

論 說 報 告

土木學會誌 第十七卷第一號 昭和六年一月

矩形函内の液體荷重がその安定に及ぼす影響

會員 工學博士 宮 本 武 之 輔

Influence of Liquid Ballast in a Rectangular Caisson
upon its Stability.

By Takenosuke Miyamoto, Dr. Eng., Member.

内 容 梗 概

本編は矩形函内の液體荷重が函の安定に及ぼす影響を論じて、著者が信濃川補修工事に於て建造せる締切用浮函の安定を検し、築港工事に於て鐵筋コンクリート函を水荷重によりて沈設するが如き場合の函の安定に言及したるものなり。

1. 總 說

著者は新潟縣三島郡大河津村に於ける信濃川補修工事可動堰の築造に際して、基礎又は堰脚施工のため鋼製浮函を使用して局部的に河水を締切る計畫を樹て、特殊の構造を有する浮函を建造したり。本浮函は即ち移動式圍堰とも稱すべきものにして、浮函4個を函形に配置し、その接觸點及び函底に適當なる水密装置を施したる後、辨を開きて函内に水を滿たして之れを沈設する時は河水を函形に締切る事を得る設計にして、各浮函には30馬力電動機直結、口徑254mm渦卷唧筒を具へ、締切内の排水を行はしむると共に、締切内の工事を終れば此の唧筒を以て浮函内の水を排除し、函を浮揚せしめて之れを次の締切箇所へ曳航移動するものとす。

本浮函は甲種4個、乙種4個を製作し、各2個づゝを用ひて同時に2箇所を締切る計畫の下に先づ甲種浮函4個を建造したりしが、可動堰基礎コンクリート工事は冬季の濁水時を利用して一舉にその全幅を締切り、純然たる陸上作業に移して之れを施行し得る事となりしを以て、計畫中なりし乙種浮函の建造を見合せ、甲種浮函は之れを將來に於ける堰堤修理の用に供する事としたり。

甲種浮函は總長20.80m、幅4.00m、深さ5.50mにして、深さに比して幅狭く、加ふるに上部甲板下に唧筒室を有する關係上重心の位置比較的高きが故に、常時極めて不安定なるものあり。隨時左舷又は右舷に傾かんとする傾向著しきを以て、函の重心位置を低下すると同

時にその吃水を増して、之れが安定を増進せんがために定荷重として函底にコンクリートを施工する事としたれども、函を浮揚せしめて之れを曳航移動する場合の便宜上より言へば、該定荷重は之れを最少限度に止むる事を必要とするは勿論、定荷重を搭載して安定なる釣合を保つ場合にありても、之れに水の如き液體荷重を加ふる時は更に著しくその安定を害せられて傾斜甚しく、傾斜は函内の水深と共に増大し、水深一定の限度を越ゆるに及んで次第に安定を回復して、遂に直立位置に浮揚するに至る浮體の通有性に鑑み、浮函に實用上必要にして充分なる安定を保有せしめんがためには、極めて精細なる浮體安定の計算を施さざる可からざるを悟りたるが故に、著者は専ら之れが理論の探求と當面の實例に関する數字計算に没頭して遂に此の問題を解決し得たり。惟ふに此の種の理論は船舶工學上の初歩の階梯に屬すれども、我が土木工學界にありては普及すること甚だ廣からざるものあるを感じたるが故に、茲にその結果を公にすべし。

此の問題の解決にあたり東京帝國大學教授井口常雄氏、同助教授高橋良之助氏の助言と協力に負ふ所尠からず。又上記鋼製浮函の實地設計にあたりては専ら内務技師後藤憲一氏を煩はしたり。共に記して謝意を表す。

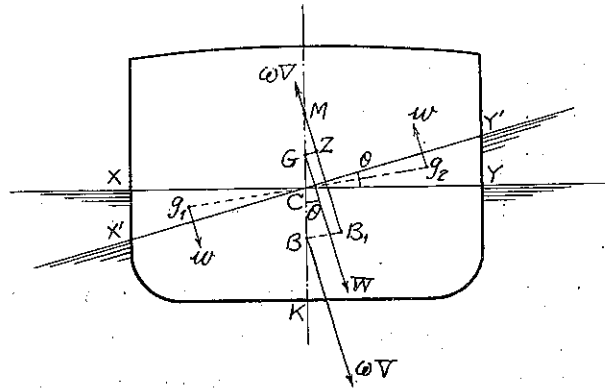
2. 浮體の安定

第一圖を以て浮體の横断面とし、 XY を以て水線とする時はアルキメデスの原理によりて浮體の重量 W は浮體が排除したる水の重量に等しきを以て、水の單位重量を ω 、浮體が排除したる水の容積を V を以て表はせば、重量 W は排水量 ωV に等しく、

$$W = \omega V$$

なる周知の關係あり。浮體の重心を G 、排除せられたる水の重心を B とせば、 B は所謂浮心にして浮體はその排水量 ωV に等しき浮力を蒙る。即ち重量 W は重心 G を通りて鉛直下方に働き、浮力 ωV は浮心 B を通りて鉛直上方に働き以て浮體の釣合を保つものにして、浮體が鉛直に浮揚する限り G と B とは同一鉛直線上にあり。水線 XY 上の舷側鉛直高を乾舷と稱す。今浮體がその鉛直

第一圖



位置より θ の角度だけ傾斜する時は、水線 XY は $X'Y'$ の位置を取り XY , $X'Y'$ の新舊兩水線は浮體が對稱断面を有する限り、浮體縦中心面 KBG 上の 1 點 C に於て交はり、 XX' は一方の舷に於ける乾舷の増加、 YY' は他方の舷に於けるその減少となる。即ち XY , $X'Y'$ に挟まれたる 2 個の楔形断面 XCX' , YCY' の内一つは排水量の増大を意味し、他は之れが減少を示す。前者は所謂潛入楔形(イムマースド・ウェッジ)、後者は現出楔形(エマーヂド・ウェッジ)なり。浮體の排水量、従つて之れに働く浮力は浮體傾斜の前後に於て變化なきが故に XY 線以下の浮體の容積と $X'Y'$ 線以下のそれとは相等しきを要し、楔形 XCX' と YCY' とは全く相等し。

浮體傾斜の結果排水量及び浮力の値には變化なきも、排除せらるゝ水の断面形状は KXY より $X'KY'$ に變ずるが故に、浮心 B は B_1 にその位置を變ず。重量 W は G を通りて鉛直下方に働き、浮力 ωV は B_1 を通りて鉛直上方に働き、且つ W と ωV とは相等しきが故に、此れ等の 2 力は偶力を形成し、 G と B_1 との関係位置如何によりて浮體の傾斜角 θ を或は増大せんとし、或は之れを減少せんとする傾向を有す。

B_1 を通過する浮力 ωV が浮體の縦中心面 KBG と交はる點を M とせば、 M は即ちメタセンターにして浮體の傾斜角 θ の小なる限り、 M の位置は θ に關係なく一定す。浮體の重心 G が如何なる場合にも浮心 B の下方にある時は、浮體は絶対に安定なれど、普通の場合には G は常に B の上方にあり。 M と G との関係位置によりて浮體の釣合を次の 3 種に區別す。

- 1) M が G より上にある場合には上記の偶力は浮體を鉛直の原位置に復せしめんとする方向に働き、浮體は安定の釣合にあり。
- 2) M が G と一致する場合には上記の偶力は消失し、傾斜角は何等の變化を蒙らず、浮體は不安定の釣合にあり。
- 3) M が G より下にある場合には上記の偶力は浮體を鉛直の原位置より益々遠ざからしめんとする方向に働き、浮體は不安定の釣合にあり。

G より M までの距離 \overline{GM} をメタセンターの高さと稱し、 G より上方に測れる場合を正、下方に測れる場合を負とすれば、浮體をして安定の釣合を保たしむるためには \overline{GM} は常に正の値を取らしめざるべからず。即ち M は常に G の上方にある事を要し、浮體の建造は必ず此の原則に従ふ。

M の位置は B_1 の位置を知れば容易に之れを見出す事を得べく、 B_1 の位置は次の關係によりて之れを定むる事を得べし。即ち楔形 XCX' , YCY' の容積を v とすれば、その重量 $w = \omega v$ は夫々の重心 g_1, g_2 に働き、 $g_1 g_2$ は BB_1 に平行にして、且つ

$$\overline{BB_1} = \overline{g_1 g_2} \times \frac{v}{V}$$

なる關係あり。此の作圖的解法の外に、舷側 XX' , YY' が鉛直なる限り、 M の位置は解析的解法によりて之れを求むる事を得。

今浮體傾斜の前後に就てその靜力學的關係を檢討するに、傾斜前 B に働かし浮力 ωV は浮體傾斜のために消失して、新たに働く ωV を生じたるものにして、之れは B に ωV が下方に働き、 B_1 に ωV が上方に働きたる結果と見做す事を得べく、此れ等 2 個の ωV は偶力 $\omega V \overline{MB} \sin \theta$ を構成す。一方に於て浮體傾斜の結果、潛入楔形に對應する浮力 w は全浮力 ωV に加へられ、現出楔形に對應する浮力 w は ωV より減ぜらるゝに至りしが故に、 g_1 には w が下方に働き、 g_2 には w が上方に働く事となり、此れ等 2 個の w は偶力を構成し、その大きさは曩の偶力率 $\omega V \overline{MB} \sin \theta$ に等し。即ち傾斜角 θ が小なる限り

$$\begin{aligned} \omega V \overline{MB} \sin \theta &\doteq \omega V \overline{MB} \theta \\ &= \int \omega x \theta dx \quad x = \omega \theta I \\ \therefore \overline{MB} &= \frac{I}{V} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

