

# 被膜処理人工軽量骨材を用いたコンクリートの性質

新開 千弘 芳賀 孝成  
十河 茂幸 青木 茂

## Quality of Concrete Using Coated Artificial Lightweight Aggregate

Chihiro Shinkai Takashige Haga  
Shigeyuki Sogo Shigeru Aoki

### Abstract

Lightweight aggregate concrete is restricted in use in public structures because of problems such as resistance to freezing and thawing and workability. These problems are caused by the high content of absorbed moisture of lightweight aggregate which has a large quantity of voids. In order to resolve these problems, the authors tried to make a waterproof coating on the surface of dried artificial lightweight aggregate using polymer-dispersed solution, and to decrease water absorption. As a result, early water absorption of aggregate was decreased greatly by coating, and 24-hour water absorption of coated aggregate was about half as much as that of normal aggregate. As a consequence, it became possible to reduce slump loss and improve the property of water absorption of aggregate when pressure was applied to fresh concrete. Moreover, resistance to freezing and thawing became better than with normal lightweight aggregate concrete.

### 概要

軽量骨材コンクリートは、骨材が多孔質で吸水量が多いことから、凍結融解に対する抵抗性やポンプ圧送などの施工性に対する問題があり、使用範囲も限られている。そこで、これらの性質を改善するために、絶乾軽量骨材の表面をポリマーによる防水性被膜によって覆うことにより、骨材の吸水を減じて、施工性、耐久性を改善する方法について検討を行なった。その結果、被膜処理によって初期の骨材吸水量が大幅に低減され、24時間後の骨材吸水量も被膜処理を施さないものの半分以下とすることが可能となった。このことにより、スランプロスの低減やコンクリート加圧時の性状改善ができ、凍結融解抵抗性も向上することが確認された。

### 1. まえがき

軽量骨材コンクリートは、凍結融解に対する抵抗性が小さく、土木構造物への利用には制約を受けることが多い。軽量骨材コンクリートの凍結融解抵抗性が劣るのは、軽量骨材が多孔質であるため吸水量が多く、凍結圧によって自身が劣化するためと考えられる。そのため、プレウエッチングを行なわない絶乾状態の軽量骨材を用いる方法がとられる場合があるが、これは、混練中および運搬時において急激に吸水するために、コンシステンシーの変化が大きく、また、コンクリートポンプによる圧送も不可能になる。さらに、混練中および養生中、供用中における骨材の吸水は、絶乾骨材の使用効果をも損うこ

とになる。そこで、骨材表面を防水性被膜によって覆うことにより絶乾骨材の吸水を少なくし、軽量骨材コンクリートの施工性、耐久性を向上させることを試みた。ここでは、被膜材料および方法の検討および被膜骨材を用いたコンクリートの性質について述べる。

### 2. 被膜材料と方法

#### 2.1. 被膜材料

軽量骨材を被膜処理する材料としては、防水性に優れ、骨材との接着性が良くコンクリート混練中などに損傷しない材料で、コンクリート中の強アルカリ下で安定であるものが良い。このような材料としては、ゴムラテックス、樹脂エマルジョン、アスファルトなどの材料が適す

被膜材料	SBR	PAE	EVA
比重	1.00	1.05	1.20
pH	7.0	8.5	6.0
固形分	45%	48%	45%

表一 被膜材料の性質

るものと思われる。今回の研究ではこれらの材料のうち、次に示す3種類のポリマーディスパージョンを使用し、比較検討を行なった。

- (1) スチレンブタジエンゴムラテックス (SBR)
- (2) ポリアクリル酸エステルエマルジョン (PAE)
- (3) エチレン-酢酸ビニルエマルジョン (EVA)

表一に実験に用いたポリマーの性質を示す。

### 2.2. 被膜処理方法

被膜処理を行なった骨材はS社製の造粒型軽量粗骨材(最大寸法 15 mm, 絶乾比重1.26)で、5 mm 以下をふるいとした後、水洗いによって微粒分を除き、110°C 乾燥炉中で絶乾状態にしたものを用いた。骨材の被膜処理方法は、被膜材料の散布による被膜処理、被膜材料中に骨材を浸漬することにより含浸させる被膜処理およびこの作業をくり返すことによる被膜処理の3種類とした。そこで、材料と処理方法の組合わせにより、表二に示す方法によって17種類の被膜骨材を作製した。なお、被膜処理に用いたポリマーディスパージョンは原液を3倍に薄めて使用した。

