

スランプフローで管理する普通コンクリートのフレッシュ性状 と硬化物性に関する報告

○野崎 慎一*1 岩本 浩二*1 西 晶弘*1 島本 聡*1 平田 孝博*1

要旨：JIS A 5308 の改正に伴い、新たに規定された普通コンクリート区分におけるスランプフローで管理されるコンクリートについて、基礎データの収集、基礎配（調）合案の策定を目的として実機実験を行い性状の確認を行った。その結果、単位水量 175kg/m^3 と 185kg/m^3 との性状違いや高性能 AE 減水剤の種類が相違しても同等の性状であると判断できた。目的や施工条件に応じて、配（調）合を決定し、適材適所に使い分け使用されることを期待する。

キーワード：高流動コンクリート、増粘剤一液タイプ、スランプフロー、JIS A 5308 標準化、Jリングフロー、円筒貫入試験

1. はじめに

第 21 回生コン技術大会にて論文発表¹⁾を行った内容に、今回新たに追加実機実験を行いその内容を発展させることとした。その背景は、2021 年 12 月に、日本建築学会「高流動コンクリートの材料・配（調）合・製造・施工指針」²⁾（以下、高流動指針という）の改定が行われ、同高流動指針の主な内容に、「単位水量は、原則として 185 kg/m^3 以下とする」という指針が示されたことを勘案し、より広範囲の確認が必要と考えたからである。

第 21 回生コン技術大会にて既報の、単位水量 175 kg/m^3 と高性能 AE 減水剤増粘剤一液タイプ（以下、VSP という）の組合せ（以下、175VSP という）の実験結果に、新たに単位水量 185 kg/m^3 と高性能 AE 減水剤（以下、SP という）の組合せ（以下、185SP という）を追加し、これまでの実験結果と併せて報告する。

2. 実験概要

大阪兵庫生コンクリート工業組合（以下、工組という）の組合員工場で採用されている代表的な使用材料を、骨材の種類、産地の違いによる差異を併せて確認できるように実施することとした。

実機実験は、工組傘下 8 工場を選定し、室内試し練りで得られた単位粗骨材かさ容積を用いて、3 シーズン（夏期・標準期・冬期）毎に実機にて 1.5 m^3 を 2 バッチ製造し 3 m^3 を試料とした。8 工場で 48 バッチ製造を行い、諸条件をできるだけ工場間の差をなくすように努め、夏期についてはアジテータ車を直射日光のあたる場所で待機させた。全シーズンにおいてフレッシュコンクリートの経時変化を確認するため 30 分ごとの 120 分まで、各種試験を実施することとした。

今回、追加実験として 2 シーズン（夏期・標準期）を実機にて 2 工場で 8 バッチ製造を行った。なお、185SP の夏期のみ、高性能 AE 減水剤は遅延形を使用した。

*1 大阪兵庫生コンクリート工業組合

(1) 実験配 (調) 合

室内実験により、表-1 に示す実機実験の配 (調) 合を決定した。セメントは普通ポルトランドセメント，練混ぜ水については一般的に使用されている上澄水を上水道水・地下水などと混合して使用した。なお，セメントの種類違いの実験については，今後の課題とすることとした。

(2) 実機実験

表-2 に実機実験で使用した主な骨材物性を，表-3 に実機実験における目標品質を示す。スランプフローはシーズン毎に経時変化の違いが見込まれるため，練上がりスランプフロー目標値の検証も実施することとした。また，夏期の実験においては，練上がりスランプフローの目標値を設計値の許容範囲上限に設定し，スランプフローの変化量を把握するとともに材料分離抵抗性が失われていないか確認することとした。また，打ち重ね時間間隔の限度を把握するためにコンクリートの凝結試験を，高流動コンクリートが CFT 造に採用されることも考慮し，ブリーディング試験および沈降量試験を実施することとした。

表-4 に試験項目を示す。材料分離の有無の確認を，目視による確認のほか，J リングフロー試験と円筒貫入試験を実施し，材料分離抵抗性の定量的な判定が可能であるかを検証した。

3. 実機実験のフレッシュ性状結果

(1) 経過時間とスランプフローの関係

図-1 に，経過時間とスランプフローの関係をシーズン毎に示す。175VSP は標準期と比較し，夏期は変化量が大きく，冬期は変化量が小さいことが分かった。185SP は夏期に遅延形の高性能 AE 減水剤を使用したため変化量は小さくなった。なお，3 シーズンを通じ，概ねスランプフローは経過時間とともに緩やかに低下しており，急激な低下は見られなかった。

