

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

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 上田恭平, ○荒木 豪, 井澤 淳, 小島謙一

1. はじめに

筆者らは、従来よりも低い改良率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て地盤の液状化抵抗の増加を期待するもので、改良域におけるマクロ的な密実化の評価手法も提案されている²⁾。ただし、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)の変動等が考慮されないため、前報³⁾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においてモデル化し、押し広げによるK値とN値の増大効果について検討を行った。本稿では、前報³⁾で得られたK値とN値の増大が地震時における液状化抑制効果に及ぼす影響について検討を実施した。

2. 押し広げ解析によるK値とN値の増加

前報³⁾では、脈状注入時の改良脈による周辺地盤の押し広げ効果を評価するため、押し広げなしのモデルに加えて3種類の押し広げモデル(図1)を対象に解析的な検討を実施した。図1(a)(b)はそれぞれ静的圧入締固め(CPG)工法、注入による戸建て住宅の沈下修正工法の施工過程を模擬している。図1(c)は縦・横方向の均等押し広げで、脈状注入による理想的な改良形態をイメージしている。自重解析後に実施した押し広げ解析より、理想的な脈状注入を模擬したモデル3では、CPG工法(モデル1)よりはK値の増加効果は小さいものの、押し広げ間の地盤ではほぼ様にK値が1.0程度まで上昇することがわかった³⁾。加えて、脈状改良領域でCPG工法や沈下修正工法よりも大きな密実化効果によるN値の増大効果が期待できることが示された³⁾。

3. 地震時応答に及ぼす押し広げ解析の影響

本稿では、押し広げによるK値および密度増加(N値の増加)が地震時の液状化抑制効果に及ぼす影響について考察するため、自重解析後の押し広げ解析に引き続き、液状化の発生を考慮した地震応答解析を実施した。本検討では地震応答解析時の利便性を考え、前報³⁾で示した押し広げ解析後のN値分布を参考に、図2のように解析領域を大きく3つに分割した。ここで、K値の増加による強度・剛性の変化については、押し広げ解析を実施することでその効果が自動的に考慮され、地震応答解析に引き継がれる。一方、密度増加に伴う強度、剛性および液状化強度の増大効果に関しては、押し広げ解析結果を自動的に地震応答解析に引き継げない。従って、地震応答解析の際は、分割した領域毎にN値等から液状化強度を再設定し⁴⁾、液状化パラメータのフィッティングを行った。一例として、脈状改良を模擬したモデル3の領域3におけるフィッティング結果を図3に示す。解析モデルの底面・側方は粘性境界とし、入力地震動としてL2地震動スペクトルII(G1)⁴⁾を底面粘性境界に作用させた。なお、解析には有効応力解析プログラムFLIP⁵⁾を用いた。

地震応答解析により得られた過剰間隙水圧比の最大値分布を図4および図5に示すが、図5は自重解析後に押し広げ解析を実施し(K値増加を考慮)、さらに押し広げに伴うN値増加も考慮した場合の結果である。それに対して図4では、押し広げ解析は実施せずに(K値増加は未考慮)、押し広げによるN値増加のみ考慮している。N値の増加のみを考慮した場合、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

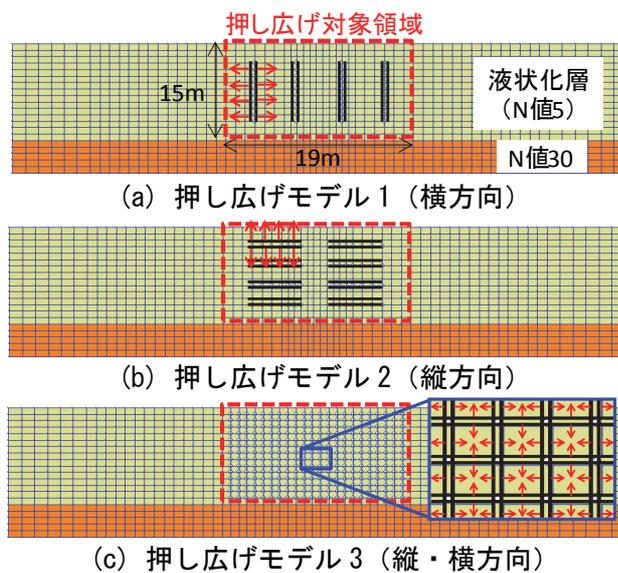


図1 検討対象モデル

キーワード 脈状地盤改良, 締固め効果, 有効応力解析

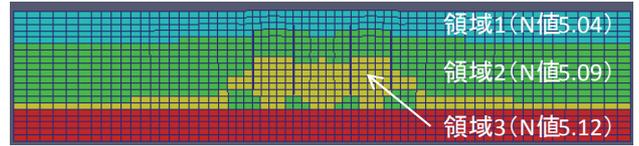
連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7394

げに伴う N 値の増加が小さいため (図 2(a) (b)), 液状化抑制効果はほとんど見られない (図 4(b) (c)). 一方, 理想的な脈状改良を模擬したモデル 3 では, 図 2(c)に示す N 値の増大効果により, 脈状改良領域においてある程度の液状化抑制効果が確認できる (図 4(d)). 一方, 押し広げによる K 値と N 値の増加を考慮したケース (図 5) では, モデル 3 (脈状改良の理想形) で液状化抑制効果が最も大きく, 次いでモデル 2 (沈下修正工法), モデル 1 (CPG 工法) の順になっている. 図 5(c)に示すモデル 3 では, 前報³⁾の通り脈状改良領域で K 値がほぼ均一に 1.0 程度に上昇している影響で, 地震応答解析時にほとんど過剰間隙水圧が発生しない結果となった. 以上より, 脈状注入時の押し広げによる液状化抑制効果としては, N 値よりも K 値の増加の影響の方が大きいことが明らかとなった.

