

クリモトポリエチレンシースの研究

Research on Kurimoto's Polyethylene Sheath

川村剛史* 池田秀樹* 山室成樹**

Tsuyoshi Kawamura Hideki Ikeda Shigeki Yamamuro

プレストレストコンクリート橋（以下、PC橋）において、内ケーブルのダクトを形成するためにポリエチレンシースが用いられる。ポリエチレンシースはそれ自身が腐食しない材料であり、PC橋の要となるPCケーブルへの腐食促進物質の遮蔽に寄与する部材となる。一方、ポリエチレンシースは鋼製シースに比べ、温度の影響を受けやすいこと、高温時は損傷に対して敏感となること、クリープ変形があることなどの留意点も存在する。今回、建材事業部で事業展開している「クリモトポリエチレンシース」について、基材試験・等圧載荷試験に基づく基礎的物性の考察、および最適な製品形状の追求を目的としたFEM解析を実施した。結果より、使用材料の詳細な物性データ取得、およびFEM解析の有用性を確認したため報告する。

In PC (prestressed concrete) bridges, polyethylene sheath is used to make ducts for internal cables. Polyethylene is a material that does not corrode, so it contributes to the protection of internal cables from corrosion-promoting substances, which is important for PC bridges. On the other hand, there are more characteristics of polyethylene sheath that require caution compared with steel sheaths; it is sensitive to the temperature, vulnerable in high-temperature environments, and susceptible to creep deformation. This time, we carried out a plate loading test to consider the physical properties of the materials and finite element analysis for the purpose of pursuing the optimum shape for Kurimoto's polyethylene sheath. As a result, we obtained detailed data on the physical properties of the materials and confirmed the usefulness of finite element analysis.

1 はじめに

近年、社会環境の変化に伴い、より高い耐久性のあるプレストレストコンクリート橋（以下、PC橋）が求められている。

当社では昭和33年より鋼製ワインディングシースを製造販売しているが、更なる耐久性、経済性を追求したポリエチレンシースを開発し、2013年度より事業を展開している。

PC橋において、内ケーブルのダクトを形成するためにポリエチレンシースが用いられる。ポリエチレンシースはそれ自身が腐食しない材料であり、PC橋の要となるPCケーブルへの腐食促進物質の遮蔽に寄与する部材となる。一方、ポリエチレンシースは鋼製シースに比べ、温度の影響を受けやすいこと、高温時は損傷に対して敏感となること、クリープ変形があること、外径が大きいことなどの留意点もある。図1にクリモトポリエチレンシースの外観を示す。

ポリエチレンシースの性能については、上記の留意点を考慮した試験基準が規格化され、PC橋の長寿命化に貢献する部材としての役割を担っている。

本報では、2014年より販売を開始した「クリモトポリエチレンシース」の基礎的物性を考察するとともに、より最適な製品形状を追求する目的で行ったFEM解析の検証結果を報告する。



図1 クリモトポリエチレンシース

2 基材試験の紹介

基材の性能には、耐食性、耐候性、耐久性、強度、温度特性、クリープ性など多くの因子があるが、ここでは、ポリエチレンシースの使用状況において重要な項目となる、強度と温度特性について考察する。

2.1 試験概要

ポリエチレンシースに用いている材料は、JIS K 6922-1の附属書表1および表2に示されている、3種1類に属する高密度ポリエチレンであり、その規格は表1となる。しかし、その物性は非線形部材であることや、温度の影響を受けやすいこともあり、強度と引張弾性率と温度の

関係は、基材となるペレットによって異なる。ここでは、2種類のペレット基材 A、B を用いて、引張弾性率と温度の関係を試験的に検証した。

表1 ポリエチレンシースの使用材料の規格値

項目	適用 JIS 規格	規格値
密度	JIS K 6922-1	942 [kg/m ³] 以上
引張降伏応力	JIS K 6922-1	19.6 [MPa] 以上
引張呼びひずみ	JIS K 6922-2	300% 以上
メルトマスフローレート	JIS K 6922-2	0.4 [g/10min] 未満
デュロメータ硬さ	JIS K 7215	60 以上
ビカット軟化点	JIS K 7206	115 以上

