

# 高速打設によるコンクリートの側圧に関する研究

——ポンプアップ工法を対象とした場合——

高橋久雄  
小松晃  
西川勝久

## 概要

最近、コンクリート打設の工法が、カート車からポンプに移行したことにより、コンクリートの打ち込みは、連続的に、しかも、速い速度で行なわれるようになり、それに伴って、型枠に加わるコンクリートの側圧の増大が懸念される。

この報告は、ポンプ打ちをすることによって、打設速度が速くなった場合のコンクリートの側圧性状を検討し、合理的な側圧推定式を導き、設計施工時の資料を得る目的で行なった実験結果をまとめたものである。

## 1. まえがき

型枠に及ぼすコンクリートの側圧の研究に関する実験結果は、古くは1894年頃から報告され、それ以来、数多くの研究論文および測定結果が発表されている<sup>1)~3)</sup>。しかし、それらの内容は、必ずしも一般性をおびておらず、コンクリートの側圧を把握することが、複雑であることを物語っている。

従来、コンクリートの側圧については、次のような傾向があるといわれてきた。

すなわち、コンクリートを連続的に打設すると、打ち込み高さの上昇に伴い、側圧は、しだいに増大するが、ある一定の高さ（コンクリートヘッド）に達すると、側圧は、もはや上昇せず、以後は、さらにコンクリートを打ち込んで、上昇することなく、逆に少しずつ低下する傾向にあるといわれている。

ところが、カート車でコンクリートを運搬、打設する従来の工法と異なり、ポンプアップ工法では、型枠に加わる側圧が増大し、コンクリートヘッドという概念だけでは、問題を処理することができなくなってきた。

たとえば、最近報告されている実験範囲では、柱・壁において、打設速度が速いと、コンクリートヘッドが生じないという例もある。

しかし、コンクリート工事の現場において型枠を設計する際、ポンプ打設にもかかわらず、現行の JASS5 の値を用いて設計するか、または、経験に基づく補強の割増しを行なって設計する 경우가多く、合理的な設計をしているとはいえない点がある。このため、コンクリートの打設時に、型枠がはらんだり、パンクす

ることがしばしば生ずるか、さもなければ、必要以上に型枠を堅固に設計するため、非常に不経済になることが多いのが現状である。

この報告は、上記の点を考慮して、行なった21回の模型実験と4回の現場実測に基づいて、側圧性状を検討解析したものである。

## 2. 実験の規模と範囲

側圧に作用する要因の数は多く、すべての要因について実験を行なうことは困難であったため、本実験においては、最も重要でしかも大きな影響を与えると考えられる要因のみを取りあげて行なった。しかし、本実験はポンプ打設におけるコンクリートの側圧を対象としているため、おのずから重要な要因もきまってきた。

すなわち、要因の中では、コンクリートの打設速度に最も重点をおき、次いでコンクリートの比重、スランプ、部材の形状、型枠の種類および鉄筋の有無などの影響について検討した。

表-1に、約8か月間にわたって行なった21回の模型実験に対する、各実験の要因を一覧表にして示した。

## 3. 実験の装置と方法

### 3.1. 型枠の形状

型枠を製作するのに使用した材料は、壁・柱とも共通で、次に示すとおりである。

せき板——耐水合板1類 厚12mm

端太材——鋼管角端太 60角

セパレーター——φ9mm (岡部K.K.)

フォームタイ——合板パネルL G用 (〃)

角パイプ座金——(岡部K.K.)

