

[1042] 軽量コンクリートの流動化に関する研究

正会員 西林新蔵（鳥取大学工学部）
 正会員 矢村 潔（鳥取大学工学部）
 正会員 ○吉野 公（鳥取大学工学部）

1. まえがき

コンクリート構造物の長大化、高層化に対して効果的に対処できる高強度で軽量のコンクリートについての研究は今までも活発に行われ、すでに多くの有益な成果が発表されている。しかし、この種のコンクリートの実際の使用に当っては、施工性や経済性の点で特殊な用途の域を出なかったが、最近、天然骨材の品質の低下と反応骨材の出現などの骨材問題が社会的に関心を持たれるようになったこと、架設地点の地盤条件の悪化の問題などから、軽量コンクリートに対する関心が再び高まってきている。一方、高性能減水剤を流動化剤として用いて製造される流動化コンクリートは、施工性の向上、品質の改善を図る目的で用いられるようになり、その使用実績も年々増加している。

軽量コンクリートを流動化することは施工性の改善を図る上で非常に有利な手段である。しかし、流動化軽量コンクリートを実用化するには、その配合設計をはじめ、フレッシュおよび硬化したコンクリートの諸性質について十分な検討を加えておかなければならないが、これらに関する資料はほとんどなく、実験データの蓄積が望まれている。

本論文では、軽量コンクリートを流動化し、その施工性を大幅に改善することを目的に、使用骨材、セメント量、細骨材率および流動化剤の種類等の要因が流動化軽量コンクリートの性質に及ぼす影響を実験的に検討した結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究で使用したセメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材としては碎石（普通骨材）および非造粒型の人工軽量粗骨材を、また細骨材としては河口砂と川砂を混合して土木学会標準粒度に調整したもの、および人工軽量細骨材を使用した。骨材の物理的性質を表-1、表-2に示す。用いた人工軽量骨材は、粗骨材、細骨材ともかなり吸水率が大きく、粗骨材は10日以上吸水させた後、十分水きりをして表乾状態で使用し、細骨材は十分吸水させた後乾燥させ、表乾状態よりわずかに湿った状態でとり入れ、使用時には表面水の状態をチェックして実際の試験に供した。

化学混和剤は、ベースコンクリート用のAE減水剤、ベースコンクリートの空気量調整用のAE助剤、流動化剤としては、後添加型の流動化剤S₁、

表-1 粗骨材の諸性質

種類	最大寸法 (mm)	比重	吸水率 (%)	F. M.
普通	N 25	2.69	0.8	6.98
軽量	L 15	1.68	29.6	6.48

表-2 細骨材の諸性質

種類	比重	吸水率 (%)	F. M.
普通	N 2.59	2.0	2.90
軽量	L 1.97	14.9	2.36

表-3 混和剤の種類

名称	分類	主要成分	添加量 (ml/C=100kg)
AE-W	AE減水剤	リグニンスルホン酸塩 ポリオール複合体	250
AE	AE助剤	アルキルアリルスルホン酸塩	A ₁ = 200
S ₁	流動化剤	ナフタリンスルホン酸塩	500
S ₂	流動化剤	変性リグニンスルホン酸塩 メラミン系, カルボン酸塩	700

表-4 実験条件

要因	水準
ベースコンクリートのスランブ	8 ± 1 cm
骨材の組合せ (粗-細)	N-N, L-L, L-N
単位セメント量	320, 450 kg/m ³
細骨材率(%)	41, 44, 47
添加方法	60分後添加, 同時添加

スランブロス低減型の流動化剤S₂を用いた。混和剤の性質を表-3に示す。

2.2 実験条件

実験条件を表-4に示す。ベースコンクリートにはAE減水剤を混和したAEコンクリートを用い、骨材の組合せを表に示す3種類とした。その配合は、単位セメント量を320, 420kg/m³と一定とし、単位水量はスランブ8 ± 1 cmとなるように、各s/aごとに試練りを行って決定した。ベースコンクリートの配合を表-5に示す。なお、配合表中のAE助剤A₁はセメント量100kgに対し、200ml添加したことを示し、A₂はA₁の2倍の量を使用したことを意味する。

