

漏水検知システムの開発

(株)ニュージェック ○奥田尚史
(株)ニュージェック 五十嵐徹
(株)ニュージェック 中出裕也
(株)ニュージェック 太田圭亮

論文要旨

現在、配水管の老朽化による漏水が発生しており、収益低下、事故発生リスクが増大している。また、漏水箇所の特特定は人海戦術となるため、時間を要するほか、コスト高、技術者の減少も課題となっている。そこで弊社は、配水管網に圧力計および伝送装置を設置することにより、水圧データをリアルタイムに取得し、面的な水圧分布を描き、通常時と異常時の水圧分布の変化量で漏水箇所を絞り込む仕組みを開発し、特許を取得した内容を報告する。

キーワード：漏水検知, 状態監視, 遠隔監視, 特許

まえがき

水道管の老朽化による漏水等事故発生件数の増加に対し、全国の自治体職員数は減少し、十分な点検が難しくなる状況下で、今後の維持管理は、TBM(定期保全)からCBM(劣化傾向の管理による点検時期を最適化した保全)への移行が必要となる。

一方、現状の水道管の点検は、現地による音聴調査が主体であり、非効率的である。上記の維持管理課題を踏まえると、現地へ行かずして漏水の発生箇所を検知できるシステムの需要は高いと考えられる。

1. 現在の漏水監視、検知手法

現在、主な漏水監視や検知の手法としては2種類ある。

- ・配水ブロックの最上流部に流量計を設けての遠隔監視(流量監視)
- ・配管の音(振動)を監視(配管音監視)

流量監視では、深夜帯における流量の変化から配水ブロック単位での漏水の検知を行っている。配水ブロック内でも広範囲のため漏水箇所の特特定は人海戦術となっている。流量計を増やせば絞り込み範囲を縮小できる一方、流量計はコストが高く、また不断水施工(バイパスを設ける等)の設置となり設置数の増加は難しい。

配管音監視では、漏水時に発生する特有の振動の検知を行っている。センサは特に施工なしで設置が可能であるが、センサの検知できる範囲が限定的であるため、ブロック内を網羅するには複数台設置する必要がある。

2. 弊社の漏水監視、漏水検知手法

弊社の漏水監視、漏水検知手法は圧力計を設置し、得た圧力データから面的な解析(独自のアルゴリズムの結果をコンター図で表現など)を行う方法である。

圧力計は不断水で設置(サドル分水栓の設置、既存消火栓の使用)が可能であり、機器自体も安価で、流量計に比べ設置のハードルが低い。

上記のメリットがある圧力計ではあるが、圧力計を用いて管網の状態を監視している自治体は少なく、監視していたとしても管網の入り口の1箇所のみなど測定点は少ない。そのため、圧力データを等圧線、コンター図等で表現するシステムは水道業界にはなかった。

また、取得したデータは、伝送装置からインターネットを経由して事務所のサーバーやクラウドサーバーへ転送され、机上でデータ確認が行える。

漏水検知の手法としては、通常時と漏水発生時を比較した水圧分布の変化量を面的に表現し、単位法線ベクトル変化量を用いた独自の評価方法(特許取得)で漏水を判定する。

3. 漏水検知のアルゴリズム(評価方法)

漏水検知システムの漏水検知フロー図を図-1に示す。

漏水検知のフローとしては主に下記のステップで行われる。

Step1: 動水位の算出

Step2: 動水位分布の算出

Step3: 動水位分布面の単位法線ベクトル変化量の算出

Step4: 単位法線ベクトル変化量の可視化(コンター図)



図-1 漏水検知フロー図

(1) 動水位の算出

静水圧と静水位、動水圧と動水位のイメージを図-2に示す。配水管内に、かかる圧力には静水圧(流れが無い時)と動水圧(流れがある時)がある。静水圧と動水圧では、標高(位置エネルギー)によって水圧にバラつきが生じる。

この標高差による水圧変化を無くすために標高を加味した動水位(位置エネルギー+動水圧)を算出する。なお、動水圧でも漏水検知は可能であるが、高低差による水圧変化が含まれるため検知精度が劣ることが考えられる。

