

コンクリート舗装の路盤効果についての現場実験

東北大学工学部 正員 福田 正
 シ シ オ 遠藤成夫
 シ 学生員 山崎和夫

1. はじめに

コンクリート舗装版の曲げ応力の計算に対して、今日広く用いられている Westergaard の式は、舗装構造を「弾性支承上の板」として解析している。この場合、路盤の力学的効果は、弾性支承のパネ定数の改良、すなわち舗装版の鉛直変位に対する抵抗の増加として考慮される。これに対して、舗装体を「層構造をなす連続体」として解析するとき、境界条件のとり方によって、路盤の力学的効果は「版の鉛直変位に対する抵抗」と共に、「版の水平変位に対する抵抗」をも考慮する事ができる。両抵抗を考慮した場合を“粗”の境界面、前者のみを考える時を“滑”の境界面とすれば、Westergaard の解は“滑”の仮定である。境界面の“粗、滑”が版の曲げ応力に及ぼす理論的影響については、筆者の一人が既に報告している⁽¹⁾。

筆者等は、建設省東北地方建設局仙台工事事務所との共同研究の一部として、国道四号線槻木バイパスに施工された試験舗装区間において、載荷試験を実施する機会を得た。本報告は、静的な載荷試験の結果と三種の理論値を比較し、走行荷重による動的載荷試験結果を報告し、考察を加えたものである。

2. 層構造理論による解析法の概略

図-1 に示されるような層構造の応力状態は、三つの変位関数 (ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3) を用いて表現される。

ここに $\phi_i(r, z)$ は次式で表わされる関数である。

$$\phi_i(r, z) = \int_0^{\infty} \{ E_i (A_i + B_i z) e^{-\lambda_i z} + (C_i + D_i z) e^{-\lambda_i z} \} J_0(\lambda_i r) d\lambda_i \quad (1)$$

i ; 何層目かを示す添字

A_i, B_i, C_i, D_i は境界条件より定まる係数であり、 E_i の関数である。各層の応力成分は ϕ_i を用いて

$$\sigma_{ri} = 2G_i \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \lambda_i^2 \phi_i - \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial r^2} \right\} \quad (2)$$

$$\sigma_{\theta i} = 2G_i \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \lambda_i^2 \phi_i - \frac{1}{r} \frac{\partial \phi_i}{\partial r} \right\} \quad (3)$$

$$\sigma_{zi} = 2G_i \frac{\partial}{\partial z} \left\{ (2 - \nu_i) \lambda_i^2 \phi_i - \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial z^2} \right\} \quad (4)$$

$$\tau_{rz i} = 2G_i \frac{\partial}{\partial z} \left\{ (1 - \nu_i) \lambda_i^2 \phi_i - \frac{\partial \phi_i}{\partial r} \right\} \quad (5)$$

ここに $G_i = \frac{E_i}{2(1 + \nu_i)}$ E_i ; ヤング係数

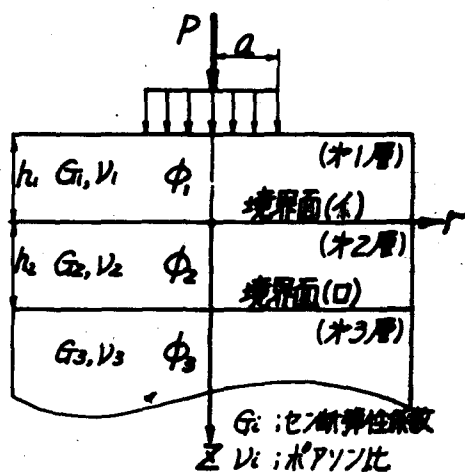


図-1 三層構造

と表わせる。変位に関しても同様である。Burmister⁽²⁾ は同様な関数を用いて、境界条件から直接係数の形を定めているが、著者等は、次のような数値解法を用いた。

(1) 式を、(2)～(5)式に代入すれば、応力成分と変位成分は無限積分の形で得られる。応力計算にあたって、数値積分を実行する際、変位関数の未定係数である $A_i \sim D_i$ を、積分の刻みごとに、境界条件式を解いて求める方法を採用した。この方法によれば、境界面の“粗、滑”は、境界条件の式を多少変更するだけでよく、任意に境界面の状態を想定する事ができる。また任意層数の構造を解析する事も容易である。この計算法の手順は図-2に、概略を示している。

3. 試験舗装および試験法の概略

試験区間は、三種の舗装構成からなっている。図-3にその大要を示した。載荷は、砕石を満載したダンプトラックを使用し、後輪荷重輪とした。舗装版のひずみは、舗装版に埋設されたカーボンひずみ計により検出した。図-4に示されるように、ひずみ計と車輪位置により二種類の載荷方法が用いられている。

