

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**

要 旨 まくら木が道床中をレール方向に移動するときの抵抗力はレール クリープの原因を探究し、またクリープを防止する上に重要な関係を持つので、種々のまくら木および道床を用いて試験軌道を作り、この上に荷重を載せ、または振動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、これらの各種の条件が抵抗力におよぼす影響を調査した。

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道方向に移動する場合がある。これをレールのクリープといい、その原因については従来多数の研究がなされているが、不明の点が多い。著者も列車通過中におけるクリープの進行過程ならびにその原因について研究行ない、その結果を土木学会誌その他に発表した¹⁾。このようなレール クリープによってレールの継目遊間は次第に乱れてくるので、これを防止するために種々のクリープ防止装置が使用されている。その中でもアンチクリーパーは最も広く用いられ、レールとまくら木との間の相対的移動を防止する効果がある。しかしこのときにはまくら木がレールとともに道床中を移動するので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。最近ではばね釘またはばねクリップを用いてレールをまくら木に締結する場合があります、これらの締結装置はアンチクリーパーの作用もあわせて持っている。

アンチクリーパーとレールとの間の滑りに対する抵抗力に関してはアンチクリーパーの構造を検討し、また製品を検査する上から従来数多くの試験がなされている²⁾。またまくら木が道床中をレール方向またはこれと直角方向に移動するときの抵抗力についてもレールの座屈に対する安定度を検討するために多くの実験がなされている³⁾。しかしこれまでの実験はいずれも静止状態にあるアンチクリーパーまたはまくら木について行なったものであって動的な試験は非常に少ない⁴⁾。実際においては走行車両によってレールまたはまくら木が上下方向その他に振動しているときにレールがその長さ方向の力を受けてクリープすると考えられるので、アンチクリーパーまたはまくら木の抵抗力を動的な試験によって検討

する必要がある。よって今回は軌道が上下方向に振動している状態においてまくら木が道床中を移動するに要する抵抗力を測定した。

2. 実験装置

砕石またはふるい砂利道床上にまくら木 2 本を 70 cm 間隔に置き、この上に長さ約 1.4 m の 37 kg レール 2 本を軌間 1 067 mm に敷設した (図-1 参照)。まくら木としては再用品木まくら木、E 改造型 PC まくら木 (図-2 参照) および底面に多数の凹みを設けた鉄筋コンクリート特殊まくら木 (図-3 参照) を用いた。このまくら木は今回の試験のために特に製作したものである。静的試験、動的試験ともにこの試験軌道の上に荷重として PC まくら木を置き、その本数を 0 本、1 本、2 本、……と順次増加した。動的試験においては試験軌道の上に 2 本の I ビームを横たえ、この上に振動発生機を置いた (図-1 参照)。振動発生機と I ビームとの間および I ビームとレールとの間は相対的移動を生じないようにボルトを用いて固く締めつけた。これらの軌道材料および振動発生機の寸法ならびに重量を 表-1 に示す。

表-1 によれば振動発生機ならびにこの付属品の合計重量は 250 kg となるが、この重量を PC まくら木 2 丁分の重量にほぼ等しくするためにさらに 50 kg の重量を追加して 300 kg とした。

図-1 道床抵抗力測定装置
Fig. 1 Test Track and Testing Apparatus.

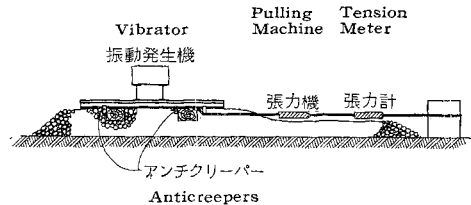


図-2 E 改造型 PC まくら木
Fig. 2 Prestressed Concrete Tie.

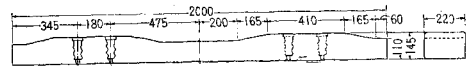
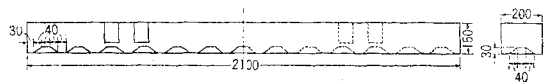


図-3 鉄筋コンクリート特殊まくら木
Fig. 3 Special Concrete Tie with Depressions on the Lower Surface.



* 正員 工博 金沢大学教授 工学部土木工学教室

** 正員 川崎製鉄KK東京営業所工事技術課

表一 試験軌道ならびに振動発生機重量

品名	形状, 寸法	重量(kg)	計(kg)
レール	37 kg/m, 長さ 1.4 m	52×2=104	(軌道重量)
木まくら木	140×200×2100 mm ³	47×2=94	211
PCまくら木	145×220×2000 mm ³	145×2=290	415
特殊まくら木	150×200×2100 mm ³	148×2=296	413
犬釘		0.3×8=2.4	
PCまくら木締結装置		2.5×4=10.0	
アンチクリーパー		1.8×6=10.8	
荷重用まくら木	PCまくら木 1~8 本	1本当り 145	
振動発生機	335×495×327 mm ³	147	
I beams	巾 100 mm, 高さ 200 mm, 長さ 1500mm	40×2=80	250
締めつけ装置		5.7×4=22.8	

振動発生機は4枚の円板に偏心荷重を取りつけ、2枚ずつを反対方向に回転させて上下振動を発生させる構造とした(図-4参照)。偏心荷重は円板1枚当り0.514 kgとし、偏心距離を85 mmとした。試験軌道上の載荷(振動発生機をふくむ)を300 kgしたとき起振力の試験軌道重量(載荷をふくむ)に対する割合を表-2に示した。試験軌道上に荷重としてPCまくら木を載せたときには当然この割合は低下する。

アンチクリーパーを用いてレールとまくら木との間の

図-4 振動発生機
Fig. 4 Vibrator

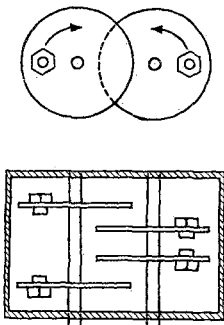


表-2 起振力の静荷重に対する割合

回転数	起振力	まくら木の種類	起振力の静荷重に対する割合
860 r.p.m.	144 kg	木	28.2%
		P C	20.1
		特殊	20.2
1390	377	木	73.8
		P C	52.7
		特殊	52.9

相対的移動を防止した後、張力器を用いて試験軌道をレール方向に引張った。引張力は張力計により、まくら木の移動量はダイヤルゲージによって測定した。一般に試験軌道は横移動の進行にともなって浮き上りを生ずるのでこれもダイヤルゲージを用いて測定した。なお前後のまくら木の浮き上り量が等しくなるよう試験軌道と張力器とを結ぶワイヤロ

ープを道床面より幾分下るようにした(図-1参照)。

1回測定を行なうごとにタイタンバーを用いてまくら木の周囲を十分締固めてすべての測定に対して道床の状態が均一となるように注意した。数回実験を行なうと試験軌道の浮き上がりはなほはだしくなるのでこのときには試験軌道を一旦撤去し、道床面を低下した後再び試験軌道を敷設した。

写真機を固定して測定開始前と終了後との2回同一膜面に道床の状態を写したのでまくら木の移動にともなって移動を生ずる道床の範囲を知ることができた。このようにしてまくら木の前面40 cmの範囲が影響を受けることが判明したので前後2丁のまくら木の受ける抵抗力の大きさはほぼ等しいと見なすことができる。

前述のごとく道床およびまくら木の種類、試験軌道上の載荷の大きさ、試験軌道に加えた上下動の振動数を種々変更したのでこの組み合わせは非常に多数になったが、同一条件の試験は少なくとも3回行なうこととした。次章以下に測定結果の概要を述べる。

3. 碎石道床における抵抗力の測定

図-5 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)

Fig. 5 Resistance to Movement of the Test Track in the Crushed Stone Ballast. (Wooden Ties were used, Statical Test)

