

マス コンクリート型わくおよび壁型わくの側圧

LATERAL PLESSURE ON MASS CONCRETE AND WALL FORM

神 山 一*
By Susumu Kamiyama

要 旨 鉛直または鉛直に近い傾斜をもつ型わく面板に作用するまだ固まらないコンクリートの圧力を側圧 (Lateral Pressure) という。側圧はコンクリートの打設高さを増すにしたがって増大するが、打設高さがある限界値に到達すると側圧は増加しなくなる。側圧が最大値に到達したときの打設高さをコンクリートの有効ヘッドと呼ぶことにする。

本報告はマス コンクリート型わくおよび壁型わくに作用する側圧の現場測定値にもとづいて、側圧に影響を与える諸要因を検討し、コンクリートの有効ヘッド、側圧最大値および側圧分布の一推定法を提案したものである。

1. ま え が き

側圧の最大値および分布は型わく設計の基礎になるものであるが、その確実な推定はかなり困難であって、まだ信頼できる推定法は見あたらない。

側圧はコンクリートの鉛直方向打設速度、打込み方法、セメントの水和作用に関連するセメントの種類、温度など、物理的条件および化学的条件の複雑な組合せによって変化する。この諸要因の中には、例えば打込み方法 (締固めの方法をふくめて) など、施工方法という定量的に評価しがたい要因があって、これが側圧の推定を困難にしている。

しかし、型わく設計の合理化のためには側圧の適確な推定が不可欠の条件であって、面板の設計には主として側圧最大値が、支保工の設計には側圧の分布 (コンクリートの有効ヘッドおよび側圧最大値) が必要である。

以下に側圧の現場測定の方法および測定値の概要について述べる。ここではマス コンクリート型わくおよび壁型わくに作用する側圧最大値およびその分布に影響する主要因はコンクリートの鉛直方向打設速度、温度および振動締固めの方法であることを明らかにし、側圧の一推定法について述べる。

2. 従来の側圧推定法

側圧最大値の推定については種々の試みがあり、実験にもとづいた推定法、理論計算法、経験的推定法が多数提案されている。以下にその概要について述べる。

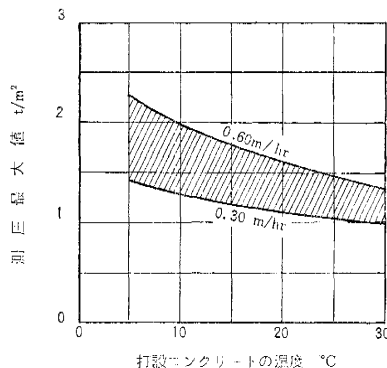
(1) マス コンクリート型わくの場合

a) ACI 委員会の式 (1961)¹⁾ 低熱セメントを用いたスランブ 10 cm のコンクリートを内部振動機によって締固める場合を標準としてつぎの式を提案した。なお、この式はコンクリートの単位容積重量を 2.4 t/m³ と仮定している。

$$p_{\max} = 0.586 + \frac{580 R}{9 T + 160} \dots\dots\dots(1)$$

ここに p_{\max} : 側圧最大値 t/m²
 R : コンクリートの鉛直方向打設速度 m/hr
 T : 打設したコンクリートの温度 °C
 温度と側圧の関係は 図-1 のようになる。

図-1 A C I Committee 622 提案式による側圧
 Fig. 1 Maximum Lateral Pressure Recommended by ACI Committee 662.



b) 制限液体圧を用いる方法²⁾ コンクリート中のセメントペーストの凝結が始まるまでは比重 2.4 t/m³ の液体圧が作用するものとし、打設したコンクリートの温度と凝結開始までの時間との関係を 表-1 のように仮定して側圧を推定する方法である。この方法によれば側圧はコンクリートの打設速度に比例して増大することに

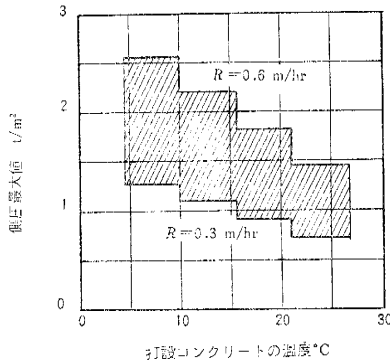
表-1 制限液体圧法による側圧およびコンクリートの有効ヘッド

打設したコンクリートの温度 (°C)	セメントペーストの凝結開始までの時間 (min)	側 圧 (t/m ²) (R は打設速度 m/hr)	コンクリートの有効ヘッドの推定値* (m)
21~27	60	2.41 R	1.00 R
16~21	75	3.05 R	1.27 R
10~16	90	3.66 R	1.53 R
4 ~10	105	4.27 R	1.78 R

* コンクリートの有効ヘッドは側圧をコンクリートの単位容積重量 2.4 t/m³ で割って求めた。

* 正員 工博 早稲田大学助教授 理工学部土木工学科

図 2 制限液体圧による方法
Fig. 2 Maximum Lateral Pressure of Limit Liquid Pressure Method.



なるが、実際は締めの完了後のコンクリートの内部摩擦角は 40° 以上になると推察されるので、打設速度が大きい場合は過大な側圧を与えることになる。

このほか多数の実験式・理論式が提案されており³⁾、また基礎的な研究も進められているが、マスコンクリートの側圧に関する研究は比較的少ないようである。

(2) 壁型わくの場合

a) Francis R. Shunk⁴⁾ の側圧推奨値 1910 年および 1913 年に側圧に関する論文を発表し、側圧に影響する主要因は温度と打設速度であるとして表-2 の側圧推奨値を示した。

表-2 Francis R. Shunk の側圧推奨値 (t/m²)

鉛直打設速度 (m/hr)	温 度 (°C)				
	4	10	16	21	27
0.6	3.86	3.32	2.93	2.73	2.59
0.9	5.27	4.49	3.95	3.52	3.37
1.2	6.54	5.52	4.78	4.25	4.00
1.5	7.67	6.40	5.47	4.83	4.54
1.8	8.69	7.23	6.10	5.32	4.98
2.1	9.62	7.91	6.59	5.71	5.32
2.4	—	8.50	7.03	6.05	5.52

b) H.S.G. Robinson (1911)⁵⁾ 配合 1:2:4 の十分軟かいコンクリートの側圧は、打設高さ 3.3m までは単位容積重量 1.36 t/m³ の液体圧に等しく、多少硬練りの場合は単位容積重量 1.12 t/m³ の液体圧に等しいとするもので、この仮定によれば側圧最大値は軟練りの場合 4.5 t/m²、硬練りの場合 3.7 t/m² になる。

c) Nack の側圧推定式 (1919)⁶⁾ 温度の影響を無視し、型わく周長とコンクリート断面積との比を主要因と考え、つぎの式を提案した。

$$p = \frac{r}{\tan \phi'} \cdot U \cdot (1 - e^{-\frac{c}{A} h}) \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに p : 側圧 t/m²
 r : コンクリートの単位容積重量 t/m³
 ϕ' : コンクリートと型わく面板との摩擦角
 U : 型わく周長 (コンクリートに接する長

さ) m

A : 型わく内のコンクリート断面積 m²

c : 常数でつぎの値を用いる。

軟練りコンクリート 0.401

普通の軟かさのコンクリート 0.380

硬練りコンクリート 0.375

h : 凝結を始めた位置から上部のコンクリート打設高さ m

壁型わくでは近似的に $\frac{U}{A} \approx \frac{2}{b}$ (b は壁厚 m) とおくことができるから、式 (1) はつぎのようになる。

$$p = \frac{r}{\tan \phi'} \cdot \frac{2}{b} (1 - e^{-\frac{2c}{b} h}) \quad \dots \dots \dots (3)$$

この式の特徴は型わく面板とコンクリートとの摩擦の影響が考慮されている点にある。しかし、 h は温度や打設速度の関数であるから、この推定が困難である。

d) Böhm の側圧推定式 (1929)⁷⁾ コンクリートの内部摩擦角による側圧係数 (水平圧力と鉛直圧力との比) を用いる側圧推定式を提案した。

$$p = K_t \cdot r \cdot R \cdot t \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここに p : 側圧 t/m²

r : コンクリートの単位容積重量 t/m³

R : コンクリートの鉛直打設速度 m/hr

t : コンクリート打設開始からの時間 hr

K_t : 側圧係数 = $\tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$, ϕ はコンクリートの内部摩擦角で約 15°

側圧係数は 12 時間の間に 0.875 から 0 まで直線的に変化するものと仮定している。コンクリートの内部摩擦角はコンクリートのコンシステンシー、温度および時間などの関数であるが、最も重要な温度の影響が無視されているのは不合理である。

e) James R. Griffith の側圧推奨値 (1936)⁷⁾ 側圧を液体圧と仮定して求める場合のコンクリートの単位容積重量を (1.30~2.45) t/m³ の間に変化させて、側圧推定のための図表をつかった。 $r=2.37$ t/m³ の場合、この図表から求めたコンクリート打設高さとの関係は表-3 の値になる。この図表によって側圧最大値を求めるためには、コンクリートの有効ヘッドを推定しなければならないが、これは非常に困難なことである。

表-3 James R. Griffith の図表から求めた側圧 (t/m²), $r=2.37$ t/m³

コンクリート打設高さ (m)	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
側 圧 (t/m ²)	1.42	2.13	2.87	3.56	4.30	4.95	5.73	6.43	7.17

f) R. Hoffmann の側圧推定式⁸⁾ コンクリートの打設速度とセメントペーストの凝結開始までの時間およびコンクリートの内部摩擦角を主要因としてつぎの式を提案した。

$$p = r \cdot R \left(t - \frac{h}{R} \right) K_0 e^{-\left(\frac{t}{t'} - \frac{h}{R} \right)} \dots\dots\dots (5)$$

