

論文 ALC 廃材のコンクリート用細骨材への利用に関する実験的研究

八木 勝*¹・出光 隆*²・山崎 竹博*³

要旨： オートクレープ養生した軽量気泡コンクリート製品（ALC と呼ぶ）は、軽くて比強度が高く、断熱性、耐火性に優れた不燃耐火建材である。ALC の使用の増大に伴い、製造の際に排出される端材の投棄量も増加しており、環境保全の観点からその有効利用を試みた。その方法として ALC の廃材を粉碎してコンクリート用骨材に利用し、ALC の持つ特長を生かすことによってコンクリートの性能向上を図った。ここでは、ALC 粉混入コンクリートの諸特性を把握するために行った、スランプ試験・空気量試験・圧縮強度試験・吸放湿試験・乾燥収縮試験の実験結果について検討した。

キーワード： ALC 廃材, ALC 粉置換率, 圧縮強度, 吸放湿試験, 乾燥収縮試験

1. はじめに

気泡コンクリートは軽量で特に高層建築に使用した場合、自重の低減に役立つこと、断熱性に優れているなどの利点があり、なかでもオートクレープ養生した軽量気泡コンクリート製品（ALC と呼ぶ）は、比強度も高くその使用量が増加しつつある。ALC の年間生産高は 220～250 万 m³ 程度であり、その 1.5～2.0% が製品として加工される際に、産業廃棄物として処分されている。この廃棄された ALC を粉碎してコンクリート用材料に再利用することが、産業廃棄物の有効利用の観点から望まれている。ALC 粉を骨材に利用し、ALC の持つ断熱性、吸湿性などの特長を生かすことによってコンクリートの性能向上を試みた。ALC 粉を骨材としてコンクリートに用いる場合、骨材表面の凹凸が多く表面乾燥飽水状態の判別が困難であり、その配合と施工性や物理的性質への改善効果は十分把握されていない。そこで、ALC 粉を混入したコンクリートのフレッシュ性状及び硬化後の諸特性について基礎的な実験を行った。

2. 実験概要

2.1 ALC について

ALC は石灰質原料とケイ酸質原料を主原料とし、それに気泡剤や混和材料が用いられる。石灰質原料としては石灰や、セメント（ポルトランドセメント、高炉セメント、シリカセメント、フライアッシュセメント）が用いられ、ケイ酸質原料としてはケイ砂、ケイ石、高炉スラグ、フライアッシュなどが用いられる。気泡剤としては金属アルミ粉末や表面活性剤などがあるが、現在ではそのほとんどが金属アルミ粉末を用いている。本研究で使用した ALC の物理的性状を表-1 に示す。

表-1 ALC の物理特性質

	測定条件	数値
かさ密度(g/cm ³)	気乾時	0.55～0.60
圧縮強度(N/mm ²) (10cm立方体)	絶乾時	5～5.5
	気乾時	3.5～4.5
	飽水時	3.0～3.5
曲げ強度(N/mm ²)	気乾時	1.0～1.2
引張強度(N/mm ²)	気乾時	0.5～0.7
弾性係数(N/mm ²)	1/3F _c ～1/2F _t 時	1.7～2.0×10 ⁴
乾燥収縮	飽水後空中放置	3～4×10 ⁻⁴
吸水性	7日間全面吸水	30～35%v _l
熱伝導率(W/mK)	使用含水(約5%)時	0.11～0.15
吸音率	1000Hz	19%
透過損失	1000Hz, 10cm厚	40dB

* 1 九州工業大学大学院 工学研究科 設計生産工学専攻 (正会員)

* 2 九州工業大学教授 工学部 建設社会工学科 (正会員)

* 3 九州工業大学教授 工学部 建設社会工学科 (正会員)

