

論文 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

小出 英夫*¹・外門 正直*²・佐々木 徹*³

要旨：廃ペットボトルを約80%含む廃プラスチックを原料とし、溶融・成形・破碎の工程より製造された廃プラスチック製粗骨材(比重1.24, 吸水率約0%)を用い、表乾比重約1.8の軽量コンクリートの製造を試みた。各種配合による実験の結果、高性能AE減水剤の使用により、圧縮強度約25N/mm²のコンクリートの製造が可能になったことがわかった。また、モルタル部分と廃プラスチック製粗骨材との線膨張係数の違いによる、温度変化に対する軽量コンクリートへの影響についても実験を行ったが、著しい悪影響は認められなかった。以上の結果より、本軽量コンクリートの有効性が確認された。

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

コンクリート用骨材には、天然骨材の枯渇・採取に伴う環境破壊等の問題から、代替品(例えば、廃コンクリートから製造される再生骨材)を、設計上使用可能な部分のコンクリートに関して積極的に活用していこうとする動きがある。一方、1997年4月に施行された「容器包装リサイクル法」によって、使用済みペットボトル(以後、“廃ペットボトル”と呼ぶ)に代表される廃プラスチック(以後、“廃プラ”と呼ぶ)の回収が広く行われているが、そのリサイクル用途はあまり確立されておらず、何らかの形態で中間処理施設に蓄積されている場合もある。

そこで、コンクリート用骨材の新たな代替品開拓及び廃プラの有効活用の観点から、コンクリート用軽量骨材として廃プラ製骨材の活用に着目し、本研究では、廃プラ製骨材を用いた軽量コンクリートの配合・破壊特性・圧縮強度・温度変化に対する影響等に関する基礎資料を得るため、各種実験を行い有効性を検討した。

なお、今回の研究では粗骨材のみに廃プラ製骨材を用い、さらに、実用化時におけるコンク

リート製造過程上の煩雑性、経済性を考慮し、100%置換することを前提条件とした。

2. 廃プラスチック製骨材

2.1 実験に用いた廃プラスチック

廃プラから外見上骨材と認識できる物を製造することは、溶融・成型により、比較的容易である。しかしながら、化学的性質等の異なる様々なプラスチック類が無秩序に混合した廃プラから骨材を製造することは、製造過程における有毒ガスの発生、廃プラ製骨材からの有毒物質の溶出、廃プラ製骨材の物性の不安定性等の観点から問題がある。

よって、本研究では、使用する廃プラスチック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おり成型物の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, 質量約400g, ペットボトル約8本分)を、中間材料(破碎により廃プラ製骨材を製造)として用いた。使用されているプラスチック類は、ポ

*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)

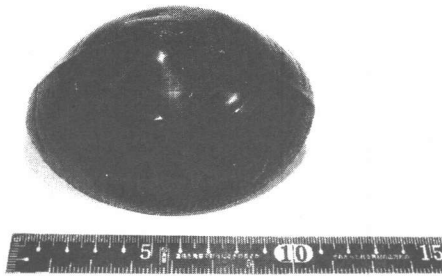


写真-1 実験に用いた廃プラスチック塊

リエチレンテレフタレート (PET) (廃ペットボトル) が約80~90%, 残りがポリプロピレン・低密度ポリエチレン (主に廃包装用フィルム) であり, 約1cmのチップ状に粉碎, 上記の割合で約270℃溶融・押出成型し製造される。圧縮強度は約84N/mm², 軟下点は約240℃, 線膨張係数は約70℃以下で約 8×10^{-5} (1/℃), 約75℃以上で約 1×10^{-3} (1/℃), 溶出試験においては鉛等有毒物質の不検出が報告されている^{1), 2)}。色は, 廃包装用フィルムに印刷されている印刷塗料の様々な色が溶融時に混ざり合うため, 一般に灰色である。

なお, この廃プラ塊から得られた廃プラ製骨材は, 寒冷地における鉄道のバラストとして使用実績があるものの, コンクリート用骨材としての研究は過去になされていない。

