

論文 ポリマーセメントモルタルを用いて断面修復されたコンクリート部材への鋼製ディスク型シャキーの適用性

坂本 啓太*1・阿部 隆英*2・高瀬 裕也*3

要旨: 本研究では、耐震改修工事の間接接合部材として用いられる鋼製ディスクとアンカーボルトを併用したディスク型シャキーを、ポリマーセメントモルタル(PCM)を用いて断面修復されたコンクリート部材に適用した場合のせん断耐力を確認することを目的として 2 通りのせん断実験を行った。ポリマーセメントモルタル(PCM)の付着せん断特性を確認する為の付着せん断実験では、そのせん断方向の付着耐力とコンクリート圧縮強度の関係が明らかとなり、ディスク型シャキーを 1 個配置した単体接合部実験では、断面修復を伴わない平滑なコンクリート部材へ配置した場合より、せん断耐力が上回ることを確認した。

キーワード: 間接接合部, 鋼製ディスク型シャキー, ポリマーセメントモルタル(PCM), 断面修復, 目荒らし

1. はじめに

著者らは、耐震改修の普及に寄与する為、短い埋込深さで高いせん断耐力とせん断剛性を発揮する、鋼製ディスクとアンカーボルトを併用した接合部材(以下、ディスク型シャキーと称す)を研究^(例えば1)2)し、報告している。これらのディスク型シャキーに関する研究は、平滑な既存躯体に直接ディスク型シャキーを定着させて行っている。しかしながら、実際の耐震改修における既存躯体の表面は、建設当時の施工不良や、改修工事時の仕上げモルタルの研りなどにより、既存躯体に大きな凹凸が生じている場合もある。このような場合、**図-1** に示すように既存躯体の表面をポリマーセメントモルタル(以下、PCMと略称する)を用いて断面修復したコンクリート部材に、ディスク型シャキーが施工されることになる。**図-1** に断面修復面へのディスク型シャキーの配置例を示す。また、地震時にディスク型シャキーが負担するせん断力は、PCMを介して既存躯体へ伝達されるところになる。

前述の通り断面修復されたコンクリート部材の表面(以下、単に断面修復面と称す)にディスク型シャキーを適用するためには、PCMと既存躯体が一体となり、せん断力を既存躯体へ伝達できることが必要である。しかし、PCMとコンクリートの付着性能に関する研究は朴らにより報告³⁾されているが、せん断耐力による研究は著者らが知る限り報告されていない。更に、そのせん断耐力は、既存躯体表面の凹凸等の状態に左右されると考えられるため、PCMと既存躯体の界面(以下、PCM接合面と称す)におけるせん断抵抗要素は、付着抵抗や支圧抵抗が挙げられる。これらの抵抗要素によるせん断耐力を総じて付着せん断耐力と呼称する。そこで、まず純粋なPCM接合面における付着せん断耐力を把握するため、ディス

ク型シャキーを配置せず、PCM接合面のみに着目したせん断実験(以下、付着せん断実験と称す)を行い、続いて断面修復面にディスク型シャキーを1個配置したせん断実験(以下、単体接合部実験と称す)を行う。これらの結果から、ディスク型シャキーが負担するせん断力が、PCM接合面による付着せん断耐力を評価し、本論文では、断面修復されたコンクリート部材へのディスク型シャキーの適用性について検証することを目的とする。

2. 付着せん断実験

2.1 実験概要

(1) 試験体諸元及び試験体パラメータ

図-2 に付着せん断実験試験体の諸元寸法を示し、**表-1** に付着せん断実験の試験体パラメータ及び材料試験結果を示す。付着せん断実験の試験体は既存コンクリート部とPCM部のみで構成され、表面形状はPCM接合面の付着せん断耐力を増大させることを目的として人為的に凹凸を形成させた。実験パラメータはPCM接合面の表面形状及び既存コンクリート部の圧縮強度 σ_B とし、 σ_B は耐震改修の建物を想定し、 $8.3 \leq \sigma_B \leq 22.5 \text{ N/mm}^2$ の範囲で6水準とした。**図-2** に示すように既存コンクリート部の形状は長さ580mm、幅200mm、高さ200mm、PCMの形状は長さ270mm、幅高さ200mmとし、着目するPCM

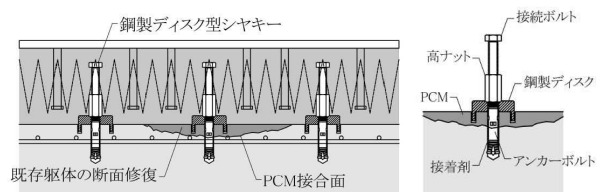


図-1 断面修復面へのディスク型シャキーの配置例

*1 飛島建設(株) 建築事業本部 主任 工修 (正会員)

