

外ケーブル用ポリアミドシースに関する試験研究

利波 宗典*1・山口 隆裕*2・内山 周太郎*3・向野 元治*4

1. 緒言

社会資本であるプレストレストコンクリート（以下、PCと記す）構造物の耐久性を向上させ長期の耐用年数を確保するためには、PC鋼材を腐食から保護することがきわめて重要な因子となる。PC鋼材の防錆において、シース内へセメント系のPCグラウトを充てんする方法は、経済的で優れた防錆効果があり多くの構造物に採用されている。しかしながら、PCグラウトの充てん不備などよりPC鋼材に錆びが生じ、腐食を引き起こしたりすれば、PC構造の耐久性と耐荷性能にきわめて重大な影響を与えることになる。

内ケーブル方式のPCグラウトの充てん状況を確認するには、シースにセンサーを取付け注入時にモニタリングする方法や、硬化後の非破壊検査として打音法などがあるが、まだ十分とはいえずこれからの技術開発に期待するところである。一方、外ケーブル方式のPC構造においては、充てん状況を確認できるPCグラウト用シース、たとえば透明シースなどを用いることにより注入状況を正確に検査し評価することが可能となる。PCグラウトの充てん度を保証することができれば、PC構造物の耐久性に対する信頼度が格段に向上すると考えられる。

ここで、外ケーブル用透明シースの透明度に求められる性能を「PCグラウトの充てん性の確認ができること」とすれば、シースは完全な透明である必要はなく、たとえば半透明でも良い。このように考えれば、充てん性の確認ができるとともに経済的で力学特性や施工性に優れ、かつ、耐久性のある外ケーブル用シースを多くの選択肢の中から選ぶことが可能となる。

以上の観点から、著者らは、新しい外ケーブル用シースの素材としてポリアミド（PA）を取り上げ、PCグラウト用シースとしての妥当性を検証したのでここに報告する。ポリアミドを素材として作製されたシース（以降、PAシースと記す）の色は乳白色であり、廃棄燃焼時に有毒なガスを発生することもなく環境低負荷型の材料である。

2. 材料と構成部品

ポリアミドはその化学構造の違いにより各種存在する。力学特性、耐アルカリ性、耐久性および経済性から総合的に判断して、PCグラウト用シースに適用可能な素材にはPA 6やPA 610、等が考えられる。その中で今回はPA 610

をPCグラウト用シースの主素材として採用した。写真-1に作製したPAシースの内部に水を注入した状況を示す。PAシースの色は乳白色であるが、太陽光の下で目視によりその水の充てん状況を確認できる。

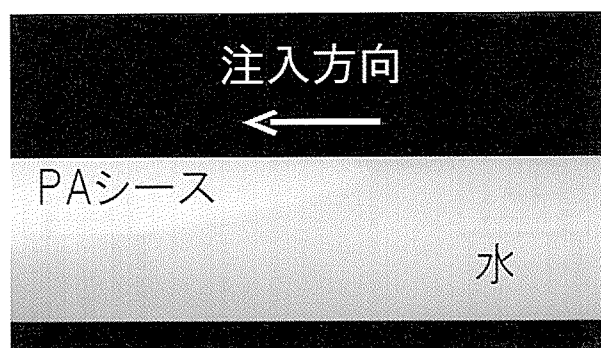


写真-1 PAシース（水を注入した状況）

表-1にPAシースとPAシース同士の接合に用いるシース（以降、ジョイントシースと記す）、およびPAシースとPE管の接合に使用するシース（以降、異径PEジョイントと記す）の形状を示す。PAシースは外ケーブル19S15.2を対象とし、内径をΦ100mmとした。ジョイントシースの材質はABS樹脂で、接着剤を用いてPAシースと接合する。写真-2にジョイントシースを示す。色は自由に選べるが、接着剤に対する紫外線下での耐久性を考慮した場合には黒色が推奨される。また、ジョイントシースにはあらかじめ排気用のグラウトホース用の竹の子ニップルを取り付けておくこともできる。

