

## 鋼・コンクリート混合連続橋 (宮野目橋) の設計・施工

日本道路公団東北支社構造技術課 新井 恵一  
 日本道路公団東北支社北上工事事務所 菅原 徳夫  
 ㈱熊谷組土木本部土木技術部 正会員 波田 匡司  
 ㈱熊谷組土木本部土木技術部 正会員 ○村田 信之

### 1. はじめに

本橋 (宮野目橋) は、東北縦貫自動車道との分岐点 (岩手県花巻市) から東方に約1 km離れた J R 東北本線を横断する箇所に架橋された橋長154mの鋼・コンクリート混合連続橋である。

本報文は、鋼単純合成桁と P R C 3 径間連続桁を支点上で結合させた混合構造を採用したことによってうまれる伸縮装置の省略による走行性の改善や維持管理費の低減、さらに側径間部をアーチ形状にして、裏込め材に気泡混合軽量盛土 ( F C B ) を採用して耐震性の向上を図った構造の設計ならびに施工についてまとめたものである。

### 2. 橋梁概要

本橋の工事概要を表-1に、全体一般図を図-1に示す。

表-1 工事概要

橋名	: 宮野目橋
構造形式	: P R C 鋼合成桁複合 6 径間連続橋
橋長	: 154.20m 有効幅員: 9.51m
支間長	: 16.0+41.4+26.4+28.0+26.4+16.0m (6径間連続)
架設方法	: クレーン架設および固定支保工架設

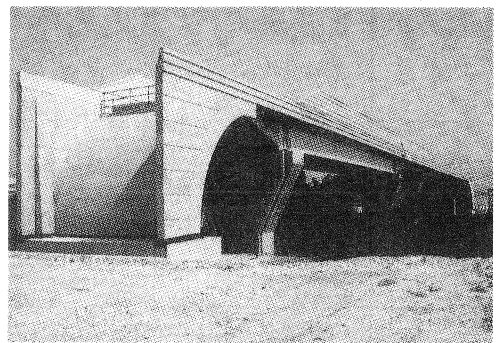


写真-1 完成写真

本橋は、J R 東北本線を跨ぐ区間を鋼桁形式とし、その他をコンクリート構造形式としたもので構造形式は、P R C 鋼合成桁複合 6 径間連続橋 ( R C 中空床版アーチ + 鋼単純合成桁 + P R C 3 径間中空床版 + R C 中空床版アーチ ) であり、以下の特徴を有する。

- ① 橋梁構造上、掛違い部の鋼合成桁とコンクリート桁を橋脚上で、部材軸方向に直接接合した混合構造である。
- ② 端径間主桁をアーチ形状とし地中部に埋込んで、伸縮装置を無くした構造とした。
- ③ 端径間アーチ部の接合部は、アーチ部下端の断面力低減のため、メナーゼヒンジを設けた。
- ④ R C アーチ部の裏込め材には、土圧軽減のため気泡混合軽量盛土 ( F C B ) 工法を採用した。

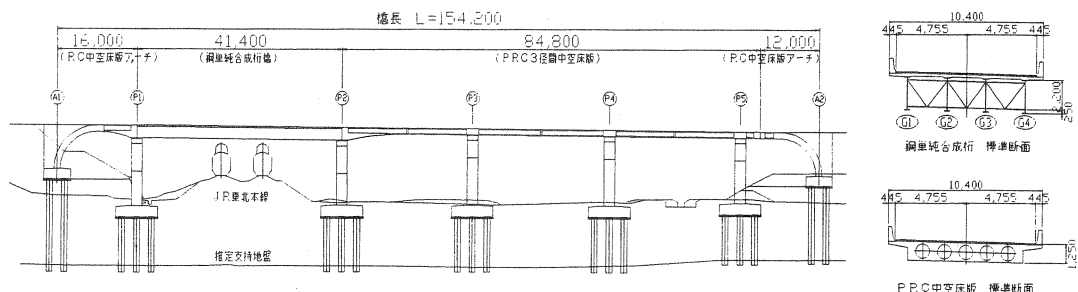


図-1 全体一般図

### 3. 設 計

#### 3. 1 設計概要

本橋の設計は、架設ステップにともない逐次構造系が変化することやアーチ部に作用する活荷重評価を行うため、構造系や架設状況に応じて平面格子解析、平面フレーム、立体フレームを組み合わせる断面力算出を行っている。また、P1、P2橋脚上における鋼・コンクリート結合部慣用設計法の検証および補強配筋量の算定を目的にFEM解析も実施した。本橋の耐震設計については、構造系が複雑であり、塑性ヒンジ発生箇所・位置の想定が不明であるため、震度法による静的解析や地震時保有水平耐力法により設計された部材に対して、非線形動的解析による橋全体系の耐震性を照査した。

#### 3. 2 解析の留意点および設計手法

設計計算の手順を表-2に示す。全体解析は、平面骨組み計算により、施工ステップを考慮し、鋼桁架設・P R C部施工・R C部両側施工・結合部横桁施工に分けて計算を行った。

