

PCM を用いる床版下面増厚補強法における接着剤の 付着メカニズムおよび耐疲労性の検証

日大生産工(院) ○小森 篤也 日大生産工 阿部 忠

1 はじめに

高度経済成長期に建設された道路橋は、建設後50年が経過し、老朽化した橋梁が増大することから、その維持管理が重要な課題となっている。とくに、道路橋部材のなかで損傷が著しい部材はRC 床版である。たとえば、首都圏の重交通の影響を受けるRC 床版の損傷は2方向ひび割れが発生する疲労損傷である¹⁾。

これら劣化したRC 床版の補強法は、床版上面からの補強法として鋼繊維補強コンクリート上面増厚補強が実施され、床版下面からの補強法としては連続繊維シート接着補強法や補強材として、CFRP 格子筋や鉄筋を用いポリマーセメントモルタル（以下、PCM とする）で増厚する下面増厚補強が実施されている。この補強法の増厚界面にはエマルジョン系プライマー（以下、プライマーとする）が標準的に使用されている²⁾。筆者らは、これまでエポキシ樹脂接着剤を使用する新たな床版下面CFRP格子筋増厚補強床版の耐疲労性の向上を確認してきた³⁾。そこで本研究では、打継ぎ部となるPCM と床版下面の増厚界面に着目し、新規な施工法となるエポキシ樹脂接着剤(以下、接着剤とする)を増厚界面に用い、その打継ぎ界面の付着メカニズムと静的な接着性能を実験的に検証する。

これらのことから、床版コンクリートとPCM との増厚界面を模擬し、増厚界面にプライマーおよび接着剤を塗布した3種類の供試体を製作し、引張試験および一面せん断試験を実施し、PCM との接着メカニズムを検証する要素試験を実施する。また、既往の研究で得られたRC床版下面にプライマーおよび接着剤を塗布しCFRP 格子筋を直接設置してPCM 吹付け下面増厚補強した、それぞれのRC 床版供試体による輪荷重走行疲労実験結果から、補強効果および耐疲労性を評価するとともに、プライマ

ーまたは接着剤を塗布した下面増厚補強法に対し要素試験との整合性を確認する。

2 実験方法

実験方法は、まず接着剤およびプライマーが塗布され、PCMが打設される打ち継ぎ界面の状況を、時系列で観察することにより接着剤およびプライマーとPCM の接着メカニズムを解明する。また、コンクリートとPCM が打継がれた供試体を作製しFig.－1に示す静的直接引張試験およびFig.－2に示す一面せん断試験による性能評価を行う。まず、接着メカニズム解明のための施工下地となるモルタル板はJIS K 5600 に規定される市販のモルタル板を用い、ディスクサンダーで表面をケレンしエアブローで清掃した後PCM を打継ぎ施工する。ここで、打継ぎ界面に接着剤を用いた供試体をAD-1とし、プライマーを塗布した供試体をEM-1とする。供試体AD-1は接着剤の塗布後30分間静置養生し、接着剤が硬化していないことを確認してPCMを吹き付け施工する。プライマーを使用する供試体EM-1 は、濃度45%のアクリルエマルジョンを用い水で3倍希釈したプライマーを塗布しPCMを吹付ける。プライマーの養生時間は8 時間とし、指触乾燥していることを確認する。そして、付着の過程を確認することを目的とするため、PCM吹き付け施工後、PCMの始発時間・終結時間まで各々静置養生しPCM表面から水洗いし、接着剤とPCM始発・終結時間の間で界面状況の観察から差異を確認する。本研究に用いたPCMの始発時間は2時間20分、終結時間は2時間50分である。

そして、直接引張試験および一面せん断試験に用いる供試体は50φ×100mm 高さのコンクリートの中央をコンクリートカッターにて切断、水洗い・乾燥後、接着剤またはプライマーを塗布しPCM 打継ぎ供試体を作製し、Fig.－1に示すようにJIS K 6911 に基づく直接引張試

