

補修・補強材料の せん断方向の付着力に関する研究

学生氏名 加藤 貴祥
指導教員 小玉 克己 栗原 哲彦

現在、RC床版の劣化損傷が問題となっている。この劣化損傷したRC床版に対する有効な補修・補強工法に下面増厚工法がある。下面増厚工法を想定し、補修・補強材料としてポリマーセメントモルタルを用いた既往の研究において、付着界面水平方向であるせん断方向の付着力については、未解明な部分が存在するのが現状である。

本研究では、補修・補強材料であるポリマーセメントモルタルを用い、せん断付着特性を使用材料、付着面積、補強鉄筋量をパラメータとし検証を行い、実験結果を比較検討することにより、最大はく離荷重及びせん断付着強度、有効付着長を明らかなものとした。また、既往の研究において、鋼板接着工法や連続繊維シート接着工法等に用いられているはく離発生エネルギーの手法を本研究に適用し検討を行った。

Key Words : *bottom-side thickness increasing method ,polymer cement mortar ,
shear bond strength ,effective bond length ,interfacial fracture energy*

1. はじめに

平成11年度山陽新幹線のトンネル・高架橋等のコンクリート片はく落事故をきっかけに、コンクリート構造物の劣化問題がマスコミ等で大きく取り上げられるようになった。また、著書として『コンクリートが危ない¹⁾』が出版され、アルカリ骨材反応、中性化、塩害等のコンクリート構造物の劣化現象が話題となり、メンテナンス・フリーであると考えられていたコンクリート構造物の耐久性を改めて問うものとなっただけではなく、複数の劣化作用が複合して起こる複合劣化までもが確認された²⁾。

構造設計の面では、平成5年道路構造令の改正に伴い設計活荷重がTL-20からTL-25へ改正され³⁾、平成5年以前に建設されたコンクリート床版(以下RC床版)については、現在の基準を満たさないものが存在するという状態となっている。

しかし、前述した劣化損傷を起こしたコンクリート構造物を、取り壊し、新たに建設することは、少子高齢化の進む現代においては大変難しく、今後、高度経済成長期に建設された構造物が建設されてから30~50年を向かえることや、初期投資を低く抑え、補修・補強を繰り返し、ライフサイクルコストを最小に抑えようとする社会の流れからも、補修・補強が必要となることが考えられる。

このような背景から、平成13年にコンクリート標準示方書維持管理編⁴⁾が制定された。また、新たにコンクリート診断士なる資格が誕生し、コンクリートの維持管理の重要性がしきりに叫ばれ、非破壊検査等による健全度の判断や経済的評価、補修・補強工法及び材料等の研究が盛んに行われており、既設構造物に補修・補強を施す

際には、材料の物性、構造特性、高度な構造解析技術など多くの知識が要求され、新構造物の設計技術と同様の価値をもった技術分野であると評価されつつあるのが現状である⁵⁾。

劣化損傷の中でも、自動車交通の予想以上の伸びと、車両の大型化、重量化等に伴うRC床版の劣化損傷が問題となっており、この劣化損傷したRC床版に対する有効な補修・補強工法は、いくつか存在し、多くの研究がなされている。橋梁は、建設されている土地の日常生活において重要な役割を果たしていることが多く、世論に敏感な構造物であるといえ、補修・補強のため一時的にせよ構造物を閉鎖すれば、利用者が敏感に反応する恐れがある⁵⁾。そのため、補修・補強の際に交通規制を必要とせず、天候に左右されることなく施工が行えるという利点を持った下面増厚工法が目ざされている。

下面増厚工法において、補修・補強材料の破壊やはく離は、そのまま構造物の耐力低下につながるため、補修・補強材料の強度及び耐久性と母材との付着界面における十分な付着力が必要である。

下面増厚工法を想定し、補修・補強材料としてポリマーセメントモルタル(以下PCMと記す)を用いた既往の研究において、強度及び耐久性については良好な結果が得られており、付着界面鉛直方向である引張方向の付着力についても十分な付着力があることがわかっている。これに対し、付着界面水平方向であるせん断方向の付着力については、未解明な部分が多く、実構造物をモデル化し、補強鉄筋の影響等を考慮した試験法が確立されていないのが現状である⁶⁾。

本研究では、補修・補強材料としてPCMを用い、せん

断付着特性を使用材料，付着面積，補強鉄筋量をパラメータとし検証を行い，実験結果を比較検討することにより，最大はく離荷重及びせん断付着強度，有効付着長を明らかなものとした．また，はく離発生エネルギーの検討も行った．

2 実験概要

(1) 使用材料

本実験に用いた母材コンクリートの実験時の諸性状を表-1に，増厚材料として用いたアクリル系PCM (以下アクリル系と記す)とPAE系PCM (以下PAE系と記す)の実験時の諸性状を表-2に示す．母材コンクリートの養生方法は，湿布養生とし，材齢は強度が安定する28日以上養生したものを用いた．PCMの養生方法は，期中養生とし，材齢は7日間養生したものを用いた．使用した鉄筋の諸性状を表-3に示す．使用した鉄筋は，つかみ棒としてSD295A-D19を用い，増厚部の補強鉄筋としてSD295-D6及びSD295-D10を用いた⁷⁾⁸⁾．

(2) 供試体概要

まず，スペーサを用いつかみ棒として鉄筋 (D19) を中心部に埋め込み，補強としてスパイラル鉄筋を配筋した100×100×400mmの母材コンクリートを作製した．母材コンクリートを2体突合せ母材とした．つかみ棒は供試体中央で分離しており，供試体に引張荷重が負荷された場合に供試体中央でコンクリートブロックが分離するため，PCMと母材コンクリートの付着界面にせん断応力が作用する構造となっている¹⁰⁾．

PCMを打設する母材コンクリートの両側面をディスクサンダーにて表面処理を施し，補強鉄筋をはしご状に配筋した (図-1 (a)参照)．軸方向鉄筋は，D6及びD10を用い，鉄筋本数を2本及び3本とした．軸垂直方向鉄筋は，軸方向筋と同じ鉄筋を50mmピッチに配筋した．

補修・補強材料は，(1)に示した2種類のPCMを用い，付着幅を100mmとし，付着長を150，200，300，400mmの4パターンと変化させ増厚を行った (図-1 (b)参照)．増厚高さは，鉄筋直径の2倍に10mmプラスした高さとした．

