

ロックフィルドコンクリート (RFC) の発熱特性の同定

岩田地崎建設(株)技術部 正会員 須藤 敦史
 ○岩田地崎建設(株)技術部 正会員 河村 巧
 岩田地崎建設(株)技術部 遠田 康英

1. はじめに

砂防堰堤などは掘削残土の運搬距離が長いことが多く、加えて費用もかさむことなどから、現地発生材を有効利用した砂防 CGS 工法・INSEM 工法の適用が積極的に進められている。しかし、これらの工法では粒径 80mm 以下や粒度調整をした材料を用いるため、大径の岩石や転石の活用については依然として課題となっている。

そこで現地で発生する大粒径材をバックホウなどで型枠内部に積上げ、その間隙に高流動コンクリートを充填して砂防施設を築造するロックフィルドコンクリート (RFC) が新粗石コンクリートとして開発されているが、マスコンクリートとしての基本的な発熱特性などは不明である。そこで本論文では、有限要素法(FEM)を用いたコンクリート発熱特性の逆解析手法を開発して砂防堰堤の RFC 温度観測値より、その発熱特性を明らかにするとともに施工性などの検討を行なっている。

2. ロックフィルドコンクリート (RFC) ¹⁾

砂防工事などでは大正5年から昭和39年頃までの約50年間ほど (旧) 粗石コンクリートが採用されているが、近年、リサイクルおよびコスト縮減を図るために現地発生材を利用したRFCが新粗石コンクリートとして開発・適用されている。ここでRFCの施工順序を以下に示す。

- ① 基礎掘削や河床掘削で発生した土砂をスケルトンバケット付きバックホウなどで選別
- ② 型枠内にバックホウ等で選別した粗石を投入
- ③ 粗石間を高流動コンクリートで充填
- ④ 間詰コンクリート硬化後型枠を抜き取り・養生

3. RFC の発熱逆解析法

RFCの発熱解析は、境界条件や定数設定に対して不確実性が多く、数値解析と実挙動との間が異なる場合が多い²⁾。本研究では有限要素法に拡張カルマンフィルタを組み込んだコンクリートの発熱逆解析手法を開発することで、実構造物の温度観測より、発熱特性をの同定を試みている。

(1) 拡張カルマンフィルタ ³⁾

拡張カルマンフィルタは非線形な状態方程式(1)と観測方程式(2)で構成され、得られる観測値により条件付き確率密度関数を更新する逐次適合型の最適化手法である。

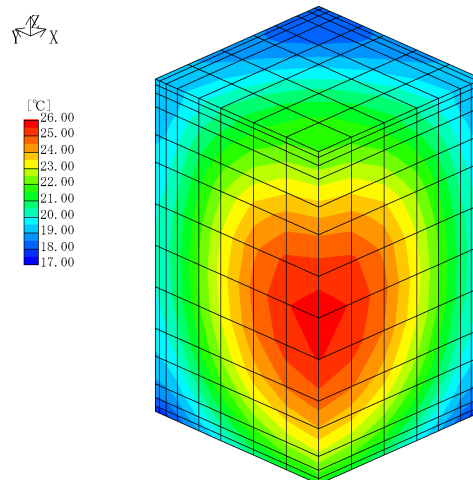


図-1 再現温度分布 (試験体 2日目)

$$\frac{dX_t}{dt} = f(X_t, t) + G_t w_t \quad (1), \quad Y_{t_k} = h(X_{t_k}, t_k) + v_{t_k} \quad (2)$$

X_t, X_{t_k} 連続型・離散型状態量, w_t, v_{t_k} システム・観測ノイズ,

Y_{t_k} 観測量, G_t 変換行列

ここで拡張カルマンフィルタは事前情報と観測による事後情報より最適推定値を求めている。

(2) 有限要素法を組み込んだ逆解析手法⁴⁾

拡張カルマンフィルタの観測方程式をRFC発熱式で表すと式(3), (4)となる。

$$Y_{t_k} = u_{t_k} + v_{t_k} = h(x_{t_k}) + v_{t_k} \quad (3)$$

$$h(x_{t_k}) = \{rc(\partial T / \partial t) - H\} / k \nabla^2 \quad (4)$$

r, c, k : コンクリートの比熱・密度・熱伝導率,

H : 水和発熱速度

$$Q_{(t)} = Q_{\infty} (1 - e^{-gt}) \quad (5)$$

材令 (日)

RFC の断熱温度上昇量 (式(5)) を式(6)に示すように発熱係数 a を設定して、これを観測値より係数 a 逆解析する。

$$Q'_{\infty} = a \cdot Q_{\infty} \quad (6.1) \quad , \quad g' = a \cdot g \quad (6.2)$$

キーワード: ロックフィルドコンクリート, 拡張カルマンフィルタ, システム同定

連絡先 (〒105-8488 東京都港区西新橋 3-23-5 TEL03-3436-3176 FAX03-3438-4486 E-mail a.sudou@iwata-gr.co.jp)

4. RFC 温度観測値による逆解析⁵⁾

(1) 試験体による逆解析

高流動コンクリート ($C:480\text{kg/m}^3$) の観測温度を基に発熱逆解析を実施した結果、発熱係数 $a = 0.35$ が得られた。逆解析で求められた発熱係数 $a = 0.35$ を用いて再現した試験体内部の発熱 (温度) 分布を図-1に示す。

(2) 堰堤による逆解析

本堰堤における RFC 逆解析において $a = 0.34 \sim 0.36$ の発熱係数が得られ、堤体の発熱再現値と観測温度を図-2に示す。図-2より、堤体中心部における発熱温度 (約 32°C) および表面の温度変動 (外気温の影響) も正確に再現されているが、再現値では温度降下が遅くなっているが、試験体ほどの遅延は見られない。

