

二方向アラミド繊維シート補強床版の界面剥離に関する数値解析

三井住友建設 フェロー会員 ○三上 浩
 大成ロテック 高島 輝雄
 井 沢 設 計 廣瀬 清泰
 国土開発センター 正会員 堀川都志雄

1. はじめに 疲労損傷を受けた道路橋鉄筋コンクリート床版の補強工法であるアラミド繊維シートや炭素繊維シート等の連続繊維シートを床版下面に接着する工法は、輪荷重走行に伴うひび割れの動きを抑止する効果により疲労寿命を大きく改善させることが輪荷重走行実験等により明らかにされており、せん断耐力の低下に至っていない損傷レベルの床版に対して広く適用されている。一方これらの補強工法では、補強材である繊維シートの局所的な剥離問題が顕在化しており、シートが剥離する原因として施工不良や輪荷重の走行疲労による影響が指摘されている。補強後の床版の健全性を保持するためには、繊維シートの剥離箇所の再補修の方法およびその評価方法等の選定が今後の重要な課題となる。

本研究では、連続繊維シートによる床版の補強工法を対象として、補強材の接着界面に部分的な剥離が発生した場合を想定し、剥離が接着界面の付着せん断応力に与える影響について解析的に調査した。

2. 解析手法

本解析では、局所応力の表現が可能な3次元弾性論に基づく厚板理論¹⁾で構成される多層版の解析手法を適用する。

各層の接合部である界面において、部分的な剥離領域を表現するには、調和解析法の適用は困難であるため、離散化手法である選点法を導入する²⁾。

すなわち、多層版において*i*層と*j*層が完全接合されている場合は、変位の連続条件式(1)により、図-1に示すように、*x*-*y*面内で分割されたブロックの選点*s*において、各層間の接合面(界面)における*x*, *y*, *z*方向の応力が伝達される。剥離現象は、剥離を想定する分割ブロックの選点で*x*, *y*方向の伝達力を解放することにより表現される。

$$U_{i,s}^l = U_{j,s}^u \quad (1)$$

ここに、 $U_{i,s}^l$: 選点*s*における*i*層の下面(*l*)の変位

$U_{j,s}^u$: 選点*s*における*j*層の上面(*u*)の変位

*n*層の多層版では、界面の数は*n*-1となるので、各界面の分割ブロック数を*m*とすれば、3(*n*-1)*m*元の連立方程式を解くことにより、伝達力が求められる。この伝達力を用いて各層の応力は厚板理論により計算される。

3. 解析モデル

解析モデルは、実橋のデータを参照して、表-1のような床版断面とした。補強材は、二方向アラミドシートおよび炭素繊維シートを想定した。炭素繊維シートは1方向シートであるため、主筋と配筋方向の2層貼りを1層として表現している。床版のスパンは、増桁補強されたケースを想定した1m、および2mとした。

なお、床版の支持条件は、全周単純支持版とし、1方向版に近似するため橋軸方向スパンは主筋方向スパンの2倍とした。床版の材料特性を表-2に示す。床版のヤング係数は、実橋の鉄筋量とコンクリートの劣化を考慮して算出した等価弾性係数である。

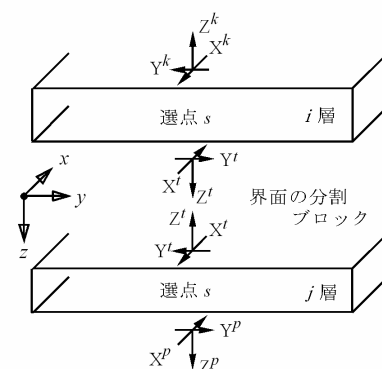


図-1 界面の伝達力

表-1 解析モデル床版の断面構成 (mm)

断面構成	部 材	アラミド繊維	炭素繊維
1層補強	床 版	180	180
	樹 脂	1.0	1.0
2層補強	繊維シート	0.24	0.334
	樹 脂	1.0	1.0
	繊維シート	0.24	0.334

表-2 材料特性

	床 版	アラミド繊維	炭素繊維	樹 脂
ヤング係数(N/mm ²)	6,880	118,000	245,000	2,000
ポアソン比	0.2	0.3	0.2	0.4

キーワード 二方向アラミドシート、剥離、再補修、多層版、選点法

連絡先 〒104-0031 東京都中央区京橋 3-13-1 有楽ビル 大成ロテック株式会社営業本部 営業部 TEL03-3561-7831 FAX03-3564-4678

4. 解析結果

解析は、 x , y 方向の 2 軸対称のケースを対象とするため、図-2 のように中央線で分割される床版の 1/4 の領域で考える。界面における選点の分割数による計算精度を確認するため、完全接合の多層版について調和解析の解との比較を行った結果、 x , y 方向ともに 20 分割の場合で、たわみが最大 2% 弱、界面の付着せん断応力 τ_{yz} で最大 4.5% 程度の誤差となったため、演算時間等の実用性を考慮して、スパン 1 m の場合を示した図-2 の 20×20 分割のブロックで計算を行った。

後輪荷重 98kN (面積 200×500mm) を床版中央点に作用させ、剥離領域を荷重端を中心に床面積の 10% (図-2 の着色部) と想定する。なお再補修に際しては剥離面積の遡減操作を行う。

図-3, 4 は二方向アラミドシート 2 層補強の場合の床版下面と樹脂層の界面における付着せん断応力 τ_{yz} の等高線図を示したもので、それぞれ完全接合と剥離領域を想定した場合である。同様に、図-5, 6 は炭素繊維シート 2 層補強 (1 方向シート 4 枚) の場合を示したものである。なお、図中の斜線部は輪荷重の位置を示す。

