

新幹線連続 PC 橋梁の側径間拡張に伴う桁のたわみ対策

(独) 鉄道・運輸機構 正会員 ○進藤 良則
 (独) 鉄道・運輸機構 正会員 井上 翔
 (株) 千代田コンサルタント 正会員 西澤 知孝

1. 目的

高速で走る新幹線は、大きな曲線半径と緩い縦断勾配でルートが敷かれるため、河川・道路・鉄道と鋭角で立体交差する橋梁が多い。河川を渡る橋梁は、堤防内にピアアバットが設置できずに 2H ルールが適用されると側径間が更に長くなる。設計標準には走行安全性および乗り心地を確保するために桁のたわみ制限値、鉄道事業者が軌道の維持管理のために定めた軌道整備目標値があり、径間長の拡大に対して設計時に桁の剛性確保のみで両者に対応することは困難である。本稿は、連続 PC 橋梁の設計段階で桁のたわみ、および軌道変位の低減策を紹介する。

2. 河川との交差

河川橋梁の構造計画は、河川管理施設等構造令 第 63 条に基づき、径間数、径間長、河積阻害率（新幹線は 7%以下、やむを得ない場合は 8%以下）、近接橋の特則¹⁾にしたがって実施している。さらに、図-1 に示すように堤内地側の橋脚位置は、低水路の河岸法肩および堤防法先から 10m（計画高水流量 500m³/sec 未満は 5m）以上離し、堤防法面延長線の下側には杭を除くフーチングを設置できない 2H ルール²⁾の規定がある。このため、堤体を乗り越すために側径間が長くなり、単純桁では桁高も高く、堤防管理用道路の建築限界を確保できないために連続 PC 橋梁にすることがある。

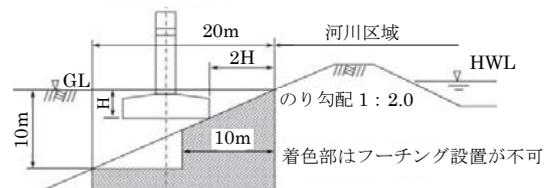


図-1 2H ルールの規定



図-2 河川との交差例

連続 PC 橋梁の支間長は、中央径間長に対する側径間長の比（以下、側径間比）が 7 割程度が均整のとれた構造とされている。図-2 (a)は、連続ラーメン橋の北陸新幹線手取川橋梁（石川県能見郡川北町）である。支間長は 75+82+75m, 78+2@83+78m, 側径間比は 0.91~0.94 であり側径間が長い。図-2 (b)は、ピアアバットとした連続ラーメン橋の九州新幹線大野川橋梁（熊本県宇城市）である。支間長は 30+2@113+30m, 側径間比は 0.27 であり側径間が短い。側径間が短いと列車が中央径間に載ったときに側径間がそり上がり、端支点部に負反力が生じるため、大野川橋梁の側径間は桁端側 5 割を充実断面としている。これにより側径間および中央径間のたわみが低減するため、乗り心地を確保する観点では有利となった。これについては、4 章で述べる側径間が長い橋梁が端支点部で軌道変位の照査が特に厳しくなる事象とは対照的である。

3. 活荷重による桁のたわみ

橋梁の性能項目には、列車が安全に走行するための走行安全性、乗り心地を確保するための使用性があり、新幹線の橋梁は、照査指標であるたわみの限界値が在来線よりも厳しい。たわみの限界値は「鉄道構造物等設計標準 変位制限³⁾」（以下、変位標準）に示されている。表-1 は乗り心地から定まるたわみの限界値である。

たわみの応答値は、主に列車荷重の静的な応答と列車走行に伴う動的な応答があり、静的な応答に対する動的な応答倍率の設計値が衝撃係数である。したがって、衝撃係数が大きい桁は、たわみが大きくなる。動的な応答には、速度効果と車両動揺があり、構造計画で重要になるのは列車と桁の共振に伴って応答が増幅する速度効果の衝撃である。列車と桁の共振に対する影響因子は、最高速度、車両長 L_v 、桁のスパン L_b 、桁の固有振動数である。

