

(特別講演(1))鋼・複合鉄道橋の現状と課題

主として鉄道・運輸機構（鉄道公団）の例

保坂 鐵矢¹

¹正会員 （株）レールウェイエンジニアリング （鉄道・運輸機構：〒231-8315 横浜市中区本町6-50-1）
E-mail:t.hosaka@jr-tt.go.jp

鋼鉄道橋は環境アセスの鉄道騒音規制から低騒音構造としてのコンクリート床版を有する鋼・複合構造が主流である。しかし、鉄道構造物の中に占める鋼・複合橋の占有は小さく、RCやPC構造で設計、施工が困難な限られた環境の中で、高い技術力を必要とする複雑な特殊構造が多い。一方、技術力は国鉄民営化以降の技術の分散により決して満足した状態ではない。また、異種材料の組み合わせた複合構造は応力伝達が明確でない場合や設計法が無い場合がある。鋼・複合鉄道橋の現状と課題を鋼構造の視野から筆者が担当した鉄道公団、鉄道運輸機構の代表的な鋼・複合構造や課題の例について報告する。

Key Words : steel-concrete hybrid railway bridges, concrete-filled tubular structure partial composite, double composite, reduced steel girder bridges

1. 鋼・複合鉄道構造の現状

(1) 技術的現状

現在用いている鋼および合成構造と、複合構造の設計仕様は平成4年制定の「鉄道構造物等設計標準・同解説鋼（合成構造物）」と平成10年制定の「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼とコンクリートとの複合構造物）」によっている。設計標準というタイトルで示すように高度な解析、実験や試験等によって耐久性が確保ができるときは設計技術者の判断でこの標準によらなくて良いこととなっている。このような考えは1つの規制緩和であり新しい技術開発や構造の採用が行い易く、初めて適用された東海道新幹線は多くの新しい技術や構造が用いられ短期間で完成できたといわれている。しかし、このようなシステムを遂行できる受け皿は、当時の構造物設計事務所や鉄道総合技術研究所が高い技術力を有する独立した組織として存在し、構造物の開発や実用化、標準化が行われた。残念ながら、昭和62年の国鉄民営化分割は国の貴重な財産である技術力も分割、分散され、現在に至る20年の時が分割された組織に技術力の差が生じつつある。構造物にも統一された考えや合理的な構造物の開発実用化、疲労損傷等をフォローし構造物に反映、改善する流れが滞っているのが現状である。

益々多様化する構造物が多くなる中で、安定した高い技術が供給できる一日も早いシステムづくりが必要であ

る。

(2) 鉄道構造の中の鋼・複合構造

欧州における超高速鉄道整備網の充実は目を見張るものがある。フランスのTGV、ドイツのICE、イギリスのユーロスター、そして、ベルギー、スペイン、スイス、オーストリアなどに超高速鉄道網の整備拡張がなされている。特に、現在、建設中のTGV東線はほとんど100%鋼・複合構造橋梁で、経済性、構造的、景観性に優れた構造として認知されつつある。

一方、国内の鉄道構造物では、中小橋梁における経済性や鉄道騒音等からRC、PC構造に一日の長があり、残念ながら、鋼・複合構造は限られた特殊な環境（たとえば長支間大橋梁区間、鉄道や道路との交差区間で短時間施工と安全性が求められる区間、桁高さを制限された区間、急速施工区間や河川での施工制限をうける区間、軟弱地盤や耐震性、そして河川の阻害率等から軽量で靱性構造物が求められる区間等）に用いられるのが現状である。

(3) 構造選定上の鋼複合構造

限られた条件の中で用いられている鋼構造物は環境アセスから景観上の指定が無い限り機能優先した合理的構造を、騒音規制からの低騒音構造を、維持管理の省力化の可能な構造を選定している。構造選定上の大きい要因

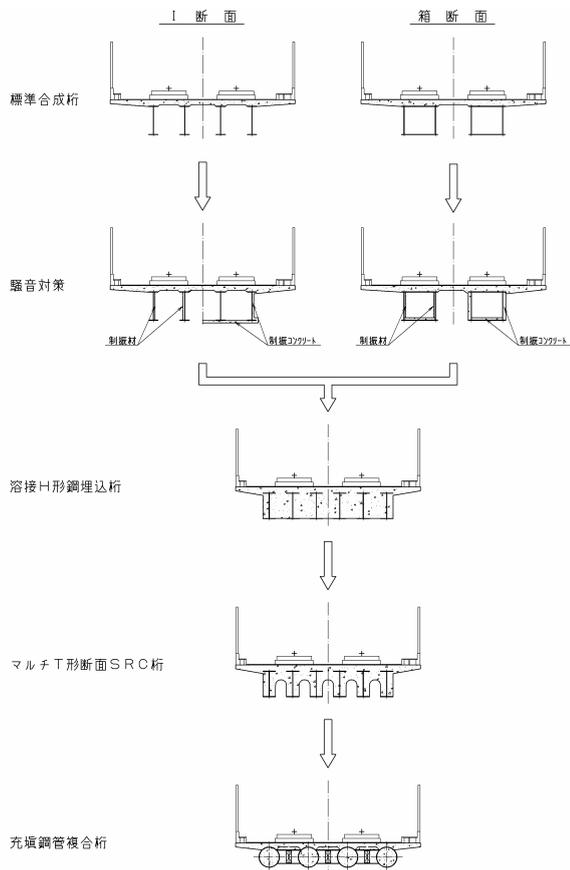


図-1 鋼・複合構造選定フロー

から低騒音構造と維持管理の縮減が可能となる構造で、騒音対策上からも複合構造が主流となり、維持管理の省力化構造は補修塗装の低減による経済性と活線内で危険な作業を縮減できる耐候性鋼を用いたさび安定化処理を施す無塗装構造が多くなっている。図-1に構造選定上の流れを示す。