No.	実験日 昭和 45年	部 材	断面 cm	外気 温℃	コンクリ ート温度 ℃	スラブ cm		フロー値 cm		空気 量%	単位容 積重量 t/m <sup>3</sup>	平均打 設速度 m/hr	鉄筋	コンクリ ートの調 合*	備 考
						試験前	試験後	試験前	試験後						
1	1/16	壁	200×411.5×15	—	—	23.3	—	—	—	2.1	2.30	—	無	1	予備の実験
2	1/23	壁	200×411.5×15	9.8 6.4	11	19.8	—	—	—	3.1	2.30	51.8	無	1	
3	1/29	壁	200×411.5×15	9.5 12.0	11	22.1	—	41×43	—	0.9 1.2	2.34	14.7	無	2	
4	2/6	壁	200×411.5×15	12.8	10	19.8	12.2	37×33	—	1.3	2.33	5.3	無	2	
5	2/12	壁	200×411.5×15	12.7	13	22.1 18.5	10.5	44×43 33×34	21×23	0.5	2.31	14.9	有	2	
6	2/19	壁	200×411.5×15	20.5	17	21.9	19.4	46×43	36×38	0.4	2.33	14.7	無	2	プラスチックのオーバーレイ型枠
7	2/26	壁	200×411.5×15	6.0	12.5	22.2	20.6	40×45	36×34	0.6	2.33	15.4	有	2	
8	3/7	壁	200×411.5×15	6.3	10.3	12.6	8.0	25×26	20×19	0.7	2.39	13.0	無	3	
9	3/19	壁	200×411.5×15	11.8	12.2	20.0	20.2	30×34	29×29	0.3	2.31	9.6	無	2	分離気味のコンクリート
10	3/26	壁	200×411.5×30	—	15.5	22.0	15.8	41×38	30×31	0.7	2.29	28.6	無	2	試験中約25分中断
11	4/2	壁	200×411.5×30	12.2 10.4	16.5	22.7	19.3	41×42	32×35	0.4	2.32	13.8	無	2	
12	4/9	壁	200×411.5×15	14.5	16.0	18.0	18.2	30×31	35×37	5.8	1.73	14.4	無	4	人工軽量コンクリート
13	4/16	壁	200×411.5×15	26.5	19.8	20.2	21.0	39×37	38×40	5.6	1.72	15.6	有	4	人工軽量コンクリート
14	4/24	柱	75×75×411.5	24.2	20.2	16.7	14.1	24×25	23×23	5.1	2.28	26.1	有	5	コンクリートの充てんが悪かった
15	5/8	柱	75×75×411.5	20.8	23.0	18.3	17.6	29×30	26×30	3.4	2.27	17.2	有	5	
16	7/10	壁	225×390×15	27.2	—	25.8	21.1	47×58	41×42	2.2	2.20	7.9	有	—	プラスチック型枠
17	7/14	壁	180×390×15	25.3	—	19.3	11.4	32×34	24×24	4.6	2.22	9.0	有	6	プラスチック型枠
18	7/21	壁	180×390×15	29.0	31.0	21.3	15.0	36×38	25×25	4.3	2.25	24.2	有	6	プラスチック型枠
19	8/7	壁	200×411.5×15	27.5	28.0	19.2	7.9	34×34	21×21	3.3	2.28	11.2	有	6	
20	8/19	壁	200×411.5×15	26.0	28.0	22.8	15.0	43×43	31×33	5.4	2.17	14.9	有	6	
21	8/25	壁	200×411.5×15	30.5	30.2	25.7	16.7	52×54	30×35	6.6	1.82	13.8	有	4	人工軽量コンクリート

\* コンクリートの調合の番号は表-2を参照。

表-1 実験要因の一覧表

壁型枠の供試体は、幅 2m、高さ 4.115m、厚さ 15cm および 30cm、その詳細を図-1 に示す。配筋状態は縦筋 10-φ16 (@=200)、横筋 12-φ16 (@=300) のシングルである。

柱型枠の供試体は、一辺が 75cm の正方形断面で、高さ 4.115m、その詳細を図-2 に示す。

配筋は、柱主筋 24-D19 (l=4,000)、フープ筋 φ9 (@=300)、幅止め筋 φ9 (@=300交互) である。

3.2. 側圧の測定方法

打設後のコンクリートは、最大側圧値に達したのち、時間の経過に伴い、その性状が流動体的挙動から塑性体的固体的挙動に移行するため、コンクリートの側圧を正確に測定する装置の選択がむずかしく、本実験を行なうに当たっては、種々検討を加えた。