表2 試験の概要

試験実施項目	JIS K 7161 プラスチック-引張特性の試験方法	
	①引張降伏応力	②引張弾性率
試験温度	23 ℃	-10、23、50、80 ℃
試験速度	50 mm/min	1 mm/min
試験片の種類	ダンベル形 JIS K 7162 1B形試験片 (プレス成形にて板材成形後、打ち抜き加工)	
使用試験機	オートグラフ AG-5kNXplusHS (株)島津製作所製	オートグラフ AG-100kNIS (株)島津製作所製
	ロードセル 5kN	

試験は JIS K6922-2 および JIS K7161 に従い実施した。試験片の概要は図2に示す通りであり、試験は①引張降伏応力を求める引張試験(図3)、②引張弾性率を求める引張試験(図4)の2項目を実施した。試験の概要を表2に示す。なお②に関しては温度の影響を確認するため、試験片を恒温槽に設置し、試験片に表示した標線をカメラ撮影により読み取ることにより、そのひずみを測定した。また温度は寒冷地での屋外保管を考慮した -10℃ からコンクリートの硬化熱を考慮した 80℃ の範囲をターゲットとした。

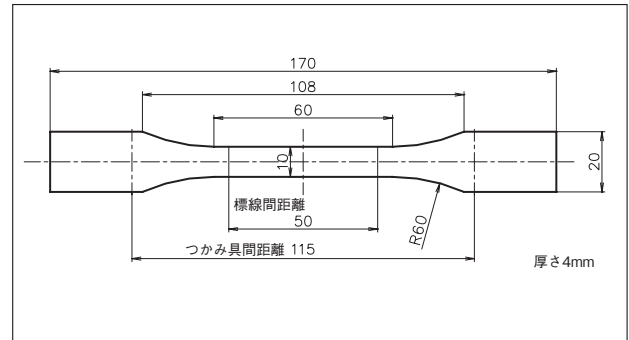


図2 試験片の概要

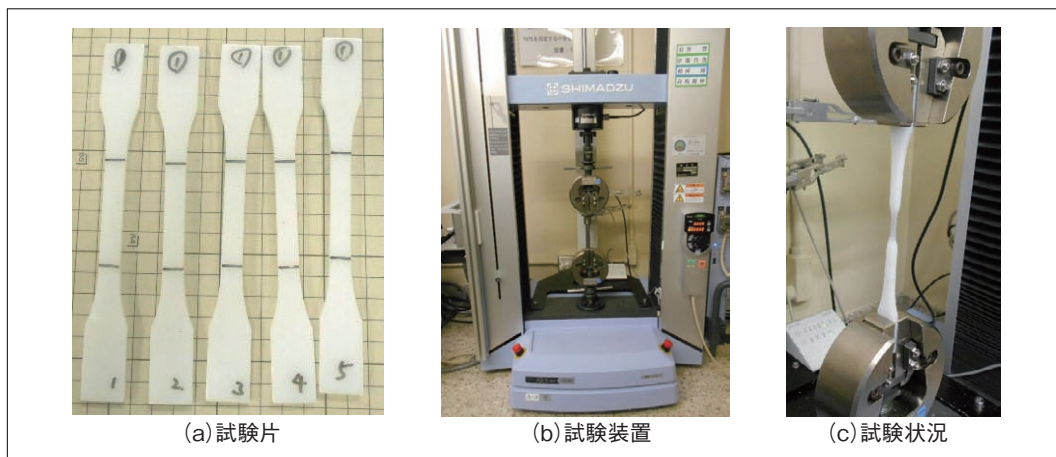


図3 引張降伏応力 測定試験状況



図4 引張弾性率 測定試験状況

2.2 試験結果

①引張降伏応力試験の結果より得た、応力-ひずみ線図を図5に示す。基材となるペレットの種類により若干差はあるものの、JIS K 7161にある「降伏点を示すもろくない材料」と傾向は一致した(図6)。引張降伏応力は、基材Aが25.8MPa、基材Bが21.6MPaとなった。

