

現地発生土が CSG の施工性に及ぼす影響

Effect of Locally Generated Soil on the Workability of CSG Materials

菅谷 那津子 向 俊 成 取 違 剛
渡 邊 賢 三 坂 井 吾 郎

要 約

CSG 工法は現地発生土とセメント、水を混合して盛土やダムの堤体に用いる工法であり、現地発生土の性質によっては短時間で施工性が著しく低下する場合がある。本検討では新第三紀火山岩類から成る現地発生土を対象に、CSG の施工性の確認を目的として試験混合を行った結果、混合後から施工性が著しく低下し、締固め度の低下とともに強度が小さくなることを確認した。そこで、その変化の原因とメカニズムを解明するために現地発生土中の $75\mu\text{m}$ 以下の細粒分に着目し、レオロジー特性、発熱特性、鉱物組成の把握を行った。その結果、本検討で使用した現地発生土はセメントとの混合によりエトリングaitを生成し、自由水が消費されることを一因として施工性が低下することを確認した。また、施工性の低下を抑制するにはセメントの水和反応を遅らせる遅延剤が有効であることを明らかにした。

目 次

- I. はじめに
- II. CSG における施工性の確認
- III. 施工性低下のメカニズム解明に向けた検討
- IV. おわりに

I. はじめに

我が国では、梅雨期や台風期に豪雨が集中するという厳しい気象条件にあり、豪雨による深刻な災害が多発している。このような中で治水の一つの手法としてダムによる洪水調整が求められている。ダムは堤体材料により、フィルダム、コンクリートダムなどがあり、近年、環境保全とコスト縮減の観点から台形 CSG ダムが注目を集めている。台形 CSG ダムに用いられる CSG (Cemented Sand and Gravel) は、切土などに伴って副次的に発生した大量の土砂 (以下、現地発生土と称する) を分級、粒度調整、洗浄をすることなく、セメント、水を混合して、盛土やダムの堤体等に用いるものである¹⁾。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ため、用いる現地発生土の性質によっては短時間で施工性が著しく低下する事例が報告されている²⁾。Photo 1 にセメントとの混合後に施工性が低下した CSG の一例を示す。混合から 3 時間で CSG 表面の水分がな

くなり、手で握ってもひと塊にならない状態となっている。CSG は混合から締固めまでに運搬など一定の時間を要するため、施工性が低下した CSG では所定の密度および強度を得ることが困難であると考えられる。そこで、本検討ではその変化の原因を検証するために、CSG の施工性の低下が見られた材料を対象として、まず、混合後所定の時間ごとに供試体を作製し、締固め度と強度を確認した。次に、メカニズムの解明を目的として、施工性の変化に特に影響を及ぼすと考えられる $75\mu\text{m}$ 以下の細粒分に着目し、モルタルフローおよび回転粘度計によるレオロジー特性の測定³⁾、伝導型カロリメータによる発熱速度および簡易断熱試験による発熱特性の把握⁴⁾、粉末 X 線回折 (以下、XRD と称する) による鉱物組成の評価⁵⁾を行い、各種考察を行った。

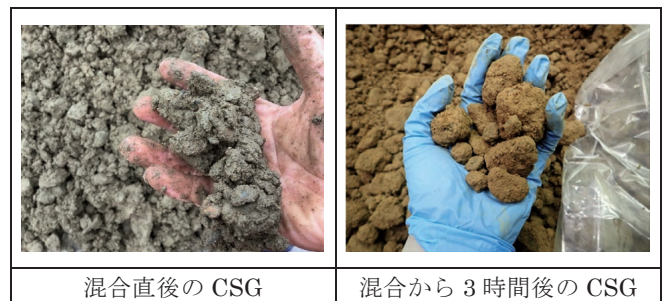


Photo 1 施工性が低下した CSG
(CSG with Reduced Workability)

キーワード: 現地発生土, CSG, 施工性, レオロジー特性, 発熱特性, 鉱物組成

Keywords: local soil, CSG, workability, rheological characteristics, heat generation characteristics, mineral composition

II. CSGにおける施工性の確認

1. 実験概要

(1) 使用材料

Table 1 に使用材料を示す。現地発生土には新第三紀火山岩類から成る最大粒径寸法 80mm の段丘堆積物および粒度調整用として原石山破砕材をあらかじめ 4 : 6 に混合したものを使用した。なお、混和剤としてコンクリート用の AE 減水剤および遅延剤、土質・地盤用の分散剤を使用した。

(2) 試験ケースおよび配合

Table 2 に試験ケースおよび CSG の配合を示す。試験ケースは、単位水量 105kg/m³、単位セメント量 80kg/m³ で水セメント比 131% とした配合において、混和剤を添加しないケース、AE 減水剤をセメントに対して 1% 添加したケースおよび分散剤をセメントに対して 3% 添加したケースとした。さらに、施工性改善を目的として単位水量 135kg/m³、単位セメント量 130kg/m³ とセメントペーストを増量することで充填しやすくした水セメント比 104% とした配合において、混和剤を添加しないケース、遅延剤をセメントに対して 2% 添加したケースを検討対象とした。

