

I S S N 0386—5878
土 研 資 料 第1586号

土 木 研 究 所 資 料

車両感知器の調整に関する検討 (ループ式車両感知器)

昭 和 55 年 3 月

建設省土木研究所
道路部道路研究室

まえがき

近年、道路交通の状況を知るため、超音波式・ループ式車両感知器が、全国交通情勢調査の常時観測用、交通管制システム、交通情報システム等に使用されている。これらの車両感知器が正しく調整されたものならば、極端な渋滞以外は数%以内の誤差で交通量の計測が可能といわれてきた。道路研究室では交通量占有率を計測する機器として最も信頼できるスリットカメラを使用して、ループ式・超音波式車両感知器について調査を行ってきたが、その結果、現在使用されている超音波式・ループ式車両感知器の精度を維持・向上していく上で、特に感知領域を校正することが重要な問題であることが判明した。しかしながら、その校正方法は調整者の経験と勘にたよっており、同一の交通現象に対しても、各感知器が異なった出力をしていることがあるのが実状である。

このようなことを解決するために、車両感知器の感知領域を校正する方法と、校正をできるだけ簡単に画一化して行うのに必要な機器開発を行ってきた。超音波式については既に土木研究所資料第1270号において報告したところであるが、本報告書はループ式車両感知器の感知領域の校正方法と校正に必要な機器について検討を行った結果ととりまとめたものである。

道 路 研 究 室 長	藤	田	丈	二
	※河	野	辰	男
新 交 通 研 究 室	門	脇	孝	男
シ ス テ ム 課 係 長	野	口		正

※ 現在、企画部企画課

目 次

まえがき

1. 必 要 性	1
2. ループ式車両感知器の概要	3
3. 校正方法と機器開発	5
4. 調査実験方法	10
5. 調査実験結果	13
6. 考 察	40
あ と が き	48

1. 概 説

ループ式車両感知器は交通量、占有率などの交通情報収集用センサーとして、超音波式車両感知器とともに多数設置され、実用に供されている。特に交通情報システム、管制システムにおいては、交通の安全管理システムにおいては、交通の安全管理と道路の有効利用の面からより多くの情報を、より正確に、より迅速に収集し即応性を持って交通現象を把握するための基本的な情報収集手段としている。

車両感知器は、その性能を一定レベルに維持し、一定の交通現象に対しては、同一の情報を出力することが、システムを有効的に活用するために極めて重要なことであるが、現状のように調整者の経験と勘にたよる調整では、多数の感知器が異なった基準で独立に調整されていることになる。

これを解決するためには、調整者の経験にたよらず、設置場所、走行位置分布、車種構成等の要因を考慮しこの感知領域設定の方法を確立し、多地点の感知器を同一基準で調整できる方法が望まれる。

このためにループ式車両感知器の特性の考察に基づいて較正方法およびそのための必要機器を集出し、現地実験により、較正方法の確認を行なった。

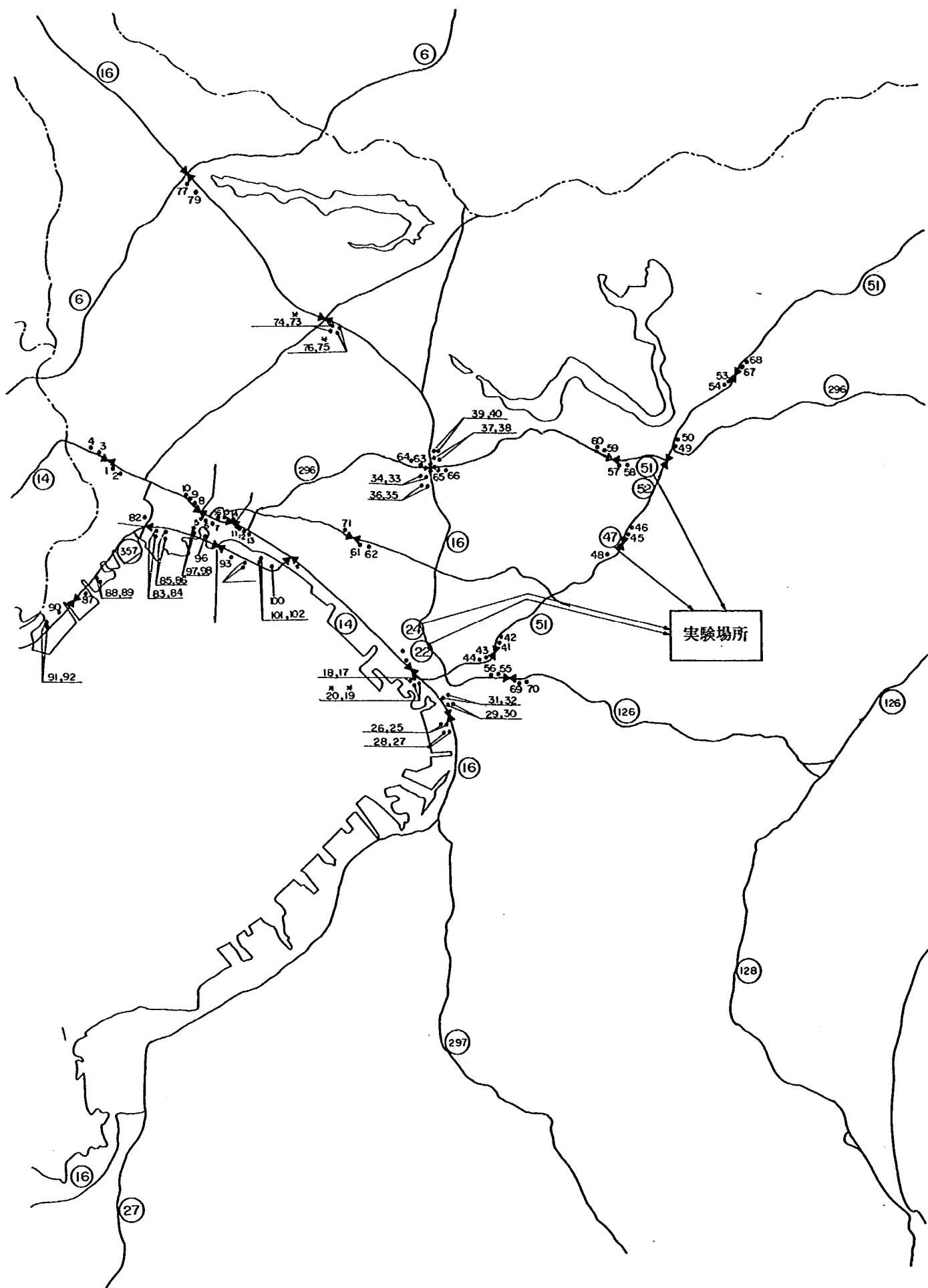


図-1 実験場所

2. ループ式車両感知器の原理

2-1

路面に埋設したループコイルに交流電流を流しておくと、埋設路面近辺には同じ周波数の交流磁場ができる。この交流磁場中に金属物体が進入すると、金属物体中にうず電流が発生し、ループコイルのインピーダンスは変化する。

このインピーダンス変化を検出することにより車両を検知するわけであるが、図2-1の等価回路の L_1 はループコイル、 L_2 は自動車の金属部分、 M は相互インダクタンスである。

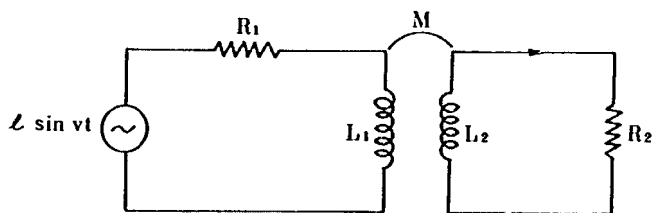


図2-1 等価回路

車両がループコイル上に存在した場合のインピーダンスを Z とすると、

$$Z = \left\{ R_1 + \frac{(wM)^2}{R_2^2 + (wL_2)^2} R_2 \right\} + jW \left\{ L_1 - \frac{(wM)^2}{R_2^2 + (wL_2)^2} L_2 \right\} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

車両が存在しない場合のインピーダンスを Z_0 とすると $M=0$ となり、

$$Z_0 = R_1 + jWL_1 \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

したがって、インピーダンス変化分としては、

$$Z_0 - Z = \Delta Z = \frac{(wM)^2}{R_2^2 + (wL_2)^2} (R_2 - jWL_2) \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

抵抗の変化分としては(2-3)の実数部

$$\Delta R = \frac{(wM)^2}{R_2^2 + (wL_2)^2} R_2 \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

インダクタンスの変化分としては(2-3)の虚数部

$$\Delta L = \frac{-w^2 M^2}{R_2^2 + w^2 L_2^2} L_2 \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

位相の変化分として

$$\Delta f = -\tan^{-1} \left(\frac{L_2}{R_2} \right) = -\tan^{-1} \left(\frac{\Delta L}{\Delta R} \right) \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

となる。

感知器のループコイルの電気的定数の検出には、抵抗、インダクタンス、位相の変化量のいずれを利用して車両の感知は可能であるが、本調査実験に使用した感知器(千葉国道工事事務所)はインダクタンスの変化分により判別するものである。

2-2 動作概要

本実験調査の対象ループ式車両感知器（千葉国道工事事務所管内）の動作概要は図2-2のブロック図のとおりである。

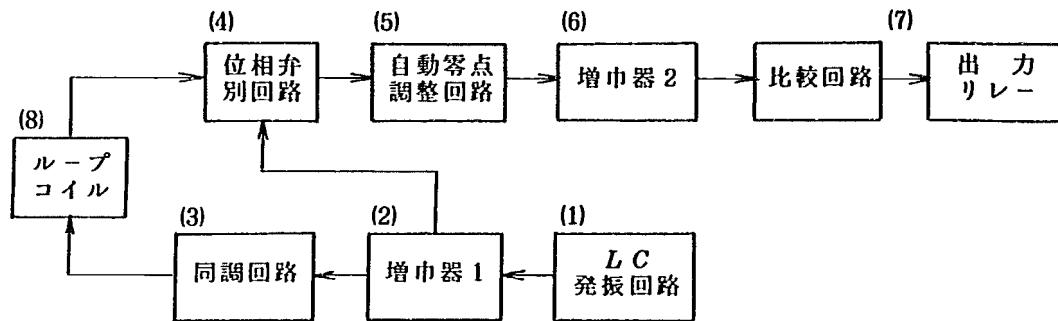


図2-2 ブロック図

- (1) LC 発振回路では、 50 KHz の連続波が発生する。
- (2) 増巾器1では、 50 KHz の連続波をループコイルに供給する前に必要なレベルまで増巾する。
- (3) 同調回路では共振容量と埋設されているループコイルとで共振回路を形成する。同調調整時には、同調回路の共振容量を変化させることにより、共振回路の共振周波数を LC 発振回路のループ周波数に等しくする。
- (4) ループコイルに車両が接近すると、ループコイルのインダクタンスは減少し、共振周波数が高くなる。従って、増巾器1から同調回路を通してループコイルに加えられた連続波は、共振特性により位相の進みを生じる。位相弁別回路はループコイルを通過して位相弁別回路に入力された連続波と増巾器1から直接位相弁別回路に入力された連続波の位相を比較することにより、車両の存在による位相の進みを検出し、位相の変化量に比例した直流電圧を発生する。
- (5) 自動零点調整回路は温度、湿度などの変化によるループコイルのドリフトを除去する。この回路は、時定数の長い微分回路であり、位相弁別回路の出力である位相の変化量に比例した直流電圧の変動の早い信号、すなわち車両の存在または、通過による信号のみ増巾器2に入力する。
- (6) 増巾器2では自動零点調整回路の出力電圧を増巾する。
- (7) 比較回路では増巾器2の出力電圧が感知レベルを越えた時に出力リレーを動作させる。
- (8) ループコイルは同調回路のインダクタンスとして働き、車両がループコイルに接近するとインダクタンスが減少し、同調回路の共振周波数が変化する。

3. 較正方法と機器開発

3-1 ループ式車両感知機の特徴

ループ式車両感知機は、路面に埋設されるループコイルと路側に設置される感知器本体より構成されるが、車両から受けるループコイルのインダクタンス変化は、

- (1) 同一車両でも走行位置によって異なる。
- (2) 車種によって異なる。
- (3) 同一車両でもループコイル設置地点の埋設条件によって異なる。

等のような複雑な動きをする。

(1) 走行位置とインダクタンス変化率

インダクタンス変化の判別は通常 (3-1) 式に示すインダクタンス変化率によって行なう。

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(L_0 - L)}{L_0} \dots\dots\dots (3-1)$$

L_0 : ループコイル上に物体が存在しない場合のループコイルのインダクタンス

L : ループコイル上に物体が存在する場合のループコイルのインダクタンス

いま、図3-1に示すように、同一車両がループコイルの中心から距離 x だけ偏心して走行した時のインダクタンス変化率は図3-2のようになる。すなわち、インダクタンス変化率は車両の進行にともない、増加し、ループコイル中央付近で最大値に達し、減少に転じるが、走行位置が偏心すると全体的に低くなる。

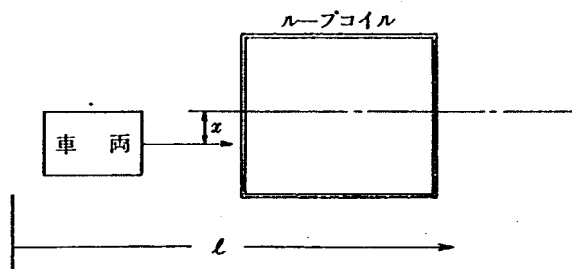


図3-1 走行位置

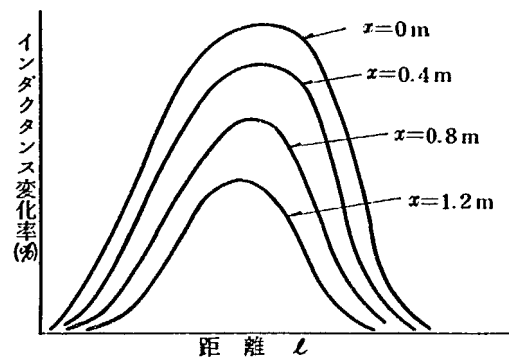


図3-2 インダクタンス変化率特性

(2) 車種とインダクタンス変化率

図3-1において同一走行位置 (距離 x = 一定) であっても車種によってインダクタンス変化率は異なる。図3-3は、各車種別のインダクタンス変化率図である。この差は主として車両の床面積によって生じるが、一般に大型トラックのような車高の高いものあるいは中型トラックの一部については、普通乗用車の $\frac{1}{8}$ 程度の変化率しかあらわれない。

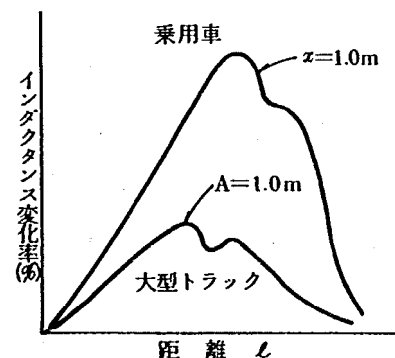


図3-3 インダクタンス変化率特性

(3) 埋設条件とインダクタンス変化率

同一車両が各ループコイル設置地点を同一走行位置地点を同一走行位置（距離 l = 一定）で通過し、しかもループ自体、同一規格、同一寸法で製造されているループであっても埋設されているループの深さ、鉄筋の有無、路面状況によってインダクタンス変化率が異なり、図 3-4 のようになる。しかしながら、波形は同一車両では極めて類似しており、図 3-4 において、任意地点ループにおける波形を縦軸方向に適当な倍率を乗じて伸縮させることにより、ある特定地点ループにおける波形とは完全に重ね合わせることが可能である。従って、或る基礎の車両がループの中心を通過した時のインダクタンス変化率の最大値を以ってループコイルが車両によってインダクタンス変化を生じる強さを代表することができる。以後、この値をループ感度（%）を称することにする。

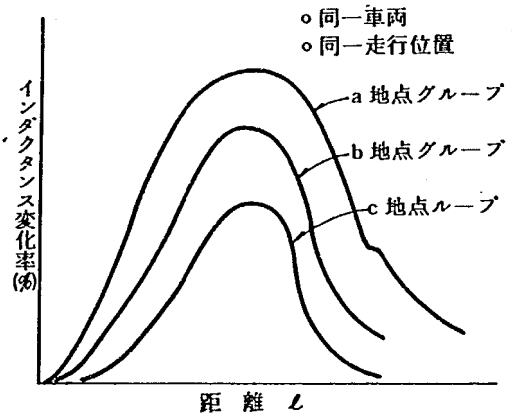


図 3-4 インダクタンス変化特性

また、このインダクタンス変化をループ式車両感知器の本体が感应して、或る一定以上のレベルの変化率があった時に車両感知の信号を出す訳であるが、このレベル値を本体感度（%）と呼ぶことにする。

3-2 較正手法決定のための考察

以上に述べたようなインダクタンス変化率の特性に対して、一定の検知レベル以上の変化率があった時に車が通過したと判定するのがループ式車両感知機の考え方であるが、以上の特性からループ式車両感知機を正しく調整するためには、次のことを十分に留意する必要がある。

- (1) 車両の走行位置は或る分布を持つが、道路幅員、車線数等によりその分布は異なるため、それぞれの地点に対して最適な検知レベルの調整が可能であることが必要である。
- (2) 車種によってインダクタンスの変化率は異なるため、普通乗用車だけに注目して検知レベルを調整すると大型車に対して不足計測をおこすことになり、大型車をすべて感知するように調整すると、隣接車線を走行する普通乗用車まで過剰計測する。
- (3) 設置条件によって図 3-4 のようにインダクタンス変化率は異なるため、設置場所ごとに検知レベルを調整する必要がある。

較正手法としては以上の留意点を画一的に単純な方法で同時に満足する方法が望ましい。ここでインダクタンス変化率の特性について今一度考察すると、インダクタンス変化率は車両の走行位置・車種および設置場所によって異なるが、好都合な特性として 3-1 で述べたように埋設条件によってインダクタンス変化率の絶対値は同一車両でも変化するが、波形は相似であり、ループ感度 S_e に比例した本体感度 S を設定すれば、この比、 $K = S_e / S$ は埋設条件に関係なく、ループアンテナと車両の相対位置のみによって定まる。すなわち図 3-5 において本体感度 S_A, S_B, S_C をそれぞれ

$$K = \frac{S_{eA}}{S_A} = \frac{S_{eB}}{S_B} = \frac{S_{eC}}{S_C}$$

になるように定めれば感知領域 D はいずれのループについても等しい。この K を総合感度と呼ぶことにする。もちろん K の値を変えれば感知領域は変化し、図 3-6 に示すように総合感度に関して等感度曲線が存在し、感知領域を等しくすることは総合感度を等しくすることと等価である。

車両の走行位置は車線幅の中で変化するが、走行位置の分布が等しければ、それによって定まる最適な感知領域があり、最適な総合感度は等しい。地点によって走行位置分布が異なる場合には地点に応じて最適な感知領域は異なり、最適な総合感度も異なってくる。しかし、道路巾員、車種構成が似かよった地点では走行位置の分布も似通っているものと考えられ、或る 1 地点で最適な総合感度が求められれば、埋設条件に関係なく同一の総合感度に調整すればよいことになる。

以上のような考えに基づけば、既設のループ式車両感知器に対する校正の手順は次のようになる。

- ① ループコイルの埋設位置の検出
- ② ループ感度の測定
- ③ 車種構成（車種別インダクタンス変化率）、走行位置を考慮した総合感度の決定
- ④ 総合感度とループ感度による、本体感度の決定
- ⑤ 校正の確認

このような手順で校正を行なう方法を確立するために、次のような方針で機器開発および調査実験を行うことにした。

- ① ループコイル埋設位置の検出

ループコイルが生じる磁束を検出する検出機器の開発を行う。

- ② ループ感度の測定

ループ感度はその埋設地点の諸条件、すなわち、埋設の深さ、路面状況等によって異なる。ループ感度の測定には、測定基準物体を、必要とするが、現地で容易に得られるという意味で大衆車として数の多いカローラおよび特性の類似したカローラバンがループコイル中央位置を通過した時に生じるループコイルのインダクタンス変化率の最高値をもってループ感度とする。

- ③ 総合感度の決定

車両の走行位置分布、車種構成を考慮した、最適な感知領域をもつ総合感度を決める必要がある。そのために、走行位置分布の実測を行い、現地感知器を用いての総合感度対感知精度の実測をとおして、最適な総合感度をもとめる。

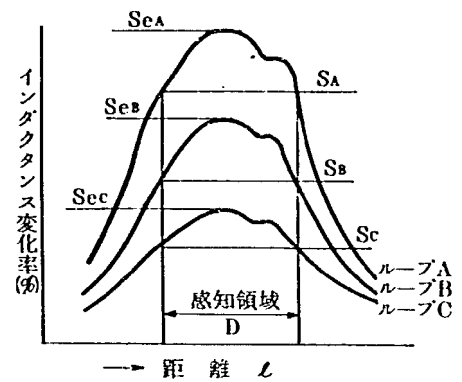


図 3-5 総合感度と感知領域

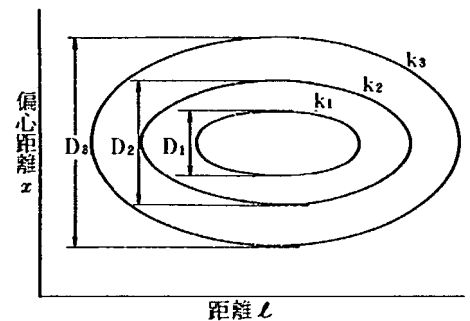


図 3-6 総合感度の等感度関係

3-3 機器開発

3-1で述べた較正方法に必要な次の機器開発を行った。

(1) ループコイル位置検出器

現地においてループコイル埋設位置を検出するものであり検出コイルとメータ指示部よりなる（写真-1）。

使用方法は、検出コイルをメータに接続し、メータの振幅が最大になる位置をさがす。つまり、ループコイルにより生じる磁束が検出コイルを最大につらぬく位置をさがすことにより埋設位置を検出する。