載荷試験と平行して行った材料試験から、材料の諸定数を求めてあり、表-1にそれを示した。理論値の計算は、すべてこの試験値を用いて計算している。舗装版とセメント安定処理路盤の弾性係数とポアソン比は、供試体の圧縮試験から求めたものであり、他の路盤、路床材料の弾性係数は、支持力係数(K値)から、弾性理論に基づいて計算したものである。

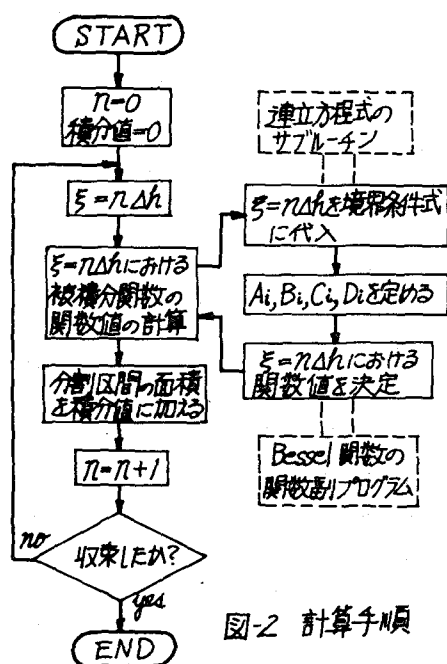
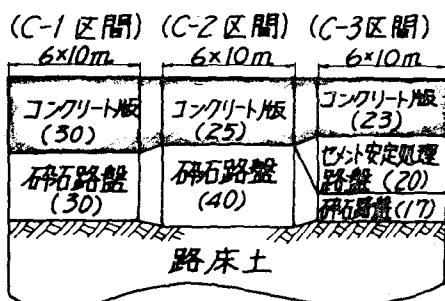


図-2 計算手順



(注) カッコ内の数字は層厚(cm)

図-3 試験区間の舗装構成

表-1 理論値の計算に用いた諸定数

	載荷重の 半径(cm)	路盤の支持力 係数(kg/cm ²)	弾性係数(kg/cm ²)			ポアソン比		
			コンクリート	路盤	路床	コンクリート	路盤	路床
C-1	23	14.9	290,000	1,090	295	0.17	0.5	0.5
C-2	23	13.9	320,000	800	278	0.17	0.5	0.5
C-3	23	19.3	320,000	34,800	480	0.17	0.16	0.5

4. 静的載荷試験と数値計算結果

ひずみ計は、版上面および版下面から2cmの位置に埋設してある。ひずみ分布が、両測定ひずみを結ぶ直線で近似できるとして、版下表面におけるひずみを計算し、応力を求めている。図-5は、測定値と理論値を整理したものであり、すべて輪荷重が8tの場合に換算した応力で示してある。理論値は、いわゆる中央部載荷の場合の数値であり、次に示す三種類の方法で求めている。

すなわち

(I) Westergaard による式

(II) 層構造理論---境界面(I) = “粗”, 境界面(II) = “粗”

(III) “滑”, “粗”

の三つである。

図-5 から次の事が指摘できる。

a) 実測応力の大きさは、C-2 > C-1 > C-3 の順であり、最も版厚の薄い C-3 が小さい。これは、路盤に剛度の高い材料を用いる事が、版の応力減少に大きく寄与する事を示している。

b) 路盤の弾性係数が小さい C-1, C-2 区間では、実測応力が、ある特定の理論値に近いとは言えないようである。

c) 路盤の弾性係数が大きい C-3 区間では、解析法(II)の値だけが、実測値とよく一致し、他の(I)あるいは(II)の解は過大な値を与える。

これらの結果は、境界面での路盤のせん断抵抗が、路盤の力学的効果の重要な部分を占めている事を予想させる。特に、路盤の弾性係数が大なる時に顕著である事を示している。

(版-路盤の境界面での応力に関して)

上に述べたように、版と路盤の境界面を“粗”とする理論値がよく実際の応力と一致する。

しかしながら、境界面を常に“粗”と仮定できるか否かは、境界面でのせん断応力と接触圧との比が、路盤の摩擦係数より小さいか否かに関係する事である。

解析法(II) から、境界面(I) での τ_{xz} , σ_z を求め、鋪装版の自重を考慮する事によって版-路盤の境界において

$$\frac{\text{せん断応力}}{\text{接触圧力}} = \frac{\tau_{xz}}{\sigma_z + w_f h_1} \quad (7)$$

