

鋼連続合成ラーメン2主鉄桁橋へのコンパクト断面設計法の適用検討

東日本高速道路(株) 正会員 東田 典雅 正会員 西川 孝一 非会員 神林 尚樹 ○正会員 宇山 友理
大日本コンサルタント(株) 正会員 登石 清隆 非会員 脇坂 哲也

1. はじめに

NEXCO 東日本では、鋼連続桁橋の設計に我が国で初めてコンパクト断面設計法を金谷郷高架橋に取り入れ建設している¹⁾。本稿は、この設計法の適用範囲の拡大と設計手法の発展を図るべく、鋼連続合成ラーメン構造(図-1、表-1)への適用性について、検討結果を報告するものである。

表-1 検討橋梁諸元

道路規格	第1種2級
橋梁形式	鋼3径間連続合成ラーメン2主鉄桁橋
橋長	140.0m
支間長	34.2m + 53.0m + 51.2m
有効幅員	10.750m
平面線形	A=500m ~ R=1,300m
斜角	90° 00' 00"

2. 照査項目と照査式

コンパクト断面設計法は、鋼桁とコンクリート床版からなる合成断面の終局時において、腹板に局部座屈が生じることなく、鋼桁が全塑性モーメントに達し、圧縮応力の大半をコンクリート床版で受け持たせることで合理的な断面を実現する設計法である(図-2)。

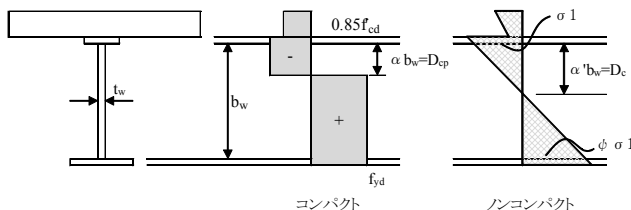


図-2 断面区分と応力状態

本検討では、AASHTO や Eurocode などの海外基準の限界状態設計法を参考に使用限界状態と終局限界状態を設定し、各状態での要求性能を定義した。各限界状態の照査項目および照査式を表-2に示す。

限界状態における荷重組合せは(式-1、2)の通りと

し、終局限界状態における荷重係数は、道路橋示方書の降伏に対する安全度の照査を参考に、死荷重(D)は1.3倍、衝撃を含む活荷重(L)は2.0倍とした。

$$\text{使用限界: } 1.0D + 1.0L + C + S + T \quad \dots (式-1)$$

$$\text{終局限界: } 1.3D + 2.0L + C \text{ 注} + S \text{ 注} \quad \dots (式-2)$$

注) コンパクト断面の設計では省略

ここに、C:クリープ、S:乾燥収縮、T:温度

なお、負の曲げモーメントが作用する断面(中間支点上)については、床版コンクリートを無視した鉄筋+鋼桁断面が全塑性モーメントまで達しないノンコンパクト断面として照査を行った。

表-2 照査項目および照査式

		実施設計	
		正曲げ コンパクト断面	負曲げ ノンコンパクト断面
使用限界状態	フランジ応力	床版コンクリートを桁断面に算入 $\sigma \leq \sigma_y / 1.15$ $\tau \leq \tau_y / 1.15$ σ_y : 降伏応力 τ_y : せん断降伏応力	引張応力状態の床版コンクリートを無視し 床版鉄筋を断面に算入 $\sigma \leq \sigma_y / 1.15$ $\tau \leq \tau_y / 1.15$ σ_y : 降伏応力 τ_y : せん断降伏応力
	床版コンクリート	—	Wa=0.0035C Wa: 許容ひび割れ幅 C: かぶり
終局限界状態	限界モーメント	$M \leq M_r = \min(M_{r1}, M_{r2})$ Mr1: 全塑性モーメント Mr2: 1.3My	—
	限界せん断力	$V \leq V_r$ Vr: 限界せん断力	同左
	フランジ応力(圧縮)	—	$\sigma_{nc} \leq \min(\sigma_{nc1}, \sigma_{nc2})$ σ_{nc1} : 局部座屈を考慮した応力 σ_{nc2} : 横座屈を考慮した応力
	フランジ応力(引張)	—	$\sigma_t \leq \sigma_y$ σ_y : 降伏応力
	合成限界比	$(M/M_r)^{1/4} + (V/V_r)^{1/4} \leq 1.0$	同左
ウェブ幅厚比	ウェブ厚比	$2D_{op}/t_w \leq 3.76 \sqrt{E/\sigma_y}$ Dop: ウェブ圧縮高さ(塑性) tw: ウェブ厚 E: ヤング係数	$2D_{oc}/t_w \leq 5.7 \sqrt{E/\sigma_y}$ Doc: ウェブ圧縮高さ(弾性) tw: ウェブ厚 E: ヤング係数

