

CPG を用いた海峡部液状化対策の性能照査型設計および効果の確認

大成建設(株) 正会員 ○中西 誉
大成建設(株) 中島 倫弘

1. 目的

地中構造物の設計において、液状化を許容する対策工法を提案する場合、構造物の機能を考えた性能設計を導入することが必要である。既往の設計法としては、簡易式による変位量等の算定後に耐震性能の照査を行うものが提案されているが、本設計においては、液状化による変位量等を簡易式ではなく、より厳密な手法により算定し、耐震性能の評価を行う手法を提案する。本手法をボスボラス横断鉄道工事の沈埋函の液状化対策に適用したので、その地盤改良効果の確認結果と合わせて報告する。

2. 設計手法の概要

対象地盤の液状化判定を行い、石原・吉嶺により提案されている液状化安全率 F_L と液状化後の地盤の体積ひずみ ε_{vd} の関係(図-1)より液状化時の沈下量を算定する。また、液状化流動解析(FEM)により側方流動量を算定する。これらの地盤変位量を用いて、応答変位法により、構造物の断面力と変位量を求め液状化時の性能照査を行う。

1) 過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量の推定：液状化安全率 F_L の算定は、道示や鉄道標準等による方法もあるが、今回はNCEER (National Center for Earthquake Engineering Research) の手法により行う。コーン貫入試験(CPT)により対象層のコーン先端抵抗 q_c を、または標準貫入試験(SPT)により N 値を測定する。液状化安全率 F_L とコーン先端抵抗 q_c を使い、図-1より深度毎に液状化対象層の体積ひずみ ε_{vd} を求める。上記で求めた体積ひずみ ε_{vd} に対象層の層厚 h_i を掛けて、全対象層の深度方向収縮量を足し合わせて全沈下量 ΔS_1 を算出する。

2) 側方流動量の推定：側方流動量の算定は、2次元FEM残留変形解析プログラム「ALID」(安田ら)による静的解析により行う。図-2に沈埋函縦断方向の地盤変位量(水平変位量と過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量)の算定結果を示す。

3) 耐震性能の照査：沈埋函に発生する断面力および変位量の算定は、応答変位法にて実施する。解析モデルを図-3に示す。沈埋トンネルを非線形梁要素で、地盤と構造物の相互作用は有効上載圧を上限とする非線形ばね要素でモデル化して、ばねの端部より水平移動量および沈下量を入力し、トンネルの変形および断面力を算定する。

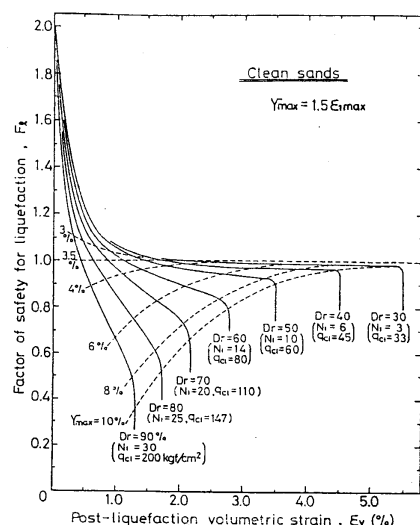


図-1 液状化安全率と体積ひずみの関係

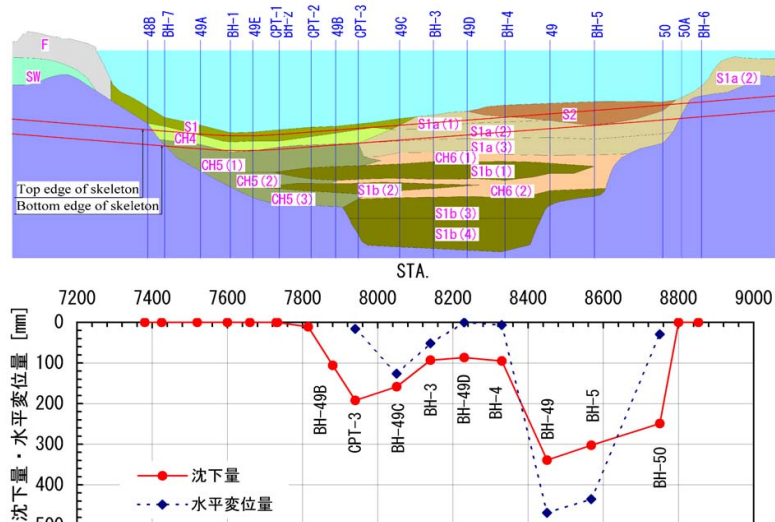


図-2 沈埋函位置の地盤の変位量

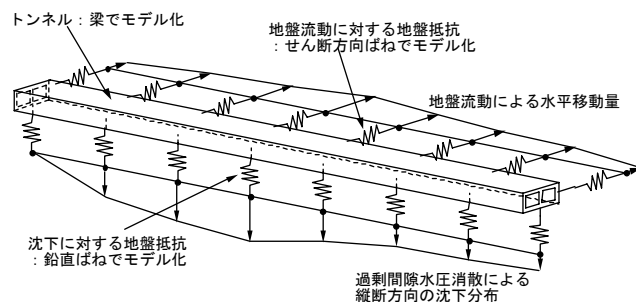


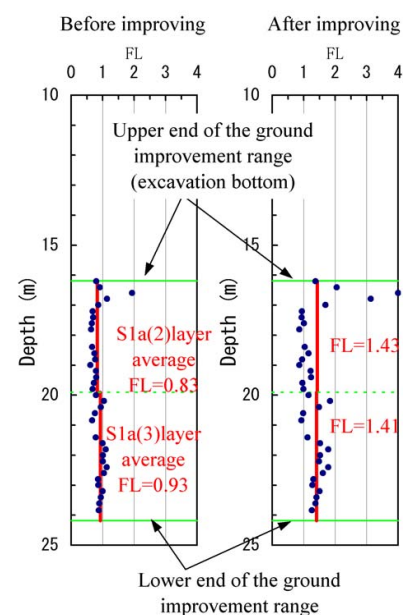
図-3 応答変位法解析モデル

キーワード 液状化対策, 性能評価型設計, 沈埋函, CPT, CPG

連絡先 〒160-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株) TEL 03-5381-5418