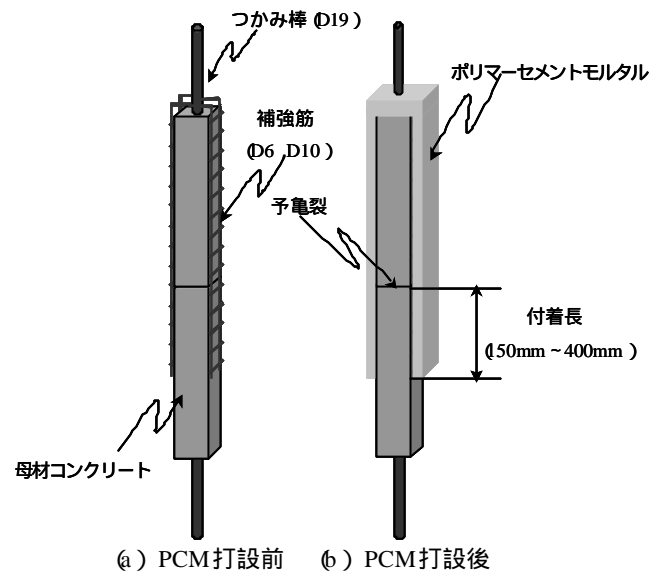


図-1 供試体概略図

表-1 コンクリートの諸性状⁷⁾⁸⁾

材料	圧縮強度 (N/mm ²) (JIS A 1108)	曲げ強度 (N/mm ²) (JIS A 1106)	引張強度 (N/mm ²) (JIS A 1113)	静弾性係数 (kN/mm ²) (JISCE-G 502)
コンクリート	46.2	5.45	3.18	34.2

表-2 PCMの諸性状⁹⁾

材料	圧縮強度 (N/mm ²) (JIS A 1171)	曲げ強度 (N/mm ²) (JIS A 1171)	付着強度 (N/mm ²) (建研式)	静弾性試験 (kN/mm ²)
アクリル系	22.0	6.02	1.7	14.9
PAE系	19.6	6.72	1.8	9.9

表-3 使用鉄筋の諸性状⁷⁾⁸⁾

鉄筋種類	公称断面積 (mm ²) (JIS Z 2241)	引張降伏強度 (N/mm ²) (JIS Z 2241)	引張破断強度 (N/mm ²) (JIS Z 2241)	弾性係数 (kN/mm ²) (JIS Z 2241)
SD295A-D19 (つかみ棒)	286.5	393	583	191
SD295-D6 (補強鉄筋)	31.67	394	520	181
SD295A-D10 (補強鉄筋)	71.33	369	542	179

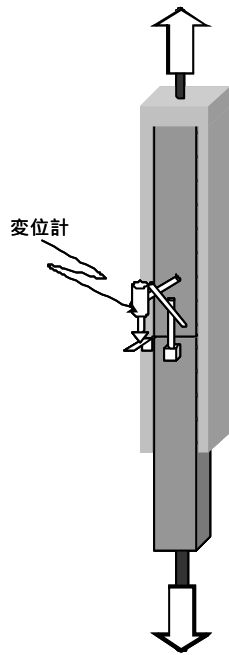


図-2 実験概略図

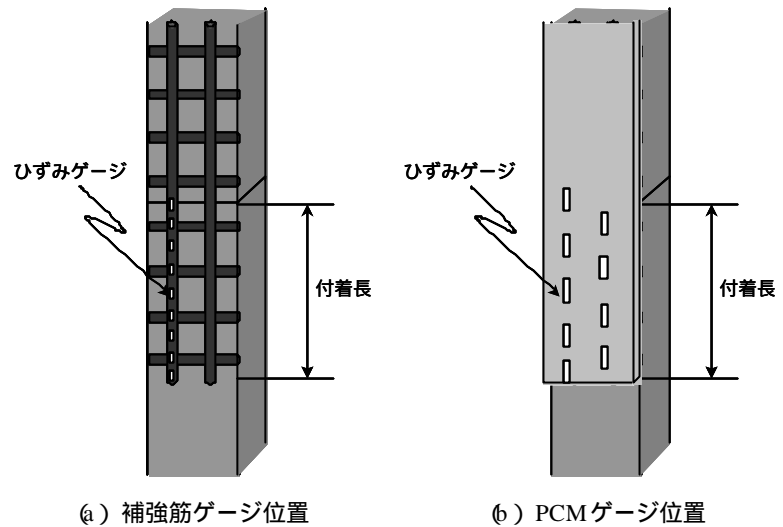


図-3 ひずみゲージ位置概略図

(3) 試験方法

載荷試験は、試験機のチャックで両側のつかみ棒を固定し、載荷速度2kN/min一定の条件で実施した。計測項目は、荷重、変位(図-2参照)、鉄筋及びPCMのひずみとした。ひずみゲージは鉄筋とPCM表面の同位置に25mm間隔で貼り(図-3参照)、荷重変化による位置とひずみの関係を精度よく測定し、母材コンクリートとPCMとの付着界面にせん断力が伝達している長さである有効付着長を求めた。

3. 試験結果及び考察

(1) 破壊形態について

破壊形態は、供試体の予亀裂部分のPCMにひび割れが生じ、PCMと母材コンクリートとの付着界面においてははく離が生じる破壊形態であった。はく離面は、アクリル系、PAE系共に、PCM側に若干の母材コンクリートが付着している程度で、コンクリートを伴う破壊形態ではなかった(写真-1, 写真-2参照)。

(2) 最大はく離荷重及びせん断付着強度

最大はく離荷重は、付着面1面が受け持つ最大荷重とし、せん断付着強度は最大はく離荷重を付着面積で除した値とし、以下の示す式により求めた。

$$t_{max} = \frac{P}{b \cdot L} \quad (1)$$

- t_{max} :せん断付着強度
- P :最大はく離荷重
- b :付着幅 (100mm)
- L :付着長 (150mm ~ 400mm)



