

## 高性能防食鉄筋「サンドグリップバー®」の重ね継手の性能に関する研究

片野 啓三郎 石田 知子

## Research on the Performance of a Lap Joint using the “Sand-Grip Bar”

## High Performance Anticorrosive Rebar

Keisaburo Katano Tomoko Ishida

## Abstract

Epoxy-coated rebar is usually used for concrete structures to protect against steel corrosion in severe saline environments. Epoxy-coated rebar unfortunately forms lower strength bonds with concrete, and thus requires longer lap joints; it also requires touch-up repair if the resin coating is damaged by bending or impact at the construction site. To solve these problems, a new resin-coated rebar named “Sand-Grip Bar” has been developed. It is coated with PVB (poly-vinyl butyral) and silica-sand. In this paper, the properties of Sand-Grip Bar and the structure of RC (Reinforced Concrete) using it are explained. Additionally, the performance of lap joints using Sand-Grip Bar is demonstrated to be equal to or greater than that using normal steel rebar.

## 概 要

厳しい塩害環境に建設されるコンクリート構造物では、鉄筋の腐食対策としてエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いられる場合がある。しかし、エポキシ樹脂塗装鉄筋はコンクリートとの付着力の低下や、施工時に傷がつきやすいなどの課題があり、重ね継手長さの延長、現場での損傷部分の補修(タッチアップ)などの対応がコストアップにつながっているのが現状である。そこで、これらの課題を解決するために、エポキシ樹脂より伸び率が高く変形に対する追従性を有するPVB(ポリビニルブチラル)樹脂によって被覆し、その周囲に珪砂を付着させた防食鉄筋「サンドグリップバー®」を開発した。ここでは、サンドグリップバーの防食性能、コンクリートとの付着強度および施工時の損傷に対する抵抗性について概説するとともに、サンドグリップバーを用いた鉄筋コンクリートの重ね継手の性能をはりの曲げ載荷試験によって評価した。

## 1. はじめに

土木用コンクリート構造物において、特に厳しい塩害環境に曝される場合、防食鉄筋を用いて耐久性を確保する。防食鉄筋の種類は、亜鉛めっき鉄筋やステンレス鉄筋などがあるが、現在はコストおよび耐食性の観点からエポキシ樹脂塗装鉄筋が多く使用されており、土木学会から「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針」<sup>1)</sup>が刊行されている。しかし、エポキシ樹脂塗装鉄筋はコンクリートとの付着強度が低下する<sup>2)</sup>、施工時に傷がつきやすいなどの課題があり、重ね継手長さの延長や現場での損傷部分の補修(タッチアップ)が必要となるため、コストアップにつながっている。

そこで、金属との密着性が高く、耐候性、耐アルカリ性が高い等の特徴を持ち、接着剤やプライマーに広く使用されているポリビニルブチラル(以下、PVBと称する)樹脂に着目し、PVB樹脂と珪砂を用いた防食鉄筋「サンドグリップバー®」を開発した。サンドグリップバーの外観をPhoto 1に示す。サンドグリップバーは、エポキシ樹脂塗装鉄筋と同等の防食性を担保するためにPVB樹脂により被覆し、コンクリートとの付着強度向上を目的として製造段階で珪砂を付着させた鉄筋である。

これまでの研究において、サンドグリップバーは、防

食性、コンクリートとの付着強度、衝撃および曲げ加工に伴う塗膜の損傷に対する抵抗性等の項目において、土木学会の指針<sup>1)</sup>におけるエポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規準を満足することが示された<sup>4),5)</sup>。また、エポキシ樹脂塗装鉄筋はコンクリートとの付着強度が小さくなるため、同指針において重ね継手の長さを延長しなければならないとされている。一方で、サンドグリップバーの場合は付着強度が向上するため、重ね継手の長さを延長する必要がないことが期待される。

本報では、サンドグリップバーを用いた鉄筋コンクリートはりの曲げ載荷試験によって重ね継手の性能について評価を行った。

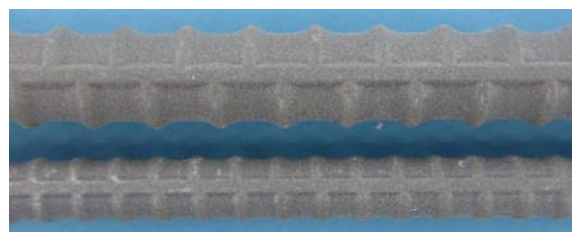


Photo 1 サンドグリップバーの外観  
Appearance of Sand-Grip Bar

## 2. サンドグリップバーの概要

### 2.1 仕様

サンドグリップバーは、静電粉体塗装法より、 $220 \pm 40 \mu\text{m}$ の膜厚でPVB樹脂による被覆を施し、珪砂吹付処理を施した後の膜厚が $300 \pm 100 \mu\text{m}$ となるように製作した防食鉄筋である。母材となる鉄筋は、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に適合する異形棒鋼である。サンドグリップバーの概念を示す模式図をFig. 1に示す。