キーワード 構造計画, 2H ルール, 新幹線, PC 橋梁, たわみ, 衝撃, 軌道変位

連絡先 〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1 (横浜アイランドタワー) TEL : 045-222-9082

表-1 乗り心地から定まる桁のたわみの限界値³⁾

| 車両種別 | 最高速度 (km/h) | 桁または部材のスパン L_b (m) | | | | | |
|---------|----------------|----------------------|------------|----|----|----|-----------|
| | | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70~ |
| 電車・内燃動車 | 130 | $L_b/900$ | | | | | $L_b/700$ |
| 新幹線 | 260 | $L_b/2200$ | $L_b/1700$ | | | | |

表-2 軌道整備目標値の例 (高低変位)

| 種別 | 10m弦 | 20m弦 | 40m弦 |
|-----|---------------------|--------------|------------------|
| 在来線 | $\pm 13\text{mm}^*$ | — | — |
| 新幹線 | $\pm 7\text{mm}$ | +5mm -7mm | $\pm 7\text{mm}$ |

※最高速度 120km/h 以上の線区

衝撃係数は、最高速度が高く、固有振動数が小さく、 L_b/L_v が整数倍のときに大きくなる傾向がある。固有振動数を高めて衝撃係数を下げるには、桁高を高くして桁剛性を上げて対応する。連続桁の衝撃係数を算定する際の固有振動数は、固有値解析で得られた値を適用するのが一般的である。

4. 軌道変位と桁のたわみ

鉄道の PC 橋梁は、桁のたわみ、温度、クリープ変形が乗り心地、軌道保守に影響を与える。PC ラーメン橋やエクストラード橋などスパンが長い橋梁は、活荷重による桁のたわみが変位標準の限界値以内であっても、乗り心地や軌道保守の面で好ましくない場合がある⁴⁾。

軌道変位は、軌道検測車を走らせて 10m 弦高低 (10m の糸をレールにあてたときの中点での糸とレールとの離れ) を測定するが、測定値には軌道自体の変位および列車走行に伴う動的な変位が含まれている。軌道保守の要否は、測定結果を 40m 弦高低に変換した値と表-2 に例として示した軌道整備目標値を比較して判断するため、変位標準の限界値とは別に定められていることになる。

図-3(a)は、エクストラード橋の北陸新幹線細坪架道橋 (石川県加賀市)、支間長 92+155+92m、側径間比 0.59 に対する 40m 弦高低の照査例である。中央径間のたわみは、変位標準の限界値 91.12mm に対してクリープ終了時の活荷重作用時が 53.21mm、40m 弦高低の計算値は 7.33mm である。起点側の単純 PCT 桁を含めた 40m 弦高低の計算値は、桁端で 7.68mm である。たわみは変位標準の限界値を満たしているが、両箇所軌道整備目標値の $\pm 7\text{mm}$ を超えている。そこで、図-3(b)に示すように活荷重に対するたわみ相当分を路盤鉄筋コンクリート (以下、路盤 RC) 施工時、軌道敷設時あるいは両方で軌道面を上げ越すことで軌道整備目標値を満たすことができる。軌道変位は連続して測定されることから、変位標準のたわみの照査に加え、設計段階で隣接桁を含めた 40m 弦高低の検討の必要性を図-3 は示している。

5. まとめ

スパンの長い新幹線 PC 橋梁は、変位標準によるたわみの照査に加え、隣接桁を含めた 40m 弦高低の検討を行うことで、橋梁の長期変形に対応した設計が可能である。一方、桁の剛性確保に伴う桁高の過大な増加は、基礎の負担、工事規模の増大、施工時の安全性確保など建設事業の負担が増える。これを軽減するためには、設計段階で活荷重作用時の軌道変位を低減した路盤 RC および軌道面の上げ越しを検討しておくことが必要かつ有効である。

参考文献

- 1) 国土開発技術研究センター編：改定解説・河川管理施設等構造令，2000。
- 2) 建設省：堤内地の堤脚付近に設置する工作物の位地等について，河治発第 40 号，1994。
- 3) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限，丸善，2006。
- 4) 下津，玉井：整備新幹線における長大橋りょうのたわみの検討について，第 18 回鉄道工学シンポジウム，2014。

