

4.3.2 構内道路立体交差部函渠拡幅のための地盤改良工事～東京国際空港～

1. はじめに

本工事は、東京国際空港内の構内道路（環状八号線）の付け替えに伴い、車線数の拡幅整備する穴守橋東側のボックスカルバート部の基礎部について地盤改良を行うものである。以下の写真 1 に拡幅箇所状況を、図 1 に拡幅箇所平面図を示す。



写真 1 拡幅箇所

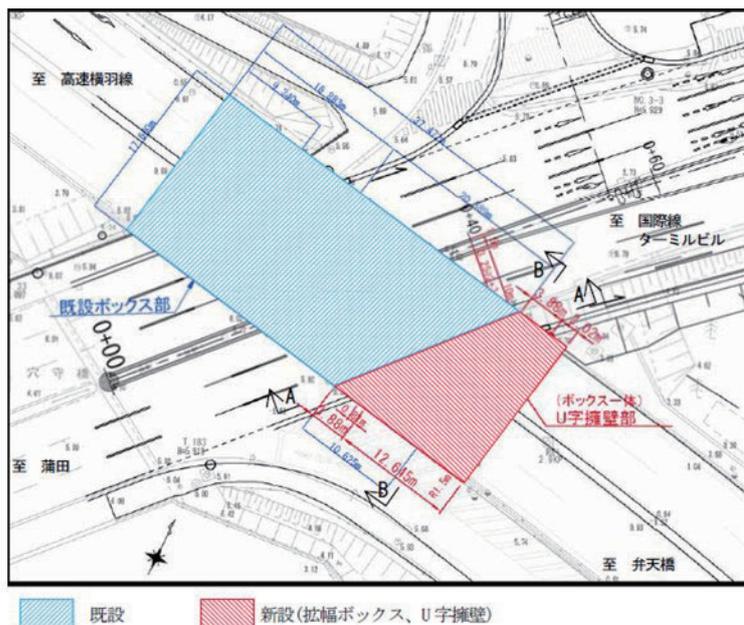


図 1 拡幅箇所平面図

2. 液状化地盤における大断面ボックス底部の地盤改良設計

地盤改良で仕切られた箱型^{かんきよ}函渠直下の地盤では、側方流動は生じないが液状化する可能性がある。液状化した場合は、函渠底面の地盤反力の低減、浮き上り、せん断変形増大による部材の応力超過が懸念される。そのため、函渠直下の地盤の液状化発生有無を確認し、構造物側の対策が困難な場合は、周辺または函渠直下を地盤改良することとした。液状化判定、液状化対策効果の確認では、2次元有効応力動的 FEM 解析（解析コード：FLIP）を適用した。基本設計で計画された位置に地盤改良を実施した場合、無対策範囲との境界で段差を生じ、地震後の通行確保が問題となる可能性がある。FLIP による解析の結果、段差が問題となる場合は、適切な対策工を実施することとした。

3. 液状化判定

本設計では、基本設計の判定結果を精査し、妥当性を確認するとともに、地盤改良なしのケースについて動的有効応力解析プログラム(FLIP)を用いた解析を実施し、液状化の発生有無を判定した。図 2 はレベル 2(極めて稀であるが非常に強い地震動,以下 L2 と記す)地

震時を解析した場合の過剰間隙水圧比の分布図、**図 3** は過剰間隙水圧比の時刻歴であるが、底面地盤である沖積層は、完全液状化の目安である過剰間隙水圧比 0.95 を超えており、液状化が発生していることが確認された。

