

# 高温爐に於ける迫天井<sup>1)</sup>

J. spotts McDowell

S. A 譯

アーチの各煉瓦はアーチ重量に依る應力を受けて居る。アーチの断面に於て之等總ての外力の合力が通過する相隣れるアーチ煉瓦の接觸面上の一點を Center of pressure と稱し、之等を連ぬる線を Line of thrust と稱す(第13圖參照) Line of thrust の形狀はアーチ厚さが一樣にして各アーチ煉瓦の重心を連ぬる線がカタナリー曲線なる場合はカタナリー曲線であるが、重心を連ぬる線が圓弧なる一般アーチに於てもその Line of thrust は實際カタナリーに近接したる曲線である。アーチに於ける Line of thrust の形狀を知ても其正確なる位置を知る事は容易で無い、そこでアーチ諸問題の解決の爲幾多の假説が設けられて居る。其中最も一般に使用せられて居るものは Winkler's theorem である。之に依ればアーチの隣接する各煉瓦が各々その全面を以て相接觸する場合 Line of Thrust は概ねアーチ厚さの中央 1/3 以内に存在しアーチスパン中央及迫受に於てアーチ厚さの 1/2 の點を通過するカタナリー曲線なりと假定する。

アーチが安定にして且アーチ煉瓦接觸部にその上端又は下端に間隙を生ぜしめざる爲の條件は次の様である。

- (a) Line of thrust はアーチ、リングを形成する煉瓦積内に存在する事を要す。然らざる時はアーチは崩壊す。
- (b) Line of thrust はアーチ厚さの中央 1/3 以内に存在する事を要す。然らざる時は接觸部は上端或は下端に於て間隙を生ず。
- 煉瓦接觸面に於ける Line of thrust とこの面への垂直線とにてなす角が、煉瓦對煉瓦或は煉瓦對モルタル靜止角 (angle of repose) より大なるを得ず。然らざる時はアーチ煉瓦は拔落ちる事となる。

第2表 耐火煉瓦の靜止角及摩擦係數

接觸の種類	靜止角(度)	摩擦係數
機械打珪石煉瓦と機械打珪石煉瓦	31	0.60
手打珪石煉瓦と手打珪石煉瓦	34	0.67
機械打耐火粘土煉瓦と機械打耐火粘土煉瓦	38	0.78
フォルステライト煉瓦とフォルステライト煉瓦	34	0.67
フォルステライト煉瓦と鐵板	23	0.42
マグネサイト煉瓦とマグネサイト煉瓦	31	0.60
マグネサイト煉瓦と鐵板	25	0.47

- 或點に於ける最大壓力は操業温度に於て煉瓦の耐へ得る應力を超へてはならぬ。然らざる時はピンチ、スポーリング、龜裂又は變形が起る。

最大壓力は Line of thrust の形狀が最も扁平なる場合に生じ、Line of thrust の勾配最も大なる時最小壓力を生ず、摩擦係數は壓力に依り變化し又煉瓦面のモルタルに依り減少する。尙この他工場内諸機械運轉に依る振動、ガス變向時の焔の衝擊或は小爆發等

も一時的に摩擦係數を減少させ煉瓦の抜け出し、アーチの變形を起させる事がある。

天井に於ける應力の計算に當ては操業中煉瓦に附着又は吸收された物質の重量を考慮す可きである。平爐に於ける一例を示さば珪石アーチ煉瓦の重量増加は、その受熱面一平方呎當り 20lb である。

### アーチ應力

Line of thrust の正確なる位置は冷間に於ても知る事を得ず加熱時には更に變化し又締つけボルトは伸び支壁或は基礎が沈下する等の爲爐アーチの應力は概略的に決定し得るに過ぎぬ。

アーチ單位長さに於て迫受に對して働く thrust は主として、スパンライズ及アーチの厚さ、煉瓦の單位重量に依るが爐温にも依る。

第3表 耐火煉瓦の重量

煉瓦の種類	重量 (lb/ft <sup>3</sup> )
クロム (燒成)	185~195
クロム (化學的結合)	195~200
耐火粘土	125~145
フォルステライト	150~160
マグネサイト (燒成)	162~175
マグネサイト (化學的結合)	180~187
珪石	100~112

