

第五章 築港用材

第一節 木 材

築港用材料の種類は頗る多數であるが、其の中で築港工事に於て、特別の關係を持つものゝみを擱出して論する。

木材の長短と用途 木材は海水中にて海蟲の爲め、著しく齧蝕せらるゝの缺點を持つため、永久的の用材と言ふことが出來ない。

然し價格が安く、取扱が便である爲め、棧橋其の他に於て相當廣く用ひらるゝ。猶ほ又多少の屈撓性を有する爲め、防舷材(フエンダー)、繫船杭(ドルフィン)などには他に代へ難い必要材である。

又地中に没するものは海蟲の害少き爲、基礎杭として最も多く利用せらるゝ。

[註] 我國に於ける木材の単位は、石であつて、又時に、尺メをも用ひる。

$$1\text{石} = 10\text{立方尺} = 0.28\text{m}^3$$

$$1\text{尺メ} = 12\text{立方尺} = 0.33\text{m}^3$$

又荷役などに於て木材の石を噸數に換算するには、次の率に依る。

$$4\text{石} = 1\text{噸}$$

木材の蟲害 木材を侵す海蟲の主なるものは、船蟲(Teredo)と海風(Limnoria)である。

蟲害の甚しき部分は、潮汐干満の差の部分であつて、水中深く日光の透さざる所に至れば、此蟲害は著しく減少する。又地中に没する部分には蟲害も腐蝕もない。

尙ほ淡水の流込む港に於て、此蟲害は比較的少い、又甚しき汚水の中には海蟲が少い。

米國の港の棧橋は、多く木杭を以て造られよく十數年を保つが、

本邦の沿岸には、木材の蟲害甚だ多く、僅か數年にして其の用をなさざるものがある。



船蟲



海風

多い。

蟲害防止 の方法として木材にクレオソート等の薬品を、多量に注入したもののは成績が好い。

又木材の表面一杯に小釘を澤山に打つて、之を防止する事もある。或は銅板、鐵板を張る方法もある、又混擬土にて覆ふ場合もある。

次にターベンタイン等の南洋材には、海蟲が付き難い。

〔註〕 一般に木材を侵す海蟲を大別すれば、軟體類と甲殻類となる、而して船蟲は前者、海虱は後者を代表する。

船蟲 (Teredo) は細長き軟體の頭部に小さい甲を有し其の中に口がある、又尾は二つに分れてゐる、此蟲は木の内部に喰込んで成長する。

其の大きさは、不同であつて鉛筆大から長 45 cm に及ぶものがある、此船蟲と同種のものに Bankia Martesia などある。

海虱 (Limnoria) は全身が恰も蝦の如く甲殻を以て被はれ、又多數の逞しき足と鋏とを持つ小蟲である、此蟲は木材の外皮より次第に内部へ蟲食する。

此蟲の大きさは恰も米粒の如く、長さ 0.3~0.6 cm、又その幅は長さの約三分の一である。

此海虱と同種のものに Chelura, Sphaeroma 等がある。

〔註〕 蟲害調査には既設の木造物に於ける、蟲食状況を實際に調べ、或は試験用の木材を永く海中に浸して之を検することもある (Dock & Harbour authority 1929. 9 月號参照)。

〔註〕 本邦の港灣に於て普通の木材は二、三年にして駄目になるが、クレオソート注入材では約 10 年はもつであらう、但し米國に於てクレオソートの注入量は 14~20 封度/立方呎であつて、なるべくターアシッドの含有量の多いクレオソートがよい。

〔註〕 蟲害の少い南洋材には、既述のターベンタインの外に、グリーンハート、プラウゲミ、ジエラ、鐵木等がある。

日本材にして比較的侵されないものを列記すれば、檜、楠、櫟、柏等である。

又松材も生皮を被れる間だけは、侵されることが稍々少い。

〔註〕 海蟲の少い木は既に記した如く、淡水と汚水とであるが、其の外、貯木場の溜水にして、若し木澁を多量に含む所には海蟲は住まない。

長短と用途 鐵材は、海水の爲に著しく腐蝕減耗せらるゝ缺點をもつ。

然し其の強度が大きく、又加工の自由のため築港工事に於ては、盛んに利用せられ特に近年、鐵矢板岸壁の流行は著しきものである。

〔註〕 鐵材の用途には矢板式岸壁の外、棧橋、浮橋、浮標、繩船柱と錨等にも用ひられ、更に機械設備、上屋倉庫の用材、又は鐵筋混擬土等其の使用的範囲は極めて廣い。

鐵材と海水 鐵材は海水の爲に著しく腐蝕せらるゝ、而して其の腐蝕の原因は次の二つである。

1. 酸化して鏽を生ずるもの
2. 電解の作用に因るもの

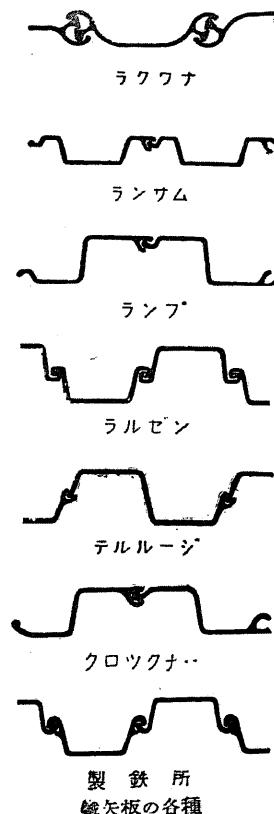
腐蝕を起す箇所は、海水の乾濕が交々起る所、即ち潮汐干満の差の所である、尚ほ其の中でも平均干潮面附近に於て特に著しい。但し最大干潮面以下の常に水中にある部分の腐蝕は少い。

又海水のシブキが屢々かかる箇所も相當に腐蝕する。

大阪の鐵棧橋は干潮面附近にて一年平均約 1.5 mm の厚さを減じたものがある。

鐵の中に最も早く腐蝕するものは、鑄鐵であつて、次は鋼鐵である、鍛鐵は此三者の中で最も腐蝕が少い。

同じ鋼鐵でも其の含有成分の如何に依つて、腐蝕の程度が大に異なる、例へば銅を多く含ませた銅鋼 (Coppersteel) は海水に對して相當に耐久的である。



從て此銅鋼は近年 岸壁護岸用の鐵矢板 (Steel-sheetpile) の材料として盛んに用ひらる。

鐵材の腐蝕をなるべく防止する方法としては、前記の如く其の含有成分に就て考慮を要するの外、一般普通の方法としては、鐵材の表面に塗料を用ひるのであるが、其の効果は充分でない。

〔註〕 海水中にて耐久的である銅鋼に含む銅の量は約 0.4% 以下であるが、猶ほ普通の鋼鐵の含銅量に比すれば、8 倍乃至 15 倍に當る、此銅鋼の強度は普通鋼と同じである。但し其の價格が少しく高い。

次に純粹の鐵に近いものは、内部に起る電解作用が少く從て腐蝕も少い、例へば炭素とマンガニースの含有量の極めて僅少であるアームコ Armco と稱するものは、腐蝕が遅い。但し其の強度は弱く、又之が價格も相當に高い。

〔註〕 鐵材の塗料として普通用ひらるゝは、光明丹其他のペンキ類である。又コールタールも大に用ひらるゝ、殊に製鐵所に於てロールから出たばかりで、未だ冷却しない鐵材を、直にコールタールのタンクに浸して之を塗るがよい。

又パナマ運河の開渠には Bitumastic と言ふアスハルト質の塗料を用ひて効果を收めた、横濱震災復舊橋の鐵材にも之に似た塗料を用ひた。

次に友人岡部三郎博士は、鐵矢板の表面を鐵筋コンクリートにて被覆する事を考案した。

青銅 は海中に於ても極めて永久的のものであつて、八百年を経て異状なきの實例がある、然し近代の築港用材としては餘り用ひられない。

第三節 石 材

要件と用途 築港用の石材として特に必要なる條件は、比重大にして、硬度強く、崩壊せざる品質のものが好い。

從て花崗石、安山岩の如き硬質のものは最も上等である、但し如斯き堅石を得ることの出來ない所では、已むを得ず或は、砂岩、石灰岩、土丹岩（粘土岩）等の柔質のものも使用する、是等の柔石は、比重、硬度、崩壊の諸點に於て不充分

であるのみでなく、殊に石灰岩と土丹岩とは、海蟲（甲殻類）に依つて蝕食せらるゝの缺點を持つ。

然し柔質の石材は、採集が容易低廉である爲め、構造物の内部に隠くれる箇所に多く用ひらる。

一般に築港に於ける石材の用途は頗る廣く、防波堤、岸壁、護岸、其の他に於て大量に使用せらる。

〔註〕 何故に比重大なる石材が海中に於て、特に有利なるやを説明したい。

即ち一般に水中にては浮力の影響があるから、假に水上にて其の比重が 3:2 である二つの材料を、水中にて比較するとせば、其の重量の比例は

$$(3-1):(2-1) = 2:1$$

の如くなる、從て重い材料ほど水中に於て、其の割合は一層有利となる理であつて、夫れだけ波力、或は土壓などに對し有効に抵抗する。

〔註〕 石材の特に大量に使用せらるゝ箇所は、防波堤の捨石、又は岸壁護岸の裏込と基礎、或は石張堤、護岸の張石と中詰などである。

石材の名稱 は其の形狀の如何に依つて、粗石 (Rubble stone) 碎石 (Crushing stone) 轉石、割石、間知石、切石などの名がある。

又用途の如何に依つては、捨石、裏込石、張石などの名稱がある、此説明は後章に譲る。

〔註〕 形狀に依る石材の名稱を説明する。

粗石 とは不規則の形に比較的大きく切り出したもの、或は之を割栗とも言ふ。

碎石 とは比較的小さく碎いたもの。

轉石 とは海濱に轉在する手頃の大きさの自然石である。

割石 とは多少規則正しき形をなすもの、此割石の中にて、一面落、或は二面落と稱するは、石片の後部に於ける一面又は二面をかき落したものである。

間知石 とは後部の四面をかき落して、稜形を呈するもの。

切石 とは主として彫刻加工用の石材である。

以上の區別は大略であつて、或所では粗石と碎石とを混同し、又割石と間知石とを混同する場合もある。

前掲の各種に就て其の主なる用途を記せば、粗石と樽石とは主として捨石と裏込とに用ひられ、又碎石は砂利の代用となる。割石と間知石とは護岸や石張堤の張石等に用ひられる。

