

ポリ塩化ビニル製骨材のコンクリートへの利用に関する研究

コンクリート研究室 久保晶彦

指導教官 丸山久一

下村 匠

日比野誠

要旨：軽量且つ利便性の高い材料であるポリ塩化ビニルの廃材をコンクリートの軽量粗骨材としてリサイクルすることを目的とした。廃材を粉砕したままの塩ビ製骨材では、粒形が悪く、施工性・強度特性を損なうものであったが、本研究では塩ビ製骨材を硬化セメントペーストで被覆することで粒形及び付着力の改善を行った。その結果、フレッシュ性状・強度特性は向上し被覆の効果は認められた。また、軽量骨材としての使用を想定し、各種性能を検討した結果、長さ変化が大きいものの、概ね軽量粗骨材としての性能を有していることが確認された。

キーワード：リサイクル，軽量，ポリ塩化ビニル，セメント被覆

1. はじめに

ポリ塩化ビニル（以下、塩ビ）は石油製品から取れるエチレンと塩素から成る材料で、5大汎用樹脂の1つと言われている。非常に軽量で利便性に富んでいるため、様々な用途に使用されている。それ故、年間の生産量はおよそ200万t、廃棄物量はおよそ100万tにも及び、今後もその廃棄物量は増加するものと考えられる。しかし、これまで塩ビは焼却処分を行ってきたため、ダイオキシン問題が表面化によって、現在では有効な処分方法は確立されていない。そこで、本研究では塩ビを粉砕したものをコンクリートの軽量粗骨材としてリサイクルできるか検討することを目的として、施工性・強度特性を評価した。しかしながら、廃材を粉砕したままの状態の塩ビ製骨材では樹脂特有の滑らかな表面のために骨材とセメント硬化体との界面における付着力に劣るものであり、また形状が角張っているためフレッシュ性状が損なわれ、何らかの改善策が必要であった。そこで、これまで使用した塩ビ製骨材の欠点を補うことを目的

に、従来の塩ビ製骨材をセメント組織で被覆した被覆型塩ビ製骨材を考案し、その被覆効果について検討することとした。

2. ポリ塩化ビニル製骨材

写真-1に塩ビ製骨材の写真を示す。塩ビ製骨材は、塩ビの廃材を粉砕したままの無被覆型と無被覆型の欠点である粒形の悪さ、付着力の欠如の改善を目的に、廃材に硬化セメントペーストを厚さ0.7mm被覆して作製した被覆型塩ビ製骨材がある。**表-1**に塩ビ製骨材の物性値を示す。塩ビ製骨材の特徴として、天然骨材に比べて極めて軽量で、人工軽量骨材と比べてもその軽さに遜色は無い。また、被覆型はセメント組織で被覆しているため吸水



写真-1 塩ビ製骨材(左:被覆型 右:無被覆型)

表-1 塩ビ製骨材の物性値

	被覆型	無被覆型
最大寸法(mm)	15.0	15.0
表乾密度(g/cm ³)	1.50	1.33
吸水率(%)	5.41	0.5
粗粒率(F.M.)	5.24	5.49

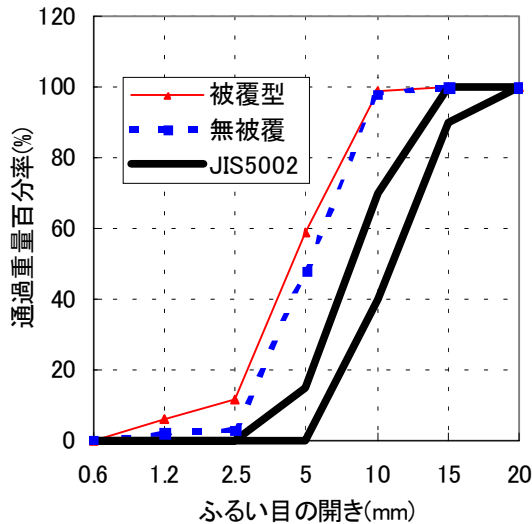


図-1 塩ビ骨材の粒度分布曲線

率が高い。図-1に塩ビ製骨材の粒度分布曲線を示す。粒度分布曲線からもわかるように塩ビ製骨材は粒形が小さいことも特徴であり、粒度はJIS5002に定める軽量粗骨材の粒度分布曲線の範囲外に位置し、軽量細骨材と軽量粗骨材の中間に位置する粒度分布である。本実験では、塩ビ製骨材は表乾状態で使用した。

