

外ケーブル構造

通し番号	大分類	小分類	質問項目
【Q-1】	計画一般	外ケーブル構造	外ケーブル構造の橋りょうを設計する場合、どのような留意点が必要か。
【Q-2】	計画一般	外ケーブル構造	外ケーブル構造の場合、内ケーブルが少なくなるためウェブ厚を薄くできると考えられる。ウェブ厚は、どの程度の実績が多いか。
【Q-3】	計画一般	外ケーブル構造	外ケーブル構造の場合、外ケーブルと主げた断面に付着が無く、平面保持が成立しないと考えられるが、曲げ破壊に対してどのように設計すべきか。
【Q-4】	計画一般	外ケーブル構造	外ケーブルの定着部や偏向部の設計では、簡易手法やFEM解析などが用いられている。どのような場合に簡易手法が適用できるのか。またその精度はどの程度あるのか。
【Q-5】	計画一般	外ケーブル構造	外ケーブルの定着部や偏向部の安全性の確認は、FEM解析が用いられている事例が多い。どのようなモデルで何を検証すれば安全と評価できるのか。
【Q-6】	計画一般	外ケーブル構造	外ケーブルは、コンクリート断面外に配置されるため、防錆方法、定着具の保護など、維持管理面が課題となる。どのような点に留意し計画すればよいか。

【大分類】 設計一般	【小分類】 外ケーブル構造	【作成日】 平成21年10月30日
<p>【Q - 1】 外ケーブル構造の橋りょうを設計する場合、どのような留意点が必要か。</p>		

【キーワード】 外ケーブル構造

<p>【A - 1】</p> <p>外ケーブル構造は、道示 18.5に「適用範囲」、「設計一般」、「構造細目」が記述されているが、ここに示された内容だけでは安全性や耐久性の要求性能が具体的に示されていなく、示方書だけで設計を行うのは難しい状況である。そのため、各学術協会や団体から下記に示す基準類等が発刊され、示方書を補う形の設計資料として活用されている。</p> <p>「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) 「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) 「第249号 外ケーブル工法を適用したPC橋の合理化に関する共同研究報告書」 国交省土木研究所(平成12年12月) 「設計要領第二集 橋梁建設編」 日本高速道路株式会社(平成20年8月)</p> <p>また、このような新技術を採用する上で、「何をどのように検証すれば道示に示す要求性能を満足できるのか。」と言った設計上の不明な箇所が多いことから、国土交通省国土技術政策総合研究所(国総研)との共同研究のもと、PC建協では以下の資料をまとめ「主な技術概要」、「技術評価の観点と方向性」、「検証事例」を示し、道示の要求性能に対する課題や検証事例等を紹介している。</p> <p>「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7月)</p> <p>この資料では主な留意点として、以下の課題を取り上げ検証事例として紹介している。</p> <ul style="list-style-type: none"> プレストレスの伝達状況 破壊抵抗曲げモーメントの算定 せん断耐力の算定 複合非線形解析による検証 定着部及び偏向部の安全性評価 外ケーブルシステムの耐久性評価
--

【参考文献】

- 1) 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)
- 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) 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7月)

【大分類】 設計一般	【小分類】 外ケーブル構造	【作成日】 平成21年10月30日
【Q - 2】 外ケーブル構造の場合、内ケーブルが少なくなるためウェブ厚を薄くできると考えられる。ウェブ厚は、どの程度の実績が多いか。		

【キーワード】 外ケーブル構造、部材厚

【A - 2】

PC建協では、会員各社に対してH13～H18の間に施工された外ケーブルPC箱げた橋66件を対象に実績に関するアンケートを実施し、下記参考文献1)に「アンケート調査結果のとりまとめ」をまとめた。そのウェブ厚についての結果を下表に示す。なお、「有効データ」とは高速道路を含む調査橋りょう数の全データ数を示す。また「国交省および自治体」とは、国交省や県発注の物件を示し、全データの約半数を占めている。

下記参考文献 1) アンケート調査結果のとりまとめ (P.62)より
コンクリートウェブ厚は250～400mm程度の厚さの実績が多い。

構成要素	国交省および自治体		有効データ全数	
	件数	比率	件数	比率
450～500	0	0%	1	2%
400～450	1	4%	2	4%
350～400	8	33%	12	25%
300～350	5	21%	8	17%
250～300	8	33%	20	42%
200～250	2	8%	4	8%
200	0	0%	1	2%
合計	24	100%	48	100%

