

今月は2月号に引きつづき論文集第79号登載論文として、次の4論文を紹介します。

一層連続ラーメンの一般公式について

佐武正雄

本論文は、われわれが高架橋の設計において遭遇する一層多径間の連続ラーメンについて、一般的な解の公式を誘導する過程とその用法について説明したものである。ラーメンは一層 n スパン固定支持で、そのスパン l 、高さ h 、剛比 k などは全構造を通じて一定と仮定する。また、荷重としては次の5つの場合を考察する。

- I) 1スパンに等分布荷重がのる場合
- II) 全スパンに等分布荷重がのる場合

- III) 端節点にモーメントをうける場合
- IV) 水平力をうける場合
- V) 温度変化の場合

結果の公式は、表-1 に示すとおりでかなり複雑であるが、実際に困難というほどではない。公式の誘導には差分方程式の理論を応用する。その概略を示せば次のとおりである。

まず、たわみ角法の次の式から出発する。

$$\left. \begin{aligned} M_{x-1,x} &= 2\varphi_{x-1} + \varphi_x - C_{x-1,x} \\ M_{x,x-1} &= \varphi_{x-1} + 2\varphi_x + C_{x,x-1} \\ M_{x,x'} &= k(2\varphi_x + \psi_x) \\ M_{x',x} &= k(\varphi_x + \psi_x) = \frac{1}{2}(M_{x,x'} + k\psi_x) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

節点方程式：

$$M_{x,x-1} + M_{x,x+1} + M_{x,x'} = M_x \dots\dots\dots (2)$$

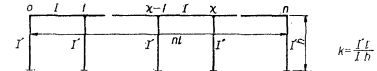
層方程式：

$$\Sigma(M_{x,x'} + M_{x',x}) = -ph \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 $C_{x-1,x}$ および $C_{x,x-1}$ は第 x スパン載荷による荷重項、 M_x は節点 x に働く外力モーメント、 P は層に働く水平力である。

