

【大分類】 場所打ちPCげた橋	【小分類】 外ケーブル	【作成日】 平成21年10月30日
<p>外ケーブル構造に関する設計不具合防止にはどのようなものがあるか。</p>		

【キーワード】 設計不具合防止対策, 場所打ちPCげた橋, 外ケーブル

【目次(原則・共通・不具合事例)】	
<p style="text-align: center;">原 則</p> <p>PC橋において、外ケーブル工法は、内ケーブル工法に比べ、部材厚を薄くできること、コンクリートの打設性能の向上、橋りょう完成後の維持管理が容易となるなど多くの利点がある。しかし、一方でプレストレスの導入に比較的大容量のテンドンが使用されることから、定着部や偏向部に耐久性が求められ、橋りょうの規模や条件によってその形状や設計方法は様々なものとなっている。</p> <p>工事を発注する前の基本設計あるいは詳細設計段階でこのような詳細な計画が困難である場合には、簡易計算までを必須とし、FEMなどそれ以上の詳細検討は詳細設計あるいは実施(照査)設計段階で「詳細な検討をすべき」との申し送りを必須とすることが不具合を防止するために重要となる。</p>	
<p style="text-align: center;">共 通</p> <p>設計基準・規準類に明確な記述がないなどにより、設計者が見落としや判断ミスをしやすい外ケーブル構造の共通的な事項を以下に示す。なお、詳細は次項以降の【共通Q-1～Q-4】を参照のこと。</p> <p>【共通Q-1】具体的な部材寸法設定方法(偏向部)の考え方 【共通Q-2】具体的な簡易計算の検討項目(補強鉄筋、押抜きせん断)の考え方 【共通Q-3】FEM解析結果にもとづく鉄筋量算出方法の考え方 (コンクリート引張応力範囲、鉄筋許容応力度、鉄筋配置範囲) 【共通Q-4】予備ケーブルの必要性</p>	
<p style="text-align: center;">不 具 合 事 例</p> <p>設計基準・規準類に明確な記述がないなどが原因で発生した外ケーブル構造の設計不具合事例を以下に示す。なお、詳細は次項以降の【事例Q-1】を参照のこと。</p> <p>【事例Q-1】緊張順序を考慮せずにケーブル配置を決定し、ジャッキがセットできない場合</p>	

【大分類】 場所打ちPCげた橋 【小分類】 外ケーブル 【作成日】 平成21年10月30日

【共通Q-1】

部材寸法(偏向部)の設定はどのように考えればよいか。

【キーワード】 設計不具合防止対策, 場所打ちPCげた橋, 外ケーブル

【共通A-1】

◆問題点

外ケーブル偏向部の形状の決定方法に関して、基準類に明確な記述がない。

◆現行規準

特になし

◆対策

外ケーブルの偏向部は、偏心量を確保し、緊張力を主げたに確実に伝達するための構造であり、その形状形式として図-1に示す、①隔壁形式 ②リブ形式 ③突起形式 がある。

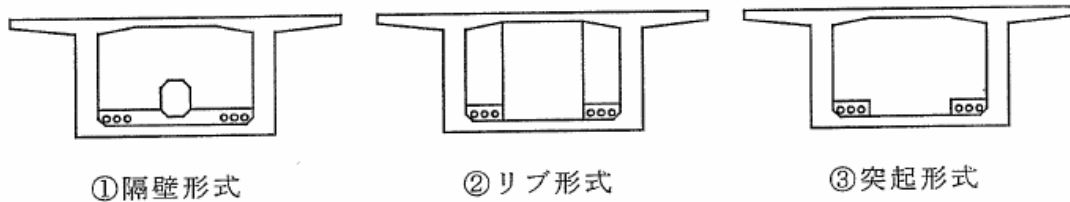


図-1 偏向部の構造形式

偏向部の厚さは、PC鋼材の曲線部がその全長にわたり偏向部内におさまる必要がある。
実績としては、図-2に示すようなPC鋼材の理論接触長の両端に100mm程度の余裕を持たせる場合が多い。しかし、1ヶ所に集中的に偏向部を設置したり曲上げ角が大きいなどの理由により偏向部に大きな偏心力が作用する場合は、コンクリートの部材耐力や補強鉄筋の配置から、その形状が決定する場合もあり、十分に検討してから形状を決定するとよい。

