

# (99) 常時微動を用いた鉄道盛土および基礎地盤の地震動特性の推定

(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

## 1. はじめに

地震防災対策のための基礎資料に、被害想定がある。的確な被害想定を行なうためには、想定地震の外力としての見積りはもちろんであるが、そのほかに対象構造物の地盤の地震応答特性を的確に把握することが重要となる。こうした観点から、首都圏JR沿線の地盤および構造物の地震動応答特性について詳細調査を行っている。これは、運輸省の助成研究の一環として行なわれており、100m毎に線路沿線の地盤と構造物の常時微動を同時に測定している。ここでは地盤表面と盛土法肩部での常時微動測定結果に基づき、盛土の地震動伝達特性について検討を加えたので、報告する。

## 2. 方法

鉄道構造物には実に様々な種類があり大まかに、盛土、切取、高架橋、橋梁、平地等に分けられる。図1は首都圏のJR沿線で行なっている測定のうち、東海道新幹線（東京－小田原45.0km区間）、中央線（東京－大月87.8km）、常磐線（上野－土浦69.6km）、成田線（我孫子－佐倉46.0km）の構造物種別の内訳を示したものである。東海道新幹線では、地盤の安定性等から高架橋区間が多いものの、盛土区間は全体の2割程度を占めている。中央線は構造物全体の1/3が盛土区間、常磐線・成田線では、盛土区間が過半数を占めており、盛土が鉄道構造物の中で重要な地位にあることがわかる。そこでここでは、盛土の地震動特性を基礎地盤と鉄道盛土の常時微動特性から推定することを試みた。盛土の法肩と法尻の常時微動のスペクトル比から卓越振動数と増幅倍率を推定している<sup>1)</sup>関係上、ほぼ対称の断面を持つ盛土について検討することとした。なお、用いた盛土のデータは東海道新幹線86件、中央線57件、常磐線 331件、成田線 271件である。

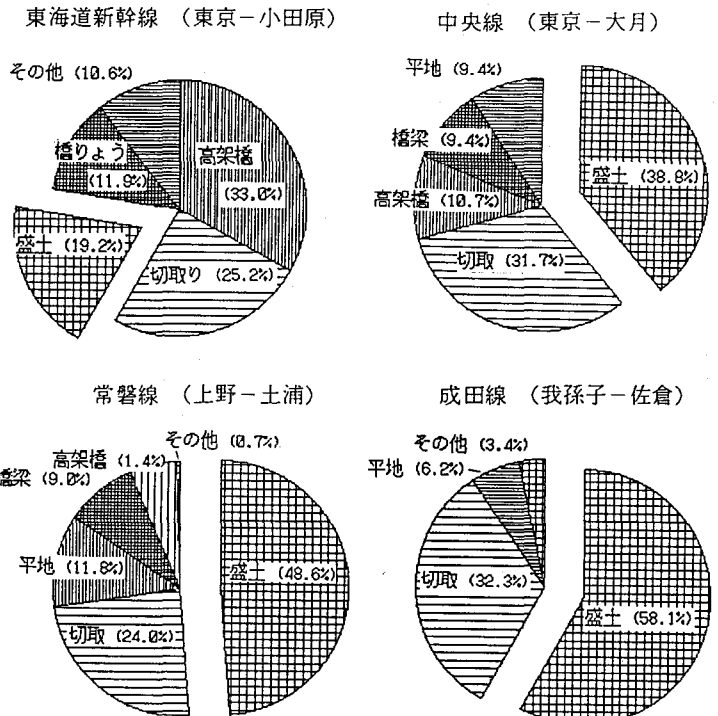


図1 鉄道の構造物分類 (トンネルを除く)

