

## 繰返し荷重を受けるプラスチック製シースの付着挙動

横浜国立大学大学院  
横浜国立大学大学院  
横浜国立大学大学院 正会員 Ph. D. 榎 龍哉

○高田 康平  
松田 明

Abstract : Prestressed bridge piers subjected to seismic cyclic loading, for example, need to be checked the bond performance of the sheath in order to figure out the failure mechanism of the structures. In that case, the cyclic behavior of sheath is important in particular in ultimate states. In this study specimens for bond properties of plastic sheath specified in a JSCE standard are used and tested under cyclic loading to examine the failure mechanism. Based on the experimental results, the bond stress-slip relationship under cyclic loading until ultimate states, the observed cracking in concrete around the sheath and the fracture pattern of the concrete, plastic sheath and grout in the sheath in the ultimate states are discussed.

Key words : seismic cyclic loading, plastic sheath, bond performance, ultimate states

## 1. はじめに

プレストレスを導入した橋脚や柱では、地震荷重により繰返し荷重を受ける。それらの構造物の一体性を確保するためには、シースの付着性能を繰返し荷重のもとで確認する必要がある。また、繰返し荷重を受ける構造物の破壊挙動の機構を詳細かつ適切に把握するためには、シースの付着挙動を終局状態まで調べることが重要である。

本研究では、現行の土木学会規準で使用されるプラスチック製シースの単調荷重による付着試験に用いる供試体寸法<sup>1)</sup>と同様の供試体に、繰返し荷重を作用させたときの挙動を実験的に調べた。対象とするプラスチック製シースは高密度ポリエチレンを用いたもので、内径35~110mm、表面凹凸のピッチ13~24mm、厚さ2~5mmの範囲の4種類である。ピーク荷重時の変位を繰返し与えた場合の周辺のコンクリートのひび割れ状況、シースの破壊状況について、実験結果を示す。

## 2. 実験概要

### 2. 1 供試体

本研究で使用した供試体はプレストレストコンクリート用プラスチック製シースの付着性能の試験方法に関する研究<sup>2)</sup>で単調荷重を受けた供試体であり、その供試体に繰返し荷重を行った。図-1は供試体の概要であり平面図、断面図、供試体の写真を示す。供試体用コンクリートに用いられた材料の特性を表-1に、供試体用グラウトに用いられた材料の特性を表-2に、供試体用コンクリートの配合を表-3に示す。コンクリートの打込みは、シース内径が35mmと75mmは1回目、55mmと110mmは2回目に行った。グラウトはコンクリートの材齢が3日で注入した。混和剤はノンブリーディング・低粘性型を用いた。シースは内径が35mm, 55mm, 75mm, 110mmのものを用いた。シースの材質は高密度ポリエチレンで、形状はスパイラル状である。角形鋼管は、断面外側の1辺の長さ $a$ が150mmと200mmのものを用いた。鋼管の材質は一般構造用鋼で、鋼板の厚さは4.5mmである。供試体の高さ $h$ は100mmである。供試体の種類の一覧と各寸法を表-4に、シースの寸法を表-5に示す。供試体はコンクリートの材齢が6日以降は恒温恒湿室(温度20℃, 湿度60%)で気中養生を行った。

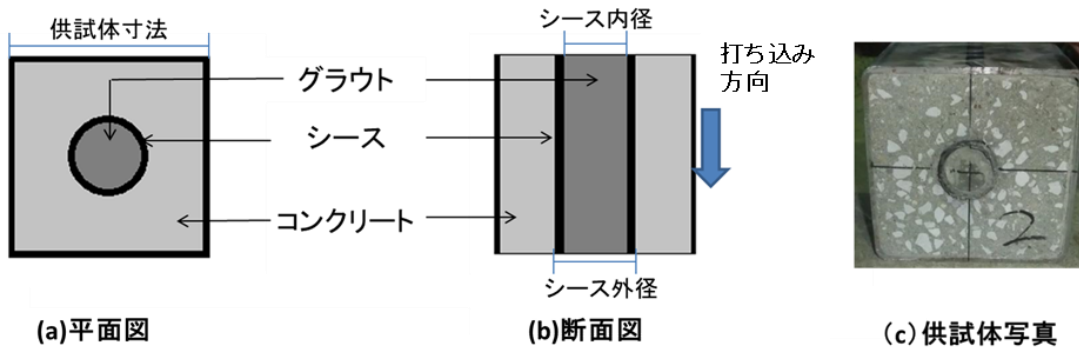


図-1 供試体

表-1 供試体用コンクリートに用いられた材料の特性

材料	種類	特性
セメント	早強ポルトランドセメント	密度3.14g/cm <sup>3</sup>
細骨材 (1回目)	千葉県君津市産山砂	密度2.60g/cm <sup>3</sup> , 吸水率2.99%
細骨材 (2回目)	千葉県君津市産山砂	密度2.69 g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.19%
粗骨材 (1回目)	埼玉県産石灰碎石	密度2.69 g/cm <sup>3</sup> , 吸水率0.59%, 最大寸法20mm
粗骨材 (2回目)	硬質砂岩	密度2.66 g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.02%, 最大寸法20mm
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物等の複合体

