

## 養生ピット内における改良土の固化発現温度分布について

北島 明 堀田 崇由  
福島 伸二 <sup>\*1</sup>

### 概 要

砕・転圧盛土工法<sup>1)2)</sup>は老朽化したフィルダムの池内の底泥土、あるいはこれに工事に伴う掘削発生土を加えた混合泥土をセメント系固化材により所要の強度と遮水性を有するように固化改良した築堤土により堤体改修を行うものである。堤体改修工事は夏の暑い日や冬の寒い日のように広い温度環境下で行われることから、初期強度におよぼす養生温度環境の影響を把握することを目的に、堤沢ため池改修工事の実施工での各施工段階における温度変化を測定してきた。その結果、初期固化ピット内では夏季では45℃前、冬季では20℃前後の養生温度となっていることがわかった。本稿では、カオリン粘土を原土として作製した初期固化土の大型供試体を用いて初期固化ピットを恒温室で再現し、より細かく温度分布を調査した結果を報告するものである。

### Distribution of temperature in cement mixed muddy soil

#### Abstract

Using muddy soil mixed with cement is an excellent and cost-effective method to repair old dams with fill-type dam embankment. We have applied to this method to the repair of more than 12 dams, across the course of the year, in both hot and cold. We have started researching the distribution of temperature in cement mixed with muddy soil within a pit at the field-site. Results obtained showed that the temperature inside of the pit is about 45℃ in summer and about 20℃ in winter. In this paper, we show more in-depth temperature, measured using our homoeothermic room.

キーワード： 砕・転圧盛土工法、打設温度、外気  
温度、温度分布

\*1 建設本部 土木エンジニアリングセンター

## §1. はじめに

砕・転圧盛土工法<sup>1) 2)</sup>は老朽化したフィルダムの池内の底泥土、あるいはこれに工事に伴う掘削発生土を加えた混合泥土をセメント系固化材により所要の強度と遮水性を有するように固化改良した築堤土により堤体改修を行うものである。堤体改修工事は夏の暑い日や冬の寒い日のように広い温度環境下で行われることから、初期強度におよぼす養生温度環境の影響を把握することを目的に、堤沢ため池改修工事の実施工での各施工段階における温度変化を調査してきた。その結果、初期固化ピット内では夏季では 45℃前後、冬季では 20℃前後の養生温度となっていることがわかった。本稿では、カオリン粘土を原土として作製した初期固化土の大型供試体を用いて初期固化ピットを恒温室で再現し、より細かく温度分布を調査した結果を報告するものである。

## §2. 現場における温度環境について

### 2.1 初期固化土ピット内の深さ方向の温度測定

堤沢ダム(山形県新庄市、2015年3月竣工)の堤体改修工事のうち、砕・転圧盛土工法による築堤は2014年9月3日から11月末の約3ヶ月にわたって実施された。初期固化ピット内の底泥土に固化材を添加混合してから掘削・解砕するまでの深さ方向の温度特性を調べるために、固化材の添加・混合直後のまだ固まらない状態にあるピット内の底泥土に温度センサーを図1に示すように塩ビパイプVP16(外径 22mm×肉厚 2.7mm)の外面に所定の間隔をおいて取り付けて埋設した。外気温度は温度センサーをピット脇の地盤上に設置して測定した。温度測定は夏場の暑い時期として9月上旬、冬場の寒い時期として11月上旬をそれぞれ選択して実施した。

図2には夏季の温度測定結果(固化材添加量  $\Delta M_c=110\text{kg/m}^3$ )、図3には冬季の温度測定結果( $\Delta M_c=90\text{kg/m}^3$ )をそれぞれ示す。図から、ピット内の発熱温度は固化材添加後から増加しほぼ一日で最大値に達した後、わずかながら低下する傾向にあること、温度は深さにより異なり地表面付近 25cm では外気温度の変動に対応して波状に変化して影響を受けていること、また下層付近の 200cm では地中温度の影響により当初低いものの時間経過とともに増加してゆくことがわかる。夏季と冬季における温度変化パターンは、夏季においては固化材添加時の約 28℃から 38~46℃への温度増分約 10~18℃、冬季においては固化材添加時の 13~17℃から 15~24℃への温度増分約 2~7℃と、夏・冬季間で相違している。温度増分の夏・冬季間の相違は、固化発現が夏季において早く進み、