ここに p : 側圧 t/m^2
 r : コンクリートの単位容積重量 t/m^3
 K_0 : 側圧係数 $= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$
 ϕ : コンクリートの内部摩擦角
 t' : コンクリート中のセメントペーストが凝結を開始するまでの時間 hr
 t : コンクリート打設開始からの時間 hr
 h : コンクリート打設高さ m
 R : コンクリートの打設速度 m/hr

この式によって側圧を推定するためにはコンクリートの内部摩擦角の変化を仮定しなければならない。内部摩擦角の時間、温度などによる変化の仮定の仕方によって側圧は変化する。

g) Reynolds の側圧推定式 (1950)⁹⁾ 打設速度を重視し、これに温度および配合の影響を加味して、つぎの式を提案した。

$$p = K \cdot R^2 + C \dots\dots\dots (6)$$

ここに p : 側圧 t/m^2
 R : 打設速度 m/hr
 K : 温度に関する常数
 C : 配合に関する常数

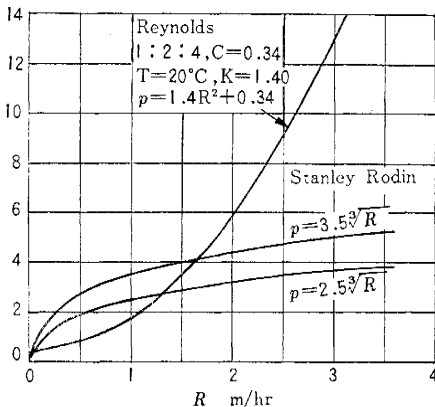
温度 °C	4.4	7.2	10.0	12.8	15.5	18.3	21.1	23.9	26.7
K	3.68	3.15	2.63	2.10	1.84	1.52	1.31	1.16	1.05
配合	1:3:6	1:2:4	1:1 $\frac{1}{2}$:3 $\frac{1}{2}$	1:1 $\frac{1}{2}$:3	1:1:2				
C	0	0.34	0.49	0.59	0.83				

この式は打設速度が大きい場合に過大な側圧となる。打設速度と側圧との関係は 図-3 のようになる。

h) Stanley Rodin の側圧推定式 (1952)¹⁰⁾ コンクリートの鉛直打設速度の影響のみを考慮して、つぎの側

図-3 Reynolds および Stanley Rodin の式による側圧

Fig. 3 Lateral Pressure Calculated by Reynolds and Stanley Rodin's Formula.



圧推定式を提案した。

$$\left. \begin{array}{l} \text{振動締固めの場合} : p = 3.5 \sqrt[3]{R} \\ \text{振動締固めをしない場合} : p = 2.5 \sqrt[3]{R} \end{array} \right\} \dots\dots (7)$$

この式では温度の影響を考慮していないが、施工の方法によっては温度よりも締固めや打設速度の影響のほうが大きいことがあるから、この式が適用される場合も考えられる。打設速度の評価は実状に合っていると思う。この式による計算値は振動締固めをしない場合は測定値より多少大きく、振動締固めの場合は測定値より小さい。

i) E.B. Smith の側圧推定式¹¹⁾ コンクリートの配合、スランプおよび鉛直打設速度を主要因として次式を提案した。

$$p = 12.7 H^{0.2} \cdot R^{0.3} + 0.84(C-S) \dots\dots\dots (8)$$

ここに p : 側圧 t/m^2
 R : 打設速度 m/hr
 H : セメントペーストが“Stiff”になり始めた部分から上部のコンクリート打設高さ m、振動締固めの場合は H の代りに $2H$ を用いる。
 C : セメントと骨材との容積比 %
 S : スランプ cm
 r : コンクリートの単位容積重量を 2.40 t/m^3 と仮定

E.B. Smith はコンクリートが“Stiff”になるまでの時間を 30 分と仮定しているので、 $H = \frac{R}{2}$ となるが、低温の場合その他を考慮して $H = \frac{3}{4} R$ にとることを提唱している。

j) PCA の方法¹²⁾ コンクリートの単位容積重量 2.40 t/m^3 に等しい液体の圧力の約 75% をとることにしている。側圧推定の標準として 表-4 の値をとっている。

表-4 PCA の推奨値

コンクリート打設速度 (m/hr)	温度 (°C)	コンクリートの有効ヘッド (m)	側圧最大値 (t/m^2)
0.6	21	1.3	1.6
1.8	10	3.2	5.3

k) M.L. Elkins の側圧推定式¹³⁾ 温度と打設速度を主要因として、つぎの側圧推定式を提案した。

$$p = 0.73 + KR \dots\dots\dots (9)$$

ここに p : 側圧 t/m^2
 R : 打設速度 m/hr
 K : 温度に関する常数でつぎの値をとる。

温度	10.0	15.6	21.0	26.6
係数 (K)	2.40	1.92	1.60	1.44

さらに、この式を基本として 表-5 の側圧を与えた。

表-5 M.L. Elkins の側圧推奨値 (t/m²)

打設速度 (m/hr)	振動締めをしない場合		振動締めの場合	
	21°C	10°C	21°C	10°C
0.6	1.71	2.20	2.69	3.17
0.9	2.20	2.93	3.17	4.39
1.2	2.69	3.66	3.66	5.13
1.5	3.17	4.39	4.39	5.86
1.8	3.66	5.13	5.13	6.59

この式は過大な側圧を与える傾向がある。

1) ACI Committee-662 の式(1958)⁹⁾ 主要因を温度と打設速度とし、つぎのような壁型わくの側圧推定式を提案した。この式はコンクリートのスランプが 10 cm で、普通程度の振動締めを行なう場合を標準としている。

$$\left. \begin{aligned} p &= 0.73 + \frac{80.6 R}{17.8 + T} & R \leq 2.1 \text{ m/hr} \\ p &= 3.66 + \frac{25.1 R}{17.8 + T} \leq 9.77 & R > 2.1 \text{ m/hr} \end{aligned} \right\} \dots(10)$$

ここに p : 側圧 t/m²
 R : 打設速度 m/hr
 T : 温度 °C

この式による側圧と測定値との比較を表-8 に示したが、振動締めの場合には測定値より平均 14% 小さく、振動締めをしない場合は測定値より平均 58% 大きい。

m) A. Guerrin の側圧推定式(1959)⁹⁾ コンクリート中の水による圧力と他の材料による圧力とに分解し、型わく面板と水以外の材料との摩擦の影響を考慮した側圧推定式を提案した。

$$p = R \cdot t \cdot r_w + K_0 \cdot R \cdot t \cdot r_a = R \cdot t (r_w + K_0 \cdot r_a) \dots(11)$$

ここに p : 側圧 t/m²
 R : 打設速度 m/hr
 t : コンクリート打設開始からの時間 hr
 r_w : 水の単位容積重量 t/m³
 r_a : コンクリートの単位容積重量から r_w を差し引いたもの ≈ 1.2 t/m³
 K_0 : r_a に対する側圧係数で、木製型わくに対し 0.413、鋼製型わくに対し 0.445 とする。

この式は間げき水圧を考慮した R. Schjödtt¹⁴⁾ の式に似ている。

n) A.M. Witte の側圧推定式(1960)⁹⁾ まだ固まらないコンクリートの三軸試験によって鉛直圧力と水平圧力との関係を調べ、これから側圧係数を求めてつぎの式を提案した。

$$p = \frac{r \cdot R}{0.03 T} e^{\left(-1 + \frac{0.03T}{R}\right)} = K_0 \cdot r \dots(12)$$

ここに p : 側圧 t/m²
 r : コンクリートの単位容積重量 t/m³
 R : 打設速度 m/hr

T : 温度 °C

$K_0 = \frac{R}{0.03 T} e^{\left(-1 + \frac{0.03T}{R}\right)}$: R/T のみの関数であるから、あらかじめ計算しておくことができる。

R/T	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
K_0	1.10	1.04	1.21	1.41	1.66	2.45	2.85	3.46	4.07

このほかに R. Schjödtt, Jansen, Jacobson および J. 庄公式を修正したものなどがある。

以上の側圧推定法にはコンクリートの鉛直方向打設速度と温度が主要因として考慮されており、定量的に表わすことのむずかしい振動締めなどの施工法の影響は修正係数の形式で導入されている。

Böhm, James R. Griffith, R. Hoffmann, Stanley Rodin, E.B. Smith, Reynolds, および A. Guerrin は鉛直方向打設速度のみを考慮したものであり、ACI Committee 662, 制限液体圧法, M.L. Elkins および A.M. Witte は鉛直方向打設速度と温度の影響を R/T または $(a+R)/T$ (a は実験常数) の形式で導入している。

3. 側圧に影響を与える諸要因

コンクリートの単位容積重量、鉛直方向打設速度、温度、打込み方法特に締め固めの方法、型わくの傾斜、セメントの種類、配合、コンシステンシー、型わく材料、型わくの剛性および鉄筋の有無などが側圧に影響を与えると考えられる。これら諸要因の影響の程度はマスコンクリートと壁体とは差異があるが、いずれの場合も鉛直方向打設速度、温度および締め固めの方法の3つが主要因であって、他の要因は二次的なものと考えられる。

a) 鉛直方向打設速度 ダムの場合のようなマスコンクリートでは (0.3~0.6)m/hr の範囲にあり、ブロックの大きさやプラントの能力によって差はあるが約 (0.4~0.5)m/hr であることが多い。この程度の打設速度の変化では側圧に顕著な差異を生じない。

