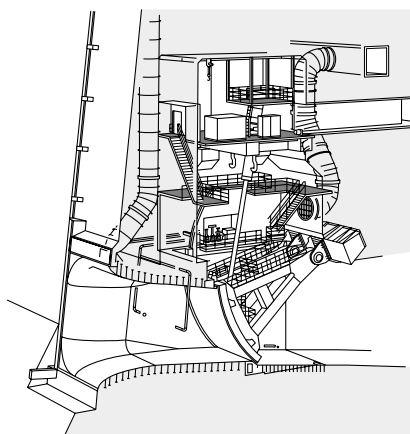


大滝ダム常用放流設備を支える高圧水密機構

High Head Water Seal Mechanism for Otaki Dam Conduit Gate

佐々木 章文 赤 見 正 司 椎 名 正 樹
菊 池 愛 子 今 村 建 二



近年、ダム建設においても“設備投資の縮減”という要求が高まっている。一方、災害防止という観点からは“設備の信頼性向上”も求められている。当社はこれらのニーズにこたえるべく、経済性、維持管理性に優れ、かつ高水压下においても高い止水性能が得られるしゅう動式水密機構を開発し、国内最大級の高圧ラジアルゲートである大滝ダム常用放流設備に採用され、平成14年3月に納入した。以下に大滝ダムに採用された高圧しゅう動式水密機構について紹介する。

1. はじめに

大滝ダムは奈良県吉野郡川上村を流れる紀の川水系紀の川に、洪水調節、流水の正常な機能の維持等を目的として建設されている多目的ダムである。

大滝ダム常用放流設備は、上段常用放流設備1門と下段常用放流設備2門から構成された洪水調節を主な目的とする、高い止水性能と信頼性が要求される設備であり、ダム水位がEL.315.950 m（上段常用放流設備：水深49.034 m，下段常用放流設備：水深59.645 m）において上下段3門で計画放流量2 700 m³/secを放流できる能力を有している。

本工事は国土交通省近畿地方整備局から受注したJV工事

であり、当社は下段放流設備主ゲート（設計水深69.176 m）の設計、製作、据付を担当した。

以下に大滝ダム下段常用放流設備主ゲートの概要及び当社開発の高圧しゅう動式水密機構を紹介する。

2. 大滝ダム下段常用放流設備概要

本設備の一般図を図1に、主要諸元を表1に示す。

大滝ダム常用放流設備に採用された高圧ラジアルゲートは、扉体の下流側のトラニオンピンを回転中心とした円筒の一部として整形され、スキンプレート、主桁、脚柱及び各補助桁等にて構成される回転式のゲートである。