しかし、型枠設計には、側圧が最大値に達するまでの側圧性状を知ることが最も重要であるという観点に立ち、次のような測定器を別個に、あるいはあわせて使用した。

- (1) 差動トランス型土圧計 (坂田電気製 P D-150)
- (2) 改良型土圧計 (坂田電気製 P D-150 Z)

差動トランス型土圧計の受圧面の変形が常に 0 と

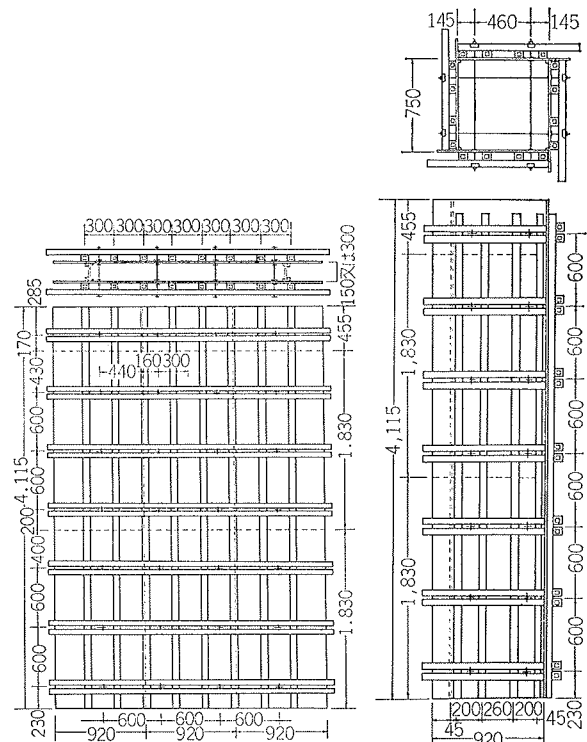


図-1 壁型枠

図-2 柱型枠

なるように、土圧計の内部に窒素ガスを圧入し、そのガス圧を測定することによって、側圧が測定できるように改良を加えた計器である。

この計器では、最大側圧以降の減少過程の側圧も測定できる。

(3) プルーベングリング型圧力計

竹中工務店の久保田氏が考案した装置<sup>4)</sup>を参考にさせていただき、図-3にその詳細を示す。

この計器は、(2)と同様に最大側圧以降の減少過程の側圧測定も可能である。

(4) ストレインゲージで、丸セパレーターの張力を測定し、間接的に側圧を求める方法<sup>5)</sup>。

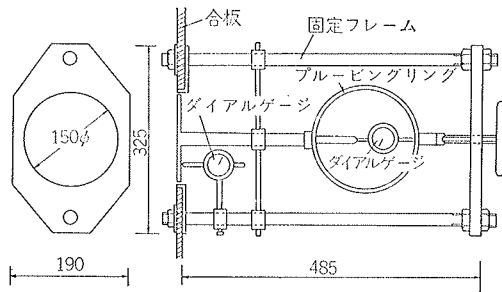


図-3 プルーベングリング型圧力計

3.3. コンクリートの打設方法

本実験は、ポンプアップ工法における側圧性状を解析するのが目的であり、コンクリートの打設は、ポンプ車にて行なうのがたてまえであるが、実験が長期間に及ぶこと、1回の打設量がきわめて少ないことなどを勘案して、図-4に示すように、リフトコンベアーにて打設した。

この方法は、生コン車からグラウンドホッパー（容量2m<sup>3</sup>）に入れたコンクリートを、最大能力15m<sup>3</sup>/hrのリフトコンベアーにて型枠上部まで運搬し、直接型枠内部に落とし込むもので、コンクリートの吐出量をグラウンドホッパーの出口で調節して、打設速度に種々の変化を与えた。

