

[16] 軽量コンクリート用骨材としてのALC破碎物の利用に関する研究

正 会 員 ○ 向 井 毅 (明 治 大 学)
 正 会 員 菊 池 雅 史 (明 治 大 学)

1. 序 本研究では、かねてよりコンクリートの一層の軽量化を図る目的で、試作軽量骨材 ($\rho : 1.0$ 内外) などを用いて、より軽い構造用軽量コンクリートの研究を進めてきている。本報告は、この研究の一部をなすもので、ALC製品の製造過程で排出される不用ALCを破碎して得られた骨材を用いて、コンクリートおよびRC部材としての物性を実験検討し、より軽い構造用軽量コンクリートとしての適用性について、まとめたものである。

2. ALC破碎骨材の製造および性質

2.1 骨材の製造 不用ALCをジョークラッシャー (OS : 30 mm) を用いて破碎し、20 mmふるいを通し、かつ5 mmふるいに留まるものを粗骨材、5 mmを通過するものを細骨材とした。(表-1 参照)

2.2 性質 ALC破碎粗骨材の粒形は、全体として角ばっているが、碎石に比べるとやや丸味をもったものである。粒度分布状態は図-1に示すとおりで、人工軽量骨材 (S社品) に比べ、細骨材ではほぼ同様、粗骨材ではやや粗粒であるといえる。骨材の一般性質は表-2に示すとおりで、人工軽量骨材に比べ、次のような特性がある。

- I) 粗骨材 : 絶乾比重は0.67と非常に小さい。そのため、骨材が密実になりにくく、実積率 (38.8%) が低く、大部分の骨材が水に浮遊する。BS法による骨材強度は、図-2に示すように極めて低く、吸水率は極めて高い。
- II) 細骨材 : 絶乾比重が1.01で、人工軽量骨材に比べ、大幅に低い。しかし、吸水率は51.6%で、粗骨材に比べても更に高い値である。

3. ALC破碎骨材を用いたコンクリートの性質

- 3.1 使用材料 本検討に用いた材料の種類および性質を示すと、次のとおりである。
- I) セメント : N社製普通ポルトランドセメント。
- II) 骨材 : 市販人工軽量骨材およびALC破碎骨材 (表-2, 図-1 参照)
- III) 混和剤 : Y社製AE剤。

3.2 試料コンクリートの種類 軽量コンクリート2種を基準とし、その粗骨材または細骨材の一部または全部をALC破碎骨材に置換した9種類の試料コンクリートを用意した (表-3 参照)。

3.3 試験体

3.2に示す9種類の試料コンクリートを用いて強度、弾性および収縮試験体を作製した。

3.4 実験結果および検討

実験結果の一覧を表-4に示す。

それにもとづき検討すると 大要以下のようなものである。

表-1 使用骨材の種類とその記号

骨材種別	粗細の別	記号	備 考
ALC破碎骨材	粗骨材	AG	ALCをジョークラッシャーで破碎して製造した骨材
	細骨材	AS	
人工軽量骨材	粗骨材	LG	JISA5002に適合する骨材 (S社製品)
	細骨材	LS	

表-2 使用骨材の一般的性質

骨材種別	記号	最大寸法 (mm)	F M	比 重		吸水率 (%)	単容重 (kg/l)	実積率 (%)	浮粒率 (%)
				絶乾	表乾				
粗骨材	AG	20	6.59	0.67	0.98	47.3	0.26	38.8	83.7
	LG	15	6.40	1.28	1.50	17.2	0.80	62.5	0
細骨材	AS (5)	2.89	1.01	1.53	51.6	0.51	50.5	—	—
	LS (25)	2.74	1.61	1.88	17.4	1.04	70.8	—	—

