

V-46

PC斜材を用いた2径間連続PC斜張橋の斜材定着部の設計

北海道旅客鉄道(株) 正員 小澤直正
北海道旅客鉄道(株) 正員 吉野伸一

1.はじめに

帯広市内を走るJR根室本線は基盤の目状に整備された市街地を斜めに分断した形となっていることから南北あるいは東西の円滑な道路交通を阻害し、都市の均衡ある発展にとって大きな課題となっている。この課題を解決するためにJR根室本線帯広駅付近連続立体交差事業が策定され、現在に至っている。

帯広駅の西側隣接部には、都市計画道路との交差点が生じるために長大橋りょうが計画された。計画設計の検討を行った結果、経済的にも有利で都市のランドマーク的機能を併せ持つPC斜張橋が採用された。本橋りょうの最も大きな特徴としては斜材にPCを用いて保守面の省力化を図った点である。国内でのこの種の構造の施工実績は非常に少なく、施工中の橋りょうを除くと、三陸鉄道北リアス線小本川橋りょうだけとなっている。

本文は、本橋りょうを設計する上で構造的なネックとなったPC斜材定着部について報告するものである。

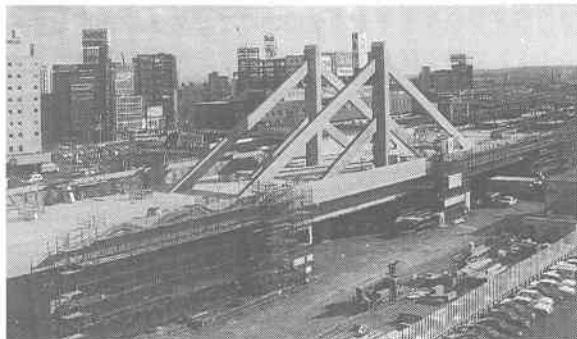


写真-1 施工状況

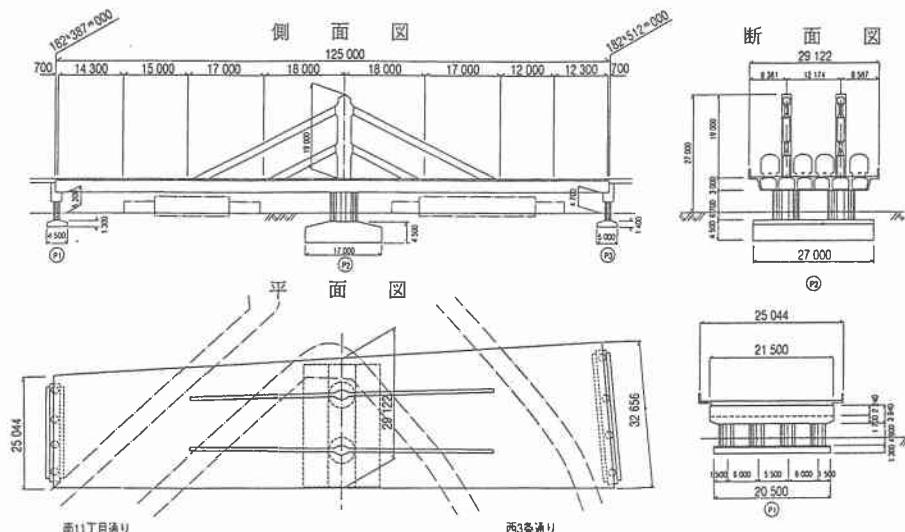


図-1 橋りょう一般図

A design of diagonal joint between main tower and PC girder for 2 span continuous P.C.stayed bridge. by Naomasa Ozawa and Shinichi Yoshino

2. 構造形式概要

本橋りょうはマルチケーブルタイプの斜張橋と比較して主桁の荷重負担率が大きく、単純桁橋とマルチケーブルタイプの斜張橋の中間的な構造形式となっている。また、PC斜材の採用により構造物全体の剛性向上と斜材の応力振幅を低くすることが可能であり、列車走行時における撓みを小さくすることができる。