国交省および自治体

ウェブ厚最小値 (mm)～【国・自治体のみ】
平均厚340mm

ウェブ厚 (mm)	件数	比率
200	0	0%
200～250	2	8%
250～300	8	33%
300～350	5	21%
350～400	8	33%
400～450	1	4%
450～500	0	0%

有効データ全数

ウェブ厚最小値 (mm)～【全数】
平均厚330mm

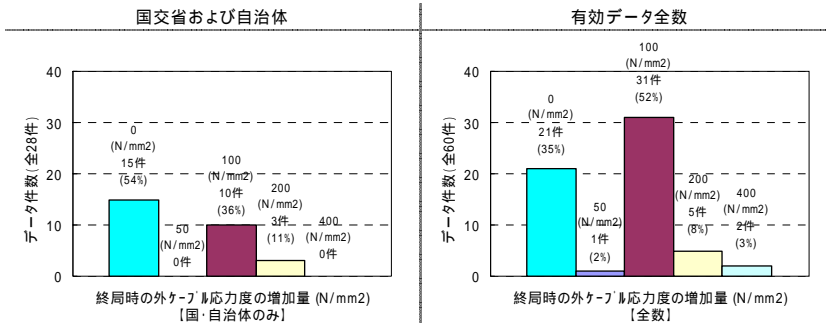
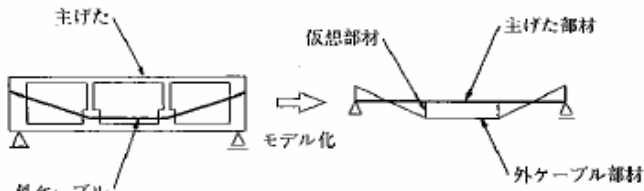
ウェブ厚 (mm)	件数	比率
200	1	2%
200～250	4	8%
250～300	20	42%
300～350	8	17%
350～400	12	25%
400～450	2	4%
450～500	1	2%

【参考文献】

1) 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7月)

【大分類】 設計一般	【小分類】 外ケーブル構造	【作成日】 平成21年10月30日
【Q - 3】 外ケーブル構造の場合、外ケーブルと主げた断面に付着が無く、平面保持が成立しないと考えられるが、曲げ破壊に対してどのように設計すべきか。		

【キーワード】 外ケーブル構造、平面保持、増加応力、曲げ破壊

【A - 3】 外ケーブル構造は、外ケーブルとコンクリートの平面保持の仮定が成立しないこと、部材の変形に伴い外ケーブルの偏心が変化することなど、付着のある内ケーブル構造とは異なり、部材断面の破壊抵抗モーメントの算出に影響を与える。したがって、外ケーブル構造における部材断面の応力度及び耐力の照査は、このような特性を考慮して行う必要があるが、一般的には外ケーブルの偏心量が変化する影響は小さいことから、これを無視した 1) のような設計手法が用いられる場合が多い。 1) 外ケーブルを内ケーブルとみなして取り扱う方法 終局荷重作用時の設計において、外ケーブルの応力度の増加を見込むか見込まないかが課題となる。道示 18.5.2(P.325)では、増加しないと仮定するか、または増加を見込んだ場合100N/mm ² 程度のケースが多いとしているが、下記参考文献 3) 6.1.2(P.72)では、外ケーブルの応力度の増加量の算出式を提案し、破壊抵抗曲げモーメントを算定している。 下記参考文献 1) アンケート調査結果のとりまとめ (PP.82～83) では、終局時の外ケーブル応力度の増加量は、国交省および自治体では約半数が見込まれていないのに対し、高速道路(現NEXCO)では約70%近くが100N/mm ² の増加量を見込んでいる例が多い結果であった。  <table border="1"> <caption>国交省および自治体 (全38件)</caption> <thead> <tr> <th>終局時の外ケーブル応力度の増加量 (N/mm²)</th> <th>件数</th> <th>割合 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>15</td> <td>54%</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>0</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>10</td> <td>36%</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>3</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>0</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <caption>有効データ全数 (全60件)</caption> <thead> <tr> <th>終局時の外ケーブル応力度の増加量 (N/mm²)</th> <th>件数</th> <th>割合 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>21</td> <td>35%</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>1</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>31</td> <td>52%</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>5</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>2</td> <td>3%</td> </tr> </tbody> </table> 2) 外ケーブルを独立した部材として取り扱う方法 終局に至るまでの部材の剛性低下や軸線の移動に伴い作用する断面力が大きく変化し、破壊部位の特定が困難な場合は、線形解析に基づく終局荷重作用時の照査のみでは設計的に課題が生じると考えられる。 そのため、終局荷重作用時の挙動が不明確な場合や、外ケーブル張力の荷重載荷に伴う変動を精度良く推定することが主げたの安全性を検証する上で重要と判断される場合には、道示 18.5.2 (P.325)に示すように外ケーブルを独立した部材としてモデル化し、材料および幾何学的非線形性を付与した複合非線形解析を実施することにより、曲げ破壊に対する安全性を検証している。 	終局時の外ケーブル応力度の増加量 (N/mm ²)	件数	割合 (%)	0	15	54%	50	0	0%	100	10	36%	200	3	11%	400	0	0%	終局時の外ケーブル応力度の増加量 (N/mm ²)	件数	割合 (%)	0	21	35%	50	1	2%	100	31	52%	200	5	8%	400	2	3%
終局時の外ケーブル応力度の増加量 (N/mm ²)	件数	割合 (%)																																		
0	15	54%																																		
50	0	0%																																		
100	10	36%																																		
200	3	11%																																		
400	0	0%																																		
終局時の外ケーブル応力度の増加量 (N/mm ²)	件数	割合 (%)																																		
0	21	35%																																		
50	1	2%																																		
100	31	52%																																		
200	5	8%																																		
400	2	3%																																		