2.2 使用材料及び配合

ALC 粉混入コンクリートに用いる ALC 粉の粒度として図-1、図-2 に示すような粒度で最大粒径 1mm、2.5mm、5mm の 3 種類を用いた。ALC 粉の表乾密度は十分吸水させた後、質量減試験を行い、質量の経時変化率から表乾状態を測定した。表-2 に質量の経時変化のデータから算出した ALC 粉の表乾密度と絶乾密度および吸水率を示す。ALC 粉は表乾状態の判別が難しく、そのばらつきも大きいため、絶乾密度を用いて配合を表示することにした。表-2 より絶乾密度は粒径 1mm、2.5mm、5mm でそれぞれ 0.92、1.04、0.73 となり、粒径 2.5mm が最も大きくなった。このことは粒径 5mm 以上では骨材内部に微細な独立気泡を有するため密度低下が生じるものと考えられる。また、図-1 に示す ALC 粉のふるい分け試験の結果から、各ふるいに留まる ALC 粉は、図-2 示すようにどの粒径のものについても最大粒径付近のふるい目に多く留まっており、0.15mm 以下の細粒分の割合は粒径 1mm のもので全質量の約 15%、粒径 2.5mm のもので約 10% となり微粒分によるワーカビリティへの影響は小さいものと考えられる。ALC 粉の粒度分布は最大寸法付近で大きく、一般の細骨材の粒度分布とも異なっていたため、本研究では、細骨材として取り扱わずに式 (1) のように、骨材

$$R = \frac{V_R}{V_S + V_G} \times 100 \quad (\%) \quad \dots (1)$$

R : ALC 粉置換率 (%)
 V_G : 粗骨材体積 (m^3)
 V_S : 細骨材体積 (m^3)
 V_R : ALC 粉体積 (m^3)

表-2 ALC 粉の絶乾比重及び吸水率

粒径 (mm)	表乾密度 (g/cm^3)	絶乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)
1	1.57	0.92	66.8
2.5	2.58	1.04	56.5
5	1.32	0.73	81.8

表-4 コンクリートの配合

ALC 粒径 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	ALC 粉置換率 R (%)	単位量 (kg/m^3)					高性能 AE 減水剤
				水	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	ALC 粉	
なし	(50)	(46)	0	(186.4)	(372.8)	804.5	962.7	0.0	0.975
1	(54)	(47)	2	(188.0)	(348.1)	788.4	943.4	12.7	
2.5	(60)	(50)	5	(192.4)	(320.7)	764.3	914.5	31.7	
5.0			10			724.1	866.3	63.4	

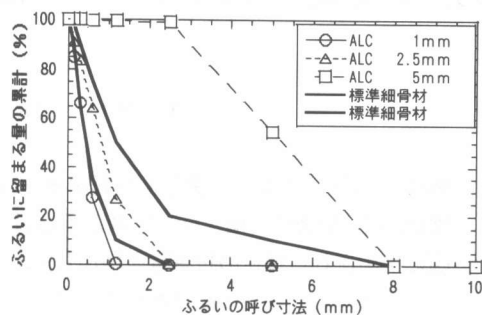


図-1 ALC 粉の粒度分布

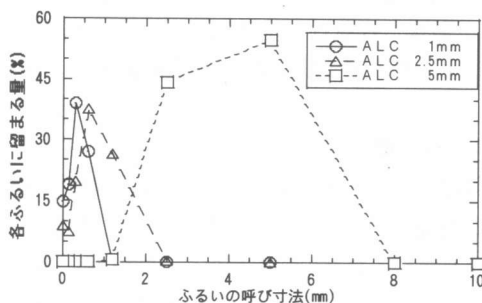


図-2 ALC 粉のふるい分け曲線

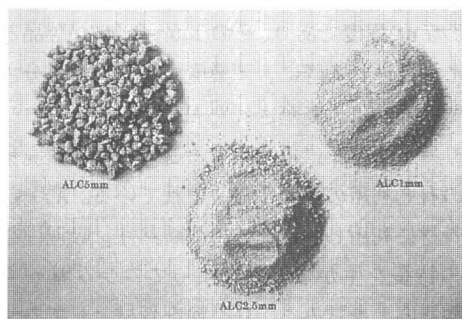


写真-1 ALC 粉

表-3 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント, 密度: $3.15g/cm^3$
細骨材	海砂, 密度: $2.59g/cm^3$, F.M.: 2.87
粗骨材	砕石, 密度: $2.64g/cm^3$, F.M.: 6.89,
混和剤	高性能 A E 減水剤 (ポリカルボン酸系)

