

# 産業副産物を混入した吹付けモルタルの特性

コンクリート研究室 江口 仁平  
主査 丸山 久一  
副査 下村 匠  
副査 丸山 暉彦

**要旨：**近年，産業廃棄物の最終処分場の残存容量は減少傾向にあり，産業副産物の再資源化が重要な課題となっている．本研究では，還元スラグと鋳物灰を吹付けモルタルとして再利用することを検討した．その結果，圧縮強度やリバウンド率，有害物質の溶出などは目標値をクリアしたが，硬化後に有害なひび割れが発生した．また，圧送可能なモルタルフロー値は副産物混入量によって異なり，圧送性の評価は普通モルタルと同様のフロー値では不可能であった．新たな評価指標の確立を目指し，モルタルの付着力に着目し検討を行ったが，付着力は評価指標としては適当ではないことがわかった．

## 1. はじめに

近年，廃棄物処分場の残存容量は減少しているにも関わらず，処分場の新規建設は社会風潮からも困難なものとなっており，産業廃棄物への対応が課題となっている．コンクリート産業は，従来から産業副産物の再利用を積極的に行ってきた産業であり，産業副産物の再利用，再資源化の研究は盛んに行われている．現在では高炉スラグやフライアッシュといった他産業から排出される産業副産物がコンクリート材料として利用され，他産業と連携したりサイクルの推進に役立っている．

新潟県中越地域では，還元スラグは年間約18,000トン，鋳物灰は年間約5,000トンが埋立て処分されている．還元スラグは電気炉においてスクラップや鉄くずを再生利用する際に発生する産業副産物であり，鋳物灰は鋳物工場において，鋳型を造型，解砕する際に発生する粉塵を集塵機で採取されたものである．本研究において，過去に還元スラグと鋳物灰を混入したコンクリートについて研究を行い，消波ブロックとして再利用可能であることが確認されている．

本研究では，産業副産物の再資源化の更なる用途拡大を目指し，還元スラグと鋳物灰を吹付けモルタルとして再資源化することを検討すると共に，産業副産物を混入した吹付けモルタルのポンプ圧送性に関する評価指標の確立を試みた．

## 2. 研究概要

本研究では，まず，現場吹付け実験を行うため，事前室内実験により基本配合を決定した．産業副産物の混入量は還元スラグと鋳物灰を各  $200\text{kg/m}^3$  ( ECOM200 ) および  $300\text{kg/m}^3$  ( ECOM300 ) とし，それぞれのシリーズにおいて，モルタルフロー値が120mm程度となる配合を基本配合とした．そして，現場吹付け実験を行い，空気量，ポンプ圧送性，リバウンド率，有害物質の溶出，圧縮強度およびひび割れについて検討した．その結果，圧送性の評価指標として，従来のモルタルフロー値による評価が適当でないことがわかったため，フロー値に変わる評価指標としてモルタルの付着力に着目し，評価指標として適当であるかについて検討した．

### 3. 事前室内実験

#### 3.1 実験概要

本実験では、ECOM200 および ECOM300 において、単位水量を変化させた各シリーズ 4 配合で実験を行い、モルタルフロー値が 120mm となるような基本配合を決定し、供試体を作成し、圧縮強度試験を行った。

#### 3.2 使用材料

表 1 に本実験の使用材料の物性値を示す。

#### 3.3 配合設計

表 2 に本実験の配合表を示す。AE 減水剤はセメント重量の 0.5% 添加した。

表 1 使用材料表

使用材料	種類	記号	物性値または主成分	
			項目	値
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度(g/cm <sup>3</sup> )	3.15
			比表面積(cm <sup>2</sup> /g)	3300
細骨材	川砂 (信濃川産)	S	密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.57
			吸水率 (%)	2.26
混和材	還元スラグ	RS	密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.96
			メディアン径 (μm)	24.17
	鋳物灰	Ash	密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.60
			メディアン径 (μm)	22.88
混和剤	AE減水剤	WR	リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体	

