

コンクリート舗装における層弾性係数推定方法に関する研究

東京農業大学 地域環境科学部 正会員 竹内 康
国立石川高専 環境都市工学科 正会員 西澤辰男
東京農業大学 地域環境科学部 正会員 小梁川雅
長岡技術科学大学 建設系 正会員 丸山暉彦

1.はじめに 1997 年に建設省土木研究所で実物大コンクリート舗装を用いた静・繰返し載荷実験が実施された。筆者らは、この実験結果から載荷によって路盤面に残留変形が生じ、これによる路盤支持力の低下がコンクリート版の疲労破壊を促進させることを示した。このことから、コンクリート舗装の設計において路盤面の残留変形を評価する必要があると考えられるが、路盤面の残留変形を考慮する場合、路盤以下の層を連続体として捉え、載荷に伴って生じる応力状態を知る必要がある。これに関しては、路盤以下を Burmister の多層弾性構造として捉えるのが良いと考えられる。ところが、コンクリート舗装を多層弾性体として解析した例は少なく、層弾性係数の推定方法も明確に示されていないのが現状である。そこで、本研究ではコンクリート舗装における路盤以下の層弾性係数の推定方法を提案し、実験結果による検証を行うことを目的としている。

2.既往の研究成果の適用性に関する検討 コンクリート舗装の路盤厚の設計は、路床面と路盤面での実測 K 値から、 k_1/k_2 を求めて行われている。したがって、路盤および路床の弾性係数を推定するには、測定された荷重強さと変位から直接的に求められる K 値を利用するのが良いと考えられる。これに関して、舗装の路盤と路床の弾性係数を K 値から求める試みは、植下¹⁾や須田ら²⁾によって行われてきたが、これらの方法の適用性を検討した例はない。そのため、図-1 に示す路盤以下の構造を用いてこれらの推定方法の適用性に関する検討を行った。なお、 E_f , ν_f は路盤以下を単層と見なした場合の等価弾性係数、等価ポアソン比を示している。

植下の方法では、 $\nu_1=\nu_2=0.5$ とし、 E_1 , E_2 を求めるものであるが、解析にあたっては、 E_1 層の圧縮変形を無視し、 E_1 層表面の荷重強さと変位量の関係は E_2 層表面の結果と等しいとしている。したがって、 E_2 層の弾性係数

が大きくなるほど誤差が大きくなり、実用的ではない。

また、須田らの方法は、 $\nu_1=\nu_2=0.5$ とした 2 層系の Burmister 式を用い、(1)式に示すように E_1 層上での k_1 と E_2 層上での k_2 の比と変位係数 F の関係から E_1, E_2 を導くものである。

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{1}{F} \quad (1)$$

ここで、 F は Barber による簡易式を用いて求められたものである。このことから、層弾性理論に基づいた須田らの方法を用いるのが妥当であると考えられるが、須田らは Barber の簡易式の適用性について検証を行っていない。そこで、簡易式の検証を行うためにたわみ性平板の変位式に F を用い、多層弾性理論 (ELSA) による解との比較を行った。なお、検証にあたって、 F を求めるための簡易式として Barber の簡易式と Odemark の簡易式を用い、45 種類の h_1 , E_1 , E_2 の組合せについて計算を行った。その結果、図-2 に示すように Barber の計算結果よりも Odemark の結果の方が ELSA の結果と良く一致していることがわかった。このことから、須田らの方法に準拠して層弾性係数を推定するためには、Odemark の簡易式を用いて計算をし直す必要があることがわかる。

また、路盤および路床のポアソン比は、0.5 ではないことは、周知のことである。そのため、Odemark の簡易式においてポアソン比の変化を考慮する必要がある。そ

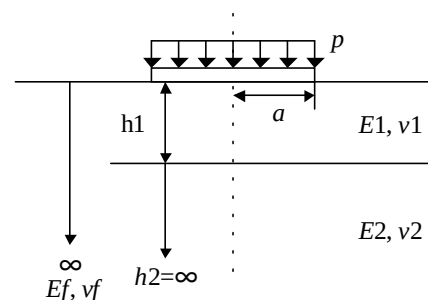


図-1 検討に用いた構造

Key Words：コンクリート舗装, Burmister 理論, 層弾性係数

連絡先：〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 TEL：03-5477-2342 FAX：03-5477-2620

ここで、E1 層と E2 層の相対剛比を f として、(2)式に示すように求めた。

$$F = \frac{1}{\sqrt{1+n1^2\left(\frac{h1}{a}\right)^2}} f^{\frac{2}{3}} + \frac{1}{f} - \frac{1}{f \cdot \sqrt{1+n2^2\left(\frac{h1}{a}\right)^2}} \quad (2)$$

