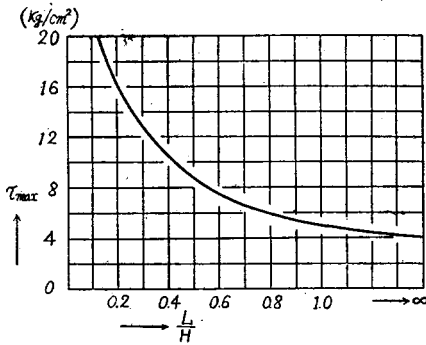


図-9 $L/H \sim \tau_{max}$ (BF 部材) 関係図
($p_1 = 5 \text{ t/m}$, $H=l=5 \text{ m}$, $a=50 \text{ cm}$ の場合)



3. 結 び

i) 基本式(1)ないし(3)を用いて立体ラーメンを解くことは、結局、連立多元1次方程式を解くことに帰する。しかして、対称ラーメンまたは安定ラーメンの場合は割合簡単に解くことができる。ことに、方程式の係数値が最初から与えられると、イテラチオン法により、一層簡単に計算される。

ii) 振り剛性補正係数の値は、断面形が円形、矩形等、ごく特殊のものを除いては、未だ明確にされていないようである。従つて、鋼橋のように、数種類の型鋼よるなる部材でできた構造物に対して振りの影響を求めするには、それらの断面の振り剛性補正係数を知る

必要がある。

iii) 立体ラーメンにおいて、振りの影響は、場合によつてはかなり大きくなることもあり、振りを受けたために生ずる剪断応力を無視できないことがあるように思われる。コンクリートのように、剪断力に弱い材料に対しては、一応検討を要する場合があるものと考えられる。

参考文献

- 1) Erich Reisinger : Zur Berechnung Räumlicher Rahmenwerke. (Der Bauingenieur 1924 Heft 1)
- 2) Alfred Millies : Räumliche Vieleckrahmen mit eingespannten Füßen unter besonderer Berücksichtigung der Windbelastung. (1927)
- 3) Takeo Fukuda : Theorie der Roste und ihre Anwendungen. (土木学会誌 Vol.XVII ~ Vol. XIX)
- 4) Jirō Suhara : On the Strength of Goal-Post Mast under Space Loading by Cargo Appliances. (昭和23年11月造船協会講演)
- 5) Walter W. Ewell : Deflection in gridworks and slabs. (Proceeding A.S.C.E. Sept. 1951)
- 6) O. Steinhardt : Die waagerechte Koppelung von Träger mittels querliegender Torsionsglieder. (V.D.I. 21. Februar 1952, Nr. 6)
- 7) Kupferschmid : Ebene und räumliche Rahmentragwerke. (1952) (昭.28.6.12)

コンクリート舗装の目地間隔

正 員 吉 本 彰*

ON THE SPACING OF JOINTS OF CONCRETE PAVEMENT

(JSCE Oct. 1953)

Akira Yoshimoto, C.E. Member

Synopsis In this paper, the author have made it clear that the spacing of joints is dependent upon the thickness of slab, the Young's modulus of concrete and the condition of subgrade. From this point of view, the author has investigated the distances between cracks of concrete pavements and determined how the spacing of joints is to be chosen.

要旨 本論文は、目地間隔が版厚、コンクリートの弾性係数及び路盤状態によつて相異なることを明らかにし、この見地から、コンクリート舗装の亀裂間隔を調査して、目地間隔の大きさを決定したものである。

1. はしがき

コンクリート舗装の目地間隔はできるだけ大きくしたいが、現在の舗装用コンクリートではこの要求に

ずることはむつかしい。当分の間は、亀裂を防ぐため、目地は小間隔に入れなければならないのであるが、目地間隔については、未だはつきりした標準値が確立されていない。

本論文では、まず、コンクリート舗装の亀裂の発生位置が反り応力と密接な関係にあることを示し、目地間隔の大きさを反り応力式から理論的に求めた。その結果、目地間隔は版厚、路盤状態によつて変えねばな

