

IV-137 舗装構造の力学的調査

一穴あけベンケルマンビーム試験結果の解析法一

名古屋大学工学部 正員 植下 協
名古屋大学大学院 学生員 ○玉 野 富 雄
株式会社 正員 深 貝 一 仁

1 ま え が き

アスファルトコンクリート舗装の力学的設計は、現在の日本道路協会アスファルト舗装要綱によれば、路床土の設計CBR、交通条件、舗装材料のアスコン等値厚などによりおこなう。このようなCBR設計法に対し、舗装構造が交通条件に十分耐えうるものかどうかを能率的に調べる方法としてベンケルマンビーム試験による舗装設計法、検査法も各国で大いに研究され、この方法による設計法を採用している国も多い。

ベンケルマンビーム試験による舗装設計法は、舗装表面のたわみが疲労破壊を生じない程度に小さいものであるような舗装構造を作ることであり、その構造設計には弾性理論が援用されることになる。

弾性理論により、設計段階で舗装表面のたわみ量を推定するためには、路床ならびに舗装各層の弾性係数を知る必要がある。これらの弾性係数は、舗装各層材料のアスコン等値換算係数を知るためにも利用されている。

弾性係数を知るためには、個々の材料から供試体を作って、室内試験的に調査するのも一つの方法であるが、現地に施工した舗装上で、平板載荷試験またはベンケルマンビーム試験で評価するのがより实际的であると考えられる。平板載荷試験から舗装各層の弾性係数を求める方法については、筆者の一人がすでに報告した。¹⁾それに対し、穴あけベンケルマンビーム試験による舗装各層の弾性係数測定法については、吉兼・植下が報告している²⁾が、解析法について、厳密弾性理論との比較が未完了であったことなど不安な点があった。この点を再検討したので、以下に報告するが、吉兼・植下の解析法は妥当なものであると判断できた。

2 穴あけベンケルマン

ビーム試験について

穴あけベンケルマンビーム試験は、1960年にD. Walkerら³⁾が試みているが、当時の解析法は、Boussinesq理論を用いたものであった。その後吉兼らが、しばしばこの方法で測定を重ねている。

穴あけベンケルマンビーム試験は、舗装にタイヤ荷重が載ったときに、

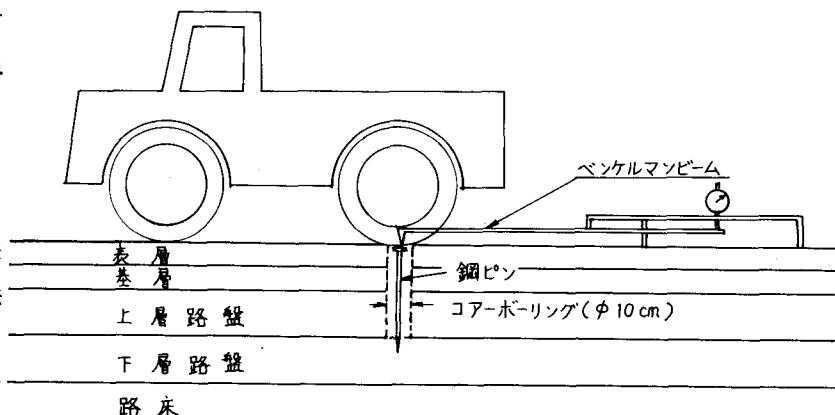


図-1 穴あけベンケルマンビーム試験概念図

舗装の各深さでどのような変位が生じているかを、孔底に打ち込んだ鋼ビンの頭をベンケルマンビームの測点とし、孔底の変位を計測することによって弾性理論に役立つデータを得ようとするものである。

図-1は穴あけベンケルマンビーム試験の概念図を示している。穴あけベンケルマンビーム試験はコアカッターで直径10cmの穴をあけるだけで、舗装厚の確認と、供試体の採取をかねておこなうことができる。また実際に供用中の状態に最も近い形で舗装材料の弾性係数を計測しうるのが特徴である。