アーチの厚さ一樣にして迫受は同一水準面にありて對象的なるアーチに適用し得る諸計算式を示さば次の様である。

### Case. 1. 冷間に於けるアーチの thrust

第13圖左側に示すアーチの半分に就て考へる。

W. アーチ長さ  $1r$  に對するアーチの重量

(アーチ長さとはスパン及ライズに直角方向の長さにして即ち爐軸方向の長さである)

アーチ半分に作用する總ての力は次の3つにして

- アーチ長さ  $1r$  當りのアーチ重量の 1/2 即ち  $W/2$  之が G を通て垂直に働く
- 水平力 H が D を通して働く (この力はアーチ右半分の反力である)
- 迫受到に於て Q が働く、(この力は垂直、水平分力  $Q_v$  及  $Q_h$  に分けらる)。

之等の力は平衡状態にあるから次の關係が成立する。

- 垂直方向の力の總和は零なる故  $Q_v$  と  $W/2$  は等しく互に反對方向に働くから  $Q_v = -W/2$
- 水平方向の力の總和は零なるから  $Q_h$  と H は等しく、その方向相反するから  $Q_h = -H$
- 一點に於ける H,  $W/2$ , 及 Q のモーメントの和は零となるから C 點に於けるモーメント

$$-H_y + \frac{Wx}{2} = 0$$

故に 
$$H = \frac{X}{Y} \cdot \frac{W}{2} \dots \dots \dots (1)$$

<sup>1)</sup> Blast Furnace and Steel Plant. Feb. 1940. p. 161

アーチの thrust はスパン中央に於て最小にして迫受に向て次第に増加し、迫受に於て最大となる。thrust (Fなる力) はQと等しくその方向相反するから  $F = -Q$  にして

$$F = \sqrt{H^2 + \left(\frac{W}{2}\right)^2} \dots\dots(2)$$

(1) 式の H の値を (2) 式に代入すれば

$$F = \frac{W}{2} \sqrt{\left(\frac{X}{Y}\right)^2 + 1} \dots\dots(3)$$

上式は明らかに X 及 Y の距離を知るに非ざれば thrust の量を計算するを得ぬ。即ち Line of thrust のスパン中央及迫受に於ける位置を決定せねばならぬ。アーチ煉瓦が互にその全面を以て接觸し壓力はアーチ重量のみに依るとせば Line of thrust の位置はスパン中央及迫受に於てアーチ厚さの 1/2 の點を通過するものと假定する事を得るから X 及 Y は一定となり従て上式に依り thrust 量の計算が可能となる。

水平 thrust に対しては次の簡單式がある。之はライズ 1~3'' per ft. of span の如何なるスパンを有するアーチにも適用し得るものである。

$$H_a = \left[ \frac{S}{4h} - \frac{h}{3S} \right] \cdot \frac{W}{2} \dots\dots(4)$$

$H_a =$  Line of thrust はスパン中央及迫受に於てアーチ厚さの 1/2 の點を通過する場合の水平 thrust にしてその單位は lb/ft of arch length

S = アーチのスパン in ft.

h = アーチのライズ in ft.

W = アーチの重量 in lb/ft of arch length.

W の計算は一般に各種の輕便式が使用されるが次に示す式が實用上使用されて居る。

A. ライズ 2 1/2''/ft of Span の場合

$$W = 1.02T \left[ S + \frac{4h}{S}(h+T) - \frac{h}{3} \right] D$$

B. ライズ 2 1/2~3''/ft of Span の場合

$$W = T \left[ S + \frac{4h}{S}(h+T) - \frac{h}{3} \right] D$$

上記 T, S 及 h は ft にして D は耐火材の重量にして lb/ft<sup>3</sup> である。1 3/4''/ft of span 迄のライズに対しては上式に依り得たる結果は正しき價より 0.5% 低く、3''/ft of span 迄のライズ大なるものに対しては 0.5~1.25% 高く出る。

第 4 表 4 式より計算したる H 價の誤差表

アーチ厚さ in ft	アーチのライズ in in/ft of span—			
	1'00	1'608	2'25	3'00
0'025 S	*	*	- 0.2%	- 0.5%
0'05 S	*	*	- 0.1%	- 0.4%
0'10 S	*	*	*	- 0.3%
0'15 S	*	+ 0.1%	+ 0.2%	*

\* 誤差 0.1% 以下

Case. 2. 加熱アーチに於ける最大 Thrust.

