

# 連行空気泡を用いた摩擦緩和による 硬質砂岩砕砂の自己充填コンクリートへの適用

学籍番号:1150183 氏名:和田浩輝 指導教員:大内雅博

高知工科大学システム工学群建築都市デザイン専攻

**要旨:**高知県佐之國産の硬質砂岩砕砂を用いた気泡潤滑型自己充填コンクリートを配合可能にした。空気連行により、硬質砂岩砕砂の流動性低下度が石灰石砕砂より小さくなることを確認した。気泡測定により、硬質砂岩砕砂は 600 $\mu\text{m}$  以下の空気泡と自己充填性の間に高い相関関係を確認した。増粘剤一液型高性能 AE 減水剤は 600 $\mu\text{m}$  以上の空気泡を連行しやすく、増粘剤を使用しない高性能 AE 減水剤の方が自己充填性向上に有効な空気泡が多く連行され、少ない空気量で高い自己充填性を得る事ができた。自己充填性向上に有効な空気泡径の範囲は細骨材の種類によって異なるが、高い自己充填性能の気泡潤滑型自己充填コンクリートは、連行空気泡と細骨材を合計すると同じ粒径分布の傾向にあることを確認した。

**Key Words :**気泡潤滑型自己充填コンクリート, ボールベアリング効果, 空気連行, 粒径分布

## 1. はじめに

自己充填コンクリートの普及を妨げる理由として、高強度が必要ないにもかかわらず自己充填性と材料分離抵抗性を付与する為に高いセメント量を要し高単価となることがあげられる。それらの問題を解決する為に、連行空気泡による摩擦低減効果(ボールベアリング効果)に着目した気泡潤滑型自己充填コンクリート(以下 airSCC と表記)の実用化に取り組んでいる。airSCC の特徴は、従来の自己充填コンクリート中のセメント量の一部を連行空気泡に置換し、普通コンクリートと同程度の単位セメント量で従来の自己充填コンクリートと同水準の自己充填性を有するコンクリートである。

従来、空気連行剤によって空気を連行させる目的はコンクリートのワーカビリティおよび凍結融解抵抗性向上であるが、自己充填性向上のための研究はなされておらず、連行空気の質や量と自己充填性との関係は明らかになっていない。

本研究の目的は高知県佐之國産の硬質砂岩砕砂を使用し連行空気の質と量がフレッシュコンクリートの自己充填性に及ぼす影響を明らかにすることである。airSCC で使用されている細骨材は石灰石砕砂のみであり、地場材料を用いた airSCC の普及を目指す。

## 2. モルタル実験

『自己充填コンクリート中の細骨材・モルタル粒子間相互作用の簡易評価法』に準じて実験を行った。

硬質砂岩砕砂は空気連行剤添加無しでは石灰石砕

砂より流動性低下度(1-Rmb/Rm)が高いが、空気を連行すると石灰石砕砂より小さくなることを確認した(図-1)。

石灰石砕砂を用いた airSCC は流動性低下度 0.4 以下で自己充填性が確認された。硬質砂岩砕砂でも分割練りが 0.4 を下回ることが確認された為、コンクリート実験で確認した。

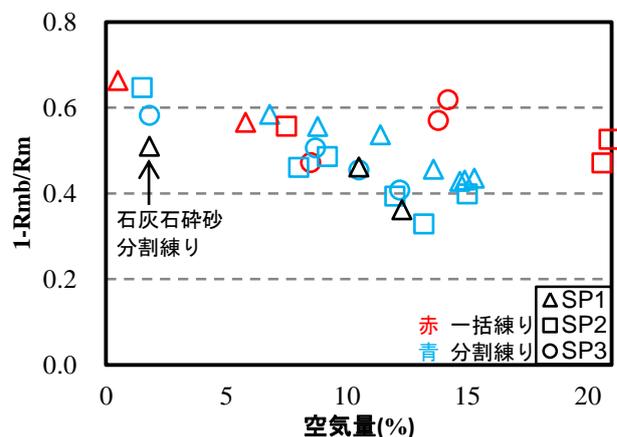


図-1 空気量と 1-Rmb/Rm の関係

## 3. 試験方法及び諸条件

### 3.1 試験方法

スランプフロー試験, 空気量試験(重量法), ロート試験, ボックス試験により airSCC のフレッシュ性状の試験を行った。そして、硬化後の供試体の空気泡の径とその分布を測定した。

