

構造ヘルスマモニタリングのセンシングにおける温度ひずみの補正に関する研究

茨城大学大学院 学生会員 ○町口 敦志
茨城大学工学部 フェロー 横山 功一

1. 研究の背景と目的

近年、構造物の老朽化問題が重要視されている。そこで、構造ヘルスマモニタリング技術 (SHM) の実用化を目指し、SHM システムの理論体系を確立することが求められている。SHM は、長期継続的計測となるため、環境変化 (季節・天候) による温度変化は大きくなる。このことから、構造物は温度ひずみ (温度影響によるひずみ) を生じ、この温度ひずみは力学的ひずみ計測の妨げとなり、損傷判定の際に大きな誤差となる。そこで本研究では、実測ひずみから温度ひずみを除去し、温度影響のないひずみを取り出すことを目的とする。

2. 温度ひずみ

温度ひずみには、構造物温度ひずみとセンサ温度ひずみがある。構造物温度ひずみの原因は、材料の熱膨張・内部拘束力・構造物内部の温度差などがある。センサ温度ひずみの原因として、センサの材料と計測材料との線膨張係数差 (温度補償型ひずみゲージの誤差)・温度精度限界・計測誤差などがある。

3. 経験的予測解析手法

経験的予測解析手法 (重回帰分析・ニューラルネットワーク (NN)) によって、温度分布と温度ひずみの相関性を経験的にモデル化 (学習) し、温度ひずみを予測する。

4. 計測データ

2005年9-10月に新日本製鐵 (株) と共同で鋼合成桁モニタリング (図-1: センサ配置図, 図-2: 温度・ひずみグラフ) をおこなった。また、実験的に光ファイバセンサ (R-OTDR) によって分布温度を計測した。

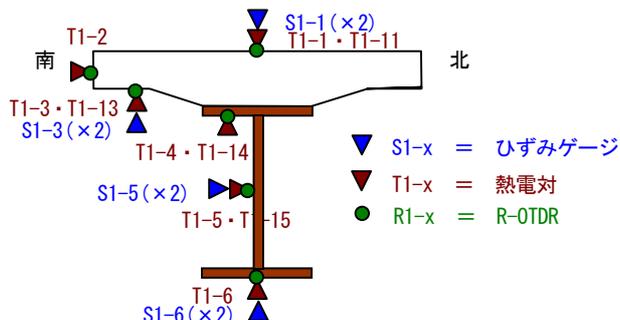


図-1 鋼合成桁センサ配置図

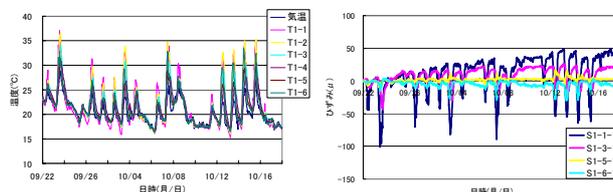


図-2 温度・ひずみ [05/09/22-10/17]

5. 温度ひずみの予測

図-3・4は、ひずみ (S1-1・S1-3) を重回帰・重回帰 (光 F)・単回帰・NN によってモデル化 (05/09/22-28), 予測 (05/10/8-17) した図である。モデル要素は、重回帰・NN には全温度 (気温・T1-1~T1-15), 単回帰にはひずみ各点の温度・重回帰 (光 F) には全温度と光 F の温度である。

5.1 モデル化・予測結果

予測はモデル精度と相対性が強く、モデル精度が悪いと予測精度も悪くなる。結果より以下のことがわかる。

- (1) モデル化・予測精度: S1-3 > S1-1
- (2) モデル化・予測精度: 重回帰分析 > NN
- (3) モデル化・予測精度: 重回帰分析 ≒ 重回帰分析 (光 F)

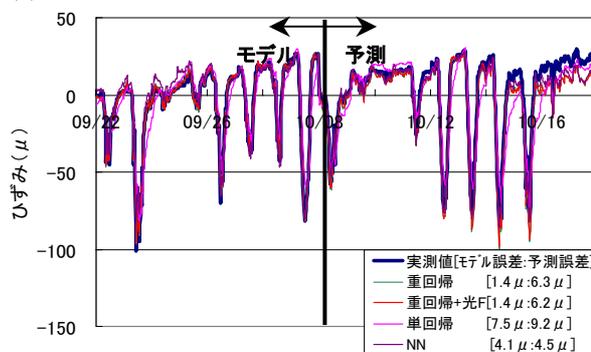


図-3 S1-1 モデル・予測値 [05/09/22-10/17]

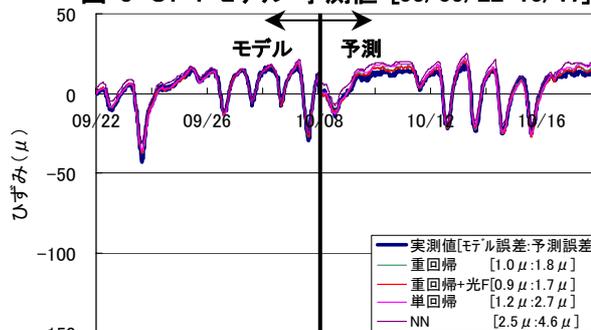


図-4 S1-3 モデル・予測値 [05/09/22-10/17]