3. 実験概要

3.1 被覆効果の検討

本実験では、被覆型塩ビ製骨材の被覆効果を確認するため、同使用材料・同配合の条件下において、骨材のみを変えてフレッシュ性状・強度特性に関して検討した。実験は、水セメント比を変化させたケースⅠ、水セメント比が25(%)において骨材容積率を変化させたケースⅡ、水セメント比が50(%)において骨材容積

表-2 使用材料

使用材料	諸元
セメント(C)	普通ポルトランドセメント密度 3.16(g/cm ³)
混和材(F)	フライアッシュ 密度 2.27(g/cm ³)
細骨材(S)	川砂 表乾密度 2.61(g/cm ³) F.M. 2.56
粗骨材(G)	石灰岩碎石 最大寸法 20mm 表乾密度 2.67 (g/cm ³) F.M. 6.99
塩ビ骨材(P)	無被覆型 1.33(g/cm ³) F.M. 5.49
	被覆型 1.50(g/cm ³) F.M. 5.24
高性能AE減水剤(SP)	ポリカルボン酸系 ポリアルキルアリル スルホン酸塩と反応性高分子
AE減水剤(Ad)	リグニンスルホン酸化合物 ポリオール複合体
AE剤(AE)	アルキルアリルスルホン酸化合物系 陰イオン界面活性剤

表-3 コンクリートの配合

実験 ケー	W/C (%)	V _a (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)		
				W	C	S
Ⅰ	25	57	48	173	692	723
	40	62	45	196	490	696
	50	65	43	227	392	763
Ⅱ	25	63.5	48	148	591	796
		57		173	692	723
Ⅲ	50	70	45	165	331	822
		65		196	392	763
		60		227	453	705

率を変化させたケースⅢについて行った。本実験及び次節の実験における使用材料は表-2に示す通りであり、実験ケース及びコンクリートの配合については、表-3に示す通りである。本実験では、AE減水剤をセメントの0.25%添加している。被覆効果の検討では、フレッシュ性状はスランプ試験・空気量にて、強度特性は材齢7日及び28日後の圧縮強度試験にて評価

した。

3. 2 被覆効果の検討結果

図-2にスランプ試験の結果を示す。尚、グラフ中横軸の実験ケースは、ケースⅠの数字は水セメント比、ケースⅡ及びⅢの数字は骨材容積率を示す。結果より、被覆型塩ビ製骨材の方がほとんどケースにおいてスランプが多く得られていることが確認でき、骨材の粒形改善効果が認められた。また、空気量試験では被覆の有無による大きな違いは見られなかった。

図-3にケースⅠの圧縮試験結果を、図-4にケースⅡ及びⅢの圧縮試験結果を示す。結果より、被覆型塩ビ製骨材を用いることで強度特性が向上していることが確認できるが、セメント水比が大きくなるに従い、被覆型塩ビ製骨材を用いたコンクリートの強度と、従来型を用いたものの差が縮まっている。また、骨材混入率を変化させた結果、高強度及び低強度のレベルにおいても被覆効果が確認できた。

以上より、被覆型塩ビ製骨材を用いることで、骨材の粒形及び付着力が改善され、フレッシュ性状・強度特性が向上することがわかった。

3. 3 軽量骨材としての使用

本実験では、塩ビ製骨材がコンクリートの軽量粗骨材として使用できるのか評価を行った。評価方法は、フレッシュ性状・強度・変形特性の検討を行い、諸性状が軽量粗骨材として適当か否か検討する。ここでは、強度特性及び変形特性の比較用に、天然骨材を用いてコンクリートを作製し、同様に試験を行った。また、塩ビ製骨材を用いて自己充填コンクリートが作製

