

1 まえがき

コンクリート舗装の路盤に高級な材料、例えばセメント安定処理等を用いて路盤を強化した舗装構成は、その耐久性が高く評価されている。しかしながら通常コンクリート舗装の設計に用いられている Westergaard 等の理論式によれば、路盤に高級な材料を使用して、K 値（路盤支持力係数）を大きくしても、コンクリート版に発生する応力を減少する効果が小さい。

このようなことから、コンクリート舗装構造の強化は、コンクリート版を厚くすることによって重要な点において考えられてきているようである。

そこで、本報告ではコンクリート舗装をコンクリート版、路盤、路床からなる3層構造と考え、路盤材料が変化した場合に、コンクリート版の曲げ応力に、路盤がどのような影響を及ぼすか Burmister 等の層状理論式によって検討してみた。

2 舗装を3層に考えた場合のコンクリート版の曲げ応力

コンクリート舗装を図-1 のように3層

に考えた場合に、コンクリート版に発生する最大曲げ応力について、次の3通りの式によって計算を行なった。

I Westergaard による式⁽¹⁾

$$\sigma = 1.1(1 + \mu_1) \frac{P}{h_1^2} \left(\log_{10} \frac{l}{b} + 0.268 \right)$$

$$b = \sqrt{1.6a^2 + h_1^2} - 0.675 h_1$$

($a < 1.724 h_1$ の場合)

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_1 h_1^3}{12(1 - \mu_1^2)K}}$$

K = 路盤支持力係数 (kg/cm^2)。通常直径 75 cm 剛性、載荷板で測定された値

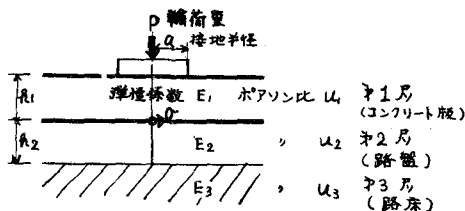


図-1 舗装の構成

II Jeuffroy による式⁽²⁾

$$\sigma = \frac{3P}{\pi a} \int_0^{\infty} J_1 \left(\frac{a}{h_2} x \right) \cdot \frac{\chi(1 + \mu_1) h_1}{h_2^2 \left\{ \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^3 x^3 + \Delta(x) \cdot \frac{E_2}{E_1} \frac{1 - \mu_1^2}{1 - \mu_2^2} \cdot 6 \right\}} dx$$

$$\Delta x = \frac{1 - (G + D + 4x^2)e^{-2x} + DG e^{-4x}}{1 + 4Dx e^{-2x} - DG e^{-4x}}$$

$$C = \frac{E_3}{E_2} \frac{1 + \mu_2}{1 + \mu_3}$$

$$D = \frac{1 - C}{1 + C(3 - 4\mu_2)}$$

$$G = \frac{(3 - 4\mu_3) - C(3 - 4\mu_2)}{3 - 4\mu_3 + C}$$

J_1 : ノー種ベッセル関数

Ⅲ Burmister による式⁽³⁾

$$\sigma = \frac{P}{2\pi a} \int_0^\infty \frac{1}{k_1} J_1\left(\frac{a}{k_1}x\right) \{ \Delta_1(x) + \Delta_2(x) + (1 + 4\mu_1)(\Delta_3(x) - \Delta_4(x)) \} dx$$

$\Delta_1(x)$, $\Delta_2(x)$, $\Delta_3(x)$, $\Delta_4(x)$: 各層の弾性係数, ポアソン比, 厚さ, x による関数
(式省略)

コンクリート舗装を設計する場合、通常はコンクリート版の応力はⅠまたはこの系統に属する式によって求めている。式中の K 値はこの報告の計算では Burmister による式を用いた。

$$K_d = \frac{E_2}{1.5a} \frac{1}{F_w}$$

$$F_w = \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{h_2}{a} \right)^2 \left(\frac{E_2}{E_3} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}^{\frac{1}{2}}} + \frac{E_3}{E_2} \left\{ 1 - \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{h_2}{a} \right)^2 \left(\frac{E_2}{E_3} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}^{\frac{1}{2}}} \right\}$$

a : 載荷板の半径 (cm)

K_d : 載荷板直径 d による K 値 ($d = 2a$)

Ⅱ 及び Ⅲ は、舗装の各層が弾性的性質をもった 3 層構造として解かれたものであるが、コンクリート版と路盤の境界面の条件を、Ⅱは絶縁された状態であり、Ⅲはこれら 2 層が境界面で膠着された状態であることを条件としている。換言すれば、Ⅱは路盤摩擦係数がゼロの状態であり、Ⅲは路盤摩擦係数が路盤材料の内部摩擦係数に等しい状態と言える。

