

# 鋪裝の力學式と混凝土鋪裝

藤 芳 義 男

鋪裝の力學式に就ては従來種々研究されてゐるがその實用上の價値に至つては他の構造物に比し相當の距りなきを得ない。夫は (一) 基礎土壤が力學上最も難解なる性質を有すること、及び (二) 他の構造物に比し安全率極めて小なることによる。基礎土壤に就ては獨り鋪裝のみならず擁壁、岸壁等に於ても同様な悩みを有する。安全率に就ては、例へば橋梁の如く4~10を取り得るならば鋪裝の力學的設計も決して困難では無いと考へる。茲では之等の問題を暫く措き従來發表された二三の力學式を考察して見る。

## 一 Macadam 鋪裝の厚さ

Macadam 鋪裝の厚さに關する次の式は可成有名である。この式は輪帶の幅  $b$ 、及び Point Contact を考へ、輪重は

45° に Distribute するとし、路床の支持力は等布なりとして導き出したのである。乃ち

load の distribute する面積  $t \times 2d + \pi d^2$

$$\text{従つて } (2dt + \pi d^2)p = W \text{ or } d = \sqrt{\frac{W}{\pi p} + \frac{t^2}{\pi^2}} - \frac{t}{\pi}$$

Where,  $d$  = 鋪裝の厚 cm

$t$  = 輪帶の幅 cm

$W$  = 輪重 (Impact を含む) kg

$p$  = 路床の支持力  $\text{kg/cm}^2$

輪帶の point contact を考へる點から見れば、之は金屬輪帶の場合である。現代道路交通を支配するのは主として pneumatic tyre である。従つて輪帶の路面に接觸する面積は輪帶の幅に接觸長  $b$  を乗じたものでなければならぬ。

空氣壓と接觸面 (藤井博士、土木試驗所報)

空氣壓 kg/cm <sup>2</sup>	b	t	荷重強度kg/cm <sup>2</sup>
20	26.1	8.2	2.5
25	24.3	8.2	2.8
30	23.3	8.1	3.1
35	22.0	7.7	3.4
40	23.1	7.6	3.8

若し接觸長を考慮に入れて式を導き出

すならば吾等は次の式を得る

Load の distribute する面積

$$[t(b+2d) + 2bd + \pi d^2]$$

$$d = \sqrt{\frac{W}{\pi p} - \frac{bt}{\pi} + \frac{(b+t)^2}{\pi^2}} - \frac{b+t}{\pi}$$

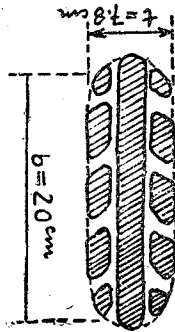
尤も接觸長を考へないのは Safe の side の error に屬するが、實際上の接觸面積を考ふるならば見逃し得ない問題であらう。

## 二 混 凝 土 鋪 裝

混凝土鋪裝では (一) 輪重 (二) 溫度伸縮の兩方面より來る應力が作用する。茲では溫度伸縮の方は暫く措きま

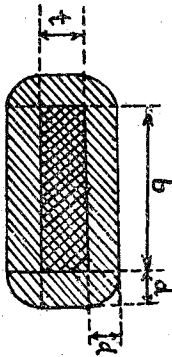
して輪重より來る應力を對照とする。

(1) Corner Load Formula (舊)



前輪重の路面に接する面積

(空氣壓 35%)



Cantilever と假定し

$$d = \sqrt{\frac{3P}{\sigma}} \dots \dots \dots (1)$$

P = 輪重 kg

$\sigma$  = 許容應力 kg/cm<sup>2</sup>

d = 路版の厚 cm

この式は路床土壤の難解な性質を避けて至極粗雑に出來てゐる。破壊面は直線としたが、之を曲線乃ち輪重の點を中心とする圓弧とすれば

$$d = \sqrt{\frac{12P}{\pi d}} \dots\dots\dots (2)$$

となる。何れにしても算定の過程に於て Moment M 及び慣性モーメント I に於ける x (荷重點より破壊面迄の距離) が互に打消し合ひ、荷重點より如何程の線に Max. Bending Moment が生ずるか問ふ必要がない。之が Corner Load Formula の特徴である。

