

高流動コンクリートの経時変化を考慮した 在来型枠に作用する側圧に関する一考察

唐沢 智之*¹・川又 篤*²

概 要

型枠は、構造物の形状、寸法を設計図書通りに形成するために、コンクリートの打込みによって、移動、はらみなどが発生しないように、剛強に設計する必要がある。特に、流動性の高いコンクリートの場合は、側圧評価方法が確立されていないため、安全側の評価となるように液圧で計算する手法が採用されている。本研究では、普通強度領域の高流動コンクリートを用いた場合を対象とし、打込み速さやコンクリートの凝結が在来型枠の側圧に及ぼす影響を実大規模の実験で確認し、型枠の構造計算について検討を行った。

キーワード：高流動コンクリート、型枠、側圧、打込み速さ、経時変化、凝結

A STUDY ON LATERAL PRESSURE ACTING ON CONVENTIONAL FORMWORK CONSIDERING TEMPORAL CHANGE OF HIGH FLUIDITY CONCRETE

Tomoyuki KARASAWA *¹, Atsushi KAWAMATA *²

Abstract

In order to form the shape and dimensions of the structure in accordance with the design specifications, the formwork must be rigidly designed so that it does not move or become loose due to the placing of concrete. Particularly in the case of concrete with high flowability, no method for evaluating lateral pressure has been established, so a method of calculation using hydraulic pressure has been adopted so that the evaluation is on the safe side. In the present study, full-scale experiments were carried out on high fluidity concrete in the normal strength range to confirm the effects of placing speed and concrete setting on the lateral pressure of conventional formwork. The structural calculation of the formwork was then studied.

Keywords: High-fluidity concrete, Formwork, Lateral pressure, Placing speed, Temporal change, Setting

*1 Manager, Material Group, Research & Development Center

*2 Senior Principal Researcher, Material Group, Research & Development Center

高流動コンクリートの経時変化を考慮した在来型枠に作用する側圧に関する一考察

唐沢 智之*1・川又 篤*2

1. はじめに

コンクリートの鑄型となる型枠は、所定の構造物形状・寸法を決定するために、コンクリートの打込みによって、移動・はらみ・倒壊などが発生しないように、剛強に設計する必要がある。日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」¹⁾(以下、JASS 5 と記す) 2022 年版では、型枠がコンクリートの側圧に耐え、かつ、コンクリートが部材の寸法許容差を超えるたわみなどが生じないように、必要に応じて強度および剛性について構造計算を行うように規定している。型枠の構造計算に必要となる型枠設計用コンクリートの側圧は、2022 年版 JASS 5 では液圧で評価することとなっているが、2018 年版 JASS 5 では部位、打込み速さ、打込み高さに応じた算定式が規定されている。算定式では、打込み速さ 10m/h 以下で打込み高さが 1.5m を超える場合にはフレッシュコンクリートのヘッドから 1.5m より下部、打込み速さ 10m/h を超え 20m/h 以下で打込み高さが 2.0m を超える場合には、フレッシュコンクリートのヘッドから 2.0m より下部について、コンクリートの凝結やスランプの経時変化を考慮して側圧を液圧よりも低減したものとなっている。一方、打込み速さ 20m/h 以上の場合や高流動コンクリートを使用する場合等は、側圧を液圧で評価することとしている。2018 年版 JASS 5 に規定されている算定式は、同学会「コンクリートポンプ工法施工指針案・同解説」1972 年版²⁾にて規定された算定式を踏襲しており、元となるデータは、当時採用が増え始めたコンクリートポンプ工法による急速施工に対応するために行った研究³⁾によるものであるが、コンクリートに使用されていた混和材料は、AE 剤、