壁型わくの場合は打設速度の変化範囲が非常に広い。打設速度が異常に高くなるのは、コンクリートが短時間に集中して打込まれる場合であるが、この場合は振動締めが不十分になりがちであり、“ゆる結め”となることが多く、側圧は必ずしも打設速度に比例して増大しない。

b) コンクリートの温度 コンクリートが“Stiff”になるまでの時間は温度によって変化するから、側圧も打設したコンクリートの温度に関係する。打設したコンクリートの温度は外気温度、型わく周囲の条件および型わく材料の熱特性の影響を受ける。

打設後の下層コンクリートは上層打込みの際に振動や衝撃を受けやすいので、“Stiff”になるまでの時間は温度のみによるものではなく、振動締めの方法などの打

込み方法と分離して考えることはできない。したがって温度の影響を定量的に表わすことはかなり困難である。

e) 打込みおよび締固めの方法 マス コンクリートと壁体コンクリートとではコンクリート投入の方法および振動締固めの影響に多少差異がある。側圧に対する振動締固めの影響は内部振動機と型わく振動機とで異なるが、ここでは内部振動機の影響のみについて述べる。

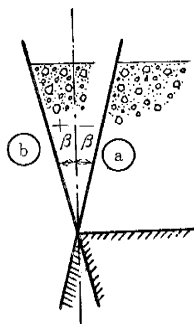
マス コンクリートの場合、コンクリートをバケツから投入することが多いが、型わく近くで投下すると側圧は増大する。コンクリート投下による側圧の増加はすでに打設したコンクリート層が薄いほど大きい。一例をあげれば、既打設層が 0.4m、約 2.0m の高さでバケツを開放し、型わく面板から約 0.6m の位置にコンクリートを投下した場合の増加側圧は約 0.5 t/m² である。

振動締固めによる側圧増加の割合は、型わく面板と振動機との距離および振動機の深さによっていちじるしい差を生ずる。振動締固め完了と同時に側圧は減少するが、減少の程度は型わくの剛度に関係があるようである。マス コンクリートの場合の増加側圧は 1.0 t/m² に達することもあるが、一般に側圧増加率は静的側圧の(30~50)%で、普通の場合は約 40% と考えてよい。

壁型わくの場合のコンクリート投下による側圧の増加はマス コンクリート型わくの場合よりも顕著で、型わくの剛度が大きいほど増大する。また、振動締固めによる側圧増加率は壁厚に逆比例して増大する傾向が認められる。壁厚が小さい場合の側圧増加率はマス コンクリートの場合に比較してかなり大きい値になる。

d) 型わくの傾斜 側圧に型わくの傾斜が影響するのは、打設コンクリートの沈降による収縮と有効ヘッドとの間に密接な関係があるためである。図-4 ㊸の傾斜ではコンクリートの沈降による収縮が面板から離れる方向に起こるために有効ヘッドは減少し、図-4 ㊹の場合は面板に密着する方向に収縮が起こるために有効ヘッドは増大する。したがって側圧最大値は、鉛直型わくの場合に比較して 図-4 ㊸の場合は小さく、図-4 ㊹の場合は大きい。

図-4 型わくの傾斜
Fig. 4 Inclination of Formwork.



e) コンクリートの性質 セメントの種類、骨材、コンシステンシーおよび単位容積重量などが影響するものと思われるが、単位容積重量とコンシステンシーがおもなもので他の影響は二次的なものである。

コンシステンシーの影響は

マス コンクリートの場合には小さいが、壁体の場合には面板とコンクリートとの摩擦抵抗が側圧に影響するため、スランブが小さく、壁厚が薄い場合、特に振動締めをしない場合の側圧は減少する傾向がある。

f) 型わくの剛度その他 型わく剛度が小さい場合の側圧は一般に低下する。コンクリートの投下時あるいは振動締固め中に型わくが大きな変形を起こすと側圧は減少する。このような場合の型わくの変形は計算値よりもかなり大きい。

コンクリートと面板との摩擦が側圧を減少させる傾向のあることは先に述べたが、この現象はサイロ効果(またはアーチ作用)¹⁹⁾ に似ており、壁厚が小さく面板が粗であるほど、コンクリートが硬練りで振動締固めをしない場合ほど顕著である。

4. 側圧測定法および測定値

側圧の測定にはプルービングリングを用いた機械的圧力計と電位差計方式による電気的圧力計を用いた。圧力計の性能は表-6のようなものである。

表-6 圧力計の性能

型 式	圧力測定方式	円形受圧板の直径(mm)	圧 力 (kg/cm ²)	
			最 小	最 大
機械的圧力計	プルービングリング	100	0.005	0.50
電気的圧力計	電 位 差 計	160	0.02	1.00

圧力計は型わく面板に穴をあけ、受圧板と面板をそろえて 図-5 のように取り付けた。受圧板周囲の間げきからのセメントペーストのものを防止するために、面板にビニール薄膜をはり付け、受圧板付近のコンクリートを乱すことのないようにした。

測定はすべて工事現場で実施し、側圧測定と同時に、コンクリートの鉛直打設速度、温度およびバタ材のひずみ、変形を測定した。打設したコンクリートの温度は水銀寒暖計およびサーモカップルを用いて測定した。なお、コンクリートの配合およびコンシステンシーはプラントの資料によったが、少数の現場では打設コンクリートのスランブ現場で測定した。測定例を 図-6~9 に、有効ヘッドおよび側圧の測定値を 表-7, 8 に示した。

図-5 圧力計の取り付け
Fig. 5 Set-up of pressure gage.

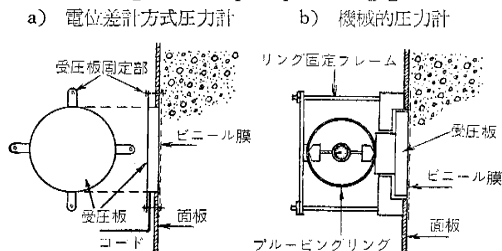


図-6 打設速度と側圧 (マス コンクリート)
 Fig. 6 Vertical Rate of Placement and Lateral Pressure (in case of Mass Concrete)

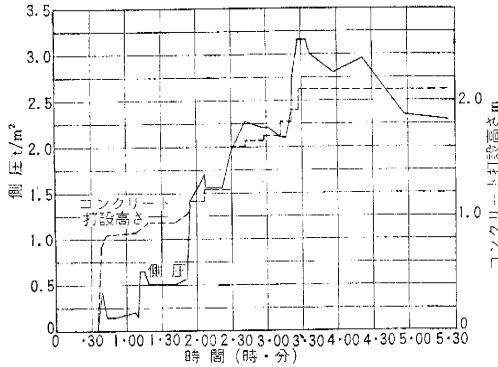


図-7 打設したコンクリートの温度 (打込む時の
 コンクリートの温度は 10~12°C)
 Fig. 7 Temperature of Placed Concrete (Temperature
 of Concrete when Placed about 10~12°C)

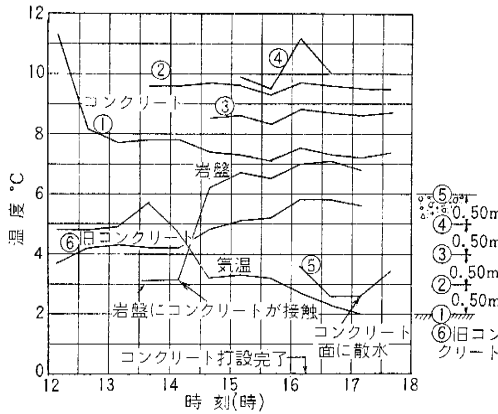
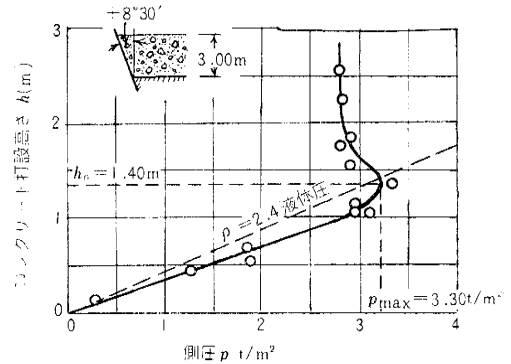


図-8 型わくの傾斜と側圧の関係 (マス
 コンクリート型わく)
 Fig. 8 Relation of Lateral pressure and Inclination of
 formwork (in case of mass concrete form)

(a) コンクリートの平均打設速度 $R=0.58$ m/hr
 コンクリートの温度 $T=23^{\circ}\text{C}$



(b) コンクリートの平均打設速度 $R=0.40$ m/hr
 コンクリートの温度 $T=19.2^{\circ}\text{C}$

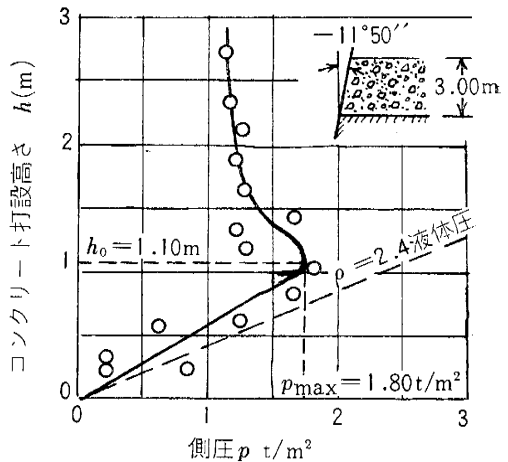


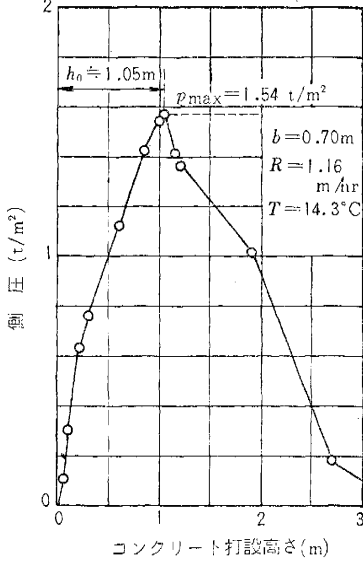
表-7 コンクリートの有効ヘッドおよび側圧の測定値 (マス コンクリート型わく)

