

報告 使用材料の計量誤差がスランプや圧縮強度の変動に及ぼす影響

近松 竜一*1・十河 茂幸*2

要旨: コンクリート製造時の各材料の計量誤差がコンクリートの品質の変動に及ぼす影響について実験的に検証した。その結果、計量誤差が水はプラス側、セメントや骨材はマイナス側の場合の方がコンシステンシーに及ぼす影響が大きくなること、セメントが過小に計量された場合にはプラスティシティーにも影響が現れ、異常が特定できるが、そのためには水量を適切に管理することが極めて重要となること、などが明らかになった。

キーワード: 計量誤差, スランプ, 圧縮強度, 品質変動, 表面水率

1. はじめに

一般にコンクリートの品質のばらつきが大きいと、所要の強度を確保するために割増し係数を大きく設定する必要が生じ、不経済となる。また、ひび割れ抵抗性や水密性が損なわれやすく、美観などの出来ばえの低下につながる場合も多い。したがって、所要の性能を有するコンクリート構造物を構築するには、均質性の高いコンクリートを供給することが前提となる。

安定した品質のコンクリートを供給するためには、使用材料の品質やコンクリートの製造工程を適切に管理する必要がある。とりわけ、計画どおりにコンクリートを製造するには、それぞれの材料を所定量だけ正確に計量することが求められる。

コンクリートの品質の変動に及ぼす計量誤差の影響は使用材料によって相違する。水、セメントは1%、混和材は2%、骨材は3%とそれぞれの材料毎に許容誤差が定められている。通常は、計量誤差がこれらの許容範囲内であることを前提にコンクリートの品質管理が行われており¹⁾、許容範囲を逸脱したコンクリートが供給される可能性はきわめて小さい。しかしながら、不測の事態として、材料の計量誤差が許容幅を逸脱した場合の性状の変化と品質に及ぼす影響についても把握しておくことは、リスク管理上有用と考えられる。

また、実際の製造工程では、コンクリートの構成材料のうち約7割近くを占める骨材の表面水率の変動を適正に管理することが重要であり、その誤差が品質に及ぼす影響を定量的に評価しておくことが望ましい。

以上のことから、本文では、使用材料の計量誤差がコンクリートの品質変動に及ぼす影響を実験的に検証した。また、細骨材の表面水率の設定誤差が生じた場合やセメントの計量値が許容誤差を大きく逸脱した場合のコンクリートの性状についても併せて検証した。

2. 実験概要

本実験における検討要因および水準をシリーズ毎に表-1に示す。

実験は3つのシリーズに分けて実施した。シリーズIは、材料が個別に計量誤差を生じた場合の品質への影響について調べた。シリーズIIは、細骨材の表面水率の設定に誤差が生じた場合のコンクリートの品質に及ぼす影響を検証した。シリーズIIIは、コンクリートの強度発現を左右するセメントに着目し、不測の事態としてセメントが過小に計量された場合の影響について、表面水率の設定誤差が複合された場合を含め、実験的に検討した。

試験に用いたコンクリートのうち、基準となる配合は、水セメント比55%、スランプ12cm、空気量5.0%とした。

使用材料については、セメントは普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³, ブレーン値3330cm²/g)を使用した。細骨材は陸砂(密度2.62g/cm³, 吸水率1.34%, 粗粒率2.63), 粗骨材は碎石2005(密度2.65g/cm³, 吸水率0.78%, 粗粒率6.62, 実積率60.0%)を用いた。混和剤はA E減水剤を使用した。

表-1 各実験シリーズの検討要因および水準

シリーズ	検討要因	水準
I	水の計量誤差	0, ±1.0%, ±3.0%
	セメントの計量誤差	0, ±1.0%, ±3.0%
	細骨材の計量誤差	0, ±3.0%, ±9.0%
	粗骨材の計量誤差	0, ±3.0%, ±9.0%
II	細骨材表面水率の設定誤差	0, ±0.5%, ±1.0%, ±2.0%
III	セメントの計量誤差	0, -10%, -20%
	細骨材表面水率の設定誤差	0, 0.5%, 1.0%

*1 榎大林組 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 榎大林組 技術本部 技術研究所 工博 (正会員)

