

橋梁部材の陸上輸送計画支援システム

Supporting System on Land Transportation Planning of Bridge Material

保田敬一*, 伊藤則夫**, 古田 均***

Keiichi Yasuda, Norio Ito, Hitoshi Furuta

*(博)工, 株式会社ニュージェック, 道路グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東 2-3-20)

**(博)工, 有限会社シー・エー・イー, 代表取締役 (〒680-8064 鳥取県鳥取市国府町分上 2-210)

***工博, 関西大学教授, 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)

A traffic condition often changes because the construction time becomes later several years at time when the bridge material is transporting planned. To make it apply to the road condition of frequently changing the traffic restriction by one-way traffic and construction etc. In this study, the system that supported the material transportation was constructed. Planning the transportation programming adapted to more local current circumstances in consideration of the radius of gyration, the limitation of the height of the road, weight limits of the intersection, and the traffic restriction and the restriction at the traffic time, etc. of construction becomes possible. Moreover, decreasing the local investigation frequency of the transportation programming becomes possible.

Key Words: bridge, transportation planning, GIS, Dijkstra's Algorithm

キーワード: 橋梁, 輸送計画, GIS, ダイクストラ法

1. はじめに

工場で製作された橋梁の部材を架設現場に輸送するためには、主に以下の方法があり、場合によってはこれらの組み合わせで実施される¹⁾。

- ①陸上自動車輸送
- ②海上船舶輸送
- ③鉄道貨車輸送

その選定にあたっては、部材の大きさ、重量、経済性、現地の架設条件、架設工法との関係など、様々な要因を考慮しなければならない¹⁾。近年は、道路網の整備、車両の大型化、多様化などにより、陸上自動車輸送の比率が高くなってきている。また、部材の大型化、大ブロック架設架設工法などの採用により、海上船舶輸送も増加傾向にあるのに対して、鉄道貨車輸送は近年ほとんどその実績がない。陸上自動車輸送の場合、車両制限令、道路運送車両保安基準および道路交通法などの法的制約を受けるので、輸送部材長や輸送重量、使用車両、許認可、道路状況（幅員、交差点状況、通行時間規制、高さ制限、重量制限など）などから最適な輸送計画を立案することが求められる。

橋梁を分割輸送する場合、その分割数はできるだけ少ない方が一般的に経済的である。この分割数が多くなると、添設箇所が多くなり、添設による部材の重量増や輸送回数の増加など全体の工費増加につながる。しかし、輸送部材長や輸送重量などは工場から架橋地点までのルートによって変化するため、最適な輸送計画を立案することは非常に重要である。計画・設計した橋梁が実際に運搬できないようになった場合、添設位置の変更などが生じ、大幅な設計変更につながることを考えられる。そのために、設計の前に輸送部材長や輸送重量などを決定するための事前調査が行われることが多い。これは、架設や輸送の専門家が実際に工場から架橋地点までのルートを現地調査することで決定される。

しかし、設計時点の輸送経路調査時期と架設における輸送時期とは異なっており、場合によっては数年後になることも少なくない。最近の道路交通状況は頻繁に変わっており、新しい道路ができた場合や道路規制が変わった場合などは輸送ルートの変更が生じることもあり、輸送計画は柔軟な対応が求められる。想定する輸送ルートで交差点の回転半径のチェックや重量制限および高さ制限の照査などが GIS 上でできれば、より実状に即した輸

送計画をたてることができると考えられる。ここで、GISを使用するのは表示目的であり、輸送経路を検討する際に最も見やすく理解しやすいのは地図上であることが大きな理由である。

ルート探索に関するプログラムについては、市販のものも含めて数多く出回っているが、橋梁部品のような大型部材をトレーラ輸送によって行うようなルート探索システムはまだ存在しない。道路状況が頻繁に変更になるような場合にはこのような検索システムは有効であり、また、机上で概略のルート検討が行えるので、輸送計画のための現地調査回数を低減することが可能になると考えられる。

本研究では、市販の電子地図を用い、GIS上で橋梁の輸送計画を支援するシステムを構築した。最短経路選択はダイクストラ法により、部材長とトレーラ、交差点形状から旋回可能かどうかと通行止めや一方通行などの通行条件を考慮した。

本システムに関する今後の展望については、防災計画、緊急車両の最短経路検索、緊急車両の進入不可道路探索などへの応用が考えられる。

2. 輸送計画策定の現状と問題点

2.1 陸上自動車輸送¹⁾

陸上自動車輸送は、部材を架設現場に直接運搬輸送できること、設計の自由度が大きいことなどの利点がある。一般に最も経済的な方法である。ただし、その計画、運行にあたっては、以下の法的規制をうける。

- ①道路法の既定に基づく車両制限令
- ②道路運送車両法に基づく道路運送車両の保安基準
- ③道路交通法および同施工令

表-1にその関連法規と制限項目およびその内容を示す。

輸送計画の立案に対しては、輸送部材重量、容積、数量をもとにして最も経済的で安全な輸送を行うためにトラックやセミトレーラなどの使用車両を選定する。計画にあたっては、前述の法規による許認可が必要な場合、その手続き期間に注意するとともに、途中の道路幅員、交差点の状況（隅切りなど）、通行時間規制、高さ制限（歩道橋、鉄道ガード、トンネルなど）、橋梁の耐荷力、迂回路の有無、現場への進入路と部材の仮置き場所、所要時間（中継所、余裕時間）などについて、調査、立案しておくことが求められる。さらに、必要な場合には事前に輸送部材と類似の仮材を積載し、試験走行してみる場合もある。また、幅員、交差点、進入路の状況によっては、仮道の設置、拡幅、障害物の撤去、車種の変更、積み替えなどの処置を必要とする場合もある。