(3) 実験方法

CSG の混合には傾動式の公称容量 200ℓ のミキサを使用した。ミキサにセメントおよび現地発生土を投入し、1 分間混合を行った後、現地発生土の表面水率を差し引いた水を投入し、さらに 2 分間混合した。混合後、40mm のふるいで試料をウェットスクリーニングし、φ125mm の鋼製モールドに試料を 2 層に分けて詰め、1 層ごとにランマで 1 分間締め固めて供試体採取を行った。供試体は混合後、30 分、120 分、240 分、360 分で採取した。供試体採取後に重量を測定し、供試体密度と理論密度から締固め度を算出するとともに、材齢 28 日で JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を行った。

2. 実験結果

(1) 締固め度

Fig.1 に締固め度と経過時間の関係を示す。混和剤を添加していない「W/C131%」は、経過時間 30 分の締固め度が 97% であり、120 分では 92%、240 分では 88% と混合後から締固め度が著しく低下した。AE 減水剤および分散剤を添加した「W/C131%-S1%」、「W/C131%-K3%」も同様の傾向であった。なお、水セメント比 131% の配合については 240 分以降に固結し、供試体を作製できなかった。また、「W/C104%」は、経過時間 30 分の締固め度が 99% であり、120 分では 98%、240 分では 96%、360 分では 91% となった。単位水量と単位セメント量の増量により経過時間 30 分の締固め度は改善するものの、締固め度の低下を抑制できないことを確認した。遅延剤を添加した「W/C104%-AD3-2%」は、経過時間 360 分でも締固め度が 99% であり、遅延剤が締固め度の低下を抑制できることを確認した。実際の施工で

Table 1 使用材料
(Properties of Concrete Materials)

材 料	記号	摘 要
水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16 (g/cm ³)
現地発生土	G1	段丘堆積物, 原石山破砕材の混合品 質量比 4 : 6, 表乾密度: 2.39 (g/cm ³) 80~40mm : 40.9%, 40~20mm : 15.1% 20~10mm : 9.35%, 10~5mm : 26.9% 5mm 以下 : 7.75%
AE 減水剤	AD1	リガニンスルホン酸エーテル系化合物
分散剤	AD2	ポリカルボン酸エーテル系化合物
遅延剤	AD3	オキカルボン酸塩

Table 2 試験ケースおよび配合
(Test Case and Mixtures)

試験ケース	W	C	G	混和剤
W/C131%	105	80	2074	—
W/C131%-AD1-1%				AD1 : C×1%
W/C131%-AD2-3%				AD2 : C×3%
W/C104%	135	130	1965	—
W/C104%-AD3-2%				AD3 : C×2%

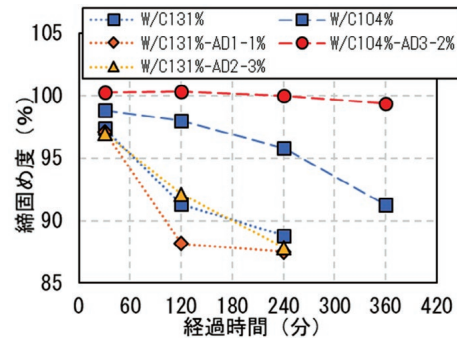


Fig.1 締固め度と経過時間の関係
(Relationship between Compaction Degree and Elapsed Time)

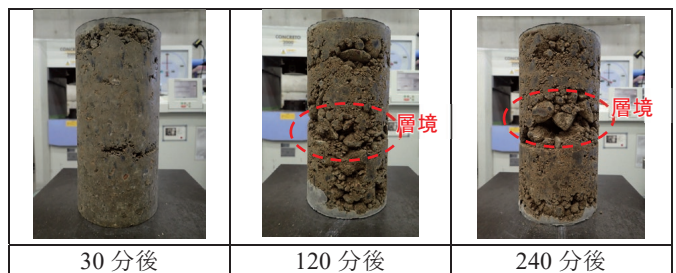


Photo 2 硬化後の供試体の外観 (W/C131%)
(Appearance after Curing (no admixture))

は混合から締固めまで数時間程度必要であることが予想されるのでその間の性状を維持することが望ましいと考えられる。

(2) 硬化後の外観

Photo 2 に混和剤を添加していない「W/C131%」の硬化後の供試体の外観を示す。経過時間 120 分では、供試体の 1 層目と 2 層目の層境部分に CSG のモルタルが充填されていない

