

平成 30 年 6 月 10 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06182

研究課題名(和文)地震時における軟弱地盤上の橋台および橋台背面アプローチ部の被害推定とその対策

研究課題名(英文) Damage estimation of approach part of abutment on the soft ground due to earthquake and its countermeasures

研究代表者

梶田 幸秀 (Kajita, Yukihide)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：10403940

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：地震時における橋台背面アプローチ部の被害推定を有効応力解析により行った。解析の結果、液状化層の存在により、地盤が流動し、橋台背面アプローチ部が沈下することを明らかにした。また、液状化層の直下では杭基礎に作用する曲げモーメントが増大することも分かった。橋台背面アプローチ部の沈下を抑制するため、荷重低減工法と深層混合処理工法の2種類の地盤改良方法を取りあげ、有効応力解析を実施した結果、両工法とも背面アプローチ部の沈下を抑制できたが、杭基礎の曲げモーメントに関してはそれほど低減効果がないことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Damage estimation of the rear approaching part of the abutment during the earthquake was performed by effective stress analysis. Analysis revealed that the presence of the liquefaction layer caused the ground to flow and subsidence of the backside approach part of the abutment. It was also found that the bending moment acting on the pile foundation increases under the liquefaction layer. In order to suppress settlement of the approaching part of the abutment, two types of soil improvement methods, load reduction method and deep mixing processing method were taken and effective stress analysis was conducted. As a result, both methods could suppress settlement of the back approach part. However, the bending moment of the pile foundation was not so much reduced.

研究分野：地震工学

キーワード：液状化 有効応力解析 橋台 荷重低減工法 深層混合処理工法

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震では、東北地方整備局が管理する1504橋のうち364橋で、橋台背面アプローチ部に段差が生じた。地震直後は、段差障害により、緊急車両の通行が妨げられたり、通行時の速度制限が行われたりした。地震直後にも緊急輸送道路としての役割を果たすには、このような被害を減らすことは非常に重要である。

上記の被害は、橋台周辺部、特に、背面地盤の流動によるものであるが、平成24年2月に改訂された道路橋示方書IV下部構造編では、橋台背面アプローチ部の沈下対策に関して、「橋の複雑な地震応答や地盤の流動化による地盤変位等の原因により、橋台背面に著しい沈下が生じる場合においても、通行機能の確保が必要な橋においては、踏掛版の設置等適切な対策を講じることが望ましい」と記載されている。橋台背面に生じる段差に対する対策を講じなければならないことは明記されているが、現時点では、地震時における橋台背面地盤の沈下量や地盤への対策工が橋台の応答に与える影響などを数値解析的に明らかにしている事例は見当たらない。

2. 研究の目的

地震直後に緊急輸送道路としての役割を果たすために、軟弱地盤上の橋台に対して、橋台背面地盤の沈下量、橋台の杭基礎に作用する地震時土圧や杭頭部に作用するモーメントなどの諸量を橋桁－橋台－地盤を考慮した有効応力解析により明らかにするとともに、軟弱地盤への対策工による前述の物理量の低減効果を明らかにすることを目的とする。あわせて、橋台周辺地盤で側方移動が起きれば、橋台本体は背面より地震時土圧、前面より上部構造による拘束力をうける荷重状態になるため、両側より水平载荷を受けた状態の橋台本体の損傷を数値解析により明らかにする。以上より、地震時における軟弱地盤上の橋台の使用性・安全性およびその周辺地盤の変状について数値解析で明らかにし、その対策方法を例示することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1)地盤対策工を施した地盤での橋台および表層地盤の地震時挙動の解明

軟弱地盤上の橋台に対して、地盤の解析ではよく用いられている有効応力解析により、まずは無対策地盤に対する地震時挙動を明らかにした。続いて、地盤対策として軟弱地盤層を直接改良する深層混合処理工法と表層地盤を軽量盛土に置き換え、軟弱地盤層の上載圧を低減させる荷重低減工

法の2種類を取り上げた。これらの地盤対策を行った場合の橋台背面アプローチ部の地盤沈下量の抑制効果、杭基礎に作用する地震時土圧、橋台の倒れ込み量などの物理量がどのように変化するのか確認を行い、対策工の効果を定量的に把握した。

(2)橋桁の拘束と背面地盤の土圧を考慮した橋台本体の非線形準静的解析

橋桁の拘束による橋台本体の損傷解析については、まず以前に行った1/6スケールモデルのシミュレーション解析を実施し、橋台の倒れ込みによる背面土からの抵抗力を適切に表現できれば、実験結果のシミュレーションが可能であることを明らかにした。続いて、実規模橋台において解析を実施したが、実規模橋台の場合、橋台はパラペット部が最弱点部となり、背面土を考慮すると、上部構造重量の3倍程度の荷重が作用した場合は、変形量が約70%に減少することから、パラペット部周辺の損傷を正確に把握するためには背面土の影響を考慮する必要があることが分かった。

