

埋設用メタルシートバタフライ弁の開発

Development of Underground Metal Seat Butterfly Valves

尾形吉信* 桑原 隆*

Yoshinobu Ogata Takashi Kuwahara

近年、アセットマネジメントが水道事業体にも浸透し、LCC（ライフサイクルコスト）の低減が重要視され、長寿命水道用管の採用が進められている。これに伴い管路中に据え付けられる弁にも長寿命化が求められ、現在主流のゴムシートバタフライ弁から、メタルシートバタフライ弁にシフトする動きが見られるようになった。このような流れから今後メタルシートバタフライ弁の需要が高まると見込まれる。

今回、メタルシートバタフライ弁では困難とされてきた、土圧などを受ける土中環境下においても止水性能が保たれる、埋設用バタフライ弁を開発したので、ここに報告する。

Recently, asset management has become widespread among water utilities, and LCC (Life Cycle Cost) is being emphasized, which has led to the increasing utilization of long-life valves. Eventually, the valves that are installed in between pipelines will also be expected to be long-life, and therefore there is a movement toward shifting from common rubber seat butterfly valves to metal seat butterfly valves. Accordingly, demand for metal seat butterfly valves will be increasing from now on.

However, metal seat butterfly valves seem to be difficult to use in underground condition, which cause a decline in seating performance due to the earth pressure. We have invented an underground metal seat butterfly valve that keeps its performance, and we will report about it here.

1 はじめに

従来より水道用管路にはバタフライ弁が数多く設置されてきた。昨今、水道用管の長寿命品の登場に伴い、それらの管路中に据え付けられる弁にも長寿命化が求められてきている。

水道管路バタフライ弁には、ゴムシートバタフライ弁が多く用いられてきたが、ゴムシート部材の経年劣化という課題がある。そこで、弁箱弁座が取替可能なバタフライ弁も開発されたが、一般的に土中埋設される弁の弁座取替には多大な費用がかかり、実際に弁座取替工事が実施された例はほとんどない。

一方、金属同士の弁座を持つメタルシートバタフライ弁は、ゴムシートに比べ経年劣化が少なく性能の長期保持が可能であるが、止水性能の確保には高精度の弁座加工が求められる。また、土中埋設による土圧の影響や、前後の管の影響により高精度で加工された弁座が変形し、弁座漏れを引き起こす可能性がある。

本件は、土中埋設時にも弁座が変形せず、止水性能が保たれるメタルシートバタフライ弁を開発したので以下に報告する。

2 弁構造

2.1 止水構造と可動弁体弁座構造

図1にバタフライ弁の一般的な軸偏心構造を示す。

バタフライ弁は、図1に示すように弁体と弁棒の中心軸が一致した同心軸型と、弁体が軸中心に対し偏心した偏心構造型が数種存在する。

一般的に偏心構造型のバタフライ弁の止水性能は、流体の流れ方向に依存し、特に金属同士の弁座を持つ弁はこの傾向が顕著である。その時々で流れ方向が変化する水道管路に用いるバルブには流れ方向に依存しない止水性能が求められる。

