

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

SCIENCE AND TECHNOLOGY COMMISSION OF  
SHANGHAI MUNICIPAL PEOPLE'S GOVERNMENT,  
PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

**DETAILED DESIGN  
OF  
SHANGHAI PUDONG INTERNATIONAL  
AIRPORT  
FINAL REPORT**

**VOLUME IV  
APPENDICES**

**PART III  
FUEL SUPPLY SYSTEM**

JICA LIBRARY



J 1140863 (0)

SEPTEMBER 1997

**NIPPON KOEI CO., LTD.  
NIKKEN SEKKEI LTD.**

SSF

CR(3)

97-108



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)

SCIENCE AND TECHNOLOGY COMMISSION OF  
SHANGHAI MUNICIPAL PEOPLE'S GOVERNMENT,  
PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

**DETAILED DESIGN  
OF  
SHANGHAI PUDONG INTERNATIONAL  
AIRPORT  
FINAL REPORT**

**VOLUME IV  
APPENDICES**

**PART III  
FUEL SUPPLY SYSTEM**

SEPTEMBER 1997

**NIPPON KOEI CO., LTD.  
NIKKEN SEKKEI LTD.**



1140863 (0)



# VOLUME IV APPENDICES

## PART III FUEL SUPPLY SYSTEM

### INDEX

#### <設計計算書>

- / HYDRANT PUMP CALCULATION
- / FIRE FIGHTING CALCULATION
  - / タンク本体強度計算書
  - / タンク基礎計算書
- / CALCULATION SHEET OF 10000M3 CONE BOTTOM TANK
- / FUEL DEPOT FIRE FIGHTING CALCULATION SHEET
- / CALCULATION OF FIRE DIKE
- / CALCULATION OF FIRE POND
- / CALCULATION FOR THE REINFORCEMENT OF RAFT FOUNDATION OF OIL TANK
- / CALCULATION FOR THE CEMENT SOIL PILE APPLIED IN GROUND TREATMENT OF 10000M3 OIL TANK
- / FUEL OIL STORAGE TRANSFORMER CALCULATION SHEET
- / CALCULATION BOOK FOR OIL PUMP SHED
- / CALCULATION BOOK FOR OIL DEPOT&LAB
- / CALCULATION BOOK FOR OFFICE BUILDING(FUEL SUPPLY DEPOT)
- / CALCULATION BOOK FOR OIL DEPOT, DINING ROOM, BATH ROOM
- / CALCULATION BOOK FOR OIL DEPOT COMPLEX OFFICE BUILDING
- / CALCULATION BOOK FOR OIL CAR STORAGE
- / CALCULATION BOOK FOR REPAIR SHOP
- / CALCULATION BOOK FOR PUMP ROOM
- / CALCULATION BOOK FOR AUXILIARY TANK FARM
- / CALCULATION BOOK FOR SUBSTATION ROOM
- / CALCULATION BOOK FOR OIL-BEAR WASTEWATER TREATMENT SHOP
- / CALCULATION BOOK FOR AIRCONDITIONING

#### <数量計算書>

- / 10000m3 STORAGE TANK 数量計算書
- / 燃料配管数量計算書
- / 消火配管数量計算書
- / 給水配管数量計算書
- / 含油排水配管数量計算書
- / 雨水排水配管数量計算書
- / ELECTRICAL AND INSTRUMENT
- / EARTH WORK

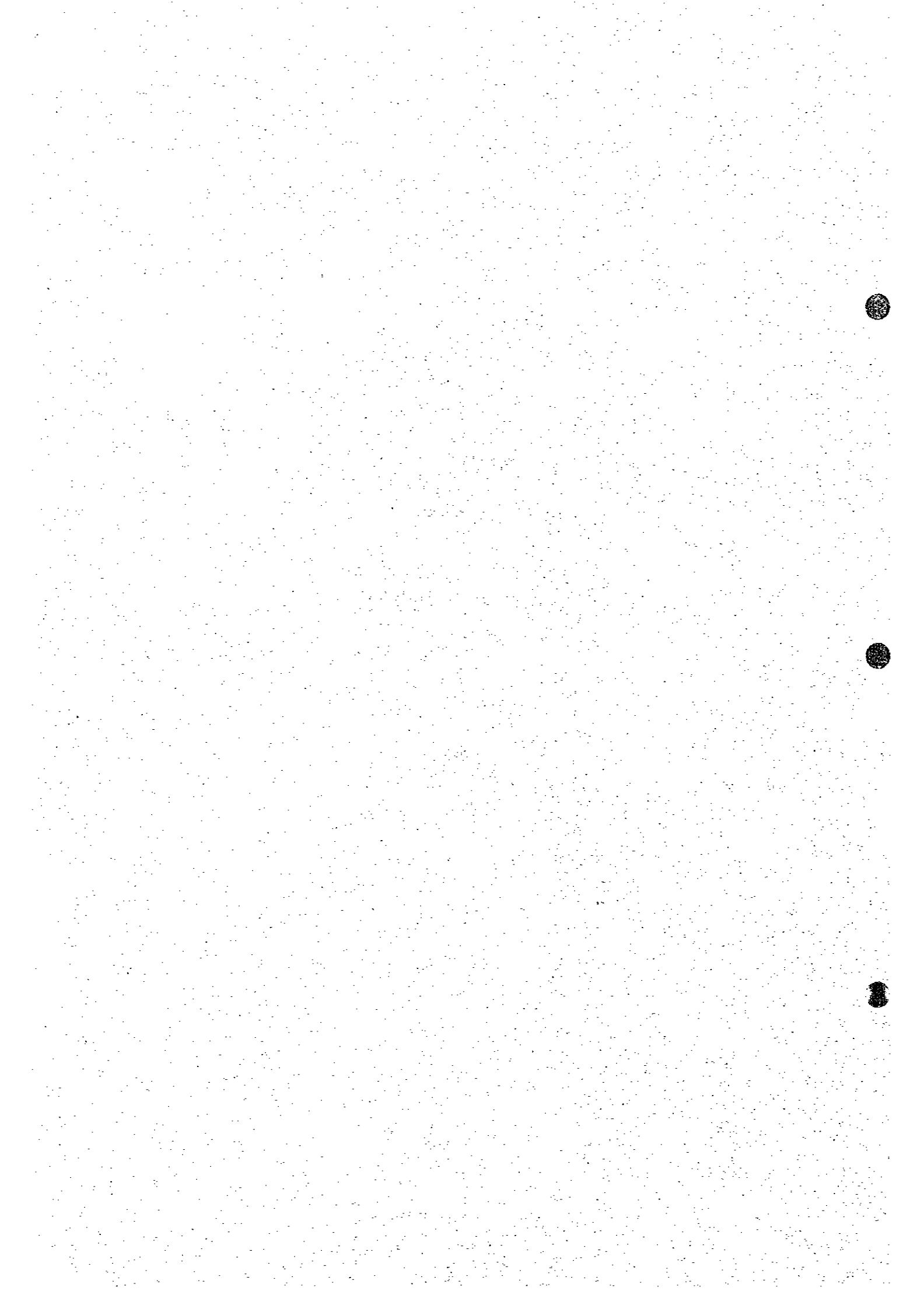
ROAD  
FIRE WALL  
/GATE  
/ TANK FOUNDATION

<工事費積算書>

COST ESTIMATE

BREAK DOWN OF COST ESTIMATE

# 設計計算書





上海浦東国際空港詳細設計調査  
航空給油施設

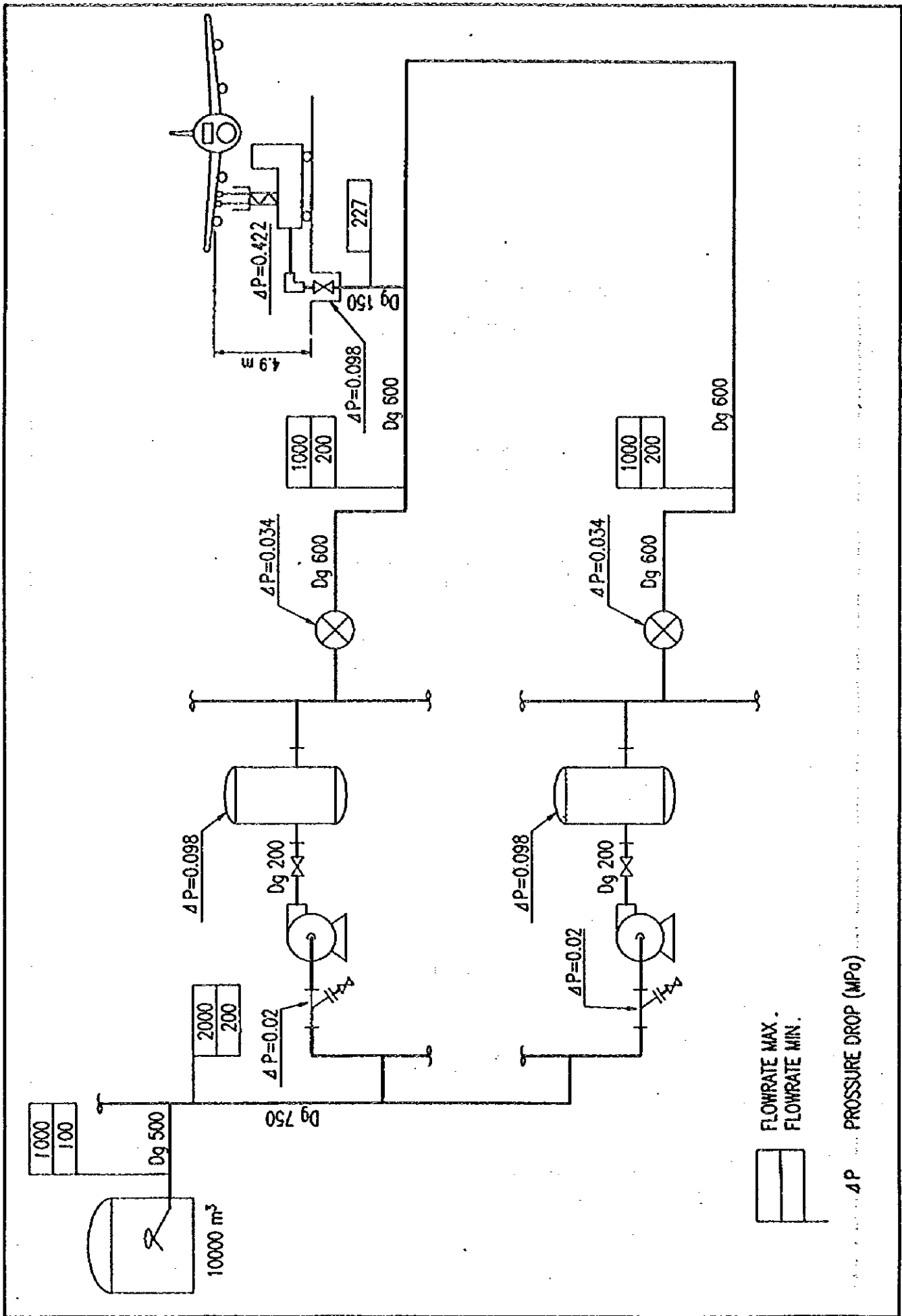
最終報告書  
資料編

ポンプ揚程計算書

平成 年 月

国際協力事業団

改訂	日付	頁	摘要



### Calculation for Hydrant Pump Pressure

No.	Item	Ref.	Unit	Servicer Type			Remarks
				800GPM Min.	1000GPM Normal	1000GPM max.	
	<Hydrant Valve. → Aircraft> Flow Rate		US gpm m <sup>3</sup> /h	800 180	1,000 227	1,000 227	
1	Required Aircraft Pressure	B747	(PSI) MPa	(35) 0.241	(50) 0.345	(50) 0.345	
2	Aircraft Hight	H=4.9m	MPa	0.037	0.037	0.037	SpGr=0.78
3	Servicer DP.		MPa	0.304	0.4	0.4	
4	Hydrant Valve D.P.		MPa	0.069	0.098	0.098	
5-1	Line DP.Dg600 L= 6,000m(Max.)	1,000m <sup>3</sup> /h	MPa			0.078	Table-2
5-2	Line DP.Dg600 L= 4,000m(Mean)	1,000m <sup>3</sup> /h	MPa		0.052		Table-2
5-3	Line DP.Dg600 L= 2,000m(Min.)	1,000m <sup>3</sup> /h	MPa	0.026			Table-2
6	Line DP.Dg200 L= 40m(Pump Dis.)	200m <sup>3</sup> /h	MPa	0.005	0.005	0.005	Table-2
7	Line DP.Dg150 L= 10m(Branch)	227m <sup>3</sup> /h	MPa	0.007	0.007	0.007	Table-2
8	Flow Meter D.P.		MPa	0.01	0.034	0.034	
9	Filter Separetor D.P.		MPa	0.01	0.049	0.098	
	Sub-total(Discharge)		MPa (PSI)	0.709 (103)	1.027 (149)	1.102 (160)	
	<Tank → Pump>						
10-1	Tank Level(High)	H=13m(H)	MPa	-0.098			
10-2	Tank Level(Middle)	H=6m(M)	MPa		-0.045		
10-3	Tank Level(Low)	H=1m(L)	MPa			-0.008	
11-1	Line DP Dg750 L=300m(Max.)	2,000m <sup>3</sup> /h	MPa			0.004	Table-2
11-2	Line DP Dg750 L=200m(Mean)	1,000m <sup>3</sup> /h	MPa		0.001		Table-2
11-3	Line DP Dg750 L=100m(Min.)	200m <sup>3</sup> /h	MPa	0.001			Table-2
12	Line DP Dg500 L=40m(Tank Suc.)		MPa	0.002	0.002	0.002	Table-2
13	Line DP Dg200 L=100m(Pump suc.)	200m <sup>3</sup> /h	MPa	0.012	0.012	0.012	Table-2
14	Strainer.etc.		MPa	0.02	0.02	0.02	
	Sub-total(Pump Suction)		MPa (PSI)	-0.063 (-9)	-0.01 (-1)	0.03 (4)	
	Total(Pump Total Pressure)		MPa (PSI) (m)	0.646 (94) (84)	1.017 (147) (133)	1.132 (164) (148)	→ 1.0

