

論文 スランプの経時変化を考慮した配合の設定方法に関する一考察

近松 竜一*1・入矢桂史郎*2・十河茂幸*3

要旨： 打込み時に所定のスランプが確保されるようにコンクリートを製造するには、スランプの経時変化を考慮して配合を設定する必要がある。そこで、各種の温度条件で単位水量やAE減水剤量を調整したスランプの経時変化をもとに、練上りから打込みまでの時間やコンクリートの練上り温度に応じた配合の設定方法について検討した。その結果、練上り温度や時間の経過に起因するスランプの変化に対しては、AE減水剤の使用量を調整することで十分に対処できることを示した。

キーワード： 打込み, スランプ, 経時変化, 温度, 単位水量, 高機能型 AE 減水剤

1. はじめに

土木学会のコンクリート標準示方書¹⁾では、練り混ぜはじめてから打ち終わるまでの時間を外気温が25℃を超える場合は1.5時間以内、25℃以下の場合には2時間以内を標準としている。この規定は、フレッシュコンクリートの品質が、環境温度が高いほど時間の経過に伴い変化し、施工時にトラブルや不具合が発生するリスクが大きくなることに配慮しているものと考えられる。

コンクリートの打込みに際して、充てん不良やコールドジョイントなどの初期欠陥を防止するには、構造条件や施工条件に応じて適切なワーカビリティをコンクリートに付与することが重要である。

ワーカビリティのうち、コンシステンシーの指標として用いられるスランプは、一般には打込みを基点として取り扱われる。例えば、工事仕様書や設計図書などに表記されているスランプは、原則的に打込み時における

スランプが示されている。

現場にプラントを設置してコンクリートを練り混ぜ、直ちに打ち込む場合、練上り時のスランプと打込み時のスランプはほぼ同一として扱うことができる。しかし、練混ぜ後、打ち込むまでに運搬に時間を要する場合は、この間のスランプの変化を予め見込む必要がある。

この練上りから打込みまでの時間の経過やポンプ圧送に起因するスランプの変化は、温度の影響はもとより、使用材料や配合によっても相違する。したがって、打込み時に所定のスランプが確保されるようコンクリートを製造するには、施工条件毎にスランプの経時変化を考慮した配合を設定する必要がある。

そこで、本研究では、各温度条件で単位水量やAE減水剤量を変化させた場合のスランプの経時変化を調べ、これらの結果をもとに練上りから打込みまでの時間や練上り温度に応じた配合の設定方法について考察した。

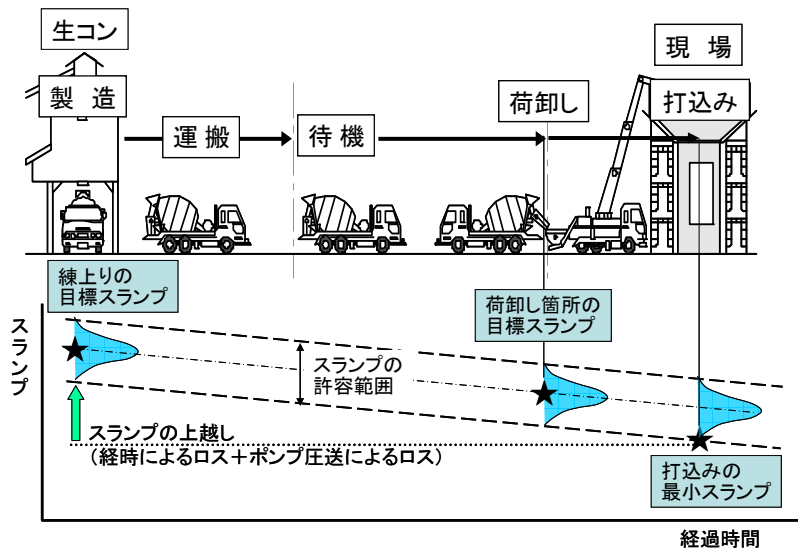


図-1 製造から打込みまでのコンクリートの流れとスランプの変化

*1 榊大林組技術本部技術研究所 生産技術研究部 主任研究員 工博 (正会員)

*2 榊大林組技術本部技術研究所 生産技術研究部 部長 工博 (正会員)