資料番号	測定箇所	1リフトの高さ (m)	コンクリート		温度 (°C)		型わくの傾斜 (β)	コンクリートの有効ヘッド (h ₀ (m))	側圧最大値 (p _{max} t/m ²)	振動締めの状況
			スランパ (cm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	気温	コンクリート				
1	ホローグラビティータム木体	1.50	3~5	150	17.1	18.6	+23°15'	>1.50	3.16	普通
2	"	1.50	3~5	150	35.3	23.5	0	1.08	2.52	やや激しい
3	"	1.50	2~5	150	25.9	23.3	+14°55'	1.50	2.68	普通
4	アーチダム本体	3.00	2~4	180	29.2	23.0	+8°30'	1.40	3.20	普通
5	"	3.00	2~4	180	21.2	19.2	-11°50'	1.05	1.80	激しい
6	"	1.50	2~4	100	20.9	23.9	-5°45'	0.75	1.60	普通
7	"	1.50	2~4	100	29.0	26.0	-8°32'	0.70	1.61	普通
8	押え壁	2.00	3~5	150	10.0	7.0	-11°20'	1.50	4.00	激しい
9	アーチダム本体	2.00	3~5	150	8.2	14.0	0	1.10	2.80	やや激しい
10	"	2.00	4~6	80	10.5	16.1	0	1.20	2.90	やや激しい

図-9 振動締めをしない場合の側圧 (壁型わく)

Fig. 9 Lateral Pressure with out Compaction by Internal vibration (in case of wall form)

(a) 電気的圧力計
Electrical Pressure Gauge



(b) 機械的圧力計
Mechanical Pressure Gauge

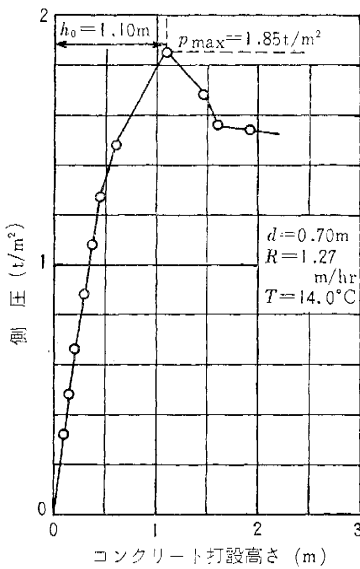


表-8 側圧測定値および計算値との比較 (壁型わく)

資料番号	構造物	壁厚 (m)	高さ (m)	根拠材の最大寸法 (mm)	スランピング (cm)	温度 (°C)		コンクリート気湿	コンクリート有効ヘッド (m)	側大圧 (t/m²)	締めめの方法	Stanley Rodin		ACI		A.M. Witte		著者		
						コンクリート	気湿					計算値	測定値	計算値	測定値	計算値	測定値	計算値	測定値	
1	鉄筋コンクリート鉛直壁	0.40	3.65	25	15~18	16.3	19.5	4.80	1.50	2.61	シールドで投下した後、一層約 1.0 m ごとに振動締め	2.36	0.90	2.76	1.06	2.78	1.07	3.17	0.83	
2		"	"	"	"	"	"	3.07	2.15	2.34	"	2.03	0.87	2.29	0.98	1.91	0.82	3.17	0.74	
3		"	"	"	"	"	"	2.64	1.85	1.66	"	1.94	1.17	1.17	1.31	1.69	1.02	3.17	0.82	
4		"	0.38	3.80	"	"	27.0	28.5	6.00	1.35	3.00	"	2.42	0.81	2.63	0.88	2.32	0.77	2.91	0.97
5		"	0.37	"	"	"	27.5	"	2.04	1.90	3.10	"	1.64	0.53	1.76	0.57	1.00	3.23	2.27	0.73
6		"	0.35	"	"	"	27.0	"	6.30	2.22	2.12	"	2.32	1.10	2.55	1.20	2.29	1.08	2.68	1.26
7		"	0.34	"	"	"	27.5	28.4	2.16	1.62	1.52	"	1.54	1.01	1.65	0.89	0.85	0.56	2.04	1.34
8		"	0.33	"	"	"	27.8	"	1.18	1.02	2.14	"	1.25	0.59	0.93	0.43	0.73	0.34	1.07	0.50
9		"	0.40	"	"	"	24.5	29.2	1.86	1.66	2.35	"	1.73	0.74	1.57	0.67	1.00	0.43	2.22	0.95
10		"	"	"	"	"	25.3	30.1	1.68	1.06	2.15	"	1.66	0.78	1.42	0.66	0.94	0.44	1.94	0.90
11		"	"	"	"	"	"	30.0	1.76	1.45	2.20	"	1.69	0.77	1.48	0.67	0.92	0.42	1.91	0.87
12	トンネル側壁	0.70*	4.10	50	10~12	18.4	11.6	0.93	0.95	1.60	ボーンプで送られたコンクリートを投下し、均しただけで振動締めは行なわない。	1.71	1.07	2.30	1.44	2.03	1.27	1.84	1.15	
13		"	"	"	"	"	12.5	0.94	1.16	1.58	"	1.71	1.08	2.26	1.43	1.95	1.23	1.73	1.10	
14		"	"	"	"	"	16.4	1.05	1.20	1.76	"	1.78	1.01	2.24	1.47	1.75	1.00	1.48	0.84	
15		"	"	"	"	"	18.6	"	1.04	1.20	1.40	"	1.77	1.27	2.23	1.59	1.75	1.25	1.46	1.04
16		"	"	"	"	"	20.6	16.5	1.44	1.15	1.70	"	1.98	1.16	2.88	1.69	2.14	1.26	2.01	1.18
17		"	"	"	"	"	19.5	14.3	1.16	1.05	1.54	"	1.84	1.19	2.61	1.69	2.04	1.32	1.86	1.21
18		"	"	"	"	"	19.0	13.8	1.35	1.05	2.07	"	1.93	0.93	2.92	1.41	2.31	1.06	2.26	1.09
19		"	"	"	"	"	19.6	14.0	1.27	1.10	1.85	"	1.90	1.03	2.77	1.50	2.21	1.19	2.09	1.13
20	"	"	"	"	"	19.1	14.1	3.17	0.95	1.92	"	2.58	1.34	4.31	2.24	4.48	2.30	2.30	1.20	
21	実験用鉛直壁	0.20	2.00	25	9	18.5	17.0	1.97	0.80	0.81	ていどに振動締め	"	"	"	"	"	"	"	1.29	1.59
22		"	0.25	"	"	"	18.0	17.5	2.20	1.10	1.06	"	"	"	"	"	"	"	1.53	1.44
23		"	0.30	"	"	"	18.5	17.0	2.50	1.40	1.40	"	"	"	"	"	"	"	2.01	1.34
24		"	0.40	"	"	"	"	"	1.31	0.75	0.75	"	"	"	"	"	"	"	2.66	2.25

* 余隙があるため、壁厚は必ずしも一様でない。 ** 有効ヘッドまでの平均値。

5. コンクリートの有効ヘッド

マス コンクリートの有効ヘッドは主としてコンクリートの温度と型わくの傾斜角によって変化するようである。コンクリートの温度がほぼ等しいと見なせる測定値により、型わく傾斜角と有効ヘッドとの関係を求めれば近似的につぎのように表わせる。

$$h_0 = 1.03 + 2.09\beta \quad \dots\dots\dots(13)$$

ここに h_0 : コンクリートの有効ヘッド m

β : 型わくの傾斜角, ラジアン, 頂部が内側に傾斜する場合を(-), 頂部が外側に傾斜する場合を(+とする(図-4参照))。

コンクリートの温度の影響も考慮したときの有効ヘッドは次式のように表わせる。

$$h_0 = 2.30 - 0.048T + 2.09\beta \quad \dots\dots\dots(14)$$

ここに T : コンクリートの温度 °C

測定値は計算値よりも約 15% 小さい値である。これは温度の範囲が狭い資料によって温度の影響を評価した

図-10 型わくの傾斜角コンクリートの有効ヘッド (コンクリートの温度 23.0~23.9°C)

Fig. 10 Relation of effective Concrete head and Inclination of Formwork (Temperature of Concrete 23.0~23.9°C)

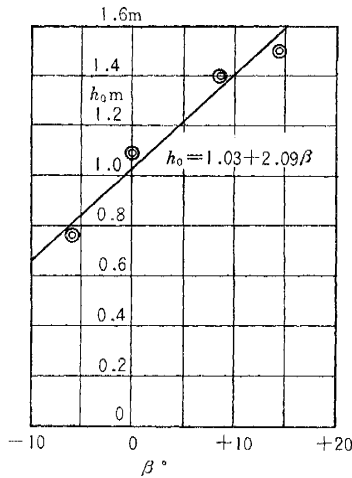


表-9 コンクリートの有効ヘッド m (マス コンクリート型わく)

