

学位論文 博士（工学）

部分構造の特性変化に基づく
構造物の局所損傷検出に関する研究

2015年9月

慶應義塾大学大学院理工学研究科

白石 理人

主 論 文 要 旨

報告番号	① 乙 第	号	氏 名	白 石 理 人
主 論 文 題 目 :				
部分構造の特性変化に基づく構造物の局所損傷検出に関する研究				
(内容の要旨)				
<p>構造物の大地震後の健全性や経年劣化の診断に際し、構造物内の損傷の有無や位置の情報は重要な指標となる。これまで構造物の損傷調査は技術者の経験と勘に頼る部分が多かったが、これを構造物に設置したセンサにより補完、代替することが考えられている。一方、昨今のセンサとその周辺技術の革新的な進化により、近い将来センサは構造物にこれまで以上に大量、高密度に設置することが可能になると予想され、これに対応する新たな損傷検出手法が求められている。</p> <p>このような背景を踏まえ、本論文では建築物の大地震後の健全性診断を主な対象に、センサ数の制約については重要視しないとの条件下で、構造物を部分構造に分割し各々の特性変化により損傷検出を行う局所損傷検出手法の枠組みを構築した。</p> <p>第1章では、本論文の背景を述べ、研究の位置付けを明らかにした。</p> <p>第2章では、部分構造の特性変化を利用した構造物の局所損傷検出手法を提示した。提案手法では部分構造毎に内部の入出力関係を事前に同定しておき、損傷後の観測出力とシミュレーション出力の差（出力誤差）の増加を利用して損傷を検出する。提案手法により建物全体の振動特性に与える影響が小さい局所損傷の検出と、その損傷の3次元的位置の特定が可能であることを、S造5層建物の3次元フレームモデルの地震応答解析結果を用いた検討により示した。</p> <p>第3章では、提案手法に対する理論的な裏付けを与えることを目的として、一般的な部分構造を対象に損傷により発生する出力誤差を部分構造内部の伝達関数行列を用いて定式化した。その上で、損傷時の出力誤差発生メカニズムに関する検討と地震応答解析による検証により、利用するセンサ出力の方向、振動数帯域、観測ノイズが出力誤差の発生と損傷指標の増加に及ぼす影響についての知見を得た。</p> <p>第4章では、提案手法の実建物での検証を目的に、RC造5層建物での損傷検出実験を実施した。建物の一部の柱に人為的損傷を付与した前後の起振機による強制振動試験のデータから、提案手法により損傷検出が可能であることを示した。さらに、少数センサによる部分構造毎の移動計測と建物内の損傷検出対象範囲の限定により、計測点数や計測方向に限られる従来型のセンサシステムに対しても応用可能な提案手法の実施方法を提示した。</p> <p>第5章では、提案手法の総合的な実証を目的に、大型振動台による実大1/3スケールS造18層建物の崩壊実験へ手法を適用した。152台のMEMS型6軸振動センサを試験体に設置し提案手法による損傷検出を行った。損傷判定結果は試験体の梁端下端フランジの破断位置の分布と良く対応しており、提案手法の特徴である局所損傷の検出とその位置特定が可能であることを実証した。</p> <p>第6章では、以上の内容をまとめ、本論文の結論を述べた。</p>				

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Science for Open and Environmental Systems	Student Identification Number	SURNAME, First name SHIRAIISHI, Michihito
Title Local Structural Damage Detection Based on Characteristics Changes of Substructures		
Abstract In order to diagnose structural health, information about possible existence and its extent of structural damage is extremely important. Recent technological advances of sensing devices allow us to deploy a large number of high density sensors to structures. In this dissertation, a new local structural damage detection method is proposed on the assumption of using such a new type of sensing devices. The contents of this dissertation are summarized as follows. Chapter 1 describes the background and the purpose of this study. Chapter 2 proposes the substructure based local damage detection method. The method divides the whole structure into a set of small virtual substructures consisting of beams and columns. Then, the local damage existence is detected inside of each substructure using the output error defined as a difference between observation output and simulated output at an internal node of the substructure. The performance of the method is verified using numerical simulation data sets of a 3-dimensional 5-story steel structure. Chapter 3 investigates the sensitivity between the output error and structural damages of a substructure to enhance theoretical aspect of the proposed method. The output error is formulated by transfer functions inside the substructure, and the numerical studies using a simple 2-dimensional frame model is conducted. The results show that the increase of the output error induced by structural damages mainly occurs in the rotational component of the substructure response than in translational component, and as a result that the rotational component is most tolerant to the observation noise. In chapter 4, the proposed method is applied to forced vibration test of a real 5 story RC building with artificial damages in their columns. Because the damages were locally applied, its impact to the dynamic characteristics of the whole structural system was very limited. Nonetheless, the proposed method showed its ability of detecting the damage existence and location. In order to present the current practicability of the proposed method, an iterative usage technique of a set of small number of conventional types of sensors is also verified in the test. In chapter 5, the method is also applied to the large shaking table test of 1/3 scaled 18-story steel high-rise building. 152 of MEMS type 6 axis vibration sensors were installed in the buildings to verify the method. The method shows its capability to detect local structural damages such as fractures of flanges at the end of steel beams. Chapter 6 is the conclusion of this dissertation. The proposed method can be considered to accomplish to detect local damages in structures and identify its 3-dimensional locations. The proposed method has not only capability to use a large number of new types of sensors, also has the practicality with a limited number of conventional types of sensors.		