

(84) 「ツインリンクもてぎ」オーバルコースPC橋の設計

大日本土木(株) PC技術室 正会員 ○渡邊 巧
 同 上 東京土木支店 正会員 長谷 隆充
 同 上 PC技術室 正会員 中井 督介
 同 上 PC技術室 正会員 坂井 隆之

1. はじめに

栃木県芳賀郡茂木町に建設された「ツインリンクもてぎ」は、ロードコースとオーバルコースの2つの異なる種類のコースを併せ持つ国際的サーキット場である。コースには2ヶ所の立体交差があり、それぞれPC橋梁によって、ロードコースをオーバルコースが跨ぐ形式となっている。

オーバルコースは最大10度の横断勾配を持ち、また競技車両は300km/h以上の高速で走行する。PC橋梁上を300km/hの高速で走行した例は今までに無く、橋梁の動的挙動が競技車両に与える影響が心配された。

本稿ではオーバルコース上のPC橋梁2橋のうちファーストアンダーブリッジについて、8~12%の横断勾配が橋体に与える影響、また、競技車両が高速で走行した場合の橋梁の動的性状及び車両走行性の検討結果を報告する。

2. 構造概要

図-1に平面図を示す。本橋はコース部分と管理用道路より構成している。コース部分については走行性を考慮してすべて一体としているが、コース部分と管理用道路の間には目地を設け、構造上分離している。また、A1橋台側とA2橋台側では斜角が異なるため、桁長および支間長も各ウェブ毎に異なる。