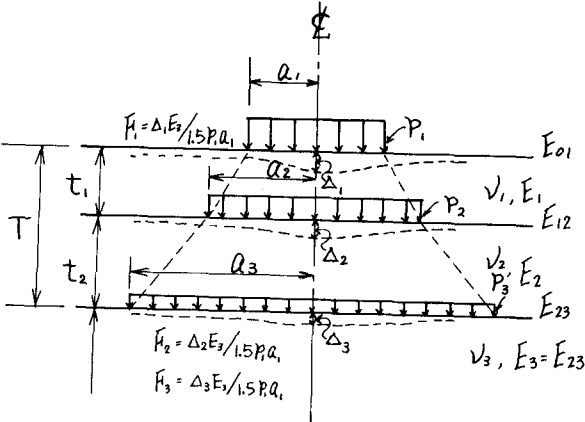


図-2 三層系における穴あけベンケルマンビーム試験の解析法

3 穴あけベンケルマンビーム試験結果の解析例

穴あけベンケルマンビーム試験は、前節で述べたように、舗装構造の力学的調査法として優れたものであるが、その方法は次のようである。

ここでは図-2に示すような三層系に対する解析法を示す。計測によって得られるデータは、 $p_1, a_1, t_1, t_2, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ である。計算順序は、まず、 $E_{01} = 1.5 p_1 a_1 / \Delta_1 \dots\dots\dots (1-1)$ より E_{01} を求める。次に、以下 $(n-2) \sim (n-6)$ の計算値を $n = 1, 2$ の場合に対しておこなう。

$$E_n = \frac{1.5 p_n a_n}{\Delta_n - \Delta_{n+1}} \left\{ 1 - \frac{1}{[1 + 0.9^2 (\frac{t_n}{a_n})^2]^{1/2}} \right\} \dots\dots\dots (n-2) \quad E_{n,n+1} = \frac{1.5 p_n a_n}{\Delta_{n+1}} \cdot \frac{1}{[1 + 0.9^2 (\frac{t_n}{a_n})^2 (\frac{E_n}{E_{n,n+1}})^2]^{1/2}} \dots\dots\dots (n-3)$$

$(n-3)$ 式を解くために、最初、右辺の $E_{n,n+1}$ に $E_{n-1,n}$ の値を入れ、次式が満足されるまで繰返し計算をおこなう。

$$a_{n+1} = \frac{1.5 p_n a_n^2}{\Delta_{n+1} \cdot E_{n,n+1}} \dots\dots\dots (n-5)$$

$$p_{n+1} = p_n \frac{a_n^2}{a_{n+1}^2} \dots\dots\dots (n-6)$$

$$\left| \frac{(E_{n,n+1})_m - (E_{n,n+1})_{m-1}}{(E_{n,n+1})_m} \right| < 0.01 \dots\dots\dots (n-4)$$

N層問題に対しても、 $t_1, t_2, \dots\dots, t_N, a_1, p_1, \Delta_1, \Delta_2, \dots\dots, \Delta_N$ を用いて、 $(n-2) \sim (n-6)$ 式の計算を $n=1$ から $n=N-1$ まで繰返し計算すれば、 $E_{01}, E_{12}, \dots, E_{N-1,N}, E_1, E_2, \dots, E_N, p_1, p_2, \dots, p_N, a_1, a_2, \dots, a_N$ が求まる。

4 Odemark法の検討

前述したOdemark法は、その式に含まれる修正係数を $n=0.9$ とすると二層系の変位係数がBurmisterの厳密解とよく一致することが知られている。また筆者の一人は、三層系についても、Odemark法がよい近似値を与えることを報告している。^{4,6)}しかし、これらの比較は、第一層に対するものであるので、さらに第二層、第三層についても厳密解と比較しOdemark法の精度を検討する必要がある。その検討について以下に述べる。また同時にわが国でよく用いられている上田法⁵⁾についても検討を加えた。