流動化剤の添加方法としては、後添加型の流動化剤S₁はベースコンクリート練上り後60分における後添加法、スランブロス低減型流動化剤S₂は練混ぜ水と同時に添加する同時添加法とした。

2.3 試験方法

試験は、スランブ試験、空気量試験、圧縮強度試験および一部の流動化コンクリートに対してVB試験、締固め係数試験を行った。各試験の測定時期を表-6に示す。なお圧縮強度の項はその時期に円柱供試体を作製したことを示し、円柱供試体は水中養生の後材齢28日で圧縮強度試験に供した。

3. 結果および考察

3.1 細骨材率が流動化コンクリートに及ぼす影響

表-5 ベースコンクリートの配合

種類	スランブ (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)				AE
				W	C	S	G	
NN	8	4.5	41	148	320	757	1118	A ₄
			44	150	320	810	1059	A ₂
			47	155	320	859	995	A ₁
LL	8	4.5	41	142	320	575	704	A ₁
			44	145	320	615	665	A ₁
			47	148	320	652	628	A ₁
LN	8	4.5	44	148	320	803	664	-
			47	151	320	855	625	-
			41	158	450	694	648	A ₂
			44	159	450	743	615	A ₂
			47	161	450	793	580	A ₁

表-6 各試験の測定時期

	測定項目	経過時間 (分)							
		0	30	60 B	60 A	90	120	150	180
後添加	スランブ	○	○	○	○	○	○	○	○
	空気量	○		○	○		○		○
	圧縮強度	○		○	○				
	VB	○		○	○		○		
	締固め係数	○		○	○		○		
同時添加	スランブ	○	○	○		○	○		
	空気量	○		○			○		
	圧縮強度	○		○					

60Bは流動化直前、60Aは流動化直後を意味する。

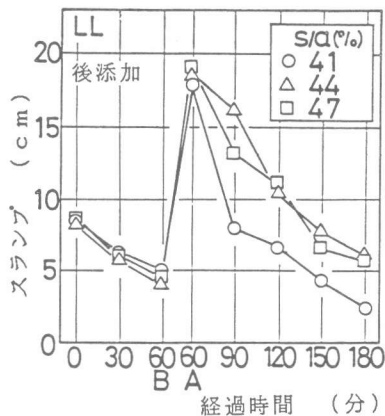


図-1 スランプの経時変化 (LL)

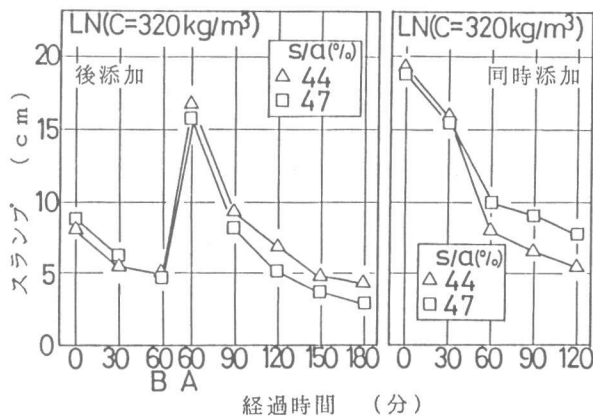


図-2 スランプの経時変化 (LN : C=320kg/m³)

流動化コンクリートの配合設計においては、ベースコンクリートの配合と流動化の程度、あるいは流動化による配合条件の変化等について十分な検討を加えておく必要がある。とくにベースコンクリートの配合を通常の硬練りコンクリートのそれと同じにした場合には、流動化後に細骨材量の不足による材料分離の傾向が著しくなると言われ、骨材が軽量の場合には、その傾向が助長されると考えられる。したがって、流動化

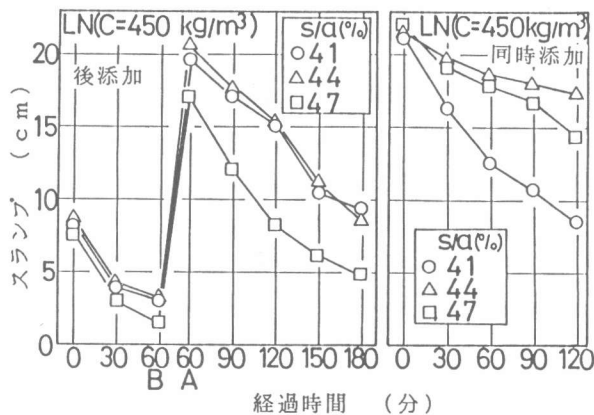


図-3 スランプの経時変化 (LN : C=450kg/m³)