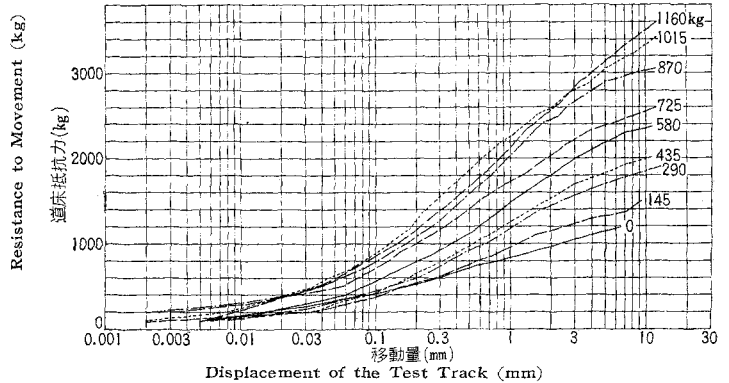
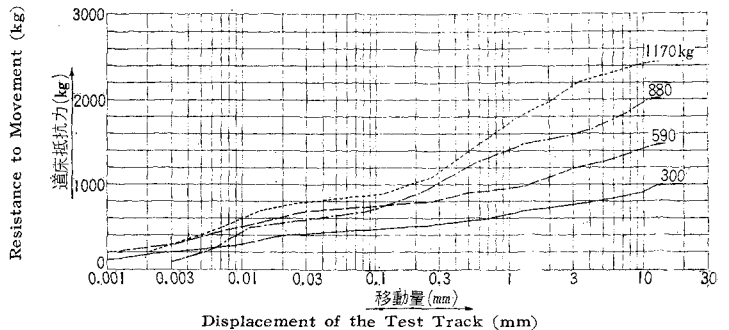


図-6 まくら木の横方向移動に対する道床抵抗力
(木まくら木, 上下振動 860 r.p.m.)

Fig. 6 Resistance to Movement of the Test Track in the Crushed Stone Ballast. (Wooden Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator: 860 r.p.m.)



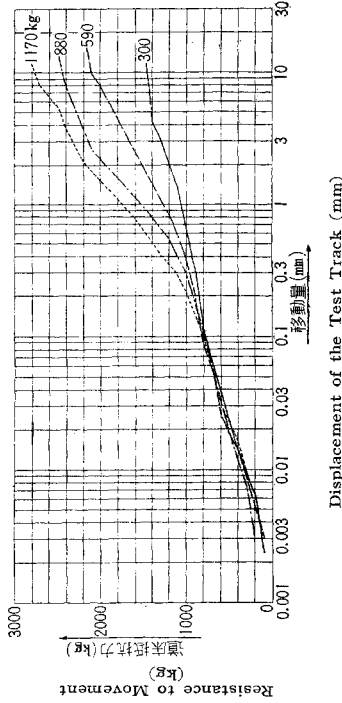
碎石道床中に種々のまくら木を用いて試験軌道を敷設し、この上の载荷の大ききならびに上下振動の振動数を変更して道床抵抗力を測定した結果を図—5—12に示した。縦軸に道床抵抗力をとったが、ここに道床抵抗力とは試験軌道全体すなわちまくら木2丁分の抵抗力を指している。横軸には移動量を対数目盛でとった。これらの図には同一条件に対する測定結果が1本ずつ示されてい

るが、実際は3回以上行ない、これらの結果がよく一致していたので代表的のものを示したのである。図の中に記入された数値は試験軌道上の载荷であり、振動発生機を取りつけたときにはこの重量も载荷の中に加えた。

いずれも引張力の増加とともにまくら木の移動量は当初少なく、引張力の増加とともに急になり、移動量が10~30 mmに達したときに最大抵抗力に達することが認

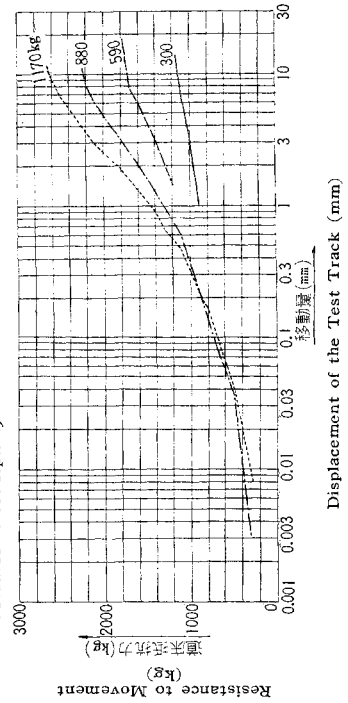
図—9 まくら木の横方向移動に対する道床抵抗力
(PCまくら木, 上下振動 860 r.p.m.)

Fig. 9 Resistance to Movement of the Test Track in the Crushed Stone Ballast.
(Prestressed Concrete Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 860 r.p.m.)



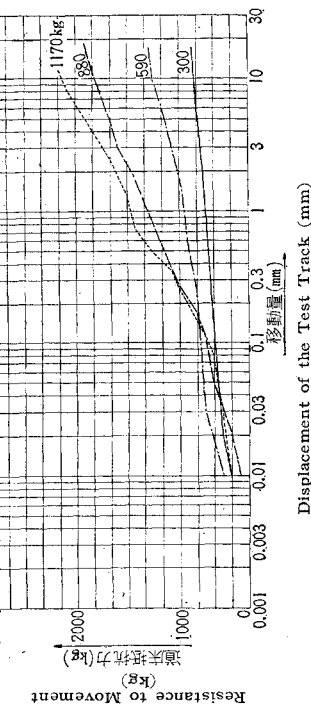
図—10 まくら木の横方向移動に対する道床抵抗力
(PCまくら木, 上下振動 1390 r.p.m.)

Fig. 10 Resistance to Movement of the Test Track in the Crushed Stone Ballast.
(Prestressed Concrete Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 1390 r.p.m.)



図—7 まくら木の横方向移動に対する道床抵抗力
(木まくら木, 上下振動 1390 r.p.m.)

Fig. 7 Resistance to Movement of the Test Track in the Crushed Stone Ballast.
(Wooden Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 1390 r.p.m.)



図—8 まくら木の横方向移動に対する道床抵抗力
(PCまくら木, 静的試験)

Fig. 8 Resistance to Movement of the Test Track in the Crushed Stone Ballast.
(Prestressed Concrete Ties were used, Statical Test)

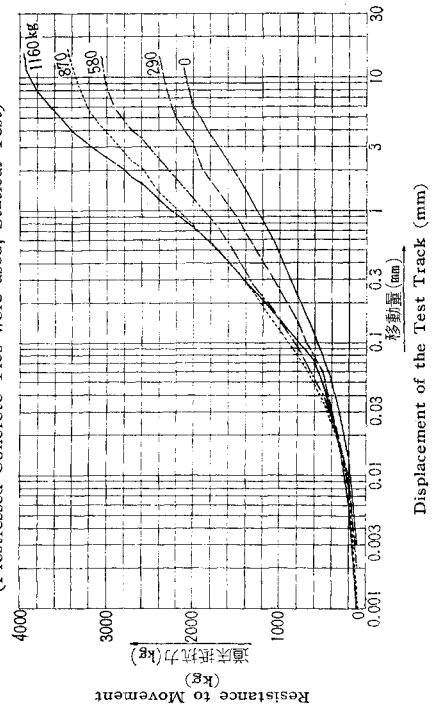


図-11 まくら木の横方向移動に対する道床抵抗力
(特殊まくら木、静的試験)

Fig. 11 Resistance to Movement of the Test Track in the Crushed Stone Ballast.
(Special Concrete Ties were used, Statical Test.)