表-2 コンクリートの配合および品質試験結果（シリーズI）

NO.	計量誤差		W/C (%)	s/a (%)	各材料の量 (kg)				容積 (L)	スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)		圧縮強度比 (%)	
	要因	水準			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G					7日	28日	7日	28日
0	-	-	55.0	44.0	162	295	807	1038	1000	12.0	5.0	20.9	24.2	34.1	100	100
1-1	水	-3.0%	53.4	44.0	<157>	295	807	1038	995	10.0	5.3	20.8	25.2	35.4	104	104
					158	296	811	1044	1000							
1-2		-1.0%	54.5	44.0	<160>	295	807	1038	998	11.5	5.1	20.8	24.6	34.4	102	101
					161	295	808	1040	1000							
1-3		+1.0%	55.6	44.0	<164>	295	807	1038	1002	14.0	5.0	20.8	23.7	33.0	98	97
					163	294	805	1037	1000							
1-4		+3.0%	56.7	44.0	<167>	295	807	1038	1005	18.0	5.1	20.7	23.0	32.8	95	96
					166	293	803	1033	1000							
2-1	セメント	-3.0%	56.7	44.0	162	<286>	807	1038	997	15.5	5.3	20.8	22.7	33.4	94	98
					162	287	809	1042	1000							
2-2		-1.0%	55.6	44.0	162	<292>	807	1038	999	13.5	5.1	20.8	24.2	33.8	100	99
					162	292	808	1040	1000							
2-3		+1.0%	54.5	44.0	162	<297>	807	1038	1001	12.0	5.0	20.8	24.8	35.4	102	104
					162	297	806	1037	1000							
2-4		+3.0%	53.4	44.0	162	<303>	807	1038	1003	12.0	4.9	20.9	24.9	35.9	103	105
					162	302	804	1035	1000							
3-1	細骨材	-9.0%	55.0	41.7	162	295	<734>	1038	972	17.5	4.8	20.8	23.5	33.2	97	97
					167	303	756	1070	1000							
3-2		-3.0%	55.0	43.3	162	295	<783>	1038	991	13.5	5.0	20.9	23.6	33.4	98	98
					164	297	790	1049	1000							
3-3		+3.0%	55.0	44.7	162	295	<831>	1038	1009	12.0	5.2	20.9	24.2	34.3	100	101
					160	292	823	1029	1000							
3-4		+9.0%	55.0	46.1	162	295	<879>	1038	1028	9.5	4.8	21.0	25.2	35.3	104	104
					157	286	855	1009	1000							
4-1	粗骨材	-9.0%	55.0	46.3	162	295	807	945	<965>	17.5	5.2	20.8	23.4	33.4	97	98
					168	306	838	981	1000							
4-2		-3.0%	55.0	44.8	162	295	807	1007	<988>	14.5	4.8	20.8	23.7	33.9	98	99
					164	298	817	1020	1000							
4-3		+3.0%	55.0	43.3	162	295	807	1070	<1012>	11.5	4.9	20.8	23.3	34.3	96	101
					160	291	797	1057	1000							
4-4		+9.0%	55.0	41.9	162	295	807	1132	<1035>	10.0	4.4	20.8	23.2	34.1	96	100
					156	284	778	1092	1000							

<備考> 混和剤: AE減水剤の添加量(C×0.25%)。下段は計量誤差による容積変化に対し、コンクリートの単位量に換算した値

練混ぜは二軸強制練りミキサ(容量 60L)を使用し、1バッチの練混ぜ量は 30 リットルとした。練混ぜの手順は、まず骨材、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て 60 秒間練り混ぜた。練混ぜ終了から 3 分後に切り返してスランブ、空気量を測定した。圧縮強度試験を含め試験は JIS に準拠した。