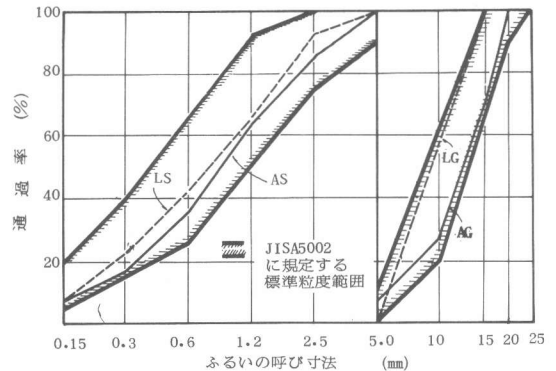


図-1 ALC破碎骨材の粒度分布状況

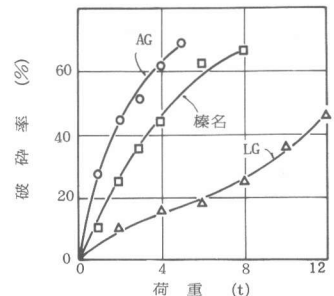


図-2 ALC破碎骨材の強度

I) 単容重 : 図-3に示すように人工軽量骨材

表-3 試料コンクリートの種類およびその割合

試料種類	骨材の割合 (容積比)				W/C (%)	単位セメント量 (kg/m ³)	単水電率 (kg/m ³)	細骨材率 (%)
	粗骨材		細骨材					
	LG	AG	LS	AS				
1			100	0	55	360	198	50
2			75	25				
3	100	0	50	50				
4			25	75				
5			0	100				
6	75	25			55	360	198	50
7	50	50						
8	25	75	100	0				
9	0	100						

表-4 試料コンクリートの諸性質に関する実験結果

試体号	試験空気量 (%)	練り上がり単容重 (kg/l)	圧縮強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	曲げ強度 (kg/cm ²)	ヤング係数 10 ⁵ (kg/cm ²)	0.9Fc 時のひずみ (%)	気乾単容重 (kg/l)	乾燥収縮率 (13W) (10 ⁻⁴)
1	2.4	1.72	296	32.9	43.4	1.57	0.20	1.51	4.9
2	2.9	1.72	313	32.6	42.5	1.43	0.24	1.48	6.3
3	2.6	1.70	306	28.2	40.6	1.40	0.23	1.44	6.5
4	2.2	1.68	306	25.0	39.2	1.26	0.25	1.42	6.2
5	3.5	1.60	231	22.4	31.3	1.15	0.23	1.30	6.4
6	6.4	1.61	187	22.4	36.3	1.39	0.20	1.38	7.6
7	5.4	1.58	165	17.9	30.1	1.15	0.16	1.33	8.5
8	5.8	1.58	128	14.8	28.3	1.05	0.17	1.26	10.7
9	6.3	1.48	123	13.6	24.3	0.83	0.17	1.19	12.4

を ALC 破砕骨材に置換する割合が高くなるのに伴い、単容重は低下する。その効果は粗骨材を置換する方が大きく、全粗骨材を ALC 破砕骨材で置換した場合、気乾単容重は 1.19 kg/l で、軽量コンクリート 2 種に比べ 0.3 kg/l 以上の軽減となる。

Ⅱ) 強度 ALC 破砕骨材の置換率と圧縮、引張および曲げ強度の関係を示すと図-4 および 5 のとおりである。まず、圧縮強度についてみると、細骨材を ALC 破砕骨材で置換しても強度低下は少なく、置換率 75% 以内では強度低下はほとんどみられない。これに対し、粗骨材を置換した場合は大幅な強度低下がみられ、置換率 75% では 50% 以上の強度低下を示した。このような傾向は、引張および曲げ強度についても同様にみられた。

Ⅲ) 弾性 1/3 Fc 時のヤング係数を比較すると、細骨材を ALC 破砕骨材で置換した場合でも、置換率の増大に伴い低下がみられ、全量置換した試験体では、軽量コンクリート 2 種に対し 27% の低下を示した。この傾向は粗骨材を置換した場合には一段と顕著にみられ、全量置換した試験体では約 50% の低下を示した。一方、0.9Fc 時の歪度については、細骨材を ALC 破砕骨材で置換した場合には 0.23~0.25% を示し、軽量コンクリート 2 種 (0.20%) に比べ若干高い値であった。