表 2 配合表

No.	W/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		W <sup>1</sup>	C	S	RS	Ash
ECOM200-1	63.5	254	400	1168	200	200
ECOM200-2	64.8	259		1155		
ECOM200-3	66.0	264		1142		
ECOM200-4	67.3	269		1130		
ECOM300-1	73.8	295	400	908	300	300
ECOM300-2	75.0	300		895		
ECOM300-3	76.3	305		881		
ECOM300-4	77.5	310		868		
ECOM200-5	62.5	250	400	1220	200	200
ECOM300-5	70.0	280		945	300	300

1: 単位水量には、C × 0.5% 分の AE 減水剤を含む

表 3 実験項目及び実験方法

項目	実験方法
練混ぜ	JIS A 1138「試験室におけるコンクリートの作り方」
供試体作成	JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」
モルタルフロー試験	JIS R 5201「セメントの物理試験方法」
圧縮強度試験	JIS A 1108「コンクリートの圧縮強さの試験方法」

#### 3.4 実験装置および実験方法

モルタルの練混ぜ、供試体作成、モルタルフロー試験および圧縮強度試験の各方法を表 3 に示す。供試体は、100mm × 200mm の型枠を用い、フロー値が 120mm 程度となった配合において各 6 本作成し、翌日脱型し、キャッピングを行った。養生は、材令 28 日まで水中養生 3 本、気中養生 3 本とした。

#### 3.5 実験結果および考察

##### 単位水量とフロー値の関係

図 1 に ECOM200、図 2 に ECOM300 の単位水量とフロー値の関係を示す。図より、各シリーズとも相関関係であり、副産物の混入量が多いほど、フロー値の変化に単位水量の影響が大きいことがわかる。また、それぞれフロー値が 120mm となる単位水量は各関係式より以下ようになる。

$$\text{ECOM200} : y = 3.92x - 861.58 \quad W = 250$$

$$\text{ECOM300} : y = 2.48x - 573.20 \quad W = 280$$

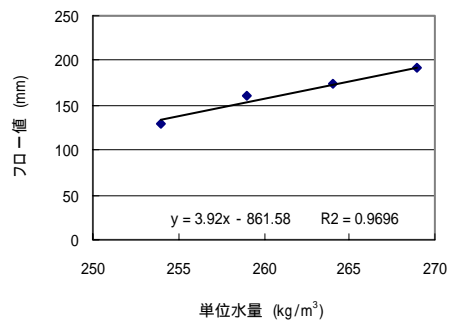


図 1 単位水量とフロー値の関係(ECOM200)

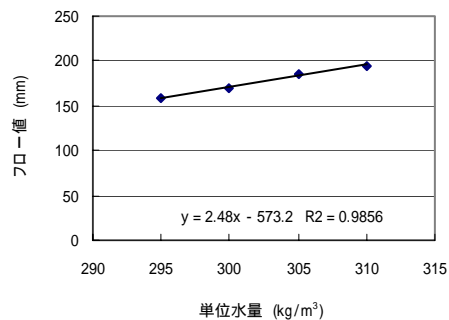


図 2 単位水量とフロー値の関係(ECOM300)

## 圧縮強度試験結果

表 3 に圧縮強度試験結果を示す。表より、圧縮強度は気中養生、水中養生ともに目標値 ( $21\text{N/mm}^2$ ) を大きくクリアしていることがわかる。これより、現場吹付け実験による産業副産物混入吹付けモルタルにおいても十分な強度が確保できると考えられる。

表 3 圧縮強度試験結果

No.	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	気中養生	水中養生
ECOM200-5	33.6	35.0
ECOM300-5	31.8	32.7

## 4. 現場吹付け実験

### 4.1 実験概要

本実験では、事前室内実験の結果をもとに、現場吹付け実験を行った。比較用の普通モルタル、ECOM200 および ECOM300 について実験を行い、フレッシュ性状、ポンプ圧送性、施工性、硬化品質などを検討した。

### 4.2 使用材料

表 4 に本実験の使用材料の物性値を示す。

表 4 使用材料

使用材料	種類	記号	物性値または主成分	
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度(g/cm <sup>3</sup> )	3.15
			比表面積(cm <sup>2</sup> /g)	3300
細骨材	川砂 (信濃川産)	S	密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.53
			吸水率 (%)	3.00
混和材	還元スラグ	RS	密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.96
			メディアン径 (μm)	24.17
	珪物灰	Ash	密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.60
			メディアン径 (μm)	22.88
混和剤	AE減水剤	WR	リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体	

