

マルチタスク学習に基づく都市基盤施設の知識共有型群監視技術の構築

東京大学 ○八百山太郎*

性能監視 非構造部材 異常検知
局所損傷検知 スパース推定

研究の目的

地震災害時の種々の意思決定を迅速かつ効果的に実施するためには、時々刻々の被災状況を都度把握できなければならない。特に、建築物や土木構造物、ライフライン等、都市を構成するさまざまな基盤施設（都市基盤施設）の性能をリアルタイムに評価できることが望ましい。すなわち、センサー情報に基づく都市基盤施設群の監視技術の構築が重要である。さらに、建築物に限っても、非構造部材・設備機器等を含め、多様なシステムの性能を包括的に監視できることが望ましい。本研究は、著者がすでに提案している相關異常検知に基づく性能監視の枠組み（部材間相互監視）を拡張しつつ、マルチタスク学習（似通ったシステム群を、互いに知識を共有させつつ取り扱う）を援用した都市基盤施設群監視技術の構築を試みるものである。

研究成果

本研究課題の主な成果は次のとおりである。①マルチタスク学習や非構造部材に関する文献調査、②部材間相互監視技術の高度化、③二次部材を含めた多様なシステムの包括的監視の検討、④震動台データを用いた検証。それぞれに関し、以下に概要を述べる。

①文献調査

構造ヘルスマモニタリングや機械学習に関して関連文献を収集し、マルチタスク学習（知識共有）の監視技術への活用事例を広く調査した。本研究が目指す手法と同様の概念に立脚している手法は存在したもの、関連性を利用した監視手法は調べた限りでは存在せず、本研究の位置付けと独自性が明確となった。併せて、二次部材を含め多様なシステムを考慮可能な監視技術の構築に向け、各種の指針類や非構造部材・設備機器の地震応答特性に関する文献を調査した。

②部材間相互監視技術の高度化

実装上直面した課題の解決を目的として、下記の二つの方法論的改良に取り組んだ。

（１）入力波特性に依存しない共分散行列に基づく群相關異常検知

提案手法の入力波依存性を排除するため、入力地震動の特性を除去した白色化共分散行列を定式化した。具体的には、節点加速度に関し周波数応答関数行列を構成し、

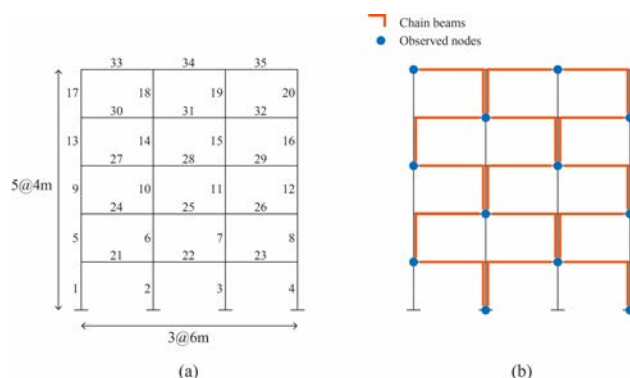


図 1 (a) 対象構造物：5 層 3 スパンフレーム; (b) 想定する観測点と直列連鎖材。

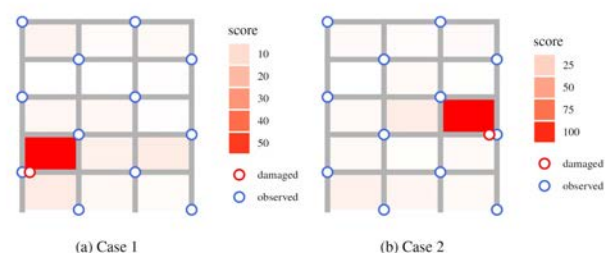


図 2 各構面に関して算出された相關異常度

これらを周波数領域において積分することにより、白色雑音入力時相当の共分散行列が得られることを示した。これにより、地震動の特性に対してロバストな損傷検知が実現可能となる。

（２）観測点位置に対して一般化された部材間相互監視技術の構築

これまでの手法では、部材ごとの異常度を算出する際に、ラーメンフレーム内において、全ての節点の加速度応答が必要であった。これに対し、改良手法では、平衡行列の概念を一般化することにより、直接には接続していない任意の二点間においても、直列連鎖材の変形自由度という形で「要素変形」を柔軟に定義可能となる。すなわち、(a) 観測された節点加速度に関し白色化共分散行列を計算し、(b) 一般化された平衡行列を用いて「要素変形」の自由度に関する共分散行列へと変換し、(c) これらに対し相關異常検知を適用する、という手順によって、部材・構面ごとの異常度を計算可能となる。