(1)式を(2)式および(3)式に代入すれば

表-1



Load Conditions	I Uniform Loading on the i -th Span	II Uniform Loading on All Spans	III Moment Applied at the End Joint	IV Horizontal Force Applied	V Change of Temperature
$M_{x,x}$	$\frac{C}{4_{m+1}} \left\{ \frac{\rho_{n-i+1}}{f_m} d_x + \frac{27k t_{m-1}}{D_{m+2}} (q_{m+1} - q_{m-i}) \right\}$ $\frac{C}{4_{m+1}} \left\{ \frac{(3+4k)\rho_{n-i}}{f_m} S_{n-x} + \frac{27k t_{m-1}}{D_{m+2}} (q_{m+1} - q_{m-i}) \right\}$ $(i+l=x=n)$	$\frac{C}{f_m} (-t_m + t_{x-m-1})$	$\frac{M}{4_{m+1}} \left\{ \frac{3+4k}{f_m} S_{n-x} + \frac{9k t_m}{D_{m+2}} \right\}$ $(q_{m+1} - q_{x-m})$	$\frac{3Ph}{D_{m+2}} (q_{m+1} - q_{x-n})$	$\frac{k\psi}{2(3+k)f_m} \left\{ \left(3\left(\frac{n}{2} - x\right) + 2 \right) t_m + \frac{3n+2}{2} t_{x-m-1} \right\}$
$M_{x,x-1}$	$\frac{C}{4_{m+1}} \left\{ \frac{\rho_{n-i+1}}{f_m} d_{n-x+1} + \frac{27k t_{m-1}}{D_{m+2}} (q_{m+1} - q_{m-x+1}) \right\}$ $(i=x=n)$	$\frac{C}{f_m} (t_m - t_{n-x})$	$\frac{M}{4_{m+1}} \left\{ \frac{l}{f_m} d_{n-x+1} + \frac{9k t_m}{D_{m+2}} \right\}$ $(q_{m+1} - q_{m-x+1})$	$\frac{3Ph}{D_{m+2}} (q_{m+1} - q_{m-x+1})$	$\frac{k\psi}{2(3+k)f_m} \left\{ \left(3\left(\frac{n}{2} - x\right) + 1 \right) t_m - \frac{3n+2}{2} t_{n-x} \right\}$
$M_{x,x'}$	$\frac{2kC}{4_{m+1}} \left\{ \frac{\rho_{n-i+1}}{f_m} t_x - \frac{27k t_{m-1}}{D_{m+2}} (q_{m+1} + kV_{m-x}) \right\}$ $\frac{2kC}{4_{m+1}} \left\{ \frac{\rho_{n-i}}{f_m} t_{n-x} + \frac{27k t_{m-1}}{D_{m+2}} (q_{m+1} + kV_{m-x}) \right\}$ $(i \leq x \leq n)$	$-\frac{2kC}{f_m} S_{n-x-1}$	$\frac{2kM}{4_{m+1}} \left\{ \frac{l}{f_m} t_{n-x} + \frac{9k t_m}{D_{m+2}} \right\}$ $(q_{m+1} + kV_{m-x})$	$-\frac{6Ph}{D_{m+2}} (q_{m+1} + kV_{m-x})$	$-\frac{k\psi}{(3+k)f_m} \left\{ 3\left(\frac{n}{2} - x\right) t_m + \frac{3n+2}{2} k S_{n-x-1} \right\}$
$M_{x,x}$	$\frac{1}{2} M_{x,x} - \frac{9(3+k)t_{m-1}}{D_{m+2}} kC$	$\frac{1}{2} M_{x,x}$	$\frac{1}{2} M_{x,x} - \frac{3(3+k)t_m}{D_{m+2}} kM$	$\frac{1}{2} M_{x,x} - \frac{(3+k)q_{m+1} - Ph}{D_{m+2}}$	$\frac{1}{2} \left\{ M_{x,x} - \left(\frac{n}{2} - x\right) k\psi \right\}$
$M_{x,x-1}$	$\frac{C}{4_{m+1}} \left\{ \frac{\rho_{n-i+1}}{g_{m+1}} d_x + \frac{27k S_{m-1}}{D_{m+2}} (\rho_{m+1} - \rho_{x-m-1}) \right\}$ $\frac{C}{4_{m+1}} \left\{ \frac{(3+4k)\rho_{n-i}}{g_{m+1}} S_{n-x} + \frac{27k S_{m-1}}{D_{m+2}} (\rho_{m+1} - \rho_{x-m-1}) \right\}$ $(i+l=x=n)$	$\frac{C}{g_{m+1}} (-g_{m+1} + g_{x-m-1})$	$\frac{M}{4_{m+1}} \left\{ \frac{3+4k}{g_{m+1}} S_{n-x} + \frac{9k S_m}{D_{m+2}} \right\}$ $(\rho_{m+1} - \rho_{x-m-1})$	$\frac{3Ph}{D_{m+2}} (\rho_{m+1} - \rho_{x-n-1})$	$\frac{k\psi}{2(3+k)g_{m+1}} \left\{ \left(3\left(\frac{n}{2} - x\right) + 2 \right) g_{m+1} + \frac{3n+2}{2} g_{x-m-1} \right\}$
$M_{x,x-1}$	$\frac{C}{4_{m+1}} \left\{ \frac{\rho_{n-i+1}}{g_{m+1}} d_{n-x+1} + \frac{27k S_{m-1}}{D_{m+2}} (\rho_{m+1} - \rho_{n-x+1}) \right\}$ $(i=x=n)$	$\frac{C}{g_{m+1}} (g_{m+1} - g_{n-x+1})$	$\frac{M}{4_{m+1}} \left\{ \frac{l}{g_{m+1}} d_{n-x+1} + \frac{9k S_m}{D_{m+2}} \right\}$ $(\rho_{m+1} - \rho_{n-x+1})$	$\frac{3Ph}{D_{m+2}} (\rho_{m+1} - \rho_{n-x+1})$	$\frac{k\psi}{2(3+k)g_{m+1}} \left\{ \left(3\left(\frac{n}{2} - x\right) + 1 \right) g_{m+1} - \frac{3n+2}{2} g_{n-x+1} \right\}$
$M_{x,x'}$	$\frac{2kC}{4_{m+1}} \left\{ \frac{\rho_{n-i+1}}{g_{m+1}} t_x - \frac{27k S_{m-1}}{D_{m+2}} (\rho_{m+1} + kU_{m-x}) \right\}$ $\frac{2kC}{4_{m+1}} \left\{ \frac{\rho_{n-i}}{g_{m+1}} t_{n-x} + \frac{27k S_{m-1}}{D_{m+2}} (\rho_{m+1} + kU_{m-x}) \right\}$ $(i \leq x \leq n)$	$-\frac{2kC}{g_{m+1}} t_{n-x}$	$\frac{2kM}{4_{m+1}} \left\{ \frac{l}{g_{m+1}} t_{n-x} + \frac{9k S_m}{D_{m+2}} \right\}$ $(\rho_{m+1} + kU_{m-x})$	$-\frac{6Ph}{D_{m+2}} (\rho_{m+1} + kU_{m-x})$	$-\frac{k\psi}{(3+k)g_{m+1}} \left\{ 3\left(\frac{n}{2} - x\right) g_{m+1} + \frac{3n+2}{2} k t_{n-x} \right\}$
$M_{x,x}$	$\frac{1}{2} M_{x,x} - \frac{9(3+k)S_{m-1}}{D_{m+2}} kC$	$\frac{1}{2} M_{x,x}$	$\frac{1}{2} M_{x,x} - \frac{3(3+k)S_m}{D_{m+2}} kM$	$\frac{1}{2} M_{x,x} - \frac{(3+k)\rho_{m+1} - Ph}{D_{m+2}}$	$\frac{1}{2} \left\{ M_{x,x} - \left(\frac{n}{2} - x\right) k\psi \right\}$

表-2

x	(-1) ^x s _x						(-1) ^x t _x						(-1) ^x u _x					
	-4	-15	-16	-4				41	76	44	8				-71	-108	-52	-8
-3	-4	-2					11	14	4					-19	-18	-4		
-2	-1						3	2						-5	-2			
-1	0						1							-1				
0	1						1							1				
1	4	2					3	2						5	2			
2	15	16	4				11	14	4					19	18	4		
3	56	92	48	8			41	76	44	8				71	108	52	8	
4	209	464	372	128	16		153	372	324	120	16			265	556	420	136	
5	780	2182	2368	1248	320	32	571	1718	1996	1120	304	32		989	2646	2740	1376	

x	(-1) ^x v _x						(-1) ^x f _x						(-1) ^x g _x					
	-4	194	448	368	128	16		97	168	92	16				-265	-668	-604	-232
-3	52	90	48	8			26	30	8					-71	-138	-84	-16	
-2	14	16	4				7	4						-91	-26	-8		
-1	4	2					2							-5	-4			
0	2						1							-1				
1	4	2					2	2						1	2			
2	14	16	4				7	12	4					5	10	4		
3	52	90	48	8			26	60	40	8				19	48	36	8	
4	194	448	368	128	16		97	280	276	112	16			71	220	236	104	
5	724	2090	2320	1240	320	32	362	1254	1624	992	288	32		265	974	1348	880	

