

報告 アラミド緊張材を用いた外ケーブル用ブラケットの設計と施工

中井裕司*1 山田金喜*2 永井淳一*2 熊谷紳一郎*3

要旨:外ケーブルを用いたPC橋梁桁の補強に際し、アラミド緊張材の特性を生かしたブラケットの新しい固定方法を開発した。従来適用されているPC鋼材を用いた固定方法は、以下に示す問題点が指摘されている。①鋼棒長が短く緊張管理が難しい。②鋼材の伸びが小さくコンクリートの変形によるプレストレスの損失が大きい。③限られた作業空間での緊張作業となり施工性が悪い。④錆に対する耐久性の考慮が必要である。

本工法は、緊張材として伸び能力に優れ、軽量かつ耐腐食性に優れたアラミド緊張材を用い、また緊張材をプレテンション方式で緊張してブラケットの施工を行うことにより上記問題点を解決した。本報では開発の一環として実施された部材試験、実大スケールの模型試験ならびに実施工の結果について報告する。

キーワード:外ケーブル、ブラケット、アラミド緊張材、補修補強

1. はじめに

近年、供用荷重の大型化や構造物の経年変化により一部のコンクリート橋梁に損傷が認められ補強を必要とする事例や、適用示方書の変遷により耐力の向上を図る場合がある。コンクリートの橋梁の補強方法には、鋼板接着、増し厚、増し桁、外ケーブルを用いる方法等がある。そのうち外ケーブルを用いる方法は、力学的に明快であるために多用されている。たとえば、B活荷重対応の単純桁の補強方法や、さらに走行性の改善および騒音対策としての単純桁の連続化に応用できる。

外ケーブルによって既設橋梁にプレストレスを導入する方法は、ブラケットの固定方法、ブラケット周辺の局部応力、施工上の諸制約などの問題点がある。従来、ブラケットの固定方法は、鋼製もしくはコンクリート製の定着部をPC鋼棒で既設桁と緊張接合する方法と、横桁を新設し緊張により既設桁と一体化する方法が採られてきた。前者は、施工上の諸制約（狭い、重い）や非常に短い鋼棒（1m以下）の緊張のために、緊張力の大きなロスが生じブラケットが滑動するという問題点を有していた。後者は、接合緊張力の流れが明確でなく、設計手法に問題があった。

本報告は、上記問題点を解決するために、PC鋼棒より弾性伸び量が大きく、変位に対し応力変動の少ない素材（アラミド緊張材）を用いた新しい外ケーブル定着用ブラケットについて研究開発したのでその概要を述べるものである。なお、本工法の開発は、日本道路公団、住友建設（株）と（株）千代田コンサルタントの共同研究である。

2. アラミド緊張材を用いた外ケーブル用定着構造について

2.1 アラミド緊張材について

アラミドロッドは、テクノーラ繊維とビニルエステル樹脂から成る。アラミドロッドは、繊維の引き揃えが高いため、高い引張強度を有し、時間とともに強度の低下する静的疲労が改善され、動

*1 住友建設(株) 技術研究所 (正会員)

*2 日本道路公団 大阪管理局

*3 住友建設(株) 土木本部

的疲労にも優れている。本実験で使用するアラミド緊張材は $\phi 7.4\text{mm}$ のアラミドロッドを9本収束したものである。アラミド緊張材の構成を図-1に示す。アラミド緊張材は、コンクリートとの付着特性を向上させるため、表面に凹凸を持たせた異形性状のものである。

アラミド緊張材の力学特性を表-1に示す。引張強度はPC鋼線とほぼ等しく、ヤング率はPC鋼線の約1/4である。純リラクゼーション率は100年後で約23%であるが、本工法の場合緊張力導入時まで約12%進行するので、緊張力導入後の減少は約11%である。また、アラミド緊張材の小さい弾性係数に起因して、緊張材は大きな伸びが導入されており、ブラケットに導入される緊張力のセットロス、クリープ乾燥収縮による緊張力の減少も少ない。したがって、1m程度の長さの緊張材の場合は、PC鋼棒に比べて信頼性の高い外ケーブル用ブラケットが構築可能と考えられる。さらに、動的疲労強度はPC鋼線と比較すると高く約 600N/mm^2 である。