ゲートの開閉は油圧シリンダによりトラニオンピンを中心とした回転運動により行われる。

ダム水を止水する水密ゴムは扉体上流に設置される戸当たりの放流管吐口周囲に額縁状に設置される。

高圧設備への適用が可能なしゅう動式水密機構の採用により、設備の簡素化、設備投資の低減が図れるとともに、しゅう動抵抗力を低減させたことで、ゲート開閉用油圧シリンダ

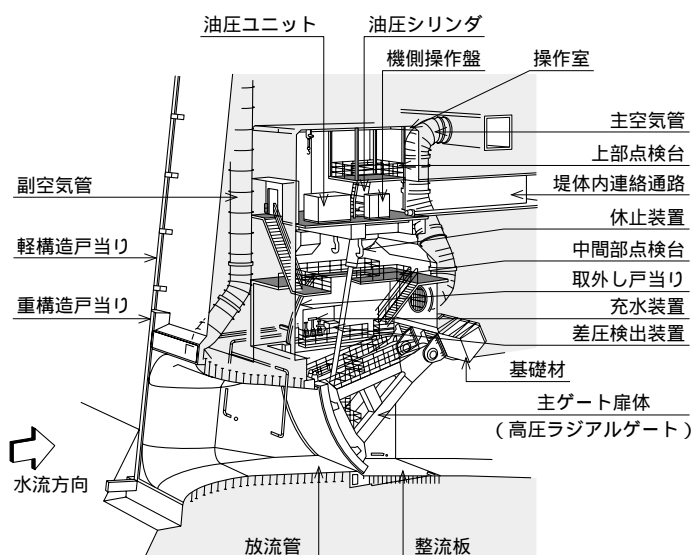


図1 下段放流設備概要 本図は新型しゅう動式水密機構を採用した大滝ダム常用放流設備の設備概要を示す。

表1 下段放流設備主ゲート主要諸元

門 数	2 門
形 式	高圧ラジアルゲート
純径間×有効高さ	5 000 mm×6 300 mm
扉 体 半 径	R 11 000 mm
設 計 水 深	69.176 m
水 圧 荷 重	27 952 kN
水 密 方 式	4 方ゴム水密 〔戸当たり側ゴム連続水密方式〕 しゅう動式
開 閉 方 式	しゅう動式油圧シリンダ式

の故障時においてもゲートの自重降下により放流管を閉鎖することが可能となり、設備全体の信頼性向上を図ることに貢献している。

以下に大滝ダムに採用された高圧しゅう動式水密機構を紹介する。

3. 高圧しゅう動式水密機構の開発

3.1 従来のしゅう動式水密機構の問題点

しゅう動式水密機構は従来より簡素な構造で高い信頼性を持って実用されているが、次の問題点のために高圧設備への適用は困難であった。

- ① ゲートの全閉操作時、水密ゴムが扉体と押さえ金具との間に挟まれる、“まくれ込み現象”により水密ゴムが破損するおそれがある。
- ② 高水圧領域では止水が困難になると同時に、水圧によるゲートの変形により扉体と戸当たり（押さえ金具）のすき間が増大するため、さらに条件が悪化する。
- ③ 高水圧領域で水密を確実にするには水密ゴムを扉体に強く押し付けなくてはならないが、これによりしゅう動抵抗力が増大し、自重降下ができなくなるおそれがある。

上記問題点のためしゅう動式水密機構の適用水深は60 m程度以下であり、これ以上の水深では水密ゴムをゲートに押し付けるための装置を有し、しゅう動式に比べ複雑な水密機構となる圧着式水密方式が採用されている⁽¹⁾。

3.2 高水圧領域への適用

設備投資縮減のニーズに対応すべく、経済的に有利なしゅう動式水密機構の水深100 m級の高水圧領域への適用を目標として、新形状のしゅう動式水密機構の開発を行った⁽²⁾⁽³⁾。