次に、②引張弾性率試験の結果より得た、23℃における応力-ひずみ線図を図7に示す。0.05%~0.25%間のひずみと応力の関係より求めた引張弾性率は基材Aで1160MPa、基材Bで830MPaとなった。

また、各温度条件にて導いた引張弾性率と、温度の関係を図8に示すが、80℃時の引張弾性率は-10℃時と比べ、基材Aで9.60%、基材Bで11.5%まで低減する結果となった。

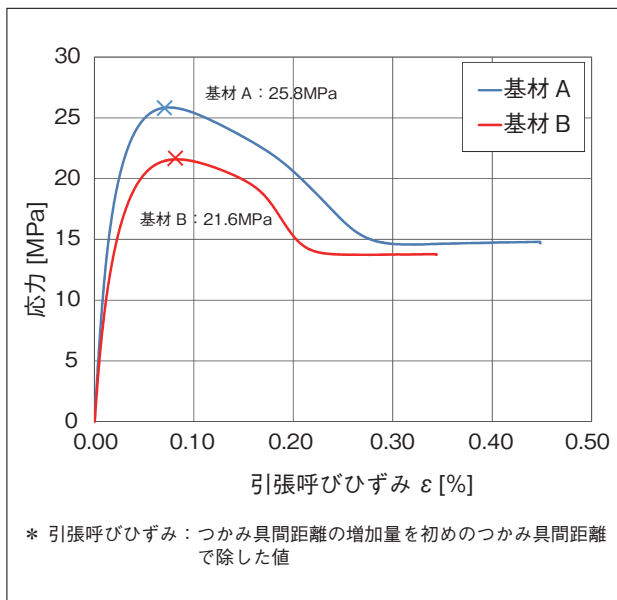


図5 引張降伏応力試験 応力と引張呼びひずみの関係

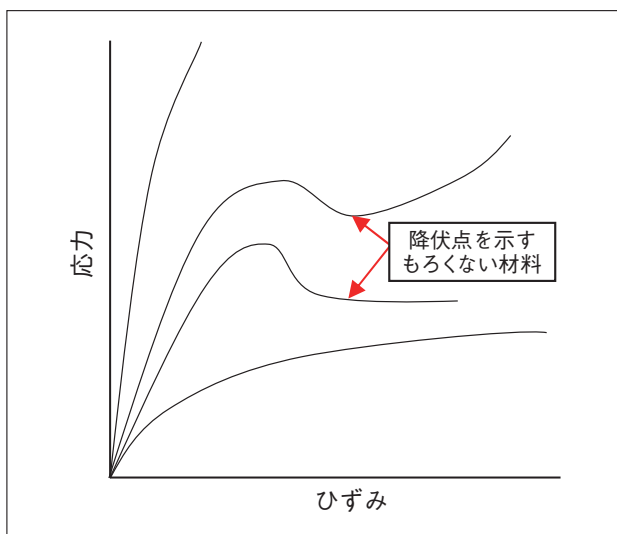


図6 代表的な応力とひずみ曲線イメージ (JIS K 7161)

