

# 論文 高流動コンクリートの流動性の保持と側圧挙動に関する研究

大友健\*1・横田和直\*2・鏑木孝治\*3・小松原徹\*4

**要旨:** 実際の地下連続壁工事において、自己充填性能を有する高流動コンクリートの側圧発生挙動と流動性の保持性状との関係を調査した。この結果、本工事で使用した高流動コンクリートは、1.5時間所要のスランプフローを保持した後4.0時間以降には流動性を失わない自立する傾向を有すること、このコンクリートを一定の速度以上で打込んだ場合、スランプフローの経時変化測定値が47cm程度となる時間をコンクリートの自立の目安として側圧を予測することが可能であることが明らかとなった。ただし、実際の施工においては、打込み温度やコンクリートの自体の性質によりスランプフローの経時変化特性が変動するため、この変動幅を考慮した側圧の管理・制御が必要となる。

**キーワード:** 高流動コンクリート, 側圧, スランプフローの経時変化, 流動性, 地下連続壁

## 1. はじめに

自己充填型の高流動コンクリートを地下連続壁に適用する場合、安定液中での高圧下の施工となること、施工の状況が目視で確認できないことから、気中コンクリート以上に確実な充填性を確保することが必要となる。充填性の確保のためにはコンクリートの流動性を一定時間保持させることが重要となると考えられるが、その一方で、地下連続壁は高さ方向に連続的に打込まれるものであるため、充填がなされた後には速やかに流動性を失ない側圧が低減することが、特に仕切板形式の連続壁では要求されている。したがって、著者らは、一連の高強度地下連続壁用コンクリートの研究過程においても、コンクリートの流動性の保持性状に検討を加えてきた[1],[2]など。

本研究は、高強度型高流動コンクリートを使用した実際の地下連続壁工事[3]におけるコンクリートの流動性の保持性状と側圧との関係についてまとめ、この種の構造物における施工条件とコンクリートの特性を考慮した側圧の管理方法を検討したものである。

## 2. 構造物の構成と側圧の測定方法

構造物の構成と側圧の測定位置を図-1に示す。地下連続壁の1エレメントの寸法は壁厚1.0m, 幅5.5~5.8m, 深度69.6mである。下部の39mには設計基準強度600 kgf/cm<sup>2</sup>の、上部の30.6mには400 kgf/cm<sup>2</sup>(以下各々f'ck 600, f'ck 400と略する)の高流動コンクリートをトレミー工法により連続して打込んだ。トレミー管の突込み深さは2~5mである。コンクリートは製造から0.8~1.0時間程度で打込んだ。

最深部から35.8m(GL.-35m)および45.8m(GL.-25m)の位置に側圧計を設置(土圧計を鉄筋籠フレームに鉛直方向に固定)し

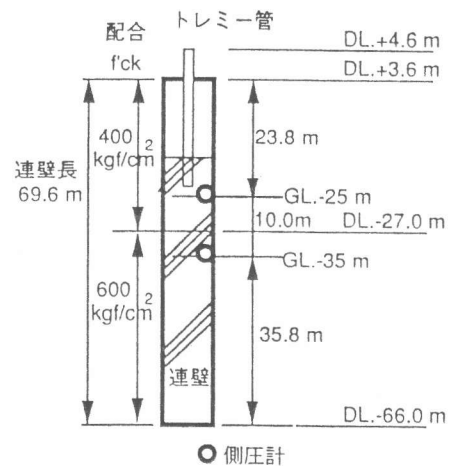


図-1 側圧計の配置位置

- \* 1 大成建設(株) 技術本部 係長 博士(学術)(正会員)
- \* 2 大成建設(株) 技術研究所 材料研究部 土木材料研究室 研究員(正会員)
- \* 3 大成建設(株) 横浜支店 係長 工修
- \* 4 東京ガス(株) 生産技術部 課長

た。側圧の時刻ごとの変化を記録するとともにコンクリートの打上り高さの変化も記録し、土圧計の設置深度に達した時点から最大の側圧値を記録した時点までの平均の打込み速度( $V_h$ )を算出した。 $f'_{ck}$  600については13か所、 $f'_{ck}$  400については5か所の測定を行なった。工事における標準的な打込み速度は、先行エレメントで2~5m/hr, 後行エレメントで4~8m/hrであるが、一部の部位では埋設管等の影響で2m/hr以下に打込み速度を制限しており、この部位についても測定した。