表-1 実機実験配 (調) 合

工場名	調合	W/C (%)	単位粗骨材かさ容積(L/m ³)	単位水量(kg/m ³)	高性能AE減水剤	添加率 (C×%)		
						夏期	標準期	冬期
A	27-45-20N	54	560	175	VSP	1.275	1.400	1.175
B	27-45-20N		540			1.800	1.500	1.350
C	33-50-20N	47	550			1.050	0.850	0.800
D	33-50-20N		530			1.500	1.075	1.050
E	36-55-20N	44	545			1.450	1.450	1.050
F	36-55-20N		570			2.575	1.650	1.400
G	40-60-20N	40	520			1.600	1.450	1.350
H	40-60-20N		540			1.600	1.350	1.250
A	27-45-20N	54	560	185	SP	1.000	0.850	-
G	40-60-20N	40	520			1.650	1.500	-

表-2 使用骨材物性

骨材の種類	産地記号	使用工場	表乾密度(g/cm ³)	微粒分量(%)	吸水率(%)
山砂	JY	D	2.56	1.4	1.69
海砂	KT	B・F	2.58	1.1	1.27
砕砂	TK	D・H	2.65	4.5	1.59
石灰砕砂	TKM	A・C・G	2.68	4.7	0.56
砕石1505	TK	D	2.68	0.1	0.85
砕石2010	TK	D	2.68	0.1	0.71
石灰砕石2005	TKM	A・C・E	2.70	0.7	0.26

表-3 目標品質

試験項目	目標品質		
	夏期	標準期	冬期
スランプフロー	45, 50, 55cm : 設計値±7.5cm 60cm : 設計値±10cm		
空気量	4.5%±1.5		
コンクリート温度	30℃以上	15℃超25℃以下	15℃以下
Jリングフロー試験	PJ値 500mm : 60mm以下，550mm : 50mm以下 600mm : 40mm以下 ブロッキング値 : 75mm以下		
円筒貫入試験	40mm以下		
コンクリートの凝結試験	貫入抵抗値が 0.1, 0.5, 1.0N/mm ² に達する時間を測定		
ブリーディング試験	0.3cm ³ /cm ² 以下		
沈降量試験	2.0mm以下		

表-4 試験項目

試験項目 (○175VSP ●185SP)	試験方法	実施時期			採取時間
		夏期	標準期	冬期	
スランプフロー	JIS A 1150	○●	○●	○	練上がり直後 30分、60分 90分、120分
空気量	JIS A 1128	○●	○●	○	
コンクリート温度	JIS A 1156	○●	○●	○	
外気温度	-	○●	○●	○	練上がり直後
単位水量	高周波加熱乾燥法	○●	○●	○	
単位容積質量	JIS A 1116	○●	○●	○	
Jリングフロー試験	JIS A 1159 JIS A 1160	●	○●	○	練上がり直後 30分
円筒貫入試験	-	●	○●	○	
コンクリートの凝結試験	JIS A 1147	○●	○●	○	30分
ブリーディング試験	JIS A 1123	○●	○●	○	
沈降量試験	JASS 5 T-503 : 2018	●	●	○	
圧縮強度	JIS A 1132 JIS A 1108	○●	○●	○	

(2) コンクリート温度とスランプフロー変化量の関係

図-2 に経過時間 90 分後のコンクリート温度（以下、CT という）とスランプフローの変化量の関係を示す。図に示すように、CT が低くなるにつれて、若干ではあるが、スランプフロー変化量は小さくなる傾向を示している。なお、CT が 35°C を超えてもスランプフロー変化量が極端に大きくなることは確認されなかった。さらに、175VSP と 185SP に明確な差は認められなかった。

(3) 経過時間と空気量の関係

図-3 に経過時間と空気量の関係を示す。空気量の増減について、配（調）合および 3 シーズンの違いによる影響は明確には確認できなかった。経過時間とともに空気量がほぼ同等に推移する傾向が夏期、標準期の一部配（調）合において現れているが、全体では増加する結果となった。さらに、175VSP と 185SP に明確な差は認められなかった。