2.2 輸送計画における問題点

輸送計画を実施するフェーズは橋梁詳細設計段階が多い。橋梁予備設計段階でも実施される場合もあるが、大規模な橋梁の場合や、輸送架設費用が全体工費に占める割合が大きいと考えられる場合である。一般的には、架橋箇所の県庁所在地から架設地点までを見るケースが多い。架橋地点が山間部などの場合、部材輸送ルートが限定されるケースも生じたり、部材長や部材重量に制限が出る場合もあり、設定した部材長や部材重量が変更になった場合は橋梁形式にまで影響が出ることもある。コンサルタントが詳細設計の費用の中で行うので、それほど詳細な計画書までは要求されない。現実には地図を見ながら、現地へ行って、幅員や交差点の隅切り情報、重量制限などをチェックするとともに、地図データや道路台帳などで確認できない標識位置などもチェックしなければならない。また、地図データや道路台帳に載っている交差点形状や隅切り情報と現地調査の結果との

表-1 道路関係法規と制限内容²⁾

	車両制限令の一般的基準		道路運送車両の保安基準	道路交通法による基準
	高速自動車道以外の道路	高速自動車国道		
根拠法	道路法		道路運送車両法	道路交通法
所轄官庁	国土交通省（旧建設省）		国土交通省（旧運輸省）	警察庁
担当者	道路管理者		陸運局長	都道府県公安委員会（索引） 警察署長（積載）
幅	車両の幅（積載物を含む）は2.5m以下	同左	自動車の幅（積載物を含む）は2.5m以下	積載物は自動車の左右にはみ出し てはならない
高さ	車両の高さ（積載物を含む）は3.8m以下	同左	自動車の高さ（積載物を含む）は3.8m以下	積載物の高さ＋荷台の高さは3.8m 以下
長さ	車両の長さ（積載物を含む）は12.0m以下	同左 （ただし、セミトレーラ連結車16.5m以下）	自動車の長さ（積載物を含む）は12.0m以下	積載物のはみ出しは自動車の前後に、 自動車の長さ×0.1m以下、また策引する自動車＋被索引車両は25m以下
重量	総重量（積載物の重量＋乗車人員の重量＋車両の自重）は25tf以下	同左	総重量（最大積載量＋乗車人員×55kgf＋車両の自重）は20tf以下	積載物の重量は、最大積載量以下
	軸重は10tf以下	同左	同左	既定なし
	輪荷重は5tf以下	同左	同左	既定なし
最小回転半径	12m以下	同左	同左	既定なし

出典：「車両制限令実務の手引き」より

差をみて、再度軌跡の照査も行っている。本研究では、事前作業として交差点を曲がれるかどうかを予めチェックしておいて、最終的には現地を見て確認することになるが、この現地へ確認に行く回数を出来るだけ減らすことを目指している。また、発注者側ではこのような予算はみえていない。

実際の輸送計画そのものはメーカーが受注してから運送業者などと協力して詳細な輸送計画を立案する。さらに、輸送計画書を発注者に提出するように要求される。

これらの輸送計画は、主に工場から架橋地点までの輸送ルートの仮定、軌跡図の作成による運行の照査であり、現状では手作業が主で非効率なものとなっている。また、輸送ルートの道路条件が変化した場合には、現地調査を含めて再度輸送ルートの検討を行わなければならない非効率である。

輸送計画は橋梁設計の前に実施されるが、部材輸送時期になって、事前に想定した輸送ルートに条件の変更が生じているようなケースも考えられる。このように、頻繁に道路状況が変化する場合には輸送ルートの選定システムの必要性が認められる。

このように、机上で、GIS をベースにした輸送ルートの選定を行うことができれば、輸送ルートの変更などにも柔軟に対応できると考えられる。

3. 輸送計画支援システム構築

3.1 システム構築

(1) 入力と出力

システムへの入力項目としては、輸送部材長、部材高さ、部材幅、トレーラ種別、輸送始点、輸送終点を考える。

また、出力としては、

- ① 輸送可能ルート全ての画面表示
- ② 輸送ルートを入力した場合、そのルートで可能かどうかの判断結果（回転半径、軸重など）を考慮する。

(2) 使用 GIS ソフト

GIS ソフトは、「SIS MapModeller」を使用する。その理由として、国土地理院数値地図や建設省 DM フォーマットなどのデータを取り込む I/F が標準であることである。

(3) システムに整備しておくデータ

道路幅員、歩道の幅員、センターラインの位置、高架、橋梁その他道路の通行制限の情報などである。道路の情報としては、大阪市橋梁現況地図（平成 11 年 3 月現在）および大阪市横断歩道橋管理地図（平成元年 4 月現在）より、橋梁および横断歩道橋諸元を抽出した。また、道路と鉄道との交差箇所については、道路と鉄道との交差

箇所調書（平成 10 年 3 月作成）から交差データを抽出し、通行制限高さなどを整備した。

(4) 軌跡照査プログラムとの連携

道路に対して車種などの情報を入れると軌跡データ（CAD データ）を出力するプログラムと解釈すると、“GIS 上での Input データにより始点と終点を入力すると、軌跡照査プログラムの結果を GIS に返し、通行できる最短ルートを検索できる”と定義できる。

