

論文 廃プラスチック製骨材を使用した軽量コンクリートの諸特性

小出 英夫*¹・外門 正直*²・佐々木 徹*³

要旨：廃プラスチック製骨材(密度1.18~1.24g/cm³, 吸水率約0%)を用いた軽量コンクリートの有効性を検討するため、以下の点に関する実験を行った。①廃プラスチック製細骨材の利用、②低温・高温による各種影響、③配合における廃プラスチック製粗骨材量と強度の関係。その結果、以下のことがわかった。①軽量コンクリート用細骨材としての利用は強度不足から困難であるが、軽量モルタル用細骨材としては使用可能。②通常の使用環境の温度範囲内では著しい品質への悪影響は認められなかったが、温度上昇に従い強度は低下する。③廃プラスチック製粗骨材の絶対容積率が大きくなるに従い強度は低下する。

キーワード：軽量コンクリート、軽量骨材、廃プラスチック、ペットボトル

1. はじめに

著者らは、天然骨材の枯渇・採取に伴う環境破壊等の解決策としての代替品開拓、及び廃プラスチック(以後、“廃プラ”と呼ぶ)の有効利用の観点から、軽量コンクリート用骨材として廃プラ製骨材を活用することを提案し、研究を行ってきている。その結果¹⁾、①粗骨材を最大寸法10mmの廃プラ製粗骨材に100%置換しても、高性能A E減水剤を使用することにより、表乾密度約1.8g/cm³, 圧縮強度25N/mm²のコンクリートの製造が可能であること、②上記軽量コンクリートについて、モルタル部分と廃プラ製粗骨材との線膨張係数の違いが大きく起因すると考えられる温度変化による影響は、低温に関しては60サイクルまでの凍結融解試験の結果から顕著な劣化は無く、また高温に関しては65℃乾燥状態において圧縮強度が約15%低下するにとどまっていることが報告されている。

以上のことより、廃プラ製骨材を用いたコンクリートは軽量コンクリートとして実用可能に近く、適切な用途等の判断により、経済性等の面から有効な材料と成りえると考えられる。そ

こで本研究では、当該軽量コンクリートについての更なる基礎資料を得ることを目的に、以下の3点に関する各種実験を行った。

- ①廃プラ製骨材の細骨材としての利用
- ②低温・高温による各種影響
- ③配合における廃プラ製粗骨材の絶対容積率と各種強度の関係

実験で用いる廃プラ製骨材は、既往の研究¹⁾と同様、使用済みペットボトルを主材料として製造された廃プラ塊をクラッシャーで破碎したものを用いた。また、当該軽量コンクリートの実用化時におけるコンクリート製造過程上の煩雑性、経済性及び軽量化を考慮し、通常細骨材と廃プラ製細骨材の混合、通常粗骨材と廃プラ製粗骨材の混合は考えず、細・粗骨材それぞれにおいて、廃プラ製骨材を使用する場合は100%置換することを前提条件とした。

その他のコンクリート材料については、普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³), 細骨材(鶴巣大平産山砂, 密度2.54g/cm³), ポリカルボン酸系の高性能A E減水剤(密度1.07g/cm³), 標準タイプのA E剤(密度1.06g/cm³)を用いた。

*1東北工業大学助教授 工学部土木工学科 工博(正会員)

*2東北工業大学教授 工学部土木工学科 工博(正会員)

*3ドーピー建設工業(株)東北支店設計部部長 (正会員)

2. 廃プラスチック製骨材

本研究で用いた廃プラ製骨材は、原料となる廃プラ類が限定され環境に対する問題点が無く、かつ、それらの混合割合が管理されていることにより物性がほぼ一定である既存の廃プラ塊（写真-1、エコマーク認定、長軸約11cm、短軸約8cmのほぼ楕円形を底面とする高さ約6cmの円錐形）を中間材料として用い、それらを破碎し製造した。この廃プラ塊は、原料となる廃プラ類をポリエチレンテレフタレート（使用済みペットボトル）が約80～90%、残りがポリプロピレン・低密度ポリエチレン等としており、約1cmのチップ状に粉碎、上記の割合で約270℃で熔融・押出成型し製造される。

