

ポリエチレン製シースの性能評価試験方法

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 ○長谷 俊彦
 (株)高速道路総合技術研究所 正会員 緒方 辰男
 西日本高速道路株式会社 小川 篤生

(Abstract) Test method that evaluates sheath made of polyethylene

The standard of the method of the performance evaluation test of the sheath made of polyethylene used for the PC bridge was revised in the NEXCO group in April, 2009. A new standard is a review of the strength characteristic evaluation and the test atmosphere condition of the polyethylene material. This article describes the point from which the simplification of the test method is attempted by the comparison experiment examination that pays attention to the material performance evaluation and the test atmosphere condition of the sheath made of polyethylene.

Key words : Sheath made of polyethylene, Performance evaluation method, Test method

1. はじめに

東・中・西日本高速道路株式会社（以下、NEXCO 3社という）の建設するプレストレストコンクリート橋（以下、PC橋という）に使用される内ケーブルシースについては、PC橋の耐久性向上の観点からPC鋼材の防食性能を高めるため、写真1に示すようなポリエチレン製シース（以下、PE製シースという）を採用し、その品質管理の性能評価方法を規定している。これらの試験方法のうちシースの性能を評価する試験方法には、ポリエチレン材料の試験環境条件であるJIS規格の温度 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\%\pm 5\%$ を標準として規定しており、恒温試験室相当の試験環境を確保するために、大きな費用負担が伴う試験方法となっていたため、その改善が望まれていた。



写真1 ポリエチレン製シース

平成21年4月、その性能評価試験方法について一部規準改訂が行われた^{1),2)}。改訂内容は、試験環境条件の変更や試験内容の簡略化である。本論文は、規準の見直しを行うにあたって実施した、PE製シースの材料性能評価と試験環境条件に着目した比較検討内容について、その要点と結論について述べるものである。

2. シース原材料の品質規格とシース製品の性能評価試験条件

PE製シースの使用材料は、PC内ケーブル用シースの重要性を考慮して、高密度ポリエチレンを使用することとしており、その品質規格として、表1に示すJIS K 6922-1:1997を適用している³⁾。

表1 ポリエチレン製シース原材料の品質規格

項目	規格値 ^{*1}	JIS 試験方法 (試験環境条件)
密度	942kg/m ³ 以上	JISK7112 (水中置換法で湿度調節が不可)
メルトマスフローレイト	0.4g/10min未満	JISK7210 (高温試験で湿度調節が不可)
引張強さ	19.6MPa以上	JISK7161 (温 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿 $50\%\pm 10\%$)
引張破断伸び率	300%以上	JISK7161 (温 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿 $50\%\pm 10\%$)
デュロメータD硬さ試験	60以上	JISK7215 (温 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿 $50\%\pm 5\%$)
ピカット軟化点試験	115以上	JISK7206 (高温試験で湿度調節が不可)

※1: JIS K 6922-1:1997 付属書2 表2 高密度ポリエチレン3種1類



写真2 原材料ペレット

PE製シースは、製造会社が原材料メーカーからペレット状の原材料（写真2）を購入して、PE製シースに加工製造しており、原材料メーカーから製造メーカーに納入される時点において原材料に関する品質管理試験結果表が提出されている。

シース原材料の試験方法と試験環境条件について特徴を述べる。密度については、水中置換法で実施するため、湿度の影響は全くない。つぎに、メルトマスフローレイト（以下、「MFR」という）試験については、高温試験で湿度調節が不可能であるため、湿度の影響は考慮しない。引張降伏応力および引張破壊呼びひずみについては、温度 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\%\pm 10\%$ で実施することとなっており、試験室内でのJIS標準供試体による試験ならば一般的な試験として実施されている。引張破壊呼びひずみとは、JIS K 7161では「試験片が降伏後に破壊する場合の引張破壊応力に対する引張呼びひずみ」として定義されている。デュロメータD硬さ試験についても、温度 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\%\pm 5\%$ で実施することになっており、同様にJISの一般的な試験として実施されている。ピカット軟化点試験についても、高温条件の試験で湿度調整は必要ない。