表 5 配合表

No.	W/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		W <sup>1</sup>	C	S	RS	Ash
普通モルタル	60.0	240	400	1500	0	0
ECOM200-6	62.5	250	400	1108	200	200
ECOM200-7	67.5	270	400	1058	200	200
ECOM300-6	70.0	280	400	850	300	300
ECOM300-7	72.0	288	400	830	300	300

1: 単位水量には、C × 0.5% 分の AE 減水剤を含む

### 4.3 配合設計

表 5 に本実験の配合表を示す。AE 減水剤はセメント重量の 0.5% 添加した。まず、事前室内実験で決定した配合で吹付け実験を行い、その配合では管内閉塞を起こす場合、その結果を考慮して次の配合を設計した。

### 4.4 実験装置および実験方法

図 3 に吹付け装置の構図を示す。練混ぜは、1 バッチ 0.25m<sup>3</sup> とし、4 バッチ連続吹付けを行った。フレッシュ試験は、ミキサーから圧送機に搬送途中の試料を使用し、フロー値および空気量を測定した。圧送圧力は、吹付け後の圧縮強度や密度に影響が無い程度である 0.3 ~ 0.5Mpa の範囲内とし、その圧力で搬送できなければ管内閉塞が生じると判定した。吹付けは、吹付け面から約 1m 離れて行い、吹付け後、直ちにコテで成形した(写真 1, 写真 2 参照)。施工性は、普通モルタルとの比較で行い、吹付けガンを持っている作業員およびコテ仕上げをする作業員の感覚とリバウンド率で判定した。

供試体は、600mm × 300mm × 300mm の箱に、約 1m 離れた場所から垂直に吹付け、硬化後に 100mm × 200mm となるように各配合 3 本ずつコアを抜いた(写真 3 参照)。養生は、材令 28 日まで気中養生を行い、圧縮強度試験を行った。

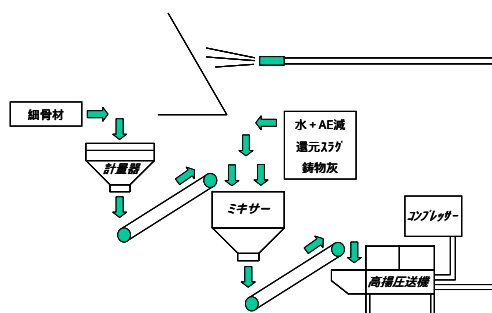


図 3 吹付け装置の構図



写真1 圧送機およびミキサー



写真2 現場吹付け状況



写真3 供試体作成用吹付け状況

#### 4.5 実験結果および考察

##### 副産物混入量と空気量の関係

表6にフレッシュ試験および圧送性判定結果を示す。目標空気量は、全国特定法面保護協会の指針より4%とした。表より、普通モルタルでは5%と目標値を満足しているが、副産物混入モルタルでは混入量およびフロー値に関わらず空気量が小さく、目標値を満足していない。しかし、AE剤の調整により目標値を満足することは容易であると考えられる。

表6 フレッシュ試験および圧送性の結果

No.	フロー値 (mm)	空気量 (%)	圧送性 <sup>1</sup>	作業員の感覚 <sup>2</sup>	
				吐出口	コテ仕上げ
普通モルタル	113	5.0	良好	通常	通常
ECOM200-6	124	2.7	閉塞	-	-
ECOM200-7	149	2.7	良好	柔らかい	硬化が速い
ECOM300-6	128	2.7	閉塞	-	-
ECOM300-7	154	2.3	良好	やや柔らかい	硬化が速い

1: 圧送性は、圧送圧力0.5MPa以下の場合

2: 作業員の感覚は、普通モルタルとの比較

##### 副産物混入によるフロー値と圧送性の関係

表6より、普通モルタルはフロー値120mm程度の配合で圧送可能であるが、副産物混入モルタルはともにフロー値120mm程度の配合では管内閉塞し、フロー値150mm程度で圧送可能であることがわかる。これより、副産物混入モルタルでは、普通モルタルと同様のフロー値120mm程度では吹付けが不可能であり、フロー値の大きなモルタルが必要であると考えられる。