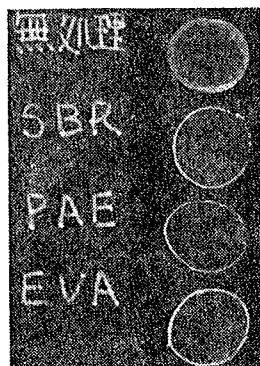
被膜材料	被膜処理方法	備考	
SBR PAE EVA	散布による被膜処理	フルイ上でポリマーを散布し気中で乾燥させたもの	
	浸漬による被膜処理	1時間	液中に所定時間浸漬した後、気中で乾燥させたもの
		3時間	
		6時間	
SBR	繰返しによる被膜処理	2回	液中に24時間浸漬し気中で乾燥させたものについて、1時間液中に浸漬し気中で乾燥させる作業を所定回数くり返したものの
		3回	

表二 被膜骨材の作製方法と種類

### 3. 被膜骨材の性質

#### 3.1. 骨材の吸水状態

写真一は各種材料によって被膜処理を行なった骨材と無被膜のものを、数時間特殊染料水中に浸漬したものの断面である。無被膜のものでは骨材表面部分に水が進入している状況が認められるが、被膜処理を行なったものでは内部への水の進入は見られず、写真一 骨材の吸水状態被膜による防水効果が認められる。

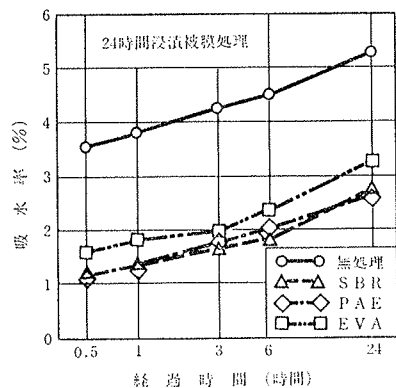


被膜材料	被膜処理方法	時間 吸水率 (%)					24時間 吸水比重		
		30分	1時間	3時間	6時間	24時間			
無処理	—	3.56	3.81	4.29	4.55	5.30	1.33		
	SBR	散布処理	0.91	1.08	1.42	1.53	2.34	1.28	
		浸漬処理	1時間	0.65	1.14	1.20	1.50	2.01	1.30
			3時間	0.98	1.12	1.44	1.72	2.41	1.30
			6時間	1.06	1.27	1.49	1.84	2.43	1.30
			24時間	1.20	1.38	1.65	1.86	2.75	1.31
繰返し処理	2回	0.41	0.57	0.98	1.35	2.37	1.30		
3回	0.29	0.38	0.67	1.00	2.04	1.29			
PAE	散布処理	1.12	1.37	1.75	1.79	2.78	1.30		
	浸漬処理	1時間	1.05	0.80	1.64	1.80	2.65	1.31	
		3時間	1.22	1.46	1.76	2.02	2.77	1.31	
		6時間	1.16	1.46	1.82	2.06	2.81	1.31	
		24時間	1.21	1.37	1.75	2.03	2.65	1.31	
EVA	散布処理	1.52	1.66	2.03	2.26	3.08	1.28		
	浸漬処理	1時間	1.72	1.97	2.08	2.29	2.98	1.31	
		3時間	1.72	1.79	2.18	2.44	3.32	1.31	
		6時間	1.69	1.84	2.20	2.23	3.23	1.32	
		24時間	1.61	1.84	2.13	2.39	3.27	1.32	

