

当板補強に用いる樹脂の材料特性に関する基礎的検討

川田工業(株) 正会員 ○八木 貴之
川田工業(株) 正会員 溝江 慶久
首都高速道路(株) 正会員 梶原 仁

1. はじめに

現在、鋼床版や鋼製橋脚横梁に発生する疲労き裂に対し、恒久的な補修・補強方法の開発が急務である。この補修・補強方法には、き裂発生点の応力集中を緩和し、かつ他部位に転移させないことが求められると同時に、経済性と施工性が当然に要求される。き裂の発生する路線はそもそも交通量が多く、長期の交通規制が難しいことが背景にある。

上記要求に応えうる補強方法の一つとして、当板補強が一般的である。当板補強(図1)は、き裂発生点の周囲に当板を設置し、作用力を分担させて発生点の応力集中を緩和する方法で、当板と母材の密着度が補強効果を左右する。但し、密着度確保の手段はボルト接合しかなく、ボルト配置によっては舗装剥離を要するなど大掛かりな施工が避けられず、課題を残している。これに対し、密着度確保手段を樹脂で代替する案(図2)があり、ボルトの場合と同等の補強効果が得られるとの実験結果も存在する¹⁾。この方法によれば上記課題は解決し、施工性と経済性を備えた補修・補強を隙間なく供給できる。

しかし、当板補強に樹脂を使用し、樹脂が荷重伝達部材になることを考慮して使用樹脂の選定基準やその考え方を体系化した例がなく、この方法は実用化には至っていない。使用樹脂の適切な選定には、樹脂の材料特性や補強効果との関係などを把握し、要求性能を具体的に数値化し、考え方を整理することが必要と考えられる。樹脂特有の養生条件(養生温度と時間、その他振動など)を考慮する関係上、施工上の制約(施工時期・時間・対象部位など)にも気を配る必要がある。

そこで、本稿では、樹脂選定の考え方の確立を意識し、当板補強に用いる樹脂の材料特性、材料特性と補強効果の関係を把握するために行った種々の基礎的実験の結果について報告する。

2. 樹脂片の圧縮強度等の確認(材料試験)

まず、当板補強に使用する樹脂の圧縮強度や、養生条件(養生温度と時間)との関係調査を目的とし、万能試験機による圧縮載荷試験を実施した。対象樹脂は、硬化時の収縮が小さく可使時間の調整が可能なエポキシ樹脂、これに鉄粉等を混ぜ金属補修材として商品化されたデブコンA(市販品、ITW社)、エポキシ樹脂に重量比85%で鉄粉を混合(手作業)した鉄粉85の3種類である。試験ケース毎に、各々5体の試験片を作製・養生した。試験概要と結果を表1に示す。なお、表中には取得した弾性係数の参考値も示した。結果データから、鉄粉混入が強度向上に及ぼす影響はそれほど大きくないと考えられる。

続いて、圧縮強度と養生条件の関係を調べるため、デブコンAについて養生温度を20、30、40℃、養生時間を6時間(一定)として圧縮強度のデータを取得した。表1のデータと併せ図3に結果をプロットした。横軸は養生時間である。

結果より、デブコンAを30℃に温めた状態で6時間養生すれば、完全硬化したエポキシ樹脂や鉄粉85の強度となる。この条件は、当板をラバーヒーターなどの熱工具で加熱することを想定すれば現実的であり、この養生方法によれば、一夜間の車線規制で、硬化に対する振動の影響を考えず当板補強が実施できる。



図1 鋼製橋脚横梁における当板補強例

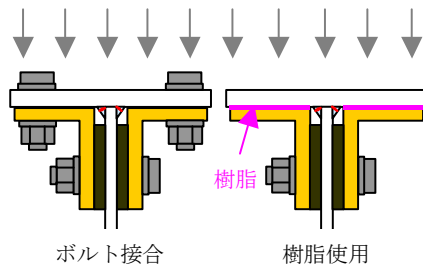
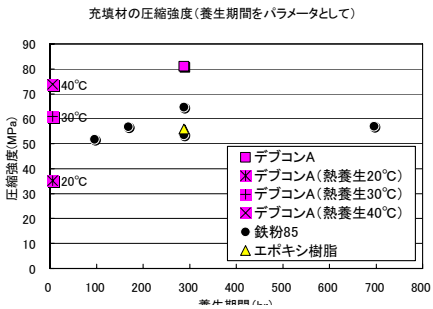


