

削装蹄の馬の前肢運動におよぼす
影響に関する実験運動学的研究

中馬昌平

削装蹄の馬の前肢運動におよぼす
影響に関する実験運動学的研究

中馬昌平

指導教授

北 昂

-----目 次-----

第I章	緒言	-----	1
第II章	装蹄の前肢の運動に対する影響	-----	11
第1節	材料ならびに方法	-----	11
	I. 供試馬		
	II. 実験方法		
	1. 蹄に対する実験条件		
	2. 供試馬の運動方法ならびに 地床条件		
	3. 動作分析実施方法		
	1) 16mm cinefilm の撮影方法		
	2) 分析項目および分析方法		
	3) 使用器材		
第2節	成績	-----	20
	I. 跣蹄時の肢の運動	-----	20
	1. 常歩		
	2. 速歩		
	3. 駈歩 (手前肢)		

4. 駢歩 (反手前肢)

II. 蹄鉄の装着による影響 ----- 43

1. 常歩

2. 速歩

3. 駢歩 (手前肢)

4. 駢歩 (反手前肢)

III. 蹄釘の設置部位による影響 ----- 50

1. 常歩

2. 速歩

3. 駢歩 (手前肢)

4. 駢歩 (反手前肢)

IV. 上弯による影響 ----- 56

1. 常歩

2. 速歩

3. 駢歩 (手前肢)

4. 駢歩 (反手前肢)

第3節 小括 ----- 62

第III章 削装蹄の前蹄壁に対する影響 ----- 64

第1節 材料ならびに方法 ----- 64

I. 供試馬

II. 実験方法

64

1. 蹄に対する実験条件
2. 供試馬の運動方法ならびに
地床条件
3. 測定項目ならびに測定方法
 - 1) 蹄壁の歪
 - 2) 蹄踵部の側方変位
 - 3) 測定成績の処理方法
 - 4) 使用器材

第2節 成績

77

I. 跣蹄時にみける前蹄壁の歪

1. Case 1.

1) 常歩

2) 速歩、駢歩(手前肢、反手前肢)

II. 蹄鉄の装着による影響

87

1. 歪波形の検討

2. 歪量の検討

III. 蹄釘の設置部位による影響

97

1. 蹄壁の歪

1) 歪波形の検討

2) 歪量の検討

2. 蹄踵部の側方変位

1) 変位波形の検討

2) 変位量の検討

IV 上唇による影響 ----- 115

1. 歪波形の検討

2. 歪量の検討

第3節 小括 ----- 137

第IV章 考察 ----- 141

第V章 要約ならびに結論 ----- 159

謝辞 ----- 164

参考文献 ----- 165

英文抄録 ----- 171

Table 1 ~ 6

Fig. 1 ~ Fig. 252

第I章 緒言

馬が現在の体型を備えるに至ったのは、今から50万年～100万年前へ遡る。また、家畜化して人間の生活に貢献するようになったのは、5千年～1万年前からといわれ、その使役形態も、騎乗から馱載となりさらに進んで輓曳という経過をたどってきた。このような家畜としての使役目的やその形態の変遷に伴い、肢蹄の保護、殊に護蹄方法が必要不可欠となったことはいうまでもない。この護蹄方法の実際的方法として、古くより蹄鉄を装着することが知られているが、その起源については未だ明確でなく、種々の見解が唱えられている。

現在発見されている最古の釘による蹄鉄は、フランスの古文書蒐集家 Castan, (1858)、獣医師 Mathieu, (1871) 考古学者 Fognet らにより発見された、紀元前600年頃のケルト人による蹄鉄である。かれらの報告から、当時すでに釘を用いた装蹄が、古代ローマ人に

よるガリア侵略以前から用いられていて、すでに種々の装蹄技術が存在し、それぞれの地方で特色ある方法がとられていたことが判明している。このローマ人によるガリアの征服から、476年の西ローマ帝国の滅亡までの間に多種の蹄鉄が出現している。

中世にいたると装蹄は広く行われ、4世紀から6世紀の蹄鉄としてメロヴィング王朝時代の蹄鉄、アレマン人の蹄鉄などが、Ruffらによって発見されている。これらの蹄鉄は、古代蹄鉄によく似ており鉄頭が巾広で、3個の釘孔と四角形の鉄脛をもっていた。

また8世紀～9世紀には、スカンジナビア半島で特殊な装蹄が行われ、Brodden と呼ばれる防滑蹄鉄を使用していたことが、Pehrson Bendz 教授から報告されている。また9世紀頃からは、装蹄に関する正確な情報が、文章として散見されるようになってきた。さらに時代を下ると、Rufo (1492), Laurentius Rusius (1531) らの獣医学に関する本、

Carlo Ruini (1598), Cesare Fiaschi (1539)らの変形蹄の治療を含む装蹄の実施に関する本など、多くの報告が現われた。

これらの書籍は、各種の蹄鉄を図譜として掲載した最初のものである。Fiaschi は前蹄鉄と後蹄鉄を区別したのみならず、左右の蹄鉄、鉄臍の有無、矯正用蹄鉄についても分類し、前鉄唇、側鉄唇、後鉄唇をも区別している。彼はその他にも種々の改良を考案している。したがって、近代的な装蹄術の源としてFiaschiの母国、イタリアを挙げてても不都合ではないと思われる。

ドイツでは、1598年 Seuten が家畜薬物学の成書中に Scharauffen 蹄鉄を紹介している。

フランスでは、18世紀の中頃に La Fosse Pere が装蹄に関する成書を著してあり、その文中に蹄叉の地面に対する機能を認めている。

また1768年にリオン獣医学校の設立者 Bourgelat は、前蹄鉄の正確な寸法を記載し、鉄頭および鉄尾の厚さを決定している。

この頃より、肢蹄の解剖学、生理学などを基礎とした装蹄が徐々に注目されだしている。イギリス人である I. Clark によって、始めて蹄鞘の弾性が指摘されたのも、この頃である。その後相次いで、Osmer, Coleman, Moorcraft, Goodwin らによって蹄鞘の弾性を考慮した、平坦で斜面を持つ接蹄面を有する蹄鉄が紹介された。但し、Goodwin の蹄鉄は、接地面が凹形をしており、接蹄面は平坦で、上弯を有し、外側4個、内側3個の釘孔を持つものであった。また、最も注目すべき事は、19世紀初頭に Bracy Clark が蹄の解剖学的構造を概略し、特に蹄鞘の弾性について言及した成書¹⁵を出版した事である。この本の中で彼は、負重の際に蹄の後半部が伸展し、同時に蹄叉の沈降と蹄底アーチの平坦化が生ずるのは、蹄鞘固有の構造に基づくものであり、この事実を基礎に全面的な装蹄法の改良を行うべきであると提唱している。この彼の考え方は、ドイツ人およびフランス人に受け継がれ、装蹄

術に学問的な基礎を与えた。その後さらに、Dieterichs, Grob, Straubらにより、蹄の構造と機能を考慮に入れた数種類の成書が出版されたものの、実際に装蹄が大きく改善されるには至らなかった。このことは、理論と技術を調和するための入門書を著す実務家が不在であったことによると考えられている。1940年代には、フランス人 Riquet が、ポドメーターを利用することにして、地面が凍結していないところでは鉄を用いた装蹄を廃止することを試みた。同じ頃、スイス人 C. Pauly は釘を用いない装蹄を取り入れる実験を行っている。このような釘を用いた装蹄に対する二人の反論は、いずれも不着尾に終わっている。1852年、再び英国から問題を提起する本が出版された。Miles の "den Huf des Pferdes und dessen fehlerfreie Erhaltung" である。この本の出現によって装蹄に対する考え方が急激に変化し、それが次第に世の中へ滲透していった。装蹄する場合には蹄鞘の弾性を保持しな

ければならないことを、Milesによって改めて教えられたのである。6個の釘孔を持ちながら、実際には5個の蹄釘を固定すること、および上弯という言葉を始めで用いたのも彼である。ザクセンでは、Hartmannによって古来からの装蹄法が刷新された。1861年、LeiseringとHartmannによって出版された“der Huf des Pferdes”は、蹄の解剖学および生理学に関する詳細な説明と、二巻に亘って書かれた装蹄の実施に関する原理、鉄蹄および鉄歯に対するあくことなき論議によって、すばらしい業績を残している。Hartmann蹄鉄は、溝と斜面に関して英国製蹄鉄に類似し、上弯と接蹄面については仏国製蹄鉄に近いものであった。彼の基本的な思想は、装蹄蹄の蹄叉が地面に接することを要求している。その後1865年にCharlierの蹄鉄が登場したが、それはこれまで追求してきた装蹄の流れに反するものであり、蹄の弾性を阻害するとして十分な評価が与えられなかったが、一部の改良により現

在でも乗馬への使用が見られることもある。
1869年に現われた Goodenough 流の装蹄は、
接地面に5つの突起物を有するもので、Charlier
流の装蹄に比べてより害は少なかったが、
1879年に再度現われたのら一般には認められ
なかった。Charlier 氏と時期を同じくして、
Dominik は、実験による確認とともに、装蹄
前と装蹄後の結果によって装蹄の評価を厳密
に行うという方法を提唱した。彼のこの思想
ならびに理論は、科学的根拠に基づく装蹄判
断への礎えとして、装蹄分野に大きく貢献し
、現在まで多大な影響をおよぼしている。

(15, 16 22)

一方、我が国における近代装蹄法の導入は
、陸軍がその主体となり、資料(24, 37)によ
れば、1873年に仏人ビーストによって蹄鉄工
教育を行ったのを始めとする。その後、1876
年に大蔵氏が陸軍唯一の参考書として、仏国
蹄鉄学をもとに蹄鉄提要进行を著わし、その装蹄
方針を肢蹄の垂直を基盤とする「アプロン」

説に置いた。次いで1890年には、横山が純仏
国式の蹄鉄学教範を編纂し、その装蹄方針と
してやはり「アプロン」説を採用し、この判
断基準を蹄形、蹄角度ならびに蹄踵先着など
に置いていた。また、同年にはドイツ式装蹄
法の輸入を見るに至り、ドイツ人ミューレル
により Dominik 式装蹄法が伝えられ、1894年
にその詳細をまとめた蹄鉄術教範が発布され
た。ここでは装蹄方針として、(1)蹄負重の平
等、(2)蹄形、肢勢との合致、(3)踏着的絶対平
坦、(4)蹄鉄の平等磨滅、(5)蹄角度45°などを
採用している。次いで1899年に蹄鉄術教範の
一部改訂が行われ、その装蹄方針は、(1)踏着
の平坦、(2)蹄鉄の平等磨滅、(3)蹄の肢勢と運
動との適応、とし、蹄角度45°を改め「趾軸
説」を新たに採用している。この装蹄方針は
1923年に至るまで受け継がれ、この年から装
蹄方針は趾軸および踏着を基とし、努めて体
重の偏りを除去して運歩の軽快を期すること
とされ、実際面においても従来の諸説が徐々

に改革された。1931年にはさらに松原が蹄鉄術教程を改正し、装蹄判断基準は踏着的平坦、「趾軸説」に拠ることを改め、新たに「蹄の坐り説」を採用するに及んで、40年に近い歴史を有するDominik式装蹄判断法が一変した。装蹄判断基準の確立を目的とする装蹄研究の長い歴史を概括したが、その大部分が技術分野の開発にその矛先が向けられ、装蹄判断の根拠となるべき馬の運動学に基盤を置く報告は、松葉(18, 34)、関根(28)らによるもののみである。

近年、各種光学器材、ならびに生体電気工学の発達に伴ない、小池(11~14)、吉田(37)、青木(3)、Roony(25~27)らにより、運動学的根拠に基づき装蹄分野の報告が散見される状況を示しつつあるが、未だ装蹄判断理論の根拠の大部分はその旧態を変えていないのが現状である。すなわち、本邦における装蹄の基本的原則は、再び「肢(趾)軸説」を取り挙げ、「蹄の坐り説」とともに、この両者を基礎として

肢蹄の保護、競走能力の向上、運動器障害の治療などを目的としている。また、装蹄実施上の技術的留意事項として、蹄機作用、または蹄の弾力性の保護処置である剃縁、剃尾の附設、蹄釘の設置部位の規制、あるいは、筋腱の保護処置としての上弯設置などを指摘している。しかし、これら装蹄実施上の理論は「肢軸説」を始めとしてその大部分が経験を根拠とし、その意義についてこれを実証した報告には接しない。

そこで、装蹄原理確立の一段階として、馬の前肢の運動、ならびに前肢蹄の歪に対する削装蹄の影響について検討することを目的とし、供試馬2頭を用い、その左側前肢を対象に、16mm cine filmによる動作分析の他に、蹄壁歪の測定法ならびに内外蹄踵部の側方変位測定法を考案し実験的研究を実施した。

第Ⅱ章 前肢の運動に対する装蹄の影響

第1節

材料ならびに方法

I. 供試馬

実験に供用した馬は、アラ系の乗用軽種馬2頭である。(Fig 1~ Fig 2, Table 1)

これらの供試馬は、いずれも軽度の外向肢勢とそれに伴う外向蹄を有していたが、蹄角質の異常およびその他の運動器障害は認められず、歩行状態も正常であった。

また、供試馬は便宜上 Case 1、Case 2、として表示した。

II. 実験方法

1. 蹄に対する実験条件

実験1

装蹄の影響を検討するときのコントロールとして、跣蹄時の歩行について検討した。

実験2

装蹄時、蹄釘の蹄踵部に与える影響を検討

する目的で、蹄鉄全域に釘孔を有する平坦な蹄鉄を、蹄側壁から蹄踵壁にかけて内外側各々4釘、合計8本の蹄釘を用いて装着した。

実験3

実験2ならびに実験4のコントロールとして、実験2を終了後、蹄踵部の蹄釘を抜去し、内外蹄側壁について各々2釘、合計4本の蹄釘を残置した。

実験4

上弯の影響を検討する目的で、蹄尖壁の上弯該当部を削除し、上弯を附設した通常蹄鉄を装着した。蹄釘の設置部位は、実験3と同一である。

2、供試馬の運動方法ならびに地床条件
動作分析の対象とした歩法は、常歩、速歩、駈歩の三種類であり、駈歩については被検肢である左側前肢を基準に、手前肢と反手前肢の二種類を区別し、合計4種類の歩行運動について検討した。

運動は、前方への直進運動とし、同一人の騎乗によってその運動を操作した。

運動の実施場所は、肢蹄全体の運動状態の詳細な観察を主目的とし、平坦性を有し硬度の一定なアスファルト路面を選択した。

3. 動作分析実施方法

1) 16 mm cine film の撮影方法

撮影方法は、Fig 11 に示した通りである。馬体の側方から観察した肢の動きを分析の対象とし、左側からの撮影を実施した。

ミネカメラは、レンズの中心光軸が馬の進行方向と直角をなし、かつレンズの水平軸が馬の進行方向と平行になるよう固定設置した。

カメラと馬の運動路との間隔は、いずれの歩法においてもその一完歩を撮影することが可能な最小距離とした。カメラの地上からの高さは、撮影対象となる馬体高のほぼ中央とした。フィルム上の距離を示す基準として、馬体の腹側に換算用目盛 (30.72 cm) を装着し、

この目盛を同時に撮影した。また、分析時の時間軸を算出する基準として、Timing pulse generator から出力される Timing mark (10 Hz) をフィルム端上に同時に記録した。撮影速度は、100 frame/sec, シャッター開角度は 90° である。

分析に要する供試馬左前肢の測定点を Fig 12 に示した。これらの測定点は、肩甲骨棘突起上¹⁰、肩関節、肘関節、手根関節、球節の各関節中心、および球節中心を通過する繋部の仮想軸と外側蹄冠部との交点、計6カ所に各々粘着性テープを利用したマークを装着して表示した。Fig 5 は実際に測定用マークを装着した供試馬である。

2) 分析項目、および分析手法

撮影された 16mm cine film は、Fig 9 に示すフィルムデータ処理装置により分析した。

分析時における各歩法の一完歩は、左前肢の全蹄負面の接地が観察された最初のフレー

ムを開始点とし、同肢が次の同相を呈するフレームを終着点とした。蹄の離地については、蹄踵部の離地と蹄尖部の離地を区別し、蹄尖部の離地によって、着地期と離地期を区別した。分析時のフィルム処理は、常歩4フレーム毎、速歩3フレーム毎、駈歩2フレーム毎に実施した。

分析項目は次に示す通りである。

① 一完歩間における各測定点の側望軌跡、表示された軌跡は、グラフの右端が開始点、左端が終着点である。各測定点は、肢の上部から順に1～6の番号を軌跡の左端に添付して表示した。

② 一完歩間における各測定点の前後ならびに上下方向への加速度変動

グラフは、縦軸Xに前後方向、縦軸Yに上下方向の加速度を cm/sec^2 単位で表わし、横軸には時間を $1/1000 \text{ sec}$ 単位で表示した。また、グラフ上の正符号は前方、上方への加速度、負符号は後方、下方への加速度を意味してい

る。

③ 一完歩間における肩関節、肘関節、手根関節、球節の角度変位

関節角度については、Fig 13 に示す方法でその角度を定義した。また、グラフは、縦軸に関節角度 (単位 degree)、横軸に時間を $\frac{1}{1000}$ sec 単位で表示した。

④ 一完歩間における肩関節、肘関節、手根関節、球節の角加速度変動

グラフは、縦軸に角加速度を $\text{degree}/\text{sec}^2$ で表わし、横軸に時間を $\frac{1}{1000}$ sec 単位で表示した。

以上の各分析項目の装蹄条件の相異に関する比較に際しては、Case 1、Case 2 に共通して認められた質的な相異ならびに明白な量的相異を主として検討した。また分析機の精度を考慮して、着地の直前、直後とにおける相異については、検討の対象から除去した。

3) 使用器材 Fig 3, 4, 9.

① 16 mm ハイスピードカメラ

Photo Sonics 社製. 16 mm 1 PL

本器は、間欠搔落し方式による高速シネカメラであり、2系統の timing light を備え、pulse generator からの信号をフィルム上に記録することにより、他の測定法との同期、ならびに正確な時間計測が可能である。

電源: DC, 28V, AC, 115V

撮影速度: 10 ~ 500 frame/sec

連続可変. 精度 ± 1 frame

シャッター - 開角度: バリアブルシャッター

レンズ: アンジェニューズ - ムレンズ

10 x 12 A, 12 ~ 120 mm, F = 2.2

② Pulse generator

Nac 社製. timing light pulse generator

本器は、水晶発振方式による高精度で安定性の高い generator である。

電源: AC, 100V $\pm 10\%$ DC, 12 ~ 36V

出力周波数: 10 Hz, 100 Hz, 1000 Hz

③ film data analyser

Nac 社製. Sportius GP-2000

本システムは、システムの各装置を制御している data prossester, data の入力部である film motion analyser および graph pen, 解析成績の出力装置である graphic printer および mini printer, オペレーターとの対話用 display unit から成る動作分析専用の処理装置である。

フィルム計測部での計測範囲 300×300 mm, 計測精度 0.05 mm であり、data 入力部では入力範囲 350×350 mm, 分解能 0.1 mm である。

また、解析用ソフトウェアとして、軌跡図、速度、加速度、角度変位、角速度、角加速度など、合計 20 組のプログラムを備えている。

④ 16 mm cine film

Eastman Kodak社製 4-X negative film 7224

本フィルムは、ASA 500, 28 DIN の高速度
撮影専用 film である。

※以上の各種器材は、社団法人 日本装蹄師
会より借用した。

10

15

第2節

成 績

I. 跣歩時の肢の運動 (実験1)

実験1における分析結果は、Fig 15~Fig 62に示した通りである。

1. 常歩

一完歩の所要時間は、Case 1で 0.98 sec.

Case 2で 1.17 sec であった。

Case 1

① 側望軌跡

肩甲骨棘突起上/、肩関節、肘関節：これらの部位は、着地期初期においてわずかに前下方へ移動し、その後離地に至るまでゆるやかな凸状の円弧を描いた。離地後はさらに前下方へ移動しつつ凹状の円弧を描き着地に至った。すなわち、これら三部位は、ほぼ同様の軌跡を描き、一完歩を通じて三者間の距離もほぼ一定であった。また、これらの部位の着地期における移動距離は、一完歩間の移動

距離のほぼ左であつたが、前肢帯の上部ほどその距離がわずかに増した。

手根関節

着地直後に着地時の衝撃によるわずかな後下方への沈下を示し、その位置から緩やかに凸状の円弧を描いた。離地後は、明瞭かつ平滑化した凹状円弧を描いて前進し、着地のやや手前で最上位に達した後、前下方へ進み着地に至った。すなわち、離地期を通じて特徴的な振り子運動様の軌跡を描いた。また、この軌跡は、肩甲骨棘突起上を始めるとする肢上部の軌跡と基本的に同じであつた。この部の着地期に及ぶ移動距離は、肘関節のそれと比べて明らかに小さかつた。

球節

着地期の軌跡は、手根関節のそれと基本的には同じであるが、その弧形が強調され、また反動緩和としてのわずかな上下動が示され

た。離地後は、早い時期に小さな弧形を描いて一時的に前下方へ移動を示すが、その後ほぼ平坦な軌跡で前進し、着地の手前で急な傾斜で降下を示し着地に至った。この部の離地期にみける軌跡も肢の上部の軌跡と基本的には同じであるが、離地期を通じて着地期の球節の位置よりも上方で移動した。着地期にみける移動距離は、手根関節に比べて小さかった。

外側蹄冠部

着地期にみいては地床上に固定され、離地後やや急激な傾斜で上昇し、早い時期に最高位に達した後、ほぼ平坦な軌跡を描きつつ降下し、着地直前で急な傾斜を示して着地に至った。この部の軌跡は、他の部位と異なりその全軌跡が離地期に描かれ、また着地期の位置より常時上方で移動し、その軌跡が単純であった。

以上のことから、前肢帯部における軌跡を基礎として、肢下部に至るに従い徐々にその形状を変じ、跡においてはその軌跡が着地期の位置より上方で移動した。

また、着地期における移動距離は、肢の下部に至るほど小さくなり、跡においては着地期は不動であった。

② 前後ならびに上下方向への加速度変動

肩甲骨棘突起上と、肩関節

前後方向への加速度：着地期においては、加速度0を中心に前後方向へわずかな変動範囲を持つほぼ等速度運動を示した。離地期では、離地後に前方への加速度が増加し、最大約 1000 cm/sec^2 程度の値を示したのち、徐々に減少を示しつつ離地期中期に後方への加速度に転じてこの方向の加速度が増加し、最大約 1200 cm/sec^2 を示した。その後、後方への加速度は減少して等速度運動に近づき着地した。

上下方向への加速度：一完歩を通じて上方へ最大約 1000 cm/sec^2 、下方へ最大約 1000 cm/sec^2 の変動範囲内を、その方向を変えて周期的に反復した。また、その変動範囲は、着地期前半に比べ離地の前後から離地期にかけて増大した。

肘関節

前後方向への加速度：着地ならびに離地の前後を除き、一完歩を通じて肩関節のそれと類似した。

上下方向への加速度：一完歩を通じて加速度変動の傾向は、肩関節のそれとほぼ類似した。しかし、その変動範囲は、肩関節に比べて着地期で総体的にやや小さく、離地期では総体的に増大し、上方、下方いずれも最大約 1200 cm/sec^2 の変動範囲を示した。

手根関節

前後方向への加速度：着地期では、離地の

直前を除き、肘関節のそれとほぼ類似した。離地の直前から蹄踵の離地にかけて急激に前方への加速度が増大し、最大約 3700 cm/sec^2 を示したのち、再び急激に減少し蹄尖の離地ではほぼ加速度 0 を示した。離地直後に一時的な前方への加速度をわずかに認められたが、離地期中期まで後方への加速度が増加し、約 1500 cm/sec^2 に達した。その後後方への加速度はわずかに減少を示し、再び増加して約 1750 cm/sec^2 に達し、それ以降急激に減少して着地時にはほぼ加速度 0 を示した。

上下方向への加速度：着地期では、着地直後を除いて肘関節のそれとほぼ類似した。しかし、この時期の加速度変動範囲は、肘関節に比べてわずかに増大した。離地期の変動傾向もまたほぼ肘関節のそれと類似するが、位相に多少のずれがみられた。また、この間の変動範囲は着地期に比べて明らかに増大し、上方で最大約 2000 cm/sec^2 、下方で最大約 1600 cm/sec^2 の変動範囲を示した。

球節

前後方向への加速度：着地期では、着地の直後に一時的な前方への加速度の増加を示すが、その後はわずかな変動範囲を有する前方への等加速度運動を示し、離地の直前で急激な前方への加速度の増加を示した。この前方への加速度は、蹄尖の離地直前で約 5000 cm/sec^2 に達した。その後、前方への加速度は、一時的にわずかな増加を示す時期以外は、離地期中期に至るまで急激に減少する。離地期中期からは、後方への加速度が急激に増加し、一過性にわずかな減少を示したのち最大約 3500 cm/sec^2 に達した。その後、急激に減少して着地した。

上下方向への加速度：着地期では、着地の直後に上方への加速度の一過性の増大を認めるが、その後やや急激に減少した。着地期中期以降は、小さい変動範囲内を上下に周期的に反復した。蹄尖の離地直前には、下方への加速度が急激に増加し、約 1500 cm/sec^2

を示した。離地直後には、上方への加速度に
転じ約 1500 cm/sec^2 を示した。離地期中期から
末期にかけては、上下方向への変動範囲を徐
々に縮小しつつ、変動を反復し着地に至った。

外側蹄冠部

前後方向への加速度：着地期では、着地か
ら蹄踵の離地直前に亘り、蹄の地床への固
定を示した。蹄踵の離地直前から離地期にか
けては、離地期末期に後方への加速度の一時的な減少がみられないことを除いては、球節
の加速度とほぼ類似の傾向を示した。この間
の変動範囲は、前方で約 5000 cm/sec^2 、後方で約
 5000 cm/sec^2 であった。

上下方向への加速度：着地期では、着地か
ら蹄踵の離地直前に亘り、蹄の地床への固
定を示した。蹄踵の離地においては、上方へ
の加速度が急激に増加して約 18000 cm/sec^2 を示
し、蹄尖の離地においては、下方への加速度

に転じて約 1800 cm/sec^2 を示した。その後、離地期では、上下方向への変動範囲を急激に縮小しつつ、変動を反復し、着地に至った。離地期におけるこの部の加速度は、球節に比べその変動範囲が縮小し、またその変動の位相が相反した。

以上より離地期における前後方向への加速度は、肢下部に至るほどその変動範囲が増大し、また、離地期における上下方向への加速度は、各測定点の変動傾向は類似するものの位相が異なり、また、肢下部に至るほどその変動範囲が増大することが示された。

③ 各関節の角度変位

肩関節

着地時に約 130° であった肩関節は、着地期初期に着地の衝撃と負重によって約 120° まで減少し、その後ほぼ 120° 前後の値をとったま

ま離地期に至る。離地後もその角度を維持するが、離地期末期にその角度を徐々に増加しつつ着地時には再び約 130° の値を示した。

肘関節

着地時に約 135° であった肘関節は、負重によるわずかな屈曲をしめしたのち、その角度を徐々に増加し、蹄踵の離地直前に最大伸展約 160° に達した後、急激に角度を減少しつつ蹄尖の離地を迎える。離地後も同様に角度を減少するが、離地期中期に最大屈曲約 118° を示した後、徐々に角度を増加し着地時には再び約 135° を示した。

手根関節

着地時に約 175° であった手根関節は、着地直後に約 180° を示し、蹄踵部の離地直前までその状態よなわち最大伸展位を維持する。その後角度を減少し蹄踵部の離地からさらに急激な減少を示した。離地後も同様に角度を

減少するが、離地期の初期に最大屈曲約 125° を示した後は、急激に角度を増加し着地時には再び約 175° の値を示した。

球節

着地時に約 190° であった球節は、着地後に負重に伴う角度の増加を示し、着地期中期に最大伸展約 220° に達した。その後、徐々に角度を減少し、蹄踵部の離地に至ってさらに急激な減少を示した。この急激な屈曲は、離地直後に最大屈曲約 145° を示した。その後一時的に約 175° まで伸展を示し、再び角度を減少するが、離地直後に示した最大屈曲角度には至らず離地期中期からは急激に角度の増加を示した。その後、一時的に軽度の屈曲を示して着地に至った。

以上のことから、肢の下部に至るほど関節の屈伸範囲が大きく、また、球節の離地期にみける一過性の軽度の屈伸を除き、各関節い

ずれも一完歩に亘りほぼ一周期の振り子様運動を行うことが示された。

④ 各関節の角加速度

肩関節、肘関節

これらの関節は、着地期において角加速度0を中心に伸屈両方向へのわずかな変動範囲を有する関節運動、すなわち、ほぼ等角速度運動を示した。離地期においても着地期とほぼ同様の角加速度を示したが、着地期に比べてわずかにその変動範囲が増大し、この現象は肘関節でより明瞭に認められた。

手根関節

着地期においては、角加速度0の等角速度運動、すなわち最大伸展位を維持することを示した。離地直前から、屈曲が始まり、屈曲方向への角加速度が徐々に増加した。離地期では、屈曲方向へ約 $6000 \text{ degree/sec}^2$ 、伸屈方

向へ約 $9000 \text{ degree/sec}^2$ の範囲内でその角速度の方向を転じつつ数回の増減を反復し、着地直前に角加速度が再び0に近づくことを示した。

球節

着地期においては、他の関節と同様ほぼ等角速度運動を示したが、蹄腫の離地直前より屈曲方向への角加速度が急激に増加し、蹄尖の離地直前で約 $14,000 \text{ degree/sec}^2$ まで達した。離地期では、屈曲方向へ約 $11,000 \text{ degree/sec}^2$ 、伸展方向へ約 $16,000 \text{ degree/sec}^2$ の範囲内で、その角速度の方向を転じつつ数回の増減を反復し、着地直前に角加速度は再び0に近づくことを示した。

以上のことから、肢の下部に至るほど角加速度変動範囲が増大し、また、離地期における手根関節と球節の角加速度変動は、位相が異なり相反することが示された。

Case 2.

- ① 各測定点の側望軌跡
- ② 各測定点の加速度変動
- ③ 各関節の角度変位
- ④ 各関節の角加速度

これらいずれも、Case 1 と比べて量的な相異は認めるものの、波形の位相には差がないことが示された。

2. 速歩

一完歩の所要時間は、Case 1 で 0.59 sec
Case 2 で 0.66 sec であった。

Case 1

- ① 各測定点の側望軌跡

速歩では、各測定点の軌跡が平滑化する傾向を示したことを除き、常歩と同様の傾向であった。一完歩間の移動距離に対する着地期の移動距離の割合は、蹄冠部を除き、各測

定点いずれも常歩に比べて明らかな減少を示した。

② 各測定点の加速度変動

速歩では、常歩に比べて各測定点の加速度変動が緩徐となり、グラフの平滑化を示した。このことは、上下方向の加速度でより明瞭であった。また、前後、上下方向いずれも、その変動範囲が明らかに増大した。

速歩では、これらの点を除き、常歩と同様の傾向であった。

③ 各関節の角度変位

速歩では、常歩に比べ球節の着地期中期、肘関節、手根関節、球節の離地期中期における変位量が増大したことを除き、常歩と同様の傾向を示した。

④ 各関節の角加速変動

速歩では、その変動範囲が明らかに増大し

たことを除き、常歩と同様の傾向を示した。

以上のことから、速歩では、常歩と比べて量的な相異は認めるものの、波形の位相には差がないことが示された。

Case 2

- ① 各測定点の側望軌跡
- ② 各測定点の加速度変動
- ③ 各関節の角度変位
- ④ 各関節の角加速度変動

これらいずれも、Case 1 と比べて、量的な相異は認めるものの、波形の位相には差がなかった。

3、駢歩（手前股）

一完歩の所要時間は、Case 1 で 0.55 sec, Case 2 で 0.52 sec であった。

Case 1

① 各測定点の側望軌跡

駢歩（手前肢）では、常歩、速歩に比べて、肩甲骨棘突起上と、肩関節、肘関節の三部位の軌跡に相異が認められた。これらの部位では、着地期にゆるやかな凹状の弧形を描いたのち、離地期を通じてゆるやかな凸状の弧形を描くことが示された。手根関節、球節、蹄冠の各軌跡は、常歩、速歩と同様の傾向であった。一完歩間の移動距離に対する着地期の移動距離の割合は、各測定点いずれも、速歩とほぼ同様の傾向を示した。

② 各測定点の加速度変動

駢歩（手前肢）では、速歩に比べて各測定部位の加速度変動が激しくなり、グラフ上でゆれの数が増加した。この現象は、肩甲骨上と肩関節との上下方向への加速度において明らかに認められた。また、各測定点の加速度の変動範囲は、速歩に比べて総体的に増大

した。これらの点を除き、駈歩（手前肢）における加速度変動は、速歩、常歩と同様の傾向を示したが、速歩のそれにより類似することが示された。

③ 各関節の角度変位

駈歩（手前肢）では、常歩、速歩に比べ、着地期で肘関節の角度変位量が減少し、球節のそれが増大した。また離地期では、手根関節の屈曲が増大した。これらの点を除き、駈歩（手前肢）における角度変位は、常歩、速歩と同様の傾向を示した。

④ 各関節の角加速度

駈歩（手前肢）においては、球節の離地期における角加速度が著しく増大することから、*film data analyzer* の出力範囲を越え、グラフ化することが困難であった。この離地期における角加速度の変動範囲は、伸展方向で $35.378 \text{ degree/sec}^2$ 、屈曲方向で $19.553 \text{ degree/sec}^2$ であ

った。

駢歩（手前肢）では、速歩に比べてその変動範囲が著しく増大することを除き、常歩、速歩と同様の傾向を示した。

以上のことから、駢歩（手前肢）では、常歩、速歩と比べて量的な相異は認めるものの波形の位相には差がなかった。

Case 2

- ① 各測定点の側望軌跡
- ② 各測定点の加速度変動
- ③ 各関節の角度変位
- ④ 各関節の角加速度変動

これらいずれも、Case 1 と比べて、量的な相異は認めるものの、波形の位相には差がなかった。

4. 駢歩（反手前肢）

一完歩の所要時間は、Case 1 で 0.54 sec, Case 2 で 0.54 sec であった。

Case 1

① 各測定点の側望軌跡

駢歩（反手前肢）では、他の走法に比べて、肩甲骨棘突起上⁵と、肩関節、肘関節の三部位における軌跡に相異がみられた。これらの部位では、軌跡のほぼ中央部を変曲点とし、その前半で凹状、後半で凸状を示す相反するゆるやかな弧形を描いた。また、手根関節、球節、蹄冠の軌跡は、他の歩法と同様の傾向であった。一完歩間の移動距離に対する着地期の移動距離の割合は、速歩ならびに駢歩（¹⁰反手前肢）とほぼ同様であった。¹⁵

② 各測定点の加速度変動

駢歩（反手前肢）と他の走法とでは、加速度の変動範囲に相異がみられた。加速度変動

の傾向は、他の歩法と同様の傾向であり、特に球節、蹄冠での上下方向ならびに肩甲骨棘突起上へ、肩関節の上下、前後方向の加速度変動は、常歩と類似し、また、球節、蹄冠での前後方向ならびに肩関節、肘関節の上下、前後方向の加速度変動は、速歩、駢歩（手前肢）に類似する傾向が認められた。

③ 各関節の角度変位

駢歩（反手前肢）では、他の歩法に比べ、着地期の肘関節と球節とでの角度変位が、総体的に増大した。これらの点を除いて、他の歩法と同様の傾向であった。

④ 各関節の角加速度変動

駢歩（反手前肢）では、球節の離地期における角加速度が、film data analyzer の出力範囲を越えて著しく増大することから、グラフ化することが困難であった。この離地期における角加速度の変動範囲は、伸展方向へ、

41,064 degree/sec², 屈曲方向へ 21,947 degree/sec²であった。

駢歩（反手前肢）では、駢歩（手前肢）と同様、速歩に比べてその変動範囲が著しく増大することを除き、他の歩法と同様の傾向であった。

以上のことから、駢歩（手前肢）の肢の動きは、他の歩法と比べて量的な相異は認めるものの、波形の位相には差がなかった。

Case 2

- ① 各測定点の側望軌跡
- ② 各測定点の加速度変動
- ③ 各関節の角度変位
- ④ 各関節の角加速度変動

これらいずれも、Case 1 と比べ量的な相異は認めるものの、波形の位相には差がなかった。

Case 2

- ① 各測定点の側望軌跡
- ② 各測定点の加速度変動
- ③ 各関節の角度変位
- ④ 各関節の角加速度変動

これらいずれも、Case 1 と比べ量的な相異は認めるものの、波形の位相には差がなかった。

以上、各供試馬の各走法について動作分析による検討を実施した結果、前肢の動きは、指摘されたいくつかの相異点を考慮しても、各個体、各歩法いずれも波形の位相は同様の傾向を示した。

II. 蹄鉄の装着による影響 (実験3)

実験3における分析結果は、Fig.112~Fig.159に示す通りである。

実験1と実験3とにおける前肢の動きについて比較検討した結果、実験3では次のような相異が指摘された。

1. 常歩

一完歩の所要時間は、Case 1で1.01sec, Case 2で1.05secであった。

① 各測定点の側望軌跡

球節の着地期における軌跡が複雑になった。

② 各測定点の加速度変動

肘関節と手根関節の離地時における下方への加速度が増加した。

③ 各関節の角度変位

手根関節と球節の離地期における屈曲が増大した。

④ 各測定点の角加速度変動

手根関節ならびに球節の離地期における変動範囲が、その初期で増大し、末期で減小した。

2. 速歩

一完歩の所要時間は、Case 1 を 0.68 sec, Case 2 で 0.68 sec であった。

① 各測定点の側望軌跡

特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

。肩甲骨棘突起上 $\frac{1}{3}$ 、肩関節の離地期における下方への加速度が増大した。

。肘関節の離地時における後方への加速度が増大した。

- ・球節の離地から離地期初期にかけての下方への加速度が増大した。
- ・蹄冠の離地時から離地期初期にかけての下方への加速度が増大した。
- ・蹄冠で着地期初期に軽度の加速度が出現した。

③ 各関節の自度変位

- ・球節の離地期中期における一過性の伸展が減少した。

④ 各関節の角加速度変動

- ・球節の離地期初期の伸展方向への角加速度が減少し、その末期の屈曲方向への角加速度が増大した。

3. 駈歩 (手前肢)

- ・一兎歩の所要時間は、Case 1で 0.57 sec, Case 2で 0.56 sec であった。

① 各測定点の側望軌跡

特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

。肘関節と手根関節の離地期末期における上下方向への加速度変動範囲が増大した。特に手根関節を明らかであった。

。球節の離地期における上下方向への加速度変動範囲が増大した。

。蹄冠を着地期初期に軽度の加速度変動が出現した。

。蹄冠の離地時における前方への加速度が増大した。

。蹄冠の離地期初期における上下方向への加速度変動範囲が増大した。

③ 各関節の角度変位

肩関節を除く各関節の離地期における屈曲が増大した。

④ 各関節の角加速度変動

各関節の離地期末期における屈曲方向への角加速度が増大した。

4. 駈歩（反手前肢）

一兎歩の所要時間は、Case 1 で 0.65 sec, Case 2 で 0.54 sec であった。

① 各測定点の側望軌跡

特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

。肩甲骨棘突起上ろ、肩関節の着地期における前後方向への加速度変動範囲が増大した。

また、これらの部位の離地期初期における加速度変動範囲が縮小した。

。肘関節の離地期末期における下方への加速度の減少中に、一時的な同方向の加速度の増大が認められた。

。肘関節、手根関節の離地期末期における上

下方向の加速度変動範囲が増大した。

- ・蹄冠で着地期初期に軽度な加速度変動が出現した。

③ 各関節の角度変位

- ・肘関節の離地時における角度が減少した。

- ・肩関節を除く各関節の離地期における屈曲が総体的に減少した。

④ 各関節の角加速度

- ・各関節の離地期末期における屈曲方向への角加速度が増大した。

- ・各関節の離地期初期における屈曲方向への角加速度が増大した。

- ・球節の離地期中期の屈曲方向への角加速度が減少した。

各歩法別に検討して得られたこれらの相異のうち、二種類以上の歩法に共通して認められた相異は次の通りであった。

各歩法に共通して認められた所見として、球節の離地期にみける屈曲が増大したことが挙げられる。

速歩、駢歩（手前肢）、駢歩（反手前肢）に共通して認められた相異は、蹄冠では着地期初期にみける加速度変動の出現と、肢下部の関節では、離地期末期にみける屈曲方向の角加速度の増大であった。

駢歩（手前肢）、駢歩（反手前肢）に共通して認められた相異として、肘関節、手根関節の離地期末期にみけるヒ下方向への加速度変動範囲の増大が挙げられる。

すなわち、これらのことから蹄鉄の装着による影響は、肢の下部に至るほど明らかであり、着地時の蹄の滑走が出現することを除いては、主として量的な相異であることが明らかになった。

Ⅲ. 蹄釘の設置部位による影響 (実験2)

実験2における分析結果は、Fig 63~Fig 111
に示す通りである。

実験2と実験3とにおける前肢の動きにつ
いて比較検討した結果、実験2では次のよう
な相異が指摘された。

1. 常歩

一兎歩の所要時間は、Case 1で1.13 sec,
Case 2で1.08 secであった。

① 各測定点の側望軌跡

特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

球節の離地期中期におけるヒオへの加速度
が減少した。

③ 各関節の角度変位

特に相異はなかった。

④ 各関節の角加速度

手根関節、球節の着地期初期にみける伸展方向への角加速度が減少した。

2. 速歩

一完歩の所要時間は、Case 1で 0.60 sec, Case 2で 0.70 secであった。

① 各測定点の側望軌跡

特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

。肩甲骨棘突起上 $\frac{1}{3}$ 、肩関節の離地期にみける上方への加速度が増大した。

。肘関節、手根関節の離地期にみける前方への加速度が減少した。

。手根関節の離地期初期の上方への加速度が増大した。

。蹄冠の離地期末期の後方への加速度が増大した。

・蹄冠の離地時の前方への加速度が減少した。

③ 各関節の角度変位

特に相異はなかった。

④ 各関節の角加速度

球節の離地期における変動範囲が増大した。

3. 駢歩（手前肢）

一完歩の所要時間は、Case 1 で 0.58 sec,
Case 2 で 0.54 sec であった。

① 各測定点の側望軌跡

特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

・肩甲骨棘突起上へ、肩関節の離地期における上下方向の加速度変動範囲が減少した。

・手根関節の離地期初期における上方への加

速度が減少した。

- ・蹄冠の離地時ならびに離地期末期における上方への加速度が増大した。

- ・蹄冠の離地期中期における下方への加速度が減少した。

- ・蹄冠の離地期末期における後方への加速度が増大した。

③ 各関節の角度変位

- ・球節の離地期中期における一過性の伸展が増大した。

④ 各関節の角加速度変動

- ・球節の離地直後における伸展方向への角加速度が増大し、また、その後の屈曲方向への角加速度は減少した。

4. 駢歩 (反手前肢)

一完歩の所要時間は、Case 1で 0.57 sec,

Case 2で 0.52 sec であり、 $T =$

① 各測定点の測望軌跡

・特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

・蹄冠の離地時における前方への加速度が減少した。

③ 各関節の角度変位

特に相異はなかった。

④ 各関節の角加速度変動

・球節の離地期初期における伸展方向への角加速度、ならびにその後の屈曲方向への角加速度が増大した。

各歩法別に検討して得られたこれらの相異のうち、二種類以上の歩法に共通して認められた相異は次の通りであった。

速歩、駢歩(手前肢) 駢歩(反手前肢) に共通して認められた相異として、蹄冠の離地

期末期にみける後方への加速度が増大した。

速歩、駢歩（反手前肢）に共通して認められた相異として、蹄冠の離地時の前方への加速度が減少した。

すなわち、これらのことから、蹄釘の設置部位による影響は、肢の下部に至るほど明らかであり、また、その相異は量的な相異であることが明らかにされた。

10

15

Ⅳ. 上弯による影響 (実験4)

実験4における分析結果は、Fig160~Fig207に示した通りである。

実験3と実験4とにおける前肢の動きについて比較検討した結果、実験4では次のような相異が指摘された。

1. 常歩

— 完歩の所要時間は、Case 1で0.96 sec, Case 2で1.00 secであった。

① 各測定点の側望軌跡

特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

・肩甲骨棘突起上各、肩関節の離地時における上下方向への加速度の変動範囲が減少した。

・蹄冠の離地時における上方への加速度が増大した。

・球節、蹄冠の離地期中期における上への加速度が減少した。

③ 各関節の角度変位

特に相異はなかった。

④ 各関節の角加速度変動

球節の離地期初期における伸展方向への角加速度が減少した。

2. 速歩

一完歩の所要時間は、Case 1 で 0.62 sec, Case 2 で 0.68 sec であった。

① 各測定点の側望軌跡

特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

・蹄冠の離地時における前方への加速度が減少した。

。球節の離地期末期における後方への加速度が減少した。

。球節の離地時における下方への加速度が減少した。

。球節、蹄冠の離地期初期における前方への加速度が増大した。

③ 各関節の角度変位
特に相異はなかった。

④ 各関節の角加速度変動
特に相異はなかった。

3. 駢歩（手前肢）

— 完歩の所要時間は、Case 1で 0.58 sec,
Case 2 で 0.54 sec であった。

① 各測定点の側望軌跡
特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

。蹄冠の離地期末期における後方への加速度が減少した。

③ 各関節の角度変位

特に相異はなかった。

④ 各関節の角加速度変動

球節の離地期における角加速度の変動範囲が増大した。

4. 駢歩（反手前肢）

一完歩の所用時間は、Case 1で 0.53 sec, Case 2 で 0.50 sec であった。

① 各測定点の側望軌跡

特に相異はなかった。

② 各測定点の加速度変動

。肩甲骨棘突起上各、肩関節の離地期初期に

おける上方への加速度が増大した。

・肘関節の離地時の前方への加速度が増大した。

・手根関節の離地期における後方への加速度が増大し、また、上下方向への加速度が増大した。

・蹄冠の離地期における上下方向、ならびに前後方向へのそれぞれの変動範囲が増大した。

③ 各関節の角度変位

手根関節の離地期における屈曲が減少した。

④ 各関節の角加速度変動

球節の離地期末期における屈曲方向への角加速度が増大した。

各歩法別に検討して得られたこれらの相異のうち、二種類以上の歩法に共通して認めら

れた相異として、蹄冠の離地期初期における前方への加速度が増大した。

駈歩(手前肢) 馬歩(反手前肢) に共通して認められた相異として、球節の離地期における屈曲方向への角加速度が増大した。

すなわち、これらのことから、上弯による影響は、肢の下部に至るほど明らかであり、また、いずれも離地期を認められ、その相異は、量的な相異であることが明らかにされた。

第3節

小 括

馬の前肢の動きに対する装蹄の影響を検討する目的で、16mm cine filmによる動作分析を実施した。その結果と要約すれば次の通りである。

I. 蹄鉄の装着による影響として、球節の離地期における屈曲が増大し、それに伴って離地期末期における屈曲方向の角加速度も増大した。また、駈歩では、手根関節において離地期末期に上下方向への加速度変動範囲が増大した。また、常歩以外の歩法では、着地時における蹄の滑走が出現した。

II. 蹄踵部への蹄釘設置による影響として、球節の離地期初期における伸展方向への角加速度が増大し、蹄冠部の離地時における前方への加速度の減少、ならびに同部位の離地期末期における後方への加速度の増大が認められた。

III. 上弯による影響として、球節の離地期に

おける屈曲方向への角加速度の増大、ならびに蹄冠の離地期初期における前牙への加速度の増大が認められた。

これらのことから、前肢の動きに対する装蹄の影響は、肢の下部に至るほど顕著であり、また、その大部分が離地期において認められ、その相異は、主として量的な相異であることが明らかになった。

第Ⅲ章

前蹄の蹄壁に対する装蹄の影響

第1節

材料ならびに方法

I. 供試馬

第Ⅱ章第1節のIと同じである

II 更驗方法

1) 蹄に対する更驗条件

更驗1

装蹄の影響を検討するときのコントロールとして 跣蹄時の歩行について その前肢蹄の歪を測定した。

更驗2

装鉄時の蹄釘の蹄踵部に与える影響を検討する目的で 蹄鉄全域に釘孔を有する平坦な蹄鉄を 蹄側壁から蹄踵壁にかけて内外側各々4釘、合計8本の蹄釘を用いて装着した。

実験3

実験2ならびに実験4のコントロールとして、実験2を終了後、蹄踵部の蹄釘を抜去し、内外蹄側壁について各2本釘、合計4本の蹄釘を残置した。

実験4

上弯の影響を検討する目的で、蹄尖壁の上弯該当部を削除し、上弯を附設した通半蹄鉄を装着した。蹄釘の設置部位は、実験3と同一である。

実験5

Case 1については、実験6のコントロールとして、削蹄前における蹴蹄での歩行中の蹄壁歪を測定した。

実験6

Case 1については、削蹄の影響を検討することを目的に、蹄壁の全表面に亘り1cmの厚さで削蹄した後、蹴蹄時の歩行時の歩行中における蹄壁歪を測定した。

2) 供試馬の運動方法ならびに地床条件
検討の対象とした歩法は、常歩、速歩、駈
歩の三種であり、駈歩については被検肢であ
る左側前肢を基準に、手前肢と反手前肢の二
種類を区別し、合計4種類の歩行運動につい
て検討した。

運動は前方への直進運動とし、同一人の騎
乗によってその運動を操作した。

運動の実施場所は蹄壁の歪あるいは変
形に影響を与えると考えらるる土地条件の一
定化ならびに肢蹄の運動状態の詳細な観察
を目的に平坦性が高く硬度の一定なアス
ファルト路面を撰択した。

3) 測定項目ならびに測定方法

1. 蹄壁の歪 (実験1～実験6)

① 測定方法

蹄壁の歪測定方法は Fig 11 に示した通りであ
る。

蹄壁面に装着した歪ゲージによって測定さ
れた蹄壁の歪は、ホイートストンブリッジ

を内臓したゲージボックスを介して 動歪測定器に入力し、ここで増巾されたのち電磁オシログラフ上に連続的に記録される。有線記録方式で行なったので ゲージボックスと動歪測定器との接続には、全長 20 m の延長ケーブルを使用した。また、4 点同時記録を目的として、動歪測定器 2 台の他に原理的に歪測定が可能である生体用血圧増巾器 2 台を用いた。蹄の全測定部位については、数回の測定を必要とするため、コントロールとして規定した部位(後述)の歪を常時記録した。測定前におけるホイートストーンブリッジめバラニス調整は、被検肢を挙肢した無負荷の状態で行った。測定にあたり、オシログラフの記録速度は、 200 cm/min ならびに 10 cm/sec であった。

② 測定部位ならびに測定方向

測定部位としては、Fig 14 に示す方法で、蹄尖壁、内外蹄側壁、内外蹄踵壁である。

蹄尖壁 (Toe)

蹄又中溝、蹄又尖を通る直線と、蹄尖部負線との交点より、再細管に一致する方向で蹄壁に引いた直線上を蹄尖壁とした。

外蹄側壁 (Lateral Quarter : LQ)

蹄又中溝、蹄又尖を通る直線と蹄尖部負線との交点から、外側蹄支角までの負線周を2等分する点より、再細管に一致する方向で蹄壁に引いた直線上を外蹄側壁とした。

内蹄側壁 (Medial Quarter : MQ)

蹄又中溝、蹄又尖を通る直線と蹄尖部負線との交点から、内側蹄支角までの負線周を2等分する点より、再細管に一致する方向で蹄壁に引いた直線上を内蹄側壁とした。

外蹄踵壁 (Lateral Heel : LH)

外側蹄支角より負線上を蹄尖方向に1cm移動した点より、再細管に一致する方向で蹄壁に引いた直線上を外蹄踵壁とした。

内蹄踵壁 (Medial Heel : MH)

内側蹄支角より負線上を蹄尖方向に1cm移動

動した英より、角細管に一致する方向で蹄壁に引いた直線上を内蹄踵壁とした。

歪ゲージの装着部位は、各蹄壁上に引かれた直線上のその全長に対する38%、62%の2ヶ所、合計10ヶ所である。

歪の測定方向は、各測定部位いづれも角細管に一致する方向 (Vertical 方向) とこれに直交する方向 (Horizontal 方向) の2方向である。

但し、実験5と実験6とでは、実験間における前蹄操作により各蹄壁の全長が異なることから、歪ゲージ装着部位を次のように決定した。

実験5：蹄尖壁、内外蹄側壁に引かれた直線上のその全長に対する50%の部位、合計3ヶ所について測定した。

実験6：実験5における歪ゲージ装着部位と同一の部位、ならびに、蹄尖壁、内外蹄側壁に引かれた直線上のその全長に対する50%の部位、合計6ヶ所の歪について測定した。

なお、各測定部位の全測定におけるコントロールとして、実験1～実験4では蹄尖壁上部（蹄壁全長の38%の部位）実験5と実験6では蹄尖壁を撰択し測定中常時この部の歪を測定した。

③ 歪ゲージ装着方法

歪ゲージの蹄壁への装着は、以下の手順で実施した。各蹄壁の測定部位をサンドペーパーで軽く研磨しアセトンでその部の脱脂を行ったのち、シアノアクリレート系瞬間接着剤により接着した。接着剤層は極力薄くし接着に要する時間は1分程度とした。また、歪ゲージの有する初期ヒステリシスに対する処置として、接着終了後、少量の常歩運動を負荷した。Fig 6は、実際に歪ゲージを装着した状態である。

2) 蹄踵部の側方変位（実験2, 実験3）

① 測定方法

原理的に歪ゲージと同じである試作改良型変位計により、歩行中の蹄踵部の側方変位を測定した。したがって、生体现象の検出から記録紙への出力に至る経路は、変位計専用のゲージボックスを使用することを除き、歪の測定方法と同一である。

② 測定部位

内外蹄踵壁下部の側方への変位を測定した。

③ 変位計装着方法

Fig 7 ~ Fig 8 に示すように、内外蹄踵壁間に木螺子を用いて固定装着した。

3) 測定成績の処理方法

① 蹄壁の歪

実際に測定された歪波形 Fig 208 から、コントロールとして常時記録した規定部位の歪波形を基準に種々の削装蹄下での実験における

蹄壁各部の歪波形を抽出した。一完歩は被検肢の着地の時間から、同肢の次期着地までとした。歪波形の下方への動きは縮み、上方への動きは伸びを示している。なお本文中ならぬに図譜において、角細管に一致する方向、これと直交する方向については前者を Vertical 方向、後者を Horizontal 方向として表示した。歪量の検討は、測定記録された歪波形から連続的に10完歩を抽出し、各々の波形からその最大歪範囲を歪量(単位: マイクロストレイン)として求め、その平均値を算出した。また種々の削装蹄下における実験の歪量の比較は、その平均値をもとに、F検定($\alpha = 0.05$)とt検定($\alpha = 0.05$)により検討した。

② 蹄踵部の側方変位

蹄踵部の側方変位については、実際に測定記録された波形をもとに検討した。検討に際しての1完歩は蹄壁歪におけるのと同様である。波形の下方への動きは内外蹄踵壁間

の接近を示し、上方への動きは開張を示している。

変位置は、測定された変位波形から変位計の較正值により算出し、長さの単位(μm)で表示した。種々の削装蹄における実験の比較に際しては、測定された変位波形から連続的に10完歩を抽出し、各々の波形からその変位の最大範囲を求め、その平均値をもとに、 t 検定($\alpha=0.05$)と検定($\alpha=0.05$)により検討した。

4) 使用器材 (Fig 3 ~ Fig 4)

① 動歪測定器

三栄測器社製 6M-52型 2チャンネル
本器は、手動バランス調整による交流ブリッジ式歪測定器であり、バランス回路、ACアンプ、位相弁別復調回路を内蔵している。ゲージホックスは、3個の高性能低抗体(120Ω)を内蔵しており、ゲージ接続用端子によりゲージを接続して交流ブリッジを構成し、その

対角線間の電圧を増巾器により増巾し位相を
併列して記録計へ出力するものである。

周波数特性 : $DC \sim 2,000 \text{ Hz} \pm 10\%$

測定範囲 : $2 \mu \text{ strain} \sim 20,000 \mu \text{ strain}$
(B.V ; 2.5V)

$10 \mu \text{ strain} \sim 100,000 \mu \text{ strain}$
(B.V ; 0.5V)

最大出力 ; $\pm 10 \text{ V}, \pm 75 \text{ mA}$

最大感度 ; $10 \mu \text{ strain}$ にて 0.5 V 以上

(B.V ; 2.5V)

② 血圧増巾器

三栄測器社製 1236型 - 2チャンネル

本器は、生体内の血圧変動をトランスデュ
ーサーにより電気的に変換して検出するもの
である。原理的には歪増巾器と同じであり、
ケージボックスを使用することにより、動歪
測定器としての応用が可能である。

周波数特性 ; $DC \sim 80 \text{ Hz}$

最大感度 ; $10 \text{ mm Hg} / 1 \text{ V}$

最大出力 ; $\pm 2 \text{ V}$

③ 電磁式オシログラフ

三栄測器社製 ヒジグラフ6チャンネル5L-36型、電気信号として検出された生体現象をガルバノメーターによって記録紙上に随時的に記録するものである。本器は、高圧水銀灯を光源としたミラ-ガルバによって、専用の感光記録紙上に出力するものである。

周波数特性 ; $DC \sim 750 \text{ Hz} \pm 10$

測定範囲 ; $1 \text{ mV} \sim 20 \text{ V}$

最高感度 ; 10 mV/cm

直流増巾器内蔵

④ 箔歪ゲージ

昭和測器社製 N22-FH-5-120-11-DS3

箔歪ゲージは、特殊合金の細い抵抗線を被検体に貼付し、これが伸縮することによってその抵抗値が増減することを利用したものである。今回使用したゲージは、直径1cmのホリエステル材質の円形ベースに、 $5 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 、 $120 \Omega \pm 0.3$ の抵抗線2枚を直交するように取り

付けたもので、同時に直交する2方向の歪測定が可能である。

⑤ 試作改良型変位計

三菱測器社製 NA-20

この変位計は本研究の目的に沿って特に試作したものである。原理的には、歪ゲージと同じであり、細い合成ゴムチューブ内に封入したカーボン粒子の電気抵抗の変化により、変位量を検出するものである。ただし、金属低抵抗線を利用した歪ゲージと異なり、感度に多少の難点を有し、また、2cmの変位量で $\pm 2\sim 3\text{mm}$ の誤差を生ずる。測定記録に際しては、専用ゲージボックスの使用により、動歪測定器への入力が可能である。

※以上の各種器械のうち、血圧増巾器、電磁式オシログラフは、東京大学農学部畜産獣医学科家畜労働生理学教室から借用し、動歪測

定器については、社団法人日本装蹄師会から借用した。

第2節

成績

I. 跣蹄時における前蹄の歪 (実験7)

実験7における左側前蹄の歪パターンを

Fig 209 ~ Fig 216 に示した。

1 Case 1

1) 常歩

蹄尖壁上部

Vertical 方向：着地時にその衝撃による一時的な軽度の振動を示し、その後、徐々に約 $1,000\mu\text{s}$ の縮みを示しつつ離地の直前でさらに急激に縮みが増大し、約 $2,500\mu\text{s}$ に達し、蹄尖の離地によって急激に旧位に回復した。

Horizontal 方向：着地時にその衝撃による一時的な軽度の振動を示し、その後は着地期を通じて比較的単純な一峰性の約 $3,500\mu\text{s}$ 程度の縮みを示した。

蹄尖壁下部

Vertical 方向；蹄尖壁上部とほぼ同様の縮みを示すが、その歪量は着地を通じて明らかに増大し、最大約 $4500\mu\text{SE}$ を示した。

Horizontal 方向；着地時にその衝撃による一時的な軽度の振動を示し、その後、着地期前半で約 $400\mu\text{s}$ 程度の軽度な伸びを示した。着地期の後半では、逆に約 $1000\mu\text{s}$ の縮みを示し離地によって旧位に回復した。

外蹄側壁上部

Vertical 方向；着地時にその衝撃による一時的な軽度の振動を示し、その後、徐々に約 $500\mu\text{s}$ の縮みを示し、着地期中期から徐々に回復に向うが、離地期前から再び急激に約 $500\mu\text{s}$ 程度の縮みを示し、離地によって旧位に回復した。

Horizontal 方向；蹄尖壁上部における Horizontal 方向とほぼ同様の縮みを示すが、その歪量は最大約 $3000\mu\text{s}$ とわずかに小さい。その後、急激に回復に向い、離地の直前で約 $500\mu\text{s}$ の伸び

を示し、離地により旧位に回復した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向；着地時にその衝撃による一時的な振動を示したのち、複雑な縮みの増減を反復しつつ着地期中期まで約 $1200\mu\text{s}$ 程度の縮みを示した、その後、徐々に回復に向うが、離地の直前から再び急激な縮みを示し、離地によって急激に旧位に回復した。

内蹄側壁上部

Vertical 方向；着地時にその衝撃による一時的な振動を示し、その後急激に約 $1000\mu\text{s}$ 程度まで縮み、ついでやや急激に回復を示して伸びに展じ、着地期末期では約 $800\mu\text{s}$ に達したのち、離地と共に急激に旧位に回復した。

Horizontal 方向；外蹄側上部における Horizontal 方向の歪とほぼ同様の縮みを示すが、その歪量は最大約 $2500\mu\text{s}$ とわずかに小さい。

内蹄側壁下部

Vertical 方向；着地時にその衝撃による一時的な軽度の振動を示したのち、徐々に伸び

を示し、離地直前で最大約 $1200\mu\text{s}$ の伸びに達したのち、離地によって急激に旧位に回復した。

Horizontal 方向：内蹄側壁上部、外蹄側壁上部の Horizontal 方向の歪とほぼ同様の縮みを示すが、その歪量は最大約 $1800\mu\text{s}$ 程度であった。

外蹄踵壁上部

Vertical 方向：着地時にその衝撃による一時的な軽度の振動を示し、その後、直ちに約 $200\mu\text{s}$ 程度の小さな縮みを示したのち徐々に伸びを示し、さらに離地により旧位に回復した。

Horizontal 方向：着地時にその衝撃による一時的な軽度の振動を示し、その後着地期を通じて極く軽度の一定の縮みを持続し、離地の直前で約 $250\mu\text{s}$ 程度の伸びを示したのち旧位に回復した。

外蹄踵壁下部

Vertical 方向：外蹄踵壁上部における Vertical 方向の歪とほぼ同様の歪を示すが、その着地期前半の縮みが約 $1000\mu\text{s}$ とやや大きかった。

Horizontal 方向：着地から離地直前まで極く軽度の縮みを持続し、離地直前では、約 $500\mu\text{s}$ 程度に増大した。

内蹄踵壁上部

Vertical 方向；外蹄踵壁上部の Vertical 方向の歪とほぼ同様の歪を示すが、離地の直前での伸びが約 $1250\mu\text{s}$ 程度に達した。

Horizontal 方向；着地期前半に極くわずかな縮みを示すことを除き、ほとんど歪を示さなかった。

内蹄踵壁下部

Vertical 方向；外蹄踵下部の Vertical 方向における歪とほぼ同様の歪を示した。

Horizontal 方向；着地時にその衝撃による一時的な振動を示すがその後離地直前まではほとんど歪を示さず、離地直前で約 $1000\mu\text{s}$ の急激な縮みを示した。

2) 速歩 駈歩(手前肢、反手前肢)

これらの歩法における蹄壁各部の歪を、常

歩の足北と比較した結果、次のような相異が指摘された。

蹄尖壁下部

Horizontal 方向； 駢歩(手前肢) においては、着地期後半の縮みがほとんど消失し、着地期を通じて軽度の伸びを示した。

外蹄側壁上部

Vertical 方向； 速歩 駢歩(手前肢) においては離地の直前に一過性の伸びが出現した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向； 速歩 駢歩(反手前肢) においては、離地の直前に一過性の伸びが出現した。駢歩(手前肢)においては、着地直後に一過性の縮みを示したのち、直ちに伸びに転じ、離地の直前で再び一過性の縮みを示した。

Horizontal 方向； 速歩 駢歩(手前肢, 反手前肢) いづれも、常歩で認められた着地期前半の伸びが消失し、他の蹄側壁の *Horizontal* 方向とほぼ同様の縮みを示した。

内蹄側壁上部

Vertical 方向；駢歩（反手前肢）においては、着地直後にその衝撃による軽度の振動を示したのち、急激に伸びを示し、離地により急激に旧位に回復した。

外蹄踵壁上部

Horizontal 方向；速歩 駢歩（手前肢）においては、着地期前半に一過性の伸びが出現した

内蹄踵壁下部

Horizontal 方向；駢歩（手前肢）では、着地直後に一過性の急激な縮みを示し、その後、直ちに伸びに転じて離地により旧位に回復した。駢歩（反手前肢）では、着地期前半に一過性の軽度な伸びが出現した。

これらの歩法における蹄壁各部の歪は、常歩のそれと比べ、一完歩間の所要時間の短縮、あるいは、歪量ならびに歪波形の特徴が強調されるものの、一部の相異点を除き常歩のそれと同様の傾向であった。

2 Case 2.

1) 常歩.

