論 説 ・ 報 告

掘 鑿 櫓 の 強 度 に 就 い て

平 岡 豊 助*

The Strength of 27M & 34M Iron Derriks

By T. Hiraoka

The author has calculated the strength of iron derricks by the graphical solution. The results are as follow.

27M derrick's nominal is 86.4 ton.

34M derrick's nominal is 164 ton.

Each derrick can resist to the wind load based on the wind speed 40m/sec

I. 緒論

II. 掘鑿櫓の構造力學的取扱ひ、及び應力決定法

III. 長柱公式及び細長比

IV. 掘鑿櫓に作用する荷重

V. 掘鑿櫓の應力圖

VI. 27米、34米鐵製櫓の強度

I 緒 論

現在我が國に於て油井掘鑿に最も廣範圍に使用されて居る櫓は27米及び34米鐵製櫓である。之等の掘鑿櫓は相當大なる強度を有する様設計されて居り、平常の掘鑿作業中に倒壊すると云ふが如き事故は例を見ない。然しながら油井改修作業、採揚作業中、水止管或は掘管を強引する場合に於て不用意に櫓の可載能力以上に荷重をかけた結果、櫓を挫屈せしめた例はある。然らば櫓の何の部材が最弱部であるか櫓の可載能力は如何程であるかを検討して置く事は意義ある事と思ふ。櫓には垂直方向の荷重として自重及び積載荷重、水平方向の荷重として風壓により生ずる荷重が掛かるのであるが、一般の鐵塔と異なり櫓に掛る荷重は掘鑿作業の行程に於て種々變化する。従つて櫓の強度を検討するに當つて第一に公稱荷重の大きさ、第二に平常作業中に想定し得る最大垂直荷重並びに風壓による水平荷重を受けた場合の櫓の強度、第三に最大水平荷重即ち法定の最大風速に對する櫓の強度の三つの場合に區分して強度計算を行ふのが妥當な方法と考へられる。即ち強力なる牽引を行ふ改修作業或は採揚作業、又大なる垂直荷重の掛かる水止管挿入作業等は風速の大なる時に施行する必要はないのであるから第一の計算により、掘鑿時に於ける櫓の可載能力は第二の計算により、突風に對する安定性は第三の計算に

* 帝國石油株式會社、東大講師

より算定し得る。

Ⅱ 掘鑿櫓の構造力學的取扱ひ及び應力決定法

掘鑿櫓は構造力學上の分類に従へば立體架構であつて而も複式架構に屬して居るが、複式架構として解くにあたつての假定を述べれば、

1. 構材相互の節點は剛節である
2. 變形は曲げモーメントのみを考へる。
3. 彎曲による節點間の長さはない。

一方、單式架構として解くための假定を掲げると、

1. 應力に依つて生ずる各構材の長さの變化は無視し得る程度に微小である。
2. 各構材の節點は滑節であつて、自由に回轉し得るものとする。

従つて櫓は複式架構として解くも單式架構として解くも完全なる解法とは云ひ難い。寧ろ架構としては兩者の中間物と看做するのが妥當と考へられる。然しながら櫓は平面單式架構と假定するのが最も普通であり、且安全であるので前記の單式架構解法上の假定の上に立ち各構材に作用する力を求める。櫓の應力法には算式解法と圖式解法とがあるが、算式解法は計算に多大の時間を要し誤算を生じ易く而も誤謬のあつた場合之を摘出するのが困難である。圖式解法は概算値しか得られないが容易であり且誤算の虞が少く誤謬のあつた場合直ちに發見し得る。依つて櫓の強度計算は圖式解法に依つて行ふ。

Ⅲ 長柱公式及び細長比

長柱公式としては、一般に Euler's formula が理論的なものと考へられて居るが、Euler's formula に於ては曲げモーメントのみを考へ、壓縮力による應力を無視して居る爲極めて細長く且完全に眞直にして均質な柱に軸荷重が作用した場合にしか適用し得ない。此の Euler's formula の缺點を補ふ公式として Rankin's formula がある。Rankin's formula に於ては曲げモーメントのみならず壓縮力に依る應力をも考慮に入れてあるので、垂直荷重のみの場合には柱の長短に拘らず常に適用し得る實用的公式である。

$$\text{Rankin's formula} \quad \sigma_k = \frac{\sigma_c}{1 + \frac{a}{n} \left(\frac{l}{k} \right)^2}$$