(a) 両面はく離



(b) 片面はく離

写真-1 最終破壊形態一例



(a) アクリル系



(b) PAE系

写真-2 はく離界面破壊形態

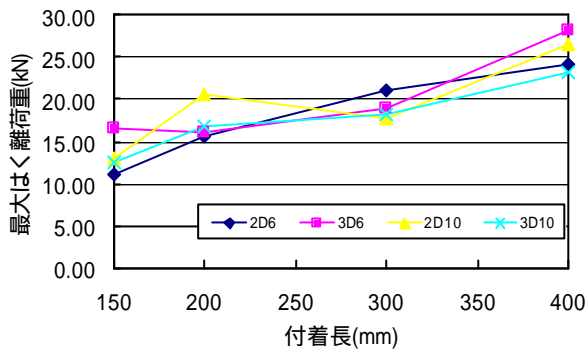


図-4 アクリル系最大はく離荷重

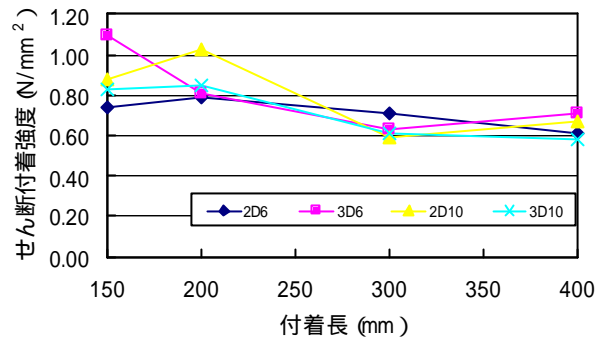


図-5 アクリル系せん断付着強度

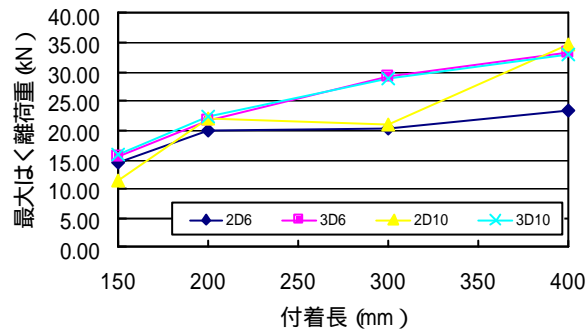


図-6 PAE系最大はく離荷重

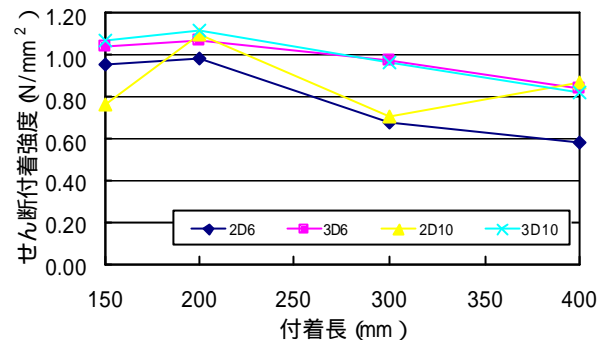


図-7 PAE系せん断付着強度

アクリル系の最大はく離荷重と付着長及び補強鉄筋量の関係を図-4に示す。グラフより、補強鉄筋量-付着長が3D6-150mm, 2D10-200mmの時、これら2つの実験結果にばらつきが見られたが、補強鉄筋量に関係なくほぼ一定の値を示していることがわかる。また、補強鉄筋量が3D6以外の補強鉄筋量において、付着長が150mm～200mmまでは、最大はく離荷重の増加の傾向が大きいことがわかる。これに対し、どの補強鉄筋量においても付着長が200mm～400mmでは、最大はく離荷重の増加の傾向が緩やかになっており、付着面積に比例していないことがわかる。

アクリル系のせん断付着強度と付着長及び補強鉄筋量の関係を図-5に示す。グラフより、補強鉄筋量が3D6以外の補強鉄筋量において、付着長が150mm～200mmまでは、せん断付着強度が横ばい、もしくは増加の傾向を示していることがわかる。これに対し、どの補強鉄筋量においても付着長が200mm～400mmでは、付着長の増加に伴い、せん断付着強度が減少する傾向にある。

PAE系の最大はく離荷重と付着長及び補強鉄筋量の関係を図-6に示す。グラフより、補強鉄筋量-付着長が2D10-400mmの時と、付着長が300mmのシリーズの実験結果にばらつきが見られたが、他の実験結果は、補強鉄筋量に関係なくほぼ一定の値を示していることがわかる。また、すべての補強鉄筋量において、付着長が150mm～200mmまでは、最大はく離荷重の増加の傾向が大きいことがわかる。これに対し、どの補強鉄筋量においても付着長が200mm～400mmでは、最大はく離荷重の増加の傾向が緩やかになっており、付着面積に比

例していないことがわかる。この傾向は、アクリル系と同様の傾向である。

PAE系のせん断付着強度と付着長及び補強鉄筋量の関係を図-7に示す。グラフより、すべての補強鉄筋量において、付着長が150mm～200mmまでは、せん断付着強度が横ばい、もしくは増加の傾向を示していることがわかる。これに対し、補強鉄筋量が2D6以外の補強鉄筋量において、付着長が200mm～400mmでは、付着長の増加に伴い、せん断付着強度が減少する傾向にある。この傾向についても、アクリル系と同様の傾向である。

ことから、母材コンクリートとPCMとの付着界面にせん断方向の荷重が作用した場合、付着界面全面で均等に荷重を負担するのではなく、最も効率よく荷重を負担する付着長が存在し、アクリル系, PAE系共に、150mm～200mm程度の付着長が、最も効率よく荷重を受け持つことのできる付着長であると考えられる。

また、最大はく離荷重及びせん断付着強度が補強鉄筋量、補強鉄筋比、増厚高さに関係なく、測定を行った各付着長においてほぼ一定の値を示したことから、最大はく離荷重及びせん断付着強度は、付着面積にのみ影響されものと考えられる。