Case 2 の常歩における蹄壁各部の歪を、Case 1 のそれと比較した結果、次の相異点が指摘された。

蹄尖壁下部

Horizontal 方向：着地時にその衝撃による一時的な振動を示したのち、着地期前半ではほとんど歪を示さず、後半に至って徐々に縮みを示し離地によって急激に旧位に回復した。

外蹄側壁上部

Vertical 方向：着地時にその衝撃による一時的な振動を示したのち、一過性の軽度な縮みを示し、その後、徐々に伸びに転じて離地により旧位に回復した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向：着地期前半に、極く軽度の伸びを示すことを除き、ほとんど歪を示さなかった。

内蹄踵壁上部

Vertical 方向；着地後、徐々に軽度の伸びを示し、着地期後半で徐々に回復に向うが、離地直前で再び一過性の急激な伸びを示した。

Horizontal 方向；着地後 やや急激に伸びを示したのち、徐々に回復し、着地期後半から徐々に縮みに転じて離地直前に一過性の急激な伸びを示した。

2) 速歩、駢歩(手前肢、反手前肢)

これらの歩法における蹄壁各部の歪を、常歩のそれと比較した結果、次のような相異が指摘された。

外蹄側壁上部

Vertical 方向；速歩で 着地直後に一過性の軽度な縮みを示し、駢歩(反手前肢)で 離地直前に一過性の軽度な縮みを示すことなどを除いて、速歩 駢歩(手前肢 反手前肢)においてははいずれも着地期を通じて二峰性の伸びを

示した。

内蹄側壁上部

Vertical 方向 ; 駢歩(手前肢)では、常歩で認められた着地期後半の伸びの現象が消失し、着地期を通じて縮みを示した。

内蹄側壁下部

Vertical 方向 ; 速歩、駢歩(手前肢、反手前肢)いずれも、常歩で着地期全般に亘って認められた縮みの現象と異なり、着地期の後半に伸びが出現した。

以上のことから Case 1 と同様、これらの各歩法における蹄壁各部の歪は、常歩に比べ一完歩間の所要時間の短縮あるいは歪量、歪波形などの特徴が強調されるものの、一部の相異点を除き、常歩のそれと同様の傾向であった。

Ⅱ 蹄鉄の装着による影響

(実験1と実験3との比較検討)

1 歪波形の検討

実験3における左側前蹄の歪パターンを
Fig 225~Fig 232 に示した。

蹄鉄の装着による影響を検討する目的で、
実験1と実験3とにおける蹄壁の歪パターン
を比較した結果、実験3においては次のよう
な相異が指摘された。

Case 1

1) 常歩

外蹄側壁下部

Horizontal 方向；着地直後に一過性の軽度な
縮みが発現し、また着地後半の縮みも早期
から出現した。

内蹄側壁上部

Vertical 方向；着地期初期の縮みが消失し着
地期全般に亘って伸びを示した。

内蹄踵壁上部

Horizontal 方向；着地期前半に軽度な縮みが

出現し、離地直前から急激な伸びを示すが、離地により急激に旧位に回復した。

内踵踵下部

Horizontal 方向；着地期前半に持続的な軽度の伸びが出現した。

2) 速歩

外踵側壁上部

Vertical 方向；着地期中期の伸びが消失し着地期を通じて複雑な縮みを示した。

外踵側壁下部

Vertical 方向；着地期初期の一過性の縮みが消失し、着地期全般に亘りほぼ一峰性の伸びを示した。

内踵踵壁上部

Horizontal 方向；着地直後の衝撃による一時的な振動に続いて一過性の伸びを示し、ほぼ旧位に回復したのち、離地直前で再び急激な伸びを示して離地後、旧位に回復した。

内蹄踵壁下部

Horizontal 方向：着地から離地の直前にかけて軽度の伸びを示し、離地直前から離地にかけて軽度の縮みを示した。

3) 駈歩(手前肢)

蹄尖壁下部

Horizontal 方向：着地期後半に縮みが出現した。

外蹄側壁上部

Vertical 方向：波形の基本的な形状は類似するものの、伸びの現象は消失した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向：着地直後より急激に縮みに向い、着地期を通じてほぼ三峰性の縮みを示した。

Horizontal 方向：着地直後に一過性の軽度な縮みを示し、その後、複雑な伸びを示すが、離地直前で再び急激な縮みを示したのち、旧位に回復した。

内蹄側壁下部

Vertical 方向；着地期初期の急激な縮みが消失し、着地期を通じてほぼ一峰性の伸びを示した。

内蹄踵壁上部

Horizontal 方向；着地期初期から急激な伸びを示し、その後、急激に回復に向い、つづいて縮みに転じたのち離地により旧位に回復した。

内蹄踵壁下部

Horizontal 方向；着地期初期の急激な縮みが消失し、着地期を通じてほぼ一峰性の伸びを示した。

4) 駢歩(反手前肢)

内蹄側壁上部

Vertical 方向；着地期前半に一過性の急激な縮みが出現し、その後伸びに転じて離地後旧位に回復した。

内蹄側壁下部

Vertical 方向；着地期前半の縮みが消失し着地期を通して、その初期に複雑な増減を示しつつ伸びが出現した。

外蹄踵壁下部

Horizontal 方向；着地直後の一過性の縮みに続いて軽度の伸びが出現し、着地期後半では再び縮みを示し、離地により旧位に回復した。

内蹄腫壁上部

Horizontal 方向；着地後に急激な伸びを示し、着地中期に一過性の縮みを示したのち、再び伸びを示して離地により旧位に回復した。

<Case 2>

1) 常歩

外蹄踵壁上部

Vertical 方向；着地後、徐々に軽度の伸びを示し、着地中期より徐々に回復に向うが、離地直前に再びわずかの伸びを示して、離地

により旧位に回復した。

<Case 2>

1) 常歩

外踵壁上部

Vertical 方向：着地後、徐々に軽度の伸びを示し、着地中期より徐々に回復に向うが、離地直前に再びわずかの伸びを示して、離地により急激に旧位に回復した。

Horizontal 方向：着地後、やや急激に伸びを示し、着地中期より徐々に回復して縮みに移行し、離地により旧位に回復した。

2) 速歩

外踵側壁下部

Vertical 方向：着地後に一過性の軽度な縮みか出現し、その後複雑な伸びに移行して、離地後、旧位に回復した。

外踵壁上部

Vertical 方向：着地後かう徐々に伸びを示し

着地期中期より徐々に回復に向い、着地直前で再び軽度の伸びを示した。

Horizontal 方向：着地期初期に伸びを示し、着地期中期から回復に向って縮みに転じ、離地後、旧位に回復した。

内蹄踵壁上部

Vertical 方向：着地期初期に一過性の縮みを示し、着地期中期から軽度の伸びに転じて、離地により旧位に回復した。

3) 駢歩(手前肢)

外蹄側壁下部

Vertical 方向：着地期初期から離地直前にかけて、複雑な縮みを示し、離地直前に急激な軽度の伸びを示した。

外蹄踵壁上部

Vertical 方向：着地期を通じてやや複雑な伸びを示し、離地直前に軽度の伸びを示して、離地により旧位に回復した。

4) 駢歩(反手前肢)

外蹄側壁上部

Vertical 方向；着地期前半に複雑な縮みを示し、着地期後半にかけて伸びを示した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向；着地期前半で縮みと伸びを連続し、後半は再び急激な伸びを示して離地により旧位に回復した。

内蹄側壁下部

Horizontal 方向；着地後、急激に伸びを示し、その後、回復に向い、着地期中期から縮みに転じ、つづいて回復してやや伸びを示し、離地により旧位に回復した。

外蹄踵壁上部

Vertical 方向；着地期を通じて伸びを示し、離地直前に軽度な縮みを示して、離地により旧位に回復した。

以上のことから、蹄鉄の装着による蹄壁の歪への影響として、次のような傾向が示され

た。

Case 1 においては、各歩法を通じて、外蹄側壁、内蹄側壁、内蹄踵壁の各節で波形が相異なる場合が多く、また歪の方向別では、蹄側壁で Vertical 方向、蹄踵壁で Horizontal 方向の歪波形に相異が生ずることが示された。

Case 2 においては、各歩法を通じて、外蹄側壁下部、外蹄踵壁上部、内蹄踵壁上部で波形が相異なる場合が多く、またこれらの部位では主として Vertical 方向の歪波形に相異が生ずることが示された。

また Case 1, Case 2 いづれもその波形の相異は、主として歪波形の相異であることが示された。

2. 歪量の検討

実験1と実験3との歪量の比較については Table 2 と Table 3 に示す通り、外蹄側壁、内蹄側壁それぞれ Horizontal 方向の歪量、それぞれに Fig 5 に示す通り蹄尖壁の Vertical 方向の歪量

を対象に検討した。その結果は、次に示す通りである。

<Case 1>

内外蹄側壁の Horizontal 方向の歪量について検討した結果、各歩法を通じて蹄壁の上部では実験1で大きく、蹄壁の下部では実験3で大きいことが示された。

また、蹄尖壁の Vertical 方向の歪量については、各歩法を通じて、蹄壁の上部、下部いづれも実験1で大きいことが示された。

<Case 2>

内外蹄側壁の Horizontal 方向の歪量について検討した結果、各歩法を通じてほぼ同様の傾向を示し、蹄壁の上部、下部いづれも実験1で大きいことが示された。

また、蹄尖壁の Vertical 方向の歪量については、各歩法を通じて、蹄壁の上部、下部いづれも実験1で大きいことが示された。

Ⅲ 蹄釘の設置部位による影響

(実験2と実験3との比較検討)

1 蹄壁の歪

1) 歪波形の検討

実験2における左側前蹄の歪パターンを Fig 217 ~ Fig 224 に示した。

蹄釘の設置部位による影響を検討する目的で、実験2と実験3とにおける蹄壁の歪パターンを比較した結果、実験2においては次のような相異が指摘された。

<Case 1>

(1) 常歩

蹄尖壁下部

Vertical方向：離地直前の急激な縮みが欠落状を呈して、明らかに減少した。

外蹄側壁上部

Vertical方向：着地期中期における縮みからの一時的な回復が強調され、一過性の伸びが出現した。

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが消失した。

内蹄側壁上部

Vertical 方向；離地直前に縮みが出現した。

外蹄側壁下部

Horizontal 方向；更駿とその波形は類似するが、着地期前半の一時的な回復が強調され、わずかに伸びとして出現した。

(2) 速歩

蹄尖壁下部

Vertical 方向；離地直前の急激な縮みが減少した。

外蹄側壁上部

Vertical 方向；着地直後に一過性の縮みを示したのち、着地期を通じて伸びと縮みが互いに亘り反復した。

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが欠落状を呈して消失した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向；着地直後より急激な伸びを示し、その後、複雑な伸びの増減を示したのち離地直前で一過性の縮みを示して、離地により旧位に回復した。

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが消失した。

内蹄踵壁上部

Vertical 方向；着地直後の伸びが消失し、着地直後に縮みが出現した。

(3) 駢歩(手前肢)

蹄尖壁上部

Vertical 方向；離地直前の急激な縮みが減少した。

蹄尖壁下部

Vertical 方向；離地直前の急激な縮みが減少した。

外蹄側壁上部

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが

消失した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向；着地直後と離地直前に、一過性の軽度な縮みを示すことを除き、着地期を通して一峰性の伸びを示した。

Horizontal 方向；着地直後より急激な縮みを示し、着地期を通して一峰性の縮みを示した。

内蹄踵壁上部

Horizontal 方向；着地直後より急激に縮みを示し、その後、直ちに回復に向うが、再び縮みが残った。

(4) 駢步(反手前肢)

蹄尖壁下部

Vertical 方向；離地直前の急激な縮みが減少した。

外蹄側壁上部

Vertical 方向；着地直後に軽度の縮みを示したのち、着地期を通じて、伸びと縮みを2回

繰り返した。

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが消失した。

外踏側壁下部

Vertical 方向；離地直前の一過性の縮みが消失した。

内踏側壁上部

Vertical 方向；離地直前に一過性の縮みが発現した。

内踏側壁下部

Vertical 方向；着地直後より縮みを示し、その後、除々に回復して、一過性の伸びを示し離地によって旧位に回復した。

<Case 2>

(1) 常歩

蹄尖壁下部

Vertical 方向；離地直前の急激な縮みが、減少した。

外蹄側壁上部

Vertical 方向；着地前半、ならびに離地直前での縮みが出現した。

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが消失した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向；着地期中期の縮みが消失し、着地期を通じてほぼ伸びを示す。

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが消失した。

内蹄側壁上部

Vertical 方向；着地期前半の縮みが消失し、離地直前に一過性の縮みが出現した。

Horizontal 方向；着地期前半に伸びが出現した。

外蹄踵壁上部

Vertical 方向；着地期前半に軽度の伸びが出現した。

外蹄踵壁下部

Vertical 方向；着地期前半にやや急激な縮み

が出現した。

内蹄踵壁上部

Vertical 方向；着地期前半の一過性の縮みが消失し、着地直後より徐々に伸びを示した。

(3) 駢歩(手前肢)

蹄尖壁上部

Vertical 方向；離地直前の急激な縮みが減少した。

蹄尖壁下部

Vertical 方向；離地直前の急激な縮みが減少した。

外蹄側壁上部

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが消失した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向；着地直後かう急激な縮みを示し、その後、直ちに回復して一過性の伸びを示し、再び軽度の縮みを示し、着地期後半は急激な伸びに転じたのち、離地により旧位に

回復した。

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが消失した。

外蹄踵壁上部

Vertical 方向；着地直後から離地直前まで、ゆるやかな縮みを示し、離地直前で一過性の伸びを示したのち、離地により旧位に回復した。

(4) 駈歩(反手前肢)

蹄尖壁下部

Vertical 方向；離地直前の急激な縮みが減少した。

外蹄側壁上部

Vertical 方向；離地直前に一過性の縮みが出現した。

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが消失した。

外蹄側壁下部

Horizontal 方向；離地直前の一過性の伸びが

消失した。

内蹄側壁上部

Vertical 方向；離地直前に一過性の縮みが発現した。

内蹄側壁下部

Vertical 方向；離地直前に一過性の縮みが発現した。

以上より蹄釘の設置部位による蹄壁の歪への影響として、次のような傾向が示された。

Case 1 においては各歩法を通じて蹄踵部まで釘付けすることにより蹄尖壁下部、外蹄側壁の上部、下部、内蹄側壁上部、内蹄踵壁上部で波形が相異なる場合が多く、また、歪方向別では、蹄尖壁で Vertical 方向、外蹄側壁で Vertical 方向、Horizontal 方向の歪波形に相異が多発したため、他の部位では、歪方向による一定の傾向は示さなかった。

Case 2 においては、各歩法を通じて、蹄尖壁下部、外蹄側壁上部、下部、内蹄側壁上部

、外蹄踵壁上部、内蹄踵壁上部で波形が相異なる場合が多く、また歪方向別では、蹄尖、蹄踵で Vertical 方向、外蹄側壁で Vertical 方向、Horizontal 方向の歪波形に相異が生ずることが示された。

また、Case 1 Case 2 いずれも、蹄尖壁の Vertical 方向、外蹄側壁の Horizontal 方向の歪波形の相異については、各歩法を通じてほぼ同じ傾向が認められ、その波形上の相異は、いずれも離地直前の一過性の歪現象の減少、もしくは消失であった。さらに Case 1、Case 2 いずれも 実験間における波形の本質的な相異は少なく、その大部分は、波形の一部における歪の消失、もしくは、出現として観察された。

2) 歪量の検討

実験 2 と実験 3 との歪量の比較については Table 2 ~ Table 3 に示す通り、外蹄側壁、内蹄側壁それぞれ Horizontal 方向の歪量を対象に検

討した。その結果は次に示す通りである。

<Case 1>

外蹄側壁の下部においては、実験間に一定の傾向を示さなかったが、その他の部位では、各歩法を通じてほぼ同様の傾向を示し、実験3で大きいことが示された。

<Case 2>

内外蹄側壁のいづれの部位においても、各歩法を通じてほぼ一定の傾向を示し、実験3で大きいことが示された。

2 蹄踵部の側方変位

実験2ならびに実験3とにおける、歩行中の内外蹄踵間の側方変位については、Fig 245～Fig 252 に示す通りである。これから次のような結果が得られた。

1) 変位波形の検討

変位波形上の着地の時間に、その衝撃による変位計本体の振動波が artifact として記録される。したがって、この振動波は着地の時間を示す指標として利用した。

《実験2》

〈Case 1〉

(1) 常歩

着地と同時に内外蹄踵間の開張を生じ、着地期前半で最大開張値に達したのち、極くわずかづつ回復し、蹄踵の離地と同時に急激に旧位を起えて狭窄し、蹄尖の離地によって旧位に回復した。

(2) 速歩

着地と同時に内外蹄踵間の開張を生じ、その後、一時的にわずかな回復を示す次、再びわずかな開張を示し、蹄踵の離地と同時に、旧位を越えて急激に狭窄するが、蹄尖の離地によって再び旧位に回復した。

(3) 駢歩 (手前肢)

着地後、急激に内外蹄踵間の開張を生じて最大開張位に達し、その後、極くわずかづつ回復し、蹄踵の離地から急激に旧位に回復した。

(4) 駢歩 (反手前肢)

着地後、急激に内外蹄踵間の開張を生じて最大開張位に達したのち、極くわずかづつ回復し、蹄踵の離地直前で旧位に至り、蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけて、一時的に軽度の狭窄を示した。

<Case 2>

(1) 常歩

着地後、やや急激に内外蹄踵間の開張を生じ、着地期後半には一時的に回復するが、蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけて軽度の狭窄を示した。

(2) 速歩

着地後、急激に内外蹄踵間の開張を生じて最大開張位に達し、その後極くわずかづつ回復し、着地期間中期から蹄踵の離地にかけて急激に旧位に復した。蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけては、一時的に軽度の狭窄を示した。

(3) 駈歩(手前肢)

着地後急激に内外蹄踵間の開張を生じて最大開張位に達し、その後極くわずかづつ回復し、着地期末期から急激に旧位に復した。蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけては、一時的に軽度の狭窄を示した。

(4) 駈歩(反手前肢)

着地後急激に内外蹄踵間の開張を生じて最大開張位に達したのち着地期を通じて徐々に回復に向い、蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけて、一時的に軽度の狭窄を示した。

《実験3》

<Case 1>

(1) 常歩

着地後 やや遅れて徐々に内外蹄踵間の開張を生じ、着地期前半で最大開張位に達する、その後徐々に回復し、着地期後半はほぼ旧位を維持した。蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけて一時的に軽度の狭窄を示した。

(2) 速歩

着地後 急激に内外蹄踵間の開張を生じて最大開張位に達し、着地期前半では、その状態を維持するが、着地期中期より急激に回復し、蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけて、一時的に軽度の狭窄を示した。

(3) 駈歩(手前肢)

着地後 急激に内外蹄踵間の開張を生じて最大開張位に達し、その後極くわずかに回復し、蹄踵の離地から急激に旧位に回復し

た。

(3) 駢歩(手前肢)

着地後 急激に内外蹄踵間の開張を生じて
最大開張位に達し、その後 極くわずかに
回復し、蹄踵の離地から急激に旧位に回復し
た。

(4) 駢歩(反手前肢)

着地後、急激に内外蹄踵間の開張を生じて
最大開張位に達し、その後 極くわずかに
回復し、蹄踵の離地直前で再び一過性の開張
を生じたのち、蹄踵の離地から蹄尖の離地に
かけて一時的に軽度の狭窄を示した。

(Case 2)

(1) 常歩

着地後 やや遅れて内外蹄踵間の開張を生
じ、着地期後半には 一時的に回復するが、
蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけて軽度の狭

窄を示した。

(2) 速歩

着地後 やや遅れ、徐々に内外蹄踵間の開張を生じて最大開張位に達し、その後極くわずかに回復し、着地期中期から蹄踵の離地にかけて急激に旧位に復した。蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけては、一時的に軽度の狭窄を示した。

(3) 駈歩(手前肢)

着地後 急激に内外蹄踵間の開張を生じて最大開張位に達し、その後極くわずかに回復し、着地期末期から急激に旧位に回復する。蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけては、一時的に軽度の狭窄を示した。

(4) 駈歩(反手前肢)

着地後 急激に内外蹄踵間の開張を生じて最大開張位に達したのち、着地期を通じて徐

々に回復に向い、蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけて、一時的に軽度な狭窄を示した。

また蹄釘の設置部位の影響を検討する目的で、実験2と実験3とにおける内外蹄踵の側方変位を比較した結果 Case 1, Case 2 いずれもほぼ同様の傾向を認め、常歩、速歩では蹄踵部への釘付けにより、着地後の内外蹄踵壁間の開張が早期に、かつ急激に発現することが示されたが、馬歩では、蹄踵部への釘付けによる明らかな相異を示さなかった。

2) 変位量の検討

実験2と実験3との変位量の比較については、Table 4に示す通りその最大変位巾を対象に検討した結果、Case 1の馬歩(手前肢)を除き、個体の相異、歩法の相異にかかわらず、蹄踵部への釘付けにより、その変位量が明らかに減少することが示された。

Ⅲ 上弯による影響

(実験3と実験4との比較)

1 歪波形の検討

実験4における左側前蹄の歪パターンを Fig 233 ~ Fig 240 に示した。

上弯による影響を検討する目的で、実験3と実験4とにおける蹄壁の歪パターンを比較した結果、実験4においては次のような相異が指摘された。

<Case 1>

1) 常歩

外蹄側壁上部

Vertical 方向：着地後、やや急激に伸びを示し、その後、着地期中期にかけて一時的にやや回復するが、離地直前再び伸びを示し、蹄踵の離地から蹄尖の離地にかけて、一時的に急激な縮みに移行した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向：着地後、やや急激に伸びを示し、その後、着地期中期にかけて一時的にや

や回復するが、離地直前で再び伸びを示し、
 踵の離地から蹄先の離地にかけて、一時的
 に急激な縮みに移行した。

Horizontal 方向：着地期前半の一時的な伸
 びが消失し、着地期を通してほぼ一峰性の縮
 みを示した。

内蹄側壁上部

Vertical 方向：着地直後と離地直前に、急
 激な縮みが出現した。

内蹄踵壁上部

Horizontal 方向：着地後、一時的な軽度の
 縮みを示したのち、着地期中期でほぼ旧位に
 回復し、離地直前で一時的な軽度の伸びを示
 した。

2) 速歩

外蹄側壁上部

Vertical 方向：着地直後より急激な伸びを
 示し、その後、離地直前で急激な縮みに移行
 して、蹄先の離地により旧位に回復した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向：離地直前の一過性の縮みを除き、着地期を通じて一峰性の伸びを示した。

Horizontal 方向：離地直前の一時的な伸びが消失した。

3) 駢歩 (手前肢)

蹄尖壁上部

Horizontal 方向：着地直後に一過性の伸びが出現した。

蹄尖壁下部

Vertical 方向：離地直前の縮みが消失した。

外蹄側壁上部

Vertical 方向：着地期前半でわずかな伸びと縮みを示し、着地期後半では一過性の急激な伸びを示すが、離地直前で縮みに移行し、離地により旧位に回復した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向：離地直前の一時的な縮みを除

き、着地期を通して、ほぼ二峰性の伸びを示した。

Horizontal方向：着地期を通して、ほぼ一峰性の縮みを示した。

外蹄踵壁下部

Vertical方向：着地後、一過性の軽度な伸びを示したのち、複雑な伸びと縮みを反復した。

内蹄踵壁上部

Horizontal方向：着地期より徐々に縮みを示し、その後、離地直前を回復に向い一過性の伸びを示して離地後、旧位に回復した。

4) 駢歩 (反手前肢)

外蹄側壁上部

Vertical方向：離地直前に、一過性の急激な縮みを示すことを除き、着地期を通して急激な二峰性の伸びを示した。

外蹄側壁下部

Horizontal方向：着地直後の一過性の伸びが

消失した。

内蹄踵壁上部

Horizontal 方向：着地期前半の一過性の伸びが消失し、ゆるやかな縮みを示した。

<Case 2>

1) 常歩

外蹄側壁上部

Horizontal 方向：着地直後の一時的な伸びが消失した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向：着地期を通して、ほぼ一峰性のゆるやかな伸びを示した。

Horizontal 方向：着地直後の一時的な伸びが消失した。

内蹄側壁下部

Vertical 方向：着地直後に極く軽度の伸びと縮みを示し、また離地直前に一時的な縮みを示すことを除き、ほぼ一峰性のゆるやかな伸びを示した。

外蹄踵壁上部

Vertical 方向：離地直前に一過性の伸びを示すことを除き、ほとんど歪を示さなかった。

Horizontal 方向：離地直前の一時的な縮みが消失し、軽度の伸びが出現した。

外蹄踵壁下部

Vertical 方向：着地期前半に、わずかな縮みが出現した。

Horizontal 方向：離地直前の一時的な縮みを除き、着地期を通して、極く軽度の伸びを示した。

内蹄踵壁上部

Vertical 方向：離地直前の一時的な縮みを除き、着地期を通して、ゆるやかな伸びを示した。

内蹄踵壁下部

Horizontal 方向：着地期前半の縮みが消失し、極く軽度の伸びを示した。

2) 速歩

蹄先壁下部

Horizontal 方向：着地直後の一時的な伸び
が出現した。

外蹄側壁上部

Horizontal 方向：離地直前の一時的な伸び
が消失した。

外蹄側壁下部

Horizontal 方向：離地直前の一時的な伸び
が消失した。

内蹄側壁上部

Horizontal 方向：離地直前の一時的な伸び
が消失した。

内蹄側壁下部

Vertical 方向：離地直前の一時的な縮みを除
き、着地期を通じて二峰性の伸びを示した。

外蹄踵壁上部

Vertical 方向：着地期を通して、極く軽度の
伸びと縮みを示し、離地直前で一過性の急激
な伸びを示した。

外蹄踵壁下部

Vertical 方向：着地期前半に、急激な縮み
が出現した。

Horizontal 方向：着地期を通して、極く軽
度の伸びと縮みを反復した。

内蹄踵壁上部

Vertical 方向：着地期を通して、ほぼ一峰
性の伸びを示した。

3) 駢歩 (手前肢)

蹄尖壁下部

Vertical 方向：離地直前の急激な縮みか、
ほぼ消失した。

外蹄側壁上部

Horizontal 方向：離地直前の一時的な伸びか
消失した。

外蹄側壁下部

Vertical 方向：着地後、軽度な縮みを示し
たのち、急激に伸びに移行し、その後、離地
の直前で一時的な軽度の縮みを示した。

内蹄側壁上部

Horizontal 方向：離地直前の一時的な伸びが消失した。

内蹄側壁下部

Vertical 方向：着地直後、ならびに離地直前の軽度な伸び、縮みを除き、ほぼ一峰性の急激な伸びを示した。

外蹄踵壁上部

Vertical 方向：離地直前に一時的に急激な伸びを示すことを除き、ほとんど歪を示さなかった。

外蹄踵壁下部

Horizontal 方向：着地期前半で軽度な伸びを示し、着地期後半で急激な縮みを示した。

内蹄踵壁下部

Horizontal 方向：着地期を通して極く軽度の伸びと縮みを反復した。

4) 駈歩 (反手前肢)

外蹄側壁上部

Vertical 方向：着地期を通して、ほぼ二峰

性の急激な伸びを示した。

Horizontal 方向：離地直前の一時的な伸びが消失した。

外蹄側壁下部

Horizontal 方向：離地直前の一時的な伸びが消失した。

内蹄側壁下部

Vertical 方向：着地直後、ならびに離地直前の一過性の縮みを除き、ほぼ一峰性の急激な伸びを示した。

Horizontal 方向：着地直後の一過性の伸びが消失した。

外蹄踵壁上部

Vertical 方向：着地期を通して、極く軽度の伸び、縮みを示し、離地直前で一過性の急激な伸びを示した。

Horizontal 方向：着地期前半で複雑な軽度の伸びを示し、離地直前でわずかの縮みを示した。

内蹄踵壁下部

Horizontal 方向：着地期を通じて、軽度の伸びと縮みを反復した。

以上のことから、上弯による蹄壁の歪への影響として、次のような傾向が示された。

Case 1 においては、各歩法を通じて、外蹄側壁、および内蹄踵壁上部で波形が相異なる場合が多く、また歪方向別では、外蹄側壁上部で Vertical 方向、外蹄側壁下部で Vertical 方向と Horizontal 方向、内蹄踵上部で Horizontal 方向の歪波形に相異が生ずることが示された。

Case 2 においては、各歩法を通じて、蹄壁全般に亘り波形の相異が生じ、また歪方向別では、外蹄側壁、外蹄踵壁下部、内蹄踵壁下部で Horizontal 方向、また、外蹄側壁下部、内蹄側壁下部で Vertical 方向の歪波形に相異が生ずることが示された。

また、Case 1, Case 2 いずれも、蹄尖壁の Vertical 方向、外蹄側壁の Vertical 方向と Horizontal 方向での波形の相異については、

各歩法を通じてほぼ同じ傾向が認められ、その波形上の相異として、離地直前の一過性の伸び、あるいは縮みの極端な減少、もしくは消失、さらに、蹄壁各部、ことに外蹄側壁における Vertical 方向の歪波形の位相の相異などが認められた。

2. 歪量の検討

実験3と実験4との歪量の比較については Table 5 に示す通り、蹄尖壁の Vertical 方向の歪量を対象に検討した。その結果は、次に示す通りであった。

< Case 1 >

速歩における蹄尖壁下部を除き、各歩法を通じて、ほぼ同一の傾向を示し、上弯の附設によりその歪量が減少することが示された。

< Case 2 >

蹄尖壁の上部と下部とでは、その歪量の実験間における傾向が相異し、蹄尖壁上部では、駈歩（反手前肢）を除く各歩法において上弯の附設によりその歪量が増大し、蹄尖壁下部では、各歩法を通じて、上弯の附設によりその歪量が減少することが示された。

以上のことから、蹄尖壁下部では、個体の相異にかかわらず、上弯の附設によりその歪量が減少することが示された。

10

15

IV. 前蹄による影響

(実験5と実験6との比較)

1. 歪波形の検討

実験5と実験6とにおける Case 1, 左側前蹄の歪パターンは, Fig 241~Fig 244 に示す通りである。

(1). 前蹄前の蹄壁中央部の歪波形 (実験5)

1). 常歩

蹄尖壁

Vertical 方向: 着地後, 徐々に軽度の縮みを示しつつ, 離地直前にさらに急激な縮みを呈し, 蹄尖の離地と同時に旧位に回復した。

Horizontal 方向: 着地後, やや急激に縮みを示し, 蹄尖の離地によって急激に旧位に回復した。

外蹄側壁

Vertical 方向: 着地直後に急激な伸びを示し, 着地期中期で一時的に旧位に回復するが, その後, 再び伸びを示して離地期直前で急激に縮みに移行したのち, 蹄尖の離地により

旧位に回復した。

Horizontal 方向：着地時にその衝撃による一時的な振動を示し、その後、急激に縮みを示す。途中、一時的に回復に向うが、旧位には至らず、再び縮みに移行し、離地直前に急激に回復し、一時的な伸びを示したのち、旧位に回復した。

内蹄側壁

Vertical 方向：着地時にその衝撃による軽度の振動を示したのち、急激に縮みを示した。着地期中期からは、徐々に回復に向うが、途中、一時的にわずかな縮みが出現し、その後、離地の直前から急激に旧位に回復した。

Horizontal 方向：着地後、急激に縮みに向い、着地期を通して、ほぼ一峰性の大きな縮みを示すが、離地の直前で一時的な伸びに移行して旧位に回復した。

2) その他の歩法

速歩、駢歩（手前肢、反手前肢）における

蹄壁各部の歪は、常歩のそれと比べ、一兎歩間の所要時間の短縮、あるいは歪量、ならびに波形の特徴が強調されるものの、一部の相異点を除き、常歩のそれと同様の傾向であった。

(2) 削蹄後の蹄壁各部の歪波形 (実験6)

① 削蹄前の測定部位と同一部位 (S.P.) の歪波形

実験5と実験6 (S.P.) とにおける歪波形を比較した結果、実験6 (S.P.) では、次のような相異が指摘された。

1) 常歩

外蹄側壁

Vertical 方向：着地直後より急激な縮みを示し、一時、わずかに回復に向うが、再び徐々に縮みを増大し、その後、着地期中期から回復に向うが、途中、一時的にわずかな縮みを示したのち、蹄先の離地により急激に旧位

に回復した。

Horizontal 方向：着地後の縮みが単純化し、着地期末期まで徐々に縮みが進行した。

内蹄側壁

Vertical 方向：着地直後より、急激な伸びを示し、一時ゆずかに回復に向うが、再び徐々に伸びが増大し、着地期中期から回復に向った。その後、一時的にゆずかな伸びを示したのち、蹄尖の離地により、急激に旧位に回復した。

Horizontal 方向：着地直後にゆずかな伸びが出現した。

2) 速歩

外蹄側壁

Vertical 方向：着地直後より、急激な縮みを示し、着地期中期より回復に向うが、途中、一時的に急激な縮みを生じて旧位に回復した。

内蹄側壁

Vertical 方向：着地期を通して、ほぼ一峰性の伸びを示す。

Horizontal 方向：着地直後に一時的な伸びが出現した。

3) 駈歩 (手前肢)

外蹄側壁

Vertical 方向：着地直後に急激な縮みを示し、その後、複雑な増減を示したのち、離地により急激に旧位に回復した。

4) 駈歩 (反手前肢)

外蹄側壁

Vertical 方向：着地直後に急激な縮みを示し、その後、複雑な増減を示し、離地により急激に旧位に回復した。

内蹄側壁

Vertical 方向：着地直後に急激な伸びを示し、その後、複雑な増減を示して、離地により急激に旧位に回復した。

(3) 前蹄後の蹄壁中央部 (C.P) の歪波形

実験5と実験6 (C.P) とにおける歪波形を比較した結果、実験6 (C.P) では、次のような相異が指摘された。

1) 常歩

外蹄側壁

Vertical 方向：着地直後より急激な縮みを示し、一時、わずかに回復に向うが、再び徐々に縮みを増大し、その後、着地期中期から回復に向うが、途中、一時的にわずかな縮みを示したのち、蹄尖の離地により急激に旧位に回復した。

Horizontal 方向：着地後の縮みが単純化し、着地期末期まで徐々に縮みが進行した。

内蹄側壁

Vertical 方向：着地後に急激な伸びを示して一時わずかに回復に向うが、その後、徐々に伸びが増大し、着地期末期からやや急激に旧位に回復した。

2) 速歩

外 蹄側壁

Vertical 方向：着地直後より、急激な縮みを示し、着地期中期より回復に向うが、途中一時的に急激な縮みを生じて旧位に回復した。

内 蹄側壁

Vertical 方向：着地期を通して、ほぼ一峰性の伸びを示した。

3) 馳歩（手前肢）

外 蹄側壁

Vertical 方向：着地直後に急激な縮みを示し、その後、複雑な増減を示したのち、離地により急激に旧位に回復した。

4) 馳歩（反手前肢）

外 蹄側壁

Vertical 方向：着地直後に急激な縮みを示し、着地期中期より回復に向うが、途中、一

時的に縮みを示したのち、蹄尖の離地により旧位に回復した。

内蹄側壁

Vertical 方向：着地直後に、わずかな増減を示しつつ急激に伸びを示し、離地により急激に旧位に回復した。

以上のことから、削蹄後の蹄壁の歪について、その中央部 (C.P) の歪波形と、削蹄前と同一部位 (S.P) の歪波形とを比較した結果、その対応する各々の部位の歪波形は、量的な相異を認めるものの、歪波形の位相には差がないことが明らかにされた。

しかし、削蹄により、内外蹄側壁、殊に外蹄側壁の Vertical 方向で、歪波形の相異が生じ、その相異は、削蹄前のそれに比べ、波形の本質的な相異であることが明らかにされた。その他の部位、ならびに歪方向については、わずかな相異を認めるものの、削蹄前のそれとほぼ同様の傾向が示された。

2. 歪量の検討

実験5と実験6との歪量の比較については、Table 6に示す通り、蹄尖壁のVertical方向、Horizontal方向の歪量を対象に検討した。

その結果は、次に示す通りである。

蹄尖壁 Vertical 方向の歪量は、各歩法を通じて、削蹄後の蹄壁中央部で最も大きく、また、駢歩（反手前肢）を除いては、削蹄前の蹄壁中央部で最も小さくなることが明らかにされた。

蹄尖壁 Horizontal 方向の歪量は、駢歩（手前肢）を除き、削蹄後の蹄壁中央部で最も大きく、次いで、削蹄前の蹄壁中央部、削蹄後における削蹄前の測定部位と同一部位の順で小さいことが示された。ただし、削蹄後における削蹄前の測定部位と同一部位の歪量は、歩法の相異にかかわらず、最も小さいことが示された。

第3節

小 括

馬の前蹄の蹄壁に対する装削蹄の影響を検討する目的で、蹄壁の歪測定、内外蹄踵部の側方変位の測定を実施した。その結果を要約すれば次の通りである。

I. 蹄鉄の装着による影響

蹄鉄を装着することにより、各歩法を通じて、内外蹄側壁、内外蹄踵壁の、主として Vertical 方向の歪波形に相異が認められ、その相異は、主として歪波形の位相の相異であることが明らかにされた。

量的には、内外蹄側壁の Horizontal 方向、蹄尖壁の Vertical 方向の歪量について検討した結果、蹄鉄の装着により、その歪量が減少する傾向を示すことが明らかにされた。

II. 蹄釘の設置部位による影響

蹄側壁から蹄踵壁にかけて釘付けした場合

としなかった場合には、各歩法を通じて、蹄壁全般の歪現象が相異し、蹄尖壁では Vertical 方向、外蹄側壁では Vertical 方向: Horizontal 方向の両方向における歪現象の相異を示したが、他の部位では、歪方向についての一定した傾向は認めなかった。これらの相異点の特徴として、蹄踵壁まで釘付けにした場合、蹄尖壁 Vertical 方向、外蹄側壁 Horizontal 方向とにおける離地直前の歪現象の減少、もしくは消失が主としてみられ、他の部位についても、軽度の相異が認められた。

量的には、内外蹄側壁の Horizontal 方向の歪量で対象に検討した結果、蹄側壁から蹄踵壁にかけての釘付けにより、その歪量が減少する傾向を示すことが明らかにされた。

蹄踵部の側方変位については、蹄側壁から蹄踵壁にかけての釘付けにより、常歩、速歩で着地直後の開張が早期に発現し、また、その変位量も各歩法を通して総体的に減少することが明らかにされた。

Ⅲ. 上弯による影響

上弯を設置した蹄鉄と、上弯のない蹄鉄とを比較すると、蹄壁全般の歪現象に相異がみられた。その特徴とは、上弯蹄鉄にみける蹄尖壁 Vertical 方向、外蹄側壁 Vertical および Horizontal 方向における離地直前の歪現象の極端な減少もしくは消失、さらに、蹄壁各部、殊に外蹄側壁の Vertical 方向の波形の位相の相異などが指摘された。

量的には、蹄尖壁 Vertical 方向の歪量を対象に検討した結果、上弯を設置することにより、その歪量が、総体的に減少する傾向が明らかにされた。

Ⅳ. 削蹄による影響

削蹄により、内外蹄側壁、殊に外蹄側壁の Vertical 方向での歪現象に相異がみられ、この相異は、削蹄前のそれに比べ、歪波形の位相の相異であることが明らかにされた。

その他の部位、ならびに歪方向については、

わずかな相異は認めるものの、削蹄前のそれとほぼ同様の傾向が示された。

量的には、蹄尖壁 Vertical, Horizontal 方向とにおける歪量について検討した結果、Vertical 方向の歪量は、削蹄後の蹄壁中央部、削蹄後における削蹄前の測定部位と同一部位、削蹄前の蹄壁中央部の順で大きく、また Horizontal 方向の歪量は、削蹄後の蹄壁中央部、削蹄前の蹄壁中央部、削蹄後における削蹄前の測定部位と同一の部位の順で大きいことが明らかにされた。

第四章 考察

I. 前肢の運動に対する装蹄の影響について
脊椎動物の歩行運動については、19世紀末より多くの研究者によって検討されてきている。その結果、歩行運動においては前後肢の機能に差があり、後肢が推進力としての機能を有するのに対して、前肢は体のバランスをとる機能が強いということがわかっている。したがって、削装蹄の影響は、後肢よりも前肢に強く出現すると考えられるのが、今回前肢を選んだ理由の一つである。Muybridge (20)によれば、四足獣の歩行は、四肢の着地順序と、その間における各肢の着地期および離地期の時間的なずれから、walk (常歩), amble, trot (速歩), pace (側対歩), canter (駢歩), rotatory gallop (回轉駢歩), transvers gallop (交叉駢歩), に分類される。

しかし、常歩、速歩、ならびに駢歩に関しては、これらの歩法の如何にかかわらず、1本の前肢の運動は基本的には差がないことが

実証されている。(31, 32, 33)

今回、装蹄の影響を検討するための基準として測定した跣蹄時の前肢の動きについても、その Kinematic な動作分析の結果は、従来¹⁰の報告とほぼ一致している。

装蹄に関する成書によれば、蹄鉄の装着による蹄の保護、滑走防止、およびそれに伴う、歩行上の推進力の強化などが装蹄の必要な理由になっている。

ヒトのスポーツ界におけるスパイクシューズの開発と同様の目的で、齒鉄、鉄脛蹄鉄などの蹄鉄の改良と開発も検討されて来た。本研究においては、蹄鉄の装着に、常歩を除く各歩法で、蹄の着地時に滑走が発現することが示された。これは運動路面がアスファルトであり、蹄鉄が平坦であることを考慮すれば、路面と蹄鉄との摩擦係数が小さく、着地時の前肢における制動作用から、当然の結果であると考えられる。このことについて成書(15, 19, 22)では、跣蹄時における蹄機作用の意義のこ

ととよく一致する，従っていかなる地床面においても蹄鉄の装着の場合とは地床面の条件が蹄鉄の機能に大きな影響を与えるので硬い路面における蹄の滑走防止には蹄鉄の接地面に設けられた突起物(齒鉄，鉄脛)などによって地床面との摩擦を大きくしてやる必要がある。馬のような疾走を得意とする四足獣は離地期に肢を前方に移動するときの慣性モーメントを出末るだけ小さくするために，肢端に近く位置する重い筋肉はなるべく躯幹近くに移動させ，肢端の関節の屈伸は軽い腱によっておこなうというやり方をしてきた。したがって肢端に蹄鉄のような重い物体をつけることは肢の動きに多かれ少なかれ影響が出てくることは充分に想像される。そこで蹄鉄資材の軽量化を目的に，アルミニウム，その他の特殊軽合金を使用した蹄鉄の開発が行われて来た。しかしこの点について明確に実証する報告は見あたらない。

今回の結果では蹄鉄の装着によって、離

地期における前肢下部の関節運動の屈曲方向への角加速度が増大する可能性が示唆された。これは、反回時における摩擦の減少、他に肢端の重量の変化によるものと若えられ肢の下方の運動が、その上部の運動に比べ、力学的影響を受け易い状況下で学まれていることを示唆している、また、前肢の連鎖機構としての関節運動については、Frischerの更驗によって(野村の著書より引用23)その連鎖を構成する関節の一部に負荷がある場合、その負荷点の位置と大きさか、その肢全体の関節運動に、大ききり小なりの影響をおよぼすことなどが知られており、蹄鉄の重量の負荷による肢端の生理的な運動量(速度×質量)の増加に基因して肢端以外の部位にも影響を与えているのである。蹄踵部への釘付けによつて、離地期における肢の下方の動きについても同様な相異が幾つか観察された。これらのうち離地期において蹄冠部の前方への加速度が減少するということは、蹄踵部への釘付けにより蹄

の弾性が阻害され、結果として蹄距が狭窄していく過程で生ずる上方への弾性力が押される。

上弯は、蹄の反回を良好にし、運歩の軽快を促すことを目的とし、運動能力の向上、ならびに運動器障害の治療処置に應用されている。(5, 6, 15, 18, 19, 22, 23, 25, 28, 30) 本研究において、上弯の設置により、離地期初期における蹄距の前方への加速度が増大することを示された。このことは、従来から唱えられている上弯の設置意義とほぼ一致する特徴と思われる。すなわち、上弯の設置は蹄の縦径を短縮し、その結果、離地時における蹄の回転モーメントを減少させ、前肢の動きが促進されたものと解釈される。

ただし、蹄鉄の装着を始めとする装蹄条件の結果出現した。加速度、再加速度の変動については、Fischer (23) の実験から前肢の連鎖機構としての関節運動の特性が関与し、その運動開始時の初期条件によって惹起されたものと

推察されるが、離地時の条件、それに影響される follow through および関節運動を行う筋活動などが複雑にからみあっていると考える。なおその詳細な理由については今後の検討が必要であるかと思われる。前肢の Kinematic な動きに対する装蹄の影響は、蹄鉄の磨擦係数、蹄角質の弾力性、蹄の離地反回、蹄鉄の重量などが関与して発現し、またその影響を運動学的にみた場合これらは肢の下部における関節で補償されているという特徴を明らかにすることができた。

II 前蹄の蹄壁に対する装蹄の影響

従来馬蹄には蹄機作用があるとされ、その一要素として蹄角質の弾性が挙げられている。(5,6,15,18,19,22,23,25,28,30) これを検討する目的で、工業用歪計を用い蹄壁の歪を測定した成績については、小池ら(4,13,14)の報告などにわすかに散見される。また仁木ら(21)によっても同様の方法による蹄壁の歪につい

ての詳細な生物学的意義づけが行われている。したがって、これらの報告から工業用歪計を用いた蹄壁の歪測定法は、その測定成績に再現性があり、また、その精度も充分であり、個体間においてもほぼ共通した成績が得られることが実証されている。

しかし、この方法は、その測定成績の信頼性は高いものの、その生物学的意義づけが難しく、これらの成績を評価する場合、歪現象そのものの概念を十分に考慮することが要求される。生物学に関する成績(29)によれば、物体の歪について次のように述べている。

すなわち、弾性、塑性を有する物体の歪現象は、圧縮歪、引っぱり歪、剪断歪に分類され、これらはまた、物体の形状、物体へ加わる力の方向と量、などによって、その歪の出現状況が相異なる。さらに、物体の強度によってもその歪は相異し、この観点からは、その物体の材質に由来する問題、ならびに、その物体の形状に由来する問題とに区別して考

察しなくては、ならないとされている。

これらの物理学的特性から、歩法における捻れを含めた曲げの現象に伴う歪現象を主体としていえるものと考えられる。

すなわち、ここでの歪量は、蹄壁各部についての荷重量を直接的に表現しているのではなく、その部の緊張、弛緩などの力学的な Stress (応力) を表現しているものと推察される。

また、蹄踵部の具体的な変形状態を実際に測定した報告は著者の知る限り皆無である。そこで本研究においては特殊な変位計を考案試作して使用した結果周波数特性がやや低くまた着地時の衝撃による変位計本体の振動が artifact として検出されるなどの問題はあつたが歪計による測定法に比べて蹄踵部の水平方向の変位状態をより具体的に把握する方法としては、十分に実用的価値があるものと判断された。

跣蹄時における蹄壁各部の歪は歩法によ

よるわずかな相異が観察されたものの、基本的な差はなく、仁木(21) 小池ら(4, 11, 12, 13, 14)の報告とほぼ一致する結果が得られた。蹄鉄の装着が蹄角質の保護として有用であることは、経験上から当然であると思われ、蹄鉄の装着と蹄鞘の応力との関連性についての詳細な報告は著者の知る限り皆無である。

本研究における成績では蹄鉄の装着により蹄壁各部の歪量が総体的に減少し、また歪の発現状態が緩和し部位によっては、歪波形の位置の相異が示された。

これらのことはおおよそ次のように考えられる。

蹄鉄の装着は着地期の前後ならびに離地期には、肢端への負荷とはなるものの着地期では蹄全体にかかる負重には変化がなくこれは着地期の前肢の動きについての動作分析の結果からも明らかであった。したがって、蹄鉄の装着によって生じた歪量の減少は、蹄全体への負重変化などによる結果ではないと考え

られる、蹄鉄が4本の蹄釘によって蹄負面に密着してゐることを考慮すれば、この歪量の減少は着地期における衝撃、あるいは負重圧が蹄壁各部に放散され、その結果、蹄壁内部の応力分布が蹴蹄時と相異なることに由来するものかあるいは、蹄全体にかかる負重の一部が蹄釘の屈曲ないしねじれとして推察される。特にその歪の相異が、Vertical方向で多発することから、その蹄壁の角細管方向への力の放散状態に変異を来たしていることがわかる。蹄壁の多数の部位から記録した歪の分布状態を調べることによってこの問題を明らかにすることが今後の課題であると考える。

成書(15,19,22)では、蹄釘の設置部位について最大横径部以後への蹄釘の使用を避ける必要性が記載されており、この理由として、蹄機作用、すなわち体重負脱に伴う蹄の変形の保護を挙げている。この蹄機作用の存在に対する証明は、使用後の蹄鉄の鉄尾接蹄面に見られる溝状磨滅をはじめとし、その他の経験

的事項から説明されており、またその詳細について、仁木(21)小池ら(4, 13, 14)によつて実証されつつあるもののその大要は、Dollar(5)らにより理論的見地から説明されて来たにすぎない。

本研究においては通常装蹄時における内外蹄踵間の側方変位量を、試作変位計下はじめて測定することからできた。その結果蹄踵部は着地から着地期末期まで開張し、蹄踵の離地から蹄尖の離地、すなわち蹄の反回時には狭窄することから明らかにされた。

これらの事実は、従来から説明されてきた蹄撥作用を具体的に実証したものであると同時にさらに蹄の反回時においては蹄踵部の狭窄が出現することを明らかにした。またこの開張狭窄による最大変位巾は歩法により相異なるものの、溝状磨滅の巾によく一致している。

最大横径部以後、すなわち蹄踵部への釘付け後の蹄壁の歪、内外蹄踵間の側方変位を検討したところ、これらの結果はいさかも蹄

踵部の側方変位巾が減少したことは、その部の開張、狭窄が阻害されたことを示している。また、蹄壁の歪についての成績では、内外蹄側壁の *Horizontal* 方向の歪量の歪量が減少し、蹄の反回時の特徴的な歪が減少もしくは消失することながら示された。蹄壁の歪に関するこれらの結果は、いづれも蹄踵部の開張と狭窄が阻害された事実と一致している。このことは、蹄壁各部、殊に *Horizontal* 方向の歪が、主として蹄踵部の開張、狭窄によって左右されることを示しており、換言すれば、蹄壁表面から検出された歪現象は、主として蹄固有の変形に由来するものであると考えることも可能であることを間接的に示しているものと推察される。

蹄踵への釘付けにより、常歩・速歩においては、着地後の蹄踵部の開張、狭窄が早期に発現することが示された。ところで着地期における負重による、肩胛、蹄骨ならびにその他の蹄鞛内部構造の位置的变化は、これま

で説明されて来たように、蹄鞘全般、殊に蹄底の下降と蹄側壁から蹄踵壁にかけての開張によって円滑に処理されているものと考えられる。そこで負重の大きさと蹄鞘本来の抵抗性を若慮すれば、蹄踵部への釘付け以後も、負重に伴う蹄鞘内部構造の変異の発現過程はほとんど変化がないと考えられる。

ところが負重にともなう蹄底の下降は蹄釘によって制限されているため制約されているというものの開張が可能な蹄踵部に応力が集中する結果蹄踵部の開張が早期に発現したものと解釈される。この現象は、駈歩では観察されなかった。これは一完歩の所要時間が短かく着地後の蹄踵部の開張発現までの時間がどの装蹄条件短縮されたことおよび歩法の相異ならびに歩行速度増加による蹄の負重圧の増加により、蹄釘自体の抵抗力が問題にならなくなったことなどによると考えられ、蹄釘が軟鉄でできているということは、蹄の保護には非常に具合のよいことであることが示

唆されよう。

これらの結果は いづれも蹄踵部への釘付けによる蹄機作用の阻害を明白に実証するものであり、馬蹄の生理的な環境を維持するうえで蹄踵部への釘付けは、従来から指摘されているように極力回避すべきであると思われる。

従来、上弯の設置意義についてのこれまでの報告については、すでに前項で述べたがその蹄壁への影響について言及した報告は皆無である。上弯の設置後における蹄壁各部の歪を測定した結果、その特徴的現象として、蹄尖壁 Vertical 方向、外蹄側壁の Vertical, Horizontal 方向の、蹄の反回時の特異な歪が極端に減少もしくは消失することを示された。蹄踵部を釘付けした場合にも奇妙なことに同様の現象が認められた。

ところで蹄の反回時に蹴蹄でみられた歪は、前肢が後肢と異なり、離地する時に肢が重心にもっとも近く位置することから生

ずる。離地直前、蹄尖だけで接地しているときにかなりの負重も支えねばならず、その反圧によって歪が生ずると考えられ、蹴蹄馬はその摩擦を利用して前肢を離地するのである。上弯の設置によるこの歪の消失は、反回時の反圧を線ではなく面で受けることにより蹄尖に集中する反圧を分散するためと考えられる。したがって、これは、無騎乗馬では蹄の反回時の滑走などを誘発し不利に働くと考えられる。しかし、駈歩などの速い歩行、あるいは騎乗馬など、前肢への負重増大する場合には、蹄尖部の急激な変形を緩和することにより、機能的に有利に働くのであろう。

蹄踵部まで釘打ちした場合にみられた同様の現象の原因は不明であるが、この場合は、蹄鉄が蹄負面全体に密着しているために、なんらかの理由で反回時の分圧が分散されるためではないだろうか。

従来より、蹄壁の長さと応力との関連性については、理論的かつ経験的に知られている

が、その詳細な実態については不明である。

そこで、本研究において、全蹄負面にわたり、1 cmの厚さで平坦に削蹄したものについて、その削蹄全後の蹄壁の歪を検討したが、この際、削蹄の前後では、蹄壁の長さが異なることから、その比較対象の部位が問題とされる。この点については、削蹄後の測定部位として、削蹄前における測定部位と相対的な位置関係を有する部位、ならびに、絶対的な位置関係を有する部位の二通りの部位の歪を対象とし、削蹄の前後を比較した。その結果、削蹄後の蹄壁における相対的なならびに絶対的な位置の歪は、量的には相異なるものの、質的には差がみられなかったが、これらの部位と、削蹄前の歪とでは、量的な相異とともに、基本的な相異が観察された。

この現象については、実験例が1例であることもあり、その詳細な原因は不明であるが、いずれもVertical方向の歪に観察されたことから、蹄壁の長さの変化によって、蹄壁内部

の応力分布が相異したことに由来するものと考えられる。

蹄の歪および蹄踵の水平変位からみた削装蹄の前肢への影響の一部をはじめて明らかにすることができたが、これらの変異は、蹄踵部を釘付けにした場合を除いて、障害の範中に入らないことは長い装蹄の歴史から経験上明白である。

我々が生まれてはじめて靴をはいたときぎこちなく感ずるものの次第に慣れてくるように、馬も削装蹄に対して次第に適応していく過程が存在するというのも重要な要素であろう。実際、2頭の実験馬は装蹄の順致にかたりの差があつた。したがつて、これらの間にみられる相異は、個体差と同時に、この順位の有無の存在の影響が現われていたと考えることもできる。

以上、跣蹄と削装蹄との比較を、前肢の動作分析、前蹄の歪および蹄踵の水平変異から

みた相異点を中心として考察してきた。
これらによって、削装蹄の影響は蹄ならびに
肢端の前肢の動きに現われるものの、歩行運
動における前肢の運動には、基本的に差がな
いことを明らかにすることができた。

第V章 要約ならびに結論

削装蹄による前肢の運動、ならびに前蹄の蹄壁にみよぼす影響について、乗馬を用い、16 mm cinefilm による動作分析、工業用歪計による蹄壁歪の測定、試作変位計による内外蹄踵間の側方変位の測定などにより、これを計測検討した結果、次のような成績が得られた。

I. 装蹄による前肢の動きに対する影響

1. 蹄鉄の装着による影響

- 1) 球節の離地期における屈曲が増大した。
- 2) 球節の離地期末期における屈曲方向の角加速度が増大した。
- 3) 駢歩では、手根関節の離地期末期における上下方向への加速度変動範囲が増大した。
- 4) 常歩以外の歩法では、着地時の蹄滑走が出現した。

2. 蹄踵部への蹄釘設置による影響

- 1) 球節の離地期初期における伸展方向への角加速度が増大した。
- 2) 蹄冠部の離地時にみける前方への加速度が減少し、また、離地期末期における後方への加速度が増大した。

3. 上弯による影響¹⁵

- 1) 球節の離地期における屈曲方向への角加速度が増大した。
- 2) 蹄冠の離地期初期における前方への加速度が増大した。

これらのことから、前肢の運動に対する装蹄の影響は、肢の下部に至るに従い顕著であり、また、その大部分が離地期において認められたが、歩行運動にみる前肢全体の動きは運動学的には差がなかった。

II. 削装蹄による前蹄の蹄壁に対する影響

1. 蹄鉄の装着による影響

1) 内外蹄側壁、内外蹄踵壁の主として Vertical 方向の歪に相異が認められた。

2) 内外蹄側壁の Horizontal 方向、蹄尖壁の Vertical 方向の歪量は、総体的に減少した。

2. 蹄踵部への蹄釘設置による影響

1) 蹄壁全般の歪に、主として部分的な相異を認め、その特徴的な共通点として、蹄の反回時の歪が減少、もしくは消失した。

2) 内外蹄側壁の Horizontal 方向の歪量は、総体的に減少した。

3) 蹄踵部の負重時における開張と、反回時における狭窄が減少した。

4) 常歩、速歩では、蹄踵部の着地直後の開張が、早期に発現した。

3. 上唇による影響

1) 蹄壁全般の歪に、相異が認められ、外蹄側

壁 Vertical 方向については、波形の位相が相異し、その他は、ほぼ共通した特徴として、蹄の反回時の歪が極端に減少、もしくは消失する。

2) 蹄尖壁 Vertical 方向の歪量は、総体的に減少した。

3. 削蹄による影響

1) 内外蹄側壁の主として Vertical 方向の歪に相異が認められた。

2) 蹄尖壁 Vertical 方向の歪量は、削蹄後の蹄壁中央部、削蹄後における削蹄前の測定部位と同一部位、削蹄前の蹄壁中央部の順で大きかった。

3) 蹄尖壁 Horizontal 方向の歪量は、削蹄後の蹄壁中央部、削蹄前の蹄壁中央部、削蹄後における削蹄前の測定部位と同一部位の順で大きかった。

以上より、蹄壁各部の歪は、一部で相異を

認めるものの、負重に伴う蹄固有の変形状態は、跣蹄時と基本的には同じであった。

削装蹄では、その影響は蹄の歪ならびに前肢端の動きの変化として現われるものの、歩行運動における前肢の運動においては跣蹄と基本的に差がなかった。

謝辞

本論文を作成するにあたり 終始懇切なる
 御指導 御助言を賜りました麻布大学獣医学
 部 農学博士 北昂教授に心より感謝の意を
 表します。また麻布大学獣医学部 獣医学博
 士 高橋貢教授 東京大学農学部畜産獣医学
 科家畜労役生理学教室 農学博士 徳力幹彦
 氏 日本装蹄師会 獣医学博士 青木修氏
 に終始懇切なる御指導御助言を賜りました。
 ここに心より感謝の意を表します。実験遂行
 および材料収集などに終始御協を頂きました
 麻布大学獣医学部大学院生 仁木陽子嬢 同
 大学馬術部の皆様ならびに 村田富士雄君
 福永亮浩君に感謝致します。最後に本研究の
 遂行にあたり終始苦勞をかけた 妻 譽子に
 感謝致します。

参考文献

- 1) Adams, O. R. (1974) Lameness in horses 3rd ed
Lea and Febiger, Philadelphia. p.p. 1~27
- 2) Alexander, R. McN. (1977) Terrestrial locomotion
In: Mechanics & energetics of animal locomotion
(Alexander, R. McN. and Goldspinker, G. Eds)
Chapiman and Hall. London. p.p. 168~203
- 3) 青木修, 北昂 (1980) 馬の常歩ならびに
速歩における前肢蹄角度と肢蹄の動きとの
関連性. 第90回日本獣医学会講演要旨
- 4) 小山内治登, 小池尚明, 渡辺善己,
吉田武徳, 大井康博, 渡辺正義, 田中弘祐
関口隆. (1980) 16mm 高速カメラとひず計
の同時応用による、踏着状態の検討.
獣医技術. 日本中央競馬会. 17. 405
- 5) Dollar, J. A. W. (1898) A hand book of horseshoeing.
William R. Jenkins
- 6) Emery, L. Miller, Jand Hoosern, N. V. (1977)
Horseshoeing theory and hoof care, Lea and Febiger,

Philadelphia. p.p. 27-63

7) 藤原知. (1975) 運動解剖学. 医歯薬出版
東京 p.p. 1-30

8) Fredricson, I. and Dreveno, S. (1972)
Equine joint kinematics and co-ordination.
Acta. Vet. Scand. Suppl.

9) Hildebrand, M. (1965) Symmetrical gaits of
horse. Science p. 150, p.p. 701-708

10) Hildebrand, M. (1974) Analysis of vertebrate
structure. John Wiley and sons
New York. p.p. 487-515

11) 小池尚明. 今原照え. 天田明男.
土川健え. 小峰敬一. 栗田知. (1972)

加速度計による馬の運動形式の解析. I, II

獣医技術. 日本中央競馬会. Vol 9 p.p. 236-244

12) 小池尚明. 今原照え. 天田明男. 沢西司

上原伸美. 土川健え. 岩月邦明. 牧村憲治

(1973) 加速度計による馬の運動形式の解析

III, IV. 獣医技術. 日本中央競馬会, Vol 10

p.p. 1-9

- 13) 小池尚明、土川健え、岩月邦明、
内野和広、小山内治登、渡辺善己、
大井康博、渡辺正義、天田明男 (1974)
ひずみ計による蹄機の解析について、I
獣医技術、日本中央競馬会、Vol 11 p.p. 518-526
- 14) 小池尚明、荒木貞勝、土川健え、松本実
内野和広、沖博憲、小山内治登、渡辺善己
大井康博、渡辺正義、磯野岩夫、牧村憲治
沢西司、天田明男 (1975) ひずみ計による
蹄機の解析について、II 獣医技術、日本中
央競馬会、Vol. 12 p.p. 15-25
- 15) 北昂、原正、古賀郡 - (1966) 装蹄学。
日本装蹄師会、東京
- 16) Lungwitz, A. (1893) G. Schonfeldts Ver Tag-
sbuch and lung. Dresden
- 17) Lungwitz, A. (1966) A. text book of horseshoe-
ing, Oregon. state. Univ. press, p.p. 87-89
- 18) 松葉重雄 (1965) 装蹄療法 日本装蹄師
会 東京 p.p. 1-30
- 19) 松原茂平 (1962) 競走馬の歩みと蹄。

日本中央競馬弘済会、東京

- 20) Muybridge, E. (1957) *Animals in motion*.
Dover publication, Inc. New York. p.p. 13-17
- 21) 仁木陽子、高橋貢、北昂、青木修、
徳力幹彦、(1980) 馬の常歩ならびに速歩に
おける前肢蹄壁のひずみ変化、第90回日本
獣医学会講演要旨
- 22) 日本装蹄師会 (1941) 装蹄師講本
- 23) 野村普一、(1952) 馬の運動器の機構と故
障 日本装蹄師会
- 24) Rooney, J. R., Caudus, M. A. and Kingburg, H. B.
(1978) A Horse and motion study of the foreleg
of a standardbred trotter *J. Equ. Med. Sur.*,
2 (5) p.p. 233-242
- 25) Rooney, J. R. (1969) *Biomechanics of lameness*¹⁵
in horse. William and Willins, Co.
Baltimore p.p. 37-79, p.p. 96-105
- 26) Rooney, J. R. (1974) The cutting-in mechanism
of the equine hoof. *M. Vet. Prac.*, p.p. 217-220
- 27) Rooney, J. R. (1975) *The lame horse*.

A. S. Baarnes and Co., Inc. Cranbury, New Jersey.

p.p. 84 - 159

28) 関根富治 (1935) 運動間における装蹄判断の基本的研究. 中央獣医学雑誌

49(8) p.p. 670 - 749

29) 下中邦彦 (1965) 図説体系 7. 力と運動
平凡社, 東京

30) Spencer, D. (1960) Horseshoeing and hoof care. Western horse men, Inc. Colorado Spring. p.p. 2 - 19

31) Tokuriki, M. (1973) Electromyographic and Joint mechanical study in quadrupedal locomotion, I. Walk. Jap. J. Vet. Scie. 35, p.p. 433 ~ 446

32) Tokuriki, M. (1973) Electromyographic and joint mechanical study in quadrupedal locomotion II. Trot Jap. J. Vet. Scie. 35. p.p. 525 - 533

33) Tokuriki, M. (1974) Electromyographic and joint mechanical study in quadrupedal locomotion, IV. canter Jap. J. Vet. Scie. 36 p.p. 121 - 132

34) 土江義雄、幡谷正明 (1942) 馬の四肢筋
腱の作用に関する研究 I. 前肢、日獣誌
4 (6)

35) 土屋和夫 (1972) 歩行の分析。"生体の運
動とその制御" (真島英信、猪飼道夫) より
杏林書院、東京 p.p. 279-302

36) 渡辺善己、小山内治登、大井康博、
渡辺正義、小野悦三、磯野岩夫、伊藤敏明
松永佳昭、荒木貞勝、小池尚明、吉田武徳
松本奥、乗上信幸、倉兼英二 (1977)
16 mm 高速撮影による運動時における蹄の
踏着状態について I. 獣医技術 日本中央
競馬会 Vol 14 p.p. 278

37) 吉田武徳、松本奥、佐野一夫、星野年彦
仁岸正え、渡辺善己、大井康博、加藤好則
磯野岩夫、伊藤敏明、田中康祐 (1978)
16 mm 高速度撮影による馬の運動解析につ
いて II. 獣医技術 日本中央競馬会
Vol 15 p.p. 305

Experimental study on the effects of horseshoeing
on the movements of the horse's forefeet

The fundamental rules of horseshoeing in Japan at present are based on the theories of "foot axis" and "hoof stability". The objectives of horseshoeing are to protect the feet and hoofs, to improve motor ability, and to treat various diseases of the locomotive organs. In horseshoeing much attention is given to several points. In order to protect hoof mechanics, extended branches are set and the region in which horseshoe nails are driven is restricted. In order to protect muscles and tendons, rocker-toes are attached to horseshoes. However, these theories are mostly supported experimentally and have not yet been proven scientifically.

In this study the effects of horseshoeing on the movements of the horse's forefeet and on the wall of the anterior hoofs were experimentally examined.

Two riding horses which could walk normally were used for the experiment. Some of the anterior hoofs were unshod. Flat horseshoes were attached to the internal and external quarters of the anterior hoofs with 4 horseshoe nails and to the internal and external quarters of the heel with 8 horseshoe nails. Horseshoes with rocker-toes were attached to the internal and external quarters with 4 horseshoe nails. Hoof parings also were attached.

These experimental horses were walked, trotted, and cantered on a flat, solid, asphalt road. A 16 mm-cinefilm of the left forefeet was taken while the horses were being walked, strain on the quarters was measured by a strain gauge, and lateral transformation of the heel was measured by a transformation transducer manufactured for trial. In order to analyze the movements of the forefeet, the intersection of the pastern axis and the coronary band and 1/3 of the spinous process of the scapula, the shoulder joint, the elbow joint, and the spheroid joint were examined. Strain on the quarters was measured at the upper and lower toes, the internal and the external quarters, and the internal and the external heels. It was measured in two directions: in a "vertical direction", which was parallel with the horny tubules, and in a "horizontal direction", which intersected at right angles with the vertical plane. The transducer (in which carbon powder was used) was applied to the space between the internal and the external heels by means of a metal screwdriver. The following results were obtained.

I. Effects of horseshoeing on movements of the forefeet

(1) Effects of ordinary flat horseshoes

A range of variation of acceleration in a vertical direction increased at the end of the swing phase in the carpal joints.

When the hoofs touched the ground, sliding was observed.

The degree of abdominal flexure increased in the swing phase in the spheroid joint.

Acceleration in the direction of abdominal flexure increased at the end of the swing phase in the lower joints of the feet.

(2) Effects of horseshoe nails driven at the heels

Both acceleration in an anterior direction and acceleration in a posterior direction decreased at breakover of the coronary band and at the end of the swing phase in the coronary band, respectively.

Angular acceleration in the direction of posterior flexure increased in the early period of the swing phase in the spheroid joint.

(3) Effects of rocker-toes

Acceleration in an anterior direction increased in the early period of the swing phase in the coronary band.

Angular acceleration in the direction of abdominal flexure increased at the end of the swing phase in the spheroid joint.

II. Effects of horseshoeing on the quarters of the anterior hoofs

(1) Effects of ordinary flat horseshoes

The quarters, especially the external quarter and the internal heel, as a whole tended to show different types of strain waves moving in a vertical direction, except for the toes. Characteristically, the shapes of the waves as a whole tended to be different. When waves moving in a horizontal direction in the internal and external quarters and in a vertical direction in the toes were examined, they generally tended to decrease.

(2) Effects of horseshoe nails driven in the heels

There was a difference in the shape of the strain waves among the quarters. As a characteristic phenomenon, transitory strain at breakover in the waves moving in a vertical direction in the toes and in a horizontal direction in the internal and external quarters either decreased, showing some defects, or disappeared. The quantity of strain waves moving in a horizontal direction in the internal and external quarters tended to decrease.

Lateral transformation of the internal and the external heels was examined. The heels of hoofs shod with 4 horseshoe nails driven in the internal and external quarters dilated from the early period to the middle period of the stance phase and constricted at breakover. This dilation of the heels after they touched the ground was observed early because of the horseshoe nails driven in the heels. The quantity of transformation generally tended to decrease with each gait.

(3) Effects of rocker-toes

There was a difference in the shape of the strain waves among the quarters. As a characteristic phenomenon, transitory strain at breakover in the waves moving in a vertical direction in the toes and in a horizontal direction in the internal and external quarters either decreased very much or disappeared. There was a difference in the shape of the strain waves moving in a vertical direction in the external quarter. The quantity of strain waves moving in a vertical direction in the toes tended to decrease.

(4) Effects of hoof paring

Based on the fact that there is a difference in the length of the quarter before and after hoof paring, two sites for measuring strain after hoof paring were determined: one correlated to the site of measurement before hoof paring and the other corresponded to the site of measurement before hoof paring. The shapes of the strain waves at these two sites were similar. However, there was a difference in the shape of the strain waves moving in a vertical direction in the internal and the external quarters before and after hoof paring. The quantity of strain waves moving in vertical and horizontal directions in the toes was examined. The quantity of strain waves moving in a vertical direction after hoof paring was the greatest at the site which correlated to that of measurement before hoof paring, the site which corresponded to the site of measurement before hoof paring, and the site of measurement before hoof paring, respectively. The quantity of strain waves moving in a horizontal direction after hoof paring was the greatest at the site which correlated to that of measurement before hoof paring, the site of measurement before hoof paring, and the site which corresponded to the site of measurement before hoof paring, respectively.

After horseshoeing, changes were observed in the movements of the forefeet during the entire period of the swing phase, including breakover and the time when the hoofs touched the ground. Such changes became more remarkable in the lower part of the feet, showing

a quantitative difference of movements. These facts seemed to be related to the characteristics of movement of the foot joint as a chain reaction. The effects of horseshoeing on the movements of the forefeet seemed to be related to the frictional coefficient of the horseshoe, the weight of the horseshoe, the inhibited elasticity of the heels due to horseshoe nails, an increase of breakover in the hoofs due to rocker-toes, etc.

The effects of horseshoeing on the quarters of the forefeet were observed in the whole quarter during the entire period of the stance phase, including breakover. It was concluded that horseshoeing affects dynamic stress such as tension, relaxation, etc. in each part of the quarter. These influences seemed to be due to a difference of distribution of internal stress in the quarters and to the difference of physiological movement of the hoof associated with increased body weight due to the attachment of horseshoes, the use of horseshoe nails in the heels, the use of rocker-toes, hoof paring, etc.



Fig. 1 Experimental horse. Case 1



Fig. 2 Experimental horse. Case 2

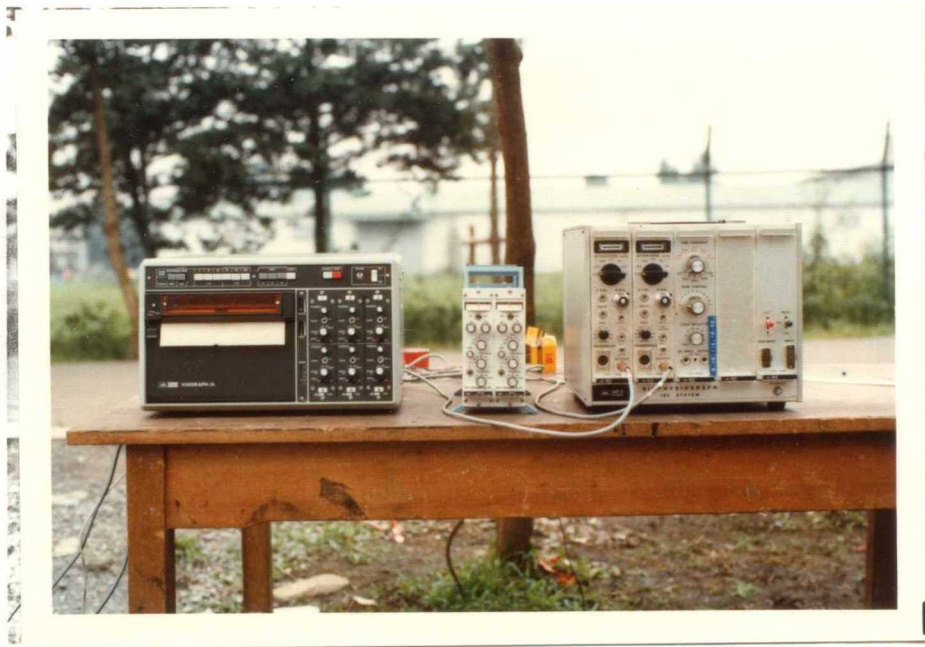


Fig. 3 Photograph showing the experimental instruments.



Fig. 4 Photograph showing the set up of the instruments.



Fig. 5 Photograph showing the experimental horse with measurement mark for motion analysis.



Fig. 6 Photograph showing the forelimb with strain gauges.



Fig. 7 Photograph showing the fore hoof with strain gauges and transducer.

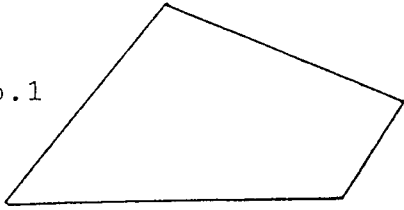


Fig. 8 Photograph showing the fore hoof with transducer.



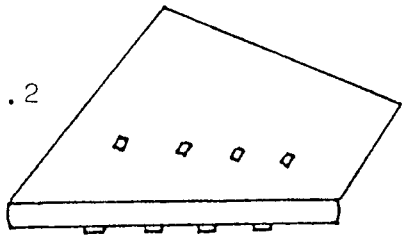
Fig. 9 Photograph showing film data analyzer for motion analysis.

Exp.1

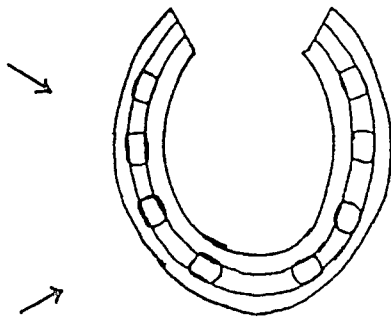
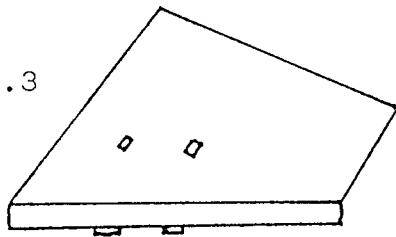


Unshod hoof

Exp.2

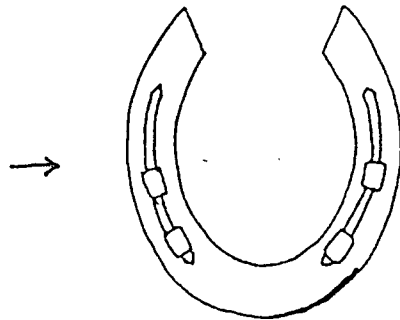
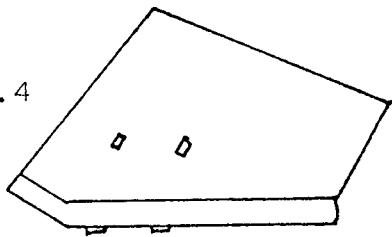


Exp.3



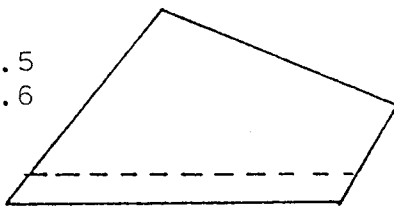
Horseshoe in the Exp.2,3

Exp.4



Horseshoe in the Exp.4

Exp.5
Exp.6



Paring hoof

Fig. 10 Diagram of the hoofs condition in the experiments.