但し σ_k : 挫屈強度

σ_c : 材料の抗壓縮力

a : 材料に關する實驗的定數

k : 柱の横斷面の最小回轉半徑

l : 柱の有効長

n : 柱の兩端の條件に依る係數

之の n の値は柱の兩端の條件に依つて次の如くとり。

一端固定端, 他端自由端なる場合 $n = \frac{1}{4}$

兩端共同轉端なる場合 $n = 1$

一端固定端, 他端回轉端なる場合 $n = 2$

兩端共固定端なる場合 $n = 4$

さて櫓の各構材の材端の條件であるが 27 米及び 34 米鐵製亜鉛鍍櫓に於ては, 材端はボルト締めであるので完全なる固定端とは考へられず, 又回轉端とも考へられぬ。従つて固定端と回轉端の中間にあるものと考へるのが安全である。依つて Rankin's formula に於て一端は固定端, 他端は回轉端である場合を適用する。

次に細長比に就いて一考せねばならぬが, 細長比とは抗壓材の二節點間の距離 l と其の最小斷面二次半徑 (最小回轉半徑) k との比を云ふのであるが櫓の計算に於ては構材には常に引張力又は壓縮力のみを受け此等以外の力は何等の力も受けないと假定して計算してゐるが, 實際には構材の自重, 構材に作用する風壓等に起因する水平方向の分布荷重を受けるから, 之の計算外の應力を制限する爲に細長比の値に制限を附してゐる。之は當を得たものと考へられる。

然らば櫓の計算に於て Rankin's formula を使用するに際して σ_c , a の値に如何なる數値を取るべきであるか, 又細長比は如何なる制限を設けるべきであるか, と云ふ事になる。而して σ_c 及び a の値は部材の材質に依つて定まる數値であるので, 米國に於ては掘鑿櫓用鋼材の材質を二種に分類し, 材質により櫓の強度計算式 (安全率を含む) も區別して居る。其の一は A. S. T. M. の建築用形鋼規格 A 9~33, 及び A. P. I. 鋼管規格に依り形鋼及び鋼管の材質は抗張力 50,000 磅以上, 降伏點に於ける強度 30,000 磅以上, たるべき事と規定して居る。其の二は A. S. T. M. の構造用硅素鋼 A 94~33 及び A. P. I. の Grade C 繼目無鋼管であつて抗張力 75,000 磅以上, 降伏點に於ける強度 45,000 磅以上と規定して居る。我が國に於ける掘鑿櫓に使用せられて居る形鋼は J. E. S. の構造用壓延鋼材で, 其の抗張力は 39 kg/cm² 以上であり, 繼目無鋼管に於ては J. E. S. の第一種は抗張力 38 kg/cm² であり, 降伏點に於ける強度については別に規定して居ないが, 米國に於て使用されて居る。材質の前者のものと略一致して居る。前者の材質即ち抗張力 5,000 磅以上のものに對しての A. P. I. の櫓の強度計算式は次の如くである。

$$\sigma_s = \frac{18000}{1 + \frac{1}{18000} \left(\frac{l}{k} \right)^2} \text{ lbs/sq.in} = \frac{1260}{1 + \frac{1}{18000} \left(\frac{l}{k} \right)^2} \text{ kg/cm}^2$$