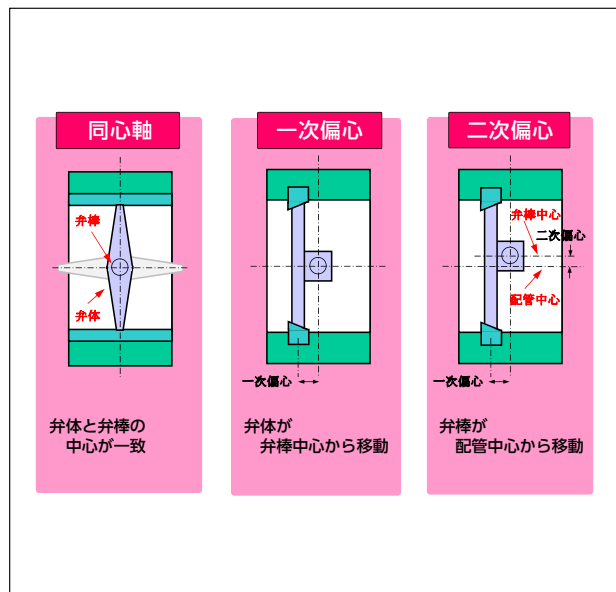


図1 バタフライ弁の軸偏心構造

*バルブ事業部 バルブ技術部

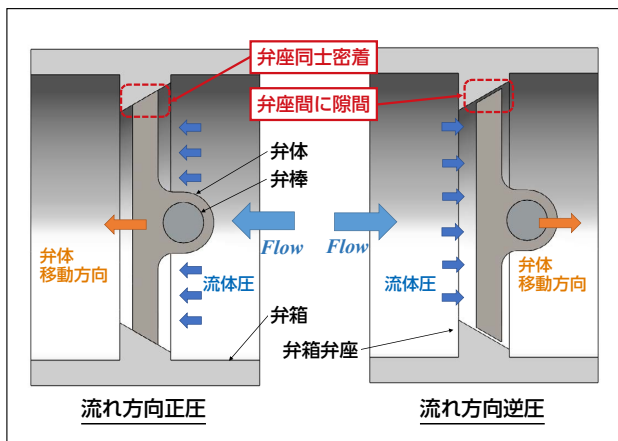


図2 バタフライ弁の流れ方向と弁体挙動

図2は、流れ方向による弁体の挙動と止水状態を示したものである。流れ方向が正圧（弁棒側からの流れ）の場合、流体圧により弁体が弁箱弁座に押しつけられることで止水性能が確保される。一方、逆圧（弁棒と逆側からの流れ）の場合、流体圧により弁体が弁箱弁座から離れる方向に移動、変形するため流体圧が高くなるほど止水性能が低下する傾向がある。従来からこの構造特性を克服するため、弁座に金属弾性体シートを用いるなどの方法で対応してきた。

対して今回開発した止水構造は、「可動弁体弁座構造」とし、両流れに対応したものである。

図3に逆圧時に止水性能を確保するため流体圧により弁体弁座を弁箱弁座に押し付けるしくみを示す。

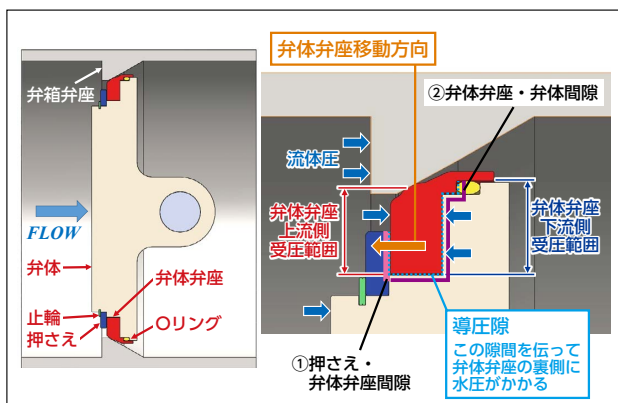


図3 可動弁体弁座構造と動作原理

弁体部材は弁体、弁体弁座、押さえ、止輪、Oリングの5部品から構成される。弁体弁座は締結材（ボルトなど）により固定されておらず、止輪により脱落を防止されているだけである。

また、弁体弁座、弁体、押さえは組立時に隙間を有する。この隙間（導圧隙）即ち、①押さえ・弁体弁座間隙、②弁体弁座・弁体間隙は、弁体弁座の可動範囲となり、また、弁体弁座下流側に流体圧を導圧するための流路となる。さらに、弁体弁座下流側と上流側に受圧面積差を設けることで、弁体弁座に流体圧による推力が発生し、弁体弁座が流路軸線方向弁箱弁座側に移動する。

受圧面積と流体圧の関係から弁体弁座の推力は以下の式(1)より算出することができる。

$$F = (A_{out} - A_{in}) \times P \dots \text{式(1)}$$

F : 弁体弁座推力 [N]

A_{out} : 弁体弁座下流側受圧面積 [mm²]

A_{in} : 弁体弁座上流側受圧面積 [mm²]

P : 上流側流体圧力 [MPa]

この作用により、従来逆圧時に弁体の離脱に起因して低下していた止水性能の確保をすることができるようになり、流れ方向に依存しない止水性能を確保することができる。

2.2 土圧変形対策構造

水道管路に用いられる弁は、その多くが土中に埋設され、弁には土圧の影響が少なからず発生する。その影響の1つが弁座の変形である（図4）。

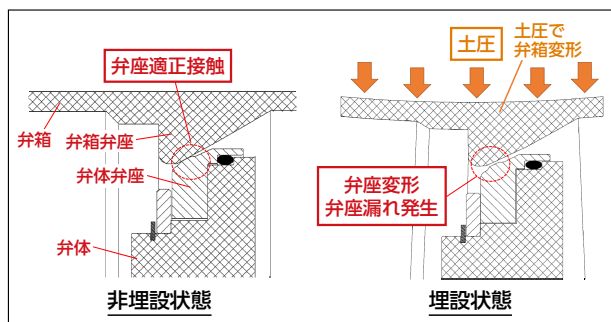


図4 土圧による弁座の変形

弁座の変形が弁座同士の隙間となり、弁座漏れの発生原因となる。また、弁座漏れのみならず、弁座同士の不均一接触により金属弁座の場合、焼き付きによる弁座損傷や弁開操作不能を引き起こすことも考えられる。

