

嵐山地区可動式止水壁の整備について

山下 航平¹・能登 眞澄²

¹近畿地方整備局 近畿技術事務所 施工調査・技術活用課 (〒573-0168大阪府枚方市山田池北町11-1)

²近畿地方整備局 淀川河川事務所 施設管理課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

京都市桂川嵐山地区は日本でも有数の観光地・景勝地であり毎年多くの観光客が訪れる一方、渡月橋上流左岸ではたびたび浸水被害が発生している。こうした状況を受けて特殊堤の整備を行うこととなったが、嵐山地区の特性上、景観及び文化財に配慮する必要があった。そこで洪水時のみ止水壁を立ち上げることで普段の景観を阻害しない構造を検討した。本稿は、全国初の構造である「可動式止水壁」の構造の検討・設計内容について報告するものである。

キーワード 可動式止水壁, 特殊堤, 全国初, 左岸溢水対策

1. 嵐山地区の概要

嵐山地区は、淀川の支流である桂川の直轄区間上流に位置し、直轄河川では唯一、川を含む地区全体が国の史跡及び名勝に指定されている。また、国内だけでなく海外からの観光客も多い日本でも有数の観光地である。特に渡月橋上流左岸は春には桜、秋には紅葉が桂川の水面に映り、人気スポットの一つとなっている。

一方治水の観点から嵐山地区を見ると、渡月橋付近の川幅は狭く流下断面が不足している。特に、渡月橋上流左岸は地盤高がH.W.L.を下回っている部分もあり(図-1)、近年では毎年のように浸水被害が発生しており、特に平成25年の台風18号による洪水では、93戸が浸水被害を受けるなど大きな被害となった(図-2)。



図-1 渡月橋上流左岸の状況



図-2 平成25年台風18号の洪水状況

渡月橋上流左岸の溢水対策として、当初は H.W.L.までの道路かさ上げと固定パラペットによる対策を提案していた。しかし、簡易模型の固定パラペットにて地元住民と共に景観の影響を確認したところ、現在見えている桂川の水面が固定パラペットで見えなくなるため、洪水時のみに立ち上げを行う止水壁の検討を求める地元意見や、史跡及び名勝としての価値を損なわない河川整備も求める文化財部局の要請を踏まえ、可動式止水壁の整備を検討することとなった。

2. 可動式止水壁の構造検討

(1) 可動式止水壁の検討条件

可動式止水壁の検討にあたっては、現状の景観を大きく変えてしまうような構造にできないことから、既設パラペット上に突起物の設置をしたりパラペット幅を大きく変える等の対応はできない。さらに平成16年度台風23号洪水を安全に流下させることができる H.W.L.+80cm の高さを確保するため、約 260m の長い延長に渡って可動式止水壁を整備する必要があり(図-3)、これらの条件に沿った止水壁の設計が必要であった。



図-3 可動式止水壁整備区間

(2) 可動式止水壁の構造形式検討

パラペット上に構造物を設置することができないことから、止水壁を平常時は収納し、洪水時に引き上げる可動式止水壁の構造形式について検討した。

収納方法として止水壁をパラペットの上にかぶせ平行に収納しておき使用時は回転し立ち上がる回転起立式(図4)と、止水壁をパラペットに対して垂直に収納し使用時は上昇し立ち上がる垂直起立式の止水壁(図5)を考案した。

このうち回転起立式は水密性の確保や構造がシンプルで優位ではあるが、止水壁を平面的に格納することにより既設パラペット(幅約30cm)より天端幅を大幅に広くしてしまう(幅約80cm)ため、垂直起立式の止水壁を採用することとした。