各交差点において、運搬する輸送部材形状寸法とトレーラの寸法、交差点隅切り形状から、右左折の旋回ができるかどうかをチェックする機能が必要となる。したがって、軌跡照査プログラムとの連携が求められる。

3.2 地図データ

(1) 使用する地図データ

使用する地図データは、各地方自治体を持つ DM データ、Zmap Town II、数値地図 25,000 ラスターなどが考えられる。道路の幅員と歩道の情報がないと使えないと考えられること、またセンターラインの位置と何車線かという情報も必要と思われる。しかし、そのような地図は現存しないと思われるので、現時点で利用可能な地図を挙げると、以下のようになる。

- ・自治体を持つ DM データ（無い可能性がある）が最も大縮尺（1/500～1/2,500）であり、幅員、歩道も入っている。
- ・ゼンリン Zmap Town II は 1/2,500 より小縮尺になるので、道路幅員は分かっても歩道の情報は入っていないと考えられる。
- ・数値地図 25,000 ラスターは全体の位置を把握するために”下敷き”としては利用できると考えられる。

以下、使用 GIS ソフトを「SIS MapModeller」として、地図データを展開した。

(2) 幅員の照査と交差点情報

道路幅員はゼンリン Zmap Town II のデータから抽出した。その前に、Zmap Town II 上での幅員と大阪市の道路台帳（S=1/500）の幅員とを比較した。Zmap Town II 上での幅員抽出は、GIS 上での交点計算から算出した。一方、大阪市の道路台帳（S=1/500）は、紙出力したものからスケールアップにて幅員を算出した。その結果を表-2 に示す。

表-2 Zmap Town II と道路台帳（S=1/500）の幅員比較

	Zmap Town II	道路台帳 (s=1/500)	誤差(m)	比率
北加賀屋	17.05	16.0	1.05	1.066
交差点	20.78	20.7	0.08	1.004
南津守	28.28	27.5	0.78	1.028
柴谷2丁目	17.40	16.0	1.4	1.088

単位：m

概ね、縮尺 1/500 の精度は 20~50cm 程度と考えられるが、道路台帳の精度は更新・改築規模や時期にも左右され、一概に精度が何 cm と規定することは難しく、1m 程度の誤差が含まれる場合もあるとの意見を管理者への聞き取り調査より得た。表-2 でも誤差の大きい柴谷 2 丁目交差点は、再度現地調査を実施し、該当する幅員が工事により 16.4m となっており、誤差が 1m 以内となっていることも確認した。この結果から、道路台帳 ($S=1/500$) と Zmap Town II とはほぼ同じと見なすことができると考えた。

なお、車両が通行できるかどうかを判定するには、幅員の他にも、交差点の隅切りの情報も必要となる。この交差点の隅切りの情報についても道路台帳 ($S=1/500$) と Zmap Town II のどちらの情報をもとにするかであるが、精度上（精度は道路台帳の方が良いが、最終的に曲線半径も丸めることを考慮すると Zmap Town II でも実用上精度が劣るとは考えにくい）と算出上（道路台帳でも Zmap Town II でもどちらも、紙出力したものからスケールアップで算出することになるが、道路台帳を全て紙出力することは現実的に難しい）のことを考えて、今回は全て Zmap Town II のデータから抽出するものとした。

ここで、交差点の隅切り情報（交差角度、半径など）を算出する際、紙出力した図面からスケールアップで求める方法と、画面上のコピー・ペーストで他のソフトウェアに移して処理する方法の 2 つが考えられる。本研究では、画像をコピー・ペーストして何らかの方法で上記の数値を取得するより、紙出力後スケールアップの方が手間としても精度上からもはるかに勝っていると考え、紙出力での処理を採用した。

3.3 車両の走行軌跡

車両が走行できるかどうかについては、特に交差点において問題になる。従来は、車両の諸元と輸送部材寸法などから車両走行軌跡の作図を行ってから走行可能かどうかを判定していた。この軌跡の照査をシステム上でできれば GIS ルート探索システムで利用できると考えられる。

方法としては、交差点の形状（幅員と隅切り）と走行車両ごとにテーブルを作成して、照査にはそのテーブルを参照する方法と、車両走行軌跡作図システムにて判定する方法とが考えられる。前者のテーブル方式は、車両走行軌跡作図システムを構築する必要はないが、幅員と隅切り、走行車両ごとのテーブルが非常に膨大なものになることが欠点である。また、GIS ルート探索システム上での利用を考えた場合、車両走行軌跡作図システムを別プログラムで構築した方が、汎用性という観点からも望ましいと考えられる。

(1) 車両走行軌跡作図システムの要件整理

事前に、既存の車両走行軌跡作図システムを調査し、

開発する車両走行軌跡作図システムの要件整理を行った。その結果を以下に示す。

(a) システム概要

始点、終点、コーナーその他を入力して走行軌跡を作図 (DXF 出力) するシステムである。

(b) 主な入力／出力

〔入力〕

- ・ 車種とその諸元(最小回転半径など)
- ・ 始点、終点、コーナー（位置入力）
- ・ 旋回方法（停止旋回、バックして旋回など）
- ・ 流入／流出幅員（コーナー毎に入／出の幅員を入力）

