

車両巡回モデルによる緊急時給水体制の分析

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 正会員 塚井 誠人

1. 背景と目的

地震等の災害が起こると、水道が復旧するまでの数日～数ヶ月の間、行政は住民に給水を行う必要がある。その場合に備えて、給水体制上重要な配水池や道路については、事前に耐震化などの防災対策を講じておくことが望ましい。

本研究では、被災によって生じる様々な障害要因が、給水体制にどの程度悪影響を及ぼすかを定量的に評価できるシミュレーションモデルを提案する。モデルを用いて個別の障害要因の影響の大きさを明らかにして、事前に必要な防災対策について考察する。

2. 緊急時給水問題の概要

本研究では、給水問題を給水点配置問題と給水車による車両巡回問題の複合問題と考える。

1) 給水点配置問題

全ての居住地を運搬可能範囲内に収め、かつ、給水点の個数が最小になるような給水点配置パターンを求める問題。

2) 車両巡回問題

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

以下、2つの問題のうち2)の給水車による車両巡回問題に焦点を当てて分析を行う。その理由は、道路の寸断や配水池の破壊などの被災状況は、主に給水車の巡回に影響を及ぼす障害要因であり、行政の事前対策も道路や配水池の耐震化に焦点を絞って行われると考えられるからである。そこで、給水点の位置を所与とし、給水車が全ての給水点に給水し、巡回する時の巡回総距離を最小にする車両巡回問題のシミュレーション分析を行う。

3. 給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 を給水車の積載容量とす

ると、総距離(目的関数)は以下のように定式化できる。

$$\text{目的関数 } \min_{Z_{ij}} \sum_{i,j \in I} X_{ij} Z_{ij} \quad (1)$$

$$\text{制約条件 } \sum_{i \in I} Z_{ij} = 1 \quad j \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in I} Z_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I_L} W_i \leq b \quad (4)$$

Z_{ij} はモデルの変数であり、 i 地点 - j 地点間を巡回する場合1、しない場合0をとる。制約条件(2),(3)式は、どの給水点にも必ず1回給水車が来ることに対応する。制約条件(4)式は、給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給水車の容量(b)を超えないようにする条件式である。(2),(3),(4)式の制約条件を満たし、目的関数(1)式の総移動距離を最小にする巡回路 Z_{ij} を得る。この問題は、整数計画問題である。

4. 分析結果

提案した手法の一般的な適用可能性を検討するため、仮想都市(5km × 5km)を設定して分析を進める。この仮想都市上に、100個の給水点の X 座標、 Y 座標、水の需要量および4個の配水池の X 座標、 Y 座標を一様乱数によって計104点設けた。車両巡回問題を以下の各条件のもとで、焼きなまし法を用いてそれぞれ解いた。その結果を表2-4に示す。ただし、給水車の条件は表1のとおりである。

表-1 所要時間の計算条件

平均速度	給水車補給時間	総需要量	給水車の容量	運用時間
12km/h	10分/1ループ	24150 $\frac{t}{日}$	1t	8h/日

4つの配水池とも容量が無制限の場合(基本ケース; 表-2, 図-1)

4つのうち1つの配水池が使えない場合(表-3 図-2)

道路が寸断した場合(仮想都市上の $X = 2500$ 及び、 $X = 3000$, $X = 3500$, $Y = 2500$ での寸断を考慮; 表-4, 図-3)

給水点を集約して、さらに給水車の容量を変えた場

キーワード：給水計画、防災計画、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

合(給水点=100点 50点, 給水車の容量=1t, 2t, 4t;

表-5 図-4)

表-2 基本ケース

	総距離	ループ数	所要時間	車の台数	配水池1	配水池2	配水池3	配水池4
基本	90928	27	52.33	6.54	4040	3480	11980	4650
	(m)		(分)		(I)	(I)	(I)	(I)

表-3 各配水池が使えない場合

	総距離	ループ数	所要時間	車の台数	配水池1	配水池2	配水池3	配水池4
基本	90928	27	52.33	6.54	4040	3480	11980	4650
池1が使用不可能	101934	26	53.08	6.63	0	2250	14310	7590
池2が使用不可能	95760	26	52.56	6.57	4290	0	14340	5520
池3が使用不可能	109655	26	53.72	6.72	8680	9360	0	6110
池4が使用不可能	102973	27	53.33	6.67	6100	4540	13510	0

表-4 道路が寸断した場合

寸断箇所	総距離	ループ数	所要時間	車の台数	配水池1	配水池2	配水池3	配水池4
基本	90928	27	52.33	6.54	4040	3480	11980	4650
X=2500で寸断	119057	26	54.50	6.81	14180	3650	2540	3780
X=3000で寸断	93250	27	52.52	6.57	5120	3440	10940	4650
X=3500で寸断	100374	27	53.11	6.64	5150	5140	11120	2740
Y=2500で寸断	93501	26	52.38	6.55	4680	2840	10000	6630

