



中国とドイツの高速鉄道橋の発展と課題における成果報告（後編） — A Brief Review of Developments and Challenges for High-speed Rail Bridges in China and Germany —

著：Miao Su, Gonglian Dai, Steffen Marx, Wenshuo Liu, Sisi Zhang
訳：会誌編集委員会海外部会

中国、ドイツは高速鉄道橋の建設実績を多くもつ国である。両国では、鉄道橋の標準化した設計と施工方法により高速鉄道を急速に整備し、成功を取めてきた。それにもかかわらず、高速鉄道橋の継続した発展により、設計概念とエンジニアリング技術から新たな課題が明らかとなってきた。本稿では、中国とドイツの高速鉄道橋における最近の動向を紹介し、軌道構造と橋梁の発展について概説する。また、軌道構造における統合的な設計概念を示す過程で、直結軌道や上下部一体構造橋梁について紹介する。高速鉄道橋における発展の動向では、さらなる長支間化、橋体自重の削減、および鉄道の高速度を含む内容について報告する。後編では、今後の高速鉄道橋の課題について報告する。

キーワード：高速鉄道，鉄道橋，直結軌道，統合的な設計概念，発展

3. 今後の高速鉄道橋の課題

3.1 長支間化

中国における長支間の高速鉄道橋のほとんどは、川幅が広い長江、黄河、珠江などの大河川に建設された。中国国外において、現在、もっとも長支間の高速鉄道橋は、2000年に完成したスウェーデンとデンマーク間のオーレスン海峡橋（支間490mの斜張橋、設計速度200km/h）である。もっとも設計速度が高い高速鉄道橋は、1993年に完成したドイツのナンテンバッハのメイン高架橋（支間長208m、設計速度300km/h）である。

中国における、現在までに完成または建設中の長支間の高速鉄道橋の支間長と供用開始年の関係を図-7に示す。これは、主に鋼トラス、鋼箱桁、またはコンクリート箱桁を使用するアーチ橋、斜張橋、および吊橋で構成されている。現在、もっとも長支間の高速鉄道橋は銅陵長江大橋であり、中央径間の支間は630mである。し

かし、さらに長支間の蘇通長江公路大橋と五峰山長江橋が現在建設中であり、両橋ともに中央径間の支間は1092mである（図-8）。五峰山揚子江橋の側径間は単純桁構造であり、中央径間のみ吊橋構造である。これら2橋における設計速度は時速250kmである。中国における長支間の高速鉄道橋は、多機能橋が多く、建設コスト削減のために高速道路、鉄道、市道、地下鉄と共用されている。一般に、高速道路と鉄道はそれぞれ上路式桁と下路式桁となる。橋梁の幅員が比較的広い（30～40m）ため、3面吊構造（トラス桁）が採用され、軌道の平滑性を確保しながら橋梁の横方向のたわみと応力を低減している。中国の経済発展と大きな河川の横断、既存の鉄道網の必要性を考えると、中国では今後も長支間化および超長支間化した高速鉄道橋を建設し続けるように思われる。ただし、長支間の高速鉄道橋の技術は、長大橋の変形に関する制限値が現在の構造設計基準に明示されていないこと、上部構造と基礎構造のプレキャスト

