

(53) 人工軽量細骨材を用いた高流動コンクリートの開発

(株)富士ピー・エス 大阪支店 正会員 ○真鍋 英規  
 大阪市立大学 工学部 正会員 眞嶋 光保  
 日本セメント(株) 大阪建材支店 森谷 勇二  
 (株)富士ピー・エス 大阪支店 正会員 東野 正明

1. はじめに

近年、コンクリートは高性能化が望まれており、高強度、高流動、軽量化、が目ざされている。特にコンクリート構造物の軽量化は耐震設計上及び経済性の視点から強く望まれている。

高強度コンクリートにおける軽量化の方策として人工軽量骨材コンクリートがある。人工軽量骨材コンクリートは過去に実験・研究がなされ実用化されているが、その需要は建築構造物に多く、土木分野（特にプレストレストコンクリート）での施工例は少ない。これは、普通コンクリートに比べ静的物理定数が10～20%程度低下する<sup>1)</sup>ため、構造計算上不利となることが一つの要因と考えられる。

一方、施工の影響を受けない締固め不要の高流動コンクリートが提案されて以来、各種機関で研究が進められ、現在では多工種、多品目に亘り実施例が報告されている。高流動コンクリートは、粘性および高流動性を得るために、配合上重要な特性である細骨材率 (s/a) が50%程度と高い値をとる場合が多い。そこで、高流動コンクリートのs/aの特徴に着目し、細骨材を人工軽量細骨材に置換えることにより高流動コンクリートの軽量化が図れると考えた。しかし、細骨材のみ人工軽量骨材に置換えたコンクリートの実験・研究は過去にほとんど行われておらず、その特性について明らかにはされていない。本研究では、人工軽量細骨材を用いた増粘材系の高流動コンクリートの開発として各種基礎的実験を行った。

2. 材料及び配合の選定

表-1 使用材料諸元

表-1に使用材料諸元を示す。  
 セメントは、早強ポルトランドセメントを使用した。高流動コンクリートを得るために高性能減水剤を用いることとし、

セメント	早強ポルトランドセメント	比重	3.14
人工軽量細骨材	焼成人工軽量骨材 (膨張頁岩)	比重	1.88 吸水率 9.8%
天然細骨材	淀川水系川砂	比重	2.55 FM 3.00
天然粗骨材	茨木産砕石	比重	2.65
高性能減水材	①ナフタレンスルホン酸系, ②リグニンスルホン酸系, ③ポリカルボン酸系		
増粘材	ポリアクリルアミド系		

粘性は粉体と増粘材によることとした。これは、セメント以外の粉体の使用では、初期強度が得にくいこと、セメントの使用量が多くなると力学的なデメリットが生ずることから、粉体量(セメント)は1m<sup>3</sup>当り500kg程度とし、さらに増粘材の調整を行った。セメント量(粉体量)が多いため、その他の粉体(高炉、フライアッシュ、シリカフェーム等)は使用せず、微量の増粘材(ポリアクリルアミド系)と高性能減水剤だけの比較的シンプルな配合選定を行った。高性能減水剤には、ナフタレンスルホン酸系、リグニンスルホン酸系、ポリカルボン酸系の高性能減水剤を用いた。