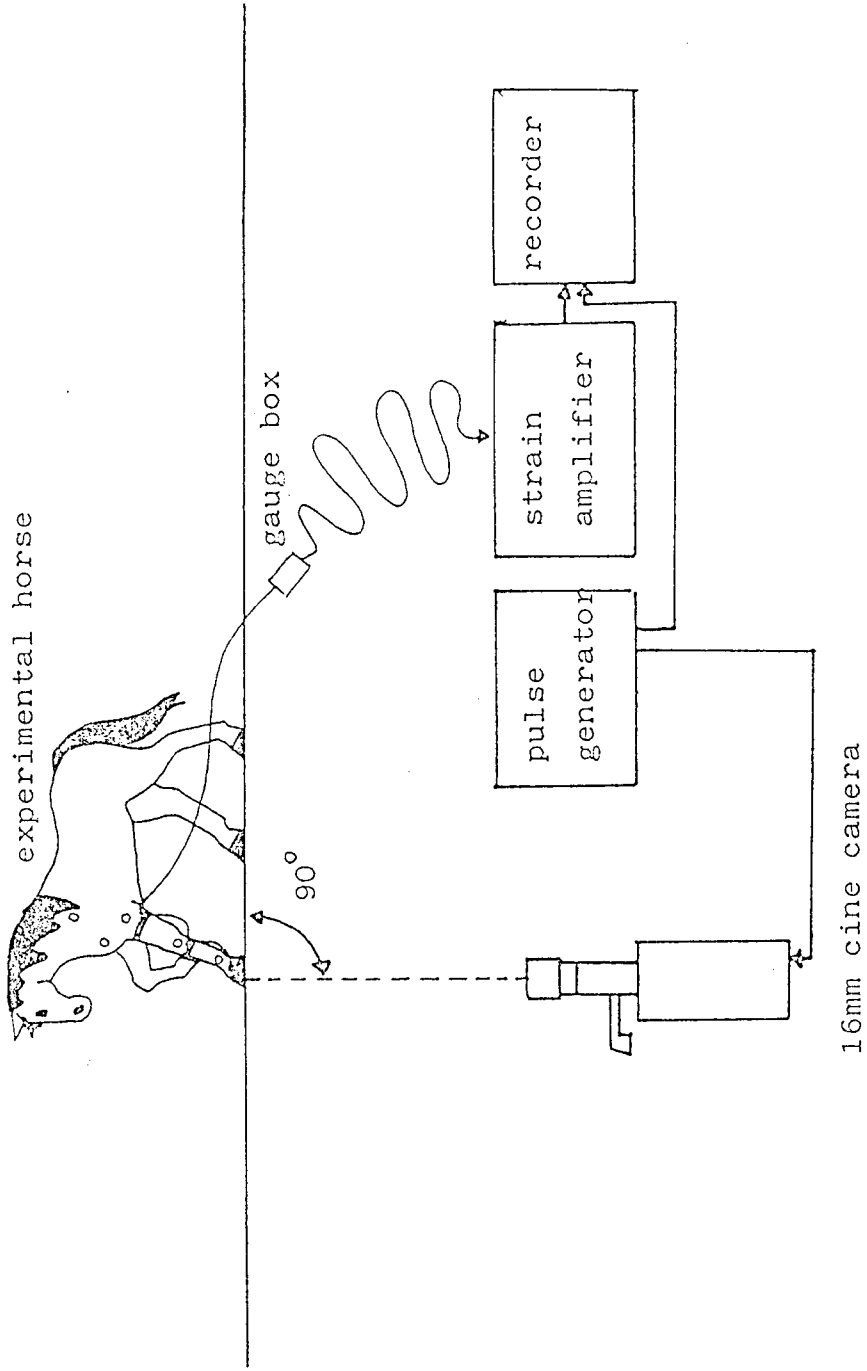


Fig. 11 Diagram of the experimental set up.

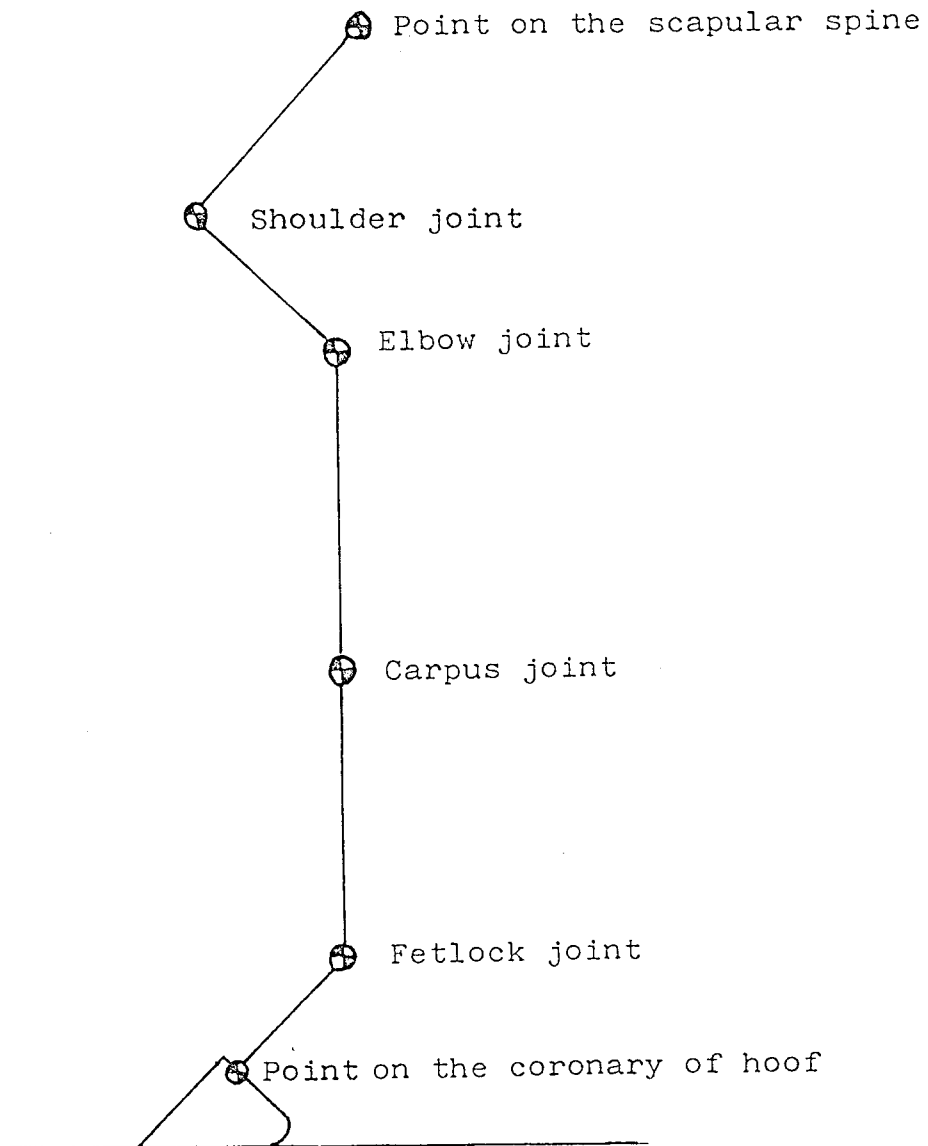


Fig. 12 Stick diagram of forelimb showing measurement points.

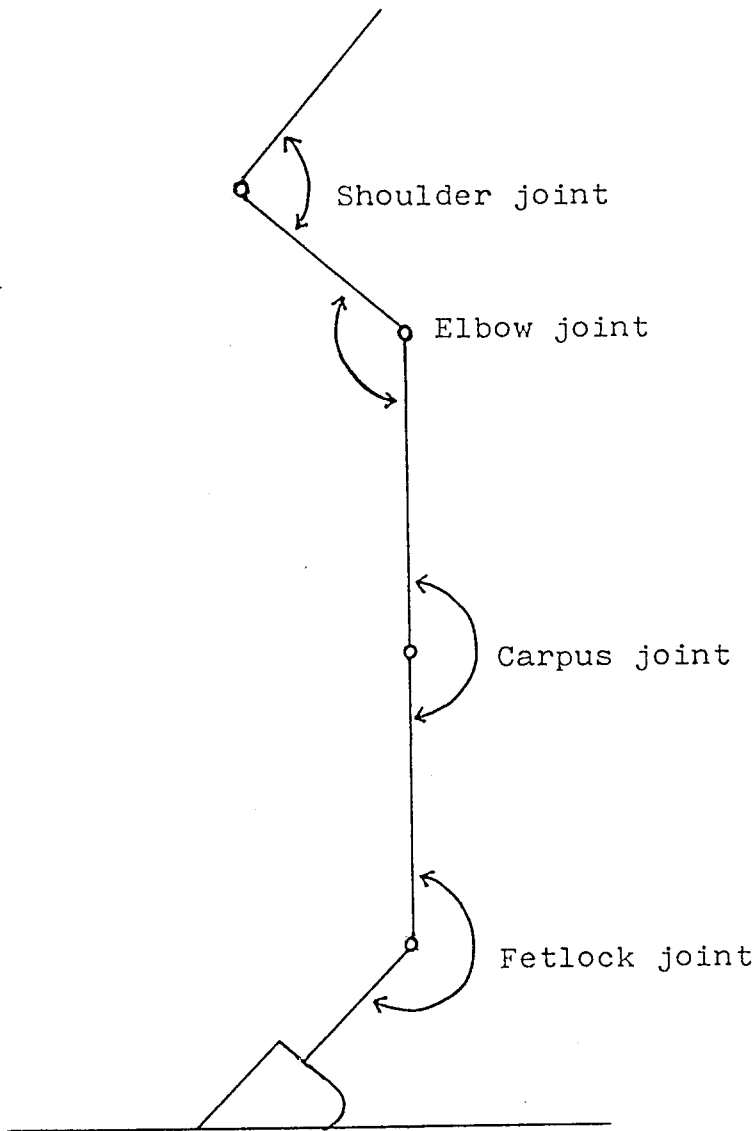
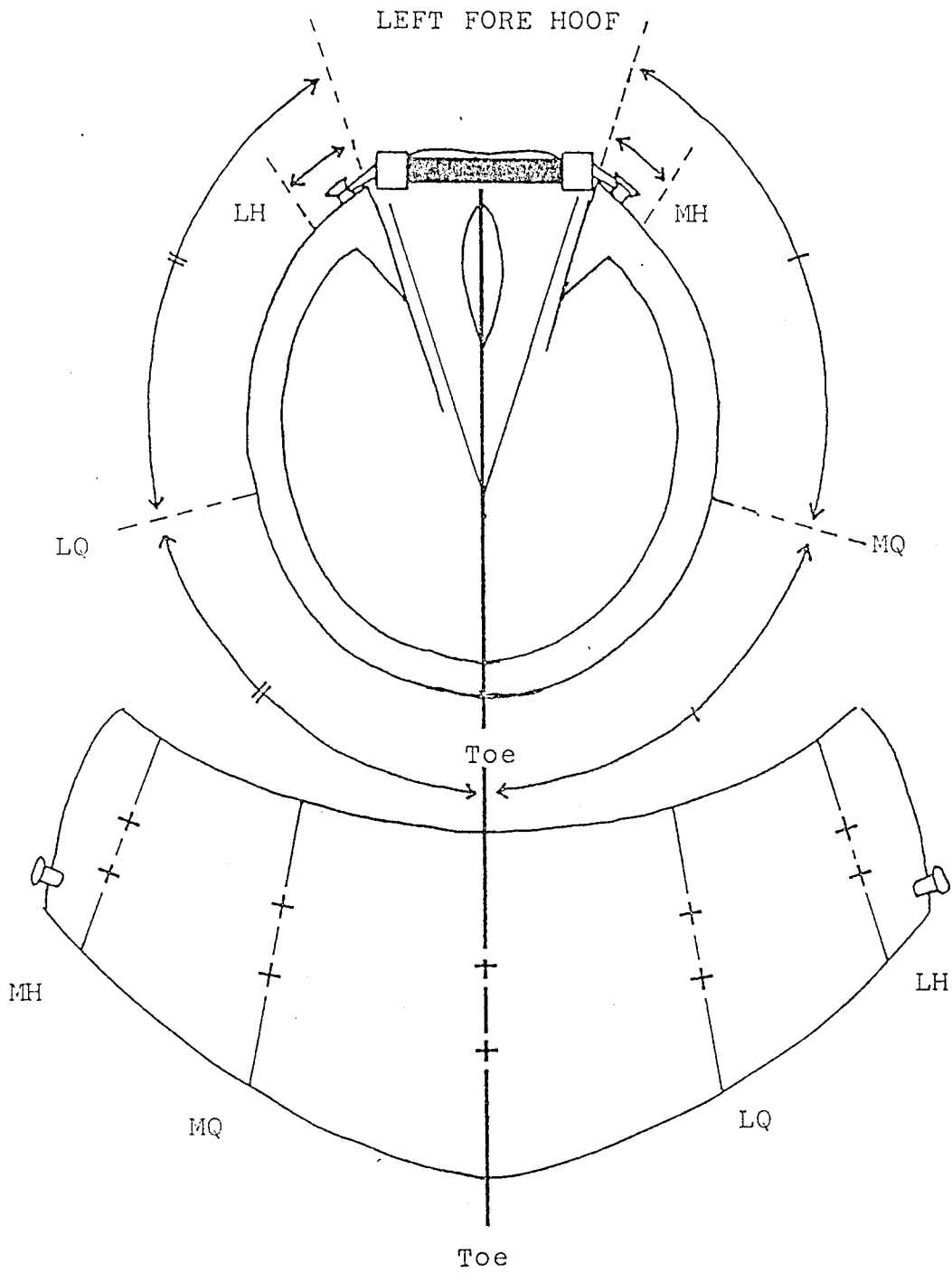


Fig. 13 Stick diagram of forelimb showing the measuremental joint angles.



MH: Medial Heel
 MQ: Medial Quarter
 Toe: Toe
 LQ: Lateral Quarter
 LH: Lateral Quarter

Fig. 14 Diagram of the hoof showing the measuremental point.

Table 1 Some basic data of the experimental horses.

NO.	Case 1	Case 2
Breed	anglo-arab	thoroughbred
Age(years)	4	5
Sex	female	female
Body weight(kg)	374	402
Body length(cm)	151	153.5
Height(cm)	155	158
Hoof angles(°) Left fore hoof	50	55
Conformation of limbs		
Anterior view	toe-out slight base wide	toe-out slight base wide
Lateral view	standing under in front standing under behind	slight standing under in front slight standing under behind
Posterior view	toe-out slight base narrow	toe-out regular standing
Flight of the foot in motion		
Fore-foot	inward arcs	inward arcs

Table 2 The maximum values of strain.

CASE	1	HORIZONTAL DATA (unit: μ strain)			
		L Q Upper P.	L Q Lower P.	M Q Upper P.	M Q Lower P.
Walk	Exp. 1	4250 \pm 437	1590 \pm 268	3790 \pm 384	2110 \pm 119
	Exp. 2	3390 \pm 223	1810 \pm 119	3900 \pm 397	2280 \pm 139
	Exp. 3	4130 \pm 240	1180 \pm 161	3110 \pm 207	2970 \pm 200
Trot	Exp. 1	6370 \pm 581	2110 \pm 260	3990 \pm 542	2530 \pm 437
	Exp. 2	5020 \pm 225	2470 \pm 323	2940 \pm 554	2820 \pm 428
	Exp. 3	5490 \pm 137	2480 \pm 426	3560 \pm 227	3290 \pm 495
Canter (lead)	Exp. 1	4250 \pm 736	1560 \pm 435	5400 \pm 437	3950 \pm 424
	Exp. 2	3880 \pm 482	2460 \pm 668	4210 \pm 465	3800 \pm 748
	Exp. 3	4080 \pm 466	1210 \pm 303	5040 \pm 416	4410 \pm 255
Canter (trail)	Exp. 1	6460 \pm 697	2340 \pm 245	5790 \pm 530	4260 \pm 362
	Exp. 2	5250 \pm 254	3040 \pm 819	5050 \pm 250	4190 \pm 542
	Exp. 3	6420 \pm 322	3280 \pm 711	4320 \pm 742	4260 \pm 377

Values are mean and SD.

Table 3 The maximum values of strain.

CASE	2	HORIZONTAL DATA (unit: μ strain)			
		L Q Upper P.	L Q Lower P.	M Q Upper P.	M Q Lower P.
Walk	Exp. 1	3590 \pm 213	2510 \pm 406	3060 \pm 189	1660 \pm 245
	Exp. 2	2610 \pm 73	1650 \pm 117	2970 \pm 271	1130 \pm 94
	Exp. 3	3390 \pm 144	1980 \pm 181	2950 \pm 232	1590 \pm 144
Trot	Exp. 1	4880 \pm 282	3840 \pm 587	3660 \pm 245	2180 \pm 391
	Exp. 2	3400 \pm 343	2490 \pm 510	3210 \pm 196	1590 \pm 317
	Exp. 3	3900 \pm 374	3230 \pm 333	3890 \pm 268	1860 \pm 195
Canter (lead)	Exp. 1	4740 \pm 330	3450 \pm 403	4070 \pm 490	2170 \pm 326
	Exp. 2	3710 \pm 357	2050 \pm 227	2800 \pm 278	1200 \pm 400
	Exp. 3	3850 \pm 386	2780 \pm 315	3570 \pm 290	1590 \pm 242
Canter (trail)	Exp. 1	5370 \pm 736	4100 \pm 620	4120 \pm 493	3080 \pm 522
	Exp. 2	3930 \pm 340	2690 \pm 218	3850 \pm 327	2240 \pm 337
	Exp. 3	4700 \pm 405	3500 \pm 391	4090 \pm 412	2470 \pm 294

Values are mean and SD.

Table 4 The maximum values of transformation of the heel.

		CASE 1	CASE 2
Walk	Exp. 2	1.5±0.9	2.9±1.4
	Exp. 3	5.7±1.6	7.9±1.3
Trot	Exp. 2	1.6±0.5	3.5±0.7
	Exp. 3	5.6±1.1	6.1±1.1
Canter (lead)	Exp. 2	7.0±2.6	5.1±2.3
	Exp. 3	2.4±2.4	9.3±1.7
Canter (trail)	Exp. 2	4.7±3.3	3.2±0.6
	Exp. 3	5.2±2.0	4.2±2.5

Values are mean and SD.
Unit: mm

Table 5 The maximum values of strain.

		VERTICAL DATA (unit: μ strain)			
		CASE 1		CASE 2	
		Toe Upper P.	Toe Lower P.	Toe Upper P.	Toe Lower P.
Walk	Exp. 1	2660 \pm 320	5330 \pm 549	1830 \pm 125	4090 \pm 110
	Exp. 3	2030 \pm 194	2930 \pm 316	1080 \pm 168	3030 \pm 141
	Exp. 4	1510 \pm 99	2110 \pm 110	1110 \pm 99	1850 \pm 117
Trot	Exp. 1	1820 \pm 161	3600 \pm 480	1690 \pm 144	3830 \pm 133
	Exp. 3	1570 \pm 94	3200 \pm 230	1080 \pm 131	3010 \pm 159
	Exp. 4	1350 \pm 143	2100 \pm 115	1210 \pm 56	2300 \pm 105
Canter (lead)	Exp. 1	1790 \pm 191	3530 \pm 424	1070 \pm 149	2800 \pm 323
	Exp. 3	1810 \pm 307	1550 \pm 222	930 \pm 94	2290 \pm 196
	Exp. 4	1080 \pm 78	1990 \pm 152	1050 \pm 126	1990 \pm 144
Canter (trail)	Exp. 1	2480 \pm 285	5680 \pm 659	2000 \pm 343	3930 \pm 170
	Exp. 3	2170 \pm 594	4550 \pm 469	1530 \pm 149	3680 \pm 415
	Exp. 4	1600 \pm 235	2520 \pm 289	1530 \pm 149	2790 \pm 128

Values are mean and SD.

Table 6 The maximum values of strain.

CASE	1	Toe vertical	Toe horizontal
Walk	Exp. 5	2760±250	2800±105
	Exp. 6 (S.P.)	3180±470	2360±157
	Exp. 6 (C.P.)	3500±221	2870±156
Trot	Exp. 5	1800±226	2730±94
	Exp. 6 (S.P.)	2610±497	2270±133
	Exp. 6 (C.P.)	3110±251	2950±222
Canter (lead)	Exp. 5	2090±223	2820±900
	Exp. 6 (S.P.)	2542±411	2085±397
	Exp. 6 (C.P.)	2600±278	2410±521
Canter (trail)	Exp. 5	3840±747	3970±590
	Exp. 6 (S.P.)	3677±872	3111±437
	Exp. 6 (C.P.)	4280±778	4570±305

Values are mean and SD.

The motion analysis of the left fore limb during one stride at the each experiment.

Explanation and abbreviation of figure.

H.O: heel off

T.O: Toe Off

LOCUS

1. Point on the scapular spine
2. Shoulder joint
3. Elbow joint
4. Carpus joint
5. Fetlock joint
6. Point on the coronary of hoof

ACCELARATION - TIME

1. Δ : Point on the scapular spine
2. \square : Shoulder joint
3. $+$: Elbow joint
4. \times : Carpus joint
5. \circ : Fetlock joint
6. $+$: Point on the coronary of hoof

ANGLE - TIME

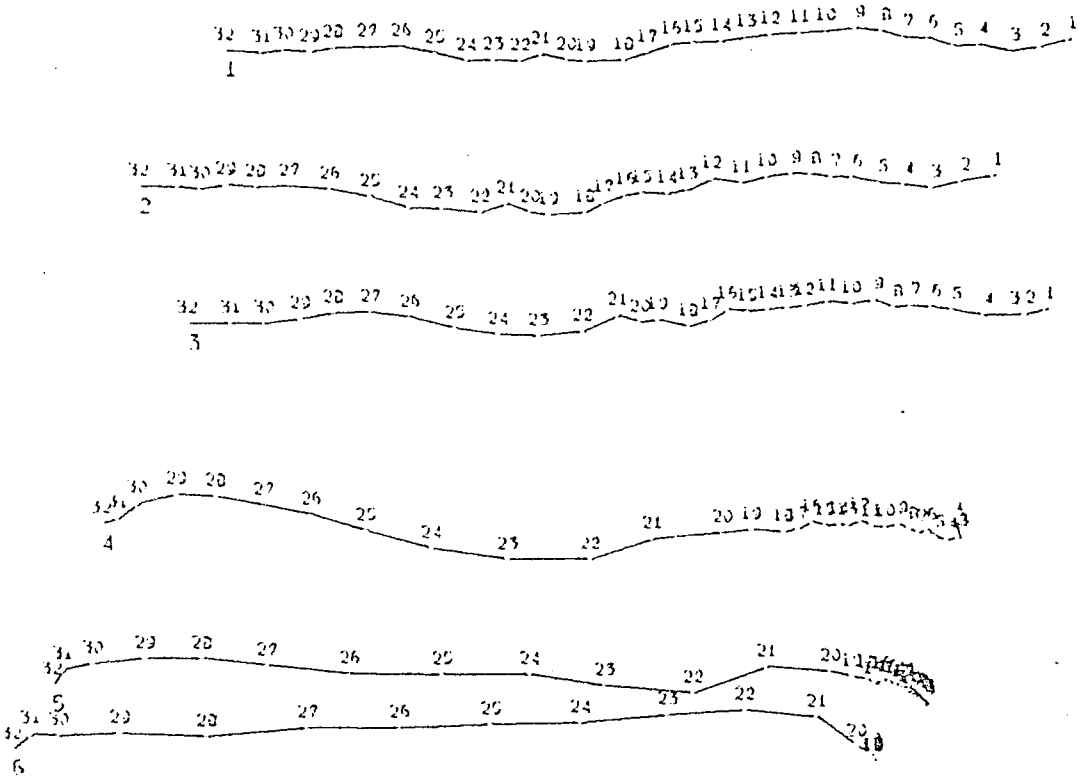
1. Δ : Shoulder joint
2. \square : Elbow joint
3. $+$: Carpus joint
4. \times : Fetlock joint

ANGLE ACCE. - TIME

1. Δ : Shoulder joint
2. \square : Elbow joint
3. $+$: Carpus joint
4. \times : Fetlock joint

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 WALK



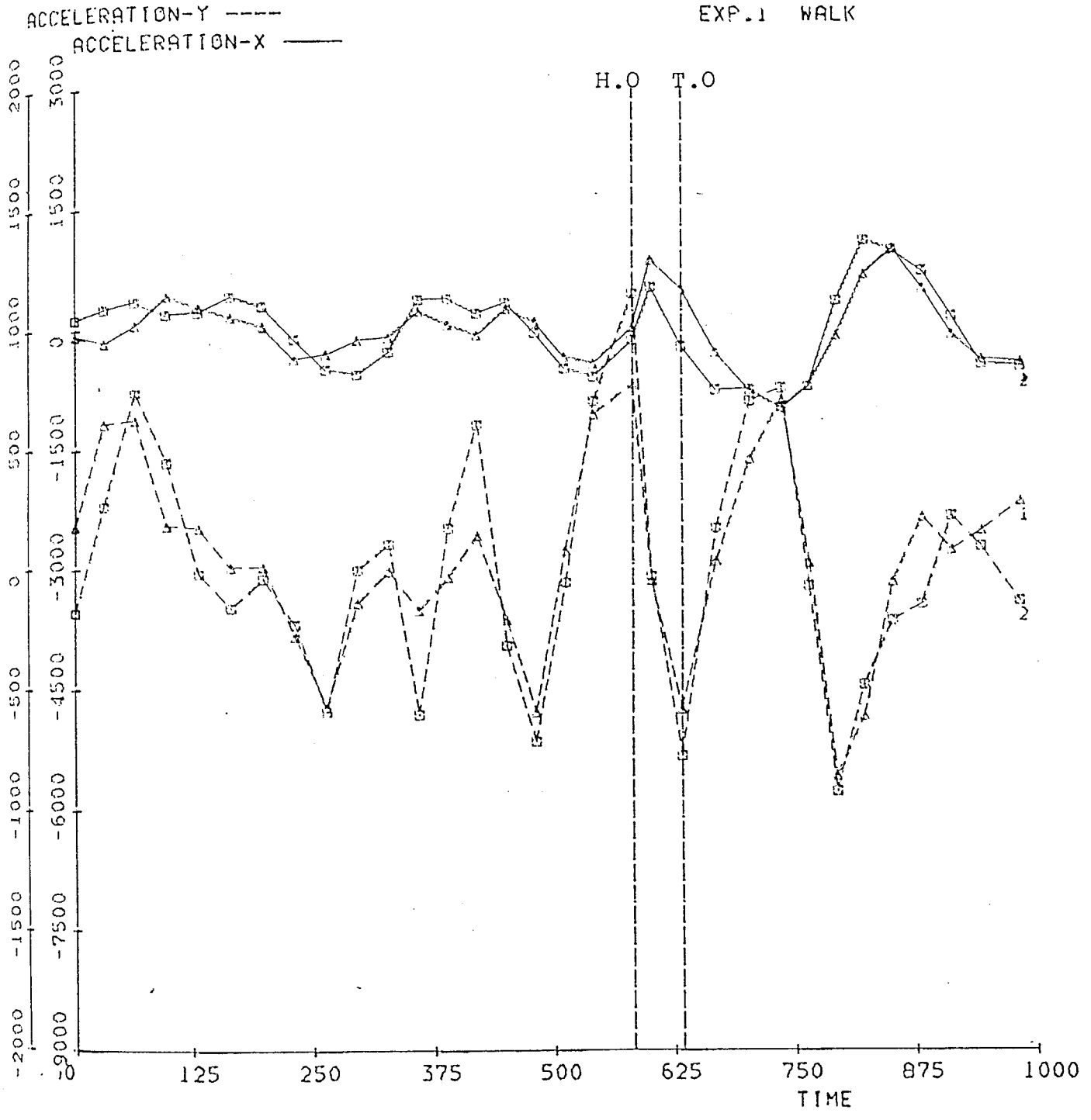
30.720

6 POINTS/FRAME 32 FRAMES

Fig. 15

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 WALK

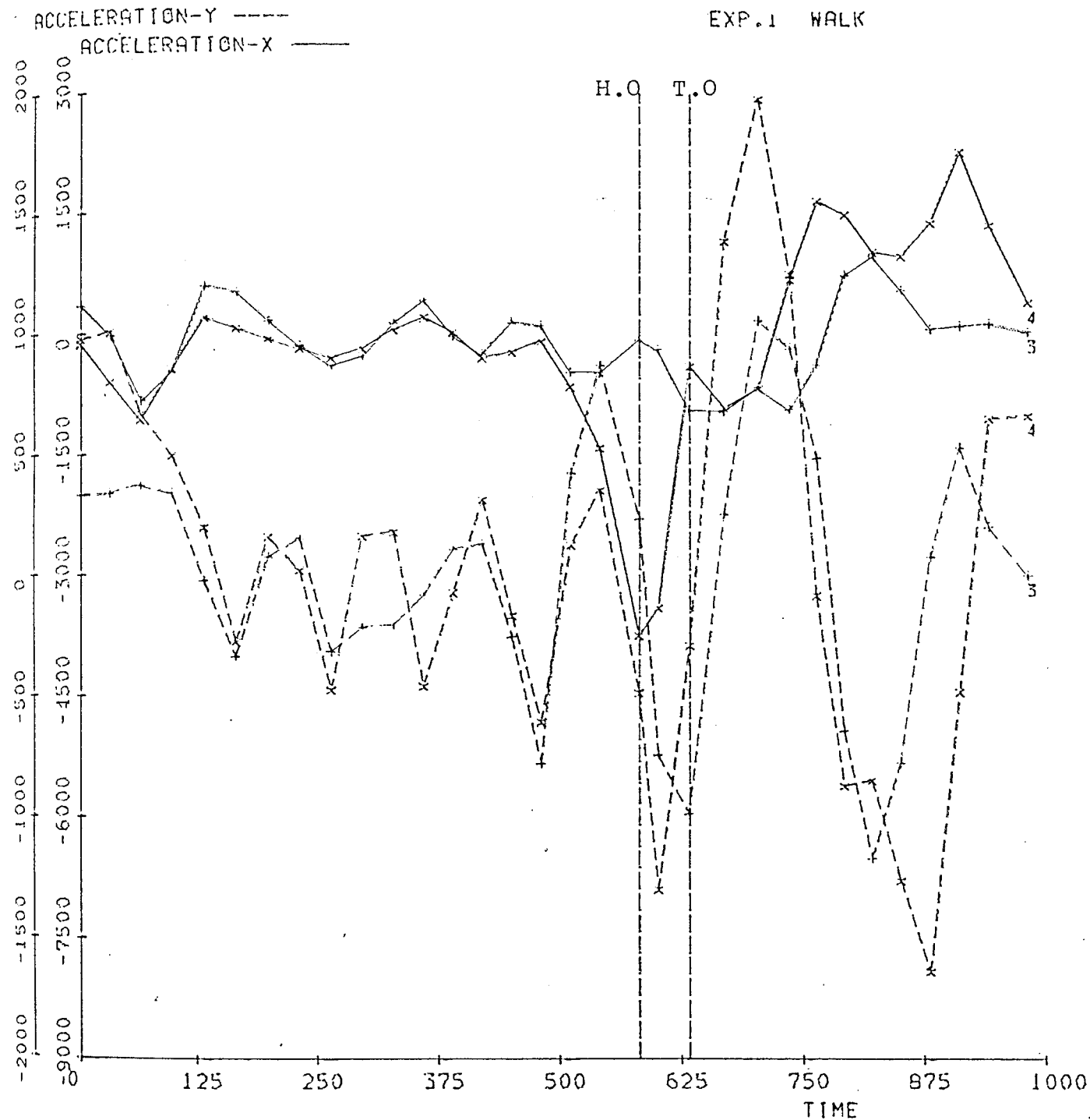


6 POINTS/FRAME 32 FRAMES

Fig. 16

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 WALK

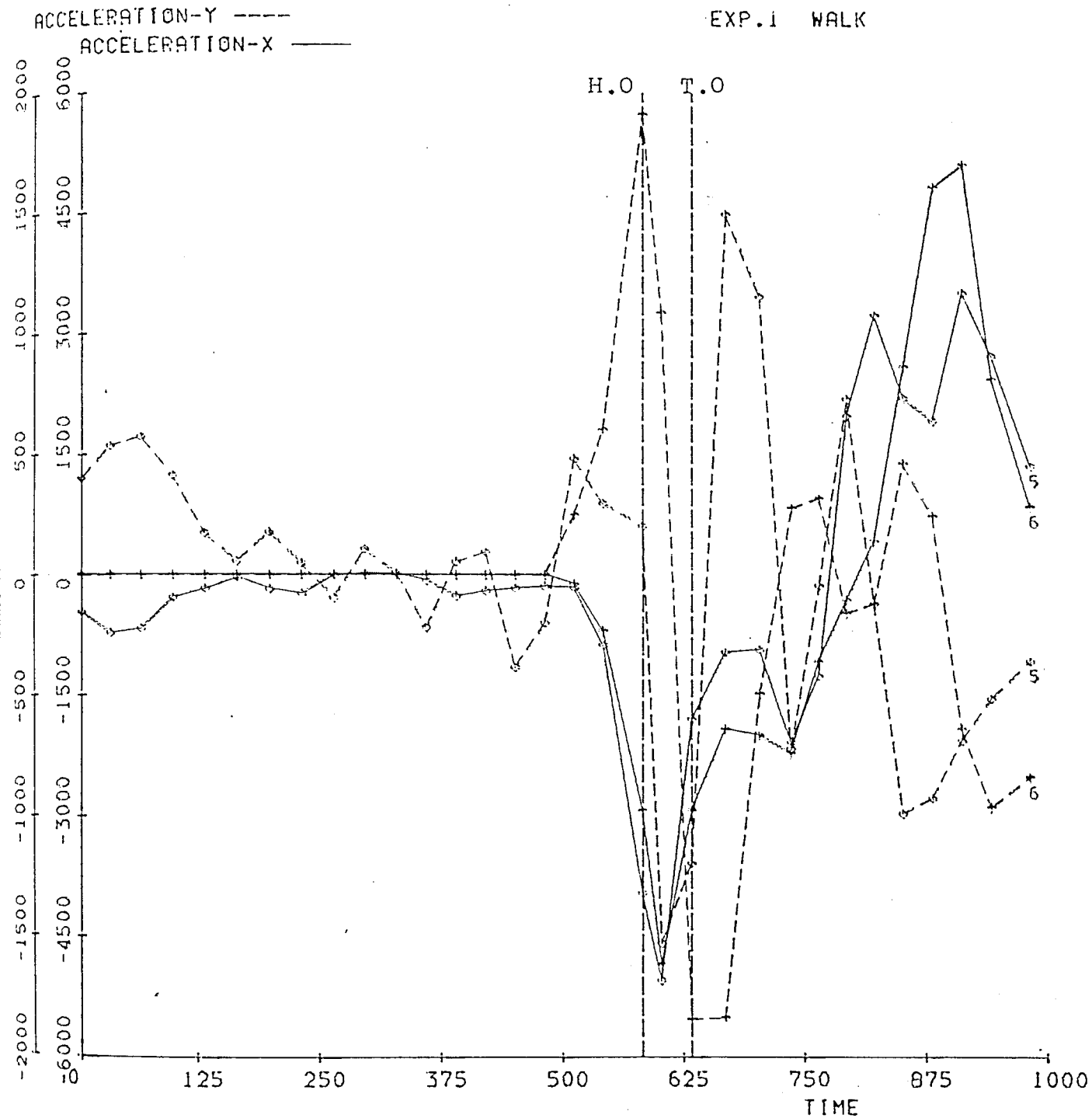


6 POINTS/FRAME 32 FRAMES

Fig. 17

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 WALK

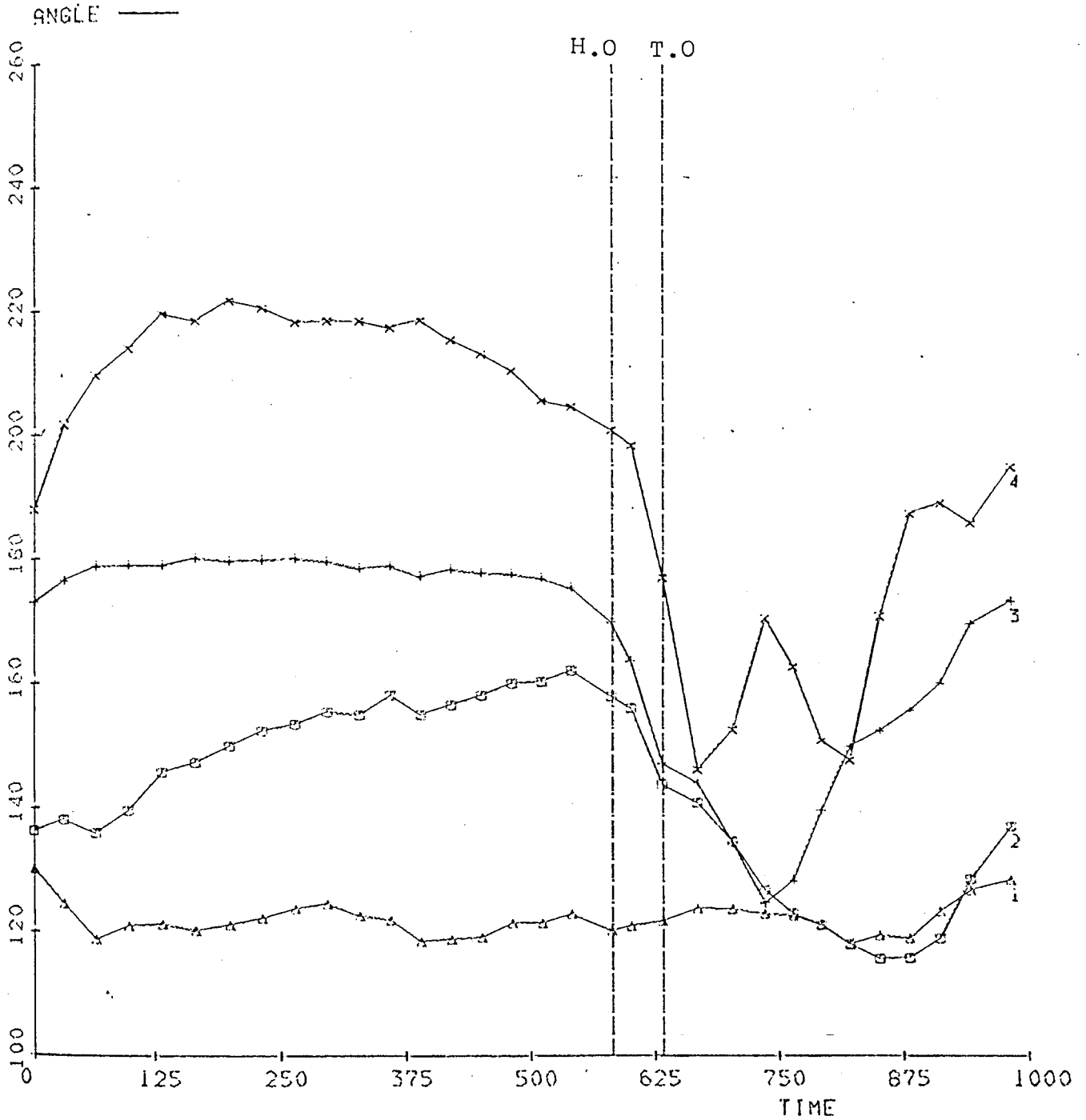


6 POINTS/FRAME 32 FRAMES

Fig. 18

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 WALK

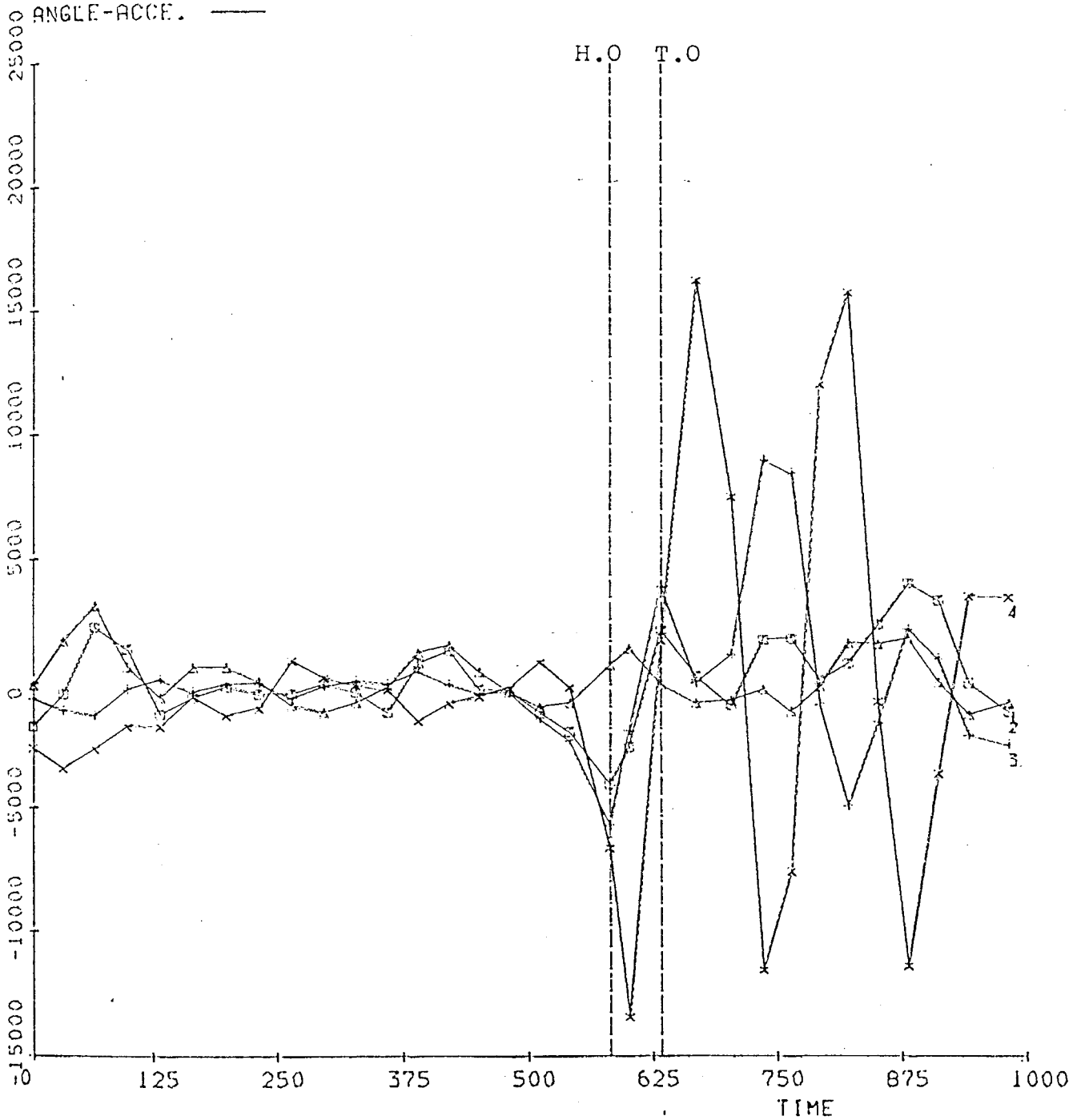


6 POINTS/FRAME 32 FRAMES

Fig. 19

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 WALK



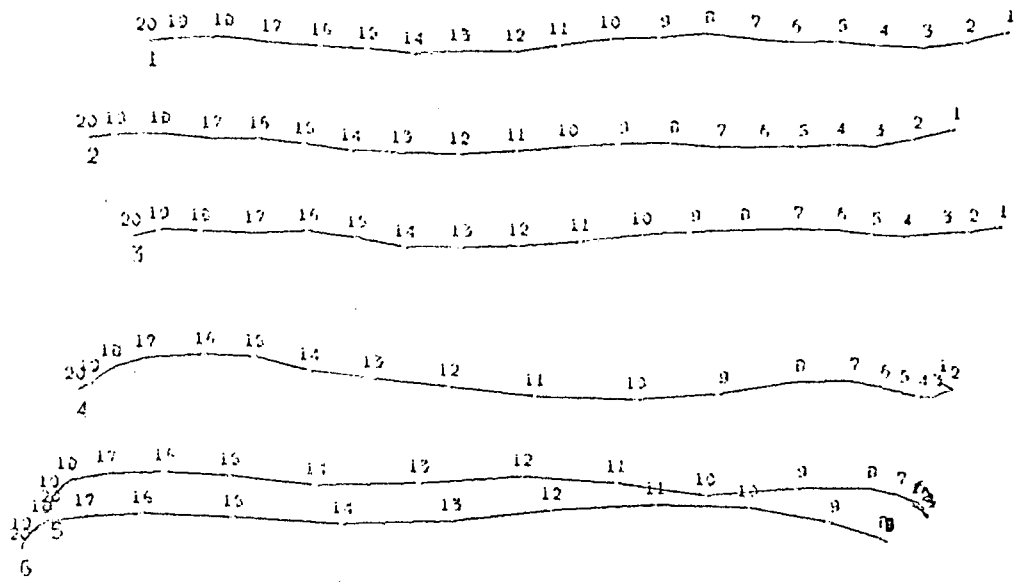
6 POINTS/FRAME

32 FRAMES

Fig. 20

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 TRØT



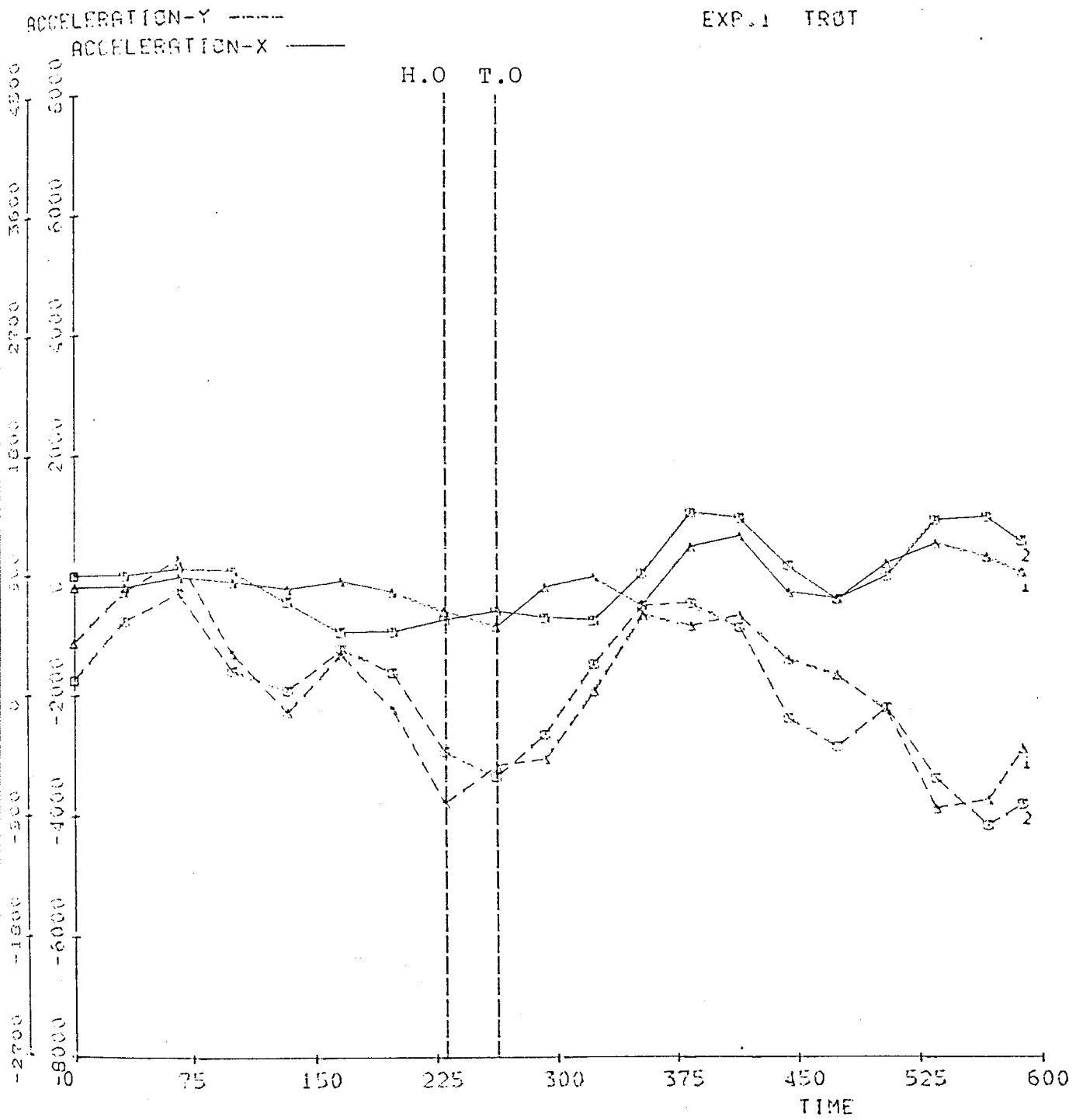
30.720

6 POINTS/FRAME 20 FRAMES

Fig. 21

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1, LF
EXP. 1 TROT

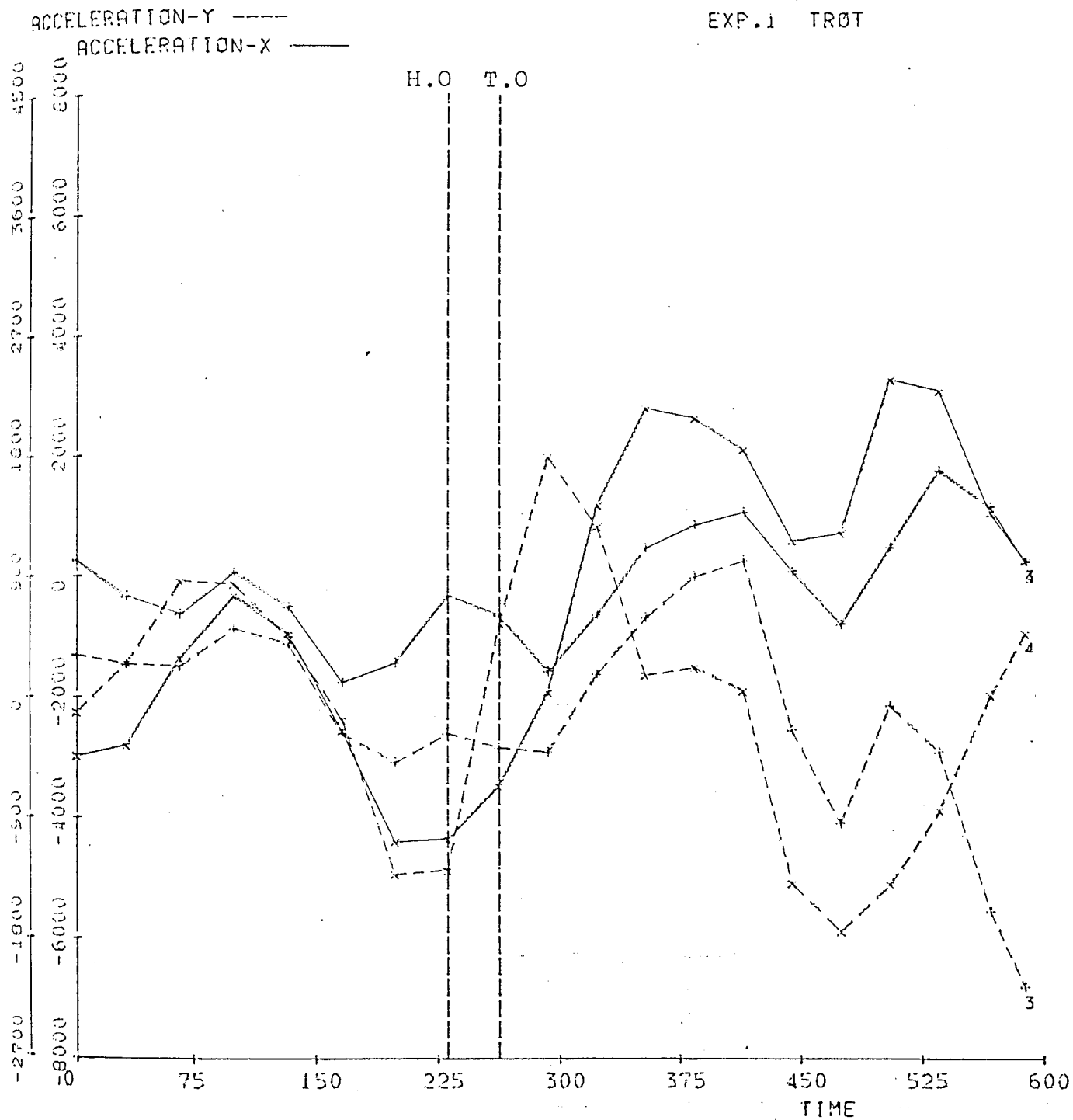


6 POINTS/FRAME 20 FRAMES

Fig. 22

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP. 1 TROT

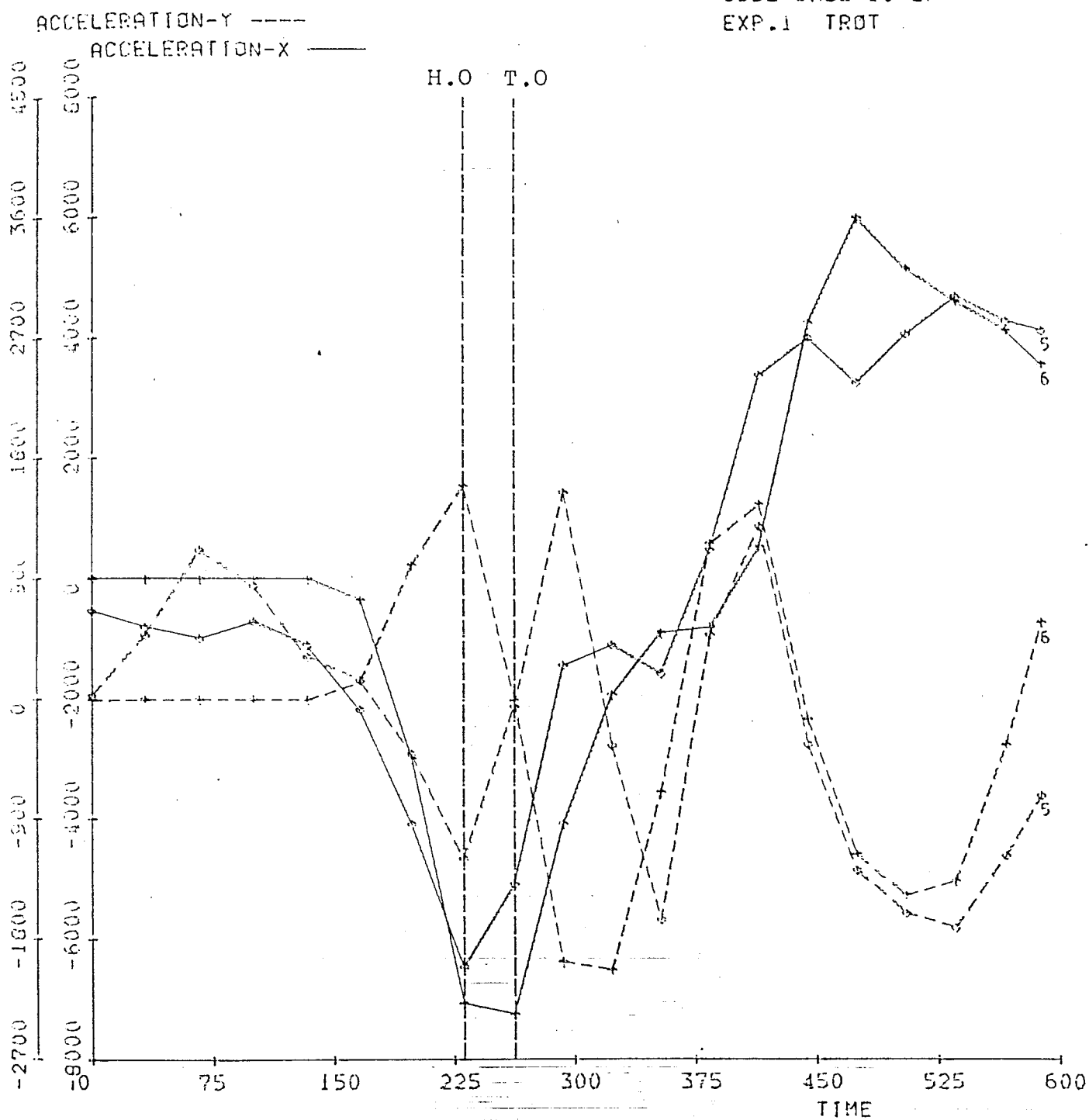


6 POINTS/FRAME 20 FRAMES

Fig. 23

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP. 1 TROT



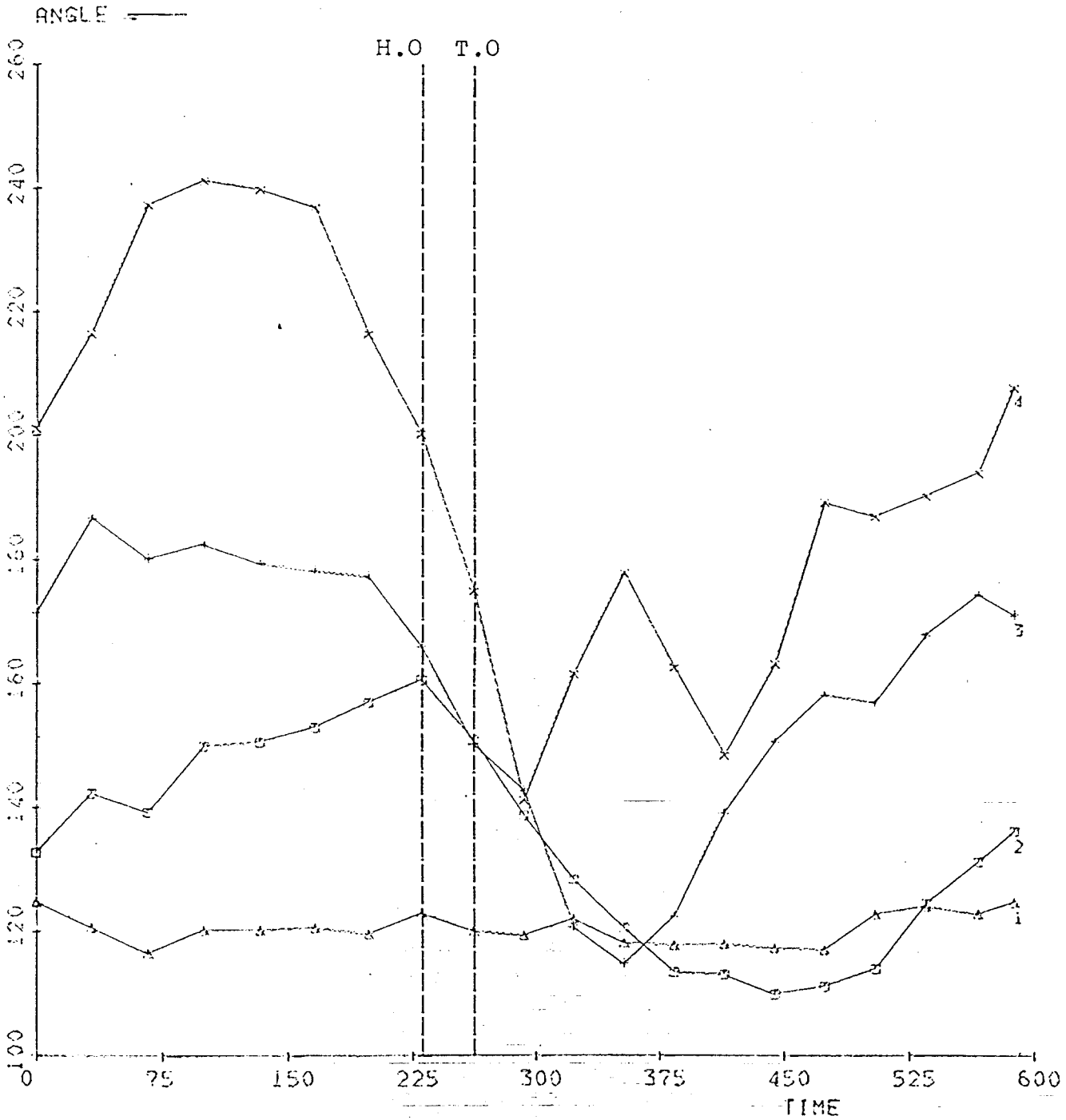
6 POINTS/FRAME

20 FRAMES

Fig. 24

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1, LF
EXP. 1 TR0T



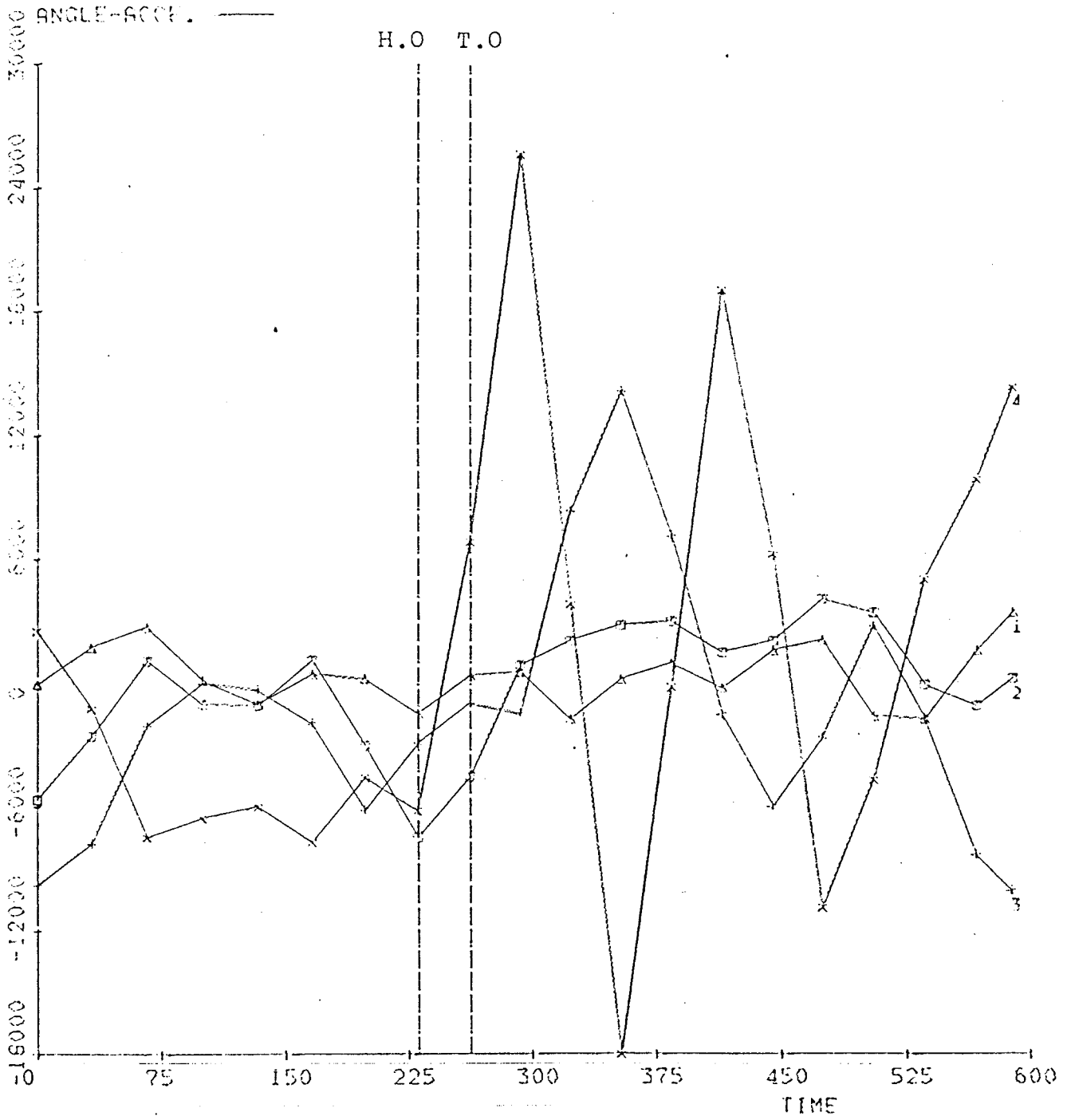
6 POINTS/FRAME

20 FRAMES

Fig. 25

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1, LF
EXP. 1 TROT

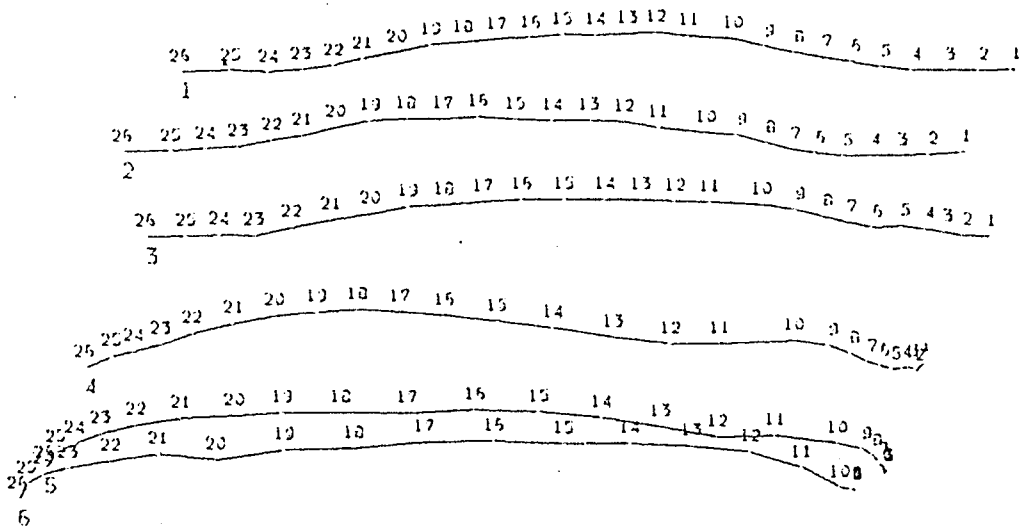


6 POINTS/FRAME 20 FRAMES

Fig. 26

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (LEAD)



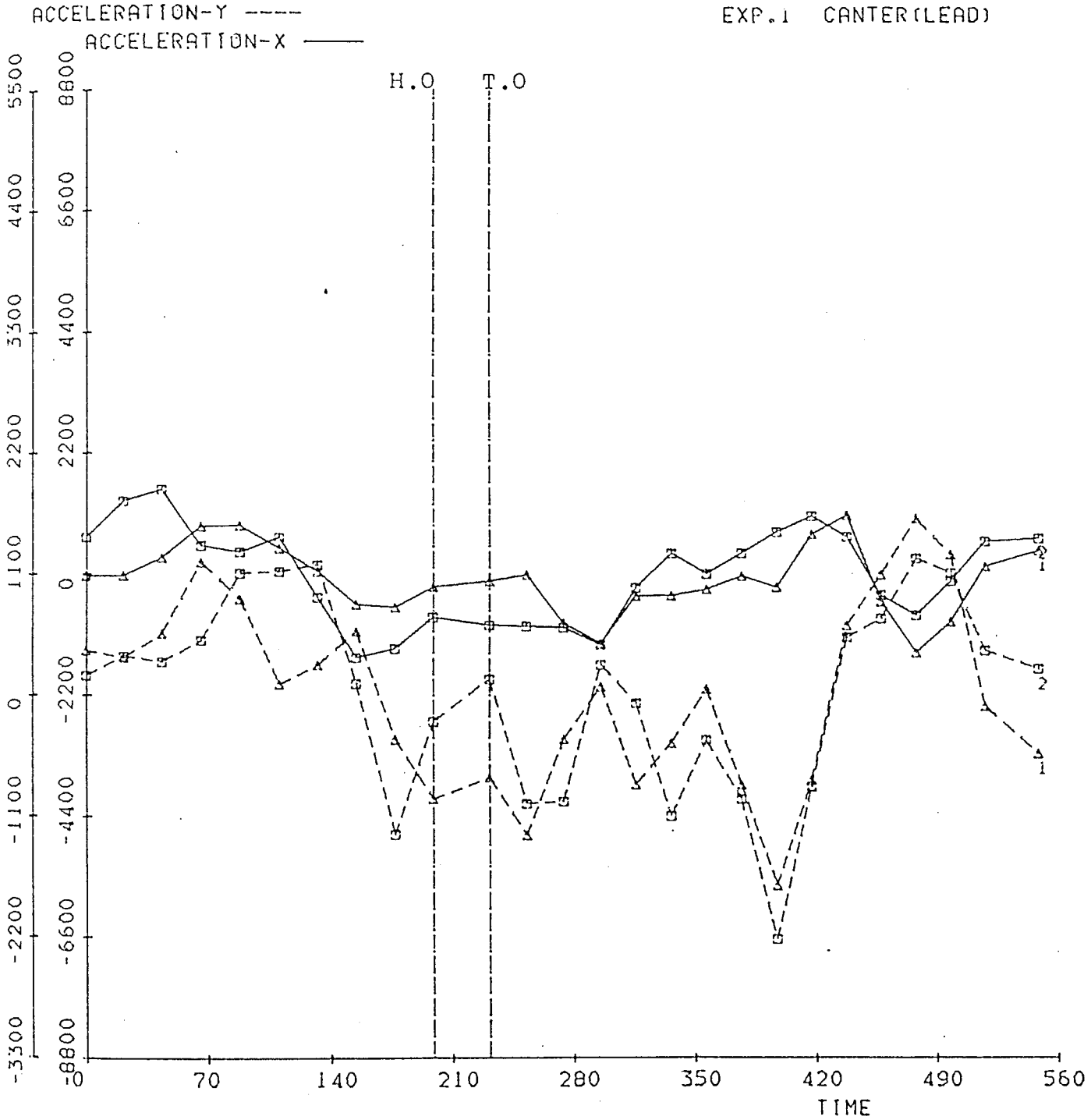
30.720

6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 27

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (LEAD)