(Take)

**Table-1 Equivalent Length**

Line Size	From	To	Eq. Length (m)	Remarks
<b>&lt;Pump Suction Line&gt;</b>				
Dg500	Storage Tank	Tank Branch	40	
Dg750	Tank Branch	Pump Suc. Branch	300	Max.
Dg750	Tank Branch	Pump Suc. Branch	200	Mean
Dg750	Tank Branch	Pump Suc. Branch	100	Min.
Dg200	Pump Suc. Branch	Hydrant Pump	100	
<b>&lt;Pump Discharge Line&gt;</b>				
Dg200	Hydrant Pump	Pump Dis. Branch	40	
Dg600	Pump Dis. Branch	Hydrant Branch	6.000	Max.
Dg600	Pump Dis. Branch	Hydrant Branch	4.000	Mean
Dg600	Pump Dis. Branch	Hydrant Branch	2.000	Min.
Dg150	Hydrant Branch	Hydrant Valve	10	

**Table-2 Pressure Drop Per Each 100m Equivalent Length**

Line size	Flow-Rate m <sup>3</sup> /h	Pressure Drop MPa/100m	Pressure Drop Mpa	Velocity m/s
Dg750	2.000	0.0013	0.004	1.3
Dg750	1.000	0.0004	0.001	0.63
Dg750	200	0.00001	0.001	0.13
Dg600	1.000	0.0013	0.078	0.98
Dg600	1.000	0.0013	0.052	0.98
Dg600	1.000	0.0013	0.026	0.98
Dg500	1.000	0.0026	0.002	1.4
Dg200	200	0.012	0.012	1.8
Dg150	227	0.0624	0.007	3.6

上海浦東國際空港詳細設計調査  
航空給油施設

最終報告書  
資料編

消火設備計算書

平成 年 月

国際協力事業団

改訂	日付	頁	摘要

## 1. 適用範囲

本 消火設備設計計算書は、SHANGHAI PUDNG INTERNATIONAL AIR PORT  
の STORAGE TANK YARD に適用する。

## 2. 適用基準

(1) 中国基準

## 3. 最大タンクの諸元

タンク名称 : T-201  
容 量 : 10,000 m<sup>3</sup>  
タンク型式 : DRT  
直 径 : 31.282 m  
高 さ : 14 m  
防護対象面積 : 804 m<sup>2</sup>  
内 容 物 : RP3

## 4. 泡消火設備

### 4.1 防護対象面積の計算 ..... A

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 = 0.785 \times 32^2 = 803.84 \\ \approx 804 \text{ m}^2$$

D : タンク径 (m)

### 4.2 泡水溶液量

(1) 最大タンクに必要な泡水溶液量

・ 1分間に必要な泡水溶液量 ..... q<sub>1</sub>

$$q_1 = A \times S \text{ L/min/m}^2 \\ = 804 \times 8 = 6,432 \text{ L} \\ S : 1 \text{ m}^2 \text{ に必要とする, 1分間の水溶液量} : 8 \text{ L}$$

・ 最大必要泡水溶液量 ..... q<sub>2</sub>

$$q_2 = q_1 \times T_1 \text{ min} \\ = 6,432 \text{ L} \times 30 = 192,960 \text{ L} \\ T_1 : \text{泡放出時間} : 30 \text{ min}$$

4.3 泡消火栓の必要泡水溶液量 .....  $q_4$

泡消火栓は4基同時放水とする。

$$q_4 = q_5 \times N \times T_2 = 480 \times 4 \times 30 = 57,600 \text{ L}$$

$q_5$  : 泡ノズル1本当たりの放水量 (480 L/min)

$N$  : 同時放水個数 (4本)

$T_2$  : 放水時間 (30 min)

4.4 泡放出口個数の決定

取付数 .....  $q_3$

$$q_3 = \frac{q_2}{1,600 \text{ L/min}} = \frac{6,432}{1,600} \approx 4 \text{ 個}$$

泡放出口の放水量 : 1,600 L/min

4.5 送液管に必要な水溶液量

(1) 送液管を満たすに必要な泡水溶液量

配管 1 m 当たりの泡水溶液量

SGP	
配管径 (B)	泡水溶液量 (L/m)
6	19.0
12	73.0

SGP 12 B 775 m x 73.0 L/m = 56,575 L

SGP 6 B 250 m x 19.0 L/m = 4,750 L

---

合計 = 61,325 L

$\approx 61,400 \text{ L}$

#### 4.6 必要泡水溶液量 (L)

タンク用	=	192,960	L
消火栓用	=	57,600	L
送液管用	=	61,400	L
<hr/>			
合計	=	311,960	L

#### 4.7 消火薬剤常備量

タンク用	=	192,960	L	x	3%	=	5,789
消火栓用	=	57,600	L	x	3%	=	1,728
送液管用	=	61,400	L	x	3%	=	1,842
<hr/>							
合計						=	9,359
						≒	9,400

#### 4.8 泡消火用貯水量

タンク用	=	192,960	L
消火栓用	=	57,600	L
送液管用	=	61,400	L
<hr/>			
合計	=	311,960	x 0.97 = 302,602
			≒ 303,000

3%型泡消火薬剤の水混合比率 (97%)

#### 4.9 泡消火用加圧送水装置

##### (1) 揚水量

タンク用	=	6,432	L
消火栓用	=	1,920	L
<hr/>			
合計	=	8,352	L



(2) 圧力

1. 計算式

配管の摩擦損失水頭の計算は、下記式を用いて行なう。

$$h = 0.012 \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}} \times L \quad (1)$$

- h : 配管摩擦損失水頭 (m)
- Q : 流量 (L/min)
- D : 管の内容容 (cm)
- L : 管継手及び弁類の等価直管長を含む配管長 (m)

必要圧力 8.5 Kg/cm<sup>2</sup>

添付水力計算書による。

(3) 出力

消火ポンプ 原動機出力の決定

$$P = \frac{0.1637CH(1+\alpha)}{EK} = \frac{0.1637 \times 8.4 \times 8.5(1.1)}{0.7 \times 1} = 183 \text{ KW}$$

- (注) P : 原動機出力 (KW)
- C : 総揚水量 (m<sup>3</sup>/min)
- H : 総揚程 (m)
- T : 常温清水の場合 1.0

- α : 余裕率 電動機の場合
 

18.5 KW 以下	α = 25 %
22.4 ~ 56 KW	α = 15 %
75 KW 以上	α = 10 %

- E : ポンプ 効率
- K : 伝導効率 (直結の場合 K = 1)

## 5. 水消火設備

### 5.1 冷却散水設備

- 散水対象機器

FUEL STORAGE TANK

- 単位面積の散水量

2 L/min

- 散水ノズルの仕様

吐出圧力 :

吐出水量 : 30 L/min

散水角度 :

- 対象タンク

T-201 ~ T-208 = 8基

外径 高さ

32m 14m

外径・高さは8基同じ

### 5.2 必要散水量

- 散水対象面積

$$\pi \times D^2 \times H^2 = 3.14 \times 32 \times 14 = 1407 \text{ m}^2$$

- タンク1基の必要散水量

$$1407 \times 2 \text{ L/min} = 2814 \text{ L/min}$$

- タンク1基の実散水量

タンク1基に対し、散水リング2分割とする。

1リングの散水ヘッド47個とする。

$$47 \times 2 \text{ リング} = 94 \text{ 個}$$

1基のタンクに対し、94個のヘッドを取付ける。

$$94 \times 30 \text{ L/min} = 2820 \text{ L/min}$$

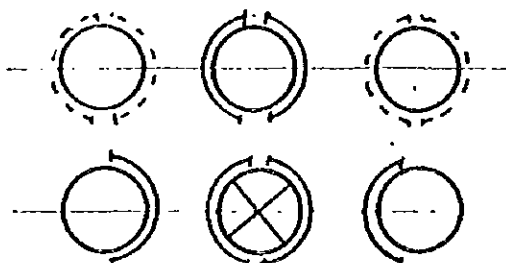
- 同時散水量

タンク火災時に対し、同時散水は隣接する3基とする。

$$2820 \text{ L/min} \times 3 \text{ 基} = 8460 \text{ L/min}$$

放水時間 360 min

$$8460 \times 360 = 3045600 \text{ L}$$



### 5.3 屋外水消火栓

水消火栓は、2基同時放水とする。

$$\begin{aligned}
 \text{1基当たりの放水量} &: 450 \text{ L/min} \\
 450 \times 2 \text{ 基} &= 900 \text{ L/min} \\
 \text{放水時間} &= 30 \text{ min} \\
 900 \times 30 &= 27,000 \text{ L}
 \end{aligned}$$

### 5.4 水用加圧送水装置

#### (1) 揚水量

$$\begin{aligned}
 \text{ポンプ用} &: 8,460 \text{ L/min} \\
 \text{消火栓用} &: 900 \text{ L/min}
 \end{aligned}$$

---


$$\text{合計} \quad 9,360 \text{ L/min}$$

#### (2) 圧力

##### 1. 計算式

配管の摩擦損失水頭の計算は、下記式を用いて行なう。

$$h = 0.012 \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}} \times L \quad \text{..... (1)}$$

- h : 配管摩擦損失水頭 (m)
- Q : 流量 (L/min)
- D : 管の内容容 (cm)
- L : 管継手及び弁類の等価直管長を含む配管長 (m)

必要圧力  $8.5 \text{ Kg/cm}^2$

添付水力計算書による。

#### (3) 出力

消火ポンプ 原動機出力の決定

$$P = \frac{0.1637CH(1+\alpha)}{EK} = \frac{0.1637 \times 9.36 \times 60(1.1)}{0.7} = 144 \text{ KW}$$

- (注) P : 原動機出力 (KW)
- C : 総揚水量 (m<sup>3</sup>/min)
- H : 総揚程 (m)
- T : 常温清水の場合 1.0

- α : 余裕率 電動機の場合
 

{	18.5 KW 以下	α = 25 %
	22.4 ~ 56 KW	α = 15 %
	75 KW 以上	α = 10 %

- E : ポンプ 効率
- K : 伝導効率 (直結の場合 K = 1)

## 6. 結 論

### 6.1 泡消火設備

- ・ 必要水量 : 8,320 L/min
- ・ 薬剂量 : 9,400 L
- ・ ポンプ仕様
  - 圧力 : 8.5 Kg/cm<sup>2</sup> G
  - 揚水量 : 8,400 L/min
  - 出力 : 185 KW

### 6.2 水消火・散水設備

- ・ 必要水量 : 9,360 L/min
- ・ ポンプ仕様
  - 圧力 : 6.0 Kg/cm<sup>2</sup> G
  - 揚水量 : 9,400 L/min
  - 出力 : 145 KW

