

エポキシ樹脂を用いた舗装補修技術の開発

DEVELOPMENT OF REPAIR TECHNOLOGY USED EPOXY RESIN

鎌田修※・坂本康文※※・加形護※※※・児玉孝喜※※※

by Osamu KAMADA, Yasufumi SAKAMOTO, Mamoru KAGATA and Takayoshi KODAMA

1. はじめに

エポキシ樹脂は、1930年代に開発された高分子内に残存させたエポキシ基でグラフト重合させることで硬化させることが可能な熱可塑性樹脂の総称である。強度と強靱性に優れており、硬化時の体積収縮が少ない等の特性を有している。分子量に応じて液状、半固形状、固形状を示す。国内での使用量は年間約16万トン程度であり、各分野での使用比率は塗料分野40%、電気・電子分野40%、土木・接着剤分野その他20%となっている。

舗装分野においては、エポキシ樹脂バインダとして使用実績があり、無色のバインダであるために舗装を周辺環境に合わせた着色が可能で、主に公園や歩道、広場で使用されている。近年、舗装分野においてもエポキシ樹脂を接着材として用いた補修工法が開発・実用化されている。以下に、開発経緯および適用事例のいくつかを紹介する。

2. 舗装分野における接着接合技術

2.1 鋼床版と鋼繊維補強コンクリートの接着接合

日本の道路橋は、1960年代頃に集中して建設が行われた。橋齢40年以上の橋梁数は2000年には1.4万橋であったのに対して、2015年には6.4万橋に増える¹⁾。このような状況の中、鋼床版溶接部における多くの疲労損傷の発生が確認されており、早急な対策が必要となっている。

対策の一つとして、舗装の基層に鋼繊維補強コンクリート(SFRC)を使用して、鋼床版と一体化してデッキプレート²⁾の曲げ剛性を高め、鋼床版の受ける疲労を低減する工法が考えられた。この場合、SFRCと鋼床版を接着接合する必要があるが、接合材としてエポキシ樹脂系接着剤(以下、エポキシ樹脂と称す)の使用が検討された。

2.2 新旧コンクリートの接着接合

埋立地に設置した空港エプロン部舗装においては、供

のような箇所の補修工法として、既設コンクリート上に5~15cm程度で薄層のコンクリートをオーバーレイする「薄層オーバーレイ工法」が適用できるが、新旧コンクリートの界面の接着接合が求められる。その場合、接合材としてエポキシ樹脂を用いることが考えられた。

3. 接着接合技術の室内試験における性能確認

工法適用に際して、室内試験で様々な性能の確認を行った。その基本性能を示す結果のうち、初期性能、耐水性能、疲労耐久性能、耐凍結融解性能について検討した結果の一部を以下に示す。

3.1 初期性能および耐水性能

供用中の鋼床版上では、SFRCと鋼床版間にせん断応力が作用する。そこで、図1に示すような供試体でせん断試験を実施した。試験供試体は20℃および70℃で4、8、12週水浸暴露後に試験を行った。エポキシ樹脂は、市販品である「接着材A」および耐水性の向上を目指して新たに開発した「接着剤B」を使用した。塗布量は1.4kg/m²とした。

試験結果を図2および図3に示す。接着剤Bでは、20℃ではせん断強度の低下が見られなかった。70℃では若干のせん断強度の低下は見られるものの、実際に鋼床版で発生すると考えられるせん断応力²⁾は上回っている。

接着剤Aについては、20℃において水浸暴露期間が4週で大きく強度低下が見られた。70℃においても4週または8週程度で大きく強度低下し、試験治具を設置することが困難なほど、著しい強度低下が現れた。

新旧コンクリート界面には、温度応力や乾燥収縮により引張応力が働き、層間剥離の原因となる。そこで、図4に示すような供試体で引張試験を行った。試験供試体は50℃で12週水浸暴露を行った。エポキシ樹脂は「接着材A」、および「接着材B」を空港エプロン施工用にあわせて硬化剤を変性させ硬化時間に遅延性をもたせた「接着材C」を使用した。塗布量は、接着材Aは1.4kg/m²とし、接着材Cは0.7kg/m²および1.4kg/m²とした。

試験結果を図5に示す。接着材Cは塗布量を変化させても、水浸暴露による引張強度の低下はなかった。得ら

※鹿島道路(株)技術研究所第3研究室グループリーダー、
 ※※鹿島道路(株)技術研究所第3研究室室長、※※※鹿島道路(株)技術研究所所長、※※※※鹿島道路(株)技術部構造物解析・対策グループ課長