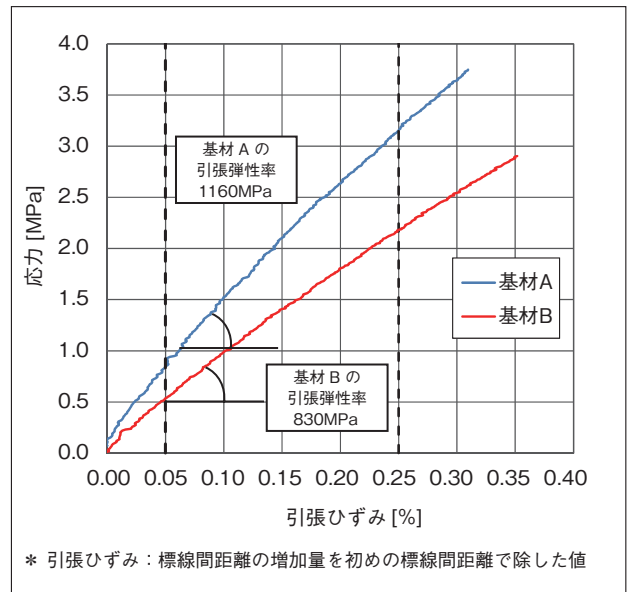


図7 引張弾性率試験 応力と引張ひずみの関係(23℃)

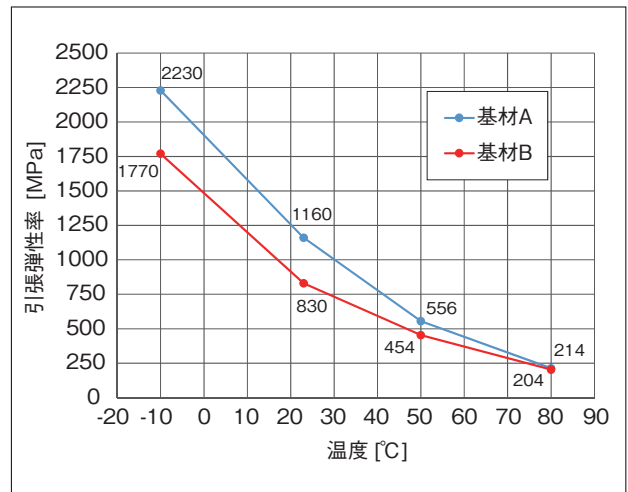


図8 温度と引張弾性率の関係

3 有限要素解析への展開

ポリエチレンシースは運搬、保管にはじまり、据付け、コンクリート打設、PC ケーブル挿入、緊張などのさまざまなシチュエーションに対し、求められる役割である腐食促進物質の遮蔽に寄与しなければならない。その性能は、使用材料のみだけではなく、製品形状によっても左右される。規格化されている試験により、その性能を確認することもできるが、ここでは、より最適形状の開発を目的とした基礎技術蓄積のひとつとして行った、有限要素解析の検証結果について報告する。

3.1 試験と解析の概要

ポリエチレンシースを押しつぶす等圧載荷試験を有限要素解析にて再現した。また、その妥当性検証を試験検証により行った。

試験検証で用いた試験体は、呼び径（内径）φ35とφ75、長さ100mmのポリエチレンシースとした。試験方法として、試験体の上下に载荷用治具として厚さ9mmの鋼板を設置し、試験装置にて载荷した。荷重の測定は定格容量2000N（分解能0.667N）のロードセル、変位の測定は定格容量50mm（分解能0.01mm）の変位計を用いた。また、試験温度が23℃で一定になるよう恒温恒湿室内で試験を実施した。試験状況を図9に示す。

