

# 「PE シースを用いた PC 橋の設計施工指針（案）」 の制定における検討課題

下村 匠<sup>\*1</sup>・呉 承寧<sup>\*2</sup>・梅津 健司<sup>\*3</sup>・佐藤 徹<sup>\*4</sup>

プレストレストコンクリート工学会は「PE シースを用いた PC 橋の設計施工指針（案）」を平成 27 年 8 月に発刊した。これは、PC 橋の耐久性確保の観点から内ケーブルに多層防錆構造（マルチレイヤープロテクション）の図れるポリエチレンシースが有効かつ適切に使用されることを目的に、使用材料、設計、施工、品質管理・検査および記録に関する指針として制定したものである。「PE シースを用いた PC 橋の設計施工指針作成に関する検討委員会」では、PE シースの品質を担保するための設計、施工、試験方法に関する課題を明らかにし、種々の検討を行った。本稿は、その検討事項の紹介を行うとともに、指針にどのように反映したかを述べるものである。

キーワード：PE シース、摩擦係数、温度ひび割れ、波打ち、すり減り、試験方法

## 1. はじめに

PC 橋にとってその生命線ともいべき PC ケーブルを腐食から保護することは、耐久性を確保するうえできわめて重要である。ポリエチレン製（以下、PE）シースは、それ自身が腐食しない材料であり、鋼製シースと比較して塩化物イオンや水、酸素、二酸化炭素などの腐食促進物質のシース内への浸透に対する遮蔽効果が高いという利点を有しており、PC ケーブルの耐腐食性を確保するのに適切な材料である。しかしながら、PE シースは、温度の影響を受けやすく、高温時に軟化し損傷を受けやすいこと、クリープ変形があること、シース外径が大きいことなど、鋼製シースにない留意点がある。これら PE シースの特性を知ったうえで、それに応じた設計、施工、維持管理を行う必要がある。

これまで土木学会「コンクリート標準示方書」<sup>1)</sup>や、プレストレストコンクリート工学会「コンクリート構造設計施工規準—性能創造型設計—」<sup>2)</sup>、「PC グラウトの設計施工指針—改訂版—」<sup>3)</sup>など、国内の示方書・指針類には PE シースに関する記述があるものの、いずれも使用時の留意点を簡易に記述するに留まっている。そこで、PC 橋において PE シースを適切に使用するための諸事項について記した設計施工指針を PC 工学会で制定することとした。制定にあたっては、同時期にプラスチック製シースに関する指針<sup>4)</sup>の作成に取り組んでいた *fib* Commission 9 と情報を共有し、国際規準との整合を念頭に置いた。

本稿では、指針制定にあたって検討した課題について述べる。

## 2. 検討事項

PE シースの設計施工指針を制定するにあたって、以下の検討課題があげられた。

- ① PE シースを用いた場合の PC 鋼材の摩擦係数
- ② 若材齢時に懸念される温度ひび割れ
- ③ コンクリート打込み時における PE シースの耐圧・変形状
- ④ PE シースのすり減り抵抗性
- ⑤ PE シースの性能を確認するための試験方法

これら課題に対して実績データの調査・分析、実験、解析により検討した。以下にそれらの検討結果を記す。

## 3. PE シースを用いた場合の PC 鋼材の摩擦係数の調査

### 3.1 概要

PC 橋において PE シースを用いた場合の、設計に用いる摩擦係数の標準値を示すための検討を行った。

PE シースは、既往の文献などで鋼製シースより摩擦係数を小さくできると報告されているものの、国内の多くの PC 橋で摩擦係数を調査した事例は少なく、その実態は明らかにされていない。そこで、PE シースを用いた約 1 400 ケーブルの摩擦係数を施工記録などにもとづき調査し、鋼製シースとの違いを比較した。なお、今回の調査は、すべて内ケーブルの PC 鋼材を対象としており、被覆された PC 鋼材は含んでいない。また、PE シースは軸方向に肉厚部が凹凸状に波付けされた内ケーブル用のみを対象としている。

### 3.2 摩擦係数の調査方法

摩擦係数の調査は、(一社)プレストレスト・コンクリ

<sup>\*1</sup> Takumi SHIMOMURA：長岡技術科学大学 工学部 教授

<sup>\*2</sup> Chengning WU：愛知工業大学 工学部 教授

<sup>\*3</sup> Kenji UMEZU：三井住友建設(株) 技術本部

<sup>\*4</sup> Toru SATO：昭和コンクリート工業(株) 技術工事部

ート建設業協会で収集した実施工における PE シースの摩擦係数の測定結果から、表 - 1 に示す 19 橋、1406 ケーブルに対して行った。また、PE シースと鋼製シースの摩擦係数の違いを把握することが今後の PE シースを用いた PC 橋の設計に有効な知見となることから、鋼製シースの摩擦係数の実態調査も行なった。鋼製シースの摩擦係数の調査については、文献 5) に、表 - 2 に示す 65 橋、591 ケーブルの各種構造形式で実施した主ケーブルの試験緊張による摩擦係数測定結果が記載されていることから、この

表 - 1 PE シースの摩擦係数調査

| 構造形式                   | 橋数 | ケーブル本数 |
|------------------------|----|--------|
| プレキャスト桁 <sup>*1</sup>  | 3  | 238    |
| ポータルラーメン中空床版           | 1  | 8      |
| 連続 2 主版桁橋              | 1  | 24     |
| 単純箱桁橋 <sup>*2</sup>    | 1  | 16     |
| 連続箱桁橋 <sup>*2</sup>    | 7  | 540    |
| 連続箱桁橋 <sup>*3</sup>    | 4  | 394    |
| 波形鋼板ウェブ橋 <sup>*3</sup> | 2  | 186    |
| 合計                     | 19 | 1406   |

表 - 2 鋼製シースの摩擦係数調査

| 構造形式                  | 橋数 | ケーブル本数 |
|-----------------------|----|--------|
| プレキャスト桁 <sup>*1</sup> | 19 | 165    |
| 単純中空床版橋               | 22 | 202    |
| 連続中空床版橋               | 15 | 136    |
| 単純箱桁橋                 | 4  | 44     |
| 連続箱桁橋                 | 1  | 8      |
| π 形ラーメン橋              | 4  | 36     |
| 合計                    | 65 | 591    |

