

## 〈研究発表〉

## 消防向け水利指定技術の開発

石 飛 太 一<sup>1)</sup>, 鎌 田 清 弘<sup>2)</sup>, 高 野 枝 里<sup>2)</sup>, 高 橋 信 補<sup>1)</sup><sup>1)</sup> (株)日立製作所 研究開発グループ  
(〒 244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 292

E-mail : taichi.ishitobi.ok@hitachi.com, shinsuke.takahashi.hg@hitachi.com)

<sup>2)</sup> (株)日立製作所 社会ビジネスユニット 公共システム事業部  
(〒 212-0058 神奈川県川崎市幸区鹿島田 1 丁目 1-2 新川崎三井ビル 東棟 15 階西  
E-mail : kiyohiro.kamata.rk@hitachi.com, eri.takano.bp@hitachi.com)

## 概 要

消防機関の消火活動においては、火災地点周辺の複数水利（消火栓）から同時放水し鎮火にあたる。しかし各水利の放水量や利用水利の組合せによっては、水道管網内の圧力が異常低下し放水困難となる。消火活動の妨げとなる本現象は管網内圧力や管網構造に依存し発生するため、火災現場では対策が困難であった。そこで本研究では管網計算を用いて同時放水可能な水利の組合せを自動決定し、予め出動車両へ割り当てる水利指定技術を提案する。実管網モデルを用いた机上評価では、同時放水時にも圧力確保可能な水利選定ができることを示した。

キーワード：消防，水利指定，管網計算，水利共倒れ  
原稿受付 2019.6.28

EICA: 24(2・3) 100-103

## 1. はじめに

消防庁の消防統計<sup>1)</sup>および消防白書<sup>2)</sup>によれば、平成 29 年の出火件数は、日本全国で 39,373 件であった。これは一日あたり約 108 件の火災が起きたことを意味する。また一日当たりの火災による被害平均は、死者数 4.0 人、負傷者数 16.6 人、被害額 2 億 4500 万円という状況である。平成 20 年からの 10 年間において、出火件数、死者数等は減少傾向にあるものの、依然として日々多くの被害が発生している。火災による被害を抑えるには、我々の防災意識を高め火災発生自体を抑制するのはもちろん、発生した火災に対する迅速な消火活動が求められる。

消火活動を妨げる課題の一つに、水利共倒れ現象がある。これは消火活動において、火災現場周辺にある複数水利（消火栓）から同時放水した際に、水道管網内の圧力が異常低下し放水困難となる現象である。水利共倒れが発生した場合、利用水利の変更を必要とするなど消火活動に大きな支障をきたす。

本現象の対策には、火災地点付近の管網内圧力や管網構造を理解し、同時放水時に圧力が異常低下する水利の組合せを用いないなどが考えられる。しかし放水時の圧力減少量は管網構造等（管路の接続、口径など）から決定されるため、人間側で圧力を計算し水利の組合せを検討することは難しい。

そこで本研究では管網計算を用いて同時放水可能な水利の組合せを自動決定し、予め出動車両へ割り当て

る水利指定技術を提案する。本稿では実管網を用いた机上検討により、同時放水時にも圧力確保可能な水利選定ができることを示した。

## 2. 水利共倒れ現象

水利共倒れ現象を説明するため、Fig. 1 を用いて水道管網内の圧力計算例を示す。

まず圧力の初期値  $H_0$  は配水池の高低差やポンプの加圧等によって決定される。Fig. 1 では配水池の標高  $E$  によって次のように計算できる。

$$H_0 = E \quad (1)$$

次に、管路を流れるうちに管路壁面との摩擦、管の曲がり等による圧力損失によって水道管網内の圧力は

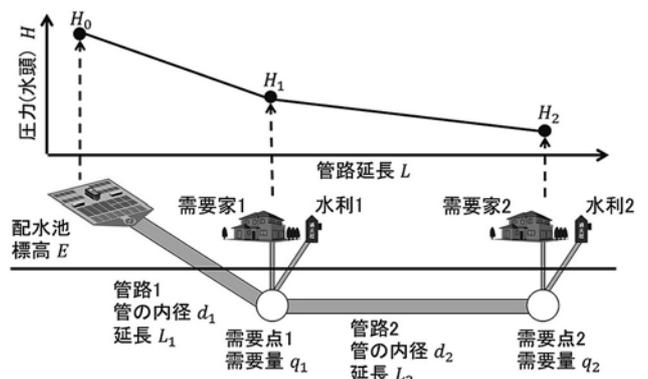


Fig. 1 An example of water pipe network

徐々に減少していく。**Fig. 1**の圧力 $H_1, H_2$ はヘーゼン・ウィリアムスの式<sup>3)</sup>を用いれば下記のように計算できる ( $C_1, C_2$ は管路の摩擦の強さを表す係数)。