外ケーブルの偏向部や定着部には、PE管、または、緊張材とのフリクションロスを少なくし可とう性をもたせるた

表-1 PAシース、ジョイントシースおよび異径PEジョイントの形状

名称	形状		長さ	色	材質
	内径 (mm)	外径 (mm)			
PAシース	100	106	定尺5m	乳白色	PA 610
ジョイントシース	104~107	114	250mm	黒色を推奨	ABS樹脂*
異径PEジョイント	104~108	116~118	240mm	白色	PE

*：アクリルニトリルとブタジエンとスチレンの3元共重合

*1 Munenori TONAMI：大成建設(株) 横浜支店 土木部土木室

*2 Takahiro YAMAGUCHI：FKK 極東鋼弦コンクリート振興(株) 技術研究所

*3 Shutaro UCHIYAMA：FKK 極東鋼弦コンクリート振興(株) 技術研究所

*4 Motoharu KONO：VSL JAPAN(株) 技術部

めに、PE 管の内面をらせん状の硬鋼線で補強したスパイラル補強 PE 管が使用される場合があるが、それらの現行品の径は PA シースの径と異なる。そのため、PA シースと PE 管は、表 - 1 に示す異径 PE ジョイントを用いて写真 - 3 に示すように接合する。PE 管またはスパイラル補強 PE 管と異径 PE ジョイントは、バット溶着により接合し、さらにその上から熱収縮チューブで覆っている。異径 PE ジョイントと PA シースは接着剤により接合する。異径 PE ジョイントとの接合作業は施工の確実性を考慮して、工場で行うことを基本としている。

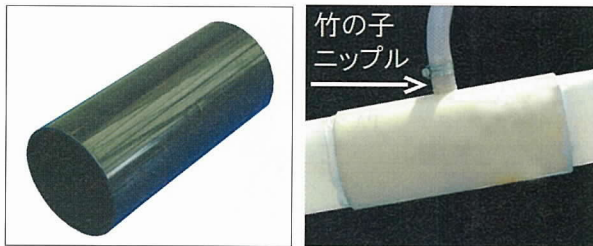


写真 - 2 ジョイントシース (PA シース+ PA シース)



写真 - 3 PA シースとスパイラル補強 PE 管の接合状況

3. 性能確認試験

性能確認試験は表 - 2 に示すように (1) 素材での環境試験, (2) 耐力・耐圧試験, (3) PC グラウトの注入試験, (4) 再充てん性試験, (5) 偏向部における摩擦試験に分けて行った。なお、試験方法および判定基準は「PC 橋の耐久性向上に関する設計・施工マニュアル」¹⁾, 「コンクリート標準示方書」²⁾, 「JIS」^{3), 4)} に準じて実施した。

表 - 2 性能確認試験の概要

試験		確認項目
(1) 素材での環境試験	環境温度特性試験	引張強度
	耐アルカリ性試験	
	耐候性試験	
(2) 耐力・耐圧試験	局部荷重試験	耐外力抵抗性
	等圧荷重試験	
	単体耐圧試験	耐圧性 (内圧)
	接続具耐圧試験	
(3) グラウトの注入試験	点検性・充てん性	
(4) 再充てん性試験	再充てんの可否・再充てん性	
(5) 偏向部における摩擦試験	耐潰れ特性・摩擦係数・可とう性	

3.1 素材での環境試験

図 - 1 に環境温度が -20°C ~ 40°C に変化した時の引張強度³⁾の試験結果を示す。温度上昇とともに引張強度は低下する傾向が見られるが、規定値となる 32MPa の引張強度を満足している。ここで図中に示す引張強度 32MPa は外径 $\phi 106\text{mm}$ 、厚さ $t=3\text{mm}$ のPAシース内部に 1.0MPa の内圧を与えた場合に生じる計算上の最大主応力であり、 9.8MPa とは参考文献¹⁾に記載されている引張強度の規格値である。また、PC グラウト用シースは強アルカリ環境下におかれることになるが、図 - 2 に示すようにアルカリの