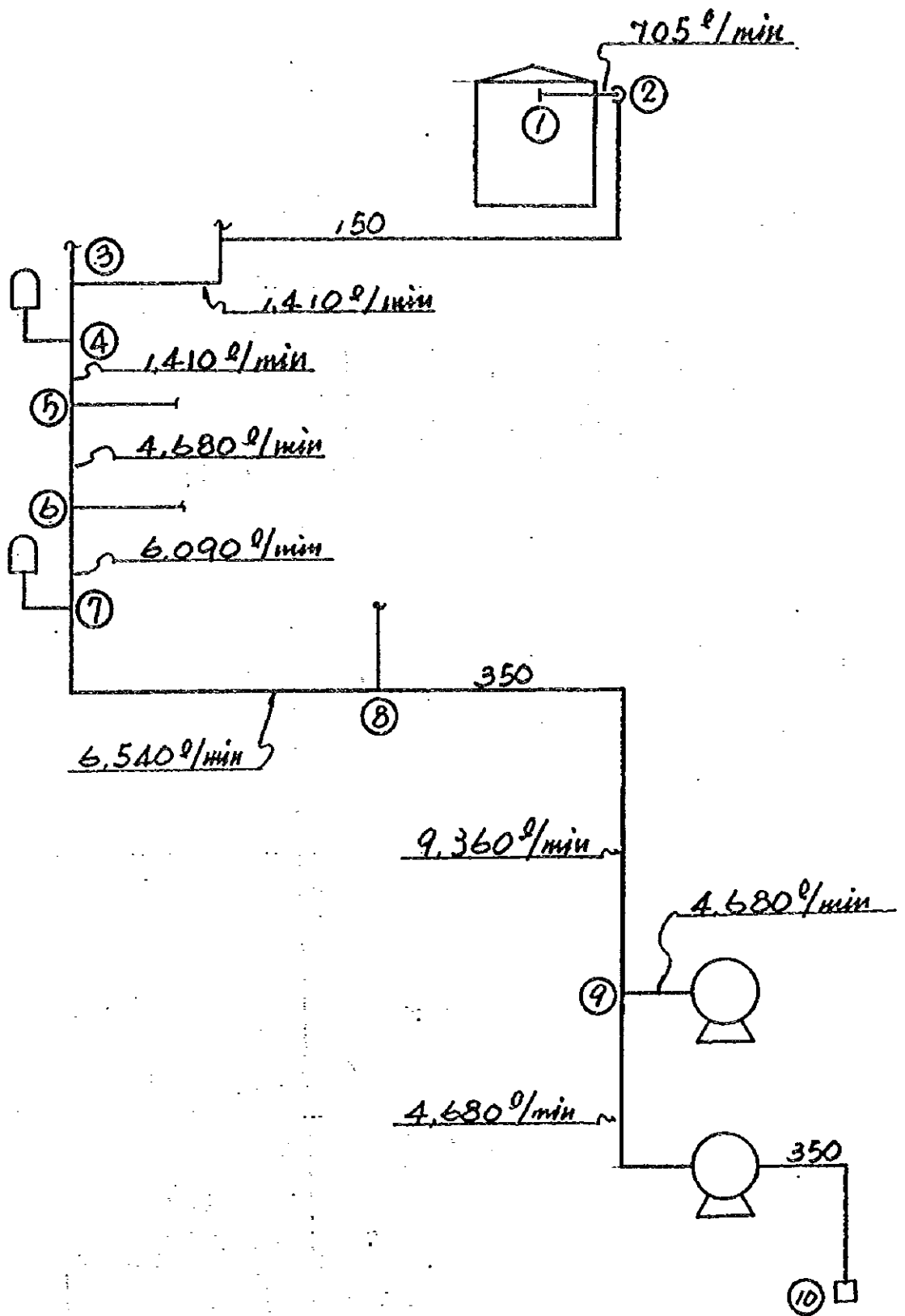
### 6.3 貯水量

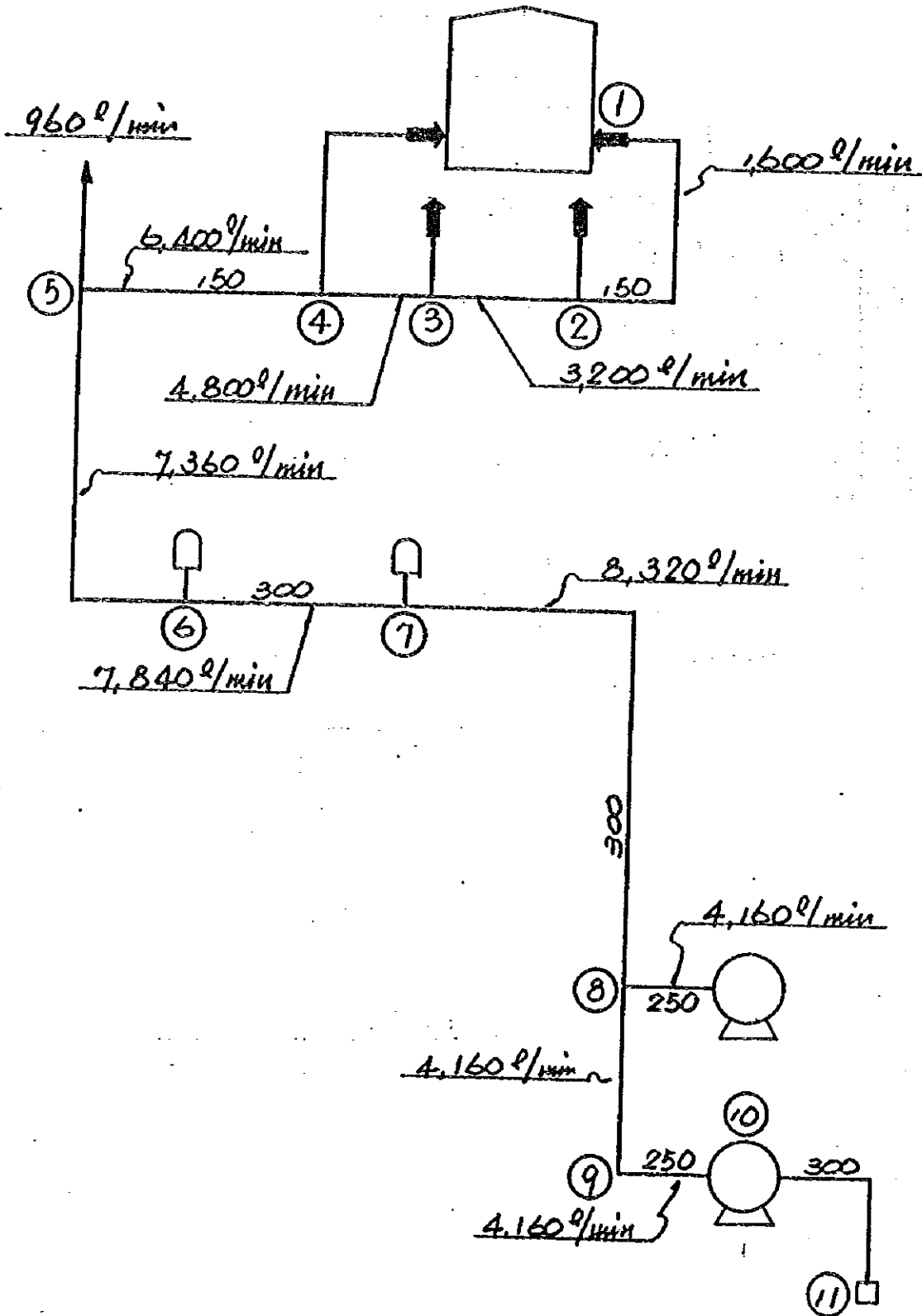
- 泡消火設備 : 303,000 L
- 散水設備 : 3073,000

---

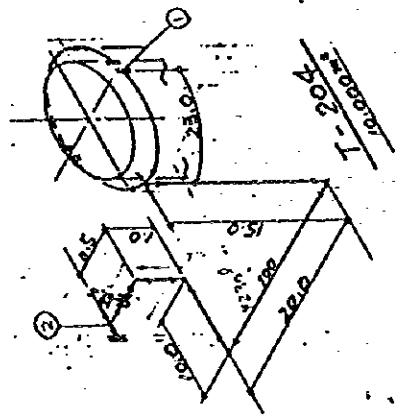
計 3376,000 L

⇒ 4,000 m<sup>3</sup>

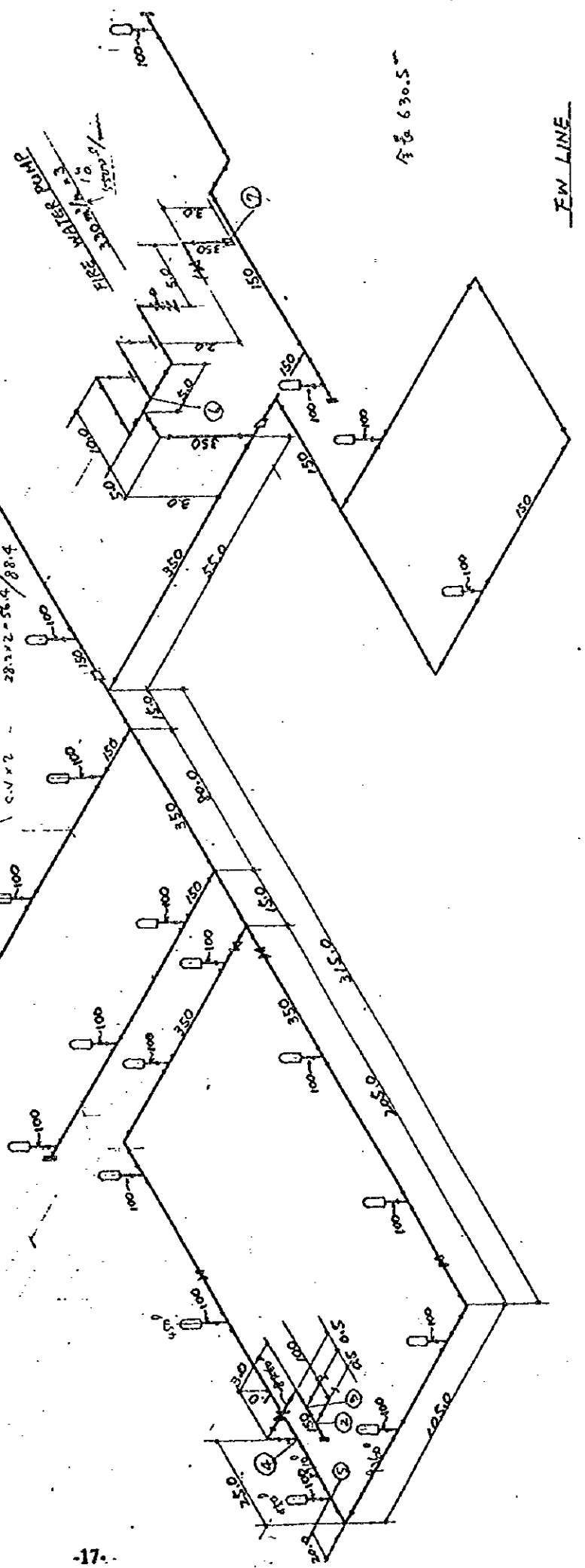




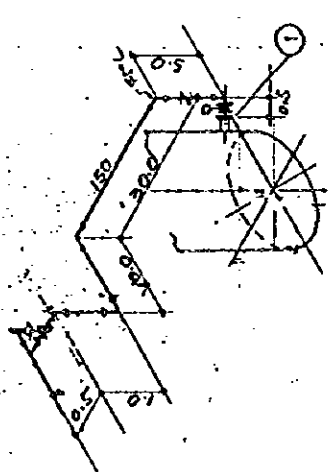
727 84600  
 消光板 4500 x 2 x 900  
 21. 93600



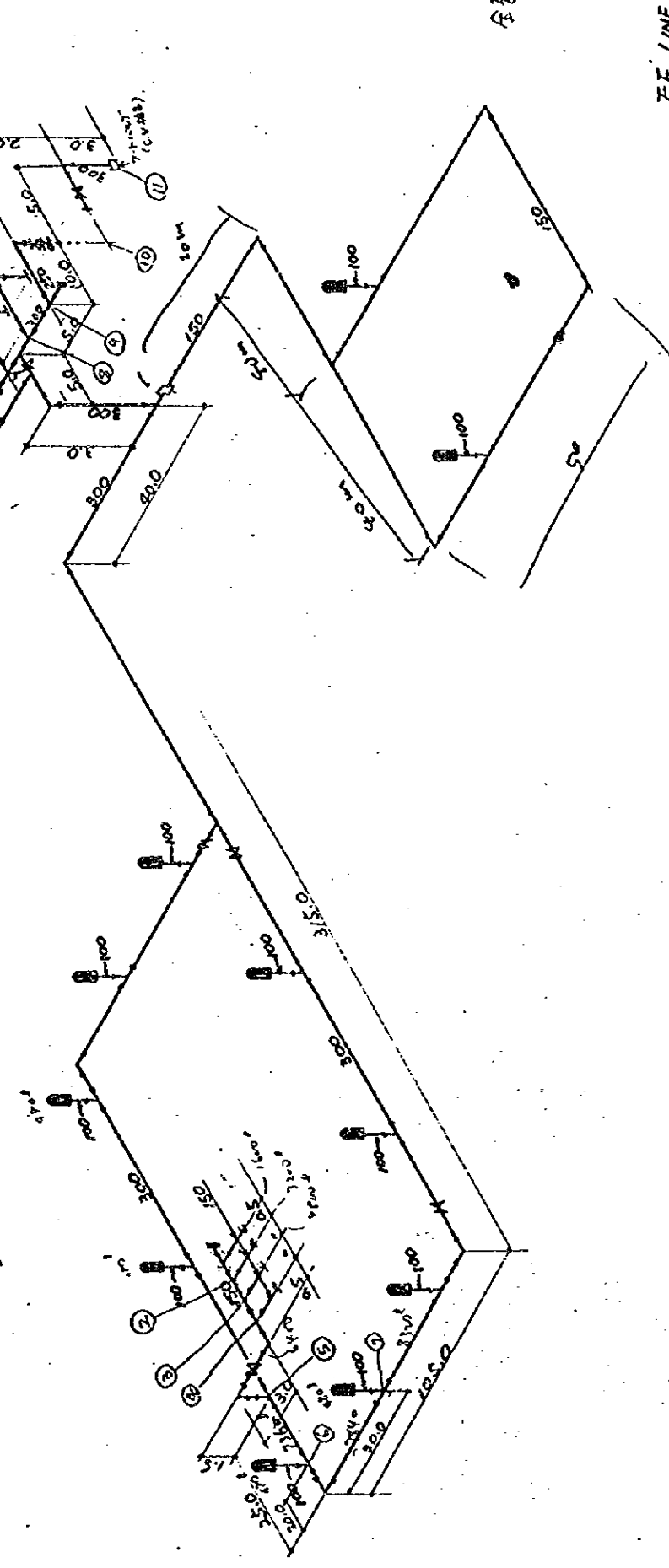
- ① ~ ② 42300  
 40 P --- 92.5  
 40 T x 1 --- 4.7  
 90° 90L x 4 --- 13.4 x 5.2  
 6° G.V x 1 --- 0.7 / 10.6
- ③ ~ ④ 42300  
 40 P --- 0.5  
 60° 90L x 1 --- 1.9
- ⑤ ~ ⑥ 84600  
 60 P --- 4.5  
 60 T x 1 --- 2.0  
 80° 90L x 2 --- 1.9 x 2 = 3.8  
 6° G.V x 1 --- 1.0 / 11.8
- ⑦ ~ ⑧ 93600  
 14° P --- 503.0  
 90° 90L x 3 --- 4.1 x 3 = 12.3  
 6° T x 4 --- 15.3 x 4 = 61.2  
 6° G.V x 2 --- 2.2 x 2 = 4.4 / 77.9
- ⑨ ~ ⑩ 46800  
 14° P --- 25.0  
 90° 90L x 3 --- 4.1 x 3 = 12.3  
 6° T x 1 --- 15.3  
 6° V x 2 --- 2.2 x 2 = 4.4  
 6° G.V x 2 --- 2.2 x 2 = 4.4 / 88.4