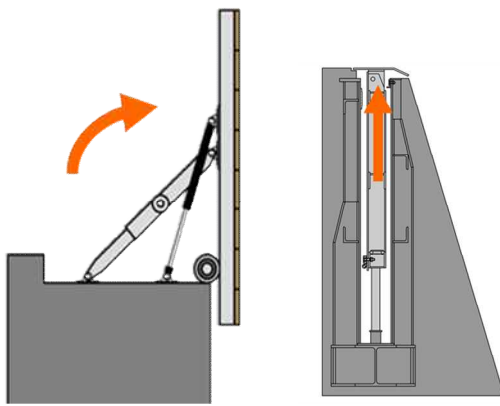


図4 回転起立式

図5 垂直起立式

(3) 水密構造の検討

通常の水門・樋門は側部水密を固定された戸当り(支柱)と扉体(止水壁)の当たりによって確保することが一般的だが、現在の景観の改変を抑えるためにも、支柱はパラペット上に設置することはできないことから、止水壁間の水密部構造及び支柱構造について検討を行った。

支柱そのものをなくし支柱レス構造とした「はめ合い水密構造」、支柱も可動構造とし戸袋内(既設パラペット部分)に収納しておき、使用時に支柱を引き出し支柱と止水壁の水密をとる「後面水密構造」の2案について、水密性と操作性の2つの観点から比較検討を行った。

a) 「止水壁のはめ合い水密構造」(支柱レス構造)

止水壁間の側部水密は、止水壁のはめ合い水密構造とし、支柱を必要とせず隣り合う止水壁端部のカギ型部分がはめ合うことで側部水密を確保する。止水壁と戸袋間の下部水密は、前面水密構造で止水壁を戸袋に押しつけ水密を確保する。(図6) この側部水密構造は、カギ部分をはめ合わせるために止水壁間の高い製作・据付精度が求められる。また、下部水密構造においても止水壁を戸袋に押しつけることから高い製作・据付精度が求められる。そのため流木等の衝突や、水圧・操作による変形

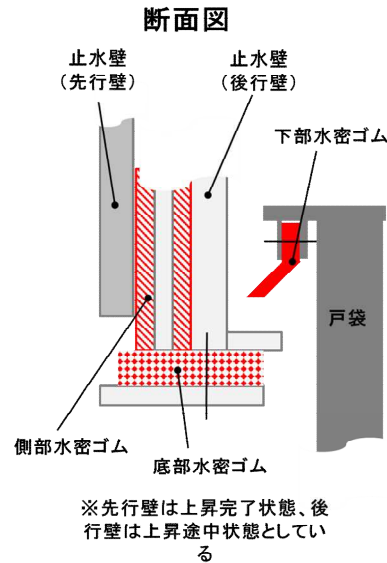
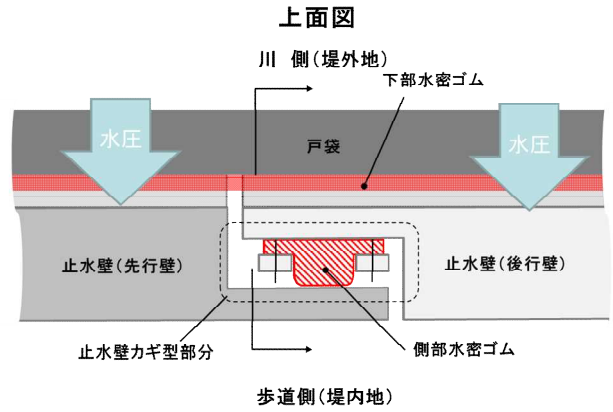


図6 止水壁のはめ合い水密構造図

により止水壁間、止水壁と戸袋間の精度が失われれば、水密性が極端に低下する。

また、止水壁間の精度が高いため止水壁の「遊び」(隙間)が少なく常に水密ゴムが止水壁に摺ることから、止水壁の上昇・下降操作時に引っかかりが発生しスムーズな操作ができない可能性がある。

b) 「支柱への後面水密構造」(支柱引き出し構造)

支柱への後面水密構造は、常時は支柱を戸袋に収納し止水壁上昇時に合わせて引き出すことにより、通常の水門・樋門と同様、止水壁が水圧によって支柱に押しつけられることで水密を確保する構造である。(図7) この水密構造は支柱と止水壁は分離し、はめ合い水密構造より比較的精度を必要とせず「遊び」(隙間)が多いためスムーズな操作が可能である。また、水圧が上がるほど止水壁が支柱に押しつけられ水密性は向上する。

