新技術評価事例（コンクリート構造）

－外ケーブル構造－

平成１９年　７月

（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会

新技術評価事例（コンクリート構造）－外ケーブル構造

はじめに

近年、技術提案型の契約方法の導入や、公共工事費の縮減化が以前にも増して叫ばれており、工期や工事費が縮減できる合理的な構造として新技術を用いた新たなコンクリート橋が採用されるようになってきている。

しかし、そのような新技術が提案されても、「道路橋示方書に示す要求性能を満足しているのかどうか」を技術的に評価しなければならず、何も分からずに設計を進め大きな問題に発展することや、検証方法が分からないために採用に踏切れないケースも生じている。また、新技術の設計では定性的な要求性能だけでなく、具体的な作用外力に対し、どのような変形が生じ各部材にどのような影響が生じるのかも関連して設計していかなければならない。そのため、新技術の採用には、高度な技術的判断が要求されることが多く、従来のみなし規定のように誰もが画一的に設計を行えるものでなくなる。

そこで、ＰＣ建協では最近のコンクリート橋における代表的な新技術を取り上げ、性能評価に関する技術資料をまとめた。本資料では、コスト縮減が可能で幅広い普及が期待される下記の構造について、技術評価の必要性の観点から道路橋示方書との関係を整理し、その着目要素と検証方法の考え方など技術評価の方向性を明確にして、それに基づく検証事例を示した。各新技術の紹介では「主な技術概要」、「技術評価の観点と方向性」、「検証事例」の３つの項目に分け、道路橋示方書の要求性能に対する課題や検証事例等を紹介している。

コンクリート橋における代表的な新技術の一覧

外ケーブル構造	
合理化床版構造	広幅員一室箱桁構造
	リブ付き床版構造
	ストラット付き床版構造
プレキャスト桁場所打ち接合構造（スプライスＰＣ構造）	
新しい桁連結構造（リンクスラブ構造）	
合成床版を有する合成Ｕ桁構造（Ｕコンポ橋）	

本資料は、着色部の新技術を示す。

目　次

1．主な技術概要 …… 1
2．技術評価の観点と方向性 …… 2
(1)　主げたの安全性 …… 4
1-1)　プレストレス分布に関する検 …… 4
1-2)　曲げ破壊に対する検証 …… 6
1-3)　せん断破壊に対する検証 …… 8

(2) 定着部及び偏向部の安全性 …… 9
2-1)　設計断面力の算定 …… 9
2-2)　局部応力に対する検証 …… 11
2-3)　ひび割れの制御 …… 12
2-4)　破壊安全性に対する検証 …… 13

(3) 外ケーブルシステムの耐久性 …… 16
3-1)　外ケーブルの防食及び振動対策 …… 16
3-2)　外ケーブルの疲労耐久性に対する検証 …… 18

3．検証事例 …… 20
事例① …… 21
事例② …… 23
事例③ …… 27
事例④ …… 30
事例⑤ …… 32

4．参考資料 …… 34
(1)　検討概要 …… 34
(2)　定着部に関する検討 …… 34
2-1)　検討方法 …… 34
2-2)　検討結果 …… 36
(3)　偏向部に関する検討 …… 38
3-1)　検討方法 …… 38
3-2)　検討結果 …… 41

5．アンケート調査結果のとりまとめ …… 44

1．主な技術概要

外ケーブル構造は、一般に、ケーブルシステム、定着部、偏向部の３要素で構成され、その設計においては、構成要素それぞれの性能照査に加え、外ケーブル構造の適用に伴う特性変化を考慮した全体構造に対する性能照査を実施することになる。橋梁の性能に影響を与える外ケーブル構造の特性及び荷重・劣化作用は**図-1.1**に示すとおりであり、従来の内ケーブル構造に比べて同等以上の安全性や耐久性を確保するためには、設計時において、これらに十分配慮する必要がある。

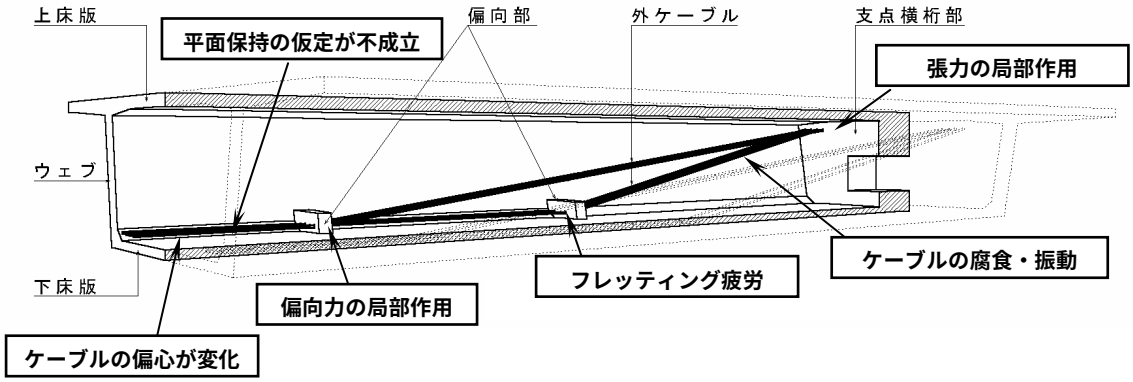


図-1.1　外ケーブル構造の特性及び作用

このような外ケーブル構造の特性や作用が各部材に与える構造的な影響については、これまで多くの研究があり、そこで得られた知見が道示や各種公的機関から発刊されたマニュアル類の内容に反映されている。例えば、設計の基本事項や主げたの安全性照査については、道示の規定(Ⅲ18.5)として示されており、さらに、定着部及び偏向部の安全性照査や外ケーブルの防食仕様・疲労対策等の具体については、関連するマニュアル類により補完されている。

このため、多くの場合、道示をはじめとする既存の設計基準を準用した慣用的な検証が可能であるが、外ケーブル構造は設計の自由度が高く、様々な構造形式への適用が可能な反面、細部仕様が多岐に渡るため、橋梁の構造によっては、慣用法を適用する上での前提条件を満足せず、その準用に疑義が生じる場合がある。このような場合には、橋梁の構造特性に応じて直接的方法(実物大試験)や間接的方法(ＦＥＭ解析等)による検証を適宜実施し、性能を評価する必要がある。

既存の設計基準に示された慣用的な検証方法や構造細目を準用することに疑義が生じるおそれのある外ケーブル構造の事例を以下に示す。

① ＰＣ鋼材が部材の外側に配置されることによる構造的な影響が顕著に現れ、外ケーブルを内ケーブルとみなして取り扱う等の方法では、照査結果の信頼性が問題となる構造
② プレストレス力が定着部及び偏向部を介して主げたに伝達されることに起因するプレストレス分布の断面内での不均等や局所的な乱れが、設計上問題となる構造
③ 定着部あるいは偏向部の部材形状や荷重作用が複雑で、ケーブル張力や偏向腹圧力の作用に伴う局部応力の発生、破壊時の挙動を把握することが困難な構造
④ 外ケーブルの耐久性を損なう環境外力やフレッティング等の各作用に対し、これまでの実績に基づいて定められた規定や構造細目を準用して対処することが困難な構造

2．技術評価の観点と方向性

外ケーブル構造を適用した橋梁が道路橋に要求される性能を満足することを確認するにあたっては、道示の準用に疑義が生じる構造や関連基準に示されたみなし規定に従わない構造において、以下に示す観点からの技術評価が必要とされる場合がある。

また、既存の関連基準を準用することで概ね所定の性能を確保できると判断されることから本編で取り上げていないその他の外ケーブル構造の特性や作用についても、設計及び施工に関する技術的課題として留意する必要がある。

■主げたの安全性に関する観点

道路橋の要求性能		想定する状態	橋梁の性能に影響を与える外ケーブル構造の特性及び作用	技術評価の観点	項目No
種別	性能項目				
安全性(供用時)	供用性を低下させないために必要な構造物の安全性を確保すること(道示III2.1)	有害なひび割れの発生	◆横桁や隔壁、あるいは突起を介して主桁にプレストレスが伝達されるため、定着部および偏向部周辺において応力の乱れが発生する場合がある。	道示を準用してプレストレスの広がりを考慮することに疑義が生じる場合の検証	1-1
安全性(断面破壊)	断面の破壊によって耐荷能力が失われないこと(道示III2.1)	曲げ破壊	◆ケーブルの張力増加が小さくなるため、同じプレストレスが導入された内ケーブル構造に比べ曲げ耐力が低下する。 ◆部材の変形に伴いケーブルの偏心が小さくなるため、曲げ耐力が低下する。	①外ケーブル構造としての特性が顕著となる構造で外ケーブルを内ケーブルとみなして道示を準用することに疑義が生じる場合の検証 ②破壊部位の特定が困難で、線形解析による断面力を用いて安全性を照査することに疑義が生じる場合の検証	1-2
		せん断破壊	◆斜めせん断ひび割れが発生した時に外ケーブルが引張弦材として機能しない。	プレキャストセグメント橋に全外ケーブル構造を適用する場合のせん断破壊に対する検証	1-3

■定着部及び偏向部の安全性に関する観点

道路橋の要求性能		想定する状態	橋梁の性能に影響を与える外ケーブル構造の特性及び作用	技術評価の観点	項目No
種別	性能項目				
安全性(供用時)	供用性を低下させないために必要な構造物の安全性を確保すること(道示III2.1)	有害なひび割れの発生	◆定着部あるいは偏向部として機能させる支点横げたや隔壁に大きな断面力が発生する。	梁や版に置き換えた簡易モデルにより断面力を算定することが困難な場合の検証	2-1
			◆定着部となる支点横桁あるいは中間突起にケーブルの緊張力が直接作用し、大きな局部応力が発生する。	部材形状や荷重の集中作用が複雑な場合の検証	2-2
			◆偏向部横桁(隔壁)にケーブルの偏向分力が作用し、局部的な応力が発生する。	ひび割れの発生をできるだけ制限することが望ましい場合の照査方法と許容応力度の設定	2-3
安全性(断面破壊)	断面の破壊によって耐荷能力が失われないこと(道示III2.1)	曲げ／せん断破壊	◆外ケーブル張力の集中作用により局所的な破壊が生じるおそれがある。 ◆突起定着の場合、周辺部材(床版、ウェブ)の破壊に対する配慮が必要となる。	①道示の準用のみでは終局耐力を算定することが困難な場合の検証 ②破壊過程を想定することが困難で、既存の耐力算定式を準用することに疑義が生じる場合の検証	2-4

■外ケーブルの耐久性に関する観点

道路橋の要求性能		想定する状態	橋梁の性能に影響を与える外ケーブル構造の特性及び作用	技術評価の観点	項目No
種別	性能項目				
耐久性（腐食）	経年的な劣化により供用性、安全性が損なわれないこと（道示III5.1）	鋼材腐食に伴う引張・疲労強度の低下	◆水分や酸素等、環境外力の作用により外ケーブルが腐食するおそれがある。	ケーブルが外部環境に置かれる場合の防食方法の選定及び性能評価	3-1
耐久性（疲労）	疲労、振動の影響により構造物の安全性が損なわれないこと（道示III2.1）	ケーブルの共振による疲労	◆外ケーブルが振動の影響を受ける。	供用中に発生する振動の定量的評価と対応策	
		フレッチング疲労破断	◆偏向部においてＰＣ鋼材にフレッチングや付加曲げが生じる。	外ケーブルの許容応力度や最小曲げ半径等に関するみなし規定に従わない場合の疲労耐久性の検証	3-2

■その他設計・施工上の留意点

道路橋の要求性能		着目する部位	想定する状態	設計・施工に関する技術的課題	対応策（例示）
種別	性能項目				
安全性（供用時）	供用性を低下させないために必要な構造物の安全性を確保すること（道示III2.1）	主げた	有害なひび割れの発生	◆プレストレスの減少過程における部材のクリープ・乾燥収縮の影響が内ケーブルと異なる。	◆応力度算定においてプレストレス力を適切に評価する。 ①内力評価法（道示III18.5.1解説） ②外力評価法 ③部材評価法（道示III18.5.1解説） ◆内ケーブルに比べ部材の曲げひずみの影響が小さいため、クリープ・乾燥収縮による応力度の減少量が小さく、みかけのレラクセーション率が大きくなる影響を考慮する。
				◆ひび割れが発生した時の分散性が悪くなる（ひび割れ幅が大きくなる）。	◆道示III6.5(引張鉄筋)に従う。
				◆曲げが正負交番作用する部分で外ケーブルを集中して偏向させると部材縁でひび割れが生じやすい。	◆偏向部を分散して配置する。 ◆施工性、経済性を著しく損なうことを理由にケーブルを集中して偏向させる場合にはモーメントシフトを考慮して部材応力度を照査する。
施工品質の確保	使用目的との適合性や構造物の安全性を確保するために確実な施工を行える性能を有すること（道示Ⅰ1.5）	ケーブル／保護管	－	◆被覆鋼材や保護管を用いる場合、施工中に樹脂の損傷や変質が生じるおそれがある。	◆保管方法、断面内への搬入方法等、施工条件を考慮して防食の仕様を決定する。
		ケーブル／偏向管	－	◆偏向管の据え付け精度が悪いとＰＣ鋼材に局所的な折れが生じる。	◆偏向管の形状に配慮する(ﾃﾞｨｱﾎﾞﾛ管等)。
		定着部／偏向部	－	◆定着部や偏向部の配筋が密となりコンクリートの充填性が悪くなる。	◆コンクリートのスランプおよび打設方法を想定して配筋を計画する。
維持管理の容易さ	供用中の日常点検、材料の状態の調査、補修作業が容易に行えること（道示Ⅰ1.5）	ケーブル	－	◆ケーブルが将来的に交換あるいは追加できる。	◆交換を前提とする場合、桁端の作業スペースの確保に配慮し交換可能な外ケーブル仕様を採用する。 ◆ケーブルが追加できるよう予備孔を設置する。

(1) 主げたの安全性

1-1) プレストレスの分布に対する検証

■関連する道示の規定

[道示III18.5.2]
(2) 外ケーブル構造は、外ケーブルの張力や偏向力を主げたへ円滑に伝達できる構造とするものとする。

[道示III6.6.7]
(1) 定着具の位置は、部材に所定のプレストレスを導入できるように、また、部材に有害なひび割れが生じないように選ぶものとする。
(3) 部材の中間に定着具を設ける場合には、活荷重による応力変動の大きな点から十分離れた断面の断面図心に近い位置か、圧縮部のコンクリートに定着するのがよい。

(1)、(3) 定着具近くの断面では、プレストレス力の局部集中等の影響による応力の乱れがあって、定着具付近からはなれた断面の応力分布とは異なるので注意する必要がある。プレストレス力の広がりの角度βについては、実験結果によるとほぼ45°前後といわれているが、安全をみてtanβ=2/3すなわちβ=33°40′とするのが望ましい。・・・・

■技術的課題

外ケーブルを突起等により主げた部材に直接定着するような構造や広幅員一室箱げたのようにウェブ間隔が広い構造では、プレストレスの導入に伴う主げたや横げたの面外変形等に起因して、定着部に近い設計断面におけるプレストレスの分布が道示に基づく仮定よりも危険側となる場合がある。

■性能評価の対応策

定着部近傍における主げた断面内のプレストレス分布状態をＦＥM解析により確認し、解析結果に基づいて外ケーブルの有効本数を設定する、あるいは、直接、断面応力度を照査することにより、架設時や設計荷重作用時の安全性を検証する。

【解説】

外ケーブルが部材厚の厚い横げたや隔壁に定着される場合、定着位置からのプレストレス力の広がりは、実際の定着位置から最も近いウェブやフランジに定着位置があるものと仮定し、道示Ⅲ6.6.7の解説を準用して算定できる[1-1-1)]。

これに対し、中間支点横げたの両側に外ケーブルがたすきがけの状態で定着される構造において、橋体全幅が広い、張出し床版長が大きい、中間横げた厚が小さい等の条件に該当する場合には、横げた区間内で有効に伝達されると仮定した中間支点付近のプレストレスが実態と異なる可能性がある。このような場合の対応策として、ＦＥM解析等により分布状態を確認し、設計上の有効本数を設定する方法がある[1-1-1)]。

一方、片持張出し工法のように架設途中のブロック打継目におけるプレストレスの分布状態が問題となる構造では、外ケーブルを架設ケーブルとして用いると、突起定着近傍の応力の乱れに伴い直近のブロック打継目において上床版先端のプレストレスが不足する場合がある。このため、プレストレスに関するせん断遅れ(シェアラグ)現象をＦＥM解析で確認し、内ケーブルを併用する等の対策により、上床版先端の応力状態を改善した事例がある。

[検証事例①：ＦＥM解析によるプレストレス分布状況の確認]

[参考文献]

1-1-1) (社)プレストレストコンクリート技術協会：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，Ⅰ共通編7.4(4)，平成17年6月

1-2）曲げ破壊に対する検証

■関連する道示の規定

[道示III18.5.2]
(1)　外ケーブル構造は、・・・・外ケーブル構造の特性を考慮して設計するものとする。

1)　部材断面の応力度及び耐力の照査方法について

ⅰ）　外ケーブルを内ケーブルとみなして取り扱う方法

終局荷重作用時における破壊に対する安全度の照査に用いる破壊抵抗曲げモーメントの算出については・・・・次のいずれかの方法で算出する。

ａ）　終局荷重作用時における外ケーブルの応力度が、設計荷重作用時における応力度から増加しないと仮定するか、あるいは載荷試験の結果等を参考に、この増加量を仮定して4.2.4(2)の規定により算出する。これまでの実績では、この増加量を100N/㎟程度として設計に見込んでいる例が多い。

ｂ）　外ケーブルを付着のないＰＣ鋼材とみなして4.2.4(2)の規定により算出する。

[道示III4.1]
(2)　設計荷重作用時及び終局荷重作用時の構造部材の照査に用いる断面力の算定は、棒部材を用いた線形解析に基づくものとする。・・・・

■技術的課題

①　外ケーブルを内ケーブルとみなして破壊抵抗曲げモーメントを算出するにあたり、外ケーブルの配置条件によっては、終局荷重作用時におけるケーブルの応力度をこれまでの実績に基づいて仮定することに疑義が生じる場合がある。

②　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に疑義が生じる。

■性能評価の対応策

①　終局荷重作用時における外ケーブル応力度の増加量を、既存の簡易算定式を用いて仮定することにより、破壊抵抗曲げモーメントを算定する。

②　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、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する。

【解説】

①　破壊抵抗曲げモーメントを算定する際に用いる外ケーブルの応力度は、有効高さや定着間距離、外ケーブル比率、偏向部の設置箇所等に応じて橋梁毎に異なるため、これらの諸条件を反映し得る方法を用いて設定する必要がある。例えば、種々の制約により標準的なけた高が確保できず外ケーブルの有効高さが小さい場合、複数径間に渡って連続して配置される(定着間距離が長い)場合、中間支点上を跨いで途中定着される場合(張出し架設工法)等においては、載荷に伴う外ケーブルの応力増加が小さい傾向にあり、さらに、外ケーブル比率の高い構造では、このような特性の破壊抵抗曲げモーメントに与える影響が大きくなるので注意が必要である。

終局荷重作用時における外ケーブル応力度の増加量については、その簡易算定法が諸外国の設計基準や国内の研究で提示されており[1-2-1)]、例えば、複合非線形解析を用いた各種変数の感度分析とケーススタディに基づいて提案された方法[1-2-2,1-2-3)]では、外ケーブルの有効高さと定着間距離の比率に応じた増加応力度を与える。

② 斜張橋やエクストラドーズド橋に外ケーブルを併用した構造や、外ケーブルのみでプレストレスを与える構造(全外ケーブル構造)をプレキャストセグメント橋に適用する等において、終局荷重作用時の挙動を事前に予測することが困難な場合には、終局に至るまでの部材剛性の低下やセグメント継目部の目地開き、ケーブル偏心量の変化等を考慮することが可能な複合非線形解析により安全性を検証する方法がある。

既往の解析事例[1-2-4)]では、解析モデルに死荷重および活荷重に相当する荷重を漸増載荷して、載荷に伴う外ケーブルの張力増加や偏心量変化を逐次考慮した応答値を算定し、各設計断面のいずれかが終局ひずみに達したときの荷重倍率と道示で規定される荷重係数の大小関係により、曲げ破壊に対する安全性を照査している。

[参考文献]

1-2-1) (社)土木学会：ＰＣ構造物の現状の問題点とその対策(コンクリート技術シリーズ52), pp.53-74, 2003-6

1-2-2) 小坂他：外ケーブルを用いたＰＣ橋の終局曲げ挙動に関する研究, 土木学会論文集No.613/Ⅴ-42, pp.147-164, 1990-2

1-2-3) (社)プレストレストコンクリート技術協会：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, Ⅱ外ケーブル構造編6.1.2(3), 平成17年6月

1-2-4) 例えば、佐藤他：外ケーブルを併用した新強首橋の設計, プレストレストコンクリートVol.41 No.5, pp.31-37, 1999-9

1-3）せん断破壊に対する検証

■関連する道示の規定

[道示III18.5.2]
(1)　外ケーブル構造は、・・・・外ケーブル構造の特性を考慮して設計するものとする。

4)　せん断力及びねじりモーメントに対する照査について

外ケーブル構造のせん断力やねじりモーメントに対する照査は、内ケーブル構造と同様に4.3及び4.4の規定に従ってよい。ただし、外ケーブルは、・・・・トラス理論におけるモデルの引張弦材とみなしてはならない。

■技術的課題

プレキャストセグメント橋に全外ケーブル構造を適用する場合、部材内の引張鋼材が不連続となるため、トラス状の耐荷機構を前提としたせん断に関する耐力算定式の適用に疑義が生じる。

■性能評価の対応策

セグメント継目部のせん断伝達耐力が軸方向に鋼材が連続している構造と同等以上であることを確認した上で、継目部以外の断面におけるせん断耐力をトラス理論に基づいて算定する。

【解説】

プレキャストセグメント橋におけるセグメント継目部のせん断伝達耐力については、接合キーの耐力と終局荷重作用時に圧縮域となるウェブの摩擦抵抗の和として算定する方法がある[1-3-1)]。部材内の引張鋼材が不連続な場合においても、この方法により継目部の安全性を確認することを前提として、継目部以外の断面における斜引張せん断耐力を従来のトラス理論を適用して算定できる可能性がある[1-3-2)]。

単純げた構造を対象とした既往の研究[1-3-3)]においても、道示を準用した斜引張せん断耐力は実験値に比べて安全側の値であることが確認されているが、連続げた構造の中間支点部のように大きな曲げとせん断の作用を同時に受ける部位では、曲げ破壊に対してせん断破壊が先行する脆性的な破壊性状を示した実験事例[1-3-4)]もあるので、終局荷重作用時のセグメント目地の開きを抑制しウェブの圧縮域を十分確保し得るプレストレスの導入等、所要のせん断耐力を確保するための対策を講じる必要がある。

[参考文献]

1-3-1) (社)プレストレストコンクリート技術協会：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，Ⅲプレキャストセグメント工法編8.3(1)，平成17年6月
1-3-2) (社)プレストレストコンクリート技術協会：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，Ⅲプレキャストセグメント工法編6.2.3(1)，平成17年6月
1-3-3) 西川他：外ケーブルを適用したＰＣ桁の曲げ・せん断挙動に関する研究，プレストレストコンクリートVol.42，No.5，pp.25-36，2000-9
1-3-4) 大塚他：外ケーブルを用いたプレキャストセグメント桁の中間支点におけるせん断耐力の評価に関する研究，橋梁と基礎Vol.40，No.2，pp.39-48，2006-2

(2) 定着部及び偏向部の安全性

2-1) 設計断面力の算定

■関連する道示の規定

[道示III10.4]

(1) 支点横げた及び隔壁の断面力は、支点や部材の結合条件等に応じた解析理論及び解析モデルを設定して算出するものとする。

(2) 支点横げた及び隔壁の断面力の算出は、はり理論によってよい。

■技術的課題

定着部や偏向部は、壁状部材や突起状部材で構成され、これらが主げたで拘束されている複雑な立体構造を有しているため、梁や版に置き換えた簡易モデルにより断面力を算定する場合には、解析結果に相応の誤差を含んでいるおそれがある。

■性能評価の対応策

慣用的な断面力の算定にあたっては、これを用いた断面応力度や引張力がＦＥＭ等の高度解析結果に比べて同等あるいは安全側であることが明確にされている構造条件の範囲で実施することにより、精度を担保する。

【解説】

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、主構造として本来存在する十分剛な横げたや隔壁の一部にその機能を持たせることが多いが、主げたの断面形状、架設工法の制約(例えば外ケーブルを多用した張出し架設工法やプレキャストセグメント工法との組合せ等)により、その構造が多岐に渡るため、簡易法による断面力の算定にあたってはその適用性に十分配慮する必要がある。

表-2.1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[2-1-1,2-1-2)]を例示したものである。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。

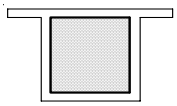
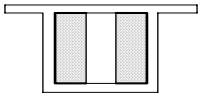
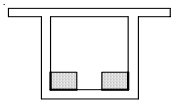
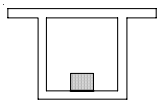
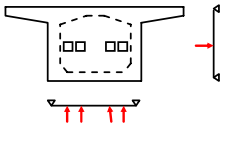
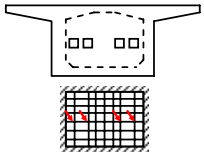
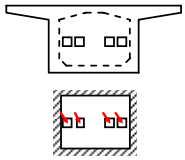
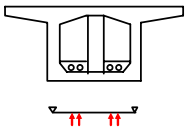
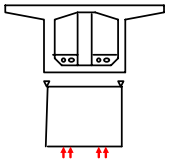
[4.参考資料：定着部及び偏向部における慣用解析法の適用範囲に関する検討]

[参考文献]

2-1-1) (財)高速道路技術センター：外ケーブルを用いたＰＣ橋梁の設計マニュアル，平成8年8月

2-1-2) (社)日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，平成6年2月

表-2.1　定着部及び偏向部の断面力算定方法(例)

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	梁モデル 格子モデル [2-1-1)] 平板モデル 2D-FEM解析(シェル要素)	梁モデル 格子モデル 平板モデル 2D-FEM解析(シェル要素)	コーベル 内ケーブル突起定着部の簡易設計法 [2-1-2)]	コーベル 内ケーブル突起定着部の簡易設計法 [2-1-2)]
	偏向部	梁モデル及び局部引張力の簡易算定式 [2-1-1)] 2D-FEM解析(シェル要素)	梁モデル(ボックスフレーム)及び局部引張力の簡易算定式 [2-1-1)] 2D-FEM解析(シェル要素)	ボックスフレーム及び局部引張力の簡易算定式 [2-1-1)]	ボックスフレーム及び局部引張力の簡易算定式
モデル化の概要	定着部	梁モデル  格子モデル  平板モデル 			
	偏向部	梁モデル  ボックスフレームモデル 			

2-2）局部応力に対する検証

■関連する道示の規定

[道示III18.5.3]
(1)　外ケーブルの定着部及び偏向部は、ケーブルの張力及びケーブルが偏向することにより生じる局部応力に対して、鉄筋あるいはＰＣ鋼材によって補強するものとする。

■技術的課題

定着部あるいは偏向部の部材形状や荷重の作用が複雑な場合には、慣用的な局部応力の算定やその補強設計に疑義が生じる。

■性能評価の対応策

引張応力の分布状態を簡易解析で推定することが困難な場合や、大きな局部応力の作用に伴うひび割れの発生が懸念される場合には、当該部位とその周辺の拘束部材を含めた再現性の高い立体モデルでＦＥM解析を実施することにより、安全性を検証する。

【解説】

外ケーブル構造は、比較的大容量のケーブルシステムが用いられるため、プレストレス力や偏向腹圧力の集中作用により、定着部や偏向部に大きな局部応力が発生する。このため、定着具前面や偏向管周辺に発生する支圧応力や割裂応力、部材隅角部の主引張応力等の局所的な作用に対して、部材に有害なひび割れが生じないよう十分な補強鉄筋を配置する必要があるが、１つの部位で定着部や偏向管が多段・多列配置される場合や近傍に開口部等の断面変化が存在する場合には、応力状態が複雑となり、既存の文献[2-2-1)～2-2-3)]等に示されている簡易手法を参考にした局部の照査が困難となる。

外ケーブル構造においては、定着部や偏向部を介してプレストレス力が橋体に伝達されるため、ケーブルの定着あるいは偏向位置から応力分布が一様になるまでの区間で生じる応力集中が問題となる場合が多い。このため、ＦＥM解析では、全体構造から検証対象エリアを切り出し、実構造を比較的忠実に再現した部分モデルが多用されている。

[検証事例②：ＦＥM解析による定着部及び偏向部の安全性照査]

[参考文献]

2-2-1) (社)日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，平成6年2月
2-2-2) 猪俣著：プレストレストコンクリートの設計および施工，技報堂出版，1961
2-2-3) Ｆ・レオンハルト他著：レオンハルトのコンクリート講座②続・鉄筋コンクリートの設計，鹿島出版会，昭和59年

2-3）ひび割れの制御

■関連する道示の規定

[道示III3.3]

鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に対する鉄筋の許容応力度は、直径32㎜以下の鉄筋に対して表-3.3.1の値とする。

表-3.3.1 鉄筋の許容応力度 (N/mm²)

応力度、部材の種類 ＼ 鉄筋の種類		SR235	SD295A SD295B	SD345
引張応力度	1) 活荷重及び衝撃以外の主荷重	80	100	100
	2) ・・・・	・・	・・	・・

1) コンクリートの耐久性を確保するには、・・・・。この値は、既往の構造物に生じたひび割れ幅と設計上の鉄筋応力度との関係等から、コンクリート表面のひび割れ幅が0.2㎜程度以下となる鉄筋応力度を示したものである。

■技術的課題

定着部あるいは偏向部が鉄筋コンクリート構造であっても、ひび割れの発生をできるだけ制限することが望ましい場合には、道示の規定を準用するだけでは目標とする状態を満足できない可能性がある。

■性能評価の対応策

部材の全断面が有効と仮定してコンクリートの引張応力を算定し、これを適切に制限することにより、ひび割れの発生を抑制する。

【解説】

外ケーブルの配置本数が多く張力や偏向力の荷重作用が錯綜する、あるいは開口部や突起形状を有していて比較的大きな局部応力が発生するような定着・偏向構造では、鉄筋コンクリート構造であってもひび割れの発生をできるだけ制限することが望ましい。

定着部や偏向部は、通常、作用する外ケーブル張力のプレストレス成分が活荷重等の作用に伴う増分に比べて卓越するため、道示を準用し、鉄筋コンクリート構造として設計する場合には、プレストレス力を主荷重としてコンクリートの圧縮応力度及び鉄筋の引張応力度が照査される。これに対して、ひび割れの発生をできるだけ制限することを目標とする場合には、ＦＥＭ解析のように、全断面が有効と仮定してコンクリートの引張応力度を算定し、ひび割れの発生を制限することが可能な水準以下であることを照査するとともに、コンクリートに作用する引張力をすべて鉄筋が負担すると仮定して補強鉄筋を配置する方法がある。

この方法では、算定されるコンクリート及び鉄筋の引張応力度が実態と異なる見かけの値であり、これらに対する仮想の応力制限により間接的に安全性を担保することになるため、既往の研究において有害なひび割れの生じないことが確認されている範囲でコンクリート及び鉄筋の許容引張応力度を設定する必要がある。

[検証事例③：ＦＥＭ解析を用いた安全性照査における応力制限値の設定]

2-4) 破壊安全性に対する検証

■関連する道示の規定

[道示III4.6]
(1) 厚さの薄い部材に面外から集中荷重が作用する場合は、コンクリートの押抜きせん断破壊についての安全を確認するものとする。
(3) 設計荷重作用時のコンクリートの押抜きせん断応力度は、表-3.2.7に規定する許容押抜きせん断応力度以下であることを照査するものとする。

[道示III18.3.2]
(1) ディープビームは、タイドアーチ的な耐荷機構を考慮して設計を行うものとする。
(3) 曲げモーメントに対しては、・・・・4.2の規定により設計してよい。・・・・
(3) ・・・・ただし、設計荷重作用時における部材断面に生じる平均せん断応力度は、表-4.3.1の値をこえないことが望ましい。

[道示III18.4.2]
(1) コーベルは、トラス状の耐荷機構を考慮して設計を行うものとする。
(3) コーベルの主引張鋼材量は、・・・・トラスとして算出してよい。
(3) ・・・・ただし、設計荷重作用時における部材断面に生じる平均せん断応力度は、表-4.3.1の値をこえないことが望ましい。

■技術的課題

① 道示の準用のみでは、想定し得る各種の破壊モードに対して部材耐力を適切に算定することが困難な場合がある。
② 部材の形状や支持条件が複雑で荷重作用が複合するような構造では、補強鋼材の降伏からコンクリートの圧壊に至るまでの破壊過程を想定することが困難で、既存の耐力算定式を適用することに疑義が生じる場合がある。

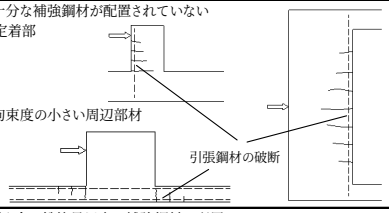
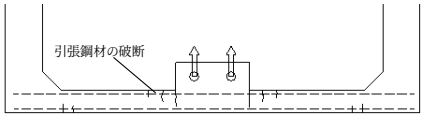
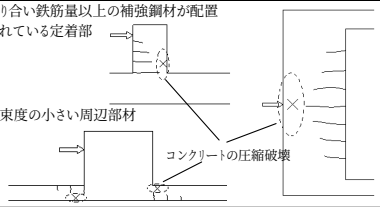
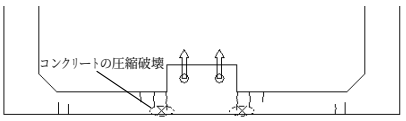
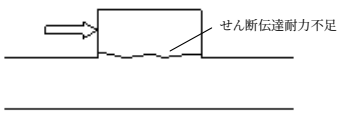
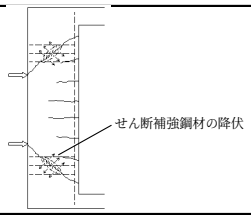
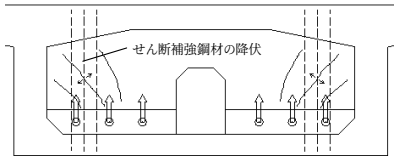
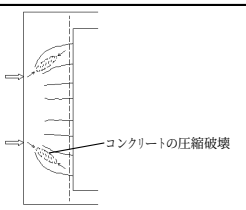
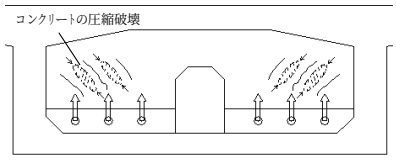
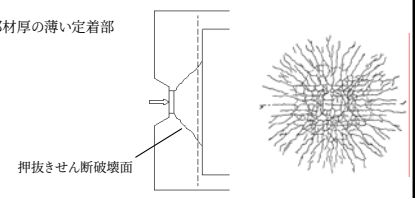
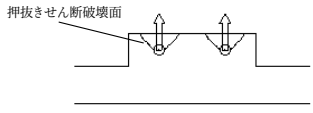
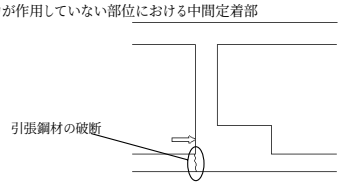
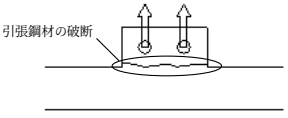
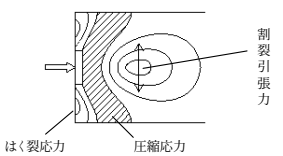
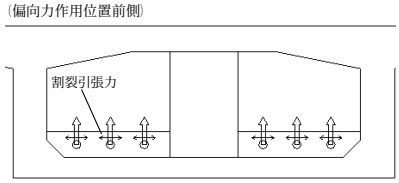
■性能評価の対応策

① 押抜きせん断破壊あるいは純せん断破壊等、道示の準用が困難な照査項目については、既存の関連基準を準用してこれらの破壊に対する耐力を算定することにより、終局荷重作用時の安全性を照査する。
②-1) 終局荷重作用時の力学的特性が、弾性域から大きく逸脱しない範囲内にとどまることを照査することにより破壊に対して安全であるとみなす。
②-2) 非線形ＦＥＭ解析あるいは実験により破壊に対する安全性を検証する。

【解説】

① 定着部及び偏向部の終局状態は、形状寸法や載荷条件ばかりでなく、床版あるいはウェブによる周辺拘束度(拘束面数)の影響を受け、**表-2.2**に示すような種々の形態が想定される。
これらの中で、定着部の押抜きせん断破壊や純せん断破壊のように、道示では設計荷重作用時の各種せん断応力度が許容値以下であれば所定の安全性を満足するとみなされるものについては、コンクリート標準示方書[2-4-1)]を準用して耐力を算定することにより、終局荷重作用時の破壊安全性を検証できる可能性がある。

表-2.2　定着部及び偏向部で想定される破壊モード

種別		概　要	破壊モードが想定される部位および概念図	
			定着部	偏向部
曲げ破壊	曲げ引張破壊	プレストレス力により定着部、偏向部および周辺部材に曲げモーメントが作用すると、部材引張縁に曲げひびわれが発生し、作用荷重の増加に伴い曲げひびわれは中立軸付近まで到達する。十分な引張鋼材が配置されていない場合は、さらなる荷重増加によって、圧縮コンクリートが終局ひずみに達する以前に引張鋼材が終局ひずみに達し、引張鋼材の破断により部材の終局状態となる。	・十分な補強鋼材が配置されていない定着部 ・拘束度の小さい周辺部材 	・十分な補強鋼材が配置されていない偏向部（橋軸直角方向曲げ） ・拘束度の小さい偏向部の周辺部材 
	曲げ圧縮破壊	プレストレス力により定着部、偏向部および周辺部材に曲げモーメントが作用すると、部材引張縁に曲げひびわれが発生し、作用荷重の増加に伴い曲げひびわれは中立軸付近まで到達する。過大に引張鋼材が配置されている場合は、さらなる荷重増加によって、引張鋼材が終局ひずみに達する以前に圧縮コンクリートが終局ひずみに達し、コンクリートの圧縮破壊により部材の終局状態となる。	・釣り合い鉄筋量以上の補強鋼材が配置されている定着部 ・拘束度の小さい周辺部材 	・釣り合い鉄筋量以上の補強鋼材が配置されている偏向部（橋軸直角方向曲げ） ・拘束度の小さい偏向部の周辺部材 
せん断破壊	純せん断破壊	定着部と周辺部材の界面において、プレストレス力による作用せん断力が界面におけるせん断伝達耐力を上回ると、せん断力を伝達できず、部材の終局状態となる。	・定着部の周辺部材との界面 	
	斜め引張破壊	プレストレス力による作用せん断力が卓越する部材においては、斜めひびわれ発生後にせん断補強鋼材によってもせん断力が負担され、トラス的な耐荷機構へと移行していく。さらなる荷重増加によって、トラスにおける引張材としてのせん断補強鋼材が降伏し、部材の終局状態となる。		・十分な補強鋼材が配置されていない隔壁形式またはリブ形式の偏向部 
	斜め圧縮破壊	プレストレス力による作用せん断力が卓越する部位においては、斜めひびわれ発生後にせん断補強鋼材によってもせん断力が負担され、トラス的な耐荷機構へと移行していく。引張鋼材やせん断補強鋼材が十分に配置される場合は、さらなる荷重増加によって、せん断補強鋼材が降伏する以前に圧縮斜材としてのコンクリートが終局ひずみに達し、部材の終局状態となる。		・部材厚の薄い隔壁形式またはリブ形式の偏向部 
	押し抜きせん断破壊	スラブなどの面部材にプレストレス力による局部的な荷重が作用する場合、荷重域周辺部から円錐形状またはピラミッド状の形をなしたコーンを形成するように破壊する。	・部材厚の薄い定着部 	・突起形式の偏向部 
その他の破壊	引張破壊	軸引張力を受ける部材において、コンクリートの引張強度以上の引張力が作用するとびわれが発生し、全引張力を引張鋼材で負担することとなる。さらなる荷重増加によって、引張鋼材が終局ひずみに達し、引張鋼材の破断により部材の終局状態となる。	・圧縮力が作用していない部位における中間定着部 	・十分な補強鋼材が配置されてない偏向部の外ケーブル近傍（偏向力作用位置後方） 
	割裂破壊	プレストレスによりコンクリート部材に圧縮力が作用する場合、その圧縮力の方向と直交する方向には引張応力が作用する。コンクリートの引張強度以上の引張力が作用するとびわれが発生し、引張力の方向に十分な引張鋼材を配置している場合は全引張力を引張鋼材で負担することとなる。引張鉄筋が配置されない場合や十分な鋼材量が配置されない場合では、作用引張力を負担できず部材の終局状態となる。	・十分な補強鋼材が配置されていない定着部（定着背面） 	・十分な補強鋼材が配置されていない偏向部（偏向力作用位置前側） 