① ~ ② 16000  
 60 P - 5.0  
 (90Lx3 - 19x5 = 95  
 T x 3 - 0.9  
 4.0x2  
 C.V. x 1 - 10x2 = 20  
 12.9x1 = 12.9 / 553  
 60 P - 0.5  
 T x 1 - 7.0  
 ③ ~ ④ 48000  
 60 P - 0.5  
 T x 1 - 7.0  
 ⑤ ~ ⑥ 60000  
 60 P - 5.0  
 (90Lx2 - 19x2 = 38  
 T x 3 - 2.0  
 4.0x3 - 1.0 / 118  
 60 P - 0.5  
 T x 1 - 7.0  
 ⑦ ~ ⑧ 82200  
 120 P - 4.38.0  
 (90Lx3 - 37x3 = 16.1  
 T x 3 - 13.7x3 = 41.1  
 4.0x3 - 2.0x3 = 6.0 / 58.2  
 120 P - 5.0  
 T x 1 - 13.9  
 90Lx1 - 3.7 / 17.4  
 ⑨ ~ ⑩ 41600  
 100 P - 12.0  
 (90Lx1 - 3.1  
 4.0x1 - 1.6  
 2.0x1 - 2.1 / 25.8  
 120 P - 8.0  
 (90Lx1 - 3.7  
 4.0x1 - 2.0  
 2.0x1 - 25.3 / 31.0



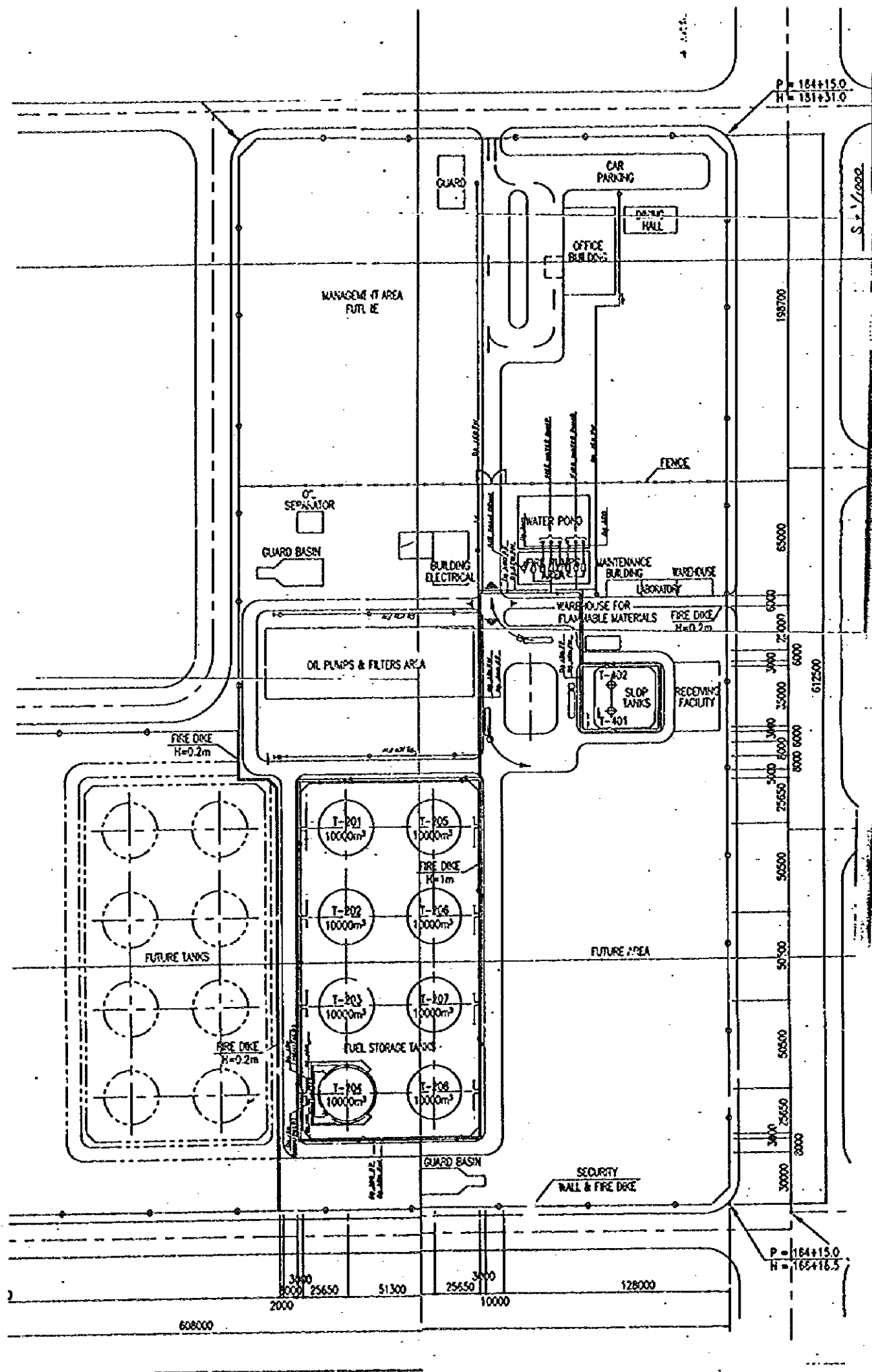
727 64000  
 480 x 41 = 1920  
 83200 1-2000



571.5

FF LINE







上海浦東国際空港詳細設計調査  
航空給油施設

最終報告書  
資料編

タンク本体強度計算書

平成 年 月

国際協力事業団

改訂	日付	頁	摘要

NO.	REV. <input type="checkbox"/>
SHEET <u>1</u> OF <u>      </u>	
DATE <u>NOV. - 10 - '96</u>	
PREP'D	
CHK'D	
APP'D	

CALCULATION SHEET

FOR

T-201 ~ 208 10,000 KL FUEL STORAGE TANK

PROJECT : SHANGHAI PUDONG INTERNATIONAL AIRPORT

REV.	DATE	PREP'D	APP'D	PAGE	DESCRIPTION
<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/>					
<input type="checkbox"/>					

1. 仕様

適用法規 : 消防法 ( 危険物の規制に関する規則 )  
 特定屋外貯蔵タンク  
 適用規格 : API ST'D 650 9 ED. JULY 1993  
 貯槽の形式 : 全溶接縦球面形固定屋根式貯槽  
 公称容量 : 10,000 KL ( 貯蔵容量 : 10,576 KL )  
 貯槽内径 : 31,282 mm  
 貯槽高さ : 14,000 mm  
 最高液面高さ : 13,500 mm  
 内容液名称 : RP-3 ( 比重 : 0.78 )

設計条件 :

設計圧力 : ± 38 mm H<sub>2</sub>O  
 設計温度 : 常温 °C ( メタル温度 : -1.6 °C )  
 屋根活荷重 : 122 kg/m<sup>2</sup>  
 積雪荷重 : 28 kg/m<sup>2</sup>  
 風荷重 : 88.9 kg/m<sup>2</sup> ( 0.7 x 127 kg/m<sup>2</sup> )  
 地震 : 水平震度 Kh1 = 0.3411 ( ν<sub>1</sub> = 0.7 ν<sub>2</sub> = 2 j = 1.1 ν<sub>3</sub> = 1.62 )  
鉛直震度 Ky1 = 0.1706  
液面揺動水平震度 Kh2 = 0.0774

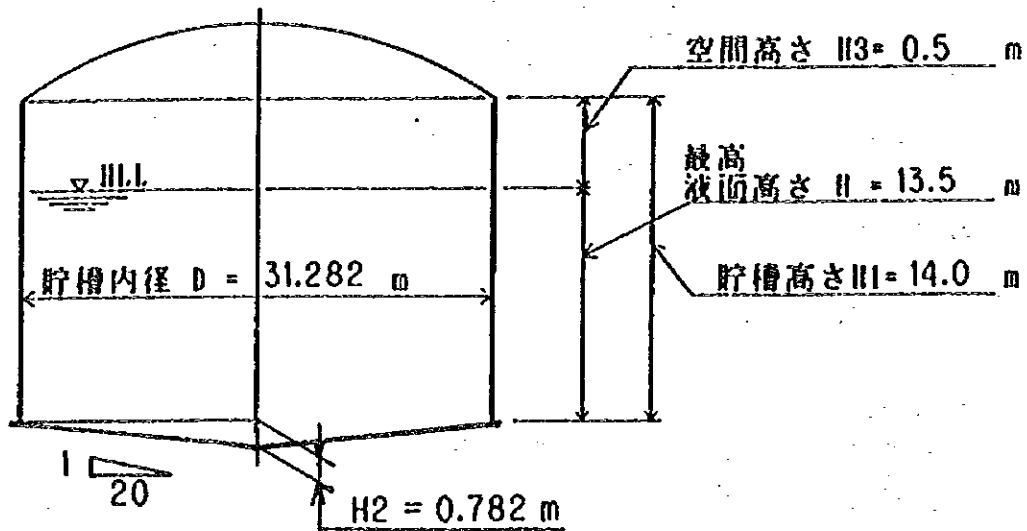
最大受払量 : 受入量 360 m<sup>3</sup>/Hr, 払出量 2000 m<sup>3</sup>/Hr

腐れ代 : 底板 0 mm 側板 1.0 mm 屋根板 0 mm  
 屋根骨 0 mm

使用材料 : 底板 Q235-A or EQ. 側板 Q235-A or EQ. 屋根板 Q235-A or EQ.

屋根骨 GBJ17-88 or EQ. アニュラ板 Q235-A or EQ.

## 2. 貯 量 計 算



幾何容量 :  $V_1$  ( $m^3$ )

$$\begin{aligned} V_1 &= \left( \frac{\pi}{4} \right) \cdot D^2 \cdot H_1 + \left( \frac{1}{12} \right) \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H_2 \\ &= \left( \frac{\pi}{4} \right) \times (31.282)^2 \times 14.0 + \left( \frac{1}{12} \right) \times \pi \times (31.282)^2 \times 0.782 \\ &= 10.960 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

貯蔵容量 :  $V$  ( $m^3$ )

$$\begin{aligned} V &= \left( \frac{\pi}{4} \right) \cdot D^2 \cdot H + \left( \frac{1}{12} \right) \cdot \pi \cdot D^2 \cdot H_2 \\ &= \left( \frac{\pi}{4} \right) \times (31.282)^2 \times 13.5 + \left( \frac{1}{12} \right) \times \pi \times (31.282)^2 \times 0.782 \\ &= 10.576 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

液面揺動に対する余裕高さ :  $H_c$  (m)

(告示第二条の二より)

$$H_c = 0.45 D \cdot kh_2 = 0.45 \times 31.282 \times 0.0774 = 1.090 \text{ m} > H_3 = 0.5 \text{ m}$$

∴ 不足となる

ここに  $kh_2$  : 液面揺動の設計水平震度. 0.0774

$$kh_2 = 0.15 \cdot \nu_1 \cdot \nu_2$$

$$\nu_1 = 0.7 \quad \nu_2 = 4.5/T_s = 0.7375$$

$$T_s = 2 \pi \left[ \left( \frac{D}{3.68 \cdot g} \right) \cdot \coth(3.68 \cdot H/D) \right]^{1/2}$$

$$= 2 \pi \times \left[ \left( \frac{31.282}{3.68 \times 0.8} \right) \times \coth(3.68 \times 13.5 / 31.282) \right]^{1/2}$$

$$= 6.1014 \text{ sec}$$

### 3. 側板の厚さ

消防法（告示：第四条の十七及び第四条の二十一）による。

$$l = [D \cdot \{(H - 0.3) \cdot \rho + 0.001 P\} / 2 S \cdot ka] \text{ ----- 2 段目以上}$$

$$l = 1.18 \times [D \cdot \{(H - 0.3) \cdot \rho + 0.001 P\} / 2 S \cdot ka] \text{ --- 最下段}$$

ここに  $l$  : 最小必要厚さ、(mm)但し、内径による最小厚さ、 $l_0 = 6.0$  mm

$D$  : 貯槽内径、31.282 m

$H$  : 側板の厚さを求める段の下から貯蔵する内容液の最高液面までの高さ、(m) 最高液面高さ : 13.5 m

$\rho$  : 貯蔵する内容液の比重量、0.78 g/cm<sup>3</sup> 但し最小 1.0 とする。

$S$  : 側板材料の規格最小降伏点又は 0.2 % 耐力の 60 % の値。

材質 : Q235-A・F で 板厚 16 mm 以下の場合

$$23.96 \times 0.6 = 14.37 \text{ kg/mm}^2$$

16 mm を超える場合 22.94 x 0.6 = 13.76 kg/mm<sup>2</sup>

材質 : Q235-A --- x 0.6 = --- kg/mm<sup>2</sup>

$ka$  : 設計温度に対する低減係数、1.0

$P$  : 設計ガス圧力、± 38 mmH<sub>2</sub>O

$C$  : くされ代、1.0 mm

計算結果 :

段数	板幅 (m)	H-0.3 (m)	S・ka (kg/cm <sup>2</sup> )	l (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	負公差 α (mm)	使用厚さ -C (mm)	材質
1	1.59	13.2	13.76	17.8	6.0	—	< 20 - 1 = 19	Q235-A
2	↑	11.61	14.37	12.7	↑	—	< 15 - 1 = 14	Q235-A・F
3	↑	10.02	↑	11.0	↑	—	< 13 - 1 = 12	↑
4	↑	8.43	↑	9.3	↑	—	< 11 - 1 = 10	↑
5	↑	6.84	↑	7.5	↑	—	< 10 - 1 = 9	↑
6	↑	5.25	↑	5.8	↑	—	< 8 - 1 = 7	↑
7	↑	3.66	↑	4.1	↑	—	< 6 - 1 = 5	↑
8	1.59	2.07	↓	2.3	↓	—	< 6 - 1 = 5	↓
9	1.28	0.48	14.37	0.6	6.0	—	< 6 - 1 = 5	Q235-A・F
							< - =	