x	(-1) ^x p _x						(-1) ^x q _x						(-1) ^x d _x					
	-4	459	1004	788	264	32		-	-	-	-	-624	-64	-627	1504	1300	-480	-64
-3	123	198	100	16			1254	3732	4272	2352	-248	-32	-168	-306	-176	-32		
-2	33	34	8				-336	-806	-688	-16			-45	-56	-16			
-1	9	4					-90	-164	-92	-8			-12	-8				
0	3						-24	-30	-8				-3					
1	3	2					-6	-4					0	2				
2	9	14	4				0	2					3	8	4			
3	33	72	44	8			6	12	4				12	36	32	8		
4	123	340	316	120	16		24	58	40	8			45	160	196	96	16	
5	459	1534	1900	1104	304	32	90	268	272	112	16		168	694	1072	768	256	

$$\left. \begin{aligned} 2(1+k)\varphi_0 + \varphi_1 &= -K_0 \\ \dots & \dots \dots \dots \\ \varphi_{x-1} + 2(2+k)\varphi_x + \varphi_{x+1} &= -K_x \\ \dots & \dots \dots \dots \\ \varphi_{n-1} + 2(1+k)\varphi_n &= -K_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

および

$$k(3 \sum \varphi_x + 2 \sum \psi_x) = -Ph \dots \dots \dots (5)$$

を得る。ここに

$$K_x = C_{x-1} - C_{x+1} - M_x + k \psi_x \dots \dots \dots (6)$$

である。φ_xに関するn元1次連立方程式(4)の解はK_yに無関係な係数A_{xy}によって

$$\varphi_x = \sum_y A_{xy} K_y \dots \dots \dots (7)$$

と書くことができる。この係数A_{xy}は、(4)式の右辺を0とおいた2階同次差分方程式

$$\varphi_{x-1} + 2(2+k)\varphi_x + \varphi_{x+1} = 0 \dots \dots \dots (8)$$

の固有方程式

$$\beta^2 + 2(2+k)\beta + 1 = 0 \dots \dots \dots (9)$$

の1根

$$\beta = -(2+k) + \sqrt{(1+k)(3+k)} \dots \dots \dots (10)$$

を用いれば、

$$\left. \begin{aligned} y \leq x \quad A_{xy} &= \frac{(a\beta^{n-x} - b\beta^{-n+x})(a\beta^y - b\beta^{-y})}{(\beta - \beta^{-1})(a^2\beta^n - b^2\beta^{-n})} \\ y \geq x \quad A_{xy} &= \frac{(a\beta^x - b\beta^{-x})(a\beta^{n-y} - b\beta^{-n+y})}{(\beta - \beta^{-1})(a^2\beta^n - b^2\beta^{-n})} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (11)$$

ただし

$$a = \beta + 2, \quad b = \beta^{-1} + 2 \dots \dots \dots (12)$$

となる。(10)式に示すように、βはk無理関数で取扱いが不便であるので、次の9個の有理関数を導入して計算を進める。

$$\left. \begin{aligned} s_x &= \frac{\beta^{x+1} - \beta^{-x-1}}{\beta - \beta^{-1}} & f_x &= \frac{a\beta^x - b\beta^{-x}}{\beta - \beta^{-1}} \\ t_x &= \frac{\beta^{x+1} - \beta^{-x}}{\beta - 1} & g_x &= \frac{a\beta^x - b\beta^{-x+1}}{\beta - 1} \\ u_x &= \frac{\beta^{x+1} + \beta^{-x}}{\beta + 1} & p_x &= \frac{a\beta^x + b\beta^{-x+1}}{\beta + 1} \\ v_x &= \beta^x + \beta^{-x} & q_x &= a\beta^{x-1} + b\beta^{-x+1} \\ d_x &= \frac{a^2\beta^{x-1} - b^2\beta^{-x+1}}{\beta - \beta^{-1}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

これらの諸関数はいずれも差分方程式(8)を満足するkのx次多項式で、相互にも種々の関係が成立する。表-2はx=-4~5に対するこれら諸関数の係数を示したもので、例えば

$$\begin{aligned} (-1)^{-4}s_{-4} &= -15 - 16k - 4k^2 \\ \therefore s_{-4} &= -15 - 16k - 4k^2 \end{aligned}$$

等である。前にもどって、(11)式は(13)式によって次のように書き直すことができる。

$$y \leq x \quad A_{xy} = \frac{t_{n-x}t_y}{d_{n+1}} \quad y \geq x \quad A_{xy} = \frac{f_x f_{n-y}}{d_{n+1}} \dots (14)$$

(6)式によれば、K_xは未知量ψ_xをふくんでいる。このψ_xはv)場合以外、柱材の傾斜角がすべて等しいという性質からただの一つの未知量ψにおきかえることができる。(7)、

(6), (14) 式を (5) 式に代入したものが ψ を決定する方程式となる。 v の場合は温度変化を t として
ただし

$$\psi_x = -\left(\frac{n}{2} - x\right)\psi \dots (15) \quad \psi = -\frac{6EI\alpha t}{h} \dots (16)$$

という形で与えられる。 ψ が定まれば φ_x も確定し、(1)式から所要のすべてのモーメントが求められることになる。これらの計算をわれわれは(13)式に示した関数を利用して簡易化しながら遂行するのであって、得られた結果は表-2 に一括して表示してあるとおりである。なお、I) および III) の場合、 ψ の影響は一般に小さいので、これに相当する公式の第 2 項を省略すれば公式はさらに簡単に行うことができる。