冬場において遅れることを示している。

固化改良土の強度に及ぼす養生温度の影響を考える上で重要なのはスラリー化した固化材の温度であり、固化材スラリーの温度を支配するのは使用する水の温度である。そこで、砕・転圧盛土工法を施工中のある期間にわたって貯水タンク内に温度センサーを水没させてスラリー用水の温度を連続的に測定した。また、温度センサーをタンク外に設置して外気温度も同時に測定した。

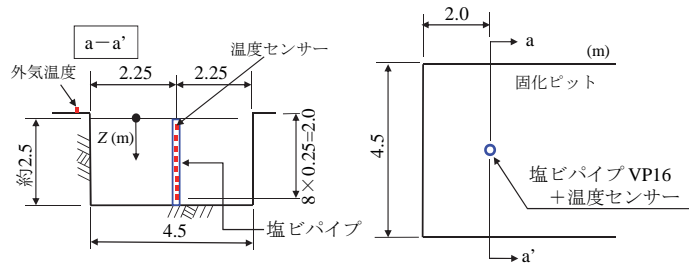


図1 固化処理ピットにおける初期固化土の温度分布測定

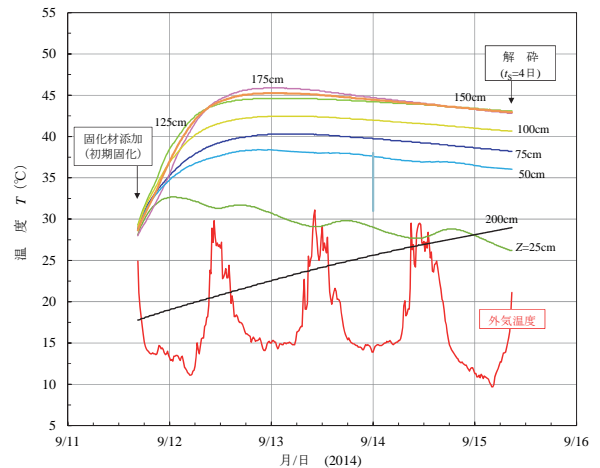


図2 初期固化土の深さ方向温度分布の測定(夏季)

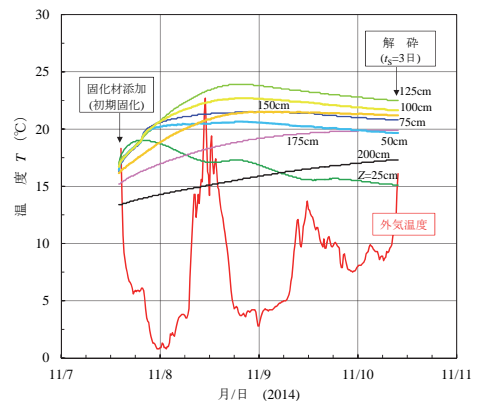


図3 初期固化土の深さ方向温度分布の測定(冬季)

図4にはタンク内水温（水色）と外気温度（赤色）の測定結果を示す。図から、水温は外気の最低温度より約5℃高いことがわかる。なお、固化材スラリー温度は連続的に計測できなかったが、手動により複数回計測した結果、水温よりもさらに約5℃高いことが確認できた。

## 2.2 砕・転圧土層内における温度測定

砕・転圧土層内の築堤当日からの温度特性を調べるために、築堤中の砕・転圧土層内に図5に示すように底面T3(30cm)、中間面T2(15cm)、上面T1(0cm)に温度センサーを埋設して固化中の温度変化を測定した。外気温度は温度センサーを築堤面脇の既設堤体法面に設置して測定した。

