

論文 セメントで被覆した廃ポリ塩化ビニル製骨材を用いたコンクリートの諸特性

久保晶彦*1・松浦将雄*2・岩井英夫*3・丸山久一*4

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セメン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、施工性・強度特性は向上し、被覆の効果は認められたものの、石灰岩砕石の結果に比べると劣るものであった。そこで、塩ビ製骨材を使用したコンクリートの破壊形態から強度発現のメカニズムを確認した。

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, 弾性係数

1. はじめに

近年、廃棄物のリサイクルが様々な分野において盛んに行われるようになり、コンクリート材料として、廃棄物をリサイクルすることも有効的処理方法の1つである。

ポリ塩化ビニル（以下、塩ビ）は石油製品と塩素から成る材料で、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、塩ビの主な処理方法は焼却で、ダイオキシン問題等が表面化したために、適切な処分方法が最近になって検討されている。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、フレッシュ性状・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、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

ッシュ性状に劣り、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硬化セメントペースト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にした。

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。被覆型塩ビ製骨材は、塩ビの廃材に硬化セメントペーストを 0.7mm の被覆厚さになるよう吹き付けて作製した。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、一般に用い



写真-1 塩ビ製骨材(左:被覆型 右:無被覆型)

*1 長岡技術科学大学大学院 建設工学専攻 (正会員)

*2 長岡技術科学大学大学院 建設工学専攻

*3 積水化学工業(株) 京都研究所主席技術員

*4 長岡技術科学大学教授 工学部環境・建設系 Ph.D. (正会員)

られる粗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。粒度分布曲線からわかるように塩ビ製骨材は粒形が小さいのも特徴であり、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。

塩ビの力学的性質としては、塩ビの圧縮強度は70N/mm²、静弾性係数は3.0×10³N/mm²程度であり、静弾性係数は天然骨材と比較して極めて小さい。また、被覆型塩ビ製骨材の問題点として、吸水及び練混ぜ時においてセメント部分が剥離する傾向が若干見られる。

3. 実験概要

3.1 被覆効果の影響

本研究では、被覆型塩ビ製骨材の被覆効果を確認するため、フレッシュ性状・強度・変形特性を評価し、多角的に塩ビ製骨材を用いたコンクリートの諸特性を検討することにした。また、参考のために石灰岩砕石を使用したコンクリートの試験結果を示した。

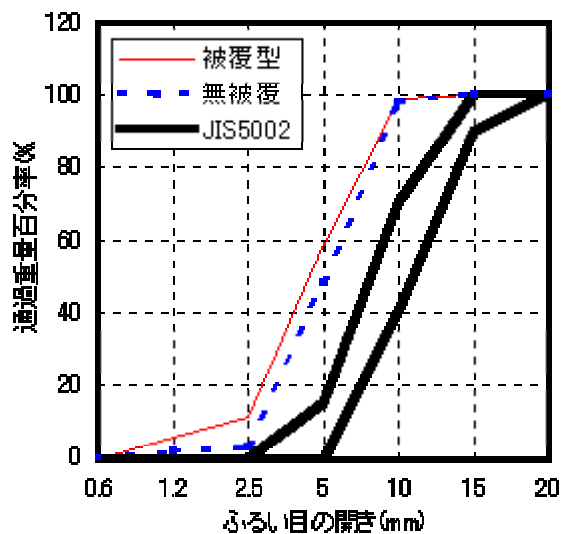


図-1 塩ビ製骨材の粒度分布曲線

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	0.50
粗粒率 F.M.	5.24	5.49

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 3.16g/cm ³
混和材 (F)	フライアッシュ 密度 2.27g/cm ³
細骨材 (S)	川砂 表乾密度 2.61g/cm ³ F.M. 2.56
粗骨材 (G)	石灰岩砕石 最大寸法 20mm 表乾密度 2.67g/cm ³ F.M. 6.99
塩ビ骨材 (P)	無被覆型 1.33g/cm ³ F.M. 5.49
	被覆型 1.50g/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-4 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
砕石	45	43.0	174	435	706	981
被覆型		43.0	184	393	745	545
無被覆	50	44.6	195	433	720	455
砕石		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
砕石	50	45.0	184	354	765	996

