

表面波探査に基づく砂質地盤上の道路盛土のせん断波速度構造

愛媛建設コンサルタント 正会員 ○田窪 裕一
愛媛建設コンサルタント 正会員 神野 邦彦
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

1. はじめに

盛土の耐震安全性評価には、その地震時応答特性を取り入れる必要がある。既存盛土の場合、堤体や直下地盤のせん断波速度 (V_s) を測定して耐震性を評価することが合理的と考えられる。森ら¹⁾は、粘性土地盤上の盛土において、実測により自由地盤に比べて盛土直下地盤の V_s が大きくなることを明らかにし、盛土による拘束圧増加による直下地盤の剛性増加のメカニズムを示唆した。砂質地盤上の道路盛土を対象として表面波探査を行い盛土および周辺地盤の V_s を測定したので、本論文では、その結果に基づき V_s 構造を議論する。

2. 表面波探査地点と探査方法

図-1 に表面波探査の実施地点を示す。徳島自動車道の KP0.46~KP11.69 の約 11 km 区間の 5 地点であり、吉野川の下流域左岸側に位置する。当該区間は吉野川の氾濫原堆積物が広く堆積しており、既往のボーリング調査結果によれば、N 値 2~12 程度の一部粘性土の挟在する沖積砂質土層で層厚 25~40 m 程度堆積している。

表面波探査は、地震探査装置 McSEIS-SXW (応用地質社製) を用いて、多チャンネル表面波探査法 (MASW) によった。4.5 Hz の速度計 (ジオフォン) 24 個を直線上に 2.0 m 間隔で設置し、両端の外側とジオフォン中間点を順にかけやで叩いて発生する表面波を測定・解析することにより、46 m 区間で 20 m 程度の深さまでの地盤の V_s 構造を探査できる。各地点では、このような測線を、盛土軸方向に盛土の法肩と法尻の 2 箇所、盛土法尻から離れた盛土の影響の小さいところ (自由地盤と言う) で 1 箇所、合計 3 箇所を探査した。

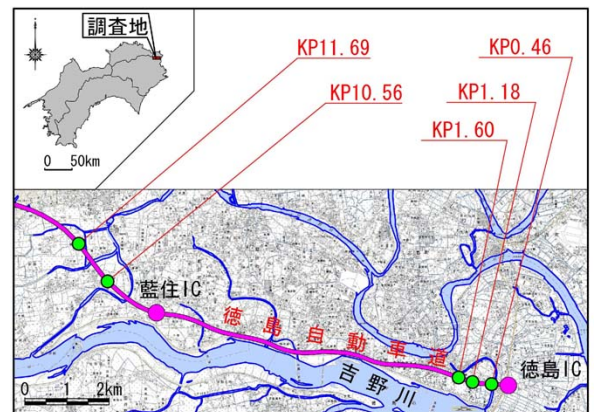


図-1 表面波探査の測定地点

3. 表面波探査における解析の方法と結果の解釈方法

等距離間隔で観測された波形記録を周波数領域に変換した後、着目する単位距離区間を対象にして、周波数一位相速度平面に結果をプロットして、連続性と相関度から取捨選択し、選択された分散曲線に基づいて、平行成層の表面波の理論分散曲線にベストフィットする一次元 V_s 構造が逆算される。着目区間を順次ずらして解析することで、測線に沿う逆算一次元 V_s 構造の連続的変化で二次元 V_s 構造が把握できる。測線端部に近いほど深い構造が反映されにくく探査結果の信頼性が低いので、それらを除いて深さごとに平均化して得られたものを探査区間の平均化 V_s 構造とする。