Ⅳ) 乾燥収縮 材令 13 週時の乾燥収縮を示すと図-6 の通りである。それによると、細骨材に ALC 破砕骨材を用いた場合は、置換量の多少にかかわらず 6.2~6.5×10⁻⁴ の収縮量を示し、軽量コンクリート 2 種 (4.9×10⁻⁴) に比べ約 20~25% 大きい値であった。これに対し、粗骨材を置換した場合は、置換率にほぼ比例して収縮量が増大し、全量置換の試験体で約 2.5 倍もの値であった。

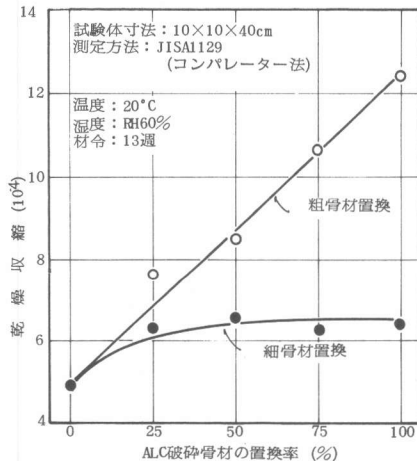


図-6 ALC破砕骨材の置換率と乾燥収縮の関係

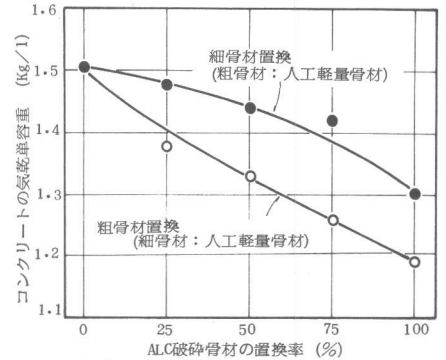


図-3 ALC破砕骨材の置換率とそれを用いたコンクリートの気乾単容重の関係

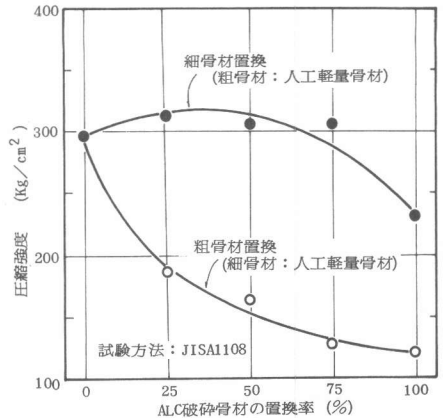


図-4 ALC破砕骨材の置換率と圧縮強度の関係

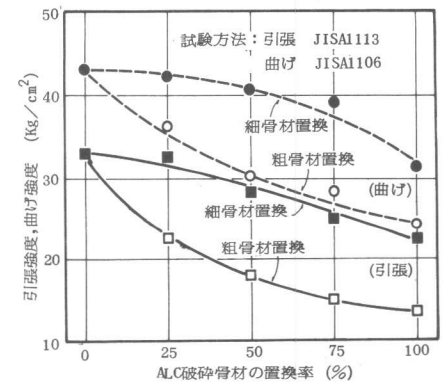


図-5 ALC破砕骨材の置換率と曲げおよび引張強度の関係

4. ALC破砕骨材を用いたRC梁の性質

4.1 使用材料 使用材料の種類および性質を示すと次のとおりである。

I) コンクリート 3. 1に示す。

II) 鋼材 SD30および35のD13、D16、D19およびSR24の6φを用いた。

その主要性質を表-5に示す。

4.2 試料コンクリートおよび試験体

I) 試料コンクリート 軽量コンクリート2種 (Fc: 2.49~2.75) およびその細骨材をALC破砕骨材で全量置換したコンクリート (Fc: 1.92~2.32) の2種類とした。