表-3 高流動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)						スランプリロー(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
砕石								801	24.9	600	14	5.4
被覆型	30	94.6	48	191	637	—	723	450	15.3	600	10	4.4
無被覆								399	17.8	685	12	2.5
砕石								801	10.2	620	13	4.5
被覆型	35	94.6	48	191	546	66	723	450	15.8	600	10	5.2
無被覆								399	18.6	680	13	5.2
砕石								801	13.1	615	20	3.4

被覆型塩ビ製骨材の被覆効果がフレッシュ性状の向上にどの程度寄与しているのか評価するために、スランプと単位水量の関係を求めた。また、塩ビ製骨材を用いて自己充填コンクリートが作製可能かどうかを評価するため、スランプフロー・V漏斗流下時間の各試験を行った。

セメントで被覆することが付着力の向上にどの程度まで寄与しているのか評価するために、塩ビ製骨材を使用したコンクリートの圧縮・引張・曲げ強度の各試験を行って、無被覆型との違いを比較した。更に、静弾性係数・長さ変化率試験を行い、塩ビの物性及び廃材をセメントで被覆することがコンクリートにどのような影響を示すのか評価した。

3.2 使用材料及び設計条件

本実験で使用した使用材料を表-2に示す。高流動コンクリートは粗骨材容積率を 0.3m³/m³ とし、スランプフローが 650±50mm, 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±2cm, 空気量 5±1.5%になるように設計した。

3.3 配合及び練り混ぜ方法

表-3に本実験の高流動コンクリートの配合を、表-4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%）

表-5 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
曲げ強度	JIS A 1106-1999
長さ変化率	JIS A 1129-1993

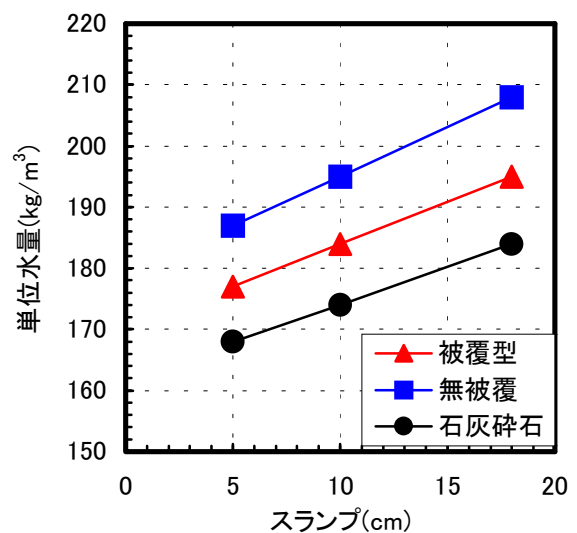


図-2 スランプと単位水量の関係

の領域において各塩ビ製骨材及び石灰碎石を用いてフレッシュ性状を満足するようコンクリートを作製した。そのため、普通コンクリート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秒間一括練混ぜを行い、その後、5分静置した後に、30秒間練混ぜを行った。また、普通コンクリートはセメント・細骨材・粗骨材・塩ビ製骨材を30秒間練混ぜし、水・混和剤を加えて60秒間練混ぜした。

3. 4 試験項目及び方法

試験項目及び試験方法について表-5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。

4. 実験結果及び考察

4. 1 フレッシュ性状

図-2に各塩ビ製骨材を用いたコンクリートのスランプと単位水量の関係を示す。この結果から、同じスランプを得るのに、被覆型塩ビ製骨材を使用したコンクリートは、無被覆型の骨材を使用したコンクリートに比べて単位水量が少ないのがわかる。これは、 $10\text{kg}/\text{m}^3$ 以上の減水効果に相当し、粗い表面をしていた塩ビが被覆されることで粒形が丸みを帯びて、フレッシュ性状が向上したものと考えられる。尚、普通コンクリートは設計条件を概ね満足していた。

