

水平力を考慮した輪荷重下での防水層の解析的検討

ショーボンド建設 正会員 ○横山 広
 東京都土木技術センター 正会員 関口 幹夫
 極東工業 正会員 谷口 義則
 大阪工業大学 正会員 堀川都志雄

1. はじめに

道路橋床版のひび割れ損傷過程が広義の疲労現象であり、その疲労耐久性が低下する主要因として雨水等の水分の浸透が影響を及ぼすことは既往の研究によって広く知られている¹⁾。また、近年の少数主桁橋梁の進出は高い疲労耐久性を有する床版を要求しており、鋼・コンクリート合成床版やプレストレストコンクリート床版の開発が進められている。このような背景の中、床版の耐久性を向上させるための舗装と床版の界面に設置される防水層が注目されており、「床版+防水層+舗装」が三位一体となって荷重に抵抗する構造形式の開発とその評価の確立を目指した研究も実施されている²⁾。そこで本研究では、防水層に求められる性能の中で付着せん断応力に着目し、カーブ区間での遠心力や制動時に作用する水平力を考慮した解析的な検討を加え、得られた応力値と現状の規格値とを比較してその応力状態を把握する。

2. 解析モデルと計算手法

本検討での解析モデルを図-1に示す。モデルは4辺単純支持で橋軸方向と橋軸直角方向の辺長の比は2:1である。載荷荷重はダブルタイヤで、その接地圧分布は既往の研究成果を基にタイヤ側壁方向が大きくなる偏奇分布を採用している³⁾。遠心力の導入では、曲線半径を速度に合わせて道路構造令の設定半径を採用し、荷重の形状には等分布と走行時の接地圧を考慮した三角形分布を採用した。制動時における縦すべり摩擦係数は、乾燥路面の最大値として想定される0.8と大型車両の制動距離から計算される0.5の2種類で応力状態を計算するものとした。

応力解析の手法には、厳密な応力値を得るために3次元弾性論から導かれる厚板理論を採用しており、その基礎微分方程式を式(1)に示す。計算に用いた材料定数は表-1の通りである。

$$\Delta\Delta f_3 = 0 \quad , \quad \Delta\phi_3 = 0 \quad (1)$$

3. 遠心力作用時

遠心力荷重作用時の舗装と床版界面の鉛直応力と付着せん断応力の計算結果を表-2に示す。(a)の界面の鉛直応力は舗装のヤング係数が小さいほど大きくなる傾向にあり、舗装の荷重伝達に関わる有効断面積の違いの影響が伺える。しかしながら、各ヤング係数における分布形状毎の倍率は舗装のヤング係数の大小に影響されずほぼ一定である。

(b)の付着せん断応力は舗装のヤング係数が大きくなれば、それに対応する応力値も大きくなっており、係数が 1.5 kN/mm^2 を超えると、旧日本道路公団

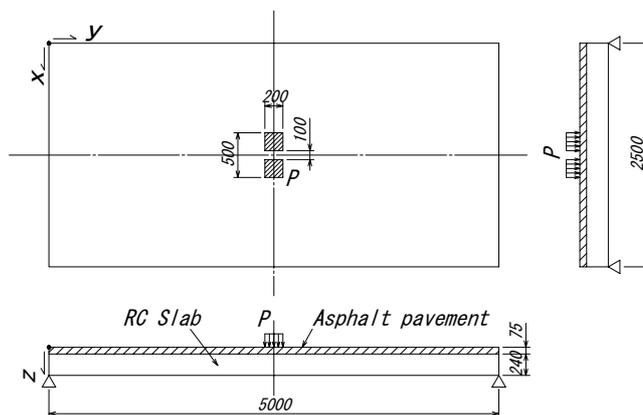


図-1 解析モデル（単位：mm）

表-1 材料定数

| 材 料 | ヤング係数(kN/mm ²) | ポアソン比 |
|--------------|----------------------------|-------|
| アスファルト舗装(夏季) | 0.05 | 0.4 |
| アスファルト舗装(冬季) | 2.0 | 0.4 |
| RC床版 | 30.0 | 0.2 |

キーワード 道路橋床版, 防水層, 厚板理論, 遠心力, 制動荷重

連絡先 〒920-0362 石川県金沢市古府1丁目140番地 TEL076-240-6438

の規格値である付着せん断応力度 $\tau_a=2.0\text{N/mm}^2$ を超過することが判る。

4. 制動荷重作用時

制動荷重作用時の舗装と床版界面の鉛直応力と付着せん断応力の計算結果を表-3に示す。(a)によれば、界面の鉛直応力は遠心力作用時と同様の傾向を示しており、縦すべり摩擦係数が大きくなるとその発生応力レベルも近い値となっている。

