

カント設定についての一考察

牧 野 茂 樹*

要旨 本文は軌道の曲線部におけるレールの磨耗状態について、これを車両の方向転換のためのレール磨耗と、不均衡遠心力によるものとに分けて調査研究し、これらの結果から、曲線の内外レールの磨耗量を均一にするようなカントの設定法を誘導したものである。

1. 緒 言

曲線部における内外レールの磨耗状態とカントとの関係について検討し、レール磨耗から見た適正カントの設定法について述べる。

2. 調査区間についての基礎調査

高崎線大宮一本庄間を調査の対象区間とし、約 40 カ所の曲線について、まず次の基礎的事項を実測した。

- 1) 曲線半径, カント, スラック
- 2) 内外レールの磨耗量: 吉田式レール断面測定器を使用して一曲線につき間隔 7~8 m ごとに 10 点以上をとり、内側レールの磨耗量を A_i 、外側レールの磨耗量を A_o とし、内側レールに対する外側レールの磨耗量の比、すなわち $A_o/A_i = \alpha$ としてこの α を求めた。
- 3) 列車速度・重量: 列車速度については、4 日間連続測定したものの平均値とし、列車重量については、季節的車数の変化はその運転日数を勘案して算出した。

3. 在来のカント設定速度の算定式による各曲線のカント設定速度

カント設定速度を求める算定式としては、いままで多数の式が発表されているが、そのうち普通の線区に使用されている 8 種類の式について、各曲線におけるカント設定速度を算出してみると 表-1 のようになる。

この表から曲線部における内外レールの磨耗量がほぼ等しいような曲線 (5.6 km 上下線, 6.8 km 上下線のごとき) では、カント設定速度がかなり高くなっている場合である。そこで考えられることは、車両がその進行方向を転換するため、外側レールを磨耗させることである。

4. 曲線中において車両がその進行方向を転換するためのレール磨耗

一般に車両は、曲線中において、その進行方向を転換するため輪縁によつて外側レールに磨耗を与えるので、

カントが列車速度に適合していても内外のレール磨耗比 α は 1 より大きくなるわけである。

よつて、この車両の方向転換による磨耗比 α を求めるため、車両に生ずる遠心力と求心力とが釣り合った極限の形として、遠心力も求心力もともに 0 であるような状態を考える。すなわち車両が超低速度で運転され、カントが 0 またはそれにきわめて近いような曲線を考えて、このような曲線では遠心力も求心力もともに省略しうるに十分な程度であるので、車両の方向転換による α というものが測定できる。そこでこのような条件を満足する曲線をさがしてみると

- 1) 機関区庫内線などで一たん停止標のある付近の曲線
- 2) 電車区、客車区などの検査坑付近の曲線
- 3) 貨車操車場のハンプ頂上付近の曲線
- 4) 専用側線などで、貨車の手押しをする曲線

このようなカ所について EF 53, 58 ($2+C+C+2$)、EF 12, 15 ($1+C+C+1$)、客車、電車 (ボギー車)、貨車の 4 種類に分けておのおのについて α_0 を約 100 カ所にわたり実測した。

この結果を図に示すと 図-1 のようになる。

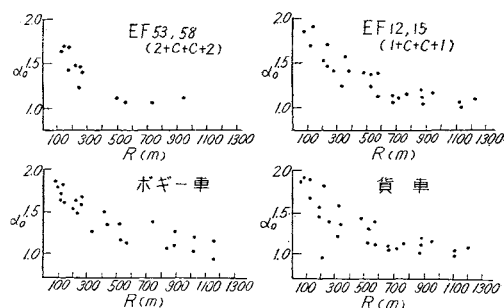
このおのおの場合について α_0 が半径 R に対して、対数的に減少するかどうかの相関分析を行うと、一次回帰が有意となり半径 R と α_0 との関係が本質的なものであることがわかるので、この対数変換したものについて相関係数を求めてみると、次のようになる。