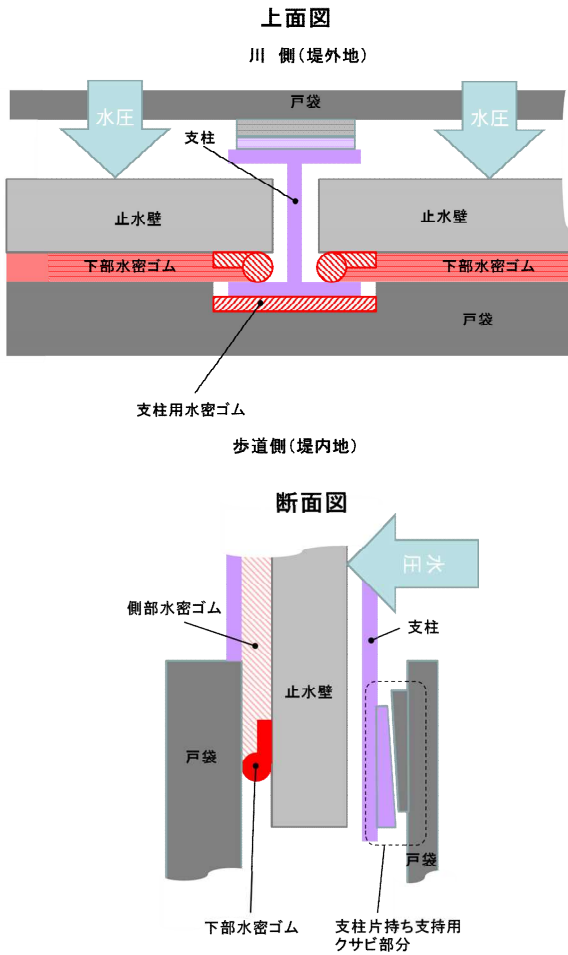


図-7 支柱への後面水密構造図

2構造の水密性と操作性の比較を表-1に示す。止水壁はめ合い水密構造は、精度管理が必要な箇所が多く管理が大変であり、操作においても引っかかりが発生する可能性がある。一方、支柱への後面水密構造は水密性を確実に確保でき、スムーズな操作が可能なることから、支柱への後面水密構造を採用した。

	止水壁のはめ合い水密構造 (支柱レス構造)	支柱への後面水密構造 (支柱引き出し構造)	
水密性	<ul style="list-style-type: none"> 止水壁端部の鑄造部分がはめ合うことにより水密を保持 はめ合うためには止水壁間の高い精度管理が求められる 衝撃や劣化等で止水壁間の精度が失われると水密性が低下 	<ul style="list-style-type: none"> 止水壁が水圧によって支柱に押しつけられることで水密を保持 水圧が上がるほど水密性が向上する(通常の水門・樋門と同様の水密構造) 	○
操作性	<ul style="list-style-type: none"> 止水壁間の「遊び」が少なく止水壁の昇降時に引っかかりが発生する可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> はめ合い水密構造に比べ止水壁と支柱の間の「遊び」(隙間)が多いためスムーズな操作が可能 	○

表-1 水密構造(支柱構造)の比較表

(4) 止水壁昇降装置の検討

(1)可動式止水壁の設計条件でも述べたように既設パラペットの幅(約30cm)を大きく変えることができず止水壁を収納する戸袋内は非常に狭くなることから、昇降装置の形式、設置場所について検討した。また洪水時に操作する止水壁は100基以上となり、昇降作業に時間を要することから容易でスムーズかつ確実な昇降機構についても検討した。検討は昇降装置の設置方法別に装置などの操作性、信頼性、維持管理性を考慮した。

a) 昇降装置を戸袋内に設置(ラック装置内蔵式)

戸袋内にラック式昇降装置を設置し、人力によるハンドル操作によって止水壁を下から押し出すラック装置内蔵式の構造を検討した。(図-8)