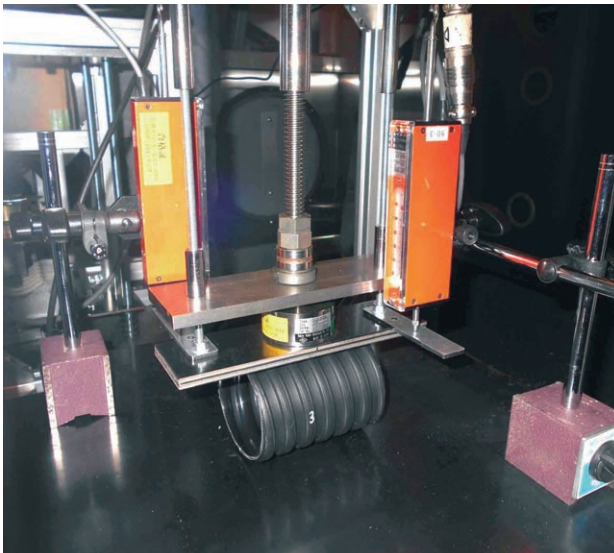


図9 等圧载荷試験状況

有限要素解析については、管全体のモデルと、管の断面と長さを1/2とした1/4モデルの2種類とした。ここで、1/4モデルについては解析のスピードアップを目的としている。また、2ケースとも線形解析にて検証を進めた。

解析に用いる引張弾性率は基材試験で得た値を用い、φ35は基材Aの1,160MPa、φ75は基材Bの830MPa、ポアソン比はどちらも0.3を使用した。

モデルは、現物に合わせ凹凸をスパイラル状に再現した三次元モデルとした。

解析における拘束条件として、モデル下端の管軸方向を変位、回転ともに完全拘束、モデル上端の管軸方向を载荷方向の変位以外を完全拘束、その他を自由とした。

また、荷重値は試験検証で確認した変形量5%（内径に対しての変形比率）時の値とし、φ35は150.5N、φ75は143.5Nとした。（表3）解析条件を図10に示す。

表3 解析条件

呼径	φ 35	φ 70
引張弾性率	1,160 MPa	830 MPa
ポアソン比	0.3	
拘束条件	モデル上端管軸方向：载荷方向変位のみ自由	
	モデル下端管軸方向：完全拘束	
荷重条件	150.5 N	143.5 N