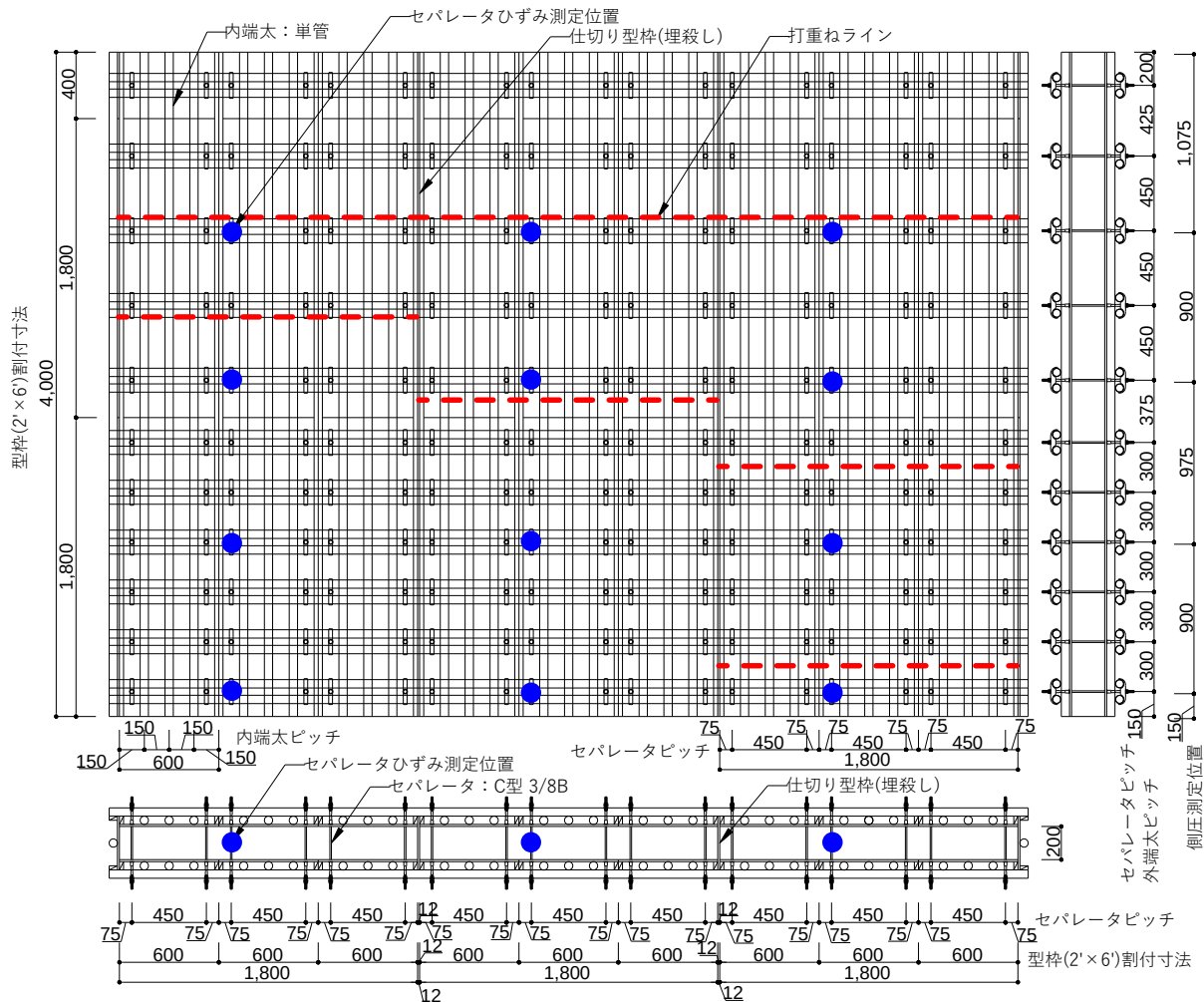
リグニン系の分散剤などであると推察される。当時使用されていたコンクリートの凝結時間は、現在汎用的に使用されているポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートとは大きく異なっていることから、算定式が現状の施工を考慮したものではないと言え難い。

他方、近年の構造体コンクリートは、形状が複雑な部材、配筋が密な部材が増えつつあり、コンクリート工事においては、それらに対応すべく、スランプ 21cm を超える流動性の高いコンクリートのニーズが高まってきている。また、2019 年 3 月に JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」が改正され、呼び強度 27~45 でスランプフロー管理のコンクリートが使用できるようになった。スランプ 21cm を超える流動性の高いコンクリートの施工を考えた場合、在来型枠の構造計算については、側圧評価方法が確立されておらず、現状では安全側の評価となるように液圧で計算する手法が採用されることが多い。一方、スランプフロー 45~55cm 程度の高流動コンクリートでも、打込み速さによっては側圧が低減することを小型の試験体を用いた実験結果として報告している⁴⁾。この傾向は、コンクリートの凝結やスランプの経時変化の影響が大きいと考えられるが、現状では明らかになっていない。

そこで、本報告では、普通強度領域のスランプフロー 45~55cm 程度の高流動コンクリートを用いた場合にコンクリートの打込み速さと凝結やスランプの経時変化が在来型枠の側圧に及ぼす影響を実大規模の実験で明らかにし、それらを考慮した在来型枠の構造計算に関する検討を行った。

*1 研究開発センター 材料グループ グループリーダー

*2 研究開発センター 材料グループ 主幹研究員



図－1 実大模擬壁試験体

表－1 コンクリートの試験項目と試験方法
および目標品質

試験項目	試験方法	目標品質
スランプフロー	JIS A 1150 コンクリートのスランプフロー試験方法	50.0±5.0cm
空気量	JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法－空気室圧力方法	4.5±1.5%
コンクリート温度	JIS A 1156 フレッシュコンクリートの温度測定方法	－
円筒貫入量	内径φ30mmの筒の周囲にφ7mmの穴が28個空いた円筒貫入試験器を、コンクリート試料を詰めた内径φ150mm、高さ300mmの容器に挿入し、10秒後に引き上げる。流入したモルタルの高さを測定する。	60mm以下
圧縮強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法 標準養生：材齢28日	36N/mm ² 以上
静置スランプフロー	φ150×328mmの塩ビパイプにコンクリート試料を詰め浮き上がり防止を施した上で、経過時間に伴うスランプ、スランプフローの低下を測定する。	－
N式貫入	容器内に打設したコンクリート打ち上がり面に対し、内径25mm、長さ1mの塩ビ管を鉛直に立て、これをサヤ管としてスランプ試験に使用する突き棒(φ15mm、長さ500mm)を鉛直方向に750mm自由落下させ、コンクリートへの突き棒貫入量を測定する。	－
凝結	JIS A 1147 コンクリートの凝結時間試験方法	－