図6と図7には夏季と冬季における測定結果をそれぞれ示す。図から、砕・転圧土層内の温度は層厚が約30cmと薄いため、外気温度の影響を築堤当初に受けるものの（特に地表面で顕著）、翌日の次層築堤による外気遮断により影響が小さくなることわかる。すなわち、砕・転圧土層内は築堤当初において表層部が外気温度の影響を受けるものの、層内部は築堤当初からの固化発熱や、次層を築堤することによる新たな固化発熱により外気温度の影響が少なくなるものと思われる。したがって、表層部において築堤当初に外気温度の影響を受け強度発現の遅れがあっても、次層の築堤により外気温度の影響がなくなり遅れが解消してゆくものと考えられる。写真1、2に固化処理ピットおよび築堤エリア（砕・転圧土）の状況を示す。

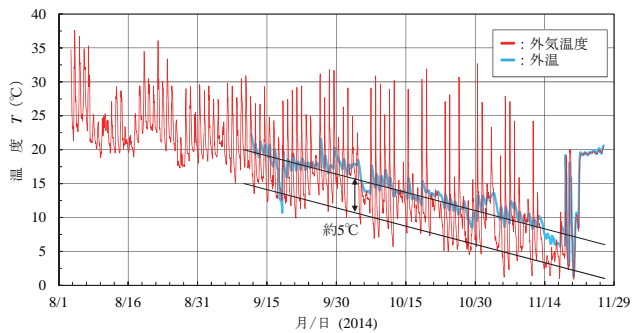


図4 スラリー用水温度と外気温度の測定結果

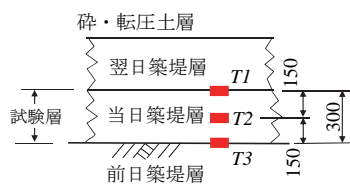


図5 築堤ヤードにおける砕・転圧土層の温度分布測定

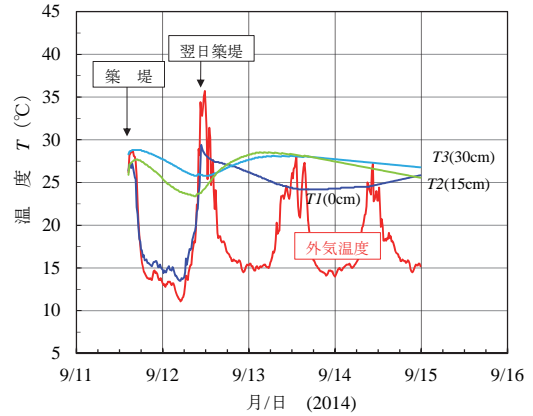


図6 砕・転圧土の深さ方向温度分布の測定(夏季)

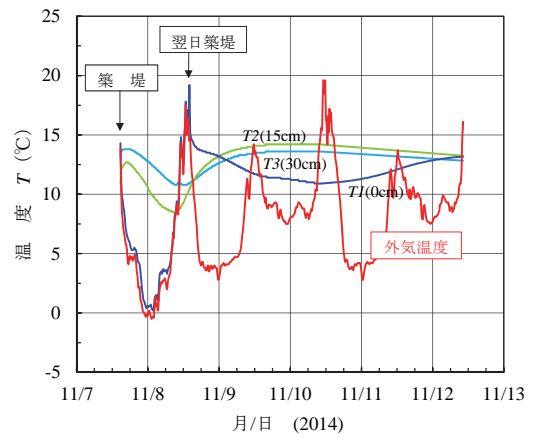


図7 砕・転圧土の深さ方向温度分布の測定(冬季)

