

FWD によるコンクリート舗装の構造評価に関する研究

福島県	正会員	村上由貴
東京農業大学	正会員	竹内 康
東京農業大学	正会員	小梁川雅
東京農業大学	正会員	牧 恒雄

1.はじめに FWD 試験結果を設計法へフィードバックする場合、逆解析により地盤の解析パラメータを推定する必要がある。現在のコンクリート舗装の設計法で主に用いられているバネ地盤モデルであれば、推定する解析パラメータは K 値となるが、Vesic ら¹⁾はバネ地盤で算出されるたわみが弾性地盤モデルでの結果と異なることを指摘している。竹内ら²⁾は、路盤以下を単層および多層の弾性地盤で計算されるたわみが実測値とよく一致することを確認している。また、将来的に日本のコンクリート舗装の設計法は多層弾性理論を用いて行われるであろうことから、コンクリート舗装の FWD たわみの逆解析は、アスファルト舗装と同様に多層弾性地盤モデルでおこなう必要があると考えられる。

そこで、本研究では FWD 試験の逆解析方法について検討し、コンクリート舗装の構造評価手法を提案することを目的としている。そこで、実物大コンクリート舗装での FWD によるたわみ測定データおよび静載荷試験結果、路盤材料の繰返し三軸試験結果を用いて、主に応力レベルでの逆解析結果の検討を行った。使用したデータは、1997年8月に建設省土木研究所（当時）内の図-1に

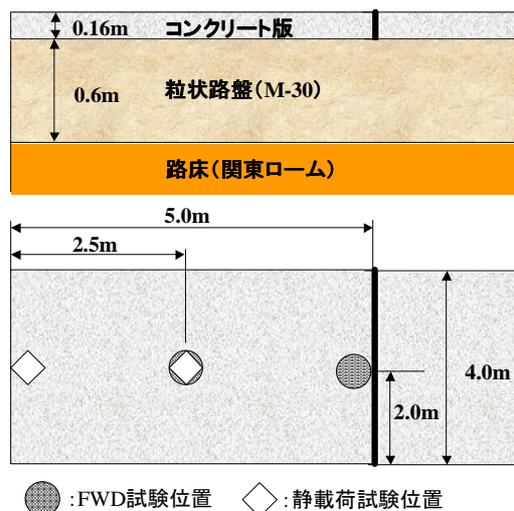


図-1 試験区の概要

示す実物大試験舗装を対象に行なわれたコンクリート版中央部、横目地部での FWD 試験結果ならびに中央部と自由縁部での静載荷試験結果である。

2.FWD たわみの逆解析 FWD たわみデータの逆解析には、BALM'99³⁾を使用した。FWD たわみから逆解析により層弾性係数を推定するにあたって、コンクリート版のそり変形が逆解析結果に与える影響を検討するために、表-1に示す2つの解析条件で逆解析をおこなった。ひとつは、全ての層弾性係数を推定する逆解析（以下、 E_c 変動）であり、他方は、コンクリート版弾性係数を実測値に固定し、それ以外の層弾性係数を推定する逆解析（以下、 E_c 固定）である。

3.逆解析結果の検討 それぞれの解析条件の妥当性を検討するため、式(1)に定義される相対剛比について検討をおこなった。相対剛比は、温度差がない場合の路盤、路床の層弾性係数を用いて算出し、平板載荷試験結果をもとに算出した相対剛比（実測値）と比較した。

表-3に示したように、 E_c 固定条件での相対剛比は、実測値とよく一致した。

$$f = E1(1-\nu_2^2) / E2(1-\nu_1^2) \quad (1)$$

ここに、 $E1$ 、 $E2$ ：路盤、路床の弾性係数（MPa）

1、2：路盤、路床のポアソン比（=0.4）

表-1 逆解析条件

載荷荷重	49kN	
載荷半径	150 mm	
コンクリート版	弾性係数	34300 MPa
	ポアソン比	0.2
路盤	弾性係数	200 MPa
	ポアソン比	0.4
路床	弾性係数	50 MPa
	ポアソン比	0.4

表-2 路盤、路床の相対剛比

	E_c 変動	E_c 固定	実測値
相対剛比 f	2.60	4.31	4.50

Key Words：コンクリート舗装，構造評価，FWD，逆解析，弾性係数初期値，レジリエントモジュラス

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

次に、この E_c 固定条件の逆解析結果を用いて、AAMES⁴⁾によりコンクリート曲げ応力を算出したところ、およそ 1.9MPa であった。一方、実測 K 値を用いて Westergaard の応力式から推定される値は 2.3MPa となった。よって、 E_c 固定条件での逆解析結果は、路盤、路床の剛性の割合を正しく評価しているものの、粒状材料の粘性に起因する速度依存性により、その剛性自体は高く見積もられていると考えられる。