*2 飛島建設(株) 建築事業本部 主任 (正会員)

*3 室蘭工業大学 大学院工学研究科くらし環境系領域 准教授 工博 (正会員)

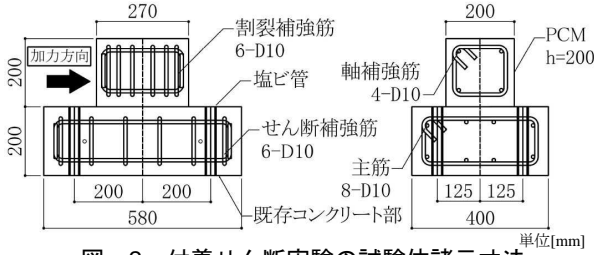


図-2 付着せん断実験の試験体諸元寸法

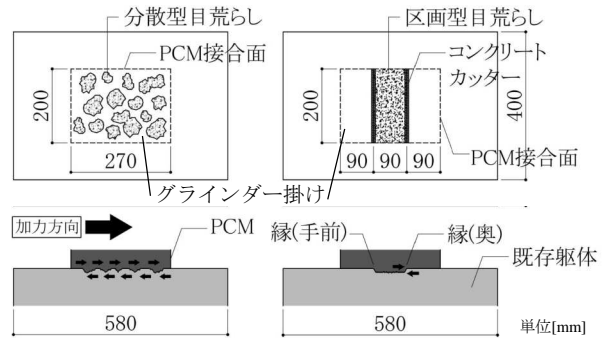
表-1 付着せん断実験の試験体パラメータ
及び材料試験結果

表面形状	試験体名	既存コンクリート			PCM		
		σ_B N/mm ²	E_c N/mm ²	σ_T N/mm ²	$\rho\sigma_B$ N/mm ²	ρE_c N/mm ²	$\rho\sigma_T$ N/mm ²
分散型 目荒らし 50%	P-D-8	8.3	13.0	0.9	66.0	25.9	4.0
	P-D-11_1	11.4	15.2	1.1	59.9	22.4	4.3
	P-D-11_2	11.4	15.2	1.1	59.9	22.4	4.3
	P-D-14	13.9	17.2	1.5	66.0	25.9	4.0
	P-D-15	15.8	21.9	1.7	59.9	22.4	4.3
	P-D-18	18.2	19.2	1.8	66.0	25.9	4.0
	P-D-22_1	22.5	19.6	1.9	66.0	25.9	4.0
区画型 目荒らし @90mm	P-R-8	8.3	13.0	0.9	66.0	25.9	4.0
	P-R-14	13.9	17.2	1.5			
	P-R-18	18.2	19.2	1.8			
	P-R-22	22.5	19.6	1.9			

$\sigma_B, \rho\sigma_B$: 圧縮強度, $E_c, \rho E_c$: ヤング係数, $\sigma_T, \rho\sigma_T$: 圧縮強度

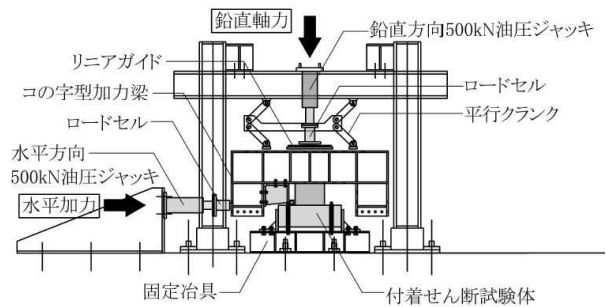
接合面以外にひび割れが極力延伸しないように PCM 部には、割裂補強筋を配筋した。PCM 接合面の表面形状は、図-3 に示す 2 種類とした。