(3) 有効付着長の検討

本実験により得られた補強鉄筋及びPCMのひずみ分布から、付着界面にせん断力が伝達している長さである有効付着長の検討を行った。

既往の研究として、補修・補強材料として連続繊維シートを用いて有効付着長の検討を行った研究¹⁰⁾は存在するものの、PCMを用いた研究については、行われて

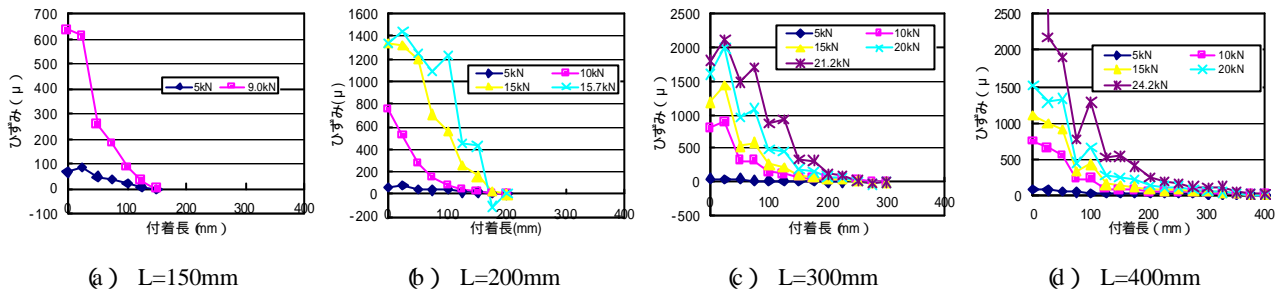


図-8 アクリル系2D6補強筋ひずみ分布

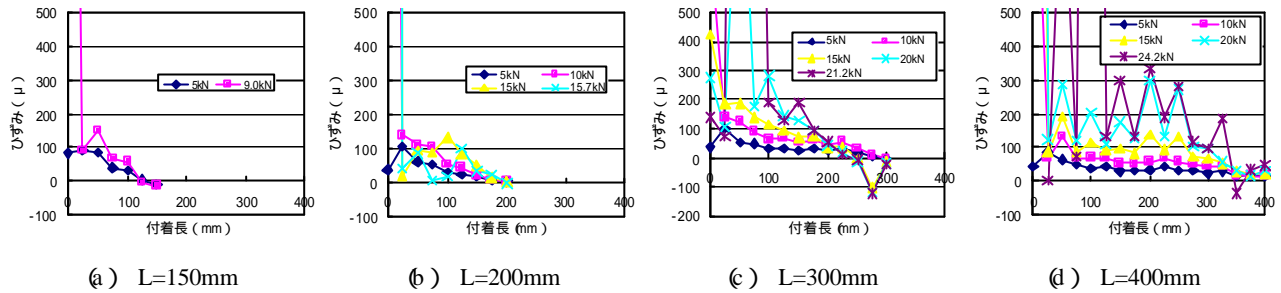


図-9 アクリル系2D6PCMひずみ分布

いないのが現状である。

また、連続繊維シートを用いた研究においても、本研究のように付着長を変化させ検討を行ったものはない。

本概要書では、代表的な供試体としてアクリル系-2D6シリーズを例にとり有効付着長の検討を行った。

図-8にアクリル系2D6シリーズの鉄筋の荷重変化とひずみの関係を、図-9にアクリル系2D6シリーズのPCMの荷重変化とひずみの関係を付着長別に示す。

グラフより、補強筋及びPCM共に等分布にひずみが発生しておらず、試験体中央部(L=0mm)から付着端部に向かうにつれ、ひずみが減少しており、付着面全体で等分布に荷重を受け持っていないことがわかる。このようなひずみ分布を示した理由としては、補強筋に作用した引張力が、PCMとの付着力により応力負担され伝達されるためであると考えられる。このPCMに伝達された応力は、PCMと母材コンクリートとの付着界面に発生している付着力によりコンクリートに伝達されると考えられる。

補強筋のひずみ分布に着目すると、どの付着長においても付着端部に荷重が増加してもひずみが発生していない測定点があり、付着長全体の約85%~90%で荷重を受け持っていることがわかる。この傾向はPAE系及び他の補強鉄筋量シリーズでも同じ傾向を示した。このことから、有効付着長は、材料の種類や補強鉄筋量等で変化するのではなく、付着長全体の約85%~90%であると考えられ付着長全体が長くなるにつれ有効付着長も長くなるものと考えられる。これは、(2)において検討した付着長が伸びるにつれ最大はく離荷重が比例増加ではないものの、増加している結果と一致するものと考えられる。

PCMのひずみ分布に着目すると、どの供試体においても低い荷重のもとでは、試験体中央部(L=0mm)から付着端部に向かうにつれ、ひずみが減少しており補

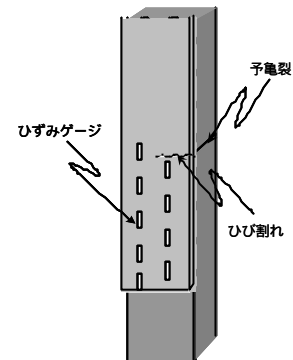


図-10 PCMひずみゲージ位置

強筋のひずみ分布とほぼ同じ傾向を示していることがわかるが、荷重が高くなるにつれ、値の変動が大きくなっている。この理由として考えられることとして、ひずみゲージを図-10に示すように交互に貼ったため、予亀裂部分からPCMに進展するひび割れが入る方向により、偏心がかかったためと考えられる。また、補強筋のようなひずみ分布が得られなかった理由として考えられることとして、ひずみをPCM表面において計測をしており、付着界面のひずみではなかったこと、PCMが鉄筋よりも塑性化しやすい材料であるため安定した挙動がとれなかったものと考えられるが、これらの欠点については、供試体と試験機のチャックとの間にユニバーサルジョイントを設け、偏心を除去する、ひずみゲージの貼る位置を変える、ひずみ計測にひずみゲージではなく代替品により計測するなどが考えられる。