(4) Jリングフロー試験

JIS A 1160 「増粘剤含有高性能 AE 減水剤を使用した高流動コンクリートのワーカビリティの評価基準」に準じて評価を行った。図-4 に目標スランプフローと PJ 値、ブロッキング値の関係を示す。実機実験において PJ 値、ブロッキング値は、評価基準を満足しており、間隙通過性を有するコンクリートであったと考えられる。さらに、185SP ではフレッシュ性状の粘性が緩和され若干間隙通過性が高い値を示したが 175VSP と 185SP に明確な差は認められなかった。

(5) 凝結試験

JASS 5 では、コンクリートの養生温度と打重ね許容時間の関係を貫入抵抗値で示しており、養生温度、躯体に要求される性能および締固め条件などによって、0.1N/mm²、0.5N/mm²、1.0N/mm² の 3 水準の貫入抵抗値が示されている。

今回の実験では、この 3 水準の到達時間について確認することとしたが、ここでは 0.5 N/mm² について報告する。

貫入抵抗試験が 0.5 N/mm² に到達した時間と CT の関係を図-5 に、目標スランプフローとの関係を図-6 に示す。

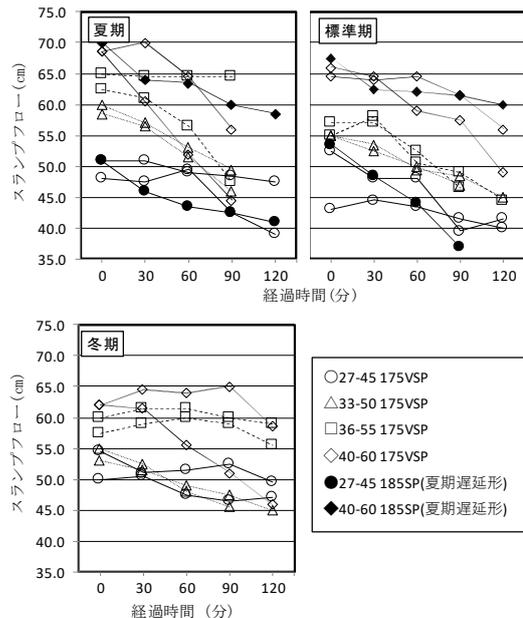


図-1 経過時間とスランプフローの関係

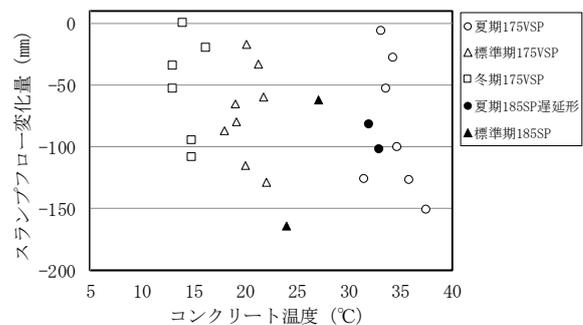


図-2 CT とスランプフロー変化量の関係

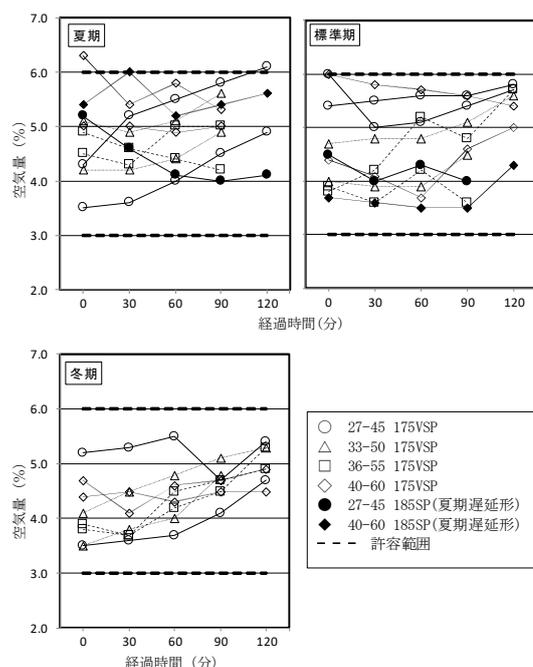


図-3 経過時間と空気量の関係

夏期（外気温が 25℃以上）のコンクリートにおける打重ね時間間隔の限度を 120 分，練混ぜから打込み終了までの時間の限度を 90 分とすると，練混ぜ開始から貫入抵抗値 0.5 N/mm² に達するまでの時間が 210 分（3 時間 30 分）以上であれば，先に打ち込んだコンクリートの再振動可能時間内であることが想定できる。そこで，検証を行った結果，全期間において，到達時間 210 分を満足しており，コールドジョイントの発生が懸念される夏期においても，先に打ち込んだコンクリートの再振動可能時間内であることを確認した。