【筆者：正員 京浜急行電鉄 KK 工務部改良課工事係長】

巾広げきの越流係数の理論的研究

山辺春雄・吉木 正

剛体壁に沿う越流の問題において、流体が完全流体として、与えられた自由表面を持つ流れを形成するためにはいかなる剛体壁に沿わねばならないかというのは原理的に解かれている。ところが与えられた剛体壁に沿う流れはいかなる自由表面を形成するかという問題は境界条件の非線型性のために、いちじるしく解決が困難である。それに関連して工学的に重要な巾広げきの越流係数の評価についても、いくつかの試みがなされているが、それらの多くは頂部付近では流線の曲率半径がせきの壁面流線方向に linear に変化するという仮定にもとづいている。この小論のねらいは別の点から流れの解析を進めようとするもので境界層の近似解法である Kármán-Pohlhausen の手法によるものである。

断面の形状双曲線の巾広げきを越える完全流体の二次元流れを考える (図-1 参照)。計算の便宜上、等角写像 $\xi, \eta \rightarrow x, y$ によって $\xi\eta$ 面で解析を進めよう (図-2 参照)。

$$\xi = C \sinh x \cos y, \quad \eta = C \cosh x \sin y$$

図-1

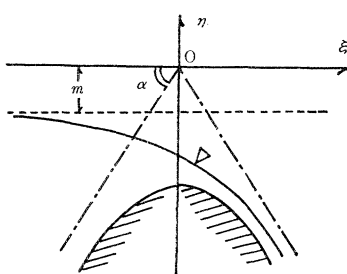


図-2

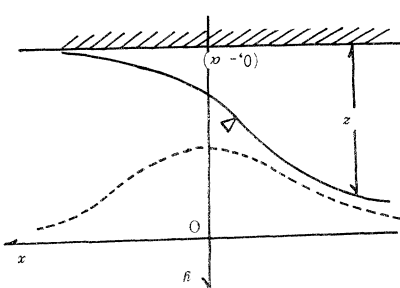
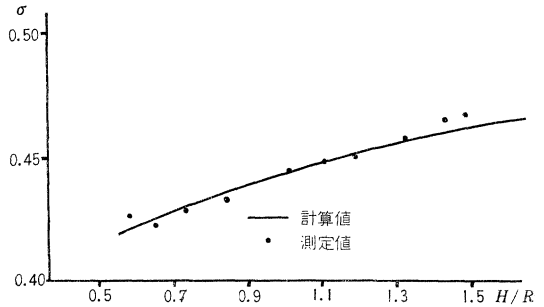


図-3



なお元の双曲線断面は

$$-\frac{\xi^2}{a^2} + \frac{\eta^2}{b^2} = 1$$

であり、 $C \cos \alpha = a$, $C \sin \alpha = b$, $C > 0$, $0 < \alpha < \pi/2$ である。

流れ関数 ψ が η の二次式で近似できるものと仮定し、 $z(x)$ を xy 面上における越流の厚み、 $f(x)$ を未定のパラメータとすると自由表面が大気圧に接しているという条件は Bernoulli の定理から $F(x, z, \mu)$ を既知関数として

$$\epsilon(1+z'^2) = F(x, z, \mu)/(1-f)^2$$

また ψ の満たすべき偏微分方程式 (ラプラスの方程式) も越流の厚みの方向に平均して

$$f'' + 2\frac{z'}{z}f' + \left[5\frac{z'}{z} + \frac{d}{dx}\left\{\frac{z'}{z}\right\} - \frac{12}{z^2}\right]f - 3\frac{d}{dx} - 3\frac{z'}{z} = 0$$

を得る。ここに μ は m/c で定義されるせき上げ高と等価な量であり ϵ は越流係数 γ と $\gamma = \sqrt{\epsilon}/[\sin \alpha - \mu]^{3/2}$ で結ばれる。

ϵ が微小量であるとし、粗い近似で f と z の連立常微分方程式を解き、越流の critical condition を適用して与えられた μ (与えられたせき上げ高に) 対し越流係数 γ が $\alpha = \pi/3$ (α については図-1 参照、双曲線漸近線の交角である) で計算してあり、同時に $a = 10$ cm, $b = 10\sqrt{3}$ cm ($\therefore \alpha = \pi/3$)、せき巾 40 cm で実験した測定値も比較のため記されている。ただし図-3 の横軸は μ そのものではなくせき頂部の曲率半径 R とせき上げ高 H との比が目盛られている。

【筆者：山辺・正員 福井大学講師 工学部機械工学科, 吉木・KK 奥村組】

まくら木の移動に対する道床の抵抗力

小野一良・成瀬忠明

1. 緒言

鉄道線路において列車通過にともないレールが軌動方向に移動する場合があります。これをレールのクリープという。レールのクリープによってレールの継目遊間が次第に乱れてくるのでクリープを防止するために種々の装置が使用されている。中でもアンチクリーパーは最も広く用いられ、まくら木上をレールが滑ることを防止する効果がある。しかしこのときにはまくら木が道床中を移動するときの抵抗力もレールのクリープを防止する上に重大な意義を持っている。従来は軌道の座屈に対する安定度を検討するために静的な道床抵抗力のみが測定されたが、レールおよびまくら木は走行車両によって軌道に振動が加えられたときに限って移動すると考えられるので著者は試験軌道に上下方向の振動荷重を加えながらこれをレール方向に引いてその抵抗力を測定し、これを静的な抵抗力に比較した。

2. 実験装置

実験室内に 37 kg/m レール、木またはコンクリートまくら木およびふるい砂利または砕石道床を用いた試験軌道を敷設した(図-1 参照)。コンクリートまくら木の形状を図-2 および図-3 に示す。後者の底面には多数のくぼみがつけられており、これを特殊コンクリートまくら木と呼ぶことにする。なお試験軌道の上に荷重としてコンクリートまくら木を置き、順次この本数を増加した。試験軌道に振動発生機を取りつけたが、振動発生機の偏心荷重の回転数が 860 r.p.m. および 1390 r.p.m. となったとき起振力はそれぞれ 144 kg および 377 kg となった。