石材の単位 築港に於ける石材を量るに 舟坪 なる言葉を一般に用ひる。この舟坪とは、石塊と石塊との間の間隙をもこめての立積である。

舟坪に對して未だ切出さる時の正味の立積を 山坪、或は 實坪、又は 地坪 などと呼ぶことがある。舟坪と山坪との割合は、石材の形狀大小に依つて一様でないが、大體の見當は、山坪の $1 m^3$ を粗石にすれば舟坪 $1.7 \sim 2.0 m^3$ となる。換言すれば粗石間の間隙は、全立積の約 4~6 割に當る。

築港に於ける、石材の検收には普通 石舟の吃水に依つて、其の舟坪を測定する。

次に石材の採集に就ては、次の章に詳しく述べる。

〔註〕 石舟の吃水と積量との關係は、各舟毎に就て一度實際に之を測つて、大體の標準を認め定め、之に依つて検收するのである。

實際に此標準を定むるに當つて、石材の重量より其の立積を換算する場合が多い、即ち舟坪 $1 m^3$ の重量は、普通の硬質の粗石にて $1,500 kg$ 前後である。(即ち一立坪にて約 2,400 貁内外に當る、但し各地築港の習慣に於ては、之に若干の餘裕を見込んで一立坪 3,000 貽前後として検收する實例が多い。)

尚ほ重量の詳細は次表を見られたい、此表中にて間隙とは粗石間の空隙である、又海水中の重量は、浮力を引けるものである、尚ほ正味重量とは山坪 $1 m^3$ の目方である。

粗石重量表 (単位、匁/立米)

間隙	陸上		海水中		(備考) 石材正味
	4割	5割	4割	5割	
安山岩	1620	1350	1000	840	2700
花崗石	1590	1330	980	810	2650
石灰石	1550	1300	940	780	2590
砂石	1400	1170	790	660	2340

上記の重量も產地に依つて多少の差異がある

〔註〕 粗石の價格は、地方に依つて大差がある、例へば、阪神地方の港にては $1 m^3$ 約 2.50 圓、京濱地方にては約 6 圓に上る。

但し最も好適なる石山を近くに有し、之を直営にて大仕掛の採集運搬を行ふものと假定すれば $1 m^3$ 2 圓内外であつて、其の内訳は第七章第四節の註を見られたい。

次に土丹岩をジッパー浚渫船等にて浚渫採集する場合は、 $1 m^3$ 1 圓以下でよい。

第四節 砂利と砂

用途 砂利及び砂は、混疑土の骨材として、極めて重要な材料であるばかりでなく、其の他の築港工事にも多く用ひらるゝ、殊に砂は、埋立用、或は基礎の置砂として、大量に用ひらるゝ。混疑土用の砂が、川砂或ひは濱砂の中にて、良質のものを選ぶべきは言ふ迄でもない。

柔弱なる基礎を改良するための置砂には、山砂の如くなるべく荒いものをよしとする、埋立用の砂は、普通 海底、河口等の浚渫に便なる場所より採集する。之は純粹の砂ばかりで無くとも、唯砂の割合の多い土ならばよい。

次に砂利に於て、若し近くの海濱又は河川等に、之を求むる事の出來ない場合には、碎石機 (Crusher) にて、粗石を碎いて、之に代用する。

〔註〕 砂或は砂利の價格は地方に依つて、著しき差異があつて $1 m^3$ 1 圓乃至 5 圓程である。然し附近の海濱より、直接採集するとすれば 1 圓内外でも足りる。

碎石機による碎石費は $1 m^3$ 約 1.5 圓内外である。從て若し碎石の原料である粗石が 2 圓と假定すれば碎石は 3.5 圓となる。

第五節 混凝土

用途 セメント、砂利、砂及び水を混じて凝結せしめた 混凝土 (Concrete) は防波堤、岸壁を初め各種の築港工事に於て、最も重要な材料であつて、殊に方塊即ちブロックとして大量に用ひらるゝ、此方塊に就ては後に説明する。

種類 普通築港に用ひる混疑土の種類は、其の工法に依つて次の三つに大別す

る。

場所詰混凝土、水中混凝土、袋詰混凝土、

場所詰は普通の工法、即ち空中作業(Dry work)に依つて、所要の場所へ填充するものである。

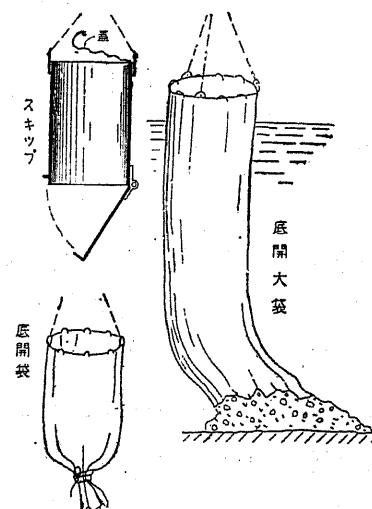
水中混凝土は、混凝土を圖に示すが如き底開の箱(スキップ Skip)或は袋に一時入れて、之を静に水中に下ろし、其の底を開いて、静に混凝土を出して填充するものである。

袋詰混凝土(Bag concrete)は稍々固練りの混凝土を、ズツクの袋に入れて其の口を閉じ、之を水中へ下ろし、潜水夫(モグリ Diver)の手に依つて、丁寧に積み重ねるものである。

混凝土の配合は、其の種類と用途に依つて一様でないが、普通水中混凝土と袋詰混凝土には $1:2:4$ ($1m^3$ につきセメント $334kg$)を用ひ、鐵筋コンクリートも亦 $1:2:4$ ($334kg$)のものが最も多く用ひらるゝ。然し漏水を特に嫌ふ場合には $1:1.5:3$ ($426kg$)などの好配合のものが屢々用ひらるゝ、尙ほ施工が若し可能ならば、潮差の附近と、波の作用を受くる部分だけの配合を他よりも特に上等にし、成るべくセメント $400kg$ 以上としたい。

場所詰混凝土には普通 $1:3:6$ ($234kg$)を用ひる、但しケーンの中詰等には $1:5:10$ ($146kg$)のかなり粗悪の配合を用ひた例がある、尙ほ一般に場所詰混凝土には火山灰を混合する、此火山灰に就ては後に詳しく述べる。

混凝土の混合用の水は、なるべく淡水、を可とするが、之が得られない所では海水を用ひてもよい、但し鐵筋混凝土用のものには海水はよくない。



水中コンクリート容器

【註】水中混凝土の施工上、最も注意すべき事は、水中の作業をなるべく静に行つて、セメントの洗はれざる様にし、以て混凝土上に溜るアク、即ちレーテンスをなるべく少くすることである。又スキップの上口には、布の蓋をして、水面を没する瞬間に流込む水に依つて、洗はれざる様にするが好い。

長大なる袋を用ひ、一度に大量の水中混凝土を放出させたものは成績がよい(圖参照)。

次に水中混凝土の設備としては、普通の混合設備の外に、スキップ、水上運搬船、起重機等を要する。

【註】袋詰混凝土の袋は、本邦では普通南京米の袋を利用する、例へば之を $4\sim 8$ 枚($0.33\sim 0.67m^3$ 入)合せて一袋とする、但しそれよりもつと大きなものもある。之を吊下ろすには、簡易なる起重機を用ひる。

【註】混凝土の単價は、種類、配合、地方、箇所、設備などの如何に依つて大差があるが、今その大略の見當を表記する、単位は $1m^3$ 當である。

混凝土単價大略表($1m^3$ 當)

種類	材料費		製造費其の他		計	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低
場所詰混凝土	5	2	11	8	16	10
水中混凝土	8	5	14	11	22	16
袋詰混凝土	14	9	16	13	30	22

海水と混凝土 海中に於ける混凝土は、一般に長年月の間に多少侵蝕破壊せらるる、殊に潮汐干満の差の間に於て、比較的多く侵蝕せらる。

破壊侵蝕の生ずる原因是、セメント中の遊離石灰(Free lime)と海水に含有する硫酸物と結合する爲めであつて、更に又セメント中の礬土(Alumina)も之が原因をなす。

但し較近セメント製造法の進歩發達に依つて、純混凝土(Plain concrete)の構造物が昔の如く、甚しく破壊せらるゝ事は稀である、但し後述の鐵筋混凝土の場合は、些少の侵蝕と雖も長年月の間には、相當の損害を誘導する事となる。

純混凝土の海水に依る破壊を防ぐ必要ある場合には、セメントの品質を吟味して、なるべく遊離石灰と礫土の少いものを選ぶ、又石灰と礫土の害を減する爲めに後述の如く、火山灰を混入する事もある。

尙ほ鉄筋混疑土に對する、海水侵蝕の防止に就ては、後に詳しく述べる。

【註】海水の侵蝕破壊の作用に就て、詳しく之を化合膨脹と溶解脱出とに分けて説明する。

化合膨脹 セメント中の遊離石灰は、海水の含有物なる硫酸マグネシウムと化合して、硫酸石灰の結晶物を、混凝土の體内に生ずる、而して此結晶物の立積は、元の遊離石灰が占めて居た立積に比して、約 1.4 倍に膨脹するが爲め、遂に混凝土を破ることとなる。

更に又上記の硫酸石灰がセメント中の礫土(酸化アルミニウム)と化合して、硫酸
礫土石灰を造り益々膨脹して、混疑土を破壊せしむると言ふ人がある。

溶解脱出 前掲の化合物膨脹の外に、更に又溶解脱出に依つて、漸次侵食する場合もある。即ち遊離石灰自身が水の爲に溶けて脱出し、又混疑土中に出来る珪酸石灰 (Calcium silicate) も脱出する傾向がある、如斯く混疑土の體内的一部が、長期の間に溶解脱出して次第に侵食するのである。