※ 1 ポストテンション方式 PC T 桁、コンボ橋、バイプレストレッシング方式桁など

※ 2 固定支保工架設

※ 3 張出し架設

調査結果を用いた。

### 3.3 摩擦係数の調査結果

#### (1) 鋼製シースについて

摩擦係数を比較する上で基準となる鋼製シースの摩擦係数は、図 - 1 に示すように調査した全数ケーブルでは実測平均値  $\bar{\mu} = 0.149$ 、標準偏差  $\sigma = 0.080$  ( $N = 591$  本) となり、道路橋示方書に示す鋼製シースの摩擦係数  $\mu =$

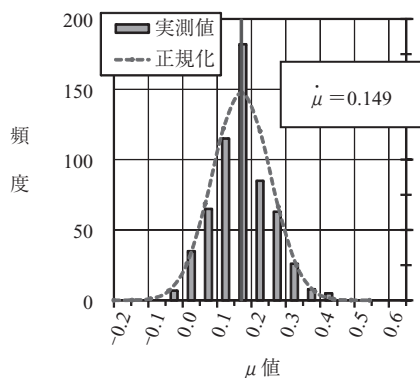


図 - 1 鋼製シースの摩擦係数の分布

0.30 より低い結果であった。

#### (2) PE シースについて

調査した PE シース全数の摩擦係数は図 - 2 に示すように平均値  $\bar{\mu} = 0.173$ 、 $\sigma = 0.119$  ( $N = 1406$  本) であり、道路橋示方書に示す  $\bar{\mu} = 0.30$  より低い結果であったが、その値は鋼製シースに比べ大きい結果となった。また、摩擦係数の分布は  $\bar{\mu} = 0.10 \sim 0.15$  の範囲が多いものの、全体の分布範囲は  $\bar{\mu} = -0.20 \sim 0.60$  とばらつきが大きい。ばらつきが大きくなった理由として 1406 本のデータ内には、① 平面 R の小さい曲線橋 (PC 鋼材配置が平面角度の変化を有する場合、その影響で摩擦が生じるものの、実際の緊張管理においては高さ方向と摩擦係数の区分ができないことから測定される摩擦係数は大きくなりやすい)、② 柱頭部などの短いケーブル (PC 鋼材の伸び量が少なく、PC 鋼材の見かけの弾性係数の差が伸び量の割合に影響を与えることから、摩擦係数に与える影響も大きくなりやすい)、③ 角度変化が小さくほぼ直線配置となる張出し架設用上床版ケーブル (摩擦係数管理では角度変化が主たるものと考え  $\lambda / \mu$  を一定値として管理することから角度変化の少ないケーブルでは摩擦係数が小さくなりやすくばらつきも生じやすい) の影響があったためと考えられる。これらのデータを取除き標準的な形状の PE シースの摩擦係数を調査した結果を図 - 3 に示す。データ数は 863 ケーブルに減ったものの平均値は  $\bar{\mu} = 0.129$ 、 $\sigma = 0.093$  と、摩擦係数およびばらつき範囲とも小さくなった。しかし、その摩擦係数の値は鋼製シースに比べても有意な差はなかつ

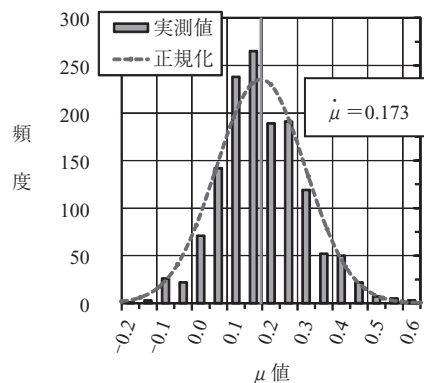


図 - 2 PE シースの摩擦係数分布

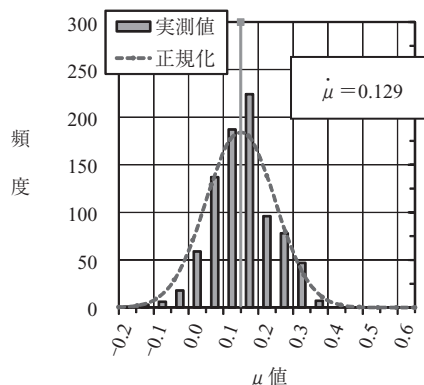


図 - 3 標準的な形状の PE シースの摩擦係数分布

た。

### 3.4 調査結果に対する考察

従来から PC 鋼材の緊張管理は、設計上の摩擦係数を設定行われてきた。その摩擦係数の値は、設計上の摩擦係数より実測値が大きく異なると、必要なプレストレス力が絶対上限線に達し導入されなくなるおそれもあるが、今回明らかになったように実測値よりも設計上の摩擦係数は大きな値で設定しており、この管理手法でこれまで大きな問題は生じていない。また、PE シースを用いた場合の摩擦係数の実測値は鋼製シースを用いた場合と同程度であった。摩擦係数を小さくすることができればプレストレス力が効率的に導入でき PC 鋼材を減らせるメリットがあるものの、以上の結果を考慮すると、現時点の管理手法では、PE シースを採用した場合に摩擦係数を小さくできることは難しいと判断した。

また、今回の実態調査をみると、標準偏差は鋼製シース  $\sigma = 0.080$  に対し PE シース  $\sigma = 0.093$  と高く、また変動係数  $CV$  (=標準偏差/平均値) においてでも鋼製シース  $CV = 0.54$  に対し PE シース  $CV = 0.72$  となることから、PE シースの摩擦係数にばらつきが大きいこともわかった。この原因として、PE シースは波付けされた形状であり軸方向の曲げ剛性が小さいことからコンクリート打込み時にフレッシュコンクリートの圧力や浮力によって、シースの支持点間で上下に湾曲する波打ちが生じ、その影響で緊張時に PC 鋼材の抵抗が増え摩擦係数が大きくなったことが考えられる。また、PE シースは、温度の影響を受けやすくとくに高温でなくても通常のコンクリートに生じる温度範囲でもその影響は受ける。そのため PE シースは、高温時に軟化しやすい、そしてすり減りも生じやすいという特性もあり、硬化熱ですり減りが大きくなりやすいことも考えられる。

なお、ここに示す  $\mu$  は、現場で測定された見かけ上の摩擦係数であり摩擦管理における管理の尺度として用いられている。この値は、設計上の角度変化の摩擦係数  $\mu$  以外にもプレストレス力に影響を与える他の要因 ( $E_p$ ,  $\lambda / \mu$  等) の影響も含んでおり、設計上の摩擦係数  $\mu$  とは若干異なる指標である。しかし、今回の比較では鋼製シースも PE シースも同様な管理手法で行われており、その値に有意な差が無いことから、指針の「設計」の章に示す PE シースを用いた場合の PC 鋼材の摩擦係数は、従来の鋼製シースと同じく PC 鋼材の角摩擦 1 rad あたりの摩擦係数  $\mu = 0.30$ 、長さ 1 m あたりの摩擦係数も  $\lambda = 0.004$  とした。