表-1 コンクリートの仕様・配合

設計基準強度 (材齢91日,水中)	コンクリート仕様	
	600 kgf/cm <sup>2</sup>	400 kgf/cm <sup>2</sup>
スランプフロー	65±5 cm	63±5 cm
空気量	4±1 %	4±1 %

### 3. コンクリートの仕様・配合および

#### スランプフローの経時変化の測定方法

コンクリートの仕様と配合を表-1に示す。

打込時のスランプフローは、 $f'_{ck}$  600の場合は 65±5cm、 $f'_{ck}$  400の場合は 63±5cmの範囲である。練上り後1.5時間までこの範囲の流動性を保持するように高性能AE減水剤の種類（施工時期により2種類：S(標準用),L(低温時用)）と使用量とを調整した。

結合材には、フライアッシュ混入高ビークライト系低発熱ポルトランドセメントを使用した。また、コンクリートの品質変動を抑制し充填性能を向上させるために分離低減剤を添加した。

設計基準強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	W/P (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			水 W	結合材 P	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤	
							高性能 AE減水剤	分離 低減剤
600	30.0	49.3	168	560	783	840	13.7	0.5
400	35.1	51.8	165	470	866	840	10.8	0.5

種類	記号	名 称	比重	特 性・主 成 分
結合材	P	フライアッシュ混入 低発熱ポルトランドセメント	3.10	比表面積 3,580cm <sup>2</sup> /g, フライアッシュ混入率9%
細骨材	S	千葉産山砂	2.60	FM 2.60
粗骨材	G	鳥形山産石灰石砕石	2.71	FM 6.69, 実積率 61.3%, Gmax=20mm
混和剤	-	高性能AE減水剤	1.05	ポリカルボン酸エーテル系 と架橋ポリマー
	-	分離低減剤	-	グルコース系天然多糖類

スランプフローの経時変化の測定には、側圧計を設置した位置に打込まれるコンクリートを打込直前のアジテータ車から採取して使用した。採取後はこれをネコ車中に静置状態で練り置きし、所定時間後にスコップで十分切返したのちスランプフローを測定した。本工事の場合、スランプフローの経時変化特性を工事上での管理指標としたので、側圧を測定した以外の全てのエレメント施工時にこれを実施している。工事期間は5か月にわたったため、この間セメント・骨材の製造ロットは変化し、またコンクリートの打込み温度も11.5~24.0℃の範囲で変化している。

### 4. 側圧の変化状態

#### とスランプフロー

#### 保持性状との関係

スランプフローの経時変化の測定例を図-2に示す。 $f'_{ck}$  400  $f'_{ck}$  600とも練上りから0.5~1.5時間は所要のスランプフロー範囲を保ち、それ以降にスランプフローが急減し始める。打設回ごとにばらつきはあるものの、3時間