2. 実験概要

2. 1 実大模擬壁試験体

実大模擬壁試験体を図－1に示す。実大模擬壁試験体は高さ4,000mm、厚さ200mmとし、長さ5,400mmを1,800mmで3分割したものとした。長さ方向に3分割した各エリアは、打重ね時間間隔を変化させて、見かけ上の打込み速さRを3水準設定した。

在来型枠は幅600mm×高さ1,800mm(2'×6')の塗装合板を用い、内端太は単管パイプを150mm間隔で用いた。セパレータはφ9mm(W3/8)のものを使用し、間隔は下部で300mm、上部で450mm(一部型枠の割付の関係上375mm、425mm)とした。鉄筋は縦筋、横筋ともD13@200mmダブルを基本とし、セパレータのひずみ測定位置のみ縦筋の間隔を320mmとした。

実大模擬壁試験体では、長さ方向に3分割した各エリアにおいて、高さ方向4箇所のセパレータにひずみゲージを設置してセパレータのひずみを計測した。測定高さは、実大模擬壁試験体の最下面より150mm, 1,050mm, 2,025mm, 2,925mmとした。

2. 2 コンクリート

(1) コンクリートの目標品質

実験に使用したコンクリートは、JIS規格に適合した呼び強度36のスランプフロー管理のレディーミクストコンクリートである。コンクリートの試験項目と試験方法および目標品質を表-1に示す。スランプフローは、打込む際に締固めを行うことを想定し50cmに設定し、管理幅は、JIS A5308「レディーミクストコンクリート」より厳しめの±5.0cmを目標とした。また、適度な材料分離抵抗性を有するコンクリートであることを確認するために、スランプフローおよび一輪車の状態を目視観察するとともに、既往の実験結果⁵⁾を参考に円筒貫入量を60mm以下に設定した。

(2) コンクリートの使用材料および割合

コンクリートの使用材料を表-2に、コンクリートの割合を表-3に示す。混和剤は、材料分離抵抗性を確保するために増粘剤一液型高性能AE減水剤を使用した。その他は、レディーミクストコンクリート工場で通常使用されているものとした。

(3) コンクリートの試験

コンクリートの試験項目は、表-1に示す通りであり、全ての試験は、荷卸し時に試料を採取し、打込み箇所と同条件(気温)の場所にて行った。在来型枠に作用する側圧を検討するための試験として、1台目の荷卸し時の試料を用いて静置スランプフロー、N式貫入試験、コンクリートの凝結時間試験によりコンクリートの凝結やスランプの経時変化を確認した。静置スランプフロー試験は、現場で実施し易い試験方法とするために、JIS A1150「コンクリートのスランプフロー試験方法」のスランプフロー試験とコンクリート試料の体積が等しくなるようにφ150×328mmの塩ビパイプに試料を詰め、浮き上がり防止を施した上で、0, 30, 60, 90, 120, 150, 180および210分経過時にコンクリートの広がりや静置スランプフローとして測定し、経過時間と静置スランプフローの低下率の関係を確認した。なお、スランプ板(平板)は、JIS A1150「コンクリートのスランプフロー試験方法」に適合する金属製の平板とほぼ同等のスランプフローとなることを確認した上で新品の塗装合板を用いた。JIS A1147「コンクリートの凝結時間試験方法」よりも現場で実施し易い試験方法、および凝結始発前の貫入抵抗値を評価できる方法として、N式貫入試験の適用性を検討した。N式貫入試験は、土木学会「コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策」⁶⁾に記載された試験方法に準拠し、コンクリート打ち上がり面に対し、内径25mm、長さ1mの塩ビ管を鉛直に立て、突き棒(φ15mm、長さ500mm)を鉛直方向に750mm自由落下させ、コンクリートへの突き棒貫入量を測定した。また、同時にコンクリートの凝結時間試験も実施し、経過時間と貫入抵抗値、突き棒貫入量の関係を確認した。静置スランプフロー、突き棒貫入量、貫入抵抗値と経

表-2 コンクリートの使用材料

材料	記号	種類	物性
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度 3.15g/cm ³
細骨材 1	S1	茨城県鹿嶋市産砂	表乾密度 2.60g/cm ³ , 粗粒率 2.40
細骨材 2	S2	栃木県佐野市産砕砂	表乾密度 2.68g/cm ³ , 粗粒率 3.20
粗骨材 1	G1	茨城県笠間市産砕石 2005	表乾密度 2.65g/cm ³ 実積率 60.0%
粗骨材 2	G2	栃木県佐野市産砕石 2005	表乾密度 2.70g/cm ³ 実積率 60.0%
混和剤	SP	増粘剤一液型 高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系化合物 界面活性剤系特殊増粘剤 の複合体

表-3 コンクリートの割合

呼び名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
			W	C	S1	S2	G1	G2	SP
36 50 20 N	46.6	51.3	175	376	616	273	427	435	6.02

