

Ⅳ-19 道路区間の閉塞を考慮した最適配置解析のMIP手法に関する研究

高知高専 正会員 竹内光生

富士ビー・エス 正会員 ○関本 巧

1. はじめに

我が国は沿岸域に多くの人口集中地区が分布しており、過去の巨大地震発生時には、震災後に襲来した大津波のために市街地の住民に大きな被害が発生している。2050年までには南海道地震が発生すると予測されており、官民一体の取り組みによる人的被害最小化のための効果的な施設の整備・拡充が急務とされる¹⁾。本研究は、最適配置解析手法を用いて、浸水予想地域から高台や避難施設場所に避難するために、避難施設場所を道路網の何処に配置すれば効果的であるのかを検討したものである。高台の位置、道路の閉塞率、施設容量を与件として、モデルを用いた解析結果を報告する。本研究の特色は、①混合整数計画法（MIP）を用いている。②施設容量を考慮している。③道路区間の閉塞率を考慮している。これらの解析事例の報告は少ないと思われる。

2. 解析手法

混合整数計画法（MIP）を用いた解析手法の、到達率最大化の目的関数および制約条件式は次のようになる。

$$\text{Maximize } W = \sum_i \sum_j P_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_j X_{ij} \leq P_i \quad (2)$$

$$\sum_j Z_j = K \quad (3)$$

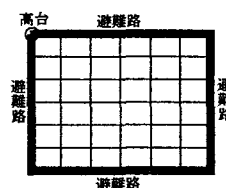
$$-Z_j + X_{ij}/P_i \leq 0 \quad (\text{ただし, } P_i > 0) \quad (4)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq M_j \quad (5)$$

ここに、 P_{ij} 道路網ノード*i*と避難施設*j*を結ぶ避難経路の到達率であり、 X_{ij} は道路網ノード*i*から避難施設*j*を利用する人口（設計変数）である。設計変数 X_{ij} とデータ P_{ij} の数は、道路網ノード数を*m*、避難施設場所候補数を*n*とすると、 $m \times n$ となる。 P_i は道路網ノード*i*の人口である。 K は避難施設数、また Z_j は0または1の binary 変数であり、避難施設 j を設置する場合は1、設置しない場合は0である。なお、 $Z_j = 1$ を初期値と置くと、避難施設*j*は既設であることを示す。また、式4においては、 $Z_j = 0$ のとき $X_{ij} = 0$ でなければならないこと、また $Z_j = 1$ のとき $X_{ij} \leq P_i$ が可能であることを示す。 M_j は避難施設*j*の容量である。

3. 解析モデル

図1として、避難路を周囲に設定した道路網ノード数49、リンク数84の格子状モデルを示す。リンク長は、縦70m、横100mとしている。モデルの各ノードから、左上隅にある高台に向かって避難移動する状況を想定している。高台のみの場合の各ノードからの移動距離や到達率を改善するために、1～3カ所の避難施設場所を、最も効果的に追加配置する。図1. 高台と道路網
避難施設場所の候補は、道路網ノードである。2つのノード間リンクの閉塞率は、「避難路」を0、「その他の道路」を0.1の2ランクとする。なお、通過するリンク数を考慮するために、閉塞率のランクに影響しない範囲として、リンクの閉塞率に0.001を加えている。



4. 解析手順

解析手順は、①解析手法の定数データの作成、②MIPのデータファイルの作成。③MIP解析である。①の定数データ作成の主な作業は、避難経路の探索である。②のMIPデータファイルは、MPSファイルである。目的関数と制約条件式および定数データが含まれる。MPSファイルの作成は、basic プログラムを用いた。③の解析プログラムは CPLEX である。

5. 避難経路

道路区間の閉塞率を考慮する場合、2つのノード間リンクの閉塞率を p_i とすると、複数のリンクを直列に接続した経路の到達率（通過率） P_s は、式(6)のように積の式になる。

$$P_s = \prod (1 - p_i) \quad (6)$$

この P_s 最大の経路が、到達率最大の経路である。到達率 P_s の範囲は、 $0 \leq (1 - p_i) \leq 1$ であるので、到達率を到達率の常用対数の絶対値に変換し、最短距離経路の探索手法であるダイクストラ法を用いて、到達率最大の経路を探索した。モデルの最適配置解析に用いる避難経路のデータは、49行×49列である。