供試形状を図2に示す。同図に示した形状は従来の形状と比べ次の特徴を有している。

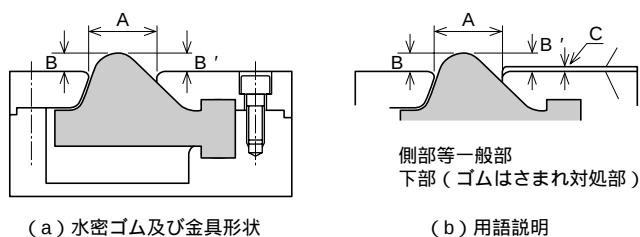


図2 ゴム形状及び金具形状説明 図中、①は一般部配置金具、②は下部配置金具の形状を示す。

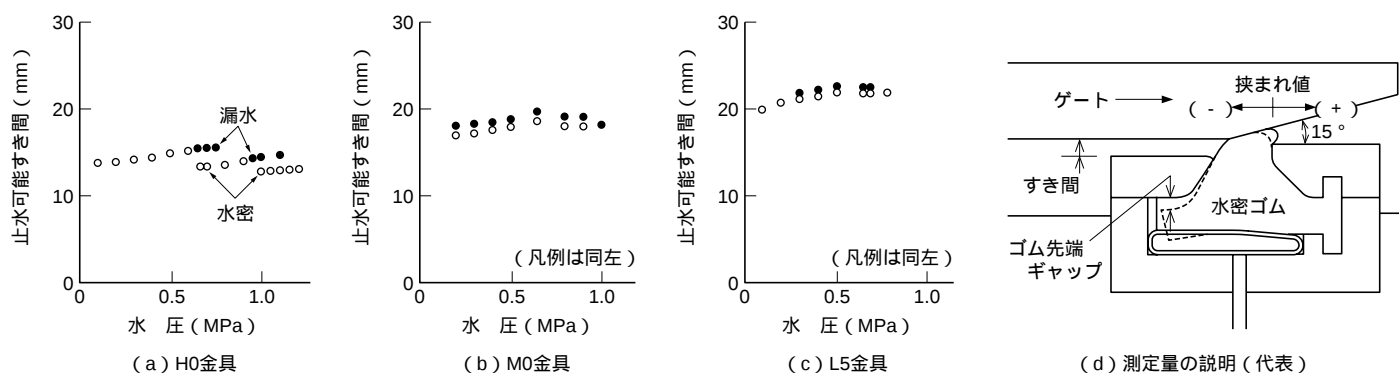


図3 止水性能試験結果 各金具形状のダム水圧と止水可能すき間の関係を示す。

- ① 片持ち式の非対称山型水密ゴム断面形状を採用することで水密ゴム押さえ金具内への格納をしやすくしている。
- ② 大気圧側の金具の厚さを下部配置金具と側部などの一般部配置金具とで変える（図2参照）ことで、ゴムの挟まれが発生する下部において、これを抑制する効果をねらった。

3.3 高水圧領域対応性の検証

前述した新形式のしゅう動式水密機構の止水性能及びしゅう動時の挙動を把握するために①止水性能試験、②しゅう動試験、③水密ゴムの超弾性体歪み解析を行った。

なお、最適な金具形状を把握するために、図2に記載の寸法A、B、B'、Cをパラメータとして5種類の金具を作成し、各々試験を行った。以下にその内容について記載する。

① 止水性能試験

一般に押さえ金具と扉体のすき間が大きくなると止水性能が低下する。この止水限界値を把握すべく、ダム水圧に対する止水可能すき間の計測を行う止水性能試験を行った。

この止水性能試験結果を図3(a)～(c)に示す。本図は横軸にダム水圧を、縦軸に止水可能すき間（○で表記）を示している。同図より次のことが分かる。

- (a) 最大止水可能すき間はH0、H4、H7型で14～16 mm、M0型で17～19 mm、L5型で約22 mmである。
- (b) 水圧が高いと止水可能すき間は小さくなる。つまり高水圧領域ではすき間を小さくし、強く押し付けることが必要となる。

② しゅう動試験

扉体全閉動作時の水密ゴムの挟まれ値を把握するためにしゅう動試験を行った。図4に各金具に発生する最大挟まれ値を示す。なお、水密ゴムの挟まれ値はストロークゲージにより計測した。

本図より次のことが分かる。

- (a) M0、L5型では、すき間が大きいほど挟まれ値が小さくなる傾向がある。
- (b) 高水圧領域での試験を行ったH0、H4、H7型ではすき間が大きい場合にも挟まれ値の減少傾向が見られない。高水圧領域では、すき間の増大により水圧によるゴムの押し出し作用が増大したこと、ゴムの押し付け力増大によりゲートとのしゅう動抵抗力が増大しゴムを引

