

細骨材の表面水率の違いがコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響

日本国土開発 (株)	工修	○松浦 佑弥
千葉工業大学	博(工)	橋本 紳一郎
(株) 富士ピー・エス 正会員	博(工)	徳光 卓
(株) 富士ピー・エス 正会員		杉江 匡紀

Abstract : Among the aggregate, fine aggregate having a large specific surface area is difficult to control the surface moisture. Therefore, when kneading the concrete, measure the surface water of the aggregate and adjust the unit water amount so that the total water amount becomes constant are doing. However, when different aggregates of surface moisture are used, quality variation of concrete may be greatly different. Experiments were carried out to clarify the influence of the difference in surface moisture of fine aggregate on the quality of concrete of civil engineering combined with slump management. As a result, the difference in the surface water rate affects the fresh state of concrete of civil engineering in slump management, but it is thought that the influence on properties after curing during hardening is small. Therefore, in order to manufacture concrete with stable quality, it is better to have fine aggregate with moisture and to knead it.

Key words : Fine aggregate, Surface moisture, Fresh property, Change with time

1. はじめに

品質の安定したコンクリートを製造するには単位水量の管理が重要である。骨材の表面水率は、骨材置場の状態によって雨水の影響や気象条件の影響を受けやすく、骨材サイロ内の表面水率も必ずしも均一ではない。配合選定を行う際に、実験室などで行われる試し練りで用いられるコンクリート用骨材は表面水率を0%付近に調整し、表面乾燥飽水状態(表乾状態)で管理する。一方、生コンプラントで使用されるコンクリート用骨材の多くは表乾状態から湿潤状態の間で管理され、製造前に骨材の表面水率を測定して、単位水量を調整することによって水量が配合設計の値と同一になるよう調整している。しかし、表面水率の異なる骨材を用いた場合には、コンクリートの品質が大きく異なることがある¹⁾。

このような背景から、表面水率の違いがコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響について、高強度コンクリートを対象とした研究²⁾や自己充填コンクリートを想定したモルタルの流動特性に及ぼす影響について検討³⁾された事例が報告されている。しかし、土木用途のスランプ管理の配合において検討された例は少ない。

そこで本研究では、土木用を想定したスランプ管理の配合において同一スランプ・空気量のコンクリートに対し、表面水率の異なる細骨材を使用した際に、配合条件の違いおよび練混ぜ手順の相違がコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

本研究では、細骨材の表面水率の違いがコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響について2つのシリーズで検討した。シリーズ1では、配合条件の違いと細骨材の表面水率の違いがフレッシュ性状に及ぼす影響について検討した。シリーズ2では、練混ぜ手順の違いと細骨材の表面水率の違いがフレッシュ性状に及ぼす影響について検討した。練混ぜ手順以外は、すべて同一の試験を行った。

2.1 細骨材の表面水率

表面水率の異なる細骨材は「表面乾燥飽水状態(表乾)」, 「湿潤状態(湿潤)」, 「絶対乾燥状

態(絶乾)」の3水準を用意した。「表乾」は目標表面水率を $0 \pm 0.5\%$ とし、「湿潤」は目標表面水率を $2.5 \pm 0.5\%$ として、可傾式ミキサーを用いて表面水率が均一となるよう調整した。「絶乾」は骨材内部に含まれる自由水を完全に取り去るため、乾燥炉(105±5℃)で24時間乾燥させ、密閉容器内で室温まで冷却した。

2.2 使用材料

本試験で使用した材料は、セメント：普通ポルトランドセメント(密度：3.15g/cm³，記号:C)，細骨材：海砂(表乾密度：2.58g/cm³，絶乾密度：2.54g/cm³，記号:S)，粗骨材：碎石(表乾密度：2.75g/cm³，記号:G)，AE減水剤(リグニンスルホン酸系，記号:Ad)，高性能減水剤(ポリカルボン酸エーテル，記号:SP)，AE助剤(アルキルエーテル系，ポリアルキレングリコール誘導体，記号:AE)である。

2.3 配合

(1) コンクリートの配合

表-1にコンクリートの配合と表面水率，練上がり時のスランブおよび空気量の実測値を示す。コンクリートは，目標スランブ12±1.5cm，目標空気量4.5±0.5%となるように混和剤で調整した。試験は室温20℃で行った。