〔出力〕

- ・ 入力データから計算した軌跡図 (DXF 出力可)
- ・ 入力データと計算結果の印刷

(c) 留意点

GIS と連携して経路を決定する手順としては、

- ①GIS 上でまず最短経路検索し、
 - ②その Path から始点、終点、コーナーを抽出し、
 - ③軌跡計算システムで軌跡図を作成し、
 - ④GIS に軌跡を取りこみ、通行できるか判定。（別途計算システムを作る）だめなら①から繰り返す。
- という手順が考えられる。この場合、次のような留意点が考えられる。

- ・ GIS 上に軌跡データを重ね合わせる必要がある。GIS は緯度／経度、DXF は XY 座標系であり、自動的に重ね合わせる仕組みが必要。
- ・ 1/2500 空間データ基盤から取っている道路中心線は、複数車線道路も対向道路も基本的に 1 本で描かれている。
- ・ 上記に関連して実際には 1 車線対向の道路、2 車線、3 車線道路もある。複数車線がある場合、通行可／不可をどう判定するか。
- ・ 車両諸元以外を入力データを GIS の図形データから軌跡図作成システムに引渡す仕組みの検討が必要。

(2) 半径の求め方

(a) 交叉点の出力

ゼンリンの電子地図を用い、交差点をプリントアウトする。

(b) 道路側線の延長及び交点の作図

プリントアウトした交叉点の地図をもとに、道路側線を延長し、交点を作図する。これを 4 つの隅にわたって行う。また、作図した地図のスケール合わせも行う。

(c) 公式による半径 R の算出

式(1)により交差点隅切り部の半径 R を計算する。図-1 に示すように、道路測線上の曲線開始点である a_1 、 a_2 より垂線を引き、2 つの垂線が交差する交点 I を作図する。次に、 a_1 と a_2 とを直線で結び、 I から a_1 と a_2 との中点(m) を結ぶ線を延長し、隅切りの曲線と交差する点を a_3 とする。そして、 a_1 と a_2 間の距離 : L 、 m と a_3 間の距離 : f を地図上からスケールアップで求める。これに縮尺比率

を乗じて実態ベースの交差点半径 R を求めた。

$$R = \frac{L^2 + 4f^2}{8f} \quad (1)$$

ここで、 L 、 f は図-1に示す。

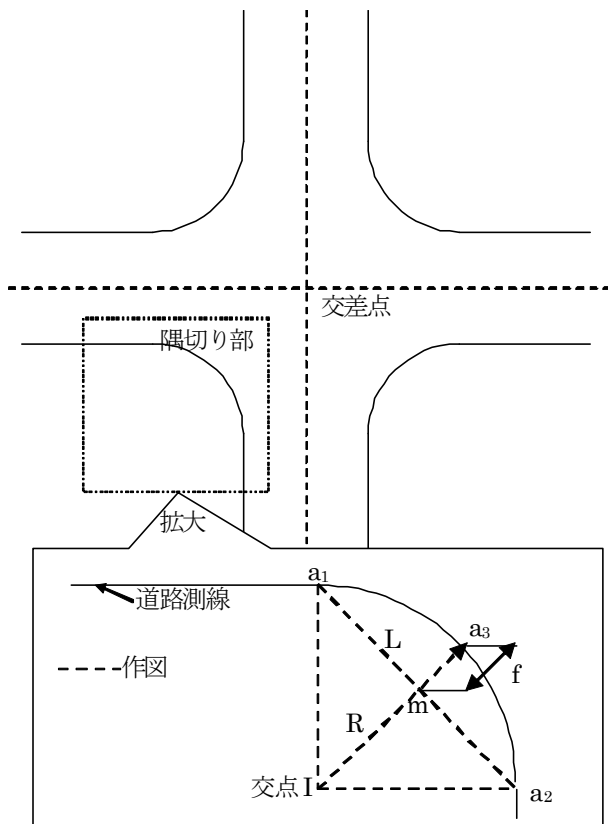


図-1 交差点形状より半径 R を算出

(3) 走行軌跡プログラム

トレーラの旋回軌跡は既往の資料^{2)~4)}を参考にした。構築した走行軌跡プログラムの画面を図-2から図-5に示す。このプログラムにより、設定した部材を積載したセミトレーラがある任意の交差点を曲がれるかどうか判定できる。

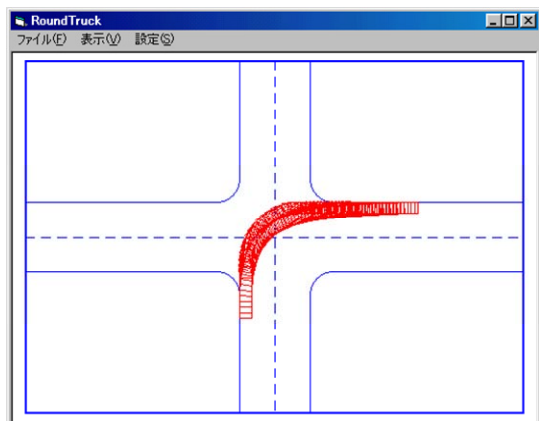


図-2 走行軌跡出力画面

GIS は様々な OS の上での利用が可能である。このプ

ログラムは将来的に GIS 上で動作させることを想定し、最もシェアの高い Microsoft Windows 上での GIS を考え、Visual Basic で作成した。

