

鉄道橋における複合ラーメン橋の長大支間への適用に関する解析的研究

○ 鉄道・運輸機構 設計技術部

正会員

藤原 良憲¹

(財)SCOPE(前:鉄道・運輸機構)フェロー会員

保坂 鐵矢

北海道大学大学院工学研究科

フェロー会員

林川 俊郎

パシフィックコンサルタンツ(株)

正会員

八巻 康博²

1. はじめに

R C橋脚と鋼桁の剛結構造(複合ラーメン構造)については数多くの研究が行われ、実橋に適用されてきている。長大橋への適用は耐震性、経済性に優れる一方、支間が長くなるとR C橋脚の鉄筋の定着構造、上部工の連結構造(ヒンジ結合 or モーメント結合)などの、施工性・構造性に危惧される事柄が生ずる。鉄道橋においては、日本鉄道建設公団が行った同形式の研究業務を基に設計された、北陸新幹線・境川橋梁が唯一の複合ラーメン橋である。同橋は中小支間(L=46.1+51.1m)の2径間連続少数主桁方式の合成桁であり、長大支間合成桁への適用が望まれている。

2. 研究の目的

本研究は支間を80~100mの複合ラーメン橋梁とし、径間数は2、3径間連続構造を対象とした。桁構造は適合支間では合理的な複線1箱桁橋(図-1参照)を対象に経済性・耐震性、施工性を含めた剛結構造を開発することを目的とした。本稿では、第一段階としての試設計を行った結果を示す。

3. 試設計の内容

試設計は、その橋脚高、地盤の種別を変えて14ケース行った。経済性等の把握においては、通常の連続合成桁を比較対象としており、試設計一覧を表-1、桁断面を図-1に示す。鋼桁とR C橋脚の結合方法は、北陸新幹線・境川橋梁で実績のある、アンカービーム(鋼製柱)方式が採用可能なものと仮定し、その断面はS R C方式としている。

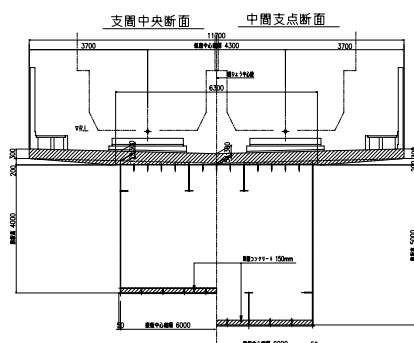


図-1 (複線1箱桁断面)

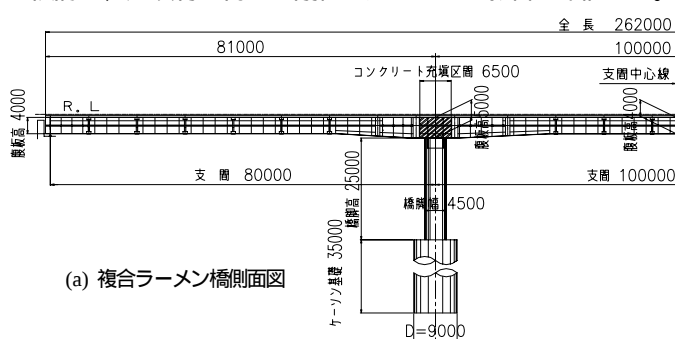
表-1 (試設計一覧表)

検討 ケース	試設計構立形式		支間(m)	橋脚高(m)	地盤の種類	R C橋脚との結合方式
	2 径間連続桁		80+80	---	---	
	3 径間連続桁		80+100+80	---	反力分散ゴム垫+水平滑	
	2 径間連続複合ラーメン橋		80+80	10m 17m 25m	G2地盤 G4地盤	
	3 径間連続複合ラーメン橋		80+100+80	10m 17m 25m	G2地盤 G4地盤	

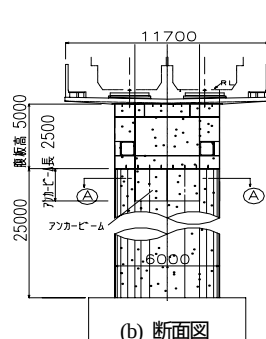
設計条件	列車荷重	P-16・新幹線荷重
	設計速度	V=260 Km/h
	軌道構造	スラブ軌道
	桁構造	複線1箱桁（合成桁）
	施工基面幅	w=11700 mm
	床版の条件	t=300mm, f _{ck} =30N/mm ² , 床版内鉄筋 D22@125(中間支点部桁)
	主桁の材質	中間支点部: SM570 支間部: SM520
	設計震度	橋脚高、地盤種別による
	温度変化	Δt=±40 ℃

