

## 強制振動中の長大斜張橋上における鉄道車両の走行安定性

大阪大学工学部 正員 小松 定夫  
大阪大学工学部 正員 〇川 谷 充 郎

1. まえがき 構造物の風による振動現象の内、パフエッティングなどの強制振動については、その発生が直ちに構造物の崩壊につながらないとは言え、設計風速以下の比較的低風速域で発生することよりその発生頻度が高く、構造物の使用性および部材の疲労の面から十分な配慮が必要である。本研究においては、これまで明確にされていなかった橋梁の風による強制振動中の振幅の許容限界を、使用性の立場として、鉄道車両の走行安定性の観点から考察する。即ち、風により強制振動を起こしている長大斜張橋上を新幹線車両が高速で通過するときの走行挙動を、振動理論により解析しその安定性を検討する。対象橋梁構造として図-1に示すようなトラス型式長大斜張橋モデルを用いる。

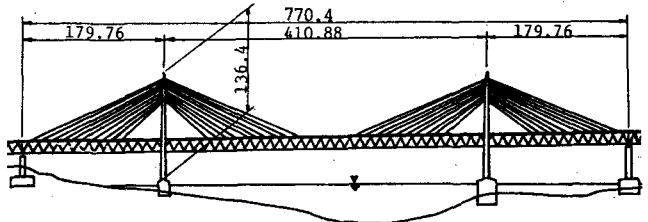


図-1 トラス型式斜張橋モデル

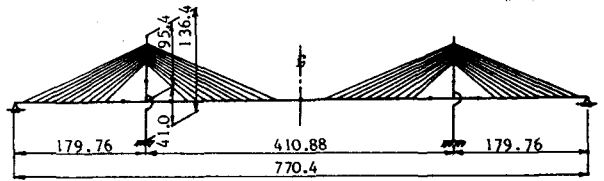


図-2 解析モデル

2. 解析手法および解析モデル 斜張橋と走行荷重の連成振動解析の手法としては、斜張橋全体を平面構造の離散質量系に理想モデル化し(図-2)、マトリックス変位法により強制振動方程式を導く。新幹線車両については、車体と前・後台車の上下動とピッチングを考えた6自由度系モデルとして扱う(図-3)。パフエッティングにおけるような強制空気を正弦関数で次式のように仮定する。

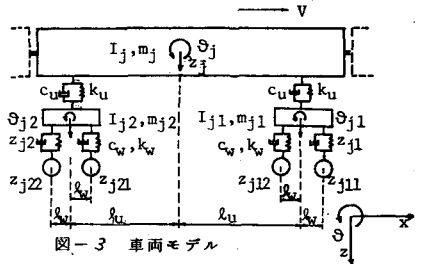


図-3 車両モデル

ここで、 $\omega$ : 橋の固有円振動数。  
また、車両に対しては平均風速にガストファクターを掛けた風速を作用させて、ローリング回転中心回りにモーメントが作用すると仮定する。このような風による変動外力を考慮して、一般モード法により橋梁と走行車両の連成振動方程式を誘導し、これを逐次積分して動的応答を求め、車両の走行安定性を輪重減少率 $\Delta P/P$ により評価する。

$$F = A_F \sin \omega t$$

表-1 斜張橋解析モデルの構造諸元(トラス1橋面当り)

| 構造諸元                     |                                                  | 中央径間長 (m)                  | 410.88 |
|--------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|--------|
| 主桁                       | 断面積 (m <sup>2</sup> )                            | 0.225 ~ 0.370              |        |
|                          | せん断変形に対する換算断面積 (m <sup>2</sup> )                 | 0.0242                     |        |
|                          | 断面2次モーメント (m <sup>4</sup> )                      | 10.86 ~ 17.55              |        |
|                          | 単位長当り重量 (t/m)                                    | 17.08                      |        |
| 塔                        | 断面積 (m <sup>2</sup> )                            | 0.480 ~ 1.240              |        |
|                          | 断面2次モーメント (m <sup>4</sup> )                      | 1.280 ~ 5.530              |        |
|                          | 単位長当り重量 (t/m)                                    | 7.0                        |        |
| ケーブル                     | 断面積 (m <sup>2</sup> )                            | 上3段 0.02904<br>下7段 0.02240 |        |
|                          | サグを考慮した弾性係数 (x10 <sup>7</sup> t/m <sup>2</sup> ) | 1.41 ~ 1.59                |        |
|                          | 断面積 (m <sup>2</sup> )                            | 0.150                      |        |
| リンク                      | 単位長当り重量 (t/m)                                    | 1.178                      |        |
|                          | 減衰定数                                             | 0.01                       |        |
| (桁高) / (中央径間長)           |                                                  | 0.0339                     |        |
| 曲げ剛性とせん断剛性の比 $EI/GA L^2$ |                                                  | 3.42                       |        |

注) \*:  $EI$ —平面保持の仮定に基づき、上・下弦材断面積とトラス高さより算出  
 $GA$ —トラス横断面パネルの間に生ずるせん断変形と等価な変形を生ずる  
平板のせん断剛性

$L$ —トラスのパネル長

表-2 車両モデルの諸元

|      | 自由度                     | 慣性記号      | 慣性諸量            | 備考       |
|------|-------------------------|-----------|-----------------|----------|
| 車体   | 上下動 ( $z_j$ )           | $m_j$     | 1.871 $ts^2/m$  | 半車体当り    |
|      | ピッチング ( $\theta_j$ )    | $I_j$     | 87.28 $ts^2m$   |          |
| 台車わく | 上下動 ( $z_{jl}$ )        | $m_{jl}$  | 0.671 $ts^2/m$  | / 台車わく当り |
|      | ピッチング ( $\theta_{jl}$ ) | $I_{jl}$  | 0.484 $ts^2m$   |          |
| 輪    |                         | $m_{jlm}$ | 0.2985 $ts^2/m$ | / 輪軸当り   |