*3 榊大林組技術本部技術研究所 副所長 工博 (正会員)

表－1 壁部材における打込みの最小スランプの標準値²⁾

鋼材量	鋼材の最小あき	締固め作業高さ		
		3m未満	3m以上 5m未満	5m以上
200kg/m ³ 未満	100mm以上	8	10	15
	100mm未満	10	12	15
200kg/m ³ 以上 350kg/m ³ 未満	100mm以上	10	12	15
	100mm未満	12	12	15
350kg/m ³ 以上	—	15	15	15

表－2 部材接合部における打込みの最小スランプの標準値²⁾

鋼材量 ¹⁾	かぶりあるいは鋼材の最小あき	打込みの最小スランプ (cm)
350kg/m ³ 未満	50mm以上	5
	50mm未満	9
350kg/m ³ 以上 500kg/m ³ 未満	50mm以上	7
	50mm未満	12
500kg/m ³ 以上	50mm以上	9
	50mm未満	15

1) 単位容積あたりの鋼材量を示す。



写真－1 部材接合部の高密度配筋例
(鋼材量 350kg/m³, 鋼材の最小あき 50mm 未満)

表－3 圧送条件に応じたスランプ補正量の標準値

ポンプ圧送距離 (水平換算距離)	スランプの補正值	
	最小スランプが 12cm未満の場合	最小スランプが 12cm以上の場合
150m未満 (バケット打設等を含む)	補正なし	補正なし
150m以上300m未満	+1.0cm	補正なし
300m以上500m未満	+2.0cm～+3.0cm	+1.0cm

参考) 日平均気温が25℃を超えるときは、上記の値に+1.0cmする。

2. 施工条件を考慮したスランプ設定の考え方

製造から打込みまでのコンクリートの施工の流れとスランプの変化の概要を図－1に示す。

一般に、コンクリートはプラントで練り混ぜた後、アジテータ車に積載して現場まで運搬される。現場において荷卸した後、バケットやコンクリートポンプにより打込み箇所まで運搬され、所定の部位に打ち込まれる。最近では、レディーミクストコンクリートを購入する機会が多いが、この場合は「荷卸し」を境に、製品としてのコンクリートとともに品質に対する責任も製造者側から購入者（施工者）側へ移行することになる。

土木学会の施工性能に基づくコンクリートの配合設計・施工指針（案）²⁾では、「スランプ」に関連する用語として、時系列の概念と数値の意味を明確にすることを

意図して、図－1中に示したように、「打込みの最小スランプ」、「荷卸し箇所の目標スランプ」、「練上りの目標スランプ」の3つの用語が新たに定義されている。また、これらのうち「打込みの最小スランプ」については、部材毎に、鋼材量や最小あきなどの構造条件、打込み間隔や締固め時の作業高さなどの施工条件に応じて具体的な数値が示されている。参考までに、壁部材および部材接合部における打込みの最小スランプの標準値をそれぞれ表－1および表－2に示す。また、部材接合部で鉄筋が高密度に配筋された例を写真－1に示す。一方、「荷卸し箇所の目標スランプ」や「練上りの目標スランプ」については、上記の「打込みの最小スランプ」をもとに、製造時のばらつきや経時変化、ポンプ圧送による変化を考慮して設定するよう規定されている（表－3参照）。

