

ECC 合成鋼床版化による疲労耐久性向上手法の提案

独立行政法人北海道開発土木研究所 構造部 構造研究室 三田村 浩

1、はじめに

近年、既設鋼床版において輪荷重走行による鋼部材の疲労損傷やそれに伴う舗装の損傷が多く報告されており、合理的で経済的に優れた疲労損傷対策工法が求められている。既設鋼床版の疲労損傷は、輪荷重走行により生じるデッキプレートの面外変形によって、溶接部に発生する応力集中が主原因と考えられており、対策としては、鋼床版の剛性を向上させ、鋼床版に発生する応力（ひずみ）を低減させることが有効である。そこで、大きな引張ひずみが作用した場合でも引張力を保持できる高靱性繊維補強セメント複合材料（以下、ECC）を増厚材料に用いた ECC 合成鋼床版構造を考案した。本報告は、ECC 合成鋼床版について、実物大の構造実験、実橋梁での施工を通じて、既設鋼床版の疲労耐久性向上の 1 手法としての適用性を検討するものである。

2、補強工法の概要

図-1 に ECC 合成鋼床版の概要図を示す。鋼床版に上面増厚をする場合、建築限界や自重の制約から敷設厚さが制限される。そのため、負の曲げモーメントおよび局所的な引張力に対する補強鉄筋の配置が困難であることや、舗装と鋼床版の温度差によるひび割れが懸念されることから、引張抵抗性に優れた増厚材料が要求される。そこで、ECC を上面増厚材料に適用した。ECC は、ひび割れ発生後も繊維の架橋効果により、引張力を負担するセメント系材料で、鋼材の降伏ひずみの 10 倍程度の引張ひずみが作用した場合でも引張力を保持できる（図-2 参照）。そのため、鋼床版に局所的な引張ひずみや、温度差によるひずみが作用した場合でも、ECC は上面増厚材料として補強効果を期待できる。ECC と鋼床版のずれ止めには、FRP 製のプレート型ジベル（以下、PL ジベル 図-3）を適用し、鋼床版との接合にはアクリル系の接着剤を用いた。鋼床版には、遮塩性や酸素遮断性に優れたポリウレア樹脂

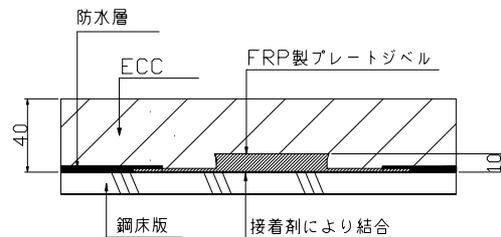


図-1 ECC 合成鋼床版の概要

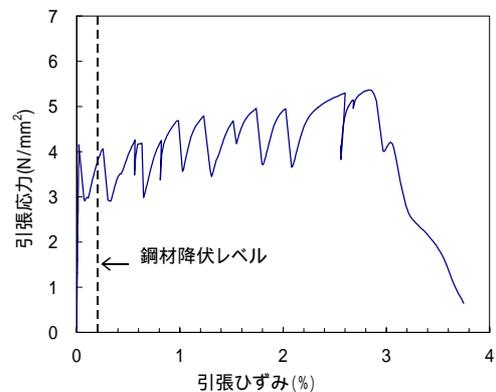


図-2 ECC の引張応力 - ひずみ曲線

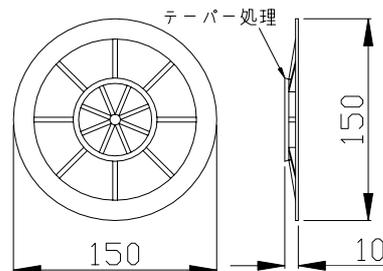


図-3 PL ジベルの形状・寸法

による防水層を施工し、鋼床版の腐食を抑制できる構造とした。
 本工法の手順は以下の通りである。

- ・ 鋼床版をスチールショットブラストで研掃する。
- ・ 所定の間隔で、プレートジベルを接着する。
- ・ 鋼床版に防水層を形成するため、ポリウレア樹脂を厚さ 2mm となるように、鋼床版に吹き付ける。
- ・ 防水層上に ECC を打設する。

以上で、補強工は完成である。ECC 上面の舗装は、厚さ 40mm の機能性 SMA とした。

3、構造実験

道路橋床版の疲労特性を確認するためには、実物大の床版試験体により輪荷重走行試験を行うのが妥当である。そこで、横リブ支間 3m、橋軸直角方向 2.96m の実物大の試験体を用いた輪荷重走行試験を実施した。