また，実験を行ったそれぞれの工場の結果について，夏期，標準期，冬期と CT が低くなるにつれ，貫入抵抗時間が長くなることから，多少のバラツキはあるが，その傾向を読み取ることができる。

一方，冬期においても実験結果から，凝結が極端に遅延することはなく，適当な凝結時間を確保されていることが確認できた。さらに，185SP は夏期に遅延形の高性能 AE 減水剤を使用したため若干凝結が遅くなる傾向を示したが，175VSP と 185SP に明確な差は認められなかった。

(6) ブリーディング試験

ブリーディング試験の結果を図-7 に示す。夏期，標準期，冬期の実験結果において，冬期についてはやや大きい値にはなったが，特に顕著にその関係を示す結果とはならなかった。今回の実験では，単位水量が一定という条件で実機実験を行っており，セメント量および混和剤使用量等，配（調）合条件によるブリーディング量における相関関係は，確認することができなかった。ただし，高流動コンクリートのブリーディング量においては，0.3cm³/cm² 以下とされており，十分に満足する結果となった。さらに，鋼管充填コンクリートにおいては 0.1cm³/cm² 以下とされているが，これについても満足した。さらに，175VSP と 185SP に明確な差は認められなかった。

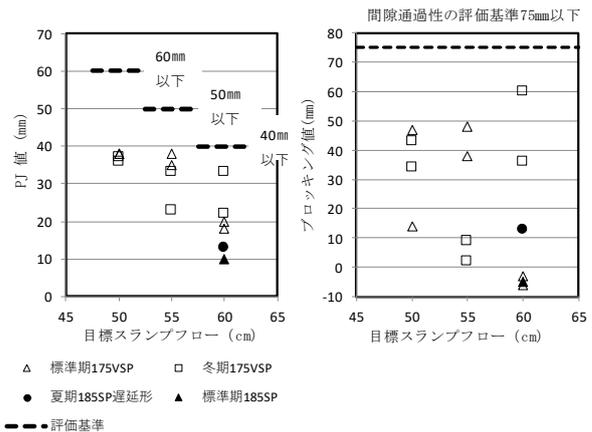


図-4 目標スランプフローと PJ 値，
ブロッキング値の関係

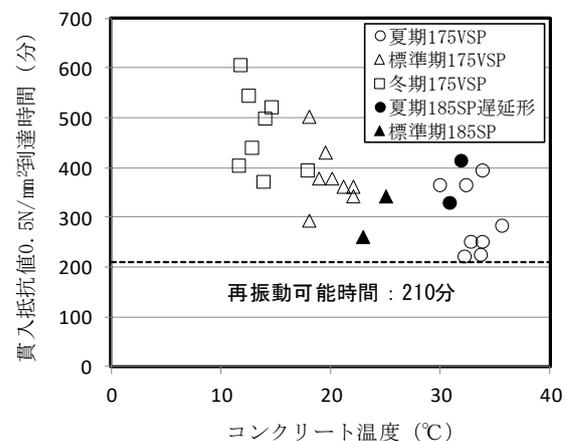


図-5 貫入抵抗値が 0.5N/mm² に到達した
時間と CT の関係の関係

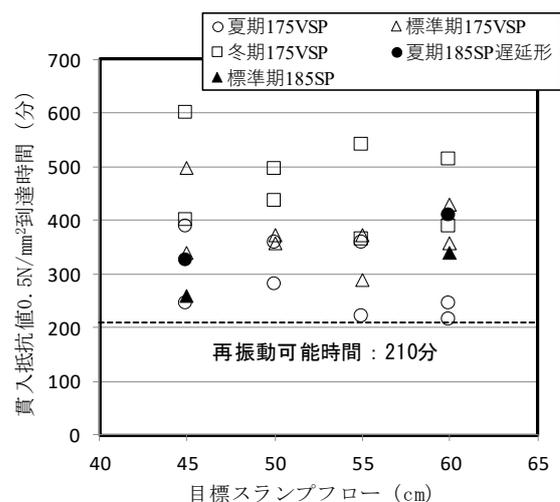


図-6 貫入抵抗値が 0.5N/mm² に到達した
時間とスランプフローの関係

(7) 沈降試験

沈降量試験の結果を図-8 に示す。沈降量についても、配（調）合条件による相関関係は確認することができなかった。今回の実験では、いずれも目標管理値の 2mm を下回り、問題がないことを確認した。さらに、175VSP と 185SP では若干 185SP の値が大きくなる傾向を示すが明確な差は認められなかった。