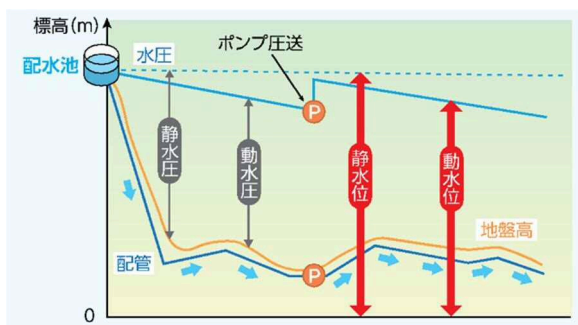


図-2 静水圧と静水位、動水圧と動水位のイメージ

(2) 動水位分布の算出

動水位分布は算出された動水位から、基準データと比較データ(例:通常時データと漏水時データ)を用いてそれぞれ作成す

る。作成の際は各センサー位置を線形補間して、メッシュ作成と三角形分割を行う(図-3)。

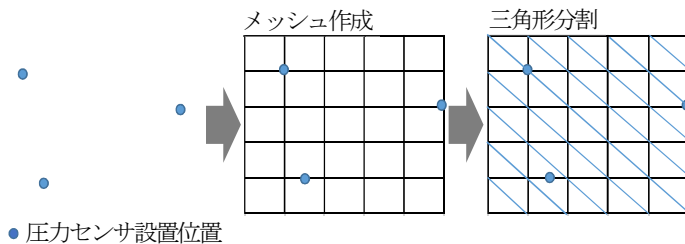


図-3 三角形の作成イメージ

(3) 単位法線ベクトル変化量の算出

作成した動水位分布(三角形分割)から面に対して垂直な単位法線ベクトルを算出し、通常時(非漏水時)と異常時(漏水時)の法線ベクトルの差を算出する。

算出方法のイメージを図-4に、算出に必要なパラメータを図-5に示す。

通常時単位法線ベクトルを n 、異常時単位法線ベクトルを n' としたとき、単位法線ベクトル差(変化量)は、 $|n-n'|$ (両ベクトルの差の大きさ)であらわされる。また、法線ベクトル変化量を変化量の最大値で割ったものを「漏水強度」と定義する。

単位法線ベクトルの算出方法は次頁のとおりである。

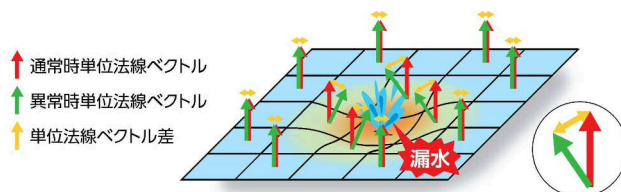


図-4 単位法線ベクトル差(変化量)のイメージ

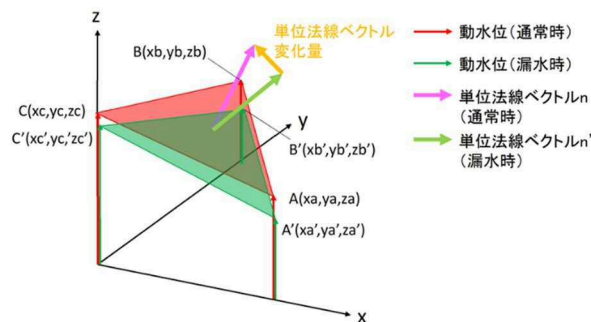


図-5 単位法線ベクトル差(変化量)算出に必要なパラメータ

同一平面内において平行でない2つのベクトルの外積が法線ベクトルになる。 $\vec{AB} = a$, $\vec{AC} = b$ とすると、 a , b は次のように求められる。

$$a = (xb - xa, yb - ya, zb - za)$$

$$b = (xc - xa, yc - ya, zc - za)$$

よって、x, y, z 各軸方向の単位ベクトルをそれぞれ ex , ey , ez とすると、法線ベクトル c は、

$$c = a \times b = \begin{vmatrix} ex & ey & ez \\ xb - xa & yb - ya & zb - za \\ xc - xa & yc - ya & zc - za \end{vmatrix}$$

$$= \{(yb - ya)(zc - za) - (yc - ya)(zb - za)\} ex$$

$$+ \{(zb - za)(xc - xa) - (xb - xa)(zc - za)\} ey$$

$$+ \{(yc - ya)(xb - xa) - (yb - ya)(xc - xa)\} ez$$

よって、法線ベクトル c を $c = (c1, c2, c3)$ として、成分表示すると、

$$c1 = (yb - ya)(zc - za) - (yc - ya)(zb - za)$$

$$c2 = (zb - za)(xc - xa) - (xb - xa)(zc - za)$$

$$c3 = (yc - ya)(xb - xa) - (yb - ya)(xc - xa)$$

従って、通常時単位法線ベクトル n は、 $n = c / |c|$ となる。 ($|c|$: 法線ベクトル c の大きさ)