後のコンクリートにおける材料分離の傾向を軽減するだけでなく、流動化剤の特徴を十分に発揮させ、かつ適正な空気量を確保するための流動化コンクリートにとっての最適の細骨材率を選ぶことが重要となってくる。ここでは、細骨材率の変化が流動化コンクリートの流動性、空気量および圧縮強度に及ぼす影響について述べる。

図-1～3に細骨材率(s/a)を変化させた各流動化コンクリートのスランプの経時変化を示す。粗骨材、細骨材とも軽量骨材であるLLを後添加によって流動化した場合には、流動直後(60A)のスランプは同程度であるが、流動化後のスランプの経時変化に差が見られ、s/a 44, 47%のものが41%のそれに比べてスランプの経時変化が小さい、すなわちスランプロスが小さく、とくに流動化後30分間におけるスランプロスの差が著しい。

つぎに、粗骨材だけが軽量骨材であるLNでは、セメント量320kg/m³では、後添加およびスランプロス低減型流動化剤による同時添加とも、細骨材率によるスランプの差はみられなかったが、セメント量450kg/m³では、後添加の場合には、s/a 41, 44%のものが47%のものに比べて流動化直後のスランプは大きく、その後のスランプロスは小さくなる傾向にあった。一方、同時添加の場合には細骨材率による流動化直後のスランプに差はみられなかったが、流動化後のスランプの経時変化に差がみられ、s/a 44, 47%のものは、スランプの経時変化が緩やかで、スランプ

ロス低減型流動化剤の性能がうまく発揮されているが、41%のものでは、細骨材率の大きいものに比べてかなりスランプロスが大きくなった。またLNにおいてセメント量の違いをみると、本研究で行ったセメント量に対して同じ比率で流動化剤を添加した場合には、セメント量が多い方がスランプの増大が大きく、流動化後のスランプロスも小さい、すなわち流動化剤の効果が大きい結果となった。

以上より、細骨材率により流動化効果および流動化後のスランプロスに違いが見られ、また、LN ($C=450\text{kg/m}^3$)において、後添加ではs/a 41~44%において、同時添加ではs/a 44~47%において流動化剤の性能が大きく発揮されていることから、流動化剤の種類あるいは添加方法によって流動化剤の性能が十分に発揮される細骨材率の範囲が異なることが考えられる。

図-4に後添加した場合の空気量の変化すなわち流動化直前のコンクリートの空気量から流動化直後のそれを引いたものと細骨材率との関係を示す。図よりセメント量 320kg/m^3 のLNおよびLLでは、s/aが47%になると空気量が大きくなる傾向がみられたが、それはわずかであり、本研究で用いた流動化剤 S_1 では細骨材率によらず、空気量の変化は±1%の範囲に入っていることから、流動化による空気量の変化はほとんどないといえる。

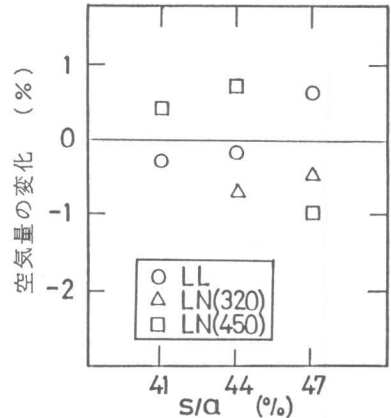


図-4 流動化による空気量の変化 (後添加)

図-5に同時添加した場合の空気量の経時変化を示す。スランプロス低減型流動化剤 S_2 を同時添加した場合には、細骨材率の大きさにかかわらず、流動化直後ではベースコンクリートの空気量(4.5%)に比べ1~2%大きくなったが、60分後ではベースコンクリートとほぼ同程度となり、その後の空気量の変化は認められなかった。したがって、流動化剤 S_2 の添加によって増加した空気は比較的消失し易いと考えられる。