是即ちメタセンターの位置を定むる周知の公式にして、茲に I は C を通過する縦軸に關する水線斷面の慣性率なり。

斯の如くにして M の位置を定むる時は、 \overline{GZ} を $\overline{B_1M}$ に垂直に引きたるものとして、傾斜せる浮體を鉛直の原位置に復せしめんとする偶力の大きさは $\omega V \overline{GZ}$ を以て表はされ、 ωV は一定なるが故に單に挺長 \overline{GZ} を以て浮體安定の大小を定むる事を得べし。

$$\overline{GZ} = \overline{MG} \sin \theta = (\overline{MB} + \overline{KB} - \overline{KG}) \sin \theta \dots\dots\dots(2)$$

\overline{KB} , \overline{MG} は浮體の構造より自ら定まり、 \overline{MB} は (1) 式より之れを算出す。(1) 式は θ の値 $10 \sim 15^\circ$ 迄の範圍内に於てのみ之れを適用し得べく、此の場合の浮體の安定は \overline{MB} , \overline{KB} , \overline{KG} , 皆常數なるが故に傾斜角 θ に比例するものとす。

3. 安定曲線

傾斜角 θ が $10 \sim 15^\circ$ の範圍を超ゆる時は (1) 式は使用する事能はず、此の場合の 2 個の w による偶力は之れを次の如く計算す。

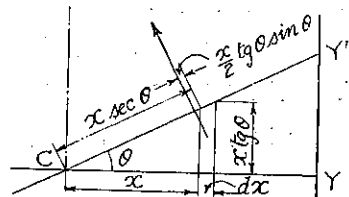
即ち第二圖に於て

$$\omega V \overline{MB} \sin \theta = M_1$$

にして

$$M_1 = \omega \int x \tan \theta dx \left[x \sec \theta - \frac{x}{2} \tan \theta \sin \theta \right]$$

第二圖



$$= \omega \tan \theta \cos \theta \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right) \int x^2 dx$$

$$= \omega \sin \theta \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right) I$$

$$\therefore \overline{MB} = \frac{I}{V} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right) \dots \dots \dots (3)$$

(3) 式は船底が水面上に現はれず、甲板の一隅が水中に没せざる限り θ の凡ての値に對して適用し得るものにして、(1) 式は θ が小なる範圍に於て $\frac{1}{2} \tan^2 \theta \doteq 0$ と置きたる略値なり。此の場合にも浮體の安定 \overline{GZ} は (2) 式によりて算出し得れども、 θ が小ならざる限り \overline{MB} は (1) 式の如き常數にあらずして、(3) 式の如く θ の圓函數なるが故に、此の場合の \overline{GZ} は傾斜角 θ の複圓函數となる。即ち次の如し。

$$\overline{GZ} = \frac{I}{V} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right) \sin \theta - (\overline{KG} - \overline{KB}) \sin \theta \dots \dots \dots (4)$$

\overline{GZ} は浮體の安定偶力に正比例するが故に、横距に傾斜角 θ を取り、縦距に安定偶力 $\omega V \overline{GZ}$ 又はその挺長 \overline{GZ} を取りてその間の變化を圖示する時は一種の曲線を得べく、此の曲線を安定曲線と名づく。

以下安定偶力は單に \overline{GZ} を以て之れを示し、從つて安定曲線の縦距には \overline{GZ} を取る事とすべし。

4. 液體荷重の影響

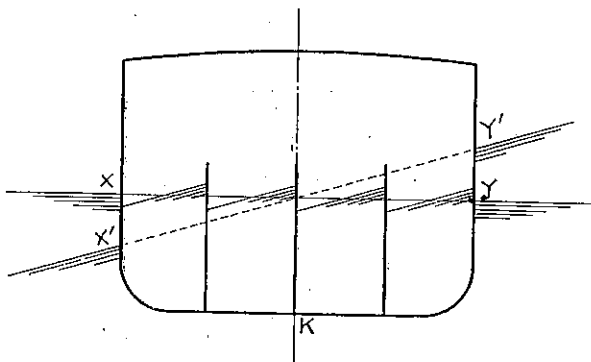
浮體の自重、積載貨物の重量の如きは傾斜のためにその位置を變ぜず、從つて重心 G はその位置を變ずる事なしと雖も、水又は油の如き液體荷重は傾斜のためにその断面形狀を變じ、その重心は浮體傾斜の方向に移動するが故に、 \overline{GZ} の値を減少しそれだけ浮體の安定は害せらる。

極端なる場合を取りて、浮體には自重なくその重量は専ら之れに搭載せられたる液體荷重に基くと假定せんか、浮體内外の液體の比重にして同一なる限り、荷重の深さは浮體の吃水と同一にして、重心 G は浮心 B と一致すべし。而して傾斜角 θ の如何なる値に對しても重心 G は浮心 B と一致してその位置を變ずべきが故に、 $\overline{GZ} = 0$ にして安定偶力を生ぜず、浮體は完全に中立の釣合にあり。

若し液體荷重が密閉せる槽又は艙内に満載せらるゝ時は、浮體傾斜のためにその断面形狀を變ずる事なきが故に、之れを定荷重と見做し得べく、從つて毫も浮體の安定を害する事なし。即ち液體荷重が安定偶力を低減せしむるは、流動の自由を許されたる液面の存在する場合に限り之れを自由液面の影響と稱す。

自由液面の影響を軽減して浮體の安定を回復するには、第三圖の如く浮體縦中心面に平行なる數多の水密隔壁を設け、以て自由液面の大きさを局限するに如かず。斯くすれば水線が XY より $X'Y'$ の位置に變じたる場合にも、浮體内の液面は $X'Y'$ の如き一平面となる事なく、水密隔壁の各區劃内にて別々の水平面を取るが故に、重心 G の移動は浮力 B の移動の如く著大ならずして、安定偶力は消失せず。安定偶力の大きさは水密隔壁を増すに従つて増大し、水密隔壁を無限に増加して自由液面を微分幅に限定する

第三圖

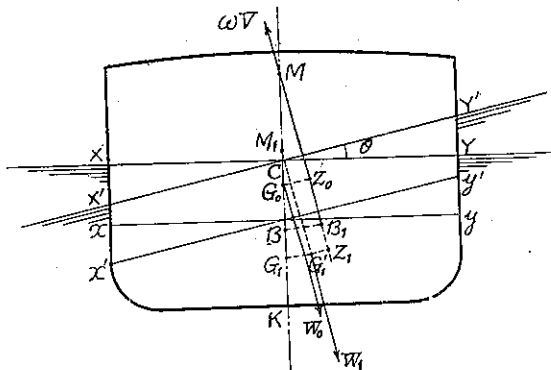


る時は、液體荷重は全くその流動の自由を失ふが故に、重心 G は毫も變位せざる事となる。

實際の場合にありては浮體に自重あり、その重量 W は自重 W_0 と液體荷重 W_1 との總和なるを以て、上記の推論に多少の變更を加ふる必要あり。問題を簡單ならしむるために、液體荷重が水なる場合のみを取扱ふ。

第四圖に於て、浮體が鉛直位置に浮揚する場合の水線を XY 、浮體内の水面を xy 、 θ だけ傾斜したる場合の水線を $X'Y'$ 、浮體内の水面を $x'y'$ とすれば、 XY と $X'Y'$ との交點 C 及び xy と $x'y'$ との交點 o は共に縦中心面 KBG 上にありて、4 個の楔形 XCX' 、 YCY' 、 axa' 、 aya' は何れも相等し。

第四圖



浮體重量 W は之れを自重 W_0 と浮體内の水の重量 W_1 とに分割して考ふるを便とす。 W 、 W_0 、 W_1 の重心を夫々 G 、 G_0 、 G_1 とする時は

$$\overline{KG} = \frac{W_0 \overline{KG_0} + W_1 \overline{KG_1}}{W_0 + W_1}$$

なり。 G_0 は浮體の傾斜のためにその位置を變ぜざれど、 G_1 は G_1' に移動すべし。 B_1 を傾斜後の浮心、 M をメタセンターとし、 $\overline{G_0 Z_0}$ 、 $\overline{G_1' Z_1}$ を $\overline{MB_1}$ に垂直に引きたるものとせば、浮體の安定は

$$\overline{GZ} = \frac{W_0 \overline{G_0 Z_0} + W_1 \overline{G_1' Z_1}}{W_0 + W_1}$$

今浮體の自重に對應する排水量の容積、浮體内の水の容積又は此のための排水量の容積の増加及び前二者の和を夫々 V_0 , V_1 , V を以て表はす時は、

$$W_0 = \omega V_0, \quad W_1 = \omega V_1, \quad W = W_0 + W_1 = \omega V$$

なるを以て、上式は

$$\overline{GZ} = \frac{V_0 \overline{G_0 Z_0} + V_1 \overline{G_1' Z_1}}{V} \dots \dots \dots (5)$$

$\overline{G_0 Z_0}$ は (4) 式によりて算出する事を得べく、 $\overline{G_1' Z_1}$ は (4) 式を得たると同様に之れを求むる事を得。即ち G_1' を通過する鉛直線と KBG との交點を M_1 とすれば、

$$\overline{M_1 G_1} = \frac{I}{V_1} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta \right) \dots \dots \dots (6)$$

