分散剤と遅延剤を併用したセメント系固化材スラリーに関する基礎的検討

太平洋セメント㈱　正会員　○小須田 和貴　正会員　早川 隆之
正会員　野崎 隆人　正会員　肥後 康秀

1.はじめに

近年地盤改良において、改良土の高強度化や建設発生土量削減の観点から、低い水固化材比（低 W/C）のセメント系固化材スラリーを用いた地盤改良を行うケースが増加している。スラリーの低 W/C 化は流動性の悪化を招き、圧送時に閉塞を生じる可能性が考えられるため、化学混和剤が使用されることも多い。筆者らは過去の研究[1)]において、各種分散剤を用いて、スラリーの流動性の改善について検討を行ってきた。一方で、分散剤と同様に流動性の改善効果を有する遅延剤も、コンクリートや地盤改良分野において広く利用されている。本検討では低 W/C スラリーにおける流動性改善に関する基礎的な知見を得ることを目的に、分散剤と遅延剤を併用した際の物性を確認し、水和の進行の観点から分散剤と遅延剤の相性について検討を行った。

2.試験概要

2.1 使用材料

使用材料を表 1 に示す。セメント系固化材は高有機質土用固化材を用いた。分散剤は市販されているナフタレンスルホン酸系(NS)の製品と、ポリカルボン酸系(PC)の製品を使用した。遅延剤(R)はオキシカルボン酸系のものを用いた。試料土には、火山灰質粘性土を使用した。

2.2 スラリー及び改良土の配合条件

スラリーの配合条件を表 2 に示す。本検討ではスラリーの W/C を 40～60%に設定し、特に流動性の低い W/C=40、45%のスラリーにおいては混和剤を使用した。混和剤の添加量はスラリーに分離が生じないことを確認して設定し、分散剤の添加量は C×0.5%、遅延剤の添加量は C×0.1%とした。改良土の作製は、上述したスラリーを土壌に対して固化材の添加量が 300kg/m^3 となるように添加し、試験体を成型した。

2.3 試験項目

試験体の一軸圧縮強さ試験は、JIS A 1216 に準じて実施した。実際の地盤改良工事を考慮すると、練混ぜから 60 分程度はスラリーの流動性を保持することが望ましい。本検討では一軸圧縮強さ試験を除き、材齢 5 分、60 分のスラリーを対象に以下の試験を行った。スラリーの流動性の評価として、塑性粘度の測定を JIS Z 8803:2011 に準拠し行った。スラリーの水和生成物を確認するため粉末 X 線回折(XRD)を行い、水和の進行度合いを確認するため BET 比表面積の測定を行った。

3.試験結果及び考察

3.1 改良土の一軸圧縮強さ及びスラリーの塑性粘度

添加したスラリーの W/C と、改良土の一軸圧縮強さの関係を図 1 に示す。W/C の低下に伴い強度は増加する傾向がみられ、W/C=40%と 60%のスラリーを比較すると、強度は約 20%増加した。本検討の範囲では、分散剤や遅延剤の有無による一軸圧縮強さの顕著な違いは認められず、強度発現への影響は限定的な添加量と判断された。

スラリーの塑性粘度の測定結果を図 2 に示す。分散剤ならびに分散剤と遅延剤を併用したスラリーでは塑性粘度が低下し、流動性改善効果が認められたが、遅延剤単味の使用ではその効果は小さかった。W/C=40%の混和剤を用いたスラリーに着目した塑性粘度の結果を図 3 に示す。本検討の条件では、PC 系分散剤を用いたスラリーは、NS 系分散剤を用いたスラリーよりも流動性が向上し、PC 系の分散性能が若干高かった。さらに分散剤に遅延剤を併用することで流動性の改善が認められたが、NS 系分散剤と組み合わせたほうがより高い流動性を示した。このことから、遅延剤の併用時の流動性の改善効果は分散剤の成分の影響を受けることが明らかとなった。

3.2 XRD によるエトリンガイトの回折強度

分散剤と遅延剤の併用時に流動性の改善効果が異なる原因について検討するため、W/C=40%のスラリーに

表 1　使用材料

使用材料		記号	種類及び物性
水		W	上水道水
固化材		C	高有機質土用固化材
混和剤	分散剤	NS	ナフタレンスルホン酸系
		PC	ポリカルボン酸系
	遅延剤	R	オキシカルボン酸系
土壌		-	火山灰質粘性土、 含水比:83.1%、湿潤密度:1.51g/cm^3

表 2　スラリーの配合条件

配合名	W/C (%)	NS 添加率 (C×%)	PC 添加率 (C×%)	R 添加率 (C×%)
PL40	40	-	-	-
NS40		0.5	-	-
PC40		-	0.5	-
R40		-	-	0.1
NS+R40		0.5	-	0.1
PC+R40		-	0.5	0.1
PL45	45	-	-	-
NS45		0.5	-	-
PC45		-	0.5	-
R45		-	-	0.1
NS+R45		0.5	-	0.1
PC+R45		-	0.5	0.1
PL50	50	-	-	-
PL60	60	-	-	-

キーワード　固化材、スラリー、分散剤、遅延剤、BET 比表面積
連絡先　〒285-8655　千葉県佐倉市大作 2-4-2　太平洋セメント株式会社 中央研究所　TEL. 043-498-3905