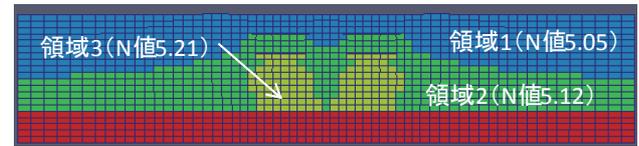
4. まとめ

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解析的な検討を行った. 改良脈による押し広げプロセス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 値の増加の影響で液状化抵抗が高まることが確認された. 今後は, K 値の増加も加味した簡易評価手法の提案に向けてさらに検討を進めたい.

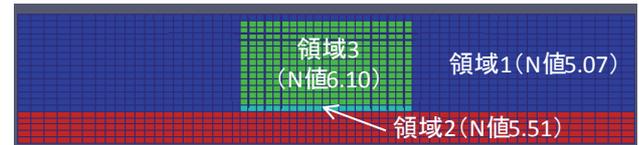
参考文献: 1) 大西ら: 脈状注入工法による液状化対策の提案, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015. 2) 小島ら: 脈状注入による液状化対策効果の評価手法に関する検討, 第 50 回地盤工学研究発表会, 2015. 3) 上田ら: 押し広げ解析を用いた脈状地盤改良工法の締固め効果に関する検討, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015. 4) (公



(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 2 N 値分布に基づく領域分割

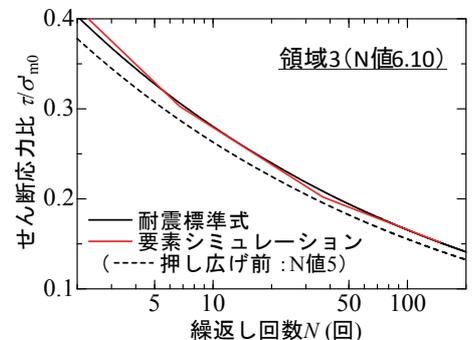
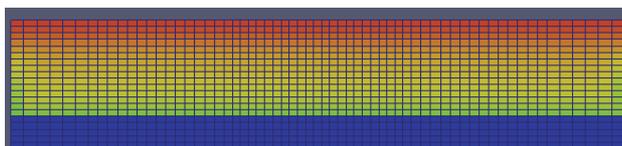
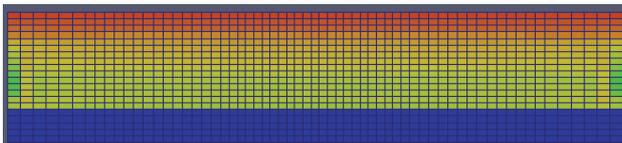


図 3 液状化強度曲線の一例 (押し広げモデル 3)

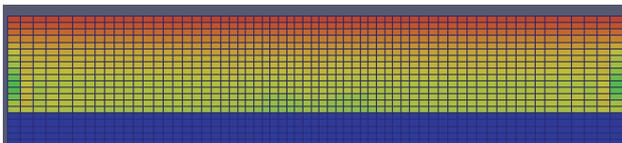
財)鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善出版, 2012. 5) Iai et al.: Dilatancy of Granular Materials in a Strain Space Multiple Mechanism Model, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol.35, No.3, pp.360-392, 2011.



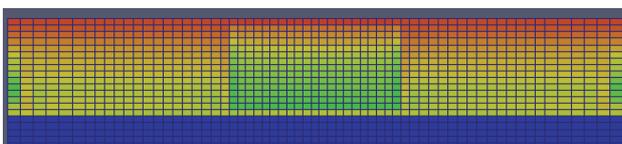
(a) 押し広げなし



(b) 押し広げモデル 1 (横方向)



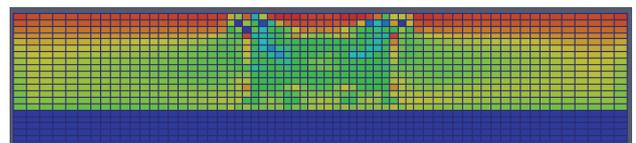
(b) 押し広げモデル 2 (縦方向)



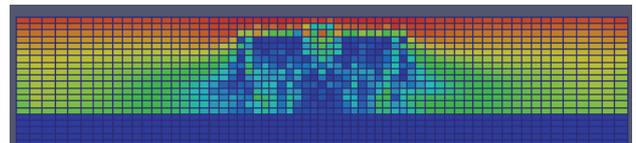
(d) 押し広げモデル 3 (縦・横方向)



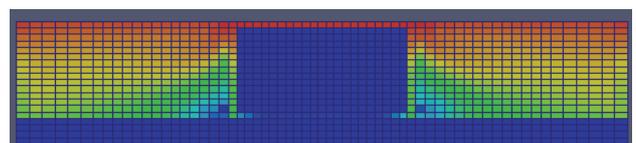
図 4 過剰間隙水圧比の最大値分布 (押し広げによる N 値増加のみ考慮)



(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 5 過剰間隙水圧比の最大値分布 (押し広げによる N 値, K 値の増加を考慮)