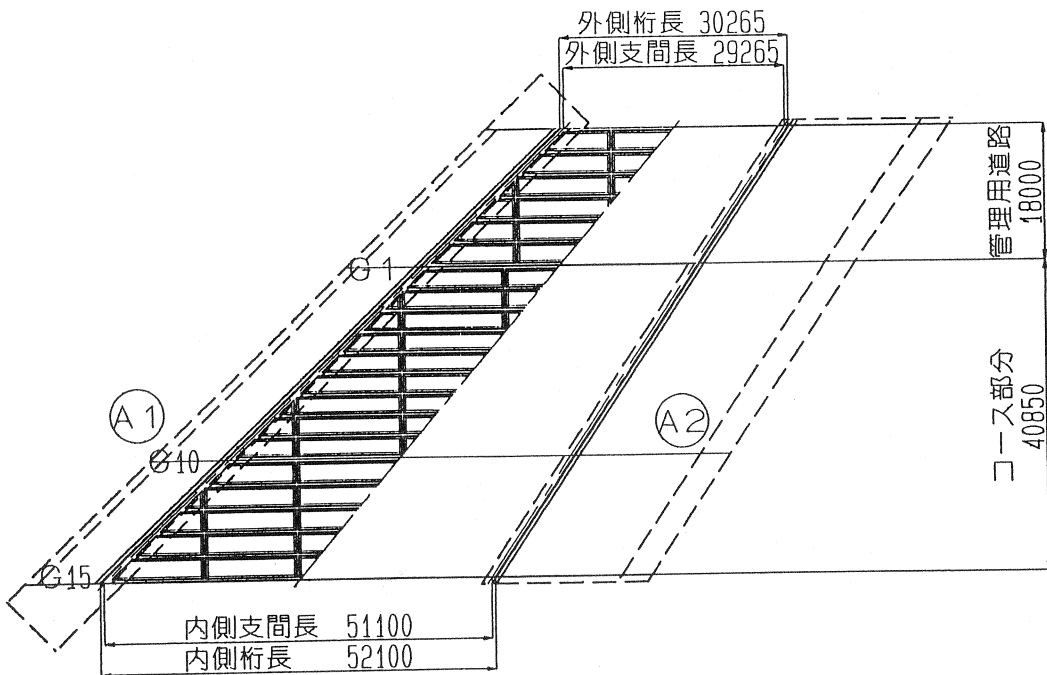


図-1 ファーストアンダーブリッジ平面図

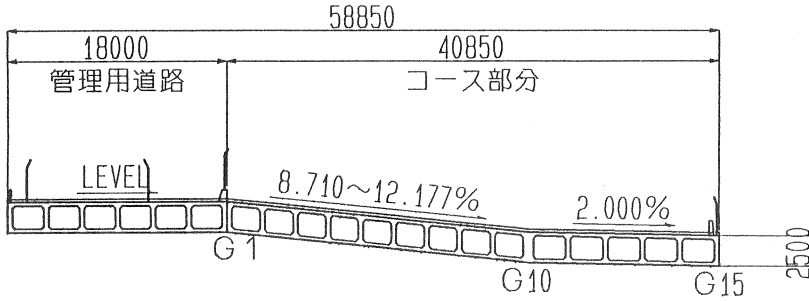


図-2 ファーストアンダーブリッジ断面図

図-2に断面図を示す。本橋はオーバルコースの半径160mカーブの進入手前に位置するため、コース内においては路面横断勾配が変化する。橋梁形状の決定においては橋面舗装によってこの横断勾配の変化に対応させる方法も考えられるが、舗装荷重が大きくなり構造上困難であるため、躯体形状によって横断勾配の変化に対応するものとした。なお、橋梁支持地盤は軟岩である。

3. 設計計算

本橋は広幅員であるため荷重の橋軸直角方向への分布について正しく評価する必要がある。解析方法としては、版としての解析や格子桁としての解析が考えられるが、データの扱い易さ等を考慮して本橋ではウェブおよび横桁を軸線とする格子桁解析により断面力を算出するものとした。

また、本橋の場合、通常の道路橋に比べて横断勾配が大きいため、横断勾配が小さい場合とは異なる断面力分布が現れることが考えられる。そこで、準備計算として立体格子桁解析および平面格子桁解析により断面力を算出し、両者の相違を検討した。

図-3に両者の計算結果(橋体自重による曲げモーメント分布)を示す。G1桁(最外桁)では両者には全く差が現れなかった。G10桁(横断勾配が変化する桁)では若干の差がみられるが、差は5%程度であり、設計計算上特に問題となる差ではないと判断できる。

本橋の設計ではこの傾向が他の荷重でも同様であると考え、解析が簡易な平面格子桁解析により断面力を算出した。また、プレストレスによる内・外桁のたわみ差に起因する2次力についても平面格子桁解析によって求めた。

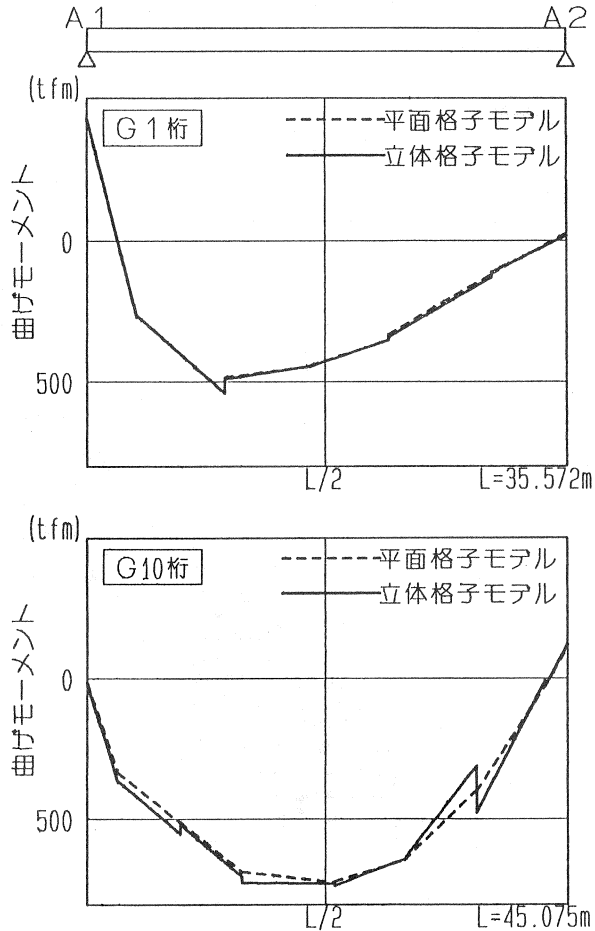


図-3 格子桁解析による計算結果

4. 車両走行性の検討

4-1 解析概要

本検討では、橋梁の動的挙動のみでなく走行車両の動的挙動も把握する必要がある。解析には、高速走行時の走行車両と橋梁との動的相互作用を考慮することが可能な解析プログラム「鉄道車両と線路構造物との動的相互作用解析シュミレータ(DIASTARS)」¹⁾を用いた。