本研究の目的はコンクリート中の連行空気泡の質や量と自己充填性の関係を明らかにすることである為、その他の影響を排除する為、スランプフローの値が650±50mmの範囲になるように高性能AE減水剤(以下SPと表記)の添加量を調整した。粘性はV型ロータ試験器により測定し、自己充填性はボックス試験機(障害物 R1)により測定を行った。

また、airSCCの空気量は10%程度であり、エアメータによる圧力法での測定は困難である為、フレッシュ時の空気量はエアメータの容器を用いた重量法による測定を行った。

尚、これらのフレッシュ時の試験は練り上がり直後から同時進行で行った。

硬化コンクリート気泡測定装置「HF-MAC01」のリアトラバース法により空気泡の粒径分布を求めた。これらの試験方法はASTM規格C 457-71に準じた。また、供試体は直径150mm高さ300mmの円柱供試体を使用した。上段を上面10mmから厚さ50mm、中段を上面150mmから厚さ50mm、下段を上面240mmから厚さ50mmとし、それらの平均を1ケース分とした。測定は上中下段それぞれ表・裏の2面行い、配合1ケースにつき合計で6面の計測を行った。

### 3.2 使用材料

本研究の使用材料(表-1)を示す。紛体は普通ポルトランドセメントのみを用いた。粗骨材は高知県白木谷産石灰砕石(比重:2.70, 吸水率:0.25%, 最大寸法:20mm)を用い、細骨材は高知県佐之國産の硬質砂岩砕砂(比重:2.69, 吸水率:1.00%, 粗粒率:2.64)と高知県白木谷産の石灰石砕砂(比重:2.68, 吸水率:0.81%, 粗粒率:2.80)を使用した。

高性能AE減水剤はポリカルボン酸エーテル系化合物を使用し、増粘剤一液型とそうでない2種類を使用した。空気連行剤はアルキルエーテル系陰イオン界面活性剤を使用した。

### 3.3 airSCCの配合

単位粗骨材量が増えることは自己充填性には明らかに不利な為、airSCCでも従来の自己充填コンクリートと同程度の単位粗骨材量に設定した。一方、モルタル中の細骨材容積比(s/m)は気泡によるボールベアリング効果を見込み55%と従来型自己充填コンクリートより高くした。水セメント比(W/C)は、高強度を必要としないことから45%と高めにした。

表-2 airSCCの示方配合

W/C (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		
		セメント	細骨材	粗骨材
45	185	410	1036	810

実際の質量: 材料×(1-空気量(%)/100)

### 3.4 練り混ぜ方法

本研究では二軸強制練りミキサを使用し、練り混ぜ量は40リットルとした。空気連行剤添加前のコンクリートの状態が空気連行性能に及ぼす影響が確認されている事から、2種類の練り混ぜ方法で行った。

まず、セメント・細骨材・粗骨材で30秒間空練りを行う。その後、水・SP・空気連行剤を一括投入し180秒間練り混ぜる方法を一括練り。空練りの後、投入量の半分の水とSPを入れ90秒間混ぜた後に残りの水と空気連行剤を入れ90秒間混ぜる方法を分割練りと記した。

