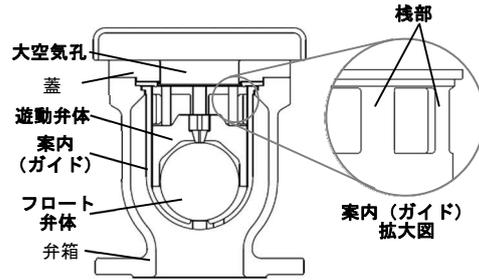


水撃発生時における空気弁破損の原因と検証

○中村 海斗（清水合金製作所） 宮島 昌克（金沢大学名誉教授）
 川崎 幸一（清水合金製作所） 小谷 久人（清水合金製作所）
 竹内 僚佑（清水合金製作所）

1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災における管路付属設備の布設年度被害調査¹⁾において、近年の管路やバルブ類の耐震化により仕切弁と消火栓の被害率が減少傾向にあるのに対し、空気弁は略変わらず多くの被害報告があった。このことは空気弁特有の現象に起因したものであり、その被害形態は内部部品の破損が最も多いことを表している。破損の内訳を図1の空気弁の構造と破損部品割合に示す。最も多く破損している案内（ガイド）は主に棧部が破断しており、地震により管内が一時的に負圧になりフロート弁体が降下した後、急速に充水され大空気孔を急閉止することで発生する圧力上昇（水撃現象）が影響している。



破損部品	被害割合 [%]
案内（ガイド）	40.8
遊動弁体	34.7
フロート弁体	10.2

図1 空気弁の構造と破損部品割合

また玉瀬ら²⁾は、隔壁となる案内の構造上、発生した水撃圧が案内内側に留まり、局所的に圧力が増幅したことで棧部に過大な応力が集中したことが原因と推察している。

本研究では、上記破損原因を検証するために空気弁に急速充水した時の内部部品の挙動を撮影、解析し、案内内外の圧力及び棧部のひずみを測定する試験を行ったので報告する。

2. 試験概要

評価試験用空気弁を図2に示す。圧力センサ受圧部を空気弁の案内内側と案内外側に設置。案内の棧部上側根元にはひずみゲージを縦、横の二軸で取り付けけた。また、急速充水された際の内部部品の挙動を確認するため、案内及び弁箱を透明樹脂で製作し高速度カメラを用いて撮影した。

急速充水試験の概要を図3に説明する。循環型配管に空気弁を立ち上げ、その下部に補修弁を全閉状態で設置しておく。設定圧力（0.1、0.3、0.5、0.75、1.0MPa）に加圧した状態で補修弁を急開させ、空気弁に急速充水させる。さらに透明立管を用いて充水状況を確認した。

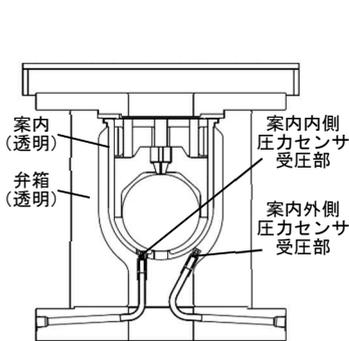


図2 評価試験用空気弁

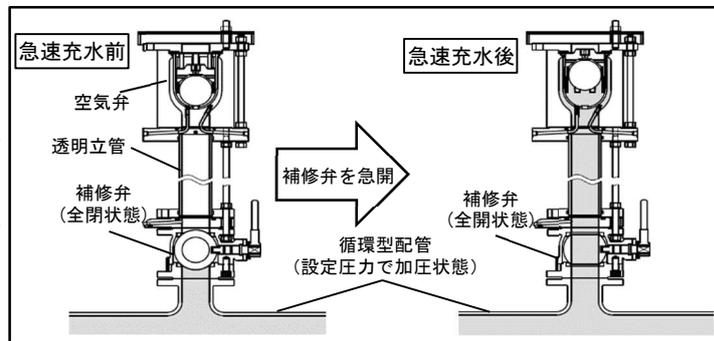


図3 急速充水試験の概要

水撃発生時における空気弁破損の原因と検証

3. 試験結果

3.1 案内内側、外側による差圧とひずみの関係

一例として設定圧 1.0 MPa で急速充水した時の案内内側と案内外側の圧力を図 4 に示す。案内内側の圧力が遅れて上昇する傾向が見られ、案内内側で 6.2 MPa、案内外側で 6.1 MPa の最大水撃圧が時間差で発生した。案内内側から案内外側を差し引いた差圧と案内の縦ひずみ、横ひずみを表したグラフを図 5 に示す。縦ひずみが正負に大きな挙動を示している。これは栈部が引張と圧縮のひずみを交互に連続して受けていることを表す。差圧と縦ひずみを重ねてみると周期がほぼ一致している。差圧が負の時は、栈部に圧縮方向のひずみ、差圧が正の時は、引張方向のひずみを受けていることが分かった。