表-4 コンクリートの設計条件

コンクリート	スランプフロ ー(mm)	スランプ (cm)	V漏斗 (秒)	空気量 (%)
自己充填	650	—	15	3.0
普通	—	10	—	5.0

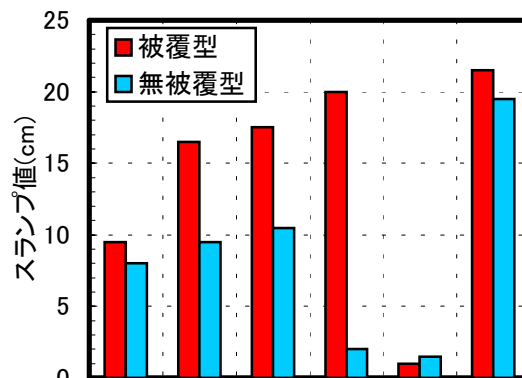


図-2 スランプ試験結果

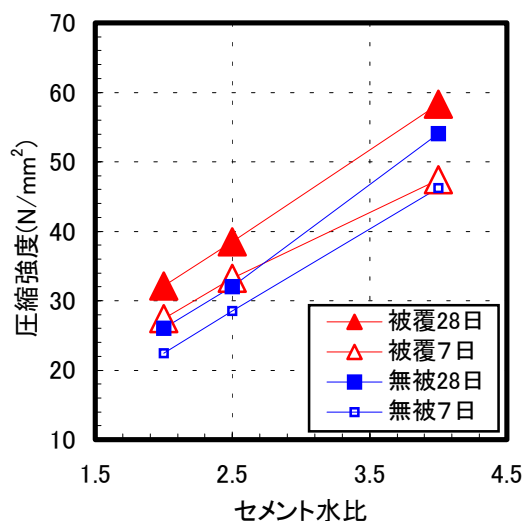


図-3 圧縮強度－セメント水比関係

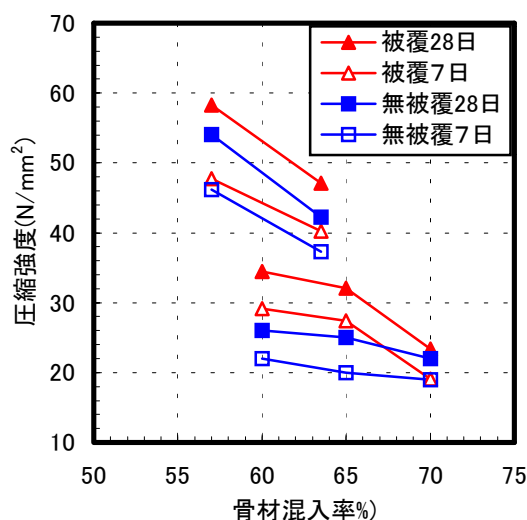


図-4 圧縮強度－骨材混入率関係

できるのか評価を行った。本実験のコンクリートの設計条件は、表-4に示す通りである。自己充填コンクリートは粗骨材容積率を $0.3(\text{m}^3/\text{m}^3)$ とし、スランプフローが $650 \pm 50\text{mm}$ 、V漏斗流下時間が 15 ± 5 秒以内になるように設計した。普通コンクリートはスランプ $10 \pm 2\text{cm}$ 、空気量 $5 \pm 1.5\%$ になるように設計した。

表-5に本実験の自己充填コンクリートの配合を、表-6に普通コンクリートの配合を示す。本実験では、高強度（水セメント比 25, 30, 35%）及び中強度（水セメント比 40, 45, 50%）の領域において各塩ビ製骨材及び石灰碎石を用いて施工性を満足するようコンクリートを作製した。そのため、普通コンでは無被覆型塩ビ製骨材の混入量が少ないのが特徴である。普通コンクリートには、 $C \times 0.25\%$ の AE 減水剤及び $C \times 0.5\%$ の AE 助剤を添加した。

