

コンクリート舗装の剛比半径の考察

国土交通省国土技術政策総合研究所 正会員 ○坪川 将丈

1. はじめに

コンクリート版の応力・たわみの算出手法の研究成果として最も有名なのは、Harold Malcolm Westergaard が 1920 年代以降に提案した Winkler 基礎モデルによる載荷公式である。Westergaard はコンクリート版の解析に繰返し出現する長さの次元を有する項を剛比半径 l と定義したが、本邦の各種文献では、剛比半径について「荷重分散の程度を表す指標」と言及されているのみであり、剛比半径が具体的にどのような長さであるかを解説した文献が見当たらない。

Westergaard の原著¹⁾を確認したところ、載荷中心からの距離に応じた無次元化たわみ $w \cdot K \cdot l^2/P$ 及び無次元化曲げモーメント M/P の分布図を示していた。中央部載荷時（集中荷重）の概略が図-1 であるが、無次元化曲げモーメントは載荷中心から $1l$ の位置で 0、 $2l$ の位置で負の最大値であることを示している。そこで、Westergaard の原著を参考に剛比半径の特性を考察した。

2. 弾性基礎モデルによる検証

多層弾性解析プログラム GAMES を用い、弾性基礎モデルにおけるコンクリート版の応答を確認した。解析条件を表-1 に示す。解析値の整理では、Winkler 基礎モデルにおける剛比半径ではなく、弾性基礎モデルにおける剛比半径を用いて無次元化した。接地半径を 40mm とし、コンクリート版厚、コンクリートと路盤の弾性係数を変化させた場合の無次元化たわみ $w \cdot E_s \cdot l_s/P$ と曲げモーメント M （版下面の半径方向応力に $h^2/6$ を乗じて算出）を図-2 及び図-3 に示す。パラメータを変化させても分布は一致し、載荷中心から $1l_s$ 及び $2l_s$ の位置で曲げモーメントはそれぞれ 0、負の最大値となる。すなわち、剛比半径は「載荷中心」から「たわみの変曲点の位置」及び「曲げ応力が 0 となる位置」までの距離に相当すると考えられる。ただし、図-4 及び図-5 に示すように、剛比半径に比して接地半径が大きくなると、載荷重近傍の分布は一致しなくなる。ここでは省略するが、これらの傾向は Winkler 基礎モデルにおける解析でも同様であった²⁾。

3. 荷重分散範囲の考察

コンクリート版下の路盤上面において、図-6 のように載荷中心から半径 R の円形範囲を「荷重分散範囲」と定義し、荷重分散範囲内の路盤鉛直応力 q と細分化した面積から算出した合計路盤反力 F_s を載荷重 P で除した路盤反力比 F_s/P を図-7 に示す。これによれば、荷重分散範囲の半径 R を剛比半径で表せば、コンクリート版厚等を変化させた場合でも荷重分散範囲内の路盤反力比は一定であり、 $R = 1l_s$ の荷重分散範囲では載荷重 P の概ね 36%、 $R = 2l_s$ の範囲では載荷重 P の概ね 77%、 $R = 3l_s$ の範囲では概ね載荷重に相当する路盤反力を負担していることとなる。ここでは省略するが、接地半径が大きくなると路盤反力比は若干低下するものの、前述の比率は概ね 30、70、100%程度と考えてよいことがわかった²⁾。

4. おわりに

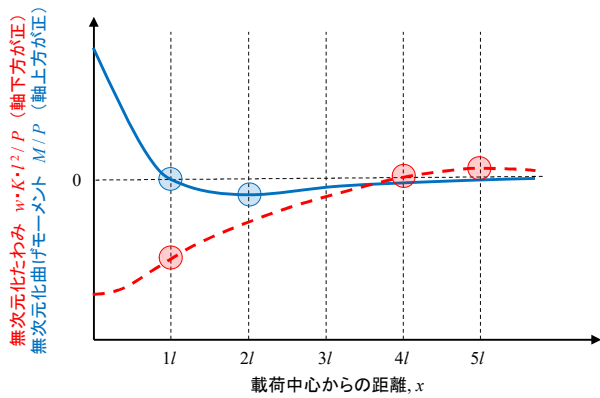
当該報告の詳細は参考文献²⁾に記している。この文献には、土木学会舗装標準示方書に掲載されている載荷公式（Westergaard の研究成果に由来する応力式・たわみ式）の由来について、Westergaard や他の研究者の研究成果を基に整理した結果も掲載している。

参考文献

- 1) Westergaard, H.M.: Stresses in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analyses, Public Roads, Vol.7, No.2, 1926.
- 2) 坪川将丈：コンクリート舗装の Westergaard 載荷公式及び剛比半径の考察，国土技術政策総合研究所資料 No.12XX, 2022.