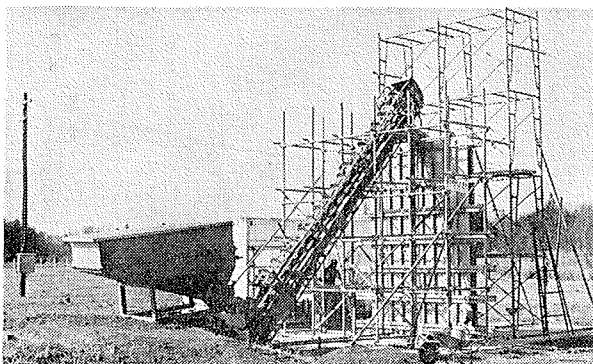


図-4 コンクリートの打設装置

なお、コンクリートの締め固め方法は、棒突きと木槌による叩きを併用した。

3.4. コンクリートの調合

コンクリートは、すべてレディーミクストコンクリートを使用した。コンクリートの調合は、本実験が冬期から夏期にわたる長期間であったため、表-2に示すような6調合である。

調合 No	骨材の種類	W/C %	S/a °/vl	予定スランプ cm	重量調合 kg/m <sup>3</sup>				
					W	C	S	G	混和剤
1	川砂利	52.0	41.0	21	183	352	715	1045	ブリスト
2	川砂利	54.9	41.9	21	207	377	707	977	チュボール
3	川砂利	47.0	33.8	12	149	317	624	1222	チュボール
4	ノサライト	56.5	53.9	21	183	324	M 216 621	M405	ビンゾール
5	川砂利	56.0	47.8	21	184	329	858	947	ビンゾール
6	川砂利	61.0	48.4	21	184	302	879	947	ビンゾール

表-2 コンクリートの調合表

4. 実験結果

21回の実験から、代表的な第5回（壁厚15cm）、第6回（プラスチックのオーバーレイ型枠）、第11回（壁厚30cm）、第15回（柱型枠）および第21回（軽量コンクリート）実験における、側圧とコンクリート高さとの関係を図-5に示す。

5. 考察

第1回から第21回までの実験結果から、壁型枠および柱型枠における側圧性状に関して、種々の考察を試みる。

5.1. 壁型枠

5.1.1. 側圧と鉄筋の有無との関係 鉄筋の有無が側圧に与える影響を検討するため、他の要因が同一である実験結果を比較すると、普通コンクリートでは、鉄筋がある場合の側圧は、ない場合の側圧の約10%低下し、軽量コンクリートでは、約20%低下することがわかった。

5.1.2. 最大側圧と打設速度との関係 普通コンクリートを使って行なった実験のうち、スランプ21cm前後、壁厚15cmの条件を満足する実験結果から、最大側圧と打設速度との関係を図-6に示す。

この図より、多少のバラツキと図には記されていないが、第2回の実験結果（打設速度51.8m/hr）を考慮に入れて検討すると、最大側圧は、打設速度が速くなるに従って増加する傾向を示しているが、ある打設速度（本実験では15m/hr）以上では、速度が速くても、側圧は、直線的には増大しないようである。この傾向は、竹中工務店技術研究所の実験結果<sup>6)</sup>からいえることである。