【参考文献】

- 1) 道路橋示方書・同解説：社団法人 日本道路協会 (平成14年3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7月)
- 3) 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】 設計一般	【小分類】 外ケーブル構造	【作成日】 平成21年10月30日
<p>【Q - 4】 外ケーブルの定着部や偏向部の設計では、簡易手法やFEM解析などが用いられている。どのような場合に簡易手法が適用できるのか。またその精度はどの程度あるのか。</p>		

【キーワード】 外ケーブル構造、簡易計算、FEM解析

【A - 4】

定着部や偏向部は、外ケーブルの張力を主げたに円滑に伝達するために、剛性の高い横げたや隔壁の一部にその機能を持たせることが多い。しかし、主げたの断面形状や架設工法の制約により、その構造が多岐にわたることから、簡易法による断面力の算定では、その適用に十分配慮しなければならない。

下記参考文献 1) 4.参考資料 (PP.34 ~ 42) では、定着部及び偏向部の構造を主げたの拘束面数で分類し、各構造に対する慣用的な断面力算定方法を示している。

拘束面数が多い場合(3 ~ 4面)では、簡易モデルによる断面力を用いて応力度を算定する事例が多いが、形状が複雑あるいは開口の影響が無視できない場合にはFEM解析による応力照査が併行される場合もある。一方、拘束面数が少ない場合(1 ~ 2面)には、着目部位を抽出し独立した構造体として扱う簡易モデルでは周辺部材への力学的な影響(局部応力)の把握が困難なため、実挙動に近い解析応答値(FEM解析等)により安全性が検証される場合が多い。

また、下記に示す簡易法の適用性の評価事例(検討結果 図-4)からも分かるように、拘束面数が多い場合(3 ~ 4面)では、簡易計算でもFEM解析の計算結果に対する比率が1 ~ 2と安全が確保され簡易計算でも問題がない。一方、拘束面数が少ない場合(1 ~ 2面)では、簡易計算結果はFEM解析の計算結果に比べ比率が1を下回り安全とはいえない結果となっている。

よって、過去の事例より、より安全に断面力を算出する方法をまとめると、図-1に示すようになる。

種別		4面拘束	3面拘束	2面拘束	1面拘束
概要図 (箱げたの例)					
断面力の算定 (解析モデル)	定着部	簡易モデル (FEM解析)	簡易モデル (FEM解析)	FEM解析	FEM解析
	偏向部	簡易モデル (FEM解析)	簡易モデル (FEM解析)	FEM解析	FEM解析

