

鉄道高架橋での振動計測における列車外力の評価

京阪電気鉄道(株) 正会員 平川良浩 島田昌樹
 (株)奥村組 正会員 三木英通 正会員 森尾 敏

1 まえがき

RC ラーメン構造鉄道高架橋において、周辺住民の一部から振動被害の苦情が出た。このため、高架橋と地盤に地震計を配した振動計測を実施し、3次元固有値解析との比較から振動被害の原因を調べた¹⁾。この結果、振動被害は高架橋鉛直方向振動モード(15次)と列車から伝達される振動外力に起因する「うなり」によることが分かった。本報告は、列車から伝達される振動外力について詳細に検討したものである。

2 列車から伝達される振動外力

図-1に、うなりが表れる場合の高架橋頂部の鉛直方向パワースペクトルを示す。15.0Hzと13.6Hzにピークがみられる。この振動数差から得られるうなりの周期(0.71s)は、時刻歴波形で見られるうなりの周期と一致している。同図の15.0Hzのピークは、非対称構造に起因する高架橋の鉛直方向振動モード(15次)である¹⁾。以下、13.6Hzのピークについて調べる。

竹宮ら²⁾は、軌道たわみの波長が枕木間隔の偶数倍となることから、列車走行時の卓越振動数 f として次式を提案している。

$$f = C / (2nd) \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

ここに、 C は列車速度、 d は枕木間隔である。上式に $C = 15.14\text{m/s}$ (54.5Km/h)、 $d = 0.6\text{m}$ を代入すると、 $n = 1$ で $f = 12.6\text{Hz}$ が得られる。図-1で卓越したピーク13.6Hzが枕木間隔に起因する列車からの振動外力である可能性も考えられるが、以下、固有値解析に使用した3次元骨組み構造系モデルを用いて橋脚頂部における列車から伝達される振動外力を逆解析により評価する。

まず橋脚頂部における加速度/荷重間の伝達関数 $T_{xx}(f)$ 、 $T_{xz}(f)$ 、 $T_{zx}(f)$ 、 $T_{zz}(f)$ を求める。 $T_{xx}(f)$ はX方向加振時のX方向加速度応答、 $T_{xz}(f)$ はX方向加振時のZ方向加速度応答、 $T_{zx}(f)$ はZ

方向加振時のX方向加速度応答、 $T_{zz}(f)$ はZ方向加振時のZ方向加速度応答の伝達関数である。

次に、うなりがみられる場合の橋脚頂部で計測されたX方向加速度波形のフーリエスペクトルを $E_x(f)$ 、Z方向フーリエスペクトルを $E_z(f)$ とし、X方向の荷重を $F_x(f)$ 、Z方向の荷重を $F_z(f)$ とする。使用した骨組み構造モデルが現実近く、橋脚頂部の応答は同点に加えられる外力による応答が支配的であると仮定すれば、次式が成立する。

$$E_x(f) = T_{xx}(f)F_x(f) + T_{zx}(f)F_z(f)$$

$$E_z(f) = T_{zx}(f)F_x(f) + T_{zz}(f)F_z(f) \quad (2)$$

実測加速度のフーリエスペクトル $E_x(f)$ 、 $E_z(f)$ を生じさせる荷重 $F_x(f)$ 、 $F_z(f)$ は次式で与えられ、

$$F_x(f) = \frac{E_x(f)T_{zz}(f) - E_z(f)T_{zx}(f)}{T_{xx}(f)T_{zz}(f) - T_{zx}(f)T_{zx}(f)}$$

$$F_z(f) = \frac{E_z(f)T_{xx}(f) - E_x(f)T_{zx}(f)}{T_{xx}(f)T_{zz}(f) - T_{zx}(f)T_{zx}(f)} \quad (3)$$

両者の逆フーリエ変換から荷重の時刻歴波形 $F_x(t)$ 、 $F_z(t)$ が得られる。

以上のようにして逆算した荷重時刻歴 $F_x(t)$ 、 $F_z(t)$ を図-2に示す。同図から、Z方向の荷重 $F_z(t)$ が支配的であることが分かる。両荷重のパワースペクトルを図-3に示す。振動数の増加に伴ってスペクトル振幅が低下しながら、2.5~3Hzピッチで小さなピークが数多く現れている。図-2の荷重時刻歴において、12~16Hzのバンドパス・フィルター通過後の波形を図-4に示す。荷重振幅は小さいものの、振動計測における変位波形¹⁾、すなわち、各台車車輪からの振動外力に対応した波群が認められる。図-4のZ成分において両端の振幅が急増しているのは、FFT(高速フーリエ変換)のリンク効果が現れたものであろう。

