

高知工業高等専門学校 正員 竹内 光生

高知工業高等専門学校専攻科 学生員 ○利根 浩文

1. はじめに

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・評価したものである。避難所選択制限、移動距離制限、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。

2. 解析方法

2.1 目的関数と制約条件式

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。

$$\text{Maximize } W = \sum \sum P_{ij} X_{ij} \quad \dots\dots\dots(1) \quad \sum X_{ij} \leq P_i \quad \dots\dots\dots(2) \quad \sum Z_j = K \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$Z_j + X_{ij}/P_i \leq 0 \quad (\text{ただし, } P_i > 0) \quad \dots\dots\dots(4) \quad \sum X_{ij} \leq M_j \quad \dots\dots\dots(5)$$

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。

2.2 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。

2.3 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。

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

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。

3. 施設配置解析のシミュレーション

最短距離経路による施設容量を考慮した総移動距離最小の施設配置解析結果を3. 3に示す。次に、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3. 4及び3. 5に示し、解析結果を比較検討し評価を行う。

3.1 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。

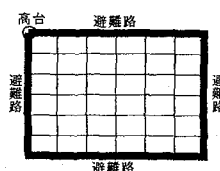


図1.高台と道路網

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。

3.2 評価基準

避難危険度評価表の移動距離の限界は、1小学校区の近隣住区に1カ所の避難施設場所の設置を想定し、500mと仮定した。また、閉塞率の限界を道路閉塞確率の危険度1の境界値の40% (0.4) とした。

3.3 最短経路及び総移動距離最小の条件の場合

表1 避難危険度判定表

k	平均 移動距離	最大 移動距離	距離 判定	平均 到達率	最小 到達率	到達率 判定	全 node	総合 判定
2	329	650	×	-	-	-	○	×
3	261	600	×	-	-	-	○	×
4	211	440	○	-	-	-	○	○

k=2

K=3

K=4

図2 最適施設配置 (任意方向 容量10)

3.4 避難経路及び総到達率最大の条件の場合

図3・表2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=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。

表2 避難危険度判定表

k	平均 移動距離	最大 移動距離	距離 判定	平均 到達率	最小 到達率	到達率 判定	全 node	総合 判定
2	461	1020	×	0.939	0.810	○	○	×
3	416	1020	×	0.945	0.810	○	○	×
4	388	1020	×	0.951	0.890	○	○	×

K=2

K=3

K=4

図3 最適施設配置 (任意方向)

3.5 避難経路及び到達率最大及び施設容量、移動距離、高台方向制限の条件の場合

下図4に追加条件として「施設容量・避難可能距離の制限・高台方向への避難」を加えた解析結果を示す。施設数K=5(容量5)の結果を検討すると解析条件を満足することができず避難できないノードがあるのがわかる。これより施設数をK=6(容量5)にして再度解析を行った。これより施設数を増やすことで全ノードに対応できることがわかる。また条件を満足しているK=5(容量10)とK=6(容量10)の結果においても、施設数および施設容量を増やすことで施設の分担領域が明白になっていることがわかる。

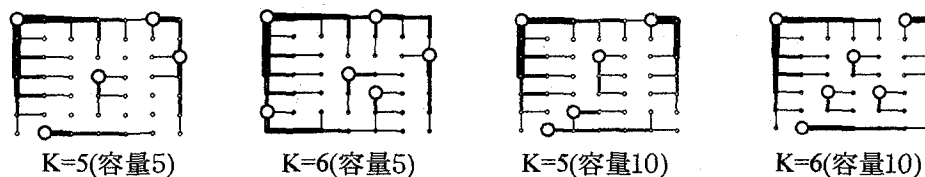


図4 最適施設配置 (容量10~5・高台方向・距離制限)

4. 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。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。

5. 参考文献 1) 関本 功(土木学会四国支部第9回技術研究発表会講演概要集, pp.253-254, 2003.5) 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

2) 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ケー地震防災編一、ぎょうせい