

エコセメントと混和材の混合粉体を結合材とした硬化体の基礎特性に関する検討

首都大学東京大学院 学生会員 ○飯塚 亮太, 正会員 上野 敦
太平洋セメント(株) 石田 征男, 首都大学東京大学院 正会員 宇治 公隆, 正会員 大野 健太郎

1. はじめに

凍結防止剤環境下での、エコセメント超硬練りコンクリートのスケーリング抵抗性向上に対しては、表層強度の向上が有効である。表層強度の改善に対しては、粉体粒子の充填構造を密にすることが有効であると考えられる。本研究では、エコセメントと高炉スラグ微粉末で構成される混合粉体の充填構造に関する基礎検討およびモルタルを対象とした硬化後の機械的性質に対する混和材置換の影響を検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

結合材には、表1に示す普通ポルトランドセメント (N)、普通エコセメント (E)、高炉スラグ微粉末 (BFS6、BFS8) および石灰石微粉末 (Ls) を使用した。細骨材には標準砂 (S) を用いた。

2. 2 モルタルの配合

モルタルの配合は、表2のとおり、ペースト細骨材体積比 (V_{cp}/V_s) を1、水結合材比 (W/B) を50%とした。既往の研究¹⁾において、特にスケーリング抵抗性の高かった EB40 と EB40-L5 に関しては、水結合材体積比 (V_w/V_B) が配合 E と同一の EB40-V、EB40-L5-V を加え検討を行った。

2. 3 実験方法

(1) 粉体粒子の充填構造

粉体の充填構造の検討では、液相利用の試験²⁾および JIS R 1628 に規定のタッピング密度試験を行った。また、E と BFS6 または BFS8 を異なる体積置換率で混合した混合粉体を用い、 V_w/V_B を変化させてペーストを作製し、単位容積質量を測定した。ペーストの練混ぜには、JIS R 5201 に規定のミキサを用い、締固めには同 JIS に規定の振動台を使用した。そして、式(1)に示すように、ペーストの配合から計算される理論上の単位容積質量と、実際の単位容積質量の差から、粉体粒子間の空隙を満たすのに必要な水の体積の情報を得て、空隙率を算出した。

$$v = \{1 - (k/\rho_w + 1/\rho_B) * (Z/(k + 1))\} * 100 \quad (1)$$

ここに、 v : 空隙率(%), k : 水結合材比、 Z : 実測の単位容積質量(g/cm^3)
 ρ_w 、 ρ_B : 水および混合粉体の密度(g/cm^3)

(2) モルタルの機械的性質

各モルタルについて、圧縮強度および曲げ強度を測定した。圧縮強度は JIS A 1108 に準拠し、曲げ強度は JIS R 5201 に準拠した。

表 1 結合材の物理的性質

種類		密度 (g/cm^3)	比表面積 (cm^2/g)
普通ポルトランドセメント	N	3.16	3210
普通エコセメント	E	3.15	4030
高炉スラグ微粉末	BFS6	2.91	6360
高炉スラグ微粉末	BFS8	2.91	8440
石灰石微粉末	Ls	2.71	6970

表 2 モルタルの配合

配合記号	V_{sp}/V_s	W/B (%)	V_w/V_B	単位量(kg/m ³)						
				W	E	BFS6	Ls	N	S	
E	1	50	1.58	306	612	0	0	0	1326	
EB40			1.52	302	362	242	0	0	1326	
EB60			1.50	300	240	360	0	0	1326	
EB40-L5			1.51	301	331	241	30	0	1326	
EB60-L5			1.49	299	209	359	30	0	1326	
EB40-V			52	1.58	306	355	237	0	1326	
EB40-L5-V		52	1.58	306	323	235	29	0	1326	
N		50	1.58	306	0	0	0	612	1326	