注：それぞれのスランプと空気量は、(1回目9.5cm, 1.5%), (2回目5.3cm, 1.7%)である。

表-2 供試体用グラウトに用いられた材料の特性

材料	種類	特性
セメント	早強ポルトランドセメント	密度3.14g/cm <sup>3</sup>
混和剤	グラウト用混和剤	ノンブリーディング・低粘性型

注：水セメント比40%, 混和剤混入率1%

表-3 供試体用コンクリートの配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤
36.1	41.2	168	467	683	1009	140 / 327*

注：\* 数字は各々1回目と2回目の量を示す。目標強度55N/mm<sup>2</sup>, 最大骨材寸法20mm。

表-4 供試体の寸法, シース内外径

供試体記号	供試体寸法 (mm)	シース内径 (mm)	シース外径 (mm)	供試体記号	供試体寸法 (mm)	シース内径 (mm)	シース外径 (mm)
A	150x150 x100	35	41	E	200x200 x100	35	41
B		55	67	F		55	67
C		75	88	G		75	88
D		110	131	H		110	131

表-5 シース寸法

内径(mm)	35.0	55.0	75.0	110.0
外径(mm)	41.0	67.0	88.0	131.0
厚さ(mm)	2.0	3.0	3.5	5.0
ピッチ高さ(mm)	2.0	3.0	4.0	5.0
ピッチ間隔(mm)	3.0	9.1	9.2	12.4
ピッチ幅(mm)	6.2	7.5	8.0	13.0

2. 2 載荷装置と載荷方法

載荷装置と載荷方法を図-2に、載荷状況を図-3に示す。荷重計には直径100mmのもの、加力治具にはシース内径に応じて直径30, 50, 70, 105mmの鋼製のものを使用し、グラウトのみに荷重が加わるようにした。載荷速度は、供試体に衝撃を与えないように、平均5mm/分以下になるようにした。本実験では、約1.2mm/分であった。計測項目は、荷重および加力治具位置の載荷方向変位である。変位は0.1mm以下の精度で計測した。供試体コンクリート部の上下面のひび割れ幅は、載荷終了後にデジタルマイクロスコップで計測した。1cycle目から4cycle目まではグラウトが7mm押し込むように載荷を行い、5cycle目は14mm押し込むように載荷を行った。

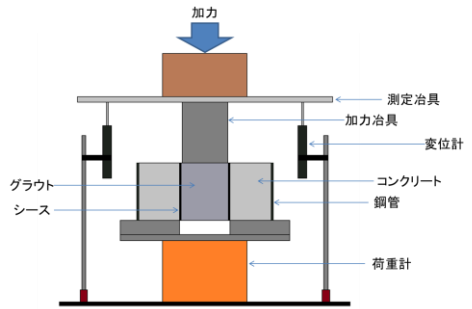


図-2 載荷装置と載荷方法



図-3 載荷状況

3. 実験結果

3. 1 材料特性

コンクリートの付着性能試験時の圧縮強度は、打込み1回目と2回目で、各々、63.6N/mm<sup>2</sup>, 53.3N/mm<sup>2</sup>であった。グラウトの付着性能試験時の圧縮強度は、打込み1回目と2回目で、各々、58.9N/mm<sup>2</sup>, 67.1N/mm<sup>2</sup>であった。

3. 2 付着応力度-付着すべりの関係

付着応力度-付着すべりの関係を図-4に示す。付着応力度は荷重変位関係におけるそれぞれの荷重の値をシース周面積で除した値である。載荷初期は勾配が小さく、荷重が増加するにつれて剛性が大きくなり、3mm程度の変位で最大荷重に達し、その後は荷重が減少する傾向がある。載荷初期の勾配が小さい部分は、シースとグラウトやコンクリートとの界面付近におけるシースの弾性変形を含めた初期変形が完了するまでの状態を表すと考えられる。また、最大荷重後の荷重減少は、シース下端部が供試体底面から押し抜かれること、シースとグラウトまたはコンクリートとの付着が劣化すること、コンクリート部分にひび割れが発生すること、シース自体の変形、損傷等により起こると考えられる。図-5に最大付着応力度の減少を示す。図-4, 図-5において全ての供試体が様な挙動を示すことから、付着応力度について供試体寸法やシース寸法が与え