図-1 道床抵抗力測定装置

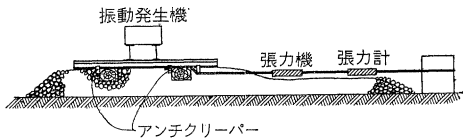


図-2 E 改造型 PC まくら木

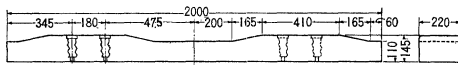
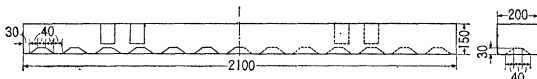


図-3 鉄筋コンクリート特殊まくら木



徐々に引張力を増しながら試験軌道をレール方向に引き、試験軌道の横方向および垂直方向の移動量をダイヤルゲージで測定した。写真機を固定して試験前後の道床面の状態を同一膜面上に写したので軌道の移動にもなって影響を受ける範囲を知ることができた。その結果まくら木の前 40 cm の範囲内の道床が移動することを知った。

3. 抵抗力の測定

前記の3種類のまくら木について砕石道床中を移動するときの抵抗力を測定した。図-4 に木まくら木を用いた軌道の静的試験における移動量と引張力との関係を示した。図中の数字は試験軌道上の荷重を示す。試験軌道の移動量の対数と抵抗力との間には直線的の関係が成立し、移動量が 10 mm を越えたときには最大抵抗力に達した。試験軌道に振動力を加えたときには抵抗力は幾分減少するが、移動量の対数と抵抗力との間にはやはり直線的の関係が認められた。コンクリートまくら木を使用した場合にも同様である。

図-4 まくら木の横方向移動に対する道床抵抗力 (木まくら木, 静的試験)

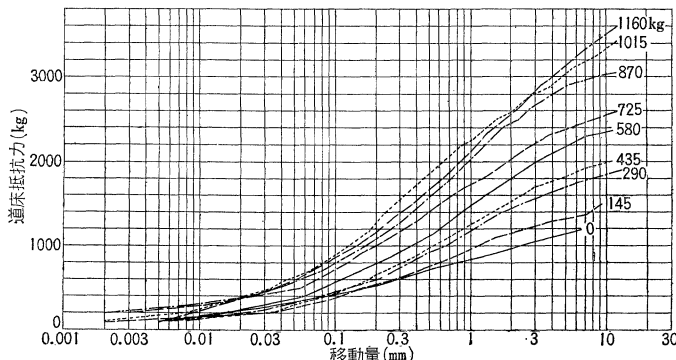


図-5 まくら木の横方向移動と浮き上りとの関係 (木まくら木, 静的試験)

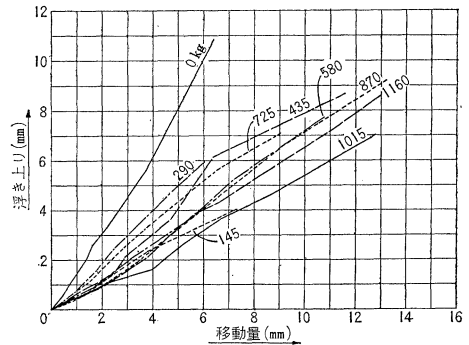
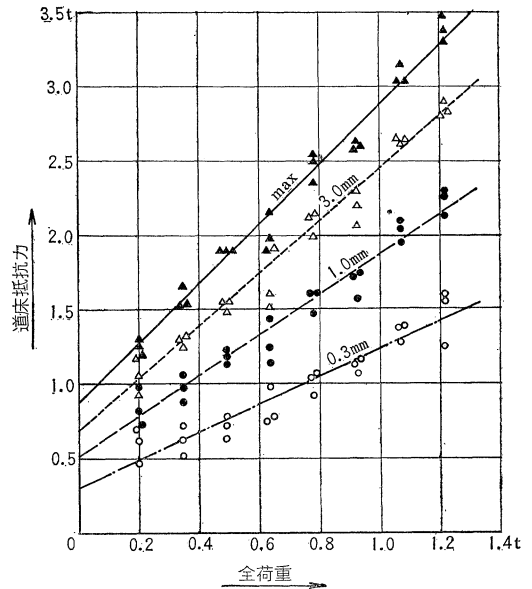


図-6 道床抵抗力と荷重との関係 (木まくら木, 静的試験)



試験軌道の横方向移動ともなう浮き上りの数値を図-5 に示した。浮き上り量は横方向の移動量にほぼ比例しているので試験軌道はあたかも一定の勾配を持つ斜面に沿って引き上げられたことになった。

試験軌道上の荷重を増すと、試験軌道に振動力を加えたとき、またはコンクリートまくら木を使用した場合には浮き上りは幾分減少した。浮き上りが横移動量の 50~70% となるものが比較的によく認められた。

静的試験において木まくら木による試験軌道の移動量が 0.3, 1.0 および 3.0 mm となったときの道床抵抗力ならびに最大抵抗力を図-6 に示したが、これらの移動量における抵抗力は荷重の大きさに比例して増大することおよび最大抵抗力の増加は試験軌道上の荷重のほぼ 2 倍となることが認められた。