4. はく離発生エネルギーの検討

本実験において得られた結果より、はく離発生エネルギーについて検討を行った。

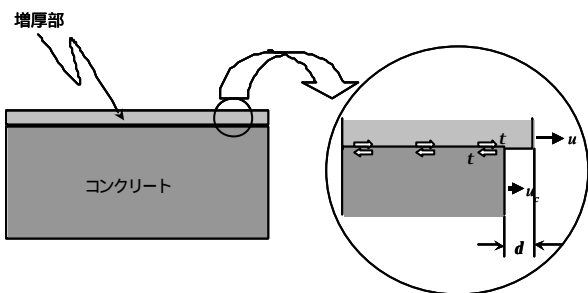


図-11 付着界面における力学量

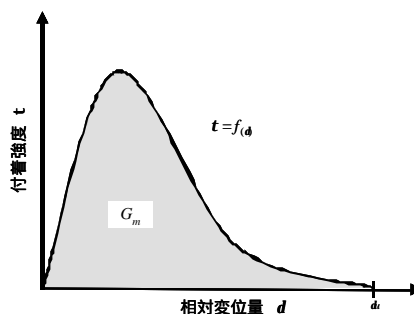


図-12 相対変位dと付着強度tの関係

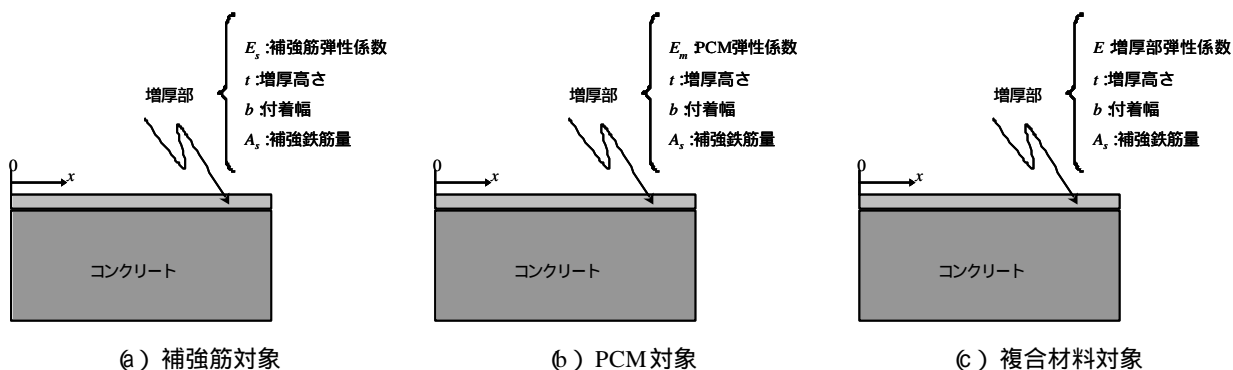


図-13 解析モデル

コンクリートと増厚部分の破壊性状及び付着変形関係を把握するためには、コンクリートと増厚部分のはく離発生エネルギーと相対変位を把握する必要がある。Taljustenは、鋼板とコンクリートのせん断付着応力と相対変位の関係を弾性 はく離とした場合に、はく離発生エネルギー G を用いて最大耐力との関係式を導いた¹¹⁾。この手法を本実験結果に適用し、はく離発生エネルギー G_m を算定する式を同定する。

(1) はく離発生エネルギー算定式

図-11に増厚部コンクリートの付着界面において以下の力学量を考える。

- u : 増厚部の変位
- u_c : コンクリートの変位
- d : 増厚部とコンクリートの相対変位
- t : 増厚部とコンクリートの界面の付着強度

図-12に相対変位 d と付着強度 t の関係を示す¹²⁾。図中における $d=d_i$ は、はく離が開始する点である。付着界面のはく離発生エネルギー G_m は単位面積のはく離が開始するまでに、付着界面において消費されるエネルギーと定義する。はく離発生エネルギー G_m は、図中の斜線部分の面積となる。

$$G_m = \int_0^{d_u} t dd = \int_0^{d_u} f(d) dd \quad (2)$$

G_m : 増厚部のはく離発生エネルギー

図-13に示す3種類の一次元解析モデルを考え、以下に算定式を導く。

(2) 補強筋を対象とした算定式

図-13(a)のような増厚部とコンクリートから成る一次元解析モデルを考える。補強筋の弾性係数 E_s と単位幅当たりの補強鉄筋量から付着強度と変位の関係は以下の式となる。

$$E_s \frac{A_s}{b} \frac{d^2 u_s(x)}{dx^2} - t(x) = 0 \quad (3)$$

$u_s(x)$: 補強筋変位

供試体中央部の加力端 ($x=0$) においては、ひび割れが発生しているため、補強鉄筋で荷重が受け持たれている。

$$\frac{P}{A_s} = s_s(0) = E_s \frac{du(x)}{dx} \quad (4)$$

ここに、 $t(x)$ は、増厚部の応力である。加力端から十分遠い位置 ($x = \infty$) では、付着強度はもはや0である。

$$t(\infty) = 0, s_s(\infty) = E_s \frac{du_s(x)}{dx} = 0 \quad (5)$$

コンクリートの変位は，補強筋の変位に対して十分小さい物と考えられる．そのため，コンクリートの変位を無視すると，コンクリートと増厚端部の相対変位は，補強筋の変位値となる．

$$d(x) = u_s(x) \quad (6)$$

いま，加力端 ($x=0$) において，増厚部のはく離が開始 ($d(0)=d_0$) したとすると，はく離発生エネルギー G_m は式 (2) ~ (6) の以下の式で示される．

$$\begin{aligned} G_m &= \int_0^{d_0} t dd = \int_0^{d_0} E_s \frac{A_s}{b} \frac{d^2 u_s(x)}{dx^2} dd \\ &= \int_0^{d_0} E_s \frac{A_s}{b} \frac{d^2 u_s(x)}{dx^2} \frac{dd(x)}{dx} dx \\ &= \int_0^{d_0} E_s \frac{A_s}{b} \frac{d^2 u_s(x)}{dx^2} \frac{du_s(x)}{dx} dx \\ &= \left[\frac{1}{2} E_s \frac{A_s}{b} \left(\frac{du_s(x)}{dx} \right)^2 \right]_0^{d_0} = \frac{A_s}{2E_s b} s_s(0)^2 \\ &= \frac{P^2}{2E_s b A_s} \quad (7) \end{aligned}$$

となる．

③) ポリマーセメントモルタルを対象とした算定式

図-13 (b) のような増厚部とコンクリートから成る一次元解析モデルを考える．PCMの弾性係数 E_m と増厚高さから付着強度と変位の関係は以下の式となる．

$$E_m t \frac{d^2 u(x)}{dx^2} - t(x) = 0 \quad (8)$$

E_m : PCM弾性係数
 t : 増厚高さ

供試体中央部の加力端 ($x=0$) においては，PCMにひび割れが発生しているため，補強鉄筋で荷重が受け持たれている．

$$\frac{P}{A_s} = s_s(0) = E_s \frac{du(x)}{dx} \quad (9)$$

ここに， $t(x)$ は，増厚部の応力である．加力端から十分遠い位置 ($x = \infty$) では，付着強度はもはや0である．

$$t(\infty) = 0, s(\infty) = E \frac{du(x)}{dx} = 0 \quad (10)$$

コンクリートの変位は，増厚部の変位に対して十分小さい物と考えられる．そのため，コンクリートの変位を無

視すると，コンクリートと増厚端部の相対変位は，増厚部の変位値となる．

$$d(x) = u(x) \quad (11)$$

いま，加力端 ($x=0$) において，増厚部のはく離が開始 ($d(0)=d_0$) したとすると，はく離発生エネルギー G_m は式 (2) , (8) ~ (11) の以下の式で示される．