一般の爐のアーチは加熱前は煉瓦の各面はその全面に於て相接觸して居るが加熱後は煉瓦の熱膨脹が起り、膨脹に對する充分なニゲが豫め用意されて居ない場合は Line of thrust の位置及 thrust 量の變化を惹起する。この場合アーチは上昇し煉瓦はスパン中央附近に於てその外面に間隙を生ずる。正に間隙を生ぜんとする時の Line of thrust の位置は第 14 圖に示した位置に近づく。即ち Line of thrust は迫受に於けるアーチの外面に近き點より、スパン中

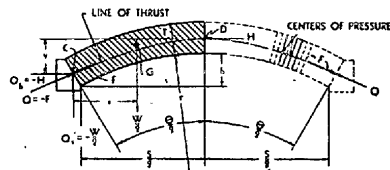


Fig. 13—Case 1—Cold arch. Brick in full contact at joints

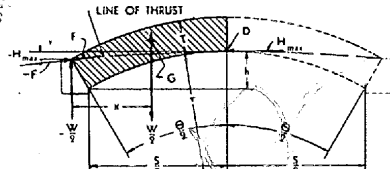


Fig. 14—Case 2—Hot arch. Joints just about to open due to expansion of brick

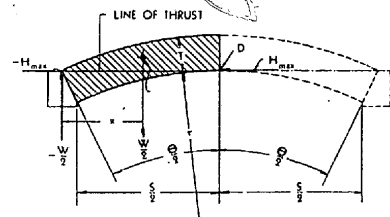


Fig. 15—Case 3—Hot arch. Line of thrust approaches a horizontal position

央に於けるアーチの内面に近き點へ向て走る。

アーチのライズ低くして膨脹に對するニゲが不充分なる場合の加熱時の Line of thrust の位置は第 15 圖に示す如く殆んど水平線となり水平應力は非常に大となりアーチ内面の煉瓦の端は強度の壓縮を受け Line of thrust は自然に上昇し、再び爐が冷却された場合原形に復歸する事を得ずアーチの安定を危険にする。

$H_{max}$  を水平 thrust の最大値となせば第 14 圖に於て

$$H_{max} = \frac{X}{Y} \cdot \frac{W}{2} \dots\dots(5)$$

上式の X 及 Y は算術的又は幾何畫法的に決定し得る

$H_{max}$  の算定は正確なる方法を以てしては相當の時間を要するが實用上充分正確なる結果は次式より得る事が出来る。

$$H_{max} = H_a \left[ \frac{h + 1.5T(1 - \text{Cosine } \frac{\theta}{2})}{h - T \text{Cosine } \frac{\theta}{2}} \right] \dots\dots(6)$$

$\theta$  = アーチ中央角

T = アーチの厚さ in ft.

$H_a$ : 4 式より得たる價

上式より得たる價の最大誤差は第 5 表に示す如くである。

第 5 表 6 式より計算したる  $H_{max}$  價の誤差表

アーチ厚さ in ft	アーチのライズ in in/ft of span—			
	1'00	1'60 S	2'25	3'00
0'025 S	*	*	- 0.2%	- 0.8%
0'05 S	*	- 0.1%	- 0.3%	- 1.0%
0'10 S	*	- 0.2%	- 0.5%	- 1.3%
0'15 S	*	- 0.2%	- 0.6%	- 1.6%

\* 誤差 0.1% 以下

6 式の使用に當り  $\theta$  の計算及三角函數表の使用は次の關係式に依り之を省く事が出来る。

$$\text{Cosine } \frac{\theta}{2} = \frac{S^2 - 4h^2}{S^2 + 4h^2} \dots\dots(7)$$

加熱アーチの最大 thrust 量決定に際して一般には冷間に於けるアーチ thrust 量に任意の係數即ち或者是常數 2 を又或者是依てはアーチ耐火材の種類及採業温度に依り 2~3 の係數が乘ぜられて居たが 6 式を使用すれば之等の任意の係數は不必要にして係數の價は

$$\frac{h + 1.5T \left( 1 - \text{Cosine } \frac{\theta}{2} \right)}{h - T \text{Cosine } \frac{\theta}{2}}$$

