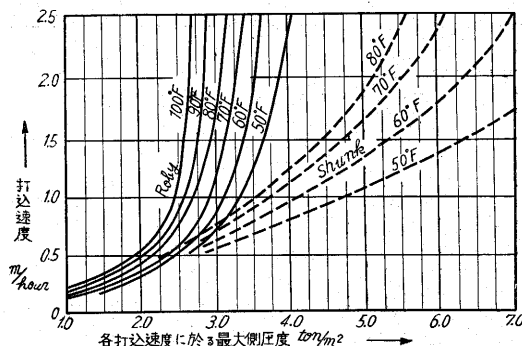


生コンクリートの側圧について

佐 治 泰 次

コンクリートによって構造物をつくるには、常に型枠が必要なことは申す迄もないことで、コンクリート工事が行われ出した当初から型枠のことはコンクリート工事に附随して考慮されていたわけである。そこで、型枠について一番問題となるのが今ここに述べようとする堰板に加わる側圧についてのもので、1908年といえはコンクリート工事が本格化し始めてまだ間もない頃のことであるが、当時既に Shunk によつて側圧に関する研究が発表されている。その後約30年程の間にコンクリートは飛躍的な進歩を遂げたのであるが、これと並行して、この側圧についての研究も相次いで行われて来た。ところが、コンクリートという材料は、鉄・ガラス等と共に近代的な材料の一つに数えられながら、その性質はいろいろな点で甚だ非近代的な材料で材料として悪い点をあげれば、やたらに目方が重いこと、曲げ、引張等に対して弱いこと、材質が均一でないこと、コンクリートをつくる時の諸条件に従つて著しく異つた性質を示す等ということがある。この最後の点が災いして、側圧に関する研究も数多く行われながらその結果も非常にまちまちとなり確定的な結果はまだ得られていない現状である。一方国内においても戦後の復興工事が進むにつれて、わが国の施工の実情に則したこの方面の研究の必要もあり、実験室的に又現場において種々の実験が行われて来た。そこで、以下に現在迄行われて来た各実験、研究の大要を紹介してコンクリート工事の参考に供することとしよう。



第 1 図 Shunk 図表と Roby の実験値

先に一寸ふれた Shunk の研究は 1930 年代 H. G. Roby, E. B. Smith 等の研究が行われた頃迄、Shunk 図表として広く利用されたものでこの Shunk 図表を Ro-

by の実験と比較して示すと第 1 図のようになる。これによると Shunk の値は Roby のものよりずっと大きく、Roby の実験値は約半分程にしかすぎない。

Shunk の研究につづいて 1919 年 Noack, 1920 年 Messdosen, 1929 年 Böhn, 1931 年 L. W. Teller の研究等が行われている。Noack の研究は模型の実験から側圧の実験式を導いたもので、Noack によれば最大側圧値 P_{max} は次の (1) 式によつて与えられる。すなわち

$$P_{max} = \gamma_b / \rho_c (1 - \frac{1}{ekch}) \text{ ton/m}^2 \dots (1)$$

式中

γ_b = コンクリートの容重 ton/m³

ρ_c = コンクリートと型枠の摩擦係数 0.67

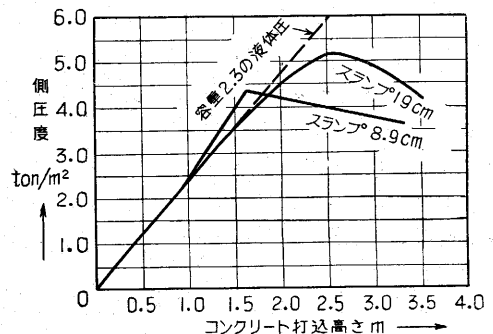
c = 型枠断面周囲長/同断面積

k = 実験によつて求まる係数で 0.38

h = コンクリートの有効高さ m

本式は Janssen のサイロにおける側圧の式と同様の考え方に基づいたものであるが実情に合わない場合が多いようである。後出第 6 図中に本式による計算値を示そう。

Messdosen の実験では前述の Roby の実験と同様 Shunk の値の約 40% の値が得られ、Böhn の研究では Noack の実験が実情に合わないことが述べられている。L. W. Teller の実験値は次の第 2 図にのせるが、Teller によると設計用の側圧値としては、2.3 ton/m³ の容重をもつ液体圧として計算を行えばよいが、この値はコン