キーワード Westergaard, 剛比半径, コンクリート舗装

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 tsubokawa-y92y2@mlit.go.jp

図-1 Westergaard による分布図¹⁾

パラメータ		設定値
P	: 載荷重 (B747-400 の輪荷重)	227,500 N
E	: コンクリートの弾性係数	25,000, <u>35,000</u> , 45,000 N/mm ²
h	: コンクリート版厚	250, <u>350</u> , 450 mm
μ	: コンクリートのポアソン比	0.15
E_s	: 路盤の弾性係数	100, <u>300</u> , 500 N/mm ²
h_s	: 路盤厚	無限大
μ_s	: 路盤のポアソン比	0.35
r	: 載荷重の接地半径	<u>40</u> , 200, 500, 1000 mm
l_s	: 弾性基礎モデルの剛比半径	$= \sqrt[3]{\frac{E \cdot h^3 \cdot (1 - \mu_s^2)}{6 \cdot E_s \cdot (1 - \mu^2)}}$
コンクリート版と路盤の層間すべり率		0.99

表-1 解析条件 (下線部は標準設定値)

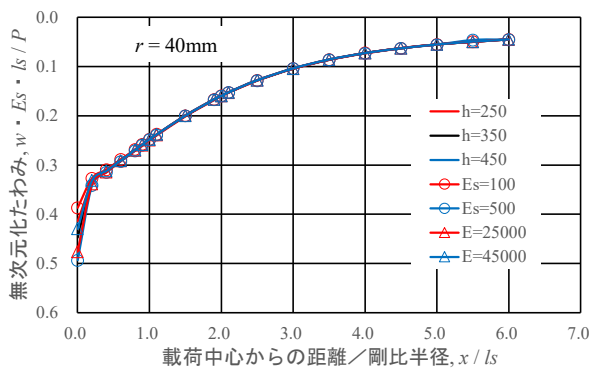


図-2 無次元化たわみ分布 (接地半径 40mm)

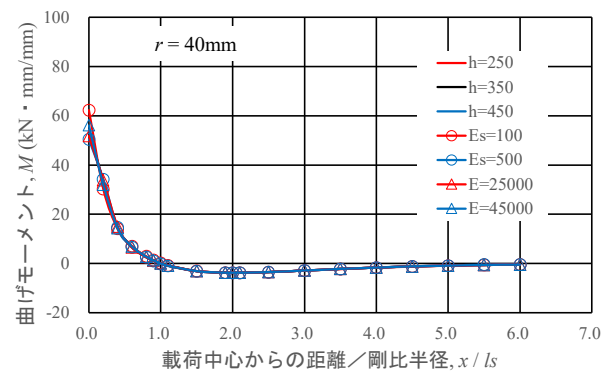


図-3 曲げモーメント分布 (接地半径 40mm)

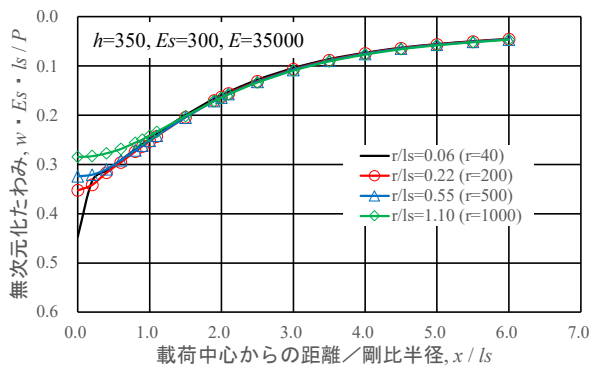


図-4 無次元化たわみ分布 (接地半径変化)

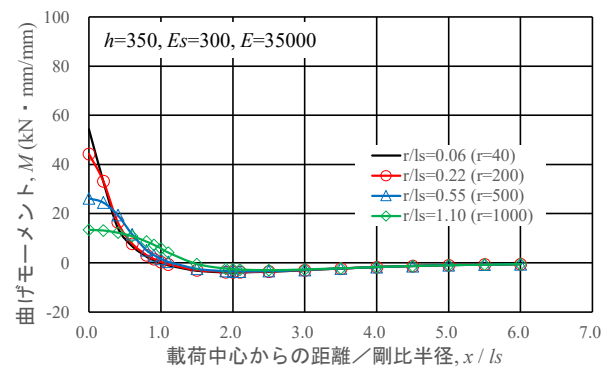


図-5 曲げモーメント分布 (接地半径変化)

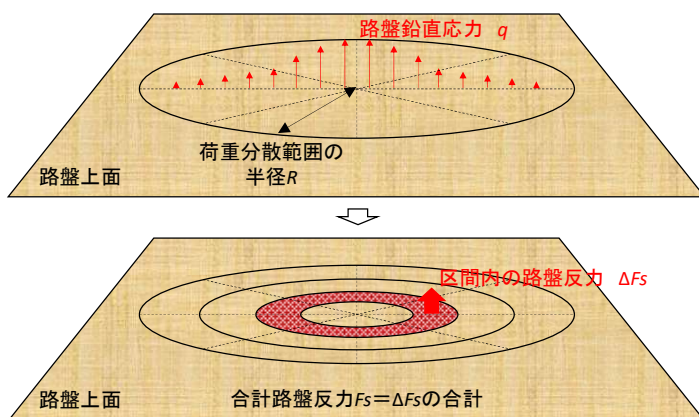


図-6 合計路盤反力の算出方法

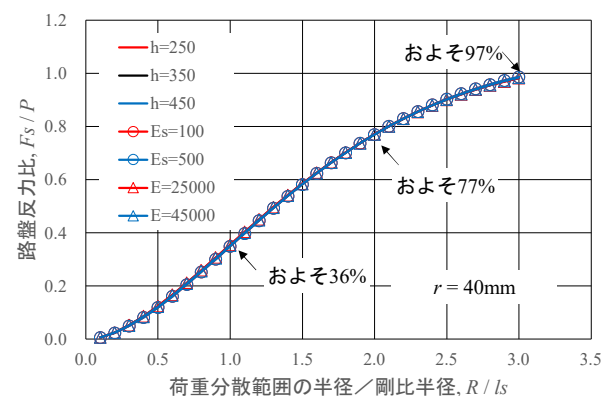


図-7 荷重分散範囲の半径と路盤反力比