4. 研究成果

(1)段差量

地盤改良を施さないケース、深層混合処理工法単体で用いるケース、荷重軽減工法を単体で施すケース、深層混合処理工法と荷重軽減工法を併用するケースの4つのケースのそれぞれの終局図を図-1から図-4に示す。下に示すコンターは過剰間隙水圧比を表しており、1に近いほど赤く0に近いほど青く示されている。図-1から図-4を見てみると、全てのケースにおいて解析終了時には液状化層全体で過剰間隙水圧比が1に近づいており、液状化が発生していることが分かる。図-1から図-4に示す黄色の点は橋台天端と橋台天端から4.5m離れた地点を表している。2点の鉛直方向の相対位置を段差量と定義し、それぞれのケースにおける段差量を図-5に示す。文献1)より、段差量が15cm以上の場合、大型緊急車両も一旦停止し、徐行での通行も不可となるため、本研究では段差障害が発生する段差量は15cmとしている。このことを踏まえると、地盤改良を施さないモデルでは段差量が15cm以上となり段差障害が発生しているが、地盤改良を施したモデルにおいては段差障害が発生しない程度に段差量が低減していることが分かる。また、荷重軽減工法単体よりも液状化層を直接改良する深層混合処理工法単体で用いたケースでは左右両側とも段差量は低減しており液状化層を直接改良したほうが土の側方移動量が低減でき段差発生防止につながったと考えられる。また、深

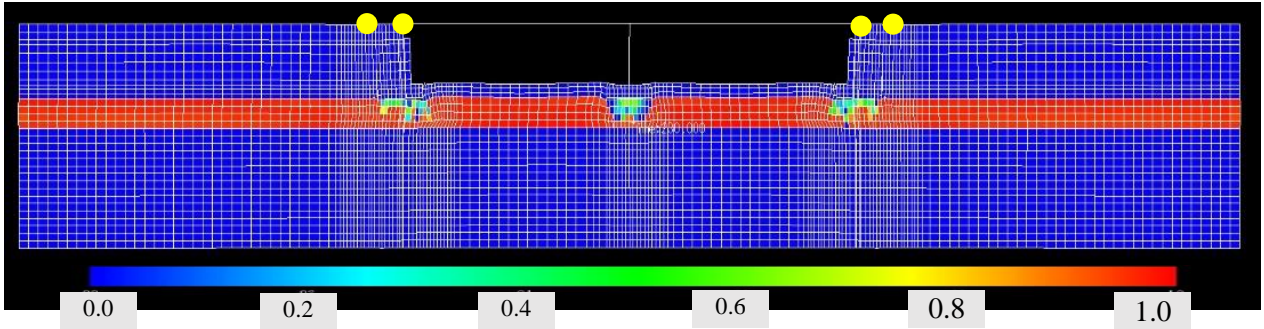


図-1 終局図(地盤改良無し)

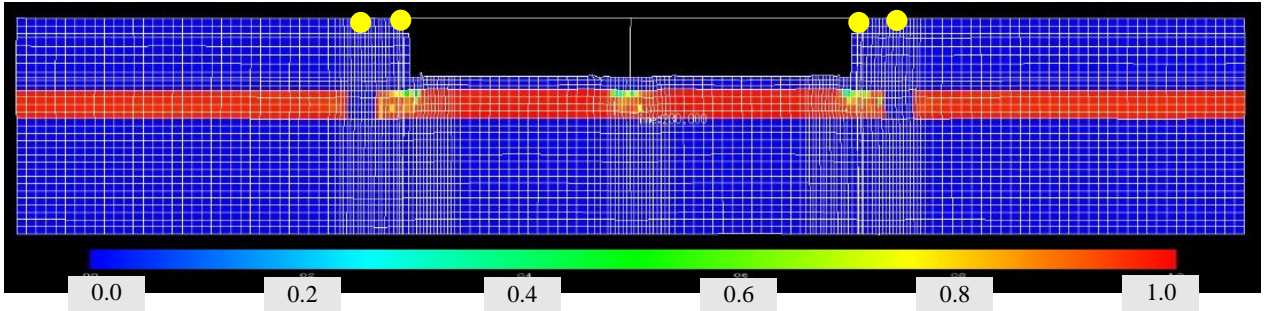


図-2 終局図(深層混合処理工法単体)