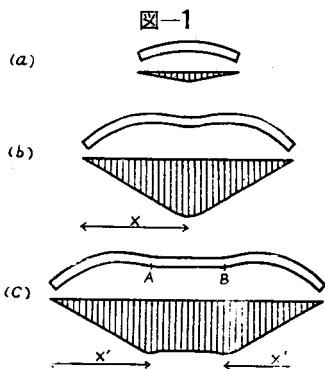
* 東北大学助教授、工学部土木工学教室

らないことが推定されたので、この見地から、コンクリート舗装の亀裂を調査し、最後に、目地間隔の標準を示した。

2. 龜裂の発生位置

a) 版の応力 版に生ずる応力のうち、亀裂と密接な関係にあるのは荷重応力と反り応力である。

表面が裏面より温度が高い場合を例にとつて、版の反りと反り応力とを模型的に示すと、図-1 のようになる。版が短かいと、(a) のごとく、比較的自由に反れるから、反り応力も小さい。版がある長さに達すると、(b) のごとく、版の中央が凹んでここに大きな反

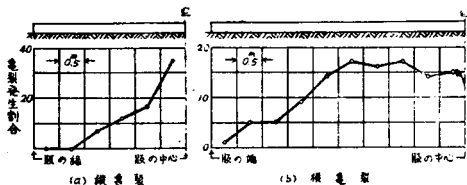


り応力が生ずる。さらに長くなると、(c) のごとく、版の中央はほとんど水平となる。最大反り応力は中心に生ぜず、A, B 2 点に生ずるが、この最大応力値と版中心の応力値との差はわずかである。すなわち、A B 間では大体等しい応力が生ずるとみなしてよい。

この反り応力に、荷重による曲げ応力が加わつて、亀裂が生ずる。実際の版の亀裂の発生状態を調べてみると、反り応力の分布と密接な関係があり、反り応力は、亀裂の発生に対して、大きな役割を果していることがわかる。

b) 亀裂分布の実例 図-2 は、明姫国道のうち、切取上に舗設された 15 cm 版について、縦亀裂及び

図-2 舗装版の龜裂分布—明姫国道、15 cm、切取 (版数38)



横亀裂の分布状態を調べたものである。調査時の材令は約 20 年、版の寸法は 6×10 m である。

この図は次の要領で作成した。

(i) 亀裂が斜方向に入っている場合は、便宜上、亀裂と路線方向とのなす角が 0~45° のものを縦亀裂、

45~90° のものを横亀裂とした。

(ii) 亀裂発生割合は次のようにして求めた。横亀裂に例をとると、版を巾 0.5 m の細片に分けて、各細片ごとに亀裂長を調べる。左右同一箇所のものは加え合わせて 2 で割る。これを、全部の版について、合計し

$$\frac{100}{(\text{版の巾}) \times (\text{版の数})}$$

を乗ずる。このようにして求めたものは、各細片の位置に発生する亀裂の割合を示すものと考えられる。縦亀裂も同じ要領で求めた。

(iii) この亀裂発生割合を各の細片の位置に図示したものが図-2 である。

c) 目地の目的 図-2 において、縦亀裂は版の中心に集中しているが、横亀裂は版の中央でかなり広い面積にわたつて一定の発生割合を示している。これは反り応力が、それぞれ図-1 の (b) または (c) の状態にあつたためと考えられる。

版を小さく切ると、図-1 (a) のごとく反り応力が小さくなるから、亀裂の発生を防ぐことができる。最近、目地を小間隔に入れる傾向があるが、これは版の反り応力を小さくするのが目的である。従つて、目地間隔の大きさはこの見地から検討されねばならない。