(2) インダクタンス変化率測定装置

ループコイルに接続し、車両が通過した場合のループコイルのインダクタンス変化率を連続的に自動測定する装置である。

測定データは%で表示し、記憶後一連のデータをプリントアウトできる。（写真-2）。

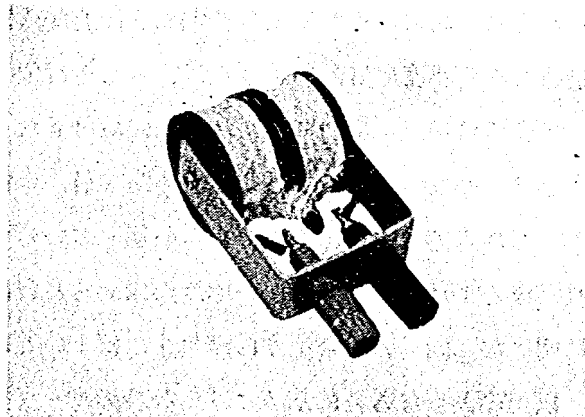


写真-1 ループコイル位置検出器

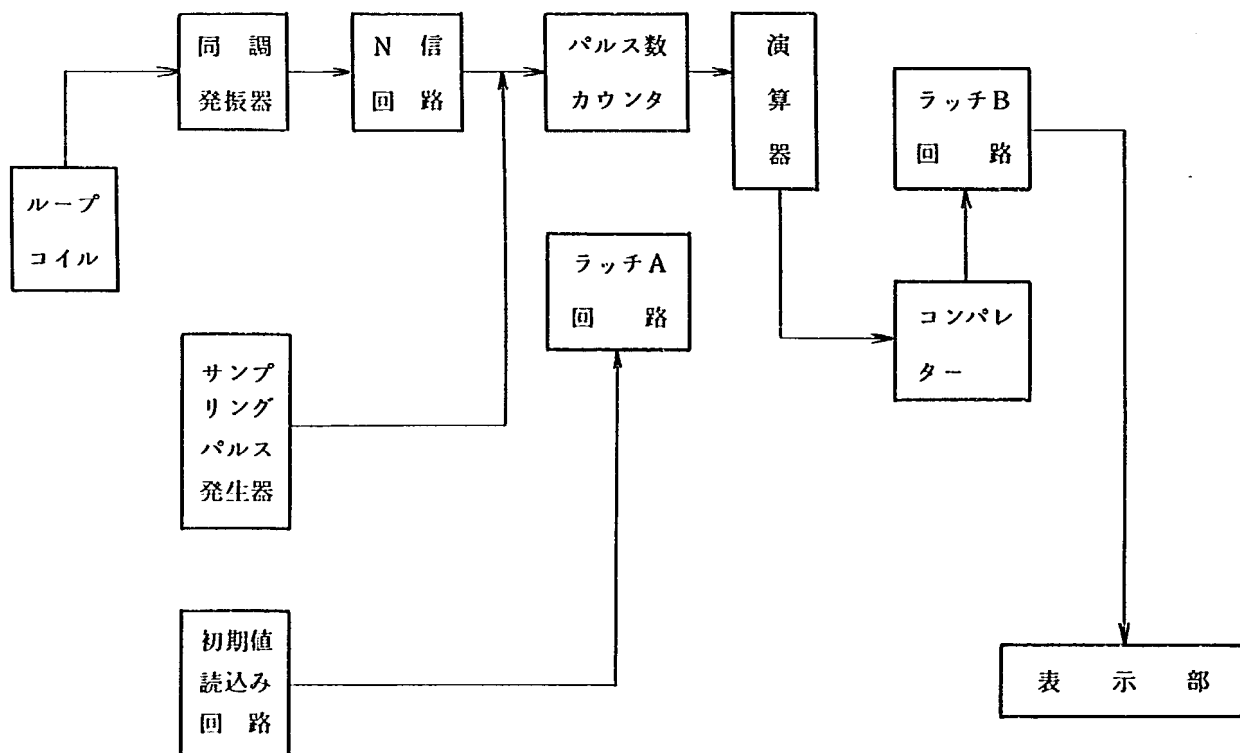


図3-7 ブロック図

動作概要は次のとおりである（図3-7）。

① ループコイルは同調発振器のインダクタンスとして働きインダクタンス（ L ）変化率と発振周波数（ f_o ）の変化には $\frac{\Delta L}{L_o}$
 $= -2 \frac{\Delta f}{f_o}$ の関係があるため発振周波数
変化率 $\frac{\Delta f}{f_o}$ を測定すれば、インダクタ
ンス変化率 $\frac{\Delta L}{L_o}$ を測定すれば、インダ
クタンス $\frac{\Delta L}{L_o}$ をもとめることができる。

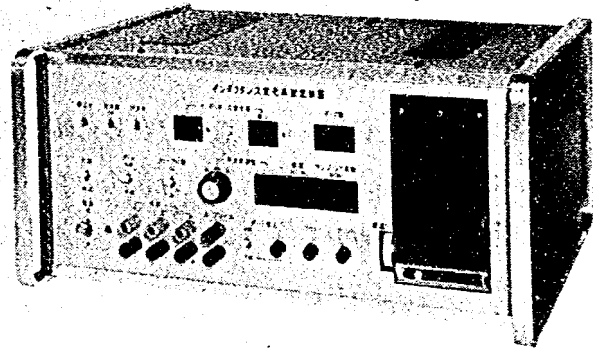


写真-2 インダクタンス変化率測定装置

ただし

f_o : ループコイル上に車両が存在しない時の発振周波数

Δf : 車両がループコイル上に存在することによる周波数変化

L_o : ループコイルの自己インダクタンス

ΔL : ループコイル上に車両が存在することによるインダクタンス変化

② N倍回路は検出周波数の分解能をあげるためのものであり、N倍されたものが出力される。

この出力をパルス数カウンタでサンプリングパルス発生器から出力されるサンプリングゲート時間Tの間だけ計測する。車両が存在しない時のサンプリングパルス数は、初期値読込回路の指示によりラッチA回路に記憶される。

この記憶されたパルス数と、車両がループ上に存在した時のパルス数が演算器に加えられ $\frac{\Delta f}{f_o}$ が求められる。

③ 演算器から出力されたインダクタンス変化率は、コンパレータにおくられ、ラッチB回路に記憶され値と比較して、大きい方をラッチB回路に保持することによりインダクタンス変化率最大値を求める。この結果を表示部で表示する。

(3) インダクタンス変化率供給装置

車両感知器の本体に接続し、インダクタ
クタンス変化率（ $500\mu H \sim 500mH$ ）を模
擬的に供給するものであり、（写真-3）
キャリブレーションに用いる。

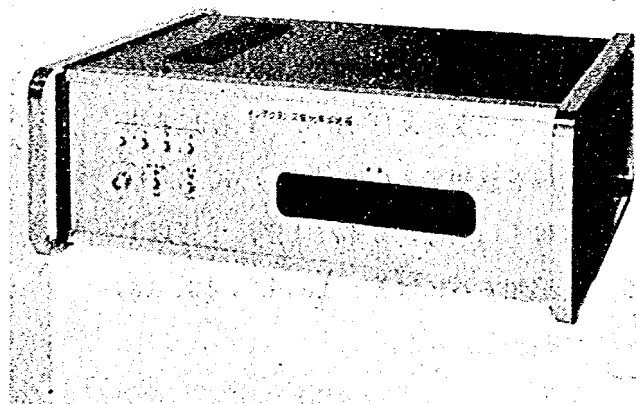


写真-3 インダクタンス変化率供給装置

4. 調査実験方法

4-1 予備実験

車両がループコイル上の種々の地点に存在した時のインダクタンス変化率を測定する。これによって、ループコイル上を車両が通過する時の走行状態のちがいによるインダクタンス変化率の変化特性を把握する。測定標準車としてのカローラバンおよび、特性比較のためにイスズエルフ3t、ニッサンディーゼル11tについて実験を行なった。

(1) 実験方法

路面上に $2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$ のループコイルを貼り付け、図4-1に示すような方法で、車両がループコイル上を通過方向および道路幅員方向に移動した場合のインダクタンス変化率をもとめる。車両の移動ピッチは、カローラバン、イスズエルフ3tについては、両方向とも 20cm 、ニッサンディーゼル11tについては、両方向とも 50cm とする。車両の存在位置を示す代表点は、フロントバンパーの中央とする。インダクタンス変化率は、各測定点における値をインダクタンス変化率測定装置より読み取る（写真-4）。（同様な実験をループコイル寸法 $2.5\text{m} \times 2.0\text{m}$ 、 $2.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ についても行った。）

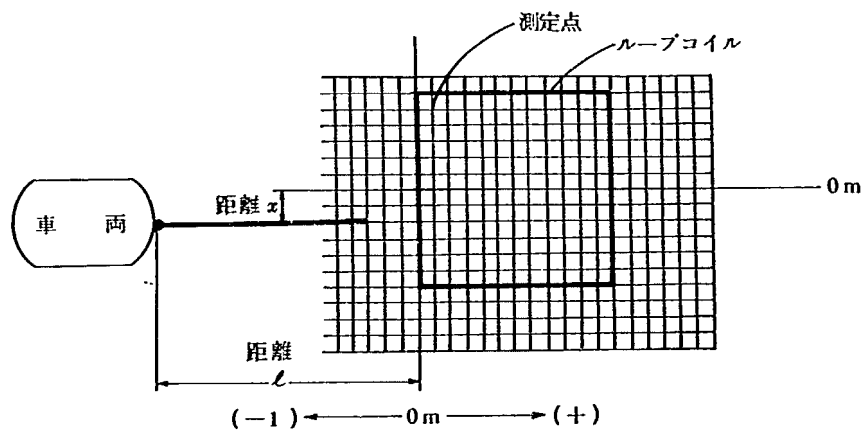


図4-1 インダクタンス変化率の測定

(2) 総合感度特性図の作成

カローラバンのインダクタンス変化率等感度曲線図が図4-2のようになったとすると、カローラバンのインダクタンス変化率最高値つまりループ感度例えば6.5%とすると、6%以上の領域を感知するには(3.1)式より総合感度 K は1.1,同様に5%, 4%, 1%以上の領域を感知するには $K = 1.3, 1.6, 2.2, 3.3, 6.5$ にする必要がある。



写真-4 予備実験

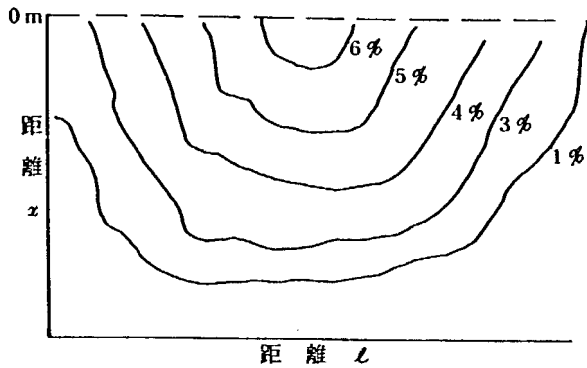


図 4-2 インダクタンス変化率

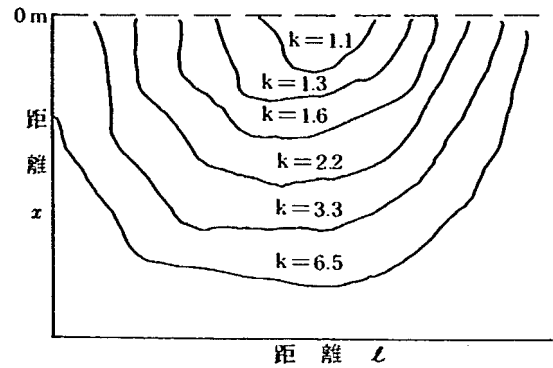


図 4-3 総合感度分布図

このようにして、予備実験で必要な総合感度の分布図（図 4-3）を求めることができる。

この分布図を利用すれば現地で実測した最適総合感度よりその地点の感知領域をもとめることができる。

4-2 現地調査実験

(1) 実験対象地点

実験対象地点は、千葉国道工事事務所管内に取付けられている図 4-1 に示す、5 地点で行った。

国道14号線	登戸	交差点下り	1000 m地点	(片側2車線)
"	"	"	500 m "	"
国道51号線	酒々井	交差点下り	1000 m地点	(片側1車線)
"	"	"	500 m "	"
"	神門	交差点下り	500 m "	"

(2) 実験項目

- ① ループコイルの電気的特性
- ② ループコイル埋設位置の検出
- ③ ループ感度の測定
- ⑤ インダクタンス変化率の実測

(3) 実験方法

① ループ感度の測定

ループコイルを感知器本体からはずして、インダクタンス変化率測定装置に接続する。ループコイル道路幅員方向の中心を中点としてセンターライン側を⊖方向、路肩の方向を⊕方向として10cmおきにマーキングし、走行中のカラーバンの左側の車輪の位置を測定して、インダクタンス変化率最高値を検出する。測定時のサンプリ

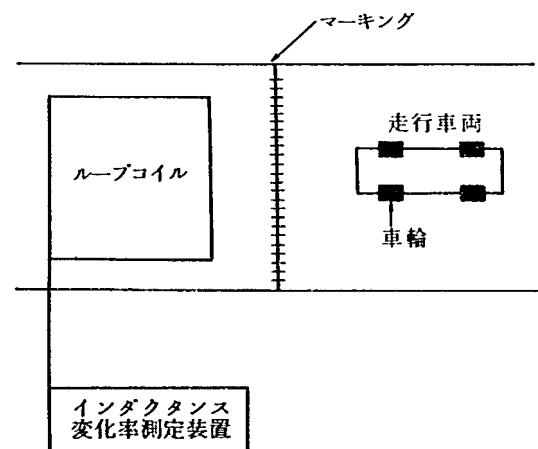


図 4-3 ループ感度の測定方法

ング時間は、 20ms 、感度設定は、 0.1% とする。また、カラーラ系統の車両で、カラーラバン以外の車両についてもループコイル中央位置近辺を走行した場合には、インダクタンス変化率最高値の測定を行う。

② 最適総合感度の決定

ループ感度のデータから、感知器本体の感度をかえてつまり、総合感度の設定をかえて、その状態で実走行台数、および感知器の感知台数をイベントオシロに記録する。さらに、車種および通過位置を目測し、イベントオシロの記録紙上に記入する。

実測結果の中で最高の観測精度を得た本体感度を求める。このようにして、求めた本体感度とループ感度の関係から最適な総合感度をもとめる。

③ インダクタンス変化率の測定

ループコイルを感知器本体よりはずし、インダクタンス供給装置を接続する。図4-4のようにループコイルの前後にテープスイッチを路面に貼り付ける。テープスイッチAはスタート端子 S_1 に、テープスイッチB、Cはストップ端子 S_2 、 S_3 に接続する。 S_2 は、普通自動車、小型トラック、 S_3 は、大型トラックの測定時に使用する。サンプリング周期は、データ数が255データを超えない任意の値でよいが、今回は 20ms 近辺で測定する。また感度設定は 0.1% とし、 0.1% 以上のインダクタンス変化率を記録するようにする(写真-5)。

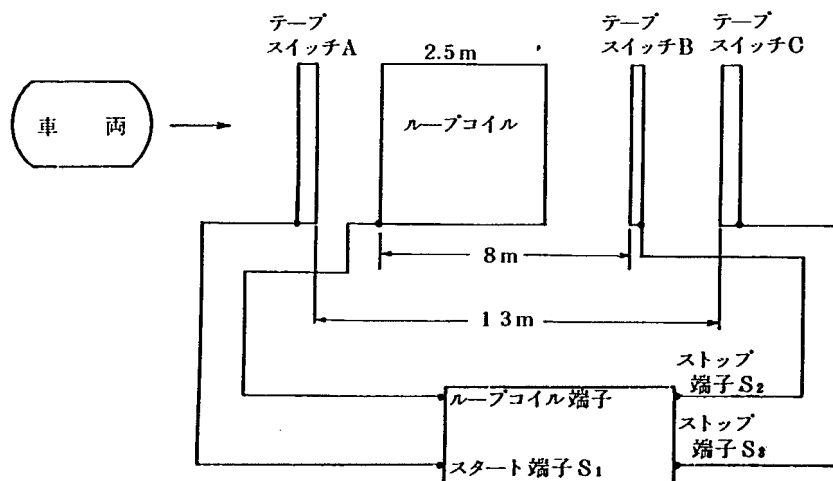


図4-4 インダクタンス変化率の測定方法



写真-5

5. 調査実験結果

5-1 予備実験結果

- (1) インダクタンス変化率分布図 図5-1-1～3
- (2) インダクタンス変化率特性図..... 図5-2-1～3
- (3) 偏心距離とインダクタンス変化率最大値 図5-3
- (4) 総合感度分布図 図5-4-1～3
- (5) 偏心距離と総合感度最大値 図5-5

5-2 現地実験結果

- (1) ループコイルの電気的特性 表5-1
- (2) カラークラスの最大インダクタンス変化率表 表5-2
- (3) 車両走行位置分布ヒストグラム 図5-6-1～5
- (4) インダクタンス変化率の現地実験 図5-7-1～15