### 2.2 防食性能

サンドグリップバーの製作に用いるPVB樹脂塗料は、JSCE-E 527-2013(塩水噴霧試験)、JSCE-E 528-2013(耐薬品性試験)およびJSCE-E 530-2003(塩化物イオン透過性試験)におけるエポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規準を満足している<sup>4)</sup>。また、サンドグリップバーは、JSCE-E 518-2013(塩水噴霧試験)における同規準も満足している<sup>4)</sup>。塩水噴霧試験後の曲げ加工した鉄筋の状況をPhoto 2に示す。試験後の鉄筋に発錆が認められなかったことから、エポキシ樹脂塗装鉄筋と同等の防食性を有することが確認できる。

### 2.3 コンクリートとの付着強度

JSCE-E 516-2010「樹脂被覆鉄筋の付着強度試験方法」<sup>1)</sup>に準拠して行った引抜き試験の結果をFig. 2に示す<sup>4)</sup>。サンドグリップバーは、すべり量が小さい段階での付着応力度が普通鉄筋の場合より著しく大きく、すべり量 $0.002D$ ( $D$ :鉄筋径=19mm)における付着応力度は普通鉄筋の場合のおよそ2.8倍となる。また、最大付着応力度は普通鉄筋のおよそ1.1倍となる。

以上のようなコンクリートとの付着強度の向上がRC部材の構造性能に及ぼす影響は、サンドグリップバーおよび普通鉄筋を用いたRCはり試験体の曲げ荷重試験によって確認されている<sup>5)</sup>。各試験体の荷重とひび割れ幅(最大値を示した $\pi$ 型変位計の変位)の関係をFig. 3に、荷重と試験体中央部の鉛直変位の関係をFig. 4に示す。これらの図より、サンドグリップバーを用いたRCはりの曲げ性状は、普通鉄筋を用いた場合と同等であることが確認できる。

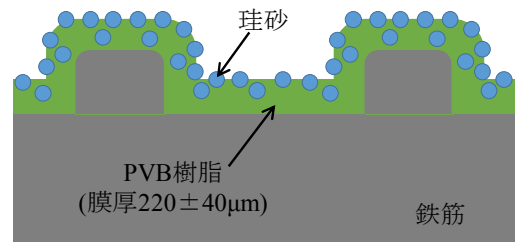
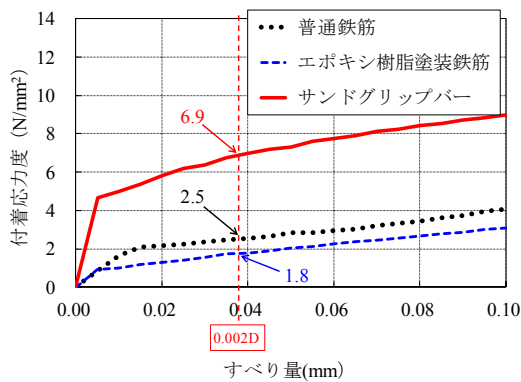


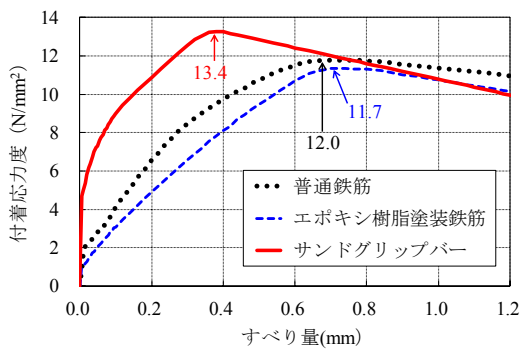
Fig. 1 サンドグリップバーの概念図  
Schematic Diagram of Sand-Grip Bar



Photo 2 塩水噴霧試験後(曲げ試験後)の状況  
Result of Salt Spray Test (Bending Test)