3. シース製品から採取した試験体による品質試験

本試験では、まず、原材料ペレットの状態と製造加工されたPE製シースの状態、高密度ポリエチレンとしての機械特性が大きく変わらないことを確認するために、異なる製造会社2種類のPE製シースそのものから、直接、採取した試験体を使用した。また、一部、原材料ペレットと比較を実施した。

以下に各種試験内容を述べる。なお、試験体Aは押し出し巻付け工法による成型により、試験体Bは押し出し工法による成型により製造されたものである。

（1）供試体の製作

密度、MFR、ピカット軟化点、デュロメータD硬さ試験に用いた試験体については、試験体A、試験体Bともに、 $\phi 45\text{mm}$ および $\phi 80\text{mm}$ のPE製シースから直接採取して試験に供した。

一方、引張破壊応力、引張破壊呼びひずみの試験体については、試験体Aは、リブ間隔が小さく製品からJIS規格の試験体を直接採取することは出来ないため、原材料ペレットから加圧シート加工したものと、製品を切り取り加圧してシート状にしたもので、各々 180°C に加熱した後、プレス機を用いてシート状に加工したものから、切り出してJIS規格の試験体を作成した。試験体Bは、リブ間隔が大きいため、JIS規格の試験体を $\phi 45\text{mm}$ および $\phi 80\text{mm}$ のPE製シース本体から直接切り出した。

（2）密度試験

JIS K 7112-D法により製品から切り出した試験体により求めた密度試験の結果を表2に示す。全ての試験片において規格値 942 kg/m^3 以上になっており、ペレットから作成した試験体とPE製シースから切り出した試験体を比較すると高密度ポリエチレンの性質は加工製造後も大きく変化しないことが確認された。

表2 密度試験結果

(単位: kg/m^3)

試験体	原材料ペレット	シース製品 (切り出し)					規格値	判定
		径	①	②	③	平均		
A	956	$\phi 45$	960	960	960	960	942 以上	合格
		$\phi 80$	961	960	961	961		
B	950	$\phi 45$	957	957	957	957		
		$\phi 80$	959	959	959	959		

（3）メルトマスフローレイト (MFR) 試験

一般的にMFRは、熔融粘度の指標であるが、分子量とも次のような比例関係が確認されている。すなわち分子量が大きくなるとMFRは小さくなり、逆に分子量が小さいとMFRは大きくなるという傾向があり、分子量の尺度として用いられている。MFR試験方法から得られた試験結果を表3に示す。

本試験では試験装置にメルトインデクサーを用い、JIS 規格の試験方法に準拠し試験温度 190℃、試験荷重 2.16kg で実施し、全ての試験体で規格値を満足した (表 3)。

表 3 メルトマスマフローレイト試験結果 (単位: g/10min)

試験体	原材料 ペレット	シース製品 (切り出し)					規格値	判定
		径	①	②	③	平均		
A	0.05	φ 45	0.05	0.05	0.05	0.05	0.4 未満	合格
		φ 80	0.06	0.06	0.06	0.06		
B	0.11	φ 45	0.13	0.13	0.13	0.13		
		φ 80	0.12	0.12	0.12	0.12		

(4) ビカット軟化点試験

ビカット軟化点は、ポリエチレン等の樹脂が熱によって変形し始める温度であり、ビカット軟化点試験はポリエチレンの熱的性質を求める試験である。ビカット軟化点試験の結果を表 4 に示す。その結果、全ての試験体において規格値を満足することが確認された。試験結果からも、コンクリート打設時の水和熱による温度上昇に対しても軟化しないことが確認できている (表 4)。

表 4 ビカット軟化点試験の結果 (単位: °C)

試験体	原材料 ペレット	シース製品 (切り出し)		規格値	判定
		径	試験値		
A	127	φ 45	127	115 以上	合格
		φ 80	127		
B	124	φ 45	127		
		φ 80	126		

