

I - A104 拡張カルマンフィルタを用いた熱伝導問題の境界条件の逆解析

一 事前情報の検討 一

清水建設 正会員 鈴木 誠・新美勝之
中部電力 正会員 上田 稔・佐藤正俊

1. はじめに

近年、コンクリート構造物を対象として、躯体内部温度データから表面での熱伝達係数と日射吸収率を推定しようとする研究がなされてきた¹⁾²⁾。しかし、熱伝達係数と日射吸収率は同じ境界に作用する境界条件であることから、これを逆問題と考えると解の一意性のない不適切問題になる。そのため、従来ではどちらか一方のみを推定する方法がとられていた。著者らは、拡張カルマンフィルタを用いて、これらを同時に逐次推定することができる手法を提案した³⁾。この手法は、両パラメータの推定値や推定誤差の初期値、およびシステムノイズと観測ノイズなどのいわゆる事前情報を用いることにより、問題の適切化を行うことができる。本研究では、これら事前情報の設定について、パラメトリックスタディを行うとともに、情報量統計学⁴⁾の観点から検討を行う。

2. 解析条件

解析対象は、熱伝達境界と断熱境界を有する領域にコンクリートを打設した際の非定常熱伝導問題である³⁾。事前情報のうち、推定する熱伝達係数と日射吸収率に関して、推定値の初期値(α_0, γ_0)と推定誤差分散の初期値(P_{100}, P_{170})、システムノイズ(W_α, W_γ)を表-1に示すように設定した2ケースの解析を行い、結果を比較する。なお節点温度に関係する事前情報については、 P_{100} は 1.0×10^{-4} 、 W_α は 1.0×10^{-6} 、観測ノイズの分散(V_θ)は 1.0×10^{-2} に設定した。

表-1 解析ケース

CASE	熱伝達係数			日射吸収率		
	α_0	P_{100}	W_α	%	P_{170}	W_γ
A	17.0	1.0×10^0	1.0×10^{-4}	0.7	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-6}
B	17.0	1.0×10^0	1.0×10^{-2}	0.7	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-6}

3. 事前情報の推定結果に与える影響

解析結果のうち、両ケースの(a)熱伝達係数に関する推定誤差分散、(b)熱伝達係数の推定値、(c)日射吸収率の推定値の経時変化図を、図-1と図-2に示す。

CASE-Aでは、熱伝達係数の推定値は、初期の段階では設定値の変動に追従できているが、徐々に設定値からはずれている。これは、熱伝達係数に関する推定誤差分散(P_{100})が時間が経つにしたがって徐々に減少していった

めに、観測更新の駆動がかかりにくくなっているためと考える。また、日射吸収率の推定値は日射のある時間帯に観測更新の駆動がかかり、熱伝達係数の推定値には日射のない時間帯に駆動がかかっている。日射吸収率の推定値は、次第に設定値近傍に落ち着いて行くが、熱伝達係数の変動の影響を受けていることがわかる。

CASE-BではCASE-Aに対して、熱伝達係数のシステムノイズの分散(W_α)を100倍の 1.0×10^{-2} に設定した。このため、 P_{100} が徐々に増加し熱伝達係数に関して観測更新の駆動が大きくなり、特に後半ではCASE-Aと比較して設定値に近い推定結果が得られている。熱伝達係数の影響を受ける日射吸収率の推定値の変動も、CASE-Aに比べて小さくなっている。すなわち、熱伝達係数のように時間変動するパラメータを推定するときには、システムノイズが重要な役割を果たしていることがわかる。

以上まとめると、推定量が時刻歴で変動する場合には、 W を大きくして観測更新がある程度大きく機能するようにすることが必要である。このことは、過去のデータの重みを小さくすることに対応しており、逐次推定の精度を向上させることができる。そこで、熱伝達係数と日射吸収率というような複数のパラメータを同時に推定する場合には、それぞれに関する P_{10} と W の設定にあたり、両者のバランスを考慮して検討をする必要がある。

4. AICを用いたシステムノイズの設定

本解析では、事前にシステムノイズを設定する必要があるが、これらパラメータの設定のしかたが推定結果に大きく影響を与えることが分かった。ここでは、そのパラメータの良し悪しを評価する規準として赤池情報量規準(AIC)⁴⁾を導入し、システムノイズの設定について検討する。

図-3に、熱伝達係数と日射吸収率に関わるシステムノイズの W_α と W_γ をパラメータとして算出したAICのコンターを示す。なおグラフでは、横軸に W_α を線形軸で、縦軸に W_γ を対数軸で取っている。図より、 $W_\alpha=0.6 \sim 0.9$ 、 $W_\gamma=3.0 \sim 4.0 \times 10^{-6}$ あたりでAICが最も小さくなっていることがわかる。AICが最小値に近い値を取る $W_\alpha=0.8$ 、 $W_\gamma=4.0 \times 10^{-6}$ （図中×印）と設定した場合の最適推定結果を図-4に示す。他の推定結果よりも優れており、AICを用いることによりパラメータの設定を定量的に評価できるものと考えられる。

Key Words : extended Kalman filter, inverse analysis, heat conduction problem, prior information, AIC