表-4 コンクリートの打込み結果

	時間(min)			打上り高さ(mm)		
	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-1	CASE-2	CASE-3
1層目打込み	13	11	4	2,400	1,900	300
打重ね時間間隔	115	128	89			
2層目打込み	4	6	7	3,000	3,000	1,500
打重ね時間間隔	107	152	95			
3層目打込み	6	5	6	4,000	4,000	3,000
打重ね時間間隔			148			
4層目打込み			6			4,000
平均打込み速さ(m/h)	0.99	0.79	0.68			

時変化の関係より、在来型枠に作用する側圧の設計方法について検討を行った。

2. 3 コンクリートの打込み・締固め

コンクリートは、ポンプ車(4t スクイーズポンプ車)を用いて打ち込んだ。締固めは、公称棒径40mmの振動機を用い、振動機の挿入間隔を60cm、振動時間を1箇所当たり10秒間とした。コンクリートは、各層とも高さ50～80cm毎に締固めを行った。実験では、表-4に示すように打込み中のコンクリートの打上り高さと時間を計測し、CASE毎に平均打込み速さRを算出した。

3. 実験結果と考察

3. 1 フレッシュコンクリートの試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表-5に示す。5台目の空気量については、表-1に示す目標品質を下回っていたが、CASE-3の最上部のみへの打込みであり、側圧への影響はごくわずかであると判断し、そのままコンクリートを打ち込んだ。スランプフロー、空気量(5台目を除く)は、表-1に示す目標品質をほぼ満足していた。また、円筒貫入量は、表-1に示す目標品質60mm以下

表-5 フレッシュコンクリートの試験結果

台数	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 平均 (%)	コンクリート温度 (°C)	円筒貫入量 (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)
1台目	25.0	50.1×48.1	49.0	3.2	16	24
2台目	25.0	51.3×50.4	51.0	4.0	18	18
3台目	26.0	56.3×54.3	55.5	3.2	20	23
4台目	25.5	52.5×48.5	50.5	4.9	19	23
5台目	24.0	45.5×44.6	45.0	2.3	19	31

表-6 セパレータの引張試験結果

	ヤング係数(kN/mm ²)	引張強度(N/mm ²)	降伏値(N/mm ²)
No.1	219.996	590	507
No.2	230.728	589	514
No.3	206.465	585	501
平均	219.063	588	508

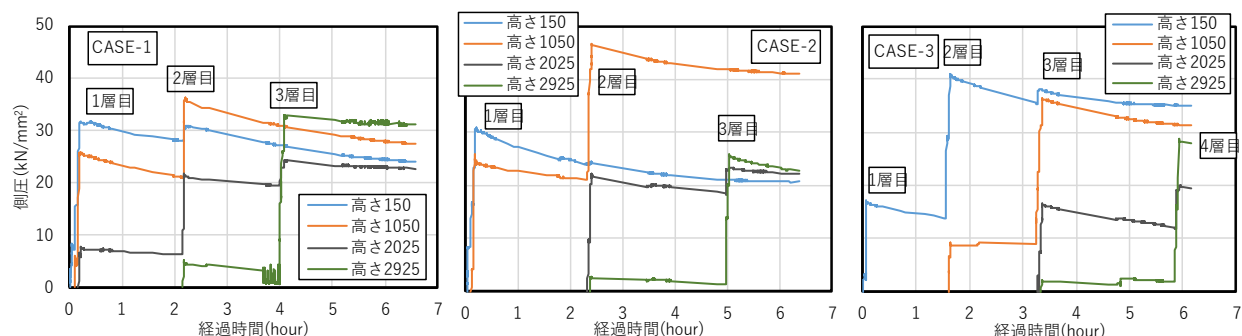


図-2 打込み開始からの側圧の経時変化

を満足していた。スランプフローおよび一輪車の状態を目視観察した結果、材料分離も発生していなかった。以上より、実大模擬壁試験体に打ち込んだコンクリートは、良好な流動性、材料分離抵抗性を有した高流動コンクリートであった。

3. 2 側圧測定結果

在来型枠に作用する側圧は、セパレータに設置したひずみ計の計測結果より、セパレータに作用する応力を算出し、セパレータの側圧負担面積を考慮して式(1)により算出した。なお、セパレータのヤング係数は、実大模擬壁試験体を使用したセパレータと同メーカー(同時期入荷)のセパレータで実施した引張試験結果の値を用いた。セパレータの引張試験結果を表-6に示す。

$$P = \frac{\sigma \times A}{S} = \frac{E \times \epsilon \times A}{S} \quad (1)$$

ただし、 P :側圧(kN/mm²)、 σ :セパレータに作用する応力(kN/mm²)、 A :セパレータの断面積(mm²)、 S :セパレータの側圧負担面積(mm²)、 E :セパレータのヤング係数(kN/mm²)、 ϵ :セパレータに発生するひずみ

打込み開始からの側圧の経時変化を図-2に示す。各測定高さでの側圧は、打込み速さに関わらず、打上り高さが測定高さを超えると急激に上昇し、各層の打込み後から緩やかに低下していく傾向を示した。上層を打ち重ねた後の側圧は、測定位置や打込み速さにより異なる傾向を示した。CASE-1の測定高さ1,050mmに着目すると、2層目打込み時に再度側圧が上昇し1層目の最大値を超える側圧が発生しその後緩やかに低下しているが、3層目打込み時には側圧の上昇が発生しなかった。一方、CASE-1の測定高さ150mmに着