## 4. 若材齢時に懸念される温度ひび割れの検討

### 4.1 概要

PE の線膨張係数 ( $(110 \sim 160) \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ) は、コンクリートの線膨張係数 ( $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ) に比べて 1 オーダー大きい。そのため、PE シースを配置したコンクリート部材で、水和熱による温度上昇や蒸気養生などの影響で温度変化が大きい場合、両者の膨張性の違いからコンクリートにひび割れが生じることが懸念される。そのことに着目した安全性確認試験が文献<sup>6)</sup>で紹介されており、ひび割れ

の発生は見られなかったことが報告されているが、その試験は、縦締め用シースを配置した主桁部材と横締め用シースを配置した床版部材を想定しており、シース間隔が 300 mm、シースかぶりが 45 mm であった。そこで、シース間隔やかぶりがそれより小さい場合のひび割れ発生に対する安全性を確認するため、供試体を製作し、実験および解析を行った。

### 4.2 供試体

供試体は、幅 700 mm × 奥行き 700 mm × 高さ 1 000 mm の角柱のマスコンクリートとし、温度ひび割れに着目することから、水和熱による温度上昇を最大限に生じさせるため、全面(上下面、側面)を厚さ 150 mm の発泡スチロールで覆って断熱養生した。

シースは、12S15.2 用(内径 80 mm)とし、図 - 4 に示すように、シース外径に対するあきが 40 mm、純かぶりが 35 mm になるように、供試体の各側面(4 面)に 2 本ずつ高さ方向に並列で配置した。シースの種類は、波付け形状の違いや材質(線膨張係数)の違いを比較するため、製造会社の異なる 2 種類の PE シース (PE1, PE2) と鋼製シース (ST1) とし、8 本中の 5 本は中間をジョイントシースで接続した。

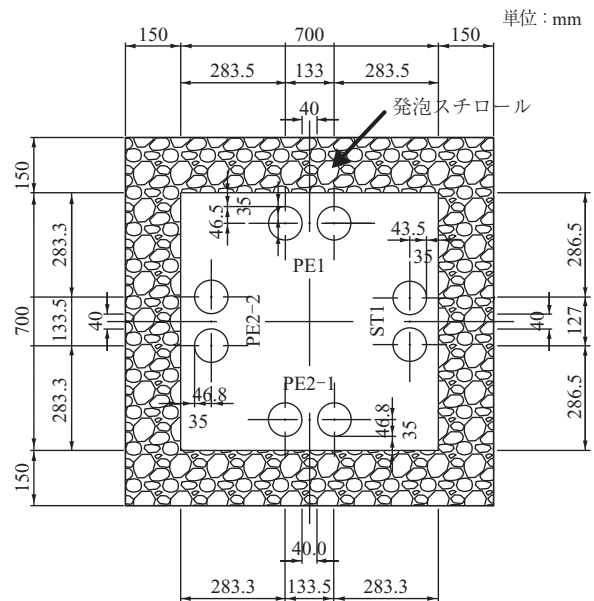


図 - 4 供試体のシース配置平面図

### 4.3 使用材料

コンクリートは早強ポルトランドセメントを用い、設計基準強度  $f'_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$  とした。なお、材齢 28 日のコンクリートのテストピース圧縮強度は  $74.5 \text{ N/mm}^2$  であった。

### 4.4 実験結果

コンクリート温度の計測値は、図 - 5 に示すように最高温度が各測点(計測箇所を図 - 8 に表示)とも約  $70^\circ\text{C}$  で、ほぼ 4 週間かけて外気温と同じ  $10^\circ\text{C}$  になった。

シースひずみの計測値(シースとひずみゲージの線膨張係数差を補正した全ひずみ)を図 - 6 に示す。図 - 6 において、ひずみの正は伸長側、負は短縮側である。PE シ

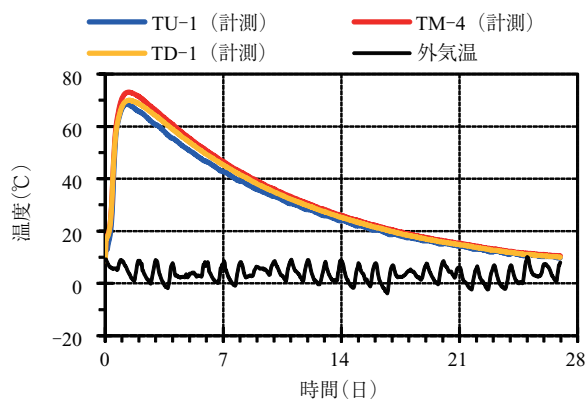


図 - 5 コンクリート温度の計測値

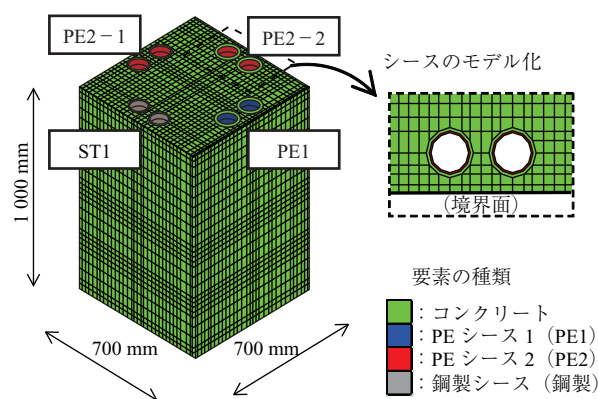


図 - 7 解析モデル

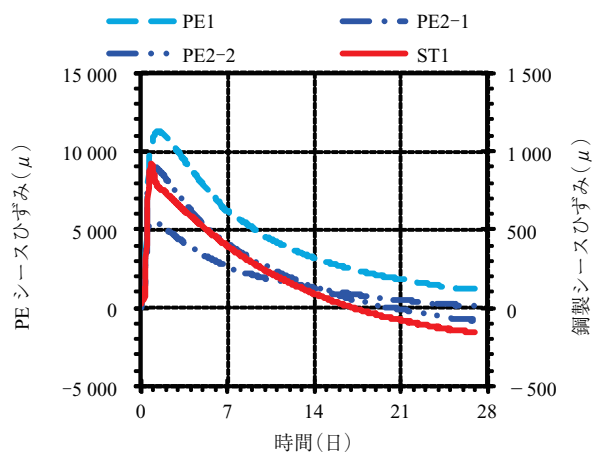


図 - 6 シースひずみの計測値 (鉛直方向)

