

リサイクル材料を用いた軽量高強度コンクリートブロックの開発に関する研究

宇都宮大学大学院工学研究科 学生会員 ○川島 顕
 宇都宮大学大学院工学研究科 正会員 藤原 浩巳
 宇都宮大学大学院工学研究科 正会員 丸岡 正知
 株式会社デイ・シイ技術情報室 非会員 鯉 淵 清

1. はじめに

塀等に用いられる現状の中空コンクリートブロックは気乾かさ密度が 2.2g/cm^3 程度であり、このブロックを用いた建築物の塀等は、地震や事故等により倒壊した際に非常に危険である。そこで、ブロック塀を軽量コンクリートブロックとすることにより、倒壊時の危険性は軽減されると考えられる。しかし、現在一般に流通している軽量コンクリートブロックは、全断面積に対する圧縮強さ（以下：ブロック強度）が 4N/mm^2 以上と規格されている。（ブロック品質規格を表1に示す。）このため、一般的なコンクリートブロックに比べて低強度であり、地震動等による破損の可能性が大きくなるという問題点を有している。そこで本研究では、JIS A 5406 に規格される軽量コンクリートブロックの密度を満足し、かつ、重量コンクリートブロックのブロック強度を満足するコンクリートブロックを開発し、開発したコンクリートブロックについて耐震試験を行い、耐震性について検討した。

2. 軽量高強度コンクリートブロックの試作

2.1 実験概要

一般的なコンクリートブロックの配合に、既往の研究¹⁾より、強度増加の可能な範囲のペーパースラッジ灰（以下：PS 灰）を混和させたものを基に、軽量骨材や高強度混和材

を使用し、低密度細骨材であるパーライトを段階的に混合することにより、JIS A 5406 に規格される軽量コンクリートブロックの密度を満足し、かつ、重量コンクリートブロックのブロック強度を満足するコンクリートブロックを試作した。

2.2 使用材料

使用材料を表2、使用した材料の粒度分布を図1、PS 灰の化学成分を表3にそれぞれ示す。使用した材料の詳細について以下に記す。

PS 灰は製紙業より排出される汚泥を焼却処理した後の灰であり、表3に示すとおり、主成分が SiO_2 、 Al_2O_3 であるため、コンクリートに使用した場合、ポゾラン反応による強度増加が期待できることが既往の研究より明らかになっている。

パーライトは真珠岩等水分を含むガラス質流紋岩類を粉砕後、高温で焼成発泡させたものであるが、本研究では焼成過程で発生する微粉を集塵機で回収したもの（パーライト屑）を軽量化のため用いた。

表1 ブロック品質規格（JIS A 5406）

圧縮強さによる区分	ブロック強度 (N/mm^2)	気乾嵩密度 (g/cm^3)	区分
8	4以上	1.7未満	軽量
12	6以上	1.9未満	半軽量
16	8以上	-	重量

表2 使用材料

種別	記号	名称	密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	F.M.	比表面積 (cm^2/g)	実積率 (%)
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.15	-	-	3,260	-
細骨材	PL	パーライト屑	0.52	-	0.88	-	-
	MG	人工軽量骨材GS	1.71	10.0	4.05	-	62.0
粗骨材	RG	再生骨材	2.46	4.0	5.28	-	71.3
混和材	PS	ペーパースラッジ灰	2.27	20.6	-	1,360	-
	CP	高強度混和剤	2.92	-	-	6,500	-
混和剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系 高性能減水剤	1.05	-	-	-	-

表3 PS 灰の化学成分

密度 (g/cm^3)	90 μm 残分 (%)	化 学 成 分 (%)													R_2O (%)	Cl (%)
		ig-loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	TS	total		
2.27	66.5	3.6	38.1	21.4	1.1	28.9	3.6	0.39	0.15	1.03	0.30	0.02	0.5	99.1	0.49	0.178

キーワード：リサイクル 軽量高強度コンクリートブロック ペーパースラッジ灰 超固練りコンクリート 耐震試験
 連絡先：〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科材料研究室 TEL 028-689-6209

