。

(3)信号待ち時間の分析

各ケースごとの平均待ち時間、最大待ち時間を図-6に示す。

平均待ち時間を両方向について比較すると、最長

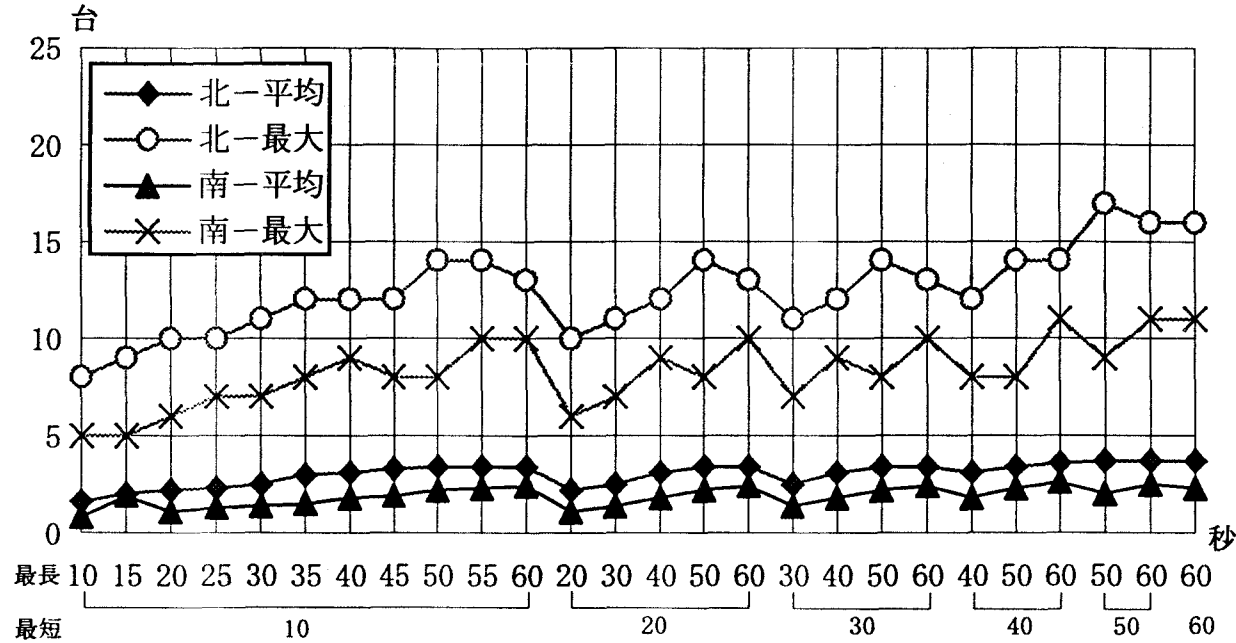


図-5 信号待ち台数

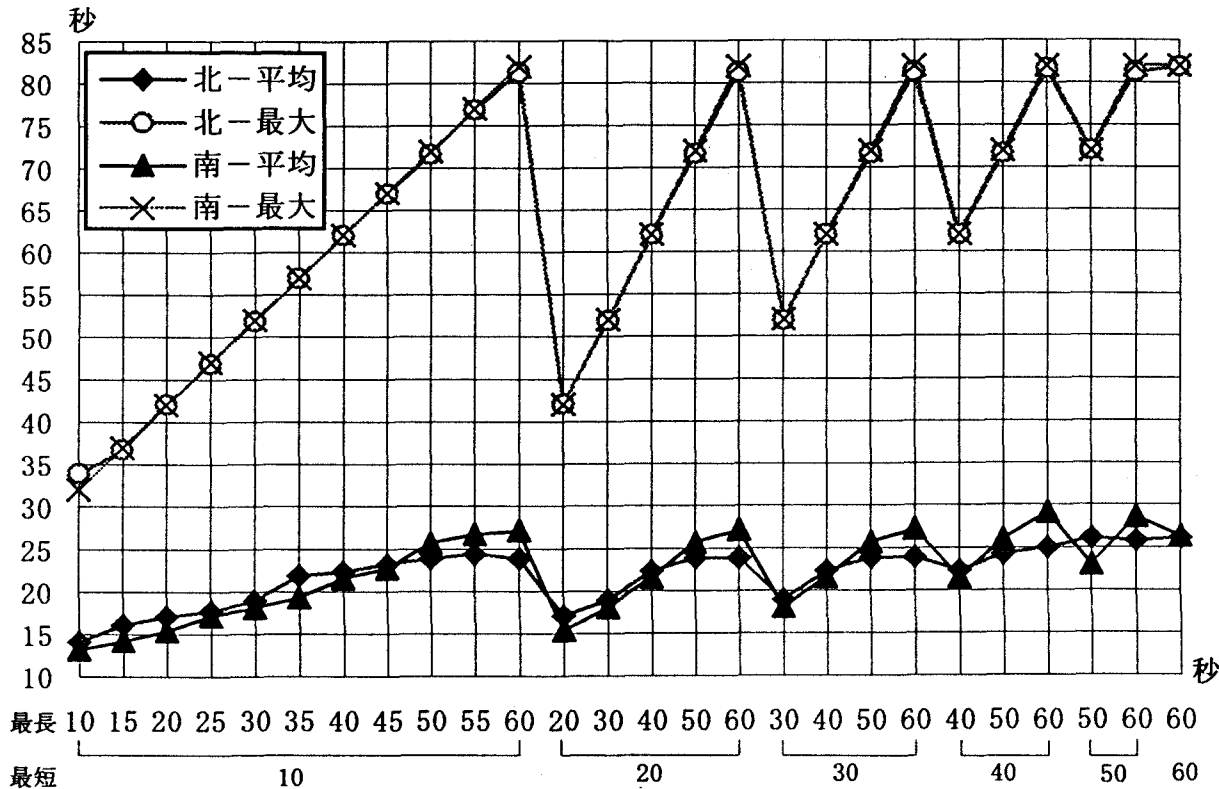


図-6 信号待ち時間

青時間が40～50秒程度までであれば南行きの方がわずかであるが短くなっており、最長青時間を長く設定すると、逆に南行きの方が長くなる。これは、最長青時間が短いケースでは、南行きにおいても信号は最長青時間現示されることが多く、青現示時間では南北両方向の差は少なくなるが、信号待ち台数が多い北行きでは信号を通過するのにかかる時間が南行きより長くなるためであると考えられる。