##### 副産物混入によるフロー値と作業員感覚

表6より、副産物混入モルタルはともにフロー値150mm程度で圧送可能であるが、吐出口作業員の感覚として、普通モルタルと比較してECOM200は柔らかい、ECOM300はやや柔らかいと感じられている。よって、もう少しフロー値の小さな場合でも管内閉塞は起こらないと考えられ、各シリーズの圧送可能なフロー値を以下のように決定した。これより副産物混入モルタルは、混入量が多くなるにしたがって圧送可能なフロー値は大きくなり、フロー値によって圧送性を評価することは適当でないと考えられる。

ECOM200: 130~140mm程度

ECOM300: 140~150mm程度

##### 副産物混入量とリバウンド率の関係

表7にリバウンド率および効果物性を示す。表より、普通モルタル、副産物混入モルタル



のいずれも約 30%であり、目標値(30%以下)をクリアしていることがわかる。また、普通モルタルと副産物混入モルタルが同じ値であることより、リバウンド率に副産物混入量は影響しないと考えられる。これは、リバウンド率がフロー値やスランプには影響せず、吹付け面との衝突力に影響することから、本研究では圧送圧力をほぼ一定としたため、副産物混入量がリバウンド率に影響を及ぼさなかったと考えられる。

#### 副産物混入量と圧縮強度の関係

表 7 より、現場吹付け実験においても、副産物混入モルタルは目標値(21N/mm<sup>2</sup>)をクリアしていることがわかる。

#### 副産物混入モルタルのひび割れ

写真 4 に副産物混入モルタルのひび割れ状況を示す。普通モルタルではひび割れが発生しなかったが、副産物混入モルタルでは有害なひび割れが発生したことがわかる。副産物混入モルタルは、単位水量が多いため乾燥収縮ひび割れが発生したと考えられる。吹付けモルタルでは通常、養生をしないため若干のひび割れが発生する場合もあるが、今回のひび割れ幅は 1~2mm 程度であり、硬化品質として有害なひび割れであると考えられ、実用化に際しては、ひび割れ対策が必要である。

#### 副産物混入モルタルの有害物質溶出

表 8 に副産物混入モルタルの有害物質溶出試験結果を示す。表より、一部の項目で有害重金属が溶出していることがわかる。しかし、これらの物質は本研究室で過去に取り扱ってきた副産物の中でも、多い溶出の部類に入り、通常は環境基準値以下の場合が多い。よって、副産物混入モルタルは、有害物質の溶出は環境基準値以下になると考えられる。

表 7 リバウンド率および硬化物性

No.	リバウンド率 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ひび割れ
普通モルタル	約30%	-	なし
ECOM200-7	約30%	35.9	あり
ECOM300-7	約30%	32.2	あり

表 8 有害物質溶出試験結果

試験項目	単位	ECOM200-7	ECOM300-7	環境基準値
水銀(Hg)	mg/l	ND	ND	0.0005mg/l以下
カドミウム(Cd)	mg/l	ND	ND	0.01mg/l以下
鉛(Pb)	mg/l	0.012	0.004	0.01mg/l以下
六価クロム(Cr <sup>6+</sup> )	mg/l	ND	0.01	0.05mg/l以下
砒素(As)	mg/l	0.002	ND	0.01mg/l以下
セレン(Se)	mg/l	0.001	0.003	0.01mg/l以下
pH	-	12.3	12.4	-

ND: 定量限界値以下



写真 4 副産物混入モルタルのひび割れ状況

#### 4.6 現場吹付け実験のまとめ

副産物混入モルタルは、空気量、リバウンド率、圧縮強度、有害物質溶出においては目標をクリア出来たが、有害なひび割れが発生し、硬化品質として課題が残った。また、副産物混入モルタルは、普通モルタルと同様のフロー値で圧送性の評価をすることが出来ず、新たな評価指標の確立が必要である。

