

日本国有鉄道で試行した

線路保守管理に対する推計的方法

国鉄施設監査員

福永貞蔵

I. まえがき

従来線路保守管理の方法は管理者の経験を主体として予算、資材、労力を投入する遣方が多かったが今日の如くこれ等予算、資材、労力共に充分になくなつて来ればこれが合理的な使用法を考えねば良好なる管理は実施されない。然し線路状態の良否は非常に複雑な各種変動要因によつて変動するものであり、この変動要因を力学的に解明するには余りにも多くの條件が関係するため不可能である。そこで最近数年の研究試行の結果推計学概念を導入することにより線路の実態を把握して総合性ある合理的な管理な管理を行うための、線路検査規程を制定した。この検査の結果に表われた軌道の狂の測定値を統計的に処理することによつてその変動要因を追及し保守の重点を把握し、最も経済的な予算、資材、労力を投入することによつて軌道を一つの管理状態におく方法を我國鉄においては最近採用し目下その方面の研究を進めてゐるが以下この方法について簡単に説明する。

II. 軌道狂の表現方法

1. 正規分布を応用した軌道狂の狀態の表示

軌道に發生する各種の軌道の狂の量を統計的に処理してある区間の線路状態を評價する一つの指数 *index* を定めることが先づ第一に必要なことである。今管理すべき範囲に応じて軌道を局別、保線区別、線路班別、或は

総別等適当に lot 分けて考える。そしてその lot 内の軌道狂いの母集団と
 考えてその中から、 n 個の狂い量の測定値を無作為に採取する。(但し軌道の
 場合必ずしも無作為抽出は技術的に簡単でないので結果的には系統抽出を
 実施している。(詳細後述))

かくして取った n 個の測定値の度数分布をつくるのは、その分布型が大体
 において正規法則に従うことが狂い量の統計的評価を著しく適便にしてい
 る。この正規分布をするという仮定を満足することを確かめる方法は色々
 あるが一般に次の方法が考えられる。

1. 試料単体の観測値の周期的なる分析
2. 度数分布図を画く方法
3. 正規確率紙に累積度数を打点して見る。
4. χ^2 -検定による数理的判定を行う。

今正規分布との適合性に χ^2 -検定を施してみた結果は下表の通りであり
 いずれの場合も 5% 以下の危険率をもつてこの統計値が一つの正規母集団
 から抽出されたものであるという仮説を棄却出来ないことが解った。

第 1 表 正規分布の χ^2 -検定表

n	$\bar{x}$	S	χ^2	χ^2_0			
				df	$P\%$ に対して		
50	1.660	2.725	11.44	9	30%	10.66	5% 16.92
100	1.050	2.261	8.00	8	50	7.34	5 15.51
200	1.690	2.516	13.41	10	20	13.44	5 18.31

即ち一本の連続体であるレール上に現われる変形としての狂い分布型は
 大体において正規分布と見做すことが出来ることしたのである。そして一つ
 の lot の母平均 μ 分散 σ^2 の推定値としての Sample の平均値 $\bar{x}$ 、分散
 S^2 はその lot の軌道の保守状態を示す指標と考えることが出来る。

即ち x_i なる階級の狂いの存在頻度を f_i とすると、

$$\text{平均値 } \mu = \frac{\sum f_i x_i}{\sum f_i}$$

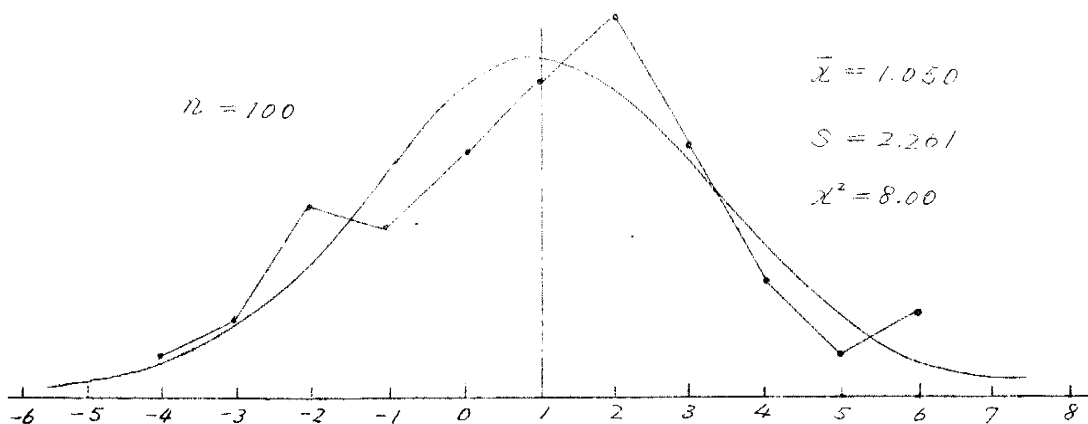
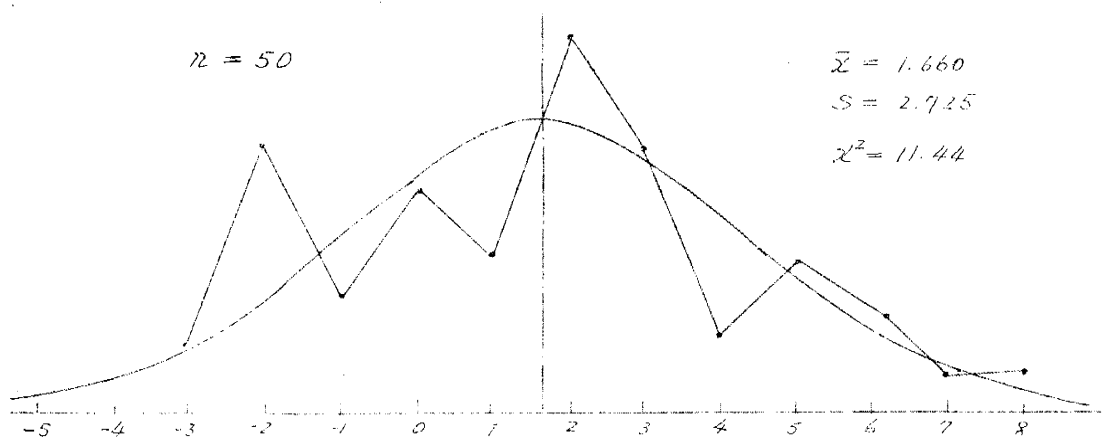
$$\text{標準偏差 } \sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i (x_i - \mu)^2}{\sum f_i}} \quad \text{又は } \sigma = \sqrt{\sigma_0^2 - \mu^2}$$

