

広島大学 正員 阿部 康 俱
同大学院 学生員 〇船 本 洋 治

1 まえがき

本研究は、三種類の人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートについて、圧縮、引張、曲げ強度試験および、弾性係数の測定を行なって、その結果を普通コンクリートの試験結果と比較検討し、骨材の性質、使用前の骨材の含水状態、および、養生方法の相違などが、軽量コンクリートの強度、その他の性質におよぼす影響を調べたものである。

2 使用材料、および、試験の方法

セメントは、小野田普通ポルトランドセメントを用いた。普通重量の骨材は、太田川産のもの、人工軽量骨材は、M骨材(細・粗)、B骨材(細・粗)、T粗骨材(細骨材は川砂使用)、の三種を用いた。骨材の諸性質は、表-1に示す通りである。コンクリートの配合、その他は、表-2に示す。

表-1 骨材の性質

	河川産			M骨材			B骨材			T骨材			
粒径(mm)	0~5	5~10	10~25	0~5	5~10	10~25	0~5	5~10	10~25	0~5	5~10	10~25	15~20
比重	2.55	2.62	2.62	1.85	1.32	1.29	1.84	1.68	1.31	川砂使用	1.41	1.42	1.33
吸水量(%)	1.88	1.27	1.03	17.28	13.51	11.77	11.43	13.04	9.54		22.36	15.63	6.93
気乾含水量(%)				7.72	8.71	7.65					19.37	9.55	0.49
粗粒率	3.14			2.76			2.76						
骨材の原料				膨張頁岩			膨張頁岩			用	膨張頁岩		
骨材の形状				破 碎			造 粒				造 粒		

表-2中の軽量コンクリートの水セメント比は、24時間吸水表面乾燥状態を基準としたものである。従って、気乾状態の軽量骨材を用いる場合は、24時間吸水量より使用時の骨材の全水量を差し引き、これを補正量として使用水量を定めた。練りまぜは、2切の可傾重力式ミキサを用いて、全材料投入後、3分間行なった。圧縮、および、引張強度試験用として、直径15cm、高さ30cmの標準円柱供試体を、曲げ強度試験用として、10×10×40cmの梁供試体を製造した。供試体の養生方法は28日間温度21±2℃の水中にて、水中養生したものと、7日間水中養生後、21日間21±2℃、湿度60~80%の室内で空中養生したものの二通りである。弾性係数の値は、円柱供試体の表面に貼ったストレインゲージの測定結果にもとづき、圧縮強度の約 $\frac{1}{3}$ 値におけるセメント係数である。

3 試験の結果、および、その考察

試験の結果を表-2および、図-1~図-5に示す。

(1) コンクリートの単位容積重量：普通コンクリートの単位容積重量は、237~231 t/m³、人工軽量骨材を用いたコンクリートで、1.84~1.50 t/m³であった。従って、土木学会人工軽量骨材コンクリート設計施工指針(案)に示す軽量コンクリートの定義にあてはまるものである。

(2) セメント水比と圧縮強度の関係：図-1に、水中養生を行なった各種骨材コンクリートの圧縮強度と水セメント比の関係を示す。骨材を表乾状態で用いた場合、軽量コンクリートの圧縮強度は、

表-2 コンクリートの配合

骨材種類	単位水量 (kg)	補正水量 (kg)	単位セメント 量 (kg)	水セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	細骨材の 絶対容積 (l)	粗骨材の 絶対容積 (l)	スラン (cm)	空気量 (%)	コンクリートの 単位容積重量 (kg/m^3)
川砂利+川砂 (表乾状態)	162		404	40	40	277	416	6.6	2.3	2368
	161		322	50	42	302	417	6.3	2.7	2355
	164		245	66.7	44	325	414	7.8	3.5	2310
T粗骨材+川砂 (表乾状態)	171		428	40	40	275	389	8.1	2.5	1843
	170		341	50	43	302	399	13.7	3.0	1815
	168		252	66.7	44	321	408	8.8	3.1	1791
T粗骨材+川砂 (気乾状態)	171	21	428	40	40	275	396	12.5	2.1	1831
	170	21	341	50	43	302	399	15.9	2.5	1815
	168	22	252	66.7	44	321	408	14.9	2.8	1781
B骨材(細粗) (表乾比重)	155		388	40	40	281	422	5.0	2.2	1685
	146		291	50	41	303	435	4.4	3.8	1656
	159		239	66.7	44	334	425	6.4	3.6	1599
M骨材(細粗) (表乾状態)	166		415	40	40	273	410	4.6	1.4	1629
	165		330	50	41	291	419	7.6	2.8	1567
	165		247	66.7	44	324	413	5.1	3.2	1531
M骨材(細粗) (気乾状態)	166	62	415	40	40	273	410	15.8	1.4	1579
	165	66	330	50	41	291	419	19.8	0.8	1547
	165	71	247	66.7	44	324	413	17.0	1.5	1504