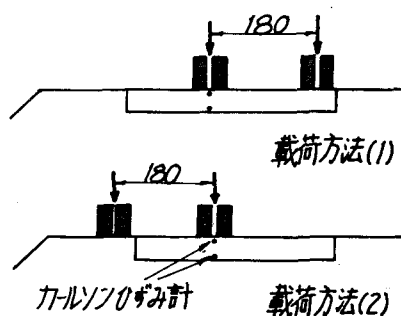


図-4 載荷方法

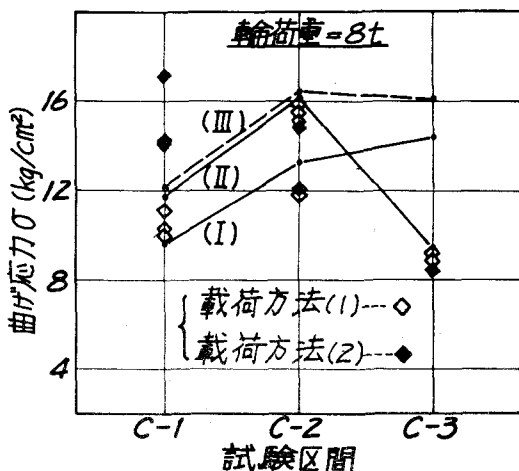


図-5 静的載荷試験結果

が得られる。ここに、 W は、コンクリート版の単位体積重量であり、 h は版厚である。式(7)の値を、境界面(イ)に沿って計算したものが 図-6 である。横軸は荷重中心からの距離であり、三つの場合とも、 $r=50\sim100\text{ cm}$ の付近でピークを示している。C-2、C-3 区間において、路盤摩擦係数を測定した結果、碎石路盤では約 1.2、セメント安定処理路盤では、約 1.1 を得た。この摩擦係数測定試験は作業の都合上、セメント安定処理層施工後 3 日目、コンクリート版材令 1 日で実験したものであり、まだ硬化が十分でない時点であった。しかしながら、図-6 より得られたセー断応力と接触圧力の比は、路盤摩擦係数の実験値を下回っており、更に通常の路盤摩擦係数値(約 1.5~2.0)を考慮すると、版と路盤の境界面は、“粗”であるとして解析するのが妥当と思われる。

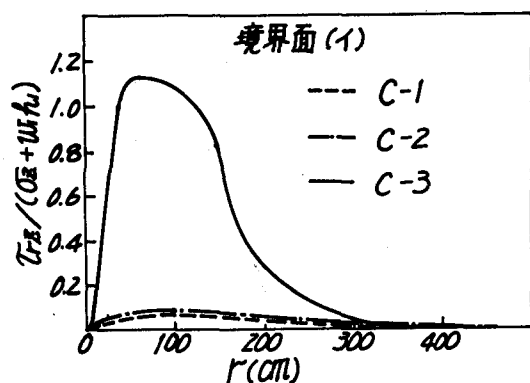


図-6 (セー断応力)/(接触圧力)の分布

5. 走行荷重による動的載荷試験

載荷方法(1)の状態で車両が走行するとき、版下部に埋設されたひずみ計が示す最大ひずみをオシログラフにより記録した。測定されたひずみをプロットし、それぞれの区間の平均値を曲線で結んで整理した結果が図-7 である。どの試験区間においても、走行速度の増加に伴ってひずみの減少する傾向が認められる。舗装構造がかなりの粘性を有している事を示唆し、更に速度が増加すれば、より大きなひずみ減少が生じるであろう事を予想させる。

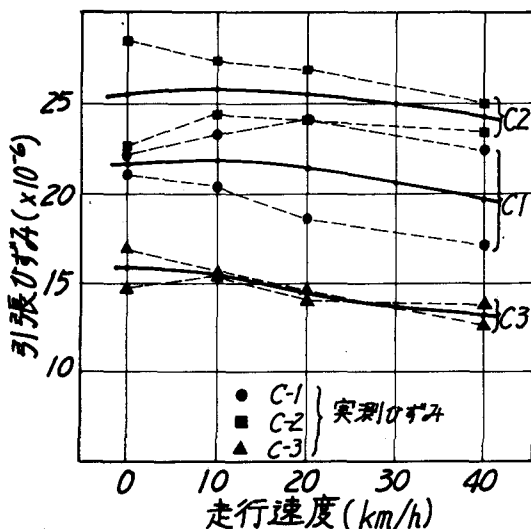


図-7 動的載荷試験結果

参考文献

- (1) 福田 正 “コンクリート舗装の路盤に関する一考察” 土木学会東北支部講演会概要集(1970)
- (2) D. M. Burmister “The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems” J. Appl. Physics, Feb. Mar. May (1945)
- (3) “槻木道路試験報告書オー報” 建設省仙台工事事務所、建設工学研究振興会 (1972)