図-2に示すような三層弾性体各層の変位係数 F_1, F_2, F_3 の厳密計算をおこなった。詳しい計算法については、参考文献(6)のAppendixを参照されたい。

厳密計算の計算パラメーターは、次の
 とうりである。

$$E_1/E_2 = 2, 10, 100, \quad T_a = 0.5, 1, 2$$

$$E_2/E_3 = 2, 10, 100, \quad t_1/T = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1$$

図-3は、各パラメーターの組合せに
 対する F_1, F_2, F_3 の計算結果の一例を示した
 ものである。

また、修正係数 n を $0.8, 0.85, 0.9,$
 0.95 に変化させて、Odemark 法で $F_1, F_2,$
 F_3 の計算をおこなった。その結果 $n=0.9$
 の場合が最も厳密解にあってることが
 わかった。

$n=0.9$ の Odemark 法、それに上田法に
 よる計算結果と厳密解を比較したものが
 表-1 である。それによると Odemark 法
 が厳密解とよく一致しているのがわかる。

このことより穴あけベンケルマンビーム試験の解析に Odemark 法を用いることの妥当性が認められ
 た。

5 穴あけベンケルマンビーム試験の考察

穴あけベンケルマンビーム試験による解析例として名四国道試験舗装の測定値を利用した。上層路
 盤の部分を試験層として、15種類の上層路盤が用いられている。

前述した Odemark 法で解析した例を図-4に示す。また上田法でも同様な解析をおこない Odemark
 法との比較を E_1 を例に表-2に示した。表-2より上田法は、Odemark 法に比べ過大な値を与えてい
 ることがわかる。

名四国道試験舗装の結果より、試験層の弾性係数は、アスファルト安定処理、セメント安定処理、
 水硬スラグ、石灰安定処理の順に大きく、特にアスファルト安定処理の荷重分散効果の有効性が認め
 られる。

表-1 厳密解、Odemark 法、上田法の比較 $\left[T_a = 2, \left(\frac{E_1}{E_2}, \frac{E_2}{E_3} \right) = (2, 10) \right]$

厚さ比 t_1/T	厳密解			Odemark 法			上田法		
	F_1	F_2	F_3	F_1	F_2	F_3	F_1	F_2	F_3
0.0	0.3062	0.3062	0.2550	0.3013	0.3013	0.2499	0.3035	0.3035	0.2261
0.2	0.2940	0.2956	0.2429	0.2976	0.2946	0.2549	0.3335	0.3223	0.2718
0.4	0.2769	0.2721	0.2324	0.2783	0.2689	0.2502	0.3408	0.3141	0.2973
0.6	0.2600	0.2505	0.2256	0.2595	0.2435	0.2363	0.3071	0.2723	0.2688
0.8	0.2463	0.2245	0.2122	0.2422	0.2207	0.2185	0.2606	0.2219	0.2215
1.0	0.2303	0.2010	0.2010	0.2264	0.2007	0.2007	0.2221	0.1812	0.1812

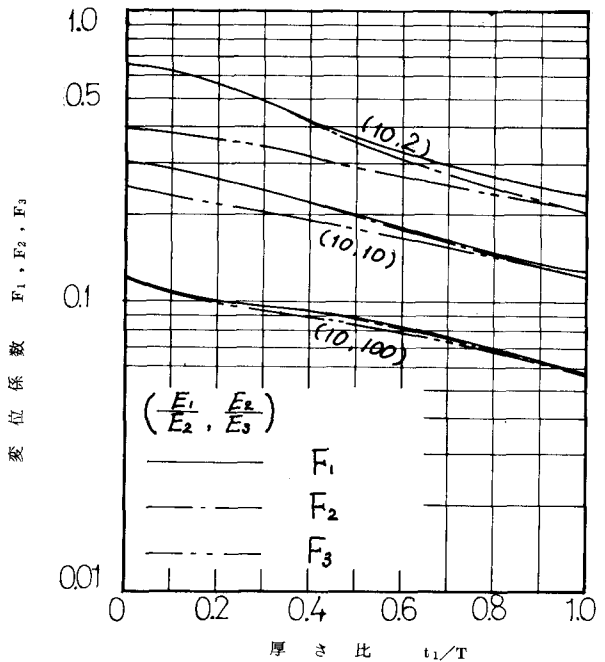


図-3 三層系変位係数 ($T_a = 2$)