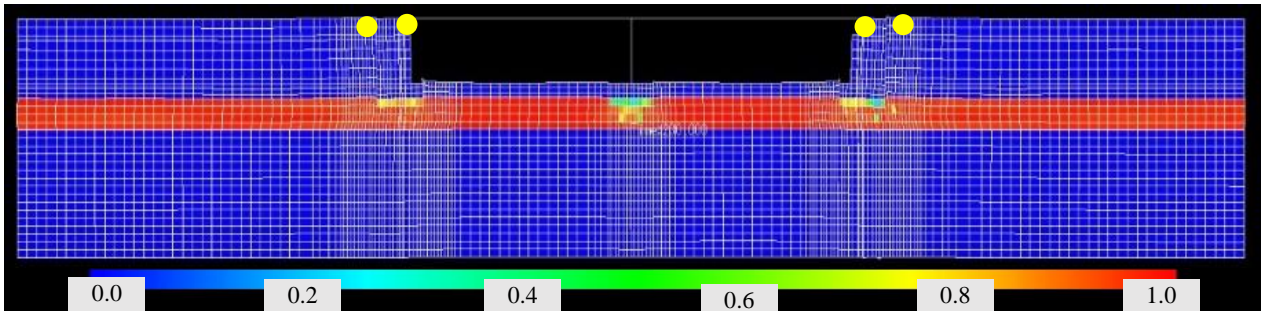


図-3 終局図(荷重軽減工法単体)

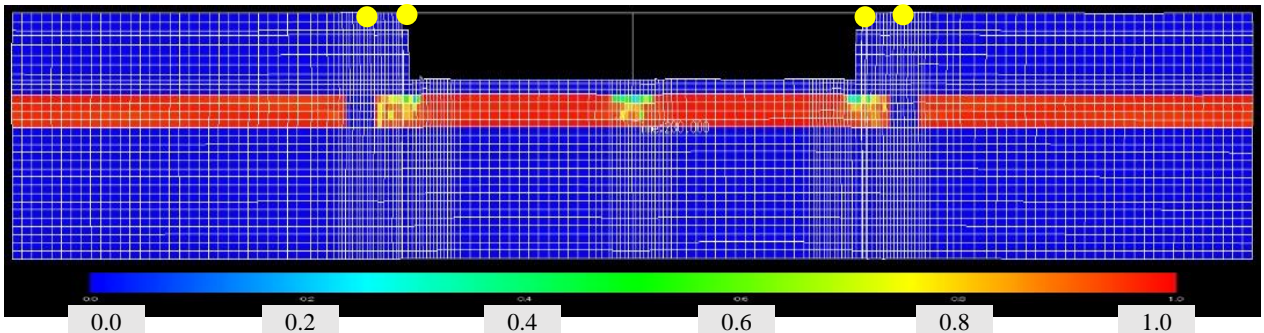


図-4 終局図(深層混合処理工法と荷重軽減工法の併用)

層混合処理工法と荷重軽減工法を併用したケースにおいては深層混合処理工法を単体で用いたケースよりもさらに段差量が減少し、段差量は4つのケースで最小という結果になった。

(2) 杭の応答

右側橋台中央の杭に発生した曲げモーメントと水平変位の最大値分布を図-6 と図-7 に示す。曲げモーメントと最大変位について、正負は考慮されておらず、また、最大値となる時間も地点により異

なるため、ある瞬間の曲げモーメント分布、変位分布(変形図)を示したものではない。杭の降伏モーメントは、 $670\text{kN}\cdot\text{m}$ であり、本解析では杭の降伏後の剛性をゼロとしているため、曲げモーメントの値は $670\text{kN}\cdot\text{m}$ を超えることはない。曲げモーメント値は要素の中央値の値を算出しているため、橋台フーチングの下面は、モデルの最下面から 20m の高さにあるが、曲げモーメント値は、図-6(b)から分かるとおり、杭を表した梁要素の中央位置である高さ 19.5m の値となる。図-6(b)を見ると、杭頭部分であ