い部分が確認され、240分ではその傾向がより顕著であった。

(3) 圧縮強度

Fig.2 に圧縮強度と経過時間の関係を示す。「W/C131%」は、経過時間 30 分の圧縮強度が 2.7N/mm²であったのに対し、240分では 2.0N/mm²となり、締固め度と同様に経過時間とともに圧縮強度が低下することを確認した。AE 減水剤および分散剤を添加した「W/C131%-AD1-1%」, 「W/C131%-AD2-3%」も同様の傾向であった。また、「W/C104%」は、経過時間 30 分の圧縮強度が 7.0N/mm²であり、120分では 6.0N/mm², 240分では 5.5N/mm², 360分では 3.7N/mm²と水セメント比を小さくすることにより経過時間 30 分での強度は大きくなるものの、経過時間とともに圧縮強度が低下することを確認した。遅延剤を添加した「W/C104%-AD3-2%」は、経過時間 30 分の圧縮強度が 7.4N/mm²であり、120分では 8.1N/mm², 240分では 8.4N/mm², 360分では 8.5N/mm²と経過時間 360分まで圧縮強度が低下しないことを確認した。

締固め度と圧縮強度の結果から、本検討で使用した現地発生土は混合後から著しく施工性が低下し、単位水量および単位セメント量の増量では施工性の低下を抑制できないことを確認した。また、AE 減水剤や分散剤では施工性の低下抑制の効果はなく、遅延剤を用いることで施工性の低下を抑制できることを確認した。

Ⅲ. 施工性低下のメカニズム解明に向けた検討

本検討で使用した現地発生土は混合直後から施工性が低下することを明らかにした。混和剤のうち AE 減水剤や分散剤では改善効果が見られず遅延剤のみ効果があったことから、現地発生土は何らかの化学反応によって施工性が低下している可能性があるかと推察される。そこでメカニズムの解明を目的として、施工性の変化に大きな影響を及ぼすと考えられる 75μm 以下の細粒分に着目し、モルタルを用いて CSG のレオロジー特性、発熱特性、鉱物組成から施工性低下のメカニズムについて検討した。

1. 実験概要

(1) 使用材料

Table 3 に使用材料を示す。施工性の検証で使用した新第三紀火山岩類から成る現地発生土の 75μm 以下の細粒分の割合は段丘堆積物が 5~15%であり、その 75μm 以下をふ

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、75μm 以下にしたものを使用した。Table 4 にセメントおよび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アルミニウム (Al) を多く含み、比表面積が大きく、強熱減量も多い材料であった。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) レオロジー特性

Table 5 にレオロジー特性の把握に用いた試験ケースおよび配合を示す。配合は、単位水量 135kg/m³, 単位セメント量 80kg/m³の水セメント比 168%のペーストに 75μm 以下

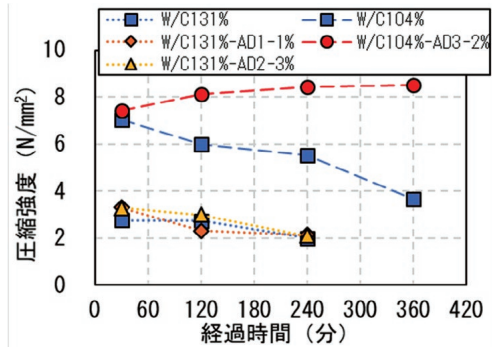


Fig.2 圧縮強度と経過時間の関係 (Relationship between Compressive Strength and Elapsed Time)

Table 3 使用材料 (Properties of Concrete Materials)

材料	記号	摘要
水	W	精製水
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm ³
現地発生土	P	段丘堆積物 75μm 以下 絶乾密度: 2.55g/cm ³
標準砂	S	標準砂 粉砕品 75μm 以下 絶乾密度: 2.64g/cm ³
遅延剤	AD3	メチルカルボン酸塩

Table 5 試験ケースおよび配合 (レオロジー特性) (Test Case and Mixtures)

試験ケース	W/C (%)	質量表示 (g)				
		W	C	P	S	AD3
P100	168	135	80	100	—	—
S100	168	135	80	—	100	—
P100-C なし	168	135	—	180	—	—
P100-AD3-3%	168	135	80	100	—	C×3%

Table 4 主要な元素の化学組成比および物性値 (Chemical Composition Ratios and Physical Properties of Major Elements)

記号	化学組成比 (%)										比表面積 (m ² /g)	強熱減量 (%)
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃		
C	0.004	0.985	5.10	21.4	2.03	0.475	65.8	0.24	0.062	3.11	0.838	—
P	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

の細粒分が現地発生土の細粒分の下限側である 5%程度 (100kg/m³) 含まれていると仮定し、水粉体比 75%となるように細粒分を外割りで添加した。試験ケースは、細粒分として現地発生土を用いたケース、標準砂を用いたケース、セメントの有無が施工性に及ぼす影響の把握を目的に、現地発生土にセメントを含めないケース、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 3%添加したケースとした。