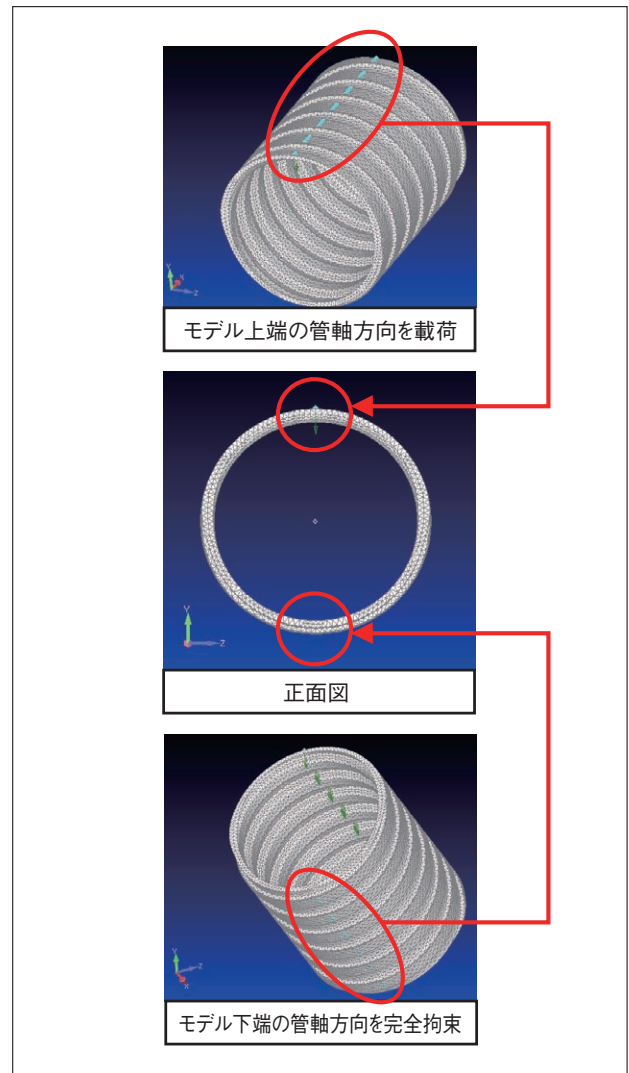


図10 解析条件の解説図

3.2 試験と解析の結果

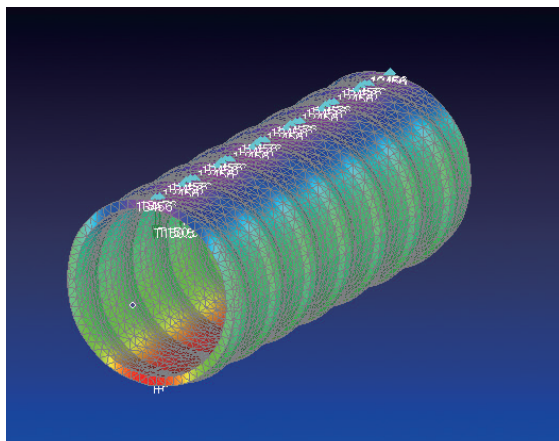
試験結果と有限要素解析の結果を表4、荷重と変形の関係それぞれ図11、12に示す。

表4より、解析結果で変形量が下回る結果となったが概ね傾向を把握することができた。差異の要因として、解析において、試験治具と供試体間の接触面の変化や摩擦、材料の非線形性やクリープ変形を考慮していないことなどが挙げられる。今回の検証結果より、有限要素解析は、製品の形状検討を行う際のひとつの指標として活用可能であることを確認した。

また、解析時間は、パソコンの処理能力の違いがあるものの、全管モデルに比べ1/4モデルの方が1/2以下の時間で解析することができた。

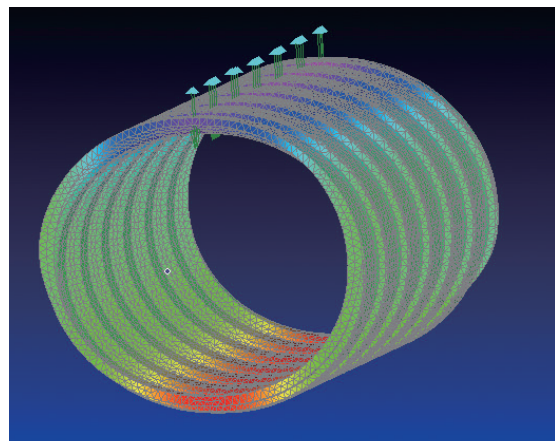
表4 試験結果と解析結果における変形量の比較

呼径	φ 35	φ 70	
試験結果	1.75 mm	3.75 mm	
有限要素解析	全管モデル	1.52 mm	3.66 mm
	1/4管モデル	1.52 mm	3.48 mm



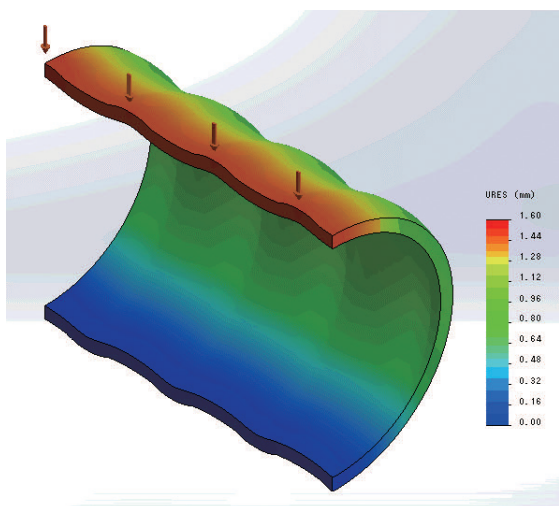
φ35 全管モデル
解析ソフト
[Femap with NX Nastran]