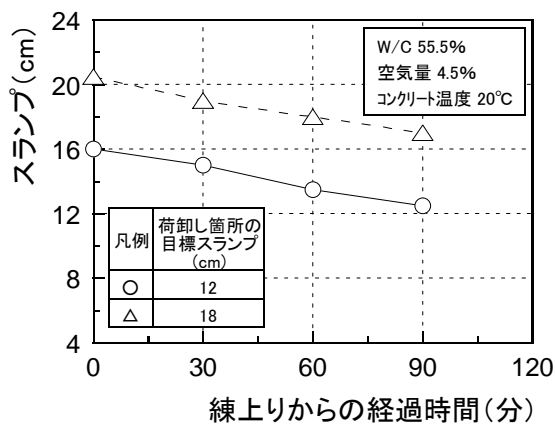


図-2 スランブの経時変化の一例

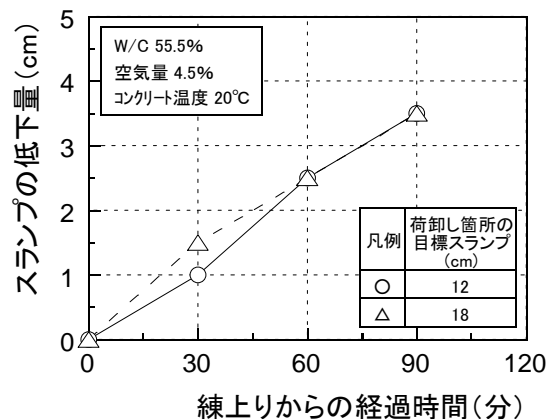


図-3 経過時間とスランブの割増し量

スランブの経時変化の一例として、スランブの水準が異なる2種類のコンクリートを実機ミキサで練り混ぜ、アジテータ車に積載してアジテートした状態でのスランブの経時変化を図-2に示す。また、これらの結果を練上りからの経過時間とスランブの低下量の関係で整理し、図-3に示す。

これらのコンクリートは、レディーミクストコンクリートの種類としては、呼び強度24、スランブ12cmおよび18cmに相当する。セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は川砂、川砂利、混和剤はAE減水剤を使用した配合で、コンクリートの温度および外気温はいずれも約20°Cである。

時間の経過に伴うスランブの低下量は、いずれの配合もほぼ同様で、練上りから30分後で約1cm、60分後で約2.5cmである。したがって、実際にコンクリートを製造する場合は、図-3に示す変化量を想定し、練上りから打込みまでの所要時間に応じて練上りの目標スランブを設定することになる。

なお、練上り後90分までの低下量は約3.5cmで、レディーミクストコンクリートにおける許容変動幅に比較しても相当に大きい値となっている。練混ぜから打込みまでの時間ができるだけ短くなるよう施工計画を立案することが望ましいことを示すものといえる。

3. 打込みまでの時間を考慮したスランブの調整方法

前節でスランブの経時変化の一例を示したように、一般には練上りから打込みまでに要する時間に応じて、練上り時に目標とするスランブが得られるよう、配合を設定する必要がある。そこで、単位水量やAE減水剤の量を調整することにより練上りのスランブを12~18cmの範囲で変化させ、それらの経時変化を測定した。

使用材料の概要を表-4に示す。セメントは普通ポル

トランドセメントを使用した。細骨材は川砂、粗骨材は川砂利を用いた。また、混和剤にはAE減水剤の標準型および高機能型³⁾を使用した。これらの混和剤のうち、AE減水剤の添加率を調整してスランブを増大させる場合は高機能型を使用した。

コンクリートの試験配合を表-5に示す。

配合条件は、水セメント比50%、空気量4.5±0.5%、試験温度は20°Cの一定とした。

練混ぜは、二軸強制練りミキサ(容量60L)を使用し、1バッチ当たりの練混ぜ量は40リットルとした。練混ぜ方法は、まず細骨材、粗骨材およびセメントを投入して10秒間練り混ぜた。その後、混和剤を希釈した練混ぜ水を加え60秒間練り混ぜた。練混ぜ終了後、コンクリートを容器に移して静置させておき、所定の時間が経過した時点で、切返しを行ってからスランブを測定した。

練上りからの経過時間とスランブの関係を図-4に示す。単位水量を変化させて練上りのスランブを調整した場合、スランブ12cmの配合を基準とすると、水量4kg/m³の増加に対してスランブは約3cm増大した。また、経時に伴いスランブが低下する傾向はいずれの配合についてもほぼ同様であった。

一方、高機能型のAE減水剤量の添加率を変化させてスランブを調整した場合、AE減水剤の添加率0.2%の増加に対してスランブは約3cm増大した。また、これらのスランブの経時変化は、水量で調整した配合より若干小さくなる傾向が認められた。これらのスランブの経時変化は、室内ミキサで練り混ぜた少量のコンクリートを静置した場合の結果であり、経過時間やスランブ低下量の絶対値は実際の施工と一致しないものの、打込みまでの時間に応じて配合を設定する場合には、単位水量よりAE減水剤の添加率を変化させる方がスランブの低下量が小さいことを示すものと考えられる。