(a) 横軸レンジ: 0~0.10mm



(b) 横軸レンジ: 0~1.2mm

Fig. 2 付着強度試験結果(図中の数値は最大付着応力度)  
Result of Adhesion Test

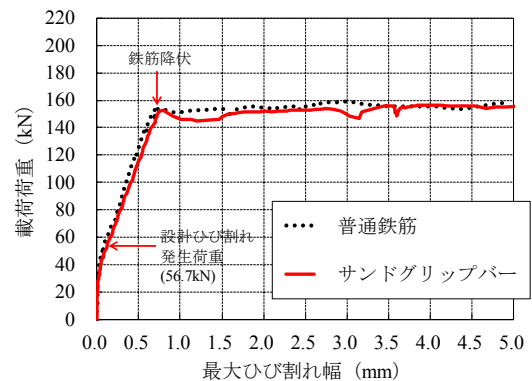
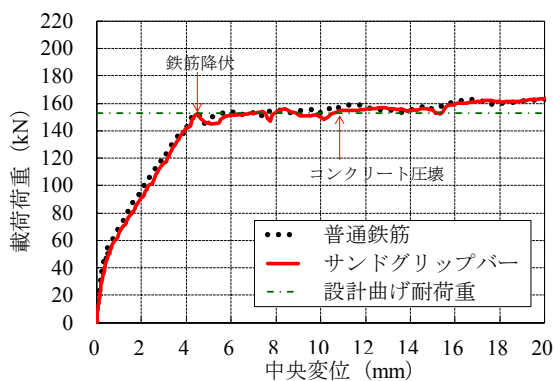
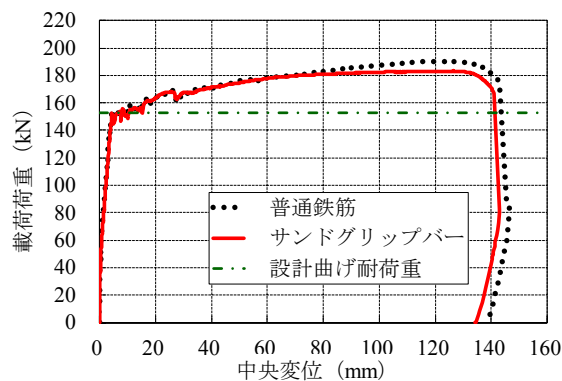


Fig. 3 荷重とひび割れ幅の関係  
Relationship between Load and Crack Width



(a) 横軸レンジ：0～20mm



(b) 横軸レンジ：0～160mm

Fig. 4 荷重と中央変位の関係

Relationship between Load and Central Displacement



Photo 3 耐衝撃試験後の状況  
Result of Impact Strength Test

## 2.4 施工時の損傷に対する抵抗性

サンドグリップバーは、JSCE-E 514-2003「エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐衝撃性試験方法」およびJSCE-E 515-2003「エポキシ樹脂塗装鉄筋の曲げ試験方法」による試験において、塗膜の損傷がないことが確認されている<sup>5)</sup>。耐衝撃性試験の一例をPhoto 3に示す。また、曲げ試験結果の一例をPhoto 2に示す。耐衝撃性試験においては鉄筋素地の露出がなく、曲げ試験においては樹脂塗膜の割れなどの変状がないことが確認できる。

## 3. 重ね継手の性能確認試験

エポキシ樹脂塗装鉄筋では、コンクリートとの付着強度が低下するため、重ね継手を設ける場合の重ね合わせ長さは普通鉄筋を用いた場合の1.18倍以上としなければならないとされている<sup>6)</sup>。一方、サンドグリップバーはコンクリートとの付着強度が向上することにより、重ね合わせ長さを普通鉄筋と同等あるいは小さくできることが期待できる。ここでは、重ね継手を設けたRCはり試験体を作製し、サンドグリップバーおよび普通鉄筋を用いた場合の曲げ載荷試験結果の比較を行うことで、サンドグリップバーを用いた重ね継手の性能を評価した。

### 3.1 材料

使用した鉄筋は、Table 1に示すとおりで、普通鉄筋とサンドグリップバーとした。鉄筋母材の強度試験結果を

Table 1 鉄筋の種類と適用部位  
Types and Application Parts of Rebars

鉄筋の種類	仕様	適用部位
普通鉄筋	SD345 D19	引張側鉄筋
	SD345 D13	圧縮側鉄筋, せん断補強筋
サンドグリップバー	SD345 D19	引張側鉄筋
	SD345 D13	圧縮側鉄筋, せん断補強筋