2. 鋼・複合構造の概要

(1) マルチT形断面SRC桁

溶接H鋼埋込み桁（以下、従来型SRC桁）はシャローで低騒音、施工性や急速施工が求められる区間に用いられているが、適用範囲は支間20m程度である。

マルチT形断面SRC桁¹⁾は図-2に示すように従来型SRC桁の構造体として寄与しない引張り領域にあるコンクリートを極力少なくすることにより50m程度の支間への適用可能となる新しい構造である。

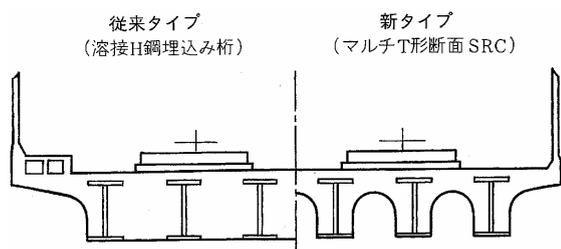


図-2 SRC桁断面の概要

a) 長野新幹線裾花川橋梁の例

完成系と工場仮組み状況を写真-1、2に示す。

1) 構造概要

- ・全長81.80m（支間：41.60 + 39.60m）の2径間連続複線6主I断面格子構造。
- ・主桁構造：溶接I断面桁と軸方向鉄筋とフープ鉄筋からなる鋼材とコンクリートとを複合したSRC構造。
- ・鋼とコンクリートとを一体化する構造ディテール：腹板に設けたスタッドジベルと孔明け鋼板ジベル機能を有する鉛直補剛材と貫通して配置した軸方向剥離防止鉄筋である。なお、従来型のSRC桁にはスタッド等を設けていない。
- ・経済性：従来型SRC桁と桁中央断面の鋼断面積で評価すると、表-1に示すように約20%の効果がある。これは死荷重の差によるものである、死荷重の低減は上部工の経済性のみならず、支間の長大化や桁高さの縮小、下部工の橋脚断面や基礎杭等のコンパクト化、耐震性の向上等、橋梁のトータルコストにも寄与できる構造である。



写真-1 マルチT形断面SRC桁：工場仮組み（裾花川橋梁の例）



写真-2 マルチT形断面SRC桁：完成（裾花川橋梁の例）

表-1 SRC桁：構造比較（鋼主桁中央断面）

	H鋼埋込み桁	T形断面SRC桁
単純桁L=47.0m	100	85
単純桁L=22.30m	100	79
連続桁L=41.6+31.6m	100	80

注) 1. 検討対象：北陸新幹線のスラブ軌道
2. 表中の数値は従来タイプ「H鋼埋込み桁」を100としたときの新型タイプ「T形断面SRC桁」の中央断面の断面積の比率を示す。

(2)コンクリート充填鋼管複合桁

コンクリート充填鋼管複合桁²⁾(以下、CFT複合桁)は市場性のある丸形鋼管にコンクリート系材料を充填した橋桁である。マルチT形断面SRC桁に比べ、丸形鋼管は断面効率が悪いが、鋼管内部にコンクリート系材料を充填することにより優れた耐力評価と荷重変形性能³⁾⁴⁾が発揮でき、低騒音構造⁵⁾として期待でき、製作加工工数が少なく、鋼管がコンクリート打設の型枠代わりにもなる施工省力タイプで、建設コストの低減が期待できる新しい構造である。

a)実用化に至る研究

鋼管の充填材の有無および種類による耐力評価³⁾⁴⁾を静的・動的荷重試験および数値解析を併用して評価した。概要を以下に示す。

1)充填材の種類による耐力評価

ヤング係数の異なるコンクリート系充填材(発泡モルタル、軽量コンクリート、普通コンクリート)による耐力評価を行った、図-3に試験体を示す。

・発泡モルタルの配合強度50kgf/cm²(単位体積重量1.1t/m³)は、充填材が最大耐力⁴⁾に及ぼす影響はわずかであるが変形性能を向上させることがわかった。

・軽量コンクリートと普通コンクリートの耐力は弾性域で同じ挙動を、塑性域で若干の差がみられるがほとんど同じである。図-4に耐力評価³⁾⁴⁾の例を示す。

2)コンクリート充填精度を考慮した耐力評価

充填材の充填性による耐力評価を一部未充填(丸形鋼管の圧縮側と引張り側に約20mmの空洞を設けた試験体)が生じた場合を想定した耐力評価を動的荷重試験⁶⁾で行った。

・試験内容と耐力評価: 荷重は実橋を想定し下限値は死荷重レベル(220N/mm²)、上限値は死+活荷重レベル(300N/mm²)の荷重サイクルで200万回荷重を行い終了後、

	PH-1	PH-2,3,4		PH-5,6	
充填材	非充填	発泡モルタル		軽量骨材 コンクリート	普通 コンクリート
配合強度 (kgf/cm ²)	-	3	10	50	300
断面形状					