表三 吸水率および比重

#### 3.2. 吸水率および比重

表一は、各種被膜骨材を水中に所定時間浸漬した場合の吸水率および、24時間水中に浸漬した場合の表乾比重を求めたものである。図一に吸水率の経時変化を24時間浸漬被膜を行なった骨材を用いて試験した結果について示した。30分後の吸水率が無被膜の場合3.6%であるのに対して、被膜処理を行なったものでは1.2~1.6%となり、初期の吸水率が約60%低減されていることがわかる。その後の24時間までの吸水率の増加は無処理、被膜処理いずれもほぼ同様の傾向を示し、初期に生じた吸水率の差は保持されている。被膜材料の種類による吸水率の差は、図二に示すように、SBRを用いたものが最も吸水率の低減効果が大きく、次いでPAE、EVAの順となった。被膜処理方法による吸水率の差は、図三に示すように、いずれの材料においても顕著に認められないが、SBRの場合は、短時間の浸漬処理を行なったものの方が



図一 吸水率の経時変化

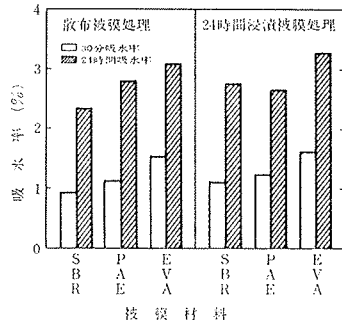


図-2 被膜材料の違いによる吸水率の比較

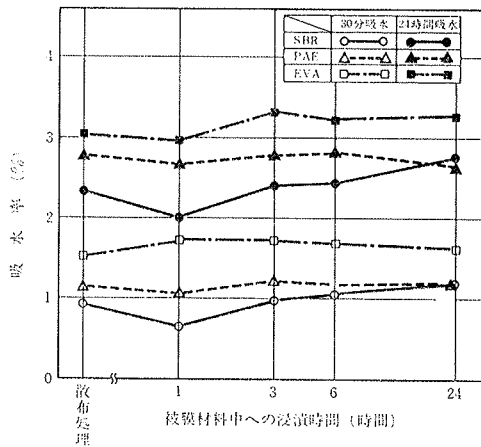


図-3 処理方法の違いによる吸水率の比較

若干良い結果を示した。また、骨材の比重は表-3に示されるように、被膜材料への浸漬時間が長いほど大きくなる。したがって、この点を考慮すれば、短時間の浸漬による被膜処理の方が良いと考えられる。一方、被膜処理を繰返すことによる効果は図-4に示すように、30分間の吸水率が1回処理のものに対して

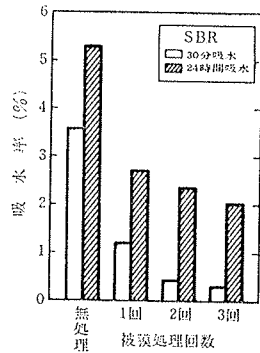


図-4 繰返し処理による吸水率の比較

2回では34%、3回で24%となり、繰返し処理は初期の吸水率を低減することによりかなり効果的である。しかし、繰返し処理を行っても24時間後の吸水率は、1回のものに対して75%~85%となり、繰返し処理の効果は小さくなる。すなわち、被膜処理を繰返すことは、初期の吸水率低減に大きな効果があり、施工時のスランプ変化などの低減に有効であると考えられる。

### 3.3. 加圧時の吸水性状

圧力が加わった場合の吸水性状を、ワシントンエアメータを用いた骨材修正係数を求める方法により調べた。試験はエアメータに4kgの骨材を入れ、水を満たした後加圧室バルブを開放状態とし、ゲージによって読取れる

被膜材料	処理方法	散布処理	浸漬処理			繰返し処理		無処理
			3時間	6時間	24時間	2回	3回	
無被膜	-	-	-	-	-	-	-	11.55
SBR	7.35	7.35	7.70	7.00	2.28	1.05	-	-
PAE	9.63	9.98	9.63	9.28	-	-	-	-
EVA	9.28	9.28	9.45	9.63	-	-	-	-