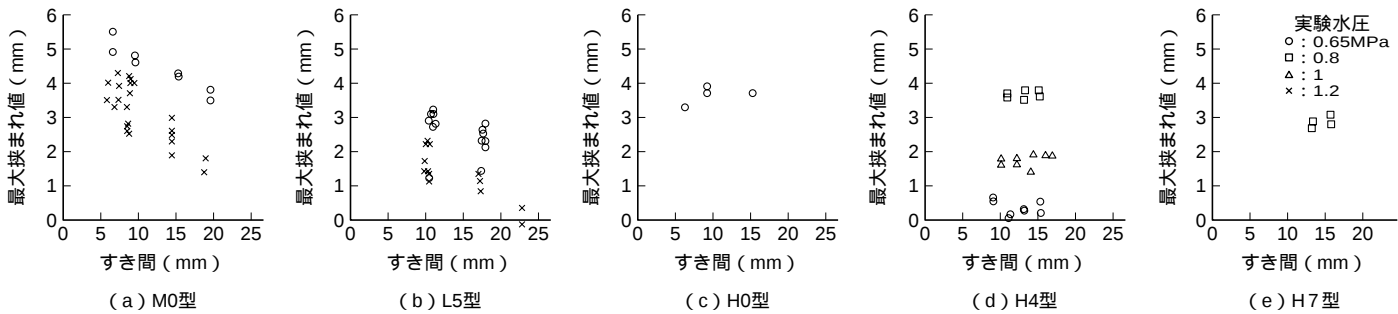


図4 各金具形状に発生する最大挟まれ値 水圧をパラメータとしたすき間と最大挟まれ値の関係を表す．横軸にすき間，縦軸に最大挟まれ値を示す．

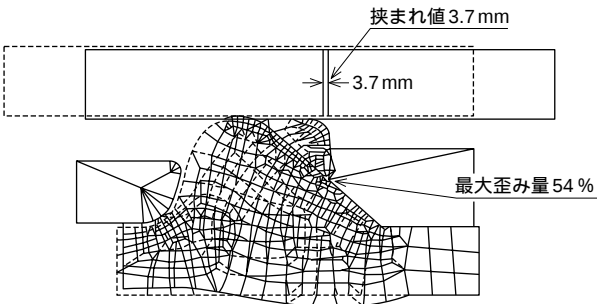


図5 超弾性体の歪み解析結果 金具形状L5型，水深80 m，すき間20 mm，挟まれ値3.7 mmにおける水密ゴムの変形を示す．

張る力も増大したことによるものと考えている．

③ 水密ゴムの超弾性体歪み解析

しゅう動試験において最大約6 mmもの挟まれ値が観察されたが，一連の観察からは一時的に挟まれその後復帰する現象では実稼動での支障は小さいと考えられた．よって，挟まれ値の許容限界を求めるために水密ゴムの超弾性体歪み解析を行った．その結果を図5に示す．

解析結果より挟まれ値が3.7 mmの場合，ゴム内部に発生する歪み量の最大値は54 %であり，当社の従来の研究⁽⁴⁾より20万回以上の繰返しに耐えうると推定される．

したがって，最大挟まれ値を3.5 mm以下とすれば実用上問題ないことが確認された．

3.4 高圧領域への適用性のまとめ

前述の結果を基に，高圧領域への適用性をまとめた結果を表2に示す．

本表より，水深80 mですき間22 mm，120 mですき間15 mmまで止水可能なしゅう動式水密ゴムの実用化が図られた．

3.5 自重降下機能の付加

高圧設備の水密機構に用いられる水密ゴムの材質には，従来より弾性に富み，耐候性，耐久性，強度等の特性に優れた天然ゴムが採用されている．

しゅう動式水密機構を採用した大滝ダムでは，このゴム摩擦力によりゲート開閉時のしゅう動抵抗力が大きくなるため，ゲート開閉用油圧シリンダの故障時にはゲートの自重降下により放流管を閉鎖することは困難とされた．

これに対し，水密ゴム頭部に摩擦係数の低いフクロカーボンシート（以降テフロンと略称）を貼付し，ゲート開閉時の

表2 各金具形状の適用範囲					
金 具	L5	MO	HO	H4	H7
最大適用水深（m）	80	65	70	110	120
止水可能すき間（mm）	22	19	15	15	15
最大挟まれ値（mm）	3.5	6	4	4	3
備 考	大滝ダムに採用				水深100 m級に適用可能