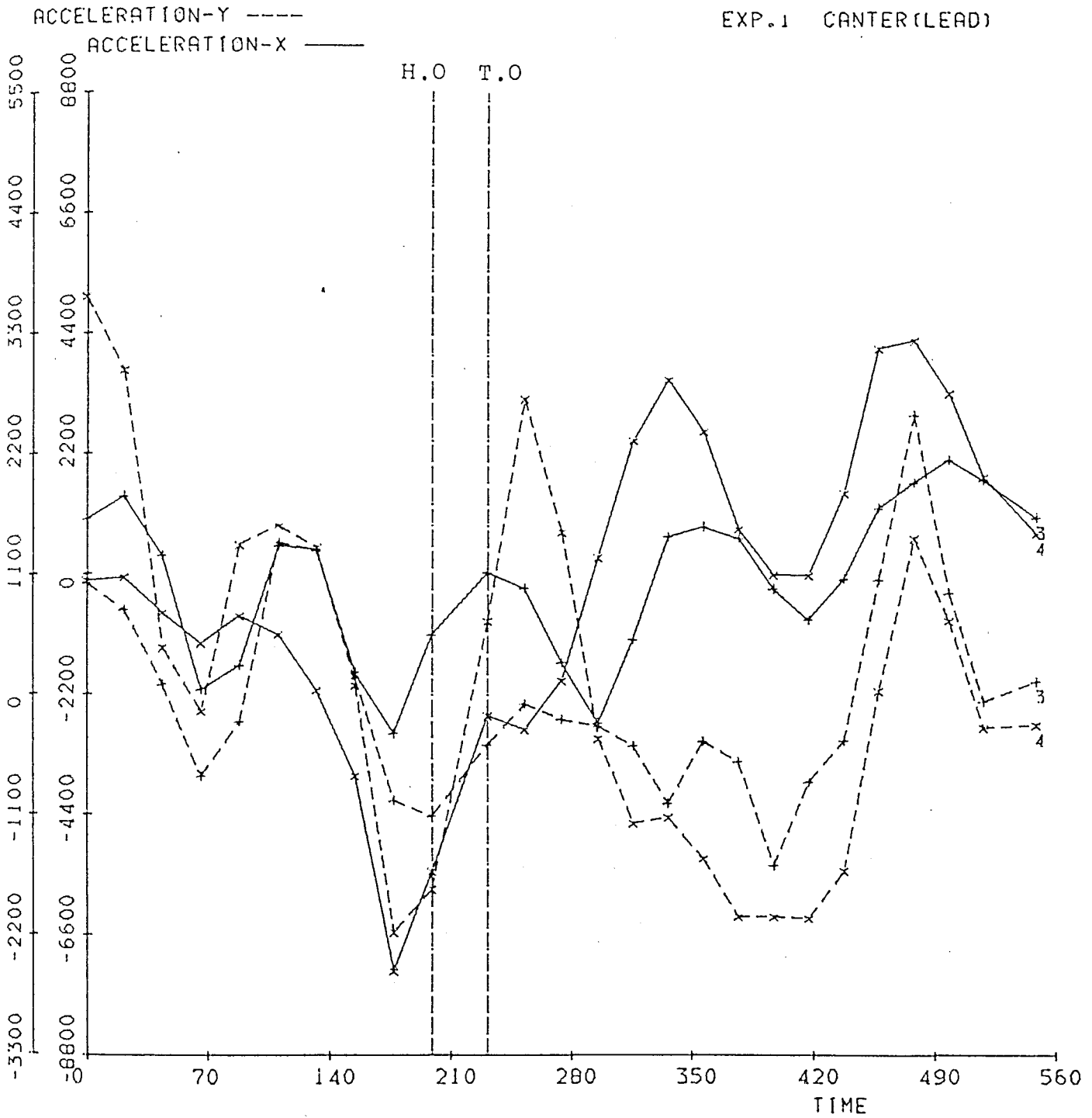


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 28

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE>CASE 1. LF
EXP.1 CANTER(LEAD)

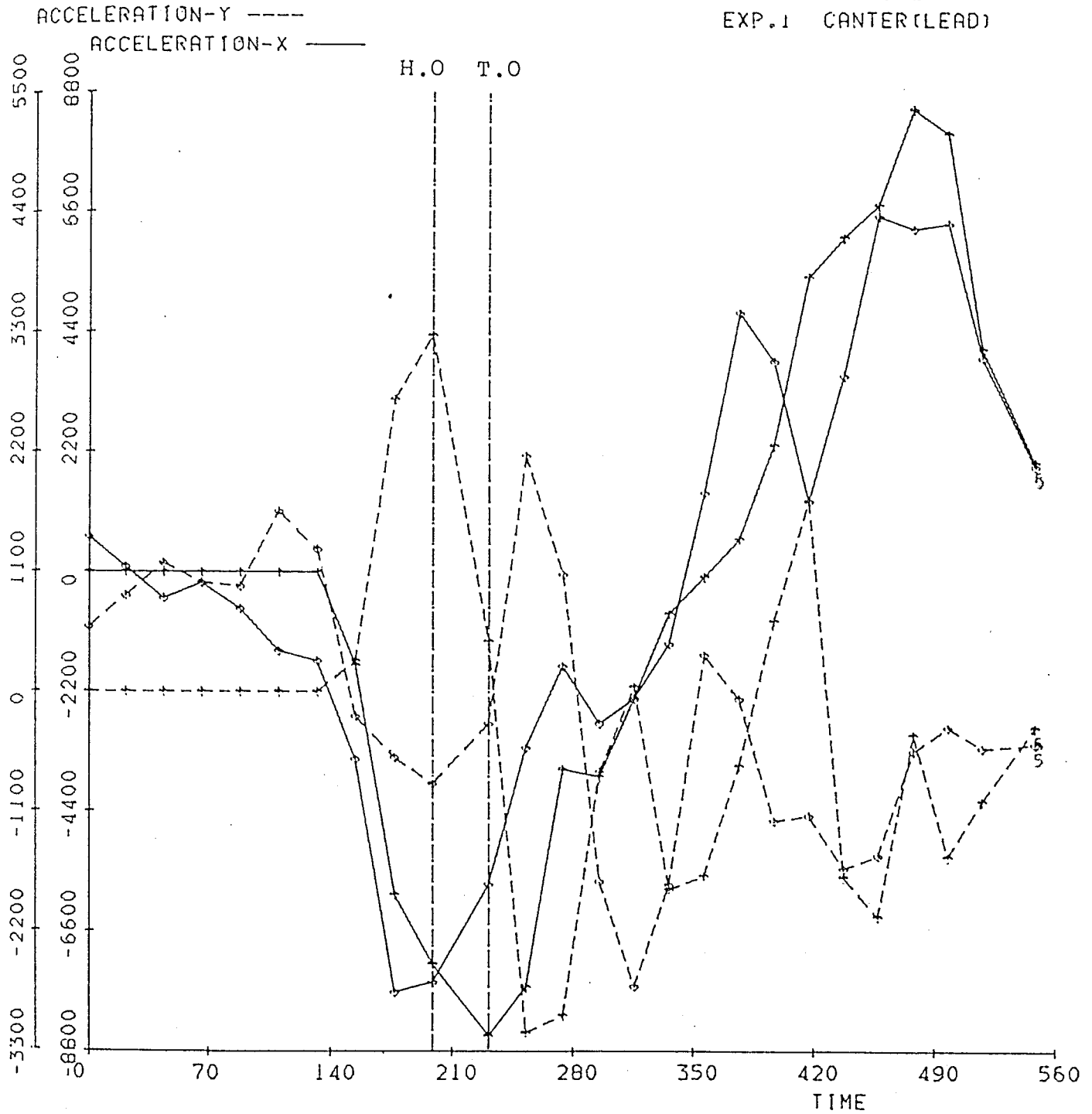


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 29

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (LEAD)



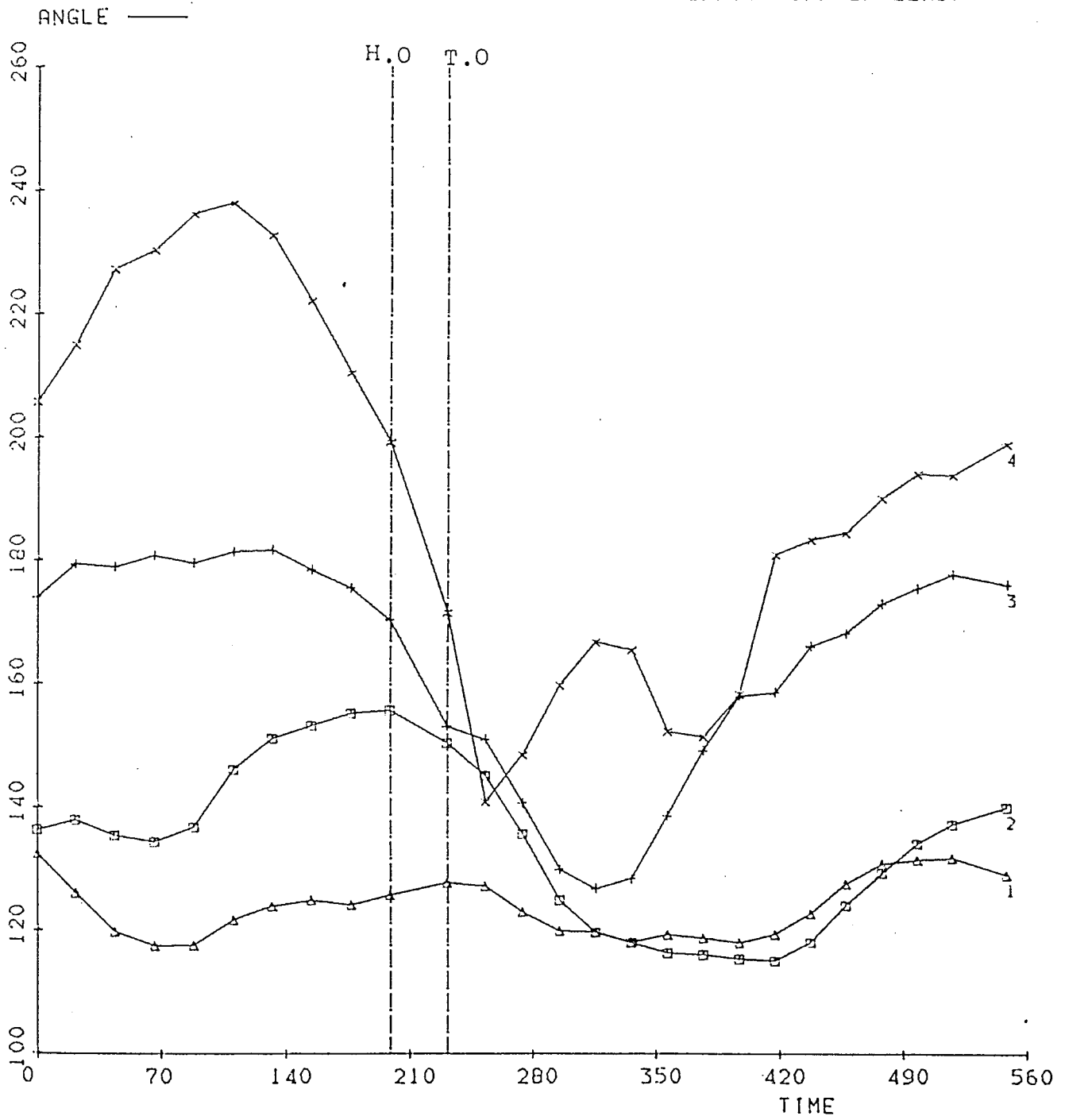
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 30

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (LEAD)



6 POINTS/FRAME

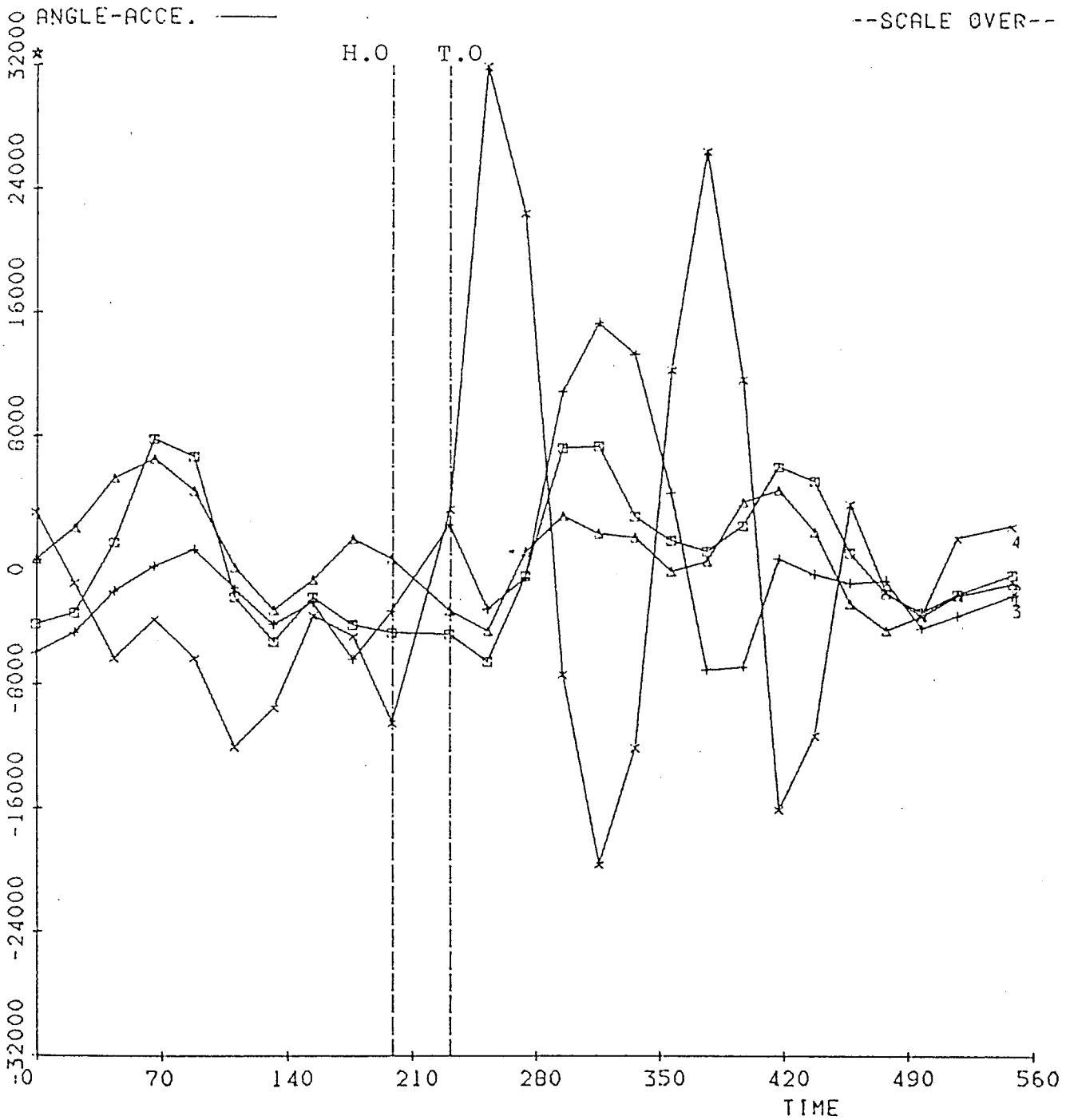
26 FRAMES

Fig. 31

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (LEAD)

--SCALE OVER--

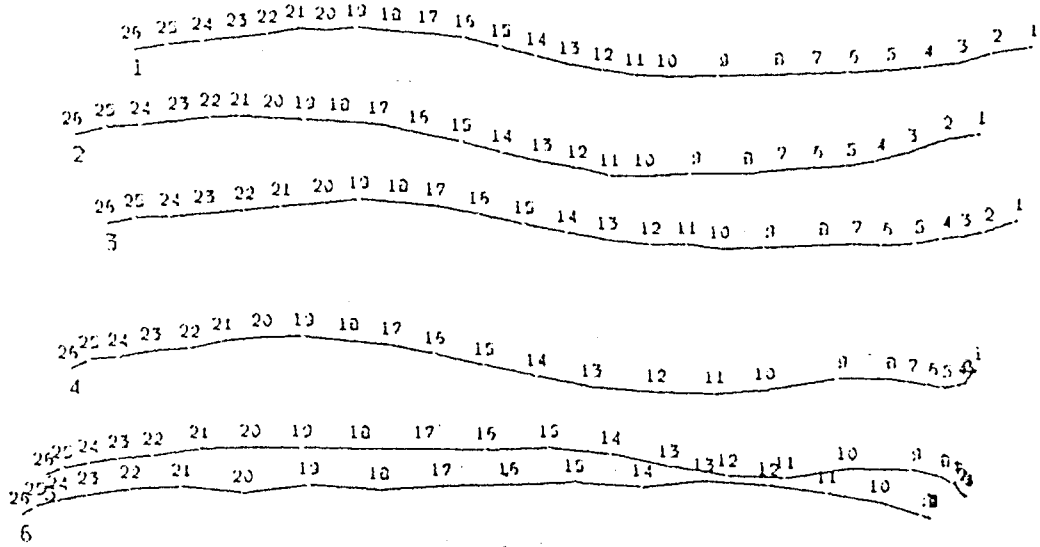


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 32

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)



30.720

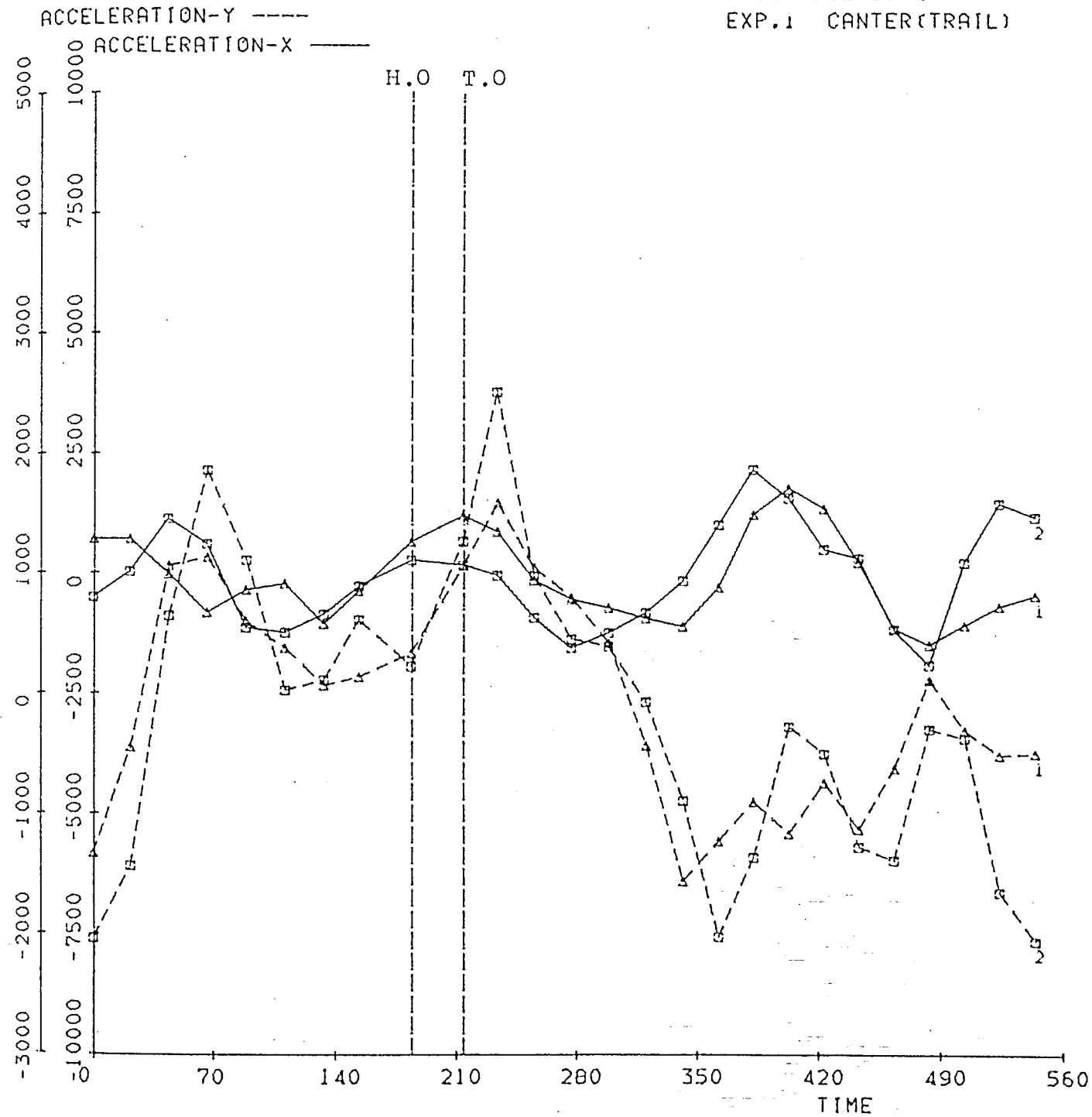
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 33

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)

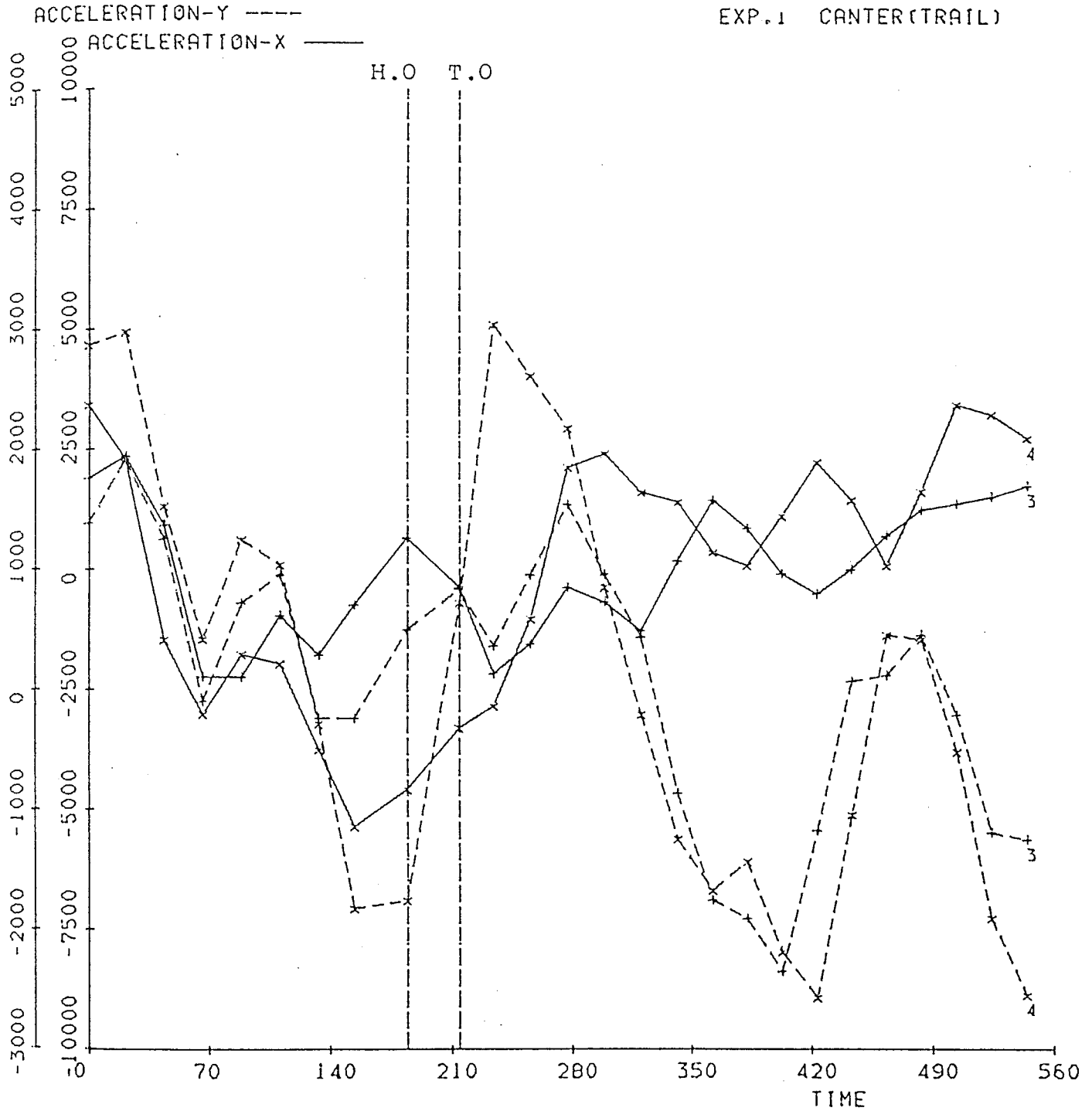


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 34

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)



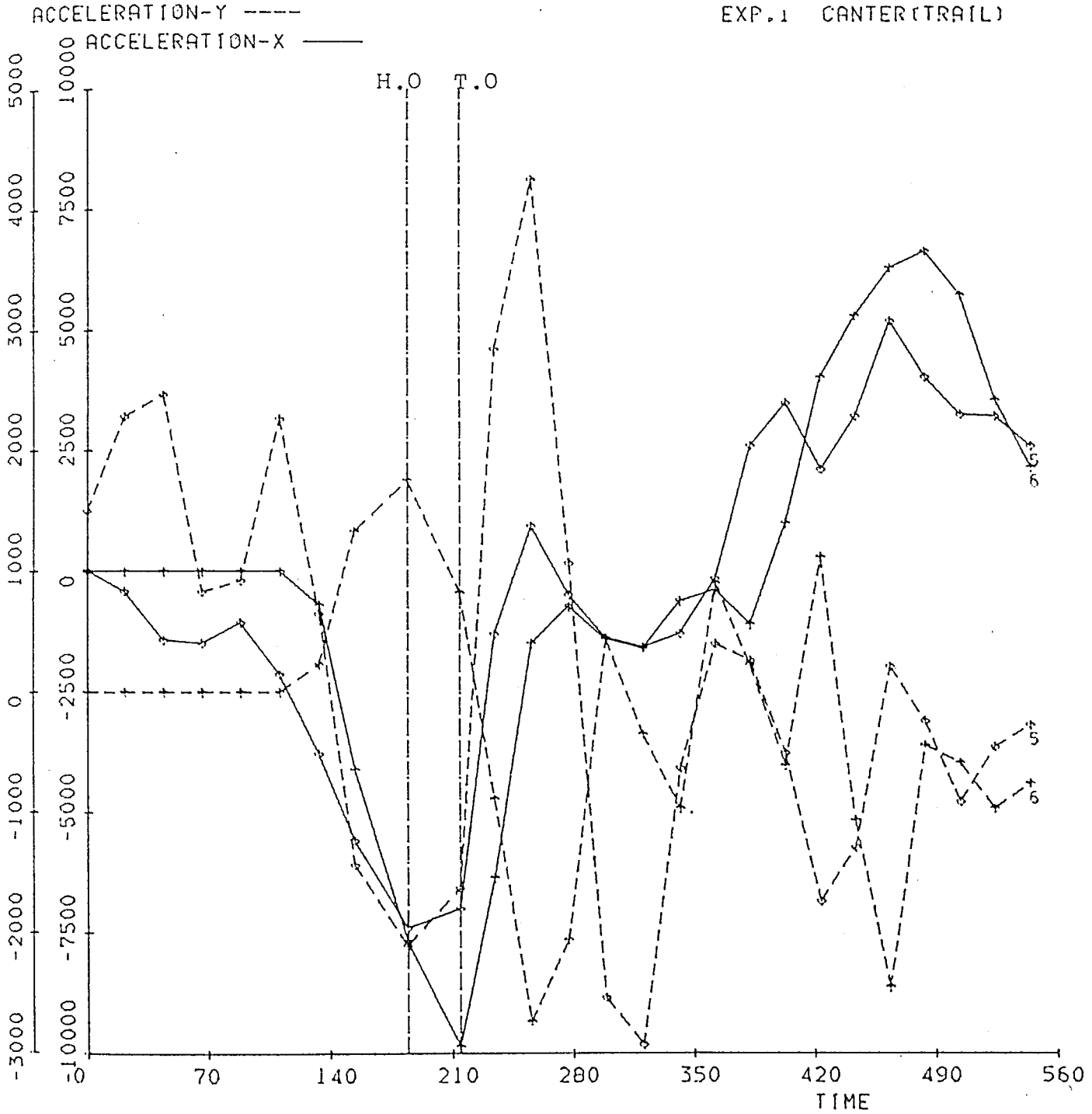
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 35

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)

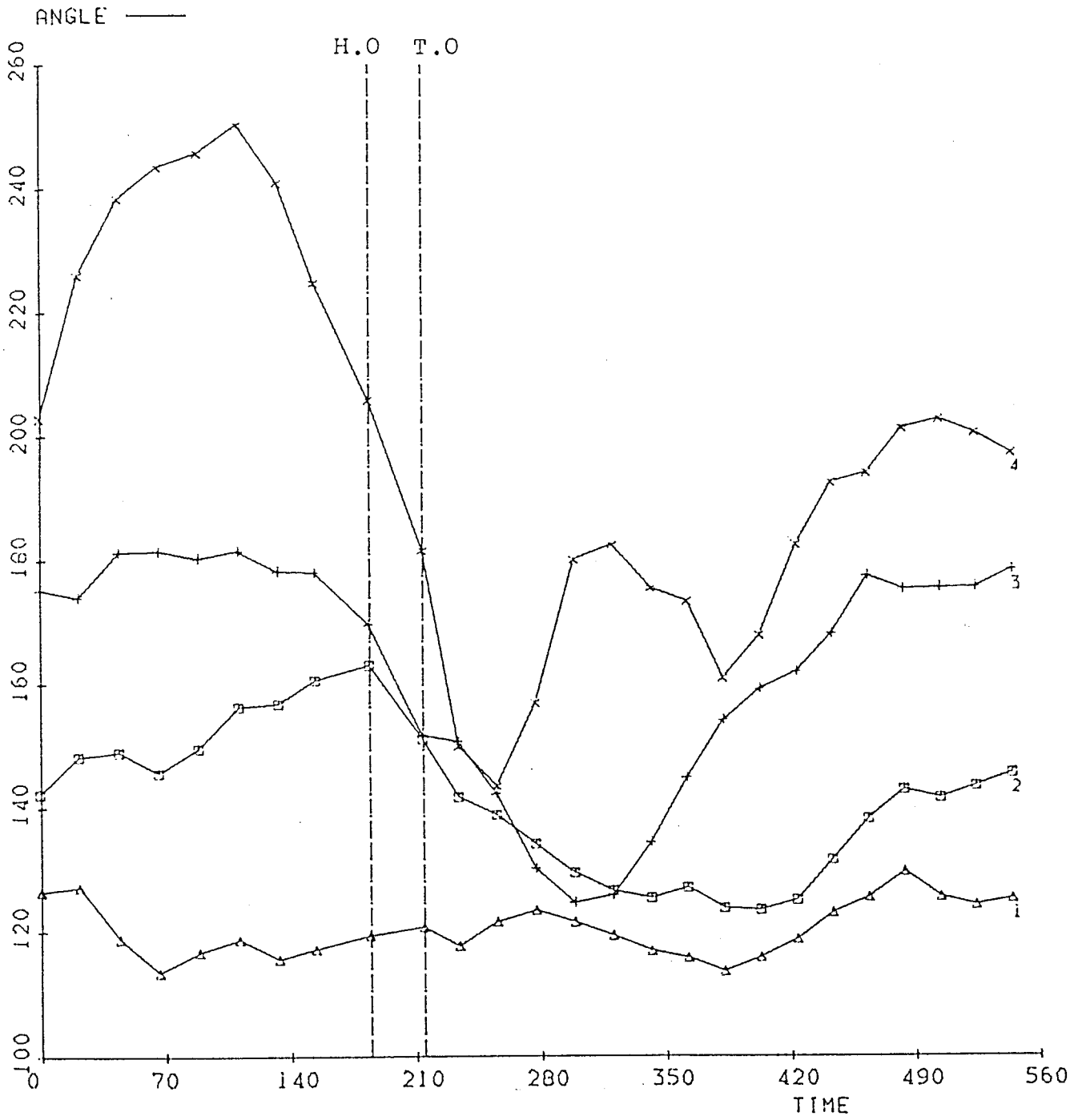


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 36

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)

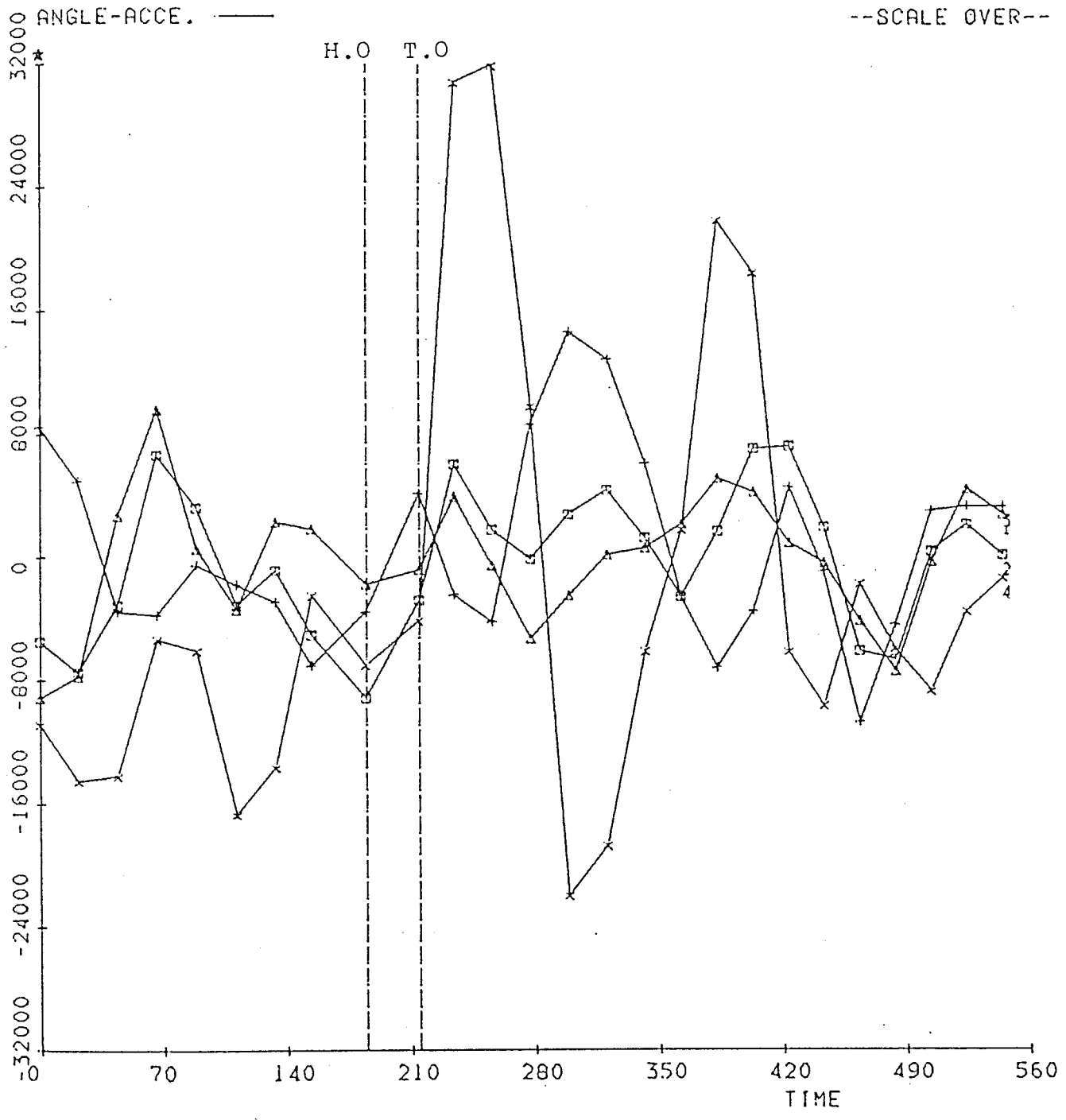


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 37

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)
--SCALE OVER--

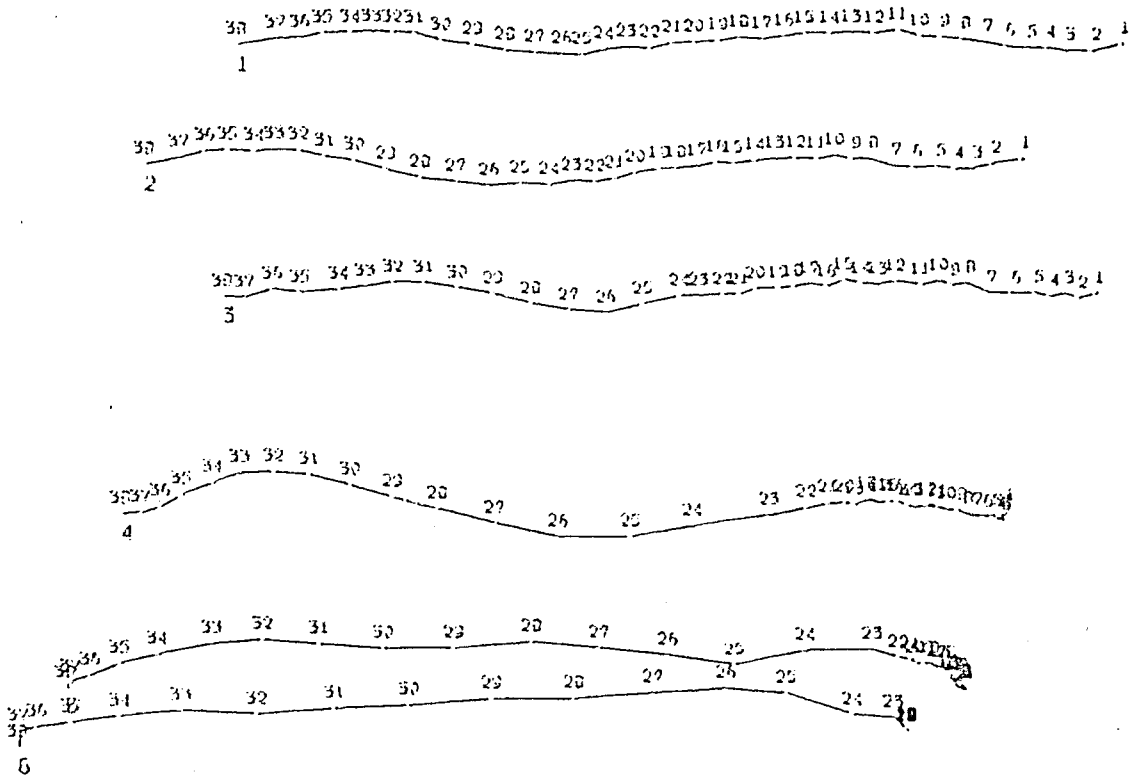


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 38

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 WALK



30.020

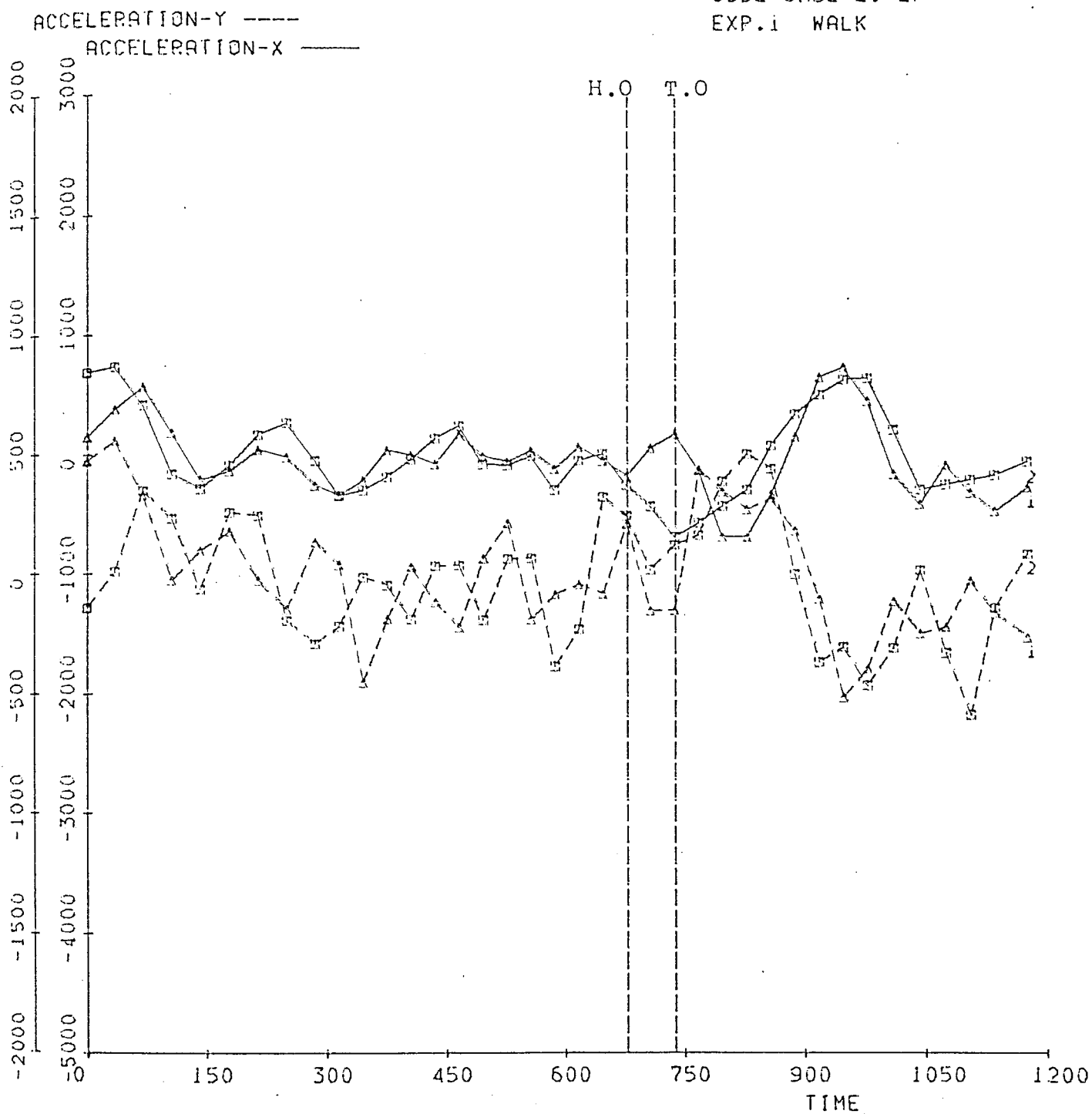
6 POINTS/FRAME

38 FRAMES

Fig. 39

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 WALK

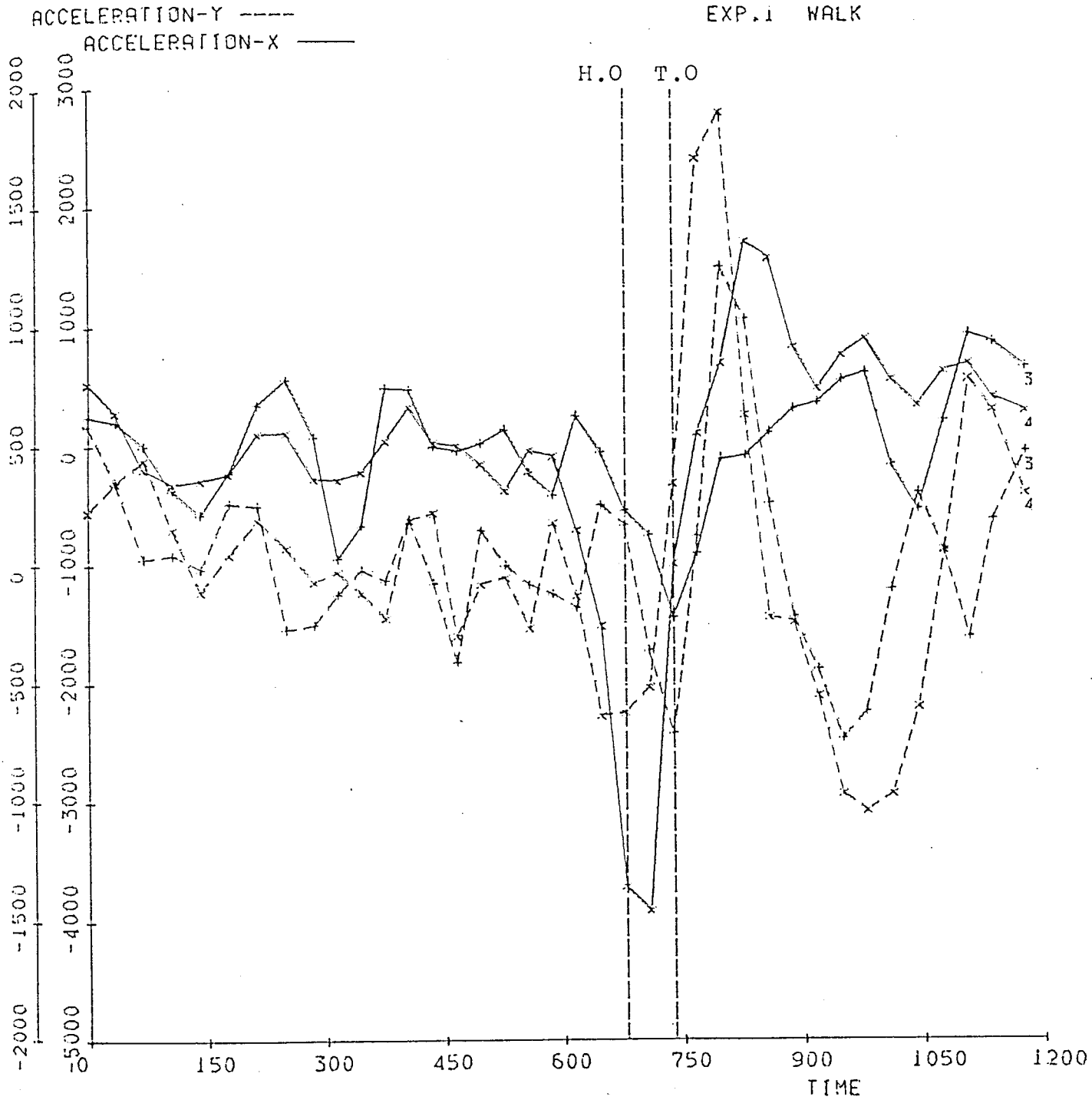


6 POINTS/FRAME 38 FRAMES

Fig. 40

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 WALK

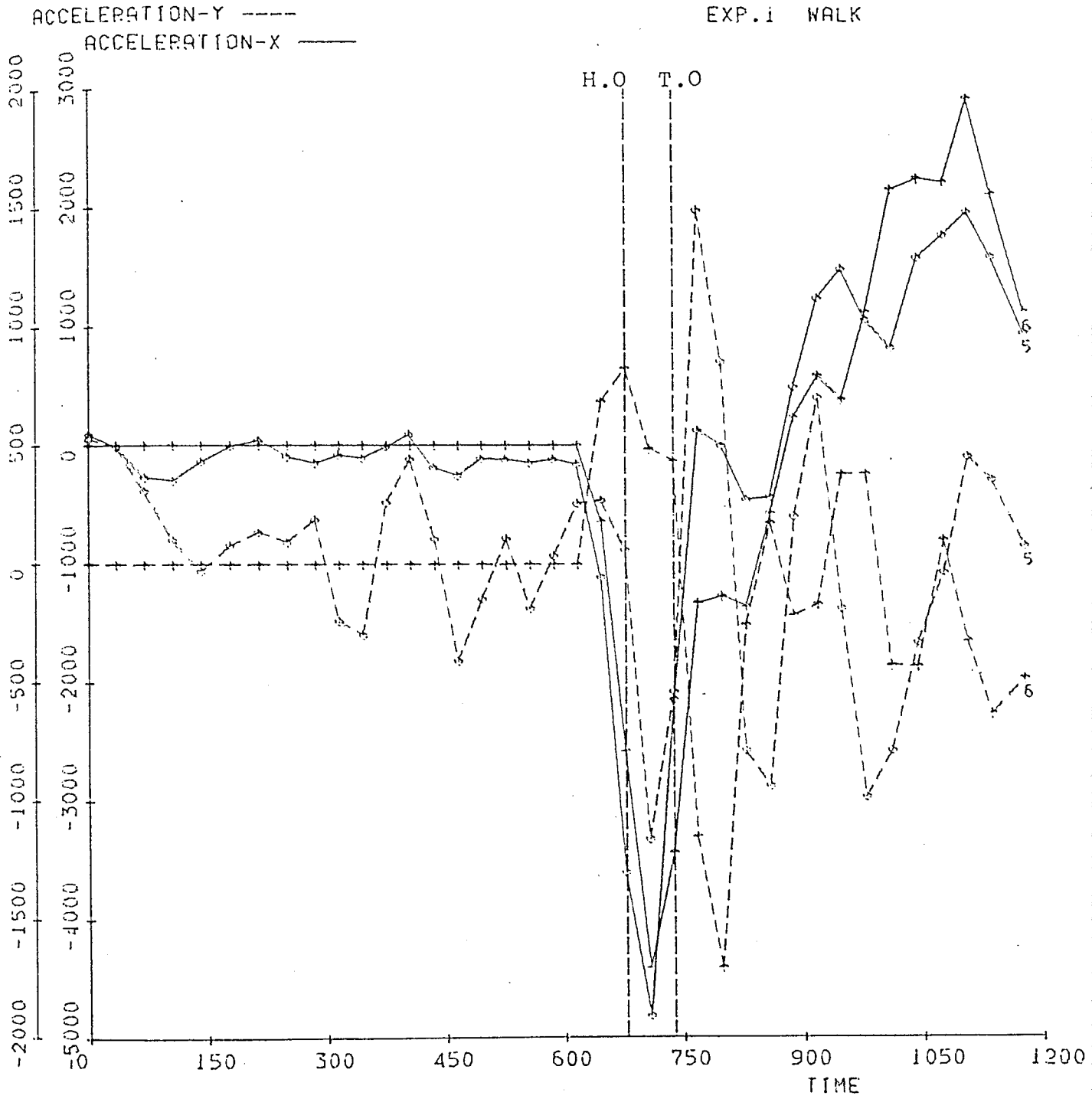


6 POINTS/FRAME 38 FRAMES

Fig. 41

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2, LF
EXP. 1 WALK

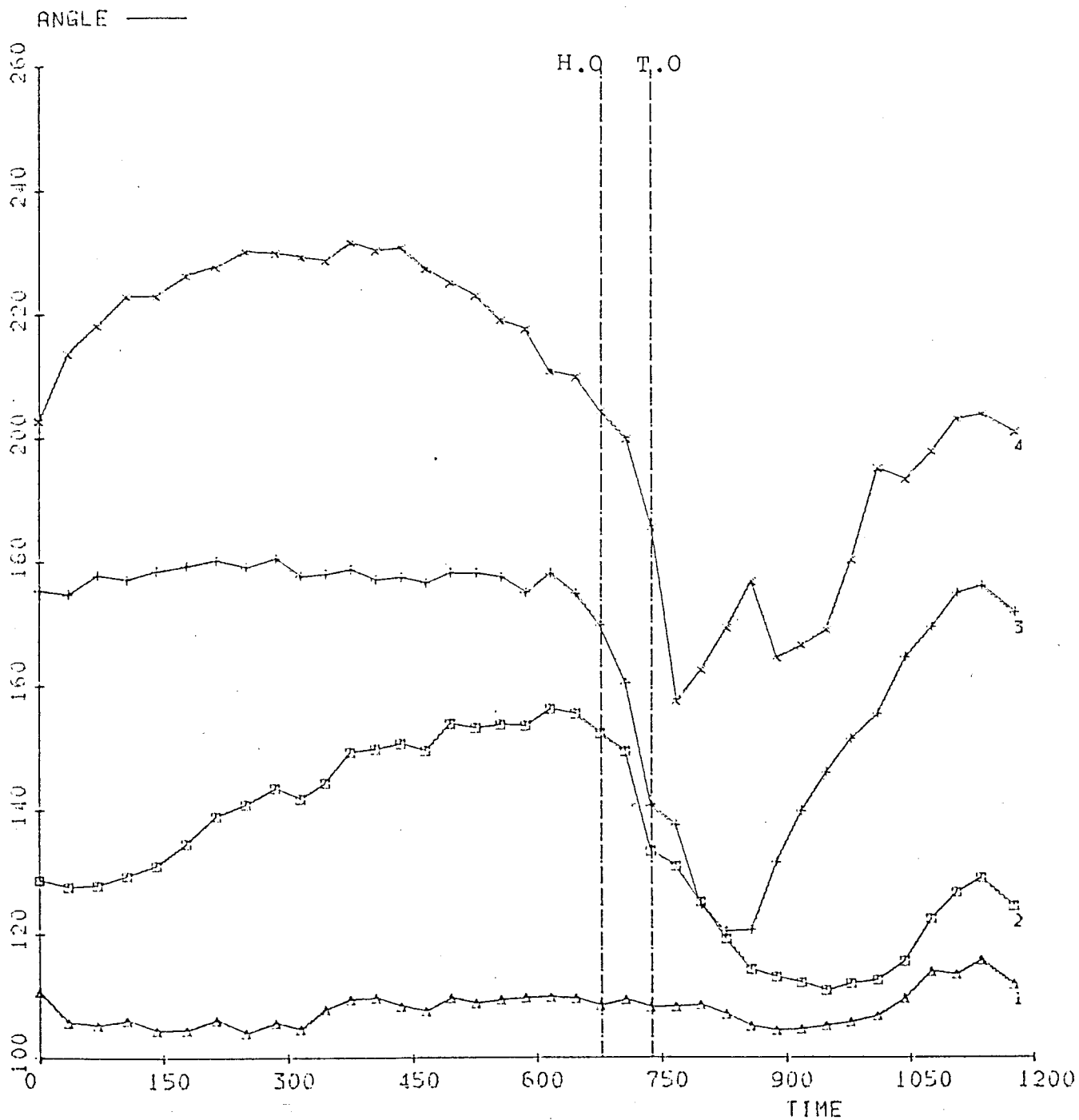


6 POINTS/FRAME 38 FRAMES

Fig. 42

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 WALK

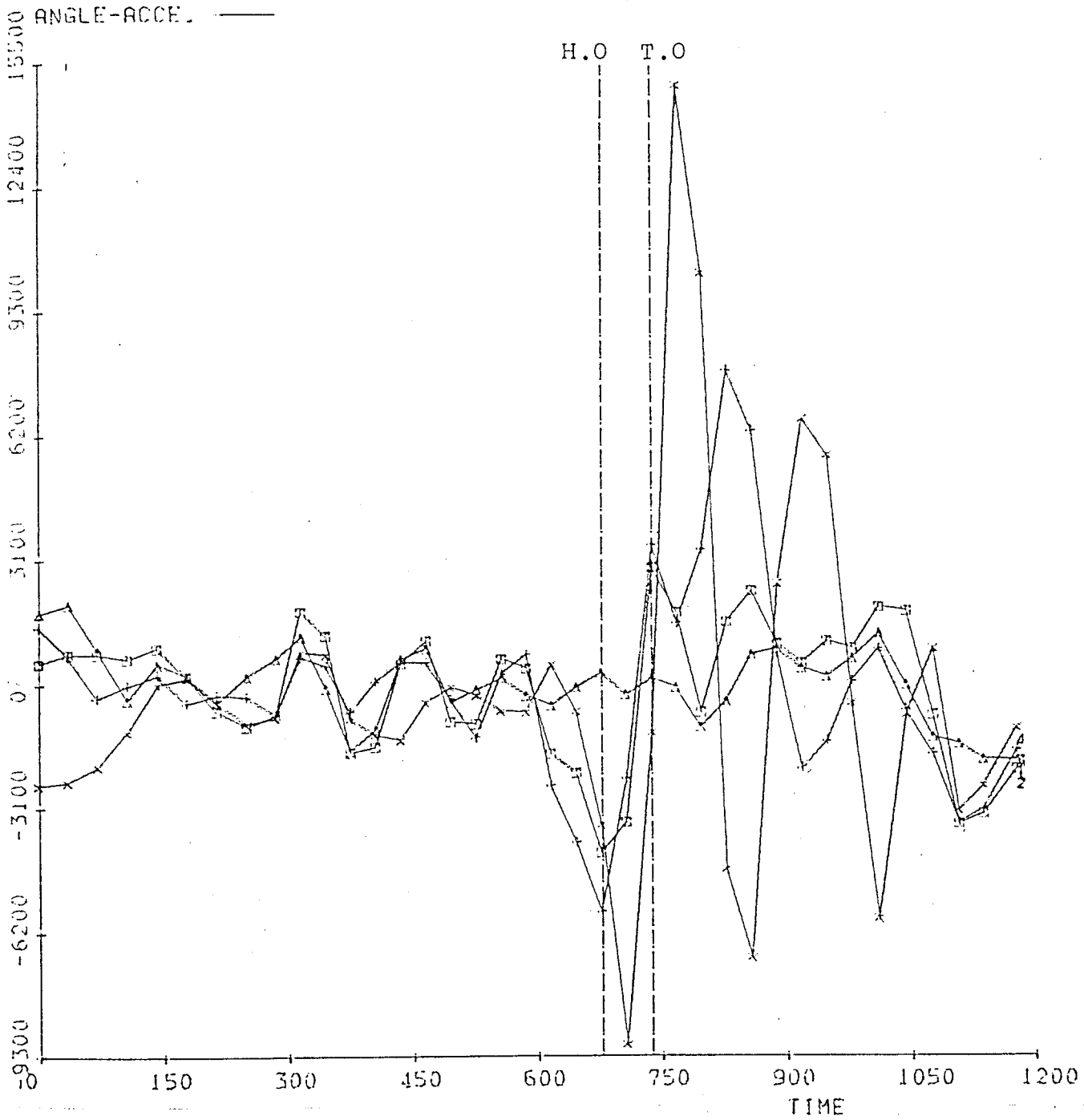


6 POINTS/FRAME 38 FRAMES

Fig. 43

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. I WALK



6 POINTS/FRAME 38 FRAMES

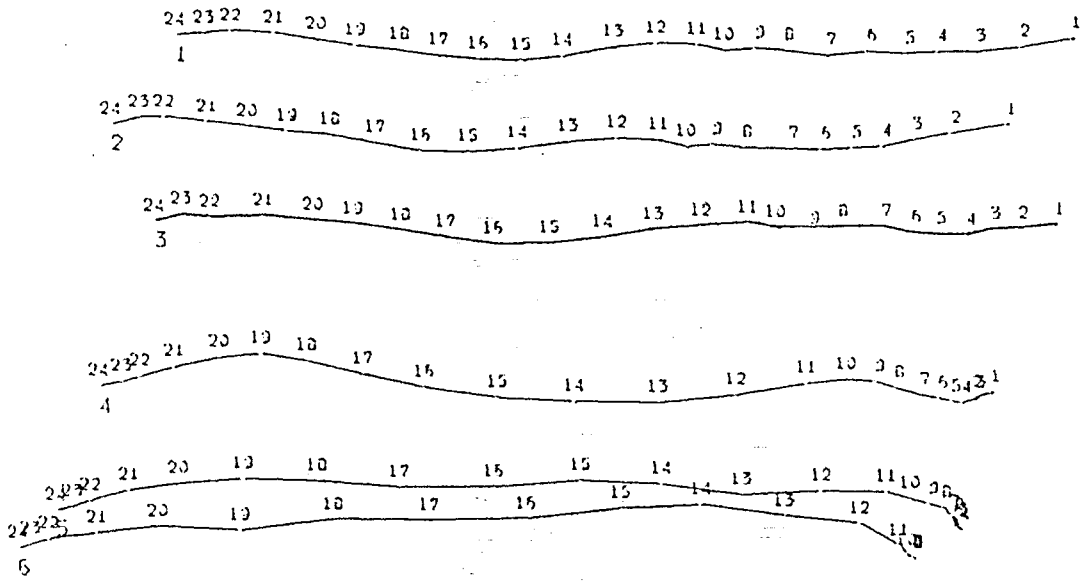
Fig. 44

LOCUS

TEST:

CODE: CASE 2. LF

EXP. 1 TROT



30.720

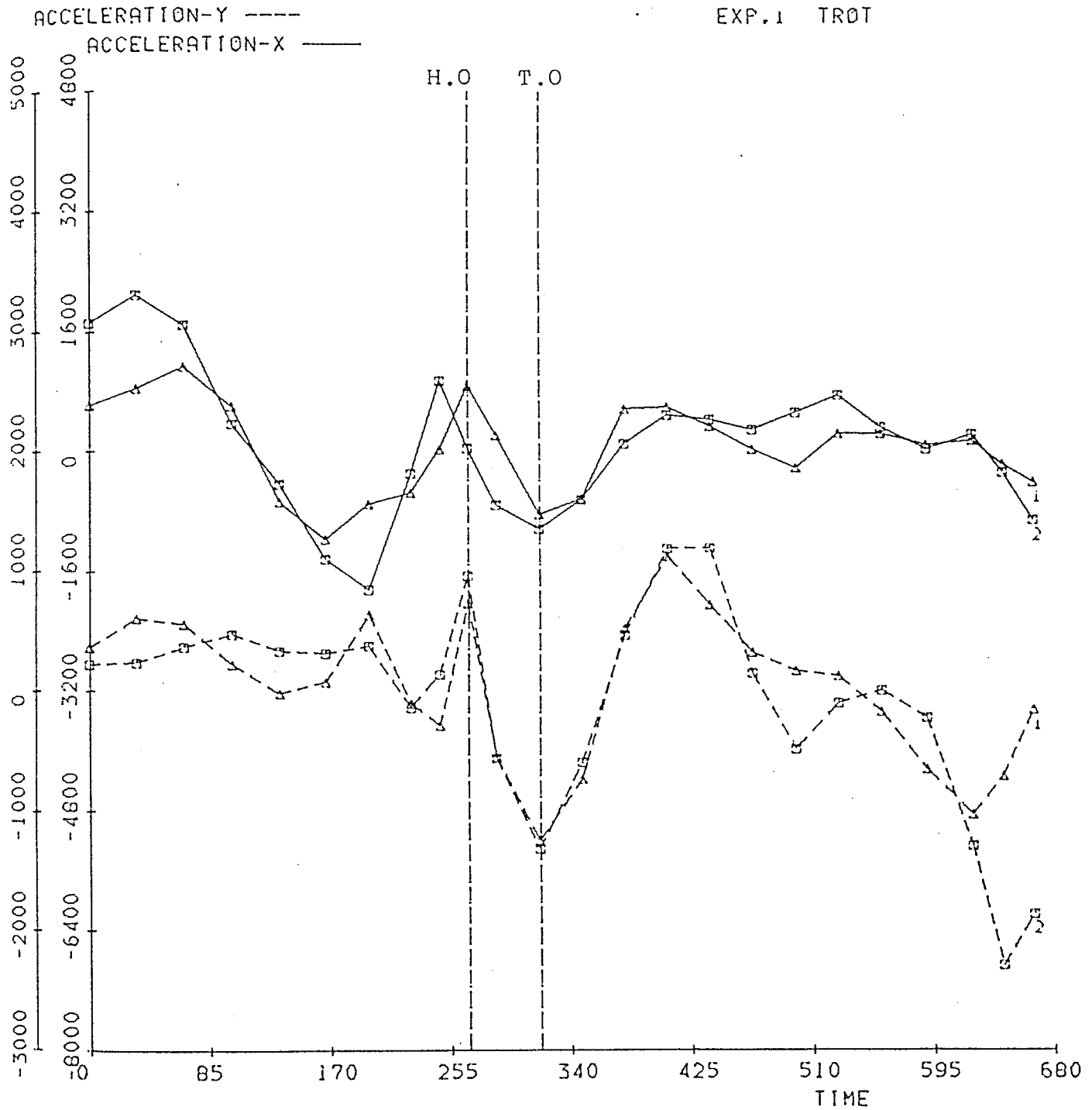
6 POINTS/FRAME

24 FRAMES

Fig. 45

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 TR0T

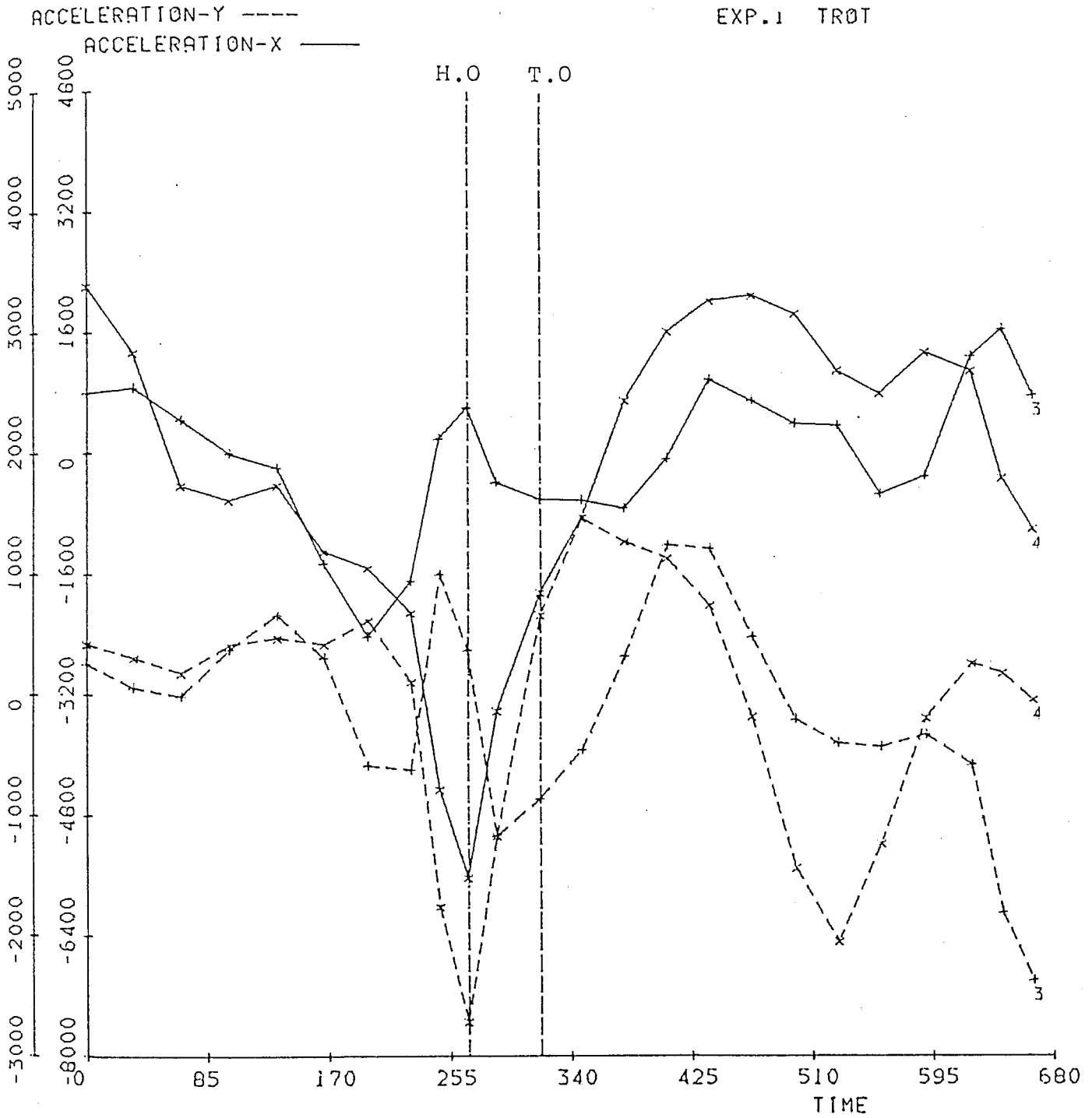


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 46

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 TROT

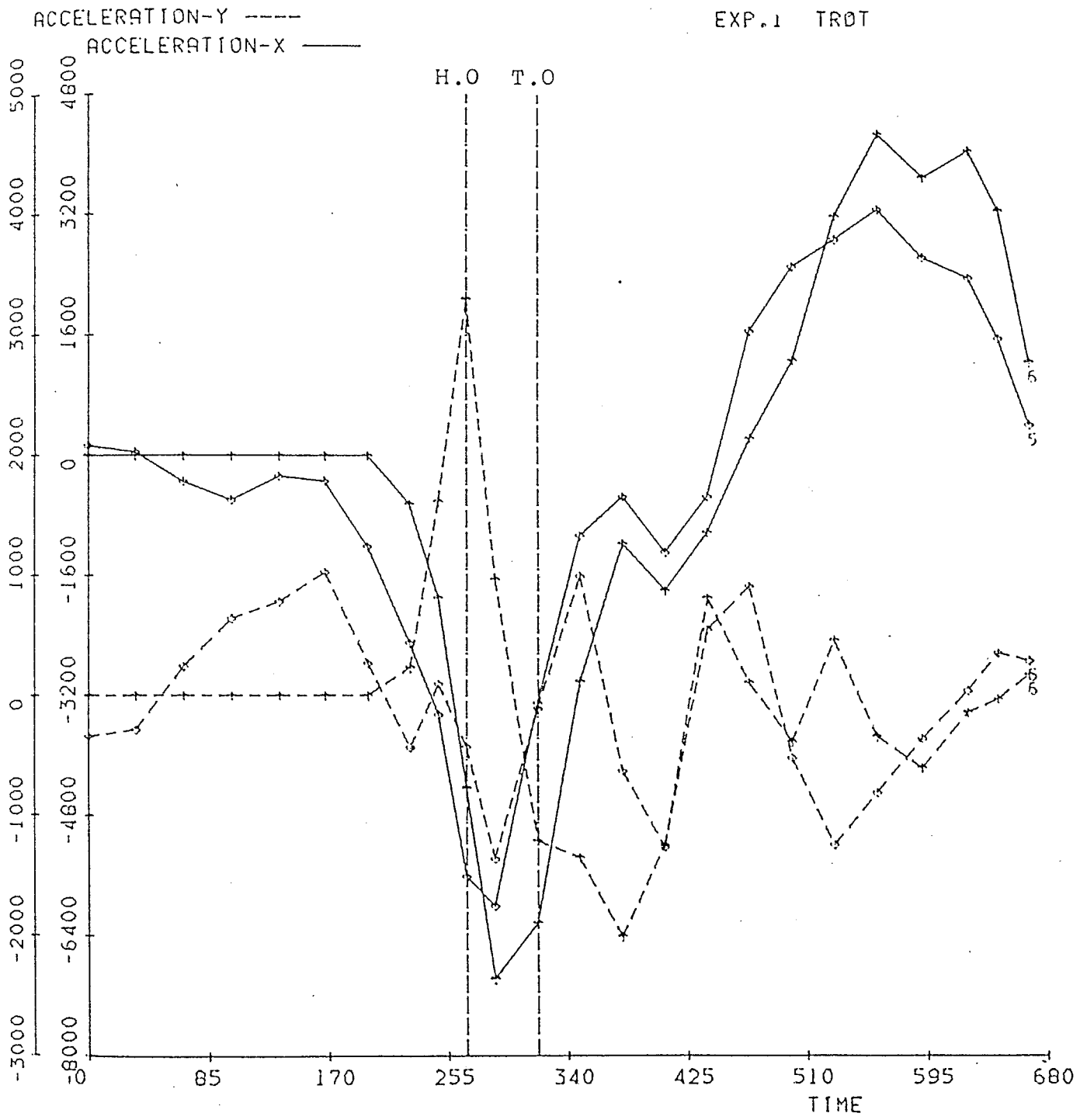


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 47

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 TR0T

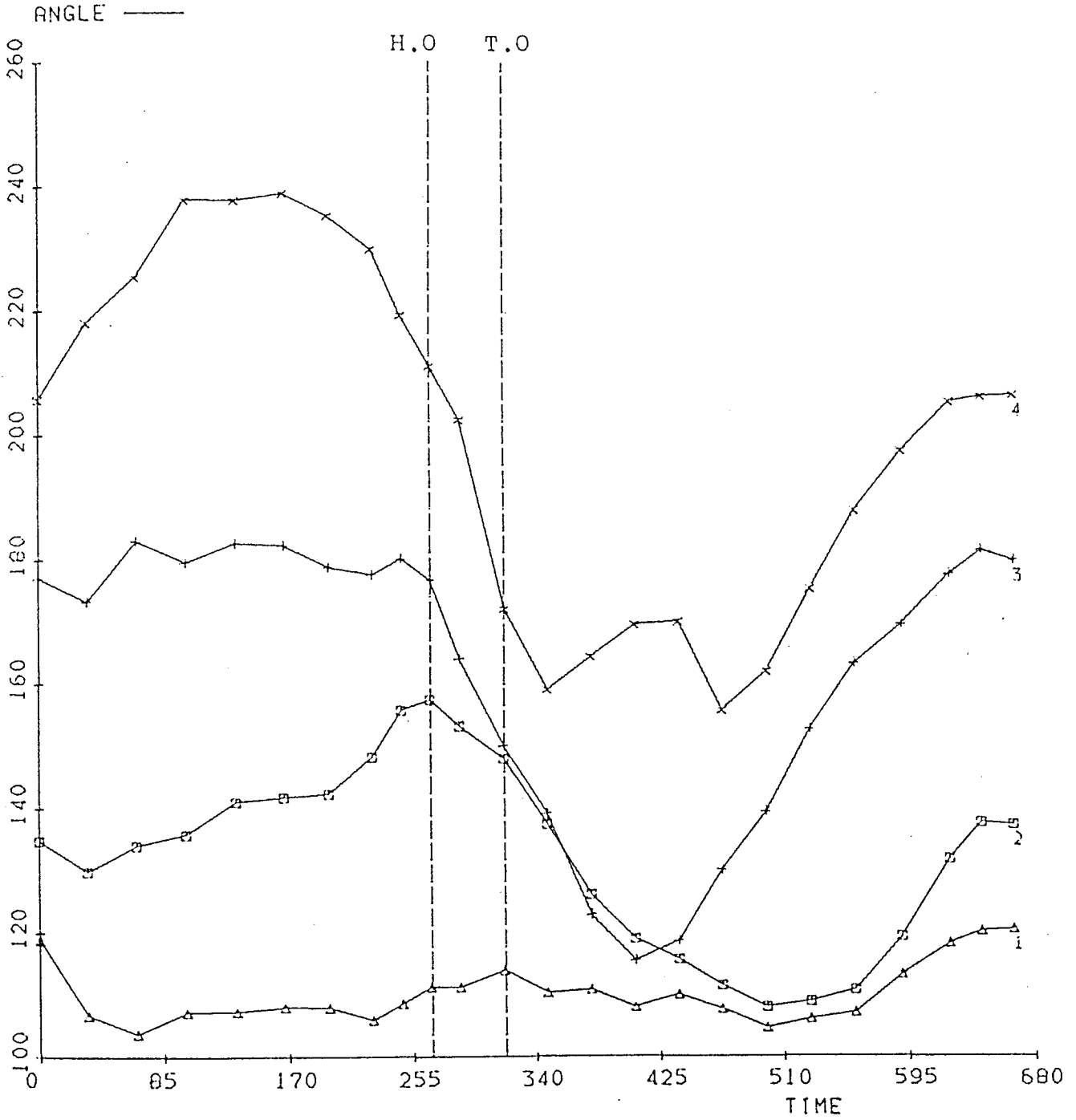


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 48

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 TROT

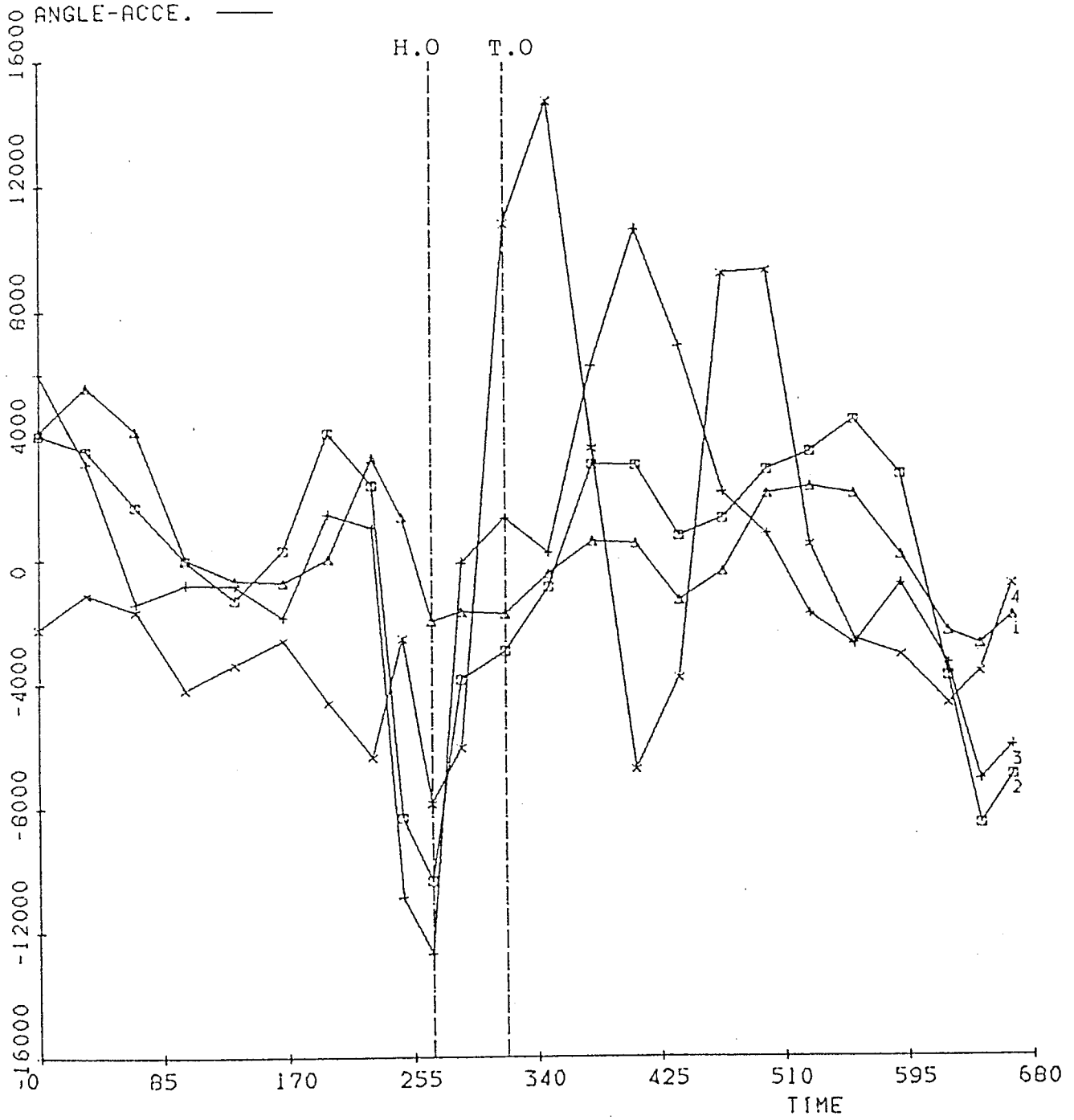


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 49

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 TROT

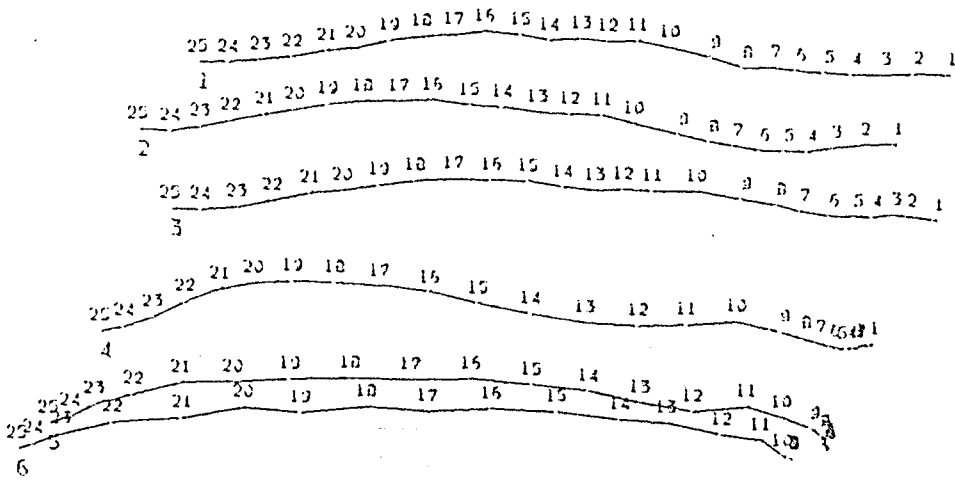


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 50

LOCUS

(EST)
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CANTER (LEAD)