3. 実験結果および考察

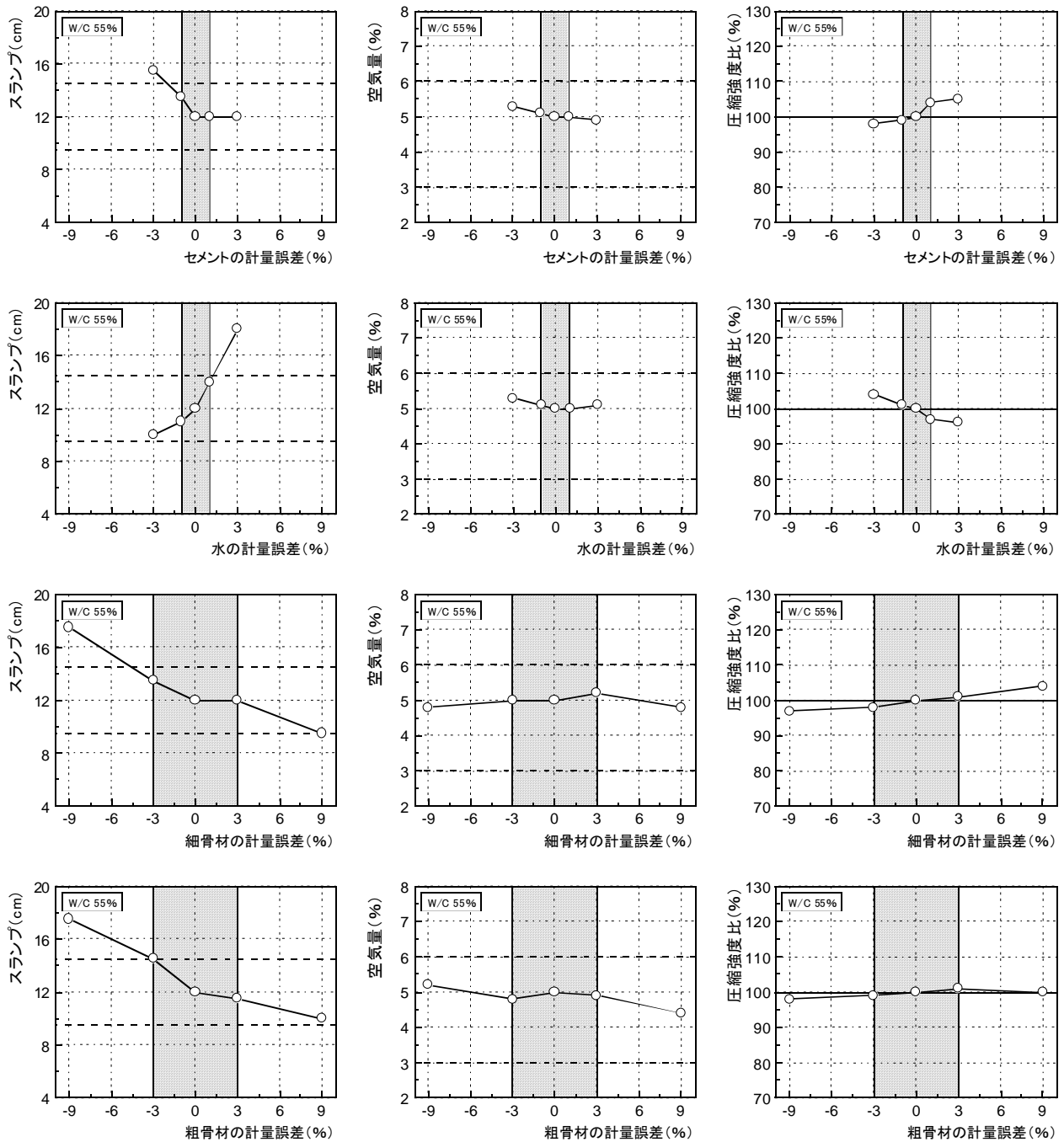
3.1 各材料の計量誤差の影響（シリーズI）

コンクリートの試験配合および各種品質試験結果の一覧を表-2に示す。各材料を正確に計量したコンクリートは、スランブ 12.0cm、空気量 5.0%であった。この基準配合をもとにそれぞれの材料について計量誤差が生じた場合のコンクリートの品質の変動について

調べた。なお、材料の計量に誤差が生じた場合、この誤差の影響でコンクリートの容積も増減するので、厳密には単位量に変化することになる。そこで、表中には、各材料の計量値の他に、コンクリートの単位量(1m³換算)当りに換算した値についても併記した。

