

逆解析によるコンクリート構造物の熱特性値の推定

山口大学大学院 学生員○田中周次
 山口大学工学部 正会員 中村秀明
 山口大学工学部 正会員 兼行啓治
 山口大学工学部 正会員 浜田純夫

1. まえがき

セメントの水和熱に起因する温度応力によってひび割れ発生が予測されるコンクリート構造物については、このひび割れを制御する必要がある。ひび割れを制御するためには、コンクリート構造物の温度分布を推定しなければならないが、入力するコンクリートの熱伝導率などの熱特性値により、推定温度はかなり影響を受ける。そこで本研究では、現場の領域において簡便な温度測定により、拡張カルマンフィルタと有限要素法を組み合わせ、直接熱特性値を推定し、それを用いてコンクリート構造物の温度分布を予測することを目的とする。

2. 解析方法

有限要素法にみられるように、熱伝導方程式の離散化式による熱伝導解析手法は、ほとんどの現場における熱伝導解析⁽¹⁾に適用できることから、熱伝導方程式の離散化に着目し、Crank-Nicolson型差分、カルマンフィルタの応用⁽²⁾等による熱特性値の推定を行った。

3. 実験概要

本解析手法の妥当性を検討するため、実供試体において温度計測を行い、熱伝導率の推定を行うとともに推定された熱伝導率を用いて温度解析を行った。供試体は、図-1に示すように、普通コンクリートと軽量コンクリートの2種類の異なるコンクリートを用いた2層構造である。供試体内部には、銅製のパイプが埋め込まれており、このパイプに温水を流すことにより周囲のコンクリートに熱を供給している。コンクリート温度の計測には、熱電対（銅-コンスタンタン型、 $\phi 6.5\text{mm}$ ）を使用し、供試体内に15点配置した。図-2に、熱電対の埋設位置を示す。また、パイプに通す温水の温度はパイプの入口と出口につなげたホース内に取り付けた熱電対によって計測し、入水温が 35°C となるよう制御した。なお、測定期間は温水の流しはじめから24時間後までとし、温水は銅管内で流れが乱流となるように毎分 1.2L 流した。また、測定は室温 20°C の恒温室で行った。

4. 実測値と解析との比較

実供試体のコンクリート温度の経時変化ならびにカルマンフィルタで推定した熱伝導率を用いた解析温度（以下解析温度A）、別に行った熱伝導率試験より求めた熱伝導率を用いた解析温度（以下解析温度B）、さらに一般的な熱伝導率（普通コンクリート $2.0\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ 、

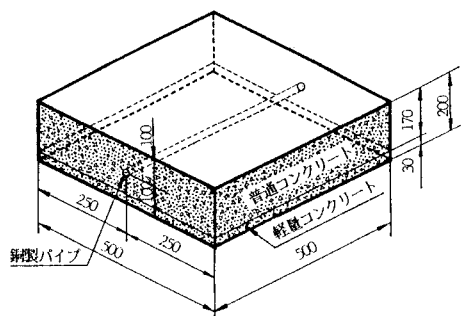


図-1 実験供試体

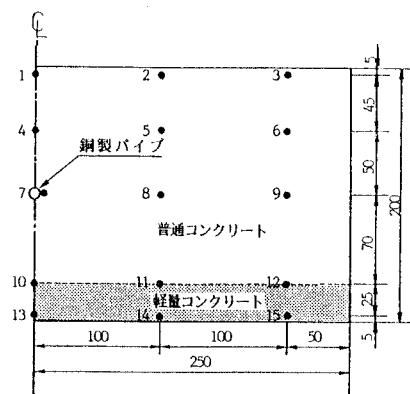


図-2 熱電対埋設位置

軽量コンクリート(0.6kcal/mh $^{\circ}$ C)を用いた解析温度(以下温度解析C)を図-3, 4に示す。温度履歴は図-2に示す熱電対のうち5, 14の位置におけるものを示した。なお、熱伝導率推定の過程で用いた観測データは供試体内の全体の温度分布が把握できるように熱電対の1, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 14, 15, の位置のものを用いた。