(2) モルタルの配合

表-2にモルタルの配合と表面水率，15打のモルタルフローの実測値を示す。試料は，目標モルタルフローの15打フローが180±5mm(コンクリートのスランブがおおよそ12cmに相当)になるように混和剤で調整した。試験は室温20℃で行った。

2.4 練混ぜ手順

コンクリートおよびモルタルの練混ぜ時間は120秒とした。

(1) コンクリートの練混ぜ手順

コンクリートの練混ぜは強制二軸練ミキサー(容積60L)を用いた。練混ぜ手順として，図-1に材料の投入順序と練混ぜ時間を示す。シリーズ1はNo. 1～No. 6の配合を用いてCase1の手順で練り混ぜた。シリーズ2ではNo. 1の配合を用いてCase1～Case3の手順で練り混ぜた。

(2) モルタルの練混ぜ手順

モルタルの練混ぜはパドル式ミキサー(容積2L)を用いた。コンクリートと同様に練混ぜ手順は，図-2に材料の投入順序と練混ぜ時間を示す。シリーズ1はNo. 1～No. 4の配合を用いてCase1の手順で練り混ぜた。シリーズ2ではNo. 1の配合を用いてCase1～Case3の手順で練り混ぜた。

2.5 試験方法

表-1 コンクリートの配合

	W (kg/m ³)	W/C (%)	s/a (%)	表面水率		実測スランブ (cm)	実測空気量 (%)	コンクリート温度(℃)			
				表乾	湿潤						
シリーズ1	No.1 (Case1)	165	40	43	表乾	11.5	4.5	22.3			
					湿潤	12.0	4.7	22.6			
					絶乾	12.5	5.0	19.2			
	48			表乾	10.5	4.5	21.9				
				湿潤	10.5	4.6	21.6				
				絶乾	12.0	4.1	20.6				
	No.3 (Case1)	155	43	表乾	13.0	4.1	21.0				
				湿潤	11.0	4.2	20.4				
				絶乾	11.0	4.6	22.8				
	No.4 (Case1)			175	43	表乾	11.0	4.5	21.9		
						湿潤	11.0	4.0	22.1		
						絶乾	10.5	4.2	22.9		
No.5 (Case1)	165	55	表乾			11.0	4.9	22.8			
			湿潤			10.5	4.9	21.0			
			絶乾			11.0	4.6	18.9			
No.6 (Case1)			165	55	表乾	11.5	4.8	22.3			
					湿潤	12.0	4.7	23.6			
					絶乾	12.5	5.0	19.2			
シリーズ2	165	40			43	表乾	12.5	4.5	20.6		
						湿潤	12.0	4.9	19.4		
						絶乾	13.0	4.9	20.6		
			No.1 (Case1)	165		40	43	表乾	13.0	4.3	19.8
								湿潤	11.0	4.0	21.2
								絶乾	12.5	4.2	20.2
	No.2 (Case1)	165	40		43			表乾	12.5	4.5	20.6
								湿潤	12.0	4.9	19.4
								絶乾	13.0	4.9	20.6
	No.3 (Case1)			165		40	43	表乾	13.0	4.3	19.8
								湿潤	11.0	4.0	21.2
								絶乾	12.5	4.2	20.2

表-2 モルタルの配合

	W (kg/m ³)	W/C (%)	s/c	表面水率		実測15打フロー (mm)	モルタル温度(℃)			
				表乾	湿潤					
シリーズ1	No.1 (Case1)	243	40	1.77	表乾	184	17.7			
					湿潤	178	18.2			
					絶乾	182	17.6			
	No.2 (Case1)			231	1.98	表乾	180	17.8		
						湿潤	182	17.6		
						絶乾	176	17.8		
	No.3 (Case1)	232	1.94			表乾	183	18.7		
						湿潤	184	18.1		
						絶乾	17	18.0		
	No.4 (Case1)			254	1.63	表乾	177	18.2		
						湿潤	180	17.6		
						絶乾	184	17.7		
シリーズ2	243	1.77	1.77			表乾	178	18.4		
						湿潤	181	18.9		
						絶乾	184	18.1		
				No.1 (Case2)	243	1.77	1.77	表乾	185	18.0
								湿潤	179	17.8
								絶乾	179	17.8
	No.1 (Case3)	243	1.77	1.77				表乾	17	18.2
								湿潤	178	18.4
								絶乾	181	18.9