表-4 使用材料の概要

種類	記号	物理的性質, その他
セメント	C	普通ポルトランド, 密度 3.16g/cm^3
細骨材	S	陸砂, 表乾密度 2.57g/cm^3 , 粗粒率2.79
粗骨材	G	砂利2505, 表乾密度 2.61g/cm^3 , 粗粒率6.77
AE減水剤	WR	標準型, リグニン系
	HWR	高機能型, リグニン系とポリカル系の複合体
AE剤	AE	AE剤, 変性アルキルカルボン酸系

表-5 実験に用いたコンクリートの配合

No.	練上りの 目標スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				混和剤 ($\text{C}\times\%$)			練上り直後		ブリー ディング 率 (%)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤 WR	高機能型 AE減水剤 HWR	AE剤 AE	スランプ (cm)	空気量 (%)	
1	12	50.0	45.4	160	320	809	989	0.25	-	0.003	12.5	5.2	2.0
2	15			164	328	802	979			0.003	15.0	4.9	2.3
3	18			168	336	794	970			0.004	18.0	6.0	2.2
4	15	50.0	45.4	160	320	809	989	-	0.80	0.005	16.0	5.3	2.1
5	18								1.00	0.005	18.5	5.0	1.8

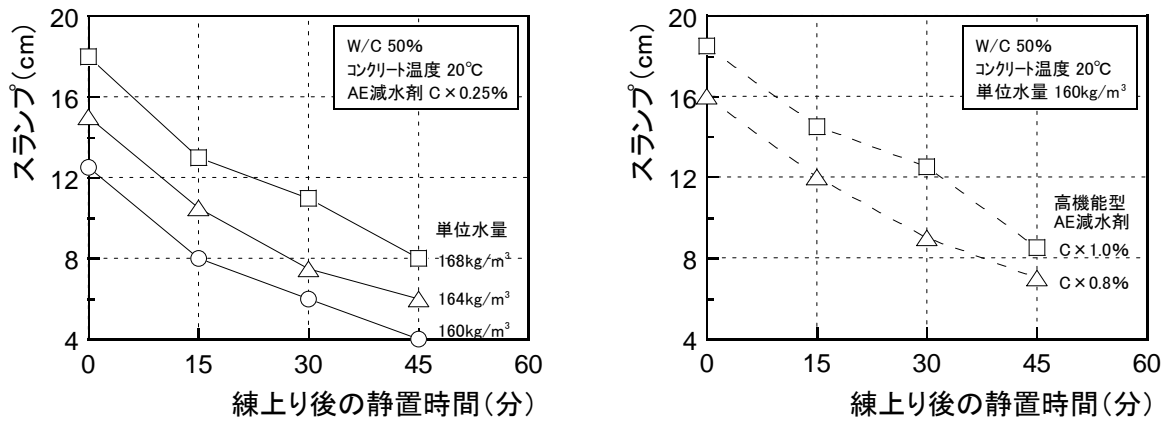


図-4 練上りからの経過時間とスランプの関係

4. コンクリート温度を考慮したスランプの調整方法

4.1 温度条件によるスランプの相違

コンクリートのコンシステンシーは、温度条件により大きく左右される。配合を一定とした場合、一般には温度が高いほどスランプは小さくなり、逆にスランプを一定とするには配合を変更する必要がある。そこで、前述の表-2に示す使用材料を用い、表-5中の NO.1 配合を対象にコンクリート温度の相違によるスランプの変化を調査した。結果を図-5に示す。コンクリート温度が高くなるに伴って練上りにおけるスランプが低下し、その低下の程度は、約 5°Cの温度変化に対して最大 1.5cm 程度であった。

