# 間隙水圧が劣化床版に及ぼす影響の解析的検討

国土開発センター正会員○横山広東京都正会員関口幹夫大阪工業大学正会員堀川都志雄

# 1. 目的

道路橋床版の疲労による劣化過程は既往の研究により解明されており、水の影響により疲労耐久性が大幅に低下することが明らかとなっている。また、床版上面の砂利化にも水が密接に関与していることが指摘されており、実橋床版でも砂利化している部分が湿潤状態にあることが殆どである。しかしながら、水がどのように影響しているかの検討は少なく、耐久性を検討するうえで課題となっている。そこで本研究では、M. A. Biotによる圧密方程式を用いて床版の劣化部分を模擬した範囲に作用する間隙水圧の影響を把握する。

### 2. 圧密方程式による解析手法

含水のある物質に載荷する時、発生する直応力 $\sigma$ は物質の骨組みに作用する有効応力 $\sigma'$ と間隙水圧pの和で表され、次のような式で示される。ただし、せん断応力 $\tau$ には水圧は関与しない。

$$\sigma = \sigma' + p \tag{1}$$

式(1)を考慮した全応力のつりあい式から、例えばx方向では以下のような有効応力と水圧に分離される式で誘導される.

$$\partial_{x}\sigma_{x}' + \partial_{y}\tau_{xy} + \partial_{z}\tau_{yz}' + \partial_{x}p + X = 0$$
 (2)

ここで、 $\partial_x = \partial/\partial x$ 、 $\partial_y = \partial/\partial y$ 、 $\partial_z = \partial/\partial z$ 、X; x 方向の物体力の成分

すなわち、水圧 p の勾配は物体力に相当していることが判る.これは温度による応力問題を物体力として検討する際の Duhamel の類似と同様である $^{1}$ ).また骨組みに関する Hooke の法則は次のように示される.

$$\sigma_{x}' = \lambda e' + 2\mu \varepsilon_{x}', \quad \tau_{xy}' = \mu \gamma_{xy}', \quad \tau_{xz}' = \mu \gamma_{xz}'$$
 (3)

ここで、 $e' = \partial_x u' + \partial_x v' + \partial_z w'$ ;体積ひずみ、 $\lambda$ ,  $\mu$ ; ラメの定数

式(3)を式(2)に代入すれば、有効応力に関する Navier の式が得られる. 一方、水流の連続式は Darcy の法則から得られ、3 次元体の場合には次式となる.

$$\partial_{t}(\partial_{x}u' + \partial_{x}v' + \partial_{z}w') - C\Delta p = 0 \tag{4}$$

ここで、 $C = k/\gamma_w$ 、k ; 透水係数、 $\gamma_w$  ; 水の単位質量

式(4)には体積ひずみが水圧の式に混入するため、Navierの式と共に連成系を構成することになる。これらの式は M.A.Biot によって提案されたものである。 定常状態時を想定すれば式(4)は分離され、水圧 p が  $\Delta p=0$  を満足するように水圧 p を決定すればよい。 この時の水圧 p の版厚方向の分布は、 z の一次関数となる.

$$p = p_a z + p_b \tag{5}$$

本研究では、雨水で満たされたポットホールのような劣化部位に輪荷重が作用する場合を考える。水圧の大きさは輪荷重 (100kN で載荷形状  $200\times500mm$ ) の面圧  $1.0N/mm^2$  とする。これらを多層版に適用する場合、

各層の上下面での水圧の大きさを決定して計算を実行する. 結果として, 舗装と上鉄筋の被り部まで劣化部分や ひび割れが存在する場合には, その層には Biot の式を適 用し, 上鉄筋よりも下位の床版部には通常の Navier 式を 用いることになる.

