

1. はじめに 長大吊橋に列車を走行させるために解決せねばならない問題の一つに、主塔部と橋台部に生じる角折れ現象がある。角折れ部における走行性を確保するため、緩衝装置により角折れを数個に分散させることが計画されている。このような方式が成立するかどうかは併用吊橋の基本設計にも関する重要な問題である。この内、主体をなす鉛直角折れに対する走行性についてはすでに詳細な検討が行われ、緩衝装置設計上の基本的条件が提示された<sup>1)</sup>。一方、水平角折れあるいはそれに鉛直角折れが複合する場合の走行性については主として実験的に研究がなされてきた<sup>2)</sup>が、松浦と筆者はそれと並行して理論解析を進めてきた。その結果多くの事柄が明らかにされ、長大吊橋の複合折れ角限度について概略の数値を把握することができた。<sup>3)~5)</sup> その概要を報告する。なお対象車両は在来線を代表するものとして二軸貨車、ならびに新幹線車両である。

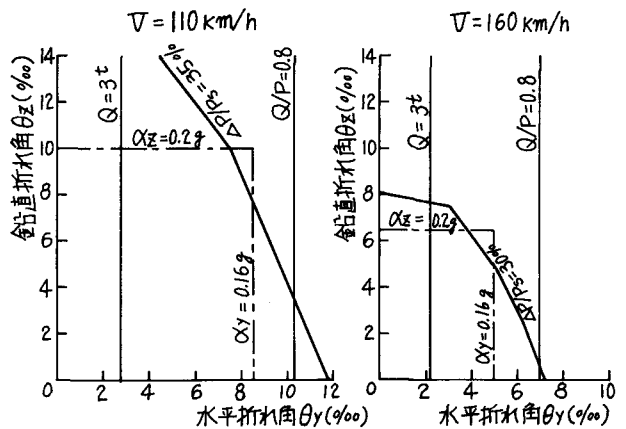
2. 理論解析の概要 水平角折れに進入した車両は、その慣性により進入前の進行方向を保とうとするため、輪軸と軌道の間には相対変位を生じる。これが遊間を越えるとフランジ接触が起り、その反発作用ならびに踏面勾配に従って左右の有効車輪径が増減するための効果により、輪軸と角折れの方に動かそうとする作用が生まれる。本論では蛇行の安定論で用いられる微小振幅の線形運動方程式に、クリアカルの非線形性とフランジ接触による反発作用を加味し、さらに上下動を加えた大振幅の非線形運動方程式を適用して理論解析を行った。車両はいずれも1車両全体を対象とし、二軸貨車は車体と輪軸、新幹線車両は車体・台車・輪軸がばね(一部に非線形性も導入)とダンパにより結合された構造としてモデル化した。運動自由度については省略を行わず、二軸貨車は9自由度、新幹線車両は23自由度のモデルとした。この運動方程式を数値積分して角折れ走行による車両応答をシミュレーションし、横圧Q、脱線係数Q/P、輪重減少率 $\Delta P/W$ 、乗心地などの応答特性値を計算した。

3. 単一角折れの折れ角限度 二軸貨車に対する折れ角限度を表1に示す。速度は最高速度75km/hである。脱線係数は限度値を0.8とすると相対的に問題にならないので省略した。輪重減少率と横圧の許容値は通常の軌道狂いの影響を勘案して全量が十分な信頼度で限度値に収まるように求められたものである。しかしこの判定限界は絶対的なものではなく、折れ角限度もあくまで試算である。新幹線車両に対する折れ角限度を図1に示す。輪重減少率の許容値は二軸貨車と同様な考え方に基づき求められたものである。横圧については設計最大横圧6tの1/2を暫定的に許容値とした。乗心地については全国新幹線網建造物設備標準のそれと等しく上下振動0.2g、左右振動0.16g(片振幅)を許容値とした。図1からいかなる応答特性値が優先されるかを比較することができる。

表1 単一角折れの折れ角限度(二軸貨車)

	V = 75 km/h			
	輪重減少率		横 圧	
	$\leq 20\%$	$\leq 30\%$	$\leq 2.3t$	$\leq 3.1t$
水平角折れ	$\theta_y \leq 7.0$	$\theta_y \leq 10.0$	$\theta_y \leq 6.1$	$\theta_y \leq 8.8$
鉛直角折れ (人形)	$\theta_x \leq 9.6$	$\theta_x \leq 14.0$		
複合角折れ	$\theta_y \leq 7.0$ $\theta_x \leq 5.0$	$\theta_y \leq 7.3$ $\theta_x \leq 10.0$	$\theta_y \leq 6.1$ ( $\theta_x$ の影響は小)	$\theta_y \leq 8.8$