(8) 材料分離抵抗性

実験を行う中で、試料採取時の一輪車や練り舟でのフレッシュコンクリートを目視で確認したところ、分離気味と思われるような状態でも、スランプフロー試験の結果および目視による状態は、試験値を満足し、良好なフレッシュコンクリートの性状と判断された。このことから、スランプフロー試験の試験結果およびスランプフロー性状を、目視検査だけで材料分離抵抗性を判定することは、難しいのではないかと考えられる。

そのため材料分離抵抗性を簡易的に評価できる試験方法として、円筒貫入試験を行うこととした。モルタル流入量の目安として、40mm 以下を材料分離抵抗性があるとして試験を行った。

円筒貫入試験の結果を図-9 に示す。今回の実験結果において、スランプフローが大きくなるとモルタル流入量が多くなり、スランプフローとモルタル流入量の関係に相関関係があることがわかった。また目安としていた 40mm についてもスランプフローが大きい配（調）合について一部多くなったものもあった。さらに、175VSP と 185SP では若干 185SP の値が大きくなる傾向を示すが明確な差は認められなかった。

4. 硬化物性

(1) セメント水比と圧縮強度との関係

3 シーズン行った実機実験のセメント水比と圧縮強度の関係を図-10 に示す。実機実験に用いた配（調）合は、工組にて採用さ

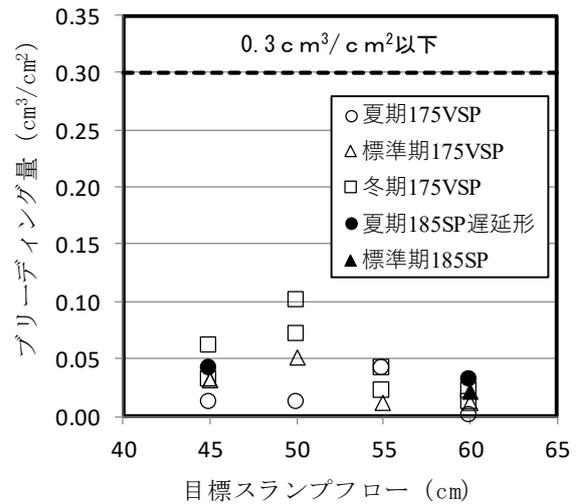


図-7 ブリーディング試験結果

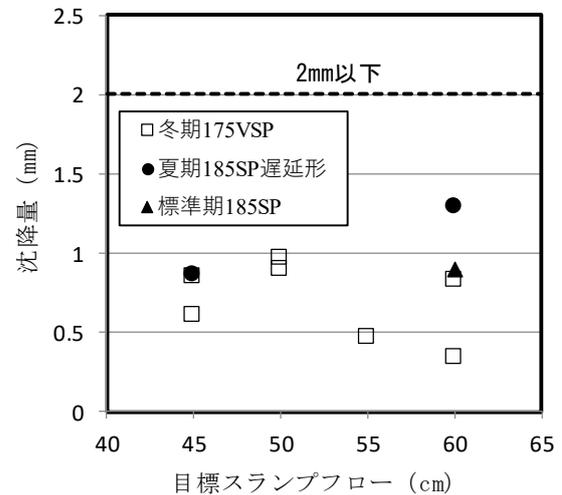


図-8 沈降量試験結果

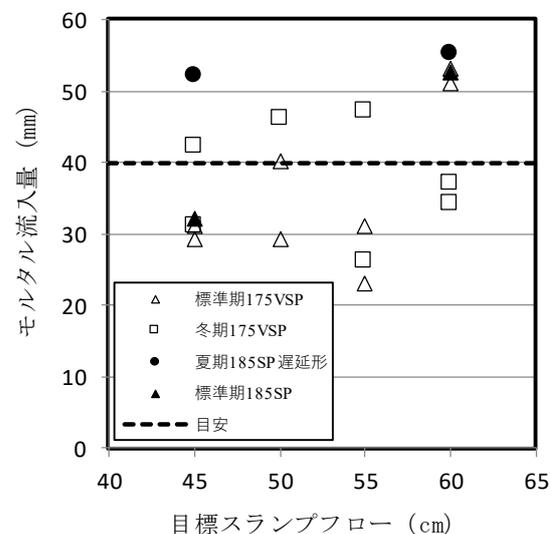


図-9 円筒貫入試験結果

れている普通コンクリートの採用式を用いて配（調）合設計をした。

図-10 に3シーズン行った実機実験の圧縮強度を一次回帰直線式で表すと、3シーズンとも関係式は全て信頼区間95%以内となり、セメント水比と圧縮強度の関係は良好であり、圧縮強度は全て満足する結果であることが確認できた。

(2) スランプとスランプフローとの圧縮強度の比較