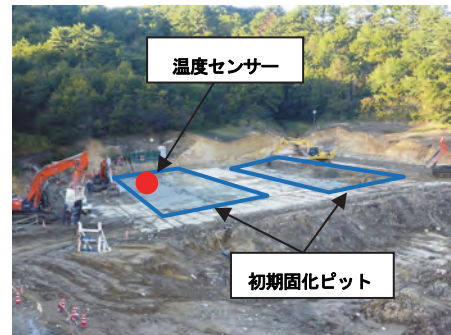


写真1 固化処理ピットの全景と温度センサーの設置位置

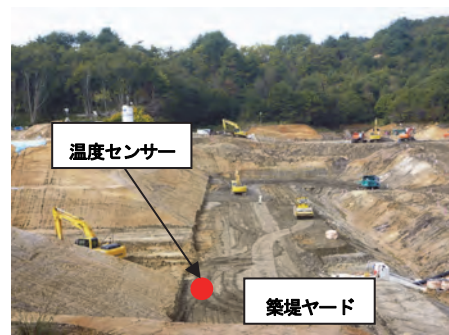


写真2 築堤エリアの全景と温度センサーの設置位置

### §3. 初期固化土の温度分布について

#### 3.1 試験装置と供試体の作製

初期固化土の内部の温度分布に対する外気温の影響を調べるために図 8 に示すような初期固化土養生容器を新たに作製した。養生容器は長さ  $L=110\text{cm}$  の VU200 塩ビパイプの中に深さ  $D=100\text{cm}$  (パイプ上端から  $10\text{cm}$  下がり) まで初期固化土を打設し、 $60\text{cm} \times 60\text{cm}$  の発泡スチロール製の断熱材で側方および底面の熱交換を遮断することにより、現場における初期固化ピット内の養生条件を再現した。

現場での実施工ではピットに投入された底泥土に固化材スラリーを添加・攪拌・混合して初期固化土を作製する。しかし直径  $\phi=20\text{cm} \times$  長さ  $L=110\text{cm}$  のパイプ内を均一に攪拌・混合するのは困難なため、今回は作業性が良い別の容器(容量約  $20\text{L}$  のバケツ)内でハンドミキサーを使用して十分に攪拌・混合した初期固化土を養生容器内へ数回に分けて流し込んで作製した。このような工程で作製したため、高所からの打設による供試体の材料分離を避けることや作業性を良くするため、塩ビパイプは 2 分割、断熱材は底部を含めて 8 分割とした。初期固化土養生容器の外観を写真 2 に示す。

供試体は乾燥状態のカオリン粘土と同重量の水を混合した擬似底泥土にセメント系固化材(GS200)を  $C/W=1.0$  のスラリー状態で添加し、養生容器内に静かに投入して作製した。カオリン粘土、水、固化材など、試験に使用する材料は攪拌容器を含めてすべて前日から恒温室内に保管して初期温度を一定に保った。

#### 3.2 試験条件と計測方法

恒温室を用いた養生温度は冬季の最低気温と夏季の最高気温、およびその中間を想定して  $5、20、35^{\circ}\text{C}$  の 3 種類とした。固化材添加量については、実際の施工において発現強度不足が懸念される冬季を想定した  $5^{\circ}\text{C}$  条件においては  $\Delta Mc=75、100、150、200\text{kg}/\text{m}^3$  の 4 種類とし、 $20、35^{\circ}\text{C}$  の養生条件下では  $75、150\text{kg}/\text{m}^3$  の 2 種類で作製した。

温度分布の測定は写真 3 および 4 に示す温度センサーを使用し、表面から  $10\text{cm}$  間隔で 10 点 ( $-10\text{cm} \sim 100\text{cm}$ ) の温度を 15 分間隔で 7~10 日間計測した。温度センサーは繰り返し使用するため、打設直後の供試体中央部にアルミ製の保護パイプ ( $\phi=10\text{mm}$ ) を設置し、温度センサーをその中に挿入して測定した。なお、アルミパイプの軸方向の熱伝導により供試体内部の熱量の外部への放熱や、外気温からの吸熱を避けるため、アルミパイプの上部を断熱材で保護し恒温室内との熱交換を遮断した。