ラック装置の設置後すぐには止水壁の昇降に問題はないが、ギア部分に異物が噛み込めば止水壁を押し出すことができないなど、操作の信頼性を確認する必要が生じたため、簡易な試験機を作成し異物噛み込み時操作の試験を行った。結果はハンドル操作力が増大し、信頼性に問題があることが判明した。(図-9)

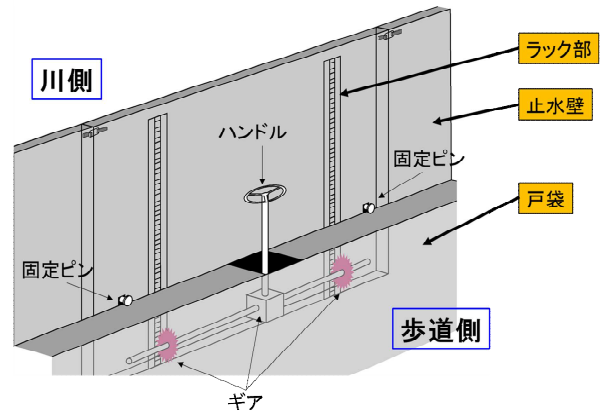


図-8 ラック装置内蔵式イメージ図



図-9 ラック装置内蔵式の異物噛み込み試験

また、ラック装置は止水壁毎(100基以上)に設置することから、多くのラック装置を狭い戸袋内で点検及び不具合対応をとらなければならない維持管理に問題がある。

b) 仮設クレーンによる昇降（クレーン付トラックによる引上げ）

一般に資材運搬荷下ろしに使用するクレーン付トラックを仮設し、止水壁の昇降操作を行う手法について検討した。（図-10）止水壁の吊り上げ吊り下げ操作は、荷下ろし等の一般的な作業であるが、吊り上げフックを止水壁中心の適切な位置で吊り上げないと止水壁が傾き支柱に引っかかることで操作に支障が出るとともに、クレーン能力の定格荷重内でもさらに吊り上げれば、止水壁、支柱が変形し昇降が出来なくなる可能性がある。また、止水壁を吊り上げ、吊り下げする時は観光客の多い歩道部分へトラックが立ち入る必要があることから、通行者への安全に配慮する必要がある。

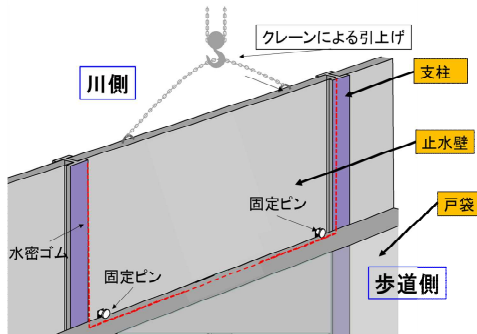


図-10 クレーン付トラックによる引上げイメージ図

c) 昇降装置を内蔵・外付けに分離（油圧シリンダ内蔵式・可搬式油圧ユニット）

昇降装置のうち点検項目が少ない油圧シリンダのみを戸袋に内蔵、点検項目が多い動力部分（電動機、油圧ユニット、制御部分）を可搬式（台車に搭載）とする油圧シリンダ内蔵式・可搬式油圧ユニットの構造を検討した。（図-11）

油圧シリンダ内蔵式は、可搬式油圧ユニットを止水壁の近くへ搬入し、油圧配管カプラーを取付、油圧ユニットを操作することにより、油圧シリンダが伸縮し止水壁を上昇下降させる。油圧シリンダが止水壁に固定しているため上昇下降時に傾くことがなく操作の信頼性は良い。操作においてもボタン操作により油圧が作動することから操作性は良い。また、点検項目が多い動力部分のみ可搬式としたことで維持管理にも配慮した。