図1 単一角折れの折れ角限度(新幹線車両)



4. 連続水平角折れ区間の走行性 水平角折れが同一方向に等間隔で連続する、連続水平角折れ区間の走行性について検討した。一般論として運動方程式、すなわち微分方程式の解は自励項と強制項の和として与えられる。連続水平角折れ区間を走行する車両には周期的にかく乱が作用し、その間にかく乱により発生した蛇行動を起こしながら直線軌道上を走行する。ここで生ずる蛇行動は角折れにより強制的に引き起こされたものではあるが、車両固有の自励振動の特性も有しており、自励振動論と密接に結びついている。したがってこの場合は自励項、強制項のいずれも重要な要素である。そこで走行速度と角折れ間隔をパラメータにして解析を行い、周期的かく乱作用に対する車両の挙動について検討した。図2は二軸貨車について検討した結果である。1個所当りの折れ角を5%とし、オ4角折れまでの応答から最大値を拾い出し、角折れ間隔に対して整理したものである。横圧と脱線係数のピークはヨーイング、輪重減少率のピークは下心ロリーングをそれぞれ主体とする車体蛇行動が共振状態に達することによるものである。このような現象が生じても即脱線に結びつく可能性は小さいが、角折れ間隔としてはできればそのような不安定な現象が生ずる範囲を避けた方が無難である。角折れの分散の効果も考え合すると10~16mの間隔が最も適切であり、この範囲では単一角折れとして扱うことができる。

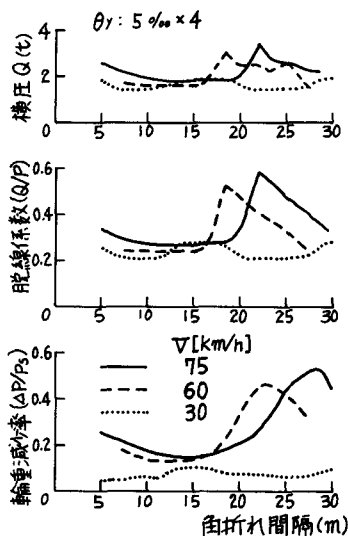


図2 角折れ間隔の影響

一方、新幹線車両については二軸貨車と異なり自励的に不安定となる心配は全速度領域にわたり全く無く、また強制振動的に車体蛇行動が大きくなることも緩衝装置の実用的角折れ間隔の範囲内では生じない。したがって新幹線車両に対する適切な角折れ間隔は分散の効果という観点から決まり、計画速度を160km/hとした場合、15m以上とすれば単一角折れとして扱うことができる。

5. 緩衝装置を用いた場合の長大吊橋の折れ角限度 吊橋の角折れは鉛直角折れが主体で、風荷重による水平角折れは二次的なものである。それ中之緩衝装置の設計では鉛直角折れの分散に主眼が置かれ、それに附随して補足的に水平角折れの影響を考慮することになる。2ヒンジ形式吊橋では主塔部に大きな角折れが発生する。例えば本州四国連絡橋では、列車の走行性を考慮する必要がある最大角折れは鉛直40%（Λ形）、水平20%と推定されている。本論ではこの折れ角を限度として、渡り桁方式により等間隔で4等分散させる場合について、想定した計画速度に対して許容し得る最大複合折れ角と適切な角折れ間隔について総合的な検討を行った。その結果以下の専柄が明らかになった。

二軸貨車については、鉛直40%、水平20%の極めて大きな角折れも最高速度75km/hに到るまで十分安全に走行可能である。角折れ間隔としては分散の効果と中速における車体蛇行動の成長防止の観点から15m程度が最も適切である。新幹線車両については、鉛直40%、水平20% に対しては70km/hまで減速することが望ましい。角折れ間隔は10m以上とすれば十分である。また速度110km/hの場合は鉛直40%、水平10%、速度160km/hの場合は鉛直20%、水平10% が乗心地も含めて安全に走行可能な概略の限度値である。この場合の角折れ間隔は15m以上とするのが望ましい。

参考文献

- 1) 緩衝桁上の列車走行性、本州四国連絡橋の列車走行に関する研究(昭和48年度走行分科会中間報告書)
- 2) 実車による走行安全性試験、本州四国連絡橋の列車走行性に関する研究(昭和47年度中間報告書)
- 3) 本州四国連絡橋の列車走行に関する研究(昭和50~52年度走行分科会中間報告書) 比上日本鉄道施設協会
- 4) 松浦章夫・涌井 一：二軸貨車の走行性からみた長大吊橋の折れ角限度、鉄道技術研究報告N0.1086, 1978年7月
- 5) 涌井 一：新幹線車両の走行性からみた長大吊橋の折れ角限度、鉄道技術研究報告N0.1087, 1978年7月