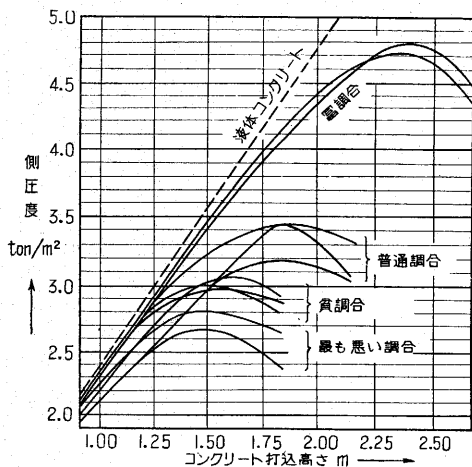
Vibrator の使用によると図中点検上に直線的に上昇する

第 2 図 L. W. Teller の実験値

クリート打込時に振動機等を用いて充分振動を加えた場合にもみ起り、振動を加えない時は打込後約 30 分でコンクリートは硬化を始めこれと共に側圧は次第に減少することが示された。Teller の研究と相前後して、1933 年

には E. B. Smith 1935 年には H. G. Roby による広汎な実験がなされた。

Roby の実験は先の第 1 図にその一部を示したが、次の第 3 図にはコンクリート打込高さで側圧の関係を示してある。第 3 図から明かなように、Roby の実験によると調合のよいコンクリートの側圧は非常に大きく、貧調合となるに従つて側圧は小さくなっている。



第 3 図 H. G. Roby の実験

又 Noack の実験式によつて計算した値は余りに少なすぎること、又先に示したように Shunk の値の約 60% 前後の値となつたこと等が Roby の実験によつて得られた主な結果である。

次に Smith が実験から誘導した実験式は次の (2) 式によつて与えられる。すなわち最大側圧値 P_{max} は

$$P_{max} = 1.27H^{0.2} \cdot R^{0.3} + 0.84C - 0.083S \quad (2)$$

式中 P_{max} = 最大側圧 $1/10$ ton/m²,

H = コンクリートが凝結硬化を始めた時迄のコンクリート高さ m

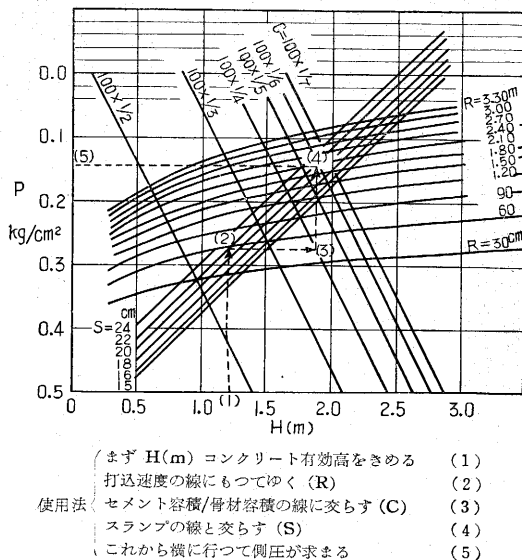
R = コンクリート打込速度 m/hour

C = セメント容積/骨材容積 $\times 100$

S = スランプ cm

上式において、Smith はコンクリートの凝結開始を 30 分としたので、 $H = \frac{1}{2}R$ となるわけであるが、寒中の場合その他を考慮して、実際の設計に当つては $H = \frac{1}{4}R$ とすることを推めている。ここで Smith の得た結果を要約して示すと、(1)コンクリートの打込速度が大きくなれば、側圧も又大となる。(2)Workability の許す範囲にあつては、硬練りである程側圧は大となる。(これは予想に反するようであるが、実験結果はこの通りとなつた。) (3)側圧は富調合程大となる、(4)コンクリート温度が低い程側圧は大となる。(5)軽量コンクリートの場合には本式によつて得た値をコンクリートの重量に比例して減少させてよい、普通コンクリートの重量は 2.4 ton/m³

とする。(6)軟練りコンクリートにあつては、コンクリートの容積が大きくなると、側圧も大きくなるが、これは僅少で無視してよい。以上 (6)項が主な結論で、Smith 式による計算図表を次第 4 図に掲げよう。