猶ほ鉄筋コンクリートの場合には、鉄筋の酸化と言ふ問題が加はる爲め、上掲の諸原因の外に、或は外部よりの浸透水も亦破壊の一因となる。

火山灰 既述の如く海中に於ける、混擬土の破壊を防止する爲めに、屢々火山灰を混入する、蓋し火山灰は硅酸質を有して、石灰と摺斗の害を除くの効がある。

又火山灰は、セメントの價に比して一般に低廉であるから、混擬土の單價を節減する爲めに大に用ひらる。

良質の火山灰をセメントと同量以下に混するのならば、之が強度を減ずるが如きことはない。

然し火山灰の品質がセメントの如く、均一でない事は大なる缺點である。又之を混する時は、其の凝結(Setting)が混れる。

要するに火山灰は、工費節減と、破壊防止の爲め大量の純混凝土。例へば未

塊、函塊由詰、岸壁上部等に大に用ひらるゝが、品質不均一の爲め鐵筋混凝土に

方塊實例表

種別		港名	青森	船川	四日市	酒田	室津	江角	新潟	
配 合	セメント	1.	1.	0.65	1.	0.7	1.	1.	1.	
	火 山 灰	0.6	0.6	0.35	—	0.3	—	—	—	
	砂	4.	3.2	2.	3.	3.	2.5	2.5	2.5	
	砂 利	8.	8.	5.	6.	6.	5.	5.	5.	
形 狀	大型	長	1.97	3.64	2.27	1.83	3.64	3.03	2.12	
		幅	1.67	1.82	1.52	1.83	2.42	1.82	1.52	
		厚	1.36	1.82	1.21	1.52	1.51	1.21	1.21	
(m)	小型	長		2.42		2.73	4.09	2.42	1.82	
		幅		2.42		1.83	2.12	2.27	1.21	
		厚		1.82		1.52	1.51	1.21	1.21	
製造總數(m ³)			39198	69320	32166	13145	17142	15930	30100	
1箇年使用量(m ³)			11940	15036	7200	2752	8628	5400	5640	
1日平均製造能力(m ³)			67	98	2	40	48	63	77	
立米當製造費(圓)	材料費 桿費 其の他 計	10.50	11.61	12.83	7.00	6.22	10.15	10.67		
		0.33	.26	0.57	0.80	1.08	0.42	1.35		
		2.17	2.03	2.42	1.50	2.05	2.10	1.91		
		13.00	14.90	15.82	9.30	.35	12.67	13.93		
方塊送出及び積疊費(圓)			1.75	1.34	2.00	2.00	5.00	3.17	3.14	
型桿1臺當製作費(圓)			70.00	216.00	55.00	165.00	300.00	190.00	145.00	

は、之を混入せざる方が安全である。

又防波堤の上面混凝土に之を用ひる時は、波にたゝかれ比較的早く破損する。

火山灰の混合量はセメントの 2 割 5 分乃至 8 割(方塊實例表参照)であるが、中詰用の如き粗悪の混凝土には、10 割以上も混入する事がある。

〔註〕 火山灰は本邦の各地に産するが、之を近くに求め得ざる所では、多く唐津等より購入する、遠方より購入する場合に於て、其の價格はセメントに比して著しく安いならない。火山灰は普通 口に入れて運ぶ、一呎の容積は $0.076 m^3$ (2.7 切) 又其の目方は約 $60 kg$ (16 貢) である。

次に火山灰の成分としては、可溶性硅酸が、百分の三十五を下らざるを可とする。

方塊 即ち混凝土

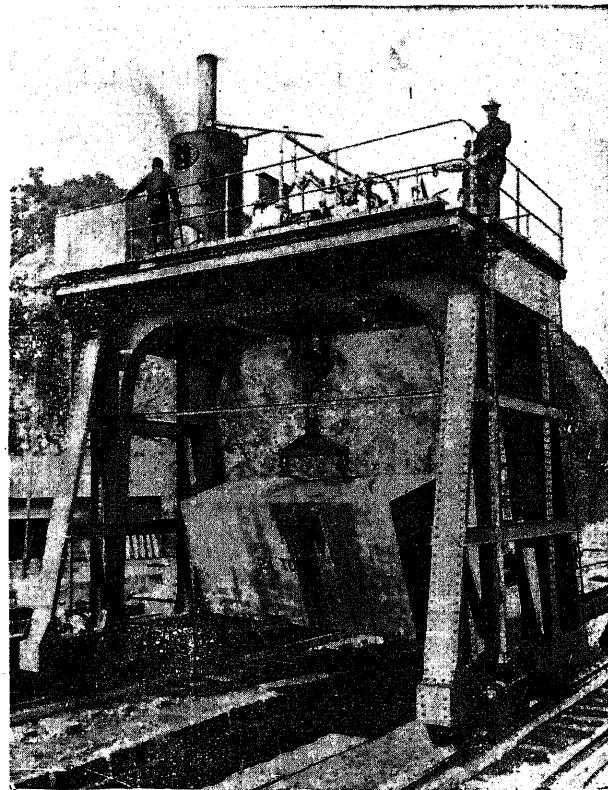
塊或は ブロツク

(Concrete block)

と稱するものは、混凝土を以て角形に造つた塊であつて之を積疊して防波堤、岸壁等を造るに多く用ひらる。

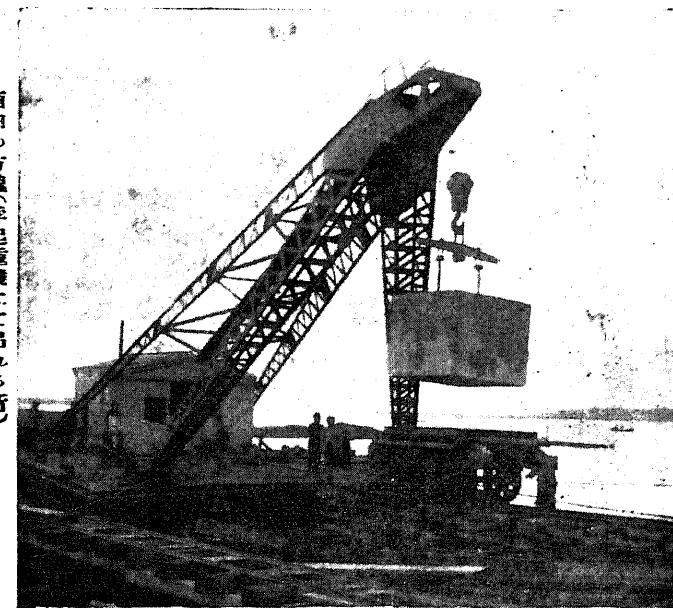
方塊の普通の形は六面體の角形であるが、稀には圓甲形、中空形などの異形ブロツクも用ひらる。

普通のブロツク



小樽の方塊(ゴライアスにて吊れる所)

酒田の方塊(浮起重機にて吊れる所)



に於て、其の上下左右の結合のために、凹凸が出来てゐる、又ブロツクを吊るるために、金具を差し込む穴が造られてある。

方塊のコンクリート配合は普通 $1:3:6$ ($234 kg$) であつて、其の中セメントに火山灰を混合するものが多い。尙ほ詳しく述べる。

又方塊の大さも表に示すが如く大小種々ある。

方塊の製造場即ちブロツクヤード(Block-yard) に就ては後章に詳しく述ぶる。

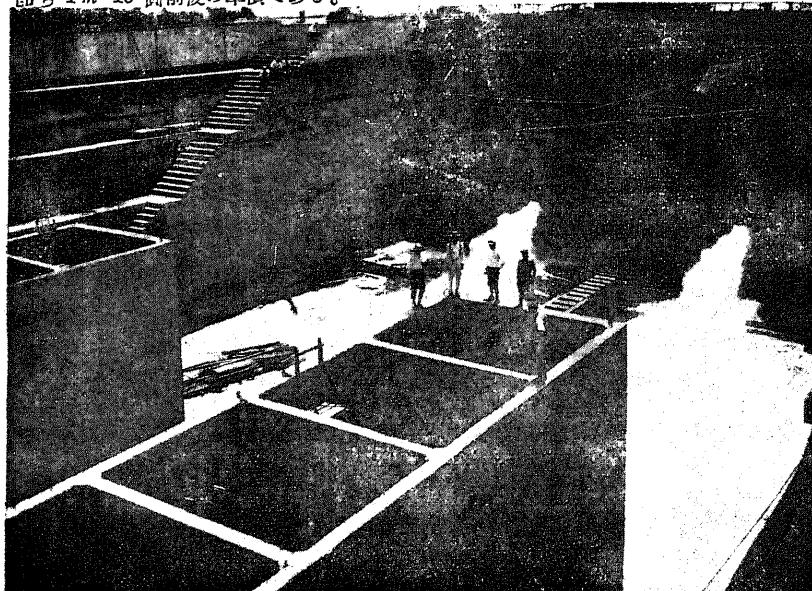
〔註〕 方塊コンクリートに混入する火山灰の量は、セメントの約 2.5~8 割であつて大略 6 割位が適當である。

又砂利の中に或は碎石を混じ、時として粗石を入れる事がある。

〔註〕 方塊の大きさで、普通多く用ひらるゝは、防波堤用 14~22 題、岸壁用 10 題前後、護岸、物揚場等は 2~10 題であるが、勿論之には例外もある、例へば Algier 港の大方塊(Cyclopean block) は 450 題に及んだ。

〔註〕 方塊のコンクリートは、場所詰混凝土に屬するは言ふ迄もない。然し設備の整へ

る所にて製造する方塊製造の単價は、前に記した混泥土單價表の中でも安い方に近い、即ち 1m^3 13 円前後の單價である。



横濱震災復舊岸壁に使用せる矩形の函塊（ドック内にて製造す）

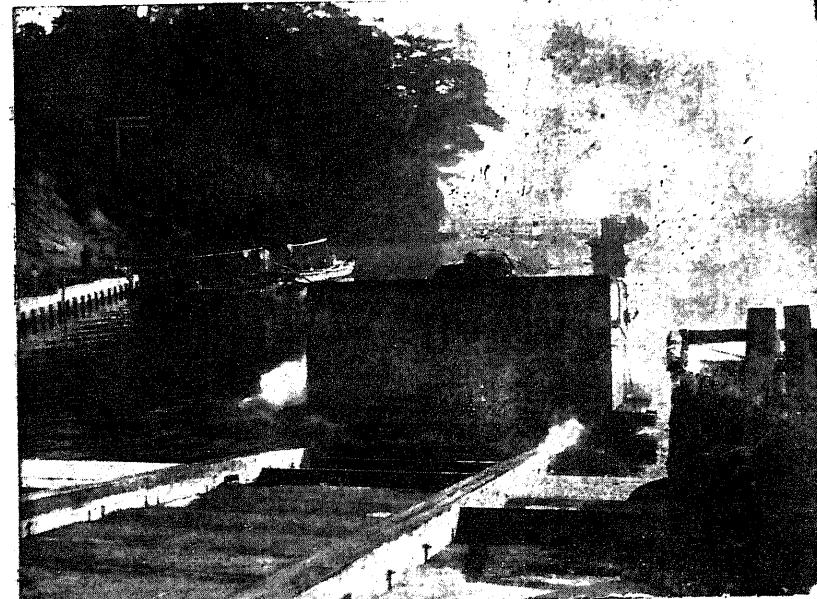
第六節 鐵筋混泥土

用途 混凝土の中に棒鋼を多數配列した鐵筋混泥土 (Reinforced concrete) は、海水中の被害に就て多少の懸念を持つが、然し强度大にして施工便なる爲め、築港工事には廣く用ひらる。