図 - 1 定着部及び偏向部の断面力算定方法

簡易法の適用性の評価事例

偏向部に関する検討事例

定着部及び偏向部における簡易法の適用性を評価するための参考資料として、PC箱げた橋を例にとり、主げたの拘束面数や部材厚と解析精度の関係を3次元FEM解析との対比により把握することを試みたものである。

検討方法

・検討モデル

「4面拘束(ダイヤフラム形式)」、「3面拘束(リブ形式)」、「3面拘束(リブ幅1/2)」、「2面拘束(サドル形式)」の4ケース

偏向部は図-2に示した梁モデルあるいはボックスフレームモデルに置き換えた簡易手法により、偏向部及びその周辺に作用する面内引張力が算定されており、本検討もこれに準ずるものとする。

また、図-3に簡易法で考慮される偏向部の引張力を示す。

偏向具周辺に局部的に発生する鉛直方向の引張力 T_1 及び水平方向の割裂力 T_2 、壁体や主げた(上床版)の曲げ作用に伴い発生する T_3 及び T_4 、壁体のせん断作用に伴い発生する斜引張応力度の合力 T_5 がある。

このうち、偏向具周辺の局部的な引張力 T_1 及び T_2 については、 T_1 は隔壁の有無に応じて外ケーブルの偏向力に定率を乗じることにより、 T_2 は割裂引張力の簡易式により、それぞれ算定されている。

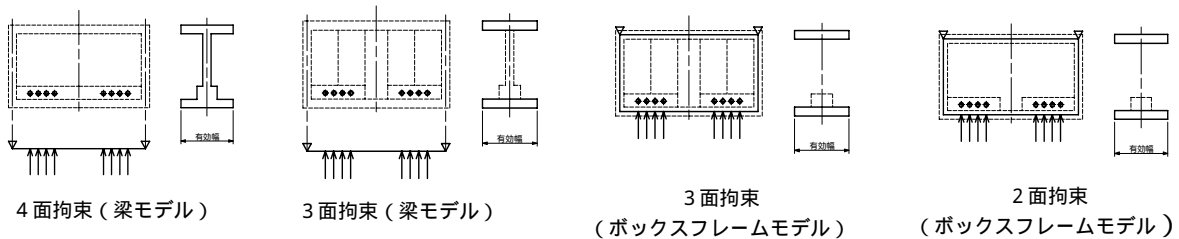
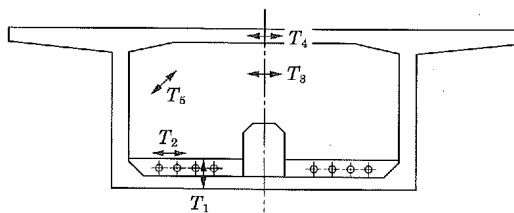


図 - 2 検討モデル



ここに、 T_1 : 偏向具外側に発生する局部引張力
 T_2 : 偏向具内側に発生する割裂力
 T_3 : 隔壁に発生する引張力
 T_4 : 上床版に発生する引張力
 T_5 : 隔壁に発生する斜引張応力度の合力

図 - 3 偏向部に発生する引張

検討結果

偏向部に発生する引張力 ($T_1 \sim T_5$) に着目して3D-FEMに対する簡易計算結果の比率を図-4に示す。この結果は、局部引張力の簡易計算法が、隔壁やリブにより補剛されていることを適用の前提としており、無補剛の状態での引張力を安全側に推定できない可能性があることを示唆している。