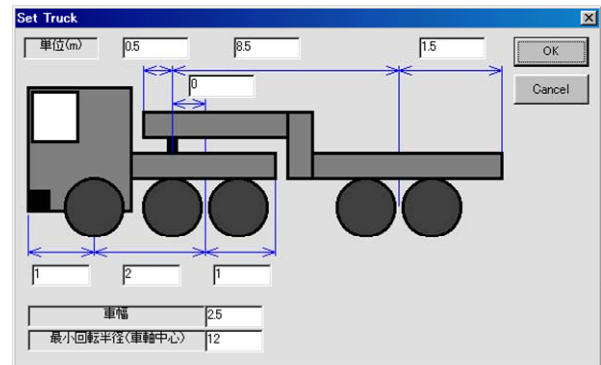


図-3 入力画面 (車両諸元)

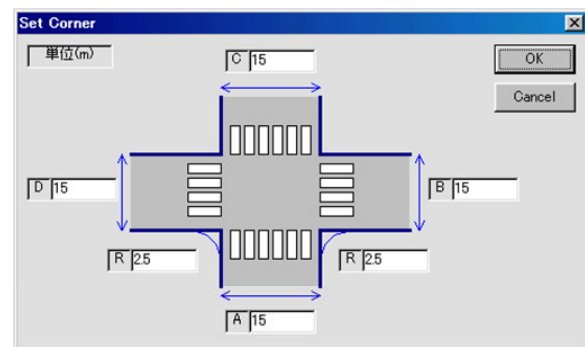


図-4 入力画面 (交差点諸元)



図-5 入力画面 (旋回方向)

(4) 交差点での旋回照査

理想的には、入力した交差点諸元、車両・部材形状をもとに、GIS 上で逐次、該当する交差点で旋回が可能かどうかを、作成した旋回軌跡プログラムにより計算すればよいが、計算時間を短くするために、構築した走行軌跡プログラムを用いて、予め該当する全ての交差点で事前に仮定した何種類かの輸送部材形状での旋回（右左折）が可能かどうかの判定を行った。具体的には、旋回した際の走行軌跡が走行車線と反対側の車線に入った場合あるいは車道外に入った場合に旋回不可という判定をした。これで、条件に合致した輸送経路が抽出されることになる。

3.4 輸送計画

輸送計画は、部材を輸送する際に制約条件となる、道路の幅員、耐用荷重、高さ制限及び車輛の旋回の可否等

を勘案し、かつ、最短のルートを経由するものが望ましい。ここでは、これらの条件を満たした最適な輸送計画を立案する方法とそのシミュレーション結果について述べる。

(1) 最適な輸送計画の立案方法

最適な輸送計画の立案フローを図-6に示す。まず、輸送開始する起点と橋梁架橋地点である終点を入力する。そして、起終点を含む領域内における交差点（ノード）を抽出し、交差点ごとに一方通行の判定や車両の旋回の判定を行う。また、建築限界や重量制限にかかるルートは削除する。これで条件に合致するルートを選定した後、最短距離になるルートをダイクストラ法により算出した。この方法は、各ノードへの最短距離を、スタートノードの周辺から1つずつ確定して徐々に範囲を広げていき、最終的に全てのノードへの最短距離を求める。

(2) ダイクストラ法による最短ルート探索

(a) ダイクストラ法の概要

ダイクストラ法は1959年エドガー・ダイクストラによって考案されたアルゴリズムで、最短経路問題の解析に広く利用されている手法である。

図-7を例としてダイクストラ法の解析手順を示すと以下のようである。なお、図-7で○印で示したS,Gは始点

ノードおよび目的地ノードであり、1~4は交差点などを表す中間ノードである。ノードを結ぶ直線はリンクと呼ばれ道路を表している。リンクの途中に斜体で書かれた値はリンクの長さを表している。

- ① まず、始点に直接つながっている1次ノード(青色のノード)への距離を図-7(a)のように求める。図でノード付近に書かれた値がそれである。距離とともに1つ前に通過したノードを記憶しておく。この場合はSであり、図では括弧内に示している。
- ② 1次ノードの1つを選び、これに直接つながる2次ノードについて始点からの距離の計算を行う。図-7(b)では赤で示した1次ノードに対する2次ノード(青丸)への距離を計算している。ここでノード2についてすでに求められているS→2の経路のほか、1→2の経路が現れた。しかし、この経路の距離は8となり、すでに記憶されている値4より大きいので、この計算結果は破棄する。
- ③ 同様に図-7(c)のように始点ノードからすべてのノードへの最短距離を求める。最終的に目的地ノードの脇に記載されている距離11が始点ノードからの最短距離である。また最短経路は図-7(c)に赤字で示したノードを逆にたどることで求められる。すなわち、ノードGに至る最短経路はノード4を経由したものであり、ノード4への最短経路はノード2を