②-1) 終局荷重作用時において定着部や偏向部が概ね弾性域内で挙動することを照査する場合の指標として、補強鋼材が降伏に達した時点を終局限界とする、あるいは、破壊を制御する上で重要となる部位に対して適切な安全率を考慮した許容応力度を適用する等がある。

②-2) 突起構造のように周辺の主げた部材による拘束度が小さくなると、定着部、偏向部ともにせん断伝達や曲げ伝達の作用が集中し、周辺部材が先行して破壊する可能性があるため、留意する必要がある。このような破壊形態を含め、事前の線形解析において複数の箇所で部材耐力(材料強度)を越える断面力(応力)が発生する等、弾性的な挙動から破壊過程を推定することが困難な場合には、以下の方法により安全性を検証できる可能性がある。

a) 非線形ＦＥＭ解析による検証

ＦＥM解析に補強鋼材を要素として取り込み、各材料の非線形性を考慮した構成則を与えることにより、ひび割れ発生あるいは鋼材降伏後の力学的挙動の推定が可能となる。このような非線形解析は、ひび割れ幅や破壊耐力の推定において有効なツールとなるが、使用する構成則や理論が多数存在し、さらにこれらの解析パラメータにより出力結果が大きく変動するため、その活用にあたっては、高度な専門知識と工学的判断が必要とされる。このため、実務上の検証において適用された事例は少ないが、各種の構成則やひび割れモデルが適切であることを前提として、これまで実験による確認が困難であった定着部等の破壊耐力を合理的に推定する手法として活用できる可能性がある[2-4-2)]。

b) 実験による検証

過去に安全性が実証されていない大容量の外ケーブルを用いる、あるいは複雑な荷重伝達機構を有している等、解析のみによる安全性の検証に十分な信頼性が確保できない場合には、実験により性能を確認する方法がある。実験の目的は、「定着具や偏向装置近傍の局部破壊に対する検証」と「周辺部材を含めた全体破壊に対する検証」とに大別されるが、いずれについても、耐荷性能が定着具や偏向装置からの荷重伝達機構や部材の拘束条件に大きく依存するため、実物大試験[2-4-3)]に拠る場合が多い。

縮小モデルによる供試体試験は、実物大試験に伴う規模や危険性に対するリスクを回避しながら破壊メカニズムを直接確認する手段として有効であるが、定着部や偏向部を対象とした既往の事例は少ない。このため、実施にあたっては、寸法効果の影響を十分検討し、実物大モデルと縮小モデルの相関を確認した上で性能の有無を評価する必要がある。

[検証事例④：外ケーブル突起定着部のせん断破壊に対する照査]

[参考文献]

2-4-1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，6.3せん断に対する安全性の検討，2002-3

2-4-2) (社)プレストレストコンクリート技術協会：ＰＣ定着部の破壊解析に基づく性能設計，平成16年9月

2-4-3) (財)高速道路技術センター：ＰＣ橋の耐久性向上に関する設計・施工マニュアル，資料編－１，平成13年10月

(3) 外ケーブルシステムの耐久性

3-1) 外ケーブルの防食及び振動対策

■関連する道示の規定

[道示III18.5.3]
(4) 外ケーブルは、防食に対して十分配慮するとともに、振動に対して配慮するものとする。

■技術的課題

① 開断面構造への適用やけた高範囲外での配置等、ケーブルが外部環境に置かれる場合には、箱げた内部での配置が大多数を占める過去の実績に基づいて防食方法を選定することに疑義が生じる。

② 供用中に発生する振動を考慮して疲労耐久性を定量的に検証することが困難である。

■性能評価の対応策

① 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。

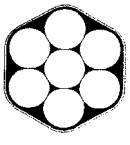
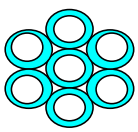
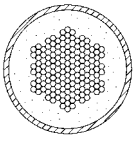
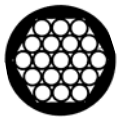
② 外ケーブルが主げたの振動と共振する可能性を適切な方法により判定するとともに、共振するおそれのある場合には制振装置を設ける等の措置を施すことにより、疲労耐久性を低下させうる振動の影響を排除する。

【解説】

① ケーブルシステムの耐久性を検証するためには、システムに作用する環境外力と腐食プロセスを想定し、用いる防食材料の遮断性および性能持続性(材料劣化)が所要の耐腐食性能を満足することを確認する必要があるが、個々の防食材料に関する「品質規格」と「鋼材腐食因子の遮断性能」や「橋梁構造の一部として用いられた状態での劣化特性(有機系材料)」との関係が必ずしも明確でないため、設計耐用期間内の状態を定量的に評価することが困難な場合が多い。

このことから、外部環境下に置かれるケーブルは、**表-2.3**に示すような適用実績を有する個々の防食方法を二重あるいは三重に組み合わせてフェールセーフを付与するとともに、環境条件への適合性、大偏心構造等の類似条件下における適用実績[3-1-1)]との整合性、維持管理の容易さ等が、十分に検討されていることを前提として、所定の耐久性を有しているとみなせる可能性がある。

表-2.3 代表的な防食方法

防食方法	PC鋼材の被覆			保護管及び内部充填		
防食材料	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)		
				セメント系	樹脂系	グリース系
概要図						

② 外ケーブルの自由長部が車両の走行等に起因する主げたの振動と共振すると、ＰＣ鋼材に繰り返し曲げ応力が作用し、疲労耐久性を低下させる要因となるおそれがある。

外ケーブルの共振については、ケーブル自由長部の固有振動数が主げたの最低次たわみ振動数に対し10～20%程度異なっていればその可能性は小さいと判定する方法[3-1-2)]がある。

[参考文献]

3-1-1) (社)プレストレストコンクリート技術協会：ＰＣ斜張橋・エクストラドーズド橋設計施工規準(案) 資料編pp.119-126，平成12年11月

3-1-2) (社)プレストレストコンクリート技術協会：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，Ⅱ外ケーブル構造編9.7，平成17年6月

3-2) 外ケーブルの疲労耐久性に関する検証

■関連する道示の規定

[道示III18.5.2]
(1) 外ケーブル構造は、・・・・外ケーブル構造の特性を考慮して設計するものとする。

2) 外ケーブルの許容応力度について
外ケーブルに用いるＰＣ鋼材の許容引張応力度は、活荷重応力の発生頻度、二次応力の影響及び応力の不均一性を考慮して定めることが望ましいが、一般には3.4に規定する値を用いてもよい。

[道示III18.5.3]
(2) 外ケーブルの定着部及び偏向部は、ケーブルに局部的な曲げが生じない構造とする。
(3) 外ケーブルの偏向部におけるＰＣ鋼材の曲げ半径は、ＰＣ鋼材に生じる二次応力及び疲労の影響等を考慮して定めるものとする。

■技術的課題

既往の研究や実績に基づいて定められた偏向部におけるＰＣ鋼材の最小曲げ半径や構造細目に従わない場合には、道示に規定されるＰＣ鋼材の許容引張応力度を用いることで十分な疲労耐久性を有しているとみなすことに疑義が生じる。

■性能評価の対応策

実大供試体を用いた疲労試験を実施することにより疲労耐久性を検証する。

【解説】

外ケーブル構造では、一般に、内ケーブル構造に比べ1/2～1/3の小さな半径でケーブルが偏向されるため、フレッティング作用によりＰＣ鋼材の疲労強度が低下する場合がある。フレッティングは、束ねられたＰＣ鋼線同士が点接触した状態で応力変動に伴う微小な相対滑りが繰り返し作用し、摩耗や亀裂が生じる現象であるため、鋼線の種別や構成、下限応力度、偏向角度、ケーブルの曲げ半径等の因子により、疲労強度への影響度が異なる。このため、普遍的な照査式による検証が困難であり、一般に、**表-2.4**に示すような、設計上の配慮や構造細目により疲労対策が講じられている。

表-2.4　偏向部のフレッティング疲労対策例

項　目		経験的対処事例
設計上の配慮		ＰＣ鋼材の許容引張応力度 σpa=0.6σpu（σpu：引張強度）［道示III3.4］
		最小曲げ半径 R=3.0m以上（19S15.2）
		偏向角度14°（既往の疲労試験における実績値）以下
構造細目	保護管	ＰＣ鋼材の長期接触作用に対して破損が生じない材料を選定 ⇒高密度ポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)、塩化ビニール(PVC)等
	偏向管	ケーブルの配置誤差等により局部的な曲げが生じない構造を採用 ⇒ディアボロ管、ベルマウス加工管
	鋼材の保護	保護管内のセメントグラウト充填
		樹脂被覆ＰＣ鋼材の使用

道示をはじめとする既存の関連基準では、国内外の研究成果に基づいて偏向部の最小曲げ半径や構造細目、ＰＣ鋼材の許容引張応力度等が規定されており、これに準拠することで所定の疲労耐久性を有しているとみなされるため、これらに従わない場合には、別途、外ケーブルの疲労耐久性を検証する必要がある。

これまでに実施されたフレッティング疲労試験では、実際の橋梁構造を想定して、偏向角度、偏向構造、ケーブルシステムのマルチ構成や防食構造、ＰＣ鋼材の応力条件(下限値および振幅)等の試験条件が設定されている。

なお、活荷重応力の発生頻度を適切に評価できる場合には、疲労試験結果に基づいて提案されているＰＣ鋼材の設計疲労強度式[3-2-1)]を用いて疲労耐久性を検証できる可能性がある。この場合、ケーブルの仕様、曲げ半径や角度等の偏向条件等が疲労強度式の適用条件から逸脱していないことが検証の前提となる。

[検証事例⑤：実大試験による外ケーブルのフレッティング疲労特性の確認]

[参考文献]

3-2-1) 新井他：大容量ＰＣ鋼より線の曲げ配置部におけるフレッティング疲労特性，土木学会論文集，No.627/Ⅴ-44，pp.205-222，1999-8

3．検証事例

前節2.で述べた性能評価の対応策の中で、既存の関連基準から具体の検証方法を引用できない、あるいは多くの参考文献があり整理しておくことが有用と判断される項目について、以下にその事例を示す。

■本編で掲載した検証事例の一覧

事例No.	検証項目	検証手法	関連項目
①	ＦＥＭ解析によるプレストレス分布状況の確認	ＦＥＭ解析	1-1
②	ＦＥＭ解析による定着部及び偏向部の安全性照査	ＦＥＭ解析	2-2
③	ＦＥＭ解析を用いた安全性照査における 応力制限値の設定	実物大試験 非線形解析	2-3
④	外ケーブル定着突起部のせん断破壊に対する照査	関連基準の準用 ＦＥＭ解析	2-4
⑤	実大試験による外ケーブルの フレッティング疲労特性の確認	実大疲労試験 設計疲労強度式	3-2

事例①	ＦEM解析によるプレストレス分布状況の確認		
要求性能	主げたの安全性	**関連規定**	道示III6.6.7、III18.5.2
検証目的	外ケーブルが突起構造で定着される場合にプレストレスの分布が断面内で不均一となる特性を考慮して、施工時の安全性を確認する。		
検証手法	実験による検証　・　解析による検証　・　道路橋示方書の準用		
検証方針	ＦEM解析により、施工途中における主げた断面内のプレストレス分布を確認する。		

検証内容

(1)検証概要

張出し架設工法により施工される橋梁(波形鋼板ウェブ橋)を対象とし、施工途中で導入される外ケーブルによるプレストレス分布をＦEM解析により確認することにより、施工時における主げたの安全性を検証する。解析対象とした断面構造を**図-1** に示す。

外ケーブルによるプレストレスの分布は、上下床版の各部位について、定着点からプレストレスが有効とみなせる位置までの距離(有効伝達長)を道示III6.6.7(1)を準用して算定し、同位置でのＦEM解析結果との対比により評価する。

1-1)道示によるプレストレス力の有効伝達長

プレストレス力の有効伝達長は、広がり角度をβ＝33°40′として算定する。また、有効伝達長は、主桁上縁の片持ち床版先端、中間床版中央、及び主桁下縁の下床版中央に対してそれぞれ算定する(**図-2**)。

各部位における有効伝達長を**表-1** に示す。

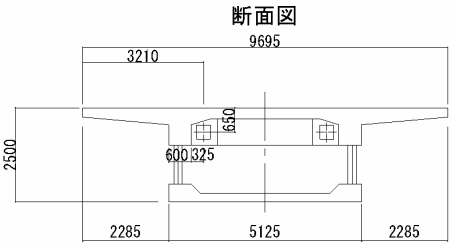
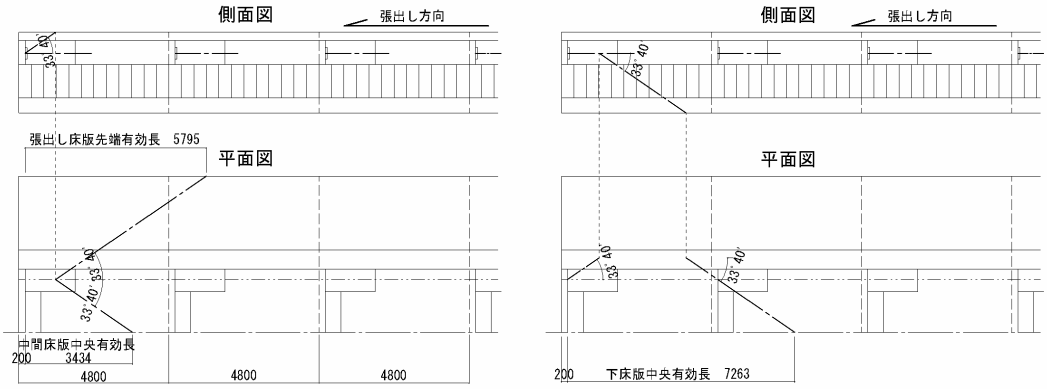


図-1　検討断面



上床版の有効伝達長　　**下床版の有効伝達長**

図-2　道示に準拠したプレストレス力の有効伝達長の算定方法

表-1　各部位の有効伝達長

着目部材		位置	有効長(m)
上床版	張出し床版	A： 上縁先端	5.795
	中間床版	B： 上縁中央	3.434
下床版		C： 下縁中央	7.263

検証内容

1-2） ＦＥＭ解析

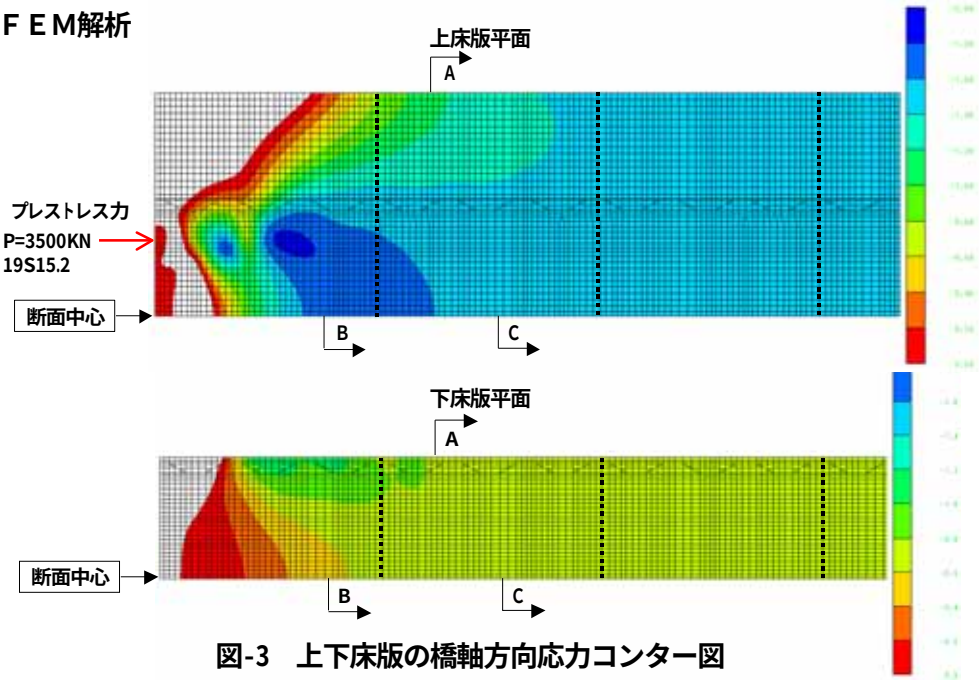


図-3　上下床版の橋軸方向応力コンター図

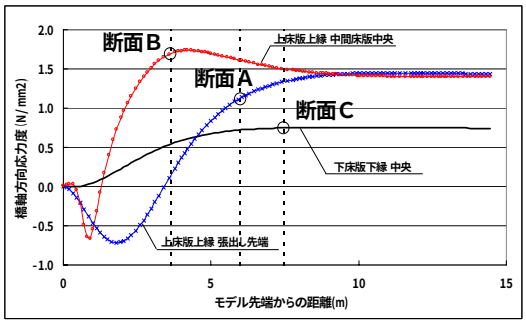


図-4　橋軸方向応力度分布

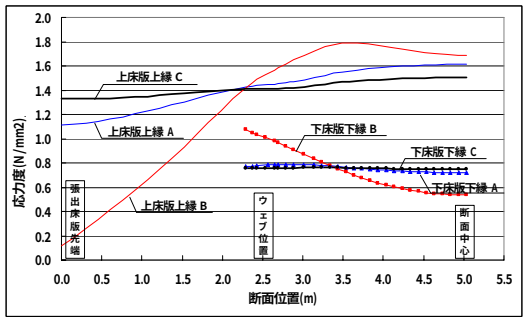


図-5　プレストレスの断面内分布

(2)検証結果

図-4 に示すとおり、主げた断面のプレストレスの橋軸方向分布は、上床版中央及び下床版中央において道示に基づく有効伝達位置(それぞれＢ及びＣ)で概ね一定となっているのに対し、片持ち床版先端では、断面Ａにおいて拡散過程にあり、プレストレスが十分伝達されていない結果が得られた。このような傾向は、外ケーブルが主げた断面の中央寄りに突起定着されることによりシェアラグの影響が現れたものと推察される。

図-5 は有効伝達位置Ａ～Ｃにおけるプレストレスの断面内分布を示したものであり、特に、定着位置から比較的近いＢからＡの範囲で、上床版の張出し先端部でのプレストレスが他の部位に比べて不均一な状態が顕著となっている。

このように、外ケーブルの定着付近における応力状態が設計上問題となる場合には、ＦＥＭ解析を実施することにより、プレストレスの分布を適切に評価できる可能性がある。

参考にあたっての注意点

張出し架設工法のブロック打継ぎ目付近では、本事例で示したプレストレスの偏りや局部応力の他に、新旧ブロックの温度差や収縮差により引張応力が生じるため、これらの作用に起因するひび割れが生じないよう、内ケーブルを併用する、鉄筋により補強する等の対策を講じる必要がある。

<table>
<tr><td>事例②</td><td colspan="3">ＦＥＭ解析による定着部及び偏向部の安全性照査</td></tr>
<tr><td>要求性能</td><td>定着部及び偏向部の安全性</td><td>関連規定</td><td>道示Ⅲ18.5.3(1)</td></tr>
<tr><td>検証目的</td><td colspan="3">定着部や偏向部は、外ケーブル張力の集中作用、比較的複雑な構造形状及び周辺部材の拘束等により局部応力が発生しやすいため、施工および供用中の応力分布状態をＦＥＭ解析により確認する。</td></tr>
<tr><td>検証手法</td><td colspan="3">実験による検証　・　解析による検証　・　道路橋示方書の準用</td></tr>
<tr><td>検証方針</td><td colspan="3">定着部及び偏向部のＦＥＭ解析にあたっては、以下の事項に留意する。

(1)荷重載荷と境界条件
①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解析結果を適切に評価する。
②切出しモデルの仮想の拘束に伴う付加曲げの影響を考慮する。
③主構造として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。

(2)モデルの実物再現性
①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。
②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載荷方法を適切に選定する。</td></tr>
<tr><td>検証内容</td><td colspan="3">(1)荷重載荷と境界条件の設定事例

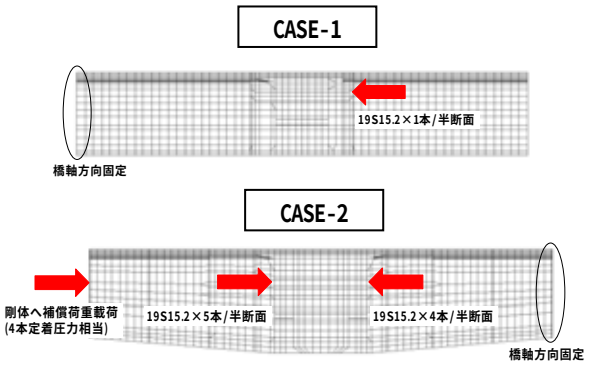
1-1)プレストレス力の載荷
外ケーブルの定着が部材に与える影響を検証するにあたり、部分切出しモデルに外ケーブルによるプレストレス力のみを載荷する場合がある。図-1 は、中間支点横げたに着目して設定したモデルにプレストレスの軸力成分を載荷した事例を、外ケーブルが片面のみに定着された場合(CASE-1)と両面に定着された場合(CASE-2)それぞれについて示したものである。
 

図-1　プレストレス力載荷事例
CASE-2 では、モデル全域に圧縮応力が作用する実挙動を再現するため、境界条件として補償荷重を与えている。図示したような事例では、プレストレス力の作用により、横げた本体ばかりでなく定着背面側の上床版やウェブに局部的な引張応力が発生する解析結果が得られるが、実際には内ケーブルのプレストレス力やその他の外力が複合して作用しているので、別法による全体構造系の解析や床版や横げた個々の部材設計で算出された応力との重ね合わせにより、局部応力の照査やこれに対する補強設計が実施されている。</td></tr>
</table>

検証内容

1-2)柱頭部の解析

図-2 は、種々の荷重作用により、複雑な応力状態となることが予想されたラーメン構造の柱頭部をモデル化した事例である。外ケーブルによるプレストレス力ばかりでなく解析領域内の主たる荷重作用を再現するとともに、領域の外部から伝達される荷重についても、全体構造系の解析で求めた断面力をモデル端部の境界条件として与えている。

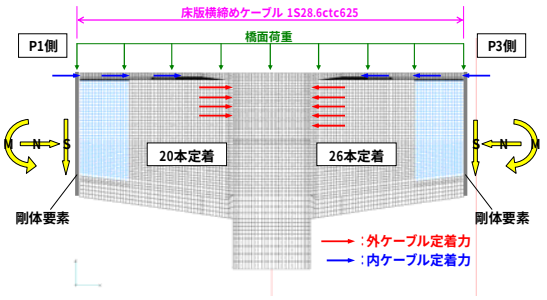


図-2　柱頭部解析における荷重載荷事例

示した事例のように、想定される荷重作用を極力反映させて解析を行うことにより検証の信頼性は高まるが、ＦＥＭ解析においてすべての荷重作用を網羅することは実用上困難であるため、通常は、無視した荷重作用が有害なひび割れの発生に与える影響を別法により追加で検討する場合が多い。

例えば、支点横げた等のマッシブな部材では、セメントの水和熱に起因する温度応力の影響が比較的大きいため、別途、これを各種の解析により確認し、外ケーブル定着との複合作用として検証されている。

1-3)仮想拘束に伴う付加曲げの影響

偏向部の解析においては、本来の支点がない支間部から対象領域を抽出しモデル化することになるため、モデルの拘束条件によっては、解析結果が実際の挙動と大きく異なる場合がある。

図-3 は、切出しモデルの両端を固定して外ケーブルの偏向力を作用させた場合に全体構造系では生じ得ない断面力が発生する事例を示したものである。このような場合には、仮想の拘束に伴う付加曲げの影響により、偏向部近傍の橋軸方向応力を正しく評価できないので、その影響を補正する、橋軸直角方向の応力についてのみ着目する、あるいは、付加曲げが生じないような拘束条件に変更する等の対処が講じられる。

また、全体構造系において大きな断面力が作用する位置(例えば支間中央や支点付近)に偏向部を設ける場合には、**図-2** で示した柱頭部の解析事例と同様、モデル端に適切な拘束条件と断面力を与えることにより、主構造としての挙動も加味して偏向部の応力状態が評価できる。

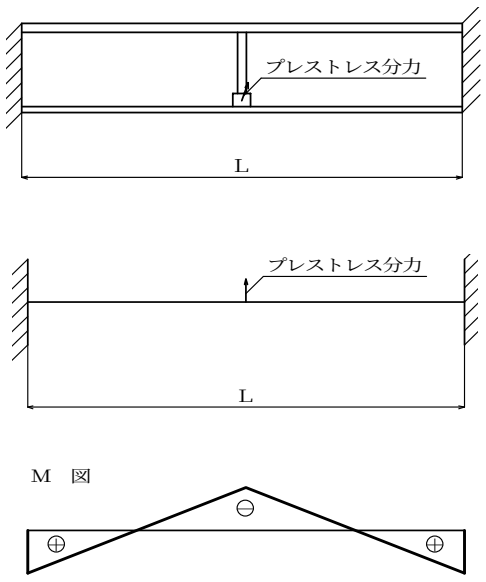


図-3　モデルの仮想拘束に伴う付加曲げ

検証内容

(2)モデル化の事例

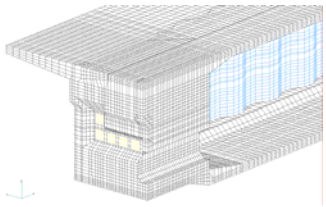
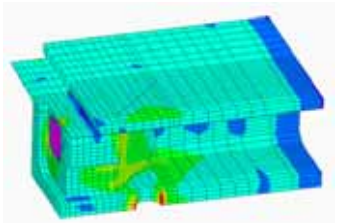
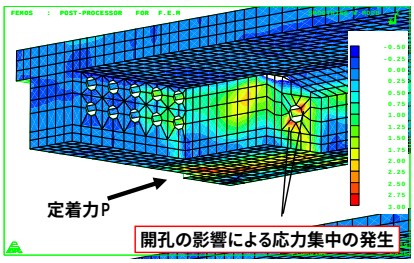
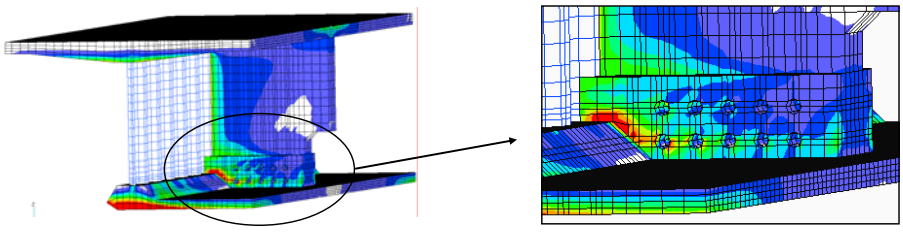
2-1)部材のモデル化

定着部や偏向部においては、プレストレス力の集中作用により、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。このため、ＦＥＭ解析では、定着部の切欠きや点検孔・外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される場合が多い。

表-1 は、横げた定着部、突起定着部、偏向部の各部位を細密にモデル化した事例と解析に関する一般的な留意点を整理したものである。

将来的な外ケーブルの追加配置が可能なよう予備孔が設けられる場合には、断面欠損としてモデル化に反映させるばかりでなく、追加のプレストレス力を荷重として見込んだ事例もある。

表-1　開口部や断面欠損を再現したモデル化の事例

<table>
<tr><td rowspan="2">定着部</td><td>支点横桁</td><td>◆緊張端に定着部の切欠き処理が施されている場合には、実部材厚の減少に伴う応力増加や切り欠き周辺の応力集中が生じる可能性がある。
●定着部の切欠きのモデル化事例
  </td><td>◆定着部周辺に検査口等の比較的大きな開孔がある場合、開口部周辺に応力集中が生じる可能性がある。
◆端部横桁の前面等に下床版検査口を設ける場合には、横げた厚や検査口までの距離、外ケーブル本数等の条件によっては、開口周辺に応力集中が生じる可能性がある。
●下床版開口部のモデル化事例
  </td></tr>
<tr><td>中間突起</td><td colspan="2">◆外ケーブルの偏向管等による開孔がある場合には、開孔周辺に応力が集中する可能性がある。
●定着突起のモデル化事例
 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">偏向部</td><td colspan="2">◆偏向管による開孔は、それによって控除される体積が構造体に占める割合が大きければ大きいほど解析結果に与える影響も大きくなる。
◆偏向部は比較的スレンダーな構造であり、偏向力が大きい場合には開口部や断面急変部周辺で応力の乱れが顕著に現れる。
●偏向部のモデル化事例
  </td></tr>
</table>

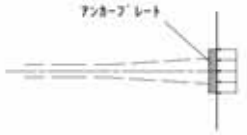
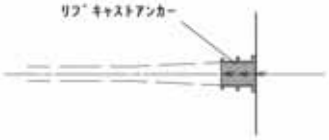
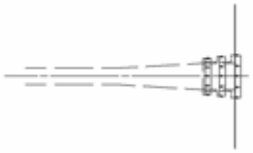
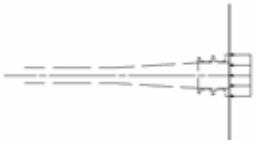
検証内容

2-2)定着具のモデル化と偏向力の載荷

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、用いる定着具の形状によりプレストレス力の伝達機構が異なるため、解析目的に応じて定着具のモデル化や載荷方法が選定されている。**表-2** は、外ケーブル定着具のタイプ毎にモデル化の事例を示したものである。なお、定着具近傍の局部領域については、定着工法毎に保証する範囲や補強方法等の保証条件が定められているため、ＦＥM解析では、保証領域外での応答値を評価する場合が多い。

偏向力については、通常、ケーブル湾曲部に作用する腹圧力を要素毎の節点荷重に置き換えて載荷されるが、外ケーブルが三次元的な配置形状を有する場合には、鉛直方向だけではなく水平方向の作用力も適宜、考慮されている。

表-2　定着具のモデル化事例

定着方式	モデル化の概要	模式図
アンカープレート方式	アンカープレートをプレート要素(剛体)等でモデル化し、定着面に面分布荷重を載荷することが多い。	
リブキャストアンカー方式	①リブキャストアンカーを剛体としてモデル化し、荷重を載荷する。実構造が忠実に再現できる。	
	②リブキャストアンカーをモデル化せず、各リブ位置に荷重を分散して載荷する。	
	③定着体表面に面荷重として載荷する。載荷位置付近の再現性は低い。	

参考にあたっての注意点

ＲＣ部材にひび割れが生じると、ひび割れ近傍の要素に作用している応力が再配分され、ひび割れ発生前の弾性域とは異なった応力状態となる。このため、比較的大きな部材縁引張応力を許容し、局部的な部材の剛性低下が構造全体の応力分布に影響を与えるような場合には、非線形性を考慮した解析を行う必要がある。

一般に、定着部や偏向部が供用中のひび割れの発生を極力抑えるよう設計されていれば、弾性体に近い挙動を示し顕著な非線形性は現れない。例えば、ＦＥM解析による引張応力をコンクリートの引張強度程度に制限しておけば、解析値と実測値が概ね一致することが既往の実験により確認されている(**検証事例③**参照)。

<table>
<tr><td>事例③</td><td colspan="3">ＦＥＭ解析を用いた安全性照査における応力制限値の設定</td></tr>
<tr><td>要求性能</td><td>定着部及び偏向部の安全性</td><td>関連規定</td><td>道示Ⅲ3.3</td></tr>
<tr><td>検証目的</td><td colspan="3">ＦＥＭ解析を用いた照査では、仮想の応力制限により間接的に安全性を検証することになるため、有害なひび割れの生じないことが確認されている範囲内でコンクリート及び鉄筋に対する引張応力度の制限値を適切に設定する必要がある。</td></tr>
<tr><td>検証手法</td><td colspan="3">実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用</td></tr>
<tr><td>検証方針</td><td colspan="3">(1) 既往の実物大試験で得られた知見に基づき、コンクリート及び鉄筋の引張応力度を制限する。
(2) 実施した応力照査が道示を準用した場合と同等以上の安全性を担保していることを非線形解析により確認する。</td></tr>
<tr><td>検証内容</td><td colspan="3">
(1)実物大試験で確認された応力制限値とひび割れの関係
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主げたに比較的大きな局部応力が発生するため、これを採用するにあたり、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した事例[1)]がある。表-1 は、既往の試験結果を事前のＦＥＭ解析で用いられた応力制限値と試験時のひび割れ発生状況の関係に着目して整理したものである。

表-1 実物大試験で確認された応力制限値とひび割れ幅の関係
<table>
<tr><th rowspan="2">事例
No.</th><th colspan="2">外ケーブル</th><th colspan="2">設計時応力制限値
(ＦＥＭ解析：N/mm2)
プレストレス導入時(0.7Pu)</th><th colspan="3">実験結果</th></tr>
<tr><th>種類</th><th>緊張力 (kN)</th><th>コンクリート
(目安値)</th><th>鉄筋</th><th>コンクリートひずみ</th><th>鉄筋ひずみ</th><th>ひび割れの発生状況</th></tr>
<tr><td>1</td><td>19S15.2</td><td>プレストレス導入時
3430(0.7Pu)
終局荷重作用時
4210(0.86Pu)</td><td>3.0</td><td>120</td><td>FEM解析値と実測値は概ね一致</td><td>ひずみ履歴はほぼ線形、ひずみ値もコンクリートと同程度(50～100μ)</td><td>ひび割れ発生なし</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">27S15.2</td><td rowspan="2">プレストレス導入時
4900(0.7Pu)
終局荷重作用時
5880(0.86Pu)</td><td>2.0
中空鋼棒により補強</td><td>120</td><td rowspan="2">定着突起上方側の実測値がFEM解析値より大きくなる傾向あり</td><td>－</td><td>0.86Pu載荷時に0.04mmの微細ひび割れ発生</td></tr>
<tr><td>4.0
鉄筋のみで補強</td><td>120</td><td>－</td><td>荷重200tfでひび割れ発生
※実設計では不採用</td></tr>
<tr><td>3</td><td>19S15.2</td><td>プレストレス導入時
3530(0.7Pu)</td><td>3.0</td><td>100</td><td>FEM解析値と実測値は概ね一致</td><td>－</td><td>0.7Pu載荷時に0.04mmの微細ひび割れ発生、その後の継続計測により、鉄筋応力およびひび割れの増大なし</td></tr>
<tr><td>4</td><td>19S15.2</td><td>プレストレス導入時
3780(0.9Py)
終局荷重作用時
4200(1.0Py)</td><td>3.0</td><td>100</td><td>－</td><td>定着補強筋、突起補強筋ともに設計値と実測値は精度良く一致</td><td>突起下面に微細ひび割れ発生
0.7Pu時…0.06mm
0.9Py時…0.10mm
(2日放置)</td></tr>
<tr><td>5</td><td>27S15.2</td><td>プレストレス導入時
4900(0.7Pu)</td><td>5.0</td><td>120</td><td>コンクリート表面のひび割れ発生ひずみは100μ程度で応力換算すると2.8N/mm2</td><td>0.7Pu載荷時で1000kgf/cm2程度(実測ひずみ460μ)</td><td>0.7Pu載荷時最大0.27mm
発生位置は解析と一致
※実設計では19S15.2を使用し応力制限値を3.0に低減</td></tr>
</table>
これらの実験結果から、設計時におけるコンクリートの引張応力度の制限値と実際のひび割れ発生状況との間には相関のあることが認められており、このような知見を参考にして、コンクリートの引張応力度を 3.0N/㎟程度に制限して設計(ＦＥＭ解析)された事例が多い。
</td></tr>
</table>

検証内容

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 100～120N/㎟の範囲で設定される場合が多い。

以上のような実験結果に基づく応力制限値の設定事例を、道示のＰＣ及びＲＣ部材に関する規定と対比して**表-2** に示す。

表-2　死荷重作用時の応力制限事例

項目		道示III ＰＣ部材	定着・偏向部 ＲＣ部材	道示III ＲＣ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	曲げひび割れ強度 ～3.0N/㎟程度	－
	鉄筋	－	100～120N/㎟程度	100N/㎟
	ひび割れ幅との 関係	0㎜	0～0.1㎜(実績値)	0.2㎜(想定値)

(2)解析的手法による応力制限値の検証

2-1)検証概要

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。

安全指数Ｉ　＝　有害なひび割れに対する抵抗力Rcr／設計断面力Ｆ

Rcr：鉄筋の引張応力度が道示の許容値(σsa=100N/㎟)に達したときの作用力

2-2)解析例

① 安全指数の試算は、単純曲げを受ける矩形梁(σck=40N/㎟)を対象とする。

② 梁に生じるコンクリートの縁引張応力度σctと、縁引張応力度に対して配筋する際の鉄筋の応力制限値σsaをパラメータとする(σct = 1.0～6.0N/㎟、σsa = 100～180 N/㎟)。

③ 「設計断面力Ｆ」は、各縁引張応力度を生じさせる曲げモーメントとする。

④ 「有害なひび割れに対する抵抗力Rcr」は、各水準の縁引張応力度に対して配筋された部材の、「コンクリートの引張抵抗を無視した断面計算」及び「コンクリートの引張剛性を考慮した非線形解析」により算定した鉄筋応力度(**図-1**)が、道示の許容応力度に達するときの荷重(ここではモーメント)とする。

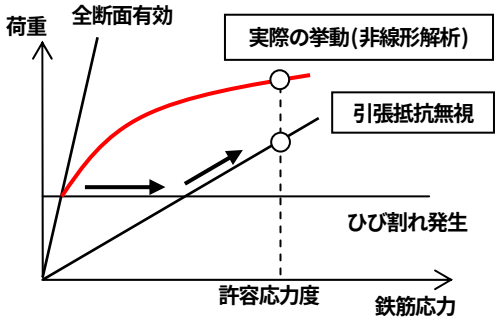


図-1　荷重と鉄筋応力の関係

⑤ 非線形解析による鉄筋応力度の推定[2)]は、**図-2** に示す方法による。コンクリートの引張側構成則は、コンクリートと鉄筋の付着作用を考慮した引張剛性曲線を用いる。