コンクリートの軽量化のために用いる人工軽量細骨材は膨張性頁岩を原料とする非造粒型のものとした。

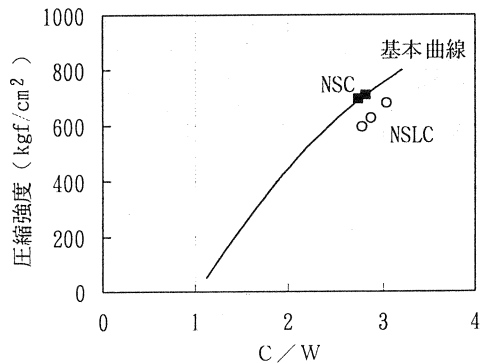


図-1 C/Wと圧縮強度の関係

配合は、高強度コンクリート設計基準強度 $f'_{ck}=49\text{Mp}$ 以上；プレストレストコンクリート対象）用二次製品の基本的な配合（図-1の基本曲線；富士ピー・エス大阪大東工場）を基にして、高流動コンクリート（以下NSCと称す）と細骨材のみ人工軽量細骨材を用いた高流動コンクリート（以下NSLCと称す）について配合選定を行った。配合の選定は混和剤の性質及び相性等で決定されるので、高性能減水剤がおよぼす影響（凝結、粘性等）について実験を行った。その結果を表-2に示す。本実験では、リグニンスルホン酸系の高性能減水剤がポリアクリル系の増粘材と最も相性が良いため、使用する高性能減水剤はリグニンスルホン酸系とした。コンクリートの示方配合を表-3に示す。なお、図-1にNSLCおよびNSCの高強度コンクリート領域におけるC/Wと圧縮強度の関係を示す。NSCについてはほぼ従来の基本曲線上に位置し、NSLCについては圧縮強度が若干低めに出る傾向にある。今後、データの集積を行い、NSLCとNSCのC/Wと圧縮強度の関係を導きだしたい。

表-2 減水剤選定試験結果

減水材種別	凝結状態	粘性状態	スランプロス
① ナフタレンスルホン酸系	特に変化なし	良好	大
② リグニンスルホン酸系	特に変化なし	良好	小
③ ポリカルボン酸系	数分後凝結作用が発生	数分後に粘性が増加する	数分後スランプロスが急激に低下

表-3 コンクリートの示方配合表

	s/a	w/c	フロー値	空気量	各種材料の単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )					
	%	%	cm	%	セメント	水	細骨材	粗骨材	増粘剤	減水剤
NSC	53.0	36.5	50-60	2.3	504	184	857	790	2.9	25.2
NSLC	52.2	34.8	50-60	1.7	525	183	※ 616	796	3	26.2

※ 表乾状態の値、比重1.88

### 3. フレッシュ性状

フレッシュ性状の評価方法は、高流動化の実験で従来行われているコンシステンシーの試験方法に準じて、スランプロウ、フロータイムの試験を行った。分離抵抗性の確認については、スランプロウ終了後のブリーディングの目視により行った。

スランプロウの結果は、NSLCに比較してNSCの方が低く、若干の分離作用も働いている。これに示方配合と照らし合わせるとW/CはNSCよりNSLCの方が2%程度低く、s/aは逆に2%程度高くなっている。よってNSCの分離作用の改善方法として、s/aを上げるか、増粘材の添加量を増やす方法はあるが、何れの場合でもスランプロウが小さくなりW/Cを上げる結果となり、NSLC以上のコンシステンシー値は得られないものと思われる。なお、細骨材の粗粒率の変化に対する実験は現段階では行っていない。フロータイムについては、スランプロウ値に応じて若干、NSLCの方が早い結果が得られた。空気量については、ほぼ計算通りの値であった。

表-4 フレッシュ性状の比較結果

	スランプロウ	フロータイム	空気量
NSC	55×55cm	50 SEC	2.3%
NSLC	61×60cm	48 SEC	1.7%

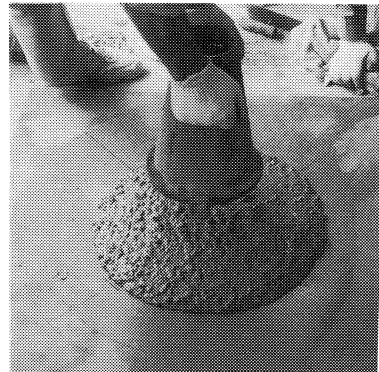


写真-1 スランプロウ試験

### 4. 硬化性状

#### 4.1 測定項目

人工軽量細骨材を用いた高流動コンクリートの基礎的データを収集する目的から、コンクリートの静的物理定数として、圧縮強度、静弾性係数、引張強度、付着応力度、を測定し、長期的な項目として、乾燥収縮、クリープを測定した。

4.2 実験方法

圧縮強度試験はJIS A 1108により行った。静弾性係数試験及び割裂試験は日本道路公団規定により行った。付着応力度の試験は「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法(案)(JSCE-1988)」に基づき行った。試験体は10cm立方体コンクリートの中央に異形棒鋼D13mmを取り付けたものを用いた。コンクリート打設は載荷面と垂直な方向から行った。クリープの測定は「コンクリートの圧縮クリープ試験方法(案)」に準じて行った。試験体は断面10×10cm、長さ40cmの直方体を2体つなげたものを使用し、持続荷重はPC鋼棒φ23mm(SBPR785/930)を試験体の中心に配置し緊張力を与えた。緊張力の管理はPC鋼棒にひずみゲージを取り付けを行った。乾燥収縮測定用の試験体もクリープひずみ測定用の試験体と同一寸法とした。全ての測定は比較のためNSCLとNSCの2種類について行った。