目すると、2 層目打込み時に再度側圧が上昇したが 1 層目の最大値を超える側圧は発生せず、その後緩やかに低下し、3 層目打込み時には側圧の上昇が発生しなかった。CASE-2 の測定高さ 150mm に着目すると、2 層目打込み時も、3 層目打込み時も側圧の上昇が発生しなかった。以上より、側圧は、打上り高さとともに上昇し、各層の打込み後から緩やかに低下していく傾向を示し、更に、上層を打ち重ねた後は、打込み時に再度側圧が上昇しその後緩やかに低下していく場合や打込み時に側圧が上昇しない場合等、測定位置や打込み速さ、打重ね時間間隔により異なる傾向を示すことが分かった。また、側圧の最大値に着目すると、CASE-1 では、打込み開始から 2.2 時間後の 2 層目打込み時に高さ 1,050mm の測点において 36.3kN/mm^2 、CASE-2 では、打込み開始から 2.4 時間後の 2 層目打込み時に高さ 1,050mm の測点において 46.6kN/mm^2 、CASE-3 では、打込み開始から 1.6 時間後の 2 層目打込み時に高さ 150mm の測点において 40.9kN/mm^2 の最大側圧が発生した。以上より、本実験の調査、外気温の条件では、打込みから 2～2.5 時間以内に側圧が最大となり、その間は液圧に近い側圧が作用すると推察され、その後は、側圧が低下傾向を示すことが明らかになった。

各層打込み後の側圧の高さ方向分布を図-3 に示す。なお、点線は 2018 年版 JASS 5 に規定されている普通コンクリートの場合の型枠設計

用のコンクリート側圧を示す。また、凡例では、各層について打込みからの経過時間を示している。打込み速さ、打込みからの経過時間に関わらず、最下部(測定高さ 150mm)以外は、液圧として計算される普通コンクリートの上部部分の液圧勾配と同程度であるものの、CASE-1 の場合で打込みから 2.5 時間後、CASE-2 の場合で打込みから 2.4 時間後、CASE-3 の場合で打込みから 3.4 時間後では最下部の側圧の上昇が小さく、液圧計算値よりも小さくなった。CASE-3 は、1 層目の打込み高さが 300mm と低かったことから、2 層目打込みからの時間として評価すると、上述の 3.4 時間は 1.8 時間となる。また、CASE-2 の最下部の側圧が著しく小さくなっているが、これは型枠の変形が要因の一つとして考えられるが詳細は不明である。以上より、本実験の調査、外気温の条件では、打重ね時間間隔を設けて打込みから 2～2.5 時間以上経過した後に上層の打込みを開始すると、最下部の側圧の上昇が見られず、液圧計算値よりも小さくなり、打込み完了まで液圧として作用することはなかった。また、CASE-2 では一部越えている部分もあるが、CASE-1、3 では 2018 年版 JASS 5 に規定されている普通コンクリートの場合の型枠設計用のコンクリート側圧の範囲内であった。従って、高流動コンクリートを用いた場合でも、コンクリートの打込み速さによっては、在来型枠に作用する側圧が液圧以下となることが分かった。なお、在来型枠に作用する

