

コンクリート亀裂面形状の周波数特性に関する解析的研究

学位論文内容の要旨

亀裂を有するコンクリートの応力伝達挙動が、そこに形成されている亀裂面形状と密接な関わりがあるであろうことは、容易に想像されることであるが、その力学的機構を、亀裂面形状と関連させて解明しようとする試みが見られるようになってきたのは、比較的最近のことである。この亀裂面の形状を力学モデルに反映させるためには、まずその複雑な形状を、一般性を持って数学的に記述する必要がある。しかしながら、その不規則性に富んだ形状変化は個体差も激しく、複数の亀裂面形状に共通する性質を抽出することは容易ではない。これが、この種の研究が未だ発展途上の段階に止まっている要因のひとつと考えられる。

しかし近年、フーリエ変換を用いて解析対象を周波数領域で記述する、いわゆる周波数解析を行うフーリエ解析が、物体表面の形状解析のための手法として注目されるようになってきた。その形状解析の対象としてコンクリート亀裂面が採り上げられた例は未だ見当ぬようであるが、「フーリエ解析理論の適用によって周波数領域で表示される亀裂面形状から、従来の解析手法では見出されることのなかった一般性が抽出される可能性がある」と考えることは、自然なことのように思われる。また、フーリエ解析理論の最大の利点として、フーリエ逆変換を用いた周波数特性の還元が挙げられるが、これを有効に活用することにより、亀裂面の形状を合理的にシミュレートする数学モデルが導出される可能性が十分に考えられる。

本論文は、以上のような研究の現状に鑑み、コンクリート亀裂面のためのフーリエ解析手法を確立し、その形状の周波数特性を明らかにするとともに、その解析結果を有効に利用することによって亀裂面形状をシミュレートするための数学モデルの構築を試みたものである。即ち、いわゆる粗面に分類される亀裂面の複雑な形状変化を周波数領域で記述し、その動向を的確に評価するための手法を提案している。そして、本手法を実際の亀裂面に適用することによってその周波数特性について論じ、更にそれらの結果を踏まえたフーリエ逆変換の手法を用いて、実亀裂面の形状を一般化して呈示する数学モデル、「コンクリート亀裂面の標準形状モデル」を構築している。

本論文は5章から構成されている。これら各章の内容を以下に略述する。

第1章では、本研究の背景にある「鉄筋コンクリート構造物の亀裂発生後の力学性能を論ずる際に、そこに形成される亀裂面の形状を考慮することの重要性」について述べた後に、その形状解析に、他分野でもその適用例が見られるフーリエ解析理論を導入する意義を説明し、更に本論文の概要について記述した。

第2章では、コンクリート中に形成された亀裂面におけるせん断応力伝達、亀裂面の形状解析、そしてフーリエ解析に関する既往の研究を概観し、本論文の位置づけを明確にするとともに、その目的について詳述した。

第3章では、フーリエ解析理論の中でも最も一般的な1次元フーリエ変換を用いて亀裂面の

断面形状の周波数特性を抽出する手法を提案し、これを実際のコンクリート亀裂面に適用した結果から、その周波数特性に見られる一般性の同定、および断面形状を一般化してシミュレート可能な2次元標準形状モデルの構築を試みた。

本論文におけるフーリエ解析は、その全てが筆者の所属する研究室が既往の実験で獲得した「光切断法によるコンクリート亀裂面の3次元座標データ」を用いて行なわれる。そのため、先ず初めに本座標データの概要について述べ、その後、この座標データによって記述されたコンクリート亀裂面の形状解析手法として1次元フーリエ解析理論を導入し、その周波数領域における動向を精査するための5種の関数を提案した。

これらの関数の解析感度は、本測定・解析の2種のパラメータである分解能、サンプリング間隔に影響される可能性があるため、先ず、この2つのパラメータの適正値を特定して、亀裂面の3次元座標データより抽出される周波数特性について、効率的かつ体系的に論ずるための条件を明らかにした。その後、実際にコンクリート中に形成された複数の亀裂面に本手法を適用することで得られる周波数特性を対象として比較・検討を加え、その結果にフーリエ逆変換を適用することによって2次元標準形状モデルを導出し、これが、実際の亀裂面から切り出される断面の形状を一般化してシミュレートしていることを確認した。

第4章では、2次元フーリエ変換を導入することによって、前3章で開発された1次元フーリエ解析手法の高次化を計り、更に解析結果を集約させて構築される亀裂標準形状モデルの立体モデル化への拡張を試みた。

このフーリエ変換の高次化に伴い、周波数領域で記述されるコンクリート亀裂面の挙動は当然その複雑さを増すことになる。そこで本章では、先ず初めにその動向を合理地に捕捉するための「周波数空間」を初めて厳密に定義し、これを用いて、前3章で提案した解析関数を拡張・発展させた。この際、解析手法の高次化に伴って各解析関数の感度が過敏になることが懸念されたため、2次元フーリエ解析を用いた亀裂面の形状解析のための最適条件についても改めて検討し、その後、種々の応力モード下で形成されたコンクリート亀裂面の2次元周波数解析を行なった。更に、このようにして獲得された実亀裂面形状の2次元周波数特性を整理することによって亀裂面の3次元標準形状モデルを構築し、これが、亀裂面の形状を、その3次元的な広がりをも含めて良好にシミュレートしていることを明らかにした。