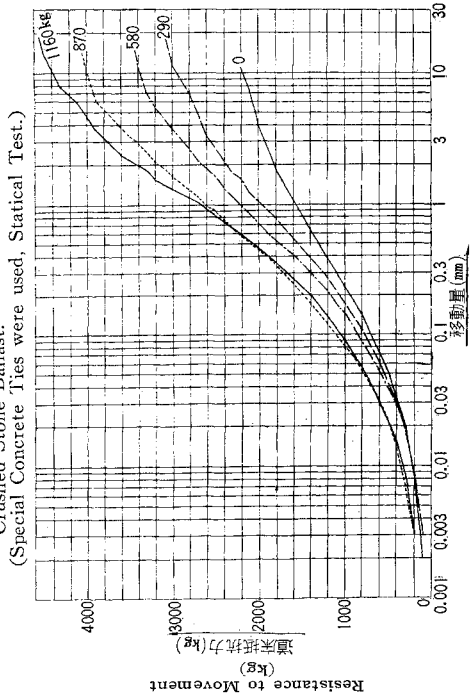
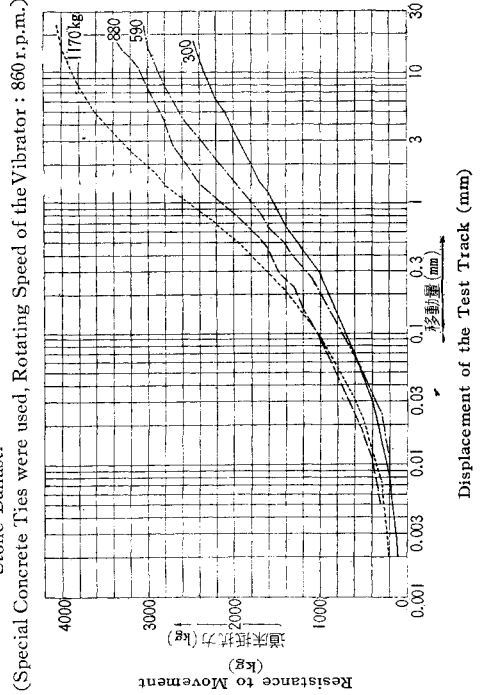


図-12 まくら木の横方向移動に対する道床抵抗力
(特殊まくら木、上下振動 860 r.p.m.)

Fig. 12 Resistance to Movement of the Test Track in the Crushed Stone Ballast.
(Special Concrete Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 860 r.p.m.)



められる。なおまくら木移動量が 0.1~3 mm の間においては移動量の対数と道床抵抗力との間にはほぼ直線の関係が成立している。

ききに述べたごとく道床抵抗力の測定に当りまくら木の横方向の移動量と同時にまくら木の浮き上り量を測定したが、その結果を図-13~18 に示した。これらによれば試験軌道の浮き上りは横方向の移動量にほぼ比例し、従って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ような結果となった。一般に試験軌道上の载荷が小さいときには浮き上りが大きく、载荷の増すとともに減少することが認められる。試験軌道に振動を加えたときには浮き上りが幾分減少し、まくら

図-14 まくら木の横方向移動と浮き上りとの関係
(木まくら木、上下振動 860 r.p.m.)

Fig. 14 Relation between Lateral Displacement of the Test Track and its Vertical Displacement.
(Wooden Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 860 r.p.m.)

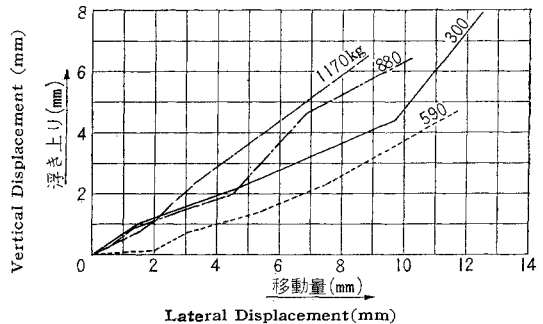


図-13 まくら木の横方向移動と浮き上りとの関係
(木まくら木、静的試験)

Fig. 13 Relation between Lateral Displacement of the Test Track and its Vertical Displacement.
(Wooden Ties were used, Statical Test)

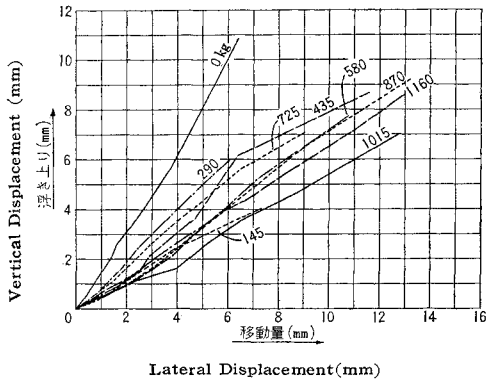


図-15 まくら木の横方向移動と浮き上りとの関係
(PCまくら木、静的試験)

Fig. 15 Relation between Lateral Displacement of the Test Track and its Vertical Displacement.
(Prestressed Concrete Ties were used, Statical Test)

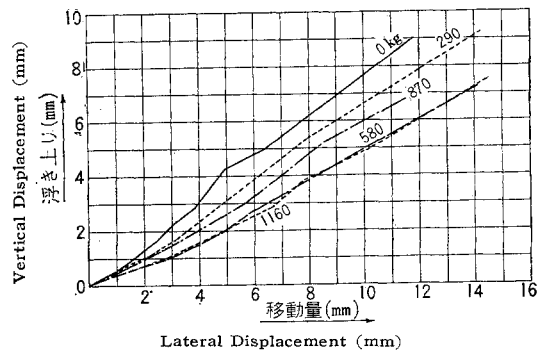


図-16 まくら木の横方向移動と浮き上りとの関係
(PCまくら木, 上下振動 860 r.p.m)

Fig. 16 Relation between Lateral Displacement of the Test Track and its Vertical Displacement.
(Prestressed Concrete Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 860 r.p.m.)

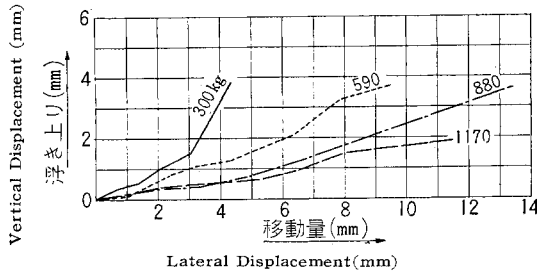


図-17 まくら木の横方向移動と浮き上りとの関係
(特殊まくら木, 静的試験)

Fig. 17 Relation between Lateral Displacement of the Test Track and its Vertical Displacement.
(Special Concrete Ties were used, Statical Test)

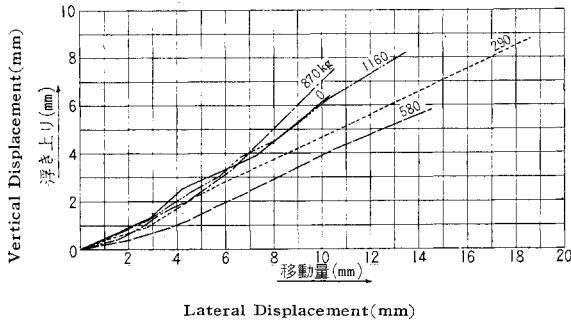
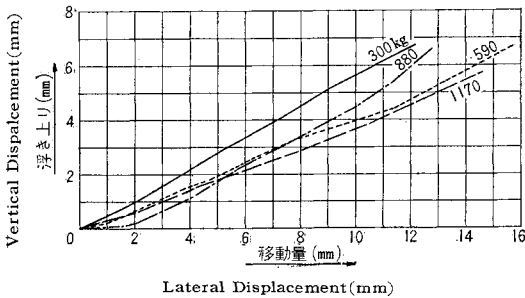


図-18 まくら木の横方向移動と浮き上りとの関係
(特殊まくら木, 上下振動 860 r.p.m.)

Fig. 18 Relation between Lateral Displacement of the Test Track and its Vertical Displacement.
(Special Concrete Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 860 r.p.m.)



木にくらべてPCまくら木および特殊まくら木の浮き上りは少ないように見受けられる。浮き上り量が横移動量の50~70%となるものが比較的によく認められた。

(1) 試験軌道上の荷重の影響

次に試験軌道上の荷重の大きさと道床抵抗力との関係をさらに詳細に検討するためにまくら木の移動量が0.3, 1.0, 3.0 mm となったときの抵抗力ならびに最大抵抗力を図-19~26に示した。横軸に全荷重とあるのは試験

図-19 道床抵抗力と荷重との関係
(木まくら木, 静的試験)

Fig. 19 Relation between Load on the Test Track and Resistance to Movement in the Crushed Stone Ballast.
(Wooden Ties were used, Statical Test)

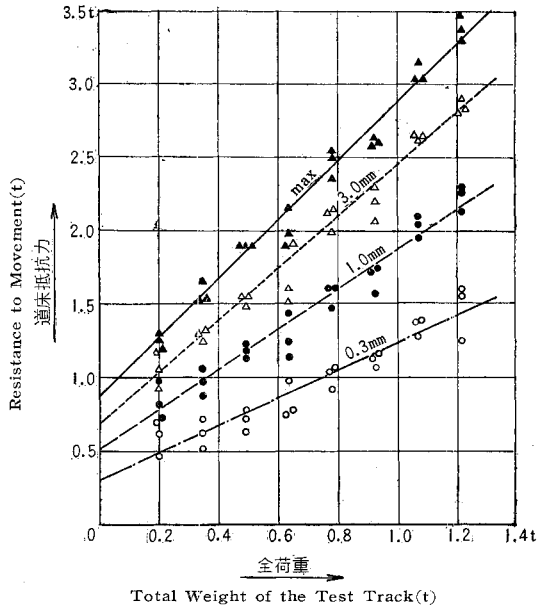


図-20 道床抵抗力と荷重との関係
(木まくら木, 860 r.p.m.)