而して

$$\overline{G_1' Z_1} = (\overline{MG_1} - \overline{M_1 G_1}) \sin \theta = (\overline{MB} + \overline{BG_1} - \overline{M_1 G_1}) \sin \theta$$

此の値を (5) 式に代入して

$$\overline{GZ} = \frac{V_0}{V} [\overline{MB} - (\overline{KG_0} - \overline{KB})] \sin \theta + \frac{V_1}{V} [\overline{MB} + \overline{BG_1} - \overline{M_1 G_1}] \sin \theta$$

$\frac{V_1}{V} \overline{M_1 G_1} = \overline{MB}$ なる関係を用ひて上式を簡単にすれば、

$$\overline{GZ} = \overline{BG_1} \frac{V_1}{V} \sin \theta - (\overline{KG_0} - \overline{KB}) \frac{V_0}{V} \sin \theta \dots \dots \dots (7)$$

即ち此の場合には (4) 式の代りに (7) 式を使用すべく、(7) 式は浮體の底が水面上に現はれず、甲板の一隅が水中に没せざる範圍の θ の凡ての値に對して適用せられ、 \overline{GZ} は傾斜角 θ の圓函數として表はさる。

5. 矩形浮函の安定

1) 浮函中に水なく傾斜角が $0 \leq \theta \leq \tan^{-1} \frac{d_0}{b}$ なる場合 (第五圖参照)

矩形浮函の幅を $2b$ 、その總深を H とす。函内に水を入れず、適當なる吃水を保たしめんがために、函底に y_0 の深さにコンクリートの如き定荷重を積載す。此の場合の浮函の重心の高さを $\overline{KG} = h$ とし、吃水を d_0 とせば、浮心の高さは $\overline{KB} = \frac{d_0}{2}$ なり。

メタセンターの高さ \overline{MG} は (1) 式を用ひて次の如く計算す。

$$I = \frac{1}{12} (2b)^3 = \frac{2}{3} b^3, \quad V = 2bd_0$$

但し凡ての計算は浮函の單位長に就て之れを行ふ。然る時は(1)式により、

$$\overline{MB} = \frac{I}{V} = \frac{1}{3} \frac{b^2}{d_0}$$

$$\overline{MG} = \overline{MB} - (\overline{KG} - \overline{KB}) = \frac{b^2}{3d_0} - \left(h - \frac{d_0}{2} \right) \dots\dots\dots (8)$$

浮函安定の絶対條件は \overline{MG} が正なる事にして、此のためには

$$\frac{b^2}{3d_0} \geq \left(h - \frac{d_0}{2} \right) \dots\dots\dots (9)$$

なるを要す。傾斜角 θ が小さき間は安定は(2)式によりて表はされ、

$$\overline{GZ} = \frac{b^2}{3d_0} \sin\theta - \left(h - \frac{d_0}{2} \right) \sin\theta \dots\dots\dots (10)$$

一般に傾斜角が $0 \leq \theta \leq \tan^{-1} \frac{d_0}{b}$ なる範囲にありては、安定は(4)式を用ひて

$$\overline{GZ} = \frac{b^2}{3d_0} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2\theta \right) \sin\theta - \left(h - \frac{d_0}{2} \right) \sin\theta \dots\dots\dots (11)$$

(11)式を見るに

$$h \leq \frac{d_0}{2} \dots\dots\dots (12)$$

なる限り、 \overline{GZ} は常に正なり。即ち浮心 B が重心 G よりも上方にある場合にして、浮函は絶対安定の状態にあり。但し實地上の場合にありては、 B は G の下方にありて(12)式は成立せずと雖も、(11)式の右邊の第一項は第二項より小ならざるを常とするが故に、浮函はその安定を失ふことなし。

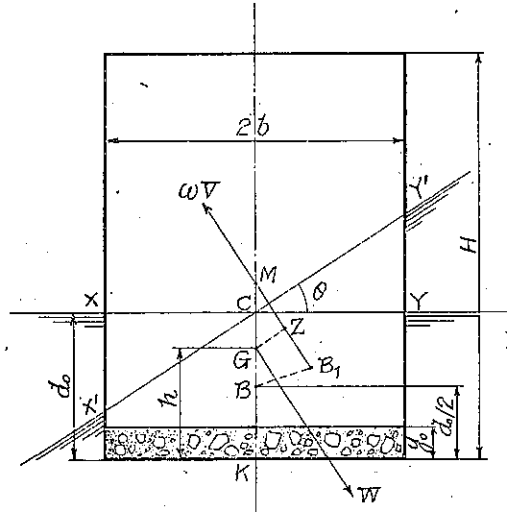
(11)式は傾斜角 θ が上記の値の範囲内にある場合に限りて成立し、 $\theta = \tan^{-1} \frac{d_0}{b}$ なる極限值を取る場合には、函底の一角が水線と交はり、 θ が此の値を超過するに及んで、函底の一部は水面上に現はるべし。此の極限の場合の安定は

$$\overline{GZ} = \frac{b^2}{3d_0} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{d_0^2}{b^2} \right) \frac{d_0}{\sqrt{b^2 + d_0^2}} - \left(h - \frac{d_0}{2} \right) \frac{d_0}{\sqrt{b^2 + d_0^2}} = \frac{b^2 + 2d_0^2 - 3hd_0}{3\sqrt{b^2 + d_0^2}}$$

2) 浮函中に水なく傾斜角 $\tan^{-1} \frac{d_0}{b} \leq \theta \leq \tan^{-1} \frac{H}{4db_0}$ なる場合(第六圖参照)

此の場合には函底の一部水線 $X'Y'$ 上に現はるゝを以て、縦中心面 KBG の兩側に相等

第五圖



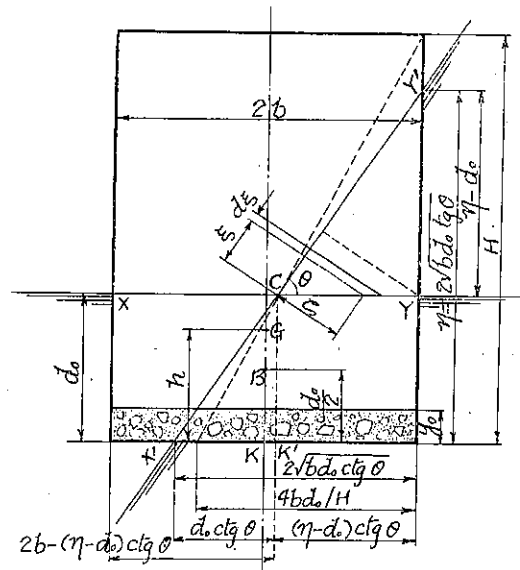
しき現出楔形と潜入楔形とを生ぜず、 XY と $X'Y'$ との交点 C は KBG 上にあらず、 YCY' は三角形断面なれど、 XCX' は不規則なる四邊形、即ち梯形断面となるべし。

而も此の場合にありても三角形 YCY' の重心に於て鉛直に上方に働く w と、梯形 XCX' の重心に於て鉛直に下方に働く w とは偶力 M_1 を構成すべく、此の場合の M_1 も亦

$$M_1 = \omega V \overline{MB} \sin \theta = \omega 2bd_0 \overline{MB} \sin \theta$$

なる關係を有す。 M_1 を求むるには C 點に關する三角形 YCY' の力率と矩形 $XCK'X'$ の力率との和より三角形 $X'CK'$ の力率を控除するものとし、第六圖に示せるが如き方法を用ひて積分を行ひ、その結果を簡單にする時は次式を得。

第六圖



即ち函の片側に於て減少せる乾舷 YY' を $\eta-d_0$ とせば

$$\eta = 2\sqrt{bd_0} \tan \theta$$

にして、

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{3} \omega (\eta - d_0)^2 \cos \theta \left(\frac{1}{2} + \cot^2 \theta \right) \\ &+ \omega d_0 \left[2b^2 - 2b(\eta - d_0) \cot \theta + bd_0 \tan \theta \right. \\ &+ \frac{1}{2} (\eta - d_0)^2 \cot^2 \theta - \frac{1}{2} (\eta - d_0) d_0 \left. \right] \cos \theta \\ &- \frac{1}{3} \omega d_0^2 \cos \theta \left(1 + \frac{1}{2} \cot^2 \theta \right) \\ &= \omega 2bd_0 \left[\left(\frac{2}{3} \sqrt{bd_0} \tan \theta - \frac{d_0}{2} \right) \sin \theta + \left(b - \frac{2}{3} \sqrt{bd_0} \cot \theta \right) \cos \theta \right] = \omega 2bd_0 \overline{MB} \sin \theta \end{aligned}$$

$$\therefore \overline{MB} \sin \theta = \left(\frac{2}{3} \sqrt{bd_0} \tan \theta - \frac{d_0}{2} \right) \sin \theta + \left(b - \frac{2}{3} \sqrt{bd_0} \cot \theta \right) \cos \theta$$

此の値を (2) 式に代入して

$$\begin{aligned} \overline{GZ} &= \left(\frac{2}{3} \sqrt{bd_0} \tan \theta - \frac{d_0}{2} \right) \sin \theta + \left(b - \frac{2}{3} \sqrt{bd_0} \cot \theta \right) \cos \theta - \left(h - \frac{d_0}{2} \right) \sin \theta \\ &= \left(\frac{2}{3} \sqrt{bd_0} \tan \theta - h \right) \sin \theta + \left(b - \frac{2}{3} \sqrt{bd_0} \cot \theta \right) \cos \theta \dots \dots \dots (13) \end{aligned}$$