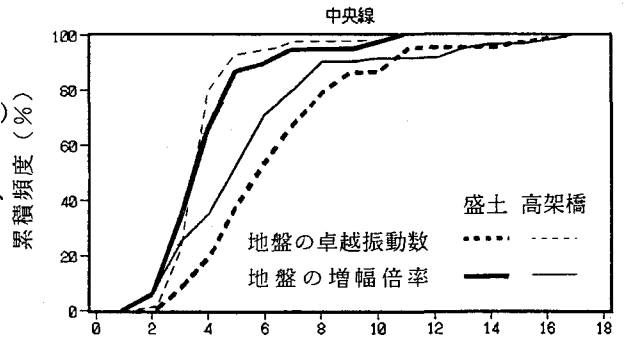


図2 盛土区間と高架橋区間の地盤比較

### 3. 盛土を支える地盤の特性

首都圏のJR沿線を対象としているため、軟弱地盤が多く、線路方向に沖積地盤と洪積地盤が交互に現われるところが多いという特徴がある。図2は中央線の盛土区間と高架橋区間の、地盤の卓越振動数と増幅倍率を比較したものである。盛土区間の方が高架橋区間に比べて卓越振動数は高く、増幅倍率は低いという結果になっており、盛土区間の方が高架橋区間よりも安定な地盤が多いと推定される。これは市街地や、列車通過トン数に対して地盤が不安定な箇所では、盛土に替えて高架橋が敷設されているからである。

図3は各路線別に盛土区間の、地盤の卓越振動数の累積頻度曲線を示したものである。これによると常磐線の立ち上がりが急で、低い振動数の卓越する地盤が多いことがわかる。卓越振動数が低いということと軟弱ということとは必ずしも同義ではないが、常磐線の平均卓越振動数は4路線のうちで最も低く、軟弱な地盤が多いと推定される。東海道新幹線と成田線はほぼ同じ傾向を示し、4線の中では中央線が最も堅固な地盤が多いと推定される。図4は増幅倍率の累積頻度曲線である。これによると線別の差異は少ない。

各路線の卓越振動数および増幅倍率の中央値は、東海道新幹線：3.0Hz;4.9倍、中央線：5.7Hz;3.5倍、常磐線：1.8Hz;3.5倍、成田線：3.3Hz;4.1倍である。便宜上各路線における卓越振動数が、中央値より高い地盤を $F_H$ 、低い地盤を $F_L$ 、また増幅倍率では逆に小さい地盤を $A_L$ 、大きい地盤を $A_H$ と4つに区分した。特に卓越振動数が高く増幅倍率が低い地盤を $G_H$ 、卓越振動数が低く増幅倍率が高い地盤を $G_S$ として、地盤の硬軟を分けた。 $G_H$ は硬い地盤のグループ $G_S$ は軟らかい地盤のグループを形成していると考えられる。

### 4. 盛土の震動特性

盛土の振動特性に関係するパラメータとして卓越振動数、増幅倍率、せん断波伝播速度、天端幅、高さ等が考えられる。鉄道盛土は天端幅が2種類(単線・複線)しかないと考えてよく、法面勾配もほぼ一定である。その基本的な性質を把握する上では、測定結果から得られる卓越振動数、増幅倍率および盛土高さが主要な要素と考えられる。ここではこの3つについて検討する。

