

等価線形解析手法を用いたセメント安定処理地盤の地震応答解析 —安定処理地盤の改良条件による影響—

Seismic Response Analysis of Cement-Treated Ground using Equivalent Linear Analysis Method Impact of Improved Strength in Cement-Treated Ground

○韓其達¹, 山田雅一², 道明裕毅², 佐々木雛³

*Kitatsu Kan¹, Masaichi Yamada², Yuki Domyo², Hiina Sasaki³

Abstract: The objective of this study is to obtain the strain range generated in the cement-treated grounds by seismic response analysis. In this paper, equivalent linear analysis was performed on the cement-treated grounds model. A parametric equivalent linear analysis is performed using the compounding conditions, improvement strength, and improvement form of the cement-stabilized ground as variable factors, and the effect on the response analysis results is examined.

1. はじめに

セメント安定処理工法を積極的に活用するためには、セメント安定処理地盤の地震時応答特性を適切に評価する必要がある。一般にセメント安定処理地盤の地震応答解析では等価線形解析が用いられることが多い。しかし、等価線形解析に必要な地盤材料の動的変形特性(せん断弾性係数のひずみ依存性($G\sim\gamma$ 関係)と減衰定数のひずみ依存性($h\sim\gamma$ 関係))は、一般に繰返し三軸試験により求められるが、この試験は安定処理土の力学特性および装置の機構上の制約によって、得られる試験データのひずみ範囲は制限されてしまう。一方、中空ねじりせん断試験では広範のひずみ領域における $G\sim\gamma$ 関係、 $h\sim\gamma$ 関係を得ることができる¹⁾²⁾。

既報³⁾ではセメント安定処理土に対する広範なひずみ領域における繰返し変形特性を同定できる簡易な評価方法¹⁾²⁾を用いて繰返し変形特性を設定し、セメント安定処理地盤の配合条件、改良率、改良形式を変動因子としてパラメトリックな等価線形解析を行った。

本報告は、セメント安定処理地盤の強度レベルを高く設定した場合について、応答解析結果に与える影響の検討を行う。

2. 安定処理地盤の地震応答解析

本報告では、セメント安定処理地盤の等価線形解析を FDEL⁴⁾により行った。

2.1 地盤モデル

Table1 に地盤モデルの各パラメータを示す。改良深度は支持力不足と圧密沈下が懸念される軟弱粘土層までの深さ 15.8m までとした⁵⁾。また、セメント安定処理地盤の改良率 R を変化させてそれぞれ解析を行った。改良率 R とは、セメント安定処理工法において対象と

する地盤の改良割合を示したもので、式(1)で表される。

$$R = \frac{\Sigma A_p}{A_b} \quad (1)$$

ここで、 A_p は改良体の断面積(m^2)、 A_b は改良地盤の断面積(m^2)である。

本検討では、改良率 $R=10\%$ 、 30% 、 100% と、改良前の $R=0\%$ (未改良地盤) についてそれぞれ解析を実施した。

入力地震波は、Hachinohe 波 EW 成分を用いた。レベル 1 地震動程度(地表面最大速度=25 kine)に調整した地震波を、改良前の地盤モデルで引戻した基盤波を用いた。ここで、引戻した基盤波の最大加速度は 135 gal である。なお、基盤は剛基盤とした。

