

米国シカゴ向け大形ロートバルブ

池田尚文* 萩野光俊**
宮本隆雄** 見上大介**

Large Diameter Conical Plug Valves for Chicago's Tunnels and Reservoirs

by Naobumi IKEDA, Mitsutoshi HAGINO, Takao MIYAMOTO, & Daisuke MIKAMI

A total of six large-diameter, conical plug valves have been shipped to Chicago, U.S.A. to be used for flood control in Chicago's Tunnel and Reservoir Plan. Two of these valves were designed for use under high flow rates (45 m/sec.), at 30 minute opening and closing time, and to withstand occurrences of erosion, noise and vibration due to cavitations following opening/closing. As a measure against erosion, the plug body and plug were made from stainless steel plates and overlays. Compressed air injection ports have been installed to lessen cavitation and a large-capacity/high-lift-capable operator has been applied for coping with high torques. Lubricant-injection type bearings have been installed to enable lubrication. A water resistant, proximity switch system is also implemented for cylinder location detection.

Keywords: Conical plug valve, Mechanism for open and close, High velocity, Cavitation, Stainless steel overlay, Proximity switch, Dynamic torque, Lubrication system, Shut-off torque, Stress analysis by computer

1. はじめに

北米ミシガン湖の南西部に位置するシカゴはその昔から水害に悩まされてきた。しかし、1970年代に TARP (Tunnel And Reservoir Plan) と呼ばれる、雨水の一時貯留、ミシガン湖の水質保全、シカゴ川の氾濫防止、下水の雨水溢流による公共用水域の汚濁防止を目的とする巨大プロジェクトが実施に移されてからは水害による被害は大幅に減少している。

TARP (Tunnel And Reservoir Plan) の概要を図1に示す。

2. プロジェクトの概要

本プロジェクトは TARP の 1 プロジェクトで CUP (Chicagoland Underflow Plan) と名付けられており、バルブ室、リザーバ、トンネル等からなる。完成後は合計約 4000 万トンの貯水能力をもつといわれている。トンネルは

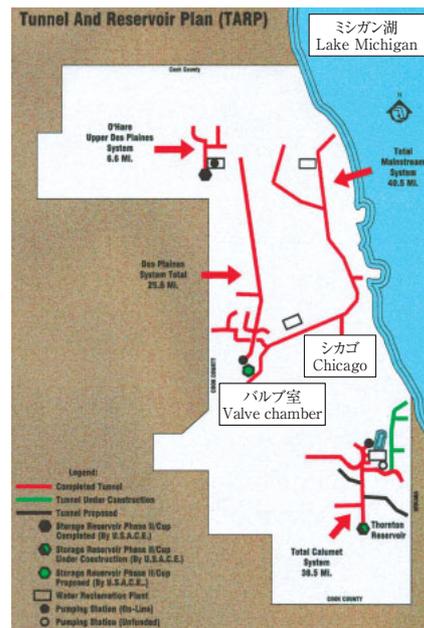


図1 TARP (Tunnel And Reservoir Plan) の概要
Fig. 1 Outline of TARP (Tunnel And Reservoir Plan)

硬い岩盤の下方、地下 100 m に設けられ、バルブ室も地下約 100 m の深さで、リザーバとポンプ場の中間に位置している。放流量の制御用バルブとしてロートバルブが採用された。その理由は、一つに全開時、配管と同一サ

* 風水力機械カンパニー カスタムポンプ事業統括部 羽田工場 水力技術室
** 同 同 同 同
第二グループ
** 同 同 同 ポンプ技術計画室
計画グループ

イズの真円になるため損失がゼロであること、二つに入り口側出口側2箇所絞る構造のため、耐キャビテーション性能はもとより、制御性も優れていること、三つに開閉動作中、シート面が離れるので摺動抵抗が軽減され、省エネルギーになることなどである。トンネルの径3.5 mを漸次1.5 mに絞ってロートバルブに繋ぎ、その後は再び3.5 mに戻し放流するシステムである。

当社は2003年に本プロジェクト用として、1524 mm (60インチ) ロートバルブを6台受注し、設計・製作を行った。設計条件のなかに、バルブの最大流速45 m/sという通常流速の10倍を超える特殊な仕様が含まれていた。このような高流速では巨大トルクに対応可能な開閉機構の開発やキャビテーションによる壊食及び振動・騒音の防止対策など、様々な対策を検討する必要があった。