実験に用いた廃プラ製粗骨材（以後、“軽量粗骨材”と呼ぶ）は、既往の研究結果¹⁾より最



写真-1 廃プラスチック塊（中間材料）

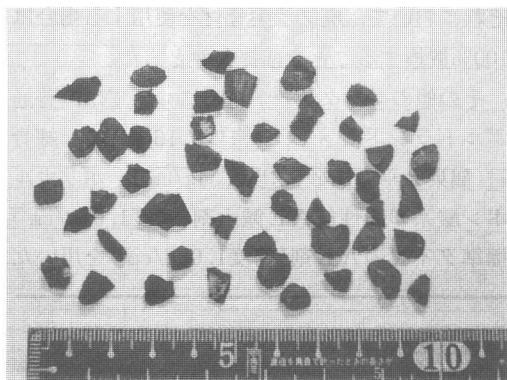


写真-2 廃プラスチック製粗骨材

大寸法を10mm(写真-2)とし、廃プラ塊の破碎時に発生する粒径5mm以下のものを、廃プラ製細骨材（以後、“軽量細骨材”と呼ぶ）とした。なお、実用化時の経済性を考慮し、粒度調整、洗浄等の処理は行わないこととした。廃プラ製骨材は吸水率が約0%であるため、管理状態に関わらず常に絶乾状態と考え、絶乾(表乾)密度は1.18～1.24g/cm³、軽量細骨材の粗粒率は3.90(2.5mm以上の粒が約40%)であった。

3. 実験 I

既往の研究¹⁾より、通常細骨材と軽量粗骨材の組み合わせにより、表乾密度約1.8g/cm³、圧縮強度約25N/mm²の軽量コンクリートが製造できることがわかっている。実験 I では、当該軽量コンクリートの一層の軽量化を主目的に、細骨材にも当該軽量細骨材を活用することの適否について検討する。

通常細骨材と軽量粗骨材の組み合わせによる上記軽量コンクリートは、軽量粗骨材とモルタル部分との付着の悪さを、モルタル部分の強度でカバーしコンクリートとしての強度を維持しているため、軽量細骨材の利用の適否は、軽量細骨材を用いた軽量モルタルの特性に大きく依存すると考えられる。よって、実験では、軽量細骨材を用いた軽量モルタルと普通モルタルとの圧縮強度の比較を行った。

3.1 実験方法

実験に用いたモルタルの配合は、表-1に示す5種類である。各配合は、既往の研究¹⁾で用いた、通常細骨材と軽量粗骨材の組み合わせにより圧縮強度で約17～25N/mm²となった軽量コンクリートのモルタル部分の配合に相当し、表の右欄に参考値として、各配合におけるこれら軽量コンクリートの単位水量及び圧縮強度を示した。また、表中に示された絶対容積率は、モルタルの空気量を無視した値であり、モルタルの製造においては、軽量コンクリート製造時には用いていた混和剤（高性能AE減水剤及びAE剤）を一切使用しなかった。

表-1 実験 I のモルタルの配合

シリーズ名	細骨材の 最大寸法 (mm)	水セメン ト比 W/C (%)	絶対容積率 (%)			参考値	
			水 W	セメント C	細骨材 S	単位水量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)
E(普通), E(軽量)	5	45	37.8	26.6	35.6	220	17.5
G(普通), G(軽量)	5, 2.5, 1.2	45	31.0	21.8	47.2	180	18.5
I(普通), I(軽量)	5	40	31.1	24.6	44.4	180	21.6
K(普通), K(軽量)	5, 2.5, 1.2	35	31.1	28.1	40.8	180	22.6
L(普通), L(軽量)	5	35	27.6	25.0	47.4	160	24.9

表-1の各配合ごと、通常の細骨材を用いた普通モルタル及び軽量細骨材を用いた軽量モルタルのφ5cm円柱供試体を作成し、20℃で水中養生、材齢約1, 2, 3, 4, 10週（一部）で圧縮試験を行った。

なお、本研究で用いた軽量細骨材は粒径の大きい粒の割合が高いことから、一部の配合において、最大寸法5mmの他に、2.5, 1.2mmとしたものについても実験を行った。

3.2 実験結果及び考察

図-1に、細骨材の最大寸法を5mmとした各配合における、普通モルタルと軽量モルタルの材齢と圧縮強度の関係を示す。

図-1より、軽量モルタルの圧縮強度は普通

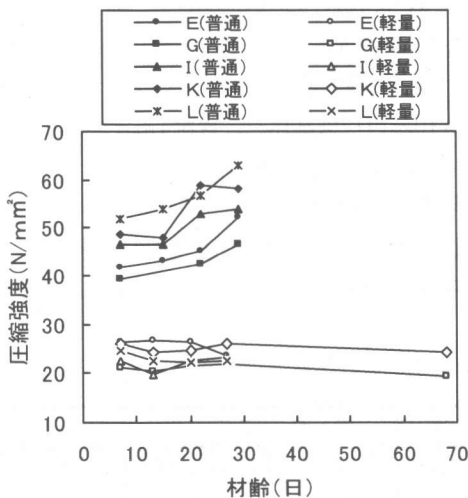


図-1 各モルタルの材齢と圧縮強度の関係
(細骨材の最大寸法5mm)