どちらの図も実測温度と解析温度Aは良く一致している。解析温度Bは室内で行った熱伝導率試験で求められた熱伝導率を用いた解析結果であるが実測温度とは多少差が生じている。解析温度Cは割合実測温度と似ているが解析温度Aほど一致していない。図-5にはカルマンフィルタを用いて推定した熱伝導率を示す。図中▲印は軽量コンクリートで、●印は普通コンクリートである。普通コンクリートの熱伝導率は平均2.6kcal/mh $^{\circ}$ C程度、軽量コンクリートでは平均1.0kcal/mh $^{\circ}$ Cである。時刻1000min付近で普通コンクリート、軽量コンクリートともに推定された熱伝導率は、入水温度が変動したためばらついているが、解析では入水温を温度固定境界として取り扱ったためこのような結果となった。また、室内での熱伝導率試験の結果では、普通コンクリート1.22kcal/mh $^{\circ}$ C、軽量コンクリート0.85kcal/mh $^{\circ}$ Cであり、カルマンフィルタで推定された熱伝導率は、少し大きめの値となっている。文献[3]で示されている熱伝導率の一般的な値は、普通コンクリートでは、1.3~3.1kcal/mh $^{\circ}$ C、軽量コンクリートで0.54~0.68kcal/mh $^{\circ}$ Cであり、これもカルマンフィルタで推定された熱伝導率は少し大きめの値を示している。しかし、推定された熱伝導率を用いた解析では、コンクリートの温度をかなり正確に求めることができる。

5. 結論

本研究では、拡張カルマンフィルタを用い、現場での温度計測結果からコンクリートの熱伝導率を推定した。推定された熱伝導率は一般的な値よりも少し大きめの値であるが、推定された熱伝導率を用いた温度解析では、解析温度は実験値と良く一致した。今後は、最適な観測点配置、有限要素モデル等を検討するとともに、さらに多くの実験計測を行いデータの蓄積を行うつもりである。

【参考文献】

- 1) 矢川元基：流れと熱伝導の有限要素法入門、培風館、1983
- 2) 片山 徹：応用カルマンフィルタ、朝倉書店、1983
- 3) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひびわれ制御指針、1986

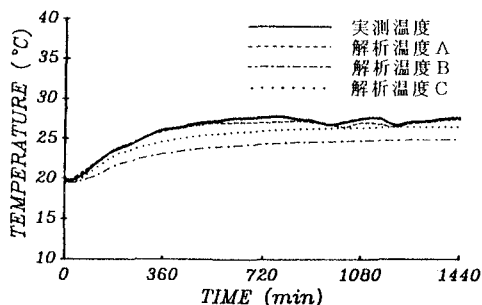


図-3 温度履歴(熱電対5)

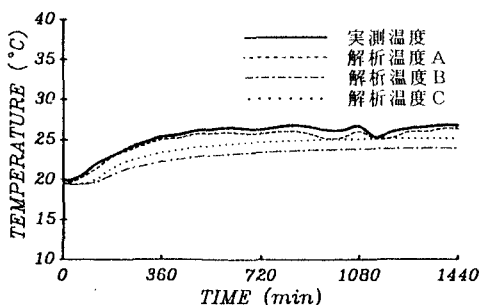


図-4 温度履歴(熱電対14)

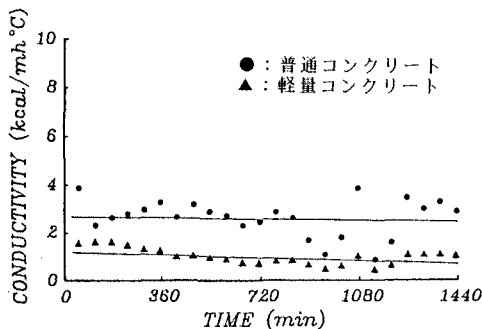


図-5 推定熱伝導率