

押し広げ解析を用いた脈状地盤改良工法の締固め効果に関する検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○上田恭平, 井澤 淳, 小島謙一

1. はじめに

筆者らは、薬液注入を動的に行うことで地盤内に脈状の改良体を作成し、従来よりも低い改良率とコストで液状化対策が可能な脈状地盤改良工法の開発を進めている¹⁾。本工法は、動的注入により周辺地盤を密実化させ、マクロ的に地盤の液状化抵抗の増加を期待するもので、改良域での平均的な密実化の評価手法も提案されている²⁾。ただし、実際の脈状注入による締固めでは、改良域内でも密度の大きい領域と小さい領域が混在することに加え、この方法では締固めに起因する K 値 (=有効水平応力/有効上載圧) の変動は考慮されない。そこで本研究では、改良脈による周辺地盤の押し広げ(締固め)プロセスを数値解析でモデル化することで、マクロ的な評価手法²⁾よりも精緻に液状化対策としての締固め効果を評価するための基礎検討を実施した。

2. 押し広げ解析の概要

脈状注入時の改良脈による周辺地盤の押し広げを模擬した数値解析のイメージを図1に示す。検討ではまず自重解析を実施し、それに続いて注入を模擬した押し広げ解析を行った後、液状化を考慮した地震応答解析を実施した。自重解析時には未改良地盤の物性値を用い、その後の押し広げ解析時に改良脈による締固め効果として N 値と K 値の増加を考慮した。なお、解析では注入による押し広げ位置を二重節点とし、自重解析時はこれらを同一点として取り扱った。一方、押し広げ解析時は二重節点を分離し、各々の節点に対して逆方向の強制変位を作用させた³⁾。

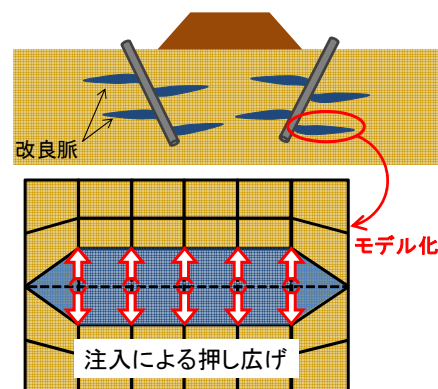


図1 押し広げ解析のイメージ

本検討では、改良脈の配置や押し広げ方向が N 値や K 値の変動に及ぼす影響を把握するため、押し広げなしのモデルに加えて図2に示す3種類の押し広げモデルを対象に解析を実施した。図2(a)は横方向の押し広げであり、静的圧入締固め(CPG)工法の改良過程を模擬している³⁾。図2(b)は縦方向の押し広げであり、イメージとしては注入による戸建て住宅の(不同)沈下修正工法に相当する。最後に、図2(c)は縦・横方向の均等押し広げであり、脈状注入による改良過程を模擬している。なお、実際の改良脈による押し広げはこのように均質にモデル化されるものではないが、ここでは改良脈配置の理想形としてモデル化している。押し広げ解析の際は、押し広げ対象領域(15m×19m)に対して注入率が5%となるように押し広げ変位を設定した。

液状化層とその下の支持層はそれぞれ N 値 5, 30 の豊浦砂相当としてモデル化した。押し広げ解析時は、解析モデル底面を固定境界に、左右側方を鉛直ローラーに設定した。なお、解析には有効応力解析プログラム FLIP⁴⁾を用いた。

3. 押し広げ解析による改良地盤の評価

(1) K 値の増加

押し広げ解析により得られた地盤の K 値の分布を図3に示す。押し広げなしの場合は自重解析後の K 値が解析モデル全域で 0.5 であるのに対し(図3(a))、CPG 工法を模擬したモデル1では、押し広げ間の地盤で K 値が 3.0~3.5 ま

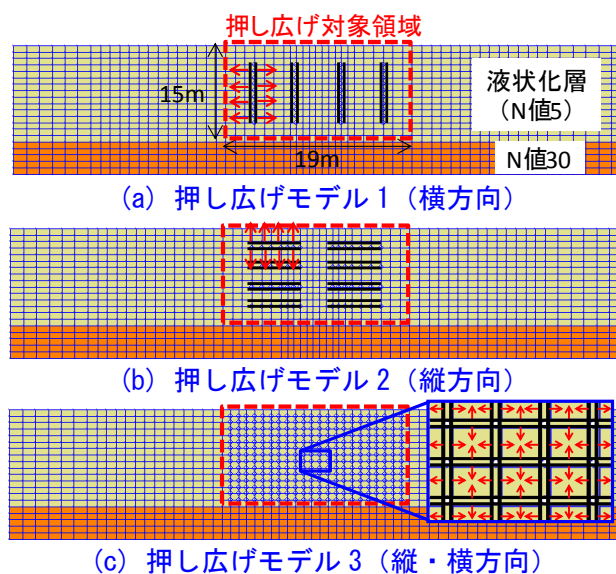


図2 検討対象モデル

キーワード 脈状地盤改良, 締固め効果, 有効応力解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7394

で上昇している (図 3(b)). それに対して沈下修正工法を模擬したモデル 2 では, 押し広げ対象領域における K 値の増加効果はほとんど見られない (図 3(c)). 最後に理想的な脈状注入形態であるモデル 3 では, 押し広げ間の地盤ではほぼ一様に K 値が 1.0 程度まで上昇している (図 3(d)). これより, 脈状改良は CPG 工法よりは K 値を増加させる効果は小さいものの, 改良対象領域で概ね均等に K 値を増加させる効果を有すると考えられる.