$$H_1 = E - \frac{10.67L_1(q_1 + q_2)^{1.85}}{C_1 d_1^{4.87}} \quad (2)$$

$$H_2 = H_1 - \frac{10.67L_2 q_2^{1.85}}{C_2 d_2^{4.87}} \quad (3)$$

ここで消火活動のため水利1,2から放水する状況を考える。水利1,2からの放水によって各需要点の需要量 $q_1, q_2$ が放水量分増加することで上記計算式の第二項が大きくなり、圧力 $H_1, H_2$ は放水前より減少する。圧力 $H_1, H_2$ が大きく減少した場合、例えば水利から水が出ないなど、消火活動に支障が生じる可能性がある。このように放水によって付近の水道管網内の圧力が減少し、消火活動に支障が出ることを水利共倒れ現象と呼ぶ。

水利共倒れ現象が発生した場合に放水継続するには、放水困難となった水利の利用を停止し、放水可能な別水利へ利用を切り替えなければならない。ただし別水利の選択、車両の移動、再度の放水準備などに時間がかかり消火活動に支障が出ることは避けられない。また選択した別水利においても新たに水利共倒れ現象発生之余地がある。

従って消火活動においては水利共倒れ現象を発生させないことが求められる。ただし、**Fig. 1**では管路が単線の状況を説明したが、実際の水道管網はネットワーク構造を持つことが多い。その場合、圧力計算は**Fig. 1**の要素に加え、管網の接続構造や流向の影響を受けるため、放水による圧力減少量を簡単には求められない。特に複数水利から放水する場合は、管網内の流向や流速が変化することで、想定外の圧力減少が発生し、複数水利で圧力が確保できないこともある。そのため、例えば火災地点周辺の管網図面が得られている場合においても、人間が水利共倒れ現象の発生しない水利の組合せを選定することは難しい。

### 3. 管網計算を用いた水利指定技術

本研究では水利共倒れの発生を抑制する方法として、水利指定と管網計算を組合せた水利指定技術を提案する。水利指定とは、各車両がどの水利から放水するかを出勤前に指定する運用である。また管網計算とは水道管網内の圧力変動をシミュレーションする技術である。提案方式では、まず管網計算を用いて同時放水時にも圧力確保可能な水利の組合せを決定し、次に水利指定によって出動車両へ水利を割り当てることで水利共倒れを回避する。

### 3.1 水利指定

本研究で提案する水利指定の運用を以下に示す。

#### 1. 通報受け付け

119番通報などで火災情報を受け付け、火災地点、火災種別などを特定する。

#### 2. 隊編成

火災情報に合わせて出動する車両の種類、数、組合せ等を決定する。また出動する車両数に応じて利用する水利数を決定する。

#### 3. 水利指定

水利指定は二つのステップから成る。

##### i. 水利リストの作成

火災地点周辺の水利をリストアップし、利用の優先順位をつけてソートする。優先順位とは、その火災の消火活動に適した水利の順序であり、例えば水利から火災地点までの距離の近い順などを用いる。

##### ii. 管網計算

水利リストから、同時放水時にも圧力確保可能な水利の組合せを得る。詳細は3.2参照。

#### 4. 出動車両と水利の組合せ決定

各出動車両へ管網計算で決定した水利を割り当てる。割り当ては、例えば出動車両の移動距離が短くなるように、車両の現在地点と水利の距離が最小となる組合せを用いる。

#### 5. 出動

各車両は指定された水利付近へと移動後、指定水利からの放水により消火活動を行う。

### 3.2 管網計算による水利の組合せ決定

管網計算とは管網モデル(水道管網をグラフ構造にモデル化したもの)を用いて管網内の圧力をシミュレーションする技術である。複数水利からの同時放水をシミュレーションすることで各水利の圧力を計算し、同時放水時に圧力確保可能かを見込みを得ることができる。

