

コンクリート舗装設計における路盤・路床レジリエントモジュラスの適用性に関する一検討

東京農業大学大学院 学生会員 ○毛 世華

東京農業大学 正会員 竹内康, 小梁川雅, 岡澤宏

1. はじめに コンクリート舗装設計における路盤厚の設計は、土木研究所によって示された K 値に基づいた路盤厚設計曲線もしくは多層弾性理論を用い、路盤上で所定の支持力が得られるように決定されることになっている¹⁾が、殆どの場合には路盤厚設計曲線を用いて決定されている。しかし、路盤厚設計曲線に記載されていない材料を使用する場合には、多層弾性理論によって路盤厚を決定する必要がある。

路床・路盤材料の変形特性は、小型 FWD 試験などの屋外載荷試験や繰返し三軸圧縮試験などの室内試験により求めることができる。しかし、これらの試験によって求められた路床・路盤材料の変形特性は、ひずみレベルや応力レベルによって変化する。すなわち非線形性を有するため、荷重条件、材料条件が同じであっても舗装厚が変われば異なった値を示すこととなる。そのため、多層弾性理論において路床・路盤の弾性係数を決定する際には、載荷時のひずみレベルもしくは応力レベルを考慮することで、より合理的な結果が得られるものと考えられる。これに関して竹内ら²⁾は、レジリエントモジュラス(M_r)を用いた非線形弾性解析に関する国内外の研究成果を整理し、多層弾性理論を用いた簡易な非線形弾性解析手法について検討している。しかし竹内らの研究成果は、実験的に検証されていない。そこで本研究では、土木研究所に施工した実大コンクリート舗

装の路盤・路床材の M_r 測定結果を用いて竹内らの提案した非線形弾性解析を行い、同舗装で実施した FWD 試験を再現することで、コンクリート舗装における M_r の適用性について検討したので報告するものである。

2. 実験概要 土木研究所に施工した実大コンクリート試験舗装は図-1 に示す通りで、クラッシュラン路盤上にコンクリート版が施工され、アスファルト中間層の有無を考慮した全 11 工区で構成される。FWD 試験の載荷重は 98kN で、各工区の中央部でたわみを測定した。FWD 試験は、施工直後から定期的に実施し、現在まで計 10 回の測定を行っている。測定に際しては、版上下の温度差が生じていない、つまり温度によるそり変形が生じていないことを確認しているが、季節が異なっていることによる影響を考慮し、本研究では、10 回の平均値を採用した。また、路床、路盤材料の M_r 測定結果は図-2 に示すとおりである。

3. 多層弾性理論による非線形弾性解析 路盤・路床 M_r を表す回帰モデルはいくつがある。その中、 K - θ モデルが一般的に多く用いられているが、図-2 に丸で囲んだ路床 M_r 結果からわかるように異なる応力状態に伴い、 M_r の変化に及ぼす影響が顕著である。これに対し

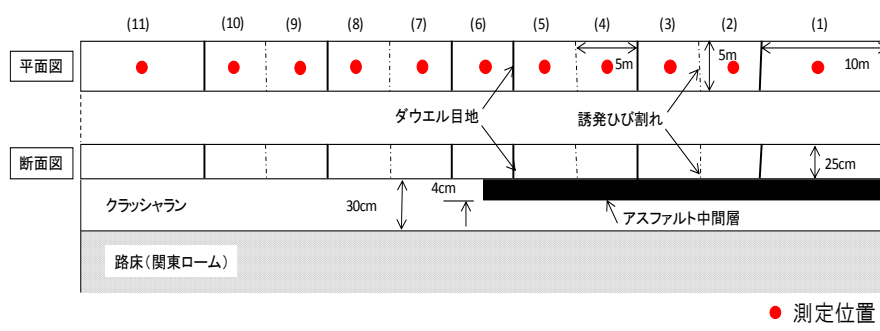


図-1 実大コンクリート舗装の概要及び載荷位置

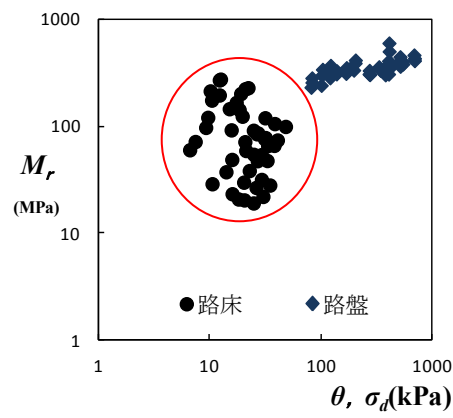


図-2 繰返し三軸圧縮実験結果

キーワード コンクリート舗装, 非線形弾性係数, レジリエントモジュラス, 一般化モデル

連絡先 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学地域環境科学部 TEL 03-5477-2334