膨脹目地の間に配置する目地を“収縮目地”と呼んでいるが、これは収縮応力よりは、むしろ、反り応力を小さくするためのものであつて、単に“目地”と呼ぶのが妥当である。

3. 目地間隔に影響する要素

a) 目地間隔決定の基準 版が図-1 (b) 及び (c) の状態にあれば亀裂は避けにくい。多くの実例によると、(b) の場合には中央に 1 本目地を入れることによつて、(c) の場合には反り応力の最大となる A, B 点に目地を入れることによつて、亀裂を防止し得るものである。そこで、目地間隔の基準として、図-1 (b) における X, (c) における X' を、理論的に求めてみた。

b) 反り応力式 版の反り応力の値は次式で求めることができる¹⁾。

温度分布が直線の場合は

$$\sigma_x = \frac{Ea\theta}{2} [1 - A^{-1}(B \cdot \sinh \xi x \cdot \sin \xi x - C \cdot \cosh \xi x \cdot \cos \xi x)] \dots \dots \dots (1)$$

温度分布が拋物線の場合は

$$\sigma_x = Ea\theta \left[\frac{1}{3} + \frac{3}{7} A^{-1}(B \cdot \sinh \xi x \cdot \sin \xi x - C \cdot \cosh \xi x \cdot \cos \xi x) \right] \dots \dots \dots (2)$$

$$A = \cosh \xi a \cdot \sinh \xi a + \cos \xi a \cdot \sin \xi a$$

$$B = \sinh \xi a \cdot \cos \xi a - \cosh \xi a \cdot \sin \xi a$$

$$C = \sinh \xi a \cdot \cos \xi a + \cosh \xi a \cdot \sin \xi a$$

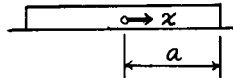
ただし、 $\xi = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt[4]{\frac{k}{EI}}$

k : 路盤係数, E : コンクリートの弾性係数, I : 梁の慣性モーメント, a : 版長の 1/2, α : コンクリートの膨脹係数, θ : 版の表面と裏面の温度差座標は図-3 のようにとつてある。

c) X の値 版中心の応力 $\sigma_{x=0}$ は図-1 (b) の場合に最大に達し, (c) の A, B 点に生ずる応力はこれよりもやや小さくなる。

図-3

(c) の版中心の応力はさらに若干小さくなる。従つて, X の値は, 版中心の応力 $\sigma_{x=0}$ が最大に達する場合の版の長さを求め, これを 2 で割れば求められる。



$\sigma_{x=0}$ は式 (1) 及び (2) より

直線分布の場合

$$\sigma_{x=0} = \frac{Ea\theta}{2} \left[1 - \frac{C}{A} \right] \dots\dots\dots (3)$$

拋物線分布の場合

$$\sigma_{x=0} = Ea\theta \left[\frac{1}{3} - \frac{3}{7} \frac{C}{A} \right] \dots\dots\dots (4)$$

式 (3) 及び (4) において, $d\sigma_{x=0}/da=0$ とおくと, いづれも同じ形になり

$\sinh \xi a \cdot \sin \xi a (\cosh \xi a \cdot \sinh \xi a - \cos \xi a \cdot \sin \xi a) = 0$ となる。 $\sinh \xi a = 0$ 及び $\cosh \xi a \cdot \sinh \xi a = \cos \xi a \cdot \sin \xi a$ なる条件が成立するのは $a=0$ の場合のみであるから, いづれも不適當である。 $\sin \xi a = 0$ が成立するのは $\xi a = 0, \pi, 2\pi, \dots$ の場合であるから $\xi a = \pi$ が求める値である。これを書き直すと, 求める版長 $2a$ は次のようになる。

$$2a = 2\sqrt{2} \pi \sqrt[4]{\frac{k}{EI}}$$

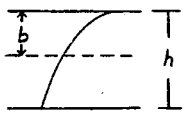
従つて, X は

$$X = 2\sqrt{2} \pi \sqrt[4]{\frac{k}{EI}} \dots\dots\dots (5)$$

温度分布が直線であつても拋物線であつても, X は同じ形になつたが, 式中の I は同じでないから, これについて調べてみよう。

図-4

版が十分長いと, 版の表面と裏面に温度差を生じて, 版の中央部はほとんど反りを示さないから, 版は常に水平を保つてゐるものと仮定すると, 温度分布が拋物線の場合は, 中立軸の位置は図-4 において