ボウルに全材料を投入し、さじで 2 分混合して、混合完了から 5, 30, 60, 90, 120, 150, 180 分で試料のフローを測定した。フロー試験において、φ 50×50mm のシリンダーに試料を静かに流し入れ、シリンダーを垂直方向に抜き取り、試料の広がり方をフローとして測定した。また、フロー測定と同様の混合方法で作製した試料を混合から 5, 30, 60, 90, 120, 150, 180 分で共軸二重筒回転粘度計を用いて経時的な降伏値および塑性粘度の変化を確認した。なお、環境温度は 20℃とした。

(3) 発熱特性

Table 6 に発熱特性の把握に用いた試験ケースおよび配合を示す。配合はレオロジー特性に用いたものと同一とし、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、標準砂を粉砕したものを使用したケース、および遅延剤をセメントに対して 1%もしくは 3%添加したケースとした。

発熱速度は伝導型カロリーメータを用い測定した。伝導型カロリーメータは、各種添加剤による反応促進や反応遅延のメカニズムの解明にも使用されており、注水直後の水和発熱速度測定が可能である⁶⁾。なお、環境温度は 20℃とした。また、簡易断熱試験による水和熱測定を行った。簡易断熱試験は、Fig.3 に示す 200×200×300mm のスタイロフォーム内に中心に 350g(φ 50×80mm)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℃とした。

(4) 鉱物組成

Table 7 に鉱物組成の把握に用いた試験ケースおよび配合を示す。配合は水セメント比 168%とこれまでの検討と同一として 75 μm 以下の細粒分が現地発生土の細粒分の割合の上限側である 15%程度 (300kg/m³) 含まれていると仮定し、細粒分を外割りで添加したものを使用した。実験ケースは、細粒分として現地発生土を使用したケース、および遅延剤をセメントに対して 3%添加したケースとした。

ボウルに細粒分とセメントを投入し、さじで 1 分程度混合した後、水を投入しさらに 5 分程度混合した。注水から 5, 30, 60, 90, 120, 150, 180 分の試料を XRD の測定に供した。Photo 3 に前処理状況を示す。一般的に XRD の測定は、アセトンを用いて水和停止した試料を乾燥させて試験に供するが、本検討では若材齢時の水和生成物を評価することを

目的としており、乾燥過程で水和物が変質する可能性があったため、固練りのペーストを使用し、固液分離、水和停止処理および乾燥処理することなくそのまま測定に供した。XRD の測定条件は、測定範囲 3~25° (2θ), 測定ステップ 0.02° /step, スキャンスピード 1.0° /分とした。なお、環境温度は 20℃とした。

Table 6 試験ケースおよび配合 (発熱特性)
(Test Case and Mixtures)

試験ケース	W/C (%)	質量表示 (g)				
		W	C	P	S	AD3
P100	168	135	80	100	—	—
S100	168	135	80	—	100	—
P100-AD3-1%	168	135	80	100	—	C×1%
P100-AD3-3%	168	135	80	100	—	C×3%

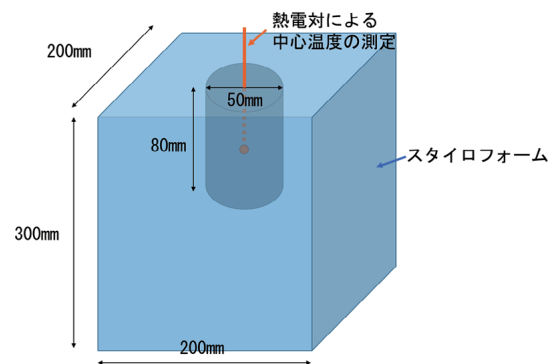


Fig.3 簡易断熱試験機
(Simple Insulation Tester)

Table 7 試験ケースおよび配合 (鉱物組成)
(Test Case and Mixtures)

試験ケース	W/C (%)	質量表示 (g)			
		W	C	P	AD3
P300	168	135	80	300	—
P300-AD3-3%	168	135	80	300	C×3%

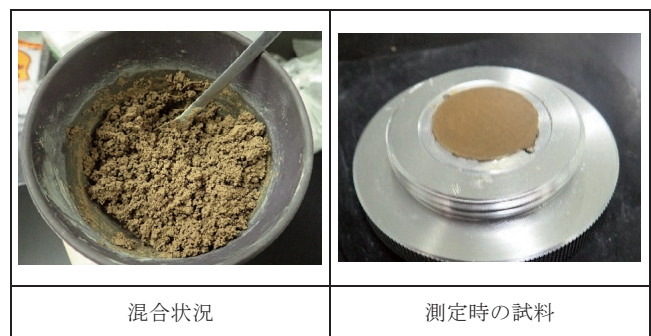


Photo 3 XRD の前処理状況
(Pretreatment Status)