$$\begin{aligned} G_m &= \int_0^{d_0} t dd = \int_0^{d_0} E_m t \frac{d^2 u(x)}{dx^2} dd \\ &= \int_0^{d_0} E_m t \frac{d^2 u(x)}{dx^2} \frac{dd(x)}{dx} dx \\ &= \int_0^{d_0} E_m t \frac{d^2 u(x)}{dx^2} \frac{du(x)}{dx} dx \\ &= \left[\frac{1}{2} E_m t \left(\frac{du(x)}{dx} \right)^2 \right]_0^{d_0} = \frac{1}{2} E_m t \frac{s_s(0)^2}{E_s^2} \\ &= \frac{E_m t P^2}{2E_s^2 A_s^2} \quad (12) \end{aligned}$$

となる．

(4) 補強筋とポリマーセメントモルタルの複合材料を対象とした式対象とした算定式

図-13 (c) のような増厚部とコンクリートから成る一次元解析モデルを考える．増厚部弾性係数 E と増厚高さから付着強度と変位の関係は以下の式となる．

$$Et \frac{d^2 u(x)}{dx^2} - t(x) = 0 \quad (13)$$

E : 増厚部弾性係数
 t : 増厚高さ

③)のPCMを対象とした算定式と同様に式展開をすると，はく離発生エネルギー G_m は以下の式で示される．

$$\begin{aligned} G_m &= \int_0^{d_0} t dd = \int_0^{d_0} Et \frac{d^2 u(x)}{dx^2} dd \\ &= \int_0^{d_0} Et \frac{d^2 u(x)}{dx^2} \frac{dd(x)}{dx} dx \\ &= \int_0^{d_0} Et \frac{d^2 u(x)}{dx^2} \frac{du(x)}{dx} dx \\ &= \left[\frac{1}{2} Et \left(\frac{du(x)}{dx} \right)^2 \right]_0^{d_0} = \frac{1}{2} Et \frac{s_s(0)^2}{E_s^2} \\ &= \frac{Et P^2}{2E_s^2 A_s^2} \quad (14) \end{aligned}$$

ここで、増厚部の弾性係数を考えると、

$$E = (1 + np)E_m \quad (15)$$

n :弾性係数比 (E_s/E_m)
 p :補強鉄筋比 ($A_s/b \epsilon$)
 E_m :ポリマーセメントモルタルの弾性係数

(15)式を (14) 式に代入して、

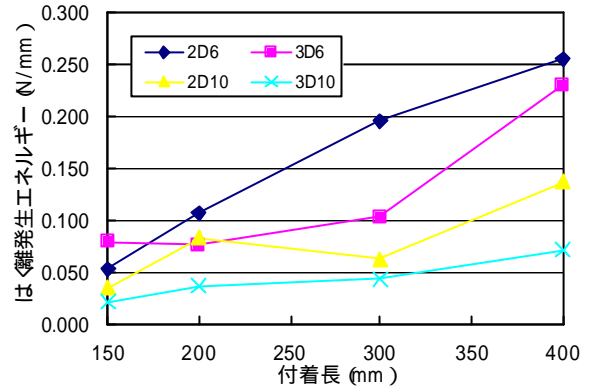
$$G_m = \frac{(1 + np)E_m t P^2}{2E_s^2 A_s^2} \quad (16)$$

となる。

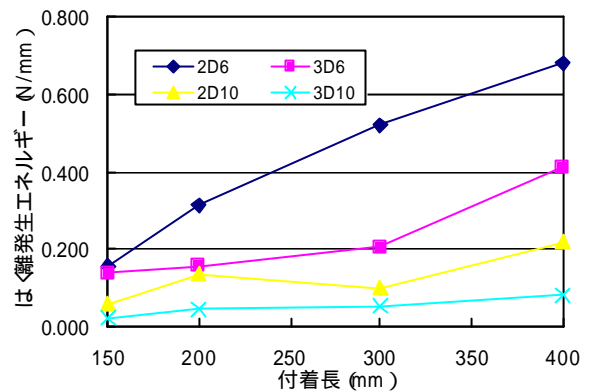
⑤) アクリル系ポリマーセメントモルタルのはく離発生エネルギー

図-14に(7), (12), (16)式より求めたアクリル系のはく離発生エネルギーと付着長及び鉄筋量の関係を示す。グラフより、どの補強鉄筋量においても付着長の増加に伴い、はく離発生エネルギーが大きくなる傾向がある。この理由として考えられることとして、付着長の増加に伴い、有効付着長が増加し、最大はく離荷重が増加したためであると考えられる。また、補強鉄筋量が大きくなるにつれ、はく離発生エネルギーが小さくなる傾向があることがわかる。この理由として考えられることとして、最大はく離荷重が付着面積にのみ影響され、補強鉄筋量に関係なく最大はく離荷重が各付着長においてほぼ一定だったために、補強鉄筋量大きいものが、補強鉄筋量小さいものに比べひずみ量が小さくなり、増厚部と母材コンクリートとの相対変位が小さくなる。はく離発生エネルギーは、付着応力-相対変位関係のグラフの面積と定義されるため、相対変位が小さくなるとはく離発生エネルギーも小さくなる。このため、補強鉄筋量大きいものはく離発生エネルギーが小さくなっていると考えられる。