第5章では、コンクリート亀裂面形状の持つ一般的な周波数特性およびこれを利用した数学モデルの構築について論述した本研究を総括し、得られた知見から、今後の研究の発展性とその方向性について触れながら、残された課題について論及した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 上 田 正 生

副 査 教 授 城 攻

副 査 教 授 鏡 味 洋 史

副 査 教 授 大 沼 博 志

学 位 論 文 題 名

コンクリート亀裂面形状の周波数特性に関する解析的研究

亀裂を有するコンクリートの応力伝達挙動が、そこに形成されている亀裂面形状と密接な関わりがあることは、容易に想像できるが、その力学的機構と亀裂面形状とを連関させる試みが見られるようになってきたのは、比較的最近のことである。亀裂面の形状を力学モデルに反映させるためには、まずその複雑な形状を、一般性を持って数学的に記述する必要がある。しかし、その不規則性に富んだ形状変化は個体差も激しく、複数の亀裂面形状に共通する性質を抽出することは容易ではない。これが、この種の研究が未だ発展途上の段階に止まっている要因のひとつと考えられる。

しかし近年、フーリエ変換を用いて解析対象を周波数領域で記述する、いわゆる周波数解析を行うフーリエ解析が、物体の形状解析手法として注目されるようになってきた。その形状解析の対象としてコンクリート亀裂面が採用された例は未だ見当たらないが、「フーリエ変換の適用によって周波数領域で表示される亀裂面形状から、従来の解析手法では見出されることのない一般性が抽出される可能性がある」と考えられる。

本論文は、以上のような研究の現状に鑑み、コンクリート亀裂面形状解析のためのフーリエ解析手法を確立し、その形状の周波数特性を明らかにすると共に、解析結果を反映させた亀裂面形状の数学モデル構築を目的に行なった研究で、全5章から構成されている。

第1章では、本研究の背景について述べ、本論文の目的および概要を明らかにしている。

第2章では、亀裂面におけるコンクリートのせん断応力伝達、亀裂面の形状解析、およびフーリエ解析に関する既往の研究を概観し、この種の研究における本論文の位置づけについて述べている。

第3章では、フーリエ解析理論の中でも最も一般的な1次元フーリエ変換を用いて亀裂面の断面形状の周波数特性を抽出する手法を提案し、これを実際のコンクリート亀裂面に適用した結果から、その周波数特性に見られる一般性の同定、および断面形状を一般化してシミュレート可能な2次元標準形状モデルの構築を試みている。即ち、先ず初めに、本論文においてフーリエ解析の対象となる「光切断法によるコンクリート亀裂面の3次元座標データ」の概要につ

いて述べ、その後、この座標データによって記述された亀裂面形状の周波数解析を行なうために5種の関数で記述することを提案している。実際の解析に当っては、これらの関数の解析感度が、測定装置の分解能と測定時のサンプリング間隔に影響されることから、この2つのパラメータの適正值を特定した後に複数の実亀裂面の体系的な解析が行なわれており、結果として得られる周波数特性にフーリエ逆変換を適用することによって、亀裂面の断面形状をシミュレートする2次元標準形状モデルが導出されている。

第4章では、2次元フーリエ変換を導入することによって、前3章で開発された1次元フーリエ解析手法の高次化を計り、更に解析結果を集約させて構築される標準形状モデルの立体モデルへの拡張を試みている。フーリエ変換の高次化に伴い、周波数領域で記述されるコンクリート亀裂面の挙動は当然その複雑さを増すことになる。そのため本章では、先ず初めにその動向を合理に捕捉するための「周波数空間」を初めて厳密に定義し、これを用いて、前3章で提案した解析関数を拡張・発展させている。また、亀裂面形状の2次元フーリエ解析のための最適条件についても改めて検討し、結果として同定された条件の下に、種々の応力モード下で形成されたコンクリート亀裂面の2次元周波数解析が行なわれている。更に、このようにして獲得された実亀裂面形状の2次元周波数特性を整理し、フーリエ逆変換を用いることによって、亀裂面の立体的な形状変化をシミュレートする3次元標準形状モデルが構築されている。

第5章では、以上の各章で論述した内容を総括し、今後の研究の発展性とその方向性について触れながら、残された課題について論及している。

これを要するに、著者はコンクリート中に形成される亀裂面の形状について、その不規則性をも含めて評価する解析手法を開発し、更にこの手法を実際のコンクリート亀裂面に適用した結果に基づいて、不規則性に富んだ形状を一般化してシミュレートすることが可能な数学モデルをはじめて開発したもので、コンクリート構造学、および構造材料学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。