4.FWD 試験の速度効果 逆解析結果の速度効果を考慮する場合、推定された層弾性係数を何らかの形で低減する必要があると考えられる。そこで、温度差がない E_c 固定条件下の層弾性係数に対して 1.0 から 0.1 まで 0.1 ずつ変化させた低減係数を乗じ、応力レベルおよび荷重伝達率の検討をおこなった。

(1) コンクリート版曲げ応力による検討

それぞれ低減係数を乗じた層弾性係数を用いて、コンクリート版自由縁部の曲げ応力を推定し、静載荷試験結果と比較した。比較結果を図-2 に示す。図-2 が示すように、低減係数 0.3 を乗じた場合の曲げ応力は実測値とよく一致した。

(2) 繰返し三軸試験結果による検討

試験区に使用した路盤材料の繰返し三軸試験結果から求めたレジリエントモジュラス (M_R) の回帰式 (2) を用いて、低減係数を乗じた層弾性係数と比較した。なお、主応力和は、逆解析結果を用いて AAMES により路盤中央部の鉛直方向ならびに水平方向応力を求めて算出した。図-3 は、主応力和を縦軸に、層弾性係数および M_R を縦軸にとり、両対数のグラフで示したものである。図-3 が示すように、低減係数 0.3 を乗じた層弾性係数は、 M_R の回帰式とよく一致した。

$$M_R = 405.98\theta^{0.5083} \quad (2)$$

ここに、 M_R : レジリエントモジュラス (MPa)

: 主応力和 (= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (MPa)

以上のことから、 E_c 固定条件の逆解析結果に対して、単に低減係数を乗じることで、FWD 試験の速度効果を解消することが可能であると判断された。

(3) 荷重伝達率による検討

低減係数 0.3 を乗じた層弾性係数を用いて、3D-FEM⁵⁾により横目地部の荷重伝達率を推定し、横目地部での FWD たわみから算出される荷重伝達率 (実測値) と比較した。その結果、低減係数 0.3 での荷重伝達率は 93.9%、

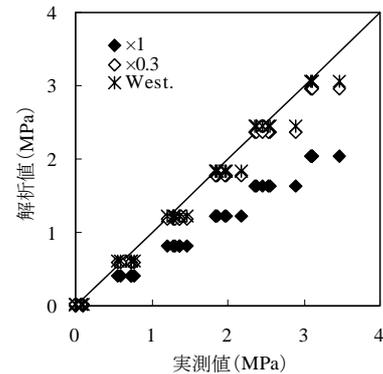


図-2 自由縁部の曲げ応力

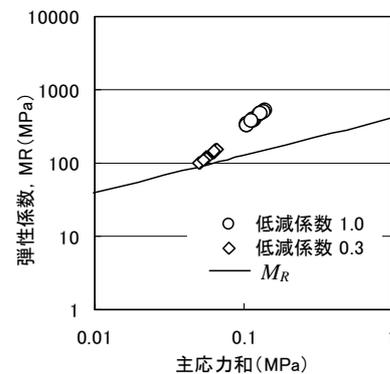


図-3 M_R , 層弾性係数と主応力和の関係

実測値は 92.2% となり、その差は 1.7% 程度であった。このことから、横目地部における荷重伝達率に関して、FWD 試験の速度効果は殆ど影響がないと判断された。

5.まとめ コンクリート舗装における FWD たわみの逆解析は、コンクリート版の弾性係数を固定しておこない、こうして推定された逆解析結果を設計法へフィードバックするにあたっては、速度効果の影響を考慮する必要があるといえる。しかしながら今後は、様々な舗装構造や粒状路盤材料の試験データを蓄積して行く必要がある。

参考文献

- 1) Vesic, et. al.: Analysis of structural behavior of AASHO road test rigid pavements, NCHRP Report97, 1970.
- 2) 竹内康 他: コンクリート舗装における路盤 K 値と弾性係数の換算式に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.669/V-50, 2001.
- 3) 黒林功, 松井邦人, 井上武美, 董勤喜: 静的逆解析によるアスファルト舗装の構造評価診断システムの開発, 土木学会第 55 回年次学術講演会概要集, 2000
- 4) 山峰明哲, 山本和也, 松井邦人: 軸対象多層弾性構造の解析ソフト AMES の開発, 土木学会第 54 回年次学術講演会概要集, pp.404-405, 1999
- 5) 西澤辰男: 3次元 FEM に基づいたコンクリート舗装構造の解析パッケージの開発, 土木学会論文集, No.683/V-52, 2000