図5は、各路線の盛土高さの累積頻度曲線を示したものである。これによれば、成田線では4m未満の盛土

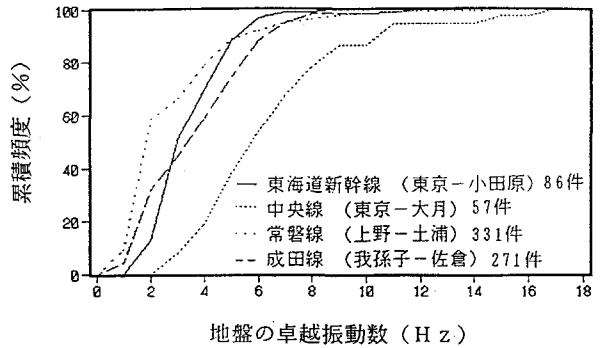


図3 地盤の卓越振動数の累積頻度曲線

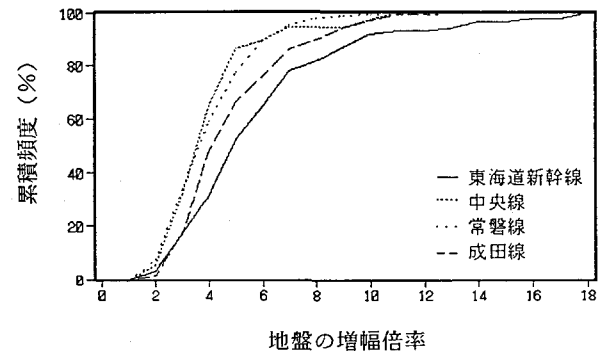


図4 地盤の増幅倍率の累積頻度曲線

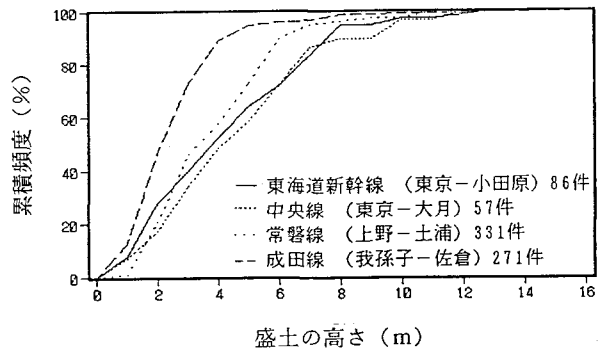


図5 盛土高さの累積頻度曲線

が全体の 8割を占めているが、他の路線ではほぼ 4~5mの盛土が大部分であり、12m以上はほとんどみられないことがわかる。

盛土の増幅倍率と地盤の増幅倍率の関係を各線別に示したのが、図6である。盛土の増幅倍率と地盤の増幅倍率が等しくなるラインに着目すると、東海道新幹線ではラインの下側、すなわち地盤の増幅倍率より盛土の増幅倍率が小さくなることが多いことがわかる。これは盛土が、開業後25年間にわたって締め固められた結果、基礎地盤に対して盛土が相対的に堅くなったことを示していると考えられる。中央線ではラインの上側の分布がやや多い。これは中央線の地盤が堅固で盛土が地盤より相対的に軟らかいことを示している。常磐線、成田線ではライン下側の分布が多く、盛土よりも地盤の方が地震動を増幅しやすい傾向にあることがうかがえる。

東海道新幹線において、基礎地盤の硬さが盛土の振動特性に与える影響をみるため、盛土の伝達関数を比較した。図7(a)は3の区分でいう $G_H$ 地盤の盛土の伝達関数の高さによる変化をみたものであり、図7(b)は $G_S$ 地盤の盛土のものである。これによると $G_H$ 地盤上の盛土では、増幅倍率のピークが明瞭で、盛土が高いほど卓越振動数が低くなる傾向が認められる。これに対して、 $G_S$ 地盤上の盛土では、増幅倍率のピークは明瞭には現われない。むしろ盛土が地盤の振動を平均化して5Hz前後以上の振動数は盛土に伝わりにくくなっているように見える。

以上のように、盛土の増幅倍率は、その基礎地盤が硬ければ大きく、また軟らかければ小さくなる傾向が認められる。

盛土の卓越振動数と盛土の高さの関係を、基礎地盤の硬いものについてみたのが図8である。硬い基礎地盤として3の区分でいう $G_H$ を採用した。また図中には既に提案した方法<sup>2)</sup>により推定した、盛土のせん断波伝播速度 $V_s$ も示した。東海道新幹線と中央線は、 $V_s$ が100m/sを中心に分布しているのに対して、常磐線と成田線では、 $V_s$ の低い側に偏って分布している。このことから東海道新幹線や中央線と比較して、常磐線と成田線の盛土はやや軟らかいものと考えられる。