検証内容

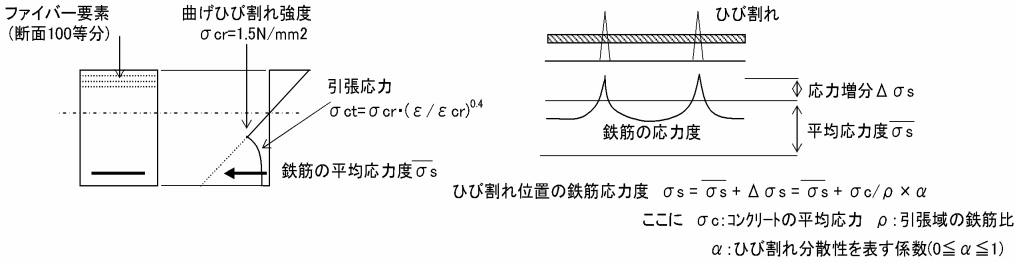


図-2　ファイバーモデルによるＲＣ梁の非線形解析

2-3)解析結果の評価

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の一例を**図-3** に示す。

前述した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(ここでは、各々3.0N/㎟、120N/㎟)、を設定すると、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(図中の点表示)。

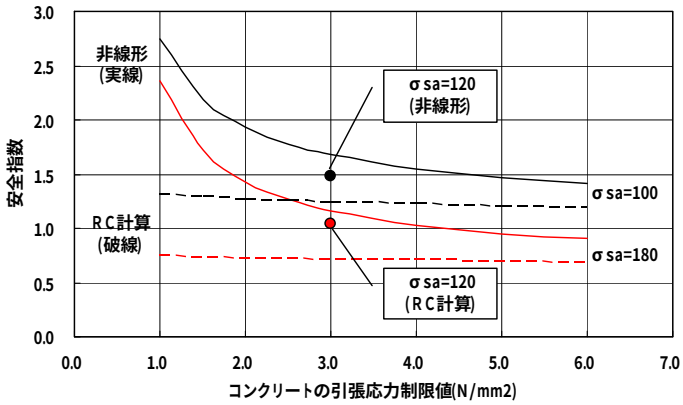


図-3　全断面有効として設計された
ＲＣ部材の安全指数

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。

[参考文献]

1)高速道路技術センター：ＰＣ橋の耐久性向上に関する設計・施工マニュアル，資料編－１，平成 13 年 10 月
2)角谷他：ＰＣ橋設計への非線形有限要素解析の適用に関する研究、プレストレストコンクリート Vol.46，No.6、2004

参考にあたっての注意点

(1)　実大試験の供試体は、コンクリートの設計基準強度がいずれも 40N/㎟、プレストレス導入時の圧縮強度が 27～31N/㎟の範囲であるため、設計条件がこれらと異なる場合には、コンクリートの応力制限値も適宜見直す必要がある。

(2)　ここで示した解析的手法は、あくまでも、ひび割れ発生後の鉄筋応力度を指標とした応力制限値と安全性の関係を簡易モデルで試算した事例であり、実橋において応力照査の妥当性を確認する場合には、実構造をそのままモデル化し、適切な構成則を用いた非線形ＦＥＭ解析を実施する必要がある。

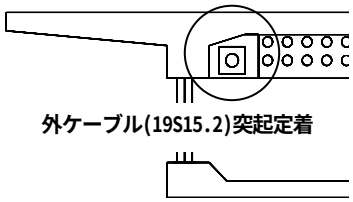
<table>
<tr><td>事例④</td><td colspan="3">外ケーブル定着突起部のせん断破壊に対する照査</td></tr>
<tr><td>要求性能</td><td>定着部の安全性</td><td>関連規定</td><td>―</td></tr>
<tr><td>検証目的</td><td colspan="3">箱げた内部に設けた外ケーブルの定着突起部が、外ケーブル張力の作用に伴うせん断破壊に対して安全であることを確認する。</td></tr>
<tr><td>検証手法</td><td colspan="3">実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用</td></tr>
<tr><td>検証方針</td><td colspan="3">定着突起部と上床版及びウェブとの接合面について、設計せん断力をＦＥＭ解析により、設計せん断伝達耐力をコンクリート標準示方書[構造性能照査編]を準用することにより、それぞれ算定する。</td></tr>
<tr><td>検証内容</td><td colspan="3">
(1)検証概要
図-1 に示すような波形鋼板ウェブ橋の外ケーブル定着部について、以下に示す方法により、終局荷重作用時における主げたとのずれせん断破壊に対する安全性を検証する。
① 外ケーブルは 19S15.2(SWPR7B)を用いるものとし、定着部に作用する終局荷重として外ケーブルの破断荷重(Pu＝4900kN)を想定する。
② せん断に対する照査は、せん断抵抗面全体及びせん断応力が卓越する定着位置近傍の範囲(500㎜)の各々について行う(図-2)。
③ 設計せん断力は、ＦＥＭ解析で得られる上床版とコンクリートウェブ各接合面におけるせん断応力度に要素面積を乗じることにより算定する(図-3)。
④ 接合面の設計せん断伝達耐力は、コンクリート標準示方書に示されている設計せん断伝達耐力式(6.3.17)及び係数値(表-1)を引用して算定する。


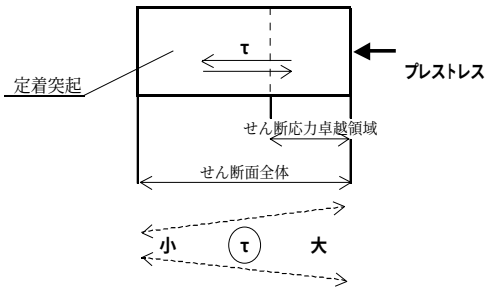
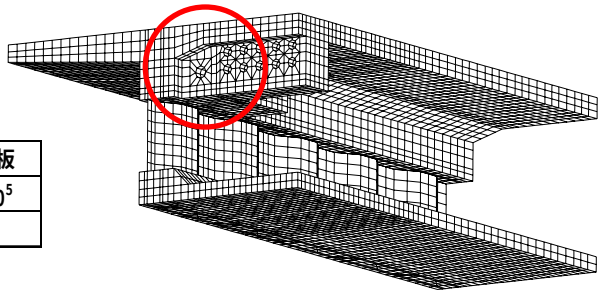
図-1　突起定着構造の概要


図-2　せん断応力の分布
$Vcwd=\{(\tau c+p\cdot\tau s\cdot\sin^2\theta-\alpha\cdot p\cdot fyd\cdot\sin\theta\cdot\cos\theta)\cdot Ac+Vk\}/\gamma b$ -----(6.3.17)
$\tau c=\mu\cdot f'cd^{b}\cdot(\alpha\cdot p\cdot fyd-\sigma nd)^{1-b}$
$\tau s=0.08\cdot fyd/\alpha$
$\alpha=0.75\cdot\{1-10\cdot(p-1.7\cdot\sigma nd/fyd)\}$ (ただし、$0.08\sqrt{3}\leqq\alpha\leqq0.75$)
表-1　せん断伝達耐力の算定に用いる諸条件
<table>
<tr><td>f'cd</td><td>コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm2)</td><td>30.8</td><td>材料係数 γc = 1.3</td></tr>
<tr><td>fyd</td><td>鉄筋の降伏強度 (N/mm2)</td><td>345</td><td>材料係数 γs = 1.0</td></tr>
<tr><td>μ</td><td>接合面の平均摩擦係数</td><td>0.45</td><td>標準示方書の引用値</td></tr>
<tr><td>b</td><td>面形状を表す係数</td><td>0.50</td><td>打継面相当値</td></tr>
<tr><td>θ</td><td>せん断面と鉄筋がなす角度</td><td>90 °</td><td></td></tr>
<tr><td>γb</td><td>部材係数</td><td>1.3</td><td></td></tr>
<tr><td>σnd</td><td>せん断面に垂直に作用する平均応力度 (N/mm2)</td><td colspan="2">ＦＥＭ解析により算定</td></tr>
<tr><td>p</td><td>せん断面における鉄筋比 As/Ac</td><td colspan="2">図－4に拠る</td></tr>
<tr><td>Ac</td><td>せん断面の面積</td><td colspan="2">図－3に拠る</td></tr>
<tr><td>Vk</td><td>せん断キーによるせん断耐力</td><td colspan="2">なし</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

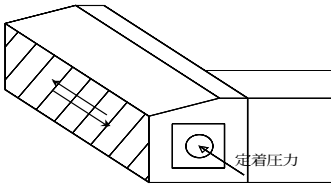
検証内容

ＦＥＭ解析モデル
【橋軸直角方向対称 1/2 モデル】



材料定数	コンクリート	波形鋼板
弾性係数(N/mm^2)	3.1×10^4	2.0×10^5
ポアソン比	0.2	0.3

ウェブとの接合面



上床版との接合面

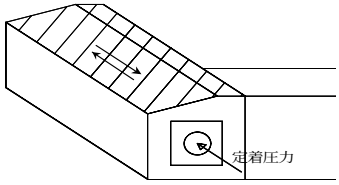


図-3　設計せん断力の算定

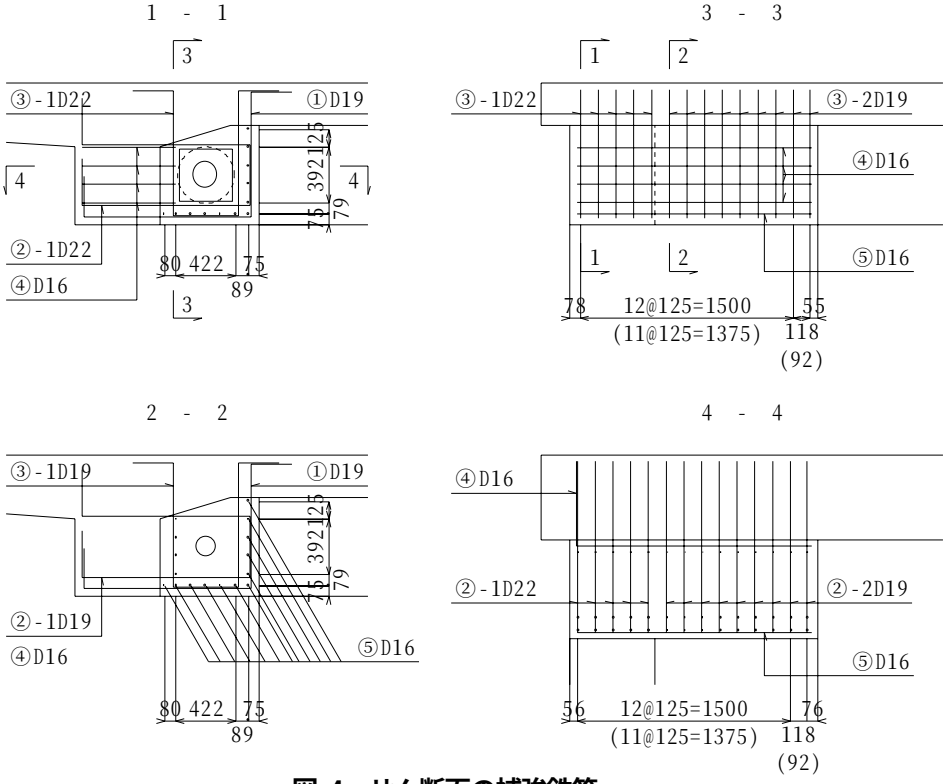


図-4　せん断面の補強鉄筋

(2)解析結果の評価

本事例では、いずれの接合面及び範囲においても、設計せん断伝達耐力が設計せん断力を上回る結果が得られたため、せん断破壊に対して安全であると評価した。

参考にあたっての注意点

本事例で示した終局荷重、設計せん断力の算定方法、設計せん断伝達耐力に関する各変数や部分安全係数等については、あくまでも一例であり、定着部の構造や補強方法、接合面に作用する応力状態(曲げの影響)等に応じて、適宜設定する必要がある。

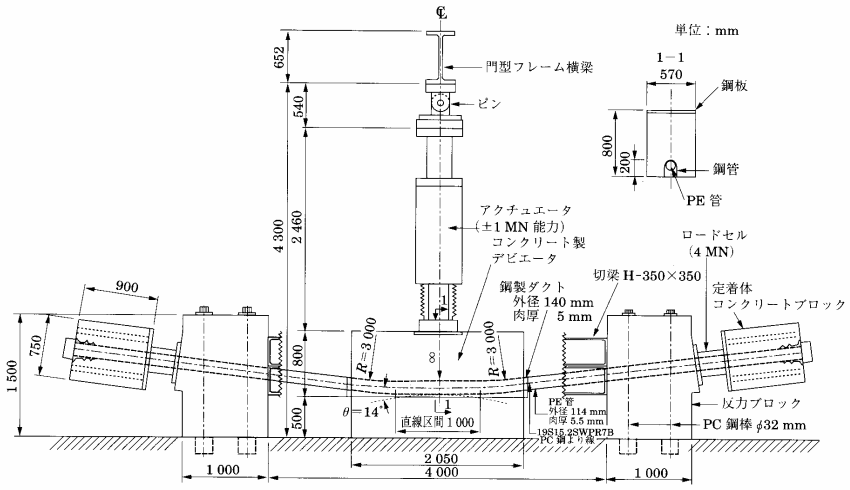
<table>
<tr><td>事例⑤</td><td colspan="3">実大試験による外ケーブルのフレッティング疲労特性の確認</td></tr>
<tr><td>要求性能</td><td>外ケーブルの疲労耐久性</td><td>関連規定</td><td>道示Ⅲ18.5</td></tr>
<tr><td>検証目的</td><td colspan="3">偏向部のフレッティング作用を考慮して、外ケーブル(ＰＣ鋼材)の疲労耐久性を確認する。</td></tr>
<tr><td>検証手法</td><td colspan="3">実験による検証　・　解析による検証　・　道路橋示方書の準用</td></tr>
<tr><td>検証方針</td><td colspan="3">偏向部におけるフレッティング作用は、鋼線の種別や構成、下限応力度、偏向角度、ケーブルの曲げ半径等の因子によりＰＣ鋼材の疲労強度への影響度が異なるため、実大のフレッティング疲労試験により確認する。</td></tr>
<tr><td>検証内容</td><td colspan="3">
(1)既往の疲労試験
表-1 は、実大供試体を用いて外ケーブルのフレッティング疲労特性を確認した事例を示したものである。いずれの試験も外ケーブルとして使用頻度の高いマルチケーブルシステム(19Ｓ15.2)を対象としており、偏向部の曲げ配置半径(3.0m)や角度(14°)、試験時の下限応力度(引張強度の 60%)は、海外の規定や過去の実績を参考にして設定されている。また、図-1 に例示したように、デビエータブロックを試験体の配置方法と直交する方向に一定の変位振幅を与えることにより、軸方向ひずみの変動を生じさせている。
表-1 にはＰＣ鋼より線の素線が初めて破断した時点(初破断)の載荷回数を示しており、米国の疲労寿命に関する評価基準に基づいて、全素線数(7 本より×19 本)の 2%及び 5%が破断したときの載荷回数も合わせて確認されている。

■米国 PTI 規格による斜張ケーブルの疲労性能評価項目
①200 万回の繰返し載荷で全素線本数の 2%破断以下であること
②疲労試験後の静的載荷試験で規格引張荷重の 95%の引張力を載荷し、ケーブルおよび定着体に異常がないこと

事例③を除く各試験では、疲労試験後に未破断のＰＣ鋼より線を抜き取り、引張試験を実施している。これにより、全素線が破断していないケースでは、引張強度や伸びの低下は生じていないことが確認されている。一方、素線の一部に破断が生じたケースでは、未破断であっても疲労亀裂に起因する強度低下が認められることから、初破断あるいは 2%～5%の破断率で疲労寿命を評価することの妥当性を示唆した事例もある[1)]。

表-1　フレッティング作用を考慮した疲労試験の事例[1~4)]
<table>
<tr><th rowspan="2">事例
No.</th><th rowspan="2">ケーブルの種別･構成</th><th colspan="3">偏向部の構造</th><th rowspan="2">応力振幅
(N/mm2)</th><th rowspan="2">試験結果</th></tr>
<tr><th>偏向管</th><th>保護管(緩衝材)</th><th>グラウト充填</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">裸ＰＣ鋼材 (19S15.2)</td><td rowspan="3">鋼管</td><td rowspan="3">ＰＥ管</td><td rowspan="2">有り
(W/C=45%)</td><td>20</td><td>1000万回で破断せず</td></tr>
<tr><td>50</td><td>115万回で初破断</td></tr>
<tr><td>無し</td><td>50</td><td>69万回で初破断</td></tr>
<tr><td>2</td><td>エポキシ樹脂被覆ＰＣ鋼材
(19S15.2)</td><td>鋼管</td><td>ＰＥ管</td><td>無し</td><td>50</td><td>300万回で破断せず</td></tr>
<tr><td>3</td><td>ポリエチレン系樹脂被覆ＰＣ
鋼材 (19S15.2)</td><td>鋼管</td><td>ＰＥ管</td><td>有り
(高強度
55N/mm2)</td><td>50</td><td>147万回で初破断</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4</td><td rowspan="4">裸ＰＣ鋼材 (19S15.2)</td><td rowspan="4">ステンレス製
フレキシブル管</td><td rowspan="2">スパイラル補強ＰＥ管
(環状支承体付き)</td><td rowspan="4">有り</td><td>50</td><td>300万回で破断せず</td></tr>
<tr><td>70</td><td>276万回で初破断</td></tr>
<tr><td rowspan="2">スパイラル補強ＰＥ管
(ゴム緩衝材付き)</td><td>50</td><td>300万回で破断せず</td></tr>
<tr><td>70</td><td>251万回で初破断</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

検証内容



図－１　試験装置の事例[1)]

(2) ＰＣ鋼材の設計疲労強度式

既往の研究[1)]において、フレッティング作用を考慮したＰＣ鋼材の設計疲労強度式(右記)が提案されている。提案式は、疲労試験結果のS-N回帰線に対して標準誤差の 2 倍を下げ、試験時の初破断の疲労寿命より試験値が下回る確率が 5%として得られたものである。

また、同研究では、設計疲労強度式の適用範囲として、以下の条件を提示している。

$$f_{prd} = \frac{10^{\alpha}}{N^{k}} \quad (N/mm2)$$

ここに，$\alpha = 4.9$　$k = 0.54$

f_{prd}：ＰＣ鋼材の設計疲労強度
N　：疲労寿命

①ＰＣ鋼材及び構成：19Ｓ15.2(ＰＣ鋼より線 SWPR7B)
②下限応力度：引張強度の 0.6 倍
③曲げ半径：3.0m(偏向角度 14°)
④偏向部の拘束：保護管内にグラウトが充填されている

[参考文献]

1)新井他：大容量ＰＣ鋼より線の曲げ配置部におけるフレッティング疲労特性、土木学会論文集 No.627／Ⅴ-44、pp.205-222、1999-8
2)高速道路技術センター：ＰＣ橋の耐久性向上に関する設計・施工マニュアル資料編-4、2001-10
3)齊藤他：大偏心外ケーブル PC 橋におけるケーブルのフレッティング疲労試験、第 8 回シンポジウム論文集、pp.131-136、1998-10
4)黒輪他：ディビエーター部におけるスパイラル補強ＰＥ管を使用した外ケーブルのフレッティング疲労特性、プレストレストコンクリート Vol.46, No.3、pp.46-55、2004-5

参考にあたっての注意点

既往の実大疲労試験に照らして安全性を照査する場合には、実構造で採用する偏向角度、偏向構造、ケーブルシステムのマルチ構成や防食構造、設計で想定した応力状態(下限値および振幅)等が、参考とする実大試験と整合していることが前提となる。

4．参考資料

外ケーブル構造の定着部及び偏向部における慣用解析法の適用性に関する検討

(1) 検討概要

外ケーブル構造の定着部及び偏向部は、橋梁の構造形式や断面形状、架設工法等により種々の制約を受けるため、構造形態が多様であり、実構造を梁状あるいは板状の簡易モデルに単純化した慣用解析法により安全性を検証する場合には、仮想部材の配置や剛性、主げたの拘束の影響を考慮した支点条件の設定等、解析モデルを適切に設定するばかりでなく、解析精度を確保する観点から、慣用解析法自体の適用性について十分配慮する必要がある。

本検討は、定着部及び偏向部における慣用解析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三次元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。

(2) 定着部に関する検討

2-1) 検討方法

a)検討モデル

検討モデルは、ＰＣ箱げた橋の端支点部(縦横比1：2)を想定し、**表-2.1**において整理した定着構造のうち、実構造において多数を占めている「４面拘束」と「３面拘束(横げた中央部に開口有り)」の２ケースを抽出し、それぞれについて、横げたの部材厚を0.5m～4.0mの範囲で変化させた。

また、外ケーブルは、採用事例の多い19S15.2mm(SWPR7BL)をシンメトリーに８本配置することを想定した。**図-4.1**に検討モデルの構造寸法を示す。

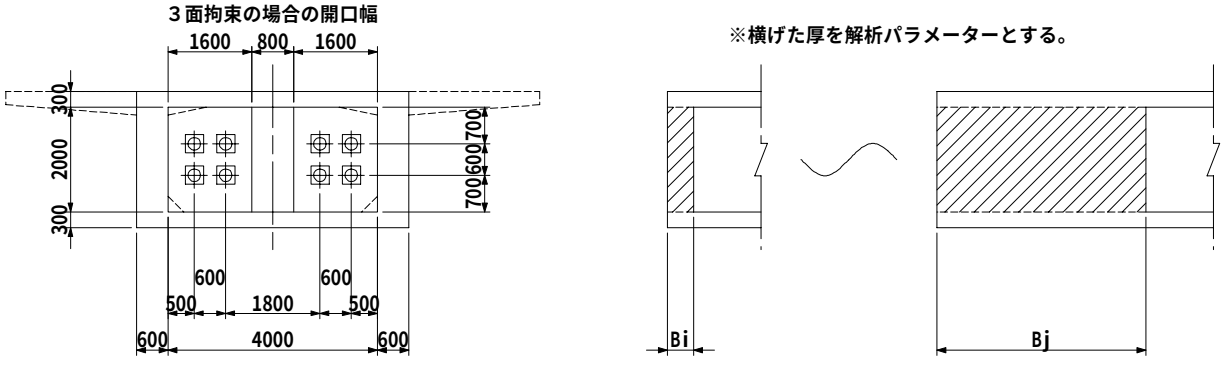


図-4.1　定着部の検討モデル

b)慣用解析法

定着部として機能する横げたの断面力を算定する場合には、一般に、**図-4.2**に示すような梁モデル、平面格子モデル、平板モデル等に置き換えられているが、本検討では、モデルの単純化が解析結果に与える要因のうち、①横げたのみを切り出して仮想の支持条件を設定すること、②立体構造を平面モデルとして扱うことの影響に着目し、これらの要因が直接的に評価できる二次元ＦＥＭ解析を慣用解析法として選定した。

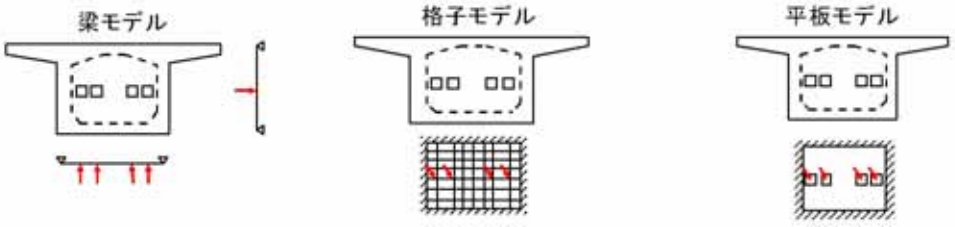


図-4.2　慣用解析法の検討モデルの例

c)解析条件

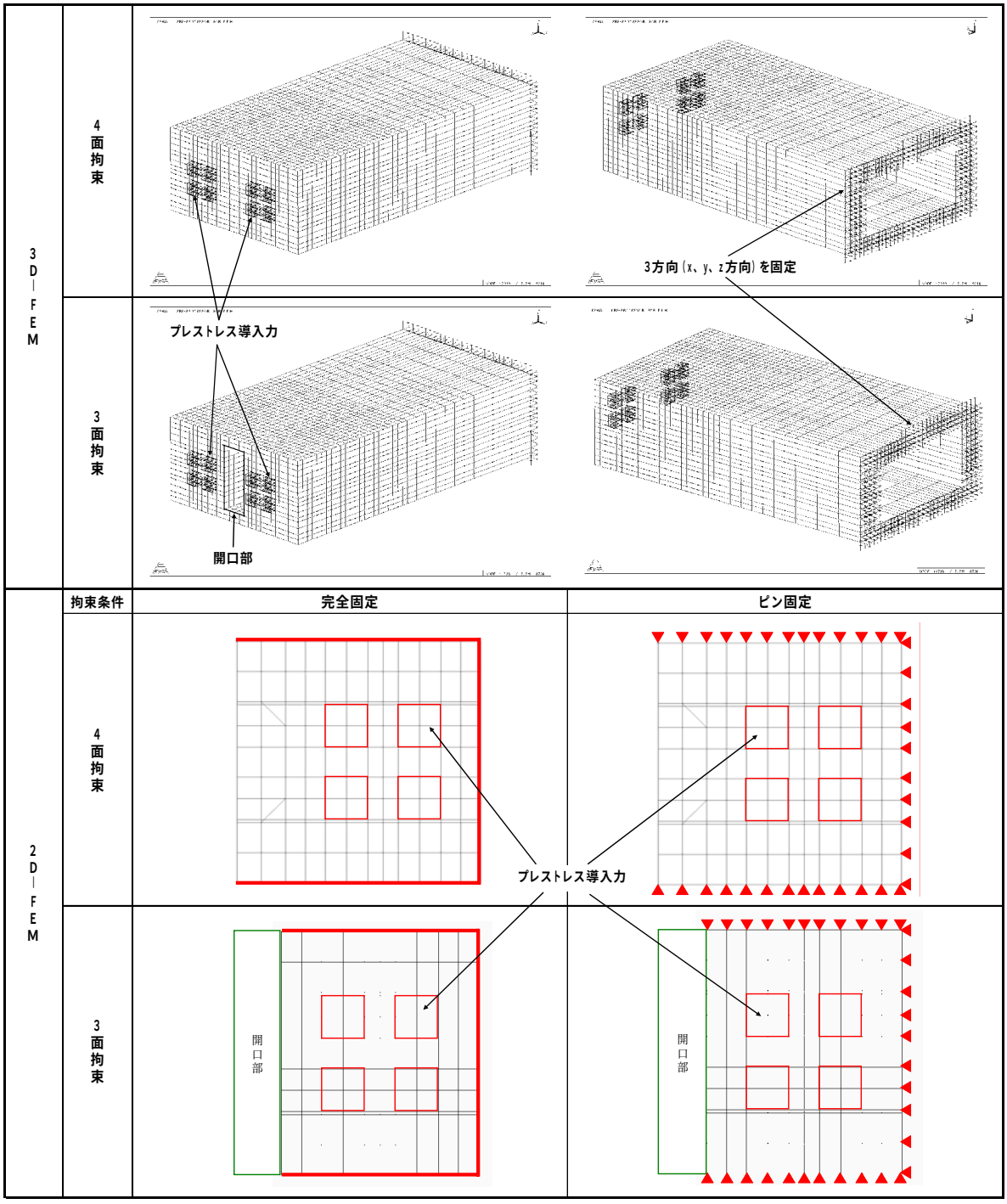
表-4.1に解析で用いた材料条件および荷重条件を、**表-4.2**に三次元ＦＥＭ解析(以下、３Ｄ－ＦＥＭ)及び二次元ＦＥＭ解析(以下、２Ｄ－ＦＥＭ)で設定したモデルを示す。

２Ｄ－ＦＥＭでは、主げたを含めた全体構造から横げた部分を切り出してモデル化するため、ウェブや上下床版に拘束されている実構造の再現性（主げたの拘束度の再現性）が重要となるが、ここでは、単純かつ汎用的な「完全固定」と「ピン固定」の２種類の拘束条件を与えた。

表-4.1　材料条件および荷重条件

材料条件	コンクリートの設計基準強度	$\sigma ck = 40\ N/mm^2$
	コンクリートの弾性係数	$Ec = 3.1\times10^4\ N/mm^2$
	コンクリートのポアソン比	$\mu c = 0.1667$
荷重条件	外ケーブルの種別と配置本数	19S15.2～8本
	プレストレス導入力	$0.7\cdot\sigma pu$
	荷重載荷	支圧板 □350mmに面載荷

表-4.2　定着部のＦＥＭ解析モデル



2-2）検討結果

図-4.4は、外ケーブル緊張力によって横げたに発生する水平及び鉛直方向の縁引張応力度(**図-4.3**)に着目し、「４面拘束」及び「３面拘束」の各ケースについて、簡易解析(２Ｄ－ＦＥＭ)結果を３Ｄ－ＦＥＭ結果に対する比率として示したものである。図の横軸は、横げたの部材厚ｔを横げた高Ｈとの比として無次元化しており、値が大きい程、部材厚が薄いことを意味する。

支持条件を「完全固定」としたモデルでは、主げたの拘束面数や引張応力の方向性にかかわらず、結果の比率が1.0を大きく下回り、３Ｄ－ＦＥＭに対して発生応力度を過小に評価している。

このような傾向は、切り出した横げた部材の材端における拘束条件が、主げたによる実際の拘束度と乖離していて、外ケーブル張力の作用に伴う横げた中央部の面外変形が、解析上、過度に抑制されていることを示している。

これに対して「ピン固定」としたモデルでは、３Ｄ－ＦＥＭに対して概ね安全側の結果が得られているが、部材厚が横げた高と同程度以上の領域では、危険側の結果を与えている。

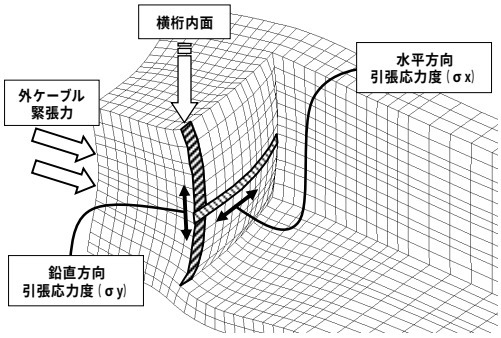
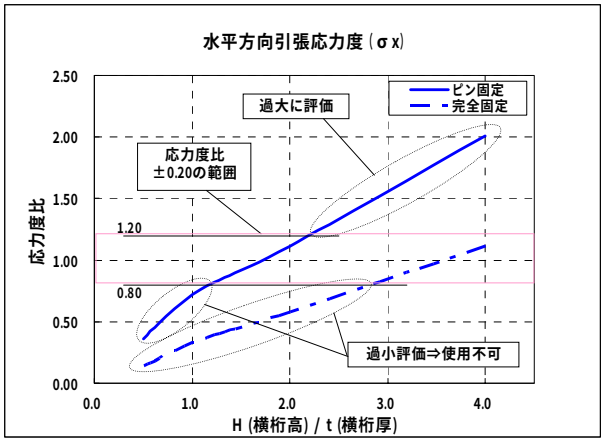
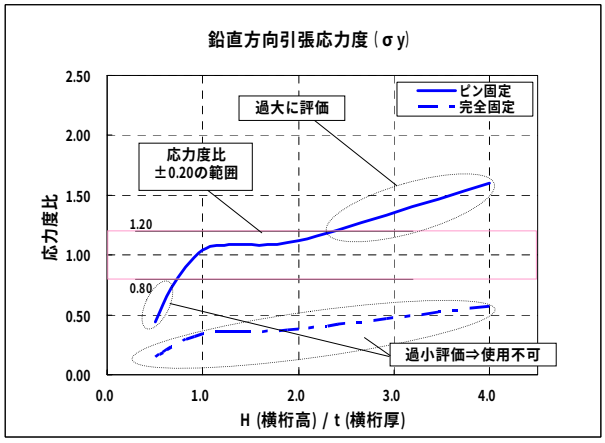


図-4.3　着目した縁引張応力度

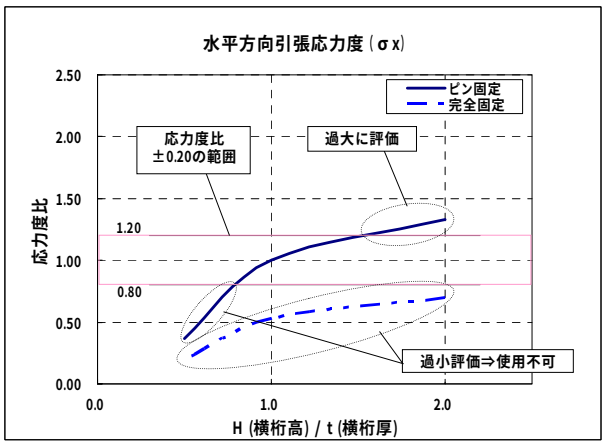
図中の着色範囲は、３Ｄ－ＦＥＭの結果に対して±20%程度の誤差に収まる領域を示しており、４面拘束、３面拘束いずれの場合も３Ｄ－ＦＥＭと同程度の結果が得られるH(横げた高)／ｔ(部材厚)の範囲は非常に限定されていることがわかる(例えば４面拘束の場合1.0～2.0程度)。特に３面拘束の場合は、この傾向が顕著となるが、これは、２Ｄ－ＦＥＭでは考慮できない開口部の立体的な変形挙動に起因しているものと考えられる。

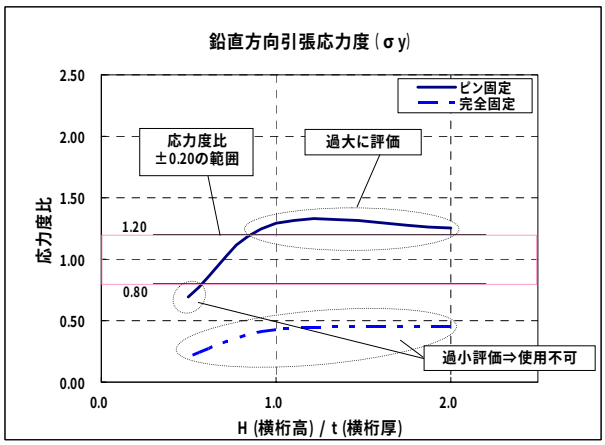
なお、本検討で得られた結果は、主げたの断面や隔壁の形状が検討で想定したモデルと概ね相似している場合に参照が可能である。





a)　４面拘束の場合





b)　３面拘束の場合

図-4.4　部材厚と解析精度の関係

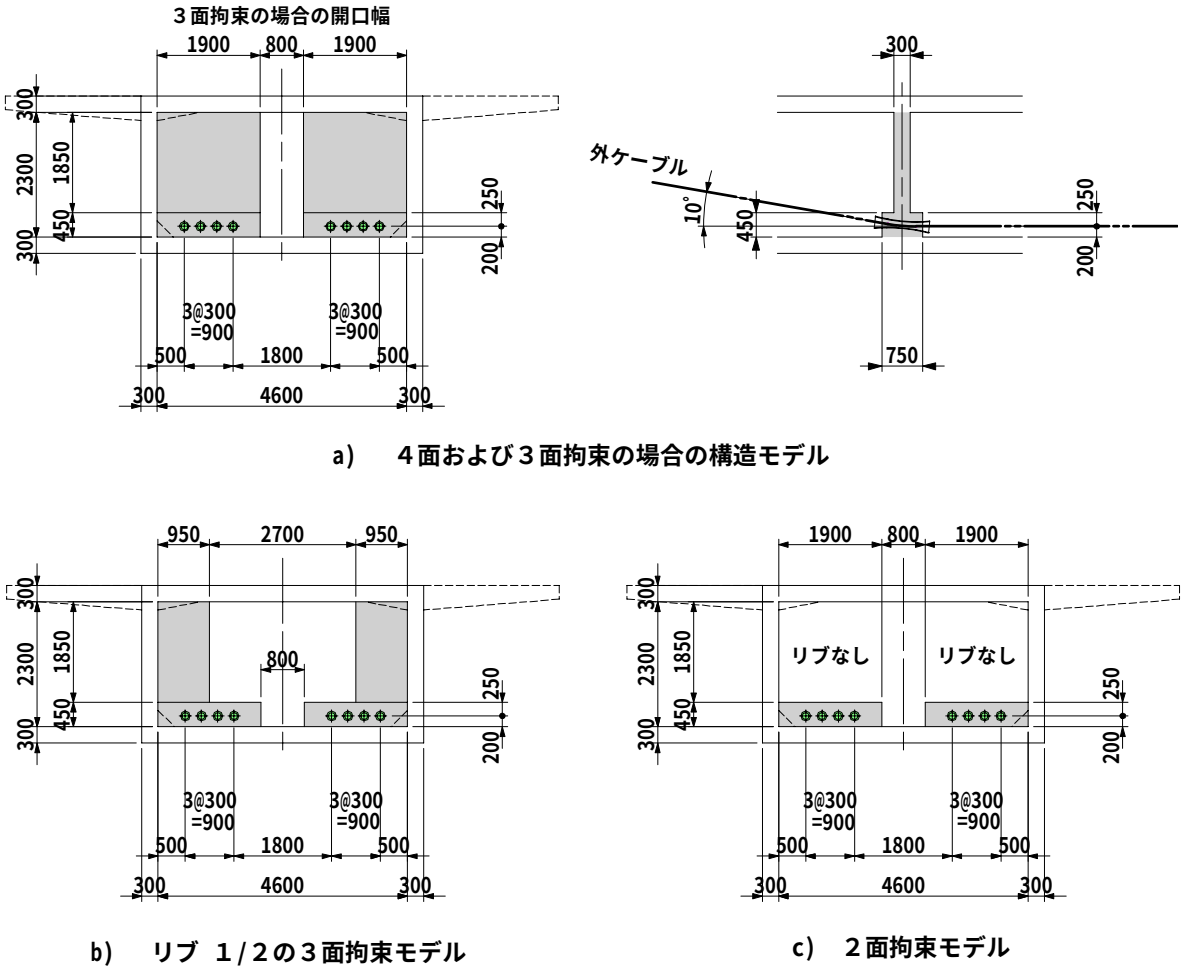
(3) 偏向部に関する検討

3-1) 検討方法

a)検討モデル

検討モデルは、「４面拘束(ダイヤフラム形式)」、「３面拘束(リブ形式)」、及び「２面拘束(サドル形式)」の３ケースとした。また、「３面拘束」では、リブの幅を1/2としたモデルも追加し、「３面拘束」と「２面拘束」の中間的な構造に対する慣用解析法の適用性を合わせて確認するものとした。

外ケーブルは、19S15.2㎜のマルチケーブル8本が10°の角度で偏向されている状態を想定した。**図-4.5**に検討モデルの構造寸法を示す。



a)　４面および３面拘束の場合の構造モデル

b)　リブ １/２の３面拘束モデル

c)　２面拘束モデル

図-4.5　偏向部の検証モデル

b)慣用解析法

偏向部に対する慣用解析法では、一般に、**図-4.6**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した。

図-4.7は、慣用解析法で考慮される偏向部の引張力を示したものであり、偏向具周辺に局部的に発生する鉛直方向の引張力Ｔ1及び水平方向の割裂力Ｔ2、壁体や主げた(上床版)の曲げ作用に伴い発生するＴ3及びＴ4、壁体のせん断作用に伴い発生する斜引張応力度の合力Ｔ5がある。このうち、偏向具周辺の局部的な引張力Ｔ1及びＴ2については、**図-4.6**に示したような簡易モデルに拠らず、Ｔ1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、Ｔ2は割裂引張力の簡易式により、それぞれ算定されている[1)]。

本検討では、このような慣用解析法について、各種引張力の精度を３Ｄ－ＦＥＭとの対比により検証するとともに、簡易計算で網羅されていない偏向部周辺における主げたの局部応力にも着目し、隔壁やリブによる補剛効果の観点から、その適用性を評価するものとした。