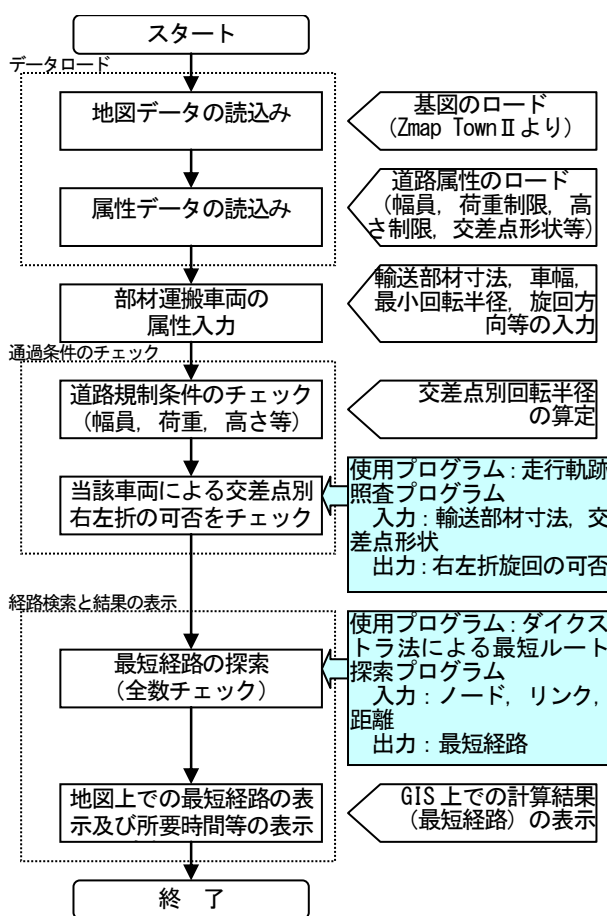
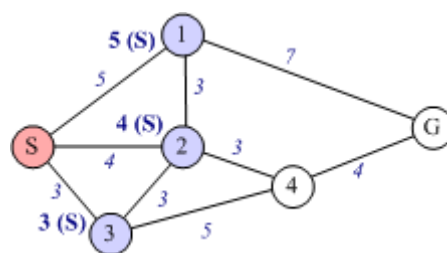
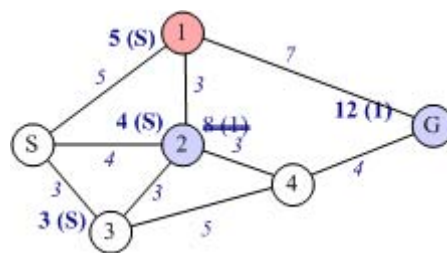


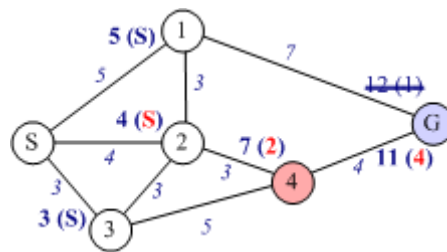
図-6 輸送計画立案のフロー



(a) Step1



(b) Step2



(c) step n

図-7 ダイクストラ法による最短距離の計算手順

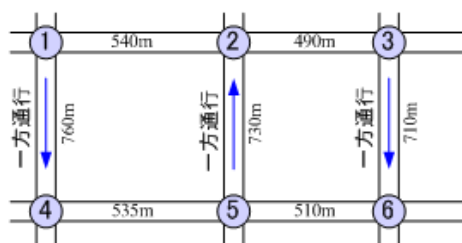


図-8 ノードとリンクの例

表-3 距離マトリックス

		ノード					
		1	2	3	4	5	6
ノード	1		540		760		
	2	540		490			
	3		490				710
	4					535	
	5		730		535		510
	6					510	

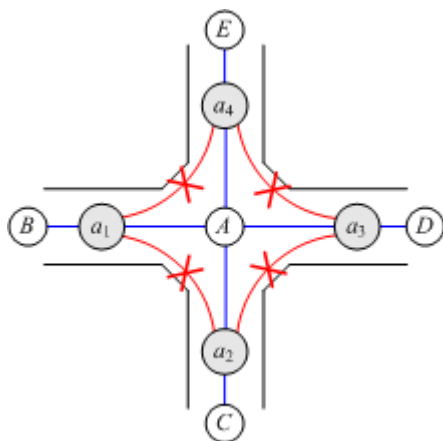


図-9 旋回できない交差点

表-4 仮想ノードを含む距離マトリックス

	a_1	a_2	a_3	a_4	B	C	D	E
a_1			0		BA			
a_2				0		CA		
a_3	0						DA	
a_4		0						EA
B	BA							
C		CA						
D			DA					
E				EA				

経路する。従って最短経路は $S \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow G$ となる。

(b) ダイクストラ法による解析のための準備

ダイクストラ法による解析を行うためには、まず解析対象範囲のノードおよびリンクの整理が必要である。ノードとリンクの関係は距離マトリックスの形にまとめる。図-8のような道路網を例とした距離マトリックスは表-3のようになる。

マトリックスの行および列ヘッダーにはノードの番号を列挙する。そして、ノード n からノード m への距離を n 行 m 列の位置に記入する。

距離マトリックスは必ずしも対称行列にはならない。図-8のように一方通行規制がなされている場合、リンク1-4, 5-2, 3-6は存在するが、4-1, 2-5, 6-3のリンクは存在しないためである。表-3の1行4列には距離が入力されていないが4行1列は空白になっているのがこれを表している。

ダイクストラ法を橋梁部材輸送問題へ適用するにあたって、道路のある区間で工事が行われていたり、横断架線や歩道橋などのため輸送車両が通過できない状態を考えるならば、その区間に相当するリンクを切断することで後は通常の手順に従って解析することができる。

しかし、図-9の $B-A-D$ あるいは $C-A-E$ のような直進は可能でも、道路幅員の不足などにより $B-A-E$ あるいは $C-A-D$ のような輸送車両の旋回動作が行えないような交差点では工夫が必要となる。直進が可能である限り $A-C \sim A-E$ のいずれのリンクも切断することはできないので、