また、相関係数には有意の差は認められず、さらに各

表-1

車両形式	EF 53, 58	EF 12, 15	ボギー車	貨車
相 関 係 数	0.80	0.93	0.92	0.89

図-1



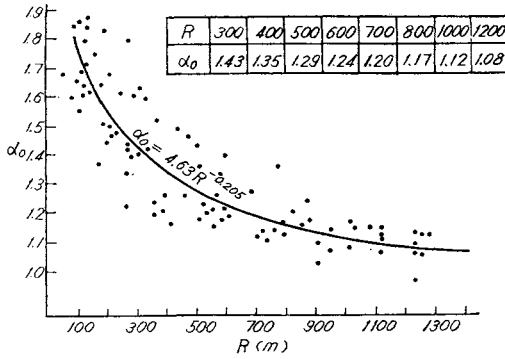
* 正員 国鉄高崎鉄道管理局 施設部保線課

表一2 調査曲線一覽表 (一覽記載)

キロ程	3.500 km		4.500 km		5.600 km		6.800 km		23.000 km		24.800 km		25.500 km		26.500 km		
	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
半徑	570	550	820	820	800	800	782	782	1 600	800	600	800	600	397			
現在カント	61	55	36	45	68	68	68	68	34	52	65	52	65	60			
現在カント設定速度 km/h	62.5	58.5	57.5	64.5	78.2	78.2	77.2	77.2	78.0	68.4	66.3	68.4	66.3	51.8			
スラック	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10			
内外レール磨耗比	1.17	1.41	0.89	1.78	0.88	0.92	0.97	0.92	1.01	1.42	1.85	1.42	1.85	2.19			
運転状態 (回数/速度)	NWV																
通過	1 455 80.8	1 455 77.0	1 455 83.0	1 455 82.0	1 455 90.0	1 455 90.0	1 455 81.0	1 455 88.0	1 455 87.0	1 455 86.0	1 455 86.0	1 455 84.5	1 455 84.5	1 455 74.5			
"	2 510 80.8	1 510 75.0	2 510 75.8	1 510 80.0	2 510 84.5	1 510 90.0	2 510 81.0	1 510 85.0	1 510 87.0	1 510 84.3	2 510 77.5	2 510 77.5	2 510 77.5	2 510 70.0			
"	8 490 76.2	13 490 73.2	8 490 75.8	13 490 77.8	8 490 80.2	13 490 83.8	8 490 78.0	13 490 76.5	13 490 86.8	13 490 84.3	8 490 77.5	8 490 77.5	8 490 77.5	8 490 70.0			
停車	21 545 65.6	18 545 42.0	21 545 35.6	18 545 69.6	21 545 68.2	18 545 72.3	21 545 78.0	18 545 69.6	18 545 86.8	18 545 84.3	21 545 74.1	21 545 74.1	21 545 74.1	21 545 66.3			
電	1 573 65.6	1 573 42.0	1 573 35.6	1 573 69.6	1 573 68.2	1 573 72.3	1 573 74.0	1 573 69.6	1 573 86.8	1 573 80.0	1 573 74.1	1 573 74.1	1 573 74.1	1 573 66.3			
通過	5 160 65.6	5 160 62.3	5 160 60.4	5 160 71.5	5 160 90.8	5 160 76.0	5 160 74.3	5 160 77.7	4 160 89.0	4 160 92.4	4 160 84.1	4 160 84.1	4 160 84.1	4 160 78.8			
停車	16 1242 54.9	16 1272 49.9	16 1242 56.9	16 1272 58.5	16 1242 56.7	16 1272 60.0	16 1242 56.3	16 1272 53.9	16 1272 60.2	16 1272 61.5	16 1242 65.9	16 1242 65.9	16 1242 65.9	16 1242 57.8			
カント設定の算定式	3 1115 54.9	4 1115 49.9	3 1115 56.9	4 1115 58.5	3 1115 54.6	4 1115 53.3	3 1115 52.4	4 1115 51.8	4 1113 60.2	4 1115 53.5	3 1115 52.0	3 1115 52.0	3 1115 52.0	3 1115 44.0			
① $\sqrt{\frac{\Sigma V^2}{N}}$	64.8	55.8	55.0	68.7	69.8	71.9	67.8	67.7	78.8	74.7	72.4	74.7	72.4	64.8			
② $\sqrt{\frac{\Sigma nV^2(1+V/100)}{\Sigma n(1+V/100)}}$	65.2	74.2	59.6	68.9	69.2	72.6	67.2	68.3	79.7	78.0	72.4	78.0	72.4	63.5			
③ $\sqrt{\frac{4\Sigma V^2 + \Sigma VJ^2}{4N_p + NJ}}$	67.8	57.7	53.3	71.8	73.8	75.8	71.3	71.9	84.4	82.6	74.1	82.6	74.1	68.6			
④ $\sqrt{\frac{1}{2}(V^2_{\max} + V^2_{\min})}$	68.1	61.0	63.9	71.2	74.3	74.0	65.4	72.2	74.8	75.5	70.2	75.5	70.2	63.8			
⑤ $\sqrt{\frac{\Sigma WV^2}{\Sigma W}}$	61.8	53.2	54.9	65.3	64.5	68.3	63.7	62.8	72.9	71.5	69.4	71.5	69.4	61.6			
⑥ $0.6 V_{\max} + 0.4 V_{\min}$	70.4	63.0	64.0	72.6	75.8	75.3	66.7	73.5	76.3	76.5	71.5	76.5	71.5	65.1			
⑦ $\frac{1}{2}(V_m + V_{\max})$	72.8	66.4	69.0	75.3	79.9	81.0	72.0	71.9	82.9	83.6	78.5	83.6	78.5	71.8			
⑧ $\sqrt{\frac{1}{4}(V_a^2 + V_b^2 + V_c^2 + V_d^2)}$	70.1	62.3	65.5	72.5	74.8	77.5	69.9	73.0	80.0	79.7	75.8	79.7	75.8	67.4			
⑨ $\sqrt{\frac{\Sigma WV^2}{\Sigma W} + R - 280}$	68.7	61.2	60.8	70.2	69.2	73.2	72.6	68.2	76.0	76.2	75.2	76.2	75.2	72.9			