一方、最長青時間が長くなると、交通量の多い北行きが優先的に処理されるため、南行きの方が平均待ち時間が長くなっている。

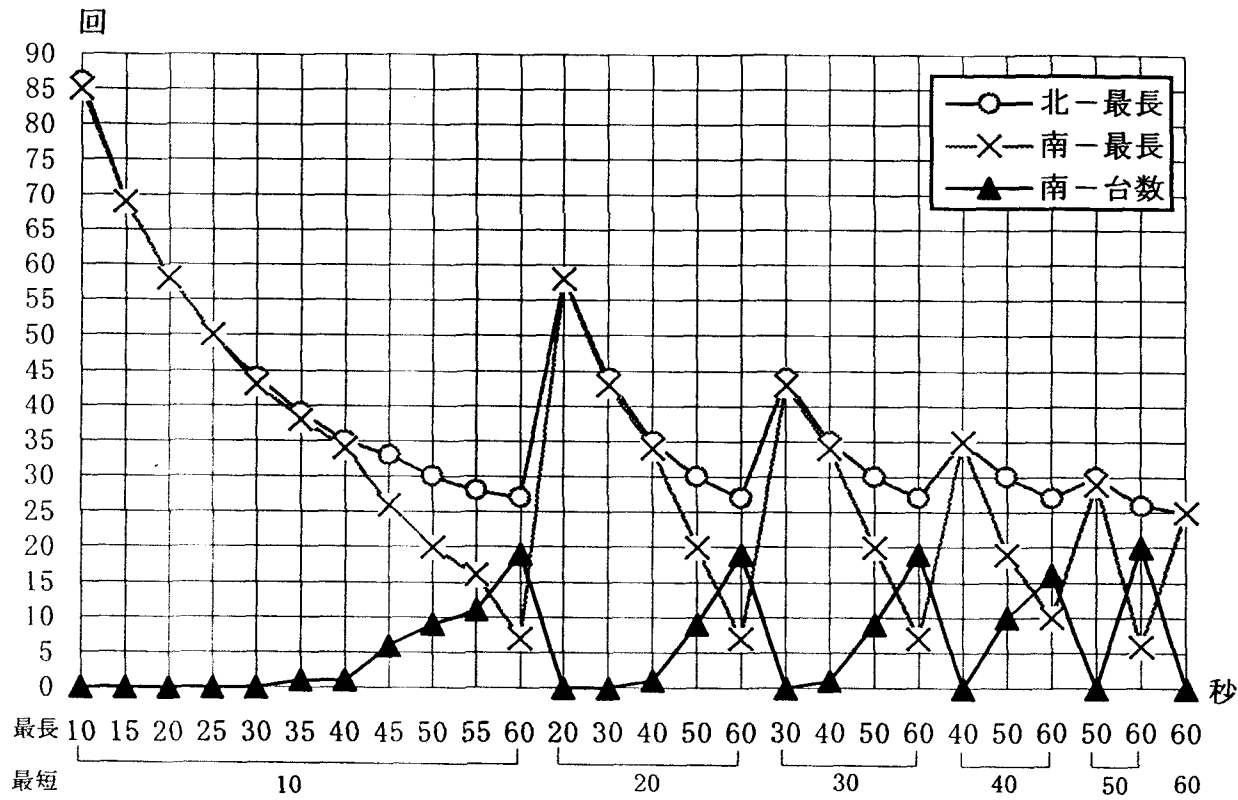
最大待ち時間については、青現示時間を10秒に固定したケース以外では南行きがわずかに長くなっているが、ほぼ南北両方向とも同じであるとみなせる。これは、すべてのケースで南北両方向とも最長時間まで青信号を現示することがあるため、最大待ち時間は同様な値になると考えられる。いずれにしても、平均信号待ち時間、最大信号待ち時間は各ケースで南北両方向に大差は見られず、サイクルタイムを変動させることで南北両交通に対して同様なサービスが提供できることがわかる。