このように道床抵抗力が急に増加した原因はまくら木底面におけるまくら木と道床との間の摩擦だけでなく、試験軌道の浮き上りによる影響が多

信号交差点の交通容量に関する 基礎的考察

渡 辺 新 三

分にふくまれているためと考えられる。試験軌道に振動を加えたときはコンクリートまくら木を使用したときにも同様な関係が認められた。

試験軌道に荷重のないときにはコンクリートまくら木を用いた試験軌道の抵抗力はまくら木を用いた試験軌道の抵抗力にくらべて約50%大きい。試験軌道上の荷重を増すときにこの差は少なかった。これはコンクリートまくら木と道床との間の摩擦抵抗力がまくら木と道床との間の摩擦抵抗力にくらべて小さいためと考えられる。特殊コンクリートまくら木を用いた試験軌道の抵抗力は軌道上の荷重を増した場合にもまくら木を用いた試験軌道にくらべてはるかに大きかった。

試験軌道に振動を加えた場合にはコンクリートまくら木の抵抗力とまくら木の抵抗力との差は静的試験にくらべてさらに大きくなり、1390 r.p.m.の振動力が加えられたときはコンクリートまくら木の抵抗力はまくら木の抵抗力の2倍以上になった。試験軌道上の荷重を増した場合にもこの間の差は明らかに認められた。

試験軌道の道床抵抗力は試験軌道に上下方向の振動力を加えた場合にいちじるしく低下した。まくら木を用いた試験軌道に860 r.p.m. および1390 r.p.m.の振動を加えた場合にこれらの起振力は、試験軌道の重量のそれぞれ28% および74%であるが、道床抵抗力の低下はそれぞれ50% および70%となった。

起振力の小さいときには起振力の全重量に対する割合を越えて道床抵抗力の低下することは注目に値することである。しかし、試験軌道上に荷重を較せたときには振動の影響はいちじるしく軽減された。コンクリートまくら木を用いた試験軌道に860 r.p.m. および1390 r.p.m.の振動を加えたときには道床抵抗力の低下はそれぞれ40% および50%となり、この場合にもさきと同様な関係が認められた。特殊コンクリートまくら木を用いた試験軌道に860 r.p.m.の起振力を加えたときには道床抵抗力の低下は20%となり、軌道上の荷重を増したときには抵抗力の低下はさらに少なくなった。

まくら木を用いた試験軌道のふるい砂利道床中における抵抗力もあわせて測定した。静的試験においてはふるい砂利道床中の抵抗力は碎石道床中の抵抗力の2/3となった。しかし軌道に振動を加えたときにはこの差はほとんど認められなかった。

4. 結 論

実験によれば軌道上に荷重を置くとときに道床抵抗力がいちじるしく増加したので実際の軌道においてもレール中にふくまれる圧力または張力のためレールが車輪の位置を越えて移動することはほとんどないと考えられる。軌道に振動荷重を加えたときに道床抵抗力はいちじるしく低下し、かつ走行車両によって軌道に生ずる振動は試験軌道に加えられた振動にくらべてはるかに大きいことを考慮すれば軌道がボギー車の前台車と後台車との間で浮き上がったときにまくら木が道床中を移動するであろうことは容易に推察される。著者は以前に客車またはボギー貨車が通過するときに限ってレールがクリープすることを発見し、報告したことがある。

レールクリープを防止するにはまくら木よりコンクリートまくら木が有利であり、コンクリートまくら木の底面に多数のくぼみをつければさらに効果が増す。碎石道床はふるい砂利道床にくらべて振動に対する抵抗が強いといわれて来たが、この点に関して実験の結果は明らかではなかった。

【筆者：小野 正員 工博 金沢大学教授 工学部土木工学科、成瀬・川崎製鉄KK東京営業所工事技術課】

1. 車頭間隔の分布

道路の交通容量を理論的に追求する方法としては、交通流を(1) Traffic Dynamics, (2) Random Flow, (3) Kinematic Wave として取り扱う3つの立場があるが著者は Random Flow の立場を取り交差点の容量を解明した。

Random Flow の立場をとるとき、いままで広く用いられてきた交通流の表現方法はポアソン分布であり交通量の比較的小さい範囲ではこの仮定がよく適合するといわれている。しかし交通量が増大し、また交通規制をうけたりして各車両が独立性を失なって連行性を生じてくるともはやポアソン分布には従わなくなる。この一団となって連行性を生じた流れを解析するために、著者は車頭間隔の分布を、連行性を生じた流れと、自由走行をしている流れの合成されたものと考え前者には指数分布をトランケートして扱い、後者にはこれまで用いられてきた指数分布を適用し、任意の時間間隔 θ の間に車両のまったくふくまれていない確率 $P(\theta)$ を次式であらわすものとした。

$$P(\theta) = N\gamma t_1 e^{-\frac{\theta}{t_1}} + N(1-\gamma)(t_2 - \epsilon)^{-\frac{\theta-\epsilon}{t_2-\epsilon}} \dots (1)$$

ここで、 N ：単位時間当りの交通量、 γ ：自由走行をする車両の全車両に対する割合、 t_1 ：自由走行をする車両群の平均車頭間隔、 t_2 ：連行している車両群の平均車頭間隔、 ϵ ：限界車頭間隔とする。

2. 限界車頭間隔 ϵ

車両が安全に走行できる範囲で前後の車両との間隔の最小のものを限界車頭間隔と称すると、これは走行速度および車両長の関数として求められるべき性質のものである。したがってこれを時間であらわせば

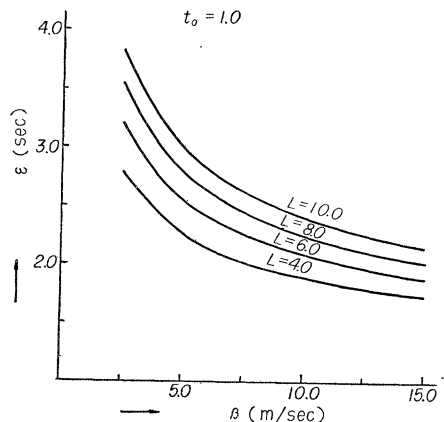
$$\epsilon = t_0 + v/2\beta + L/v \dots (2)$$