図-3 充填鋼管試験体の種類

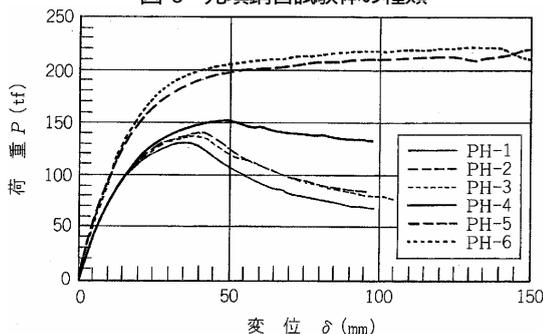


図-4 充填鋼管試体: P - 曲線

終局耐力相当の最大荷重まで荷重。充填鋼管の終局耐力は疲労履歴により約5%、想定した「空洞」により更に約5%低下するが、解析上の耐力(LSD設計法)の終局耐力の1.7~1.9倍の耐力を有していることが判明。この程度の「空洞」ではほとんど耐力上の問題がないと判断できた。

3)騒音振動低減効果

・試験体と試験内容: 鋼桁の騒音対策である制振コンクリートを腹板に被覆したSRC桁を模した試験体とRC桁を模した試験体との比較を室内試験で評価した⁵⁾。

・低騒音効果: 試験結果からコンクリート充填鋼管はSRCを模した試験体と同程度の騒音レベル評価⁶⁾を得ることができた。発泡モルタル充填はコンクリート充填に比べ約2dB程度高いレベルであったが床版が打設されている実橋では両者の差が更に縮まると予測された。

b)北陸新幹線北陸道架道橋²⁾の例

構造断面概要を図-5、工場仮組み状況を写真-3、全体完成状況を写真-4に示す。

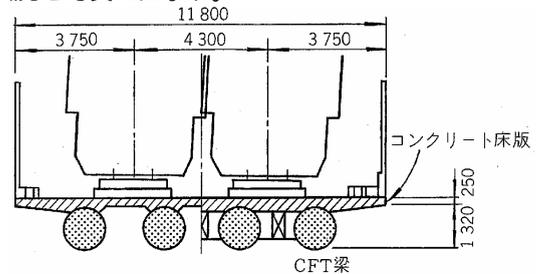


図-5 北陸道架道橋・断面



写真-3 充填鋼管複合桁・工場仮組み(北陸道架道橋の例)



写真-4 充填鋼管複合桁・完成(北陸道架道橋の例)

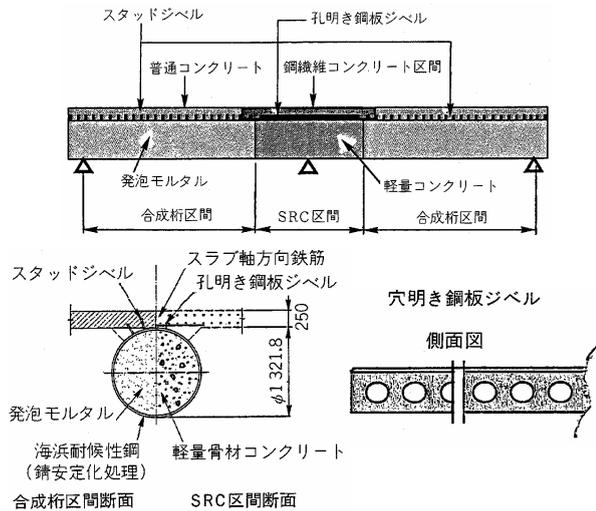


図-6 北陸道架道橋，混合構造の概念

1) 構造概要

・全長106.595m（支間：34.95 + 36.0 + 34.0m）、主桁に鋼管（最大断面は 1300 × 34）を用いた3径間連続・複線4主CFT複合桁で、正曲げモーメント区間と負曲げモーメント区間に異種の構造を複合した混合構造で、かつダブル合成構造でもある。図-6参照。

2) 混合構造でかつダブル合成構造

中間支点部近傍の負曲げモーメント区間は鋼管と圧縮側にある充填材（軽量コンクリート：配合強度 270kgf/cm²）と引張り側にある床版の軸方向鉄筋とを合成したSRC構造で、正曲げ区間は軽量で変形性能が期待できるが断面に寄与しない発泡モルタル（配合強度 50kgf/cm²）を充填した鋼管とコンクリート床版（配合強度 370kgf/cm²）を合成した構造とした異種構造を組合せた混合構造で、かつダブル合成構造でもある。概念を図-6に示す。

3) 新しいジベル（孔明け鋼板ジベル）⁷⁾⁸⁾の耐力評価と ずれ定数の異なるスタッドジベルとの組み合わせによる 応力挙動

ジベルは鋼管断面が丸形であるため、一般に用いている馬蹄形ジベルの代わりに、正曲げ区間はスタッドジベル、負曲げ区間は新しいジベル（孔明け鋼板ジベル）を用いた。

孔明け鋼板ジベルの耐力評価：レオンハルトの提案式や国内での研究を参考に、孔径、板厚さ、貫通鉄筋の有無、ジベル間隔など要素にした試験に既設のデータを組み入れた統計的耐力評価式を提案⁷⁾⁸⁾し設計に反映した。

丸形鋼管の形状特性を考慮したジベル耐力：各ジベル位置が中立軸から異なるという鋼管の構造的特徴に鑑みたジベル耐力評価を設計に反映した。ジベル耐荷力は弾性域では中立軸からの距離により異なり、終局時（塑性時）には両者が均等に分担する傾向が認められた。当該構造は弾性域で設計した。