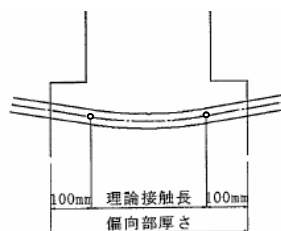


図-2 偏向部の厚さ

また、偏向部内は鋼管等によって空洞となっていることから、予備孔を設けたりPC鋼材を集中的に配置した場合には、偏向部周辺に局所的な応力が発生しやすい。そのため、PC鋼材同士のあきを確保し、十分な間隔を確保できるような形状としたほうがよい。

【参考文献】

- 1) 設計要領 第二集: 日本高速道路株式会社(平成20年8月)
- 2) 外ケーブルを用いたPC橋梁の設計マニュアル: 高速道路技術センター(平成8年3月)
- 3) PC橋梁の耐久性向上に関する設計・施工マニュアル: 高速道路技術センター(平成13年3月)

【大分類】 場所打ちPCげた橋	【小分類】 外ケーブル	【作成日】 平成21年10月30日
<p>【共通Q-2】</p> <p>外ケーブルの定着部と偏向部の簡易計算を行うにあたって、具体的にどのような検討項目について評価すればよいか。</p>		

【キーワード】 設計不具合防止対策, 場所打ちPCげた橋, 外ケーブル

<p>【共通A-2】</p> <p>◆問題点 偏向部に対する補強方法が具体的に示されていないため、配筋要領や補強鉄筋算出方法が千差万別となっている。また、横げた定着部において外ケーブル導入緊張力によって発生する割裂に対する検討、押し抜きせん断に対して検討が行なわれていない場合がある。</p> <p>◆現行規準 ・道示Ⅲ P327 18.5.3 構造細目</p> <p>◎横げた定着部 ○参考資料1) 8章2-4-3 ・曲げ、せん断に対する設計 ：平面FEM解析(平面格子解析)により断面力を算出する。 ・押し抜きせん断に対する設計 ：道示Ⅲ 4.6による押し抜きせん断応力度を算出する。 ：荷重作用位置が断面端近くにある場合、せん断抵抗面は横けたを貫通せず主げた側面にでしてしまうため、図-1に示すようなせん断抵抗面を考える。</p> <div style="text-align: center;"> <p>図-1 せん断抵抗面</p> </div> <p>・割裂に関する設計 ：割裂応力に対する補強鉄筋量の算出。</p> <p>上記、設計要領第二集の方法に加えて、図-1に示すコンクリートせん断抵抗面におけるせん断伝達耐力の照査を行う必要がある。</p> <p>・せん断伝達耐力に対する照査 ：終局荷重(PC鋼材引張強度あるいは降伏点強度)に対して、参考資料3)P147 9.2.2.5)によるせん断伝達耐力の照査を行う。</p> <p>◎偏向部 ○参考資料2) P36</p> <p style="text-align: center;">表-解3.6.1 構造形式別簡略検討法の一覧</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>(a) 隔壁形式</th> <th>(b) リブ形式</th> <th>(c) 突起形式</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T₁</td> <td>全引張力の2/3を鉄筋で負担させる。</td> <td>全引張力の2/3を鉄筋で負担させる。</td> <td>全引張力を鉄筋で負担させる。</td> </tr> <tr> <td>T₂</td> <td>割裂引張力計算式による。</td> <td>割裂引張力計算式による。</td> <td>T₁と同程度の配筋とする。</td> </tr> <tr> <td>T₃</td> <td>隔壁引張力に対して配筋する。(はり理論による)</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>T₄</td> <td>床版引張力に対して配筋する。(はり理論による)</td> <td>床版引張力に対して配筋する。(ポスターメ構造として)</td> <td>床版引張力に対して配筋する。(ポスターメ構造として)</td> </tr> <tr> <td>T₅</td> <td>隔壁に発生するせん断力を検討する。(はり理論による)</td> <td>リブに発生するせん断力を検討する。(はり理論による)</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table> <div style="margin-top: 10px;"> <p>ここに、 T₁ : 偏向具外側に発生する局部引張力 T₂ : 偏向具内側に発生する割裂力 T₃ : 偏向具設置により隔壁またはリブに発生する引張力 T₄ : 偏向具設置により床版(底版)に発生する引張力 T₅ : 偏向具設置により隔壁またはリブに発生するせん断応力</p> <div style="text-align: center;"> <p>①隔壁形式 ②リブ形式 ③突起形式</p> </div> </div> <p>参考資料1)P8-20にも簡易計算方法が示されており、上記方法と基本的には同様となっているが、T1について、「隔壁形式とリブ形式は全引張力の50%を鉄筋で負担させる」となっている。</p>		(a) 隔壁形式	(b) リブ形式	(c) 突起形式	T ₁	全引張力の2/3を鉄筋で負担させる。	全引張力の2/3を鉄筋で負担させる。	全引張力を鉄筋で負担させる。	T ₂	割裂引張力計算式による。	割裂引張力計算式による。	T ₁ と同程度の配筋とする。	T ₃	隔壁引張力に対して配筋する。(はり理論による)	---	---	T ₄	床版引張力に対して配筋する。(はり理論による)	床版引張力に対して配筋する。(ポスターメ構造として)	床版引張力に対して配筋する。(ポスターメ構造として)	T ₅	隔壁に発生するせん断力を検討する。(はり理論による)	リブに発生するせん断力を検討する。(はり理論による)	---
	(a) 隔壁形式	(b) リブ形式	(c) 突起形式																					
T ₁	全引張力の2/3を鉄筋で負担させる。	全引張力の2/3を鉄筋で負担させる。	全引張力を鉄筋で負担させる。																					
T ₂	割裂引張力計算式による。	割裂引張力計算式による。	T ₁ と同程度の配筋とする。																					
T ₃	隔壁引張力に対して配筋する。(はり理論による)	---	---																					
T ₄	床版引張力に対して配筋する。(はり理論による)	床版引張力に対して配筋する。(ポスターメ構造として)	床版引張力に対して配筋する。(ポスターメ構造として)																					
T ₅	隔壁に発生するせん断力を検討する。(はり理論による)	リブに発生するせん断力を検討する。(はり理論による)	---																					