殊に防波堤或は岸壁用の函塊（ケーソン）又は棧橋の用材として盛に使用せらるゝ、其の他 物揚場、岸壁などの扶壁、或ひは浮桟橋の浮函等にも鐵筋混泥土を用ひることがある。

海水と鐵筋混泥土 前節に述べた如く、一般に混泥土は長年月の間に、多少侵蝕破壊せらるゝのであるが、此鐵筋混泥土に於ては、錆び安い 鐵筋を含有する爲め、一層その破壊の傾向が多く危険である。 即ち海水は混泥土の層を滲透し

て、中の鐵筋を酸化せしむる事があつて、長年月には相當の損害を與へる。



平湯に於ける小函塊（重量 30 吨）の進水

之を防ぐ爲めロザンゼル港にては、アスハルトを注入して成功したが、此工法を行ふには、大規模の設備を要し、又杭形のものに限るから、一般的の工法とは言ひ得ない。

普通の工法としては、鐵筋の被覆 (Insulation) をなるべく厚くし、又混泥土の配合を上等にして、海水の滲透を少くするのである。

尙ほ重要な構造物にあつては、外側の鐵筋混泥土の部分が、將來腐蝕しても差し支へない様に、構造物の内部に混泥土を詰める事もある、例へばケーソンの中詰の如きはその實例である。

[註] 海水が滲透し鐵筋を酸化して、錆を生ずる場合に、其の錆の立積は、元の鋼材の立積より膨脹するが爲め、鐵筋周囲の混泥土を破壊するに至る。

尙この鐵筋の腐蝕は、酸化の外に、電解作用に依つても侵される。

この鐵筋混泥土の腐蝕は、干溝潮差の所に於て著しい。又海水のシブキのかゝる所も

侵される、從てロザンゼル港の棧橋用の鐵筋混擬土杭に於ては、杭頭から干溝面下0.9mの所までにアスハルトを注入した、アスハルトが外皮から滲込んだ厚さは、約38mmであつたと言ふ。

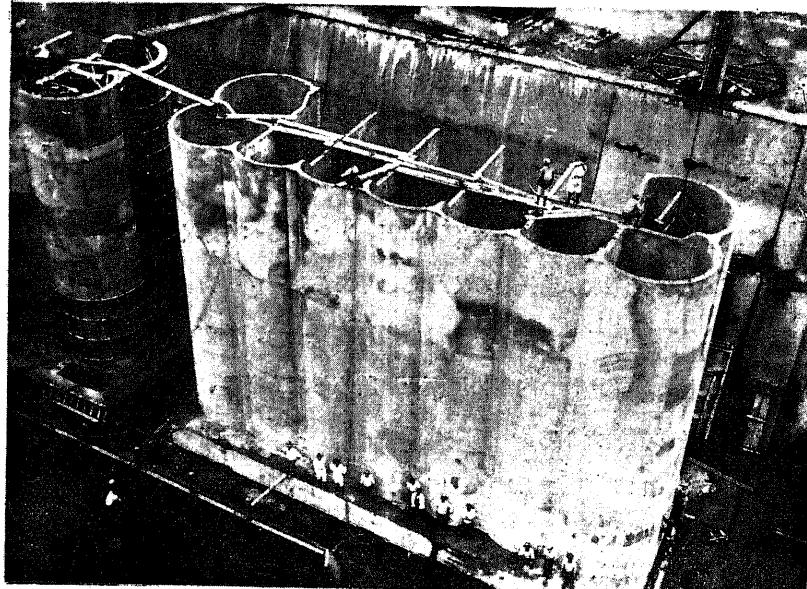
高雄港の片棧橋用の鐵筋混擬土の杭に於ては、其の上部の表面にアスハルトを單に塗るに止めた、但し前記の注入の如き効果を、之に期する事はできない。

〔註〕鐵筋コンクリートの単價は、物により所によつて一様でない、然しその大略の見當は、 $1m^3$ 價り約22圓前後である。

尙ほケーソンの単價に就ては後に詳述する。勿論鐵筋コンクリートの単價は、純コンクリートの単價に鐵筋費を加へたものである。

今其の一例を示すに、假に鐵筋が鐵筋コンクリート、 $1m^3$ の中に0.06噸（即ち所謂鐵筋量0.8%に當る）を含有し、然して鐵筋費の単價（材料勞力を合せて）を1噸につき120圓と假定すれば、此鐵筋コンクリート、 $1m^3$ の中に含む鐵筋費は7.2圓となる、從て若し純コンクリートの単價が假に16圓ならば、鐵筋コンクリートの単價は23.2圓となる。

函塊 即ちケーソン(Caisson或はConcrete caisson)とは、鐵筋混擬土を以て造つた



横濱新岸壁用のアーチ型函塊(ドック内にて製造す)

大きな函舟であつて、之を沈めて、防波堤或は岸壁等の主要部を造るものである。

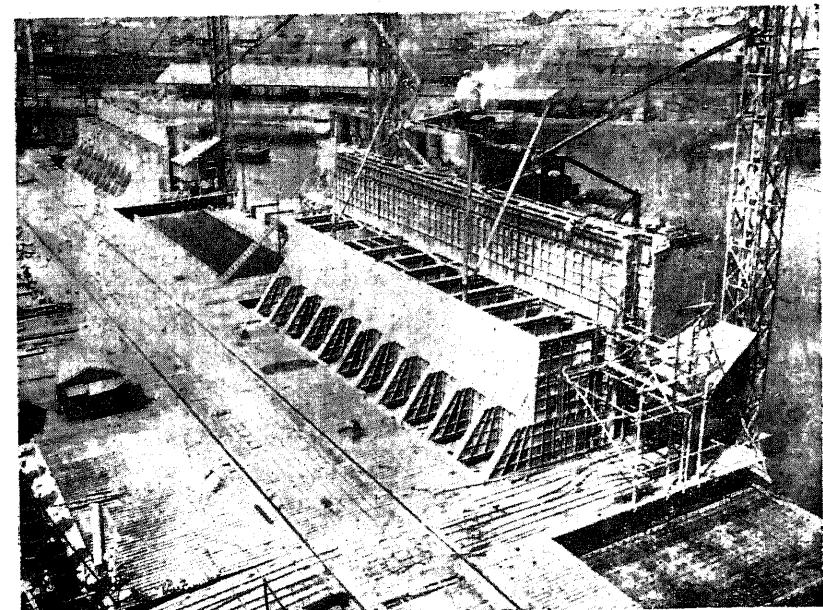
函塊は初め陸上にて製造し、之を水上へ引下ろして浮べ、所要の位置へ曳送し、一度は中に水を注いで沈めて之を据付ける、其の後に中の水の代りに、混擬土或は砂礫を填充して、所謂ケーソンの中詰の填充を行ふのである。

函塊の大きさは大小種々あつて、神戸港の大函塊の如く2,000噸に及ぶものもあるし、又數十噸の小函もある。

函塊の形狀は、之を側面より見て、普通は底部が稍々廣がつた矩形の如きものが多い；然し岸壁用のものには時として、前高後低の不對稱形のものもある。

其の實例は神戸岸壁用ケーソンである。

又函塊の平面圖に就て見れば、略長方形を呈する、大なるものは中に縦横の隔壁を澤山もつ、普通の周壁は、平面であるが、岸壁用のものには、時としてアーチの連續形のものがある、其の實例は横濱、清水の岸壁用ケーソンである。



神戸新岸壁用の不對稱形函塊(足場の上にて製造す)

函塊のコンクリートの配合は、普通 1:2:4(334 砟) のものが多いが、前に記した如く、殊に漏水を忌む時は、之以上の上等の配合を用ひ、又潮差の附近にも良質の配合を用ひることもある。

函塊の鐵筋量は普通 0.8% 前後であるが、然しよりも少ひものもある。例へば門司、下關の岸壁用のケーソンに於ては、僅に 0.3% に過ぎなかつた、蓋し後に中詰へ混凝土を用ひる場合は、函塊周壁の強度を特に必要とするのは、一時的であるが故に、斯如く鐵筋を節約したのである。

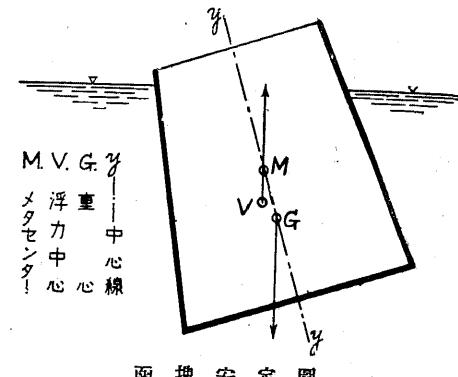
函塊の製造場を、ケーソンヤード (Caisson-yard) 或は、造函工場と言ふ、其の製造の形式に三通ある、即ちスリップ上、ドツク内、足場上、等にて函塊を造るのであつて、スリップ上で造つた函塊は、之を滑り下ろして水上へ浮べる、又ドツク内のものは、其のドツクへ水を注いで函塊を浮ばせる、次に足場上のものは浮ドツクを利用して水上へ引き出すのである、尙ほ是等のケーソンヤードに就ては、次章に詳しく述べる。

〔註〕 函塊工費の単價は、大小、箇数、設備、地方等に依つて一様でない、例へば 1m³當にして 20 圓以下で出来る實例もある。然し今日の普通の見當は約 23 圓内外であろう。