図-3 に付着せん断実験における PCM 接合面の表面形状を示す。同図(a)に示すように、電動ピックを用いた目荒らし（以下、単に目荒らしと称す）を PCM 接合面全域にわたって偏りなく施工した表面形状(以下、分散型目荒らしと称す)と、同図(b)に示すような、せん断力伝達方向に 90mm ピッチで縞模様を成すように目荒らしを集中させた目荒らし(以下、区画型目荒らしと称す)である。このとき、分散型目荒らしによる目荒らしの水平投影面積は、画像解析を用いて⁴⁾ PCM 接合面の面積に対する目荒らし面積の比（以下、目荒らし面積比と称す）が 50% 程度となるように施工した。また、施工者による目荒らし形状の違いを排除するため、施工は全試験体同一の施工者が実施し、その目荒らしの深さは概ね最大約 15mm 程度であった。区画型目荒らしは、長さ方向 270mm の中央に幅 90mm の目荒らし（目荒らし面積比 33%）を施した。ただし、区画型目荒らしの縁は、コンクリートカッターを用いて施工することで、既存コンクリート表面に対し、概ね高さが 10mm の垂直面である。これらの表面形状の違いにより、分散型目荒らしは、個々の小さな目荒らしにより既存コンクリート部が支圧抵抗を受けるのに対し、区画型目荒らしは、主として縁で支圧抵抗を受けることになる。また、PCM 接合面の目荒らしを施し

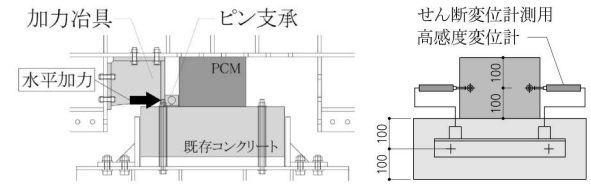


(a) 分散型目荒らし配置 (b) 区画型目荒らし配置

図-3 付着せん断実験における PCM 接合面の表面形状



(a) 付着せん断実験荷装置



(b) 荷位置拡大 (c) 変位計測位置

図-4 荷装置及び変位計測位置(付着せん断実験)

ていない領域には、PCM と既存コンクリートの付着せん断力を更にも高めるために、グラインダー掛けを施した。試験体の製作は、既存コンクリート部を打設後、前述に示した表面形状を形成し、その後吸水調整剤を塗布し、最後に PCM 部を打設した。

(2) 加力装置及び変位計測

図-4 に荷装置及び変位計測位置を示す。試験体は、既存コンクリート側を固定治具にボルトを用いて固定した。水平加力は油圧ジャッキを用い、一方向単調荷とした。このとき、荷点は PCM 接合面に近い位置とし、更にピン支承を PCM と加力梁の間に設置することで、極力曲げモーメントが PCM に生じないように配慮した。また、水平方向の油圧ジャッキの高さは、試験体の接合面の高さと同じとした。本論文では柱、梁構面内に補強する内付け補強を想定し、鉛直軸力を PCM 接合面で除した圧縮応力度 σ は、ディスク型シヤキーを適用した間接接合部の σ が概ね 0.40N/mm²であること¹⁾、更に目荒らしを設けた間接接合部の σ は 0.48N/mm²で評価してい

る4ことより、全試験体において0.5N/mm²とした。

せん断変位 δ は、図-4(c)に示すように、2箇所配置したせん断変位計測用高感度変位計の計測値の平均とした。

2.2 実験結果

(1) PCM 接合面の平均付着せん断応力度

図-5に、付着せん断実験における $Q-\delta$ 関係を示す。また、同図に次式で算定される平均付着せん断応力度 $p\tau_{max}$ を併記する。

$$p\tau_{max} = pQ_{max} / pA = pQ_{max} / (200 \times 270) \quad (1)$$

ここに pA は、PCM 接合面の面積(54000mm²)である。

最大付着せん断力 pQ_{max} 到達後はいずれの試験体も急激に Q が低下すると共に、 δ が増大する傾向が見られた。図-6に $p\tau_{max}-\sigma_B$ 関係を示す。目荒らし及び区画型目荒らし共に、 σ_B が大きくなるにつれ、 $p\tau_{max}$ も増大しているが、 $\sigma_B \geq 18.2\text{N/mm}^2$ の範囲では、この傾向が鈍化している。そのため、同図に示す回帰式は対数による関数を用いた。また、区画型目荒らしの試験体では、分散型目荒らし試験体に比べ、 $p\tau_{max}$ が 0.02~0.39N/mm² の範囲で下回る結果となった。その要因として、目荒らし面積比(分散型:50%、区画型:33%)やせん断伝達メカニズムが異なることが考えられる。