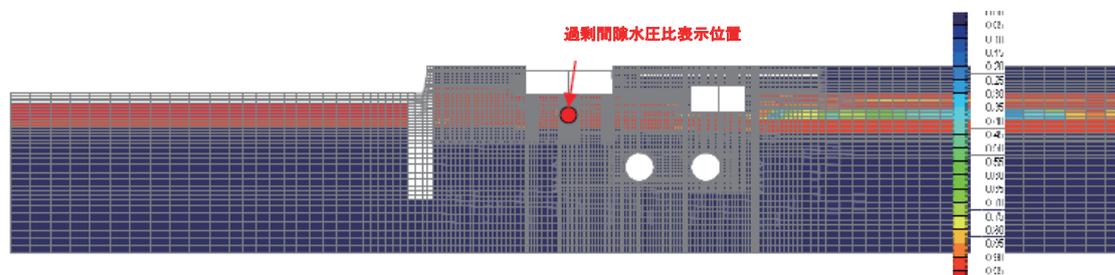


図 2 L2 地震時を解析した場合の過剰間隙水圧比の分布図

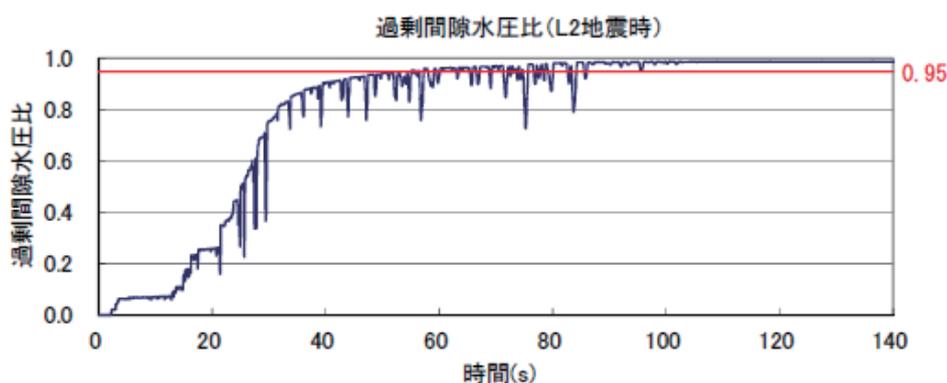


図 3 過剰間隙水圧比の時刻歴

4. 浮上り判定

基本設計における検討結果より、既設および拡幅部のボックスカルバートは、L2 地震動に対して液状化し、浮上りを生じる可能性があるため、浮上り防止を目的とした対策として地盤改良を実施する。

常時・レベル 1(中規模の地震で、その構造物の耐用年数中に一度以上は受ける可能性が高い地震動、以下 L1 と記す)地震時：本体底面に作用する静水圧 =23.0kN/m²

本体底面に作用する自重 =48.8kN/m²

浮上りに対する安全率 $F_s=48.8/23.0=2.12$

浮上りが発生しない (L1 地震時は液状化しない)。

L2 地震時：本体底面に作用する静水圧 =23.0kN/m²

本体底面に作用する過剰間隙水圧 =96.9kN/m²

本体底面に作用する自重 =48.8kN/m²

浮上りに対する安全率 $F_s=48.8/(23.0+96.9)=0.41$

浮上りが発生する (海老取川 HWL+2.10m まで浮上量約 2.3m)

5. 液状化対策工法の選定

図4の「浮上りのメカニズム」のように液状化層に周辺地盤との相対重量が軽い構造物（ボックスカルバート）が存在する場合の液状化対策工法を検討する。工法の適用性から、固結工法（地盤改良：高圧噴射攪拌工法）を選定した。選定理由は以下のとおりで、基本設計の検討と同様である。

- ・ 細粒分含有率（FC）が40%を越える低塑性シルトを固結することができる。
- ・ 「近接工事設計施工マニュアル（JR 東日本）」で近接構造物の近傍でも認められた唯一の改良工法で、既設構造物（鉄道シールドトンネル）への影響が小さい。
- ・ 躯体周辺の既設埋設物（東京電力及びNTT管路、雨水排水管）を考慮した施工が可能。