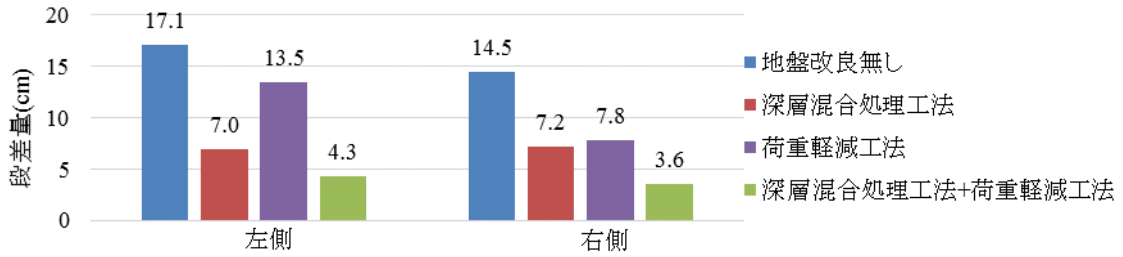


図-5 両側段差量

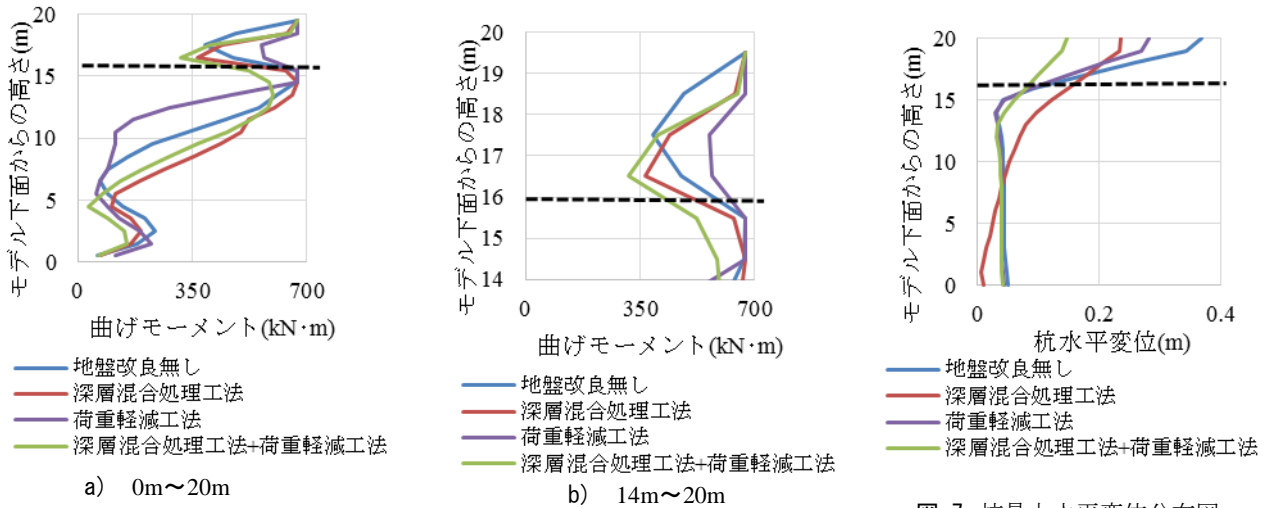


図-6 曲げモーメント最大値分布図

図-7 杭最大水平変位分布図

る 19.5m の地点では、すべてのケースにおいて、降伏モーメントである $670\text{kN}\cdot\text{m}$ に達しており、杭頭では杭基礎は降伏しているといえる。液状化層と非液状化層の境界であるモデル下面から 16m の地点(図中の点線)付近を見ると、深層混合処理工法と荷重軽減工法を併用したモデル以外は、3 ケースとも 15.5m もしくは 14.5m 地点で降伏モーメントに達しており、ここでも降伏していることが分かる。杭頭部分については、すべてのケースにおいて、液状化層と非液状化層の境界部分から杭頭にかけて、最大水平変位が増加している状況から、今回行った地盤対策でも、杭頭は降伏したものと考えられる。一方、液状化層と非液状化層の境界部分の少し下で発生した降伏については、液状化発生後、地盤の剛性の急変部となるため、その部分のはりの曲げ変形(曲率)が大きくなったためではないかと考えられ、深層混合処理工法と荷重軽減工法を併用したモデルでは、境界部分での過剰間隙水圧比の色が赤ではなくオレンジ色に近く、過剰間隙水圧比がそれほど上昇しておらず、地盤の剛性の変化量が小さかったと考えられる。

次に図-7 の最大水平分布図を見ると、液状化層内の高さ 18m より上の部分では、段差量の結果と同じく、地盤改良無しのケースが一番大きく、続いて荷重軽減工法、深層混合処理工法、併用法