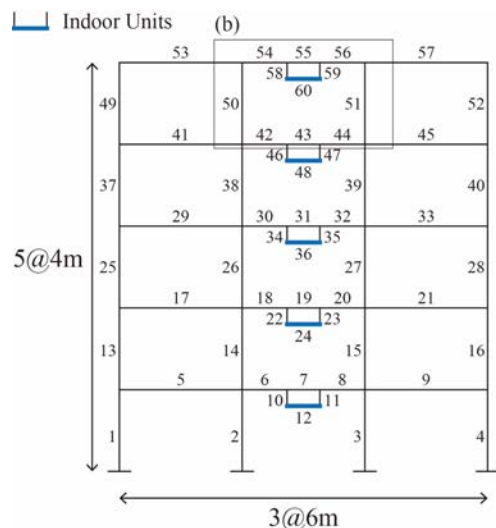


図3 各スラブに吊り式空調室内機を有する5層3スパンフレーム

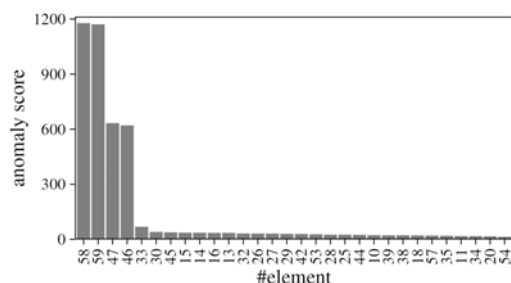


図4 各部材の相関異常度（損傷部材：58）

数値実験例を示す。ここでは、図1(a)に示すような、5層3スパンの平面フレームを対象とした。仮定した観測点位置及び直列連鎖材の定義方法は図1(b)の通りである。すなわち、フレーム内の各構面に関して異常度を評価することに対応する。図2には、各構面に関して算出された相関異常度を、各損傷状態 (Case 1, Case 2) に関して示す。実際に損傷を生じさせた部材を含む構面において最も高い異常度が得られており、手法の適用性が示唆される。

③二次部材を含む多様なシステムの包括的監視への適用

図3に示す通り、各スラブに吊り式の室内空調機が接続されているような、5層3スパン平面フレームを対象に、二次部材系を包含する多様なシステムの包括的性能監視問題を対象に、提案手法の適用性を検討する。損傷シナリオとしては、最上層に位置する室内機の吊りボルト（部材58）に関して、吊り元（スラブ側）の端部が損傷する場合を想定する。なお、ここでは簡単のため、全ての節点で応答が観測されると仮定した。相関異常度の算出結果を図4に示す。損傷を与えた部材58において最も高い異常度が算出されており、二次部材系を包含したシステムにおいても適用性が示唆される結果となった。

● Observed Fractures

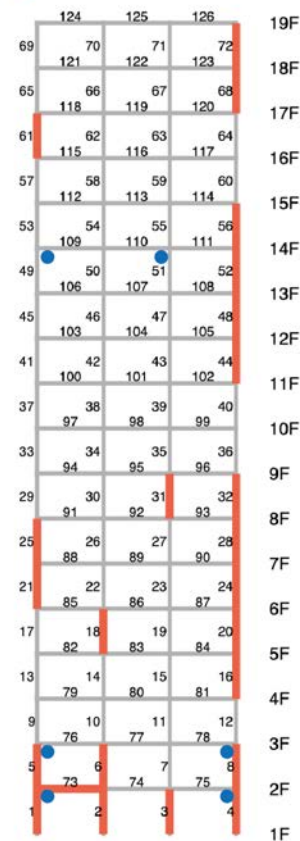


図5 提案手法により評価された異常度の上位25部材の位置と白石・他 (2017) による破断検知箇所。

④振動台実験データを用いた検証

Eーディフェンス震動台実験の公開データ（白石・他, 2017）に基づき実験的検証を行った。Y1構面を対象に、全節点につき観測される水平・鉛直・回転加速度を用いることで、部材間相互監視技術を適用した。結果を図5に示す。同図においては、白石・他 (2017) によってひずみデータ等に基づき詳細に評価された鉄骨の破断箇所を、青丸印で記している。損傷箇所と異常度の高い部材位置は、特に1-2層においては概ね対応しており、提案手法の適用性が一定程度示唆されている。一方で、14F付近では実損傷状態との位置の対応が悪く、手法の改良の余地が指摘できる。

今後の予定

今後の課題としては、①実験的検証の拡充と手法のさらなる改良、②多様な二次部材への適用可能性の検討、③多量のデータを効率的に扱うためのマルチタスク学習への展開、④知識共有型都市基盤施設群監視への展開、等が挙げられる。

参考文献 白石理人・他 (2017), 日本建築学会構造系論文集, 82, 801-811.