

北海道大学工学部 正会員 斐澤 憲吉
 北海道大学大学院 倉持 賢
 北海道大学大学院 横田 敏幸

1. まえがき

鋼床版の上面には床版を保護し通行車両に快適な走行性を提供する舗装が施される。この舗装体と鋼デッキプレートとは十分な付着をもつように設計施工されるので、舗装は鋼床版と一体となって変形する挙動を示す。ところで、舗装体は一般にアスファルト混合物であり、その力学的性質は粘弾性体で、その性状は、環境、材料、配合、施工などによって影響をうけるとされている。それらの影響因子のうち特に環境に関するものは温度と載荷時間であって、アスファルト混合物はこれらにより著しく変化するレスポンスを示すことが知られている。したがって、走行する車両の車輪荷重(外力)が鋼床版上に作用するとき、舗装体内部に生じる応力とひずみの間の関係は、舗装体の温度と車両の走行速度(載荷時間)によって大きく異なることになる。いま、種々の環境条件における変形係数(応力とひずみの比)の値はアスファルト混合物の実験的研究の中で明らかにされてきているので、各々の場合に対してその環境条件に対応する変形係数を用いることにより、舗装体の変形挙動を組み込んだ鋼床版の解析が可能となる。

この報告は、鋼床版構造の中に生じる応力のうち特に、車輪荷重が作用するとき、アスファルト舗装体と鋼デッキプレートとの間の境界面に生じている応力に関して解析的に明らかにし考察したものである。

2. 二層板と解析理論

二層板 : 異なる弾性的性質を持つ二つの層よりなる平板において、変形時の断面平面保持を仮定して、図1のように座標 x, y, z および変位 u, v, w を定義するとつりあい条件から次の基礎方程式が導かれる。

$$D^* \nabla^4 w = p, \quad B \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{1}{2}(B-B_v) \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{1}{2}(B+B_v) \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} = 0, \quad B \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{1}{2}(B-B_v) \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{1}{2}(B+B_v) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} = 0 \quad \dots(1)_{1,2,3}$$

ここで、 $B = \frac{E_a h_a}{1-\nu_a^2} + \frac{E_s(H-h_a)}{1-\nu_s^2}$, $C = \frac{E_a h_a^3}{2(1-\nu_a^2)} + \frac{E_s(H^3-h_a^3)}{2(1-\nu_s^2)}$, $D = \frac{E_a h_a^3}{3(1-\nu_a^2)} + \frac{E_s(H^3-h_a^3)}{3(1-\nu_s^2)}$

$$B_v = \nu_a \frac{E_a h_a}{1-\nu_a^2} + \nu_s \frac{E_s(H-h_a)}{1-\nu_s^2}, \quad e = \frac{C}{B}, \quad D^* = D - \frac{C^2}{B} = D - eC \quad \dots(2)_{1-6}$$

これらの基礎方程式の級数解は容易に求められ、二層板の剛性マトリックスが誘導される。一方、内部応力のつりあい条件より、 σ_z および τ_{zx} の分布は次式のようにあらわされる。(x は橋軸直角方向)

$$\sigma_{za} = p \left\{ \frac{E_a}{D^*} \left(e \frac{z^2}{2} - \frac{z^3}{6} \right) - 1 \right\}, \quad \sigma_{zs} = p \frac{E_s}{D^*} \left\{ -(H-e) \frac{(H-z)^2}{2} + \frac{(H-z)^3}{6} \right\} \quad \dots(3)_{1,2}$$

$$\tau_{za} = \frac{E_a}{1-\nu_a^2} \left[\frac{\partial}{\partial x} (\nabla^2 w) \left(\frac{z^2}{2} - ez \right) - \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{1-\nu_a}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{1+\nu_a}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} \right) z \right]$$

$$\tau_{zs} = \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \left[\frac{\partial}{\partial x} (\nabla^2 w) \left\{ \frac{(H-z)^2}{2} - (H-e)(H-z) \right\} + \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{1-\nu_s}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{1+\nu_s}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} \right) (H-z) \right] \quad \dots(4)_{1,2}$$

ここで、添字 a, s はそれぞれアスファルト層、鋼デッキプレート層の応力であることを示し、両式は互いの境界面で一致する。

解析理論 : 二層の境界面に生じる応力(図2)のうち σ は(3)式から計算されるが、 τ の解析には折板構造解析理論を用いた。鋼床版を板要素に分割し、デッキプレートは二層板として、また閉リブ、主桁の腹板と底板は単層板の剛性マトリックスを用い

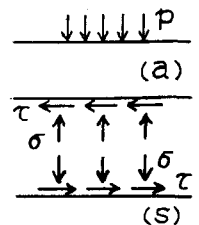
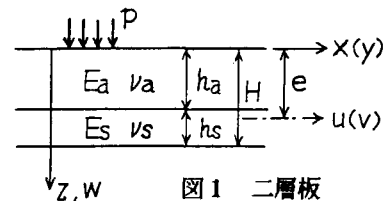