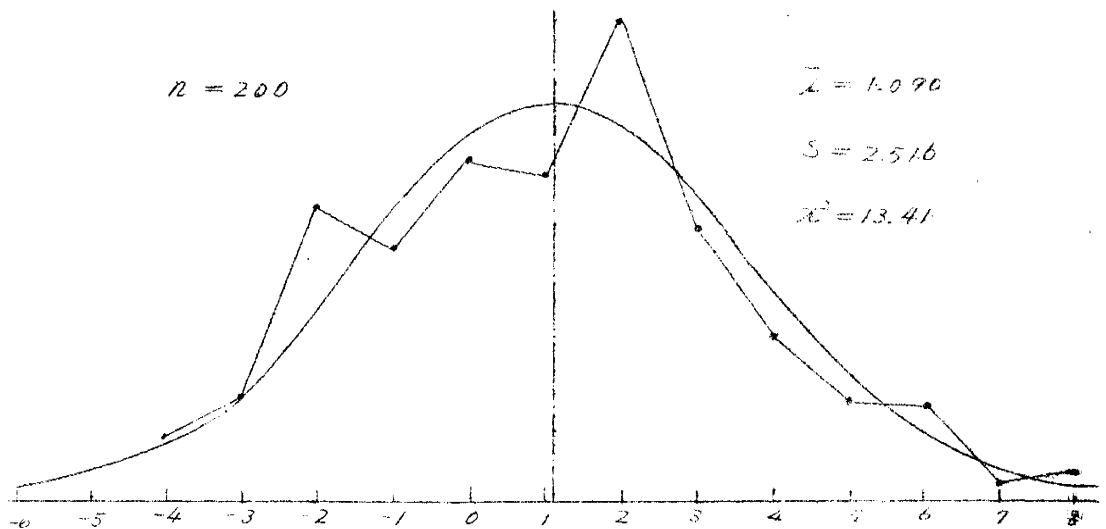
$$\text{但し } \sigma_0^2 = \frac{\sum f_i x_i^2}{\sum f_i}$$

$$\text{分布の型は } y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

この μ, σ の2つの index によりその区間の狂いの状態を把握することが出来る。

第1図 統計量の度数分布図





即ち x_i なる階級の狂いの存在頻度を f_i とすると、

$$\text{平均値 } m = \frac{\sum f_i x_i}{\sum f_i}$$

$$\text{標準偏差 } \sigma = \sqrt{\frac{\sum f_i (x_i - m)^2}{\sum f_i}} \quad \text{又は } \sigma = \sqrt{\sigma_0^2 - m^2}$$

$$\text{但し } \sigma_0^2 = \frac{\sum f_i x_i^2}{\sum f_i}$$

$$\text{分布の型は } y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x-m)^2/2\sigma^2}$$

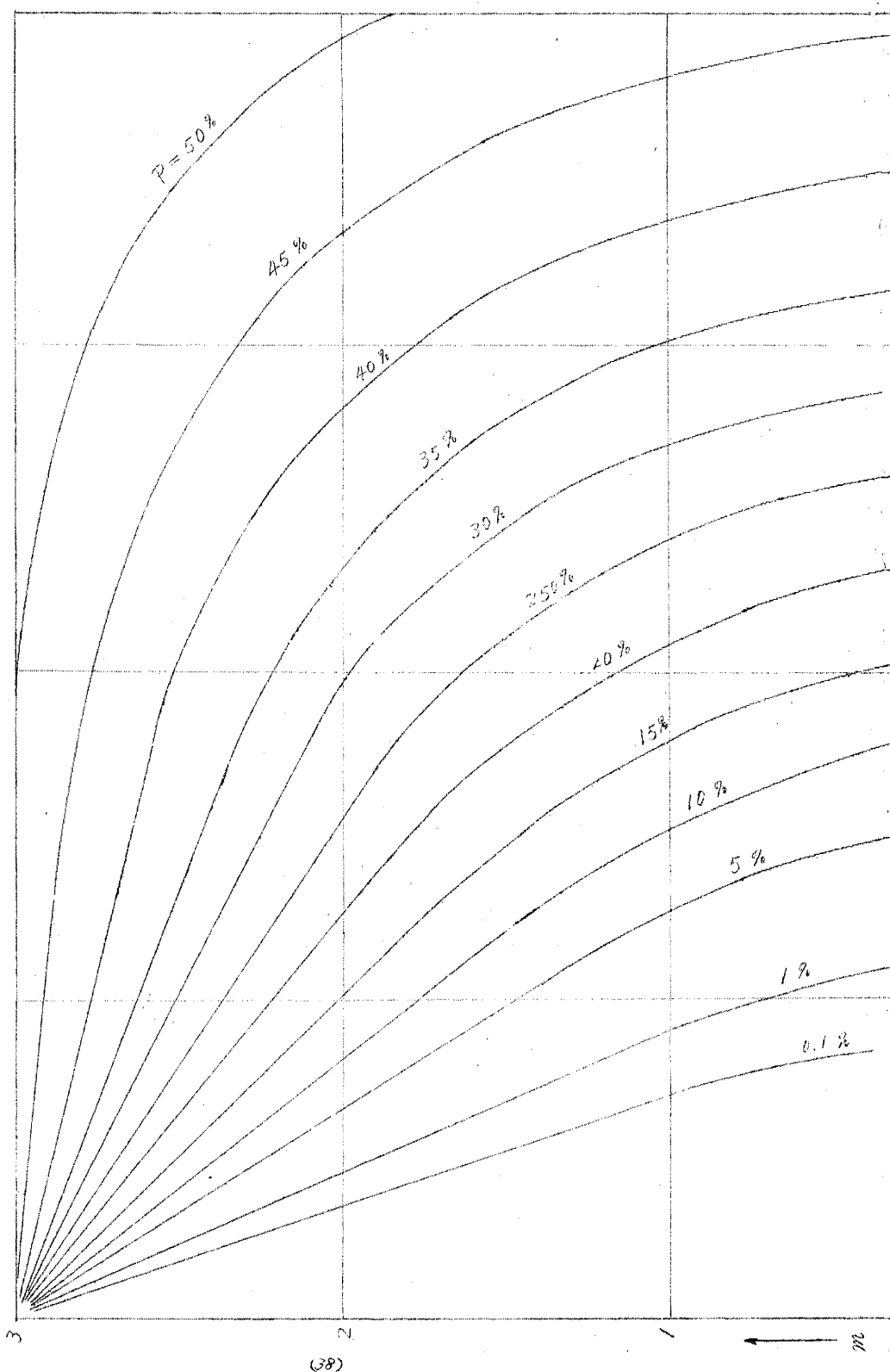
この m, σ の 2 つの index によりその区間の狂いの状態を把握することが出来る。