表-1 は、図-2 に示す舗装の条件の場合のコンクリート版に発生する応力を、Ⅱ及びⅢによって計算した結果である。それぞれの理論上の根拠が、コンクリート版と路盤との接触面でのこう束条件を自由と考えている英で同じであるので、路盤材料の弾性係数が大きくなってもコンクリート版の応力があまり減少しない傾向は同じようである。

表-1 コンクリート版に発生する曲げ応力の計算例

E_2 (kg/cm ²)	300	1,000	3,000	10,000	30,000
k_{VS} (kg/cm ²)	5	6	8	10	14
σ (kg/cm ²)					
Iの場合	23.6	23.1	22.6	21.8	20.8
IIの場合	26.3	26.3	26.2	25.8	24.4

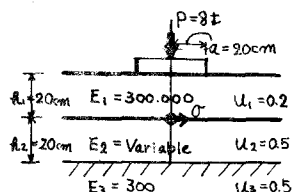


図-2 計算例の舗装構成

図-3 は、図中に示す舗装の条件の場合に、路盤の材料を変えて、その弾性係数が変わった場合のコンクリート版に発生する曲げ応力をⅡ及びⅢによって計算した結果である。路盤の弾性係数(変形係数)は、一般に碎石路盤で 1,000 ~ 5,000 kg/cm², セメントあるいはアスファルト安定処理路盤で、5,000 ~ 30,000 kg/cm² と言われている。

路床の弾性係数は砂質系の路床土を考え、 $E_3 = 300$ kg/cm² とした。

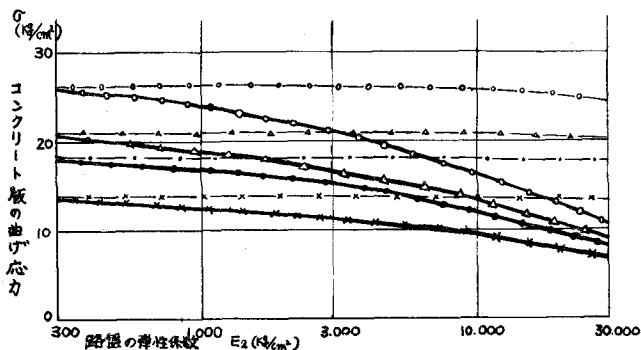
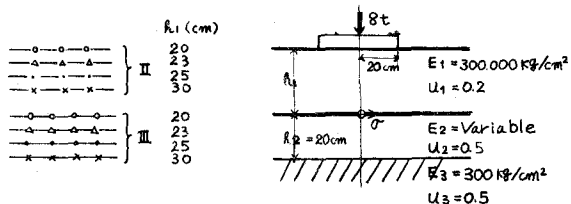


図-3 コンクリート舗装に8t載荷した場合のコンクリート版の曲げ応力

3 路盤の効果について

コンクリート舗装の路盤の目的は、輪荷重の分散のほか、ポンピングによる路床の破壊の防止等の気象条件に対しての効果も、もつものであるが、ここでは輪荷重に対する構造上の効果についてのみを考える。

前にも述べたように、コンクリート舗装の路盤の力学的な強さは、一般にⅠ式の K 値で表わされている。

しかし、Ⅰ及びⅡ式の計算結果でわかるように、路盤面のこう束条件が自由の場合、路盤材料の、弾性係数が大きくなり、 K 値が大きくなっても、コンクリート版の応力減少の効果は非常に小さい。

これに対して 図-3 でわかるように、路盤面がこう束されている場合、路盤材料の高級化にともなうコンクリート版の応力の減少の効果は著しい。

実際には、コンクリート版と路盤面は完全に膠着こう束されてはいないが、絶縁されてもいない。路盤にセメント安定処理を用いたコンクリート舗装が、重交通に対して非常に良い耐久性を示していること、セメント安定処理あるいはアスファルト安定処理路盤の路盤摩擦係数は非常に大きい値であることなどが知られているが、これらの事実からみても、特に安定処理路盤の効果は K 値のみでは表わせないように思われる。

本レポートの計算でⅡ及びⅢの計算は、東北大学大型計算機センターで行なった。

参考文献

- (1) Stresses in Concrete pavements computed by theoretical analysis.
H.M. Westergaard. Public Road. April. 1926
- (2) Note sur le comportement des chaussées.
G. Jeuffroy. Annales des Ponts et Chaussées. N° 3 1959.
- (3) The general theory of stress and displacements in layered systems. D.M. Burmister. Journal of Applied Physics.
Feb. Mar. May 1945.
- (4) 数値計算と FORTRAN 雨宮綾夫, 田口武夫, 丸善