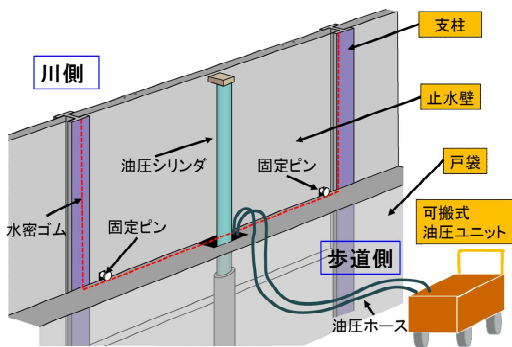


図-11 油圧シリンダ内蔵式・可搬式油圧ユニットイメージ図

昇降装置の操作性、信頼性、維持管理性の比較を表-2に示す。以上の検討から複数台油圧ユニットによる確実な操作が可能で、維持管理性が高い、昇降装置を分離した油圧シリンダ内蔵式・可搬式油圧ユニットを採用した。

	昇降装置を戸袋内に設置 (トラック装置内蔵式)	仮設クレーンによる昇降 (クレーン付トラックによる引上げ)	昇降装置を内蔵・外付けに分離 (油圧シリンダ内蔵式・可搬式油圧ユニット)
操作性	・人力によるハンドル操作のため操作は容易 ○	・一般的な荷下ろし作業と同様のため昇降操作に問題なし ・歩行者への安全に配慮して操作を行う必要がある △	・ボタン操作により止水壁が昇降するので操作は容易 ○
信頼性	・ギヤ部分に異物が噛み込むと操作力が増大 △	・止水壁重心位置で吊り上げなければ、傾き引っかけが発生する ・適切に吊り上げなければクレーンには力が強いので止水壁、支柱を変形させる可能性がある △	・油圧シリンダが止水壁に固定されているため止水壁の傾き等なく操作が可能 ○
維持管理性	・トラック装置(100基以上)は戸袋内にあり狭い戸袋内で点検・不具合対応を行う必要がある △	・クレーン付トラックの通常の保守点検であり問題なし ○	・点検項目が多い動力部分を可搬式としており保守点検等は容易 ○

表-2 昇降装置の比較

3. 試験機による実証試験

今回検討・設計を行っている可動式止水壁の構造については水門・樋門設備の技術基準を参考にするもの、これまでに前例のない設備であることから、実物大の可動式止水壁の試験機を製作し水密性、操作性、耐衝撃性、洪水時のうねりに対する安定性などについて実証試験を行った。

(1) 水密性の確認

止水壁、支柱、戸袋の水密性を湛水試験により確認した。湛水試験は止水壁の中間点(止水壁の下端から40cmの位置)の水位と天端点(止水壁の下端から80cmの位置)の水位で漏水状況を確認した。（図-12）

結果、止水壁と支柱の水密（側部水密）、止水壁と戸袋の水密（底部水密）は機能しており止水しているのを確認した。しかし、テーパピンで止水していた支柱と戸袋の隙間から少量の漏水が確認された。



図-12 水密性の確認

(2) 操作性の確認

戸袋と可動式の支柱、支柱と止水壁との間の精度を高くすれば水密性が向上するが「遊び」（隙間）が少なくなり操作性が低下する関係にある。設計では水密性と操作性を両立させる「遊び」（隙間）を設定しているが、この設定で操作に問題がないかを確認した。また、止水壁操作数が多いため操作員が煩雑なく操作できるのかの油圧ユニットの操作性、操作時間の確認も併せて行った。（図-13）

結果、概ね止水壁の昇降時にガタつきや引っかかりがなく問題なく操作できたが、数回であるが止水壁が傾き支柱にひっかかる事例があった。一方で操作時間は止水壁1基の上昇操作を3分間で行うことででき、想定内での時間で操作可能であった。また、油圧ユニットの操作で油圧配管のカプラー取付取外しに手間がかかるとの意見があり、カプラーから若干の漏油が確認された。



図-13 操作性の確認

(3) 耐衝撃性・洪水時のうねりに対する安定性の確認

水圧を受けた止水壁の荷重を受ける支柱が可動式で片持ち支持構造であることから、耐衝撃性及び洪水時のうねりに対する安定性を確認した。

耐衝撃性の確認では、嵐山地区に流下した流木に相当する衝撃を発生させる重さ 70kg のおもりを衝突させ、止水壁、支柱の変状がないかを確認した。結果、衝突箇所に局所的な変形があるが構造上の問題となる変形等は確認されなかった。また、耐衝撃性試験後の支柱及び止水壁を使用して上昇下降の確認を行い可動することを確認した。

