

災害に強い道路網のネットワーク構成に関する研究*
A Study on Design method of Road network against disasters

南 正昭**

By Masaaki MINAMI

1. はじめに

災害等による道路の途絶に対し、対応力をもつ道路網のネットワーク構成について研究を続けている。

道路網の途絶対策には、途絶そのものが発生しないように整備水準の高い道路を整備することと、たとえ道路の一部が途絶しても代替経路が存在し利用者の損失を軽減できるように道路網をネットワークとして構成することが考えられる。

しかし全ての都市間を整備水準の高い道路で連結することや、全ての都市間について防災上の理由から代替経路を整備することは建設・維持コストという観点から無駄が多い。そこでこの2つの途絶対策を複合的に適用することで、低コストでかつ途絶に対応力を有する道路網を構成する方法論について考察した。

2. 問題設定

文献1)によると、道路網計画は大きく、ネットワーク構成の段階、交通需要との対応を図る段階、ネットワークの機能分類の段階、整備プログラム策定の段

階に分けられ、「ネットワーク構成の考え方は拠点の重要度に応じて、階層化された拠点对應する道路の種類によって体系的に連絡し、このネットワークに障害時の代替性確保、あるいは地域開発の視点から必要なネットワークを追加する」とされる。

このネットワーク構成の考え方を参考に、本稿では図1のような道路網の整備方針を、災害による途絶に対応力をもつ道路網の構成という観点から仮定した。その整備計画を支援するアルゴリズムの開発を試みた。

具体的には以下のようなものである。

STEP1として中心的な都市について災害時に途絶を想定する必要のない整備水準の高い道路で連結する。図中のネットワークモデルの例では都市ノードA) B)間の連結に相当する。

STEP2としてSTEP1で連結した整備水準の高い道路へ、各都市ノードからアクセスする比較的整備水準が低くそのため災害時に途絶が想定される道路を整備する。図中では各都市ノードから都市ノードA) B)に連結する経路に相当する。

STEP1

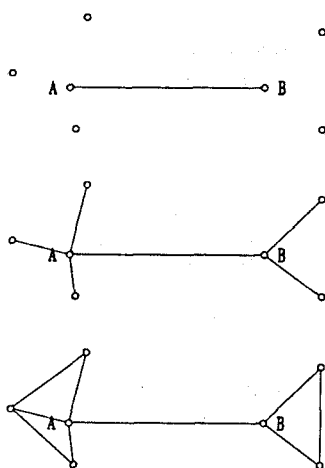
災害時に途絶を想定する必要のない
整備水準の高い道路の整備

STEP2

STEP1の道路へアクセスするための災害
時に途絶が想定される比較的整備水準の低い
道路の整備

STEP3

STEP2の道路が途絶した際に代替経路が
存在するようにネットワークを増強・改良



* キーワード：道路計画、交通網計画

**正会員 工修 山口大学助手 工学部社会建設工学科 (〒755 山口県宇部市常盤台 2557)

図1 本研究において設定した道路網の整備方針

STEP3としてSTEP2のアクセス道路が途絶した際に、時間損失が所与の基準以下となる代替経路を有するようにネットワークを増強・改良する。図中においてSTEP2に示される道路が一部途絶した際にも、都市ノードA) B) へのアクセスが保証され、STEP1での整備水準の高い道路を通じて各都市と連結されていることが示される。

3. 道路網の構成方法

(1) ネットワーク構成の手順

ネットワークを構成するアルゴリズムは以下のようである。(図2)設計における最適基準は、各STEPでのコスト最小としている。

データとして、各都市ノード間について整備水準の高低による2水準のリンクコストを与える。また初期設定として整備水準の高い道路で連結する都市ノード(A,B)を設定する。

STEP1：設定した都市間については、最短経路の探索アルゴリズムを用い連結する。必要に応じk番目最短経路を逐次探索し最も望ましい経路を選定する。

STEP2：STEP1で決定した経路にアクセスする各都市ノードからの経路を最小コストで構成する。これはリンクコストが2水準からなる階層的ネットワークの構成問題となる。この問題を解く実用的なアルゴリズムは、Current et al.²⁾により提案されている。この方法を援用する。詳細は3(2)節に述べる。

本稿ではSTEP1とSTEP2は道路計画、別の決定過

程であると考え分離している。この両者を同時に最適設計する場合はCurrent et al.のアルゴリズムをそのまま適用できる。

STEP3：STEP2で構成されたネットワークを、代替性をもつ道路網へと経路を付加し改良する。この設計アルゴリズムは、文献5)による。本手法は、通信網について開発された文献3)の方法を参考にし、道路網の性質として利用者の所要時間を考慮に入れ改良している。道路途絶時の代替経路の経路数と経路長に関する事前設定を満足するネットワークを構成する。これにより整備水準の比較的低い経路について、都市ノード間の代替性を確保する。詳細は3(3)節に述べる。