図2 境界面の応力

て立体的に解析し各板要素内部の変位を求めた後、 τ の分布を計算した。

3. 解析結果と考察

解析においては、鋼層の材料定数を $E_s=2\,100\,000\text{ kgf/cm}^2$ 、 $\nu_s=0.3$ 、アスファルト層では $\nu_a=0.35$ とし、変形係数 E_a についてはその変動領域を十分に考慮した。境界面に生じる垂直応力 σ の大きさをその表面の分布荷重強度に対する割合として示すと表1のようになる。また、境界面に生じるせん断応力 τ については、まず解析した鋼床版の中間主桁の近傍の断面を図3に示す。橋軸方向には横リブ間隔 $L=2500\text{mm}$ のスパンで単純支持とした。荷重は複輪荷重として $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ の面状に分布する荷重を2つ並列にスパン中央でかつ主桁をはさむ位置に作用させ、荷重総和は $8t_f$ である。主桁と縦リブとの間隔は $b=150\text{mm}-300\text{mm}$ の各場合を考え、さらに、主桁の剛性が ∞ と考えられるときの解析も行った。それらの解析により得られた τ の分布より最大値を求めてまとめると表2のようになる。（表2には、図3に示したような対称な載荷位置のほかに、非対称な載荷の場合の解析結果についても記入してある。）

表2によれば、舗装体の変形係数 E_a が大きい場合に境界面には大きなせん断応力 τ が生じることになるが、その τ の大きさには限度があることがわかる。そして、主桁と縦リブとの間隔 b が大きくなるほど、また主桁の剛性が大きくなるほど、 τ の大きさの限度は大きな値であることがわかる。その τ の限度の大きさは、各々の場合に対して、およそ 12kgf/cm^2 から 20kgf/cm^2 のようである。

$E_a(\text{kgf/cm}^2)$	σ/p
(2 100 000)	(0.046)
100 000	0.113
30 000	0.144
10 000	0.214
3 000	0.387
1 000	0.623
300	0.840

表1 二層の境界面における σ
($h_a=80\text{mm}$, $h_s=12\text{mm}$ の場合)

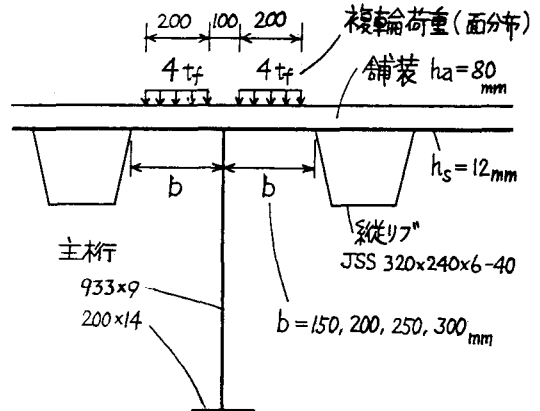


図3 鋼床版断面と複輪荷重位置

$E_a(\text{kgf/cm}^2)$	$b=150\text{mm}$	$b=200\text{mm}$	$b=250\text{mm}$	$b=300\text{mm}$	非対称載荷*
100 000	11.02 (17.66)	12.06 (18.42)	12.97 (19.28)	13.70 (20.00)	14.73
30 000	11.44 (15.09)	13.08 (16.70)	14.61 (18.25)	15.79 (19.42)	16.68
10 000	9.80 (11.28)	12.22 (13.79)	14.26 (15.87)	15.74 (17.35)	16.11
3 000	6.60 (4.07)	9.16 (9.69)	11.15 (11.70)	12.55 (13.09)	12.46
1 000	3.64 (3.80)	5.41 (5.89)	6.76 (6.95)	7.69 (7.88)	7.52
300	1.45 (1.50)	2.24 (2.30)	2.84 (2.90)	3.26 (3.32)	3.16

表2 二層の境界面における最大せん断応力度 $\tau_{\max}$ (kgf/cm^2) [()内の数値は主桁の剛性が ∞ のときの $\tau_{\max}$ 、* 非対称載荷: $b=300\text{mm}$ で複輪荷重の片方が主桁上に載るような作用位置とした場合]

4. あとがき

車輪荷重が作用するときに鋼床版の上部の舗装体と鋼デッキプレートの境界面に生じる垂直応力とせん断応力について解析し、その大きさを示した。一般に鋼床版の鋼デッキプレートの上には薄い接着層が施工されその上にアスファルト舗装が施されるが、その橋面舗装の安定性に関しては舗装と鋼デッキプレートとの間の接着層の強度の問題も関係しているものと思われる。

(参考文献)

- 1) 荻澤・芳村: 舗装された鋼床版についての力学的考察、土木学会北海道支部論文報告集、第35号、S.54
- 2) 荻澤・芳村・富田: 舗装された鋼床版構造の局所応力について、土木学会年次講演会概要集I-40、S.52