4. シース性能評価試験における環境条件の検討

PE 製シースとしての性能評価のための試験において、試験時環境条件は、JIS K 6922-2「試験片の作り方及び性質の求め方」⁴⁾によれば、特に規定が無い場合には、温度: 23°C±2°C、湿度: 50%±10%で試験を行うことが一般的であるが、JIS K 7100「試験のための標準雰囲気」⁵⁾では、湿度の影響を受けない材料の場合は、規定しなくても良いとも記載されている。

JIS K 7100 の規定によれば、試験時の標準雰囲気として、2 級許容差では温度 23°C±2°Cと湿度 50%±10%が、3 級許容差では温度 23°C±5°Cと湿度 50%+20%~50%-10%が示されている。また、低温 (-10°C) 時の湿度調整は現実的に再現が不可能である。そこで、以下に示す試験を行い、シースの性能評価試験を行う際の、試験環境条件について検討を行った。

(1) 試験体の製作

本試験で用いた引張試験体は、JIS K 7162 の 5B 形に準拠した。5B 形の試験片形状を写真 3 (a) に示す。試験体の作製は型押し打抜き方法とした。試験片の採取状況を写真 3 (c), (d) に示す。また、デュロメータ D 硬さ試験体は、JIS 規格に準拠し、試料の厚さが 2mm 以上になるように製作した。

(2) 試験方法

試験の温度湿度条件を表 5 に示す。土木学会コンクリート標準示方書 (施工編)⁶⁾に示されているシースの性能試験の環境条件としては、温度変化の影響を受ける場合には、20°Cのほかに-10°Cと 50°Cを確認することとなっているため、標準温度は JIS K 7100 より 23°Cとし、-10°Cと 50°Cに着目して比較を行うこととした。湿度については、標準湿度 50%に対して、湿度の影響度を確認比較するために 40%と 70%の 2 水準で行うものとした。また、-10°Cでは湿度の制御が不可能なため湿度条件は除外した (表 5)。

試験体を温度と湿度になじませるため、試験前 48 時間以上、所定の試験雰囲気内に試験体を設置し、その後試験を行った。引張試験の荷荷条件は、荷荷速度 50mm/分、つかみ具間隔 20mm とした。

