

津波(地震)対策水門「石脇川水門」について

川原 龍太郎¹⁾ 森田 武志³⁾
大和田 英樹²⁾ 太田 勝⁴⁾

津波対策水門は、津波の波力に対して安全であること、津波の発生を検知して無人でも閉鎖操作が行われることなどが要求される。津波の波力については、いままでに発生した津波の記録からその大きさを設定している。津波の検知であるが、これは地震が発生しても必ず津波が起きるとは限らない、津波は震源地が海であること、震度が大きいことなどの要因がないと起こらない。これらから津波の発生を検知してゲートを動作させることは、非常にむずかしく膨大な費用もかかるため、今回は水門の設置点での地震の大きさにより自動閉鎖することとした。したがって津波の発生しない様な地震(震源地が内陸など)であってもゲートは閉鎖する状態で、内水排除の考慮も必要であった。以下に石脇川水門の概略を紹介する。

まえがき

石脇川水門は、静岡県が、地震対策事業の一環としての最初の津波対策用ゲートである。本土工(コンクリート構造物)を、昭和57年3月に完了し、ゲートは昭和57年9月に着工し昭和58年7月に完成した。設置場所は静岡県焼津市にあり図-1の通りである。今回は、ゲート取付点のみ津波対策用の高さの防潮堤となっているが、海岸線、瀬戸川の兩岸など全域にわたっての防潮堤およびゲートが予定されている。

水門の機能は、地震を検知すればエンジン発電機が自動起動しゲートが自動下降、石脇川を閉鎖し津波を防ぐ事が出来る様になっている。ゲートの操作は、まったくの無人操作と操作室内から行う押し釦による機側操作とが可能となっている。

1. ゲートの概要

石脇川水門は、支間13.0m呑口高3.4mで海側上部には、遮水壁がありT.P+6.0mまでの津波に対処できる構造となっている。ゲートの構造型式としては、縦横比から桁構造も考えられたが作用水圧が約600t(津波時)と大きいこと、上流からの流下物が多く桁構造であると、桁と桁の間にそれらが堆積しやすいこと、すぐ上流側には、道路があり美観も考慮しシェル構造とした。

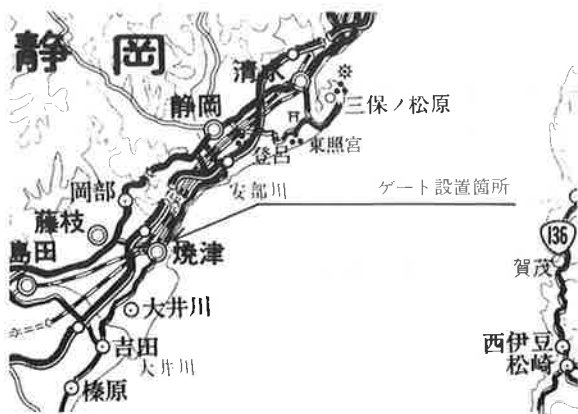


図-1 地図



写真-1 水門正面

1)水門機械部部長

2)水門機械部水門機械課係長

3)水門機械部水門機械課係長

4)水門機械部水門機械課

ゲートの仕様

型式	鋼製シェル構造ローラゲート
設置数	1門
純径間	13.0m
呑口高	3.4m
設計水位	海側 T. P+6.0m 川側 T. P-1.3m
敷高	T. P-1.3m
水密方式	前面4方ゴム水密
揚程	4.4m
開閉速度	(常時) 0.3m/min (急速降下時) 2.0m/min
開閉方式	電動ワイヤードラム式
操作方式	機側および自動操作
動力源	エンジン発電機

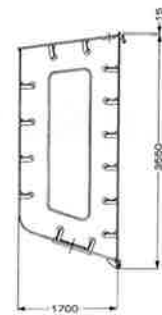


図-2 ゲート断面

2. 各部の構造説明

(1) 扉体

扉体は、桁高1.7m扉高3.565mで図-2のように振り剛性的大である閉断面とした。また閉断面であるため、全ての部材を有効断面として使用した設計が行えた。

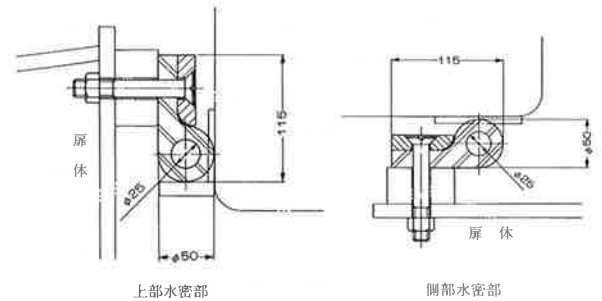
スキンプレートは前面（海側）に設け鉛直とした前面に設けたことにより、直接海水に当たる面は1面（スキンプレートのみ）となり腐食を出来るだけ少なくすることができる。又、海側を鉛直とすることによって津波からゲートが上に持ち上げられることのないよう波浪の影響も考慮した。