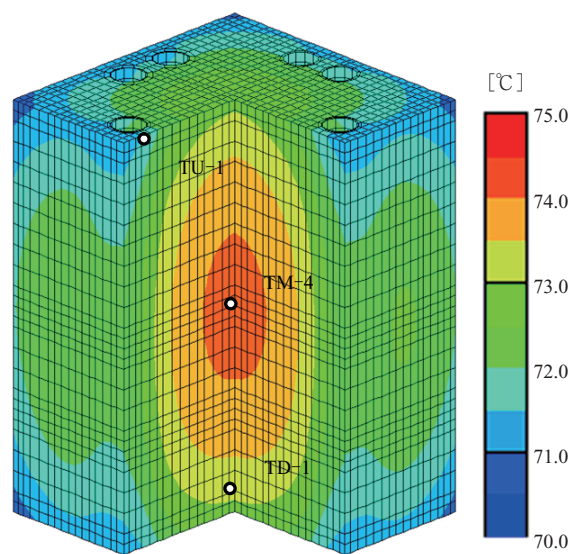


図 - 8 コンクリート最高温度

ースの鉛直方向ひずみ (PE1, PE2-1, PE2-2) は鋼製シースひずみ (ST1) の約 10 倍 (PE シースひずみは左縦軸, 鋼製シースひずみは右縦軸) で, 鉛直方向ひずみの最大値は, PE シースと鋼製シースの線膨張係数をそれぞれ  $160 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  および  $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  としたときの  $60^{\circ}\text{C}$  の温度上昇による膨張ひずみ  $9600 \mu$  および  $600 \mu$  とほぼ対応する。

材齢 29 日で脱枠し, 脱枠の直後・1 週間後・2 週間後・3 週間後に表面をアセトンで拭いて目視観察を行ったが, ひび割れ発生は認められなかった。

#### 4.5 温度応力解析

##### (1) 解析条件

温度応力を, 有限要素法による 3 次元温度応力解析専用ソフト (ASTEAMACS ver.8) で解析した。解析モデルを図 - 7 に示す。熱物性条件は表 - 3 に示すとおりで, コ

ンクリートの発熱と強度・ヤング係数の発現は, 土木学会 2012 年制定コンクリート標準示方書の方法で計算した。PE シースのヤング係数は高温で軟化する熱依存性があるが, 解析では常温時の  $1070 \text{ N/mm}^2$  としたので, 高温時期は実際よりも PE シースの影響度をやや大きく評価している。

##### (2) 解析結果

コンクリートの解析最高温度のコンターを図 - 8 に示す。

PE シースの弾性ひずみは PE シースの熱膨張がコンクリートに拘束されることにより発生する。解析ではシース

表 - 3 熱物性条件

| 項目    | 単位                       | コンクリート   | PE シース | 鋼製シース  | 備考           |
|-------|--------------------------|----------|--------|--------|--------------|
| 熱伝導率  | W/m°C                    | 2.7      | 0.3    | 51.3   | -            |
| 密度    | kg/m <sup>3</sup>        | 2400     | 956    | 7850   | -            |
| 比熱    | kJ/kg°C                  | 1.15     | 2.5    | 0.47   | -            |
| 初期温度  | °C                       | 16.5     | 9.2    | 9.2    | 計測値          |
| ヤング係数 | N/mm <sup>2</sup>        | JSCE2012 | 1070 ※ | 200000 | ※常温 23°C での値 |
| ポアソン比 | -                        | 0.2      | 0.41   | 0.3    | -            |
| 線膨張係数 | $\mu / ^{\circ}\text{C}$ | 10       | 160    | 10     | -            |

の波付けの影響をモデル化していないので、鉛直方向に関しては、実際にコンクリートが受ける引張力は解析の0.2～0.5倍程度であると推測される。ここでは、波付け形状をモデル化する代わりにPEシースのヤング係数を低減してPEシースの影響を小さくする。

PEシースのヤング係数を  $E = 1070 \text{ N/mm}^2$  で解析した円周方向ひび割れ指数を図-9に、1/2の  $E = 535 \text{ N/mm}^2$  で解析した鉛直方向ひび割れ指数を図-10に示す。(図-9においてPE2-1の線とPE2-2の線はほぼ重なっている。)

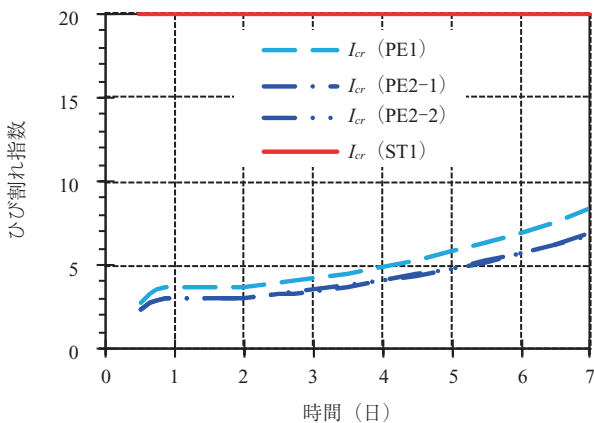


図-9 ひび割れ指数 (円周方向)

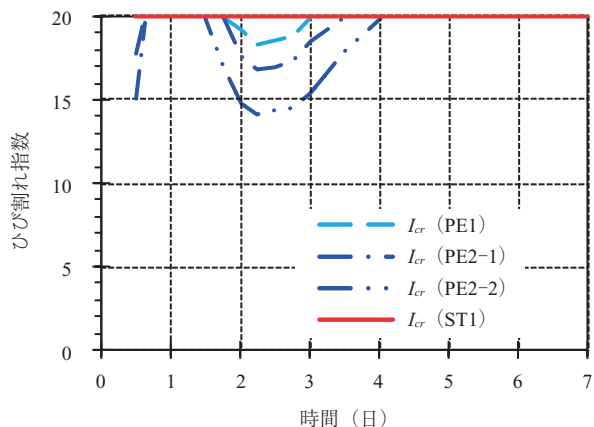


図-10 ひび割れ指数 (鉛直方向)

ひび割れ指数およびひび割れ発生確率については、文献7)に「打込み後1日以内の極若材齢時にコンクリート表面部に生じるものは対象としていない。」とあることより、材齢1日以降について着目する。材齢1日以降でひび割れ指数が小さいのはPEシースの円周方向で、 $I_{cr} = 3.0$ であるが、ひび割れ発生確率  $P$  は0.6%となり、非常に小さい値であった。