假に 23 圓として其の大凡の内訳は、材料費 14 圓、製作費 2.5 圓、進水費 1.2 圓、型枠取扱費 2.0 圓、型枠製造費 3.3 圓等である。但

し此中に工場設備費は、加算していない、又型枠製造費は、函塊の箇数が多くなればなる程 1m³ 當は僅少となる。

函塊の設計々算 函塊の大略の大きさ、例へば函の幅と高の大略は、函塊の使用箇所、例へば防波堤、岸壁等が要求する體積と水深等から大凡定まるのである。



函塊安定圖

然しそが精密なる寸法、殊に各壁の厚さ等は、次に示す計算の要領に依つて決定すべきである。

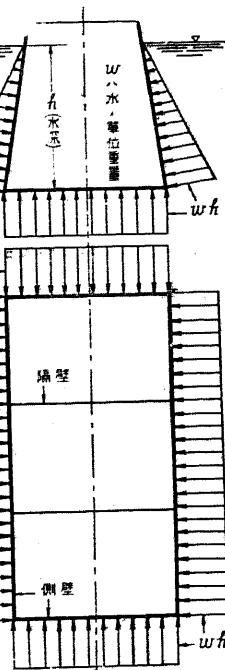
(1) 水上に於ける函塊の安定

函塊を水上へ浮べた時に、轉覆或は傾斜せざる様に、其の安定を検算する、即ち函塊の横断形に就て、浮力の中心、重心、メタセンター等を求め、其の重心の位置が、圖に示すが如くメタセンターの下にあればよい。

(2) 函塊周囲の壁の強度

函塊の側壁並に底壁の強度は、主として函塊を浮べた時、其の壁面に及ぼす水壓に耐え得べきである。

其の際の鐵筋混泥土の計算は、各壁面の單位幅に就て、それぞれ梁 (ビーム) と假定して行ふ。



函塊周壁水壓圖

尙ほ又上記 (1)(2) の普通計算の外に、或は

函塊が一體としての強度に就て、検算する事もある、其の際の計算は略々、カンテリバーの計算でよい、尙ほ詳しくは、註と例題とを見られたい。

〔註〕 (1) の計算の當初に、函の高、幅等を假定するは勿論、尙ほ又側壁、底壁、隔壁等も其の厚さを大體假定して、安定の計算を進むるは言ふ迄でもない、然し壁の厚さ、鐵筋等の詳細は (2) の計算に依り初めて定まるのである、從て (1) と (2) との計算は交互に相俟つて、之を行ふべきである。

〔註〕 上記の計算の外に考慮すべきは、函塊の 吃水 が進水、曳送、据付に可能なる事である。

但し水深の充分でない港では、なるべく満潮に近い時を選んで進水する。

特にスリップにて進水する場合には、スリップ前端の水深より、滑臺の厚さと突込の

餘裕とを考へて、函塊の吃水を定めるのである、是等の数字に就ては後章に述べる。

又函塊据付作業に當り、干潮時にも、尙ほ其の函塊が水底に接觸しない様な、吃水である事を望む。

〔註〕 函塊の横断形、即ち高さと幅とは、既述の算法に依つて定まる、而して 函の長 に就ては相當に長い方がよい、然し設備其の他の事情から、之を餘り長くする事は、不可能であつて、普通の長さは、幅の 3 倍前後のものが多い。

一般に岸壁用のものは長く、防波堤用のものは短かい。 尚ほ函塊の長さと龜裂の關係は、最後の註に述べる。

〔註〕 函の中に横縦の 隔壁 を設くるの必要は、主として次の三つの理由にある。

- (イ) 周囲の壁に於ける徑間、即ちスパンを短縮する爲め。
- (ロ) 函全部としての強さを増大せしむる爲め。
- (ハ) 中詰施工の際に、仕切として之を利用する爲め。

次に隔壁の間隔は、横縦の間隔の差が甚しからざる様に設置せらるゝ、從て函幅の大きなものには、縦隔壁が多くなる、之に反し函幅の小なるもの、例へば幅 4m 以下の函にては、横隔壁のみで、縦隔壁を有しないものが多い。

〔註〕 壁の 厚さ は函の大小に依つて一様でない、例へば側壁は 15~30 cm であるが、時に下部に於て 45 cm 以上に及ぶ實例がある、一般に側壁は、上部薄く、下部に至るに従つて厚くなる、又時として函全體の強度を増す爲めに、側壁の頭端を特に厚くして縁の如くなす場合がある。

底壁は一般に厚く、約 30 cm 前後であるが、時に 60 cm 以上に及ぶものもある。

隔壁は側壁より稍々薄い、即ち 15~20 cm ほどのものが多い。

此隔壁の計算は、側壁の支柱としての計算、並に中詰施工に當り、一部の部屋の水換の際に、隣の部屋の水の爲めに起る水壓に對して検算するのである、但し此水壓は一時的の場合が多いから、計算の安全率を低下してもよい。

〔註〕 壁の中の 筋 は主として(2)の計算に依つて、水壓に對抗して配列設計せらるゝのであるから、單筋 (Single r. f.) でよいわけだが、然し進水、据付、据付後の打込波、或は内外水位の差、其の他の故障を考慮して、複筋 (Double r. f.) となすがよい、殊に中詰として砂礫を用ふるものは、特にその必要を感じる。

複筋配列の抗壓筋は、抗張筋の約半分位でよからう。

筋の徑も勿論一様でないが、普通 16~20 mm である、然し横筋等には 10 mm 迄

のものが用ひらるゝ。

鐵筋の間隔 即ちピッチも亦一様でないが、普通は主要なる壁内にて 76~180 mm のものが多い、然し上部の水壓の小さい部分では 25 cm 前後の間隔を取ることもある。

壁の上下に依つて鐵筋を増減する場合に、普通は 2~3 m を一區として變へる、然しそれよりも更に細に區分する實例もある。

鐵筋の被覆 (Insulation) は理想としては 7.5 cm 以上、尚ほ又隅角部にては 10 cm 以上にしたいが、實際如斯く厚く取る事は不可能の場合が多い、從て普通は 4 cm 位まで我慢して居る實例が頗る多い。 但し底壁は厚く 充分の餘裕があるから 7.5 cm 以上となし得る。

〔註〕 一般に函壁の鐵筋計算は(2)に述べた如く、ビームと假定して計算するのであるが、其の際大函塊に於て特に注意すべきは、其の下部に働く水壓が著しく大であるが、然しスパンは餘り大でない、從て附着力 (Bond Stress) の計算に留意するの要がある。

〔註〕 今迄の註で述べ來つた事と、全く異なる意味の計算を参考にまで附記する。

函塊は時として、全體が One body として働く場合をも豫想し得る、從て函塊の長さが特に長いものにては、其の弯曲率が可成り大きくなつて、龜裂を生ずる虞を持つ。

之が計算法は、函塊の長手の中央を支線とした Cantilever の弯曲率を算出し、若し之に對抗して餘りある Section-modulus が有れば安全である、之に反して不足ならば或は函の長さを短くし、或は函の高さを増し、或は側壁を厚くし、殊に側壁の上縁に厚い筋を取つて、Section-modulus の増大を計るべきである。

若し函の長さが短く、幅の割合に大なるものに於ては、對角線を支線とした Cantilever の弯曲率に就て、一應検算して見るがよい。

以上の検算の特に必要なるは、混成堤の粗石部が厚くして、不同沈下を起す虞ある所、函内の填充施工を均等に進行せしめ得ざる場合などである。

〔例題〕 此所に述べんとする 函塊の計算は、特に専門的であるから、時間の少ない讀者は、之を讀まなくててもよい。

次の如き寸法を有する 防波堤用函塊の設計をせよ。

$$\text{高} = H = 7 \text{m} \quad \text{上幅} = B_1 = 6 \text{m} \quad \text{下幅} = B_2 = 7 \text{m}$$

$$\text{長} = L = 16 \text{m}$$

但し、幅の方向に 3 箇所、長の方向に 1 箇所の隔壁を設けて、函の内部を 8 室に區別せしむ。

浮遊の安定

〔I〕 吃水

$$V_0 = \text{函の總體積}$$

$$V_1 = \text{函の鐵筋混凝土總體積}$$

$$V_2 = \text{函の水面上にある部分の體積}$$

$$w_0 = \text{海水の單位重量} = 1.03 \text{ t/m}^3$$

$$w_1 = \text{鐵筋混凝土の單位重量} = 2.5 \text{ t/m}^3 \quad x = \text{函の天端より吃水線迄の距離}$$

〔注意〕 鐵筋混凝土の單位重量は、陸上普通の構造物ならば、約 2.4 t/m^3 であるが、函塊の如く、充分乾燥せずに水中に進水するものは、稍々重く之を約 2.5 t/m^3 とするがよい。

尙ほ第二十一章第三節に述ぶる浮函の場合は、常時水中に没する構造物であつて、然も鐵筋量が多い爲めに、之を約 2.6 t/m^3 ほどに取るべきである。

蓋し函塊と浮函との吃水算出の場合は、單位重量假定の僅小の差異が、相當重大な影響を及ぼすが故に、以上の如き詳細の考慮を要したのだ。然し防波堤や岸壁などの安定検算の場合の如く、大略の計算にあつては、水中と水上等に依る単位重量の區別までするの必要を認めない。

(a) V_0 の算出

$$V_0 = \frac{B_1 + B_2}{2} HL = \frac{6+7}{2} \times 7 \times 16 = 728 \text{ m}^3$$

(b) V_1 の算出(第一圖、第二圖参照)

