

World Watching 94

ワールド・ウォッチング

ベネチアを高潮から守る フラップ式ゲート



清宮 理

早稲田大学社会環境工学科
教授

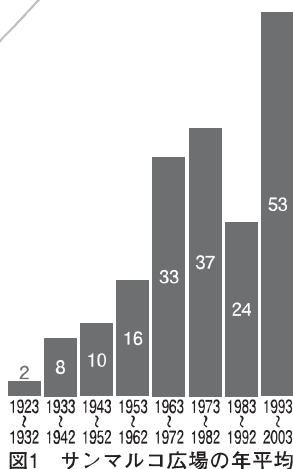


図1 サンマルコ広場の年平均冠水回数

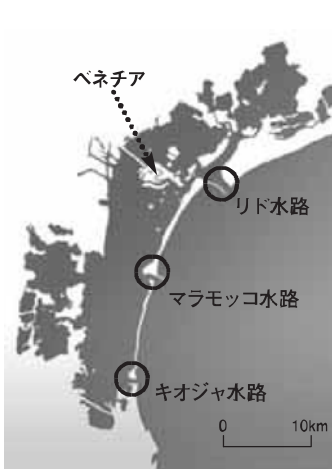


図2 ベネチア湾での水門の設置箇所



高潮にさらされるベネチア

ベネチアはイタリア北東部に位置する観光都市である。「アドリア海の女王」「水の都」「アドリア海の真珠」と呼ばれており、語源はラテン語でウェネティ人の土地を意味し (Venetia) 英語表記ではヴェニス、ベニスとも書く。元々はただの湿地帯だったが、6世紀頃に東方からゲルマン系諸族やフン族がイタリアに侵入してきたため、住民がこの湿地帯へと避難してくるから歴史が始まる。湿地帯のため、侵入者は追ってくる事が出来ず、避難した人々はここに暮らし続けるようになった。住民は木杭を多数打ち込みその上に建物を建設した。ラグーンの水路は木杭で示され、敵の来襲が予想される場合これを引き抜き、敵を泥沼に引き込んでベネチアへの接近を防止した。東西貿易などで中世は大変繁栄し当時の建物、芸術品が多数残り世界遺産に登録されている。東京湾にも匹敵する面積のラグーンの中央に位置するベネチアは、170を越す小運河が縦横に張り巡らされボートが主要な交通手段となっている。この運河には400を越す橋が架けられ、狭い路地の中自動車の通行は幹線を除いて出来ない。

大潮、低気圧、アドリア海を南から吹く風「シロッコ」の3つの要因が重なると、「アクア・アルタ (acqua alta、高水位の意)」と呼ばれる高潮がベネチア湾で起こる。このとき、ベネチアの街中まで水が入り込み、特に地盤が一番低い「サン・マルコ広場」は水没する。過去に工業用の地下水のくみ上げが行われたことにより地盤沈下が起こり、アクア・



写真1 サンマルコ広場での潮位の状況

アルタによる洪水の水位が1m以上になったこともある。この地盤沈下の影響もあり、図1に示すように現在年間40~60回サンマルコ広場が冠水しており、この回数が年とともに増加している。サンマルコ広場前面での海面の状況を写真1に示す。海水が常時道路を洗っている状況である。更に今後の地球温暖化によって海面上昇が加速されることとなれば、将来ベネチアの街全体が水没してしまうことが懸念されている。この対策としてイタリア政府は、1984年特別立法により新ベネチア事業連合を発足させ、国費を投じて高潮対策とラグーンを守る環境対策事業を開始した。新ベネチア事業連合は民間の受注業者の連合体で唯一の本事業の事業者である。国と水域管理局のもと本プロジェクトの実質的な事業推進組織である。



