

鋼床版 SFRC 舗装の接合に使用する
エポキシ樹脂系接着剤の環境負荷後の材料特性に関する実験的検討

東京都立大学大学院 学生会員 ○松本 稔将
コニシ（株） 正会員 堀井 久一
東京都立大学大学院 正会員 村越 潤
（一社）施工技術総合研究所 正会員 小野 秀一

1. はじめに

鋼床版橋における閉断面リブとデッキ間の溶接部に発生する疲労き裂の対策として、既存のアスファルト舗装を、剛性が高くかつアスファルト舗装と比重がほぼ同じ鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC）舗装に置き換えて鋼床版と一体化させる工法が提案されており、既設鋼床版橋に広く適用されている。本工法では、SFRC と鋼床版の接合にエポキシ樹脂系接着剤が使用されているが、耐久性に優れた適切な接着剤を選定していくためにも、環境負荷下での耐久性について知見の蓄積が重要と考えられる。

そこで、接合部に使用される接着剤を対象として環境負荷後の劣化特性を把握するために、水及び温度による負荷後に引張せん断接着強さ試験及び圧縮強さ試験を実施した。本稿では、これらの試験結果を踏まえて、水及び温度による負荷が接着剤単体の強度に及ぼす影響について分析した結果を報告する。

2. 試験体と試験方法

表-1 に接着剤の性状及び硬化後の材料物性を示す。接着剤 D は接着剤 B と溶剤型プライマーの併用である。接着剤 A, B, C のガラス転移点は、それぞれ 56℃, 54℃, 54℃である。

引張せん断接着強さ試験は JIS K 6850 に従って行った。試験体の寸法は 25×100×1.6mm（接着面積：25×12.5mm）で、鋼板（SS400）を使用した。シアリング切断、接着部表面の#120 研磨材による研磨処理を行い、接着剤を一方の鋼板にへらを用いて塗布し圧着した。接着剤 D では、溶剤型プライマーを一方の鋼板にのみ塗布し、1 日間養生後に接着剤を塗布して圧着した。表 2(b)に環境負荷条件と試験体の数量を示す。試験には変位制御型万能試験機を使用し、載荷速度 2.0mm/min で載荷を行った。引張せん断接着強さは破壊時の最大荷重を各試験体の接着面積で除して求めた。試験後に、破壊面の状況をマイクロスコープ（約 50 倍）で観察した。

圧縮載荷試験は JIS K 7181 に従って行った。試験体の寸法は 13.8×13.8×40mm で、接着剤を同一の寸法形状の型枠に流し込み、硬化後に各面を切削するなどして成型した。表 2(a)に試験体の環境負荷条件と数量を示す。試験には変位制御型万能試験機を使用し、載荷速度 12.0mm/min で、13.8×13.8mm の正方形面に均等に圧縮載荷を行った。圧縮強さは破壊時の最大荷重を各試験体の試験前の断面積で除して求めた。また、温水負荷を与えた試験体については、各負荷期間後に、温水から取り出した直後の質量を測定し、吸水率を算出した。

表-1 接着剤の性状及び硬化後の材料物性

項目	接着剤A		接着剤B	
	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤
主成分	エポキシ樹脂	脂肪族ポリアミン	エポキシ樹脂	ポリチオール、 変性脂肪族ポリアミン
外観	白色ペースト状	青色液状	白色粘稠液状	淡黄色液状
混合比	主剤：硬化剤＝ 5：1（質量比）		主剤：硬化剤＝ 4：1（質量比）	
硬化物比重	1.40±0.20（JIS K 7112）		1.35±0.05（JIS K 7112）	
圧縮強さ	50N/mm ² 以上（JIS K 7181）		70N/mm ² 以上（JIS K 7208 [※] ）	
引張せん断接着強さ	10N/mm ² 以上（JIS K 6850）		10N/mm ² 以上（JIS K 6850）	
項目	接着剤C		溶剤型プライマー	
	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤
主成分	エポキシ樹脂	ポリアミン類	エポキシ樹脂	アミドアダクト
外観	黄色粘稠液状	青色液状	白色液状	褐色透明液状
混合比	主剤：硬化剤＝ 5：1（質量比）		主剤：硬化剤＝ 1：1（質量比）	
硬化物比重	1.40±0.20（JIS K 7112）		1.20±0.10	
圧縮強さ	50N/mm ² 以上（JIS K 7181）		-	
引張せん断接着強さ	10N/mm ² 以上（JIS K 6850）		-	