引張弾性率	1160 MPa
ポアソン比	0.3
荷重値	150.5 N
変形量	1.524 mm



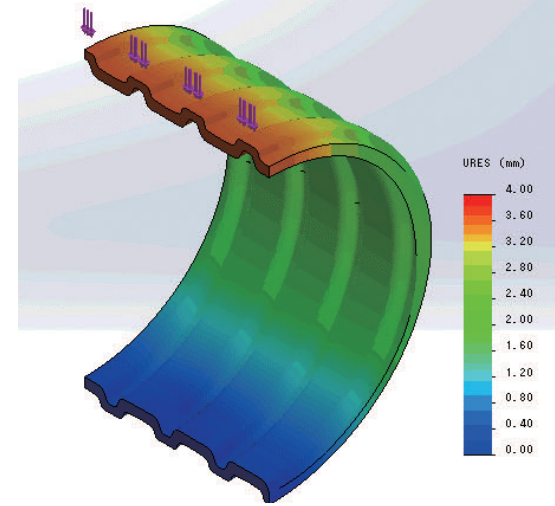
φ75 全管モデル
解析ソフト
[Femap with NX Nastran]

引張弾性率	830 MPa
ポアソン比	0.3
荷重値	143.5 N
変形量	3.662 mm



φ35 1/4 管モデル
解析ソフト
[SolidWorks Simulation Premium]

引張弾性率	1160 MPa
ポアソン比	0.3
荷重値	150.5 N
変形量	1.52 mm



φ75 1/4 管モデル
解析ソフト
[SolidWorks Simulation Premium]

引張弾性率	830 MPa
ポアソン比	0.3
荷重値	143.5 N
変形量	3.48 mm

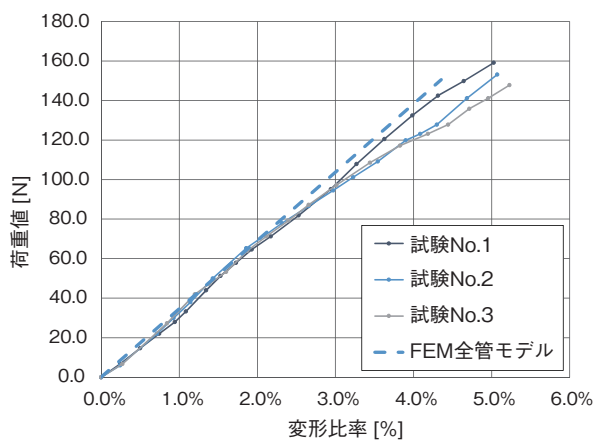


図11 荷重と変形の関係 (φ35)

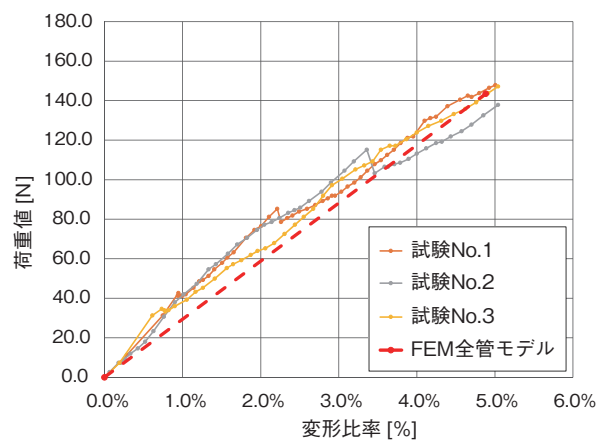


図12 荷重と変形の関係 (φ75)

4 おわりに

クリモトポリエチレンシースで使用する材料や形状の考察と、有限要素解析の結果について報告した。

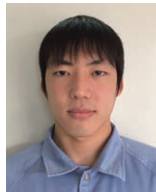
使用する材料の物性を探求することはもちろん、有限要素解析を用いることによる形状最適化、開発のスピードアップ、および他用途への応用検討など、技術レベルの向上を図り、PC橋の長寿命化に貢献する部材開発を継続していく。

執筆者：

川村剛史

2014年入社

土木製品の開発に従事



池田秀樹

1997年入社

建築・土木・空調製品の開発に従事

一級建築士



山室成樹

1988年入社

CAE関連業務に従事