栈部は破断には至っていないが、ひずみゲージ近くに白化現象を確認した。

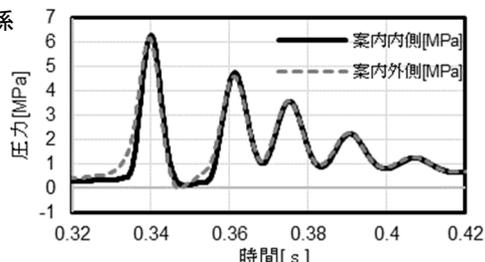


図 4 急速充水試験による案内内側、外側の圧力 (設定圧 1.0 MPa)

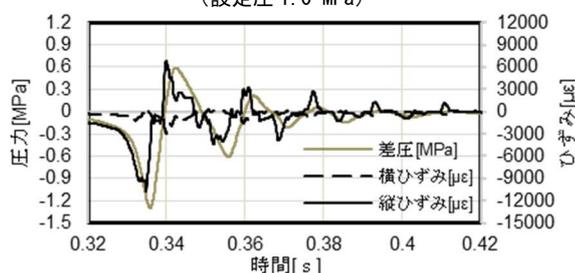


図 5 差圧とひずみの比較

3.2 差圧とひずみによる案内への引張応力比較

玉瀬ら²⁾の仮説では、栈部の破断原因を引張によるせん断破壊としているため、試験結果より、最大縦ひずみから栈部 1 本にかかる引張応力を算出し、正の最大差圧から算出した栈部 1 本にかかる引張応力との比較を図 6 に示す。設定圧力が大きくなるにつれ栈部への引張応力も大きくなっていることが分かる。また、縦ひずみから算出した引張応力の値が差圧から算出した引張応力より略同じ割合で大きい。このことは、引張直前に圧縮応力が加わっていること、圧縮から引張に転じる際のひずみ速度が速く材料が高速変形したことなどの影響が考えられ、栈部根元に応力集中したため縦ひずみが大きくなったと推察する。

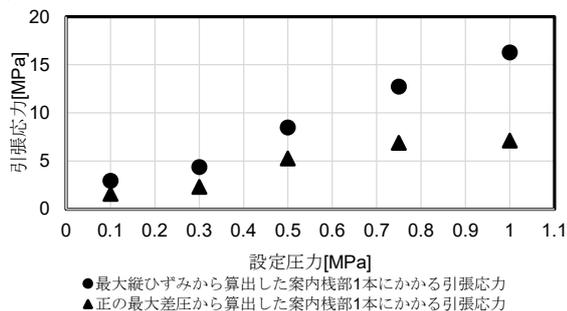


図 6 縦ひずみ及び差圧から算出した引張応力比較

4. おわりに

本研究では、空気弁の大空気孔急閉止に伴う水撃圧力が案内の隔壁により案内内側、外側の差圧を生じさせ、その差圧によって案内栈部に引張、圧縮の応力を繰り返し与えていることを確認した。

一方、最大縦ひずみ及び最大差圧から算出した引張応力比較では、ひずみ速度の影響により縦ひずみが大きくなったと推察した。本試験では、案内栈部根元の白化現象は確認できたが栈部の破断までには至っていない。空気弁が破損する地震時と同等の水撃現象の再現が今後の課題となる。

管路全体の耐震性向上のためには、空気弁をはじめとする管路附属設備の耐震化が重要な要素であると考え今後も研究を進めていきたい。

[参考文献]

- 1) 日本水道協会；平成 23 年東日本大震災における管本体と管路附属設備の被害調査報告書 (2012)
- 2) 玉瀬充康、宮島昌克；地震時の水道管路内の水圧変動による空気弁被害に関する研究 (2018)