

不均一路盤上の舗装応力に関する研究

正員 東京工業大学 木村 孟

正員 東京都 大矢 爽治

§1 序

交通荷重によってコンクリート舗装内に発生する応力については Goldbeck, Older, Westergaard をはじめ多くの人々によって解析が試みられている。輪荷重によりコンクリート版には鉛直方向の圧縮応力と水平方向の曲げ応力とが生ずるが、コンクリートの強度特性、現状での輪荷重の大きさおよびタイヤの接地面積等を考慮した結果、一応鉛直方向の圧縮応力は無視し得る程度の大きさであるとし、曲げ応力を問題として解析が行なわれている。この応力は輪荷重がコンクリート版上のいかなる位置にくるかで異なるのであるが、現在では隅角部、中央部、縁辺部の三つの場合に分けて扱われている。

自由隅角における荷重応力に関しては Goldbeck と Older¹⁾ が、コンクリート版の隅角部を変断面の片持梁と見なして極く簡単な仮定の下に Older の公式と云われる応力公式を提案している。

その後 Westergaard²⁾ は Older 公式の仮定の不備な点に修正を加えて著名なる Westergaard 公式を発表した。この隅角公式はその基本仮定がその後の研究に大きな影響を与えたことから歴史的意義としては重要であるが、実際の応力との一致は必ずしもよくないとの批判が多い。

さらに Pickett³⁾ は地盤の支持力が得られない最も危険な場合について半実験・半理論の応力公式を提示した。この式によって求めた応力値はかなり良く実測値と合致することが認められており、しばしば応力算定に利用されているようである。

本報文は以上の研究を参照しつつ、くり返し荷重による圧密沈下あるいはポンピング等の作用によって路盤材料の一部が喪失したような舗装の応力を簡便に計算する方法を提示したものである。

我が国のごとく多雨多湿という苛酷な気象条件下にあつては、路盤が局部的に浸食される例が極めて多く、名神高速道路や国道6号線等においてもその例が見られ、これがコンクリート舗装版の破壊に大きく寄与するものと考えられる。

このような観念に立つて本研究では隅角部の支持力が期待されない場合について、舗装版の歪および撓みについて合理的な近似計算法を示し、同時にプラスチック板とゴム板とをもちいた模型実験を行なって計算値との比較を試みた。

§2. 解析

舗装版を一端が固定された変断面の片持梁と考えると基礎方程式は周知のごとく

$$\frac{d^4}{dx^4}(EI \frac{dy}{dx^2}) = -f(x) \quad \dots (1)$$

で与えられる(図-1参照)。ここに E は版の弾性係数、 I は版の断面二次モーメントである。

図-1を参照すると領域 I では $f(x) = 0$ 、 $I = \frac{b}{6}x$ であるから (1) より

$$y_I = A_I x^2 + B_I x \log x + C_I x + D_I \quad \dots (2)$$

また領域IIでは地盤反力係数を k , 断面中を $x' = zx$ と考えると

(1)は

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(x \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = -Cxy, \quad C = \frac{12k}{Eh} \quad \dots (3)$$

となる。

ここで断面形を $x' = Ae^{Bx}$ で近似すると基礎方程式は

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(e^{Bx} \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = -C e^{Bx} y \quad \dots (4)$$

となりこれより

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + 2B \frac{d^3 y}{dx^3} + B^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + C y = 0 \quad \dots (5)$$

が得られる。この解は簡単に求められ

$$y_{II} = e^{Bx} (A_{II} \cos \beta x + B_{II} \sin \beta x) + e^{-Bx} (C_{II} \cos \beta x + D_{II} \sin \beta x) \quad \dots (6)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{B^4}{16} + C} + \frac{B^2}{4} \right)}, \quad \beta' = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{B^4}{16} + C} - \frac{B^2}{4} \right)}$$

(2), (5)の両式に含まれる8個の定数 $A_I, B_I, C_I, D_I, A_{II}, B_{II}, C_{II}, D_{II}$ は次の8つの境界条件によって定められる。すなわち

①で曲げモーメント零 $y''_I = 0$; ②の連続条件
 撓み $y_I = y_{II}$, 傾角 $y'_I = y'_{II}$, モーメント $y''_I = y''_{II}$ せん断力 $y'''_I = y'''_{II}$; ②の曲げモーメント $y'' = -M/EI$; ③の固定条件
 撓み $y_{II} = 0$, 傾角 $y'_{II} = 0$

§3. 模型実験および計算値

図-2および写真に模型実験の概要を示すが 実験は厚さ10cmのゴム板の上にプラスチック板をのせ、半径15mmの銅板を介して隅角部に载荷することによって行なった。固定端近辺には金属板と散弾とをのせ浮き上がりを防止した。図-2に示したごとく①, ②, ③の三点で板の歪を測定し、①, ②点で板の撓みを観測した。測定の結果は図-3に示したごとくである。荷重は最大27kg(4kg/cm²)とし15段階に与えた。