◆対策

以下に横げた定着部の押し抜きせん断に対する検討事例を示す。

押し抜きせん断に対する検討事例①

- 道示Ⅲ4.6による押し抜きせん断応力度を算出する。

検討方法は以下の通りとする。

コンクリートの押し抜きせん断応力度は、次式により算出する。

$$\tau_p = P / (b_p \cdot d)$$

P : 押し抜き力 (kN)

b_p : 断面の分布形状を、部材の有効高の1/2の距離だけ離れた面へ45°の角度で投影した形状の外周の長さ(mm) (図-2参照)

d : 部材断面の有効高(mm)

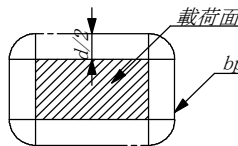
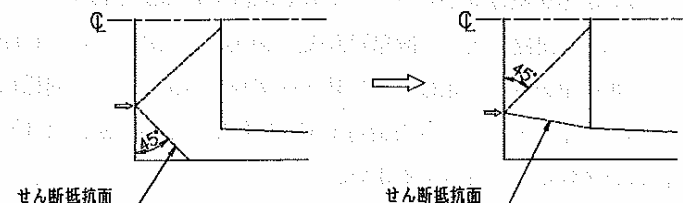
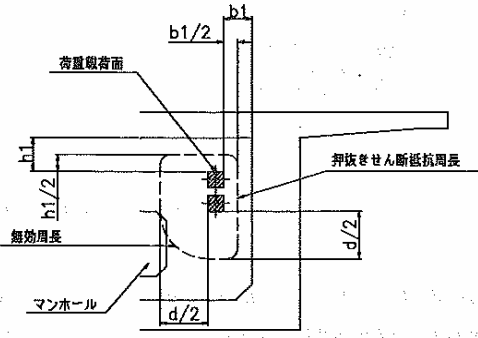


図-2 bpの取り方

押し抜きせん断に対する検討事例②

- 参考資料1)P8-16~17における定着部の簡易計算方法を以下に示す。

定着部に発生する断面力	簡易設計方法
曲げ、せん断に関する設計	平面FEM解析により断面力を算出する。 解析モデルの支持条件は単純支持とする。圧縮側の鉄筋は引張側鉄筋の半分の鉄筋量を配置する。ただし中間支点横げた場合、横げた厚さが2mを越える場合は、平面FEM解析結果は過小となるため、3次元FEM解析等別途検討することが望ましい。
押し抜きせん断に関する設計	①道示Ⅲ2-6式により押し抜きせん断応力度を算出する。 ②荷重作用位置が断面端近くにある場合、せん断抵抗面は横げたを貫通せず主げた側面にてしまうため、図8-2-4に示すようなせん断抵抗面を考える。  <p style="text-align: center;">図 8-2-4 せん断抵抗面</p> ③ 載荷面からウェブ内側までの距離が横げた厚以下の場合、その距離の1/2のラインを周長とする。 ④ マンホール等の開口部がある場合は、「鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物」の6-3-4の解説に示される周長の低減方法を用いて計算する。