θ がその最小極限值 $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{d_0}{b} \right)$ を取りたる場合は函底の一角が水線と交はり、此の時

の \overline{GZ} の値を (13) 式より算出すれば

$$\overline{GZ} = \left[\frac{2}{3} \sqrt{bd_0} \left(\frac{d_0}{b} \right) - h \right] \frac{d_0}{\sqrt{b^2 + d_0^2}} + \left[b - \frac{2}{3} \sqrt{bd_0} \left(\frac{b}{d_0} \right) \right] \frac{b}{\sqrt{b^2 + d_0^2}} = \frac{b^2 + 2d_0^2 - 3hd_0}{3\sqrt{b^2 + d_0^2}}$$

即ち前節に於て (11) 式より求めたる値に同じ。

傾斜角が $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H^2}{4bd_0}\right)$ を超過する時は甲板の一部は水中に没する事となり、 \overline{GZ} の計算には (13) 式を用ひ難きも、此の場合の算式は之れを省略す。

3. 浮函中に水あり傾斜角が $0 \leq \theta \leq \tan^{-1}\frac{y}{b}$ なる場合 (第七圖参照)

函底 y_0 の深さの定荷重の上に y の深さまで水を満たす時は、函の吃水は d_0 に更に y を増して $d = d_0 + y$ となる可し。先づ傾斜角が $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{b}\right)$ までの範圍、即ち函内の水面が定荷重の一端と一致する場合までを取扱

ふ。此の時の浮函の安定に關しては (7) 式を用ふ。

$$\begin{aligned} V_0 &= 2bd_0, & V_1 &= 2by, \\ V &= 2b(d_0 + y) = 2bd, \\ \overline{KB} &= d/2, & \overline{KG}_1 &= y_0 + y/2, \\ \overline{KG}_0 &= h, & \overline{BG}_1 &= d/2 - (y_0 + y/2) \end{aligned}$$

此れ等の値を (7) 式に代入して、

$$\begin{aligned} \overline{GZ} &= \left[\frac{d}{2} - \left(y_0 + \frac{y}{2} \right) \right] \frac{y}{d} \sin \theta \\ &\quad - \left(h - \frac{d}{2} \right) \frac{d_0}{d} \sin \theta \\ &= \left[\frac{d}{2} - \frac{d_0 h + (d - d_0) \left(y_0 + \frac{d - d_0}{2} \right)}{d} \right] \sin \theta \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

此の故に浮函の安定は吃水 d と共に増し、同時に傾斜角 θ と共に増す。(14) 式の \overline{GZ} が負となり、浮函が不安定とならざるがためには

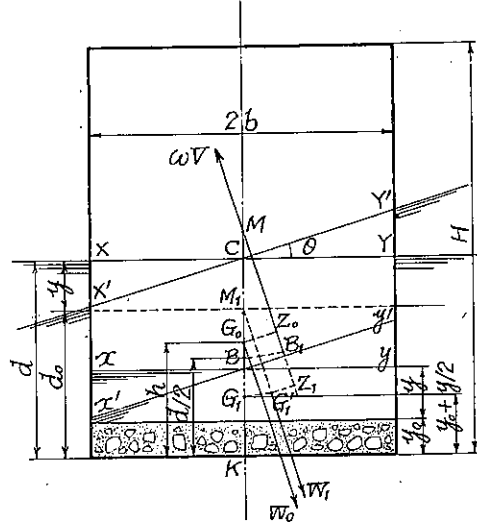
$$\frac{d}{2} \geq \frac{1}{d} \left[d_0 h + (d - d_0) \left(y_0 + \frac{d - d_0}{2} \right) \right] \dots\dots\dots (15)$$

なるを要す。而して

$$\begin{aligned} \overline{KB} &= \frac{d}{2} \\ \overline{KG} &= \frac{1}{d} \left[d_0 h + (d - d_0) \left(y_0 + \frac{d - d_0}{2} \right) \right] \end{aligned}$$

なるが故に、函中に水を入れる時は、その刹那より函の安定は著しく害せられ、 $\overline{KB} < \overline{KG}$ 、即ち全體の重心 G が浮心 B の上にある限り浮函は傾斜し、 $\overline{KB} = \overline{KG}$ 、即ち重心と浮心とが一致する場合に於て中立の釣合となり、 $\overline{KB} > \overline{KG}$ 、即ち重心が浮心の下に来るに及んで初めて安定

第七圖



の釣合となり、浮函は鉛直位置に浮揚したるまゝ函内の水深 y を増すに従つて沈下するに至るべし。初め (11) 式の \overline{GZ} が正にして鉛直に浮べる函に對しても之れに水を注入する時は傾斜し、最初は傾斜角は函内の水深 y と共に増加すれども、一定限度以上に水深（又は吃水）を増せば遂には徐々に鉛直位置に復するに至るは全く此の理による。

此の限界の吃水の値は (15) 式より求め得べきも、(15) 式はその兩邊に d を含むが故に之れを書き改めて

$$d^2 \geq 2d_0h + 2(d-d_0)y_0 + (d-d_0)^2$$

即ち

$$d \geq \frac{\left(h - y_0 + \frac{d_0}{2}\right)d_0}{d_0 - y_0} \dots\dots\dots (16)$$

θ が $\tan^{-1}(y/b)$ より増せば函底定荷重の一部が函内水面上に現はるゝが故に (14) 式を使用すべからず。 $\theta = \tan^{-1}(y/b)$ なる極限值に對する \overline{GZ} の値は次の如し。

$$\overline{GZ} = \left[\frac{d}{2} - \frac{d_0h + (d-d_0)\left(y_0 + \frac{d-d_0}{2}\right)}{d} \right] \frac{d-d_0}{\sqrt{b^2 + (d-d_0)^2}}$$

4. 浮函中に水あり傾斜角が $\tan^{-1} \frac{y}{b} \leq \theta \leq \tan^{-1} \frac{d}{b}$ なる場合 (第八圖参照)

次に傾斜角が増大して函底定荷重の一部が函内水面上に現はるゝも、猶函底の一部が水線 $X'Y'$ 上に現はれざる場合を取扱ふべし。此の場合には (5) 式を用ひて、

$$\overline{GZ} = \frac{d_0 \overline{G_0Z_0} + y \overline{G_1'Z_1}}{d}$$

$\overline{G_0Z_0}$ は (11) 式と同様にして

$$\overline{G_0Z_0} = \frac{b^2}{3d} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right) \sin \theta - \left(h - \frac{d}{2}\right) \sin \theta$$

又

$$\overline{G_1'Z_1} = \overline{MM_1} \sin \theta = (\overline{MB} + \overline{BG_1} - \overline{M_1G_1}) \sin \theta$$

此の内 \overline{MB} は (3) 式を用ひ、

$$\overline{MB} = \frac{b^2}{3d} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right)$$

又

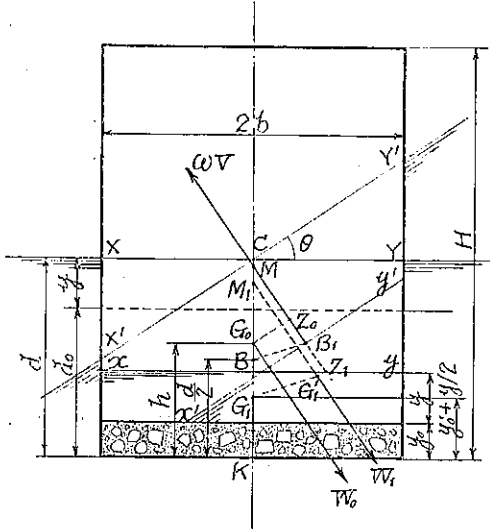
$$\overline{BG_1} = \frac{d}{2} - \left(y_0 + \frac{y}{2}\right)$$

而して $\overline{M_1G_1} \sin \theta$ は (13) 式を得たると同様にして、

$$\overline{M_1G_1} \sin \theta = \left(\frac{2}{3} \sqrt{by} \tan \theta - \frac{y}{2}\right) \sin \theta + \left(b - \frac{2}{3} \sqrt{by} \cot \theta\right) \cos \theta$$

$$\therefore \overline{G_1'Z_1} = \frac{b^2}{3d} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right) \sin \theta + \left[\frac{d}{2} - \left(y_0 + \frac{y}{2}\right)\right] \sin \theta - \left(\frac{2}{3} \sqrt{by} \tan \theta - \frac{y}{2}\right) \sin \theta$$

第八圖



$$-\left(b - \frac{2}{3}\sqrt{by \cot \theta}\right) \cos \theta$$

此れ等の値を代入して、

$$\begin{aligned} \overline{GZ} &= \frac{d_0}{d} \frac{b^2}{3d} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right) \sin \theta \\ &\quad - \frac{d_0}{d} \left(h - \frac{d}{2}\right) \sin \theta \\ &\quad + \frac{y}{d} \frac{b^2}{3d} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right) \sin \theta \\ &\quad + \frac{y}{d} \left[\frac{d}{2} - \left(y_0 + \frac{y}{2}\right)\right] \sin \theta \\ &\quad - \frac{y}{d} \left[\left(\frac{2}{3}\sqrt{by \tan \theta} - \frac{y}{2}\right) \sin \theta\right. \\ &\quad \left. + \left(b - \frac{2}{3}\sqrt{by \cot \theta}\right) \cos \theta\right] \end{aligned}$$