全体の容積に占める割合で ALC 粉置換率を定めた。

本研究における ALC 粉以外の使用材料を表-3 に示す。ALC 粉を有効に利用する為には粉砕する粒径が大きい程良い。そこで、粒径の相違がコンクリート性状に与える影響を調べるために、写真-1 に示すように、粒径が 1mm, 2.5mm, 5mm の 3 種類に変えてコンクリートを打設した。表-4 に本研究で使用した ALC 粉混入コンクリートの配合を示す。同配合で水セメント比 50, 54, 60% の普通コンクリートに ALC 粉を置換した。この時、実用コンクリートのワーカビリティへの影響を見るため、置換率 0% の基準コンクリートとしてスランプ 18cm が得られるように s/a を調整し、それぞれの s/a , W/C を一組として配合表中に括弧で示す値とした。これに ALC 粉の置換率を変化させスランプ、空気量を測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 スランプ及び空気量

JIS A 1101, JIS A 1128 に準じ、ALC 粉混入コンクリートのスランプ及び空気量試験を行った。 W/C , s/a を一定にして ALC 粉の置換率を変化させた場合のスランプ試験結果を図-3 に、空気量試験結果を図-4 に示す。図-3 から判るように、ALC 粉置換率の増加に伴い、スランプは減少している。これは、ALC 粉を混入することで、その多孔性により ALC 粉が水分を吸収してスランプが低下するものである。一般にコンクリート使用材料の配合量はワーカビリティに与える影響を正しく評価するために、表面乾燥飽水状態の量で記される。しかし、ALC 粉のように多孔質で表乾状態の設定が困難かつ廃材処理過程からの手間を省くには絶乾状態で使用することが望ましい場合もある。すなわち、一般のコンクリート工学の概念からは少し異なる