2. 軌道狂指数 P

狂いの数値群が 2 つの index m と σ で表現される異なる区間の比較ある区間の時間的推移、他の要因との関係等を追求する場合は 2 つの index を更にまとめて一つの index とする必要がある場合が多い。

m, σ なる 2 つの独立変数の函数として定義される一つの index を定めることは、軌道狂状態の良否の定義と密接な関係があり種々の方法が考案
(37)

图 2 图 1 不度率等值图



られるが、現在は次の方法を採用している、即ち実際の狂いの分布より、 m, σ を算出してその m, σ で規定される正規分布において或る限度 $\pm a$ 以上の狂いの存在する割合を % で表わしたものを軌道狂指数 P とする。

$$P_1 = \int_0^{+a\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(\xi - m)^2 / 2\sigma^2} d\xi \times 100$$

$$P_2 = \int_{-a\sigma}^0 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(\xi - m)^2 / 2\sigma^2} d\xi \times 100$$

$$P = P_1 + P_2 \quad P = f(m, \sigma, a)$$

現在はこの限度 a として 3σ を採用している。

これは P の等値線によって a を大きくすると m の影響が入らなくなるが P が小さくなり、 a を小さくすると P は大きくなるが m の影響が入るので大體普通の線路状態は m が 0 から 1.0 位迄 σ が 1 から 3 位迄の間にあると考えられるのでこの間に入る値を P によつて分析するのに一番適当と考えられる、 a を考えて $\pm 3\sigma$ を採用したのである。

3. m, σ, P の集計方法

平均値は一次積率、 σ は二次積率であるから次の集計方法により集計出来る、 σ の集計は 0 のまわりの積率の形で集計しその後平均値の補正を行う方法をとる。

$$\bar{m} = \frac{\sum w_i m_i}{\sum w_i} \quad \bar{\sigma}_0^2 = \frac{\sum \sigma_0^2 w_i}{\sum w_i}$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\bar{\sigma}_0^2 - \bar{m}^2}$$

但し w_i は i 区間の有する室みであつて、各区間の測点数又は各区間の採取比が等しければ軌道延長率で表わされる。

但線路班担当延長が大體平均化していることから、その区間に含まれる線路班数を室みとして略算することがある。

P の集計は集計された $\bar{m}, \bar{\sigma}$ より算出された $\bar{P}$ を用いるのが原則であるが、夫々の区間の延長が長く正規分布による近似度が高く、 m_i 間の差があまりない場合は P の直接加重平均 P_{mean} で略算される。

$$P_{mean} = \frac{\sum w_i P_i}{\sum w_i}$$

4. P と m, σ との関係

P が m, σ の値の変化によつて、どう変化するかは P の平均線を描けばはつきりする。この図から解る様に $|m|$ が $1/m$ 以下の場合には平均線は m 軸に平行に近く、 m の影響は少なく σ の値により P の値が大略定まる。

実際問題としても軌間狂以外の項目は対象区間をある程度以上長くすれば $|m|$ が $1/m$ を超えることは稀であつて m の影響は補正程度となる。

5. P より推定される諸性質

或る区間の軌道状態が m, σ で示されたならば正規分布の諸性質を利用して種々の性質、例えばその区間である大きさ以上の狂いの存在割合等を簡単に推定出来る。 P で表現される場合も m の存在範囲が限定され、その値を推定出来るので同じ様な推定が可能である。

次図は P とある限度以上の狂いの存在割合(確率)の関係を限度の数値毎に示した四であつて更にこの関係が m の値により何の位の変化するかを $m=0$ と $m=1$ の場合を例として示したものである。

6. 測定数と採取方法

或る延長を有する区間には狂を測定し得る点の数が無限にあり無限母集団と考えられるので狂いの測定は採取検査となる。但し従来は事故の原因追求の様に個々の狂いを特に重視する特別の場合を除き狂い状態一般を知るための測定には $5m$ 間隔で測定し、それより短い間隔では測定しないのが普通である。通常 $5m$ 内での狂いの変化は少く且つこの様な測定を

した場合も母集団は正規分布と見做せるので5m区間を母集団構成の個體と見做しその中のある一定の点の値をその個體の標識値として有限母集団に取扱う方法もある。この場合5m間隔で全区間を測定することも莫大の労力を要するので更に測定数を減じ必要精度を満足する採取方式とすることが得策である。

国有鉄道で実施している例としては線路班担当区域(平均本線6km)を仕切と考へ、1km 当り40測点、線路班当り平均240測点の採取方式が行なわれている。

採取法は *randans sampling* が原則であつて実際には等間隔抽出二段抽出集落抽出(集落として50m 区間程度を選びその中を5m 間隔で測定する方法を集落抽出と称する)などが行われている。

これらの系統抽出を行う場合歪みの存在に周期性のある場合は偏った標本が得られるので注意が必要であるが最も影響の大きいと思われるレールの長さによる周期性についても実際上問題にならぬことが多いのでこの点は通常の場合無視して実際抽出に便利な方法を採用してよい。

但し継目落着が甚だしくレール継目部の歪みの特性が顕著な場合はレール長の倍数又は約数の等間隔抽出を避け7m 間隔又は平均的に等間隔としてその附近で *randan* 1. 値を変へる方法等周期性の影響を避ける方式がよい。