2.2 実験に用いた廃プラスチック製骨材

実験に用いた廃プラ製骨材は, 2.1に示した廃プラ塊をクラッシャーで破碎後, ふるい分けによって得た。破碎時には5mm以下の細骨材相当品も発生するが, 軽量細骨材としての利用, またはその利用が不可能な場合においても, 再度廃プラ塊の原料として還元することが可能である。

製造された粗骨材 (以後, "軽量骨材" と呼ぶ) の形状は, 写真-2に示すように角張っており, その各面は, 廃プラ塊表面に当たる光沢のある面と, 破碎時に生じる滑らかでない面とで構成されている。後者の面には, 廃プラ塊内

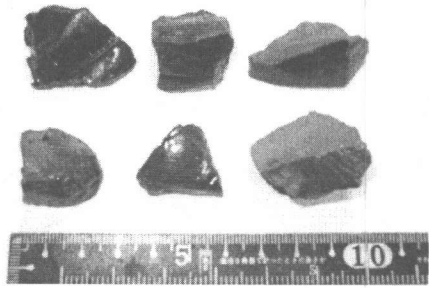


写真-2 廃プラスチック製骨材

に生じていた若干の独立した微細な空隙が露出した部分もある。この部分に水が入り込むことは可能であるが, 独立した空隙であるため骨材内部に侵入することはなく, また, 原料の化学的性質からも水分は吸水しない。確認のため軽量骨材の各種測定を行ったが吸水率は約0%であり, 絶乾(表乾)比重は1.24, 破碎値 (BS812準拠) は6.3%であった。

以下の実験では, 軽量骨材の実用化時の経済性を考慮し, クラッシャー破碎後の処理は使用寸法の上限及び下限値のみのふるい分けとし, その他洗浄等の処理は行わなかった。また, 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た。

3. 予備実験

軽量骨材を用いたコンクリートの練混ぜ・練上り・締固め具合, 破壊の状況等の諸性質を知るため予備実験を行った。

3.1 実験方法

10~25mmの軽量骨材 (写真-2) を使用し, とりあえずW/C=45%, 細骨材単位量=粗骨材単位量, 混和剤未使用を条件にコンクリートの製造を行った。配合の一例を表-1に示す。なお, 本論文内の配合表は, 以下すべて空気量5%を仮定した場合の各単位量である。

3.2 実験結果

練混ぜ・練上りに関しては特に問題なかったが, テーブルバイブレーターによる締固めにお

表-1 予備実験のコンクリート配合及び実験結果

水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	スランブ (測定値) (cm)	空気量 (測定値) (%)	単 位 量 (kg/m ³)					圧 縮 強 度 (N/mm ²)	割裂引張 強 度 (N/mm ²)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤		
45	33	15	1.8	267	592	444	444	-	11.8	1.1

いて、軽量骨材の若干の浮き上がりが確認された。材齢28日での圧縮強度等は表-1に示すような低強度であり、破壊形態は軽量骨材とモルタル部との付着破壊が顕著であった。よって、配合および付着の改善を行えば、ある程度の強度を有するコンクリートの製造が可能と考えられた。

付着破壊が顕著である理由は、使用した粒径の軽量骨材(10~25mm)では、2.2に示した廃プラ塊表面に当たる光沢のある面の表面積比が大きいためと考えられる。廃プラ塊成型時の段階で付着がより期待できる面が形成されるような型枠への変更、もしくは、成型後の何らかの表面処理によって改善することも可能であるが、技術的・経済性の観点からこのような処理は困難と考えられる。そこで、以後の実験では、光沢のある表面の面積比を小さくする(破碎時に生じる面を多くする)ため、粒径の小さい5~10mmの軽量骨材のみを粗骨材として使用することとした。

