

京都大学	博士（工 学）	氏名	李 忠元
論文題目	A study on dynamic stability of unsaturated road embankments using dynamic centrifugal model tests (動的遠心模型実験による不飽和道路盛土の動的安定性に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
本論文は、道路盛土の耐震安定性について、谷地形などでの浸透水など盛土中の水分の影響について、研究を行った成果をまとめたものである。この目的のため地震時における道路盛土の変形安定性を明らかにするための動的遠心模型実験を行い、道路盛土への水分の浸透が道路盛土の耐震性に与える影響を明らかにしている。さらに、実験結果について数値解析により、シミュレーションを行い、変形破壊のメカニズムを明らかにしている。論文は、序論、結論を含め6章からなる。 第1章は、序論であって、本研究の背景となる道路盛土の被災事例とその原因を概観し、本研究の目的を示している。また、文献調査から盛土の耐震性と水分履歴との関係を示すと共に、不飽和土を用いた動的遠心模型実験の相似則及び盛土の安定性の研究に関する最新の知見をまとめている。 第2章では、本研究の実験に用いた遠心装置、浸透機構を備えた模型土槽について述べ、さらに、実験に用いた試料、盛土模型の作成方法、各種計測器、画像解析などの結果整理について詳述している。 第3章では、含水比の異なる不飽和盛土の動的遠心模型実験を実施し、水分量が盛土の動的安定性に与える影響を明らかにしている。これは、降雨時及び降雨後に雨水や地下水位の上昇により、盛土内の水分量が変化した場合を単純化した実験である。最適含水比、最適含水比よりも高い含水比、最適含水比よりも低い含水比の3ケースについて、締固め度90%の良く締固められた盛土を用いた動的遠心模型実験を実施している。地震動をモデル化した入力動には性質が明らかなものとして継続時間30秒、振幅400gal程度のテーパー付きサイン波を用いた。実験で得られた、変位、間隙水圧、加速度応答を示すと共に、画像解析による変位分布、ひずみ分布、応答スペクトルを示した。実験結果の比較から、低含水比や最適含水比の不飽和盛土では、ほとんど変形が見られなかったのに対して、高含水比の盛土は、サクシオンが他のケースに比べて小さい事、動的载荷によって盛土内の間隙水圧が上昇する事で盛土が大きな変形を起こす事を明らかにした。また、不飽和盛土の動的载荷時の変形モードを実験結果から明示した。 第4章では、不飽和盛土に水を浸透させた後に入力動を载荷する動的遠心模型実験を実施し、浸透時の不飽和盛土の動的安定性を研究した。浸透過程における、盛土内の間隙水圧計の計測結果、色水を用いた浸透状況の可視化から、盛土内では部分的に飽和した個所で浸透流れが起こっている事を明らかにした。また、動的過程において浸透の影響で盛土が大きく変形する結果を示し、盛土内および基礎地盤部の浸透領域において、間隙水圧が上昇している事が主たる原因となっている事を明らかにした。さらに、盛土内に浸透流れがある場合の不飽和盛土の動的载荷時の変形モードを実験結果から明示した。また、法尻部に排水工を施した盛土の動的遠心模型実験を実施し、排水工が法尻部への浸透を抑制する事によって、盛土の変形を抑制する効果がある事を示した。 第5章では、サクシオンの影響を考慮した砂の繰返し弾塑性構成式を用いてサクシオンの変化が土の繰返し力学挙動に与える影響を良く表現できる事を示した後、土、水、空気の高相を連成した有限要素解析により、第4章で実施した浸透を考慮した動的遠心模型実験のシミュレーションを実施している。シミュレーション結果は、不飽和盛土内への浸透過程および動的過程の盛土の変形挙動を良く再現している。さらに、実験では計測する事が困難な、盛土内のひずみ、骨格応力、骨格応力減少比を示し、浸透後に動的载荷を受ける盛土の変形メカニズムを詳細に議論している。 第6章は結論として、本研究によって得られた結果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。			

氏 名	李 忠元
-----	------

(論文審査の結果の要旨)

谷地形などでの浸透水など盛土中の水分の影響がある場合、依然として強震動に対して変形や崩壊が見られる。本論文は、道路盛土の安定性の確保に資するため、地震時における道路盛土の変形安定性を明らかにすることを目的に動的遠心模型実験を行い、不飽和道路盛土への水分の浸透が道路盛土の耐震性に与える影響を明らかにしている。

次に、得られた実験結果を数値解析法により、シミュレーションを行い、変形破壊のメカニズムを考察している。解析では、土の繰返し弾塑性構成式、水分特性曲線によって地盤をモデル化し、空気-水-土多相浸透変形連成解析法を用いている。

まず、本研究の背景となる道路盛土の地震時の被災事例とその原因を概観し、文献調査から、盛土の耐震性と水分履歴との関係を示すと共に、不飽和土を用いた動的遠心模型実験の相似則及び盛土の安定性の研究に関する最新の知見をまとめている。

次に、不飽和土を用いた動的遠心模型実験を実施し、水分量が道路盛土の耐震性に与える影響を研究している。実験では、あらたに、浸透を模擬、制御できる実験土槽を制作している。不飽和土の毛管高さや含水比分布の相似則を既往の研究から明確にし、締固め度 90%で、最適含水比、それより低含水比と高含水比の 3 種類の初期含水比の異なる砂質土で作成した不飽和道路モデル盛土の耐震性について動的遠心模型実験を行い、飽和度の影響を明らかにし、初期飽和度が大きい場合、間隙圧も大きくなること、変形が大きくなることを示している。

さらに、雨水や地下水位の上昇により盛土内の水分量が変化した場合を単純化して模擬した実験を行っている。すなわち、水分が浸透して水位が上昇した直後における道路盛土の耐震性について、動的遠心模型実験を行い、浸透の影響により、盛土の変形は大きくなること、法尻付近の変形が大きくなることを明らかにしている。さらに、浸透水に対する盛土の強化法として、排水工を施した不飽和盛土の動的遠心模型実験を行い、排水工が法尻部への浸透を抑制する事によって、強化法の有効性を示している。

不飽和土の繰返し三軸試験結果のシミュレーションによって、サクシジョンの影響を考慮した砂の繰返し弾塑性構成式が、サクシジョンを有する砂質土の繰返し不飽和力学挙動を良く表現できる事を示した。用いた砂質土は、堤防の改良に用いられる細粒分を含む土を用いている。

次に、この構成式を用いて、土、水、空気の高相を連成した動的有限要素解析により、浸透を考慮した動的遠心模型実験のシミュレーションを行なっている。シミュレーション結果は、不飽和盛土内への浸透過程および動的過程の盛土の変形挙動を良く再現している。さらに、実験では計測する事が困難な、盛土内のひずみ、骨格応力、骨格応力減少比を示し、浸透後に動的載荷を受ける盛土の変形メカニズムを詳細に議論している。

以上、要するに本論文は、道路盛土の耐震性を水分履歴に注目した模型実験と数値シミュレーションを実施し、盛土の変形破壊メカニズムに対する、含水比や浸透水の影響を明らかにしている。本論文は、地盤工学の進展に多大に貢献する研究であり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 24 年 8 月 28 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得審査基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。