表-2 解析手順および留意事項

構造系	解析概要	解析モデル	解析ケース
①鋼桁部 架設系計算	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼桁の単純桁状態における各架設状態に応じた解析</li> <li>単純桁形式の平面格子解析にて計算</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①主桁架設時</li> <li>②横桁架設時</li> <li>③床版打設時 (非合成)</li> </ul>
②P R C部 架設系計算	<ul style="list-style-type: none"> <li>P2支点上を半剛結状態と仮定し、連続桁構造を解析</li> <li>連続桁を平面骨組解析にて計算</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①死荷重時</li> <li>②プレート導入直後</li> <li>③クリップ、乾燥収縮</li> </ul>
③R C部 架設系計算	<ul style="list-style-type: none"> <li>両側径間のRC構造部の結合状態を想定し、打設順序に応じた解析</li> <li>平面骨組解析</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①死荷重時</li> <li>②クリップ、乾燥収縮</li> </ul>
④構造系完 成計算	<ul style="list-style-type: none"> <li>結合部の間詰めを行い、剛結された状態を平面骨組解析にて計算</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①死荷重時</li> <li>②クリップ、乾燥収縮</li> <li>③活荷重</li> </ul>

構造系完成後、F C B部を介して作用する活荷重を正當に評価することやP R C桁部・床版部に作用するプレストレス・乾燥収縮による影響を各鋼桁に再配分するため図-2に示す解析モデルにて3次元立体フレーム解析を実施した。

設計荷重は、3次元フレーム解析で、橋面荷重、活荷重、アーチ部F C B荷重による影響を計算し、平面骨組解析上で断面力の重ね合わせを行い算出した。

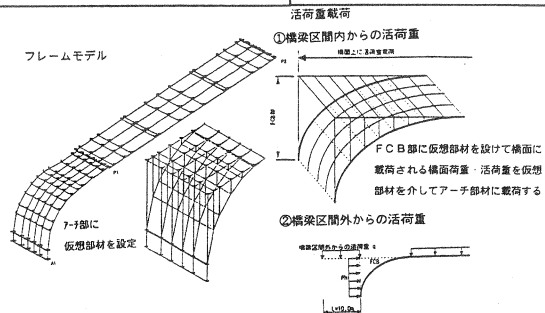


図-2 3次元フレーム解析モデル

### 3. 3 結合部FEM解析

本橋は、P 1, P 2 橋脚上において鋼とコンクリートを剛結した混合構造を採用している。この鋼桁とコンクリート桁との接合部では、鋼桁からコンクリート桁への断面力伝達、または、コンクリート桁から鋼桁への断面力をスムーズに伝達するために頭付きスタッドジベルによる結合方式を採用した。

桁結合後に発生する断面力については、曲げモーメントと軸力は桁の上下フランジのスタッドジベルで、せん断力に対しては鋼桁の腹板のスタッドジベルで応力が伝達するものとして骨組解析により設計を行っている。また、結合部の支点上横桁は、抵抗断面を鋼桁断面のみとし、主桁間の支承の反力が作用する単純桁として計算を行った。しかし、実際の結合部における断面力の伝達効果は、ジベルの配置やその結合状態などの要因により骨組解析との相違が懸念されたため、結合部の挙動確認とともに鋼主桁間のコンクリートに発生する断面力の照査を目的に3次元FEM解析を実施した。

結合部のFEMモデルは、鋼桁とマスなコンクリートとの応力伝達を再現し、立体的に検証するために3次元モデルとし、図-3に示すようにコンクリート部をソリッド要素、鋼桁をシェル要素、相互の結合を再現するスタッドジベルを梁要素とした。

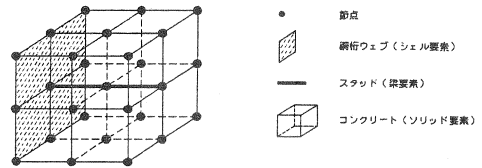


図-3 スタッド部のモデル化概念図

解析モデルは、表-3に示すコンクリートおよび鋼桁の応力を評価するモデル1と鋼桁腹板およびスタッドジベルを詳細に解析するモデル2を用いた。

表-3 解析モデル

モデル1	全体モデル	鋼桁部モデル	コンクリートモデル
桁形状と作用荷重の対称性から2分に1モデルとした。荷重は両端の主桁部に対称に作用させ、境界条件は支承部で固定とした。			
モデル2	全体モデル	鋼桁部モデル	コンクリートモデル
鋼桁とスタッドジベル、コンクリートの局部に着目し、荷重は軸力、せん断力、モーメントを別に載荷するモデルにて解析。			

FEM解析によって、①鋼桁の応力分布の確認、②スタッドジベルに作用する応力分布の確認、③コンクリート床版上縁側鉄筋の算定、④結合部コンクリートのせん断補強筋量の算定など4項目について検討を行い、果以下の結果を得た。

①について：鋼桁部には一様な応力分布が確認され、かつ発生応力度が許容値以下であり、設計方針の妥当性が確認できた。

②について：スタッドジベルの作用力は、配置位置による断面力のばらつきが±20%程度生じることが判明したが、設計上問題のないレベルであり、慣用計算で十分であることが検証できた。