梁部材試験時の試料コンクリートの性質を表-6に示す。

表-5 使用鋼材の主要性質

鋼材種類	降伏点 (Kg/cm ²)	引張強さ (Kg/cm ²)	伸び率 (%)	ヤング係数 (10 ⁶ Kg/cm ²)
D13 (SD30)	33.3	52.7	18.5	1.86
D16 (SD35)	37.2	55.8	26.6	2.06
D19 (SD35)	37.3	56.1	25.7	1.82
6φ (SR24)	45.7	47.5	10.4	2.11

表-6 はり部材作製に用いた試料コンクリートの性質

試料コンクリート 記号	骨材の 組合せ	圧縮 強度 (Kg/cm ²)	引張 強度 (Kg/cm ²)	曲げ 強度 (Kg/cm ²)	ヤング 係数 (10 ⁶ Kg/cm ²)
L	LG・LS	249 ~275	19.8 ~21.3	28.3 ~30.6	1.41 ~1.66
A	LG・AS	192 ~232	17.8 ~21.6	27.2 ~28.2	0.94 ~1.14

III) 試験体 RC部材の曲げ、せん断および付着性状を検討するため、表-7および図-7 a)、b)、d)に示す合計12種類の試験体を作製した。

4.3 試験方法 曲げ試験は図-7 a)に示すように3等分点加力による一方向漸増加力とした。

せん断試験は図-7 b)、c)に示すように、逆対称加力による一方向繰返し漸増加力方法で行った。また、付着試験は図-7 d)に示すとおりで、試験体両端における鉄筋とコンクリートのすべり量を10段階(0.1~3.0mm)に制御し、各段階ごとに5回、合計51回の一方向繰返し加力方法を用いた。

4.4 実験結果および検討 実験結果を示すと表-8、9および10の通りである。これにもとづき、ALC破砕骨材を用いたRC部材の性質について、次のことがいえる。

表-7 はり部材試験体種類および配筋方法

試験項目	試験体記号	試験体形状寸法 (cm)	配筋方法 (単位mm)					
			主筋		せん断補強筋			
			引張側	圧縮側	試験区間	試験区外		
曲げ	L-A	15×15×180	2-D13	2-6φ	2-6φ 100@	2-6φ 40@		
	B		2-D16					
	A-A		2-D13					
	B		2-D16					
せん断	L-A	25×15×210	3-D16	3-D16	2-6φ 100@	2-6φ 75@		
	B						シャースパン (cm)	40
	A-A							40
	B						60	
付着	L-A	20×25×78 (定着長さ:15d)	2-D16	2-D19	2-6φ 100@ 2-6φ 50@ 2-6φ 100@ 2-6φ 50@	2-6φ 50@		
	B							
	A-A							
	B							