2. 実験結果

(1) レオロジー特性

Fig.4 にフローの経時変化を示す。セメント強さ試験用に使用される標準砂を用いた「S100」の混合直後のフローは300mm程度であり、経過時間180分においてもフローの低下は確認できなかった。現地発生土を用いた「P100」は混合直後のフローが180mm程度であり、標準砂に比べてフローが小さくなることを確認した。この主な理由として、標準砂に比べて現地発生土の比表面積が大きいことから、混合の際に練混ぜ水が拘束され、自由水が少なくなったことが考えられる。また、「P100」は経過時間30分からフローが低下し始め、120分以降はシリンダーから試料を抜き取ることができず、フローの測定ができなかった。一方、「P100-Cなし」は水粉体比を同一としたため現地発生土の混合量ももっとも多く、初期のフローは100mm程度と小さい結果が得られた。しかし、経過時間180分においてもフローの低下は確認されなかった。これらのことから本検討で使用した現地発生土は、セメントと混合したときのみフローが低下しており、セメントとの化学反応により施工性が著しく低下するものと考えられる。現地発生土に遅延剤を添加した「P100-AD3-3%」は混合直後のフローが220mm程度と「P100」に比べて初期のフローが微増し、経過時間180分においてもフローの低下が見られなかった。このことから、前章と同様に遅延剤はセメントと現地発生土の化学反応を抑制できると考えられる。

Fig.5 に塑性粘度の経時変化を、Fig.6 に降伏値の経時変化を示す。「P100」において、塑性粘度は経過時間180分まで0.05Pa・sでほとんど変化しないものの、降伏値は混合直後が14.5Paに対し、経過時間60分が120Pa、180分が264Paと非常に大きくなった。モルタルの外観も混合から60分以降はこぼれてきたことから、同モルタルには降伏値のみを高める偽凝結のような現象が生じたと考えられる。一方、「P100-AD3-3%」の塑性粘度と降伏値は、混合直後から経過時間180分までほとんど変化がなく、フローと同様の結果が得られた。

(2) 発熱特性

Fig.7 に注水から1時間までの伝導型カロリーメータによる発熱速度の測定結果を示す。標準砂を用いた「S100」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、セメントの水への溶解熱およびセメント中のアルミネート相(C₃A)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⁷⁾。一方、現地発生土を用いた「P100」の注水直後における発熱速度のピーク値は「S100」に比べて2.5倍程度大きくなることを確認した。これは、セメントだけではなく現地発生土により何かしら反応を生じるものがもたらされたと考えられる。また、

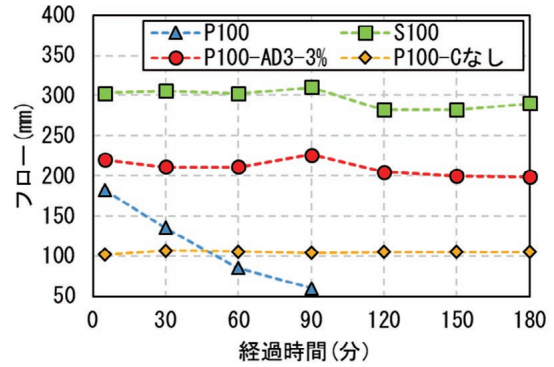


Fig.4 フロー試験結果

(Flow Test Result)

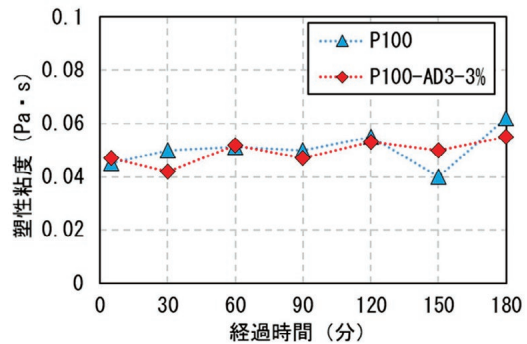


Fig.5 塑性粘度試験結果

(Plastic Viscosity Test Results)

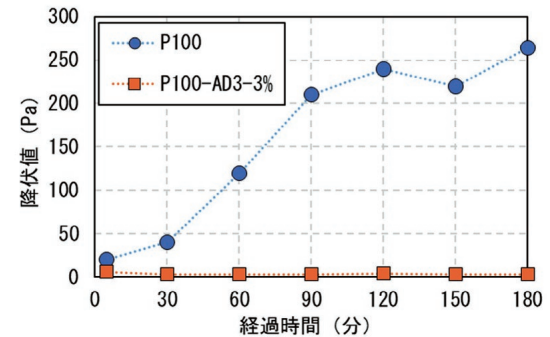


Fig.6 降伏値試験結果

(Yield Value Test Result)