扉体内面に設けるリブは、通常はアングルの使用が多いが今回は、バルブプレートを使用し隅角部などの溶接作業が容易に行えるようにした。

水抜孔は、急速降下速度2.0m/min時に問題のない様、φ350を16箇所、上部には空気孔φ80を設けた。

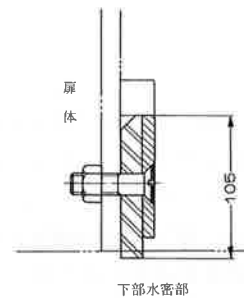
石脇川の上流部は、地盤が低いためゲート閉鎖時の内水排除が必要で、フラップゲートを扉体の両側に各1箇所計2箇所設けた。

水密構造は図-3の様に、側部および上部には、Pゴムの、下部には平ゴムを使用し上流側には、戸溝内への防塵のためにLゴムを取付けた。



上部水密部

側部水密部



下部水密部

図-3 水密構造

(2) 戸当り金物

戸当り金物は、図-4に示すようにH型钢とSUS材とで構成した。上部戸当り金物は、津波作用時に扉体がたわんだ時でも水密が保てるように図-5に示すような受板を設けた。又、側部戸当り金物では2次コンクリートの回りをよくするようにリブなどは、大きく切欠いた構造とした。



図-4 戸当り金物(側部)

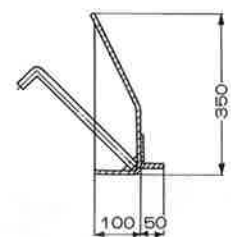
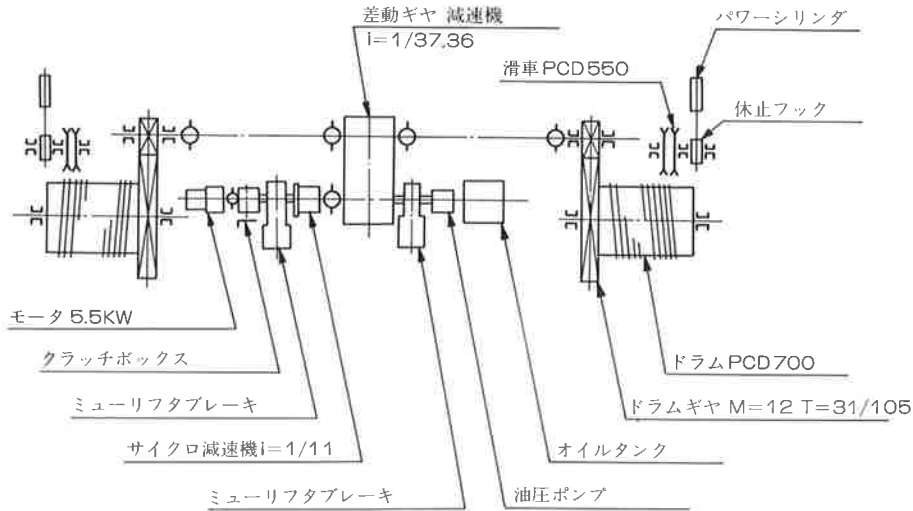


図-5 戸当り金物(上部)

(3) 開閉装置

開閉装置は、機側での押釦操作と、地震発生時に



図一 6 開閉装置

自動運転により急降下閉鎖をすることを、目的として構成した。

開閉装置仕様

型 式	1 電動機 2 巻胴ワイヤロープ巻取式 (図一 6)
操 作 荷 重	53.0 t
揚 程	4.4 m
開 閉 速 度	(常 時) 0.3m/min (急速降下時) 2.0m/min
電 動 機	全閉特殊かご形ゲートモータ 5.5KW 6 極連続定格
サイクロ減速機	HS-84 i = 1/11
差動ギヤ減速機	DFiG-05-680 i = 1/37.36
ワイヤロープ	JIS 6 号 (6 × 37) φ30 G 種メッキ 12 本吊
電 源	エンジン発電機 30KVA 3 相 220V 60HZ

a) ワイヤロープ

ゲート本体および土木構造物との調和を考慮して先にシープ径の検討を行った。開閉装置をコンパクトにし、電動機容量を小さくするためにワイヤロープは φ30 (JIS 6 号G種) を選定し、片側 6 本吊とした。