第 4 図 スミスの側圧計算図

更には 1938 年 Reynolds, 1940 年 Stuttgart 工大において、1945 年 Hoffmann, の研究がある。Reynolds の提唱した実験式は

$$P_{max} = KR^2 + C \quad (3)$$

式中 P_{max} = 最大側圧 (lbs/ft²)

R = 打込速度 (feet/hour)

K = 温度によつて決る常数で、下表の如し

C = 配合によつて決る常数、で下表の如し

温度 (F)	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
K の値	70	60	50	40	35	29	25	22	20

配合	1:3:6	1:2:4	1:1.7:3.3	1:1.5:3	1:1:2
C の値	0	70	100	120	170

上式で与えられているが、(3)式中の第 1 項 R の影響が大に過ぎるようである。

Stuttgart における実験は大塊コンクリートで建築の実情にはやや違いうちみはあるが、側圧について極めて明快な結論を呈出している点は注目し値する。これによると、(1)側圧はコンクリートの凝結が始まらぬ限りコンクリートと同比重の液体圧力に等しい。(2)凝結開始以後はコンクリートの硬化が起るので、圧力の増加は緩慢となり最大値に達する。最大値に達した後はコンクリート

の層が更に加わつても側圧は上昇せず一定となる。(3)実際上には、型枠が変形したり、アンカーが歪みを起したりするので側圧は減少を示すが、理論的には有効高さを越せば、圧力は一定でなければならない。以上(1)、及び(2)から最大側圧 P_{max} ton/m² は、

$$P_{max} = \rho_c \times H \quad (4)$$

ρ_c = コンクリート容重 ton/m³

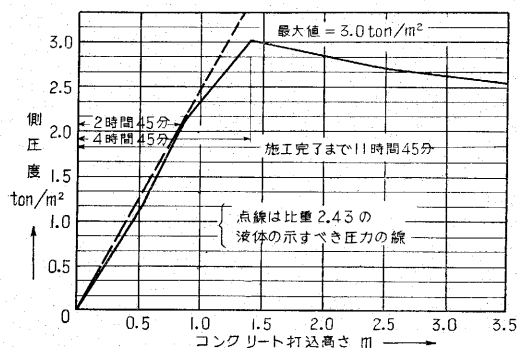
H = 有効高さ m

有効高さ $H = V_b, Z_b$ として求まる

V_b = 打込速度 m/hour, Z_b = コンクリ

ート打込みより凝結開始迄の時間 hour

(4)式として求められるが、実用上の値としては、 P_{max} の85%を採用すればよい。Stuttgart のこの実験では凝結開始は 4 時30間分になつており、実験の一部を次の(第5図)に掲げる。



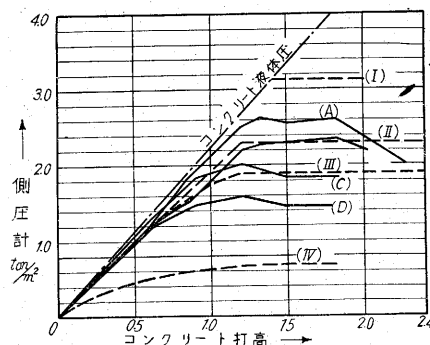
第5図 Stuttgart 工大の実験値

更に Hoffmann の実験では、これも前述の Stuttgart の実験と同様大塊コンクリートであるが、この実験結果を結論的に述べると、コンクリートの打込高さ 2 m 迄は側圧は直線的に増加し側圧 $S = 1.2 \times h$ で示される。

(h = 打込高さ m, S = 側圧 ton/m²) 更に 2 m を越えた部分では $S = 1.818 \cdot t^{0.34}$, (t = 打込後の経過時間, この実験では 2 時間以後, 4 時間目迄に適用), 更に打込高さ 3.55 m 時間にして 4 時間目以後は側圧は一定となる。そこで実用的には 2.5 m 迄前の $S = 1.2 \times h$ の式を採用し、それ以後一定とすれば大体安全側となりそうだと述べられている。以上の他にもお幾つかの実験研究が行われているが、各研究が行われたそれぞれの場合によつて呈出されている結論は甚だまちまちであつて何れを採用すべきかその判断に苦しむところである。