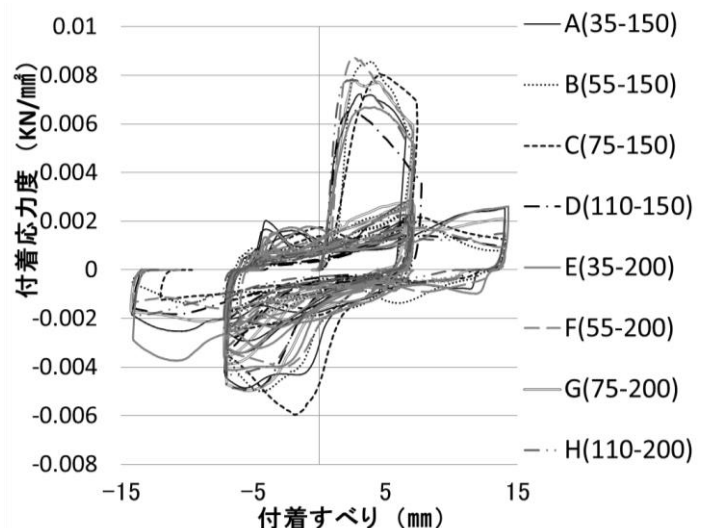


図-4 付着応力度-付着すべりの関係

図-5に最大付着応力度の減少を示す。図-4, 図-5において全ての供試体が様な挙動を示すことから、付着応力度について供試体寸法やシース寸法が与え

る影響は小さいと考える。図-6にエネルギー吸収量の低減を示す。エネルギー吸収量は付着応力度-付着すべりの関係が囲む面積を台形則より計算した値である。1cycle目から2cycle目にかけてどちらも半分以下になることから、最大荷重発生後に付着力が大きく低下したものとする。また、各サイクル終了後の変位の戻りを図-7に示す。ここで、各供試体の大きさ、サイクルごとにおける変位の戻り方に大きな差は見られなかった。

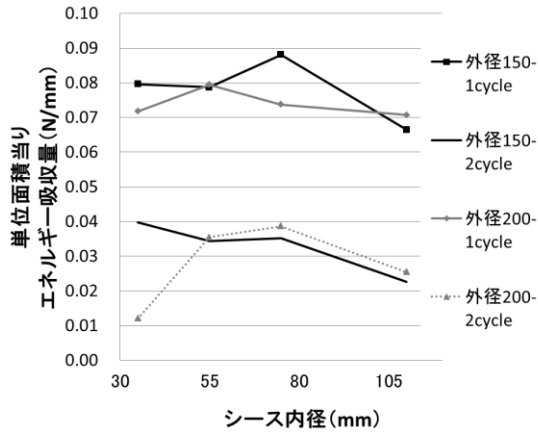


図-6 エネルギー吸収量の低減

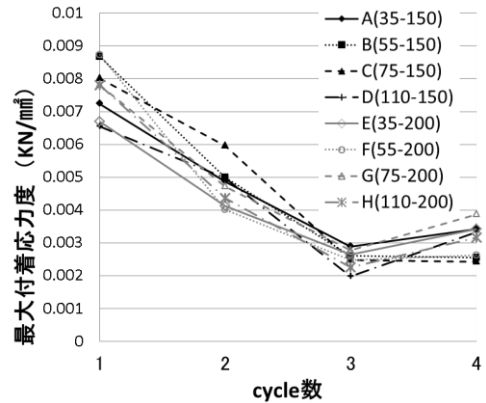


図-5 繰り返し载荷にともなう最大付着応力度の減少

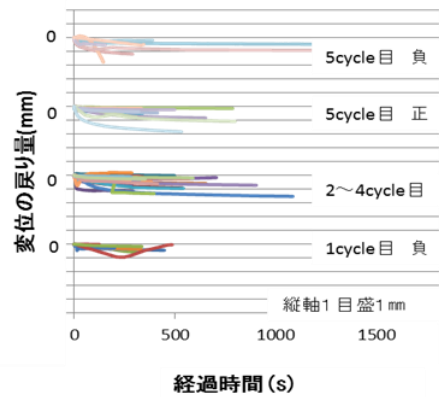


図-7 载荷後の変位の戻り

### 3. 3 ひび割れの特性

供b試体に発生するひび割れの一例を図-8に示す。ひび割れ密度の変化を図-9に示す。ひび割れ密度は供試体に発生するひび割れ幅のシース付近を最大ひび割れ幅、ひび割れの先端部を0として線形近似を行い、それぞれのひび割れ長を乗じた値をコンクリートの面積で除した値である。载荷初期に生じたひび割れの密度が、サイクルを追うごとに増加する傾向がみられた。図-10はシース外周付近のひび割れ幅がシース外径の周長を占める率を示している。図では55-200の供試体を除く全ての供試体がサイクルを追うごとに減少するという結果がられた。これはシースの変形などにより外径付近のひび割れ幅は小さくなるが、ひび割れは進展しひび割れ長さは伸びるためと考える。