モーゼ計画の概要

ラグーン前面は砂洲でありラグーン内には大きな波浪は進入してこない。ラグーンとアドリア海との間に長い砂洲が存在するが、この砂洲の3箇所に水



図3 フラップ式水門の構造概要



写真2 キオジャ水路での建設状況

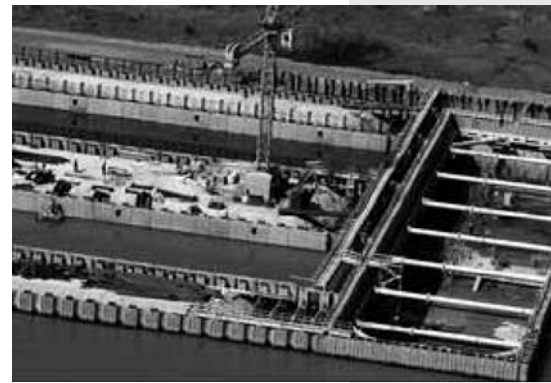


写真3 小型船舶用閘門の建設状況

門を設置し、かつ現護岸や地盤の嵩上げを実施することで高潮対策とするモーゼ計画が提案された。しかし海水の流出入を制限し潮位を制御することによる生物環境やラグーンに与える影響が懸念された。ラグーンでは、外界からの土砂の流入が減少したため水深が深くなり、干潟が減少する問題に直面していた。この状況下で水門を設置すれば、さらに環境に与える影響が大きくなるとして多くの市民の反対に遭った。このため計画は遅々として進まなかったが、調査や研究で環境に与える影響度が大きくないことが示され、また各種提案された環境対策が理解されたことから計画は実施に移された。またベネチアの土地の大規模な嵩上げや防潮堤の設置は、観光都市、水運都市として不可能であった。図2に示すマラモッコ (Malamocco) 水路、リド (Lido) 水路、キオジャ (Chioggia) 水路の3箇所に水門が設置される計画である。水門の形式は図3に示すフラップ式ゲートが採用された。この可動堰のプロジェクトはモーゼ計画と名づけられた。フラップ式ゲートは常時は海底に沈設されており、高潮が来襲するときにフラップの内部に空気を送り込み、1時間程度で浮上させる構造となっている。空気ポンプは陸上に設置され配管により空気を送り込むシステムになっている。フラップは下端がピン構造になっており、回転自由で浮き上がった状況で高潮と波浪に抵抗する。約2mの水位差に対応できる構造となっている。1個のフラップは幅20m、厚さ4~5m、長さ20~30mの大きさに総計79基が設置予定である。多数の水門形式の中で環境への影響が少なく経済的な観点から選定された形式である。基礎は沈埋トンネルの函体とほぼ同じで、鉄筋コンクリート製である。函体は多数の杭で支持されている。



建設が進む防災プロジェクト

水門の総工費は42.7億ユーロであり、完成予定は2012年である。現在3箇所の水門の工事が着々と進行している。写真2にキオジャ水路の状況を示す。既に導流堤、離岸堤 (図中番号1)、船溜り (図中番号4)、基礎工 (図中番号6) などが完成し、今後フ

ラップの製作と沈設の予定である。写真3にこの水路での小型船舶用の閘門の建設状況を示す。高潮時にも小型船舶が水路を通過できるように閘門が設置されている。フラップ式ゲートの建設に当たっては、環境問題が大きくクローズアップされているが、フラップ式ゲートの技術的課題には、維持管理体制、船舶の衝突対策、フラップの振動問題、基礎での洗掘問題などが挙げられている。ゲートは5年ごとに1門ずつ取り外して点検、補修を行う予定である。鋼製のフラップ本体は電気防食とエポキシ系樹脂で塗装されている。取り外し中の状況でも高潮には十分機能できるようにフラップの長さの設定がなされ、流速の増大による基礎の洗掘、フラップの振動問題を検討している。船舶のフラップへの衝突は警戒船により回避するシステムになっているとともに、衝突により破壊する箇所をヒンジ部に集中させ本体の損傷を与えない機構としている。



むすび

高潮用の大型水門はオランダ、イギリスなどで各種の構造形式が建設されてきている。これらの水門は海水の流れの阻害、船舶の航行、環境、景観などに与える影響が皆無ではないが、常時ゲートが海底に位置するフラップ式ゲートは、これらの問題がほとんどない長所がある。日本ではフラップ式ゲートの検討が海南市などで行われている。ベネチアでのフラップ式ゲートは高潮用で波浪に対しても動揺する。日本でのフラップ式ゲートは高潮と津波用に開発されており、フラップは波浪や津波の抵抗できるようにケーブル等で固定され、浮上も5~10分で可能な操作機構を有している。ベネチアでのフラップ式ゲートの開発と建設は、日本でのフラップ式ゲートの検討に多大なる影響を与えている。特に安全対策、維持管理方法など参考になる事項が多く、当面工事の進捗状況に目を離せない状況である。

参考文献

- 1) ベネチアにおける高潮対策施設に関する調査、CDIT, No.23,2007
- 2) 新ベネチア事業連合: <http://www.salve.it/default.htm> モーゼ計画のホームページ