コンクリートの練混ぜは、50L のパン型ミキサーを用いて行った。練り混ぜ方法は、高流動コンクリートは、全材料を 90 秒間一括練し、その後、5 分静置した後に、30 秒間後練を行った。また、普通コンクリートはセメント・細骨材・粗骨材・塩ビ骨材を 30 秒間空練りし、水・混和剤を加えて 60 秒間本練りした。

試験項目及び試験方法について表-7に示す。強度試験は、試験体脱型後、 20°C の水中にて 28 日間水中養生し、強度試験を行った。試験結果は 3 体の平均である。長さ変化率試験は、

各骨材を用いて、 $W/C=30(\%)$ のコンクリートを室温 20°C 湿度 60% の恒温恒湿室にて 7 日間封かん養生し、全面乾燥させて測定を行った。試験体は 1 体である。

表-6 普通コンクリートの配合

骨材の種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)			
			W	C	S	G, P
被覆型	40	42.0	184	443	710	541
無被覆		43.6	195	488	683	451
碎石		43.0	174	435	706	981
被覆型	45	43.0	184	393	745	545
無被覆		44.6	195	433	720	455
碎石		44.0	174	387	733	995
被覆型	50	44.0	174	348	776	545
無被覆		45.6	195	390	752	458
碎石		45.0	184	354	765	996

表-7 試験項目及び方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101-1998
スランプフロー	JSCE-F503-1999
V漏斗流下時間	JSCE-F512-1999
空気量	JIS A 1118-1997
圧縮強度	JIS A 1108-1999
静弾性係数	JSCE-G502-1999
引張強度	JIS A 1113-1999
長さ変化率	JIS A 1129-1993

表-5 自己充填コンクリートの配合及びフレッシュ性状

骨材の種類	W/C (%)	V_w/V_p (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)						スランプフロー(mm)	V漏斗(秒)	空気量 (%)			
				W	C	F	S	G, P	SP						
被覆型	25	79.0	48	173	692	—	723	450	26.3	645	15	5.9			
無被覆								399	29.1				645	15	6.9
碎石								801	24.9				600	14	5.4
被覆型	30	94.6	48	191	637	—	723	450	15.3	600	10	4.3			
無被覆								399	17.8				685	12	2.5
碎石								801	10.2				620	13	4.5
被覆型	35	94.6	48	191	546	66	723	450	15.8	600	11	5.2			
無被覆								399	18.6				680	13	5.2
碎石								801	13.1				615	20	3.4

3. 4 軽量骨材としての検討結果

表-5に自己充填コンクリートのフレッシュ性状を示す。塩ビ製骨材を用いたコンクリートは設計条件を満足し、自己充填コンクリートが作製可能であることを示している。被覆型は、無被覆型に比べて高性能 AE 減水剤の添加量は少なく、目視で確認したところ、材料分離も起こりにくかった。また、普通コンクリートは設計条件を概ね満足していた。同設計条件では、塩ビ製骨材は被覆することによって、単位水量は 10(kg/m³)以上の減水効果があることがわかった。

図-5にセメント水と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度試験の結果より、被覆型塩ビ製骨材を用いたコンクリートは 28 日後の圧縮強度が高強度及び中強度の両領域において無被覆型を上回る強度が得られている。また、石灰碎石の結果と比較して中強度領域では若干下回る程度であり、高強度領域においては頭打ち現象が見られるものの、石灰碎石の 65(%)以上の強度は得られている。よって、被覆することで圧縮強度が増加していることが確認された。

図-6に示すのは、引張強度と圧縮強度の関係についてである。塩ビ製骨材を使用したコンクリートは材齢 28 日後における引張強度は、無被覆型のコンクリートは圧縮強度の 1/11~1/13 程度、被覆型のもので 1/13~1/15 程度と、石灰碎石の 1/13~20 に比べると良好な結果となっている。一般に人工軽量骨材を用いた場合、圧縮強度に対する引張強度の比は図に示したとおり、1/15~1/10 の範囲になり、塩ビ製骨材は十分に強度が得られていると考えられる。

