

4. $d < 0.15 \text{ mm}$ の粒子の%の変化の特徴については次のようである。芝の養生期間中にこの粒子は飛散或いは流出している率が多い。そこで最初はこの粒子の流出は比較的少い。やがて所定の配合土があらわれてくると、この種の細粒は跳水や渦の作用により最も浸蝕を受け易い上に、地被の根に抑留される傾向も少い。それで流出率も大きくなる。

以上どの粒径の粒子についても、それらの流出率の時間的变化が波形を呈するのは浸蝕の様相が変化するためと、粒子の流出が粒径や量において或る時間々隔で変化をくりかえす故である。

5. 結語

以上により地被植物が急斜面の土壤浸蝕に及ぼす効果の機構その他を或る程度明らかになし得た。しかしなお、今後の研究にまつべきものが多い。著者は目下小段と地被とを併用した場合やその他について実験中であり、これらの結果は後日続報で述べる。

本研究に対し御指導と御激励を忝うした京大石原教授、並びに実験につき種々御便宜を与えて頂いた建設省表六甲河川事務所の各位に深甚な謝意を表する。

参考文献

1) 真山利雄; 地表流量と滲透量の観測成績, 森林治水気象彙報 13. 昭和8年 115
2) E. Wollney; Untersuchungen über die

Beeinflussung der Fruchtbarkeit der Ackerkrume durch die Thätigkeit der Regenwürmer. Forsch. Gebeite Agr.-Phys., 13: 381-395, 1890.
3) J. L. Haynes; Interception of Rainfall by Vegetative Canopy. U. S. Dept. Agr. Soil. Conservation Ser. Progress Report, 2668, 1938.
4) R. A. Norton, and D. D. Smith; Effect of Density of Vegetation on The Rate of Runoff of Surface water. Ann. Meeting Am. Soc. Agron., December 1937.
5) W. C. Lowdermilk; Influence of Forest Litter on Runoff, Percolation and Erosion J. Forestry, Vol. 38, No. 4, 1930.
6) エヌ, イー, ロシチン 満鉄調査局訳; 「土壤浸蝕防止の研究」昭和18年, 博文館
7) 13th Ann. Report of the Southern Forest Experiment Station, New Orlean. Investigation Program, March 21, 1934.
8) N. N. Stepanov 満鉄調査局訳; 「土壤浸蝕防止の研究」昭和18年, 博文館
9) H. H. Bennett; Soil Conservation. 17, 1939.
10) J. E. Weaver; Effects of Roots of Vegetation in Erosion Control. U.S. Dept. Agr. Soil Conserv. Ser., Mimeo. Paper 2666, 1937.
11) F. L. Duley, and F. G. Ackerman; Run-off and Erosion Plats of different Lengths. J. of Agr. Res. 1034, Vol. 48, No. 6. (昭. 26. 1. 22)

UDC 625.143.033.3
620.172.22.082.7

電気抵抗の変化による軌条応力の測定¹⁾

正員 小林 勇* 准員 後藤 尙男**
准員 浜口 篤弘*** 准員 三輪 利英****

ON THE MEASUREMENT OF RAIL STRESS BY MEANS OF THE CHANGE OF ELECTRIC RESISTANCE

(JSCE July 1951)

Isamu Kobayashi C. E. Member, Hisao Goto C. E. Assoc. Member, Atsuhiko Hamaguchi C. E. Assoc. Member and Toshihide Miwa C. E. Assoc. Member.

Sinopsis In this paper the measurement of rail stress by using the wire resistance strain gage is described as a part of the study on rationalization of the railway track construction. The Paper is significant in the fact that a theoretical consideration is given in parallel with an experimental study, having actually made a strain gage and measuring the rail stress in the field with this gage.