即ち

$$\begin{aligned} \overline{GZ} &= \frac{b^2}{3d} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right) \sin \theta + \left[\frac{d}{2} - \frac{d_0 h + (d - d_0) \left(y_0 + \frac{d - d_0}{2}\right)}{d}\right] \sin \theta \\ &\quad - \frac{d - d_0}{d} \left[\left(\frac{2}{3}\sqrt{b(d - d_0) \tan \theta} - \frac{d - d_0}{2}\right) \sin \theta + \left(b - \frac{2}{3}\sqrt{b(d - d_0) \cot \theta}\right) \cos \theta\right] \dots (17) \end{aligned}$$

傾斜角が最小極限值 $\theta = \tan^{-1}(y/b)$ を取りたる場合の \overline{GZ} の値を (17) 式より求むれば、 θ の此の値に對して (17) 式の右邊の第一項と第三項とは相殺し、

$$\overline{GZ} = \left[\frac{d}{2} - \frac{d_0 h + (d - d_0) \left(y_0 + \frac{d - d_0}{2}\right)}{d}\right] \frac{d - d_0}{\sqrt{b^2 + (d - d_0)^2}}$$

即ち (16) 式より求めたると同一の結果となる。傾斜角がその最大極限值 $\theta = \tan^{-1}(d/b)$ に達したる時は

$$\begin{aligned} \overline{GZ} &= \frac{b^2}{3d} \left(1 + \frac{d^2}{2b^2}\right) \frac{d}{\sqrt{b^2 + d^2}} + \left[\frac{d}{2} - \frac{d_0 h + (d - d_0) \left(y_0 + \frac{d - d_0}{2}\right)}{d}\right] \frac{d}{\sqrt{b^2 + d^2}} \\ &\quad - \frac{d - d_0}{d} \left[\left(\frac{2}{3}\sqrt{b(d - d_0)} \frac{d}{b} - \frac{d - d_0}{2}\right) \frac{d}{\sqrt{b^2 + d^2}}\right. \\ &\quad \left. + \left(b - \frac{2}{3}\sqrt{b(d - d_0)} \frac{b}{d}\right) \frac{b}{\sqrt{b^2 + d^2}}\right] \\ &= \frac{2(d^2 - b^2)}{3\sqrt{b^2 + d^2}} \left[1 - \left(\frac{d - d_0}{d}\right)^{\frac{3}{2}}\right] - \frac{y_0 d^2 + (h - y_0) d_0 d - b^2 d_0}{d\sqrt{b^2 + d^2}} \end{aligned}$$

5. 浮函中に水あり傾斜角が $\tan^{-1} \frac{d}{b} \leq \theta \leq \tan^{-1} \left(\frac{H^2}{4bd}\right)$ なる場合 (第九圖参照)

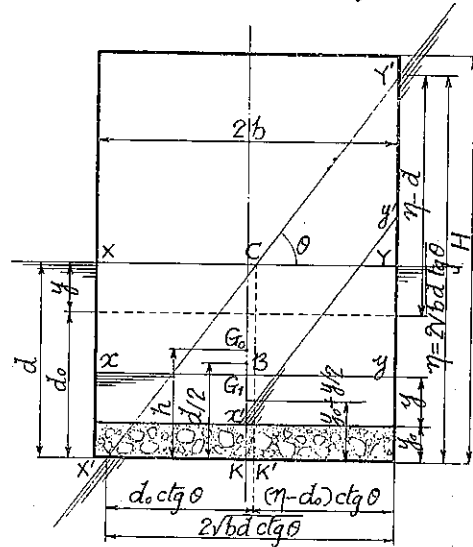
此の場合は (13) 式と同様にして、

$$\overline{G_0 Z_0} = \left(\frac{2}{3} \sqrt{bd} \tan \theta - \frac{d}{2} \right) \sin \theta + \left(b - \frac{2}{3} \sqrt{bd} \cot \theta \right) \cos \theta - \left(h - \frac{d}{2} \right) \sin \theta$$

又

$$\begin{aligned} \overline{G_1' Z_1} &= \left(\frac{2}{3} \sqrt{bd} \tan \theta - \frac{d}{2} \right) \sin \theta + \left(b - \frac{2}{3} \sqrt{bd} \cot \theta \right) \cos \theta + \left[\frac{d}{2} - \left(y_0 + \frac{y}{2} \right) \right] \sin \theta \\ &- \left(\frac{2}{3} \sqrt{by} \tan \theta - \frac{y}{2} \right) \sin \theta \\ &- \left(b - \frac{2}{3} \sqrt{by} \cot \theta \right) \cos \theta \end{aligned}$$

第九圖



同じく (5) 式を用ひ

$$\begin{aligned} \overline{GZ} &= \left(\frac{2}{3} \sqrt{bd} \tan \theta - \frac{d}{2} \right) \sin \theta \\ &+ \left(b - \frac{2}{3} \sqrt{bd} \cot \theta \right) \cos \theta \\ &+ \left[\frac{d}{2} - \frac{d_0 h + (d - d_0) \left(y_0 + \frac{d - d_0}{2} \right)}{d} \right] \sin \theta \\ &- \frac{d - d_0}{d} \left[\left(\frac{2}{3} \sqrt{b(d - d_0)} \tan \theta \right. \right. \\ &- \left. \left. \frac{d - d_0}{2} \right) \sin \theta \right. \\ &\left. + \left(b - \frac{2}{3} \sqrt{b(d - d_0)} \cot \theta \right) \cos \theta \right] \dots (18) \end{aligned}$$

傾斜角がその最小極限值 $\theta = \tan^{-1}(d/b)$ を取りたる時の \overline{GZ} の値は (18) 式より

$$\overline{GZ} = \frac{2(d^2 - b^2)}{3\sqrt{b^2 + d^2}} \left[1 - \left(\frac{d - d_0}{d} \right)^2 \right] - \frac{y_0 d^2 + (h - y_0) d_0 d - b^2 d_0}{d\sqrt{b^2 + d^2}}$$

即ち (17) 式より求めると同一の値を得べし。

傾斜角が $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H^2}{4bd} \right)$ を超過する時は甲板の一部は水中に没する事となりて (18)

式を適用し難きも、此の場合の算式は之れを省略すべし。

6. 矩形浮函の沈没

前節に示せる諸公式の内 (11), (13) 兩式は 1 個の連続曲線にして、(14), (17) 及び (18) の 3 式も亦 1 個の連続曲線なり。此の内前者は浮函が定荷重を有する場合の安定曲線を示すが故に、假に之れを定荷重安定曲線と名づけ、後者は浮函が液體荷重を有する場合の安定曲線を示すが故に、之れを液體荷重安定曲線と名づく。定荷重安定曲線は 1 個に限れども、液體荷重安定曲線はその深さ y の値を變ずる事によりて、無數に之れを書き得べし。

浮函中に水を注入して之れを沈設する場合の安定を考ふるに、函内の水深 y の小なる間は (15) 式は成立せず、 \overline{KG} は \overline{KB} より大にして重心は常に浮心の上にあるが故に、函は不安定なれど y の増大すると共に \overline{KB} は直線的に増大するに反し、 \overline{KG} は凹彎曲々線を書いて變化するが故に、 \overline{KG} 曲線と \overline{KB} 直線とは相交はり、此の交點以後 \overline{KB} は常に \overline{KG} より大にして、浮心が重心の上に来り浮函は絶対安定の釣合を保つに至る。 \overline{KG} と \overline{KB} との交點に於ける吃水の値は (16) 式より之れを求むべく、此の時の函内の水深 y は

$$d = d_0 + y = \frac{\left(h - y_0 + \frac{d_0}{2}\right) d_0}{d_0 - y_0}$$

$$y = \frac{\left(h - \frac{d_0}{2}\right) d_0}{d_0 - y_0} \dots \dots \dots (19)$$

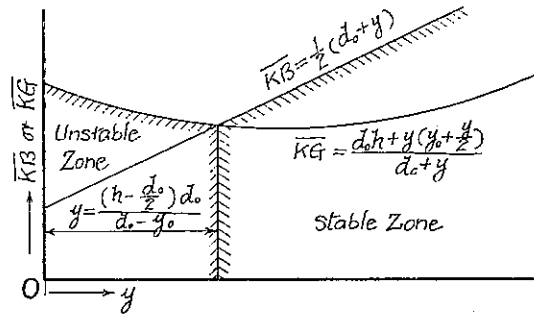
故に y を横距に取り

$$\overline{KB} = \frac{d}{2} = \frac{1}{2} (d_0 + y)$$

$$\overline{KG} = \frac{d_0 h + y \left(y_0 + \frac{y}{2}\right)}{d_0 + y}$$

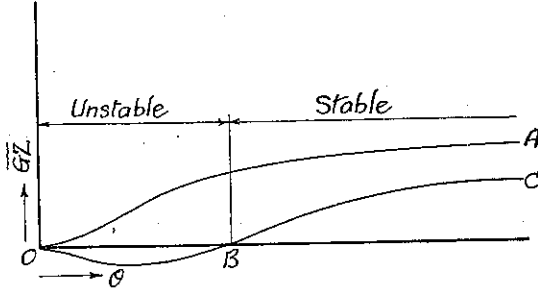
を縦距に取りて、 y の種々の値に對する \overline{KB} , \overline{KG} の變化を圖示する時は 第十圖を得べく、(19) 式に示せる y の値以下に於ては浮函は不安定にして、之れ以上の y の値に達するに及んで初めて安定の釣合に復する事を示すものとす。