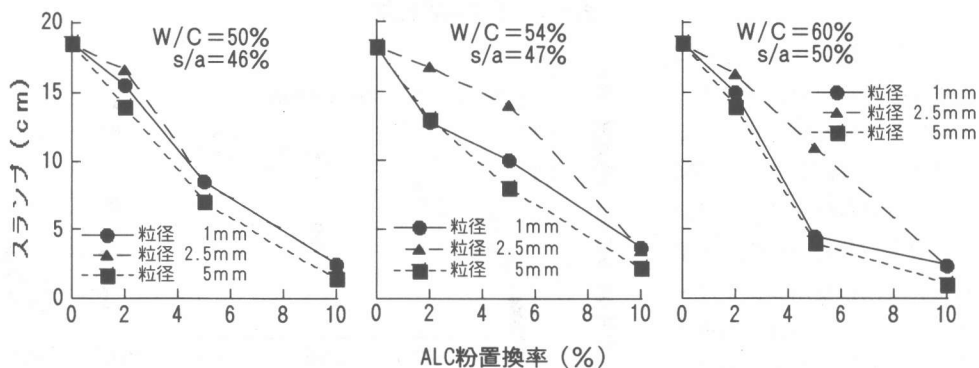


図-3 スランプ試験

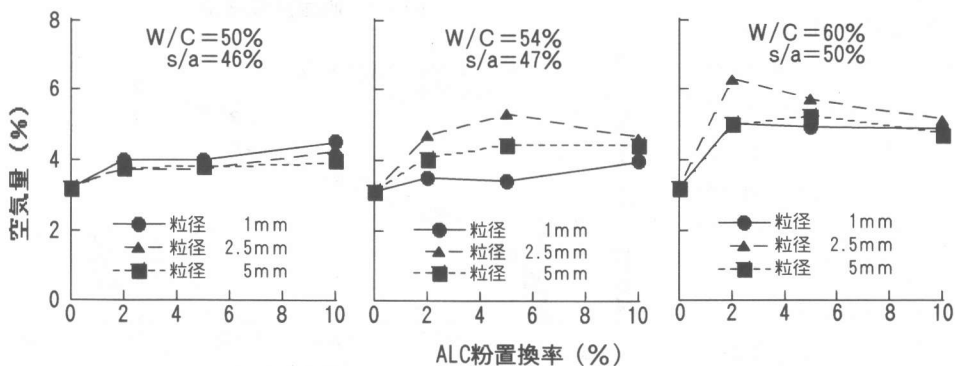


図-4 空気量試験

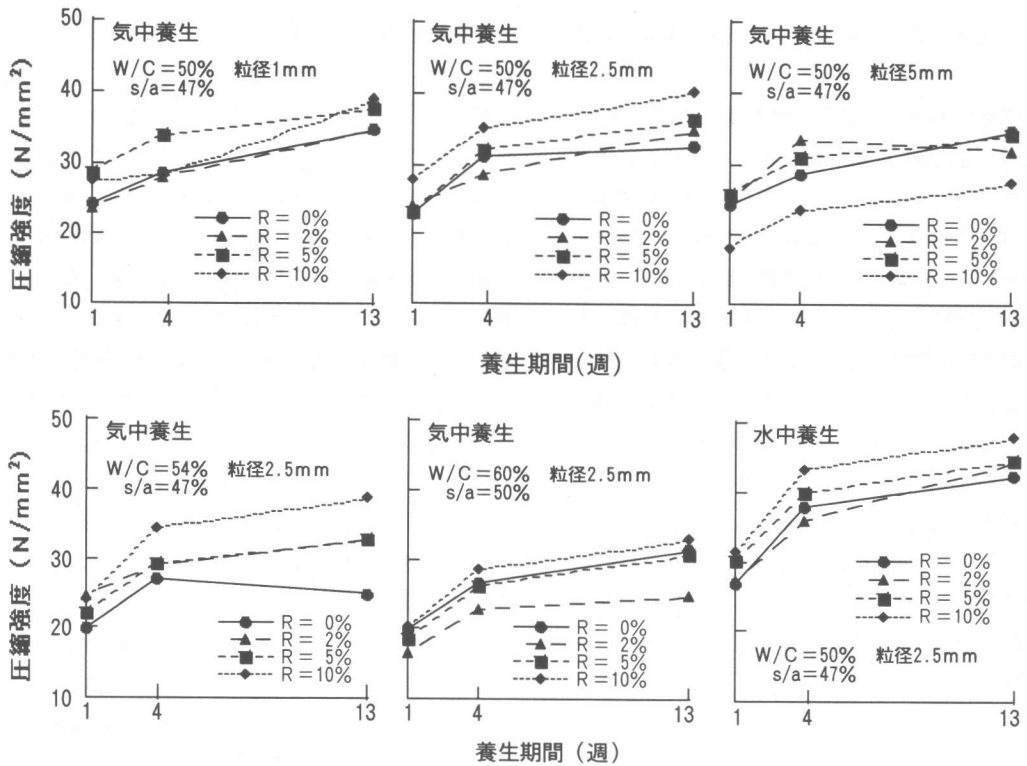


図-5 圧縮試験結果

るが、ALC 粉は細、粗骨材とは考えずに規定されたコンクリートの骨材以外に投入する絶乾材料として取り扱った。同配合で示す ALC 粉置換率は骨材容積全体量 (表乾) に対する投入容積量 (絶乾) の割合である。ALC 粉使用コンクリートのワーカビリティは、基準とする単位セメント量と単位水量を有する投入量で制御されることになる。上記の定義で ALC を加える場合、その粒径によってもワーカビリティに与える影響は異なり、ALC 粉 5mm でスランプ低下が最も著しい。これは、ALC 粉 5mm が他の粒径のものに比べ、表-2 に示すように吸水率が大きいため、練り混ぜ時の吸水量が多くなったためと考えられる。次に空気量に関しては、ALC 粉置換率の増加に

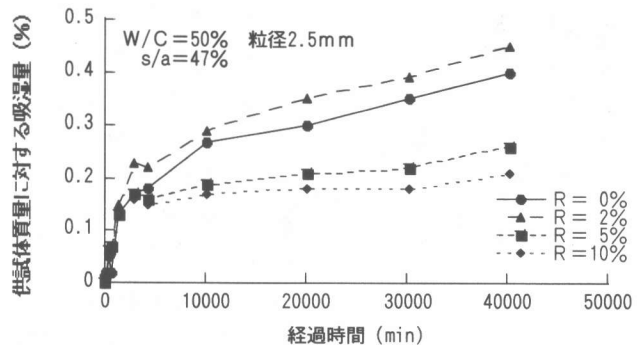


図-6 吸湿試験結果

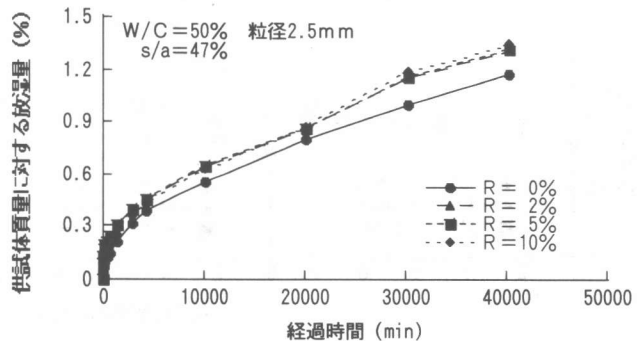


図-7 放湿試験結果

伴い普通コンクリートより多少増加するに留まった。これは、ALC 粉中の気泡の大部分が粉砕によって、表面に開かれた気泡となっていることによる。また、独立気泡も ALC 粉の吸水が良いことから押し出され、大きな空気量増加にならなかった。