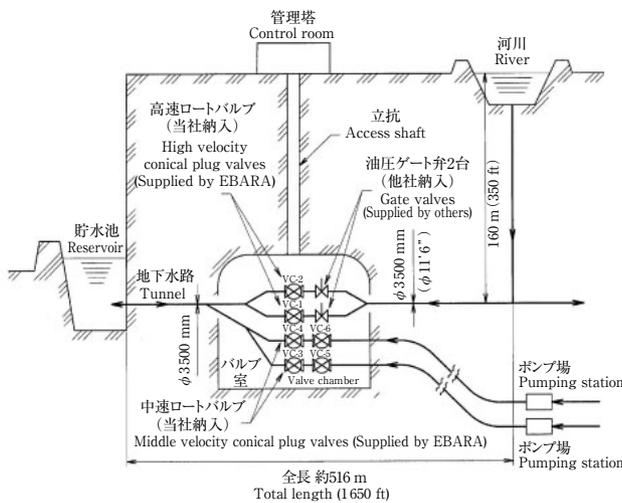


図2 現地のアウトライン

Fig. 2 Schematic diagram of Tunnel and Reservoir Plan

これらの特殊仕様を、いかにクリアし、工場試験まで到達したかについて報告する。

現地のアウトラインを図2に、バルブ室のレイアウトを図3に示す。

3. バルブの特徴

ロートバルブの主な仕様を表に示す。

ロートバルブの全景を写真に示す。

ロートバルブ外形図を図4に示す。

4. 特殊仕様の対応策

4-1 高流速に対するトルクの算定と開閉機構

ロートバルブの最大所要トルクは締め切りトルクとダイナミックトルクを比較して大きい方を採用している。高差圧下では締め切りトルクの方が大きく、高流速下ではダイナミックトルクの方が大きい。当然、本バルブで

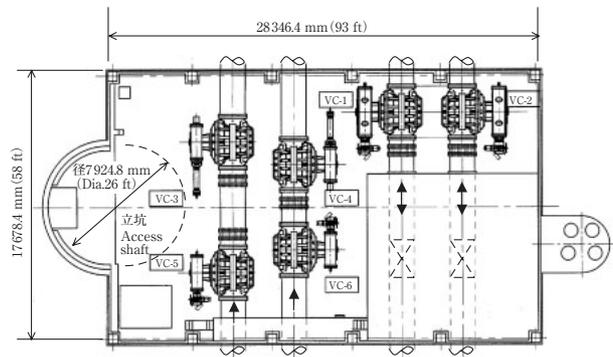


図3 バルブ室のレイアウト

Fig. 3 Layout of valve chamber

表 ロートバルブの主な仕様

Table Specifications of conical plug valves

号機名 Item No.	台数 Quantity	材料 (溶接構造) Material (Welded structure)	操作方法 Driving method	開閉時間 Closing/ Opening time	最大流速 Max. velocity	設計圧力 Design pressure
VC-1 VC-2	2	弁胴：ステンレス鋼板+ステンレス肉盛 Body: Stainless steel plate + Stainless steel overlay 弁体：ステンレス鋼板 シート：ニッケル合金 Plug: Stainless steel plate Seat: Nickel alloy overlay	電動式アクチュエータ モータ： Electric actuator Motor： AC460 V × 18.5 kW	約27分 Approx. 27 min.	45 m/s	2.07 MPa
VC-3 VC-4	2	弁胴：溶接構造用圧延鋼板 Body: Carbon steel plate 弁体：溶接構造用圧延鋼板 シート：ニッケル合金 Plug: Carbon steel plate Seat: Nickel alloy overlay	油圧シリンダ： Hydraulic cylinder： φ 285 mm × 1530 mm 圧油：20.6 MPa Oil pressure: 20.6 MPa	約25分 Approx. 25 min.	15 m/s	2.07 MPa
VC-5 VC-6	2	弁胴：溶接構造用圧延鋼板 Body: Carbon steel plate 弁体：溶接構造用圧延鋼板 シート：ニッケル合金 Plug: Carbon steel plate Seat: Nickel alloy overlay	電動式アクチュエータ モータ： Electric actuator Motor： AC460 V × 7.5 kW	約26分 Approx. 26 min.	15 m/s	2.07 MPa