6. 施設配置解析

まず、最短距離経路による総移動距離最小の施設配置解析結果を示す。そして、道路区間の閉塞の危険性を考慮した施設配置解析結果を比較検討する。

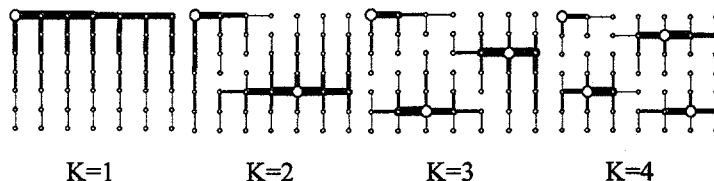


図2. 配置解析（最短距離、容量制限なし）

6.1 総移動距離最小の施設配置

図2と図3に、道路網上に歩行の障害となるものが無いとして、最短距離経路による総移動距離最小の施設配置解析の結果を、高台を含む施設数 $K=1, 2, 3, 4$ の場合について示している。図は、リンク通行量（ノード数）として、視覚的に示している。

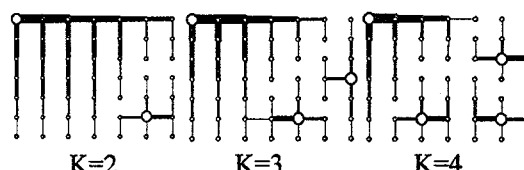


図3. 配置解析（最短距離、容量制限10）

図2は追加施設容量制限なしである。図2において、追加施設の分担域は大きい。追加施設は、総移動距離最小の位置に配置されている。ノードは、最も近い施設の分担域に含まれている。施設の分担域は、ボロノイ図²⁾で説明されるように、各施設間の垂直2等分線とその交点を、分担域の境界線としている。図3は、追加施設容量制限を10としている。図3において、追加施設は、高台から遠いノードを分担する位置に配置されている。追加施設の分担域のノードは、追加施設に近いノードから選択され、施設容量制限10は満足されている。図3の $K=3$ の解析結果において、1カ所の例外が見られる。

6.2 総到達率最大の施設配置

図4と図5に、道路区間が閉塞する危険性があるとして、先に述べた避難経路による総到達率最大施設配置解析の結果を、高台を含む施設数 $K=1, 2, 3, 4$ の場合について示している。図は、リンク

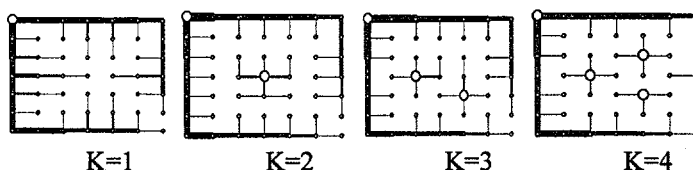


図4. 配置解析（避難経路、容量制限なし）

通行量（ノード数）として、視覚的に示している。図4において、追加施設の分担域は小さい。高台の分担域は、道路網の周囲を囲む避難路によって、大きく Tree 状に延びている。追加施設の分担域は、避難路で囲まれた道路網の中央域となっている。追加施設は、総到達率最大の位置に配置されている。ノードは、「その

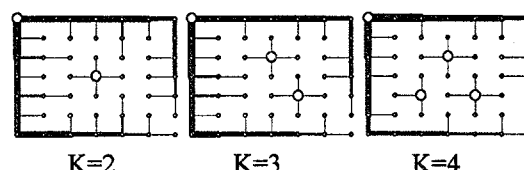


図5. 配置解析（避難経路、容量制限5）

他の道路」上のリンク数が少なくなる施設の分担域に含まれている。図5は、追加施設容量制限を5としている。図5において、追加施設は、施設容量制限がない場合と同様に、避難路で囲まれた道路網の中央域に配置されている。追加施設の分担域のノードは、「その他の道路」上のリンク数が少ないノードから選択され、施設容量制限5は満足されている。なお、高台方向のみの避難施設を選択する場合の解析結果は、発表会当日に報告する。

7. まとめ

本研究の避難路で囲まれた格子状道路網モデルの解析結果は次のようになる。①高台、道路の閉塞率、施設容量を与件として、地域的な移動距離や到達率を最適化する位置に、複数の施設場所の配置解析が可能である。また、視覚的に表現することができる。②緊急避難の方向や追加施設場所の配置は、道路区間の閉塞を考慮した場合と考慮しない場合では、大きく異なることがわかる。③Win98, cpu600MhzのPCを用いた計算所要時間は、施設容量制限のない場合は数秒であり、施設容量制限のある場合は数秒～約4分である。

8. 参考文献 1) 建設省都市局都市防災対策室監修：都市防災実務ハンドブッカー地震防災編一、ぎょうせい
2) 岡部篤行、鈴木敦夫：最適配置の数理、朝倉書店、2000