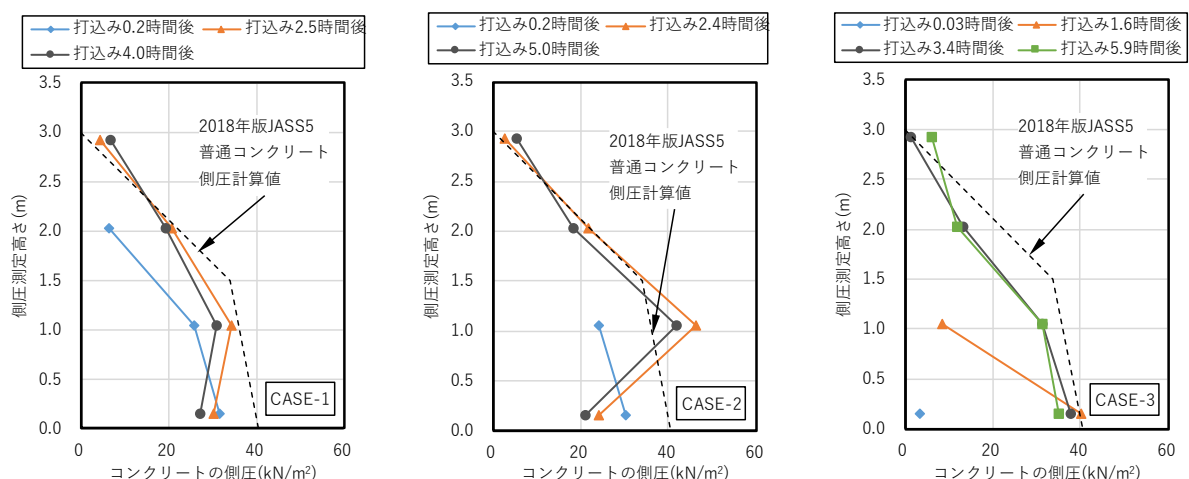


図-3 各層打込み後の側圧の高さ方向分布

側圧が液圧計算値よりも小さくなる条件は、調査、打込み時の外気温により大きく異なってくるので、調査や施工時期が側圧に及ぼす影響を確認する必要がある。

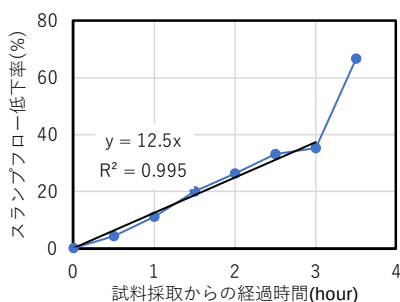
3. 3 静置スランプフロー・N 式貫入試験・凝結試験結果

試料採取からの静置スランプフローの低下率の経時変化を図－4に示す。静置スランプフローの低下率は、試料採取から経過時間に伴い徐々に大きくなっていく傾向を示した。本実験の調査、外気温の条件では、試料採取から1時間で10%程度、2時間で25%程度、3時間で35%程度の静置スランプフローの低下率が認められた。側圧測定の結果、打込みから2～2.5時間以内に側圧が最大となる傾向を示しているので、静置スランプフロー試験の結果より在来型枠に作用する側圧が最大となる時間を検討するためには、打込みから3時間以内のスランプフローの低下の傾向を捉える必要がある。試料採取から3時間までのスランプフローの低下率は、図－4の近似式により算出される。

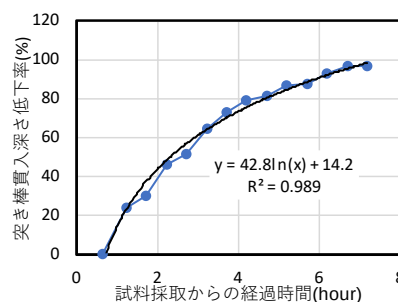
試料採取からの N 式貫入試験による突き棒貫入深さ低下率の経時変化を図－5に示す。N 式貫入試験における突き棒貫入深さ低下率は、試料採取から経過時間に伴い徐々に大きくなっていく傾向を示した。本実験の調査、外気温の条件では、試料採取から2時間で40%程度、3時間で60%程度、4時間で75%程度の突き棒貫入深さ低下率が認められた。N 式貫入試験による突き棒貫入深さ

より在来型枠に作用する側圧が最大となる時間を検討するためには、静置スランプフローと同様に、打込みから3時間以内の突き棒貫入深さ低下の傾向を捉える必要がある。試料採取からの突き棒貫入深さ低下率は、図－5の近似式により算出され、試料採取から7時間程度まで一定の増大傾向を示した。在来型枠に作用する側圧が最大となる時間を検討する場合、経時変化において急激な変化が生じるスランプフロー試験よりも、一定の傾向を示す N 式貫入試験の方が適していると推察される。以上より、N 式貫入試験における突き棒貫入深さ低下率より在来型枠の側圧を検討できる可能性が示唆された。なお、これらの値は、調査、試験時の外気温などにより大きく異なってくるので、調査や施工時期を考慮した突き棒貫入深さに対する低下率を試験により求める必要がある。

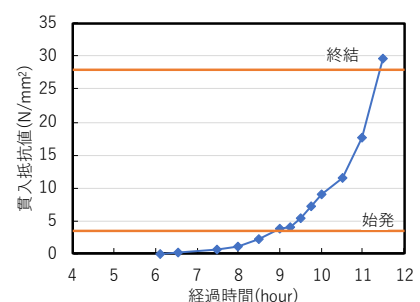
高流動コンクリートの凝結試験結果を図－6に示す。なお、注水開始時刻は、レディーミクストコンクリートの出荷伝票の出荷時刻とした。始発時間は8時間55分、終結時間は11時間25分であった。側圧測定の結果、打込みから2～2.5時間以内に側圧が最大となる傾向を示しているため、凝結試験の結果より型枠の側圧を検討するためには、打込みから3時間以内の貫入抵抗値が必要となる。しかし、今回の実験における貫入抵抗値は、出荷時刻から6時間後に断面積100mm²の貫入針を用いて測定した場合でも0N/mm²であった。従って、出荷から打込み完了まで110分程



図－4 試料採取からの静置スランプフローの低下率の経時変化



図－5 試料採取からの N 式貫入試験による突き棒貫入深さ低下率の経時変化



図－6 高流動コンクリートの凝結試験結果

度かかっていることを考慮しても、凝結試験により在来型枠に作用する側圧が最大となる時間を検討するのは難しいと考えられる。

3. 4 側圧と静置スランプフロー・N 式貫入試験の関係

静置スランプフロー試験における静置スランプフロー低下率と静置スランプフロー測定時の最下部(測定高さ 150mm)の側圧の関係を図-7に、N 式貫入試験における突き棒貫入深さ低下率と突き棒貫入深さ測定時の最下部(測定高さ 150mm)の側圧の関係を図-8に示す。静置スランプフロー低下率、突き棒貫入深さ低下率が大きい程、側圧が小さくなる傾向を示しており、両者には相関が認められた。特に、突き棒貫入深さ低下率については、側圧と密接な関係が認められた。

