

# 南海トラフ大地震時の液状化被害とインフラの機能維持に関する検討

静岡理工科大学 理工学部 中澤研究室

指導教員：教授 中澤 博志

参加学生：長澤宙、熊切康介、梶山萌美、堤田拓海

## 1 要約

これまでに起きた地震災害において、液状化に起因して橋台背面に段差が発生し、道路機能の低下や交通障害を引き起こした事例が数多く報告されている<sup>1)</sup>。一方、静岡県内においては、液状化に関する地盤上の課題がこれまで顕在化しておらず、橋台背面の段差を対象とした対策工が施されている事例は限られているのが現状である。

そこで本研究では、静岡県西部地域内に位置する3橋梁を対象として、2次元有限要素法による解析を実施し、南海トラフ巨大地震を想定したレベル2地震動作用時における橋台背面の段差量を予測した。さらに、その解析結果を栗林ら<sup>1)</sup>により提案された沈下量回帰式から予測される段差量と比較し、段差に対する対応の妥当性について検討した。加えて、数値解析結果を踏まえ、簡易的な段差抑制工法を適用した人工段差を用いた車両走行実験を実施し、対策工の挙動および車両走行時の影響に着目することで、当該対策工を適用した場合の地震時における道路機能維持効果について検証することができた。

## 2 研究の目的

令和6年能登半島地震では、液状化に起因した橋台背面に生じる数10cm～1m超の段差により道路機能を阻害し、避難行動や救急活動を妨げ、地域の復旧活動に大きく影響した。浜松市内では、南海トラフ大地震によって、広範囲に液状化が生じると予測されており、能登半島と同様な事態が起こることを想定しておく必要がある。本申請では、浜松市内の幾つかの橋梁を対象に、橋梁・地盤について資料調査を行う。これに基づき、南海トラフ大地震を想定した液状化解析より段差の程度を評価し、車両走行性能、道路啓開に必要な発災後対応の準備などのまとめに繋げることを目的とした。

## 3 研究の内容

浜松市内の代表的な橋梁を対象に、資料調査に基づき現地踏査を実施し、2次元FEM解析により橋台背面に生じる段差を算出した。この結果に基づき、発災後の道路機能の評価を行うとともに、段差抑制工法に関する現場実証実験を実施した。

## 4 研究の成果

当初計画と実際の研究内容、研究の成果、課題および改善点に関し以下に示す。

### (1) 当初の計画

当初計画では、浜松市内の液状化ハザードマップ内の「液状化発生の可能性が高い」エリア内の橋梁を対象に、竣工年、基礎構造、取付け部構造、踏掛盤の有無等、背後の盛土に関し、盛土形状、盛土材、基礎地盤の土質や地層構成などの情報収集を行うこととした。その上で、現地踏査によって、幹線道路や生活道路、周辺住民の状況、河川堤防や橋梁の状態を確認し、解析評価に必要なパラメタを得るため、検討条件を整理することとした。これをもとに、検討対象とした橋梁を数値モデル化し、南海トラフ大地震を想定した液状化後における盛土の沈下量の算定を行い、段差量に応じた車両走行性の確認（既往の研究では、車両は通行可能な段差は30cmが限界と言われている）し、発災後の道路啓開手法あるいは事前対策の要否についての判断手法を考えることが、研究全

体の計画であった。

### (2) 実際の内容

2024年に発生した能登半島地震の被災地にて、橋梁を含むインフラ施設の被害調査を行った。また、浜松市内および近隣の自治体における液状化ハザードマップを用い、「液状化発生の可能性が高い」エリアを確認した。その後、エリア内の橋梁を対象に、竣工年、基礎構造、取付け部構造、踏掛盤の有無等、背後の盛土、周辺地盤に関する資料調査を行った。同時に現地踏査を行い、検討対象橋梁周辺の幹線道路や生活道路、周辺住民の状況、河川堤防や橋梁の状態を確認するとともに、数値解析評価に必要な現地情報を収集した。これらの調査活動をもとに、研究室において検討対象橋梁を数値モデル化し、南海トラフ大地震を想定した液状化後における盛土の沈下量の算定を行い、橋台との境界部で発生する段差量を予測し、段差に応じた車両走行性の確認を行うとともに、事前対策の要否、および発災後の道路啓開手法を念頭に置いた簡易な段差抑制工法の現場検証実験を実施した。この現場実証実験は、予定に無いものであったが、自治体担当者などを対象とする公開実験を行うことが出来、本研究の意義を周知することができた。