但し、櫓の主脚柱に細長比の制限を設け、主脚柱の細長比は 120 を超えてはならぬと規定して居る。其の上細長比が60以下の場合には

$$\sigma_s = 15000 \text{ lbs/sq.in} = 1050 \text{ kg/cm}^2$$

に取るべき事を規定して居る。

櫓の公稱荷重即ち櫓の安全最大静荷重を決定するには櫓の主脚柱の最弱部に對して上述の式を用ひ計算を行ひ、其の際櫓の自重は無視すると規定して居る。

其の二の材質即ち A. S. T. M. の構造用硅素鋼及びの繼目無鋼 A94~33, 及び A. P. I. Grade C の繼目無鋼管を使用した櫓の場合には下記の櫓強度計算式を適用すべしと規定して居る。

細長比60以下の場合

$$\sigma_s = 20800 \text{ lbs/sq.in} = 1456 \text{ kg/cm}^2$$

細長比60以上の場合

$$\sigma_s = \frac{27000}{1 + \frac{1}{12000} \left(\frac{1}{k} \right)^2} \text{ lbs/sq.in} = \frac{1890}{1 + \frac{1}{12000} \left(\frac{1}{k} \right)^2} \text{ kg/cm}^2$$

次に補強した場合に於ける櫓の強度計算法を述べれば、一般の掘鑿櫓の主脚柱には等邊山形鋼を使用して居る。之を補強するには鋼管を此の等邊山形鋼に抱かしめるのが最も普通に行はれる方法である。即ち主脚柱の全長に涉つて鋼管を副へ、此の鋼管にも荷重が掛る様に主脚柱の支點の附近に於て主脚柱と補強鋼管とをクランプする。か様な場合の強度計算法としては主脚柱の支點間の長さを補強鋼管の支點間の長さとして看做し、先に述べた公式を使用し主脚柱並びに鋼管の安全最大荷重を求め、其等の値の合計を以て櫓を補強した場合の安全最大荷重とする。

IV 掘鑿櫓に作用する荷重

櫓に作用する荷重を大別すれば、(1) 垂直荷重、(2) 水平荷重の二つに區分出来る。

(1) 垂直荷重：之は櫓の自重及び櫓に積載されるものの總重量であつて掘鑿櫓には下記の機具の重量が垂直荷重として作用する。即ち櫓の自重の外クラウンブロック・トラベリングブロック・ケーシングフック・ウオータースキベル・角ステム・鋼索・掘管及びドリルカラー並びにビット等の重量である。なほ揚管時には掘管と泥水或は坑壁との摩擦、ビットと坑壁との摩擦及び加速度荷重が考へられるが、之等は泥水の浮力と相殺されると考へても櫓の強度計算には大した誤謬はないと思はれる。既存の櫓に就いては櫓の自重を正確に知り得るが、新たに設計する場合には長柱公式による計算に依り

主脚柱の形状寸法を決定し、形鋼製の組立式櫓に於ては主脚柱の全重量の4倍を、鋼管製可搬式櫓に於ては2.5倍を大凡其の櫓の全重量に等しいと考へれば誤差が小であるから設計計算に於て採用する數値としては充分である。次に櫓に積載或は吊下される掘鑿機具の重量は掘鑿深度並びにケーシングプログラムに依り決定される。其の外、櫓に附着する氷雪の重量が考へられるが之は重視する必要はない。

(2) 水平荷重：水平荷重としては櫓及び櫓内に立て掛けた鐵管、其の他櫓に取付けられた機具に作用する風壓並びに櫓内に立て掛けられた鐵管の水平分力が考へられる。風壓は風速の自乗に比例するもので、次の如き經驗式が廣く利用されて居る。

