

Ⅲ-A140 上部構造物の耐震安定性を考慮した最適な地盤改良法の検討(2)

福井大学 工学部 正会員 小嶋 啓介
 福井大学 大学院 学生員 丸尾 晋一
 (株)ギミック 西畑 愉亮
 飛鳥建設(株) 正会員 塩谷 智基

1. はじめに

従来の地盤改良は構造物の重量に耐えうる支持力の確保や、有害な変形を防止するというように、主に静的な問題を対象に論じられてきた。しかしながら、地盤改良に伴う剛性および減衰特性の変化により、地震動の伝播特性も変化するため、支持力や剛性を確保しつつ、上部構造物への入力地震動を低減できるような改良法も存在するはずである。このような最適地盤改良法の推定問題を、上部構造物の最大応答加速度やスペクトル強度を最小化する動的物性定数を推定する問題に置き換えて定式化する。ここでは前報に引き続き、改良対象が複数にわたるモデル地盤に適用した結果を中心に報告する。

2. 最適改良度決定問題の定式化

図-1に示すような水平成層地盤上の1質点構造物の応答は、基盤への入力地震動→重複反射による地表面振動→構造物の応答という径路で求められるが、地盤改良により、せん断波速度 V_s および Q 値が変化すると、構造物への入力である地表面付近の応答が変化することになる。ここでは、地盤改良によるせん断波速度と Q 値の変化は、次のように独立に設定できると仮定する。

$$V_s = V_{s0} \times C_v, \quad Q = Q_0 \times C_q \quad (1)$$

ここに、 C_v 、 C_q :改良層のせん断波速度および Q 値の改良度、 V_{s0} 、 Q_0 :改良層のせん断波速度および Q 値の改良前の値である。実際の注入、固化等の改良工法を念頭に置いた場合、 C_v 、 C_q にはその上下限があるが、ここではモデルケースとして次のように設定した。

$$0.2 < C_v < 5.0, \quad 0.2 < C_q < 5.0 \quad (2)$$

上部構造物の耐震安定性を最大とする最適改良度を推定しようとする場合、次のような2種の考え方がある。

case-1:既設の構造物を対象とするような場合には、その固有周期が与えられており、地盤改良を行い地盤と構造物の固有周期をずらすことにより、構造物の応答が小さくなることが予想される。したがって、評価関数として、地震時最大加速度をとり、その最小値を与えるような地盤改良度の決定問題として次のように定式化される。

$$J = a_{\max} \rightarrow \text{minimize} \quad (3)$$

ここに、 J :目的関数、 $a_{\max}$:構造物の最大応答加速度である。

case-2:新規造成地のように構造物が限定されていない場合には、様々な動的特性を持つ構造物全体の地震時安定性の向上を図る必要がある。ここでは、Housnerのスペクトル強度 I_h の考え方を取り入れ、次式を目的関数として採用する。

$$J = I_h = \int_{f_1}^{f_2} S_v(h, T) dT \rightarrow \text{minimize} \quad (4)$$

ここに、 S_v :速度応答スペクトル、 h :減衰定数、 f_1 、 f_2 :構造物の固有周期の上下限、 T :固有周期をそれぞれ示す。なお、式(3)、(4)を式(2)の制約条件の下で最小化する改良度の決定には、準ニュートン法に属するBFGS法を用いた。