第十圖



更に上記の安定曲線を検討するに定荷重安定曲線は傾斜角 θ のみの函数なるが故に、 θ の種々の値に對する \overline{GZ} の變化は 第十一圖 に於ける OA の如き曲線を以て之れを表はす事を得るも、液體荷重安定曲線は傾斜角 θ と函内の水深 y との複函数なるが故に曲面を表はし、立體坐標を用ひざれば之れを圖示する事能はず。 y に任意の値を代入して \overline{GZ} を θ のみの函数と考ふる時は、與へられたる y の値に對應する安定曲線を得べく、此の曲線は y が (19) 式の値に達せざる限り θ の小なる間は \overline{GZ} は負となり、 θ が一定の値に達するに及んで初めて \overline{GZ} が正となる事を示す。即ち第十一圖の OBC 曲線の如し。 θ が \overline{OB} にて示されたる値に達する迄は \overline{GZ} 負なるが故に、浮函は次第にその傾斜を増す。従つて \overline{OB} は與へられたる y の値に對應する最大傾斜角とす。 y が (19) 式の値を超過すれば \overline{GZ} 常に正にし絶対に負となる事なきが故に、 \overline{GZ} 曲線は常に横軸より上にあり。 OBC 曲線は OA 曲線と類似の變化を示すに至るべし。

第十一圖



以下之れを實例に徴す。

7. 浮函の構造

鋼製浮函の構造は附圖第一及び第二に示すが如し。その構造の詳細を説明する代りに、次に當該仕様書を摘録す。

假締切用移動式甲種浮函仕様書

(1) 總説 本浮函は最高 5.5 m の水頭に耐ふる堰體と兼ねて可動堰築造作業の足場臺船との兩用をなすものにして、函上に裝備せる電動渦卷唧筒に依り函内の水位を調節し、据付及び浮揚を行ふ。浮函の移動操縦を行ふため甲板上に 2 臺の手捲 ウキンチを据付くべし。

鋼材は凡て平爐によりて製作せる軟鋼材にして、日本標準規格構造用壓延鋼の部に規定せる規格に合格するものたる可し。木材は充分乾燥せるものを使用し、裂疵、腐蝕、死節等の缺點なきものとす。各部の寸法は添付圖面に依るべく、優秀なる工作及び仕上を施すべし。

(2). 主要寸法

總	長	20.8 m
幅	員	4.0 "
深		5.5 "

(3) 函體材料 函體は軟鋼製にして、4 段の横構、心距 650~680 mm の側肋骨、心距 800 mm の底肋骨及び外飯を以て構成し、中央に木造支水隔壁及び片側外面に防水柱受溝を有し、底板下面に松材 240 mm 角の緩衝材 2 列を堅牢に取付け、防水柱受溝を有する側に附圖第一の如く 300 mm 角松材を枠型に取付くべし。

(4) 横構及び肋骨 横構は附圖第二の如き溝形鋼又は山形鋼を使用し、肋骨は二重山形鋼(函底)又は球山角鋼を使用すべし。肋骨は横構の間隔毎に切斷す。但し肋骨を切斷せずして函側の全長に亘りて單一材とし、横構を外飯より離して肋骨の内側に置き、之れに鉄綬するを妨げず。此の場合には肋骨 4 本毎に吋飯を以て横構材と肋骨とを固定すべし。

(5) 外飯 外飯の厚さは附圖第二に記載せる通りとす。外飯接合位置は適當に之れを變更し、且つ飯縁をジョグルせず、添飯接合とするを妨げず。

(6) 鉄 横構各部材接合用鉄数は附圖第二に示すものより少からざるを要す。横構及び肋骨接合には鉄徑 19 mm、外飯接合には同 13 mm とす。

外板外側の鉄頭は圖示せる部分に限り丸皿形とし、函頂、函側及び函底に於ける木材取付箇所の外側鉄頭も亦同じく丸皿形とすべし。外板の鉄は直接張力を受くる事あるを以て特に工作に注意すべし。

(7) 防水柱受溝 防水柱受溝は函體片側外板の左右に於て心距 18 m に造る。溝の兩側には 2 本の櫛製楔形の填材を外板よりボルトによりて取付け、ボルト頭は填材中に埋込みたる上に埋木を施し充分に水密たらしむべし。

(8) 支水隔壁 隔壁は木造にして各側 1 m の水壓に耐ふるを要す。木材は凡てクレオソート 2 回塗す。隔壁は木造の代りに厚さ 45 mm の鋼板張とするを妨げず。

(9) 緩衝材 緩衝材は何れも 240 mm 角の米松材を用ひ、防水溝を有する側の緩衝材取付ボルトは外側皿頭とす。

(10) 甲板 函頂は機械室人孔及び排氣孔を除きて厚さ 60 mm の松板(米松)を張り詰め甲板を構成すべし。機械室を覆ふ甲板の部分は完全に水密ならしむべし。

(11) 機械室 電動渦巻唧筒を据付くべき機械室は函頂より第二段目の横構及び側肋骨を補強して之れに鋼板を張り充分水密ならしめ、甲板上の人孔には蓋を備へ之れを締付くる時は完全に水密となる構造たらしむべし。

機械室底より函外に通ずる排水孔を設け、之れに適當なるヴァルブを備へしむべし。

(12) 繫環 繫環は附圖第一に大體の位置を示す。總計 12 個にして外板との取付は充分水密ならしむべし。

(13) ボラード及びフェヤリダー ボラードは 2 個、鑄鐵製にして徑 80 mm、フェヤリダーは 4 個にして徑 80 mm の鉛直及び水平のローラーを附し堅牢に製作すべし。

(14) 手捲ウキンチ 揚力 3 t の手捲ウキンチ 2 臺を所定の位置に据付くべし。捲胴は左右 2 個を有し、機構及び框構の外側に置くべし。

(15) 索類 浮函操縦用として次の索類を附屬せしむべし。

鋼索	周 63 mm	長 218 m	2 本
"	" "	" 109 "	2 "
"	" 51 mm	" 218 "	2 "

鋼索は最優良品にして、日本海事協會の検査證明書を添付すべし。

(16) 梯子 函體兩端に近く各 1 箇所づゝ内外相對して鋸型梯子を取付け、外側 12 段、内側 15 段とす。

(17) 取排水辨 102 mm 取水辨 2 個、229 mm 取水辨 2 個、229 mm 排水辨 2 個を所定の位置に取付くべし。何れも鑄鐵製ゲート・ヴァルブ型にして、軸を延長して甲板上にて操縦し得る構造とす。甲板上に於ける各種作業に便するため辨開閉の必要なときは甲板上に

突出する軸の部分は取外し得る様工作すべし。取水弁入口には適當なる構造のストレーナーを附すべし。

(18) 吸排水管 吸水管は鑄鐵製又は厚さ 6 mm 鋼板を溶接して作り、渦卷唧筒に連結して縮切堰内の排水及び浮函の排水浮揚の用に供す。縮切堰内排水用 254 mm 吸水管は函底より 2.1 m 上りの外板に開口し、更に之れを函外に延長して取外自在の曲管を連結し、水平前方へ 2.5 m、鉛直下方へ 4 m の位置に於ける集水柵より吸水し得る様配置すべし。

函内排水用 216 mm 吸水管は鑄鐵製にして、函底に近く徑 152 mm の管を左右に分岐せしめ、その末端を支水隔壁の兩側に開口せしむるものとす。

吸水管にはストップ・バルブ、ストレーナー及びフート・バルブを備ふるを要す。

(19) 電動機 本機は之れを官給す。但し渦卷唧筒と直結するものにして下記要項のものなり。

型式	三相交流誘導電動機	馬力	30 馬力
回轉數	1 000 (毎分)	周波數	50 サイクル
電 壓	200 ヴォルト	電 流	83.5 アンペア

(20) 渦卷唧筒 本唧筒は之れを官給す。前項の電動機と共通臺上に据付けたる直結型にして、下記要項のものなり。

全揚程	9 m	揚水量	10 m ³ (毎分)
回轉數	960 (毎分)	口 徑	254 mm

(21) 塗裝 鋼鐵は充分鏽落しをなし、函内には防鏽塗料 2 回、その他は同 1 回を塗りたる上更に次の如く塗裝するものとす。浮揚時吃水線上函體外面には黑色塗料 2 回、吃水線下函體外面には良質の船底塗料一號及び二號各 1 回、函體内部は船底より 0.5 m の高さ迄は水・セメントを丁寧塗布し、函底は配合 1 : 2 のセメント・モルタルを鉄頭を洩するまで塗布くべし。(後略)

8. 定荷重安定曲線

次に此の浮函の安定偶力の數字計算に移る。

浮函 1 m 當りの重量は艀装を竣りたる状態にて $W=2.6$ t/m なるを以て、排水量の容積は $\omega=1$ t/m³ として $V=W/\omega=2.6$ m³ となり、浮函の水線斷面積は $A=1.0 \times 4.0=4.0$ m² なるが故に、此の時の吃水は $d_0=V/A=0.65$ m となる。

