

知られる所であるから W/H = 常数 とおくのは妥当であろう。この常数は板厚に關係するが金属に対する charpit 曲げ衝撃試験片におけると同様に厚さの自乗に比例するとおくと実験によくあうがその理由は不明である。繰返し打撃による強度低下については次の如く考えると(1)が導かれる。即ち板の繊維の引張りに対する力変形曲線を簡単に

図-2

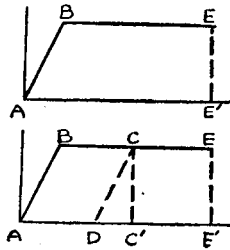


図-2 の如く仮定する。唯1回の衝撃で切れる場合は、変化はABE にそつて進み、破壊に要するエネルギーは $ABEE'$ の面積である。この面積を A_1 とする。2回の打撃でこわす場合は第1回目の打撃では、変化はAB CD にそつて進み、第2回目の打撃では変化は DCE にそつて進み E に於て破壊する。したがつて $ABCC'$ の面積を A_2 , CDC' の面積を C とすれば $2A_2 - C = A_1$ である。同様に n 回の打撃で破壊する場合の1回の打撃により加うべきエネルギーを A_n とすれば $nA_n - (n-1)C = A_1$ であるから

$$A_n = C + \frac{A_1 - C}{n} \dots\dots\dots(2)$$

となる。いま $C=1.1$, $A_1=5.5$ とおけば(2)は(1)に一致する。この關係が拡張出来るものと仮定し金庫の場合を考えてみよう。車輪1ヶの受けもつ重量を全

重量の $1/4$ とすると、それは 60 kg と推定され 60kg の重錘が打撃により 15 mm 厚の板に穴をあけるに要する最低限の落下高は(1)により 4.1~20.6 cm となる。これより板と衝突するときの速度は 90~200 cm/sec となる。試みに $T_0=0.1$ 秒として $v=90$ cm/sec になる如き地震動の震度と週期を求めれば $T=0.1 \pm 0.035K$ となり、 T が 0.1 秒にきわめて近い値であることが必要なることが知られる。即ち一般に T が T_0 にきわめて近い値をもつときは共振によつて震度が小さくとも床板に穴をあけうることになる。このことから振動系の上にある剛なる構造は場合によつては異常に大なる力を振動系に及ぼすことが考えられる。従来比較的短週期の地震動による共振現象は余り注意されなかつたが橋脚上にある橋桁、杓、建物内部の調度品等の震害の中にはこの種の原因によるものも注意すべきであろうと思われる。

本研究は文部省科学研究費の一部を費い、加藤年男 佐藤正巳、林田英雄、三塚正衛の諸氏に負う所が多い。こゝに感謝の意を表する次第である。

参考文献

1. 井上宇胤 昭和24年12月26日栃木地震、震験時報第15巻第1号 1950年
2. 松沢武雄 鳥取大地震の時の狛犬の運動 震研彙報22号 1944年
3. 萩原尊礼 筑波山における地震動並びに地鳴、震研彙報 12号 1934年 (昭. 26. 3. 30)

UDC 624.137:624.131.414.1
634.956.585

地被植物の急斜面土壤浸蝕に及ぼす効果

正 員 田 中 茂*

THE EFFECT OF PLANT COVER ON STEEP SLOPE SOIL-EROSION

(JSCE July 1951)

Shigeru Tanaka, C. E. Member.

Synopsis This paper explains a research result of plant cover effect on the steep slope soil-erosion by means of model experiments. The experiments were composed of two tests, namely, in the first test plant cover was comparatively thin, and in the second it was rather dense. By these experimental researches the writer has been able to get many qualitative data concerning the above subject, and trace the causes of the plant cover effect.

要旨 地被植物の急斜面土壤浸蝕に及ぼす効果を模型実験によつて研究したものである。実験は2つよりなり第1実験は比較的粗な地被の場合であり、第2実験は密な地被の場合である。この研究において著者は地被が浸蝕を軽減又は防止する機構を明らかにし、浸蝕

