

Ⅲ - A139

上部構造物の耐震安定性を考慮した最適地盤改良法の検討

(株)エース 正会員 鎗 勉
 福井大学工学部 正会員 小 嶋 啓 介
 丸一調査設計(株) 田 中 健 司
 飛島建設(株) 正会員 塩 谷 智 基

1. はじめに

通常地盤改良は、構造物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定数の変化により、地震動の伝播特性も変化するはずであり、支持力や剛性を確保しながら、同時に表層の振動特性を変化させ、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を行い、モデル地盤に適用した結果を報告する。

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経路で求められるが、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、評価関数として構造物の地震時応力を取り、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。すべての構造物の耐震安定性を向上させることは困難であるが、平均値の向上を念頭に置いた場合、例えば次のように Housner のスペクトル強度 I_h を目的関数として採用することも考えられる。

$$J = I_h = \int_{0.1}^{2.5} S_v(h, T) dT \rightarrow \text{minimize} \quad (4)$$

ここに、 S_v ：速度応答スペクトル、 h ：減衰定数、 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

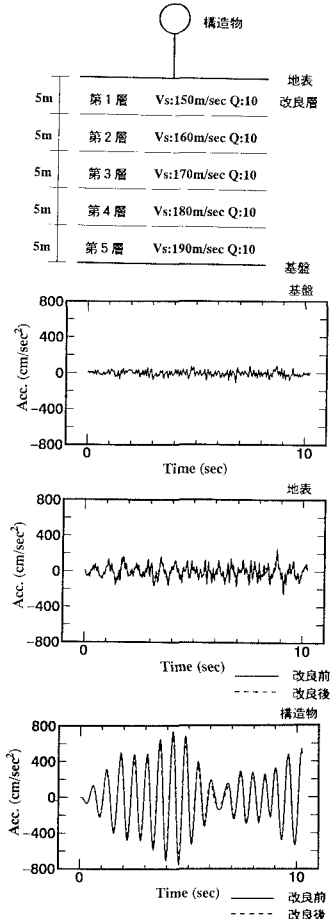


図-1 モデル地盤と応答加速度

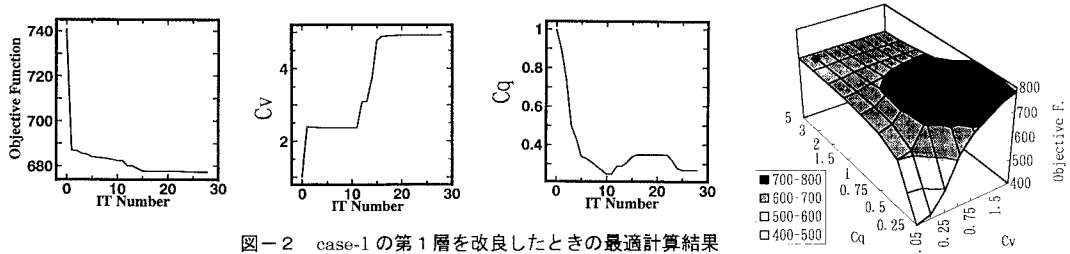


図-2 case-1 の第1層を改良したときの最適計算結果

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。最適化計算の結果を図-2 に示すが、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-2 の右端は、初期値の周りでせん断波速度とQ 値を変化させた時の、目的関数のコンターに、推定された改良度の位置を示したものである。図-1 の実線と点線は、それぞれ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。改良層を3層目とした同様の結果を図-3 に示すが、この場合には地表面ならびに構造物の応答の加速度振幅は劇的に減少している。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1層目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-3 に、同様に3層目を改良した結果を図-4 に示す。case-1 と同様に中間層を改良した方が効果が大きいことが確かめられる。以上の最適化計算結果を表-1 に、また入力地震動をエルセントロ波としたものを表-2 にまとめて示すが、Q 値はいずれの場合も小さく、改良層を表層としたときは、せん断波速度が大きく、中間層としたときは小さく推定されているが、どちらのケースでも、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。また、エルセントロ波のような実地震動を入力した場合には、卓越周期付近の振動を低減できるような改良度を探索することになるので、振動低減効果がより大きいことが明らかである。

4. あとがき

地盤改良を適切に行うことにより、構造物の耐震安定性の向上が期待できることが確認されたが、制約条件の設定によって結果が大きく左右されること、表層のみの改良では、効果が小さいことなどいくつかの問題点も見られ、今後更なる検討が必要と考えられる。

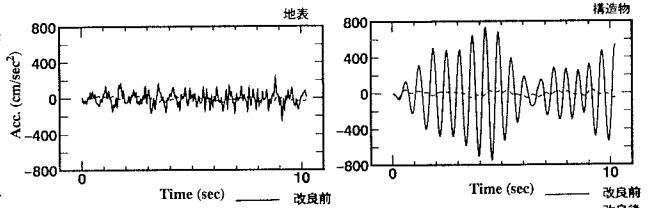


図-3 第3層を改良したときの地表面と構造物の加速度時刻歴

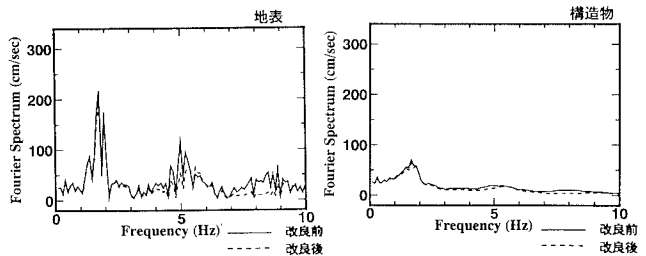


図-4 第1層を改良したときの地表面と構造物のフーリエスペクトル

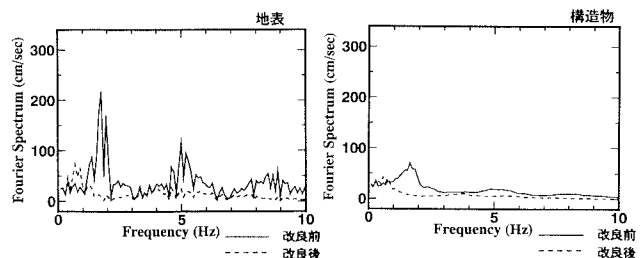


図-5 第3層を改良したときの地表面と構造物のフーリエスペクトル

表-1 最適化計算結果（ランダム波）

改良層	case-1		case-2	
	1層	3層	1層	3層
Jの初期値	741.14	741.14	91.72	91.72
Vsの改良度	4.93	0.27	4.94	0.25
Q値の改良度	0.27	0.26	0.27	0.26
Jの最適値	677.45	119.69	87.46	54.42
Jの減少度	0.91	0.16	0.95	0.59

表-2 最適化計算結果（エルセントロ波）

改良層	case-1		case-2	
	1層	3層	1層	3層
Jの初期値	5781.83	5781.83	622.42	622.42
Vsの改良度	4.94	0.24	2.68	0.25
Q値の改良度	0.25	0.25	0.26	0.26
Jの最適値	3996.11	471.50	390.99	194.06
Jの減少度	0.65	0.08	0.80	0.31