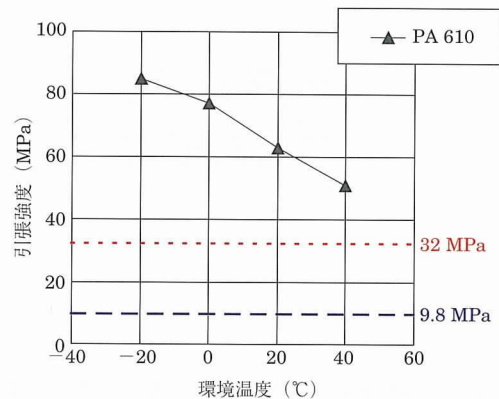


図 - 1 環境温度特性試験

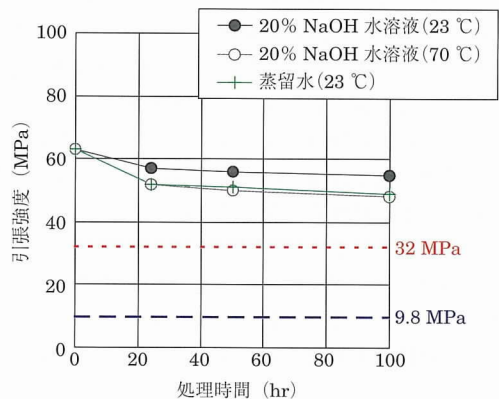


図 - 2 耐アルカリ性試験

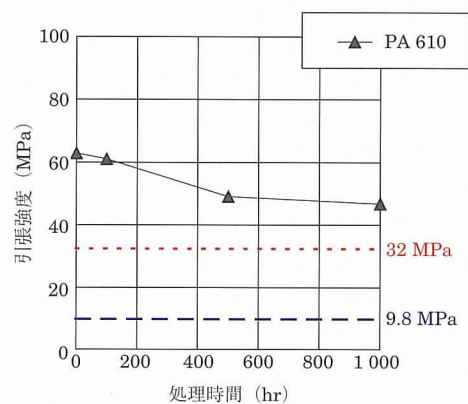
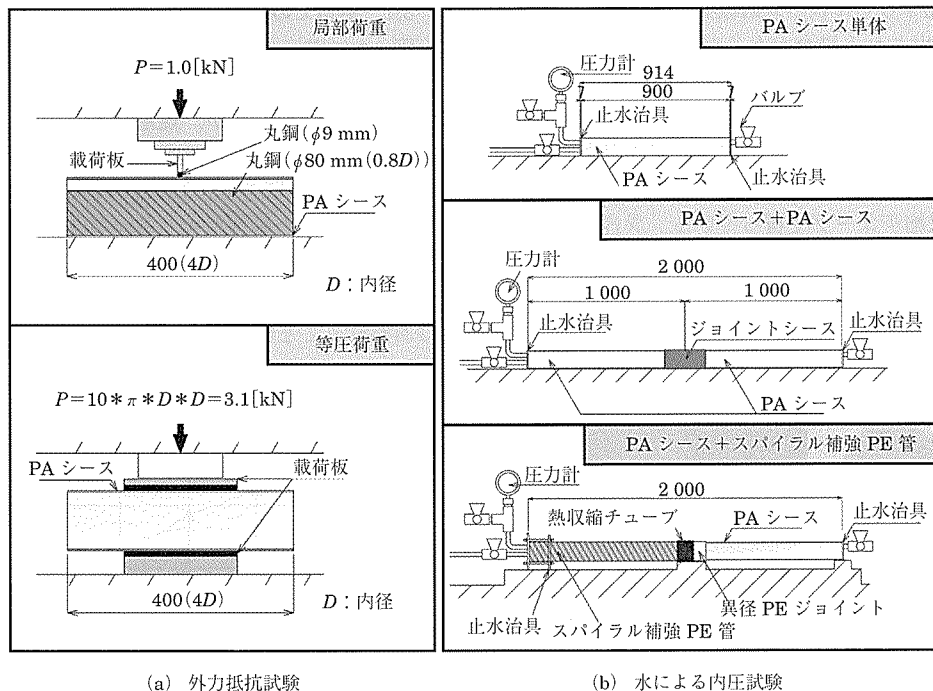