浮函の重心は計算の結果 $h=2.60$ m の位置にあり。又浮函の水線幅は $2b=4.0$ m にして、 $b=2.0$ m なるが故に、此れ等の値を (8) 式に代入する時は、

$$\overline{MG} = \frac{2^2}{3 \times 0.65} - \left(2.6 - \frac{0.65}{2} \right) = 2.05 - 2.28 = -0.23 \text{ m}$$

即ち \overline{MG} は負にして、(9) 式は成立せず。浮函は不安定の釣合にあり。

今 $d_0=1.50\text{ m}$ の吃水と與ふるために定荷重として函底にコンクリートを施工するものとせば、吃水の増加は 0.85 m にして、コンクリートの重量は浮函長 1 m につき $0.85 \times 4.0 = 3.4\text{ t}$ なるを要し、負質配合の鬆性コンクリートを使用するものとしてその比重を 2 とせば、コンクリートの厚さは $y_0=0.42\text{ m}$ となる。

浮函全重量は

$$W_0 = 2.6 + 3.4 = 6.0\text{ t}$$

重心の高さは

$$h = \frac{2.6 \times 2.6 + 3.4 \times 0.21}{6.0} \div 1.25\text{ m}$$

此れ等の値を (8) 式に代入せば、

$$\overline{MG} = \frac{2^2}{3 \times 1.5} - \left(1.25 - \frac{1.5}{2}\right) = 0.89 - 0.50 = 0.39\text{ m}$$

即ち浮函は安定の釣合にあり。茲に求めたるメタセンターの高さ $\overline{MG}=0.39\text{ m}$ は巡洋艦に於て $0.60 \sim 0.75\text{ m}$ 、戦艦に於て $0.90 \sim 1.05\text{ m}$ 、帆船に於て $0.90 \sim 1.80\text{ m}$ なる普通の値に比すれば遠く及ばざるものあれど、商船に於ける $0.30 \sim 0.90\text{ m}$ 程度の安定を有する事を知る。

此の場合の安定偶力は (11), (13) 式を用ひ、

$$\tan^{-1} \frac{1.5}{2} = 36^\circ 52', \quad \tan^{-1} \frac{5.5^2}{4 \times 2 \times 1.5} = 68^\circ 21'$$

なるを以て、 $0 \leq \theta \leq 36^\circ 52'$ の範囲内に於ては

$$\overline{GZ} = 0.89 \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta\right) \sin \theta - 0.5 \sin \theta$$

$36^\circ 52' \leq \theta \leq 68^\circ 21'$ の範囲内に於ては

$$\overline{GZ} = \left(\frac{2}{3} \sqrt{3 \tan \theta} - 1.25\right) \sin \theta + \left(2 - \frac{2}{3} \sqrt{3 \cot \theta}\right) \cos \theta$$

θ の變化に伴ふ \overline{GZ} の變化は附圖第三に示すが如し。

9. 液體荷重安定曲線

浮函に水を入れたる場合には (16) 式を計算して、

$$\frac{\left(1.25 - 0.42 + \frac{1.5}{2}\right) \times 1.5}{1.5 - 0.42} = \frac{1.53 \times 1.5}{1.08} = 2.19\text{ m}$$

故に $d \geq 2.19\text{ m}$ 、 $y = d - d_0 \geq 0.69\text{ m}$ に達する迄は浮函は不安定なり。此の場合の安定偶力は (14), (17) 及び (18) 式を使用して、 $0 \leq \theta \leq \tan^{-1}(y/2)$ の範囲内に於ては

$$\overline{GZ} = \left[\frac{d}{2} - \frac{1.875 + (d - 1.5) \left(0.42 + \frac{d - 1.5}{2}\right)}{d} \right] \sin \theta$$

$\tan^{-1}(y/2) \leq \theta \leq \tan^{-1}(d/2)$ の範囲内に於ては

$$\begin{aligned} \overline{GZ} = & \frac{4}{3d} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \theta \right) \sin \theta + \left[\frac{d}{2} - \frac{1.875 + (d-1.5) \left(0.42 + \frac{d-1.5}{2} \right)}{d} \right] \sin \theta \\ & - \frac{d-1.5}{d} \left[\left(\frac{2}{3} \sqrt{2(d-1.5)} \tan \theta - \frac{d-1.5}{2} \right) \sin \theta + \left(2 - \frac{2}{3} \sqrt{2(d-1.5)} \cot \theta \right) \cos \theta \right] \end{aligned}$$

$\tan^{-1}(d/2) \leq \theta \leq \tan^{-1}(30.25/8d)$ の範囲内に於ては

$$\begin{aligned} \overline{GZ} = & \left(\frac{2}{3} \sqrt{2d} \tan \theta - \frac{d}{2} \right) \sin \theta + \left(2 - \frac{2}{3} \sqrt{2d} \cot \theta \right) \cos \theta + \left[\frac{d}{2} - \frac{1.875 + (d-1.5) \left(0.42 + \frac{d-1.5}{2} \right)}{d} \right] \sin \theta \\ & - \frac{d-1.5}{d} \left[\left(\frac{2}{3} \sqrt{2(d-1.5)} \tan \theta - \frac{d-1.5}{2} \right) \sin \theta + \left(2 - \frac{2}{3} \sqrt{2(d-1.5)} \cot \theta \right) \cos \theta \right] \end{aligned}$$

θ 及び y の變化に伴ふ \overline{GZ} の變化は附圖第三に示すが如し。即ち (14), (17) 及び (18) 式は一つの曲面を表はし、その一部は θ - y 坐標面の下にあり ($\overline{GZ} \leq 0$)、一部はその上にあり ($\overline{GZ} \geq 0$)、前者は浮函が不安定なる y 及び θ の範囲を表はすものにして、曲面と坐標面との交線たる曲線は中立の釣合を示すべき y 及び θ の値とす。従つて此の曲線は與へられたる吃水 d (又は水深 y) に對應する浮函の最大傾斜角 θ_0 の軌跡に外ならず。曲線は $d=d_0=1.5$ m, $y=0$ の點より始まりて $d=2.19$ m, $y=0.69$ m の點に終り、後者は實に第十圖に於ける \overline{KB} , \overline{KG} の交點に對應するものとす。

10. 鐵筋コンクリート函の沈設

築港工事に於て防波堤又は岸壁築造のために鐵筋コンクリート函を塑造して之れを現場に曳航し、海水を函内に満たして之れを沈設する場合には、之れに上述の理論を直ちに適用する事を得べく、満水の當初にありては函は一方に傾斜すれども函内の水深を増すに従つて函は鉛直位置に復し、その状態のままに沈設せらるべし。

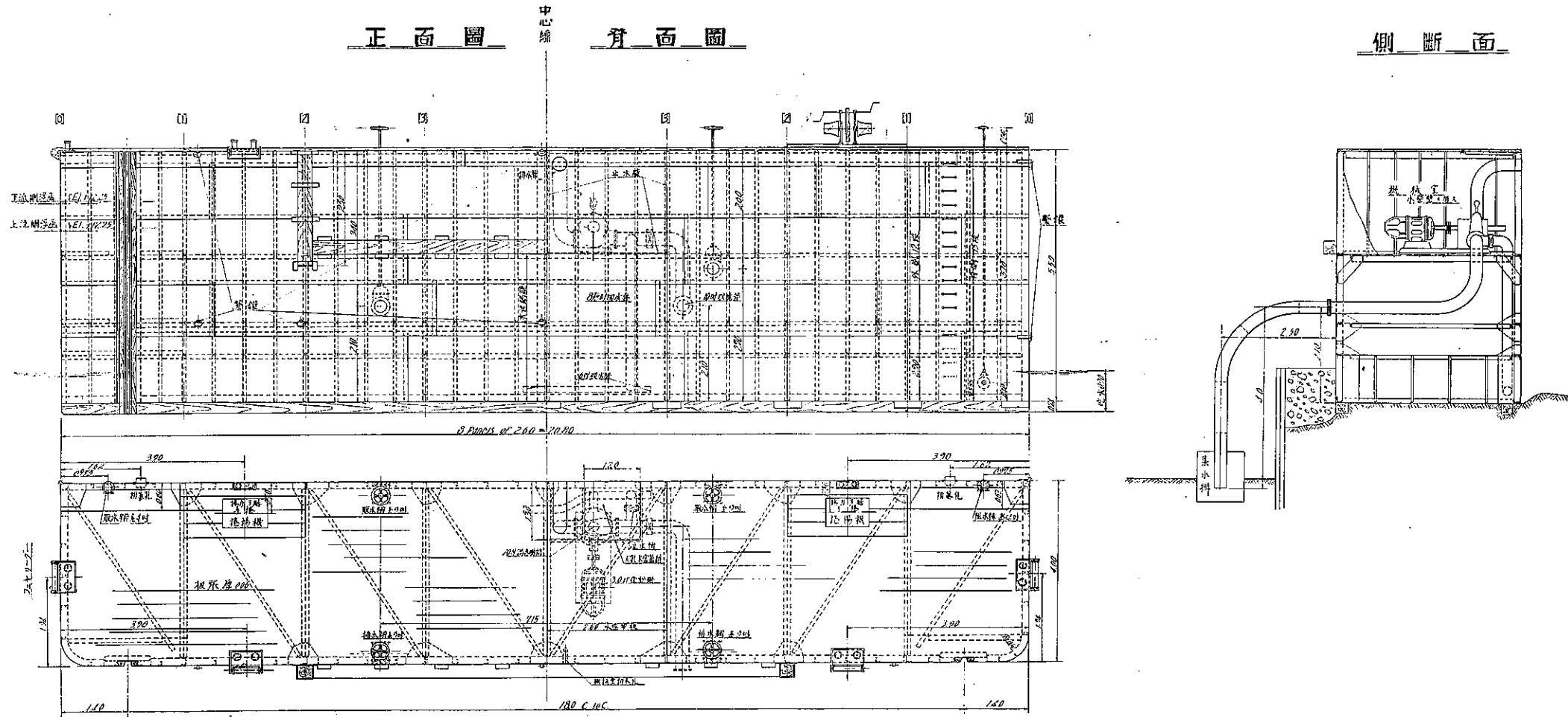
此の場合にありて大型函の隔壁は遮水壁として働くが故に、函の傾斜を輕減するの效あり。加之、鐵筋コンクリート函にありてはその構造上、重心の位置比較的の低きが故に、別に定荷重を附加せざるも、函はその自重のみによりて安定の釣合を保ち、且つ函内に水を満たす場合に於ける最大傾斜角 θ_0 の値亦微小なるを普通とす。(完)