量と地被との間の定量的な關係の一部を求め、さらに流亡土の粒子組成の時間的变化を明らかにし得た。

1. 緒言

古来、禿山に植林することが洪水の防禦に極めて効果的であるとされている。これは樹木が雨水の流出を軽減するのに役立つ以外に土砂の流出防止に重大な役

* 神戸大学助教授、工学部土木教室

割を果すからである。また築堤や切り取りなどの急斜面には芝などを植えて保護を行い法面の安定を計っている。かように地被植物が法面の浸蝕防止または軽減に有効なことは一般常識となつているが、漠とした概念的なものに止つている。従来、地被の流出率に対する効果の研究として、真山利雄氏の観測⁷⁾、E. Wollney 氏の研究⁸⁾、J. L. Haynes 氏の研究⁹⁾、R. A. Norton, D. D. Smith 両氏の研究⁴⁾、W. C. Lowdermilk 氏の研究⁵⁾、エヌ・イー・ロシチン氏の研究⁶⁾、北米南部林野試験場の観測⁷⁾、N. N. Stepanov 氏の研究⁸⁾、その他があり、地被植物の土壌浸蝕に及ぼす効果の研究としては H. H. Bennett 氏の研究⁹⁾、J. E. Weaver 氏の研究¹⁰⁾、F. L. Duley, F. G. Ackermann 両氏の研究¹¹⁾等がある。しかしいずれも満足すべき結論を得ていない。著者は独特の方法で模型実験を行つてこの問題について或る程度立入ることができた。

2. 著者の実験の概要

a. 実験準備 著者は既報**で説明したように、幅 30 cm、斜面長 1 m の模型斜面を作り、勾配は 1:2、土質は配合 1:1.5, 1:2.0, 1:3.0 とし、その表面に芝を植えた。一方、全然地被のないものをも用意し、各場合につき一定流量の水を流して実験を行つた。

第 1 実験では「芝」の近似種の「おにしば」を選び、その根茎の長さを 30 cm に切り、その途中 5, 6ヶ所より細根並びに茎葉の出ているものを選び、これを斜面幅に平行に法先より 5 cm 間隔に配置し天端の水平部まで及ぼした。細根は長さ 4~5 cm のものが多く、これを斜面上の所定の位置に小孔を穿つてその中に挿入し、根の周囲にもと通りに土をつめた。芝付けを終ると装置全体を実験室内でなるべく窓際におき、朝夕 2 回撒水し、15日に 1 回の割合で流安を所定の濃さに水で溶かしたものを施した。このようにして 6 月始めより 60 日間養生をして根が完全につき、斜面上が固つてから 8 月始めに実験にとりかゝつた。何分日射不足のため、茎葉が細長く立上る状態であつた。

第 2 実験では、斜面の土の厚さを 6 cm にする前に 4 cm に止め、根茎が平均 1.5~2 cm の網目状に生育している「芝」を土ごと切取つてきたものを水洗いしてすつかり根茎間の原土を落し去り、これを斜面上に隙間なくしきつめ、その上に所定の配合土をおいてこれがよく根茎の間に入りこみ、これらの間に隙間が生じないように細い棒でよく突き、更に裸地斜面築造用の木板で入念にたゞき固めた。このようにして土の表面までの厚さが 6 cm になるように仕上げた。装置は予め戸外に出して準備をした。芝の植付けが終了後は第 1 実験の場合と同様に養生をした。この時斜面

は装置全体を傾けて約 1:10 位の緩勾配に保つた。雨天の際は予め土の表面全体をむしろで蔽い保護をした。芝の根茎間において土がよくそれらと密着して隙間がないように注意し、隙間の生じた所は新しく土を補充した 60 日間の養生期間を経て、よく芝が生育した 10 月上旬を選んで実験にとりかゝつた。一様に粗密なく芝が生育することは難しく多少の粗密は免れなかつた。

b. 実験方法 既報**の通りである。

c. 実験の推移 第 1 実験では次のようである。流水量を 150 cc/sec とした。斜面上に流水が始まると斜面に接している茎葉のため流水は障害を受け小さい跳水現象を呈する。根の周囲には小渦を生じ、跳水の落ちるところや小渦のところに洗掘が生ずると同時に層状浸蝕が芝の根茎などのない場所に発生する。やがて斜面上の弱点に生じた小孔が諸所において跳水現象と渦を伴つて漸次発達する。弱点は主に地被の粗な部分或は地被のない部分に存在する。砂の多い土ではみぞが容易に縦方向に延び、これが発達するにつれて地上を這つている茎の下がトンネル状にぬける。細根の周囲の土は粒子が固く結合されているので他の部分に比べて浸蝕され難い。砂の少ない土では特にこの傾向が強くなる。根の周囲の土が土柱状にみぞの真中に何時までも残るのがみられた。この実験ではかび状のこげがうすく斜面上に繁殖していた。このこげはごく細かい毛状を呈して滑らかで、水の流れに対して斜面の粗度を小さくさせる為に流水抵抗が極めて小さい。この薄膜が破れると膜の裏に砂が附着したまま離脱する。