表-4 5分間加圧による吸水率

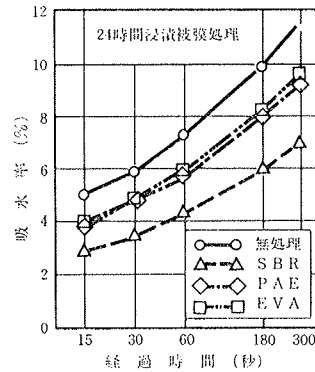


図-5 加圧吸水率の経時変化

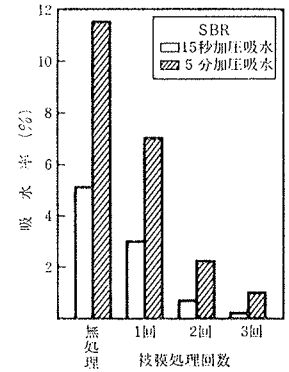


図-6 繰返し処理による吸水率の比較

空気量に相当する水が骨材中に吸水されたものと考えて、加圧下での吸水率を求めた。5分間加圧した際の吸水率を表-4に、24時間浸漬被膜処理骨材の加圧時間と吸水率の関係を図-5に示す。無処理の骨材では24時間の吸水率が5.3%であるのに対して、加圧することによって11.6%と2倍程度になっている。一方、被膜処理を施した骨材では、24時間吸水率に対して加圧することにより2.5~3倍程度に増加しており、加圧下では若干防水効果が低下するが、無処理のものに比べれば20%~30%小さい。また、図-5に示されるように、加圧下では被膜材料の差がかなり顕著に現われ、SBRが他のものに比べて加圧直後の吸水率およびその後の吸水率の増加が小さい。なお、被膜処理方法による違いは、加圧しない場合と同様に散布した場合、浸漬した場合のいずれに対しても明確な差は認められない。しかし、繰返して被膜処理を行なうと図-6に示すようにその効果は顕著で、1回処理した骨材に対して5分加圧後の吸水率が2回では1/3、3回では1/6程度に小さくなり、吸水率の増加速度も小さくなっている。

以上、骨材の特性を主として吸水率により調べた結果、骨材の吸水を抑制することにポリマーによる被膜は有効で、その方法としてはSBRを用いて繰返し浸漬被膜することが効果的であることがわかった。

## 4. 被膜骨材を用いたコンクリートの性質

### 4.1. フレッシュコンクリートの性質

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				C	W	S	G	AE減水剤 (%)
20±1	3±1	45	45	389	175	780	480	0.97

C:普通ポルトランドセメント S:木更津産山砂

表-5 コンクリートの配合

4.1.1. スランブ

ロス 被膜骨材のコンクリート中における吸水防止効果を、スランブの経時変化により調べた。実験に用いた骨材は、無処理の絶乾骨材および SBR, PAE, EVA によって1時間浸漬処理を行なった骨材である。

	無処理	SBR	PAE	EVA
割増し水量 (kg/m <sup>3</sup> )	18.1	3.4	8.8	5.2

表-6 単位あたりの割増し水増

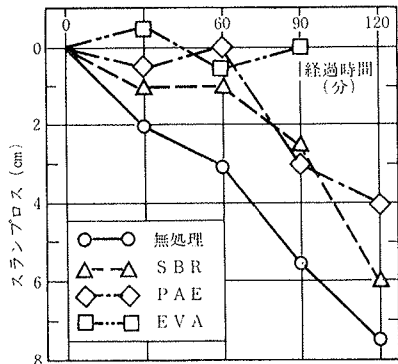


図-7 スランブロスの経時変化

コンクリートの配合は表-5を基本とした。絶乾状態の軽量骨材を用いる場合、注水直後の骨材の吸水が多いため、所定のスランブを得るには事前に水量を多くして混練する必要がある。そこで、今回は骨材の吸水率試験結果から、表-6に示す水量の割増しを行なった。図-7にスランブロスの経時変化を示す。無処理のものでは、時間とともに直線的にスランブが低下しているが、被膜処理を行なったものは、いずれも60分後までのスランブロスがほとんどない。また、表-6に示した水量の割増し分を考慮すれば、コンクリート中においても被膜処理による吸水率低減効果のあることがわかった。