5.1.3. 最大側圧とコンクリートのスランプとの関係

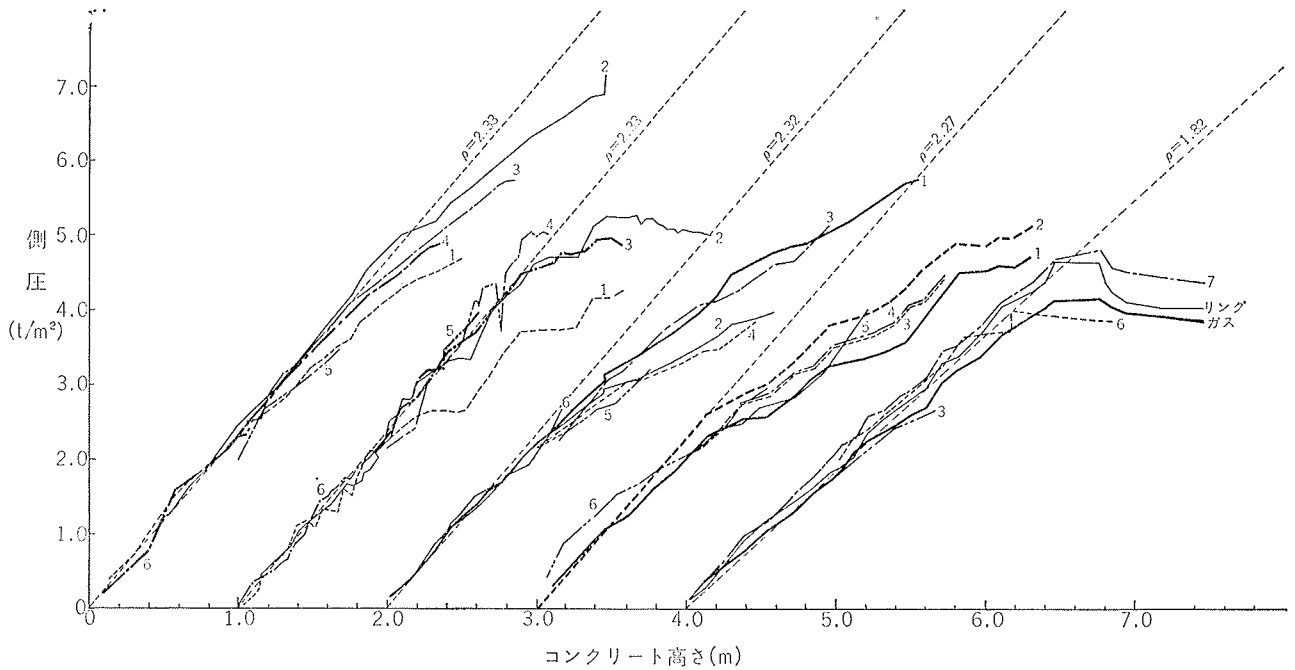


図-5 側圧とコンクリート高さ

普通コンクリートを使った実験のうち、打設速度15 m/hr 前後、壁厚 15cm の条件を満足する実験結果から、最大側圧とコンクリートのスランプとの関係を図-7に示す。