$$P = 0.125 V^2$$

但し P : 風壓 kg/m^2

V ; 風速 m/sec

然らば櫓の抵抗し得る最大の風速を何等に取るべきかと云へば、A. P. I. 於ては櫓の四本の主脚柱を固定し控線を張らず且板圍ひしてゐない櫓の抵抗し得る最大の風速は 70 mile/hour 以上でなければならぬと規定して居る。即ち略々 30 m/sec 以上の風速により生ずる風壓に耐えなければならないとして居る。さて櫓自身に加はる風壓の計算であるが、之は櫓の直接風に晒される面の風壓の二倍が作用すると考へれば充分安全である。櫓の受風面積の算出にあつては受風面の平均幅を求め、櫓の高さ1米當りの風壓が同一であると假定して計算するのが簡便で誤差も少い。此處に云ふ受風面の平均幅とは櫓の全受風面積を櫓の高さで割つた商である。櫓に作用する風壓は櫓の至る所に働くが應力圖を描く場合には櫓の各支點に相隣る上下兩支點間の風壓の半分宛が作用すると考へて行ふ。なほ此處で記して置かなければならぬ事は、從來圓壩面に對しては其の風壓の有効面積として受風面積の二分の一を取つてゐる事である。櫓内に掘管或はケーシングを立て掛けた場合、之等に基ずく受風面積及び之等鐵管の自重による水平分力に就いて A. P. I. では下表の如く規定して居るが、此の表中の數値は我が國の掘鑿櫓に對しても多少の差こそあれ適用し得ると考へられる。

Derrick Height m	Exposed Area		Horizontal Component of the Set Back Pipe kg
	Width m	Length m	
20.0	0.533	13.4	186
22.2	0.736	19.8	515
24.4	1.200	20.5	1210
26.5	"	"	"
28.5	"	"	"

37.2	”	27.4	1640
41.5	1.730	”	3510

以上掘鑿槽に加はる荷重に就いて記述したが、之等の諸荷重が如何なる方向より作用しても槽は之を完全に支持し得なければならない。

V 掘 鑿 槽 の 應 力 圖

應力圖の作圖は次の順序に従つて行はなければならない。

(1) 槽の構造線圖を描く、此處で注意すべき點は、槽の高さは垂直距離ではなく眞の長さを取る事及び、槽の樑は2本あてクロスして横の間に入つて居るが、1本は過剩材であるから之をないものとして作圖する。

(2) 總ての外力及び反力を記入し Cremona's method に依つて符號を與へる事。

(3) 連力圖を描き合力の作用線を求める事。

(4) 反力を求め各節點に就いての力の多角形を描き圖上より作用力の大きさを求め、其の力が抗張力であるか、抗壓力があるかを決定する。

尙、槽の最下部には、掘鑿作業の便宜のため樑がない部分がある、此の部分は各節點を滑節と考へると不安定架構になる。従つて此の部分だけは剛節架構として取扱ふべきであるが、簡單のために樑を一本入れて解く。實際の槽にも此の假定樑に生ずる應力に耐へ得る様補助材により補強して居る。

VI 27 米, 34 米 鐵 製 槽 の 強 度

掘鑿槽に作用する荷重は掘鑿作業の行程に於て種々變化するので、槽の強度を計算するに當つて緒論に於て記述した如く三つの場合につき槽の強度を算定する。

(A) 27米鐵製槽

(1) 公稱荷重の算定

主脚柱の最弱部はD-1材である。此の部材に就いてA. P. I. の槽強度計算式を適用すれば

使用構材、L 12×150×150. 斷面積A=34.56cm²

最小回轉半徑k=2.84cm

節點間の距離l=385cm

$$\text{故に } \sigma = \frac{1263}{1 + \frac{1}{18000} \left(\frac{l}{k} \right)^2} = 625 \text{ kg/cm}^2$$

公稱荷重 $P_w = 4 \times \sigma \times A = 86.4 \text{ ton.}$

(2) 掘鑿作業時に於ける槽の強度

此の時の條件として、深度650米、4 $\frac{1}{2}$ ” D.P.にて掘鑿中風速 20m/sec の風

壓の掛つた場合に就き考究する。

〔解〕 a 垂直荷重.:

櫓の自重	16,000kg
クラウンブロック	1,700
トラベリングブロック	1,600
ウォークライン	600
ケーシングフック	600
ウォータースキーパー	1,600
角ステム	1,200
ドリルカラー	1,500

$4\frac{1}{2}''$ D. P. 650米の重量 (カップリング・ツールジョイントを含む)

