

東京電力	正員	下川 洋司
東京電力	正員	日向 泰山
東京都立大	正員	伊藤 文人

1. はじめに 東京電力では、東京都心導入500kV地中送電線として新京葉大田線を計画している。ルート上、荒川放水路渡河部は、鉄建公団にて建設中の京葉線荒川放水路橋に添架するが、過去、道路橋添架は実績が乏しいものの鉄道橋添架は稀有である。本橋は長大な鋼鉄道橋であり、添架に際しては振動・伸縮などの対策が重要課題である。本報告は、このうち振動問題について、類似橋の振動測定、応答解析、模擬実験を行ない、列車通過に伴う振動に対する添架送電設備の応答性状及び設計側の対策について考察を加えたものである。なお、振動問題とは、究極的には振動歪による電力ケーブルアルミ被の疲労問題である。

2. 類似橋における橋梁振動の測定 総武線江戸川橋(支間長69.0m, 多径間単純形式)及び中央線新柱川橋(橋長260.0m, 3径間連続形式)にて測定した。〔結果〕①広範な振動数域に亘り、2成分を有した不規則な振動である。②発生源に最も近い鐵桁(1250~1980^{rad})から主構格点(270~400^{rad})への伝播に伴い、最大加速度で約1/5に減衰し、同振数特性も70^{Hz}以上の高周波成分の減衰が大きい。③固有振動の励起による橋梁全体系の振動は加速度成分として明確に認められなかった。④各振動数成分の経時変化によれば、振動の主成分は車輪通過と同一周期で振幅の増減を生じていることを車輪レベルでの衝撃を発生源としているものと考えられる。⑤下支材などの橋梁部材という局所系では、自己の固有振動数と等しい振動数成分を選択し共振している。⑥最大加速度と列車速度との間に弱い正の相関がみられた以外は、振動特性の列車依存性は認められなかった。

以上より、列車通過に伴う振動に種々の橋梁の間で大きな差異を生む要因は、局所的共振の影響を除いてほとんどなく、送電設備の応答の問題とする上では、同種構造形式の鋼鉄道橋における振動として一般性が認められる。

3. 振動応答解析 実験振動(新柱川橋支間中央格点)のモーションモード解析法により、送電設備の応答をシミュレート($\Delta t = 0.05 \text{ sec}$)した。力学モデルは、振動が入力側から伝播して行くを追跡する様に3次元構造を平面分割し、各系独立の2次元自由度系に簡略化した。モード減衰定数は、鋼構造で $R_n = 0.02$ 、電力ケーブルで $R_n = 0.075$ (実験値)を用いた。〔結果〕入力振動が不規則かつ広範に成分を有しているため、測定結果と同様に、入力振動の中から応答上有意な固有振動と同一振動数の成分を選択して共振し、尖鋭なピークを形成した。特に、力学モデル相互の連成作用を解析上考慮し得た。このため、各力学モデルの共振点が重畳することにより、応答は極めて大きくなった。このため、ケーブルの支持間隔が広い場合(17.1m)もしくは低剛性の軸方向受梁(ケーブル1条当たり $EI < 10^9 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$, cf. ケーブル1条の $EI = 7 \times 10^7 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$)を介して支持した場合、ケーブル布設系の固有振動存在域に、これへの入力振動の卓越振動数域がラップするため共振が発生し(アルミ被の最大振動歪 $\varepsilon_{\max} = 300 \mu$)、所要の疲労寿命(30年)を確保できない結果となった。これに対し、ケーブルを高剛性の受梁に短支間($l = 0.9 \text{ m}$)で支持することと、最低固有振動を入力振動の卓越成分を超えた領域に移行させ($f_1 = 70 \text{ Hz}$)共振を避けることにより、応答量は伯減し($\varepsilon_{\max} = 100 \mu$)、所要の疲労寿命を確保し得ることとが判明した。

4. 模擬モデル実験 総武線(貨物)荒川橋に実物のケーブルを添架し、実橋を加振源とした振動実験を実施した。実験モデルは、電力ケーブル1回線添架し、重量比1/3に基く添架構造の有意な固有振動数を合わせた。

実験にて解析の近似性を検証した結果次のことが判明した。同振数特性では、実験結果は解析結果に比べて、ピークの卓越度が低くその前後の振動数成分はそれ程減衰せず残存した。卓越振動数は、鋼構造系とほぼ同等であるのに対し、ケーブル布設系では大きく異なるものもあった。応答量は、実験の方が全概に小さく約1/2であった。これらの差異は解析上の種々の仮定に因るものだが、実験結果では減衰性がかなり高いと推察されるため、これらの