型枠中央最下部の土圧計で測定した側圧値のみを注目すると、最大側圧とスランプは明瞭な直線関係にあることがわかった。

5.1.4. 最大側圧とコンクリートの比重との関係

打設速度 15m/hr 前後、壁厚15cm、打設直前のスランプ 21cm前後の条件を満足する実験結果から、最大側圧とコンクリートの比重との関係を図-8に示す。

一般に、最大側圧は、コンクリートの比重に比例して増大するといわれているが、図-8から、その傾向

は幾分認められるが、顕著には現われなかった。

5.1.5. 側圧の上昇性状 側圧の上昇性状について、一連の実験を通していえることは、側圧は、コンクリ

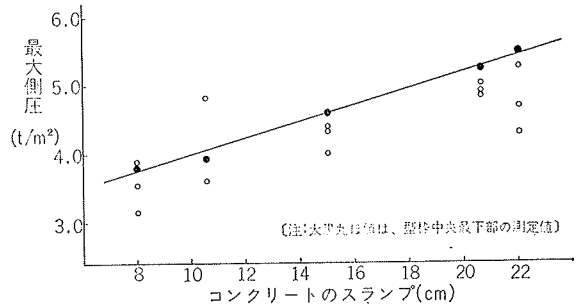


図-7 最大側圧とコンクリートのスランプ

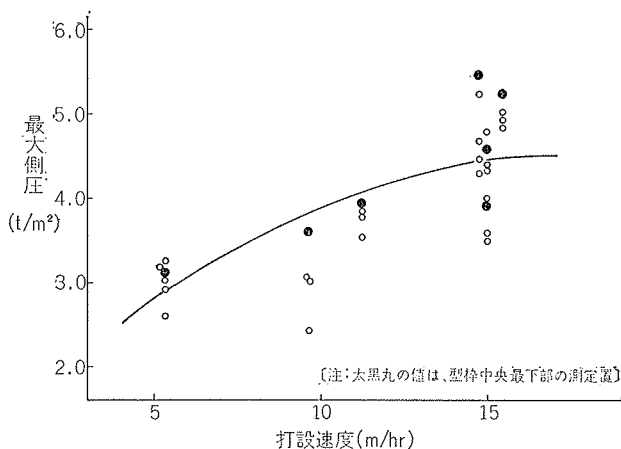


図-6 最大側圧と打設速度

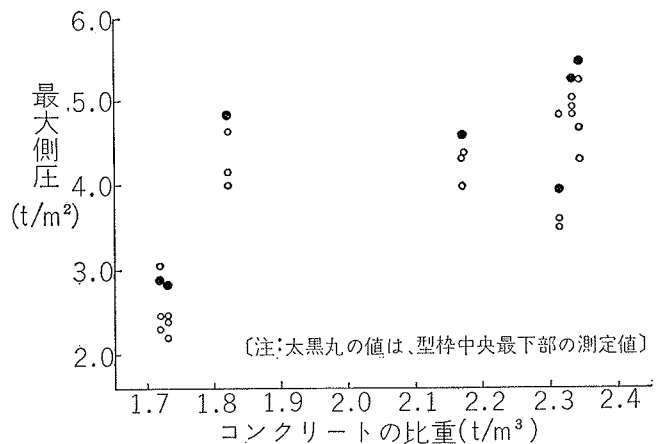


図-8 最大側圧とコンクリートの比重

ートを打設してから、ある一定の高さ（仮に液体圧限界コンクリート高さと呼ぶ）まで、液体圧とほとんど同等の値を示しながら上昇するが、さらに打設高さが高くなると、液体圧より低下しながらも、値は増加し、最大側圧値に達する。この傾向を単純化すると、図-9のように表わされる。

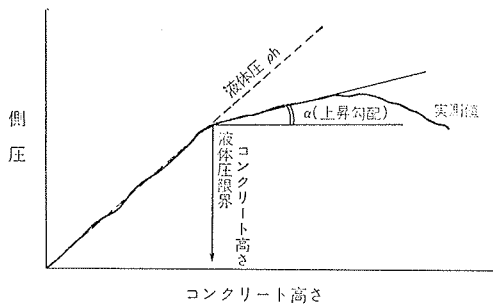


図-9 側圧上昇性状のプロトタイプ

打設直前のスランプ 21cm前後、壁厚 15cmの条件を満たす各実験結果より、液体圧限界コンクリート高さと打設速度との関係を図-10に示す。

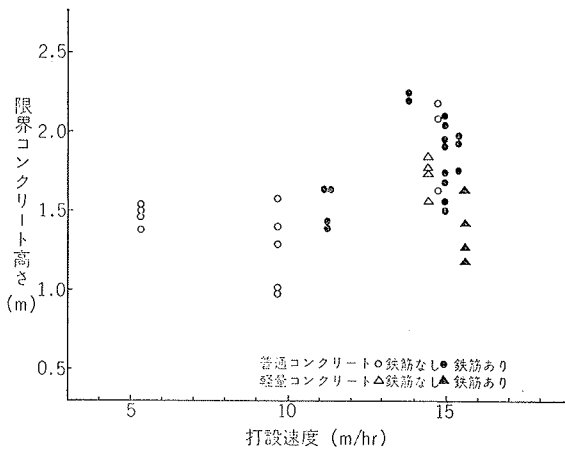


図-10 限界コンクリート高さと打設速度

図-10から、10m/hr 前後の打設速度における液体圧限界コンクリート高さは1.5m、15m/hr前後の打設速度では、一部バラツキがあるが、2.0m という顕著な差が認められた。