洪水時のうねりに対する安定性の確認では、洪水時を再現し造波装置付きの水槽を用いて止水壁に波を当て支柱及び止水壁の安定性を確認した。止水壁高さまでの波及び止水壁を越水する波を浴びせた結果、うねり作用時には支柱及び止水壁のガタつき（最大0.5cm程度）は見られるものの、うねり作用後はほぼ元の位置に戻っており変形が無いことを確認した。（図-14）

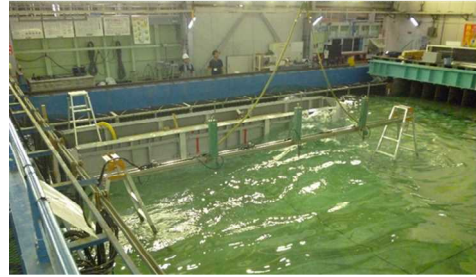


図-14 波のうねりに対する安定性の確認

4. 実証試験を受けての修正設計

前述した実証試験の結果を受けて、課題となった構造部分について修正設計を行った。

(1) 水密性に関する修正設計

湛水試験において支柱と戸袋との隙間からの漏水が確認されたことについては、支柱を上下させるために設けた支柱と戸袋の間の「遊び」（隙間）が水みちとなり、上昇毎に「遊び」（隙間）が変わり一定の隙間にならないことが原因と想定した。（図-15）

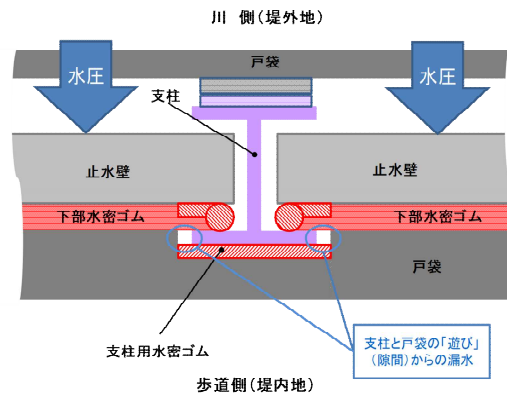


図-15 漏水箇所概略図

そのため、大きさが操作毎に変わる支柱と戸袋との隙間に充填可能な、水を吸収すると膨張する性質の水膨張不織布を使用して、止水ピンを作製し、支柱と戸袋の隙間に差し込み、再度湛水試験を行ったところ止水を確認した。（図-16）

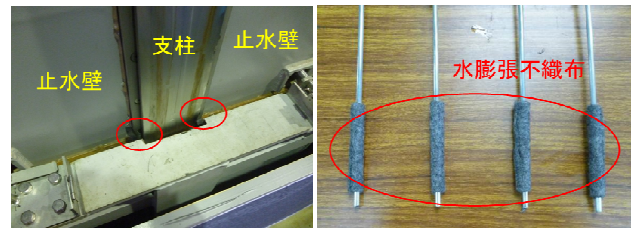


図-16 差し込み箇所と止水ピン

(2) 操作性に関する修正設計

止水壁昇降時、止水壁の傾き引っかけかりについては、支柱の立ち上げ位置が「遊び」（隙間）により立ち上げ毎に変わり支柱間の幅が変化することが原因となって発生すると想定した。

支柱と戸袋の「遊び」（隙間）を少なくすれば解決できるが、「遊び」（隙間）の存在はスムーズな昇降に寄与するため「遊び」（隙間）を少なくすることはせず、止水壁の傾きを防止するためガイドを止水壁と戸袋の中央に設置した。（図-17）また、油圧配管カプラーは、カプラー自体の凹凸が少なく脱着が容易なものに変更し、カプラーの操作性向上とともに若干の漏油もさらに少なくなった。（図-18）