A Study on bonding mechanisms and fatigue durability of the adhesive in RC slab
bottom surface thickness increase method using PCM
Atsuya KOMORI and Tadashi ABE

表－1 要素試験に用いる供試体の一覧

供試体	打継ぎ界面処理	試験目的
AD-1	接着剤	付着メカニズム確認用
EM-1	プライマー	
AD-2	接着剤	直接引張試験用
EM-2	プライマー	
C-3	打継ぎ無しコンクリート	一面せん断試験用
PCM-3	打継ぎ無しPCM	
AD-3	接着剤	
EM-3	プライマー	

表－2 PCMの材料特性値

付着試験用 コンクリート	PCM		
圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	配合(kg/m ³)	
		プレミックスパウダー	水
35.6	44.3	1,850	300

験および一面せん断試験にておのおの付着強度を確認する．直接引張試験に用いる供試体は，接着剤を用いた供試体をAD-2，プライマーを用いた供試体をEM-2とする．そして，一面せん断試験に用いる接着剤を用いた供試体をAD-3，プライマーを用いた供試体をEM-3とする．そして打継ぎ界面のないコンクリート供試体をC-3，同様に打継ぎ界面のないPCM 供試体をPCM-3 とする．ここで，PCMの配合と性能を表－2 に示す．また，これらの要素試験では，CFRP 格子筋は使用していない．

そして，本実験に使用するPCM には，ビニロン繊維が混合されているが詳細は明らかにされていない．また，実験時のPCM の圧縮強度は44.3N/mm²である．そして，使用する接着剤は無溶剤2液混合型のエポキシ樹脂を用い，この接着剤の圧縮強度は74.0N/mm²，引張せん断強度は14.7N/mm²，曲げ強度は62.0N/mm² である．また，Fig.－3に示すように接着剤にはPCM 中の水と反応し，水素結合により骨材表面と接着剤が一旦接合し，その後，PCM 内のセメントの水和反応により水が脱水されることにより，水が混練されているPCM と接着剤が化学的な結合により結合される添加剤⁴⁾が配合されている．

3 実験結果

PCM の始発時間での水洗いによる表面観察状況をFig.－4 に示す．接着剤を用いた供試体AD-1 は接着剤の表面にPCM 中の骨材とビニロン繊維が投錨されていることが観察される．一方，プライマーを使用した供試体EM-1 は，凹部などに物理的にPCMが接着している．これらのことから接着剤は骨材などの投錨効果によりPCM と接着し，プライマーは，PCM



Fig.－1 直接引張り試験の状況



Fig.－2 一面せん断試験の状況

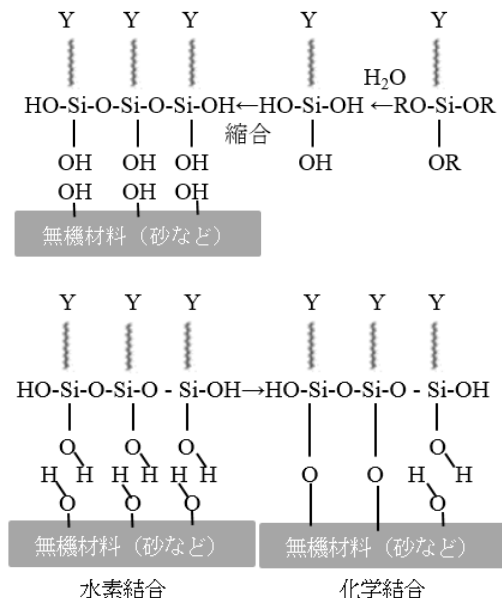
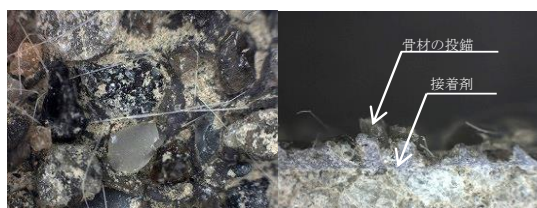
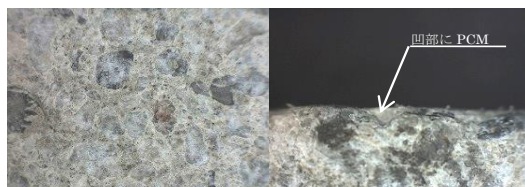