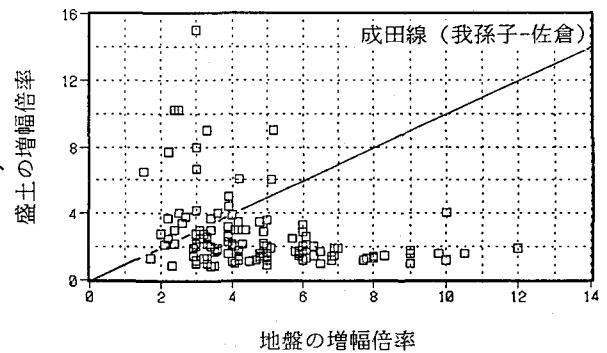
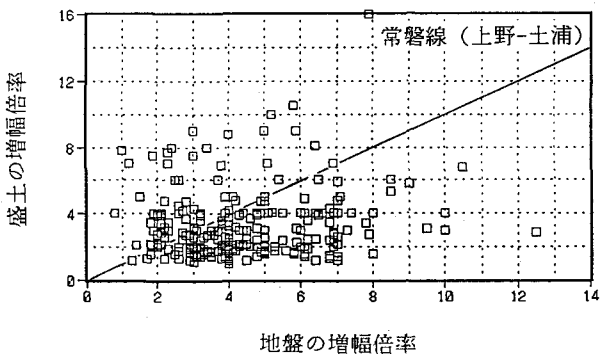
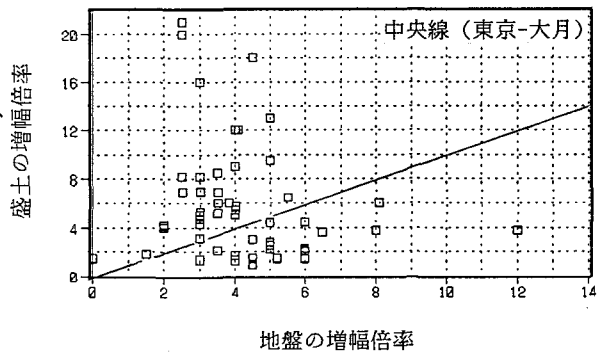
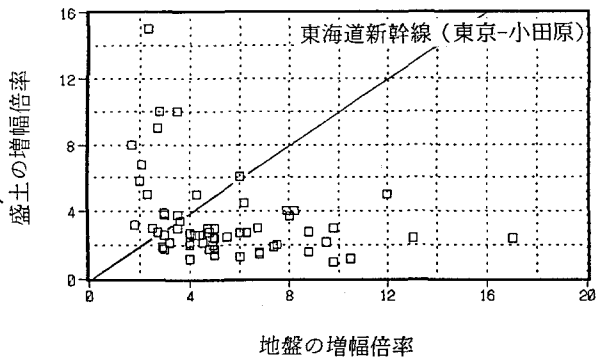


図6 盛土の増幅倍率と地盤の増幅倍率の関係

5. まとめ

常時微動計測によって、鉄道盛土および基礎地盤の地震動特性の推定をおこなった。その結果、次のことが明らかになった。

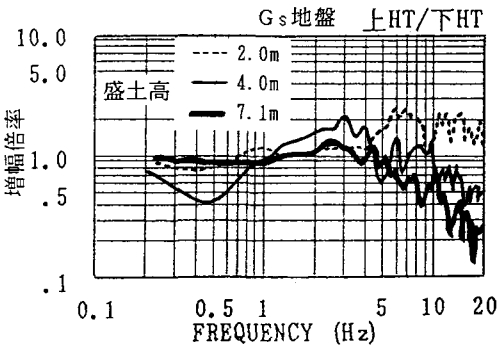
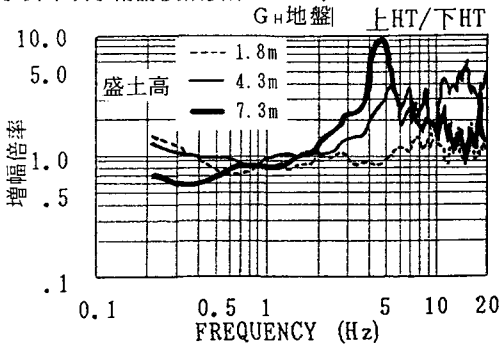
①基礎地盤の堅いところでは、盛土の増幅倍率は大きく、逆に地盤の軟弱なところでは増幅倍率は小さいという傾向が認められた。