しゅう動抵抗力を低減させる方法が考えられるが，テフロン貼付により水密ゴムの剛性が増加することで扉体に押し付けられにくくなり，止水性能の低下が懸念された．

この問題点を解消し，前述の高圧しゅう動式水密機構に自重降下機能を付加すべく，高圧しゅう動式水密機構の低しゅう動抵抗化の実機適用研究を行った．

本研究ではしゅう動式水密機構の基本性能を検証するために① 止水性能試験，② しゅう動試験を行った．

テフロン貼付範囲は次の点を考慮して直線部のみとした．

(a) 額縁状に配置された水密ゴムに発生するしゅう動抵抗力のうち，支配的なものは直線部に発生する抵抗力である．

(b) コーナ部は範囲が狭いためしゅう動抵抗力は少ない．

また，形状的に剛性が高く，止水性能が低下しやすいため，止水性能確保のためにはテフロンを貼付しない方がよい．

なお，本試験は大滝ダムにおける検証として行ったため，水深70 m（水圧0.7 MPa）を試験条件とし，水密ゴムにテフロンを貼付した場合と，テフロンを添付しない場合の2タイプについて行った．

以下に試験結果を記載する．

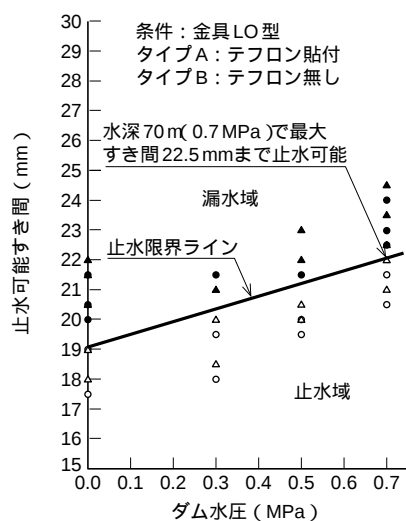
① 止水性能試験

ダム水圧と止水可能すき間の関係を図6（a）に示す．横軸に水圧を，縦軸に止水可能すき間を示す．なお本試験は前述の3.3節①と同じ手法にて行った．

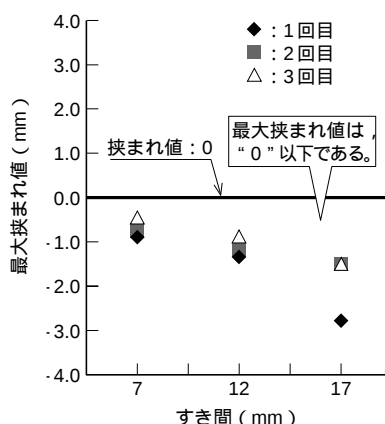
本図より，水深70 mで，隙間22 mmまで止水可能であることを見ることができる．この結果は，前述の図3に示した結果と同じであり，テフロンの貼付により止水性能に与えた影響はほとんどなかった．これは本試験にてテフロンを貼付した範囲が適切なことを示している．

② しゅう動試験

水深70 mにおけるしゅう動時の最大挟まれ値を図6



(a) 止水性能試験結果



(b) 最大挟まれ値

図6 止水性能試験結果 テフロンの有無によるダム水圧と止水可能すき間の関係及び最大挟まれ値を示す。

(b)に示す．横軸に扉体と押さえ金具のすき間を，縦軸に最大挟まれ値を示す．なお本試験は前述の3.3節②と同じ手法にて行った．

ここでしゅう動時の挟まれ値の許容限界は，前述の試験結果より3.5mmとした．

本図より，テフロンを貼付した場合，挟まれが生じなくなった．しゅう動抵抗低減の効果が大きく，扉体がゴムを引張る作用が小さくなったこと，またテフロン貼付による剛性増加により，“挟まれ”という大きい変形を回避し，扉体と水密ゴムの間に滑りを生じさせ，水密ゴムが押さえ金具内に格納されやすくなったことを示している．