巻胴はフリートアングルその他を検討した結果、ピッチ円直径700、ワイヤ溝付一層巻とした。

b) 休止装置

ゲート降下時の安全性を考慮して休止装置を設けた。

休止装置を設けるとゲートを閉鎖する時、ゲートを 1 度上昇させて休止フックを外した後、降下することになり、地震時の急速降下のためには、休止フックがなく即時にゲートを降下さす方がよいとの考えもあった。

石脇川水門付近は釣場になっていて、子供や釣船がゲートのすぐ近くまで来ることがしばしば見受けられること、休止装置を付けた場合でもゲートの全閉に必要な時間は、地震感知後、約 4 分で津波防止には、問題のない時間であることなどから、事故防止のため休止装置を設けた。

休止装置は、無動力式と動力式の 2 種に大別できるが、操作の確実性を考慮してパワーシリンダーによる動力式とした。

c) その他の安全装置

開閉装置にはこの他にも、ゲートの保護、操作の確実性を確保するためにゲートが片吊になるのを防ぐワイヤ弛み防止装置、ゲートが上昇し過ぎるのを防ぐ非常上限リミットスイッチ、手動開閉装置など

を設けている。更に、ゲートの運転を付近にいる人に知らせるため、警報装置としてブザーおよびパトライトを設置した。

d) 急速降下装置

地震発生直後に津波が襲来することを考慮して、開閉装置には地震発生後ゲートを直ちに閉鎖するための、急速降下装置を設けた。

急速降下装置はゲートの自然落下を利用したもので落下スピードを制御することにより、下限到達時の衝撃を緩和する方式とし、落下スピードの制御には油圧装置をブレーキとして採用した。

ゲートが落下しようとする力を、ワイヤロープ、巻胴、差動ギヤ減速機を介して油圧ポンプに伝達しそれを回転させ、油圧ポンプから送り出される作動油を、流量制御弁を用いて制御することで、油圧ポンプの回転を抑えゲートの落下速度を一定に保つようにした。

