

学位論文の要旨

氏名	永 淵 克 己
学位論文題目	不確定量の影響を考慮した地盤-舗装系の地震応答評価に関する基礎的研究

本論文は、舗装部における耐震補強工法を開発することを目標として、そのために舗装を単なる盛土の一部と見ずビルや橋梁などと同様に舗装を地盤上の構造物と考えて舗装に着目し、地震波のスペクトル特性や地盤の形状及びせん断弾性波速度などの各種パラメータが、舗装部の地震応答評価に及ぼす影響について基礎的な検討を行った。そして、舗装部に関して、どのような状況において、どの場所で、どの程度のせん断ひずみが卓越するかなど、舗装部の受ける影響とその要因について検討を行なった。更に、その結果より舗装部の地震応答についての安全性の尺度を信頼性指標で表し、舗装部での耐震性能の基礎的な評価法の開発を行った結果をまとめたものである。

第1章は、本研究に至る背景と目的及び研究の基本方針について述べている。更に本研究に関連した道路構造物の地震による損傷事例や地震応答に関しての既往の研究についての概要を述べている。

第2章は、地盤-舗装系を平面ひずみ状態として表し、2次元FEMを用いた地震応答解析法に関する定式化について述べた。地盤-舗装系が地震力を受ける場合について、応力-ひずみ関係を表す動力学的モデルをHardin-Drnevichモデルで表し等価線形化手法を用いて地震応答解析を行い、舗装に着目した応答特性について基礎的な検討を加えた。本解析では、新潟県中越地震における道路盛土の横断及び縦断方向の被害形態分類を参考にして、地盤形状や地盤内の異種構造物に着目した舗装-地盤系の動的応答解析を行った。ここでは、地盤の動的特性や地震波の最大加速度等のその他の影響要因の特性値は固定して解析を行った。

結果としては、道路構造物を横断的に見た場合は、地震により舗装部に局所的なひずみが発生し、破壊しやすい箇所の条件としては、基礎地盤上に盛土地盤を構築し、その上に舗装が施工された場合と考えられ、基礎地盤の横断勾配が大きくなるほど、その傾向は大きくなることを示した。

また、道路構造物を縦断的に見た場合は、横断面と同様に地震により舗装部に局所的なひずみが発生し、破壊しやすい箇所の条件としては、地盤のせん断波速度が変化する箇所や構造物近傍が考えられ、軟弱な地盤が介在するほど、その傾向は大きくなることを示した。

第3章は、地震波の最大入力加速度がレベル1に相当するような場合に関して地盤-舗装系の地震応答解析を行った。地盤は大きな損傷を受けなくても舗装部にひび割れなどの損傷が発生する一般的な事例を想定し、地盤の崩壊を伴わない程度の地震による舗装部の動的応答を解析している。道路構造は地盤内に異種構造物が無い一般的な両盛土構造としている。そして、動的応答に影響を及ぼすパラメータを地震波の入力方向、周波数特性、地震波の最大入力加速度、地盤のせん断波速度等とし、それらの相違が舗装部の地震応答に及ぼす影響について検討を加えた。

更に、前章では応力-ひずみ関係を表す動力学的モデルをHardin-Drnevichモデルとして等価線形化手法を用いているが、アスファルト混合物のように動的非線形性の影響を受けやすい材料については、地震による舗装の限界ひずみを超えた降伏的破壊を考える必要があり、材料の有する弾塑性特性を解析に適切に反映するため、モールの破壊基準を参考にして舗装と地盤部の応力増分と塑性ひずみ増分の関係を正確に表現できる構成則（流れ則）を用いて動的応答解析を行った。

結果としては、道路構造物を横断的に見た場合において、地震による舗装の動的応答特性は地震波の入力方向、地震波の周波数特性、地震波の入力最大加速度、基盤となる地盤の形状、地盤のせん断波速度、舗装温度の影響を強く受けるとともに、これらは舗装部に局部的に大きなひずみを発生させ、その位置はこれらのパラメータの種類や大きさに応じて多様に変化することを示した。

また、縦断方向に勾配をなす地盤上の舗装においては、横断面と同様に地震波のスペクトル特性や最大加速度が舗装の動的応答特性に大きく影響を及ぼす結果となったが、最大応答値を示す箇所は地震波のスペクトル特性や最大加速度に関わらず勾配区間であり、勾配区間の中間点付近でせん断ひずみが卓越する傾向にあり、横断面とは違う傾向のあること示した。