$$b = \frac{4}{9} h$$

となり, このときの慣性モーメントを I_2 とすると

$$\sqrt[4]{I_2} = \sqrt[4]{\frac{7}{81} h^3} = 0.54219 h^{3/4}$$

となる。温度分布が直線の場合の慣性モーメントを I_1 とすると

$$\sqrt[4]{I_1} = \sqrt[4]{\frac{1}{12} h^3} = 0.53729 h^{3/4}$$

従つて, $\sqrt[4]{I_2} / \sqrt[4]{I_1} = 1.009$

温度分布が拋物線であつたとしても, 直線の場合に比べて, X に及ぼす影響は 0.9% に過ぎない。従つて, 温度分布の状態は, X の値にはほとんど影響しないと考えてよいであらう。

式 (5) において, $I = h^3/12$ とおくと

$$X = 2\sqrt{2} \pi \sqrt[4]{\frac{12k}{Eh^3}} \dots\dots\dots (6)$$

d) X' の値 式 (1) 及び (2) を x で微分して 0 とおき, σ_x が最大になる位置を求めると, いづれも次の形になる。

$$\frac{B}{C} = \frac{\sinh \xi x \cdot \cos \xi x - \cosh \xi x \cdot \sin \xi x}{\sinh \xi x \cdot \cos \xi x + \cosh \xi x \cdot \sin \xi x} \dots\dots (7)$$

式 (7) を満足する x の値を求めれば, 版端から反り応力が最大になる点までの距離 X' は

$$X' = a - x$$

で求められる。

x は試算法でないといふと求められないので厄介であるが, いろいろな場合について調べてみると, $X' \doteq X$ なる関係にある。有効数字 2 桁までは大体一致するから, 実用上同じものと考えてよい。

e) 目地間隔に影響する要素 式 (6) によると, 目地間隔は

- (i) 路盤係数 k の小さいほど, 大きくなる。
- (ii) 版厚 h が大きいほど, 大きくなる。
- (iii) コンクリートの弾性係数 E が大きいほど, 大きくなる。

ということが推定される。

以上は, 目地間隔は X で求め得ると仮定して得た結論であるが, この結論が正しいかどうかを確かめねばならない。また, 正しいとしても, 目地間隔の大きさは多くの実例から求めることが望ましい。この意味において, 舗装調査を行い, 亀裂間隔を調査した。古い舗装では亀裂が入りつくして, 小さな版に分たれ, 応力に対して安定な状態にある。この亀裂間隔を調べると, 亀裂に対して安全な目地間隔がわかるはずである。

4. 龜裂調査

a) 調査区間 龜裂調査を行った区間は表-1 のとおりである。調査は1層式で材令の古いものについて行うのが望ましい。材令の若いものと膠石式は除いたが、1層式のみでは資料が不足するので、やむを得ず、2層式は採用した。

表-1 調査区間の概要

路線名	工法	版厚 (cm)	材令 (年)	路盤状態
明姫国道	2層式	20	20~18	盛土, 切取
"	"	15	20	切取
国道2号(広島一大竹)	1層式	15	11	盛土
国道4号(岩沼-増田)	2層式	19-17-19	19	"
" (吉岡-古川)	"	20-18-20	20	盛土, 切取
山形市上町	"	17	13~14	原地盤
国道13号(山形県天童)	1層式	15	14	"
" "	"	13	14	"
仙台市(一本杉-深沼)	2層式	18	14	盛土

b) 龜裂間隔の求め方 版端と次の横龜裂との間隔を調べた。版に2本以上の横龜裂がある場合にも、龜裂間隔は除外した。それは次の理由による。

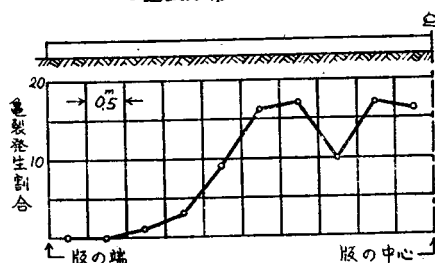
(i) 図-1 (c) のA及びB点附近に2本の龜裂が入った場合を考えよう。版長が変化すると、版端からAまたはB点までの距離は一定であるから、A B間の距離が変化する。このように版長に左右されるものは、除外すべきである。