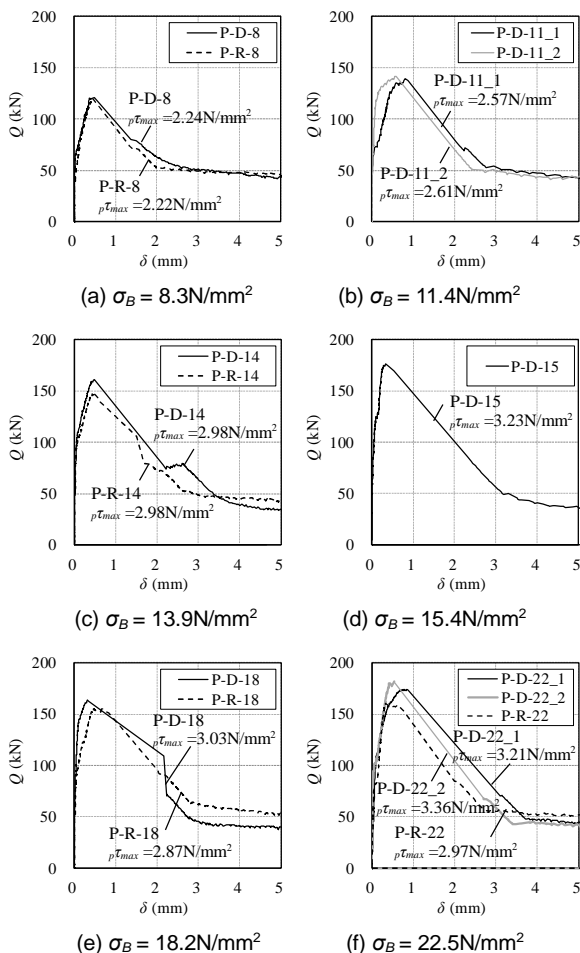


図-5 $Q-\delta$ 関係 (付着せん断実験)

(2) 破壊モード

写真-1に、载荷後にPCM部を取り除いた後のPCM接合面の破壊状況を示す。PCM部へのひび割れは生じず、変形モードは接合部界面のズレが支配的であった。分散型目荒らしの試験体は、局所的なPCMのせん断破壊(以下、シアオフ破壊⁵⁾と称す)と既存コンクリート部の支圧破壊が混在している。それに対し、区画型目荒らし試験体は、主として加力方向奥側の縁全体に支圧破壊が見られるが、目荒らしによる凹凸においても支圧破壊が生じていることから、両者がせん断力に寄与していると推察される。以上より、区画型目荒らしは、分散型目荒らしと比較して目荒らし面積比が小さいが、区画型の方が鋭角な縁(切込み角)を有しており、これによって効率的な支圧抵抗が働いたため、 $p\tau_{max}$ の差は小さい結果となったと考えられる。

3. 単体接合部実験

3.1 実験概要

(1) 試験体諸元及び試験体パラメータ

本章では、断面修復面にディスク型シャキーを配置した単体接合部実験について記述する。表-2に試験体パラメータ及び材料試験結果を示し、図-7に単体接合部実験の試験体諸元寸法及びディスク型シャキーの概要を示す。試験体パラメータは、付着せん断実験と同様、表面形状及び σ_B とし、 σ_B は $8.3 \leq \sigma_B \leq 22.5\text{N/mm}^2$ の範囲で4水準とした。図-8に単体接合部実験におけるPCM接合面の表面形状を示す。表面形状は付着せん断実験と同じであるが、目荒らし面積比は両者共に約50%とした。