デュロメータ D 硬さ試験は、恒温恒湿槽の中で万能試験機を用いて試験を行った。デュロメータ D 硬さ試験の概要図を **図1** に示す。

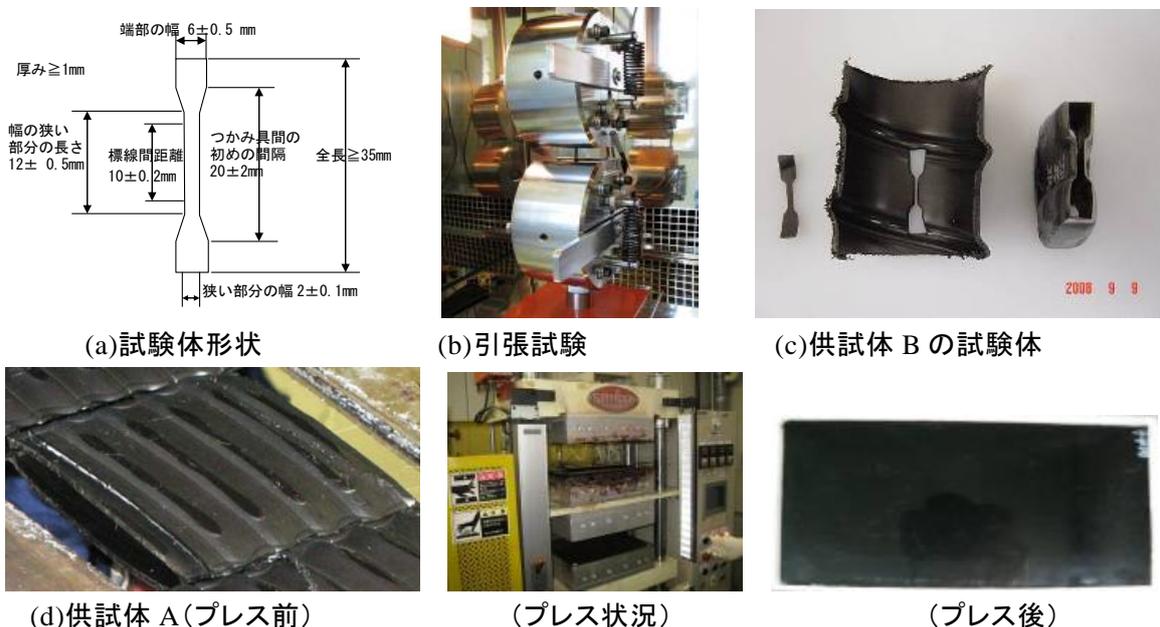


写真3 引張試験供試体の作成状況

表5 試験時の温度と湿度

温度	-10°C	23°C	50°C
試験項目	湿度条件		
引張破壊応力	考慮無し	40%, 70%	40%, 70%
引張破壊呼びひずみ	考慮無し	40%, 70%	40%, 70%
デュロメータ D 硬さ	考慮無し	40%, 70%	40%, 70%

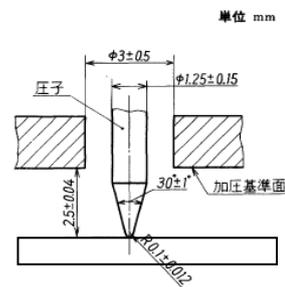


図1 デュロメータ D 硬さ試験

(3) 引張強度試験結果

① 引張強度特性

これまで NEXCO の PE 製シース原材料の品質は、表 1 に示す引張破壊応力で評価するとしていた。今回確認した原材料の引張強度特性は、温度 23°C、相対湿度 40% の条件で、**図 2** に示すような性状を示している。

しかし、材料によっては破断時の引張破壊呼びひずみが JIS K 6922-1 (表 1) の規格値 300% に比べ、2 倍以上大きい値になるものもあり、引張試験時に試験装置のストローク不足で破断確認が困難なケースがみられた。そこで、シース材料の品質として適切な特性値を規定するため、引張降伏応力、引張破壊応力、引張呼びひずみの 3 点に着目して比較した。

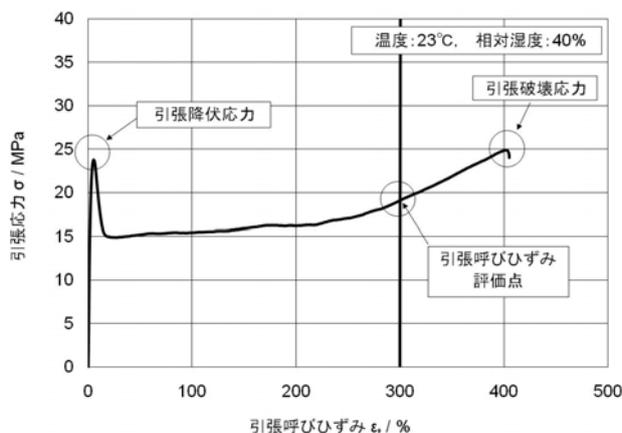
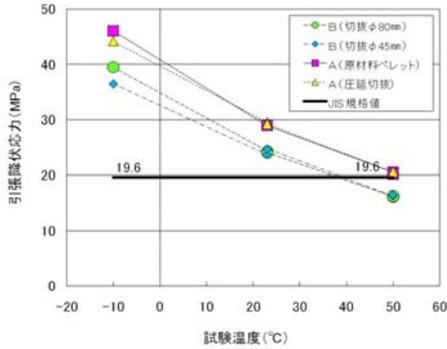


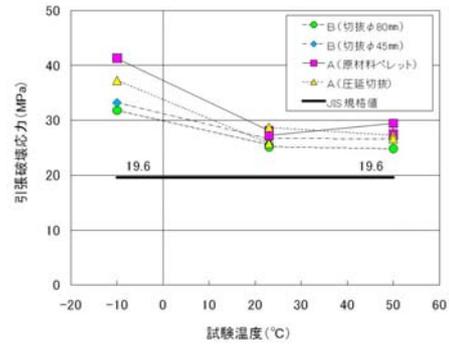
図2 高密度ポリエチレンの引張強度特性

② 試験結果

引張強度特性を比較した結果を図3および図4に示す。温度約40℃以下ではすべてJISの規格値である引張強さ19.6MPaを満足する結果が得られた。引張降伏応力で評価すると、温度の変化に対して特性値は高温になると低下する傾向がみられ、材料の異なる製品ごとに強度特性の違いが明確に評価できる。一方、引張破壊応力で評価すると、温度の変化に対して特性値の変化に一定の傾向が見られず、製品材料の違いも明確にならずバラツキが大きい結果となった。