表-2 複合桁：構造比較（全長 107m あたり）

		マルチT形断面SRC桁	充填鋼管複合桁
鋼材重量 ①		1.00	0.95
コンクリート ②	発泡モルタル	—	0.05 (0.24)
	軽量コンクリート	—	0.14 (0.18)
	普通コンクリート	1.00 (1.00)	0.28 (0.28)
	小計	1.00 (1.00)	0.47 (0.70)
総重量 ①+②	1.00	0.52	

注) 1. 比較対象：北陸道Bv（全長107m分）

2. 表中の数値は「マルチT形断面SRC」を1.00としたときの「充填鋼管桁」の重量比率を示す。

3. コンクリート欄は「マルチT形断面SRC桁」の普通コンクリートを1.00にしたときの「充填鋼管桁」の各コンクリートの重量比率を、()内数値は体積比率を示す。

ずれ定数の異なる異種のジベルの組み合わせによる応力挙動：異種のジベル相互の境界部に応力が不連続となり、この区間に応力分散鉄筋を配置した。

4) 鋼繊維コンクリート床版を用いた完全合成構造

中間支点近傍の負曲げモーメント区間にも剛ジベルを配置した完全合成構造で有害なひび割れが生じない「ひび割れ幅制御」床版とした。この区間の床版にはコンクリートの靱性向上を考慮した鋼繊維コンクリートを用い、床版の耐久性向上を確保することとした。鋼繊維の混入率を1.0%としたが、以降の完全合成構造は実績や試験などから0.75%とした。鋼繊維の混入はコンクリートのひび割れ耐力向上等、長期耐久性向上が図れるとともに、防水工の省略、現場作業や維持管理の省力化などからトータルコスト縮減にも寄与できた。なお、後述する断続合成桁（(3)A）には床版の応力挙動から用いていない。

5) 経済性

低騒音構造としてのSRC桁と比較すると、市場性を有する鋼管を用いることによる工場製作工数の省力化による製作コストの縮減、死荷重の低減による上、下部工への負担軽減等の経済性、桁コンクリートの型枠省略による現場施工の省力化、そして、丸形断面という形状効果から雨水などの水はけが良好で塗装等の表面処理の耐久性向上、などトータルコスト縮減に寄与できる構造である。また当該橋梁に着目したSRC桁との比較を表-2に示す。

(3) 連続合成桁

連続合成桁は合理的な断面構成と支承数の低減ができ、耐震性向上と経済性効果を有する構造である。

連続合成構造には「部分合成」、「不完全合成」、「完全合成」、そして「二重合成」がある。この内、床版に伸縮目地を設ける「部分合成」は伸縮目地材の長期的な耐久性の不安や劣化による雨水の浸水が床版の変状や鋼材の腐食等から用いていない。

A) 断続合成桁⁹⁾

断続合成は正曲げモーメント区間に剛ジベル（馬蹄形ジベルなど）を、負曲げモーメント区間にずれを許容するジベル（柔ジベル）を配置した新タイプの合成構造である。

a)北総線都計道3・4・20架道橋の例

写真-5に同じ構造タイプの長野新幹線長沼放水路橋梁
写真-6にジベル配置を示す。

1)構造概要

- ・全長79.72m（支間：39.46+39.46m）の2径間連続断続合成桁である。
- ・ジベル：正曲げ区間は馬蹄形ジベル、負曲げ区間は剛性の小さくずれを許容する阿部らの提案する柔ジベル¹⁰⁾である。鉄道で用いているジベルは図-7に示す。合成桁には剛ジベルである馬蹄形ジベルを、非合成桁に柔ジベルを用いている。
- ・コンクリート：負曲げ区間はジベル構造からコンクリ

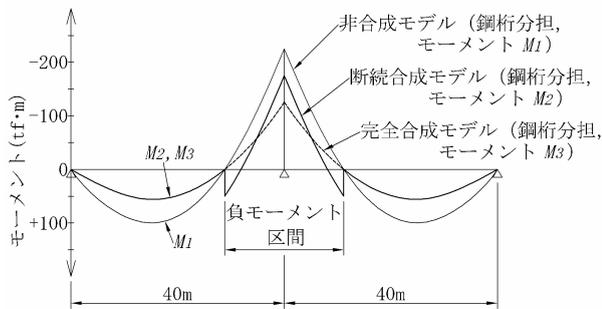


写真-5 長野新幹線長沼放水路橋梁



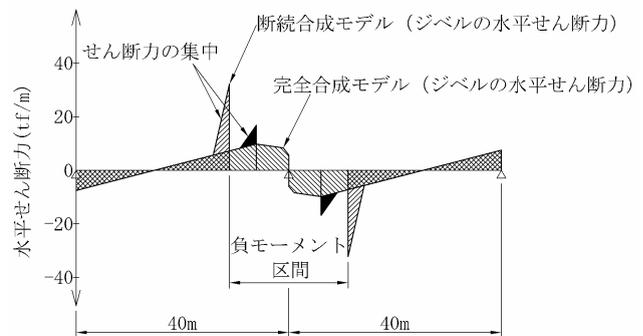
写真-6 ジベル配置

合成後荷重によるモーメント
(値は1tf/mに対してである。)



注) 完全合成とは、鋼桁と床版とが桁全長にわたり剛合成と仮定し、モーメントを算出する。負モーメントに対しては、鋼断面を桁の抵抗断面として、断面算定する。

合成後荷重によるジベルの水平せん断力図
(値は1tf/mに対してである。)