要旨 本文は軌道構造の合理化に関する研究の一端として、電気抵抗線歪計による軌条応力の測定について述べたものである。実際に歪計を製作して現地で軌条応力を測定して実験的研究を行うと共に、理論的考察を進めたところに本文の意義がある。

1. 緒言

軌条応力の測定に関しては従来からいろいろ試みられて来たが、軌条の如きものに対しては、取付け計器の慣性が極度に小なるものでなければならない。こうしたことから近時所謂SR-4なる電気抵抗線歪計が米国内で盛に用いられている²⁾。我々はこの電気抵抗線にConstantan線を用いて歪計を作製し軌条応力を具体的に測定して幾多の考察を行つた。

* 京都大学教授 ** 同講師 *** 同大学院特別研究生 **** 同助手 とともに工学部土木工学教室勤務

2. 測定の原理

この測定装置の原理は歪みに基く電気抵抗の変化を利用したものである。即ち走行車輛による変動荷重を受けると軌条は歪みを生ずる。このとき軌条に貼りつけた歪計も軌条と同様の歪みを生ずるから、歪計の抵抗線が極く僅か伸び或いは縮む。これに応じて抵抗線の電気抵抗が微小変化するので、この変化を利用して軌条に実際に生じている応力を測定しようとするものである。

3. 測定装置とその操作

電気抵抗線歪計は 図-2 に示す如く、Constantan 線を紙片上に蛇行状に張つて「ニス」で固着したものである。図-3 に示すようにこの歪計 Ga を軌条底に直接貼り付け、これを Wheatstone Bridge W の未知抵抗 X に結線し、2 Volt D.C. を流して検流計 Go の振れを 0 になるように Bridge を調節する。こうすると図-1 から明かなように歪計 Ga の抵抗 X が測定出来、かつこの電気回路が

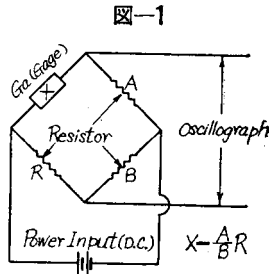
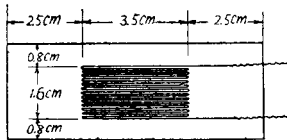


図-1



註: Constantan 線全長 130cm
有効長 97cm 全抵抗約90Ω

図-3 測定装置見取図

Balance されたことになる。次に検流計 Go の導線を電磁 Oscillograph の検流計 G に結線する。一方時刻時 T, 光源 L は 6 Volt D.C. の Battery により、また信号 Gs は車輪に直接踏ませて回路を閉じて知らせるように装置する。

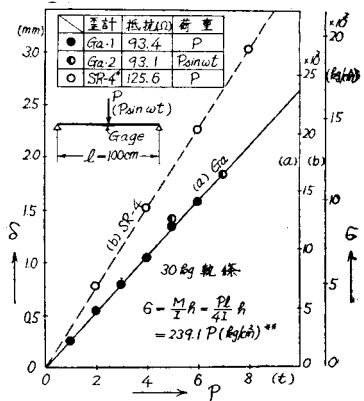
こうして走行車輛に対して Oscillograph で記録をとると、走行車輛による軌条の変動応力が歪みに基く歪計の電気抵抗の微小変化即ち電流の微小変化として Oscillograph の記録紙上に記録されるわけである。

4. 軌条応力測定の実施とその結果

(1) Calibration 実験室において Losenhausen 線反荷重試験機によつて Calibration を行つた。図

一4 左上の荷重状態による Oscillograph 記録紙上の振れ δ を読み、P と δ との関係求めて (a) 線を得た。次にこの荷重 P に対する軌条底最大引張応力 σ は同図右下の式から計算される。これから δ と σ との関係が求まる。図から δ = 1 mm は σ = 920 kg/cm² に相当する。同様のことを

図-4 Calibration



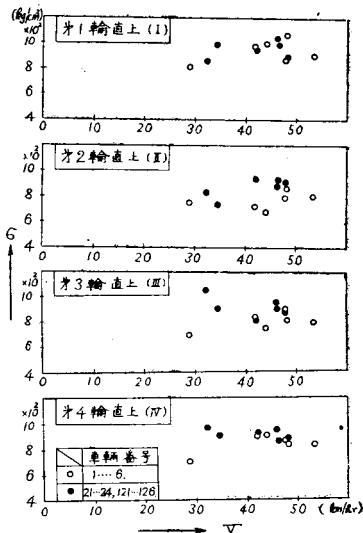
註: * Baldwin Locomotive Works より寄贈のもの(文献(1)) * 摩擦を考慮して I はその90%をとる。