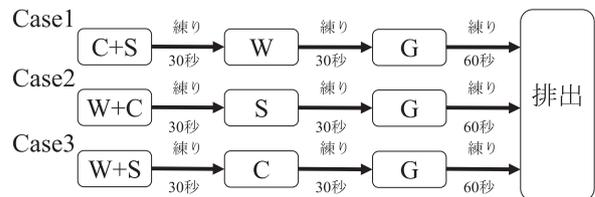


図-1 コンクリートの練混ぜ手順

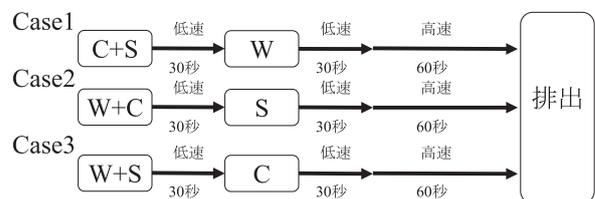


図-2 モルタルの練混ぜ手順

2.5.1 コンクリート試験方法

(1) スランプ試験, 空気量試験

スランプ試験はJIS A 1101, 空気量試験はJIS A 1128に準拠した。経過時間による品質変動は、練混ぜ直後と15分ごとに測定を行い90分経過後まで測定した。15分ごとの経時変化測定時は、測定前に十分練り返した。試料は湿潤状態で静置した。

(2) ブリーディング試験

ブリーディング試験はJIS A 1123に準拠した。混和剤の添加率は凝結遅延作用を考慮し、一定 (SP : C×0.05%, AE : C×0.005%) とした。ブリーディング水の測定時間は初期の性状を確認するため0分~90分までは、15分ごとに測定し、90分以降はJIS A 1123に準拠した。

(3) 凝結試験

凝結試験はJIS A 1148に準拠した。ブリーディング試験と同様に混和剤の添加率は凝結遅延作用を考慮し、一定 (SP : C×0.05%, AE : C×0.005%) とした。

(4) 圧縮強度試験

圧縮強度試験はJIS A 1148に準拠した。供試体は打込みから24時間後に脱型し、4週間室温20℃で水中養生を行った。

2.5.2 モルタル試験方法

モルタルの試験方法の決定に先立ち、試料作製方法について検討した。W/C=55%, W=170kg/m³, スランプ8.0cm, 空気量4.5%のコンクリートのウェットスクリーニングモルタル (WSモルタル) と、そのコンクリートの配合を想定し練り混ぜたモルタルの15打フローと経過時間の関係を図-3に示す。その試料の練上がりから15分時の流下速度と塑性粘度の変化量を図-4に示す。ウェットスクリーニングをしたことによる経過時間の影響によって、15打フローは時間経過に伴いWSモルタルの品質が低下する傾向にあった。その中でも、初期に大きく低下しており、また、流下速度と塑性粘度の変化量も大きくなっている。以上より、本研究では、表面水率の影響による性状変化を測定することを目的としているため、WSモルタルではなくコンクリートと同一配合のモルタルで練り混ぜたものを使用することにした。

(1) モルタルフロー試験とモルタル空気量試験

モルタルフロー試験と空気量試験は、JIS A 5201とJIS A 1128に準拠して行った。試験は練混ぜ直後から90分経過後まで15分おきに行い、測定時は試料を十分練り返した。試料は測定が終わるごとに湿潤状態で静置したものを使用した。

(2) 羽根沈入試験

羽根沈入試験は既往の研究⁵⁾を参考にして行った。せん断速度 v (=沈入時間測定距離 (L) / 沈入時間 (t)) とせん断応力 τ (=羽と錘の質量 (W) / 羽の全面積 (A)) の関係から塑性粘度 μ と降伏値を算出した。また、1度の測定に数分かかるため本試験は練上がりから30分ごとに90分まで行った。

3. 結果・考察

3.1 シリーズ1: 配合条件の違いと細骨材の表面水率の違いがフレッシュ性状に及ぼす影響

表面水率が異なる骨材を用いたコンクリートのスランプと練上がりからの経過時間の関係を図-5に、空気量とコンクリートの練上がりからの経過時間の関係を図-6に示す。No. 1とNo. 2はW/Cは40%でs/a