### (3) 実績・成果と課題

#### ①資料調査および踏査

先の2024年1月1日に発生した能登半島地震 (Mj=7.6)<sup>2)</sup>では、強い地震動および長周期地震動が加わり、地盤の液状化が発生し、震源域近傍の土木・建築構造物に広範な被害が生じた。液状化によって生じる段差被害も発生し、写真-1における才田大橋では橋台背面の地盤が約 1.5 m 沈下した事例も確認できた。これらの段差被害により、車両の通行が不可能となった箇所や、通行時に速度規制を余儀なくされた区間が発生した。一方で、約50 cmの段差が生じたとされる橋梁においても、踏掛板の効果が発揮され、道路機能が維持された事例も確認されている。既往の研究結果<sup>3)</sup>では、小型(緊急・一般)車両および大型(緊急・一般)車両を対象に、停止的速度(0~10 km/h)および徐行速度(15~20 km/h)での走行が可能となる段差量の上限值が整理され、図-1に示されている。同図より、段差量が25 cm以上となると車両の走行が困難となり、即日の補修も現実的でないことが示されている。このため、段差量25 cmを道路機能確保の観点からの対策実施の閾値として設定することが妥当であると言える。



写真-1 金沢市才田大橋の段差被害

#### ②数値解析評価

橋台背面盛土に生じる沈下予測のため、液状化に伴う残留変形解析プログラム (ALID) を用いた有限要素法解析を実施した。本プログラムは二次元静的解析手法であり、液状化に起因する地盤の流動現象に対して多くの適用実績を有する。本研究では、既往資料で確認した液状化安全率  $F_L$ 、相対密度  $D_r$ 、細粒分含有率  $F_c$  から体積ひずみ  $\varepsilon_{vd}$  を算定し、土の自重による液

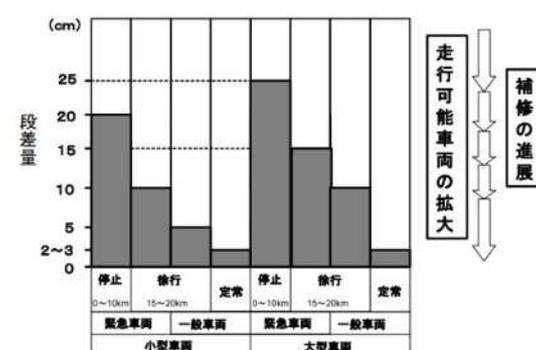


図-1 規制速度、走行速度と可能走行段差量(上限値)の関係<sup>3)</sup>

状化時の沈下量および流動変位量を橋台背面に生じる段差量に着目した解析を実施した。

写真-2および図-2に浜松市内における九領大橋のモデル図を示す。地盤構成は、上部から盛土層、砂質層、支持層からなり、地表面下には1層約1mの液状化層が4層存在する。図-3に九領大橋における橋台背面付近の最終変位図を示す。九領大橋では橋台天端の沈下量が16.7cmに達しているが、橋台背面盛土全体を見ても約17cm沈下していることが確認された。本解析結果を含む他の橋梁の数値解析結果を図-4にプロットし、補修要否について確認した。その結果、交通機能が失われる基準とした段差量25cmをいずれの橋梁も下回り発災後の応急処置でも道路機能が辛うじて維持される結果を示した。しかし、場合によっては発災後の交通量や速度制限は避けられない判定となった。

### ③段差抑制工法の現場実証実験

上述の解析結果を踏まえ、橋台背面に低コストかつ簡易的な段差抑制工法を提案するため、段差抑制および速度規制緩和効果の検証実験を実施した。段差抑制工法にはジオグリッド1枚を舗装直下に敷設することを想定した簡易対策工を採用し、人工的に段差を発生させる実験を実施した。実験では、限定的ではあるが、当該段差面に車両を通行させた。段差発生時および車両通行時におけるスロープ機能の発現を、盛土の縦断変形およびジオグリッドに生じる引張りひずみの観点から評価した。段差実験場の様子と段差計測のために取得した点群データを写真-3および図-5に示す。段差はコンクリートブロックを持ち上げることで10cm、20cm、30cmの3段階を再現し、ジオグリッド対策と無対策とで比較した。

実験の結果から、各段差形成時において、ジオグリッドは破断することなく機能していることが確認された。

また、図-5に示すように、ジオグリッドを敷設した箇所は、浮き上がって黄色で表示されており、敷設面の傾斜が緩やかでスロープの形成が認められた。写真-4および写真-5に示す車両走行については、段差10cmでは通行可能であったが、20cmおよび3



写真-2 検討対象とする橋梁の様子

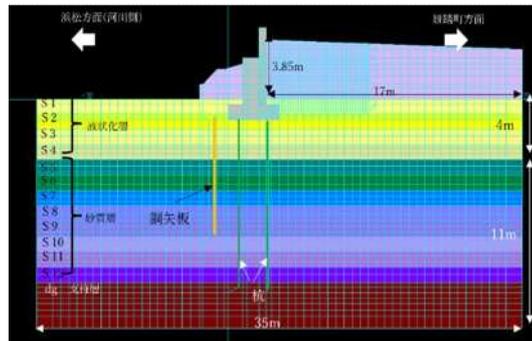


図-2 解析モデル図

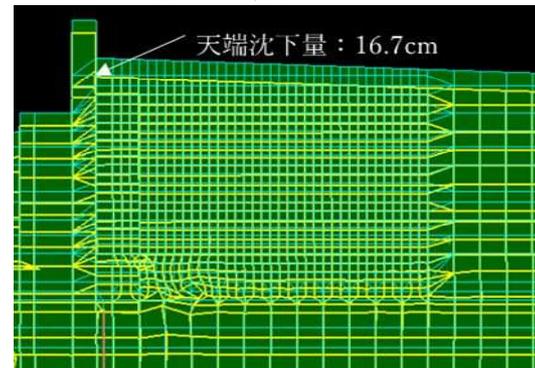


図-3 残留変形図 (橋台付近を拡大)

