

(23) 地盤改良による常時微動特性の変化

(財) 鉄道総合技術研究所 中村 豊
(財) 鉄道総合技術研究所 滝沢太郎
(財) 鉄道総合技術研究所 山口文敏

1. はじめに

表層地盤の地震動増幅特性を的確に把握することは、耐震工学上からも地震防災上からも非常に重要な問題である。鉄道総研では、地震被害想定の基本となる沿線地盤や構造物等の地震応答特性を、常時微動を用いて推定する手法の研究開発を進めている。これまでに運輸省の助成研究の一環として、首都圏 J R 沿線の地盤および構造物の地震動応答特性について常時微動を用いた詳細調査を行なうなどして、数多くのデータを蓄積してきている¹⁾。今度、比較的軟弱な地盤において地盤改良前後の、常時微動特性の変化を調査する機会が得られ、これまでに蓄積したデータから新たな情報を引き出し得る知見が得られたので、報告する。

2. 対象とする地盤改良工法

ここで測定の対象とする改良地盤は、まず地盤をオーガー掘削し、その掘削した土を掘り出さずに固化材を注入攪拌して、簡易な地中杭を形成したものである(図1)。

改良前後の根入れ深さによる支持力特性の変化を調べる目的で、J R 東日本により次の3種類の試験工事が実施されている。すなわち、地盤改良しなかったもの(CASE4)、2.5mの深さまで改良したもの(CASE3)およびほぼ支持層に達する14mまで地盤改良したものの(CASE2、CASE1)の3種類である。工事は2段階に分けて行われている。第1段階で上述の地盤改良を施し、第2段階で改良部分などに模擬軌道を敷設して実際に近い状況をつくりだしている。上述のCASE3は、掘削深は短いものの掘削本数がCASE1・CASE2に比べて多く、またCASE1とCASE2とでは、地盤上に設置した模擬スラブ軌道の構造が若干異なっている。

3. 測定場所および測定方法

測定場所は、埼京線と野本町駅付近に設けられた地盤改良試験の工事現場である。

現地は沖積地盤が十数メートル堆積している谷地形で、基盤は東の方向にやや傾斜していると思われる。図2に現地付近のボーリング調査結果を示す。

我々は試験工事後に合計3回にわた

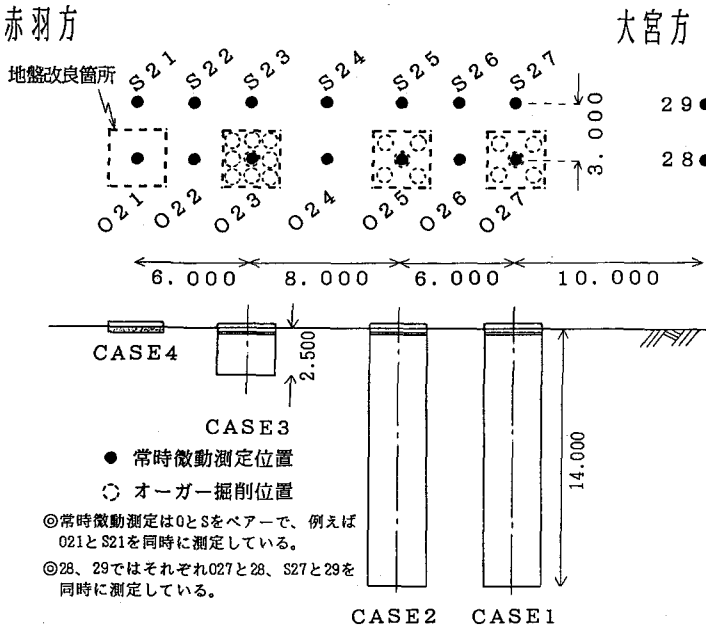


図1 地盤改良箇所と常時微動測定位置

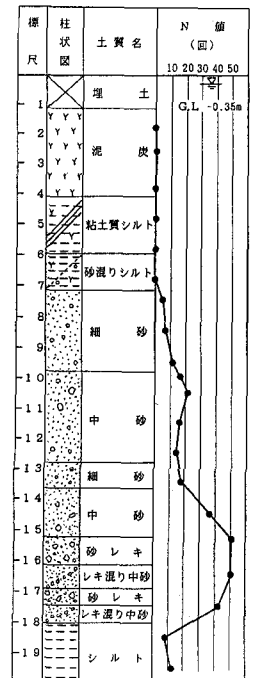


図2 現地付近のボーリング柱状図

って常時微動を測定し、このような地盤改良が常時微動特性に与える影響を調査した。図1は常時微動測定の配置を示したものである。図にあるように、3回の測定を通じて変化しない基準点として、各々の工事地点毎に3m離れた地点（自然地盤）にも常時微動測点を設けて、両者を同時に測定した。測点は改良箇所を0、基準箇所をSで示し、工事前を011～019・S11～S19、第1段階の工事後を021～029・S21～S29、すべての試験工事終了後を031～038・S31～S38として区別した。なお、工事前の測点14～18はその後の測点と比べて2m程度赤羽方にずれているが、以後の検討には影響がない。