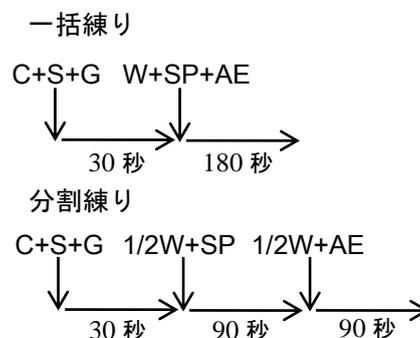


表-1 使用材料

材料	概要	記号	
セメント	普通ポルトランドセメント(比重:3.15)	C	
細骨材	高知県佐之國産 硬質砂岩(比重:2.69, 吸水率:1.00%, 粗粒率:2.64, 微粒分(0.15mm以下):12.1%)	S	
	高知県白木谷産 石灰石砕砂(比重:2.68, 吸水率:0.81%, 粗粒率:2.80, 微粒分(0.15mm以下):8.5%)		
粗骨材	高知県白木谷産 石灰砕石(比重:2.70, 吸水率:0.25%, 最大寸法:20mm)	G	
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性化合物の複合体	標準型	SP1
		遅延型	SP2
	ポリカルボン酸エーテル系化合物と分子内架橋ポリマーの複合体	SP3	
空気連行剤	アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤	AE	

#### 4. フレッシュ性状の試験結果と考察

SPの種類、練り混ぜ方法、空気連行剤の添加量をそれぞれ変化させた合計25ケース(表-3)のコンクリート試験を行った。

同配合でも増粘剤一液型SP1はSP3と比べ起泡性が高いことを確認した。また、どのSPでも空気量10%付近に必要な空気連行剤の添加量は一括練りに比べ分割練りの方が多く必要とした。

図-2は練り上がり直後の空気量とボックス上昇高さの関係を示したものである。練り混ぜ方法によるボックス上昇高さの違いはあまり見られなかったが、同程度の空気量でもSPの種類によって自己充填性が異なった。また空気連行剤の添加量を多くするとSP1分割練り以外は分離した。

石灰石砕砂では同空気量でもボックス上昇高さに違いが見られたが硬質砂岩砕砂では練り混ぜ方法やSPの影響ではなく、空気量の影響が強いと言える。

表-3 コンクリート試験結果

番号	練り混ぜ方法	SPの種類	空気連行剤添加量(Cの質量比)	練り上がり直後の空気量(%)	ボックス上昇高さ(mm)
1*	一括練り	SP1	0.000%	2.8	78
2	一括練り	SP1	0.001%	8.5	195
3*	一括練り	SP1	0.002%	8.7	158
4	一括練り	SP1	0.005%	8.4	180
5	一括練り	SP1	0.010%	10.6	278
6	一括練り	SP1	0.010%	12.8	325
7	一括練り	SP1	0.015%	12.1	165
8*	分割練り	SP1	0.002%	7.8	140
9	分割練り	SP1	0.005%	9.5	250
10*	分割練り	SP1	0.010%	10.3	303
11	分割練り	SP1	0.030%	11.2	303
12*	分割練り	SP1	0.050%	10.9	323
13*	分割練り	SP1	0.050%	12.7	320
14	分割練り	SP1	0.100%	13.8	330
15*	一括練り	SP3	0.000%	2.2	48
16	一括練り	SP3	0.002%	3.9	160
17*	一括練り	SP3	0.005%	7.9	305
18	一括練り	SP3	0.007%	11.6	315
19	一括練り	SP3	0.009%	12.1	233
20	分割練り	SP3	0.002%	5.1	133
21*	分割練り	SP3	0.005%	7.2	180
22	分割練り	SP3	0.010%	8.9	325
23	分割練り	SP3	0.010%	11.5	313
24*	分割練り	SP3	0.020%	10.2	310
25	分割練り	SP3	0.030%	12.6	215