Table 2 鉄筋の強度試験結果  
Result of Rebar Strength Test

呼び径	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏点 ひずみ(μ)	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)
D13	421	2234	594	21.7
D19	405	2386	572	20.0

Table 3 コンクリートの材料  
Materials for Concrete

分類	種類	記号	摘要
練混ぜ水	上澄水	W	
セメント	早強ポルトランドセメント	C	密度3.14g/cm <sup>3</sup>
細骨材	陸砂	S1	密度2.65g/cm <sup>3</sup>
	高炉スラグ混合砂 (山砂80%, スラグ20%)	S2	密度2.60g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	砕石2005	G	密度2.72g/cm <sup>3</sup>
混和剤	AE減水剤標準型 I 種	Ad	

Table 4 コンクリートの配合  
Mix Proportion of Concrete

W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
		W	C	S1	S2	G	Ad
47.0	45.9	178	379	559	234	966	3.78

Table 2に示す。

コンクリートは、早強ポルトランドセメントを用いた、呼び強度30、スランプ15cm、粗骨材最大寸法20mmの生コンクリート(30-15-20 H)とした。コンクリートの材料および配合をTable 3およびTable 4示す。また、曲げ載荷試験時のコンクリートの強度試験結果をTable 5示す。

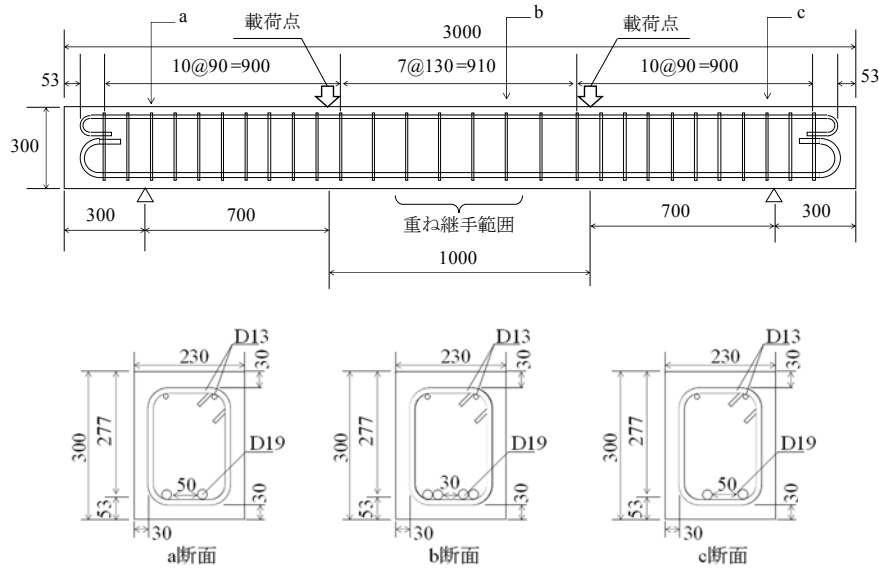


Fig. 5 試験体の形状および寸法  
Shape and Size of Structural Specimen

3.2 試験体の概要および試験方法

試験体の形状、寸法をFig. 5に示す。引張側鉄筋を断面内に2本配し、スパン中央部に重ね継手を設けた。試験ケースはTable 6に示す4ケースとした。重ね継手の重ね合わせ長さは基本定着長 $l_d$ に相当する510mm(26.8D)および重ね継手部分で破壊することを想定して $l_d/1.7$ に相当する300mm(15.8D)とした。なお、基本定着長 $l_d$ は、土木学会のコンクリート標準示方書 [設計編] 6)に従い、以下のようにして算出した。

$$l_d = \alpha \frac{f_{yd}}{4f_{bod}} \varphi \quad (1)$$

- $\varphi$  : 鉄筋径(19mm)
  - $f_{yd}$  : 鉄筋の引張強度(実績より, 372 N/mm<sup>2</sup>)
  - $f_{bod}$  : コンクリートの設計付着強度  
下式によって求めた
- $$f_{bod} = \frac{0.28f_{ck}^{2/3}}{\gamma_c}$$
- ただし,  $\gamma_c = 1.3$
- $f'_{ck}$  : コンクリートの圧縮強度(設計基準強度30N/mm<sup>2</sup>)