3. ラーメン構造に必要な照査項目

3. 1 地震時の照査

一般的な支承を有する連続合成桁橋では、死荷重や活荷重といった鉛直荷重を主とした荷重組合せに対して、正の曲げモーメントが作用する支間中央をコンパクト断面、負の曲げモーメントが作用する中間支点上をノンコ

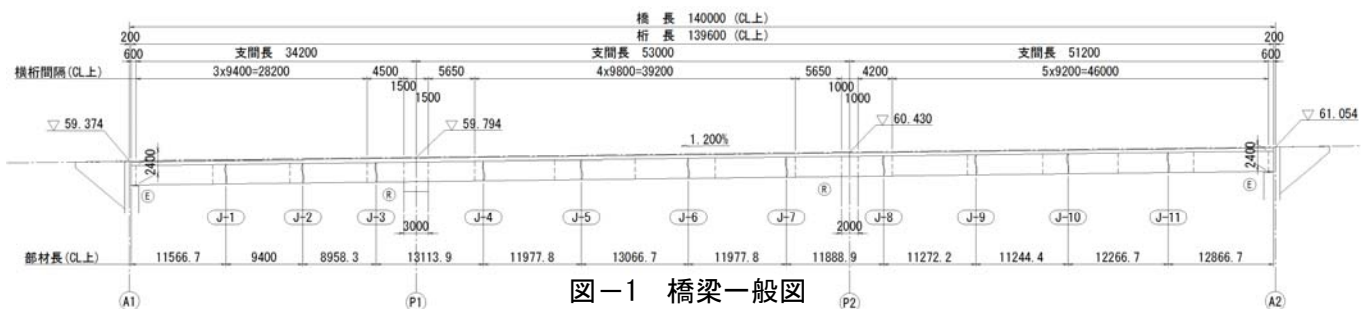


図-1 橋梁一般図

キーワード 鋼連続合成ラーメン, コンパクト断面, ノンコンパクト断面

連絡先 〒950-0917 新潟県新潟市中央区天神1-1 TEL 025-241-5159 FAX 025-241-5192

コンパクト断面として設計している。一方、鋼桁と RC 橋脚を剛結したラーメン構造では、地震（L1、L2）による水平荷重によっても鋼桁に断面力が発生し、特に大規模地震時（L2）においては、中間支点上に活荷重載荷時の 2 倍程度の曲げモーメントが作用する。また、地震動の向きによっては逆方向のモーメント（正曲げ）が作用するケースもある（図-3）。

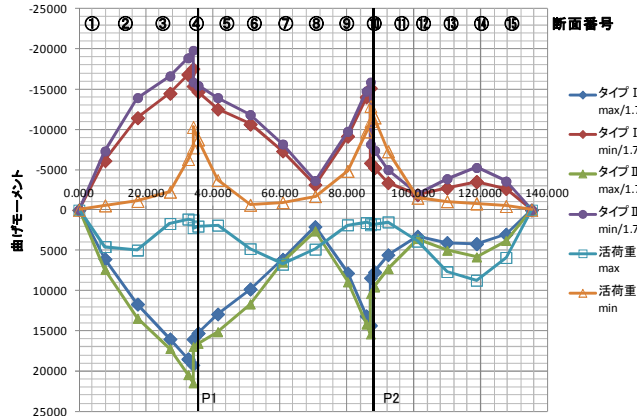


図-3 曲げモーメント図

これより、発生確率の高い L1 に対しては使用限界状態の照査、発生確率の低い L2 に対しては終局限界状態の照査を行い、安全性を確認した。

$L1 : 1.0D+C+S+1.0EQ1 \quad \dots (式-3)$

$L2 : 1.0D+C+S+1.0EQ2 \quad \dots (式-4)$

ここに、EQ1 : L1 地震、EQ2 : L2 地震

なお、L2 については、橋脚基部の降伏を先行させるため、上部工の塑性化を認めない弾性設計（ $\leq \sigma_y, \sigma_{nc1}$ または σ_{nc2} ）を行った。