同一水セメント比において、使用した軽量骨材の種類によって異なるが、普通コンクリートに比べて5~20%程度低くなっている。また、軽量コンクリートでは、圧縮強度が350 kg/cm^2 程度より大きい範囲では、セメント水比の増加に対する圧縮強度の増加の割合は、減少する傾向にある。このことは、人工軽量骨材そのものの強度が比較的弱く、コンクリートが高強度になるにつれて、その影響があらわれて来るためであるといわれている。

(3) 水中養生を行ったコンクリートの引張および曲げ強度と圧縮強度との関係： 図-2に水中養生を行ったコンクリートの引張および曲げ強度と圧縮強度との関係を示す。この図から、軽量コンクリートを水中養生した場合、使用する骨材の種類によって異なるが引張強度は、同じ圧縮強度の普通コンクリートに比べ0~20%程度、曲げ強度は、0~25%程度、夫々低下しており、その傾向は高強度になるほど著しい。これは軽量骨材粒そのものの引張強度の弱さが影響していることが推定される。

(4) 乾燥がコンクリートの引張強度および曲げ強度におよぼす影響： 図-3、図-4は各種骨材コンクリートを空中養生した場合の引張強度および曲げ強度と圧縮強度と

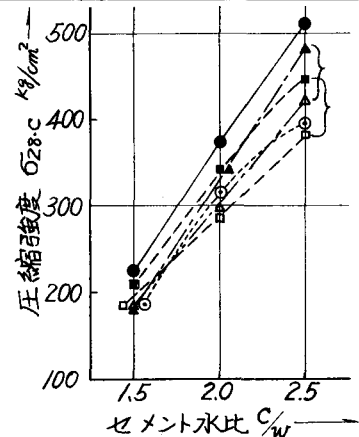


図-1 セメント水比と圧縮強度の関係(水中養生)

表-3 凡 例

記号	骨材状態	骨材種類
●	表乾	河川産
■	"	T(粗)+川砂
□	気乾	"
▲	表乾	M(細,粗)
△	気乾	"
◎	表乾	B(細,粗)

* この表は、図-1から図-4まで共通である。

の関係を示す。軽量コンクリートを空中養生した場合、引張強度及び曲げ強度は、骨材の種類により異なるが、普通コンクリートを水中養生した場合に比較して、引張強度で5~35%、曲げ強度で15~55%、低下していることが認められる。前記図で、軽量コンクリートを水中養生した場合、その低下が、引張強度で0~20%、曲げ強度で0~25%であった事を考えると、乾燥によって、引張、曲げ強度が相当低下した事を示している。これは、軽量骨材を用いたコンクリートでは、骨材粒の内部に含まれる水量が多く、内部のコンクリートがなかなか乾燥しないので、表面部に発生する引張応力が特に大きくなるためであると考えられている。しかし、図-2に於て、三種の軽量コンクリートが、水中養生された場合、(T粗骨材+川砂)コンクリートは、他の二種の軽量コンクリートと、引張、曲げ強度共に、殆んど同程度であったが、図-3、図-4、に示す如く、乾燥された場合には、それらの低下の割合が小さかった。すなわち、細骨材に河川産砂を用いた(T粗骨材+川砂)コンクリートでは、粗骨材の吸水量が同程度であり、細骨材にも軽量骨材を用いた他の二種の軽量コンクリートに比べて、乾燥による引張、および、曲げ強度の低下は、相当小さい。図-4において、空中養生したコンクリートの圧縮強度の増加に対する引張、曲げ強度の増進の程度は、図-2に示す水中養生したコンクリートの場合より、やや、小さくなっている。この事は、本実験の場合コンクリートが高強度になると、単位セメントペースト量が大きくなったため、乾燥による収縮応力が特に大きくなったのが原因と考えられる。

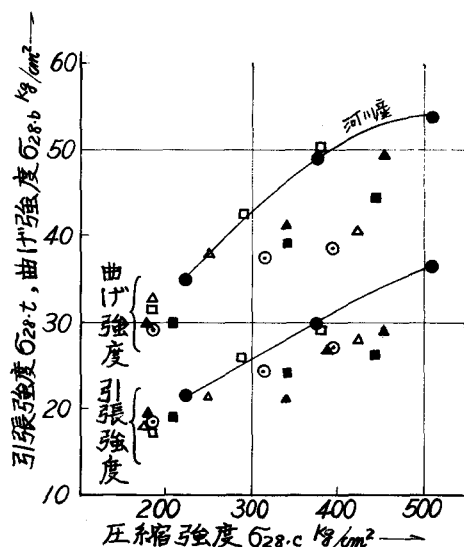


図-2 引張および曲げ強度と圧縮強度の関係(水中養生)