30.720

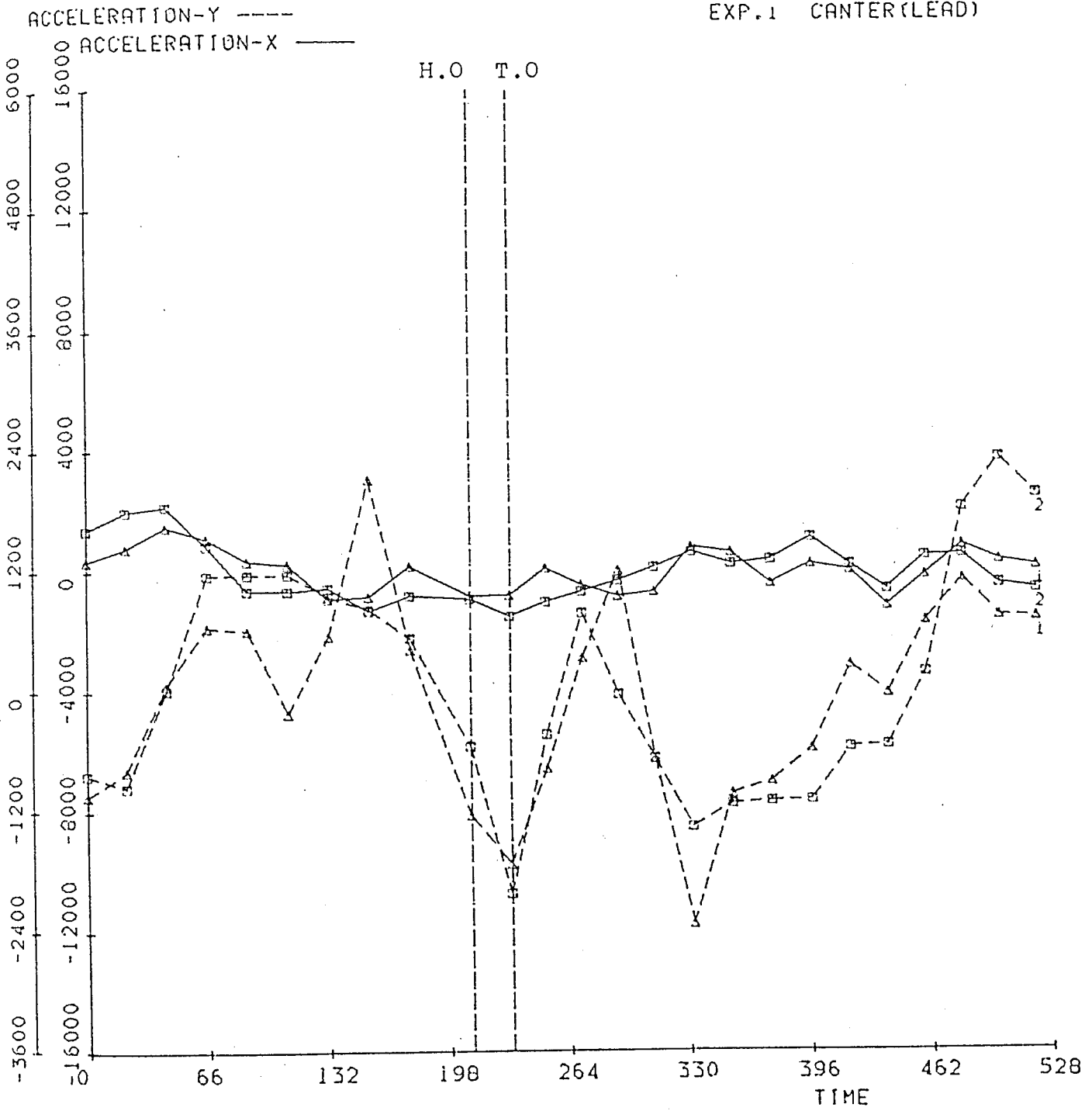
6 POINTS/FRAME

25 FRAMES

Fig. 51

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CANTER (LEAD)

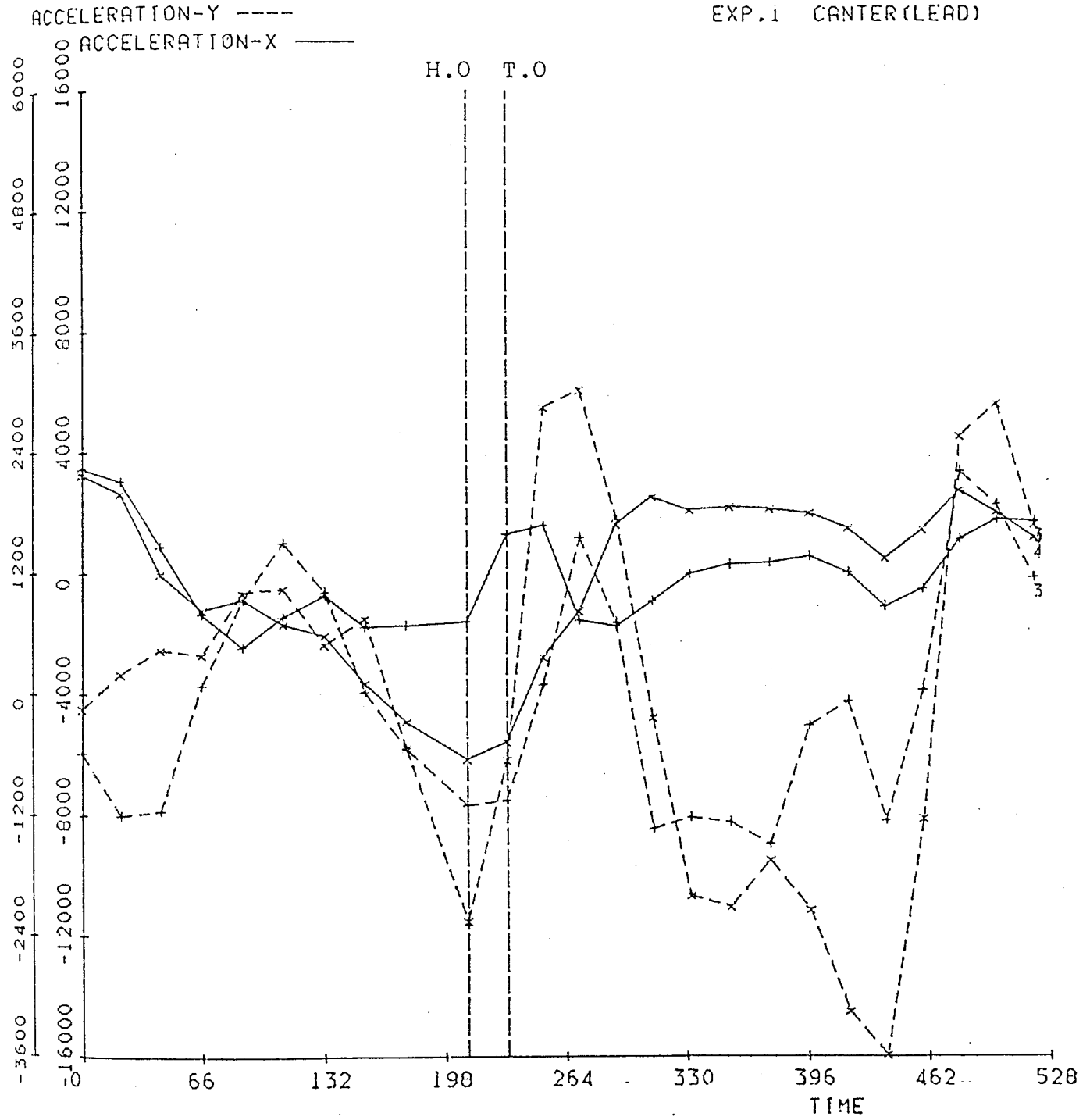


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 52

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CANTER (LEAD)

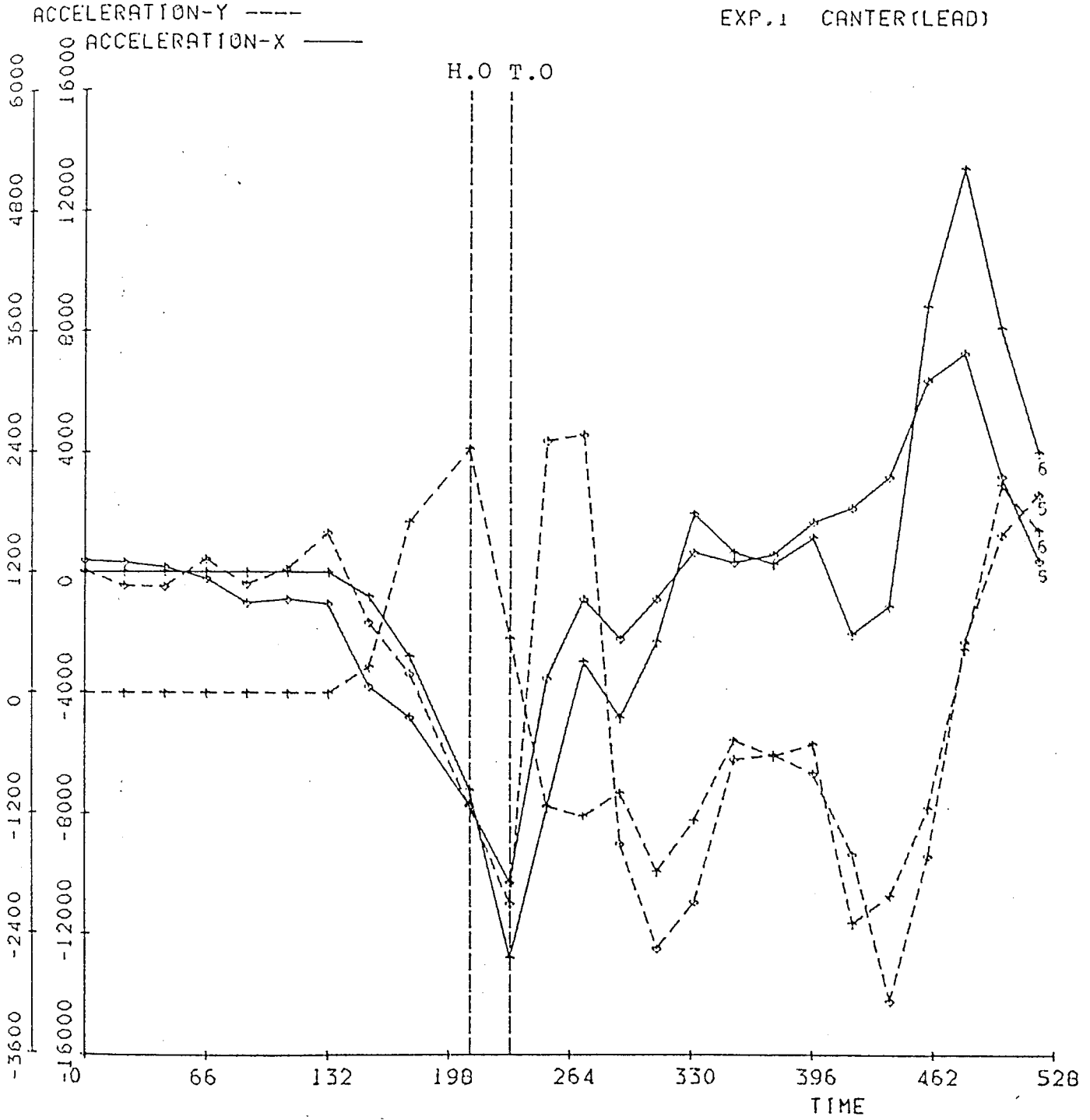


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 53

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CANTER(LEAD)

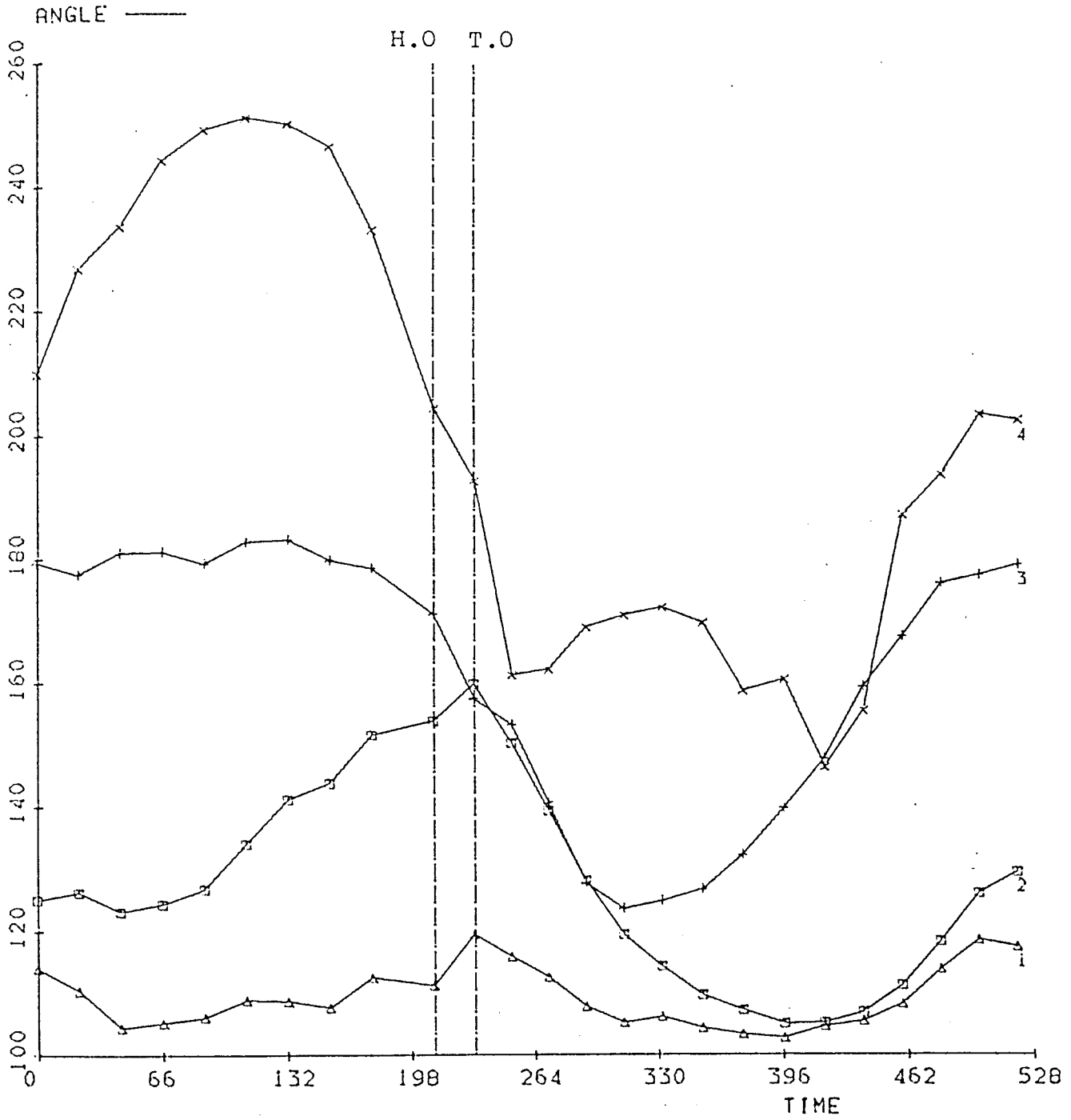


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 54

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CANTER (LEAD)

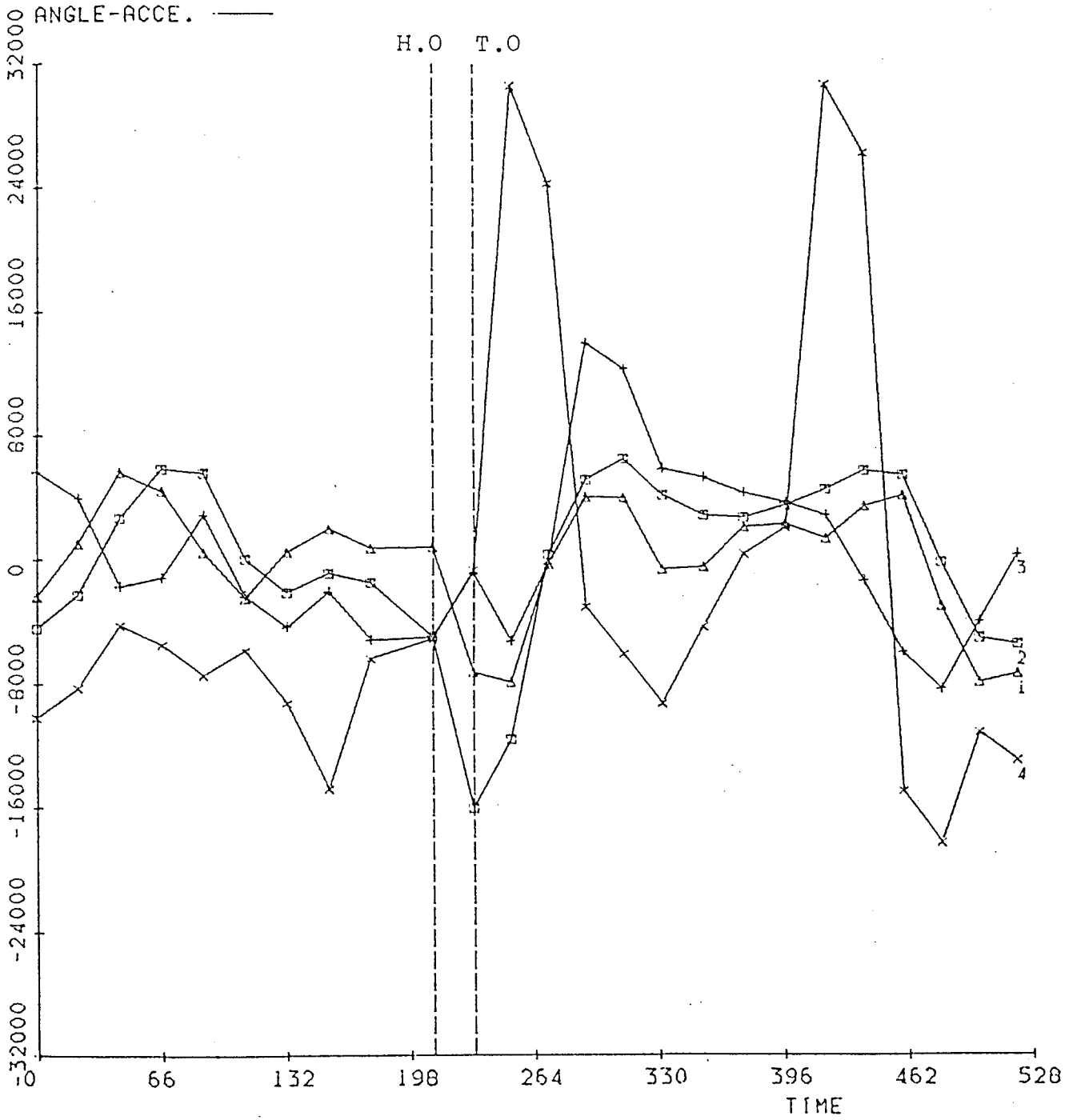


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 55

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CENTER (LEAD)

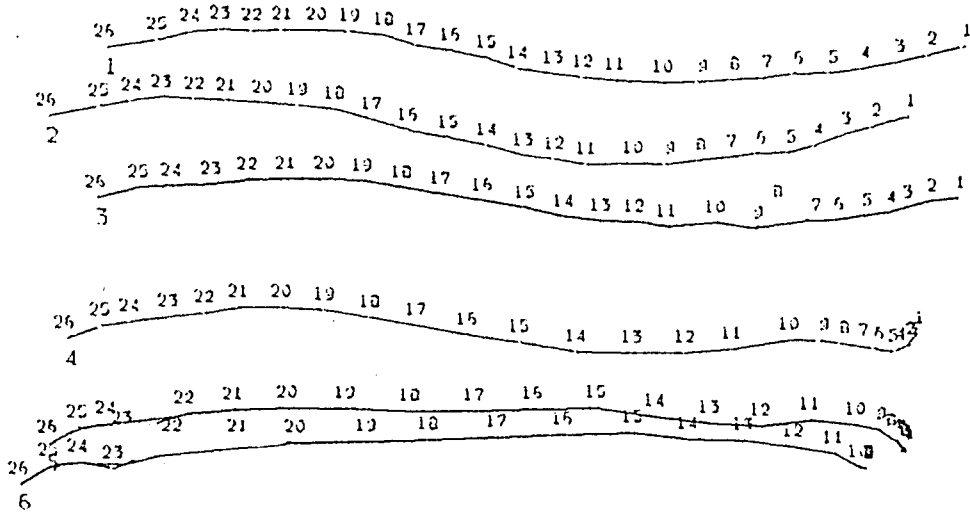


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 56

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)



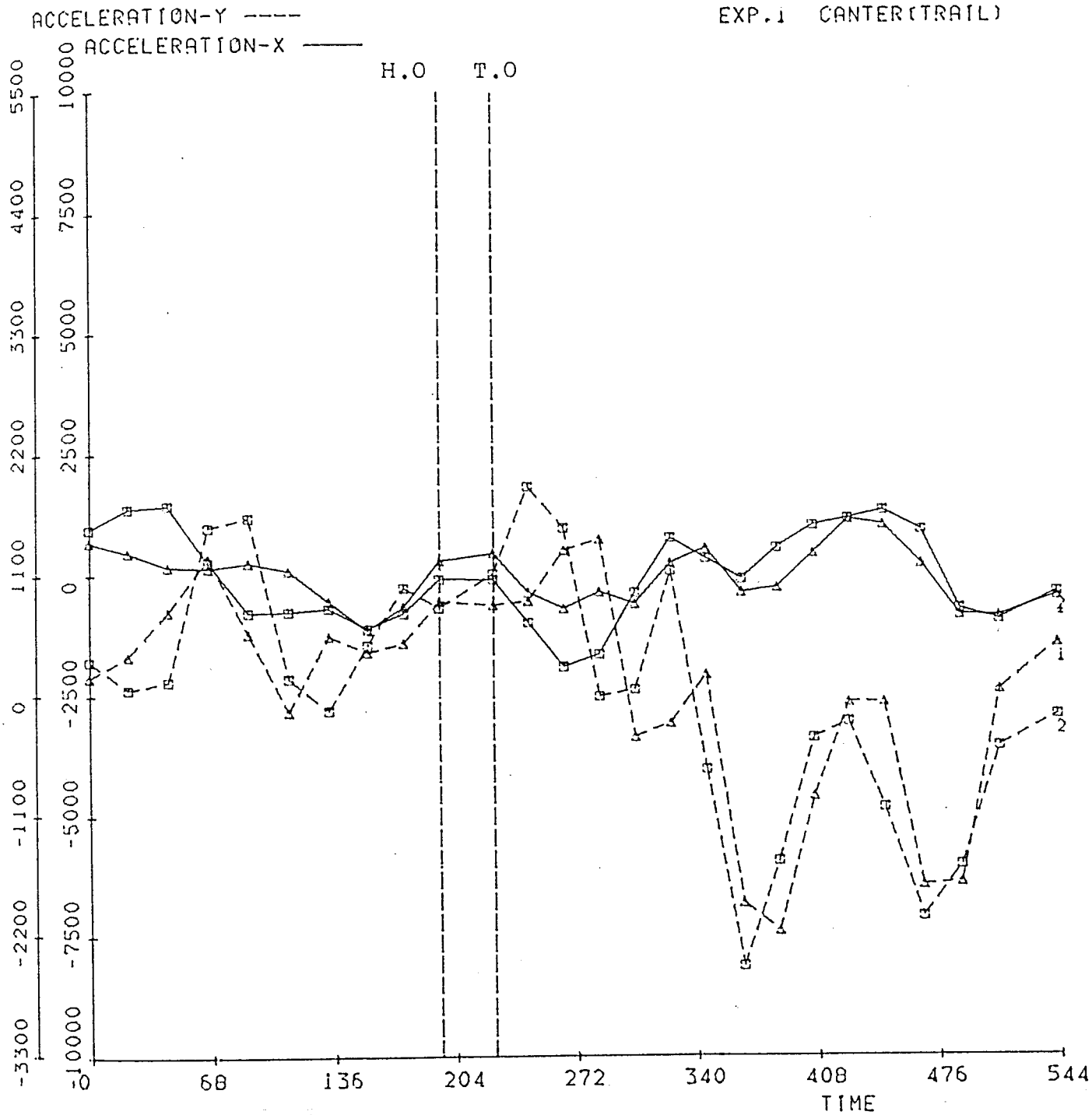
30.720

6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 57

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)

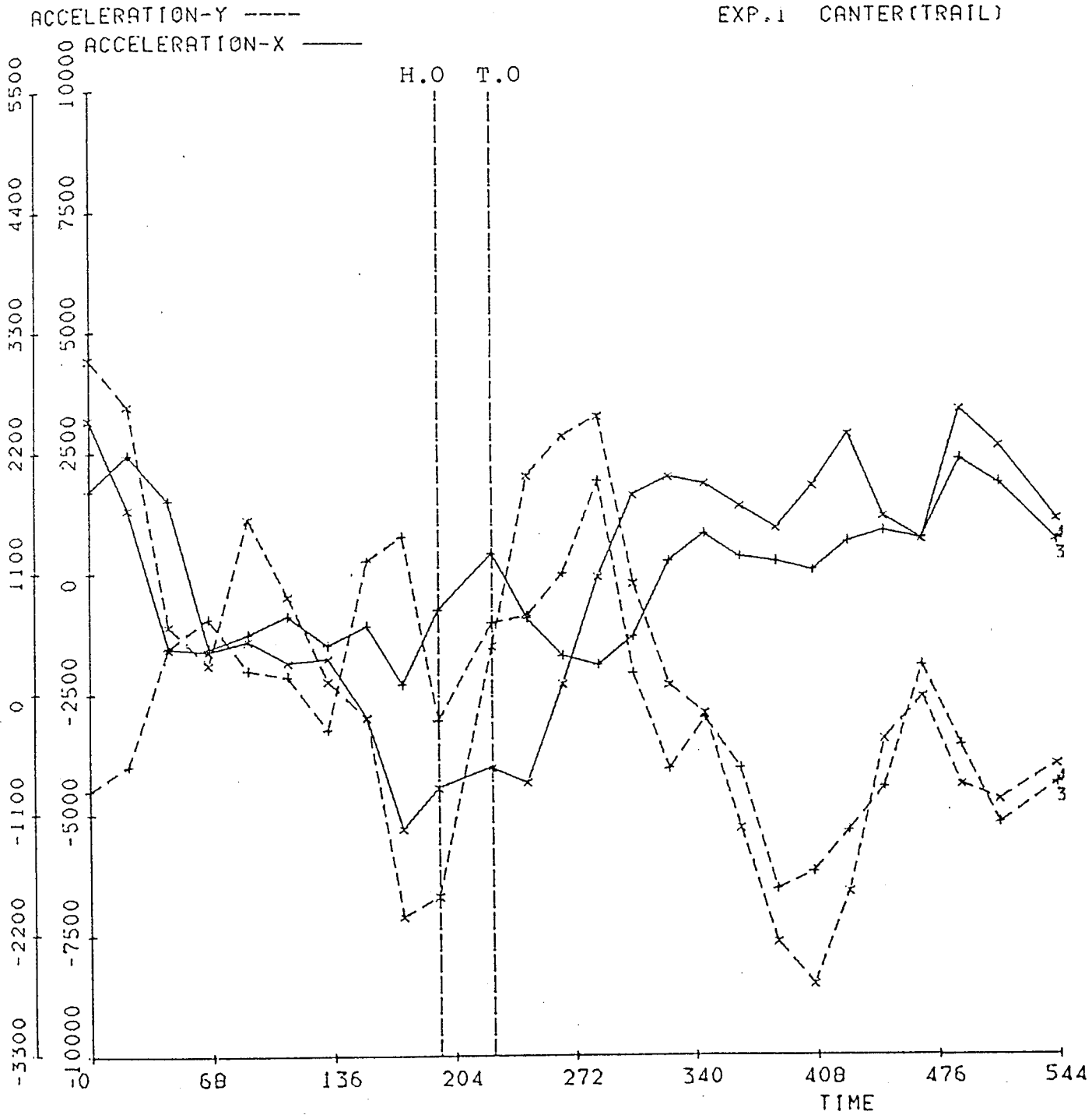


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 58

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)

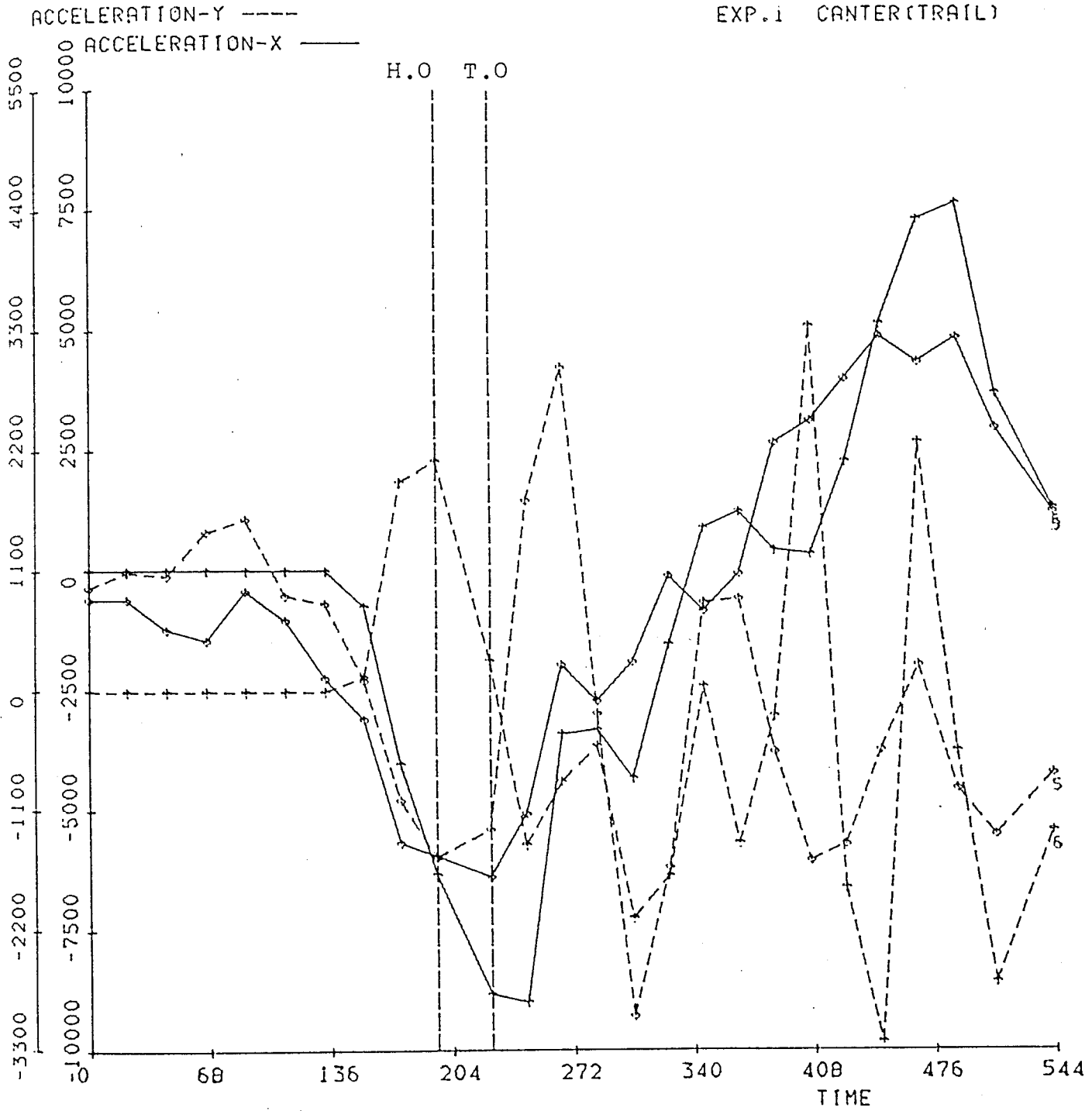


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 59

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)



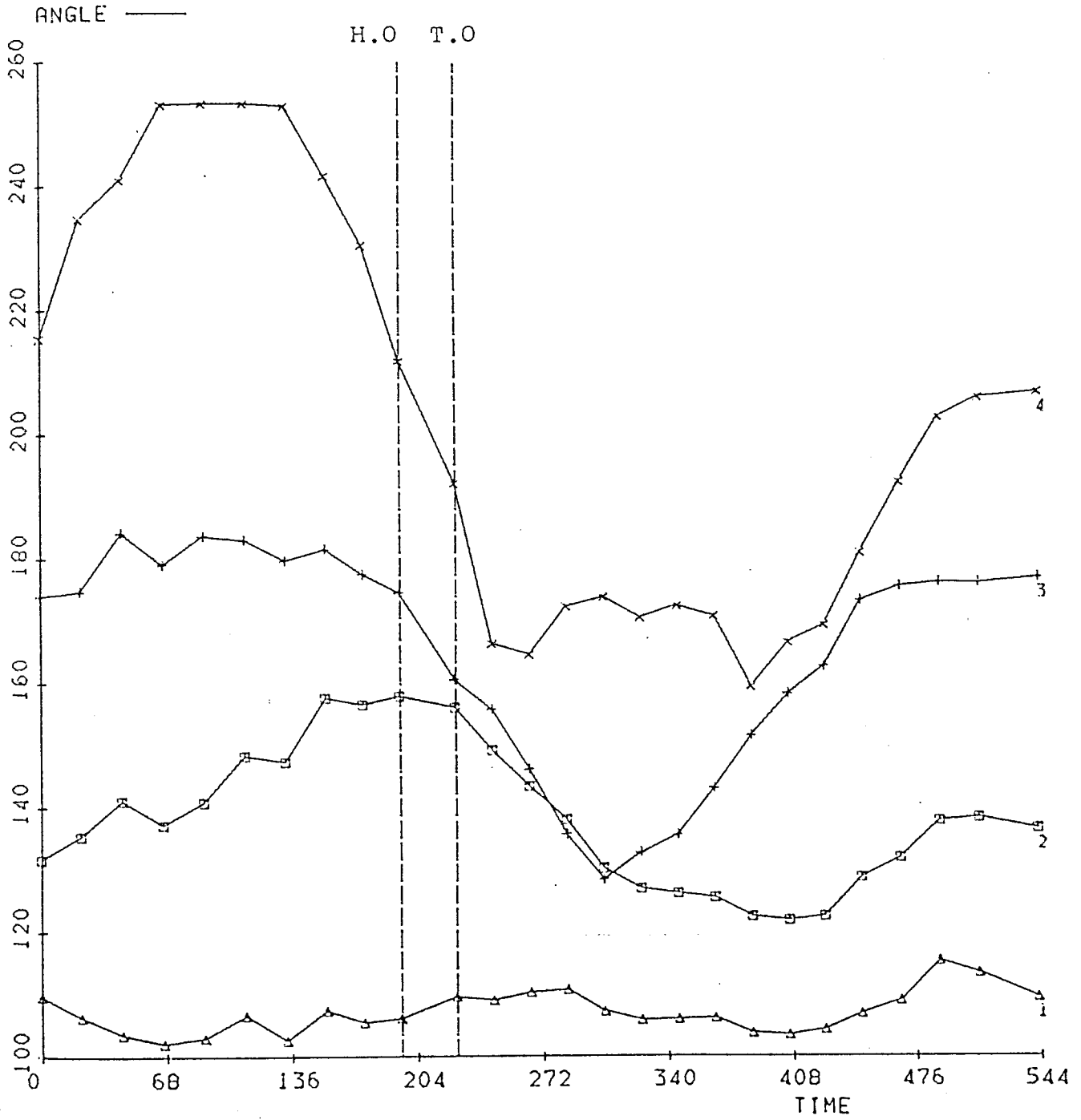
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 60

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 CANTER (TRAIL)



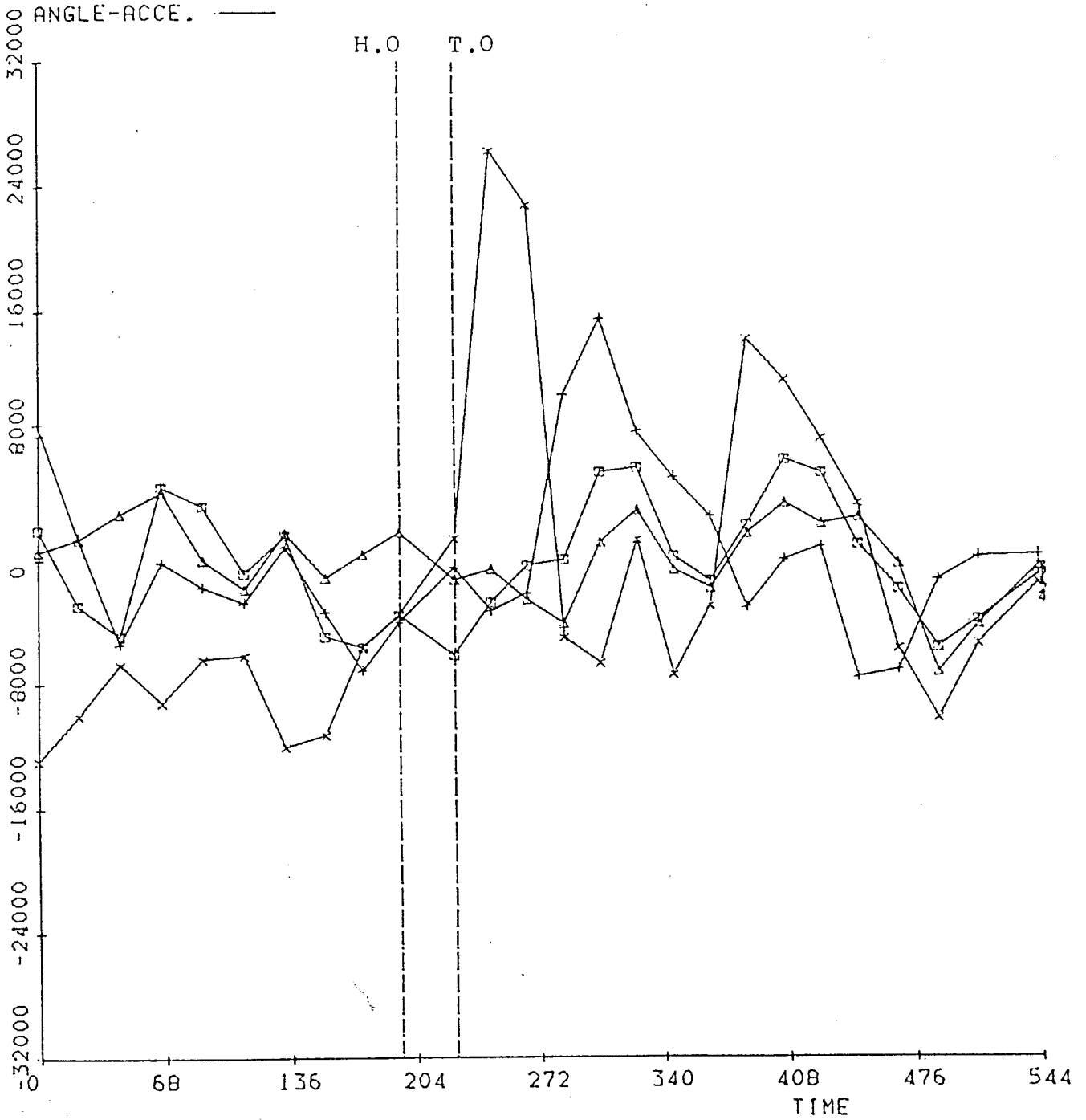
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 61

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP.: CANTER (TRAIL)



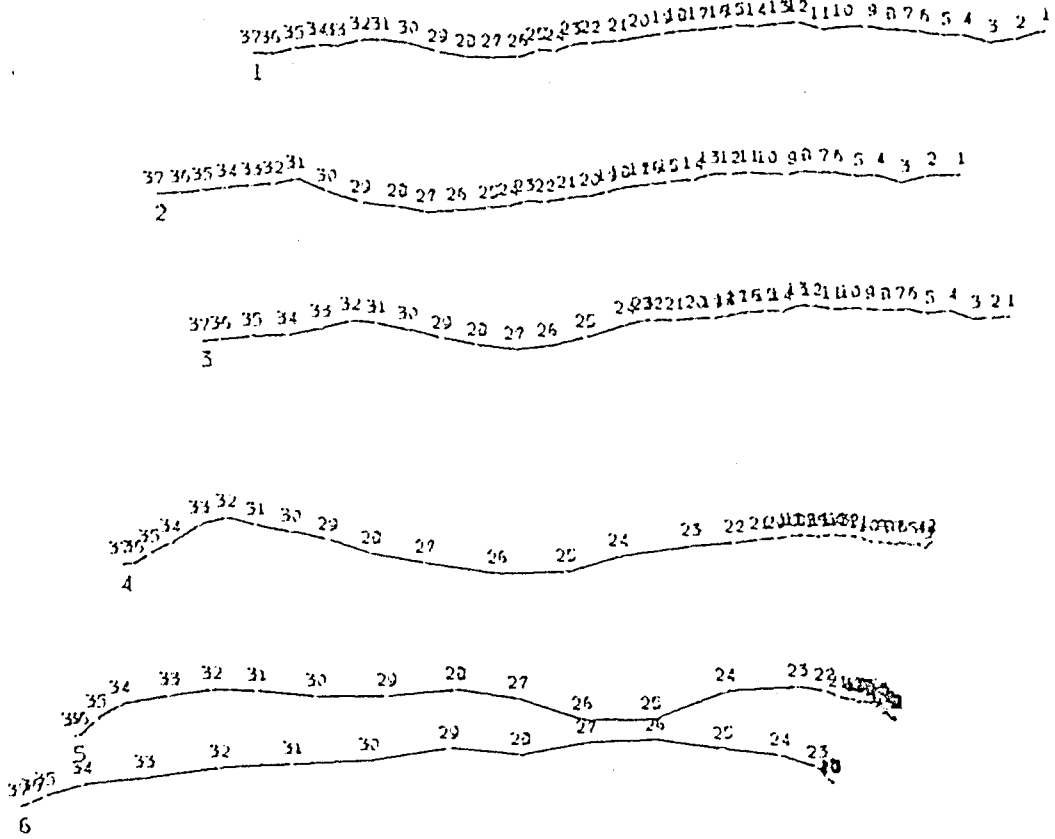
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 62

