

## 学位論文審査の結果の要旨

氏名	栗林 健太郎
審査委員	主査 原 忠
	副査 小林 範之
	副査 松本 伸介
	副査 笹原 克夫
	副査 末次 大輔

論文名

液状化と津波の複合災害を受ける道路盛土の耐震性能評価法に関する研究

審査結果の要旨

2011年東北地方太平洋沖地震では、仙台平野で強い揺れと液状化、津波による被害が多発した。一方、沿岸部に敷設された仙台東部道路では、高さ約8mの道路盛土が地震の揺れや液状化による被害に耐え、津波の遡上を抑制し、浸水被害を軽減し高台の少ない地域の避難場所として機能した。このような背景から、切迫性の高い南海トラフ地震に対して、道路機能の保全や災害発生直後の利活用に加え、津波抑制効果に期待するようになった。

沿岸部に敷設する道路盛土は地盤の脆弱な区域に跨ることが多く、地震の揺れとそれによる地盤の変状、津波による複合災害を受ける可能性が高い。とりわけ、沿岸部には河川堆積物による若齢な沖積層が広く分布しており、基礎地盤の液状化による被害の影響を受けやすい。東北地方太平洋沖地震後の研究により、地震による揺れや津波外力に対する盛土構造物の崩壊メカニズムは解明されつつあり、実験などから得られた検討結果は設計手法や対策工法などの実務に取り入れられている。このような背景から、近年道路盛土においても性能設計の考え方が取り入れられ、レベル2地震動として定義される大規模地震動に対して、地震後の盛土変形量に対する照査を実施している。一方、液状化と津波の複合災害を受ける可能性の高い道路盛土の被害の実態は不明瞭な点が多く、現地調査や室内実験、数値解析などから得られた定量的な値に基づいた性能評価手法は未だに提案されていない。

本研究は、地震時の地盤の液状化と津波の複合災害を受ける道路盛土に対して、現地調査や数値解析などから被災要因やメカニズムを整理し、沿岸部に敷設する道路盛土の耐震性能評価手法を提案した。

第3章では、液状化地盤上に敷設する盛土構造物の例として、2016年熊本地震において液状化被害を受けた道路盛土を対象に現地調査と数値解析を行い、被災に至るメカニズムや被害の傾向を分析した。はじめに、地震被害事例として、2016年熊本地震で液状化による沈下が生じた熊本県益城郡益城町の道路盛土被害に着目し、現地での簡易計測により橋台背面に発生した段差量や盛土縦断方向の連続した沈下量を整理した。つづいて、液状化地盤上に敷設する盛土の天端沈下量に影響を及ぼす主たる要因を特定するため、盛土の諸条件および基礎地盤条件をパラメーターとした数値解析を実施し、盛土高、天端幅、盛土幅、盛土勾配、締固め度や基礎地盤の液状化層厚、土質などとの関係で整理した。現地調査の結果、液状化による道路盛土の沈下量は盛土幅や盛土高の影響を受け、特に盛土高とは正の相関があることを明らかにした。さらに、盛土や地盤条件を変化させた数値解析から、盛土の沈下量に対して影響

を及ぼす因子は天端幅に対する盛土高の比が大きく、基礎地盤の液状化指数 ( $P_L$  値) の影響が大きいことを明らかにした。これら結果は、従来から実施されている代表断面で得られる盛土沈下量の推定値に対して、基礎地盤や盛土の土質・形状などの条件、液状化指数をパラメーターに加えることにより、盛土縦断方向の沈下量を簡易に推定できる可能性があることを示唆したものである。

第 4 章では、液状化と津波の複合災害を受けた盛土構造物の被害例として、2011 年東北地方太平洋沖地震で複合災害が生じた土構造物を対象に現地調査を行い、津波の来襲や引き波を再現できる水槽模型から津波外力に対する被覆工の抵抗性を分析した。現地調査は、被災したコンクリート三面被覆が施された河川堤防、被災を免れた補強土壁道路盛土について、数値解析から地震発生から津波発生までをタイムラインで再現し、複合災害に至るメカニズムや具体的な対応策を現地の地盤条件、被覆の有無などの観点から評価した。その結果、沿岸部に敷設された盛土構造物は、表面に被覆が施され常時の水密性が担保された構造体であっても、液状化による盛土の沈下や天端高さを超える津波外力を同時に受けることによって損傷する可能性が高いこと、補強土壁高盛土は壁面に津波が作用し堤体内へ水が浸透した場合であっても、裏込め材が流出しない条件では補強土壁としての安定性が損なわれないこと、などの新たな事実を明らかにした。また、道路盛土の耐震・耐津波対策として有力な補強土壁は、揺れや液状化などで補強土の壁面パネルに隙間が生じた場合も、裏込め材が流出しない対策を施すことにより、健全時と同様補強土壁は安定した状態を保つことが実験から示された。

第 5 章では、沿岸部に敷設する道路盛土について、液状化と津波の複合災害を見据えた新たな耐震性能評価手法を提案した。対象となる構造物は、南海トラフ地震などの強い揺れと津波の来襲が想定される道路盛土であり、地震後の津波避難と即時復旧に耐える性能を担保することを想定し、従来のレベル 2 地震動に対する揺れと修復性だけでなく、地震直後に道路通行機能の確保を目標としている。本手法を適用することにより、盛土形状やボーリング調査結果のみから縦断方向の沈下量を簡易的に推定でき、道路盛土に求められる走行性能を維持するための液状化、津波リスクとそれらに対する物理的な損傷を防ぐ対応策を技術者が容易に理解することが可能になった。

現在、道路盛土ではレベル 2 地震動に対して道路の復旧性に着目した性能を求めることが一般的ではあるが、沿岸部では地震後に来襲する津波に対する避難道としての性能が求められるケースが想定され、現実的な被災を予測しながら耐久性の高い構造物が求められる。本研究成果は、喫緊の課題である液状化と津波の複合災害対策への具体例として、盛土表面への被覆により堤体への浸透を完全に遮断する必要はないこと、地盤の液状化や地震時の揺れを受ける条件下では、盛土材の流出を防ぐような事前対策が効果的であることを評価した点に新規性がある。提案した耐震性能評価手法は、道路縦断方向の沈下量の推定手法を補完するものであり、地震の頻発する国内外の沿岸部に敷設する道路盛土の耐震、対津波性能に対する性能の向上と、合理的な耐震設計への応用に資する先進的な研究である。

本論文に関する公開審査会は、令和 3 年 7 月 31 日にリモートシステムを利用して開催され、申請者による口頭発表と質疑応答が行われた。引き続き開催された学位論文審査委員会で、本論文の内容を慎重に審議した結果、審査委員全員一致して博士（学術）の学位を授与するものと判定した。