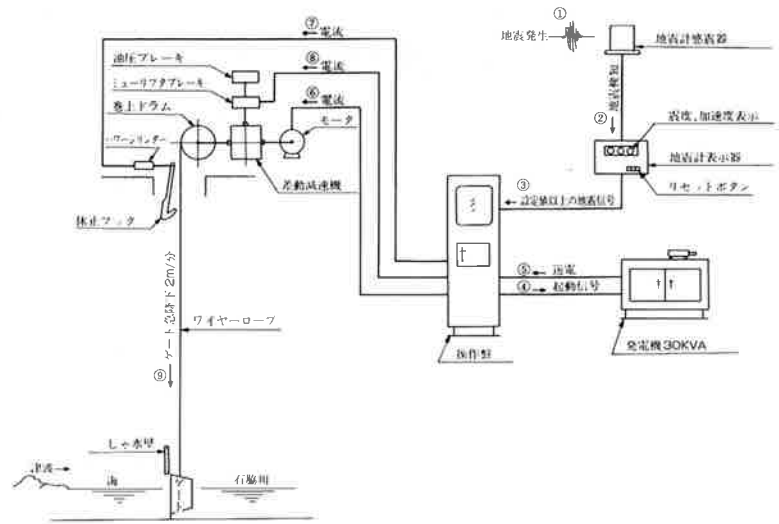


図-7 制御系統図

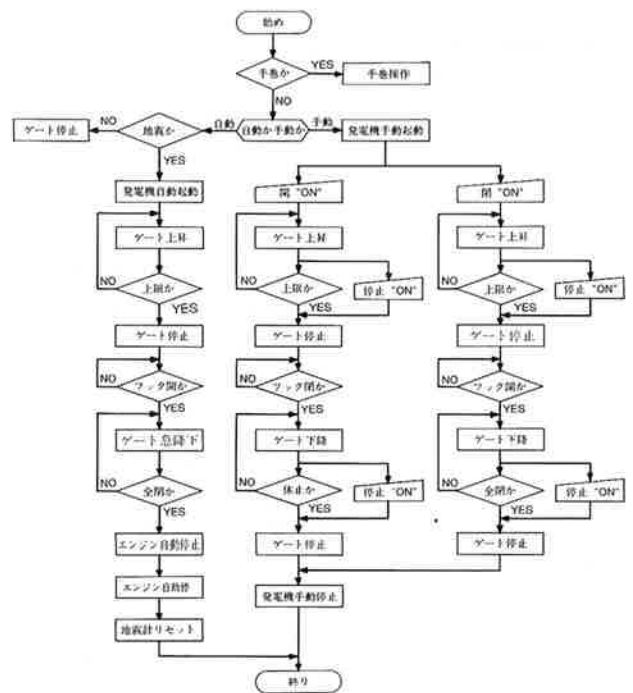


図-8 動作フロチャート

(4) 制御系（ゲートの動作）

制御系統図を図-7に、フローチャートを図-8に示す。

平常時のゲートの操作は、操作盤の手动押釦により発電機を起動し、開操作、閉操作および停止操作を行う。

地震時のゲート動作は、地震が発生すると地震計の感震器でその大きさを検知し、表示器で震度および加速度をデジタル表示すると共に、設定震度以上の地震であれば、ゲートを急閉鎖するため操作盤に地震発生信号を送る。操作盤はエンジン発電機のエンジンに起動命令を送り発電機の電圧が所定の電圧に達すると送電を開始する。

先づ休止状態にあるゲートのフックを外すため約20cm上限の位置（フックの外れる位置）まで0.3m/minの速度でゲートを巻上げる。

次に休止フック開閉用のパワーシリンダにより休止フックを全開にする。以上の準備を終えた後、ミュールフタブレーキのブレーキを開くと、ゲートは自重により2.0m/minの速度で4.4mを急速降下して石脇川を閉鎖する。エンジン発電機は約15分稼働し自動停止する。地震の発生検知後ゲートが全閉状態になるのに要する時間は、フックの脱着に約1.5分、急速降下に2.2分合計3.7分約4分である。

地震（津波）が解除されるとゲートを開けるが、その操作は押釦操作で行う。地震計の表示器により地震の大きさを確認後、感震器をリセット釦で手動にてリセットする。

次にエンジン発電機および操作盤の運転モードを自動から手動に切替えエンジン発電機を起動させると、操作盤の押釦操作が可能となるので、手動でゲートを全開し次の地震に備える。

(5) 地震計

a) 外観

地震計は地震の大きさを検知する感震器と、感震器が検知した地震の大きさを震度および加速度で表示する表示器とで構成している。

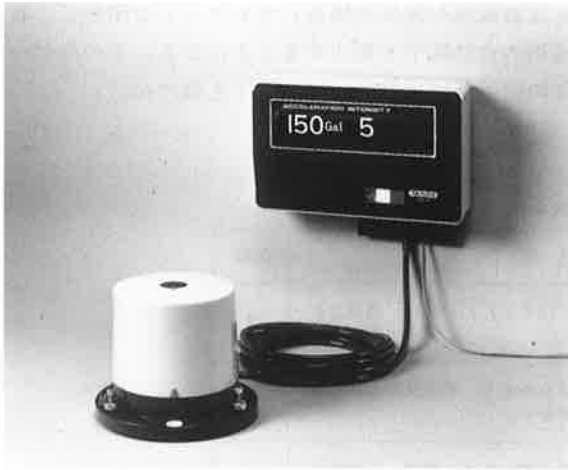


写真-2 地震計

b) 仕様

感震器	設定感度	8・15・25・50・80・ 150・250gal (7段階)
	リセット	電気式自動復帰
付属装置	水準器・水平調整ネジ	
寸法	外径	19.0cm
	高さ	14.8cm
重量		約7kg
表示器	表示器	デジタル・7段階 DCモータによるドラム 回転式
	リセット	押ボタンによる自動復帰 ランプ指示・感震器と連動
電源		AC100V・DC6V UM-1×4・停電時 AC-DC自動切換
	警報回路	定格AC125V・3A
	寸法	横29cm高さ18.5cm
	重量	約2.5kg

c) 構造

感震器の感震機構は図-9に示すように落球式となっている。球の直径をD、受座の穴の直径をdとすると、球の重心にかかる水平加速度 α と、重力gとの合力の方向が受座の穴端より外に出る時に球は転落する原理になっている。7段階の地震の大きさを検知するために、球の直径Dを一定とし、受座の穴直径dを変化させた球が7個ある。

