

## 現地発生土の細粒分がセメント系材料の発熱特性に及ぼす影響

鹿島建設(株) 正会員 ○室野井敏之 沢 一馬 藤田祐作 濱田那津子 取違 剛 坂井吾郎  
東京工業大学 物質理工学院 材料系 名誉教授 正会員 坂井悦郎

### 1. はじめに

現地発生土の活用方法の1つとしてセメントを混合して改良土とし、盛土等に用いることが挙げられる。しかし、コンクリートとは異なり、混和剤を使用することがほとんどないセメント改良土においては、用いる現地発生土によっては短時間で施工性が著しく低下するものも存在する。本検討では、その変化の原因とメカニズムを解明する検討の一環として、反応に伴う熱の変化に着目した。セメントとの混合による施工性の低下が確認されている現地発生土を対象に、施工性の変化に特に影響を及ぼすと考えられる75 $\mu\text{m}$ 以下の細粒分を使用し、カロリーメータによる水和熱測定および簡易断熱試験を行った。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料

表-1に使用材料を示す。現地発生土には、図-1に示すようにセメントとの混合直後から施工性（締固め度）の低下が確認されている新第三紀火山岩類から成る段丘堆積物（以下、現地発生土）を選定し、その75 $\mu\text{m}$ 以下（記号H）をふるい分けて使用した。また、比較としてセメント強さ試験用標準砂（セメント協会）を粉砕し75 $\mu\text{m}$ 以下にしたもの（記号S）を使用した。表-2に細粒分の化学組成および物性値を示す。標準砂に比べて現地発生土の方が $\text{Al}_2\text{O}_3$ を多量に含む組成であり、比表面積、強熱減量も大きかった。なお、遅延剤は施工性の低下を抑制する目的で使用した。

#### 2.2 試験ケース

本検討では、セメント改良土の75 $\mu\text{m}$ 以下を構成するモルタル分を対象とした。配合は、含水比7%程度、細粒分が5%程度含まれる礫質土に80 $\text{kg}/\text{m}^3$ のセメントを混合することを想定し、水セメント比168%のペーストに75 $\mu\text{m}$ 以下の細粒分を水粉体比75%となるように外割り添加した。試験ケースは、細粒分として現地発生土を使用したケース（H75）、標準砂を粉砕したものを使用したケース（S75）、および現地発生土に対して施工性の低下抑制を目的として、遅延剤をセメントに対して1%もしくは3%添加したケース（H75-T1%, H75-T3%）とした。なお、環境温度は20 $^{\circ}\text{C}$ と30 $^{\circ}\text{C}$ とした。

#### 2.3 試験方法

コンダクションカロリーメータによる水和熱測定は、伝導型熱量計を用い、積算発熱量から発熱速度を算出した。なお、環境温度は20 $^{\circ}\text{C}$ とした。また、図-2に示す200 $\times$ 200 $\times$ 300mmのスタイロフォーム内中心に350g( $\phi$ 50 $\times$ 80mm)の試料を設置して簡易的に断熱状態を作り出し、熱電対にて中心温度の計測を行った。なお、簡易断熱試験におけるモルタルの打込み温度を20 $^{\circ}\text{C}$ と30 $^{\circ}\text{C}$ とした。

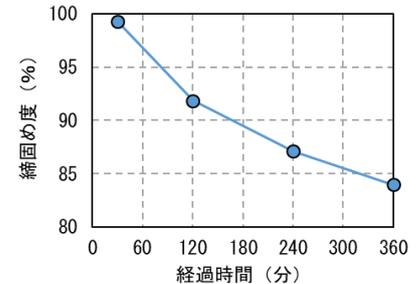


図-1 締固め度の経時変化

表-1 使用材料

記号	使用材料
W	精製水
P	C 普通ポルトランドセメント 密度：3.16 $\text{g}/\text{cm}^3$
	H 段丘堆積物 75 $\mu\text{m}$ 以下 絶乾密度：2.55 $\text{g}/\text{cm}^3$
	S 標準砂 粉砕品 75 $\mu\text{m}$ 以下 絶乾密度：2.64 $\text{g}/\text{cm}^3$
T	遅延剤（ギカルボン酸塩）

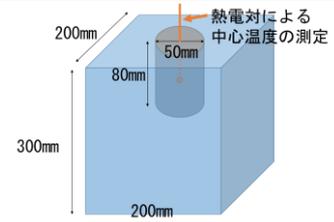


図-2 簡易断熱試験機

表-2 主要な元素の化学組成比および物性値

記号	化学組成比 (%)										比表面積 ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	強熱減量 (%)
	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$		
H	1.44	1.56	22.5	60.5	0.254	1.57	1.34	0.863	0.241	9.06	35.7	8.8
S	—	—	0.889	98.2	0.143	0.037	0.103	0.463	0.004	0.084	0.314	0.4