4.1.2. 加圧時の性状

コンクリートはフレッシュな状態において、ポンプによる圧送や打設時の自重による圧力を受ける。このような状況下での被膜処理した骨材の性状を把握するため、コンクリート加圧下での骨材吸水量測定および加圧ブリージング試験<sup>1)</sup>を行なった。実験に用いた骨材はSBRによる1時間浸漬被膜処理を2回繰返したもので、その吸水率は30分で0.35%、24時間で2.80%である。コンクリートの配合は表-5に示すとおりとし、無処理骨材を用いた場合のみ混練時の吸水を考慮して水量を13 kg/m<sup>3</sup>割増した。

コンクリートの加圧による骨材吸水率の測定は、圧力容器中にコンクリートを入れ、5 kg/cm<sup>2</sup> および 20 kg/cm<sup>2</sup>の圧力を加えた際の体積減少量のうち、コンクリート中の空気体積減少量を除いたものが骨材中に吸水された水の体積であるとして算出した。図-8は加圧時間と

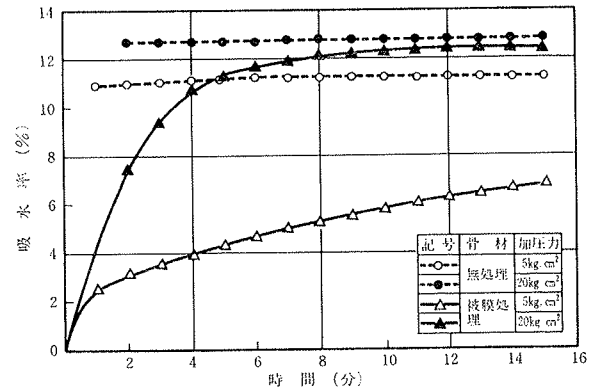


図-8 加圧によるコンクリート中骨材の吸水率

吸水率の関係を示したものである。無処理骨材を用いたものでは、骨材の吸水率が加圧後急激に増加するのに対して、被膜骨材では徐々に吸水率が增加することがわかる。特に圧

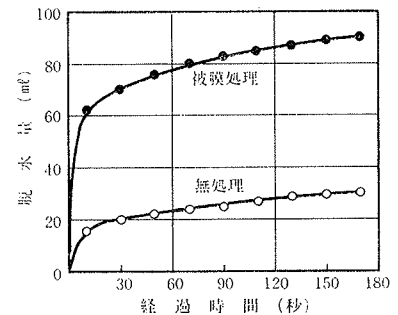


図-9 加圧によるコンクリートの脱水量

力が 5 kg/cm<sup>2</sup> の場合には吸水率の増加速度が遅く、15分後においても吸水率は無処理の60%までしか達しない。圧力が 20 kg/cm<sup>2</sup> の場合では、10分後には無処理と被膜処理の吸水率に大きな差がなくなるが、2分後の時点では被膜処理の吸水率は無処理の約60%であり、ポンプ圧送時に一時的に受ける大きな圧力に対しても防水効果が期待される。

加圧ブリージング試験は、容積 1.8l のコンクリートを 35 kg/cm<sup>2</sup> で加圧した際の脱水量を経時的に計測するものであり、コンクリートのポンプ圧送性に対する評価の一方法となる。軽量骨材コンクリートの場合、この方法では必ずしもポンプ圧送性に対する評価を行なえないが、一資料とするため試験を実施した。図-9に脱水量の経時変化を示した。加圧による脱水は無処理骨材を用いたコンクリートの方が明らかに小さく、被膜骨材を用いたものはその3倍程度になる。これは、コンクリート中の自由水の一部が加圧されることにより骨材中に吸水されるために、吸水しやすい無処理骨材を用いたものは、被膜処理を行なったものに比べて脱水量が大幅に低減されているものと推察される。このことによって、無処理骨材を用いたコンクリートではコンシステンシーの低下が著しく、ポンプ圧送に必要な流動性が損われて配管における閉塞が生じやすくなるものと考えられる。一方、被膜処理骨材を用いたコンクリートでは、モルタルから脱水される水は自由水としてコンクリート中にある