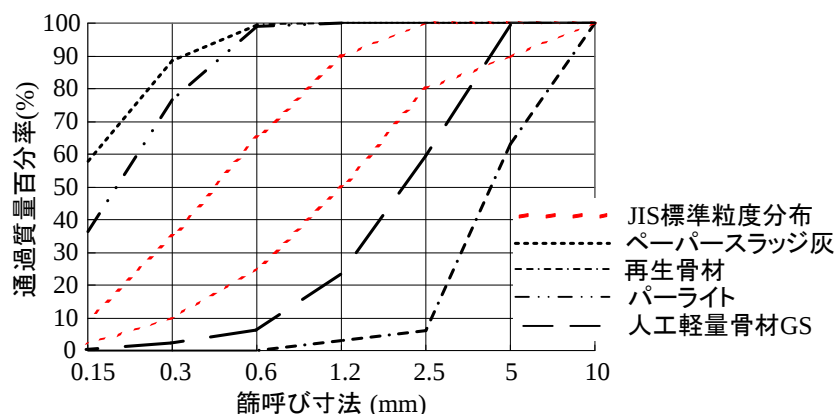


図1 使用材料の粒度分布

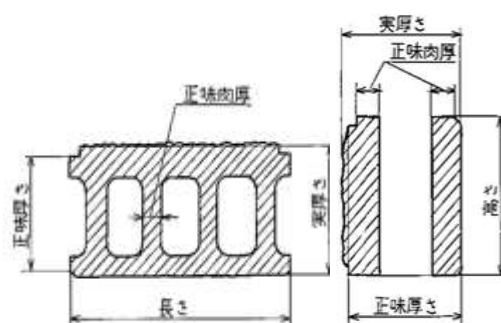


図2 ブロック断面形状

表4 基本配合

Base	単位量(kg/m ³)							密度 (g/cm ³)
	C	RG	PL	PS	MG	CP	W	
	216	73	163	230	501	96	160	1.44

表5 配合表

配合名	単位量(kg/m ³)							密度 (g/cm ³)
	C	RG	PL	PS	MG	CP	W	
GS40-B40 CP	216	220	132	230	501	96	160	1.56
GS50-B40 CP			158		417			1.50
GS60-B40 CP			183		334			1.44
GS50-B50 CP		183	166		417			1.47
GS60-B50 CP			191		334			1.41
GS50-B60 CP		147	173		417			1.44
GS60-B60 CP			199		334			1.38

人工軽量骨材GSは、主原料は膨張性頁岩であり、原石を粉砕・造粒・焼成し、製造したものを単一粒度に粒度調整したものである。一般のコンクリートブロックに使用されている、天然の軽石と同程度の密度を有し、より高強度であるため、今回、強度増加及び軽量化を目的とし、骨材の代替として使用した。

高強度混和材は市販の高炉スラグ微粉末をベースとしたものであり、蒸気養生を行うコンクリート製品に対して使用されているものである。本実験においては、強度増加を目的として用いた。

再生骨材については、コンクリート二次製品工場で排出された不良品を破碎したものであり、既往の研究より、即脱コンクリート製品に用いた場合、普通骨材と同様に使用できることが分かっているため²⁾用いた。

2.3 配合条件及養生条件

JISに規定されるコンクリートブロックにおける圧縮強さ試験では、実プラントにおける実製品を用いる。よって、コンクリートブロックの中空部分を含んだ、全断面に対するブロックの圧縮強さとなるため、室内試験における円柱供試体を用いた圧縮強度より、ブロック強度は小さくなるものと考えられる。よって、事前の室内試

験より、強度減少を見込んでなお十分な結果の得られた配合をベースとした。ベースとした基本配合を表4に示す。ここでは、強度増加のため、一般のコンクリートブロックの配合に、ポゾラン反応による強度増加の可能な量のPS灰230 kg/m³¹⁾と、高強度混和材をセメントに対し内割り30%混入した。また、パーライト屑を細骨材に40%、粗骨材に80%体積置換した。

この配合を基に、配合上の密度が1.4~1.6 g/cm³となる様、パーライト屑を細骨材に対して40, 50, 60%、粗骨材に対して40, 50, 60%体積置換した計7配合について試験を行った。配合表を表5に示す。

なお養生は実プラントの製造工程と同様に、蒸気養生とした。養生条件は前置き2h (20℃, 60%RH)、温度上昇20℃/h、最高温度60℃、最高温度を24h保持した後、以降は自然降下とした。また、蒸気養生後は20℃、60%RHで気中養生とした。

2.4 試験項目

試験はJIS A 5406「建築用コンクリートブロック」に準拠し、圧縮強さ試験および気乾密度試験を行った。ただし、圧縮強さ試験は材齢14日において試験を行った。試験体の断面形状を図2に示す。