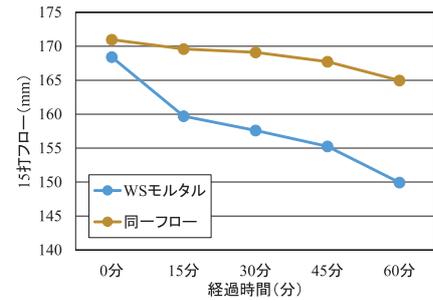


図-3 WSモルタルと通常モルタルの15打フローと経過時間の関係

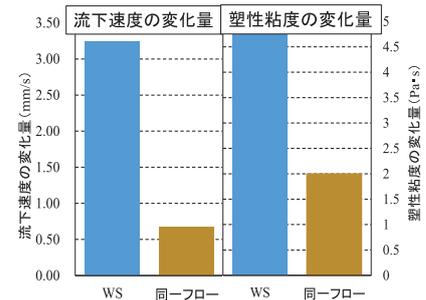


図-4 WSモルタルと通常モルタルの流下速度と塑性粘度の変化量

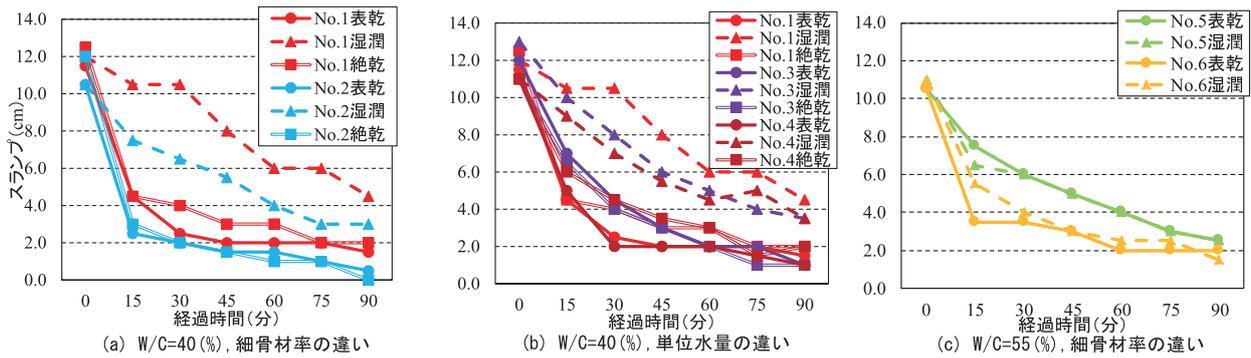


図-5 各配合のコンクリートのスランプと練上がりからの経過時間の関係

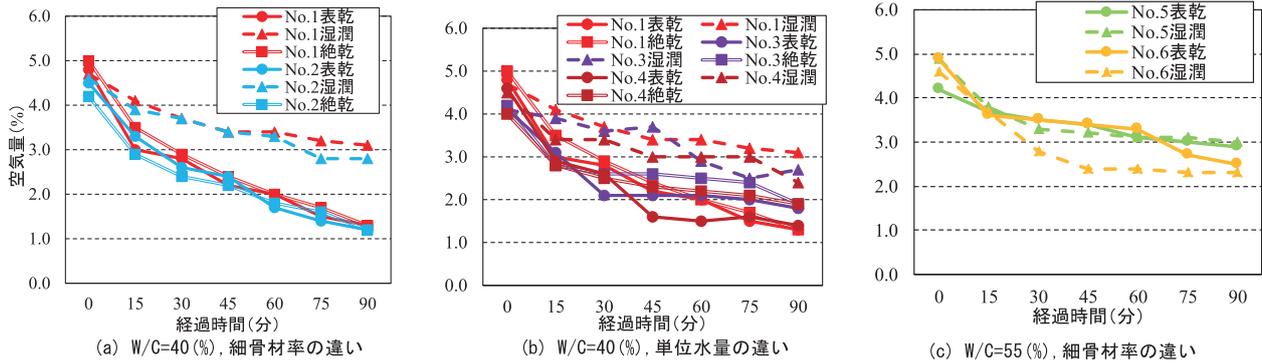


図-6 各配合のコンクリートの空気量と練上がりからの経過時間の関係

が異なるが、表乾と絶乾が湿潤と比較して、練上がりから15分までの間でスランプが約7.5cm低下した。空気量も同様に、表乾と絶乾において練上がりから15分経過での低下が大きく、90分経過時に湿潤に対して約2%低下した。細骨材率の違いについて、 $s/a=48(\%)$ の方が $s/a=43(\%)$ と比較してその影響を大きく受けた。この結果より、単位細骨材量の多い場合に表面水率の影響を大きく受けたと考えられる。No. 1とNo. 3とNo. 4はW/Cが40%、 s/a が43%で単位水量が異なるが、表乾と絶乾が湿潤と比較して、練上がりから15分までのスランプと空気量の低下が大きい傾向を示した。しかし、 $s/a=43(\%)$ の配合において単位水量の違いによる表面水率の影響は見られなかった。No. 5とNo. 6はW/Cが55%、 W が 165kg/m^3 で s/a が異なるが、 $s/a=43(\%)$ において表面水率の違いによる影響は見られなかった。一方 $s/a=48(\%)$ においては、初期の15分経過時にスランプと空気量が低下し、とくに表乾と絶乾が湿潤と比較し大きく低下した。また、水セメント比の違いで比較すると、W/C=40%が表面水率の影響を大きく受けている。これらは、既往の研究²⁾と同様な傾向を示した。しかし既往の研究²⁾では、比較的、水セメント比の小さく単位セメント量の多い配合において表面水率の影響を受けやすいとあるが、本研究ではW/C=55%であっても $s/a=48\%$ では表面水率の影響を受けることを確認した。