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP. 2 WALK



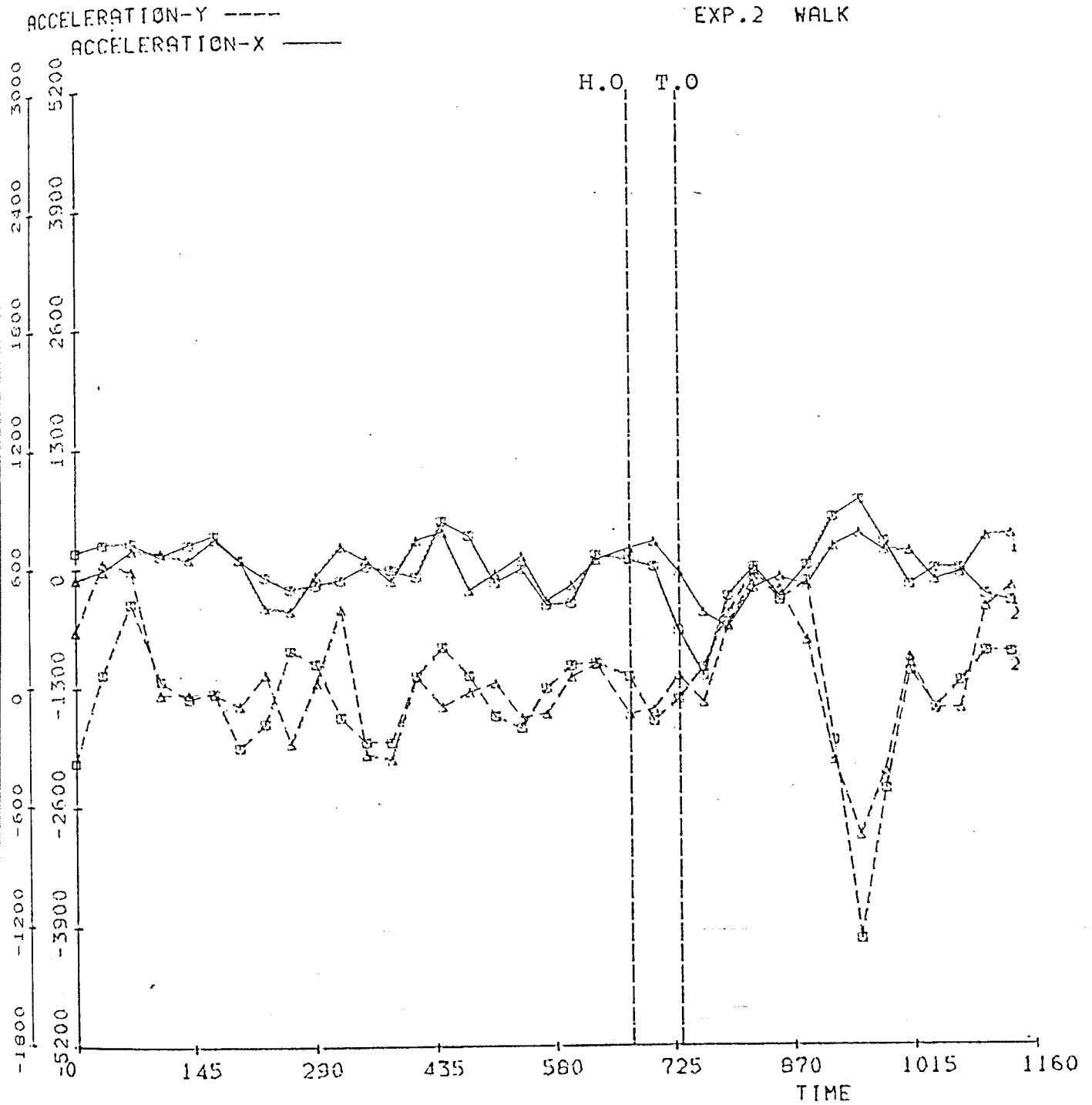
30.720

6 POINTS/FRAME 37 FRAMES

Fig. 63

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP.2 WALK

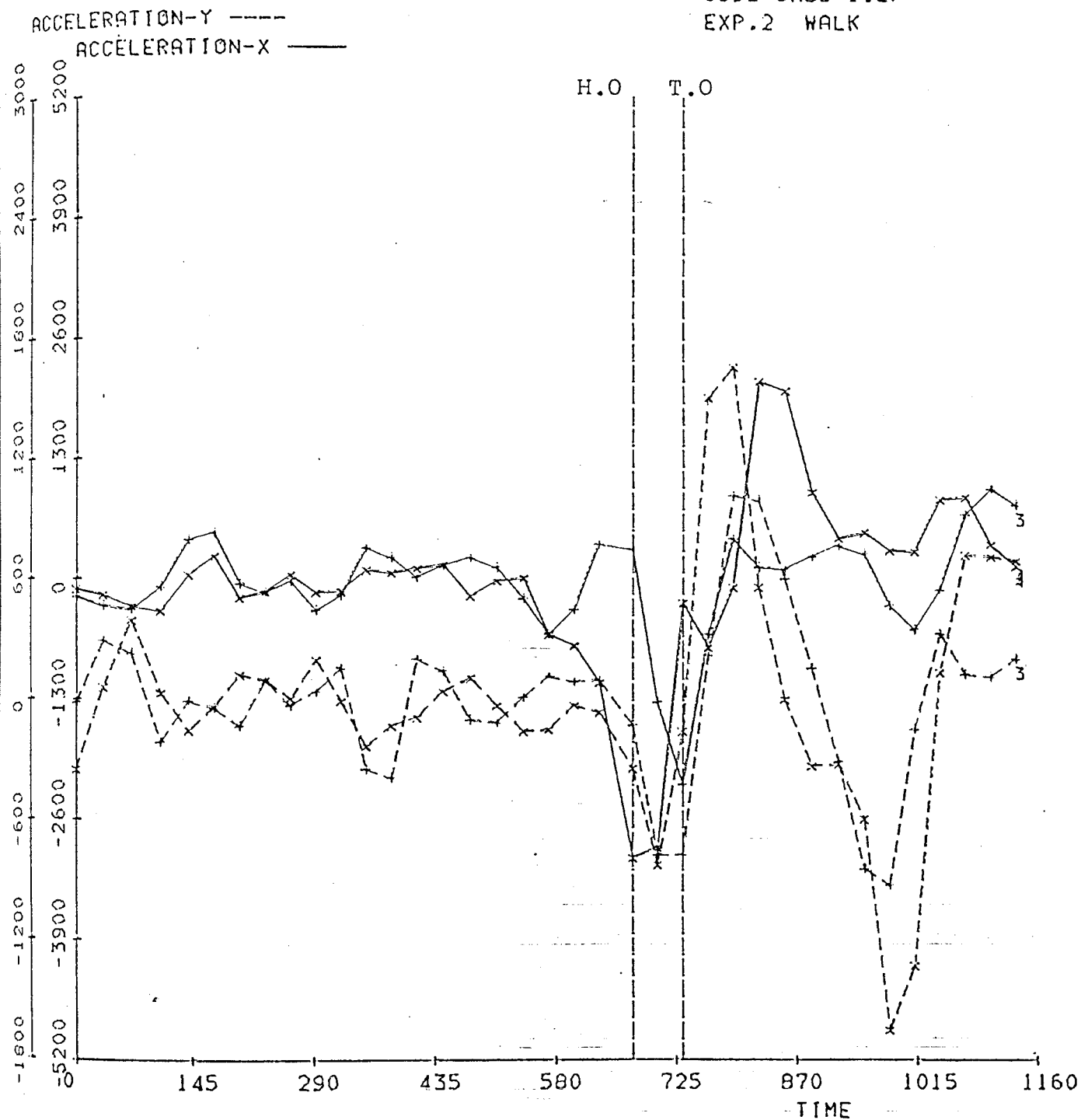


6 POINTS/FRAME 37 FRAMES

Fig. 64

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP.2 WALK

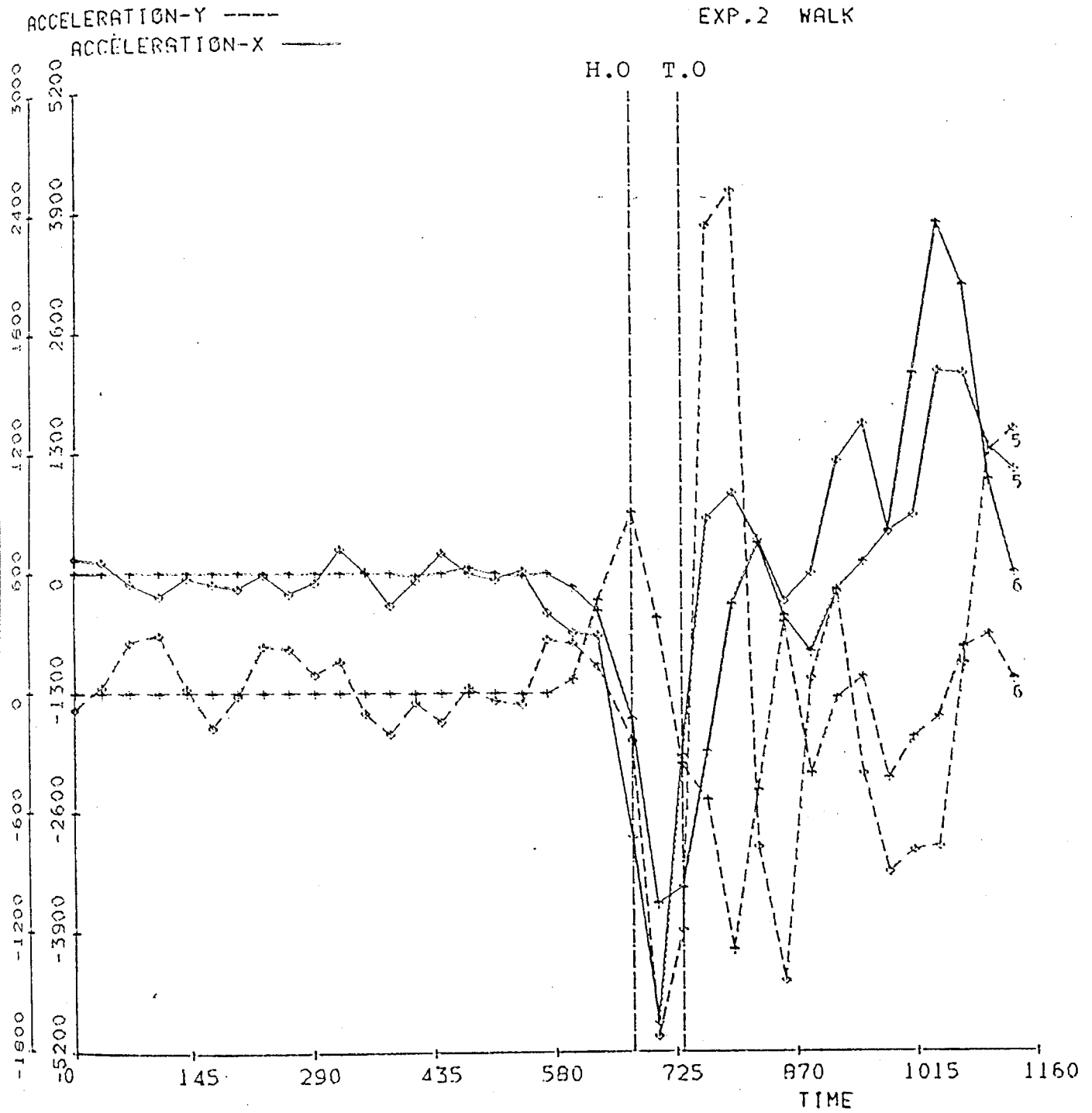


6 POINTS/FRAME 37 FRAMES

Fig. 65

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP.2 WALK

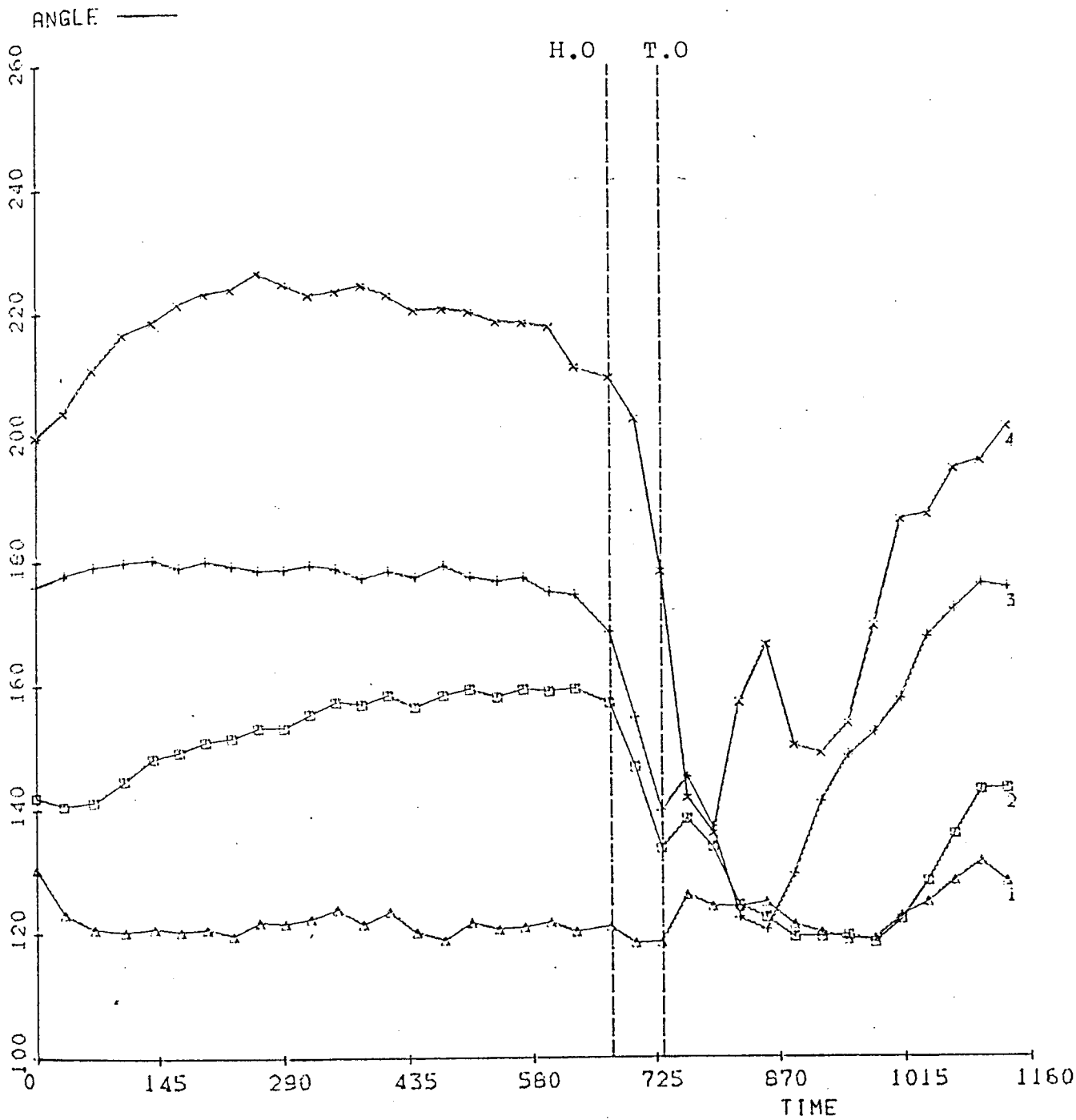


6 POINTS/FRAME 37 FRAMES

Fig. 66

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP.2 WALK

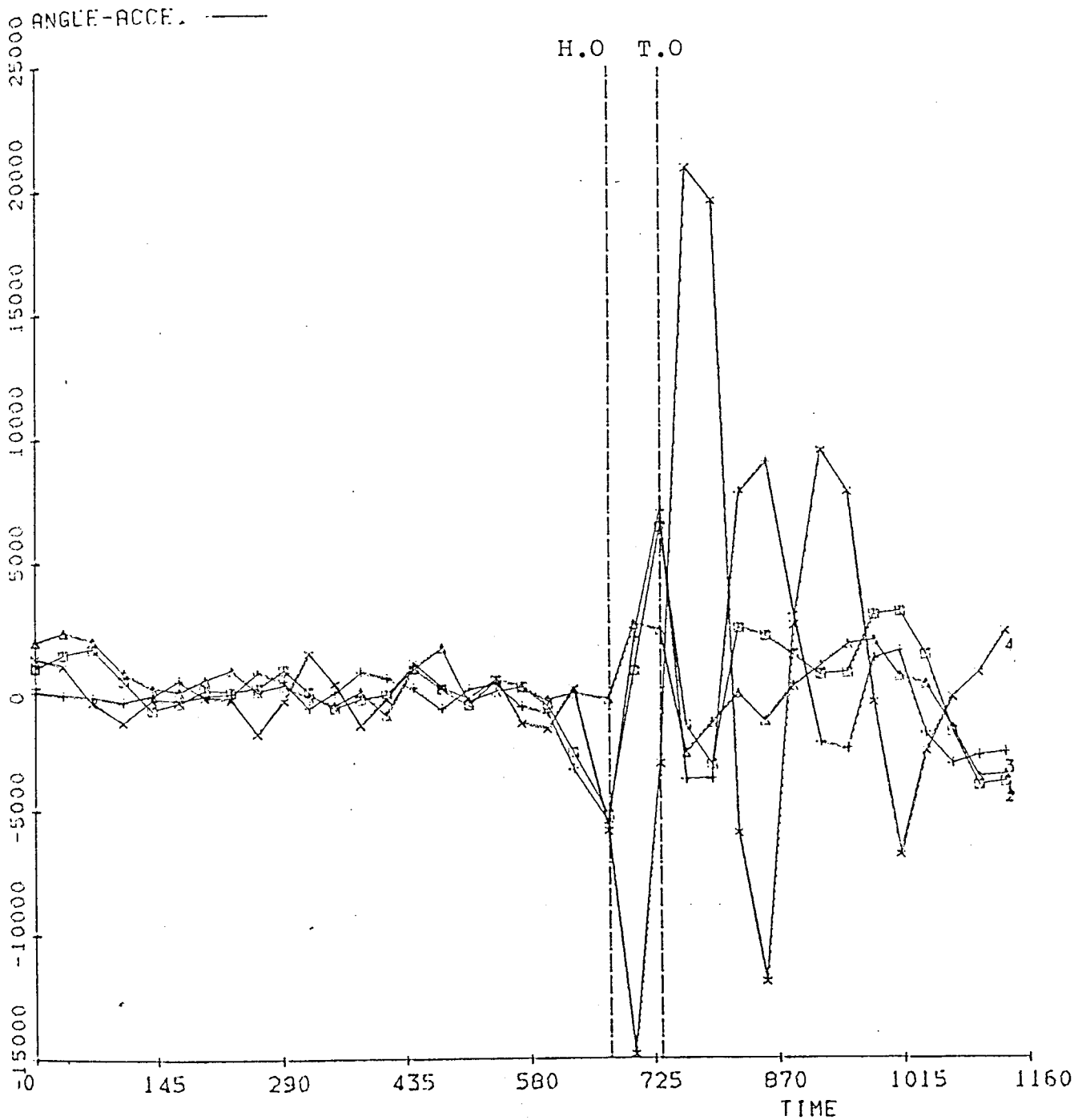


6 POINTS/FRAME 37 FRAMES

Fig. 67

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP. 2 WALK

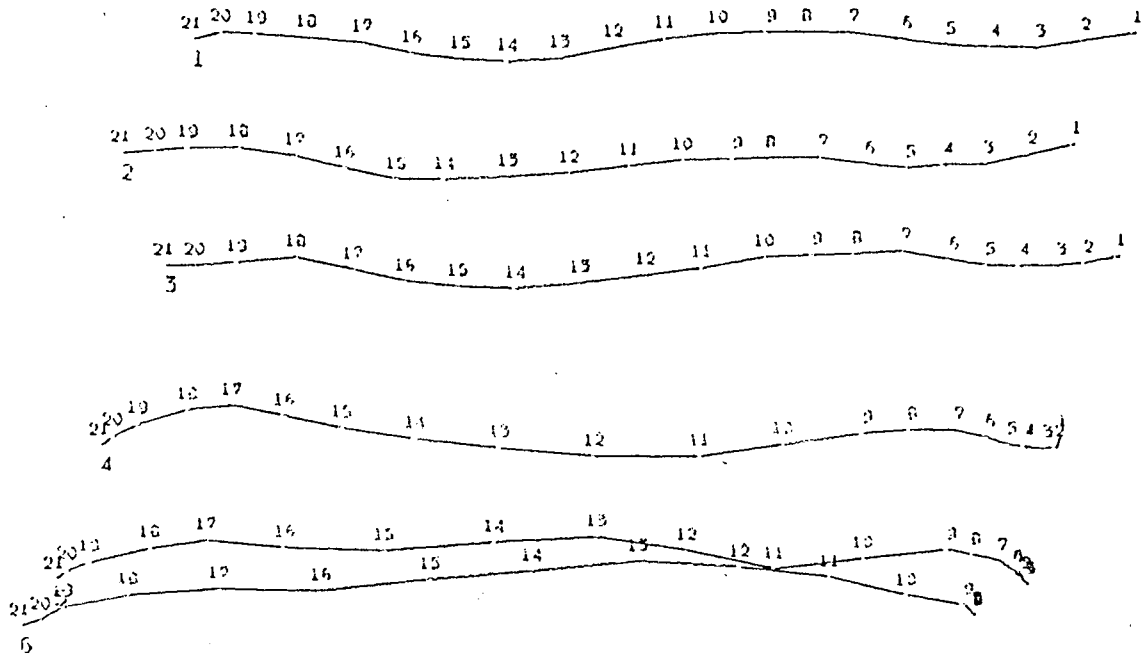


6 POINTS/FRAME 37 FRAMES

Fig. 68

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 TROT



30.720

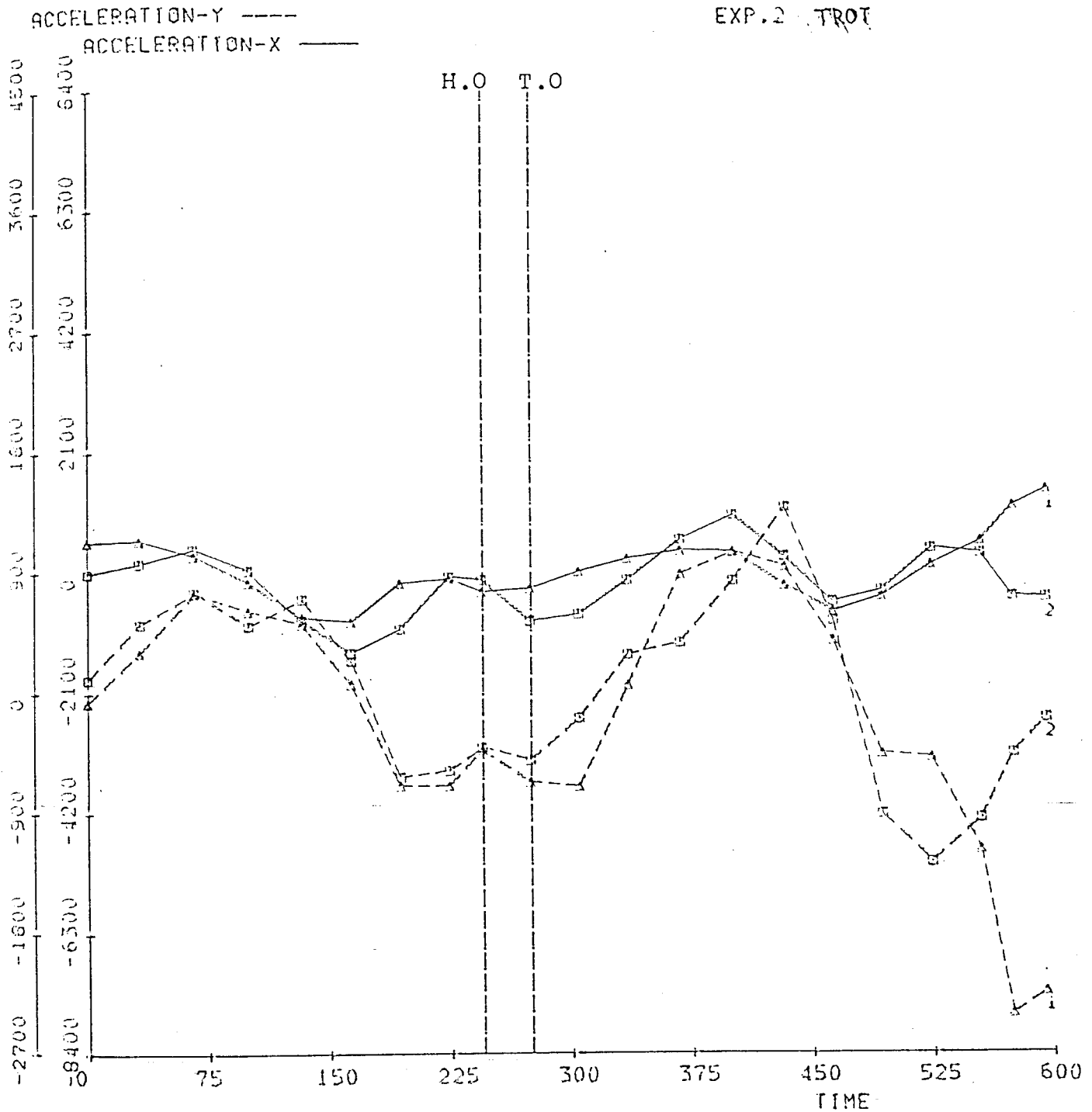
6 POINTS/FRAME

21 FRAMES

Fig. 69

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 TROT

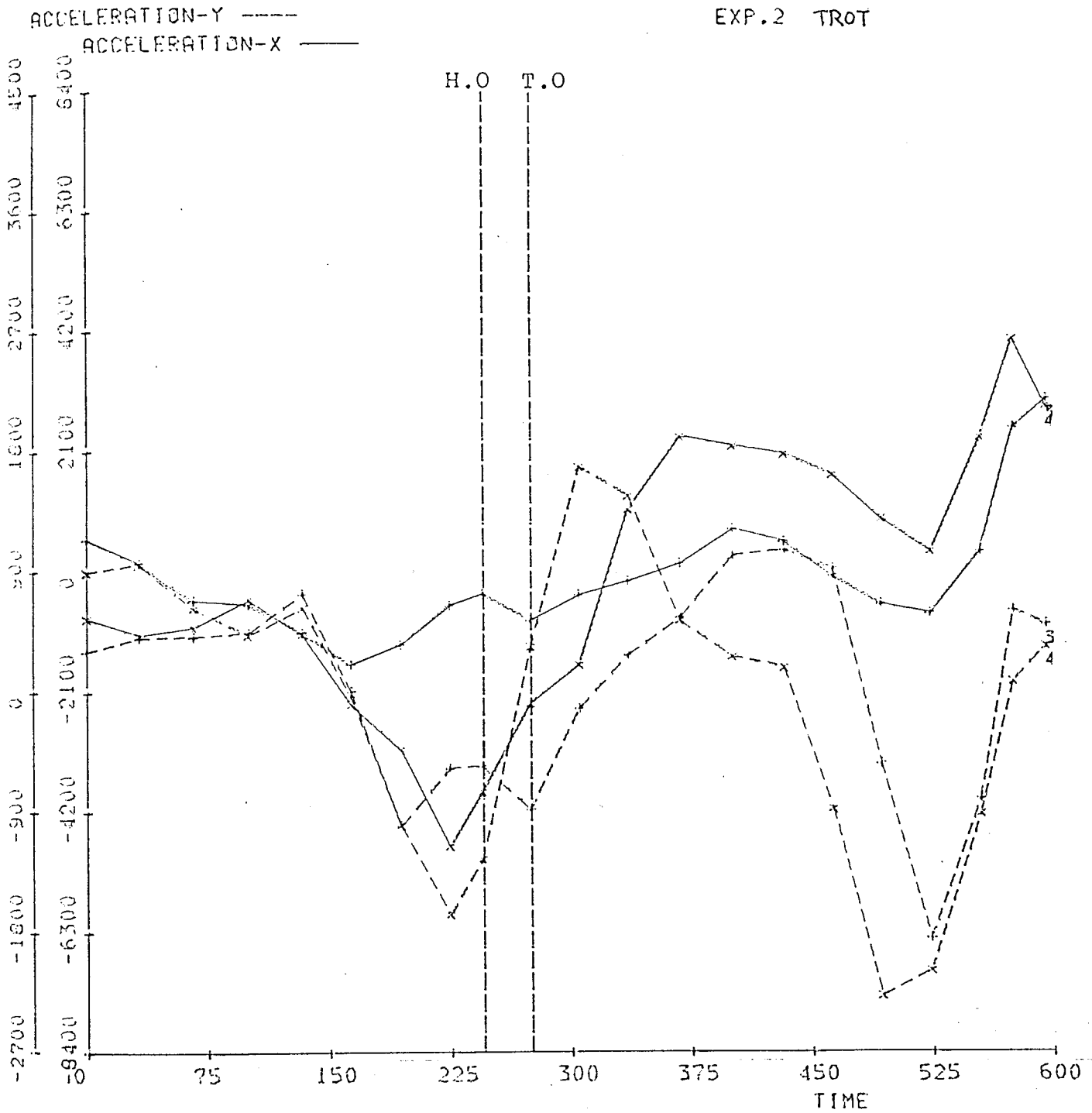


6 POINTS/FRAME 21 FRAMES

Fig. 70

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP.2 TROT



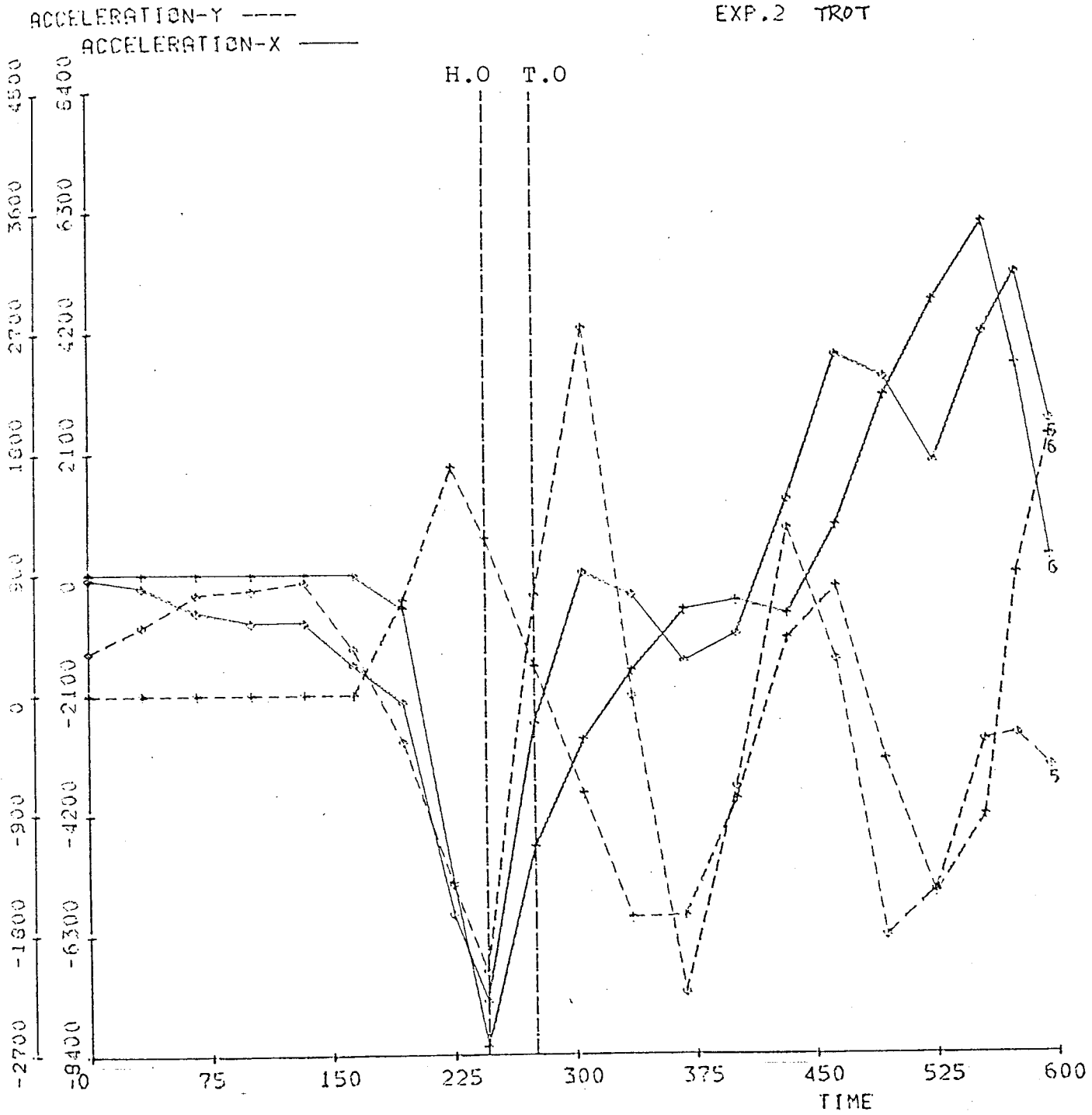
6 POINTS/FRAME

21 FRAMES

Fig. 71

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF.
EXP. 2 TROT

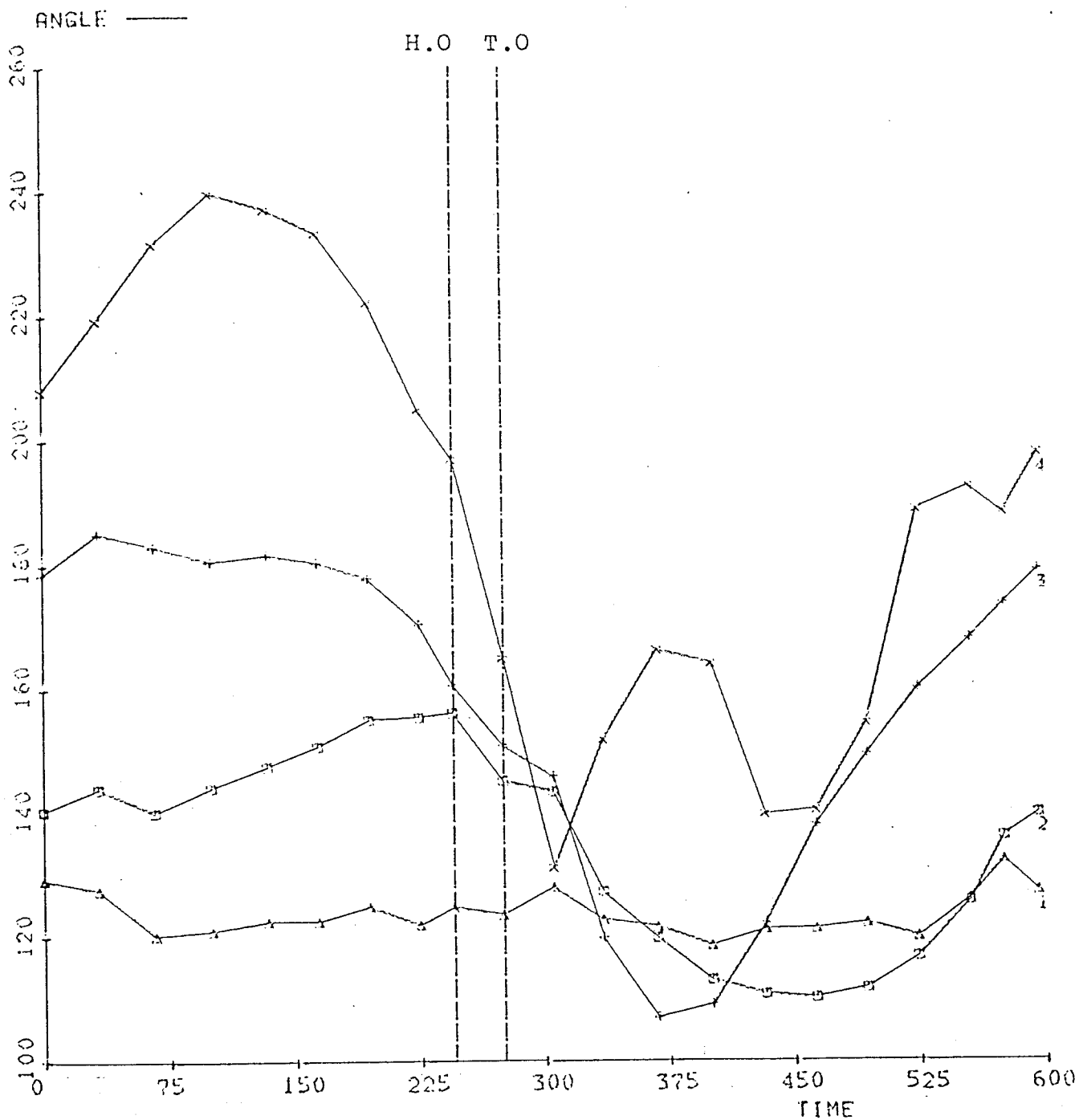


6 POINTS/FRAME 21 FRAMES

Fig. 72

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 TROT

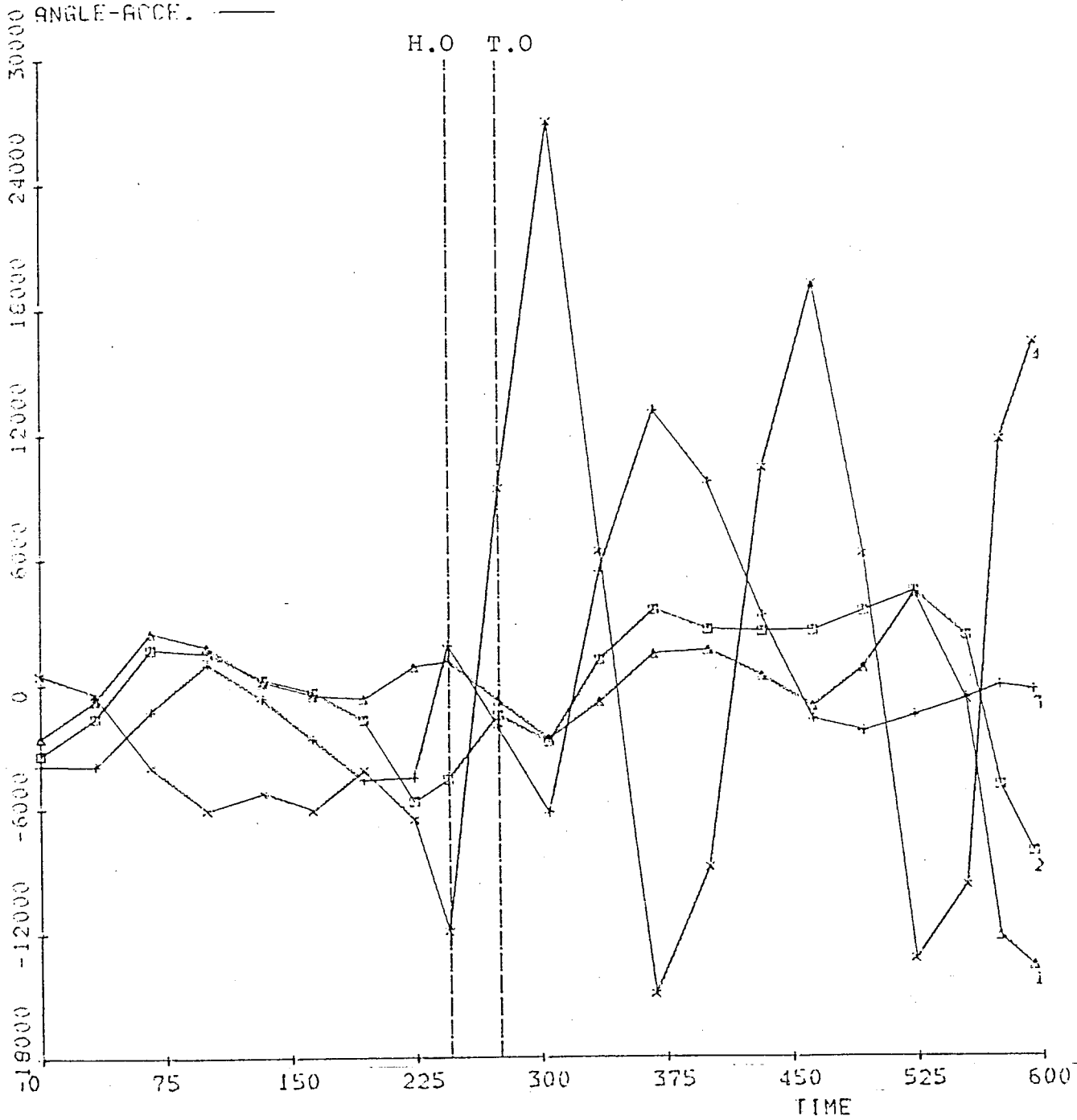


6 POINTS/FRAME 21 FRAMES

Fig. 73

ANGLE - TIME

TEST:
CODE>CASE 1. LF
EXP.2 TROT

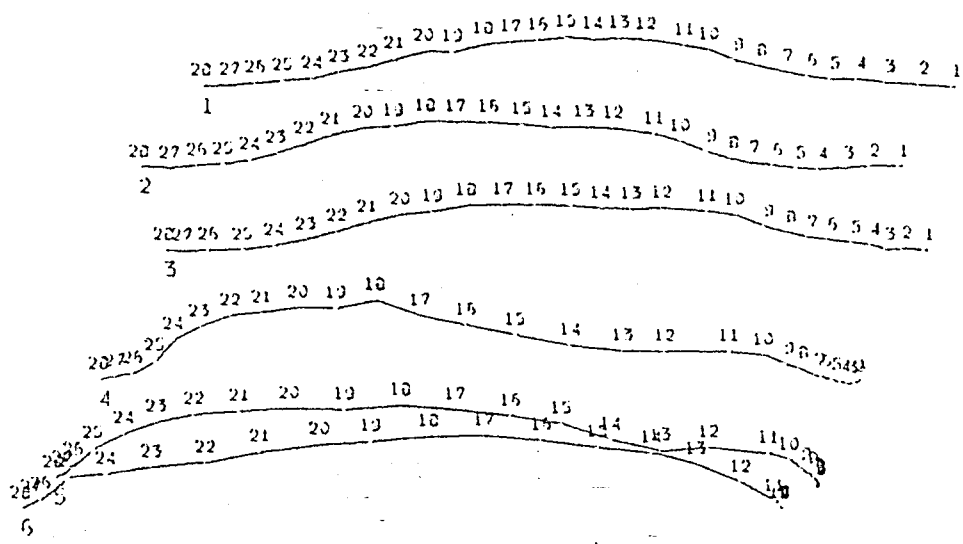


6 POINTS/FRAME 21 FRAMES

Fig. 74

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1, LF
EXP. 2 CANTER (LEAD)



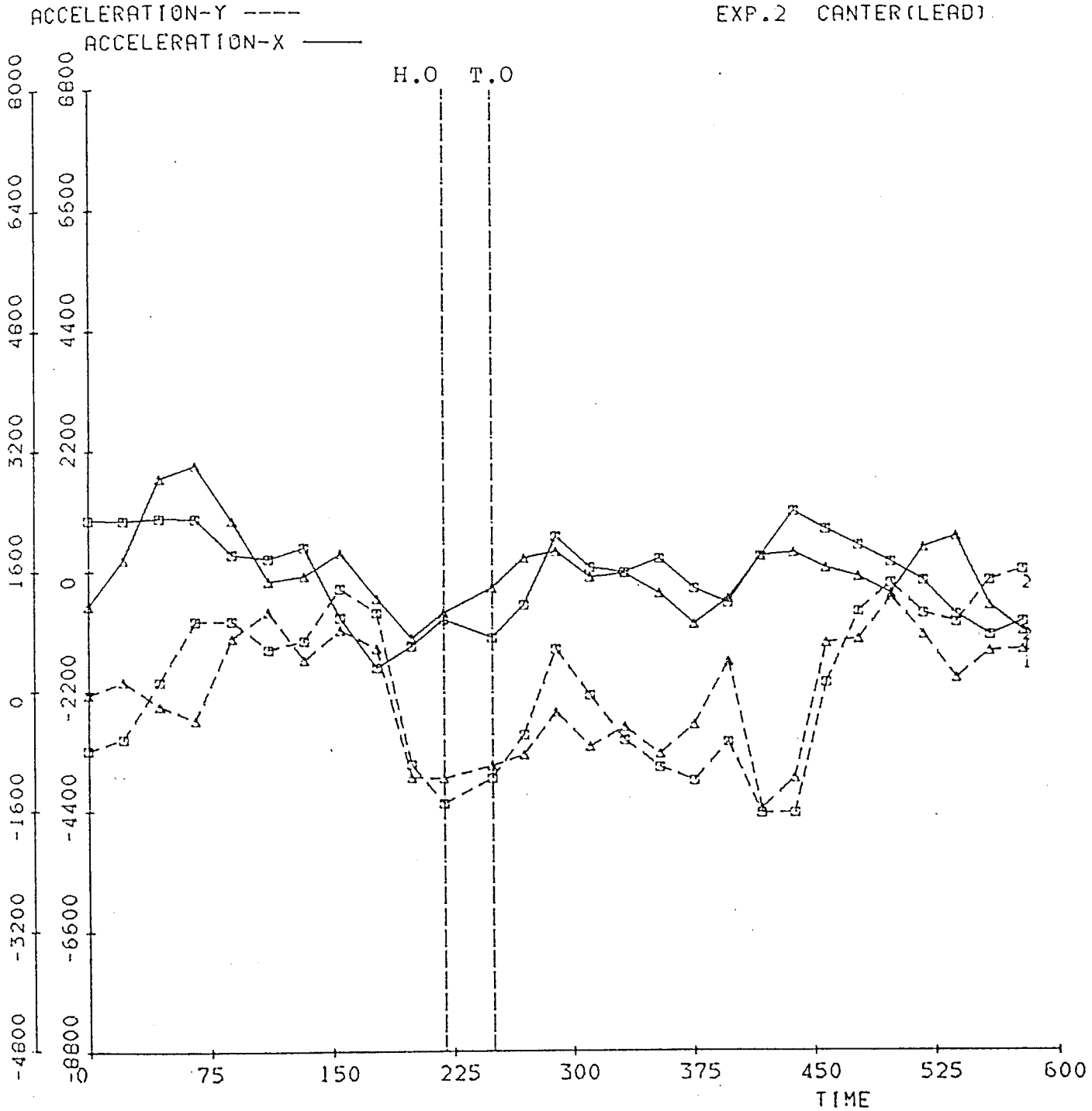
30.720

6 POINTS/FRAME 28 FRAMES

Fig. 75

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP.2 CANTER(LEAD).

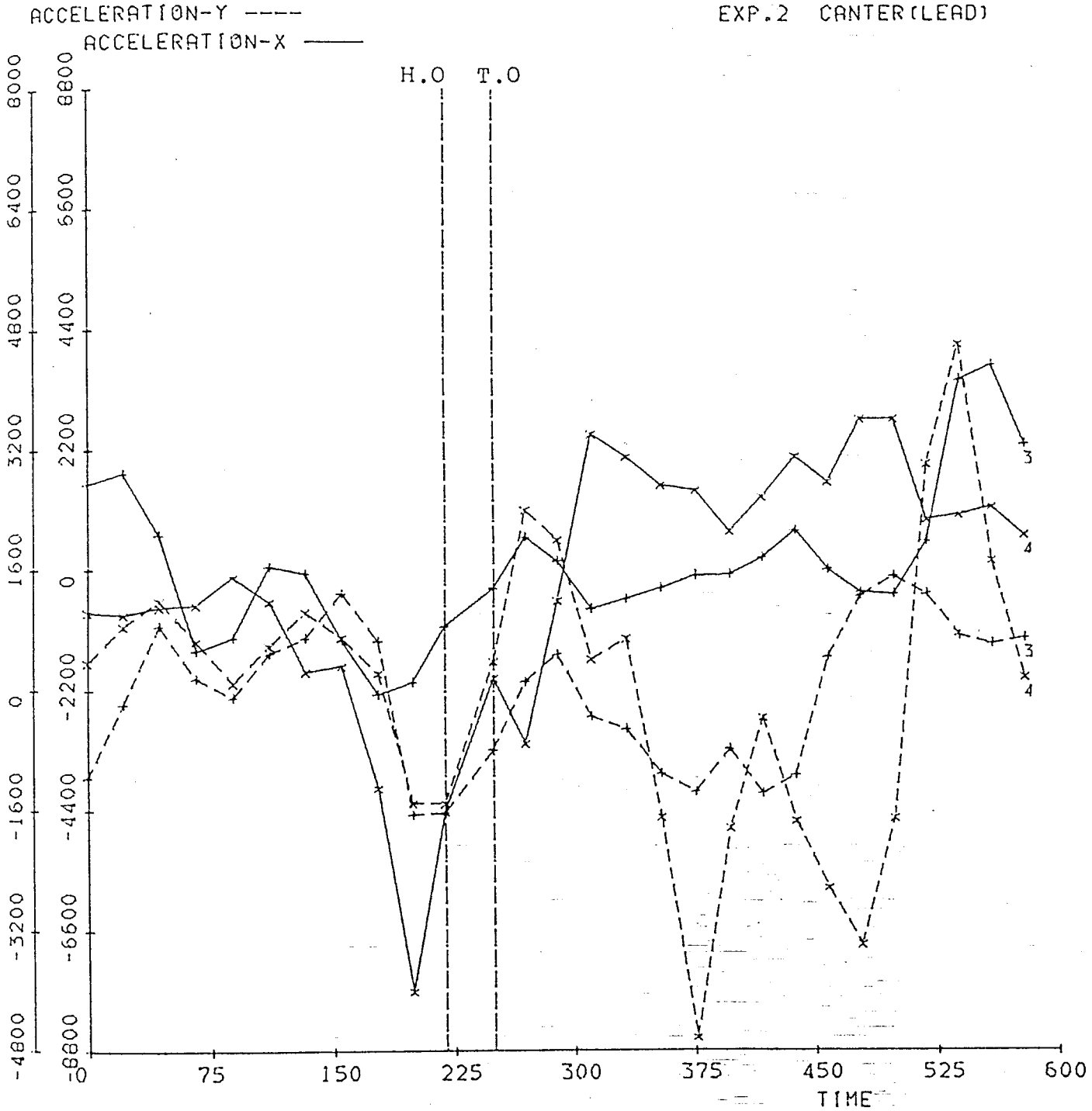


6 POINTS/FRAME 28 FRAMES

Fig. 76

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 CENTER (LEAD)



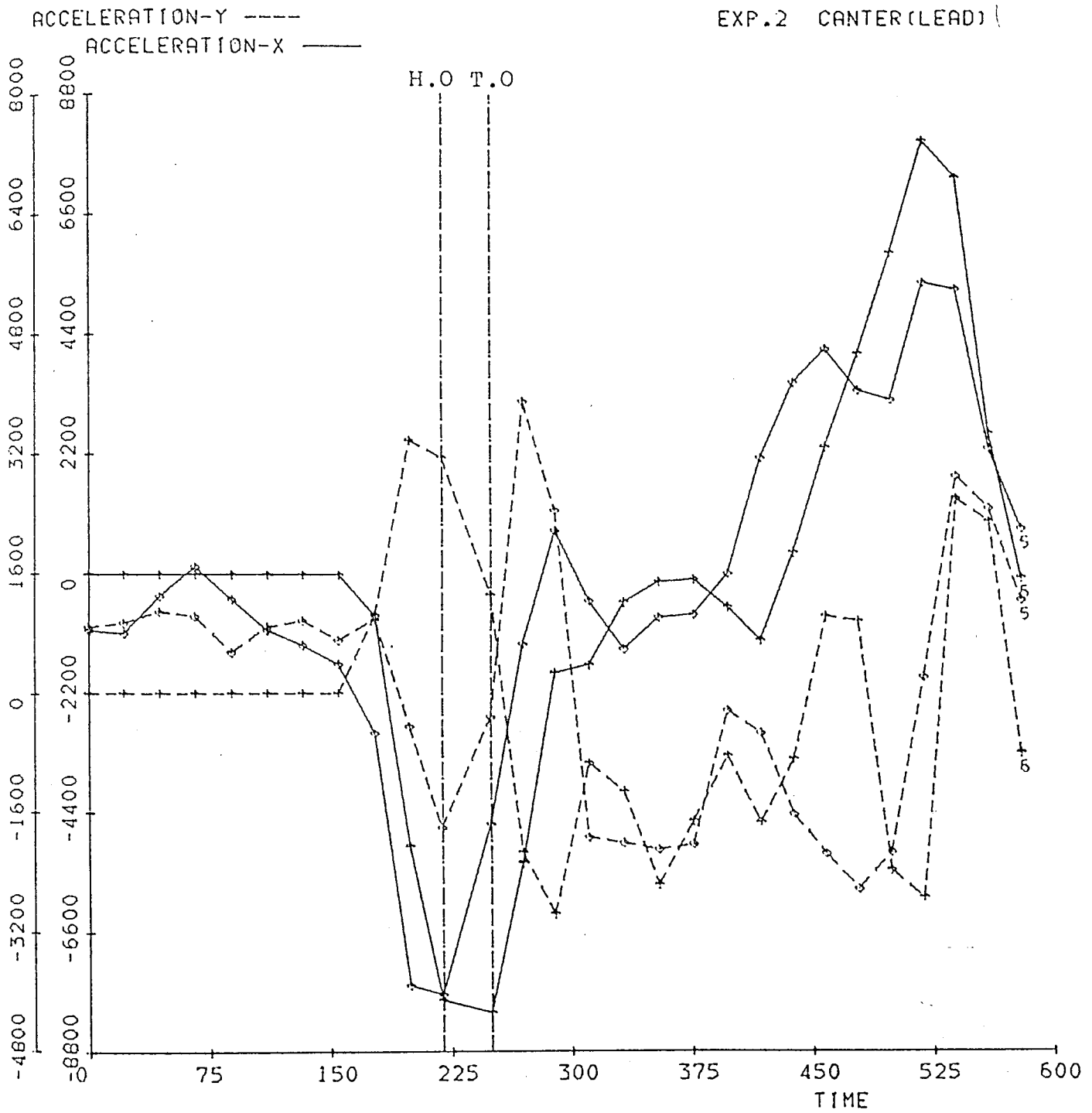
6 POINTS/FRAME

28 FRAMES

Fig. 77

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP.2 CANTER(LEAD)

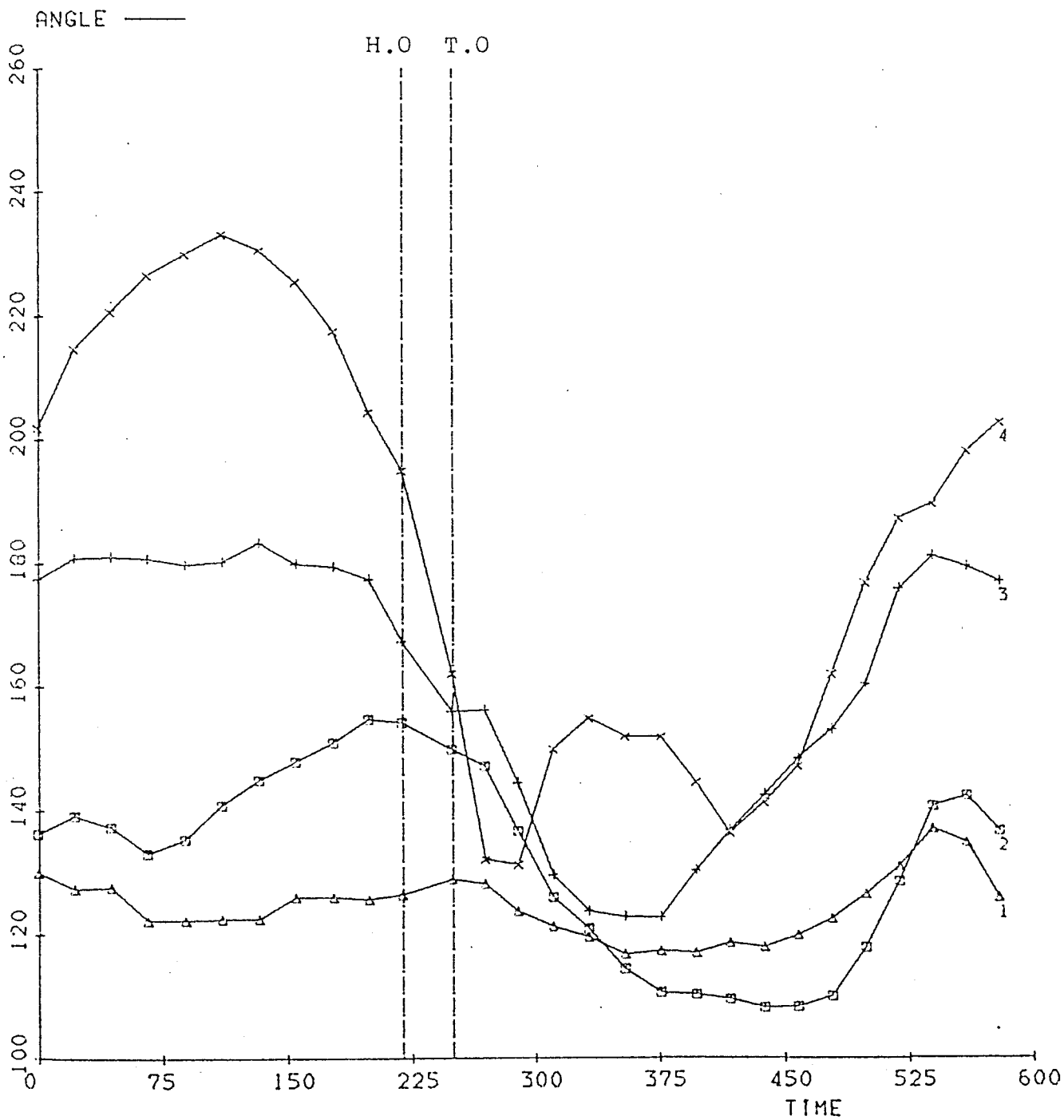


6 POINTS/FRAME 28 FRAMES

Fig. 78

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 CENTER (LEAD)

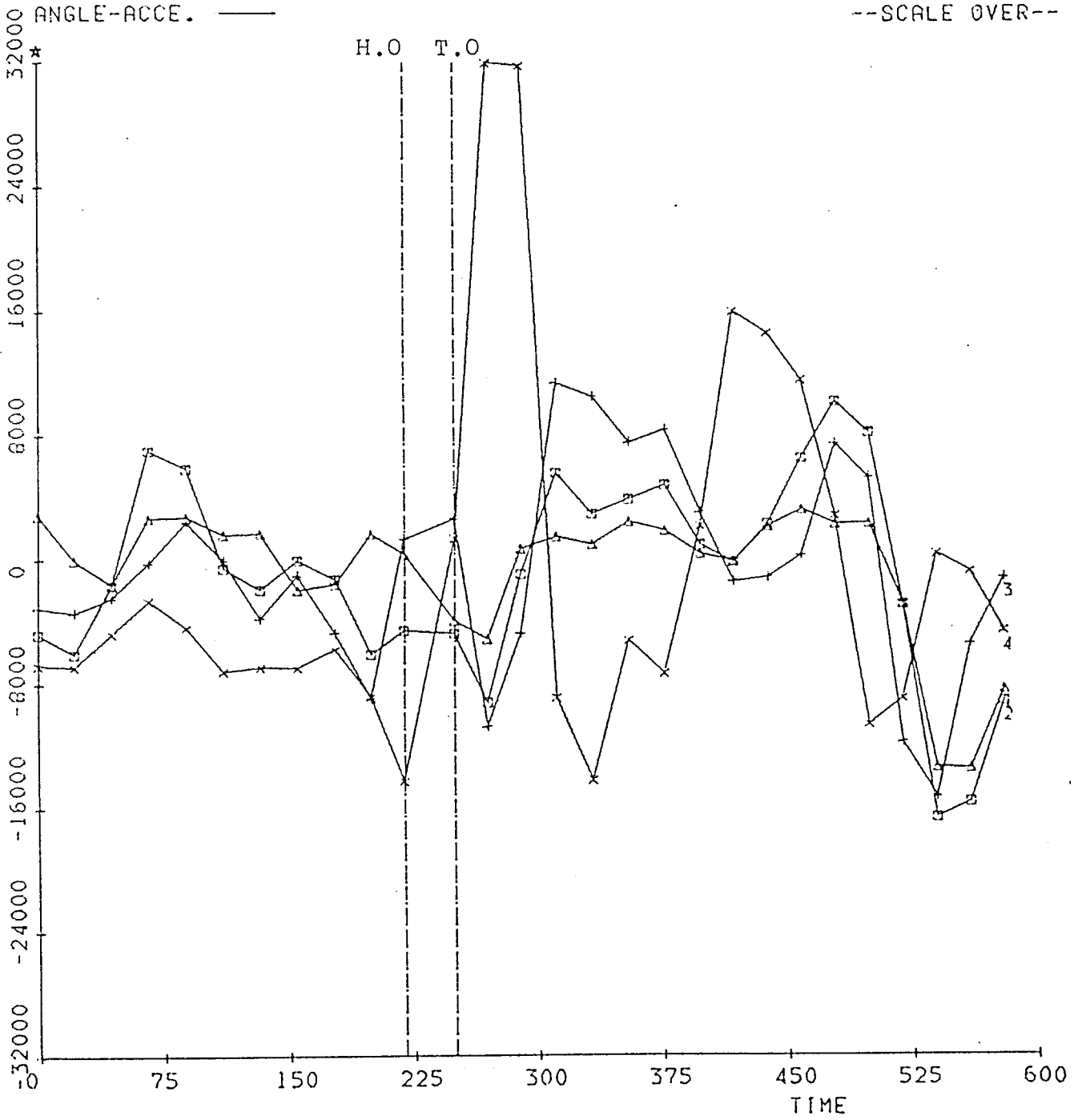


6 POINTS/FRAME 28 FRAMES

Fig. 79

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 CANTER (LEAD)
--SCALE OVER--

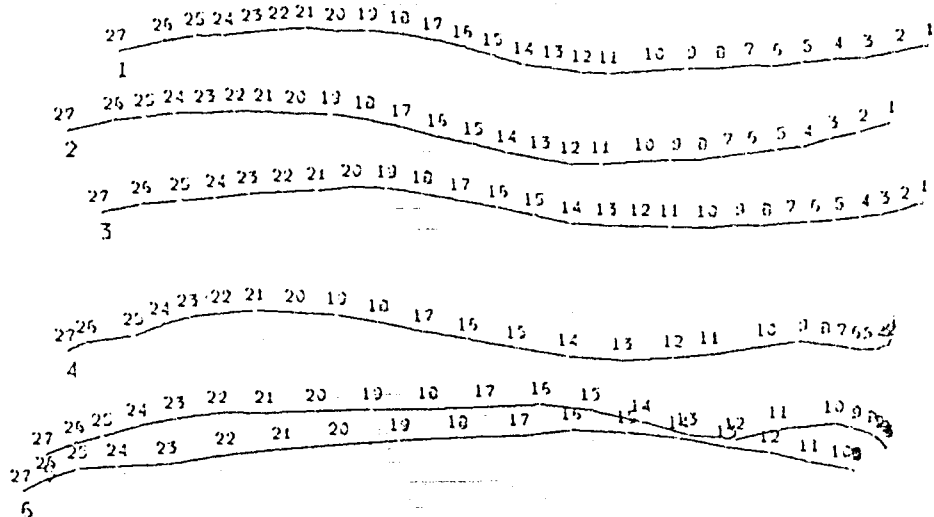


6 POINTS/FRAME 28 FRAMES

Fig. 80

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)



30.720

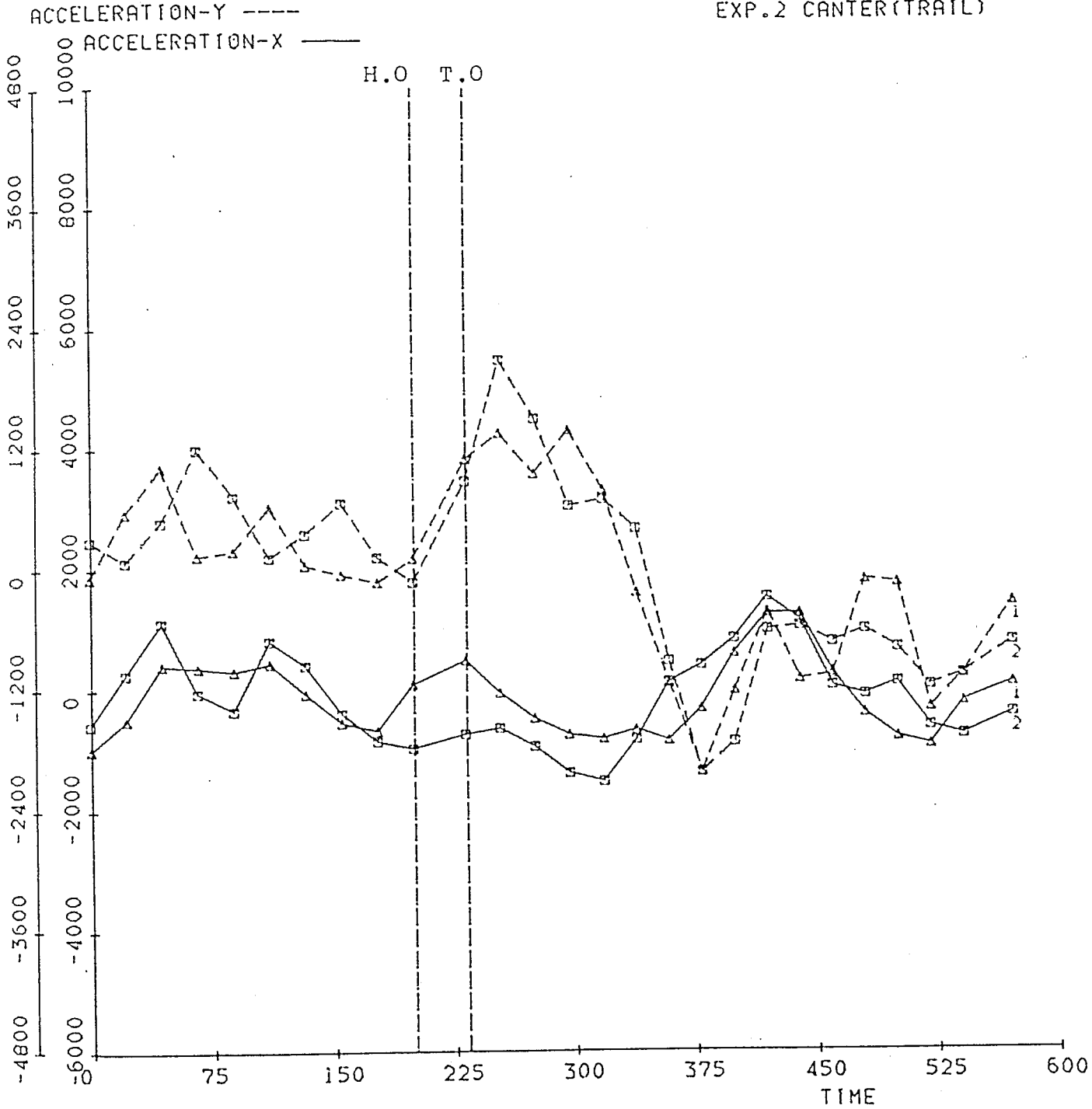
6 POINTS/FRAME

27 FRAMES

Fig. 81

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)

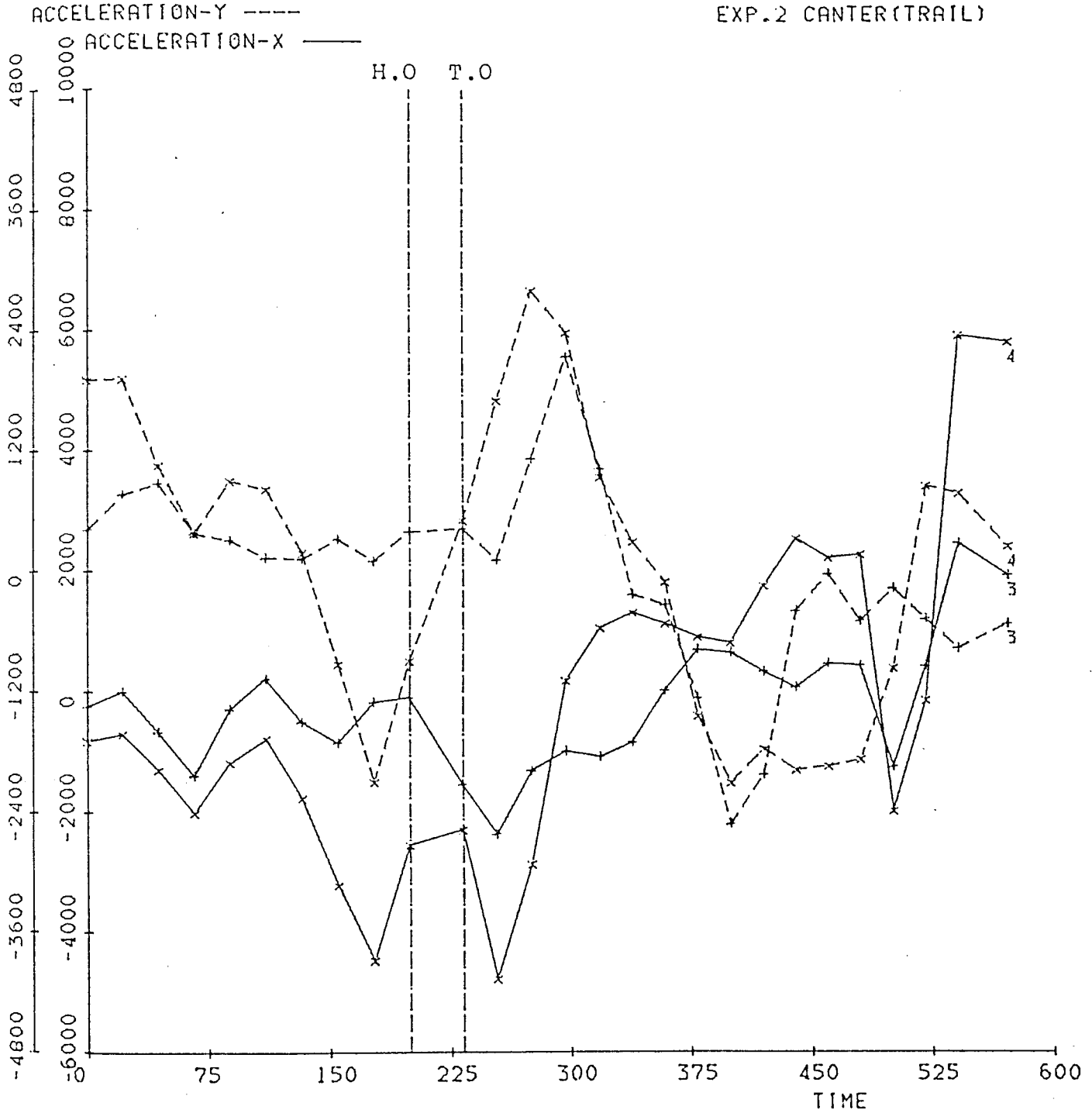


6 POINTS/FRAME 27 FRAMES

Fig. 82

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)

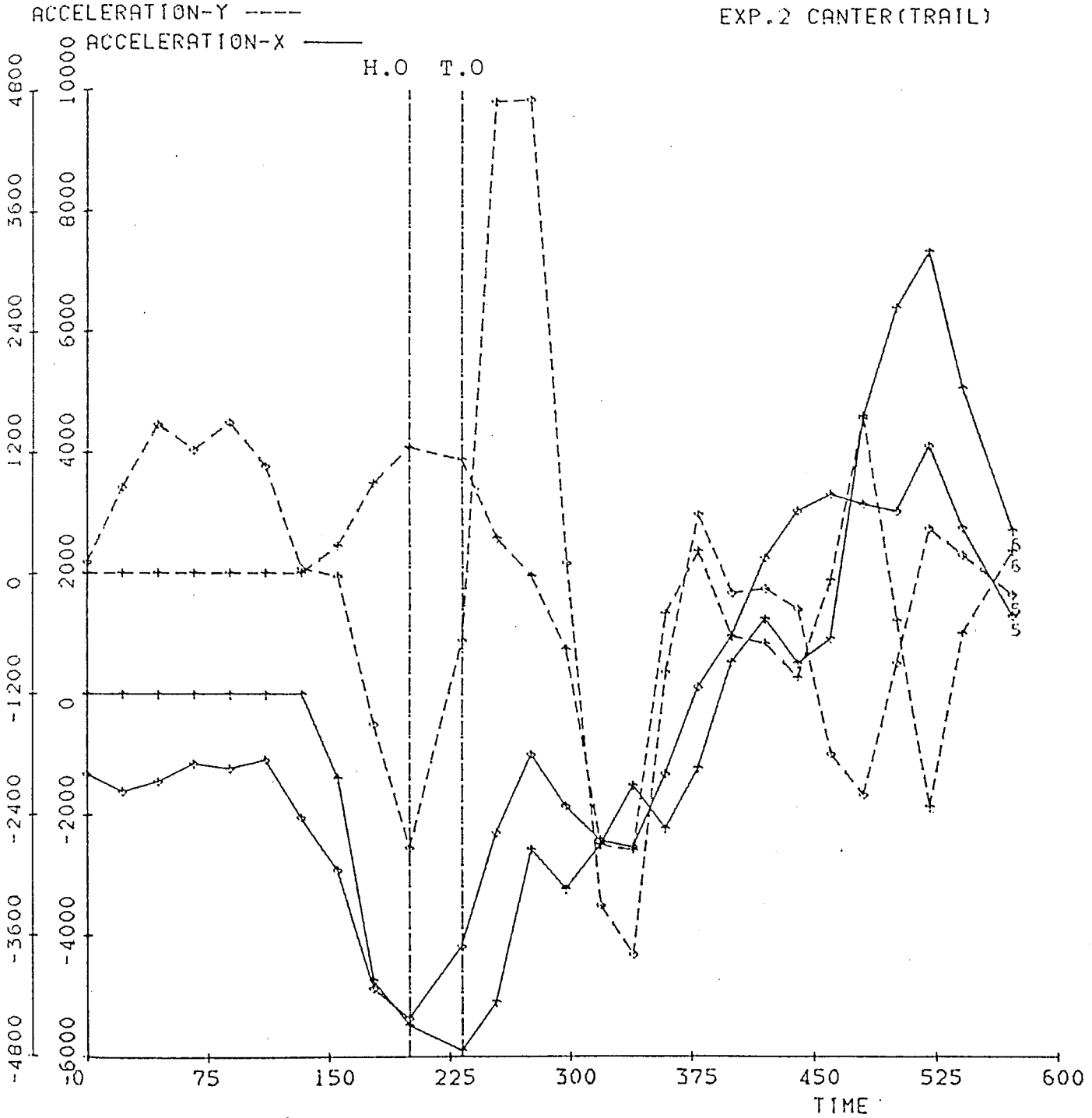


6 POINTS/FRAME 27 FRAMES

Fig. 83

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)

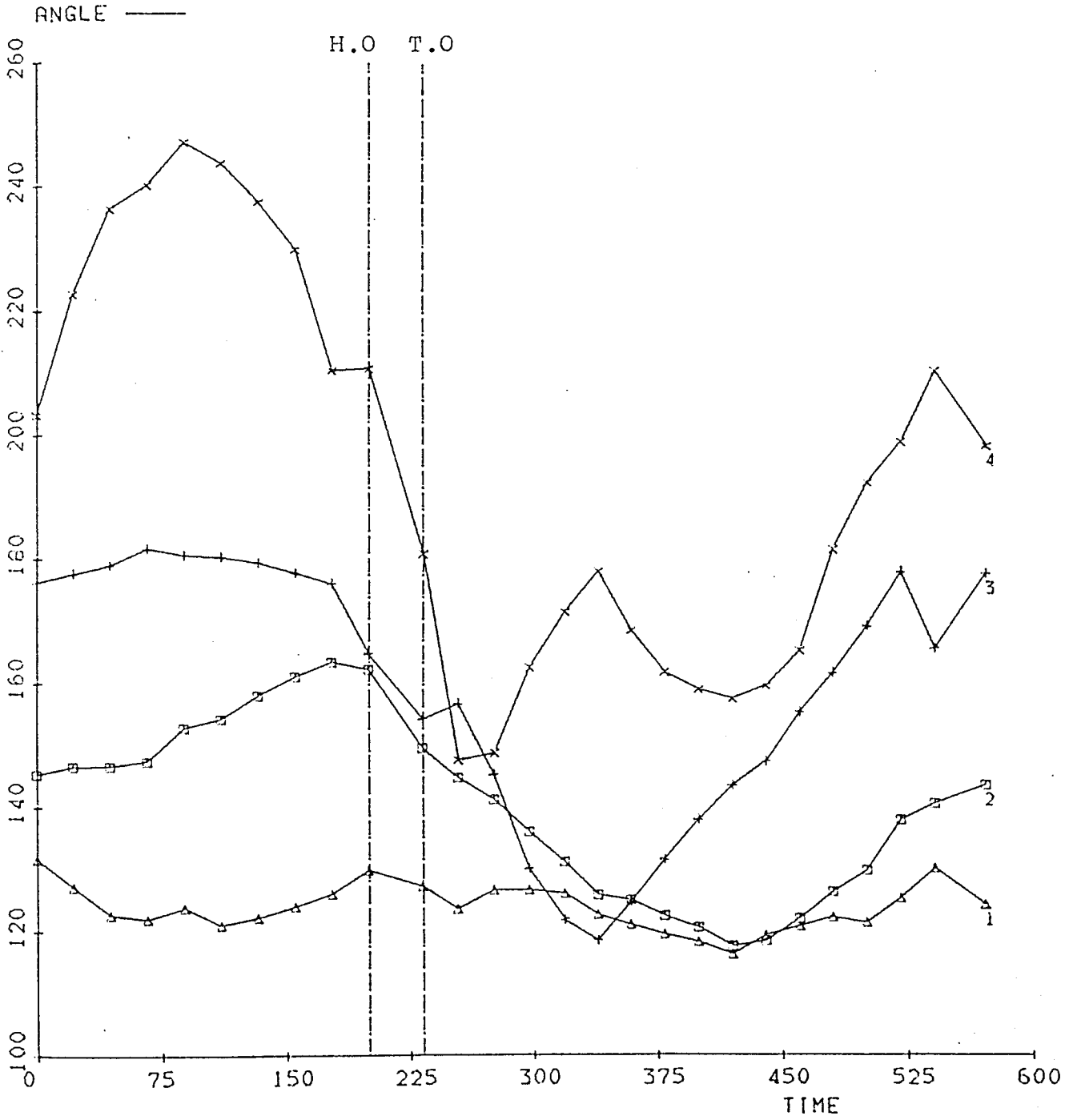


6 POINTS/FRAME 27 FRAMES

Fig. 84

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)



6 POINTS/FRAME

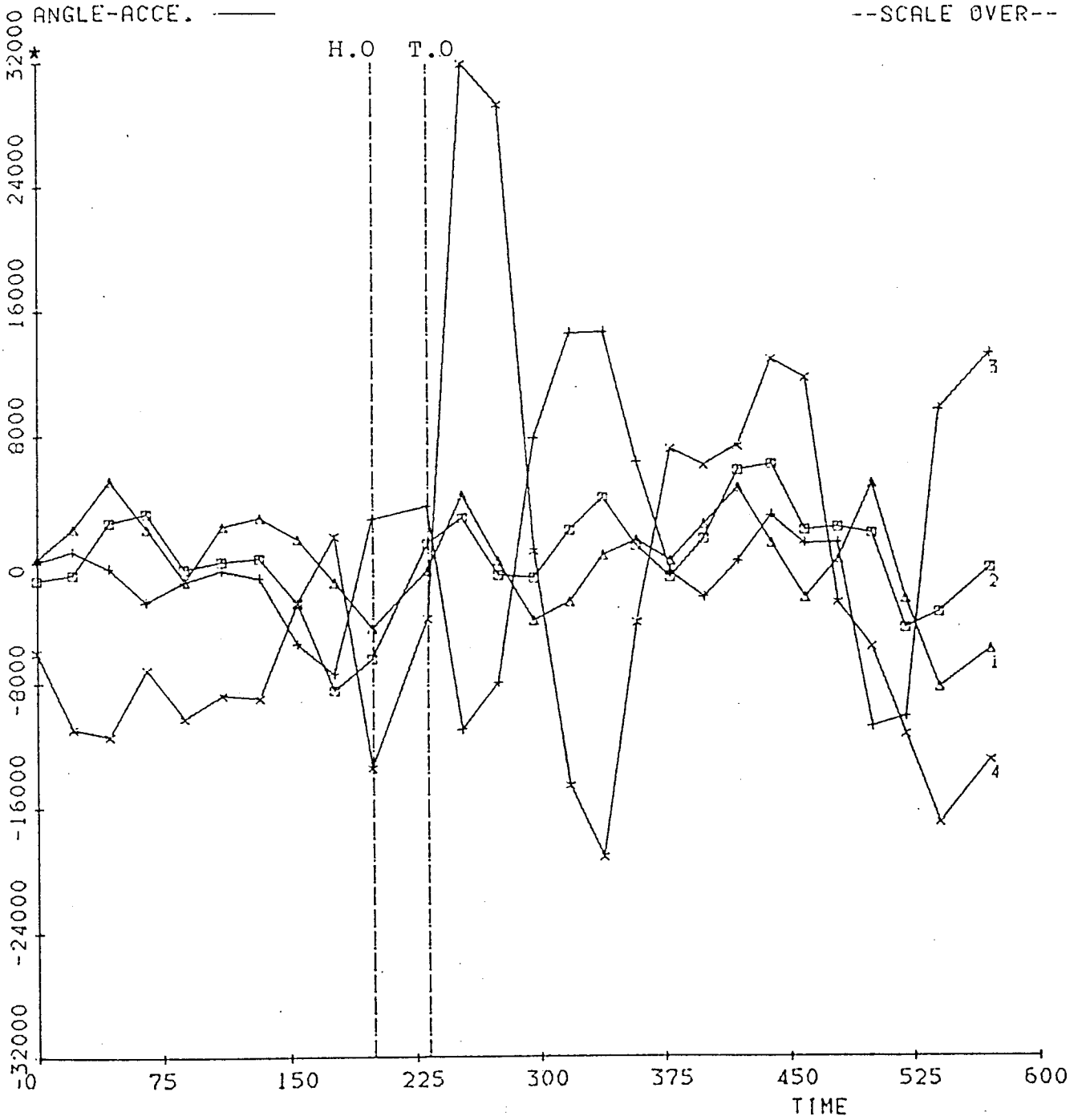
27 FRAMES

Fig. 85

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)