③について：コンクリート床版上縁に引張応力の集中が確認されたので、結合部の上縁側の鉄筋を平面骨組解析から算定されたD19をD22に変更した。

④について：鋼とコンクリートの結合部のせん断補強鉄筋量は、平面骨組解析より算定した鉄筋量を下回っており、現設計の妥当性が検証できた。

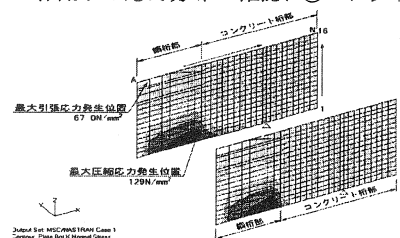


図-4 鋼桁部応力分布(水平方向)

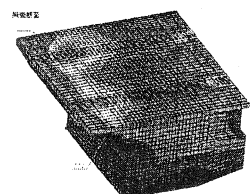


図-5 コンクリート床版応力度分布

#### 4. 施工概要

本橋は、構造系が架設ステップにより大幅に変化する  
ため、設計思想を踏襲して表-4に示す順序により  
施工を行った。鋼桁は、現場まで運搬が可能な長さ  
に分割したものをトレーラで搬入し、これを現場製作  
ヤードにおいて41.4mの鋼桁2本となるよう地組を  
行い、地組完了後500tクレーンの夜間架設により  
2主桁を1ピースとして架設を行った(写真-2)。

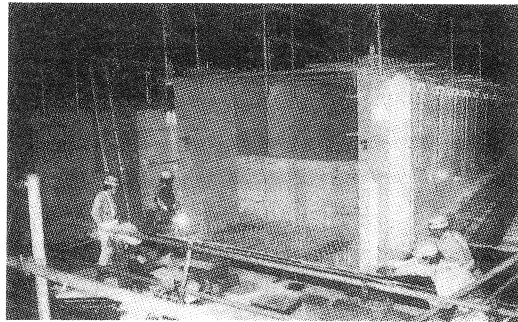


写真-2 鋼桁架設状況

PRC桁部、RCアーチ部は、施工順序を考慮して  
固定支保工で施工した。表-4に鋼桁を単純桁として

架設したSTEP1、PRC連続桁を施工し鋼桁と半剛結  
合された状態(横桁間詰め部施工を行わない状態)  
をSTEP2、アーチ部と鋼桁部およびPRC連続桁部と  
アーチ部が剛結された状態をSTEP3、構造系完成  
(P2上橋脚の横桁間詰め部施工)をSTEP4とし、各  
イベントで発生した問題点と実施対策を整理した  
ものを示す。

表-4 施工手順と施工上の問題点

施工順序図		施工上の問題点	施工改善事項
STEP 1	鋼桁架設 	<ul style="list-style-type: none"> <li>J R活線上の架設であり、施工時期・期間が限定される。</li> <li>架設後の列車防護工等の設備の施工がJ R活線上の作業となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>現場製作ヤードにて鋼桁2本を地組みし、架設本数を減。</li> <li>予め地組み時に列車防護設備を取り付け、桁架設後のJ R線上空での作業を排除。</li> </ul>
STEP 2	PRC桁施工 	<ul style="list-style-type: none"> <li>PRC中空床版橋は、暑中でのコンクリート打設となった。</li> <li>結合部での半剛結状態の確保と狭隘作業空間での緊張作業となった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>暑中コンクリート対策の実施。</li> <li>コンクリート打設を早朝作業。</li> <li>過密配筋、鉄筋継手の見直し。</li> <li>端部ケージ配置形状・定着の見直しによる空間確保。</li> </ul>
STEP 3	RCアーチ部施工+剛結 (P1, P5剛結) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>アーチ部のコンクリート打設は、打設作業中の支保工の沈下や品質向上が課題。</li> <li>結合部は、狭隘な作業空間の間詰工の施工改善</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>流動化コンクリートの使用。</li> <li>アーチ背面のコンクリート投入口の適正配置と締固めの徹底。</li> <li>スラット・ジベル結合方式による結合部の施工性改善。</li> </ul>
STEP 4	構造系完成 (P2支点上剛結) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>P2支点上の結合部の間詰工の確実な施工。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スラット・ジベル結合方式による結合部の施工性改善。</li> <li>収縮補償コンクリート打設。</li> <li>計測実施による応力把握。</li> </ul>

#### 5. まとめ

本橋は、耐震性能の向上及び将来の維持管理費の軽減等を図るためにノージョイント構造とした。これにより構造形式は、鋼桁とコンクリート桁との混合構造でかつ、両端にFCBによる軽量盛土を有するアーチから構成される連続橋となった。このため、設計においてFEM解析や立体フレーム解析を併用しているが設計上の仮定条件や荷重の伝達機構の解明を目的に実発生応力の挙動を計測中である。よって、今後実橋載荷試験や長期応力計測の結果を踏まえて鋼とコンクリートの連続化による力の伝達解明や結合部の評価、RCアーチ部の評価を実施していく予定である。