4. 高流動コンクリートの経時変化を考慮した在来型枠に作用する側圧の設計方法の検討

在来型枠の側圧測定結果、および静置スランプフロー、N 式貫入試験結果を基に、高流動コンクリートを用いた場合におけるコンクリートの凝結やスランプの経時変化を考慮した在来型枠に作用する側圧の設計方法の検討を試みた。2018 年版 JASS 5 では、打込み速さ 10m/h 以下でフレッシュコンクリートのヘッド高さ $H=1.5\text{m}$ を超え 4.0m 以下の壁部材の場合、型枠設計用コンクリートの側圧を式(2)により算出するとしている。

$$P = 1.5W_0 + 0.2W_0(H - 1.5) \quad (2)$$

ただし、 P ：側圧(kN/mm²)、 W_0 ：コンクリートの単位重量(kN/m³)、 H ：フレッシュコンクリートのヘッド高さ(側圧を求める位置から上のコンクリートの打込み高さ)(m)

一方、既往の研究⁷⁾において高流動コンクリートを用いた場合の側圧算定式として式(3)が提案されており、ここではこの式を参考に側圧の設計方法の検討を行う。

$$\begin{aligned} P &= W_0 \cdot R \cdot T_{liq} + W_0 \cdot R \cdot \alpha \left(\frac{H}{R} - T_{liq} \right) \\ &= W_0 \cdot R \cdot T_{liq} + W_0 \cdot \alpha (H - R \cdot T_{liq}) \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、 P ：側圧(kN/mm²)、 W_0 ：コンクリート

の単位重量(kN/m³)、 H ：最終的な打上がり高さ(m)、 R ：打込み速さ(m/h)、 T_{liq} ：型枠内のコンクリートが液圧として作用する時間(h)、 α ：打上がり速度係数

式(2)の最大側圧は、式(3)の $R \cdot T_{liq}=1.5$ 、 $\alpha=0.2$ とした時の値と等しい。ここで、 α はコンクリートが液圧として作用する時間のみならず、コンクリートの流動性が低下して自立するまでの時間も考慮して算出する必要がある、打込み速さや外気温、調合などの影響も受ける。従って、本実験結果のみで α を設定することが困難であったので、ここでは $\alpha=0.2$ を踏襲した。側圧の実測値と式(3)による計算値との比較を図-9に示す。計算値は、CASE-1 の場合で $T_{liq}=1.5$ 時間、CASE-2、3 の場合で $T_{liq}=2.5$ 時間とすると実験値と比較的合致する。安全側の評価となるように考慮すると、コンクリートが液圧として作用する時間 T_{liq} は 2.5 時間となる。コンクリートが液圧として作用する時間 T_{liq} を静置スランプフロー試験結果、N 式貫入試験結果より検討することを試みた。コンクリー

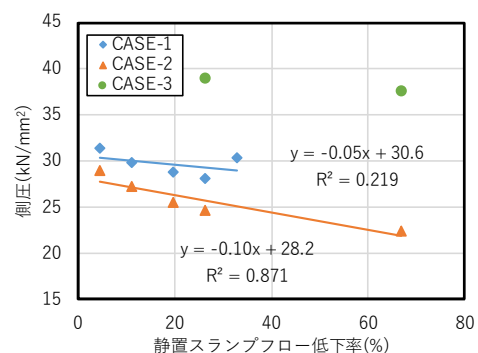


図-7 静置スランプフロー低下率と測定高さ 150mm の側圧の関係

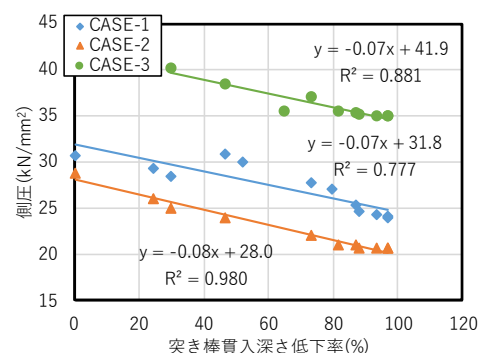
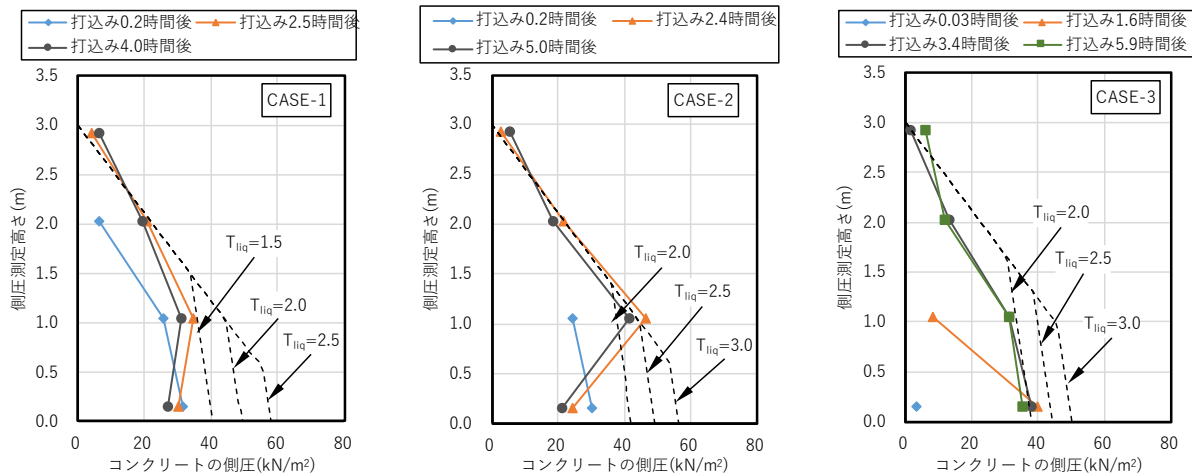