図 - 3 耐候性試験



(a) 外力抵抗試験

(b) 水による内圧試験

図 - 4 載荷試験の概要

影響による引張強度の低下は少なく、規定の性能を満足している。

外ケーブル用シースは桁内で使用されるので太陽光にさらされる時間は短いものと考えられるが、耐候性の確認のために晴天と雨天の繰返しを模擬した耐候性試験⁴⁾を実施した。その結果、図 - 3 に示すように 1 000 時間後においても十分な力学的性能を保持することが確認され、引張強度の低下も 500 時間以降はわずかであることが示された。なお、1 000 時間の耐候性試験は野外での自然環境での曝露試験のおよそ 5 年に相当するものである。

3.2 耐力・耐圧試験

PA シースが、PC グラウト用シースに要求される耐外力抵抗性、耐圧性（内圧）を保持しているかどうかを確認するため、載荷試験を実施した。図 - 4 に載荷試験の概要を示す。

外力抵抗試験の載荷はアムスラー型の試験機を用いて行い、試験体には長さ 400 mm の PA シースを使用した。局部荷重試験ではシース内径の 0.8 倍の直径を有する丸鋼（φ 80 mm）を試験体に挿入し、最大載荷荷重は $P = 1.0 \text{ kN}$ で、5 分間、持続載荷した。等圧荷重試験では試験体を長さ 200 mm、内面に $t = 10 \text{ mm}$ のスポンジをつけた載荷板ではさみ、最大載荷荷重 3.1 kN の等圧荷重を 10 分間、持続載荷した。

写真 - 4 に局部荷重試験状況、写真 - 5 に等圧荷重試験状況の一例を示す。最大荷重の載荷直後における PA シースの載荷方向の変形量は、局部荷重試験でおよそ 12 mm、等圧荷重試験でおよそ 8 mm であった。載荷による PA シースの割れはなく、荷重の低下も認められなかった。除荷により形状は復元し、60 分後における PA シース外径の最大残留変形量は 0.5 mm (0.5%) 程度であった。

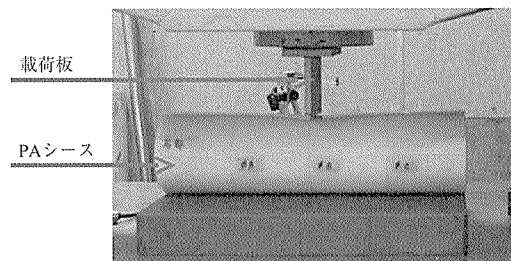


写真 - 4 局部荷重試験状況の一例

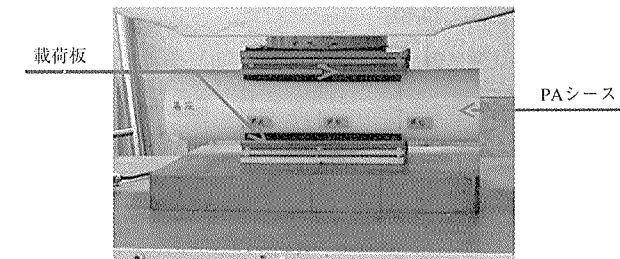


写真 - 5 等圧荷重試験状況の一例



(a) PA シース + PA シース (2.0 MPa 加圧時)



(b) PA シース + スパイラル補強 PE 管 (1.0 MPa 加圧時)

写真 - 6 耐圧試験の一例

耐圧試験はPA シース単体、PA シース同士を接合したものの、およびPA シースとスパイラル補強PE管を接合したものを対象とした。写真 - 6 に耐圧試験の一例を示す。載荷方法は、試験体にあらかじめ水を充てんさせた状態で、試験体の内部圧を0.2 MPa ずつ上昇させ、漏水を確認するまで加圧した。圧力の上限は2.0 MPa とした。