ただし、 $f = \frac{E1(1-\nu2^2)}{E2(1-\nu1^2)}$

次に、(2)式の妥当性を検証するために、405 種類の $h1$, $E1$, $\nu1$, $E2$, $\nu2$ の組合せについて計算を行い、ELSA の計算結果との比較を行った。この結果も簡易式を比較した場合と同じく、図-2 に示した。ただし、 F は $n1=n2=1.0$ として計算した。この結果からわかるように、(2)式による結果は ELSA の計算結果と良く一致しており、簡易式として十分な精度を有しているといえる。したがって、(1)式の F を(2)式で計算することで、ポアソン比の変化を考慮した層弾性係数の推定ができると考えられる。

セメントコンクリート舗装要綱では、実験結果に基づいた $k1/k2$ と路盤厚の関係を用いて、路盤厚さを決定している。したがって、路盤以下各層の弾性係数を求める場合、 $k1/k2$ が既知であれば $h1$ を求めることができる。また、図.1 に示した等価弾性係数 Ef と 2 層構造の各弾性係数との間には、円形平板のたわみ式を介すると次の関係が得られる。

$$\frac{1-\nu f^2}{Ef} = \frac{1-\nu2^2}{E2} F \quad (3)$$

したがって、各層のポアソン比を仮定し、 Ef が求まれば各層の弾性係数を求めることができる。須田らは、 Ef を求める際に実測した路盤 K 値を用いているが、本研究では Vesic らによって求められた(4)式を用いて等価弾性係数を算出することとした。

$$K_{75} = 0.91 \cdot \frac{1}{hc} \cdot \sqrt[3]{\frac{1-\nu c^2}{(1-\nu f^2)^4}} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_f^4}{E_c}} \quad (4)$$

ここに、 K_{75} :路盤 K 値(=K₃₀/2.2), hc :コンクリート版厚, $E_c, \nu c$:コンクリートの弾性係数, ポアソン比

3.推定方法の検証 コンクリート舗装の設計は、自由縁部での応力解析に基づいて行われている。そのため、自由縁部におけるたわみ、曲げ応力の解析結果と実測結果の比較を行った。なお、実測結果は、1997 年に土木研究所で行われた载荷実験結果を利用した。また、力学解析は、Huang によって開発された平板 FEM プログラム

KENSLABS を用いて行った。解析条件を表-1 に、実測データとの比較結果を図-3 に示す。なお、 $Ef=84.7N/mm^2$, $\nu f=0.4$ とし、路床上での K30 は、CBR から飯島ら³⁾による実験結果を基に算出した。

図-3 に示すように、実測データと解析データは良く一致していることがわかる。このことから本推定方法は、コンクリート舗装を多層弾性体として解析する上で有効な手法であると考えられる。

表-1 FEM 解析に用いた主な材料特性値

材料	パラメータ	
コンクリート	厚さ (mm)	160
	弾性係数 (N/mm ²)	31392
	ポアソン比 (-)	0.2
路盤	K値 (N/mm ³)	0.183
	厚さ (mm)	600
	弾性係数 (N/mm ²)	120.8
路床	弾性係数 (N/mm ²)	26.9
	ポアソン比 (-)	0.4

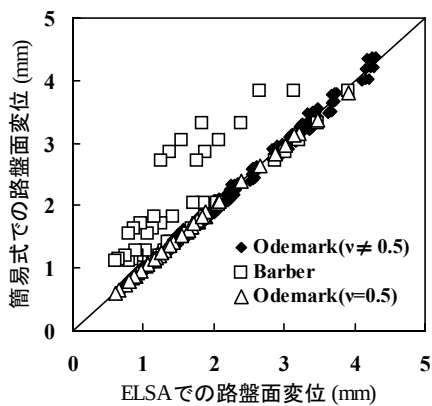


図-2 簡易式での計算結果と ELSA の計算結果の関係

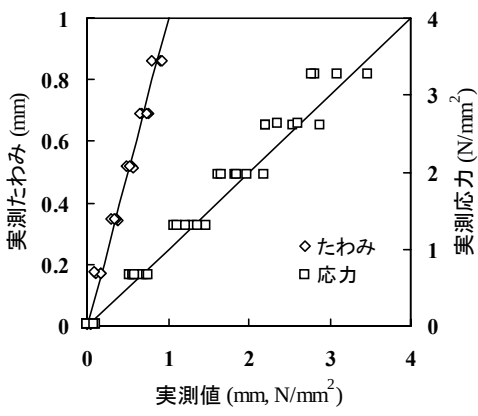


図-3 実測データと解析データの比較結果

1) 植下：平板载荷試験結果から舗装各層の変形係数を計算する方法、舗装、Vol.6, pp.13-15, 1971 2) 須田,佐藤：多層系路盤面上におけるK値の推定方法に関する研究、港湾技術研究所報告、第11巻、第1号、pp107-150, 1972 3) 飯島,岡村：コンクリート舗装の路盤厚さに関する2, 3の検討、土木技術資料26-4, pp.37-42, 1984