図-2 に一例として、KP1.60 地点の盛土法肩、盛土法尻、自由地盤における深さ 20 m までの平均化 V_s 構造を示す。地盤面から深さ 12 m 程度までは 3 箇所で見られるため、同じ深度で盛土直下地盤、法尻地盤と自由地盤の V_s を比較できる。自由地盤では 140~170 m/s であるのに比べて、法尻直下では 170~200 m/s、盛土法肩直下地盤では 310~360 m/s であり、盛土中心に近いほど S 波速度が大きいことがわかる。これは盛土荷重による鉛直圧のみならず側方圧が増加し、二次元圧密効果によりせん断剛性が増大したものと推察される。盛土堤体の V_s は 320~350 m/s であり、ばらつきは正負約 5% であり均質によく締まっている。

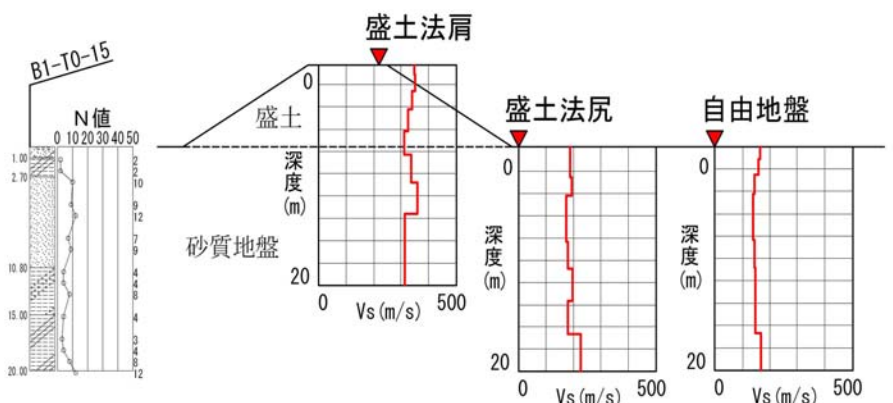


図-2 平均化 S 波速度分布断面図 (KP1.60)

4. 自由地盤に対する盛土直下地盤のVs増加

表-1 に各地点の平均化 Vs 構造を基にした深度区分別平均 Vs を示す。堆積地盤については深さ 0~5 m, 5~10 m, 10~15m の 3 区間に分割する。盛土法肩直下においては深度 15m まで達しない場合は 10m を越える部分の平均値である。盛土の Vs は平均値が約 330 m/s で、地点によるばらつきは正負約 10% である。

表-1 表面波探査による平均化 S 波速度の測点・深度別一覧表 (単位: m/s)

測点		KP0.46			KP1.18			KP1.60			KP10.56			KP11.69			平均		
探査箇所		法肩	法尻	自由地盤	法肩	法尻	自由地盤	法肩	法尻	自由地盤	法肩	法尻	自由地盤	法肩	法尻	自由地盤	法肩	法尻	自由地盤
盛土		304	-	-	294	-	-	338	-	-	362	-	-	337	-	-	327	-	-
自然 地盤	GL-0~5m平均	253	266	274	231	199	193	330	188	153	352	246	173	263	185	163	286	217	191
	GL-5~10m平均	283	191	157	214	180	235	335	174	142	385	314	210	270	193	170	297	210	183
	GL-10~15m平均	369	191	149	265	184	208	314	190	147	409	292	288	300	200	183	331	211	195
平均		302	216	193	237	188	212	326	184	147	382	284	224	278	193	172	305	213	190

表-1 によると自由地盤では、深さによらず Vs が一定の地点 (KP1.60, KP11.69), 深くで Vs が大きい地点 (KP1.18, KP10.56), 浅くで Vs が大きい地点 (KP0.46) の 3 タイプに分類できる。盛土や他の上載圧の影響が少ないと考えられる 5~10 m 深さでは、Vs=140~240 m/s であり、緩い砂層から締まった砂層まで多様で地点によりばらつきが大きく、対象地域全体の傾向を議論するのは難しい。そこで、堆積地盤の深度区分別平均 Vs に着目し、自由地盤を基準とした変化を検討する。表-1 では、KP0.46 と KP1.18 の一部を除いて、深度区分別平均 Vs は、法肩直下>法尻直下>自由地盤の大小関係が認められる。すなわち、対象地域全域で概ねの傾向として、盛土荷重による圧密効果が Vs の増加に寄与していることが明確である。