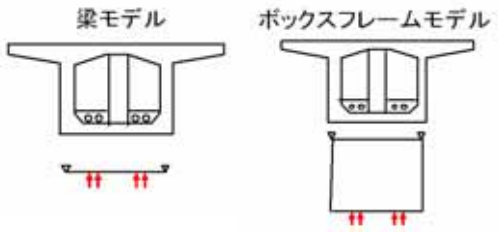


図-4.6　簡易モデルの例

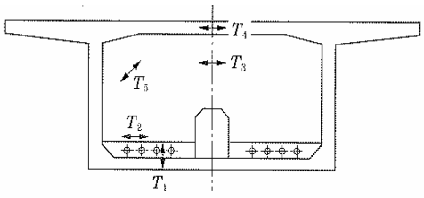


図-4.7　偏向部に発生する引張力

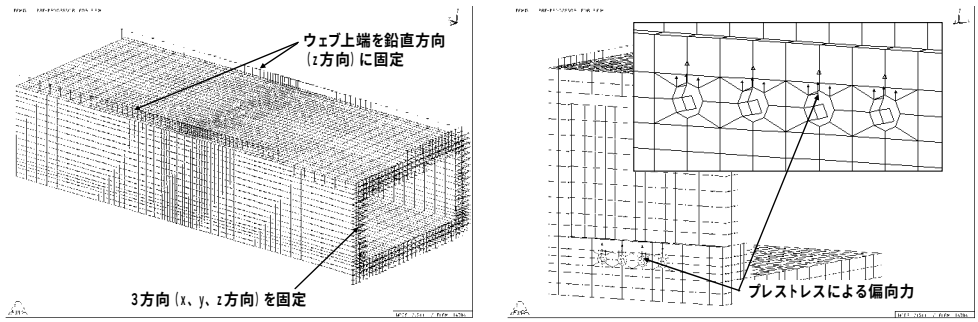
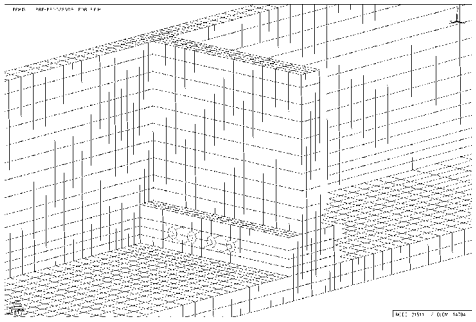
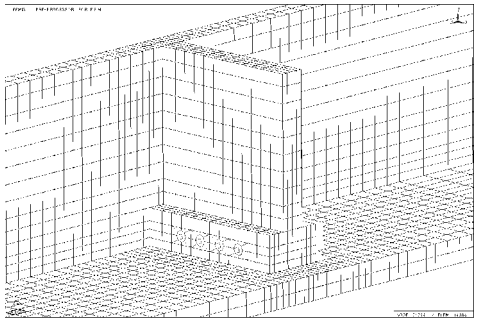
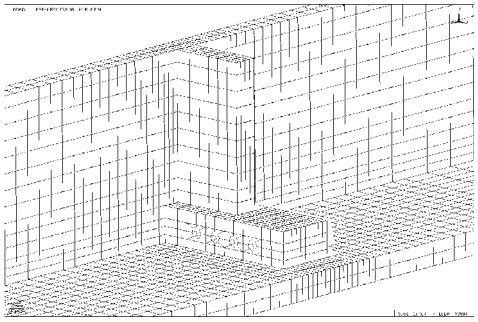
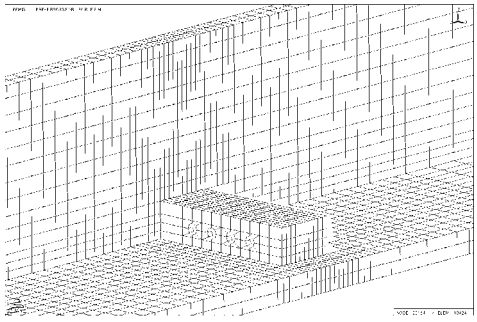
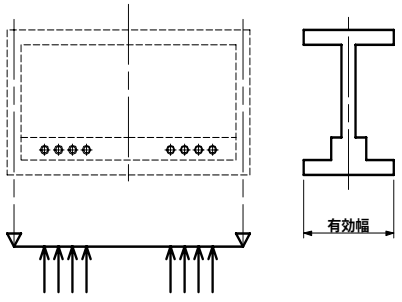
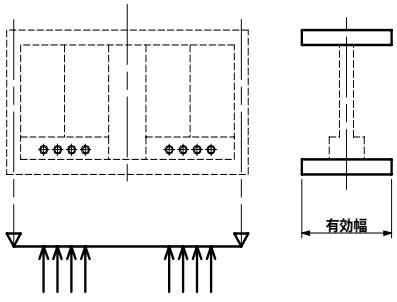
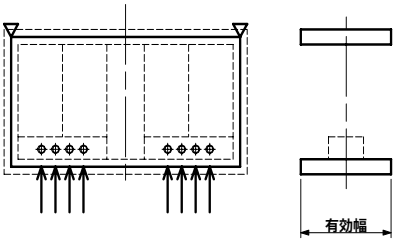
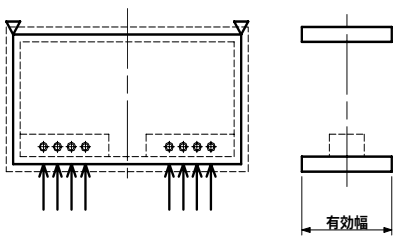
c)解析条件

偏向部の３Ｄ－ＦＥＭ及び簡易解析に用いた材料条件および荷重条件を**表-4.3**に、解析モデルを**表-4.4**に、それぞれ示す。

表-4.3　材料条件および荷重条件

材料条件	コンクリートの設計基準強度	σck＝40 N/mm^2
	コンクリートの弾性係数	Ec＝3.1×10^4 N/mm^2
	コンクリートのポアソン比	μc＝0.1667
荷重条件	外ケーブルの種類と配置本数	19S15.2－ 8本
	プレストレス導入力	0.7・σpu
	偏向力による示圧応力度	$\sigma = \dfrac{\text{Pt（PC鋼材引張力）}}{\text{R(曲げ半径）}\times\text{b(ｼｰｽ径}\times 2/3)}$

表-4.4　偏向部の解析モデル

<table>
<tr><td rowspan="5">3D－FEM</td><td>全体モデル</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>拘束条件</td><td>4面拘束</td><td>3面拘束</td></tr>
<tr><td>偏向部構造</td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>拘束条件</td><td>3面拘束(リブ1/2)</td><td>2面拘束</td></tr>
<tr><td>偏向部構造</td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="4">簡易モデル</td><td>拘束条件</td><td>4面拘束(梁モデル)</td><td>3面拘束(梁モデル)</td></tr>
<tr><td>偏向部構造</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>拘束条件</td><td>3面拘束(ボックスフレームモデル)</td><td>2面拘束(梁モデル)</td></tr>
<tr><td>偏向部構造</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

3-2) 検討結果

偏向部に発生する引張力(図-4.7のＴ1～Ｔ5)に着目して、３Ｄ－ＦＥＭに対する簡易計算結果の比率を**図-4.8**に示す。

図示のとおり、「４面拘束」及び「３面拘束」構造に対する簡易計算は、３Ｄ－ＦＥＭに比べて1.0～2.0程度、安全側の値を示していることがわかる。

これに対して、「２面拘束」構造では、Ｔ1、Ｔ2において、1.0を下回る結果が得られており、３Ｄ－ＦＥＭに対して局部的な引張力を過小に評価する傾向がみられる。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。

「３面拘束」と「２面拘束」の中間的な構造である「３面拘束(リブ幅1/2)」では、いずれの引張力も1.0以上の安全率を有しているため、簡易計算法を適用できる可能性があるが、さらにリブの幅が減少する場合やリブの形状が変化するような場合には、「２面拘束」構造の特性に近づくことが想定されるため、３Ｄ－ＦＥＭ等、局部応力を精度良く算定できる方法により安全性を検証する必要がある。

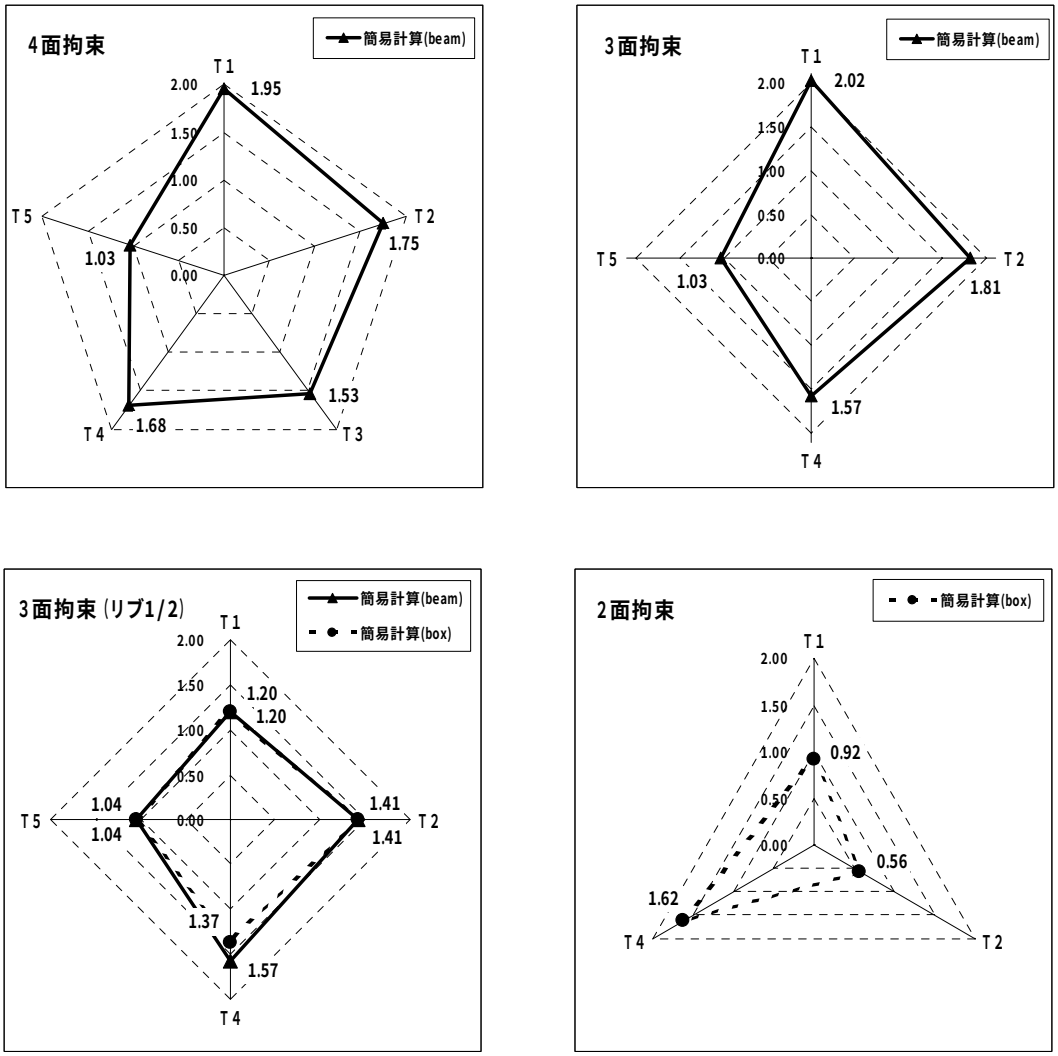


図-4.8　簡易計算の精度

一方、簡易計算手法で考慮されていない主げた(偏向部近傍のウェブ及び下床版)の局部的な引張力に着目すると、３Ｄ－ＦＥＭでは、偏向部の拘束度が小さくなるにつれて、下床版の橋軸方向や直角方向、ウェブの鉛直方向の各値が著しく増加する結果が得られている(**表-4.5**)。

一般的に採用されている「４面拘束」及び「３面拘束」構造では、下床版の橋軸方向のみに微小な引張力が発生しているが、ひび割れの発生を抑制する上で問題とならないレベルであり、これを無視した簡易計算に拠っても概ね妥当な検証結果が得られる可能性がある。

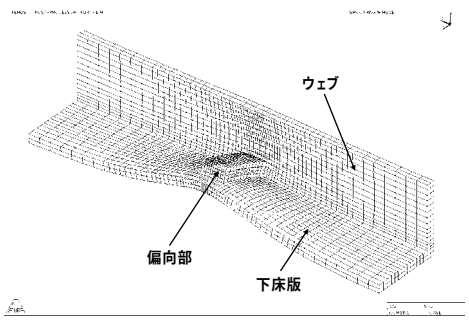
これに対して、「２面拘束」構造では、主げたの面外変形の影響が顕著に現れ、他の構造に比べて大きな引張力が発生するため、３Ｄ－ＦＥＭ等を用いた検証により、安全性を確認する必要がある。また、「３面拘束(リブ幅1/2)」構造の解析結果より、リブ幅を多少縮小しても十分な補剛効果を得られることが認められるが、リブの形状寸法によっては、「２面拘束」構造と同様、無視できない局部応力が発生するおそれがあるので、留意する必要がある。

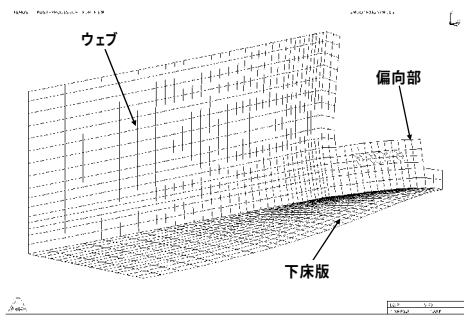
なお、本検討で得られた結果は、主げた断面や偏向部の形状、外ケーブルの偏向角度が、想定したモデルと概ね相似している場合に参照が可能である。

表-4.5　偏向部周辺の主げたの変形と局部応力

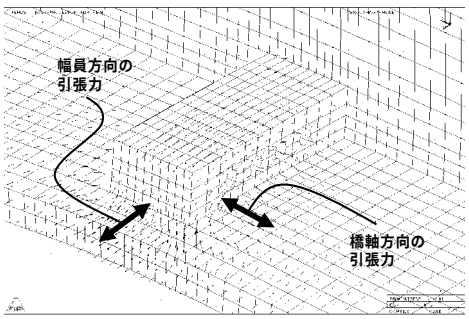
2面拘束

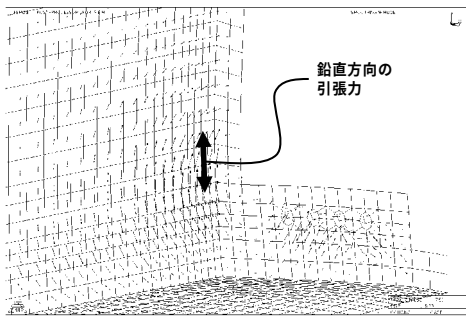
変形図





主応力ベクトル図





偏向部周辺の主げたに与える影響

3D－FEMによる1mあたりの引張力の比較　(kN/m)

		4面拘束	3面拘束	3面拘束 (リブ1/2)	2面拘束
ウェブ	鉛直方向の引張力	0	0	98	294
下床版	幅員方向の引張力	0	0	0	695
	橋軸方向の引張力	44	49	80	308

[参考文献]

1)　(財)高速道路技術センター：外ケーブルを用いたＰＣ橋梁の設計マニュアル，平成8年8月

新技術評価事例（コンクリート構造）

ー外ケーブル構造ー

アンケート調査結果の取りまとめ

第１章　外ケーブル構造の計画・設計に関する現状調査結果の報告

1.1　目的

調査目的は、外ケーブル構造を採用する場合の留意事項や技術的課題を整理するにあたり、当該構造の計画・設計に関する性能照査方法の現状を把握して、その結果を研究報告書に反映させるために、ＰＣ建協会員各社へのアンケートを実施するとしたものである。

本章の結果は、各社の貴重な財産であるにもかかわらず資料提供いただいたこと、そして、当該技術の発展･拡大のためには有益な情報であることから､ここに取りまとめて報告するものとした。

1.2　アンケート調査概要

1.2.1 調査対象

調査は、ＰＣ建協会員１４社に対して行った。対象橋梁は、平成１３年度以後に発注された外ケーブル構造を伴った道路橋(施工中も含む)とし、当該構造の採用事例が比較的少ないと考えられた国土交通省直轄及び自治体の発注事例を優先して選定するよう要請した。

尚、調査期間は、平成１６年１１月から平成１７年２月の間に実施されたものである。

1.2.2 調査内容

調査内容は、大別して下記の分類要素とした。

(1) 分類要素

1) 橋梁概要について
2) 受注時の設計内容について
3) 計画と実績について
4) 設計一般について
5) 振動対策について
6) 定着部（横桁定着）について
7) 定着部（突起定着）について
8) 偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
9) 防食について
10) 維持管理について
11) その他について

1.2.3 調査シート

外ｹｰﾌﾞﾙ構造に関するアンケート調査表

分類要素	調査番号	アンケート項目	記入例	記載の考えられる選択肢ほか備考（※）
橋梁概要	Q1	橋名	神楽坂橋	
	Q2	橋梁形式	4径間連続ラーメン箱げた橋	単純桁橋、連続桁橋、ラーメン橋の形式のほかに、断面形状による分類も列記する。
	Q3	ウェブ構造	ｺﾝｸﾘｰﾄ	ｺﾝｸﾘｰﾄｳｪﾌﾞ、波形鋼板ｳｪﾌﾞ、鋼管ﾄﾗｽ
	Q4	架設工法	張出し架設工法	固定支保工架設、張出し架設、押出し架設、ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｾｸﾞﾒﾝﾄｽﾊﾟﾝﾊﾞｲｽﾊﾟﾝ架設、ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｾｸﾞﾒﾝﾄ張出し架設
	Q5	主桁製作方法	場所打ち方式	ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｾｸﾞﾒﾝﾄ方式、場所打ち方式
	Q6	橋長	○○.○○○ m	
	Q7	支間割	○○.○＋2@○○.○ ＋○○.○m	
	Q8	総幅員	○○.○○○ m	
	Q9	桁高	(中央径間)=○○.○m (柱頭部)　=○○.○m	
	Q10	ｳｪﾌﾞ･下床版厚 ①最大値 ②最小値	ｳｪﾌﾞ厚 ①(最大値)=○○○mm ②(最小値)=○○○mm 下床版厚 ①(最大値)=○○○mm ②(最小値)=○○○mm	
	Q11	構造的な特殊条件	平面線形　R＝○○mなど	
	Q12	工事費	￥○,○○○,○○○,○○○	
	Q13	完成年	施工中(2005年予定)	※施工中の場合は、予定年を記載願います。
受注時の設計内容他	Q14	発注者	○○地方整備局	※国土交通省直轄、自治体の事例を優先したい。
	Q15	受注時の設計構造	内外併用	全内ｹｰﾌﾞﾙ、全外ｹｰﾌﾞﾙ、内外併用、その他
	Q16	受注後に，再設計を行なった設計部位	定着突起(隔壁および突起)のFEM解析、耐震設計の再計算	「全般にわたって再設計」、「部分的設計あり(局部設計、耐震設計など)」、「実施なし」
計画と実績	Q17	ｺﾝｸﾘｰﾄ設計基準強度	40 N/mm2	
	Q18	PC鋼材の種別(外ｹｰﾌﾞﾙ)	19S15.2	27S15.2・19S15.2・12S15.2・9S15.2・12S12.4・その他
	Q19	PC鋼材の種別(内ｹｰﾌﾞﾙ)	12S12.7	12S15.2・12S12.7・12S12.4・PCBφ32・なし・その他 ※横締めケーブルは、対象外とする。
	Q20	内外併用の場合の比率設定方法	･死荷重分を内ｹｰﾌﾞﾙ、活荷重分を外ｹｰﾌﾞﾙ	①外ｹｰﾌﾞﾙを配置可能な範囲で最大限配置し、不足分を内ｹｰﾌﾞﾙとして配置 ②死荷重分を内ｹｰﾌﾞﾙ、活荷重分を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置 ③架設時に必要な分を内ｹｰﾌﾞﾙ、その他を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置 ④上下床版のみに内ｹｰﾌﾞﾙ、その他を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置 ⑤その他の方法(※具体的に記載願います。)
	Q21	使用数量(外ｹｰﾌﾞﾙ,内ｹｰﾌﾞﾙ)	(外ｹｰﾌﾞﾙ)=13.1t (内ｹｰﾌﾞﾙ)=34.7t	※横締めケーブルは、対象外とする。
	Q22	外/内ｹｰﾌﾞﾙ比率	(外)/(内)=0.38	※比率は、重量比とする。
	Q23	外ｹｰﾌﾞﾙの最大長･最小長	(最大長)=80.5m (最小長)=50.0m	
	Q24	外ｹｰﾌﾞﾙ構造の採用に当たって実施した事前検討の内容	･前出経済比較、隔壁および突起定着部の構造検討(FEM解析)	経済性･摩擦係数･定着部･偏向部･曲げ破壊耐力･外ｹｰﾌﾞﾙ比率･防食･その他
	Q25	外ｹｰﾌﾞﾙ構造を採用した場合の経済比較結果 (Q20において、数種の比較を行なったものも対象とする。)	･全内ｹｰﾌﾞﾙ(1.0)と比較し、0.95掛け(5%減)となった。	「効果有り(※具体的数値)」、「効果不明」、「その他見解」
	Q26	PC鋼材本数の決定された荷重状態	･設計荷重作用時により決定され、終局荷重作用時の照査を満足した。	「設計荷重作用時により決定」、「終局荷重作用時により決定」
	Q27	現場での外ｹｰﾌﾞﾙの保管･管理方法および特に配慮した事項	･工程に合わせた搬入計画 ･ｳﾚﾀﾝのｼｰﾄやﾛｰﾗｰを使用し引き出しを行なった。	「従来と同様」、「被膜の保護」、「搬入計画」、「保管場所」、「PE管の保護」等に関する事柄　(※具体的に記載願います。)
	Q28	外ｹｰﾌﾞﾙ構造の施工上の問題点とその対策	･偏向管の据付精度が問題視され、ディアボロ管の形状を検討した。	「定着部･偏向部(配筋、保護管、精度ほか)」、「外ｹｰﾌﾞﾙの施工(挿入、足場、保護)」、「外ｹｰﾌﾞﾙの緊張」、「その他(ﾌﾟﾚｷｬｽﾄ化、添架物設置など)」などに関する事柄 (※具体的に記載願います。)
	Q29	ｼｪｱﾗｸﾞ鋼材の配置 ①構造 ②配置位置 ③PC鋼材種別	①外ｹｰﾌﾞﾙ方式 ②張出し床版中央付近の下面に定着突起を設けた。 ③Dinaｹｰﾌﾞﾙ(ED-P50ｹｰﾌﾞﾙ)	①「外ｹｰﾌﾞﾙ方式」、「内ｹｰﾌﾞﾙ方式」、「配置なし」、「意識なし」 ②「床版先端」、「床版中央付近」、「ｳｪﾌﾞ付近」、「その他(地覆内部など)」 ③(外ｹｰﾌﾞﾙ):12S15.2・12S12.7・12S12.4・その他(Dinaｹｰﾌﾞﾙなど) (内ｹｰﾌﾞﾙ):12S15.2・12S12.7・12S12.4・その他(ｼﾝｸﾞﾙｽﾄﾗﾝﾄﾞなど)

外ｹｰﾌﾞﾙ構造に関するアンケート調査表

分類要素	調査番号	アンケート項目	記入例	記載の考えられる選択肢ほか備考（※）
設計一般	Q30	主桁設計時の縁引張応力度の制御方法	・死荷重時は、プルプレストレス ・設計荷重時は、ひび割れ発生限界（ｺﾝｸﾘｰﾄの曲げ強度）	①死荷重作用時、設計荷重作用ともに、ﾌﾙﾌﾟﾚｽﾄﾚｽとする方法 ②道示Ⅲによるﾊﾟｰｼｬﾙﾌﾟﾚｽﾄﾚｽとする方法 ③死荷重作用時にﾌﾙﾌﾟﾚｽﾄﾚｽとし、設計荷重作用にはひび割れ発生限界とする方法 ④死荷重作用時にひび割れ発生限界とし、設計荷重作用にはひび割れ幅限界とする方法 ⑤その他の方法（※具体的に記載願います。）
	Q31	引張鉄筋算定方法 (合わせて、 活荷重割増し1.35の有無)	・全断面有効として以下とした。 As=Tc/σsa （σsa=180N/mm2） ・活荷重割増し無し	①引張鉄筋算定方法 1)全断面有効として、ｺﾝｸﾘｰﾄに生じる全引張力に対して算出する方法 2)RC部材同様に、引張領域のｺﾝｸﾘｰﾄ断面を無視する方法 ②活荷重への割増し係数 1.35 の実施の有無 1)道示Ⅲ 6.5(3)項による「割り増しの実施」 2)ひび割れ発生後の挙動をRC部材同様と考え「割り増し無し」
	Q32	解析モデルに対するプレストレス力の与え方	内力評価	①内力評価～ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力を内力（N，M）としてﾓﾃﾞﾙに作用させる。 ②部材評価～外ｹｰﾌﾞﾙを弦部材としてﾓﾃﾞﾙに軸ひずみを作用させる。 ③外力評価～外ｹｰﾌﾞﾙの定着位置、偏向位置に荷重を外力として作用させる。 ④その他 （※具体的に記載願います。）
	Q33	中間支点上において、たすき掛け定着した場合について ①外ケーブルの設計時有効本数 ②中間支点上の横桁厚	①横桁の左右のｹｰﾌﾞﾙ本数の少ない本数とした。 ② 2400mm	①「横桁定着される左右のｹｰﾌﾞﾙ本数の少ない本数」、「全本数」、「左右のｹｰﾌﾞﾙ本数の平均本数」、「その他」
	Q34	終局耐力の解析方法	ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書により、設計曲げ耐力を算出し、終局曲げﾓｰﾒﾝﾄと比較した。この際、外ケーブルの張力増加を見込んだ。	①内ｹｰﾌﾞﾙ構造と同様に扱い破壊安全度の照査を行なうが、その際、外ｹｰﾌﾞﾙ応力度の増加を見込む、（または、見込まない）として算出。 ②内ｹｰﾌﾞﾙ構造と同様に扱い破壊安全度の照査を行なうが、その際、付着のないPC鋼材とみなし、付着のある場合としたときの70%として算出。 ③外ｹｰﾌﾞﾙを部材評価してﾓﾃﾞﾙ化し、破壊安全度の照査は主桁ｺﾝｸﾘｰﾄ部材について行なうが、その際、外ｹｰﾌﾞﾙ応力度の増加を見込む、（または、見込まない）として算出。 ④材料および幾何学的非線形性を考慮し、構造系が破壊に至らないことを確認。 ⑤その他 （※具体的に記載願います。）
	Q35	終局時の外ｹｰﾌﾞﾙ応力度の増加量について ①増加応力度 (N/mm2) ②設定または決定根拠	① 100 N/mm2 ② 道路橋示方書Ⅲに従った。	②「道示Ⅲ」、「(財)高速道路技術ｾﾝﾀｰによるマニュアル」、「(社)PC技術協会による規準（案）」、「その他（文献、海外規準など）」
	Q36	張出ｹｰﾌﾞﾙに関する情報 ①外ケーブルの有効高さ ②外ケーブルの定着間距離	① 5.000m ② 24.000m～80.000m	
	Q37	連続ｹｰﾌﾞﾙに関する情報 ①外ケーブルの有効高さ ②外ケーブルの定着間距離	① 1.700m ② 35.000m～60.000m	
	Q38	耐震設計について ①外ケーブルの評価方法 ②耐震設計の解析手法	① 部材評価 ② ﾌｧｲﾊﾞｰﾓﾃﾞﾙに基づく非線形動的解析	①「内力評価」、「部材評価」、「その他 （※モデル要素など、具体的に記載願います。）」 ②「保耐法」、「非線形動的解析」、「その他 （※具体的に記載願います。）」
振動	Q39	外ｹｰﾌﾞﾙの振動に対する照査方法とその対策	「外ｹｰﾌﾞﾙを用いたPC橋梁の設計施工ﾏﾆｭｱﾙ H8.8(財)高速道路技術ｾﾝﾀｰ」に従って、主桁と外ｹｰﾌﾞﾙの振動数を算出し、照査した。結果として、制振装置は設けていない。	「共振を確認」、「検討なし」、「制振装置の設置」、「その他（振動実験など）」
定着部（横桁定着）	Q40	定着部近傍の設計方法	3次元FEM解析によって、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ導入直後において横桁ｺﾝｸﾘｰﾄに発生する引張応力度を3.0N/mm2程度に抑えるよう補強PC鋼材量を決定した。また、許容ひび割れ幅内となるように鉄筋応力度を制限し、鉄筋量を決定した。	「ｺｰﾍﾞﾙ」、「ﾃﾞｨｰﾌﾟﾋﾞｰﾑ」、「2次元FEM」、「3次元FEM」、「格子解析」、「簡易計算法」、「その他」（※具体的な手法についても，記載願います。）
	Q41	定着部横桁厚さと外ｹｰﾌﾞﾙ定着本数 ①横桁厚さ ②外ｹｰﾌﾞﾙ定着本数	端支点横桁 ①(横桁厚さ) =○.○○○ m ②(定着本数)=○○本 中間支点横桁 ①(横桁厚さ) =○.○○○ m ②(定着本数)=○○本（左向き）、 ○○本（右向き）	
	Q42	上記照査時の緊張力および制限値（ｺﾝｸﾘｰﾄ・鉄筋） ①定着部の緊張力 （kN/本） ②ｺﾝｸﾘｰﾄ応力度 ③鉄筋応力度	ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ導入直後において ① 3500（kN/本） ② 3.0 N/mm2 ③ 150 N/mm2	
	Q43	終局時照査の有無と照査方法	ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力は、降伏点応力度まで導入し、補強鋼材量を照査した。また、ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書に従ってせん断伝達耐力の計算を行った。	「ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力は、降伏点応力度まで導入」、「ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力は、引張強度まで導入」、「せん断伝達耐力の照査」、「その他 （※具体的に記載願います。）」
	Q44	定着部近傍の形状・補強方法（配筋状態など）	別紙参考図の通り。特に、補強鋼材には水平および鉛直方向に NAPP鋼棒を配置し補強した。	（※別紙にて、図面（A3横程度）の添付をお願いしたい。また、概要についても記載願います。）

外ｹｰﾌﾞﾙ構造に関するアンケート調査表

分類要素	調査番号	アンケート項目	記入例	記載の考えられる選択肢ほか備考（※）
定着部（突起定着）	Q45	定着部近傍の設計方法	3次元FEM解析によって、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ導入直後において定着突起ｺﾝｸﾘｰﾄに発生する引張応力度を3.0N/mm2程度に抑えるよう補強PC鋼材量を決定した。また、許容ひび割れ幅内となるように鉄筋応力度を制限し、鉄筋量を決定した。	「ｺｰﾍﾞﾙ」、「ﾃﾞｨｰﾌﾟﾋﾞｰﾑ」、「2次元FEM」、「3次元FEM」、「格子解析」、「簡易計算法」、「その他」（※具体的な手法についても，記載願います。）
	Q46	上記照査時の緊張力および制限値（ｺﾝｸﾘｰﾄ・鉄筋） ①定着部の緊張力　（kN/本） ②ｺﾝｸﾘｰﾄ応力度 ③鉄筋応力度	ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ導入直後において ① 3500（kN/本） ② 3.0 N/mm2 ③ 150 N/mm2	
	Q47	終局時照査の有無と照査方法	ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力は、降伏点応力度まで導入し、補強鋼材量を照査した。また、ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書に従ってせん断伝達耐力の計算を行った。	「ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力は、降伏点応力度まで導入」、「ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力は、引張強度まで導入」、「せん断伝達耐力の照査」、「その他　（※具体的に記載願います。）」
	Q48	定着部近傍の形状・補強方法（配筋状態など）	別紙参考図の通り。補強鋼材は、すべて鉄筋とした。	（※別紙にて、図面（A3横程度）の添付をお願いしたい。また、概要についても記載願います。）
偏向部（鉛直ﾘﾌﾞおよび水平ﾘﾌﾞ）	Q49	外ｹｰﾌﾞﾙ形状について ①偏向部の最大間隔 ②最大偏向角度 ③外ｹｰﾌﾞﾙの最小半径	① 22．0m（鉛直）、10．5m（水平） ② 5°（鉛直）、3°（水平） ③ 5．0m（鉛直）、5．0m（水平）	
	Q50	ﾌﾚｯﾃｨﾝｸﾞに対する照査方法と対策	ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄによる拘束	「ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄによる拘束」、「被覆PC鋼材の採用」、「ｽﾍﾟｰｻｰなどによる鋼線間接触の防止」、「その他　（※具体的に記載願います。）」
	Q51	偏向部近傍の設計方法	3次元FEM解析によって、ｺﾝｸﾘｰﾄに発生する引張応力度を3.0N/mm2程度に抑えるよう鉛直ﾘﾌﾞ形状並びに水平ﾘﾌﾞ補強PC鋼材量を決定した。また、許容ひび割れ幅内となるように鉄筋応力度を制限し、鉄筋量を決定した。	「ｺｰﾍﾞﾙ」、「ﾃﾞｨｰﾌﾟﾋﾞｰﾑ」、「2次元FEM」、「3次元FEM」、「格子解析」、「簡易計算法」、「その他」（※具体的な手法についても，記載願います。）
	Q52	上記照査時の緊張力および制限値（ｺﾝｸﾘｰﾄ・鉄筋） ①偏向力（水平，鉛直）　（kN/本） ②ｺﾝｸﾘｰﾄ応力度 ③鉄筋応力度	① 275 kN（鉛直）、165 kN（水平） ② 3.0 N/mm2（鉛直・水平共） ③ 180 N/mm2	
	Q53	終局時照査の有無と照査方法	ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力は、降伏点応力度まで導入し、補強鋼材量を照査した。	「ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力は、降伏点応力度まで導入」、「ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力は、引張強度まで導入」、「その他　（※具体的に記載願います。）」
	Q54	偏向部近傍の形状・補強方法（配筋状態など）	別紙参考図の通り。鉛直ﾘﾌﾞは、鉄筋による補強とし、水平ﾘﾌﾞは、横締めｹｰﾌﾞﾙを配置した。	（※別紙にて、図面（A3横程度）の添付をお願いしたい。また、概要についても記載願います。）
	Q55	偏向部の構成と偏向具の材質	偏向管として曲げ加工鋼管（STK+ﾒｯｷ）+ 透明ｼｰｽ+ ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ ※偏向部の両端は、ｺﾞﾑｷｬｯﾌﾟを用いてｺﾝｸﾘｰﾄをﾗｯﾊﾟ状に仕上げた。	「偏向管として→鋼管、ガス管、SUSｼｰｽ、PEｼｰｽ、その他。 ※ﾒｯｷの有無や管のﾗｯﾊﾟ形状の有無や細工などについても記載願います。）」 「ｼｰｽとして　→ PEｼｰｽ、透明ｼｰｽ、その他。」 「ｸﾞﾗｳﾄ材として→ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ、ｸﾞﾘｽ充填材、ｺﾞﾑ系充填材、ｳﾚﾀﾝ系充填材、被覆PC鋼材につき無し、その他。
	Q56	偏向部の摩擦係数の設計時の設定値および実測値	・設計値　μ=0.3，λ=0.0 ※EXTECﾏﾆｭｱﾙによる ・実測値　なし	※設計時の設定値のほか、実測値データがあれば記載願います。合わせて、参照の規準についても併記願います。
防食	Q57	外ｹｰﾌﾞﾙの保護方法	裸線＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ＋透明ｼｰｽ （定着端部、一般部とも同じ）	※PC鋼材の防食は、被覆材の種類や多重被覆などについても記述願います。
	Q58	保護工法を決定するに当たって実施した事前検討の有無および内容	特になし	「鋼管の伸縮継ぎ」、「ｹｰﾌﾞﾙ取替え試験」、「定着具性能試験」、「防食方法比較」、「防食試験」、「実績調査」、「その他　（※具体的に記載願います。）」
	Q59	緊張後の定着部保護方法	ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ	「ｺﾝｸﾘｰﾄor無収縮ﾓﾙﾀﾙ」、「ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋ｸﾞﾘｰｽ」、「ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋ｸﾞﾗｳﾄ」、「二重防錆ｷｬｯﾌﾟ」、「その他　（※具体的に記載願います。）」
維持管理	Q60	完成後の点検のために配慮した構造または装置	桁端部の横桁は、箱桁内部から桁遊間部分の検査通路まで侵入できるよう検査孔を貫通させた。	「ﾃﾝﾄﾞﾝｷﾞｬﾗﾘｰ」、「検査通路」、「検査孔」、「点検設備なし」、「その他　（※具体的に記載願います。）」
	Q61	外ｹｰﾌﾞﾙの取替えについて ①取替え可能な構造か ②予備ｹｰﾌﾞﾙ配置可能か ③再緊張のためのスペースがあるか	①可能である。定着部は、取替え可能な二重管構造とした。 ②可能である。予備ｹｰﾌﾞﾙ用の定着体と貫通孔を配置した。 ③一部不可能である。隔壁によって緊張ｼﾞｬｯｷｽﾍﾟｰｽが確保できない。	

外ｹｰﾌﾞﾙ構造に関するアンケート調査表

分類要素	調査番号	アンケート項目	記入例	記載の考えられる選択肢ほか備考（※）
その他	Q62	外ｹｰﾌﾞﾙ構造に関する意見 （設計・施工・維持管理の課題、疑問点）		「構造やｺｽﾄなど、評価されるﾒﾘｯﾄまたはﾃﾞﾒﾘｯﾄについて」 「全外ｹｰﾌﾞﾙ構造または内外併用構造について」 「設計・施工・維持管理上の課題について」 「問題点や不具合（失敗）例について」 「積算と実施工の差異などについて」 「合理化を図る場合の技術的ﾊｰﾄﾞﾙについて」 「コスト縮減の余地について」 ・ ・ ・ 「その他」
	Q63	関連する刊行物への投稿の有無	有り ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄ Vol.○○ No.○	※学会誌、協会誌、論文集、講演会資料などへの投稿をされた経緯があれば、掲載冊子の手掛りを明記願います。
	Q64	構造や工法の決定のための学識経験者などを含めた委員会の発足の有無	なし	

1.3　調査結果

1.3.1 調査事例

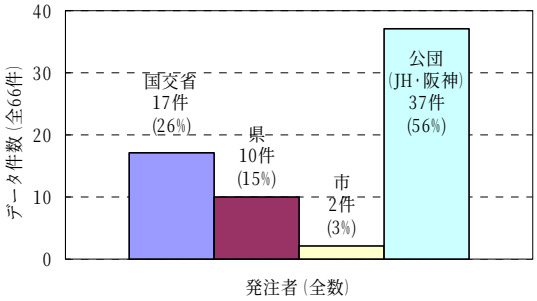
調査結果は、あらかじめ準備した前出の６４項目の調査表に記入され、総数６６橋の調査事例データが集約された。別紙資料の参考資料では、調査当時の下記の橋梁名をもって記すものとした。

