フラップ式水門の越波・反射特性について

早稲田大学理工学部　フェロー　○清宮　理　　港湾空港技術研究所　正会員　下迫　健一郎
日立造船株式会社　　仲保　京一　川崎重工業株式会社　　三浦　有司

１．研究目的

著者らは，高潮・津波の対策としてフラップ式水門[1)]を提案し，フラップ式水門の基本的な水理特性・力学特性についての研究を進めている．フラップ式可動水門の概要を図−１に示す．本水門は，常時は海底に格納し，高潮や津波の来襲時に扉体内に空気を送り込み，浮力により急速に浮上させて港口を閉鎖する．高潮・津波が過ぎた後は扉体内の空気を排気して海底に沈降させ格納する構造である．このため常時は港口や航路を閉塞することなく，船舶の航行や海水の流れを阻害しない．また、短時間で水門を開閉ができることが可能である．本研究では，最適な扉体形状（傾斜角および天端高さ等）と規模を選定する上で重要となる越波特性と反射特性を水理模型実験により調査した．

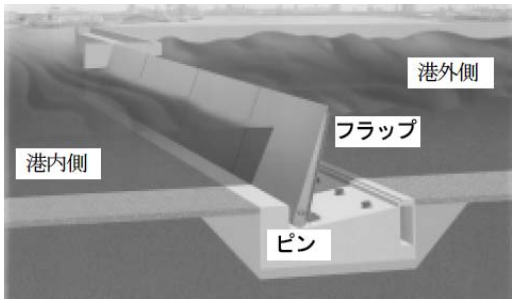


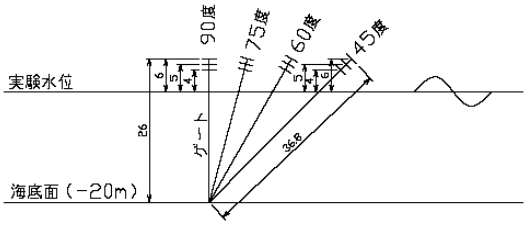
図-1　フラップ式水門概要図

２．実験内容

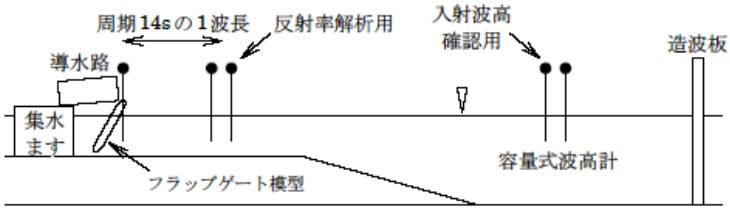
本実験では，主にフラップ起立角度を波に向かって前傾させた場合の越波量を把握する．実験はフラップ起立角度と通過波高（ゲート模型設置位置のゲートがない状態の波高）を変化させ，不規則波を用いて行った．実験は，長さ105m，水路幅0.8mの二次元造波水路において縮尺1:25の模型を用いて行った．模型の諸元を図−２に示す．模型は厚さ10mmのステンレス板とし，半円形の架台により任意の角度に固定して実験を行った．実験条件を表−１に示す．ゲート角度は45°から90°まで15°おきに4種類，静止水面上の鉛直高さhcを示す天端高は，4,5,6mの3種類とした．天端高は，ゲート角度毎に所定値になるようにゲート全長を変えて調整した．不規則波の有義波周期は8,10および14秒の3種類，有義波高は3,4,5mの3種類で，周波数スペクトルは修正ブレットシュナイダー・光易型を用いた．なお，有義波周期$T_{1/3}$と有義波高$H_{1/3}$は通過波の値である．越波流量や水位変化（波高）の測定は約200波について実施した．越波流量は，越波した水を導水路よって集水ますに導き，集水ますに流入した水量を計測時間で割って，単位時間当たりの値として評価した．水位変化は容量式波高計を用いて，波周期の約20分割の時間間隔で測定した．計測は造波開始後に水路内の反射波が定常状態になるのを待って行った．計測待ち時間はおおよそ水路長を波速で除した６倍とし、おおよそ数分である。反射率の解析にはフラップゲート模型の約1波長沖側に設置した2台の容量式波高計のデータを用いて，合田ら[2)]の方法で反射率を解析した．ただし越波時の流速や高さは計測していない．なお，実験で得られた計測値は全て実機に換算して示した．

表−1　実験条件

実験種類	フラップ条件				波浪条件			
	角度	天端高	波種類	h (m)	$T_{1/3}$ (s)	$H_{1/3}$ (m)	H/L	波群数
越波・反射実験	45度 60度 75度 90度	4.0m 5.0m 6.0m	不規則波	20	8	3	0.034	2波群
					10	3	0.019	
						4	0.026	
						5	0.032	
					14	3	0.01	
						4	0.013	
						5	0.016	