材 令		7日	28日	91日	
無 処 理	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	294 (100)	460 (100)	496 (100)	
	静弾性係数 ×10 <sup>5</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	1.83 (100)	2.06 (100)	2.24 (100)	
被 膜 材 料	SBR	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	238 (81)	342 (74)	393 (79)
		静弾性係数 ×10 <sup>5</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	1.67 (91)	1.94 (94)	2.14 (96)
	PAE	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	289 (98)	391 (85)	434 (88)
		静弾性係数 ×10 <sup>5</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	1.96 (107)	2.10 (102)	2.22 (99)
	EVA	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	281 (95)	380 (83)	437 (88)
		静弾性係数 ×10 <sup>5</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	1.84 (101)	2.01 (98)	2.12 (95)

( )内は比率(%)

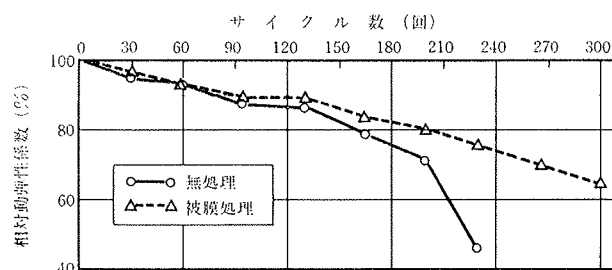
表一七 硬化コンクリートの性質

ため、モルタルの保水性を適切にすることによってポンプ圧送性が改善されるものと思われる。

#### 4.2. 硬化コンクリートの性質

4.2.1. 強度・静弾性係数 硬化コンクリートの圧縮強度および静弾性係数を標準養生材令7, 28, 91日において測定した。実験に用いた骨材は無処理の絶乾骨材およびSBR, PAE, EVAによる1時間浸漬被膜処理を行なったものである。コンクリートの配合は表一五とし、それぞれ混練時の骨材吸水を考慮して表一六に示す水量の割増しを行なった。表一七に試験結果および無処理骨材コンクリートを100とした場合の各材令における試験結果の比率を示す。被膜処理骨材を用いたコンクリートは無処理骨材に対して強度が小さくなっており、特にその傾向は材令28日以降で大きく、また被膜材料別ではSBRが大きい。このことは、骨材とセメントマトリックス間に比較的やわらかい被膜層ができることから付着分が不十分で、セメントマトリックスの強度が高い場合には、両者が一体となって応力を受けることができなくなるためと考えられる。弾性係数は、SBRによる被膜骨材を用いた場合に若干小さくなる以外にはほとんど影響を受けない。このことは、軽量骨材の剛性が小さく、変形量が主としてモルタル層によって支配されるためと思われる。

4.2.2. 耐凍結融解性試験 ASTM C 666「水中における急速凍結に対するコンクリート供試体の抵抗試験法」に準じて凍結融解試験を行なった。実験に用いたコンクリートは4.1.2. で示したものをを用いた。図一十に相



図一十 相対動弾性係数

対動弾性係数測定結果を示す。凍結融解抵抗性は、被膜骨材を用いることによって改善傾向が認められ、300サイクル時においても、相対動弾性係数60%以上を確保することができた。また、凍結融解の進行による供試体の状況は、無処理骨材を用いたコンクリートの場合、骨材の破壊にともない大きくモルタルが欠落するのに対し、被膜処理骨材の場合は、表面の薄いモルタル部分が剝離し、供試体に被膜がとれた骨材がそのまま残っていた。したがって骨材とセメントマトリックスの付着性を改善することによって、さらに、凍結融解抵抗性は改善できるものと思われる。

#### 5. あとがき

軽量骨材コンクリートの施工性、耐久性など、品質の向上を目的としてポリマーによる防水骨材被膜について検討を行なった結果、コンクリート中での骨材の吸水を低減し、スランプロスが少なくなるなど施工性が改善されるとともに、凍結融解抵抗性の向上にも効果があることが確認された。しかし、若干の強度低下を生じるため、骨材とセメントマトリックスの付着向上に対する検討を行なう必要がある。また、加圧時における骨材吸水率についても、さらに改善することが望ましく、これらの点を考慮した、より効果的な被膜材料や処理方法に関する検討が今後さらに必要と思われる。

#### 参考文献

- 1) R. D. Browne, P. B. Bamforth: Test to establish concrete pumpability, Jour. A. C. I., Vol. 74, No. 5, (1977), pp. 193~203