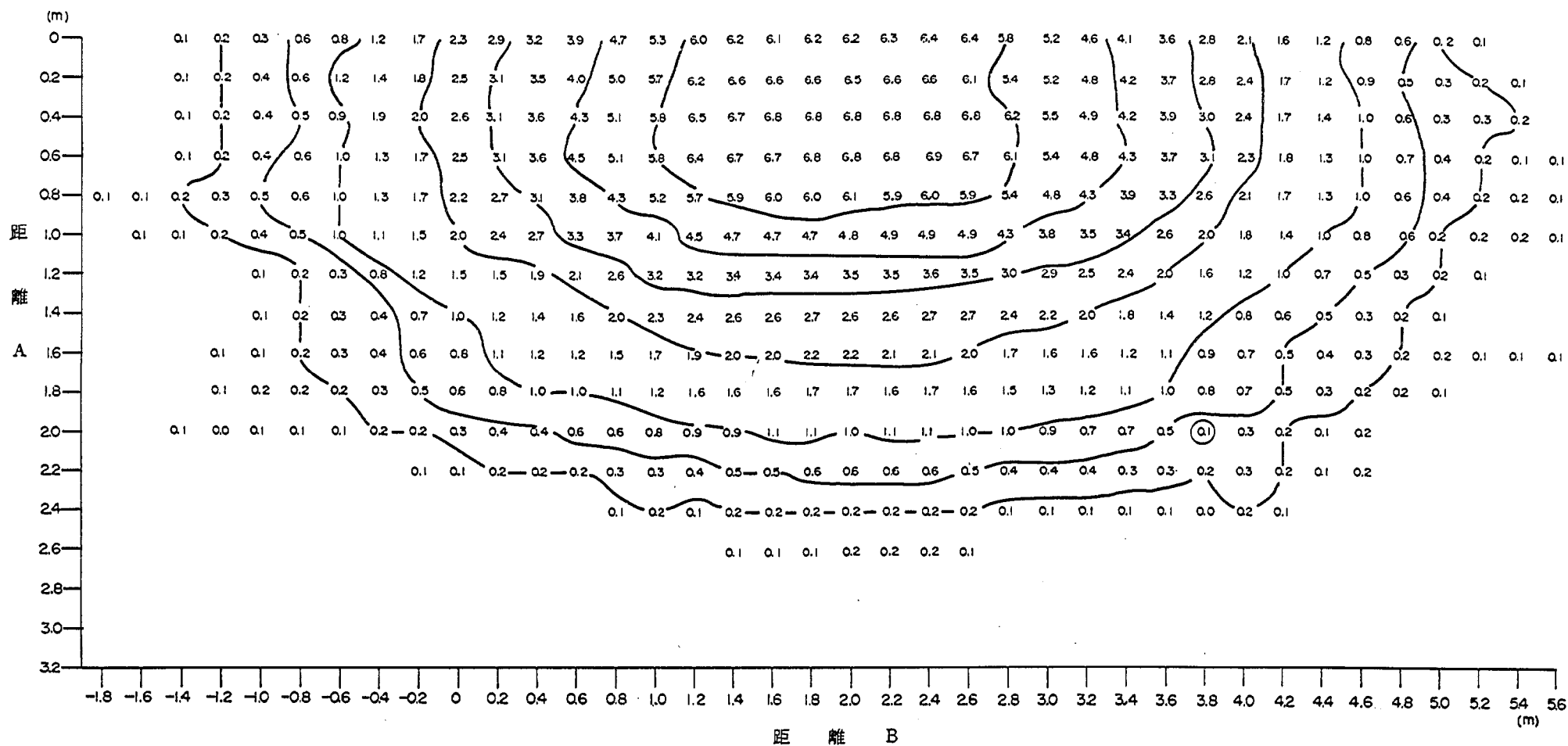


図5-1-1 インダクタンス変化率分布図

カローラパン コイル寸法 2.5×2.5

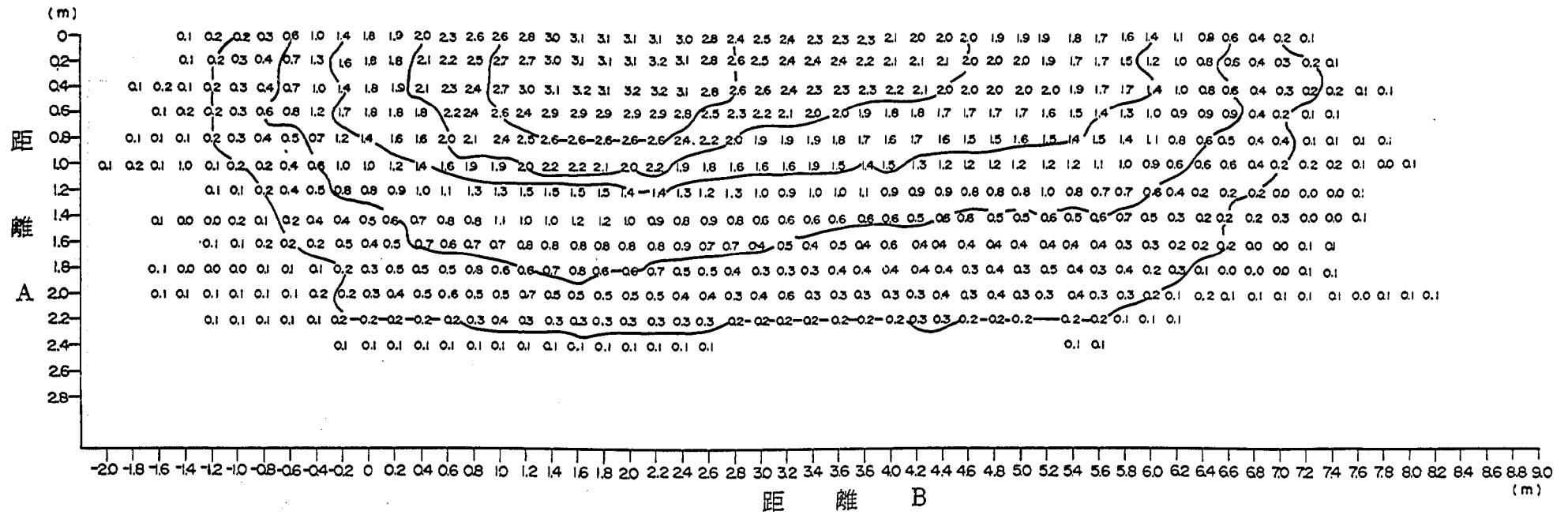


図 5-1-2 インダクタンス変化率分布図

エルフ (3t) コイル寸法 2.5×2.5

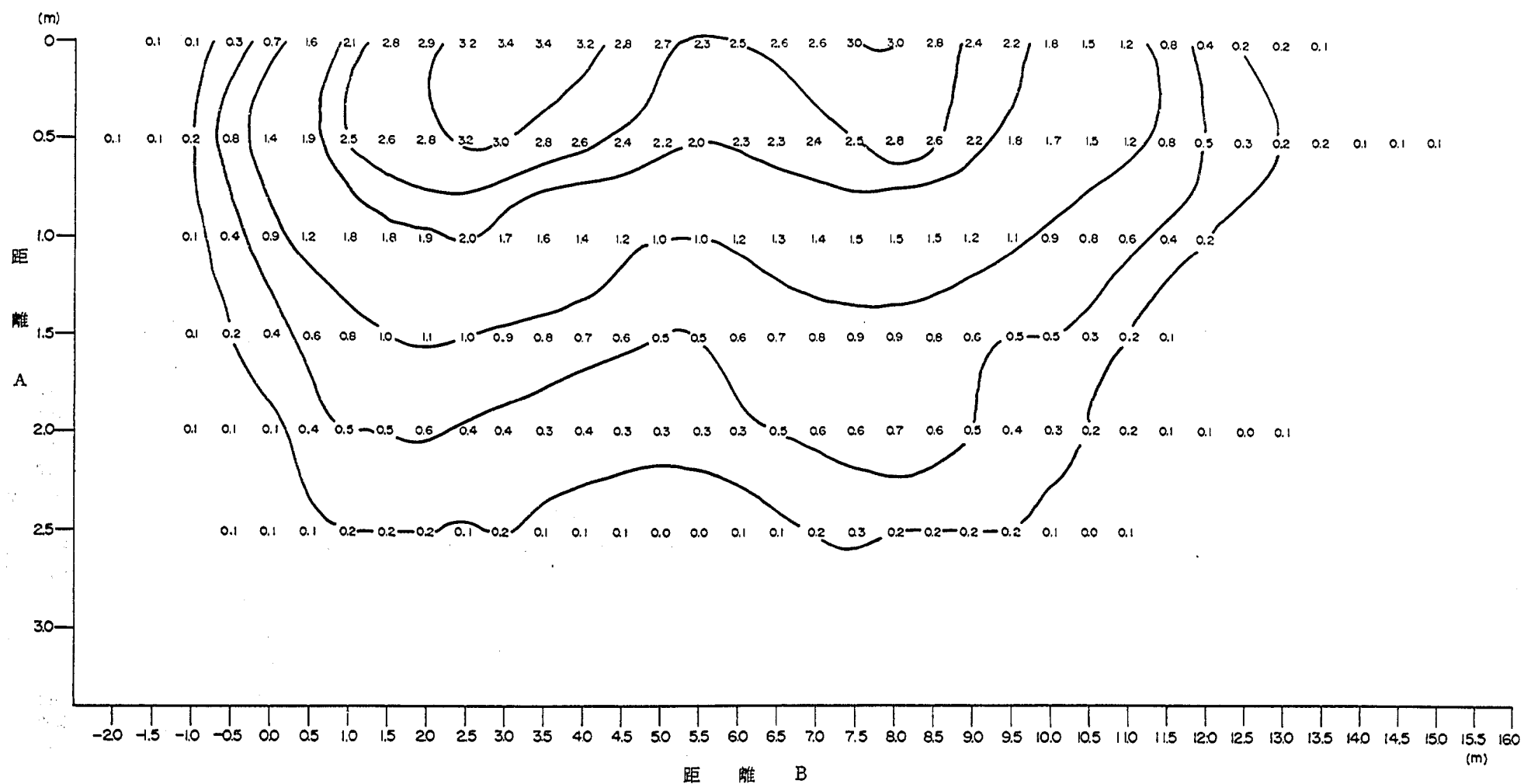


図 5-1-3 インダクタンス変化率分布図

日産ディーゼル (11 t) コイル寸法 2.5 × 2.5

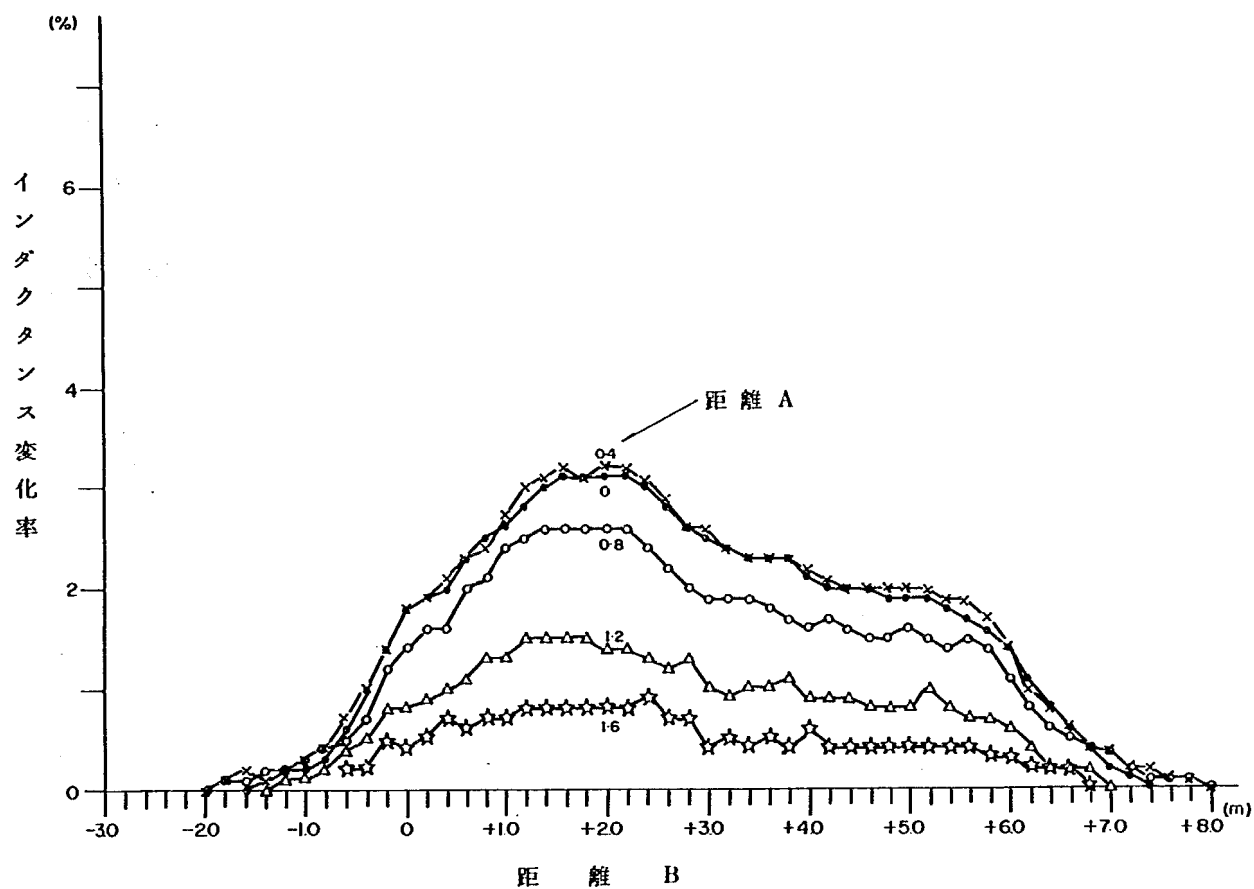


図5-2-1 インダクタンス変化率分布図

エルフ (3t) コイル寸法 2.5×2.5

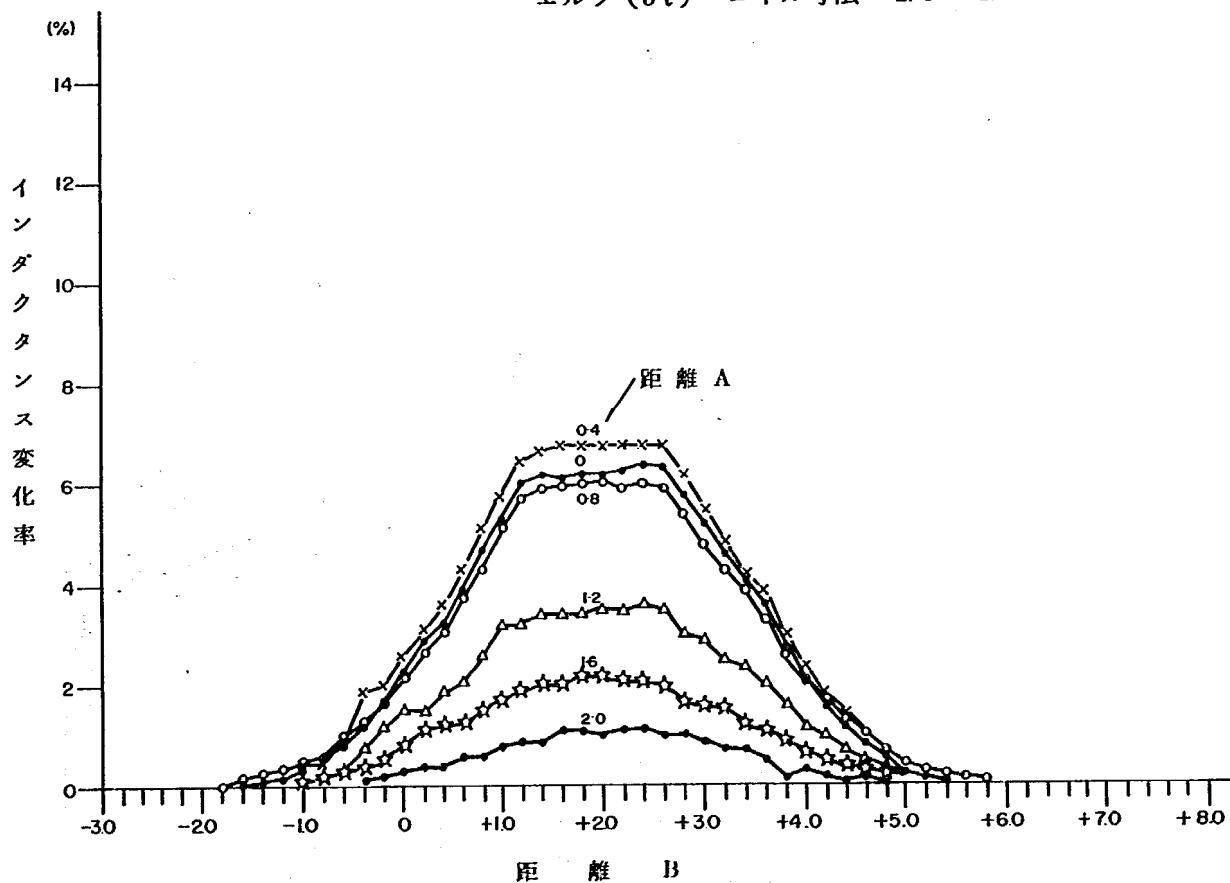
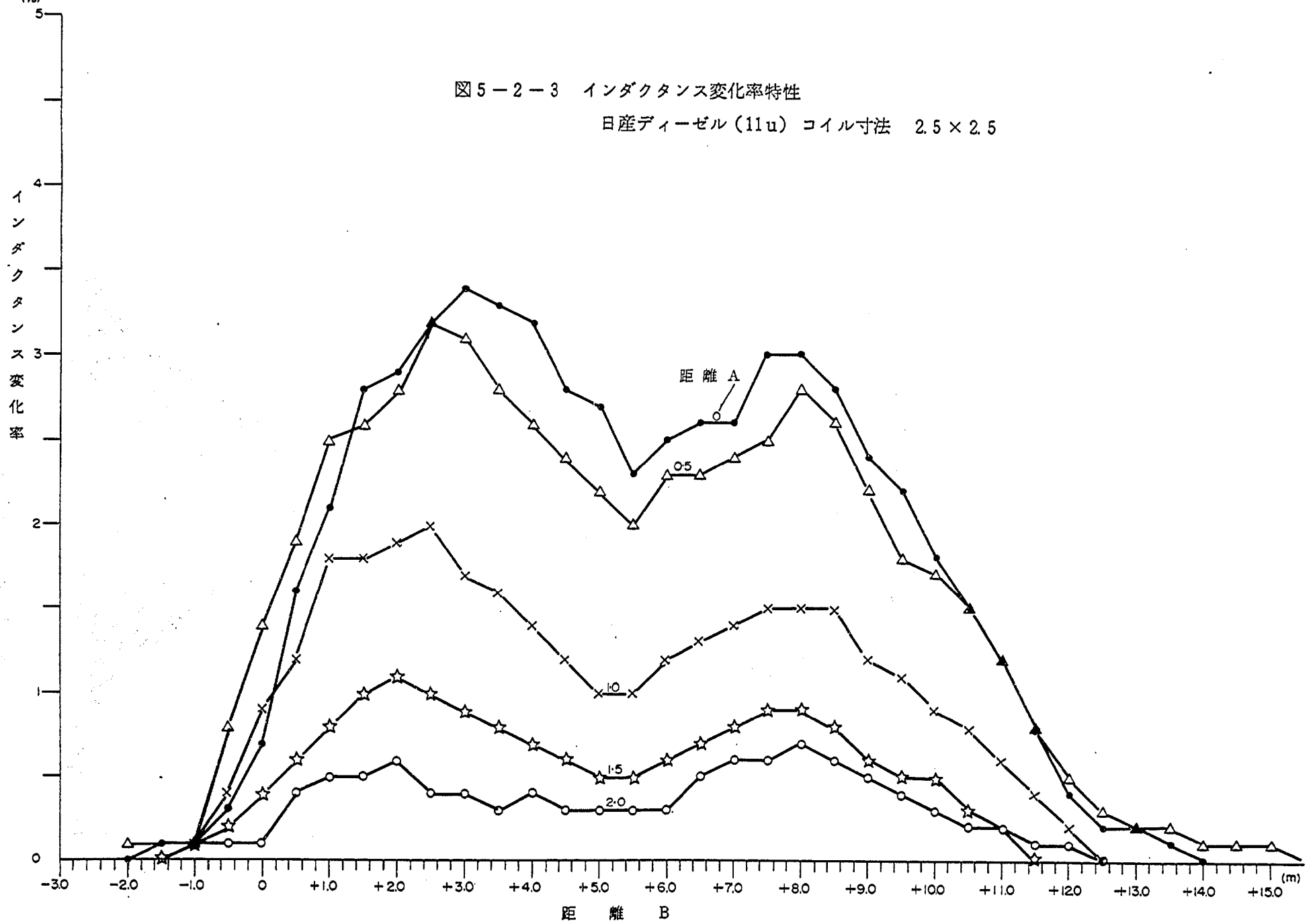