て、竹内らは、式(1)に示している米国の力学的・経験的舗装設計ガイド (MEPDG) で示されている非結合材料の M_r を表す一般化モデルの精度がよく応力変動に対応していることを示した。本研究での M_r は、MEPDG 一般化モデル及び多層弾性理論プログラムを用いて竹内らにより提案した非線形弾性解析方法により M_r を算出した。具体的には、以下のような計算プロセスとなる。なお、一般化モデル利用する際に必要となる材料定数は、常用対数を用いた重回帰分析により求め、材料定数一覧表を表-1 に示す。

- 1) 自重による計算着目点の応力を算出し、載荷前の M_r を求め、これを多層弾性理論プログラムの各層の弾性係数の初期値として入力。なお、計算および解析に用いる材料条件は図-3 に示す。
- 2) 載荷時の応力解析を行い、計算着目点の応力を求める。そして、手順 1)と同様に M_r を求め、プログラムに入力する。なお、計算着目点は図-3 に示す通り、路盤面から路盤厚の 30%の点と、路床面から 0.1m の点とした。なお、路盤内の計算着目点は、Huang の研究成果より引用した。
- 3) 手順 2)と同じ手順で計算を行い、求めた M_r が手順 2)の値と乖離した場合にはこれをプログラムに入力し、 M_r の変動が収束するまで繰返し計算を行う。

算出した路盤・路床弾性係数を 3D-FEM プログラムに入力し、実大舗装の構造に従って表面のたわみを算出した。なお、アスファルトの弾性係数は FWD 試験で測定した舗装温度データを用いて舗装設計便覧に記載されている温度と弾性係数の関係を用いて計算した値をとった。

解析したたわみと FWD 試験で測定したたわみを比較し、結果を図-4 に示す。グラフから、解析たわみと実測たわみに差は見られなく、よく一致したことがわかった。

4. まとめ 本研究では、非線形弾性係数算出法を用いて弾性係数を求め、3D-FEM によりたわみを解析し、FWD 試験での実測値と比較したことで、実験的に非線形弾性係数算出法の適用性を確かめた。このことから、室内実験による土質舗装材料の非線形レジリエントモジュラスをコンクリート舗装の構造設計に利用できると考えられる。

$$M_r = k_1 \cdot Pa \left(\frac{\sum \theta}{Pa} \right)^{k_2} \left(\frac{\sum \tau_{oct}}{Pa} + 1 \right)^{k_3} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 $k_1 \sim k_3$ ：材料定数、 θ ：主応力和

$$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \gamma \cdot z(1 + 2K_0)$$

$$\sigma_d = \sigma_1 - 0.5(\sigma_2 + \sigma_3) + \gamma \cdot z(1 - K_0)$$

σ_d ：偏差応力、 γ ：単位体積重量

σ_1, σ_3 ：最大主応力，最小主応力

K_0 ：土圧係数（路盤で 0.6，路床で 0.8）

z ：応力算出点までの深さ，

Pa ：大気圧（＝101.3kPa）

τ_{oct} ：八面体せん断応力（主応力下では $\sqrt{2}\sigma_d/3$ ）

表-1 算出した材料定数

		路盤材	路床材
材料定数	k_1	2.4564	2.1202
	k_2	0.1522	0.4253
	k_3	0.1636	-6.016

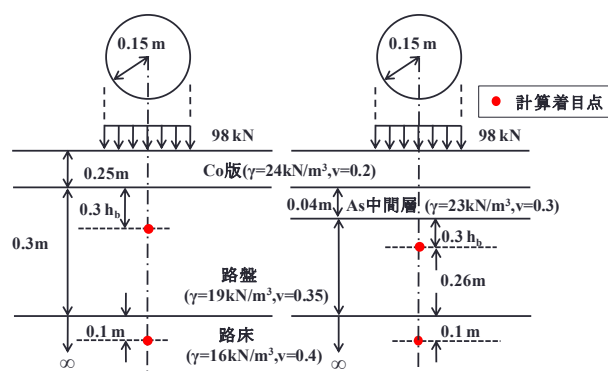


図-3 解析に用いた舗装構造と材料条件

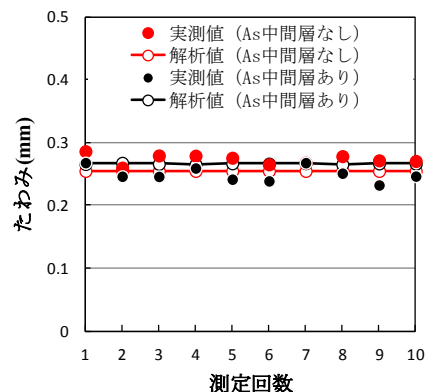


図-4 実測値たわみと解析値たわみの比較

参考文献 1)土木学会：コンクリート標準示方書[舗装編]，pp205～206，2002年版。2)竹内康・木幡行宏・関根悦夫：室内実験結果を用いたアスファルト舗装の路床の弾性係数算出法の検討，土木学会論文集E1（舗装工学），投稿中。