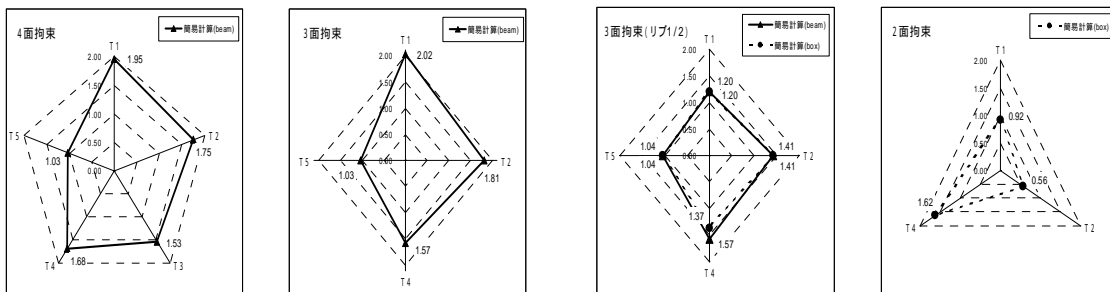


図 - 4 簡易計算の精度 比率 = 簡易計算結果 / FEM解析結果

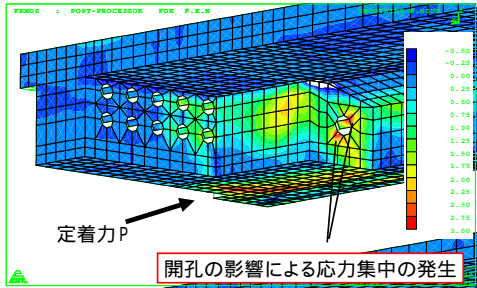
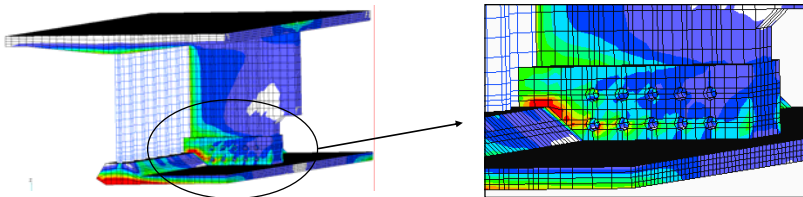
ここに示す簡易法の適用性に関する評価事例は、下記参考文献1) 4.参考資料(PP.34 ~ 42)を参照のこと。

【参考文献】

1) 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)

【大分類】 設計一般	【小分類】 外ケーブル構造	【作成日】 平成21年10月30日
<p>【Q - 5】 外ケーブルの定着部や偏向部の安全性の確認は、FEM解析が用いられている事例が多い。どのようなモデルで何を検証すれば安全と評価できるのか。</p>		

【キーワード】 外ケーブル構造、偏向部、定着部、FEM解析

<p>【A - 5】</p> <p>定着部や偏向部においては、プレストレスの集中作用により、加力点近傍、断面急変部、開口部で大きな局部応力が発生しやすい。特に断面急変部や開口部では、コンクリートの乾燥収縮等に伴う内部応力も付加され、有害なひび割れ発生の誘因となる。</p> <p>このため、FEM解析では、以下の事項に留意して検証する人が多い。</p> <p>荷重・境界条件 荷重を外ケーブル張力に限定してFEM解析を行う場合には、解析で考慮されていない荷重の複合作用を考慮して応力度の制限値を下げるなど解析結果を適切に評価する。 切出しモデルの仮定の拘束に伴う付加曲げの影響を別途考慮する。 主構造としての曲げ応力度等の挙動も加味して定着部や偏向部の応力状態を評価する。</p> <p>モデルの実物再現性 定着部の切欠きや点検・ケーブル通過孔等の断面欠損を忠実に再現してモデル化する。</p> <p style="text-align: center;">定着突起のモデル化事例</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">偏向部のモデル化事例</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">図 - 1 モデル化事例</p> <p>外ケーブルの定着具近傍に発生する局部応力を検証する場合には、定着具のモデル化や荷重方法を適切に選定する。</p> <p>FEM解析にて上記留意事項を忠実に再現したモデルで次ページに示すようなコンクリート応力度と鉄筋応力度の制限を適切に行うことが出来れば過去の実験結果等から安全性を評価できると考えられる。</p> <p>なお、定着具近傍の局部領域については、定着工法ごとに補強方法等の条件が定められているため、FEM解析では、定着具周辺以外での応答値を評価する事例が多い。</p>
--

安全性の評価

FEM解析を用いた照査では、過去の解析結果や実験結果などから定められた応力度制限により間接的に安全性を検証することになる。よって、有害なひび割れの生じない範囲でコンクリートの引張応力度を設定し、補強鉄筋を配置することでひび割れに対する安全性を確保する。

検証方法には以下のような事例がある。

検証 【実験による検証】

外ケーブルを中間突起定着する構造は、定着部本体ばかりでなく定着部近傍の上げたに比較的大きな局部応力が発生するため、実物大の供試体を用いた試験によりひび割れや破壊に対する安全性を確認することが出来る。