3.2 圧縮強度試験

ALC 粉置換率 $R=0, 2, 5, 10\%$ の供試体を気中

及び水中養生した後、材齢 1 週、4 週、13 週で圧縮強度を測定した。圧縮試験結果を図-5 に示す。これらの結果より、ALC 粉の粒径が与える影響について見てみると、2.5mm, 1.0mm, 5mm の順で圧縮強度が高くなることが分かる。これは、表-2 のように、ALC 粉の密度が高いほど骨材強度が高くなることに起因すると考えられる。置換率別では、 $R=5\%$ 以上では圧縮強度が大きい。

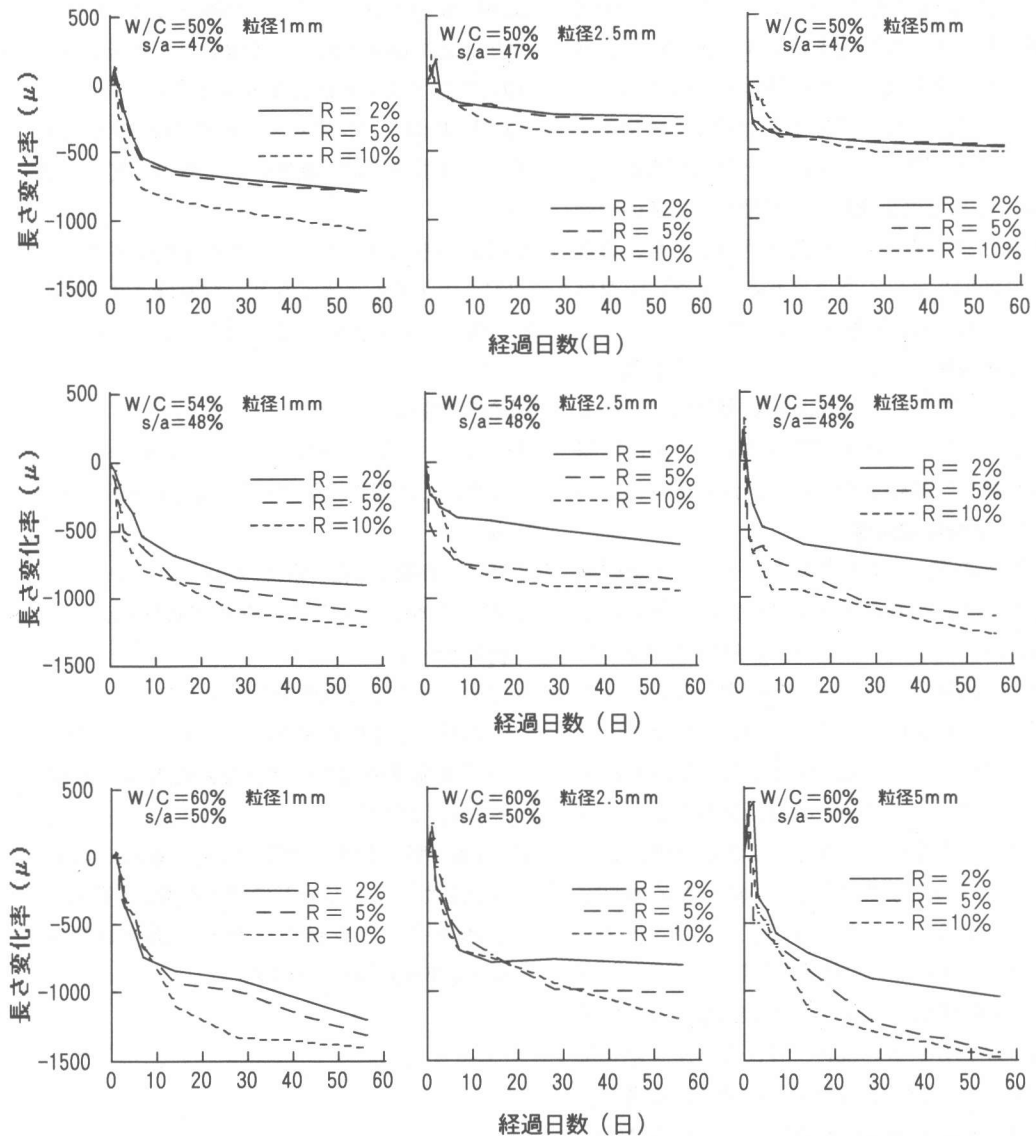


図-8 乾燥収縮試験結果

これは、ALC 粉を混入することでコンクリート中の水分が適度に吸収され、水セメント比が低下するためである。水中養生の場合も気中養生と同様の性状を示すが、圧縮強度が気中養生の場合よりも高くなる結果を得た。これは気中養生では乾燥が速く、水中養生の場合、セメントの水和反応に必要な水を十分に供給できたためと考えられる。

3.3 吸放湿試験

ALC 粉を混入することで、コンクリートの吸放湿量にどのような影響を及ぼすかを調べた。材齢 1 ヶ月以上で絶乾した供試体と、吸水した供試体の吸湿、放湿試験を 4 週測定した結果をそれぞれ図-6、図-7 に示す。この試験結果より、10000min までは吸湿量、放湿量共に増加の割合が大きい、それ以上時間が経過しても、なだらかに増加していくだけである。また、吸湿量についてみると、置換率によって差が生じ、2% で吸湿量は最大となった。しかし、放湿量については、置換率による差は少ない結果となった。その原因として、ALC 粉置換率が高いものは結露を生じ難く、乾燥しやすいことが考えられる。

3.4 乾燥収縮試験

ALC 粉の混入によりコンクリートの乾燥収縮にどのような影響があるか調べた。乾燥収縮ひずみはホイットモアひずみ計を用いて測定した。それらの結果を、図-8 に W/C 別及び ALC 粉の粒径別にそれぞれ示している。図-8 の全体について、置換率ごとの相違を見ると、その変化率そのものに大小はあるものの、置換率が高いものほど長さ変化が大きい。