

人工軽量骨材コンクリートの強度特性について

東北大学工学部 学生員 木ノ久平

東北大学工学部 高橋修

東北大学工業教員養成所 学生員 中島俊雄

1 まえがき

最近構造物が高尺化、長大化の方向に向いつつあるが、それにとともに使用材料の軽量化はますます重要視されるようになってきた。このような時代の要求に適合するため、人工軽量骨材を用いて、軽量で必要な強度を満足する人工軽量骨材コンクリートが広く使用されるようになった。しかし、人工軽量骨材コンクリートの諸性質は、普通コンクリートと比較すると、かなり異なるものであり、また人工軽量骨材の種類によっても大きな相違があり、まだ十分明らかにされていない点も多い。

本研究は、二種の人工軽量骨材を用い、人工軽量骨材コンクリートの各種強度、およびスウェッチ値について基礎的な実験を行ない、普通コンクリートと比較し、人工軽量骨材コンクリートの特性を検討するとともに、特に、人工軽量骨材コンクリートが乾燥されると、普通コンクリートにくらべて引張強度や曲げ強度が著るしく低下する特性について、その原因を論じたものである。

本研究は、東北大学教授 後藤幸正博士の所指導のもとに行われたものであり、ここに謹んで感謝の意を表する次第である。

2 実験概要

使用材料として、セメントは、Pサノ普通ポルトランドセメント、および一部の実験に小野田早強ポルトランドセメントを用いた。細骨材は、宮城県白石市産の川砂、粗骨材は、B、L、二種の人工軽量骨材、および白石市産の川砂利を用いた。表-1は、粗骨材の物理試験結果、表-2は 実験に用いた配合表である。

実験に用いた人工軽量骨材コンクリートの細骨材は、すべて川砂を用いた。強度試験、乾燥収縮試験は、JISに準じて行なったが、特に純引張試験に用いてはJISに規定がないので、写真-1に示す装置を用いて純引張試験を行ない、同時に、コンクリートの弾性能力と引張弾性係数を測定した。

実験に用いた試体の形状は、圧縮、割裂、純引張試験用として、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 円柱試体、曲げ、乾燥収縮試験用として、 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ 角柱試体である。

表-1

骨 材	B	L	砂利
比 重	1.32	1.38	2.54
吸水率 (%)	7.23	2.18	2.23
最大粗骨材寸法(mm)	20	15	25

表-2

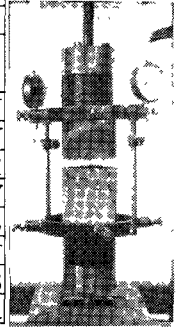
	w/c (%)	s/a (%)	単 位 重 量 (kg)				単位容積重量
			w	C	S	G	
B骨材コンクリート	41	38	180	440	638	540	1834
	51	44	180	350	745	512	1832
	60	40	180	300	693	561	1745
L骨材コンクリート	41	38	180	440	630	546	1854
	51	44	190	370	744	520	1860
	60	40	180	300	693	587	1780
普通コンクリート	41	30	180	439	546	1128	2343
	51	35	180	349	599	1148	2334

3. 実験結果および考察

表-3は水セメント比に對するコンクリートの強度(kg/cm^2)を示す。

	W/C (%)	圧縮強度			曲げ強度			割裂強度			引張強度		
		空中		σ_1	水中		σ_1	空中		σ_1	水中		σ_1
		σ_1	σ_2		σ_1	σ_2		σ_1	σ_2		σ_1	σ_2	
B骨材 コンクリート	41	367	378	0.96	261	570	0.46	199	247	0.81	272	320	0.85
	51	304	315	0.97	297	477	0.62	213	254	0.83	235	269	0.87
	60	247	211	1.17	276	339	0.81	163	203	0.80	229	249	0.92
L骨材 コンクリート	41	451	473	0.95	321	522	0.62	232	331	0.70	330	340	0.97
	51	308	275	1.12	325	456	0.71	217	289	0.75	253	287	0.88
	60	157	208	0.76	348	402	0.87	128	181	0.71	170	226	0.75
普通 コンクリート	41	493	525	0.94	444	554	0.80	272	303	0.90	285	307	0.93
	51	371	371	1.00	437	521	0.89	262	275	0.95	278	271	1.02

写真-1

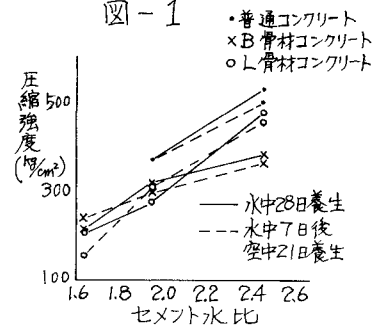


表中の「水中」は、28日間水中養生を示し、「空中」は、7日間水中養生後21日間、温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 湿度 $60 \sim 70\%$ の恒温湿室中に保持した後、強度試験を行なったものである。