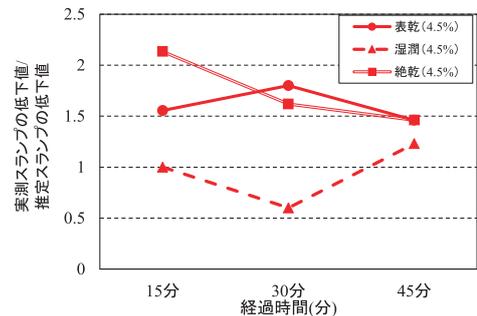


図-7 実測スランプの低下値とスランプの推定低下値の比と経過時間の関係

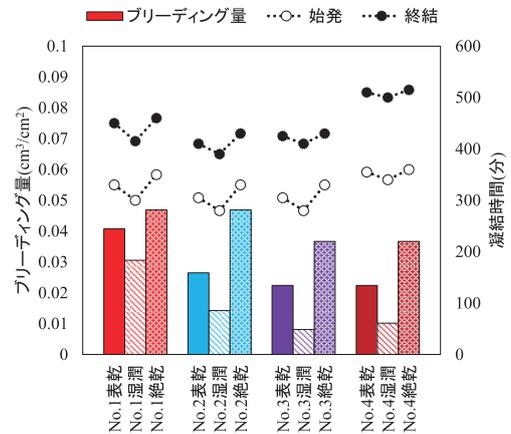


図-8 ブリーディング量と凝結時間の結果

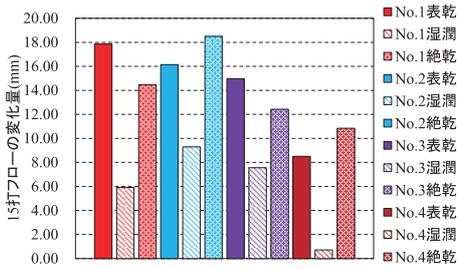


図-9 モルタル 15 打フローの練上がりから 15 分間の変化量

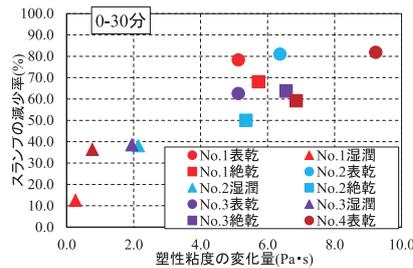


図-10 練上がりから 30 分時のスランプの減少率と塑性粘度の変化量

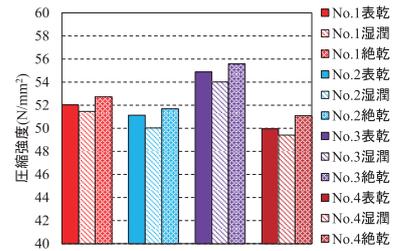


図-11 各配合の圧縮強度の結果

これは、単位セメント量が少ない配合ではあるが単位細骨材量が多い配合のため影響を受けたと考えられる。一般的に、空気量1%の低下に対しスランプは2.5cm低下するとされている。そこで、細骨材の表面水率の違いがスランプの低下量に及ぼす影響を検討するため、No.1配合のスランプ低下量と、空気量の変化から求めたスランプの推定低下量の比を、経過時間ごとに求めた。結果を図-7に示す。湿潤の実測スランプの低下値は、推定値に近い比率を示しているが、表乾と絶乾では、練上がりから15分時に推定値の1.5~2倍程度低下していることを示している。この結果から、表面水率の違いによるスランプの低下が空気量の低下によるスランプの低下よりも大きいことを確認した。

これらの結果から、細骨材の表面水率の違いは水セメント比が小さいほどスランプと空気量に及ぼす影響が大きく、とくに、練上がり直後から15分間の性状に大きな影響を与え得ると言える。表面水率が異なる骨材を用いたコンクリートのブリーディング量と凝結時間の結果を図-8に示す。ブリーディング量は絶乾が最も多く、湿潤が最も少ない傾向を示した。凝結時間もブリーディングと同様に表面水率の違いで湿潤、表乾、絶乾の順に始発、終結が早い傾向にあった。