各材料の計量誤差によるスランブ、空気量および圧縮強度の変動結果をまとめて図-1に示す。これらのうち、圧縮強度に関しては、基準配合の試験値に対する強度割合で示している。また、各材料の計量誤差は、許容範囲の上限および下限のほか、実際に生じる可能性は小さいが、計量誤差を許容値の3倍まで極端に大きくした場合も検討した。

まず、スランブに着目すると、水の場合には計量誤差がプラス側すなわち増量側に、セメントや骨材については計量誤差がマイナス側すなわち減量側にシフト



図－1 各材料の計量誤差によるスランプ，空気量および圧縮強度の変動

した場合にスランプが増大している。また，この傾向は計量誤差が大きくなるほど顕著となっている。逆に，水の計量誤差はマイナス側，セメントや骨材はプラス側でスランプが小さくなる場合は，増大する場合に比べて変動幅が小さくなる傾向にある。材料の計量誤差が固体は減量側に，液体（水）は増量側になるとプラスシティーが低下するため，コンクリートが荒々しくなりスランプ試験時に試料が崩れる状況が認められ，スランプ値の変動と連動していることが確認された。

一方，空気量については，各材料の計量誤差によら

ず基準値に対して変動幅が0.5%以内であった。骨材の粒度やコンクリート温度などの要因に比べると計量誤差は影響度が比較的小さいと考えられる。

また，圧縮強度に関しては，計量誤差が許容範囲の場合の強度比は97%～104%であり，さらに計量誤差が3倍に増えた場合は96%～105%となった。とりわけ，水の場合は計量誤差が僅かにプラス側の場合でも強度が低下する傾向にある。上記したスランプと同様，コンクリートの特性値を大きく左右する要因であり，計量を精度良く管理することが重要といえる。

表-3 コンクリートの配合および品質試験結果（シリーズⅡ）

NO.	計量誤差		W/C (%)	s/a (%)	各材料の量 (kg)				容積 (L)	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)		圧縮強度比 (%)	
	要因	水準			水	セメント	細骨材	粗骨材					7日	28日	7日	28日
					W	C	S	G								
1		+2.0%	49.5	44.5	146	295	<823>	1038	990	5.0	3.7	21.0	32.8	43.0	128	120
					147	298	832	1049	1000							
2		+1.0%	52.3	44.2	154	295	<815>	1038	995	9.0	4.5	21.0	28.3	38.0	111	106
					155	296	819	1044	1000							
3		+0.5%	53.6	44.1	158	295	<811>	1038	998	10.5	4.9	21.0	27.2	37.1	106	104
					158	295	813	1041	1000							
4	細骨材 表面水率 の設定	0	55.0	44.0	162	295	<807>	1038	1000	12.0	5.1	20.8	25.6	35.7	100	100
					162	295	807	1038	1000							
5		-0.5%	56.4	43.9	166	295	<803>	1038	1002	15.0	4.9	20.8	23.8	34.0	93	95
					166	294	801	1036	1000							
6		-1.0%	57.7	43.8	170	295	<799>	1038	1005	17.0	5.1	20.8	23.0	31.1	90	87
					169	293	795	1033	1000							
7		-2.0%	60.5	43.5	178	295	<791>	1038	1010	18.5	4.8	20.8	22.4	30.5	88	85
					176	292	782	1028	1000							