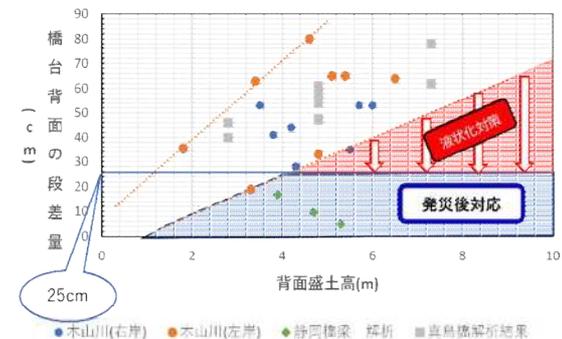


図-4 段差量と背面盛土の関係<sup>4)</sup>

0cmでは実験場の制約および安全上の理由から実施しなかったが、対策をしていない箇所を通過した際に、輪荷重により、陥没していることがわかる。このことから、段差量30 cmまでの検証は実施していないが、ジオグリッド1枚の敷設で、段差解消の可能性を見出すことが出来た。

#### ④今後の改善点や対策

橋梁に関する数値解析は、資料があれば実施が可能である。段差対策に関しては、現場実証実験が好ましいと考えるが、安全対策やコスト高になることから、実験条件に制約が生じることもあり得る。より合理的な検討方法を見出すことが今後の課題である。

#### ⑤期待される成果

南海トラフ大地震に対する緊急避難路等の機能維持に関する事前対策や応急復旧対策の要否、機能不全と判断される際には複数経路の確保を考える必要がある。本研究は、事前に地震直後の橋梁の状況を予測し、具体的な対応を講じる基礎資料となり得る。

## 5 課題提出者・地域への提言

南海トラフ大地震発生時には、交通機能障害が市内の至る所で発生してもおかしくはない。発災時の行政対応のイメージを持つことは非常に重要であることに加え、一般市民にも、液化化時の移動の困難さを意識する機運を高めていくことに繋がれば幸いである。

【参考文献】1) 国土交通省道路局 国道・技術課(技術企画グループ)：令和6年能登半島地震道路構造物(橋梁, 土工, トンネル)の被害分析, 社会資本整備審議会 道路分科会 道路技術小委員会, 2024. 2) 気象庁：令和6年能登半島地震等の関連情報, [https://www.jma.go.jp/jma/menu/20240101\\_noto\\_jishin.html](https://www.jma.go.jp/jma/menu/20240101_noto_jishin.html), 3) 常田他：段差走行実験に基づく地震時の道路の性能評価および交通運用, 土木学会地震工学論文集, 2007. 4) 栗林他：液化化地盤上の道路盛土被害に関する一考察—2016年熊本地震における被害資料, 調査結果を例として—, 日本地震工学論文集, 第21巻, 第1号, 2021.

## 6 課題提出者・地域からの評価

本研究は、南海トラフ巨大地震を想定した橋梁背面の段差発生を、資料調査・数値解析・現場実証実験の三段構えで検討しており、行政にとって極めて有用な成果を示していると考えます。特に、段差量の予測と簡易対策工の効果検証は、発災後の道路啓開や緊急輸送路確保に直結する重要な知見であり、実務的価値が高く、今後の防災・減災施策の検討に資する成果となること、引き続き他のインフラ施設での調査・検討についても期待しております。



写真-3 実験場の様子

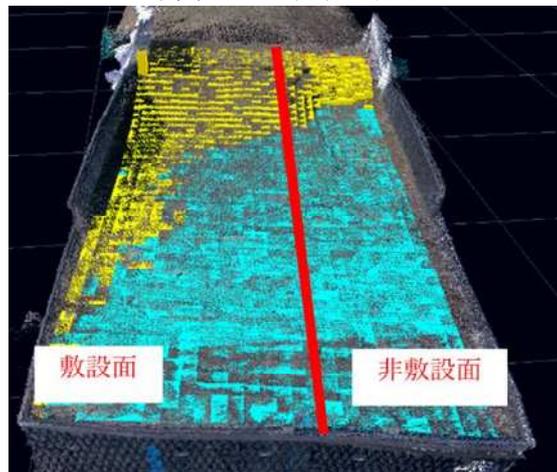


図-5 30cmジャッキアップ時の点群データ



写真-4 車両走行の様子（10cmジャッキアップ時）



写真-5 車両走行後

浜松市財務部技術監理課 技監 菅沼孝夫