図5-2-2 インダクタンス変化率特性

カロラバン コイル寸法 2.5×2.5

図 5-2-3 インダクタンス変化率特性

日産ディーゼル (11u) コイル寸法 2.5 × 2.5



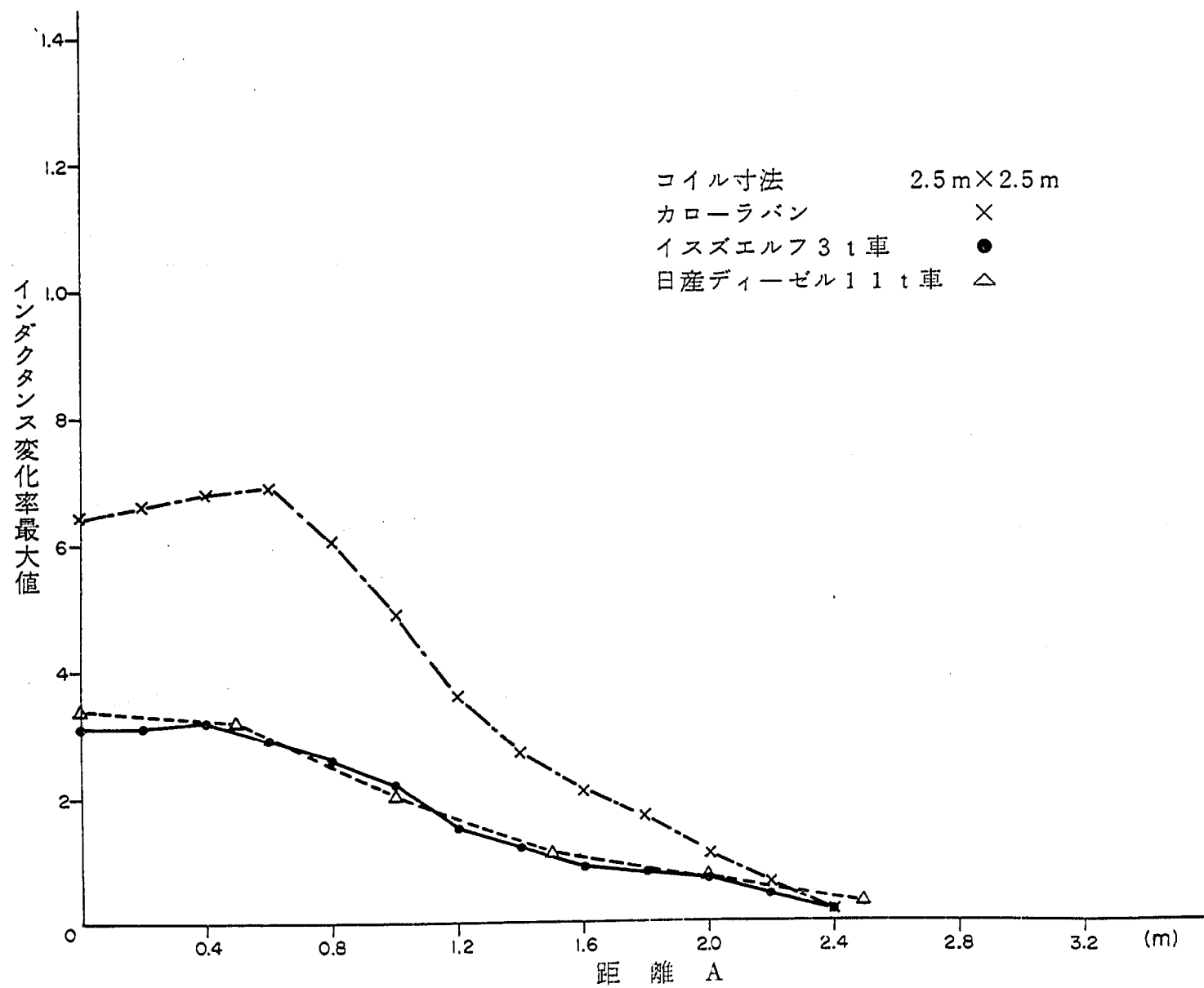


図 5 - 3 距離 A - インダクタンス変化率最大値

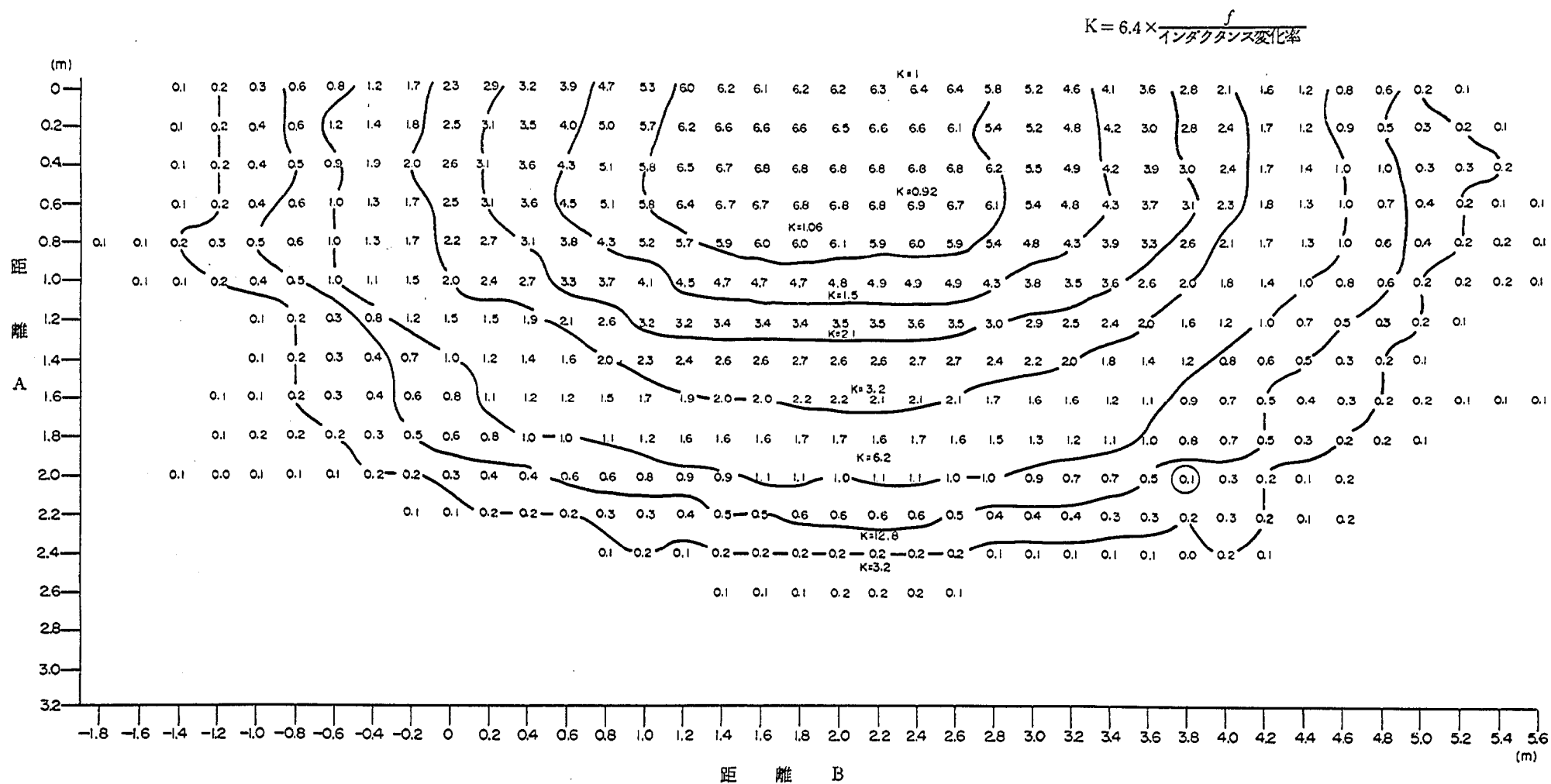


図 5-4-1 総合感度分布図

カラーラバン コイル寸法 2.5 × 2.5

$$K = 6.4 \times \frac{1}{\text{インダクタンス変化率}}$$

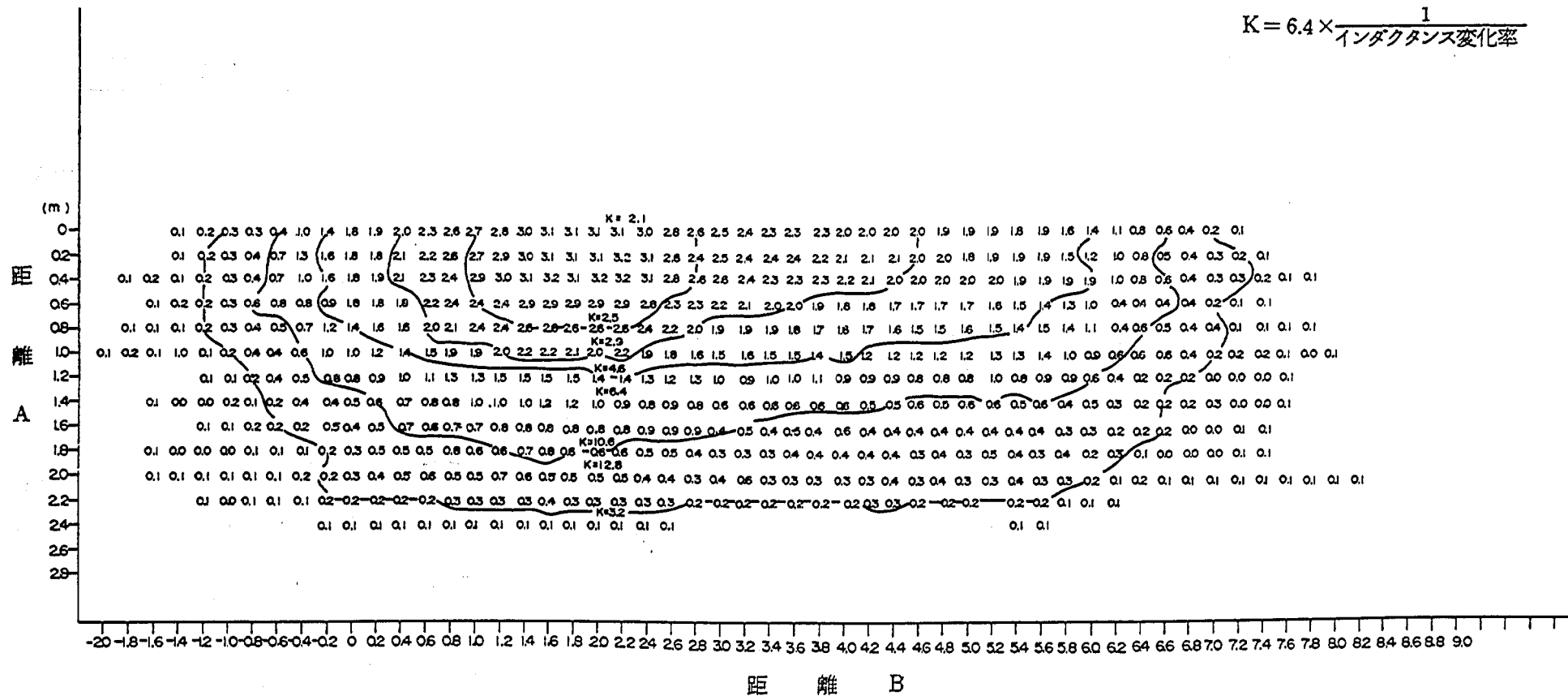


図 5-4-2 総合感度分布図

エルフ (3t) コイル寸法 2.5 × 2.5

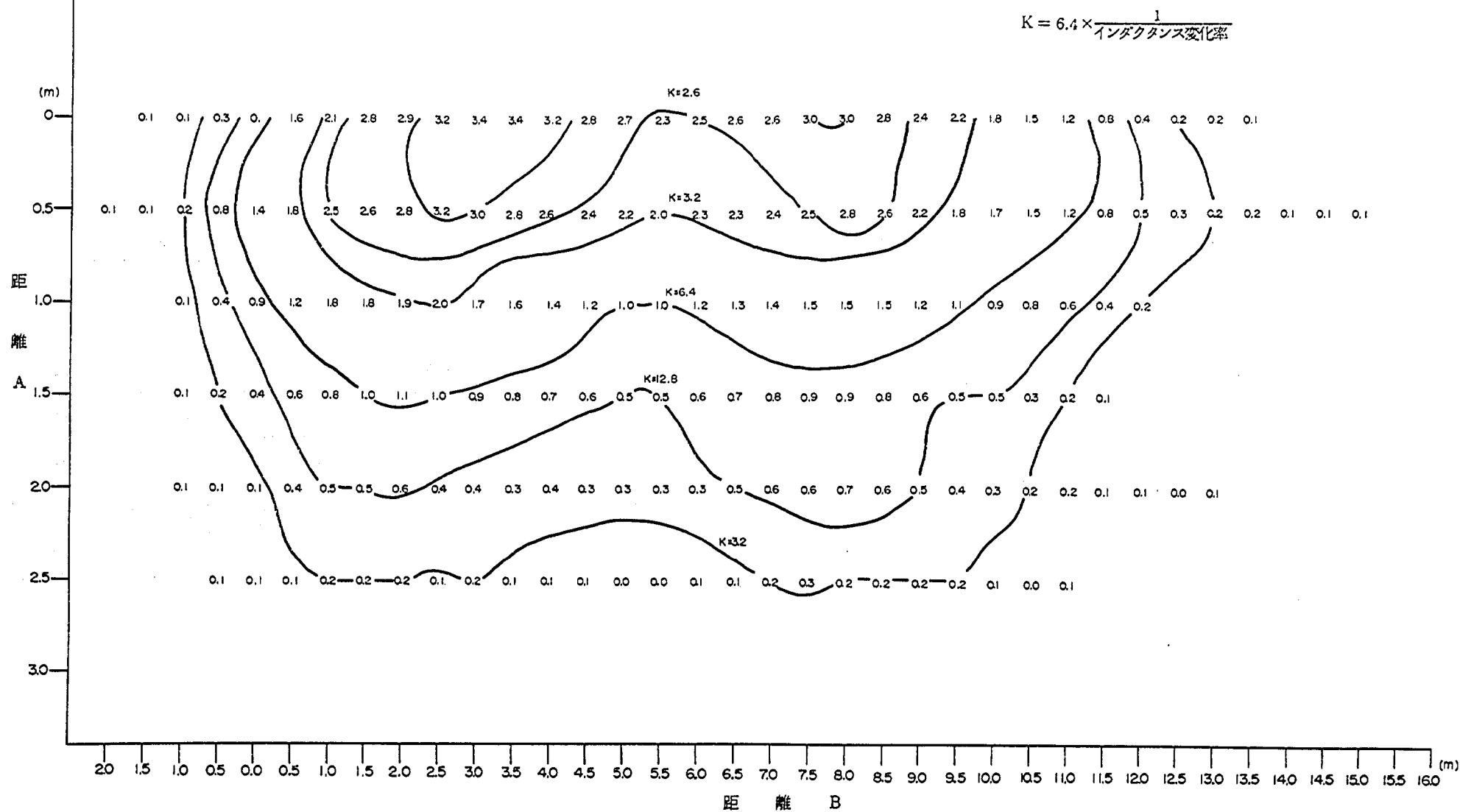


図 5-4-3 総合感度分布図

日産ディーゼル (11t) コイル寸法 2.5 × 2.5

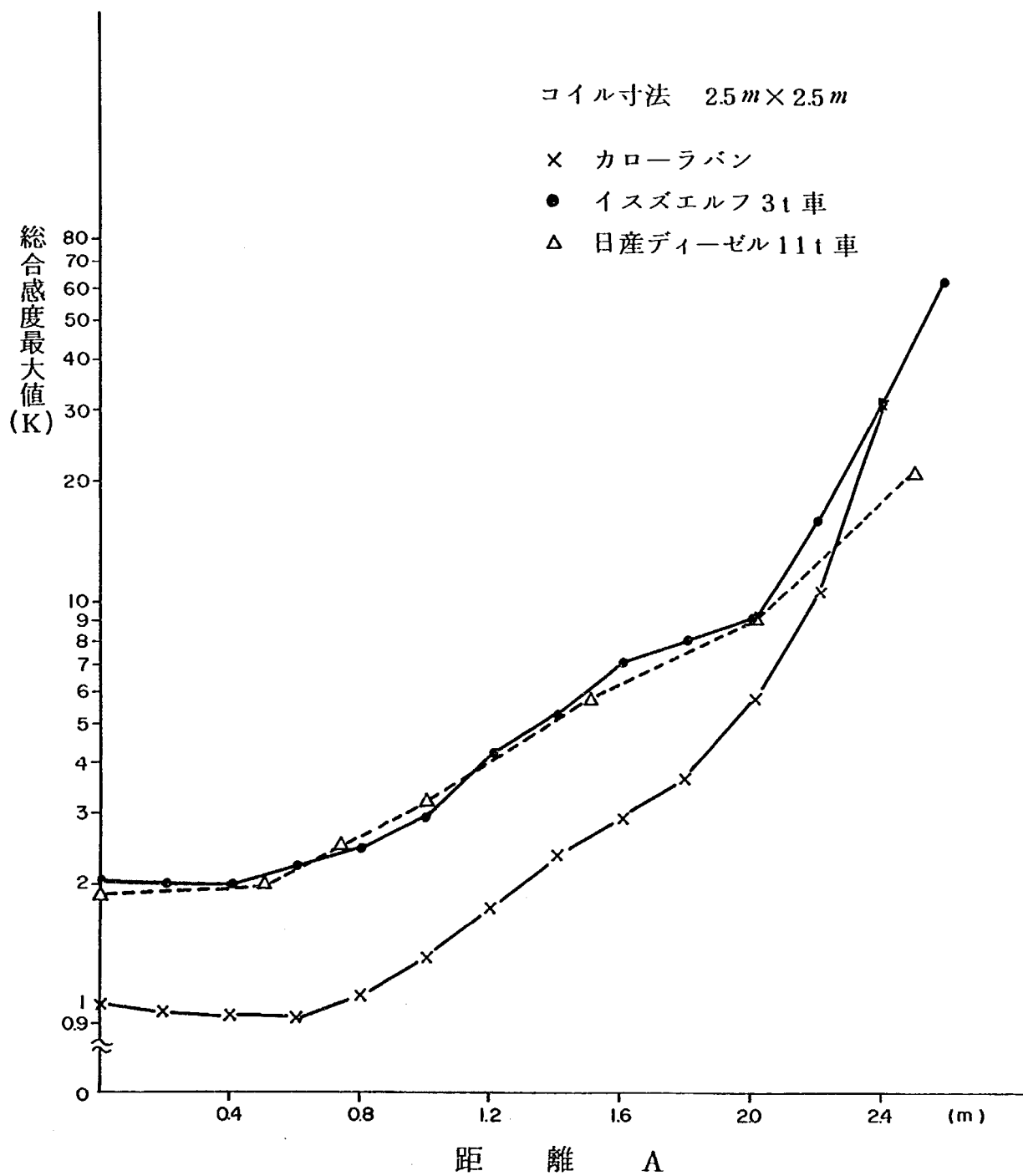


図 5 - 5 距離 A - 総合感度最大値

表5-1 ループコイル電気的特性測定値表

設置場所	L (μH)	直流抵抗 (Ω)	絶縁抵抗 ($M\Omega$)	Q (at 1KHZ)
登戸1000m	286	1.0	100以上	24
" 500m	291	0.9	"	4.4
酒々井1000m	291	0.9	"	2.3
" 500m	293	0.9	"	2.4
神門500m	288	0.9	"	2.5

表5-2 最大インダクタンス変化率

地名 項目	登戸 1000 m				登戸 500 m			
	走行位置 番 号	道路車線 中心からの 距離 (m)	最大インダ クタンス 変化率 (%)	備考	走行位置 番 号	道路車線 中心からの 距離 (m)	最大インダ クタンス 変化率 (%)	備考
カローラ	7	-0.1	6.0		8	0	6.2	
	9	0.1	6.5		6	-0.2	5.9	
	2	-0.6	6.1		7	-0.1	5.8	
	6	0.2	6.0		7	-0.1	6.7	
	8	0	5.8		12	0.4	6.4	
	7	-0.1	5.8		2	-0.6	6.4	
	8	0	5.9		11	0.3	6.8	
	14	0.6	5.6		11	0.3	6.3	
	5	-0.3	6.1		7	-0.1	6.4	
	4	-0.4	6.5		7	-0.1	6.2	
	8	0	6.2		6	-0.2	6.5	
	6	-0.2	6.0		10	0.2	6.2	
	6	-0.2	5.8		14	0.6	5.4	
	15	0.7	5.3		12	0.4	6.3	
	6	-0.2	5.9		5	-0.3	5.6	
	13	0.5	6.0					
サニー	10	0.2	5.2					
	10	0.2	6.1					
	12	0.4	6.3					
	9	0.1	5.9					
	14	0.6	5.8					
	7	-0.1	5.7					
	13	0.5	5.9					
	10	0.2	6.0					
	7	-0.1	5.5					
	7	-0.1	5.5					
	8	0	6.0					
	11	0.3	6.1					
	13	0.5	5.8					
	9	0.1	5.6					
	9	0.1	5.9					
	5	-0.3	5.6					
	10	0.2	6.2					
サニーバン	10	0.2	5.6		11	0.3	5.9	
	6	-0.2	5.6		5	-0.3	6.2	
	13	0.5	5.6		14	0.6	6.4	
	10	0.2	5.3		6	-0.2	5.3	
	7	-0.1	5.9		7	-0.1	5.8	
					10	0.2	6.2	
					11	0.3	5.9	
					7	-0.1	5.8	
サニートラック					3	-0.5	5.6	
	8	0	5.9					
	7	-0.1	4.6					
	8	0	5.5					
	11	0.3	5.4					
	11	0.3	6.4					
	7	-0.1	5.1					
	13	0.5	4.9					
カリナーナ	12	0.4	5.2					
	12	0.4	5.1					
	11	0.3	5.4					
	11	0.3	5.2					
カリナーナバン					7	-0.1	4.6	
					4	-0.4	6.6	
					13	0.5	6.8	
カリナーナバン					7	0.1	6.9	
					11	0.3	6.3	

表5-2のつづき

地 点 名	酒々井 1000 m				酒々井 500 m				神 門 500 m				
	項目 走行位置 番 号	道路車線 中心からの 距離 (m)	最大インダ クタンス 変化率 (%)	備考	走行位置 番 号	道路車線 中心からの 距離 (m)	最大インダ クタンス 変化率 (%)	備考	走行位置 番 号	道路車線 中心からの 距離 (m)	最大インダ クタンス 変化率 (%)	備考	
カローラ	6	-0.2	5.6		7	-0.1	6.4		10	0.2	4.4		
	7	-0.1	6.1		3	-0.5	6.0		2	-0.6	4.2		
	-2	-1.0	3.3		3	-0.5	5.9		9	0.1	4.5		
	2	-0.6	6.4		11	0.3			6	-0.2	4.2		
	8	0	5.5						13	0.5	4.1		
									6	-0.2	2.5		
									6	-0.2	3.8		
									2	-0.6	4.1		
カローラバン	1	-0.7	6.2		0	6.0			1	-0.7	3.7		
	5	-0.2	6.1		0.1	6.2			-2	-1.0	2.8		
					0.2	6.2			4	-0.4	4.2		
					0.3	5.8		カ ロ ー ラ の 当 社 の 走 行 レ ン な に て 決 定	7	-0.1	4.1		
					0.4	5.9			10	0.2	4.1		
					0.5	6.3			8	0	4.6		
					0.6	6.2			8	0	4.4		
					0.7	6.0			7	-0.1	4.4		
					0.8	5.3			7	-0.1	4.6		
					0.9	5.3			7	-0.1	4.4		
					1.0	4.7			11	0.3	4.1		
					1.1	4.2			8	0	4.2		
					1.2	3.5			5	-0.3	4.2		
					1.3	2.9			1	-0.7	4.0		
					1.4	2.7			13	0.5	3.8		
					1.5	2.3			8	0	4.3		
					1.6	1.7			12	0.4	4.2		
					1.7	1.5			2	-0.6	4.1		
					1.8	1.2							
					1.9	1.4							
					2.0	0.7							
サニ－	5	-0.2	2.8		13	0.5	5.8			13	0.5	4.0	
					12	0.4	5.8			6	-0.2	4.0	
					12	0.4	5.9		-1	-0.9	3.8		
									3	-0.5	3.5		
									4	-0.4	3.9		
									14	0.6	3.8		
									10	0.2	4.1		
									3	-0.5	3.8		
サニ－バン	-5	-1.3	4.1						1	-0.7	4.9		
	-4	-1.2	4.7						7	-0.1	4.2		
	0	-0.8	5.3						9	0.1	4.1		
	1	-0.7	5.4						10	0.2	3.9		
	1	-0.7	5.3						10	0.2	3.6		
	1	-0.7	5.5						6	-0.2	3.9		
サニ－トラック													
カリーナ													
カリーナバン													