なお、

$$|c| = \sqrt{[(yb - ya)(zc - za) - (yc - ya)(zb - za)]^2 + [(zb - za)(xc - xa) - (xb - xa)(zc - za)]^2 + [(yc - ya)(xb - xa) - (yb - ya)(xc - xa)]^2}$$

また、異常時単位法線ベクトル n' も通常時と同様の手法で求められる。

(4) 単位法線ベクトル変化量の可視化

算出した漏水強度をコンター図として可視化する事で漏水想定箇所を可視化する事ができる。(図-6)

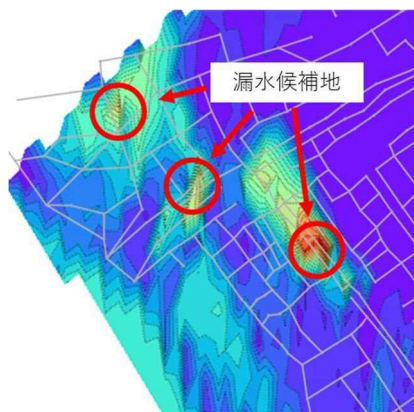


図-6 漏水想定箇所の抽出例

4. 漏水検知アルゴリズムの確認

(1) シミュレーション

管網計算ソフトで仮想管網を作成し、アルゴリズムで漏水箇所の特定が可能か確認を行った。

条件は下記の通りである。

- ・配管口径は 75A
- ・流入箇所は節点 3 番 動水位は 15m
- ・漏水箇所は節点 27 番 漏水量は 2L/s

結果(図-7) から法線ベクトル変化量での漏水箇所の抽出は可能であることが確認された。

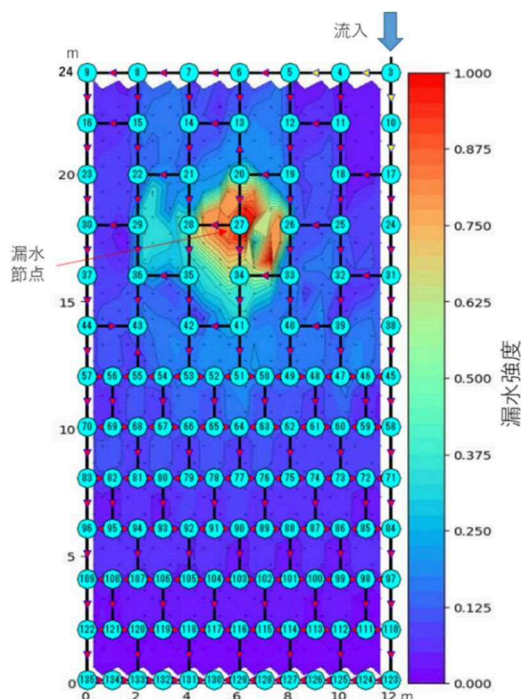


図-7 法線ベクトル変化量を用いた漏水箇所抽出結果

(2) 模型実験(実証実験)

某所に管網計算で作成した管網を再現し、模型実験(図-8)を行った。

実測値と同じ条件で計算を行いほぼ同じコンター図の作成が行えることを確認した。(図-9)