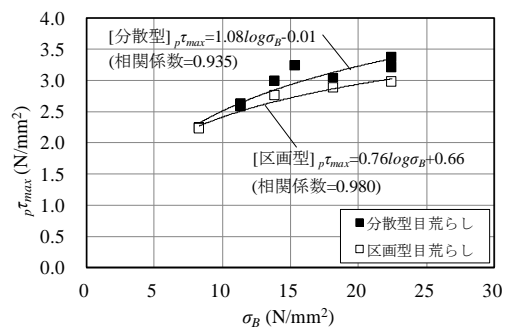


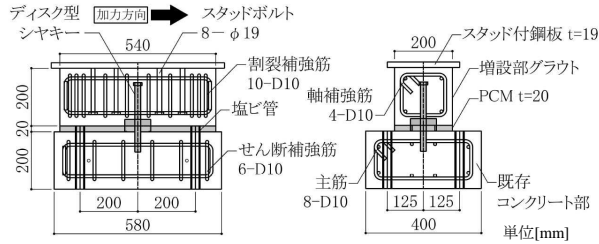
図-6 $p\tau_{max}-\sigma_B$ 関係



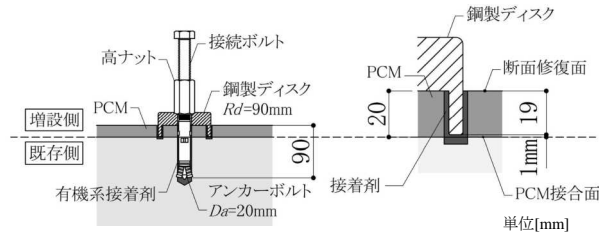
写真-1 PCM 接合面の破壊状況

表-2 単体接合部実験の試験体パラメータ及び材料

PCM接合面 表面形状	試験体名	既存側コンクリート			PCM		グラウト			
		σ_B N/mm ²	E_c kN/mm ²	σ_T N/mm ²	圧縮強度 $\rho\sigma_B=66.0$ N/mm ²	圧縮強度 $\rho\sigma_B=70.4$ N/mm ²	ヤング係数 $\rho E_c=25.9$ kN/mm ²	ヤング係数 $\rho E_c=25.2$ kN/mm ²	割裂強度 $\rho\sigma_T=4.0$ N/mm ²	割裂強度 $\rho\sigma_T=4.3$ N/mm ²
分散型 目荒らし 50%	DP-D-8	8.3	13.0	0.9						
	DP-D-14	13.9	17.2	1.5						
	DP-D-18	18.2	19.2	1.8						
	DP-D-22	22.5	19.6	1.9						
区画型 目荒らし @90mm	DP-R-8	8.3	13.0	0.9						
	DP-R-14	13.9	17.2	1.5						
	DP-R-18	18.2	19.2	1.8						
	DP-R-22	22.5	19.6	1.9						



(a) 試験体諸元



(b) ディスク型シャキヤの概要

図-7 試験体諸元寸法及びディスク型シャキヤの概要

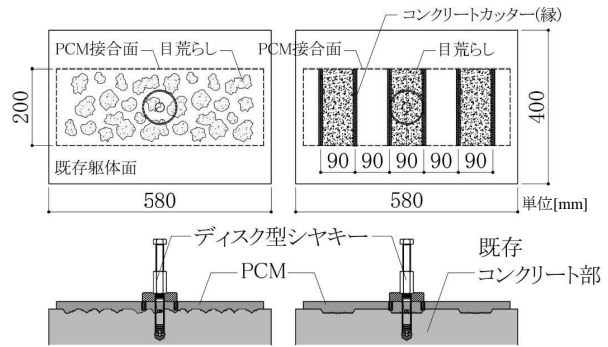
試験体の既存コンクリート部の形状は付着せん断実験と同じであるが、PCM 接合面の範囲は、長さ 540mm、幅 200mm とし、PCM の厚さは 20mm とした。

また、増設部の形状は長さ 540mm、幅 200mm、高さ 200mm の直方体であり、グラウトにはスタッド付き鋼板及び割裂補強筋を配置した。本実験に使用したディスク型シャキヤは、図-7(b)に示すようにディスク径 $R_d=90\text{mm}$ 、拡張部を有するアンカーボルト径 $D_a=20\text{mm}$ 、アンカーボルトの有効埋込み深さ $L_e=4.5D_a$ とし、有機系接着剤を用いて定着させた。ここで、PCM の厚さ 20mm に対し、鋼製ディスクの埋込み深さが 19mm であるため、鋼製ディスクが負担するせん断力は PCM を介してのみ既存コンクリート部に伝達されることになる。

試験体の製作は、付着せん断実験と PCM の施工まで同じである。厚さ 20mm の PCM を塗布し、硬化後に断面修復面にディスク型シャキヤを定着させ、増設部のグラウトを圧入した。グラウト打設前には断面修復面に生じる PCM とグラウトの噛み合い抵抗や付着抵抗を極力除去するため、グリスを塗布した。

(2) 加力装置及び変位計測

図-9 に、単体接合部実験における荷重装置を示す。水平加力は左右に設けた水平方向 500kN 油圧ジャッキ



(a) 分散型目荒らし (b) 区画型目荒らし

図-8 PCM 接合面の表面形状(単体接合部実験)

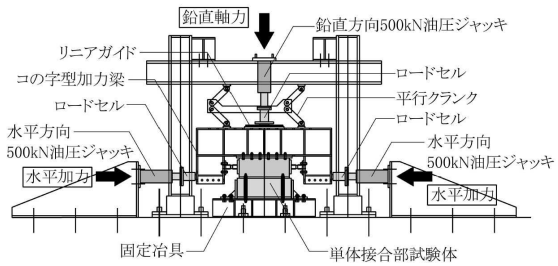


図-9 荷重装置(単体接合部実験)

