

構造物のモニタリング技術

Structural Monitoring Technology

日本鋼構造協会 編

コロナ社

2020年11月刊行

A5判・306ページ

定価 4,950円（本体4500円＋税）

1. はじめに

- 1.1 構造モニタリング技術とは
- 1.2 構造モニタリングの目的
- 1.3 技術発展の背景と現状
 - 1.3.1 技術の変遷
 - 1.3.2 持続性とモニタリング
- 1.4 本書の目的と構成
 - 1.4.1 本書の目的
 - 1.4.2 本書の構成

- 構造物のモニタリング技術の概観
- 構造と情報の分野の連携
- 振動モニタリング技術
- 課題と展望
- 主な対象読者
 - 土木・建築分野に携わる技術者
 - 構造分野の大学生・大学院生
 - 土木・建築分野以外の技術者

章番号

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

計測

分析

判断

情報

土木

建築

船舶

画像

課題

将来

基礎知識

適用事例

2. 構造モニタリングの基礎知識: 計測

2.1 構造モニタリングに用いられる計測量

2.2 計測方法

2.3 振動モニタリングで利用する外乱

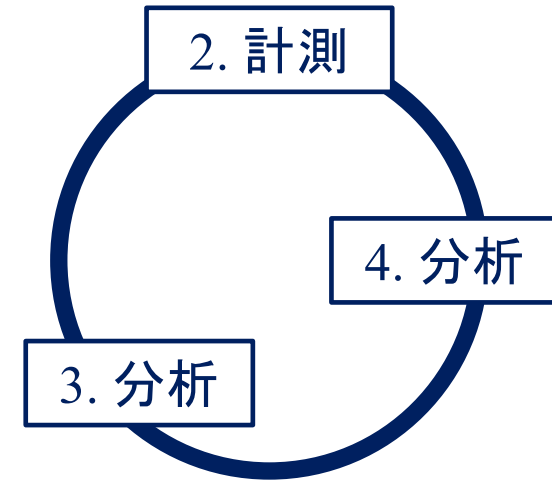
2.3.1 外乱の種類と特徴

2.3.2 外乱とそれに対する応答のモニタリング

2.4 計測器の設置と運用

2.4.1 設置

2.4.2 運用



- 構造物の状態を判断するために、どういう物理量を、どういう原理で計測？
- 計測の種類は、そのように評価できる振動特性と関係？
- 計測の方法と原理は、計測器の維持管理に影響

3. 構造モニタリングの基礎知識: 分析

3.1 計測データ処理

3.1.1 オフライン型とオンライン型

3.1.2 信号処理と波形処理

3.2 モデリング

3.2.1 モデリングのタイミングと活用

3.2.2 モデリングの目的とモデル化

3.2.3 モデルの検証と妥当性の確認

3.3 システム同定

3.3.1 同定法の分類

3.3.2 代表的な同定法

- 分析前に、データの分析装置への転送とノイズを含むデータの処理
- 解析モデルを使う？ それとも信号そのもので判断？
- モデルを獲得に必要なシステム同定法とは？

4. 構造モニタリングの基礎知識: 判断

4.1 判定基準

4.2 性能指標の選択とその具体例

4.2.1 性能指標の選択

4.2.2 性能指標の具体例

- 判断はモニタリングの最終目的：損傷・劣化の位置・程度の特定，補修の必要性
- 分析後に，どのように構造物の状態を判断？
計測のみで判断，分析値で判断，解析モデルは必要？
- 数理的に単純に扱えない診断・判断法
- 評価値のばらつき ⇒ 確率論的・統計的な評価

5. 情報分野からの基礎知識

5.1 AI・機械学習法の概説

5.1.1 AIの定義

5.1.2 機械学習の学習形態

5.1.3 機械学習を用いた異常検知

5.1.4 ニューラルネットワークと深層学習

5.1.5 サポートベクトルマシンとランダムフォレスト

5.1.6 代表的な外れ値検知手法

5.1.7 異常検知の評価法

5.2 IoT技術・センサネットワーク（無線通信）

5.2.1 構造モニタリングにおける無線通信への要求

5.2.2 IoT向け通信規格LPWA

5.3 ビッグデータとデータ科学

5.3.1 データスキル

5.3.2 データ科学の技術活用

5. 情報分野からの基礎知識（続き）

5.4 ドローン

5.4.1 ドローンの概要と長所

5.4.2 ドローンに対する規制

5.4.3 建物の調査・点検へのドローンの利用

5.4.4 建物の災害調査へのドローンの利用

5.4.5 土木構造物の点検へのドローンの利用

5.5 先進的なセンシング技術

5.5.1 非接触センシング

5.5.2 非破壊センシング

- 構造分野で利用できそうな情報分野の技術
- 構造物の異常検知や維持管理は、ビッグデータとAI・機械学習に深く関係
- 土木・建築構造物は規模が大きいため、無線通信を利用は重要
- 無線通信では、IoT向けの通信規格LPWAについて整理
- 人にとって、視覚情報は総合判断で貴重
- 物体に接触しないセンシング