図-4 に試験体の形状・寸法および走行ラインを示す。図-5 に载荷要領を示す。走行位置の影響を確認するため、2ラインで試験を実施した。

図-6 に試験結果の一例として、载荷回数と活荷重たわみの関係を示す。なお、グラフ縦

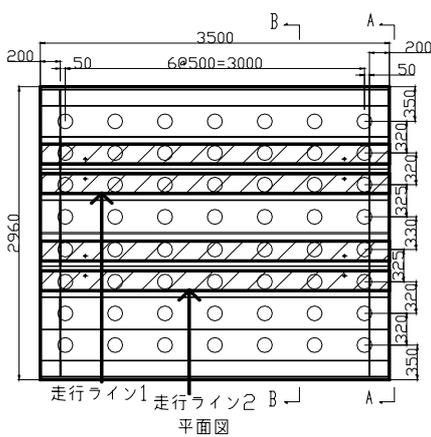


図 - 4 試験体の形状・寸法および载荷概要

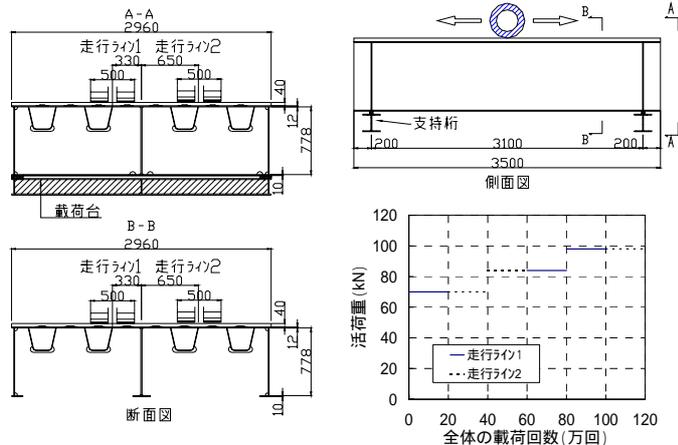


図 - 5 载荷要領

軸の値は、換算活荷重たわみ（計測値×最大载荷荷重 98kN ÷ 各载荷荷重）とした。図-7 に、ひび割れ状況を示す。図-6 から、活荷重たわみの増加は小さく、試験終了後も鋼床版に疲労き裂等の損傷は見られなかった。また、試験後に ECC 上面のひび割れ観察を行ったが、最大ひび割れ幅は 0.1mm 程度と ECC によるひび割れ幅の抑制効果を確認できた。

図-8 に、支間中央における橋軸直角方向のデッキプレートのひずみ分布について、試験結果と 3次元非線形 FEM 解析を比較して示す。FEM 解析は、ECC 上面増厚後と鋼床版単体の 2通りを実施した。ECC 上面増厚後の解析は、ECC の応力 - ひずみ曲線として、圧縮側はコンクリートと同様で、引張側は引張降伏強度を頂点とした完全弾塑性でモデル化した。また、鋼床版と ECC を完全剛結とし、防水層はモデル化していない。

図-8 から、輪荷重走行開始時の実験値（70kN-1回目）は解析値と整合しており、鋼床版とECCを一体とした合成構造として機能していることが確認できた。Uリブ上の局所ひずみが大きくなる位置でもひずみ（応力）が低減しており、局所ひずみの厳しい位置においても、ECCが引張力を負担できているものと考えられる。载荷回数の増加によって鋼床版のひずみが増加しているが、これは、载荷の初期段階では繊維の架橋効果によりECCが引張力を負担するのに対し、繰返し荷重下で繊維とECCとの付着劣化などが生じ、ECCの負担していた引張力が徐々に鋼床版に移行したためと考えられる。ひずみの増加割合は最大で48%程度であるが、鋼床版のみの場合の解析値と比べて輪荷重走行後も40%程度に抑制されている。したがって、本工法による合成効果と疲労耐久性の向上効果が認められた。

4、実施工への適用性

美原大橋は、北海道江別市で石狩川を跨ぐ橋梁で、主橋梁が一面吊りの鋼斜張橋、側橋梁が3径間連続鋼床版箱桁である。将来における大型車交通量の需要増加を見込み、その疲労耐久性向上を目的に様々な性能・経済性の検討を実施した上で、本工法が採用された。

表-1に主橋梁におけるECCの品質管理試験結果の平均を示す（試験総数49）ECCの大規模製造は初めての試みであったが、全ての試験結果は管理値を満足しており、大規模製造施工されたECCの品質安定性を確保できることが確認された。

また、本工法の実橋での合成効果を評価するため、ECCの打設前後で、総重量25トンのダンプトラック（図-9）を用いた静的载荷による応力（ひずみ）測定を側橋梁の側径間で実施した。ECC打設後の静的载荷はECCの材齢21日で実施した。表-2にECCの強度試験結果を示す。