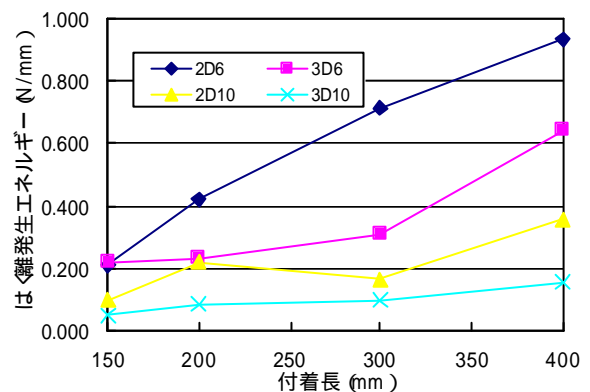
補強鉄筋を対象とした(a), PCMを対象とした(b), 複合材料を対象とした(c)を比較すると、補強鉄筋を対象とした(a)では、一部補強鉄筋量小さいものが、補強鉄筋量大きいものよりも、はく離発生エネルギーが小さくなっているものがある。これは、(7)式において、変化する関数が最大はく離荷重 P と、補強鉄筋量 A_s の2つであるために、最大はく離荷重の大小の影響がはく離発生エネルギーの大小にそのまま影響したものと考えられる。これに対し、PCMを対象とした(b), 複合材料を対象とした(c)では、補強鉄筋量小さいものが、補強鉄筋量大きいものよりも、はく離発生エネルギーが大きくなっている。これは、(12), (16)式において、変化する関数が多かったために、最大はく離荷重の大小の影響だけではなく、実験時の材料の諸性状も考慮したためであると考えられる。また、はく離発生エネルギーは、補強鉄筋を対象とした(a)と比べ、PCMを対象とした(b)が大きくなり、PCMを対象とした(b)と比べ、複合材料を対象とした(c)が大きくなった。



(a) 補強筋対象



(b) PCM対象



(c) 複合材料対象

図-14 アクリル系はく離発生エネルギー

⑥) 実験値からの G_m の算定

実験値からの G_m の算定方法として、先に図-12に示したはく離発生エネルギーの定義である付着強度-相対変位のグラフの面積を実験値から算定した。付着強度 t は以下に示す式により算定した。

$$t = Et \frac{de}{dx} = (1 + np)E_m t \frac{de}{dx} \quad (17)$$

ここで、 de は、補強筋に貼り付けた試験体中央部($L=0\text{mm}$)と隣り合う($L=25\text{mm}$)ゲージのひずみから算

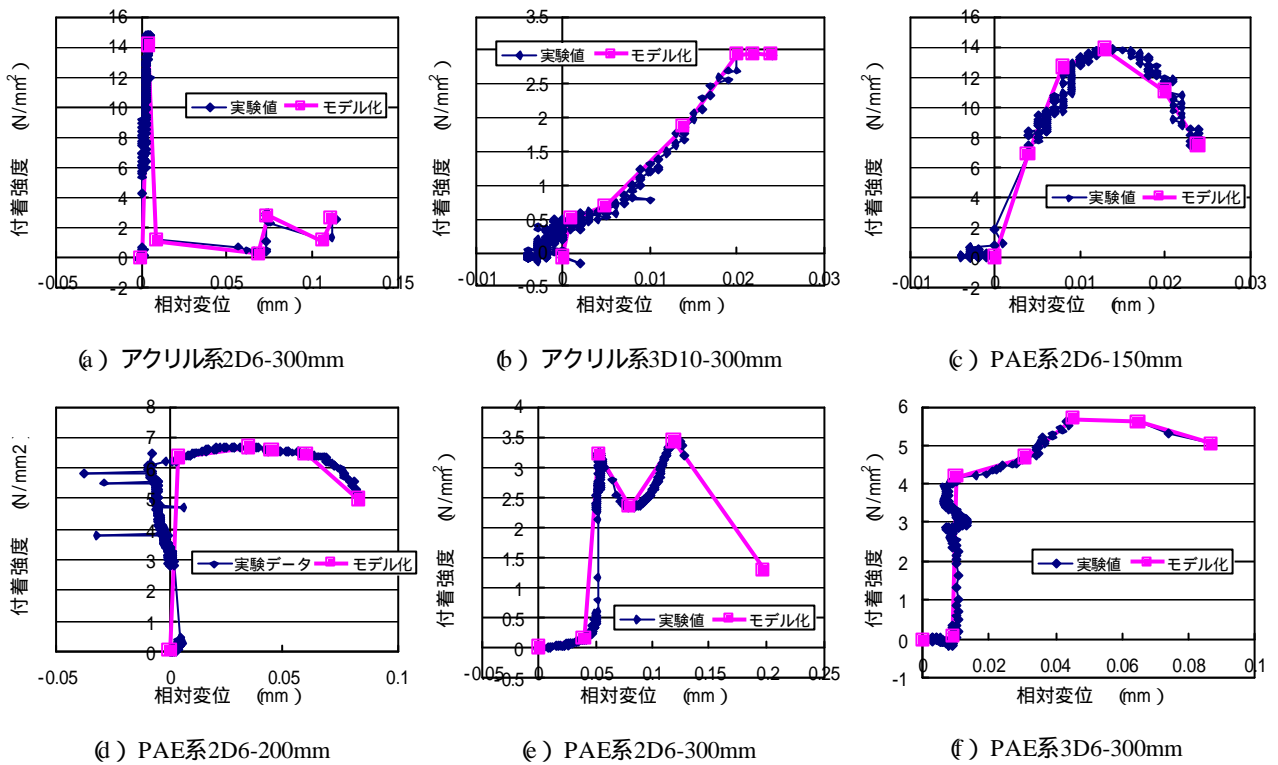


図-15 付着強度-相対変位関係

出し、 dx はひずみゲージの間隔(25mm)とした。

実験値から(6.19)により算定した付着強度と相対変位から付着強度-相対変位のグラフを描き、数値計算の便宜上モデル化した(図-15参照)。

対象とした供試体はアクリル系2D6-300mm, アクリル系3D10-300mm, PAE系2D6-150mm, PAE系2D6-200mm, PAE系2D6-300mm, PAE系3D6-300mmとした。

表-4に算定式から求めたはく離発生エネルギー G_m と実験値から求めたはく離発生エネルギー G_m の一覧を示す。

実験値からののはく離発生エネルギーと各算案式からののはく離発生エネルギーとの間に明確な関係を見出す事はできなかったが、その傾向は表-4から示すことができた。今後、試験体の本数の検討、相対変位の測定方法、どの区間のひずみデータを用いるか、ひずみデータとして補強筋の計測値を採用するかPCMの計測値を採用するか等の改善点があり、一般性を確認する必要があると考えられる。

5. 結論

(1) 最大はく離荷重及びせん断付着強度

母材コンクリートとPCMとの付着界面にせん断方向の荷重が作用した場合、付着界面全面で均等に荷重を負担するのではなく、最も効率よく荷重を負担する付着長が存在し、アクリル系, PAE系共に、150mm~200mm程度の付着長が、最も効率よく荷重を受け持つことのできる付着長であると考えられる。