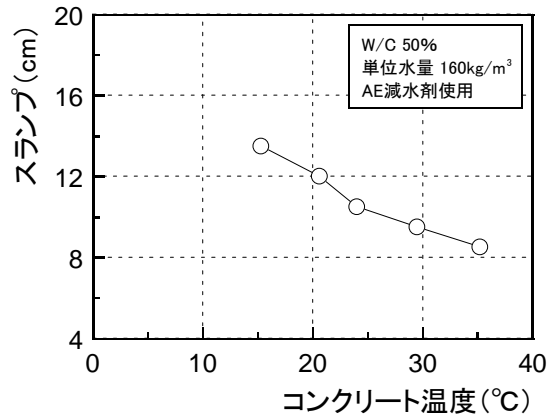


図-5 コンクリート温度とスランプ

表－6 使用材料の概要

種類	記号	物理的性質, その他
セメント	C	普通ポルトランド, 密度3.16g/cm ³
細骨材	S	陸砂, 表乾密度2.59g/cm ³ , 粗粒率2.56
粗骨材	G	碎石2005, 表乾密度2.65g/cm ³ , 粗粒率6.71
AE減水剤	WR	標準型, リグニン系
	HWR	高機能型, リグニン系とポリカル系の複合体
AE剤	AE	AE剤, 変性アルキルカルボン酸系

表－7 実験に用いたコンクリートの配合

No	練上り温度 (°C)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)			練上り 5分後		ブリーディング率 (%)	凝結時間 (h-m)	
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	高機能型AE減水剤	AE剤	スランプ	空気量		始発	終結
				W	C	S	G	WR	HWR	AE	(cm)	(%)			
1	15	50.0	45.0	155	310	818	1023	0.25	-	0.002	15.0	4.6	2.9	5-40	7-25
2	20			158	316	812	1016			0.002	14.5	4.7	2.9	5-30	7-10
3	25			161	322	807	1009			0.003	14.5	4.1	2.3	5-20	7-20
4	30			164	328	801	1002			0.004	15.0	4.7	2.3	5-20	7-20
5	15	50.0	45.0	155	310	818	1023	-	0.70	0.001	14.5	4.3	1.7	6-05	8-00
6	20								0.90	0.006	14.5	4.8	2.6	6-45	8-25
7	25								1.10	0.007	14.0	4.8	2.1	6-35	8-50
8	30								1.30	0.008	14.5	4.8	2.0	6-50	9-10

4.2 温度条件に応じたスランプの調整

環境温度を15℃から30℃の範囲で4水準に変化させ、コンクリートの単位水量およびAE減水剤量を変化させて練上りのスランプを一定に調整し、それらの経時変化を測定した。

使用材料の概要を表－6に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、細骨材は陸砂、粗骨材は碎石を使用した。混和剤は標準型および高機能型の2種類のAE減水剤を用い、AE減水剤の添加率を変化させてスランプを調整する場合には高機能型を使用した。

配合条件は、水セメント比50%、空気量4.5±0.5%とし、練上り5分後のスランプを14～15cmに調整した。練混ぜ方法およびスランプの測定方法については前節の実験と同様である。

実験に用いたコンクリートの配合および各種試験結果の一覧を表－7に示す。

また、単位水量を変化させてスランプを調整した場合のコンクリート温度と単位水量の関係、およびこれらのスランプの経時変化を図－6に示す。さらに、AE減水剤の添加率を変化させてスランプを調整した場合のコン

クリート温度と高機能型AE減水剤の添加率の関係およびこれらコンクリートのスランプの経時変化を図－7に示す。

単位水量を変化させて練上りのスランプを調整した場合、コンクリートの温度が約5℃増加するのに対して単位水量は約3kg/m³増加した。また、これらのスランプの経時低下量は温度水準によらずほぼ同様の傾向が認められた。一方、高機能型AE減水剤の添加率を変化させてスランプを調整した場合、コンクリートの温度が約5℃高くなると添加率は0.2%増加した。

また、練上り後のスランプの変化はいずれの温度水準もほぼ同様であるが、低下の程度は水量を増加させた場合より若干小さくなる傾向が認められた。

これらの結果は、前節の練上りから打込みまでの時間の経過を考慮した練上り時のスランプの調整と同様に、コンクリートの温度水準の相違に対応した配合の設定についても、高機能型のAE減水剤の使用量を適切に調整することにより単位水量を大幅に変化させることなく、スランプを調整できることを示すものと考えられる。