第4章は、舗装部の地震による損傷を想定した地盤-舗装系の信頼性指標を用いた動的応答の評価を行い、各種パラメータが舗装の動的安全性に及ぼす影響について解析している。本解析では、地盤のせん断波速度や地震波の最大入力加速度を不確定な量として扱い、モンテカルロシミュレーションに適用して地震応答値の分布を得るとともに限界せん断ひずみを性能関数として信頼性指標を求めている。その結果、不確定量による舗装の動的応答に関して設定したせん断ひずみの限界値に関する非超過確率に相当する信頼性指標を求め、舗装の動的安全性に関する検討を行なった。

結果としては、舗装部の信頼性指標は、地震波の入力方向、地盤の形状、地震波の周波数特性、地震波の最大入力加速度、舗装部の温度、地盤のせん断波速度により大きく依存しており、それらの影響の評価が重要であることを示した。そして、不確定量を有する地震波や地盤特性に対して非線形的な応答を示す舗装部の動的安全性を評価する場合、信頼性指標の適用は有用な指標になることを示した。

第5章は、本研究で得られた成果を総括するとともに、これらの成果から研究目標である舗装部における耐震補強工法の可能性と舗装部の耐震性を評価するフローを示し、更に今後の課題を考察している。この中で舗装部における耐震補強工法としては、地震による舗装部の変位量を抑え、更に変形を緩やかに緩和させて舗装部に発生するひずみを分散させ、局部的な大きなひずみ発生させない変形緩和工法が有望であることを解析結果から提案した。具体的にはアスコン層下面部やその下の路盤部に補強シートを敷設して相互を拘束する工法や、アスコン層の下層部に強固に連結された剛性版（連続鉄筋コンクリート版など）を設置する工法である。これらより舗装部での耐震補強の可能性と舗装部の耐震性を評価するフローを提案することができた。

論文審査の要旨

報告番号	理工研 第 368 号	氏名	永 淵 克 己
審査委員	主 査	河野 健二	
	副 査	北村 良介	山口 明伸
		木村 至伸	

学位論文題目

不確定量の影響を考慮した地盤—舗装系の地震応答評価に関する基礎的研究
 (Uncertainty Effects on Seismic Response Evaluations of Ground-pavement System)

審査要旨

提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文は、地盤—舗装系の地震応答解析を行い、舗装部の地震応答評価の安全性の尺度を信頼性指標で表し、基礎的な舗装部の耐震性能評価法の開発を行ったものである。本論文は5章から構成されている。

第1章は、本研究に至る背景と目的及び研究の基本方針について述べている。更に本研究に関連した道路構造物の地震による損傷事例や地震応答に関して既往の研究の概要を述べている。

第2章は、地盤—舗装系を平面ひずみ状態として表し、2次元FEMを用いた地震応答解析法に関する定式化について述べた。地盤—舗装系が地震力を受ける場合について、応力—ひずみ関係を表す動力学的モデルをHardin-Drnevichモデルで表し等価線形化手法を用いて地震応答解析を行った。結果としては、道路構造物を横断的に見た場合は、地震により舗装部に局部的なひずみが発生し、破壊しやすい箇所の条件としては、基礎地盤上に盛土地盤を構築し、その上に舗装が施工された場合と考えられ基礎地盤の横断勾配が大きくなるほど、その傾向は大きくなることを示した。

第3章は、地盤は大きな損傷を受けなくても舗装部にひび割れなどの損傷が発生する一般的な事例を想定し、地盤の崩壊を伴わない程度の地震による舗装部の動的応答を解析した。応力—ひずみ関係を表す動力学的モデル、舗装と地盤部の応力増分と塑性ひずみ増分の関係に流れ則を適用して地震応答解析を行った。結果としては、道路構造物を横断的に見た場合において、地震による舗装の動的応答特性は地震波の入力方向、地震波の周波数特性、地震波の入力最大加速度、基礎となる地盤の形状、地盤のせん断波速度、舗装温度などの影響を強く受けるとともに、これらは舗装部に局部的に大きなひずみを発生させ、その位置はこれらのパラメータの種類や大きさに応じて多様に変化することを示した。