- $\alpha=1.0$  ( $k_c \leq 1.0$ の場合)
  - $\alpha=0.9$  ( $1.0 < k_c \leq 1.5$ の場合)
  - $\alpha=0.8$  ( $1.5 < k_c \leq 2.0$ の場合)
  - $\alpha=0.7$  ( $2.0 < k_c \leq 2.5$ の場合)
  - $\alpha=0.6$  ( $2.5 < k_c$  の場合)
- ここに,

$$k_c = \frac{c}{\varphi} + \frac{15A_s}{s\varphi}$$

- $c$  : 鉄筋のかぶり(43mm)
- $A_s$  : 横方向鉄筋の断面積(253mm<sup>2</sup>)
- $s$  : 横方向鉄筋の中心間隔(130mm)

Table 5 コンクリートの強度試験結果  
Result of Concrete Strength Test

試験体	材齢	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大荷重時のひずみ(μ)	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
N510, SG510	16日	36.0	2286	24.4	0.19
N300, SG300	17日	36.9	2474	23.6	0.18

Table 6 試験ケース  
Cases of Testing

記号	鉄筋種類	重ね合わせ長さ
N510	普通鉄筋	510mm (基本定着長 $l_d$ )
N300		300mm ( $l_d/1.7$ )
SG510	サンドグリップバー	510mm (基本定着長 $l_d$ )
SG300		300mm ( $l_d/1.7$ )

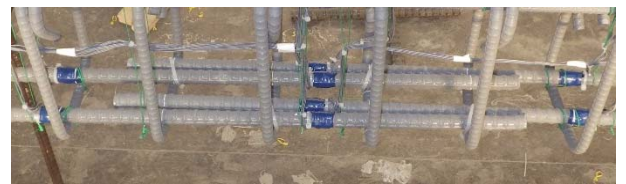


Photo 4 重ね継手 (SG510)  
Lap Joint

設計上考慮しない拘束力の影響を排除するために、重ね継手部分は結束線等で結束せず、鉄筋同士を水平方向に約5mmあけて重ね合わせた。SG510における重ね継手部分の状況をPhoto 4に示す。

載荷は、載荷スパン1000mm、支点間スパン2400mm(せん断スパン700mm)の4点曲げ試験によって行った。測定項目は、載荷荷重、鉄筋ひずみ、コンクリートひずみ、鉛直変位およびひび割れ幅の5項目とした。鉄筋およびコンクリートのひずみは、試験体に取り付けたひずみゲ-



ジによって測定した。引張側鉄筋のひずみは、重ね継手の端部から十分に離れた位置として、中心部から340mm左右に離れた位置にて測定した。鉛直変位は、支点架台に取り付けたフレームを基準とし、デジタル変位計によって測定した。ひび割れ幅は、荷重スパン下面のコンクリート表面に取り付けた11個のπ型変位計(標点距離100mm)によって測定した。また、試験体側面については目視によるひび割れの観察を荷重ステップごとに実施した。

### 3.3 試験結果および考察

各試験体の荷重と引張側鉄筋のひずみの平均値の関係をFig. 6に、荷重と上縁コンクリートのひずみの関係をFig. 7に示す。各試験体における荷重荷重-中央変位関係をFig. 8に示す。それぞれの試験体で最大荷重を示したときの点を図中に○印にて示す。11個のπ型変位計のうち、荷重過程で最大を示したπ型ゲージに着目し、荷重荷重とそのπ型ゲージの変位の関係をFig. 9に示す。また、荷重終了後の試験体の状況をPhoto 5に示す。

**3.3.1 重ね合わせ長さ510mmの場合** まず、破壊形態について考察する。Fig. 6およびFig. 7より、N510およびSG510は、いずれも荷重141~143kN(鉄筋ひずみ2386μ)で鉄筋が降伏し、その後、荷重148~153kNでコンクリートが圧壊したと考えられる。したがって、重ね継手が鉄筋の降伏強度(405N/mm<sup>2</sup>)以上の性能を有することが確認できた。また、Photo 5 (a)および(b)より、曲げスパン下面の長軸方向に引張側鉄筋位置に沿ってひび割れが入っていることから、付着破壊によって終局に至ったと考えられる。この試験体の条件(配置する鉄筋量が計算上必要な鉄筋量の2倍以上、同一断面での継手の割合が1/2以下のどちらも満たしていない)では、本来重ね合わせ長さを基本定着長さ $l_d$ の1.7倍以上としなければならない<sup>6)</sup>が、ここでは、サンドグリップバーを用いることによって重ね合わせ長さ短縮できることを期待してその長さを基本定着長さ $l_d$ と設定したため、付着破壊を生じたと考えられる。

