

I-422 常時微動を用いたRCラーメン高架橋のヤング率推定

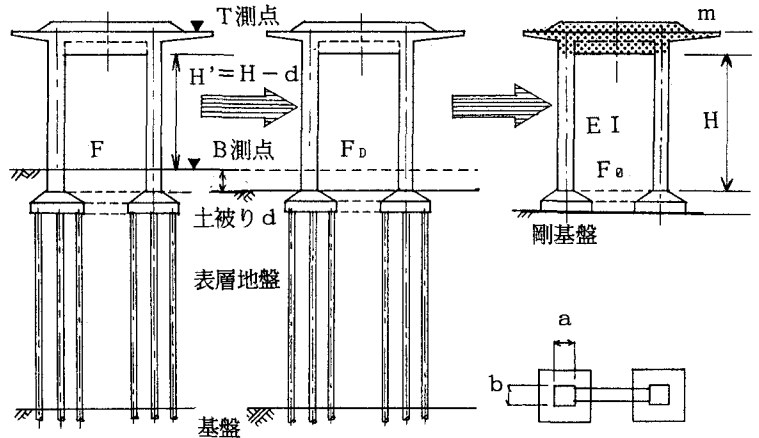
(財)鉄道総研 正員 中村 豊

(財)鉄道総研 正員 中嶋 繁

1. はじめに 最近の地震被害をみると、震災構造物は自然の力であり出された弱点構造物であると改めて認識させられる。あらかじめ弱点構造物がわかっているならば、的確な処置を施すことによって地震災害を軽減することができる。地盤や構造物の地震動特性を把握するため、運輸省の助成に基づき首都圏J R沿線約1500kmについて100m間隔で常時微動を測定した。さらに、これらのデータを用いて弱点箇所を抽出する指標について検討を進めている。ここでは、1層のRCラーメン高架橋を対象に、柱部材の平均的ヤング率 E_c を常時微動測定に基づいて推定する方法を提案し、梁部からコア採取して測定した E_c と比較してその有用性を確認する。

2. 基本的な考え方 高架橋の上に置かれた測点Tと地盤測点Bで測定された常時微動のスペクトル比 $S_R (= S_T / S_B)$ を計算することによって、高架橋の地震動特性を推定することができる。

しかし、これには基礎地盤の影響や基礎部の土被りの影響が含まれている。測定した高架橋の卓越振動数 F から基礎地盤の影響などを除去して剛体基盤上のラーメン高架橋の固有振動数 F_0 が推定できれば、これから逆に高架橋のヤング率を算定することができる。



E_c 推定の手順: $F \rightarrow F_D$ (②式) $\rightarrow F_0$ (③④式) $\rightarrow E_c$ (①式)

図1 土被り・基礎地盤補正やヤング率推定の基本的な考え方と手順

3. 剛体基礎上のラーメン高架橋の固有振動数 1層ラーメン高架橋の固有振動数について、FEM解析によるものと柱の剛性を梁理論により見積って算定したものと比較した結果、3%以内の精度で一致した。したがって、剛体基礎上のラーメン高架橋の固有振動数 F_0 は梁理論による次式(構造力学公式集より)で計算できる。

$$F_0 = \{ (24 E_c I) / (m H^3) \}^{0.5} / (2 \pi)$$

ここに、 E_c = 柱のヤング率、 I = 断面2次モーメント ($= a^3 b / 12$)、

m = 質量 (図1の網掛け部分)、 H = 柱の長さ (図1参照)

したがって、 $E_c = (2 \pi F_0)^2 (m H^3) / (24 I)$

①

4. 土被りの影響 まず、土被りの影響について検討する。

図1に示すような測点T、Bの正弦波応答を算定し、応答スペクトル比から卓越振動数を算出する。このときの卓越振動数 F は、柱の長さを土被り分だけ短くした ($H' = H - d$, d : 土被り厚) 場合の固有振動数 F_{MAX} と土被りがない場合の固有振動数 F_D の間の値をとる。したがって、

$$F = F_D + k (F_{MAX} - F_D) = F_D [1 + k \{ (F_{MAX} / F_D) - 1 \}]$$

$$= F_D [1 + k \{ (H / H')^{1.5} - 1 \}]$$

ゆえに、 $F_D = F / [1 + k \{ (H / H')^{1.5} - 1 \}]$

ここに、 k は土被りの影響係数である。 k は0から1の間の値をとり、土被り地盤の硬さに依存すると考えられる。そこで、剛基盤上の高さ8mの高架橋の卓越振動数を、表層地盤のせん断波速度 $V_s = 30\text{m/s}$, 60m/s , 80m/s ,

100m/s、200m/s、400m/s、1000m/s、土被り厚さ $d=0\text{m}$ 、 0.5m 、 1.0m 、 2.0m 、 3.0m 、 4.0m の合計42ケースに対して計算した。計算誤差の影響も考慮して、 k 値が大きくなる $d=2\sim4\text{m}$ の21ケースについて、 V_s をパラメータにして回帰すると、 k は次のように表わされることがわかった。このときの相関係数は0.97であった。

$$k = 1 - 1 / (0.00524 V_s + 1)$$

図2は、土被りがある場合のFEM計算結果の土被りの影響を上式により補正して、土被りのない場合のFEM計算結果と比較したものである。良好に補正されていることがわかる。