また、同一材料では、最大はく離荷重及びせん断付着強度が補強鉄筋量、補強鉄筋比、増厚高さに関係なく、測定を行った各付着長においてほぼ一定の値を示したことから、最大はく離荷重及びせん断付着強度は、付着面積にのみ影響されるものと考えられる。

PCMの違いによる最大はく離荷重及びせん断付着強度の大小は、引張方向の付着強度とも関係があり、引張方向の付着強度からもある程度判断できると考えられる。

(2) 有効付着長

補強筋及びPCM共に等分布にひずみが発生しておらず、試験体中央部($l=0$ mm)から付着端部に向かうに

表-4 はく離発生エネルギー G_m 一覧

	アクリル系		PAE系			
	2D6 -300mm	3D10 -300mm	2D6 -150mm	2D6 -200mm	2D6 -300mm	3D6 -300mm
補強筋	0.195	0.044	0.089	0.171	0.182	0.246
PCM	0.520	0.050	0.190	0.363	0.357	0.378
複合材料	0.716	0.093	0.279	0.534	0.538	0.624
実験値	0.186	0.040	0.243	0.395	0.397	0.398

つれ,ひずみが減少しており,付着面全体で等分布に荷重を受け持っていないことがわかった.このようなひずみ分布を示した理由としては,補強筋に作用した引張力が,PCMとの付着力により応力負担され伝達されるためであると考えられる.このPCMに伝達された応力は,PCMと母材コンクリートとの付着界面に発生している付着力によりコンクリートに伝達されると考えられる.

補強筋のひずみ分布に着目すると,どの付着長においても付着端部に荷重が増加してもひずみが発生していない測定点があり,付着長全体の約85%~90%で荷重を受け持っていることがわかる.このことから,有効付着長は,材料の種類や補強鉄筋量等で変化するのではなく,付着長全体の約85%~90%であると考えられ付着長全体が長くなるにつれ有効付着長も長くなるものと考えられる.これは,(1)において検討した付着長が伸びるにつれ最大はく離荷重が比例増加ではないものの,増加している結果と一致するものと考えられる.

③) はく離発生エネルギー

3種類の算定式から付着長の増加に伴い,はく離発生エネルギーが大きくなる傾向があることがわかった.この理由として考えられることとして,付着長の増加に伴い有効付着長が増加し,最大はく離荷重が増加したためであると考えられる.また,補強鉄筋量が大きくなるにつれ,はく離発生エネルギーが小さくなっていることがわかる.この理由として考えられることとして,最大はく離荷重が付着面積にのみ影響され,補強鉄筋量に関係なく最大はく離荷重が各付着長においてほぼ一定だったために,補強鉄筋量が大きいものが,補強鉄筋量が小さいものに比べひずみ量が小さくなり,増厚部と母材コンクリートとの相対変位が小さくなる.はく離発生エネルギーは,付着応力-相対変位関係のグラフの面積と定義されるため,相対変位が小さくなるとはく離発生エネルギーも小さくなる.このため,補強鉄筋量が大きいものはく離発生エネルギーが小さくなっていると考えられる.しかし,最大はく離荷重の試験結果にばらつきがあるものでは,補強鉄筋量との関係が見られなかった.

また,実験値からはく離発生エネルギーと各提案式からはく離発生エネルギーとの間に明確な関係を見出す事はできなかったが,その傾向は示すことができた.

謝辞:本研究を行うにあたり,小玉克己教授,吉川弘道教授,栗原哲彦講師,斉藤秀夫技士,仲宗根茂技士,本学客員研究員の佐藤貢一さん,副査の片田敏行教授には多大なご指導及びご協力を頂きました.ここに厚くお礼を申し上げます.また,コンクリート研究室の素晴らしき先輩,同期,後輩に出会えて本当によかったと思います.最後に,自分のわがままを最後まで聞き入れ,温かく見守ってくれた家族に感謝します.本当にありがとうございました.

参考文献

- 1) 小林 一輔:コンクリートが危ない岩波新書,1999.5
- 2) 社団法人 日本コンクリート工学協会 複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会報告書,2001.5
- 3) 社団法人 日本道路協会 道路橋示方書(共通編)同解説,平成14年3月
- 4) 土木学会:コンクリート標準示方書 維持管理編,2001.1
- 5) Jean-Armand Calgaro, Roger Lacroix著,日本構造物診断技術協会監修 訳 橋の診断と補修,山海堂,2002年6月
- 6) 加藤 貴祥,小玉 克己,栗原 哲彦,佐藤 貢一 補修 補強材料のせん断方向の付着力に関する研究,第56回土木学会年次講演会概要集,2001.9
- 7) 土木学会 土木材料実験指導書 平成11年改訂版,平成11年2月
- 8) 日本規格協会 JISハンドブック 生コンクリート,2002,1
- 9) 日本工業標準調査会 審議:ポリマーセメントモルタルの試験方法 JIS A 1171,平成12年3月
- 10) 吉沢 弘之,呉 智深,袁 鴻,金久保 俊之:連続繊維シートとコンクリートの付着挙動に関する検討,土木学会論文集,2000.11
- 11) Taljsten, B.: Strengthening of Concrete Prisms using the Plate-Debonding Technique, International Journal of Fracture, Vol.82, pp.253-266, 1996
- 12) 土木学会 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針,2000.7

STUDY ON SHEAR BOND STRENGTH OF REPAIR AND REINFORCEMENT MATERIALS

Takayoshi KATO

Now, the degradation damage on the RCslub poses a problem. A bottom-side thickness increasing method of construction is in the effective repair and reinforcement method of construction to this RCslub that carried out degradation damage. The present condition is that the portion which is a bond interface horizontal direction and which is not carried out in study of past using polymer cement mortar as a repair and reinforcement material supposing a bottom-side thickness increasing method of construction.

IN this study, the maximum exfoliation load and the shear bond strength which is carried out, and effective bond length were made clear by considering as a parameter in use material, bond area, and the amount of reinforcement steel rods, and carrying out comparison examination of the experiment result. Moreover, past study was considered by applying the technique of the interfacial fracture energy used for the steel plate adhesion method of construction, the continuation fiber sheet adhesion method of construction, etc. to this study.