次に、荷重荷重と中央変位の結果について考察する。Fig. 8 (a)および(b)より、N510とSG510の耐荷重は設計曲げ耐力を上回った。Fig. 8 (a)より、初期剛性は、N510とSG510でほぼ同等であった。また、Fig. 8 (b)より、最大荷重は、N510とSG510でほぼ同等であった。以上より、サンドグリップバーを用いた場合の重ね継手は、重ね合わせ長さを $l_d$ 以上とする条件下において、普通鉄筋の場合と同様の重ね合わせ長さとする事で同等の性能を確保できると考えられる。

一方で、Fig. 8 (b)より、N510とSG510では、鉄筋が降伏した後での変位挙動が大きく異なった。N510の場合は、中央変位が約23mmの時点で荷重が低下し始め、その後コンクリートの圧壊が生じた。このことは、付着破壊と同時に荷重が低下し、その後コンクリートが圧壊したものと考えられる。一方で、SG510の場合は、コン

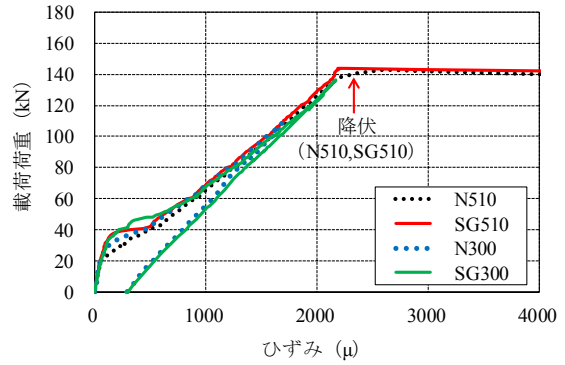


Fig. 6 荷重と鉄筋ひずみの関係  
Relationship between Load and Rebar Deformation

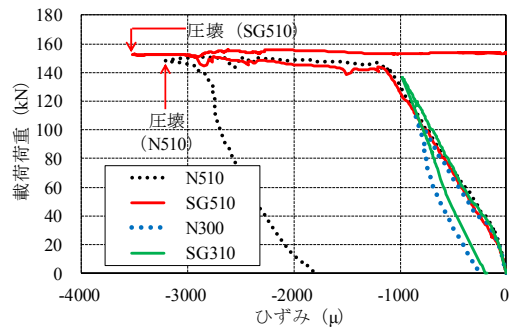
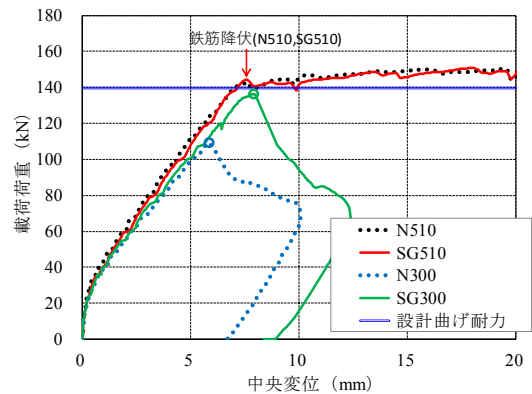
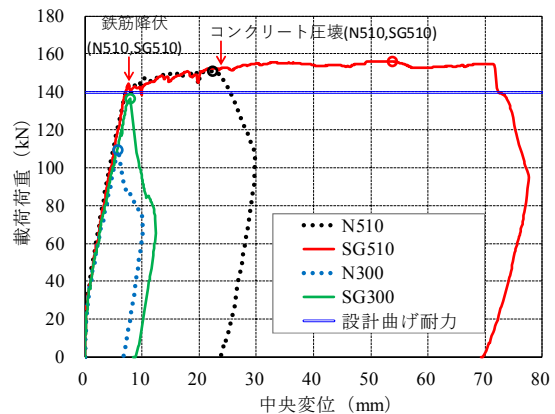