先づ各部材毎の詳細の體積を計算し、是等を合計して、總體積 V_1 を求むるのである。

但し各部材毎の計算に於て、理論は極めて簡単だが、数字の配列が繁雑であるから

此所には途中の計算を省略して、各の結果のみを次に列記する。

$$①' \text{ 横側壁} = 23.6 \text{ m}^3$$

$$②' \text{ 横隔壁} = 30.0$$

$$③' \text{ 縦側壁} = 65.2$$

$$④' \text{ 縦隔壁(端)} = 12.0$$

$$⑤' \text{ 縦隔壁(中)} = 12.6$$

$$⑥' \text{ 底版} = 50.2$$

$$⑦' \text{ 横隅縫} = 3.67$$

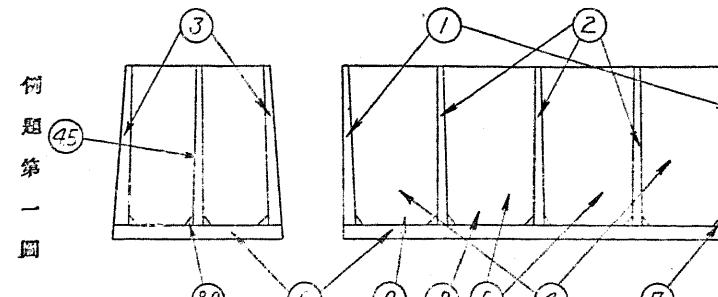
$$⑧' \text{ 縦隅縫(端)} = 2.21$$

$$⑨' \text{ 縦隅縫(中)} = 2.34$$

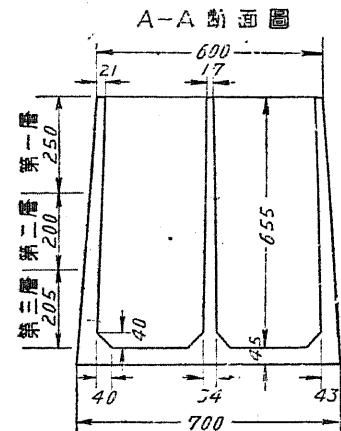
$$⑩' \text{ 高の方向の隅縫} = 4.20$$

合計

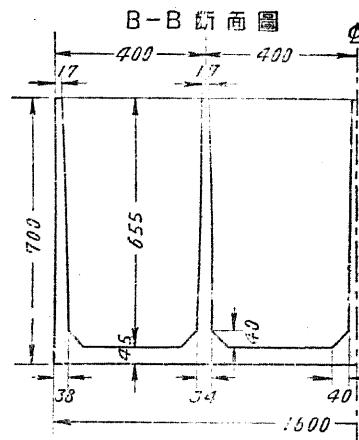
$$V_1 = 206.02 \text{ m}^3$$



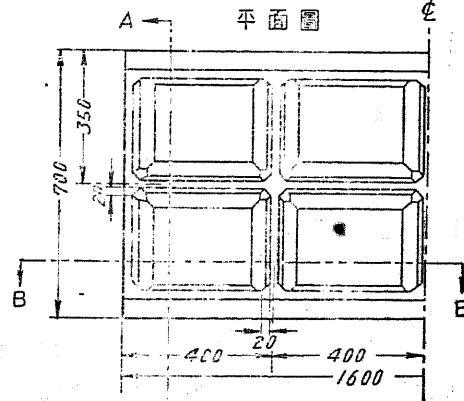
浮函寸法圖



A-A 剖面圖



例題第二圖



[注意] ①' 乃至 ⑤' の體積は、次式に依るものである。

$$\frac{h}{3} \times \left\{ G_1 + \frac{1}{2} G_1 \left(\frac{a_2}{a_1} + \frac{b_2}{b_1} \right) + G_2 \right\}$$

但し G_1 = 下底の面積 G_2 = 上底の面積 a_1, b_1 = 下底の相隣れる二邊の長
 a_2, b_2 = 上底の之に對應する相隣れる二邊の長 h = 上下兩底間の距離

(c) V_2 の算出 (第三圖参照)

$$V_2 = \frac{B_1 + (B_1 + \frac{x}{H} B_2 - E_1)}{2} \times L = \frac{6 + (6 + \frac{x}{7} 7 - 6)}{2} \times x \times 16$$

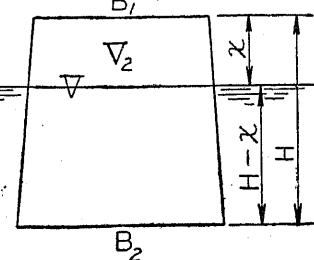
(d) x の算出 (第三圖参照)

$$\frac{V_2}{L} = \frac{V_0}{L} - \frac{w_1}{w_0} \frac{V_1}{L}$$

$$\frac{1}{16} \times \frac{6 + (6 + \frac{x}{7} 7 - 6)}{2} \times x \times 16$$

$$= \frac{6+7}{2} \times 7 \times 16 - \frac{2.5}{1.03} \times \frac{206.02}{16}$$

$$\therefore x = 2.31 \text{ m}$$



例題第三圖

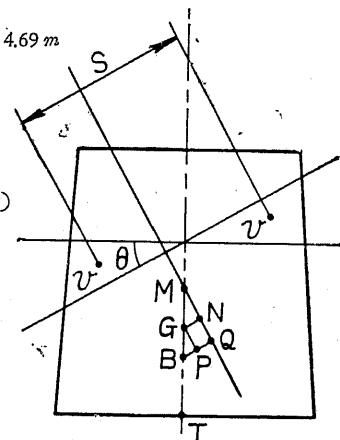
(e) 吃水の算出 (第三圖参照)

$$\text{吃水} = H - x = 7 - 2.31 = 4.69 \text{ m}$$

[II] 浮心の位置 (第三圖、第四圖参照)

$$TB = \text{底面上浮心の高さ}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2(B_1 + \frac{x}{H} B_2 - E_1) + B_2}{3(B_1 + \frac{x}{H} B_2 - E_1 + B_2)} (H - x) \\ &= \frac{2(6 + \frac{2.31}{7} 7 - 6) + 7}{3(6 + \frac{2.31}{7} 7 - 6 + 7)} (7 - 2.31) \\ &= 2.31 \text{ m} \end{aligned}$$



[III] 重心の位置

(a) 函塊各部材重心の底面上の高さの算出 (第一圖、第二圖参照)

例題第四圖

此各部材毎の計算は、数字の配列が繁雑であるが、理論は簡単であるから途中の計算を省略して、單に結果のみを、次に列記する。

①'' 橫側壁 = 3.2m

②'' 橫隔壁 = 3.29

③'' 縦側壁 = 3.34

④'' 縦隔壁(端) = 3.36

⑤'' 縦隔壁(中) = 3.37

⑥'' 底版 = 0.224

⑦'' 橫隅縁 = 0.58

⑧'' 縦隅縁(端) = 0.58

⑨'' 縦隅縁(中) = 0.58

⑩'' 高の方向の隅縁 = 3.72

[注意] ①'' 乃至 ⑤'' の重心の高さは、次式に依つて求めたものである。

$$\frac{h}{4} \times \left\{ G_1 + G_1 \left(\frac{a_2}{a_1} + \frac{b_2}{b_1} \right) + 3G_2 \right\} + \text{底版の厚さ}$$

$$\left\{ G_1 + \frac{1}{2} G_1 \left(\frac{a_2}{a_1} + \frac{b_2}{b_1} \right) + G_2 \right\}$$

但し $h G_1 G_2 a_1 a_2 b_1 b_2$ の意味は、既述のものと同様である。

(b) 底面上重心の高さ (TG) の算出 (第一圖、第四圖参照)

	體積(m^3)	臂(m)	力率(m^4)
① 橫側壁	23.6	3.2	75.4
② 橫隔壁	30.0	3.29	98.6
③ 縦側壁	65.2	3.34	217.5
④ 縦隔壁(端)	12.0	3.36	40.3
⑤ 縦隔壁(中)	12.6	3.37	42.4
⑥ 底版	50.2	0.224	11.1
⑦ 橫隅縁	3.67	0.58	2.1
⑧ 縦隅縁(端)	2.21	0.58	1.2
⑨ 縦隅縁(中)	2.34	0.58	1.3
⑩ 高の方向の隅縁	4.2	3.72	15.5
計	$V_1 = 206.02$		505.4

$$TG = \frac{505.4}{206.02} = 2.45 \text{ m}$$

[IV] 浮游中の傾斜に対する安定度（第四図参照）

M = メタセンター（傾心） G = 重心 B = 浮心 θ = 傾斜角

V = 函塊浸水部分の體積

I = 吃水線断面の長の方向の中心線に對する自乗率

v = 傾斜した爲の変位浸水部分の體積

$s = v$ の水の重量に等しい力に依つて成る偶力率臂

GN = 復歸力率臂

(a) メタセンターの位置計算

$$MB = \frac{I}{V} = \frac{\left(B_1 + \frac{x}{H} L_2 - B_1 \right)^3}{\frac{12}{\left(B_1 + \frac{x}{H} L_2 - B_1 \right) + B_2} - (H-x)L}$$

$$= \frac{\left(6 + \frac{2.31}{7} \cdot 7 - 6 \right)^3}{\frac{12}{\left(6 + \frac{2.31}{7} \cdot 7 - 6 \right) + 7} - (7 - 2.31) \times 16} = 0.68 \text{ m}$$

$$MG = MB - GB$$

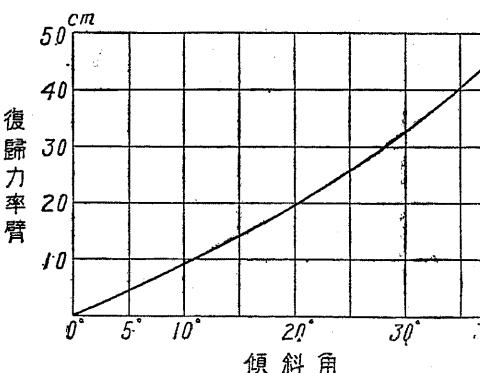
$$= MB - (TG - TB)$$

$$= 0.68 - (2.45 - 2.31)$$

$$= 0.54 \text{ m}$$

即ちメタセンターは、確實に重心の上にある事を知つた、尙ほ念の爲め、復歸力を次に計算して見る。

(b) 小傾斜に對する



例題第五圖

復歸力率の検算（但し $\theta \leq 5^\circ$ の場合）

$$GN = MG \sin \theta = 0.54 \sin 5^\circ = 0.047 \text{ m}$$

$$\therefore \text{復歸力率} = GN \times W = GN \times v_1 \times V_1$$

$$= 0.047 \times 2.5 \times 206.02 = 24.2 \text{ m}$$

(c) 大傾斜に對する復歸力率の検算（但し $\theta > 5^\circ$ の場合）（第四図、第五図参照）

傾斜角 (度)	$v(\text{m}^3)$	$s(\text{m})$	$EQ = \frac{vs}{V} (\text{m})$	$BP = GB \times \sin \theta (\text{m})$	$GY = EQ - BP (\text{m})$	復歸力率 = $GN \times W (\text{m})$
10°	0.88	4.22	0.119	0.024	0.095	49
20°	1.83	4.24	0.248	0.043	0.200	103
30°	2.90	4.29	0.398	0.070	0.323	169
37°40'	3.87	4.35	0.539	0.086	0.453	234

備考 $37^{\circ}40'$ は片方の天端が丁度浸水したときの角度

[V] 結論

以上の計算に依つて、メタセンターは、勿論重心の上に在つて、然も之が復歸力率の數値も、亦相當に大であるが故に、此函塊は、浮游に際して、安全なるを知つた。

各部材の強度計算

[I] 縦と横との側壁及び底版

(a) 外力と之に依る彎曲率 並に剪力

$$H = \text{天端よりの深さ } p_0 = \text{水壓} = v_0 H (\text{kg/m}^2) \quad (\text{但し天端迄吃水するものと假定す})$$