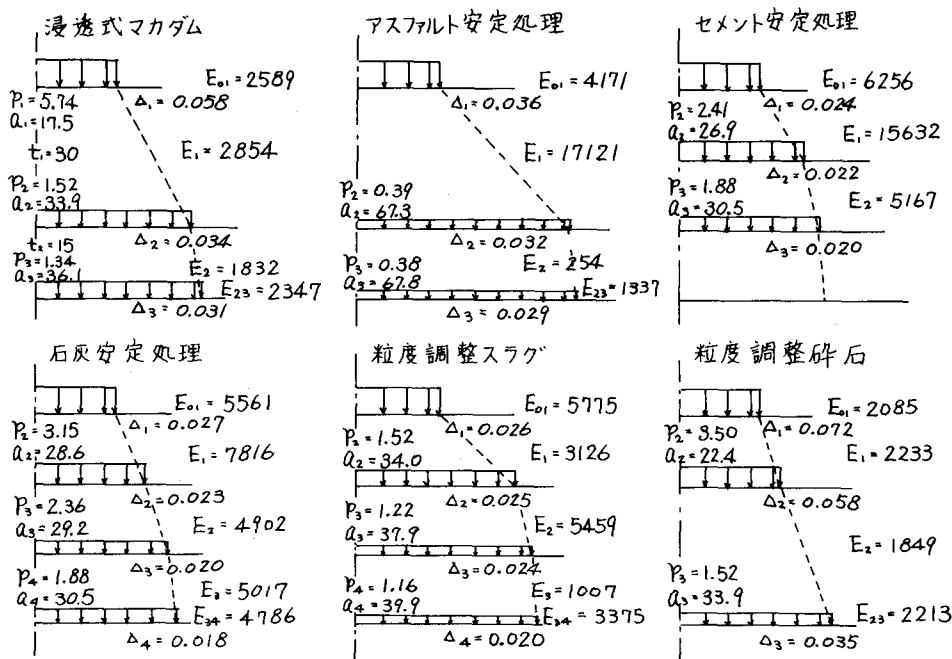


図-4 Odemark法による解析結果例

6. む す び

この報告では、穴あけベンケルマンビーム試験が、舗装を力学的に評価する有効な方法であることを示し、その解析法について述べた。

解析に用いたOdemark法は、修正係数 $n = 0.9$ とした場合、厳密解とよく一致し、近似解法として、精度のよいものであることがわかった。

7. 参 考 文 献

- 植下 協：平板載荷試験から舗装各層の変形係数を計算する方法，舗装，6,1,(昭和46.1)pp.13-15
- 吉兼・植下：新しい計測法を利用したベンケルマンビーム試験による舗装構造の解析，第10回日本道路会議一般論文集，昭和46年，pp.111-112
- D. Walker他：Significance of Layer Deflection Measurements, Highway Research Board, Bulletin321,1962
- 植下 協：舗装構造の力学，道路建設，第240号，昭和43年1月，pp.59-63
- 土質工学会編：土質工学ハンドブック，技報堂，1965年，pp.787-pp.790
- K. Ueshita and G.G. Meyerhof：Deflection of multilayer soil systems, Proc. ASCE, Vol. 93, No. SM5, September 1967, pp. 257-282.

表-2 Odemark法と上田法の E_1 の計算による比較

解析法	Odemark法	上田法
浸透式マカダム	2854	5650
アスファルト安定処理	17121	29800
粒度調整スラグ	3126	9000
粒度調整碎石	2233	2600
セメント安定処理	15632	41400
石灰安定処理	7816	15800

(単位 Kg/cm^2)