本橋りょうの構造形式で特徴的な点は以下の通りである。

- ①PC斜材を有しており斜材ケーブルは主塔部に定着せずスルーフレーム構造である。橋自体の剛性が高いので、列車走行による変形や撓みが少ない。
- ②橋自体の剛性が高いので、列車走行による変形や撓みが少ない。
- ③マルチケーブルタイプに比較して斜材の応力変動が少ないことからPC鋼材を有効に利用することができるので定着具や防錆対策が不要となる。
- ④メンテナンスフリーとなり維持管理が容易である。
- ⑤幅員が25.0~32.6mに変化する広幅員橋りょうである。

3. 主塔サドル部と斜材定着横桁の設計

3-1 主塔サドル部の設計

(1) 設計条件

主塔部はスルーフレーム構造でありPCケーブルが円弧状に配置されるため、ケーブル直下のコンクリートには腹圧力Wが働く。そのため、割裂引張力による検討が必要となった。

図-2に示すように斜材ケーブルは12本が密に配置されており、相互の応力干渉により複雑な応力分布となることが予想されたため、2次元FEMを用いて解析を行うことにした。

斜材ケーブルは19T15.2の、引張強度 $P_u=505.4\text{tf}$ 、降伏強度 $P_y=429.4\text{tf}$ とし、荷重の載荷状態については、ケーブル内の管内配置形状をモデル化して設計荷重時の0.7 $0P_u$ では、45°分布、終局荷重時 P_y では集中荷重とした。

また、鉄筋の引張強度は設計荷重時の引張応力度を100 kN/cm^2 以内とし、破壊時の引張強度を3500 kN/cm^2 以内として、作用させた。

(2) 解析結果と補強対策

主塔部には上段及び下段の2箇所に斜材ケーブルが定着する構造となっている。解析の手法として2次元FEMを用いて各箇所をモデル化して検討した。その結果、上段斜材には-35.00 (kN/cm^2)という大きな引

表-1 数量総括

	種別	仕様	数量
主桁	コンクリート	$f'_{cx}=400\text{kgf}/\text{cm}^2$	4,015 m^3
	鉄筋	SD345	365 t
	PC鋼材	12T12.7SWPR7B	54 t
斜材	コンクリート	$f'_{cx}=500\text{kgf}/\text{cm}^2$	227 m^3
	鉄筋	SD345	24 t
	PC鋼材	15T15.2SWPR7B	62 t
主塔	コンクリート	$f'_{cx}=500\text{kgf}/\text{cm}^2$	213 m^3
	鉄筋	SD345	25 t
下部工	コンクリート	$f'_{cx}=270\text{kgf}/\text{cm}^2$	2,953 m^3
	鉄筋	SD345	389 t
横桁	鉄筋	SD345	49 t
	PC鋼材	12T12.7SWPR7B	16 t
上屋受梁	PC鋼材	1T21.8SWPR19	1 t

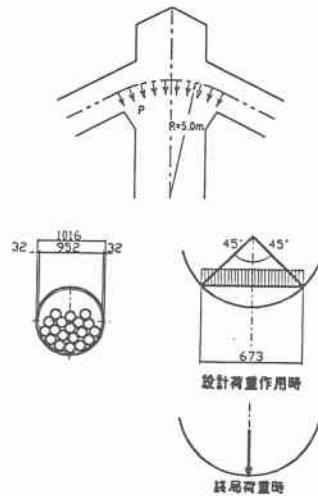


図-2 腹圧力載荷モデル

張力が作用する。一方、下段斜材については上段斜材の腹圧力により大きな圧縮力が働く。そのため、引張力の発生が大きい上段斜材について補強の必要性があることがわかった。(図-3 参照) 一般に主塔サドル部の補強は、PC鋼材で行っている例と鉄筋によって行っている例があるが、本橋はPCケーブルの容量が大きく、かつ密に配置されていること、支圧領域にひび割れが発生した後の挙動が不明確であることを勘案して、設計荷重時で許容値を越える引張応力に対してPC鋼材で補強を行った。(図-4、5 参照)