凡例 ③式 N_p : 旅客列車数 V_p : 旅客列車速度 N_f : 貨物列車数 V_f : 貨物列車速度
 ④式 V_m : 通過平均A速度 V_b : 通過平均C速度
 ⑤式 V_a : 通過平均A速度 V_b : 通過平均C速度
 ⑥式 V_a : 通過平均A速度 V_b : 通過平均C速度

図-2



場合について R に対する α_0 の変化にも回帰分析の結果差が認められないので、この車種別の資料を一まとめにしてみると 図-2 のようになる。これを指数関数で表わすと $\alpha_0 = 4.63R^{-0.205}$ となる。

この図から半径 R に対して車両の方向転換のための内外レール磨耗比 α_0 を求めることができる。

5. 直線部における左右レールの磨耗比 α_s

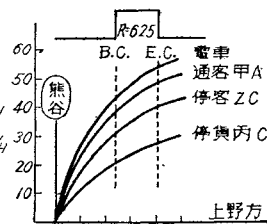
直線部においても、保守の程度、軌条のくせ、道床・路盤等の影響により、レールは必ずしも左右均等な磨耗 ($\alpha_s=1$) をしているとはかぎらない。よつて高崎線における道床路盤とも良好と思われる 30 カ所 (過去数年間のレール狂い指数 P は 4~10) について、左右レールの磨耗比を測定してみると、 $0.904 \leq \alpha_s \leq 1.096$ (信頼係数 95%) となる。

すなわち直線部においても左右レールの磨耗量には 10% くらいまでの差があるということになる。

6. 一曲線中で運転速度の変化が大きいカ所における内外レールの磨耗比の変化

いま高崎線吹上-熊谷間 33.796 km~33.940 km 上り線の半径 $R=625$ m の曲線について考えると、このカ所は熊谷を発車した列車の牽引機がちょうどノッチングアップをして加速する所であつて、スピードカーブをみればすぐわかるように、図-3 において、この曲線の入口と出口とを通過する列車の速度は相当の差があるわけであり、この一曲線においては通過トン数、運転回数、線路状態も全く同一と考えられ、ただ速度だけが変わつていたので、この場合の曲線中のレール磨耗にどんな変化があるかを調べてみた。