4.3 実験結果及び考察

(1) 静的物理定数

静的物理定数の測定結果を表-5に示す。

NSLCの単位質量は2.16t/m<sup>3</sup>となり、普通コンクリートの約1割の重量の軽減となる。NSLCのNSCに対する比は、ポアソン比はほぼ同程度であるが、材令28日における圧縮強度と引張強度では約0.9であり、弾性係数では約0.7となった。粗骨材と細骨材をともに人工軽量骨材に置き換えた軽量コンクリートの普通コンクリートに対する比では、圧縮強度では1.0、引張強度では0.8、弾性係数では0.6とされている<sup>1)</sup>。NSLCは従来の軽量コンクリートと比較して、引張強度と弾性係数では若干の改善となった。

圧縮強度と弾性係数の関係を図-2に示す。従来の軽量コンクリートの場合は友澤・野口式<sup>2)</sup>[式1]が適合性が良いとされているが、NSLCでは圧縮強度に対する弾性係数は[式1]より大きな値を示していることが解る。

$$E = 12100Fc^{0.456} \quad \text{[式1]}$$

ここに、E:弾性係数(kgf/cm<sup>2</sup>)、Fc:圧縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

(2) 付着強度

表-6に付着応力度試験結果を示す。NSLCの付着応力度の平均値は $\tau_L = 9.2$ MPaであり、NSCの付着応力度の平均値は $\tau_N = 10.9$ MPaであった。NSLCの付着応力度はNSCのそれと比較して若干小さいものの、通常のPC用コンクリートの付着応力度が4.0MPa程度であることから、NSLCのPC部材への適用では付着応力度は問題とはならないと考える。

(3) クリープ・乾燥収縮

クリープひずみ(乾燥収縮ひずみを含む)の経時変化の比較を図-3に示す。約100日までのデータであるが、クリープひずみはNSLCの方がNSCより約1.3倍程度大きな値を示している。

NSCとNSLCの代表的な乾燥収縮ひずみの経時変化の比較および質量減少量の比較を図-4、図-5に示す。初期の乾燥収縮ひずみはNSLCの方がNSCと比較して小さくなっているが、約100日を経過した付近からほぼ同程度となっている。これは従来の軽量コンクリートと同様の傾向である。

表-5 コンクリートの静的物理定数比較

項目	NSC	NSLC	NSLC/NSC	
単位質量 (t/m <sup>3</sup> )	2.39	2.16	0.904	
ポアソン比	0.20	0.21	1.050	
引張強度 (MPa)	3.92	3.56	0.908	
圧縮強度 (MPa)	3日	50.8	46.3	0.911
	7日	61.0	55.5	0.910
	28日	68.1	61.3	0.901
弾性係数 (MPa)	3日	25880	21610	0.835
	7日	34160	24640	0.715
	28日	34700	25300	0.729

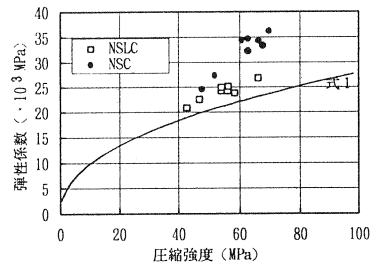


図-2 圧縮強度と弾性係数の関係

表-6 付着試験結果

		すべり量 0.002時		
NSLC試験体 No.		NSLC A1	NSLC A2	NSLC A3
荷重 (kN)		19.4	18.7	19.0
付着応力度(MPa)		9.3	9.0	9.1
	平均	$\tau_{la} = 9.2$		
NSC試験体 No.		NSC A1	NSC A2	NSC A3
荷重 (kN)		20.4	34.2	13.5
付着応力度(MPa)		9.8	16.4	6.5
	平均	$\tau_{na} = 10.9$		

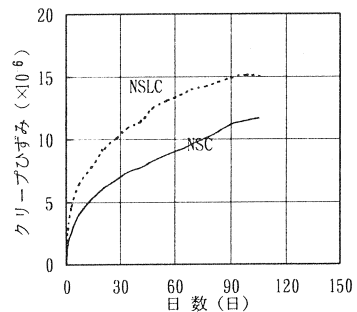


図-3 クリープひずみの経時変化