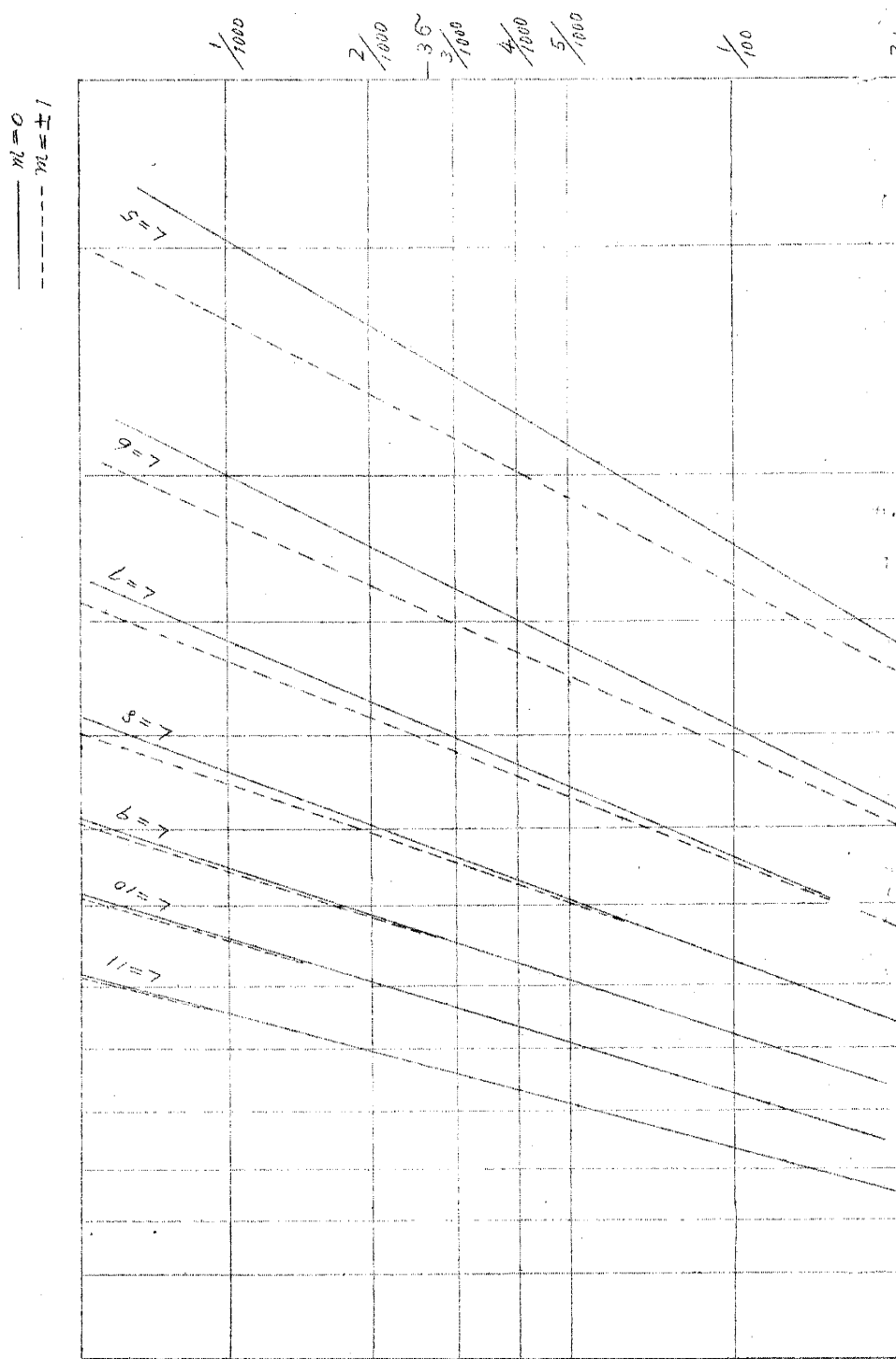
III. 枕料検査における採取検査

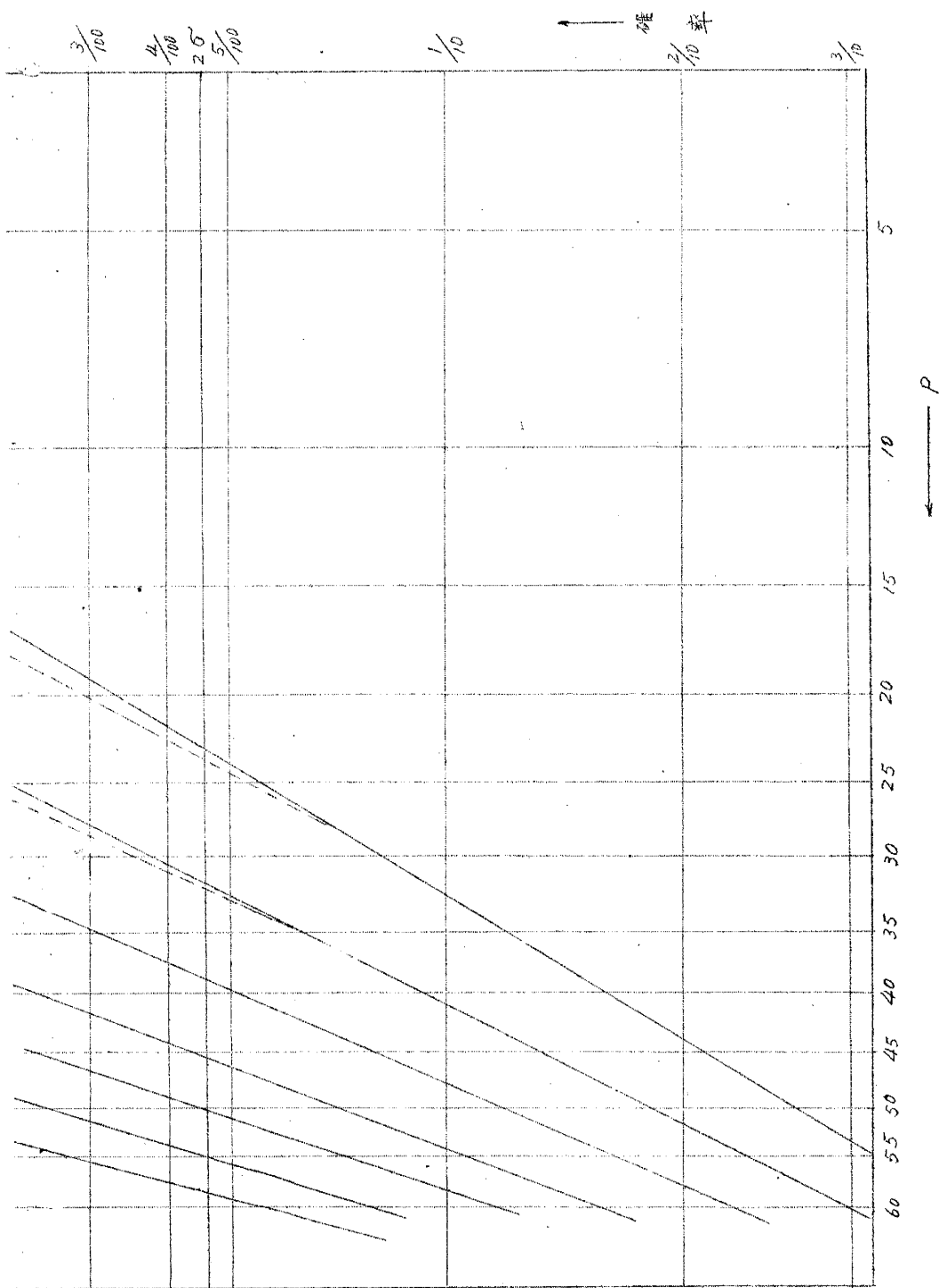
1. 枕料不良状態の表現法と判定基準

軌道の状態を示す種々の数字のうち重要なものの一つとして精微軌道枕料の不良状態を示す数字がある。即ち軌道の安全性保守の難易率は軌道枕料の良否に大きく左右される軌道保守に要する経費の中枕料費の示す
(40)