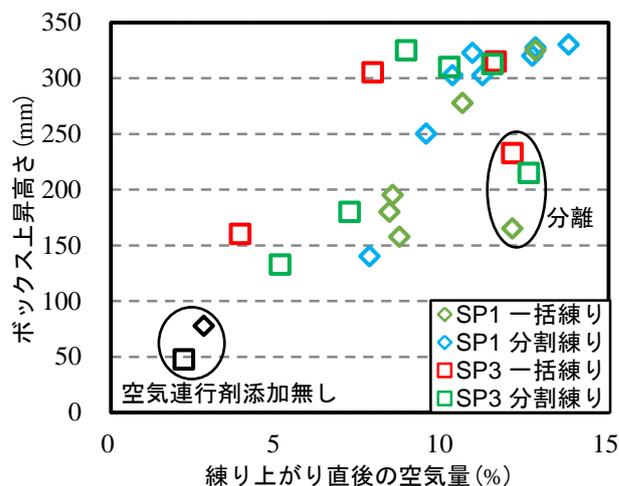


図-2 練り上がり直後の空気量とボックス上昇高さの関係

#### 5. 気泡測定の結果

##### 5.1 空気泡径と自己充填性との関係

同空気量で自己充填性の違いが見られたものを中心に気泡測定を10ケース分(表-3の中に※を付けたもの)を行った。自己充填性に効果的な空気泡径の関係を明らかにすることで、自己充填性向上に有効な空気泡と、そうでない空気泡を区別した。

硬質砂岩砕砂は600 $\mu$ m以下の空気泡径と、石灰石砕砂は200 $\mu$ m以下の空気泡径と自己充填性に高い相関関係が見られた。空気泡径の間隔ごとの空気量または個数とボックス上昇高さの相関がほぼ等しいことから空気量のみを示す(図-3)。

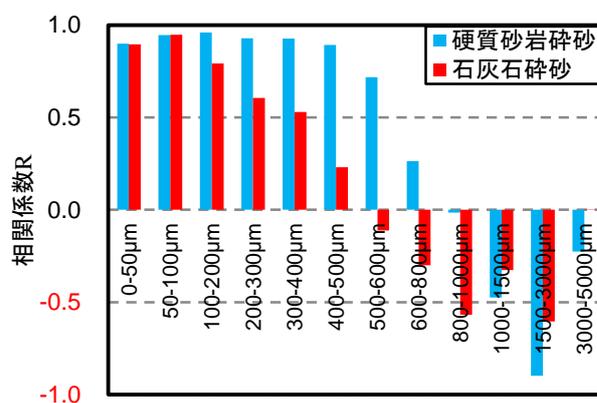


図-3 硬質砂岩砕砂(n=10)と石灰石砕砂(n=11)の空気泡径間隔ごとの空気量とボックス上昇高さの相関

##### 5.2 自己充填性に有効な空気泡

空気連行剤の添加量を増やすとSP、空気連行剤、練り混ぜ方法に関係なく自己充填性に有効な空気泡の量が増える傾向があることを確認した(図-4)。このことから一括練りに比べ分割練りは空気連行剤添加量を多く必要とするが空気量の増加が低い為、分

割練りが自己充填性に有効な空気泡を多く連行する練り混ぜ方法であることを明らかにした。少量の添加量では練り混ぜ方法の違いによる自己充填性に有効な空気泡の連行は認められなかった(図-5)。