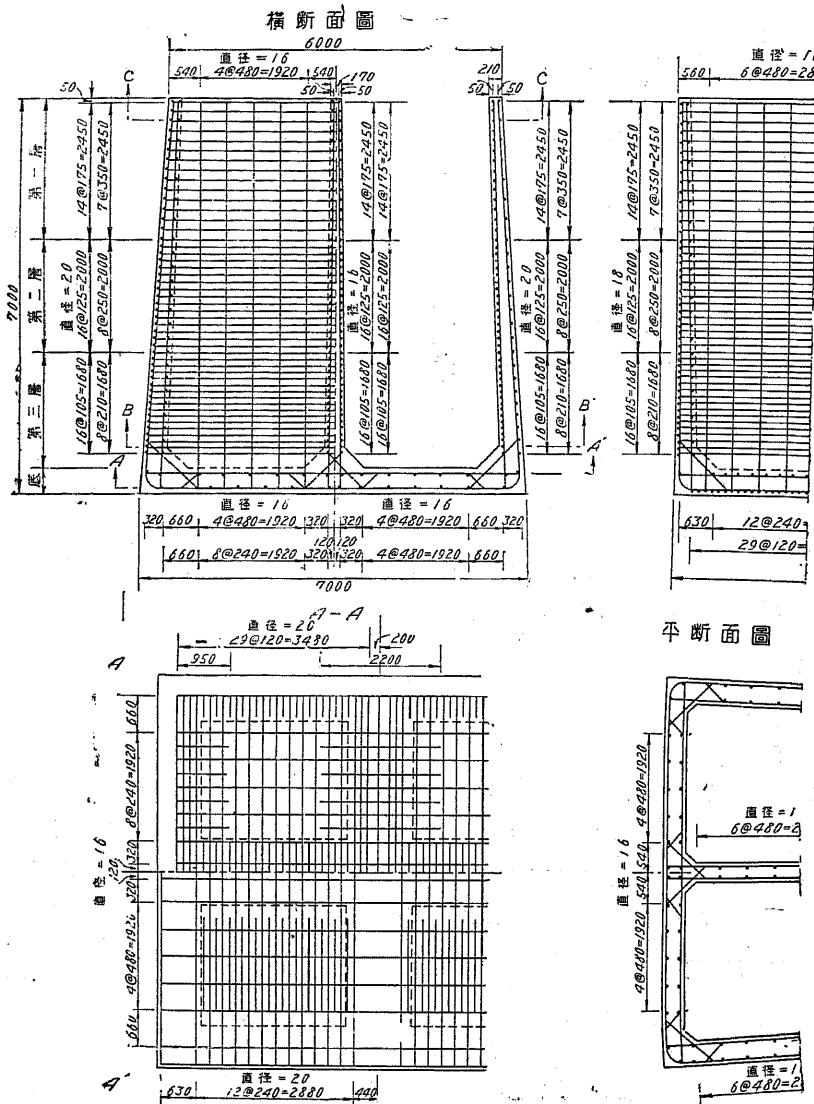
$$l = \text{壁間隔} (\text{即ち連続版と看做した場合の徑間}) \quad M_1 = \text{正の最大徑間彎曲率}$$

$$M_2 = \text{負の最大支承彎曲率} \quad S = \text{最大剪力}$$

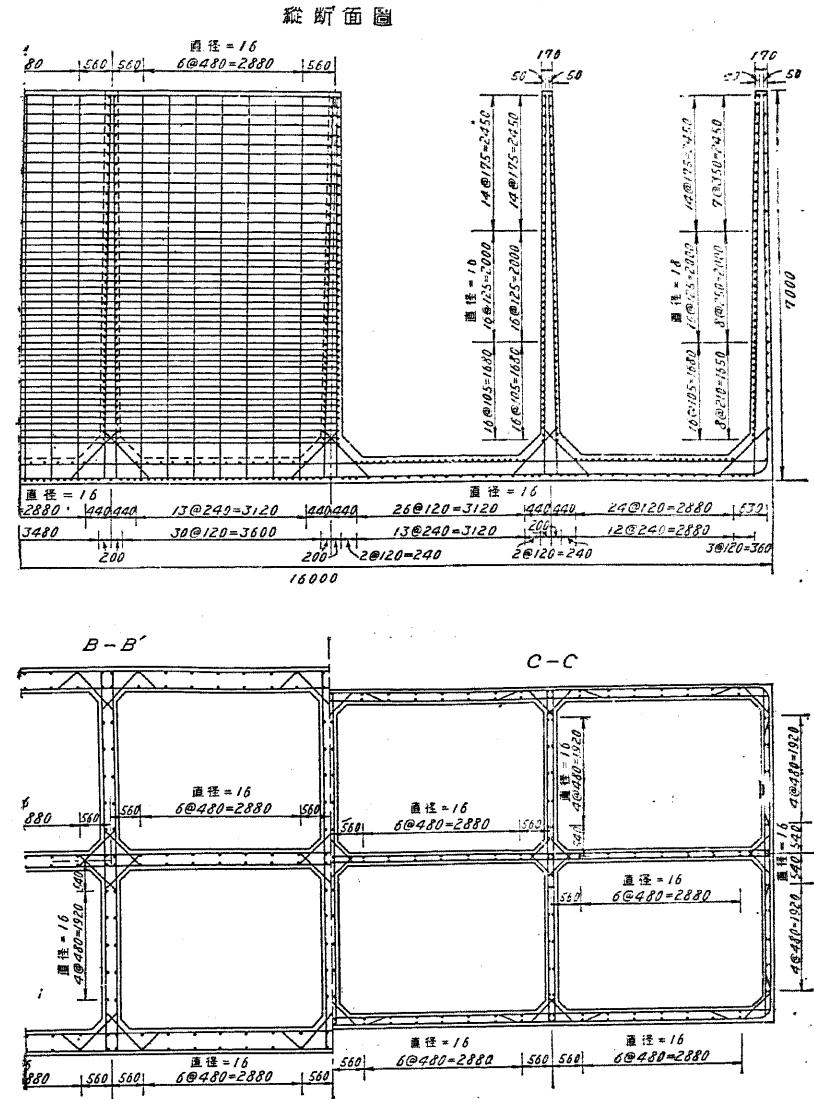
縦側壁

	H (m)	$p_0 = v_0 H (\text{kg/m}^2)$	l (m)	$M_1 = \frac{l^2}{2} (\text{kg-cm})$	$M_2 = \frac{-p_0 l^2}{10} (\text{kg-cm})$	$S = \frac{Hl}{2} (\text{kg})$
第一層	2.5	2,530	4	295,000	-413,000	5,160
第二層	4.5	4,640	4	530,000	-741,000	9,240
第三層	6.55	6,750	4	772,000	-1,080,000	13,500

例題 圖



設計圖



横側壁

	H (m)	$p_0 = v_0 H$ (kg/m ²)	l (m)	$M_1 = \frac{pl^2}{14}$ (kg-cm)	$M_2 = -\frac{pl^2}{10}$ (kg-cm)	$S = \frac{pl}{2}$ (kg)
第一層	2.5	2,580	3.18	186,000	-259,000	4,100
第二層	4.5	4,640	3.32	354,000	-513,000	7,700
第三層	6.55	6,750	3.46	587,000	-812,000	11,700

底版

	H (m)	$p_0 = v_0 H$ (kg/cm ²)	l (m)	$M_1 = \frac{pl^2}{16}$ (kg-cm)	$M_2 = -\frac{pl^2}{10}$ (kg-cm)	$S = \frac{pl}{2}$ (kg)
	7.0	7,200	3.5	551,000	-883,000	12,600

〔注意〕 底版は、幅の方向に支へられたる連續版と考へる。

〔注意〕 底版に作用する外力は、水壓から底版の自重を引き去つたものであるが、此處では、安全のために之を無視する。

(b) 断面の決定

$$\varepsilon_c = \text{コンクリートの許容応力} = 40 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varepsilon_s = \text{鉄筋の許容応力} = 1,100 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \text{鋼の弾性係数のコンクリートの弾性係数に対する比} = 15$$

$$b = \text{単位幅 } 100 \text{ cm}$$

$$d = \text{版の抗圧側表面より、抗張鉄筋重心迄の距離}$$

$$d' = \text{版の抗圧側表面より、抗圧鉄筋重心迄の距離}$$

$$e = \text{被厚、(版の抗圧側表面より、抗張鉄筋迄の距離)}$$

$$t = \text{版の總厚} = d+e$$

$$A_s = \text{抗張鉄筋断面積}$$

$$A'_s = \text{抗圧鉄筋断面積}$$

$$k = \text{抗圧側表面より中立軸までの高さ}$$

$$p = \text{抗張鉄筋断面積のコンクリートの有効断面積に対する比}$$

$$p' = \text{抗圧鉄筋断面積のコンクリートの有効断面積に対する比}$$

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_s} \cdot \frac{n}{n} \cdot \frac{d'}{d} \text{ を假定して } d \text{ を決定せんとす。}$$

$$\text{但し } k = \frac{n\varepsilon_c}{n\varepsilon_c + \varepsilon_s} = \frac{15 \times 40}{15 \times 40 + 1,000} = 0.353$$

$$d = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_c b}{2} \left(1 - \frac{k}{3} \right) + \frac{A'_s}{A_s} \left(k - \frac{d'}{d} \right) \left(1 - \frac{d'}{d} \right) \right)}{1 - k - \frac{A'_s}{A_s} \left(k - \frac{d'}{d} \right)}} \sqrt{\frac{M}{b}}}$$

縦側壁

	k	$\frac{A'_s}{A_s}$	$\frac{d'}{d}$	b (cm)	M (kg-cm)	d (cm)	採用する d (cm)	e (cm)	$t = d+e$ (cm)	d' (cm)	$\frac{d'}{d}$
第一層	0.353	0.5	0.2	100	413,000	24.3	24.4	5	29.4	5	0.205
第二層	0.353	0.5	0.16	100	741,000	32.0	31.1	5	36.1	5	0.160
第三層	0.353	0.5	0.13	100	1,080,000	38.0	38.0	5	43.0	5	0.132