Fig. 7 荷重とコンクリートひずみの関係  
Relationship between Load and Concrete Deformation



(a) 横軸レンジ：0~20mm



(b) 横軸レンジ：0~80mm

Fig. 8 荷重と中央変位の関係  
Relationship between Load and Central Displacement

クリートの圧壊後も荷重が下がらず、その後中央変位が

3.3.2 重ね合わせ長さ300mmの場合 まず、破壊形

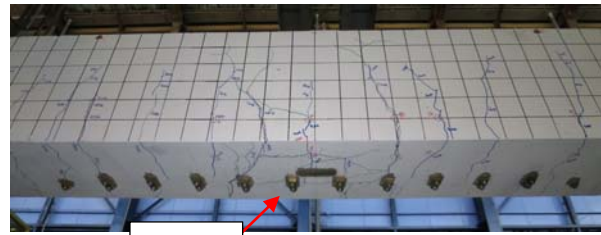
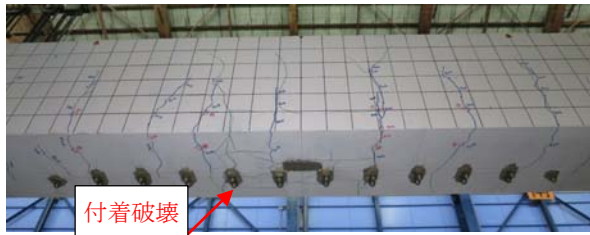
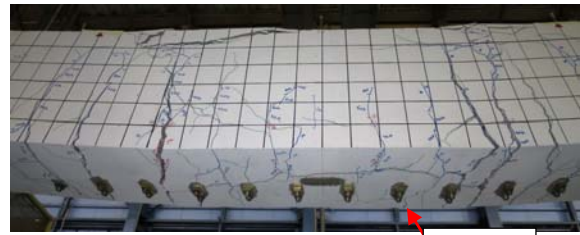
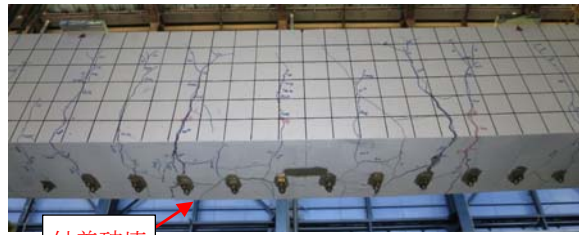


Photo 5 載荷終了後の試験体の状況  
Specimen After Loading

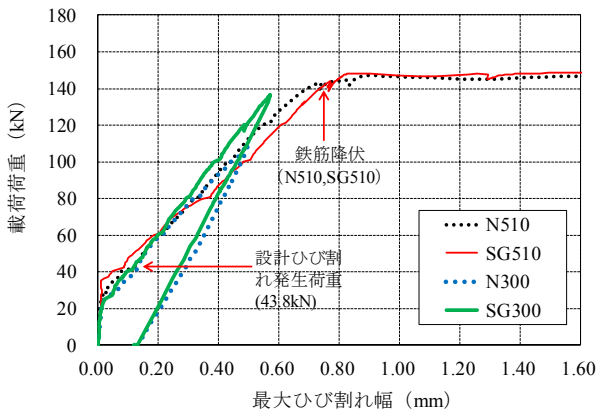


Fig. 9 荷重とひび割れ幅の関係  
Relationship between Load and Crack Width

約71mmの時点で荷重が低下し始めた。以上より、SG510はN510と比べて試験体の靱性が向上することが確認できた。これは、サンドグリップバーのコンクリートとの付着強度の向上<sup>4)</sup>が原因であると考えられ、付着破壊に対する抵抗性が向上したものと考えられる。しかしながら、靱性が向上する詳細なメカニズムについてはまだ明らかになっておらず、現象の解明が課題となる。

次に、ひび割れ幅について考察する。Fig. 9より、最大を示した $\pi$ 型ゲージの値は、顕著な差は見られなかったものの、載荷荷重80kN( $\pi$ 型ゲージ変位0.30mm)程度までは、普通鉄筋を用いた場合(N510)の方が $\pi$ 型ゲージの変位が大きい状態で推移し、その後はサンドグリップバーの場合(SG510)の方が大きい状態で推移した。その後、鉄筋の降伏以降になると両者の値は同等となった。したがって、サンドグリップバーを用いて重ね継手を設けたRCはりでは、普通鉄筋を用いた場合に比べて最大ひび割れ幅の顕著な差は見られなかった。

態について考察する。Fig. 6およびFig. 7より、N300およびSG300は、いずれも鉄筋の降伏(鉄筋ひずみ2386 $\mu$ )およびコンクリートの圧壊以前に荷重が低下したと考えられる。また、Photo 5 (c)および(d)より、曲げスパン下面の長軸方向にひび割れが入っていることから、鉄筋の降伏やコンクリートの圧壊以前に付着破壊によって終局に至ったと考えられる。