No.	橋梁名	No.	橋梁名
1	板谷3号橋	34	上川高架橋
2	五ヶ瀬橋	35	杉高架橋
3	新小戸之橋	36	秋川高架橋
4	第2西海橋	37	つくば高架Cランプ橋
5	槻木橋	38	鶴巻橋
6	港橋	39	丸山橋
7	中一色川橋	40	苫田ダム県道橋
8	中津屋橋（12径間）	41	池田高架橋（ＰＣ上部工）西工事
9	中津屋橋（5径間）	42	白岩橋（上り線）
10	谷川橋	43	白岩橋（下り線）
11	上和会高架橋	44	東ノ谷池橋
12	豊田東ジャンクションＣランプ橋	45	佐野川橋
13	小河内川橋	46	静学館橋
14	長井ﾀﾞﾑ6号橋	47	長谷川橋
15	遊楽部川橋	48	岩倉川橋
16	シラリカ川橋	49	鬼怒川橋
17	立花橋	50	桂島高架橋
18	上河和橋	51	静岡大橋
19	圏央道（つくば･茎崎地区）橋梁	52	濁川橋
20	五ヶ瀬橋（延岡若あゆ大橋）	53	神谷天ケ沢7号線橋
21	天満橋（2工区）	54	柴川橋（上り線）
22	常滑高架橋	55	柴川橋（下り線）
23	鞍ケ池第二橋下り	56	板山橋
24	安家ほたる橋	57	長瀬線橋りょう
25	温海川橋	58	竹田第3工区ＰＣ桁工事
26	門崎橋	59	大北高架橋
27	叶道橋	60	三和橋
28	大湯12号橋	61	甘川水川橋
29	滝谷川橋	62	平野高架橋
30	芦倉橋	63	桜岱高架橋
31	兵道高架橋	64	中ノ郷第二高架橋
32	松森高架橋	65	中ノ郷第四高架橋
33	新阿武隈川橋	66	錐ヶ瀧橋

1.3.2 調査結果の整理

結果の整理に際しては、ある発注機関の事例に性能指標または性能照査方法に偏りがあることが懸念されたため、国土交通省直轄及び自治体の発注事例のみの集約と各公団（当時）発注事例を含む集約の両者を併記して表わすこととして、傾向分析の手掛かりとした。これは、各公団発注事例がＰＣ専業者による詳細設計を伴った事例であって、設計会社が行った事例と差異がある可能性もあることに配慮したことによる。尚、調査項目によっては、「対象外」や「無回答」があるため、個別のデータ整理・分析結果には、有効回答数が異なるものがあることを付記する。

(1) 受注時の設計内容について

「分類要素」	受注時の設計内容について
「アンケート項目」	発注者
「統計表」	有効データ全数 構成要素 / 件数 / 比率 国交省 17 26% 県 10 15% 市 2 3% 公団 37 56% 合計 66 100%
「統計図」	
「解説」	収集されたデータは、半数以上が公団（当時）発注であり、国交省と自治体を合わせても半数以下である。 尚、公団のうち阪神高速道路公団は、1件である。

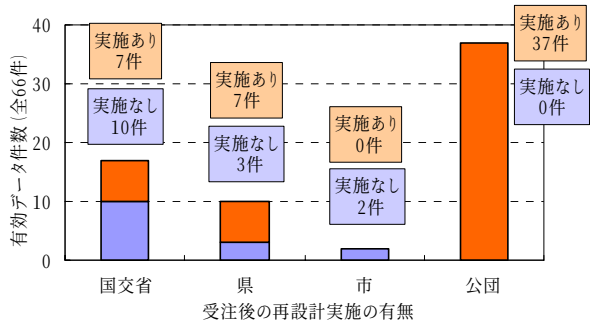
「分類要素」	受注時の設計内容について
「アンケート項目」	受注後の再設計実施の有無

「統計表」

構成要素	再設計実施あり 件数	比率	再設計実施なし 件数	比率	比率合計
国交省	7	24%	10	34%	
県	7	24%	3	10%	100%
市	0	0%	2	7%	
公団	37	100%	0	0%	100%
	合計 51		合計 15		

※ここでの比率は、「国交省および自治体」と「公団」とに集計を分け、それぞれの全数に対する比率を示す。

「統計図」



「解説」

設計会社によって詳細設計が行われている「国交省および自治体」の事例の約半数（48%）が、工事受注後に何らかの再設計が行われている。 具体的には、以下の設計が上げられた。

・全般にわたって再設計	1件	・下床版腹圧の検討	3件
・外ケーブル定着部の設計	9件	・ストラット構造の検討	1件
・外ケーブル偏向部の設計	5件	・支承構造の再検討	1件
・内ケーブル定着部の設計	3件		

※1事例1件ではなく、複数回答がある。

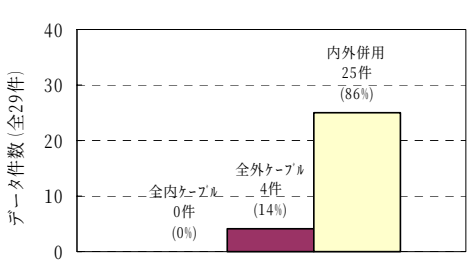
「分類要素」	受注時の設計内容について
「アンケート項目」	発注時ケーブル構造

「統計表」

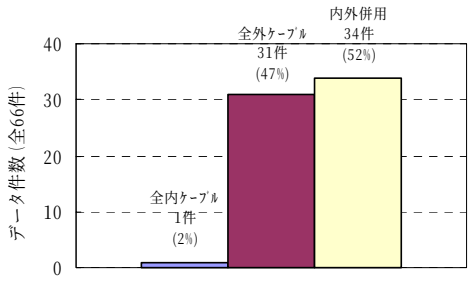
構成要素	国交省および自治体 件数	比率	有効データ全数 件数	比率
全内ｹｰﾌﾞﾙ	0	0%	1	2%
全外ｹｰﾌﾞﾙ	4	14%	31	47%
内外併用	25	86%	34	52%
	29	100%	66	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

「国交省および自治体」の事例では、「内外併用」構造が多数を占めていることがわかる。また、公団の事例では、「全外ｹｰﾌﾞﾙ」構造の発注が多く、調査当時の動向が窺える。

(2) 橋梁概要について

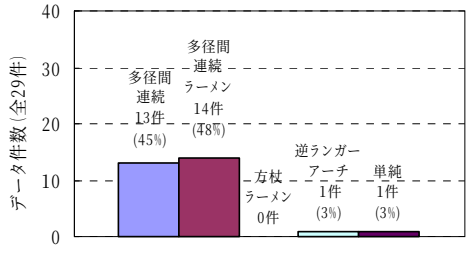
「分類要素」	橋梁概要について
「アンケート項目」	橋梁構造

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
多径間連続	13	45%	32	48%
多径間連続ラーメン	14	48%	31	47%
方杖ラーメン	0	0%	1	2%
逆ランガーアーチ	1	3%	1	2%
単純	1	3%	1	2%
合計	29	100%	66	100%

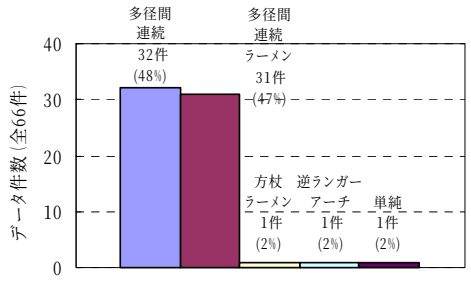
「統計図」

国交省および自治体



橋梁構造（国・自治体のみ）

有効データ全数



橋梁構造（全数）

「解説」 いずれの統計図においても、90数%以上が「多径間連続」および「多径間連続ラーメン」構造であり、両者の比率はほぼ同程度である。また、単純桁構造の事例が希少であることがわかる。

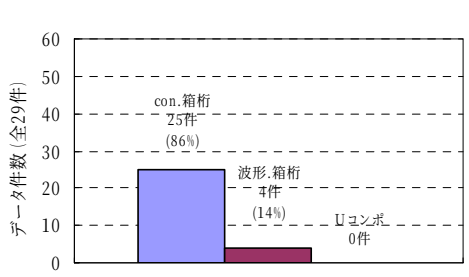
「分類要素」	橋梁概要について
「アンケート項目」	ウェブ構造・主桁断面形状

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
con.箱桁	25	86%	49	74%
波形.箱桁	4	14%	16	24%
Uコンポ	0	0%	1	2%
合計	29	100%	66	100%

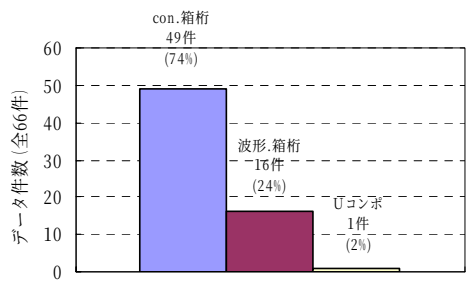
「統計図」

国交省および自治体



ウェブ構造・断面形状（国・自治体のみ）

有効データ全数



ウェブ構造・断面形状（全数）

「解説」 「国交省および自治体」の事例では、「コンクリートウェブ」構造が多数を占めていることがわかる。また、公団の事例では、公団のみの件数の30数%が「波形鋼板ウェブ」構造を採用している。

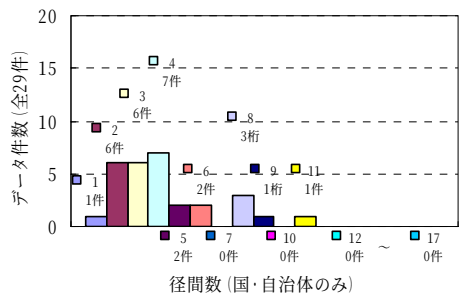
「分類要素」	橋梁概要について
「アンケート項目」	径間数

「統計表」

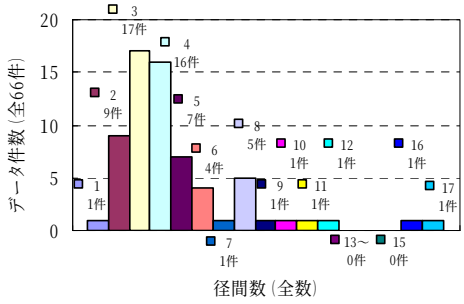
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
1径間	1	3%	1	2%
2径間	6	21%	9	14%
3径間	6	21%	17	26%
4径間	7	24%	16	24%
5径間	2	7%	7	11%
6径間	2	7%	4	6%
7径間	0	0%	1	2%
8径間	3	10%	5	8%
9径間	1	3%	1	2%
10径間	0	0%	1	2%
11径間	1	3%	1	2%
12径間	0	0%	1	2%
13径間	0	0%	0	0%
14径間	0	0%	0	0%
15径間	0	0%	0	0%
16径間	0	0%	1	2%
17径間	0	0%	1	2%
合計	29	100%	66	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

収集されたデータは、2～4径間が、60数%を占めている。尚、10径間以上では、連結PCUコンポ橋ガーダー架設（10径間）、波形鋼板ウエブ箱桁橋張出し架設（16径間）、2主箱桁橋（ﾌﾟﾚｷｬｽﾄｾｸﾞﾒﾝﾄ桁）ｽﾊﾟﾝﾊﾞｲｽﾊﾟﾝ架設（17径間）がある。

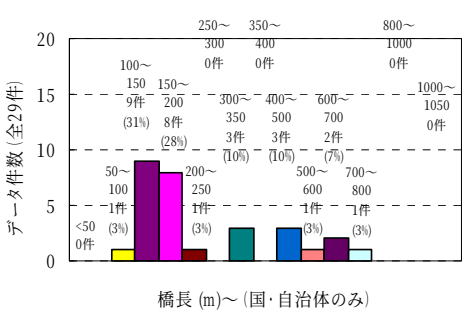
「分類要素」	橋梁概要について
「アンケート項目」	橋長

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
1000～1050 (m)	0	0%	1	2%
900～1000	0	0%	0	0%
800～900	0	0%	0	0%
700～800	1	3%	1	2%
600～700	2	7%	3	5%
500～600	1	3%	3	5%
400～500	3	10%	5	8%
350～400	0	0%	5	8%
300～350	3	10%	5	8%
250～300	0	0%	6	9%
200～250	1	3%	9	14%
150～200	8	28%	14	21%
100～150	9	31%	10	15%
50～100	1	3%	4	6%
<50	0	0%	0	0%
	合計 29	100%	合計 66	100%

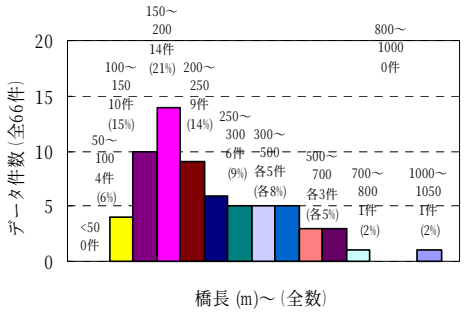
「統計図」

国交省および自治体



橋長 (m)～（国・自治体のみ）

有効データ全数



橋長 (m)～（全数）

「解説」

「国交省および自治体」の事例では、「100～200m」の範囲に約60%の橋梁が分布している。

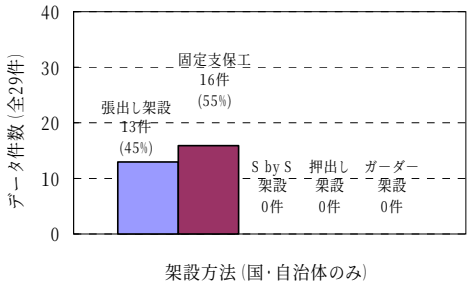
「分類要素」	橋梁概要について
「アンケート項目」	架設方法

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
張出し架設	13	45%	35	53%
固定支保工	16	55%	28	42%
S by S 架設	0	0%	1	2%
押出し架設	0	0%	1	2%
ガーダー架設	0	0%	1	2%
合計	29	100%	66	100%

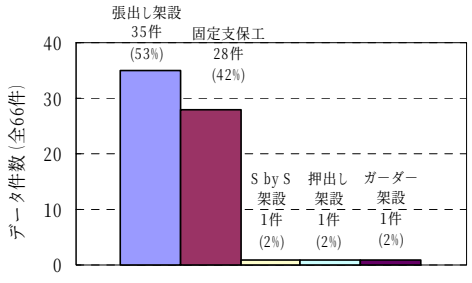
「統計図」

国交省および自治体



架設方法（国・自治体のみ）

有効データ全数

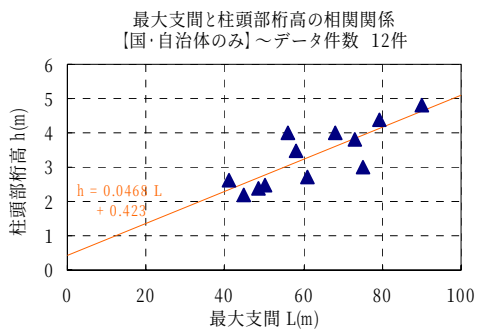


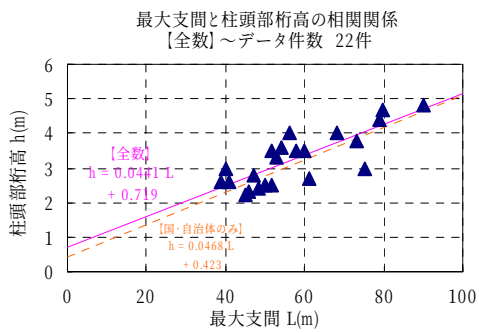
架設方法（全数）

「解説」

比較的橋長が長い件数が多い「公団」の事例では、固定支保工よりも張出し架設が多い。尚、ｽﾊﾟﾝﾊﾞｲｽﾊﾟﾝ架設はﾌﾟﾚｷｬｽﾄｾｸﾞﾒﾝﾄ橋、押出し工法は4径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋、ガーダー架設は連結ＰＣＵコンポ橋を表している。

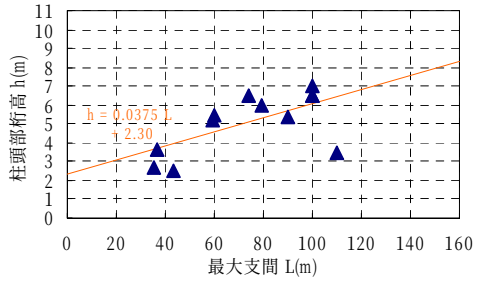
「分類要素」	橋梁概要について
「アンケート項目」	橋梁形式、ウェブ構造、支間割、桁高（柱頭部）
「相関要素」	橋梁形式：**多径間連続**　　桁高：**柱頭部** ウェブ構造：**コンクリートウェブ**
「統計図」	国交省および自治体 / 有効データ全数

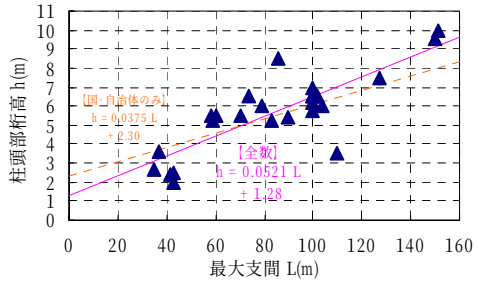




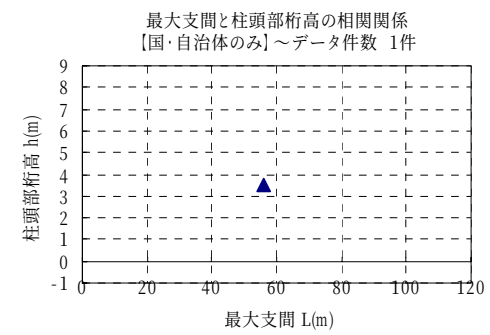
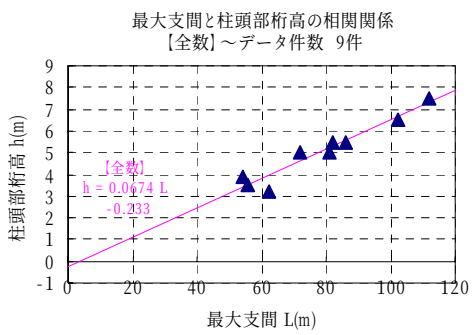
「解説」	コンクリートウェブにおける多径間連続形式を抽出すると、「国交省および自治体」の事例のみの場合と「全数」の場合とでは、データ分布に偏りは見受けられない。

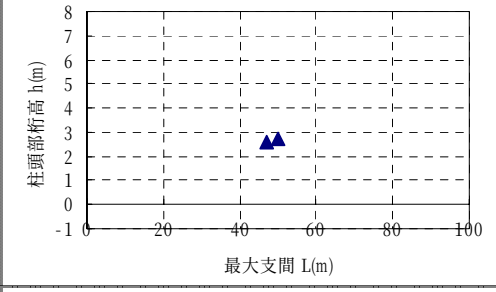
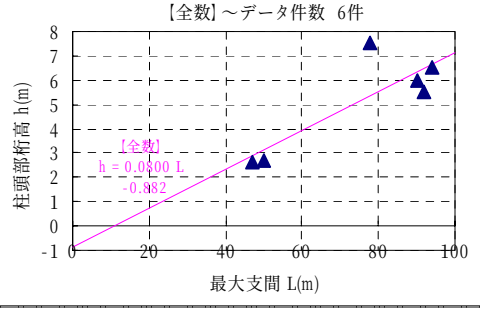
「分類要素」	橋梁概要について
「アンケート項目」	橋梁形式、ウェブ構造、支間割、桁高（柱頭部）
「相関要素」	橋梁形式：**連続ラーメン**　　桁高：**柱頭部** ウェブ構造：**コンクリートウェブ**
「統計図」	国交省および自治体 / 有効データ全数



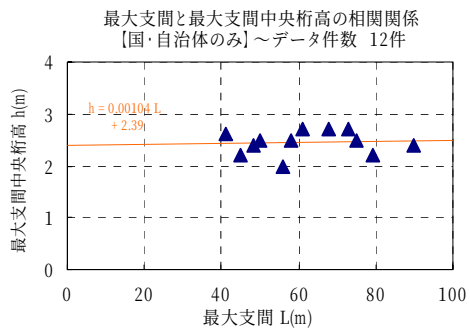


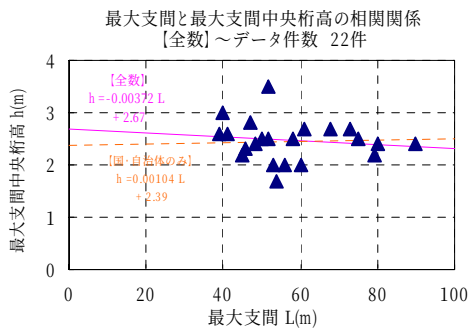
「解説」	コンクリートウェブにおける連続ラーメン形式を抽出すると、「国交省および自治体」の事例のみの場合と「全数」の場合とでは、近似関数に若干の傾きの差異があるものの、１００m程度までの支間の範囲内では大差がない。

「分類要素」	橋梁概要について	
「アンケート項目」	橋梁形式、ウェブ構造、支間割、桁高（柱頭部）	
「相関要素」	橋梁形式：　**多径間連続**　　桁高：　**柱頭部** ウェブ構造：　**波形鋼板ウェブ**	
「統計図」	国交省および自治体	有効データ全数
		
「解説」	波形鋼板ウェブにおける多径間連続形式の「国交省および自治体」の事例 1件 は、2径間連続の固定支保工の事例である。また、「全数」表記の７０ｍを越える支間の事例は、すべて張出し架設の事例を表している。	

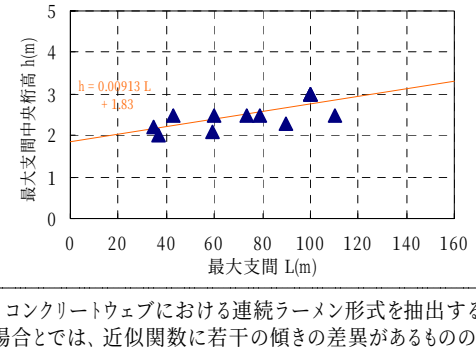
「分類要素」	橋梁概要について	
「アンケート項目」	橋梁形式、ウェブ構造、支間割、桁高（柱頭部）	
「相関要素」	橋梁形式：　**連続ラーメン**　　桁高：　**柱頭部** ウェブ構造：　**波形鋼板ウェブ**	
「統計図」	国交省および自治体	有効データ全数
		
「解説」	波形鋼板ウェブにおける連続ラーメン形式の「国交省および自治体」の事例 2件 は、固定支保工の事例である。また、「全数」表記の７０ｍを越える支間の事例 4件 は、すべて張出し架設の事例を表している。	

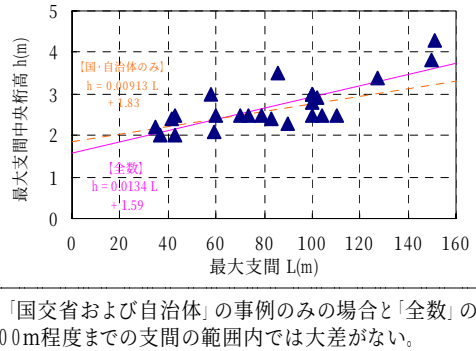
「分類要素」	橋梁概要について
「アンケート項目」	橋梁形式、ウェブ構造、支間割、桁高（最大支間中央）
「相関要素」	橋梁形式：　**多径間連続**　　桁高：　**最大支間中央** ウェブ構造：　**コンクリートウェブ**
「統計図」	国交省および自治体 / 有効データ全数
「解説」	コンクリートウェブにおける多径間連続形式を抽出すると、「国交省および自治体」の事例のみの場合と「全数」の場合とでは、データ分布に偏りは見受けられない。また、必ずしも支間の程度との相関関係が明確でないことが見て取れる。

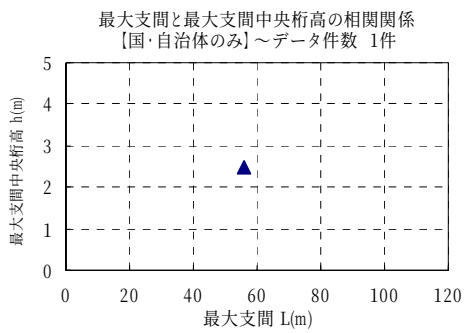
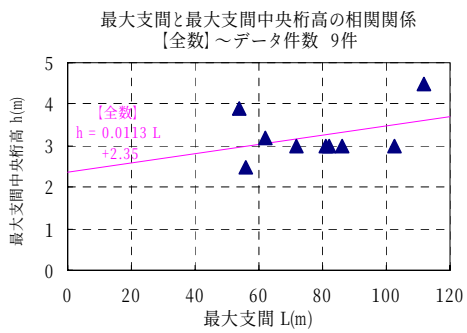


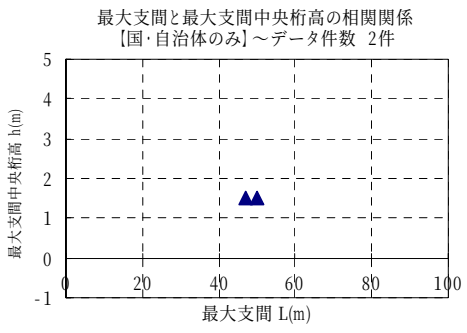
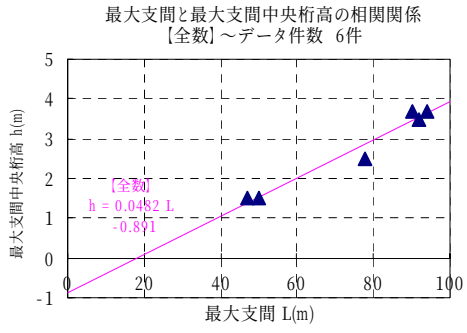


「分類要素」	橋梁概要について
「アンケート項目」	橋梁形式、ウェブ構造、支間割、桁高（最大支間中央）
「相関要素」	橋梁形式：　**連続ラーメン**　　桁高：　**最大支間中央** ウェブ構造：　**コンクリートウェブ**
「統計図」	国交省および自治体 / 有効データ全数
「解説」	コンクリートウェブにおける連続ラーメン形式を抽出すると、「国交省および自治体」の事例のみの場合と「全数」の場合とでは、近似関数に若干の傾きの差異があるものの、１００m程度までの支間の範囲内では大差がない。





「分類要素」	橋梁概要について	
「アンケート項目」	橋梁形式、ウェブ構造、支間割、桁高（最大支間中央）	
「相関要素」	橋梁形式：　**多径間連続**　　桁高：　**最大支間中央** ウェブ構造：　**波形鋼板ウェブ**	
「統計図」	国交省および自治体	有効データ全数
		
「解説」	波形鋼板ウェブにおける多径間連続形式の「国交省および自治体」の事例 1件 は、2径間連続の固定支保工の事例である。また、「全数」表記の70mを越える支間の事例は、すべて張出し架設の事例を表している。	

「分類要素」	橋梁概要について	
「アンケート項目」	橋梁形式、ウェブ構造、支間割、桁高（最大支間中央）	
「相関要素」	橋梁形式：　**連続ラーメン**　　桁高：　**最大支間中央** ウェブ構造：　**波形鋼板ウェブ**	
「統計図」	国交省および自治体	有効データ全数
		
「解説」	波形鋼板ウェブにおける連続ラーメン形式の「国交省および自治体」の事例 2件 は、固定支保工の事例である。また、「全数」表記の70mを越える支間の事例 4件 は、すべて張出し架設の事例を表している。	

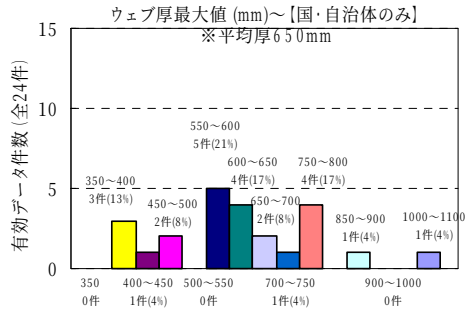
「分類要素」	**橋梁概要について**
「アンケート項目」	**ウェブ構造**
「抽出要素」	ウェブ構造：**コンクリートウェブ**　　ウェブ厚：**最大値**

「統計表」

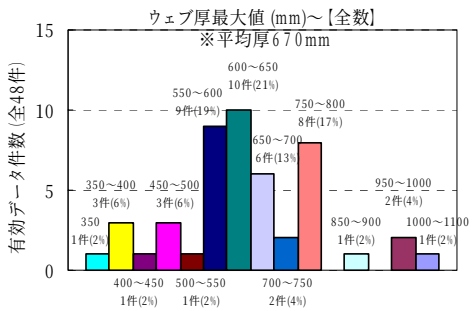
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
1000～1100	1	4%	1	2%
950～1000	0	0%	2	4%
900～950	0	0%	0	0%
850～900	1	4%	1	2%
800～850	0	0%	0	0%
750～800	4	17%	8	17%
700～750	1	4%	2	4%
650～700	2	8%	6	13%
600～650	4	17%	10	21%
550～600	5	21%	9	19%
500～550	0	0%	1	2%
450～500	2	8%	3	6%
400～450	1	4%	1	2%
350～400	3	13%	3	6%
350	0	0%	1	2%
合計	24	100%	48	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

コンクリートウェブ厚の最大値は、550～800mmの範囲に全体の約7割が分布している。

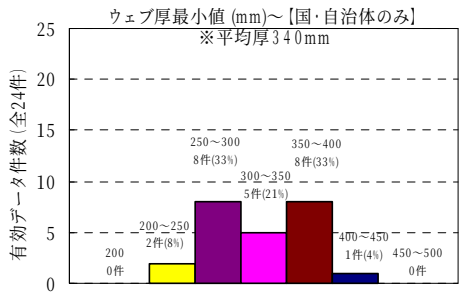
「分類要素」	橋梁概要について
「アンケート項目」	ウェブ構造
「抽出要素」	ウェブ構造：**コンクリートウェブ**　　ウェブ厚：**最小値**

「統計表」

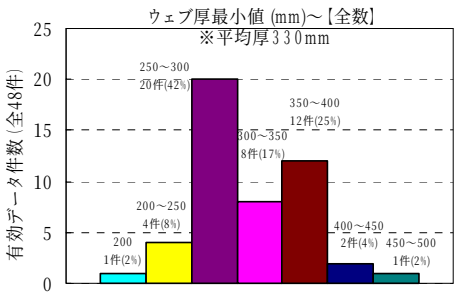
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
450～500	0	0%	1	2%
400～450	1	4%	2	4%
350～400	8	33%	12	25%
300～350	5	21%	8	17%
250～300	8	33%	20	42%
200～250	2	8%	4	8%
200	0	0%	1	2%
合計	24	100%	48	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」	コンクリートウェブ厚の最小値は、250～400mmの範囲にそれぞれの集計において80%以上が分布している。

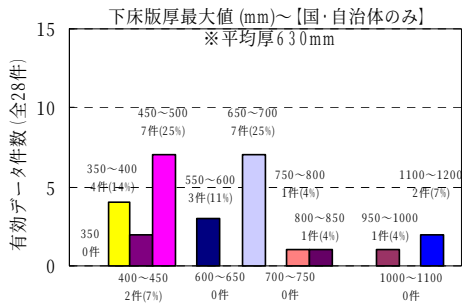
「分類要素」	**橋梁概要について**
「アンケート項目」	**下床版構造**
「抽出要素」	下床版厚：**最大値**

「統計表」

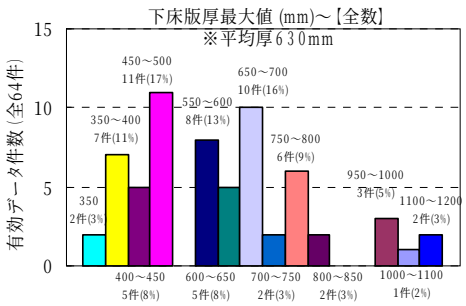
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
1100～1200	2	7%	2	3%
1000～1100	0	0%	1	2%
950～1000	1	4%	3	5%
900～950	0	0%	0	0%
850～900	0	0%	0	0%
800～850	1	4%	2	3%
750～800	1	4%	6	9%
700～750	0	0%	2	3%
650～700	7	25%	10	16%
600～650	0	0%	5	8%
550～600	3	11%	8	13%
500～550	0	0%	0	0%
450～500	7	25%	11	17%
400～450	2	7%	5	8%
350～400	4	14%	7	11%
350	0	0%	2	3%
合計	28	100%	64	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」	下床版厚最大値の平均厚は、いずれのケースにおいても630mmであり、特定の範囲に偏らずに分布している。

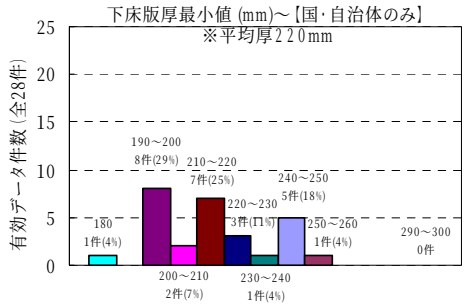
「分類要素」	**橋梁概要について**
「アンケート項目」	**下床版構造**
「抽出要素」	下床版厚：**最小値**

「統計表」

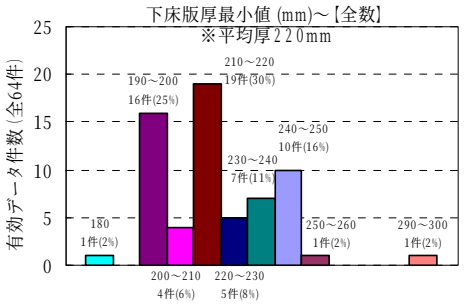
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
290～300	0	0%	1	2%
280～290	0	0%	0	0%
270～280	0	0%	0	0%
260～270	0	0%	0	0%
250～260	1	4%	1	2%
240～250	5	18%	10	16%
230～240	1	4%	7	11%
220～230	3	11%	5	8%
210～220	7	25%	19	30%
200～210	2	7%	4	6%
190～200	8	29%	16	25%
180～190	0	0%	0	0%
180	1	4%	1	2%
	合計 28	100%	合計 64	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」 下床版厚最小値の平均厚は、いずれのケースにおいても220mmであり、分布の傾向は類似している。

(3) 計画と実績について

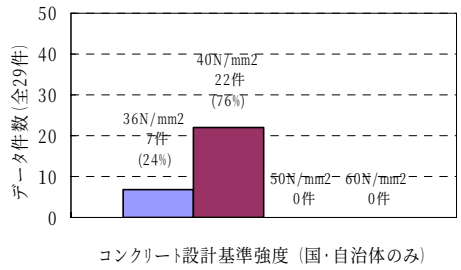
「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	コンクリート設計基準強度

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
36 N/mm2	7	24%	17	26%
40 N/mm2	22	76%	45	68%
50 N/mm2	0	0%	2	3%
60 N/mm2	0	0%	2	3%
合計	29	100%	66	100%

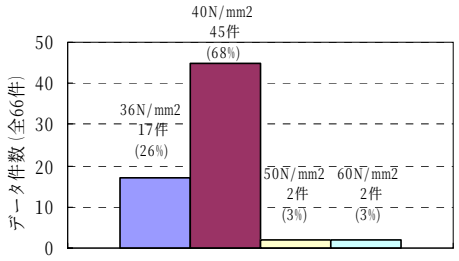
「統計図」

国交省および自治体



コンクリート設計基準強度（国・自治体のみ）

有効データ全数



コンクリート設計基準強度（全数）

「解説」

比較的張出し架設の事例が多いため、コンクリート設計基準強度は 40N/mm2 が多い。尚、50N/mm2 の事例は、軽量コンクリートを採用した固定支保工の3径間連続ラーメン箱桁橋と連結PCUコンポ橋を、60N/mm2 の事例は、ｽﾊﾟﾝﾊﾞｲｽﾊﾟﾝ架設のﾌﾟﾚｷｬｽﾄｾｸﾞﾒﾝﾄ橋と押出し工法の4径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋を表している。

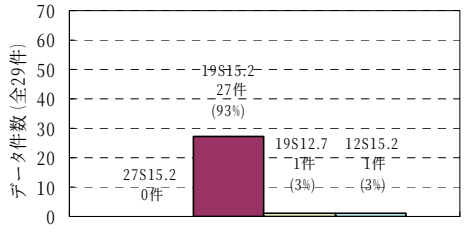
「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	PC鋼材の種別（外ケーブル）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
27S15.2	0	0%	2	3%
19S15.2	27	93%	60	87%
19S12.7	1	3%	1	1%
12S15.2	1	3%	6	9%
合計	29	100%	69	100%

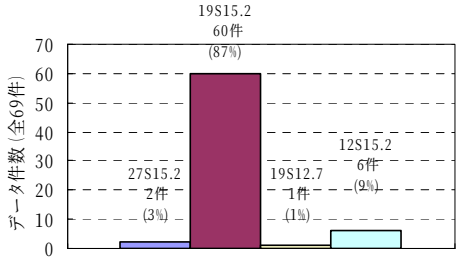
「統計図」

国交省および自治体



PC鋼材の種別（外ｹｰﾌﾞﾙ）～（国・自治体のみ）

有効データ全数



PC鋼材の種別（外ｹｰﾌﾞﾙ）～（全数）

「解説」

採用された外ケーブルの種別は、90%程度が 19S15.2mm である。尚、27S15.2mm の2件の採用事例は、3径間の不等径間（35.0+77.0+86.0）連続ラーメン橋と押出し工法による連続桁を表している。

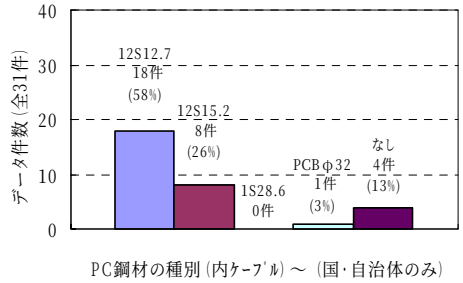
「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	PC鋼材の種別（内ケーブル）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
12S12.7	18	58%	19	28%
12S15.2	8	26%	11	16%
1S28.6	0	0%	3	4%
PCBφ32	1	3%	1	1%
なし	4	13%	34	50%
合計	31	100%	68	100%

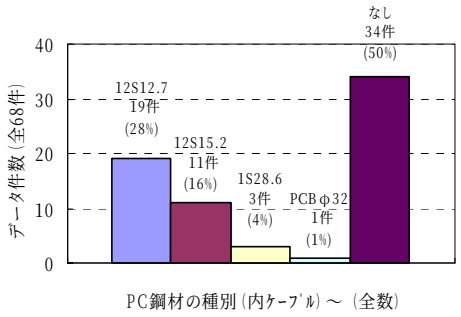
「統計図」

国交省および自治体



PC鋼材の種別（内ｹｰﾌﾞﾙ）～（国・自治体のみ）

有効データ全数



PC鋼材の種別（内ｹｰﾌﾞﾙ）～（全数）

「解説」

採用された内ケーブルの種別毎の件数は、両集計ともほとんど差がない。これは公団の事例の多くが、「全外ｹｰﾌﾞﾙ」構造であることを表しており、調査当時の動向が窺える。

「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	内外併用の場合の比率設定方法

「統計表」

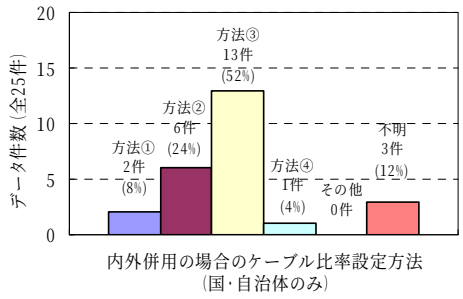
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
方法①	2	8%	4	12%
方法②	6	24%	7	21%
方法③	13	52%	15	45%
方法④	1	4%	2	6%
その他	0	0%	1	3%
不明	3	12%	4	12%
	合計 25	100%	合計 33	100%

凡例

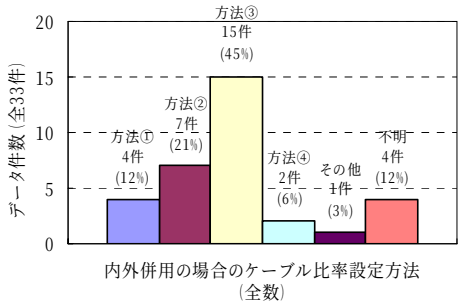
方法①～外ｹｰﾌﾞﾙを配置可能な範囲で最大限配置し、不足分を内ｹｰﾌﾞﾙとして配置
方法②～死荷重分を内ｹｰﾌﾞﾙ、活荷重分を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置
方法③～架設時に必要な分を内ｹｰﾌﾞﾙ、その他を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置
方法④～上下床版のみに内ｹｰﾌﾞﾙ、その他を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置
その他の方法
→内ｹｰﾌﾞﾙを配置可能な範囲で最大限配置し、不足分を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置～1件

