地盤改良体方式斜め土留め壁による カルバートの浮上抑制効果に関する解析的研究

照井 太一¹·佐野 朝恵²·樋口 俊一³

¹正会員 ㈱大林組 土木本部生産技術本技術第一部 (〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2) E-mail:terui.taichi@obayashi.co.jp

²非会員 北陸電力㈱ 富山新港火力発電所建設所土木課 (〒933-0226 富山県射水市堀江千石 1) E-mail:tomoe.sano@rikuden.co.jp

³正会員 ㈱大林組 技術本部技術研究所構造技術研究部 (〒204-8558 東京都清瀬市清戸 4-640) E-mail:higuchi.shunichi@obayashi.co.jp

斜め土留め工法は、土留め壁を傾斜させることにより掘削深さが 3m 以上でも支保工が不要となる自立 形式の土留め工法である。「地盤改良体方式」はソイルセメントにより遮水性土留め壁を築造するもので、 富山新港火力発電所LNG1号機新設工事のうち、カルバートを設置する冷排水路工事に初めて適用した。 工事完了後に地中に残置される土留め壁には、液状化時のカルバート浮上抑制効果が期待できる。本研 究では、このカルバート浮上抑制効果を FEM 液状化解析手法を用いて検討を実施した。この結果、土留 め壁で囲まれたカルバート周辺の地盤は過剰間隙水圧の上昇が抑えられ、カルバートの浮上量も大幅に低 減することが定量的にわかった。

Key Words: Soil-cement Wall, Culvert, Liquefaction, Dynamic Analysis, Uplift

1. はじめに

内部支保工を伴わない斜め土留め工法を採用すると、 通常の土留めにおける中間杭の躯体貫通部や切梁位置に おける水平打継が無くなり、躯体の品質が向上する。ま た、内部掘削および躯体構築の施工速度が向上するため、 工期短縮およびコスト縮減が可能となる。今回、新たに 開発した「地盤改良体方式」は、浅・中層混合処理工法 であるパワーブレンダー工法によって傾斜したソイルセ メント壁を造成するものである。

一方、工事完了後に地中に残置される地盤改良体斜め 土留め壁には、その遮水性から地震時の液状化によるカ ルバートの浮き上がりに対する抑制効果が期待できる。 これについて動的有効応力 FEM を用いた解析的検討を 実施した。解析対象は、富山新港火力発電所LNG1号 機新設工事のうち、冷排水路工事とした。本稿では、地 盤改良方式斜め土留めの施工状況、ならびにカルバート の浮き上がり抑制効果に関する検討結果を報告する。

2. 斜め土留め工法の概要

延長 524m のボックスカルバート構造の冷排水路工事 において、斜め土留め工法を適用した(図-1)。土留め の掘削深さは 3.3m~4.8m である。 施工場所は海に近接 しており、地下水位が GL-1.0m 程度と高い。地盤は軟弱 粘性土が主体であるが、表層には緩い砂層が存在する。 図-2 にプレキャストカルバート区間(以下、PCa区間と する)の断面図を示す。掘削深さ 3.5m に対して土留め 深さ 6.5m、壁厚 1.0m、傾斜角 10 度の地盤改良体を造成 して土留め壁とした。設計基準強度は 1000kN/m²とした。 また、掘削底面には底盤改良(厚さ 1.5m、設計基準強 度 300kN/m²)を造成する計画とした。



図-1 冷排水路工平面図



図-2 PCa 区間断面図



写真-1 掘削・均しコンクリート打設完了状況

パワーブレンダー工法による土留め壁の施工では、土 留め壁に傾斜をつけるため、油圧ショベルのアームに専 用のアタッチメントを取付け、トレンチャーの傾斜角度 を 10°に保持できるようにした。施工後のソイルセメ ントから試料を採取して一軸圧縮試験を実施した結果、 全ての試験で設計基準強度を満足する結果となったこと から、傾斜をつけた場合でも通常のパワーブレンダー工 法と品質が同等な地盤改良体を造成できることを確認で きた。また、床付けまでの掘削期間中、直線部、コーナ 一部共に土留め壁面に有意なクラックや漏水の発生は無 かった(写真-1)。

液状化によるカルバート浮き上がりに対する 地盤改良体斜め土留め壁の抑制効果

本施工場所のように、地下水位が高く緩い砂質土層が 介在する地盤にカルバートを設置する場合、地震時の液 状化によりカルバートが浮き上がる可能性がある。これ に対し、工事完了後に残置される地盤改良体斜め土留め 壁(以下、地盤改良壁)には浮き上がりを抑制する効果 が期待できるため、この効果を2次元 FEM による動的有 効応力解析手法を用いて定量的に検討した。



(1) 解析条件

PCa 区間のうち、緩い砂質土層(B層)が最も厚く存 在する断面を検討断面とした(図-3)。施工場所は軟弱 地盤が深部まで連続し、工学基盤層がGL-56.6mで出現 する。動的有効応力解析モデルは液状化層(B層)を含 む表層からGL-10.7mまでの範囲とし、それ以深につい ては予め等価線形解析により地盤応答を計算し、解析モ デル下端での地震動を抽出して入力した。解析用入力地 震波を図-4、基盤入力地震動波を図-5に示す。液状化 による構造物周囲の変状を考慮して、地震波に後続のゼ ロを付加し、解析時間を320秒間とした。解析には動的 有効応力解析プログラム「o-EFFECT」¹⁰を用いた。解析 モデルを図-6に示す。側方境界は周期境界、底面は固 定境界とした。