	 <p style="text-align: center;">図 8-2-5 開口部の周長の算出</p>
<p>割裂に関する設計</p>	<p>式 (8-2-3) にしたがひ、補強鉄筋量を算出し配置する。</p> $A_s = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{b_1}{b_c}\right) \cdot \frac{P}{\sigma_{sa}} \quad \dots\dots\dots \text{式 (8-2-3)}$ <p>ここに A_s : 補強鉄筋量 (cm² (cm²)) b_1 : 荷重の載荷幅 (mm (cm)) b_c : 載荷位置から自由縁までの距離 (mm (cm)) P : 荷重 (N (kgf)) σ_{sa} : 鉄筋応力度の制限値 (N/mm² (kgf/cm²))</p>

せん断伝達に対する照査事例

- 終局荷重 (PC鋼材引張強度) あるいは降伏点に対して、せん断伝達耐力の照査を行う。
 検討方法は以下の通りとする。

コンクリートのせん断伝達耐力は、参考資料3) P147 9.2.2.5による次式により算出する。

$$V_{cwd} = \{ (\tau_c + p \cdot \tau_s \cdot \sin 2\theta - \alpha \cdot p \cdot f_{yd} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta) \cdot A_c + V_k \} / \gamma_b \quad \text{----- (6.3.17)}$$

$$\tau_c = \mu \cdot f_{cdb} \cdot (\alpha \cdot p \cdot f_{yd} - \sigma_{nd}) \cdot 1 - b$$

$$\tau_s = 0.08 \cdot f_{yd} / \alpha$$

$$\alpha = 0.75 \cdot \{ 1 - 10 \cdot (p - 1.7 \cdot \sigma_{nd} / f_{yd}) \} \quad (\text{ただし、} 0.08\sqrt{3} \leq \alpha \leq 0.75)$$

なお、せん断伝達に対する照査についての計算事例は、下記参考文献 2) 事例④ (P.30) を参照のこと。

【参考文献】

- 1) 設計要領 第二集: 日本高速道路株式会社 (平成20年8月)
- 2) 新技術評価事例 (コンクリート構造) - 外ケーブル構造 - : PC建協 (平成19年8月)
- 3) コンクリート標準示方書 [設計編] : 土木学会 (平成20年3月)
- 4) 外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準 : PC技術協会 (平成17年6月)

【大分類】 場所打ちPCげた橋 【小分類】 外ケーブル 【作成日】 平成21年10月30日

【共通Q-3】

FEM解析結果から補強鉄筋を求める具体的な手法は、どのように考えればよいか。

【キーワード】 設計不具合防止対策, 場所打ちPCげた橋, 外ケーブル

【共通A-3】

◆問題点

外ケーブル構造で横げたの配置する鉄筋量の算出方法に対する明確な指標や目安がない。

◆現行規準

特になし

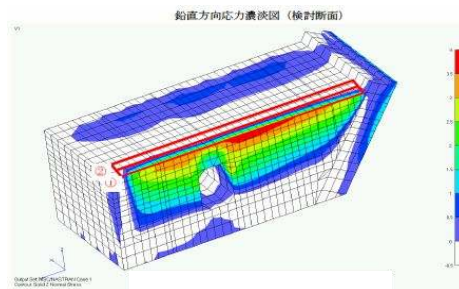
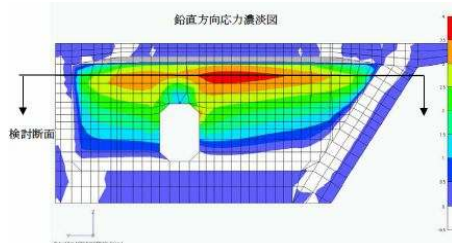
◆対策

◎引張鉄筋量の算出方法の一例

- ① FEM解析で得られた結果より引張応力の生じる箇所について、鉄筋を配置する方向の要素引張応力を求める。
- ② 各要素において、引張応力の方向と直交する要素面の面積を①で算出した要素引張応力に乗じる。
- ③ ②で算出した要素引張力について、引張応力の生じる範囲の累計を求める。
(全引張力の算出)
- ④ ③で算出した全引張応力を鉄筋の許容応力度で除し、必要鉄筋量を算出する。