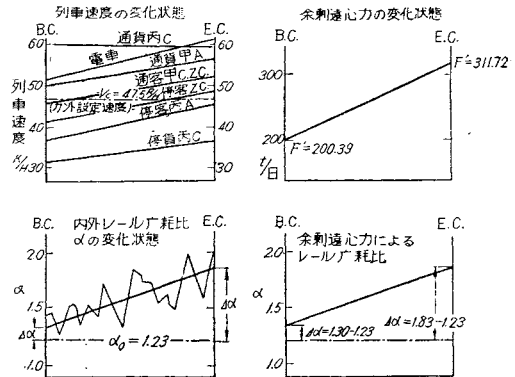
図-3



いま曲線の入口から出口まで 7 m 間隔に内外レール

の磨耗量を測定しその磨耗比 α を算出し、これを運転状態と比較対照してみると 図-4 のようになる。

図-4



速度種別	N回/日	Wt	速度種別	N回/日	Wt
通客甲 A	1	455	停客丙 A	1	573
通客甲 C	1	510	電車	4	160
通客乙 C	13	490	通貨丙 C	16	1 272
停客乙 C	18	545	停貨丙 C	4	1 115

この曲線の半径は $R=625$ m であるから車両の方向転換のための内外レールの磨耗比は $\alpha_0=1.23$ (図-2 より) となり、 α から α_0 を差引いた残りを $\Delta\alpha$ とすると $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0$ 、この $\Delta\alpha$ が不均衡遠心力による影響となる。いまこの曲線における不均衡遠心力を考えると、この曲線のカント設定速度は $V_c=47.5$ km/h であるから各列車についてその余剰あるいは不足遠心力を曲線の入口、出口についてべつべつに算出し、この不均衡遠心力による偏心率 e (曲線外方を+, 内方を-) を求めた。

このような曲線について数カ所同様な調査を試みた結果、車両がその進行方向を転換する磨耗比 α_0 をさしひいた残余 $\Delta\alpha$ は、余剰または不足遠心力と密接な相関関係があることが確かめられたので、調査区間の全曲線についておのおののカ所における $\Delta\alpha$ と偏心率 e を計算してみることににより、不均衡遠心力の大きさと、その影響による内外レールの磨耗比 $\Delta\alpha$ との関係が明らかとなつた。

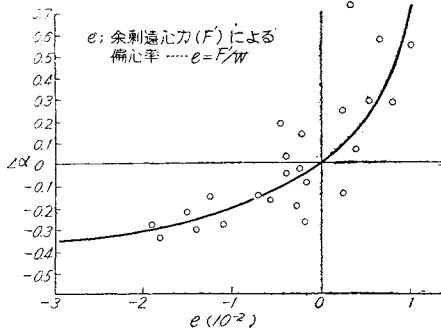
7. 不均衡遠心力による偏心率 e と内外レール磨耗比 $\Delta\alpha$ との関係

不均衡遠心力による偏心率 e と、不均衡遠心力による内外レールの磨耗比 $\Delta\alpha$ との関係を求めるために、調査区間内の全曲線についてそれぞれ e と $\Delta\alpha$ とを算出し、これを図に示すと 図-5 のようになる。

これをみると、不均衡遠心力が少しでも+方に増加すると $\Delta\alpha$ は急激に増加し、不足遠心力の増加に対しては $\Delta\alpha$ はあまり減少しない傾向がみられる。

いま e と $\Delta\alpha$ との関係を双曲線で表わすと

図-5



$$\Delta\alpha + 0.54 = -\frac{1.03}{e - 1.92} \quad \text{となる。}$$

8. 曲線における内外レールの磨耗量を均一にするカントの設定法

7. において、不均衡遠心力と内外レールの磨耗比との関係が明らかになったので、内外レールに生ずる磨耗量を均一にするようカントの設定法が考えられる。

すなわちカントを設定する曲線の半径を R 、列車速度を V_1, V_2, \dots, V_n 、その重量をおのおの W_1, W_2, \dots, W_n とすると、

1) この曲線半径 R に対する車両の方向転換のための外側レールの磨耗比 α_0 を 図-2 より求める。

2) 次に $\Delta\alpha = 1 - \alpha_0$ の値を 図-5 の $\Delta\alpha$ 軸にとり、これに対する e の値を求める。