橋梁のモデル化には板(シェル)要素を用いた。曲げ剛性は「ファーストアンダーブリッジ」の設計から得られた断面2次モーメントと等価な版厚を用いてモデル化し、荷重データは総重量が実構造物と等しくなるような単位体積重量を設定した。解析に用いたモード次数は7次とし、減衰定数は0.02とした。競技車両の走行パターンは、静的載荷において最も大きな橋梁のたわみが生じるフル載荷状態のパターンと見なすことができるフォーメーションラップ時とした。1車両重量は3tfとし、解析ではこれが300km/hで走行するものとした。モデル図および走行パターンを図-4に示す。これらにより、橋梁の動的たわみおよび走行車両の車体動揺(車両中心の鉛直応答加速度)と輪荷重変動を求めた。

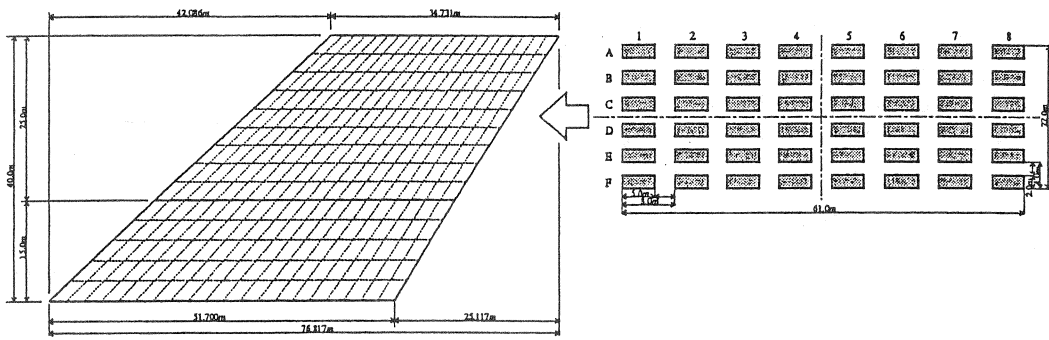


図-4 ファーストアンダーブリッジモデル図、走行パターン図

4-2 検討結果

(1) 橋梁の固有振動数

「ファーストアンダーブリッジ」のモード変形図を図-5に、モード振動数を表-1に示す。基本固有振動数である1次モードの固有振動数は3.2Hzであることが分かる。これに対し、同じ桁高スパン比の単純桁橋の固有振動数は2.3Hzと算定される。ここで、単純桁の固有振動数 f は次式により算出した。

$$f = \pi / (2 \cdot L) \cdot (EI \cdot g / D)^{1/2}$$

L : 斜橋の平均スパン EI : 部材の曲げ剛性

g : 重力加速度 D : 単位長さ当たりの死荷重

「ファーストアンダーブリッジ」の固有振動数は、同じ桁高スパン比を有する単純桁と比較すると、固有振動数が1Hzほど高くなる事が分かる。このことは、高速走行車両を支える橋梁としては有利な方向であるといえる。

表-1 モード振動数

モード数	固有振動数
1	3.2
2	5.2
3	7.6
4	11.0
5	14.7
6	16.5
7	19.4

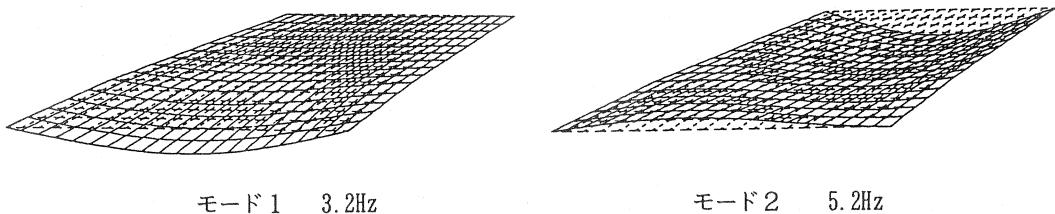


図-5 モード変形図

(2) 支間中央のたわみ

図-6に短辺支間付近の支間中央のたわみを示す。支間中央のたわみの最大値は、0.468mmで短辺(G1桁)の支間中央で生じている。短辺支間長と同等の支間を有し、同じ剛性の単純桁橋のたわみ量は0.5mmである。競技車両の走行によるたわみは、単純桁橋の静的なたわみ量とほぼ同じであると判断できる。

