

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、列車走行時に開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体を設置しないスルー構造である。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。

表-1 数量総括

	種別	仕様	数量
主桁	コンクリート	$f'_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$	4,015 m ³
	鉄筋	SD345	365 t
	PC鋼材	12T12.7SWPR7B	54 t
斜材	コンクリート	$f'_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$	227 m ³
	鉄筋	SD345	24 t
	PC鋼材	15T15.2SWPR7B	62 t
主塔	コンクリート	$f'_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$	213 m ³
	鉄筋	SD345	25 t
下部工	コンクリート	$f'_{ck}=270\text{kgf/cm}^2$	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

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 0kgf/cm^2 以内とし、破壊時の引張強度を3500 0kgf/cm^2 以内として、作用させた。

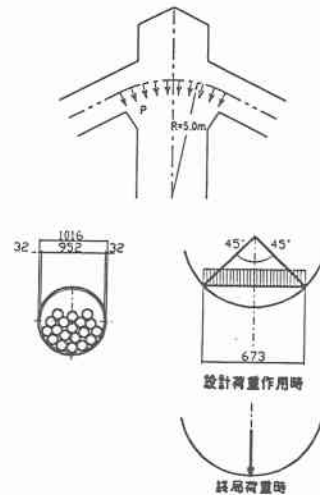


図-2 腹圧力載荷モデル

(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 (kgf/cm^2)という大きな引

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、P C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P C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P C鋼材で補強を行った。(図-4、5参照)

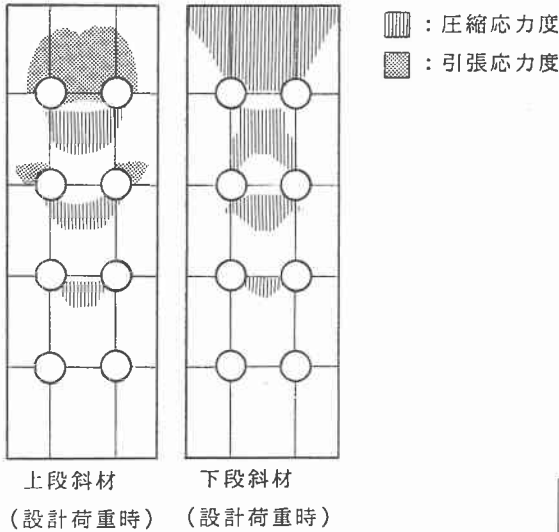


図-3 サドル部解析結果

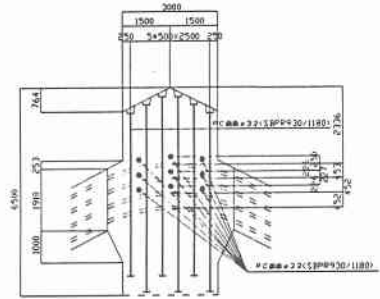


図-4 P C鋼材補強

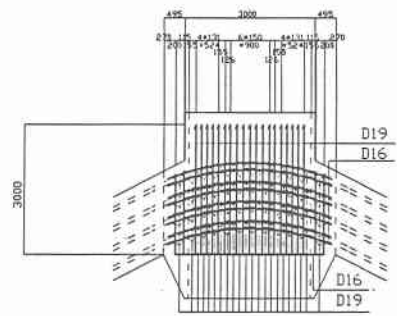


図-5 鉄筋補強

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にウェブ・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。

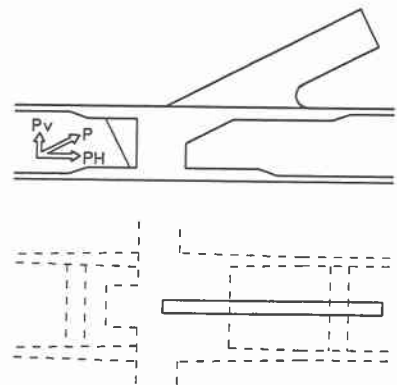


図-6 斜材定着横桁形状

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。

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

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

P : せん断面における鉄筋比

$$\tau_s : 0.08 f_{yd} / \alpha$$

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

$$\alpha : 0.75 \{1 - 10(P - 1.7 \sigma_{nd} / f_{yd})\}$$

A_c : せん断面の面積

V_k : せん断キーによるせん断力

$$\gamma_b : 1.3$$

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。

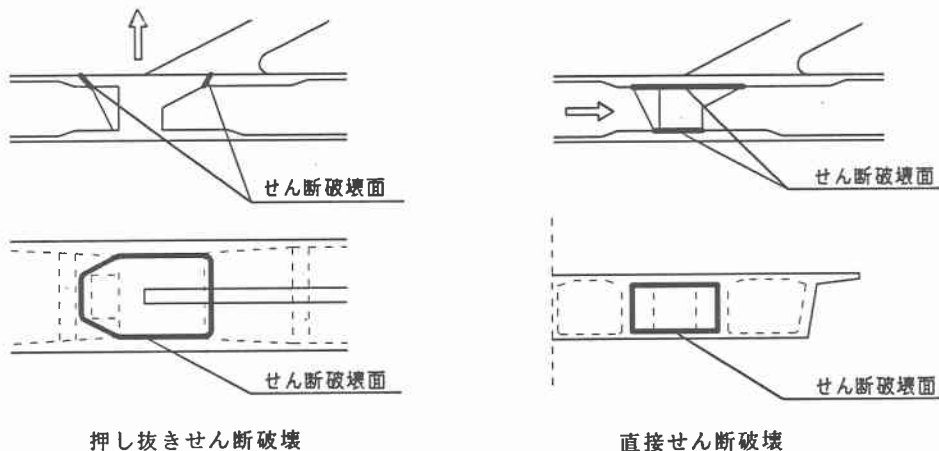


図-7 せん断破壊面の仮定

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Vd (tf)	斜材ケーブルI2@19T15.2 Py=429.4(tf) $Vd = 12 \times 429.4 \times \sin 27^\circ$ $= 2339.9(\text{tf})$
設計せん断力Vyd (tf)	$Vyd = Vpcd + Vsd + Vpd$ $= 2930.3(\text{tf})$
照査	$\gamma_i \times Vd / Vyd = 0.96 < 1.0$ (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。

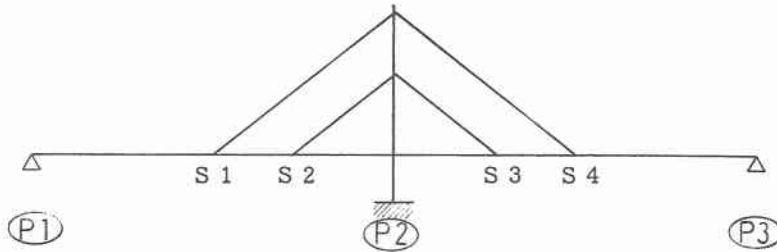


図-8 水平方向検討位置

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	S1		S2		S3		S4	
	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
Vwcd (tf)	3098.9	1746.7	3098.9	1689.8	3151.4	1705.6	3200.2	1725.8
$\Sigma Vwcd$ (tf)		9691.3		9677.5		9714.1		9851.9
Vd (tf)		4591.2		4591.2		4591.2		4591.2
照査 $\gamma_i \times Vd / \Sigma Vwcd$		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