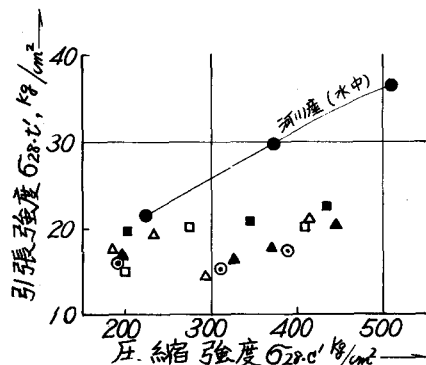


図-3 引張強度と圧縮強度の関係(空中養生)

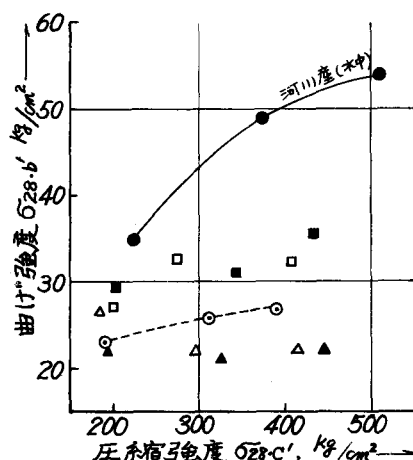


図-4 曲げ強度と圧縮強度の関係(空中養生)

(4) 使用前の骨材の含水量が強度におよぼす影響:

図-1に於て、軽量骨材を気乾状態で用い、本実験の如き配合の方法を用いた場合 (M-骨材, T-骨材+川砂), その圧縮強度は、同一水セメント比に対して普通コンクリートより0~15%程度低い値を示した。これは、24時間吸水表面乾燥状態を基準として、配合を定めるとき、骨材を気乾状態で用いる場合の補正水量の全てを、骨材粒が吸水したわけではなかったこと、コンクリート打込み時のスランプ値が比較的大きく、この為、材料分離の程度が大になったことなどが、原因と考えられる。又、この傾向は、セメント水比が、大きくなる程、はっきりしている。しかし、引張、および曲げ強度は、骨材を表乾状態で用いた場合と同程度であった。

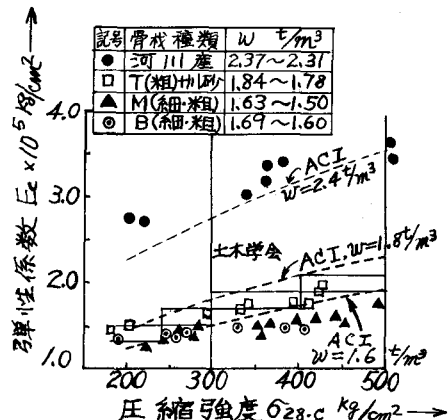


図-5 弾性係数と圧縮強度の関係

(5) 弾性係数: 図-5に各種骨材コンクリートの圧縮強度と弾性係数との関係を示し、参考のため、土木学会人工軽量骨材コンクリート設計施工指針(案)と、ACI Building Codeに定められている値も記した。ACIの式は、次の様に表わされている。 $E_c (kg/cm^2) = w^{1.5} \times 4270 \times \sqrt{\sigma_c}$
 w : コンクリートの単位容積重量 σ_c : コンクリートの圧縮強度、本試験の弾性係数の測定値は、この二つの規定に記されている値と、ほぼ、同程度であることが認められた。

4 むすび

人工軽量骨材コンクリートの強度、その他の性質について、本実験の範囲内で、次のようなことが云えると思われる。

(1) 標準養生を行なった場合、軽量コンクリートの圧縮強度は、同一の水セメント比の普通コンクリートの値の80~95%であった。圧縮強度が350kg/cm²以上になると、セメント水比の増加に対する強度の増加の割合は、普通コンクリートの場合より減少する傾向がみられた。

(2) 標準養生を行なった軽量コンクリートの引張および曲げ強度は、同一圧縮強度の普通コンクリートの値に比べて、それぞれ、0~20%、0~25%、低下し、この低下の割合は、高強度になる程大きくなる傾向が認められた。

(3) 乾燥によって軽量コンクリートの引張および曲げ強度は、低下するが、その割合は、それぞれ0~60%、および0~50%であり、この傾向は、特に高強度に於て顕著であった。また、軽量コンクリートにおいて、細骨材として川砂を用いた場合、乾燥による引張および曲げ強度の低下は、細粗骨材共軽量を用いる場合より少なかった。

(4) 骨材を気乾状態で用い、24時間吸水表面乾燥状態を基準として配合を定めた軽量コンクリートの圧縮強度は、骨材を表面乾燥状態で用いた場合と比べて、0~15%程度低下した。しかし、使用前の骨材の含水状態の相違は、引張および曲げ強度に殆んど影響をおよぼしていないように思われた。