<備考> 混和剤: AE減水剤の添加量(C×0.25%)。下段は計量誤差による容積変化に対し、コンクリートの単位量に換算した値



写真-1 細骨材表面水率の設定誤差を変えた場合のスランプ試験状況

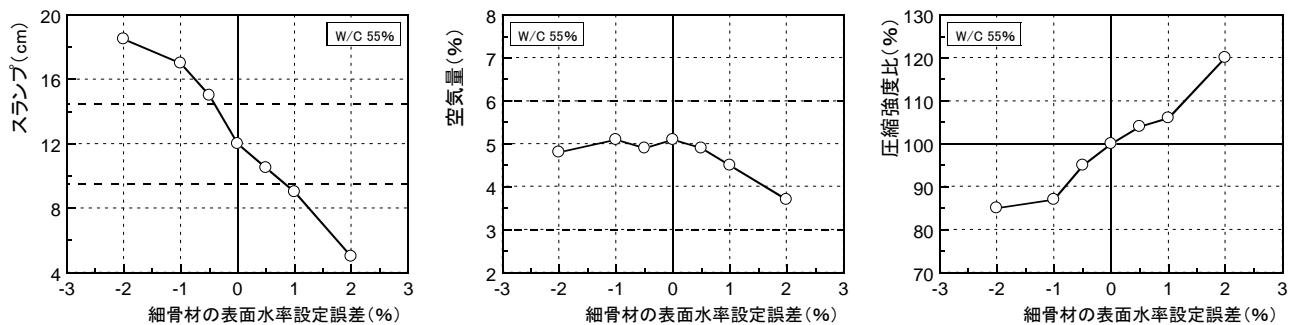


図-2 細骨材表面水率の設定誤差によるスランプ、空気量および圧縮強度の変動

3.2 細骨材表面水率の設定誤差の影響（シリーズⅡ）

コンクリートの試験配合および各種品質試験結果の一覧を表-3に示す。細骨材表面水率の設定誤差によるスランプ、空気量および圧縮強度の変動について整理した結果を図-2に示す。これらのうち、圧縮強度については、図-1と同様に、基準コンクリートの試験値に対する強度比で示している。

実機プラントにおいてコンクリートを製造する場合、

一般に骨材は表面水を含んだ状態のまま計量し、この表面水量を差し引いた水を練混ぜ水量として計量している。このため、表面水率が大きくなると骨材の計量誤差に起因して表面水に起因する水量の誤差も大きくなる。さらに、表面水量を算定する際の表面水率の設定値と実際の値に誤差が生じると、実質的に水量に過不足が生じることになる²⁾。

シリーズⅡは、特に後者の場合を対象に細骨材表面

表-4 コンクリートの配合および品質試験結果 (シリーズⅢ)

NO.	変動要因と水準		W/C (%)	s/a (%)	各材料の配合量 (kg)				容積 (L)	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)		圧縮強度比 (%)	
	セメント	細骨材 表面水率 設定誤差			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G				7日	28日	7日	28日
6-1	0	0	55.0	42.0	162	295	770	1080	1000	12.0	4.6	26.0	34.5	100	100
6-2	-10%	0	61.1	42.0	162	(265)	770	1080	991	15.0	5.1	19.9	29.0	77	84
					164	268	778	1090	1000						
6-3	-10%	+0.5%	59.7	42.1	(158)	(265)	(774)	1080	988	11.0	4.5	22.4	31.1	86	90
					160	268	783	1093	1000						
6-4	-20%	0	68.8	42.0	162	(236)	770	1080	981	16.5	5.3	14.2	21.2	55	61
					165	240	785	1101	1000						
6-5	-20%	+1.0%	65.5	42.2	(154)	(236)	(778)	1080	977	10.0	5.3	17.6	26.1	68	76
					158	242	797	1107	1000						

<備考> 混和剤: AE減水剤の添加量(C×0.25%), 下段は計量誤差による容積変化に対し、コンクリートの単位量に換算した値



水率の設定誤差の影響について調べたものであるが、設定誤差が大きくなるに伴いスランプが鋭敏に増大している。特に、マイナス側は-0.5%、プラス側は+1.0%の設定誤差で基準のスランプが12cmに対し2.5cm変動する結果となり、シリーズⅠの各材料の計量誤差の場合と同様に水量が増加し細骨材が減少する場合ほど変動幅が大きい。

空気量についてもシリーズⅠと同様の傾向にあり、スランプの変動に比べて顕著な増減は生じていない。ただし、スランプが5cmまで極端に小さくなった場合には空気量も低下している。

圧縮強度については、表面水率の変動幅が0.5%で圧縮強度の変動が強度比換算で5%増減しており、表面水率の設定誤差が-1%以上の場合は低下割合が15%

近い値になった。

骨材の表面水率の設定に誤差が生じると、水と細骨材の両者が同時に変動するため、個別の計量誤差よりも影響が大きいこと、特に設定誤差がマイナス側ではスランプの増大や強度の低下が顕著となることから、計量と同様に、骨材の品質を適切に管理する必要があることを示すものといえる。

3.3 セメント量が過小に計量された場合の影響 (シリーズⅢ)