この式によつて混凝土路版厚さを例へば 9-7-9 にする力學的説明が與へられる。乃ち荷重が (イ) 及び (ロ) にある場合に例をとる。

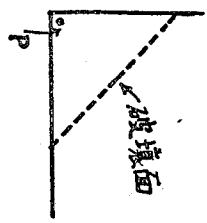
(イ) の場合は

$$d = \sqrt{\frac{3P}{\sigma}}$$

(ロ) の場合は荷重が兩路版に二分するとして

$$d = \sqrt{\frac{3 \cdot \frac{P}{2}}{\sigma}} = \sqrt{\frac{1.5P}{\sigma}}$$

乃ち (イ) (ロ) 兩者に於て厚さは 1:0.7 となる。(Kleinlogel, Beton stasse) 然し乍ら (ロ)



の場合の輪重が兩路版に均等に分割されることは假令 dowel 其他によると雖も幾分不均等なるを免れまい。

(b) Corner load system considering uniform varying supporting power

この式は (a) 式に於て (一) Circular failing (二) uniform varying supporting power of

subgrade earth を考へたものである。

$$P = \int_0^y \frac{P}{r} \cdot \frac{r-x}{r} \cdot \frac{\pi}{2} x dx = \frac{\pi}{12} r^2 \cdot P$$

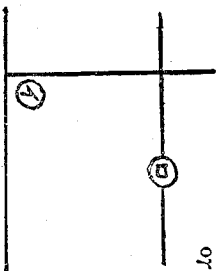
$$M = P \cdot r - \int_0^y \frac{P}{2} \cdot \frac{\pi}{2} dx \cdot \frac{r-x}{r} \cdot P \cdot (r-x) = \frac{1}{2} P \cdot r$$

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot \frac{d}{2}$$

or  $d = \sqrt{\frac{6P}{\pi \sigma}} \dots\dots\dots (3)$

この式は土壤の支持力を (甚だ簡單化した假定を附屬するとしても) 考慮に入れた點で前二者に一日の長がある。

(c) Corner Load Formula (新)



原著書 Oider 氏は (a) 式に於て實驗を基礎とし路版の温度變化及び路床の摩擦力に基因する張力を考慮に入れて新公式を發表した。乃ち

$$d = \sqrt{\frac{3P}{0.4\sigma - f}}$$

$$f = \text{摩擦抵抗 kg cm}^2$$

許容應力  $\sigma$  に 0.4 を乗じたる意味は恐らく摩擦抵抗  $f$  は full に働くに比し輪重による應力は算定の過程に於て既に相等の粗あるを考慮したのであらう。之は至極尤と考へられるの所であるが獨り  $\sigma$  のみに止めて  $P$  に乗すべき 3 の訂正無きは幾分の怨あるのではあるまいか。

(d) Westergaard Theory

Westergaard は路床を彈性基礎 (Elastic Foundation) とし路床と路版の Relative stiffness を定めて式を導き出した。乃ち

$$1 = \frac{4}{\sqrt{12(1-\mu)K}} \frac{Eh^3}{\text{relative stiffness}}$$

$$\delta_0 = \frac{3P}{h^3} \left[ 1 - \left( \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \right)^{-0.16} \times a_2 0.6 \right]$$

$$Z_0 = \left( 1.1 - 0.88 \frac{a_2}{1} \right) \frac{P}{KI^2}$$

この式は本誌大正十五年十一月號に藤井博士が紹介された所であり、その導出の過程は明かであるが近似解法を用ひた複雑な式であるため他日の機會にゆづり省略する。

(e) Continuous Beam System

之は獨人 Braunn 氏が Betonstrasse Fab. 1. 1928 seite 53 に發表したものである。之では二車が出會ふ時の輪重を逆に支持反力と考へ路床の支持力も逆に等布荷重とし、輪重の位置を支點とする Continuous Beam と考へた。