4. 実験1

ここでは、コンクリート圧縮強度20N/mm²を目標に、様々な配合の実験を行った。

なお、実験1を含め以下の実験では、3.2に示した予備実験結果に基づき粗骨材として5~

10mmの軽量骨材のみを使用し、普通ポルトランドセメント(比重3.16)、細骨材(鶴巣大平産山砂、比重2.54)を用いた。使用される軽量骨材の単位容積質量及び実積率は、それぞれ0.720kg/l、58.1%であった。

4.1 実験1-1

(1) 実験方法

混和剤未使用を条件に様々な配合のコンクリートを製造し、圧縮強度の測定を行った。配合の一例を表-2に示す。

(2) 実験結果及び考察

C、Eシリーズにおける材齢28日での圧縮強度を、表-2に示す。軽量骨材とモルタル部との付着破壊が観察されたが、粗骨材の最大寸法を小さくしたことで予備実験結果ほど著しくはなく、粗骨材の単位量の低減またはモルタル強度の増大によりコンクリート強度の増大が可能と判断できた。しかしながら、粗骨材の単位量の低減はコンクリートの軽量化の観点から避けたく、また、モルタル強度の増大に関しては実験結果より、スランブ約10cm・空気量約5%の確保から混和剤未使用の条件では困難であると考えられた。

4.2 実験1-2

(1) 実験方法

ここでは実験1-1の結果に基づき、混和剤

表-2 混和剤未使用による実験のコンクリート配合及び実験結果

シリーズ名	水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	スランブ (測定値) (cm)	空気量 (測定値) (%)	単 位 量 (kg/m ³)					圧 縮 強 度 (N/mm ²)
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤	
Cシリーズ	44	42	1	2.0	192	436	694	467	-	18.3
Eシリーズ	45	36	10	2.4	220	489	526	457	-	17.5

表-3 混和剤使用による実験のコンクリート配合

シリーズ名	水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	スランブ (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	粗骨材 G	高性能AE減水剤 C× (%)	AE剤 C× (%)
Gシリーズ	45	42	5	4.9	180	400	696	460	0.60	0.005
Iシリーズ	40	41	11	5.5	180	450	653	460	0.62	0.006
Kシリーズ	35	39	9	5.5	180	514	599	460	0.62	0.009
Lシリーズ	35	43	12	5.4	160	457	696	460	1.30	0.012

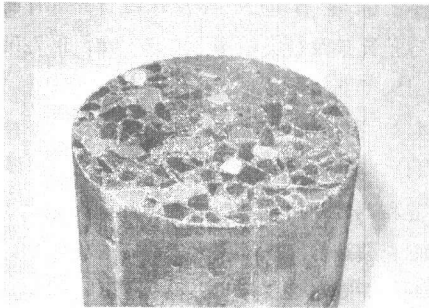


写真-3 粗骨材の最大寸法10mm, G=460kg/m³のコンクリート円柱供試体断面

を用いた様々な配合のコンクリート(25l)を製造し、圧縮強度等を測定した。使用した混和剤は、軽量骨材の浮き上がり防止及びモルタル強度の増大の目的で、高流動・高強度コンクリート等に用いられる高性能AE減水剤(比重1.07)を主に使用し、空気量の調整用に標準タイプのAE剤(比重1.06)も使用した。

配合の一例を表-3に、円柱供試体(φ10cm)断面を写真-3に示す。粗骨材単位量は、可能な最大値と推定された460kg/m³(コンクリート体積の約37%)を用いた。