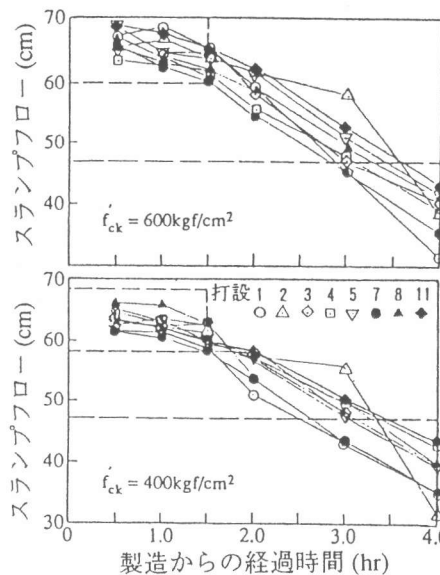


図-2 スランプフローの経時変化例

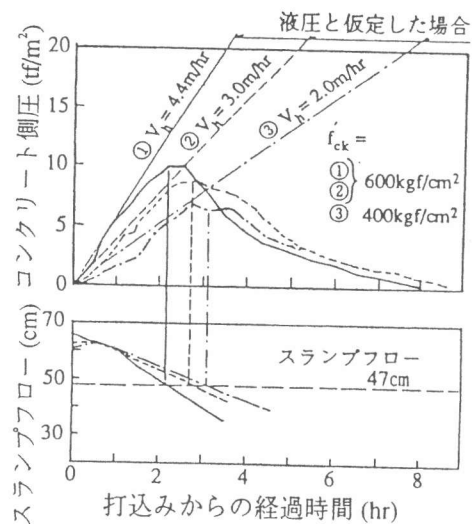


図-3 側圧の経時変化例

後には50cm程度、4時間

後には40cm程度のスラン  
プフローとなる傾向  
にある。

図-3には、側圧の経  
時変化の測定例を示す。  
打込みから2時間程度  
までほぼ液圧として  
作用した側圧は、打込  
みから2~3時間経過時  
までに最大値を示し、  
その後は徐々に減少す  
る傾向がある。コンク  
リートの打込みからの  
スランプフローの経時  
変化と対応させた場合、  
側圧が最大となる時に  
は、コンクリートのスランプフローが45~50cm程  
度まで減少していることがわかる。

ここでのスランプフロー値は、気中の通常のス  
ランプフロー測定方法に基づくもので、連壁中に  
打込んだコンクリートの状態とは異なるが、水中  
高压下でのコンクリートの流動性の損失状態を判  
断する指標と考えた。すなわち、構造体内のコン  
クリートが一定の状態まで流動性が損失すると、  
コンクリートに自立性が生じ、その結果 側圧の増大  
が停止する機構を推察し、その流動性損失の指標  
を施工時に管理可能な気中でのスランプフローの  
経時変化値と置き換えて考えたのである。

表-2には、全ての側圧測定ケースにおける計測  
値および計算値を示す。また打込み速度と最大側  
圧との関係を図-4に示す。

打込み速度が大きいほど最大側圧も大きくなる  
傾向にある。ここで、図-5に示すように、側圧が  
最大になった時点でのコンクリートのスランプフ  
ローは、打込み速度が 2.5m/hr以上の条件ではお  
およそ47±3 cmである。

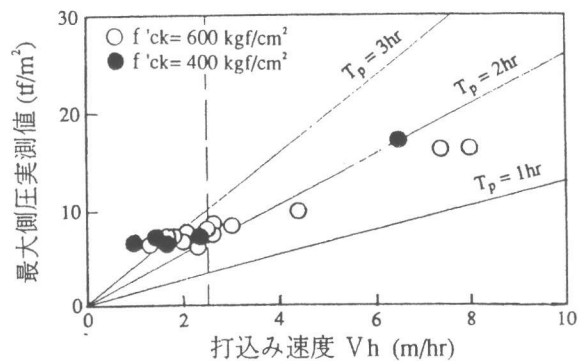
打込み速度が 2.5m/hr以下の場合には、打込み速  
度に関わらず最大側圧値が 6.5 tf/m<sup>2</sup>程度となる。

これは、自立性が生じ側圧が低減する打込みから2~3時間経過後でも、トレミー管先端の突込み深

表-2 側圧の測定結果

No.	配合 強度	SP 種類	打込 温度 (°C)	打上り 速度 Vh (m/hr)	側圧最 大時間 Tpmax (hr)	かぶり 高(m)	最大側圧 実測値 Pcl (tf/m <sup>2</sup> )	理論側圧 計算値 (tf/m <sup>2</sup> )	側圧低減 係数 (Kp)	側圧 最大時 SF (cm)	SF47cm 時間 (hr)
1	600	L	16.5	8.0	2.0	16.0	16.4	20.8	0.79	44	2.7
2	600	S	18.0	7.4	2.1	15.5	16.2	20.2	0.80	48	2.7
3	600	S	22.0	4.4	2.2	9.7	9.8	12.6	0.78	47	3.2
4	600	S	18.0	3.0	2.8	8.4	8.2	10.9	0.75	49	3.8
5	600	L	17.5	2.6	3.0	7.8	8.3	10.1	0.82	46	4.0
6	600	L	16.0	2.6	2.3	6.0	7.5	7.4	1.01	52	2.7
7	600	S	22.0	2.6	2.2	5.7	8.0	7.2	1.11	49	3.0
8	600	S	24.0	2.5	2.1	5.3	6.5	5.5	1.18	46	3.0
9	600	L	11.5	2.3	2.3	5.3	5.9	6.9	0.86	43	3.0
10	600	L	15.0	2.1	2.9	6.1	7.4	7.9	0.94	40	3.2
11	600	L	12.0	1.7	3.0	5.1	7.1	6.6	1.08	42	2.7
12	600	L	14.0	1.7	3.5	6.0	7.3	7.7	0.95	43	4.3
13	600	L	15.5	1.3	3.7	4.8	6.3	6.3	1.00	43	3.7
14	400	L	13.0	6.5	2.2	14.3	17.1	18.6	0.92	50	2.5
15	400	S	15.0	2.4	3.0	7.2	7.0	9.4	0.74	50	4.0
16	400	L	14.0	1.6	3.2	5.1	6.6	6.7	0.99	43	3.7
17	400	L	19.0	1.4	3.3	4.6	7.1	6.0	1.18	33	2.3
18	400	L	13.0	0.9	4.0	3.6	6.5	4.7	1.38	40	2.5