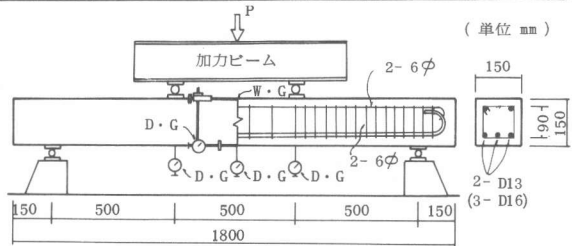


図-7 a) 曲げ試験体および試験方法

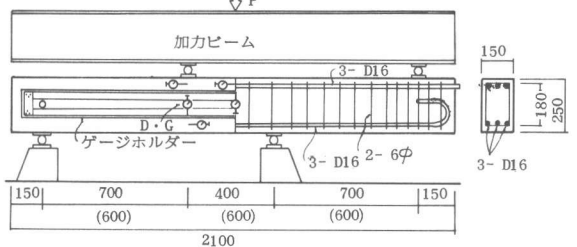


図-7 b) せん断試験体および試験方法

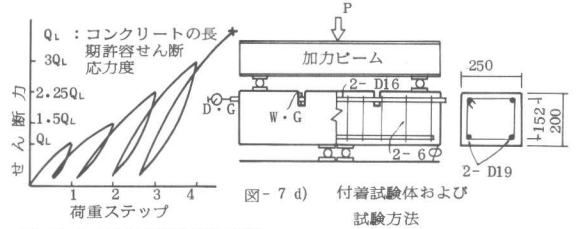


図-7 c) せん断試験の加力方法

表-8 曲げ強度試験結果

試験体記号	曲げひびわれ発生時	引張側主鉄筋降伏時			終局時		破壊モード	
		実験値 (t・cm)	計算値 (2)	計算値 (3)	実験値 (t・cm)	計算値 (4)		
L-A	10.0	0.69	95.0	1.07	1.08	97.5	1.07	(a)
	12.5	0.86	-	-	-	187.5	0.88	(b)
A-A	10.0	0.69	92.5	1.04	1.05	95.0	1.04	(a)
	10.0	0.69	-	-	-	185.0	0.87	(b)

(1) (2) 日本建築学会式 (3) 樞村式 (4) 日本建築学会式 (略算式)
(a) 引張側主鉄筋降伏による破壊 (b) 圧縮側コンクリート圧壊による破壊

軽量コンクリート2種を用いた場合と比較すると、大要

I) 曲げ性状 a)破壊状況 : Aタイプの試験体

では引張側鉄筋の降伏による終局破壊を示し、Bタイプの試験体は引張鉄筋が降伏する以前に純曲げ区間の

表-9 せん断強度試験結果

試験体記号	ななめひびわれ発生時		曲げせん断ひびわれ発生時		付着ひびわれ発生時		終局時		破壊モード
	せん断応力度 ₂ (Kg/cm ²)	実験値 ₂ 計算値 ₂	せん断応力度 (Kg/cm ²)	実験値 ₂ 計算値 ₂	せん断応力度 (Kg/cm ²)	実験値 ₂ 計算値 ₂	せん断応力度 (Kg/cm ²)	実験値 ₂ 計算値 ₂	
L-A	16.9	0.88	16.9	0.84	25.9	1.57	55.5	1.16	(a)
L-B	13.3	0.76	16.8	1.23	16.8	0.99	39.0	0.92	(a)
A-A	11.3	0.61	15.8	0.83	25.9	1.65	45.1	0.94	(a)
A-B	9.6	0.61	11.5	1.01	12.4	0.88	25.3	0.69	(b) (c)

(5) 大野荒川式 (6) Sozen式 (7) 広沢式 (8) 大野荒川式
 (a) 斜張力破壊 (b) せん断引張破壊 (c) 付着破壊

圧縮側コンクリートの圧潰による終局破壊を示した。この破壊モードは軽量コンクリート2種を用いた場合と同じであった。

b) 耐力 : Aタイプ試験体の曲げひびわれ発生荷重、鉄筋降伏時荷重および終局耐力は

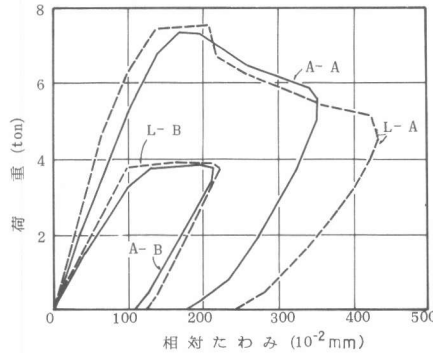


図-8 相対たわみと荷重の関係 (曲げ)