注) 斜線部は、負曲げモーメント区間全域に柔ジベルを配置した場合を示す。
黒部は、柔ジベル区間を短縮した場合の増加量を示す。

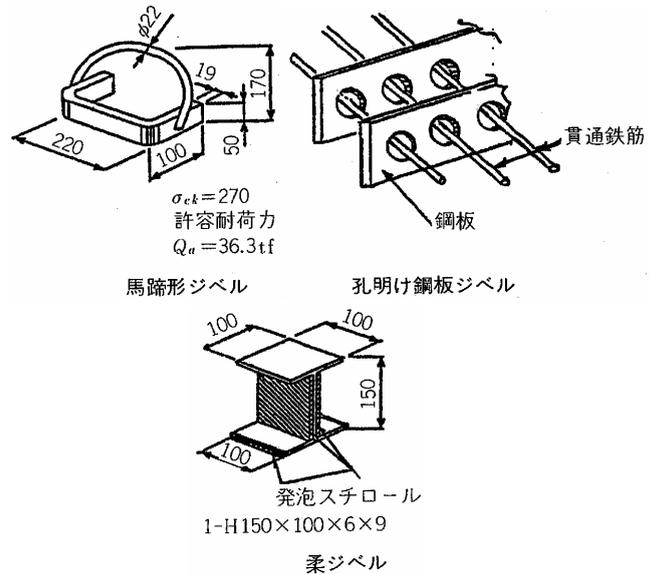


図-7 鉄道ジベルの種類

ート床版に付加する応力は完全合成に比べ小さいことから正曲げ区間と同じ普通コンクリートを用いている。

2)柔ジベル

柔ジベルは100mmの幅の圧延H形鋼 (H-150×100×9×6) を鋼桁の上フランジに溶接し、ジベルの腹板およびジベルの下フランジ小口に緩衝材 (発泡スチロール) を貼り付けた構造で、繰返し荷重に対して応力集中が大きく生じるジベル下フランジの溶接を不等脚サイズとし、溶接の趾端部を滑らかに仕上げる耐疲労信頼性を有する構造である。H-150を用いた柔ジベルの耐疲労性から求められる許容ずれ量は1.5mm以下¹⁰⁾で、今回検討した橋梁程度では問題とならなかった。

3)ずれ定数の異なるジベルの組合せ (馬蹄形ジベル+柔ジベル) による応力挙動と構造ディテール

2次元FEM解析による2径間連続桁 (2@40.0m) の非合成モデル、断続合成モデル、完全合成モデルの3タイプ応力挙動は図-8に示すように、鋼桁が負担する曲げモーメントは完全合成、断続合成、非合成の各モデルの順に大きく、コンクリート床版の負荷は断続合成モデル

図-8 断続合成桁の応力概念

のほうが完全合成モデルより小さい。つまり、床版のひび割れ耐力が大きいことを示している。一方、断続合成モデルの水平せん断力は負曲げ区間で小さくジベル境界部に卓越し、柔ジベル区間を短縮することにより緩和される傾向がみられる。

断続合成の構造ディテールは水平せん断力の集中をできるだけ少なくなるように柔ジベル区間を適切に配置するとともに、応力集中するジベル境界に応力分散を考慮した補強鉄筋を配置した。また、柔ジベルを用いても鋼とコンクリートとの付着などから構造的に完全合成の挙動に近くなるため、曲げモーメントは完全合成モデルでコンクリート断面を算定した。解析に用いたずれ定数は既往の研究結果や実験⁷⁽⁸⁾⁽¹⁰⁾から、馬蹄形ジベル： 3×10^5 tf/m/基、柔ジベル⁽¹⁰⁾： 2×10^2 tf/m/基、ちなみに、スタッドジベル（19）： 1.5×10^4 tf/m/本、孔明け鋼板ジベル⁽⁷⁾： 1.1×10^5 tf/m/3孔、と設定した。

B)完全合成とダブル合成桁

完全合成は桁全長に剛ジベルを配置し、負曲げ区間は鋼桁と軸方向鉄筋との合成構造である。

ダブル合成は図-9の構造概念に示すように、正曲げ区間は上床版と負曲げ区間は下床版と鋼材（鋼桁と上床版の軸方向鉄筋）との二重合成構造である。

a)北陸新幹線北陸道架道橋の例⁽¹⁾

1)構造概要

全長247.05m（支間割り：63.30 + 62.0 + 62.0 + 58.28m）の4径間連続ダブル合成桁である。なお、架設環境は日本海親不知海岸に近い高飛来塩分付着環境下であることから図-10、写真-7に示すような変形五角形断面で雨水が均一に桁表面を流化する構造としている。写真-7に工場仮組立てでの桁断面（変形五角形断面）を、写真-8に鉄道ジベルを示す。

2)ダブル合成

ダブル合成は海外⁽²⁾において複数みられるが、国内で本格的に用いた初めての橋梁である。上床版の正曲げモーメント区間は馬蹄形ジベルを、中間支点部近傍の負曲げモーメント区間は新しい剛ジベルの孔明け鋼板ジベルとした完全合成で、同区間の下床版は下フランジ上にスタッドジベルを設け合成した構造：ダブル合成構造である。特に、下床版は鋼桁腹板間にあるため、腹板からの