\*No.は測定データを打込み速度の大きい順にならべ直したもの



\*図中の直線は側圧作用時間:Tp  
を一定とした場合の理論側圧値を示す

図-4 打込み速度と側圧最大値の関係

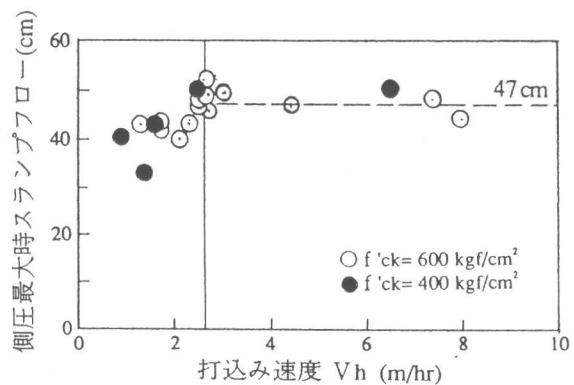


図-5 側圧最大時のスランプフロー

さが小さいため、新たに打込まれるコンクリートが筒先で混合し、コンクリートの流動性が保たれることとなり側圧が低減しないことが考えられる。

### 5. 側圧算定の定式化

この側圧の発生状況を模式的に図-6のように、評価式を式(1)のように表わすことができる(打込み速度が十分大きい場合)。すなわち、コンクリートの水中重量と打込み速度とコンクリートの側圧が最大となる時間との積により理論上の側圧が求まり、これに一定の側圧係数を乗ずることで、実際の側圧が計算できるものと考えられる。

$$P_{cl} = k_p \cdot W_c \cdot V_h \cdot T_{pmax} \quad \text{— 式(1)}$$

ここで、 $P_{cl}$ : 最大側圧( $tf/m^2$ ),  $k_p$ : 側圧係数,

$W_c$ : コンクリートの安定液

中の重量( $(2.35-1.05)tf/m^3$ ,

$V_h$ : 打込み速度( $m/hr$ )  $> 2.5m/hr$ ,

$T_{pmax}$ : 側圧最大時間( $hr$ ): 本材料配合条件・施工条件では $T_{pmax}$ はコンクリート打込からスランプローが47cmに低下するまでの時間(本工事の実績では2~3hrである)

側圧係数は、図-7に示すように、打込み速度が2.5m/hr程度以下では、先端突っこみの影響がのこり1以上となる場合があるが、これを上回る打込み速度条件下では0.90以下となる。

### 6. コンクリートの経時変化の変動範囲

コンクリートの打込み速度が大きいほど最大側圧の実測値が大きくなる傾向にあることは当然であるが、各打込み回ごとにコンクリートの経時変化特性には変動が生ずるため、側圧の計算による予測には一定の幅を持たせることが管理上必要と考えられる。

図-8には、コンクリート温度がコンクリートの側圧最大時間に及ぼす影響を示す。打込み速度が2.5m/hr以上のもので比較した場合、打込み温度が10℃変化することで、側圧最大時間が1時間程度変化する傾向が認められるが、同じ温度の場合でも、最大1時間程度のばらつきも認められる(A~