振動計測における変位波形を参考にして各台車車輪からの振動外力を図-5のように想定する。同図は、車両速度54.5Km/hの下で各台車車輪が

キーワード：鉄道高架橋、列車外力、逆解析、うなり

連絡先：〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎

町2-2-2 奥村組 土木設計部 TEL06-6625-3570 FAX06-6623-7699

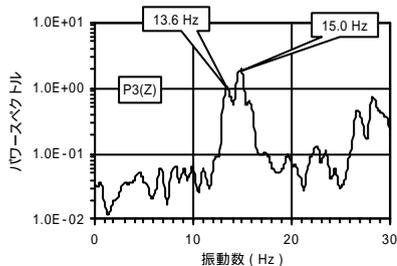


図-1 橋脚頂部のパワースペクトル

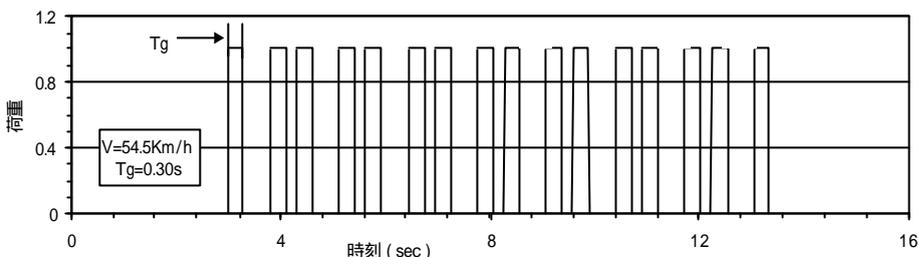


図-5 想定した列車外力

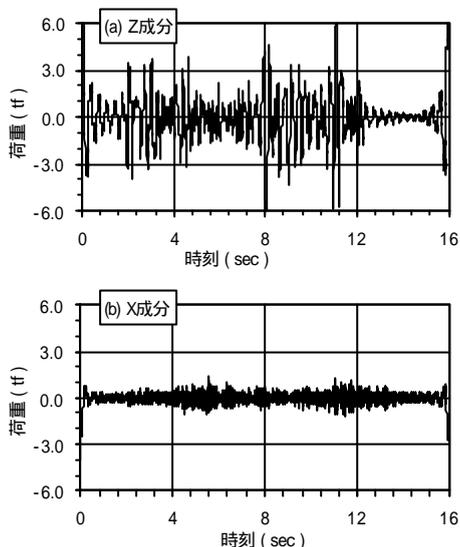


図-2 逆解析により得られた外力時刻歴

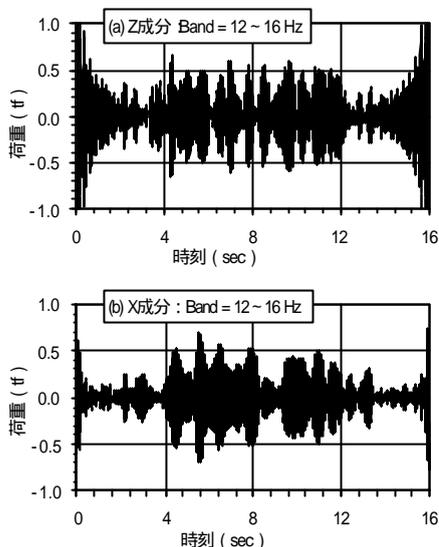


図-4 バンドパスフィルター通過後の波形

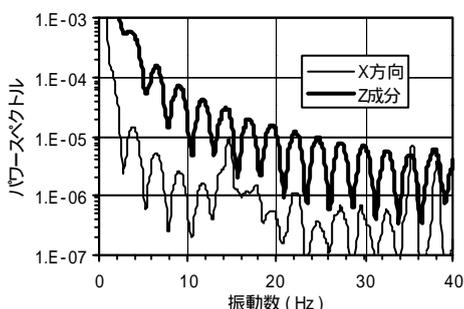


図-3 パワースペクトル

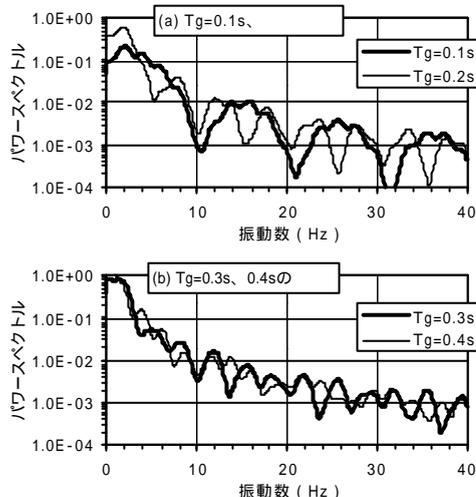


図-6 想定した外力のパワースペクトル

らの外力を単一の矩形波として連続させたものである。同図は、矩形波の継続時間 $T_g=0.3\text{sec}$ の場合を示しているが、この値は特定できない。 $T_g=0.1, 0.2\text{sec}$ の場合のパワースペクトルを図-6(a)に、 $T_g=0.3, 0.4\text{sec}$ の結果を同図(b)に示す。振動数の増加に伴ってスペクトル振幅が低下する傾向は、図-3と類似している。また、 T_g の増加に伴い周期的な小さな山の数が増加しており、 $T_g=0.3\text{sec}$ の場合、図-3のスペクトルにかなり近いといえる。

3 結論

式(1)の竹宮の提案式から得られる振動数は最大で 12.6Hz であり、これ以上の高振動数成分は存在しない。一方、ここでは各台車の車輪間隔に基づく振動外力の可能性を示した。この場合、図

-3に示したように数多くのピーク振動数を有する。地盤振動にみられるうなり現象の一因と考えられる 13.6Hz のピークが、列車からの何らかの振動外力に起因する可能性はかなり高いものと判断される。

参考文献

- 1) 森尾、平川、島田、三木：市街地における既設線鉄道立体化高架橋の振動特性について、地盤環境の評価・予測・対策に関するシンポジウム、pp.37-42、2001.2.
- 2) 竹宮、会田、小森：高速列車走行による沿線地盤振動のコンピューター・シミュレーション予測、土木学会論文集、No.619/ -47、pp.193-201、1999.4.