名称 登戸1000m地点
合計 1028台

大型車 190台 18.5%
トラック車 166台 16.1%
普通車 672台 65.4%

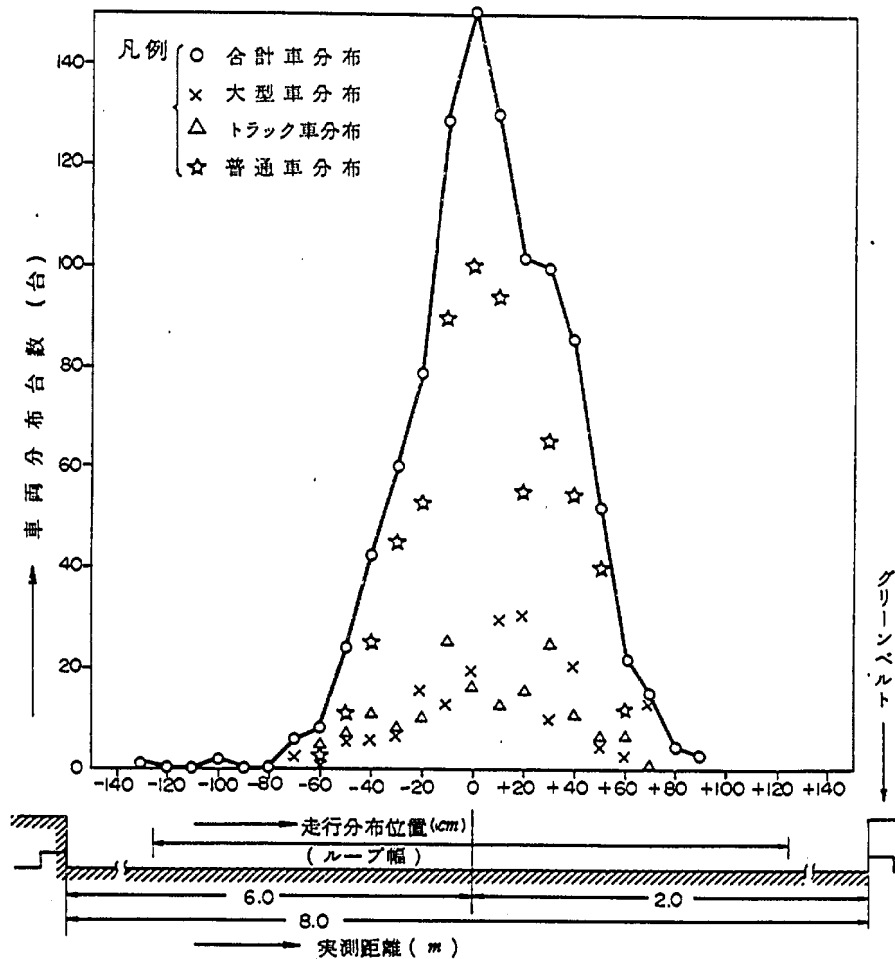


図5-6-1 車両分布ヒストグラフ図

名称 登戸500m地点
合計 1073台

大型車 207台 19.3%
トラック車 156台 14.5%
普通車 710台 66.2%

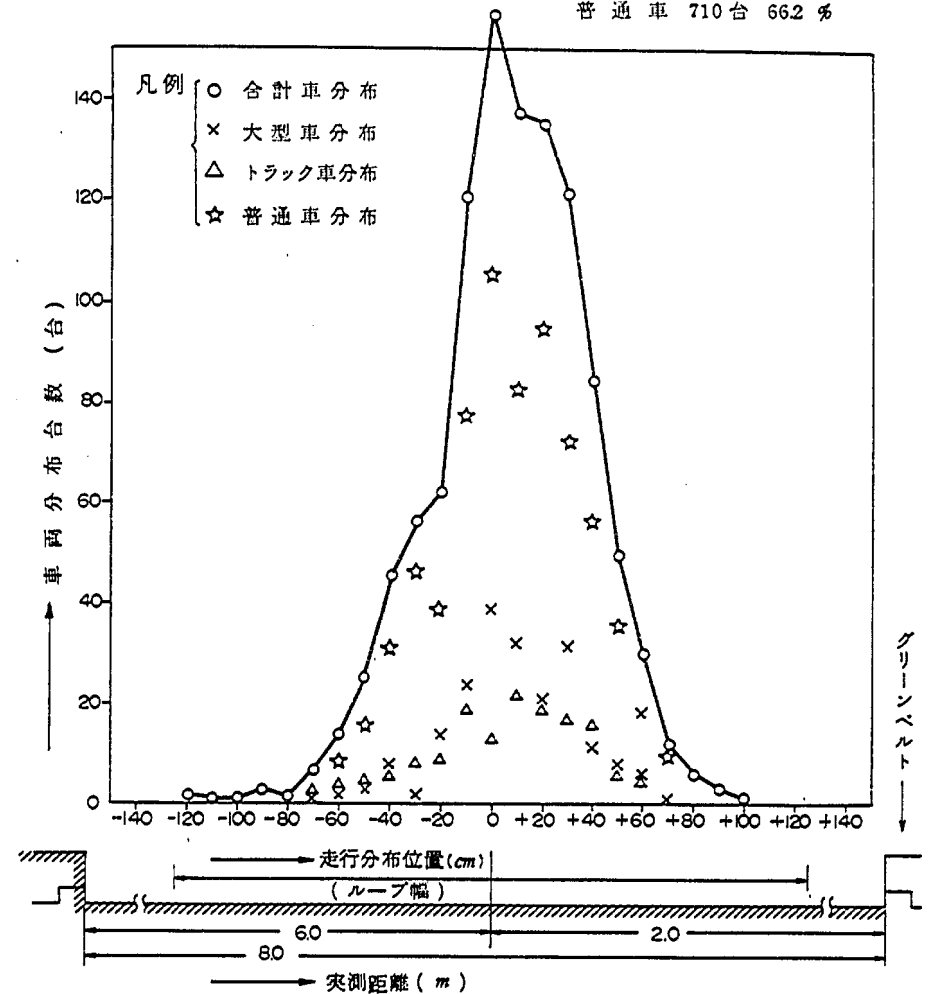


図5-6-2 車両分布ヒストグラフ図

名称 酒々井100m地点
合計 834台
大型車 223台 26.7%
トラック車 130台 15.5%
普通車 481台 57.7%

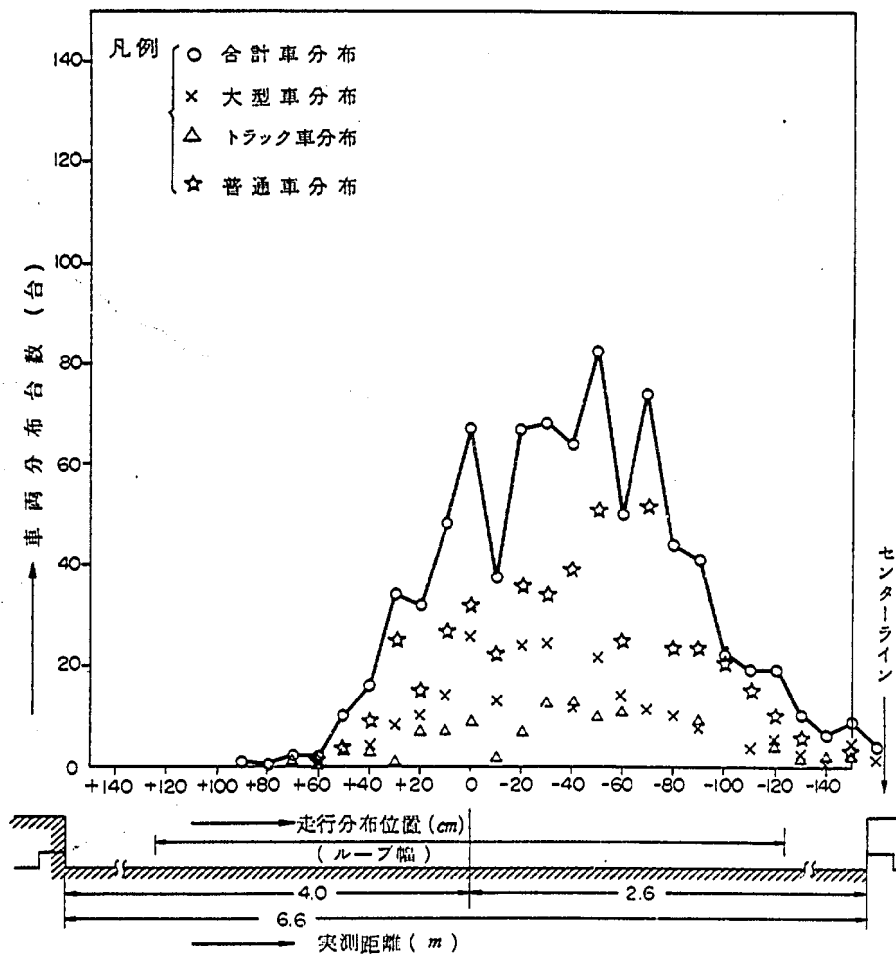


図5-6-3 車両分布ヒストグラフ図

名称 神門500m地点
合計 686台
大型車 107台 15.6%
トラック車 134台 19.5%
普通車 445台 64.9%

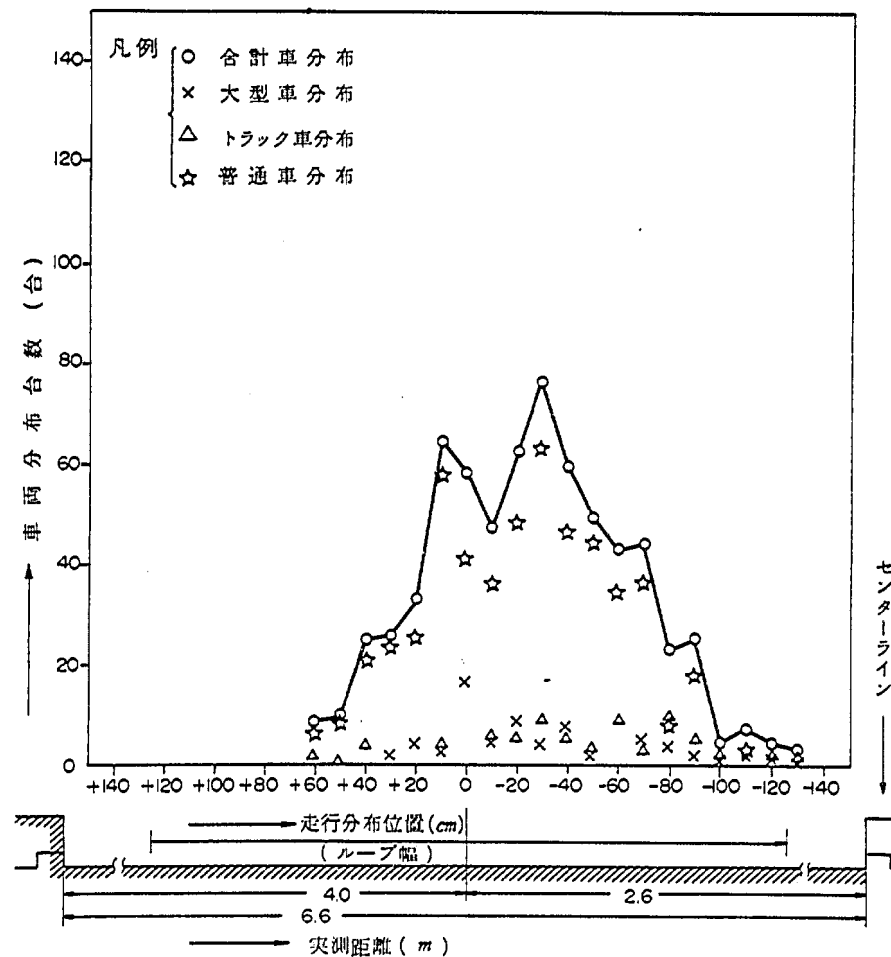


図5-6-4 車両分布ヒストグラフ図

名称 酒々井500m地点
合計 671台

大型車 68台 10.1%
トラック車 77台 11.4%
普通車 526台 78.4%

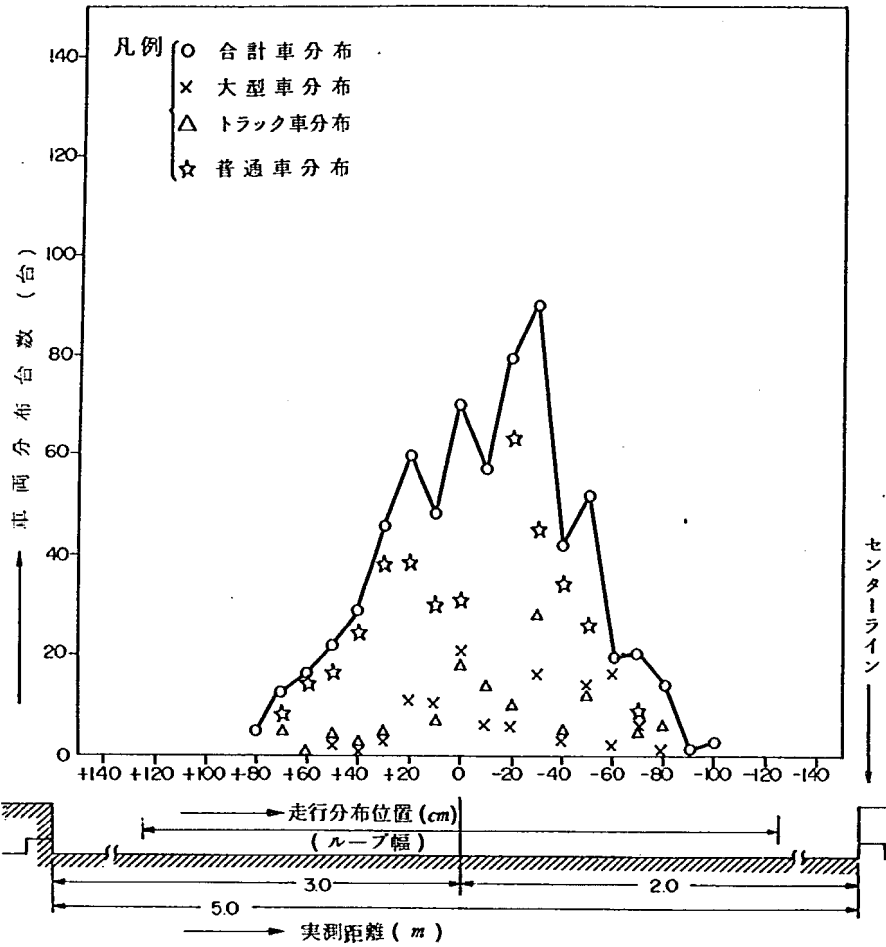


図5-6-5 車両分布ヒストグラフ図

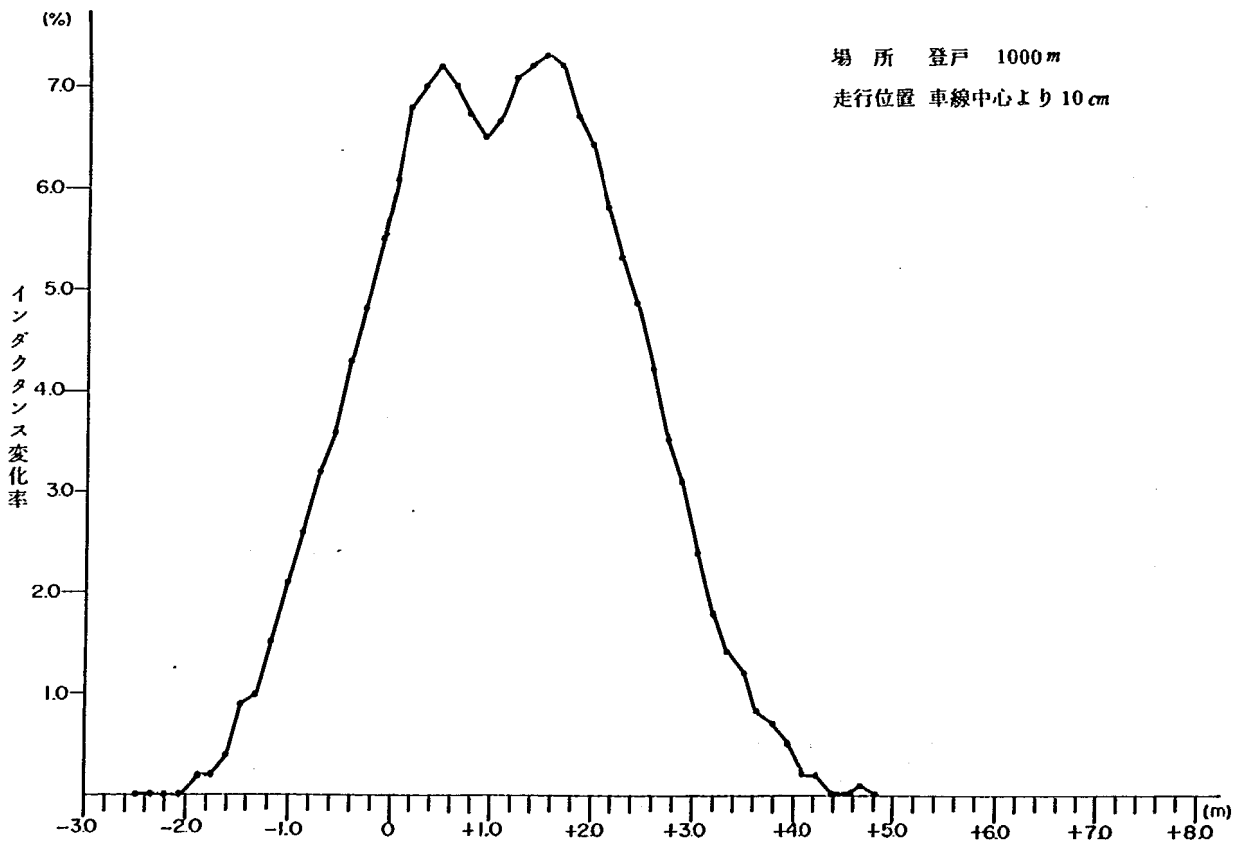


図5-7-1 ニッサン・ローレル インダクタンス変化率特性

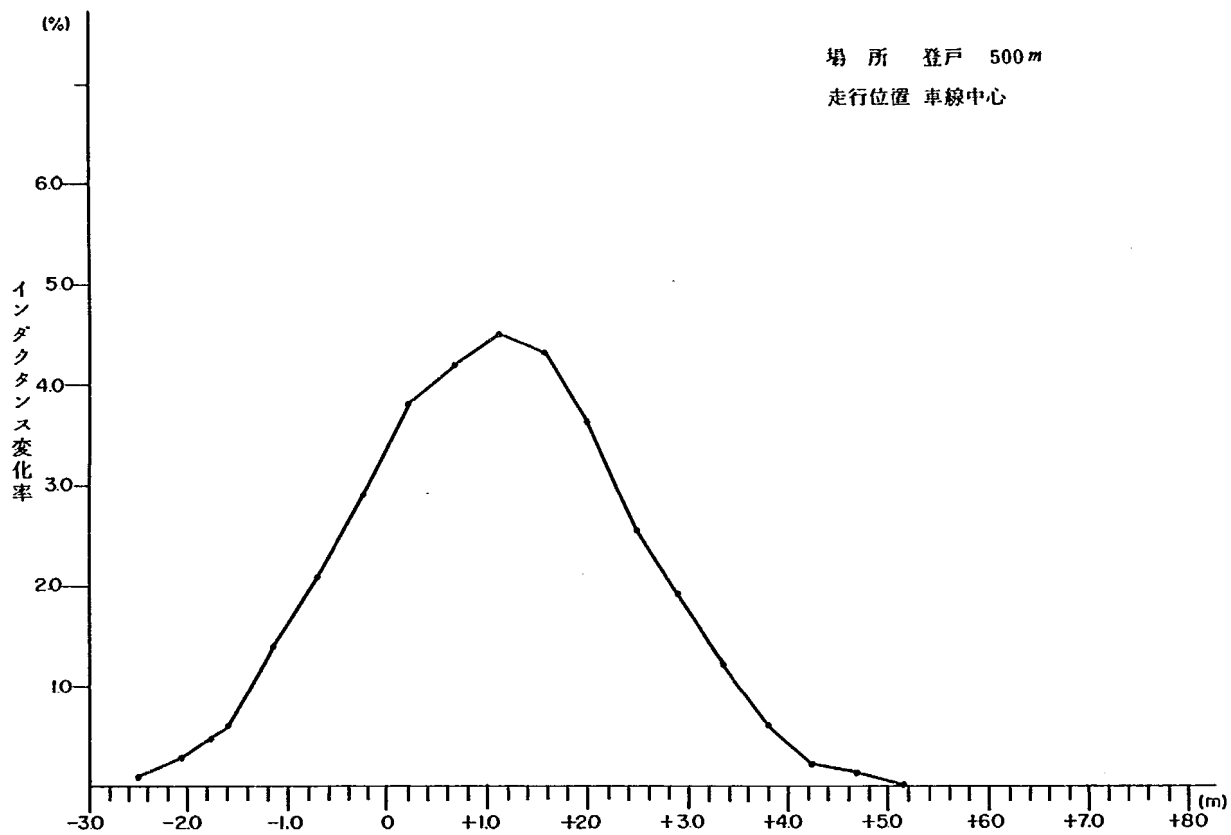


図5-7-2 トヨエース インダクタンス変化率特性

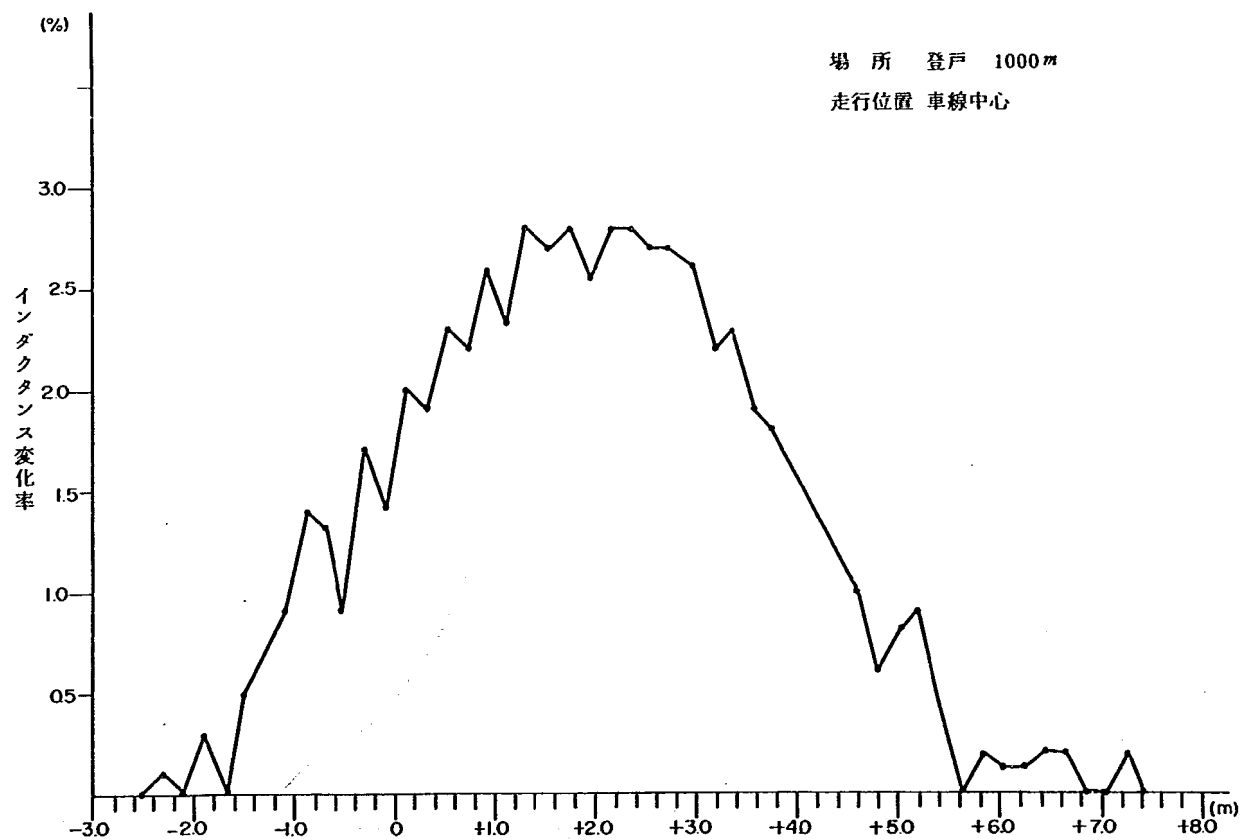


図5-7-3 エルフ (2t) インダクタンス変化率特性

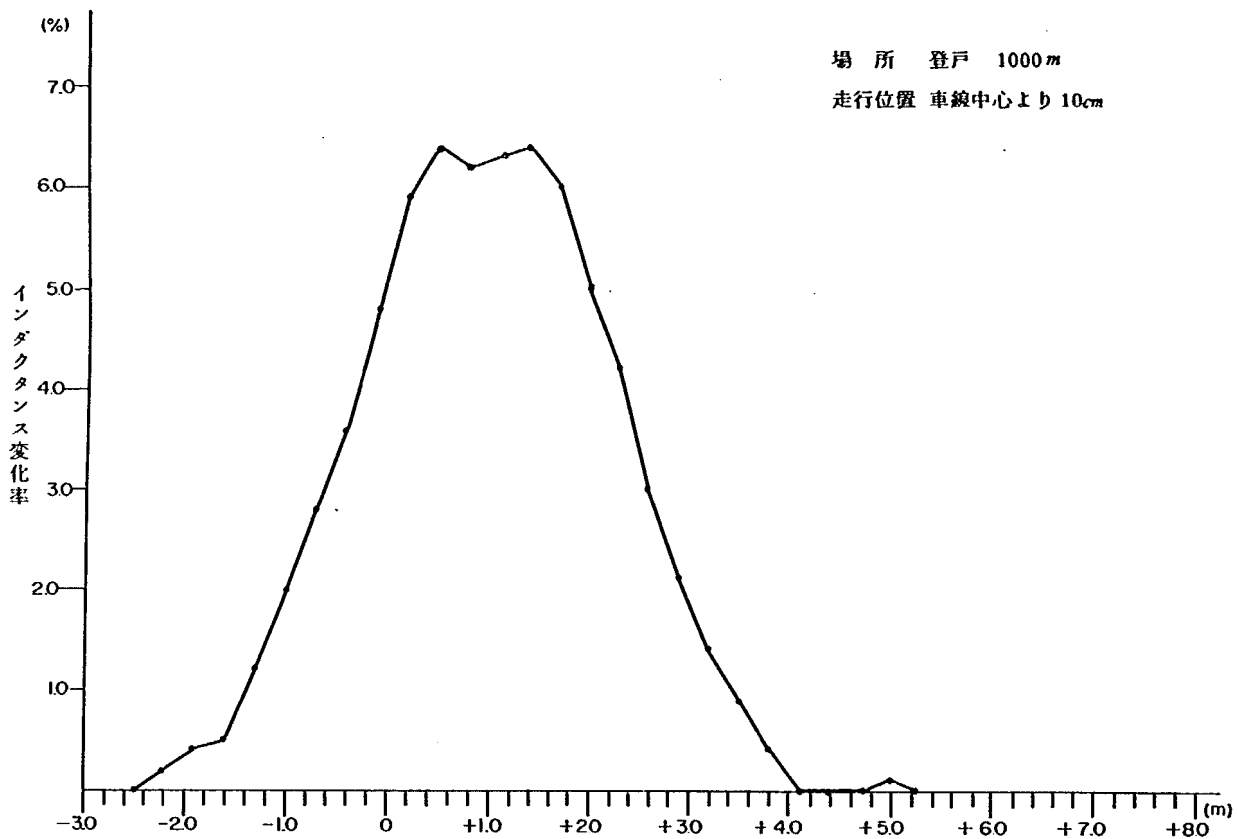


図5-7-4 カローラ インダクタンス変化率特性

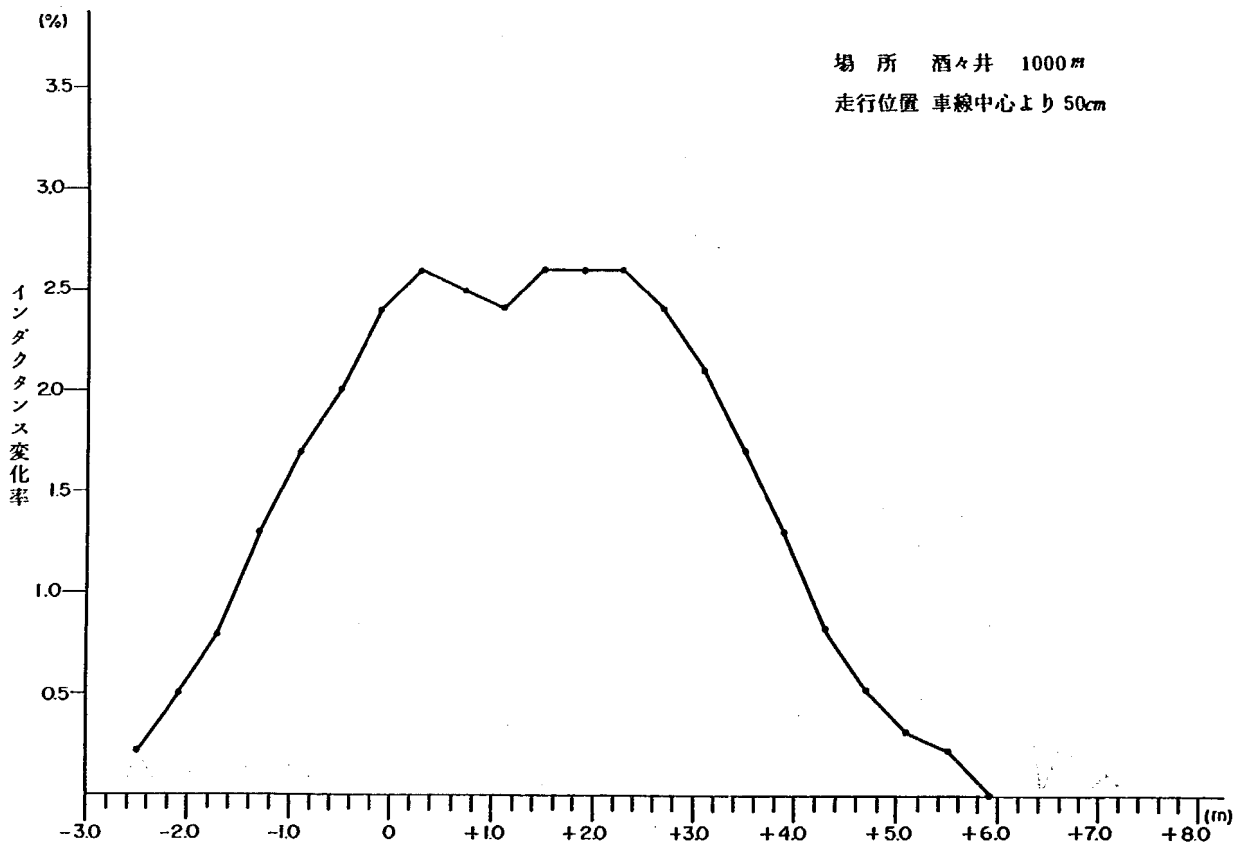


図5-7-5 エルフ (2t) インダクタンス変化率特性

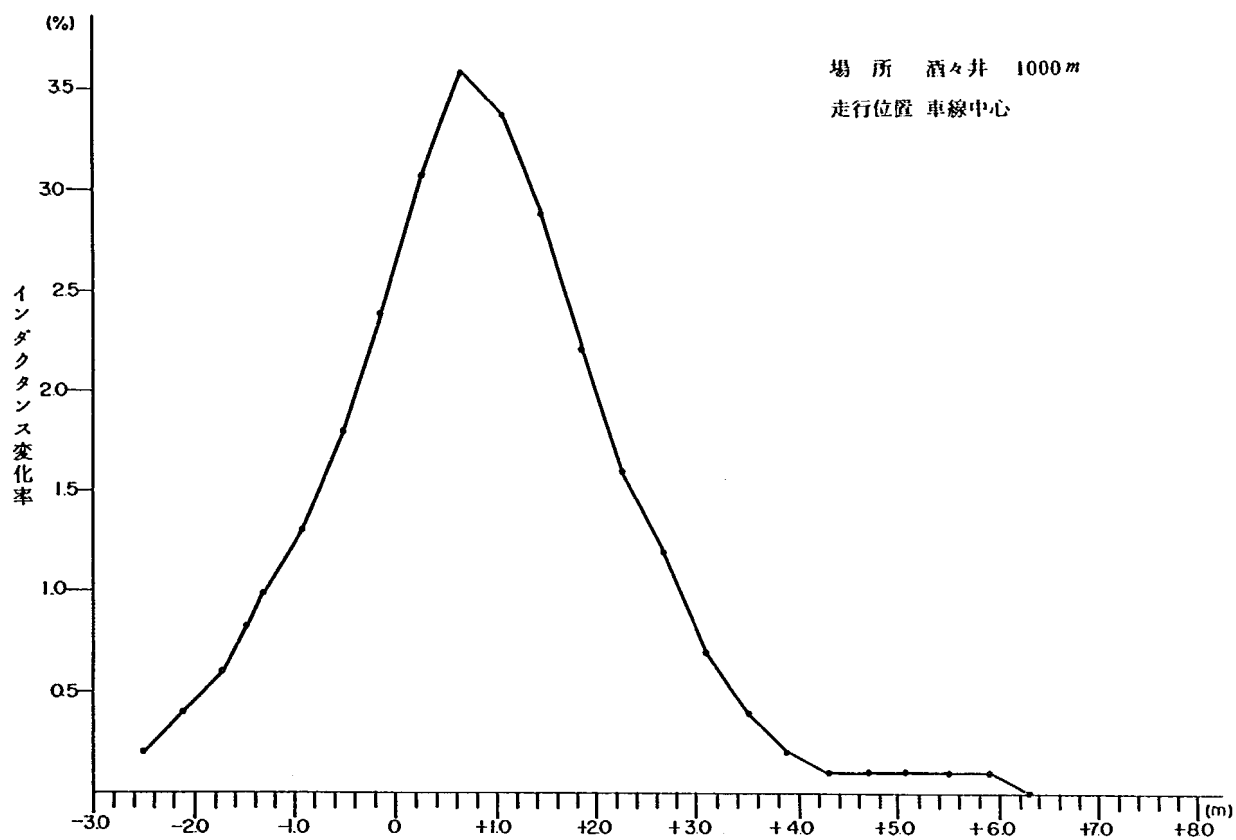


図5-7-6 ホンダ軽トラック インダクタンス変化率特性

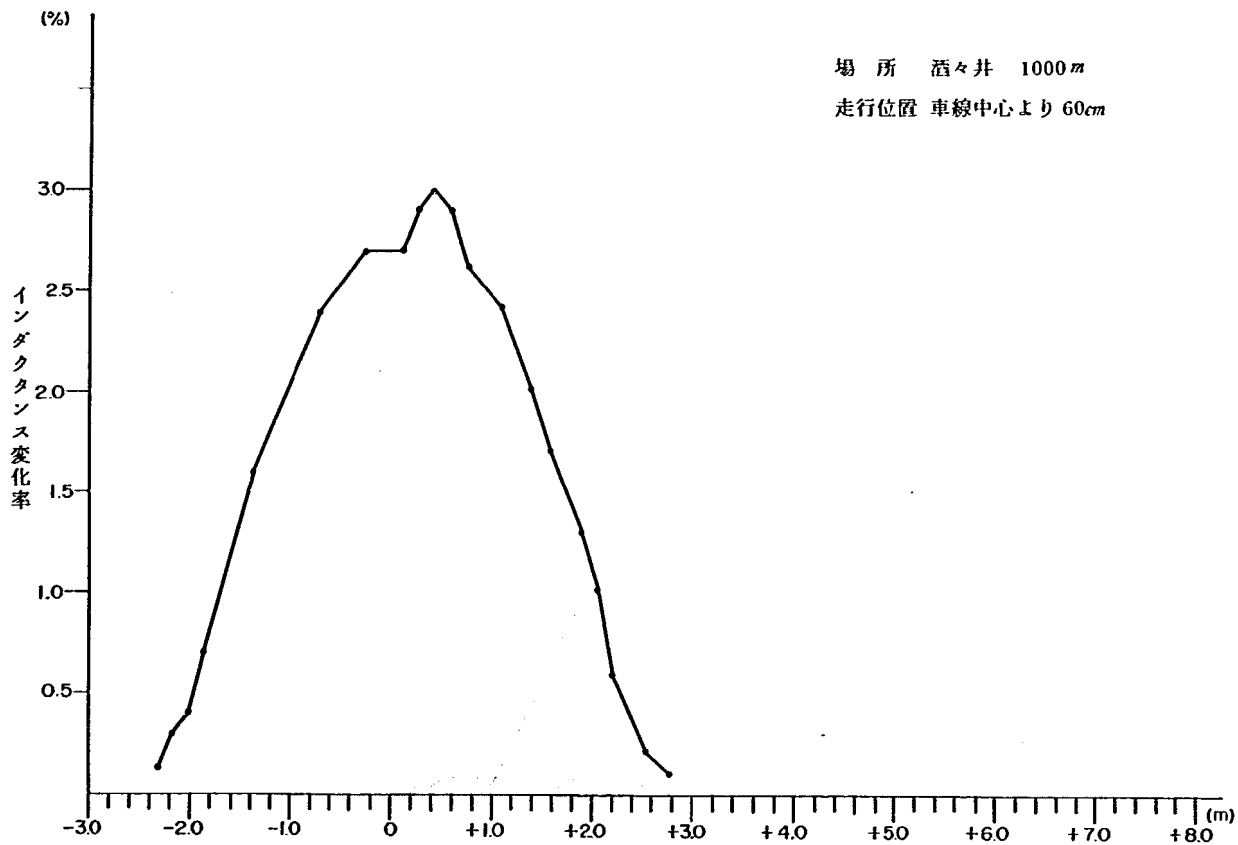


図5-7-7 マツダキャンター インダクタンス変化率特性

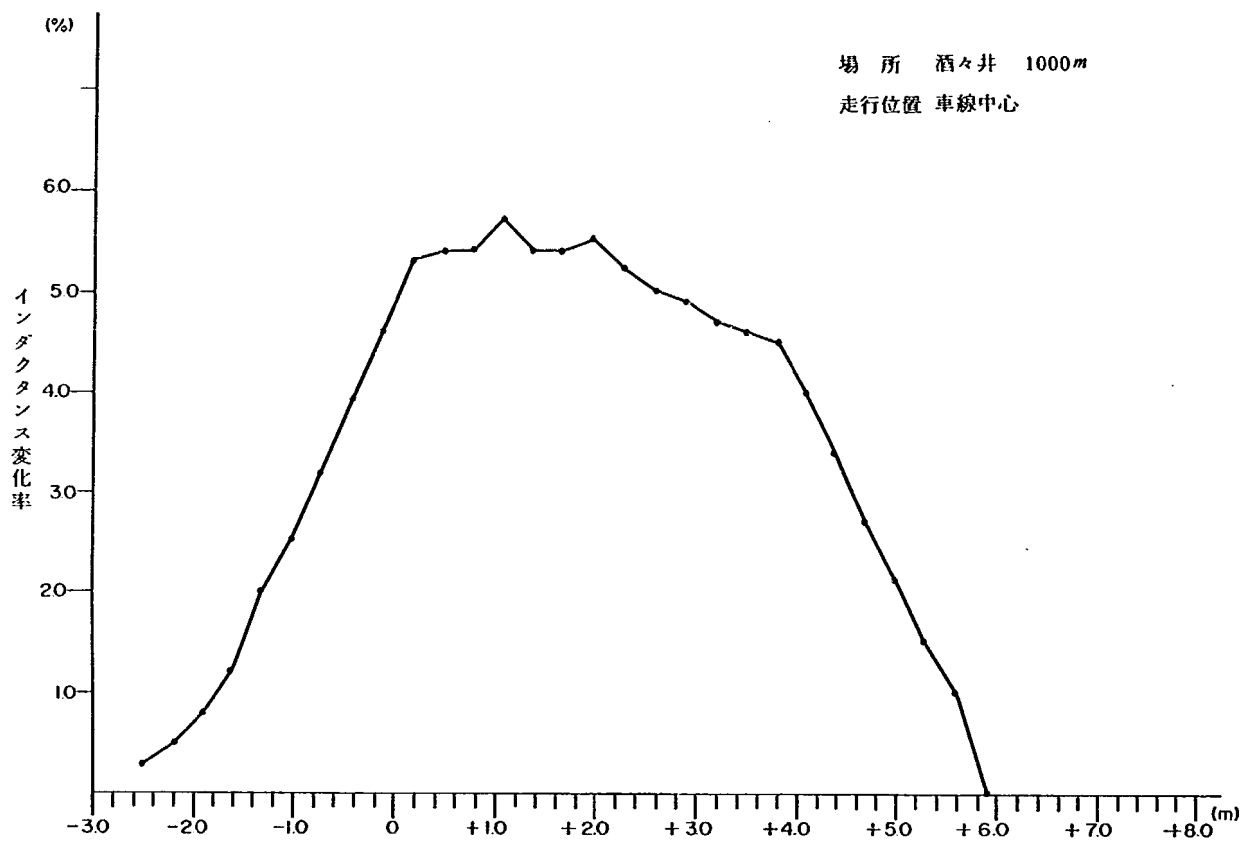


図5-7-8 キャラバン インダクタンス変化率特性

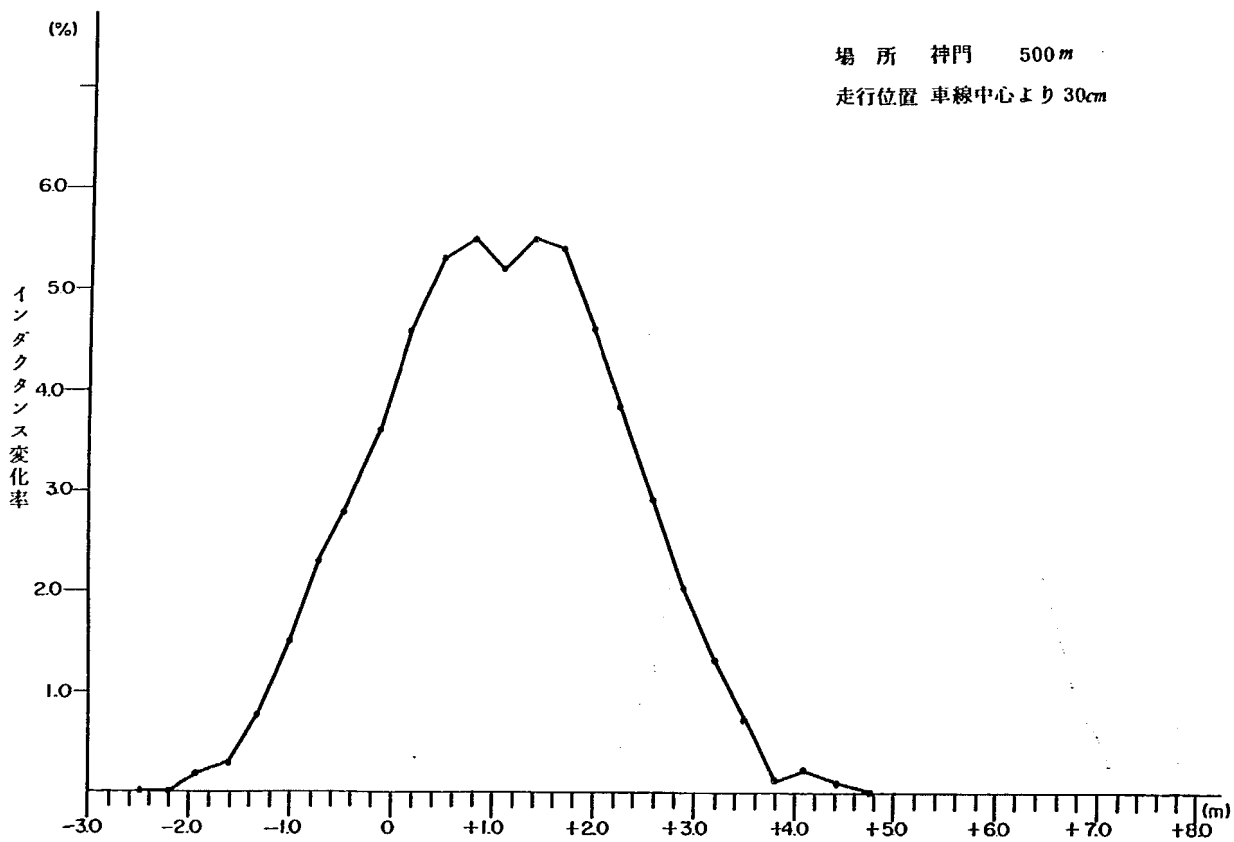


図5-7-9 チェリーバン インダクタンス変化率特性

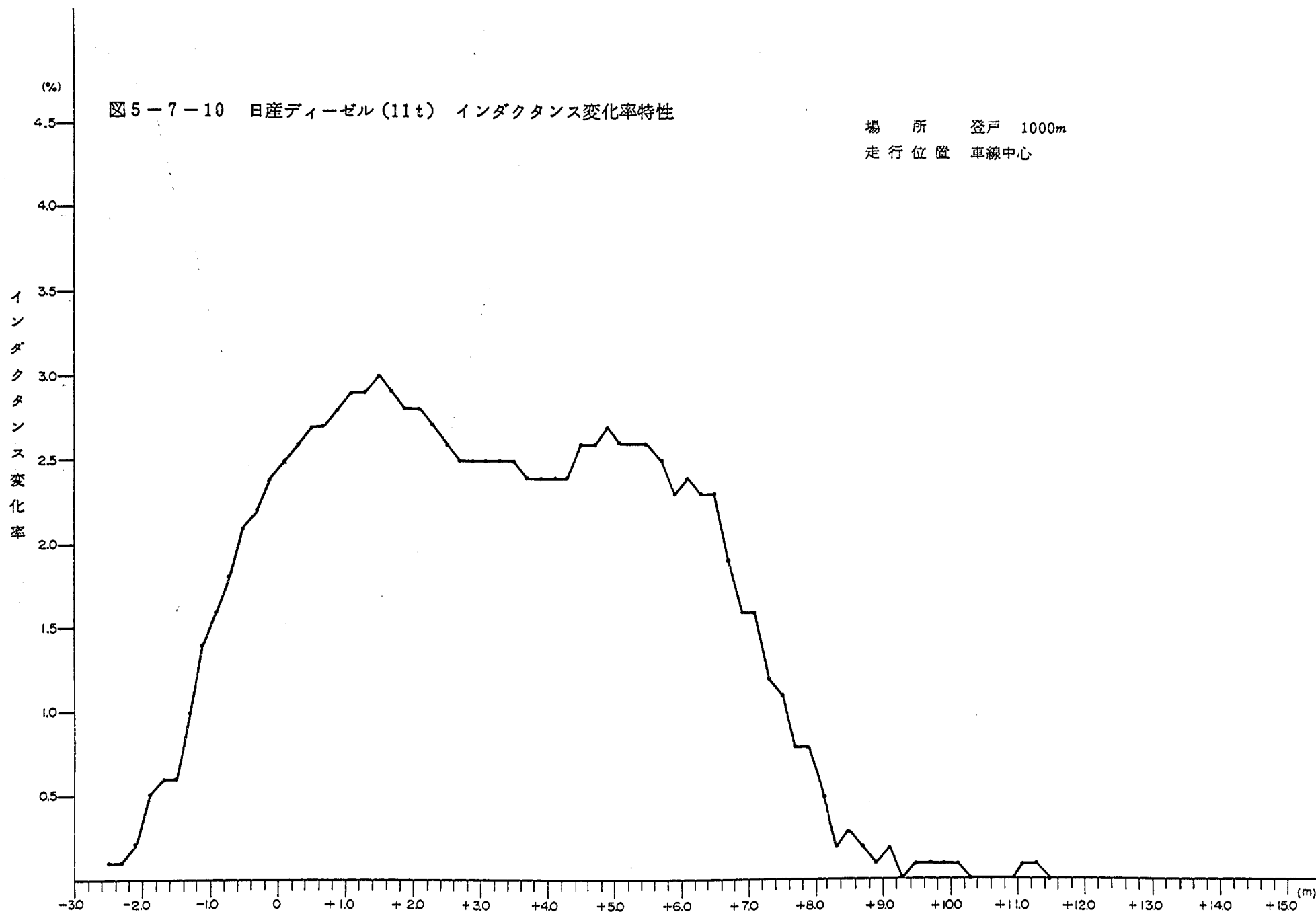


図 5-7-11 トヨエース冷宗車 インダクタンス変化率特性

場 所 登戸 1000m
走行位置 車線中心より 10cm

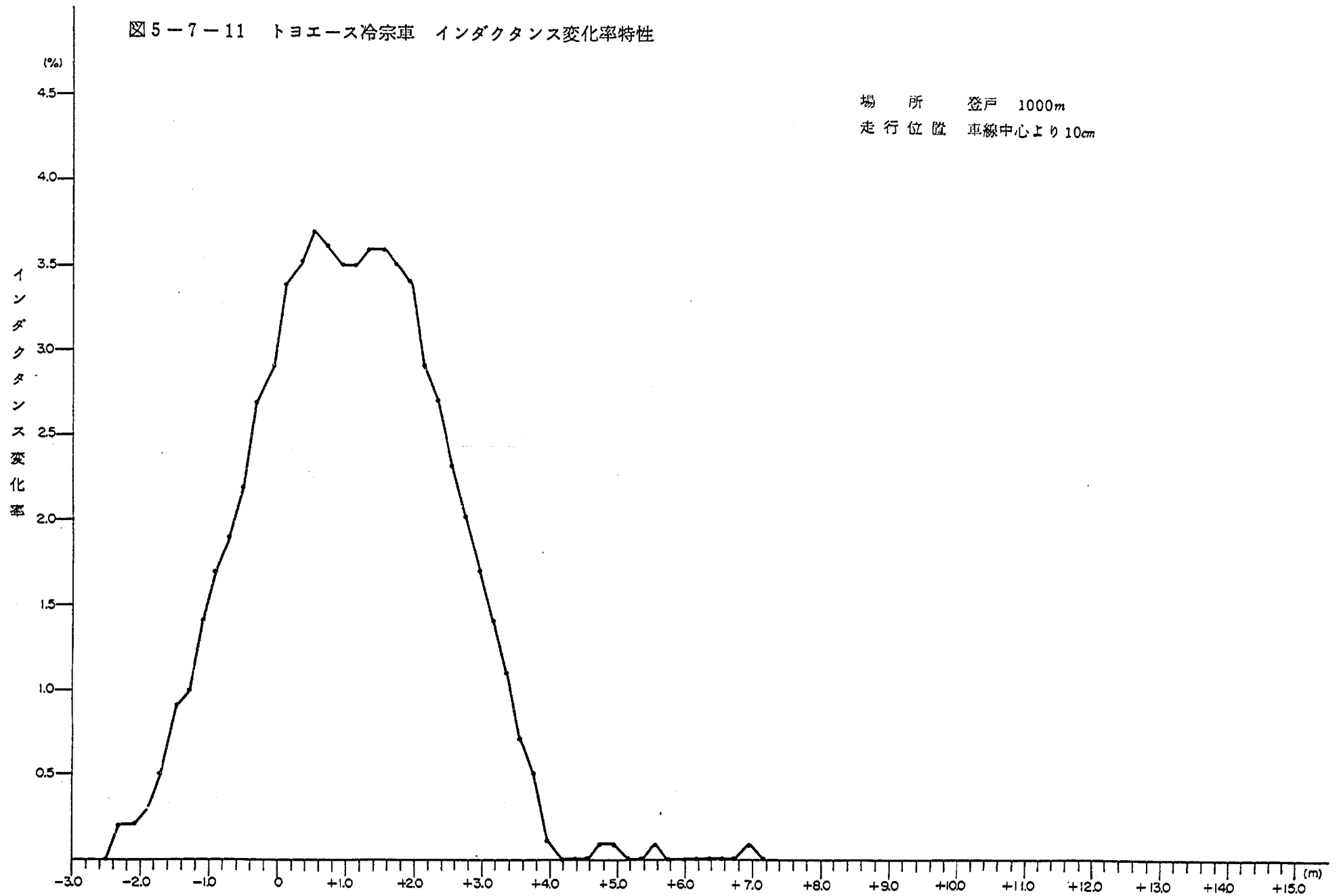


図5-7-12 クレーン車 インダクタンス変化率特性

場 所 登戸 1000m
走 行 位 置 車線中心より10cm

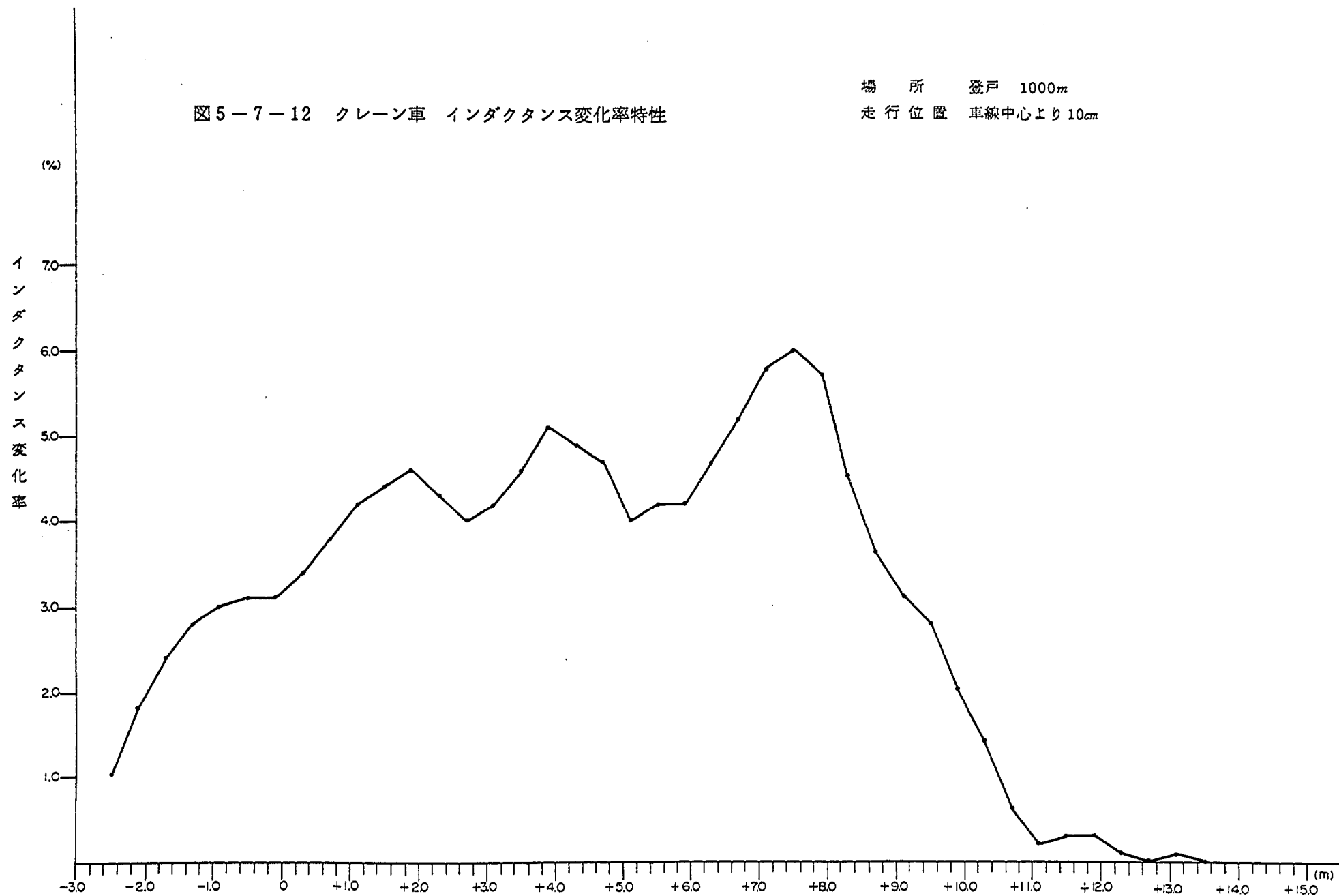