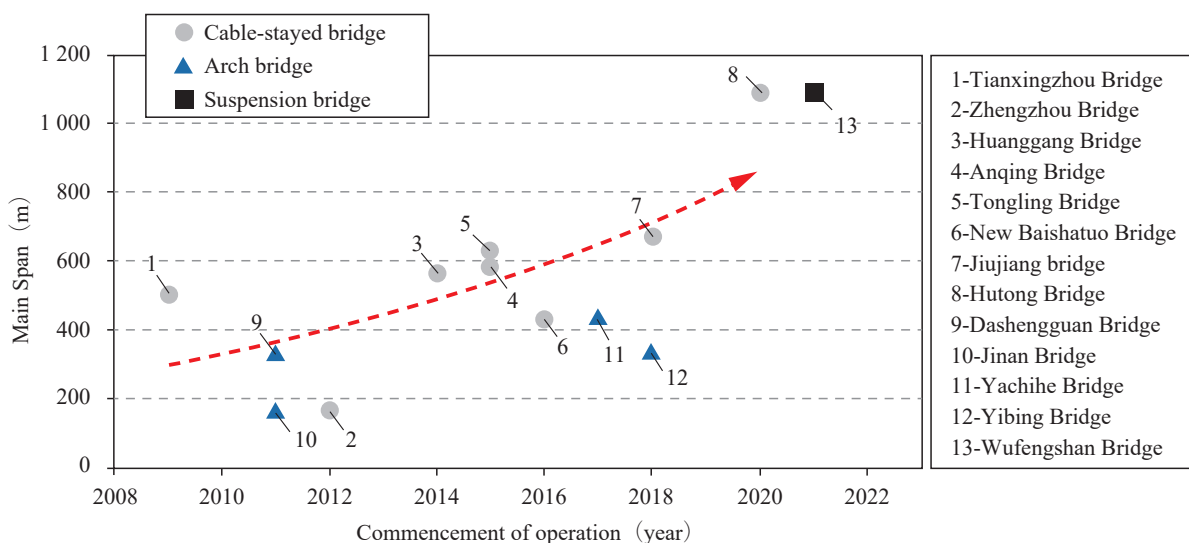


図 - 7 中国における長支間の高速鉄道橋

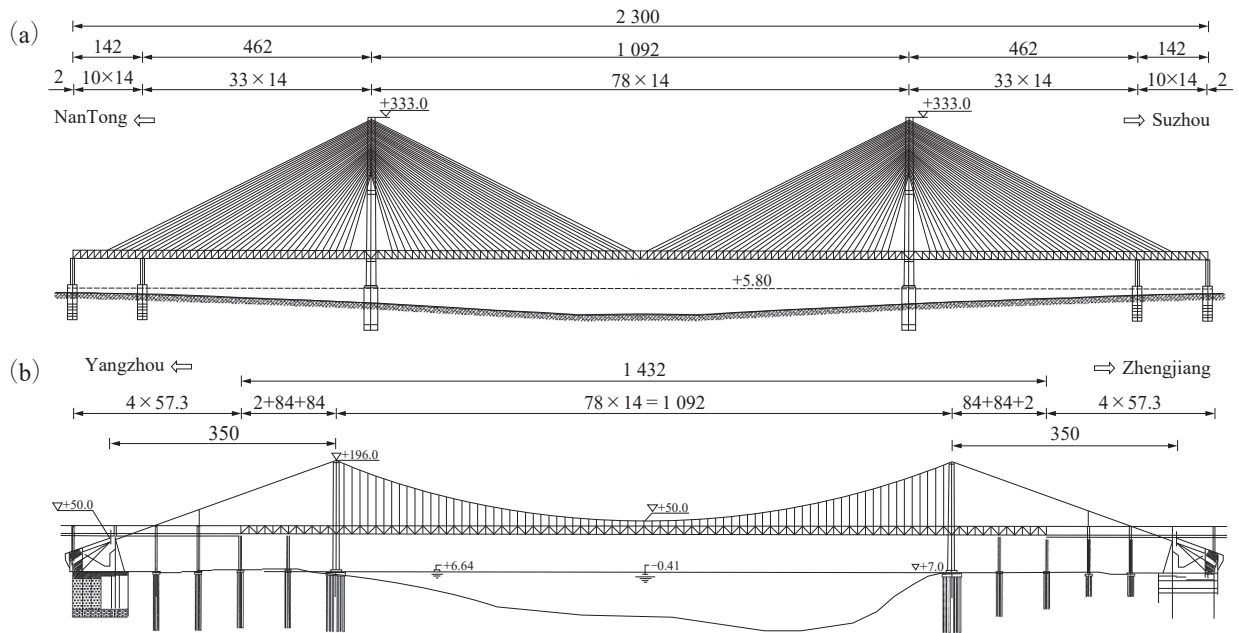


図 - 8 中国における建設中の長支間高速鉄道橋 ((a) 蘇通長江公路大橋, (b) 五峰山長江橋)

