

常時微動を用いた高速道路盛土の地震動増幅特性

愛媛大学大学院	学生会員	○佐伯 嘉隆
愛媛大学大学院	フェロー	森 伸一郎
愛媛大学大学院	正会員	河野 幸一
愛媛建設コンサルタント	正会員	神野 邦彦

1. はじめに

性能設計体系の下では道路盛土の耐震安全性や残留変形を評価しようとする、地盤へ盛土系の S 波速度構造を適切に評価して地震時の動的応答を合理的に評価する必要がある。道路盛土の延長を考えると、FEM 等による詳細な評価法の他に簡易な評価方法が強く望まれる。現在、残留変形評価の方法として Newmark のすべり土塊法が利用されているが、この入力には地表において期待される地震動が用いられている。盛土の増幅特性は陽な形では考慮されていない。そこで、本研究では盛土の増幅特性を常時微動測定に基づいて評価した。

2. 測定条件と解析方法

測定対象区間は高知自動車道の約 10 km 区間の盛土を対象に、44 地点において盛土法肩、盛土法尻の 2 箇所、そのうち 8 地点において自由地盤を加えた 3 箇所において常時微動を測定した。図-1 に高知道における常時微動測定地点位置図を示す。この区間は軟弱地盤と丘陵地が交互に現れており、軟弱地盤は N 値が非常に小さい粘土層が卓越し、丘陵地はほぼ砂岩で構成されている。常時微動測定は 24 チャンネルまで測定できる測定器 GEODAS-12-USB-24ch と、周波数が 0.5~20 Hz で平坦な利得特性を有し、3 成分の感振器が内蔵された速度計 CR4.5-2S(以降センサーとする)を使用した。盛土法肩と盛土法尻の 2 箇所を 1 台の測定器で、自由地盤の 1 箇所をもう 1 台の測定器で 3 箇所同時に測定した。水平 2 成分は盛土軸直角方向と盛土軸方向に定めた。図-2 に例として 140.450 KP のセンサー設置状況を示す。この地点は軟弱な表層に砂層が狭在し、一連の研究では基準点として用いており、標準貫入試験、PS 検層、表層全長にわたる不攪乱サンプリングなどがなされている。また盛土堤体の下部地盤に地盤改良が実施されていないが、地盤改良の実施がされている地点もある。測定は 0.01 秒間隔で 200~300 秒間行い、通行車両による大振幅部分のデータを除き、ドリフト補正を施した後、1 セグメントを 2048 個のデータとして 4~14 セグメントに分割した。さらにアベレーシングを行い、フーリエスペクトルを算出し、フーリエスペクトル比を求め、バンド幅 0.5 Hz で Parzen ウィンドウを施した。水平/上下スペクトル比(盛土法肩、盛土法尻、自由地盤)は卓越振動数を地盤の固有振動数と見なして、各地点の各箇所で盛土軸直角方向、盛土軸方向それぞれの卓越振動数を評価した。また、水平動のスペクトル比(盛土法肩/盛土法尻、盛土法肩/自由地盤、盛土法尻/自由地盤)は増幅特性に対応するものとし、盛土軸直角方向のみ検討した。

3. 測定結果及び考察

図-3 に例として水平/上下スペクトル比(140.450 KP(a)盛土法肩、(b)盛土法尻、(c)自由地盤)を示す。水平/上下スペクトル比のピークは、自由地盤では 3.2 Hz、盛土法尻では 2.7 Hz、盛土法肩では 2.6 Hz である。盛土ではほぼ等しく、堤体下部地盤と盛土堤体が一体となって挙動しているものと推察される。自由地盤に比べて低振動数側に移動していることから、堤体下部の地盤の剛性変化と盛土堤体の重量増加による振動特性は後者の方が勝っていると考えられる。図-4 に水平動のスペクトル比(140.450 KP(a)盛土法肩/盛土法尻、(b)盛土法肩/自由地盤、(c)盛土法尻/自由地盤)を示す。盛土法肩/盛土法尻は 1 Hz と 5~6 Hz 付近で卓越している。5~6 Hz 付近の卓越は盛土-堤体下部地盤系と自由地盤系の相互作用の結果現れたものであると考え