表-3 σ_0 の設定値

試験体名	σ_B N/mm ²	σ_0 N/mm ²
DP-D-8, DP-R-8	8.3	0.25
DP-D-14, DP-R-14	13.9	0.375
DP-D-18, DP-R-18	18.2	0.5
DP-D-22, DP-R-22	22.5	0.5

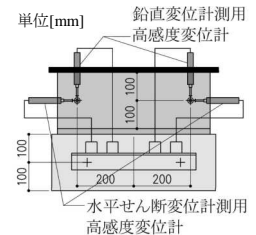


図-10 変位計測位置

2本を用いて、正負交番繰り返し荷重とし、鉛直軸力は、鉛直方向 500kN 油圧ジャッキを用いて一定の軸力制御とした。また、極力偏心による曲げモーメントが生じないように水平ジャッキの高さは、試験体の接合面の高さとした。荷重サイクルは、 $\pm 0.25\text{mm}$ を 1 回、 $\pm 0.5\text{mm}$ 、 $\pm 1.0\text{mm}$ 、 $\pm 2.0\text{mm}$ 、 $\pm 3.0\text{mm}$ 、 $\pm 4.0\text{mm}$ をそれぞれ 2 回、 $\pm 6.0\text{mm}$ を 1 回とし、最後に $+10\text{mm}$ の押切りとした。

図-10 に変位計測位置を示す。 δ 及び鉛直変位 ω は、既存コンクリート部と増設部の相対変位であり、それぞれ 2箇所設置したせん断変位計測用高感度変位計及び鉛直変位計測用高感度変位計の計測値の平均とする。

(3) 鉛直軸力制御方法

表-3 に σ_0 の設定値を示す。高瀬ら¹⁾は、内付け補強時の間接接合部の ω は、次式に示すように δ の概ね 0.5 倍であると報告している。そのため本実験においても、 δ と ω の関係が概ね同様となるように、 σ_0 を表-3 に示す値として鉛直軸力を制御した。

$$\omega = 0.5 \times |\delta|$$

(2)

3.2 実験結果

(1) Q-δ 関係

図-11 に、単体接合部実験における Q-δ 関係を示す。全ての試験体において δ=2mm のサイクルで最大せん断力 dpQ_{max} に到達し、その後、徐々に Q が低下している。

また、 dpQ_{max} に着眼することから、余裕をみて δ=4mm まで図示する。分散型目荒らしと区画型目荒らしの試験体をそれぞれ比較すると、区画型目荒らしの dpQ_{max} の方が大きい結果となった。これは、2.2 節(2)で述べた通り、目荒らし面積比を同じとした場合、区画型目荒らしの縁による支圧抵抗が効率良くせん断抵抗している為であると推察される。

次に、平滑な既存コンクリート面に直接ディスク型シヤキーを配置した時のせん断耐力（既存コンクリートの物性値を用いて評価している） q_{disk} と dpQ_{max} を比較する。いずれの試験体も dpQ_{max} は、 q_{disk} を上回る結果となった。

(2) 目開き ω-せん断変位 δ 関係

図-12 に ω と δ の関係を示す。ω と δ の関係は、式(2)に示す制御指標に近い値を示した。また、 dpQ_{max} に達した 1mm 付近の ω は、制御指標より大きい値を示したため、 σ_0 は安全側の設定値であるといえる。