2.5 試験結果及び考察

試験結果を表6に示す。また、図3にブロック強度と気乾密度の関係を示す。

図3より、材齢14日におけるブロック強度は、気乾かさ密度 1.6 g/cm^3 以上のもので、 10 N/mm^2 程度となり、本研究における目標値を満足するコンクリートブロックの製造が可能となることが確認された。

3. 振動試験による試作ブロックの耐震性評価実験

3.1 実験概要

試作軽量高強度ブロック、普通ブロック（重量種）のコンクリートブロック塀2種について、地震波による振動試験を行い、特定地震波（1995年兵庫県南部地震波）に対する試験体の挙動、損傷程度を確認した。

試験体は長さ1600mm、高さ1800mmのコンクリートブロック塀を2種のブロックそれぞれについて作成した。図4に概要を示す。試験体記号:Jは普通重量ブロックを使用し、通常施工通り挿入鉄筋D10を2本使用している

表6 試験結果

配合名	配合密度 (g/cm^3)	気乾密度 (g/cm^3)	ブロック強度 (N/mm^2)
GS40-B40 CP	1.56	1.65	9.45
GS50-B40 CP	1.50	1.56	7.09
GS60-B40 CP	1.44	1.57	6.61
GS50-B50 CP	1.47	1.60	10.56
GS60-B50 CP	1.41	1.47	5.77
GS50-B60 CP	1.44	1.49	6.83
GS60-B60 CP	1.38	1.25	3.79

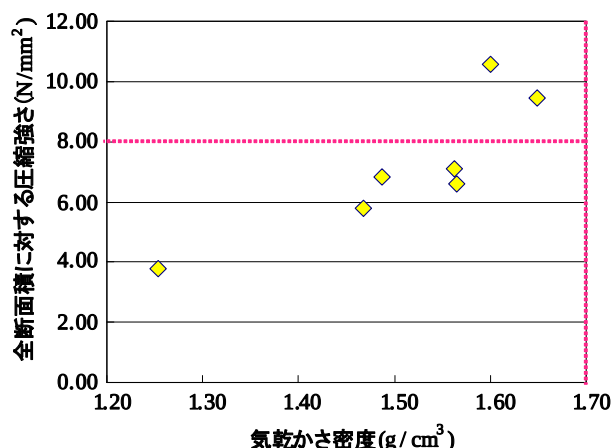


図3 圧縮強さと気乾密度の関係

ものである。試験体記号:Kは試作軽量高強度ブロックを使用し、挿入鉄筋は普通重量ブロックと同様とした。コンクリートブロックには化粧ブロックを用い、基本寸法は長さ390×高さ190×厚さ120mm（化粧面を含む）である。試験体の記号・寸法・主な構成材及び質量を表7に示す。

3.2 使用材料及び配合表

使用する試作軽量高強度ブロックの配合は前試験で最もよい性状を示した配合（GS50-B50 CP）とし、使用材料は2.2と同様とした。配合表を表8に示す。比較用の普通重量ブロックは、一般に販売されている重量種（ブロック強度 9.69 N/mm^2 、気乾密度 1.97 g/cm^3 ）を使用した。

3.3 試験方法

本試験では、永久磁石地震波振動台（以下：振動台）を用い、振動台に試験体の基礎相当材をボルト接合した。入力地震波は1995年兵庫県南部地震波とし、それぞれ加速度制御の実波相当波及び調整波を入力し、試験体の挙動や損傷程度を確認した。入力地震波形を図5に示す。加振プロセスは実波の5%、10%、25%、50%、85%、100%と段階的に加振レベルを上げ、ブロック塀に対し水平1方向（x軸方向）の振動を与えた。これは、水平1方向振動の方が、奥行き（y軸方向）・上下（z軸方向）方向を含む3方向振動より、ブロック塀の倒壊に関する作用力

表8 使用配合

単位量(kg/m^3)						
C	RG	PL	PS	MG	CP	W
216	183	166	230	417	96	160

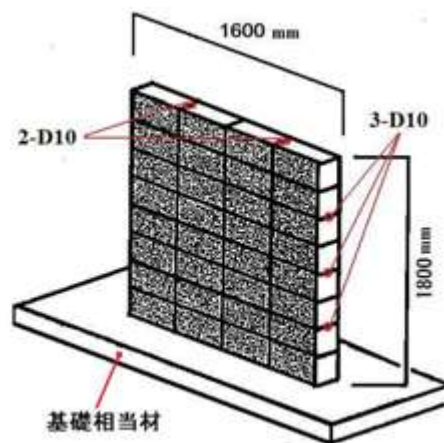


図4 概要図

表7 試験体

試験体 記号	ブロック塀本体						基礎相当材 (鋼製型枠+コンクリート)			ブロック 使用本数
	寸法			ブロックの積み方等	配筋		寸法			
	長さ	高さ	厚さ		縦筋	横筋	長さ	幅	厚さ	
J	1,600	1,600	120	8段積み	2-D10	3-D10	1,900	500	100	32
K	1,600	1,600	120	8段積み	2-D10	3-D10	1,900	500	100	32