て行くと δ と P の関係が (b) 線の如くなり、δ = 1 mm は σ = 630 kg/cm² であつて、SR-4 が我々の歪計より約 1.5 倍感度がよいことがわかる。

(2) 測定の実施とその結果 昭 25.9.15~23 の間、京福電鉄叡山線修学院一山端両駅間の直線軌道で測定を実施した。測定はすべて営業電車に対して行い、30 kg 10 m 軌条の略と中点、1/4 点及び継目板、枕木等で記録をとり、Calibration の結果から解析した。

図-5 走行電車速度 V と軌条底最大引張応力 σ との関係

(10m 軌条の略と中点における測定)

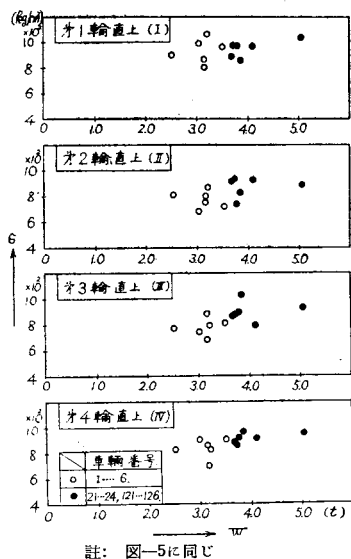


註: I, II, III, IV は図-7(a) に示すごとく電車第 1...4 輪軌条中点直上に来たときの軌条中点の σ を表わす

1. 記録の1例を示すと 図-7 (a) の如くである。
2. 測定した軌条の略々中点の引張応力の最大値 σ を電車速度 V に対して示すと 図-5 の通りで、速度上昇による応力の増大が或る程度記録されている。
3. この応力 σ を輪重 W に対して示すと 図-6 の通りで、輪重の増加に伴う応力の増大の傾向がかなりはつきり記録されている。
4. この引張応力 $\sigma=700\sim 1100 \text{ kg/cm}^2$ に対して、軌条底最大圧縮応力 $-\sigma=200\sim 500 \text{ kg/cm}^2$ で σ の約 40% 程度であつた。
5. なおこの抵抗線歪計と同時に Ritzgläser 歪計 (引掻き歪計) を用いたが、その結果は我々の歪計の値よりいづれも稍小であつた。これは抵抗線歪計ではその gage length が 3.5 cm であるので、軌条計測点の近傍 3.5 cm にわたつての σ の平均値が計測されている。これに対して引掻き歪計では gage length 20 cm にわたつての σ の平均値が記録されているためである。

図-6 走行電車1輪当り重量 W (乗車人員を含む) と軌条底最大引張応力 σ との関係

(10m 軌条の略々中点における測定値)



註: 図-5に同じ

5. 軌条の変動応力の理論解

(1) 軌条の撓み振動 周知の通り軌条応力の計算法は従来から各種の方法が行われている。ここでは実測した変動応力を解明するために、撓み振動従つて応力を取扱うことにする。いま軌条を一様な弾性基礎にあつて、継目で鉸結された両端自由支持梁と考える。走行電車の動荷重は複雑であるので、輪重のみを考え、先ず単一輪上の輪重 W が時間 $t=0$ において

原点 (継目) にあるとする。然らば理論的計算を進めた結果、軌条の撓み振動の式は次の如く得られる⁹⁾。

$$y_{x,t} = e^{-\varepsilon t} \sum_{r=1}^{\infty} \sin \frac{r\pi x}{l} (C_r \cos n_r t + C_r' \sin n_r t) + \frac{W}{\rho a l} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{r\pi x}{l}}{n_r} \beta_r \cos \left(\frac{r\pi v}{l} t + \phi_r \right) - \frac{W}{\rho a l} e^{-\varepsilon t} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{r\pi x}{l}}{n_r} (\lambda_r \cos n_r t + \lambda_r' \sin n_r t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただしここに、