PA シース単体の試験体では最終的に規格値の2倍である内圧2.0 MPa を約25分間保持したが、PA シースが割れたりすることなく漏水は生じなかった。

PA シース同士、PA シースとスパイラル補強PE管における耐圧試験の結果を表 - 3 に示す。規格値1.0 MPa¹⁾の内圧において、接合部からの漏水は生じなかった。加圧による接合部の拔出し量もほぼゼロであった。

PA シース同士を接合した試験体No. 1 とNo. 3 については、内圧2.0 MPa においても接合部からの漏水は確認されなかった。試験体No. 3 については2.0 MPa まで加圧した後、1.2 MPa まで減圧し、約100分間保持した。100分後の内圧は1.1 MPa と低下していたが、漏水は確認されなかつ

表 - 3 耐圧試験結果

試験体	1.0 MPa 加圧時		漏水確認時の試験体内部の圧力 (MPa)
	漏水の有無	接続部の拔出し量 (mm)	
PA シース + PA シース	No. 1	無	0.1
	No. 2	無	0.1
	No. 3	無	0.0
PA シース + スパイラル補強PE管	No. 1	無	0.0
	No. 2	無	0.0
	No. 3	無	0.0

た。PA シースとスパイラル補強PE管を接合した試験体の場合、漏水が確認された時の内圧は1.3 ~ 1.6 MPa であった。試験体No. 3 が1.3 MPa と小さい値を示したのは、スパイラル補強PE管とPA シースの接合箇所直線性が保たれておらず、少し曲がっていたためと考えられる。このことは、接合部の耐圧試験の結果には接合部の直線性も影響するが、今回の接合方法においては、少し曲がった状態で接合されたとしても、少なくとも内圧1.0 MPa 以上まで漏水しないことを示している。

以上の結果より、PA シースは規定の外力・内圧作用下においてもその形状を確保し、漏水が生じることはなく優れた耐外圧・耐内圧抵抗力を有していることが検証された。

3.3 PC グラウトの注入試験

ある実橋の外ケーブルの形状を想定したシースにPC グラウトを注入して、PA シースによるPC グラウトの点検性および充てん性を確認した。表 - 4 に試験体の概要、図 - 5 に試験体の概略図、写真 - 7 に試験体の全景をそれぞれ示す。外ケーブル形状は、高低差と曲げ半径については想定した実橋と同じであるが、試験の制約上、全長を短くしたため、傾斜角度は実橋の約3倍となっている。試験体の直

表 - 4 試験体の概要

全長 (m)	形状		シース		定着具		PC 鋼材の挿入
	傾斜角度 (°)	曲げ半径 (mm)	直線部	曲線部	注入側	排出側	
25 164	12.3 ~ 13.5	3 000	PA シース	スパイラル補強PE管	19ER15 (フレッシュネー工法)	E6-19 (VSL 工法)	有*