測定に使用した計器は鉄道総研で開発した PIC87である。これは、首都圏JR沿線及び東海道新幹線沿線の常時微動測定に用いているほか、ロマプリエタ地震、フィリピン地震の調査にも用いられている。測定時には10Hzのローパスフィルタを選択しており、測定振動数範囲は1.0～10Hzとなっている。しかし、各方向成分とも特性が揃えられており、スペクトル比を検討する場合には0.3～30Hz程度の範囲を対象にすることができる。

各測点で約41秒間の測定を3回ずつおこなった。フーリエスペクトルは、記録波形のノイズの少ない部分約10秒間（1024サンプル）をとりだしてFFTにより周波数分析し、ハニングウィンドウを5回かけて平滑化した後、3回の測定分を平均して算定した。

4. 地盤改良前後の変化

(1) 水平方向の常時微動特性

図3に第1段階の試験工事が終了した後に測定した常時微動波形の例を示す。左が改良箇所、右が基準箇所の水平方向波形である。地盤改良した箇所の波形（023、025、027、028）と自然地盤である基準点の

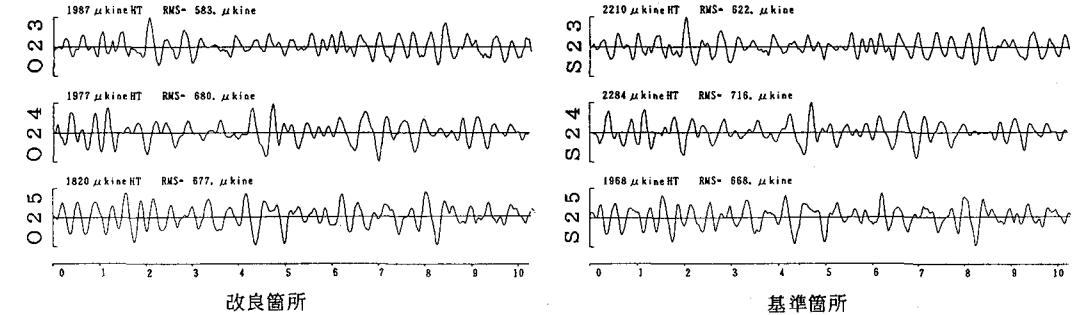


図3 常時微動波形の例（水平方向波形・第一段階試験工事終了後）

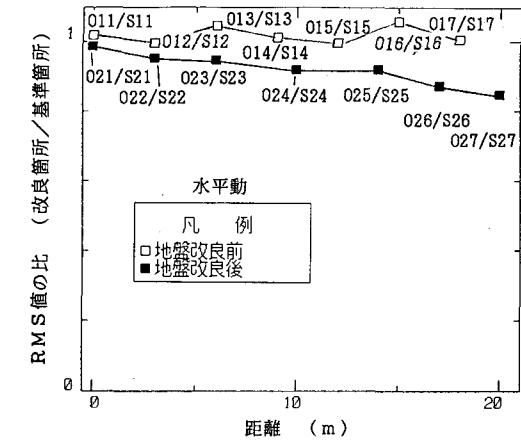


図4 地盤改良前後のRMS振幅比

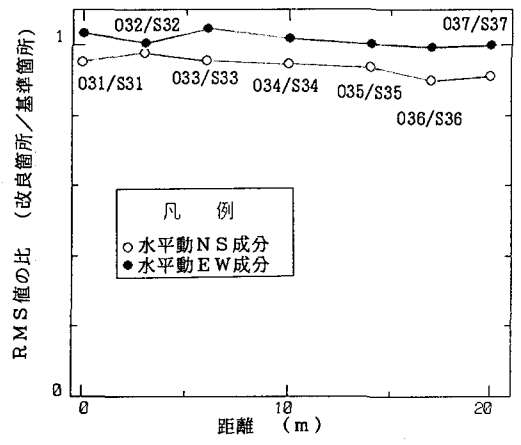


図5 RMS振幅比（すべての試験工事終了後）

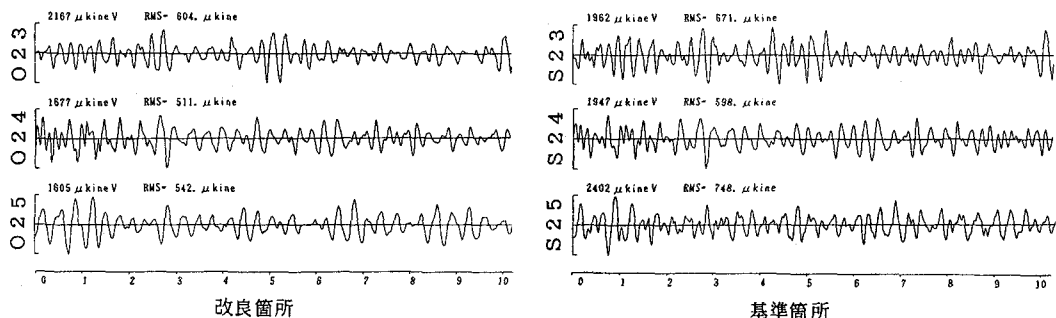


図6 常時微動波形の例（上下方向波形・第一段階試験工事終了後）

波形（S23、S25、S27、S28）を比較すると、両者はほとんど一致しており、改良によって特性が変化していないことがわかる。また、最大振幅値やRMS振幅値について改良箇所と基準箇所を比較してもほとんど差がない。

図4は、基準箇所に対する改良箇所のRMS振幅比を011からの距離に対して示したものである。改良工事後を■印で示している。これによると、改良後のRMS振幅は地盤改良の深さによって多少小さくなる傾向が認められるものの、改良による変化はほとんどないといえる。図5はすべての試験工事が終了した後の改良箇所と基準箇所のRMS振幅比を示しているが、改良箇所と基準箇所のRMS振幅に大きな相違がないことがわかる。すなわち、地盤改良の前後で水平方向の常時微動特性はほとんど変化しなかった。