モルタルと比較し、著しく強度が小さいことがわかる。各配合における普通モルタルは表-1中で参考値として示した軽量コンクリートのモルタル部分に相当するため、細骨材をも軽量細骨材に置換したコンクリートの圧縮強度は、参考値の圧縮強度よりも低下すると考えられる。よって、当該軽量モルタルは、単体としてならば、配合等の工夫により圧縮強度30N/mm²程度の製造は可能と推測できることから、用途を適切に選択することにより有益な材料（材齢4週での各モルタルの表乾密度は、普通モルタルで2.16~2.26g/cm³に対し、軽量モルタルは1.56~1.72g/cm³）と成りえると考えられるが、軽量粗骨材との併用による軽量コンクリート用としての適用は困難と思われる。

軽量骨材が高強度であるにも関わらず軽量モルタルが低強度となる理由としては、圧縮強度レベル及び材齢による強度の増大があまり無い挙動が、既往の研究¹⁾で報告されている通常の細骨材と軽量粗骨材の組み合わせによる軽量コンクリートの結果と同じであることから、軽量細骨材とペースト部分との付着が充分でないことに起因するものと考えられる。このことは、図-2からも明らかである。図-2は、図-1内の各軽量モルタルの材齢27日圧縮強度について、配合における水とセメントの絶対容積率との関係を示したものである。図中の円の大小関係が圧縮強度の大小を、また、両軸の関係から図右上に向かって配合における細骨材の絶対容積率

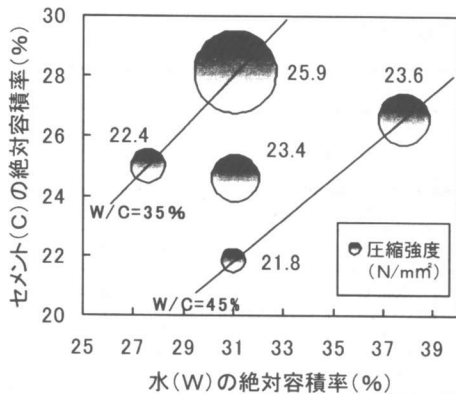


図-2 軽量モルタルの配合と圧縮強度の関係
(細骨材の最大寸法5mm, 材齢27日)

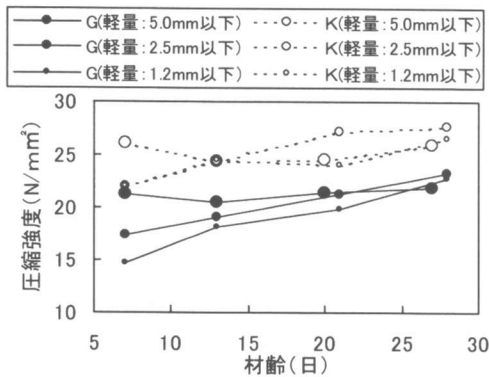


図-3 細骨材の最大寸法と圧縮強度の関係

が小さくなるよう示されている。図-2より、軽量細骨材の絶対容積率が小さいほど圧縮強度が増大しており、軽量細骨材とペースト部分との付着が影響していることがわかる。

図-3は、G(軽量)、K(軽量)の配合において、使用する軽量細骨材の最大寸法を5、2.5、1.2mmとした各軽量モルタルの材齢と圧縮強度

の関係を示したものである。図-3より、最大寸法が小さくなるに従い、材齢による圧縮強度の増加が見受けられるが、最終的な圧縮強度の値は最大寸法5mmのものと変わらないことがわかる。このことから、当該軽量細骨材を用いた軽量モルタルは、使用する軽量細骨材の粒径を変化させても、普通モルタル並みの強度を得ることができないことがわかった。

実験Ⅰの結果より、以下の実験Ⅱ、Ⅲでは、通常の細骨材と軽量粗骨材の組み合わせによる軽量コンクリートに関して実験を行なった。

4. 実験Ⅱ

軽量コンクリートの温度変化に対する、モルタル部分と廃プラ製粗骨材との線膨張係数の違いに起因する影響を知る目的で、120℃までの高温状態における圧縮・引張強度(実験Ⅱ-1)と、凍結融解試験による耐凍害性(実験Ⅱ-2)に関しての実験を行なった。また、一部の条件において、10×10×40cm供試体を用いた曲げ強度試験も行った。