これらの実験結果に基づく応力制限値の設定事例を表-1に示す。

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。

表 - 1 死荷重作用時の応力制限事例

項目	道示 P C 部材	定着・偏向部 R C 部材	道示 R C 部材
目標とする状態	ひび割れを発生させない	ひび割れの発生をできるだけ制限する	有害でない範囲でひび割れ幅を制限する
計算の仮定	全断面有効	全断面有効	コンクリートの引張域無視
引張応力制限値	コンクリート	引張応力の発生を許容しない	-
	鉄筋	-	$100 \sim 120\text{N}/\text{mm}^2$ 程度
	ひび割れ幅との関係	0mm	0 - 0.1mm(実績値)

検証 【解析による検証】

全断面有効と仮定して設計されたRC部材における「コンクリートや鉄筋の引張応力制限値」と「ひび割れ抑制効果」の関係を、以下に示す道示のRC規定を基準とした安全指数の概念を導入して定量化することにより、応力制限の有効性を確認することが出来る。

$$\text{安全指数} \uparrow = \text{有害なひび割れに対する抵抗力 } R_{cr} / \text{設計断面力 } F$$

R_{cr}: 鉄筋の引張応力度が道示の許容値($s_a=100 \sim 120\text{N}/\text{mm}^2$)に達したときの作用力

全断面有効として設計されたRC部材の応力制限値と安全指数の関係を図-2に示す。非線形解析で1.5、慣用的なRC計算で1.0程度の安全指数が得られている。

ここでは既往の実験結果に基づいてコンクリートと鉄筋の引張応力制限値を各々 $3.0\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $120\text{N}/\text{mm}^2$ と設定

この結果から、上記の応力制限に基づく部材設計は、引張剛性の寄与分として5割程度の安全率が付加されているばかりでなく、不測の荷重作用(例えば、内部拘束応力等)に起因してコンクリートの引張剛性が期待できない状態となっても、引張鉄筋の配置により道示と同等の安全性が担保されていると評価できる。

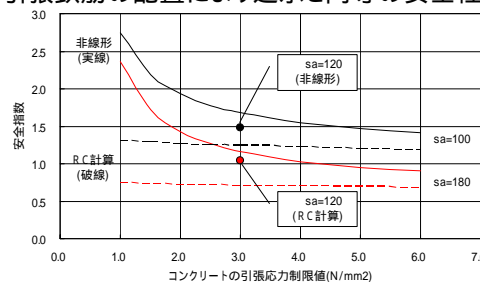


図 - 2 全断面有効として設計されたRC部材の安全指数

ここに示す簡易法の適用性に関する検証事例は、下記参考文献1) 事例 (PP.27 ~ 29)を参照のこと。

【参考文献】

- 1) 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7月)

【大分類】 設計一般	【小分類】 外ケーブル構造	【作成日】 平成21年10月30日
【Q - 6】 外ケーブルは、コンクリート断面外に配置されるため、防錆方法、定着具の保護など、維持管理面が課題となる。どのような点に留意し計画すればよいか。		

【キーワード】 外ケーブル構造、防錆、定着具の保護

【A - 6】

外ケーブルが外部環境下で配置される構造においては、大気、水分、紫外線等の劣化作用に応じて、所定の耐久性が確保できる防食方法を採用する必要がある。外ケーブルの防錆方法の事例を以下に示す。

代表的な防錆方法

防食方法	P C 鋼材の被覆			保護管及び内部充填		
	エポキシ樹脂	ポリエチレン	亜鉛メッキ	保護管(ポリエチレン、塩化ビニール等)		
防食材料				セメント系	樹脂系	グリース系
概要図						

外ケーブルの保護事例 (下記参考文献 1) アンケート調査結果のとりまとめ (P.106) より)
 外ケーブルの保護工法は「エポキシ被覆鋼材」や「シーす + セメントグラウト」が多く採用されている。

国交省および自治体

外ケーブル保護方法 (国・自治体のみ)

有効データ全数

外ケーブル保護方法 (全数)

定着部保護事例 (下記参考文献 1) アンケート調査結果のとりまとめ (P.108) より)
 定着部の保護工法は約6割が「グラウトキャップ+セメントグラウト」となっている。

国交省および自治体

定着部保護方法 (国・自治体のみ)

有効データ全数

定着部保護方法 (全数)

【参考文献】
 1) 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7月)