表-10 付着強度試験結果

試験体記号	付着強度 ₂ max (Kg/cm ²)	Tmax時のすべり量 (mm)	0.1mmすべり時の付着応力度: T _{0.1} (Kg/cm ²)	破壊モード	
				T _{0.1} /Tmax	破壊モード
L-A	38.3	0.2	38.3	1.00	(a)
L-B	47.2	0.3	46.5	0.99	(a)
A-A	36.2	0.1	36.2	1.00	(a)
A-B	39.3	0.3	37.6	0.96	(a)

(a) : 付着破壊

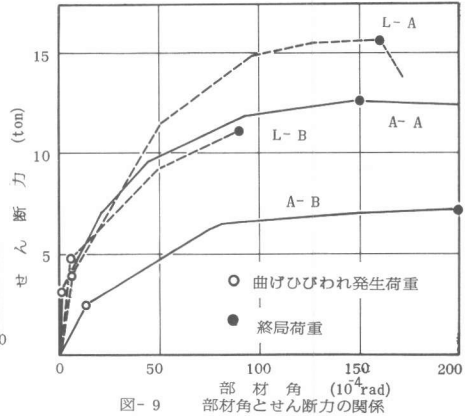


図-9 部材角とせん断力の関係

10^{t・cm}、92.5^{t・cm}、95^{t・cm} で軽量コンクリート2種に比べて耐力低下は4%以内と極めて小さかった。このことはBタイプ試験体においても同様にみられた。

c) 曲げたわみ 荷重と相対たわみの関係を図-8に示す。それによると、コンクリート種類の相違によるたわみ性状の差異は、ほとんどみられなかった。

II) せん断性状 a) 破壊状況 : 軽量コンクリート2種ではいずれも斜張力破壊を示した。これに対し、ALC破砕骨材を用いた場合には、シャースパン40cmで斜張力破壊、シャースパン60cmでせん断引張と付着による複合破壊を示した。

b) 耐力 : ALC破砕骨材を用いたコンクリートは軽量コンクリート2種に比べ、ひびわれ発生荷重で平均30%、終局耐力では、シャースパン40cmおよび60cmで、それぞれ20%、30%と大幅な低下を示した。

c) 部材角 : シャースパン40cmの場合では軽量コンクリート2種と差異はみられないが、シャースパン60cmでは約2.3倍もの大きな部材角を示した。

III) 付着性状 a) 付着強度 : あばら筋比の小さいA型試験体の付着強度は、36.2kg/cm²で、軽量コンクリート2種に比べ、約5%低い値であった。一方、あばら筋比を2倍にしたB型試験体では、A型に比べ9%の付着強度の増大がみられたが、軽量コンクリート2種(23%増)に比べると、あばら筋増加の効果が小さい。

c) 疲労性 : 同一制御すべりに対する1回目荷重時の付着応力に対する5回目荷重時の付着応力の低下は平均31.2%で、軽量コンクリート2種(30.1%)と同程度であった。

5. むすび 本研究はコンクリートのより一層の軽量化を目的とし、併せて不用ALCの有効利用を図る観点より検討を行ったものである。検討結果をまとめると、大要次のことがいえる。

- ALCはジョークラッシャーで破砕することにより、ほぼ妥当な粒度配列の骨材とすることができる。
- コンクリートの軽量化を重視する場合は、ALC破砕骨材を粗骨材として使用することが有効である。

しかし、物性を総合的に判断した場合、ALC破砕骨材は細骨材として用いることが望ましい。

- ALC破砕骨材を細骨材として用いた鉄筋軽量コンクリート部材では、軽量コンクリート2種を用いた場合に比べ、曲げ、付着性状ではほとんど差異はみられなかった。しかし、せん断耐力および変形などはかなりの性能低下がみられたことから、この種のコンクリートを構造部材に用いる場合は、せん断補強について十分な配慮が必要であるといえる。

謝辞 本研究の実験に際し、明治大学大学院生、渡辺拓文、54年度学生、江原恭二、荒木秀治、木村一義、橋本真一、和田友良の各氏に御協力を頂きました。ここに謝意を表します。