②鉄道盛土中のせん断波伝播速度は、100m/sを中心に50m/sから150m/sまでに分布している。

今後他の路線についても検討していくとともに、せん断波速度の実測、数値解析などと併せて各種盛土の動的挙動の検討を行っていく予定である。

謝辞 測定 の便宜を図って頂いているJR東日本とJR東海の関係者、ならびに測定・解析に協力して頂いている(株)福山コンサルタントの渡辺保宣氏、中野聰氏に謝意を表します。

文献 1)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 2)中村、中野：盛土の形状に伴う固有振動数の変化の解析と物性値の推定法、第43回土木学会年次学術講演概要集I-561、1988.10



東海道新幹線 (東京-小田原)  
図7 盛土の伝達関数

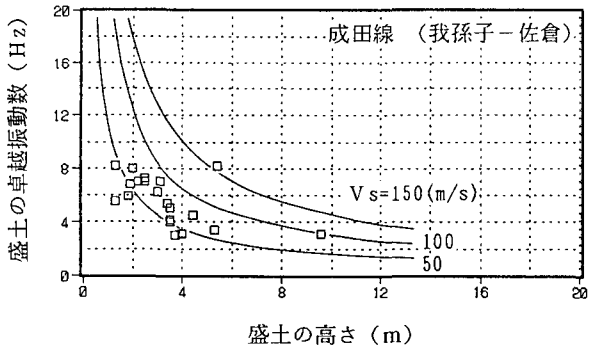
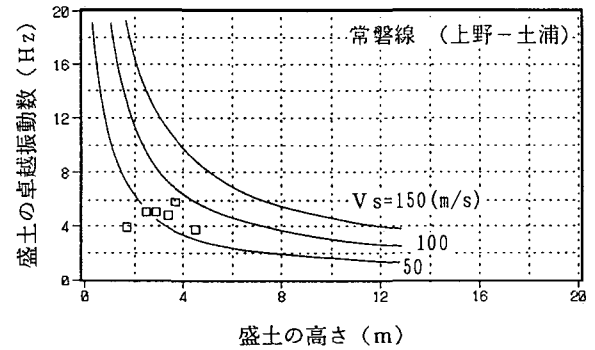
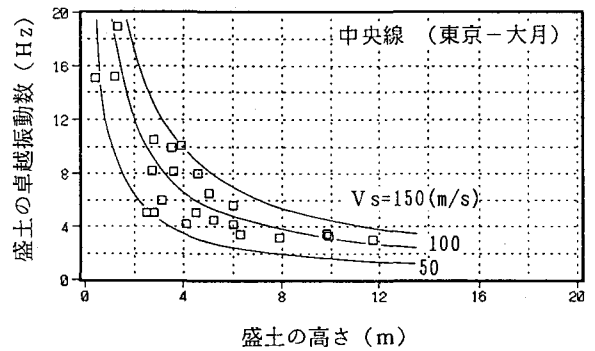
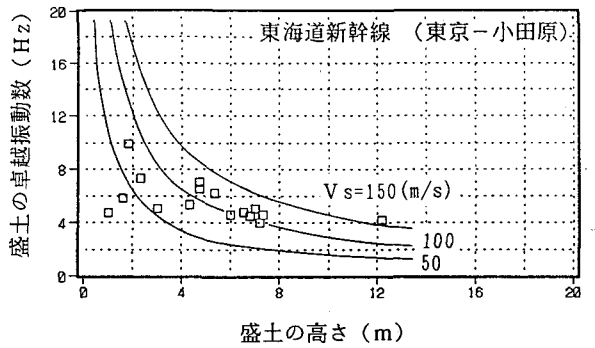


図8 盛土の卓越振動数と盛土高さの関係