2.2 アラミド緊張材を用いた外ケーブル用ブラケットの検討項目

アラミド緊張材を用いた外ケーブル用定着構造を図-2、施工フローを図-3に示す。図は場所打ちブラケットを想定したものである。施工手順は、アラミド緊張材を挿入するコアをブラケットの設置位置に直線上に抜き取り、型枠・鉄筋・橋梁の幅員相当の長さを有するアラミド緊張材を組み立てる。反力装置を主桁間に設置し、アラミド緊張材を橋軸直角方向に緊張する。その後、コンクリートを打設し、養生・脱型後、アラミド緊張材を各主桁間で切断し、ブラケットに緊張力を導入し主桁に接合する。

一般の施工方法に追加される工種は緊張用の反力架台の設置であり、削除される工種は桁下での個々のブラケットに対する緊張作業である。本工法は、プレテンション方式で橋軸直角方向にブラケットの数に関わりなく、ブラケット全体で緊張するために緊張作業および管理が低減される。

本工法の実用化にあたって、解明すべき項目は

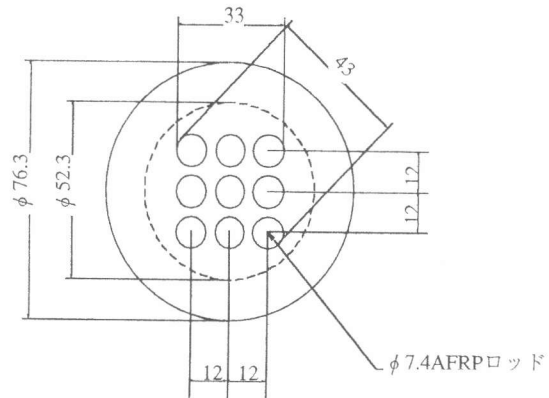


図-1 アラミド緊張材の構成

表-1 アラミド緊張材の力学特性

公称断面積 (mm^2)	381.6
引張強度 (N/mm^2)	2180
弾性係数 (kN/mm^2)	53.0
破断伸び (%)	3.3
リラクゼーション率 (%、100年)	23
動的疲労強度 (N/mm^2)	600
規格引張耐力 (kN/本)	670

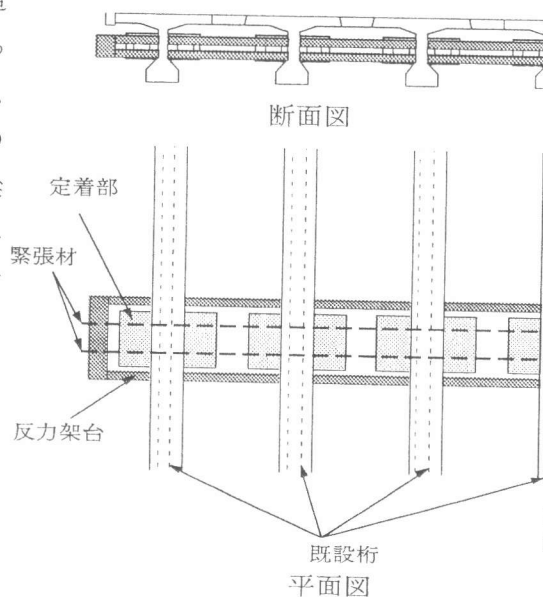


図-2 工法の概要

以下のとおりであった。

- a. 本工法に適用するアラミド緊張材の伝達長さの確認
- b. 本工法の長期間にわたる緊張力の変動
- c. 本工法の終局耐力の確認
- d. プレストレスの導入方法の検討
- e. 実物大規模の施工性の確認実験

3. 確認試験結果

3.1 基礎試験結果

本工法に適用したアラミド緊張材を用いた伝達長試験の結果と、本工法と既往の工法の緊張力の変化の比較試験結果は別報に示しているので、それらの試験結果を簡潔に記すに留める[1]。

伝達長試験から得られた結論は、本工法に用いる材料（アラミド緊張材 $9\phi 7.4\text{mm}$ と圧縮強度 50N/mm^2 のコンクリート）を用い、導入緊張力 335kN の場合の伝達長は 30cm である。

表-2に示す比較実験を行い、緊張力の安定性を検討した。対象の部材の厚さを 50cm (図-4参照)とした実験結果より、図-5に示すように約80日間で既往のPC鋼棒を用いた場合は有効緊張力が導入緊張力の80%程度になるのに対して、本工法の場合は有効緊張力が導入緊張力の98%である事が確認できた。