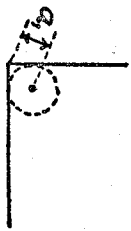
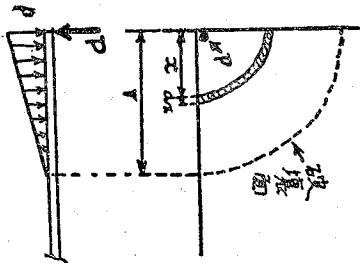
$$M_A = \frac{1}{10} \gamma^0 a^2$$

$$M_m = \frac{1}{14} \gamma^0 a^2$$

支持反力たる (P) 輪重には種々の附加荷

重を付する。

1. 勾配又は曲線 1.08~1.16



2. 路床の支持力減退  $\Delta\rho = 0.9 \sim 0.8$
3. 気温の一日最大變化  $\Delta t = 20^\circ\text{C}$
4. 交通の種類と繁簡  $K = 0.8 \sim 1.5$
5. 振動に對する安全率  $V = 1.8 \sim 3.0$

$$d_m = \frac{\left(\frac{1}{14} q \frac{1}{\Delta\rho} \cdot 2 \cdot K \cdot V + \Delta t \cdot E \cdot \epsilon\right) \text{C}^2}{(\delta + \delta_{br} \cdot e \cdot \Delta\rho) 6}$$

$$d_a = \frac{\left(\frac{1}{10} q \frac{1}{\Delta\rho} \cdot 2 \cdot K \cdot V + \Delta t \cdot E \cdot \epsilon\right) \text{C}^2}{(\delta + \delta_{br} \cdot e \cdot \Delta\rho) 6}$$

この式を良く考へて見れば疑問を抱かざるを得ない。乃ち今この式から種々の補正の項を除いて見ると

$$d_m = \frac{1}{14} \frac{q \text{C}^2}{6\sigma} \quad \text{となる。然るに}$$

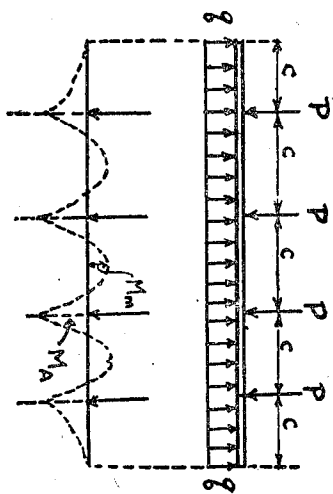
$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot d$$

なる式より導いてかゝる式を得る筈は無い。この式は當然

$$d_m = \sqrt{\frac{1}{6} \frac{1}{14} \frac{q \text{C}^2}{\sigma}}$$

でなければならぬ。この式は實際の數値を代入した例題まで出してあるのであるから赤字の誤植では無い。

更に Braum 氏は鐵筋の補強に就ては斯くして計算した



鋼裝の所要厚  $d_m$  が設計せんとする厚さを超過する場合その超過分に對して鐵筋を以つて補ふとしてゐる。

乃ち Faust 式に従ひ

$$F_o = \sigma_{\max} - \sigma_{\text{zulässig}} =$$

$$(\text{kg/cm}^2) = (\text{cm}^2)$$

而して縱横に鐵筋を入れる

場合は縱の鐵筋は 70% を有効とし、斜交に入れる場合は 50% を有効とした。上下兩層に入れる場合は下部は上部の 70% 量を適當とした。其他縱横の目地間隔、車道の磨損等に就ても詳説してゐる。

### 三 結 尾

(3) 目地間隔 混凝土鋼裝の目地間隔を如何留にとる

かは鋪裝の成否に重要な關係がある。之は從來の經驗に俟つ所多いが、尙目地間隔を支配する原因に關して充分考慮しなければならぬ。目地間隔を支配するものは必ずしも溫度變化に伴ふ混凝土の伸縮のみでは無い、之に加ふるに輪重による彎曲應力を考へなければならぬ。混凝土の伸縮のみから考ふるならば目地間隔は恐らく 30 米或は其以上に差支えないのであるが普通各國示方書共 15~20 米程度（鐵筋補強ある場合）にしてゐるのは之を物語るものである。亦縱目地と横目地は何か故に前者は 6 米以内とするに反し後者は 15 米以内とするか（昨年度道路研究會混凝土鋪裝評準示方書審議會席上の質問）の如き問題は實にこの事情を物語るのではあるまいか。乃ち輪帯が路面に接する面積は縦に長く而も前後兩輪の間隔よりも左右兩輪の間隔は短いのであるから彎曲應力による龜裂は横よりも縦に多く生ずる譯である。この事は從來施工された諸種の混凝土鋪裝が明かに物語つてゐる。従つて縱目地は横目地より狭い間隔にして伸縮による應力を力めて避けねばならぬのである。