過去の実験結果よりコンクリートの引張応力度を $3.0\text{N}/\text{mm}^2$ 程度に制限して設計(FEM解析)された事例が多い。また、鉄筋の応力制限値についても、既往の実験及び施工実績により、ひび割れ幅の抑制効果が確認されている $100\sim 120\text{N}/\text{mm}^2$ の範囲で設定される場合が多い。

◎必要鉄筋量算出例



〔要素引張力の合計〕 (N)

着目部	要素引張力	
①	3263052	Σ
②	40684	3303736

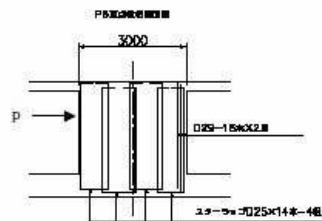
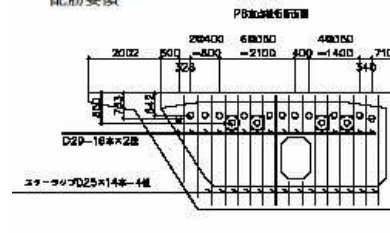
〔合計引張力に対する必要鉄筋量〕

$$\sigma_{sa} = 120\text{N}/\text{mm}^2$$

$$\text{必要鉄筋量: } A_s = \Sigma T / 120 = 3303736 / 120 = 27531\text{mm}^2$$

$$\text{配置鉄筋量: } D19\text{ctc}125 \text{ (配置鉄筋: } D25 \times 14\text{本} + D29 \times 16\text{本 } 27651\text{mm}^2)$$

配筋要領



【参考文献】

- 1) 設計要領 第二集: 日本高速道路株式会社 (平成20年8月)
- 2) 外ケーブルを用いたPC橋梁の設計マニュアル: 高速道路技術センター (平成8年3月)

【大分類】 場所打ちPCげた橋	【小分類】 外ケーブル	【作成日】 平成21年10月30日
【共通Q-4】 定着部、偏向部に設ける予備孔の設定は、どのように考えればよいか。		

【キーワード】 設計不具合防止対策, 場所打ちPCげた橋, 外ケーブル, 予備孔

【共通A-4】 ◆問題点 予備ケーブルの必要性や必要量に対する明確な指標や目安がない。 ◆現行規準 特になし 現状は、将来予想される補修または補強に対して、予備孔を設ける場合が多い。 ◆対策 ◎予備孔に外ケーブルを配置することを前提とした場合、下記の対策を行う必要がある。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 予備の定着部にはあらかじめ定着具と補強筋を配置しておく。 ・ 予備孔を配置する定着部、偏向部近傍にも補強鉄筋を配置しておく。 ・ 外ケーブルを箱げた内に挿入できるスペースや検査孔などを必要とする。 ・ 緊張位置をあらかじめ定めておき、緊張ジャッキがセットできるスペースを確保する。 ・ 中間横げた側で緊張する場合は、ジャッキの箱げた内への挿入、運搬方法をあらかじめ定めておく。また、緊張ジャッキがセット出来るように吊り金具を配置するとともに床版や既設ケーブルと干渉しないように取り合いに留意し予備孔の位置を決定する。 ・ 予備ケーブルは、緊張時にジャッキセットしやすいように構造中心(通路)側に配置する。 ・ 完成後において、端横げた部に緊張スペースがない場合には、予備孔はけた内からの片引きとして計画する。 ◎外ケーブルの取り替えについて <ul style="list-style-type: none"> ・ 外ケーブルに万が一、損傷が生じた場合、取り替えが必要となることから、定着部や偏向部は、二重管方式にするなどの対策を実施するとよい。 ・ 取り替え時は、新設ケーブルを追加してから既設ケーブルを切断するのか、それとも既設ケーブルを切断してから新設ケーブルを追加するのか荷重条件と応力状態を考慮して施工順序を計画するとよい。
--

【参考文献】

- 1) 設計要領 第二集: 日本高速道路株式会社(平成20年8月)
- 2) 外ケーブルを用いたPC橋梁の設計マニュアル: 高速道路技術センター(平成8年3月)