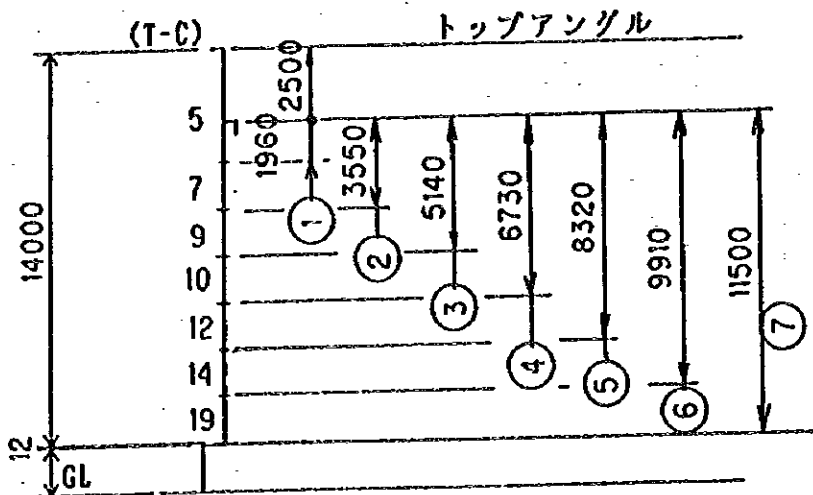
トップアングルは 1200×200×20 (GBJ17) を使用する。

#### 4. 中間ウインドガードの要否

消防法（告示：第四条の十九）及び JIS B 8501-1085 による。

$$H_2 = 0.40l \sqrt{(17D)^2 + (45/V)^2} \cdot Kc$$

- ここに  $H_2$  : トップアングル上面から中間ウインドガード又は中間ウインドガード相互の間隔 (m)  
 $l$  : 検討する間隔内における側板のくされ代を除いた厚さと板の幅とによる加重平均板厚 (mm)  
 $D$  : 貯槽内径 31.282 m  
 $V$  : 設計風速  $v = 44.7$  m/s



検討する間隔 $h_2$ (m)	$l$ (mm)	$V$ (m/sec)	$H_2$ (m)	結果
① 1.96 2.5	5.0	44.7	3.02	$h_2 < H_2 \therefore OK$
② 3.55	5.895	↑ ↓	4.623	$h_2 < H_2 \therefore OK$
③ 5.14	6.856		6.744	$h_2 < H_2 \therefore OK$
④ 6.73	7.598		8.719	$h_2 < H_2 \therefore OK$
⑤ 8.32	8.439		11.336	$h_2 < H_2 \therefore OK$
⑥ 9.91	9.331		14.574	$h_2 < H_2 \therefore OK$
⑦ 11.5	10.668	44.7	20.368	$h_2 < H_2 \therefore OK$

以上の結果により、中間ウインドガードを1段設置する。



5. 中間ウインドガードの必要断面係数

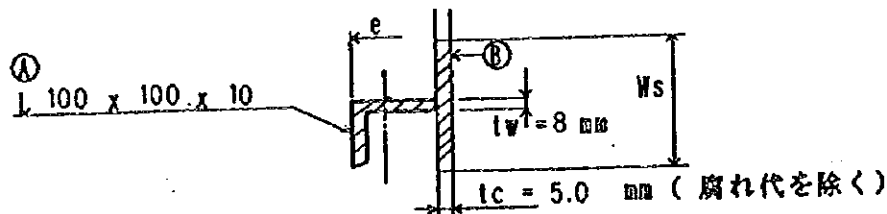
消防法（告示:4第四条の十九）及びJIS B-8501-1985 による。

$$Z_r = 0.042 \cdot D^2 \cdot H_s \cdot (V/45)^2 \cdot (1/K_a)$$

ここに  $Z_r$  : 必要断面係数, (cm<sup>3</sup>)  
 $D$  : 貯槽内径, 31.282 m  
 $H_s$  : トップアングル上端と中間ウインドガード 又は  
 中間ウインドガード 相互の取り付け間隔, 2.5 m  
 $V$  : 設計風速, 44.7 m/sec  
 $K_a$  : 設計温度に対する低減係数, 1.0

$$Z_r = 0.042 \times (31.282)^2 \times (2.5) \times (44.7/45)^2 \times (1/1) = 101.4 \text{ cm}^3$$

実断面係数 :  $Z$



$$W_s = 2 \times 1.34(D \times t_c)^{1/2} + t_w = 2 \times 1.34 (31.282 \times 5)^{1/2} + 0.8 = 34.31 \text{ cm}$$

$A_s$  : 断面積,  $I_{yy}$  : 断面二次モーメント,  $e' = G1 - e$   
 $G1 = (A_s \times e) / A_s = 5.63 \text{ cm}$ ,  $G2 = 10.4 - 5.63 = 4.77 \text{ cm}$

Part	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$e$ (cm)	$A_s \times e$ (cm <sup>3</sup> )	$A_s \times (e')^2$ (cm <sup>4</sup> )	$I_{yy}'$ (cm <sup>4</sup> )	$I_{yy}$ (cm <sup>4</sup> )
Ⓐ	17.0	10.4	176.8	386	159	545
Ⓑ	17.15	0.25	4.28	496	—	496
	32.15		181.08			1041

$$Z = I_{yy}/G1 = 1041 / 5.63 = 184 \text{ cm}^3 > Z_r = 101.4 \text{ cm}^3 \quad \therefore \text{OK}$$

6. 屋根板の厚さ

JIS B-8501-1085 3.0.4. 及び解説の(12)より

荷重 : 屋根板	( 4.8 mm)	<u>38</u>	kg/ m <sup>2</sup>
断熱材	( 0 mm)	<u>0</u>	kg/ m <sup>2</sup>
活荷重		<u>122</u>	kg/ m <sup>2</sup>
雪荷重	(80kg/ m <sup>2</sup> を超えるもの)	<u>0</u>	kg/ m <sup>2</sup>
設計外圧	( 38 mm H <sub>2</sub> O)	<u>38</u>	kg/ m <sup>2</sup>
		W = <u>198</u>	kg/ m <sup>2</sup>
		= <u>0.0198</u>	kg/cm <sup>2</sup>

最大屋根骨間隔 : L (cm)

$$L = \pi \cdot D / n$$

$$= \pi \times 3128.2 / 60$$

$$= 163.8 \text{ cm} < 200 \text{ cm}$$

ここに D : 貯槽の内径. 3128.2 cm  
 屋根骨本数. 60 本

屋根板の必要厚さ : t (cm)

$$t = \left( \frac{L}{\sqrt{2}} \cdot f_{ba} \cdot K_b / W \right) + C$$

$$= \left( \frac{163.8}{\sqrt{2}} \times 1400 \times 1.0 / 0.0198 \right) + 0$$

$$= 0.436 \text{ cm} = 4.36 \text{ mm}$$

ここに

C : くされ代 0 cm  
 f<sub>ba</sub> : 屋根板の許容曲げ応力  
1400 kg/cm<sup>2</sup>  
 材質 : Q235-A-F  
 K<sub>b</sub> : 設計温度に対する低減係数  
1.0

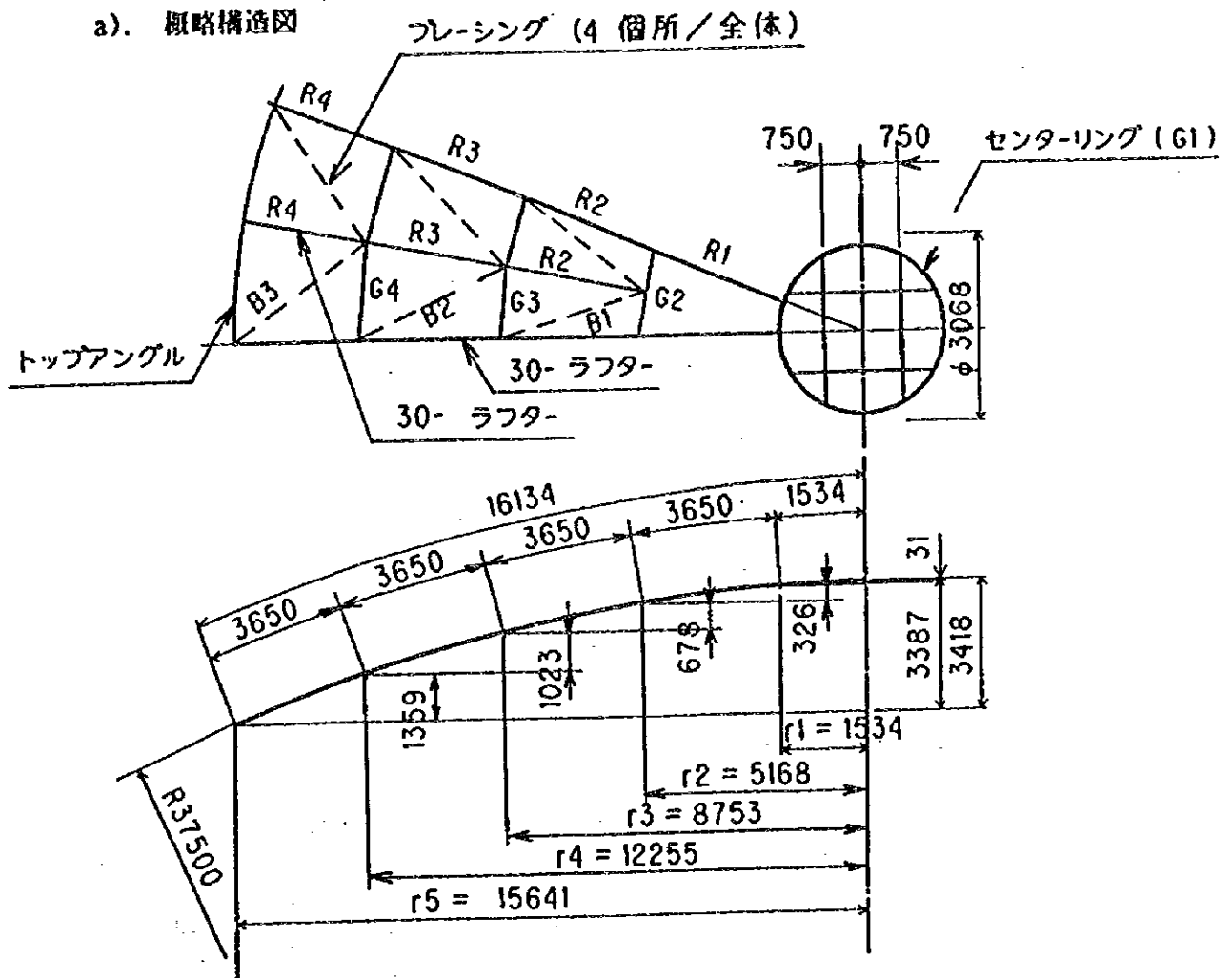
従って屋根板は 4.8 mm を使用する。

## 7. 屋根骨 (球面屋根)

本計算書は対称荷重を受けるアーチドームとして、節点ごとにわけて応力を計算する。

設計荷重 :  $W = 198 \text{ kg/m}^2$  (前項より)

a). 概略構造図



b). 使用部材の重量

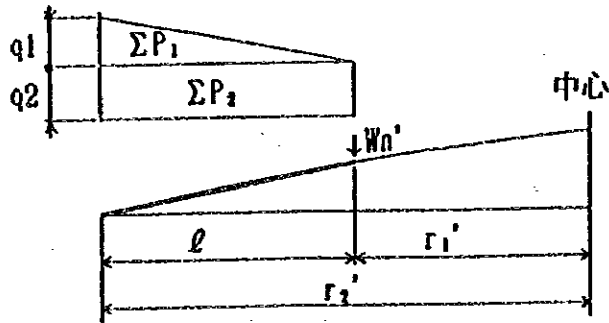
	使用部材	単位重量(kg/m)	重量(kg)
ラフター (R1)	[ 180 × 68 × 7, q = 20.17		W2 = 2330
ラフター (R2)	[ 180 × 68 × 7, q = 20.17		W4 = 4660
ラフター (R3)	[ 180 × 68 × 7, q = 20.17		W6 = 4660
ラフター (R4)	[ 180 × 68 × 7, q = 20.17		W8 = 4660
センターリング (G1)	[ 180 × 68 × 7, q = 20.17		W1 = 530
ガーダー (G2)	[ 250 × 80 × 9, q = 31.39		W3 = 1140
ガーダー (G3)	[ 180 × 68 × 7, q = 20.17		W5 = 1130
ガーダー (G4)	[ 180 × 68 × 7, q = 20.17		W7 = 1560

c). 累計面荷重.

中心 ~ a :  $W_a = W \cdot \pi \cdot r_1^2 = 198 \times \pi \times (1.534)^2 = 1464 \text{ kg}$   
 ~ b :  $W_b = W \cdot \pi \cdot r_2^2 = 198 \times \pi \times (5.168)^2 = 16613 \text{ kg}$   
 ~ c :  $W_c = W \cdot \pi \cdot r_3^2 = 198 \times \pi \times (8.753)^2 = 47657 \text{ kg}$   
 ~ d :  $W_d = W \cdot \pi \cdot r_4^2 = 198 \times \pi \times (12.255)^2 = 93420 \text{ kg}$

d). ラフター.

d)-1. 各節点に於ける荷重.