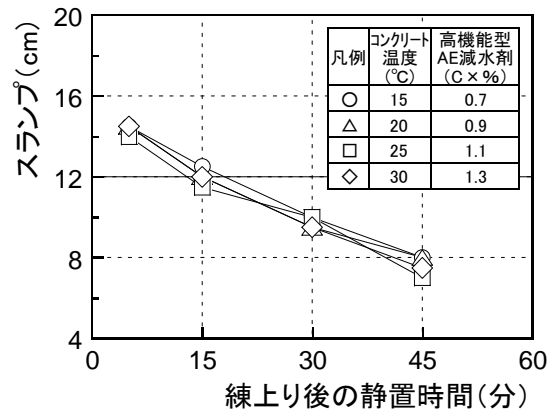
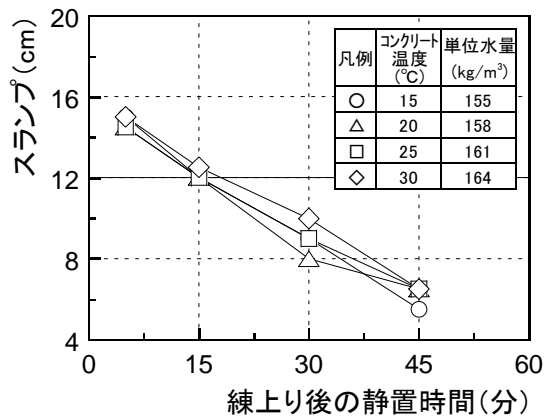
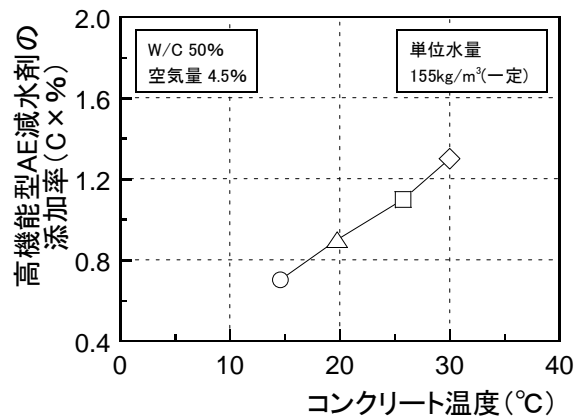
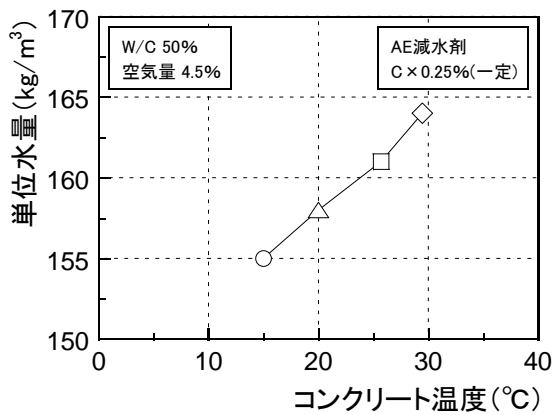


図-6 コンクリート温度と単位水量
およびスランプの経時変化

図-7 コンクリート温度と混和剤添加率
およびスランプの経時変化

5. まとめ

本実験の範囲内で得られた知見を以下に示す。

(1) 打込み時に所定のスランプが確保されるようにコンクリートを製造するには、温度や運搬時間などの諸条件を考慮してスランプの経時変化を見込み、配合を設定する必要がある。

(2) 練上りから打込みまでの時間に応じて配合を設定するには、単位水量より高機能型 AE 減水剤の使用量を調整する方が合理的である。

(3) コンクリート温度が約 5°C 増加した場合、同一のスランプを確保するには単位水量を約 3kg/m³ 増加するか、高機能型 AE 減水剤の添加率を約 0.2% 程度増加する必要がある。

参考文献

- 1) 2002 年制定コンクリート標準示方書〔施工編〕, 土木学会, 2002
- 2) 施工性能に基づくコンクリートの配合設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー126, 土木学会, 2007.3.
- 3) 近松竜一, 入矢桂史郎, 十河茂幸: 減水率が異なる各種混和剤を用いたコンクリートの施工性能, コンクリート工学年次大会論文集, Vol.29, No.2, pp.13-18, 2007.7