$$\beta_r = [(\beta_1 - \beta_2)^2 + (\beta_3 + \beta_4)^2]^{\frac{1}{2}}, \quad \phi_r = \tan^{-1} \frac{\beta_3 + \beta_4}{\beta_2 - \beta_1}$$

$$\lambda_r = \beta_1 - \beta_2, \quad \lambda_r' = -\beta_3 + \beta_4$$

$$\beta_1, \beta_2 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon^2 + \left(n_r \pm \frac{r\pi v}{l} \right)^2}, \quad \beta_3, \beta_4 = \frac{n_r \pm \frac{r\pi v}{l}}{\varepsilon^2 + \left(n_r \pm \frac{r\pi v}{l} \right)^2}$$

(複号同順)

$$n_r = [n_r'^2 - \varepsilon^2]^{\frac{1}{2}}, \quad n_r'^2 = \frac{1}{\rho a} \left\{ EI \left(\frac{r\pi}{l} \right)^4 + bK \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

なお C_r, C_r' : 初期条件で定まる常数, n_r, r : 軌条の円振動数及び振動次数, ε : 減衰係数, EI, ρ, a, l, b : それぞれ軌条の曲げ剛性, 密度, 断面積, 材長及び輿幅, K : 道床係数, v : 走行速度。

(1) 式の第1項は初期条件による軌条の自由振動, 第2項, 第3項は走行荷重による軌条の強制振動及び自由振動を表わしている。周知の通り第1, 3項は時間と共に減衰して行く。かくて軌条中点の撓み y は (1) 式の第2項において $x=l/2$ とおけばよく、これから曲げモーメント M 及び軌条底応力 σ は次の如く計算される。

$$y = \frac{W}{\rho a l} \sum_{r=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{r-1}{2}}}{n_r} \beta_r \cos \left(\frac{r\pi v}{l} t + \phi_r \right)$$

$$M = \frac{EI\pi^2 W}{\rho a l^3} \sum_{r=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{r-1}{2}}}{n_r} r^2 \beta_r \cos \left(\frac{r\pi v}{l} t + \phi_r \right)$$

$$\sigma = \frac{M}{I} h \quad \dots\dots\dots (3)$$

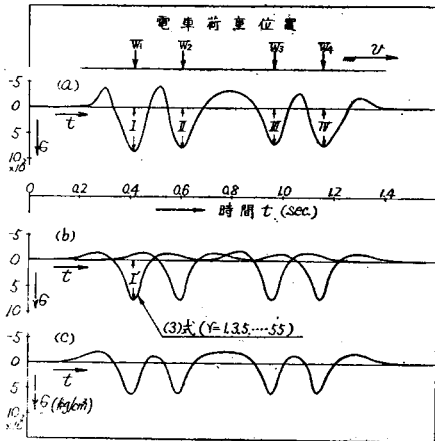
h はいうまでもなく軌条断面重心から軌条底までの距離である。更に中点直上に W が作用するときの中点の静力学的 y, M, σ を y_0, M_0, σ_0 とすると、これらは (3), (2) 式で $v \rightarrow 0, \varepsilon \rightarrow 0$ とすればよく結局次式をうる。

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{2W}{pal} \sum_{r=1,3,5..n_r} \frac{1}{r'^2} \\ M_0 &= \frac{2EI\pi^2 W}{pal^3} \sum_{r=1,3,5..n_r} \frac{r^2}{r'^2}, \sigma_0 = \frac{M_0}{I} h \end{aligned} \right\} \dots\dots(4)$$

ところが車輛は連行荷重であるので、実際には次の計算例に示すように (2), (3), (4) 式において各々重合の理を応用すればよい。

(2) 数値計算 軌条中点の変動応力の記録の1例は図-7(a)であつたが、この記録と同一の資料に従

図-7 軌条(中点)の時間一応力曲線



つて(4)式を用いて数値計算を行つた。計算に用いた値は現地で測定した次の値である。

走行電車(山端駅→修学院駅, 車輛番号3, 自重23.6t) $W=3.044$ t (乗車人員 15人=50×15kgを加算), $v=12.2$ m/sec (=44 km/hr), $\epsilon=9.2$ sec⁻¹ $K=3.4$ kg/cm³ (道床の縦波伝播速度 250 m/sec を測定し, これより算出)⁵⁾, 軌条は 30 kg 10 m軌条で断面は Calibration と同様に磨耗を考へて I を 90% にとる。