第 2 実験について次に述べる。この場合は耐蝕性が強いものと予想せられたので流水量を 200 cc/sec とした。

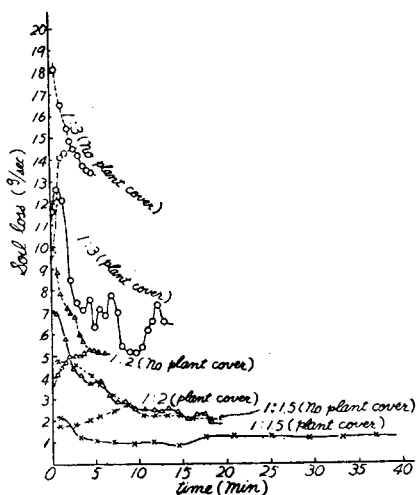
この場合は水平な天端の土壌面上の繁茂せる茎葉のため、天端上の流速は極めて小さく各所で茎葉の周囲に小さい渦がみられるが浸蝕は殆んどない。斜面部では、流水が始まると同時に表面の砂粒の流出が全面に亘り層状浸蝕の形で起り、その量は浸蝕の当初で著しく多い。やがて比較的地被の粗な所や稀には密な部分中にある弱点に小孔が生じ始め、これが漸次浅いみぞに発達する。しかし法面に接した芝の地下茎及び根が網目状に密である上、地上の茎葉もよく繁茂しているために、みぞは容易に上から下へ延び難い。地被部の浸蝕は比較的地被の少ない部分に最初に生じた小孔による流水の集中や跳水等に影響せられ、さらに地被の茎葉の周囲に生ずる小渦の洗掘作用に起因すること

* * 拙著 土木学会誌 昭. 23, 12, p. 4~10

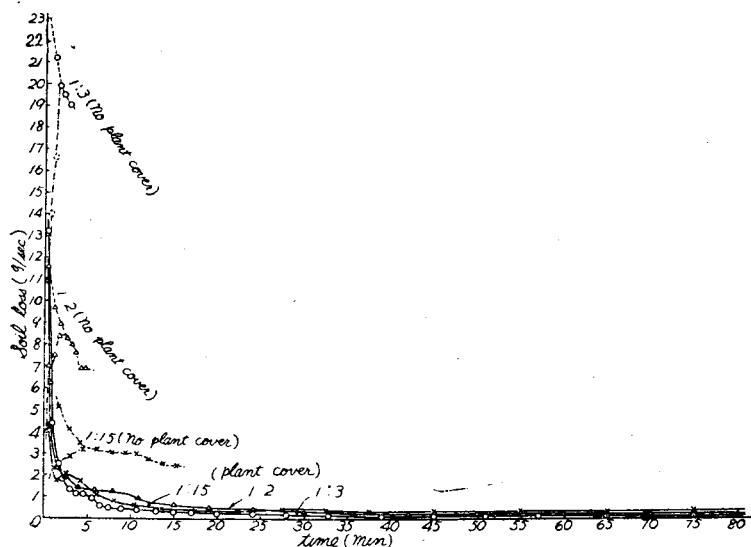
が多い。

初期は大小の土粒子が斜面上到るところで盛んに動いているが、時間が経つにつれて漸次この動きが斜面上のみぞに局限されその動きも少くなる。流水の濁度も減じ或る時間経過後はみぞ中の流水にも粒子の移動は殆んどなく、時折小土塊が崩壊してみぞの中に落ちて流水により分解流送されるに過ぎない。浸蝕が進行するにつれ、流出する粒子のあるものは莖葉に抑留せられ次第に堆積する。この堆積は特に密な莖葉の部分に著しい。この堆積も或る程度発達するともはや莖葉

図一1 浸蝕量時間曲線 (第1実験)
Erosion-time Curves (Test 1)



図一2 浸蝕量時間曲線 (第2実験)
Erosion-time Curves (Test 2)



より転落するか或いは堆積の一部が流水のためにつき破られ、その際の速い流水のために堆砂は勿論、莖葉の下部や地下莖並びに根の部分まで浸蝕されることがある。時間が充分に経つと斜面上の水の道筋が決つて落付く。