以上より水密ゴム頭部にテフロンを貼付してもほぼ同等の止水性能が得られるとともに挟まれ値を減少させることが確認された．

また，しゅう動部の摩擦係数はゴム-ステンレス間の0.7に対しテフロン-ステンレス間では0.1であるため，しゅう動抵抗の大幅な低減が図れている．

4. 大滝ダム常用放流設備への適用

以上の成果を大滝ダム常用放流設備の設計に反映させた．

なお，実機適用に当たっては，設計水深が69.176mであることより，L5型の金具形状を基に設計を行っている．

図7に水密詳細図を示す．

5. ま と め

当社は維持管理，経済性に優れたしゅう動式水密機構を水深100m級の領域に適用することを目的として開発を行い，水深120mに適用可能な高圧しゅう動式水密機構を開発した．

さらに，水密ゴム頭部にテフロンを貼付した低しゅう動抵抗型のしゅう動式水密機構の検証を行い，止水性能を損なう

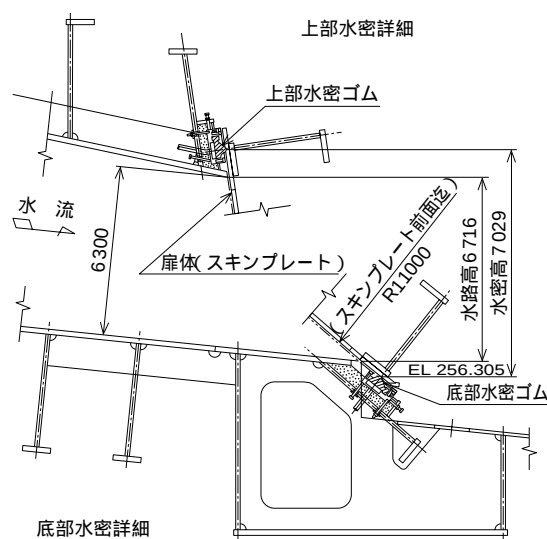


図7 水密詳細図 新型しゅう動式水密機構を採用した大滝ダム常用放流設備の水密詳細である．

ことなく，しゅう動抵抗の大幅な低減を可能とした．

これにより，当社のしゅう動式水密機構の適用水深は120mまでとなり，既に開発し，温井ダムに納入済みの超高压（ゴム圧着式）水密機構（適用範囲は60m～150m）と併せて，水密機構のラインナップがそろったことで，様々なニーズに幅広く対応できるようになった．

今後は高圧しゅう動式水密機構を他の高圧設備の設計に反映させる予定である．

参考文献

- (1) ダム・堰施設技術基準委員会，ダム・堰施設技術基準（案），ダム・堰施設技術協会（1999）p.358
- (2) 菊池愛子ほか，ゲート用水密ゴムの超弾性応力解析技術の研究，ダム工学 No.16（1994）p.45
- (3) 今村建二ほか，摺動式水密ゴムの高圧領域への適用化研究，ダム工学 No.24（1996）p.35
- (4) 金子徹ほか，ゴム大変形解析適用によるゲート水密機構の開発，三菱重工技報 Vol.33 No.4（1996）p.250



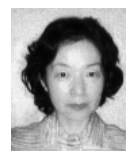
佐々木章文
横浜製作所
鉄構技術部
水門・鉄管設計課長



赤見正司
横浜製作所
鉄構技術部
水門・鉄管設計課



椎名正樹
横浜製作所
鉄構技術部
水門・鉄管設計課



菊池愛子
技術本部
横浜研究所
材料強度・振動研究
室主席 工博



今村建二
技術本部
（元）横浜研究所
主管 工博