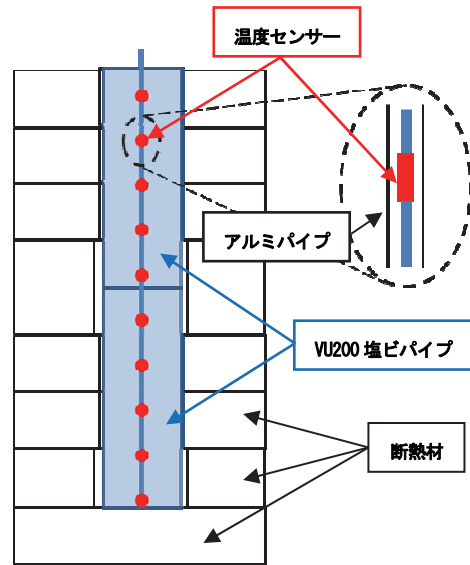


図 8 初期固化土養生容器の概要

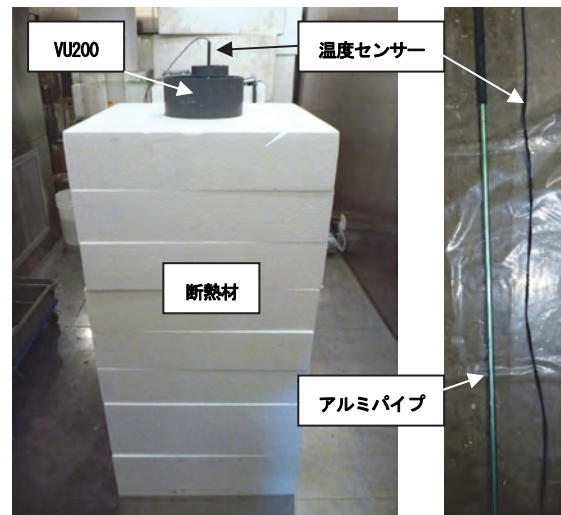


写真 3 初期固化土養生容器と温度センサー(全景)

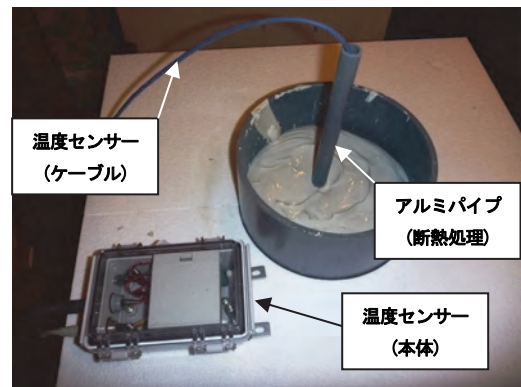


写真 4 初期固化土養生容器と温度センサー(詳細)



## §4. 試験結果と考察

### 4.1 試験結果

図 9(a)～(d)に初期温度(恒温室温度) $t=5^{\circ}\text{C}$ 、 $\Delta\text{Mc}=75$ 、100、150、200 $\text{kg}/\text{m}^3$ の初期固化土供試体の温度分布を示す。また、図 10 に  $t=20^{\circ}\text{C}$ 、 $\Delta\text{Mc}=150\text{kg}/\text{m}^3$ 、図 11 に  $t=35^{\circ}\text{C}$ 、 $\Delta\text{Mc}=150\text{kg}/\text{m}^3$ の温度分布を示す。図から以下のことがわかる。

- ① 固化材添加量  $\Delta\text{Mc}$  が増えるほど発熱量は大きくなり、供試体内部の温度は上昇する。
- ② 打設後、内部の温度は一旦上昇するがその後、徐々に低下する。
- ③ ピーク温度が発現するタイミングは深さおよび初期温度  $t$  によって異なり、地表面に近いほど、また  $t$  が高いほど早く現れる。
- ④ ピーク温度が継続する時間は  $\Delta\text{Mc}$  および  $t$  によって異なり、 $\Delta\text{Mc}$  が大きいほど、また  $t$  が高いほど短い。

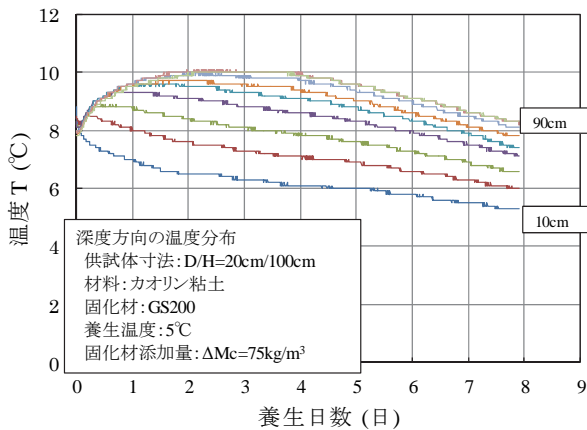


図 9(a) 初期固化土内部の温度分布  
( $t=5^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta\text{Mc}=75\text{kg}/\text{m}^3$ )