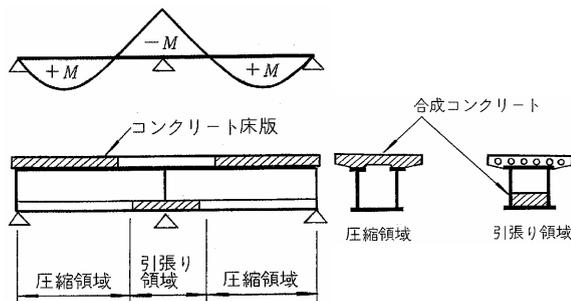


図-9 ダブル合成構造の概念

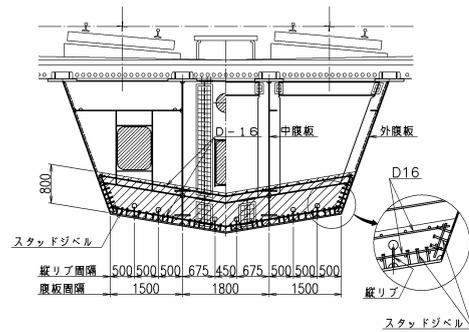


図-10 ダブル合成桁：下床版部のジベル配置（北陸道架道橋の例）



写真-7 ダブル合成桁：工場仮組み（北陸道架道橋の例）



写真-8 完全合成：ジベル配置（馬蹄形ジベルと孔明け鋼板ジベル）

距離により配置されるジベルの受け持つ断面力に差が生じ、ダイヤフラムや横リブが下床版を分割することなど、上フランジにあるコンクリート床版（上床版）のジベルの応力挙動と異なる。このような構造的特徴から下床版ジベルは水平せん断力の挙動を桁モデルによる立体FEM解析⁽⁴⁾やせん断流理論および長大合成桁の模型試験⁽⁵⁾等から構造ディテールを決定した。応力挙動は腹板の下床版天端位置に大きく発生し下フランジ側に向かって小さく、そして下フランジ上では腹板から離れるに従って小さくなる傾向を示している。図-10に下床版コンクリート部のジベル配置の例を示す。

ダブル合成は中間支点部近傍の上・下2段床版により乾燥収縮応力を軽減する効果も有し、鋼断面の軽減による経済性と剛性効果から耐久性向上に寄与できた。ちなみに、当該橋梁においては下床版の合成効果に上床版の

橋軸方向鉄筋を加味すると、一般の完全合成に比較して鋼板断面積が約16%減の効果が見られた。

3)異なるジベルの組み合わせ（馬蹄形ジベル+孔明け鋼板ジベル）

正曲げモーメント区間は馬蹄形ジベルを、負曲げモーメント区間は応力が輻輳することを想定し孔明け鋼板ジベルを用いた。両ジベルのずれ定数はほぼ同等であることから水平せん断力の挙動は後述する図-12に示すように滑らかに推移すると考えられる。しかし、ジベル形状が異なることを考慮した応力伝達を滑らかにする補強鉄筋を相互のジベル境界に配置した。なお、引張り領域の床版は鋼繊維コンクリートを用いている。

C)合成少数桁：複線2主I断面合成桁

最近、道路橋で脚光を浴びている合成少数桁は省力桁として多く用いられている。

鉄道橋の合成少数桁としての複線2主I断面合成桁は道路橋と構造が大きく異なっている。鉄道橋特有の列車高速運転における走行安全性や疲労耐久性等から、下横構や充腹式対傾構等を要する構造となっている。図-11に構造概念を示す。

a)常磐新線小貝川橋梁の例

写真-9に工場仮組立て状況を示す。

1)構造概要

全長119.65m（支間割り：39.20+40.0+39.20m）の3径間連続完全合成構造である。I断面主桁相互を下横構と十分剛な充腹式対傾材を有する構造で、床版も主桁および対傾構に設けたジベルを介して一体化した完全合成である。

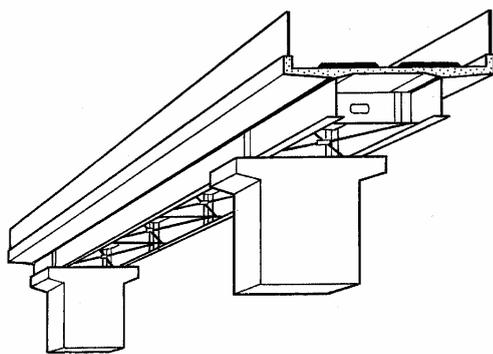


図-11 合成少数桁の構造概念

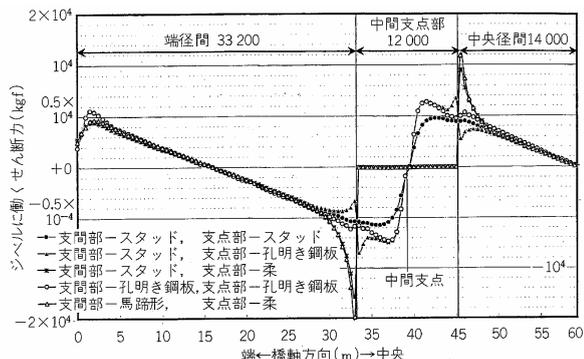


図-12 ずれ定数の異なるジベルの組み合わせによる応力挙動



写真-9 合成少数桁：仮組み

2)単線載荷時のねじれ振動に対する剛性確保：充腹式対傾材と下横構の採用⁶⁾そしてSRC支点对傾材

単線載荷時の応力・変形挙動から、ねじれ振動に対する剛性確保のために下横構を配置するとともに、剛度の高い充腹式対傾材（ダイヤフラム）を設けた擬似箱桁挙動を確保した。この強固なダイヤフラムの上フランジにはスタッドジベルを溶植し、コンクリート床版を打ち下ろし一体化している。これは単線載荷時の断面内の変形によりダイヤフラム取付け部の主桁とコンクリート床版との接合部にあるジベルに上揚力や付加力が、ダイヤフラムと主桁取付け部に局部応力が生じ疲労に対する検討が必要と推測された構造的対策である。

