

スラリー状膨張性固化材を用いた柱状改良体の諸性状に関する研究

東北工業大学 学生会員 小淵浩永 小松真也
 同上 正会員 伊藤孝男

1. はじめに

膨張性固化材(スラリーマイト)は「高炉セメント」をベースに「生石灰(粒径1mm以下の粉末)」を添加し、混和剤として生石灰の遅延剤とセメントの凝結遅延剤、減水剤を用いることにより、水で混合攪拌後、約1時間後に水和反応が開始する膨張性固化材である。この材料は、[単独杭](支持杭)・[混合杭](改良杭) および地盤の空隙充填材などとして用いられる。

本研究では、より効果的な構成材の配合を把握することを目的に、「高炉セメント」、「生石灰」の配合率を一定とし、混和剤である「遅延剤」、「減水剤」の添加率を変化させ実験を行った。改良効果については走査電子顕微鏡(以降SEMと称す)により微視的観点から検討を行うと共に、エネルギー分散形分光器(以降EDSと称す)を用いX線回折を行い、構成元素分析から改良対象土と改良土の化合物含有量の比較を行った。本文では室内実験の結果より、膨張性固化材(スラリーマイト)の材料特性および改良効果の基本性状についてとりまとめた。

2. 実験方法

スラリー状膨張性固化材の特徴である膨張・硬化作用について、室内実験土槽を用い「深層混合処理工法、技術マニュアル」に準拠し、[単独杭]、[混合杭]の性状について実験検討を行った。

(1) 固化材の種類と構成材

本研究に用いた固化材は、膨張量の抑制・硬化強度など、施工性を考慮した構成材の配合を把握するため、「高炉セメント」、「生石灰」の配合率を一定とし、「遅延剤」、「減水剤」の添加率を変化させた。また、[単独杭]と[混合杭]について、スラリーの構成が異なる各3パターンを作製した(表1)。

(2) 単独杭・混合杭の膨張圧と温度の測定方法(φ:16cm, H:30cm 供試体)

本研究で用いた[単独杭]、[混合杭](各3パターン)について、膨張圧測定試験土槽を作製し、水和反応による膨張圧と温度変化を「ボルト型圧力計(ひずみゲージ式)」および「防水型デジタル温度計」により測定した。

(3) 養生土槽の作製(φ:5cm, H:10cm 供試体)

養生土槽は対象土とした『ローム』を使用し、最適含水比30%の対象土に対して、含水比を約40%になるように調整し、ゆる詰め状態になる様に厚さ10cmの土槽を3つ作製した。[単独杭]および[混合杭]用の削孔は、肉厚の薄い外形φ:5cmのシンウォールチューブを圧入し削孔した。

(4) 供試体の作製および実験項目(φ:5cm, H:10cm 供試体)

表1に示した配合構成のとおり、単独杭は土槽に削孔した孔の下部よりスラリーを注入打設し、供試体を作製した。混合杭は『ローム』に3種類のスラリーを土1m³あたり300kg添加混合した改良土を削孔しておいた孔に、均一に突き固め、上から被覆土を敷き均し荷重板を載荷後、所定日数(7、14、28日)養生を行い、各養生後に単位体積重量、圧縮強度、膨張率を測定した。[混合杭]に対しては物理試験(土粒子の密度、粒度、液性・塑性、締め固め試験)も行った(表2)。

表1 固化材の基本配合

単独杭	配合A		配合B		配合C	
	配合率 (%)	配合量	配合率 (%)	配合量	配合率 (%)	配合量
混合土	0	0g	0	0g	0	0g
高炉セメントB種	90	4500g	90	4500g	90	4500g
粉末生石灰	10	500g	10	500g	10	500g
ジエチレングリコール(DEC)	1	5ml	1	5ml	1	5ml
フローリックT(FLUICKT)	1	50ml	1	50ml	0	0ml
フローリックSF500R	1	50ml	0	0ml	1	50ml
添加水	40	2000ml	43	2150ml	40	2000ml
Pポート値		49sec		55sec		55sec

