

仕様設計から性能設計に到る鉄道用合成桁の課題

REC（勤務：鉄道・運輸機構） 正 保坂鐵矢 川田工業（株） 正 辻角 学
 ○ パシフィックコンサルタンツ（株） 正 松尾 仁* （株）トニコンサント 正 久保 武明

1. はじめに

一般に、合成鉄道橋は支間長によって図-1 に示す構造が用いられている。現時点の設計は仕様設計（鉄道構造物等設計標準・同解説：以下、標準）で、適用範囲は限られた構造、荷重等の条件下である。しかし、最近の構造は厳しい構造選定条件等から複雑・多様化した構造が多くなり、標準中の適用してはいけない条項を無意識にいいとこ取りして設計している例が多々見受けられる。標準の適用に当たって注意しなければならない構造の例としては、複線合成桁（例えば、複線2主I断面合成桁、複線1箱断面合成桁および複線U断面合成桁）、長大合成桁、曲率の厳しい曲線合成桁（支間長30mでR600m程度以下）および連続合成桁等がある。これらの構造の中には、既に多く実用化されているものもあるが、その基礎には適切な実験と解析の併用および製作性を満たす構造ディテールが、経験と高い技術力の結晶として成り立っていた。

しかし、時を経て設計数が増加するといつの間にか開発当時の思想とかけ離れた設計や構造が一人歩きしている現状が見られる。また、最近の解析手法の目覚ましい進歩と高強度材料の開発・実用化が進む中で仕様設計から性能設計への移行が着々と進んでいる。性能設計では、このような標準の適用外構造に対してどのような設計で要求性能が満たされる構造となるのであろうか、気になるところである。本稿では筆者らが経験した標準適用の課題となる構造を報告する。

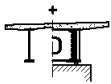
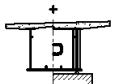
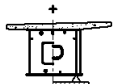
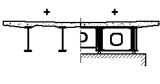
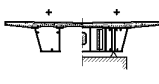
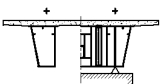
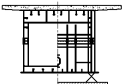
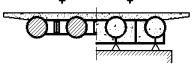
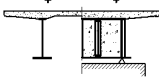
	$l < 25\text{m}$	$20\text{m} < l < 30\text{m}$	$25\text{m} < l < 60\text{m}$	$l > 55\text{m}$
単線桁	 2主I断面	 U断面	 箱断面	-----
複線桁	 4主I断面	 2主U断面	 2主箱断面	 1箱断面
	 4主充填鋼管断面	 2主I断面	 3室U断面	

図-1 合成桁の断面形式

2. 鉄道用合成桁の課題

(1) 複線2主I断面合成桁

当該構造は標準を無意識に適用し、単線2主I断面合成桁と同じ手法で解析すると、終局・使用・疲労性能を確保できないこととなる。つまり、標準適用外の構造であるため、精密な解析（FEM等）や必要により載荷試験を併用した解析・構造ディテールに注意しなければならない。主桁を連結する対傾材や下横構は主部材で、配置形状や間隔は剛性に大きく影響する。また、床版と対傾材の一体化も剛性評価に大きく影響するので適切な解析が求められる構造である。

(2) 複線1箱断面合成桁

①対傾材の主部材としての機能：橋梁における列車の複線載荷（上・下線の同時載荷）は非常に稀で、ほとんどが単線載荷であるが、単線載荷時や短い時間差での複線載荷時のねじれ剛性の確保が対傾材構造の重要なポイントである。小松理論、BEAMアナロジーおよび坂井、長井らが提案している修正BEFアナロジーによる解析は、桁構造にもよるが、1ヶタ違う板厚が算出されたり、間隔が密になると厚い板厚となるなど構造的に不合理になる場合があるので、構造に適合した解析や既構造例を参考に設計することが大切である。

②ジベル剛性と配置：複線1箱断面合成桁は複線分の水平せん断力を2腹板上に配置したジベルのみで抵抗すると耐荷力不足となるため、腹板間に2列の縦桁を設け、4列のジベルを配置するのが一般的である。このとき、腹板と縦桁位置にあるジベルに作用する水平せん断力は縦桁の剛性や位置を考慮した適切な解析を用いて求めなければならない。

③縦桁の構造と剛性：縦桁は上フランジの剛性と列車荷重載荷時の列車走行性や軌道構造の耐久性に寄与する有用な構造である。縦桁の機能確保には①で述べた対傾材に縦桁の支点としての機能が必要で、ダイヤフラムや横リブを支点とする連続梁として安易な解析法を用いるとジベルの耐力に悪影響を与える構造となる。適切な解析法