土圧の影響に加え、水道管路上においては、配管の不等沈下によって配管中の弁が変形する場合もあり、弁座の変形による弁座漏れの一因となることが想定される（図5）。

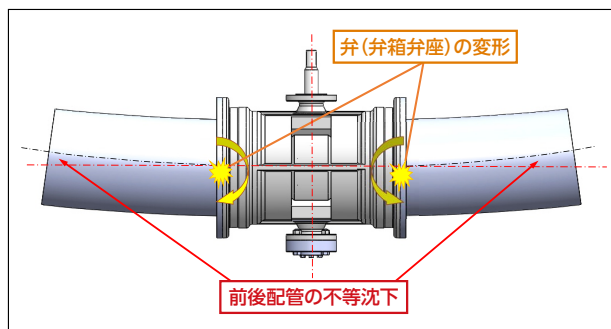


図5 配管の不等沈下による弁の変形

金属同士の弁座を持つ弁においては、特にこれらの外部因子を考慮した弁座構造とする必要がある。

前記の可動弁体弁座構造はこれらの外部因子の影響を緩和する機能も有しているが、可動範囲には制約があるため完全な対策とはなり得ない。多くの場合、弁の変形により止水性能に強く影響を受ける部材は、弁箱と一体となった弁箱弁座であり、この部材の変形対策が重要となる。

図6に今回考案した、土圧変形対策を施した弁箱弁座構造を示す。弁箱弁座は弁箱と分割構造とし、弁箱弁座、止輪、Oリングから構成され、弁箱弁座は径方向に移動可能とするための隙間を有する。また、弁箱弁座部材はボルトなどの締結材により固定されておらず、止輪により流路軸線方向にのみ脱落を制限されている。

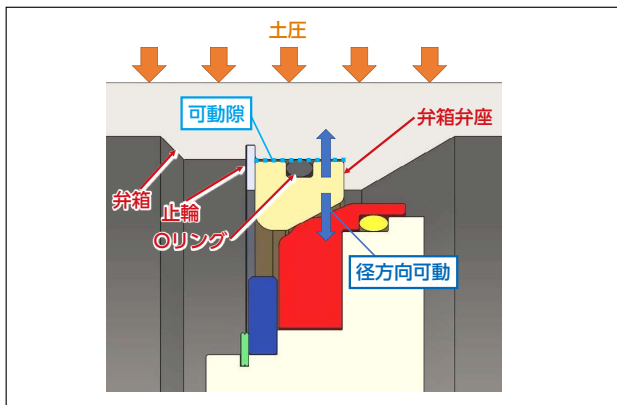


図6 弁箱弁座の変形対策構造

これらの構造により、土圧などにより弁箱が変形したとしても弁箱弁座は弁箱と固定されていないため、弁箱弁座自体の変形は発生しない。よって土圧などに起因する止水性能の低下などを防止できる。

2.3 自動調芯機構

可動弁体弁座構造と土圧変形対策構造は、弁箱弁座・弁体弁座それぞれが移動することにより実現する構造である。

図7に示すように各々の弁座は、流体圧と土圧などの異なる因子により移動するため、単体同士の移動では弁座の芯が揃わない。よって弁閉動作時に各々の弁座の芯

が揃うような構造である必要がある。即ち、この弁座同士の芯の一致とは、弁座シール面の確保であり、シール面が確保されなければ弁座漏れが発生する。両構造には、弁閉動作において、弁座同士が適正な位置に移動するに足りる可動範囲を有する。

両弁座、特に弁箱弁座は土圧による弁箱の変形による影響で垂直方向に芯ずれ傾向があり、弁体中心に対してずれが生じる。しかしながら、弁体弁座も移動することができるため、弁体弁座と弁箱弁座の中心は一致し、弁座シール面を確保することができる。ただし、この弁座同士が適切な位置をとるためには、弁閉動作中に弁箱弁座に対して弁体弁座がならう様に移動しなければならない。このときの弁座同士の摺動を軽減する為に、弁体弁座は球面形状とし、弁箱弁座はテーパ形状とした。これにより、弁座同士の接触は基本的には線接触となり、摺動抵抗の低減が見込まれる。