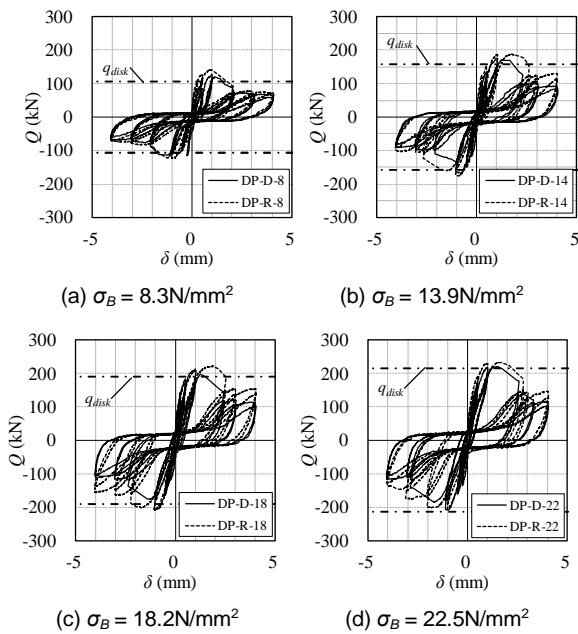


図-11 Q-δ 関係（単体接合部実験）



写真-2 载荷後の PCM 接合面の破壊状況

(3)破壊モード

写真-2 に、単体接合部試験体の载荷後の PCM 接合面の破壊状況を示す。同写真を観察すると、PCM 接合面の破壊モードは、付着せん断実験の結果と概ね同じ傾向を示した。しかし、付着せん断実験とは異なり、ディスク型シヤキーのアンカーボルトは既存コンクリート部に埋め込まれている。そのため、アンカーボルト周辺のコンクリートにも支圧破壊が生じている。また、単体接合部実験では dpQ_{max} に至る前にディスク型シヤキーの PCM に対するへりあき部でひび割れが生じた。このことより dpQ_{max} 時にせん断力を負担している PCM の範囲は、図-13 に示す鋼製ディスクにより支圧を受ける側のみ、つまり pA の約半分であると考えられる。以上よりせん断抵抗に有効な PCM 接合面の面積を有効付着面積 pA_e とし、図-13 に pA_e の範囲を示す。

4 付着せん断実験結果と単体接合部実験結果の比較

本章では、平均せん断応力度を用いて各実験結果を比較する。そこで、単体接合部実験においても次式に示すように平均せん断応力度 $dp\tau_{max}$ を用いる。

$$dp\tau_{max} = dpQ_{max} / pA_e \quad (3)$$

図-14 に、 $p\tau_{max}$ 、 $dp\tau_{max}$ - σ_B 関係を示す。まず、分散型目

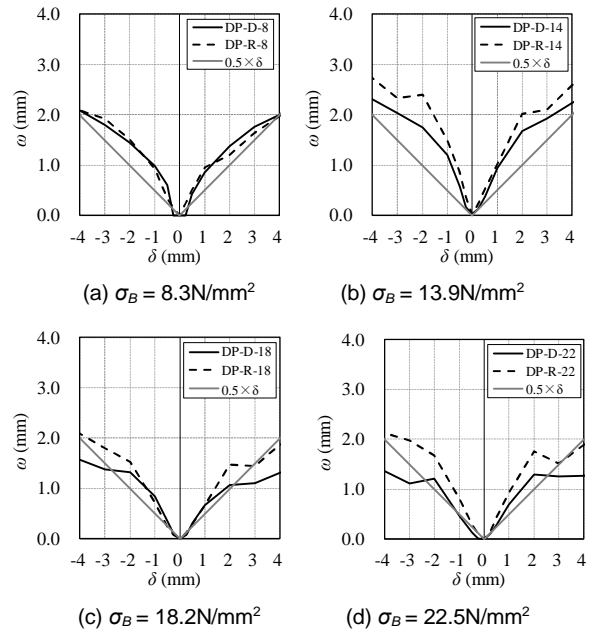


図-12 ω-δ 関係

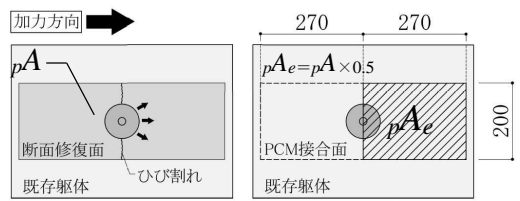


図-13 pA_e の範囲 単位[mm]

荒らしに注目し、 $p\tau_{max}$ と $dp\tau_{max}$ を比較する。PCM接合面における付着せん断耐力でせん断力を伝達していると考え、目荒らし面積比が同じ、かつ $pA_e=A_e$ であるため、 $p\tau_{max}$ と $dp\tau_{max}$ は同程度の値になると推測できる。しかし、 σ_B に関わらず $dp\tau_{max}$ の方が $p\tau_{max}$ より大きい傾向を示した。次に区画型目荒らしの $p\tau_{max}$ と $dp\tau_{max}$ を比較する。付着せん断実験と単体接合部実験では目荒らし面積比が異なるが、分散型目荒らし同様、 σ_B によらず $dp\tau_{max}$ の方が $p\tau_{max}$ より大きい傾向を示した。また、 $p\tau_{max}$ と $dp\tau_{max}$ はそれぞれ $2.22 \text{ N/mm}^2 \leq p\tau_{max} \leq 3.36 \text{ N/mm}^2$ 、 $2.33 \text{ N/mm}^2 \leq dp\tau_{max} \leq 4.22 \text{ N/mm}^2$ の範囲で推移していること、更に図-14に示す回帰式からもわかるように、アンカーボルトがせん断耐力に寄与している可能性があるが、PCM接合面により鋼製ディスクが負担するせん断力は、既存コンクリート部へ伝達できていると言える