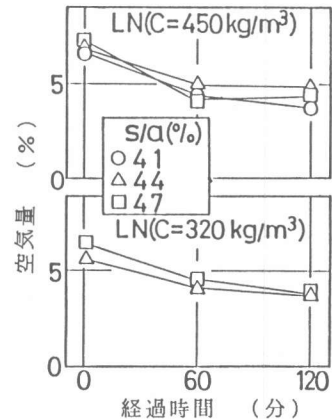


図-5 空気量の経時変化 (同時添加)

図-6, 7に圧縮強度結果を示す。図は縦軸にベースコンクリートの強度 (F_b)、横軸に流動化コンクリートの強度 (F_f) を採っている。土木学会のコンクリート用流動化剤品質基準¹⁾によれば F_b と F_f の比が90%以上と規定されている。図中の

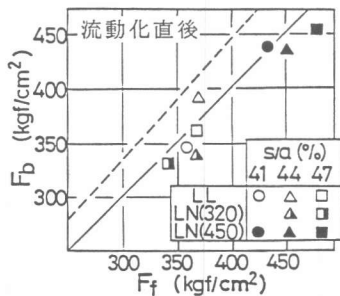


図-6 F_f と F_b の関係 (後添加)

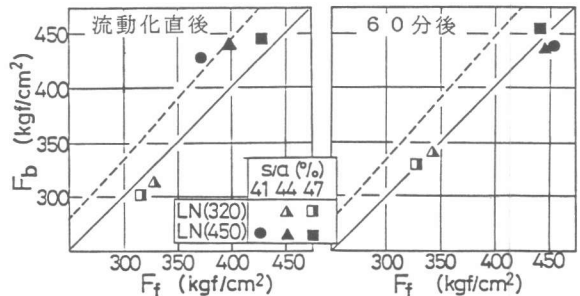


図-7 F_f と F_b の関係 (同時添加)

破線はこの強度比90%を示す線であり、破線の左側に位置するものは強度比90%を下回るものである。流動化剤S₁で後添加した場合には、各流動化コンクリートとも土木学会の品質基準を満たした。一方、流動化剤S₂で同時添加した場合には、供試体を作成した時期によって異なり、流動化直後では強度比90%を下回るものが見られたが、流動化後60分ではすべての流動化コンクリートが強度比90%以上となった。供試体の作成時期の差によるこの現象は、普通骨材コンクリートにスランプロス低減型流動化剤を同時あるいは時間差で添加した場合にも生じることがわかっている²⁾。

3. 2 骨材の組合せが流動化コンクリートに及ぼす影響

ここでは、流動化剤S₁を後添加した場合の軽量骨材を用いた流動化コンクリートの性質と粗骨材に碎石、細骨材に天然砂を用いた流動化コンクリートの性質とを比較検討した結果について述べる。

図-8に流動化直後のスランプと細骨材率の関係を示す。流動化直後のスランプは、いずれの細骨材率においても、粗骨材および細骨材とも軽量骨材を用いたLLがもっとも大きく、つづいて粗骨材に軽量骨材、細骨材に天然砂を用いたLN、普通骨材コンクリートNNの順にスランプは小さくなった。したがって、コンクリートの単位容積重量の少ない程度流動化直後のスランプが大きいという結果となっている。また、普通骨材コンクリートNNでは、細骨材率によってスランプの値が異なり、s/a 44~47%の間でスランプの値がピークを示したが、軽量骨材を用いたLLでは、NNのような傾向はみられず、細骨材率によらずほぼ同程度のスランプが得られている。

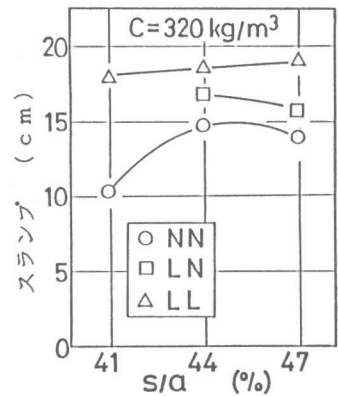


図-8 スランプとs/aの関係 (骨材の組合せによる影響)