3 弁座漏れ試験

3.1 試験目的

可動弁体弁座構造の止水性能の確認を目的とした。併せて、固定弁座構造(従来構造)、弁箱弁座可動機構における止水性能の確認を行い、各構造の性能比較を目的とした。

3.2 試験条件

供試弁：φ150mm 2重偏心バタフライ弁+手動操作機 (図8参照)

弁箱弁座シール面：テーパ形状
弁体弁座シール面：球面

弁座方式：①両弁座固定形状

②弁箱弁座可動、弁体弁座固定

③弁箱弁座固定、弁体弁座可動
(それぞれの方式は図9参照)

試験設備：当社 水圧試験機 (図8参照)

試験方法：水圧試験機による水加圧、目視漏洩確認。

手動操作機操作によるトルク(ハンドリング)確認。
(JWWA B 138を参考)

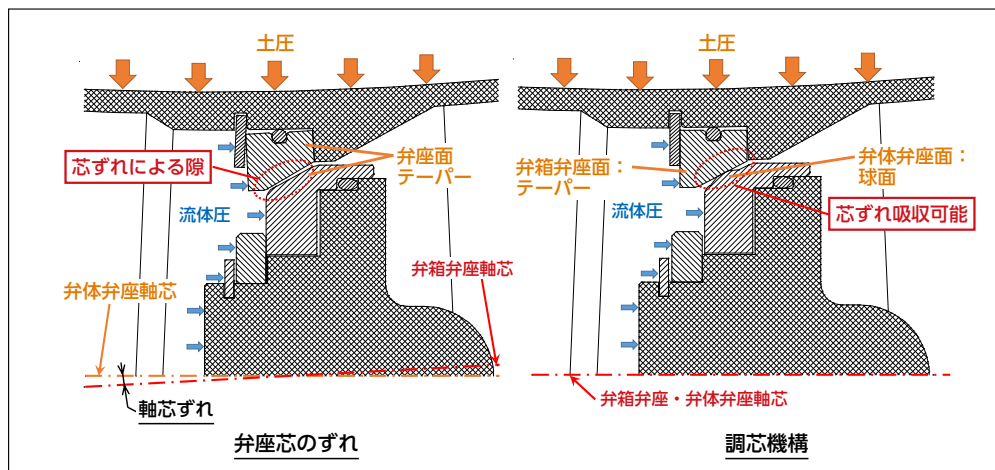


図7 調芯機構



図8 供試弁および漏洩試験状況

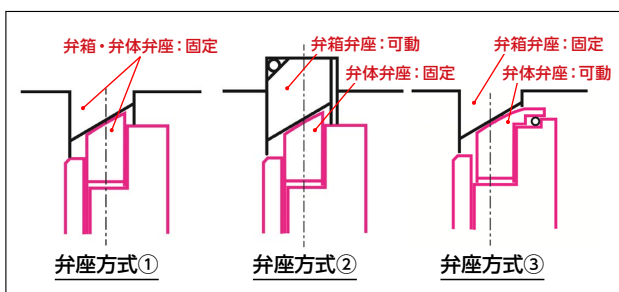


図9 供試弁の弁座方式

3.3 試験結果

表1に試験結果を示す。本試験では主に、逆圧における止水性能の確認を行った。

表1 弁座漏洩試験結果

| 弁座方式 | 弁体弁座 (球面) | 弁箱弁座 (テーパ) | 弁座漏洩 (試験圧 1.6MPa) | | 弁操作 トルク |
|------|--------------|---------------|----------------------|----|------------|
| | | | 正圧 | 逆圧 | |
| ① | 固定 | 固定 | ○ | × | △ |
| ② | 固定 | 可動 | ○ | ○ | △ |
| ③ | 可動 | 固定 | ○ | ○ | ○ |

前記の通り、弁座方式①の両弁座固定方式では、逆圧加圧時に、流体圧により弁体が弁箱弁座より離れる方向に移動したため、水圧加圧と同時に多量の弁座漏れが発生した。

弁座方式②および③においては、最大試験圧 1.6MPa まで弁座漏れが発生しなかった。弁座方式②においては、可動部材である弁箱弁座が流体圧により移動し、止水性能を確保したことにより、弁座漏れが発生しなかった。