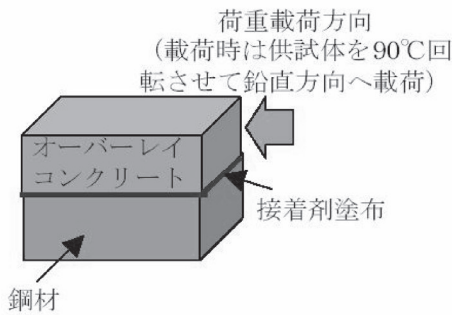


図1 せん断試験供試体概要図

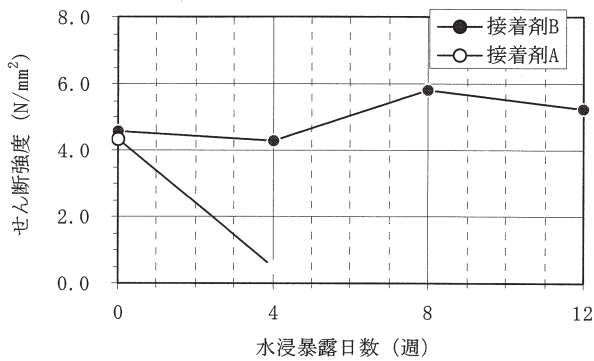


図2 せん断試験結果 (20°C水浸暴露後)

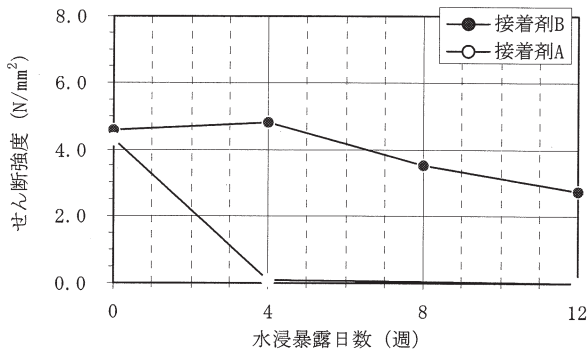


図3 せん断試験結果 (70°C水浸暴露後)

れた引張強度は、基準値とされている 1.6N/mm^2 を³⁾大きく上回っていた。一方、接着材 A は水浸劣化が著しい結果となった。

3.2 疲労耐久性

写真1に示すように、図4に示した直接引張試験で使用する治具の外部をプラスチック製のカバーで覆い、治具とプラスチックカバーを防水接着させて供試体内部に水が溜まるようにし、供試体が水浸状態で疲労試験が実施できるようにした。水位は下地コンクリートとオーバーレイコンクリート界面付近とした。