#### 4.6 温度ひび割れ発生の可能性について

実験および解析によって、以下のことが分かった。

実験では、供試体のコンクリート温度は約70℃まで上昇したが、PEシースの最小限の配置間隔とかぶりでも、線膨張係数の違いによる温度ひび割れの発生は見られなかった。

PEシースの場合におけるコンクリートのひび割れ指数を、シースの波付け形状をモデル化せずヤング係数を半分低減したモデルで解析した結果、ひび割れ発生確率としては特に問題にならない程度であった。

これらのことより、コンクリート水和反応に伴う若材齢時におけるPEシースとコンクリートの線膨張係数の差異を原因とした温度ひび割れの発生に対しては、特別な配慮は必要ないと考えられる。

ただし、蒸気養生による給熱時はPEシースが大きく変形することが懸念されるため、指針では蒸気養生の熱の影響を受けないよう、遮熱性のある布で覆って養生するなど、配慮することを規定した。

## 5. コンクリート打込み時におけるPEシースの耐圧・変形状の検討

### 5.1 実験目的

PEシースが保有すべき性能として形状保持性能があり、その着目する性状は、コンクリート部材内の配置において、有害な変形(つぶれ)が生じないこと、大きな波打ちが生じないことである。「有害な変形」は、i)配置作業時に人物が載ったとき、ii)コンクリート打込みの衝撃、iii)未だ固まらないコンクリートの液圧を受けたときに生じることが考えられる。「大きな波打ち」は、iv)配置時の直射日光等による上下面温度差、v)未だ固まらないコンクリートの浮力を受けたときに生じることが考えられる。

これら変形が生じた場合、以下の弊害が懸念される。

- 1) PC鋼材を後挿入する場合に、円滑に挿入できなくなる。
- 2) 緊張時に摩擦が増大する。
- 3) PCグラウト充填において、閉塞したり、シース内に空気が残留したりする。

そこで、実際のコンクリート部材の施工において、PEシースがどのような挙動を示すかについて確認するため、上記ii)コンクリート打込みの衝撃、iii)未だ固まらないコンクリートの液圧、v)未だ固まらないコンクリートの浮力の影響に着目した実物大実験を行った。

### 5.2 供試体の諸元

供試体の構造寸法を図-11に示す。供試体には12S15.2用の呼び径φ75mmのPEシースを3本配置した。PEシースは、国内製造会社の製品のうち、等圧外力抵抗性試験(JPCI-A001)によって求めた円環の曲げ剛性EIの中位のA社と小さかったB社、E社の製品を用いた。シースの支持間隔は、曲げ特性試験(JPCI-A002)で実施した試験結果より750mmとした(JPCI-A001, JPCI-A002については7.参照)。PEシースには、それより上に3m深さのコンクリートを打ち込むものとした。これは、普通コンクリートおよび高流動コンクリートの打込み時の液圧が、標準的な打上がり速度および温度の場合、最大でも0.075N/mm<sup>2</sup>であることを考慮し、コンクリート自重で0.075N/mm<sup>2</sup>となる3m深さとしたものである。コンクリートは、設計基準強度  $f'_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$  (早強ポルトランドセメント)、スランプ12cm、粗骨材最大寸法20mmの

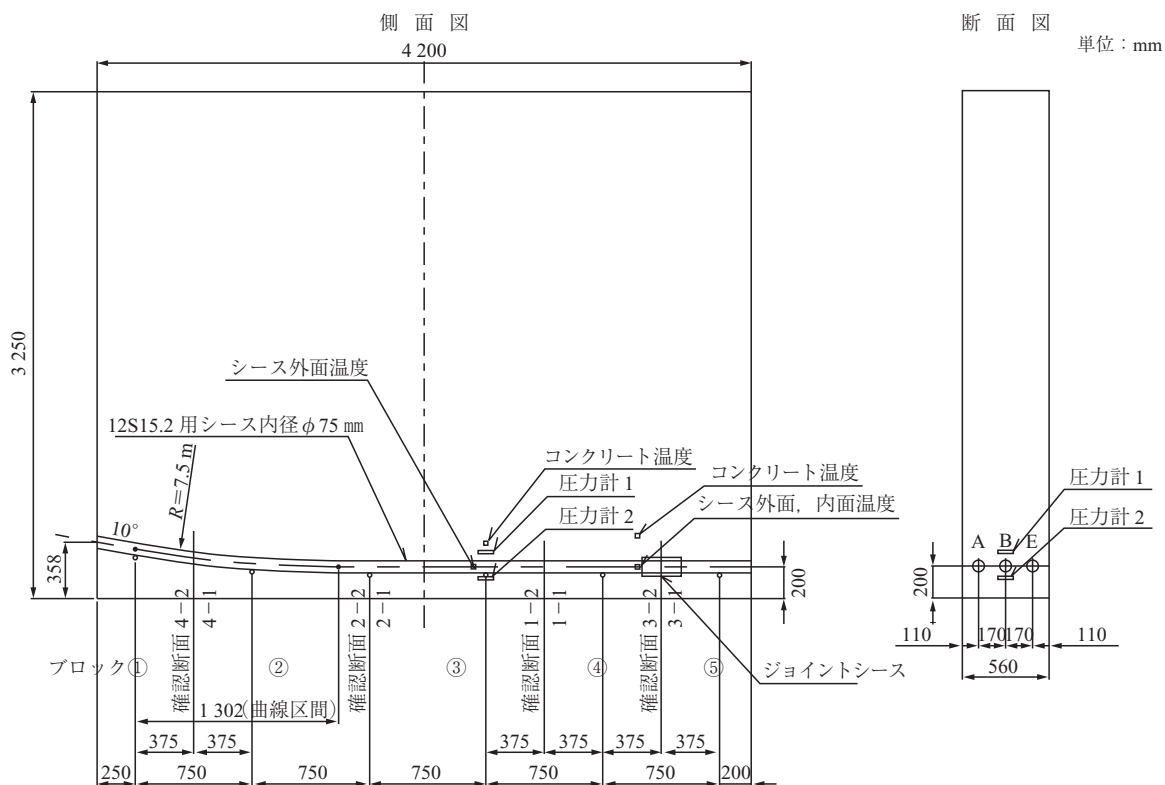


図 - 11 PE シース耐圧・変形確認供試体の構造寸法

ものを用いた。

### 5.3 コンクリートの打込み

打込み時のコンクリート落下高さは、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕に規定されている 1.5 m 以下を満足するよう、型枠天端にホッパおよび縦シュートを設けた。