(1) 圧縮強度

図-1は 圧縮強度とセメント水比の關係を示したものである。これによると、人工軽量骨材コンクリートの圧縮強度とセメント水比は、ほぼ直線的關係が認められる。セメント水比の増加にともなう圧縮強度の増加は、B骨材コンクリートよりもL骨材コンクリートの方が大きい。これはB骨材の強度が低いことがコンクリート強度に影響しているものと思われる。人工軽量骨材コンクリートでは、使用骨材により、同じセメント水比でも、強度がかなり異なることがわかる。本実験結果から、同じセメント水比をとって、普通コンクリートと人工軽量骨材コンクリートの圧縮強度の比はB骨材コンクリートでは、 $0.7 \sim 0.8$ 、L骨材コンクリートでは、 $0.8 \sim 0.9$ 程度である。

図-1



コンクリートが乾燥されても、人工軽量骨材コンクリート、および普通コンクリート共に、圧縮強度の低下はほとんど見られない。

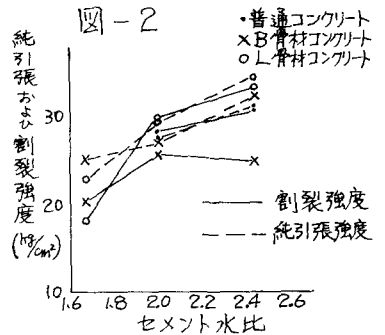
(2) 曲げ強度

表-3より、コンクリートが乾燥されると、人工軽量骨材コンクリートは、普通コンクリートに比し著しく曲げ強度が低下し、その低下は、普通コンクリートでは $10 \sim 20\%$ であるのに対し、B骨材コンクリートは、 $40 \sim 50\%$ 、L骨材コンクリートは、 $30 \sim 40\%$ である。水セメント比の小さなものの強度低下が大きい傾向がある。この原因として、人工軽量骨材コンクリートは、骨材中に吸水された水分が、周囲のペーストに供給されるため内部はゆえ乾燥せず、表面と内部に乾燥収縮差を生じ、したがってコンクリート表面に引張応力が効くためであるといわれている。骨材の吸水量と乾燥による強度低下については、骨材の吸水量の多いB骨材コンクリートの方が、吸水量の少ないL骨材コンクリートよりも強度低下は大きい。これより、骨材の吸水量が乾燥による曲げ強度の低下に影響を与えていることが考えられる。

コンクリート供試体内外の乾燥収縮差による内部応力の存在を明らかにするため、同じ条件で乾燥させた供試体と乾燥後水中に浸して表面の収縮を消去して曲げ試験をした。本実験に用いたセメントは、小野田早強ポルトランドセメントである。70日間水中養生後 温度5℃の冷蔵庫中から7日間保ち乾燥させた後、そのまゝ曲げ試験をしたものと、乾燥後3時間水に浸して吸水させた後、曲げ試験を行ったものと2種の試験を行ない両者を比較した。これによると、前者は、曲げ強度が23%であったのに対し、後者は、曲げ強度が3.6%であった。これは、前者のコンクリートは乾燥収縮差による内部応力が存在するが、後者は乾燥したコンクリートと水に浸したため、表面が吸水して膨張し、内外の乾燥収縮差が減少したため内部応力の除去され、曲げ強度が増大したものと判断される。

(3) 割裂強度および引張強度

図-2は、水中養生の割裂強度および引張強度とセメント水比の関係を示した。図によると、純引張強度はセメント水比とはほぼ直線的な関係があると考えられるが、B骨材コンクリートの割裂強度は、セメント水比の増大にもかかわらず、強度は平行線をたどっている。これは、割裂試験では骨材が割れ易いため強度が顕著にならなとも考えられる。



割裂強度と純引張強度との比は、B骨材コンクリートでは

0.7~0.9であり、L骨材コンクリートでは、0.7~1.0 普通コンクリートでは0.75~1.0である。コンクリートの乾燥による強度低下は、普通コンクリートでは10%以下であり、Lに軽量骨材コンクリートでは割裂強度については、20~30%あり、引張強度は、10~20%であった。

(4) 弾性係数

弾性係数は、破壊強度の5点と原点と結んだ Secant Modulus である。表-4に動弾性係数、圧縮静弾性係数、引張静弾性係数を示す。引張静弾性係数の方が、圧縮静弾性係数よりも大きい。また、コンクリートは、乾燥されると弾性係数が低下する。以上の傾向は普通コンクリートおよび人工軽量骨材コンクリートの両方に共通して認められる。