Fig. 20 Relation between Load on the Test Track and Resistance to Movement in the Crushed Stone Ballast.
(Wooden Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 860 r.p.m.)

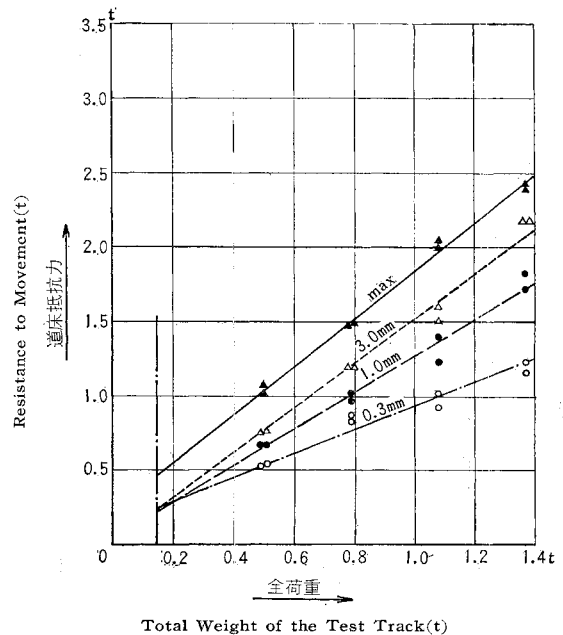


図-21 道床抵抗力と荷重との関係
(木まくら木, 1390 r.p.m.)

Fig. 21 Relation between Load on the Test Track and Resistance to Movement in the Crushed Stone Ballast.

(Wooden Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 1390 r.p.m.)

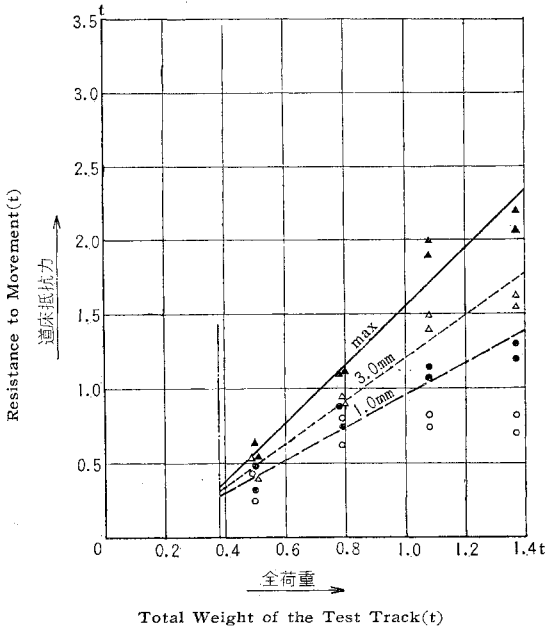


図-23 道床抵抗力と荷重との関係
(PCまくら木, 860 r.p.m.)

Fig. 23 Relation between Load on the Test Track and Resistance to Movement in the Crushed Stone Ballast.

(Prestressed Concrete Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 860 r.p.m.)

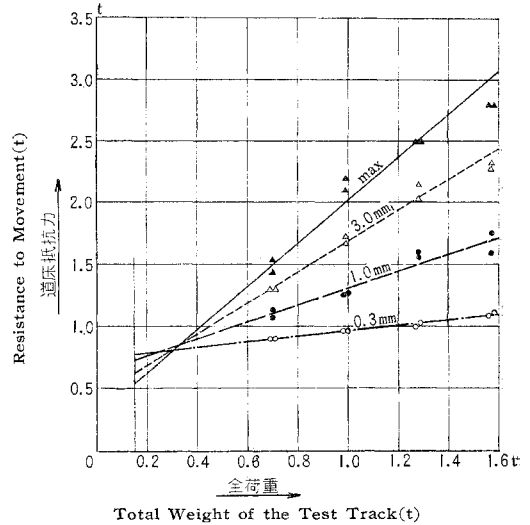


図-24 道床抵抗力と荷重との関係
(PCまくら木, 1390 r.p.m.)

Fig. 24 Relation between Load on the Test Track and Crushed Stone Ballast.

(Prestressed Concrete Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 1390 r.p.m.)

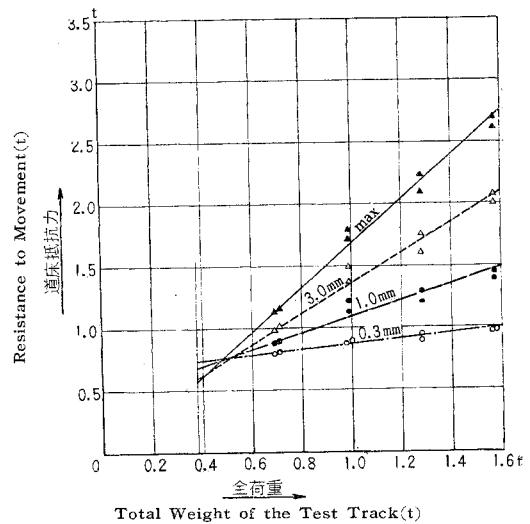
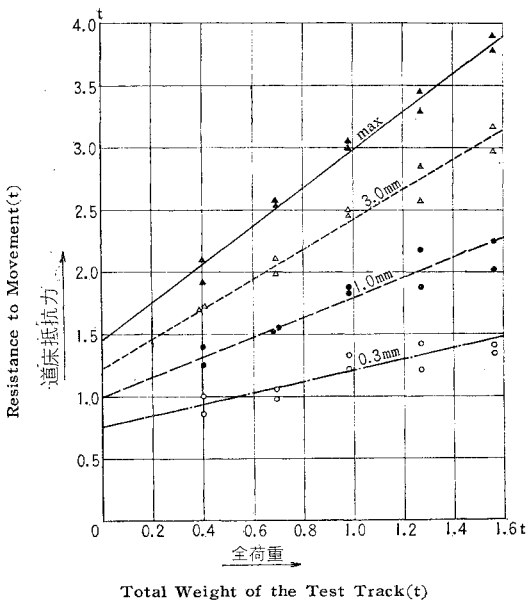


図-22 道床抵抗力と荷重との関係
(PCまくら木, 静的試験)

Fig. 22 Relation between Load on the Test Track and Resistance to Movement in the Crushed Stone Ballast.

(Prestressed Concrete Ties were used, Statical Test)



軌道自体の重量, 振動発生機の重量および荷重の合計重量である。なおこれらの図には振動発生機によって生ずる起振力を縦の鎖線で示した。静荷重の場合にも上下振動を加えた場合にも一般に荷重と道床抵抗力との間に直線的の関係が成立することが認められる。

これまでの測定結果より道床抵抗力の内容について考察すれば, これはまくら木前面における砂利を押し出す

図-25 道床抵抗力と荷重との関係
(特殊まくら木, 静的試験)

Fig. 25 Relation between Load on the Test Track and Resistance to Movement in the Crushed Stone Ballast.