このままでは旋回不能の条件を表現することができない。

そこで、旋回動作を表現するために、交差点ノード A のかわりに交差点の周囲に $a_1 \sim a_4$ の仮想ノードを設けることとする。理論上、仮想ノード $a_1 \sim a_4$ の座標はいずれもノード A の座標と等しいものとし、仮想ノード間の距離はすべて0とする。

この場合、旋回不能の状態を表すには a_1-a_2 , a_2-a_3 などのリンクを切断すればよく、距離マトリックスは表-4のようになる。

4. 適用例

4.1 例題の対象地域

大阪市内を通過する部材輸送を想定とした例題を示す。対象地域は図-10に示す通りで、図の左下の南港から出発し、右上の淀川南岸の架橋地点まで部材を輸送する。図中に示した赤太線は輸送経路の候補となる道路網を表している。白矢印で示した道路も輸送経路として使用することはできるが、これらは矢印方向への一方通行道路になっていることに注意しなければならない。ここで、候補として選択した道路はいずれも片側2車線以上の幅員を有し、どの経路をたどったとしても輸送車両の旋回には不都合はないものと考えられる。片側1車線道路も輸送経路の候補にはなるが、最大輸送部材長12mを運搬するトレーラで旋回できる交差点となると片側2車線以上の交差点が抽出されてしまう結果となった。

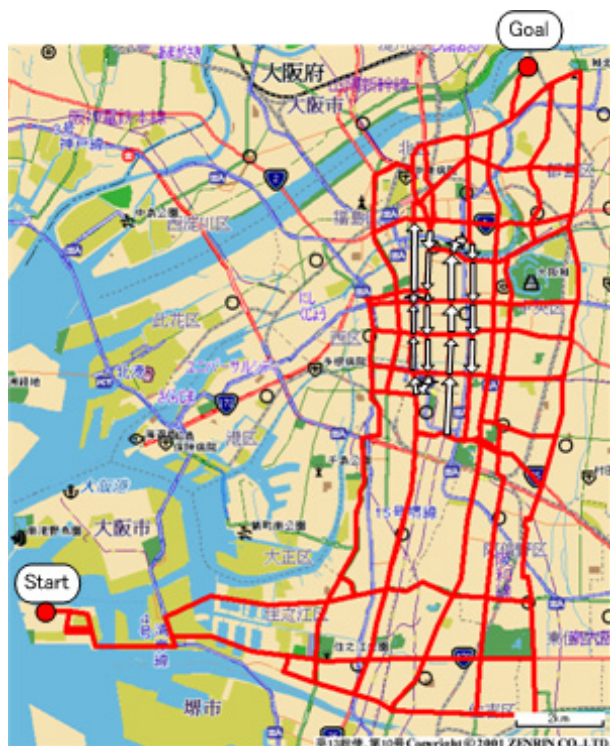


図-10 例題の対象地域

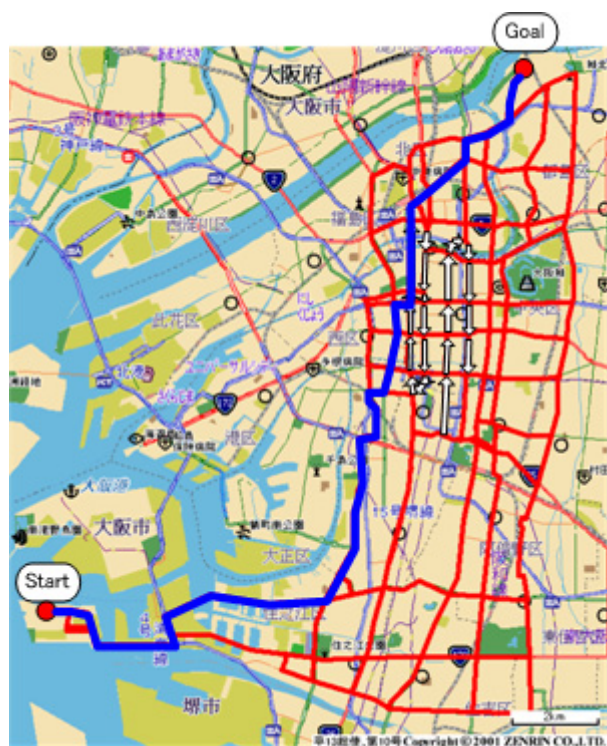


図-11 最短経路



図-12 旋回不能の交差点を避けた最短経路



図-13 不通区間を避けた最短経路

図-10 から作成したネットワークモデルの全ノード数は105、リンク総数は332となった。ただし、ノード数には仮想ノードを含まず、リンク数は一方通行道路では1区間1リンク、対面通行道路では1区間2リンクとして数えている。

4.2 最短経路の抽出

規制等が全くない状態で最適経路を求めると図-11 の

ようになった。この場合、輸送経路の延長は22.245kmである。

先に述べたように、本例題地域では道路幅員が十分広いと車両の旋回に不都合はないと思われるが、参考のために数か所の旋回不能交差点を設定したうえで最短経路を求めると図-12のようになった。図-12では制約条件として黄色の丸で示した3つの交差点で旋回できないものと仮定している。

この付近では、道路がほぼ格子状に並んでいるためこの程度の制約条件ではあまり影響されず、抽出された経路は無制約の場合と大きくは変わっていない。経路の延長は22.440kmと微増にとどまっている。