4) 液状化対策： 沈埋トンネルの場合、トンネルの浮上がり、地盤流動、液状化後の沈下を抑える必要があることから、密度増大工法を選定することとし、締固め工法(CPG:Compaction grouting)を採用する。改良地盤の液状化安全率が平均して1.0を上回るように目標改良率を設定する。液状化後の残留変位量に対するトンネル断面力およびトンネル勾配が許容値に納まるように改良率および改良深度を算定する。CPGの改良率は13.3% ($\Phi 700@1.7\text{m}$) とする。改良前と改良後の液状化安全率 F_L を比較して図-4に示す。また、液状化対策横断面図を図-5に示す。液状化対策の縦断方向範囲は沈下量等の大きい区間(ST.8350～8800程度)とする。

図-5 地盤改良横断面図

図-4 改良前後の F_L 値

3. 改良効果の確認

改良効果は、コーン貫入試験を行い、この結果を用いて推定した沈下量が許容値を満足することをもって確認する。CPTの実施位置はCPG杭間中心の最も改良効果の現れ難い位置とする。コーン貫入試験を実施する時期は、試験箇所近傍のCPG施工完了から7日後とする。

CPTの結果を反映した液状化後の地盤の変位(沈下)量を設計時の値と比較して図-6に示す。CPTの結果を反映した沈下量分布は設計値に比べてばらつきが大きく断面力が局地的に大きくなる懸念がある。液状化安全率に関しては、安全率を考慮した1.3以上を確保できているが、沈下に対する許容値を満足していないゾーンが存在する。そのため、沈埋函全体の解析(応答変位法)を行い、耐力照査および変位に対する照査を実施した。図-7、図-8に応答変位法用の入力変位値と解析結果の断面力分布を示す。沈埋函の断面性能照査結果は省略するが、沈埋函の健全性を確認し、液状化対策を終了した。

4. まとめ

液状化に対する性能照査型設計手法として、液状化による沈下量や変位量を既往の研究成果や解析を用いることにより算定し、耐震性能の評価を行う手法を示した。また、この手法を実プロジェクトに適用し、効果確認のためのCPT結果を反映したフィードバック設計を行った。性能照査型設計を行うことにより、経済的な液状化対策とすることができた。

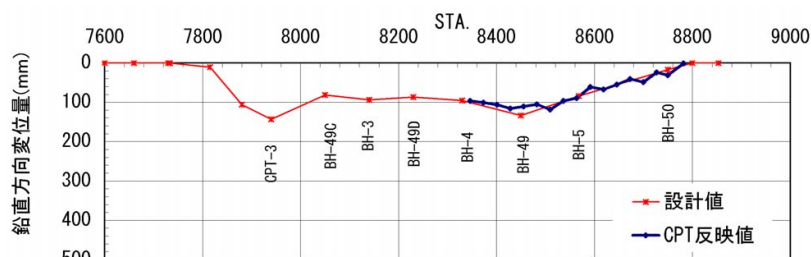


図-6 液状化対策後の変位量

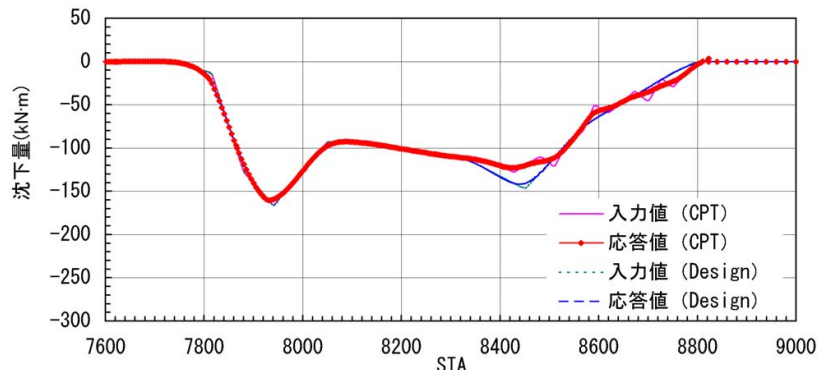


図-7 地盤沈下量(設計値-CPT結果反映値)

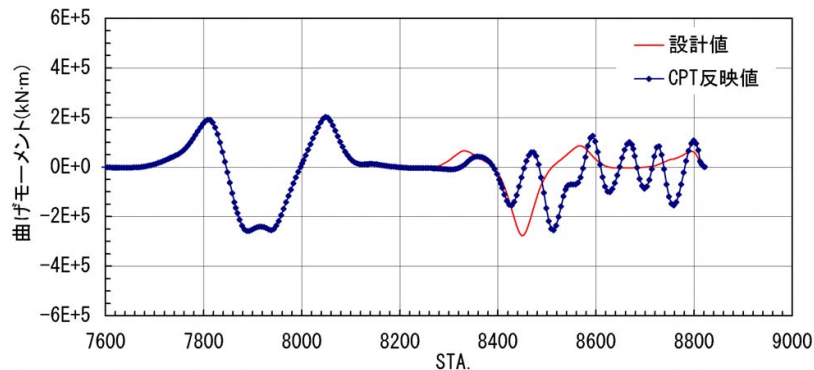


図-8 函体曲げモーメント(設計値-CPT結果反映値)