図2 当板補強及びボルトの樹脂による代替

表1 樹脂試験片の材料試験データ

名称	エポキシ樹脂	デブコン A	鉄粉 85
ケース	5	1	1
鉄粉混入率	鉄粉 0%	鉄粉あり(市販品)	鉄粉 85%(重量比)
養生温度	0~20℃(高松:2006年3月)		
養生時間	296hr(鉄粉85は100~700hr)		
弾性係数	2000 MPa	6000 MPa	約 6000 MPa
圧縮強度	55 MPa	80 MPa	約 60 MPa
試験体(寸法: 15×15×40)			

※試験片は JIS K 7028 に準じ作製



キーワード 補修・補強, 疲労き裂, 当板, 樹脂, 材料特性

連絡先 〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11 川田工業(株) TEL 03-3915-4321(代)

3. 鋼板間に充填した樹脂の圧縮・引張強度

当板補強に樹脂を用いる場合、樹脂は鋼板間に薄く充填され、2.の試験片に比べ載荷時ののはらみだし変形が抑えられるため圧縮強度は増加すると予測される。また、樹脂には圧縮のみならず引張応力も作用しうる。さらに、樹脂付着面の処理具合が強度に影響することも想定される。

そこで、樹脂の材料特性をより使用態様に近い状態で把握するため、鋼板間に厚さ 10mm の樹脂を充填し養生管理した試験体 (図 4) を用い、静的な圧縮・引張試験を実施した。本試験では、圧縮強度が高く、市販品ゆえ流通性と品質の安定するデブコン A を、30℃6 時間の条件で養生した樹脂 (以下、硬化促進樹脂) のみを対象とした。

試験の結果を表 2 に示す。樹脂の圧縮強度は予想通り 2.の試験結果に比べ増加した。また、引張試験の結果から、付着面を動力ワイヤ処理すると樹脂の付着強度が高まり、付着面を起点としながらも主として樹脂内部を経由し破壊するようになることや、引張強度が 2 倍程度に増加することがわかった。使用態様や付着面の処理具合により、樹脂の材料特性は大きく変わることが示されたといえる。

4. 鋼板間に充填した樹脂の疲労特性

次に、当板補強後の樹脂の疲労特性を調査するため、対象を硬化促進樹脂に絞り疲労試験を実施した。試験体は図 4 に示すものと同様である。樹脂の 4 側面 (東西南北) にゲージ (鉛直方向) を貼付し、動ひずみを取得した。作用繰返し荷重は強度の約 50%に相当する 40MPa (圧縮片振) である。付着面を手ワイヤ処理した場合、動力ワイヤ処理した場合についてのひずみ差分の変化、状況写真を図 5、図 6 に示す。

結果、手ワイヤ処理の場合は載荷回数 1,000 回~10,000 回で当初の弾性変形から外側へのはらみだし変形に移行した。これはひずみ差分の減少時期と一致する。一方、動力ワイヤ処理の試験体では、320 万回の載荷に亘り安定的に弾性変形状態にあるとわかる。付着面の動力ワイヤ処理が樹脂の疲労強度向上に及ぼす影響は大きいと推察できる。

5. 材料特性が補強効果に及ぼす影響

以上、樹脂の材料特性を基礎実験により把握、数値化したのが、当板補強に用いた場合の補強効果と材料特性の間に何らかの相関関係を見出せれば、樹脂選定の上で大変有意義である。

そこで、母材と当板金具を模擬した H 鋼、L 形鋼の試験体において図 7 に示す位置に樹脂を充填し、H 鋼のフランジ上に面載荷した場合の H 鋼ウェブに作用する鉛直方向応力を静的に計測した。

試験の結果 (表 3)、樹脂なし (フィラーのみ) の場合、応力低減率は 25%程度だが、樹脂の充填があれば 50%以上となる。静的な補強効果は樹脂の種類でなく、有無によるところが大きいとわかった。