ただし、 V_s は実際にはわかっていないことが多い。そこで、比較的想定しやすい基盤のせん断波速度 V_B とB測点の常時微動から推定される表層地盤の増幅倍率 A_g を使って、

$$V_s = V_B / A_g^{1/3}$$

$$F_D = F \left[(\alpha V_B + A_g) / \{ \alpha V_B (H/H')^{1.5} + A_g \} \right] \quad (2)$$

$$\alpha = 0.00524, V_B = 600\text{m/s} \text{ おくと、 } \alpha V_B = 3.14 \text{ となる。}$$

5. 基礎地盤の影響 基礎地盤の影響を次式のように、基礎地盤がある場合の高架橋の卓越振動数 F_D と、剛体基礎の場合の高架橋の卓越振動数 F_g の比 $j = F_D / F_g$ で表わす。

$$\text{ゆえに、} F_g = F_D / j, \quad 0 < j \leq 1 \quad (3)$$

j に関係する因子として、高架橋の高さ H と地盤の卓越振動数 F_g を考える。高さ6m、7m、8mおよび10mの高架橋について、表層地盤 V_s は60m/s、80m/s、100m/s、150m/s、200m/s、300m/sおよび400m/sの7種類に、表層地盤厚さは10mおよび20mの2種類に変化させて、 j の変化を検討した。これら56ケースの計算結果を回帰分析して、次式を得た。相関係数は0.948であった。

$$j = 1 - 1 / (1.430 H^{-2.33} F_g^{0.5} + 1) \quad (4)$$

図3は、基礎地盤がある場合のFEM計算結果を上式により補正して、剛基盤上の場合のFEM計算結果と比較したものである。基礎地盤の影響はもともと大きくないが、補正後は1.0 $\pm$ 5%以内とさらに小さくなり、影響の補正は概ね良好である。

6. 適用例 常時微動測定により得られた1層ラーメン高架橋の卓越振動数に基づいて、提案した方法によって、土被りや基礎地盤の影響を補正し、ヤング率を推定した。

図4は、推定されたヤング率と常時微動測定地点と同一ブロックまたは隣接ブロックにおいて梁部分から採取したコア資料について測定したヤング率とを比較したものである。コアは1ブロックから3個採取されている。常時微動によるものとコア採取によるものはよく一致している。

謝辞：測定データを提供して頂いたJR東海の関係者の方々に謝意を表します。また、解析に協力して頂いた㈱福山コンサルタントの西永雅行氏に感謝します。

文献：1) 中村・滝沢：常時微動による表層層厚と基盤および表層地盤のS波速度の推定、鉄道総研報告Vol.4, No.9, 1990.9.

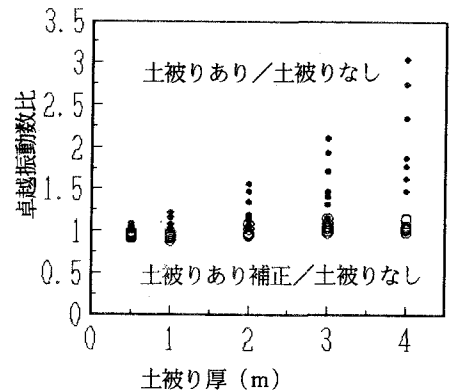


図2 土被りの補正効果

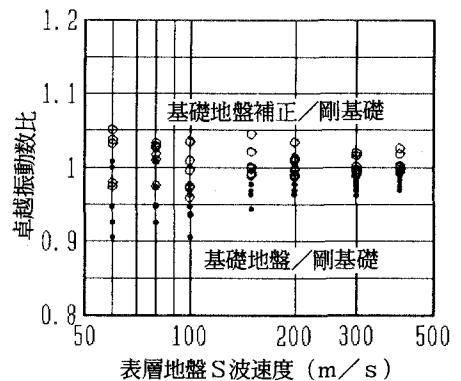


図3 基礎地盤の補正効果

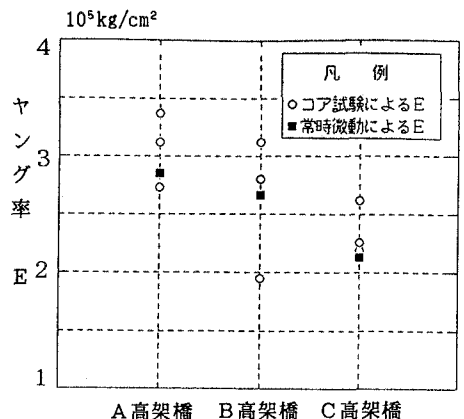


図4 高架橋のヤング率：常時微動とコア採取による推定値の比較