第 3 圖

P の値と限度 ($\pm L$) 以上の狂いを生ずる確率との関係





合も大きい（全人件費を含めた保線全経費のうち 40% 前後）で軌道材料、の不良状態を把握することが非常に重要となる。

この材料不良状態の表現方法としては一定の基準によつて良、不良に分け取数数に対する不良数の割合、即ち不良率によつて表示するのが原則としている。この様な属性検査を行う場合最も重要な根本的な問題は個々の個体の良、不良を決定する判定基準である。レールや分岐器のような重要なものについては各部の磨耗限度など定量的な判定基準を定めることが困難なもの（枕木など）については判定基準が確定してゐる判定者の認定によるものが多い。この場合には個人差を確認することが重要であつて、（枕木不良判定、個人差の検定）不良数調査においては個人差をなるべく小さくするため、3人以上の判定者の独立な判定による不良率を平均すると言様な処置が講ぜられる。

2. 採取数と採取方法

材料不良状態の検査はレール分岐器など特に重要なものは全数検査を行うがその他のものは対象個数も莫大であるので採取検査が広く行われている。その採取数は各品目毎に必要精度と調査に要する手数とをならみ併せて定められる。但しこの場合不良率を判定する最小仕切の大きさが問題であつて大きな仕切の不良率はその中に含まれる小さな仕切の集計で算出されることになるからどの大きさの仕切に対する精度を目標とするかが問題となる。つまり線路班毎の不良率を目標精度に合致させると同一保線区に含まれる線路班毎の不良数の集計によつて求めた保線区の不良数（率）や更に保線区を集計して得た局全体の不良率などは不必要に精度が高くなり逆に線路班毎の値を求計して得た保線区の不良率を目標精度に合致させる様に採取数を定めると、線路班毎の数値は精度が低くて誤差の大きいものとなるのでこの関係を調整しなければならない。

Ⅳ. 管理図の応用.

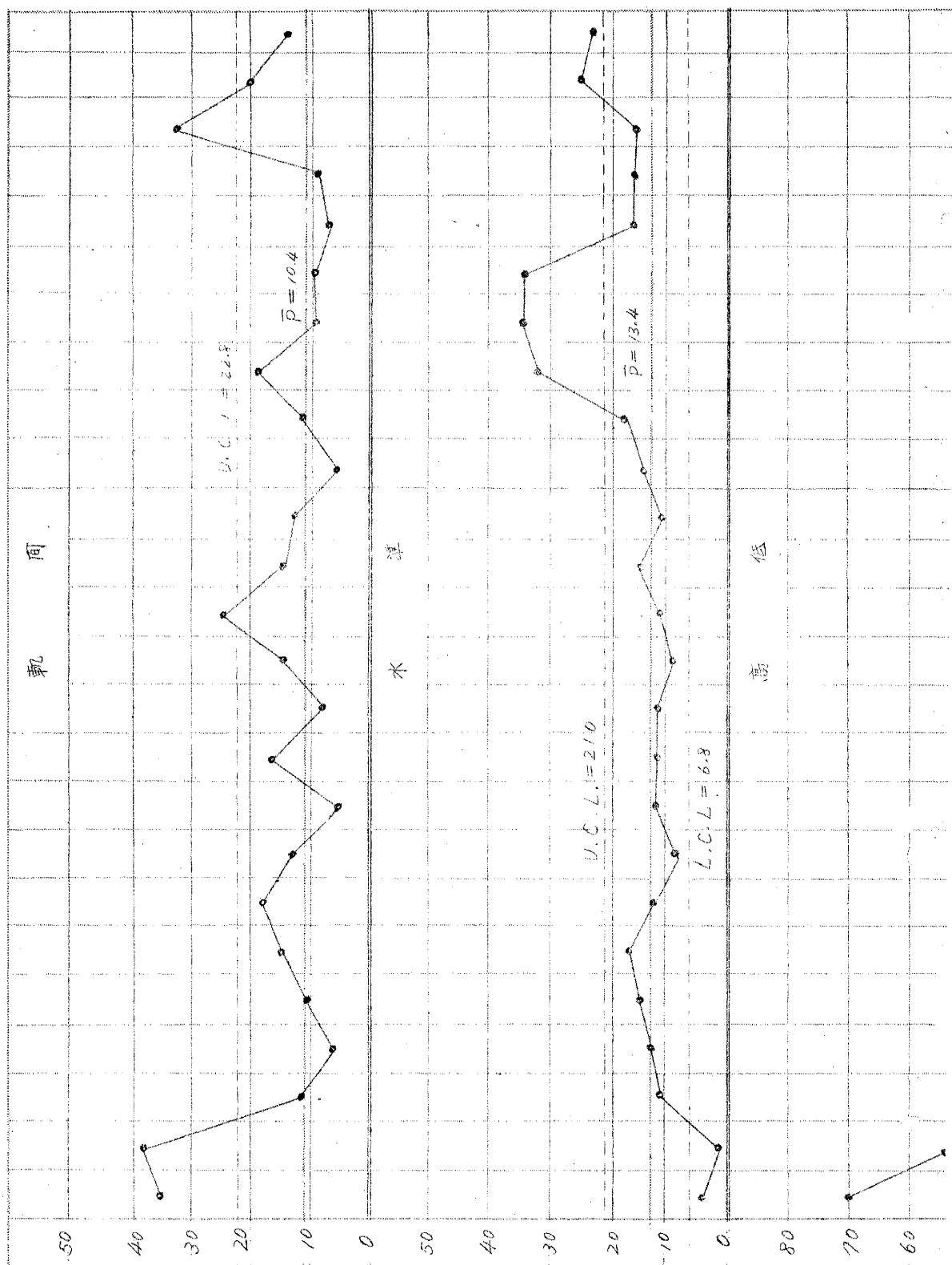
軌道の保守に当つては線區別、区間別、にその線区の重要度、破壊力の大小、その他に応じて均等に保守を行うことが重要であつて、このため線區別又は適当な区間別に仕切を設け、軌道狂状態、軌道枕料、不良状態等に関する管理図を画いて管理することが異常傾向の線区区間の発見に非常に有効である。