コンクリートの温度 (T°C)	型わくの傾斜角 β°					
	5	10	15	20	25	30
-20	1.33	1.09	0.84	0.60	0.36	0.12
-15	1.51	1.27	1.03	0.79	0.55	0.31
-10	1.76	1.46	1.20	0.98	0.74	0.50
-5	1.88	1.64	1.40	1.16	0.92	0.68
0	2.06	1.82	1.58	1.34	1.10	0.84
+5	2.24	2.00	1.76	1.52	1.28	1.04
+10	2.42	2.18	1.94	1.70	1.46	1.22
+15	2.61	2.36	2.13	1.89	1.65	1.41
+20	2.79	2.54	2.31	2.07	1.83	1.59

ことによるものと思われる。式(14)によって計算したコンクリートの有効ヘッドは表-9の値になる。

壁型わくの場合の主要因は鉛直打設速度, コンクリートの温度および壁厚の3つと考えられる。有効ヘッドの測定値にはつぎのような傾向がある。

(1) 有効ヘッドは打設速度 R m/hr とコンクリートの温度 T °C との比 R/T とはほぼ一次比例の関係がある。しかし、 R/T がある限界値を越えると比例関係は成立しない。 R/T の限界値は振動締固めをする場合としない場合とで多少の差がある。

(2) 有効ヘッドは壁厚の増大とともに大きくなる。その関係は近似的に一次比例とみなすことができる。

(1)の傾向は A.M. Witte⁹⁾ の側圧推定式の傾向と似ており、(2)は壁面摩擦の影響があることを示している。

以上の考察にもとづいて、有効ヘッドをつぎのように表わした。

$$h_0 = A \cdot b \cdot \frac{R}{T} \quad \dots\dots\dots(15)$$

ここに h_0 : コンクリートの有効ヘッド m

b : 壁厚 m

R : 有効ヘッドまでの平均打設速度 m/hr

T : 打設したコンクリートの平均温度 °C

A : 実験常数

実験常数 A をきめるために、表-8の測定値のほか国内における他の測定値¹⁰⁾も用いた。その結果はつぎのとおりである。

振動締固めの場合

$$\left. \begin{aligned} h_0 &= 56 \cdot b \cdot \frac{R}{T} & \frac{R}{T} &\leq 0.09 \\ h_0 &= 5.4 \cdot b & \frac{R}{T} &> 0.09 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

振動締固めしないで突き棒によって突き固める場合

$$\left. \begin{aligned} h_0 &= 20 \cdot b \cdot \frac{R}{T} & \frac{R}{T} &\leq 0.10 \\ h_0 &= 2 \cdot b & \frac{R}{T} &> 0.10 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(17)$$

この実験式による計算値と測定値との比較を表-10に示した。計算値は各測定値とかなり大きな差がある

表-10 有効ヘッドの計算値と測定値の比較 (壁型わく)

資料番号	締固めの方法	計算値			測定値					
		計算値 (m)	測定値 (m)	計算値/測定値	資料番号	締固めの方法	計算値 (m)	測定値 (m)	計算値/測定値	
1	振動締固めの場合	2.04	1.50	1.36	12	振動締固めをしない場合	1.12	0.95	1.18	
2		2.04	2.15	0.95	13		1.05	1.16	0.91	
3		2.04	1.85	1.13	14		0.90	1.20	0.75	
4		1.94	1.35	1.44	15		0.89	1.20	0.74	
5		1.53	1.90	0.81	16		1.22	1.15	1.06	
6		1.84	2.22	0.83	17		1.13	1.05	1.08	
7		1.45	1.62	0.90	18		1.37	1.05	1.30	
8		0.77	1.02	0.76	19		1.27	1.10	1.16	
9		1.43	1.66	0.86	20		1.40	0.95	1.47	
10		1.25	1.06	1.18						
11		1.23	1.45	0.85						

が、平均値は振動締めの場合に測定値より 14%、振動締めをしない場合に測定値より 10% 大きい。

式 (16) および式 (17) による h_0 と R/T との関係を 図-11 および 図-12 に示した。

図-11 振動締めの場合のコンクリート (壁型わく)
Fig. 11 Effective Concrete Head when Compacted by Internal vibrator (in case of wall form)

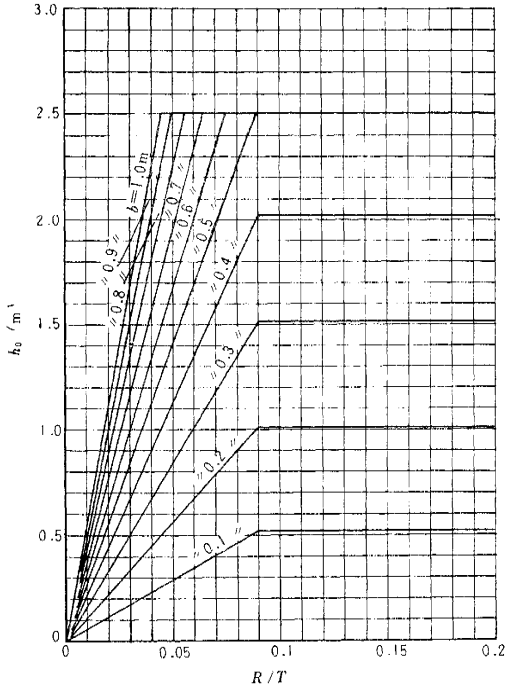
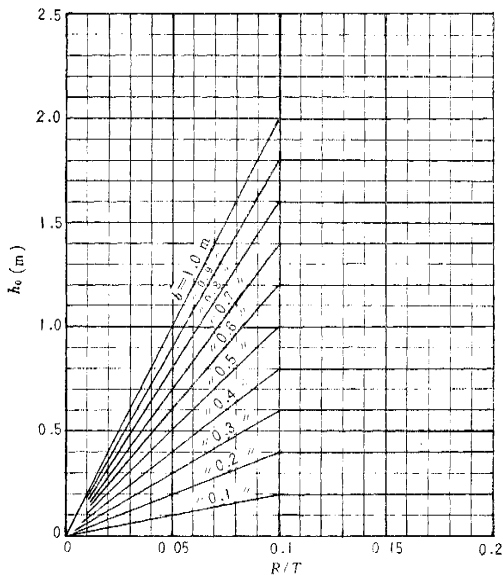


図-12 振動締めをしない場合のコンクリートの有効ヘッド (壁型わく)

Fig. 12 Effective Concrete Head without Compaction by Internal vibrator (in case of wall form)



6. 振動締めによる側圧増加係数

振動締めの場合の側圧最大値と振動締めをしない場合の側圧最大値 (静的側圧と仮称) との比を側圧増加係数と定義する。測定値から求めた側圧増加係数はつぎのような値である。

(1) マス コンクリートの場合の増加側圧は静的側圧の約 40% である。

(2) 壁型わくの場合の側圧の増加状態は 図-13 のようになり、壁厚によって変化するもので、 図-14 のとき関係がある。すなわち

$$\alpha = \frac{p_{d,max}}{p_{s,max}} = 1 + \frac{0.26}{b} \dots\dots\dots(18)$$

ここに α : 側圧増加係数

$p_{d,max}$: 振動締めの場合の側圧最大値 t/m^2

$p_{s,max}$: 有効ヘッドに相当する静的液体圧 t/m^2

b : 壁厚 m

図-13 振動締めによる側圧の増加 (壁厚、頂部 0.35, 底部 0.40 m)

Fig. 13 Increment of Lateral Pressure due to Internal vibration (width of wall, Top 0.35 m, Bottom 0.40 m)

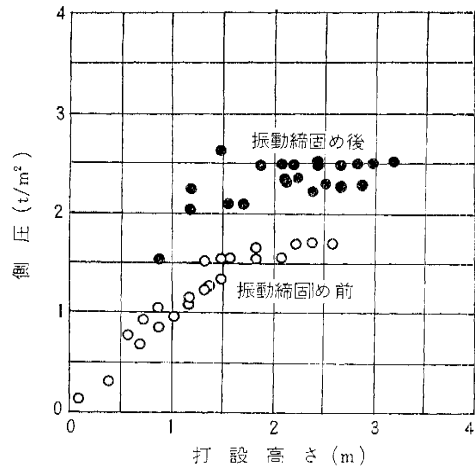
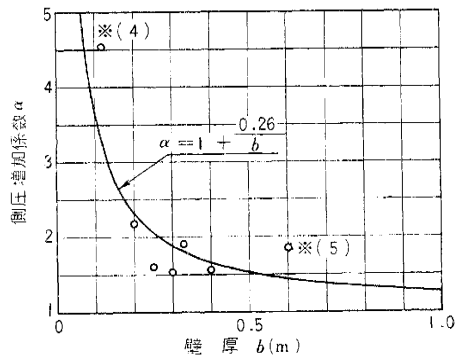


図-14 振動締めによる側圧増加係数

Fig. 14 Coefficient of Increment of Lateral Pressure due to Compaction by Internal Vibration.