2.2 変形特性の設定

本検討では、セメント安定処理土に対する広範なひずみ領域における繰返し変形特性を同定できる簡易な評価方法¹⁾²⁾を用いて繰返し変形特性を設定した。

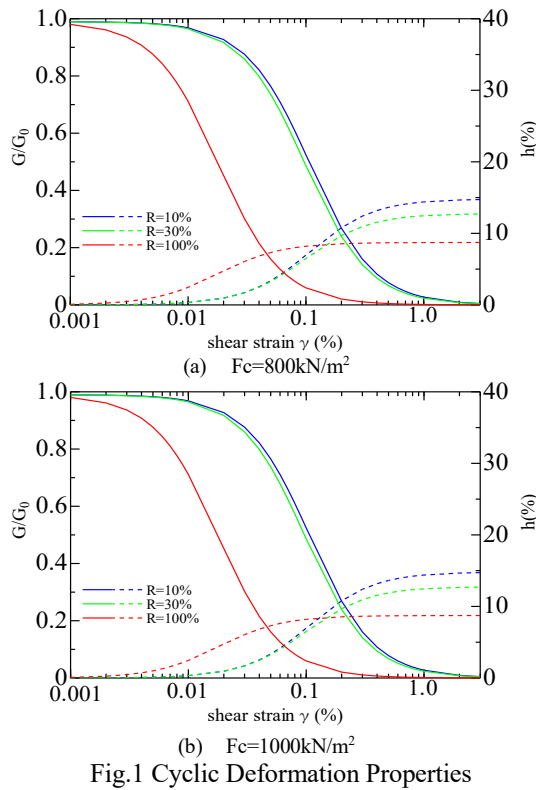
まず最初に、改良地盤の改良率毎に、等価なせん断波速度 V_{seq} を算出した。なお、算出方法の証左については、既報³⁾を参照されたい。

次に、それぞれ算出した V_{seq} より、式(2)¹⁾を用いて改良地盤の一軸圧縮強さ q_{ueq} を算出した。

Table1. Ground Model

Geological Number	Layer	Bottom Depth	Unit Weight ρ (kN/m^3)	Shear Wave Velocity V_s (m/s)	Before Improvement G_0 (MN/m^2)	Before Improvement μ_{max} (%)	Before Improvement γ_r
1	Bank	5.7	19.6	130	33	32	0.0004
2	Bank	10.3	19.6	170	57		
3	Clay	13.4	17.2	210	76	19	0.0012
4	Clay	15.8	18.6	140	36		
5	Sand	16.1	18.6	270	136	32	0.0012
6	Clay	32.7	16.7	230	88	19	0.0013
7	Sand	32.8	19.1	360	248	32	0.0012
Bedrock	Eds	-	20.0	400	320	-	-

1 : 日大理工・院(前)・建築 2 : 日大理工・教員・建築 3 : 日大理工・学部・建築



$$q_{ueq} = 1.87 \times 10^{-6} \cdot V_{seq}^{2.12} \quad (\text{MN/m}^2) \quad (2)$$

ここで算出した q_u より、式(3)と式(4)を用いて²⁾、変形特性の設定に必要な規準ひずみ γ_r と最大減衰定数 h_{max} を設定した。

$$\gamma_r = -0.01 \cdot \left(\frac{q_u}{q_{uo}} \right) + 0.12 \quad (\%) \quad (3)$$

$$h_{max} = 20.4 \times \left\{ \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{mo}} \right) \left(\frac{q_{uo}}{q_u} \right) \right\}^{0.25} \quad (\%) \quad (4)$$

ここに、 q_u は一軸圧縮強さ、 q_{uo} は基準一軸圧縮強さ、 σ'_m は平均有効主応力、 σ'_{mo} は基準平均有効主応力である。Fig.1 に用いた変形特性を示す。

3. 地震応答解析試験結果

Fig.2 に $F_c = 800 \text{ kN/m}^2$ の改良条件で実施した応答解析結果、Fig.3 に $F_c = 1000 \text{ kN/m}^2$ の改良条件で実施した応答解析結果をそれぞれ示す。両図ともに、左から地盤構成、最大加速度、最大応答変位、最大せん断ひずみ γ_{max} の深度分布を、改良率 R 毎に示した。

両図に示した最大せん断ひずみ γ_{max} の深度分布に着目すると、未改良地盤では、深度 15m 程度の地点で、 γ_{max} が 0.1% を超えている。一方、地盤改良を実施した解析結果では、全ての改良率において、 $\gamma_{max} = 0.1\%$ 以下に抑制されている。これは、一般的な繰返し三軸試験より得られる繰返し変形特性の適用範囲となることが確認された。