© Japan Society of Civil Engineers

ついて、XRD による水和生成物の分析を行った。既往の研究 [2]から、練混ぜから数時間のスラリーの流動性に影響を与える主要な水和生成物としてエトリンガイトが考えられる。測定を行ったところ、本稿では割愛するが、材齢 5 分ではいずれの配合でもエトリンガイトのピークは明瞭に確認されなかった。材齢 60 分におけるエトリンガイトに特徴的なピーク(CuK_{α}、2θ=9°)付近の回折パターンを図 4 に示す。材齢 60 分ではいずれの配合からもエトリンガイトのピークが認められ、中でも PC40、PC+R40 のピークは若干大きく見られたが、その差は不明瞭であり、XRD では材齢 60 分以内の混和剤による水和物の違いを検出するのは困難と判断された。

3.3 BET 比表面積

未水和のセメント粒子と比較してセメントの水和生成物は比表面積が 10 倍以上大きく、水和の進行に伴い比表面積は増加する。そこで XRD では判断が困難な水和の進行度合いについて、BET 比表面積により検討、比較を試みた。

BET 比表面積の測定結果を図 5 に示す。遅延剤の添加により比表面積は低い値を示し、水和の進行が抑制されていることが確認された。ただし、遅延剤の効果は併用する分散剤の種類により異なった。NS+R40 は R40 と同様に、材齢 5 分と 60 分で比表面積の変化は小さく、60 分まで水和の進行が抑制された。一方で、PC+R40 においては材齢 5 分から 60 分にかけて BET 比表面積の顕著な増加が認められ、水和が進行していることが確認された。既往の研究 [3] においても、分散剤無添加や NS を添加した条件と比較して、PC の添加により C_3A の初期水和を促進する結果が報告されている。PC+R40 で粘性の経時的な増加が大きくなった一因として、分散剤が水和を促進する作用を有する場合、遅延剤による水和の抑制効果が得られにくくなったことが考えられた。また、分散剤はセメント粒子の表面に吸着することで効果を発現するが、水和が抑制されず比表面積が増加することで、単位比表面積あたりの分散剤吸着量が少なくなり、流動性が低下した可能性も考えられた。

4.まとめ

低 W/C のスラリーの流動性改善に関する基礎的な知見を得るため、材料の分離や強度の低下を生じない配合の範囲で、分散剤と遅延剤を添加したスラリーについて粘度の測定と水和物の分析を行い、以下の知見を得た。

・分散剤単味の配合と比較して、分散剤と遅延剤を併用することで流動性は改善したが、分散剤の成分によって流動性の保持効果は異なった。

・材齢 60 分以内では混和剤による水和の進行の違いについて、XRD での識別は困難だが、BET 比表面積の差によって検出することができた。

・分散剤が水和の促進作用を有する場合、遅延剤による水和の抑制効果が十分に得られず、流動性の経時変化が大きくなる可能性がある。

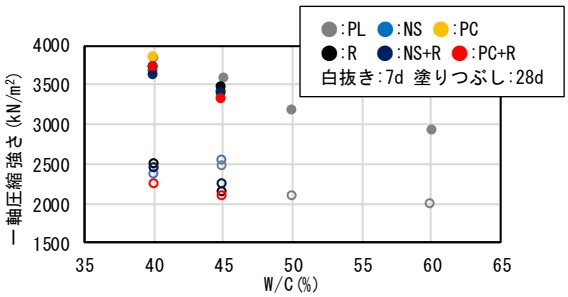

図 1　W/C と一軸圧縮強さ

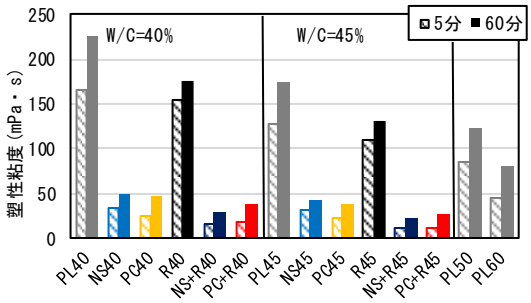

図 2　スラリーの塑性粘度

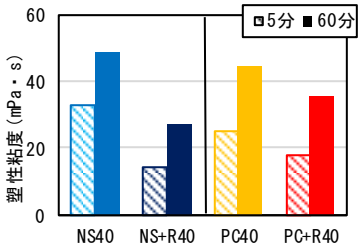

図 3　W/C=40%における
スラリーの塑性粘度

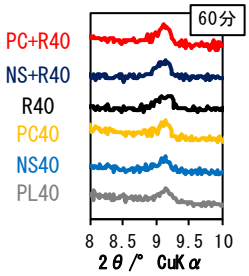

図 4　回折パターン

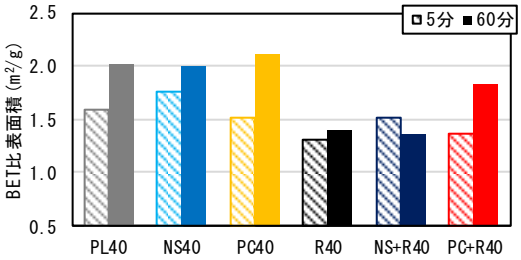

図 5　BET 比表面積

スラリーの流動性改善には、分散作用と遅延作用両面を考慮する必要が考えられ、また分散剤と遅延剤を併用する場合には、各剤の相性を考慮した混和剤の選定が必要である。

参考文献

1) 小須田和貴ほか：各種混和剤を用いた低 W/C 固化材スラリーの流動性に関する検討、第 54 回地盤工学研究発表会講演集、pp.479-480、2019

2) 名和豊春ほか：セメントペーストおよびモルタルの流動性に及ぼすセメントの粉末度および粒度分布の影響、土木学会論文集、No.433、pp.139-147、1991

3) 姜珍圭ほか：C_3A-セッコウ系水和反応に及ぼす分散剤の影響、セメントコンクリート論文集、No.53、1999

© Japan Society of Civil Engineers