$Wn' = (Wn + \Sigma W_1 \sim) / n$   
 $q_1 = (2 \cdot \pi \cdot r_1' \cdot W / n) + q$   
 $q_1 + q_2 = (2 \cdot \pi \cdot r_2' \cdot W / n) + q$   
 $\Sigma P_1 = q_1 \cdot \ell / 2$   
 $\Sigma P_2 = q_2 \cdot \ell$

	ラフター(R1)	ラフター(R2)	ラフター(R3)	ラフター(R4)
$W_n$ (kg)	1464	16613	47657	93420
$\Sigma W_1 \sim$ (kg)	530	4000	9790	16010
$n$ (Nos)	30	60	60	60
$Wn'$ (kg)	66.5	343.6	957.5	1823.9
$r_1'$ (m)	1.534	5.168	8.753	12.255
$r_2'$ (m)	5.168	8.753	12.255	15.641
$\ell$ (m)	3.634	3.585	3.502	3.386
$q_2$ (kg/m)	83.8	127.4	201.7	274.3
$q_1$ (kg/m)	150.7	74.3	72.6	70.2
$\Sigma P_1$ (kg)	273.9	133.2	127.2	118.9
$\Sigma P_2$ (kg)	304.6	456.8	706.4	928.8

d)-2. ラフターに生じる曲げモーメント及び結力.

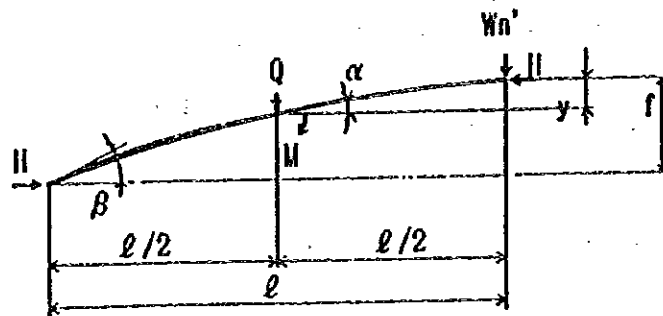
$$-H \cdot f + Wn' \cdot \ell + (\Sigma P_1 \cdot \ell/3) + (\Sigma P_2 \cdot \ell/2) = 0$$

$$H = [(Wn' \cdot \ell) + (\Sigma P_1 \cdot \ell/3) + (\Sigma P_2 \cdot \ell/2)]/f$$

$$Q = Wn' + (q_1 \cdot \ell/8) + (q_2 \cdot \ell/2)$$

$$N = Q \cdot \sin \alpha + H \cdot \cos \alpha \quad Qs = Q \cdot \cos \alpha - H \cdot \sin \alpha \approx 0$$

$$M = [(Wn' \cdot \ell/2) + (q_1 \cdot \ell^2/48) + (q_2 \cdot \ell^2/8)] - H \cdot y$$



	ラフター(R1)	ラフター(R2)	ラフター(R3)	ラフター(R4)
$\theta$ (°)	7.921	13.498	19.075	24.651
$\alpha$ (°)	5.127	10.697	16.267	21.836
$f$ (m)	0.326	0.678	1.023	1.359
$y$ (m)	0.119	0.294	0.465	0.632
$H$ (kg)	3456.8	3259.3	4632.1	5800.2
$Q$ (kg)	287.3	605.3	1342.5	2318.0
$N$ (kg)	3468.7	3315.0	4822.8	6246.3
$Qs$ (kg)	0	0	0	0
$M$ (kg-m)	-110.8	-117.8	-149.6	-168.0

d)-3. ラフターの応力.

	ラフター(R1)	ラフター(R2)	ラフター(R3)	ラフター(R4)
使用部材	[180 x 68 x 7]	→	→	→
$A$ (cm <sup>2</sup> )	25.69	→	→	→
$Z$ (cm <sup>3</sup> )	141.4	→	→	→
$\sigma_c = N/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	135.1	129.1	187.8	243.2
$\sigma_b = M/Z$ (kg/cm <sup>2</sup> )	78.4	83.4	105.8	118.9

d)-4. 許容応力.

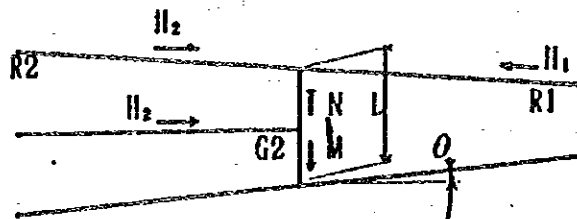
	ラフター(R1)	ラフター(R2)	ラフター(R3)	ラフター(R4)
$\phi$ (cm)	365	365	365	365
$l_{min}$ (cm)	7.04	7.04	7.04	7.04
$\phi/l_{min} < 180$	51.8	51.8	51.8	51.8
$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	1183	1183	1183	1183
$f_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	1400	1400	1400	1400
$(\sigma_c/f_c \cdot kb + \sigma_b/f_b \cdot kb) < 1$	$0.115 + 0.056 = 0.171 < 1$	$0.110 + 0.060 = 0.17 < 1$	$0.159 + 0.076 = 0.235 < 1$	$0.206 + 0.085 = 0.291 < 1$

ここに  $kb$  : 設計温度に対する低減係数. 1.0

e). ガーダー

e)-1. ガーダーに生じる曲げモーメント及び軸力.

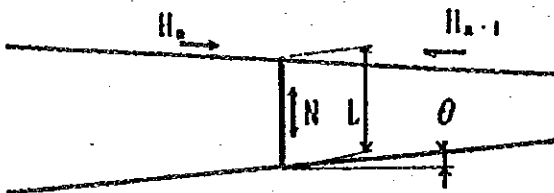
ガーダー (G2) :



曲げモーメント :  $M = H_2 \cdot L/4 = 3259.3 \times 108/4 = 88001 \text{ kg-cm}$

最大軸力 :  $N = (H_2 - H_1)/2 \cdot \sin \theta + (H_2/2) \cdot \cos \theta$   
 $= (3259.3 - 3456.8)/2 \times \sin \theta + (3259.3/2) \times \cos \theta$   
 $= 14560 \text{ kg}$

その他のガーダー :



最大軸力 :  $N = (H_2 - H_1)/2 \cdot \sin \theta$

	ガーダー (G3)	ガーダー (G4)
$L$ (cm)	92.6	128.3
$\theta$ (°)	3°	3°
$N$ (kg)	13115.3	11159.7

e)-2. ガーダーの応力.

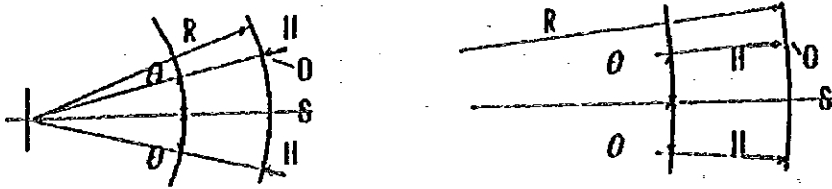
	ガーダー(G2)	ガーダー(G3)	ガーダー(G4)
使用部材	[ 250 × 80 × 9	[ 180 × 68 × 7	[ 180 × 68 × 7
A (cm <sup>2</sup> )	39.91	25.69	25.69
Z (cm <sup>3</sup> )	282.4	—	—
$\sigma_c = N/A$ (kg/cm <sup>2</sup> )	365	511	435
$\sigma_b = M/Z$ (kg/cm <sup>2</sup> )	312	—	—

e)-3. 許容応力.

	ガーダー(G2)	ガーダー(G3)	ガーダー(G4)
L (cm)	108	92.6	128.3
i min (cm)	9.4	1.93	1.93
L/i min < 180	11	48	66
f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	1362	1205	1103
f <sub>b</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	1400	—	—
$(\sigma_c/f_c \cdot kb + \sigma_b/f_b \cdot kb) < 1$	0.27 + 0.23 = 0.5 < 1	0.43 + — = 0.43 < 1	0.40 + — = 0.40 < 1

1). センターリング及びシェルリングの検討:

リングに生じる曲げモーメント及び圧縮力(引張り力)



荷重点(O)に生じる曲げモーメントおよび圧縮力(引張り力):

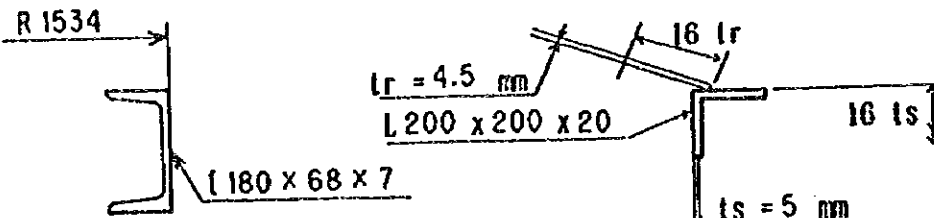
$$M_o = H \cdot R \cdot \left\{ \left( \frac{n}{2\pi} \right) - \left( \frac{1}{2} \right) \cdot \cot \theta \right\} \quad N_o = (H/2) \cdot \cot \theta$$

荷重点の中間(S)に生じる曲げモーメント及び圧縮力(引張り力):

$$M_s = (H \cdot R/2) \cdot \left\{ (1/\sin \theta) - (n/\pi) \right\} \quad N_s = (H/2) \cdot \operatorname{cosec} \theta$$

	$\theta$ (°)	n	H(kg)	R(m)	$M_o$ (kg-m)	$N_o$ (kg)	$M_s$ (kg-m)	$N_s$ (kg)
センターリング	6'	30	3456.8	1.534	92.62	16445	46.34	16536
シェルリング	3'	60	5800.2	1.564	791.9	55338	396.0	55414

リングの断面:



センターリング: ( $Z_c = 20.03 \text{ cm}^3$ )  
(GI) ( $A_c = 25.69 \text{ cm}^2$ )

シェルリング: ( $A_s = 54.75 \text{ cm}^2$ )  
いずれも腐れ代をのぞいた値

リングの応力:

センターリング (荷重点で最大):  $\sigma_b = M_o/Z_c = 9262 / 20.03 = 463 \text{ kg/cm}^2$   
 $\sigma_c = N_o/A_c = 16536 / 25.69 = 644 \text{ kg/cm}^2$   
シェルリング (中間点で最大):  $\sigma_c = N_s/A_s = 55414 / 54.75 = 1013 \text{ kg/cm}^2$

許容応力(材質: 1400): 引張り  $f_{ba} = 1400 \text{ kg/cm}^2$ , 圧縮  $f_{ca} = 1400 \text{ kg/cm}^2$

センターリング:  $\sigma_b / f_{ba} \cdot k_b + \sigma_c / f_{ca} \cdot k_b = 0.80 < 1.0 \quad \therefore \text{OK}$

シェルリング:  $\sigma_c / f_{ca} \cdot k_b = 0.73 < 1.0 \quad \therefore \text{OK}$

ここに  $k_b$ : 設計温度に対する低減係数. 1.0



8. 地震の影響 (消防法：告示第二号の二、第四号の二十)

a). 水平震度及び鉛直震度.

$$Kh1 = 0.15 \cdot v1 \cdot v2 \cdot v3$$

$$Kv1 = 0.5 \cdot Kh1$$

Kh1 : 水平震度.      Kv1 : 鉛直震度.

v1 : 地域別補正係数.      0.7

v2 : 地盤別補正係数.      2      第 4 種地盤

v3 : 貯槽の固有周期(Tb)を考慮した応答倍率.

$$Tb = (2/\lambda) \sqrt{(W/(\pi \cdot g \cdot E \cdot t^{1/3}))} \cdot j$$

$$\lambda = 0.067(H/D)^2 - 0.3(H/D) + 0.46$$

Tb : 貯槽の固有周期. (sec)

W : 内容液の貯存量.      10376 ton

g : 重力の加速度.      9.8 m/sec<sup>2</sup>

E : 側板材料の縦弾性係数.      21000 Kg/cm<sup>2</sup>

t<sup>1/3</sup> : 貯槽底部から最高液面高さの1/3の高さにおける

側板の腐れ代を除いた板厚.      12 mm

j : 基礎及び地盤と貯槽本体との連成の影響に基づく補正係数.      1.1

H : 最高液面高さ.      13.5 m

D : 貯槽の内径.      33.282 m

$$\lambda = \frac{0.343}{0.2346} \text{ sec}$$

$$Tb = \frac{0.3411}{0.1706}$$

$$Kh1 = \frac{0.3411}{0.1706}$$

$$Kv1 = \frac{0.1706}{1.6241}$$

$$\therefore v3 = \frac{1.6241}{0.1706}$$

b). 液面揺動による水平震度

$$Kh2 = 0.15 \cdot v1 \cdot v4$$

$$v4 = 4.5/Ts$$

$$Ts = (2 \cdot \pi) \sqrt{\{(D/g)(1/3.68) \cdot \coth(3.68H/D)\}}$$

Kh2 : 液面揺動による水平震度.

v4 : 貯槽の液面揺動の固有周期を考慮した応答倍率.