また、長さ変化率試験を図-7に示す。質量変化率に大きな差は見られないが、長さは塩ビ製骨材を用いたコンクリートが被覆型及び無被覆型ともに大きく収縮していることがわかる。被覆型が収縮していることから、骨材

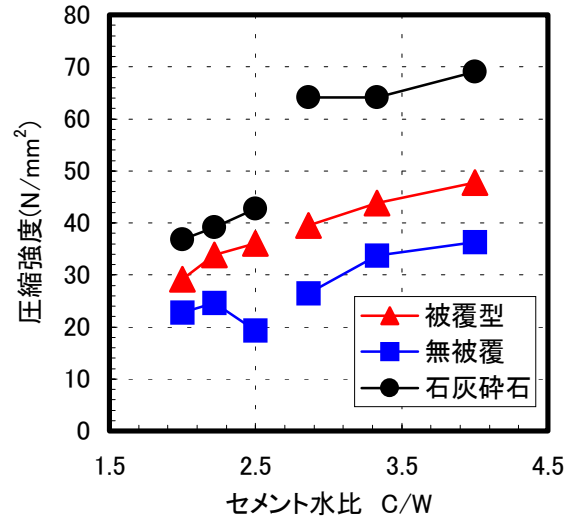


図-5 圧縮強度とセメント水比の関係

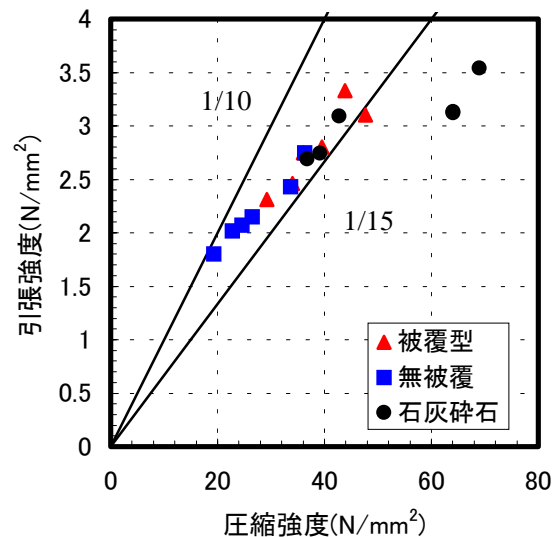


図-6 圧縮強度と引張強度の関係

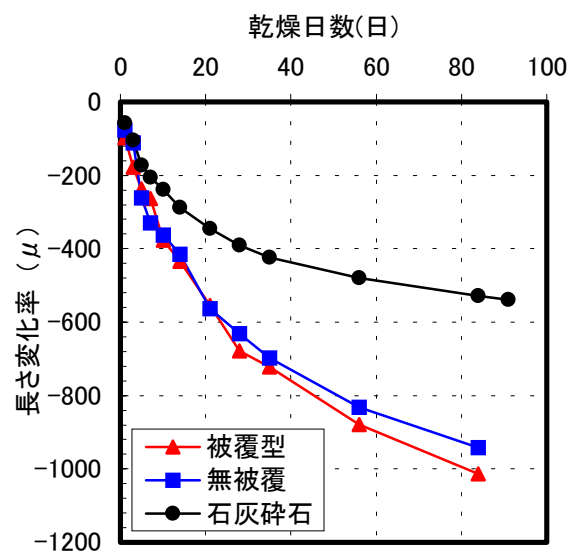


図-7 長さ変化率試験の結果

内の湿潤状態はあまり保たれていないものと考察される。

3. 5 強度低下の原因

塩ビ製骨材を用いたコンクリートが、水セメント比が小さくなるにつれて強度を発現しないのは、単位容積質量と骨材の強度に原因があると考察される。図-8に示すのは、水セメント比が 30, 45(%)における圧縮強度と単位容積質量の関係である。ここでは、比較用に粗骨材の 50(%)を天然骨材で置換したコンクリート、及びモルタルの結果も示した。(グラフ中、30(%)の結果は大記号、45(%)は小記号で示す) これより、水セメント比が 30 は小記号で示す) これより、水セメント比が 30(%)のときには単位容積質量の増加に伴って、圧縮強度は増加している。それに対し、45(%)においては被覆型塩ビ製骨材の結果は、明らかに無被覆型のものを上回っていることが確認できる。