図-8 某所実証実験状況

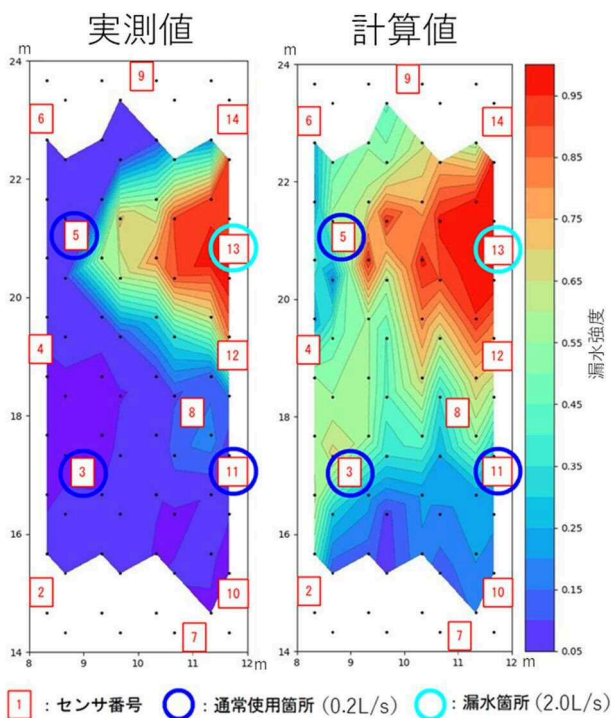


図-9 実測値と計算値の漏水強度結果比較

(3) 実管網の管網計算

某自治体を事例として、4種類のデータを用いてコンター図を作成した(図-10)。①-2の様に漏水時の動水位だけでは漏水箇所が特定できない。③のコンター図では漏水箇所付近の変化が顕著に表れており、単位法線ベクトルの変化量を用いた漏水検知手法が有効であると判断できる。①-1と①-2の差分である②動水位の変化量であっても、始点(配水池)の水位を同じとする場合は、漏水箇所の抽出は可能である。しかし、実際は配水池水位が変化すると管網内の動水位も変化するため、動水位の時間変化に着目しても漏水箇所を判別することは困難と考える。

れる範囲が広がっている事がわかる。(300mは漏水に近い節点を選択されたため顕著になったと考えられる。)一方、ベクトル変化量では、センサ設置間隔に大きく左右されることなくおよそその漏水箇所を示している。ただ、漏水箇所以外の箇所も漏水として表現されている。これは、漏水によって管網全体の流量が増えたことにより、配管が流量に対応できていない箇所が表現されていると考えられる。流量に対応できていない箇所を予め把握することで、より漏水箇所を絞り込みすることが可能であると考えられる。