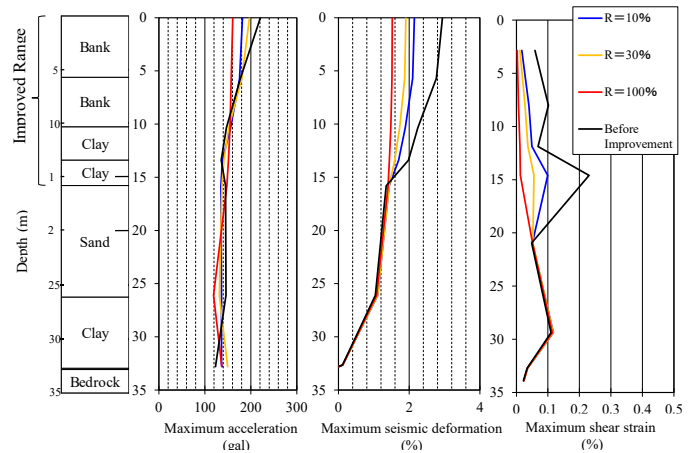


Fig.2 Results of Response Analysis ($F_c = 800 \text{ kN/m}^2$)

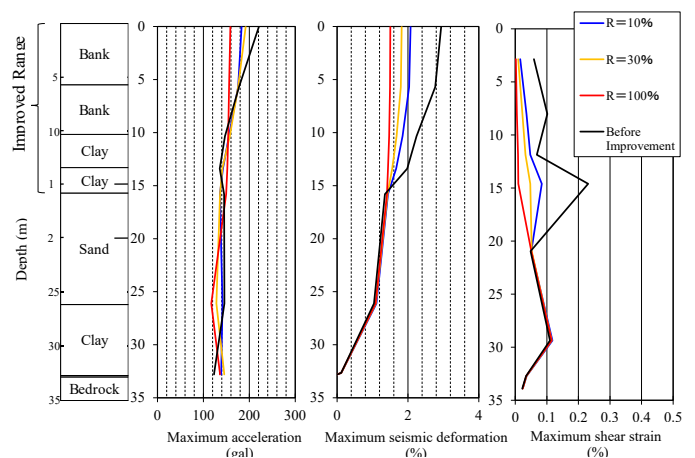


Fig.3 Results of Response Analysis ($F_c = 1000 \text{ kN/m}^2$)

4. まとめ

本研究では、広範なひずみ領域に適用可能なセメント安定処理地盤の変形特性の推定式を用い、等価線形解析を実施し、変形特性の評価方法が解析結果へ与える影響について検討する。本報告では、比較的設計基準強度の高い改良条件に対する検討を実施し、本検討に用いた地盤条件であれば、強度レベルが高くなると、ここで検討した応答値は小さくなることを確認した。

今後は、本検討で用いた地震動よりも大きなレベル 2 地震動を用いた検討や、他の影響因子を考慮したパラメトリックスタディを行い、セメント安定処理土の変形特性の評価が応答解析結果へ与える影響についてさらなる検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 矢田部瑛平他：セメント安定処理土の三軸圧縮強度とせん断波速度の関係，第 14 回地盤改良シンポジウム論文集，2020。
- 2) 近藤壮一郎他：中空ねじりせん断試験によるセメント安定処粘土の繰返し変形特性，第 14 回地盤改良シンポジウム論文集，2020。
- 3) 韓其達他：等価線形解析によるセメント安定処理地盤の地震応答解析，第 14 回地盤改良シンポジウム論文集，2020。
- 4) 杉戸真太他：周波数依存性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集，No.493/II-27，pp.49-58，1994。
- 5) 内田明彦他：格子状地盤改良における格子間隔簡易設定法の適用性，地盤工学ジャーナル，Vol.11，No.3，pp.259-267，2008。