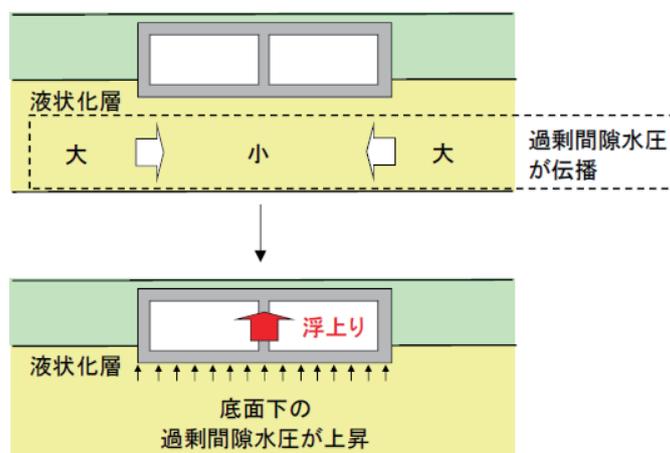


図4 浮上りのメカニズム

基本設計時の液状化対策として、側部を地盤改良する工法の実施は、既設埋設管との位置関係を踏まえると施工に課題がある。上記の課題に対し、既設埋設管との近接施工を回避するため、ボックスカルバート底面直下を液状化対策することを採用した。なお、高圧噴射攪拌工法は、小型ボーリングマシンで低空頭での施工ができるため、ボックスカルバート内から改良体の造成も可能である。設計案（側部の改良及び底面部の改良）の液状化対策模式図は図5に示す。

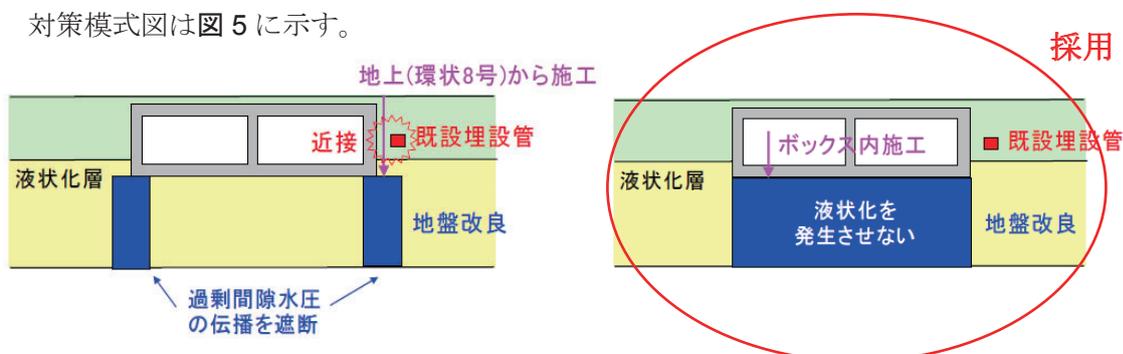


図5 設計案（側部の改良及び底面部の改良）の液状化対策模式図

経済性より、低強度改良体の造成が可能な（品質管理できる最低値 $qu=100\text{kN/m}^2$ ）液状化対策用高圧噴射攪拌工法を用いた。まず、ボックスカルバートの躯体に $\phi 0.2\text{m}$ 、深さ 0.70m のコアボーリングを 48 本施工し、その削孔から、 $\phi 5.0\text{m}$ 、深さ 10.20m の改良体を造成し、全面改良した。地盤改良工の平面図を図 6 に、地盤改良工の断面図を図 7 に示す。