注) 各社の技術資料をもとに作成。※印は廃止規格を表す。

表-2 環境負荷条件と試験体の数量

(a) 圧縮試験体					(b) 引張せん断接着試験体						
接着剤 種類	環境負荷 期間	70℃ 気中	70℃ 水中		接着剤 種類	環境負荷 期間	70℃ 気中	50℃ 水中	70℃ 水中	80℃ 水中	
A	負荷前	3体			A	負荷前	5体				
	28日後	3体	3体			28日後	5体	5体	5体	5体	
	56日後	3体	3体			56日後	5体	5体	5体	5体	
	169日後	3体	3体			169日後	5体	5体	5体	5体	
	350日後	3体	3体			350日後	5体	3体	3体	3体	
	気中乾燥	-	2体			気中乾燥	-	2体	2体	2体	
B	負荷前	3体			B	負荷前	5体				
	28日後	3体	3体			28日後	5体	5体	5体	5体	
	56日後	3体	3体			56日後	5体	5体	5体	5体	
	169日後	3体	3体			169日後	5体	5体	5体	5体	
	350日後	3体	3体			350日後	5体	3体	3体	3体	
	気中乾燥	-	2体			気中乾燥	-	2体	2体	2体	
C	負荷前	3体			C	負荷前	5体				
	28日後	3体	3体			28日後	5体	5体	5体	5体	
	56日後	3体	3体			56日後	5体	5体	5体	5体	
	169日後	3体	3体			169日後	5体	5体	5体	5体	
	350日後	3体	3体			350日後	5体	3体	3体	3体	
	気中乾燥	-	6体			気中乾燥	-	3体	3体	3体	
試験体数量 合計		91体			D	負荷前	5体				
布し圧	28日後	5体	5体	5体		5体	28日後	5体	5体	5体	5体
	56日後	5体	5体	5体		5体	56日後	5体	5体	5体	5体
	169日後	5体	5体	5体		5体	169日後	5体	5体	5体	5体
	350日後	5体	3体	3体		3体	350日後	5体	3体	3体	3体
	気中乾燥	-	2体	1体		2体	気中乾燥	-	2体	1体	2体
試験体数量 合計		342体			試験体数量 合計						

いずれの試験も7日間の20℃気中養生の後に所定の環境負荷を与え、負荷後は1日間の調温後に試験を行った。1日間の調温後では、吸水率（圧縮試験体）は温水取出し直後に対して0.4%程度減少している。表中の気中乾燥では、350日間の環境負荷後に、16日間20℃気中暴露し、その後70℃気中で試験体内の水分量が0.1%未満となるまで乾燥させている。試験時の室温は約20℃であった。

3. 試験結果と考察

図-1に引張せん断接着強さと負荷期間の関係を、図-2に70℃水中350日間の破壊面の拡大画像（接着剤B）を示す。強度は、接着剤の種類及び環境負荷条件によらず、負荷28日後では増加した。これは加温により樹脂の硬化反応が進んだためと考えられる。負荷28日以降、接着剤Cでは、耐温水接着性の向上により、環境負荷条件によらず強度低下はみられない。一方、接着剤A、B及びDでは、負荷28日以降、強度は一旦低下傾向にある。また、温水負荷では、強度は70℃気中と比較して、負荷28日時点で5N/mm²程度低くなっている。これは、温度による強度増加の一方で、接着剤層に温水が浸入し、強度に影響を与えたためと推察される。接着剤A、B及びCでは、350日後の気中乾燥により、当初の28日時点の強度前後に回復していることがわかる。接着剤A、B及びCは比較的近い破壊性状（破壊面に界面破壊がまだら状に生じている破壊もしくは凝集破壊）であった。接着剤Dでは、70℃温水負荷の場合、負荷56日以降、顕著な強度低下がみられた。これは破壊性状がプライマーと接着剤間もしくは鋼板間の界面破壊やプライマー層の凝集破壊が主体であり、温水負荷に伴うプライマー層の強度の低下によるものと考えられる。接合部として接着性能を確保するためには、併用するプライマーの性能も含めて、その耐久性を評価する必要がある¹⁾。なお、いずれの接着剤についても、温度の違いによる挙動の違いの理由は明確でない。