そこで、盛土荷重圧密効果の Vs 増加への寄与を詳細検討するために、図-3 に(a)法肩直下地盤と(b)法尻直下地盤に分けて、自由地盤を規準として正規化した平均化 Vs の深度分布を示す。盛土法尻直下地盤では、KP0.46 の 4m 以浅と KP1.18 の全区間を除けば 1.0~1.5 であり、明瞭ではないが浅い方がやや大きい。盛土法肩直下地盤では、前述の区間を除けば 1.2~2.5 であり、特に他の 3 地点で Vs の増加は顕著で、その効果は深度 12m まで認められる。ただし、各地点で水平成層状態が担保されているわけではなく、深度別の詳細な検討はやや困難であり、地盤構造の確認が必要である。

総合すると、盛土法肩直下や法尻直下の地盤において自由地盤に比べて Vs が増大する傾向が認められ、盛土中心に近いほど顕著であり、その傾向は浅い方がやや大きいことから、盛土荷重による二次元圧密効果によりせん断剛性が増大すると言える。

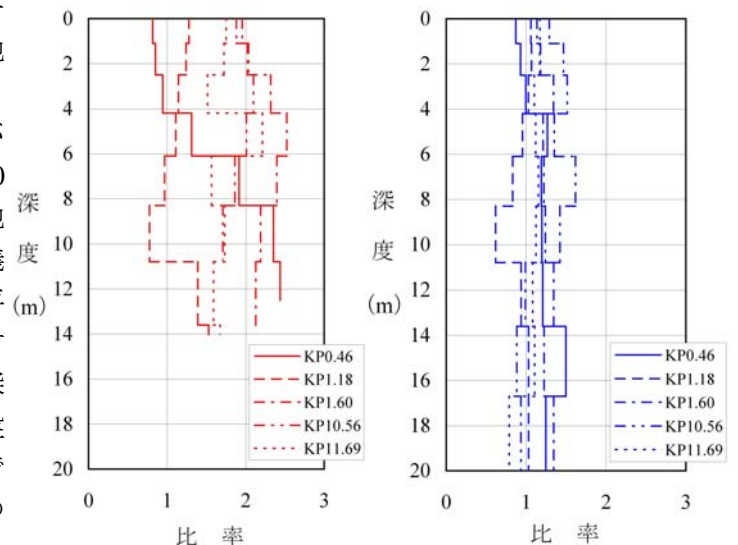
5. 結論

徳島自動車道における砂質地盤上の盛土を対象に、道路沿線の 5 地点で表面波探査を実施し、盛土および周辺地盤の S 波速度構造を評価した。結論は以下の通りである。

- 1) 盛土のせん断波速度は平均値が約 330 m/s で、地点や深さによるばらつきは最大で正負約 10% である。
- 2) 自由地盤では、深さによらず Vs が一定の地点、深くで Vs が大きい地点、浅くで Vs が大きい地点の 3 タイプに分類できる。
- 3) 一部を除いて、地盤タイプによらず、堆積地盤の深度区分別平均 Vs は、法肩直下>法尻直下>自由地盤の大小関係が認められる。盛土荷重による二次元圧密効果によりせん断剛性が増大すると思われる。

謝辞： 現地測定にあたり、NEXCO 西日本四国支社技術事務所および同徳島管理事務所の皆様には大変お世話になりました。本研究は、四国建設弘済会「平成 19 年度 建設事業に関する技術開発・調査研究」の助成を得ました。記して謝意を表します。

参考文献：1) 森 伸一郎, 佐伯 嘉隆：異なる拘束圧下にある土層のせん断波速度, 第 42 回地盤工学研究発表会発表講演集 CD-ROM, pp. 337-338, 2007.7



(a) 法肩直下地盤 (b) 法尻直下地盤

図-3 各測点の自由地盤の平均化 S 波速度に対し正規化した法肩および法尻の深さ方向の分布