Ts : 貯槽の液面揺動の固有周期. (sec)

$$Ts = \underline{8.1014}$$

$$v4 = \underline{0.7375}$$

$$Kh2 = \underline{0.0774}$$

c). 重量計算

内容液の重量 : W		<u>10378</u> ton
屋根部の重量 :	屋根板 ( 4.8 mm)	<u>30.7</u> ton
	屋根骨	<u>27</u> ton
	付属品	<u>10</u> ton
	暫荷重	<u>11.27</u> ton
	$W_r =$	<u>78.97</u> ton

屋根部の重心高さ : トップアングルより  $H_r' =$  1.148 m  
 底板上面より  $H_r =$  15.148 m

側部の重量 :  $W_s$  (側板は腐れ代を含む)

段数	付属品 (ton)	$W_s$ (ton)	$\Sigma W_s$ (ton)
9	0.9	5.9	5.9
8	1.674	9.035	14.935
7	0.21	7.571	22.506
6	0.21	10.025	32.531
5	0.36	12.63	45.161
4	0.21	13.708	58.869
3	0.21	14.936	73.805
2	0.21	18.618	92.423
1	1.5	26.048	118.471

底板の重量 :  $W_b =$  50 ton  
 底板を除いた空液時の貯槽重量 :  $W_t = W_r + \Sigma W_s =$  197.441 ton  
 底板及び暫荷重を除いた空液時の貯槽重量 :  $W_{t1} = W_t - \text{暫荷重} =$  186.171 ton  
 底板を含む空液時の貯槽重量 :  $W_{t'} = W_t + W_b =$  247.441 ton  
 暫荷重を除いた底板を含む空液時の貯槽重量 :  $W_{t1}' = W_{t'} - \text{暫荷重} =$  238.171 ton = 貯槽重量

運転時重量 :  $W_{t1}' + W =$  10812.171 ton  
 水張時重量 :  $W_{t1}' + ( 10759.87 ) =$  10998.04 ton

d). 水平方向地震動による側板部動液圧.

$$Ph = Ph0 + Ph1$$

$$Ph0 = (\rho \cdot H/10) \cdot (\sum_{i=0}^5 C0i (Z/H)) \cdot (Kh1/\nu 3)$$

$$Ph1 = (\rho \cdot H/10) \cdot (\sum_{i=0}^5 C1i (Z/H)) \cdot (1 - (1/\nu 3)) \cdot Kh1$$

Ph : 底部から高さ(Z)における側板部動液圧. (kg/cm<sup>2</sup>)  
 H : 最高液面高さ. 13.5 m  
 C0i : 通達44号の表イより求める値.  
 C1i : 通達44号の表ロより求める値.  
 Z : 底部からの高さ. (m)  
 ρ : 液比重量. 1 (g/cm<sup>3</sup>)  
 Kh1 : a). に規定する値. 0.3411  
 ν3 : a). に規定する値. 1.6241

H/D	C00	C01	C02	C03	C04	C05
0.432	0.777	-0.130	0.740	-4.145	5.575	-2.809

H/D	C10	C11	C12	C13	C14	C15
0.432	0.703	0.226	-0.236	-1.722	2.132	0.000

Z	12.72	11.13	9.54	7.95	6.36
Ph0	0.043	0.101	0.138	0.165	0.185
Ph1	0.023	0.058	0.084	0.103	0.116
Ph	0.066	0.159	0.222	0.268	0.302

Z	4.77	3.18	1.59	0
Ph0	0.202	0.212	0.217	0.220
Ph1	0.125	0.129	0.128	0.124
Ph	0.327	0.341	0.345	0.345

e). 水平方向地震動による側板部転倒モーメント.

$$Mp = 10(\pi \cdot D/2) \int_{Z0}^H Ph(Z-Z0) dz + \sum (Ws \cdot Hs + Vr \cdot Hr) Kh1$$

Mp : 側板部転倒モーメント. (ton-m)  
 D : 貯槽内径. 31.262 m  
 Ph : d). で得た側板部動液圧. (kg/cm<sup>2</sup>)  
 Z : 底部からの高さ. (m)  
 Z0 : モーメントを検討する高さ. (m)  
 Ws : モーメントを検討する高さより上部の側板及び付属品の重量. (ton)  
 Hs : モーメントを検討する高さより(Ws)の重心までの高さ. (m)  
 Vr : 屋根部の重量. 78.97 ton  
 Hr : モーメントを検討する高さより(Vr)の重心までの高さ. (m)

段数	9	8	7	6	5
Ph	0.066	0.159	0.222	0.268	0.302
Mp	34.69	167.35	499.25	1110.05	2058.33

段数	4	3	2	1
Ph	0.327	0.341	0.345	0.345
Mp	3387.63	5128.45	7288.18	8907.84

f). 液面揺動による液面の最大変位.

$$\eta_{max} = 0.42 \cdot D \cdot Kh2 \quad \eta_{max} = \underline{1.017} \text{ m}$$

$\eta_{max}$  : 液面の最大変位. (m)

D : 貯槽内径.

Kh2 : b). に規定する値.

$$\frac{31.282}{0.077} \text{ m}$$

g). 鉛直方向地震動による側板部動液圧.

$$Pv = (\rho H/10) \{ (1-Z/H)(Kv1/\nu^3) + 0.811 \cos(\pi Z/2H) (1-1/\nu^3) Kv1 \}$$

$Pv$  : 底部からの高さZにおける側板部動液圧. ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$\rho$  : 内容液の比重量.

H : 最高液面の高さ.

Z : 底部からの高さ. (m)

$Kv1, \nu^3$  : a). に規定する値.

$$\frac{1}{13.5} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Z	12.72	11.13	9.54	7.95	6.36
$Pv$	0.0147	0.0444	0.0735	0.1015	0.1280

Z	4.77	3.18	1.59	0
$Pv$	0.1527	0.1753	0.1956	0.2135

h). 液面揺動による側板部動液圧.

$$Ps = \rho \eta_{max} / 10 \cdot \{ \cosh(3.68 \cdot Z/D) / \cosh(3.68 \cdot H/D) \}$$

$Ps$  : 底部からの高さZにおける側板部動液圧. ( $\text{Kg/cm}^2$ )

$\rho, Z, H, D$  : f). 及びg). に同じ.

$\eta_{max}$  : f). で得た値.

$$\underline{1.017} \text{ m}$$

Z	12.72	11.13	9.54	7.95	6.36
$Ps$	0.094	0.079	0.068	0.059	0.052

Z	4.77	3.18	1.59	0
$Ps$	0.046	0.043	0.041	0.040

i). 液面揺動による底部水平力.

$$QPs = (W \cdot \eta_{max} / H) \cdot \{ \tanh(3.68 \cdot H/D) / 1.84 \}$$

$QPs$  : 底部水平力. (ton)

W : 内容液の重量.

$\eta_{max}$  : f). で得た値.

D, H : f). 及びg). に同じ.

$$\underline{10376} \text{ ton}$$

$$QPs = \underline{390.93} \text{ ton}$$

j). 液面揺動による側板部転倒モーメント.

$$M_{ps} = 10(\pi \cdot D/2) \int_{Z_0}^H Ps(Z-Z_0)dZ$$

$M_{ps}$  : 側板部転倒モーメント. (ton-m)  
 $D$  : f) . に同じ.  
 $Ps$  : h) . で得た値.  
 $Z$  : 底部からの高さ. (m)  
 $Z_0$  : モーメントを検討する高さ. (m)

段数	9	8	7	6	5
$Ps$	0.094	0.079	0.068	0.059	0.052
$M_{ps}$	14.790	129.265	342.525	640.245	1011.068

段数	4	3	2	1
$Ps$	0.046	0.043	0.041	0.040
$M_{ps}$	1446.201	1939.113	2485.300	3082.128

k). 水平方向地震動による底部水平力.

$$Q_p = (W_0 \cdot Kh_1 / \nu^3) + W_1 \cdot (1 - 1/\nu^3) Kh_1 + (W_s + W_r) Kh_1$$

$Q_p$  : 底部水平力. (ton)  
 $Kh_1$  : a) . に規定する値. 0.3411  
 $\nu^3$  : a) . に規定する値. 1.6241  
 $W_0$  : 内容液の有効重量. (ton) (通達44号の図表Iより求める値)  
 $W_1$  : 内容液の有効重量. (ton) (通達44号の図表IIより求める値)  
 $W_s$  : 側板及びその附属品の重量. 118.471 ton  
 $W_r$  : 屋根及びその附属品の重量. 78.97 ton  
 $W$  : 内容液の重量. 10376 ton

$$H/D = 0.432 \text{ 表より} \quad W_0/W = 0.492 \quad \therefore W_0 = \frac{5105}{0.492} \text{ ton}$$

$$W_1/W = 0.478 \quad \therefore W_1 = \frac{4960}{0.478} \text{ ton}$$

$$Q_p = \underline{1789.66} \text{ ton}$$

l). 水平方向地震動による底部転倒モーメント.

$$M_{pB} = (W_0 \cdot H_{OB} \cdot Kh_1 / \nu^3) + W_1 \cdot H_{IB} \cdot (1 - 1/\nu^3) Kh_1$$

$M_{pB}$  : 底部転倒モーメント. (ton-m)  
 $W_0, W_1, Kh_1, \nu^3$  : k) . に同じ.  
 $H_{OB}$  :  $W_0$ の重心換算高さ. (m) (通達44号の図表Aより求める値)  
 $H_{IB}$  :  $W_1$ の重心換算高さ. (m) (通達44号の図表Bより求める値)  
 $H$  : 最高液面の高さ. 13.5 m

$$H/D = 0.432 \text{ 表より} \quad H_{OB}/H = 0.442 \quad \therefore H_{OB} = \frac{5.967}{0.442} \text{ m}$$

$$H_{IB}/H = 0.434 \quad \therefore H_{IB} = \frac{5.859}{0.434} \text{ m}$$

$$M_{pB} = \underline{10206.81} \text{ ton-m}$$

m). 水平方向地震動による側板部転倒モーメント.

$$M_p' = W_0 \cdot H_0 \cdot Kh_1 / \sqrt{3} + W_1 \cdot H_1 (1 - 1/\sqrt{3}) Kh_1 + (W_s \cdot H_s + W_r \cdot H_r) Kh_1$$

$W_0, W_1, W_r, W_s, Kh_1, \sqrt{3} : k$  . に同じ.

$H_s$  : 側板部の重心の高さ. 7.00 m  
 $H_r$  : 屋根部の重心の高さ. 15.148 m  
 $H_0$  : 重心高さ. (m) (通達44号の図表より求める値)  
 $H_1$  : 重心高さ. (m) (通達44号の図表より求める値)  
 $H$  : 最高液面の高さ. 13.5 m

$$H/D = 0.432 \text{ 表より} \quad H_0/H = 0.402 \quad \therefore H_0 = \underline{5.427 \text{ m}}$$

$$H_1/H = 0.403 \quad \therefore H_1 = \underline{5.441 \text{ m}}$$

$$M_p' = \underline{9947.68 \text{ ton}\cdot\text{m}}$$

n). 液面揺動による側板部転倒モーメント.

$$M'_{ps} = W \cdot \eta_{\max} [\tanh(3.68 \cdot H/D) - (D/3.68 \cdot H) \cdot (1 - 1/\cosh(3.68 \cdot H/D))] / 1.84$$

$M'_{ps}$  : 側板部転倒モーメント. (ton·m)  
 $W$  : 内容液の重量. 10376 ton  
 $H$  : 最高液面の高さ. 13.5 m  
 $D$  : 貯槽内径. 31.282 m  
 $\eta_{\max}$  : f) . で得た値.

$$M'_{ps} = \underline{3081.93 \text{ ton}\cdot\text{m}}$$

o). 液面揺動による底板部転倒モーメント.

$$M_pBs = W \cdot \eta_{\max} (D/H) \cdot (0.148/\cosh(3.68 \cdot H/D))$$

$M_pBs$  : 底板部転倒モーメント. (ton·m)  
 $W, \eta_{\max}, H, D$  : i) . に同じ.

$$M_pBs = \underline{1420.04 \text{ ton}\cdot\text{m}}$$

p). 水平方向地震動による側板部の強度.

p-1). 円周応力

$$\sigma_t = (P \cdot D) / (2 \cdot t) < S1 \quad P = Pst + \sqrt{(Ph^2 + Pv^2)} + Pd$$

- $\sigma_t$  : 円周応力. (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 $D$  : 貯槽内径. 3128.2 cm  
 $t$  : 腐れ代を除いた側板板厚. (cm)  
 $Pst$  : 静水圧.  $Pst = \rho \cdot H / 1000$   
 $\rho$  : 内容液比重. 1  
 $H$  : 検討する段より最高液面までの高さ. (cm)  
 $Ph$  : 水平方向地震動による側板部動液圧. (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 $Pv$  : 鉛直方向地震動による側板部動液圧. (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 $S1$  : 許容引張応力で材料の規格最小降伏点( $f$ )又は0.2%耐力の60%の値に割増係数1.5を考慮した値. (Kg/cm<sup>2</sup>)

$$S1 = f \times 0.6 \times 1.5$$

$$Pd : \text{設計ガス圧力. (Kg/cm}^2\text{)} \quad \underline{0.0036 \text{ Kg/cm}^2}$$

段数	t (cm)	H (cm)	Pst (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ph (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pv (Kg/cm <sup>2</sup> )	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_t$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	S1 (Kg/cm <sup>2</sup> )	f (Kg/cm <sup>2</sup> )
9	0.5	78	0.078	0.0661	0.0147	0.1493	467	2156.4	2396
8	0.5	237	0.237	0.1593	0.0444	0.4059	1270	2156.4	2396
7	0.5	396	0.396	0.2222	0.0735	0.6338	1982	2156.4	2396
6	0.7	555	0.555	0.2679	0.1015	0.8451	1888	2156.4	2396
5	0.9	714	0.714	0.3022	0.1280	1.0458	1817	2156.4	2396
4	1	873	0.873	0.3266	0.1527	1.2371	1935	2156.4	2396
3	1.2	1032	1.032	0.3408	0.1753	1.4188	1849	2156.4	2396
2	1.4	1191	1.191	0.3454	0.1956	1.5916	1778	2156.4	2396
1	1.9	1350	1.350	0.3448	0.2135	1.7592	1448	2064.6	2294

p-2). 圧縮応力.

$$\sigma_c = (N/A) + (M_p/Z) < S1 \text{ 又は } S1' \text{ のうち小さい値}$$

$$S1' = ((0.4 \cdot E \cdot t) / (\gamma \cdot D)) \times 1.5 \text{ (割増係数)}$$

- $\sigma_c$  : 圧縮応力. (Kg/cm<sup>2</sup>)
- N : 鉛直震度を考慮した鉛直方向荷重. (Kg)  
 $N = \sum W(1 + Kv1)$
- Kv1 : a) . で得た値. 0.1706
- A : 検討する段の側板の腐れ代を除いた断面積. (cm<sup>2</sup>)  
 $A = \pi \cdot D \cdot t$
- Mp : 側板部転倒モーメント. (Kg-cm) e) . で求めた値.
- Z : 検討する段の側板の腐れ代を除いた断面係数. (cm<sup>3</sup>)  
 $Z = \pi \cdot D^2 \cdot t / 4$
- S1 : p-1) に同じ.
- S1' : 許容圧縮応力. (Kg/cm<sup>2</sup>)
- D : 貯槽内径. 3128.2 cm
- t : 検討する段の腐れ代を除いた側板板厚. (cm)
- E : 材料の縦弾性係数. 2100000 Kg/cm<sup>2</sup>
- $\gamma$  : 安全率. 2.25

段数	t (cm)	$\sum W$ (Kg) ( $\times 10^3$ )	N(Kg) ( $\times 10^3$ )	A(cm <sup>2</sup> )	Mp(Kg-cm) ( $\times 10^5$ )	Z(cm <sup>3</sup> ) ( $\times 10^3$ )	$\sigma_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	S1 or S1' (Kg/cm <sup>2</sup> )
9	0.5	84.87	99.35	4914	34.69	3842.81	21	90
8	0.5	93.905	109.93	4914	167.35	3842.81	27	90
7	0.5	101.476	118.79	4914	499.25	3842.81	37	90
6	0.7	111.501	130.52	8879	1110.05	5379.93	40	125
5	0.9	124.131	145.31	8845	2058.33	6917.08	46	161
4	1	137.839	161.35	9828	3387.63	7685.62	60	179
3	1.2	152.775	178.84	11793	5128.45	9222.74	71	215
2	1.4	171.393	200.63	13759	7299.18	10759.67	82	251
1	1.9	197.441	231.12	18672	9907.84	14602.68	80	340



q). 液面揺動による側板部の強度.

q-1). 円周応力

$$\sigma_t = (P \cdot D) / (2 \cdot t) < S1 \quad P = Pst + Ps + Pd$$

$\sigma_t$  : 円周応力. (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 $Ps$  : 液面揺動による側板部動液圧. (Kg/cm<sup>2</sup>) h). で求めた値.  
 $D, t, Pst, Pd, S1$  : p). に同じ.

