

審査の結果の要旨

論文題目

Numerical study of crosswind response of railway vehicles considering multi-body dynamics and unsteady wind effects

(マルチボディダイナミクスと非定常風効果を考慮した横風による鉄道車両の動的応答の数値予測)

氏 名 張 東琴

近年、省エネ、軌道負荷の低減、輸送能力の向上のために、鉄道車両の高速化と軽量化が行われてきた。しかし、これらの対策は鉄道車両の横風に対する安定性に影響を及ぼす可能性がある。通常、鉄道車両の横風に対する応答を評価するために、2次元3自由度ハーフカーモデルと自然風を準定常過程にあると仮定した準静的手法が用いられている。しかし、実際の鉄道車両は車体、台車、車輪、レール等から構成される3次元多自由度システムであり、システムの減衰の大きさによって動的効果が無視できない場合がある。また鉄道車両がトンネルから出る際に横風を受ける場合があり、この横風は鉄道車両に対して準定常過程にあると仮定できず、準静的手法により求めた車両の応答が過小評価される可能性がある。さらに竜巻に伴う非定常風は、羽越線の脱線事故を引き起こし、鉄道の安全運行に対して脅威と言える。

そこで、本研究では、鉄道車両を車体、台車、車輪、レール等を含む3次元多自由度のマルチボディによりモデル化すると共に、鉄道車両の構造パラメータを考慮した動的解析を実施し、横風を受けたモデル車両と実車両の観測データと比較することにより、その予測精度を検証した。またトンネル出口での風を受ける鉄道車両に対して、風速、列車の走行速度を系統的に変化させ、車両の重量、バネ常数および減衰比が鉄道車両の動的応答に与える影響を明らかにした。最後に、羽越線の脱線車両を対象にマルチボディダイナミックシミュレーションを実施し、事故時の車両の挙動を再現すると共に、竜巻に伴う風速および車両の動的効果の影響を明らかにした。

第 1 章では、本研究の背景および既往研究を示すと共に、本論文の目的と構成を述べている。

第 2 章では、風速および空気力に関するモデルを紹介し、準静的手法およびマルチボディダイナミクスシミュレーション手法を示している。またこの 2 つの手法により求めた輪重減少量により、動的増幅率（DAF、Dynamic Amplification Factor）を定義した。

第 3 章では、まず、モデル車両（103 系）のマルチボディモデルを構築し、二分法により同定された垂直バンプストップの剛性と車両の減衰を用いて求めた固有振動数と減衰比は実験値とよく一致した。また、軌道狂いを考慮することにより、予測されたモデル車両の動的応答は実験値に近い結果を示した。さらに、実車両（E233）のマルチボディモデルを構築し、動的解析により求めた輪重減少量は現地試験により計測された輪重減少量とよく一致し、予測誤差が 2%であることを示した。

第 4 章では、まず、トンネル出口での風により引き起こされる空気力を等価風圧モデルにより評価し、トンネル出口での風速、列車の走行速度、車両の固有振動数および減衰比を系統的に変化させることにより、トンネル出口での風による車両応答の動的増幅率（DAF）を求めた。その結果、動的増幅率は通過時間（ Δt ）が減少するにつれて、増加することが分かった。また、動的増幅率は、車両の固有振動数と減衰比の減少により増大することを明らかにした。次に、動的増幅率を予測するために、動的増幅率と通過時間との関係を指数関数により近似し、モデルパラメータは車両の固有振動数と減衰比の関数として表した。提案式により予測された動的増幅率はマルチボディダイナミクスシミュレーションにより求めた動的増幅率とよく一致した。

第 5 章では、竜巻に伴う非定常風による鉄道車両の動的応答を調べるため、まず、静止および移動する竜巻に伴う風速場を Burgers-Rott モデルから正確に予測できることを室内実験、数値流体解析および現地観測により示した。次に、竜巻に伴う非定常風による鉄道車両の空気力を室内実験により検証すると共に、竜巻に伴う非定常風による鉄道車両の動的増幅率（DAF）を調べ、動的増幅率を予測するための簡易式を提案した。トンネル出口での風と異なり、竜巻に伴う非定常風の場合には、通過時間が減少するにつれて、動的増幅率は最初に増加するが、その後減少に転じることが分かった。一方、車両の固有振動数と減衰比の影響は 2 種類の非定常風に対して大きな差がなく、通過時間の指数関数として近似できることが分かった。最後に、羽越線の脱線車両を対象にマル

チボディダイナミックシミュレーションを実施し、事故時の車両の挙動を再現すると共に、竜巻の風速および車両の動的効果を明らかにした。

第6章では、本研究から得られた結論をまとめている。

本研究から得られた成果は、横風による鉄道車両の動的応答の予測手法を提供すると共に、風速、列車の走行速度、車両の構造パラメータが動的増幅率に与える影響を明らかにし、鉄道車両の横風に対する安定性の向上に貢献するものである。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。