### 5.4 実験結果

#### (1) 打込み時にシースに作用するコンクリート圧力

打込み深さの増加に伴うシースに作用する圧力の推移を図 - 12 に示す。これより、打込み当初は、圧力計 2 の方が圧力計 1 より、コンクリート打込み深さが深い分、大きな圧力を示していることが確認できる。この圧力計 2 と圧力計 1 の計測値の差分が、シースに作用する浮力となる。しかし、打込み深さが 1.65 m になった以降、圧力計 2 の計測値がほとんど増加しなくなっており、液圧としての作用が頭打ちとなったと推察される。打込み深さが 1.8 m になったとき、圧力計 1 計測値と圧力計 2 計測値の大小関係が逆転し、上からの圧力（重量）が支配的となり、シースには押し潰す力（偏圧）が増加している様子が確認できる。これは、コンクリートが完全な流体ではないために重力による上からの圧力の増加がシースの下側まで伝達されていないことによる。

図 - 13 に打込み時および打込み後における供試体の中央付近のコンクリート温度の推移を示す。コンクリートがフレッシュ、すなわち未硬化の段階では、コンクリート温度は打込み開始時の 24℃ からほとんど上昇していない。fib より 2014 年 12 月に発刊された Bulletin 75<sup>4)</sup> では、コン

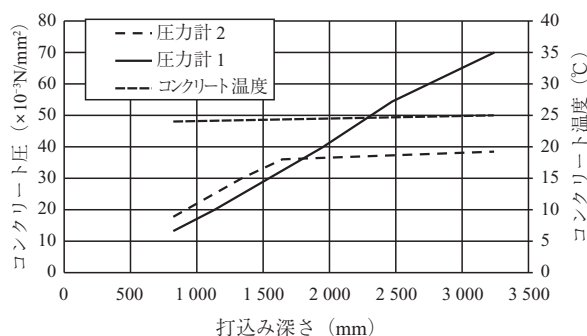


図 - 12 打込み深さの増加に伴うシースに作用する圧力の推移

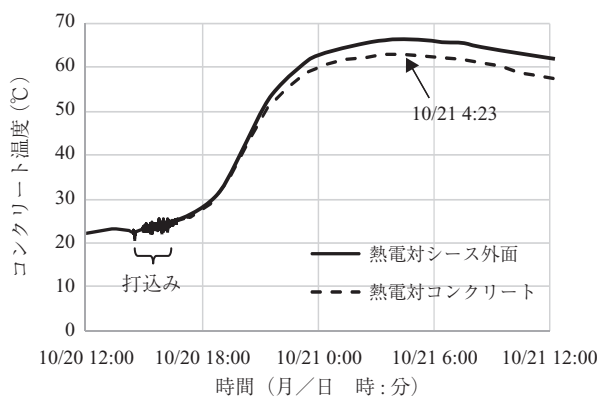


図 - 13 打込み時からのコンクリート温度の推移

クリートの水和熱を考慮するため、曲げ特性試験では 23℃ のほかに 45℃ 以上の状態を考慮することとされているが、本実験結果より、コンクリート温度が 45℃ に達したのは、打込みを終了して 4 時間後である。この頃には、コンクリートが硬化しているため、シースは変位しない。よって、浮力による変位を検討する曲げ特性試験において、45℃ 以上の状態を考慮することは、実態に即してないものと考えられるため、本指針において新たに制定した曲げ特性試験方法 (JPCI-A002) の実施温度条件は、標準の 23 ± 5℃ のほかに、暑中コンクリートの上限温度から 35℃ 以上とした。

(2) 打込みに伴うコンクリート圧力によるシースのつぶれ

コンクリートの打込みによる衝撃や打設後の偏圧により、シースに変形 (つぶれ) が生じないかに着目するため、硬化後に確認断面 1~4 を切断し、シース断面の変形を確認した。小口および確認断面におけるシース水平内径と鉛直内径の差の実測値を図 - 14 に示す。図 - 14 より (シース水平内径 - 鉛直内径) は、-1.5 mm ~ 2 mm とわずかであり、顕著なつぶれは見られなかった。

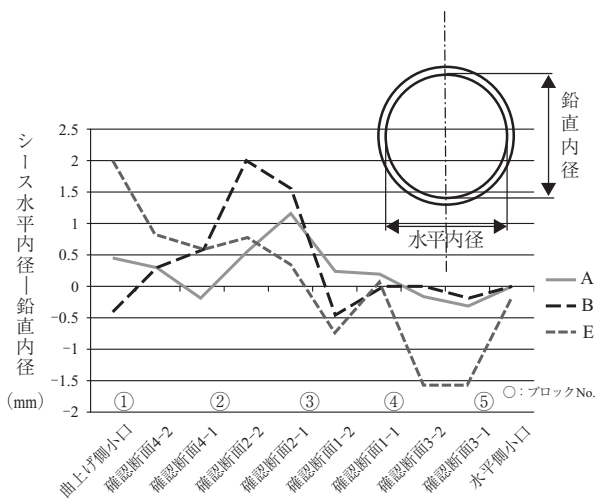


図 - 14 小口および確認断面におけるシース水平内径と鉛直内径の差の実測値

これより、コンクリート打込み高さ 1.5 m 以下を順守して打ち込んでいる範囲では、打込みによる衝撃およびコンクリート自重により、試験に用いた PE シースに有害な変

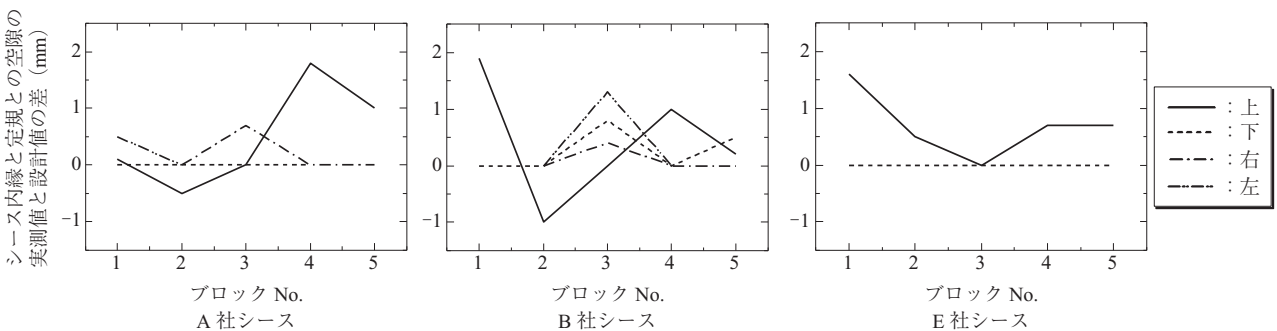


図 - 15 シース内径と定規との空隙の実測値と設計値の差 (= 実測値 - 設計値) の分布

形 (つぶれ) は生じていないことが確認された。

(3) シースの波打ち変位

供試体を確認断面で切断したのち、確認断面を両端面とするコンクリートブロックごとに、シースに定規を挿入し、定規とシース内縁との空隙を測定した。ブロック両端における空隙の実測値と設計値との差の平均を図 - 15 に示す。ここに、設計値は、直線部では 0 mm、曲線部では円弧と直線が成す幾何学的算出値を用いた。この空隙の実測値の、設計値からの差が波打ち変位である。