図-9に各流動化コンクリートのスランプ、VB値および締固め係数(C.F.)の経時変化を示す。まずスランプでは、ベースコンクリートの経時変化はNN, LNおよびLLとも同様であったが、流動化後の経時変化は軽量骨材を用いたLLおよびLNがNNより大きい傾向にあり、とくにLNの流動化後30分間のスランプロスが大きくなった。一方、締固め性を表すVB値および締固め係数のうちVB値は、

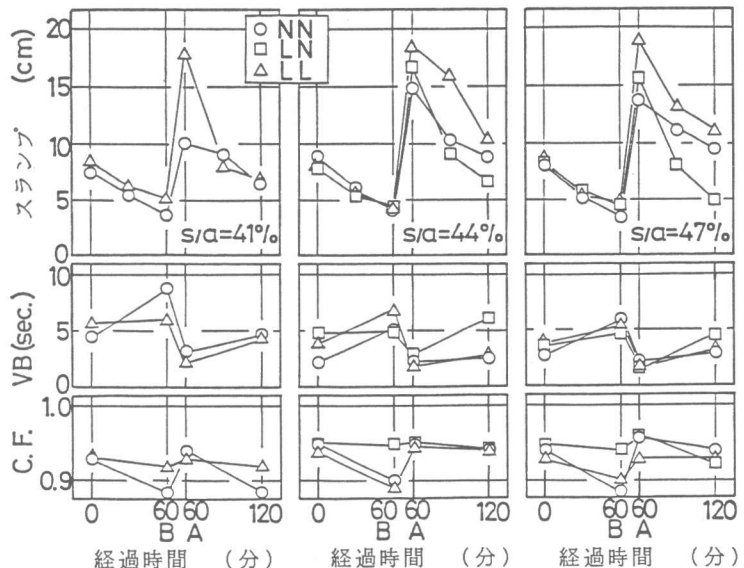


図-9 骨材の組合せが各試験値に及ぼす影響

LNにおいて流動化60分後でスランプロスに対応してNNおよびLLに比べ大きな値となったが、骨材の違いによるVB値の差はほとんどみられない。また締固め係数では、LNが他のコンクリートに比べ経時変化が少ない傾向にあるが、流動化直後(60A)ではNN, LN, LLともほぼ同程度の締固め係数となった。以上より、締固め係数およびVB値とも骨材の違いによる影響は認められず、軽量流動化コンクリートも普通骨材コンクリートを流動化した場合と同等の施工性の改善が望めるものと考えられる。

4. 結論

本研究は、軽量コンクリートを流動化し、その施工性を改善することを目的として、使用骨材、細骨材率、セメント量および流動化剤の種類等の影響について実験的に検討した。以下に本研究で得られた結果を示し、結論とする。

- (1) 軽量コンクリートを流動化した場合、細骨材率によって流動化の程度あるいは流動化後のスランプロスが異なり、流動化剤の性能を十分に発揮させる細骨材率の範囲が存在する。また、この細骨材率の範囲は流動化剤のタイプの違いあるいは添加方法によって多少異なる。
- (2) 後添加型の流動化剤で60分後添加した場合には、細骨材率によらず流動化による空気量の変動は見られなかった。一方、スランプロス低減型流動化剤で同時添加した場合には、細骨材率によらず、流動化直後にベースコンクリートより1~2%空気量が増加したが、60分後ではベースコンクリートと同程度の空気量となった。
- (3) スランプロス低減型流動化剤で同時添加した場合、流動化直後のコンクリートでは、土木学会品質基準が示す強度比90%を下回るものがみられるが、流動化後60分におけるものおよび後添加したものでは強度面で問題はなかった。
- (4) 軽量流動化コンクリートと普通流動化コンクリートを比較すると、スランプ増大量は軽量の方が多少大きく、またスランプロスは普通骨材の方が多少小さくなった。VB値および締固め係数では、骨材の違いによる差はみられず、軽量コンクリートの流動化は、普通骨材コンクリートの流動化と同等の施工性の改善が望める。

参考文献

- 1) 土木学会：流動化コンクリート施工指針(案)，コンクリート・ライブラリー，第51号，昭和58年10月，pp.47~53
- 2) 西林新蔵，吉野 公，伊藤浩二：スランプロス低減型流動化剤を用いた流動化コンクリートの基礎的性質，第8回コンクリート工学年次講演会論文集，1986，pp.261~264