また、表-5に示す高流動コンクリートのフ

レッシュ試験の結果より、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。

4. 2 強度特性

図-3～6に各強度試験の結果を示す。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、石灰岩碎石の結

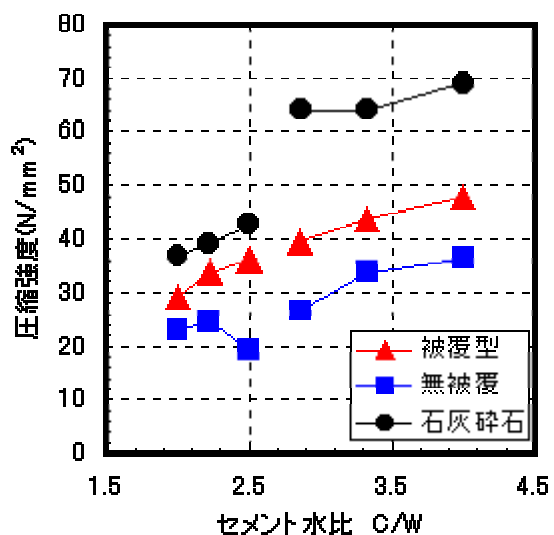


図-3 圧縮強度とセメント水比の関係

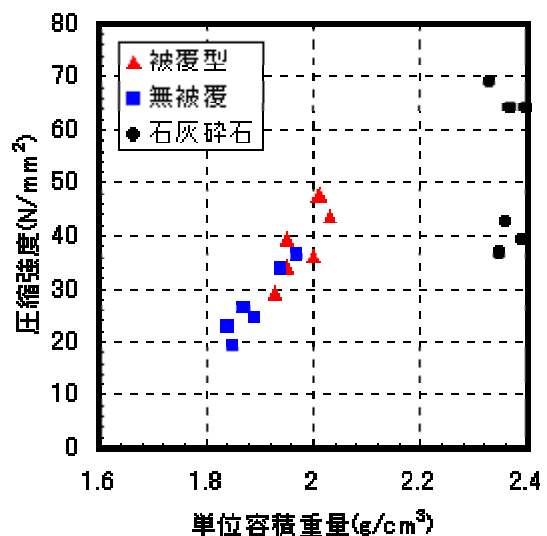


図-4 単位容積重量と圧縮強度の関係

果と比較して高強度領域では 20N/mm^2 以上の差が開いているものの、中強度領域においては、塩ビ製骨材を使用したコンクリートは石灰砕石の結果とも大きな差が見られない。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。

単位容積質量と圧縮強度の関係より、塩ビ製骨材を用いたものはいずれの結果にしても、石灰岩砕石を使用した場合よりは軽量なコンクリートとなっており、塩ビ製骨材を用いることで単位容積質量 2.0g/cm^3 前後の軽量コンクリートが作製できることがわかった。しかしながら、被覆型と無被覆型では、被覆型の方が強度は得られているものの、無被覆型に比べて単位容積質量が大きくなっている。これは、セメントで被覆した分、骨材の表乾密度が増加したことが影響しているものと推測される。

次に、引張強度試験の結果より、塩ビ製骨材を使用したコンクリートは材齢 28 日における引張強度が無被覆型のコンクリートは圧縮強度の $1/11\sim 1/13$ 程度、被覆型のもので $1/13\sim 1/15$ 程度と、石灰砕石の $1/13\sim 20$ 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、 $1/15\sim 1/10$ 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、曲げ強度試験の結果においても引張強度と同様な傾向が見られ、当初懸念されていたセメントと骨材との界面における付着力は得られていると考えられる。