それらの結果を踏まえ、本工法のように非常に短い部材への緊張力の確実な導入を必要とする場合、低い引張剛性を有する緊張材が有利なこと、プレテンション方式でアラミド緊張材を用い長期的な緊張力の安定性を確保するためにはブラケットの部材厚さを 50cm にする必要があることが理解できた。

3.2 実物大試験

実物大試験の状況を写真-1に示す。実物大試験は、接合緊張力の水準を変えて、実物大の本工法ブラケットを場所打ちとプレキャストの施工方法で作製した。

施工性の評価は、高性能コンクリートとポンプ車を用いた場所打ちの方が施工性が優れている

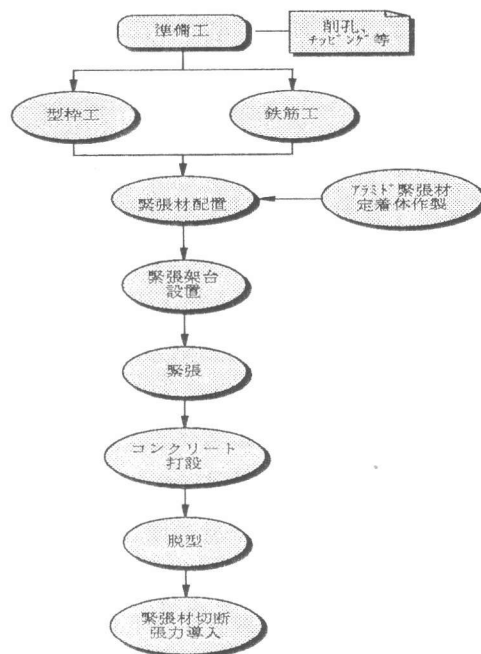


図-3 施工フロー

表-2 長期安定試験の試験水準

No.	緊張材	作製方法	部材長さ(mm)	導入緊張力(kN)
1	アラミド緊張材	プレテンション	500	299
2	アラミド緊張材	付着定着+プレキャスト	500	246
3	アラミド緊張材	付着定着+プレキャスト	350	292
4	$\phi 26\text{D}\&\text{W}$ 鋼棒	ポストテンション	500	351

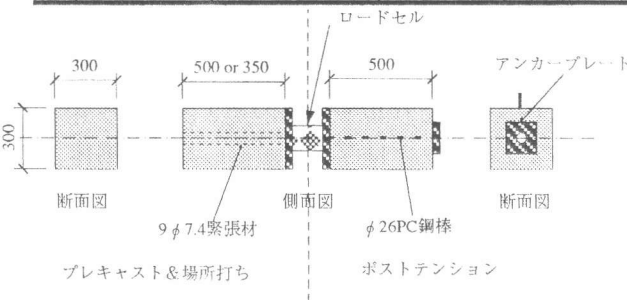


図-4 長期安定試験の供試体の形状

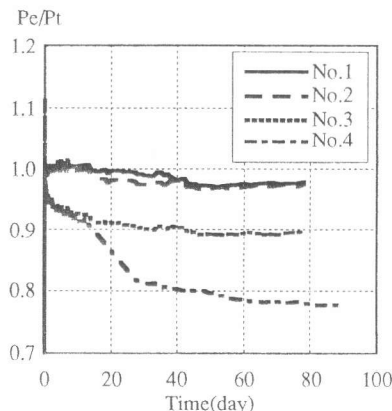


図-5 緊張力の経時変化

た。この原因は、プレキャスト部材の架設が困難なこと、接合面のモルタル注入のための型枠設置に労力がかかることが判明した。また、緊張されたアラミド緊張材の切断は、構造体に損傷を与えることなく、高速カッターにて安全・容易に行えることが確認できた。

試験結果と設計せん断伝達耐力を表-3に示す。プレキャストによる施工方法を取ったグループはほぼ設計せん断耐力に等しく、部材としての安全率が少ない。一方、場所打ちの施工方法を取ったグループは設計せん断耐力に対して十分な安全率を有している。この原因は、プレキャスト部材の厚さが35cmであるためにはほぼ伝達長と等しくアラミド緊張材の応力増加により付着破壊が生じたためと考えられる。破壊性状は、せん断によるアラミド緊張材の切断ではなく、アラミド緊張材の引き抜けによるブラケットの緩やかな滑動であった。