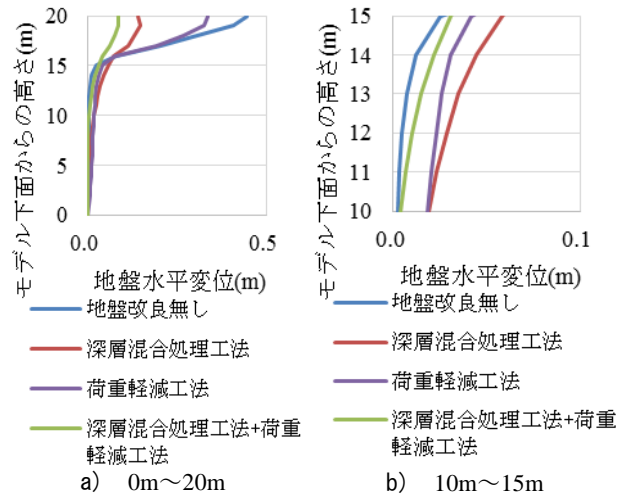


図-8 地盤水平変位分布図(解析終了時)

の順に最大水平変位は小さくなっていく。しかし、液状化層から下の部分(高さ 8m から 16m)では、深層混合処理工法が他の 3 つのケースに比べて明らかに大きな水平変位が発生しており、それに伴い、図-6(a)の最大曲げモーメント分布においても、曲げモーメントの値は、地盤改良無しのケースよりも大きくなっている。深層混合処理を行った範囲の傾斜が液状化層の中央付近から下にかけて杭の最大水平変位の増加につながったのではないかと考えた。また、図-8 に杭の側面の地盤の水

平変位を示す。図-8 より地盤の水平変位も深層混合処理工法を施した場合が一番大きくなっており、杭に地盤からの水平力が作用していることも分かる。

以上まとめると、本解析においては、いずれのケースにおいても杭頭での杭基礎の降伏を抑えることはできなかった。また、液状化層と非液状化層の境界付近で発生した降伏については、深層混合処理と荷重低減の併用で抑えることができた。また、深層混合処理工法を施した場合、深層混合処理した固塊が倒れ込むように移動する現象が起きる可能性があり、それに伴い、液状化層よりも下の部分では、杭の水平変位や曲げモーメントが増大する現象が確認された。

<引用文献>

①常田賢一, 小田和広, 道路盛土の耐震性能評価の方向性に関する考察, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.4, 2009, pp.857-873
<https://doi.org/10.2208/jscejc.65.857>

5. 主な発表論文

[雑誌論文] (計2件)

①梶田幸秀, 柿永恭佑, 宇野州彦, 北原武嗣, 橋桁の影響を考慮した液状化地盤上にある橋台の地震時応答に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 査読有, Vol. 72, No. 4, 2016, pp.338-347,
https://doi.org/10.2208/jscejsee.72.I_338

②梶田幸秀, 朝廣祐介, Amin Mujtaba, 背面土を考慮した実規模橋台の水平抵抗特性に関する数値解析, 構造工学論文集, 査読有, Vol.64A, 2018, pp.699-708

[学会発表] (計8件)

①梶田幸秀, 橋桁の影響を考慮した液状化地盤上にある橋台の地震時応答に関する基礎的研究, 第35回地震工学研究発表会, 2015

②Yukihide Kajita, Seismic response analyses of the pile foundation of the abutment on the soft soil layer, The Tenth Pacific Conference on Earthquake Engineering, 2015

③梶田幸秀, 液状化地盤上にある橋台の地震時応答への橋桁の影響に関する基礎的研究, 第6回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム, 2016

④梶田幸秀, 背面土とコンクリート橋台躯体との境

界部のモデル化が水平抵抗特性に与える影響について, 土木学会第71回年次学術講演会, 2016

⑤梶田幸秀, 背面土を考慮した実規模橋台の水平抵抗特性に関する検討, 第4回九州橋梁・構造工学研究会シンポジウム, 2016

⑥ Yukihide Kajita, Investigation of ground subsidence level of the backfill soil of the abutment on the soft ground due to severe earthquakes, The 2nd workshop with NCREE and Kyushu University, 2016

⑦梶田幸秀, 液状化地盤上に存在する橋梁の橋台背面アプローチ部における段差解消に関する基礎的検討, 土木学会第72回年次学術講演会, 2017

⑧梶田幸秀, 地震時における橋台背面アプローチ部の段差障害に対する地盤改良効果の検討, 第5回九州橋梁・構造工学研究会シンポジウム, 2017

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶田幸秀 (KAJITA Yukihide)

九州大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 10403940

(2) 研究分担者

玉井宏樹 (TAMAI Hiroki)

九州大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 20509632

(3) 連携研究者

宇野州彦 (UNO Kunihiko)

五洋建設株式会社 (技術研究所)・耐震構造チーム・主任研究員
研究者番号: 10600372