次に使用した材料の弾性係数(E)と支持力係数(k)とを求めてこれを§2で得た解に入れて板の②, ③点の歪と①, ②

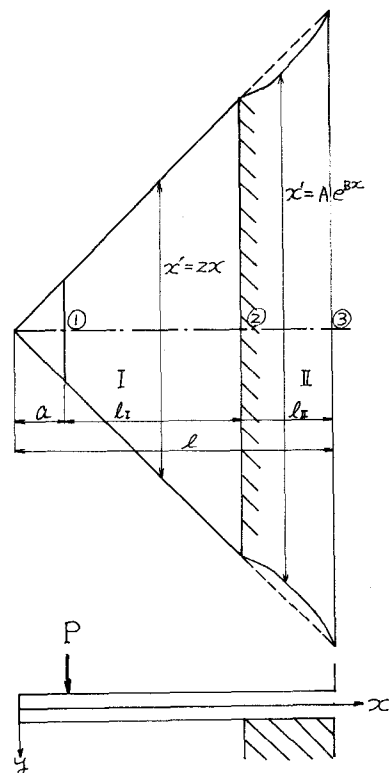


図-1 舗装隅角部と座標軸

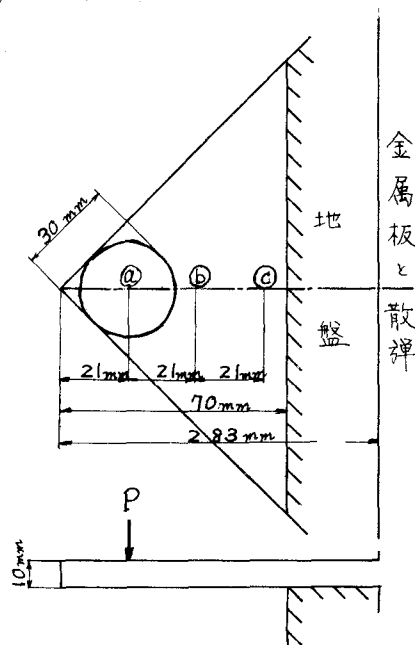


図-2 模型実験の概要

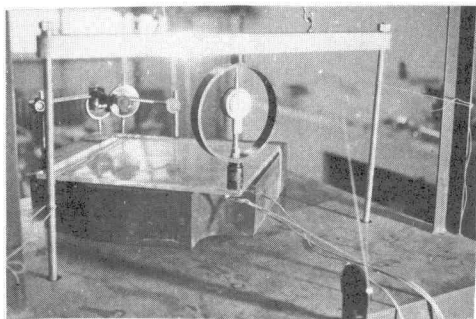


写真 模型実験装置

突の撓みとを計算した。これら物質定数に関する実験結果は図-4に示すが、プラスチック板の弾性係数はかなり温度の影響を受けることが判明したため、載荷実験時の温度 17°C に近いデータを利用した。これらの実験により弾性係数 $E=38,000\text{ kg/cm}^2$ 、地盤反力係数 $k=35\text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ と決定した。これらの値と§2の結果を利用した計算結果が図-3に示した実線である。たゞし荷重については、実際には円形荷重であるが計算の都合上図-1に示したごとく集中荷重と考えている。