Fig.－3接着剤に配合されている添加材の効果

が下地の凹凸で物理的に接着し，そのメカニズムが異なることが示された．そして，直接引張試験では，Fig.－5に示すように供試体AD-2，EM-2ともコンクリート円柱部が引張破壊し



AD-1 打継ぎ界面の状況(接着剤使用)



EM-1 打継ぎ界面の状況(プライマー使用)

Fig.ー4 打継ぎ界面の状況



AD-2(接着剤)

EM-2(プライマー)

Fig.ー5 直接引張試験状況

付着強度に差異はあまり見られない. 下地コンクリートの引張強度差によるばらつきの範囲と考えられる.

また, 一面せん断試験では, 表ー3 に示すように, コンクリート単体の一面せん断強度よりもPCM 単体の一面せん断強度が上回った. これは圧縮強度の違いによるものと考えられる.

そして, 本研究の目的である接着剤またはプライマーを使用した供試体の破壊面では差異が発生した. ここで, 各供試体の破壊面をFig.ー6に示す. 打継ぎ界面に接着剤を使用した供試体AD-3はPCM内部で破壊し, 打継ぎ部の無い供試体PCM-3供試体と同様の一面せん断強度を示した. 一方, プライマーを使用した, 供試体EM-3は打継ぎ界面での剥離で試験を終了し, 接着剤を使用した供試体AD-3と比して一面せん断強度は約55%低下した.

4 要素試験のまとめ

エポキシ樹脂接着剤を PCM との打継ぎ界面に使用する施工法は, 従来から行われているエマルジョンを使用した施工法と接着メカニズムが異なり, まず未硬化の接着剤表面に

表ー3 試験結果一覧

供試体	直接引張強度 (N/mm ²)	破壊場所
AD-2	2.38	コンクリート破壊
EM-2	2.61	コンクリート破壊
供試体	一面せん断強度 (N/mm ²)	破壊場所
C-3	6.8	コンクリート破壊
PCM-3	8.9	PCM破壊
AD-3	8.9	PCM破壊
EM-3	4.0	増厚界面

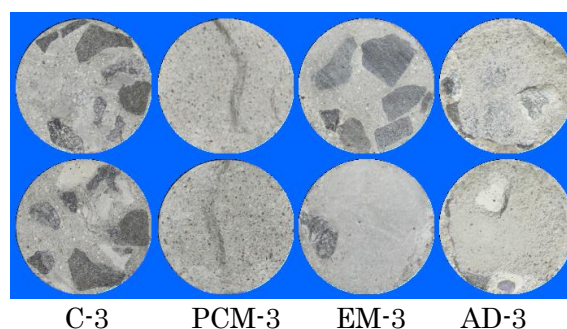


Fig.ー6 一面せん断試験状況

骨材などが投錨され, そのままの状況で PCM が硬化・脱水することにより接着性能を発揮する. そして, 直接引張試験では接着剤およびプライマーの違いは確認されなかった. しかし, 筆者らの研究では輪荷重走行実験の等価走行回数²⁾では大きく差異があり, 疲労環境にある道路橋床版に使用する場合には, 静的な直接引張試験では性能を判断できないと考えられる. 一面せん断試験による評価では, 接着剤を使用した供試体は, 打継ぎ部がない供試体と同様のせん断強度を示しており, せん断付着性能が十分に確保されている物と考えられる.