供試体のシースの波打ち変位は、-1.0 ~ 1.9 mm であり、最小から最大までの幅は 2.9 mm となった。

fib Bulletin 75 では、浮力による変位計算値が、支持間隔の 1/500 以内となるよう支持間隔を設定している。それを踏まえ、曲げ特性試験 (JPCI-A002) により得られた曲げ剛性 EI より、シースの支持間隔は 750 mm とした。すなわち、浮力により生じる変位に対する制御目標値は ± 1.5 mm (= 750/500) で、最小から最大までの幅は 3.0 mm である。

供試体で測定された波打ち変位は、浮力によるもの、打込みの衝撃によるもの、設置誤差によるものが合成された変位である。そのなかから浮力による変位のみを抽出することは困難であるため、供試体の波打ち変位と fib Bulletin 75 における浮力による変位制御の目標値とは直接には比較できない。そこで最小から最大までの幅に着目することとすると前者は 2.9 mm、後者は 3.0 mm であり、前者は後者を上回っていない。これより fib Bulletin No.75 が推奨する方法により支持間隔を設定すれば、目標とする波打ち変位におおむねおさめられるものと推察される。

6. PE シースのすり減り抵抗性の検討

PC 鋼材の緊張によって、シースの曲げ配置部では PC 鋼材からシース壁面に腹圧力が作用するとともに、緊張による伸びによって PC 鋼材がシース壁面を滑りながら移動する。その際、PE シース壁面にすり減りが生じて肉厚が減少する。この挙動を再現した試験が PE シースのすり減り抵抗性試験である。

土木学会のすり減り抵抗性試験 (JSCE-E 709) は、上下より加圧した状態で PC 鋼材を引き抜いたシース供試体に水を張り、水漏れの有無を観察するものである。すなわち、供試体に亀裂が貫通したり、孔が開かないかぎり、水漏れが生じることはない。

一方、*fib Bulletin 75* では、PC 鋼材によるすり減り試験後、防食レベルが PL2 または PL3 の場合、残留肉厚 1.5 mm 以上を確保することを求めている。すなわち、土木学会試験の判定基準より厳しいものである。ここに、*fib Bulletin 75* における防食レベルの説明を表 - 4 に示す。

表 - 4 防食レベルの概要

| 防食レベル | 概要                             |
|-------|--------------------------------|
| PL1   | ダクトと PC グラウトにより耐久性のある防食機能を有する  |
| PL2   | PL1 + PT システムの遮蔽性能を確保した密閉構造の実現 |
| PL3   | PL2 + PC 鋼材の絶縁化+絶縁状態のモニタリング    |

指針の制定では、*fib Bulletin 75* に倣って試験方法と判定基準を定めることとし、わが国の PE シース製造会社の製品を対象に、その試験方法に従ってすり減り抵抗性試験を実施した。図 - 16, 17 に、呼び径 75 mm, 供試体温度 50℃ の試験結果を示す。図中の直線は、各社製品結果の一回帰線である。

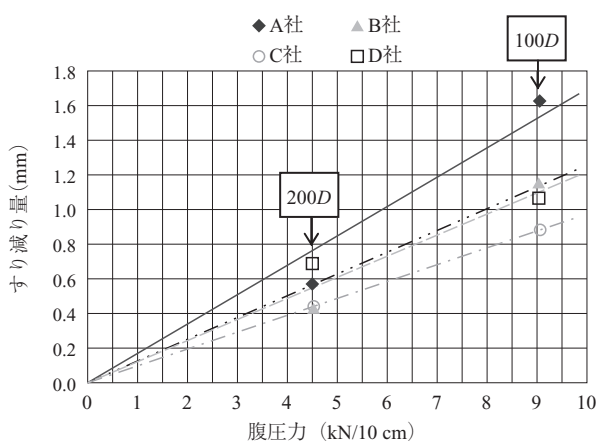


図 - 16 腹圧力とすり減り量の関係

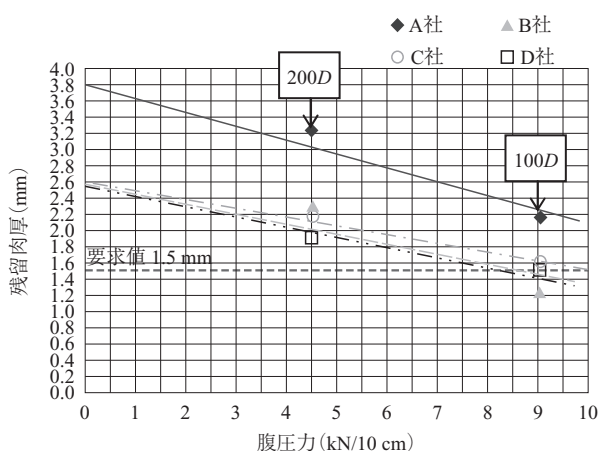


図 - 17 腹圧力と残留肉厚の関係

これより、PC 鋼材の曲げ配置部において従来の曲げ半径 100 D (D: シース呼び径) では残留肉厚 1.5 mm を満足

せず、200 D を必要とする製品があった。これより、指針では、主方向ケーブル (マルチストランド) の最小曲げ半径は 200 D を標準とすることとした。

## 7. PE シースの新たな試験方法の検討

PE シースの品質を確認するための試験について、本検討委員会で検討し、新たに以下の 4 つの試験方法 (案) を制定した。

- 平板載荷による等圧外力抵抗性試験方法 (案) (JPCI-A001)
- 曲げ特性試験方法 (案) (JPCI-A002)
- すり減り抵抗性試験方法 (案) (JPCI-A003)
- プレキャストセグメント用プラスチック製カップラーシースの漏れ試験方法 (案) (JPCI-A004)