図 5-7-13 タンクローリー インダクタンス変化率特性



図 5-7-14 日野ミキサー車 インダクタンス変化率特性

場 所 酒々井1000m
走 行 位 置 車線中心より30cm

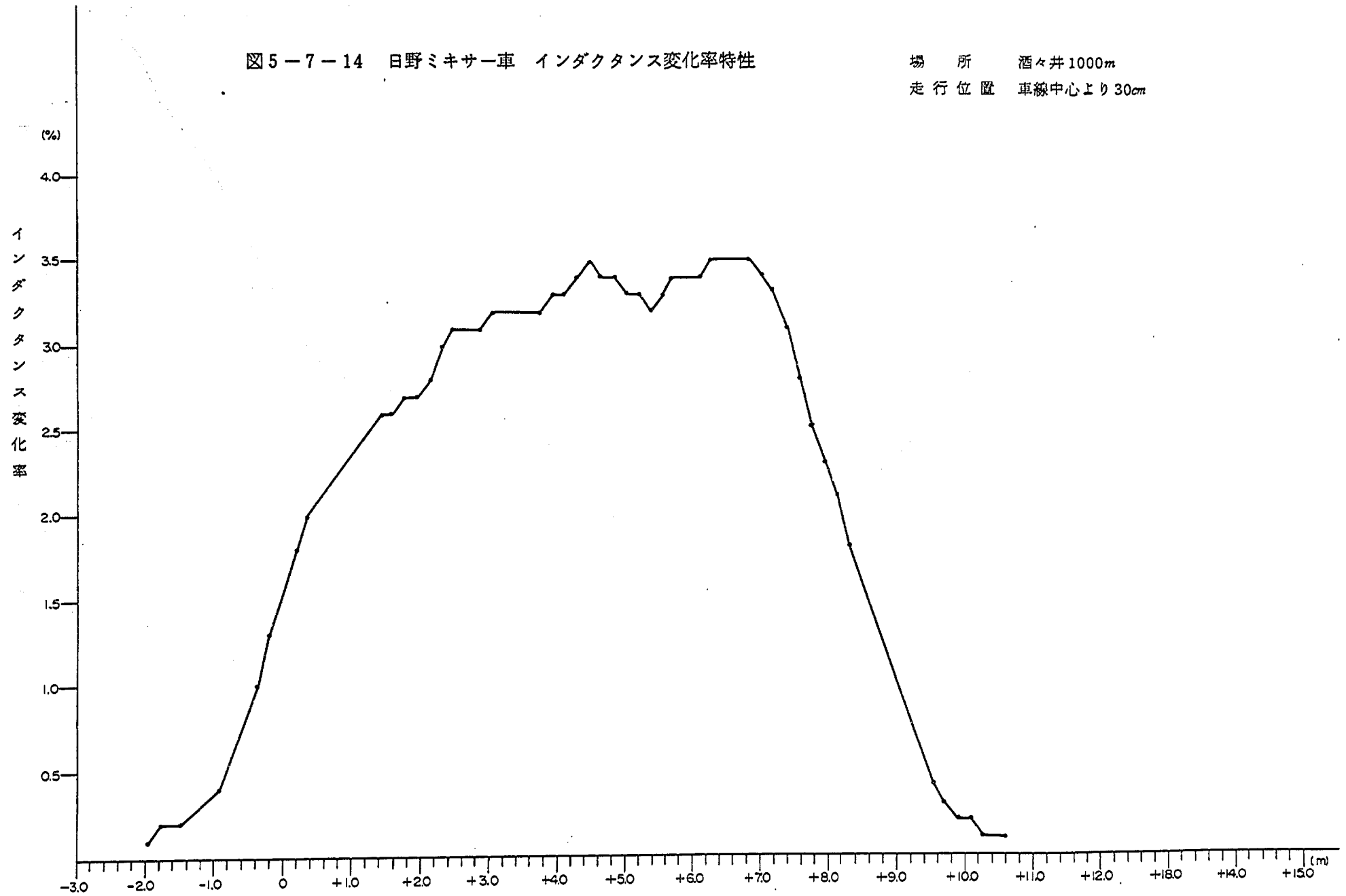


図 5-7-15 タンクローリー インダクタンス変化率特性

場 所 酒々井 1000m
走 行 位 置 車線中心より 40cm

イン
ダク
タ
ン
ス
変
化
率

(%)

4.5

4.0

3.5

3.0

2.5

2.0

1.5

1.0

0.5

-30

-20

-10

0

+1.0

+2.0

+3.0

+4.0

+5.0

+6.0

+7.0

+8.0

+9.0

+10.0

+11.0

+12.0

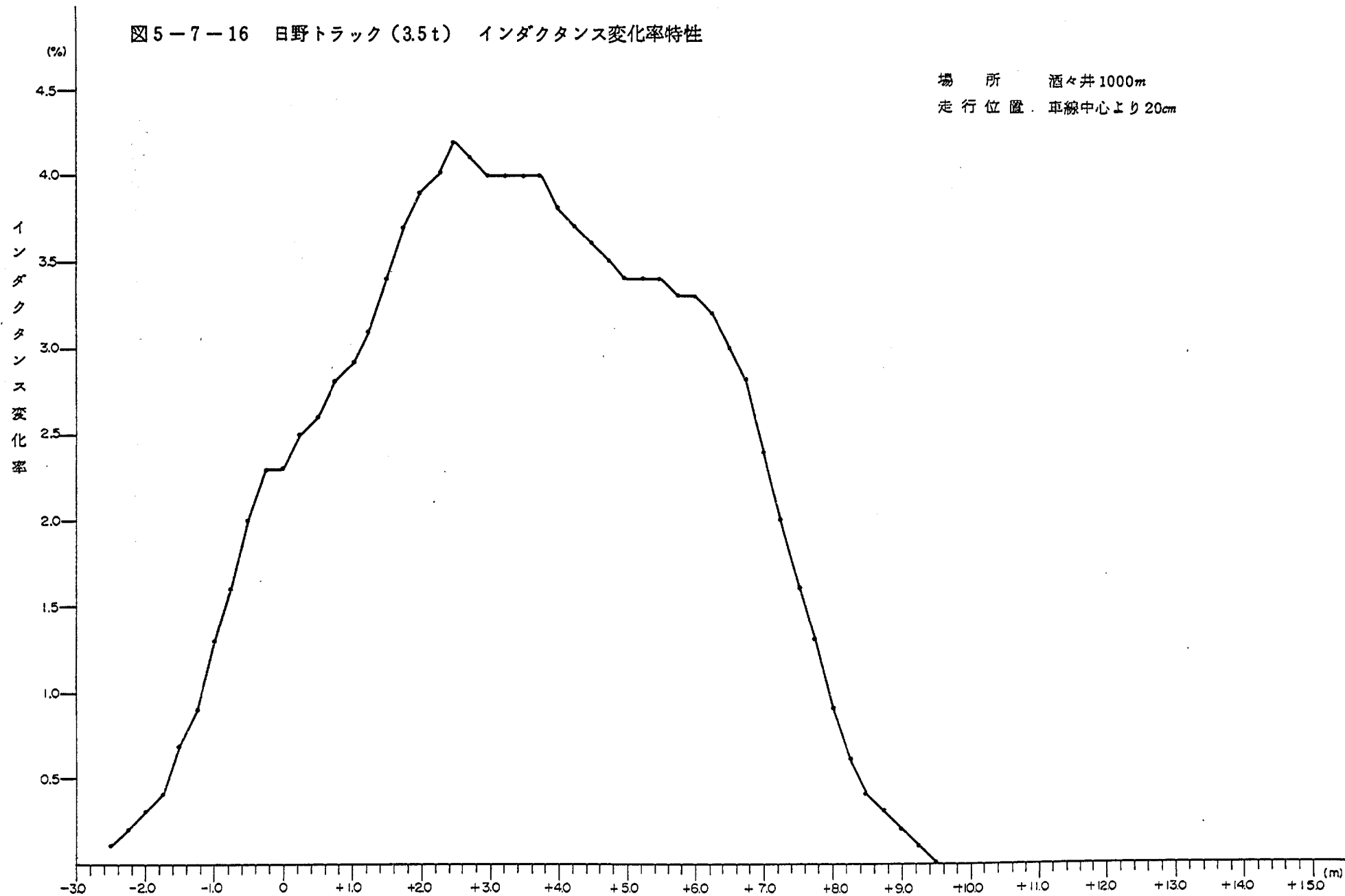
+13.0

+14.0

+15.0 (m)

図 5-7-16 日野トラック (3.5t) インダクタンス変化率特性

場 所 酒々井 1000m
走 行 位 置 車線中心より 20cm



6. 考 察

6-1 ループ感度の決定方法

ループ感度は、標準車両がループの中心を通過したときのインダクタンス変化率の最大値としたのであるが、実際の計測においては正確に中心を通過することは期待できない。しかしながら予備実験結果の図5-3、図6-1をみると、偏心距離0～0.7 mの間で、インダクタンス変化率最大値は、ほぼ一定値であり、6.4%～6.9%の値である。今後、6.4%をループ感度とした場合と、6.9%をループ感度とした場合の感知領域の差について考えて見る。

図6-1の実線は、カローラバンの実測値、破線は実測値を6.9/6.4倍した値である。6.4%をループ感度とした場合を基準とすると、ループ感度を6.9%とした場合には、同一の本体感度に対して感知領域が、みかけ上ふえたことになる。この時の、みかけ上の領域の変化は、図6-1から距離Aが2 mのところ、2 cm程度、1.2 mのところ5 cm程度であり、実用上は問題とはならない。ループコイル中央位置から±0.7 m内を、基準車走行位置許容範囲とし、この範囲内を走行した基準車のインダクタンス変化率最大値の平均をループ感度とする。また、予備実験で総合感度特性を描くときに基準となるループ感度は、ループコイル中央位置をカローラバンが通過した時の値（6.4%）とした。

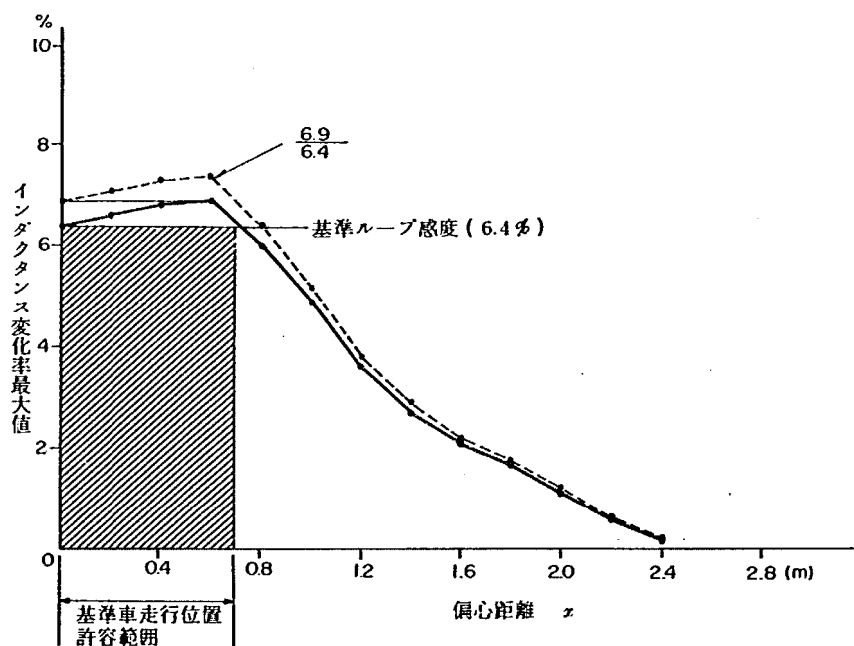


図6-1 カローラバンの偏心距離とインダクタンス変化率最大値

6-2 各地点のループ感度

現地では、測定基準車の対象として走行車のなかからカローラバン、カローラ、およびカローラに類似した車内としてサニー、サニーバンを選び測定した結果をまとめたのが表6-1である。下段はデータの最大値と最小値を省いて平均値と偏差を算出したものである。

6-1で検討したようにループコイル中央位置±0.7mの範囲内を走行した車両のインダクタンス変化率の最大値をループ感度として十分使用できる。また、サニー系の車両もカローラ系の車両と特性は似ており（インダクタンスの最大変化率の差が0.5%以下）カローラ系の走行台数の少ない地点では、サニーも測定基準車として代用してもよいと思われるが、今回はカローラ、カローラバンをあわせたものを測定基準車とすると、各地点のループ感度は表6-2の通りである。

表6-1 側定基準車のインダクタンス変化率最大値

地点名	カローラ			カローラバン			サニー			サニーバン		