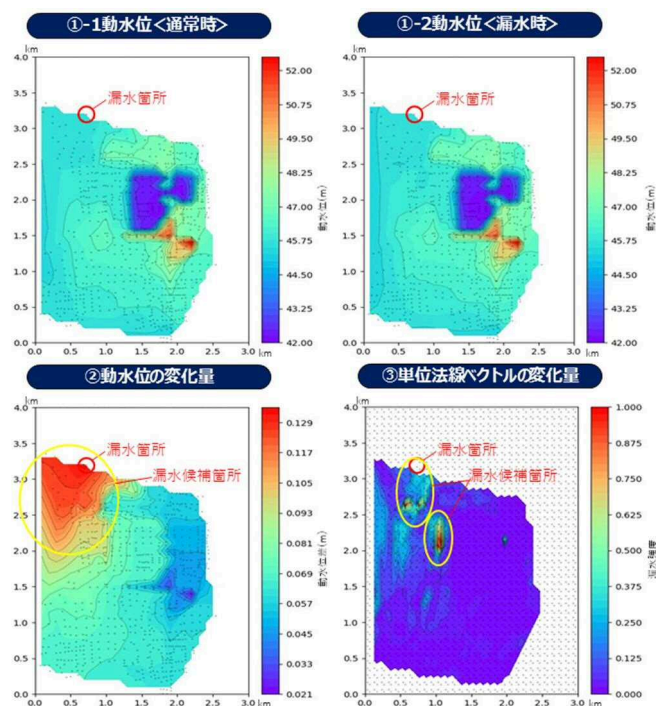


図-10 実管網の解析結果

(4) 実管網センサ設置間隔による動水位差とベクトル変化量の違い

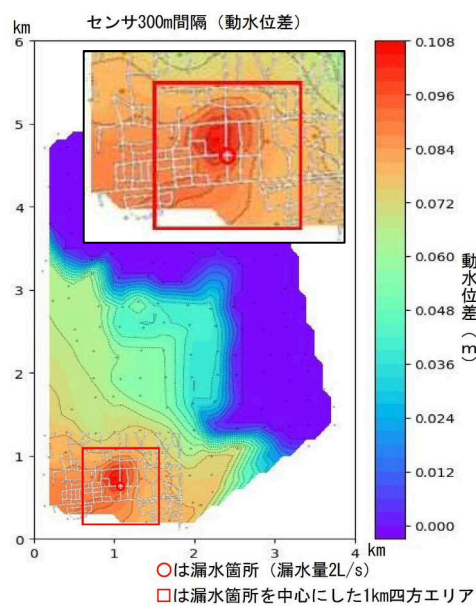
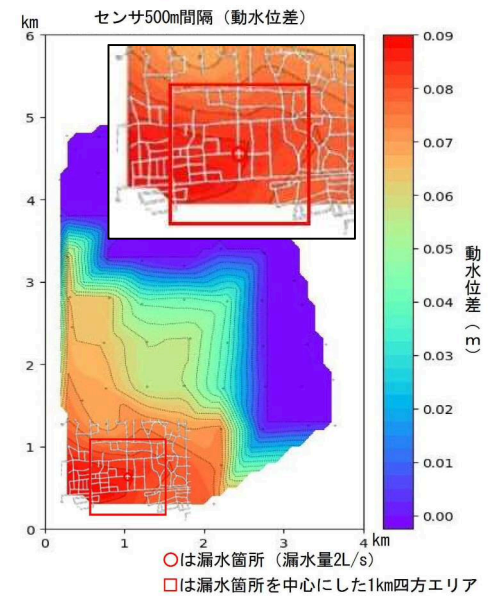
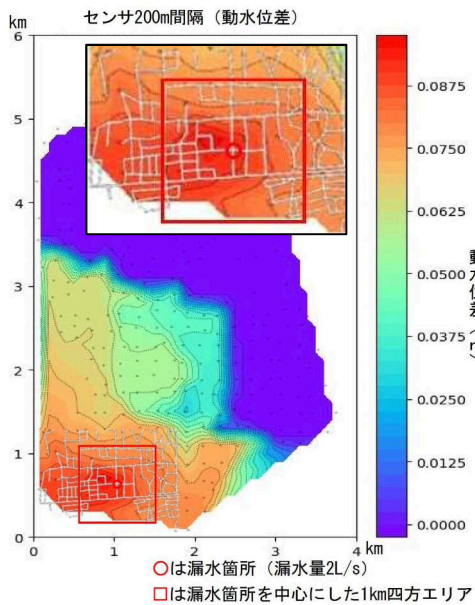
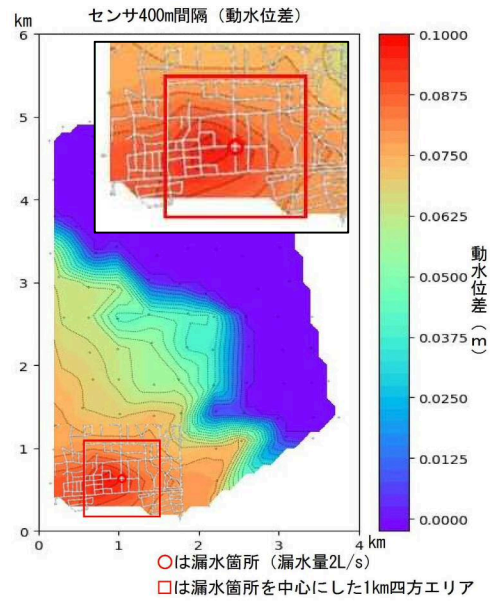
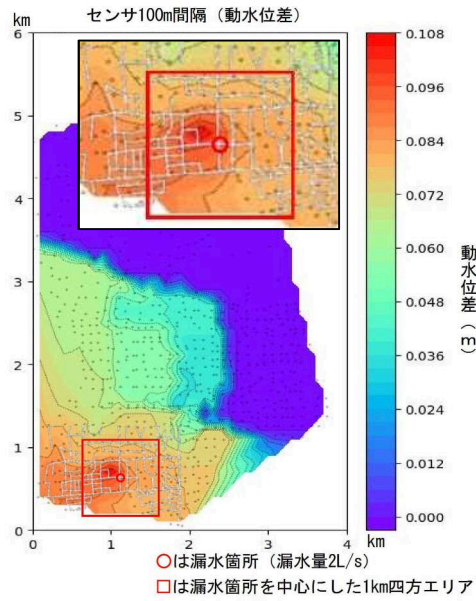
某自治体を事例にシミュレーションを行いセンサ設置間隔(100m, 200m, 300m, 400m, 500m)による動水位差とベクトル変化量の違いを確認した。

条件は下記のとおりである。

- ・管路上に均等にセンサ設置は困難であるため、センサ設置間隔に合わせたメッシュに区切り各メッシュの中心に近い節点データを用いる。(漏水箇所の節点は除く)
- ・漏水量は2L/s