また、表面水率の補正水量が多い配合ほどブリーディング量が多く、凝結は遅い傾向を示した。表面水率が0%以下の細骨材を使用する場合補正水を加えるが、吸水されずに残ったものが自由水となり見かけの単位水量が増大することで水セメント比が大きく異なり、この水セメント比の変化がブリーディングの増大、凝結の遅延に繋がった可能性がある。しかし、表面水率の違いがブリーディング量、凝結時間に及ぼす影響に一定の傾向はみられたものの、その差はわずかであった。ブリーディングと凝結に関しては、既往の研究²⁾と大きな差はない。

モルタルの15打フローと練上がりからの経過時間の関係を図-9に示す。モルタルの15打フローは、コンクリートのスランプ、空気量と同様に練上がりから15分時に表乾と絶乾が大きく低下し、90分経過時に湿潤に対して大きく低下した。

練上がりから30分時のスランプの減少率と塑性粘度の変化量の関係を図-10に示す。湿潤は、表乾と絶乾と比較して塑性粘度の変化量が2.0Pa·s以下であり、練上がりから30分時のスランプの減少率も40%以下と低い傾向を示した。スランプの減少率は、塑性粘度の変化が影響していると考えられる。

圧縮強度の結果を図-11に示す。圧縮強度は、湿潤、表乾、絶乾の順に高くなる傾向はみられるが、その差はわずかであり、表面水率の違いが圧縮強度に及ぼす影響は小さいと言える。

3.2シリーズ2：練混ぜ手順・表面水率の影響

表面水率が異なる骨材を用いたコンクリートのスランプと練上がりからの経過時間の関係を図-12に、表面水率が異なる骨材を用いたコンクリートの空気量と練上がりからの経過時間の関係を図-13に示す。Case1はスランプと空気量に大きな低下が見られた。一方で、Case2, Case3は表面水率の違いの影響は顕著に見られなかった。よって、Case1のような空練りの場合には表面水率の影響を大きく受ける。練上がりから30分時のスランプの減少率と塑性粘度の変化量の関係を図-14に示す。Case1は、シリーズ1と同一である。Case2, Case3においては、表面水率が異なる配合においても、塑性粘度の変

