

ソイルセメント杭に多量の遅延剤を用いる場合の添加量の設定事例

(株)大林組 正会員 ○村上賢治、鈴木剛、山本忠久、須藤敏巳

1. はじめに

ソイルセメント杭は、土留め壁や止水壁および仮設の支持杭等に利用されており、掘削から芯材建込みの作業が長時間に及ぶ場合においても遅延剤を添加して施工されている。東京都港区の某現場では、線路近接のため作業時間が限定され、杭の施工は数日に及ぶことから、遅延剤を多量に添加する必要がある。当現場の強度管理も一般的な材令 28 日強度で管理することとなっていたため、遅延剤の効果により強度発現の途中である 28 日強度で必要強度を満足し、かつ、数日間の流動性を確保できるセメントミルクの配合（セメント量、遅延剤量）を設定する必要が生じた。本稿では、当現場において遅延剤の添加量を設定した際に得られた知見について報告する。

2. ソイルセメント杭の施工方法と課題および対策

当現場では、ソイルセメント杭を機械攪拌式地盤改良機（弊社開発 eーコラム工法®）にて施工する予定であったが、掘削と同時にセメントミルクを添加し、原位置攪拌混合する従来の施工手順では、以下の課題があった。

- ①礫層の掘削が必須で、掘削に想定以上の時間を要する場合もあり、ソイルセメントの硬化が進行し、芯材が高止まりするリスク。
- ②作業時間の制限により、セメントミルク添加後の芯材建込みに数日を要するため、ソイルセメントが硬化して、芯材の建込みが不能となるリスク。

課題①の対策として、セメントミルクを添加し、原位置攪拌混合を行う前に、硬化しないベントナイト泥水を添加しながら所定の深度まで掘削し、掘削孔内を比重 1.5 程度の均一な泥土とするステップ（先行掘削）を追加する。その後、所定量のセメントミルク（W/C=70%）を添加しながら、泥土と攪拌混合してソイルセメント杭を造成する。

また、課題②の対策として、数日間の流動性を確保するためセメントミルクに遅延剤を添加する。遅延剤の添加量を設定するに当たり、以下の 2 点を確認するための配合試験（室内実験①②）を実施し、材令 28 日の必要強度および作業時間内の流動性を確保するセメントミルクの配合（セメント量、遅延剤添加量）を設定した。

- ・遅延剤添加量と材令 28 日における強度低下率の関係
- ・遅延剤添加量とソイルセメントのフロー値の経時変化との関係

ここで、強度低下率とは「遅延剤を添加した場合の強度」を「遅延剤を添加しない強度」で除した値を示す。

3. 遅延剤の添加による材令 28 日の強度低下率の確認（室内実験①）

当現場は粘性土が主体であり、遅延剤はセメント以外の粘土鉱物とも反応するため、セメント量に対する遅延剤量の重量比が同じ場合もセメント量の違いにより強度低下率が異なることが想定でき、供試体 1-1 と 1-2 を作成した（表-1）。また、粘土鉱物量の違いにより、遅延剤添加量と強度低下率の関係は異なることも想定でき、粘土鉱物量の異なる泥土の供試体 1-1、1-2 と 2-1、2-2 を作成した（表-1）。

各供試体の一軸圧縮試験結果から、遅延剤添加量と材令 28 日の強度低下率の関係を示したグラフを図-1 に示す。室内実験①の結果より、以下の事項を確認した。

- ・強度低下率は、遅延剤のセメント量に対する重量比ではなく、総添加量に依存する。
- ・泥土（粘土鉱物量）により、遅延剤の添加量と強度低下率の関係は異なる傾向を示す。

キーワード ソイルセメント杭、遅延剤添加量、一軸圧縮強度、流動性、機械攪拌式地盤改良機
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 大林組土木本部生産技術本部設計第四部
TEL: 03-5769-1308

表-1 供試体の配合一覧

供試体 No	泥土 kg	セメント kg	水 kg	遅延剤	
				kg	%※
1-1_1	1,541	400.0	280.0	0.0	(0.0)
1-1_2	1,541	400.0	269.3	12.8	(3.2)
1-1_3	1,541	400.0	266.7	16.0	(4.0)
1-1_4	1,541	400.0	264.7	18.4	(4.6)
1-2_1	1,541	500.0	350.0	0.0	(0.0)
1-2_2	1,541	500.0	336.7	16.0	(3.2)
1-2_3	1,541	500.0	333.3	20.0	(4.0)
1-2_4	1,541	500.0	330.8	23.0	(4.6)
2-1_1	1,500	400.0	274.7	6.4	(1.6)
2-1_2	1,500	400.0	273.3	8.0	(2.0)
2-1_3	1,500	400.0	272.0	9.6	(2.4)
2-1_4	1,500	400.0	270.6	11.3	(2.8)
2-2_1	1,500	284.0	191.2	9.1	(3.2)
2-2_2	1,500	284.0	190.8	9.7	(3.4)
2-2_3	1,500	284.0	190.3	10.2	(3.6)
2-2_4	1,500	284.0	190.0	10.5	(3.7)

※ セメント量(kg)に対する遅延剤量(kg)の重量比

4. 遅延剤の添加によるフロー値の経時変化の確認（室内実験②）

ソイルセメントのフロー値は遅延剤添加量に関係することが知られており、その関係を調べるため、供試体 1-1 と 1-2 を作成した（表-1）。遅延剤添加量とフロー値の経時変化の関係を図-2 に示す。