に依て與へられて居る。

Case 3. 爐アーチの最大厚さ

Line of thrust の位置が第 15 圖に示す位置に近づく事を防止する爲にはライズ  $h$  は  $\text{Cosine } 1/2 \theta \times T$  より大なるを要し又若し Line of thrust のライズの絶対最低限を  $1/4''/\text{ft}$  of Span とせばライズ  $h$  は  $T \text{ Cosine } 1/2 \theta + 1/48S$  以上なるを要す。

$$T < \frac{h - \frac{1}{48S}}{\text{Cosine } \frac{\theta}{2}} \dots\dots\dots (8)$$

上式より得たる値を第 6 表に示す之等の値はアーチの膨脹をスプリング其他に依り相殺する如く爲されたる場合及膨脹後に初めてアーチ煉瓦が全面的に接觸する如く豫め煉瓦積を爲されたる場合には適用出来ぬ。

第 6 表 8 式に依り求めたるアーチ厚さの最大値

ライズ in/ft	最大厚さ
1	0.066S
1.25	0.091S
1.50	0.118S
1.608 (60° arch)	0.131S
1.75	0.148S
2.00	0.182S

迫受に於ける Line of thrust の方向:—

迫受に於ける Line of thrust の方向は次の方法に依り計算される。

A を Line of thrust と水平線とに依てなす角(第 16 圖参照)とせば

$$\text{tangent of Angle A} = \frac{W}{H} \dots\dots\dots (9)$$

B を Line of thrust と迫受面に直角なる線とにてなす角とせば

$$\text{Angle B} = \frac{\theta}{2} - \text{Angle A} \dots\dots\dots (10)$$

F 及迫受に於ける F の方向を知れば迫受到垂直及平行に働く力は計算なし得る即ち FN を迫受到垂直に働く力(アーチ長さ  $1/\text{ft}$ . 當り), FP を迫受到面に平行に働く力とせば

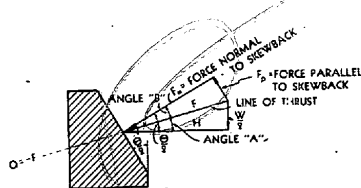


Fig. 16—Sketch illustrating direction of line of thrust at skewback, thrust normal to face of skewback, and force parallel to face of skewback

$$FN = F \times \text{Cosine of Angle B} \dots\dots\dots (11)$$

$$FP = F \times \text{sine of Angle B} \dots\dots\dots (12)$$

單位 壓力:—

迫受到垂直なる thrust を知り Line of thrust の位置を正確に知れば最大壓力  $lb/\text{in}^2$  を計算する事が出来る。

Line of thrust の位置がアーチ厚さ  $1/3$  の中央以内に存在する場合:—

$$P = \frac{FN}{12t} \left( 1 + \frac{6z}{t} \right) \dots\dots\dots (13)$$

Line of thrust の位置がアーチ厚さの中央  $1/3$  以外に存在する場合:—

$$P = \frac{FN}{9(t-2z)} \dots\dots\dots (14)$$

P = 迫受到於ける最大壓力  $lb/\text{in}^2$

t = アーチの厚さ in in

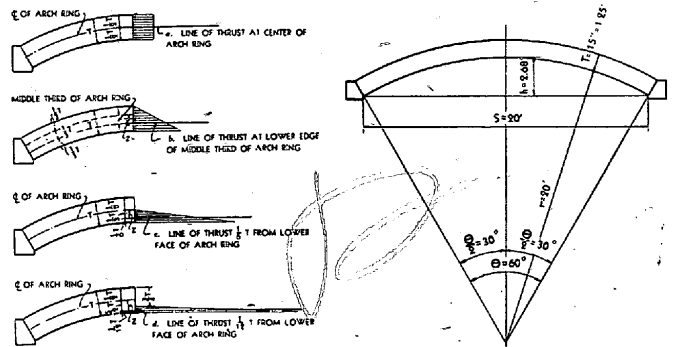


Fig. 17—Distribution of pressure on joints for different position of line of thrust. (It is assumed that the joints are incapable of withstanding tension)