3) 次に全列車についての不均衡遠心力が $e \cdot \Sigma W_n$ となるようにカント設定速度 V_c を算出すればよい。

すなわち速度 V_1 、重量 W_1 なる列車がこの曲線において生ずる遠心力 F_1 は、

$$F_1 = \frac{W_1}{g} \cdot \frac{V_1^2}{R} \quad g: \text{重力の加速度}$$

よって全列車についての遠心力は $F = \Sigma \frac{W_n}{g} \cdot \frac{V_n^2}{R}$

またこの曲線のカント設定速度を V_c とすればこのカントによる求心力は $f_1 = \frac{W_1}{g} \cdot \frac{V_c^2}{R}$

全列車についての求心力は

$$f = \Sigma \frac{W_n}{g} \cdot \frac{V_c^2}{R}$$

よって全列車についての不均衡遠心力 F' は

$$F' = F - f = \Sigma \frac{W_n}{gR} (V_n^2 - V_c^2)$$

この F' が $e \Sigma W_n$ となるようにすればよいから

$$e \Sigma W_n = \Sigma \frac{W_n}{gR} (V_n^2 - V_c^2)$$

いま W : 列車重量 (t) V : 列車速度 (km/h)

g : 9.8(m/sec²) V_c : カント設定速度(km/h)

とすれば

$$e \Sigma W_n = \frac{1}{12.96 g R} \Sigma W_n (V_n^2 - V_c^2)$$

となりこの式により求められた V_c によりカントを設定すれば内外レール磨耗を均一にすることができる。

9. レール磨耗からみたカントの算定式

8. において得られた式より V_c を求め

$$V_c = \sqrt{\frac{\Sigma W_n V_n^2}{\Sigma W_n} - 12.96 e g R}$$

この式中 e は $\Delta\alpha$ により決まる値であり (図-5 より)、さらに $\Delta\alpha$ はカントを設定する曲線半径によって決まるから、 e は半径 R の関数で表わすことができる。そしてこれを実用上の便宜をはかるため、双曲線関数で表わしてみると

$$V_c = \sqrt{\frac{\Sigma W_n V_n^2}{\Sigma W_n} + \frac{450 R}{R - 280}} \quad \text{ただし } R > 300$$

しかしして現在の日本国有鉄道軌道整備心得のカント設定限度 $c = 115 \text{ mm}$ をそのまま適用するとすれば、 $R < 320 \text{ m}$ のような急曲線においては、内外レールの磨耗量を均一にすることは絶対に不可能となる。

10. 内外レール磨耗比 α とレール磨耗形状

レール頭部の磨耗量が同一であつても、その磨耗形状によつて、最大磨耗高や断面二次モーメントは相当異なってくる。軌道を実際に保守する場合の更换限度は、通常最大磨耗高によつて支配されるので、いまこの磨耗比 α と最大磨耗高の比 β との関係を調査してみると、図-6 のようになる。

また軌道の横剛性を考えてみるとレールの X-X 軸に関する断面二次モーメントは Y-Y 軸のものにくらべて、相当大であるから、水平磨耗による横剛性は比較的低下しないが、側面磨耗では相当影響が大となる。そして特に曲線軌道における横強度を保持することは、軌道の保

図-6

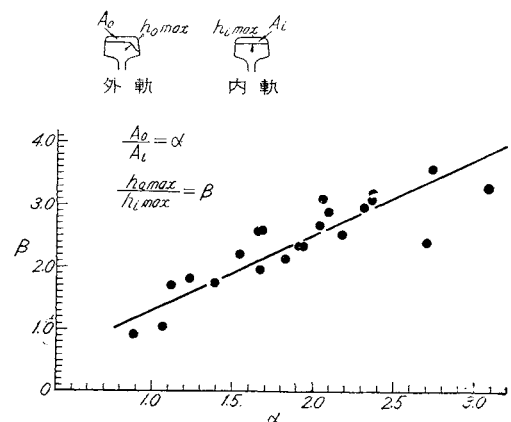
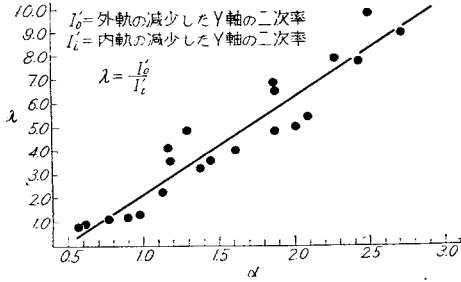