5. RFC 発熱特性の逆解析

粗石率 (45%, 58%) を変えた打設試験により、RFC の発熱特性の同定を試みた。同様に拡張カルマンフィルタと有限要素法を組み合わせた逆解析手法より、得られた単位セメント量 (C) に対する係数 a は粗石率に対して $45\% = 0.37, 58\% = 0.23$ (図-3参照) が得られ、発熱再現値と観測温度を図-4に示す。

6. まとめ

ロックフィルドコンクリート (RFC) の試験体および堰堤における高流動コンクリート ($C:480\text{kg/m}^3$) の逆解析より、以下の結論が得られた。

- ① 発熱温度は、温度が粗石に吸収されるため理論値よりも低くなり、粗石率に依存する。
- ② 発熱初期では、粗石に発熱が吸収されるため遅く立ち上がり、発熱後期は粗石や境界条件の影響を受けるため収束が早くなる傾向を示す。

【参考文献】

- 1) 須藤敦史・笈川利夫・遠田康英:砂防堰堤における新粗石コンクリートの発熱特性に関する研究,平成23年度ダム工学会研究発表会,pp.1-4,2011.
- 2) 鈴木康範・辻幸和・前川宏一・岡本甫:コンクリート中に存在するセメントの水和発熱過程の定量化,土木学会論文集第414号IV-12,pp.155-164,1990.
- 3) Zazwinski A.H.: Stochastic Process and Filtering Theory, Academic Press Inc., 1970.
- 4) 須藤敦史・星谷勝:EK-WLI 法と有限要素法を用いた逆解析,土木学会論文集, No.466/ I -19, pp.177-185, 1992.

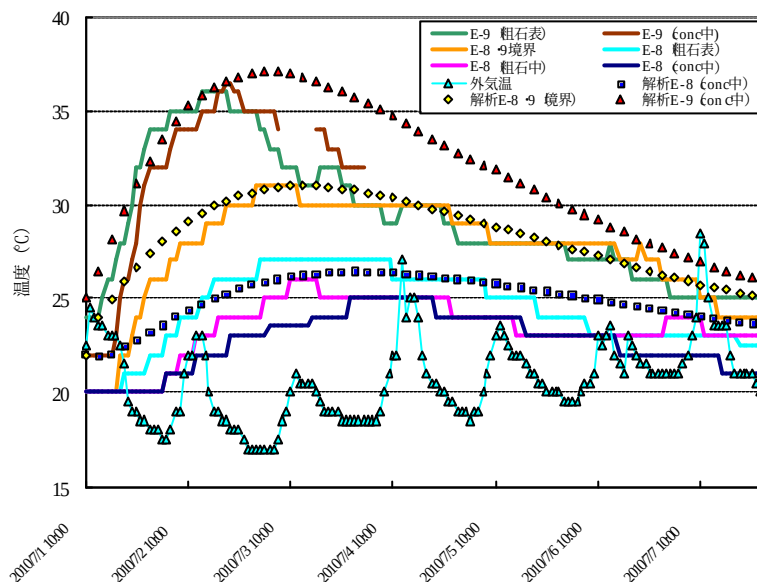


図-2 本堤コンクリートの発熱温度 (観測値, 再現値)

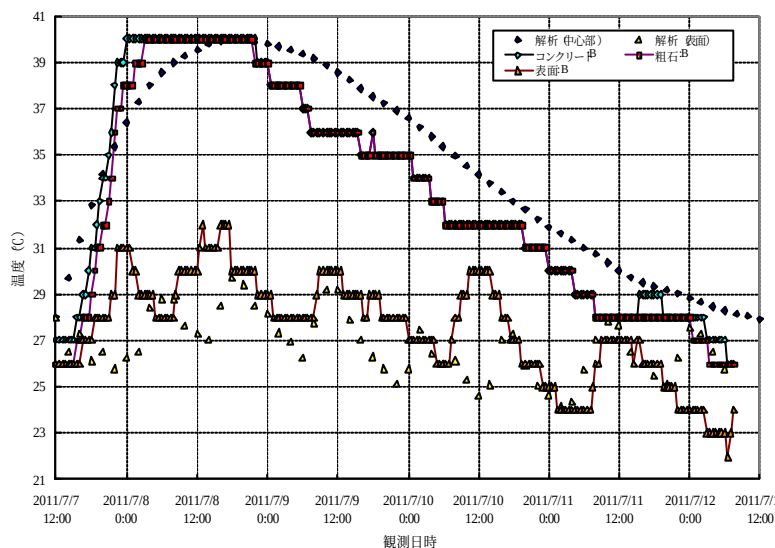


図-4 粗石率 (45%) の発熱温度 (観測値, 再現値)

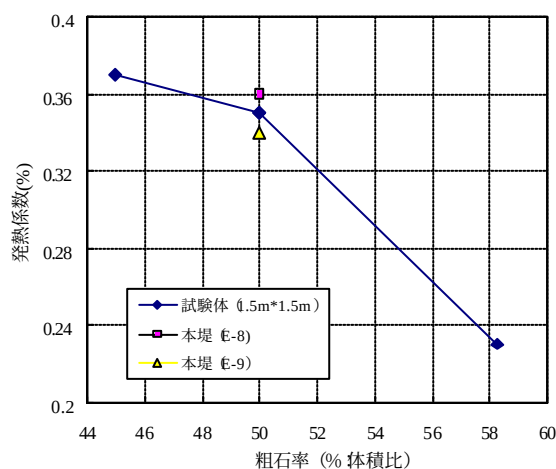


図-3 礎石率 (RFC) と発熱係数