また、当該橋梁は支点ダイヤフラムが重要な骨組であることから、腹板にジベルを溶植するとともに鉄筋を配置したSRC構造で、剛性の急変をなくすために隣接ダイヤフラムまでの1ブロック間の主桁腹板もSRC構造としている。

3)ずれ定数の異なるジベルの組み合わせ（スタッドジベル+孔明け鋼板ジベル⁷⁾⁸⁾）

鉄道橋は一般に腹板直上に馬蹄形ジベルを用いているが、当該構造のように主桁本数が少ないため、主桁腹板直上に一列配置の馬蹄形ジベルでは応力集中が大きすぎる。このため複数配置でき応力分散ができるスタッドジベルを用いることとした。しかし、引張り領域の支点部近傍では2)で述べたねじりの影響が懸念され、耐疲労性と剛性の大きい剛ジベル：孔明け鋼板ジベルを採用した。異なる相互のジベルの境界には応力分散を考慮した補強鉄筋を配置するなどの構造ディテールを採用している。

ずれ定数の異なるジベルのせん断力の挙動を3径間連続複線2主I断面（3@40.0m）の例で図-12に示す。この検討結果から圧縮領域はジベルの種類によるせん断力の挙動に差がないが、ずれ定数に差のある異種のジベル相互の境界にせん断力が卓越し急変する傾向が見られ、桁全長に同等なる剛性ジベルの場合は円滑で緩やかな応力挙動が見られる。なお、スタッドジベルの引張り領域への適用はスタッドの溶着金属部のピード形状と施工のバラツキなどから、現状では耐疲労性に一抹の不安があり困難な環境である。



写真-10 堂々川架道橋



写真-11 観法寺架道橋

(4) その他の鋼・複合構造の例

a) 異種の構造を組み合わせた下路鈎桁

- 1) 主桁を合成構造、床組をSRC構造とした下路桁：井原線・堂々川架道橋他（写真-10参照）
- 2) 主桁をプレキャスト、床組をSRC構造とした下路桁：福知山線・第五公庄架道橋

b) 異種の構造を組み合わせたトラス桁

- 1) 上弦材を合成構造、横桁方式の床組をSRCとした上路トラス桁：東北新幹線・KO橋梁（設計中）
- 2) 下弦材と横桁方式のSRC床組との協同作用を有する下路トラス桁：九州新幹線・KA橋梁（設計中）

c) 支承をなくした上下部工一体ラーメン橋：北陸新幹線・境川橋梁

d) 異種の構造を組み合わせた高架橋や橋脚

- 1) 柱が丸鋼管で、梁が箱断面のCFTとした橋脚：北陸新幹線・観法寺架道橋他（写真-11参照）
- 2) 柱をCFT、梁をSRCにしたラーメン高架橋：九州新幹線・新水俣駅高架橋他

3. 課題

最近、高度な解析を安易に用いたり、標準の適用外と考えられる構造でも標準の“いいとこどり”で安易に適用する例が見られる。構造物に適した解析法、解析を忠実に反映し溶接品質が確保できる構造ディテールが必要で、課題である。課題の一例を示す。

(1) 鋼桁

a) 対傾構の構造算定法

標準では「腹板間の4倍以下」、「8m以下」と仕様されているが適用構造物が、腹板間隔が約1mの新型合成桁や同6mの複線1箱桁など標準の適用外となる新しい構造や、道路橋で用いられているBEAMアナロジー、修正BEFアナロジーや道路橋設計便覧等があるが不合理な構造となることがあるので、合理的な解析法の整備が必要。

b) 高度な解析と構造ディテールのミスマッチ

たとえば、トラス弦材と直結した鋼床版床組の合成評価：鋼床版をシェル要素で立体解析するモデルと応力の伝達を忠実に反映する構造ディテールのミスマッチの設計手法：適用構造：鋼床版桁、低床式トラス桁。

立体解析を行うトラス桁の各部材の分担する応力を忠実に適合した構造ディテールの信頼性

FEM解析の評価：明確な適用目的、つまり局部応力の照査か、それともFEMで断面算定を考えるのか。そして、適切なメッシュ分割と解析結果の評価法の確立。

c) 箱桁の引張り領域の補剛構造

引張り領域にある縦リブや横リブ構造の理論的解析

(2) 合成桁

標準適用外の構造：合成複線1箱桁、合成2主I桁、連続合成桁、断続合成桁、完全合成桁、ダブル合成桁、合成トラス、等がある。

a) コンクリート床版厚とコンクリート強度

床版厚さを薄くする目的での高強度コンクリートやPC床版等は鋼材重量を低減する経済性はあるが剛性低下による耐久性（終局、疲労、使用の各限界強度）の低下。

b) 合成中立軸の位置

中立軸は鋼断面の中にあるべきであるが、解析で考慮しない部位、たとえば、有効幅外の床版、伸縮目地を有する地覆コンクリートや路盤コンクリート等は実構造としての剛性評価。

c) ジベルの配置と耐荷力

鉄道で用いているジベルは腹板直上に馬蹄形ジベルを配置する構造である。腹板直上以外にも配置するジベルの耐荷力の評価。たとえば、フランジ幅の広いI断面桁のフランジ全幅に配置するスタッドジベルの耐荷力分布、複線1箱桁の腹板と縦桁位置での耐荷力分布