次に、液体圧限界コンクリート高さ以上に、コンクリートが打設された場合の側圧性状について述べる。

コンクリートのスランプ 21cm、壁厚 15cmおよび合板型枠という条件を満足する各実験結果の側圧とコンクリート高さとの関係を示す図から、液体圧限界コンクリート高さ以上の側圧上昇の性状を検討した結果、上昇性状を示す側圧値は、打設速度12m/hr 以下で、

コンクリート高さ 1.5m、打設速度12m/hr 以上で、コンクリート高さ 2.0mの液体圧の点から、それぞれ液体圧に対して  $\alpha=0.2$  の勾配で直線を引くと、おおむね、それ以下の範囲に内包されることがわかった。

上記の傾向は、普通コンクリート、軽量コンクリートの区別なく共通であった。

5.1.6. 壁厚の影響 一般に、壁厚が厚くなると、型枠とコンクリートの骨材間のアーチ作用が減少するため、側圧は、増大する傾向にあるといわれている。

本実験では、スランプ 21cm、打設速度15m/hr の条件において、壁厚 30cmの場合の側圧性状は、壁厚 15cm の場合と異なり、液体圧限界コンクリート高さは1.2mと小さいが、それ以降の側圧上昇勾配は、 $\alpha=0.5$  の急勾配で上昇している。なお、コンクリート高さ 3.2mの範囲では、最大側圧値を示さなかった。

5.1.7. プラスチック型枠 プラスチック型枠における側圧は、合板型枠に比べて、吸水性が少なく、表面がなめらかであるため、増大する傾向にある。

プラスチックでオーバーレイした型枠を使用した第6回実験から、スランプ21cm、打設速度15m/hr、壁厚 15cm、しかも無筋の条件で、側圧性状は、コンクリート高さ 1.8m前後まで液体圧として作用し、それ以降は、液体圧に対し  $\alpha=0.6$  の勾配で上昇した。なお、壁厚 30cmの場合と同様に、最大側圧値を示さなかった。

5.1.8. 打設終了後の側圧減少傾向 型枠設計には直接必要としないが、プルービングリング型圧力計（リング）と改良型土圧計（ガス）にて測定した実験のうち、第21回実験における側圧と経過時間との関係を図-11に示す。

リングとガスで測定した側圧は、最大側圧値までは、土圧計とほぼ同様の値を示したが、それ以降は、リング・ガスともに土圧計より約0.4 t/m<sup>2</sup> 低い値を示した。

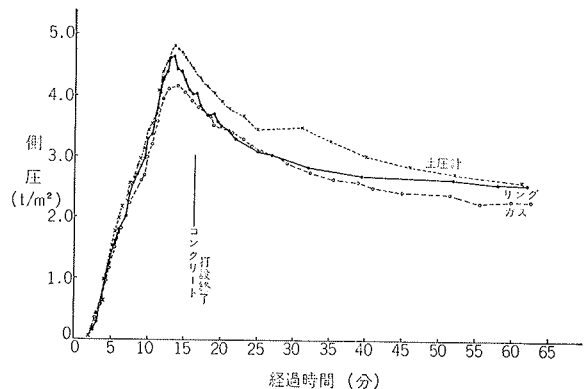


図-11 側圧と経過時間

減少勾配は、3つの計器ともほとんど同じであった。しかし、この減少勾配は、経過時間と直線関係にはない。なお、リングとガスとの測定器による差は、ほとんど認められなかった。

5.2. 柱型枠

一般に、柱型枠に対するコンクリートの打設速度は、壁型枠に比べて断面積が小さい関係上、速くなる傾向にあり、特に独立柱において著しい。

柱型枠の側圧性状で、壁型枠の実験結果と異なる点は、側圧が、液体圧より低下した以降である。すなわち、柱型枠の側圧は、液体圧より低下したあとも、常に上昇しており、コンクリート高さ 3m 程度では、最大側圧値を示さない。しかも、この上昇勾配は、壁型枠に比べて大きく、より直線性がある。