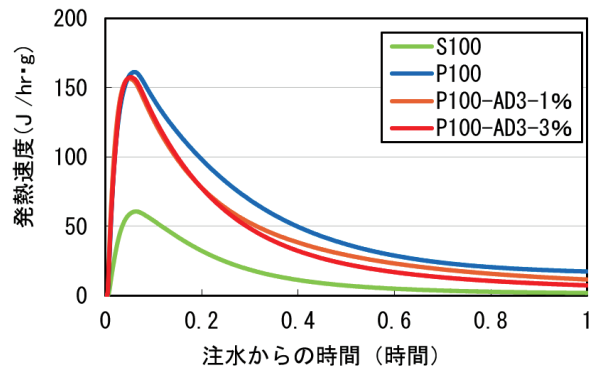


Fig.7 発熱速度結果 (1時間まで)

(Heat Release Rate Result (up to 1 hour))

現地発生土に遅延剤を添加した「P100-AD3-1%」および「P100-AD3-3%」は、「P100」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。

Fig.8 に注水から 24 時間までの発熱速度の測定結果を示す。「S100」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。ここで、Fig.9 に「P100」の発熱速度について一般指数関数を用いて各ピークを分離した結果を示す。

「P100」は注水 30 分後から第二次ピーク、5 時間後から第三次ピークが生じ、「S100」とは異なる反応時間を示していることを確認した。さらに、施工性の低下が混合後 30 分までに生じていることから注水 30 分後から生じた第二次ピークにおいて生じた反応が施工性低下の原因の主要因であると推察される。また、Fig.8 に示すように「P100-AD3-1%」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て 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、「P100-AD3-3%」は、同図には示していないが、第二次ピークが 42 時間、第三次ピークが 48 時間であり、遅延剤の添加量を増やすことで、第二次ピークおよび第三次ピークの反応をさらに遅らせることを確認した。

Fig.10 に簡易断熱試験における中心温度の推移を示す。標準砂を用いた「S100」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「P100」は注水から 2 時間と 6 時間において「S100」よりも高いピークを確認した。これはカロリーメータによって得られた第二次ピークと第三次ピークを裏付けるものであると考えられる。一方、遅延剤を用いた「P100-AD3-3%」は注水から数時間での高いピークが確認できず、注水から 63 時間で高いピークを確認した。これは、カロリーメータによって得られた第二次ピークと第三次ピークが合成されたものと推察される。以上のことから、簡易断熱試験においてもカロリーメータと同様の傾向が得られることを確認した。

(3) 鉱物組成

Fig.11 に現地発生土とセメントを練り混ぜた「P300」の各時間の試料および比較として現地発生土のみ (G 単体) を測定した結果を示す。まず、 $2\theta = 9^\circ$ 付近に着目すると、混合後すべての試料でエトリンガイト ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) の生成が確認でき、時間に伴って回折強度が増大する傾向が得られた。現地発生土はセメントとの反応により混合直後から徐々にエトリンガイトが生成したと考えられる。次に、 $2\theta = 14.5^\circ$ 付近に着目すると混合後すべての試料で

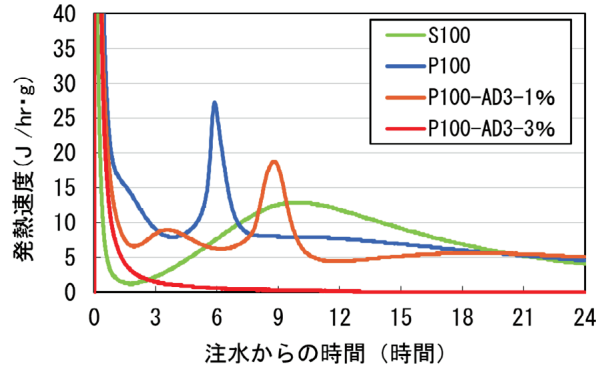


Fig.8 発熱速度結果 (24 時間まで)
(Heat Release Rate Result (up to 24 hour))

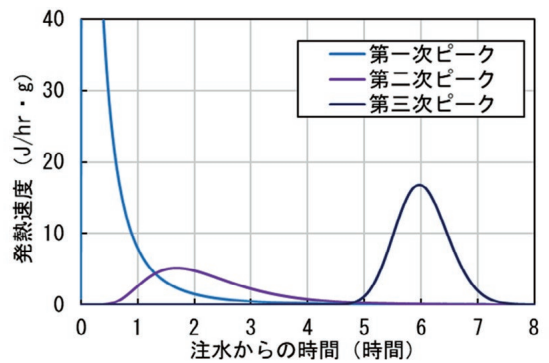


Fig.9 発熱速度のピーク分離 (P100)
(Peak Separation of Heat Generation Rate)

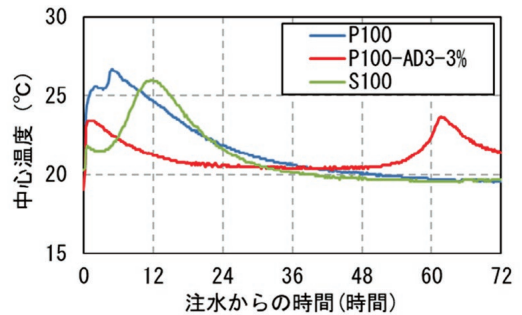


Fig.10 簡易断熱結果
(Simple Insulation Result)