【大分類】 場所打ちPCげた橋 【小分類】 外ケーブル 【作成日】 平成21年10月30日

【事例Q-1】

緊張順序を考慮せずにケーブル配置を決定しジャッキがセットできない場合がある。
これに対処するためにはどのような対策があるか。

【キーワード】 設計不具合防止対策, 場所打ちPCげた橋, 外ケーブル

【事例A-1】

◆問題点

緊張順序を考慮せずにケーブル配置を決定している場合、ジャッキのセットに時間がかかる、あるいは緊張できない場合がある。

◆現行規準

特になし

◆対策

緊張順序を考慮して下記事項に留意しケーブル配置を決定する必要がある。

- ・ 中間横げた部でPC鋼材をたすき掛け配置とする場合、近接するケーブルの定着位置同士の間隔を確保するだけでなく、定着位置の上下に通過ケーブルの配置をさけることでジャッキのセットスペースを確保する。

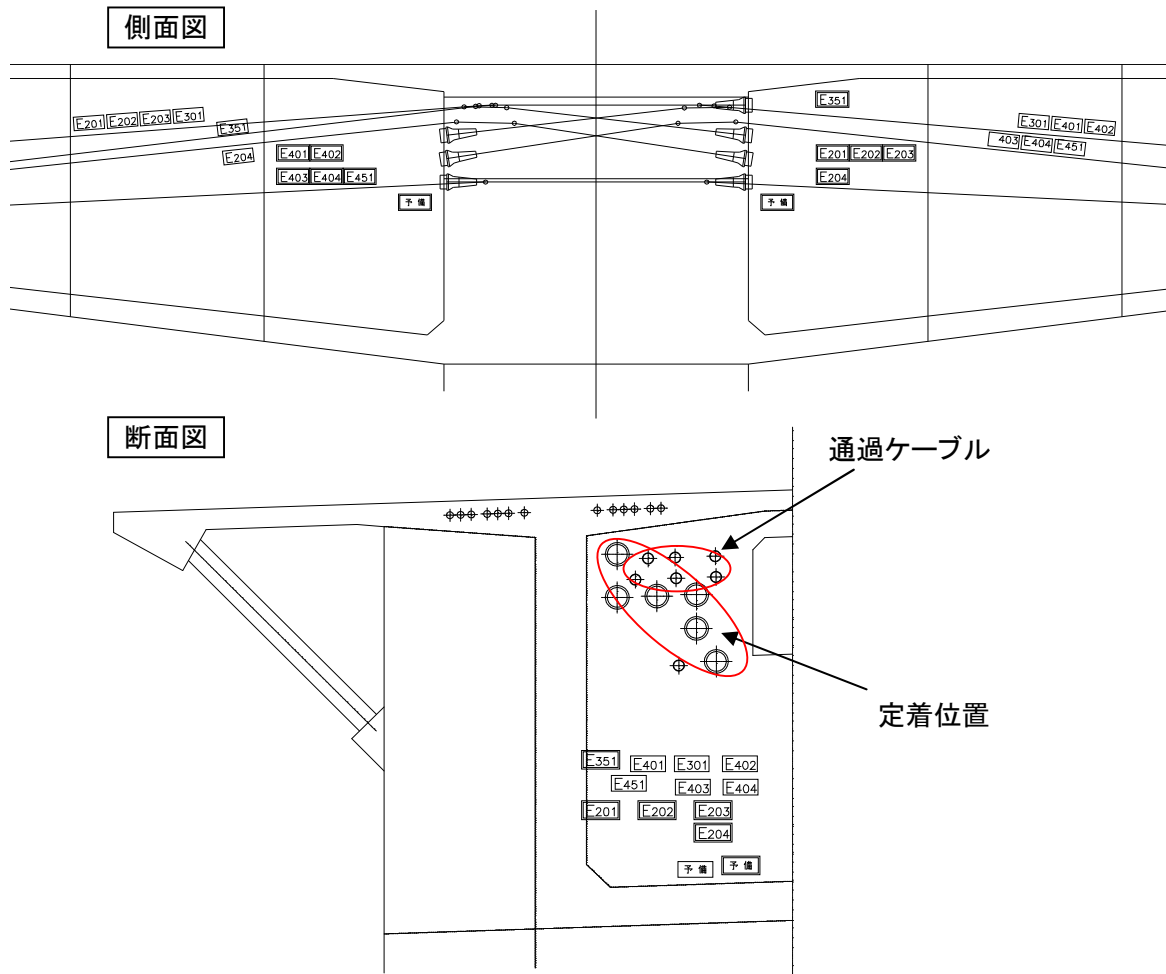


図-1 適切な鋼材配置例