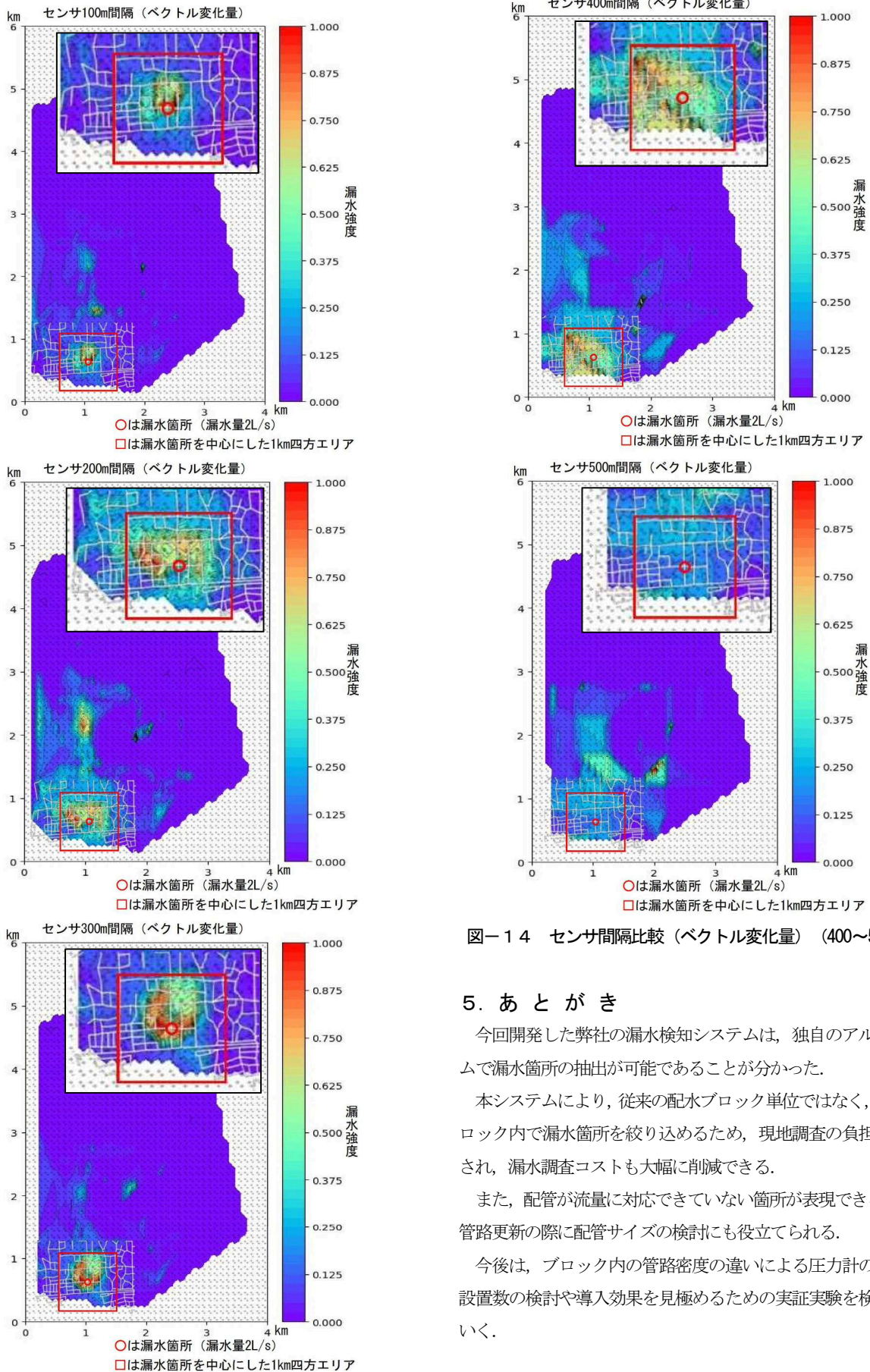
動水位差の結果を図-11、図-12ベクトル変化量の結果を図-13、図-14に示す。

動水位差では、センサ設置間隔300mを除いて、漏水と考えら



図一 1 2 センサ間隔比較 (動水位差) (400~500m)

図一 1 1 センサ間隔比較 (動水位差) (100~300m)



図一13 センサ間隔比較(ベクトル変化量) (100~300m)

図一14 センサ間隔比較(ベクトル変化量) (400~500m)

5. あとがき

今回開発した弊社の漏水検知システムは、独自のアルゴリズムで漏水箇所の抽出が可能であることが分かった。

本システムにより、従来の配水ブロック単位ではなく、配水ブロック内で漏水箇所を絞り込めるため、現地調査の負担が軽減され、漏水調査コストも大幅に削減できる。

また、配管が流量に対応できていない箇所が表現できるため、管路更新の際に配管サイズの検討にも役立てられる。

今後は、ブロック内の管路密度の違いによる圧力計の最適な設置数の検討や導入効果を見極めるための実証実験を検討していく。