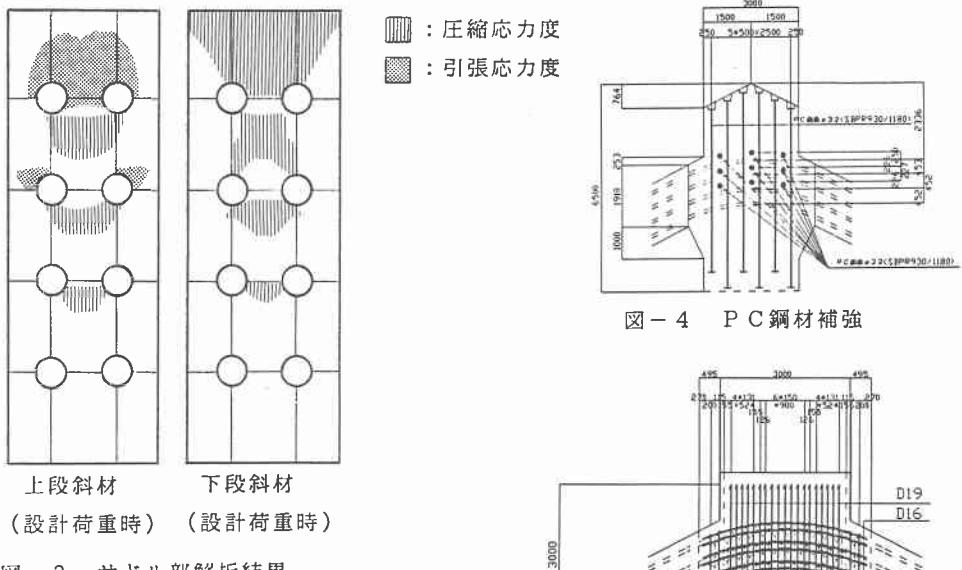


図-3 サドル部解析結果

3-2 斜材定着横桁の設計

(1) 設計条件

斜材は図-6に示すように主桁内の横桁に定着され、横桁は主桁の吊り点として作用する。また、この横桁は斜材の張力を主桁の軸力として作用させる部材である。そのため、斜材張力を広幅員の主桁にスムーズに伝達することができるようウェブ・上下床版の拡幅と増厚を行った。

斜材定着横桁の設計は、斜材吊り点位置を支点とした有効幅を考慮した梁として鉛直荷重に対して検討を行うほかに、主桁を斜材2面で吊るために主桁の軸方向短縮量の違いによって生じる水平変位に対する検討を行った。なお、斜材定着部に作用する荷重は終局荷重時と設計荷重時について行った。

(2) 終局荷重時の検討

斜材定着部は複雑な形状をしていることから、解析する上で破壊の形態を推測するのは困難であるが、今までに斜張橋の定着部の破壊実験は数回行われており、それらの実験結果に基づいて以下の方針で検討を行った。

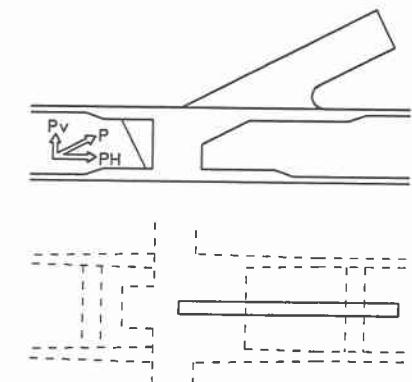


図-6 斜材定着構造形状

①定着部に作用する力を鉛直・水平成分に分割し、鉛直成分に対しては上床版の押し抜きせん断破壊、水平成分に対してはウェブ・上下床版面をせん断面とする直接せん断破壊を想定して検討を行った。

②鉛直成分の押し抜きせん断耐力の算出には、上床版コンクリートの押し抜きせん断耐力にせん断破壊面内に配置された鉄筋及びP C鋼棒の降伏強度を加算して検討する。

$$V_{yd} = V_{pcd} + V_{sd} + V_{pd}$$

V_{pcd} : 床版コンクリートの押し抜きせん断耐力

V_{sd} : 破壊面内に配置されている鉄筋の降伏強度

V_{pd} : P C鉛直鋼棒の降伏強度

③水平成分の直接せん断耐力の算出には、各面に作用する鉛直方向・横方向のプレストレス・配置鉄筋の効果を考慮して、土木学会コンクリート標準示方書改訂案(6.3.7設計せん断耐力)に基づいて算出する。

$$V_{wcd} = \{(\tau_c + P \cdot \tau_s \cdot \sin^2 \theta - \alpha \cdot P \cdot f'_{yd} \cdot \sin \theta \cos \theta) A_c + V_k\} / \gamma_b$$