図−2　模型概略



図−3　計測方法

キーワード　水門、フラップ式、越波、高潮、津波
連絡先　　〒169−8555　東京都新宿区大久保 3−4−1　早稲田大学　理工学部

３．実験結果

図-4に示すように波高が大きくなれば越波量は増加する．同一の波高に対してゲート角度が大きくなるほど越波量も増加する傾向がみられるが，75°と90°ではさほど越波量に差はない．図-5に天端高さとの関係を示すが天端高さが低いと越波量が多くなり反射率は減ずる．45°と60°では，かなり越波量は減少する．この現象はワイングラス効果と言われ中村，片岡らにより従来から指摘されてきている．図-6と図-7に反射率の状況を示す．越波量は．井上らの理論式で示されるように入射波高，波の周期，波形勾配，天端高さと反射率に依存する．ゲート角度は反射率に関連するので，反射率の把握が重要となる．図-6 は波周期10秒，静水面からの扉体天端高さ5mで，ゲート角度が90°，75°，60°，45°について通過波高を3～5mに変化させた場合の反射率を示す．図-7は，波周期10秒，ゲート角度75°で静水面からの扉体天端高さ4m，5m，6mについて通過波高を3～5mに変化させた場合計測結果を示す．図-6と図-7より以下のことが分かる．同一のフラップ角度では，通過波高が大きく天端高が低いほど反射率が小さく，越波流量が多い．すなわち，これらの条件で反射率が小さくなるのは越波流量の増加によって反射波のエネルギーが小さくなるためである．次にフラップ起立角度の違いに着目すると，フラップが直立に近いほど反射率が大きく，越波流量も多くなる．これは前述の越波量と反射率の関係と矛盾するが，角度が小さくなると返し波が砕波状態となりエネルギー損失が大きくなることによる．以上の結果から，フラップゲートは扉体を波の来襲方向に対して前傾させると越波量と反射率は減少し良い水理特性となるが，同一天端高を確保するためには前傾度合いが大きいほどフラップの高さが必要となる．

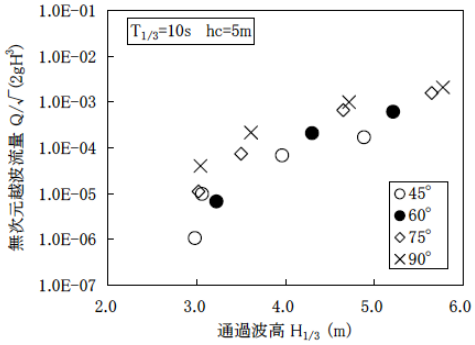


図-4　越波流量とゲート角度の関係

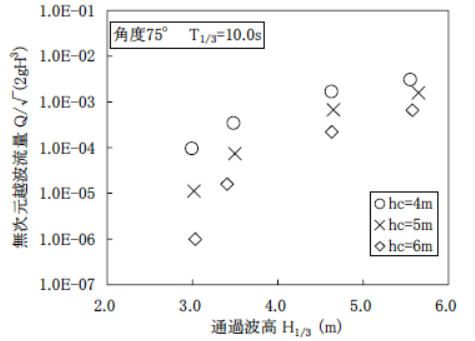


図-5　越波流量と天端高の関係

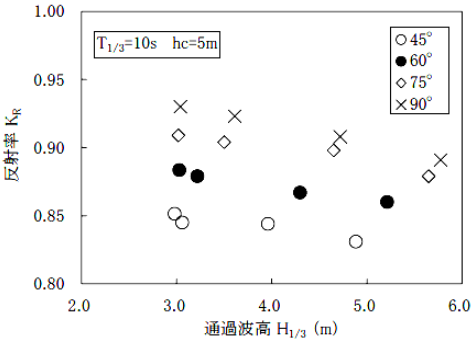


図-6　ゲート角度と反射率の関係

４．まとめ

本実験から得られた主要な結論を以下に示す．

(1)同一のフラップ起立角度では，通過波高が大きく天端高が低いほど反射率が小さく，越波流量が多くなる．

(2)フラップの起立角度が大きいほど反射率が大きく，越波流量も多くなる．

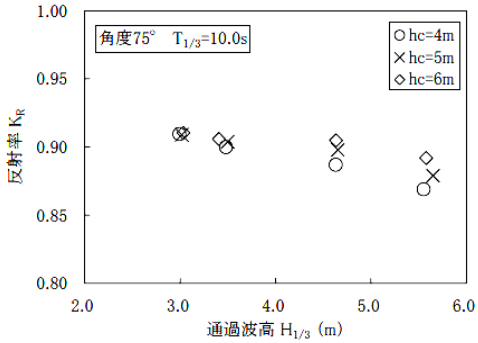


図-7　天端高と反射率の関係

謝辞：本研究は独立行政法人港湾空港技術研究所と大型防潮フラップゲート研究グループ（構成：早稲田大学，石川島播磨重工業株式会社，川崎重工業株式会社，新日本製鐵株式會社，JFE ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ株式会社，日立造船株式會社，三井造船株式会社，及び三菱重工業株式会社）の共同研究の一部である．

参考文献：

1)O.Kiyomiya, K.Inoue: A plan of large-scale Storm Surge Barriers to Protect Urban Areas from Storm Surge Disaster, Techno-Ocean, 2002, Nov.

2) 合田良實，鈴木康正　他：不規則波実験における入・反射波の分離推定法，港湾技研資料，No.248，1976.