

(352) 構造物の損傷評価とその問題点

依頼講演

京都大学工学部

○白石 成人

古田 均

1. はじめに

近年の構造解析、施工技術、材料開発などの進歩には目ざましいものがあったが、その反面これまで問題にならなかった諸要因がクローズアップされ、予期せぬ損傷、破損が生じていることが報告されている¹⁾。このような状況を鑑み、損傷を受けている構造物を使用可能な状態に保全することの重要性が現在強く認識されている。すなわち、維持管理業務の重要性が再認識されるところとなっている。

維持管理業務を適切に遂行するには、対象構造物の損傷度を評価することが必要不可欠である。ところが、この損傷評価がそれほど容易ではない。既存の構造物を対象にしているので、一見これから建造する構造物に比べて簡単に思えるが、現実が存在するということはより正確な評価が必要とされ、そのためにはより正確なデータが必要となる。精密なデータを得るには、大きく分けて2つの問題点が存在する。1つは、当然のことながら経済的な問題である。通常維持管理の対象となる構造物の数は非常に多く、その全てに正確な点検、試験、実験等を行うことは経済的な制約から事実上不可能である。もう1つの問題点は、技術的なものである。もし、対象構造物を破壊してもよいのであれば、有益なデータを得ることはそれほど困難ではない。しかしながら、維持管理業務の目的はその構造物の安全性あるいは機能を保持することにあるので、当然のことながらそれらを破壊することは出来ない。本文では、現在提案されている構造物の損傷評価法について概説し、その問題点と将来の課題について述べ、今後の研究にいくらかの参考になることを期待するものである。

2. 損傷評価手順

損傷評価を安全性診断の一部と位置づけると、まず構造物に関する基本的なデータ、例えば橋梁であれば、材質、橋長、幅員、架設年等を調べることから始めなければならない。そして、現在の状態を類推するための種々の調査・実験等を行い、さらに過去の維持補修履歴の調査を行わなければならない。損傷評価の目的は、構造物の現在の状態が危険かどうかを判断するものことにある。安全性診断という観点からはより広い検討が必要であるが、本文では損傷評価としては補修方法や余寿命予測などの延命対策は除外して考えることにする。

3. 損傷事例の収集とその分析

2. で示した評価手順を実行するには、損傷の原因とその結果(影響)が分かっているなければならない。ところが損傷過程は非常に複雑であり、個別性も非常に高いので、簡単にその因果関係を特定することは出来ない。そこで、まず過去の損傷事例を集め分析することにより、基本的な情報を得ることから始めることになる。今まで橋梁関係の損傷事例は、その公共性からあまり公表されることがなかったが、現在ではその重要性が強く認識され、かなりのデータを入手することが出来るようになり、データベース等も作られるようになってきている²⁾。

このような損傷事例の解析法としては、FTAあるいはFMEAが考えられ、各損傷原因と損傷例との因果関係を定性的に類推することが出来る。その他、もしかなりの数の統計的データを得ることが出来れば、多変量解析や数量化理論³⁾を用いて損傷要因の重要度を推定することも可能である。

4. 損傷度評価尺度

Yao⁴⁾によると、損傷度評価尺度としては、1)数量的なもの、2)経済的なもの、3)言語表現によるものなどが考えられる。現在までに提案されている代表的な評価尺度として1)damage index⁵⁾、2)damage

function⁶⁾、3) damage quotient⁷⁾等を挙げる事が出来る。damage indexは地震を受けたときの構造物の損傷度をその最大変位と逸散エネルギーの和として表したものである。また、damage functionはlow cycle fatigueに対して定義された指標を拡張したものであり、これら2つは1)の数値的な評価尺度といふことが出来る。これに対し、damage quotientは強風時の被害を想定したものであり2)の経済的な評価尺度と言える。3)の言語尺度は、severely damaged、moderately damaged等と言葉を用いて表されるものである。1)と3)両者の特徴を備えたものとしてdamage rate、integrity rate⁸⁾が考えられている。

5. 損傷発見法

簡単な試験法により、損傷程度あるいは損傷位置が分かれば非常に有益である。そのために、種々の非破壊検査（磁気探傷、X線、超音波、AEなど）が考えられているが、鋼構造物は大体において大きいため、このような検査を実施することが容易ではない。将来期待できるものとして、衝撃あるいは振動実験にシステム同定の手法を組み合わせた手法が考えられるが、現在のところはシステム同定で用いられるパラメータが損傷の有無あるいは程度にあまり敏感ではなく、実用化にはまだまだ解決すべき問題点が残っている⁹⁾。

6. 総合的損傷評価法

個々の損傷要因の重要度がわかり、その要因に対する評価が得られれば、それらを総合化して構造物全体の損傷度を判定することが出来る。総合評価として2つのものが考えられる。1つは、ある決められた予算内でどの構造物から補修すべきかという問題に対して答えを与える相対的な評価である。そしてもう1つは、ある対象構造物に注目して、その補修の必要性の有無をも含めた個別的な評価を行うものである。相対的な評価法としては多基準分析法⁸⁾が有効であり、個別的な評価としては、現在注目を浴びているエキスパートシステムの考え方^{10), 11)}が最も有効であると思われる。

7. 今後の課題

鋼構造物の損傷評価法の現状とその問題点について述べてきたが、最も大事なことは損傷評価は非常に難しい問題であるという認識を持ち、考えられる全ての方法についてそれらの可能性を十分検討し、最も簡便でかつ論理性を持った実用的な方法を開発することである。いまだ損傷度解析という言葉も定着しておらず、その実態も明確に定義されているわけではないが、現在の社会情勢を考えると、この問題の解決は急務であり、本文で示したような手順あるいは考え方を参考に有用な損傷度解析法の確立が望まれる。

参考文献

- 1) 白石、鋼構造物の診断について、JSSC、Vol. 21, 1985, 18-21
- 2) 西ドイツ交通省道路建設局、橋梁その他構造物の損傷事例集、土木施工、6、1986。
- 3) 白石、古田、杉本、数量化理論の構造物の健全度評価への応用、第29回構造工学シンポジウム、1983
- 4) J.T.P. Yao, Safety and Reliability of Existing Structures, Pitman Advanced Publishing Program, 1985。
- 5) Y. Park, A, H-S. Ang and Y. K. Wen, Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings, J. of Struc. Eng., ASCE, 111, 1985, 740-757。
- 6) J. Stephens, A Damage Function Using Structural Response, Proc. of ASCE Convention, 1985, 22-39。
- 7) A. G. Davenport, The Role of Wind Engineering in Reducing the Risk of Windstorm Catastrophe, Proc. of Asia Pacific Sympo. 1986。
- 8) N. Shiraishi, H. Furuta and M. Sugimoto, Integrity Assessment of Bridge Structures Based on Extended Multi-Criteria Analysis, Proc. of ICOSSAR '85, Kobe, 1985。
- 9) G. Natke and J.T.P. Yao, Proc. of Workshop on Structural Safety Evaluation Based on System Identification Approaches, W. Germany, 1987。
- 10) 古田、Fu: Yao、知識工学—エキスパートシステム—の構造工学への応用、土木学会誌、70、1985、28-33。