Fig. 18—Silica brick arch—illustrative example

$z$  = Line of thrust とアーチ厚さの中央部との距離 in in

第 17 圖はスパン中央部アーチ煉瓦の接觸面に於ける壓力の分布状態を示す。

アーチ方程式の運用法は次の諸例題に依て示さる(第 18 圖参照)

I. Line of thrust はスパン中央部及迫受到於てアーチ厚さの  $1/2$  の點を通過するとの假定に基く計算

水平 thrust 量の計算

4 式

$$H_a = \left( \frac{S}{4h} - \frac{h}{3S} \right) \frac{W}{2} \text{ より}$$

$$H_a = \left( \frac{20}{4 \times 2.68} - \frac{2.68}{3 \times 20} \right) 1485 = 2705 \text{ lb/ft of arch length}$$

Resultant thrust の計算

$$2 \text{ 式 } F = \sqrt{H^2 + \left( \frac{W}{2} \right)^2} \text{ より}$$

$$F = \sqrt{2705^2 + 1485^2} = 3085 \text{ lb/ft of length of arch.}$$

迫受到於ける Line of thrust の方向

$$9 \text{ 式 } \text{Tangent of Angle A} = \frac{W}{H} \text{ (第 16 圖参照) より}$$

$$\text{Tangent Angle A} = \frac{1485}{2705} = 0.5491$$

三角函數表より Angle A = 28°46'

$$10 \text{ 式 } \text{Angle B} = \frac{1}{2} \theta - \text{Angle A} \text{ より}$$

$$\text{Angle B} = 30^\circ - 28^\circ 46' = 1^\circ 14'$$

$$11 \text{ 式 } F_N = F \text{ Cosine Angle B} \text{ より}$$

$$F_N = 3085 \times \text{Cosine } 1^\circ 14' = 3085 \times .99977 = 3084 \text{ lb/ft of arch length}$$

$$12 \text{ 式より } F_P = F \text{ sine Angle B} = F \text{ sine } 1^\circ 14' = 0.215 F$$

最大壓力の計算

$$13 \text{ 式 } P = \frac{FN}{12t} \left( 1 + \frac{6Z}{t} \right) \text{ この場合迫受到於ける } Z=0 \text{ なる故}$$

$$P = \frac{3084}{12 \times 15} = 17.14 \text{ lb/in}_2 \text{ at the skewback}$$

II. Line of thrust がスパン中央に於てアーチの内面を迫受到於てアーチの外面を通過し最大水平 thrust を與ふる場合。最大水平 thrust 量の計算

$$6 \text{ 式 } H_{max} = H_a \left[ \frac{h + 1.5T \left( 1 - \cos \frac{\theta}{2} \right)}{h - T \cos \frac{\theta}{2}} \right]$$

$H_a = 2705$  (前例題より)

$h = 2'68''$   $T = 1'25''$ ,  $\text{Cosine } 1/2 \theta = \text{Cosine } 30^\circ = .866$

$$H_{max} = 2705 \left[ \frac{2'68'' + (1.5 \times 1'25'' \times .866)}{2'68'' - (1'25'' \times .866)} \right]$$

$$= 2705 \left[ \frac{2'93115''}{1'5975''} \right] = 4963 \text{ lb/ft of arch length}$$

最大 Resultant thrust 量の計算

$$2 \text{ 式 } F = \sqrt{H^2 + \left( \frac{W}{2} \right)^2} \text{ 故 } F_{max} = \sqrt{(H_{max})^2 + \left( \frac{W}{2} \right)^2}$$