(2) 道路の整備水準を考慮した階層的ネットワークの構成

本研究では、災害時に途絶を想定する場合としない場合の2つの道路整備水準を仮定した。重要都市間については高整備水準の道路で連結し、その道路へ各都市から低整備水準の道路でアクセスする。具体的な計算手順は図3による。

Current et al.は、この計算手順をk番目最短経路を逐次求めながら繰り返し適用し、2水準のリンクからなるネットワーク全体の最適化を図るヒューリスティックな解法を提案している。本研究ではこの計算過程で構成されるネットワークを、道路網の一代替案と考え次のSTEPへ移行する。都市間(A,B)が定まった

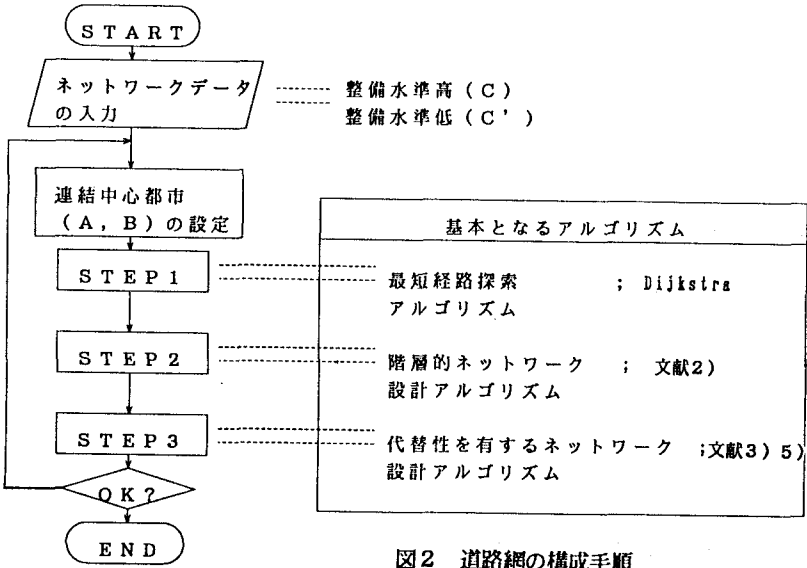


図2 道路網の構成手順

ならば、その低整備水準でのリンクコストを0に変更し、低整備水準でのリンクコストからなるネットワークに最小木の探索アルゴリズムを適用する。

(3) 都市間の経路に代替性を確保したネットワークの構成

低整備水準の道路で連結される都市間について、その途絶時に代替経路を有するようにネットワークを増強する。都市間の対災害力を高めるために多経路化し代替性を高めることと、そのために必要なコストとは通常トレードオフの関係にあるものと考えられる。そこで以下の方法を用いる。具体的な計算手順は図4に示す。

道路途絶時に利用される代替経路の満たすべき基準を、その経路数と所要時間比で事前に与え、その基準を満足するネットワークを導出する。

この計算手法は、大きく次の2つのプロセスからなる。

第一はあらかじめ設計者により事前に設定した代替

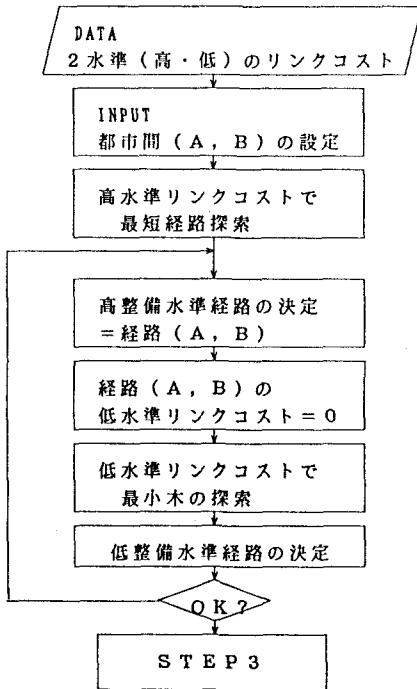


図3 道路整備水準を考慮した2水準階層的ネットワークの構成

経路に関する基準を満足するネットワークを、いくつかの条件をつけたランダム探索により構成するプロセスである。ここで構成されるネットワークは設計条件として設定した基準を満たすが最小コストとは限らない。