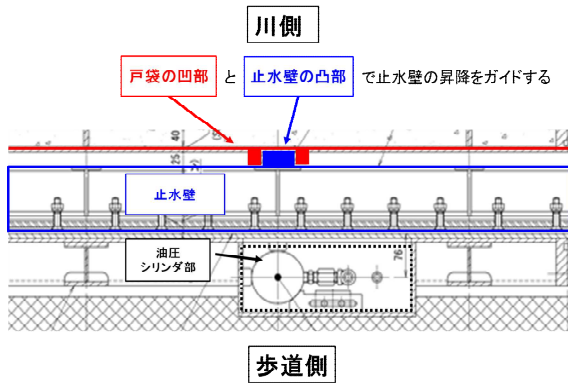


図-17 止水壁中央のガイド

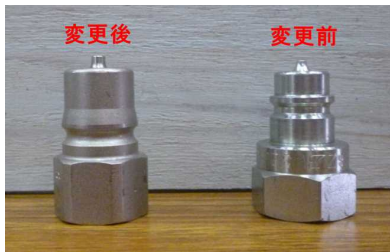


図-18 変更前後のカプラーの形状

5. 可動式止水壁の構造

以上の検討・設計、試作機における実証試験及び修正設計から可搬式止水壁は以下の構造とした。

可搬式止水壁は、止水壁、支柱、戸袋から構成され、平常時は止水壁、支柱は戸袋内に収納し、洪水時に止水壁、支柱を立ち上げ洪水を止水するものとした。

止水壁、支柱は戸袋に内蔵した油圧シリンダを伸長し立ち上げ、戸袋天端部に設置した固定ピンで固定する。油圧シリンダの油圧動力を発生する油圧ユニットは、台車で移動できる可搬式とし、各止水壁の油圧シリンダに接続し、止水壁を順次引き上げ、約130基の止水壁を全て引上げるにより渡月橋上流左岸部260mの溢水対

策の機能を発揮する。止水壁は平成16年台風23号洪水を流下させることができる約80cmの高さとし、径間は約2mのアルミニウム製とした。支柱は戸袋に片持ち支持構造とし、高さは止水壁と同じ高さとした。可動式止水壁の概略図を図-17に示す。

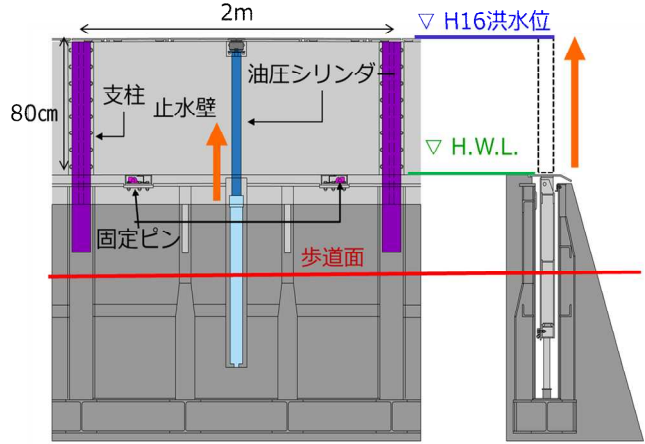


図-19 可動式止水壁概略図

6. 終わりに

今回検討した可動式止水壁は嵐山という特性上、景観を大きく変えるような構造とすることはできなかった。そこで止水壁および支柱をパラペット（戸袋）に収納する構造を検討した。止水壁および支柱をパラペット内に収納し洪水時のみ立ち上げるといった構造は、支柱を固定せず片持ち支持構造となるため、水密性、操作性、維持管理性や強度の観点から見ると通常の水門・樋門より厳しい条件となったが、試験機による実証試験等で検証することにより当初の設計条件を満足し、全国初の可動式止水壁の構造となった。

今後は設置後の水密性、操作性を確認するとともに、維持管理の課題解決を踏まえたさらなる構造の検証を重ねる必要があると考える。

さいごに、今回設計した可動式止水壁により浸水頻度の軽減となることを期待する。

なお、本論文は従前の所属である淀川河川事務所施設管理課の所掌業務の内容である。

謝辞：本稿作成にあたり御教授いただいたすべての方々、本業務に関わった方々に心から感謝いたします。