3. 実験結果

a. 浸蝕量—時間曲線 第1実験の曲線を 図一1 に第2実験のものを 図一2 に示す。これらの曲線の特徴を列記すると次のようである。

1. どの土質の場合でも裸地の場合よりは浸蝕量が少く、ことに第2実験では著しく少い。さらに土質の如何に関せず時間が充分にたつと蝕浸量はほぼ同様な低い値に落付く。

2. 最初の浸蝕量はどの場合も大きいが、第2実験では特に目立ち短時間で殆ど鉛直に近い傾斜で急速に低下する。曲線は小さい波形の凹凸をくりかえし遂には一定値に近づく。

3. 2. で述べた波形は第1実験では粘土の多い配合程凹凸の数が少く、波の長さが長い。第2実験ではどの土質の場合も殆んど変わらない。

4. 浸蝕量が落付くまでに要する時間は裸地の場合より極めて大きい。第2実験では曲線が横軸にほぼ平行に近くなり始めてから落付くまでの時間は随分長い。

b. 流出土の粒径組成の時間変化 第1実験の結果を表一1に、第2実験のそれを表一2に示す。次に粒径百分率—時間曲線をこれらの表から作り、それらの示す特徴をあげると次のようである。

1. 流出土の組成は実験の始めと終りとで相当に変化し、その上、裸地の場合のように実験の終り近くで原土の粒径%に流出土のそれが近づくのとは大いに異なる。

2. $d > 1.2 \text{ mm}$ の粒子の%の時間変化: 始めは変化は起伏に富むが漸次扁平なゆるやかな波形を呈し、充分に時間がたつと一定値に近づく。この値は第1実験では原土のこの大きさの粒子の示す値にほぼ近く、第2実験ではそれとよく一致しており、しかも時間により%はあまり変わらない。裸地の場合も同様な傾向を示すが変化の起伏は少く時

表一 流出土の粒徑組成の時間変化 (第1実験)
Variation of Sieve Analyses Results
of Eroded-out Soil versus Time (Test 1)

Table with multiple columns representing sieve sizes (e.g., >2.5, 2.5-12, 12-0.6) and time intervals (e.g., 0-10, 10-20, 20-30). Includes sub-headers for ratios like 1:2 and 1:3.

間的にも縮まつたものとなる。

3. d=1.2~0.6 mm 並びに d=0.6~0.3 mm 粒子の%の時間変化: 変化は起伏の多い波形を呈し, 時間がたつと波の長さが増し起伏は小となり一定値に近づく。第1実験では, この値は d=1.2~0.6 mm 粒子で, 原土の粒子の示す%より 3~7%, d=0.6~0.3 mm 粒子で, 同じく 2~5%低い値を示す。第2実験では始めの粒子で 6~10%, 後の粒子で 4~7% だけ, 原土のそれぞれの大きさの粒子の示す値より低い値を示す。両実験とも上記の両粒子の%の変化を示す曲線は波形の凹凸の位置がよく一致しており, しかも第2実験では前者の%は後者のそれの約2倍になっている。

4. d=0.3~0.15 mm の粒子の%の時間変化: 変化が波形をくり返しつつ一定値に近づくことは他の場合と同様である。浸蝕の初期には%高く, 第1実験では特に著しい。一定値は第1実験では原土のこの大きさの粒子の%より少し大きい, 第2実験では原土のそれと殆ど等しい。

5. d<0.15 mm の粒子の時間変化: 土質の如何に関せず変化は特に大きい起伏に富んだ波形を示し, 時間が充分たつと第2実験では起伏が少なくなるが第1実験では容易に少くならない。時間が充分に経つた後の曲線の示す%は原土のこの大きさの粒子

表二 流出土の粒徑組成の時間変化 (第2実験)
Variation of Sieve Analyses Results of Eroded-out Soil versus Time (Test 2)

Table with multiple columns representing sieve sizes and time intervals. Includes sub-headers for ratios like 1:2 and 1:3.

の示す%より高く、特に第2実験では著しく、11~22%も高い。

4. 実験結果に対する考察

第1実験及び第2実験の結果に対する著者の考察をとりまとめて述べる。

a. 浸蝕量—時間曲線 裸地の時に比べて浸蝕量が特に小さい理由は次のようである。

1. 地表面をはつている莖葉や、直立しているそれらが流水に対して障害となり、これらが繁茂している程流水断面積を小さくし、且つ流水の真直ぐな進行が妨げられる。この結果、流速の減少となり、層状浸蝕は勿論、みぞの縦方向への発達を阻止することになる。一方、障害物の附近に生ずる渦や跳水のために浸蝕が行われるが、この作用は流速の減少による影響に比較すれば小さい。