(Special Concrete Ties were used, Statical Test)

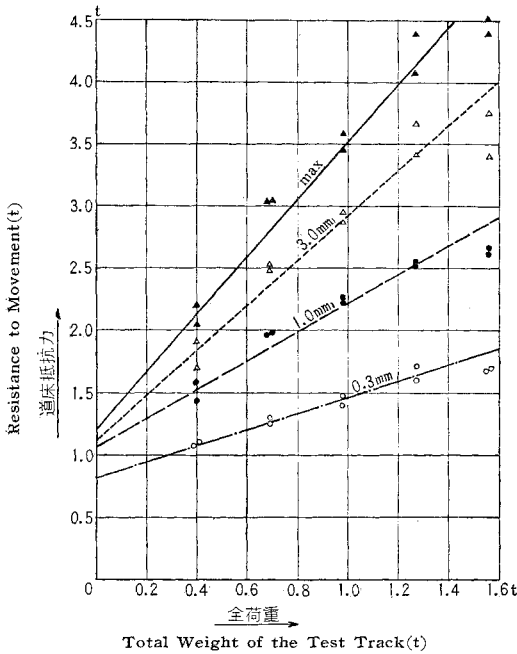
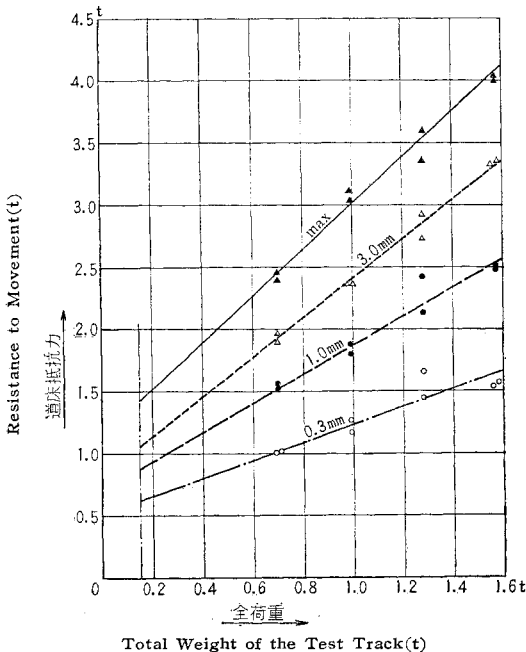


図-26 道床抵抗力と荷重との関係
(特殊まくら木, 860 r.p.m.)

Fig. 26 Relation between Load on the Test Track and Resistance to Movement in the Crushed Stone Ballast.

(Special Concrete Ties were used, Rotating Speed of the Vibrator : 860 r.p.m.)



ための抵抗力と、まくら木底面における摩擦抵抗力とさらに試験軌道を斜めに引き上げるための抵抗力とよりなることが推定される。試験軌道に上下方向の振動を加えた場合には毎回の振動においてこの振動力に相当するだけ軌道重量が軽減される瞬間があり、このときに移動を生ずるとすれば試験軌道の重量からこの起振力を差し引く必要がある。よって次式が成立する。

$$R = k(W - F) + C \dots \dots \dots (1)$$

$$k = \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha} \dots \dots \dots (2)$$

ここに

R : 試験軌道の横移動に対する道床抵抗力 (kg)

μ : まくら木底面と道床面との間の摩擦係数

α : 試験軌道を引張ったとき軌道の移動方向の水平面となす角

W : 試験軌道ならびにこの上の载荷の全重量 (kg)

F : 試験軌道に加えた起振力 (kg)

C : まくら木前面における道床抵抗力 (kg)

図-13~18 によれば α の値は载荷の大きさによっていくらか変わるが、必ずしも载荷の大きいほど α が小さくなくなるともいえない。また 図-19~26 によれば全荷重と道床抵抗力とは直線的の関係にあるので k が一定、すなわち $\tan \alpha$ が一定と見なすことができる。よって仮りに k の値を一定として 図-19~26 より k および C を求めた結果を 表-3 に示した。

表-3 道床抵抗力に関連する諸係数

移動量		0.3 mm		1.0 mm		3.0 mm		max	
		k	C	k	C	k	C	k	C
木まくら木	静	0.93	300	1.35	520	1.76	690	2.01	870
	860 r.p.m.	0.80	245	1.23	220	1.51	235	1.60	460
	1390 r.p.m.	—	—	1.10	275	1.44	310	1.96	350
PCまくら木	静	0.46	755	0.80	995	1.20	1230	1.43	1450
	860 r.p.m.	0.23	770	0.68	730	1.26	625	1.74	540
	1390 r.p.m.	0.22	735	0.66	680	1.24	600	1.82	570
特殊まくら木	静	0.64	820	1.15	1070	1.80	1120	2.31	1210
	860 r.p.m.	0.72	615	1.16	880	1.58	1060	1.88	1430

表-3 によれば道床抵抗力の内容について種々の興味ある事項が判明する。静的試験においてはまくら木の移動が進むにつれて k および C の値が次第に増加する。 k の値が増加する原因は移動の初期においてはまくら木底面と道床との間の摩擦力が十分に発達せず、また試験軌道の浮き上りもほとんど生じないためと考えられる。 k の値はまくら木の種類による影響を多く受け、PCまくら木においては木まくら木および特殊まくら木にくらべてはるかに小さい。木まくら木においてはまくら木底面に碎石のかどが食い込んで摩擦係数 μ を増し、特殊まくら木においてはまくら木底面の凹みに碎石が入り込んで摩擦係数を増したためと推察される。いま (2) 式における $\tan \alpha$ を 0.6 として $k=1.2$ および 1.8 となると

き μ を計算すればそれぞれ 0.35 および 0.58 となる。これを表-3における移動量 3 mm の場合の k の値に对照すればPCまくら木において摩擦係数が 0.35 となり、木まくら木および特殊まくら木において0.6程度となる事が推定される。静的試験においてPCまくら木および特殊まくら木に対する C の値は木まくら木に対する C の値よりはるかに大きい。 C の値は主としてまくら木前面の抵抗力によると考えれば木まくら木の高さがPCまくら木にくらべてわずかに低いことおよび再用品まくら木であるためかどに丸みがついて有効高さが減ったためと考えられる。

次に振動の影響を移動量 3.0 mm 以上の場合について見れば木まくら木に対する k および C の値はともに振動によって減少する。PCまくら木においては k の減少は明らかでないが、 C の値が振動によって大いに減少する。また特殊まくら木の場合には k の減少がいちじるしいが、 C の減少は明らかでない。PCまくら木による試験軌道に振動を加えたとき移動の進行につれて C の値が減少している。これは常識に反しているが、(1)式においてまくら木と道床との間の圧力として $W-F$ をとったことに問題があると思われる。軌道に加えた上下動が軌道の固有振動周期に近い場合にはまくら木と道床との間の圧力は起振力の大きさを越えて変化する場合も考えられる。

(2) まくら木の種類が道床抵抗力におよぼす影響

前節においては道床の抵抗力を分析的に考察したが、ここでは各種のまくら木を用いた試験軌道の道床抵抗力を直接に比較することとし、試験軌道上の載荷が0の場合と 870 kg の場合をとれば表-4のごとくなる。

表-4 各種まくら木の道床抵抗力比較(静的試験)

移動量		0.3 mm		1.0 mm		3.0 mm		max	
		kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
載荷 0	木まくら木	600	100	850	100	1 060	100	1 260	100
	PCまくら木	930	155	1 320	155	1 720	162	2 010	160
	特殊まくら木	1 090	182	1 505	177	1 805	170	2 125	169
載荷 870 kg	木まくら木	1 350	100	2 030	100	2 640	100	3 080	100
	PCまくら木	1 320	98	2 035	100	2 710	103	3 380	110
	特殊まくら木	1 655	123	2 640	130	3 545	134	4 240	138

表-4によれば試験軌道に載荷のないときPCまくら木および特殊まくら木による試験軌道の抵抗力は、木まくら木による試験軌道の抵抗力にくらべて50%以上も高くなることが認められる。試験軌道に870 kgの載荷をなしたときにはPCまくら木による試験軌道の抵抗力は木まくら木の場合にはほぼ等しくなるが、特殊まくら木による試験軌道においては木まくら木の場合にくらべて20~40%高い道床抵抗力を示し、まくら木の移動量が増すとともにその差はいちじるしくなる。この理由として前節に述べたごとくPCまくら木においてはまくら木前面の抵抗力 C が木まくら木の場合よりはるかに大きいため、試験軌道上の載荷がないときにはPCまくら木に

よる試験軌道の道床抵抗力が大きい。しかるにPCまくら木においてはまくら木底面における摩擦抵抗力が少ないため試験軌道上の荷重による道床抵抗力の増加が比較的少ないためと考えられる。特殊まくら木においてはまくら木底面の摩擦係数が木まくら木とはほぼ同一であるため試験軌道に載荷をした場合にもまくら木前面の抵抗力の差はそのまま残されている。

次に試験軌道に振動を加えた場合について各種まくら木による試験軌道の道床抵抗力を比較すれば表-5, 6のごとくなる。ここに載荷 300 kg とあるのは振動発生機自体の重量である。

表-5 各種まくら木の道床抵抗力比較(振動発生機の回転数 860 r.p.m.)

