

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 ジャヤシンヘ アラチラゲ スブン チャマラ ジャヤシンヘ

本論文「Application of Meta-Modeling to Bridge Structure for Consistent Seismic Response Analysis (整合する地震応答解析を行うためのメタモデリングの橋梁構造への適用)」は、既設大型構造物を対象とした地震応答解析に対して、「さまざまな解析モデルが提案され、実用されているものの、精度と計算コストのバランスをとった解析理論が構築されていない」という現状分析を基にしている。近年、提案されたメタモデリング理論を利用し、この現状の解決を目指している。この理論によれば、地震応答解析という同一の物理問題を解く際、異なる数理的近似を加えることで、精度と計算コストが異なる多数の解析モデルを構築できることが示されている。本論文は、この理論を実橋梁構造物に適用し、簡易モデルから複雑モデルまで、さまざまな解析モデルが実際に構築可能であることを実証する。

メタモデリング理論を地震応答解析に適用するための準備として、本論文は、地震応答解析という物理問題を設定する際に使われる連続体力学と、その近似理論と位置づけられる梁の力学の比較が行われている。連続体と梁の力学は変形やつり合いに関して共通するものの、応力と歪の関係を示す材料の取り扱いが異なっている。線形等方弾性体の場合、連続体ではヤング率とポアソン比が材料定数となるものの、梁ではヤング率のみ材料定数である。メタモデリング理論では、従来、当然と考えられている一次元の応力-歪関係という物理的な仮定を設けるのではなく、変位・歪・応力というベクトル・テンソルの成分の内、微小なものを0とする等、数理的近似を施すだけで、梁の力学が連続体力学から導出できることを利用している。この点が質問され、具体的な数理的近似の内容等が説明された。

大型橋梁構造物の地震応答解析の解析モデルを構築する準備として、本論文では変断面のカンチレバーや 10 程度の橋桁を連結した橋梁に対して、1 自由度系モデル、多自由度系モデル、梁モデル、連続体モデル、という 4 つの解析モデルを構築し、各々の解析モデルの動的特性が一致することを検証した。勿論、1 自由度系モデルは 1 つの固有モード、多自由度系モデルは自由度の数のモード、そして梁モデルと連続体モデルは無限の固有モードを持つので、一致する動的特性は第 1 モードないし最初の少数のモードである。入力地震動の周波数特性に依存するが、構築された各解析モデルの応答結果が概ね一致することを実証した。なお、1 自由度系モデルと多自由度系モデルでは、部材に働く力は質点を結ぶバネに働く力と考えられているが、メタモデリング理論に基づき、より正確に部材に働く力を算定する方法を提案した。提案された方法を使うことで、実際に構造物の底面に働くせん断力を正確に算定できることが示された。異なる解析モデルにも関わらず固有モードが一致すること、変形モードのみならず断面力も正確に算定できることが説明された。

以上の準備を基に、実際の大規模橋梁構造物のデジタルデータを使って、メタモデリング理論に基づいて自動構築された解析モデルが示された。接合部のデータが質・量ともに十分でなかったため、連続体モデルと梁モデルは固有周期・固有モードが一致しないものの、この点を除けば、解析モデルの自動構築が可能であることが示された。利用されたデジタルデータは断面や部材の詳細な 3 次元幾何形状を示すものと、2 次元であるが路線の線形を示すものである。この二つのデータを分析し、対応する部材の形状と位置を判定することで、橋梁構造物の包括的データが作られている。この包括的データから、連続体モデル・梁モデル、さらにはそれを簡略化した 1 自由度系モデル・多自由度系モデルを構築することができる。準備で示したように、異なる解析モデルでも、概ね、同様の地震応答となることが示された。

審査の主な論点は、1) メタモデリング理論の理解、2) モデル自動構築の方法論の検証、3) 実橋梁構造物への適用、という 3 点である。連続体力学と構造力学を包括するという意図で作られた新しい理論であるメタモデリング理論を十分理解していることが確認された。地震応答解析を目的としたモデル自動構築の方法はオリジナリティも高く、合理的であることも理解された。複雑さは異なるものの、固有モードが一致する解析モデルが構築できることは意義が大きいことも理解された。最後に、実橋梁構造物のデジタルデータを使って自動構築された解析モデルは、利用できるデータの質と量を考えても、十分、地震応答解析に利用できるものであることも理解された。

本論文は、デジタルデータを使った地震応答解析の解析モデルを自動構築する方法を提案した点、そして実橋梁構造物に対して複数の解析モデルを自動構築した点が特徴である。各モデルは、複雑さは異なるものの、少数の固有モードは概ね一共通するため、地震応答解析に利用できることが期待される。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。