2. 浸蝕の初期に発生する斜面上の滑りが裸地の場合に比し生じ難い。地被植物が土壌表面を密に蔽う程、毛布をしきつめたような具合で cushion の作用をし、最初の滑りが生じ難い上に一般に浸蝕も少くなる。

3. 土中の根莖の土粒子結合作用は予想外に強く、これが浸蝕の軽減に大いに役立つ。ことに第2実験の時のように根が網目状に密である場合はこれが土の粒子を固く結合させる。この結合は根の物理的作用は勿論、生きた根莖よりの分泌液の生理学的並びに化学的作用によつても大いに助長せられているものと考えられる。枯死した植物の莖葉や根も、それら自身及び周囲の土中水分に溶けて出たそれらの化学成分が土粒子の固着に大きい働きをする。

4. 浸蝕されて流水により運搬されてきた土の或る大きさ以上の粒子は地上の莖葉に抑留せられる。この砂粒の堆積は莖葉の密生部に特に著しく、これが発達すると斜面勾配は緩になり、流速は減少する。流水は遂にみぞの部分のみで進行する。堆積の著しい所のすぐ下手は流水が段になつて落ちるが、その莖葉の cushion 作用が洗掘を防止している。

第2実験のように土質による浸蝕量の差違が殆ど認められぬ理由は次のようである。上述の1~4の諸作用が極めて強力であるため、元来の土の受蝕性の強弱を極めて小さいものにする。この外に配合 1:1.5 より 1:3 という順で芝の生育が少しづつよくなつていた為に元来の耐蝕性の強さの順序と逆になつていることも一因と考えられる。

最初の浸蝕量が特に多く、これが急速に減ずるのは、芝の生育期間中撒水や雨滴のために斜面表層は細粒が流亡又は飛散し、粗粒の多い組成になつている。

その上粗細粒の個々の粒子は結合力を失つたものとなつている。それ故最初の浸蝕量は特に大きい。これらが流出してしまつて原配合の土が現われると、これに対して地被の効果が大きいから浸蝕量は急減する。

曲線が波形を呈し、特に初期にこれが著しいのは次の理由による。浸蝕の初期はその様相が変化に富み、比較的短時間に流水の道筋もはげしく変化するし、それらの水筋の中の浸蝕状況もまた変化に富む。時間が或る時間以上たつと流水の道筋が次第に定まつて、短時間の変動も小さくなり、浸蝕量そのものも極めて少量となる。

b. 流出土の粒径組成の時間的变化

1. $d > 1.2 \text{ mm}$ の粒子の%の変化の特色については次のように考えられる。斜面築造直後に行つた裸地の浸蝕実験では、既述のように粗粒の流出が比較的少なかつたが、風雨にさらして地被のある時と同様に養生した後に行つた裸地の浸蝕実験では地被斜面浸蝕の場合と同様な傾向を示した。この第1及び第2実験の場合のこの粒子の%が実験中あまり変化しないのは、粒子の流出量が大いこと、莖葉による抑留割合が大いこと、およびおおよそ釣合うからである。途中で一時%が下るのは抑留割合の方が大きくあらわれたためである。

2. $d = 1.2 \sim 0.6 \text{ mm}$ 及び $d = 0.6 \sim 0.3 \text{ mm}$ の粒子の%の変化の特色については次のように考えられる。第一に、これらの大きさの粒子が他の大きさの粒子と固く結合していると、流水により周囲の細粒が浸蝕されて流亡しても容易にこれらの粒子はぬけ出さず流亡し難い。第二に地被植物の根はこの程度の大きさの粒子を最も強く把握する傾向があり、他の大きさの粒子が流水によつてすでに流亡してしまつても後までよく根に附着している。第三にはこの種の大きさの粒子は地上の莖葉に最も抑留され易く、比較の後まで抑留効果が続く。

上述の第一、第二の傾向は $d = 1.2 \sim 0.6 \text{ mm}$ の粒子に、第三の傾向は $d = 0.6 \sim 0.3 \text{ mm}$ の粒子に著しい。これら2種の大きさの粒子の%の示す起伏は同じ時刻に生じ、曲線で表わした形も似ているのは、これらの大きさの粒子が地被の下ではよく似た条件で浸蝕や堆積をするからであろう。

3. $d = 0.3 \sim 0.15 \text{ mm}$ の粒子の%の変化の特徴に関しては次のようである。この大きさの粒子は細粒に近く中粒の場合のような著しい根と粒子の結合や莖葉の抑留作用はない。従つて地被の効果は大きくなく、原土のこの大きさの粒子の示す%と大きく異なることはない。

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。

以上と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