4. 3 変形特性

静弾性係数の試験結果を図-7に示す。結果より、塩ビ製骨材を用いたコンクリートは被覆型の方が若干、無被覆より大きいとはいえ、双方とも石灰岩砕石を使用したコンクリートに比べて、静弾性係数が極めて小さくなっており、これは、土木学会標準示方書に示されている軽量コンクリートの式と比べても小さな値となっている。これは、塩ビの弾性係数

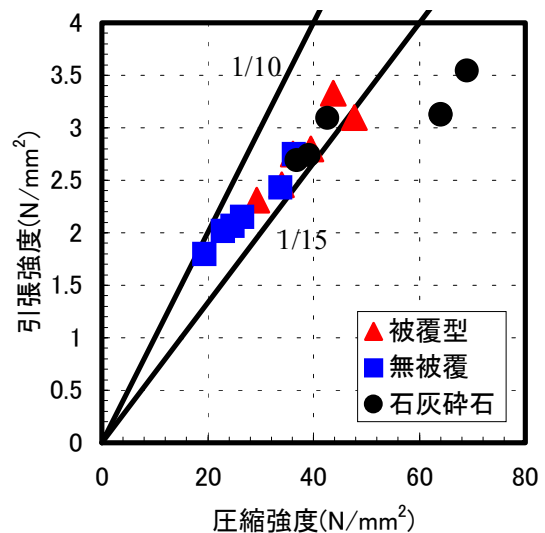


図-5 引張強度と圧縮強度の関係

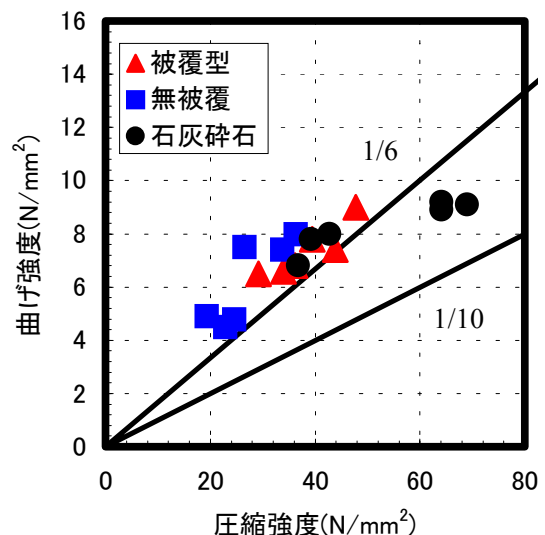


図-6 曲げ強度と圧縮強度の関係

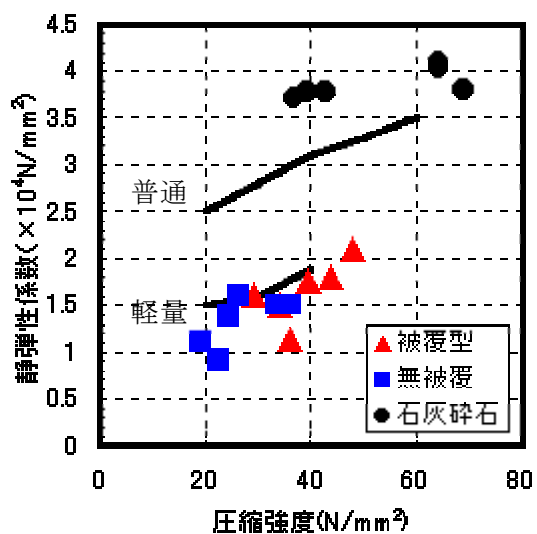


図-7 静弾性係数と圧縮強度の関係

が低いという機械的性質がコンクリートの変形特性に影響していると考えられる。

また、長さ変化率試験を図-8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。これは弾性係数試験の結果からも明らかだが、塩ビ自体の弾性係数が低いことが原因と考えられる。