*: 緊張は行っていない。

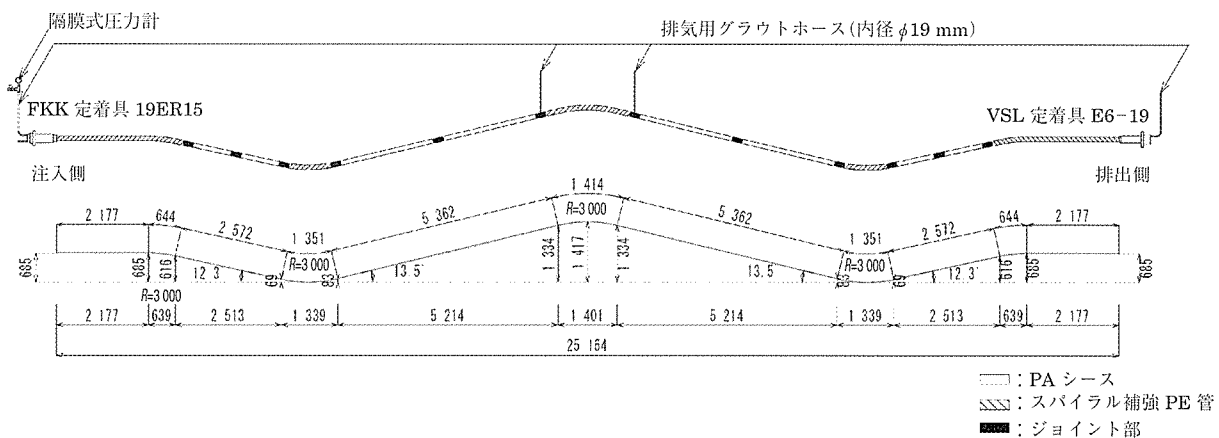


図 - 5 試験体の概略図



写真 - 7 試験体の全景

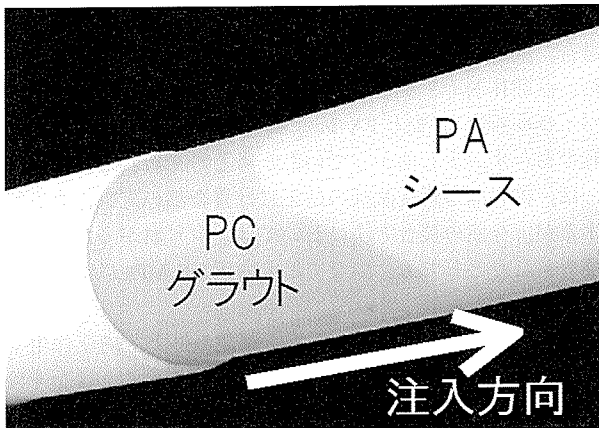


写真-8 PA シース内部への PC グラウト充てん状況

線部には PA シースを、定着部および偏向部にはスパイラル補強 PE 管を使用し、シースの両端部には二重管方式の外ケーブル用の定着具を取り付けた。定着具は、注入側にはフレシナー工法、排出側には VSL 工法を用いた。全長に渡り PC 鋼より線 19S15.2 を挿入したが、緊張は行っていない。注入側のグラウトキャップに接続した排気用グラウトホースには隔膜式の圧力計を取り付け、注入圧力をモニターした。また、PC グラウトの注入前には、シースの気密性が良好であることを真空ポンプにより減圧し、確認した。

写真-8 にシースの上り勾配部における PA シース内部の PC グラウトの充てん状況を示す。シース内部に挿入した PC 鋼材は緊張していないため、シース断面の下部にある。そのため実際の充てん状況とは若干異なるが、PC グラウトが PA シース内部へ充てんされる状況を目視で確認できた。これにより、乳白色の PA シースにおいても PC グラウトの充てん性確認が可能であることが検証された。PC グラウト注入時、PA シースまたはジョイントシース、異径 PE ジョイントからの PC グラウト漏れは確認されなかった。注入した PC グラウトの JP 漏斗流下時間は練混ぜ直後で平均 19.7 秒、水セメント比 W/C は 42.0 % であった。また、PC グラウト注入時におけるグラウトポンプの最大吐出圧力は 0.85 MPa、注入側のグラウトキャップ内部に発生した最大圧力は 0.15 MPa、吐出量は平均 6.9 l/分であった。

なお、実施工で PC グラウトの充てん状況を確認する場所は光量の少ない桁内であるが、電灯等を使用してある程度の明るさを確保すれば、PA シースを用いた場合においても PC グラウトの目視確認が可能であることが確認された。

3.4 再充てん性試験

PA シースの内部に PC グラウトを注入した際にエアーストリーが残留した場合、そのエアーストリーへの PC グラウトの再充てんが可能であるかを確認した。PA シースで作製した試験体の全長は約 2 m で、シースの内部に PC 鋼より線は挿入していない。写真-9 に試験体の全景を示す。試験体の中央部を意図的に若干曲げた状態で PC グラウトを注入し、中央部付近にエアーストリーを残留させ、PC グラウト未充てん箇所を再現した。PC グラウト硬化後、エアーストリー付近