接着剤は「接着剤 C」を使用した。塗布量は 0.3kg/m^2 ~ 1.4kg/m^2 とし、比較のために接着剤を塗布しない供試

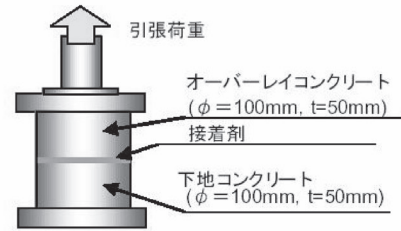


図4 引張試験供試体概要図

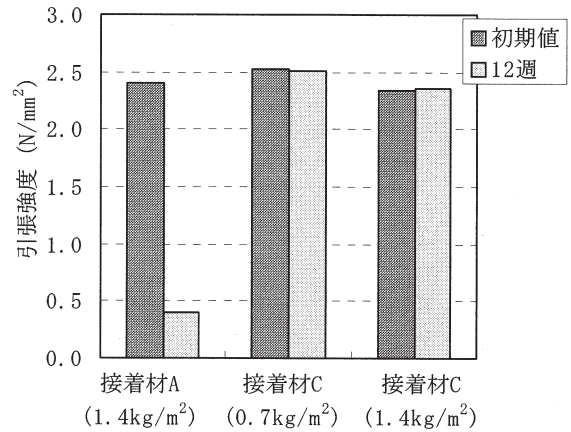


図5 引張試験結果

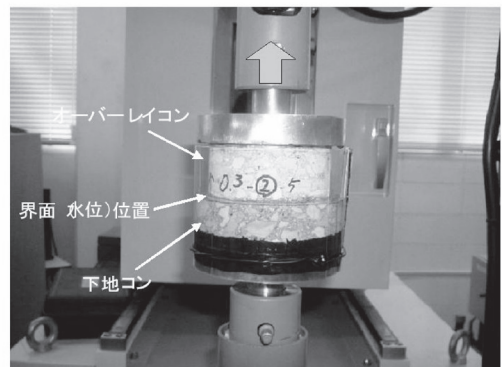


写真1 引張疲労試験実施状況

表2 FEM 解析条件

版寸法	5m×5m版4枚, 1/4モデル
オーバーレイコンクリート厚	5cm
温度勾配	0.45°C/cm
オーバーレイコンクリート乾燥収縮量	200μ

体も作製した。

載荷荷重は、空港舗装での薄層付着オーバーレイ工法をFEMソフトであるPave-3D⁴⁾を使用して表2の条件でモデル化し、既設コンクリート(下地コンクリート)とオ

表3 水浸引張疲労試験結果一覧表

エポキシ塗布量 (kg/m ²)	荷重応力 (MPa)	破壊回数 (回)	破壊形状
0.0	1.1	20,855	上下層界面
0.0	1.3	566	上下層界面
0.3	1.3	2000000以上	破壊なし
0.4	1.3	2000000以上	破壊なし
0.5	1.3	2000000以上	破壊なし
0.6	1.3	2000000以上	破壊なし
0.7	1.3	2000000以上	破壊なし
2.8	1.3	2000000以上	破壊なし
4.2	1.3	2000000以上	破壊なし

オーバーレイコンクリート間に発生する引張応力を求めて決定することとした。

注目する引張応力は、過去の研究の試験施工で、接着剤を塗布しない工区において多数オーバーレイコンクリートと下地コンクリートの剥離が見られた目地近辺とした³⁾。その他目地部のバネやオーバーレイコンクリートと既設コンクリート、既設コンクリートと上層路盤間のバネ値等の条件は過去の研究成果を参考に設定した³⁾。

以上の条件で FEM 解析を実施した結果、オーバーレイコンクリートと既設コンクリート間に作用する引張応力は 1.1~1.3MPa となったため、当該応力を繰返し作用させる引張応力とした。また、荷重は周波数を 10Hz として正弦波で与えることとし、荷重回数は 200 万回までとした。

水浸引張疲労試験結果を表 3 に示す。接着剤を塗布しない供試体は、荷重応力が 1.1MPa の場合は 2 万回程度、1.3MPa の場合は 500 回程度で下地コンクリートとオーバーレイコンクリート界面が剥がれて破壊した。よって、接着剤を塗布せずにショットブラストの研掃のみで付着させた供試体は、水浸状態で疲労荷重をする状況においては早期に破壊することが確認できた。この結果は、過去の試験舗装³⁾において、ショットブラストのみでオーバーレイコンクリートを打設した工区の目地部近辺で界面の剥離が多く見られた状況をよく再現する結果となった。

また、接着剤 C を塗布した供試体は、塗布量を 0.3~4.2kg/m² に変化させても荷重回数 200 万回で破壊しなかった。

そこで、水浸引張疲労試験で、200 万回荷重しても破壊しなかった接着剤 C を塗布した供試体について、直接引張試験を実施し、残留強度を確認した。結果を図 6 に示す。接着剤 C を塗布した供試体は、水浸引張疲労試験を実施後も初期状態と同等の引張強度を有していた。