3. 2 剛結部の照査

ラーメン構造の場合、鋼桁と RC 橋脚の剛結部において境界面の応力照査を実施している。本橋では、一般部と同様に使用限界状態および終局限界状態に対する照査を実施し、安全性を確認した。

4. 照査結果

表-3 照査結果

断面番号		第一径間				P1				第二径間			
常時 (使用限界, 終局限界)	上フランジ厚(mm)	21	25	45	65	45	25	24	21				
	ウェブ厚(mm)	18	18	27	27	27	18	18	21				
	下フランジ厚(mm)	22	30	50	58	44	24	22	40				
L2地震時	上フランジ厚(mm)	—	21	25	45	65	45	25	24	21			
	増厚量(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	ウェブ厚(mm)	—	18	18	27	41	27	18	18	21			
	増厚量(mm)	0	0	0	0	14	0	0	0	0			
	下フランジ厚(mm)	22	30	50	65	53	33	22	40				
	増厚量(mm)	0	0	0	7	9	9	0	0				

※ はコンパクト断面で設計可能な箇所 ※ は板厚の変更が生じる箇所

照査結果を表-3 に示す。正の曲げモーメントが支配的となる約 50%の区間をコンパクト断面とすることが可能となった。なお、ノンコンパクト断面として設計した中間支点上（P1 橋脚）については、L2 時の照査において下フランジの増厚が 7~9mm 必要となった。また、剛結部で

は、せん断応力度の照査においてウェブの増厚が 14mm 必要となった。

5. 最適桁高

本橋において鋼重を最小とできる桁高は H=2.4m となり、桁高支間比は平均支間長で約 1/19、最大支間長で約 1/22 となった（図-4）。この桁高は、許容応力度法の最適桁高 H=2.7m と比べて 0.3m 低い結果となり、活荷重たわみについても 31.0mm 程度（1/1665）であり、使用性に対する問題はない。また、コンパクト断面設計法における桁高 H=2.7m の活荷重たわみは 21.8mm であり、許容応力度法の最適桁高 H=2.7m が 20.5mm であることから、桁高を高くし剛性を向上させることで、許容応力度法と同程度の活荷重たわみとすることができる。

6. 許容応力度法との比較

一般にコンパクト断面設計法を導入した場合、合成断面区間はコンパクト断面としての設計が可能となり、鋼重の低減が期待できる。本橋においても、支間中央の鋼桁断面は 20%程度小さくなり、全体鋼重においては 15%程度の低減が可能となった（図-4）。

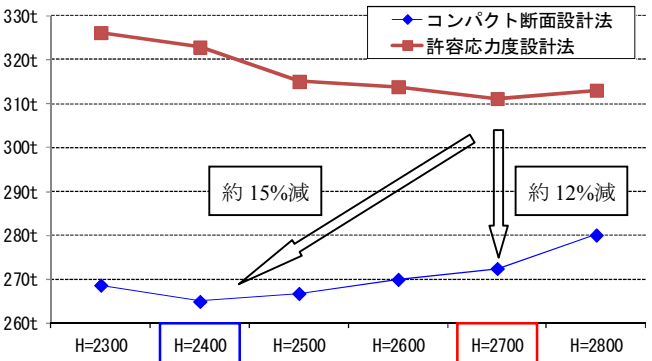


図-4 桁高と鋼重の関係

7. まとめ

鋼連続合成ラーメン構造におけるコンパクト断面設計法の適用検討の結果、下記の知見が得られた。

- 1) ラーメン構造におけるコンパクト断面設計法の適用性は高く、更なる構造の合理化、鋼重の低減が可能である。
- 2) 桁高を高くし剛性を向上させることで、たわみを小さくしても、十分合理的な設計が可能である。
- 3) ラーメン構造特有の L2 地震を組合せたケースにおいて、中間支付近の下フランジ厚および剛結部の腹板厚がアップし、支承構造の連続合成桁橋に比べて鋼重低減効果は小さくなった。

参考文献

- 1) 藤野和雄・高久英彰：国内初のコンパクト断面を導入した鋼連続合成桁橋—金谷郷高架橋—，土木技術 68 巻 3 号（2013.3）