鉄道橋、合成桁

* 〒163-0730 新宿区西新宿2丁目7番1号 新宿第一生命ビル

TEL 03-3344-0712

FAX 03-3344-0805

を用いて構造を定めなければならない。

- ④主桁の床組み作用加算の要否：鋼床版桁等で用いている床組み作用としての耐力を加算する手法は複線1箱断面合成桁に安易に適用すると過大な不合理構造となることもある。③で述べた縦桁の耐力に縦桁や縦リブを含む主桁断面との協同作用の要否には、荷重の種類、載荷状態および床版と鋼桁との連結構造を考慮した適切な解析が必要であり、道路橋示方書や標準のいいとこ取りは慎まなければならない。

(3)U断面合成桁

東海道新幹線時に用いられたU断面合成桁はコンクリート打設時の変形から床版への悪影響が生じ一時採用されていなかった。最近、経済設計から複線2U断面合成桁や複線3室U断面合成桁が用いられている。張出し長が異なる床版は短期的な荷重のみならず長期荷重による面外挙動を構造に忠実に反映できるモデルで評価し、解析を忠実に反映できる構造ディテールが大切である。また、外側の腹板の上フランジ側を傾斜した非常に繊細な構造が見られる。安易に採用すると平面保持が出来なくジベルに大きな負担となり耐力を損なうこととなる。構造を考慮した適切な解析を行い耐久性の向上が可能なディテールを併用することが必要である。

(4)急曲線合成桁

最近、鋼桁の適用はコンクリート桁の適用できない厳しい条件で用いられることがあり、桁高制限や急曲線桁（例えば、半径300mの支間70mの単線桁）がある。桁を直線にして床版を曲線にする場合または桁も床版も曲線にする場合があるが、どちらの場合もカーブの要素を考慮して設計する必要がある。(2)①項でも課題として述べたダイヤフラムは主部材として扱い、適切な解析（小松理論や修正BEFアナロジー等の理論）やFEM等を併用して十分実績のある既構造を参考に構造を定めるのが良い。解析理論のみでは時として不合理な構造となる場合がある。なお、解析条件を忠実に反映する施工が重要で、製作時の構造断面の決定や、コンクリート打設時のコンクリートの剛性による付加応力の評価等、設計と製作、そして施工精度が構造耐力に大きく影響する構造である。それぞれの精度を追加調査して耐力に評価することも必要である。

(5)その他

- ①コンクリート床版の強度と厚さ：死荷重の減少が鋼材重量の減＝経済性という短絡的な考えから、安易に高強度コンクリートやPCを用いて床版厚の薄い合成桁を計画すると、桁剛性の低下や活荷重等の動的挙動から耐荷力の低下の恐れがある。合成桁の性能を確保するためには鋼とコンクリートの強度、剛性等の釣り合いは重要であり、適切な床版厚やコンクリート強度を設定する必要がある。
- ②合成桁断面の中立軸：標準にある「合成桁断面の中立軸は鋼桁の中にあることを原則とする。」は合成桁の原則である。道路橋にはこの項は無いが、全幅有効でない床版や厚い路盤コンクリート、そしてコンクリート造り防音壁がある構造、シャロー桁等は中立軸が高い位置になる。床版に目地工を設けることにより剛性評価がないと安易に考えると、床版耐力が減少しただけで、合成桁断面の中立軸がコンクリート床版に入ってしまうことがある。中立軸位置によっては、コンクリートの有効厚さやジベル耐力に大きく影響するので構造断面の再検討や適切な解析が必要である。
- ③対傾材や横桁とジベル配置：例えば、単線並列のI断面合成桁のコンクリート床版と中間対傾材を、ジベルを介して一体化するか否かは床版の耐力や桁剛性に影響を与えることがある。(1)項で述べた複線2主I断面合成桁はFEMや載荷試験により一体化する構造を用いている。解析結果を反映できない構造ディテールを安易に用いると性能要求を犯す恐れがあるので注意を要する。

3. おわりに

鋼とコンクリートとの合成桁は鋼とコンクリートという異種の材料を組み合わせた構造であるので、材料特性を加味した構造的釣り合いが重要な構造である。鉄道では高屋川橋梁に始まり、東海道新幹線、そして整備新幹線として多く用いられている。しかし、時の求めるままにその構造は大きく様変わりしている。床版構造、軌道構造、そして、複線構造、連続構造、構造が変わっていても標準の設計法はほとんど変わっていない。これには実橋での維持管理の現状を構造物に反映しながら、また、設計に構造ディテールを反映しながら10年ごとの標準改定で行われていた結果であろう。このような構造の流れが、新しく性能設計に移行する中にどのように継承、反映できるのであろうか。最近、海外の新しい複合構造が多く用いられている。適用の中でEurocode、AASHTOおよびBS等の規定が国内仕様にどのように調査されて用いられているのだろう。前述した設計のいいとこ取りになっていないこと願うばかりである。