このことは、コンクリート中の空隙率が高いものほど乾燥収縮が大きくなるためと考えられる。このことは、コンクリート内部の単位水量又は W/C が大きい場合にも同様に考えることができ、図-8 の結果からも W/C が大きいほど、長さ変化が大きくなる結果となっている。ALC 粉の粒径による違いとしては吸水率が大きいものほどその収縮量は大きくなる結果が得られた。

4. まとめ

- 1) ALC 粉をコンクリート骨材に置換する場合、 $W/C=50\sim60\%$ 、単位セメント量 $320\sim370\text{kg}/\text{m}^3$ 程度では、10% 程度の置換使用が可能である。
- 2) 置換率 R の増加に伴い ALC 粉混入コンクリートのスランプは低下する。また、粒径の違いによるスランプ値の変化は小さい。また、ALC 粉を混入することで空気量は普通コンクリートより若干大きくなる。
- 3) ALC 粉混入コンクリートの強度は ALC 粉を絶乾状態で使用すれば、吸水効果も期待でき、10% 程度の置換では強度低下は見られない。
- 4) ALC 粉混入コンクリートの強度は、ALC 粉の密度の影響を受け、密度の高いものほど高くなる。
- 5) ALC 粉混入コンクリートの吸湿性は普通コンクリートよりも小さくなり、放湿量はほぼ同程度であるため、乾燥状態を保つことができる。

【参考文献】

- 1) 小林 一輔: 特殊コンクリート, 新体系土木工学 30, 技報堂出版株式会社, pp39~47, 1972 年
- 2) 伊東 茂富, 森北 常雄: コンクリート工学, 森北土木工学全書 5, 森北出版株式会社, pp340~349, 1972 年
- 3) 山崎 竹博: 各種産業廃棄物のコンクリート用材料としての適用性, コンクリートにおける産業廃棄物利用研究委員会報告書, pp162~166, 2000 年
- 4) 八木 勝, 山崎 竹博, 出光 隆: ALC 粉を混入したコンクリートに関する実験的研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集 ppA-508~A-509, 2001 年