附圖第一

正面圖

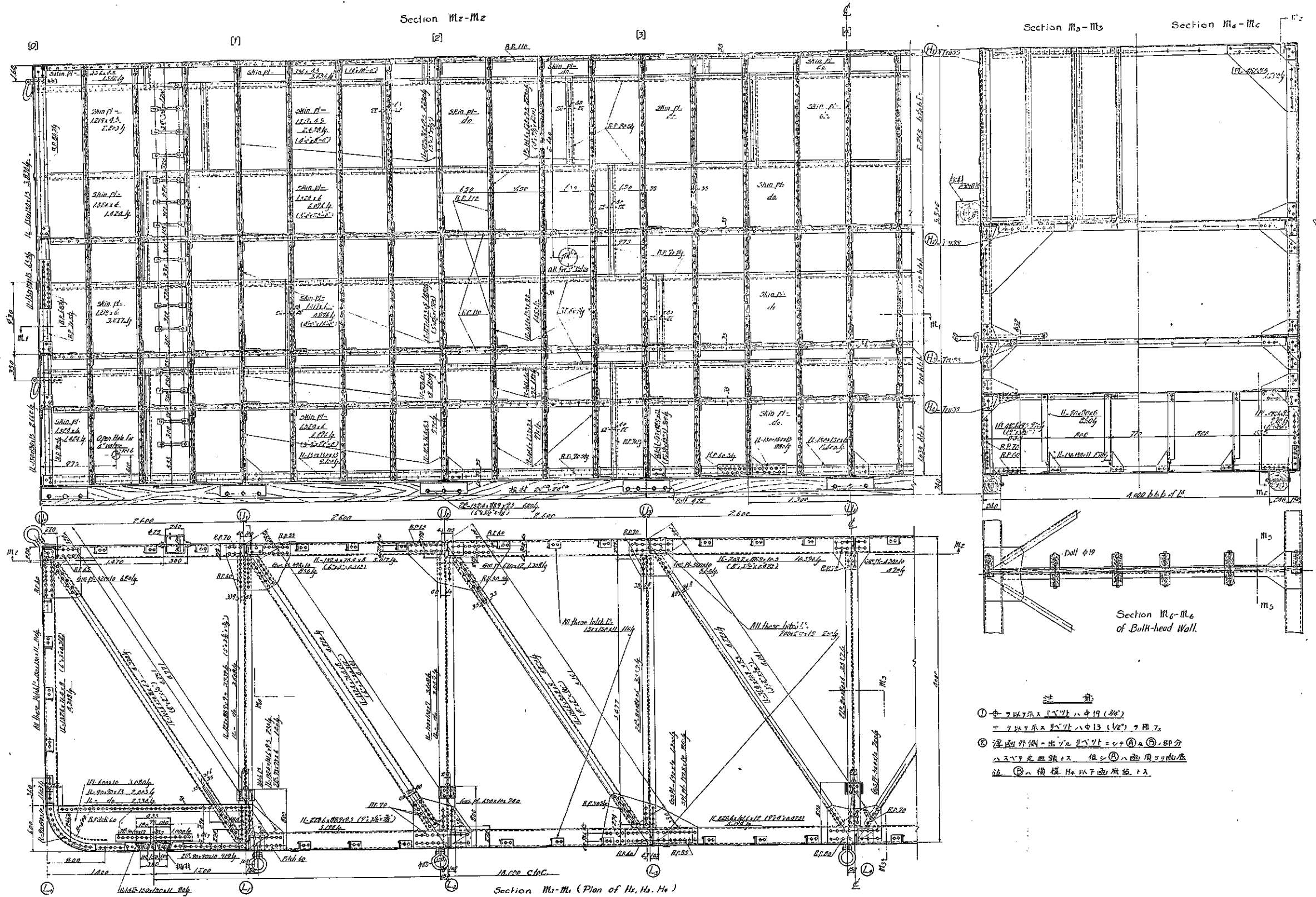
背面圖

側斷面



平面圖

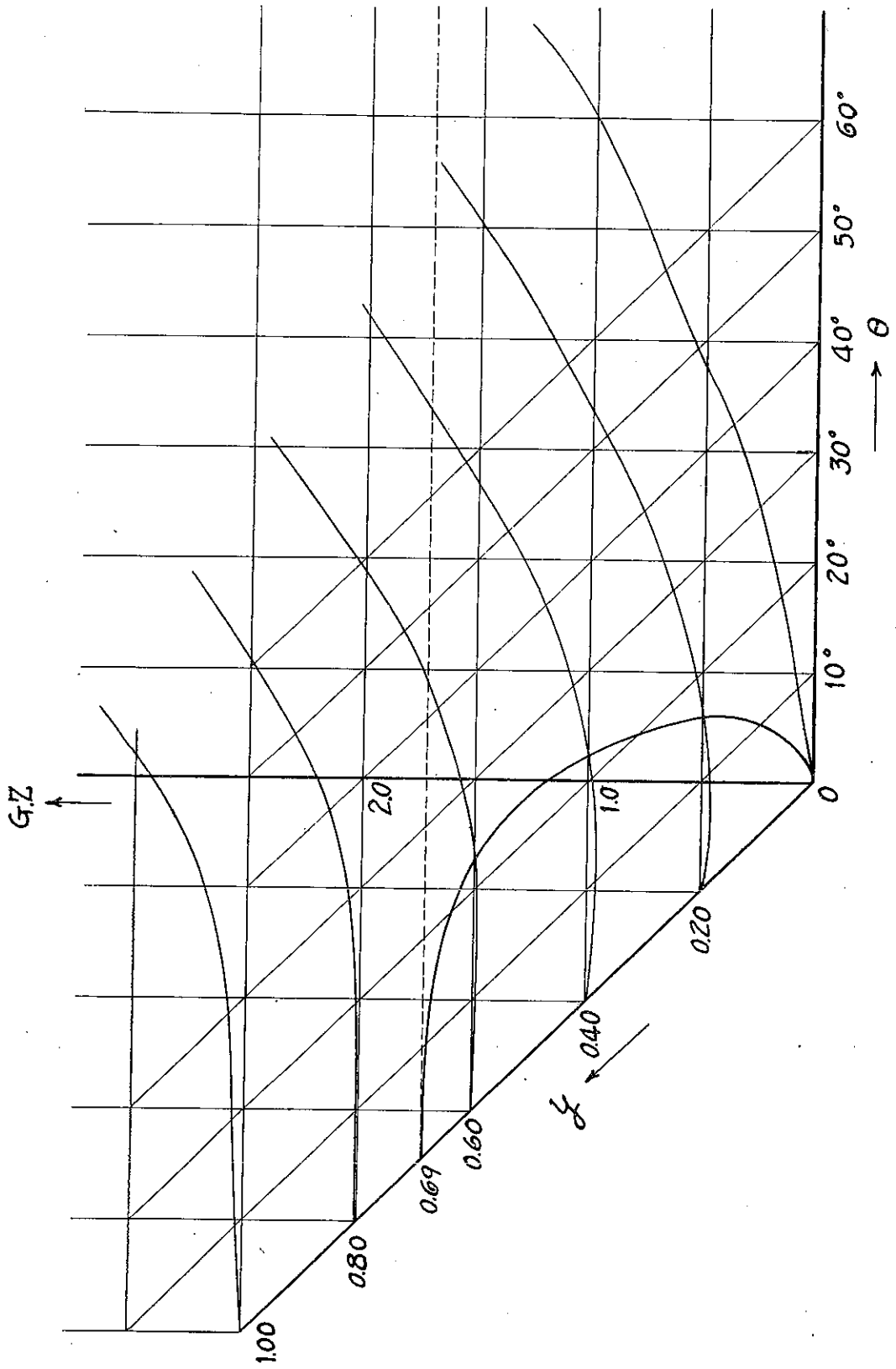
(土木學會陳第十卷第一圖附圖)



- 注意
- ① 中ノリがスリットハ中19 (24)
 - ナリがスリットハ中13 (12) ナリ。
 - ② 浮面外側ニ出ヅルリベットニシテ(A)及(B)部分ハスリットニテス。但シ(A)ハ船周リ船底迄。③ハ横様 H₂ 以下船底迄ス。

(正木船政設計部第一號附圖)

附圖第三



(附圖) 第三

28-3