図-7



守、並びに運転保安上重要なことであるので、いま内外レールの減少した I_{r-r} の比 λ を算出し、磨耗量との比 α との関係を図示すると 図-7 のようになる。

以上の 図-6 からわかるように、レールの寿命に直接関係ある最大磨耗高についての内外レールの比 β は α が減少するに従って比例的に減少する。

すなわち内外レールの磨耗量を均一にすることは、内外レールの寿命もほぼ等しくすることになる。

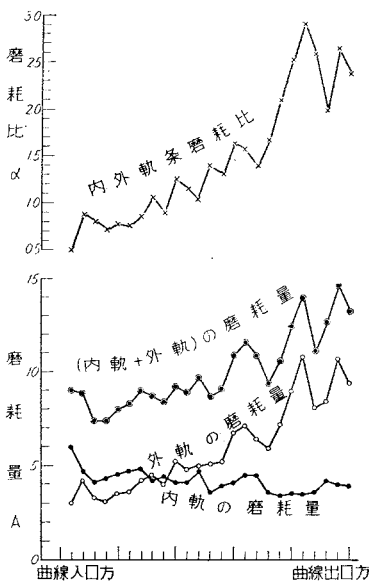
また外側レールの横剛性を低下させないためには α をできるだけ 1 に近づけた方がよいことがわかる。

11. 磨耗比 α と内外レールの磨耗量との関係

いままで考えてきた磨耗比 $\alpha=1$ ということであるが、はたしてこの場合に、絶対磨耗量が最小になるかどうかということについて検討してみると、一曲線中において α が 0.7~1.5 くらいの範囲にわたって変化するようなカ所について、内側レールの磨耗量、外側レールの磨耗量、(内側レール+外側レール)の磨耗量の変化、および内外レールの磨耗比 α の変化を図に示すと、図-8 のようになる。

このような曲線について 2,3 カ所同様な調査をした結果、内外レールの磨耗量の和を最小ならしめるような内外レール磨耗比 α の値は 0.9~1.0 の範囲内にあるようである

図-8 内外レール磨耗比 α と磨耗量との関係



が、資料数が不足のために明確なことはわからない。

12. レール磨耗よりみた各種カント算定式の吟味

9. において、内外レールの磨耗量を均一にするようなカント設定速度が求められたので、この V_c に対して、在来の算定式より求めた設定速度がどの程度離れているかを見る。

図-9

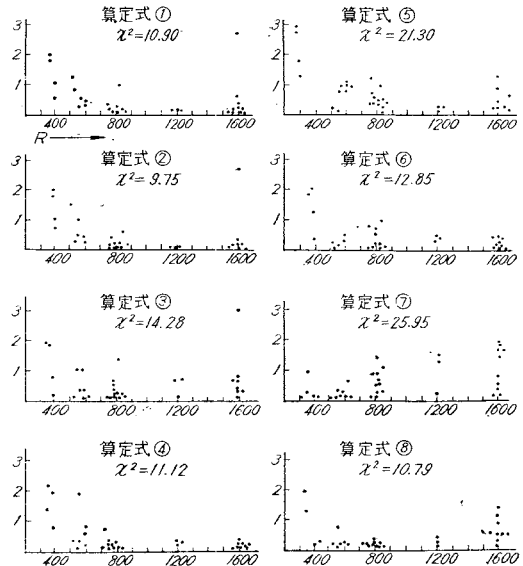


表-2

カント算定式	$\Sigma \chi^2$
① $\sqrt{\frac{\Sigma V^2}{N}}$	10.90
② $\sqrt{\frac{\Sigma n V^2 (1+V/100)}{\Sigma n (1+V/100)}}$	9.75
③ $\sqrt{\frac{4 \Sigma V_p^2 + \Sigma V_f^2}{4 N_p + N_f}}$	14.28
④ $\sqrt{\frac{1}{2} (V^2_{\max} + V^2_{\min})}$	11.12
⑤ $\sqrt{\frac{\Sigma W V^2}{\Sigma W}}$	21.30
⑥ $0.6 V_{\max} + 0.4 V_{\min}$	12.85
⑦ $\frac{1}{2} (V_m + V_{\max})$	25.95
⑧ $\sqrt{\frac{1}{4} (V_a^2 + V_b^2 + V_c^2 + V_d^2)}$	10.79