図-8 ひび割れ状況

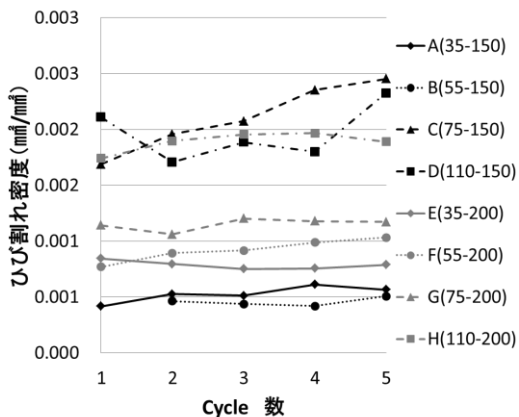


図-9 ひび割れ密度

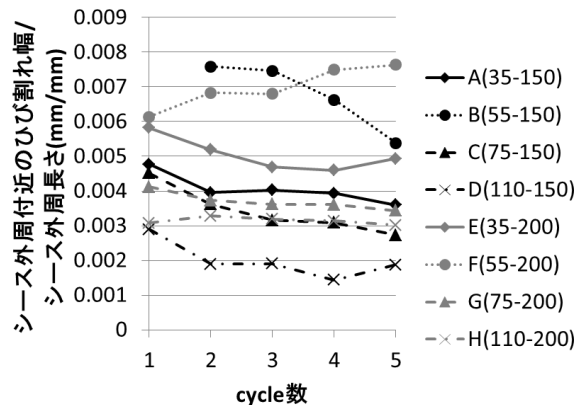


図-10 シース外周付近のひび割れ率

### 3. 4 供試体の破壊状況

使用した供試体の内部の破壊状況を観察するために、供試体を割り、プラスチック製シースを取り出し、その変形を観察した。図-11は載荷後のプラスチックシースの単位長さ当りの伸びを示し、すべての供試体が、元の長さ100mmより長くなっていた。また図中のマーカーが白抜きのもはシースが破断していることを示す。図-12に載荷後のシースの軸方向断面における変形をプロットしたものを示す。凡例は上から載荷前のシース、供試体寸法が150mmのもの、200mmのものである。ここで、波形が大きく食い込んでいるものは、シースが破断している部分である。シースが破断しているのは主にシースの凹凸の境界部分で、シースの製造過程における接合面であると考えられる。また、表-6に載荷後の供試体の破壊状況を示す。ここにあるものは一部だが、すべての供試体でシース中に充填されていたグラウトの破壊が観察された。図-12でシースが破断していない供試体が観察されることから、グラウトの破壊後にシースが破断することがわかる。また、グラウトは層状に破壊することが観察された。シースとコンクリートの付着部分は載荷軸方向にひび割れが入っていたものの、凹凸自体は損傷が少ない状態で残っていた。初期載荷の際にシースの凹凸が、コンクリートの凹凸を乗り越えようとすることで縦にひび割れが入り、その後はシースやグラウトが変形、損傷したと考える。つまり最大荷重まではコンクリート部でエネルギーを吸収し、以降はシースやグラウトでエネルギーを吸収していると考えられる。