$$F_{max} = \sqrt{4963^2 + 1485^2} = 5180 \text{ lb/ft of arch length.}$$

迫受に於ける Line of thrust の方向

$$9 \text{ 式 } \text{tangent of Angle } A = \frac{W}{2H} \text{ (第 16 圖参照)}$$

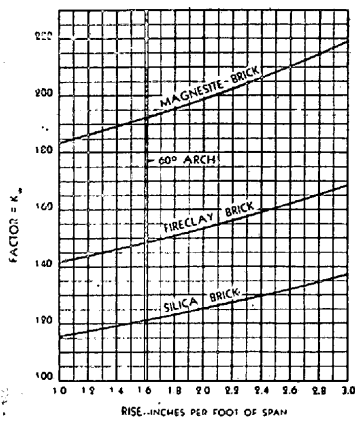
$$= \frac{1485}{4963} = 0.29924$$

三角函數表より Angle  $A = 16^\circ 40'$

10 式より Angle  $B = 30^\circ - 16^\circ 40' = 13^\circ 20'$

11 式より  $FN = 5180 \times \text{Cosine } 13^\circ 20'$

Chart No. 1.—For finding factors to be used in determining weight of an arch in pounds per foot of arch length



Weight =  $K_w \times S \times T$   
 $K_w$  = Factor from chart

Chart No. 3.—For finding factors to be used in determining maximum value ( $H_{max}$ ) approached by the horizontal thrust of an arch

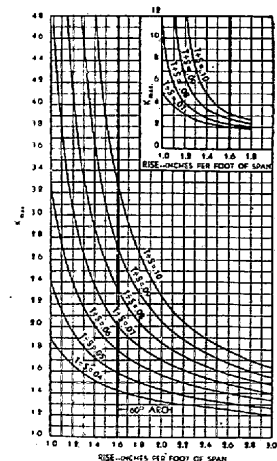


Chart No. 2.—For finding factors to be used in determining horizontal thrust of an arch in pounds per foot of arch length

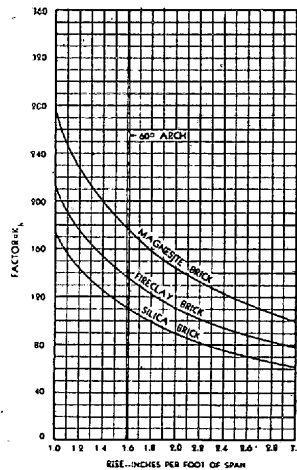
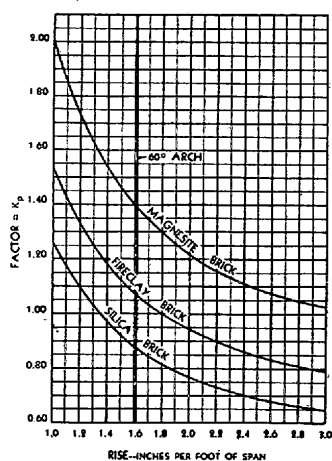


Chart No. 4.—For finding factors to be used in determining pressure in pounds per square inch upon skewbacks of a sprung arch



$$= 5180 \times .97304 = 5040 \text{ lb/ft of arch length}$$

12 式より  $F_P = .23F$

最大壓力の計算

Line of thrust がアーチ煉瓦の極く端を通過するものとせば 14 式  $P = \frac{FN}{9(t-2Z)}$  に於て  $Z = 7'5''$  となり分母は零となり P は無限大となる。斯かる事は實際上有り得べからざる事にして、実際上は膨脹代の用意なき場合は煉瓦の膨脹に依て迫受けを外方に押し開くので Line of thrust の實際位置を決定する事を得ないのである。従て thrust 量若くは最大壓力の計算は不可能である。

圖表に依る計算法

(圖表其 1)

重量 =  $K_w \times S \times T$

$K_w$  = 圖表より得らるゝ係數

$S$  = スパン in ft.

$T$  = アーチの厚さ in ft.

珪石煉瓦 110 lb/ft<sup>3</sup>.

耐火粘土煉瓦 135 lb/ft<sup>3</sup>.

マグネサイト煉瓦 175 lb/ft<sup>3</sup>. とす.

(圖表其 2)

$H = \text{Thrust} = K_h \times S \times T$

$K_h$  = 圖表より得らるゝ係數

$S$  及  $T$  = 圖表其 1 に同じ

Line of thrust はスパン中央及迫受到に於てアーチ厚さの 1/2 の點を通過するものと假定す。

$H_{max}$  を求むるには、圖表其 2 に依り決定したる  $H$  に圖表其 3 より得たる  $K_{max}$  を乗ぜよ。

煉瓦の重量は圖表其 1 に同じ

(圖表其 3)

$H_{max} = H_a \times K_{max}$

$H_a$  = 圖表其 2 より決定されたる thrust.