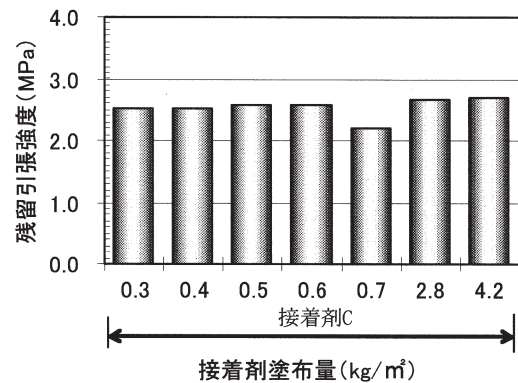


図6 水浸引張疲労試験後の残留引張強度

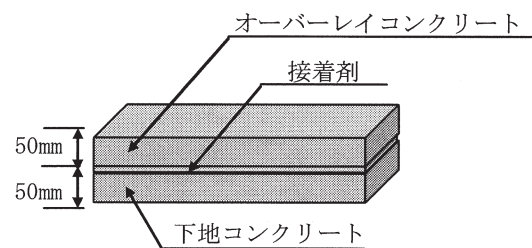


図7 凍結融解試験用供試体

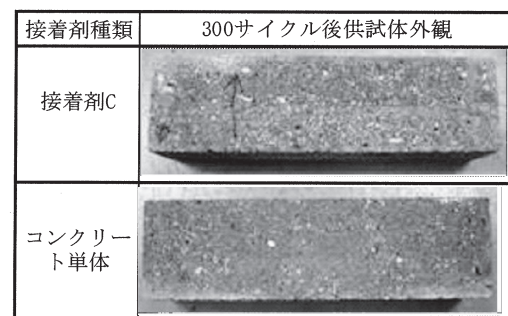


写真2 300 サイクル後の供試体

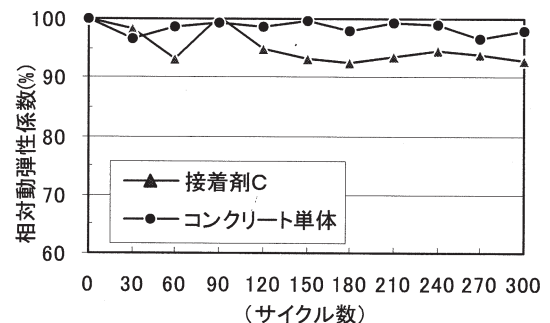


図8 相対弾性係数-サイクル数関係

3.3 耐凍結融解性能

試験に使用した供試体の概要を図 7 に示す。室内にお

いて、幅 100mm×高さ 100mm×長さ 400mm の供試体を作製し、高さ 50mm の位置で切断して、切断面上に接着剤を塗布し、その上にオーバーレイコンクリートを 50mm 打設してコンクリート・接着剤複合供試体を作製した。

使用材料として、セメントには早強ポルドランドセメントを、粗骨材には最大粒径が 20mm の石灰岩を使用した。接着剤は「接着剤 C」を使用した。比較検討のために接着剤を接合させていないコンクリート単体供試体もあわせて作製した。

実施した試験は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準じ水中で凍結融解させた供試体について、30 サイクル毎の「外観の変化の確認」を実施し、「相対動弾性係数」の測定を行った。

試験結果のうち、水中凍結融解 300 サイクル後供試体の外観を写真 2 に示す。水中凍結融解作用による接着界面からの剥離は接着剤 C を使用した供試体では確認できなかった。

また、水中凍結融解作用による各供試体の相対動弾性係数の変化を図 8 に示す。試験結果より、接着剤 C を使用した供試体は相対弾性係数の低下が見られず、接着剤を接合していないコンクリート単体供試体と同様の結果が得られた。

3.4 室内試験結果まとめ

室内試験において、エポキシ樹脂を使用した供試体の初期性能、耐水性能、疲労耐久性能、耐凍結融解性能を確認した。その結果、室内試験においては、新たに開発したエポキシ樹脂を使用した場合、上記性能について十分な性能が得られることがわかった。

4. 施工実績

エポキシ接着剤 B あるいは C を用いた接着接合技術は、既に室内試験での検討段階から実施工段階に移行している。

4.1 鋼床版と SFRC の接着接合技術に関する施工実績

鋼床版上に SFRC を施工し、接合材として接着剤 B を用いた実績は表 4 に示すとおりである。施工に対するニーズは多く、今後も施工実績が増えていくものと予想される。

4.2 新旧コンクリート接着接合技術に関する施工実績

接着剤 C を使用した薄層オーバーレイ工法については、羽田空港エプロン PFI 事業において、不同沈下による勾配修正箇所に対する適用の可能性が検討された⁵⁾。その結果、同プロジェクトの性能基準を満足していることが確認された。また、同プロジェクトにあわせて接着剤の散布機械の開発も行い、試験施工時に機械特性を確認している（写真 3）。

表 4 鋼床版疲労対策での施工実績

年度	発注者	名称	規模
H17	神奈川県	湘南大橋	1,800m ²
H18	首都高速道路	新宿線(新設)	10,000m ²
	首都高速道路	3橋	650m ²
H19	国交省	大平高架橋	1,600m ²
	首都高速道路	3橋	1,500m ²



写真3 羽田空港における機械散布のデモおよび見学会の様子

5. おわりに

エポキシ樹脂は優れた接着性能を有するものの、施工性や付着の持続性等未解明な部分も多く、舗装工事においてはほとんど適用されていなかった。確かに市販品をそのまま使用したのでは、耐水性に問題がある結果となった。しかし、適用する工法にあわせて新たに開発した接着剤を使用した場合、十分な耐久性が確保できることが分かった。今後は舗装分野におけるエポキシ樹脂を使用した接着接合技術が活用できる事例は増えていくものと考えられる。

参考文献

- 1) 伊勢田敏：道路橋の予防保全に向けた有識者会議提言を受けて、第11回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，pp.1-20（2008）
- 2) 多田宏行：鋼床版舗装の設計と施工，鹿島出版社（1990）
- 3) 国土技術政策総合研究所他：共同研究報告書空港コンクリート舗装の薄層付着オーバーレイ（2006）
- 4) 西澤辰男：3次元FEMに基づいたコンクリート舗装構造解析パッケージの開発，土木学会舗装工学論文集第5巻，pp.112-121（2000）
- 5) 児玉孝喜・鎌田修・岡本達也・前川文彦：東京国際空港国際線エプロン整備事業における付着オーバーレイ工法の適用に関する一検討，第63回土木学会年次学術講演会論文集，VI-354（2008）

（2009年9月18日受付 2010年1月13日受理）