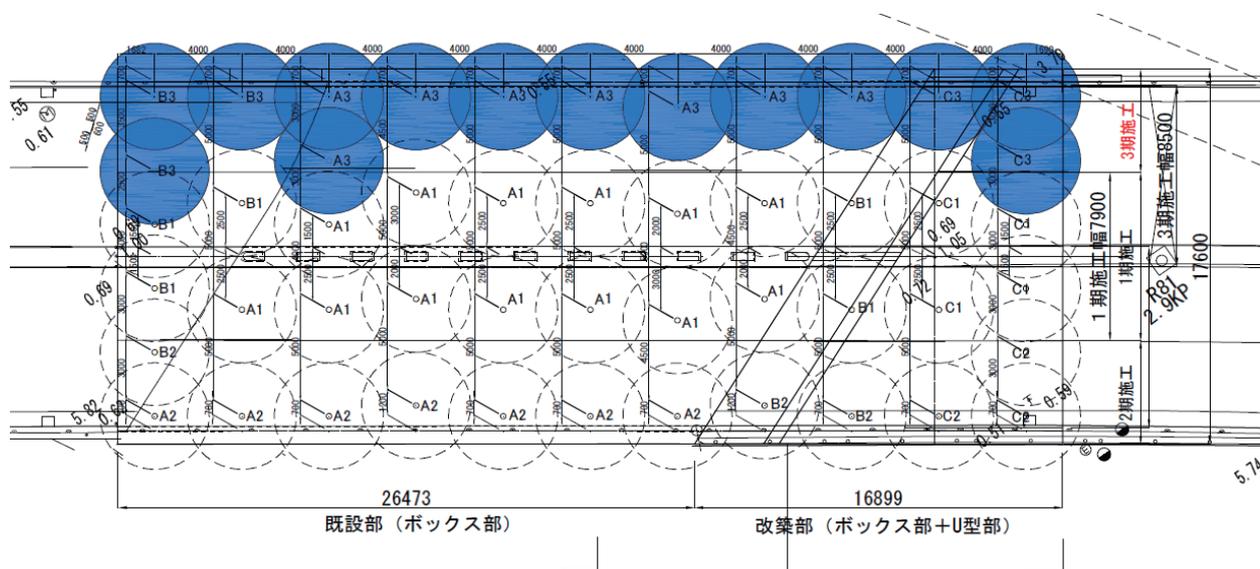


図 6 地盤改良工 平面図

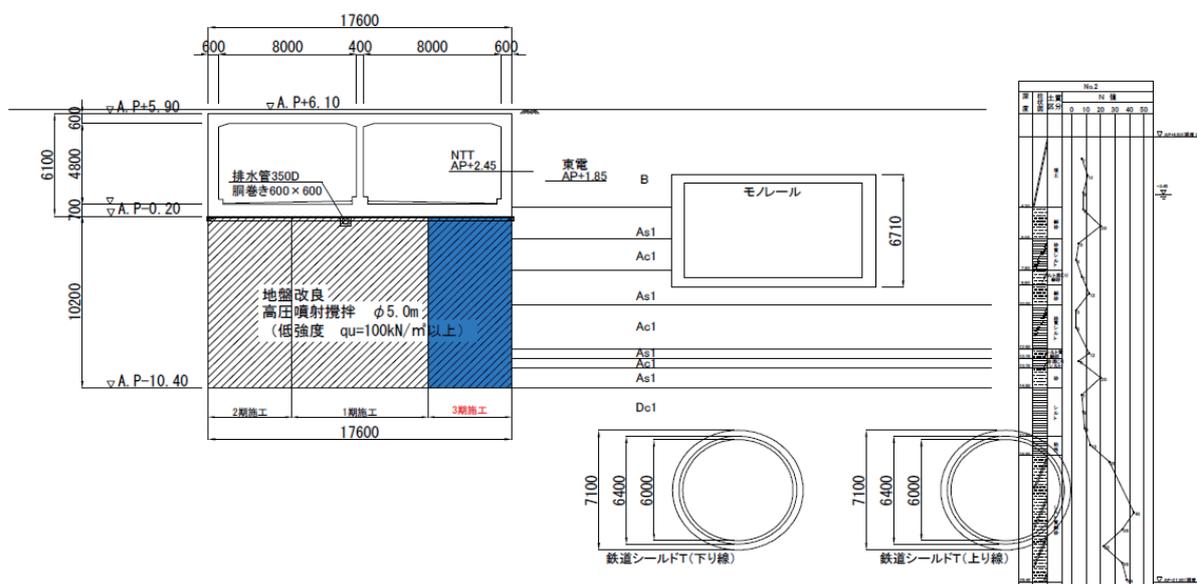


図 7 地盤改良工 断面図

カルバート底面部のみ改良した場合、周辺の無対策範囲との境界で段差を生じ、地震後の通行確保が問題となる可能性がある。これについて、図 8 に示す動的有効力 FEM 解析による残留変形図を確認し、カルバートと前後の道路部との段差はほとんど生じていないことを確認した。