表示器は円筒ドラムに7段階の震度と加速度が表示

示してあり、地震の大きさにより表示ドラムの回転角を変化する方式である。

例えば感震器の震度3の球が転落すると、図-10においてリミットスイッチa3がONになり、駆動モータが回る。そうすると表示ドラム、カム1、カム2が駆動軸により回転するがカム1は、リミットスイッチb1、b2、b3、を次々にOFFにするのでb3がOFFになった時停止する。この時表示ドラムは「震度3」と表示した位置でとまる。

カム2は設定震度以上の地震の時に警報スイッチを作動させる目的のカムである。この警報スイッチはエンジン発電機を起動する目的に使用した。

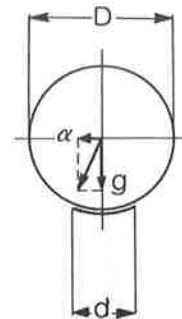


図-9 落球式感震機構

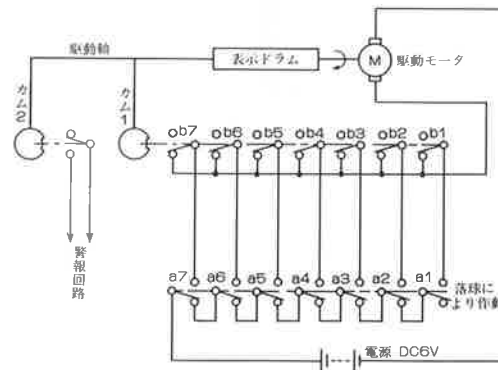


図-10 地震計回路原理図

d) 感震器の特性

周波数特性は図-11に示すように平坦で高い周波数では感度が低下する。これは地震動の周波数には敏感で、人為的におこされる振動の主成分である高い周波数には鈍感である特長を有している。

上下動主成分の振動に対しては、その機構上周波数全域にわたって1g近く迄感応しない。従って通常上下振動成分の大きい、自動車、鉄道、工場建設、土木工事などによっておこる振動に対しては、誤動作しない。

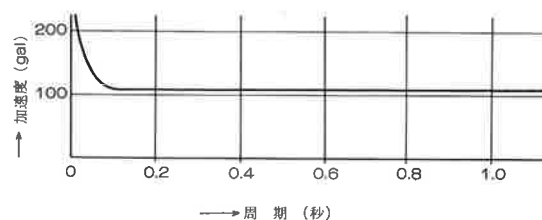


図-11 周波数特性

e) 設定震度

地震の大きさを気象庁の震度階により表示したものが表—1である。感震器の検知範囲は8gal~250gal(1,000gal=9.8m/sec²)で、ゲートを急速閉鎖する設定震度を50gal、震度4とした気象庁の見解によれば地震時に津波が発生するのは

- ①震源地が海であること。
- ②震源地の地盤が岩盤でその浅い部分で発生すること。

③大きい地震であること。

である。したがって津波の発生を確実に検知するためには地震をはじめ各種のデータを有機的に結合する必要があるが、今回は③の地震の大きさのみ判別する方式とした。

この方式の場合、津波が発生しない大きな地震(例えば震源地が陸地の場合)でもゲートは閉鎖し、石脇川の自然流下を阻止することになる。この為ゲートの両端部にはフラップゲートを設けた。

表—1 地震の大きさ

加速度	気象庁の震度階	震度
gal	激震 家屋の倒壊は30%以上におよび、山くずれ、地割れ、断層などを生じる	7
400	烈震 家屋の倒壊は30%以下で、山くずれが起き、地割れを生じ、多くの人々は立っていることができない。	6
250	強震 壁に割目がはいり、墓石、石燈籠が倒れたり、煙突、石垣などが破損する。	5
80	中震 家屋の動揺が激しく、すわりの悪い花びんなどは倒れ、器内の水はあふれ出る。また歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す。	4
50●	弱震 家屋がゆれ、戸障子がガタガタと鳴動し、電燈のようなつり下げ物は相当ゆれ、器内の水面の動くのがわかる。	3
25	軽震 大勢の人に感ずる程度のもので、戸障子がわずかに動くのがわかるぐらい。	2
8	微震 静上している人や特に地震に注意深い人だけに感ずる。	1
2.5	無感 人体に感じないで地震計に記録される。	0
0.8		

あとがき

津波対策ゲートとして今回が初めてであるが、長崎大学富樫教授、静岡県地震対策課ならびに静岡県藤枝土木事務所の関係各位の御指導により無事完了することができ、深く感謝の意を表します。