使用した配合を、表-2に示す。なお、軽量粗骨材の絶対容積率は39%であり、20℃水中養生、材齢4週でのφ10cm円柱供試体圧縮強度及び割裂引張強度は20.0N/mm²、1.61N/mm²、曲げ強度は3.70N/mm²であった。

4.1 実験Ⅱ-1

(1) 実験方法

φ10cm円柱供試体を、材齢4週まで20℃水中養生した後、自然乾燥状態(約20℃)で1ヶ月以上経過させ恒温槽に入れ、30分をかけて40、60、80、100、120℃のいずれかの設定温度まで加熱した。その後2日間設定温度のままの状態とし、

表-2 実験Ⅱの軽量コンクリートの配合

水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	スランプ (測定値) (cm)	空気量 (測定値) (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
				水 W	セメント C	細骨材 S	軽量粗骨材 G	高性能AE減水剤 C×(%)	AE剤 C×(%)
35	40.7	12.5	5.3	155	445	675	446	1.31	0.007

設定温度になっている恒温槽内に入れたまま圧縮及び割裂引張試験を行った。

(2) 実験結果及び考察

図-4に、各設定温度における圧縮・引張強度の結果を示す。なお、恒温槽に入れる直前の自然乾燥状態での圧縮・引張強度を20℃での結果として図に含めている。また、この自然乾燥状態での曲げ強度は、 2.92N/mm^2 であった。

図-4より、当該軽量コンクリートは、水中養生後の自然乾燥により、20℃において圧縮・引張強度ともに材齢4週での各強度から大きくなり（本実験では約15%増加）、一方、自然乾燥状態(20℃)での各強度を基準とした場合、温度上昇に伴う強度低下（本実験では20℃上昇するごとに約10%の低下）が生じることがわかる。

以上のことより、当該軽量コンクリートを使用する場合は、温度変化に伴う強度の低下を十分に考慮に入れる必要があると考えられるが、既往の研究結果¹⁾も合わせて判断するに、60℃程度までの温度上昇ならば、60℃においても圧縮強度 20N/mm^2 を満たすことができるコンクリートの製造は可能であり、軽量コンクリートとして十分に有効な用途があると考えられる。

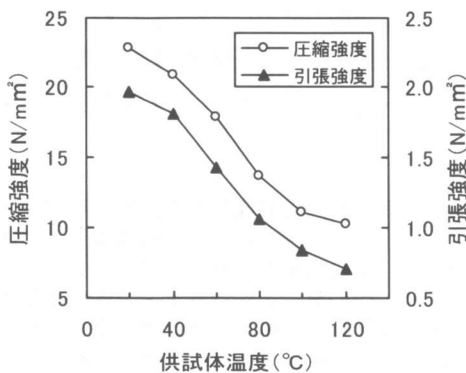


図-4 温度による圧縮強度、引張強度の変化

4.2 実験Ⅱ-2

(1) 実験方法

10×10×40cmの角柱供試体を用い、水中凍結水中融解試験（JSCE-G501に準拠）を行った。また、材齢4週まで20℃の水中養生をし、その

後約1ヶ月間自然乾燥させ再度2週間の水中養生をした供試体についても同様の試験を行った。

(2) 実験結果及び考察

図-5に、凍結融解サイクル数と質量減少率の関係を示す。通常の供試体、自然乾燥を経験した供試体ともに、150サイクル目以降において表面剥離が生じたが、大きな劣化は生じなかった。また、通常の供試体については、試験終了後に乾燥状態で曲げ試験を行ったが、曲げ強度は 2.82N/mm^2 となり、凍結融解未経験の乾燥状態での供試体とほぼ同じ結果であった。

以上のことから、当該軽量コンクリートは、十分に耐凍害性があるものと考えられる。

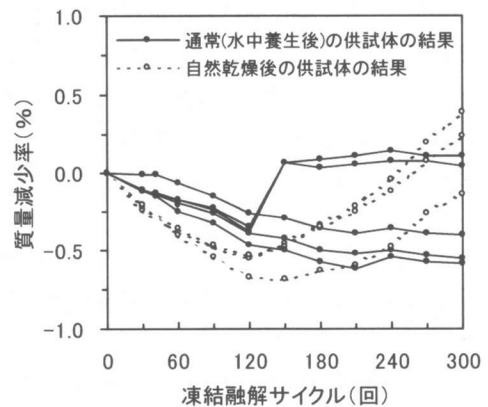


図-5 質量減少率の変化

5. 実験Ⅲ

当該軽量コンクリートの適切な軽量粗骨材絶対容積率を得ることを目的に、粗骨材絶対容積率とコンクリート強度の関係についての実験を行なった。

5.1 実験方法

使用した配合を、表-3に示す。各配合は、表中の軽量粗骨材絶対容積率37%の配合を基準とし、水：セメント：細骨材の比率を一定とする条件（すべての配合において同一のモルタルを意味する）のもと、軽量粗骨材絶対容積率が、25、30、35、43%となるように定めた。そして、各φ10cm円柱供試体に対し、20℃水中養生後、圧縮試験(材齢14,28日)及び割裂引張試験(材齢