$K_{max}$  = 圖表其 3 より決定されたる係數

(圖表其 4)

$P = K_P \times S$

$K_P$  = 圖表より得らるゝ係數

$S$  = スパン in ft.

Line of thrust の位置は圖表其 2 に於けると同様なりと假定す。實際上は Line of thrust の迫受上の位置は一般に決定し難く、従て壓力の決定も亦不可能である。

煉瓦重量は圖表其 1 に同じ。

アーチ應力の諸計算は圖表(其 1, 其 4)に依りて極めて簡單化される。勿論その正確度は計算式に依るものに比し劣るがその誤差は概ね 5% 以下である前例題に就き圖表の運用法を示せば次の如くである。

アーチ重量の計算

圖表其 1 より  $\theta = 60^\circ$  なる珪石煉瓦に對する  $K_w$  は 121 を得。

$$W = K_w \times S \times T \text{ に依り,}$$

$$121 \times 20 \times 1'1/2 = 3025 \text{ lb/ft of arch length を得. 之は}$$

計算法に依れば 2970 lb となり、本結果は +55 lb にして +1.9% の誤差となる。

水平 thrust ( $H_a$ ) の計算

圖表其 2 より  $K_h = 110$  を得。  $H_a = K_h \times S \times T$

$$H_a = 110 \times 20 \times 1 \frac{1}{4} = 2750 \text{ lb/ft of arch length}$$

之は4式に依る價 2705 lb に比し +45 lb にして +1.7% の誤差がある。

最大水平 thrust ( $H_{max}$ ) の計算

アーチ厚さとスパンの比は、1.25/20 即ち 0.0625 にして  $\theta = 60^\circ$  のアーチに於ける  $K_{max}$  は圖表其3より 1.85 を得。

$$\begin{aligned} H_{max} &= H_a \times K_{max} \\ &= 2750 \times 1.85 = 5088 \text{ lb/ft of arch length.} \end{aligned}$$

この値を6式に依る値 4963 lb に比せば +125 lb にして +2.5% の誤差となる。

迫受に於ける壓力の計算

圖表其4より壓力計算に使用さるる  $K_P$  は 0.875 を得。

$$0.875 \times 20 = 17.5 \text{ lb/in}^2 \text{ となる。}$$

13式に依る計算の結果は 17.14  $\text{lb/in}^2$  にして圖表使用に依る誤差は +0.36 lb 即ち 2.1% となる。(S. A)

## リムド鋼塊の凝固<sup>1)</sup>

A. Hultgreu & G. Phragmén

芥川武譯

(譯者付言: この論文は瑞典の Jernkontorets Annaler, vol. 122 (1938) p. 377~465 に先づ報告されたもので次に茲に掲げた Transactions of the American Institute of Mining & Metallurgical Engineers: Vol. 135, 1939; Iron & Steel Division に發表されたのであるが 1934 年以來 Jernkontoret に於て組織されたリムド鋼塊組織に關する委員會の報告を纏めたものであるだけに重要且多岐に互る問題に就て實驗的、理論的に詳述してあるため英國の Iron & Steel Institute の 9<sup>th</sup> Report on the Heterogeneity of Steel Ingots にも C. A. Edwards が特にその理論的部分を紹介してある。

本論文は先づ鋼塊のガス放出及之の凝固、偏析に及ぼす影響に關する従來の文献を一通り紹介批評を加へた後、本研究の目的を明かにした上本論に入り先づ凝固過程の理論的考察を  $Fe-C-O$  三元状態圖を基として行てある。次に實驗に移り主としてリムド鋼の組織を詳しく調べ上げ最後に凝固過程の一般的考察として凝固の各段階及之に伴ふ種々の現象を明解に説明したものであつて全文 100 頁以上に及ぶ長いものであるから便宜上 3 回に分けて紹介することとする。即ち