ここで最近国内で行われた実験について述べることにしよう。次に第6図に示した実験は当研究室で行われたもので断面 50×50 cm 高さ 2.70 m の独立柱における側圧の測定値である。図中に Reynolds の式, Smith の式, Stuttgart の式及び Noack の式によつて本実験の条件における計算値が (I)(II)(III)(IV) で示されているが、Smith の式及 Stuttgart の式は比較的妥当な

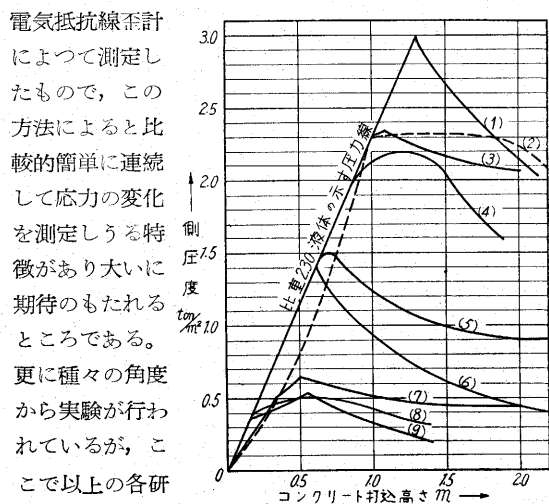
値を示している。



(A)(B)スランブ 21cm, 割合 1:1.5:2.5, 打速度 1.5m/hour, 有効高 1.2m, 気温 78.8°F
(C)(D)スランブ 8cm, 割合 1:1.8:2.5 其他同上
(I)Reynolds 式による最大値
(II)Stuttgart 式に (A)(B) の値を代入
(III)Smith 式に " したそれぞれの値を示す
(IV)Noack 式に " したそれぞれの値を示す

第6図 東大・生研における実験

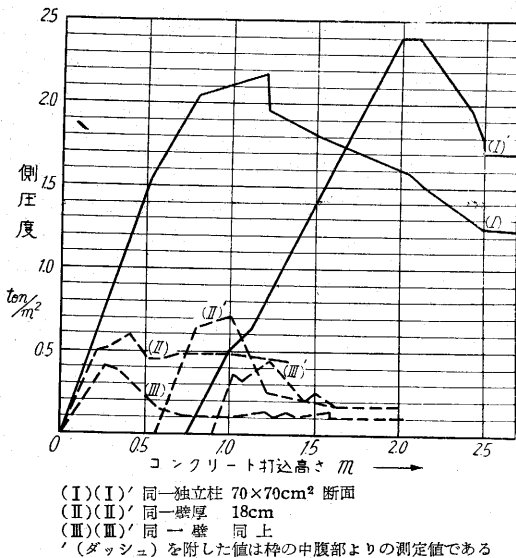
次の第7図も当研究室の側圧計によつて現場において実測した結果である。第8図及び第9図も現場における実測の結果で、第9図の方は堰板の側圧を測定したものではなく、仮枠の緊張器 (9φ ボールト) の引張応力を電気抵抗線歪計



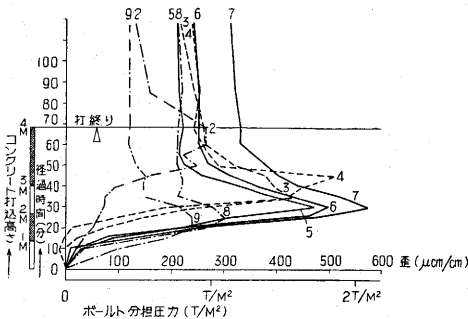
(1)(2)(3)(4)…独立柱 80×80cm²
(5)(6)…壁打込速度 1.95m/h
(7)(8)(9)…壁内打込速度 6~8 m/h
東大生研側圧計(1)(3)(6)(7)(9)
他は生研側圧計

第7図 コンクリート打込高さとの関係

先に述べたようにそれぞれの研究から得られた結果の間には相当の距りがあるのだけれども、各研究を一貫して一致している点は、連続的にコンクリートを打つて行く時、コンクリート高さが或一定の点迄来ると側圧は増加しなくなり、むしろ低下を始めるということである。このことは仮枠設計上極めて都合のことで、この特定高さを“Concrete Head”と呼ぶ。このことは先の本誌速報で一寸ふれたからここでは重複をさけ、ただこの事から判断