	平均値	偏 差	台数	平均値	偏 差	台数	平均値	偏 差	台数	平均値	偏 差	台数
登 戸 1000m	6.04	0.270	12	5.81	0.285	21	5.60	0.212	5	5.34	0.486	11
	5.99	0.136		5.82	0.237		5.60	0		5.36	0.292	
登 戸 500m	6.30	0.289	12	5.77		3	5.90	0.335	9	5.80		1
	6.33						5.91	0.219				
酒々井 1000m	5.90	0.424	5	6.20		2				5.34	0.095	4
酒々井 500m	6.02	0.262	4	6.00		1	6.02	0.263	3			
神 門 500m	4.19	0.206	15	4.20	0.242	18	3.84	0.181	9	4.10	0.443	6
	4.16	0.193		4.14	0.203		3.85	0.113		3.94	0.230	

6-3 インダクタンス変化率分布および総合感度分布

インダクタンス変化率分布図とインダクタンス変化率特性図より次のことがいえる。

- (1) インダクタンス変化率の変化特性は、車の種類によって大きく異なり、ループコイル中心軸近辺では、カローラバンのインダクタンス変化率は11t車、エルフ3t車の2.5倍程度である。これは、車高のちがいに生ずるものである。
- (2) エルフ3t車と11t車のインダクタンス変化率は、ほとんどかわらない。
- (3) 11t車のインダクタンス変化率には、山、谷がある。その差は山が谷の1.4であり、総合感度を低く設定すると山の部分を2度とらえることになり過剰計測になる。図5-4～1～5の総合感度分布図から次のような問題点があることがわかる。

今、車線巾員を3.4mとし、カローラバンがセンターライン上を走行したとする。この位置は、感知してもしなくてもよい限界であるが、これを感知するように総合感度を決めると、その総合感度は図5-5より $K=3.6$ となる。しかしながらこの値に設定するとエルフ3t、11tは車線中心から1.1～1.7mで

表6-2 ループ感度表

地 点 名	ループ感度
登 戸 1000m	5.88
登 戸 500m	6.22
酒々井 1000m	6.00
酒々井 500m	5.87
神 門 500m	4.17

不感知帯を生じ、不足計測になる。

また、車線内を走行するエルフ 3 t 車および 11 t 車をすべて感知できる値 $K=8.0$ にすると、車線中央から 2.1 m の地点を走行するカローラバン、つまり隣接車線内 0.4 m の地点を走行するカローラバンを感知することになり、過剰計測の原因となる。

したがって、総合感度は $K=3.6$ から $K=8.0$ までの間で過剰計測、不足計測が相殺されるように定めなければならない。これは車種構成比率によって総合感度を変える必要のあることを意味する。

6-4 走行位置分布および車種構成

各地点の走行位置分布ヒストグラムを百分率表示したものを図 6-2-1~3、登戸 1000 m、酒々井 1000 m、神門 500 m の走行位置分布を正規確率紙にプロットしたものを図 6-3-1~3 に示す。

また、各地点の車種構成比率を表 6-3 に示す。

(1) 登戸 1000 m 地点

- ① 登戸 1000 m 地点の走行位置分布はほぼ正規分布に近いことがわかる。
- ② 車両の 99 % 以上が車線中央 ± 90 cm の間を走行する。
- ③ 車種構成をみるとトラック車が 14.5 % ~ 16.1 % となっている。