図-13は黄色で示した区間が通過できない場合の最短経路を示したものである。通過できない区間とは、工事中あるいは渋滞中の区間をいい、さすがにこの区間が通行できないと図-11の経路とはかなり異なったものになるが、この地域内には代替えとなる道路が多いのであまり不自由な状態にはならず、経路延長は22.560kmで最短経路に比べて300m程の増加にとどまっている。

このように、出発地点と架設地点、通行可能ルート of 交差点形状を入力し、巡回可能条件や不通区間を必要に応じて変更することで、様々な現場の通行状況に応じたルート探索が可能となることがわかった。これで、机上の道路通行条件を変えた様々なシミュレーションにより輸送計画を立案することが可能になり、現地調査の回数を減らすことができるようになる。また、架設時での検討で、計画時点から道路通行条件が変化した場合でも現地の状況に応じた輸送経路の選定ができるようになる。さらに、GISを用いることでルート探索結果はユーザーが理解しやすく見やすい地図上での表示が可能となる。

大阪市内の道路は基盤目状になっており、一方通行も多いが、迂回路も多い。輸送時間の制約は一般的にはほとんどないと考えてよいが、提出する運行許可申請書に記載する通行時間から大幅に逸脱するような場合は問題となる。全面通行不可あるいは1車線のみ通行不可といった工事中の区間はシミュレーションで事前に考慮されており、渋滞による走行時間の延長以外は条件として考慮されている。ただし、ある区間が通行不可になった場合、隣接する道路が渋滞したりということは十分考えられる。本研究では最短経路延長の探索を目的としたが、渋滞などの影響を考慮すると最短輸送時間の探索も必要になってくる。朝夕の時間帯はもとより渋滞が発生しているし、慢性的に渋滞の発生している道路もある。このような渋滞のリスクや通行不可道路の影響なども考慮することが今後の課題であるといえる。

5. おわりに

製作された橋梁部材を工場から架設現場まで陸上輸送する際、道路通行規制（一方通行、通行可能時間、工事規制など）、高さ制限や重量制限、交差点での巡回が可能かどうかなど様々な条件を考慮しなければならない。また、これらの条件は計画時点と架設時点とでは変化するし、日や時間帯によっても変わる。

本研究では、様々な変化する道路通行条件を入力とし、最適な部材輸送計画を立案するために、ダイクストラ法による最短経路探索を実施し、結果を見やすいGIS上で表示することを試みた。交差点での巡回が可能かどうか

は、別途作成した車両走行軌跡プログラムにより判定し、仮定した輸送部材寸法より全ての交差点で照査を行った。将来的にはGIS上でこの車両走行軌跡プログラムを連動させ、逐次巡回可能かどうかを判定させることができる。

本研究で用いた方法により、経路巡回不能の交差点あるいは通行不可区間の発生などの道路通行条件の変化があった場合でも、別の最短経路をうまく探索できることを確認できた。現地調査の回数を減らすことが出来ることや、架設時点だけの利用に限らず、計画時点や設計時点での利用も十分考えられることが本システムのメリットといえる。

例えば、4章の適用例で示す大阪市内の輸送ルートの場合、輸送段階になって現地の輸送条件等が変更になったと仮定する。本研究で構築したシステムを使用しない場合、現地調査に2日、調査員は最低2名、走行軌跡の照査・輸送計画の見直しなどに3日が必要となる（橋梁メーカーのヒアリングより）。これらの作業が本システムを導入することにより、現地調査は軽微な確認作業（最低1日×1名）だけでよいことになるし、この確認作業も変更した輸送経路によっては不要になる場合もある。走行軌跡の照査は机上のできるもので、輸送計画の見直しも含めて3日が2日程度に低減が可能になると予測される。

今後の課題は以下のとおりである。

- ①GISとの連携：将来的にGISと連携させるため、交差点での巡回可能判定プログラムをGISとリンク可能な形式で作成している。今回の研究ではGISの利用を結果の表示のみに限定しているが、作成した幅員データ、交差点形状データ、ノード、リンクなどはGIS上での利用が可能である。GIS上にベースとなる地図をただ読み込んでも、幅員や交差点形状や隅切り形状データ、ノードやリンクデータなどは自動的に計算してくれない。これら作成したデータはGIS上で交差点の右左折や最短経路などを計算する上での基礎データとして利用できる。また、これらの作成したデータを利用することで、再度GIS上で交差点形状などのデータ作成を行う作業が軽減される。
- ②最短時間検索：本研究では輸送経路延長が最短となる経路を探索したが、輸送時間が想定以上にかかることは避けなければならない。渋滞が発生する路線とその時間帯から求まる渋滞のリスクや通行不可道路の影響による隣接道路の渋滞発生リスクなども考慮することが求められる。

なお、本論文の一部は関西道路研究会 道路橋調査研究委員会 GIS・GPS 小委員会（委員長：古田 均 関西大学教授）のGIS分科会における研究成果⁹⁾から引用したものであり、委員並びに関係各位には謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：土木工学ハンドブック，第四版，
pp.1242-1244，1990.4
- 2) 日本道路協会：道路構造例の運用と解説，pp.158，
pp.339-346，2004.2.
- 3) (財)高速道路調査会：セミトレーラの旋回軌跡，
1971.3.
- 4) 大阪府土木部道路課：自動車の走行軌跡図集
(S=1:300)，1972.3.
- 5) 関西道路研究会 道路橋調査研究委員会 GIS・GPS
小委員会：橋梁分野における GIS・GPS の可能性を探
る，2002.12.

(2008 年 9 月 18 日受付)