第8図 大成建設、日大小野研、
日大高周波研、共同実験



第9図 コンクリート高と bolt 分担圧力

して側圧最大となる点は“Concrete Head”を越えた時から順次上方に移行して行くもので、旧来考えられていたように、頂部で0で底部で最大とはならないことが推測される。もう一つの特徴は、側圧はそのコンクリートの容重をもつ液体圧とほぼ相等しい大きさで上昇を始め、特別な場合を除きこの液体圧より大きくならないということである。従つて以上二つのことから先の Stuttgart の実験で示されたと同様、コンクリートの容重 ρ_c と Head の高さ H との積として最大側圧値を求めておけば常に充分安全側となるといえよう。ここで ρ_c は普通コンクリートにあつては大差のないものであるから“Head”の位置を決めれば最大側圧値が求まる。ところ述べてみると問題は極めて簡単に解決されたようであるが、この“Head”の高さを決めるとなると、又元の出発点へ問題は戻つて、極めて曖昧な結果しか得られないのである。すなわち“Head”を左右する factor としては、(1)コンクリート打込速度、(2)打込時大気湿度(3)使用セメントの種類、(4)コンクリートの調合、骨材の種類、(5)Workability の大小、(6)型枠の形状、堅牢度、

水漏れの有無、(7)鉄筋鉄骨の配置、(8)填充の方法、搗き方、振動機の使用等々がそれぞれの場合で複雑に相互に関連してくるわけである。

第6図以下に掲げたわが国における施工法の一般的な実情では、各図で明かなように、極めて顕著な二つのグループに分けることができる、すなわち非常に早く“Head”が現われる場合とそうでない場合とで、“Head”の低いグループ、これは一般に壁部等の仮枠面積が広く、仮枠幅の狭い場合、こういう時には時に 30 cm、或は 50 cm 位の点で“Head”が現われる。もう一つの場合、これは比較的 massive な柱等の場合でこの時は 1.00 m 位から 1.40 m 位迄の間に“Head”が現われている。ともかく側圧が増大しなくなる時は、そこに打込まれたコンクリート相互の間に移動が起らなくなつた時で、打込まれたコンクリートが set することをさまたげる factor は総て“Head”を高める役割を果すといつてよい。従つて、気温が高く、湿度の低い時、コンクリート打込速度の早い程、搗き固め或は振動を充分加える時、Workable なコンクリートである程、鉄筋、鉄骨等の障害物の少い程、型枠が堅牢で水漏れの起らない程側圧は大きくなる可能性が多いといえよう。近時セメントの種類によっては偽凝結現象を呈するものがあり、一時的に硬化したふりを示し、そのままの状態で硬化する場合があります、このために小さな側圧しか示さない場合が起つた例があるが、だからといつてこの側圧値をそのまま信ずるわけに行かない。何れにせよ、側圧に影響する factor について定性的な事はともかく、定量的な関係は現在のところ求むべくもないので、これは今後の研究に期待するとして、先の“Head”が低い場合と高い場合の側圧値は各実験値からも分るように低い時には 0.4~0.6 ton/m² 位高い時には 2.3~3.0 ton/m² 位で、 $\rho_c = 2.3 \text{ ton/m}^3$ として“Head”をそれぞれ、0.3~0.8 m 及 1.0~1.4 m として算出する時の値は 0.5~1.8 ton/m² 位、2.3~3.2 ton/m² 位となる。そこで現場において仮枠を設計される場合には、それぞれの現場の実情を充分考慮された結果、高いと思われる場合の側圧値としては 3.0 ton/m² 前後、低いと考えられる場合には 1.5 ton/m² 位の側圧値を採用されればよいと考えられる。型枠の設計図表については余り話が片よりすぎるのでここでは省略する。(1953・11・11)

文 献

- (1) James R. Griffith: "Pressure from Fresh Concrete." Western Construction News Jan. 1936 P 27.
- (2) Messdosen; Public Road (1920) 土木会誌第22巻 P 76 住友彰氏抄訳あり。
- (3) Böhn; B.U.E. 1929 Heft 18 S.329.
- (4) L.W. Teller; Public Road March 1931.
- (5) Smith; Concrete, June 1933.
- (6) H.G. Roby; Beton durch aus Schalung". Bauing. 27. Sept. 1935. S. 422. 同く Civil Engineering march 1935. 以下省略。