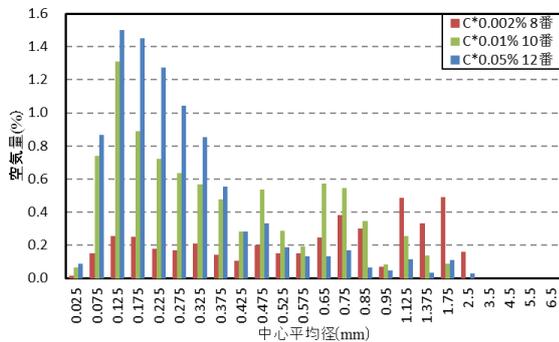


図-4 添加量の違いによる空気泡径分布の変化

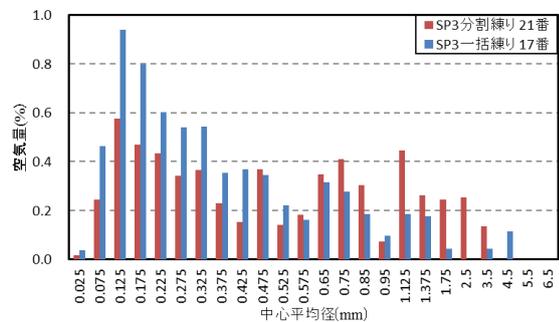


図-5 練り混ぜ方法のみを変えた空気泡径分布の変化

増粘剤によって多めに連行された空気泡の質を練り上がり直後の空気量が同程度のSP1とSP3の硬化後の空気量を調べることで比較を行った。図-6から同程度の空気量でもSP1はSP3と比べ、中心平均径の大きい空気が多く連行されたのに対し、SP3は中心平均径の小さい自己充填性に有効な空気泡が多く連行された。つまり、増粘剤一液型SPによって多めに連行される空気泡は質を伴っているとは言えない。このことから、同空気量でもSPの種類によって自己充填性に違いがあることを確認できた。

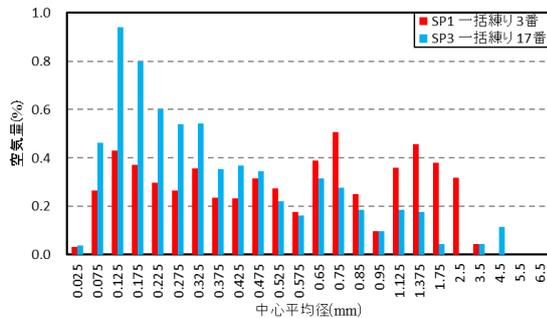


図-6 増粘剤の有無による有効な空気泡の割合

### 5.3 空気泡と細骨材両方の粒径分布が自己充填性に及ぼす影響

異なる細骨材で自己充填性向上に有効な空気泡径が異なったことから、空気泡と細骨材をそれぞれの粒径ごとに分類し、足し合わせたものを容積比で比較を行った(図-7)。

図-7より自己充填性向上に有効な空気泡径の範囲は細骨材の種類によって異なるが、高い自己充填性能のairSCCは連行空気泡と細骨材を合計すると同じ粒径分布の傾向があることを確認した。

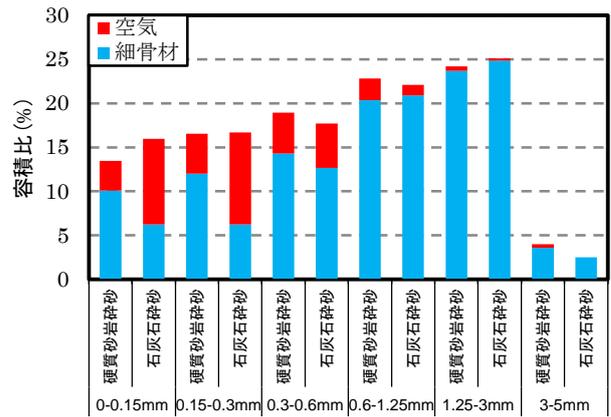


図-7 空気泡径ごとの空気量を砂の粒度分布に割り当てた容積比

## 6. 結論

- (1) 硬質砂岩砕砂を用いた airSCC を配合可能にした。
- (2) 空気連行により硬質砂岩砕砂の流動性低下度が石灰石砕砂より小さいことを確認した。
- (3) 気泡測定により、硬質砂岩は 600 $\mu$ m 以下の空気泡と自己充填性の間に高い相関関係を確認した。
- (4) 増粘剤を使用しない SP の方が自己充填性向上に有効な小さめの空気泡が多く連行された。
- (5) 自己充填性向上に有効な空気泡径の範囲は細骨材の種類によって異なるが、高い自己充填性能の airSCC は連行空気泡と細骨材を合計すると同じ粒径分布の傾向があることを確認した。

## 参考文献

- 1) 大内・枝松・小澤・岡村：自己充填コンクリート中の細骨材・モルタル粒子間相互作用の簡易評価法，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 21，No2，pp.451-456，1999年
- 2) 岡村 甫：新しいコンクリート技術の開発の方向－自己充填コンクリートの開発と実用化－，財団法人先端建設技術センター，pp.17-19，2005年