

ロックフィルドコンクリート (RFC) の発熱特性に関する研究

A Basic Consideration on Heat Condition of Rock Filled Concrete

岩田地崎建設㈱ 技術部 正会員 須藤 敦史 (Atsushi Sutoh)

岩田地崎建設㈱ 技術部 正会員 遠田 康英 (Yasuhide Touda)

1. はじめに

砂防堰堤などでは、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、その有効活用が急務になっており、砂防 CGS 工法・INSEM 工法などでは、現地発生材を利用した補強土工の適用が積極的に進められている。

これらの工法では、ある程度の粒径(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ため、現地で発生する大粒径材を積上げ、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。

しかし、RFCは大粒径材をバックホウなどで型枠内部に投入し、その間に高流動性コンクリートを流し込んで構造体を構築するため、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⁾

砂防工事では大正5年から昭和39年頃までの約50 年ほど(旧)粗石コンクリートが採用されており、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。

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

型枠内にバックホウ等で選別した粗石を投入

粗石間を高流動コンクリートで充填

コンクリート硬化後型枠を抜取り・養生

3. コンクリートの発熱逆解析法

コンクリートの発熱解析は、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⁾。そこで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、これらを同態することを試みている。

(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連続型状態方程式(1)と非線形離散型観測方程式(2)より構成され、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。

$$\frac{dX_t}{dt} = f(X_t, t) + G_t w_t \quad (1)$$

$$Y_{t_k} = h(X_{t_k}, t_k) + v_{t_k} \quad (2)$$

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), 5)}

拡張カルマンフィルタの観測方程式をコンクリートの発熱式で表すと式(3), (4)となる。

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

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

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

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

Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量, g : 温度上昇速度, 材令(日)

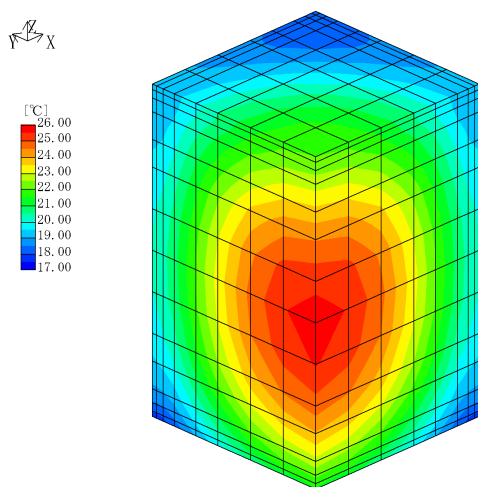


図-1 再現温度分布 (試験体 2 日目)

高流動コンクリート(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。

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

$$g' = a \cdot g \quad (6.2)$$

4. 温度観測による逆解析⁵⁾

(1) 試験体による逆解析

高流動コンクリート(C:480kg/m³)の温度観測値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。

ここで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。

図-1より、RFCの中心部における発熱温度(26℃)および表面の温度履歴(外気温による影響)も正確に再現されているが、ピークからの温度降下は遅くなっている。

(2) 砂防堰堤による逆解析

砂防堰堤の本堤(E-8,E-9リフト)におけるRFCの逆解析において $a=0.34\sim0.36$ の発熱係数が得られ、本堤における発熱現象を再現した温度履歴と観測温度を図-2に示す。

図-2より、堤体中心部における発熱温度(約32℃)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。また発熱の再現値ではRFCの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。

加えて、逆解析で得られた発熱係数 $a=0.35$ を用いてRFCにおける発熱現象を再現した本堤(E-9,C=480kg/m³)内部の温度分布を図-3に示す。

5. まとめ

ロックフィールドコンクリート(RFC)の試験体および堤体における高流動コンクリート(C:480kg/m³)の温度観測・逆解析より、以下に示す発熱特性が得られた。

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(今回は体積比:50%)に依存する。

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。

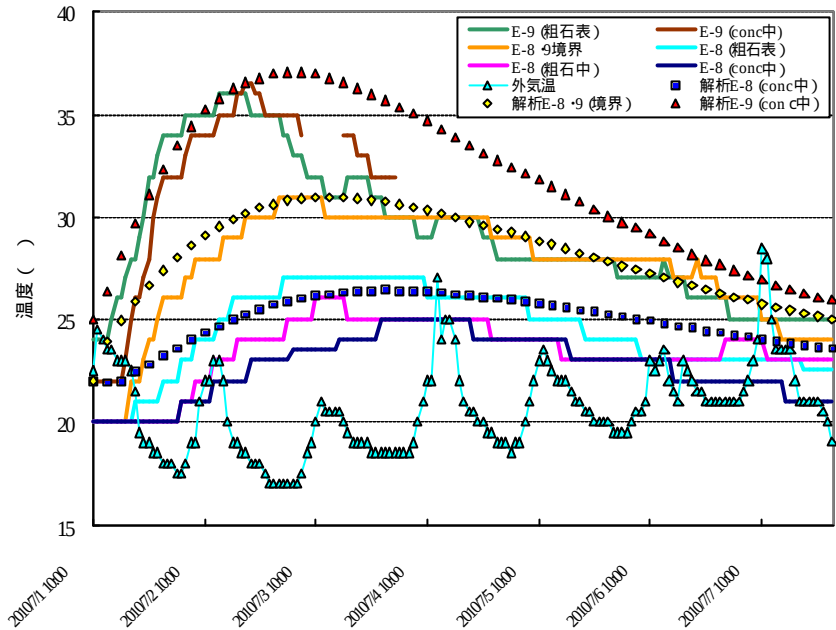


図-2 本堤コンクリートの発熱温度(観測値,再現値)

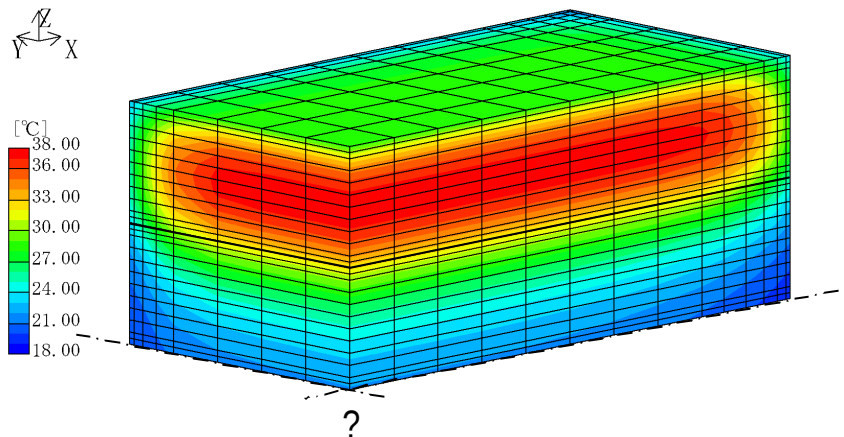


図-3 RFC(E-9,C=480kg/m³)の逆解析値による再現温度分布

【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 -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/ -19,pp.177-185,1992.
- 5) 柴田俊文・三上隆・須藤敦史・蟹江俊仁:カルマンフィルタによる梁の衝撃力の同定,土木学会構造工学論文集,Vol.48A,pp.1485-1491,2002.