15,700

合 計 40,5ton

b 風壓により生ずる水平荷重

風に晒される面積を計算する。

主脚柱は長さ27米, 數2本, 平均幅0.15米, 其の受風面積を A_1 とすれば

$$A_1 = 2 \times 27 \times 0.15 = 8.1\text{m}^2$$

横は平均長4米, 數13本, 平均幅0.07米, 其の受風面積を A_2 とすれば

$$A_2 = 4 \times 13 \times 0.1 = 5.2\text{m}^2$$

樺は平均長4.2米, 數22本, 平均幅0.1米, 其の受風面積を A_3 とすれば

$$A_3 = 4.2 \times 22 \times 0.07 = 6.468\text{m}^2$$

$$\therefore A_1 + A_2 + A_3 = 20\text{m}^2$$

以上は櫓の片面に就いての計算であるから, 櫓全體の受風面積は其の2倍と看做し得るから 40m^2 である。

$$\text{従つて受風面の平均幅} = \frac{\text{櫓の全受風面積}}{\text{櫓の高さ}} = \frac{40}{27} = 1.48\text{m}$$

然しながら櫓は2面に依つて荷重に抵抗すると考へられるから, 片面のみ考へると荷重は $\frac{1}{2}$ になる譯である。掘鑿作業中の最大風速を 20m/sec と想定すれば單位受風面當りの風壓は

$$P = 0.125 V^2 = 50\text{kg/m}^2$$

之により櫓の各節點に作用する風壓を計算する。今夫々の節點に作用する風壓にする水平荷重を櫓の上部より順に $w_1, w_2, w_3, \dots, w_{13}$ とすれば, 次の如く計算される。櫓最上部の風壓としてはクラウンブロック, トラベリングブロック等に掛るものも考慮しなければならない。今此の受風面積を 6m^2 とすれば

$$w_1 = \left(\frac{0.66}{2} \times 0.74 + 6 \right) \times 50 = 350\text{kg}$$

$$w_2 = \left(\frac{0.66}{2} + \frac{1.64}{2} \right) \times 0.74 \times 50 = 45 \text{kg}$$

$$w_3 = \left(\frac{1.64}{2} + \frac{2.3}{2} \right) \times 0.74 \times 50 = 75 \text{kg}$$

$$w_4 = \left(\frac{2.3}{2} + \frac{2.3}{2} \right) \times 0.74 \times 50 = 90 \text{kg}$$

$$w_5 = 90 \text{kg} \quad w_6 = 90 \text{kg}$$

セカンドプラットフォームには鐵管が立てかけてあると想定すれば、鐵管の水平分力と鐵管に掛る風壓の夫々の $\frac{1}{2}$ が此の部分に作用する。残りの $\frac{1}{2}$ は櫓の最下部に掛ると看做し得る。従つて

$$w_7 = \left\{ \left(\frac{2.3}{2} + \frac{2.3}{2} \right) \times 0.74 + \frac{1.2}{4} \times 20 \right\} \times 50 + \frac{1210}{4} = 690 \text{kg}$$

$$w_8 = 90 \text{kg} \quad w_9 = 90 \text{kg} \quad w_{10} = 90 \text{kg}$$

$$w_{11} = \left(\frac{2.3}{2} + \frac{2.55}{2} \right) \times 0.74 \times 50 = 100 \text{kg}$$

$$w_{12} = \left(\frac{2.55}{2} + \frac{2.85}{2} \right) \times 0.74 \times 50 = 120 \text{kg}$$

$$w_{13} = \left(\frac{3.85}{2} \times 0.74 + \frac{1.2}{4} \times 20 \right) \times 50 + \frac{1210}{4} = 510 \text{kg}$$