No.1 供試体のブラケットへの作用せん断力と浮き上がり量の関係を図-6に、作用せん断力と自由端のアラミド緊張材の抜けだし量の関係を図-7に示す。No.1 供試体の使用状態での外ケーブル緊張力は約600kN/基と想定されており、作用せん断力が1200kNになるまでブラケットは浮き上がることなく剛体として主桁に密着して挙動し、使用状態で十分な安全性があることが理解できる。以後、ブラケットは徐々に付着が劣化し、1618kNで滑動に至る。その間、自由端において、アラミド緊張材は抜け出すこともなく安定した挙動を示している。

実物大試験によって、本工法のブラケットの施工方法は場所打ちコンクリート工法を用いることが有利であり、本工法に必要な部材厚さは50cm程度であり、その場合、ブラケットの終局耐力は土木学会コンクリート標準示方書の伝達せん断耐力式で安全側に評価できることが判った。

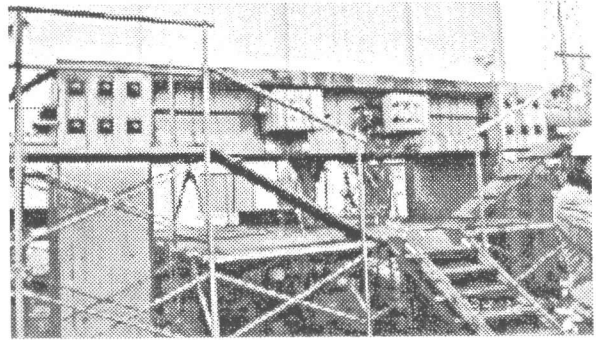


写真-1 実物大試験状況

表-3 試験水準と試験結果

	No.1	No.2	No.3	No.4
施工方法	場所打ち	プレキャスト	場所打ち	プレキャスト
接合緊張力(kN)	1305	1305	638	638
接合面形状(cm)	60×45	50×45	60×45	50×45
定着体の高さ(cm)	50	35	50	35
コンクリート強度(N/mm ²)	39.6	58.9	39.6	58.9
設計せん断伝達耐力(kN)	1059	1246	520	628
実験値(tf)	1619	1256	1010	628
実験値/設計値	1.52	1.01	1.94	1.00

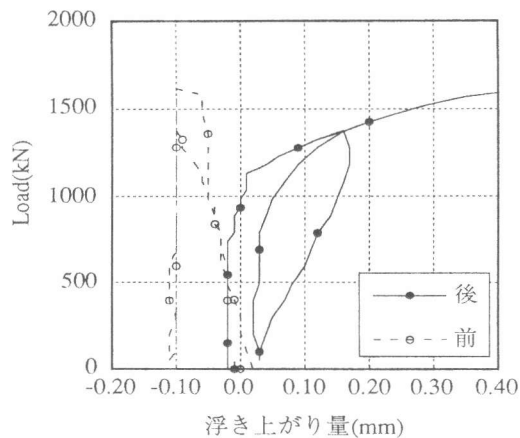


図-6 プラケットの作用せん断力と浮き上がり量

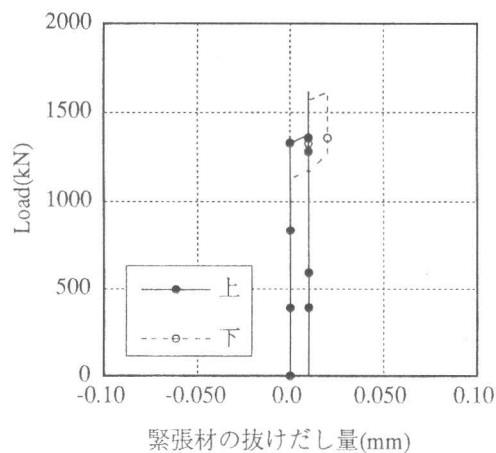


図-7 作用せん断力と自由端のアラミド緊張材の抜けだし量

4. フィールドテスト

アラミド緊張材を用いた外ケーブル用定着構造のフィールドテストとして、日本道路公団大阪管理局により姫路バイパス本線のB活荷重対策の補強と単純桁の連結工事に適用された。この主桁連結工法は、単純桁の遊間部分にコンクリートを充填し、連続した外ケーブルのプレストレス導入により隣接する桁相互を連結する工法である [2]。