しかし、弁箱弁座の移動により弁座同士の接触面圧が過剰となり、弁開操作トルクが3方式の中でもっとも高くなった。

弁座方式③においては、前記可動弁体弁座構造の作用により弁座漏れは発生しなかった。これにより、可動弁体弁座構造の逆圧止水性能の有効性の確認をすることができた。

4 弁開閉トルク測定試験

4.1 試験目的

弁座漏れ試験実流状態における弁操作性、弁操作トルクを測定することを目的とした。

4.2 試験条件

供試弁：φ 150mm 2重偏心バタフライ弁+手動操作機
弁座方式③（弁箱弁座固定、弁体弁座可動）

試験設備：当社 水理実験場

試験方法：弁通水状態に於いて弁棒に取り付けたひずみゲージにより、弁操作トルクを測定した。

試験圧力は、弁1次側圧力 0.45MPa～1.46MPa の間にて実施した。



図10 実流試験風景

4.3 試験結果

図11に試験結果を示す。なお、比較用に現行型メタルシートバタフライ弁(BT-M型)の計算トルクを併せて示す。

本研究による、可動弁体弁座構造を持つ供試弁は、現行型バタフライ弁の計算トルクに対して開操作側で平均35%、閉操作側で平均55%のトルク低減という結果を示した。弁閉操作に関して、可動弁体弁座構造は、概ね弁閉位置までの弁操作完了後に弁体弁座が移動するため弁閉操作時のトルク増加要因とはなりえていないと思われる。

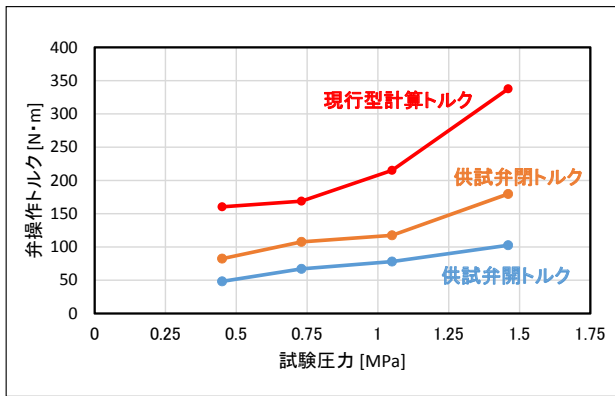
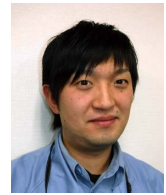


図11 弁操作トルク測定結果

執筆者：

尾形吉信

2010年(株)本山製作所入社
2015年より当社バルブ事業部にて
バルブ設計開発に従事



桑原 隆

1989年入社
バルブ設計開発に従事



5 まとめ

- 1) 埋設用メタルシートバタフライ弁の土中環境下での必要機能の検討を行った。主に求められる機能は、両流れ条件下での逆圧止水性能、土圧影響による止水性能低下防止機能、止水性能に影響する弁座同士の芯だし機能である。
- 2) 必要機能実現のための構造検討を行った。逆圧止水性能については可動弁体弁座構造、土圧影響については、弁箱弁座を可動構造とし、芯だし機能については、自動調芯構造により機能の実現が可能と考える。
- 3) 可動弁体弁座構造については、φ150mmの供試弁を製作し機能確認を実施し、逆圧条件下での止水性能が確保できることを確認した。また、現行型のメタルシートバタフライ弁に比べ操作トルクが低減することが確認できた。

6 今後の課題

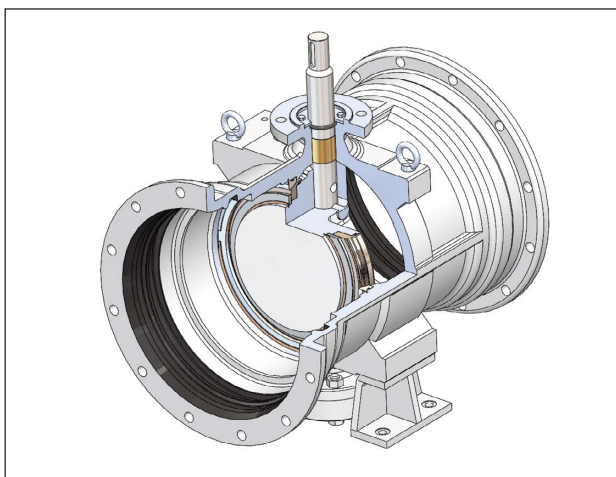


図12 耐震継手形最終供試弁

現段階では、可動弁体弁座構造の性能確認の段階に留まっている。現在、耐震継手形の最終供試弁(図12)を製作中であり製作完了後に土圧変形対策構造の実証のため耐震継手の評価方法である、屈曲試験(限界曲げモーメント荷重付加)を行う予定である。