これらは、*fib Bulletin 75* で提案されている試験方法などを参考に合理的な試験方法として制定したものである。このうち、曲げ特性試験方法 (案) (JPCI-A001) について述べる。

*fib Bulletin 75* では、PE シースの支持間隔をシース自重、PC 鋼材自重 (先挿入の場合)、フレッシュコンクリート内における浮力の作用を考慮し、最大たわみが支持間隔の 1/500 以内となるように定めることとしている。たわみの算定に用いる曲げ剛性は、図 - 18 に示す方法の曲げ特性試験により算定する。*fib* 試験方法に準拠し、PC 工学会の曲げ特性試験方法 (案) (JPCI-A001) を制定するにあたり、常温 (23 ± 5℃) のほか、暑中コンクリートを想定した高温 (35℃ 以上) でも実施することとした。試験には、以下の課題があった。

- ① 与える変位が 5 mm と小さく、それに応じた荷重も小さいため、試験装置の荷重に誤差が含まれないように配慮する必要があること。
- ② 載荷初期の供試体のなじみを除去すること。

① に対しては、変位計のばね反力を必要に応じて控除することとした。② に対しては、初期たわみ 2 mm 以下の範囲で初期荷重を与え、その状態で 5 分間保持し、それから 5 mm の変位を与えるための載荷を行うこととし、曲げ剛性算定では初期たわみ分を無視することとした。

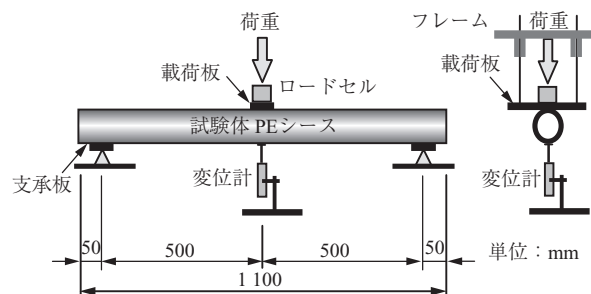


図 - 18 曲げ特性試験の装置

わが国の PE シース製造会社の製品を対象として実施した曲げ特性試験 (35℃) により算定した PE シースの曲げ剛性および最大支持間隔を表 - 5 に示す (最大支持間隔



表 - 5 曲げ特性試験により算定した曲げ剛性および最大支持間隔

| 製造会社 | 呼び径φ 35 シース                       |                 | 呼び径φ 75 シース                       |                 |
|------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
|      | 曲げ剛性<br>$EI$ (N・mm <sup>2</sup> ) | 最大支持<br>間隔 (mm) | 曲げ剛性<br>$EI$ (N・mm <sup>2</sup> ) | 最大支持<br>間隔 (mm) |
| A 社  | $2.61 \times 10^7$                | 888             | $1.31 \times 10^8$                | 931             |
| B 社  | $2.15 \times 10^7$                | 853             | $8.10 \times 10^7$                | 812             |
| C 社  | $1.42 \times 10^7$                | 760             | $9.38 \times 10^7$                | 869             |
| D 社  | $1.04 \times 10^7$                | 657             | $1.13 \times 10^8$                | 902             |
| E 社  | $1.69 \times 10^7$                | 767             | $1.77 \times 10^8$                | 1044            |

の決定ケースとなる 35℃ の結果を示す)。現場における PE シースの最大支持間隔の標準値は、スターラップ配置間隔（一般に 250 mm）の倍数とするのが実用的であることより、指針では、シングルストランド用シースでは 500 mm、マルチストランド用シースでは 750 mm とした。

## 8. おわりに

本稿では、指針制定にあたって検討した課題のいくつかについて紹介した。なお、PE シースはコンクリートとの付着性能（一体性能）が鋼製シースに比較し若干低いといわれており、ひび割れ分散性など曲げ耐荷性能が劣ることも懸念されている。しかしながら、過去にいくつかの機関で実施された PE シースおよび鋼製シースを用いた PC 桁で曲げ耐荷力に着目した実験<sup>8,9)</sup>によれば、通常レベルの鉄筋が配置されている PC 桁であれば、ひび割れ発生荷重、曲げ破壊荷重、ひび割れ分散性に差異は無い結果が得られており、PE シースを用いた PC 橋でも鋼製シースと同様な曲げ耐力を有すると判断されている。

その他の課題とその検討結果については、指針の巻末参考資料に詳説しているので、そちらを参照されたい。

本指針が有効に活用され、PE シースを用いた構造物が適切に設計施工されることを願っている。

最後に、指針制定に従事された委員各位に感謝の意を表すとともに、検討委員会の委員一覧を以下に示す。

## PE シースを用いた PC 橋の設計施工指針作成に関する検討委員会

委員長 下村 匠

幹事長 小林 孝一

委員 青木 圭一, 呉 承寧, 岡本 大, 齊藤 成彦,  
白濱 昭二, 濱田 譲, 野澤伸一郎, 山本 貴士,  
渡辺 博志

委託側 秋月 敏政, 天谷 公彦, 安藤 健, 池田 秀樹,  
梅津 健司, 岡田 稔, 小野塚豊昭, 佐藤 徹,  
関根 肇, 谷山 慎吾, 手塚 正道, 徳光 卓,  
中村 淳, 中山 良直, 藤井 暁宏, 南 浩郎,  
三本 竜彦, 八木橋浩隆 (敬称略)

委員委嘱期間：平成 26 年 2 月～ 27 年 3 月

## 参考文献

- 1) (公社) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書 [施工編], pp.309-310, 2012.12
- 2) (公社) プレストレストコンクリート工学会：コンクリート構造設計施工規準 -性能創造型設計-, pp.49-50, 2011.9
- 3) (公社) プレストレストコンクリート工学会：PC グラウトの設計施工指針 -改訂版-, pp. II -7- II -10, 2012.12
- 4) fib: Polymer-duct systems for internal bonded post-tensioning, Bulletin 75, 2014.12
- 5) (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレストと緊張管理, 2011.3
- 6) (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会：ポリエチレン製シース実用化試験報告書, pp.28-30, 1995.9
- 7) (公社) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, p.43, 2008.11
- 8) 片脇清士, 坂本浩行：プレストレストコンクリート用プラスチックシースに関する実験, 第 3 回 PC シンポジウム論文集, pp.311-314, 1992.11
- 9) (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会：ポリエチレン製シース実用化試験報告書, pp.38-41, 1995.9

【2015 年 7 月 15 日受付】



刊行物案内

# PE シースを用いた PC 橋の設計施工指針 (案)

平成 27 年 8 月

定 価 4,800 円 / 送料 300 円

会員特価 4,000 円 / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会