続いて単体接合部実験の結果が q_{disk} と比較し易いように、ここでは q_{disk} を pA_e で除した平均せん断応力度 $disk\tau$ とし、次式により算定する。

$$disk\tau = q_{disk} / pA_e \quad (4)$$

図-15に $dp\tau_{max} - disk\tau$ 関係を示す。 $dp\tau_{max}$ は $disk\tau$ より3~33%大きい結果であり、 σ_B が低いほどその比率は大きい結果であった。以上より、十分な pA_e を確保し、PCM接合面に本論文で示した表面形状を施工して断面修復することで、ディスク型シヤキーの設計耐力は、既存コンクリートの物性値を用いて評価可能であると判断される。

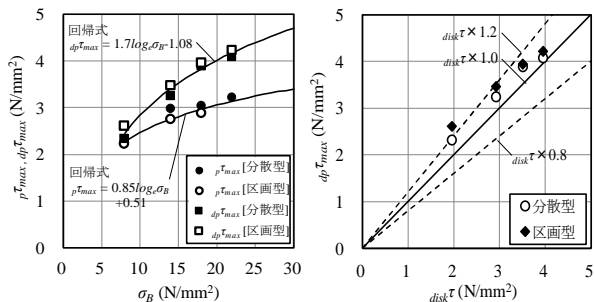


図-14 $p\tau_{max}, dp\tau_{max} - \sigma_B$ 図-15 $dp\tau_{max} - disk\tau$

5. 結論

本論文では、PCMを用いて断面修復したコンクリート部材へのディスク型シヤキーの適用性について検証した。その結果、ディスク型シヤキーが負担するせん断力は、PCM接合面によりコンクリート部材へ伝達され、断面修復面においてディスク型シヤキーが適用可能であることを示した。以下に得られた知見について列記する。

- 1) PCM接合面の表面形状を分散型目荒らしと区画型目荒らしとした場合では、区画型目荒らしの方が既存コンクリート部へ効率良くせん断伝達できる。
- 2) 単体接合部実験による平均せん断応力度 $dp\tau_{max}$ は、既存

コンクリート部の圧縮強度 σ_B によらず、付着せん断実験の平均せん断応力度 $p\tau_{max}$ を上回った。これより、ディスク型シヤキーが負担するせん断力は、PCM接合面を介して十分に既存躯体へ伝達されていると言える。

- 3) 単体接合部実験の最大せん断耐力 dpQ_{max} は、平滑な既存躯体面に直接ディスク型シヤキーを配置した時のせん断耐力 q_{disk} を上回った。これより、 $8.3 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_B \leq 22.5 \text{ N/mm}^2$ の範囲において、十分な pA_e を確保し、PCM接合面に本論文で示した表面形状を施工して断面修復したディスク型シヤキーは、十分に適用できると判断される。

今後、PCM接合面における表面処理の形状特性とPCMの付着特性の関係及びアンカーボルトの負担応力について、解明する予定である。

謝辞

本研究はサンコーテクノ八木沢氏、佐藤氏、大本組尾中氏、住友大阪セメント安藤氏、兼吉氏、田村氏の技術協力を得て実施致しました。ここに深い謝意を表します。

参考文献

- 1) 高瀬裕也ら他6名：コンクリート系構造物の耐震補強に用いる高いせん断耐力と剛性を持つ新たな接合要素のせん断抵抗性能の基礎的検証 - 鋼製ディスクとアンカーボルトを併用した耐震補強用シヤキーに関する研究、日本建築学会構造系論文集, Vol.77, No.681, pp.1727-736, 2012.11
- 2) 高瀬裕也ら他6名：ディスク型シヤキーを用いた内付け補強架構の接合部破壊時の保有水平耐力の評価手法 - 鋼製ディスクとアンカーボルトを併用した耐震補強用シヤキーに関する研究、日本建築学会構造系論文集, Vol.79, No.698, pp.507-515, 2014.4
- 3) 朴同天, 兼松学, 野口貴文：劣化した鉄筋コンクリート造建築物用断面修復材の付着性に関する研究、日本建築学会構造系論文集, Vol.72, No.615, pp 61-67, 2007.5
- 4) 既存コンクリート目荒らし面のせん断抵抗性能に関する研究(その1)研究背景と実験計画、日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp 339-340, 2017.7
- 5) 佐俣紀一郎, 松崎育弘, 木村博, 高橋啓, 渡辺正人：壁式プレキャスト鉄筋コンクリート構造の鉛直接合部に関する実験研究, その5 破壊モードの分類、日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp741-742, 1991.9