--SCALE OVER--



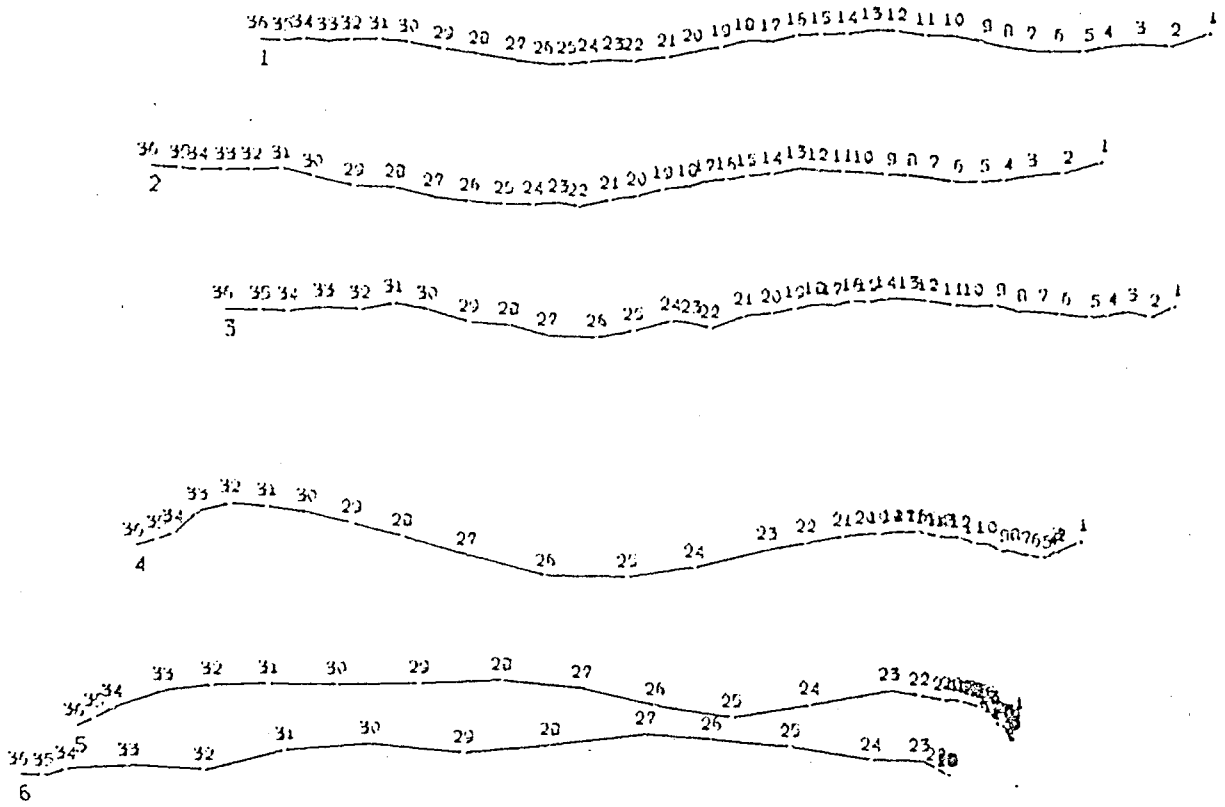
6 POINTS/FRAME

27 FRAMES

Fig. 86

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2 LF
EXP. 2 WALK



30.720

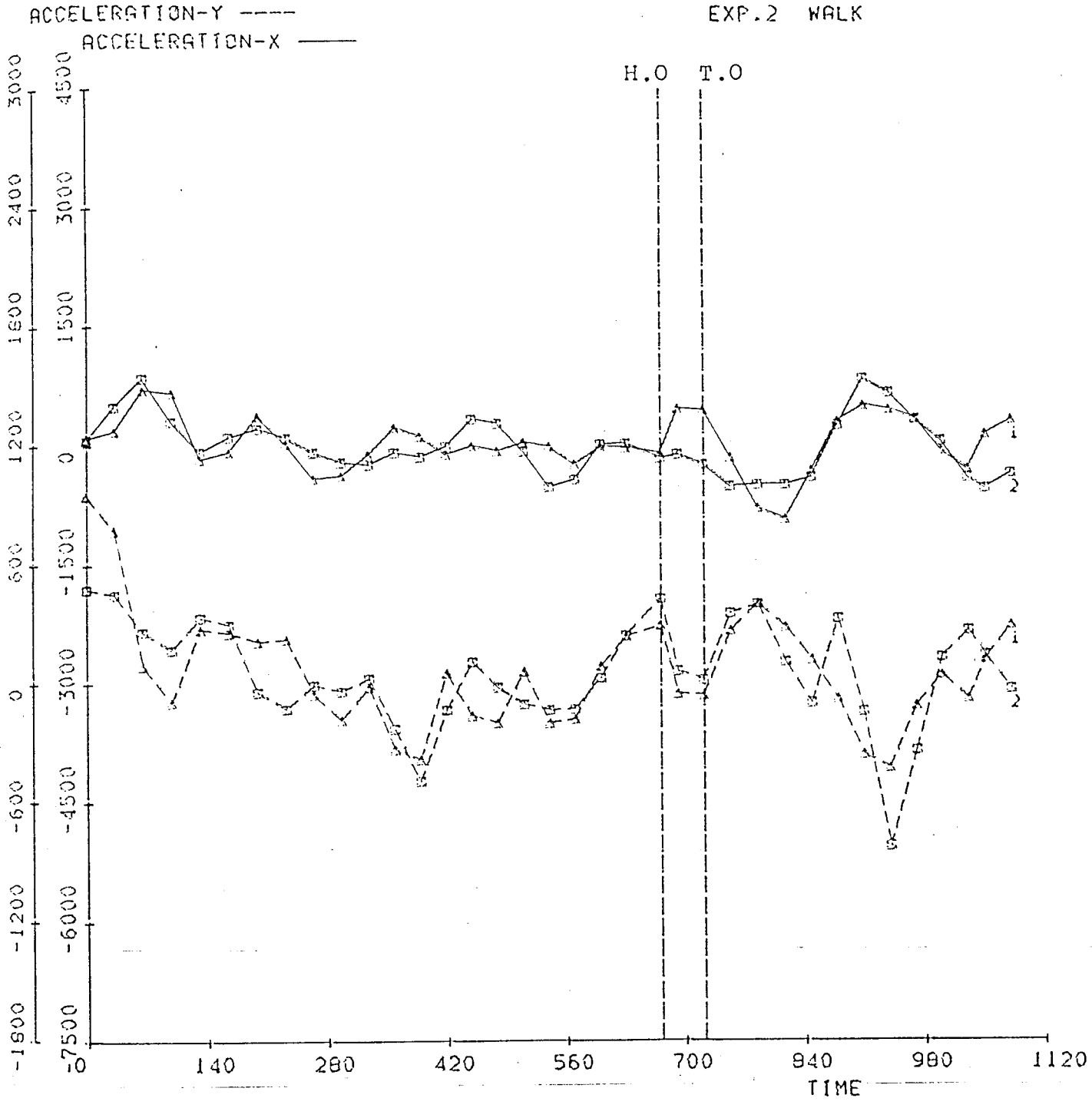
6 POINTS/FRAME

36 FRAMES

Fig. 87

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 2 LF
EXP. 2 WALK

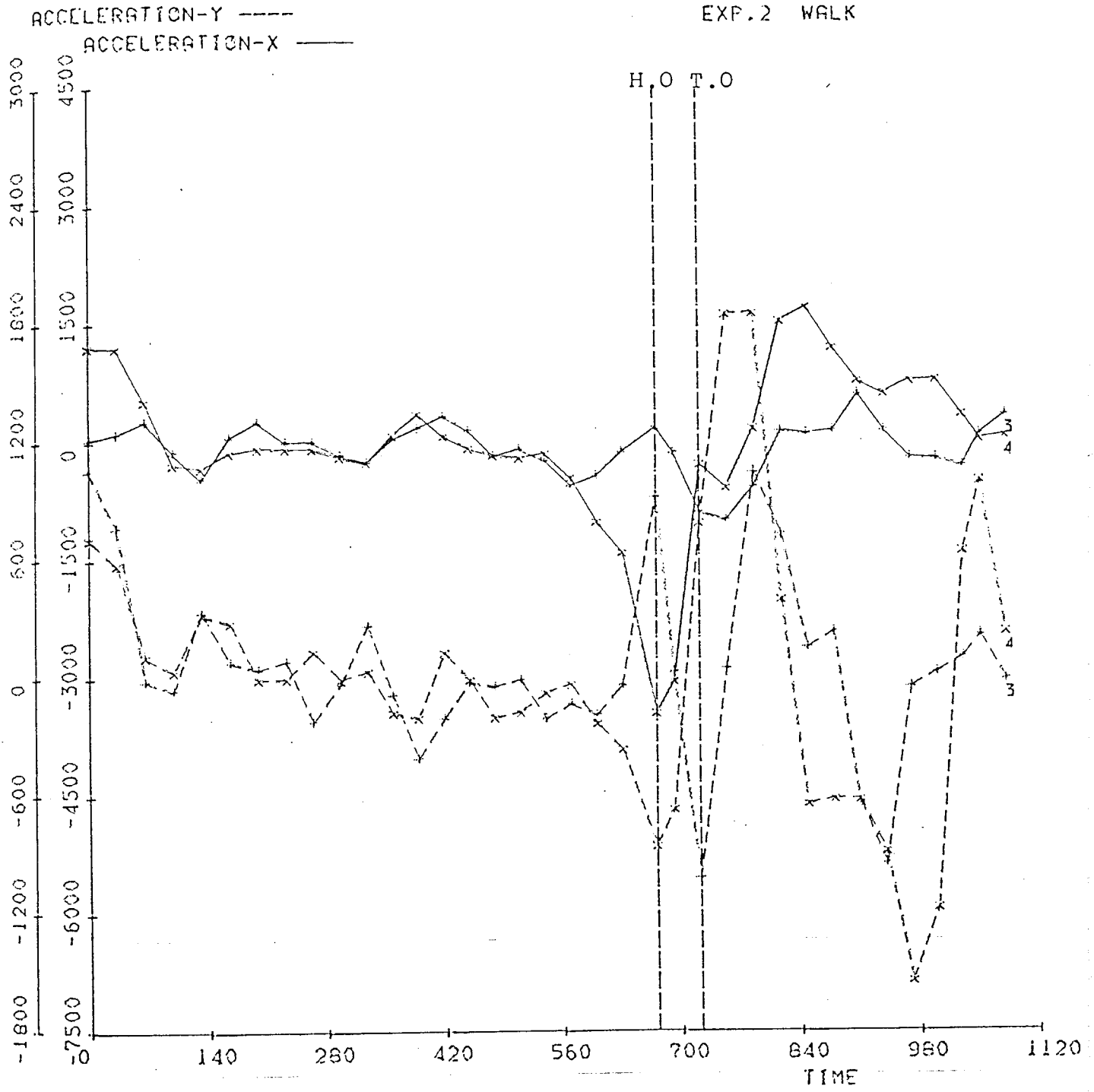


6 POINTS/FRAME 36 FRAMES

Fig. 88

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2 LF
EXP. 2 WALK

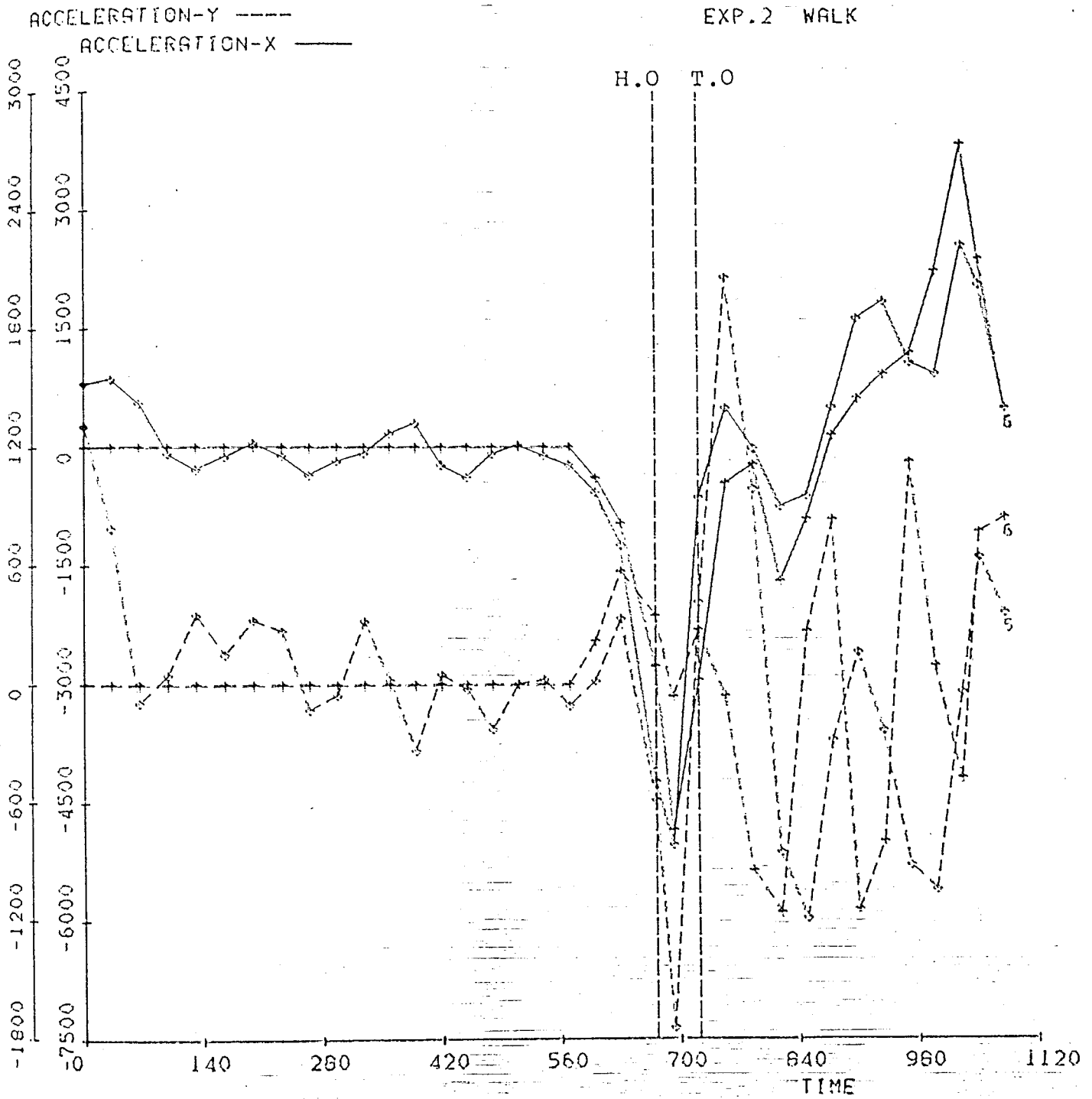


6 POINTS/FRAME 36 FRAMES

Fig. 89

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 2 LF
EXP. 2 WALK

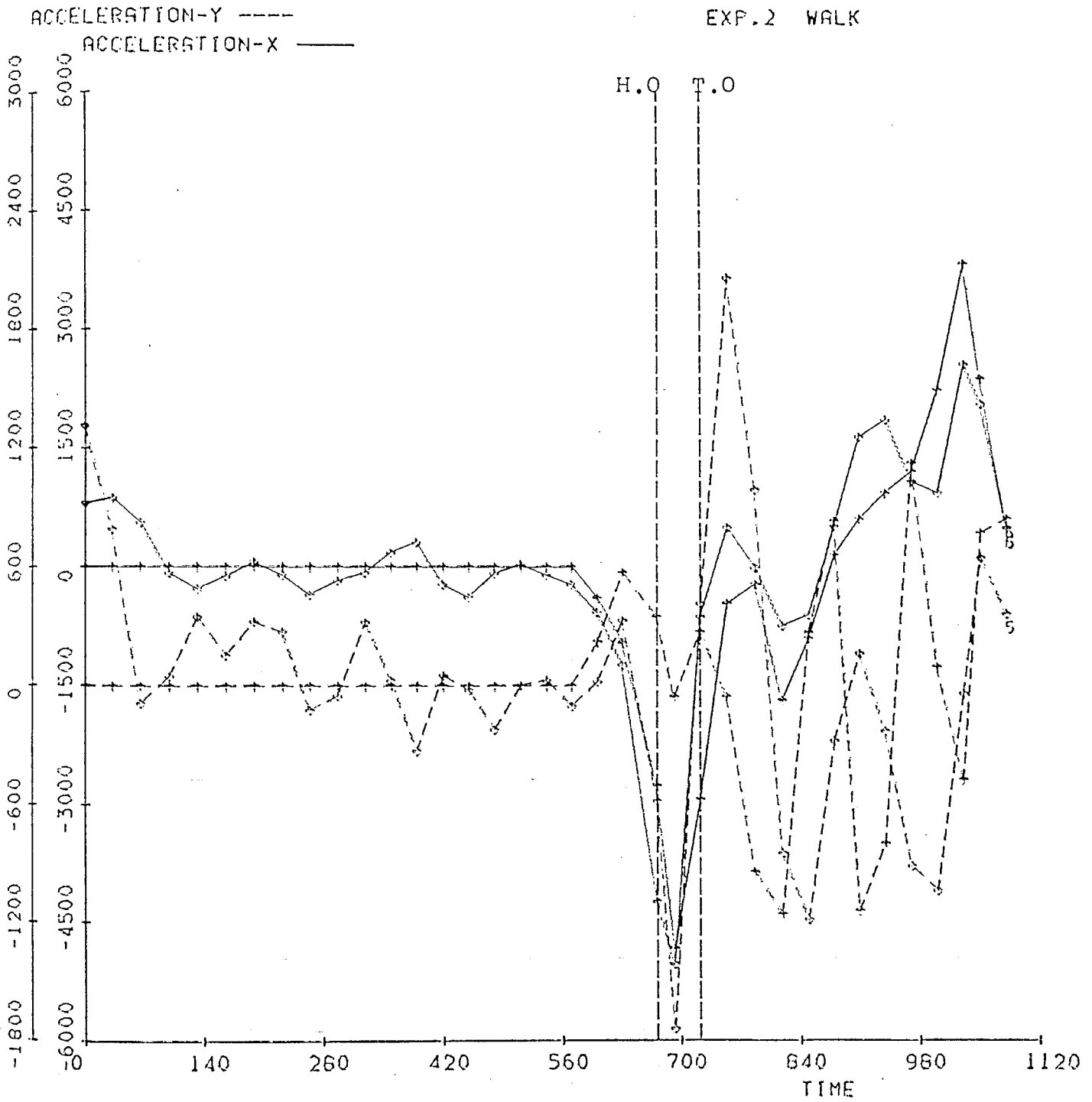


6 POINTS/FRAME 36 FRAMES

Fig. 90

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2 LF
EXP. 2 WALK

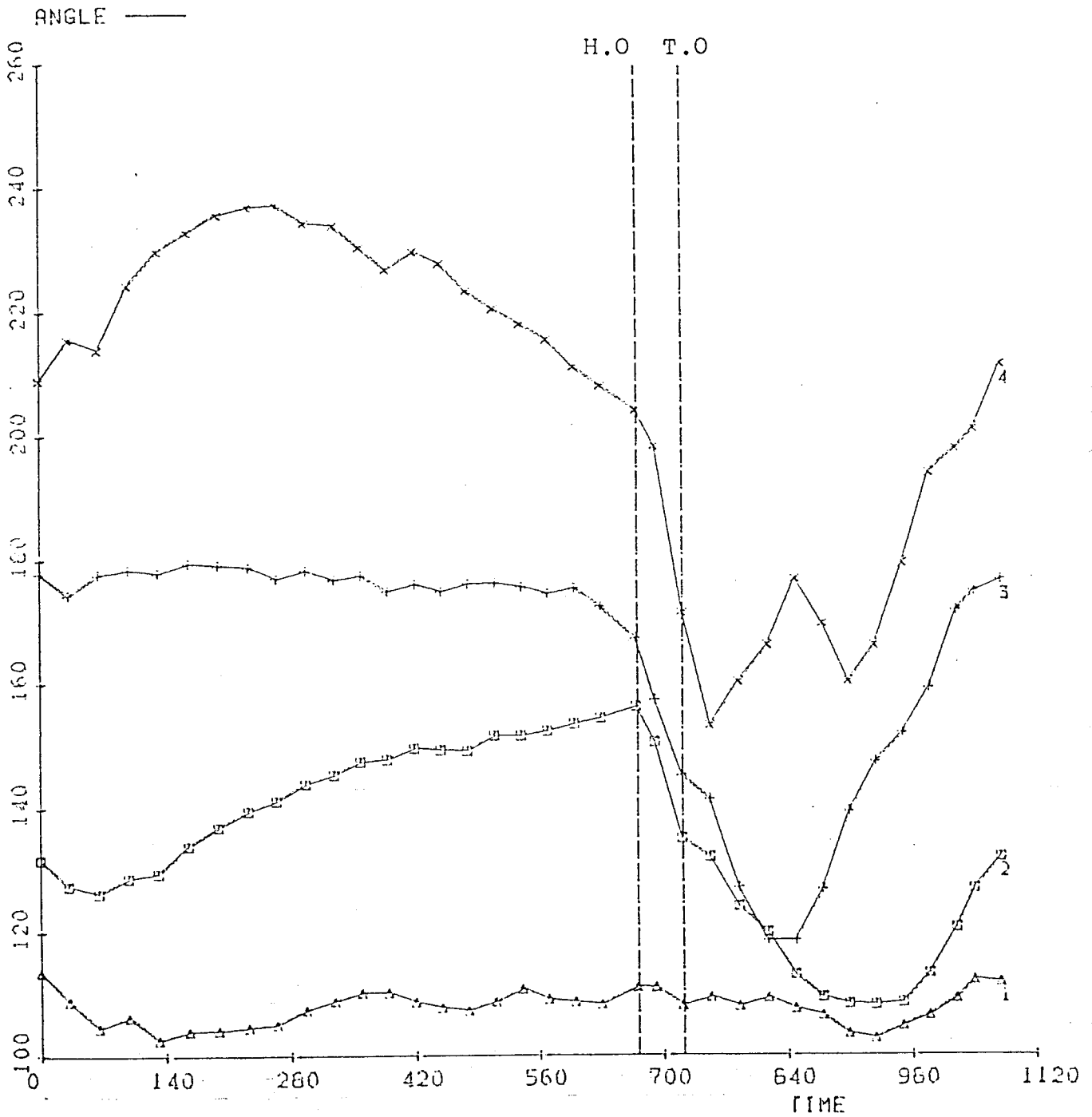


6 POINTS/FRAME 36 FRAMES

Fig. 91

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2 LF
EXP. 2 WALK

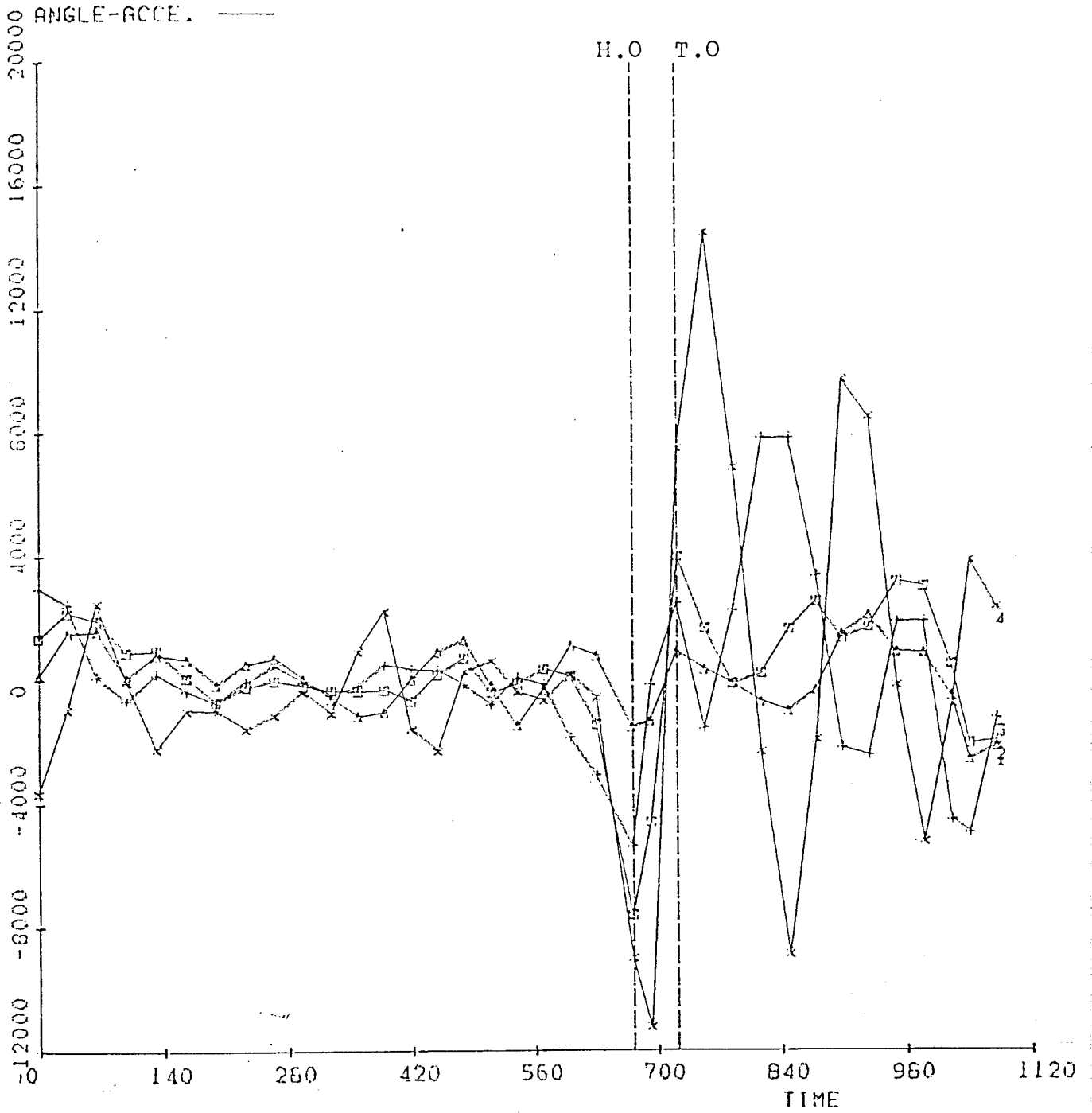


6 POINTS/FRAME 36 FRAMES

Fig. 92

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2 LF
EXP. 2 WALK

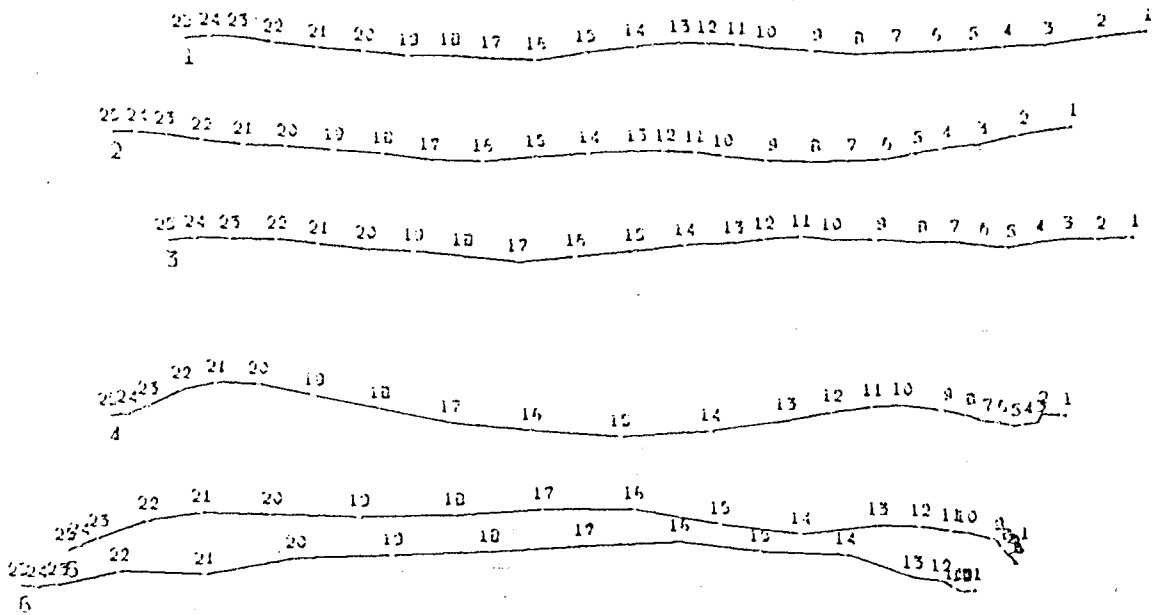


6 POINTS/FRAME 36 FRAMES

Fig. 93

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 TROT



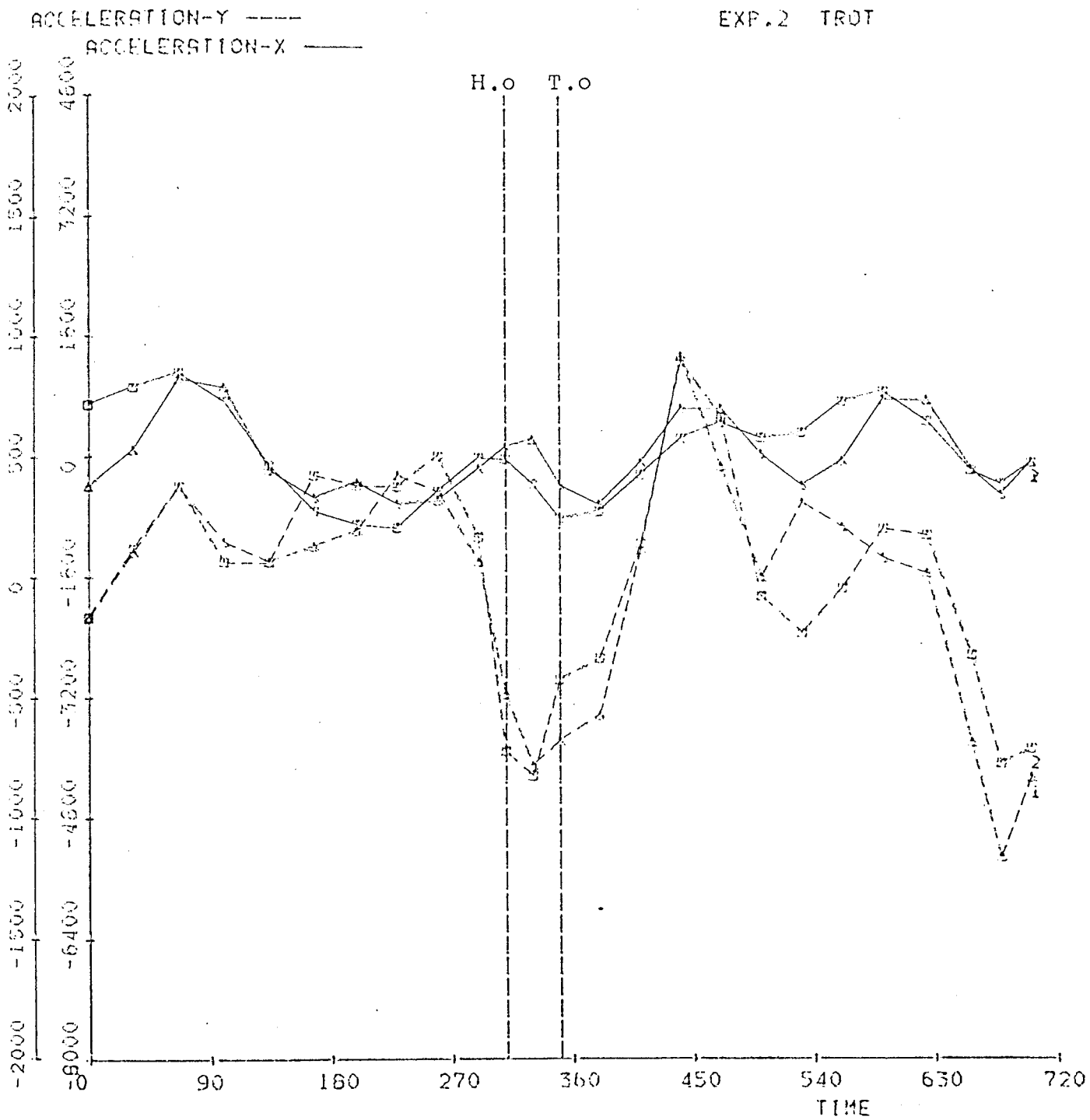
30.720

6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 94

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 TROT

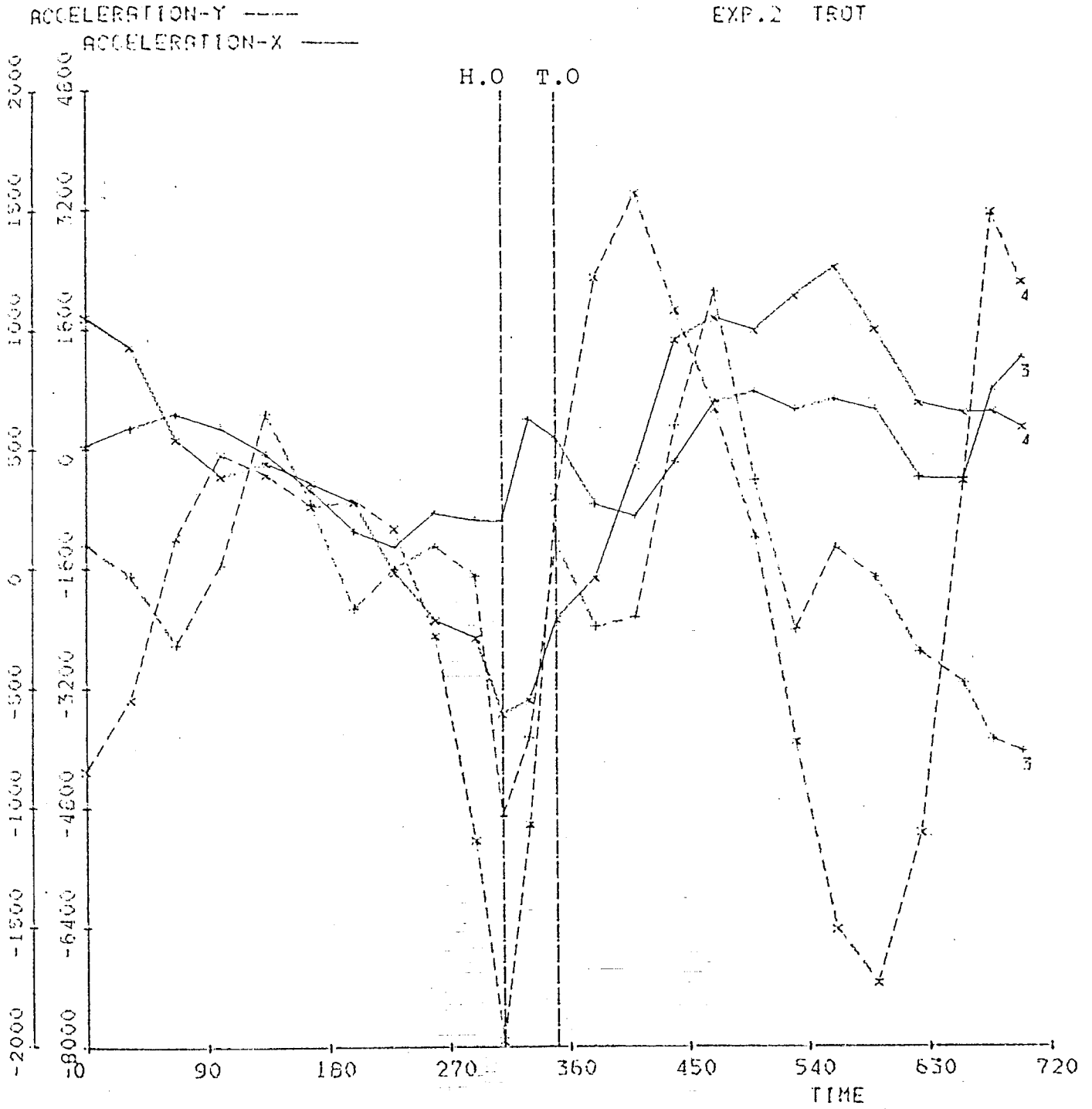


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 95

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 TROT

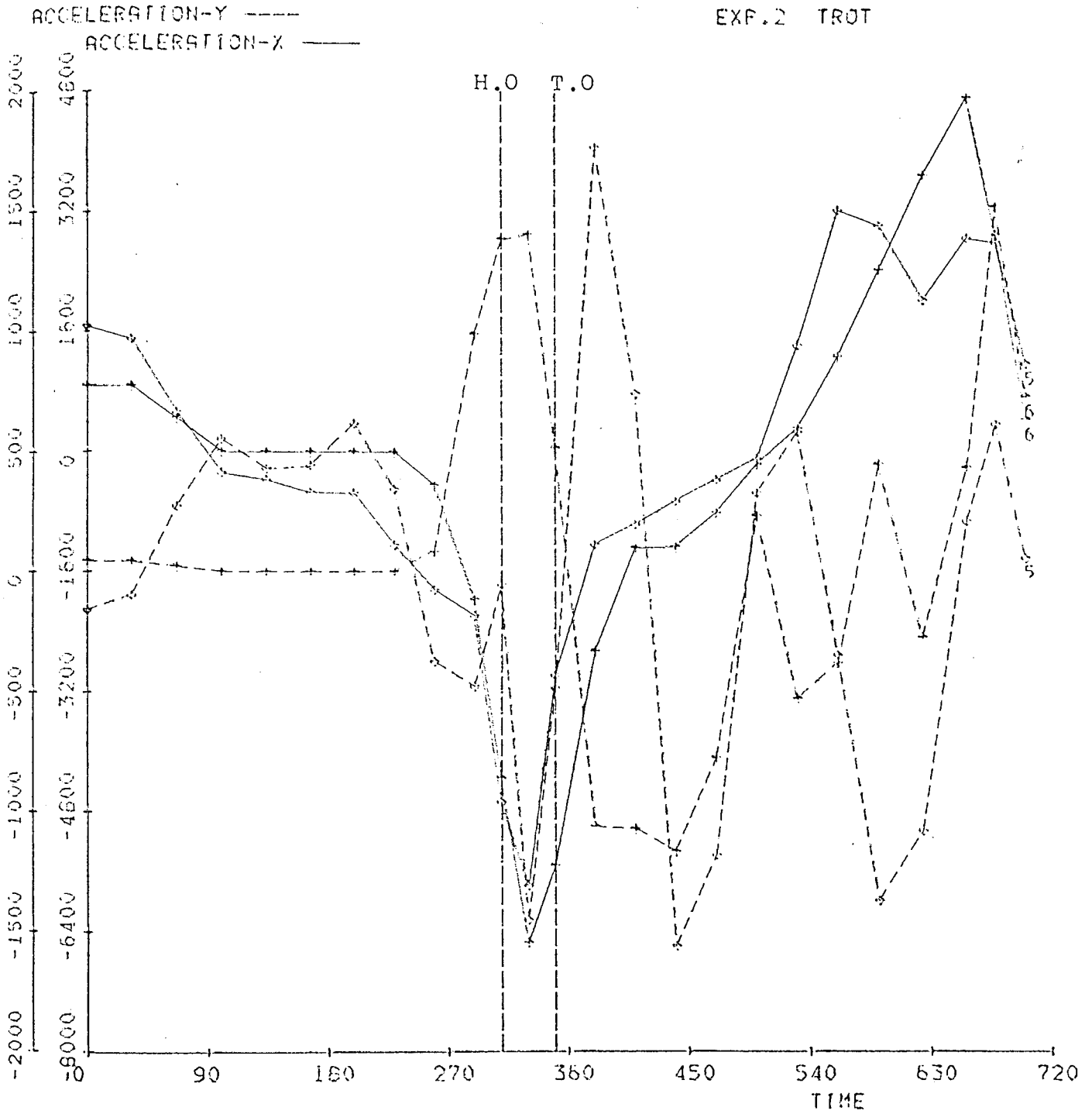


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 96

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 TROT

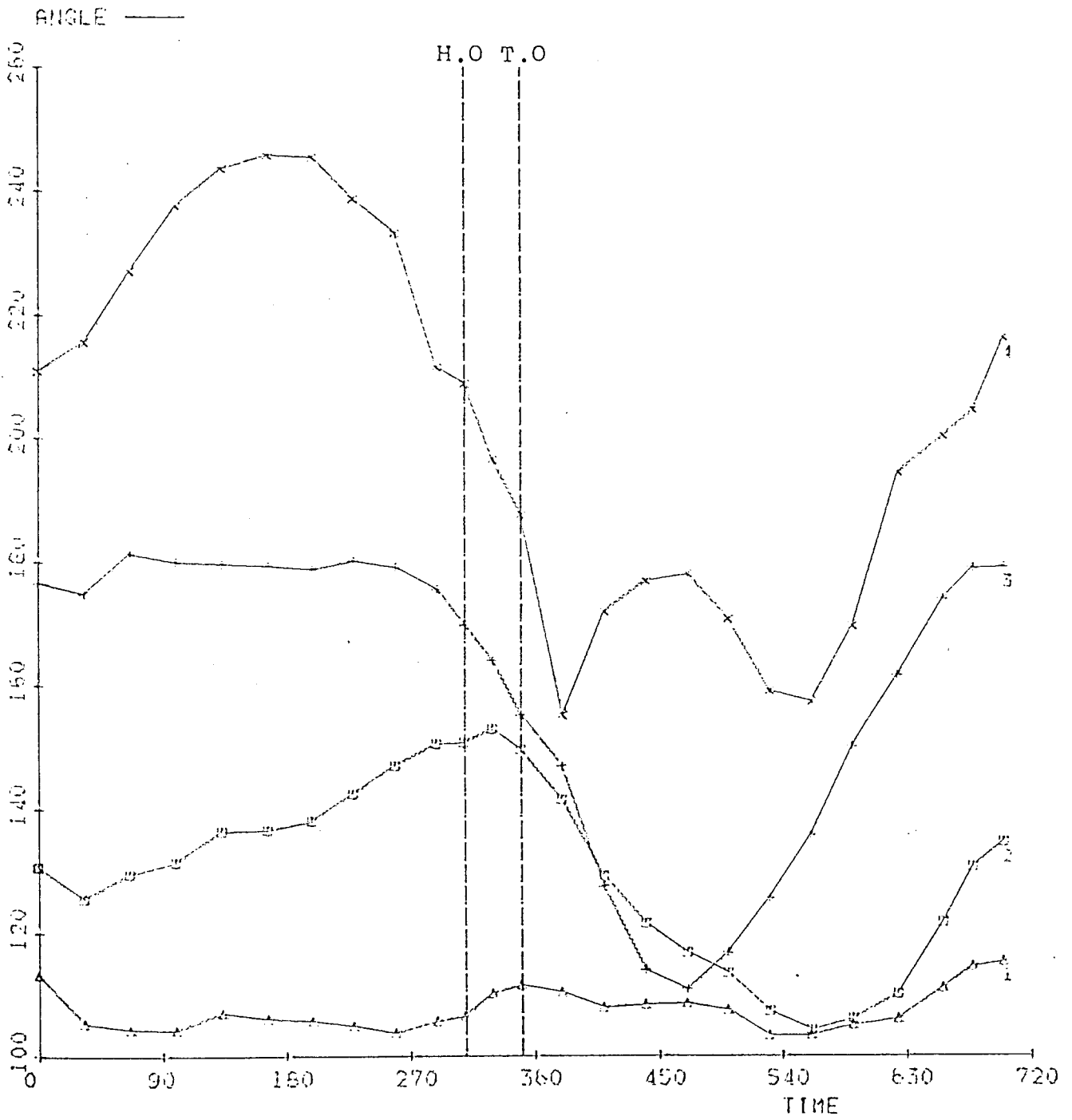


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 97

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 TROT

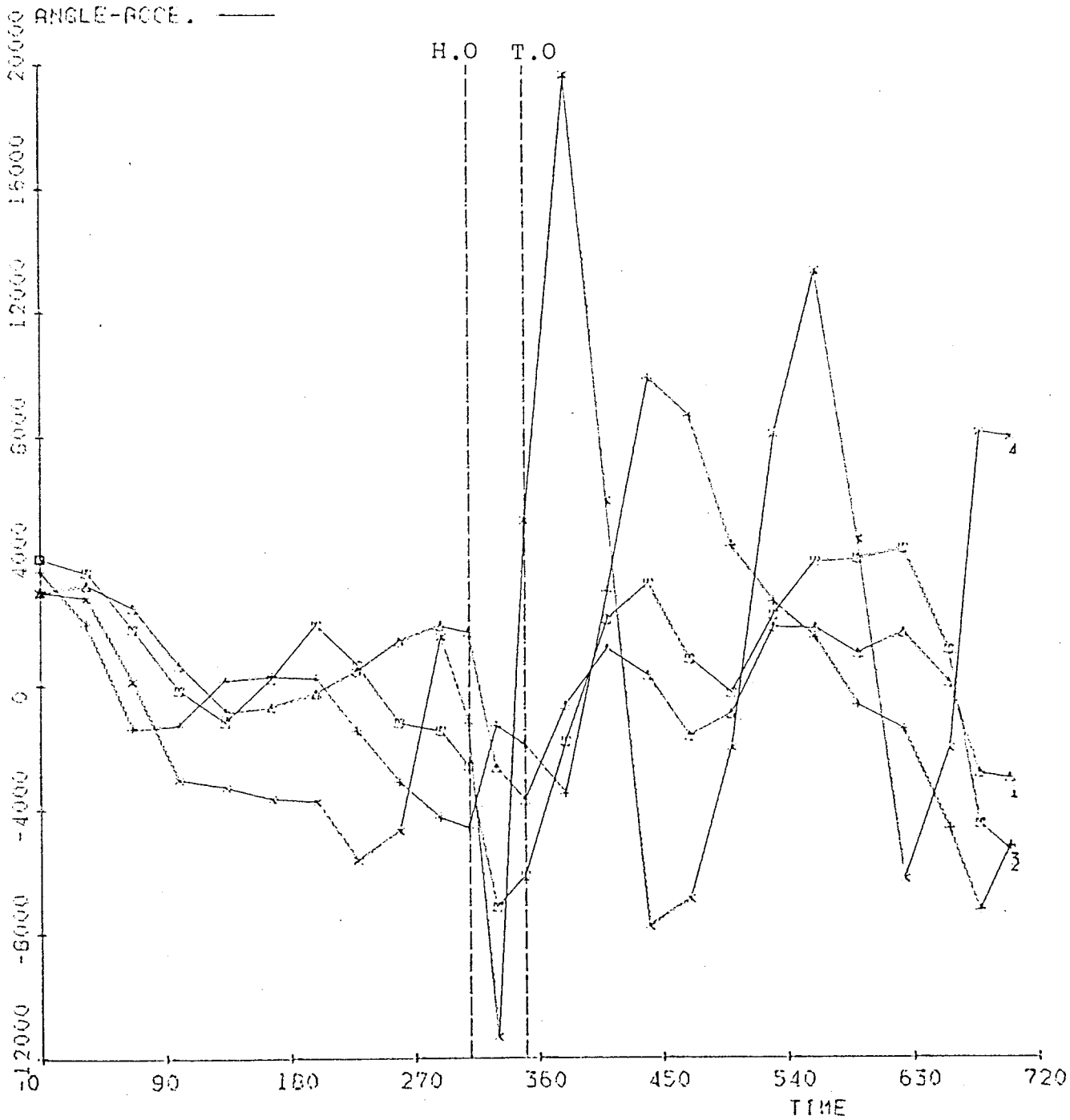


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 98

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 TROT



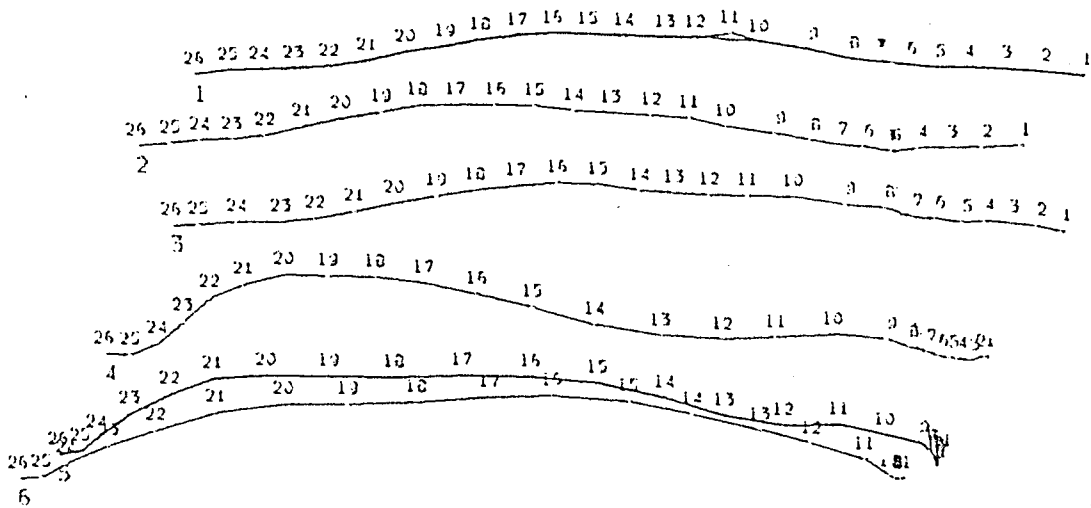
6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 99

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 CENTER (LEAD)

★



30.720

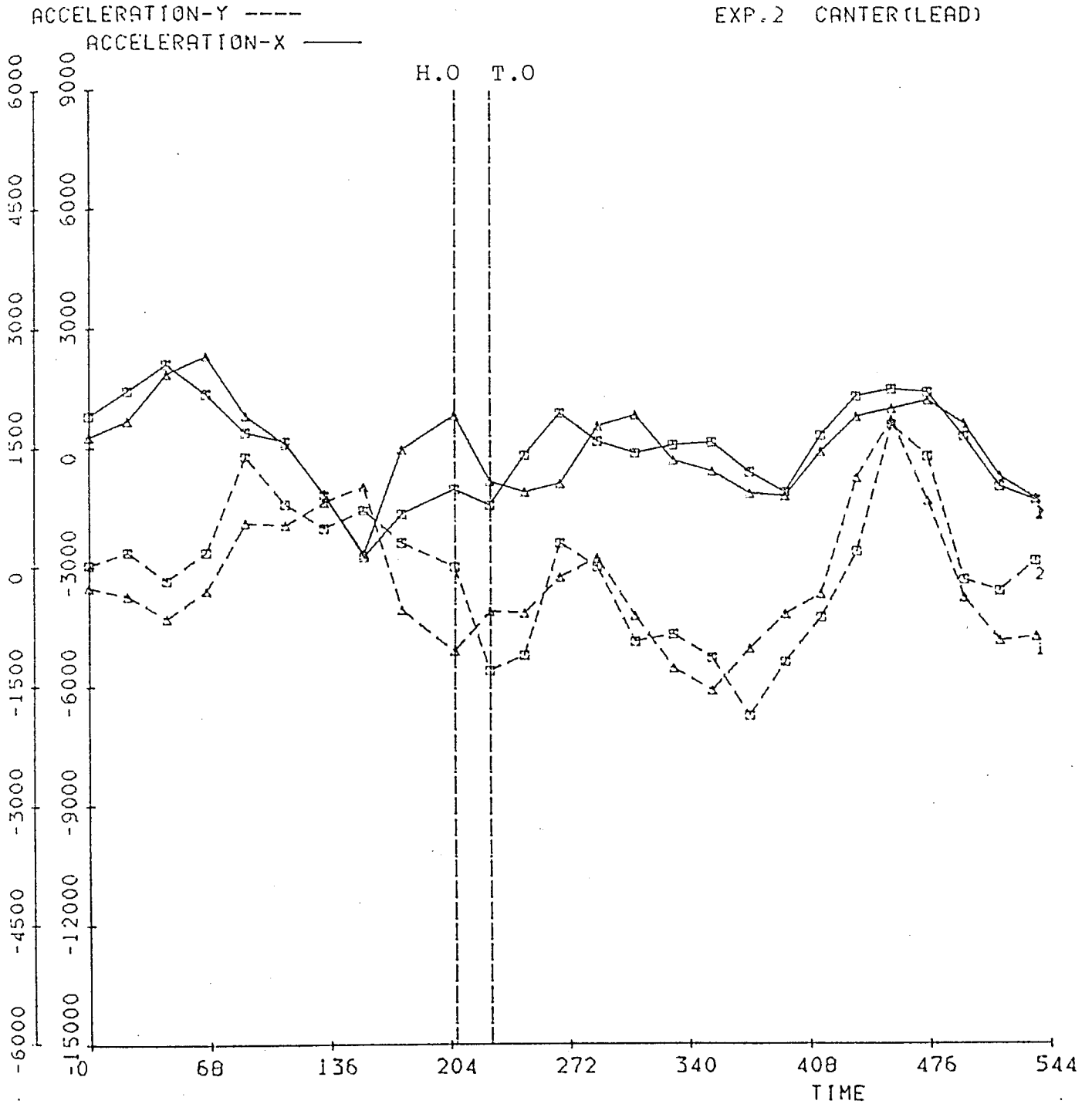
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 100

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE>CASE 2. LF
EXP.2 CANTER(LEAD)

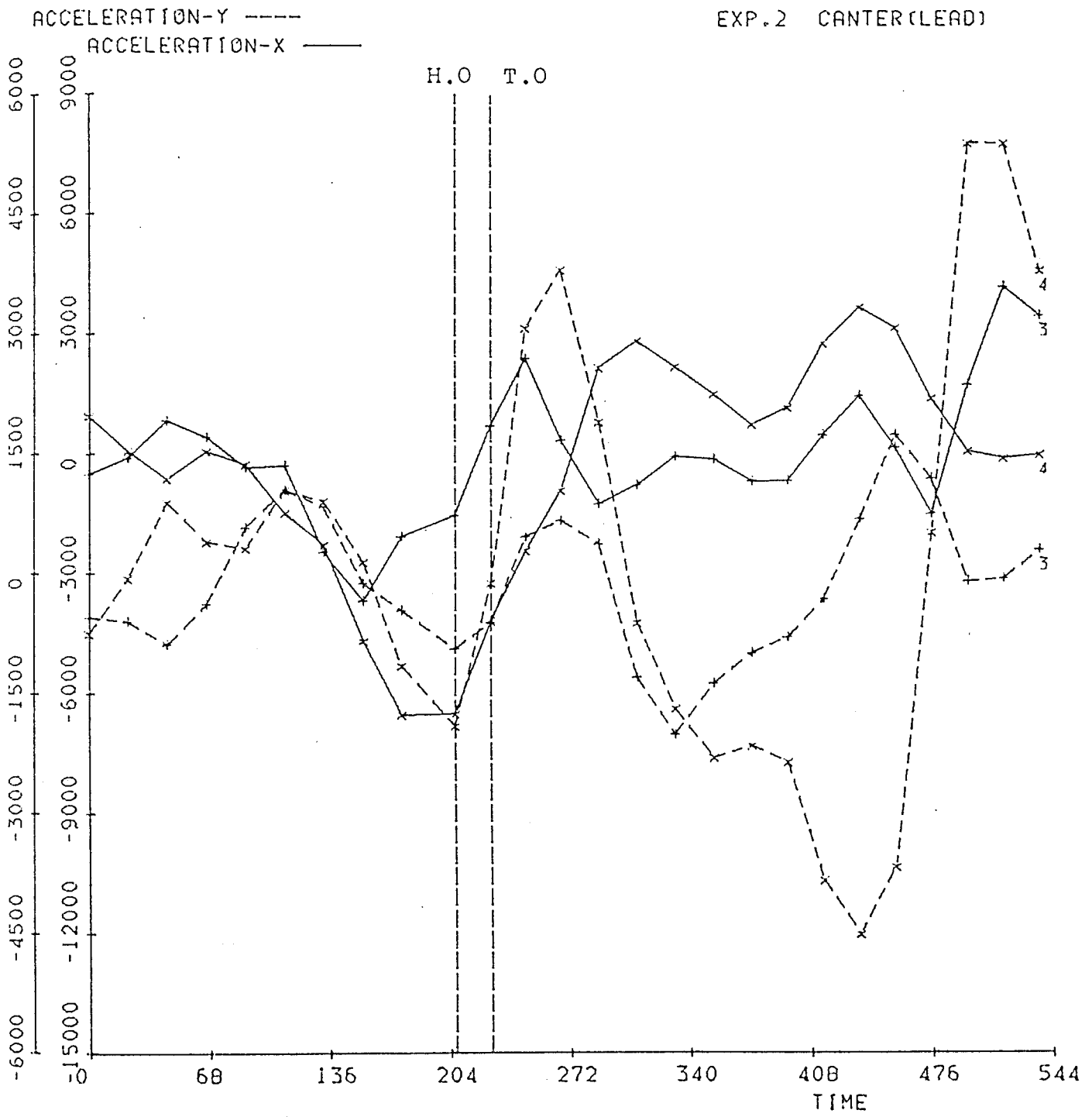


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 101

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 CANTER (LEAD)

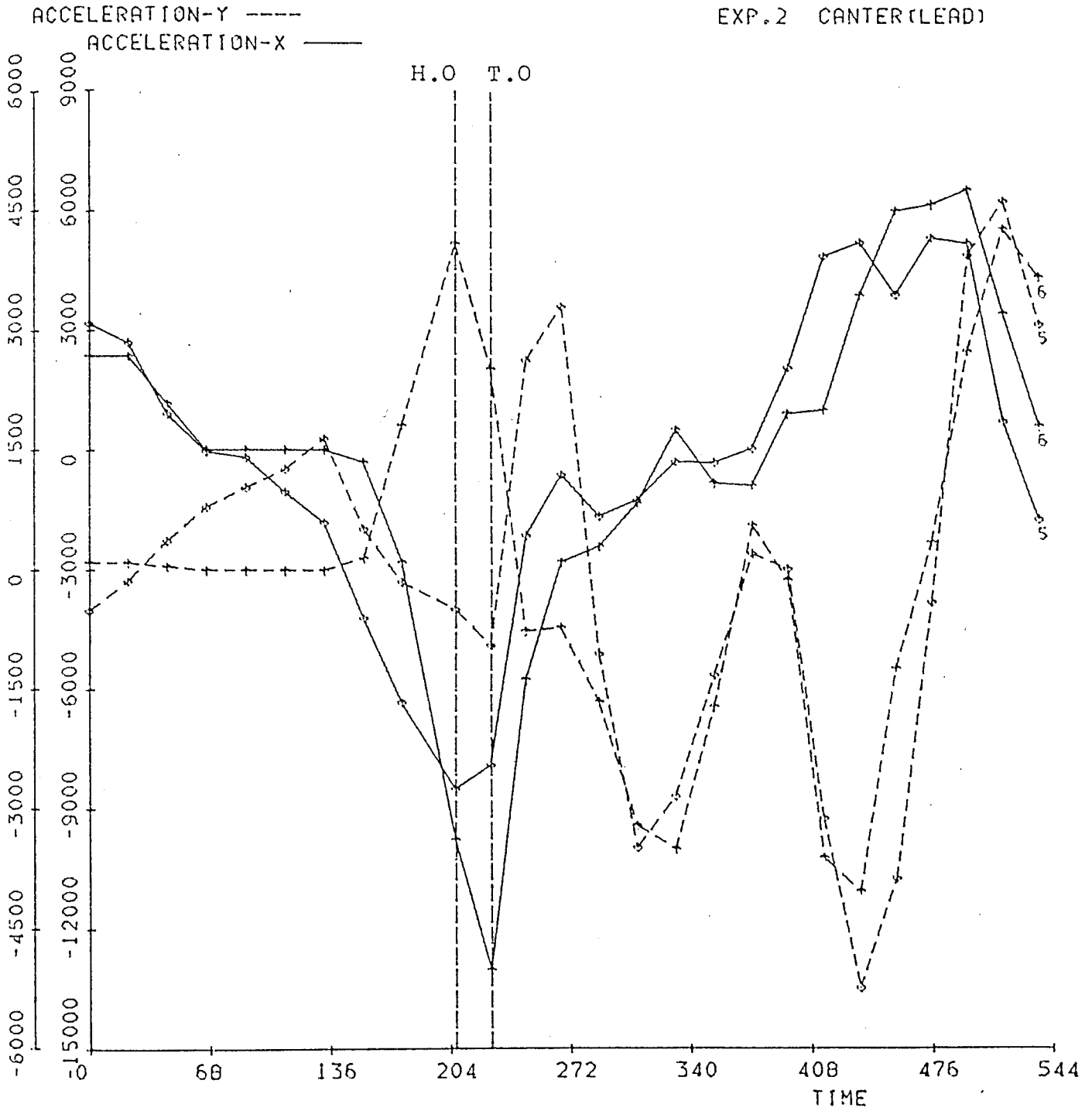


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 102

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 CANTER (LEAD)

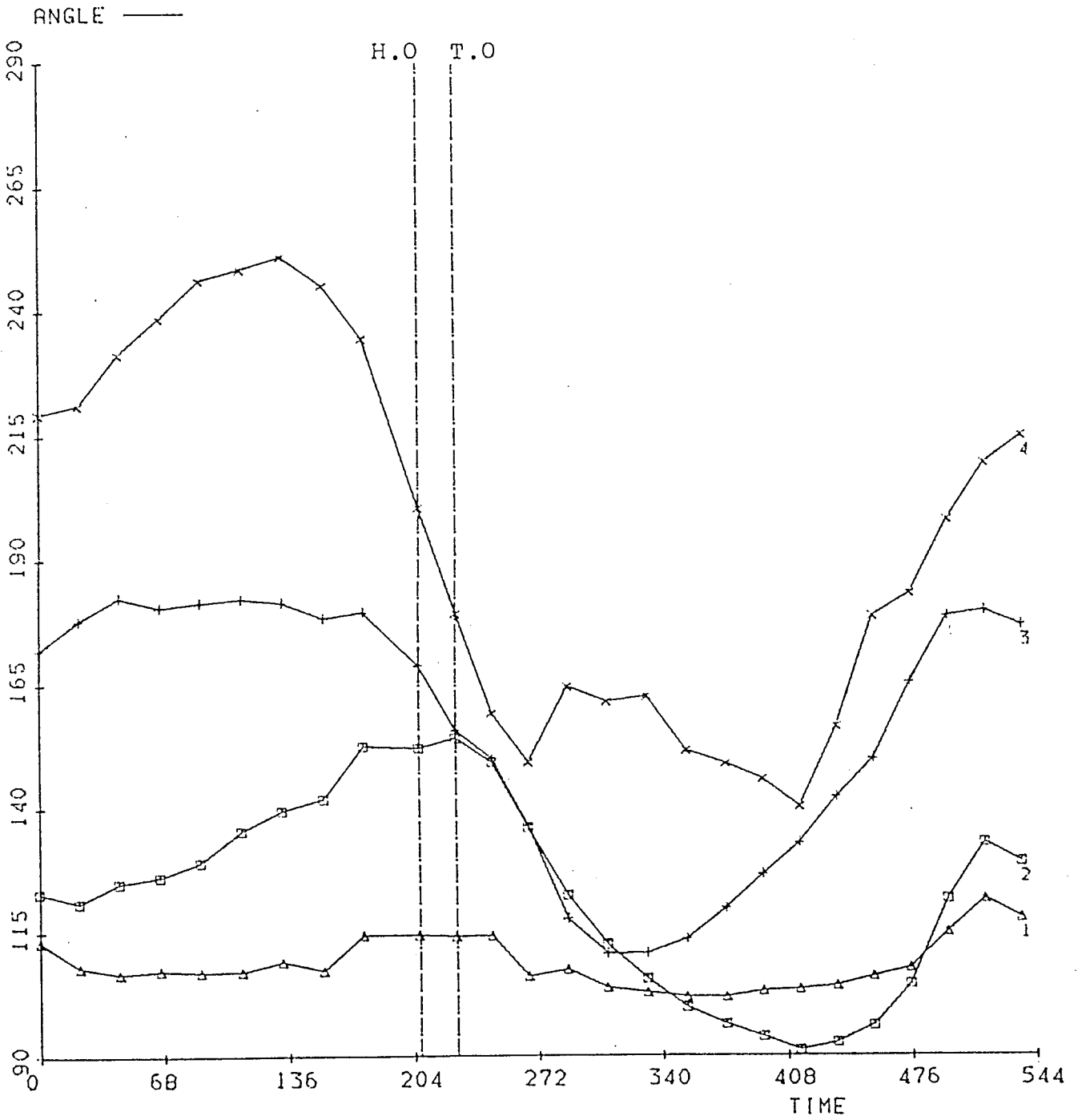


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 103

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 CANTER (LEAD)

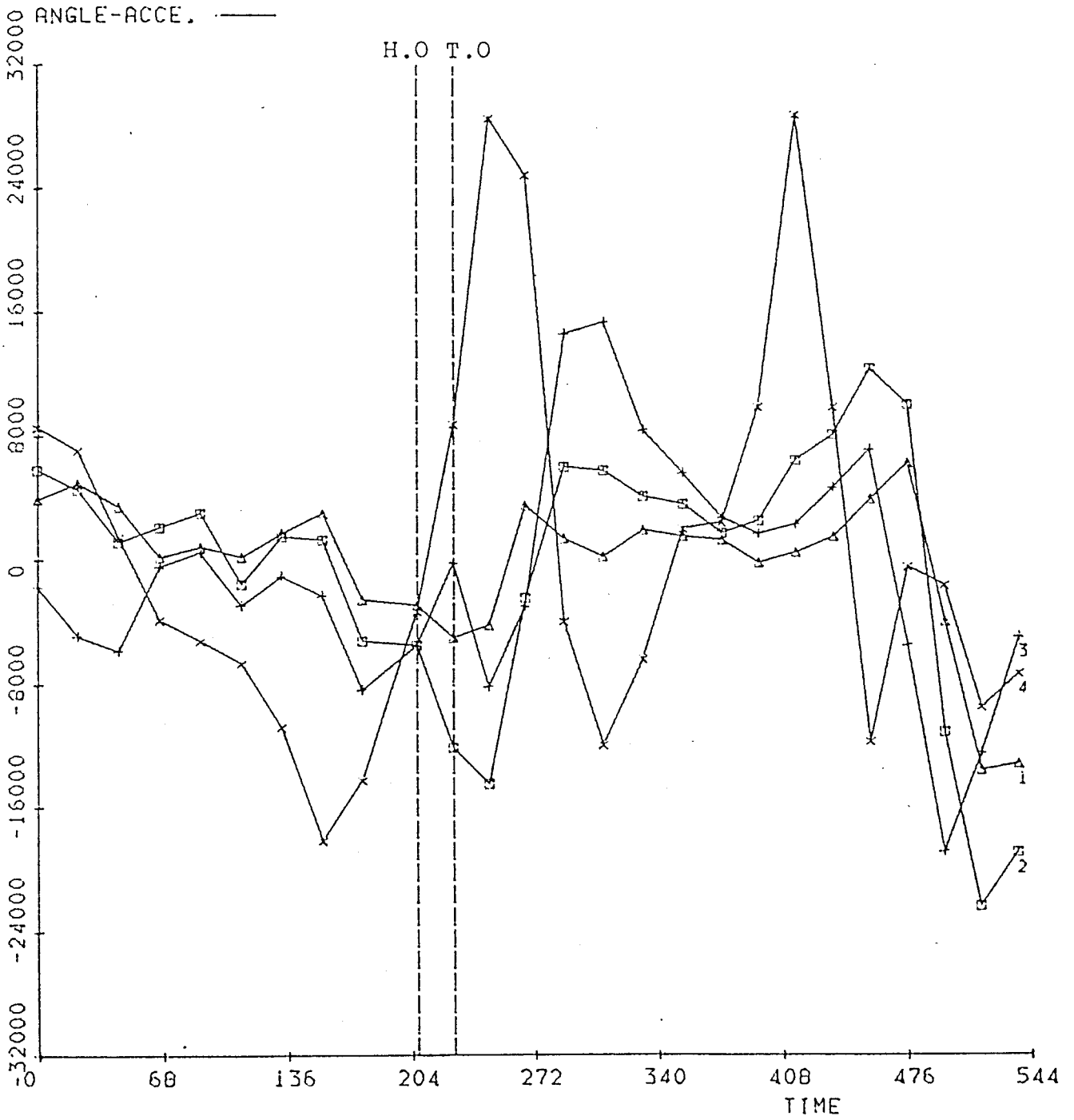


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 104

ANGLE - TIME

TEST:
CODE>CASE 2. LF
EXP.2 CANTER(LEAD)

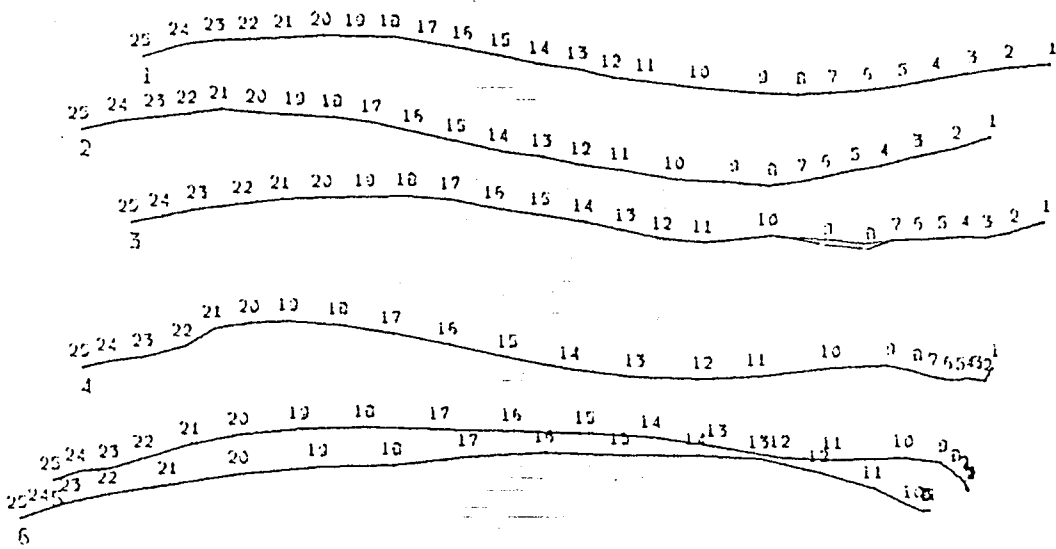


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 105

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)



30.720

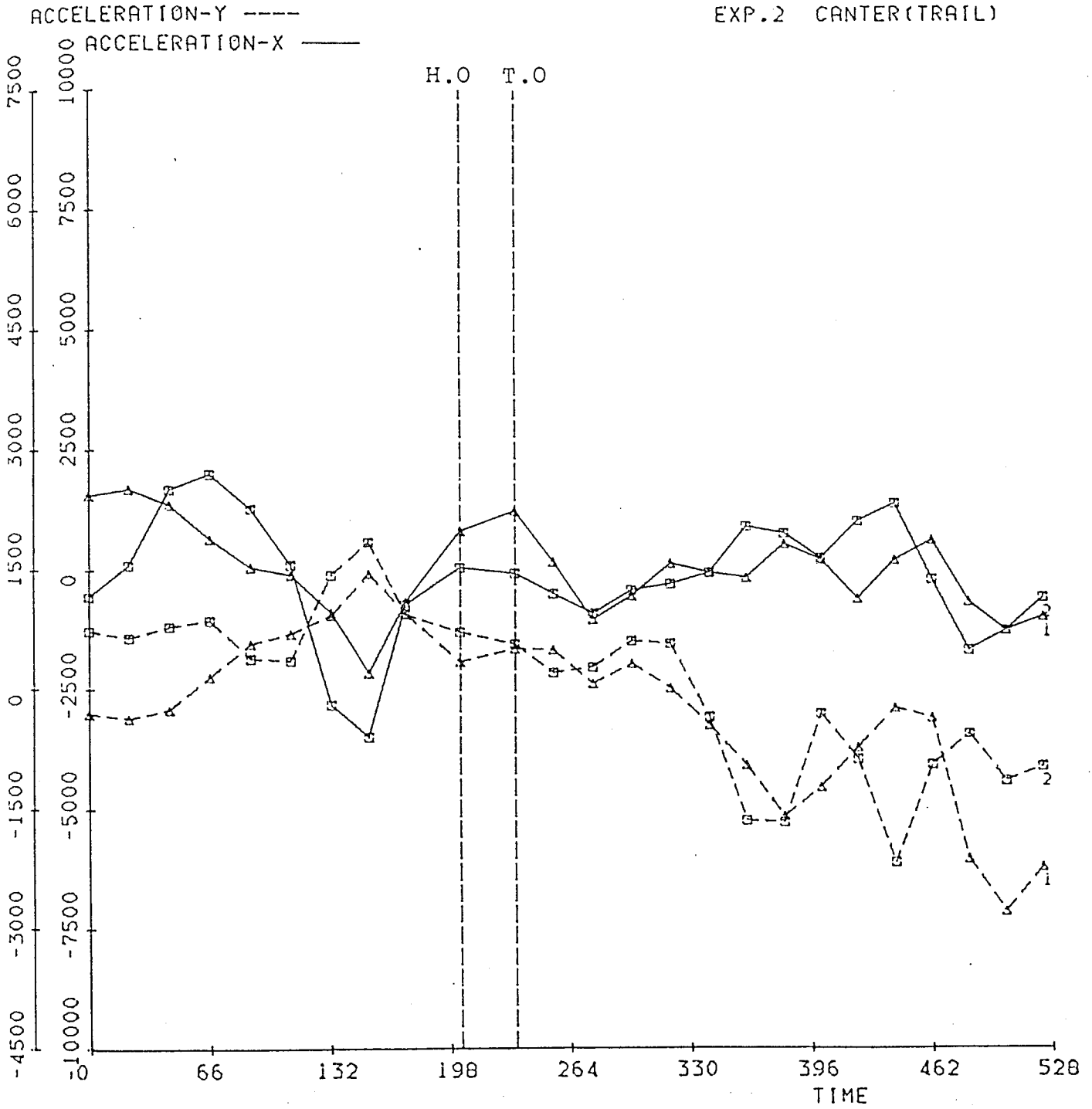
6 POINTS/FRAME

25 FRAMES

Fig. 106

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)

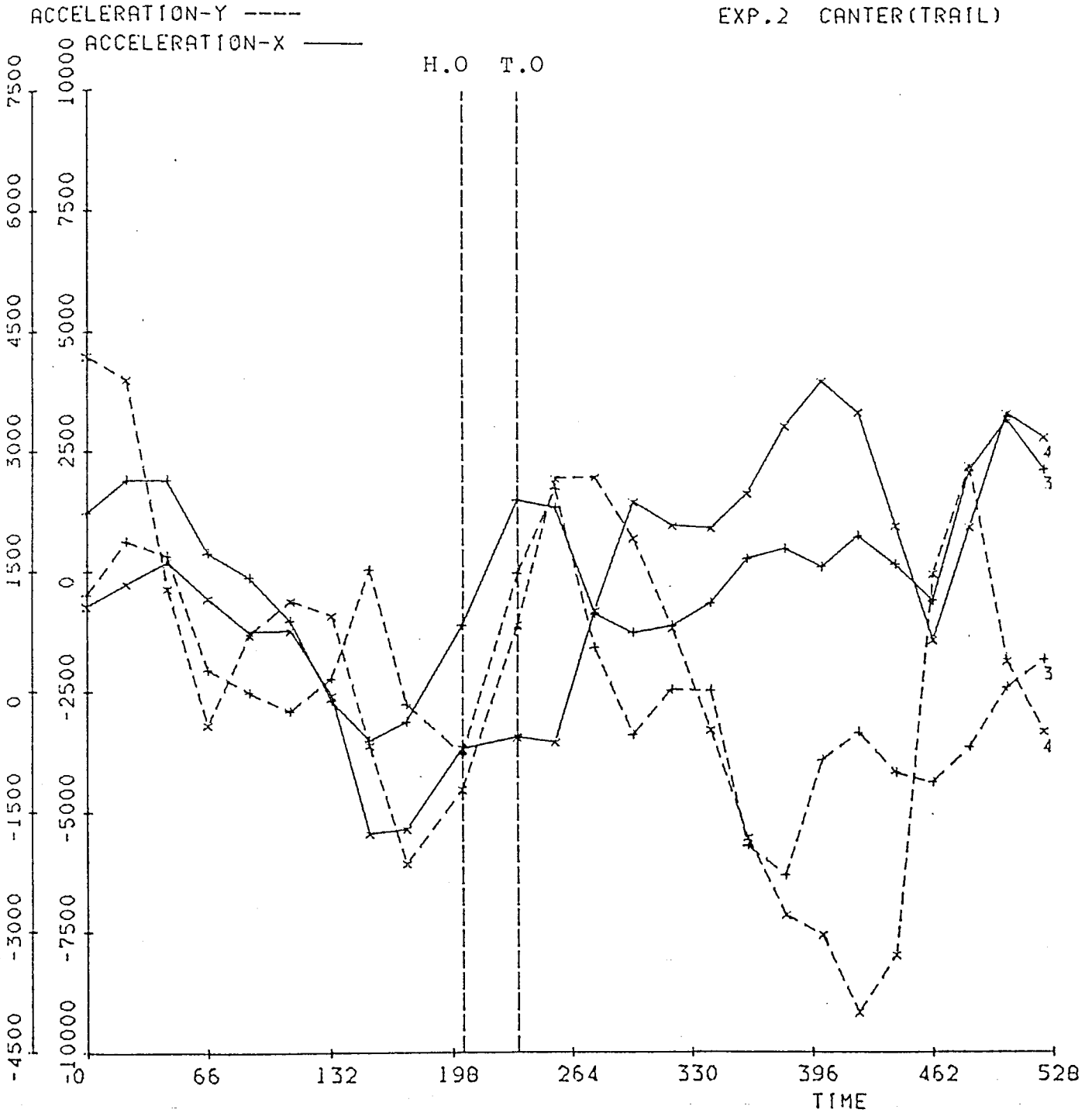


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 107

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)