表-5 給水点を集約して、給水車の容量を変えた場合

	総距離	ループ数	所要時間	車の台数	配水池1	配水池2	配水池3	配水池4
基本 車1t	90928	27	52.33	6.54	4040	3480	11980	4650
基本 車2t	61454	13	49.70	6.21	4870	3820	11570	3890
基本 車4t	47054	7	48.84	6.10	4780	3930	7870	7570
集約 車1t	91378	28	52.53	6.57	5110	3750	11020	4270
集約 車2t	61503	15	50.38	6.30	4990	3640	10970	4550
集約 車4t	37092	7	48.01	6.00	5460	3790	7840	7060

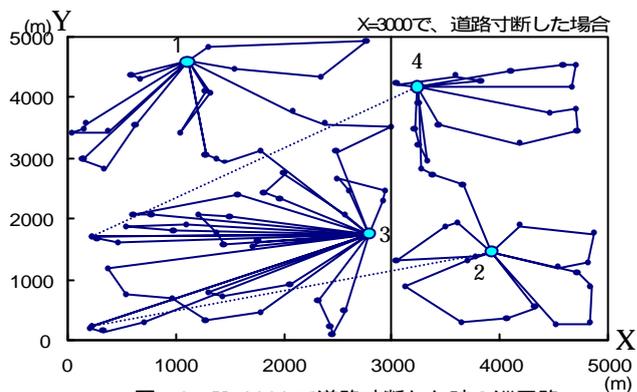


図-3 X=3000で道路寸断した時の巡回路

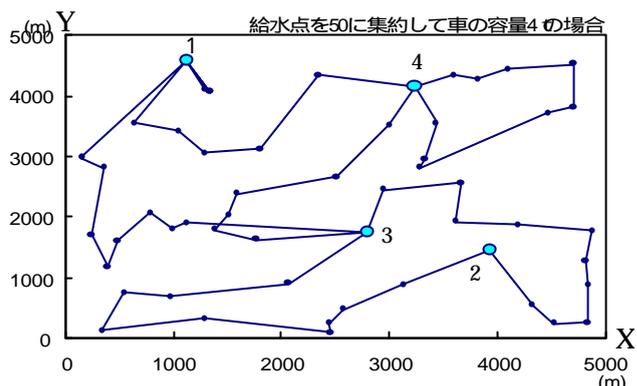


図-4 給水点を100 50に集約, 4t車で巡回した時の巡回路

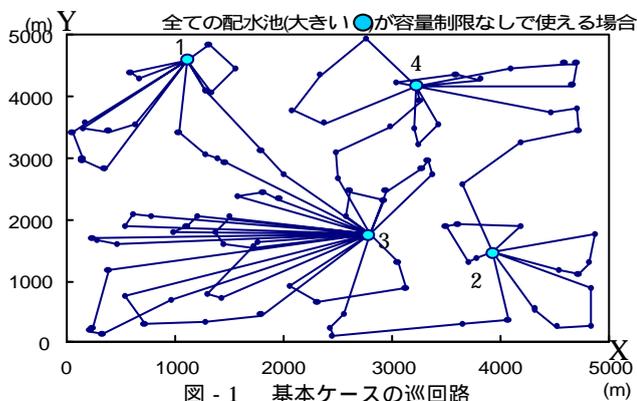


図-1 基本ケースの巡回路

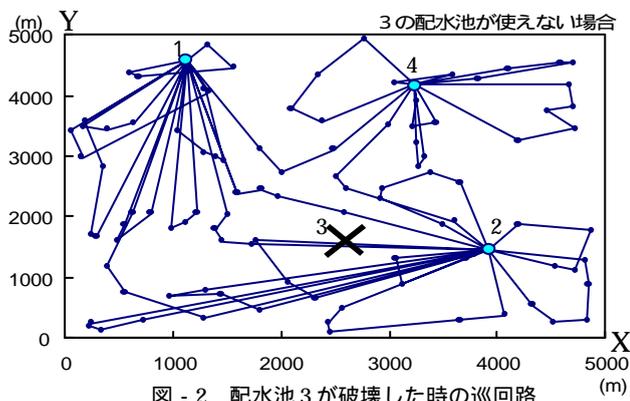


図-2 配水池3が破壊した時の巡回路

5. 結論

シミュレーションを通じて得られた知見をまとめる。

- 1) より, 基本ケースで利用頻度の高い配水池が破壊した時ほど, 総巡回距離が伸びる。
- 2) より, 基本ケース(通路寸断がない時)の利用頻度が高い場所が破壊して地域の分断が起これば, その巡回時間が大きく伸びる。ただし, 地域内に複数ある配水池が均等に分かれるような分断の場合は, 総巡回距離は大きく伸びない。
- 3) より, 給水点の個数よりも, 給水車容量の方が, 総距離への影響が大きい。
- 4) 給水車の積載容量を増やさずに, 単に給水点を集約すると, 1つの給水点あたりの需要水量が増加するため一度で運搬できなくなり, 逆に総巡回距離が伸びる場合がある。

今後は, 本研究で考慮しなかった給水点配置問題についてもモデルを適用して解を求め, シミュレーションを行う必要がある。さらに実際の地域に適用することにより, 具体的な事前対策について実行可能性を含めた検討を行う必要がある。