横側壁

	k	$\frac{A'_s}{A_s}$	$\frac{d'}{d}$	b (cm)	M (kg-cm)	d (cm)	採用する d (cm)	e (cm)	$t = d+e$ (cm)	d' (cm)	$\frac{d'}{d}$
第一層	0.353	0.5	0.25	100	259,000	19.2	20.0	5	25.0	5	0.250
第二層	0.353	0.5	0.18	100	513,000	26.9	26.5	5	31.5	5	0.188
第三層	0.353	0.5	0.15	100	812,000	33.2	33.0	5	38.0	5	0.151

底版

	k	$\frac{A'_s}{A_s}$	$\frac{d'}{d}$	b (cm)	M (kg-cm)	d (cm)	採用する d (cm)	e (cm)	$t = d+e$ (cm)	d' (cm)	$\frac{d'}{d}$
	0.353	0.5	0.25	100	883,000	35.7	36	9	45	9	0.25

(c) 插入鉄筋の決定

$$q = \text{抗張鉄筋の中心間隔}$$

$$\phi = \text{抗張鉄筋の直徑}$$

$$q' = \text{抗圧鉄筋の中心間隔}$$

$$\phi' = \text{抗圧鉄筋の直徑}$$

$$q = \frac{\frac{M}{b a^2} + \frac{\delta_c b}{2} \left(\frac{k}{3} - \frac{d'}{d} \right)}{\delta_c \left(1 - \frac{d'}{d} \right)}$$

$$p' = \frac{\frac{M}{b a^2} - \frac{\delta_c k}{2} \left(1 - \frac{k}{3} \right)}{\frac{n \delta_c}{k} \left(1 - \frac{d'}{d} \right) \left(\frac{k}{3} - \frac{d'}{d} \right)}$$

$$A_s = pbd$$

$$A'_s = p'ld$$

縦側壁

	p	p'	必要なる A_s/cm^2	必要なる A'_s/cm^2	$\phi(mm)$	$q(cm)$	挿入せる A_s/cm	$\phi'(mm)$	$q'(cm)$	挿入せる A'_s/cm^2
第一層	0.00723	0.00355	17.65	8.65	20	17.5	17.9	20	35	8.86
第二層	0.00797	0.00518	24.8	16.1	20	12.5	25.1	20	25	12.6
第三層	0.00773	0.00383	29.4	14.55	20	10.5	29.9	20	21	14.9

横側壁

	p	p'	必要なる A_s/cm^2	必要なる A'_s/cm^2	$\phi(mm)$	$q(cm)$	挿入せる A_s/cm	$\phi'(mm)$	$q'(cm)$	挿入せる A'_s/cm^2
第一層	0.00671	0.00183	13.45	3.66	18	17.5	14.5	18	35	7.3
第二層	0.00763	0.00471	20.2	12.5	18	12.5	20.3	18	25	10.2
第三層	0.00774	0.00423	25.5	13.95	18	10.5	24.2	18	21	12.1

底版

p	p'	必要なる A_s/cm^2	必要なる A'_s/cm^2	$\phi(mm)$	$q(cm)$	挿入せる A_s/cm	$\phi'(mm)$	$q'(cm)$	挿入せる A'_s/cm^2
0.00715	0.00457	25.7	16.45	20	12	26.2	20	24	13.1

(d) 樹力の検算

$$p = \frac{A_s}{bd} \quad p' = \frac{A'_s}{bd}$$

$$k = \sqrt{2n(p + p' - \frac{d'}{d}) + n^2(p + p')^2 - n(p + p')}$$

$$j = \frac{k^2(1 - \frac{k}{3}) + 2np'(k - \frac{d'}{d})(1 - \frac{d'}{d})}{k^2 + 2np'(k - \frac{d'}{d})}$$

= 抵抗偶力の臂の長さの有効高さ d に対する比

$$\varepsilon_c = \frac{M}{bu^2 L_c}$$

$$L_c = \frac{k}{2}(1 - \frac{k}{3}) + \frac{np'(k - \frac{d'}{d})(1 - \frac{d'}{d})}{k}$$

$$\delta_s = \frac{n\varepsilon_c(1-k)}{k} \quad \tau = \frac{S}{bju} = \text{版に於ける剪應力}$$

縦側壁

	p	p'	k	j	L_c	$\varepsilon_c(kg/cm^2)$	$\tau(kg/cm^2)$
第一層	0.00734	0.00363	0.3547	0.871	0.1573	39.6	2.43
第二層	0.00807	0.004035	0.3615	0.872	0.1873	49.9	3.51
第三層	0.0078	0.00393	0.3553	0.873	0.1879	39.7	4.06

横側壁

	p	p'	k	j	L_c	$\varepsilon_c(kg/cm^2)$	$\tau(kg/cm^2)$
第一層	0.00725	0.003625	0.3592	0.867	0.1704	38.0	2.36
第二層	0.00766	0.00383	0.3587	0.871	0.1803	40.4	3.34
第三層	0.00784	0.00367	0.349	0.880	0.1815	40.9	4.03

底版

p	p'	k	j	L_c	$\varepsilon_c(kg/cm^2)$	$\tau(kg/cm^2)$
0.0073	0.00365	0.358	0.871	0.17	40.1	4.02

[II] 隔壁の計算

(a) 断面及鐵筋量

鐵筋は二層に配列し、その被厚は相等しくす。

縦横隔壁

	H, m	$t(cm)$	$e(cm)$	$\phi(mm)$	$q(cm)$	A_s/cm^2	$A_s = 2A_s'/cm^2$
第一層	2.5	23.6	5	16	17.5	11.5	23
第二層	4.5	28.8	5	16	12.5	16.1	33
第三層	6.55	34.0	5	16	10.5	19.2	39

(b) 柱としての許容荷重

$$\varepsilon_c = \text{コンクリートの許容軸圧應力} = 35 kg/cm^2$$

$$d_0 = \text{コンクリートの有効厚} = t - 2e$$

$$A_{c0} = \text{コンクリートの有効断面積}$$

$$A_{s0} = \text{軸鐵筋の總斷面積}$$

$$h = \text{柱の高さ}$$

$$i = \text{支柱全断面の最小環動半径} = \sqrt{\frac{\text{最小慣性率}}{\text{断面積}}} = \sqrt{\frac{tb}{12}} = \frac{t}{3.464}$$

$$\frac{h}{i} = \text{織弱率} \quad \frac{h}{i} < 45 \quad \text{長柱} \quad \frac{h}{i} > 45 \quad \text{短柱}$$

$$P_0 = \text{中心軸荷重} = p_0 l$$

$$P_1 = \delta_c (A_{e0} + 15 A_{s0}) = \text{短柱の許容中心軸荷重}$$

$$P_2 = P_1 \times \left(1.45 - 0.01 \frac{h}{i} \right) = \text{長柱の許容中心軸荷重}$$

縦隔壁

	$d_0(cm)$	$l(cm)$	$A_{e0}(cm^2)$	$A_{s0}(cm^2)$	$P_1(kg)$	$i(cm)$	$h(cm)$	$\frac{h}{i}$	$P_2(kg)$	$P_0(kg)$
第一層	13.6	100	1,360	23	59,500	13	376.4	55.5	53,200	8,200
第二層	18.8	100	1,880	33	83,000	8.32	371.2	44.6		15,400
第三層	24	100	2,400	39	104,500	9.82	366.0	37.3		23,350

横隔壁

	$d_0(cm)$	$h(cm)$	$A_{e0}(cm)$	$A_{s0}(cm)$	$P_1(kg)$	i	$h(cm)$	$\frac{h}{i}$	$P_2(kg)$	$P_0(kg)$
第一層	13.6	100	1,360	23	59,500	6.8	276.5	40.7		10,250
第二層	18.8	100	1,880	33	83,000	8.32	281.5	33.8		18,000
第三層	24	100	2,400	39	104,000	9.82	287.0	29.2		26,200

(c) 水壓に依る彎曲率を受ける版としての検算

$$p = p' = \frac{A_s}{bd}$$

$$k = \sqrt{2i(p + p' \frac{d'}{d}) + n^2(p + p')^2 - n^2(p + p)}$$

$$j = \frac{k^2 \left(1 - \frac{k}{3}\right) + 2np \left(k - \frac{d'}{d}\right) \left(1 - \frac{d'}{d}\right)}{k^2 + 2np \left(k - \frac{d'}{d}\right)}$$

$$\varepsilon_c = \frac{M}{bd^2 L_c}$$

$$L_c = \frac{k}{2} \left(1 - \frac{k}{3}\right) + \frac{np \left(k - \frac{d'}{d}\right) \left(1 - \frac{d'}{d}\right)}{k}$$

$$\varepsilon_c = \frac{M}{bd^2 L_c}$$

$$\varepsilon_s = \frac{n \delta_c (1-k)}{k}$$

$$M = \frac{1}{10} pl^2$$

但し此所に計算する水壓に依つて隔壁に、彎曲率を生ずる場合は、極めて一時的の現象に過ぎない爲めに、此際の許容應力だけは、之を特に高めても差し支えがない、即ち次表の結果迄でならば、先づ我慢が出来るのである。

[III] 結論

以上各種の検算に依つて、此面塊の各部材は、何れも之に受くる應力が、許容應力の範囲内にあつて、其の強度の安全なることを示すものである。

	$d(cm)$	$l'(cm)$	$h(cm)$	$M(kg-cm)$	$S(kg)$	$A_s = A' s(cm^2)$	$p = p'$	k	j	I_a	$\delta_c(kg/m^2)$	$\delta_s(kg/cm^2)$	$\tau(kg/cm^2)$
第一層	18.6	5	100	413,000	5,160	11.5	0.0062	0.334	0.905	0.1615	73.6	2,200	3,06
第二層	23.8	5	100	741,000	9,240	16.1	0.00678	0.3329	0.872	0.1776	75.0	2,250	4,45
第三層	29.0	5	100	1,080,000	13,500	19.2	0.00664	0.324	0.878	0.1823	70.3	2,200	5.3

	$d(cm)$	$l'(cm)$	$h(cm)$	$M(kg-cm)$	$S(kg)$	$A_s = A' s(cm^2)$	$p = p'$	k	j	I_a	$\delta_c(kg/cm^2)$	$\delta_s(kg/cm^2)$	$\tau(kg/cm^2)$
第一層	18.6	5	100	259,000	4,100	11.5	0.0062	0.334	0.905	0.1615	46.5	1,390	2,43
第二層	23.8	5	100	513,000	7,700	16.1	0.00678	0.3329	0.872	0.1776	52.0	1,560	3.6
第三層	29.0	5	100	812,000	11,700	19.2	0.00664	0.324	0.878	0.1823	53.0	1,600	3.86