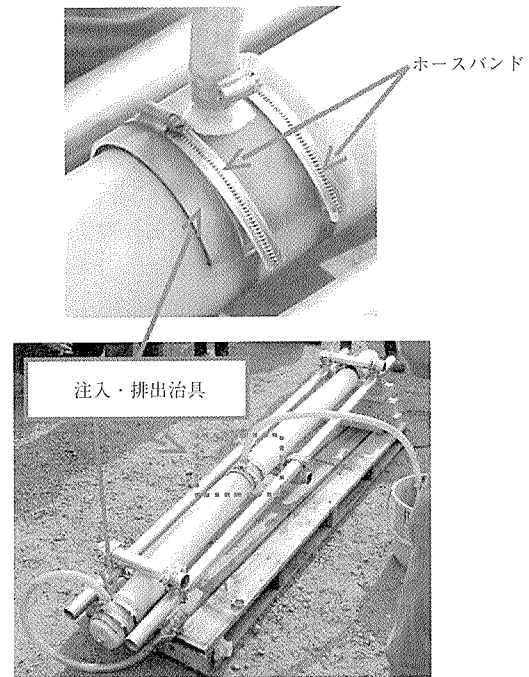


写真-9 試験体の全景

に穴をあけ、その箇所竹子の子ニップル付きの注入・排出治具をセットして、PC グラウトを手動ポンプで注入した。PC グラウトには 3.3 項で示した PC グラウトの注入試験で練り混ぜたものを使用した。注入・排出治具からの PC グラウト漏れもなく、PA シース内部のエアーストリーに PC グラウトを再充てんすることができた。

3.5 偏向部における摩擦試験

外ケーブルの偏向部に PA シースを使用した場合を想定して、PC 鋼材の腹圧力による PA シースの耐潰れ特性を確認した。また、偏向部で生じる PA シースと PC 鋼材の 1 rad 当りの摩擦係数を測定した。

写真-10 に試験状況の全景を、図-6 に試験体の概要図をそれぞれ示す。偏向部を模擬した中央のコンクリートブロックには、外径 $\Phi 139.8$ mm、厚さ $t = 4.5$ mm、 $R = 3000$ の曲げ加工された鋼管が埋め込まれている。鋼管の内面は亜鉛メッキが施されている。PA シースは当て木をしてその上からハンマーで叩きこむことにより、鋼管の内部に挿入できた。これにより、PA シースは $R = 3000$ 程度の鋼管に挿入できる可とう性を有していることが確認できた。