7. 側圧最大値

(1) マス コンクリートの場合

側圧はコンクリート打設高さが有効ヘッドに到達したときに最大になる。マス コンクリートの場合の側圧は液体圧よりもわずかであるが小さい値である。この傾向は型わく傾斜の影響からも推察され、配合の貧富の程度、粗骨材の最大寸法および振動機の性能などにより多少の差はあるが粗骨材の最大寸法が大きいため、振動締め中においても内部摩擦角約 10° 内外の粒体に近い性状が見られる。そこで、内部摩擦角を 10° と仮定して Muller-Breslau の土圧係数を適用し、側圧係数とした。すなわち、側圧最大値は近似的に次式によって推定できる。

$$p_{max} = K_A \cdot \gamma \cdot h_0 \quad \dots\dots\dots(19)$$

ここに p_{max} : 側圧最大値 t/m²

γ : コンクリートの単位容積重量, 近似的には (2.35~2.40)t/m³

h_0 : 有効ヘッド m, 式(14)の値を用いる。
 K_A : 側圧係数, 型わくの傾斜によりつぎの係数を用いる。

$$\beta \geq 0 : K_A = \sin \beta + \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{(\cos \beta + \sin \phi)^2}$$

$$\beta < 0 : K_A = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{(\cos \beta + \sin \phi)^2}$$

ϕ : 内部摩擦角 = 10°

式(14)および式(19)によって計算した有効ヘッドおよび側圧最大値の計算値と測定値との比較を表-11に示した。また、側圧係数 K_A および側圧最大値はそれぞれ表-12, 13の値になる。

(2) 鉛直壁型わくの場合

側圧最大値は締固めの方法によっていちじるしく異なるから、締固めの方法によって突き棒によって突き固める場合と振動締固めの場合の2つにわけられる。

a) 突き棒によって突き固める場合 この場合の側圧最大値は有効ヘッドまでのコンクリートの液体圧を考えれば十分である。有効ヘッドとして式(16)の値を用い、コンクリートの単位容積重量を $\gamma = 2.35 \text{ t/m}^3$, 壁厚 $b \leq 1.0 \text{ m}$ とすれば、側圧最大値は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} p_{max} &= \gamma \cdot \frac{b}{1.0} \cdot h_0 = 47 \cdot b^2 \cdot \frac{R}{T} \quad \frac{R}{T} \leq 0.10 \\ p_{max} &= \gamma \cdot \frac{b}{1.0} \cdot h_0 = 4.7 \cdot b^2 \quad \frac{R}{T} > 0.10 \end{aligned} \right\} \dots\dots(20)$$

ここに p_{max} : 側圧最大値 t/m²

$\frac{b}{1.0}$: 壁厚 $b \text{ m}$ と単位幅 1.0 m との比

式(20)による計算値と測定値との比較を表-8に示した。各測定値とはかなり大きな差があるが、平均すれば計算値は測定値より 10% 大きい値である。

b) 振動締固めの場合 この場合は有効ヘッドまでの液体圧よりも大きい。振動締固めによる側圧増係数と

表-11 有効ヘッドおよび最大側圧計算値と測定値との比較 ($\gamma = 2.35 \text{ t/m}^3$ と仮定した場合) (マス コンクリート型わく)

資料番号	測定値		式(19)による計算値		測定値/式(19)による計算値%		ACIの式による測定値/式による計算値%	
	$h_0 \text{ m}$	$p_{max} \text{ t/m}^2$	$h_0 \text{ m}$	$p_{max} \text{ t/m}^2$	h_0	p_{max}	p_{max}	
1	>1.50	3.16	2.26	3.25	—	97	1.27	249
2	1.08	2.52	1.36	2.25	79	112	2.04	124
3	1.50	2.68	1.72	3.32	87	81	1.50	177
4	1.40	3.20	1.40	3.09	100	104	1.50	213
5	1.05	1.80	0.68	1.36	154	132	1.28	141
6	0.75	1.60	0.94	1.86	80	86	1.08	148
7	0.70	1.61	0.74	1.45	95	111	1.23	131
8	1.50	4.00	1.58	3.25	105	81	1.89	212
9	1.10	2.80	1.53	2.53	72	111	1.08	259
10	1.20	2.90	1.51	2.50	80	161	1.19	244

表-12 側圧係数 (マス コンクリート型わく)

型わくの傾斜角 β°	側圧係数 K_A	$K_A \cdot \gamma = 2.35 K_A, \text{ t/m}^3$	$K_A \cdot \gamma = 2.40 K_A, \text{ t/m}^3$
-20	0.6051	1.422	1.452
-15	0.6326	1.487	1.497
-10	0.6581	1.547	1.579
-5	0.6818	1.602	1.636
0	0.7041	1.655	1.690
+5	0.8124	1.909	1.950
+10	0.9188	2.159	2.205
+15	1.0231	2.404	2.455
+20	1.1245	2.643	2.699

表-13 側圧最大値 $p_{max} = K_A \cdot \gamma \cdot h_0 \text{ t/m}^2$ ($\gamma = 2.35 \text{ t/m}^3$) (マス コンクリート型わく)

コンクリート>の温度 $T^\circ\text{C}$	型わく傾斜角 β°					
	5	10	15	20	25	30
-20	1.92	1.57	1.21	0.87	0.52	0.17
-15	2.25	1.89	1.53	1.17	0.82	0.46
-10	2.63	2.26	1.86	1.52	1.14	0.77
-5	3.01	2.63	2.24	1.86	1.47	1.09
0	3.41	3.01	2.61	2.22	1.82	1.39
+5	4.28	3.82	3.36	2.90	2.44	1.99
+10	5.22	4.71	4.19	3.67	3.15	2.53
+15	6.27	5.70	5.12	4.54	3.97	3.39
+20	7.37	6.74	6.11	5.47	4.84	4.20

注: コンクリートの単位容積重量が $\gamma \text{ t/m}^3$ の場合の側圧最大値は表-13の値に $\gamma/2.35$ を乗じて求める。

して式(18), 有効ヘッドとして式(16)を用い、コンクリートの単位容積重量を $\gamma = 2.35 \text{ t/m}^3$, 壁厚を $b \leq 1.0 \text{ m}$ とすれば、側圧最大値は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} p_{max} &= \gamma \cdot \frac{b}{1.0} \cdot h_0 \cdot \alpha = 131.6(b+0.26)b \cdot \frac{R}{T} \quad \frac{R}{T} \leq 0.09 \\ p_{max} &= \gamma \cdot \frac{b}{1.0} \cdot h_0 \cdot \alpha = 11.8(b+0.26)b \quad \frac{R}{T} > 0.09 \end{aligned} \right\} \dots\dots(21)$$

ここに α : 振動締固めによる側圧増加係数で式(18)の値である。

式(21)による計算値と測定値との比較を表-8に示した。各測定値との差はかなり大きい、平均して測定値より 8% 大きい。式(21)による側圧最大値を表-14に示した。

表-14 振動締め固めの場合の側圧最大値 t/m^2 (壁型わく)

R/T m^2/Chr	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.05	0.10	0.14	0.19	0.24	0.28	0.33	0.38	0.43
0.2	0.12	0.24	0.36	0.48	0.61	0.73	0.85	0.97	1.09
0.3	0.22	0.44	0.66	0.88	1.11	1.33	1.55	1.77	1.99
0.4	0.35	0.70	1.03	1.39	1.74	2.08	2.43	2.78	3.13
0.5	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
0.6	0.68	1.36	2.04	2.72	3.40	4.08	4.75	5.43	—
0.7	0.88	1.77	2.65	3.54	4.42	5.31	—	—	—
0.8	1.12	2.23	3.35	4.46	5.58	—	—	—	—
0.9	1.37	2.73	4.12	5.50	6.87	—	—	—	—
1.0	1.66	3.32	4.97	6.63	—	—	—	—	—

8. 側圧の分布

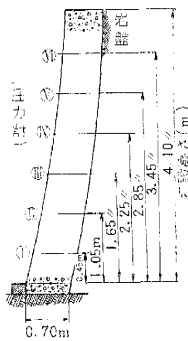
一つの圧力計によって測定したコンクリート打設高さ
と側圧との関係から側圧の分布を知ることができる。この
分布は多数の圧力計を取り付けたときの側圧の分布と
多少異なる(例えば 図-15)。それは数個の圧力計を取り
付けた場合、おのおのの圧力計に対する打設速度、温
度および振動締め固めの程度などの条件が必ずしも同一
にならないためである。すなわち、打設速度は全部の圧力
計に対して等しくなることはまれであるし、コンクリート
打込みが長時間にわたる場合は気温もコンクリートの
温度も変化するため、各圧力計の示す側圧最大値および
側圧の変化も同じにはならない。

さらに、最大値に到達した後の側圧減少の割合は、コ
ンクリートの収縮などの容積変化にもとづくものである

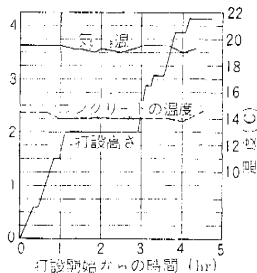
図-15 側圧測定例

Fig. 15 Measured Value of Lateral Pressure.