4. 試設計の結果

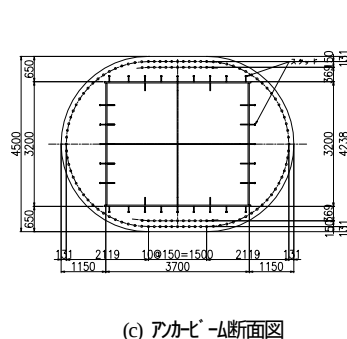
試設計の結果、鉄道長大橋においても複合ラーメン橋形式が可能となり、連続桁形式よりも鋼材重量は増加したが、沓の省略(中間橋脚部)により、経済効果が発揮されることが総ての検討形式において確認できた。ここでは、試設計を行った全てのケースのうち最大の設計震度が生じる、3径間連続(81m+100m+81m)・橋脚高 25.0m・G4地盤での検討結果(図-2~4表-2)を示す。このケースにおいては、更なる経済性を追求し、R C橋脚直上の桁内に軽量骨材コンクリートを充填した場合も検討し、充填材の荷重・剛性の違いによる影響を確認した。



(a) 複合ラーメン橋側面図



(b) 断面図



(c) アカビーム断面図

(1) 主桁断面の決定要因

図-2 一般形状図

今回14ケースの試設計を行ったが、主桁中間支点部の断面は、図-3、4に示すように本ケースのみ地震時、他のケースは常時が断面決定ケースとなった。連続桁形式との比較では、中間支点部の断面力(負曲げ)は増加傾向を示した。

キーワード: 複合ラーメン橋、長大鉄道橋、連続合成桁、アンカービーム(鋼柱)方式、軽量骨材コンクリート

1 〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1

T E L 045-222-9083 F A X 045-222-9102

2 〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 第一生命ビル

T E L 03-3344-0626 F A X 03-3344-0806

このことは、桁内の充填コンクリートによる中間支点部の剛性の向上、温度変化・鉄道特有のロングレール縦荷重の作用による、桁構造では発生しない負曲げが中間支点部に付加されたことによると考えられる。ただし、複合ラーメンの中間支点部断面算定は、橋脚幅の1/2 分支間側にシフトした位置で検討したため（充填区間は剛体）板厚は減少する場合もあった。

以下に常時と地震時の曲げモーメント図を桁構造との比較で示す。

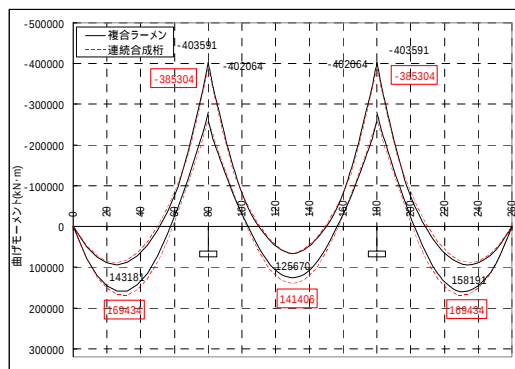


図-3 常時の曲げモーメント図

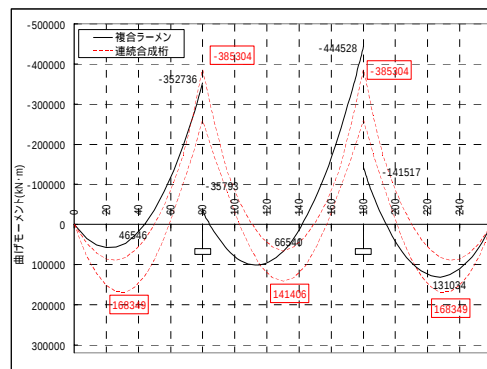


図-4 地震時の曲げモーメント図

注意、常時の設計断面力（桁、複合ラーメン共通）には、上表にスラブの C_r, S_h 及び Δt による不静定曲げ（約-28000kNm）を加算している。

(2) 軽量骨材コンクリートの効果

通常は剛体として解析する結合部（表-2、 κ -ス；極端に大きな剛性）に、使用材料の持つ適切な剛性を与えることにより、その部分の剛度が弱まる効果、材料が軽量である効果（表-2、 κ -ス）により、結合部の主桁・アンカービーム断面を縮小することができた。以下に比較表-2を示す。表-2（解析結果概要抜粋）

表 - 2 (解析結果概要抜粋)