混合杭	配合A		配合B		配合C	
	配合率 (%)	配合量	配合率 (%)	配合量	配合率 (%)	配合量
混合土		12100g		10900g		10900g
高炉セメントB種	90	2250g	90	1980g	90	1980g
粉末生石灰	10	250g	10	220g	10	220g
ジエチレングリコール(DEC)	1	2.5ml	1	2.2ml	1	2.2ml
フローリックT(FLUICKT)	1	25ml	1	22ml	0	0ml
フローリックSF500R	1	25ml	0	0ml	1	22ml
添加水	40	1000ml	43	946ml	40	880ml
Pポート値		49sec		55sec		55sec

表2 物理的性質・力学的特性(1週後)

試験項目	混合土		混合杭7日養生		
	配合A	配合B	配合A	配合B	配合C
自然含水比 Wo (%)	9.3	29.8	33.3	37.5	37.5
土粒子の密度 s (g/cm ³)	2.659	2.656	2.646	2.684	2.684
粒度特性	確分 (%)	3.6	7.1	6.1	23.7
	砂分 (%)	44.2	47.2	47.2	37.7
	シルト分 (%)	42.4	41.6	40.2	24.9
	粘土分 (%)	9.8	4.1	6.5	13.7
	均等係数 Uc	29	20	44	163
コンシステンシー	液性限界 LL (%)	-	-	-	-
	塑性限界 PL (%)	-	-	-	-
締め固め特性	液性指数 PI	NP	NP	NP	NP
	締め固め方法				
	最大乾燥密度 dmax (g/cm ³)	1.370	1.260	1.276	1.260
最適含水比 Wopt (%)	30.0	39.0	38.7	39.4	
一軸圧縮強度(静的締め固め) qu (kN/m ²)	10.8	164.9	82.4	62.6	

表3 単独杭・混合杭の膨張率・圧縮強度

単独杭	打設時			打設後			膨張率 (%)	圧縮強度 (kN/m ²)
	D (cm)	H (cm)	V (cm ³)	D' (cm)	H' (cm)	V' (cm ³)		
配合A	16.00	30.00	6031.9	18.51	30.00	8072.8	33.8	7200
配合B	16.00	30.00	6031.9	17.56	30.00	7265.4	20.4	16500
配合C	16.00	30.00	6031.9	19.61	30.00	9060.8	50.2	8400

混合杭	打設時			打設後			膨張率 (%)	圧縮強度 (kN/m ²)
	D (cm)	H (cm)	V (cm ³)	D' (cm)	H' (cm)	V' (cm ³)		
配合A	16.00	30.00	6031.9	17.21	30.00	6978.7	15.7	430
配合B	16.00	30.00	6031.9	17.00	30.00	6809.4	12.9	264
配合C	16.00	30.00	6031.9	17.90	30.00	7549.5	25.2	159

3. 結果および考察

(1) 単独杭・混合杭の温度・膨張圧・膨張率・圧縮強度 (: 16cm, H : 30cm)

単独杭、混合杭ともに、膨張性固化材の水和反応に伴う反応温度の順は配合 C < 配合 B < 配合 A、膨張圧では配合 A < 配合 B < 配合 C、28 日養生後の膨張率では配合 B < 配合 A < 配合 C の順となり、温度・膨張圧・膨張率では、配合ごとの大小関係の傾向は単独杭・混合杭ともに同じである。また、本研究の構成材の配合で発生する反応温度は単独杭で約 43 前後、混合杭で約 30 前後となることが分かった。膨張圧については単独杭に比べると混合杭の方が早く膨張圧の最高値に達し、膨張率についてはすべての配合で混合杭は単独杭の約半分の膨張率が確認された(表 3)。

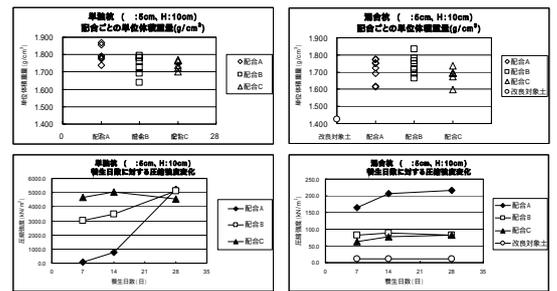


図 1 単独杭

図 2 混合杭

単位体積重量・圧縮強度

単位体積重量・圧縮強度

(2) 単独杭・混合杭の単位体積重量・圧縮強度・膨張率 (: 5cm, H : 10cm)