- ⑤ 供試体内部温度の深さによる差は  $\Delta\text{Mc}$  が大きいほど、また  $t$  が高いほど顕著である。
- ⑥ 供試体内部温度の深さによる差はピーク温度が発現する 4 日目までが最も大きく、その後徐々に収束していく。

### 4.2 考察

試験結果のうち、①および②については供試体内の温度上昇は固化材添加により化学的な反応熱による発熱に起因するものであり、固化反応が収束するにつれて発熱量が低下し、徐々に室温に近づくことから説明できる。また③については内部の発熱量を地表面からの放熱量が上回ることで温度が低下すると仮定することで説明できる。④～⑥については想像の域を脱しないが温度が高くなることで固化反応が加速度的に進行し、その結果発熱反応が急速に終了し、地表面からの放熱で緩やかに温度が低下するため、徐々にその差が小さくなってくると考えられる。

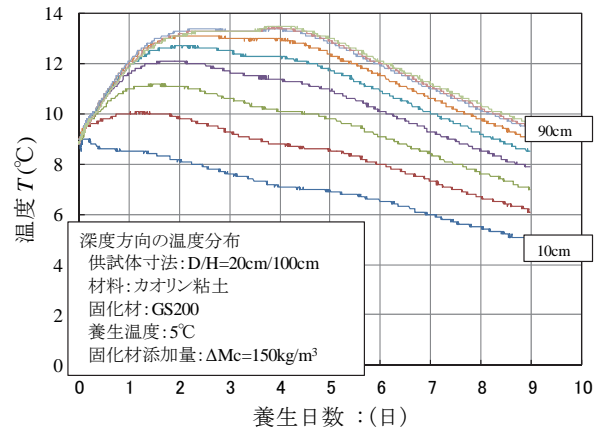


図 9(c) 初期固化土内部の温度分布  
( $t=5^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta\text{Mc}=150\text{kg}/\text{m}^3$ )

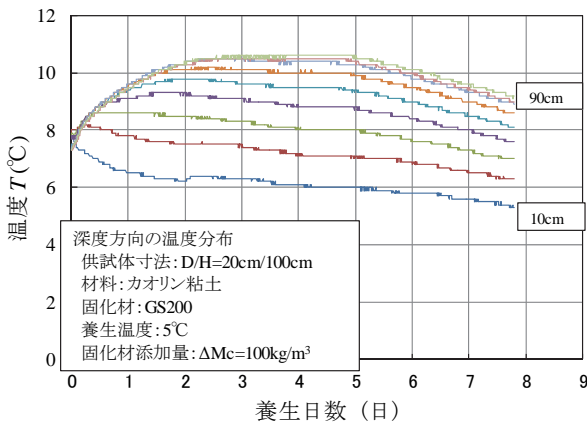


図 9(b) 初期固化土内部の温度分布  
( $t=5^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta\text{Mc}=100\text{kg}/\text{m}^3$ )

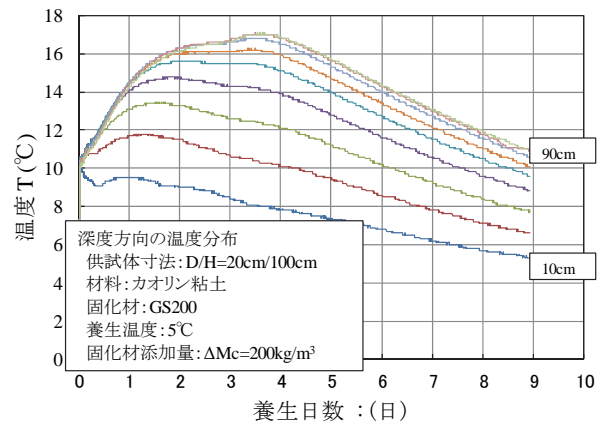


図 9(d) 初期固化土内部の温度分布  
( $t=5^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta\text{Mc}=200\text{kg}/\text{m}^3$ )