(a) 圧力計取付位置 (Location of Pressure Gage)



(b) 打設高さおよび温度 (Placed Depth and Temperature)



(c) 側圧の変化 (Variation of Lateral Pressure)

I, III, V: 電気的圧力計 (Electrical Pressure Gage)

II, IV, VI: 機械的圧力計 (Mechanical Pressure Gage)

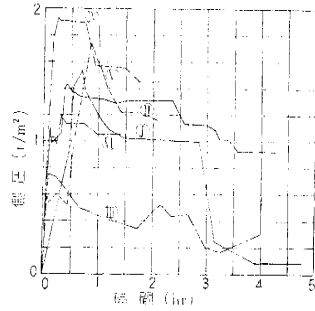


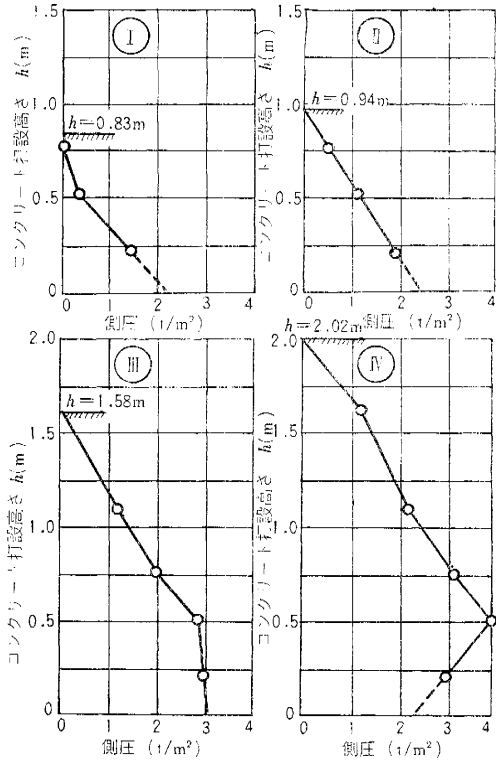
図-16 側圧分布測定例 (マス コンクリート)

Fig. 16 Measured Distribution of Lateral Pressure (Mass Concrete)

コンクリートの鉛直打設速度平均値 $R=0.50 m/hr$

コンクリートの温度 $T=7.0^{\circ}C$

型わくの傾斜 $\beta=-11^{\circ}20'$



から、圧力計の特性と型わく剛度の影響が現われるため
に、真の側圧分布を知るのは困難である。およその分
布は 図-16 のようになる。

このような複雑な分布を縦バタの変形計算に使用する
ことは、計算が複雑になるだけであまり意味がない。側
圧分布を単純化するためには、かなり思いきった仮定が
必要である。測定値はおよそつぎの傾向を示している。

(1) 振動締め固めの場合の有効ヘッドまでの側圧分布
はほぼ直線分布である。振動締め固めをしない場合の分布

は必ずしも直線分布とならないが、この場合も側圧最大値を多少大きくとれば直線分布とみてよい。

(2) 側圧減少の割合も高さに一次比例するとみてよい。側圧が0になる位置は、側圧が最大値を示す位置から有効ヘッドの2倍だけ下の位置とみてよい。すなわち、側圧が最大値に到達してから0になるまでの時間 t は

$$R \cdot t = 2h_0 \quad \therefore t = \frac{2h_0}{R} \dots\dots\dots(22)$$

となる。

以上の傾向を認めれば側圧分布は 図-17 のようになる。

9. 設計計算への適用

型わくは側圧および施工時の動荷重による部材の応力度および変形量が許容値を超過しないように、パネルおよび縦バタや横バタなどのブレーシングを設計しなければならない。ここでは側圧のみを考慮する設計について述べる。

a) 側圧最大値の推定 施工時の気温、コンクリートの温度、打設速度および型わく傾斜角を仮定する。型わくを長期間にわたって使用する場合や転用する場合は、その間に起こる最も不利な条件を採用して検討する必要がある。以上の条件から有効ヘッド h_0 を計算し、打設完了高さ h との関係、 $h \leq h_0$ あるいは $h > h_0$ を調べ、側圧最大値を計算する。

b) 側圧分布の推定 側圧最大値と有効ヘッドとにより 図-17 のような分布図を描く。 $h \leq h_0$ ならば三角形分布が、 $h > h_0$ ならば種々の分布が得られる。

c) 側圧最大値および側圧分布を型わくの設計にどのように適用するかは、型わくパネルおよび支保工の構造によって異なる。

10. 結 論

以上に述べた側圧推定法は限られた測定資料にもとづいたものであるが、施工の条件をある程度限定するならば、つぎの諸点で型わくの設計がかなり合理化されると思う。

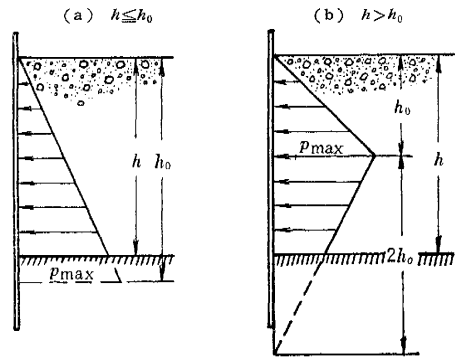
(1) 振動締固めの有無によって側圧最大値は式(19)、式(20)、式(21)あるいは表-13、14によっておよその値を推定できる。

(2) 従来不明確であった型わく傾斜の影響および壁厚の影響がある程度はつきりしてきた。

(3) 振動締固めによる側圧増加係数はマスコンクリートの場合に約40%、壁型わくの場合は壁厚の関数として式(18)によって与えられる。

(4) 側圧の分布は近似的に 図-17 のようにとてよいであろう。この分布は経験的な要素を取り入れて単純化したものであるが、大略の傾向は示している。この分布により縦バタ、横バタなどの型わくブレーシングの

図-17 単純化した側圧分布
Fig. 17 Simplified Distribution of Lateral Pressure.



設計が単純化、合理化される。しかし側圧が最大値に到達した後の減少割合は、コンクリートの初期収縮にもとづく容積変化によるものであるから、圧力測定器の特性(受圧板の変位とバネ定数)と型わく剛度との関係によって変化することに注意する必要がある。

付記 側圧の現場測定にあたり協力いただいた八幡メタルフォームKK、KK間組、佐藤工業KKおよび鹿島建設KKの皆様に厚くお礼申上げる。

参 考 文 献

- 1) ACI Committee 662, Hary Ellsberg (Chairman), Formwork for Concrete, March 1961, No. 9, Vol. 32, Journal of the ACI.
- 2) Berry, N.M: Formwork for Large Concrete Dams and Power Plants-2, Indian Concrete Journal, Nov. 1960.
- 3) ACI Committee 622, Harry Ellsberg (Chairman), Pressure on Formwork, August 1958, No. 2, Vol. 30, Journal of the ACI.
- 4) Hool and Johanson: Concrete Engineers Hand Books, Mc.Graw-Hill, 1918.
- 5) 阿部美樹志: 鉄筋混凝土工学, 三秀舎, 大正13年, (Proceeding of I.G.E., Part 1, 1911).
- 6) Witte, A.M: Factoren die de Zijdellingse Druk verse Betonspecie of de Zijwand van de Bekisting Beïnvloeden, Concrete-Beton, 12, 1960.
- 7) セメント界彙報, 昭和12年3月, 第348号, (Concrete, Nov. 1936).
- 8) Hoffman, R.: Der Schalungsdruck von Frischem, Beton und Stahlbetonbau, 42 e Jaargang, Heft 17-18, 15 Septe, 1943.
- 9) Reynolds: Concrete Construction, 134, 1950 (土木工学ポケットブック, 建築雑誌 1950-10, Vol. 66, No. 779, 井上 健抄訳)
- 10) Stanley Rodin: Pressure of Concrete on Formwork, Proceeding of the Institute of Civil Engineers, Nov. 1952.
- 11) Clearence Dunham: The Theory and Practice of Reinforced Concrete, Mc.Graw-Hill, 1953.
- 12) Concrete Manual: United State of the Interior Bureau of Reclamation, 1956.
- 13) Autin, C.K: Formwork to Concrete, Cleaver-Hume Press Ltd, London, 1960.
- 14) 木村志雄: 滑動型枠工法, 理工図書, 昭和31年.
- 15) 例えばチュボタリオフ, 石井靖丸訳, 土質工学, 技報堂, 昭和33年.
- 16) 八木原万吉: コンクリート型わく, 共立出版, 昭和29年 この中に引用されている鹿島建設技術研究所測定値.

(原稿受付: 1962.11.1)

コンクリート・ライブラリー刊行のご案内

コンクリート工学の進歩にはいちじるしいものがあり、その使用範囲はきわめて広く、またその技術の発展・応用はますますさかんになっています。

土木学会では昨年6月からコンクリート・ライブラリーと称するシリーズ物の出版を企画し、土木・建築はもとより多くの方々に読んでいただくよう平易な小冊子を刊行しました。現在すでにつぎの6冊が刊行され非常に好評をえておりますのでぜひご購入の上シリーズ物としてあなたの書架えお加え下さるようおすすめします。

●コンクリート・ライブラリー・第1号■コンクリートの話——吉田徳次郎先生御遺稿より——

内 容：吉田博士が生前発表された論文および講演10編をとりまとめ編集した、技術者必読の書。

体 裁：B5判 48ページ

定 価：200円(〒50円)

会員特価：150円(〒50円)

●コンクリート・ライブラリー・第2号■第1回異形鉄筋シンポジウム

内 容：昨年開かれた第1回異形鉄筋シンポジウムで発表された最新の研究を図表を用いてとりまとめ10編よりなっている。

体 裁：B5判 98ページ

定 価：450円(〒50円)

会員特価：350円(〒50円)

●コンクリート・ライブラリー・第3号■異形鉄筋を用いた鉄筋コンクリート構造物の設計例

内 容：土木学会異形鉄筋設計研究小委員会が、3年にわたった研究成果をとりまとめたものであって、鉄道橋・道路橋および擁壁についての設計例が述べられており、付図5葉からなっている。そのほか「異形鉄筋について」という論文が収録されている。

体 裁：B5判 42ページ 付図5葉

定 価：380円(〒20円)

会員特価：300円(〒20円)

●コンクリート・ライブラリー・第4号■ペーストによるフライアッシュの使用に関する研究

著 者：国分正胤・三村通精・上野 勇・細谷浩正

体 裁：B5判 22ページ 図表多数

定 価：120円(〒20円)

会員特価：100円(〒20円)

●コンクリート・ライブラリー・第5号■小丸川PC鉄道橋の架替え工事ならびにこれに関連して行なった実験研究の報告

著 者：和仁達美・川口輝夫・菅原 操・野口 功・羽田野義直

体 裁：B5判 38ページ 図表・写真多数

定 価：200円(〒50円)