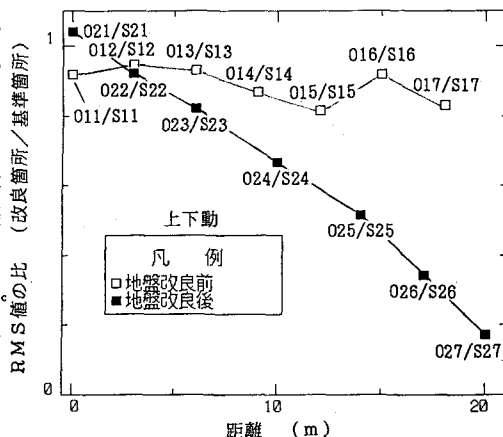


図7 地盤改良前後のRMS振幅比

(2) 上下方向の常時微動特性

図6は第1段階の試験工事が終了した後に測定した常時微動の上下動波形の例である。水平動波形に比べ短い周期が卓越している。改良箇所の波形をみると、基準箇所の波形に比べてやや周期が長くなっており、この傾向は地盤改良深度が深いほど顕著になることがうかがえる。図7は、改良前後の基準箇所と改良箇所の常時微動の上下方向RMS振幅比を比較したものである。地盤改良前の基準箇所に対する改良予定箇所のRMS値比をみると両者の比は1前後であるのに対し、改良地盤杭の長さが長いほどこの比が小さくなることがわかる。特に、地盤改良が基盤層まで達している場合には、1/3～1/4程度までRMS振幅比が低下している。すなわち、地盤改良によって上下方向の震動特性が大きく変わることが確認された。

地盤改良後の常時微動のフーリエスペクトル（上下方向）を示したのが図8である。これによっても、地盤改良した後、上下動振幅が減少することがわかる。特に、3Hz以上の帯域で大きく減少している。

(3) 推定増幅特性

図9は、第1段階の改良工事後の常時微動測定結果を使って、中村の方法²⁾により地震動増幅特性を推定したものである。改良箇所と基準箇所の増幅特性を比較すると、最も卓越する振動数は1.1～1.3Hzと変化せず、その時の増幅倍率も5～7倍でほとんど同じであることがわかる。3Hz以上の帯域に着目すると、自然地盤では全測点で倍率が1.0を下回っているのに対し、地盤改良したところでは概ね1.0倍程度にとどまっている。ただし、地盤改良が基盤まで達していない測点では、1.0を下回る倍率となっている。これは、上下動の振動特性の変化に対応している。また、図10は、すべての試験工事が終了した後、模擬軌

道上で測定した常時微動波形により推定した増幅特性である。これは図9に示されたものと大差なく、模擬軌道上での測定波形を使っても、表層地盤の地震動特性を推定できることを示している。