いま一曲線において、内外レールの磨耗量を均一にする設定速度 V_c とし在来の 8 コの式より求められた設定速度を V_1, V_2, \dots, V_8 とすると V_c に対するこれらの偏差を χ^2 で表わすこととしてみると $\chi^2 = \frac{(V_n - V_c)^2}{V_c}$

この値は、各算定式により求められたカント設定速度が磨耗比 α を 1 にするようなカント設定速度に対して、どの程度はずれているかの度合を表わしている。すなわち、この χ^2 が大きければ大きいほど適合度が悪いことになる。

そこでいまこの χ^2 の値を調査区間の全曲線について

出し、これを合計すると表-2のようになる。

表-2を見ると、②③④式等が比較的よく適合しており、⑤⑦式は適合度が低いことがわかる。

またこの α^2 の値は、調査した全曲線について総合したものであるが、曲線半径別にその内訳を図に表わして見ると、図-9のようになる。

この図を見ると、①③⑥式などは半径 R が小さい場合 ($R=600\text{ m}$ 以下) には、その適合度が悪く、 R が 800 m より大きいときにはよく適合しているし、これに反して、⑦式は R が小さいときには、その適合度はよいが、 R が大きくなると適合しなくなる。また③および⑥式などはレール磨耗から見ると、 R の大小にか

かわらずその適合度は、あまりよくない。

最後に、本研究に当り指導をいただいた高崎鉄道管理局佐藤保線課長、熊谷保線区飯岡区長ならびに現場各位の協力にたいし感謝の意を表する。

追記

a) 本文中 α を算出するための磨耗量測定は、敷設後相当の時間が経過し、磨耗もかなり進んだレールを対象とした。


b) 通過トン数にレール磨耗量は比例するとして考察を進めたがこれにはかなりの根拠があると考えている。ただし紙数の都合によりここではその説明を省略する。

万国地震工学大会論文集について

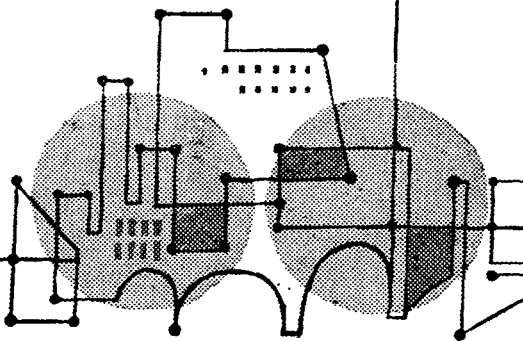
昨年6月 Berkeley, California, U.S.A. で開催された万国地震工学会議 (World Conference on Earthquake Engineering) の Proceedings が発刊されました。内容は 1) Earthquake ground motion (4論文), 2) Analysis of structural response (11論文), 3) Development of aseismic construction (11論文), 4) Earthquake effects on soils and Foundations (5論文), 5) Design of earthquake resistant structures 6) その他、となつていて B5判、540ページ、定価 \$ 8.50 (郵送料を含む)。

申込先: Karl V. Steinbrugge, Secretary, Earthquake Engineering Research Institute, Room 1039, 465 California Street, San Francisco 4, California, U.S.A.

送金には日本学術振興会 (東京都上野公園内) から発行する UNESCO Coupon をご利用になれば便利です。



PORTLAND CEMENT
ASO



**ASO
CEMENT**

最高の品質

麻生セメント

生産品目

石炭・セメント
各種石灰・コンクリートバラス
石灰石・粘土・バラス

創業 明治十七年
資本金 七億円

麻生産業株式会社

社長 麻生太賀吉

本社 福岡県飯塚市 支社・支店 東京・名古屋・大阪・広島・門司・若松・福岡