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

両集計の事例件数に大差がないものの、内外併用の比率設定方法には、発注機関に対する顕著な偏りは見受けられない。

「分類要素」	**計画と実績について**
「アンケート項目」	**内外併用の場合の比率設定方法**
「抽出要素」	ケーブル構造：**内外併用**　　架設方法：**張出し架設、固定支保工**

「統計表」

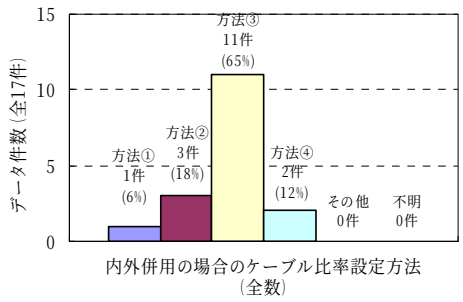
構成要素	張出し架設のみ 件数	比率	固定支保工のみ 件数	比率
方法①	1	6%	3	19%
方法②	3	18%	4	25%
方法③	11	65%	4	25%
方法④	2	12%	0	0%
その他	0	0%	1	6%
不明	0	0%	4	25%
合計	17	100%	16	100%

凡例

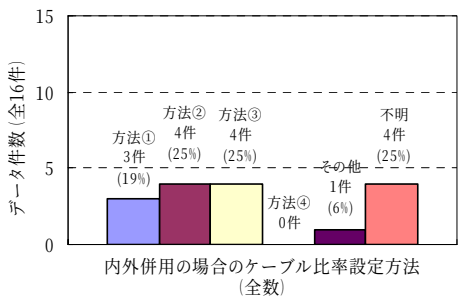
方法①～外ｹｰﾌﾞﾙを配置可能な範囲で最大限配置し、不足分を内ｹｰﾌﾞﾙとして配置
方法②～死荷重分を内ｹｰﾌﾞﾙ、活荷重分を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置
方法③～架設時に必要な分を内ｹｰﾌﾞﾙ、その他を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置
方法④～上下床版のみに内ｹｰﾌﾞﾙ、その他を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置
その他の方法
→内ｹｰﾌﾞﾙを配置可能な範囲で最大限配置し、不足分を外ｹｰﾌﾞﾙとして配置～1件

「統計図」

張出し架設のみの抽出

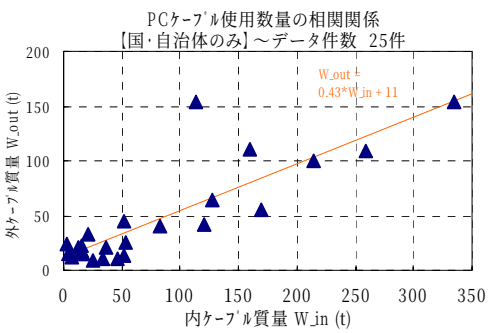


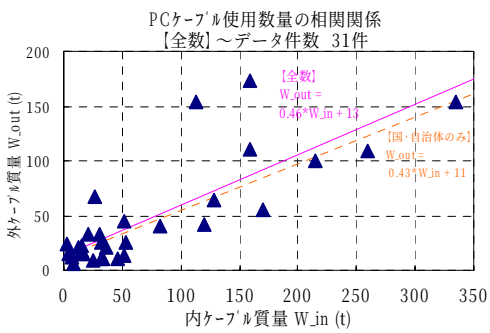
固定支保工のみの抽出



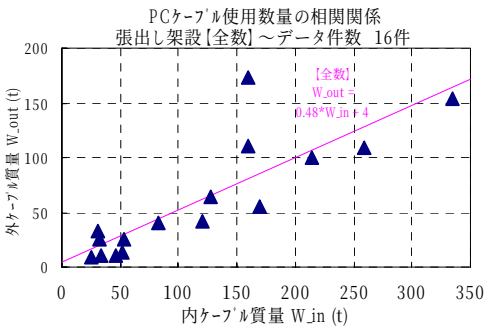
「解説」	架設工法に着目した取りまとめでは、張出し架設では特徴的な比率設定方法が卓越している一方、固定支保工では設定方法にばらつきがある。

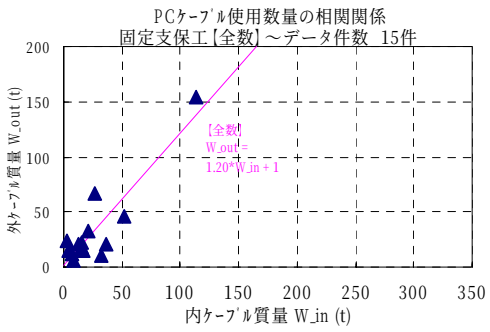
「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	使用数量（外ケーブル,内ケーブル）、外/内ケーブル比率
「抽出要素」	ケーブル構造：内外併用 使用数量：外ケーブル質量 、 内ケーブル質量
「統計図」	国交省および自治体 / 有効データ全数
「解説」	両集計の事例件数に大差がないものの、外/内ケーブル使用数量の比率には、発注機関に対する顕著な偏りは見受けられない。



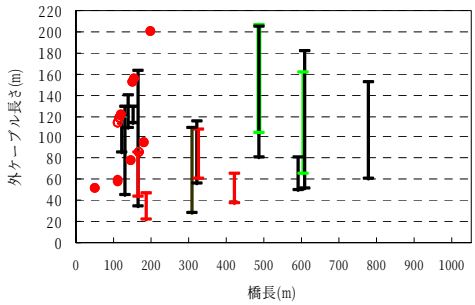


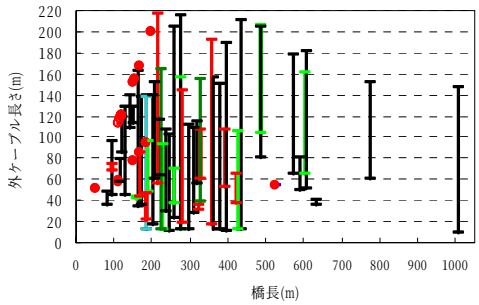
「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	使用数量（外ケーブル,内ケーブル）、外/内ケーブル比率
「抽出要素」	ケーブル構造：内外併用　架設方法：張出し架設、固定支保工 使用数量：外ケーブル質量 、 内ケーブル質量
「統計図」	張出し架設のみの抽出 / 固定支保工のみの抽出
「解説」	架設工法に着目した相関では、固定支保工にはデータに特異点を含むものの、張出し架設と比較して、内ケーブルに対する外ケーブル使用数量の比率が高くなる傾向がある。





「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	橋長、外ケーブルの最大長･最小長
「抽出要素」	**橋長** 外ケーブル長：　**最小長**　～　**最大長**
「統計図」	国交省および自治体 / 有効データ全数

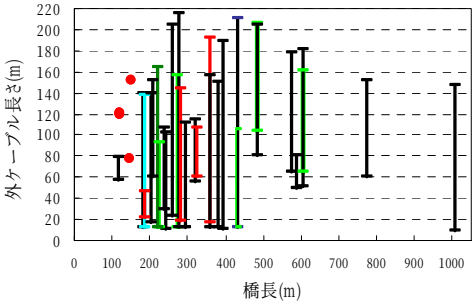


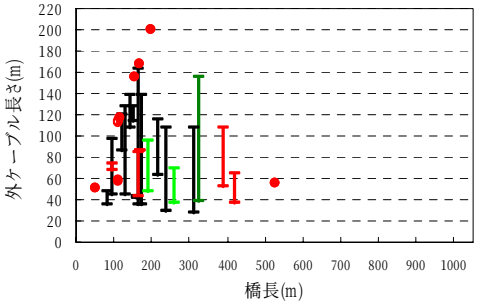


※注釈
- 縦軸方向に延びるバーは、外ケーブルの最小長から最大長の範囲を表す。
- 丸印は、外ケーブル長さが一定の意味を表す。
- 色の識別は、近接するデータとの見分けを付けるためのものであり、何かのグルーピングを示すものではない。

「解説」	収集された事例では、外ケーブルの使用される範囲は、10数mから220m程度までの範囲であることがわかる。

「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	橋長、外ケーブルの最大長･最小長
「抽出要素」	**橋長**　架設方法：**張出し架設、固定支保工** 外ケーブル長：　**最小長**　～　**最大長**
「統計図」	張出し架設のみの抽出 / 固定支保工のみの抽出





※注釈
- 縦軸方向に延びるバーは、外ケーブルの最小長から最大長の範囲を表す。
- 丸印は、外ケーブル長さが一定の意味を表す。
- 色の識別は、近接するデータとの見分けを付けるためのものであり、何かのグルーピングを示すものではない。

「解説」	架設工法に着目した取りまとめでは、外ケーブルの最大長は両集計ともに200m程度まで使用され類似しているが、最小長は張出し架設では10数m、固定支保工では30m弱であり、各架設工法の特徴が出ている。

「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	外ケーブル構造の採用に当たって実施した事前検討の内容

「統計表」

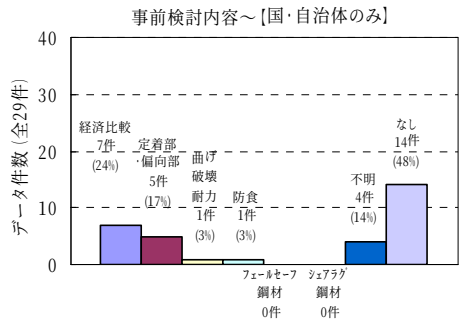
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
経済比較	7	24%	12	18%
定着部･偏向部	5	17%	22	33%
曲げ破壊耐力	1	3%	2	3%
防食	1	3%	4	6%
ﾌｪｰﾙｾｰﾌ鋼材	0	0%	1	2%
ｼｪｱﾗｸﾞ鋼材	0	0%	1	2%
不明	4	14%	4	6%
なし	14	48%	31	47%

国交省および自治体の事例件数	本調査事例の全件数
～ 29 件	～ 66 件

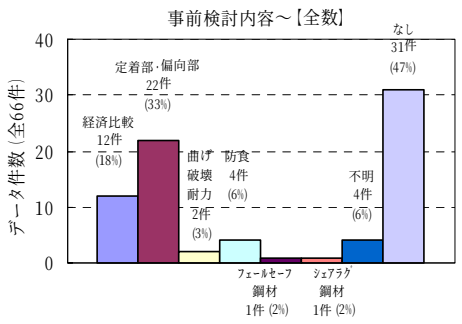
※1事例1件ではなく、複数回答がある。
※ここでの比率は、各物件事例件数に対する比率を表す。

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

両集計共に、約半数は外ケーブル構造の採用に当たっての事前検討は行われていないものの、2～3割程度は定着部や偏向部の事前検討を行っている。

「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	外ケーブル構造を採用した場合の経済比較結果

「統計表」

【経済比較検討回答数】

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
回答あり	6	21%	12	18%
回答なし	23	79%	54	82%
合計	29	100%	66	100%

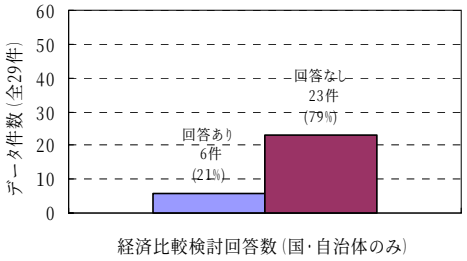
【経済効果】

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
工費増	0	0%	4	33%
工費減	6	100%	8	67%
合計	6	100%	12	100%

「統計図」

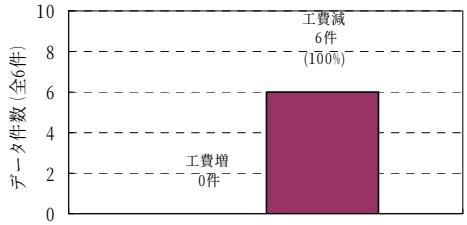
国交省および自治体

【経済比較検討回答数】



経済比較検討回答数（国・自治体のみ）

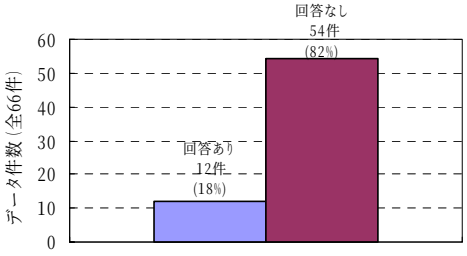
【経済効果】



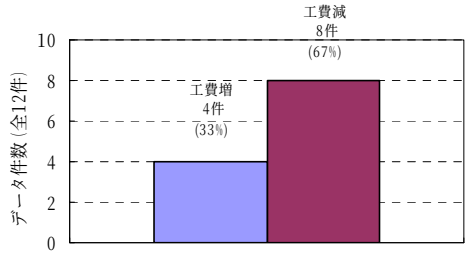
経済効果（国・自治体のみ）

※工費減の回答では、全内ケーブルに対して1%～10%の範囲でコスト縮減効果が図られている。
尚、いずれも採用は、内外併用構造を示す。

有効データ全数



経済比較検討回答数（全数）



経済効果（全数）

※公団の事例のみの回答は、以下の通り。
「工費減」：（全外）→（内外）～10%減
（全内）→（全外）～ 3%減

「工費増」：※いずれも採用は全外構造
（全内）→4、9、30%増
（内外併用）→Con.V～15%増

「解説」

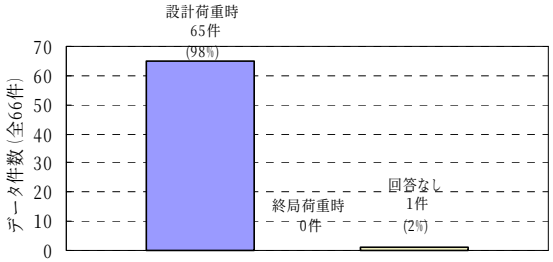
外ケーブル構造を採用した場合の経済比較について回答が得られたのは約2割程度である。経済効果について特徴的なのは、工費減となった多くが全内ケーブル構造から内外併用構造に変更することであり、必ずしも全てを外ケーブル構造とすること（全外ケーブル構造）が経済的とはいえないことがわかる。

「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	PC鋼材本数の決定された荷重状態

「統計表」

構成要素	有効データ全数 件数	比率
設計荷重時	65	98%
終局荷重時	0	0%
回答なし	1	2%
合計	66	100%

「統計図」



PC鋼材決定時の荷重状態

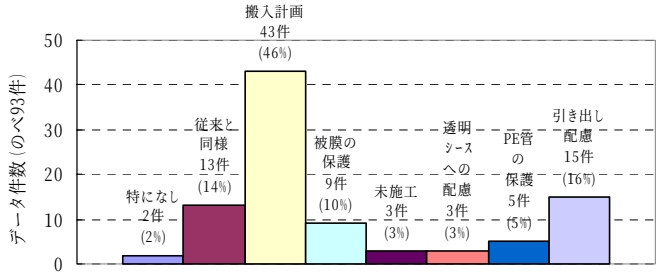
「解説」 PC鋼材の本数は、ほぼ全数の事例において「設計荷重時」により決定され、「終局荷重時」の照査を満足していることがわかる。

「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	現場での外ケーブルの保管・管理方法および特に配慮した事項

「統計表」

構成要素	有効データ全数 件数	比率
特になし	2	2%
従来と同様	13	14%
搬入計画	43	46%
被膜の保護	9	10%
未施工	3	3%
透明シースへの配慮	3	3%
PE管の保護	5	5%
引き出し配慮	15	16%
合計	93	100%

「統計図」



現場での外ｹｰﾌﾞﾙの保管・管理方法 および特に配慮した事項

「解説」 約半数の事例において施工工程に合わせた搬入計画を実施しており、合わせて、保管時や施工時に想定される不具合に対する何らかの配慮がなされていることがわかる。

「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	外ケーブル構造の施工上の問題点とその対策（1／2）
（その1） 緊張ジャッキ及びPCケーブルに関する事柄	・ケーブル形状が箱桁内で平面的に変化する（MAX4．5度）ため、施工性が悪い。 ・緊張ジャッキが650キロと重いため、ジャッキ受台を製作して緊張を行う予定。 ・桁端部のPC鋼線定着部が外気に触れるため、定着隠しコンクリートを施工予定。 ・緊張ジャッキの箱桁内部の移動の為に、施工性を重視し、隔壁部横桁の形状を変更して施工した。 ・外ケーブルと添架物（通信管、排水管等）干渉防止の検討が必要である。 ・桁内部の緊張ジャッキの取り回しに時間がかかる。 ・緊張後のケーブルの張りを考慮して、少したるみをもたせて外ケーブル受け台を設置した。 ・エポ被覆鋼材であるため、挿入時に傷が付かないように、支保工にて棚筋を作成後、養生マットにてケーブル養生を行った。 ・外ケーブル緊張前の配置はケーブルが保持されていないため、鋼管等で棚を作り、これを保持した。 ・問題点：PC鋼より線のねじれ、定着具のずれ　→対策：番号を鋼線につけて管理した。 ・防錆被覆を傷つけないように、シートを使用して保護しながら挿入した。 ・グラウト重量により垂れ下がりを生じることがあるため、支持台間隔を密に配置した。 ・ケーブル挿入時における鋼材の品質維持管理が重要である。 ・柱頭部定着のときなど、緊張ジャッキが重過ぎて設置が困難である。
（その2） シースに関する事柄	・PE管接続箇所のグラウト漏れ防止に、3層の接続構造を施した。 ・PE管の接続に多大な労力と金額が必要（ｸﾞﾗｳﾄ注入ﾀｲﾌﾟのため）である。 ・寒冷地なため、透明シースに巻き癖がつかない様に、定尺のものを採用した。 ・PE管の溶接に時間がかかった。 ・PE管の溶接方法は、FC方式と熱収縮方式と2種類行ったが、グラウト注入時に接続部から漏れてくるところも有り、補強に時間がかかった。 ・緊張によるPE管の移動が考えられたため、摩擦抵抗を上げる目的として鋼製バンドでPE管を仮固定しながら緊張を行い、接続は後施工の熱収縮を採用した。 ・PE管の接続は、バッド融着工法とEFジョイントを採用した。（グラウト漏れはなかった。） ・グラウト施工後の透明シース内の気泡に再注入する際の規格基準を発注者より求められた。再注入のため透明シースを傷つけることの方が防錆によくないことを説明し、再注入はしなかった。 ・棚筋部にて、グラウト重量で透明シースが曲がるため、面で透明シースを受けた

「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	外ケーブル構造の施工上の問題点とその対策（2／2）
（その3） 偏向管 及び 貫通管 に関する事柄	・張出し施工時の貫通管の据え付けが難しい。レーザーポインタを使用するとよい。 ・曲線橋であるため、偏向管の据付精度が必要であった。 ・偏向管の据付精度が問題視され、ディアボロ管の形状を検討した。 ・定着部と偏向部に対する管配置の精度が重要である。 ・ディアボロ管は2つ割として、型枠セット後に取り付けるようにした。 ・偏向管の精度が非常に重要で、緊張前には必ず水糸を張るなどして確認を行うのが良い。 ・リブ付き床版構造であり、2.5m間隔で配置されたリブを外ケーブルが貫通するため、貫通孔のレーザー測量を実施した。 ・偏向管の固定には、堅固な架台を設け、所定の位置に設置した。 ・柱頭部において、鉄筋が密なため偏向管の位置決めが難しい。（偏向管の種類も多い） ・偏向管の据え付け精度を考慮し、最大曲げ角度に偏向管を統一した。 ・偏向管出口において、PC鋼材が接しないよう偏向管製作角度を調整した。 ・発注図面による偏向管形状が加工上現実的ではなかった。直線と2つの異なる曲げ半径で構成されたものから、直線と単Rの形状のものへ変更した。 ・平面線形を考慮した定着部･偏向部の曲げ角度を再計算し配置した。
（その4） 定着部 及び 偏向部 に関する事柄	・定着部付近のPE管と鉄筋の緩衝に注意した。 ・定着位置が箱桁上方に位置するため、緊張空間が狭く、ジャッキのセットに時間を要した。 ・定着部周りが過密配筋となり、高流動コンクリートを使用した。 ・定着位置である横桁では非常に密なケーブル配置となり、偏向頂点部にグラウト排気口が設けられなかった。そのため、グラウトの充填確認方法が問題視され、グラウト充填実験を行った。 ・グラウト注入時、定着部偏向管よりグラウト漏れが生じた。 ・張出しケーブルの定着部の補強筋が密になるので、プレキャスト化している。 ・定着突起部は過密配筋となりがちのため、従来の台形突起ではコンクリート打設の作業性が問題となる。従って、水平リブ突起に変更して、打設性および構造性を改良した。 ・定着部に偏向管が配置されるため、ラーメン部横桁の鉄筋等との取合いに難がある。 ・サイクル工程を短縮するため、架設ケーブルの定着位置を同じ位置にして、突起の形状を統一した。 ・張出し時の突起定着部の配筋が密になり、施工に時間がかかる。 ・偏向部の偏向管の種類を少なくするようにした。（曲げRの変更により） ・偏向部の鉄筋と下床版部の内ケーブルが干渉するため、内ケーブルの配置位置を変更した。 ・偏向部の配筋、下床版突起配筋、下床版ケーブルが重なり、構造が煩雑である。 ・ディアボロ管と透明シースとの間に、シース保護のため、薄いゴムシートをセットした。

「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	シェアラグ鋼材の配置（①構造）

「統計表」

【構造の有無】

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
配置あり	2	7%	21	32%
配置なし	27	93%	45	68%
合計	29	100%	66	100%

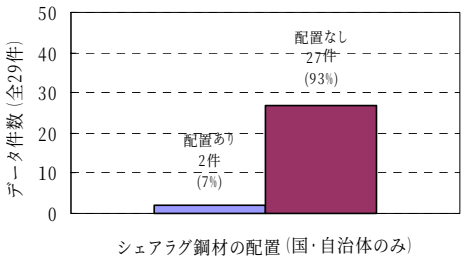
【ケーブル構造】

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
外ｹｰﾌﾞﾙ方式	0	0%	5	24%
内ｹｰﾌﾞﾙ方式	2	100%	16	76%
合計	2	100%	21	100%

「統計図」

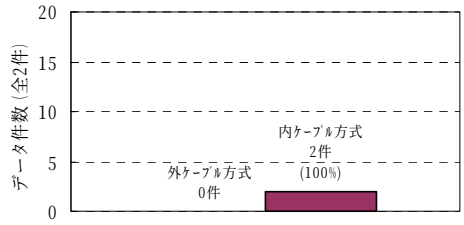
国交省および自治体

【構造の有無】



シェアラグ鋼材の配置（国・自治体のみ）

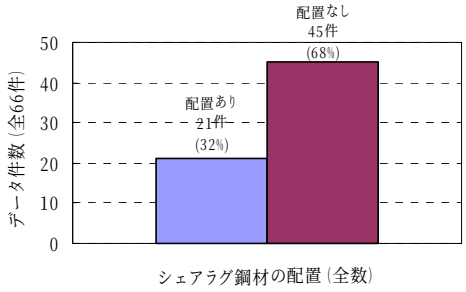
【ケーブル構造】



シェアラグ鋼材の配置（国・自治体のみ）

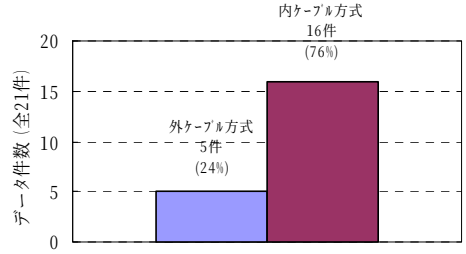
有効データ全数

【構造の有無】



シェアラグ鋼材の配置（全数）

【ケーブル構造】



シェアラグ鋼材の配置（全数）

「解説」

シェアラグ鋼材の配置は、特に公団の事例に多く、また、内ケーブル方式が多いことがわかる。統計図には表していないが、架設工法との相関をみると、張出し架設工法に多く用いられているが、3件の事例で固定支保工においても用いられている。

「分類要素」	計画と実績について
「アンケート項目」	シェアラグ鋼材の配置（②配置位置、③ＰＣ鋼材種別）

「統計表」

【②配置位置】

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
床版先端	2	100%	11	52%
床版先端下面	0	0%	3	14%
床版中央	0	0%	5	24%
床版中央下面	0	0%	1	5%
地覆(床版上面)	0	0%	1	5%
合計	2	100%	21	100%

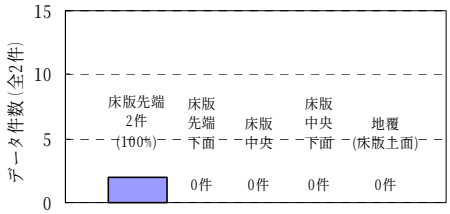
【③ＰＣ鋼材種別】

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
1S28.6	0	0%	5	24%
1S21.8(ﾌﾟﾚｸﾞﾗｳﾄﾀｲﾌﾟ)	0	0%	3	14%
1S21.8（ｽｰﾌﾟﾛ）	0	0%	1	5%
1S28.6(ﾌﾟﾚｸﾞﾗｳﾄﾀｲﾌﾟ)	0	0%	6	29%
12S12.7	1	50%	1	5%
PcBarφ32mm	1	50%	1	5%
ED-P50	0	0%	3	14%
19W7BL	0	0%	1	5%
合計	2	100%	21	100%

「統計図」

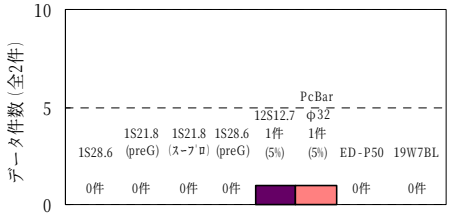
国交省および自治体

【②配置位置】



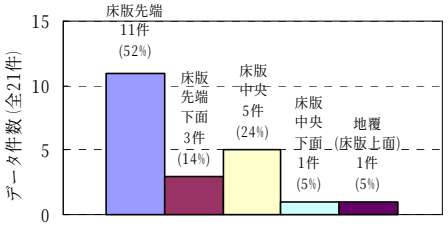
シェアラグ鋼材の配置（国・自治体のみ）

【③ＰＣ鋼材種別】

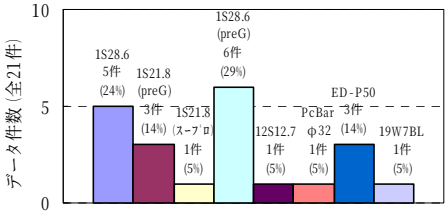


シェアラグ鋼材の配置（国・自治体のみ）

有効データ全数



シェアラグ鋼材の配置（全数）



シェアラグ鋼材の配置（全数）

「解説」

シェアラグ鋼材の具体の配置は、内ケーブル方式による張出し床版先端および中央部の断面内配置が多い。また、ＰＣ鋼材の種別は、シングルストランドが多数を占めている。

(4) 設計一般について

「分類要素」	設計一般について
「アンケート項目」	主桁設計時の縁引張応力度の制御方法

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
方法①	1	3%	2	3%
方法②	27	93%	42	64%
方法③	1	3%	14	21%
方法④	0	0%	6	9%
その他	0	0%	2	3%
合計	29	100%	66	100%

凡例

方法①～死荷重作用時、設計荷重作用ともに、ﾌﾙﾌﾟﾚｽﾄﾚｽとする方法

方法②～道示Ⅲによるﾊﾟｰｼｬﾙﾌﾟﾚｽﾄﾚｽとする方法

方法③～死荷重作用時にﾌﾙﾌﾟﾚｽﾄﾚｽとし、設計荷重作用にはひび割れ発生限界とする方法

方法④～死荷重作用時にひび割れ発生限界とし、設計荷重作用にはひび割れ幅限界とする方法

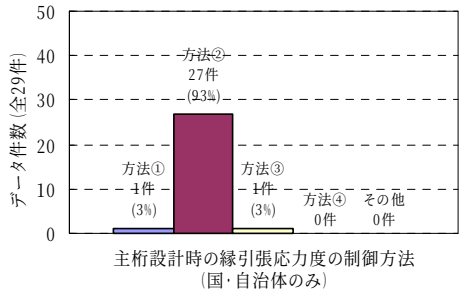
その他の方法

→死荷重時はフルプレストレスとし、設計荷重時はひび割れ幅限界とする方法～1件

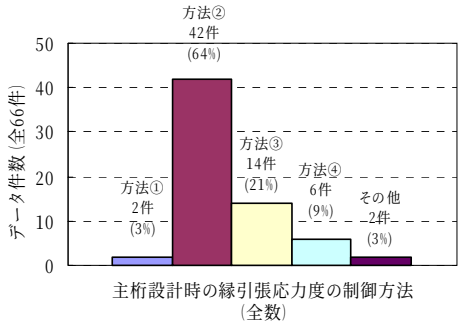
→死荷重時と設計荷重時の上縁はひび割れ発生限界とし、設計荷重時の下縁は、ひび割れ幅限界とする方法～1件

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

国交省および自治体の事例では、９０％以上が方法②を採用していることがわかる。一方、公団のみの事例では、方法②と方法③がほぼ同程度採用され、他の方法についても採用事例がある。

「分類要素」	設計一般について
「アンケート項目」	引張鉄筋算定方法および活荷重割増し(1.35)の有無

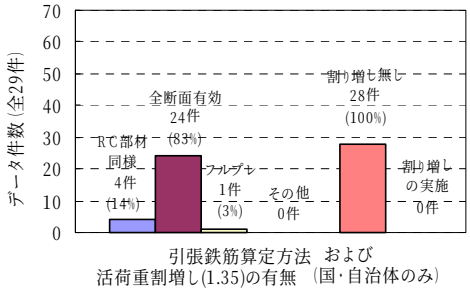
「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
RC部材同様	4	14%	5	8%
全断面有効	24	83%	58	88%
フルプレ	1	3%	2	3%
その他	0	0%	1	2%
合計	29	100%	66	100%

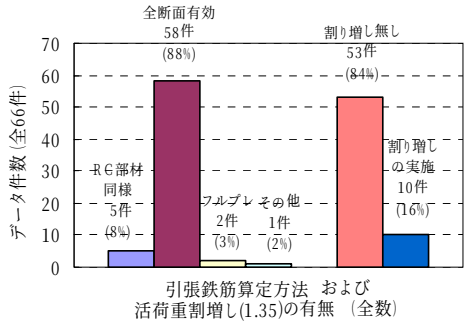
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
割り増し無し	28	100%	53	84%
割り増しの実施	0	0%	10	16%
合計	28	100%	63	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

引張鉄筋算定にあたっては、両集計共に、８０％以上が全断面有効として設計されており、また、その際の活荷重の割増しは、多数の事例において行われていないことがわかる。

「分類要素」	設計一般について
「アンケート項目」	解析モデルに対するプレストレス力の与え方

「統計表」

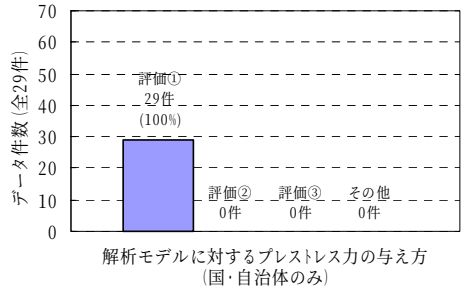
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
評価①	29	100%	61	92%
評価②	0	0%	4	6%
評価③	0	0%	1	2%
その他	0	0%	0	0%
合計	29	100%	66	100%

凡例

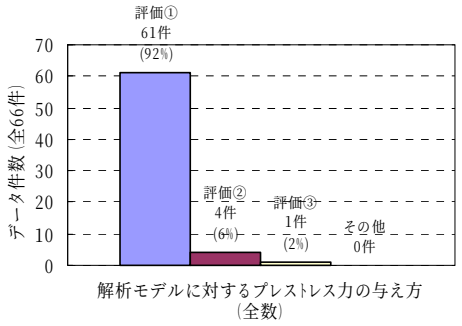
評価①～内力評価～ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ力を内力（N，M）としてﾓﾃﾞﾙに作用させる。
評価②～部材評価～外ｹｰﾌﾞﾙを弦部材としてﾓﾃﾞﾙに軸ひずみを作用させる。
評価③～外力評価～外ｹｰﾌﾞﾙの定着位置、偏向位置に荷重を外力として作用させる。
その他

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

解析モデルに対するプレストレス力の与え方は、公団の事例以外では１００％が内力評価として設計されていることがわかる。

「分類要素」	設計一般について
「アンケート項目」	中間支点上において、たすき掛け 定着した場合の外ケーブルの設計時有効本数

「統計表」

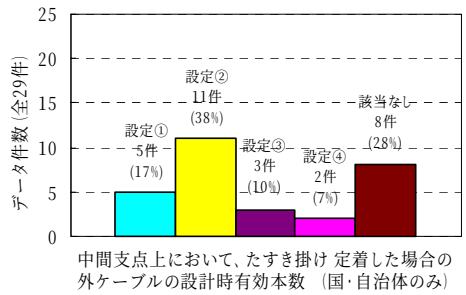
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
設定①	5	17%	14	21%
設定②	11	38%	17	26%
設定③	3	10%	8	12%
設定④	2	7%	12	18%
該当なし	8	28%	15	23%
合計	29	100%	66	100%

凡例

設定①～横桁定着される左右のｹｰﾌﾞﾙ本数の少ない本数とする方法
設定②～全本数とする方法
設定③～左右のｹｰﾌﾞﾙ本数の平均本数とする方法
設定④～プレストレスの有効長を考慮した本数とする方法
該当なし～たすき掛け定着なし

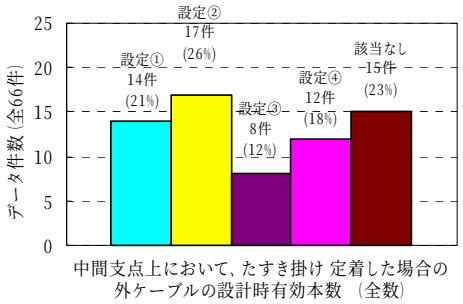
「統計図」

国交省および自治体



中間支点上において、たすき掛け 定着した場合の外ケーブルの設計時有効本数 （国･自治体のみ）

有効データ全数



中間支点上において、たすき掛け 定着した場合の外ケーブルの設計時有効本数 （全数）

「解説」

国交省および自治体の事例では、設定②の事例が比較的多いものの、全体的にはその設定方法にばらつきが見受けられる。

「分類要素」	設計一般について
「アンケート項目」	終局耐力の解析方法

「統計表」

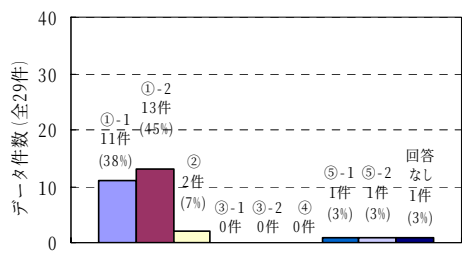
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
①-1	11	38%	29	44%
①-2	13	45%	17	26%
②	2	7%	2	3%
③-1	0	0%	3	5%
③-2	0	0%	1	2%
④	0	0%	1	2%
⑤-1	1	3%	10	15%
⑤-2	1	3%	2	3%
回答なし	1	3%	1	2%
合計	29	100%	66	100%

凡例

①-1	内ｹｰﾌﾞﾙ構造と同様に扱い破壊安全度の照査を行なうが、その際、外ｹｰﾌﾞﾙ応力度の増加を見込むとして算出。
①-2	内ｹｰﾌﾞﾙ構造と同様に扱い破壊安全度の照査を行なうが、その際、外ｹｰﾌﾞﾙ応力度の増加を見込まないとして算出。
②	内ｹｰﾌﾞﾙ構造と同様に扱い破壊安全度の照査を行なうが、その際、付着のないPC鋼材とみなし、付着のある場合としたときの70%として算出。
③-1	外ｹｰﾌﾞﾙを部材評価してﾓﾃﾞﾙ化し、破壊安全度の照査は主桁ｺﾝｸﾘｰﾄ部材について行なうが、その際、外ｹｰﾌﾞﾙ応力度の増加を見込むとして算出。
③-2	外ｹｰﾌﾞﾙを部材評価してﾓﾃﾞﾙ化し、破壊安全度の照査は主桁ｺﾝｸﾘｰﾄ部材について行なうが、その際、外ｹｰﾌﾞﾙ応力度の増加を見込まないとして算出。
④	材料および幾何学的非線形性を考慮し、構造系が破壊に至らないことを確認。
⑤-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書により、設計曲げ耐力を算出し、終局曲げﾓｰﾒﾝﾄと比較した。この際、外ケーブルの張力増加を見込むとして算出。
⑤-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ標準示方書により、設計曲げ耐力を算出し、終局曲げﾓｰﾒﾝﾄと比較した。この際、外ケーブルの張力増加を見込まないとして算出。

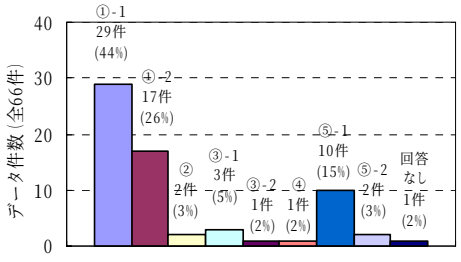
「統計図」

国交省および自治体



終局耐力の解析方法 （国・自治体のみ）

有効データ全数



終局耐力の解析方法 （全数）

「解説」

国交省および自治体の事例と比較し、公団の事例では外ケーブル応力度の増加を見込むとするのが多い（公団のみの事例の約80%）。 また、コンクリート標準示方書によって設計曲げ耐力を算出する事例が比較的多いのも特徴的である。

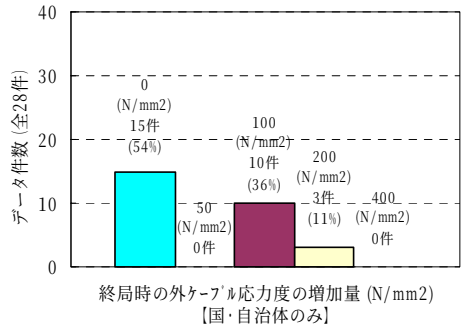
「分類要素」	設計一般について
「アンケート項目」	終局時の外ケーブル応力度の増加量について（①増加応力度（N/mm2））

「統計表」

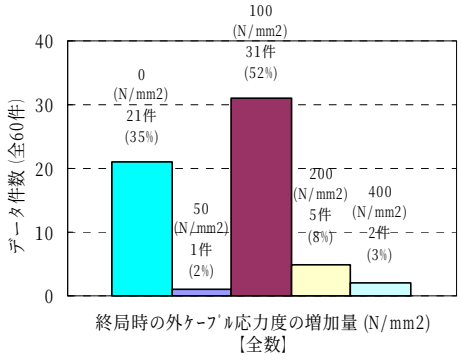
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
0 N/mm2	15	54%	21	35%
50 N/mm2	0	0%	1	2%
100 N/mm2	10	36%	31	52%
200 N/mm2	3	11%	5	8%
400 N/mm2	0	0%	2	3%
合計	28	100%	60	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

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の事例では約半数が見込まれていない。これに対し、公団のみの事例では約７０％近くが１００N/mm2の増加量を見込んでいる。

「分類要素」	設計一般について
「アンケート項目」	終局時の外ケーブル応力度の増加量について（②設定または決定根拠）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
根拠①	2	12%	12	24%
根拠②	0	0%	2	4%
根拠③	4	24%	5	10%
根拠④	8	47%	13	25%
根拠⑤	1	6%	4	8%
根拠⑥	1	6%	12	24%
根拠⑦	0	0%	1	2%
根拠⑧	1	6%	1	2%
根拠⑨	0	0%	1	2%
合計	17	100%	51	100%

