

I-561

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

（財）鉄道総合技術研究所 正員 中村 豊
（株）福山コンサルタント 正員 ○中野 聡

1. はじめに

現在、J R線沿線の地盤及び構造物では、総合地震防災システムのための常時微動を用いた震動特性調査が進められている。この調査の結果、常時微動により代表的な土構造物である盛土の震動特性を的確に把握できることがわかっている。¹⁾

そこで、盛土の物性であるせん断波速度 V_s をその形状と卓越振動数とから概略推定するため、盛土の天端幅 B と高さ H および卓越振動数 F を用いて盛土中のせん断波速度 V_s を推定することを試みたので報告する。

2. 地盤のせん断振動の算定式

盛土の線路直角方向の振動は、せん断振動であると考えられる。このようなせん断振動を行う地盤の卓越振動数の算定式としては、

F_0 ：（無限）表層地盤の場合

$$F_0 = \frac{V_s}{4H} \quad \dots\dots\dots (1)$$

F_1 ：くさび形地盤の場合

$$F_1 = \frac{1}{2\pi} \frac{V_s}{H} \cdot 2.4048 \quad \dots\dots\dots (2)$$

などがあり、盛土の固有振動数 F はその形状からみて F_0 と F_1 の中間に位置すると考えられる。さらに(2)式は

$$F_1 = 1.53 F_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

となるため、 F_0 を基準関数とし F との比を考えると

$$1 < F/F_0 < 1.53 \quad \dots\dots\dots (4)$$

と想像できる。

そこで、まず盛土を図-1に示すような2次元のFEM振動モデルに置き換えて、固有値解析を行った結果を用いて、盛土の卓越振動数の推定式を作成し、これを変数とし盛土の V_s を求める式を作成した。

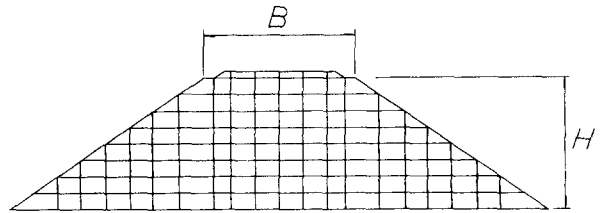


図-1 盛土の振動モデル

3. 推定式の作成

盛土の振動モデルは、天端幅 B が単線（5.6m）、複線（9.4m）、複々線（20.0m）に相当するものの他に、1mと2.4mを用い、地盤のせん断波速度 V_s が31m/s、100m/s、310m/sの3種類について行い、それぞれの高さ H を4～8mに変化させた。

表-1は各盛土の水平方向一次の固有振動数 F の算出結果を示したものである。図-2は、この結果を用いて F/F_0 （盛土の固有振動数と基準振動数の比）と B/H （天端幅と盛土高の比）の関係を見たものである。これによるとその傾向は、単調な変化ではあるが(4)式の様にはならず、FEMによる計算は B/H が大きいと0.9に漸近し、 B/H が小さくなると1.4程度の値に漸近している。つまり(4)式を0.1だけ下方にシフトしているような計算結果となっている。これは、鉄道盛土をシミュレーションするため盛土に40cmのバラストを想定していることも原因の一つと考えられる。 F/F_0 は V_s によってほとんど変化せず、概ね B/H の変化に伴

表-1 固有値解析結果

天端幅B (m)	盛土高さH (m)	B/H	固有振動数 (Hz)		
			$V_s = 31.0 \text{ m/s}$	$V_s = 99.0 \text{ m/s}$	$V_s = 310 \text{ m/s}$
1.0	4.0	0.250	—	8.10	—
	6.0	0.167	—	5.55	—
	8.0	0.125	—	4.22	—
2.4	4.0	0.600	2.36	7.47	23.63
	6.0	0.400	1.65	5.23	16.54
	8.0	0.300	1.27	4.03	12.74
5.6	4.0	1.400	2.12	6.70	21.13
	6.0	0.933	1.51	4.77	15.10
	8.0	0.700	1.18	3.72	11.95
9.4	3.0	3.133	—	7.90	—
	4.0	2.350	1.99	6.28	19.81
	5.0	1.880	—	5.23	—
	6.0	1.567	1.42	4.49	14.20
	7.0	1.343	—	3.94	—
	8.0	1.175	1.11	3.51	11.11
	4.0	5.000	1.86	5.86	18.45
20.0	6.0	3.333	1.32	4.16	13.14
	8.0	2.500	1.03	3.25	10.27

っているようであるが、 B の値が大きくなると F/F_0 は変化することがわかる。すなわち、 F/F_0 の変化は B/H のみでは表現しきれない。

そこで F を B/H 、 B 、 V_s で説明するパラメータ解析を行い、式(5)に示す係数 a, b, c, d の算出を試みた。

$$F = d (B/H)^a B^b V_s^c \quad \dots\dots\dots (5)$$

(5)式は

$$\log F = a \log (B/H) + b \log B + c \log V_s + \log d \quad \dots\dots\dots (6)$$