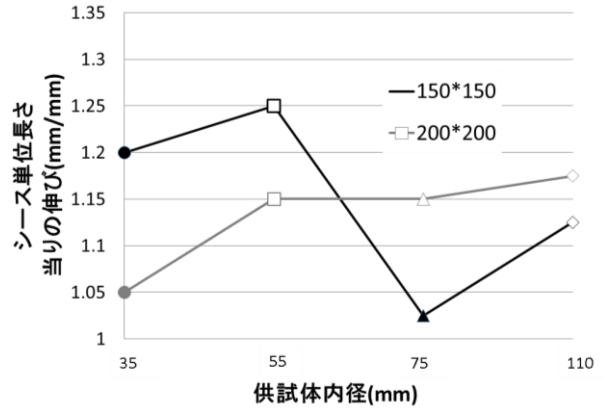
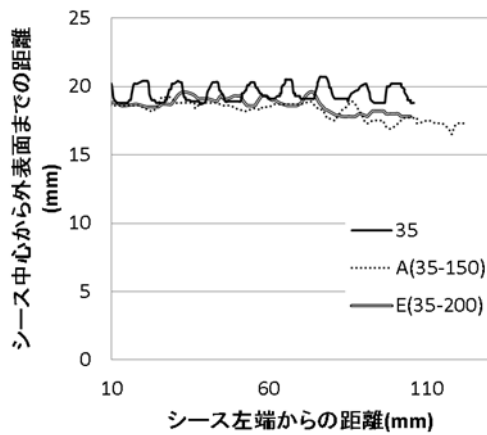
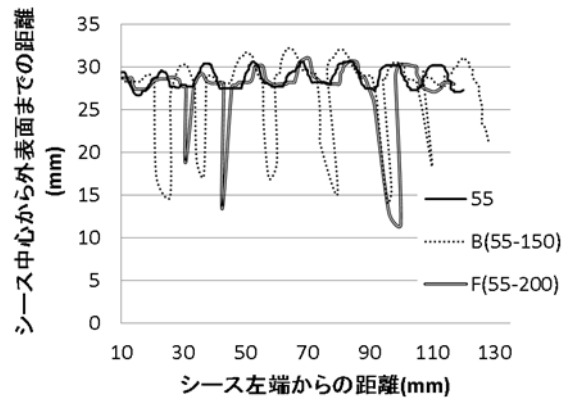


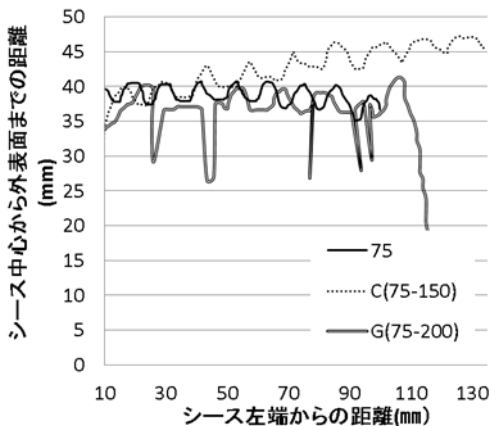
図-11 シース単位長さ当りの伸び



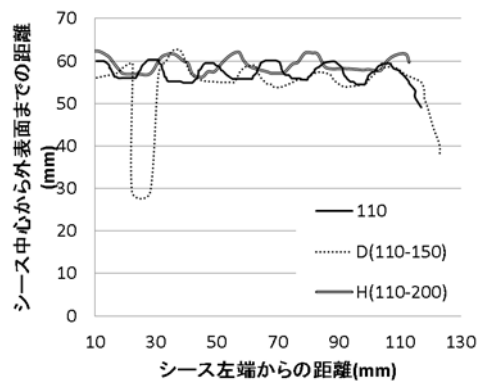
(a)35mm



(b)55mm












(c)75mm



(d)110mm

図-12 シースの変形状況

表-6 供試体の破壊状況

供試体	コンクリート	シース	グラウト
A 150-35			
B 150-55			
H 200-110			

#### 4. まとめ

プラスチック製シースの繰返し荷重作用時の破壊挙動について、実験によりシース内径と供試体寸法の影響を考慮して調べ、次のような結論が得られた。

- (1) 繰返し荷重が作用し、最大荷重到達後は付着応力、エネルギー吸収量が半分程度に減少する。
- (2) 最大荷重以降、ひび割れ幅は小さくなるが、ひび割れ長さは大きくなる。
- (3) 最大荷重以降、付着応力の減少はシース、グラウトの損傷による部分が多い。またエネルギーの吸収もシース、グラウトにより行われる可能性がある。
- (4) シース中のグラウトは層状にはがれるように破壊する。
- (5) 供試体寸法により、ひび割れの様子やシースの破壊挙動に多少の差異は見られたが、付着挙動やエネルギー吸収率については大きな違いは見られなかった。

これらの実験的知見をより一般化するには、供試体の長さが大きい場合、シースの凹凸のピッチが大きい場合などについて調べる必要があると思われる。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：プレストレストコンクリート用プラスチック製シースの付着性能試験方法（案）（JSCE-E 710-2010），2010年制定 コンクリート標準示方書 規準編，土木学会，p. 202-205, 2010.
- 2) 尾関淳，椿龍哉：プレストレストコンクリート用プラスチック製シースの付着性能の試験方法，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，Vol. 21, pp463-468, 2012.