これらの具体的な現地での値を用いて(3)式から σ を計算して, $\sigma \sim t$ 曲線をかくと 図-7(b)に示す如くなる。(3)式の級数の収斂性は極めて緩慢で y は $r=1, 3, 5, 7$ の4項で95%程度であるが, M 従つて σ は $r=1, 3, 5 \dots 55$ の28項で93%程度である。しかししてこの $\sigma \sim t$ 曲線を電車第1輪による軌条中点の $\sigma \sim t$ 曲線と考へ, 以下第2, 3, 4輪による結果を合成して結局 図-7(c)をうる。

表-1 静的計算による値; σ_0 (kg/cm²)

(4)式 ($r=1, 3, 5 \dots 55$)	660
A. R. E. A.	522
Zimmermann	600
国 鉄	543

なお同じ資料に基いて 2, 3 の従来の計算法(静力学的)による単一輪直上の最大引張応力 σ_0 の値は表-1の通りである。

6. 研究結果の考察

以上の研究を行つた結果, 考察されるのは次の諸表である。

1. σ の値は抵抗線歪計による値(図-5, 6及び7(a)), 引張歪計による値[4.(2).5.]と計算した値[図-7(b)(c)及び表-1[5.(2)の表を今後単に表とかく]とを比較するが, この場合次の2及び3の事項を考慮に入れると, 実験値と理論値との間には大なる差異がない。従つてこの測定法はかなり合理的であることがわかる。

・ 理論式では走行電車の輪重のみを移動不変力 W と考えたので, 実際に衝撃が入つて来ない, 事実(3)式による値(図-7(b)の最大値 I')と(4)式による値(表)とでは計算の結果, 前者が僅か大であるに過ぎない。また理論式では鉛直力のみ考へたが, 軌条には実際に鉛直力と横圧力の全力が作用している。このように理論式に衝撃及び横圧力の入つていないことが原因して, 図-7の計算値(b)(c)が実験値(a)より小となつていゝと考えられる。しかし(a)(c)図より $\sigma \sim t$ 曲線の形は兩者類似していることがわかる。

3. 本文のような縦枕木理論では 図-7(b)(c)にみる如く, 連行車輪(4輪)による σ の最大値は単一輪による値より却つて小となる。このことは静的計算の場合でも同様であるので⁶⁾, 4車輪による σ_0 は表の値より若干小となる。従つてこの表の660及び522 kg/cm² より稍小なる値を静的な σ の直として -5 の $V=0$ 軸上にかくと, この図から $\sigma \sim V$ の関係即ち衝撃を知りうることになる。しかし本実験のように営業電車では W が一定でないので, 乗客のない試験電車による $\sigma \sim V$ の測定が要求される。

4. 図-7(a)の如く現地での変動応力の実際がわかつたので, 実験室で同様な繰返荷重で試験することにより, 軌条の疲労強度乃至破壊の実際を知りうるわけである。

5. 理論的な取扱ひでは軌条を継目で鉸結の有限梁と考へたが, 無限梁としての解法も望まれ, これについても研究を進めている。

6. 本文の実験では所謂感度(記録紙上の振れ)が小であつた(図-7(a)は t に対して σ を相当拡大してかいた)。そこで研究を進めた結果, 抵抗線の長さを抵抗 50 n 程度とすること, 抵抗線の無効な部分(紙片上に固着されていない両端の部分)をな

くすること、回路の電圧を2Vから4Vにあげること、BridgeのA:B=10:100を10:10とすること等により相当感度を上げることが出来た。

Calibrationにおいても本文の曲げ引張りによる外単純引張りも行い好結果であった。

7. このように改良された実験装置、測定技術をもつて、近鉄奈良線において試験電車で実験し(昭.26.3.下旬)、特に $\sigma \sim V$ についての衝撃実験式を提案しうる見込である。