以上の結果より應力圖を描き各部材に作用する力を求め、且各部材の許容荷重と比較すれば Tab'e 1. の如くなる。

(3) 30m/secの風速に對する櫓の強度

風速30m/secであるから單位受風面當りの風壓は

$$P = 0.125 V^2 = 112.5 \text{kg/m}^2$$

各節點に作用する水平荷重は次の如くなる。

$$w_1 = 700 \text{k} \quad w_6 = 200 \text{kg} \quad w_{11} = 200 \text{kg}$$

$$w_2 = 100 \quad w_7 = 1170 \quad w_{12} = 270$$

$$w_3 = 170 \quad w = 200 \quad w_{13} = 1150$$

$$w_4 = 200 \quad w_9 = 200$$

$$w_5 = 200 \quad w_{10} = 200$$

我が國では櫓を固定するに際してアンカーボルトを使用せず控線に依つて風壓に抵抗せしめて居るので此の場合 櫓上部より 45° に張つた控線に引張力が生ずると看做し、應力圖を描き、各部材に作用する力を求めた。其の結果は表の如くである。

(B) 34米鐵製櫓

(1) 公稱荷重の算定

主脚柱の最弱部はN-21材である。使用構材、

$$L 15 \times 150 \times 150 \quad A = 42.74 \text{cm}^2 \quad k = 2.93 \text{cm} \quad l = 220 \text{cm}$$

$$\text{故に 公稱荷重 } P_w = 4 \times \sigma \times A = 164 \text{ton}$$

(2) 掘鑿時に於ける櫓の強度

深度220米, $4\frac{1}{2}''$ D. P. にて掘鑿中風速 20m/sec の風壓の掛つた場合に就き考究する。

〔解〕 a 垂直荷重

櫓の自重	22,500kg
クラウンブロック	2,000
トラベリングブロック	2,000
ウオークライン	1,000
ケーシングフック	1,500
ウオータースキーベル	2,000
角ステム	1,000
ドリルカラー	1,500

$4\frac{1}{2}''$ D. P. 2250米の重量(カップリング・ツールジョイントを含む)

54,500

合計 88, ton

b 風壓により生ずる水平荷重

27米櫓の場合と同様の方法によつて計算すれば

櫓全體の受風面積=68m²

受風面の平均幅=2 m

應力圖上の w_1 w_2 w_3 …… w_{17} を計算すれば次の如くなる

$w_1=750\text{kg}$	$w_7=910\text{kg}$	$w_{13}=110\text{kg}$
$w_2=55$	$w_8=110$	$w_{14}=110$
$w_3=95$	$w_9=110$	$w_{15}=110$
$w_4=110$	$w_{10}=110$	$w_{16}=120$
$w_5=110$	$w_{11}=110$	$w_{17}=900$
$w_6=110$	$w_{12}=110$	

以上の結果より應力圖を描き各部材に作用する力を求めると Table 2 の如くなる。

(3) 30m/sec の風速に對する櫓の強度

各節點に作用する。水平荷重は次の如くである。

$w_1=150\text{kg}$	$w_7=1460\text{kg}$	$w_{13}=250\text{kg}$
$w_2=125$	$w_8=250$	$w_{14}=250$
$w_3=210$	$w_9=250$	$w_{15}=250$
$w_4=250$	$w_{10}=250$	$w_{16}=270$
$w_5=250$	$w_{11}=250$	$w_{17}=1440$
$w_6=250$	$w_{12}=250$	

此の場合の應力圖は右圖の如くなる。又荷重の大きさは別表記載の如くである。

Table 1. 27meter Derrick

Name of Column	Length of Column cm	Size of Column L ₁ 2× 150×150	Sectional Area cm ²	Radius of Gyration cm	Slenderness Ratio	Allowable Load kg	The second case		The third case	
							Working Load kg	Wind Load kg	Self-Weight kg	Working Load kg
D-1	385		34.56	2.84	135.0	21600	14850	2250	4500	6750
E-3	255	"	"	"	89.8	29200	19200	1300	4000	5300
F-5	230	"	"	"	81.0	32200	13700	650	3650	4300
G-7	"	"	"	"	"	"	13200	120	3300	3420
H-9	"	"	"	"	"	"	12750	—140	2950	2510
I-11	"	"	"	"	"	"	12200	—1000	2600	1600
J-13	"	"	"	"	"	"	11630	—1500	2250	750
K-15	"	"	"	"	"	"	11300	—1350	1900	550
Main Leg	"	"	"	"	"	"	11000	—1000	1550	550
	"	"	"	"	"	"	10700	—400	1200	800
	164	"	"	"	57.7	36400	10400	850	850	1710
	66	"	"	"	23.2	"	10200	280	500	780
	385	"	"	"	135.	21600	5800	950	4530	5450
	255	"	"	"	89.8	29200	6360	1600	4000	5600
	230	"	"	"	81.0	32200	6730	2160	3650	5810
	"	"	"	"	"	"	7230	2700	3300	6000
	"	"	"	"	"	"	7780	3200	2950	6150
	"	"	"	"	"	"	8350	3800	2600	6400
A-14	"	"	"	"	"	"	8650	3620	2250	5870
A-16	"	"	"	"	"	"	8950	3200	1900	5100