(2) N 値の増加

押し広げ解析では押し広げ過程で体積弾性係数に応じた体積変化すなわち密度増加が生じる. ただし, 本解析で用いた構成モデルでは密度増加に起因する強度および剛性の増加を考慮出来ていない. 本検討では, 強度・剛性を示す指標として N 値に着目し, 既往の文献²⁾にならい, 押し広げ前の間隙比 (e_0) と数値解析における押し広げ後の体積ひずみ ($\epsilon = \Delta V/V$) と有効上載圧 (σ'_v) に基づき, 次式から押し広げ後の N 値 (N_1) 分布を算出した (図 4).

$$N_1 = \frac{69 + \sigma'_v}{98} \left\{ \frac{e_{\max} - e_1}{0.21(e_{\max} - e_{\min})} \right\}^2 \quad (1)$$

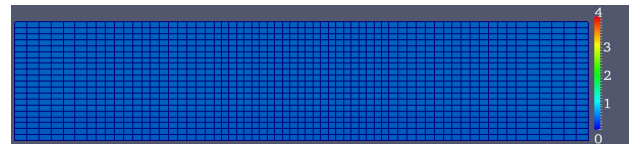
$$e_1 = e_0 - (1 + e_0) \Delta V / V \quad (2)$$

ここに, $e_{\max}$: 最大間隙比, $e_{\min}$: 最小間隙比である. 押し広げ前は図 2 の通り液状化層の N 値は 5 であったのに対し, 脈状注入を施すことで押し広げ領域において N 値が一様に 6 程度にまで増加している (図 4(c)). それに対して, CPG 工法および沈下修正工法を模擬したモデル 1, 2 では, 押し広げによる N 値の増大効果はほとんど見られない. これらの結果より, 脈状改良の配置が均質になるように注入できれば, 前述した K 値の増加に加えて, 改良領域において CPG 工法や沈下修正工法よりも大きな N 値の増大効果が期待できるものと考えられる. なお, 実際には改良形態が不均質となることもあり得るため, その影響については今後さらに検討を進める必要があると言える.

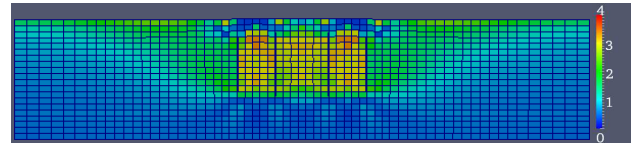
4. まとめ

本稿では, 脈状注入工法における周辺地盤の締固め効果に関する基礎検討を行った. 改良脈による押し広げを模擬した数値解析より, 理想的な脈状改良地盤では N 値に加え K 値の増加も期待できることが確認された. なお, 押し広げによる N 値, K 値の増加が液状化抑制効果に及ぼす影響については, 別報⁶⁾にて報告する.

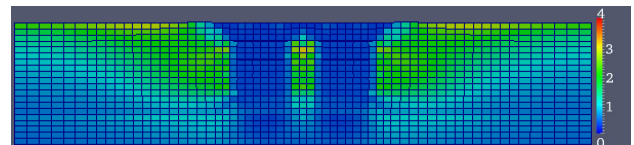
参考文献: 1) 大西ら: 脈状注入工法による液状化対策の提案, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015. 2) 小島ら: 脈状注入による液状化対策効果の評価手法に関する検討, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015. 3) 高野ら: 静的圧入締固め工法の液状化抑制効果に関する検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.8, No.1, pp.81-95, 2013. 4) Iai et al.: Dilatancy of Granular Materials in a Strain Space Multiple Mechanism Model, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol.35, No.3, pp.360-392, 2011. 5) (公財) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善出版, 2012. 6) 上田ら: 有効応力解析による脈状地盤改良工法の液状化対策効果の検討, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015.



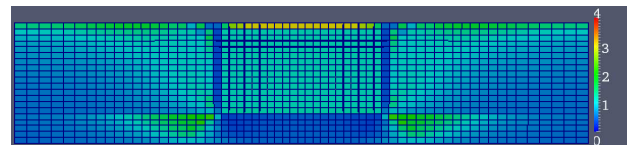
(a) 押し広げなし



(b) 押し広げモデル 1 (横方向)

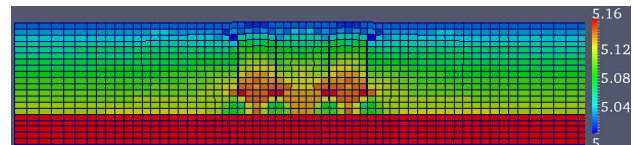


(c) 押し広げモデル 2 (縦方向)

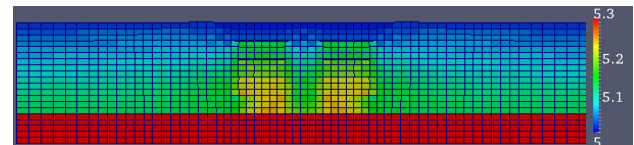


(d) 押し広げモデル 3 (縦・横方向)

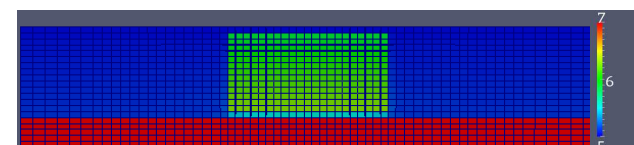
図 3 押し広げ解析後の K 値分布



(a) 押し広げモデル 1 (横方向)



(b) 押し広げモデル 2 (縦方向)



(c) 押し広げモデル 3 (縦・横方向)

図 4 押し広げ解析後の N 値分布