Fig.8 (a)より、終局に至るまでの荷重-変位曲線の傾きは、N300およびSG300でほぼ同等であった。また、その傾きは重ね合わせ長さが510mmの場合(N510およびSG510)よりやや小さく、初期剛性が小さかった。これは、重ね合わせ長さが小さいため、荷重によって試験体の一体性が早期に失われる傾向にあったためと考えられる。Fig.8 (b)より、最大荷重は、鉄筋の種類に関わらず、重ね合わせ長さが510mmの場合より小さかった。また、最大荷重はN300の場合で109.3kN であったのに対し、SG300では136.3kNとなり、サンドグリップバーを用いることで耐荷力が約1.25 倍となった。これは、サンドグリップバーの付着強度の向上により、重ね継手の性能が向上したためと考えられる。

以上の結果より、今回の実験条件は重ね合わせ長さを実際の使用条件より小さい300mm( $l_d/1.7$ )と設定しているが、サンドグリップバーを用いて重ね合わせ長さを300mmより大きく、510mm( $l_d$ )より小さく設定した場合、普通鉄筋を用いた重ね合わせ長さ510mmの場合(N510)と同様の構造性能を発揮する可能性があると考えられる。

次に、ひび割れ幅について考察する。Fig. 9より、最大を示した $\pi$ 型ゲージの値は、載荷荷重70kN( $\pi$ 型ゲージ変位0.25mm)程度までは載荷ステップごとに両者の $\pi$ 型ゲージの変位は拮抗し、その後は普通鉄筋の場合(N300)の方がやや大きい状態で推移した。また、Photo 5 (c)および(d)

より、ひび割れ間隔や本数には両者に明確な相違は確認できなかった。

#### 4. まとめ

PVB樹脂および珪砂を用いた高性能被覆鉄筋「サンドグリップバー」について、その基本的な性能を概説するとともに、サンドグリップバーを用いた重ね継手の性能を評価するためにRCはり試験体の曲げ荷重試験を実施した。重ね継手の重ね合わせ長さは基本定着長 $l_d$ に相当する510mmおよび $l_d/1.7$ に相当する300mmの2種類とした。試験の結果、下記の結果が得られた。

- 1) 重ね合わせ長さを基本定着長 $l_d$ とした場合、荷重開始から鉄筋の降伏、コンクリートの圧壊の過程において、ひび割れ発生荷重、ひび割れ幅の進展状況、荷重-変位曲線および最大荷重はサンドグリップバーと普通鉄筋でほぼ同等であり、サンドグリップバーを用いた場合でも十分な継手性能を有することを確認した。
- 2) 重ね合わせ長さを基本定着長 $l_d$ とした場合、いずれの試験体も鉄筋の降伏後に付着破壊を生じたが、荷重が低下し始める時の変位はサンドグリップバーを用いた場合の方が普通鉄筋の場合に比べ大きく、破壊にいたるまでの靱性が向上した。
- 3) 重ね合わせ長さを $l_d/1.7$ とした場合、鉄筋の種類に関わらず、鉄筋の降伏以前に重ね継手部分が付着破壊を生じることで終局に至った。サンドグリップバーを用いることで、ひび割れ性状および荷重-変位曲線は普通鉄筋の場合とほぼ同等であったものの、耐荷力が普通鉄筋の場合の1.25倍に向上した。したがって、サンドグリップバーを用いることで、重ね合

わせ長さをある程度小さくしても普通鉄筋の場合と同等の構造性能を発揮できることが推察された。

今後、実際の使用条件として想定される重ね合わせ長さ(基本定着長 $l_d$ の1.3倍以上および1.7倍以上)の場合の評価も必要であると考えられる。

#### 謝辞

サンドグリップバー®は、株式会社大林組、株式会社川熱、朝日工業株式会社による共同研究開発の成果の一部である。ここに、関係各位への感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー112 エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針 [改訂版] , 2003.11
- 2) 小林一輔, 他：エポキシ樹脂塗装鉄筋に関する実験的研究, コンクリート工学論文, 21(2), pp. 91-106, 1983.9
- 3) 前田聡, 他：最近のエポキシ樹脂塗装鉄筋の諸性能, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, No. 1, 2005. 7
- 4) 片野啓三郎, 竹田宣典：PVB樹脂および珪砂を用いた高性能被覆鉄筋の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol. 39, No. 1, 2017.7
- 5) 片野啓三郎, 竹田宣典：高性能な樹脂被覆鉄筋に関する研究, 大林組研究所報, No. 79, 2015.12
- 6) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書 [設計編] , 2013.3