キーワード:地盤改良, せん断波速度, Q 値, 最適化手法

連絡先:〒910 福井市文京3-9-1 福井大学工学部 0776-27-8592 0776-27-8746

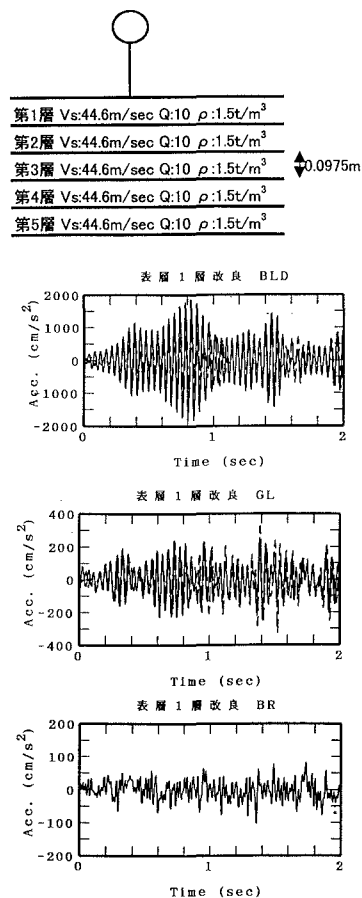


図-1 モデル地盤と応答加速度

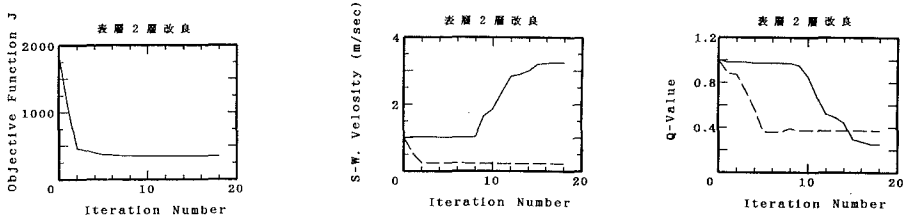


図-2 case-1の第1層、2層を改良したときの最適計算結果

3. 適用結果

はじめに、構造物を特定する case-1 の結果を示す。図-1 のようなせん断波速度とQ値特性を持つ5層からなる地盤の基盤に、図に示すようなランダム波が入力されるものとする。図-1の実線と点線は、表層の第1層を改良層とした場合の改良前後の、地表面と構造物の応答の時刻歴を示している。改良に伴って応答加速度振幅は減少しているが、その低下割合はさほど大きくない。図-2は、表層から2層目までを改良層とし、 V_s およびQ値を改良した場合の最適計算結果であり、せん断波速度とQ値の変化に伴い、目的関数が減少していく様子が見て取れる。図-3、4は改良前後の応答時刻歴およびそのフーリエスペクトルである。2つの層を改良対象とした場合には、改良により地盤の固有振動数が減少し、地表面ならびに構造物の応答の加速度振幅も劇的に減少している。

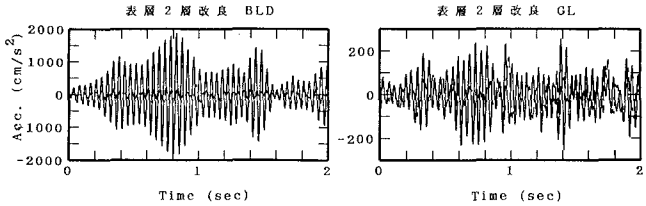


図-3 表層2層を改良したときの地表面と構造物の加速度時刻歴

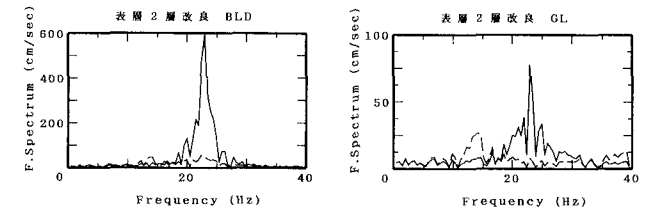


図-4 表層2層を改良したときの地表面と構造物のフーリエスペクトル

次に任意の構造物を対象とする case-2 の結果を示す。モデル地盤は前例と同様である。改良対象を表層2層とした場合の地表面ならびに構造物のフーリエスペクトルを図-5に示す。全体的に応答が小さくなる傾向が認められるが、その絶対値は比較的小さいことがわかる。以上の最適化計算結果を表-1、2にまとめて示す。構造物を特定する場合には、Q値を改良対象としない場合でも、構造物の応答を小さくするようなせん断波速度の組み合わせが推定されている。表層2層を改良対象とした場合には、透過係数が小さくなる方向に推定されていることが明らかである。また、どのケースでも、事前に設定した制約条件が重要な役割をはたしていることがわかる。一方、構造物を限定しない Case-2 の場合には、効果的な改良法を推定することが難しいことも確認できる。

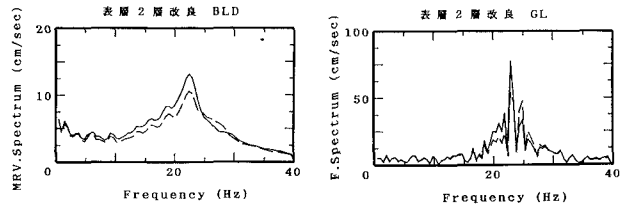


図-5 表層2層を改良したときの地表面と構造物のフーリエスペクトル

表-1 最適化計算結果 (Case-1)

	Model1	Model2	Model2'
改良層	1層	1層 2層	1層 2層
Jの初期値	1855	1855	1855
V_s の改良度	0.25	3.25 0.23	3.39 0.24
Q値の改良度	0.26	0.25 0.32	1.0 1.0
Jの最適値	1232	344	399
Jの減少度	0.66	0.19	0.21

表-2 最適化計算結果 (Case-2)

	Model1	Model2	Model2'
改良層	1層	1層 2層	1層 2層
Jの初期値	135.6	135.6	135.6
V_s の改良度	2.1	2.97 4.93	4.94 4.14
Q値の改良度	0.27	0.26 0.25	1.0 1.0
Jの最適値	132.1	119.8	120.13
Jの減少度	0.97	0.88	0.89

4. あとがき

表層の複数層の地盤改良を適切に行うことにより、構造物の耐震安定性を向上させることができることが確認された。しかしながら、制約条件が推定結果に大きく影響する問題、せん断波速度の減少側の改良法の問題などは、今後とも検討していく必要があると思われる。