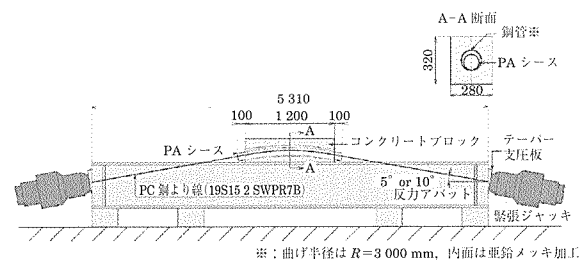


図-6 試験体の概要図

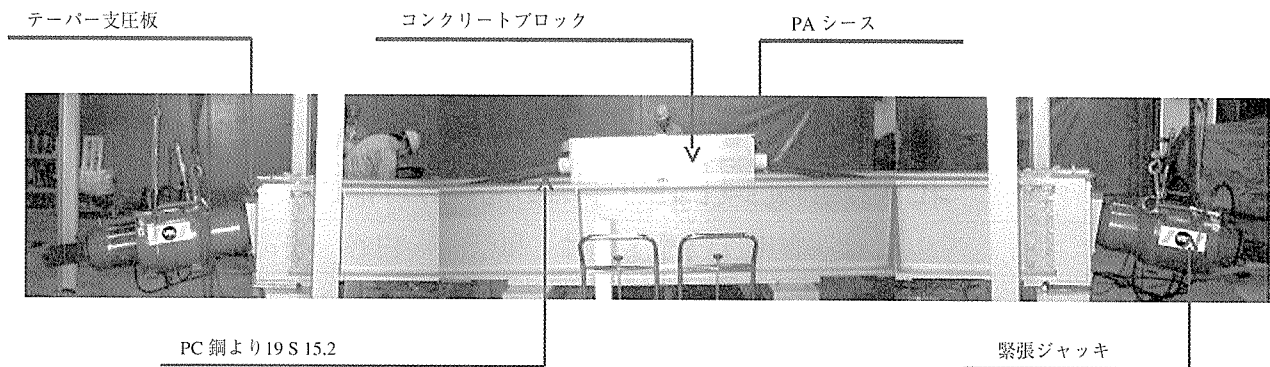


写真 - 10 試験状況の全景

約 1 400 mm の PA シースをコンクリートブロックにセットした後、PA シース内部に PC 鋼より線を挿入した。緊張ジャッキ間の水平距離は約 5.3 m とし、規格降伏荷重の 90 % まで 500 kN ごと段階的に緊張した。緊張後、PC 鋼材の緊張力を 3 000 kN 程度 ($\cong 0.6 P_u$) に保持した状態で PC 鋼材を約 110 mm 移動した。今回の試験においてはケーブルの偏向角度を要因として 5° 、 10° の 2 ケースを実施した。偏向角度は反力アバットの両端に取り付けたテーパー支圧板で調整した。

写真 - 11 に試験終了後の PA シース内部を示す。PC 鋼材の腹圧力による PA シースの著しい潰れや割れといった損傷は無かった。また、PA シースの 1 rad 当りの摩擦係数 μ は 0.2 以下であった。

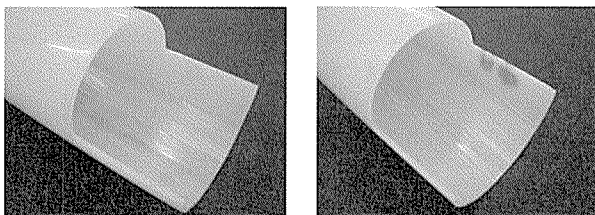
(a) 偏向角度 5° (b) 偏向角度 10°

写真 - 11 試験終了後の PA シース内部

4. まとめ

外ケーブル用シースの素材として新しく取り上げたポリアミドを用いた試験を行い、次の結果を得た。

- (1) 環境温度特性試験、耐アルカリ性試験および耐候性試験の結果、ポリアミドは PC グラウト用シースの素材として高品質の性能を有していることが確認で

きた。

- (2) PA シースは規定の外力・内圧作用下においてもその形状を確保し、漏水が生じることはなく優れた耐外圧・耐内圧抵抗力を有していることが示された。また、載荷時に変形した箇所も除荷後には、時間とともにほぼもとどおりに復元した。
- (3) 乳白色の PA シース内部への PC グラウトの充てん性を目視で確認できることが示された。また、エア溜りへもグラウトを再充てんすることができた。この結果、透明シースに求められていた PC グラウトの点検性および充てん性を PA シースでも同様にその要求性能を満足することが検証された。
- (4) 外ケーブルの偏向部に PA シースを用いた場合においても、鋼材の腹圧力による割れといった損傷は確認されなかった。

謝 辞

PA シースの性能確認試験を実施するにあたり、東レ(株) および鈴木金属工業(株) に多大なる御援助をいただいた。ここに、関係各位に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) (財) 高速道路技術センター/日本道路公団監修：PC 橋の耐久性向上に関する設計・施工マニュアル，平成 13 年 10 月
- 2) 土木学会：2002 年制定コンクリート標準示方書 [施工編]，pp 226-227，2002
- 3) JIS K 7161 「プラスチック引張特性の試験方法」
- 4) JIS B 7753 「サンシャインカーボンアーク灯式耐光性及び耐候性試験機」，他

【2006 年 3 月 31 日受付】