

東京大学 大学院新領域創成科学研究科  
基盤科学研究系 先端エネルギー工学専攻  
2013年3月修了 修士論文要旨

## 超軽量CFRP構造の実現に向けた 急速損傷補修法に関する研究

学生証番号 47116062 氏名 大嶽 晴佳  
(指導教員 武田 展雄 教授)

Key Words : Aircraft, Composite Materials, Structural Health Monitoring, Impact Damage, Patch Repair.

炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP)は、優れた特性を持つことから航空機への適用が拡大している。一方で、石や道具などの異物衝突や雹、落雷などにより、従来までの金属材料と比べ、複雑な内部損傷が発生し、大幅な強度低下を引き起こすことが問題となっている。そのため、現在の航空機複合材構造は過剰に安全余裕のある設計となっており、十分な軽量化に至っていない。

そこで、本研究では新しい航空機設計概念を提案する。具体的には、飛行前点検時に、構造健全性診断(Structural Health Monitoring; SHM)技術を使って衝撃損傷を検知し、CFRPパッチを用いて即座に簡易補修を施す。その後の定期整備の際、従来の非破壊検査(Non Destructive Inspection; NDI)で正確に損傷位置・サイズを特定し、スカーフ補修で強度を完全に回復させることを想定している。

このようにSHM技術と簡易補修技術とを組み合わせることで、損傷を即時に検知し、迅速に強度回復のための補修ができるので、構造を薄くしても安全性を保証することができ、より軽量の複合材航空機構造設計が実現する可能性がある。一方、この補修法では、SHM技術で推定した損傷領域の曖昧さが問題である。一般にSHM技術で損傷の正確な位置と大きさを特定することは難しく、ある領域内のおおよその損傷位置とサイズを推定できるのみである。

そこで、本研究では実験と解析により、SHM技術で検知した損傷を補修する際、損傷領域の不確かさがパッチ補修部の引張強度に与える影響を評価した。

実験では、作成した試験片中央に直径30mmの貫通損傷(円孔)を与えた後パッチ補修を施し、損傷位置の影響とパッチサイズの影響を調べた。まず損傷位置の影響を調べたところ、パッチの大きさが同じならば、損傷の中心位置がパッチの端部に近づき、一部の接着長さが短くなると、初期損傷を引き起こす荷重は低下することがわかった。以上より、パッチ設計を行う際にはSHM技術による損傷領域推定の不確かさを考慮に入れなければならないことが分かる。次にパッチサイズの影響を調べたところ、片側接着長さが同じならば、パッチサイズが小さくても損傷位置に偏りのないほうが、サイズが大きくて偏りのあるほうに比べて高い初期損傷荷重を示すことがわかった。すなわち同じ接着長さである場合でも、偏心の影響は無視できず、補修の際には偏心による影響も加味したパッチ部設計が求められることになる。

解析では、上記強度変化の要因を検証するため、接着層外縁から1.25mm内側のミーゼス応力を比較した。この結果、損傷位置に偏りがある場合のほうがミーゼス応力は高くなっており、これが実験で確認された強度変化の原因になっていると考えられる。

以上より、本研究で提案する急速補修法では、SHM技術で推定された損傷の直径 $l_{pd} (> l_d)$ と、損傷位置の偏りによる強度低下の影響を加味した必要接着長さ $L_{pd} (> L)$ を用いて、直径 $2L_{pd} + l_{pd}$ 以上のCFRPパッチがあれば、損傷位置の偏りに関係なく補修できると考えられる。また、この急速補修法に基づく新規設計法を適用すれば構造により大きな損傷の発生を許容することができるため、従来設計法と比較して構造の厚みが約半分になり、大幅な軽量化が期待できることを示した。