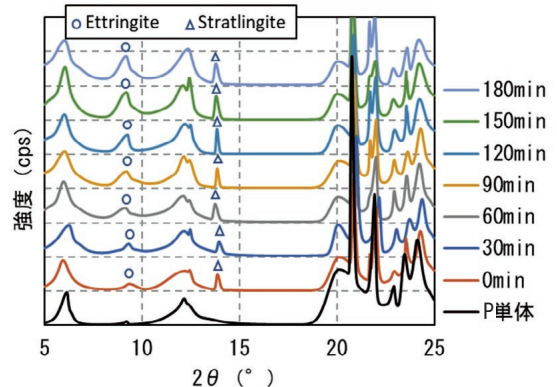


Fig.11 XRD 測定結果 (P300)
(XRD Measurement Result (P300))

C-A-S-H 系水和物であるストラトリンジャイト ($2\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) の生成を確認した。ストラトリンジャイトはアルミナセメントとシリカフェームなどのシリカ成分との反応で生成することがあるとされており⁸⁾、現地発生土に Al が多量に含有されていることに起因して生成されたと推察される。

Fig.12 に現地発生土とセメントに遅延剤を添加した「P300-AD3-3%」の測定結果を示す。まず、 $2\theta = 9^\circ$ 付近に着目すると、エトリンガイトは混合から 60 分までの試料では確認できず、混合から 90 分以降にエトリンガイトの生成が確認された。しかし、その回折強度は遅延剤を添加していない「P300」に比べて小さくなった。次に、 $2\theta = 14.5^\circ$ 付近に着目するとストラトリンジャイトは混合から 180 分の試料でのみ確認された。遅延剤によってエトリンガイトおよびストラトリンジャイトの生成が遅延されたと考えられる。

3. 実験結果に基づくメカニズムの考察

これまでの実験結果および考察を以下にまとめる。

①レオロジー特性

- 本検討で使用した現地発生土はセメントと混合して初めて施工性が低下することを確認した。
 - 混和剤のうち AE 減水剤や分散剤では改善効果が見られず遅延剤のみ効果があった。
- ⇒ 現地発生土の施工性低下は粘土鉱物の吸水などの物理的な作用が主要因ではなく、セメントとの化学反応によってもたらされたものであると推察される。

②発熱特性

- 本検討で使用した現地発生土は注水直後に著しく発熱する第一次ピークが確認され、これは遅延剤では抑制できないことを確認した。
- ⇒ 第一次ピークは、セメントの反応に加えて現地発生土による遅延剤では抑制できない何かしらの化学反応が生じていると推察される。
 - 現地発生土は第二次ピークおよび第三次ピークが新たに生成され、遅延剤によってこれを遅延させることができることを確認した。

⇒ 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、遅延剤によってセメントの反応を遅延できると考えられる。

③鉱物組成

- 現地発生土はセメントとの混合直後からエトリンガイトおよびストラトリンジャイトを生成することを確認した。
- ⇒ 本検討で使用した現地発生土には Al が多量に含有されており、Al が原因となってこれらが生成されたと推察される。

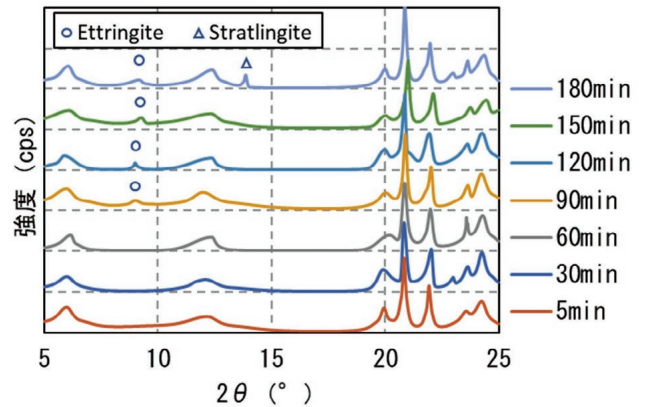


Fig.12 XRD 測定結果 (P300-AD3-3%)
(XRD Measurement Result (P300-AD3-3%))

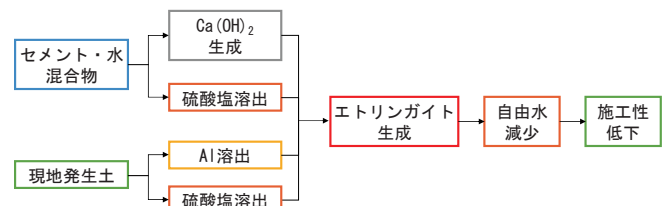


Fig.13 施工性低下のメカニズム
(Mechanism of Reduced Workability)