船形式			中関支点部の断面力と安全率				中関支点部合成断面力				アンカービームの断面力と安全率				アンカービームの断面				概算調査1:1		支点部製作条件		下部構造寸法	
①	船形式	3根連続航行	断面力	弯矩	地盤時	材質	S5570													船調査(主点部)	R25	船中継継ぎ目	船体	
			M (kN・m)	-413.362	---		断面本数	B22	×	186									船調査(主点部)	391	船中継継ぎ目	3-4.5φ ₁₇₀ ×5		
	中関支点部 船中継継ぎ目	鋼材と床版 コンの合成	弯矩	0.808	---	1-LP6	φ300	×	28									新断面合計	1213	1,080	船体(ケーブリン)			
		全	上フランジ	0.808	---	2-6φ6	φ300	×	24									アンカービーム調査	0		3-4.5φ ₁₇₀ ×5			
		下フランジ	0.808	---	1-LP6	φ180	×	26									合計調査	1213	φ1,180					
②	船形式	3根連続航行 橋台ラーメン	断面力	弯矩	地盤時	材質	S5570	断面力	弯矩	地盤時	アンカービームの断面	船調査(主点部)	R25	中関支点部と船体 のコンクリート	船体									
			M (kN・m)	-421.363	-568.421	断面本数	B22	×	186	M (kN・m)	-122.438	-327.024	材質	S5570	船調査(主点部)	391	3-4.5φ ₁₇₀ ×5							
	中関支点部 船中継継ぎ目	剛性	弯矩	0.780	0.818	1-LP6	φ300	×	28	変 鋼材の降伏耐力	0.570	0.957	1-LP6	φ300	×	28	新断面合計	1213	船体(ケーブリン)					
		全	上フランジ	0.609	0.808	2-6φ6	φ300	×	24	変 せん断耐力	0.197	0.504	2-6φ6	φ180	×	26	アンカービーム調査	70	0.5φ8					
		下フランジ	0.944	0.875	1-LP6	φ180	×	26	変 断面算定はRNC方式	1-LP6	φ300	×	28	合計調査	1283	φ1,180								
③	船形式	3根連続航行 橋台ラーメン	断面力	弯矩	地盤時	材質	S5570	断面力	弯矩	地盤時	アンカービームの断面	船調査(主点部)	R25	中関支点部と船体 のコンクリート	船体									
			M (kN・m)	-408.187	-535.913	断面本数	B22	×	186	M (kN・m)	-106.768	-330.661	材質	S5570	船調査(主点部)	378								
	中関支点部 船中継継ぎ目	鋼材と床版、 橋台ラーメンの 合成	弯矩	0.781	0.894	1-LP6	φ300	×	24	変 鋼材の降伏耐力	0.570	0.957	1-LP6	φ300	×	28	新断面合計	1200	---					
		全	上フランジ	0.607	0.823	2-6φ6	φ300	×	24	変 せん断耐力	0.589	0.563	2-6φ6	φ180	×	26	アンカービーム調査	58	0.5φ5					
		下フランジ	0.978	0.878	1-LP6	φ180	×	26	変 断面算定はRNC方式	1-LP6	φ300	×	28	合計調査	1258									

注 1. 中国支店初期製作作業は、中国支店の前後19%区間は7.0kg+0.04(kg)の軽重量と省く(アンカービーム)の製作経路費を省き、倍化比率で示した。

5. まとめ

想定した条件の範囲では、アンカービーム方式で設計可能な範囲であり、経済効果が期待できる。本報告書は沓を含めた鋼桁の製作・架設費での比較であるが、下部構造も縮小可能であり、更なる工事費の低減が可能である。

剛結部の主桁断面は、橋脚高が高く、設計震度が大きい場合（今回 $h=25\text{m}$ 、設計震度 0.561）地震時で断面が決定された。それ以外のケースは常時状態で断面が決定され、中間支点部の曲げは、連続桁構造より大きくなる傾向となった。桁内充填材を軽量コンとした場合、適切な剛性の付加、及び死荷重の減少効果により更なる経済効果が確認できた。

今後の課題

本稿は試設計のみであるが、FEM 解析も順次実施しており、応力の伝達経路・応力集中、スタッドの本数と配置方法、橋脚鉄筋の定着構造、及び充填コンクリートの範囲等の問題点を解明し、試設計内容の妥当性の検証も行う予定である。上下一体化の問題点として剛結部の施工精度が上げられる。橋脚鉄筋の鋼桁下フランジ貫通をなくし、アンカービーム部で定着可能であれば施工上のメリットが大きい。FEM 解析・載荷試験等で定着長、ビーム長等の確認する予定である。又、上部工架設に伴う剛結部の定着時期と節点接合モデルとの合理性の評価も課題と考えている。

アンカービーム方式以外の結合方式として、鋼材を有効に活用できるスカート方式（橋脚のＲＣ断面を鋼桁下に設けた鋼材で被覆する方式）も視野に入れ、経済的で且つ施工性の良い結合方式の提案も考えている。

剛結部の応力伝達の円滑性と鉄道橋で採用している制振工を利用した2重合成³⁾も鋼材重量の軽減、剛性が高まることによる床版の耐ひび割れに効果があると思われ、今後の研究での課題と考えている。

- 参考文献 1) 保坂、依田他：ア卡西ームを用いた上下一体構造の地震時を想定した性的交番繰返し載荷実験、構造工学論文集、VOL.47A(2001年3月)
- 2) 鈴木、折戸：北陸新幹線 境川橋りょうの設計・施工に関する一報告、土木技術
- 3) 保坂鐵矢：北陸道B.Vのダブル合成の例