写真 ロートバルブ全景 (VC-2号機)

Photo Photograph of conical plug valve (VC-2)

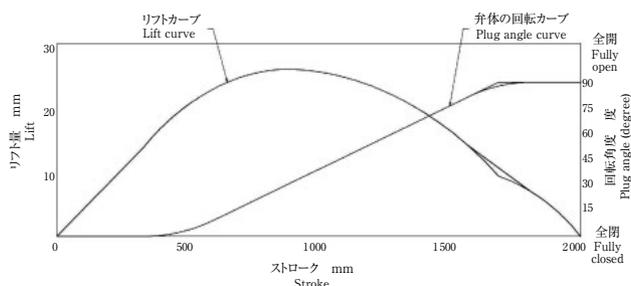


図5 リフトカーブ及び弁開度

Fig. 5 Lift and angle curve for plug vs. one stroke

06-04 01/210

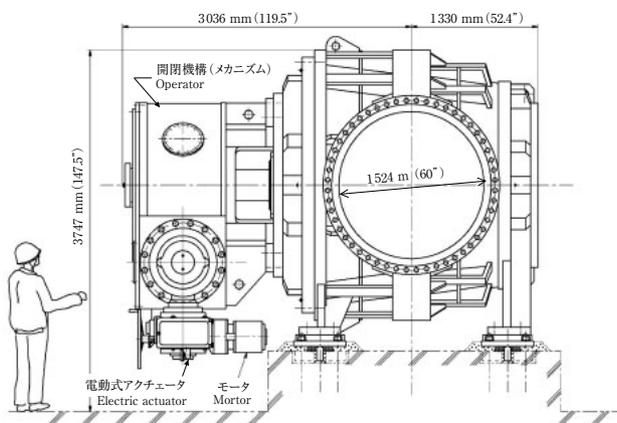


図4 ロートバルブ外形図 (VC-1号機)

Fig. 4 General view of conical plug valve (VC-1)

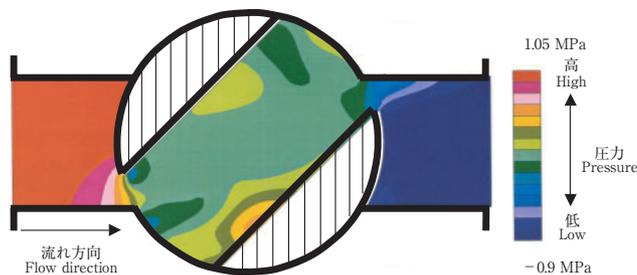


図6 ロートバルブ中間開度における圧力分布

Fig. 6 Pressure distribution at half-opened conical plug valve

はダイナミックトルクの方が圧倒的に大きく、45 m/sにおいて約700 kN-mに達することが分かった。

このような巨大なトルクに対応する開閉機構（リフト動作、回転動作及び着座動作を1ストロークで行うメカニズム）は実績がないため、新設計を余儀なくさせられた。完成した開閉機構は補機にもかかわらず本体に匹敵する大きなものになったが、従来の最大トルクを大幅に上回る機構が実現できた意義は大きい（写真）。

図5に開閉機構のストローク（mm）に対するリフト量（mm）及び弁開度（度）の関係を示す。

最大リフト量はシート面に付着するスケールなどを考慮し、大きめに設計している。

4-2 キャビテーションによる壊食（振動・騒音）対策

本ロートバルブの開閉時間は約30分と長く、開閉時のキャビテーションが予想されるため、次の対策を施した。

(1) 図6に示す流れ解析により低圧力部を特定し、空気混入によってキャビテーションを軽減するために給気口（1インチ×6箇所）を入口と出口に設けた。

(2) バルブ本体の壊食防止のため弁体と弁胴の側板はステンレス鋼板製とし、弁胴の底と蓋は鋼板内面にステンレスを肉盛した。

4-3 油圧シリンダの近接スイッチ

6台中2台は油圧シリンダによって開閉されるが、電動式のようにリミットスイッチが内蔵されていない。そのためシリンダエンド側（開側）と開閉機構エンド側（閉側）に近接スイッチを設けた。概略構造を図7に示す。