5. 強度発現のメカニズム

前節の実験結果より、被覆型塩ビ製骨材を使用するとフレッシュ性状・強度特性が向上することが確認されされた。塩ビ製骨材を使用したコンクリートの強度が石灰岩碎石を使用したコンクリートより大きく損なう原因としては付着の影響、弾性係数・ポアソン比などの材料の機械的性質などが考えられる。

図-9に示すのは、各塩ビ製骨材及びモルタルの応力とひずみの関係（コンクリートのW/C=30, 45%）についてである。これより、モルタルは荷重がかかっても変形しにくく、それに対し、各塩ビ製骨材は同じ応力でも大きく変形しており、無被覆型の方がその度合いは大きいことがわかった。

よって、モルタルと塩ビ製骨材との弾性係数の差が大きいので、応力がかかることで界面の付着が低下し、高強度領域で強度を損なわれており、それは骨材をセメントで被覆することで緩和されていると考察される。

6. まとめ

被覆型及び無被覆型塩ビ製骨材の被覆効果を検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1) ポリ塩化ビニルの廃材を粉砕したものにセメントで被覆をした塩ビ製骨材は、粉砕したままの状態を用いるよりフレッシュ性状・強度特性が向上する。特に、中強度領域では十分に被覆効果が

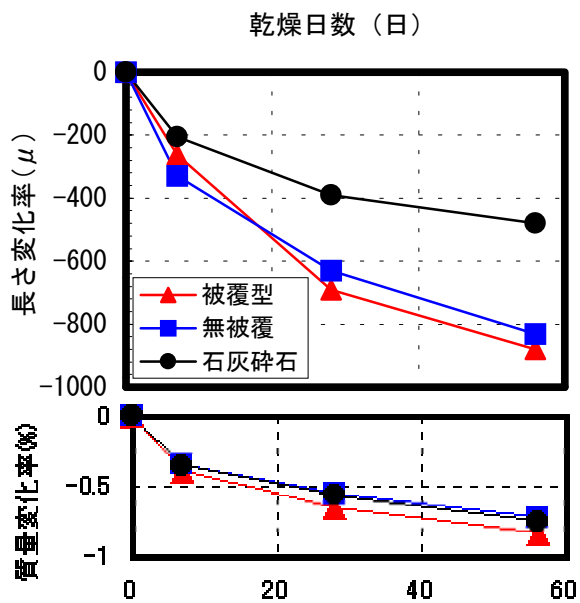


図-8 長さ変化率の試験結果

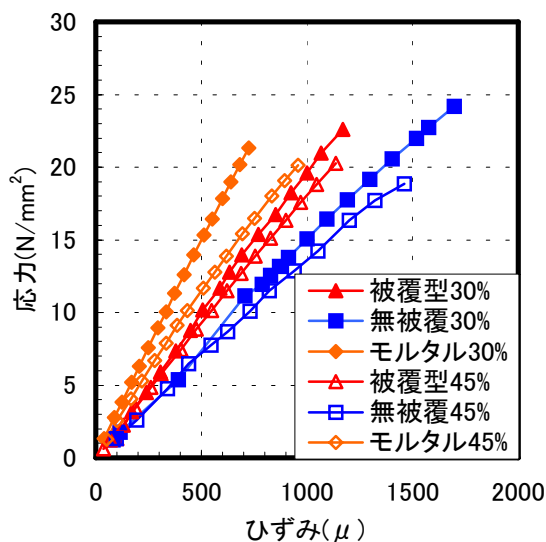


図-9 応力とひずみの関係

確認できる。

- (2) 高強度領域において、塩ビ製骨材を用いたコンクリートが強度を損なう原因は、塩ビ自体の弾性係数の低いという機械的性質によると考えられ、それは骨材をセメントで被覆することで改善されていると推測される。
- (3) 塩ビ製骨材を使用することで、単位容積質量が 2.0g/cm^3 前後の軽量コンクリートを作製することができる。