(b) **安全率** 鋪裝に於ける安全率の小なることは前説の如くであるが、一例をあげると普通の構造物にあつては通常混凝土の應張強度は零とするに反し鋪裝に於ては例へば  $15 \text{ kg/cm}^2$  の如く相當の強度を考へてゐる。之は無論何等差支ない當然な事であるが其處に鋪裝に關する力學的研究所の價値を減退せしむるものである。何となれば、安全率小なる爲如何に科學的設計を行ふとも土質の如何、施工の如何等の如き Ambiguous な項目により支配されて仕舞ふ。之は將來土質の調査研究及び施工の科學的完備とに相俟つて改善されることあるを期するものである。

(c) **混凝土の強度** 龜裂を招來するものは彎曲應力と熱應力である。共に混凝土の強度如何にかゝる。混凝土鋪裝の成否は實に茲にある。従つて強度に關しては最も注意すべきであり、歐米に於ては骨材は可成立方形をなし稜角を有する健全なる碎石及び同様な砂と規定してゐる程である。吾國に於てはかゝる骨材を得る事は相當困難である。従つて二層式として上層のみに碎石を用ひ下層には砂利を

用ふるを良しとされてゐる。只砂に至つては到底歐米に於て求むるが如き稜角ある立方體のものを得る事は困難である、吾國の砂は通常丸味を帯びて混凝土の強度上から云へば甚だ不利である。従つてかゝる不利な條件を補ふべき必要がある。就中配合比及び養生に注意すべきである。養生については筆者は混凝土舗装中又は舗装後少くとも 12 時間間は氣温  $4^{\circ}\text{C}$  以下に下らざる様にすべきだと思ふ。何となれば氣温  $4^{\circ}\text{C}$  以下になれば混凝土の凝結及凝固は善しく損害される事は學者の通説であるからである。かゝる場合は舗装を取止めるか又は歐米に行はれるか如く帆布等にて屋根を造り暖爐の設備を施すことも覺悟すべきである。道路研究會の決定せる示方書は自地間隔及材料等に於て詳細なる規程を定めたるに反し混凝土の強度を支配する事大なる氣温及養生に關しては充分意見の盡されないのは残念だと思ふ。殊に吾國の混凝土舗装に於ける養生が比較的等閑視されるのも残念だと考へる。

(b) 三層式 二層式の場合は上下兩層が完全に密着して

一體となる必要がある。吾國往時の舗装を聞けば却つて之を離れ離れにし甚だしきは特に新聞紙の如きを兩層間に張りつけ、温度伸縮を自由ならしめた由である。乃ち氣温の變化に影響されるものは主として上層であるから上層のみは勝手に伸縮し得るが上層の破壊後は適當に壓着舗装に改變する様にした仕組である。之は前説の輪重による彎曲應力を無視した甚だしいものと云はねばならぬ。歐米に於ては之を最悪の施工となしてゐるのは人も知る處である。

(c) 舗装の厚さ 舗装の厚さは米國に於ては 10-7-10; 9-7-9; 9-6-9; 8-6-8 等、獨逸にあつて中央部 15cm 以上としてゐるが吾道路研究會の示方書も亦 15cm 以上としてゐる。獨逸の如き良骨材を得られ米國の如く一層式を主として採用し得る處にあつて乃ち 15-18cm である。吾國の如き骨材に於て施工に於て劣る國にあつて 15cm を基準とするは果して適當であるか疑なきを得ない。混凝土舗装は龜裂を避け難いものと假定せざる限り。

(筆者は混凝土舗装に對する經驗無く従つて過言の處は大方) の御覽恕を仰ぎ度い。