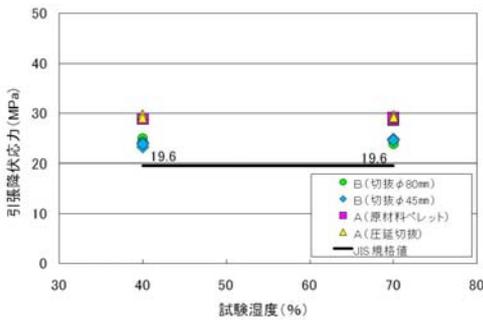


(a) 引張降伏応力

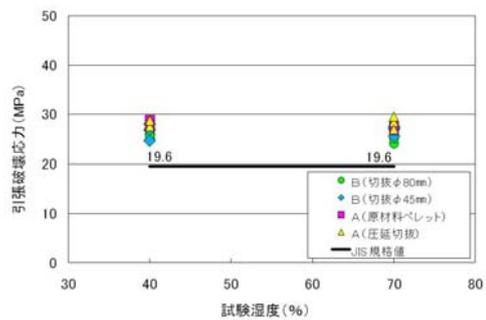


(b) 引張破壊応力

図3 引張試験結果(温度条件)



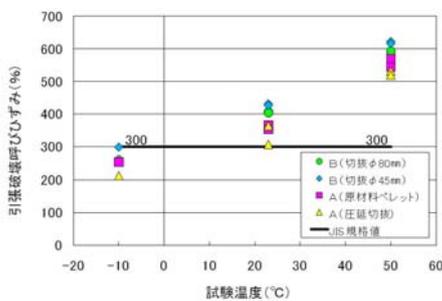
(a) 引張降伏応力



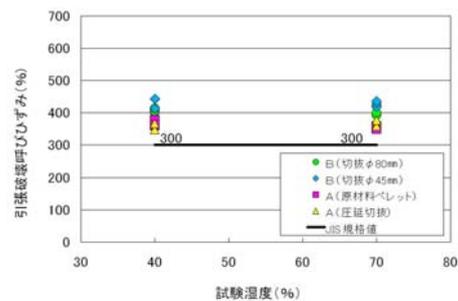
(b) 引張破壊応力

図4 引張試験結果(湿度条件)

図2に示す引張破壊応力(引張破断時)に対応する引張破壊呼びひずみの試験結果を図5に示す。引張破壊呼びひずみは、温度23℃の値に対して、50℃では約1.4倍~1.6倍になり、-10℃では約0.60~0.75倍となる結果が得られた。



(a) 温度条件



(b) 湿度条件

図5 引張破壊呼びひずみ

これまでの、PE製シースの原材料の引張強度特性として、表1に示す引張破壊応力時の伸び率300%以上を規格値としてきたが、材料の引張伸び率を評価するうえでは、引張呼びひずみが300%以

上に達した時点で破断しなければ規格を満足すること、伸び率 300%から引張破壊応力に達する間の強度特性は、**図 2** のとおり引張荷重に比例して引張呼びひずみが増加する傾向にあり安定してるので、23℃付近の温度環境で引張試験を実施して、引張呼びひずみが 300%以上に達した時点に合格として評価すればよい。一方、湿度については、引張降伏応力、引張破壊応力、引張呼びひずみともに全く影響を受けない結果であった。

デュロメータ D 硬さ試験結果では、試験温度が高くなるにつれデュロメータ D 硬さ (HDD) は低下する傾向であるが、その範囲は、HDD がほぼ 60~70 の間で推移しており、温度変化によって硬さが大きく変動するようなことはなかった。また、湿度の影響を全く受けないことが確認された (**図 6**)。