なお§2においてもちいた近似断面を表わす式中の定数は、模型実験における諸元と比較して $A=8.25$ $B=0.060$ とした。

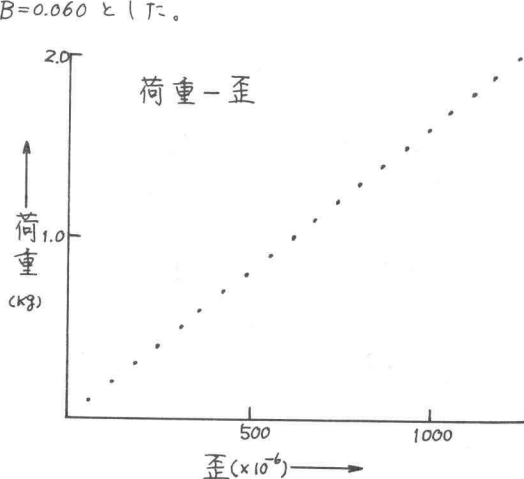


図-3(a) 弾性係数測定図

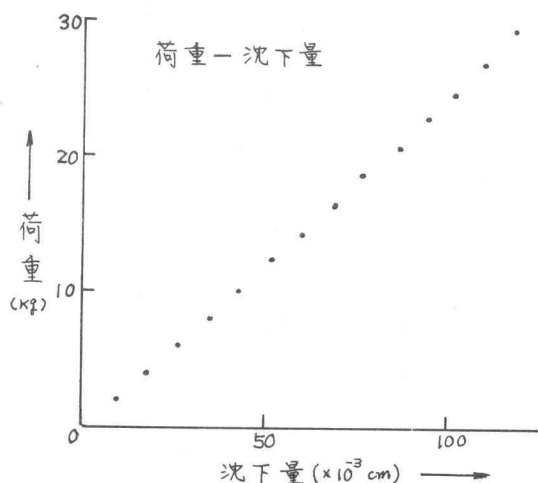


図-3(b) 支持力係数測定図

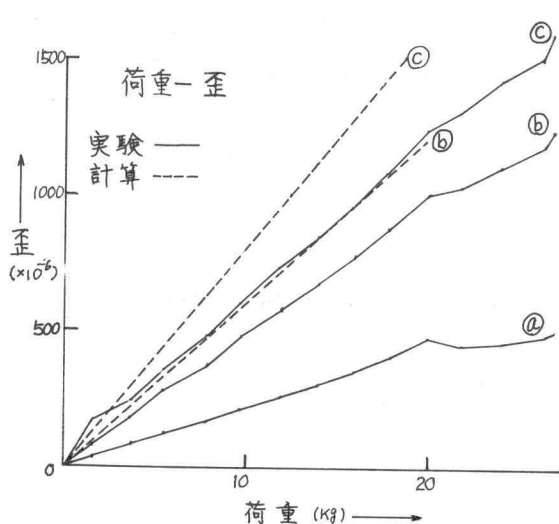


図-4(a) 版の荷重-歪曲線

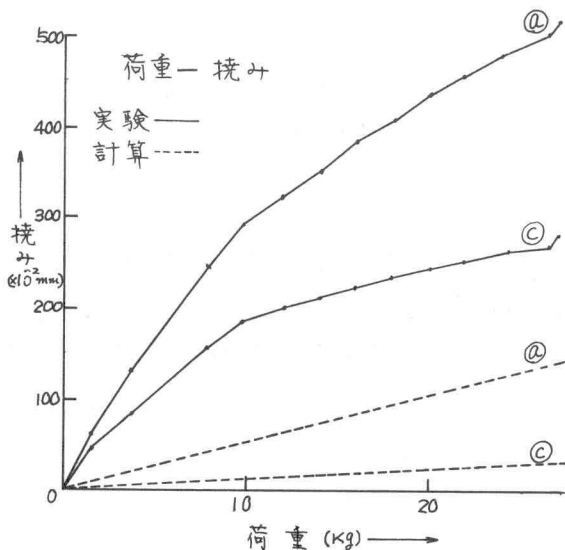


図-4(b) 版の荷重-撓み曲線

§4 考察

(1) 図-3によって明らかなごとく、板の歪については計算値と実測値とが実によく一致している。これに反して撓みについては実測値が計算値を大きく上まわり、前者が後者の数倍に達している。この理由として次のことが考えられよう。

本研究では舗装版を一端固定の片持梁と見なして計算を試みた。即ち隅角部に荷重が作用しても隅角からかなり離れた中央部では地盤反力の影響によって沈下も傾角も零であると見なしたのである。しかし、実際に確認はしなかったが、金属板と散弾の重さが不足であるために固定端を支点として回転が生じさらに荷重によって板全体が沈下を受けていることが考えられる。すなわち実測値には剛体的変位が加わっている可能性があるのである。

(2) 計算においては荷重型態は集中荷重であると考えて計算を実行したが、梁の問題としてより正確を期すならば、頂点からの対角線距離 α の関数として撓み、歪を表わし荷重面積について積分する必要がある。実測によって荷重点直下においても歪が発生していることが認められているが、これは、荷重分布を集中的であると仮定したことが大きな原因であると考えられる。

(3) ④点と⑤点における歪を比べると、⑤点の方がかなり大きいことが解る。このことは直観的にも察知されるごとく、このような舗装版では⑤点附近すなわち路盤がなくなる近辺で舗装版が曲げによって破壊する危険性が大きいことを示している。

(4) 以上極めて大ざっぱな近似計算法を提示したが、模型実験結果とかなり良い合致が見られることから、一応合理的方法であるということができよう。しかしながら我々の実験は実物との相似性は全く考慮しておらず、またたとえ考慮したとしてもその結果が実物に適用できるとは云い難い。今後この線に沿っての研究を進め現場実験等で検討を進めたいと考えている。

(5) 筆者らはここで取りあげたような舗装版を板として解析することも試みた。すなわち二辺自由、二辺固定で一つの隅角部附近の弾性床が欠けている板をモデルとして考えたのである。このような縁条件を厳密に満足させる関数は存在しないので Vlasov⁴⁾らの方法にならって幾何学的条件だけを満たせば良いとして解を求めたのであるが、数値計算によって得られた歪は梁による解析における値の $1/100$ 程度にしか達しなかった。なお本研究の数値計算にあたっては東京大学大型計算機センターのHITAC 5020Eを利用した。

参考文献

- 1) 竹下春見；新編道路工学 金原出版
- 2) Westergaard, H.M.; *Stress in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis*
- 3) 竹下春見, 岩間滋；道路舗装の設計 オーム社
- 4) Vlasov & Leoniev ; *Beams, Plates and Shells on Elastic Foundation*