この測定法はなお研究の余地があるが、軌条の外枕木、継目板等にも適用される。本研究は文部省科学研究費による“軌条及び枕木に関する動力学的研究”の成果の一部であつて、直接有益な御助言を頂いた京大電気教室の大谷助教授、阪大構築教室の奥島助教授、

京大土木教室の教官各位、現地の実験で種々御便宜を賜つた京福電鉄会社、実験を手伝つて頂いた学生加納郁生君等関係各方面に深謝の意を表する次第である。

参考文献その他

- 1) 第3回関西工学連合講演会(昭.25.10.15)で講演
- 2) 成岡昌夫氏紹介; “SR-4 歪計について” 土木学会誌35—9(昭.25.9) p.28~31.
- 3) “Safety of welded rails in the running roads” Bulletin of the Int. Railway Congress Association, Vol. 20 No. (May 1938) p.468~471.
- 4) 後藤尚男; “弾性基礎にある梁の揺み振動に関する基礎的研究” 土木学会誌, 35—4 (昭.25.4) p.29~p.31.
- 5) 遠床係数測定の一つの試みとして行つたもので現地は非常に軟弱な路盤上にあるためKの値が小さかつた。弾性波法による測定は著者の1人が橋脚の基礎地盤反力係数の決定に用いた方法である。小西一郎、後藤尚男; “懸架橋脚の震害に関する動力学的研究(第1報)” 土木学会第5回年次懇話会(昭.24.5.22)で講演論文集第6号に近く登載の豫定。
- 6) たとえば小野諒兄; “鉄道線路の構造及び強度(II)” p.43~47. (昭.26.3.6)

UDC 624.166
532.517

橋脚壁面における流れの剥離について*

正員 杉 本 修 一**
准員 稲 田 裕***

ON THE SEPARATION OF FLOW FROM THE BRIDGE-PIER SURFACE.

(JSCE July 1951)

Syueichi Sugimoto, C. E. Member, Yutaka Inada, C. E. Assoc. Member.

Synopsis When the bridge-pier is not properly designed, the boundary layer separated from the pier surface develops a field of vertical vortex, and the back-water due to the pier increases. Therefore, it is desirable to restore the separated boundary layer to the pier surface as rapidly as possible and to make the field of vertical vortex small.

As a fundamental research to find out the condition that the separated boundary layer returns to the pier surface once again, we experimented with wooden models of triangular form set in our wooden smooth open channel with rectangular section. Results obtained are as follows;

The stability of the boundary layer separated from the model surface breaks down at the distance about 2.6 cm beyond the separation point (the summit) of the model, and then the disturbance develops from this point with a divergent angle 15°. The distance 2.6 cm above described is independent of the velocity and disturbance of the general stream, but the divergent angle 15° increases a little as the stream velocity increases. However, a certain limit exists in the phenomena above mentioned.

1. 緒言

橋脚で水が壁面に沿うて流れるのは、前頭部附近のみであつて、壁面のある点に達すると流れが壁面から剥離し、そのまま後方に流れ去つてしまうこともあるし、また壁面に復帰することもある。剥離した流れと橋脚壁面との間には鉛直軸の渦を生ずるが、その渦の

範囲が大きいほど前面の堰上高を増すものと考えられ、橋脚軸が流れの方向に対して傾斜する場合特に重要な問題となつてくる。従つて流水が壁面より剥離しない様な橋脚形状を理想とするが、実際には困難なことであるから、剥離した流れはそのまま流れ去らしめずに、出来るだけ速かに壁面に復帰せしめることが望ましい。本文は堰上高を出来るだけ少くする様な橋脚形状を流体力学的に究明しようとする研究の一つとして、剥離した流れの復帰の条件を実験的に求めたものである。

* 昭 25.5.28. 土木学会第 6 回年次学術講演会にて、“橋脚に関する流体力学的研究、第 2 報”として発表

** 文部教官、京都大学工学部土木工学教室勤務

*** 建設技官、建設省近畿地方建設局勤務