A-18	"	"	"	"	"	"	9230	2600	1550	4150	B-18
A-20	"	"	"	"	"	"	9560	1400	1200	2600	B-20
A-22	164	"	"	"	"	364.00	9780	—300	850	550	
A-24	66	"	"	"	"	23.2	9900	—	500	500	
B-1	636	L 13×100 ×380	85.71	2.80	227	28800	1750	1400			
Girt	2-3	570	L 9×130 ×130	22.74	2.42	235	7260	1000	1300		
	4-5	525	"	"	"	216	7500	1000	1200		
	6-7	490	L 7×100 ×100	13.62	1.80	272	3280	980	1100		
	8-9	450	L 7×90 ×90	12.22	1.58	285	2800	980	1000		
	10-11	410	"	"	"	260	3180	980	850		
	12-13	370	"	"	"	234	3850	400	—200		
	14-15	330	L 6×65 ×65	7.527	1.10	300	1580	400	—450		
	16-17	295	"	"	"	268	1880	260	—700		
	18-19	255	"	"	"	232	2390	300	—1020		
	20-21	220	"	"	"	200	2930	300	—1400		
	22-23	190	L 9×90 ×50	20.94	1.80	104	16500	300	700		
Brace	1-2							—120	—1800		
	3-4		L 6×75 ×75	8.727	1.47			—115	—1500		
	5-6		"	"	"			—115	—1400		
	7-8		"	"	"			—118	—1260		
	9-10		"	"	"			—120	—1200		
	11-12		"	"	"			—120	—1060		
	13-14		"	"	"			—65	300		
	15-16		"	"	"			—50	600		
	17-18		"	"	"			—50	1000		
	19-20		"	"	"			—45	1600		
	21-22		"	"	"			—40	—900		
	23-24		"	"	"			—35	—700		

34米鐵製塔
 建造所 佐賀
 圖 號 27/155

34米鐵製塔
 建造所 佐賀
 圖 號 27/155

Table 2 34meter Derrick

	Name of Column	Length of Column	Size of Column	Sectional Area	Radius of Gyration	Slenderness Ratio	Allowable Load	The second case		The third case		Name of Column
								Working Load	Wind Load	Self-Weight	Working Load	
		cm		cm ²	cm		kg	kg	kg	kg	kg	kg
Main Leg	D-1	400	L 15×200	57.55	3.85	104.0	45500	33600	4000	6500	10500	
	E-3	260	"	"	"	67.5	58200	32850	2300	6100	8900	
	F-5	220	"	"	"	57.0	60500	31500	1950	5700	7650	
	G-7	"	"	"	"	"	"	30750	1300	5300	6600	
	H-9	"	"	"	"	"	"	30000	600	4900	5500	
	I-11	"	"	"	"	"	"	29200	—20	4500	4480	
	J-13	"	"	"	"	"	"	28400	—650	4100	3450	
	K-15	"	"	"	"	"	"	27600	—1200	3700	2500	
	L-17	"	"	"	"	"	"	26700	1760	3300	1540	
	M-19	"	"	"	"	"	"	25700	2300	2900	300	
	N-21	"	L 15×150	42.74	2.93	75.0	41000	24800	2700	2500	—200	
	O-23	"	"	"	"	"	"	24300	2200	2100	—100	
	P-25	"	"	"	"	"	"	23750	1400	1700	300	
	Q-27	"	"	"	"	"	"	23200	230	1300	1070	
	R-29	154	"	"	"	52.6	45000	22600	1600	900	2500	
Main Leg	S-31	66	"	"	"	22.5	"	22100	500	500	1000	
	A-2	400	L 15×200	57.55	3.85	104.0	45500	11800	1240	6500	7740	B-2
	A-4	260	"	"	"	67.5	58200	12700	2080	6100	8180	B-4
	A-6	220	"	"	"	57.0	60500	13400	2750	5700	8450	B-6
	A-8	"	"	"	"	"	"	14200	3420	5300	8720	B-8