図-10に試験結果の一例として、ECC打設前後に実施した横桁支間中央における橋軸直角方向のひずみ分布を示す。

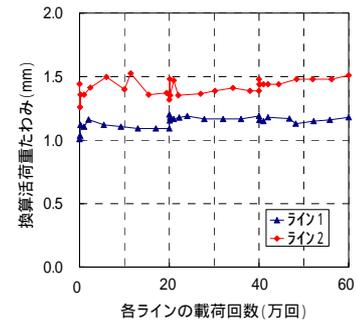


図-6 走行回数と換算活荷重たわみの関係

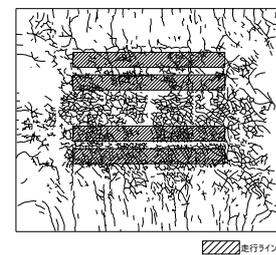


図-7 試験終了後のひび割れ状況

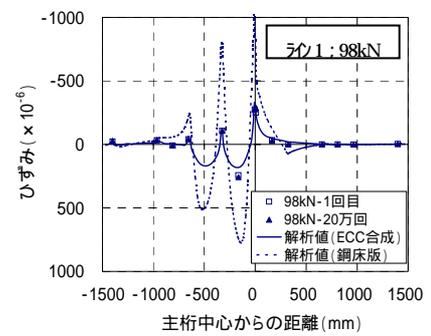
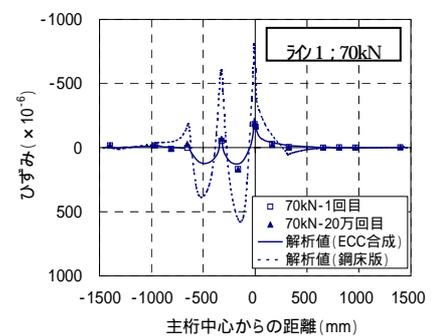


図-8 橋軸直角方向の鋼床版ひずみ分布

図-10 から、ECC 打設前に鋼床版に生じている比較的高い局所的なひずみが、ECC を打設することにより全体的に低減され、床版全体の剛性が向上していることが確認できる。また、試験前後のひび割れ観察においても、ひび割れの発生は認められなかった。これらより、実橋で施工された本工法の補強効果が確認された。

5、まとめ

輪荷重走行試験と3次元非線形FEM解析の結果から、ECC合成鋼床版化により、鋼床版のみの場合と比べてひずみが抑制されており、鋼床版の剛性および疲労耐久性の向上効果が確認できた。また、本補強工法の設計において、ECCと鋼床版を一体として設計を行えることが確認された。

実橋梁への適用により、ECCの大規模製造施工技術および施工方法が確立され、大規模製造されたECCの品質安定性が確保できることが確認された。また、実橋梁の載荷試験においても、室内試験と同等の補強効果が確認された。

6、今後の課題

ECC合成鋼床版化による疲労損傷対策への適用性が確認された。現状では、ECCの養生期間が1週間から2週間程度の湿潤養生を前提としているため、既設鋼床版で求められる急速施工に適用するには、養生期間を含めた施工の短縮が必要である。今後は、材料および施工面での改良を実施し、さらに適用範囲を含めた設計面での充実を図り、既設鋼床版に適用しやすい環境を整える必要がある。

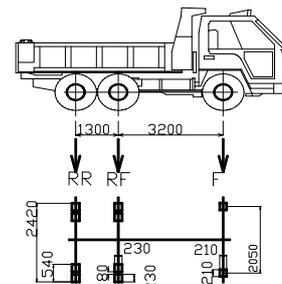
表-1 ECCの品質管理試験結果

試験項目	平均値	標準偏差
スランブフロー (mm)	475	29
圧縮強度 (N/mm ²)	36.8	2.3
引張降伏強度 (N/mm ²)	2.8	0.18
引張ひずみ (%)	5.2	0.82

表-2 載荷試験時のECC強度試験結果

項目	試験値 ^{*)}
圧縮強度(N/mm ²)	25.4
引張降伏強度(N/mm ²)	2.8
引張終局ひずみ (%)	5.6

* ; 材齢 21 日で実施



載荷時の 実橋の状態	輪重 (t)			
	前輪F	後前輪RF	後後輪RR	総重量
鋼床版のみ	6.1	10.4	10.1	26.6
ECC打設後	5.8	10.6	10.3	26.7

図-9 ダンプトラックの形状・寸法

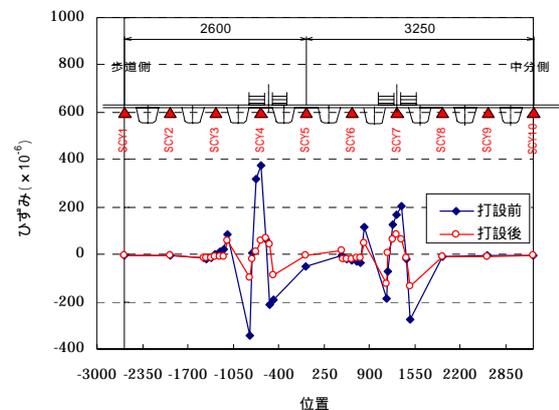


図-10 実橋の載荷試験結果の一例