(b)の付着せん断応力は遠心力作用時とは異なり、舗装のヤング係数の小さい方が応力値が大きくなっている。また、その応力値は全ての状態で規格値を上回っていることが判る。よって、遠心力の作用時よりも制動荷重作用時が防水層に対しては厳しい荷重条件になることが認められる。さらに、走行速度60km/hと80km/hでは、60km/hの方が僅かながら応力値が大きくなっており、一般道路でも応力超過が頻繁に起こり得る可能性が示唆された。

5. おわりに

本研究では、防水層に必要とされる性能の中で付着せん断応力に着目して解析的な検討を行った。以下に得られた知見を以下に示す。

1) 遠心力作用時では舗装のヤング係数が小さくなると鉛直応力が大きくなり、付着せん断応力は逆の傾向を示す。ヤング係数が 1.5kN/mm^2 を超えると規格値の $\tau_a=2.0\text{N/mm}^2$ を超過する。

2) 制動荷重作用時では、界面の鉛直応力は遠心力と同等の傾向を示すが、付着せん断応力は舗装のヤング係数が小さくなると応力値が大きくなる傾向を示す。応力値のレベルは遠心力作用時よりも大きく、防水層には制動荷重の作用が厳しい荷重条件である。走行速度60km/hと80km/hでは、60km/hの方が僅かながら応力値が大きくなっており、一般道路でも応力超過が頻繁に起こり得る可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学年次論文報告集 9-2, pp. 627-632, 1987.
- 2) 道路橋床版高機能防水システム研究委員会：道路橋床版高機能防水システムの耐久性評価に関する研究，平成17年9月
- 3) 貞升文穂：自動車走行時におけるタイヤ接地圧，土木技術資料，Vol. 11 No. 8, 昭和44年8月

表-2 遠心力作用時の舗装と床版界面の応力比較

(a) 界面の鉛直応力

| | | σ_z (N/mm ²) | | | | | | | | |
|--------------------------|------|---------------------------------|-----------|------------|-------|-------|-----------|------------|-------|-------|
| 速度 V (km/h) | | 0 | 60 | | | | 80 | | | |
| 水平力 | | 無 (N) | 等分布 (U60) | 三角分布 (T60) | 倍率 | | 等分布 (U80) | 三角分布 (T80) | 倍率 | |
| | | | | | U60/N | T60/N | | | U80/N | T80/N |
| ヤング係数 | 0.05 | -0.573 | -0.486 | -0.463 | 1 | 0.95 | -0.419 | -0.399 | 1 | 0.95 |
| | 0.1 | -0.573 | -0.486 | -0.463 | 1 | 0.96 | -0.419 | -0.399 | 1 | 0.95 |
| | 0.2 | -0.572 | -0.485 | -0.462 | 1 | 0.95 | -0.419 | -0.398 | 1 | 0.95 |
| | 0.5 | -0.57 | -0.484 | -0.461 | 1 | 0.95 | -0.418 | -0.397 | 1 | 0.95 |
| | 1 | -0.567 | -0.482 | -0.459 | 1 | 0.96 | -0.416 | -0.396 | 1 | 0.95 |
| | 1.5 | -0.565 | -0.48 | -0.457 | 1 | 0.96 | -0.415 | -0.395 | 1 | 0.96 |
| Ea (kN/mm ²) | 2 | -0.562 | -0.477 | -0.455 | 1 | 0.96 | -0.413 | -0.393 | 1 | 0.95 |
| | 2.5 | -0.559 | -0.476 | -0.454 | 1 | 0.96 | -0.412 | -0.392 | 1 | 0.95 |

(b) 界面の付着せん断力

| | | τ_{xz} (N/mm ²) | | | | | | | | |
|--------------------------|------|----------------------------------|-----------|------------|-------|-------|-----------|------------|-------|-------|
| 速度 V (km/h) | | 0 | 60 | | | | 80 | | | |
| 水平力 | | 無 (N) | 等分布 (U60) | 三角分布 (T60) | 倍率 | | 等分布 (U80) | 三角分布 (T80) | 倍率 | |
| | | | | | U60/N | T60/N | | | U80/N | T80/N |
| ヤング係数 | 0.05 | 0.163 | 0.185 | 0.192 | 1.13 | 1.18 | 0.186 | 0.193 | 1.11 | 1.16 |
| | 0.1 | 0.163 | 0.185 | 0.193 | 1.13 | 1.18 | 0.186 | 0.193 | 1.11 | 1.16 |
| | 0.2 | 0.164 | 0.186 | 0.193 | 1.13 | 1.17 | 0.187 | 0.193 | 1.11 | 1.15 |
| | 0.5 | 0.166 | 0.188 | 0.195 | 1.13 | 1.19 | 0.189 | 0.195 | 1.11 | 1.15 |
| | 1 | 0.17 | 0.191 | 0.198 | 1.12 | 1.16 | 0.192 | 0.198 | 1.11 | 1.14 |
| | 1.5 | 0.173 | 0.194 | 0.200 | 1.12 | 1.16 | 0.194 | 0.200 | 1.1 | 1.14 |
| Ea (kN/mm ²) | 2 | 0.176 | 0.196 | 0.203 | 1.11 | 1.15 | 0.197 | 0.203 | 1.1 | 1.13 |
| | 2.5 | 0.178 | 0.199 | 0.205 | 1.11 | 1.15 | 0.199 | 0.205 | 1.1 | 1.13 |