	26—27	250	"	"	"	227	2450	603	—1740		
	28—29	215	"	"	"	195	3020	600	—2300		
	30—31	190	1.7×90×150	21.70	2.04	95	1860	600	1400		
Brace	1—2		1.6×75×75	8.727	1.32			—2500	—2500		
	3—4		"	"	"			—2300	—2200		
	5—6		"	"	"			—2250	—2000		
	7—8		"	"	"			—2150	—1880		
	9—10		"	"	"			—2100	—1720		
	11—12		"	"	"			—2000	—1630		
	13—14		"	"	"			—2000	—1400		
	15—16		"	"	"			—2000	—1200		
	17—18		"	"	"			—1950	—1050		
	19—20		"	"	"			—1900	—900		
	21—22		"	"	"			—950	850		
	23—24		"	"	"			—900	1300		
	25—26		"	"	"			—870	1950		
	27—28		"	"	"			—850	2700		
	29—30		"	"	"			—800	—1800		
	31—32			"	"			—700	—1500		

註 荷重に於て(+)は壓縮力を(−)は引張力を表はす。

樫に壓縮力を生ずる箇所が數箇所記入されて居るが、之は2本かかつて居る樫の1本を無視して居る爲で樫の強度を考察するにあつては樫には引張力が掛ると看做す。其の大きさは變化なく、符號のみ變化する。

部材の斷面積、最小回轉半徑は舊日本標準規格による。

VII 結 論

以上の計算結果より明かな様に、27米、34米兩鐵製櫓は解法の初めに想定した荷重に對し充分なる抵抗力を有し、櫓の公稱荷重は27米櫓では86.4屯であり、34米では164屯である。更に類推するならば27米櫓を使用した場合には $4\frac{1}{2}''$ D. P. にて深度1000米掘進可能であり、34米櫓ならば $4\frac{1}{2}''$ D. P. にて深度2500米迄掘進可能である。且兩櫓共40m/secの風速に基づく風壓に充分抵抗し得る。(板圍はないが鐵管は立て掛けてあるものとして)。以上は櫓自體の強度に就いての値であつて、實際の掘鑿に於てはサブストラクチャー、地盤の耐壓強度、埋めブロックの抗引張力等も作用荷重に抵抗し得なければならない。

尙櫓の製作上、使用上の注意を述べば、鐵製櫓の主脚柱の接續部は部材の端部を突き合せ外側より鐵板をあて數個のボルトで締め付け組立て居る。而して、櫓に掛る垂直荷重は主脚柱に依り支持さされるのであるから、其の接續が完全に密着して居なければ其の剪斷力が主脚柱の挫屈強度よりも小なるボルトに荷重が掛かる事になる。従つて主脚用の部材の端部は正確に切斷し、長さを均一ならしめ、且接續後主脚柱が一直線をなす様でなければならない。勿論部材自體が彎曲して居つてはならない。又主脚柱に餘分なボルト孔等を穿つと斷面積が縮少し挫屈強度が甚しく減ずるから、斯様な加工を施すべきではない。

以 上

眞 島 卯 一 著	" 鐵塔 "
帝 國 石 油	石油掘鑿機械器具要覽
	34米亞鉛鐵製櫓圖面
	27米 " " "
	A. P. I. 1932
	A. L. P. E. 1934