Fig.13 に本検討で使用した現地発生土に生じているメカニズムの考察を示す。発熱特性で確認された第一次ピークが Al および硫酸塩の溶出によるものと仮定すると、本検討で使用した現地発生土はセメントの高アルカリの影響で初期に Al および硫酸塩が溶出し、セメント中の C_3A や C_3S の水和によって生じた水酸化カルシウムと硫酸塩が供給されることにより、早期にエトリンガイトが多量に生成されたと考えられる。エトリンガイトは大量の H_2O を水和物中に取り込むこと、その結晶が針状になることから、現地発生土はセメントとの混合によるエトリンガイトの生成過程で自由水が消費され、施工性が低下したと考えられる。また、遅延剤は Al の溶解を抑制することはできないものの、セメントと水の接触を抑制し、水酸化カルシウムの生成を抑制することから、エトリンガイトの生成を遅延させることができ、施工性の低下を抑制できたと考えられる。

IV. おわりに

本論文では、現地発生土を用いた CSG が短時間で施工性が著しく低下する原因とメカニズムの検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- ①本検討で使用した現地発生土は混合から時間の経過とともに締固め度が低下し、締固め度の低下とともに圧縮強度も低下する。また、混和剤のうち AE 減水剤、分散剤は施工性低下を抑制する効果がなく、遅延剤は施工性の低下を抑制できる。

- ②レオロジー特性の結果から、本検討で使用した現地発生土は粘土鉱物の吸水など物理的な作用が主要因ではなく、セメントとの化学反応によって施工性が低下する。
- ③発熱特性の結果から、本検討で使用した現地発生土は、注水直後に Al および硫酸塩が溶出した可能性があり、30 分後からエトリングイトおよびストラトリンジャイトの生成熱が発生する。また、遅延剤によって注水直後の溶解熱は抑制できないものの、30 分後からの生成ピークを遅延させる。
- ④鉱物組成の結果から、本検討で使用した現地発生土は混合後、早期にエトリングイトおよびストラトリンジャイトが多量に生成する。
- ⑤本検討で使用した現地発生土は混合から早期に多量のエトリングイトを生成し、生成過程で自由水が消費されることにより施工性が低下したと考えられる。また、遅延剤はエトリングイトの生成を遅延させることで、施工性の低下を抑制できたと考えられる。
- 会論文集 , No.72, VI-57, 2002, pp.207-219.
- 3) 坂井吾郎, 濱田那津子, 取違剛, 藤田祐作, 沢一馬, 室野井敏之, 坂井悦郎; 現地発生土の細粒分がセメント系材料の施工性に及ぼす影響, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, 2020, V-43.
- 4) 室野井敏之, 沢一馬, 藤田祐作, 濱田那津子, 取違剛, 坂井吾郎, 坂井悦郎; 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, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, 2020, V-44.
- 5) 濱田那津子, 向俊成, 取違剛, 渡邊賢三, 坂井吾郎, 藤田祐作, 沢一馬, 室野井敏之, 坂井悦郎; 現地発生土の細粒分がセメント系材料の鉱物組成に及ぼす影響, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, 2020, V-45.
- 6) 坂井悦郎; 熱量測定とセメント・コンクリートの性能, 熱測定, Vol.39, 2012, pp.15-21.
- 7) 大門正機; セメントの科学-ポルトランドセメントの製造と硬化-, JME 材料科学, 1989.
- 8) Jian DING ; Stratlingite formation in high alumina cement - Silica fume system :significance of sodium ions, Cement and Concrete Research, Vol.25, No.6, 1995, pp.1311-1319.

参考文献

- 1) 財団法人ダム技術センター; 台形 CSG ダム設計・施工・品質管理技術資料, 2012.
- 2) 青山要, 宮森建樹, 脇山 哲也, 菊池大輔; 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

Effect of Locally Generated Soil on the Workability of CSG Matelials

*Natsuko Sugaya, Toshinari Mukai, Takeshi Torichigai,
Kenzo Watanabe and Goro Sakai*

One of the ways to utilize locally generated soil is to mix it with cement and water and use it as embankment. However, unlike concrete, CSG, which rarely uses an admixture, may have a significantly reduced workability in a short time depending on the locally generated soil used. In this study, in order to confirm the workability of cement-improved soil for locally generated soil composed of Neogene volcanic rocks, specimens were prepared at each elapsed time and the compaction degree and strength were confirmed. As a result, it was confirmed that the locally generated soil used in this study had a reduced compaction degree after mixing, and that the strength also decreased with a decrease in the compaction degree. Next, as part of the study to elucidate the cause and mechanism of the change, focusing on the fine particles of 75 μm or less, which are considered to have a particular influence on the change of workability, the rheological properties, exothermic properties, and mineral composition were determined. As a result, it was confirmed that the locally generated soil used in this study produces ettringite when mixed with cement, and the workability is reduced due to the consumption of free water. It was also clarified that the retarder is effective in suppressing the deterioration of workability.