利用水利の組合せ決定には、優先順位付の水利リストと貪欲法を用いる。具体的には次のアルゴリズムを考える。

1. 水利リスト $H = \{h_1, h_2, \dots, h_N | \text{管網内水利}\}$ を得る。水利リスト $H$ は利用優先順位によってインデックスが与えられソートされているとする
2. 同時に利用する水利数 $m$ を決定する
3. 利用水利の組合せを表す集合 $U = \{\}$ とする
4. 利用優先順位 $i = 1$ とする
5. 水利 $h_i$ を利用水利の集合 $U$ に加える
6. 利用水利の集合 $U$ の各水利から放水量 $s$ にて放

水した状況をシミュレーションし、各水利の圧力を算出する

7. 利用水利の集合 $U$ の各水利の圧力に閾値 $p$ 以下のものがあれば水利 $h_i$ を $U$ から削除
8. 利用水利の数 $|U|=m$ なら計算終了, そうでなければ $i=i+1$ としステップ5へ

放水量 $s$ とは1水利あたりの放水に用いる流量である。また圧力の閾値 $p$ は水利共倒れ現象の発生有無を決定する閾値であり、閾値以下の圧力となった水利からは放水困難だと考える。放水量 $s$ および圧力の閾値 $p$ は水利指定を行う消防機関や地域ごとによって適当に設定する必要がある。放水量には例えば消防水利の基準<sup>4)</sup>や、水道施設設計指針<sup>5)</sup>で想定されている1[m<sup>3</sup>/min]か、実際の消火活動での放水量を参考に決定する。また圧力の閾値 $p$ には、対象水利において放水量 $s$ を確保するために必要な圧力を設定するなどが考えられる。

## 4. 評価実験

### 4.1 実験概要

ここでは実管網モデルと水利指定技術を用いて、同時放水可能な水利の組合せを決定できるか評価実験を行った。実管網モデルには Fig. 2 を用いた。

対象管網モデルは総管路延長183[km]、管網中央付近の配水池から日量約30,000[m<sup>3</sup>]の配水がある。管網モデルには需要家の需要量、標高、管口径および管路延長等の管網計算に必要な情報のほか、Fig. 2の



Fig. 2 A hydraulic model

ように管路の接続情報がグラフ構造で入力されている。また管網計算には OSS である EPANET<sup>6)</sup>を用いた。

上記管網モデルには水利情報が無いため、実験では水道施設設計指針<sup>5)</sup>を参考に設置間隔100~200[m]毎に水利が一つあると仮定しモデルに設定した。

実験では管網内の特定箇所にて火災が起きたことを想定し水利指定技術を適用した。各パラメータの値は、同時に利用する水利数 $m$ を3[箇所]、想定放水量 $s$ を1[m<sup>3</sup>/min]、圧力の閾値 $p$ を10[m]とした。

### 4.2 実験結果

初めに、初期状態(放水なし)にて管網計算した結果を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 は火災地点(バツ印)付近の750 m 四方内にある管網(線)と水利(丸)を示している。また最も細かい線は75 mm 管を、最も太い線は250 mm 管を表している。水利の円内の数値は圧力[m]を示し、外部の数値は水利 ID を表している。初期状態では、全ノードで20[m]以上の圧力があり、実験で設定した圧力の閾値である10[m]を超えていることが分かる。