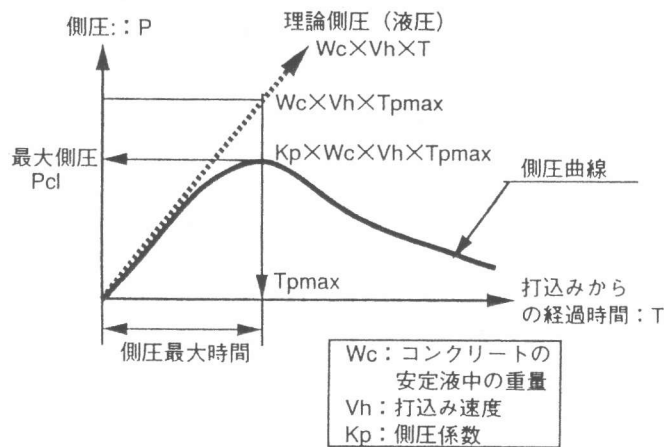


図-6 側圧発生 の概念図

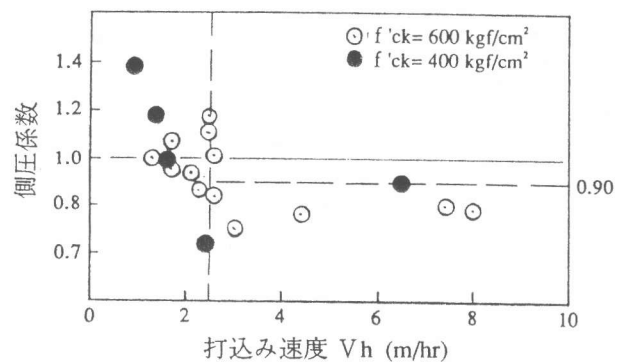


図-7 側圧係数の計算値

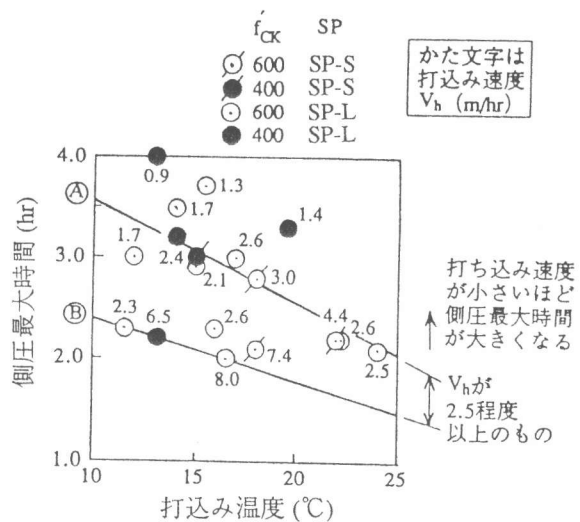


図-8 打込み温度が側圧最大時間に及ぼす影響

⑧の範囲)。

図-9には、打込み温度と製造からスランプフローが47cmになるまでの時間との関係を示す。スランプフローが47cmとなる時間の最大値は、打込み速度が2.5m/hr以上の場合の側圧最大時間にほぼ1時間を加えたものとなる。この時間差はコンクリートが製造されてから側圧計位置に打込まれるまでの時間差を示すものと考えられる。このことから、打上がり速度が一定以上の値であれば、スランプフローの経時変化を測定することで作用側圧を推定することが可能であることがわかる。

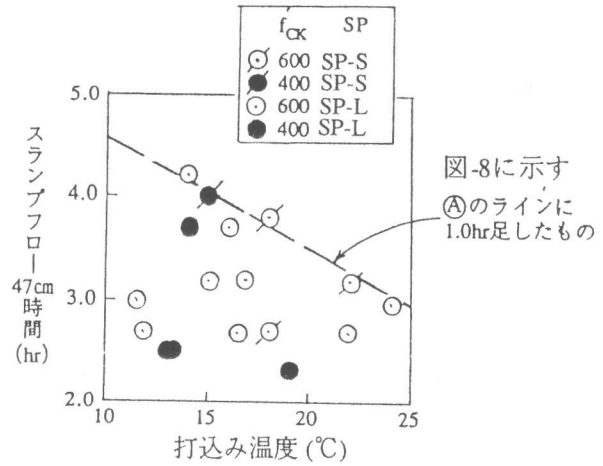


図-9 打込み温度がスランプフロー47cm時間に及ぼす影響

図-10には、経時変化を測定した全ての打込みケースにおける、打込み温度とコンクリートの製造からスランプフローが仕様値下限(表-1)となるまでの時間およびスランプフローが47cmとなるまでの時間との関係を示す。