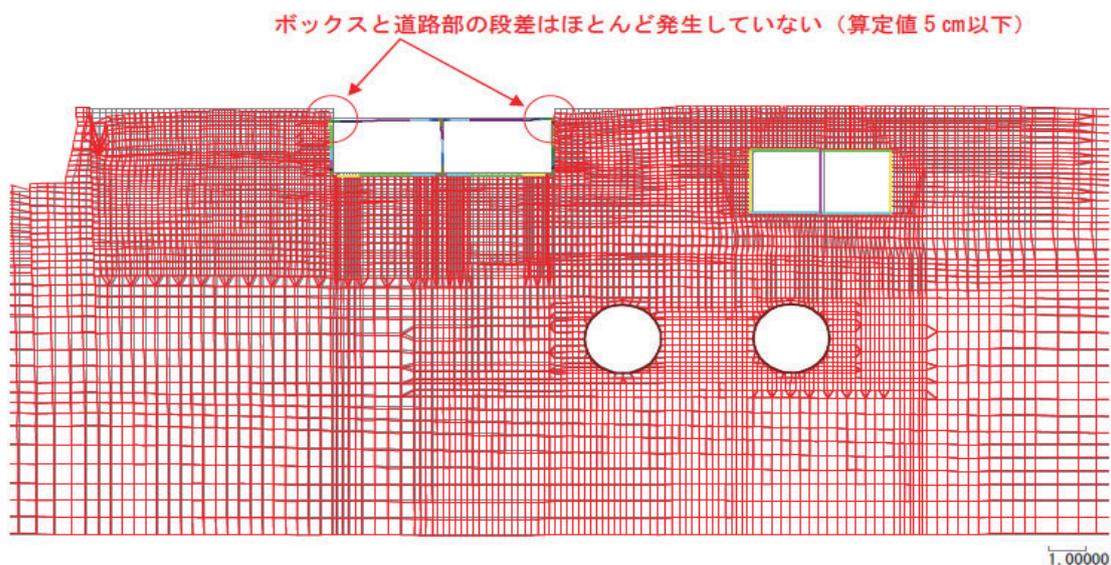


図 8 動的有効力 FEM 解析による残留変形図

6. 設計基準強度

設計基準強度は、技術資料¹⁾より $q_u=100\text{kN/m}^2$ 以上とした。埋立地の液状化対策ハンドブックによれば、地盤の一軸圧縮強度が $q_u=50\sim 100\text{kN/m}^2$ あれば液状化しないと考えてよいとされているが、高圧噴射攪拌工法では低強度の管理が難しいため、管理ができる強度として $q_u=100\text{kN/m}^2$ 以上とされている。

7 地盤改良の仕様

地盤改良の仕様を表 1 に示す。

表 1 地盤改良の仕様

項目	仕様
工法	高圧噴射攪拌工法
対象土	砂質土
改良径（有効径）	5.0 (m)
改良幅	17.6 (m)
改良深さ	10.2 (m)
目標強度	100 (kN/m^2)
固化材の種類	工法専用固化材
固化材添加量	650 (kg/m^3)
添加方法	スラリー添加 (W/C=120%)

改良体の配合は、事前に改良対象層の試料をサンプリングして配合試験を行った上で決定した。また、改良後は、材齢 14 日以上でボーリングによるサンプリングを行い、材齢 28 日まで試験室で養生し、材齢 28 日に一軸圧縮試験を行い、改良体の強度が設計基準強度を満足していることを確認した。