図-10 で確認した高流動コンクリートの採用式は、工組ではスランプの採用式であるため、スランプフローとした場合に、スランプとスランプフローの圧縮強度に差異があるのかを今回実験したスランプフロー配（調）合の圧縮強度と実機で製造した同一呼び強度のスランプ配（調）合の実験日直近30個平均値の圧縮強度を用いて比較した。その結果を図-11 に示す。スランプフロー配（調）合の方がスランプ配（調）合よりやや大きい圧縮強度値を示しているのは、混和剤の使用量がスランプ配（調）合よりも多かったことにより、セメントの分散効果を高め圧縮強度に寄与するための効果が高まったことで圧縮強度が大きくなったものと考えられる。

また、骨材の種類、産地の違いによる圧縮強度の差も見受けられないことを確認した。さらに、175VSP と 185SP に明確な差は認められなかった。

5. まとめ

今回の実験の目的である 175VSP と 185SP のフレッシュ性状と硬化物性の比較・確認について、若干の違いを示した試験項目もあるが、同等であると判断できた。工組において一般的に使用されている材料に関して、3シーズンのフレッシュ性状および硬化物性について確認し、実機において製造可能であることがわかった。これらのことから今後、目的や施工条件に応じて 175VSP と 185SP を適材適所に使い分け使用されることも期待される。

以上、本報で得られた知見を活用し高流動コンクリートの標準化を促進し、コンクリート構造物の品質向上および生産性向上に貢献したい。

S FWG委員 西 晶弘, 岩本 浩二, 平田 孝博, 島本 聡, 中尾 陽一, 尾崎 圭司,
安田 慎吾, 野崎 慎一, 山本 佳秀

参考文献

- 1) 西 晶弘ほか：スランプフローで管理する普通コンクリートのフレッシュ性状と硬化物性に関する報告：第21回（2021年）生コン技術大会研究発表論文集，pp.1-6，2021
- 2) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針・同解説，2021

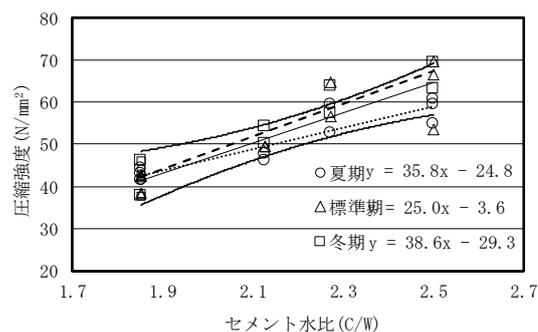


図-10 セメント水比と圧縮強度の関係

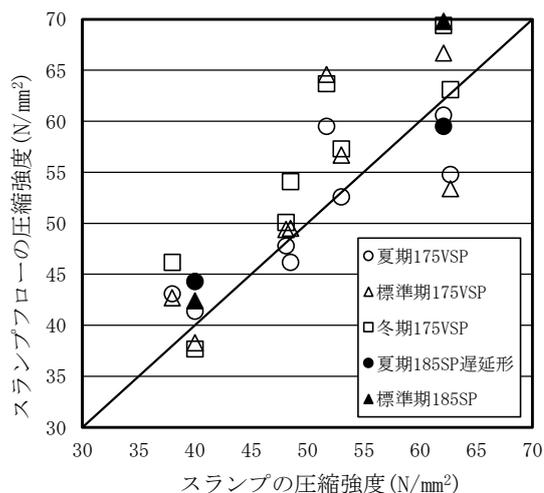


図-11 スランプとスランプフローとの圧縮強度の比較