剥離領域の設定は、完全接合の等高線図に基づいて設定した。また、剥離が発生する付着せん断応力 τ_{yz} の限界値として、床版防水工の規格値³⁾である 0.2N/mm^2 を準用して、これを超える領域を分布図に着色部で示している。

アラミドシートの場合は、2 層補強に対して、剥離を想定した場合、支持辺近傍の一部で付着せん断応力が 0.2N/mm^2 を超えているが、炭素繊維シートでは、剥離を想定しない完全接合の場合でも、輪荷重端部に超過領域がみられ、剥離を想定した場合には、剥離の周辺部全体に超過する領域が生じている。

5. まとめ

床版下面と樹脂層の界面の付着せん断応力は、アラミドシートに比べて、炭素繊維シートでは約 2 倍となっている。これはほぼシートのヤング係数の比に相当するものであり、高いヤング係数の補強シートは剥離を生じ易い要因を含んでいると考えられる。たわみ等の補強率については当日報告する。

参考文献

- 1)堀川都志雄:直交異方性板の弾性理論とその応用に関する研究, 大阪市立大学学位請求論文, 昭和 59 年 5 月
- 2)横山, 安東, 谷口, 関口, 堀川: 局所剥離を考慮した輪荷重下における舗装と床版界面の応力解析, 構造工学論文集 Vol.53A, 2007.3.
- 3)日本道路公団試験所, 試験研究推進委員会材料施工研究会: 材料施工資料 (第 4 号) コンクリート床版防水工, 試験研究技術資料第 124 号, H6 年 3 月

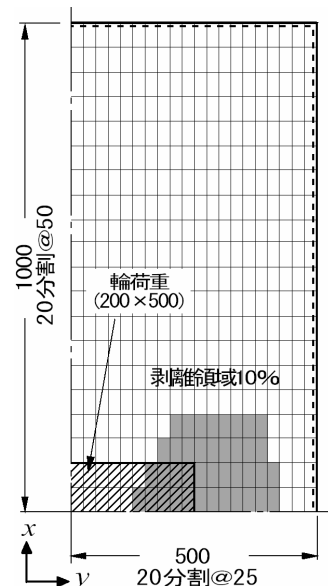


図-2 床版の分割数と剥離領域

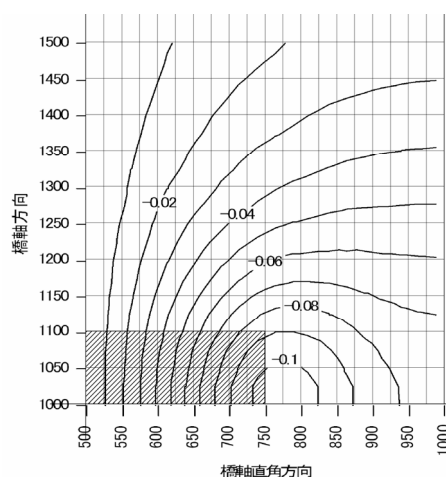


図-3 τ_{yz} (N/mm²) の分布 (剥離なし: アラミド)

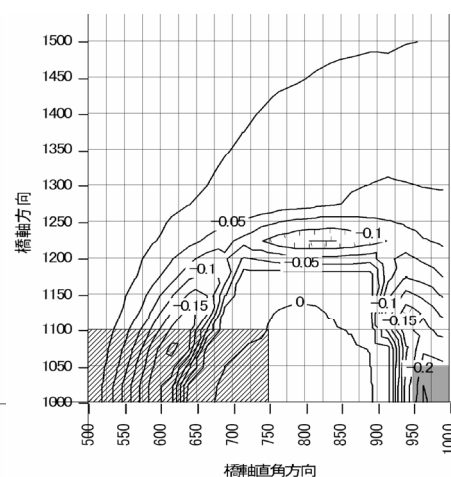


図-4 τ_{yz} (N/mm²) の分布 (剥離あり: アラミド)

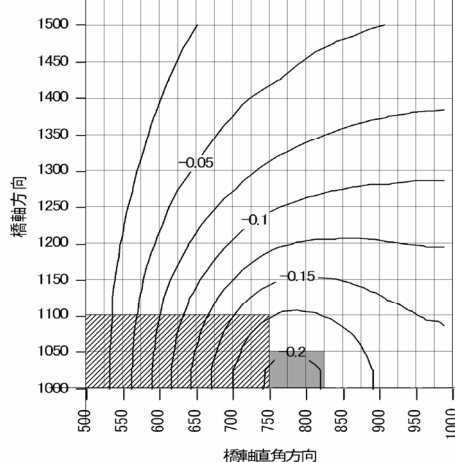


図-5 τ_{yz} (N/mm²) の分布 (剥離なし: 炭素繊維)

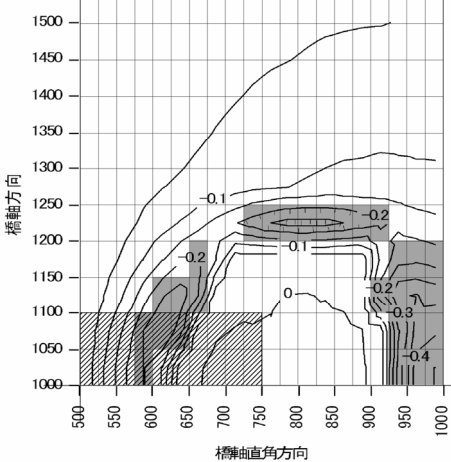


図-6 τ_{yz} (N/mm²) の分布 (剥離あり: 炭素繊維)