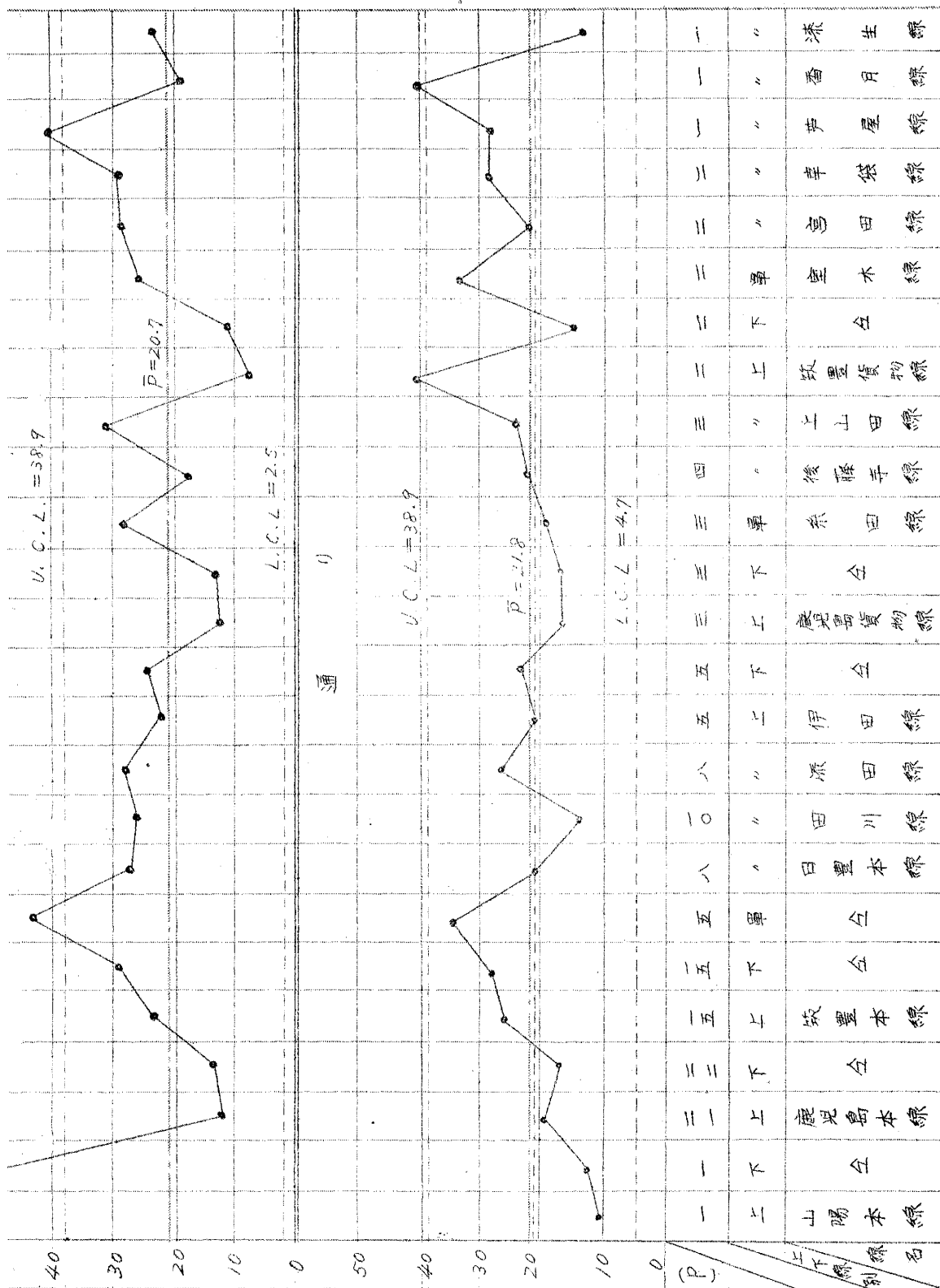
即ち線路の保守状態を示す指数としての、1 lat (例えば線路班) の統計値 $\bar{x}$ もこれを保線区毎、或は線別等に集めればこれらの値の間にも一つの散らばりを示すものである。而も之等の値の分布も一つの正規分布をなすものと見做せば平均値 $\bar{x}$ の分布は $\bar{x}$ の平均値 $\bar{\bar{x}}$ の左右に、 $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ の標準偏差をもつた正規分布となる (但し n は標本数 n は保線區別或は線別に見た大きい母集団の標準偏差とする)。

そこで之を確率的に見るならば 1 lat の平均値 $\bar{x}$ の 95% のものは、 $\bar{x} \pm 2\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ の範囲内にはけられ得ることになる。即ち各 lat の平均値 $\bar{x}$ を図上に plot しその平均値 $\bar{\bar{x}}$ の上下に $\bar{\bar{x}} \pm 2\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ の線を引けば一つの管理図が画けることになる。そうすれば管理限界を突破する点は何れ特別な変動要因が働いたため特異な値を示したものであると解釈出来る。そこでこの変動要因を追及してこれに action をとらねばならない、そして自己の管理すべき軌道の保守状態を管理状態におくために以上の管理図を応用すればよい。

もう一つ 50 kg レールの年間レール毀損について線區別の管理図を画き異常なレール毀損件数を示す線区を検出する。

昭和27年度の 50 kg レールの本線におけるレール毀損は 1700 件であつて 50 kg レールの敷設延長約 4100 km に較べると軌道延長 1000 km





当り 41.6 件 (年間) となる。50kg レールは現在長さ 25m のものが、54%、12m のものが 46% 敷設されていて平均長が 19.1m であるので軌道延長 100km 当り平均 11200 本敷設されていることになるから、毀損率は本数当りに換算すると 0.0037 となる。この毀損率は毎年大略この程度の数字を示しているのでこの発生確率の数字を用い且つこの数値が小さいのでポアソン分布又は二項分布を適用して管理図をつくる。