### 5. 圧送性の評価指標の確立実験

#### 5.1 実験概要

副産物混入モルタルは、普通モルタルと同様のフロー値で圧送性の評価をすることが出来ず、新たな評価指標の確立が必要である。本実験では、管壁とのモルタルのすべり抵抗

力に着目し、これより算出される付着力によってポンプ圧送性を評価することが可能であるかについて検討した。なお、本実験の使用材料の物性値は表1と同じものである。

## 5.2 配合設計

表10に本実験の配合表を示す。

表10 配合表

No.	W/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
		W <sup>1</sup>	C	S	RS	Ash		
NOMRAL-3	53.5	214	400	1647	0	0		
NOMRAL-4	56.0	224		1620				
NOMRAL-5	58.3	233		1596				
NOMRAL-6	63.3	253		1543				
ECOM200-10	63.3	253		1159			200	200
ECOM200-11	65.5	262		1135				
ECOM200-12	70.5	282		1081				
ECOM200-13	73.0	292		1055	300	300		
ECOM300-10	69.5	278		900				
ECOM300-11	71.8	287		876				
ECOM300-12	75.5	302		836				
ECOM300-13	79.3	317		796				

1: 単位水量には、C×0.5%分のAE減水剤を含む

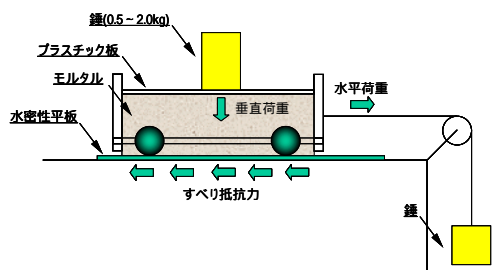


図4 すべり抵抗力測定装置

## 5.3 実験装置および実験方法

すべり抵抗力測定実験は、谷川ら<sup>1)</sup>の実験方法を参考にを行った。図4にモルタルのすべり抵抗力測定装置を示す。平面に置いた水密性平板の上に、すべり面が100mm×150mmとなる滑車付き底抜け容器を置き、モルタルを詰め、薄いプラスチック板を挟み、鉛直荷重を載荷した。鉛直荷重は0.5、1.0、1.5、2.0kgと変化させ、滑車付き底抜け容器を水平方向に引っ張り、動き出したときの水平荷重をすべり抵抗力とした。モルタル付着力は、上記で得たすべり抵抗応力と垂直応力より次式を

用いて、最小二乗法によって算出した。

$$h = \mu \times n$$

$h$ : すべり抵抗応力(N/mm<sup>2</sup>)、 $n$ : 付着力(N/mm<sup>2</sup>)、 $\mu$ : 摩擦係数、 $n$ : 垂直応力(N/mm<sup>2</sup>)

## 5.4 実験結果および考察

副産物混入によるフロー値と付着力の関係

図5にフロー値と付着力の関係を示す。図より、副産物混入モルタルの付着力は各シリーズともにフロー値と相関関係にあり、また、ほぼ一直線上に重なることがわかる。これより、圧送可能なフロー値が異なれば、それに対応する付着力も変化するため、付着力による圧送性の評価も不可能であることがわかる。

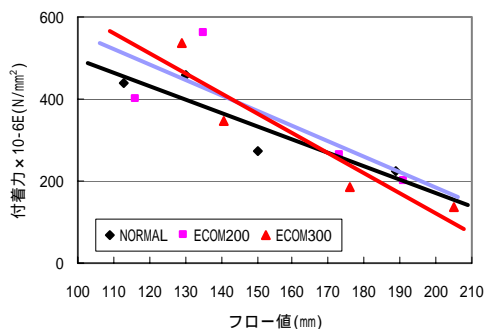


図5 フロー値と付着力の関係

## 6. 結論

副産物混入モルタルは、圧縮強度やリバウンド率、有害物質の溶出などは目標値をクリアしたが、有害な乾燥収縮ひび割れが発生したため、対策を講じなければ実用化できない。

副産物混入モルタルは、フレッシュ性状での圧送性評価をモルタルフロー値およびモルタルの付着力のみで行うことはできない。

## 参考文献

- 1) 谷川恭雄ら：スランプ試験およびすべり抵抗試験によるフレッシュコンクリートのレオロジー定数の測定，第8回コンクリート工学年次講演会論文集，pp.381-384，1986