となる。ここで t_0 ：反応時間、 v ：走行速度、 β ：制動時の減速度、 L ：車両長である。この式から ϵ が最小となるときの走行速度 v を求め、これによって ϵ を β と L の関数として求めると

$$\epsilon = t_0 + \sqrt{2L/\beta} \dots (3)$$

となる。図-1 は $t_0 = 1 \text{ sec}$ としたときの ϵ, β, L の関係を示したものである。わが国の道路のように混合交通の場合には ϵ 車

図-1 $\epsilon - \beta - L$ の関係



種の混合率を a_i 限界車頭間隔を ε_i とするとき、 ε は

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n a_i \varepsilon_i \dots \dots \dots (4)$$

で求められなければならない。

3. 信号交差点の極限交通容量

前記の限界車頭間隔の車両列が進行信号の間に通過することのできる交通量を信号交差点の極限容量 N_l と名づける。限界車頭間隔の車両列を考えるのであるから 屈曲車が入り込む余地は全くない直進交通のみを対象とすることになって一般の交差点では起こり得ない状態があるが単一車種について、この極限の場合の容量を求めておいて車種構成の変化、屈曲交通の発生などともなって容量が減少して行く割合を求めて行くものとする。

単一車種の場合の極限容量 N_l はつぎのようである。

$$n = \{g - t_0 - v/2 \alpha\} v / (S + t_0 v) \text{ 台/信号1サイクル}$$

$$N_l = 3600 n / C \text{ 台/時} \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 g : 進行進号の現示時間 sec, C : 信号の1サイクルの時間 sec, t_0 : 反応時間 sec, v : 走行速度 m/sec, α : 加速度 m/sec², S : 距離であらわした車頭間隔 m である。

つぎに車種が混合してくるとその中で加速度もふくめてもつとも速度のひくい車種によって容量は支配され単一車種の場合について求めた (5) 式はつぎのようになる。

$$n = \{g - t_0 - v_k/2 \alpha_k\} v_k / \left(\sum_{i=1}^k a_i S_i + t_0 v_k \right)$$

$$N_l = \sum_{k=1}^k P(k) 3600 n_k / C \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 a_i : i 車種の混合率, $P(k)$: k 車種を少なくとも1台ふくむ確率であってその確率分布は a_k を κ 車種の混合率とすると二項分布としてつぎのようになる。

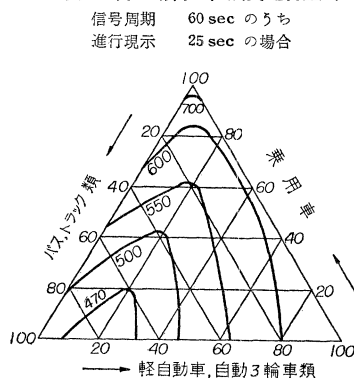
$$P(k) = \sum_{x=1}^n C_x (a_k)^x (1-a_k)^{n-x}$$

$$= 1 - n C_0 (1-a_k)^n \dots \dots \dots (7)$$

(6) 式から混合車種の場合の極限容量についてはつぎのような傾向が見られる。

- a) 高速車両群に低速車が少しでも混合すれば容量は急激に減少し、混合率が20%以上になるとあまり影響はなくなる。
- b) 高速で車両長の長い車種と低速で車両長の短い車種とが混合する場合は容量が最小となるような混合率が存在する。
- c) 混合車種の車両長が等しいときには容量は $P(k)$, v_k , α_k のみに支配される。
- d) a)~c) は2車種混合の場合であるが、3車種混合のとき

図-2 3車種混合の場合の極限交通容量 (v.p.h)



は、高速車種と中速車種の混合割合いかんにかかわらず、低速車種の混合割合が20%前後のところの容量の最小となるところができる。

e) 容量に影響をあたえる混合率は低速、中速、高速の順であって高低の比率がかなり大きくても、低速の比率によって容量はあまり大きくならない。

図-2 は3車種混合のときの容量を示す一例である。

4. 右折交通による容量の低下

わが国では車両は左側通行であるから、信号交差点では左折交通は交差点容量の低下にはあまり影響をあたえないものとし、右折車による容量の低下のみについて考えるものとする。

右折車は対向車線を必ず1度は横断しなければならないが、そのときに対向車線が閑散であれば右折車はその間隔をぬって右折を完了することができるけれども、対向交通が多い場合には交差点内で一旦停車して対向の直進車が全部通過するまで待たなければならなくなり、交差点中心付近のポケットに右折車が滞留する現象を生ずる。右折車が多くてポケットの容量をこせば右折車は走行車線上に累積して停車することになるので、その車線の能力を低下させて容量の低下を生ぜしめることになるので、右折車が交差点のポケット容量をこえる確率 $Q(x)$ をもとめてこれを停滞確率とよぶことにすると、停滞確率 $Q(x)$ はポケット容量 k と対向車線の交通流の間隔をぬって通過できる台数 \bar{x} の和まで右折車が生ずる確率を求めて全確率から引けばよいからその値はつぎのようになる。

$$Q(x) = 1 - \sum_{z=0}^{k+\bar{x}} n C_x p^x (1-p)^{n-x} \dots \dots \dots (8)$$

ここで、 x : 1 信号周期中に生ずる右折車の台数, p : 右折車が全交通に対して占める割合である。

このようにして停滞確率 $Q(x)$ が求められれば、その交差点における右折車による容量の低下は $N \cdot Q(x)$ となるから容量は $N = N_l [1 - Q(x)] \dots \dots \dots (9)$ として求めることができる。