表-3 制動荷重作用時の舗装と床版界面の応力比較

(a) 界面の鉛直応力

| | | σ_z (N/mm ²) | | | | | | | | |
|--------------------------|------|---------------------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|
| 速度 V (km/h) | | 0 | 60 | | | | 80 | | | |
| 摩擦係数 μ | | 0 ₀ | (a) 0.5 | (b) 0.8 | 倍率 | | (a) 0.5 | (b) 0.8 | 倍率 | |
| | | | | | (a)/0 ₀ | (b)/0 ₀ | | | (a)/0 ₀ | (b)/0 ₀ |
| ヤング係数 | 0.05 | -0.291 | -0.351 | -0.414 | 1.42 | 1.68 | -0.318 | -0.38 | 1.49 | 1.78 |
| | 0.1 | -0.291 | -0.351 | -0.413 | 1.43 | 1.68 | -0.317 | -0.38 | 1.49 | 1.78 |
| | 0.2 | -0.291 | -0.35 | -0.413 | 1.42 | 1.68 | -0.317 | -0.379 | 1.49 | 1.78 |
| | 0.5 | -0.29 | -0.349 | -0.411 | 1.42 | 1.67 | -0.316 | -0.378 | 1.48 | 1.78 |
| | 1 | -0.288 | -0.347 | -0.408 | 1.42 | 1.67 | -0.314 | -0.375 | 1.48 | 1.77 |
| | 1.5 | -0.287 | -0.344 | -0.405 | 1.42 | 1.67 | -0.312 | -0.372 | 1.48 | 1.76 |
| Ea (kN/mm ²) | 2 | -0.286 | -0.342 | -0.402 | 1.41 | 1.65 | -0.31 | -0.37 | 1.48 | 1.76 |
| | 2.5 | -0.284 | -0.34 | -0.399 | 1.4 | 1.65 | -0.308 | -0.367 | 1.47 | 1.76 |

(b) 界面の付着せん断力

| | | τ_{yz} (N/mm ²) | | | | | | | | |
|--------------------------|------|----------------------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|
| 速度 V (km/h) | | 0 | 60 | | | | 80 | | | |
| 摩擦係数 μ | | 0 ₀ | (a) 0.5 | (b) 0.8 | 倍率 | | (a) 0.5 | (b) 0.8 | 倍率 | |
| | | | | | (a)/0 ₀ | (b)/0 ₀ | | | (a)/0 ₀ | (b)/0 ₀ |
| ヤング係数 | 0.05 | 0.163 | 0.249 | 0.312 | 1.73 | 2.17 | 0.235 | 0.298 | 1.82 | 2.31 |
| | 0.1 | 0.163 | 0.249 | 0.312 | 1.73 | 2.17 | 0.235 | 0.298 | 1.81 | 2.29 |
| | 0.2 | 0.163 | 0.249 | 0.312 | 1.73 | 2.17 | 0.235 | 0.297 | 1.81 | 2.28 |
| | 0.5 | 0.165 | 0.249 | 0.311 | 1.7 | 2.13 | 0.235 | 0.297 | 1.79 | 2.27 |
| | 1 | 0.167 | 0.249 | 0.31 | 1.68 | 2.09 | 0.235 | 0.295 | 1.75 | 2.2 |
| | 1.5 | 0.169 | 0.249 | 0.309 | 1.66 | 2.06 | 0.235 | 0.294 | 1.73 | 2.16 |
| Ea (kN/mm ²) | 2 | 0.171 | 0.249 | 0.307 | 1.64 | 2.02 | 0.235 | 0.293 | 1.7 | 2.12 |
| | 2.5 | 0.173 | 0.249 | 0.306 | 1.62 | 1.99 | 0.235 | 0.292 | 1.68 | 2.09 |