

地震時緊急給水における行政の巡回と住民の水運搬の間のトレード・オフ

広島大学大学院工学研究科 学生会員 中島 和樹
 広島大学大学院工学研究科 正会員 奥村 誠
 広島大学大学院工学研究科 非会員 Haque, S.M

1. 背景と目的

大規模な地震の後では、行政は被災者への給水(または物資運搬)を適切に実施する責任を負う。このとき、被災者の居住地区からどの程度近い地点で給水を行なうかによって、被災者の負担である水の運搬距離と、行政の負担である配水車の巡回距離の間にトレード・オフの関係が生じる。配水車の配備計画などの事前対策を検討するには、このトレード・オフの関係を知る必要がある。

本研究では、震災後の給水体制について給水シミュレーションを通じた分析を行い、被災者と行政の間に発生する住民運搬 配水車巡回距離のトレード・オフの関係を明らかにする手法を提案することを目的とする。

2. 緊急時給水問題の概要

本研究では、給水問題を給水点の配置問題と、配水車による巡回問題の複合問題と考える。

1) 給水点配置問題

給水点候補地の中から、全ての居住地を限界運搬距離内に収め、かつ、給水点の個数が最小になるような給水点の配置パターンを求める問題。

2) 配水車巡回問題

給水点配置問題によって決定した給水点を、何台かの配水車が巡回するときの総距離を最小にする問題。

3. 給水点配置問題の定式化

I を全ての居住地の集合、 J を全ての給水候補地点の集合、 f_j を j 地点の給水点設置コスト、 C_{ik} を i 地点の被災者の最も近い給水点までの運搬距離、 C_{max} を被災者の限界移動距離とすると、(1) - (3)式のように定式化できる。

$$\text{目的関数 } \min_{y_j} \sum_{j \in J} f_j y_j \quad (1)$$

$$\text{制約条件 } \sum_{j \in \{k | C_{ik} \leq C_{max}\}} y_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (3)$$

y_j は、制御変数であり、 j 地点に給水点を設置する場合は1、設置しない場合は0とする。制約条件(2)式は、どの対象地区の被災者も限界移動距離(C_{max})以内となるように給水点を設置することに対応している。目的関数(1)式の最小化によって、給水点の個数が最小になるような給水点の配置を求めることができる。

4. 配水車巡回問題の定式化

X_{ij} を i 地点、 j 地点の給水点間の距離、 I を給水点の集合、 I_L を1ループ間の給水点の集合、 W_i を i 地点の給水点での水の需要量、 b を配水車の積載容量とすると、総運搬距離(目的関数)は(4) - (7)式のように定式化できる。

Z_{ij} は制御変数であり、 i 地点 - j 地点間を巡回する

$$\text{目的関数 } \min_{Z_{ij}} \sum_{i,j \in I} X_{ij} Z_{ij} \quad (4)$$

$$\text{制約条件 } \sum_{j \in I} Z_{ij} = 1 \quad j \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in I} Z_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I_L} W_i \leq b \quad (7)$$

場合1、しない場合0とする。制約条件(5)、(6)式は、どの給水点にも必ず1回配水車が来ることに対応する。制約条件(7)式は、配水車が積載した水を配って、配水池に補給に戻るまでの間の1ループの間で、各給水点の総需要量が配水車の容量(b)を超えないようにする条件式である。(5)、(6)、(7)式の制約条件を満たし、目的関数(4)式の総運搬距離を最小にする巡回路 Z_{ij} を得る。給水点の配置と巡回路の例を図1に示す。

キーワード：防災計画、給水計画、給水点配置問題、
車両巡回問題、焼きなまし法

連絡先：〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1

Tel&Fax 0824 24 7827

4. 東広島市における計算例

1) 設定条件

東広島市西条中央地区を対象として、国勢調査メッシュデータをもとにGISを用いて分析を行なった。給水条件は以下のとおりである。

- ・給水点候補地 451 個
- ・住宅メッシュ 467 個
- ・配水池 8 個
- ・一人当たりの水の需要量 3 ㎥ / 日
- ・配水車 1 台当たりの容量 4 t / 台
- ・給水点にかかる設置時間 10 分
- ・配水車の時速 20km / h

2) 分析結果

限界運搬距離と、被災者の総運搬距離との関係を図2に、配水車の総巡回距離との関係を図3に示す。

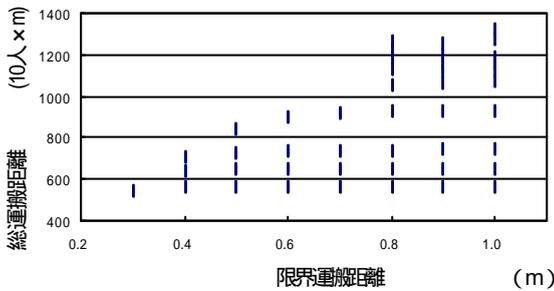


図2 限界運搬距離と総運搬距離の関係

以上の二つをあわせ、総運搬距離と総巡回距離の関係を求めた結果を図4に、さらに、給水点の設置にかかる時間も行政の負担と考え、総運搬距離と給水活動時間の関係を求めた結果を図5に示す。