鉄筋:呼び名D10、種類SD295A

単位 mm

が大きく、よりブロック塀の耐震性を確認できると考えたためである。また、震度測定機を設置することにより震度の測定も行った。

3.4 試験結果

実験結果を写真1及び写真2に示す。加振レベルの低い段階である25%では、気象庁の震度階級で震度5弱、50%では震度5強に相当する応答値が得られたが、ブロックの違いによる変化は見られなかった。加振レベルが85%では、震度6弱に達し、この段階からブロック塀上端の振幅に差が表れ始めた。写真1の(a)、(b)はそれぞれ加振レベル100%（震度6強）における試作軽量高強度ブロックと普通重量ブロックの写真である。写真中の点線は中心線を示す。軽量高強度ブロックは加振レベル100%においても頭頂部における揺れ幅はほぼ見られなかった。普通重量ブロックは頭頂部における揺れ幅が166mmにも達し、大きな揺れが確認された。また、根付け部分においてモルタルとの接合部に剥離が生じ、鉄筋も降伏した。これは、ブロック質量が大きいことにより、頭頂部にかかるモーメントが大きくなり、根付け部にかかる負担が大きくなったためと考えられる。

試作軽量高強度ブロックについては、加振レベル100%における振動実験においても破壊しなかったため、余震を考慮し、破壊するまで加振レベル100%における振動試験を行った。写真2の(a)、(b)にそれぞれ試験終了時の試作軽量高強度ブロック、普通重量ブロックの根付け部を示す。普通重量ブロックは、1度目のレベル100%の試験において鉄筋が降伏し、各ブロックの接合部においても、所々剥離が生じていることが確認された。試作軽

量高強度ブロックは2度目の加振で鉄筋が降伏してしまったものの、写真1に示すように普通重量ブロックよりも傾きが少なく、剥離も根付け部のみに生じた。以上より、試作軽量高強度ブロックは、大規模な地震動に対して、相対的に普通重量ブロックより倒壊の危険性が少ないことが確認された。

4. まとめ

各種リサイクル材を混和した超硬練りコンクリートをコンクリートブロックへの適用することで、JIS A 5406に規格される軽量コンクリートブロックの密度 1.7g/cm^3 未満の範囲で、普通重量コンクリートブロックの圧縮強度の規格値である、ブロック強度 8N/mm^2 以上を超える 10N/mm^2 を有するコンクリートブロックの製造が可能となることが確認された。

試作した軽量高強度コンクリートブロックは、本試験の振動試験において良好な結果を示し、相対比較の結果、普通重量ブロックを用いるより倒壊の危険性が少ないことが確認された。

参考文献：

- 1) 藤原浩已ほか：ペーパースラッジ灰を用いた超固練りコンクリートの強度特性、セメント・コンクリート論文集、No.60、pp.534-540 (2006)
- 2) 藤原浩已ほか：リサイクル材料を用いた保水性インターロッキングブロックの特性に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No.61、pp.558-564 (2007)

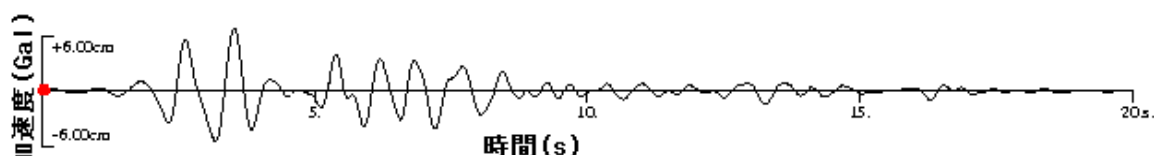


図5 入力地震波形図



(a) 試作ブロック



(b) 普通ブロック

写真1 試験状況図（加振レベル100%）



(a) 試作ブロック



(b) 普通ブロック

写真2 試験後状況図（根付け部）