移動量		0.3 mm		1.0 mm		3.0 mm		max	
		kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
載荷 300 kg	木まくら木	535	100	670	100	765	100	1 050	100
	PCまくら木	900	168	1 100	164	1 300	170	1 490	142
	特殊まくら木	1 015	190	1 540	230	1 935	253	2 430	232
載荷 1 170 kg	木まくら木	1 195	100	1 770	100	2 180	100	2 420	100
	PCまくら木	1 095	92	1 670	94	2 305	106	2 800	116
	特殊まくら木	1 555	130	2 500	141	3 345	153	4 020	166

表-6 各種まくら木の道床抵抗力比較(振動発生機の回転数 1 390 r.p.m.)

移動量		0.3 mm		1.0 mm		3.0 mm		max	
		kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
載荷 300 kg	木まくら木	340	100	400	100	470	100	595	100
	PCまくら木	805	237	890	222	1 005	214	1 150	193
載荷 1 170 kg	木まくら木	760	100	1 250	100	1 590	100	2 135	100
	PCまくら木	975	128	1 420	114	2 045	129	2 660	125

表-5, 6によれば載荷 300 kg として試験軌道に振動を加えたときPCまくら木による試験軌道の道床抵抗力は木まくら木の場合にくらべてはるかに高く、この差は起振力の大きくなるに従っていちじるしくなることが認められる。振動発生機の回転数が1 390 r.p.m. のときにはPCまくら木の抵抗力は木まくら木の場合の2倍以上に達している。特殊まくら木においては振動数 860 r.p.m. のときでもその抵抗力が木まくら木の場合の2倍以上に達している。表-4によれば試験軌道に870 kgの載荷をしてこれを静的に引張ったときにはPCまくら木の抵抗力と木まくら木の抵抗力とはほぼ等しいが、表-5, 6によれば試験軌道に1 170 kgの載荷をして振動力を加えた場合にはPCまくら木による試験軌道の道床抵抗力は木まくら木の場合より幾分高く、特に1 390 r.p.m. のときにその差が明らかにあらわれている。

(3) 試験軌道に加えた振動が道床抵抗力におよぼす影響

ここでは各種のまくら木による試験軌道の道床抵抗力が試験軌道に加えた振動によってどのように低下するかについて検討する。試験軌道上の載荷がほぼ同一となるとき各振動数による道床抵抗力を比較すれば表-7~9のごとくなる。

表-7 木まくら木による試験軌道の道床抵抗力

移動量		0.3 mm		1.0 mm		3.0 mm		max	
載荷	静的試験	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
300 kg	860 r.p.m.	535	75	670	57	765	50	1050	55
	1390 r.p.m.	340	48	400	34	470	31	595	31
	静的試験	1330	100	2080	100	2750	100	3430	100
1170 kg	860 r.p.m.	1195	90	1770	85	2180	79	2420	71
	1390 r.p.m.	760	57	1250	60	1590	58	2135	62
	静的試験	1330	100	2080	100	2750	100	3430	100

表-8 PCまくら木による試験軌道の道床抵抗力

移動量		0.3 mm		1.0 mm		3.0 mm		max	
載荷	静的試験	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
300 kg	860 r.p.m.	900	88	1100	72	1300	63	1490	58
	1390 r.p.m.	805	79	890	58	1005	49	1150	45
	静的試験	1020	100	1535	100	2050	100	2560	100
1170 kg	860 r.p.m.	1095	79	1670	78	2305	75	2800	73
	1390 r.p.m.	975	71	1420	66	2045	66	2660	69
	静的試験	1380	100	2145	100	3080	100	3850	100

表-9 特殊まくら木による試験軌道の道床抵抗力

移動量		0.3 mm		1.0 mm		3.0 mm		max	
載荷	静的試験	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
300 kg	860 r.p.m.	1015	80	1540	78	1935	77	2430	80
	静的試験	1275	100	1970	100	2505	100	3045	100
1170 kg	860 r.p.m.	1555	92	2500	94	3345	93	4020	90
	静的試験	1690	100	2645	100	3585	100	4460	100

表-7 によれば木まくら木による試験軌道においてこれに振動を加えたときに道床抵抗力がいちじるしく低下することが認められる。表-2 に示したごとく振動発生機の回転数が 860 r.p.m. および 1390 r.p.m. のときの起振力は試験軌道と振動発生機の合計重量のそれぞれ 28% および 74% に相当するが、道床抵抗力の低下はそれぞれ約 50% および 70% に達する。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が低下することは注目し値することである。試験軌道上に 1170 kg の載荷をしたときに道床抵抗力の低下は回転数 860 r.p.m. および 1390 r.p.m. に対し、それぞれ約 20% および 40% となり、振動の影響がいちじるしく緩和された。

PCまくら木を用いた試験軌道においては回転数 860 r.p.m. および 1390 r.p.m. における振動発生機の起振力は試験軌道の全重量に対し、それぞれ 20% および 53% であるが、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が低下する。試験軌道上に 1170 kg の載荷をしたときには道床抵抗力の低下は幾分軽減される。

表-9 によれば特殊まくら木を用いた試験軌道に全重量の 20% に相当する起振力を加えたときに道床抵抗力の低下は約 20% となり、PCまくら木による試験軌道にくらべて抵抗力の低下割合はるかに少ないことが認められる。この試験軌道に 1170 kg の載荷をしたときの道床抵抗力の低下は 10% 以下であって

振動による影響が最も少なかった。

4. 振動振巾の測定

振動発生機によって試験軌道に振動を加えたときに試験軌道に生ずる振動速度を前後のまくら木上においた振動速度計によって測定した。その結果を 表-10 に示す。

表-10 試験軌道に発生する振動振巾および速度

振動数 または 起振力	載荷 (kg)	木まくら木による試験軌道				特殊まくら木による試験軌道			
		振巾(mm)		振動速度(mm/sec)		振巾(mm)		振動速度(mm/sec)	
		前まくら木	後まくら木	前まくら木	後まくら木	前まくら木	後まくら木	前まくら木	後まくら木
867 r.p.m.	300	0.034	0.031	3.1	2.8	0.025	0.028	2.3	2.5
	147 kg	1170	0.029	0.027	2.6	2.4	0.023	0.028	2.1
1390 r.p.m.	300	0.130	0.129	18.9	18.8	0.069	0.082	10.0	11.9
	377 kg	1170	0.056	0.067	8.2	9.7	0.051	0.072	7.4

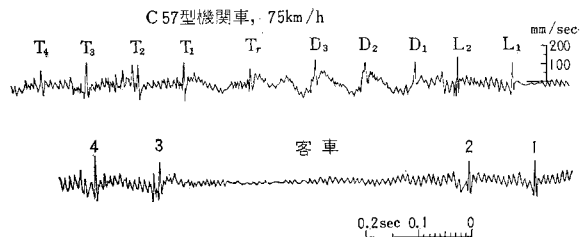
表-10 によれば試験軌道に生ずる振動振巾は起振力にはほぼ比例することおよび試験軌道上の載荷が増すに従っていくらか減少することが認められる。特殊まくら木による試験軌道の振動振巾は木まくら木によるものよりいくらか小さいが、これは試験軌道自体の重量の差によると考えられる。

同一の振動速度計を用いて北陸線森本～津幡間において軌道に生ずる振動を測定した。直線、平坦線、築堤の高さ約 1 m, 碎石道床、木まくら木、37 kg/m レール敷設の線路のまくら木上に振動速度計を取りつけて列車通過時にまくら木に生ずる上下動を記録した。記録の一例を図-27 に示す。この図に示すごとくまくら木は各車輪の通過時に大きな上下動を 1 回生じ、その振動速度は 80~120 mm/sec となっている。これは主としてまくら木のたわみ運動であり、これに続いて振動数約 110 sec⁻¹ の上下振動が続いている。この振動は機関車の動輪通過後には少ないが、客車の車輪通過後にいちじるしくあられ、振動速度は 30~50 mm/sec となっている。

表-10 に示すごとく試験軌道に発生した振動の振動速度は最高 19 mm/sec であり、実際の線路に生ずる振動速度にくらべてはるかに小さい。また試験軌道に加えた振動の振動数も列車通過時に軌道に生ずる振動数の 21% に過ぎない。よって実際の線路において列車通過時

図-27 まくら木の上下振動記録

Fig. 27 An Example of the Vertical Movement of the Railroad Tie Record by a Vibroscope as Train was Passing by.