凡例

根拠①～(社)日本道路協会　道路橋示方書･同解説　Ⅲ コンクリート橋編による

根拠②～個別の非線形解析結果による

根拠③～(社)プレストレストコンクリート技術協会
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による

根拠④～(財)高速道路技術センター　外ケーブルを用いたPC橋梁の設計マニュアル

根拠⑤～日本道路公団　設計要領　第二集

根拠⑥～日本道路公団監修　(財) 高速道路技術センター
PC橋の耐久性向上に関する設計･施工マニュアル

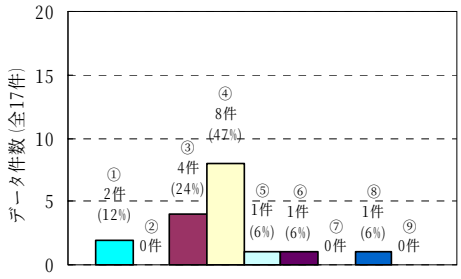
根拠⑦～阪神高速道路公団　外ケーブル方式設計の手引き

根拠⑧～日本道路公団　建設局管内　橋梁設計の参考資料

根拠⑨～F･レオンハルト他　レオンハルトのコンクリート講座⑤　プレストレストコンクリート

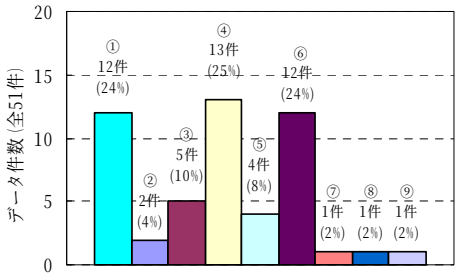
「統計図」

国交省および自治体



終局時の外ｹｰﾌﾞﾙ応力度の設定または決定根拠
【国･自治体のみ】

有効データ全数

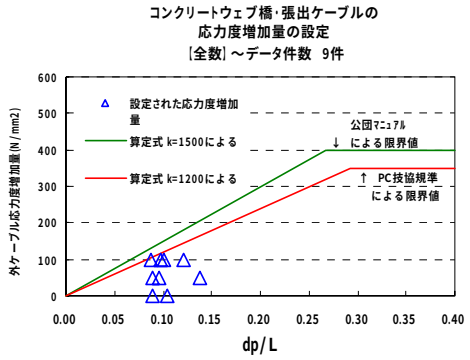


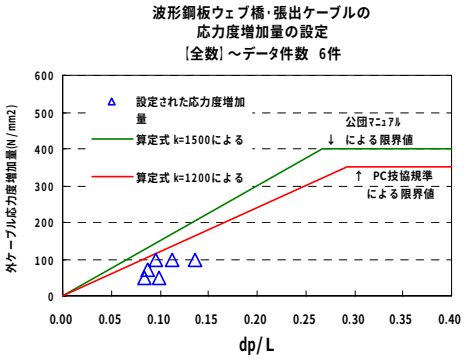
終局時の外ｹｰﾌﾞﾙ応力度の設定または決定根拠
【全数】

「解説」

終局時の外ケーブル応力度の増加量を設定した根拠は、前項の増加応力度の取りまとめで言及した様子を反映した参考文献であることが窺える。

「分類要素」	設計一般について
「アンケート項目」	張出ケーブルに関する情報について
「抽出要素」	架設方法: **張出し架設**　　主桁製作方法: **場所打ち方式** ウェブ構造: **コンクリートウェブ、波形鋼板ウェブ** 外ケーブル: **有効高さ、定着間距離** **終局時の外ケーブル応力度増加量の設定値**
「統計図」	コンクリートウェブ橋 / 波形鋼板ウェブ橋

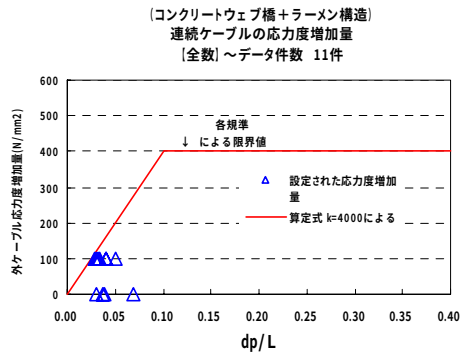


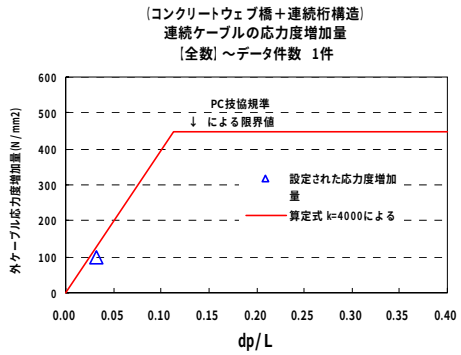
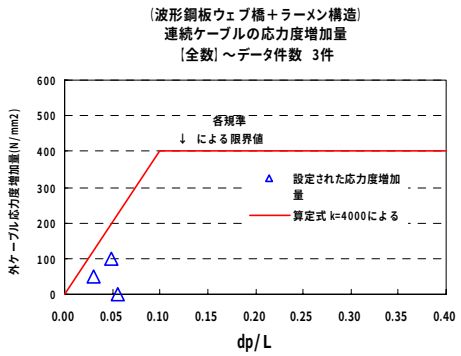


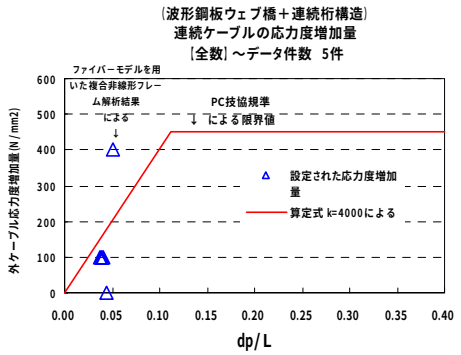
※注釈

- 図中のx軸は、dp を外ケーブルの有効高さ、L を外ケーブルの定着間距離としたときの相関係数を示す。
- 図には、既往の研究成果に基づいて設定された算定式による応力度増加量（折れ線）と各事例の設計時に設定された応力度増加量（△印）を併記した。
- 抽出要素を網羅する事例は、コンクリートウェブ橋が25件、波形鋼板ウェブ橋が10件あるが、図中には明確な回答が得られた事例のみを有効として表した。

「解説」	張出ケーブルに外ケーブルを用いた場合のケーブル応力度増加量の設定値は、各規準による算定値に対して図のような分布（△印の分布）をなしており、ウェブ構造に関係なく概ね 0～100N/mm2の範囲内である。

<table>
<tr><td>「分類要素」</td><td colspan="2">設計一般について</td></tr>
<tr><td>「アンケート項目」</td><td colspan="2">連続ケーブルに関する情報について</td></tr>
<tr><td>「抽出要素」</td><td colspan="2">橋梁形式：　ラーメン構造、連続桁構造
架設方法：　張出し架設　　主桁製作方法：　場所打ち方式
ウェブ構造：　コンクリートウェブ、波形鋼板ウェブ
外ケーブル：　有効高さ、定着間距離
終局時の外ケーブル応力度増加量の設定値</td></tr>
<tr><td rowspan="3">「統計図」</td><td>コンクリートウェブ橋</td><td>波形鋼板ウェブ橋</td></tr>
<tr><td>【ラーメン構造】
 

【連続桁構造】
 
</td><td>【ラーメン構造】
 

【連続桁構造】
 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">※注釈
・図中のx軸は、dpを外ケーブルの有効高さ、Lを外ケーブルの定着間距離としたときの相関係数を示す。
・図には、既往の研究成果に基づいて設定された算定式による応力度増加量（折れ線）と各事例の設計時に設定された応力度増加量（△印）を併記した。
・抽出要素を網羅する事例は、コンクリートウェブ橋のラーメン構造が20件、同連続桁構造が4件、波形鋼板ウェブ橋のラーメン構造が4件、同連続桁構造が6件あるが、図中には明確な回答が得られた事例のみを有効として表した。</td></tr>
<tr><td>「解説」</td><td colspan="2">連続ケーブルに外ケーブルを用いた場合のケーブル応力度増加量の設定値は、張出ケーブルの場合と同様に概ね 0～100N/mm2の範囲内である。
尚、公団の事例の中には、5径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋において、ファイバーモデルを用いた複合非線形フレーム解析を実施した事例があり、ケーブル応力度増加量の設定値は 400N/mm2としている。</td></tr>
</table>

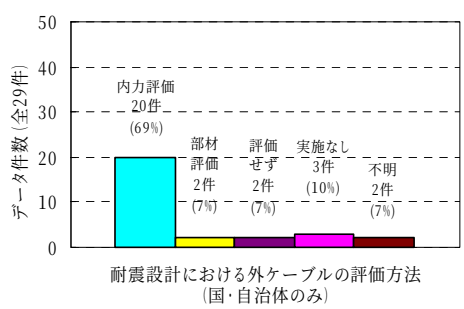
「分類要素」	**設計一般について**
「アンケート項目」	**耐震設計について**
「抽出要素」	**①外ケーブルの評価方法**

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
内力評価	20	69%	40	61%
部材評価	2	7%	13	20%
評価せず	2	7%	4	6%
実施なし	3	10%	4	6%
不明	2	7%	5	8%
合計	29	100%	66	100%

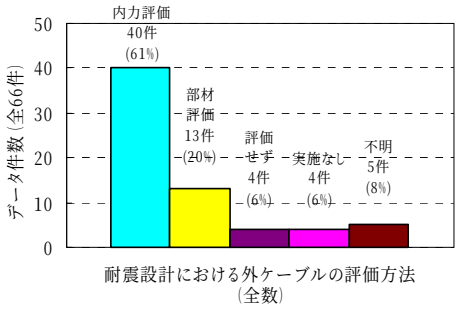
「統計図」

国交省および自治体



耐震設計における外ケーブルの評価方法
（国・自治体のみ）

有効データ全数



耐震設計における外ケーブルの評価方法
（全数）

「解説」 耐震設計における外ケーブルの評価方法は、いずれの事例においても、６０％以上が内力評価としている。

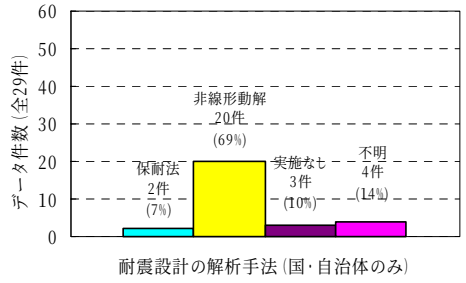
「分類要素」	**設計一般について**
「アンケート項目」	**耐震設計について**
「抽出要素」	**②耐震設計の解析手法**

「統計表」

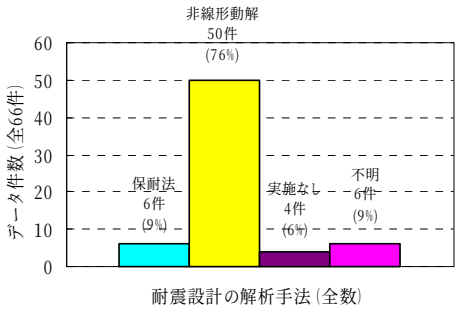
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
保耐法	2	7%	6	9%
非線形動解	20	69%	50	76%
実施なし	3	10%	4	6%
不明	4	14%	6	9%
合計	29	100%	66	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」 耐震設計の解析手法は、両集計共に70%程度以上の事例において非線形動解が行われていることがわかる。

(5) 振動対策について

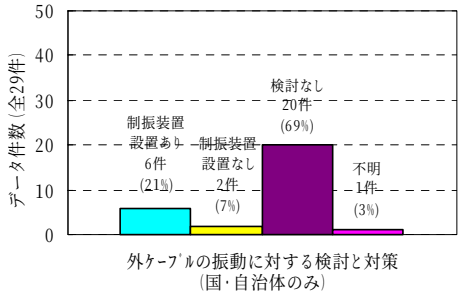
「分類要素」	振動について
「アンケート項目」	外ｹｰﾌﾞﾙの振動に対する照査方法とその対策

「統計表」

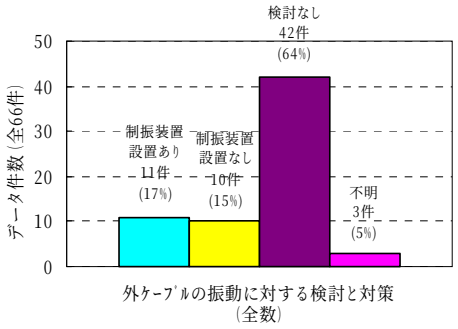
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
制振装置設置あり	6	21%	11	17%
制振装置設置なし	2	7%	10	15%
検討なし	20	69%	42	64%
不明	1	3%	3	5%
合計	29	100%	66	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

外ケーブルの振動については、両集計共に60%程度の事例において検討がなされていないが、一方で約30%程度の事例においてはその照査を行い、必要に応じて対策を講じている。

(6) 定着部（横桁定着）について

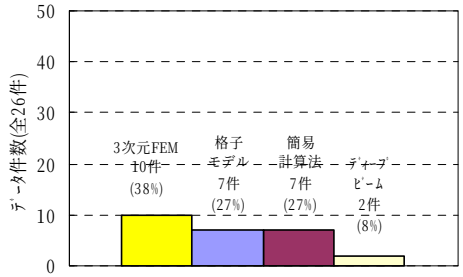
「分類要素」	定着部（横桁定着）について
「アンケート項目」	定着部近傍の設計方法（解析法）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
3次元FEM	10	38%	45	71%
格子モデル	7	27%	8	13%
簡易計算法	7	27%	8	13%
ﾃﾞｨｰﾌﾟﾋﾞｰﾑ	2	8%	2	3%
合計	26	100%	63	100%

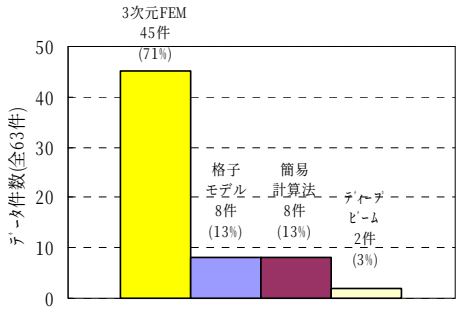
「統計図」

国交省および自治体



横桁定着部近傍の設計方法（国・自治体のみ）

有効データ全数



横桁定着部近傍の設計方法（全数）

「解説」 横桁定着部近傍の解析方法は、国交省および自治体の事例ではばらつきがあるものの、公団の事例では全37件中35件が3次元FEM解析によっており、PC専業者による詳細設計では高度解析が一般化していることがわかる。

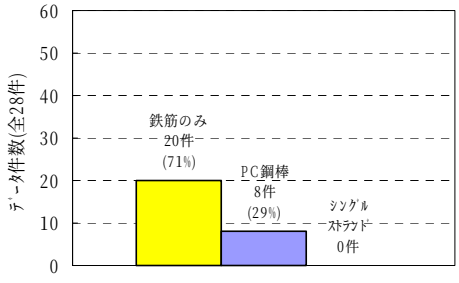
「分類要素」	定着部（横桁定着）について
「アンケート項目」	定着部近傍の設計方法（補強方法）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
鉄筋のみ	20	71%	54	86%
PC鋼棒	8	29%	8	13%
ｼﾝｸﾞﾙｽﾄﾗﾝﾄﾞ	0	0%	1	2%
合計	28	100%	63	100%

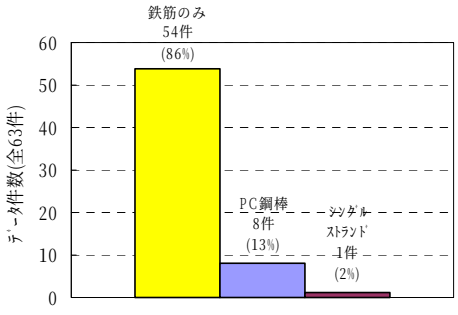
「統計図」

国交省および自治体



横桁定着部近傍の補強方法（国・自治体のみ）

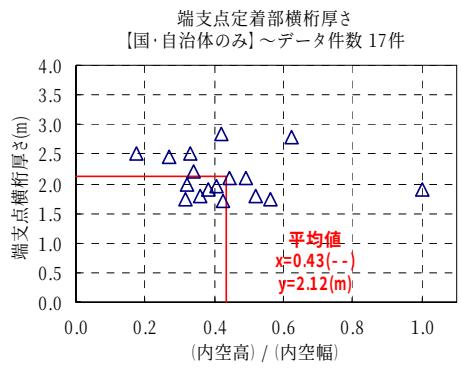
有効データ全数

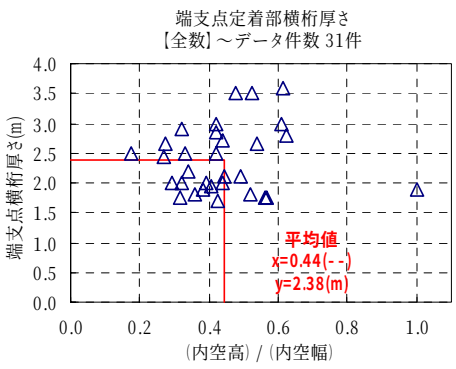


横桁定着部近傍の補強方法（全数）

「解説」 横桁定着部近傍の補強方法は、7割以上が「鉄筋のみ」によって行われており、PC鋼材による補強が比較的少ないことが見て取れる。

「分類要素」	定着部（横桁定着）について
「アンケート項目」	定着部横桁厚さ、桁高、ウェブ・床版厚
「抽出要素」	定着部横桁厚　　桁高 ウェブ・床版厚
「統計図」	国交省および自治体 / 有効データ全数





※注釈

・ 図中のx軸は、横桁内部の内空高を内空幅で除した相関係数を示す。

・ 図中には、明確な回答が得られた事例の中から、コンクリートウェブ橋が25件、波形鋼板ウェブ橋が6件の事例を有効として表した。

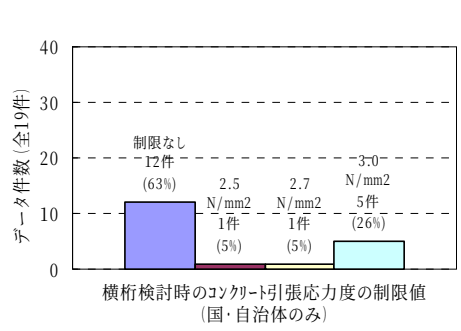
「解説」	外ケーブル定着部としての端支点横桁厚さは、ウェブ構造や箱形断面形状の相違、及び、ケーブル種別や定着本数の違いがあるため、一概にその傾向を計ることができないが、1．7m～3．6mの範囲内で設定されている。

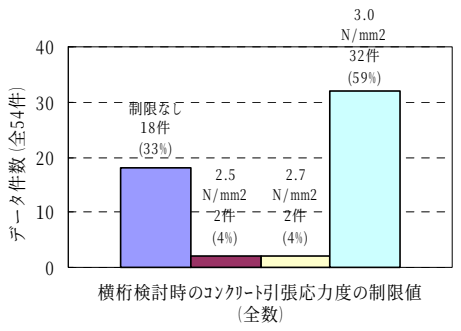
「分類要素」	定着部（横桁定着）について
「アンケート項目」	横桁検討時の引張応力度制限値について（①コンクリート）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
制限なし	12	63%	18	33%
2.5 N/mm2	1	5%	2	4%
2.7 N/mm2	1	5%	2	4%
3.0 N/mm2	5	26%	32	59%
合計	19	100%	54	100%

「統計図」





「解説」

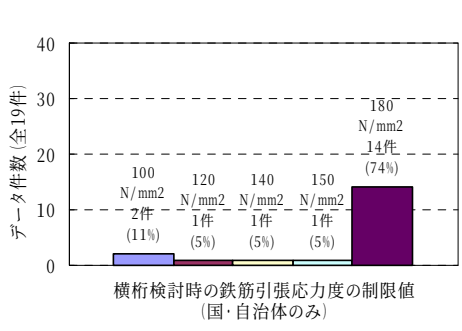
図中の「制限なし」とは、検討部材を全断面有効としたときのコンクリートの引張縁応力度に着目せず、RC構造として検討された事例を表している。国交省および自治体の事例では約6割がRC構造として設計されている一方で、公団のみの事例では7割強の事例においてコンクリートの引張縁応力度を制限してひび割れの発生に配慮していることがわかる。

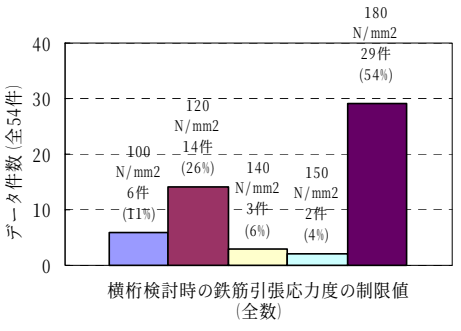
「分類要素」	定着部（横桁定着）について
「アンケート項目」	横桁検討時の引張応力度制限値について（②鉄筋）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
100 N/mm2	2	11%	6	11%
120 N/mm2	1	5%	14	26%
140 N/mm2	1	5%	3	6%
150 N/mm2	1	5%	2	4%
180 N/mm2	14	74%	29	54%
合計	19	100%	54	100%

「統計図」





「解説」

横桁検討時の鉄筋の引張応力度制限値は、有効データ全数を見ると、180 N/mm2を設定した事例が半数以上を占めているものの、その他半数近くの事例が制限値をさらに低減して設定することによってひび割れの発生に配慮していることがわかる。

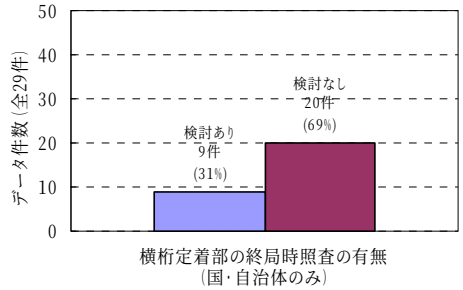
「分類要素」	定着部（横桁定着）について
「アンケート項目」	横桁定着部の終局時照査の有無について（①照査の有無）

「統計表」

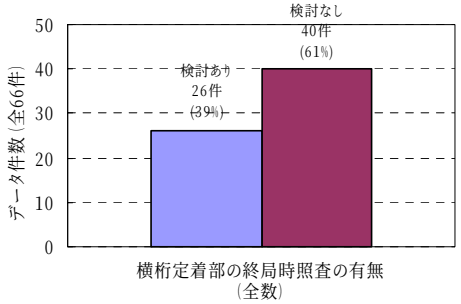
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
検討あり	9	31%	26	39%
検討なし	20	69%	40	61%
合計	29	100%	66	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

横桁定着部の終局時の照査は30%以上の事例において実施されており、想定するプレストレス力を導入した場合の補強鋼材量を検討するのみならず、コンクリート標準示方書に従った「せん断伝達耐力の検討」を有効データ全数中9件の事例において行っている。

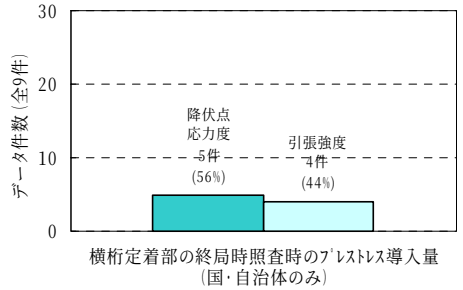
「分類要素」	定着部（横桁定着）について
「アンケート項目」	横桁定着部の終局時照査の有無について（②照査時のプレストレス導入量）

「統計表」

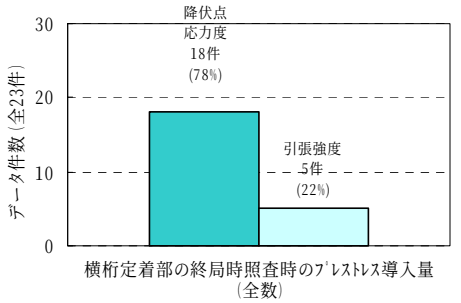
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
降伏点応力度	5	56%	18	78%
引張強度	4	44%	5	22%
合計	9	100%	23	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

横桁定着部の終局時照査のプレストレス導入量は、国交省および自治体の事例では「引張強度」とした事例が4割程度ある一方で、公団のみの事例では全14件中13件が「降伏点応力度」としており、両者にはばらつきが認められる。

(7) 定着部（突起定着）について

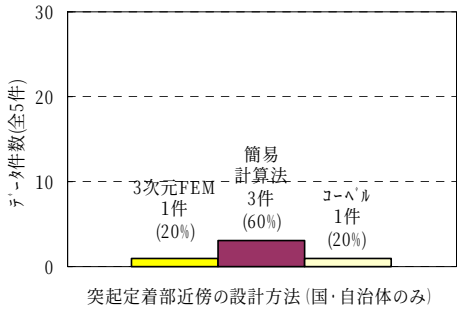
「分類要素」	定着部（突起定着）について
「アンケート項目」	定着部近傍の設計方法（解析法）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	比率	有効データ全数 件数	比率
3次元FEM	1	20%	23	85%
簡易計算法	3	60%	3	11%
ｺｰﾍﾞﾙ	1	20%	1	4%
合計	5	100%	27	100%

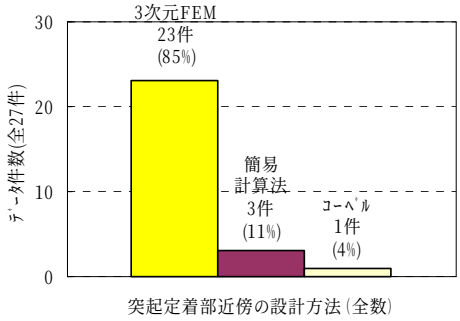
「統計図」

国交省および自治体



突起定着部近傍の設計方法（国・自治体のみ）

有効データ全数



突起定着部近傍の設計方法（全数）

「解説」 突起定着部近傍の解析方法は、国交省および自治体の事例では数例ではあるが簡易計算法によるものがあるが、公団の事例では全件数が3次元FEM解析によっており、PC専業者による詳細設計では高度解析が一般化していることがわかる。

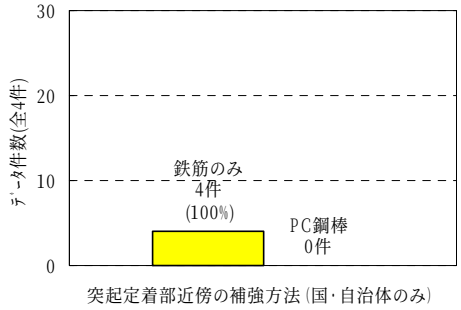
「分類要素」	定着部（突起定着）について
「アンケート項目」	定着部近傍の設計方法（補強方法）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	比率	有効データ全数 件数	比率
鉄筋のみ	4	100%	26	100%
PC鋼棒	0	0%	0	0%
合計	4	100%	26	100%

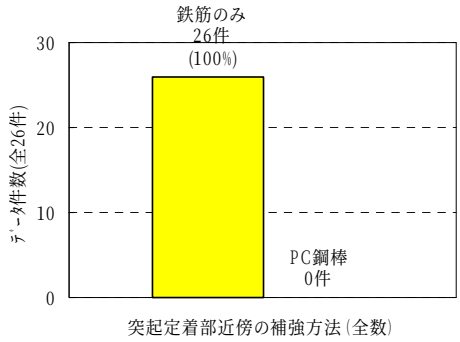
「統計図」

国交省および自治体



突起定着部近傍の補強方法（国・自治体のみ）

有効データ全数



突起定着部近傍の補強方法（全数）

「解説」 突起定着部近傍の補強方法は、いずれも「鉄筋のみ」によって行われており、PC鋼材による補強は行われていない。

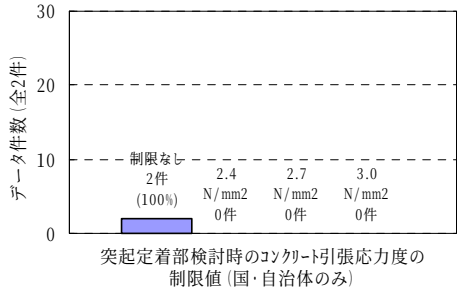
「分類要素」	定着部（突起定着）について
「アンケート項目」	突起定着部検討時の引張応力度制限値について（①コンクリート）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
制限なし	2	100%	3	13%
2.4 N/mm2	0	0%	1	4%
2.7 N/mm2	0	0%	1	4%
3.0 N/mm2	0	0%	19	79%
合計	2	100%	24	100%

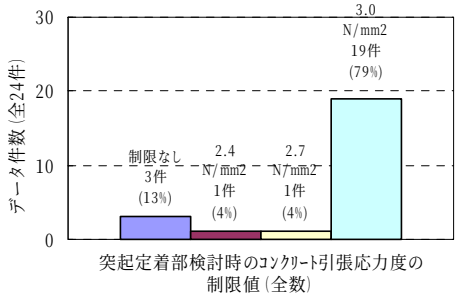
「統計図」

国交省および自治体



突起定着部検討時のｺﾝｸﾘｰﾄ引張応力度の制限値（国・自治体のみ）

有効データ全数



突起定着部検討時のｺﾝｸﾘｰﾄ引張応力度の制限値（全数）

「解説」

図中の「制限なし」とは、検討部材を全断面有効としたときのコンクリートの引張縁応力度に着目せず、RC構造として検討された事例を表している。国交省および自治体は突起定着そのものの事例が少なく傾向が把握できないが、公団のみの事例では22件中21件の事例においてコンクリートの引張縁応力度を制限してひび割れの発生に配慮していることがわかる。

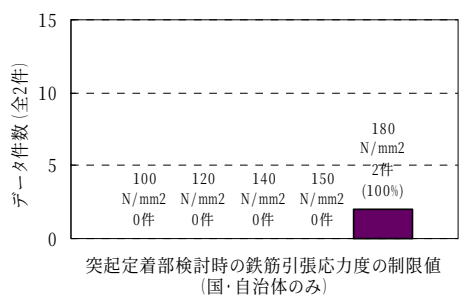
「分類要素」	定着部（突起定着）について
「アンケート項目」	突起定着部検討時の引張応力度制限値について（②鉄筋）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
100 N/mm2	0	0%	3	13%
120 N/mm2	0	0%	9	39%
140 N/mm2	0	0%	1	4%
150 N/mm2	0	0%	2	9%
180 N/mm2	2	100%	8	35%
合計	2	100%	23	100%

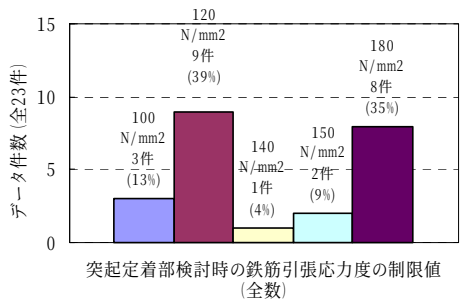
「統計図」

国交省および自治体



突起定着部検討時の鉄筋引張応力度の制限値（国・自治体のみ）

有効データ全数



突起定着部検討時の鉄筋引張応力度の制限値（全数）

「解説」

突起定着部検討時の鉄筋の引張応力度制限値は、横桁定着部の検討と同様な傾向が見られ、有効データ全数では6割以上の事例において180 N/mm2を下回る制限値を設定し、ひび割れの発生に配慮していることがわかる。

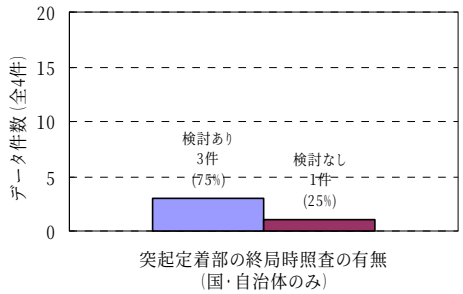
「分類要素」	定着部（突起定着）について
「アンケート項目」	突起定着部の終局時照査の有無について（①照査の有無）

「統計表」

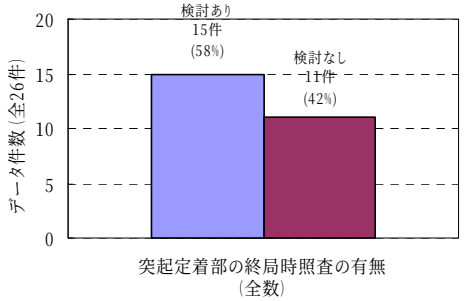
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
検討あり	3	75%	15	58%
検討なし	1	25%	11	42%
合計	4	100%	26	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

突起定着部の終局時の照査は、約6割以上の事例において実施されており、横桁定着部の同照査以上に意識されていることがわかる。検討のある事例では、想定するプレストレス力を導入した場合の補強鋼材量を検討するのみならず、コンクリート標準示方書に従った「せん断伝達耐力の検討」を有効データ全数中10件の事例において行っている。

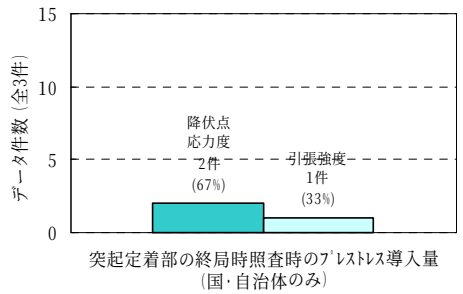
「分類要素」	定着部（突起定着）について
「アンケート項目」	突起定着部の終局時照査の有無について（②照査時のプレストレス導入量）

「統計表」

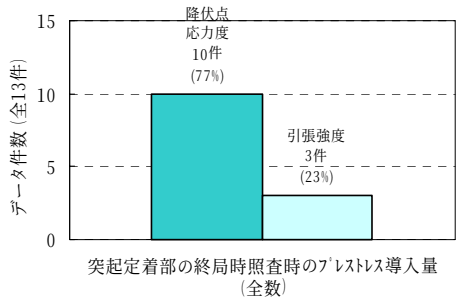
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
降伏点応力度	2	67%	10	77%
引張強度	1	33%	3	23%
合計	3	100%	13	100%

「統計図」

国交省および自治体



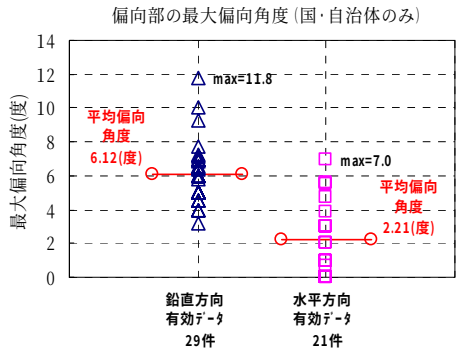
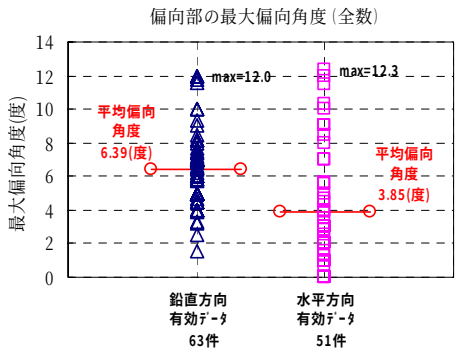
有効データ全数

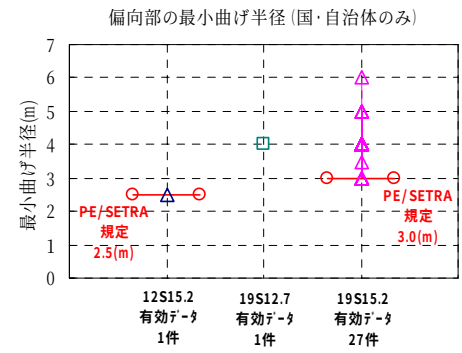
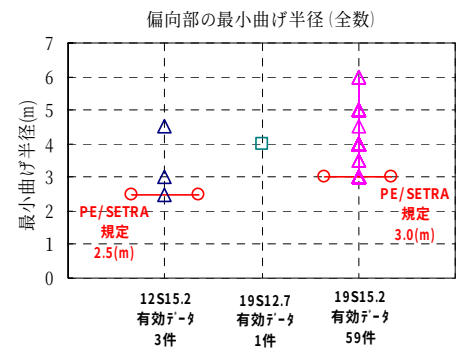


「解説」

突起定着部の終局時照査のプレストレス導入量は、有効データ全数を見ると、全13件中10件が「降伏点応力度」としており、横桁定着部の同照査と類似した傾向が見られる。

(8) 偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について

「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について	
「アンケート項目」	外ケーブル形状について（①最大偏向角度）	
「抽出要素」	最大偏向角度： 鉛直方向 、 水平方向	
「統計図」	国交省および自治体	有効データ全数
		
「解説」	偏向部における外ケーブルの最大偏向角度は、鉛直方向および水平方向共に、12度程度までの範囲内で設定されている。	

「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について	
「アンケート項目」	外ケーブル形状について（②最小曲げ半径）	
「抽出要素」	PC鋼材の種別： 外ケーブル 最小曲げ半径： 鉛直方向 または 水平方向	
「統計図」	国交省および自治体	有効データ全数
		
「解説」	偏向部における外ケーブルの最小曲げ半径は、関連規準を下限値として、6m程度までの範囲内で設定されている。尚、有効データ件数に対しプロット要素数が少ないのは、要素が重複していることによる。	

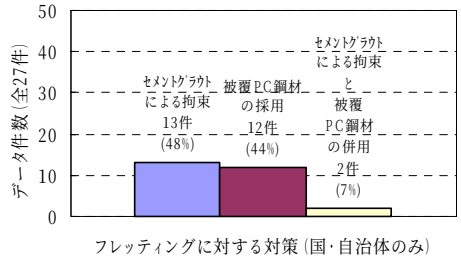
「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
「アンケート項目」	フレッティングに対する照査方法と対策

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄによる拘束	13	48%	43	67%
被覆PC鋼材の採用	12	44%	19	30%
ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄによる拘束と被覆PC鋼材の併用	2	7%	2	3%
合計	27	100%	64	100%

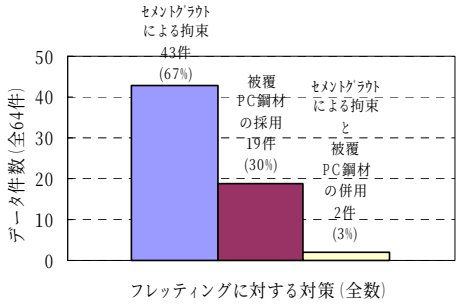
「統計図」

国交省および自治体



フレッティングに対する対策（国・自治体のみ）

有効データ全数



フレッティングに対する対策（全数）

「解説」

偏向部におけるフレッティング対策は、調査事例のすべてが「ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄによる拘束」や「被覆PC鋼材の採用」によって担保されており、PC鋼材間へのスペーサー設置による対策工やその他の対策及び別途照査方法による事例は見受けられなかった。

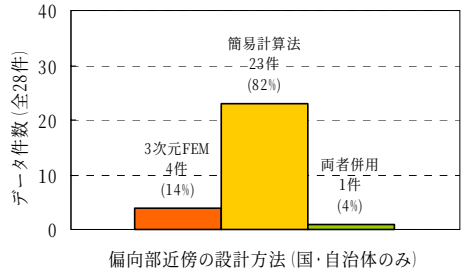
「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
「アンケート項目」	偏向部近傍の設計方法（解析法）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
3次元FEM	4	14%	26	41%
簡易計算法	23	82%	30	47%
両者併用	1	4%	8	13%
合計	28	100%	64	100%