図-8 突き棒貫入深さ低下率と測定高さ 150mm の側圧の関係



図－9 経過時間毎の側圧の高さ方向分布と計算値の比較

トが液圧として作用する時間 T_{liq} は、図－4、図－5の静置スランプフローの低下率、N式貫入試験による突き棒貫入深さ低下率と試料採取からの経過時間との関係における回帰式より算出した。コンクリートが液圧として作用する時間 $T_{liq}=2.5$ 時間に対応する静置スランプフローの低下率は31%、突き棒貫入深さ低下率は53%となる。前述の通り、最下部(測定高さ150mm)の側圧は、静置スランプフロー低下率よりもN式貫入試験における突き棒貫入深さ低下率との関係の方が密接な関係が認められたので、コンクリートが液圧として在来型枠に作用する打込みからの時間 T_{liq} を検討するのであれば、N式貫入試験における突き棒貫入深さ低下率の方が適していると考えられる。従って、試し練り等において突き棒貫入深さ低下率がある一定値(例えば53%)となる時間を求めることにより、コンクリートの凝結やスランプの経時変化を考慮した在来型枠に作用する側圧の検討ができる可能性を見出した。ただし、コンクリートが液圧として作用する打込みからの時間 T_{liq} は、調合、打込み時の外気温により大きく異なってくるので、種々の条件が側圧に及ぼす影響を確認し検討する必要がある。

5. まとめ

本報告では、普通強度領域の高流動コンクリートを用いた場合にコンクリートの打込み速さと経時変化が在来型枠の側圧に及ぼす影響を明ら

かにし、それらを考慮した在来型枠の構造計算に関する検討を行うことを主目的とした。

得られた知見を以下に記す。

- (1) 側圧は、打上り高さとともに液圧に沿って上昇し、各層の打込み後から緩やかに低下する。更に、上層を打ち重ねた後の側圧は、測定位置や打込み速度により異なる傾向を示す。
- (2) 本実験の調査、外気温の条件では、打重ね時間間隔を設けて打込みから2～2.5時間以上経過した後に上層の打込みを開始すると、最下部の側圧の上昇が見られず、液圧計算値よりも小さくなり、打込み完了まで液圧として作用することはない。
- (3) 静置スランプフロー低下率、突き棒貫入深さ低下率が大きい程、側圧が小さくなる傾向を示し、両者には密接な関係が認められる。なお、凝結試験により在来型枠に作用する側圧が最大となる時間を検討するのは難しい。
- (4) コンクリートの凝結やスランプの経時変化を考慮した型枠に作用する側圧の評価方法を検討した。検討した評価方法において、コンクリートが液圧として作用する打込みからの時間 T_{liq} は2.5時間であった。また、コンクリートが液圧として作用する打込みからの時間 T_{liq} は、打込みからの時間と静置スランプフローの低下率の関係やN式貫入試験による突き棒貫入深さ低下率の関係より推定できるが、N式貫入試験における突き棒貫入深さ低下率の方が適

している。

スランプの経時変化は、外気温などの影響を受けるため、フレッシュコンクリートの経時変化を的確に捉えて在来型枠の検討を行う必要がある。一方、高流動コンクリートの経時変化が在来型枠の側圧に及ぼす影響を評価することができれば、在来型枠の合理的な構造計算が可能になると考えられる。

謝辞

本論執筆に際し、日本大学理工学部建築学科中田善久教授にご助言を頂きました。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解析 コンクリート工事(JASS 5)，2022
- 2) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針案・同解説」，1972
- 3) 近藤基樹，山根昭，麓勉，奥野享：コンクリートの側圧に関する研究 その1，その2，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造系，pp.159～162，1970.9
- 4) 木村仁治，梅本宗宏，山崎順二，本間大輔，砂川大栄，右田周平，長井智哉：高流動性コンクリートの施工性と躯体の品質評価に関する研究 その4 側圧に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 材料施工，pp.473-474，2019.9
- 5) 河野政典他：高流動性コンクリートの材料分離抵抗性評価に関する研究，日本建築学会技術報告集，第26巻，64号，pp.827～832，2020.10
- 6) 土木学会：コンクリートライブラリ103，コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策，2000
- 7) 西澤彩，桜井邦昭，平田隆祥：コンクリートの初期の流動性およびその保持時間が型枠の側圧に与える影響に関する基礎実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，pp.1109-1114，2019.7