会員特価：150円(〒50円)

●コンクリート・ライブラリー・第6号■鉄道桁としてのプレストレスト・コンクリート桁の設計方法に関する研究

著 者：川口輝夫(国鉄構造物設計事務所次長)

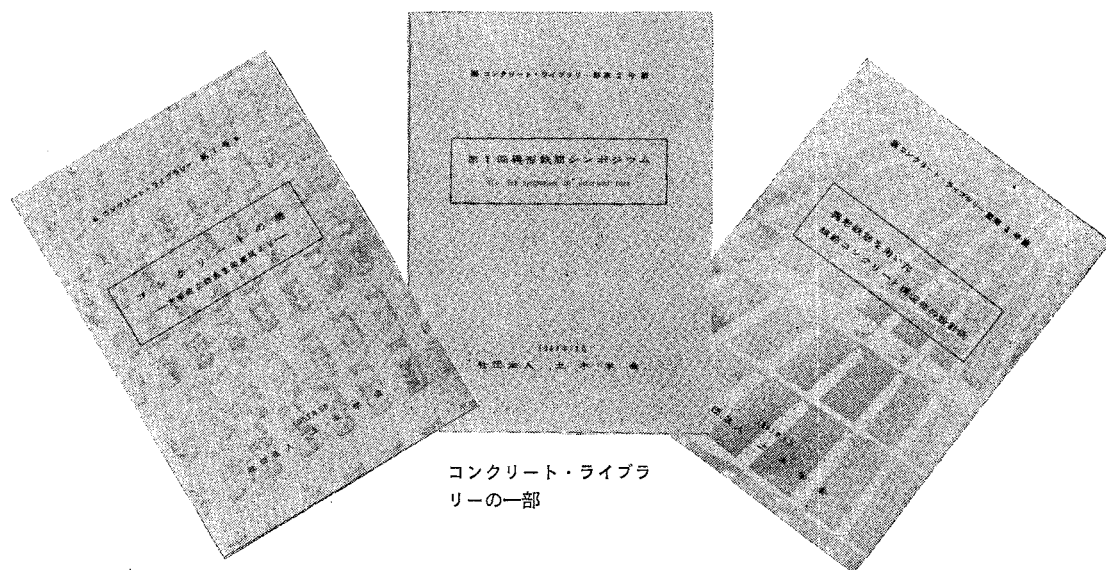
体 裁：B5判 62ページ 図表多数

定 価：250円(〒50円)

会員特価：220円(〒50円)

お申込みは 土木学会へ 振替東京16828番

東京都新宿区四谷1丁目・電話 351-5138



コンクリート・ライブラリーの一部

昭和38年度土木学会論文集編集委員

委員長	奥村敏恵	副委員長	吉川秀夫	委員	玉野治光	委員	西尾元充
委員	安芸一	委員	栗林栄一	委員	土肥正彦	委員	三木五三
委員	伊藤学	委員	小後圭司	委員	中川博明	委員	村田二郎
委員	池田睦治	委員	佐武正雄	委員	中源明夫	委員	村田功
委員	大沼幸	委員	佐藤昭二	委員	林正祐	委員	八木根
委員	岡内功	委員	鈴木雄大	委員	久武嘉夫	委員	山内寛
委員	岡田宏	委員	多田宏行	委員	堀井健一郎	委員	山崎徳
委員	特山光男	委員	建部恒彦	委員	堀川清司	委員	山吉
幹事	西脇威夫						

昭和38年7月15日印刷	土木学会論文集 第95号	定価 150 円 (〒 20 円)
昭和38年7月20日発行		
編集兼発行者	東京都新宿区四谷一丁目	社団法人 土木学会
印刷者	東京都港区赤坂溜池5	株式会社 技報堂
		末森 猛 雄
		大沼 正 吉
発行所 <small>社 団 法 人</small> 土 木 学 会 振替東京 16828 番 東京都新宿郵便局区内 新宿区四谷一丁目 電話(361)代表 5138 番		

MARUI

短時間 **厚さ及び構造物の弾性係数が判定** できる

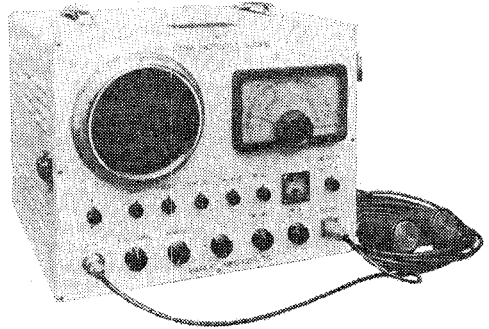
- ① 時間の節約になります (時代に即応)
- ② 正確な判断の参考資料となります
- ③ 無破壊で常に測定出来ます

用 途

- 型枠取除き判定 (経済助力となる)
- グム・コンクリート等の品質管理
- 道路隧道の厚さ及ボイドの判定
- コンクリートの経年変化・強度の推定等

営業品目

セメント・コンクリート・土質・アスファルト
水理各試験機・無破壊試験器・計量器・各種材料試験機



超音波反射測定器

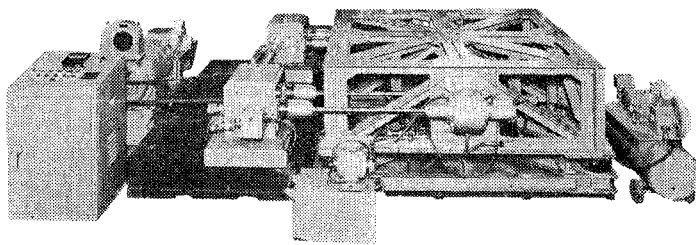


株式会社 **丸井製作所**

本 社 大阪市城東区蒲生町4ノ10番地
電話 大阪(931)3541番(代表)
東京出張所 東京都港区芝田村町5ノ4番地(吉田ビル)
電話 東京(431)7563番

大型松平式振動試験機

UB-2000A型



日本大学建築学科納入品

その他の製品

振動衝撃試験機、三元振動試験機、砂・鉛式衝撃試験機、高衝撃試験機、加速度試験機、ゴム振動試験機、ゴム疲労試験機など

- ◆重量1トン以下の構造物または構造物模型の振動試験に最適。
- ◆一般振動試験のほか、防衛庁規格・MIL規格などの試験もできる。
- ◆全振幅0～約2mm、振動数600～3300cpmの範囲で、振動中にも連続して変化できる。
- ◆4個の不平衡重錘を使い、不要分力の釣合いをとっているため、振動波形がきれいで騒音も小さい。
- ◆加振力作用線変更装置により、大型振動試験機に起こりがちな横揺れがない。
- ◆空気圧縮機と高さ調節弁の使用により、振動盤の高さが常に一定に保たれる。
- ◆押ボタンで振動方向が垂直・水平いずれにも簡単に切り換えられる。

本 社 東京都千代田区神田神保町1-63
電 話 (291) 2884 (代表)

伊藤精機株式会社

長い線でも
 同じ細さに

かき始めも 先端がくずれない
 途中でもかき減りが少ない

6H→6B 14硬度 1ダース ¥600



uni



三菱鉛筆

ウノサワポンプ・ブロワ



ウノサワ空気力輸送機

各種粉粒体の輸送・真空圧送型および併用型

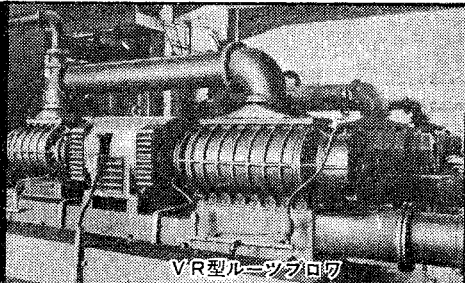
ウノサワ・ルーツブロワ

小型から大型まで生産・各種工業の空気源
 真空ポンプおよび密閉軸封装置付特殊ガス用

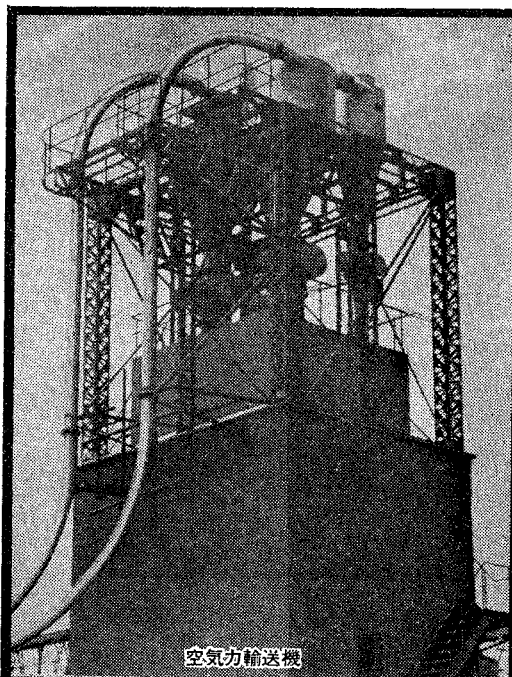


製作品目

- ルーツブロワ
- 真空ポンプ
- 給水ポンプ
- 暖房真空ポンプ
- 空気力輸送機



V/R型ルーツブロワ



空気力輸送機

株式会社 宇野沢組鉄工所

本社/渋谷工場 東京都渋谷区山下町6-2 電話東京(41)2211(代)
 玉川工場 東京都大田区矢口町9-4-5 電話東京(738)4191(代)
 大阪出張所 大阪府北区曾根崎新地3の12(不動ビル内) 電話大阪(381)0684