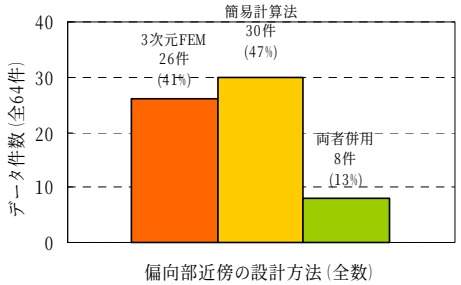
「統計図」

国交省および自治体



偏向部近傍の設計方法（国・自治体のみ）

有効データ全数



偏向部近傍の設計方法（全数）

「解説」

偏向部近傍の解析方法は、国交省および自治体の事例では8割が簡易計算法によっている一方で、公団の事例のみでは6割が3次元FEM解析によっており、PC専業者による詳細設計では高度解析が一般化していることがわかる。事例のうち「両者併用」は、引張力の大きくなる手法を採用したり、簡易計算法では把握困難な局部応力を確認して補強したり、簡易計算法によって決定した補強の程度の安全性を確認したりといった設計が行われている。

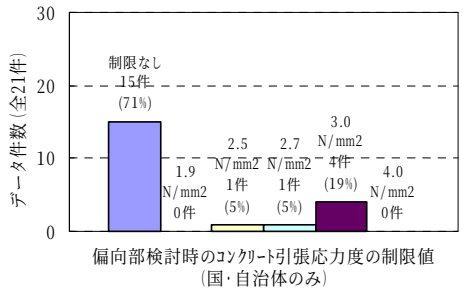
「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
「アンケート項目」	偏向部検討時の引張応力度制限値について（①コンクリート）

「統計表」

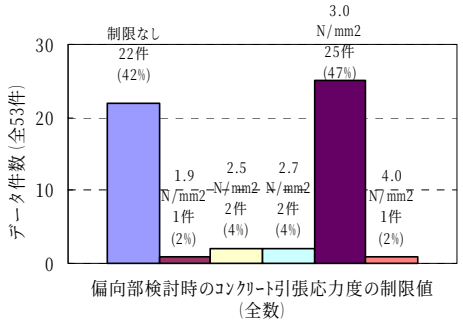
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
制限なし	15	71%	22	42%
1.9 N/mm2	0	0%	1	2%
2.5 N/mm2	1	5%	2	4%
2.7 N/mm2	1	5%	2	4%
3.0 N/mm2	4	19%	25	47%
4.0 N/mm2	0	0%	1	2%
合計	21	100%	53	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

図中の「制限なし」とは、検討部材を全断面有効としたときのコンクリートの引張縁応力度に着目せず、RC構造として検討された事例を表している。国交省および自治体の事例では約7割がRC構造として設計されている一方で、公団のみの事例では8割弱の事例においてコンクリートの引張縁応力度を制限してひび割れの発生に配慮していることがわかる。

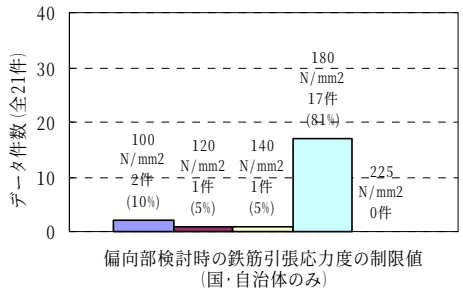
「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
「アンケート項目」	偏向部検討時の引張応力度制限値について（②鉄筋）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
100 N/mm2	2	10%	6	11%
120 N/mm2	1	5%	11	21%
140 N/mm2	1	5%	2	4%
180 N/mm2	17	81%	33	62%
225 N/mm2	0	0%	1	2%
合計	21	100%	53	100%

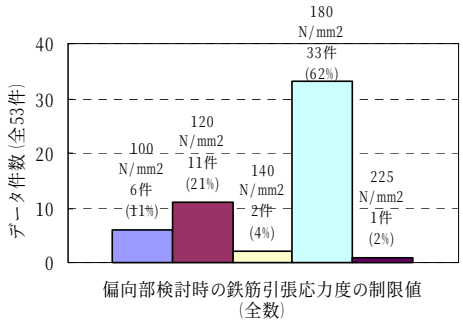
「統計図」

国交省および自治体



偏向部検討時の鉄筋引張応力度の制限値（国・自治体のみ）

有効データ全数



偏向部検討時の鉄筋引張応力度の制限値（全数）

「解説」

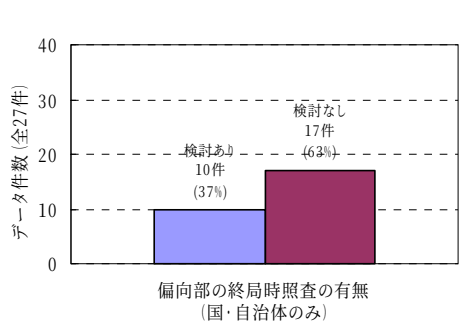
偏向部検討時の鉄筋の引張応力度制限値は、有効データ全数を見ると、180 N/mm2を設定した事例が6割以上を占めているものの、その他約3割の事例が制限値をさらに低減して設定することによってひび割れの発生に配慮していることがわかる。

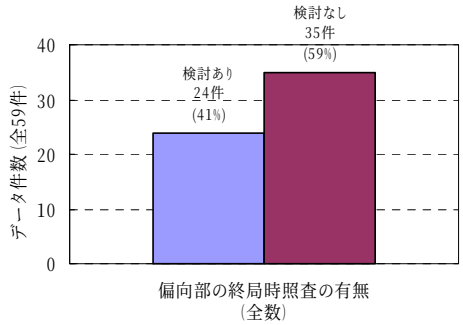
「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
「アンケート項目」	偏向部の終局時照査の有無について（①照査の有無）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
検討あり	10	37%	24	41%
検討なし	17	63%	35	59%
合計	27	100%	59	100%

「統計図」





「解説」

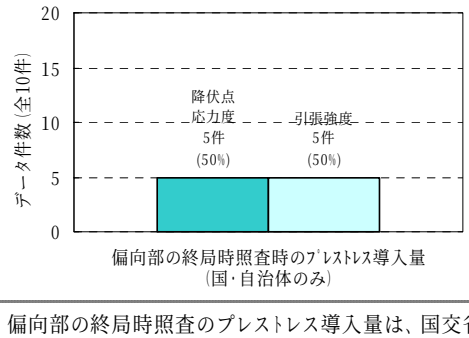
偏向部の終局時の照査は、約4割の事例において実施されており、いずれも次項に想定するプレストレス力を導入した場合の補強鋼材量を検討している。

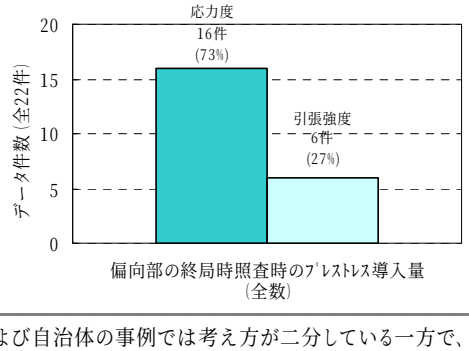
「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
「アンケート項目」	偏向部の終局時照査の有無について（②照査時のプレストレス導入量）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
降伏点応力度	5	50%	16	73%
引張強度	5	50%	6	27%
合計	10	100%	22	100%

「統計図」





「解説」

偏向部の終局時照査のプレストレス導入量は、国交省および自治体の事例では考え方が二分している一方で、公団のみの事例では全12件中11件が「降伏点応力度」としており、両者にはばらつきが認められる。

「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
「アンケート項目」	偏向部近傍の形状・補強方法について

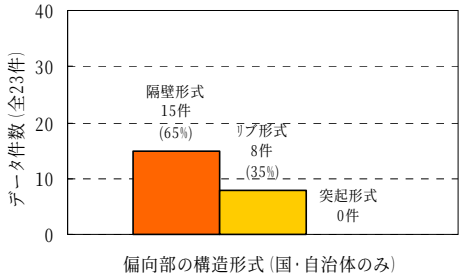
「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
隔壁形式	15	65%	30	64%
リブ形式	8	35%	16	34%
突起形式	0	0%	1	2%
合計	23	100%	47	100%

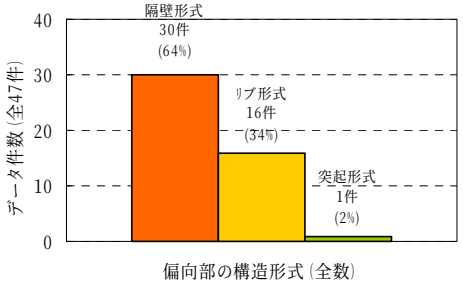
偏向部構造形式の概念図

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

偏向部の構造形式は、約6割の事例において隔壁形式が採用されている。1件の事例で突起形式が採用されているが、概念図のようにウェブ・下床版の角に個別に偏向部を設けるのではなく、左右を連続させた下床版に設けた水平リブのような形式を採用している。尚、補強方法は、各形式毎に区別無くすべてが鉄筋による補強を行っている。

「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
「アンケート項目」	偏向部の構成と偏向具の材質
「抽出要素」	**偏向部の構成**　　外ｹｰﾌﾞﾙの保護：　**裸線**

「統計表」

【裸線の場合】

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
typeA	0	0%	0	0%
typeB	0	0%	0	0%
typeC	0	0%	0	0%
typeD	0	0%	0	0%
typeE	10	83%	11	27%
typeF	0	0%	28	68%
typeG	1	8%	1	2%
typeH	1	8%	1	2%
合計	12	100%	41	100%

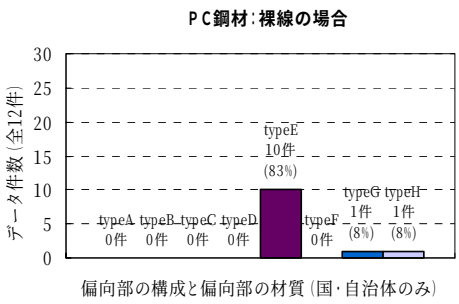
組合せの凡例→「偏向管」 ＋ 「ｼｰｽ」 ＋ 「ｸﾞﾗｳﾄ材」

typeA～　鋼管orｶﾞｽ管+ｼｰｽなし+ｸﾞﾗｳﾄなし
typeB～　鋼管orｶﾞｽ管+ﾃﾌﾛﾝｼｰﾄ+ｸﾞﾗｳﾄなし
typeC～　鋼管orｶﾞｽ管+PEｼｰｽ+ｸﾞﾗｳﾄなし
typeD～　鋼管orｶﾞｽ管+透明ｼｰｽ+ｸﾞﾗｳﾄなし
typeE～　鋼管orｶﾞｽ管+PEｼｰｽ+ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ
typeF～　鋼管orｶﾞｽ管+透明ｼｰｽ+ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ
typeG～　PEｼｰｽ+PEｼｰｽ+ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ
typeH～　SUSｼｰｽ+PEｼｰｽ+ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ

「統計図」

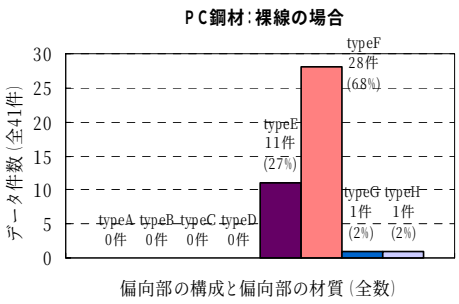
国交省および自治体

【裸線の場合】



偏向部の構成と偏向部の材質（国・自治体のみ）

有効データ全数



偏向部の構成と偏向部の材質（全数）

「解説」

PC鋼材に裸線を用いた場合の偏向部の材料構成は、国交省および自治体の事例では「鋼管orｶﾞｽ管+PEｼｰｽ+ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ」、公団の事例では「鋼管orｶﾞｽ管+透明ｼｰｽ+ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ」の採用が大半を占めており、両者の特徴的な傾向が現れている。

「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
「アンケート項目」	偏向部の構成と偏向具の材質
「抽出要素」	**偏向部の構成**　　外ｹｰﾌﾞﾙの保護：　**被覆鋼材**

【被覆鋼材の場合】

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
typeA	4	27%	5	23%
typeB	1	7%	1	5%
typeC	7	47%	12	55%
typeD	1	7%	1	5%
typeE	0	0%	1	5%
typeF	0	0%	0	0%
typeG	0	0%	0	0%
typeH	2	13%	2	9%
合計	15	100%	22	100%

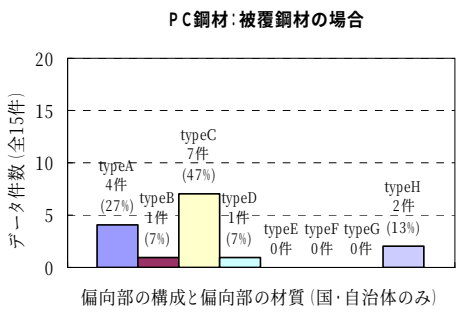
組合せの凡例→「偏向管」 ＋ 「ｼｰｽ」 ＋ 「ｸﾞﾗｳﾄ材」

typeA～　鋼管orｶﾞｽ管+ｼｰｽなし+ｸﾞﾗｳﾄなし
typeB～　鋼管orｶﾞｽ管+ﾃﾌﾛﾝｼｰﾄ+ｸﾞﾗｳﾄなし
typeC～　鋼管orｶﾞｽ管+PEｼｰｽ+ｸﾞﾗｳﾄなし
typeD～　鋼管orｶﾞｽ管+透明ｼｰｽ+ｸﾞﾗｳﾄなし
typeE～　鋼管orｶﾞｽ管+PEｼｰｽ+ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ
typeF～　鋼管orｶﾞｽ管+透明ｼｰｽ+ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ
typeG～　PEｼｰｽ+PEｼｰｽ+ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ
typeH～　SUSｼｰｽ+PEｼｰｽ+ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ

「統計図」

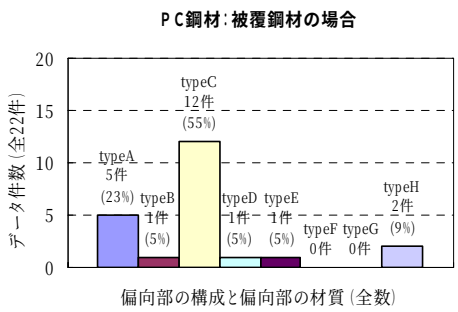
国交省および自治体

【被覆鋼材の場合】



偏向部の構成と偏向部の材質（国・自治体のみ）

有効データ全数



偏向部の構成と偏向部の材質（全数）

「解説」

PC鋼材に被覆鋼材を用いた場合の偏向部の材料構成は、「typeC」の組み合わせが約5割以上を占めている。尚、公団のみの事例では、被覆鋼材の採用が国交省および自治体の事例の半数程度であることも見て取れる。

「分類要素」	偏向部（鉛直リブおよび水平リブ）について
「アンケート項目」	偏向部の摩擦係数（設計時の設定値および実測値）

「統計表」

①

構成要素	有効データ全数 件数	比率
μ=0.3	63	97%
その他	2	3%
合計	65	100%

②

構成要素	有効データ全数 件数	比率
λ=0.0	64	98%
その他	1	2%
合計	65	100%

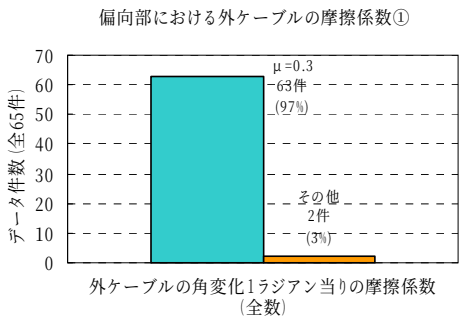
③

構成要素	有効データ全数 件数	比率
実測なし	63	97%
実測あり	2	3%
合計	65	100%

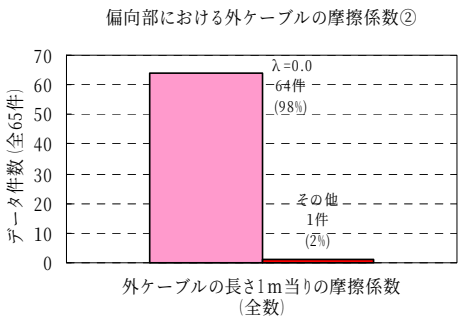
凡例
①：外ケーブルの角変化1ラジアン当りの摩擦係数
②：外ケーブルの長さ1m当りの摩擦係数
③：実測値の有無

「統計図」

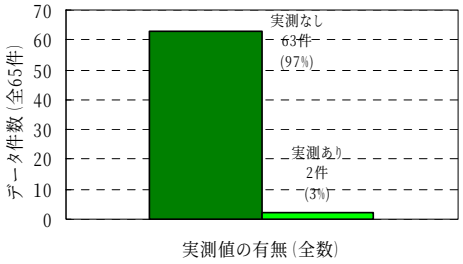
①外ケーブルの角変化1ラジアン当りの摩擦係数



②外ケーブルの長さ1m当りの摩擦係数



③実測値の有無



「解説」

偏向部における外ケーブルの摩擦係数の設定値は、大半が実験などの実測値を計測することなく、関連マニュアルなどの推奨値を採用している。尚、各係数のその他の事例には、下記の組み合わせを設定値としている事例がある。

	①	②	③
事例1	μ=0.15	λ=0.0	実測値による
事例2	μ=0.23	λ=0.0	実測値による
事例3	μ=0.3	λ=0.00001	実測なし

(9) 防食について

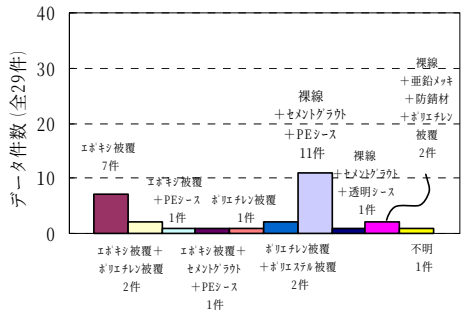
「分類要素」	防食について
「アンケート項目」	外ケーブルの保護方法

「統計表」

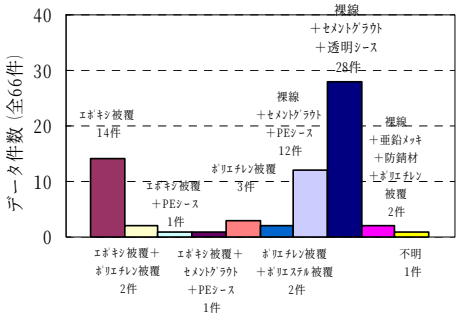
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
ｴﾎﾟｷｼ被覆	7	24%	14	21%
ｴﾎﾟｷｼ被覆＋ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ被覆	2	7%	2	3%
ｴﾎﾟｷｼ被覆＋PEｼｰｽ	1	3%	1	2%
ｴﾎﾟｷｼ被覆＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ＋PEｼｰｽ	1	3%	1	2%
ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ被覆	1	3%	3	5%
ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ被覆＋ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ被覆	2	7%	2	3%
裸線＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ＋PEｼｰｽ	11	38%	12	18%
裸線＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ＋透明ｼｰｽ	1	3%	28	42%
裸線＋亜鉛ﾒｯｷ＋防錆材＋ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ被覆	2	7%	2	3%
不明	1	3%	1	2%
合計	29	100%	66	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

外ケーブルの保護方法は、両集計共に20%程度が1重防食エポキシ被覆鋼材の事例となっている。その他、それぞれ多くを占めているのは、国交省および自治体が「裸線＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ＋PEｼｰｽ」、公団が「裸線＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ＋透明ｼｰｽ」であり、両者の特徴的な部分である。

「分類要素」	防食について
「アンケート項目」	保護工法を決定するに当たって実施した事前検討の有無および内容

「統計表」

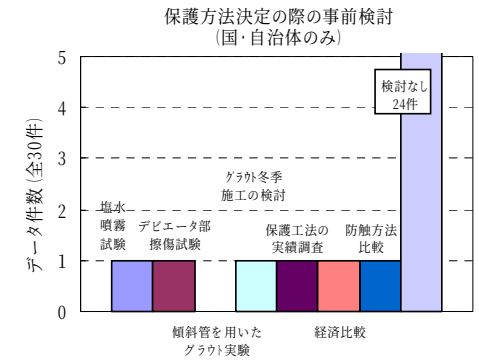
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
塩水噴霧試験	1	3%	1	2%
デビエータ部擦傷試験	1	3%	1	2%
傾斜管を用いたｸﾞﾗｳﾄ実験	0	0%	1	2%
ｸﾞﾗｳﾄ冬季施工の検討	1	3%	2	3%
保護工法の実績調査	1	3%	1	2%
経済比較	1	3%	1	2%
防触方法比較	1	3%	2	3%
検討なし	24	83%	58	88%

	国交省および自治体の事例件数	本調査事例の全件数
	～ 29 件	～ 66 件

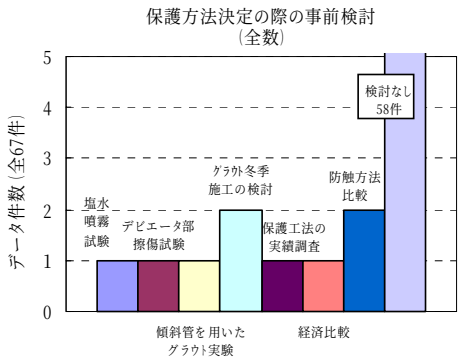
※1事例1件ではなく、複数回答がある。
※ここでの比率は、各物件事例件数に対する比率を表す。

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

保護工法を決定するに当たって実施した事前検討の事例は、両集計共に80%以上が未検討であるが、具体の検討例として上記7例が参考となる。

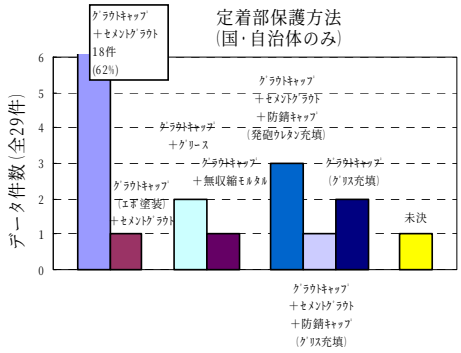
「分類要素」	防食について
「アンケート項目」	緊張後の定着部保護方法

「統計表」

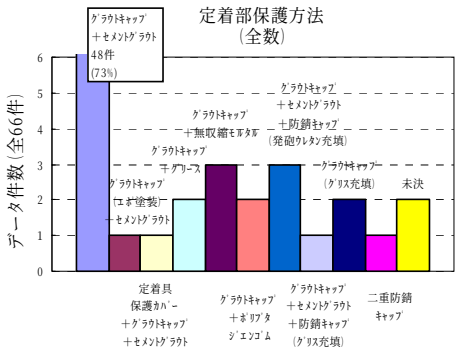
構成要素	国交省および自治体 件数	比率	有効データ全数 件数	比率
ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ	18	62%	48	73%
ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ（ｴﾎﾟ塗装）＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ	1	3%	1	2%
定着具保護ｶﾊﾞｰ＋ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ	0	0%	1	2%
ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋ｸﾞﾘｰｽ	2	7%	2	3%
ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋無収縮ﾓﾙﾀﾙ	1	3%	3	5%
ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝｺﾞﾑ	0	0%	2	3%
ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ＋防錆ｷｬｯﾌﾟ（発砲ｳﾚﾀﾝ充填）	3	10%	3	5%
ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ＋防錆ｷｬｯﾌﾟ（ｸﾞﾘｽ充填）	1	3%	1	2%
ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ（ｸﾞﾘｽ充填）	2	7%	2	3%
二重防錆ｷｬｯﾌﾟ	0	0%	1	2%
未決	1	3%	2	3%
合計	29	100%	66	100%

「統計図」

国交省および自治体



有効データ全数



「解説」

定着部の保護方法は、両集計共に60%以上が「ｸﾞﾗｳﾄｷｬｯﾌﾟ＋ｾﾒﾝﾄｸﾞﾗｳﾄ」である。その他、それぞれ事例がわずかではあるが、多岐にわたる組み合わせが採用されている。

(10) 維持管理について

「分類要素」	維持管理について
「アンケート項目」	完成後の点検のために配慮した構造または装置

「統計表」

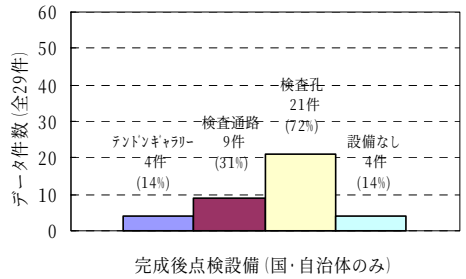
構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
ﾃﾝﾄﾞﾝｷﾞｬﾗﾘｰ	4	14%	8	12%
検査通路	9	31%	36	55%
検査孔	21	72%	51	77%
設備なし	4	14%	7	11%

国交省および自治体の事例件数	本調査事例の全件数
～ 29 件	～ 66 件

※1事例1件ではなく、複数回答がある。
※ここでの比率は、各物件事例件数に対する比率を表す。

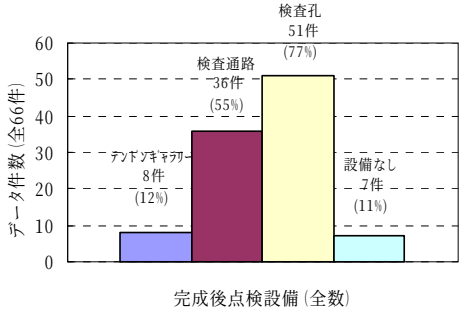
「統計図」

国交省および自治体



完成後点検設備（国・自治体のみ）

有効データ全数



完成後点検設備（全数）

「解説」 点検のために配慮した構造には、70%以上が「検査孔」を備え、特に公団の事例の多くが検査通路を設けて定着部の確認が出来るよう配慮していることがわかる。

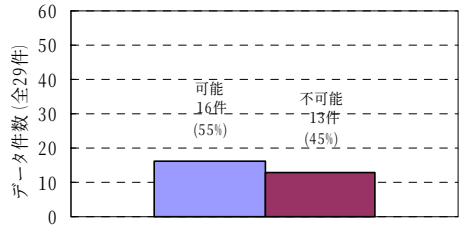
「分類要素」	維持管理について
「アンケート項目」	外ケーブルの取替えについて（①構造）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
取替え可能	16	55%	52	79%
取替え不可能	13	45%	14	21%
合計	29	100%	66	100%

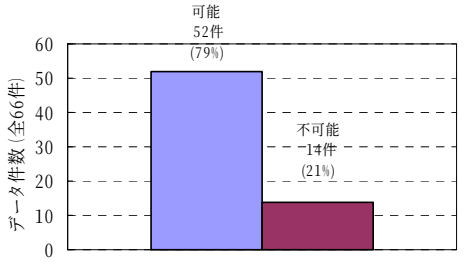
「統計図」

国交省および自治体



外ケーブルの取替え（国・自治体のみ）

有効データ全数



外ケーブルの取替え（全数）

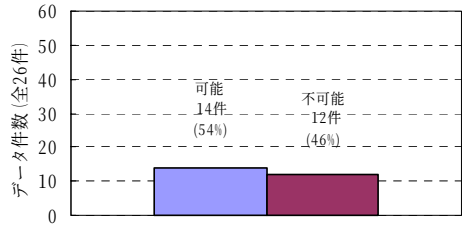
「解説」 外ケーブル定着部の構造は、国交省および自治体の事例では取替え可能な構造と不可能な構造に回答がやや二分したものの、公団のみの事例ではほぼ全数が維持管理を意識して取替え可能な構造を採用している。

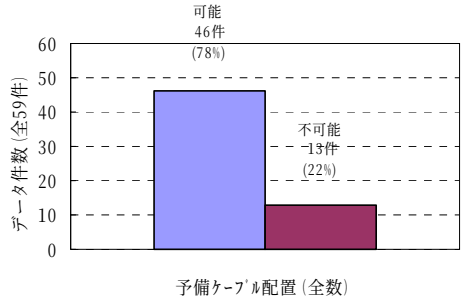
「分類要素」	維持管理について
「アンケート項目」	外ケーブルの取替えについて（②予備ケーブル配置の可能性）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
配置可能	14	54%	46	78%
配置不可能	12	46%	13	22%
合計	26	100%	59	100%

「統計図」





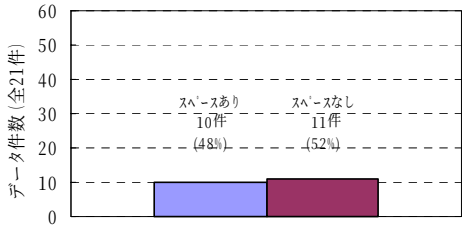
「解説」 予備ケーブルの配置の可能性は、前項の外ケーブル定着部の構造と同様な回答が得られ、国交省および自治体の事例と公団のみの事例とでは、設計思想に差異がある可能性がある。

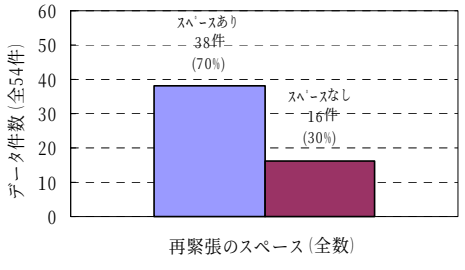
「分類要素」	維持管理について
「アンケート項目」	外ケーブルの取替えについて（③再緊張のスペースの有無）

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
ｽﾍﾟｰｽあり	10	48%	38	70%
ｽﾍﾟｰｽなし	11	52%	16	30%
合計	21	100%	54	100%

「統計図」





「解説」 外ケーブルの取替えに際する再緊張のスペースがないとの回答には、一部だけ隔壁やパラペットが障害となるものや、全長一括ケーブルとして定着具および予備孔を設けていてもパラペットや隣接橋が障害となるケースを含んでいる。

(11) その他について

「分類要素」	その他について
「アンケート項目」	外ケーブル構造に関する意見（設計・施工・維持管理の課題、疑問点）（1／2）
（その1） 設計及び 維持管理 に関する事柄	・全外ケーブル方式では、突起等の荷重が大きくなる。内外併用方式の方が、コスト縮減が可能である。 ・内外併用構造は、施工性が良い。 ①張出し施工時で配置する内ケーブル数が減る。 ②断面も小さくなり、鉄筋やコンクリートが減り、工程が早くなる。 ・施工性や経済性から考えて、全外ケーブルが有効とは考えにくい。 ・再緊張スペースの確保には、構造的ならびにコスト的に困難な場合が多い。 ・外ケーブル作業が張出し架設が完了して閉合部を連結してからとなる場合、箱桁内部作業がかなり多くなることから、施工性・通行性を重視した隔壁部形状の計画をする必要がある。 ・柱頭部の支点横桁が二枚壁構造であったため、外ケーブル定着のために充実断面とする必要が生じ、マスコン対策が必要となった。温度ひび割れが発生し易い構造であり、セメント種類の変更、クーリング、保温型枠、補強鉄筋の追加等の対策に苦慮した。 ・桁内緊張位置とケーブル配置に注意し、ジャッキセットが容易にできるようにしたい。 ・大容量ケーブルが多数配置されるため、定着部構造が複雑となる。 ・積算と実施工の差異がケーブル支持用の支保工に発生している。 ・固定支保工施工の場合、コンクリート打設から緊張までの期間が長く、積算上の支保工設置期間が実情にあわない。 ・外ケーブル定着具は、オプション部品が多いにもかかわらず数量計上の際に表現されない場合が多いため、必須なものとしてカタログ等に記載する必要がある。 ・ケーブル挿入と組立て材料の搬入・搬出は、必ず桁外（開口部）からであるため、これに伴う雑材料を明示しても良いのでは。 ・定着部の設計において、構造的に簡易計算法を適用することが困難な場合が多い。 ・設計においては、架設鋼材のさばきが非常に困難な作業となる。 ・本橋では鋼材量が多かったため、外ケーブルを荷重として見込み設計を行った。 ・外ケーブルが端部横桁で定着される設計であったため、交換・再緊張が可能というメリットが実質失われている。全径間に内ケーブルを配置して断面を決定し、不足分を外ケーブルで補う設計であったならば、外ケーブル定着部を箱桁内部に設置できたと考えられる。 ・定着突起部は、非線形解析の必要性がある。破壊性状や終局状態を十分吟味し、性能設計が突起部に摘要できれば、効果的かつ経済的な補強が可能となり、突起形状も縮小出来るのではないか。 ・定着部のＦＥＭ解析における制限値が、各橋梁によってまちまちなので、統一見解を知りたい。 ・発注時は全外ｹｰﾌﾞﾙ（架設・張出とも19S15.2）で設計されていたが、外ケーブルを換算断面と見なしていたため、実際は許容値を大きく超える結果となってしまった。やむなく自重（定着突起重量）を減らす目的で、架設時のケーブルを12S15.2とした経緯がある。 ・内外併用の場所打ち支保工施工において、内ケーブル全本数緊張後においてもたわみが下ぞりとなった。また、上床版内ケーブル、下床版内ケーブルの緊張順序によっ主桁に引張応力が発生した。したがって、緊張順序、支保工撤去時期を緊張段階毎に入念に照査する必要があった。 ・発注者側の外ケーブルの維持管理（取替や再緊張）に対する考え方が不明確で、意志統一がされていないとの印象を受ける。 ・将来的には、ケーブルを取り替えられる構造のほうが、トータル的にみて望ましいと考える。 ・維持管理上、ジャッキ・ポンプを桁内に入れる開口部を設置した方がよい。 ・ケーブル取り替えや防錆を考えるならば、樹脂塗装鋼材が望ましい。 ・桁端定着部の耐候性に注意したい。（特に塩害地区においては） ・塩害を受けやすい地域における外ケーブルの塩害対策方針はあるか。

「分類要素」	その他について
「アンケート項目」	外ケーブル構造に関する意見（設計・施工・維持管理の課題、疑問点）（2／2）
（その2） 施工 に関する事柄	・架設ケーブルを外ケーブルとすると、ワーゲン移動時の型枠骨組の組みばらし、シェアラグケーブルの設置と作業が煩雑となる（ワーゲン施工サイクルに影響する）。架設ケーブルは内ケーブル方式、連続ケーブルは外ケーブル方式が良いと考える。 ・横桁定着前面にクラックが発生したため、定着部近傍に横締鋼材を配置するのが有効と思われる。 ・緊張ジャッキの小型化が望まれる。 ・施工においては、偏向管の配置には十分注意を払う必要がある。 ・偏向管は、直進する側は理論的にはラッパ形状は不要だが、実施工においては両側ともラッパ形状とした方がよい。 ・エポキシ被覆の採用によって、グラウトの必要が無くなるのは簡便である。 ・エポキシ被覆鋼材の使用によって、自由長部のグラウト作業をなくしたが、定着部のグラウトが必要であるため、今後の課題として定着部グラウトの省略が可能かどうかの検討が期待される。 ・施工時にエポキシ被覆鋼材の被膜部が損傷を受けないよう留意する必要がある。 ・グラウト防錆の場合、気泡の最大許容量を施工基準として明確にし、対処方法の選定基準検討を行う必要がある。 ・透明シースの使用により、グラウト施工前のケーブル点検及びグラウト充填度の確認が目視によって可能であり、施工管理上の有効性が高い。 ・グラウトの際、FC方式継手（標準部）は良いが、熱収縮方式継手（偏向部）は、若干漏れやすいと思われる。 ・PE管の接続方法にはEFジョイントを使用したが、グラウト漏れはなかった。 ・グラウト注入の際、PE管溶接部からのグラウト漏れが多かったため、かなりの労力と時間を費やした。今後は、PE管のないタイプでするか、PE管の接続方法を確実で早く施工できるものを開発するか、いずれかの検討が望まれる。 ・外ケーブルの定着付近や偏向部の鉄筋配置が密であり、図面通りに組み立てるのが困難である。 ・ケーブルが平面変化すると、偏向管の製作、偏向管設置が煩雑になる。 ・死荷重状態の時、内ケーブルのみでは許容値を満たさないため、外ケーブル緊張後でないと支保工解体ができなかった。 ・支保工施工の場合、下床版打設から緊張までの期間が長いため、支保工の解体が遅れる。 ・箱桁内部の緊張スペースに余裕がなく、ジッキセットに苦労した。 ・プッシングマシーンを用いて透明シース内にPCケーブルを挿入する施工方法とする場合は、シース内にPCケーブルをセンタリング配置することは実質的に困難となる。 ・透明シースの配置や鋼材配置時の高さ調整に手間がかかる。 ・透明シースグラウトについて、グラウト完了後にPC鋼線内部の空気により、シース上面にエアー溜まりができ、その補修に手間がかかった。 ・固定支保工式場所打工法の場合には、箱桁内部支保工解体後にケーブル配置を行うために、打設から外ケーブル緊張までに20日程度の期間を有する。その間橋体は、RC構造物となるため、上床版直角方向にクラックが発生した。 ・下床版部に設置した検査孔蓋が外ケーブルと緩衝し、開閉できない箇所があった。 ・PE管同士のソケット型接続部からグラウト漏れが一部発生した。 ・透明シースの接続部よりグラウト漏れが生じた。

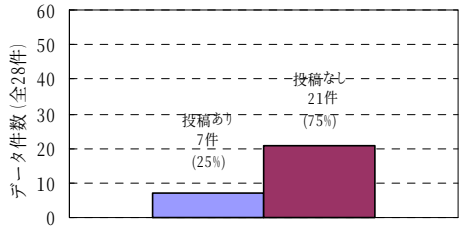
「分類要素」	その他について
「アンケート項目」	関連する刊行物への投稿の有無

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
投稿あり	7	25%	16	25%
投稿なし	21	75%	48	75%
合計	28	100%	64	100%

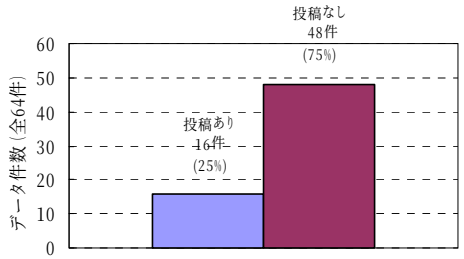
「統計図」

国交省および自治体



関連する刊行物への投稿の有無（国・自治体のみ）

有効データ全数



関連する刊行物への投稿の有無（全数）

「解説」 関連する刊行物への投稿は、いずれの事例においても1/4の事例において投稿がなされている。

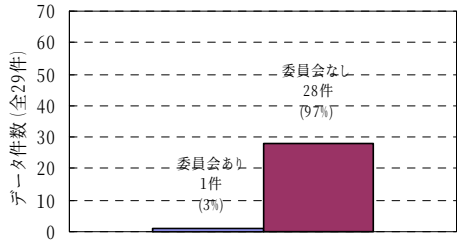
「分類要素」	その他について
「アンケート項目」	構造や工法の決定のための学識経験者などを含めた委員会の発足の有無

「統計表」

構成要素	国交省および自治体 件数	国交省および自治体 比率	有効データ全数 件数	有効データ全数 比率
委員会あり	1	3%	2	3%
委員会なし	28	97%	64	97%
合計	29	100%	66	100%

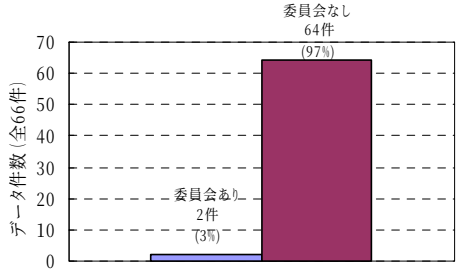
「統計図」

国交省および自治体



委員会の発足の有無（国・自治体のみ）

有効データ全数



委員会の発足の有無（全数）

「解説」 委員会の発足がなされた事例は、国交省と公団の事例に各1件あり、それぞれ、固定支保工による3径間連続ストラット付PC箱桁橋における「構造寸法に関する景観委員会」とﾌﾟﾚｷｬｽﾄｾｸﾞﾒﾝﾄｽﾊﾟﾝﾊﾞｲｽﾊﾟﾝ架設工法による17径間連続2主箱桁橋の「都市内PC高架橋のプレキャスト化に関する技術検討委員会」の事例を示す。