室内実験②の結果より、ソイルセメントのフロー値の経時変化も遅延剤の総添加量に依存することを確認した。

5. セメントミルク配合の設定手順

室内実験①②の結果を基に、ソイルセメント杭に遅延剤を添加する場合に、作業時間内の流動性および材令 28 日の強度を満足するためのセメントミルク配合（セメント量、遅延剤添加量）を設定した手順を図-3 に示す。

i) 原位置土から作成した泥土に遅延剤を添加せず、セメント量を変えて作成した複数の供試体の一軸圧縮強度から図-3(a) を作成し、強度低下率を想定した上で必要強度を満足するセメント量を設定する（図-3(a)）。

ii) 上記 i) で設定したセメント量（400kg/m³）の供試体と iv) で強度不足と判定された場合に備え、セメント量を割増した供試体（ここでは、500kg/m³）のそれぞれに対し、遅延剤添加量を変化させて室内実験①②を実施し、図-3(b)、図-3(c)を作成する。

iii) 図-3(b) から必要な流動性（ここでは、48h 後のフロー値 160 以上）を満足する配合を選定する（セメント 400kg/m³、遅延剤 16kg/m³）。

iv) 図-3(c) から iii) で選定した遅延剤量（16kg/m³）において、材令 28 日の強度低下率を確認（ここでは、0.6）し、図-3(a) で設定した一軸圧縮強度に強度低下率を乗じた値（ $0.6 \times 3.8 = 2.3 \text{ N/mm}^2$ ）が材令 28 日の必要強度（ 2.0 N/mm^2 ）を満足するかを確認する。満足しない場合は、iii) においてセメント量を割増した配合を再選定する。

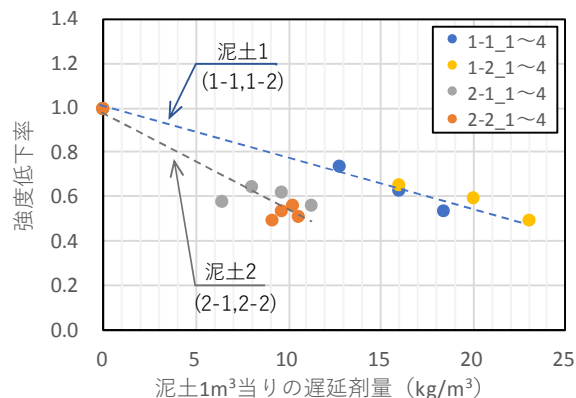


図-1 遅延剤添加量と強度低下率

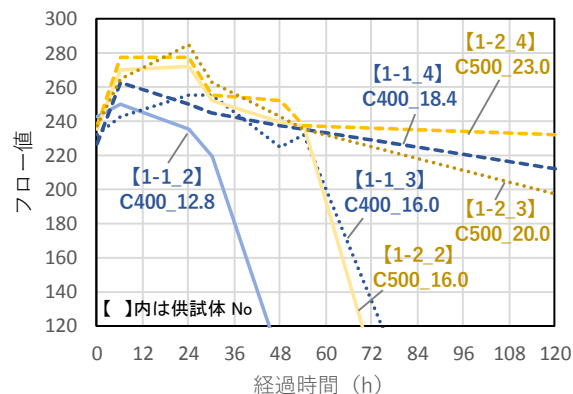


図-2 遅延剤添加量とフロー値の経時変化

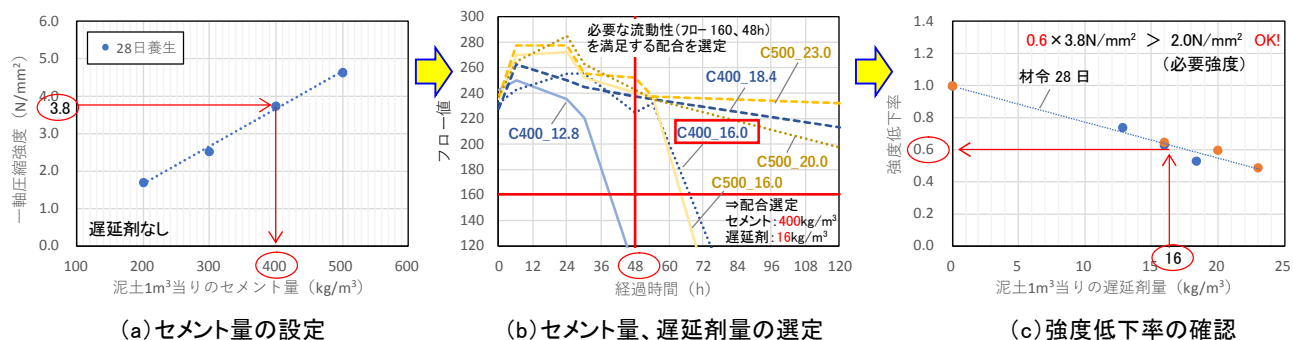


図-3 セメントミルク配合の設定手順

6. まとめ

コンクリートの遅延剤添加量は、セメントに対する重量比で設定されるが、粘土鉱物を含むソイルセメントの遅延効果（強度低下率、フロー値の経時変化）は、セメントに対する遅延剤の重量比に依存せず、遅延剤の総添加量に依存し、泥土（粘土鉱物量）により異なることも分かった。また、遅延剤の添加量は図-3 の手順により設定できることも分かった。ソイルセメント杭の強度を材令 28 日以外（例えば 91 日）で管理することが承諾された場合、室内実験①②を管理する材令で実施し、図-3(a)、図-3(c)を作成すれば、上記と同じ手順でセメント量、遅延剤量を設定でき、材令 28 日で管理する場合よりもセメント量を削減することも可能である。

今後、駅の改修工事などは増加する事が想定され、ソイルセメント杭の施工に多量の遅延剤が必要となる場合も増加すると考えられるため、本稿の取り組みが同種工事の参考になれば幸いである。