Fig. 3 の火災地点周辺の水利をリストアップし、火災地点との距離が近い順にソートした後、利用の優先順位を割り振った水利リストを Table 1 に示す。

次に優先順位1~3の水利(水利ID: 47, 51, 49)より放水した場合を Fig. 4 に示す。

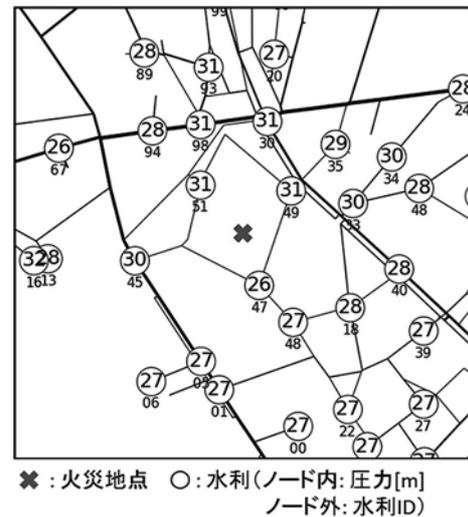


Fig. 3 A result of hydraulic simulation when no hydrants are discharged

Table 1 Hydrants list with priority for fire fighting

優先順位	水利 ID
1	47
2	51
3	49
4	48
5	45

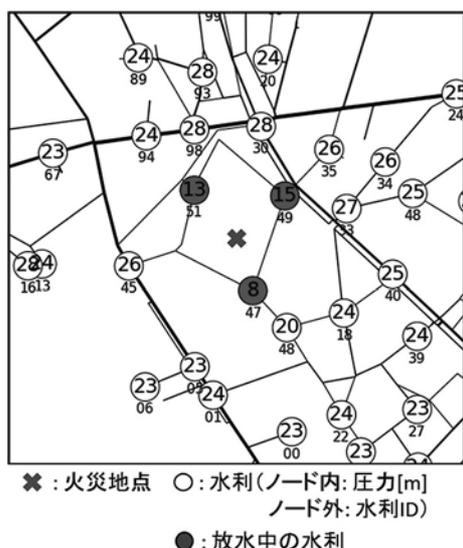


Fig. 4 A result of hydraulic simulation when hydrants of 1-3 priority are discharging

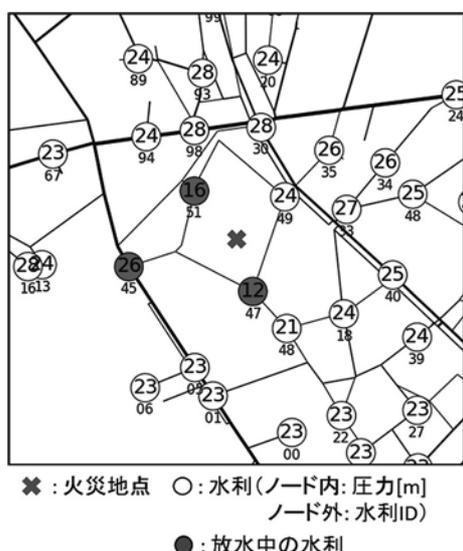


Fig. 5 A result of hydraulic simulation when hydrants of 1, 2, 5 priority are discharging

Fig. 4 は火災地点に最も近い水利3箇所から放水した場合における管網内の圧力を示している。放水している水利（中塗りの丸）においては Fig. 3 に比べ圧力が半分以下に減少している。特に 47 の水利では圧力が閾値である 10[m] を下回っており、水利共倒れ現象が発生し、放水困難になっていると想定される。

そこで水利指定技術により、優先順位3である 49

の水利の代わりに別水利の利用を検討する。まず優先順位 4 の 48 の水利を考え、47, 51, 48 の水利より放水した場合の管網計算を行った。しかし 47 の水利の圧力は 7[m] となり閾値を上回らなかった。次に、優先順位 5 の 45 の水利を利用し、47, 51, 45 の水利から放水した場合の管網計算を行った。結果を Fig. 5 に示す。

Fig. 5 では放水中の全水利にて閾値である 10[m] 以上の圧力が確保できており、同時放水時にも水利共倒れない水利の組合せが得られている。

本実験を通して、水利指定技術が同時放水時にも圧力確保可能な水利の組合せを得られる見込みを得た。

## 5. おわりに

本稿では、消火活動の妨げとなる水利共倒れ現象の発生を抑制する技術について報告した。提案手法では、まず出動前に管網計算を用いて各水利の圧力を算出し、予め同時放水時にも圧力確保可能な水利の組合せを決定する。予め出動車両へ得られた水利の組合せを割り当てることで、出動後に現場での水利共倒れ発生を抑制する。実験では管網計算を用いて水利共倒れ現象の発生を予測し、また水利の組合せを変更することで水利共倒れ現象を抑制できる見込みを得た。

## 参考文献

- 1) 総務省消防庁 HP, 消防統計,  
<https://www.fdma.go.jp/pressrelease/statistics/>, 2019/06/28 最終アクセス
- 2) 総務省消防庁 HP, 消防白書,  
<https://www.fdma.go.jp/publication/>, 2019/06/28 最終アクセス
- 3) A. H. G. S. Williams, Hydraulic Tables, John Wiley and Sons, (1933)
- 4) 総務省消防庁 HP, 消防水利の基準,  
<https://www.fdma.go.jp/laws/kokuji/post27/>, 2019/06/28 最終アクセス
- 5) (財)日本水道協会, 水道施設設計指針 2012, (2012).
- 6) L. A. ROSSMAN, EPANET User's Manual, US Environmental Protection Agency, (1993)