段数	t (cm)	Pst (kg/cm <sup>2</sup> )	Ps (kg/cm <sup>2</sup> )	P (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	S1 (kg/cm <sup>2</sup> )
9	0.5	0.078	0.094	0.175	548	2156.4
8	0.5	0.237	0.079	0.320	1001	2156.4
7	0.5	0.396	0.068	0.467	1462	2156.4
6	0.7	0.555	0.059	0.617	1379	2156.4
5	0.9	0.714	0.052	0.769	1337	2156.4
4	1	0.873	0.046	0.923	1444	2156.4
3	1.2	1.032	0.043	1.078	1406	2156.4
2	1.4	1.191	0.041	1.235	1380	2156.4
1	1.9	1.350	0.040	1.394	1147	2084.6

q-2). 圧縮応力

$$\sigma_c = (N/A) + (Mps/Z) < S1 \text{ 又は } S1' \text{ のうち小さい値}$$

$$S1' = ((0.4 \cdot E \cdot t) / (\gamma \cdot D)) \times 1.5 \text{ (割増係数)}$$

$\sigma_c$  : 圧縮応力. (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 $Mps$  : 側板部転倒モーメント. (Kg-cm) j). で求めた値.  
 $N$  : 鉛直方向荷重. (Kg)  
 $A, Z, S1, S1', D, \gamma, E, t$  : p). に同じ.

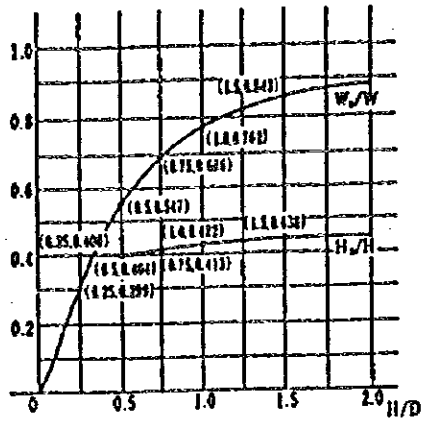
段数	t (cm)	N(kg) (×10 <sup>3</sup> )	A (cm <sup>2</sup> )	Mps(Kg-cm) (×10 <sup>5</sup> )	Z(cm <sup>3</sup> ) (×10 <sup>3</sup> )	$\sigma_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	S1 or S1' (Kg/cm <sup>2</sup> )
9	0.5	84.87	4914	14.79	3842.81	18	90
8	0.5	93.905	4914	129.27	3842.81	22	90
7	0.5	101.476	4914	342.52	3842.81	30	90
6	0.7	111.501	6879	640.25	5379.93	28	125
5	0.9	124.131	8845	1011.07	6917.06	29	161
4	1	137.839	9828	1446.20	7685.62	33	179
3	1.2	152.775	11793	1939.11	9222.74	34	215
2	1.4	171.393	13759	2485.30	10759.87	36	251
1	1.9	197.441	18672	3082.13	14602.68	32	340

$H/D \backslash C_{,i}$	$C_{00}$	$C_{01}$	$C_{02}$	$C_{03}$	$C_{04}$	$C_{05}$
0.15	0.811	-0.130	0.688	-4.21	5.70	-2.85
0.20	0.824	-0.132	0.688	-4.24	5.71	-2.85
0.30	0.826	-0.133	0.703	-4.25	5.74	-2.87
0.40	0.794	-0.129	0.706	-4.11	5.54	-2.79
0.50	0.742	-0.132	0.811	-4.22	5.65	-2.85
0.60	0.684	-0.133	0.892	-4.23	5.65	-2.86
0.70	0.626	-0.131	0.952	-4.21	5.62	-2.86
0.80	0.572	-0.132	1.03	-4.24	5.66	-2.88
1.00	0.481	-0.133	1.13	-4.26	5.73	-2.94
1.20	0.410	-0.134	1.20	-4.33	5.87	-3.02
1.40	0.356	-0.136	1.26	-4.42	6.06	-3.12
1.60	0.313	-0.140	1.32	-4.56	6.30	-3.23
1.80	0.279	-0.144	1.37	-4.71	6.54	-3.34
2.00	0.252	-0.148	1.43	-4.87	6.79	-3.45

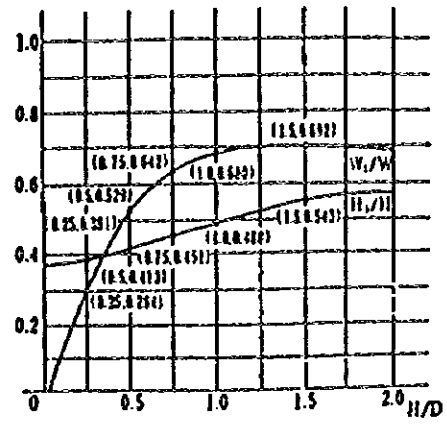
表 A

$H/D \backslash C_{,i}$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$
0.15	0.807	0.234	-1.45	0.547	-0.197	0.0526
0.20	0.813	0.267	-1.48	0.588	-0.217	0.0287
0.30	0.792	0.277	-1.15	-0.0335	0.418	-0.305
0.40	0.731	0.241	-0.472	-1.30	1.70	-0.900
0.50	0.644	0.193	0.265	-2.62	3.05	-1.52
0.60	0.511	0.133	1.01	-3.98	4.77	-2.17
0.70	0.462	0.0810	1.61	-5.06	5.63	-2.72
0.80	0.385	0.0377	2.08	-5.92	6.62	-3.19
1.00	0.267	-0.0301	2.67	-7.05	8.05	-3.90
1.20	0.188	-0.0772	2.97	-7.72	9.09	-4.44
1.40	0.136	-0.112	3.12	-8.18	9.92	-4.88
1.60	0.100	-0.139	3.19	-8.50	10.6	-5.24
1.80	0.0753	-0.162	3.23	-8.79	11.2	-5.55
2.00	0.0580	-0.184	3.27	-9.09	11.8	-5.83

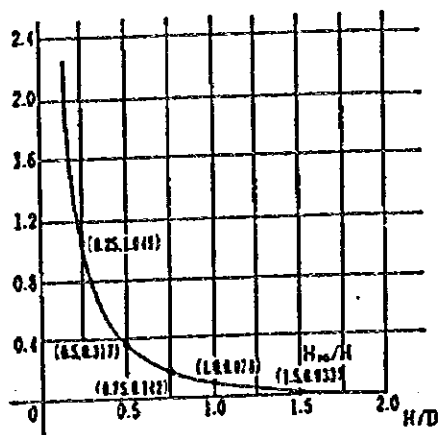
表 B



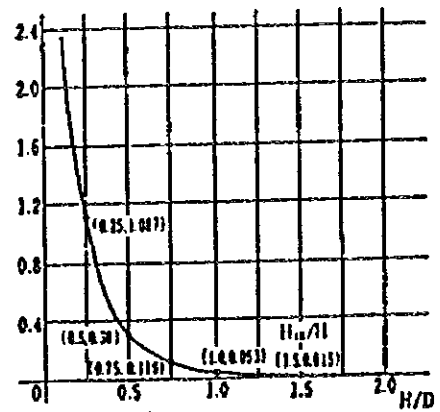
⊗ A



⊗ B



⊗ C



⊗ D

9. 地震及び風に対する安定性の検討

a) 地震時に対する転倒モーメント :  $Me_1$  及び  $Me_2$  ( ton - m )

$$Me_1 = Mp' + MpB$$

$$Me_2 = M'ps + MpBs$$

ここに $Mp'$ :	水平方向地震動による側板底部転倒モーメント	<u>9947.68 ton - m</u>
$MpB$ :	水平方向地震動による底板部転倒モーメント	<u>10206.81 ton - m</u>
$M'ps$ :	液面揺動による側板底部転倒モーメント	<u>3081.93 ton - m</u>
$MpBs$ :	液面揺動による底板部転倒モーメント	<u>1420.04 ton - m</u>

$$Me_1 = 9947.68 + 10206.81 = 20154.49 \text{ ton - m}$$

$$Me_2 = 3081.93 + 1420.04 = 4501.97 \text{ ton - m}$$

b) 風荷重に対する転倒モーメント :  $Mw$  ( ton - m )

$$Mw = (1/2) H' \cdot Q \quad Q = q \cdot H' \cdot D$$

ここに $D$ :	貯槽直径	<u>31.282 m</u>
$H'$ :	貯槽高さ+屋根高の1/2	<u>14.782 m</u>
$q$ :	風荷重	<u>0.0889 ton/m<sup>2</sup> (88.9 kg / m<sup>2</sup>)</u>
$h$ :	地盤面からの高さ	<u>— m</u>

$$Q = 0.0889 \times 14.782 \times 31.282 = 41.11 \text{ ton}$$

$$Mw = (1/2) \times 14.782 \times 41.11 = 303.84 \text{ ton - m}$$

c) 地震時の転倒に対する抵抗モーメント :  $Re$  ( ton - m )

$$Re_1 = (1/2) \cdot D \cdot (Wl' + WL) \cdot (1 - Kv_1)$$

$$Re_2 = (1/2) \cdot D \cdot (Wl_1' + WL)$$

ここに $WL$ :	内容液の重量	<u>10376 ton</u>
$Kv_1$ :	鉛直震度	<u>0.1706</u>

$$Wl' : \text{管荷重を含む空液時の貯槽重量} \quad 247.441 \text{ ton (底板も含む)}$$

$$Wl_1' : \text{管荷重を除いた空液時の貯槽重量} \quad 236.171 \text{ ton (底板も含む)}$$

$$Re_1 = (1/2) \times 31.282 \times (247.441 + 10376) \times (1 - 0.1706) = 137814.13 \text{ ton - m} > Me_1$$

$$Re_2 = (1/2) \times 31.282 \times (236.171 + 10376) = 165984.97 \text{ ton - m} > Me_2 \quad \text{OK}$$

d) 風荷重の転倒に対する抵抗モーメント :  $R_w$  ( ton - m )

$$R_w = ( 1 / 2 ) D \cdot W_{L1}$$

$$= ( 1 / 2 ) \times 31.282 \times 186.171 = 2911.9 \quad \text{ton - m} > M_w \quad \text{OK}$$

ここに  $W_{L1}$  : 雪荷重を除いた空液時の貯槽重量 186.171 ton ( 底板は除く )

e) 地震時に対するすべりせん断力 :  $H_{e1}$  及び  $H_{e2}$  ( ton )

$$H_{e1} = Q_p = \underline{1789.66 \text{ ton}}$$

$$H_{e2} = Q_{ps} = \underline{390.93 \text{ ton}}$$

ここに  $Q_p$  : 水平方向地震動による底部水平力

$Q_{ps}$  : 液面揺動による底部水平力

f) 風荷重に対するすべりせん断力 :  $H_w$  ( ton )

$$H_w = Q = \underline{41.11 \text{ ton}}$$

g) 地震時のすべりに対する抵抗力 :  $Se$  ( ton )

$$Se_1 = \mu \cdot ( W_{L1}' + W_L ) \cdot ( 1 - K_{v1} )$$

$$Se_2 = \mu \cdot ( W_{L1}' + W_L )$$

ここに  $\mu$  : 底板と基礎面とのマサツ係数 0.5

$$Se_1 = 0.5 \times ( 247.441 + 10376 ) \times ( 1 - 0.1706 ) = 4405.54 \text{ ton} > H_{e1}$$

$$Se_2 = 0.5 \times ( 236.171 + 10376 ) = 5306.09 \text{ ton} > H_{e2} \quad \text{OK}$$

h) 風荷重のすべりに対する抵抗力 :  $Sw$  ( ton )

$$Sw = \mu \cdot W_{L1}' = 0.5 \times 236.171 = 118.09 \text{ ton} > H_w \quad \text{OK}$$

ここに  $W_{L1}'$  : 雪荷重を除いた空液時の貯槽重量 236.171 ton ( 底板も含む )

∴ 以上の結果により、全て安定している。