即ち N 対象線区の軌道延長 (100km 単位)

n 軌道延長 100km 当のレール本数 11,200 本

p = 軌條毀損の発生率 = 0.0037

軌條 100km 当毀損数で表した場合の標準偏差、

$$\sigma = \frac{\sqrt{N \cdot n \cdot p}}{N} = \frac{\sqrt{n \cdot p}}{\sqrt{N}} = \frac{\sqrt{N \cdot n \cdot p (1-p)}}{N}$$

この σ を用いる σ を管理限界として軌道 100km 当毀損数の管理図を画けばこの上部限界線を超えるものは、チエビシェフの公式により $1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \div 0.90$ 約 90% の信頼度を以て異常区間と考えられることになる。

こうして異常に毀損が多いと認められる区間が検出されたならば、夫々の線区について通常は毀損と見做さなれ微細な表面疵、その他毀損として処理しているのではないか、そのような事実がなく実際毀損が多いとすれば毀損種別別にみて特徴はないが、毀損を生じ易い製作年次の古いレールが特に多く敷設されているか否かなどとその異常原因を追求することになる。

V. 変動要因の追求

上記管理図の応用のみから自区の悪い所をたゞきつがして行くことによつて軌道の保守状態を管理限界内に追込む様に努力することによつて線路状態を均等ならしめて行くことが出来る。この方法を続けて行けば管理限界の中を益々縮めることが出来、均等な線路が出来上り自区の線路が全部

一つの管理状態に入つて了うことになる。

次に起る問題は自己の悪い所をたゞきつづけるために用ひた手段即ち労働力の入ル方、資材の投入状態、予算の投入状態に対しても種々変動があるのであつて、この *unbalance* を調整するためには次にのべる変動要因の追求によらねばならない、変動要因の追求の手段としては軌道の保守状態指数が異状値を示した *lat* に対してその原因が何によるものであつたか、を見付けることであつて、そのためには同一母集団と考えられる、軌道を技術的経験によつてその平均値、並びに標準偏差に変動を及ぼすと思われる要因によつて *lat* 分けて考へる、その各 *lat* から適当に *sampling* してその各 *lat* の分布の間に有意差があるか否かを検定する、もし有意差がある各 *lat* の分布は同一母集団から抽出したものであると云ふ仮説を棄却しなければならぬ、即ち最初に考へた変動要因が軌道状態に働いたことを承認することになる。

例へば資材の投入状態の *unbalance* が軌道保守指数に影響を及ぼしてゐると想定した場合にば一つの母集団を材料の不良率によつて *lat* 分けてその *lat* から取つた標本値からその *lat* の分布を推定しその間の有意差検定を行つて有意差があればその区間は材料が悪かつたために軌道保守指数に影響を及ぼしたものと見て、その区間に資材を投入すべきであり、有意差がなければその区間に資材を投入しても無駄である。変動要因を労働力の差か、作業方法の良否等他のものに求めなければならぬ。