4-4 潤滑

ロートバルブの動力伝達はすべて摺動面を介して行われる。摺動面の摩擦を減ずることはバルブの運転上重要なことである。主な摺動面は次のとおりである。

- ◎本体の両軸受
- ◎開閉機構内のメインシャフトねじ部
- 回転力を伝達するローラとカム溝付アーム（ロータ）の摺動面
- 移動ブロック（クロスヘッド）めねじとねじ棒（スクリュウシステム）おねじ

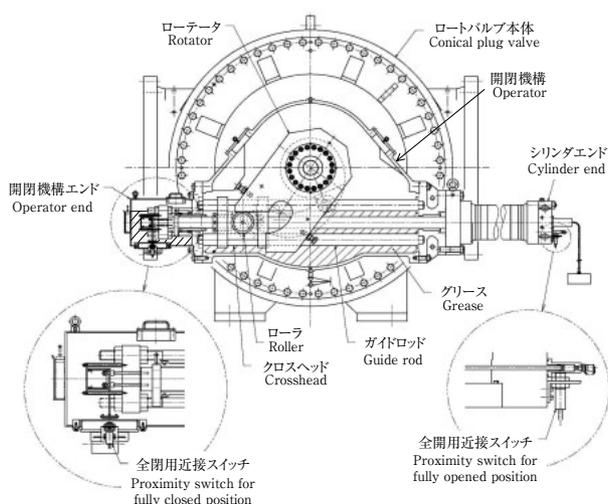


図7 油圧シリンダ駆動開閉機構の概略構造図

Fig. 7 Structural drawing of hydraulic cylinder mechanism

○クロスヘッドとガイドロッドの摺動面

前記◎印はバルブ室内に設けられたグリース給油装置により強制的に潤滑される。

一方○印はハウジング内にあらかじめ充填されたグリースによって駆動されるたびに潤滑される (図7)。

4-5 耐圧試験時の変形防止対策

本バルブの耐圧試験においては設計圧力の1.5倍 (3.1 MPa) の圧力が加わるので、変形が予想される。変形が残留するとシート面にすき間が生じシール性能低下が懸念される。そのため応力解析により応力と変形量を把握し、懸念される部分にはリブを加えるなどの対応を行い、変形防止対策を施した。例えば、円錐形胴体側面と円形流路が交差する溶接線まわりには縦リブを、一方圧力に弱い平板構造の蓋板と底板外面にはリング付リブを補強した。この結果、耐圧試験時の変形量は0.5 mm程度に抑えることができた。

耐圧試験の応力分布解析結果を図8に示す。

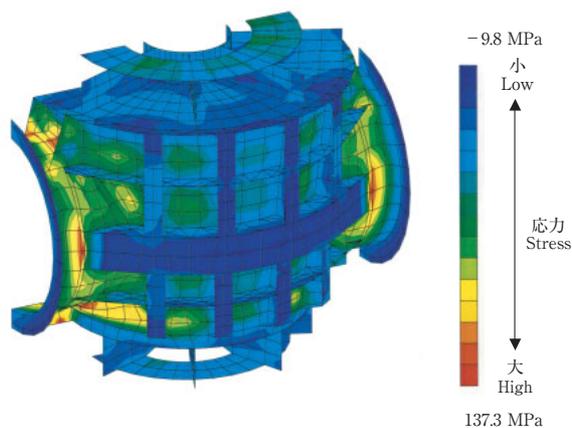


図8 耐圧試験時の応力分布

Fig. 8 Stress distribution during hydrostatic test

4-6 分解、組立及び輸送に関する考慮

本バルブは水平方向に設置されるが、組立は縦方向で行われるため、水平方向と縦方向の2方向にも設置可能な脚を設けている。

バルブの質量は約56 tであるため、一体での輸送については日本国内はもとよりアメリカ国内においても制約がある。また、現地バルブ室への搬入も立坑の制限から、一体では無理である。今回は羽田工場で各種試験を行い、試験後に4分割 (弁胴, 弁体, 弁胴カバー, 開閉機構) して袖ヶ浦工場へ搬入し、2分割 (バルブ本体, 開閉機構) に組み直した後、塗装, 梱包を行い、同工場の岸壁から船積みし横浜港へ運び、親船へ積み替えた。

5. おわりに

前述のように従来の国内仕様バルブと比較し、技術的難易度が高く種々の検討を必要としたが無事に顧客立会検査を終え、予定どおり出荷することができた。今後の現地工事も予定どおり進捗し、本プロジェクトの目的が達成されることを心から願う次第である。