表-3 実験Ⅲの軽量コンクリートの配合および表乾密度

供試体名 (粗骨材 容積率)	水セメ ント比 W/C(%)	細骨 材率 s/a(%)	スラン プ (測定 値, cm)	空気量 (測定 値, %)	単 位 量 (kg/m ³)						表 乾 密 度 g/cm ³
					水 W	セメン ト C	細骨材 S	軽量粗 骨材G	高性能AE減 水剤 C×(%)	A E 剤 C×(%)	
L25(25%)	35	56.6	8.0	6.1	191	545	830	296	0.30	0.0040	1.932
L30(30%)		50.4	10.0	6.2	178	508	774	355	0.40	0.0060	1.880
L35(35%)		44.7	5.0	6.8	165	472	719	413	0.50	0.0065	1.831
L37(37%)		42.6	11.0	4.9	160	458	697	437	0.70	0.0065	1.805
L43(43%)		36.6	5.0	5.6	145	414	630	508	0.60	0.0055	1.756

28日)を行った。なお、各配合における材齢28日での表乾密度は、表-3に示す値であった。

5.2 実験結果及び考察

図-6に、各配合における圧縮強度及び引張強度の結果を示す。図より、当該軽量コンクリートの強度は粗骨材絶対容積率が大きくなるに従い低下することがわかり、これはモルタル部分と軽量粗骨材との付着が弱いことに大きく起因しているものと考えられる。

以上の結果から、当該軽量コンクリートを用いる場合は、その用途に応じ、表乾密度と強度の両面のバランスを考慮した上で軽量粗骨材絶対容積率を決定する必要があると考えられる。

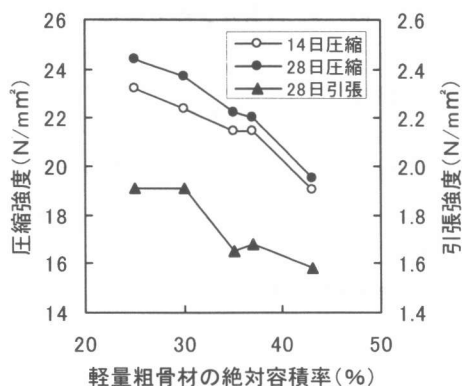


図-6 軽量粗骨材の絶対容積率と強度の関係

6. まとめ

実験結果から、廃ペットボトルを主原料とする廃プラ製骨材を軽量コンクリート用骨材とし

て利用することに関し、以下のことがわかった。

①廃プラ製細骨材は、細骨材として100%置換した状態で用いることは、モルタル部分が低強度となるため不適である。しかしながら、モルタル用細骨材として用いることにより、表乾密度1.6g/cm³程度、圧縮強度30N/mm²の軽量モルタルの製造は可能である。

②通常の細骨材と最大寸法10mmの廃プラ製粗骨材の組み合わせによる軽量コンクリートは、供試体温度が上昇するに従い強度は低下するが、60℃程度で圧縮強度20N/mm²を満足させることは可能である。また、耐凍害性は十分である。

③上記軽量コンクリートの配合においては、粗骨材絶対容積率が大きくなるに従い強度が低下(密度も減少)するため、用途に応じ、密度と強度のバランスを考慮し決定する必要がある。

謝辞

本研究は、文部省平成9年度選定「私立大学ハイテク・リサーチ・センター整備事業」の認定を得た「東北工業大学ハイテク・リサーチ・センター」内の第二プロジェクト「資源循環型社会実現のための戦略的研究」の一環として行われ、文部省より研究助成を受けました。ここに感謝の意を表します。また、本研究を遂行する上で、軽量骨材の材料となる廃プラ塊製品を提供して頂いた(株)丹秀工務店、高性能AE減水剤を提供して頂いた太平洋セメント(株)小島丈治氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)小出英夫, 外門正直, 佐々木徹: 廃プラスチック製骨材を用いた軽量骨材コンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, No. 2, pp. 295-300, 2000. 6