5. まとめ

杭状に地盤を改良することにより、常時微動特性がどのように変化するか調査を行った。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 地盤改良すると、上下動は小さくなるが、水平動にはほとんど変化がなかった。
- (2) 地盤改良により上下動が小さくなる傾向は、地盤改良により生じた杭の長さに対応している。特に、基盤層まで杭が達している場合、上下動は極端に小さくなった。
- (3) 軌道スラブの上で常時微動を測定しても、軌道スラブを敷設する前に常時微動を測定しても、推定される地震動特性はほぼ同一であった。

少なくとも杭状に地盤を改良した程度では、水平地震動特性はほとんど変化しないことを示している。また、地盤改良の効果を上下方向の常時微動に着目して判定できる可能性が見いだされた。今後、検討を進めて、杭の支持力や地盤の支持力を評価する手法へと発展させていきたい。

謝 辞 JR東日本・東京工事事務所の稲場肇氏と藤沢一氏には測定の便宜を図って頂きました。記して謝意を表します。

文 献

1) 中村：総合地震防災システムのための常時微動を用いた鉄道沿線地盤および構造物の震動特性調査、土木学会第43回年次学術講演概要集I-468、1988.10

2) 中村：常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定、鉄道総研報告Vol.2.No.4 1988.4

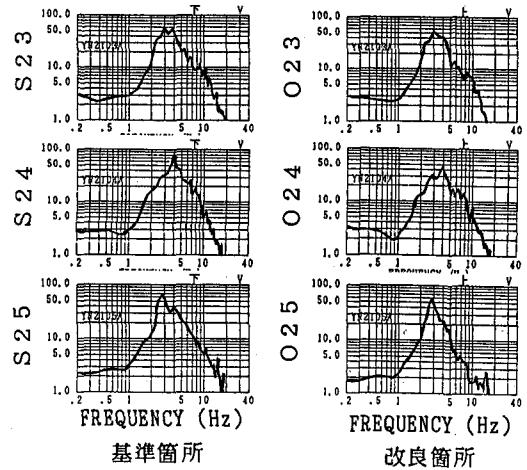


図8 地盤改良後のフーリエスペクトル

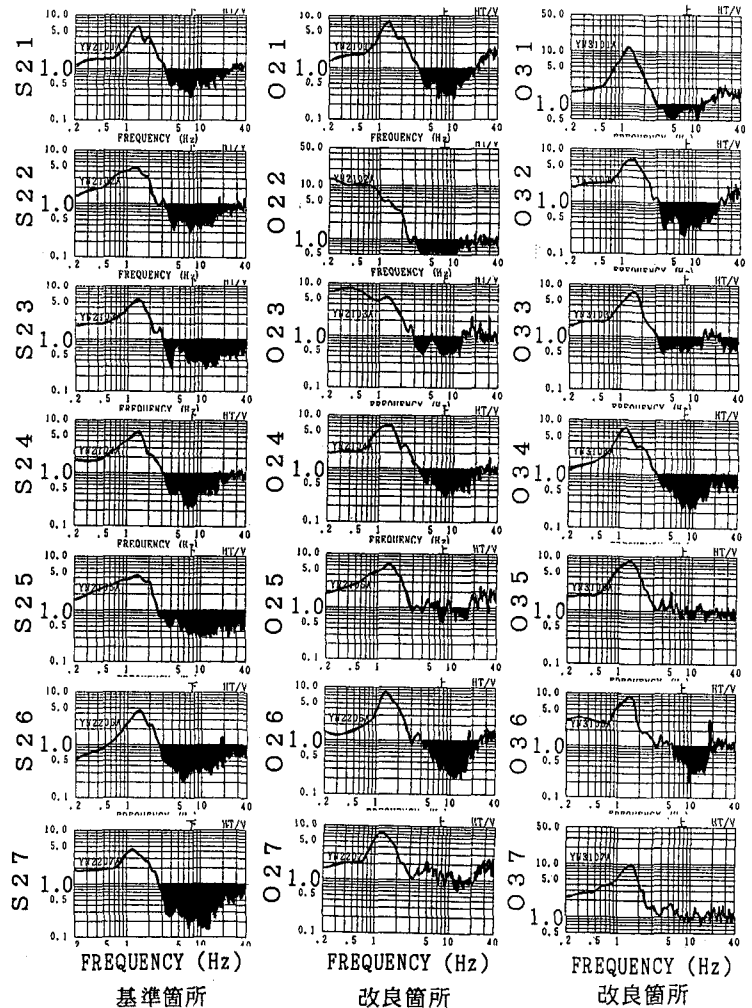


図9 地盤改良後の増幅特性

図10 増幅特性
(すべての試験終了後)