表-1 計算に用いた物性値

材料	ヤング係数 (kN/mm²)	ポアソン比
アスファルト舗装 (冬季を想定)	2.0	0.4
コンクリート床版	14.0	0.2

キーワード 道路橋床版, ひび割れ, 砂利化, 圧密方程式, 間隙水圧

連絡先 〒924-0838 石川県白山市八束穂3丁目7番地 (株)国土開発センター TEL076-274-8816

### 3. 計算モデル

計算モデルは図-1 に示すような四辺単純支持の舗装を有する 2.50m×5.00mの床版で,物性値は表-1 に示すとおりである. コンクリートのヤング係数は引張無視の状態を考慮している. コンクリートの劣化部分は版中央に設定し、その形状は 100mm×100mm (CASE1) ならびに 500mm×500mm (CASE2) の 2 種類とし、上縁から床版内の 20mm深さまでの範囲で水圧を作用させるものとした.

## 4. 計算結果

荷重作用位置中心に局所的(100mm×100mm)に水圧を 作用させた CASE1 での床版内に発生する版厚方向の横せ ん断応力の分布を図-2に示す. 図によれば床版中心から 50mm 離れた位置, すなわち水圧が作用する領域の端部に おける横せん断応力の分布は、その領域の床版内部に位 置する境界で大きなピークが発生している. その値は 0.64N/mm<sup>2</sup>であり、荷重端部でのピーク値 0.45N/mm<sup>2</sup>の約 1.4 倍となっている. 図には水圧の作用が無い場合の計算 結果を破線で示しており、水圧の有無による影響が無視 できないことが理解できる. 図-2 で判るように水圧作用 に加えて荷重端でも横せん断応力が大きくなることから, 水圧作用範囲を CASE2 の 500mm まで拡大して水圧の作用 端と荷重作用端を一致させた場合の計算結果が図-3であ る. この場合にはピーク値がさらに大きくなり, 1.04N/mm<sup>2</sup>となっている. 横せん断応力に関する制限値は 規定されていないが、防水層における付着せん断応力の 規格値 $^{2}$ である 0.  $2N/mm^{2}$ を大きく超過していることから、 ひび割れの発生や進展によりさらに劣化範囲が拡大され ることが推察される.

### 5. まとめ

本研究では、床版の劣化部分に水圧が作用した場合を模擬した計算で、内部の横せん断応力の分布を解析的に検討した。適用した解析手法は3次元弾性論に基づく厳密な理論であり、既往の研究でその妥当性を確認している。計算の結果、水圧が作用する端部、すなわち水分で満たされた劣化部分と健全な部分との境界では大きな横せん断応力が発生することが認められた。よって、床版上縁の砂利化には水分の影響が大きく、輪荷重の繰り返し作用による疲労劣化と相乗することによって、耐久性が大幅に低下することが予想される。

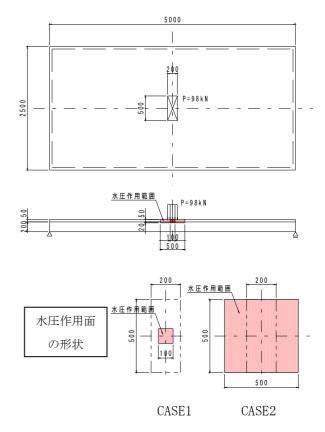


図-1 計算モデル

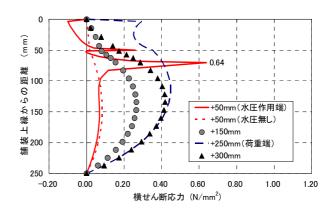


図-2 CASE1の横せん断応力

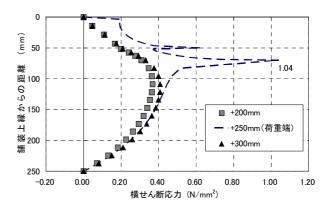


図-3 CASE2の横せん断応力

### 参考文献

- 1) 横山広ほか:温度負荷を受ける多層版の変位関数の開発とその応用について,構造工学論文集 Vol. 57A, pp. 1346-1353
- 2) 道路橋床版高機能防水システム委員会: 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 2005.9.