8. 施工概要

地盤改良工は、液状化対策用高圧噴射攪拌工法にて、ボックスカルバートの底版直下を全面改良することによって、液状化対策と浮き上がりを防止する。施工手順は、以下のフローのとおりとした。図9に高圧噴射工施工フロー図を、図10に高圧噴射工の施工手順を示す。写真2に施工状況（高圧噴射工）を示す。

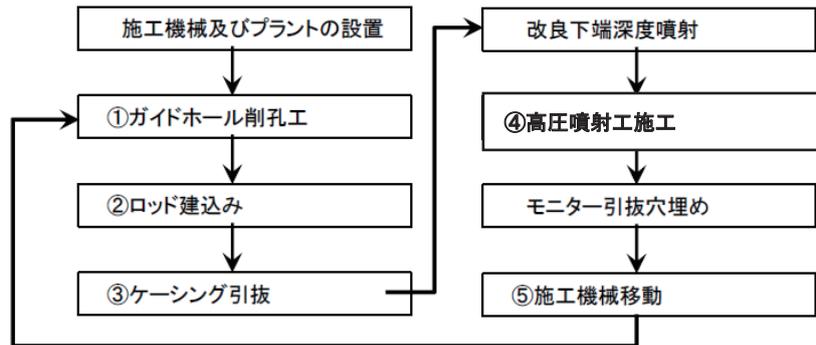


図9 高圧噴射工施工フロー図

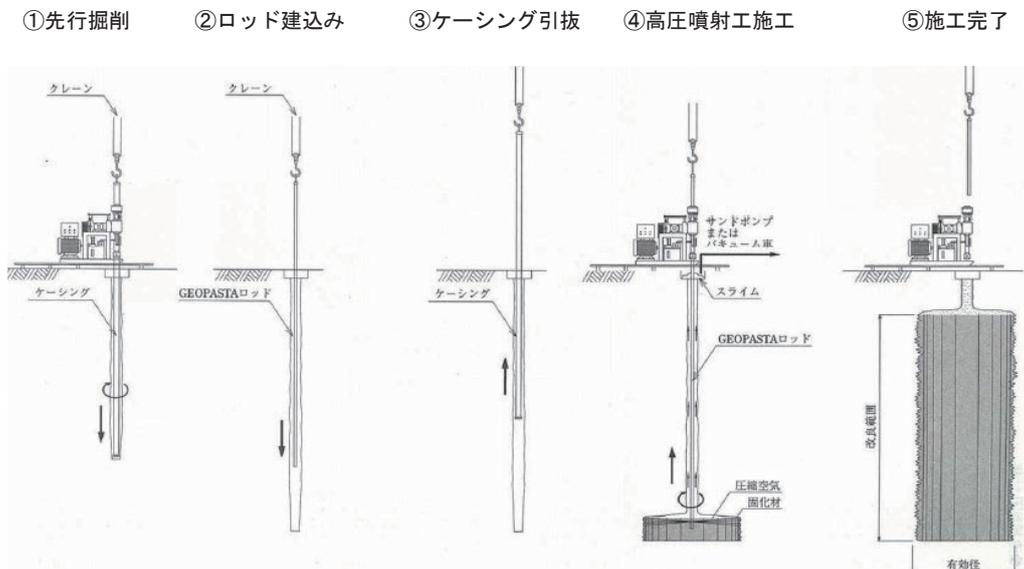


図10 高圧噴射工の施工手順



写真2 施工状況（高圧噴射工）

9 おわりに

本地盤改良工事により、この道路立体交差部はL2相当の地震動によっても液状化することなく、また、未改良部との段差も発生しないという解析結果から、大規模地震発生後も供用できる性能を確保した。完成状況を写真3に示す。



写真3 完成状況（ボックスカルバート部）

【参考資料】

- 1) GEOPASTA 技術・積算資料,GEOPASTA 研究会,2015年1月
- 2) 埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版） p203（財）沿岸開発技術研究センター
1997.8月