第二は第一のプロセスで構成されたネットワークに局所的な改良を行い、代替経路に関する事前の設定を満たしかつ低コストなネットワークを導くプロセスである。

この2つのプロセスを循環的に適用し、低コストで低整備水準の道路で連結される都市間について途絶時に代替経路を有するネットワークを経済性を考慮し構成する。

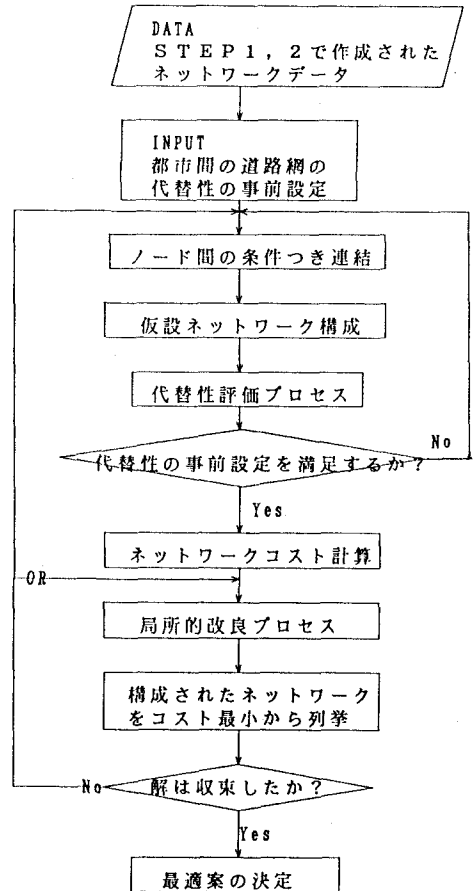


図4 代替性を有する道路網の構成方法のフロー

4. 適用例

図5～図7に、簡単なネットワークモデルでの計算事例を示す。8つの都市分布について高低2水準のリンクコストを与え計算した。詳細なデータは、紙面の制約上省略する。

図5は、重要都市間を高水準リンクコストを用い最短経路で連結した結果である。

図6は、低水準のリンクコストを用い、図3の手順に従い高整備水準の道路へのアクセス道路を求めた結果である。

図7は、図6で求められた道路網に図4に示した手順に従い改良を加え、道路途絶時に代替経路が存在するように増強した様子である。

各都市間に注目してみれば、整備水準の高い道路もしくは代替経路によって道路途絶に対応していることが示される。

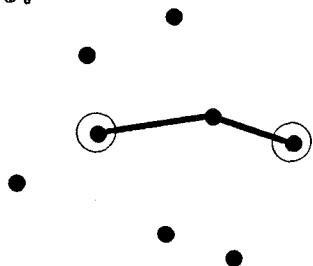


図5 STEP1：重要都市間の高整備水準道路での連結

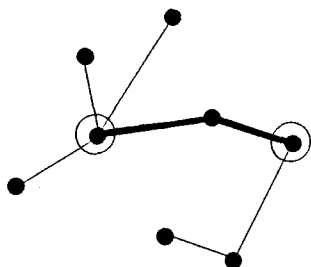


図6 STEP2：STEP1の道路へ各都市から低整備水準道路により連結

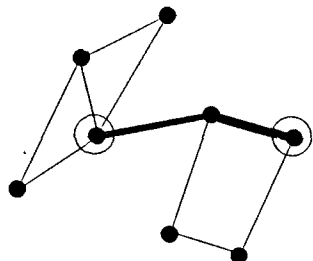


図7 STEP3：STEP2の道路を代替経路をもつように増強

5. 課題

本稿は、災害等による途絶に対応力をもつ道路網の整備計画を目的とし、そのネットワーク構成を支援するアルゴリズムの開発を行った成果である。道路の整備水準と代替経路の存在の両者を考慮したネットワークの構成を試みた。

方法論としては開発途上であり、導かれる解の安定性や収束条件、ネットワーク全体としての最適性等の検討は今後の課題である。

今後は適用性の検討を踏まえアルゴリズムの改良を進めると共に、ここで導出されたネットワークを設計代替案とし意思決定プロセスを経て最適設計案を決定する道路網計画支援システムとして発展していきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 土木工学ハンドブック、第35編第3章3.7道路網計画、pp1473-1475
- 2) J.R.Current et al.: The hierarchical network design problem, European Journal of Operational Research 27, 1986, pp57-66
- 3) K.Steiglitz, P.Weiner, D.J.Kleitman: The Design of Minimum-Cost Survivable Networks、IEEE CT-16 No.4、1969
- 4) 南、佐藤、五十嵐：道路ネットワークの構成と代替性評価に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集、pp559-564、1990
- 5) 南：災害時に代替性をもつ道路網の構成手法、土木計画学研究講演集No16(1)、1993、pp387-394