における道床抵抗力の低下は、今回の実験におけるものよりはるかに大きいと想像される。

5. ふるい砂利道床における抵抗力の測定

ふるい砂利道床においてはすべてまくら木を用いて試験軌道を作り、この上に荷重を載せない場合、振動発生機を静荷重として載せた場合、振動発生機によって880 r.p.m. または1400 r.p.m. の上下振動を加えた場合について各3回以上道床抵抗力の測定を行なった。これらの上下振動において試験軌道に加えた起振力と静荷重(振動発生機の重量をふくむ)との比は表-11のごとくになった。

表-11 起振力の静荷重に対する比

回転数	起振力	起振力の静荷重に対する比
880 r.p.m.	152 kg	33.0%
1400	388	84.2

試験軌道の移動量と道床抵抗力との関係の数例を図-28に示した。この図より見られるごとく移動量の対数と道床抵抗力との間にはほぼ直線関係が認められ、

図-28 まくら木の横方向移動に対する道床抵抗力 (ふるい砂利道床)

Fig. 28 Resistance to Movement of the Test Track in the Gravel Ballast.

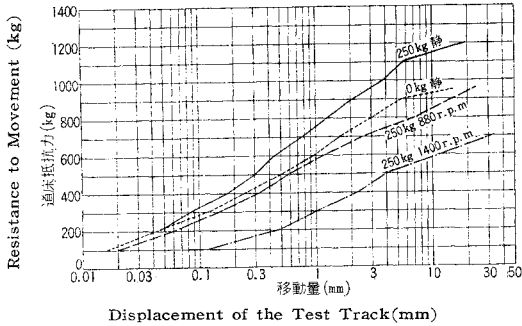
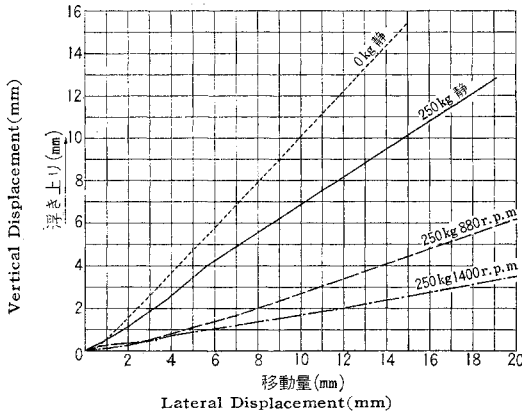


図-29 まくら木の横方向移動と浮き上りの関係 (ふるい砂利道床)

Fig. 29 Relation between Lateral Displacement of the Test Track and its Vertical Displacement. (Gravel Ballast)



移動量が10~30 mmに達したときに最大抵抗力に達した。まくら木の横方向の移動量と浮き上りとの関係を図-29に示したが、試験軌道に振動を加えたときに浮き上りが非常に少なくなり、これは碎石道床の場合と大いに異なる点である。試験軌道の移動量が0.3, 1.0, 3.0 mmとなったときの道床抵抗力および最大抵抗力ならびに各種の条件で得た測定値の間の比率を表-12に示した。

表-12 ふるい砂利道床における試験軌道の抵抗力

移動量	0.3 mm		1.0 mm		3.0 mm		max	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
荷重なし	410	82	600	83	780	84	930	81
静荷重(250 kg)	500	100	730	100	930	100	1150	100
880 r.p.m.	390	77	560	77	660	72	910	79
1400 r.p.m.	170	34	310	42	470	51	740	65

表-12によれば荷重のない場合の抵抗力は静荷重を加えた場合の抵抗力の83%程度になっているが、これは振動発生機を取りのぞくことによってまくら木と道床との間の圧力が46%に下がったためである。また試験軌道に振動を加えたときにも道床抵抗力がいちじるしく低下している。

次にふるい砂利道床における抵抗力と碎石道床における抵抗力を比較することとし、この結果を表-13に示した。

表-13 ふるい砂利道床と碎石道床の抵抗力比較

移動量		0.3 mm		1.0 mm		3.0 mm		max		
		kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	
荷重なし	ふるい	410	100	600	100	780	100	930	100	
	碎石	600	146	850	141	1060	137	1260	136	
静荷重	ふるい	500	100	730	100	930	100	1150	100	
	碎石	710	141	1180	152	1540	166	1900	166	
振動数	880 r.p.m.	ふるい	390	100	560	100	660	100	910	100
	碎石	535	138	670	120	765	115	1050	116	
振動数	1400	ふるい	170	100	310	100	470	100	740	100
	1390	碎石	340	201	400	131	470	100	595	80

表-13によれば静的試験における碎石道床の抵抗力はふるい砂利道床における抵抗力にくらべて50%程度大きいですが、軌道に振動を加えた場合にはこの差が少なくなる。特に1400 r.p.m.の振動を加えたときには試験軌道の移動量が3 mmを越えれば碎石道床の抵抗力がふるい砂利道床の抵抗力より小さくなる。これは従来碎石道床は振動に対して強いといわれて来たことに反し、振動によって粒子の間のかみ合わせがゆるんだためと考えられる。

6. 結論

鉄道線路においてまくら木が道床中を移動するときの抵抗力の大きさはレールクリープの原因を考究し、またクリープを防止する上に重大な関係があるので、各種のまくら木および道床を用いて試験軌道を作り、この上に種々の荷重を載せ、または振動を加えながら試験軌道

をレール方向に引いて道床抵抗力を測定した。道床抵抗力は試験軌道の移動の進むに従って増加し、移動量が10～30 mmに達したときに最大値となった。しかして移動量の対数と抵抗力とはほぼ直線的な関係を示した。試験軌道の移動量が0.3 mm, 1.0 mm および 3.0 mm となったときの抵抗力について比較をなしたが、その結果を要約すれば次のとおりである。

(a) 試験軌道上に荷重を載せるとき道床抵抗力はいちじるしく増加し、その量は荷重の大きさを越えている。

(b) 軌道上の荷重が少ないときにはPCまくら木に対する道床抵抗力は木まくら木の抵抗力の1.5倍以上であるが、軌道上の載荷を増すときには両者の抵抗力が次第に近づいてくる。

(c) 試験軌道に振動を加えるときには道床抵抗力はいちじるしく低下し、その量は起振力の静荷重に対する割合を越えている。特に木まくら木を用いた軌道において抵抗力の低下がはなはだしい。このときにはPCまくら木の抵抗力は木まくら木の2倍以上となる。

(d) まくら木底面に多数のくぼみをつけた特殊まくら木は常に最大の抵抗力を示し、また振動の影響を受けることも少ない。

(e) 静的試験においては砕石道床の抵抗力はふるい砂利道床の抵抗力の約1.5倍となるが、振動を加えたときには両者の抵抗力がほぼ一致する。

以上の試験結果をレールクリープの原因研究またはこの防止方法の研究に適用するに当っては試験軌道の最大抵抗力よりむしろ移動量1 mm以下における抵抗力が問題になることに注意しなければならない。なぜならば普通路盤上に敷設された軌道において1個列車の通過によるクリープは最高2 mmであり、1 mm以下の場合が多いことが現場測定によって確かめられている⁵⁾。なおこの測定においてレールは主としてボギー車の通過時に移動することが認められたが、これはボギー車の前台車と後台車との間でレールおよびまくら木が浮き上りの傾