第4章は、舗装部の地震による損傷を想定した地盤—舗装系に対して信頼性指標を用いた地震応答の評価を行い、各種パラメータが舗装の動的安全性に及ぼす影響について解析した。地盤のせん断波速度や地震波の最大入力加速度を不確定量として扱い、モンテカルロシミュレーションを適用して地震応答値の分布を得るとともに限界せん断ひずみを性能関数として信頼性指標を求めた。結果としては、舗装部の信頼性指標は、地震波の入力方向、地震波の周波数特性、地震波の最大入力加速度、地盤の形状、地盤のせん断波速、舗装部の温度などに大きく依存しており、それらの影響の評価が重要であることを示した。特に、不確定量を有する地震波の最大加速度や地盤特性に対して非線形的な応答を示す舗装部の動的安全性を評価する場合、信頼性指標の適用が有用な指標になることを示した。

第5章は、本研究で得られた成果を総括するとともに、これらの成果から研究目標である舗装部における耐震補強工法の可能性と舗装部の耐震性を評価する方法や今後の課題を示した。

これらの結果は地盤—舗装系の信頼性指標を用いた地震応答評価に関して有用な知見を示している。よって、審査委員会は博士（工学）の学位論文として合格と判定した。

最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第368号	氏名	永 淵 克 己
審査委員	主 査	河野 健二	
	副 査	北村 良介	山口 明伸
		木村 至伸	
<p>平成24年1月30日、参加者25名の前で論文の公聴会を行った。審査委員4名を含む参加者は学位申請論文について説明を求め、その内容及び関連事項について、質問と応答を行った。具体的には、以下のような質問と応答がなされ、いずれについても満足すべき回答を得ることができた。</p> <p>Q：運動方程式の誘導に関して、材料定数などの設定はどの様に考慮されているか。 A：舗装、地盤などの材料定数は付図した説明図の中に説明した定数を用いている。 Q：地震応答量に関して説明図の最大応答値はどの程度となっているか。 A：地震波の入力方向、舗装—地盤系の動的特性や形状などによって異なるが、付図した時刻歴応答に示しているように最大で約10cm程度になっている。 Q：地盤—舗装系の現地のデータがない場合、解析で示したような強度の弱い箇所の評価は可能か。 A：標準貫入試験などのデータは比較的容易に得ることができると思われるので、ある程度数値的に検討可能と考えられる。 Q：舗装—地盤系の耐震性の評価法としてコンクリート基礎による補強が考えられるが、信頼性指標が3以下となるときの補強箇所を明確に示すことが可能と考えるか。 A：現在は連続コンクリート基礎による補強が強度的に有利と思われるが、本解析では検討を行っていないので、これからは今後の課題と考える。地震動など不確定量を考慮すると、補強箇所などの評価へ適用は可能と考えている。 Q：今回の東日本地震の被害例を参考にすると、弱点箇所の把握と応急復旧のためには、弱点箇所を予め設定しておいた方が修復を容易にするのではないか。 A：今回の災害発生時には、少なくとも車両の通行ができることが最も必要なことであった。シートによる補強やコンクリート基礎などが有望と思われるが、現在では弱点箇所を設定した方法は検討されていない。 Q：地盤系の解析にFEMを適用する場合メッシュの大きさが応答に及ぼす影響を検討したか。 A：メッシュは十分に小さく設定しており特に検討していない。本解析ではひずみ応答の評価を行う舗装部は小さな要素を用いている。地震波の波長に比較して本解析モデルは十分小さなメッシュを用いているため、応答に及ぼす影響は小さいと考えている。 Q：地盤と舗装部の連成振動を検討する場合、地盤のみの振動について検討を加えたか。 A：地盤のみの地震応答では、特に表層部で非常に大きな応答を生じていることが分かった。舗装がある場合、地盤の応答は大きく低減しており、地盤は舗装部による動的相互作用の影響を強く受けていることが分かった。 Q：地震波の入力方向の影響が大きいことが示されているが、直下型と海洋型の地震による影響は検討されたか。 A：本研究では水平方向の振動が卓越する場合を対象にして検討したので、直下型地震による鉛直方向の振動については、今後検討が必要と考えている。</p> <p>以上の結果から審査委員会は、申請者が博士（工学）の学位を与えるのに十分な学力と見識を有すると判定した。</p>			