(4) 信号切替回数および青信号現示時間の分析

図一7の信号切替時の状況を見ると、北行きに対する信号はすべてのケースで最長青時間を経過してから切替えになっており、南行きの信号待ち台数によって信号が切替わることはなかった。一方、南行きについては、最長青時間の設定が30秒までであればすべてのケースで北行きの信号待ち台数で信号が制御されることはなく、北行きと同様に最長青時間を現示している。最長青時間が40秒までではほとんど信号待ち台数による切替えは起こらないが、それ以上になると北行きの交通量が多いため、待ち台数によって信号が切替わる回数が増加する。特に、最長青時間を60秒に設定すると、その傾向が顕著に現れる。

(5) 総合評価

以上のことから、信号待ち時間を見ると、南北両方向で大差はなく、交通量が異なってもこのように青現示時間に幅を持たせて設定することで、双方向の交通に対して信号待ち時間という観点からは同等なサービスレベルが保てる。しかしながら、信号待



図一7 信号切替回数

ち台数では最短青時間を50秒以上にすると、許容待ち台数10台に対して16、17台という待ち行列ができるため、最短青時間は40秒までの設定が適当であると思われる。また最長青時間が60秒では最長青時間による信号の切替えより信号待ち台数による信号の切替えの方が多くなること、さらに最大待ち時間がかなり長くなること等から、最長青時間もこれ以上の設定は適切でないと思われる。

しかしながら、実際には待ち時間や待ち台数に対する評価基準が定まっておらず、これらの結果から最適な最短青時間、最長青時間を決定することは困難である。

## 5. おわりに

本研究では道路工事によって生じる交通障害を緩和するため、工事対象道路での観測等から得られた交通流に関する諸データを用いて、交通量の変化に応じて仮設信号機の現示パターンを動的に制御する方法を提案し、信号制御システムの開発を支援するためのシミュレーションモデルを構築した。これによって道路占用区間長、許容信号待ち行列長などが与件として想定できれば、信号待ちの渋滞長を自動的に観測することによって最適な信号制御を行うことが可能となる。しかしながら、今後次のような課題について検討する必要がある。

### ①評価基準の設定

前述した通り、シミュレーションにおいて信号待ち台数や信号待ち時間などの結果を得ることができたが、これらを用いてどのような基準をもとに最長青時間、最短青時間を決定すべきかを検討する必要がある。

### ②交差点の影響を考慮したモデルの構築

本研究では工事区間が交差点に近接していない場合についてモデル化を行ったため、流入交通量の影響を考慮する必要がなかった。しかしながら、交差点付近の工事現場では交差点の信号のサイクルタイムや流入交通量の影響を大きく受けるため、新たにモデルを構築する必要がある。その際、仮設信号のみではなく交差点の信号での待ち行列現象もモデルに組み込む必要がある。さらに、仮設信号の待ち行列が交差点にかかる場合には、交差点に流入する車

の挙動が非常に複雑になる。そのため、モデルの構築の際には、このような車の挙動を十分に把握すること、そしてそれをモデルにうまく表現することが課題となる。

③本システムは、両方向の交通量が多い場合には信号が最短青時間で切替わるため、固定現示の信号システムと同様な制御になることから交通量による適用範囲を検討する必要がある。

さらに、ドライバーの観点からいえば、信号が赤ならば対向車の有無にかかわらず信号待ちを強いられることが大きな問題である。車両感知器による制御は交通量の少ない道路において有効であると考えられるため、工事現場に到着した車が不必要な信号待ちをしないよう、先頭車を感知可能な場所に車両感知器を設置して、通過車両の有無や先頭車の待ち時間により信号を制御するモデルを構築中である。そしてこのようなケースにおいては信号待ち時間が重要な評価要因になる。

## 【参考文献】

- 1) 福永, 山本, 和田: 都市ガス幹線用パイプライン敷設工事における通過交通の動的制御, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第IV部, PP206~207, 1993.
- 2) K. Yamamoto, K. Wada: Automatic control system of temporary traffic signals at pipeline laying work site, Proc. of 11th ISARC, pp55-62, 1994.
- 3) (社)交通工学研究会: 交通信号の制御技術, (社)交通工学研究会, 1983.
- 4) 森戸, 相沢: S L A M IIによるシステムシミュレーション入門, 構造計画研究所, 1986.