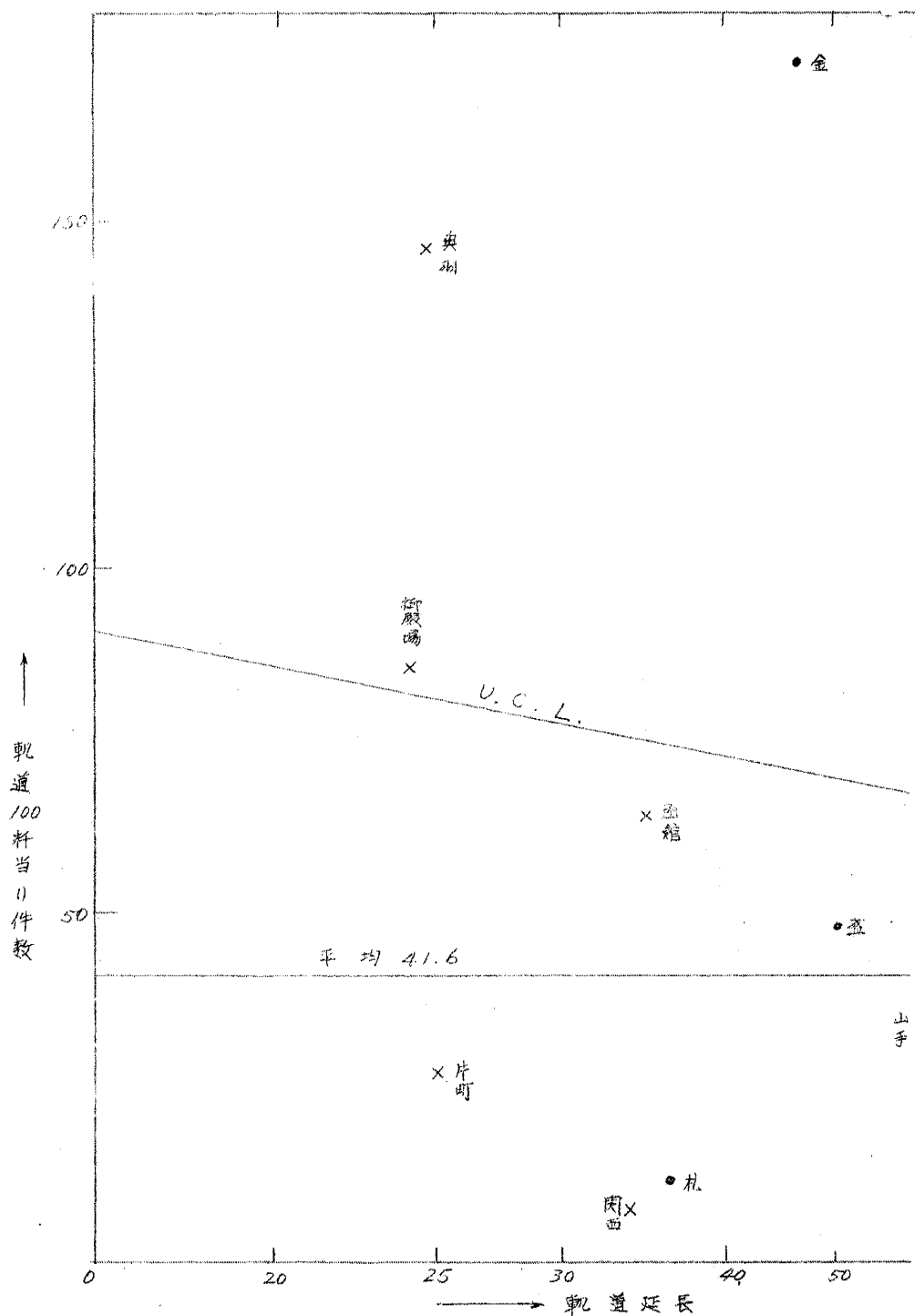
Ⅵ. 軌道保守状態の最低指数

以上の様な軌道の管理方式を採用する場合列車運転の安全性の面から保守状態の最低線と云ふものは決定しておく必要がある。

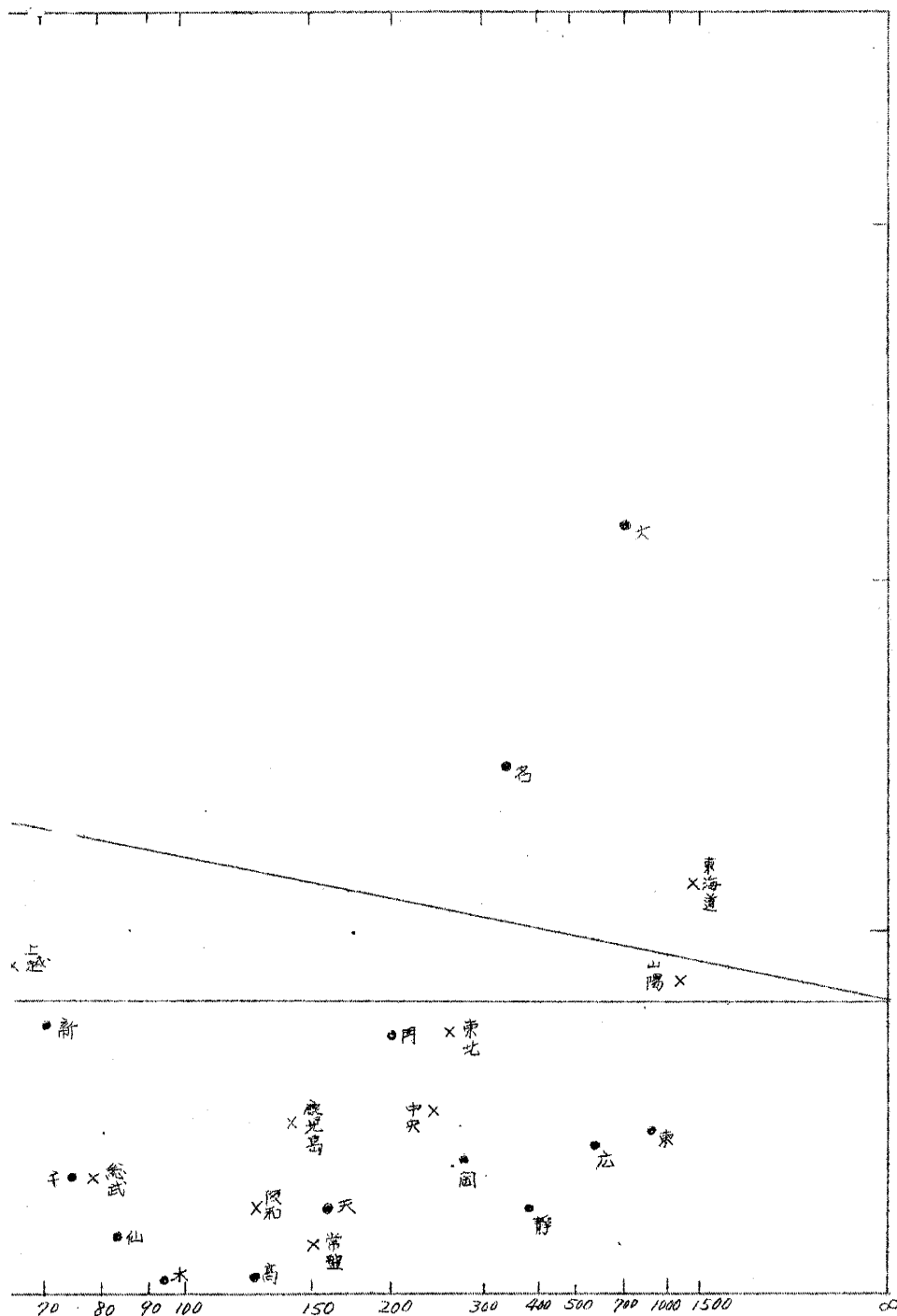
そのために過去数年間に起つた列車脱線事故の中から原因が線路の保

第 5 圖

50 kg レール年間本線き損 (昭 27)



× 線別管理図 • 局別管理図



守不良に依るものと断定される。脱線事故 20 件を取りその時の現場調査資料から軌道保守指数 P を各軌道毎別に計算して見た、勿論これを統計的に処理するためには少数標本例にならつてその *Reugi* から推定したのが次の値である。

	軌 間	水 準	高 低	通 り
軌道保守指数 P .	25 ~ 30	40 ~ 45	35 ~ 40	40 ~ 45

勿論これをもつて絶対的な数値であると考え出すことは出来なから、実際にはこれ以下の P の値をもっている軌道保守状態の所においても列車脱線を起している例もあるが確率的に考えての保守状態の最低指数と見做すことが出来る。今後なおこれについては過去の資料検討並びに今後の適確な資料の把握によつて一層正確なものにして行かなければならない。次にこれら数値から我々が日常の線路保守に対して必要な最低の目標の保守指数は軌間、水準、高低、通り、の四つの毎に對する安全率を 4, 4, 2, 3, に取り軌間については 8, 水準については 17, 高低について 20, 通りについて 15 と定めている。

VII. む す び

以上要するに管理者としては管理圖を応用することによつて、軌道の保守状態の悪い部分を発見し自区の軌道の保守状態の *unbalance* を是正し全区域を一つの管理状態に置くことが出来る。即ち均等の線路を作ることが出来る。然し保守状態の悪い部分の修正に対して労働力、資材、予算を只莫然と投入することによつて保守状態を良くしてもそれは決して合理的な運営がなされているとは言へない。

その前に必ずこの区間には果して労働力を入れる可であるか、又は資材

予算を投入すべきであるか要因分析の結果をきつて決すべきものである、

枕料の不良率が変動要因とは云えない様な区間になお、資材を投入して線路の保守状態を向上したとしても莫然とした修理をした場合と同様合理的な、しかも経済的な運営方法をなしたとは云えない。

適確なる手段を適確な場所に適時投入して軌道の保守状態を向上させることこそ合理的な運営方法である。

プレパクトコンクリート

プレパクトコンクリートについて

西松建設九州支店長

西 松 康 友

1. 沿 草
2. 理 論
3. 各種施工の説明
4. 結 論