これは、高強度ではモルタルが高強度且つ高弾性係数なためにモルタルと骨材との界面の付着力が骨材の強度に大きく影響するためと考えられる。また、中強度ではモルタルの強度が弱く、弾性係数も低いため、界面の付着力が大きく影響し、その結果、付着力が向上した被覆型塩ビ製骨材の強度が得られるものと考察される。

単位容積質量が小さなコンクリートは弾性係数が低く、強度が低下すると言われている。図-9の結果より、静弾性係数の増加と単位容積質量が大きいことに相関関係が存在するものの、静弾性係数と圧縮強度には相関関係があるとは言えない。弾性係数が高くても圧縮強度が小さい結果も認められることから、弾性係数と圧縮強度の相関関係に関しては、一概に言及できないと考えられる。

4. まとめ

本実験結果より、以下の知見が得られた。

(1) 塩ビの廃材の粉碎にセメントで被覆をす

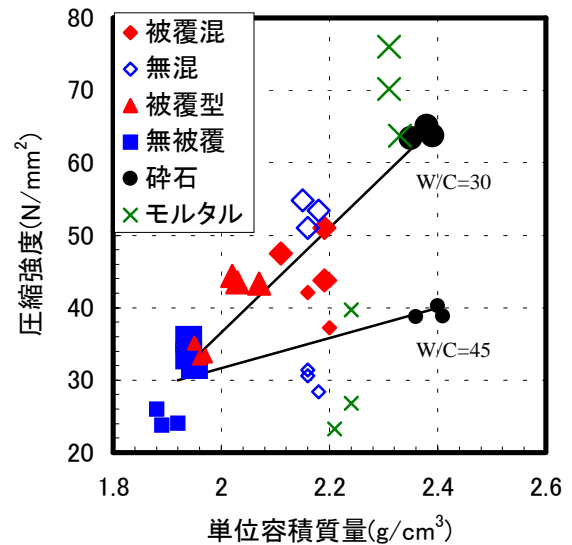


図-8 圧縮強度と単位容積質量の関係

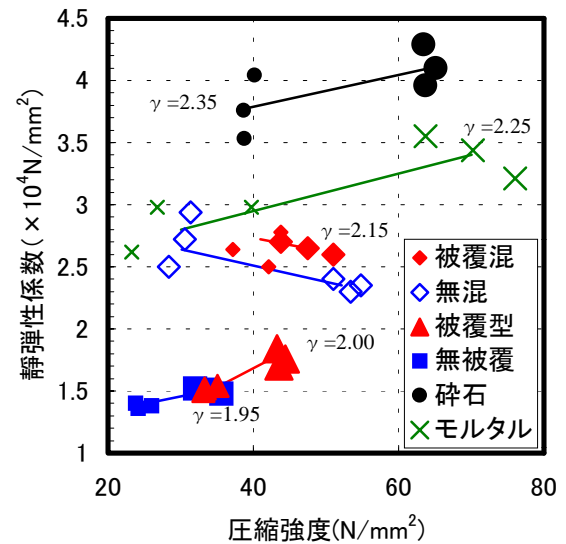


図-9 静弾性係数と圧縮強度の関係

ることで、フレッシュ性状・強度特性が向上する。

(2) 塩ビ製骨材を用いて軽量骨材としての使用について検討した結果、長さ変化が大きいことが確認され、フレッシュ性状・強度特性は人工軽量骨材に比べて、同等もしくは若干劣る程度の結果が得られた。

(3) 塩ビ製骨材を用いて自己充填コンクリートが作製可能であることが確認された。