図-3に環境負荷後の圧縮強さ及び吸水率と負荷期間の関係を重ねて示す。気中負荷では、いずれの接着剤においても圧縮強さは28日時点で増加し、その後、一定もしくは微増の傾向がみられる。これは、加温により樹脂の硬化反応が進んだためと考えられる。水中負荷の場合、いずれの接着剤においても、負荷期間が長くなるにつれて、吸水率が増加する一方で圧縮強さは低下する傾向がみられるが、圧縮強さの低下には試験体内への水の浸入による膨潤現象の影響が大きいものと考えられる²⁾。

本研究の一部は、日本学術振興会科研費基盤研究(c)(一般)18K04326の補助を受けて実施した。

参考文献 1) (独)土木研究所他：鋼床版橋梁の疲労耐久性向上技術に関する共同研究(その2・3・4)報告書—SFRC舗装した既設鋼床版の補強に関する設計・施工マニュアル(案)一、共同研究報告書、第395号、2009.10。2) 例えば、久保内：エポキシ樹脂の化学構造と酸・アルカリ環境下での腐食・劣化特性、日本接着学会誌、Vol.46, No.11, pp.24-29, 2010.11。

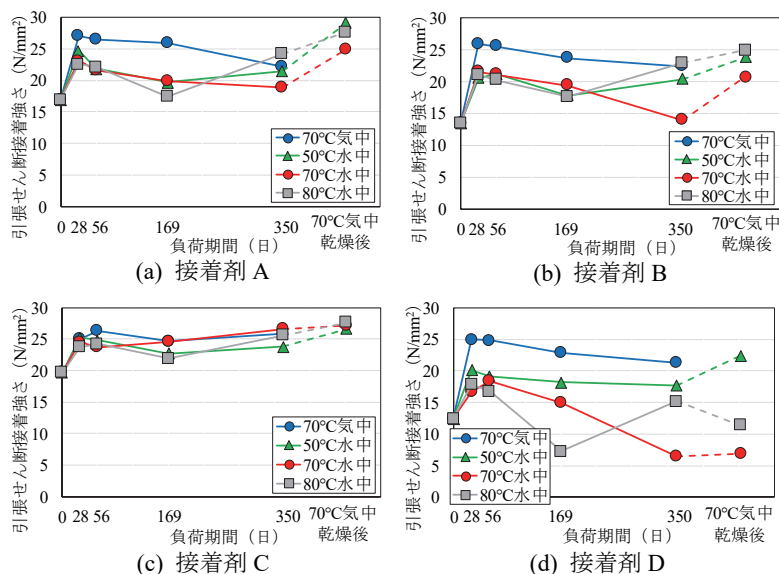


図-1 引張せん断接着強さと負荷期間

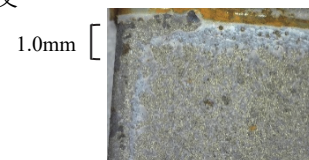


図-2 70℃水中350日間の破壊面の拡大画像（接着剤B）

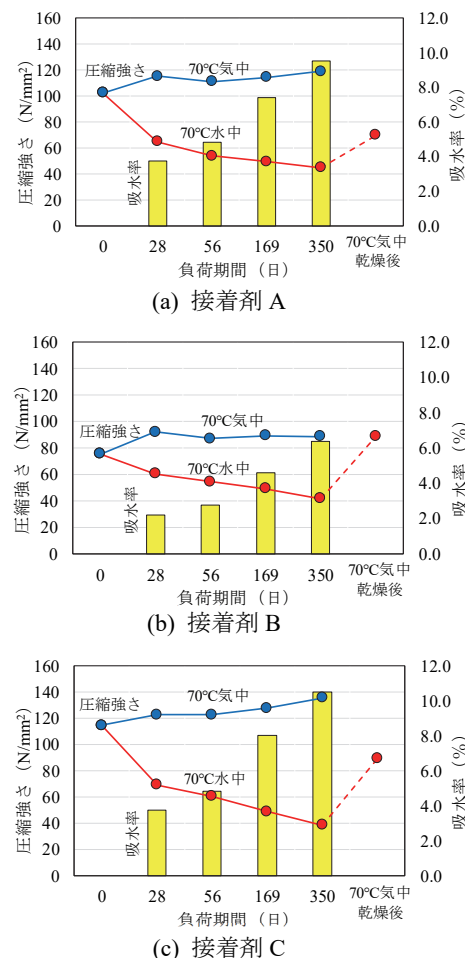


図-3 環境負荷後の圧縮強さ及び吸水率と負荷期間の関係