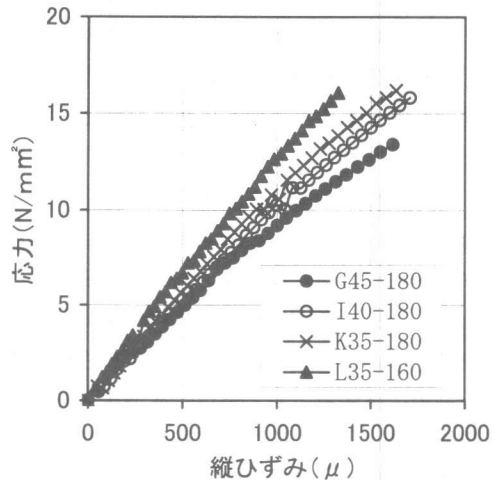


図-1 各シリーズの応力-縦ひずみ関係

(2) 実験結果及び考察

表-3に示した各シリーズの圧縮強度等の測定結果を表-4、応力-縦ひずみ関係を図-1に示す。その結果、品質のばらつきも考慮した上で、W/C=35%, W=160~180kgにおいて実用化可能と考えられるコンクリートの製造が確認され、表乾比重は約1.85となった。また、材齢2

表-4 混和剤使用コンクリートの実験結果

シリーズ名(呼称)	水セメント比 W/C(%)	単 位 水 量 (kg)	表 乾 比 重	圧 縮 強 度		ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
				早期 (N/mm ²)	28日 (N/mm ²)		
Gシリーズ(G45-180)	45	180	1.80	18.5 (21日)	18.5	9,500	0.25
Iシリーズ(I40-180)	40	180	1.76	20.4 (14日)	21.6	10,400	0.24
Kシリーズ(K35-180)	35	180	1.82	22.2 (13日)	22.6	11,100	0.24
Lシリーズ(L35-160)	35	160	1.86	24.5 (13日)	24.9	13,900	0.25

表-5 実験2のコンクリート配合

シリーズ名	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	スランブ (測定値) (cm)	空気量 (測定値) (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					水	セメント	細骨材	粗骨材	高性能AE減水剤 C× (%)	AE剤 C× (%)
					W	C	S	G		
K'シリーズ	35	39	7	6.0	180	514	599	460	0.60	0.006
L'シリーズ	35	43	9	8.0	160	457	696	460	1.10	0.006

表-6 さまざまな温度状況(高温状態)での圧縮強度

シリーズ名	水セメント比 W/C (%)	単位 水量 (kg)	圧 縮 強 度 (N/mm ²)				
			(a)2週間の水中養生後		(b)2週間水中養生後に1日間20℃で乾燥	(c)2週間水中養生後に2日間65℃で乾燥	28日
			φ10cmタイプ	φ5cmタイプ			(φ10cm)
K'シリーズ	35	180	22.9	24.0	25.6	20.5	22.2
L'シリーズ	35	160	23.2	25.1	26.4	21.8	23.3

週程度ではほぼ最終圧縮強度に達することがわかった。

5. 実験2

ここでは、モルタル部分と廃プラ製骨材との線膨張係数の違いによる、温度変化に対する軽量コンクリートへの影響が予想されるため、実験により確認を行う。使用した配合は実験1-2の結果より、表-3に示したK、Lシリーズとしたが、実験時気温の違い、製造するコンクリート容積(実験2では60l)の違いにより、混和剤量は異なった。実験2で使用した配合K'シリーズ(K'35-180)、L'シリーズ(L'35-160)を表-5に示す。

5.1 高温状態での圧縮試験

実験により、高温時(65℃)のコンクリートの性質を圧縮試験より確認する。なお、約75℃以上の場合、軽量骨材の線膨張係数が2.1にも示したように著しく増大するため、コンクリートへの温度による影響はかなり大きいと考えられる。しかしながら、圧縮強度約20N/mm²程度の軽量コンクリートの用途として想定される施工現場において、当該コンクリートの温度が65℃を越えることは無いと考えられるため、実験条件として65℃を用いた。

(1) 実験方法

実験1-2の結果より、対象とする配合においては材齢約2週以降の強度発現は認められなかったため、ここでは、(a)2週間の水中養生後、(b)2週間水中養生後に1日間20℃で乾燥(絶乾状態ではない)、(c)2週間水中養生後に2日間65℃で乾燥(絶乾状態)の3パターンにおいて、各設定温度の恒温槽に入れたままの状態で圧縮試験を行った。なお、試験環境の関係上φ5cm円柱供試体を原則として使用した。