τ_c : $\mu \cdot f'_{cd} b^{\beta} (\alpha \cdot P \cdot f'_{yd} - \sigma_{nd})^{1-\beta}$

P : せん断面における鉄筋比

τ_s : $0.08 f'_{yd} / \alpha$

σ_{nd} : せん断面に垂直に作用する平均応力度

θ : せん断面と鉄筋の角度

α : $0.75 \{1 - 10(P - 1.7 \sigma_{nd} / f'_{yd})\}$

A_c : せん断面の面積

V_k : せん断キーによるせん断力

γ_b : 1.3

以上の条件に基づいて図-7に示すせん断破壊面を仮定して、鉛直・水平方向の検討を行った。

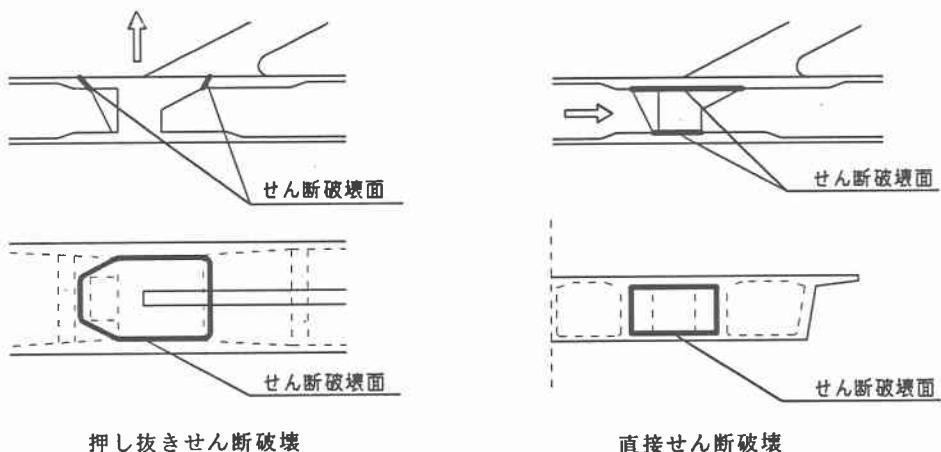


図-7 せん断破壊面の仮定

鉛直方向における検討結果は、表-2に示すとおりである。

表-2 鉛直方向検討結果（押し抜きせん断破壊における検討）

項目	算出式
設計せん断力 V_d (tf)	斜材ケーブル12@19T15.2 $P_y = 429.4$ (tf) $V_d = 12 \times 429.4 \times \sin 27^\circ$ $= 2339.9$ (tf)
設計せん断力 V_{yd} (tf)	$V_{yd} = V_{pcd} + V_{sd} + V_{pd}$ $= 2930.3$ (tf)
照査	$\gamma_i \times V_d / V_{yd} = 0.96 < 1.0$ (OK)