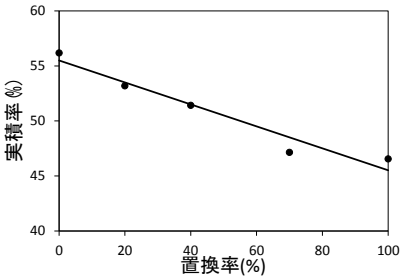


図 1 タッピング試験結果

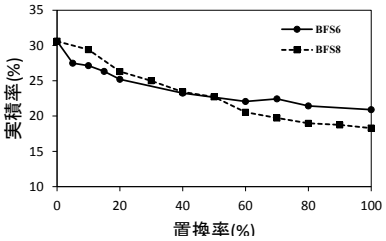


図 2 液相利用試験結果

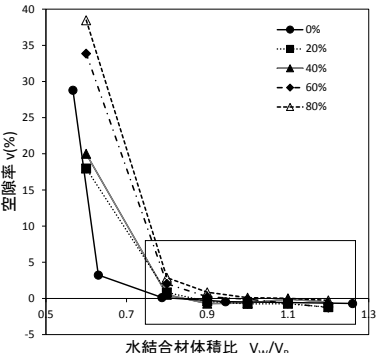


図 3 ペーストの空隙率

キーワード 粉体粒子, 充填構造, 実積率, 圧縮強度, 曲げ強度

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL042-677-1111

3. 実験結果および考察

3. 1 粉体粒子の実積率

図1に、タッピング試験での実積率を示す。Eを基材としてBFS6で置換すると、置換率の増加に伴い実積率が直線的に低下する。

図2に、液相利用試験による実積率を示す。液相利用試験においても、BFS6の置換率の増加に伴って実積率が低下している。

図3に、セメントペーストの単位容積質量に基づく空隙率と V_W/V_B の関係を示す。 V_W/V_B が大きな範囲では、実測の単位容積質量と配合上の単位容積質量に差が生じないため、空隙率が0%以下となり、 V_W/V_B が一定値以上となると、空隙率が負となる。空隙率が負となるのは、配合上の単位容積質量よりも実測の単位容積質量が大きい時であり、 V_W が多すぎて、粉体粒子が分離する結果である。 V_W/V_B がある値以下に減少してくると、空隙率が増加し始める。これは、振動台のエネルギーで締固めができなくなる状態を示しており、空隙率0%となる V_W/V_B を算出することで、粒子間空隙を満たすのに必要な V_W/V_B の情報が得られることとなる。

図4に、図3から算出した空隙率0%の V_W/V_B と BFS6 の体積置換率の関係を示す。置換率の増加に伴って空隙率が増加していることがわかる。この傾向は、BFS8を用いた場合でも同じであった。

ここまで、3つの方法で混合粉体の実積率（または空隙率）を検討してきたが、本研究で用いた混合粉体では、実積率が最大となる置換率は得られなかった。このことは図5に示すとおり、基材のEの粒径に対して、混合したBFS6の粒径が近いことだと考えられる。

3. 2 モルタルの各種強度

各モルタルの圧縮強度および曲げ強度を、それぞれ図6、図7に示す。EとNを比較すると、圧縮強度、曲げ強度ともに同程度の強度であることがわかる。Eと比較してEB40、EB60では、圧縮強度は同等であるが、曲げ強度が低下している。しかし、これにLsを少量置換することで、両強度が顕著に増加している。この傾向は V_W/V_B がEと同じEB40-V、EB40L5-Vでも同じである。微量のLsによる強度増進は、微粉末効果によるものとも考えられるが、強度の増分が非常に大きいため、材質に関連する別の要因も推察される。

4. まとめ

- (1) EをBFS6およびBFS8で体積置換していく場合、混合粉体の実積率は低下する傾向にある。
- (2) EをBFS6で40%体積置換すると圧縮強度および曲げ強度は低下するが、微量のLsの使用により顕著な強度増加を示す。

謝辞：実験の実施にあたり、本学学部4年、児玉文彦氏の協力を得た。

参考文献

- 1) 飯塚他：普通エコセメントを用いた超硬練りコンクリートの耐凍害性の向上に関する研究、第69回土木学会年次学術講演会講演概要集、第5部、pp1075-1076、2014
- 2) 笠井他：セメント-シリカフューム混合粉体の最密充填の評価方法に関する研究、東海大学紀要工学部、Vol.35、No.1、pp.175-179、1995
- 3) 坂井他：粒子の充てん性を考慮した高強度コンクリート用セメントの材料設計、セメント・コンクリート論文集、Vol.63、No.1、p2-8、2009

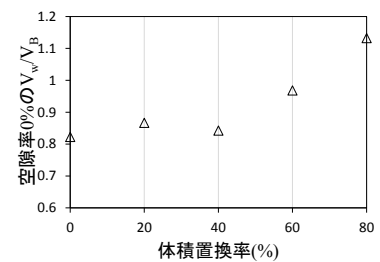


図4 空隙率0%の V_W/V_B

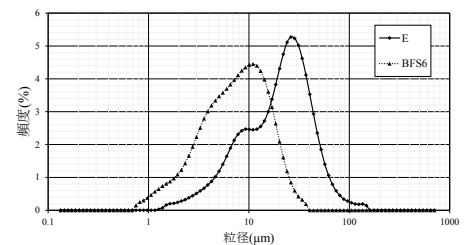


図5 粉体の粒度

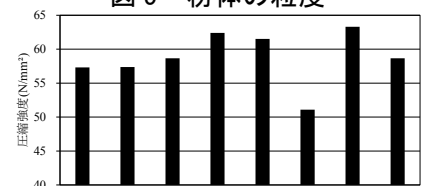


図6 圧縮強度

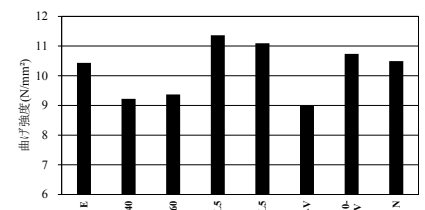


図7 曲げ強度