仕様値下限となる時間については、これが1.5時間以上になるように制御しているが、この場合でもスランプフローが47cmとなる時間は打込み温度により変化する傾向がある。この変動幅は打込み温度10℃の相違に対して1時間程度である。また温度が一定の場合であっても、練上りスランプフローの大きさや材料特性自体の変動の影響により1時間以上の時間差は生じ得る。この傾向は図-8に示す最大側圧時間の変動幅と同等である。

図-11および図-12には、コンクリートの打込み温度が11.5~24℃の範囲での全ての経時変化データの変動幅をまとめた結果を示す。

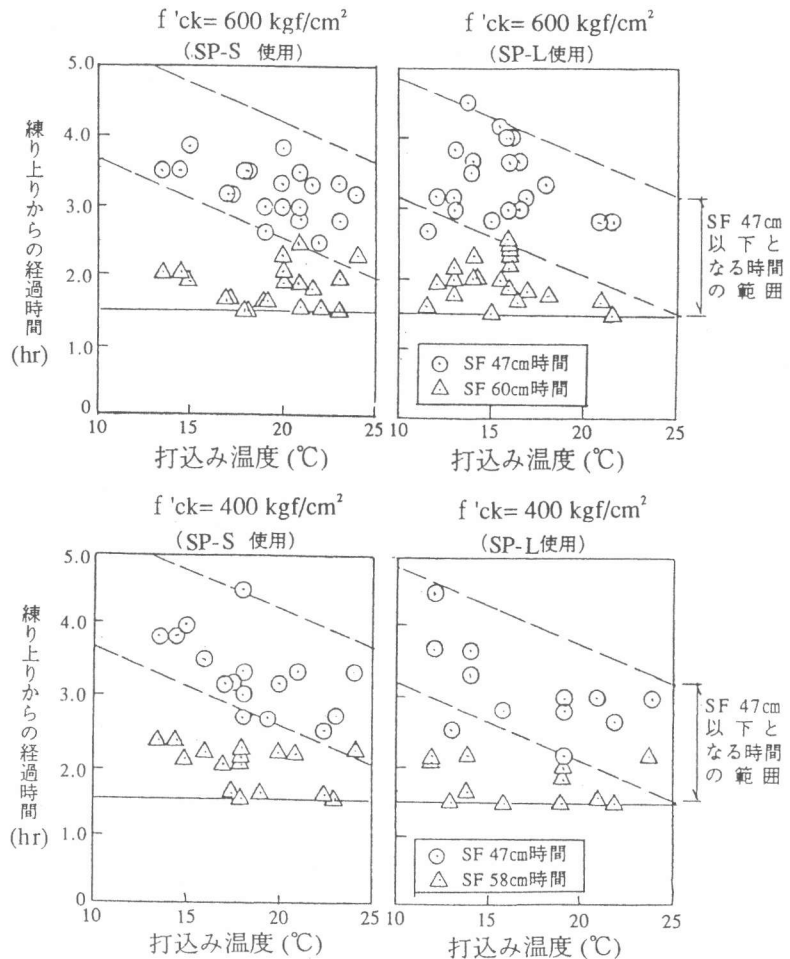


図-10 打込み温度とスランプフロー47cm時間の関係

1.5時間の所定スランプフローの保持に対して、打込み温度の変化や製造ロット毎の変動を含めて考慮した場合、管理目標値(1.5時間)に2σ相当(+0.6時間程度)の余裕が必要であると考えられる。

また側圧の予測に必要な、打込みから側圧最大までに要する時間に関係する、製造からスランプ

フローが47cmとなるまでの時間については、平均値から $2.5\sigma_s$ 相当の+1.4時間程度の変動幅を考慮した目標値を使用するのが妥当であると考えられる。