ここで、斜張橋の解析モデルとして、トラス主橋とせん断変形の影響を考慮した仮想の桁に理想モデル化するが、本解析モデルの有効性については既に検証済である。<sup>2), 2)</sup>

**3. 解析結果** 本解析に用いた斜張橋モデル(図-2)の断面諸量を表-1に掲げる。鉄道車両モデル(図-3)の諸元を表-2に掲げる。走行速度は160 km/hr および 200 km/hr とした。また、風荷重に関して  $A_F = 0.175 \sim 0.350 \text{ t/m}$  とする。(1)図-4, 5 および 6 は横軸に走行時間と、縦軸に後台車前軸の輪重変動を示している。

図-4 は風荷重を作用させずに走行させたもので、図-5, 6 は側径間と中央径間とで風外力を逆位相および同位相で作用させたものである。これらの図を比較して、風外力の輪重減少率に及ぼす影響の大きいことが分かる。(2)これらの図より、輪重減少率が最大となるのは、走行車両下の主桁変位が最大となる中央径間中央部付近を車両が通過するときである。即ち、主桁の動的応答が輪重減少率に大きく影響している。このことは、図-7 に示すように、中央径間1/2点での最大変位  $y_{max}$  とそのときの最大輪重減少率とがほぼ比例関係にあることから明らかである。(3)輪重減少率0.8と鉄道車両の走行安定性評価の基準の一つとされているが、たわみ強制振動に起因する主桁の動的変位がこの程度の輪重減少率にかなりの影響を及ぼすことが判明した。(4)自然風ガストによる車体のローリングに基づく輪重減少率について、平均風速にガストファクターを掛けた風速を作用させると、 $\Delta P/P \approx 0.25$  となる。これは強制振動による輪重減少率より小さい値である。

**4. わすび** 主桁の最大動的変位が約40 cm になると、鉄道車両の安定走行限界である輪重減少率0.8に達することが分かった。最後に本研究における数値計算に御協力いただいた当時大阪大学工学部工学科学生、井元 康太郎(現在岡山県)に対して感謝致します。

**参考文献** 1) 小松・川谷: 斜張橋の自由端における動的応答と側風影響係数に関する研究, 土木学会報告, 第275号, 1977 2) 小松・岡田・川谷: 大桁橋(172m斜張橋)の風振動実験, 橋梁工学, 1979.5 3) 小松・川谷: 172m斜張橋の走行速度による動的応答率について, 土木学会報告, 第275号, 1979.6

|       | 記号    | 諸元          | 備考       |
|-------|-------|-------------|----------|
| 軸ばね   | $k_w$ | 113.6 $t/m$ | / 軸片側当り  |
|       | $c_w$ | 1.5 $ts/m$  |          |
| まくらばね | $k_u$ | 42.5 $t/m$  | / 台車片側当り |
|       | $c_u$ | 2.0 $ts/m$  |          |

| 記号       | 諸元           |
|----------|--------------|
| $l_w$    | 1.250 $m$    |
| $l_u$    | 8.750 $m$    |
| $l_{bw}$ | 1.050 $m$    |
| $l_{bu}$ | 1.225 $m$    |
| $e$      | 0.904 $m$    |
| $A$      | 66.950 $m^2$ |

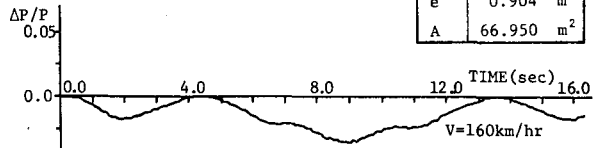


図-4 輪重変動(変動風荷重なし)

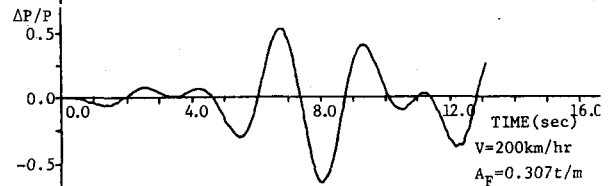


図-5 輪重変動(風荷重は側径間と中央径間とで逆位相)

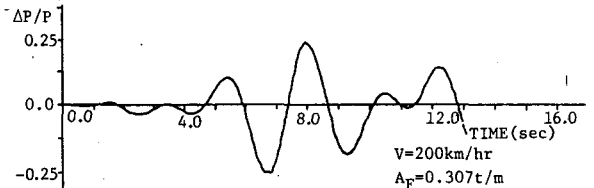


図-6 輪重変動(風荷重は側径間と中央径間とで同位相)

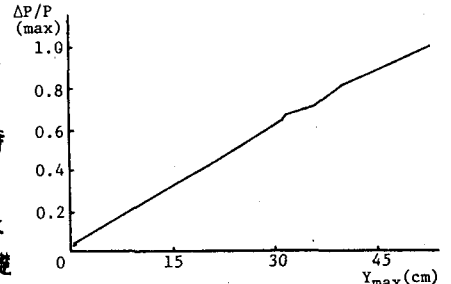


図-7 中央径間中央部の動的最大振幅と輪重減少率