向にあり、かつ列車走行にともなう振動が加わっていることに注意すれば、レールが非常に移動しやすい状態にあることが今回の実験によっても容易に推論される。なお車輪の直下においては荷重のため道床の抵抗力が増してまくら木の移動がほとんど生じないであろうことも今回の実験結果より推定され、現場測定によっても確かめられた。

つぎにクリープの防止方法について考察することとし、PCまくら木は木まくら木にくらべて道床抵抗力が大きく、特に振動が加えられた場合に有利であり、なおコンクリートまくら木において底面に多数のくぼみをつければさらに効果が大きくなる。静的試験においては砕石道床がふるい砂利道床よりすぐれているが、軌道に振動が加わったときにはその効果が疑わしい。よって砕石道床においてもクリープ防止杭の設置が望ましい。

終りに本実験は国鉄本社施設局保線課ならびに日本保線協会より多大の御指導ならびに御援助を受け、また当時の学生 奥田 強、鈴木梅二、大原文治、谷川昭二、山口純治の諸君の御協力を受けて実施したものであることを述べ、ここに厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 小野一良・成瀬忠明：泥炭地におけるレールのクリープについて、土木学会誌 43-3, 昭.33-3
小野一良・成瀬忠明：普通路盤の鉄道線路におけるレールのクリープについて、土木学会誌 45-11, 昭.35-11
- 2) 奥田貞利・若林謙司：アンチクリーパー規格試験報告、鉄道業務研究資料 7-11, 昭.25-8
奥田貞利・若林謙司：標準型アンチクリーパー、鉄道業務研究資料 9-1, 昭.27-1
- 3) 小野一良：軌条の座屈の計算、土木学会誌 29-7, 昭.18-7
立花文勝・田中正彦・鈴木秀昭・沼田 実：曲線軌道座屈実験、鉄道技術研究資料 14-7, 昭.32-7
- 4) 豊田昌義：軌道の振動実験、鉄道技術研究報告 72号, 昭.34-5
- 5) さきに 1) に示した論文参照

(原稿受付：1961.7.13)

MEASUREMENT OF RESISTANCE TO MOVEMENT OF RAILROAD TIES IN THE BALLAST

By Dr. Eng., Kazuyoshi Ono, C.E. Member, and Tadaaki Naruse, C.E. Member

1. Preface

Sometimes the rails of track creep lengthwise as train passes and this movement of the rails is called the creepage of rails, which results in the irregularity of the joint clearances. Therefore, many arrangements have been adopted to prevent the creepage. So-called anticreepers are used most extensively and they are effective to prevent the rails from the sliding on the ties. But when the anticreepers are used, the ties move with the rails in the ballast, therefore the resistance to the movements of railroad ties in the ballast is of great significance in preventing rails from creepage. Only the magnitude of the statical resistances of ties has been measured for the purpose of investigating the safety of the track against buckling of the track. As the rails and the ties are considered to move only when the track is under the effect of vibration caused by the running vehicles, the authors applied an vertically vibrating force to a test track and measured the resistance to movement of ties by pulling the test track in the direction of rails and the resistance was compared with the statical resistance.

2. Test Equipments

Test tracks were laid in a laboratory with 37 kg/m rails and with wooden or concrete ties on gravel or crushed stone ballast (see Fig. 1). Two types of concrete ties were used as shown in Figs. 2 and 3, and the lower surface of the latter had many depressions. We shall hereafter call the latter the special concrete tie. Another concrete ties were laid on the test track as a weight and the number of ties was increased more and more. A vibrator was fixed to the test track and the vibrating force amounted 144 kg and 377 kg, when the eccentric masses of the vibrator were rotated at the following two speeds, 860 r.p.m. and 1390 r.p.m. respectively.

The test track was pulled in the direction

of the rails by a gradually increasing force, and the lateral and the vertical displacements of the track were measured by dialgauges. The surfaces of the ballast before and after the test were photographed on the same film by a fixed camera, to analyze the range of ballast affected by the displacement of the track. It was found that the ballast within a range up to 40 cm ahead of the ties was moved by the lateral displacement of the test track.

3. Measurements of Resistances

Resistances of the three kinds of tie to movement in the crushed stone ballast were measured. The curves shown in Figs. 5—12 inclusive denote the relation between the lateral force applied to the test track and its displacements obtained by statical and dynamical tests, and the figures written at the side of each curve show the load on the test track. It was found that the relation between the logarithm of the displacement of the track and its resistance may be expressed by a straight line and the resistance reached its maximum value when the track was moved over 10 mm. The resistance somewhat decreased when the vibrating force was applied to the track, but the relation expressed by the straight line was maintained between the resistance and the logarithm of the displacement.

Some examples of the upward displacements of the test track accompanied by its lateral displacements are shown in Figs. 13—18 inclusive. As the upward displacements were nearly proportional to those in the lateral direction, the test track moved as if it was pulled along a ascending slope. It was found that the upward displacement decreased a little as the load on the track was increased, as the vibrating force was applied or as the concrete ties were used. Most of the experiments showed that the upward displacement amounted to 50—70% of the lateral displacement.

Resistances of the test tracks at 0.3, 1.0 and 3.0 mm movements and their respective maximum resistances obtained by statical and dynamical tests under various magnitudes of loads on the tracks are presented in Figs. 19—26 inclusive. They show that the resistance at each movement increases proportionally to the magnitude of the load, and that the increase of the maximum resistance is nearly twice the magnitude of the load on the track. It has been concluded that such a rapid increase is due to not only the frictional resistance between the lower surfaces of the ties and the ballast but the upward displacement of the test track.

The resistance of the test track under no load was larger by 50% when concrete ties were used than when wooden ties were used, but the difference became less as the loads on the tracks were increased for the reason that the frictional resistances of the concrete ties were less than those of the wooden ties. The resistance of the test track with the special concrete ties was much larger than that with the wooden ties even in the case in which the load on the track was increased.

The difference between the resistances of the concrete ties and the wooden ties were increased by the vertical vibration applied to the test track, and the resistances of the special concrete ties were more than twice those of the wooden ties when the vertically vibrating force was applied to the track. The difference was as yet observed when the load on the track was increased.

The resistance of the track to movement in the ballast was decreased by applying the vertically vibrating force on the track. When the vibrating forces caused by the vibrator rotating at speeds 860 r. p. m. and 1 390 r. p. m. were applied to the test track with wooden ties, the vibrating forces amount 28% and 74% respectively of the weight of the test track, but the resistances of the track to movement were decreased by 50% and 70% respectively. It is worthy of notice that the amount of the decrease of the resistance exceeded the ratio of the vibrating force to the weight of the test track, when the vibrating force was small.

The effect of the vibrating force was reduced by increasing the load on the track. When the vibrating forces caused by the vibrator rotating at speeds 860 r. p. m. and 1 390 r. p. m. were applied to the test track with concrete ties, the resistances of the track to movement were decreased by 40% and 50% respectively, and the similar condition as the above was observed. When the vibrating force caused by the vibrator rotating at a speed of 860 r.p.m. was applied to the test track with special concrete ties, the resistance was decreased by 20%, and as the load on the track was increased, the decrease of the resistance became lesser.

The resistance to movement of the test track with wooden ties in the gravel ballast was also measured. It was found that the resistance obtained by the statical test in the gravel ballast was about two thirds of that in the crushed stone ballast, but the difference became lesser when the vertically vibrating force was applied.

4. Conclusions

As the resistance to movement of the test track in the ballast increased materially when loads were imposed on the track, it is concluded that the track of the railroad can be hardly moved in the ballast under the wheel loads of the vehicles. As the resistance was greatly diminished by the vertically vibrating force which was applied to the test track, and considering that the vibration generated in the railroad track by the running vehicles is far greater than that applied to the test track, it is easy to conclude that the ties are liable to move in the ballast when the track is somewhat lifted between the fore and the rear trucks of the bogie cars. The authors had already observed and reported that the rail crept only when the coaches or the bogie wagons were passing by.

To prevent the rails from creepages it is more effective to use concrete ties, than to use wooden ties, and the effect will be increased by appending many depressions on the lower surface of the concrete ties. It has been generally said that the resistance in the crushed stone ballast is larger than that in the gravel ballast in the case of applying vibrating force, but this is not verified by the measurement.