東京大林別館ビル工事現場にて実測した結果（打設速度 41m/hr）では、側圧は、コンクリート高さ約 1.2m まで液体圧と同等の値を示したが、それ以上では、液体圧に対して  $\alpha=0.8$  の勾配で直線的に上昇した。

6. まとめ

模型実験と現場実測およびいままでに報告されている論文から、一応の側圧性状の傾向がつかめたので、これらの傾向を検討して得られた側圧推定式を表—3 に提案する。

部材	0 < R ≤ 10		10 < R ≤ 50		50 < R	
	1.5未満	1.5以上	2.0未満	2.0以上	2.5未満	2.5以上
壁	$\rho h$	$1.5\rho + 0.2\rho(h-1.5)$	$\rho h$	$2.0 + 0.2\rho(h-2.0)$	$\rho h$	$2.5 + 0.2\rho(h-2.5)$
柱	$\rho h$	$1.5\rho + 0.6\rho(h-1.5)$	$\rho h$	$2.0 + 0.8\rho(h-2.0)$	$\rho h$	

注：R = 打設速度(m/hr)  
 h : コンクリートの打設高さ(m)  
 ρ : コンクリートの単位容積重量(t/m³)

表—3 側圧推定式

ただし、この表は、きわめて一般的な建築工事におけるポンプ打ちを対象としており、コンクリートのスランプ 21cm 前後、柱・壁とも鉄筋コンクリートとし、壁については、厚さ 15cm 程度の場合に適用する。

なお、表—3 を使用するうえで注意しなければならない点と条件外の側圧を推定する目安を以下に記す。

- (1) 表—3 は普通コンクリートおよび軽量コンクリートのいずれの場合も適用する。
- (2) スランプが側圧に及ぼす影響は大きく、無視することはできない。特に、スランプが 21cm 以上となる場合には、側圧の増大に注意しなければならない。
- (3) 壁厚が比較的厚く、柱に近いような壁型枠では、最大側圧が、表の値より増大するため注意が必要で

ある。壁厚 30cm の実験結果では、柱とほぼ同程度の側圧上昇を示した。

(4) 表の値は、合板型枠を対象としているため、プラスチック型枠あるいは鋼製型枠など吸水性がなく表面が平滑なせき板を使用する場合には、表の柱の推定式を適用するのが望ましい。

(5) 表は、軟練りコンクリートを対象としているため、バイブレーターの使用を考慮していない。バイブレーターを使用する場合は、表の最大側圧値に 1.5 t/m² 程度加える必要がある。ただし、ここでいうバイブレーターの使用とは、型枠内部まで振動部を挿入するか、型枠を直接振動する場合である。

ポンプアップ工法の型枠設計の際、さらに注意することは、最大側圧値にのみ注目してはいけないということである。

ポンプ打設における最大側圧値は、従来の工法と異なり、JASS 5 の値の倍以上となり、かなり大きな値であるため、最大側圧値のみで設計すると非常に不経済となる場合が生じる。そこで、最大値を含めた側圧分布を考慮して、型枠設計を行なうと経済的、合理的である。すなわち、側圧の高い型枠下部は、端太間隔、セパレーター間隔を密にし、側圧の低い上部は、それらの間隔が粗になるよう設計するのが望ましい。

最後に、本研究を行なうに当たって、御指導、御協力いただきました方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 佐治・北村：生コンクリートの側圧について、研究報告，第18号
- 2) 近藤：コンクリートの側圧，建築技術，No. 75, (1957)
- 3) 近藤訳：型わくに加わる生コンクリートの側圧，コンクリートジャーナル Vol. 4 No. 6 (1966)
- 4) 久保田・阪口：コンクリートの側圧測定装置の試作と実験，セメントコンクリート，No. 155 (1960)
- 5) 近藤・星野：抵抗線歪計に依る型枠締付けボルトの応力測定について，研究報告，第24号 (1953)
- 6) 近藤・山根：コンクリートの側圧に関する研究，建築学会大会梗概集 (1970)