単位体積重量に関しては、改良対象土の 1.425g/cm³ に対して、すべての混合杭で改良対象土以上 (1.615 g/cm³ ~ 1.833 g/cm³) の単位体積重量を確認した。圧縮強度については、単独杭ではすべての配合で 28 日養生の圧縮強度が同程度の結果となったが(図 1) 混合杭では配合 A において他の配合よりも高い強度となった(図 2)。

(3) 走査電子顕微鏡 (SEM) による検討

微視的観点から強度発現を確認するため、一軸圧縮試験の結果より、7 日養生から 28 日養生にかけ、圧縮強度の変化が大きかった単独杭の配合 A について、SEM 観測により養生日数ごとの変化について比較検討を行った。7 日養生では、1 μm 以下の結晶がかるうじて確認できる程度であったが(写真 1) 28 日養生では長さ 20 μm、太さ 4 μm 程度の大きく成長したエトリンタイトの結晶が生成されていた(写真 3)。SEM 写真より養生日数の経過とともにエトリンタイトがより太い結晶へと成長する過程と、針状結晶が土粒子間に架橋を形成しより密になる過程を確認した。以上のことより、エトリンタイトの形成過程による改良効果を微視的観点から確認することができた。

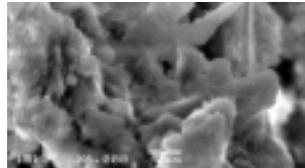


写真 - 1 7 日養生

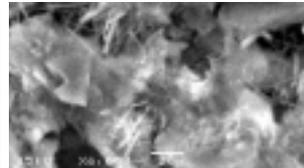


写真 - 2 14 日養生

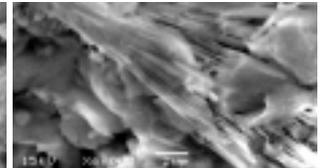


写真 - 3 28 日養生

(4) エネルギー分散形分光器 (EDS) による検討

膨張性固化材の改良効果について、X 線回折を行い構成元素分析から、改良対象土と改良土の化合物含有量の比較を EDS により検討した。SEM 観測同様、単独杭の配合 A について比較を行った結果、7 日養生と 28 日養生のスペクトルグラフを比較すると、Al、Si、Ca の増加が見られた。このことより、養生中に Ca 系塩基性の水和反応が進行していることが推察される。

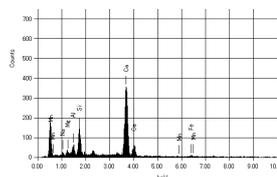


図 - 3 7 日養生

スペクトルグラフ

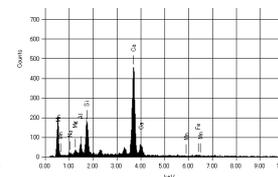


図 - 4 14 日養生

スペクトルグラフ

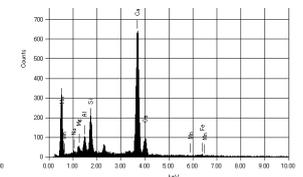


図 - 5 28 日養生

スペクトルグラフ

4. まとめ

実験結果より、高炉セメントの凝結遅延剤によって膨張率・膨張圧のコントロールができ、減水剤によって圧縮強度が調整され目的に応じた品質の改良杭の施工が可能であることが判明した。改良効果について走査電子顕微鏡により微視的観点から検討、およびエネルギー分散形分光器を用い X 線回折を行った結果、養生日数ごとに Ca 系塩基性の水和反応が進行していることから、改良効果を確認することができた。今後は、単独杭・混合杭それぞれに対してより効果的な配合材による、現場実験を通し施工性などに関する調査・検討を行う必要がある。

参考文献：鈴木紀彦、佐々木徳彦、栗原益男、堀田昭義、伊藤孝男、村田隆：膨張性固化材 (スラリーマイト) の遅延作用が諸性状に及ぼす影響について、土木学会第 60 回年次学術講演会、第 部門、pp.995-996、2005.9