また、水平方向については、図-8に示す位置で検討を行った。検討結果を表-3に示す。

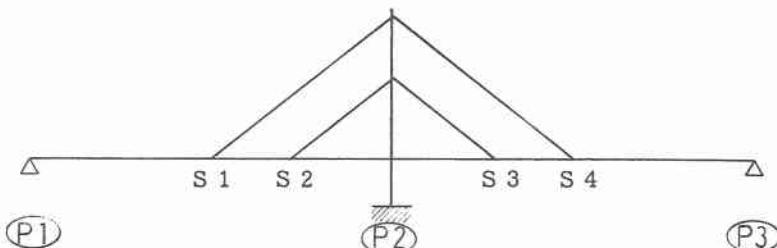


図-8 水平方向検討位置

表-3 水平方向検討結果（直接せん断破壊における検討）

項目	S 1		S 2		S 3		S 4	
	北側	南側	北側	南側	北側	南側	北側	南側
P	0.0031	0.0024	0.0031	0.0024	0.0030	0.0024	0.0029	0.0024
τ_c (tf)	51.8	55.8	51.8	53.9	51.4	54.4	51.1	55.1
τ_s (tf)	402	412	402	408	402	409	401	410
V_{wcd} (tf)	3098.9	1746.7	3098.9	1689.8	3151.4	1705.6	3200.2	1725.8
ΣV_{wcd} (tf)		9691.3		9677.5		9714.1		9851.9
V_d (tf)		4591.2		4591.2		4591.2		4591.2
照査 $\gamma_i \times V_d / \Sigma V_{wcd}$	0.57 < 1.0		0.57 < 1.0		0.57 < 1.0		0.56 < 1.0	

以上の結果から、鉛直方向及び水平方向ともに終局荷重時において十分な安全性を確保することができた。

(3) 設計荷重時の検討

設計荷重時にひび割れが発生しないように斜材張力が最大となる定着部を部分的にモデル化して、3次元FEM解析によって検討した。部材のモデルはソリッド要素を用い荷重ケースは以下のものを想定した。

単荷重：(1)死荷重

組み合わせケース：(1)橋体完成時

(2)静荷重（建築構造物）

(2)施工完了時

(3)雪荷重

(3)全死荷重時

(4)列車荷重+衝撃荷重

(4)設計荷重時+雪荷重

(5)プレストレス

(6)クリープ・乾燥収縮

解析モデルは図-9に示すとおりである。節点数5747、要素数3719のソリッド解析の結果、主桁定着部の横桁は、斜版と結合部付近に局部的に引張応力度を呈している部分には補強鉄筋を配置することになったが、全体的には圧縮応力度側を呈しており、安全であることが分かった。

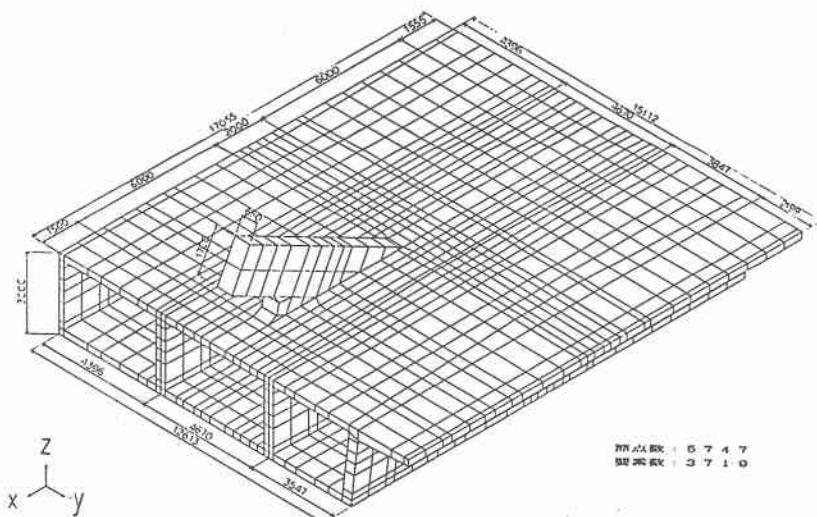


図-9 主桁定着横桁 F E M 解析モデル

4. おわりに

本橋りょうは、ほぼ完成し平成8年度に橋面工の施工を残すのみとなった。上部工の施工については施工管理を行うのに必要な各種計測工を実施しており、完成後も応力挙動などの計測を行う予定である。全体的な施工及び計測結果については、別の機会に報告したいと考えている。

なお、本橋りょうの設計・施工にご指導いただいた北海道大学工学部角田教授・上田助教授、(財)鉄道総合技術研究所並びに鉄建建設エンジニアリング本部の関係者の方々に深く謝意を表します。

5. 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編）、（施工編）平成3年度版
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物設計標準・同解説 コンクリート構造物
- 3) 大庭・築嶋・石橋：斜張橋のサドル締着部の研究；コンクリート工学年次論文報告集 VOL.17, No.2
1995
- 4) 吉野・小澤・菊池・菅原：西3条架道橋の設計；プレストレストコンクリート技術協会 第5回シンポジウム論文集(1995年10月)