(ii) 図-1 (c) において、A B間の任意の位置に龜裂が1本入り、残りの版がさらに2つに割れる場合は、龜裂間隔は一般に小さくなりがちである。これらの不適当な龜裂間隔を完全に除外することは不可能であるが、版端から次の龜裂までの間隔のみを採ることによれば、不適当な値を最小限度に喰いとめることができる。

(iii) 路盤不良な場合には龜裂が小間隔に入りがちであるが、この場合にも、これらの不適当な値を最小限度に喰いとめることができる。

c) 龜裂間隔の選定 各調査区間ごとに龜裂間隔の度数分布を調べ、これから適当と考えられる龜裂間隔を選定した。原則としては、度数分布図の最頻値を、その区間の龜裂間隔としたが、その形がきわめて不規

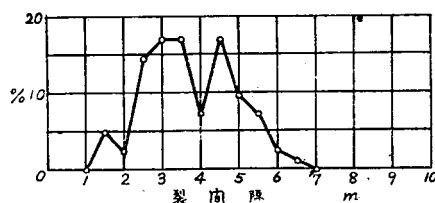
図-6 明姫国道 20 cm 版 (切取) の龜裂分布



則な場合には適当な考慮が必要となる。次に、最頻値を採用しなかつた2つの場合について説明する。

図-5 は、明姫国道において、切取部分の 20 cm 版の龜裂間隔の度数分布を調べたものである。最頻値は 3~3.5 m であるが、4.5 m のものもかなり多いのは見逃し得ない現象である。図-2 と同じ方法で、龜裂の分布状態を調べると、図-6 のようになる。版端から 3 m 附近で龜裂の発生割合が最大になつてはいるが、中心まで大体等しい発生割合を示さず、途中で減少している。版の正常な応力状態からは、この減少を説明できない。この場合は、適当な龜裂間隔は 4.5 m で

図-7 明姫国道加古川以西 20 cm 版 (切取) の龜裂間隔の度数分布



あるが、路盤の不均一によつて 3~3.5 m が多く現われたと考えるのが妥当であろう。この区間のうち、加古川以西の部分は、路面状態より判断して、路盤が比較的良好と考えられるので、試みに、この部分のみをとり出して調べると、図-7 のようになる。図-5 に比べると、4.5 m のものが、かなり多くなつている。以上の観点から、龜裂間隔は、路盤良好であれば 4.5 m、不良であれば 3~3.5 m と判断した。

図-8 は、国道2号線のうち、広島県宮内村、地御

図-5 明姫国道 20 cm 版 (切取) の龜裂間隔の度数分布

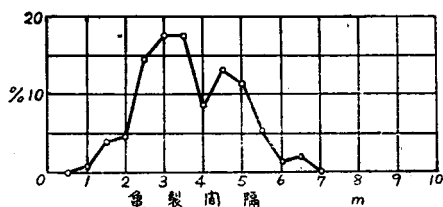
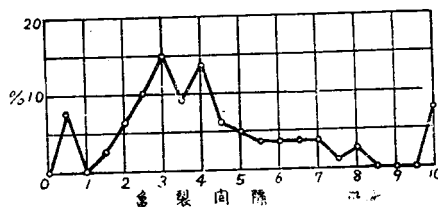