5 輪荷重走行試験を踏まえた考察

筆者らの既往の研究では, 本研究と同じく増厚界面にプライマーまたは接着剤を使用し, 補強材にCFRP格子筋を用いた下面増厚道路橋床版の耐疲労性について評価している³⁾. プライマーを用いた床版供試体の破壊状況はFig.ー7の1) に示すようにCFRP格子筋補強床版の押し抜きせん断破壊後, 増厚界面はすべて剥離している. 一方, 接着剤を用いたCFRP格子筋補強床版は, 同Fig.ー7の2) に示すように破壊後も増厚界面に剥離が一切生じず, 床版に発生した曲げひび割れが増厚界面から上方につなが



1) プライマーを増厚界面に使用した補強床版供試体



2) 接着剤を増厚界面に使用した補強床版供試体

Fig.ー7 輪荷重走行試験後の各補強床版の切断面

り、輪荷重走行疲労試験による疲労環境でも剥離が生じないことを確認した。また、破壊まで走行させた輪荷重走行試験での等価走行回数では、増厚界面にプライマー塗布後CFRP格子筋を設置しPCMを吹付けした床版供試体の等価走行回数は 27.99×10^6 回であり、無補強RC床版の3.5倍の補強効果が得られ同仕様の無補強床版よりも破壊等価走行回数が増大した。しかし、増厚界面に接着剤を塗布した後、CFRP格子筋にも接着剤を塗布し増厚界面にCFRP格子筋を設置しPCMにより増厚した床版供試体の等価走行回数は 141.10×10^6 回であり、無補強RC床版供試体の平均等価走行回数の17.8倍となり、上記増厚界面にプライマーを塗布しCFRP格子筋を用いた床版供試体の等価走行回数の4.07倍の等価走行回数を得られ、接着剤を塗布することで増厚界面の付着強度が向上し、耐疲労性が大幅に向上する結果となった。

これらのことから、増厚界面に接着材を塗布した後、補強材としてCFRP格子筋を配置し、PCM吹付けにより道路橋床版下面を増厚することで、既設RC床版コンクリートと一体性が確保され、耐疲労性が大幅に向上する結果となった。

6 まとめ

本研究で得られた成果として、静的な直接引張試験では、プライマーまたは接着剤を用いた供試体の接着強度に差異はなく、打継ぎ界面に対し90度の力を与えた場合は同等の性能を有することが確認された。しかし、道路橋床版の輪荷重走行による応力が発生する増厚界面の打継ぎ部を再現した静的な一面せん断試験では、プライマーを用いた供試体はプライマー自体の材料破壊で試験を終了し、接着剤を用いた供試体は、PCMの材料破壊で試験を終了した。また、接着剤とPCMの接着メカニズムは接着

剤の硬化前にPCM内部の骨材が投錨され、そのままPCMが硬化することにより、化学的に骨材と接着剤が結合する。

接着剤を用いた同供試体の一面せん断破壊強度は、まったく打継ぎのないPCM単体の一面せん断強度と同等であり、打継ぎ界面の影響を受けないことが確認された。

これらのことから、今回の試験条件では増厚界面にエポキシ樹脂の接着剤を使用することにより、補強する床版のコンクリートと増厚材料であるPCMを一体化させることが可能となる。

そして、等価走行回数による耐疲労性の評価においても、増厚界面に接着剤を塗布することによりプライマーを使用した供試体の4.07倍の等価走行回数を得られ、補強材として同じCFRP格子筋を用いた場合でも、耐疲労性が大幅に向上する接着剤の効果が確認された。

最後に、輪荷重走行試験後の床版切断面の観察からも増厚界面に剥離が生じず、道路橋RC床版の下面増厚補強法の増厚界面処理としてエポキシ樹脂接着剤が有効であることが確認された。

「参考文献」

- 1) 国土交通省：地方自治体の長寿命化修繕計画に関する最近の動向，国土交通省道路局 国道・防災課道路保全企画，2011
- 2) FRP グリッド研究会：CFRP グリッド増厚・巻立て工法によるコンクリート構造物の補修・補強設計・施工マニュアル(案)，2001
- 3) 小森ら：増厚界面に接着剤を塗布した下面増厚補強床版の補強効果および耐疲労性の評価，構造工学論文集，Vol.60A，pp.1105-1113，2014.3
- 4) 信越シリコン株式会社：シランカップリング剤カタログ，2010.11