キーワード：細粒分、簡易断熱試験、発熱速度、カロリーメータ

連絡先 〒998-0802 宮城県仙台市青葉区二日町1-27 鹿島建設(株)東北支店土木部 TEL 022-261-7111

### 3. 実験結果

#### 3.1 カロリーメータによる発熱特性

図-3に注水から1時間までの発熱速度の測定結果を示す。標準砂を用いた「S75」の発熱速度は注水から0.1時間で第一次ピークが現れることを確認した。これは、セメント中のアルミネート相 ( $C_3A$ ) が石膏と反応しエトリンガイトが生成することによるものと考えられる。一方、現地発生土を用いた「H75」の注水直後における発熱速度のピーク値は「S75」に比べて2.5倍程度大きくなることを確認した。このことから、注水から0.1時間の第一次ピークは、セメントの反応に加えて現地発生土に含まれる鉱物が溶解していると推察される。また、現地発生土に遅延剤を添加した「H75-T1%」および「H75-T3%」は、「H75」とほぼ発熱速度が変わらず、遅延剤によって注水から0.1時間の発熱速度は抑制されない結果となった。図-4に注水から24時間までの発熱速度の測定結果を示す。「S75」は、一般的なセメントの反応と同様に注水から約10時間で第二次ピークがあることを確認した。この発熱は  $C_3A$  およびエトリンガイトからのモノサルフェートの生成、もしくは、 $C_3S$  の水和によるC-S-Hの生成によるものと考えられる。一方、「H75」は注水から2時間で第二次ピーク、6時間で第三次ピークがあり、「S75」に比べてこれらの反応が著しく促進されることを確認した。このことから、現地発生土は一般的なセメントとは異なる反応により、施工性が著しく低下すると推察される。また、「H75-T1%」は注水から4時間で第二次ピーク、8時間で第三次ピークがあり、遅延剤をセメントに対し1%添加することによって、反応を1~2時間遅らせることができることを確認した。なお、「H75-T3%」は、同図には示せていないが、第二次ピークが42時間、第三次ピークが48時間であった。遅延剤は難溶性の被膜をセメント粒子上に形成し、セメントと水との接触を抑制するものであり、遅延剤により現地発生土とセメントの反応を抑制できると考えられる。

#### 3.2 簡易断熱試験における温度上昇量

図-5に環境温度20°Cにおける中心温度の推移を示す。標準砂を用いた「S75」は注水から12時間において  $C_3S$  の水和によると考えられるピークが発生しているのに対し、現地発生土を用いた「H75」は注水から2時間と6時間において「S75」よりも高いピークを確認した。一方、遅延剤を用いた「H75-T3%」は注水から数時間での高いピークが見られず、遅延剤により反応を抑制できていることを確認した。これらの結果はカロリーメータによる発熱速度の結果と同様の傾向である。図-6に環境温度30°Cにおける中心温度の推移を示す。「H75」は20°C環境下で確認した第二次、第三次ピークが重なり、温度上昇量も20°C環境下に比べて大きくなることを確認した。また、「H75-T3%」は20°C環境下と同様に発熱を抑制できていることを確認した。このことから、現地発生土とセメントの反応は、温度依存性があるものの、遅延剤をセメントに対して3%添加することで反応を大幅に遅延させることができると考えられる。

### 4. まとめ

セメント改良土に供する現地発生土の細粒分に着目し、発熱特性の把握を行った。その結果、本実験で使用した現地発生土はセメントとの混合により生じる何らかの化学的な反応を有しており、その反応により施工性が低下すると推察された。また、遅延剤により反応を遅らせることが可能であることを確認した。

**参考文献** 1) 青山要ら：土の物理化学的性質が改良土の初期性状と強度に及ぼす影響，土木学会論文集 No.721,VI-57,pp.207-219,2002.

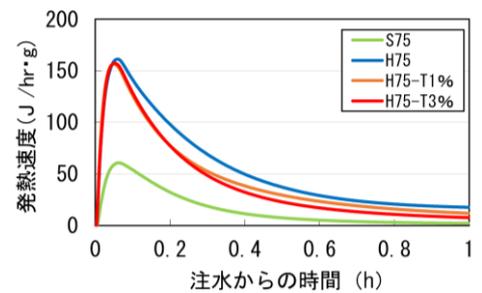


図-3 発熱速度結果 (1時間まで)

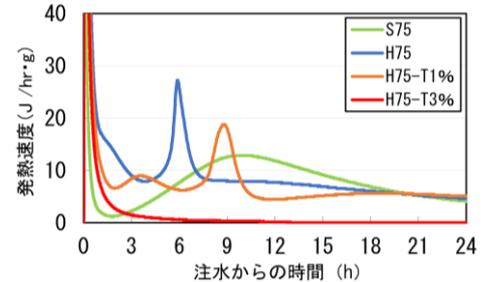


図-4 発熱速度結果 (24時間まで)

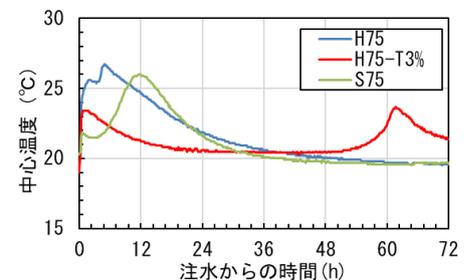


図-5 簡易断熱結果 (20°C環境)

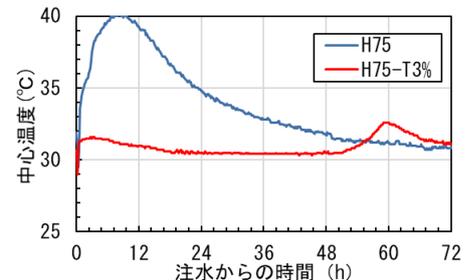


図-6 簡易断熱結果 (30°C環境)