(3) 車両重心位置での鉛直加速度

図-7にD列の1番目の車両の車体重心位置での鉛直方向応答加速度 αV を示す。D列における車体重心位置での鉛直加速度の最大値は、 0.0147m/s^2 と計算され、非常に小さい値である。

競技車両の振動数を簡略的に $f=v/L$ (v :速度、 L :支間)とすると、 $f=(300/3.6)/34.73=2.40\text{Hz}$ と計算される。自動車および鉄道車両の乗り心地基準として用いられているJanewayの乗り心地基準に照らすと、振動数2.40Hzに対する乗り心地係数1(非常によい)の場合の限界加速度は、 $0.2 \times 9.8 \times 1/2.40=0.82\text{m/s}^2$ と算出される。これらより、「ファーストアンダーブリッジ」のたわみによる車両加速度は、乗り心地から判断して走行性上問題とならないことが分かる。

(4) 輪荷重変動率

図-8にD列の1番目の車両の後輪の輪荷重変動率($\Delta p/P_s$)を示す。 $(\Delta p/P_s)$ は、輪荷重変動(動輪荷重と静輪荷重の差: $P_d - P_s$)を静輪荷重 P_s で除した値である。

これより得られた輪荷重減少率の最大値は5.3%であり、走行性上問題となる値ではないと考えられる。

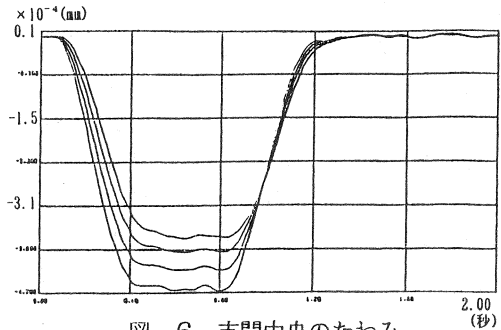


図-6 支間中央のたわみ

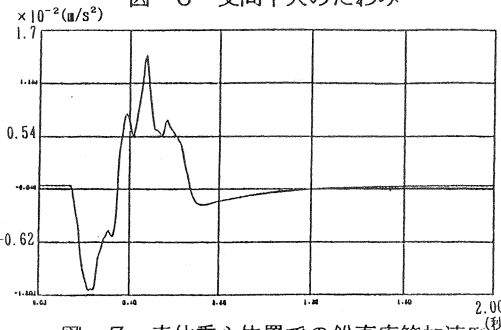


図-7 車体重心位置での鉛直応答加速度

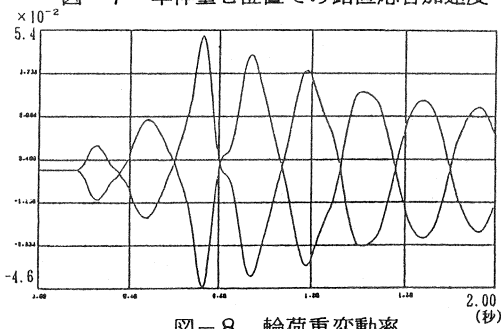


図-8 輪荷重変動率

5. まとめ

- (1) 横断勾配が橋体に与える影響は小さく、平面格子桁解析により設計を行っても問題はなかった。
- (2) 橋梁の固有振動数は、3.2Hzとなり、平均支間長と同等の単純桁の基本固有振動数と比較した場合、約1Hzほど高くなる結果が得られた。
- (3) フォーマションラップ走行時における橋梁支間中央の最大たわみは短辺支間で生じており、0.5mm程度である。短辺支間長と同等の単純桁のたわみと比較すると、ほぼ同じである結果が得られた。
- (4) 車両重心位置での鉛直方向加速度の最大値は、 0.0147m/s^2 であり、橋梁走行時の走行安定性は非常によく、橋梁のたわみが走行安定性に支障をきたすことはないと考えられる。
- (5) 輪荷重減少率(輪荷重変動/静輪荷重)の最大値は、5.3%であり、車両の走行に問題とならない値であると考えられる。

以上より、競技車両の高速走行による橋梁の動的応答は、橋梁のたわみからも、車両の走行性に与える影響からも問題ないものと判断できる。

参考文献 1) 涌井、松本、松浦、田辺：鉄道車両と線路構造物の連成応答解析法に関する研究、土木学会論文集、No. 513/1-31, pp. 129~138, 1995. 4.