と書き直せる。

図-3は F と B/H の関係を V_s および B をパラメータに示したものである。これによると種々の V_s や B に対して $\log F$ と $\log (B/H)$ の関係は概ね次式で表すことができる

$$\log F = 0.84 \log (B/H) + \alpha \quad \dots\dots\dots (7)$$

図-4は $B/H=1$ の場合の $\log F$ と B の関係を見たものである。したがって α は

$$\log F - 0.84 \log (B/H) = \alpha$$

$$= -0.97 \log B + \beta \quad \dots\dots\dots (8)$$

で表される。さらに β を算出するため、 $B=1$ とおき、 $H=1$ の場合の $\log F$ と V_s の関係を求めると

$$\beta = \log V_s - 0.55 \quad \dots\dots\dots (9)$$

となる。以上をまとめて式(7)、(8)、(9)より(5)、(6)式の係数を算出すると次のように F の算出式を導くことができる。

$$\log F = 0.84 \log (B/H) - 0.97 \log B + \log V_s - 0.55 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$F = 0.28 (B/H)^{0.84} B^{-0.97} V_s \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\therefore F = 1.12 (B/H)^{-0.16} B^{0.23} \cdot F_0 \quad \dots\dots\dots (11)'$$

この式によれば、 B が大きいと B の影響が出てくることがわかる。また、図-2をもとにして簡易推定式(11)および(11)'の適用範囲を推定すると単線、複線、複々線の場合の H の範囲は

単線 : $1.0\text{m} < H < 28\text{m}$

複線 : $1.6\text{m} < H < 43\text{m}$

複々線 : $2.9\text{m} < H < 80\text{m}$

となり、実際に存在する盛土をほぼカバーしているものと考えられる。

さらに、以上の式は盛土中のせん断波速度 V_s を推定する式に容易に変換できる。すなわち、

$$V_s = 3.57 F^{-1} B^{0.13} H^{0.84} \quad \dots\dots\dots (12)$$

これを用いれば、盛土の形状 B, H と固有振動数 F を測定することによって盛土の平均的なせん断波速度 V_s の推定を行うことができ、さらに密度を推定すればせん断剛性が推定できることになる。

4. おわりに

適用範囲には限界があるけれども、 B, H, V_s を用いて盛土の卓越振動数を、また逆に B, H, F から V_s を大まかに推定する式をFEMのパラメータ解析を基に導いた。今後、この式を用いて常時微動による盛土の固有振動数の測定値と併せて、盛土の物性値を推定するとともに、他の方法で測定した物性値との比較を行って行きたいと考えている。

なお、この研究は運輸省の助成を基にして行った。

参考文献：1) 中村、渡辺：”常時微動を用いた盛土の振動特性の推定” 第43回年次学術講演概要集 I

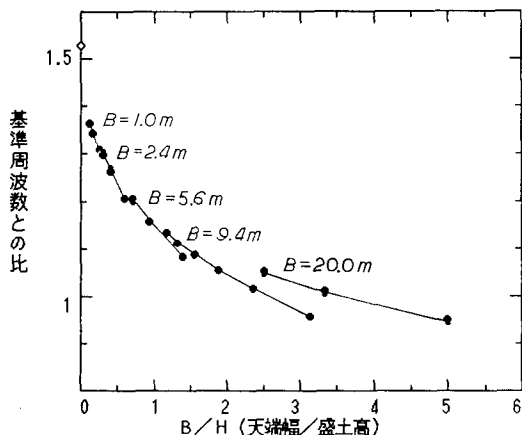


図-2 B/H と F/F_0 の関係

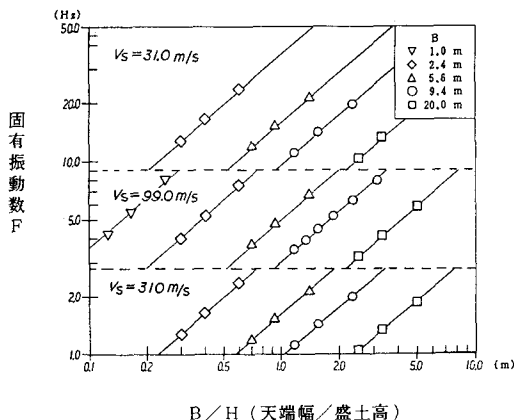


図-3 B/H と F の関係

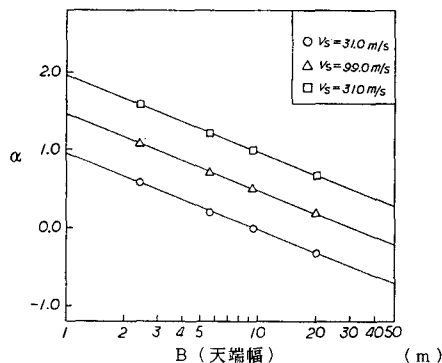


図-4 B と α の関係