以上のように、本高流動コンクリートについての、打込み温度やコンクリート自体の性質からくる流動性の経時変化特性の変動幅が明らかとなった。

この結果に基づいて、コンクリートの流動性の保持目標を設け、その制御を行えば、過大な側圧が生じない地下連続壁の施工が可能となると考えられる。

### 7.まとめ

実際の地下連続壁工事において、自己充填性能を有する高流動コンクリートの側圧とコンクリートの流動性の保持性状との関係について調査した。この結果、以下が明らかとなった。

- 1) 本工事で使用した高流動コンクリートは1.5時間所要のスランプフローを保持した後、4.0時間以降には流動性を失わない自立する傾向を有する。
- 2) 本高流動コンクリートを一定の速度以上で打込んだ場合、スランプフローの経時変化測定値がおおよそ47cmとなる時間を自立の目安として側圧最大時間を考慮し、打込み速度と適切な側圧係数を考慮することで、側圧の最大値を予測することが可能である。
- 3) 側圧の管理・制御のためには、打込み速度の他に、打込み温度やコンクリートの自体の性質による経時変化特性の変動を考慮することが必要である。

これらの特性を考慮して側圧の管理・制御を行なうことで、仕切鋼板の適切な設計および過大な側圧が生じない地下連続壁の施工が可能となるものと考えられる。

### 参考文献

- [1] 大友健、田辺清、中川修、松木田正義：地下連続壁用低発熱高流動コンクリートの特性に関する研究、コンクリート工学論文集、Vol.5, No.2, 1994.7, pp.33~47
- [2] 大友健、松岡康訓、横井謙二、横田和直、坂本淳ほか：高強度・高流動コンクリートの実規模構造体における性能実証実験、大成建設技術研究所報 第27号, 1994.12, pp.63~74
- [3] 鎗木孝治、坪根康雄、横井謙二、堤洋一：高強度・高流動コンクリートの地下連続壁への適用—フレッシュコンクリートの性質—, 土木学会第50回年次学術講演会, 1995.9, pp.1152~1153

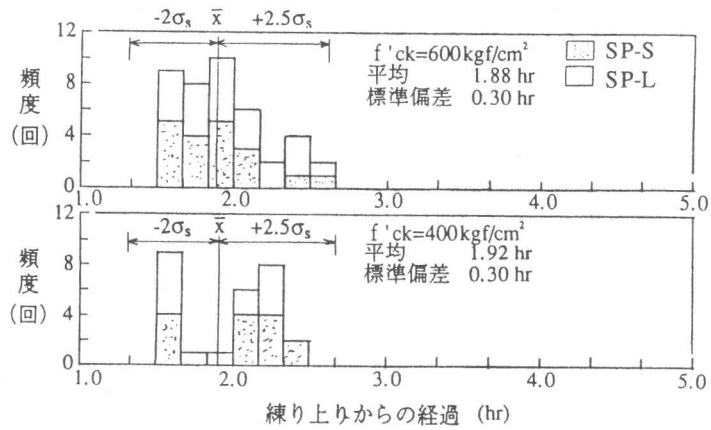


図-11 所定スランプフローの保持時間の変動状況

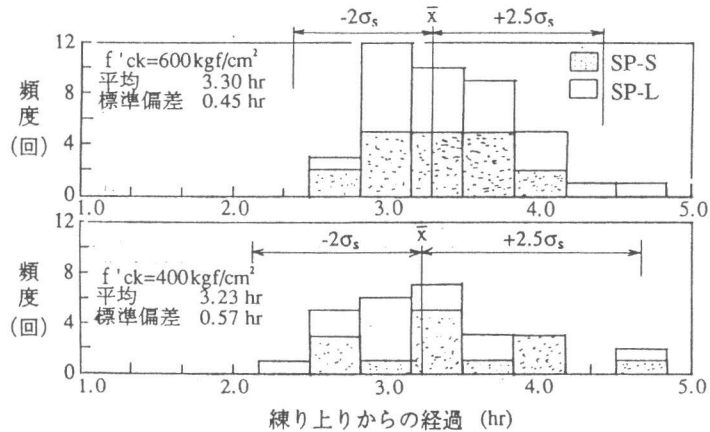


図-12 側圧最大時に相当するスランプフロー47cm時間の変動状況