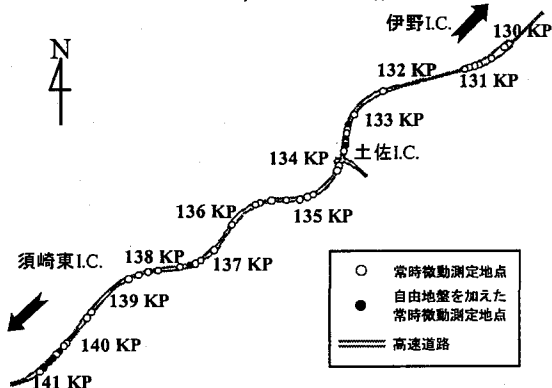


図-1 高知道における常時微動測定地点位置図

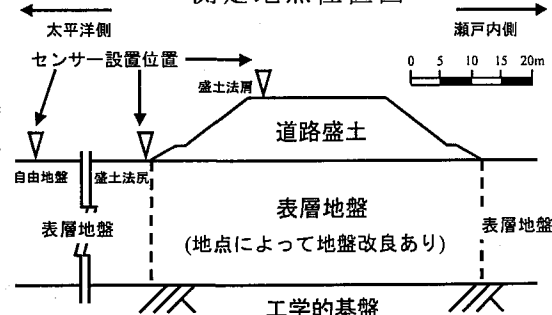


図-2 140.450 KP のセンサー設置状況

られる。1 Hz の卓越は地盤の固有振動数の観点から有意なものとは考えられない。盛土での固有振動数が 2.6~2.7 Hz であったが、この振動数では水平動のスペクトル比はほぼ 1 であり、固有振動数よりも低振動数側では増幅は見られないと考えて良い。自由地盤に対するスペクトル比では、盛土法肩も盛土法尻も、2.6 Hz 付近に明瞭な卓越が見られるが、これは盛土での固有振動数であるので、盛土の固有振動数付近の振動数では 2 倍程度に増幅することがわかる。盛土法尻の方に 5~6 Hz 付近のディップ(くぼみ)は堤体の振動特性を反映したものであると考えられる。盛土法肩の方で 5~6 Hz から高振動数側(20 Hz まで)では小さく振動しながら概ね平坦であり、このプラトー(平坦部)は平均的に 1.3 程度であると見ることができる。以上に見られた特徴は、明瞭さに差はあるものの、総じてそのような捉え方ができると判断した。図-5 に自由地盤に対する盛土法肩の水平動スペクトル比を示す。盛土の固有振動数であると判断される 1 次の卓越振動数が認められる。各地点の 1 次卓越振動数は 1 Hz よりも高く、この図で 1 Hz より低い領域での峰は無視して良い。そこで、各地点のスペクトル比を 1 次卓越振動数で正規化する。図-6 は正規化水平動スペクトル比であるが、1 次卓越よりも高い正規化振動数では一樣に振幅は小さくなるが、正規化振動数が 2 付近で、スペクトル比が 0.3~0.6 まで小さくなった後に少し大きくなって 1 前後(0.7~1.5)の振幅で平坦になるものと、正規化振動数 2 付近で、1 前後(同様)の振幅で平坦になるものが見られる。すなわち、ピーク~ディップ~プラトーかピーク~プラトーかいずれかの単純な形状の増幅スペクトルを提示できる可能性があると言える。

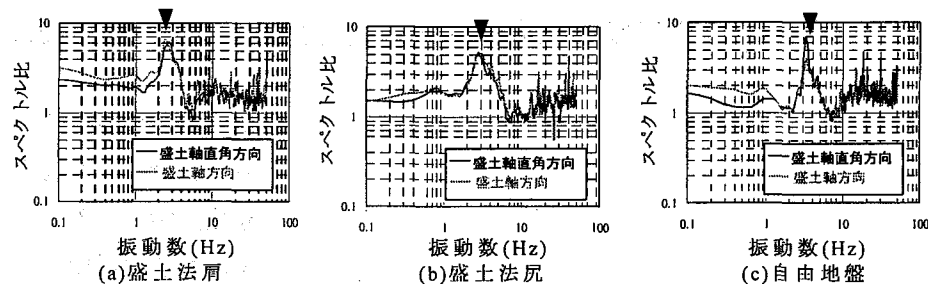


図-3 水平/上下スペクトル比

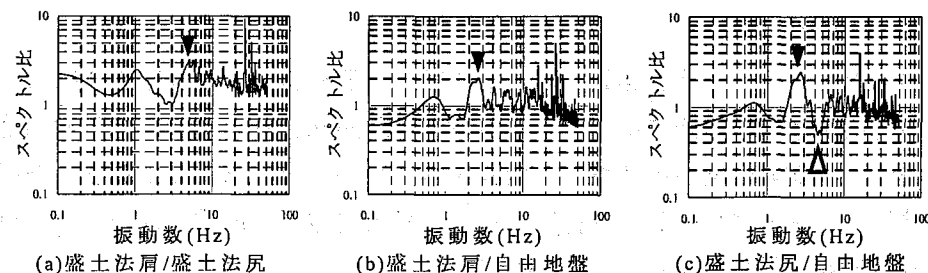


図-4 水平動のスペクトル比

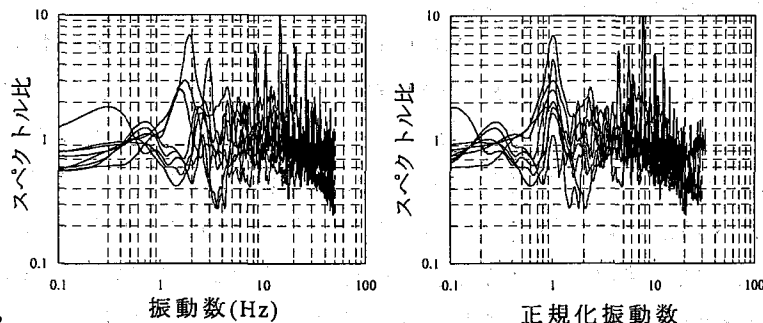


図-5 自由地盤に対する盛土法肩の水平動スペクトル比

図-6 正規化水平動スペクトル比

4. 結論

高知自動車道高速道路盛土を常時微動測定し、得られた知見は次の通りである。

- (1) 盛土法肩は、盛土法尻に対しては増幅するが、自由地盤に対しては増幅する場合と減少する場合がある。
- (2) 水平動のスペクトル比(盛土法肩/自由地盤)については、盛土法肩の卓越振動数付近で卓越する。卓越振動数で正規化したスペクトル比は、高い正規化振動数領域では 1 より大きくなったり小さくなったりする形状を呈する。
- (3) 水平動のスペクトル比(盛土法肩/自由地盤)が増幅特性を反映するとすれば、簡単な増幅スペクトルを提示できる可能性がある。

謝辞

本研究は、その一部を地盤工学会四国支部内に設けられた JH 四国道路耐震性評価委員会(委員長 矢田部龍一 愛媛大学教授)の研究の一環として実施しました。実施に当たっては、西日本高速道路高松技術事務所の関係者および、愛媛大学地震工学研究室の皆様には大変お世話になりました。記して感謝します。