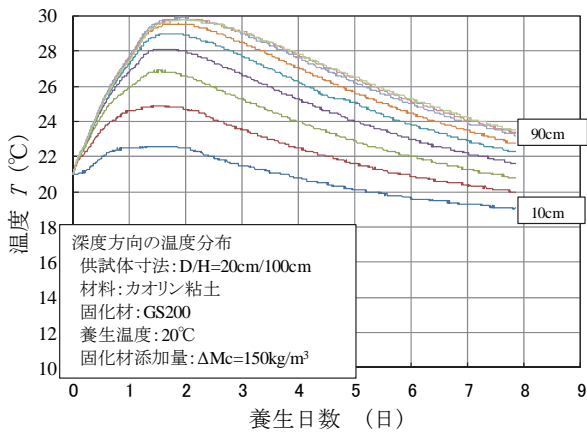


図 10 初期固化土内部の温度分布  
( $t=20^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta Mc=150\text{kg/m}^3$ )

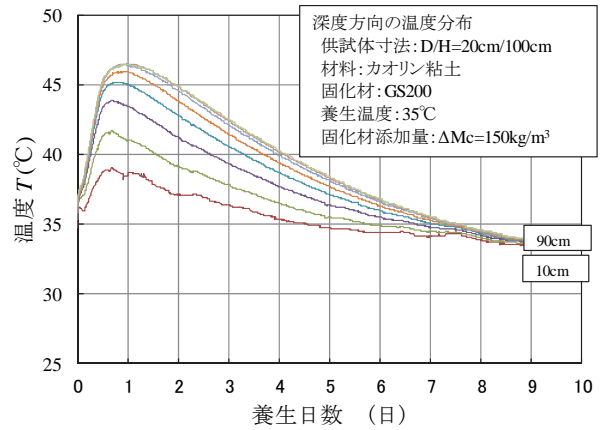


図 11 初期固化土内部の温度分布  
( $t=35^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta Mc=150\text{kg/m}^3$ )

## §5. おわりに

砕転圧盛土工法は老朽化したフィルダムやため池の優れた改修工法として、多くの学会賞を受賞し、適用現場も順調に増えてきている。この工法の従来工法と最も異なる点は「廃棄すべき底泥土を使って重要土構造物の築堤土を製造する」ことにあるため、品質管理が最重要項目であると言える。その日常の品質管理は主に球体落下試験を用いた強度管理であり、試験の性質上、初期固化ピットおよび築堤面の表層部分の強度しか測れない。夏季および冬季の表層部分とピット内部の温度の相違を調査することで、表層部分とピット内部の初期固化土の発現強度をあらかじめ予測できれば、より効率的な施工と固化材の適正使用、高品質な堤体の築造に寄与できるものと考えられる。

### 参考文献

- 1) (社)農業農村整備情報総合センター：ため池改修工事の効率化－砕・転圧盛土工法によるため池堤体改修－設計・施工・積算指針(案)、2006.
- 2) (社)農業農村整備情報総合センター：砕・転圧盛土工法によるフィルダム堤体改修、一堆积土・発生土を有効利用したフィルダムのリニューアル技術－、設計・施工・積算指針(案)、2009.
- 3) 福島伸二、北島 明、谷 茂：砕・転圧盛土工法における底泥土の固化強度に及ぼす温度の影響、平成 22 年度農業農村工学会全国大会講演要旨集, pp.342～343, 2010.
- 4) 土佐内優介、北島 明、福島伸二、谷 茂：砕・転圧盛土工法における底泥土の初期固化強度に及ぼす温度の影響、第 46 回地盤工学研究発表会, pp.581～582, 2011.

- 5) 福島伸二、北島 明、谷 茂：砕・転圧盛土工法における初期固化時の強度不均一性が砕・転圧土強度に及ぼす影響、第 69 回土木学会年次学術講演会、第Ⅲ部門、pp.195～196, 2014.
- 6) 北島 明、福島伸二、谷 茂、酒巻克之：固化改良底泥土（砕・転圧盛土工法）の初期固化・築堤過程における温度環境特性、第 70 回土木学会年次学術講演会、第Ⅲ部門、2015.（投稿中）

### ひとこと

砕転圧盛土工法は通年施工可能な工法であるため、夏季と冬季の養生温度を把握することは大変重要であり、引き続き養生温度が強度に及ぼす影響の調査を進めて行くとともに、得失点差が大きくマイナスでありながら日本一という至福の喜びを味わう事を願うばかりである。



北島 明