(3) 連続合成桁

a) 中間支点部近傍のコンクリートのひび割れ耐力と鋼部材耐荷力との分担

コンクリート床版のひび割れ耐力を確保する手法として鋼部材の剛性アップによりコンクリートへの負担を少なくする設計法の妥当性。

b) コンクリート打設順序を考慮した耐荷力とキャンパー
コンクリート打設ステップによる構造系の変化を考慮
した構造（逐次合成）を評価した断面算定やキャンパー
値などの解析法。若令コンクリートの物理的性質と合成
桁機能の品質確保。

c) 中間支点部近傍の負曲げ区間のジベルの耐荷力

ジベルに作用する水平せん断力はMとSによる複合加
力の評価と解析法。母材は合成応力の照査を行う。

d) 曲げとせん断が作用する合成応力による溶接の照査

MとSが作用するフランジと腹板のくび部溶接の耐力
（終局と疲労耐力）の照査。

4. あとがき

複合構造は鋼とコンクリートの異なる特徴を適切に用
いれば両者の弱点を補い合理的な構造となる。しかし、
異種材料相互の接合部における力学的挙動は複雑で、構
造によっては円滑な力の伝達が不明確な場合や明確な設
計手法や構造ディテールが未解明で存在しない場合があ
る。このため、複合構造を実用化するうえでの課題を何
か、十分解明できているのか。地に足が着いた、構造に
適用した解析を、解析に忠実な構造を、これらを総合的
に判断し遂行する受け皿は・・・課題は多い。

複合鉄道橋の例を紹介したが、仕様設計から性能設計
に向かう時流の中で、益々、このような輻輳した構造が
求められている。何かの参考になれば幸いである。

謝辞：最後に、報告した複合構造のほとんど設計標準の
適用外の構造であり実用化や関係技術の研究に関係各位
の指導、協力をいただいております。誌面を借りて感謝
いたします。

参考文献

- 1) 保坂：マルチT形断面タイプの新型H形鋼埋込み桁, 土木技
術, 第 49 巻, 第 11 号(1994.11)
- 2) 生駒、保坂、小林、八巻：充填鋼管とコンクリートとの鉄
道複合橋梁, 土木学会第 54 回年次学術講演集(1999.9)
- 3) 保坂、中村、西海：鋼管桁の曲げ耐力およびR/C床版のず
れ止めに関する研究, 構造工学論文集, Vol. 43A-3(1997.3)
- 4) 保坂、西海、中村：圧縮強度およびヤング係数の異なるコ
ンクリート系材料を充填した鋼管の曲げ性能に関する実験
的研究, 構造工学論文集, Vol. 44A-3(1998.3)
- 5) 保坂、光木、西海、中村：鋼とコンクリートを組み合わせ
た鉄道橋主桁の騒音・振動低減効果に関する実験的研究, 構
造工学論文集, Vol. 44A-3(1998.3)
- 6) 保坂、堀地、西海、依田：コンクリート充填鋼管部材の疲
勞特性に関する実験的研究, 土木学会第 54 回年次学術講演集
(1999.9)7) 保坂、平城、小枝、橋、渡辺：鉄道用連続桁に
用いるずれ止め構造のせん断特性に関する実験的研究, 構造
工学論文集, Vol. 44A(1998.3)
- 8) 保坂、光木、平城、牛島、橋：孔明き鋼板ジベルのせん断特
性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 46A(2000.3)
- 9) 奥田、八巻、佐藤、井関：北総線、都計道 3・4・20 架道橋
の設計と施工, 橋梁と基礎(1990.12)
- 10) 阿部、中島、堀内：合成桁におけるスラブ分割の影響と柔
ずれ止めの開発, 構造工学論文集(1989.3)
- 11) 保坂、峰田、八巻、松尾：海浜地区に無塗装仕様の4 径間
ダブル合成桁の設計, 土木学会第 53 回年次学術講演集
(1998.9)
- 12) Strassenbrücken in Stahl-Beton-Verbundbauweise
Documentation(1997)
- 13) 保坂、田原、依田、八巻：鋼とコンクリートとのダブル合
成連続桁の乾燥収縮, 土木学会第 54 回年次学術講演集
(1999.9)
- 14) 保坂、加藤、江上、山本、米田：ダブル合成連続桁の鉛直
荷重に関する下スラブのジベル配置について, 土木学会第 54
回年次学術講演集(1999.9)
- 15) 谷口、市川、岡村：長大合成桁の模型試験, 土木学会第 36 回
年次学術講演集 (1981.10)
- 16) 辻角、保坂、堀地、橋、依田：鉄道複線 2 主 I 断面合成桁
の適用に関する解析的研究, 土木学会第 53 回年次学術講演集
(1998.9)

CURRENT STATES AND PROBLEMS OF STEEL-CONCRETE HYBRID RAILWAY BRIDGES

Tetsuya HOSAKA

In the railway bridge, the composite structure that has the concrete slab is a main current, because it demands the low noise structure. However, the ratio that occupies it to the railway structure is small. They are selected under severe environmental conditions. Therefore, there are a lot of complex structures to need high technology. On the other hand, the transition and the current state of the technology are at all insufficient. Stress transmissions and design methods of the requested composite structure might be not clear. This paper reports on typical composite structures and their problems.