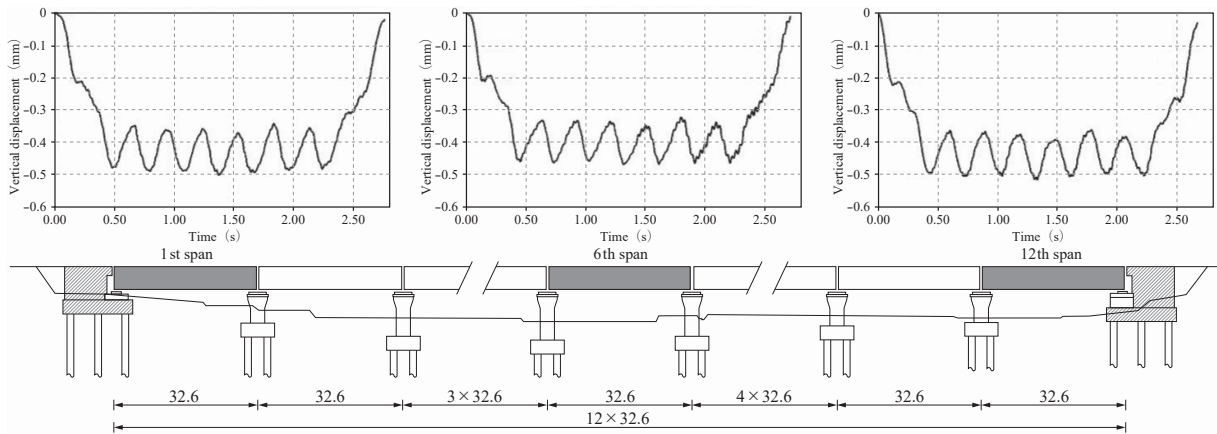


図 - 9 標準単純桁 (支間長 32 m 程度) における支間中央部のたわみ計測結果

化、海洋環境にある長大橋でより耐久性のある材料の必要性など、さまざまな領域におけるさらなる検討が必要である。

3.2 軽量化

将来の鉄道橋の設計者は、構造の安全性と信頼性を確保することに加えて、建設コストの削減、革新的な技術の使用、景観性により多くの注意を払う必要がある。図 - 9 は、高速鉄道 CRH380A 型電車が時速 300 km で通過するときの、32 m 程度の標準的な単純桁の支間中央部におけるたわみの時刻歴応答曲線を示す。鉛直たわみは、上海 - 長沙間の高速鉄道橋の方家山橋 (12 径間 × 32.5 m) にて計測された。第 1, 第 6, および第 12 支間の計測から、支間中央部の鉛直たわみが 0.5 mm 未満であることがわかる。列車の最大荷重を考慮すると、橋梁の支間中央部のたわみは約 1 mm である。これは、たわみと支間の比率が約 1 : 32 000 であることを意味し、中国における設計基準の制限値である 1 : 1 600 よりもはる

かに小さい。これは、中国における単純桁の標準設計は安全側で行っており、さらなる最適化が可能であることを示している。軽量化、スリム化した高速鉄道橋の設計により、建設資材の量を減らし、より環境への適応を改善し、景観への影響を低減することで、供用条件を満足させることができる。

現在、一般的な単純桁橋と比較して、鋼橋、鋼コンクリート合成床版橋および軽量でスレンダーな構造を有する複合橋は、建設資材コストの削減が利点である。たとえば、ドイツで実用化されている Walzträger-in-Beton 構造や Verbund-Fertigteile 構造のようなプレファブ合成桁橋は、単純桁橋に比べて断面剛性が高い。複合アーチ橋は、補剛アーチのため、スリムな耐荷機構を有している。このタイプの橋梁は、中国における支間長 100 ~ 200 m の高速鉄道橋では一般的な構造形式であり、高性能な材料を使用することで、橋体自重と資材コストを削減している。たとえば、南京 - 大勝間における長江大橋と蘇通長江公路大橋の建設において、高性能な鋼材 Q420, Q500

(数値は鋼の降伏強度を示す)を開発し採用した。

3.3 鉄道の高速化

高速鉄道の最高運転速度は、ドイツで 300 km/h、中国で 350 km/h である。ただし、より高速化した高速鉄道(最高運転速度 400 ~ 500 km/h の次世代高速鉄道, 最高運転速度 500 ~ 600 km/h の超高速鉄道)の開発は、特に中国国内の長距離線と国際線において依然として重要な目標である。運転速度向上における課題として、桁の加振周波数が列車の速度とともに増加し、構造物の固有周波数に近づいたとき、共振および大きな振動が発生することが考えられる。今後、車両と橋梁の動的応答、車輪とレールの接触特性、橋の振動など、さまざまな特性についての研究が必要不可欠である。

さらに、渓谷に架設される橋梁など特殊な環境における軌道構造の性能および高速鉄道橋の劣化に関してもいくつか課題があげられている。たとえば、直結軌道の界面剥離、高橋脚の影響による変形が山岳地帯のレール配置に及ぼす影響、および沿岸地域の耐風性確保などは、高速鉄道橋が長期にわたって適切かつ安全な性能を確保するために克服していかなければならない。

4. 結 論

高速鉄道橋は、中国とドイツにおける鉄道技術の進歩と技術革新の象徴といえる。その急速な発展に伴い、高速鉄道橋に対する要望が数多く提示された。本稿では、高速鉄道橋の設計者による近年の実績を紹介し、軌道構造の発展に関する報告および将来的な高速鉄道橋の設計において解決すべき課題をいくつか取り上げた。

上述に基づき、前編を含めた本文が示す内容にお

ける結論を以下に示す。

- (1) 高速鉄道橋の設計は、軌道構造、橋梁架設、環境影響の全てを考慮した高速鉄道橋の統合的な設計を採用すべきである。
- (2) 荷重伝達の観点から軌道構造は、バラスト軌道、不連続直結軌道、連続直結軌道に分類できる。連続直結軌道は、レール用伸縮装置 (RED) を設置せずに軌道と橋梁の相互作用を効果的に減らすことができるため、今後開発が進むと思われる軌道構造である。
- (3) 低コスト、低メンテナンス、支承構造の省略などの利点により、現在ドイツで供用されている上下部一体構造の高速鉄道橋は、従来の標準的な連続桁橋の代替的な構想となり得る。
- (4) 今後、高速鉄道橋の設計は、長支間化、躯体の軽量化、鉄道の高速度化など、各課題を克服するために詳細な調査が必要である。

This article was first issued in SEI (Structural Engineering International), 2019, February, page 160-166

* : 会誌編集委員会海外部会委員
堀内 祐樹 (首都高速道路 (株))
渡邊 秀知 (株) ビーエス三菱)
佐藤 千鶴 (株) 銭高組)
田中 慎也 (株) IHI インフラ建設)
森田 遼 (鹿島建設 (株))

【2020年8月21日受付】



刊行物案内

コンクリート構造診断技術 コンクリート構造診断技術講習テキスト

2020年1月 (CD-R 版)

定 価 7,700 円 (税込) / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会