第 1 回 (主として) 凝固過程の理論的考察

第 2 回 (主として) 實驗結果

第 3 回 (主として) 凝固過程の一般的考察、其他

勿論全體として纏まつた論文なのであるが上記各一をとつても亦立派な價値をもつた單獨の論文と考へて少しも差支へないものであることを茲に付言しておく。

**凝固過程の理論的考察** キルド鋼に對しリムド鋼の特徴は凝固に當り多量のガスを放出することである。このガスの主成分は既に知られてゐる如く  $CO$  であり、其他水素、窒素及  $CO_2$  が幾らかづ含まれてゐる。 $CO_2$  の割合は鋼の  $C$  (及酸素) 量に依て異なる。リムド鋼より發生するガスに就ては古く Müller 以來水素を主とする説も多かつたが、水素 (及窒素) は爐ガス又は轉爐送風から熔鋼中に滲入するのである故、その濃度は熔鋼が 1 氣壓の水素 (又は窒素) 下に於て飽和された場合より低い筈である。然るに低炭素鋼の水素熔解度は熔鋼 1cc に就き約 1cc であるに對し、0.1% 炭素鋼では酸

素を約 0.025% 含むから生成  $CO$  ガスは同じく熔鋼 1cc に就き約 2cc に相當する。即ちリムド鋼の凝固中に放出されるガス又は周縁氣泡中のガスの主成分が水素であるとは理論的にも考へられない所である。斯様に凝固に際して  $CO$  ガスを發生するのであるがそれは主として熔鋼中の  $C$  及  $O$  の量に支配されるのであるから  $Fe-C-O$  系の凝固を論ずれば良い。それには先づ  $Fe-C-O$  系平衡状態圖を作ることが必要である。

之に就て第 1 に熔鋼中の  $C$  と  $O$  とが夫々單獨に存在するのか或は  $CO$  となつてゐるのかの問題であるが溫度及壓力が一定ならば  $[C] \times [FeO] = \text{一定}$  なることは實驗的に知られてゐる。即ち熔鋼中に  $CO$  としてとけてゐる量はその含有炭素及酸素量に比較して少く、換言すれば  $C$  及  $O$  は熔鋼中で或濃度に達するまでは  $CO$  又は  $CO_2$  を發生することなく共存し得る。凝固に當て放出される  $CO$  又は  $CO_2$  はこの熔鋼中にとけてゐた炭素 (又は炭化物) と酸素 (又は酸化物) が鋼の凝固する際反應し合て生成するのであると今日考へられてゐる。

次に熔鋼中炭素及酸素の平衡に及ぼす溫度の影響であるが  $C + FeO \rightarrow Fe + CO$   $\Delta H = 3,500 \text{ cal}$  の反應が吸熱的である所から溫度上昇すれば反應は右に進み  $CO$  ガスを熔鋼から放出すると考へられるが然し上の反應に於て  $FeO$  の熔解熱をも考慮に入れる時は  $C$  (in lig  $Fe$ ) +  $FeO$  (in lig  $Fe$ )  $\rightarrow Fe$  (lig) +  $CO$  (gas) となりこの反應熱は正負何れにせよ (實驗値の正確なものがないから不明であるが) あまり大なる値でない。故に三元平衡状態圖を作るに當り  $CO$  の壓力が一定なる時  $[C] \times [O]$  の積が溫度に依て變らないものと假定しても大なる誤りを生じないであらう。又ガス相には  $CO_2$  も多少含まれてゐるがその量は熔鋼に  $FeO$  が飽和したとき約 20% で鋼中酸素量が 0.05% のとき約 5% である。溫度が上ればこの値は僅に低くなる。要するに三元平衡状態圖に於る氣相平衡面は溫度軸に殆んど平行で溫度一定の面で截るとその斷面は大體双曲線で表はされる。

第 3 に炭素量が少ければ熔鋼は稀薄溶液と考へて差支へなく、又前述の如く  $C$  と  $O$  とは化合してゐないから  $C$  及  $O$  に基く鋼の凝固點降下は大體  $C$  及  $O$  各單獨に加へられたとき得られる凝固點降下の和に等しいと考へられる。即ち  $\delta$  鐵及  $\gamma$  鐵の液相面は平面とする。

第 4 の假定として  $FeO$  相と平衡に共存する熔鋼中の酸素量は稀

<sup>1)</sup> Trans A. I. M. M. E. Vol. 135 Iron & Steel Div 1939, p. 133~244.