前節までの結果によれば、各材料の計量誤差や骨材の表面水率を適切に管理することで、スランプや強度を所定の変動幅に抑制できるといえる。しかし、実際の製造段階では頻度はきわめて小さいものの、不測の

トラブルにより許容管理範囲を逸脱する場合も想定される。そこで、本節では、リスク管理の観点から、計量誤差における不測の事態として、強度低下に対して最も大きく影響すると考えられるセメントを対象に、セメントの計量が過度に少なくなった場合のコンクリートの各種品質に及ぼす影響について調べた。

コンクリートの試験配合および品質試験結果をまとめて表-4に示す。また、セメントを過小に計量した場合の圧縮強度の発現割合を図-3に示す。

セメントの減量により実質的な水セメント比が増大するため、当然のことながら強度は大きく低下する。材齢28日時点の強度発現率は、セメント量が10%減量された場合で約84%、20%減量された場合は約60%まで低下している。

次に、これらの場合のフレッシュ時の品質として、スランブ試験の状況を写真-2に示す。

計画どおり正確に計量して練り混ぜた場合、練混ぜ直後のスランブは14.5cmに対し、セメント量を10%あるいは20%減じるとスランブは17~18cmに増大し、スランブコーンを引き上げた際にコンクリート試料が崩れ、全体的に荒々しい状態となった。これは、セメント量が少ないため、水セメント比が大きくなり、かつ見かけ上の水量も増加する影響によるものであり、前節のセメントの計量誤差に関する実験と整合する結果が得られた。

ここで、セメントの減量とともに、細骨材の表面水率の設定を変化させ、水量についても配合上の設定値より少なくした状態で練り混ぜた(写真-2下段参照)。この場合、見かけ上の水セメント比に対し粗骨材量が多いため、全体的に荒々しい状態ではあるが、スランブは基準コンクリートと同程度になる。これは、表面水率を実際より大きく見込むことで、計画より水量は少なくなり、その質量に見合う分の細骨材が多く計量されるため、セメントの減量によるプラスティシティーの低下が顕在化しにくくなったものと考えられる。

以上の結果によれば、実際にセメントが過度に少なく計量されるような不測のトラブルが生じた場合でもフレッシュコンクリートの品質を適切に把握することにより異常を検知でき、リスクを回避できるものと考え

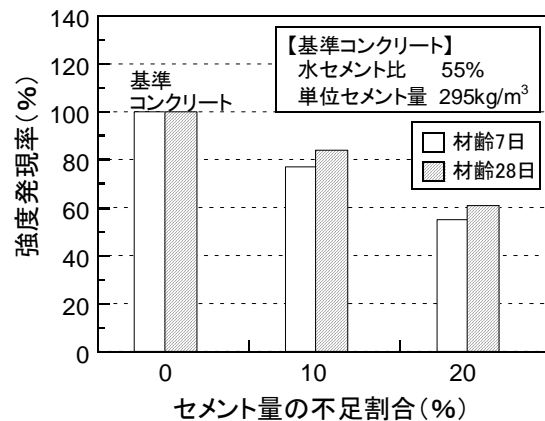


図-3 セメントを過小計量した場合の強度発現率

えられる。ただし、一方で水量の計量誤差が同時に生じ、かつその誤差が許容範囲を逸脱して過小に計量されるような場合にはフレッシュコンクリートの状態だけでは異常を検知するのが難しくなる。したがって、製造時には骨材の粒度や含水状態や、材料の計量を適切に管理することがきわめて重要といえる。

4. まとめ

本報告の範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1) 水の計量誤差がプラス側、セメントや骨材の計量誤差がマイナス側の場合に、コンシステンシーに及ぼす影響が大きくなる。
- (2) スランブが極端に小さくなる場合を除いて空気量の変動は小さい。
- (3) セメントが過小に計量された場合にはプラスティシティーにも影響が現れ、異常が特定できる。ただし、そのためには骨材の品質や水量を適切に管理することが極めて重要となる。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの製造システム研究委員会報告書，1992.3
- 2) 近松竜一，河島勝也，小谷口雅義，十河茂幸：骨材水浸式計量による品質保証型コンクリート製造システムの開発，コンクリート工学年次論文集 Vol.27, No.1, pp.1171-1176, 2005