〒100 千代田区内幸町 2-2-2 富国生命ビル TEL 03(3508)8101 FAX 03(3508)2196

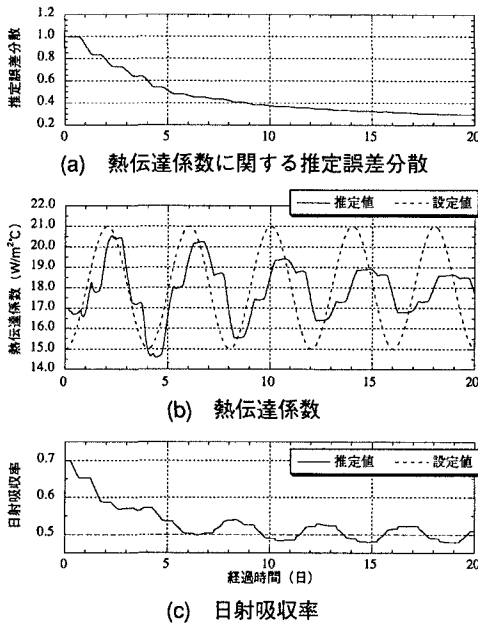


図-1 推定結果 (CASE-A)

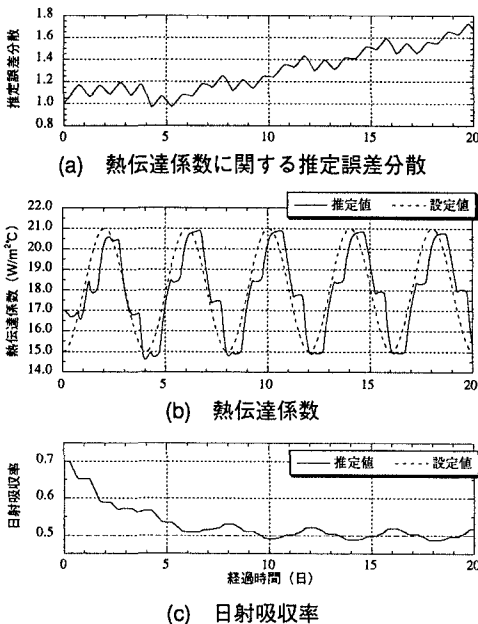


図-2 推定結果 (CASE-B)

4. おわりに

拡張カルマンフィルタを用いた熱伝導問題の境界条件の逆解析において、事前情報が推定結果に与える影響を検討した。また、AICを用いて推定結果を定量的に評価し、最適な推定結果が得られる事前情報を求める方法を示した。

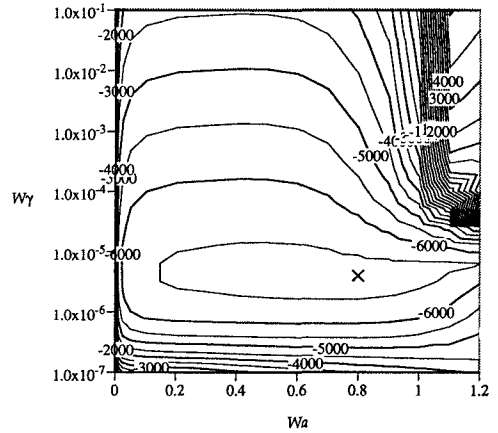


図-3 W_α, W_γ と AIC の関係

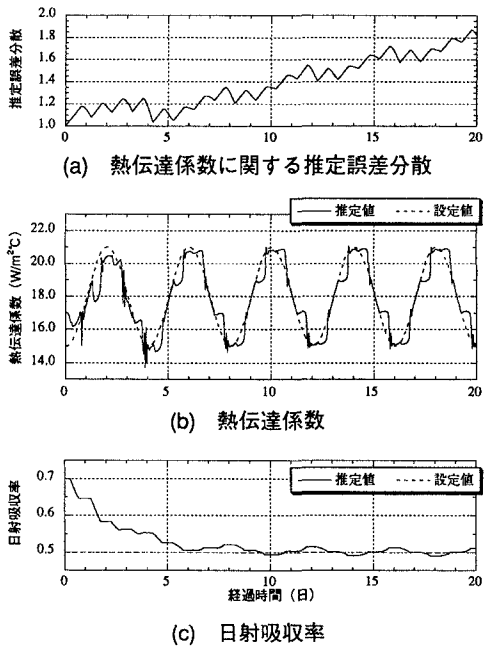


図-4 最適推定結果

参考文献

- 1) 近久博志ほか：逆解析手法によるマスコンクリートの熱伝達係数の評価，土木学会論文集，No.451/V-17, pp39-47, 1992.
- 2) 中原博隆ほか：コンクリート構造物の養生面における日射の吸収率の評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15, No.1, pp1111-1114, 1993.
- 3) 新美勝之ほか：拡張カルマンフィルタを用いた熱伝導問題の境界条件の逆解析－定式化と適用例－，土木学会第52回年次学術講演会，I, 1997.
- 4) 坂元慶行ほか：情報量統計学，共立出版，1983.