6. 適用事例: 橋梁の振動モニタリング

6.1 適用事例から見える技術の現状

6.1.1 コンクリート橋

6.1.2 鋼橋

6.1.3 モニタリングの目的と実際

6.2 実務上有用と考えられる事例

6.2.1 コンクリート上部構造における補修補強効果の確認

6.2.2 洗堀モニタリングにおける鉄道橋の運行管理

- 橋梁への適用事例を文献調査
- 技術開発の傾向を報告
- 技術提案としてのシーズと実務上のニーズとの関係
- 実務上有用と考えられるモニタリングとは？

7. 適用事例: 建築構造物の振動モニタリング

7.1 適用事例から見える技術の現状

7.1.1 強震観測と特性モニタリング

7.1.2 制振・免震効果のモード特性としての把握

7.1.3 応答モニタリングと実用化システム

7.1.4 振動台実験によるモニタリング技術の検証

7.1.5 限界耐力計算とモニタリング

7.2 構造モニタリングから得られる情報

7.2.1 建物の振動特性

7.2.2 応答値と構造的被害

7.2.3 応答値と非構造構造被害

7.3 構造モニタリングの費用

7.3.1 初期費用

7.3.2 維持管理費用

7.3.3 更新費用

- 建物の地震被災度即時判定システムとは？
- 計測で得られる建物情報は何か。
- BCMの観点：構造部材が健全でも、天井や仕上げなどの二次部材あるいは設備機器が被災すると、建物は使用不可

8. 適用事例: 船舶の構造モニタリング

8.1 船舶の構造の特徴

8.1.1 海上を移動する巨大な鋼構造

8.1.2 溶接による薄板防撓構造

8.1.3 船体構造の強度評価

8.1.4 船体構造の破損例

8.2 船舶の構造安全性と規則

8.2.1 国際条約の枠組みと船級

8.2.2 船級協会の規則

8.2.3 船体構造モニタリングと船級

8.3 船体構造モニタリング

8.3.1 船舶のモニタリングシステム

8.3.2 船体構造モニタリングシステム

8.4 船体構造モニタリングの方向性

- 土木・建築とは異なる分野の適用事例を通じて、多様な視点で技術を紹介
- 船体構造の特徴と国際規則の情勢を背景
- モニタリングで運用中の作用外力、建造後の実強度の不確実性を低減することの意義
- 船舶の構造モニタリングは、見積もりの中に含まれる不確実性を低減

9 画像に基づくひび割れ・き裂の点検評価システム

9.1 ひび割れ検出・定量化に関する実用化システム

9.2 Auto-CIMAのシステム構成とひび割れ検出手順

9.3 ひび割れ検出技術に関する近年の研究事例

9.3.1 Structure from Motionを利用した方法

9.3.2 AI・深層学習を利用した方法

9.3.3 YOLOによる一般物体検出技術を用いたひび割れ検出

9.3.4 デジタル画像相関法を用いたひび割れ検出の研究事例

- 画像に基づくひび割れ・き裂の点検評価システムの紹介
- コンクリート構造物部材の劣化診断
- 可視光画像を利用したひび割れの点検・評価・診断
- 赤外線や可視光画像を用いた非接触の診断

10 モニタリングの利活用・マネジメントとその課題

10.1 技術検証の目的の分類

10.2 技術検証のレベル

10.3 技術検証の事例

10.3.1 実験室レベル及び数値シミュレーションレベルでの検証例

10.3.2 実構造物レベルでの検証例

10.4 個別技術の統合・組み合わせと総合判断

- 現状のモニタリングの利活用・マネジメントとその課題
- 分析結果を統合判断するマネジメント，費用対効果など実用化で直面する問題
- 技術の到達レベルと実現性
- 技術の信頼性だけでなく，費用の説得性

11 将来展望

- 11.1 構造分野と情報分野の連携・融合
- 11.2 地震観測・地震時健全性モニタリング
- 11.3 構造モニタリングの展望
- 11.4 デジタルツイン
- 11.5 BIM・CIM
- 11.6 スマートシティ
- 11.7 構造モニタリングの将来

- 構造分野と情報分野の連携・融合の在り方
- 将来のモニタリング技術