(2) 実験結果及び考察

実験結果を表-6に示す。(c)の実験では、水中養生(20℃)後、約15分間という短時間で65℃にしたため、供試体表面に乾燥ひび割れが発生した。よって、モルタル部と粗骨材の線膨張係数の差異から生じると考えられるコンクリート内部からのひび割れを特定することができず、このひび割れの発生の有無を確認することはできなかった。しかしながら、このような過酷な温度変化の場合においても圧縮強度約20N/mm²を得ることができた。

5.2 低温状態に対する性質(凍結融解試験)

低温時(-16℃)を経験したコンクリートの性質を、60サイクルまでの凍結融解試験より確認する。

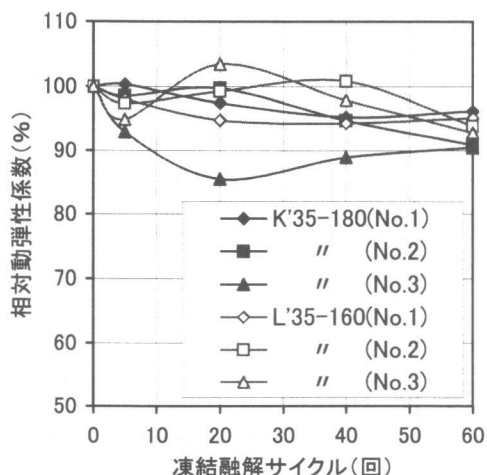


図-2 相対動弾性係数の変化

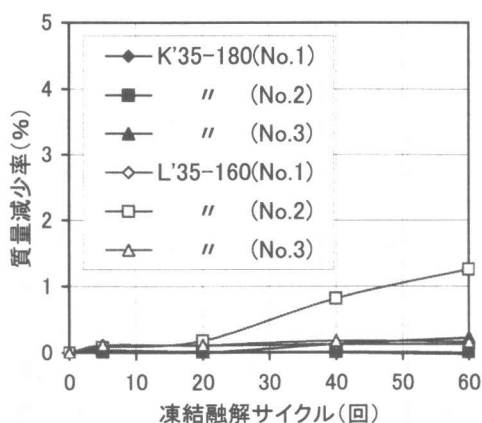


図-3 質量減少率の変化

(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。

(2) 実験結果及び考察

実験より得た凍結融解サイクル数と相対動弾性係数・質量減少率の関係を図-2, 3に示す。なお、当該コンクリートでは、たわみ振動の一次共鳴振動数の測定において出力電圧の最大値の特定が困難な場合があり、測定結果にかなりの誤差を含んでいる。また、20サイクル目において供試体表面のモルタル部の剝離が若干確認された供試体もあった。しかしながら、図-2, 3の結果より、低温時のモルタル部と粗骨材の線膨張係数の差異から生じると考えられる大き

な品質の低下は確認されなかった。

6. まとめ

以上の実験結果から、廃ペットボトルを主材料とする当該廃プラスチック製骨材を粗骨材として利用した軽量コンクリートに関して、5～10mmのみの粗骨材及び高性能A E減水剤の使用により、表乾比重約1.8、圧縮強度約25N/mm²のコンクリートが製造可能であることがわかった。さらに、コンクリート製造時・打設時に問題がなく、高温・低温時においても顕著な品質の低下が生じないことより、その有効性が確認された。

今後は、5mm以下の当該廃プラスチック製骨材の軽量細骨材としての利用に関する実験、凍結融解に対する耐久性の実験等を行う予定であるが、後者については、当該軽量骨材の吸水率は約0%であり、適度な空気量を含むコンクリートの製造が可能なのは確認されているため、良い結果が得られるものと予想される。

7. 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A E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) (財)化学品検査協会：試験報告書，No.45-6A-0908，1996.9
- 2) (財)化学品検査協会：試験報告書，No.45-6A-0937，1996.9