

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 イサヤス ゲブレヨハニス フトウイ  
**Esayas Gebreyouhannes Ftwi**

社会基盤施設の寿命推定には、温・湿度、日射や雨水等の自然環境からの作用と交通荷重に代表される力学的な作用の二者に大別される。新設設計では、それぞれの作用に対する限界状態を設定し、それを超えることのないように構造諸元や使用材料、境界条件等を決定するのが一般的である。しかし、既設構造物の余寿命を推定する場合には、現状の損傷状況の把握とともに、自然環境作用と力学的作用双方の相互作用までを考慮することが肝要となる。したがって、維持管理において材料レベルでの劣化機構と構造性能の低下とを関連づけた解析システムを保有することが極めて重要である。高サイクル疲労荷重下の鉄筋コンクリート構造強度の変化に関する多くの既往の実験研究があるが、限界状態に至るまでの構造と構成材料の非線形挙動を逐次、追跡可能な技術体系は開発段階にあるとあってよい。本研究は数百万回におよぶ繰り返し作用下での材料劣化と構造部材性能の低下を、直接時間-空間積分法によってシュミレーションする解析技術を提供し、その精度の多くを担うコンクリートひび割れ面での疲労せん断伝達モデルを提案し、実用化したものである。これにより 20 年来的懸案であった、移動荷重による急速なコンクリート橋梁床版の疲労寿命低下を数値解析によって再現が可能となり、残存する余寿命推定を可能としたものである。

第 1 章は本論文の研究目的について述べ、既往の研究の整理を行っている。固定点高サイクル疲労荷重に対して、移動荷重は鉄筋コンクリート構造の疲労強度を大幅に低減されることが経験的に知られている。しかし、寿命低減の機構はこれまで定性的な説明に留まり、損傷に至る経過を時間的、空間的に追跡する解析技術が整備されておらず、水分や初期損傷、乾燥収縮との相互作用も推定の域に留まっていることを確認している。

第 2 章はコンクリートの圧縮および引張疲労応力振幅を考慮した一般化構成則について取りまとめたものであり、本研究の疲労直接積分法に採用した経緯と評価結果を与えている。ここで、コンクリートひび割れ面を通じて伝達されるひび割れ応力伝達モデルの精度が、構造解析の上で極めて重要となることを事前解析等で突き止めることに成功した。

第 3 章では第 2 章の考察を受けて、コンクリート中にひび割れを人工的に導入し、直接、高サイクルせん断疲労荷重を作用させてひび割れ面に沿ったずれと開口を測定している。疲労荷重に対してひび割れ面でのせん断ずれ変位は拘束応力の下で安定的に成長するものの、コンクリートの圧縮・引張疲労に比較して極めて急速な速度で進展すること、緩慢な流水中であっては疲労寿命は加速的に低下すること、交番繰り返し疲労せん断荷重下では、せん断伝達疲労劣化はおよそ 100~1000 倍の速度で進展することが実験的に示された。交通荷重に代表される移動荷重下では主応力の回転が各部位で発生する。これがひび割れ面に沿った交番せん断伝達を招き、急速な部材耐力の低下が起こる一因であることを改めて指摘している。

第4章では、高サイクル疲労荷重下での応力伝達構成則を、一般化接触面密度関数モデルを基礎に定式化することに成功したものである。接触面での局所的な劣化損傷を第3章の多角的な実験から逆推定して、これを接触面方向にすべて積分することで、ひび割れ面に沿った空間平均化構成則に取りまとめている。直接積分解析に堪え得るせん断伝達構成モデルとしては、現時点で唯一のもつを得たのである。

第5章ではさらに第4章の内容を高強度コンクリートにまで一般化させている。高強度コンクリートの場合、粗骨材が割裂かれるために接触面の粗度が大幅に低減することを接触面密度関数モデルで表現することで、容易に解析対応できることを示している。これは極めて一般性の高いモデルであることの左証ともいえ、構造解析システムへの組み込みも容易であった。

第6章では対象を鉄筋コンクリートはり部材に焦点をあてて、第4-5章の応力伝達構成則を過去20年にわたって開発されてきた非線形応答解析システムに組み入れ、構造部材レベルでの疲労挙動と解析結果との検証を通じて、提案された構成則の信頼性と精度を確認している。耐震構造解析では10数回程度の繰り返し外力に対して計算するが、本研究で対象とする疲労解析では、これを数百万回にまで行う。そのための数値計算の効率化もあわせて行っている。その結果、疲労荷重のパターンの違いにもかかわらず、疲労振幅強度を変動係数10%程度以内で予測することに成功している。さらに水分の影響、乾燥および自己収縮による初期損傷と疲労寿命に対する影響を数値解析で初めて予測することに成功している。

第7章で本研究の結論をまとめ、今後の課題について概括している。

本研究は、1980年半ばに明らかとなった移動荷重による寿命の大幅な低下と社会基盤の早期劣化問題に対して、初めて数量科学的な手法で機構を解明し、より一般的な環境条件のもので寿命推定を実用的にも可能としたものである。本研究とそれに連なる一連の技術開発の成果は極めて独創性に富むものである。また、社会基盤の維持管理において不可欠な寿命推定に適用することが期待されており、その工学上の貢献は大である。よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。