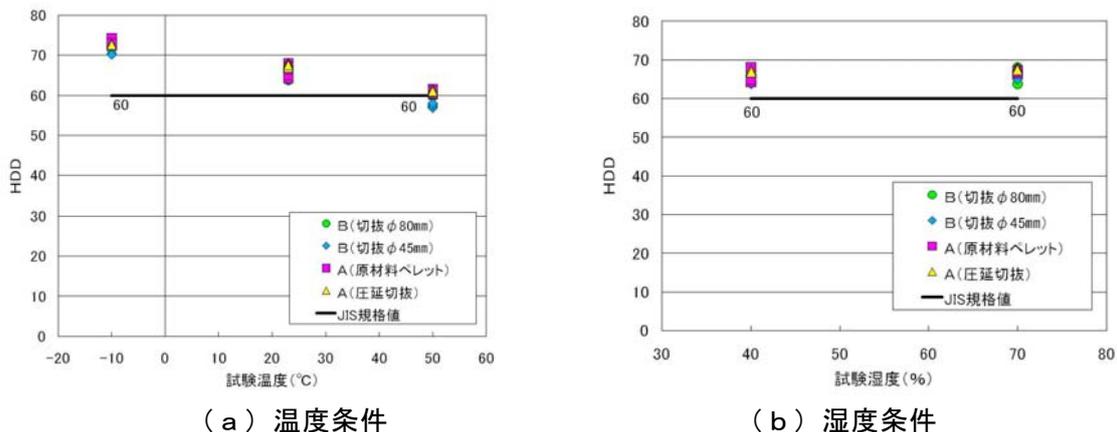


図 6 デュロメータ D 硬さ試験結果

4. まとめ

以上の結果より、PE 製シースの性能評価試験に関して以下のとおり結論付けを行った。

- (1) 原材料ペレットと加工製造後の PE 製シースでは、材料としての性質はほとんど変化しないため、PE 製シースの材質は、原材料ペレットで実施した試験結果を確認することでよい。
- (2) 原材料を評価する試験環境は、JIS K 6922-1:1997 付属書 2 表 2 の高密度ポリエチレン 3 種 1 類の規格を満足する材料では、大規模な恒温装置を必要としない JIS K 7100 の 3 級許容差 23℃±5℃を適用して評価することでよい。また、高密度ポリエチレン材料は湿度の影響を受けない。
- (3) (2) の試験環境については、PE 製シースとしての性能を確認する試験に適用できる。
- (4) 原材料の引張強度特性は、引張破壊応力で評価するよりも、バラツキが小さく安定して密度の差が明確に評価できる引張降伏応力で評価するのが良い。また、伸び率の評価では、引張降伏応力に達した後に引張呼びひずみ 300%以上の伸び率であることを確認すればよい。

5. おわりに

今回、材料の強度特性及び試験環境の比較検証を行った結果、PE 製シースの性能評価試験において、材料の強度特性を適正に評価する試験環境が明確となり、適切に試験環境条件を見直しすることが可能となった。今後も、プレストレストコンクリート橋の更なる耐久性向上に向けた重要な資材として PE 製シースを使用するために、適切なシース材料の品質管理が行われることを期待するものである。

<参考文献>

- 1) 構造物施工管理要領, 平成 21 年 4 月 (東・中・西日本高速道路株式会社)
- 2) 構造物関係試験方法, 平成 21 年 4 月 (東・中・西日本高速道路株式会社)
- 3) プラスチックーポリエチレン成形用及び押出用材料 第1部: JIS K 6922-1, 1997.7.20 (日本工業規格)
- 4) プラスチックーポリエチレン成形用及び押出用材料 第2部: JIS K 6922-2, 1997.7.20 (日本工業規格)
- 5) プラスチック状態調節及び試験のための標準雰囲気: JIS K 7100, 1999.7.20 (日本工業規格)
- 6) 2007 年制定コンクリート標準示方書(施工編), 平成 20 年 3 月 ((社) 土木学会)