橋梁断面図を図-8に示す。対象橋梁の諸元は、橋長48.3m、桁長24.6m、支間23.4m、幅員13.8m、斜角80°、PCポストテンションT桁橋の上下線である。外ケーブルは主桁1本当たり2本のSEEEケーブルF200Tが配置され、1本当たりの有効緊張力は833kNである。使用するφ7.4mmアラミドロッドの総延長は3300mである。ブラケットの設計諸数値を表-4に示す。ブラケットの設計終局耐力は、外ケーブルの有効緊張力の1.7倍以上に設定されている。

施工方法は、実物大実験で確認した手法を用いて行った。施工管理は、緊張力と主桁間の相対変位を測定することにより、主桁の面外への変形を照査して橋梁の安全の確保する緊張管理を行った。

埋め込み型コンクリートひずみ計(図9-参照)で測定したブラケット内のブラケット接合緊張力方向のコンクリートの実歪の経時変化を図-10に示す。この歪には、アラミド緊張材による接合時の歪、外ケーブル緊張力によるブラケットの歪、コンクリートの乾燥収縮およびクリープが含まれている。

外ケーブルを緊張した時点以後、ブラケット内の歪に大きな変化はなく、アラミド緊張材によるブラケット接合力が有効に作用していると推定できる。

図-11に定着体1組(主桁1本当たりに配置される定着体2基を1組とする)当たりの作業工種別の人工の占める割合を示す。緊張架台の設置および撤去に多くの労務費が発生し

表-4 ブラケットの設計諸数値

φ7.47mmアラミドロッド設計数量 (m)	3024
定着体製作個数 (組) *1	28
施工方法	場所打ち
接合緊張力 (kN)	1810
接合面形状 (cm)	100×45
ブラケットの高さ (cm)	50
コンクリート設計強度 (N/mm ²)	49
設計せん断伝達耐力 (tf) V _{cwd}	1460
外ケーブル有効緊張力 (tf) P _e	834
V _{cwd} /P _e	1.75

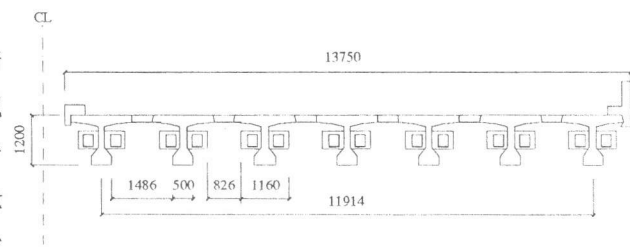


図-8 対象橋梁の断面図

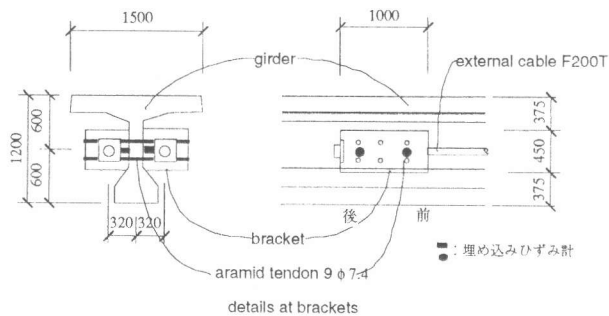


図-9 ブラケットの詳細図

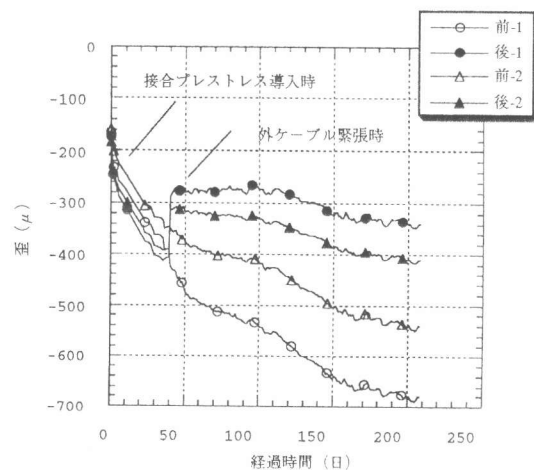


図-10 長期ひずみ測定結果

ている。

本フィールド試験の結果、本工法が橋梁の補修補強に外ケーブルを用いる場合のキーポイントとなるブラケットの品質の向上と、厳しい作業空間での重労働を排除できること、および、ブラケットを完全なメンテナンスフリーにできることを明らかにした。今後、緊張材料費の低価格と緊張架台の合理化が必要である。