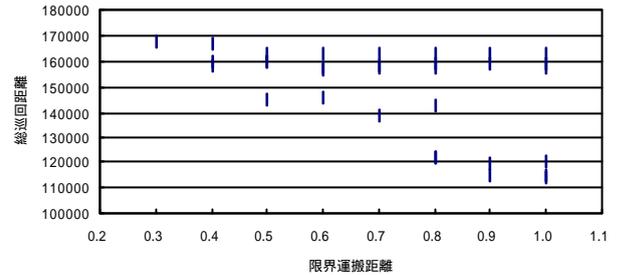


図3 限界運搬距離と総巡回距離の関係

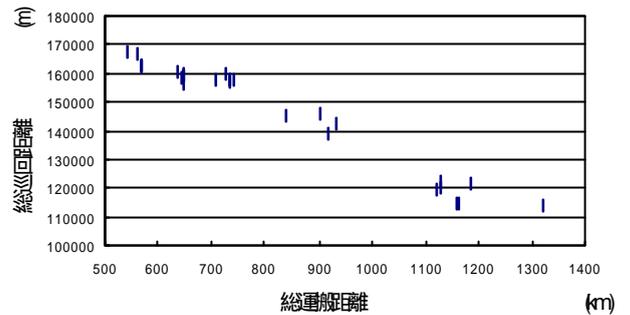


図4 総運搬距離と総巡回距離の関係

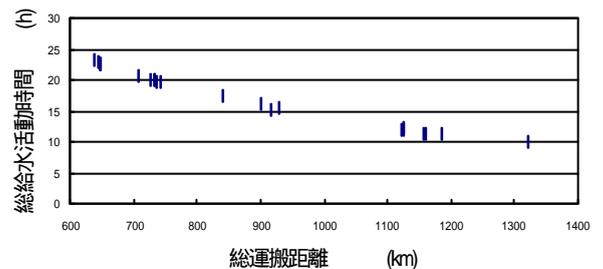


図5 総運搬距離と総給水活動時間の関係

3) 考察

総運搬距離と総巡回距離との間には線形の、総給水活動時間との間には非線形のトレード・オフが見られる。

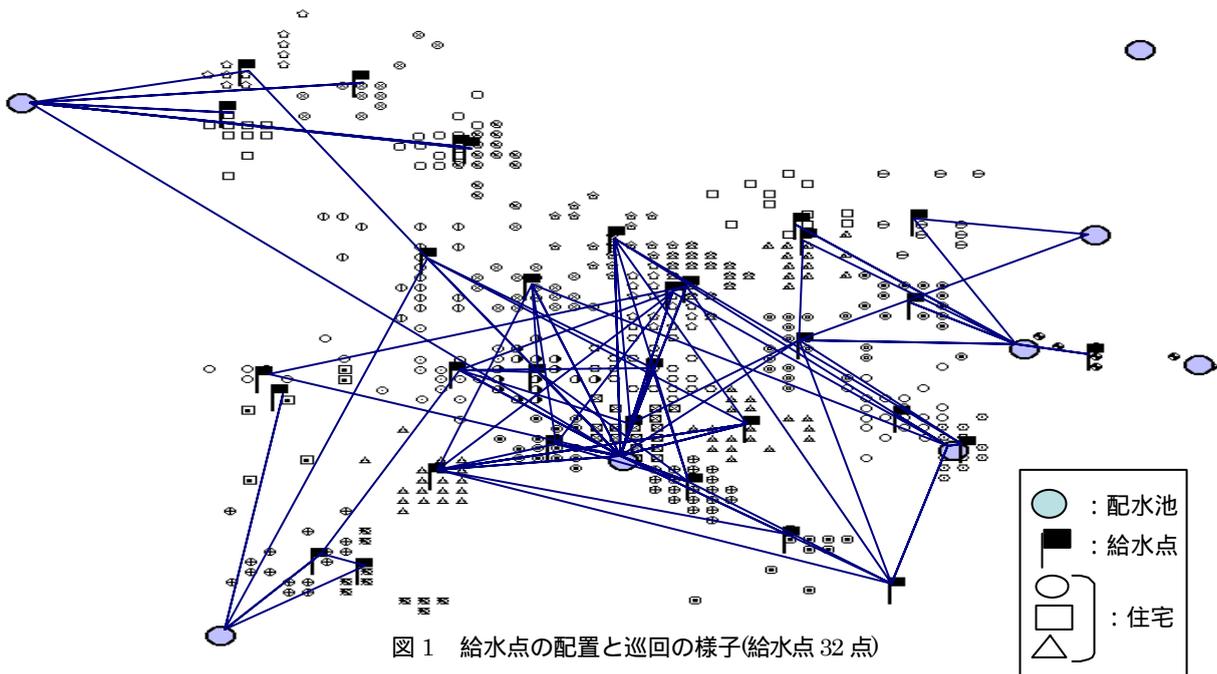


図1 給水点の配置と巡回の様子(給水点32点)