要因全てを統括して減衰定数で代表させ、その操作で解析と実験との整合をはかったところ、鋼構造系において $\beta_n=0.10$ 程度で良い結果が得られた。 $\beta_n=0.02$ とは、一般の長支間橋梁で用いられるもので、割合低い振動数域に対応するのに対し、本件で問題となる振動数域は比較的高く ($\sim 60 \text{ Hz}$)、この結果は高周波振動の高減衰性という一般的知見を具体的に裏付けるものと考えられる。ただし、差異を生む諸要因 (模擬似る次元を構築する2次元モデル相互の連成作用、同位相同振幅入力の近似性、入力損失など) を統括した減衰定数があるためその本質から多少遊離しており、模擬モデル実験という特殊性を内包しているなど、即座に一般化できるものではないが、処方の便宜性は認められると考える。ケーブル布設系については、境界条件の見直し等による力学モデルの再構築並びに、応答特性のみを実験結果に合わせた数学的モデルの作成、等の方向で分析中である。

5 まとめ 標準的赤梁構造では、電力ケーブルを高剛性の受梁に短支間 (0.9 m) で支持するににより、解析上所要の疲労寿命が確保でき、その近似性も実験にて安全側にあることが確認できた。ただ安全性レベルについては必ずしも明確ではなく、特に赤梁構造の特殊な箇所が十分でないことから、実験結果をさらに分析し、解析手法の近似度を向上させ、赤梁全長に亘り、安全性レベルを確認する予定である。なお詳細設計では、振動現象及び疲労現象の不確実性に鑑み、入力レベルを直接低減させる方策として防振支承を考案し、赤梁専用橋の全支点に設置して信頼度を向上させた。本橋及び赤梁専用橋は、5/3製作完了、5/4~10架設予定である。

(参考文献) 村上、日向、下川；超高压地中送電線 (500 kV) の長大鉄道橋への赤梁計画 電力土木 (1988号)

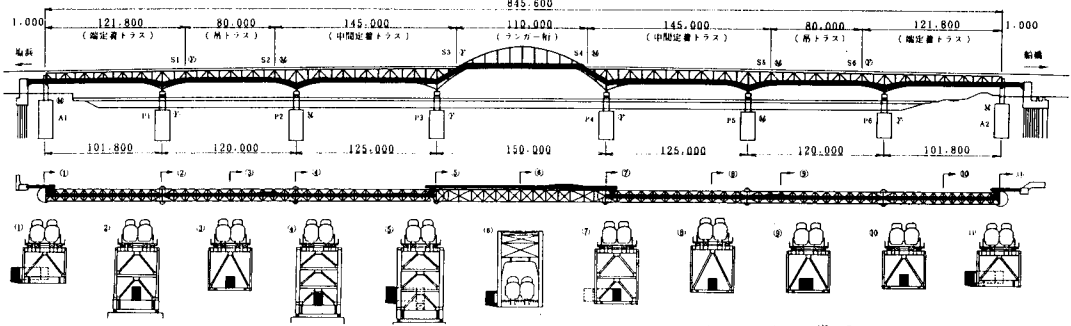


図-1 京葉線荒川放水路橋と送電設備赤梁概要

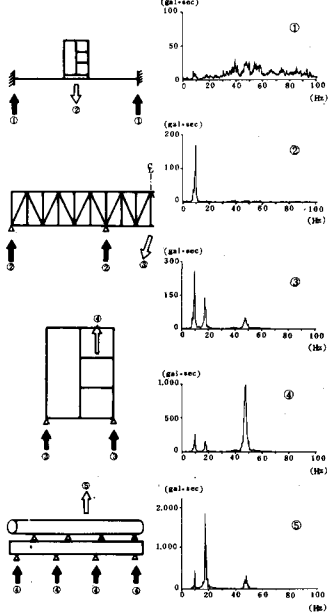


図-2 解析モデルと応答特性

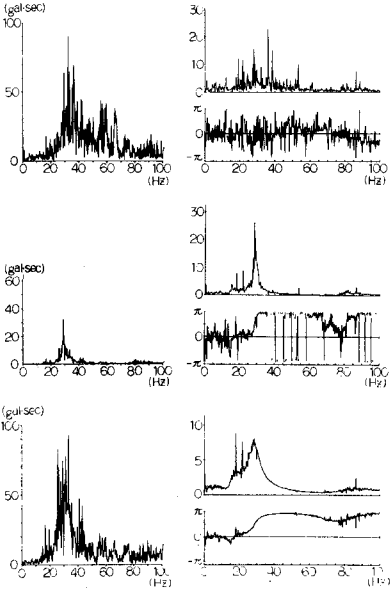


図-3 模擬モデル (鋼構造系) の実験と解析の比較

測定結果

$a_{max} = 811 \text{ gal}$
 $a_{max.e} = 529 \text{ gal}$
 $a_e = 127 \text{ gal}$

解析結果 ($\beta_n=0.02$)

$a_{max} = 1800 \text{ gal}$
 $a_{max.e} = 1918 \text{ gal}$
 $a_e = 450 \text{ gal}$

解析結果 ($\beta_n=0.10$)

$a_{max} = 876 \text{ gal}$
 $a_{max.e} = 744 \text{ gal}$
 $a_e = 176 \text{ gal}$

(a_{max} : 最大加速度)
($a_{max.e}$: " 解析値)
(a_e : 加速度実知値)