B 層の液状化特性は地盤調査結果をもとに、パラメー タフィッティングにより設定した。図-7 に B 層の要素 シミュレーションによる液状化強度曲線を示す。液状化 層以深の Ac0 層および As1 層のせん断剛性には、等価線 形解析により得られた収束剛性を用いた。





冷排水路となるカルバート内の水位は満水とし、等価 な質量を有する弾性体としてソリッド要素でモデル化し た。地盤改良体は線形材料とし、弾性定数は設計基準強 度を基本に設定した。

解析ケースは地盤改良壁の有無と底盤改良の組合せに よる効果を比較検討するため、表-2 に示す 3 ケースと した。

(2) 解析結果

地震波入力 320 秒後の地盤変形図を図-8、地震波入力 60 秒後の過剰間隙水圧比分布図を図-9 に示す。

ケース0では、B層の地下水位以深で全体的に過剰間 隙水圧比が1.0となり、カルバートの下側でも1.0に近 い値となっている。地盤変位は、カルバートおよびその 土被りが上方に移動し、周辺地盤はカルバートの下側に 引き込まれるように変形している。ケース1では、B層 のうちカルバート下側の地盤改良壁で囲まれた範囲は過 剰間隙水圧比が0.6~0.8程度にとどまり、大きな地盤



図-8 地盤変位図(時刻 320 秒)



図-9 過剰間隙水圧比分布図(時刻60秒)

変位も無い。ケース2はケース1と同様の傾向であるが、 底盤改良が存在する分だけ液状化の範囲はさらに限定さ れていることがわかる。

地震波入力 320 秒後のカルバートの変位図を図-10、 カルバート上地表面の鉛直変位の時刻歴を図-11 に示す。 カルバートの浮き上がり量は、ケース0が 23cm、ケー ス1が 5cm(ケース0の 22%)、ケース2が 3cm(ケー ス0の 13%)となる。ケース1は、カルバート側面が地 盤改良壁で囲まれているため、過剰間隙水圧の上昇が抑 えられ、かつ周囲の液状化地盤の変形や土砂の回り込み が抑制されることからカルバートの浮き上がり量が小さ くなる。ケース2では、底盤改良により過剰間隙水圧の 上昇する範囲がより限定的となるため、浮き上がり量も さらに小さくなる。

図-11より、ケース0では入力地震加速度が最大となる時刻10秒を過ぎ、時刻50秒付近までカルバートの浮き上がりが進行する。また、その後も過剰間隙水圧が残留しているため変位が収束しないことがわかる。一方、ケース1とケース2では、地震動が小さくなる時刻20秒付近でカルバートの浮き上がりがほぼ収束している。



時刻(秒)
図-11 カルバート上地表面の鉛直変位時刻歴

200

250

300

100

4. おわりに

50

0

地盤改良体方式の斜め土留め工法を今回初めて実工事 に適用し、現場打ちカルバート区間ではカルバートの設 置と埋戻しまで無事に完了した(平成28年6月時点)。 土留め施工中は、当初懸念していたコーナー部における 漏水も無く、地下水位が高く軟弱な地盤条件でもパワー ブレンダー工法により安定した品質の地盤改良体を造成 できることを確認した。

また、地盤改良壁には液状化によるカルバートの浮き 上がりを抑制する効果があることを FEM 解析により確認 できた。冷排水路におけるカルバートの大きな浮き上が りは、発電所の機能に大きな影響を及ぼすだけでなく、 これに伴う構内道路の変状等による地震後の復旧作業へ の波及が懸念される。したがって、BCPの観点から地 震リスクの低減に寄与すると考えられる。

参考文献

- 伊藤浩二:動的有効応力解析プログラム 「EFFECT」(その1)-基礎理論と地盤構成モデル-, 大林組技術研究所報,No.51,1995
- 2) 杉江他:地盤改良を用いた斜め土留め工法の解析検 証,土木学会第70回年次学術講演会,VI-785,2015.9
- 3) 青木他:地盤改良を用いた斜め自立土留め工法の試験施 工事例,土木学会第70回年次学術講演会,VI-785,2015.9

AN ANALYTICAL INVESTIGATION ON DEPRESSION EFFECT FOR UPLIFTING OF CULVERT BY INCLINED SOIL-CEMENT WALL

Taichi TERUI, Tomoe SANO and Shunichi HIGUCHI

Inclined Braceless Excavation Support is cantilever retaining wall without shoring for excavation more than 3m, by decrease of acting earth pressure due to inclination of wall. Type of soil improvement wall is diaphragm which is constructed with soil-cement. This type is applied for the construction of drainage for the first time. Soil improvement wall which is left under the ground after construction has the depression effect for uplifting of culvert. An increase of excess pore water pressure of soil around culvert is depressed by inclied soil-cement wall, and uplifting of culvert is reduced considerably as a result of analysis by FEM liquefaction code.