図-8 国道2号 (広島県) 15 cm 版の龜裂間隔の度数分布



前村の部分について調べたものである。最頻値は3mとなつてはいるが、同じ理由によつて、亀裂間隔は、路盤良好な場合4m、不良な場合3mと判断した。

5. 目地間隔

a) 亀裂調査の結果 以上の調査結果を一括して示すと表-2 のようになる。

式(6)より、亀裂間隔に影響するのは版厚 h 、コンクリートの弾性係数 E 及び路盤係数 k の3つであるが、 X は \sqrt{E} に比例するのであるから、 E の影響

表-2 版厚と亀裂間隔との関係

路盤状態	調査区間	版厚 (cm)	亀裂間隔 (m)
良	明姫国道	20	5
	国道4号(吉岡-古川)	20-18-20(平均18.3)	5
	" (岩沼-増田)	19-17-19(" 17.4)	4.5
	国道2号(広島-大竹)	15	4
好	切取 明姫国道	20	4.5
	" 国道4号(吉岡-古川)	20-18-20(平均18.3)	4
	原地盤 山形市上町	17	4
	" 国道13号(山形県天童)	15	3.25
" " "	13	3	
不	切取 明姫国道	20	3.25
	" 国道4号(吉岡-古川)	20-18-20(平均18.3)	3
	盛土 " "	" "	3
良	" 仙台市(一本杉-深沼)	18	3
	" 国道2号(広島-大竹)	15	3
	切取 明姫国道	15	2.5

は小さいはずである。従つて、これは考えなくてよいであらう。

路盤係数も \sqrt{k} の形で影響するから、表-2 のように、盛土と切取または原地盤というように大別して取扱うと、各群では k の影響はたいして大きくないと考えられる。

表-2 によると、亀裂間隔は路盤状態、版厚によつて相異し、式(6)からの推定の正しかつたことがわかる。

b) 目地間隔 いま、目地間隔と版厚との間には、近似的に直線関係が成立するとして、路盤良好な切取または原地盤区間について、最小自乗法により、この

間の関係を求めること、次のようになる。

$$l = 0.23h \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 l は目地間隔 (m)、 h は版厚 (cm) である。交通荷重から版厚が決まると、この式から目地間隔が決定できる。盛土部分では、目地間隔を0.5m程度大きくしてよい。盛土部分では、盛土高によつて目地間隔が相異すると考えられるが、表-2 に示したものは大体盛土高1~3mのものである。

路盤が不良な場合には、盛土・切取の別なく、従来の定説どおり、亀裂間隔3mのものが多い。式(8)から目地間隔を決定する場合には、均一な路盤をつくることに、特に留意することが必要である。

c) 縦目地間隔 式(8)は横目地を対象として導いたものであるから、縦目地にそのまま使用できるかどうか疑問である。縦目地より若干小さくなる可能性がある。しかし、縦目地間隔は車線巾に等しくとることにすれば、車線巾は一般に式(8)で求まる値よりかなり小さいから、十分安全なものと考えられる。

6. むすび

以上を要約すると次のようになる。目地間隔は、路盤状態、版厚に応じて定める必要がある。良好な切取(または原地盤)区間では、式(8)より横目地間隔を決定すればよい。盛土区間では0.5m程度大きくしてよい。縦目地間隔は車線巾に等しくとればよい。

附記 明姫国道の資料は、近藤泰夫教授を委員長として、関西都市道路研究会で調査したものである。その他の舗装調査にあつては、現場各位から種々便宜を、結果の整理にあつては、建設省谷藤技官その他の方々から示唆を賜つた。附記して感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 近藤泰夫・吉本 彰：コンクリート舗装床版の反り応力、建設工学、3巻、1号及び2号 1950、(昭.28.6.13)

工学博士	小野諒兄 著 推賞	日本国有鉄道建設部計画課長 鈴木 信孝
土木工学	鐵 道	日本国有鉄道施設局保線課長 小野木次郎
基礎定本		上巻 450 円 295 頁 東京都新宿区若葉一 振替東京 1316
		下巻 400 円 235 頁
		図版数実 = 370 同文書院