6. まとめ

当板補強に使用する樹脂に関する初歩的検討として、樹脂の材料特性を各種基礎実験により調査した。依然、交通規制なしの振動下での硬化性能の検証など検討課題は多い。今後も継続的研究が必要である。

謝辞：コグニス・ジャパン(株)山村、ITW(株)佐藤、木下の諸氏に樹脂材の提供を賜りました。ここに記し御礼申し上げます。

参考文献 1) 大住ら：鋼床版垂直スティフナーすみ肉溶接部の疲労を対象とした補強方法、第 61 回年次学術講演会概要集

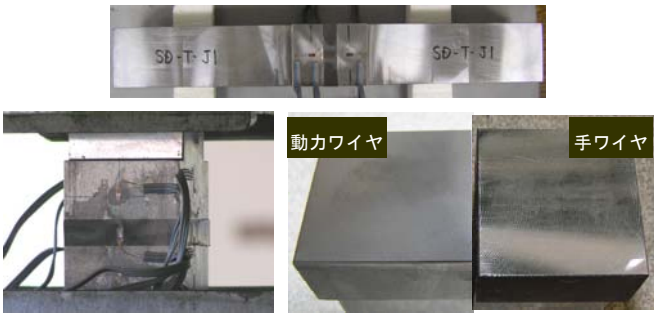


図 4 引張試験状況(左)、引張試験体(上)、表面処理状況(右)

表 2 鋼板間に充填した樹脂の圧縮・引張試験データ

樹脂	硬化促進樹脂 (デブコン A)			
	寸法 50mm×50mm×10mm			
荷重	圧縮	引張		
表面処理	手ワイヤ		動力ワイヤ	ジェットたがね
数量	3		1	1
強度	89MPa	4.7MPa	9.2MPa	8.6MPa
破壊形式	押潰し+はらみだし	付着面で破断	樹脂内で破断	樹脂内で破断

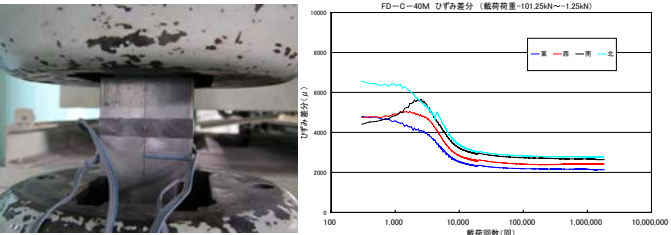


図 5 硬化促進樹脂 (圧縮 $\Delta\sigma=40\text{MPa}$), 手ワイヤ処理, 319 万回

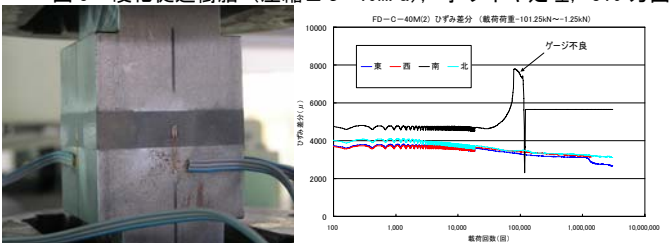


図 6 硬化促進樹脂 (圧縮 $\Delta\sigma=40\text{MPa}$), 動力ワイヤ処理, 320 万回

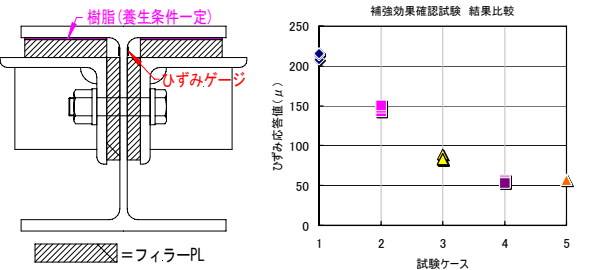


図 7 樹脂の材料特性と補強効果の関係

表 3 鋼板間に充填した樹脂の圧縮・引張試験データ

ケース	1	2	3	4	5
フィラー	×	○	○	○	○
樹脂	×	×	エポキシ樹脂	鉄粉 85	硬化促進樹脂
低減率	-	25%	60%	75%	75%