(2) 酒々井 1000 m 地点

- ① 走行位置分布はほぼ正規分布に近いことがわかる。走行位置の平均値はセンターラインより 40 cm、標準偏差は 48 cm である。
- ② 99 % 以上の車両が車線中央 ± 80 cm の間を走行する。
- ③ 車種構成をみると両地点で比率が異なるが、これは実験時間帯が異なるためと考えられた。

(3) 神門 500 m 地点

- ① この地点が最も正規分布に近いことがわかる。走行位置の平均値はセンターラインより 8 cm、標準偏差は 32 cm である。
- ② 99 % 以上の車両が車線中央 ± 80 cm の間を走行する。
- ③ 車種構成は酒々井とにているはずであるが、測定日のちがいによるものと思われる。

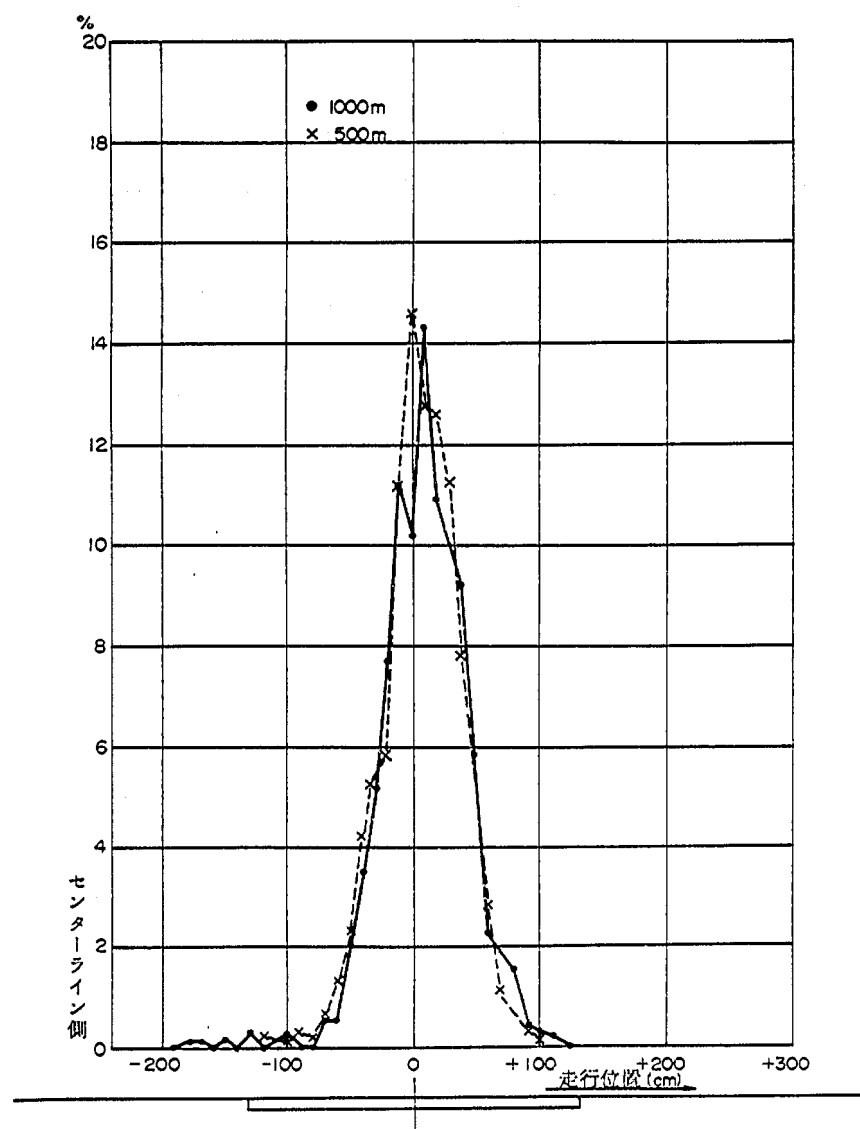


図 6 - 2 - 1 登戸全車種走行位置分布百分率

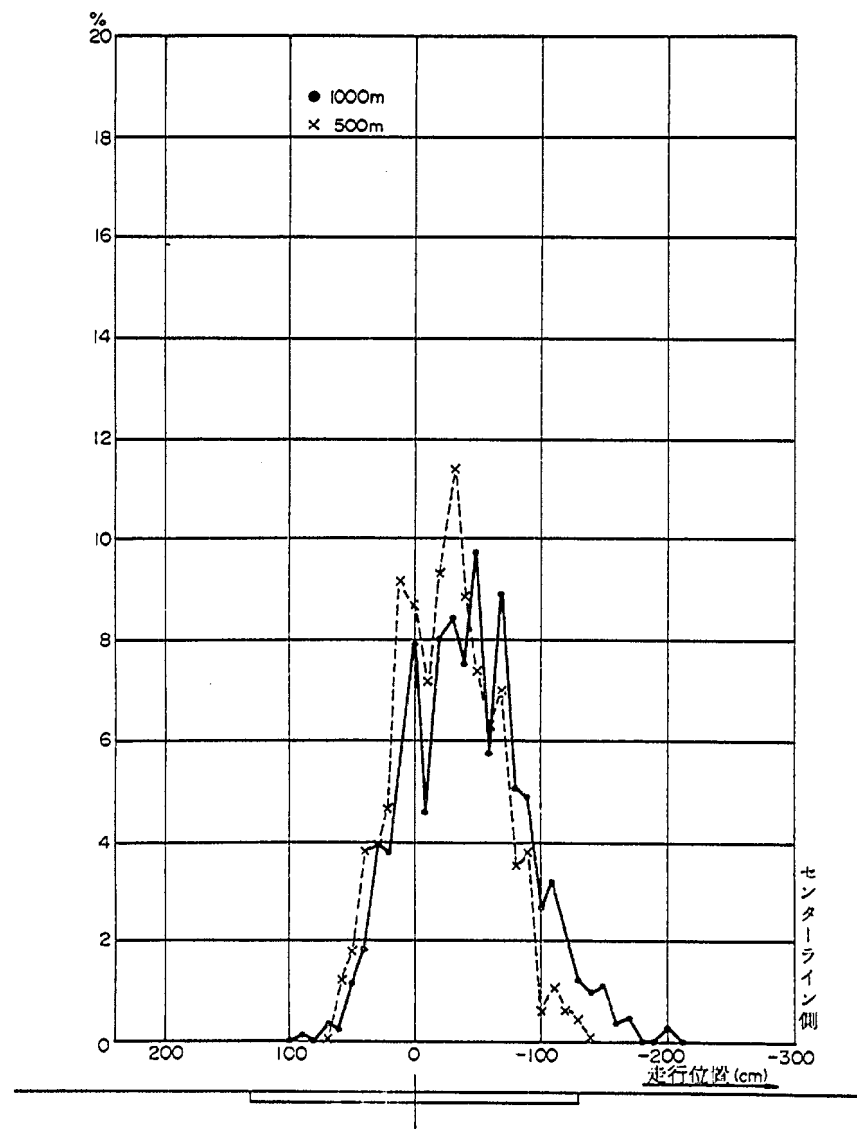


図 6 - 2 - 2 酒々井車種走行位置分布百分率

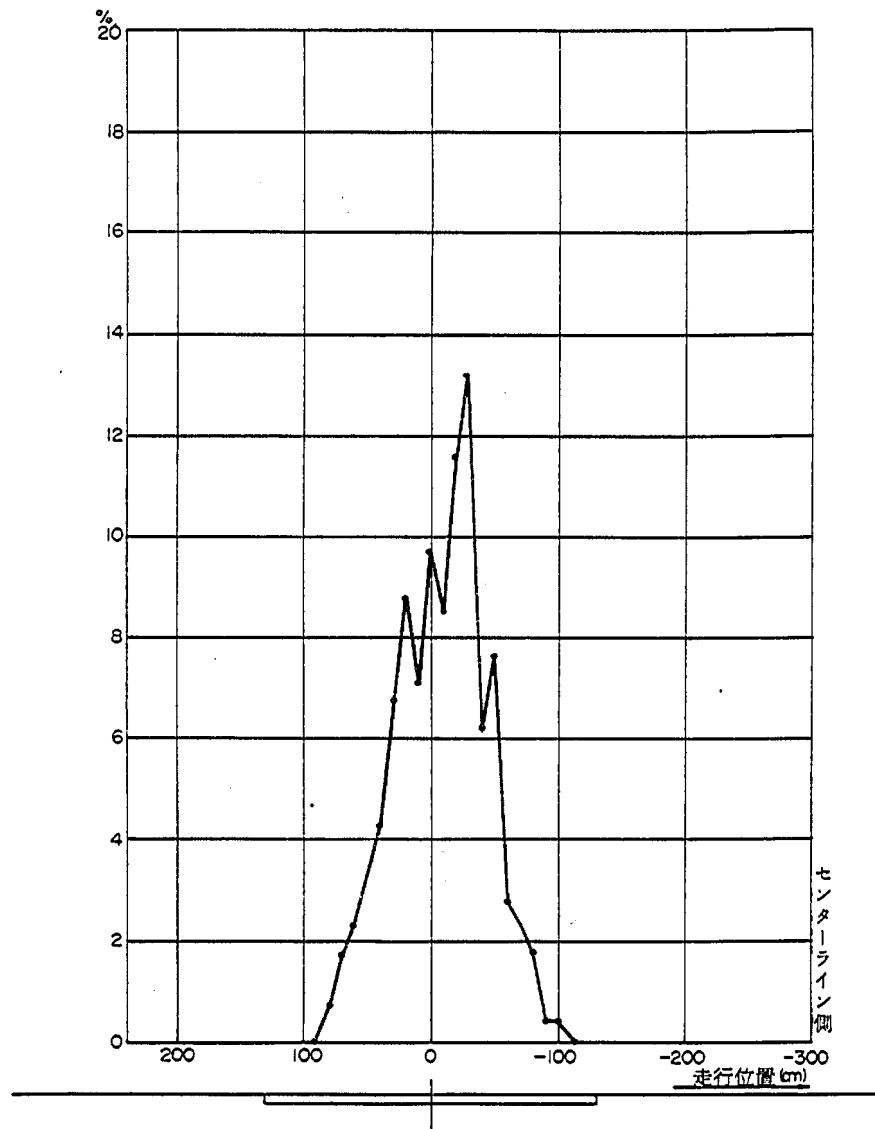


図 6 - 2 - 3 神門 500 m 全車種走行位置分布百分率

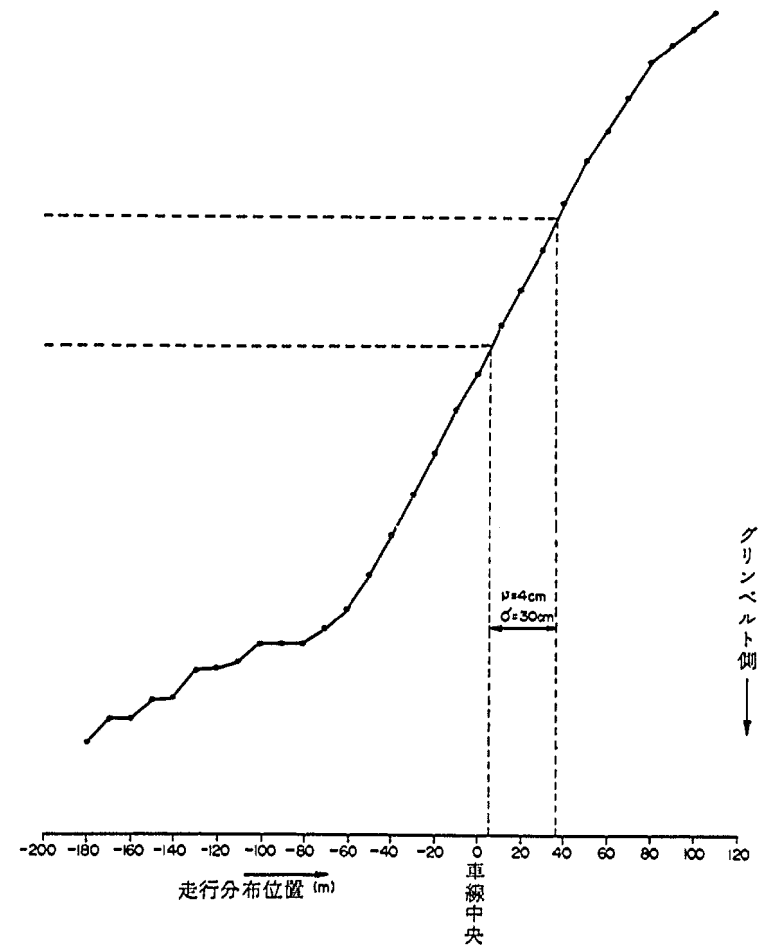


図 6 - 3 - 1 登戸 1000 m 走行位置分布

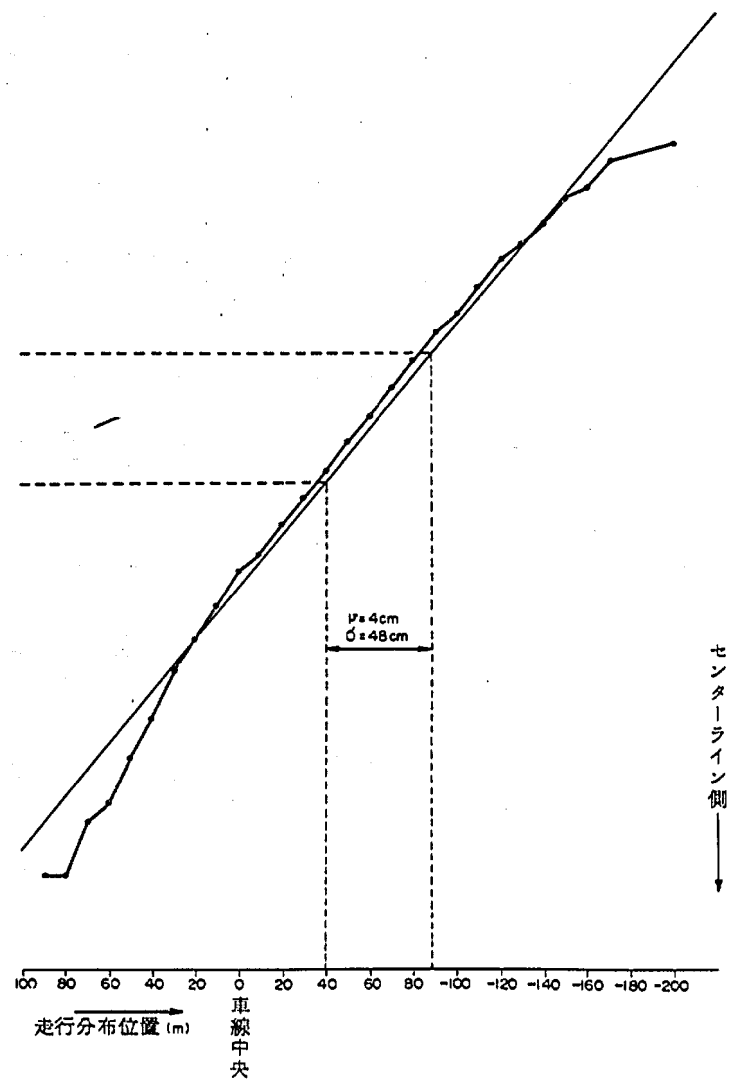


図 6 - 3 - 2 酒々井 1000 m 走行位置分布

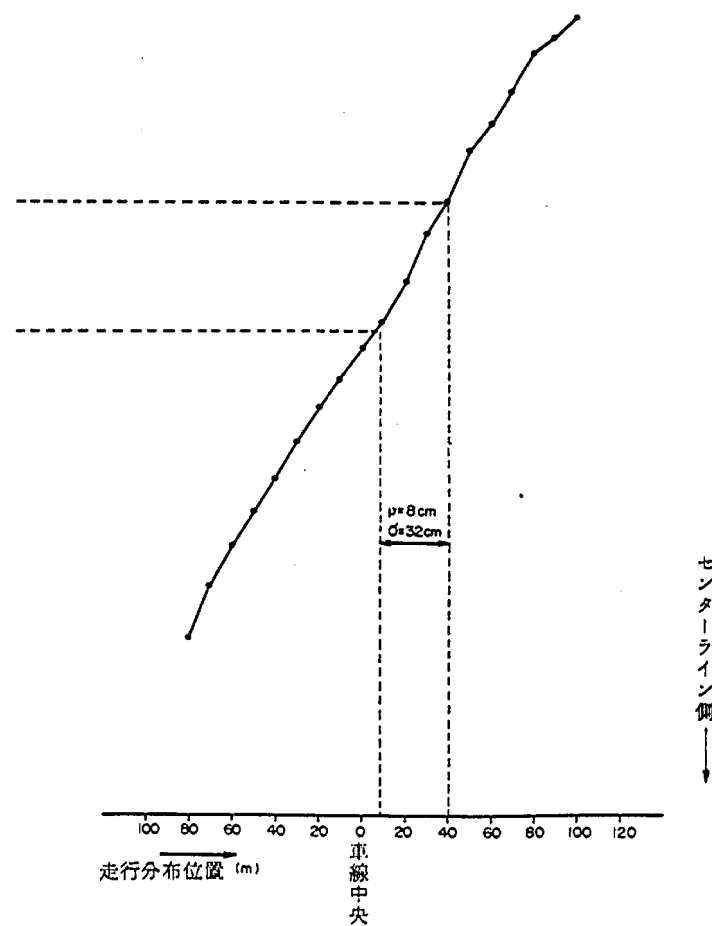


図 6 - 3 - 3 神門 500 m 走行位置分布

表 6 - 3

地名点 \ 車種	大型車	トラック車	普通車
登 戸 1000 m	185 %	161 %	65.4 %
登 戸 500 m	193 %	145 %	66.2 %
酒々井 1000 m	26.7 %	155 %	57.7 %
酒々井 500 m	10.1 %	11.4 %	78.4 %
神 門 500 m	15.6 %	19.5 %	64.9 %

表 6 - 4 総合感度-感知精度

地点名	ループ 感度(%)	本 体 感度(%)	総 合 感 度	大 形 車 感知誤差率(%)	トラック 感知誤差率(%)	普通自動車 感知誤差率(%)	計 感知誤差率(%)	備 考
登 戸 1000m	5.88	0.2	29.40	0	0	0	0	
		0.5	11.76	0	0	0	0	
		1.0	5.88	-30.0	-28.1	0	-8.9	
		2.0	2.44	-25.0	-21.7	0	-8.8	
		0.8	7.35	0	0	0	0	
登 戸 500m	6.22	0.2	31.10	0	0	0	0	
		0.5	12.44	0	0	0	0	
		1.0	6.22	0	0	0	0	
		2.0	3.11	-15.5	-25.0	0	-9.3	
酒 々 井 1000m	6.00	0.3	20.00	0	0	0	0	
		0.5	12.00	-2.3	-7.3	0	-2.5	
		1.0	6.00	-13.3	-3.2	0	-4.5	
		1.5	4.00	-5.9	-10.0	0	-7.6	
酒 々 井 500m	5.87	0.5	11.74	0	0	0	0	
		1.0	5.87	-10.5	-33.3	0	-4.1	
		1.5	3.91	-26.3	-31.8	-0.8	-7.5	
		2.0	2.93	-45.0	-31.8	-2.2	-11.9	
神 門 500m	4.17	0.5	8.34	0	0	0	0	
		0.8	3.21	-6.8	-2.5	0	0	
		1.0	4.17	-30.3	-31.5	0	-5.1	
		2.0	2.09	-4.0	-13.7	0	-3.6	
		2.2	1.90	0	0	0	0	

6-5 総合感度-感知精度

現地の実験結果をもとに総合感度-感知精度をまとめたものが表6-4である。

- (1) 普通自動車は、酒々井 500 m地点の $K=3.91$ 、293を除いて 100%の感知率である。普通自動車の混入率が多く、車両の走行位置分布が安定しているような場所では総合感度の設定はラフであってもある程度の精度で動作する。
- (2) 大型車とトラック車の感知率はそれほどかわっていない。予備実験のエルフ 3 t車と日産ディーゼル 11 t車のインダクタンス変化率の変化特性からいえることである。
- (3) 神門は走行位置分布のバラツキが少いため、総合感度は他地点に比べ低くてよいようである。8 程度が最適である。
- (4) 登戸 1000 mの総合感度は 7.35 以上に設定すべきである。
- (5) 登戸 500 mの総合感度は 6.22 以上に設定すべきである。

この地点の走行位置分布のバラツキは 1000 m地点より、さらに少ないので低くなると考えられる。

- (6) 酒々井 1000 mの総合感度は 12 ~ 20 の間で最適値がある。12 ~ 20 の感知領域の差は約 10 cm 程度である。
 - (7) 酒々井 500 mの総合感度は、5.87 ~ 11.74 の間で最適値がある。1000 地点とくらべ総合感度に差があるのは、走行位置分布のバラツキが小さいこと、大型車の混入率が少ないことが考えられる。
- 以上をまとめると各地点の総合感度の設定は、次の様になる。

地 点 名	総合感度
登 戸 1000 m	7.35 以上 9 程度
" 500 m	6.22 以上 8 程度
酒々井 1000 m	12
" 500 m	9
神 門 500 m	8

あ と が き

ループ式車両感知器は、ループコイルの埋設条件、走行位置等により、同一車両においても、インダクタンス変化率がまちまちであり、車線内のすべての車種を満足に感知するような動作を期待することは、原理的にかなり難しいことである。しかしながら、料金所等の制限された所での台数計測は、超音波式車両感知器より精度が高いといわれている。

今回、実験調査したループ式車両感知の較正方法は、ループコイルが生じるインダクタンス変化率等感度曲線上に、ループ式車両感知器の総合された総合感度が存在するものとしての較正方法であるが、高速道路等の道路中員、走行位置等が比較的、同一に近い条件においてはかなり有効な方法である。また、今回の較正方法は、土木研究所資料第1270号車両感知の調整に関する検討（超音波式車両感知器）で提案した。路面反射電圧を基準とした総合ループ利得を調整する方法から比べると、かなり複雑になっている。それは、ループ式車両感知器はアナログ量を扱い、超音波式車両感知量は、デジタル量を扱うがいによるものである。今後、ループ式車両感知器は、車種分類感知器等のアナログ量を扱う計測機器として活用されるであろう。

なお、現地実験調査にあたり、種々御配慮を頂きました関東地方建設局千葉国道工事事務所に深く感謝いたします。