5. まとめ

本工法は、外ケーブルのブラケットの施工について、10 m程度以上の長い区間に用いられてきたPC緊張工法を1m程度の短い区間の緊張に準用することで生じていた問題点を、弾性伸び量の大きいアラミド緊張材を用いることで解決した。さらに、施工方法についても検討を加え、施工性の悪い桁下空間の作業を減らすことに成功した。

各種試験と実施工を行い、次の知見を得た。

- 1) 9φ7.4mmアラミド緊張材の伝達長は300mm必要であり、本工法の外ケーブル用ブラケットの最小厚さは500mmである。
- 2) プレテンション方式で短い(500mm)の部材内に定着した9φ7.4mmアラミド緊張材は、ポストテンション方式で同一部材に定着した既往のPC鋼棒よりも、80日間で緊張力の損失割合が少なかった。
- 3) 本工法の実物大試験より、アラミド緊張材を用いた部材厚さ500mmのブラケットの設計伝達せん断耐力はコンクリート標準示方書で評価できる。
- 4) 実施工により、アラミド緊張材の緊張管理が容易であり、本工法の180日間の安定性が示された。

参考文献

- [1] 佐藤剛、永井淳一、福田暁、木島裕一：アラミド緊張材を用いた外ケーブル用定着構造の実験的研究、土木学会第50回年次学術講演会、第5部門、pp390-391、1995.9
- [2] 永井淳一、山田慶三、北川琢也、中井裕司：曾根高架橋ほか2橋の橋梁補強工事、プレストレストコンクリート、Vol.37、No.6、pp42-51、Nov.1995

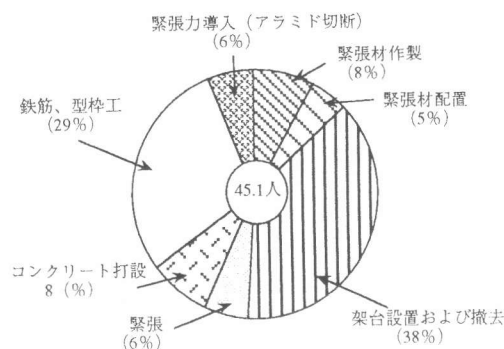


図-11 定着部10組当たりの作業工種別の人工の占める割合

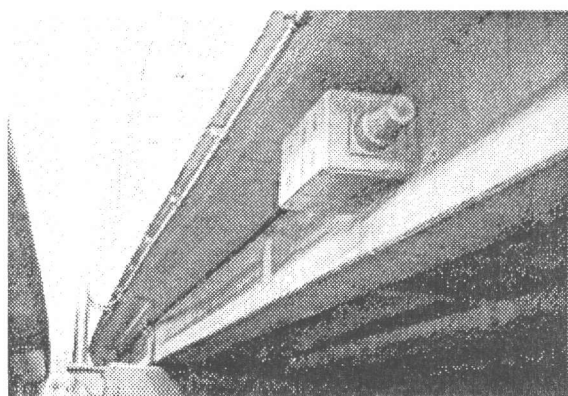


写真-2 主桁連結工法の終了した橋梁側面

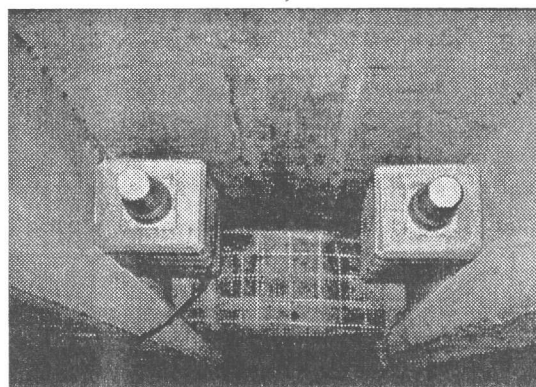


写真-3 取り付けられたブラケット