(8) 式において n は1 信号周期中の交通量であるから、単位時間当りの交通量は同じであっても信号周期がことなれば $Q(x)$ の値はいちじるしくことになってくるもので、例えば交通量 600 v.p.h, $p=0.2$, $k=3$, $\bar{x}=0$ として信号周期が 60 sec のときは $Q(x) \div 0.12$ となるのに対して信号周期を 90 sec にすると $Q(x) \div 0.35$ となる。したがって交通量が多く、かつ右折車の割合の多い交差点ではポケットの容量をできるだけ大きく取れるように幾何学的構造を考えること、ポケット容量に限度があるときには信号周期を短かくして n を小にしてポケット容量を有効に使うことを考えなければならない。ただ容量は前節のべたように信号周期を短かくするにつれていちじるしく減少するから、そのこととの比較もあわせて考えなければならないことはもちろんである。

5. 信号交差点の可能交通容量

いま対向車線の交通はまったくきまたげないで右折交通をゆるした場合の交差点の最大の容量を可能容量 N_p と称することにすると、可能容量は1 信号周期当りの可能通過量 n , 右折車の割合 p , ポケットの容量 k によって決定され、右折車は対向車線の車両が通過しおわるまでポケットに待たなければならないので (8) 式における $\bar{x}=0$ の場合について計算を行なえばよいことになる。

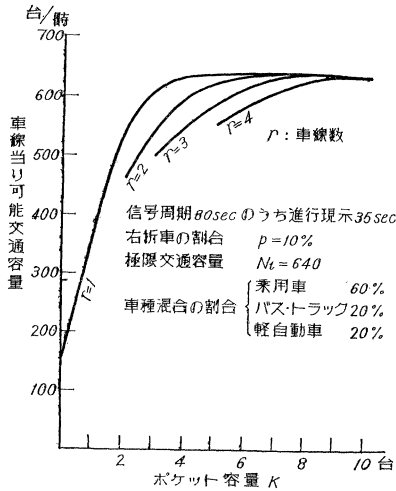
つぎに1 方向について車線数が r 個あるときは、右折車の割合が p であるとき1 番内側の車線の車両が rp の割合の右折車をふくみ、ほかの車線には右折車はふくまないものとするれば、 r 車線の場合の1 車線当りの平均可能容量 \bar{N}_{pr} はつぎのようになる

$$N_{pr} = \frac{N_t}{r} \{r - Q(x_{n, rp})\}$$

ここで $Q(x_{n, rp})$ は1信号周期の1車線当りの平均交通量が n 、右折車の割合が rp の場合の停滞確率をあらわすものとする。

$Q(x)$ の値は n が同一であっても rp が大きくなれば急速に1に収れんするから r 車線といっても、ポケット容量 k の値があまり大きくない範囲では r の値はせいぜい4~5くらいで右側車線は $Q(x)$ が大きくなって右折車を全部さばききることがで

図-3 多車線の場合の可能交通容量



きなくなる。図-3 は多車線の場合の容量を示す一例である。

以上のことから可能容量 N_p を増すためには

- a) 右折車の割合 p に応じたポケット容量 k を確保すること
- b) 交差点が小さい場合には、少量の容量の増加のためにはポケット容量 k の値をますことが効果的である。
- c) 交通量がいちじしく増加してくれば k を増加するよりも車線数 r を増した方がはるかに有効であるが、 k を同じにして r だけを増す場合は可能容量の増加は r に比例せずに1車線当りの可能容量は次第に減少する。
- d) 右折が多くなったときは1番内側の車線全体をポケットとして使用すると可能容量はかなり増加する。ただこの場合は注意信号の現示時間を長くするか、特別に右折用の信号現示を考える必要がある。

6. 信号交差点の実用交通容量

前節で述べた可能容量は交差点の条件(巾員、右折車の割合、信号のサイクル時間など)を考慮したときのその交差点における実現可能な最大の容量であるが、進行車両は限界車頭間隔または、これに近い状態で進行する場合でゆりのない容量である。そこで交差点の実用容量としては、

- a) もっとも簡単に可能容量に安全係数をかけて表わす。
- b) 交通量の $\gamma\%$ は自由走行の状態で交差点を通過し、残りの $(100-\gamma)\%$ が一旦停車をするか、前車に追従して進行状態となって通過する状態を考え、 γ をある程度(20~30% くらいが適当であると思われる)に取る、などの方法によって定めた値を用いて街路計画立案の際の基準値とすべきである。

【筆者：正員 名古屋工業大学教授 土木工学科】

新刊!

(御一報次第図書目録進呈)

コンクリートパンフレット翻訳 2

くい基礎およびくい打ち構造物 大同コンクリート工業K.K.工博 綾 亀一氏訳
A・5判 72頁 1部 60円 千10円

米国土木学会“Pile Foundations and Pile Structures”の翻訳

1. 序 2. くいの種類および一般の特質 3. 目的 4. くい上にかかる荷重の性質
5. 打ち込み 6. 効果 7. 耐久性 8. 周囲の土への応力の分布 9. くい打ち公式
- および載荷試験 10. 現場の特質 11. くい基礎の設計 12. 施工の監督および指導

コンクリート辞典 B・6判 254頁 価150円 千30円

広島市における

コンクリート講習会テキスト B・5判 155頁 価150円 千20円

(昭和36年8月開催のもの)

日本工業規格 JISセメント {1959 / 1960} B・7判 81頁 価30円 千10円

月刊セメント・コンクリート B・5判 40頁 1部50円 千10円
予約1年600円 半年300円 (千共)

東京都港区赤坂台町1番地 日本セメント技術協会 振替東京196803・電(481)8541 (代表)