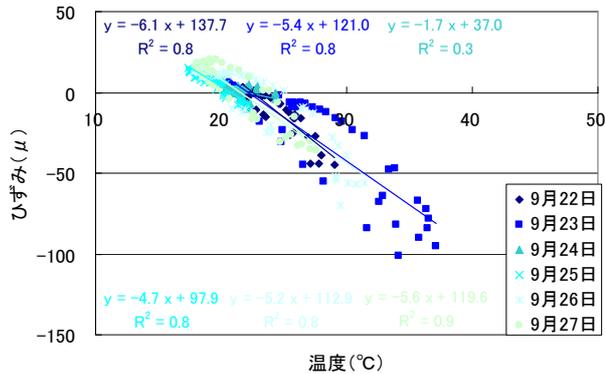


図-5 TS1-1 温度-ひずみ(日別) [05/09/22-27]

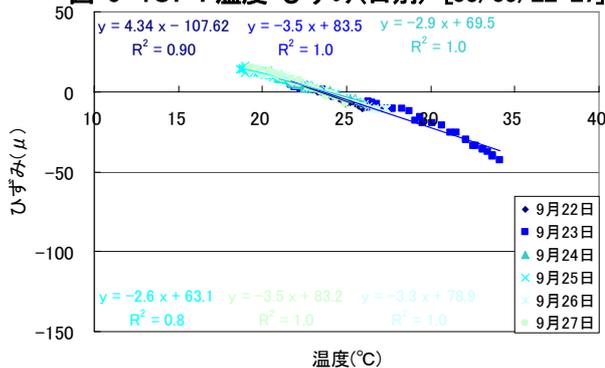


図-6 TS1-3 温度-ひずみ(日別) [05/09/22-27]

5.2 モデル化・予測結果の分析

図-5・6は、TS1-1・TS1-3の温度-ひずみグラフである。

(1)モデル化・予測精度：S1-3>S1-1

温度-ひずみグラフより、S1-3は温度とひずみの相関性が強いことがわかる。しかし、S1-1は、温度-ひずみの関係にばらつきがある。このばらつきは、日が経過するにつれて温度-ひずみはずれるドリフトと、午前・午後で温度-ひずみが円を描くループの2種類に分類できる。

ドリフトした計測点は無作為であった。ドリフトの原因は、温度誤差・センサ電源・接着剤などと考えられる。2002年8月・2003年2月にも同様の実験（電源：バッテリー）をおこなっているが、これと比較するとドリフト量は小さくなっていることから、センサ電源といったセンサ誤差が原因であると考えられる。このことから、ドリフトと温度分布には相関性がないため、ドリフトの予測はできないと考える。

ループも無作為におきている。ここで、単回帰分析ではループの予測をできないが、重回帰分析では予測できていることから温度分布による影響ではないかと考える。

(2)モデル化・予測精度：重回帰分析>NN

NNは非線形な数値のモデル化を可能とする。しかし、モデル化・予測精度は1次式にモデル化する重回帰分析の方が良かった。このことから、ひずみ-温度分布に非線形性は少ないと考える。

(3)モデル化・予測精度：重回帰分析≒重回帰分析（光F）

光ファイバの分布温度をモデル要素に加えたが、予測結果は変わらなかった。このことから、ひずみ予測においての温度計測は最低6点あれば十分であると考えられる。

(4)その他

鋼のひずみ(S1-5・S1-6)予測は、温度ひずみ量が小さいため、誤差は小さかった。また、同点計測より、コンクリートの線膨張係数には2~3($\mu/\text{°C}$)の違いがあった。

5.3 温度ひずみのモデル化・予測のまとめ

- (1)温度ひずみ予測は、重回帰分析が適している。
- (2)温度ひずみは、温度分布と相関性がある。
- (3)温度分布-ひずみの相関関係には非線形性は少ない。
- (4)温度ひずみと相関性のないセンサ誤差は予測不可能。
- (5)構造・材料などの違いによって、温度-ひずみ関係は異なるため、各計測点のモデル化が必要である。
- (6)コンクリートの線膨張係数は安定していない。

6. 温度ひずみ補正後のセンサ出力

図-7は、重回帰分析によってセンサ出力から温度ひずみを除去（実測 - 予測）した補正後のひずみである。ドリフトがない場合、重回帰分析によって 2μ 以内のセンサ出力にすることができた。

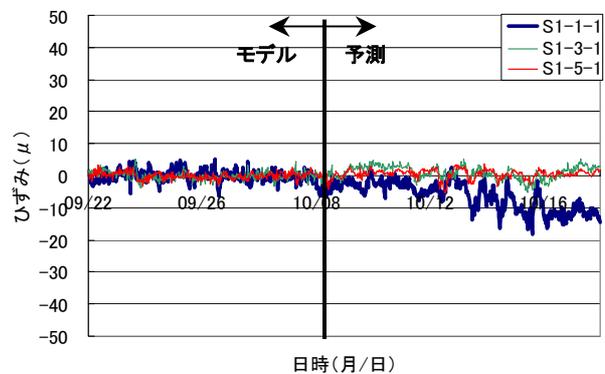


図-7 補正後ひずみ(重回帰分析) [05/09/22-10/17]

7. 結論

重回帰分析によって、温度分布から温度ひずみを予測できた。そして、実測ひずみから予測した温度ひずみを除去することで、温度影響のないひずみを取り出すことができた。

参考文献

- 1) 高木優任, 横山功一, 原田隆郎: 鋼合成桁の温度分布に影響を及ぼす環境要因に関する実験的研究
構造工学論文集 Vol.50A(2004年3月) 他