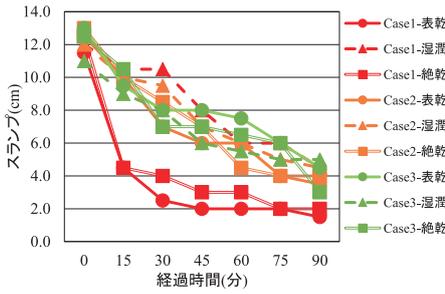


図-12 練混ぜ手順の異なるスランプと経過時間の関係

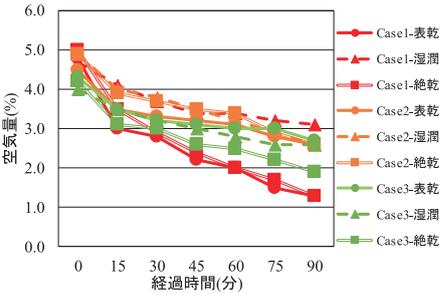


図-13 練混ぜ手順の異なる空気量と経過時間の関係

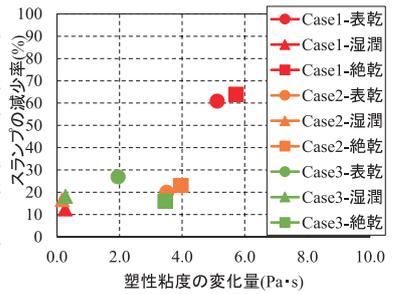


図-14 練上がりから30分時のスランプの減少率と塑性粘度の変化

化量が4.0Pa・s以下でスランプの減少率が40%以下であった。モルタルの粘性の変化がスランプの変化量になったと考えられ、中でも塑性粘度の変化量が4.0Pa・sを境にスランプの減少率が大きく異なると考えられる。

各配合の圧縮強度の結果を図-15に示す。圧縮強度は、どのCaseにおいても大きな差は無く最大でも1.5N/mm²であった。よって、硬化後の性状は、練混ぜ手順が異なっても差は無い。

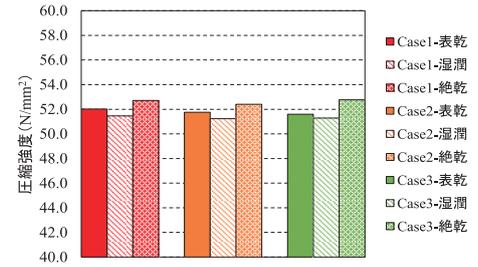


図-15 各配合の圧縮強度の結果

4. まとめ

細骨材の表面水率の違いがスランプ管理の土木配合のコンクリートの品質に及ぼす影響を明らかにするために実験を行った。その結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 既往の研究と同様に、細骨材の表面水率の違いは単位セメント量の多い場合にコンクリートのスランプ・空気量への影響が大きい。新たな知見として、土木配合は表乾と絶乾の場合に初期の経過時間で品質変動が大きくなる。
- (2) 既往の研究と同様に、表面水率の違いによるブリーディング量、凝結時間への影響は小さい。
- (3) コンクリートの品質変動は、コンクリート中のモルタルの品質の変動による影響が大きく、練上がりから30分の変化量が2.0Pa・sを上回るとスランプの減少量が大きくなる。
- (4) 硬化後の性状に関しては表面水率の違いによる影響は見られなかった。
- (5) コンクリートを製造する際に空練りで練り混ぜると表乾と絶乾のスランプ、空気量が大きく低下する。

以上のことより、表面水率の違いはスランプ管理の土木配合のコンクリートのフレッシュ性状に影響を及ぼすが、硬化中、硬化後の性状に及ぼす影響は小さいと考えられる。よって、品質の安定したコンクリートを製造するには細骨材に水分を持たせて練り混ぜたほうがよいと考えられる。

参考文献

- 1) コンクリートの製造システム研究委員会報告書, (社)日本コンクリート工学協会, 1992. 3
- 2) 宮田敦典, ほか: 細骨材表面水率の違いが高強度コンクリートの品質に及ぼす影響, 一般社団法人日本建築学会, Vol. 82, No. 1, pp. 141-144, 2012. 3
- 3) 森田和宏, 日比野誠, 丸山久一: モルタルの流動特性におよぼす細骨材表面水の影響, コンクリート工学会年次論文集, Vol. 23, No. 2, pp. 937-942, 2001
- 4) 伊達重之, 伊藤祐二, 長谷川聖史, 辻幸和: モルタルの振動下のフレッシュ性状に及ぼす分割練混ぜの効果コンクリート工学会年次論文集, Vol. 28, No. 1, pp. 1091-1096, 2006
- 5) 藤倉裕介, 斉藤拓弥, 橋本紳一郎, 伊達重之: モルタルの静置, 振動下のレオロジー特性が充填性能に及ぼす影響コンクリート工学会年次論文集, Vol. 28, No. 1, pp. 1091-1096, 2006