		表-4 (kg/cm²) × 10⁴							
	W/C (%)	動弾性係数		引張静弾性係数		圧縮静弾性係数			
		空中	水中	空中	水中	空中	水中	空中	水中
B骨材 コンクリート	41	19	21	19.5	21.1	17	22		
	51	18	20	18.8	19.5	15	16		
	60	16	18	15.5	17.8	13	13		
L骨材 コンクリート	41	23	25	23.8	30.8	19	21		
	51	21	23	19.4	24.4	17	20		
	60	17	20	16.3	20.3	14	17		
普通 コンクリート	41	32	35	27.3	32.3	26	29		
	51	28	34	25.1	30.3	24	27		

(5) 伸び能力

表-5は、撐距距離18cmの時のコンクリートの伸び能力である。表中のモルタルは、人工軽量骨材コンクリートから、粗骨材を除いたものと同じ配合のものである。伸び能力の大きさは、人工軽量骨材コンクリートが最も大きく、モルタル、普通コンクリートの順である。人工軽量骨材コンクリートの伸び能力が大きい原因としては、人工軽量骨材の弾性係数が小さいこと、伸び能力が大きいこと等が考えられる。

		表-5	
	W/C (%)	伸び能力 (× 10⁵)	
		空中	水中
B骨材 コンクリート	41	177	197
	51	161	168
	60	165	181
普通 コンクリート	41	135	143
	51	135	135
モルタル	41	167	179
	51	149	176
	60	152	138

人工軽量骨材コンクリートおよびモルタルは、乾燥されると伸縮能力が低下し、この大きさは、共に10~20%である。

(6) 乾燥収縮

表-6は、9日間水中後、21日間 温度 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 湿度60~70%の恒温室中に保存して乾燥させた $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱試験体の中心の収縮率と、表面の収縮率を測定した結果である。表-6についてみると、その大きさは、B、L普通コンクリートの値に低下している。この傾向は、曲げ強度低下の傾向と同一であり、曲げ強度の低下には、コンクリートの内外の収縮差が影響していることが認められる。

表-6				
	W/C (%)	乾燥収縮率($\times 10^{-6}$)		
		表面 S_1	中心 S_2	$S_1 - S_2$
B骨材 コンクリート	41	265	220	45
	51	284	246	38
	60	238	221	17
L骨材 コンクリート	41	267	244	23
	51	262	240	22
	60	200	—	—
普通 コンクリート	41	355	340	15
	51	340	322	18

4 おわりに

以上、B、L 2種の人工軽量骨材コンクリートと普通コンクリートを比較していくつかの実験を行なったが、その結果から次のことがいえると思われる。

(1)、人工軽量骨材コンクリートの圧縮強度は、使用する骨材によって異なり、同じセメント水比の時の人工軽量骨材コンクリートと普通コンクリートとの圧縮強度の比は、B骨材コンクリートでは0.7~0.8、L骨材コンクリートでは、0.8~0.9であった。

(2) 割裂強度と純引張強度を比較すると、普通コンクリートでは、両者はほぼ等しかったが、人工軽量骨材コンクリートでは、純引張強度が割裂強度よりも10~30%大きかった。

(3) 乾燥によるコンクリートの強度低下についてみると、圧縮強度では、人工軽量骨材コンクリートも普通コンクリートもほとんど低下は見られないが、引張強度では、人工軽量骨材コンクリートは純引張強度で10~20%、割裂強度は20~30%の低下があり、普通コンクリートの低下は10%以下であった。また曲げ強度の低下については、普通コンクリートが10~20%であるのに対し、人工軽量骨材コンクリートでは、30~50%の低下であった。

(4) 弾性係数について、普通コンクリートと人工軽量骨材コンクリートを比較すると、前者は後者は、圧縮弾性係数では、60~70%、引張弾性係数は、70~90%であり、動弾性係数は、60~70%であった。引張弾性係数の圧縮弾性係数に対する比は、普通コンクリートの場合、1.2程度であり、人工軽量骨材コンクリートでは、1.15~1.25であった。コンクリートは、乾燥されると普通コンクリートおよび人工軽量骨材コンクリート共に弾性係数が低下する。

(5) コンクリートの伸縮能力は、人工軽量骨材コンクリートでは、 $150 \sim 200 \times 10^{-6}$ 、普通コンクリートでは、 $120 \sim 150 \times 10^{-6}$ であった。人工軽量骨材コンクリートおよびモルタルは乾燥により伸縮能力は低下した。

(6) コンクリートの内外の乾燥収縮差により内部応力が生じ、引張、曲げ強度の低下に影響する。特に人工軽量骨材コンクリートでは、乾燥収縮差が大きいために、強度低下も大きい。

(7) コンクリートの乾燥による引張、曲げ強度の低下に影響する因子として、骨材の吸水量のムラが考えられるが、他に、人工軽量骨材の乾燥による乾式の性状の変化については不明確な点が多く、この問題の強度低下に及ぼす影響については、今後さらに研究を行う必要があると思われる。