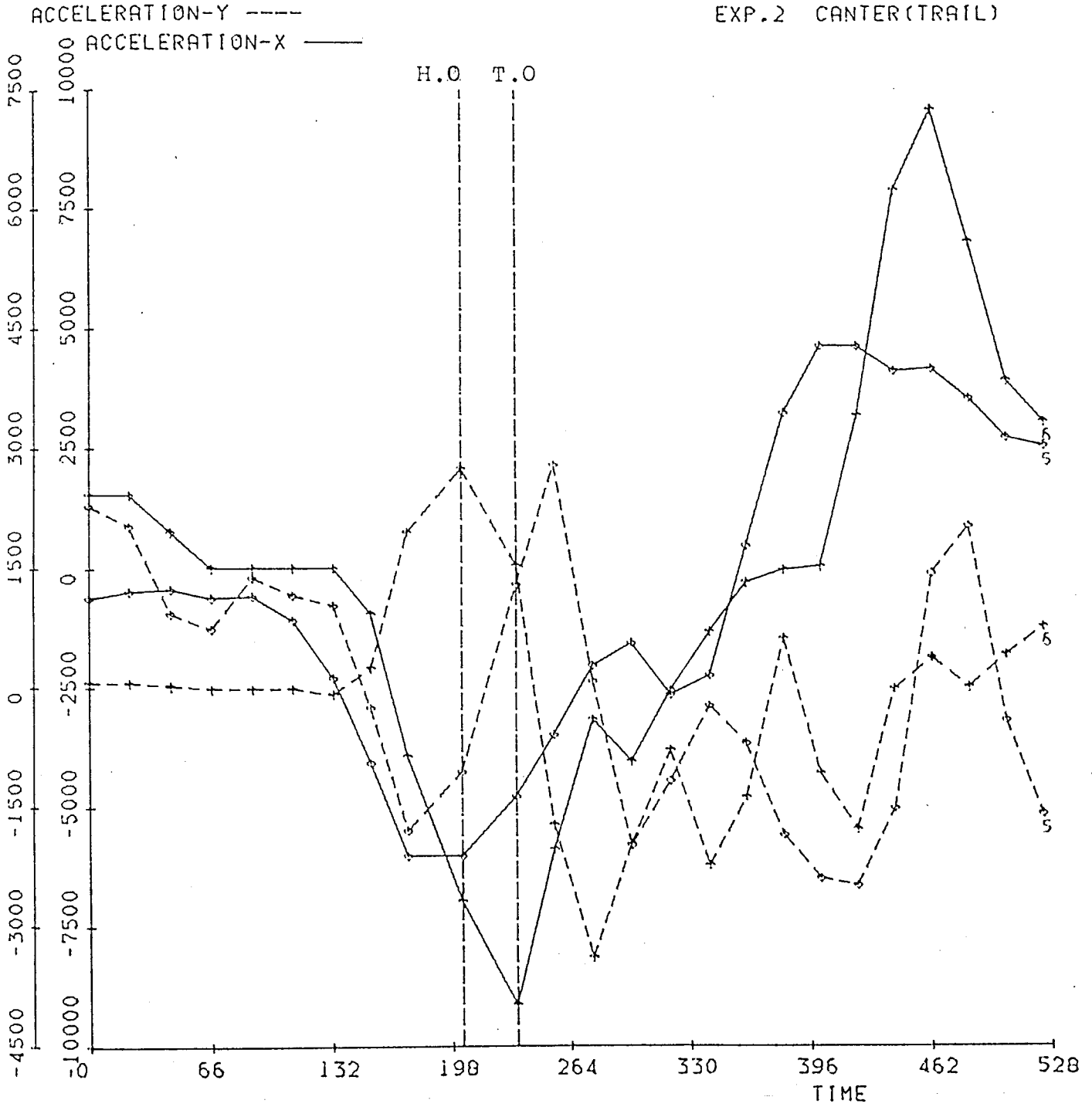
6 POINTS/FRAME

25 FRAMES

Fig. 108

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)

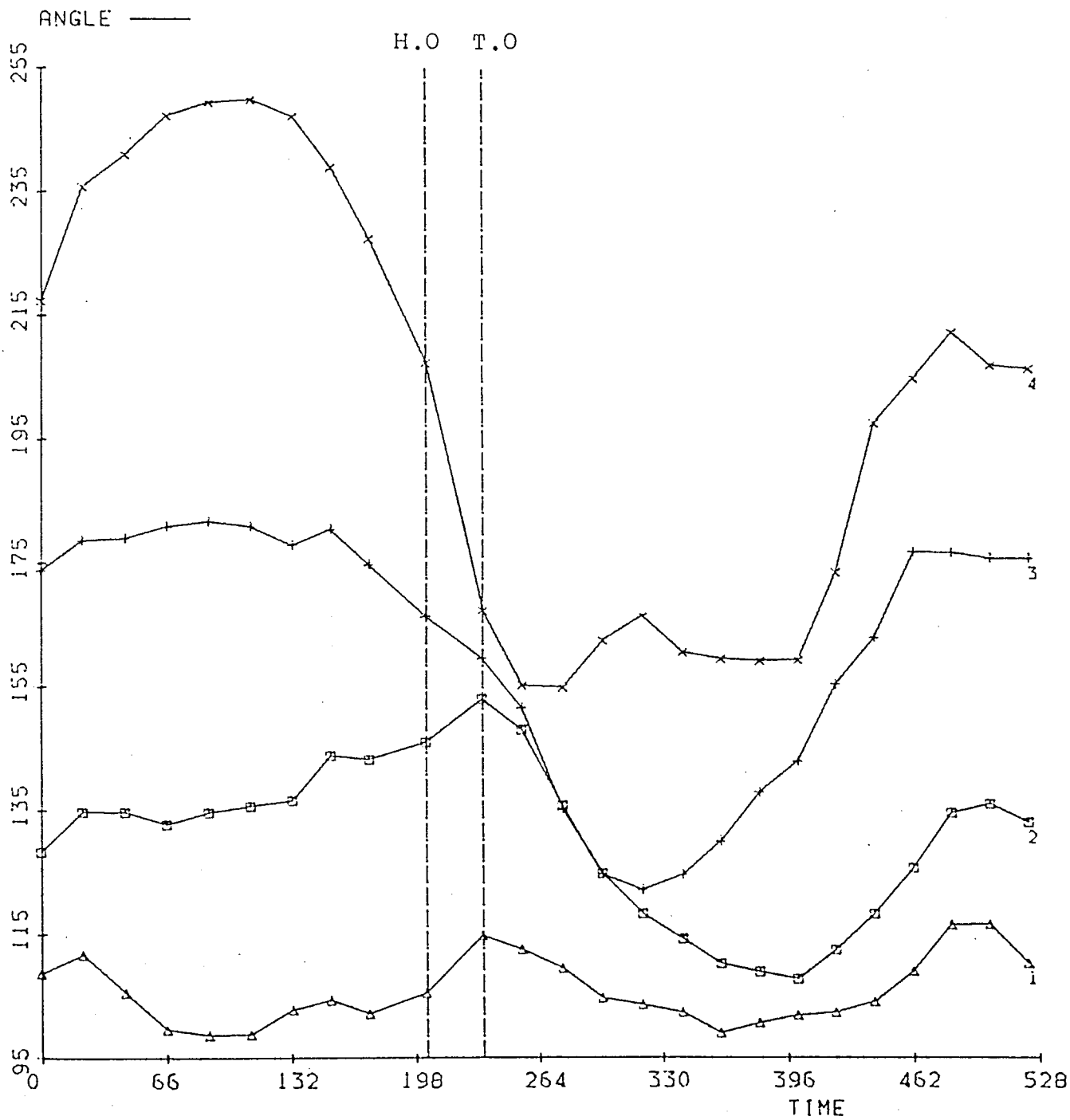


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 109

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 CENTER (TRAIL)

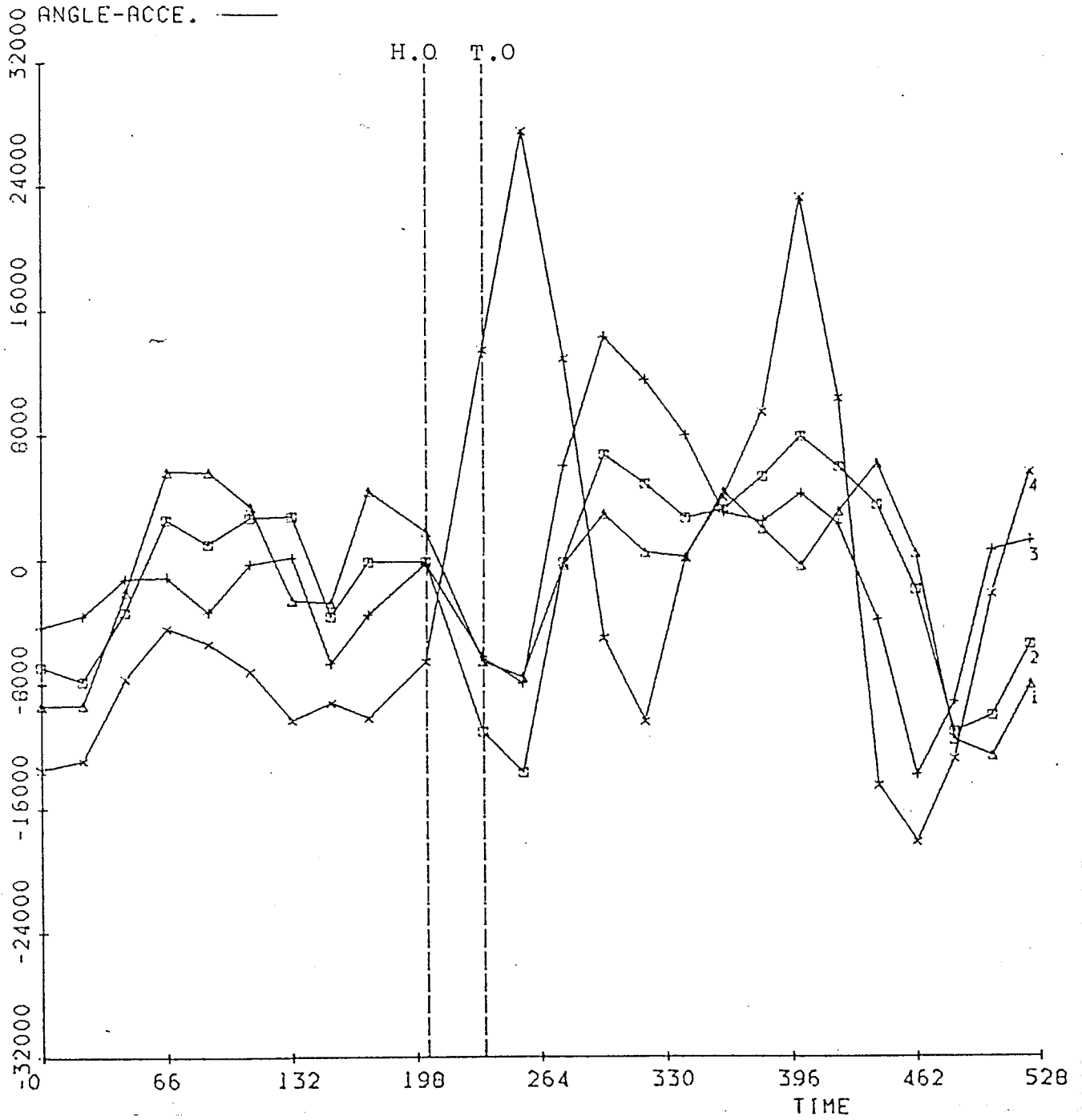


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 110

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 2 CANTER (TRAIL)

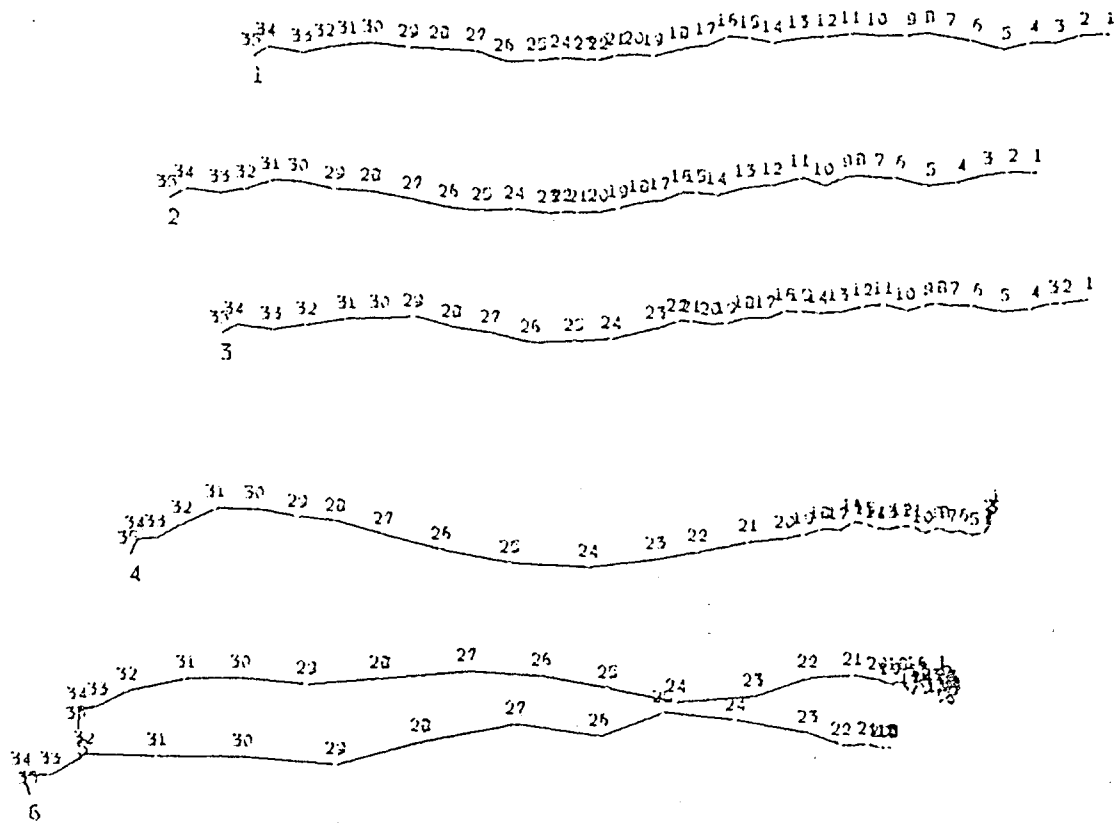


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 111

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP. 3 WALK



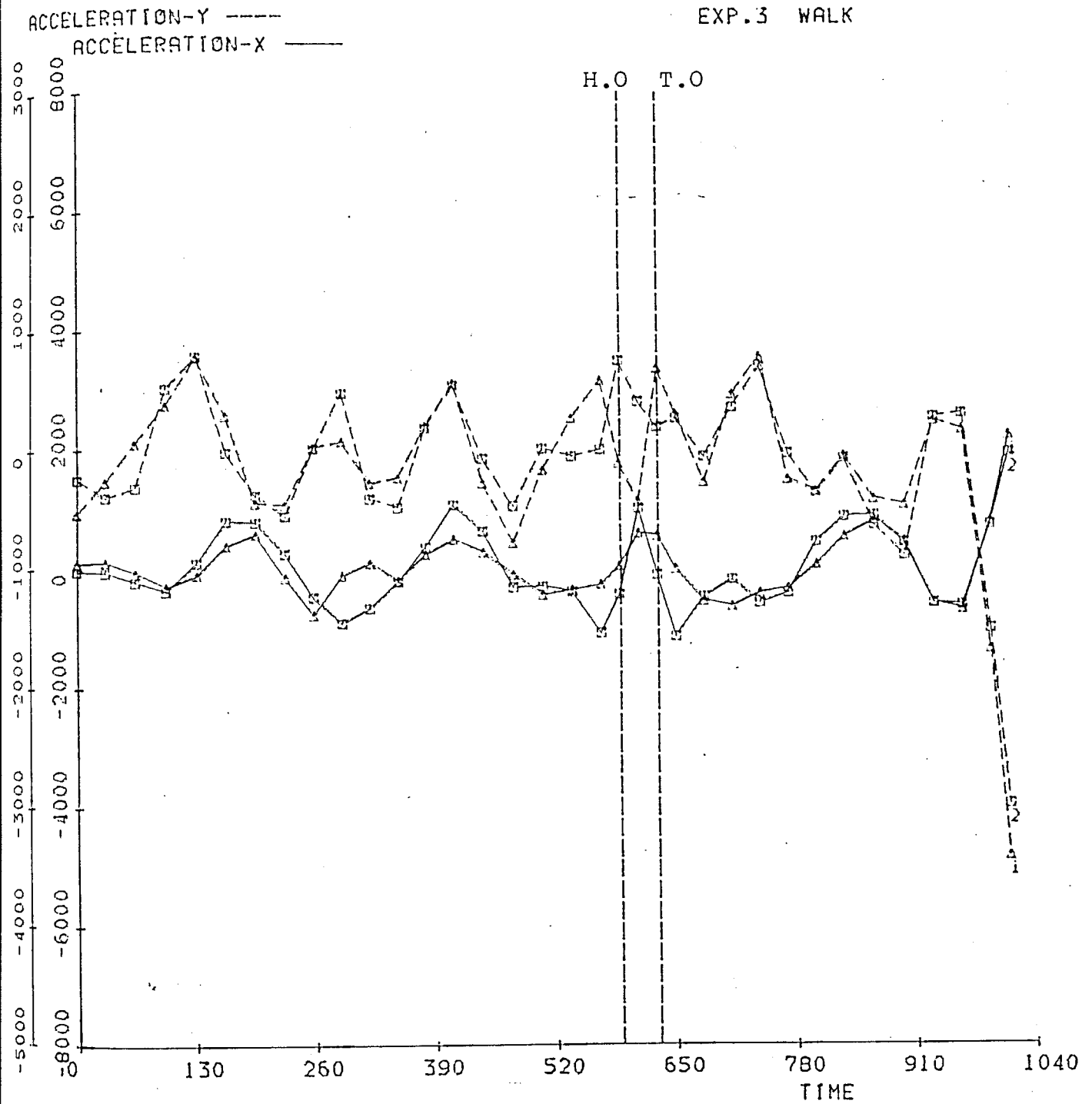
30.720

6 POINTS/FRAME 35 FRAMES

Fig. 112

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP.3 WALK

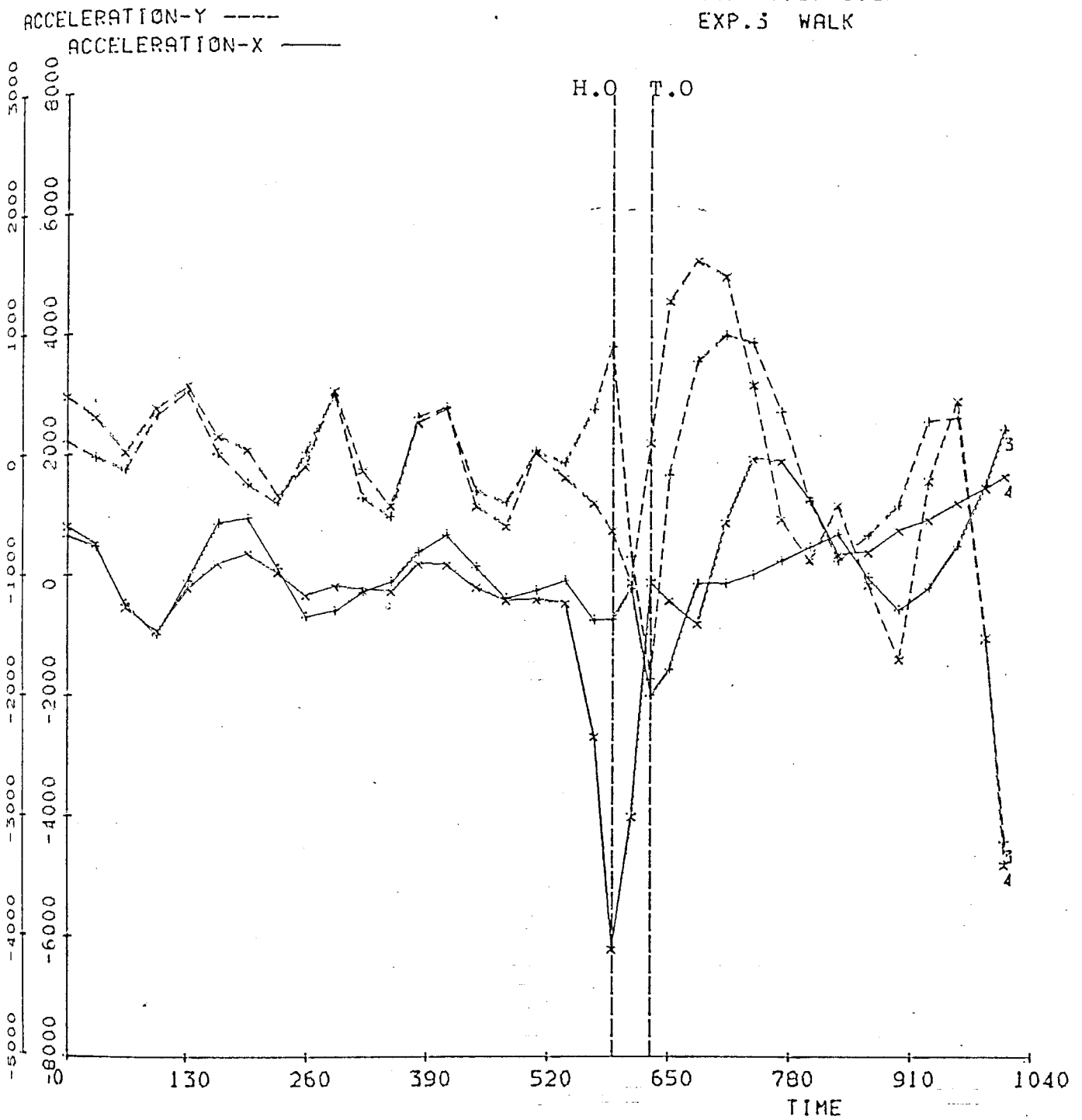


6 POINTS/FRAME 35 FRAMES

Fig. 113

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP. 3 WALK

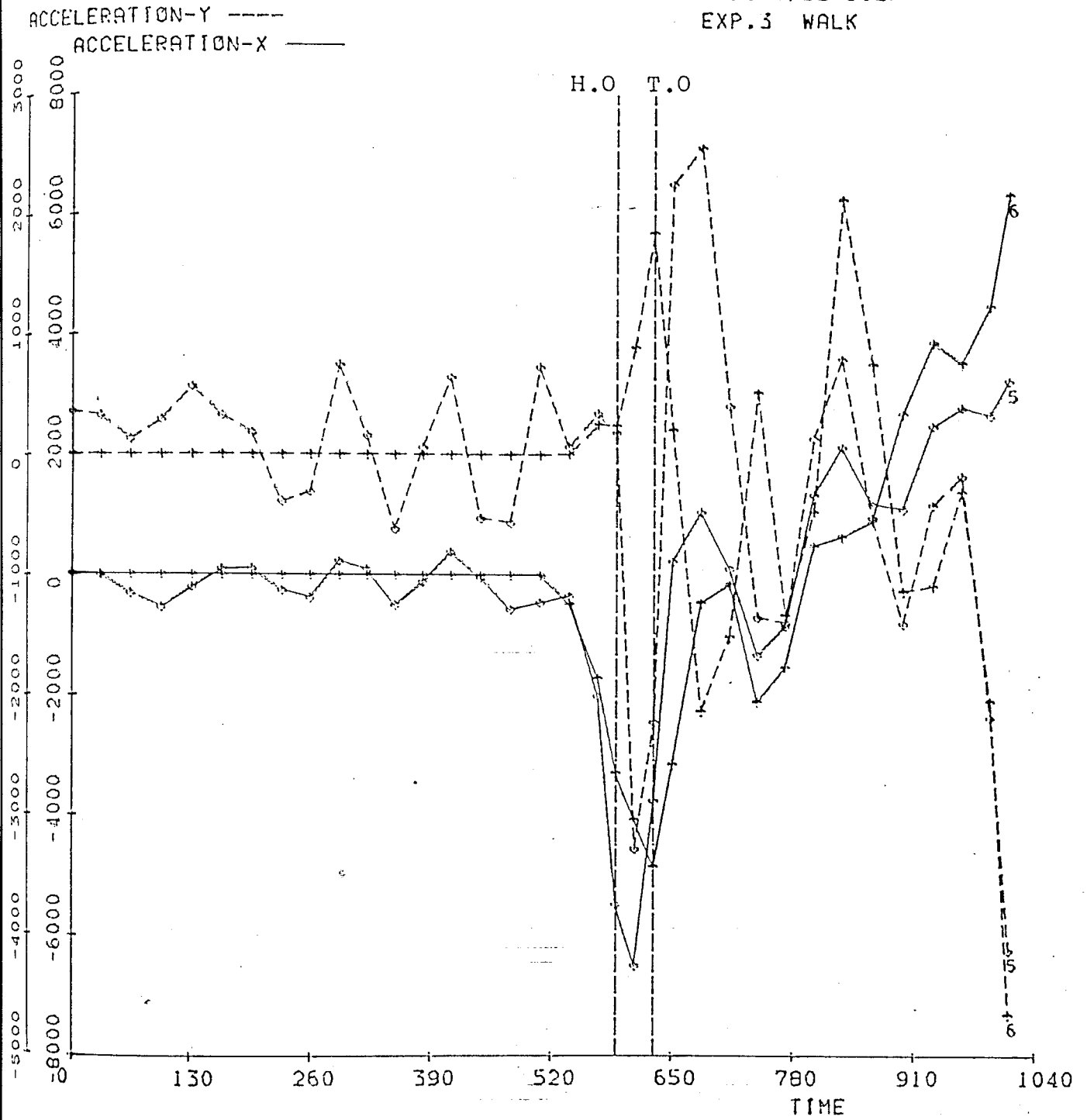


6 POINTS/FRAME 35 FRAMES

Fig. 114

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE>CASE 1.LF
EXP.3 WALK

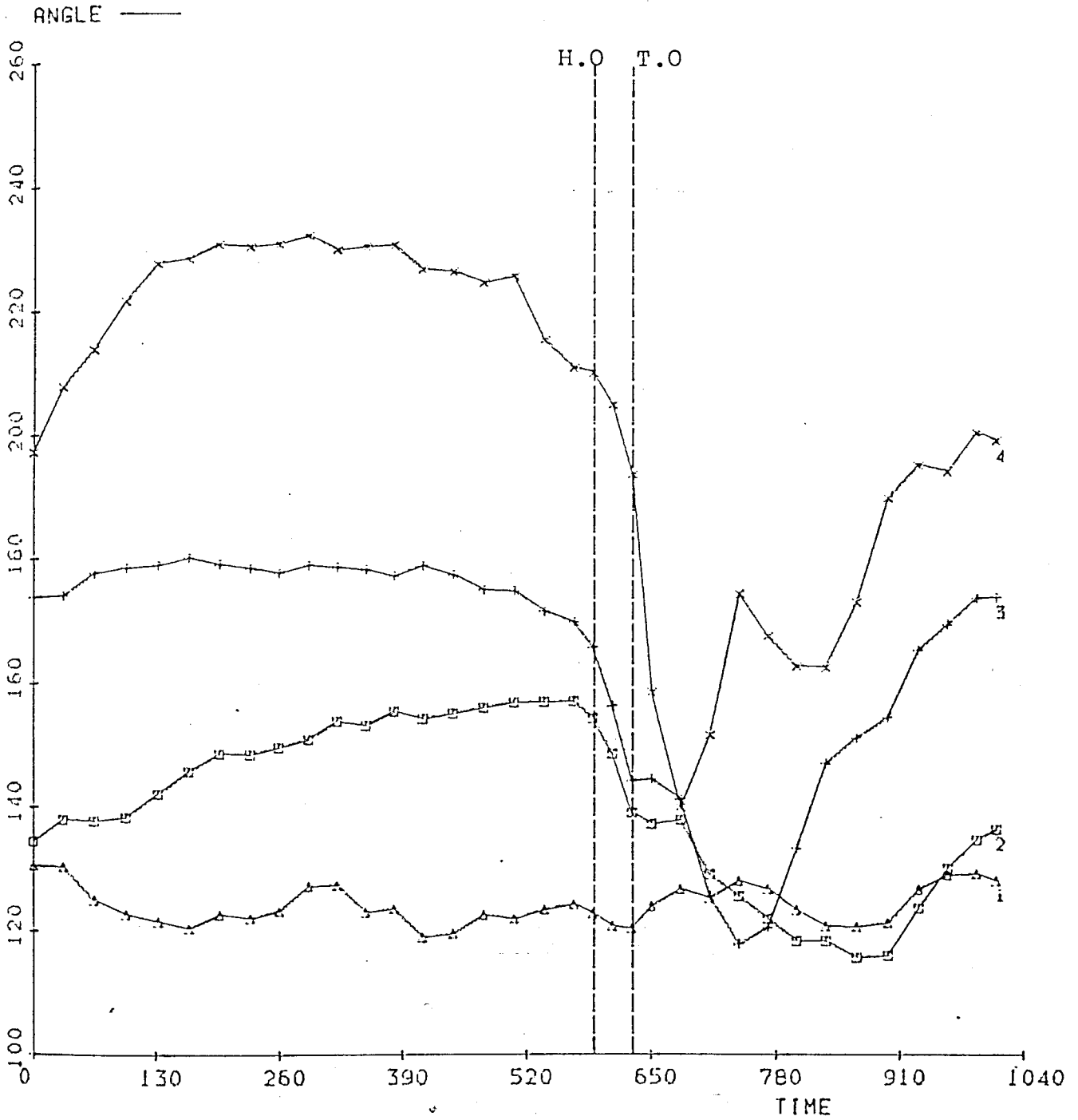


6 POINTS/FRAME 35 FRAMES

Fig. 115

ANGLE - TIME

TEST:
CODE CASE 1.LF
EXP.3 WALK

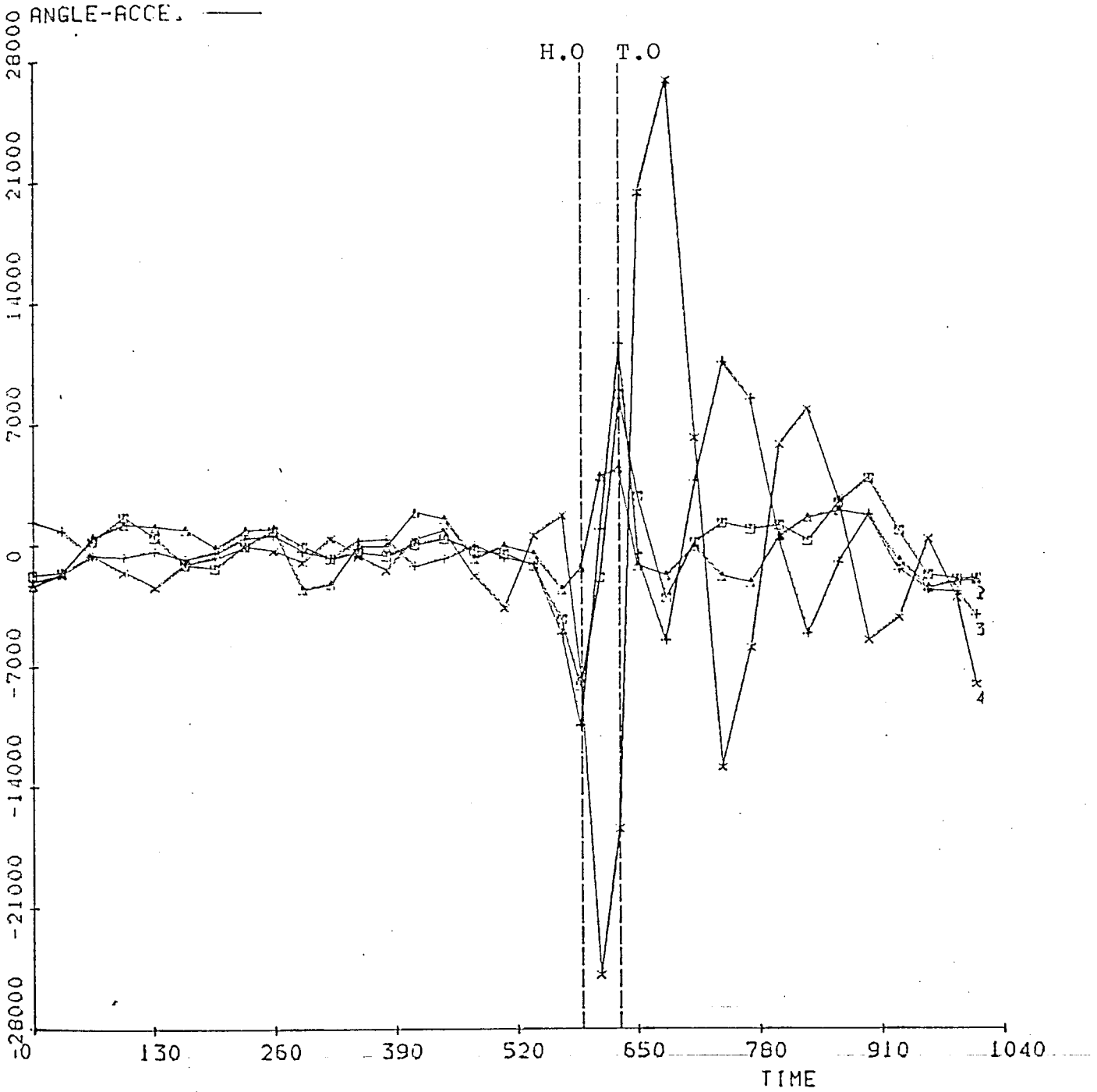


6 POINTS/FRAME 35 FRAMES

Fig. 116

ANGLE - TIME

TEST:
CODE>CASE 1.LF
EXP.3 WALK

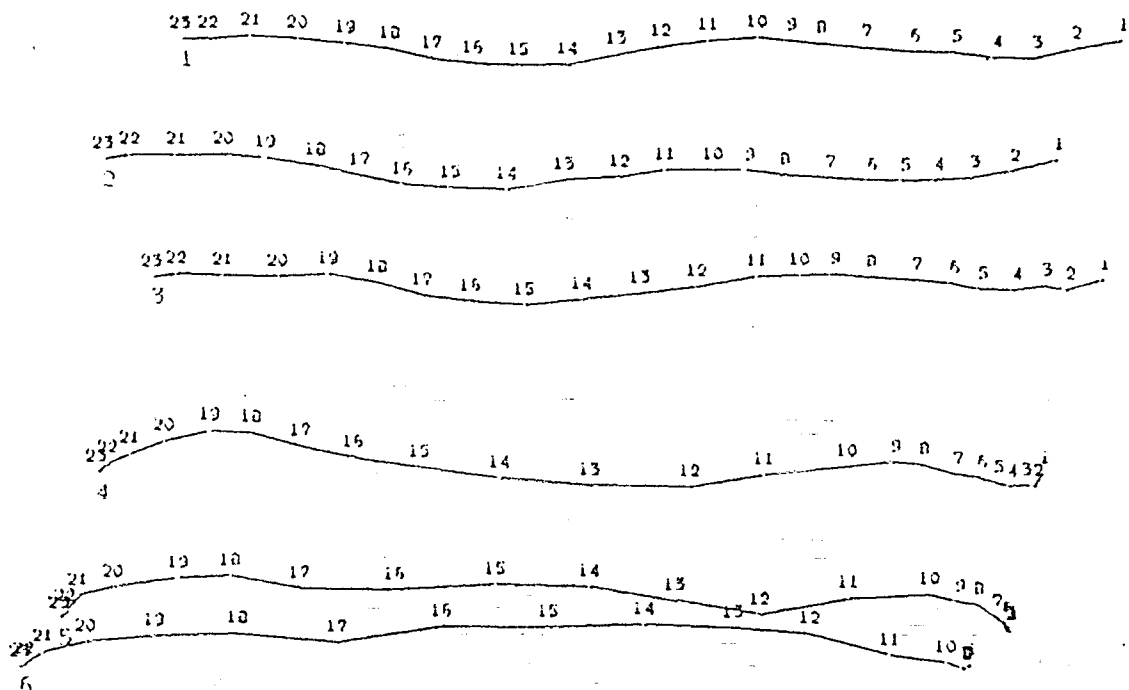


6 POINTS/FRAME 35 FRAMES

Fig. 117

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 TROT



30.720

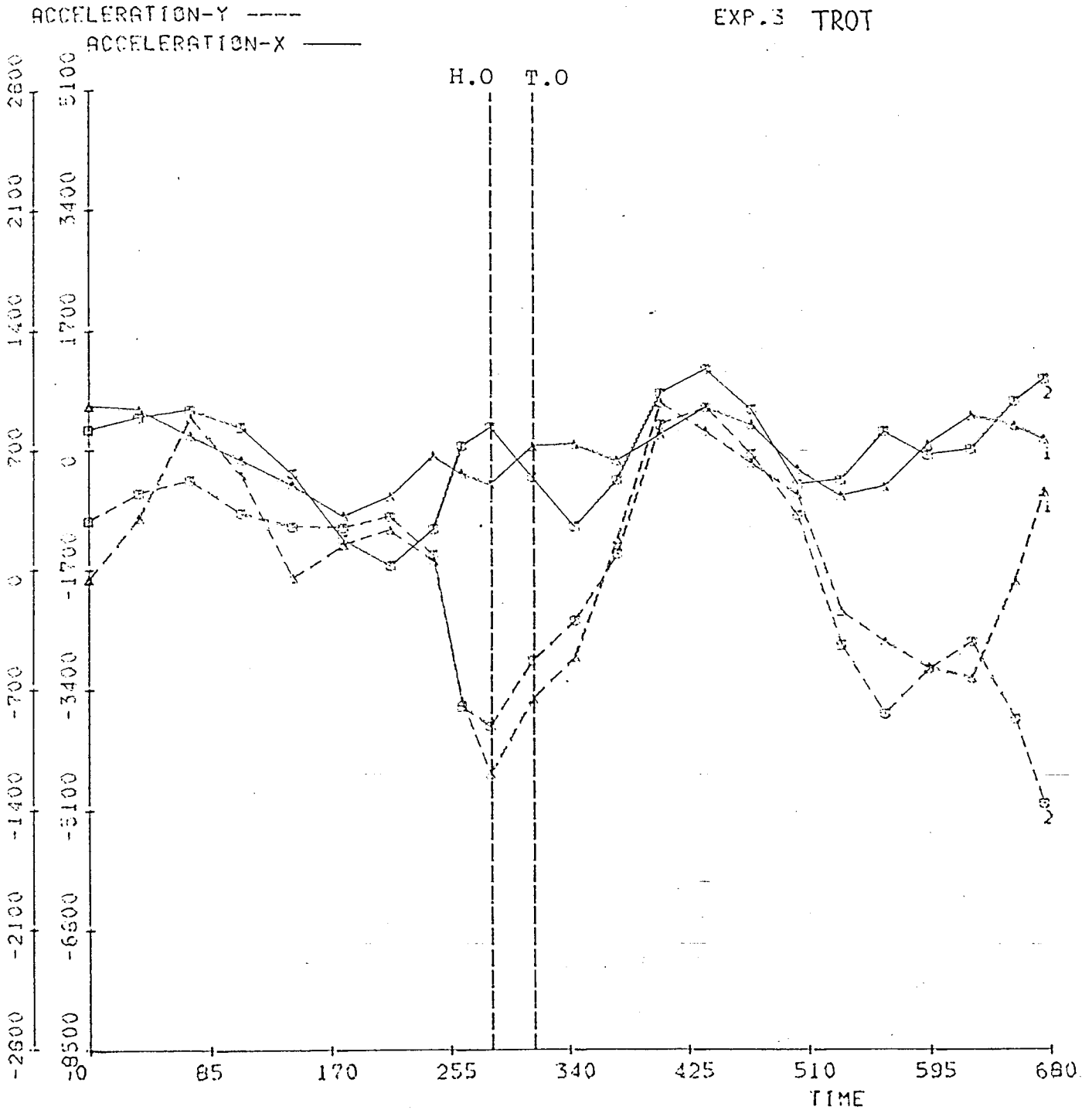
6 POINTS/FRAME

23 FRAMES

Fig. 118

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 TROT

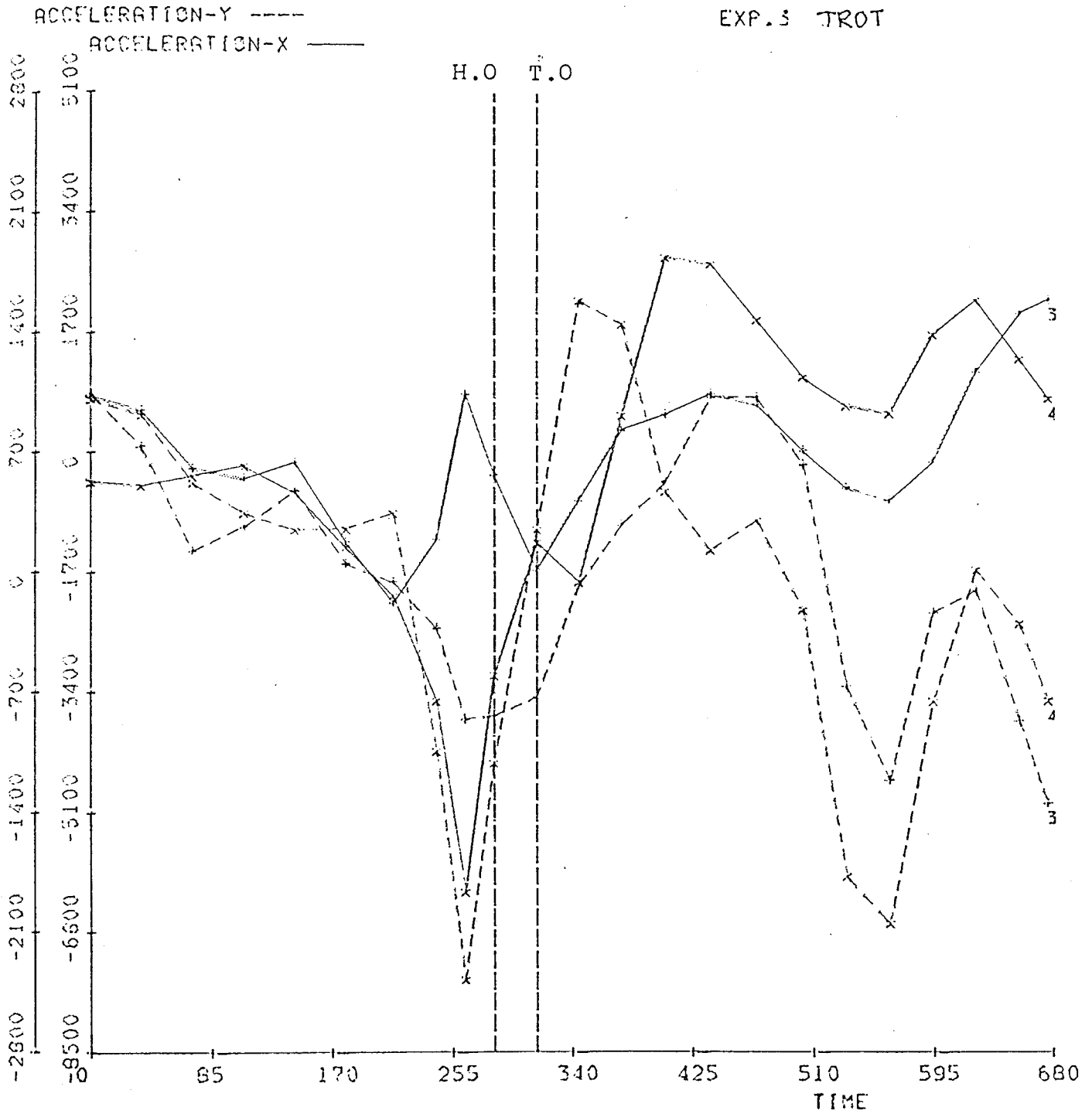


6 POINTS/FRAME 23 FRAMES

Fig. 119

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 TROT

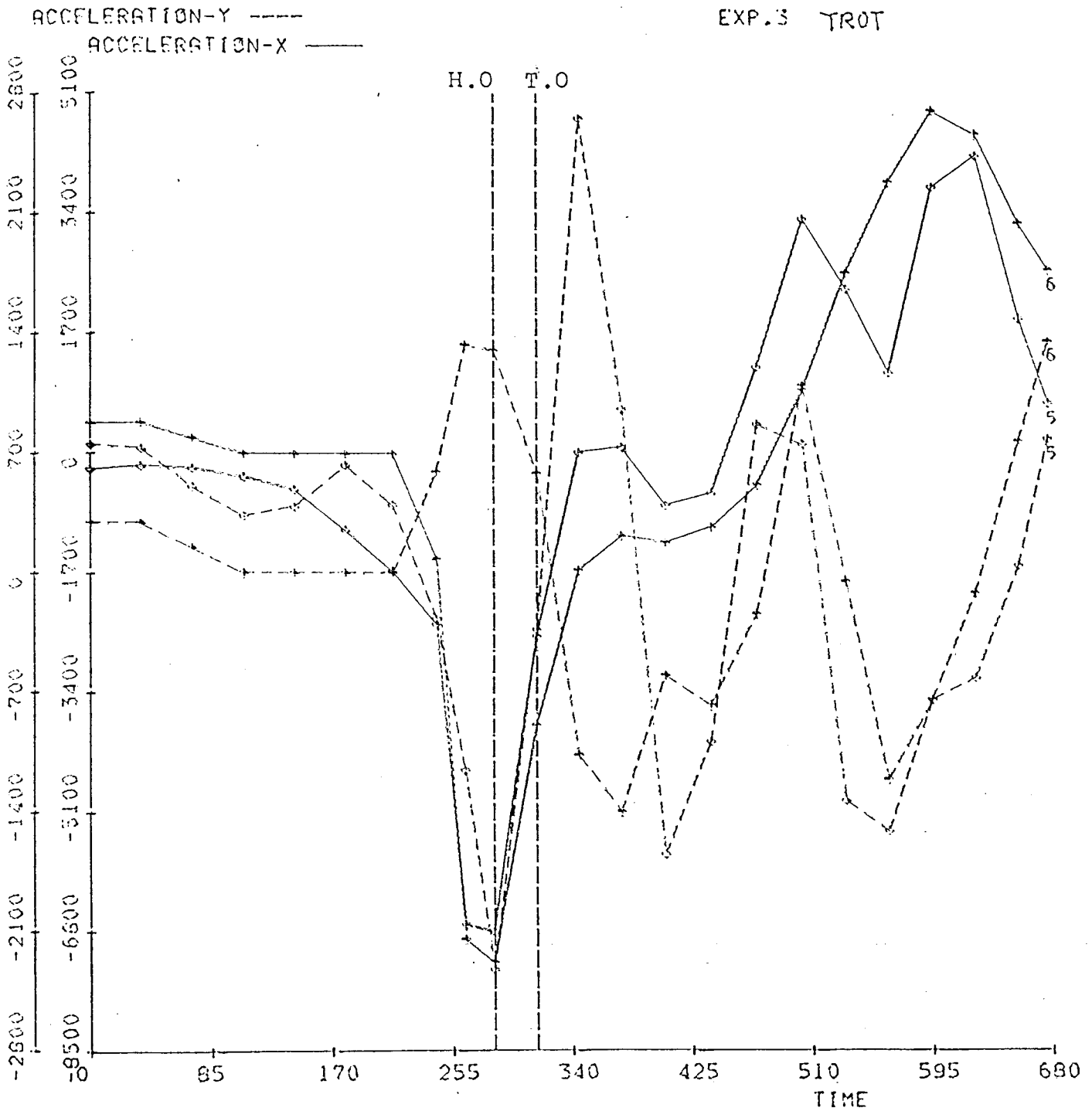


6 POINTS/FRAME 23 FRAMES

Fig. 120

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 TROT

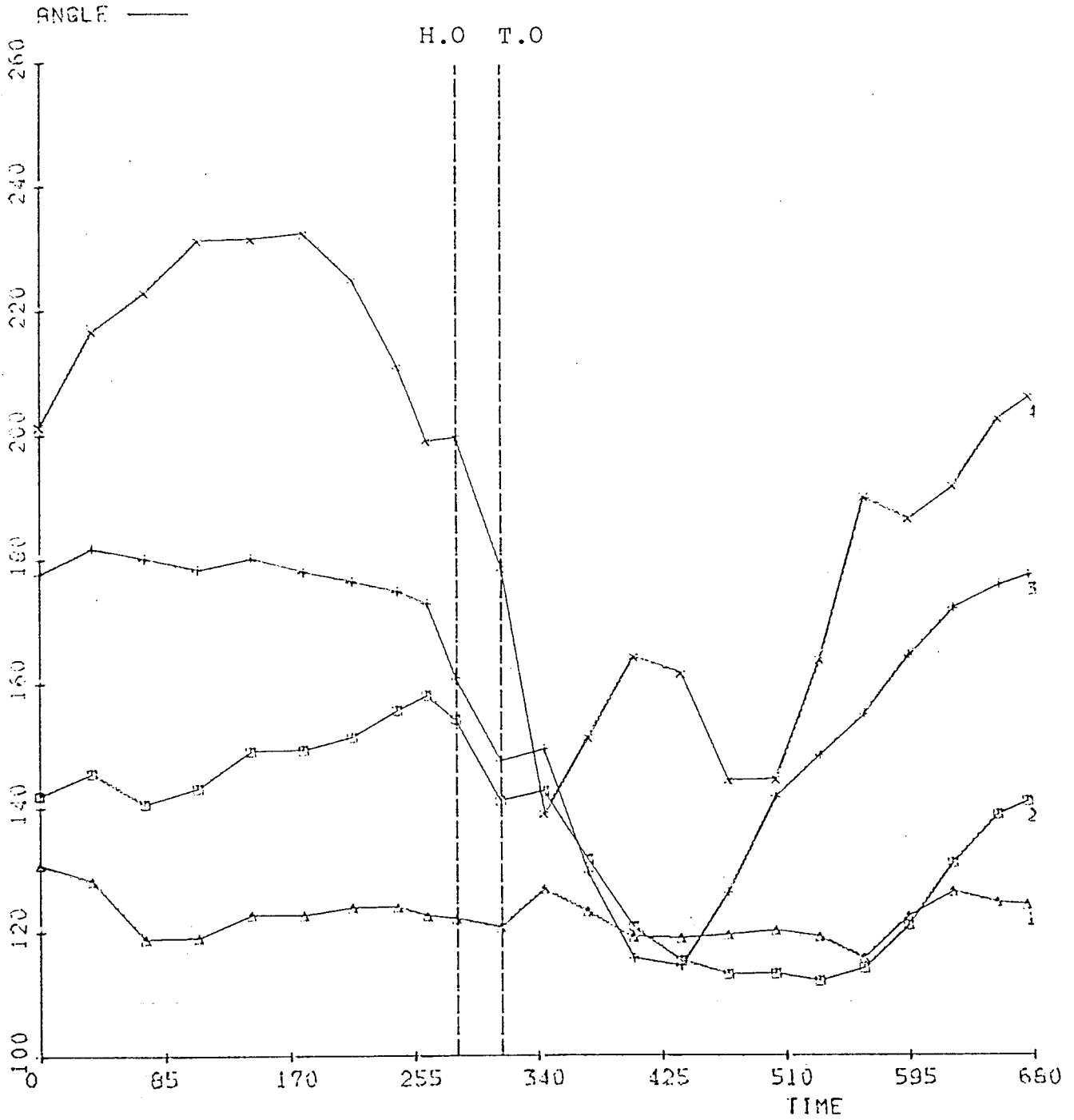


6 POINTS/FRAME 23 FRAMES

Fig. 121

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 TR0T

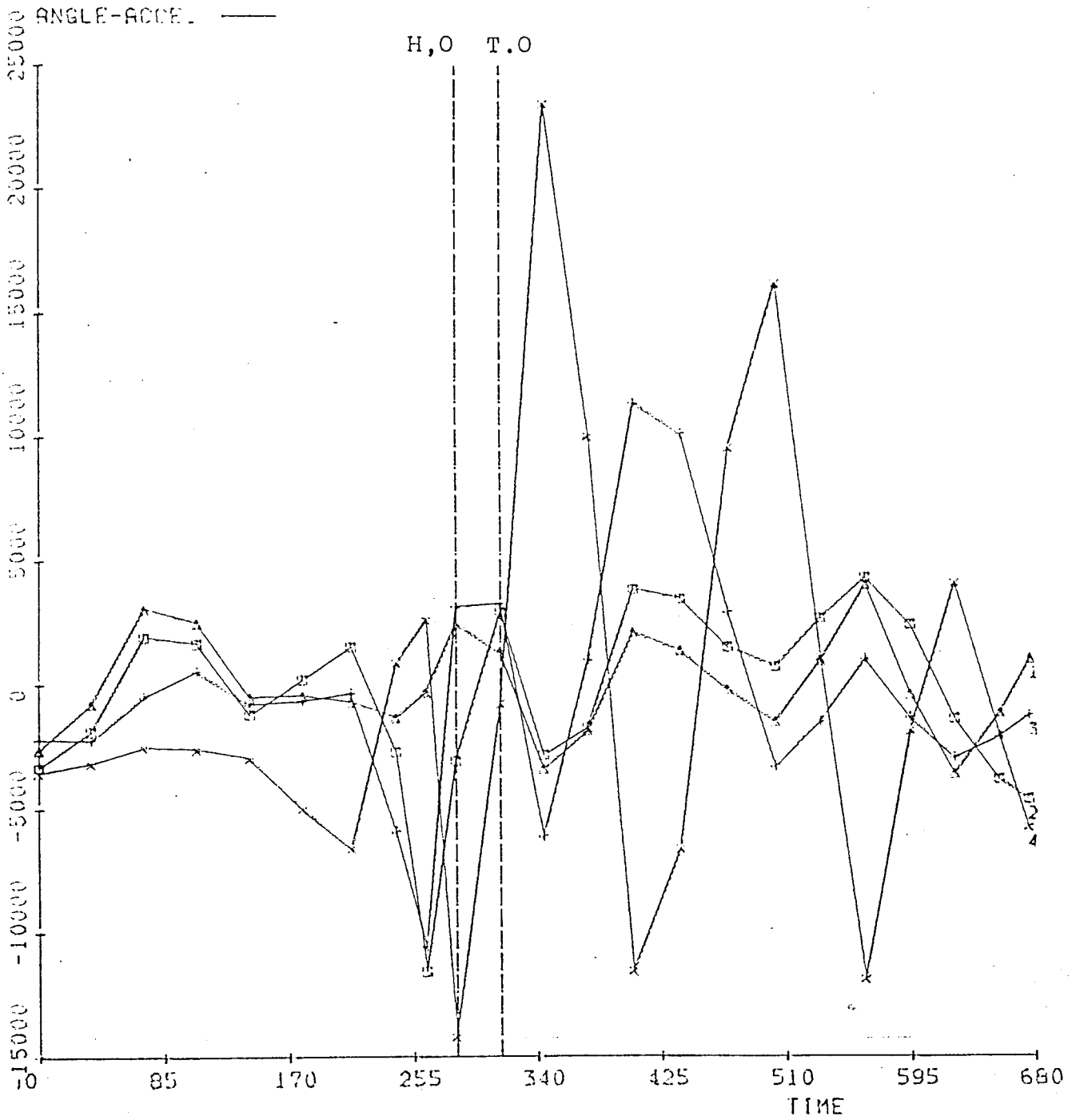


6 POINTS/FRAME 23 FRAMES

Fig. 122

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 TROT



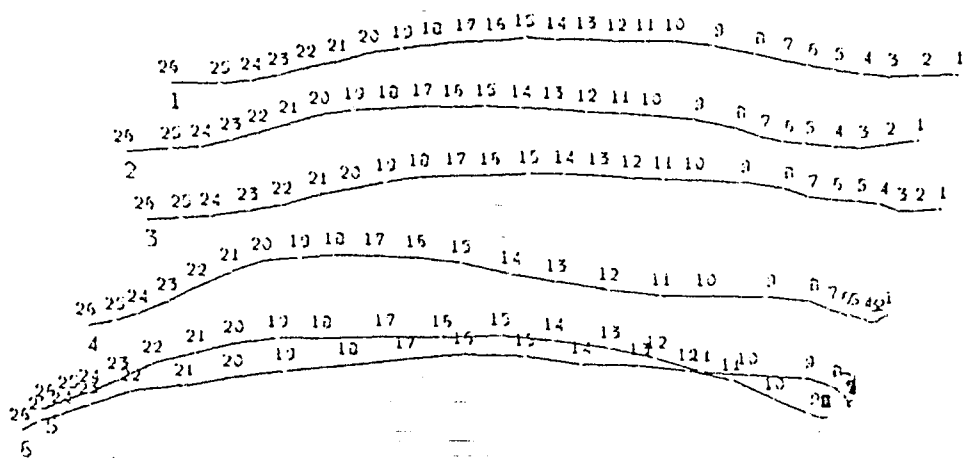
6 POINTS/FRAME

23 FRAMES

Fig. 123

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 CANTER (LEAD)



30.720

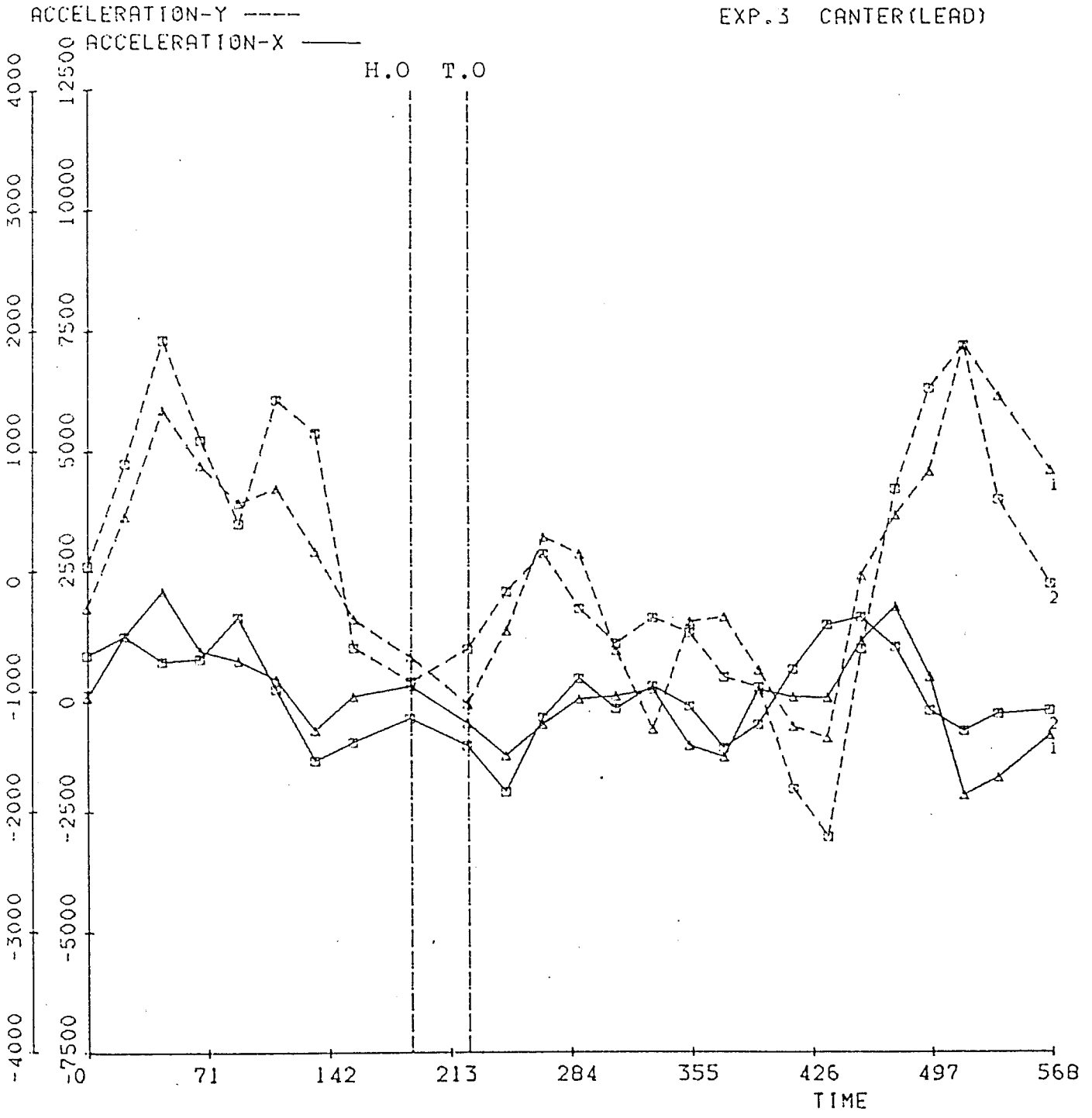
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 124

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 CANTER (LEAD)

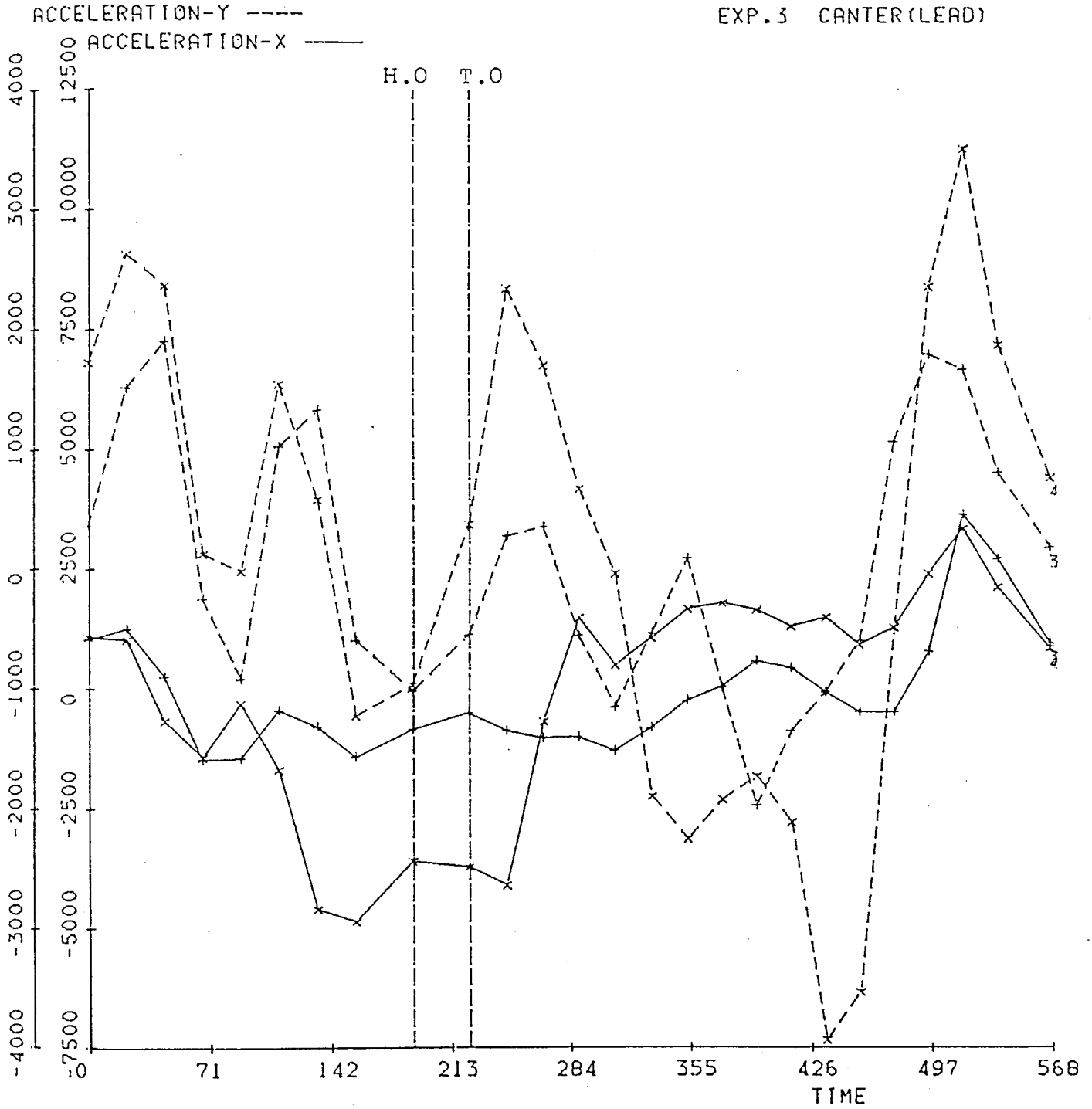


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 125

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 CANTER (LEAD)

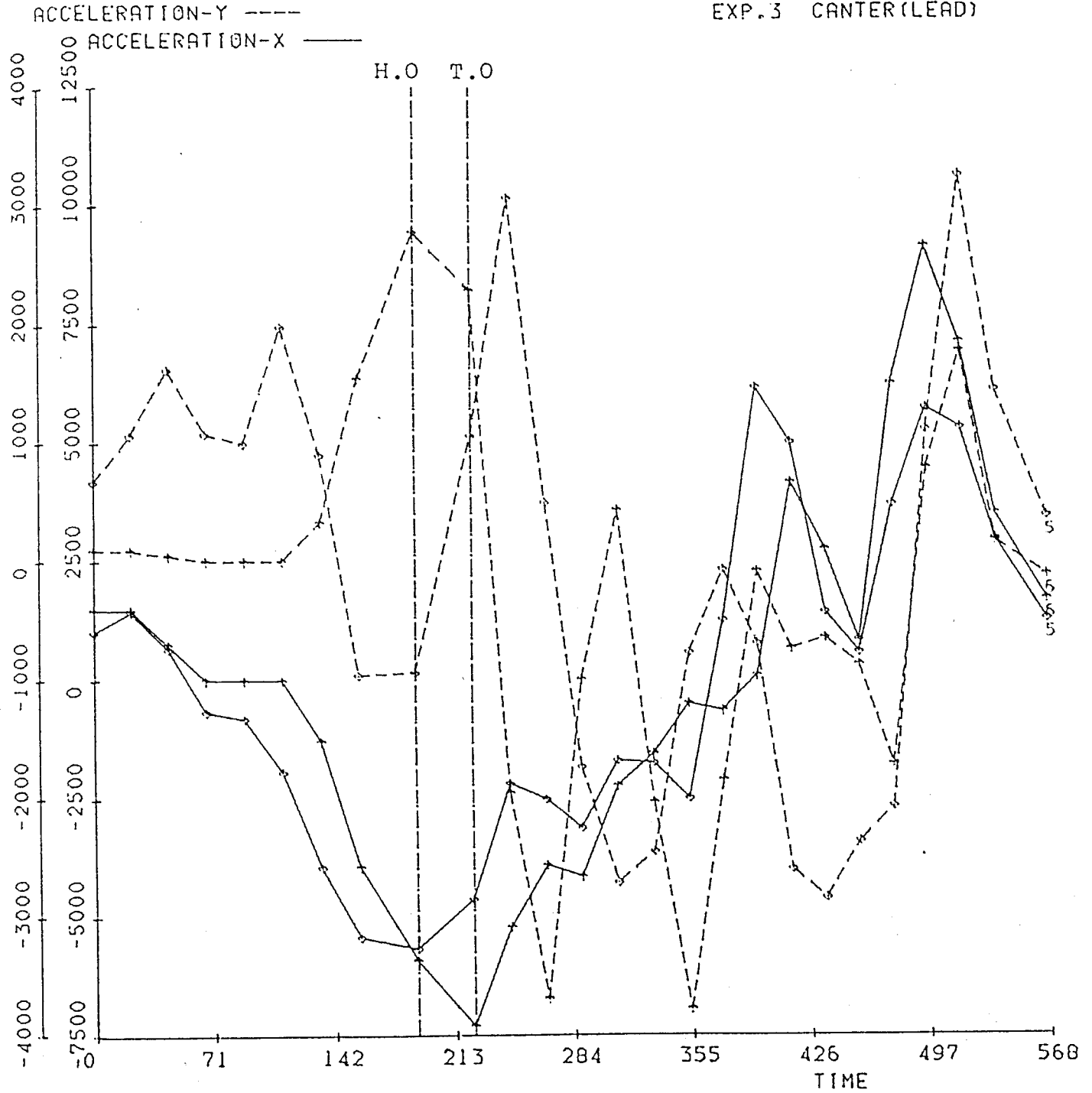


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 126

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 CANTER (LEAD)

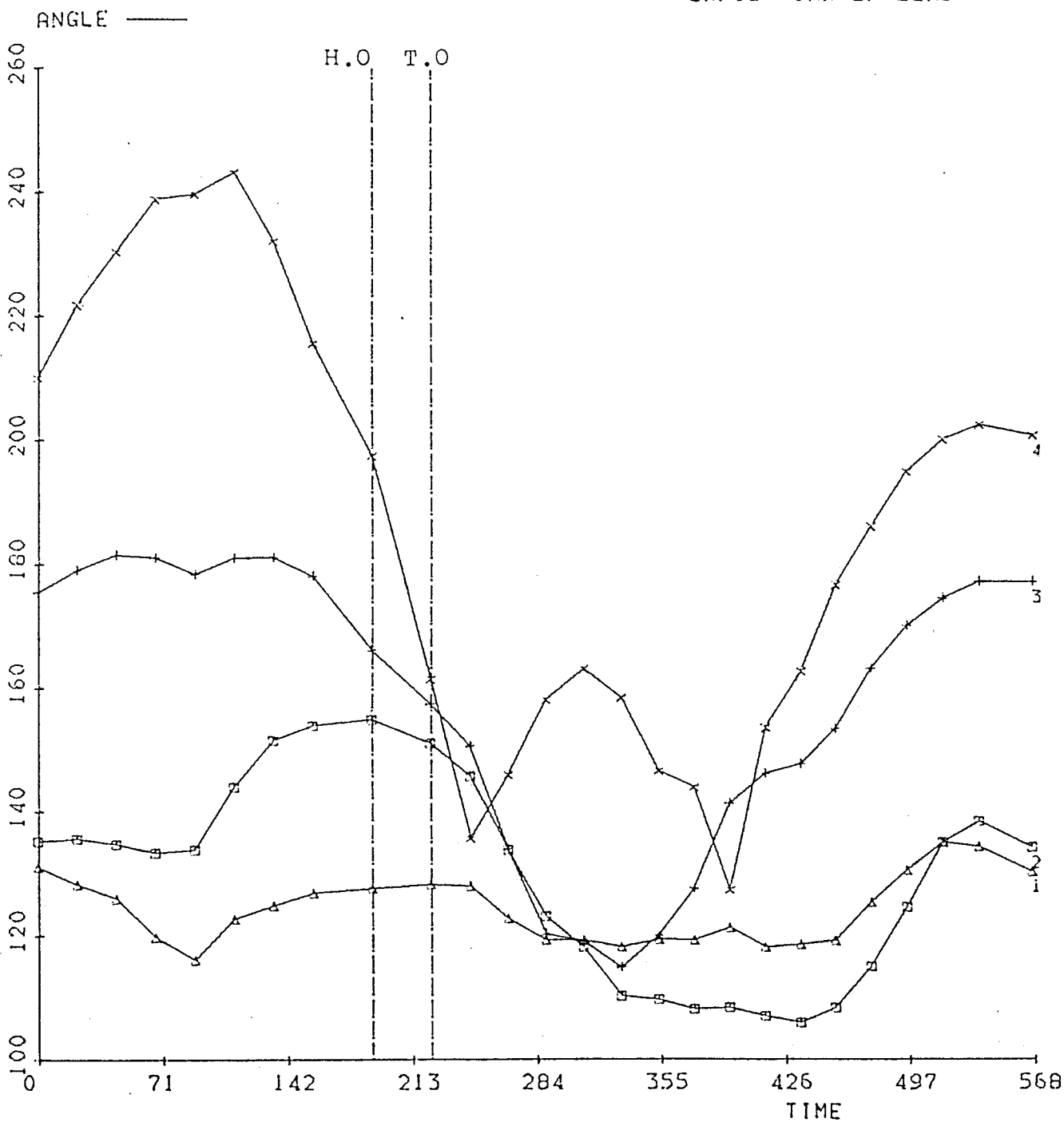


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 127

ANGLE - TIME

TEST:
 CODE: CASE 1. LF
 EXP. 3 CANTER (LEAD)

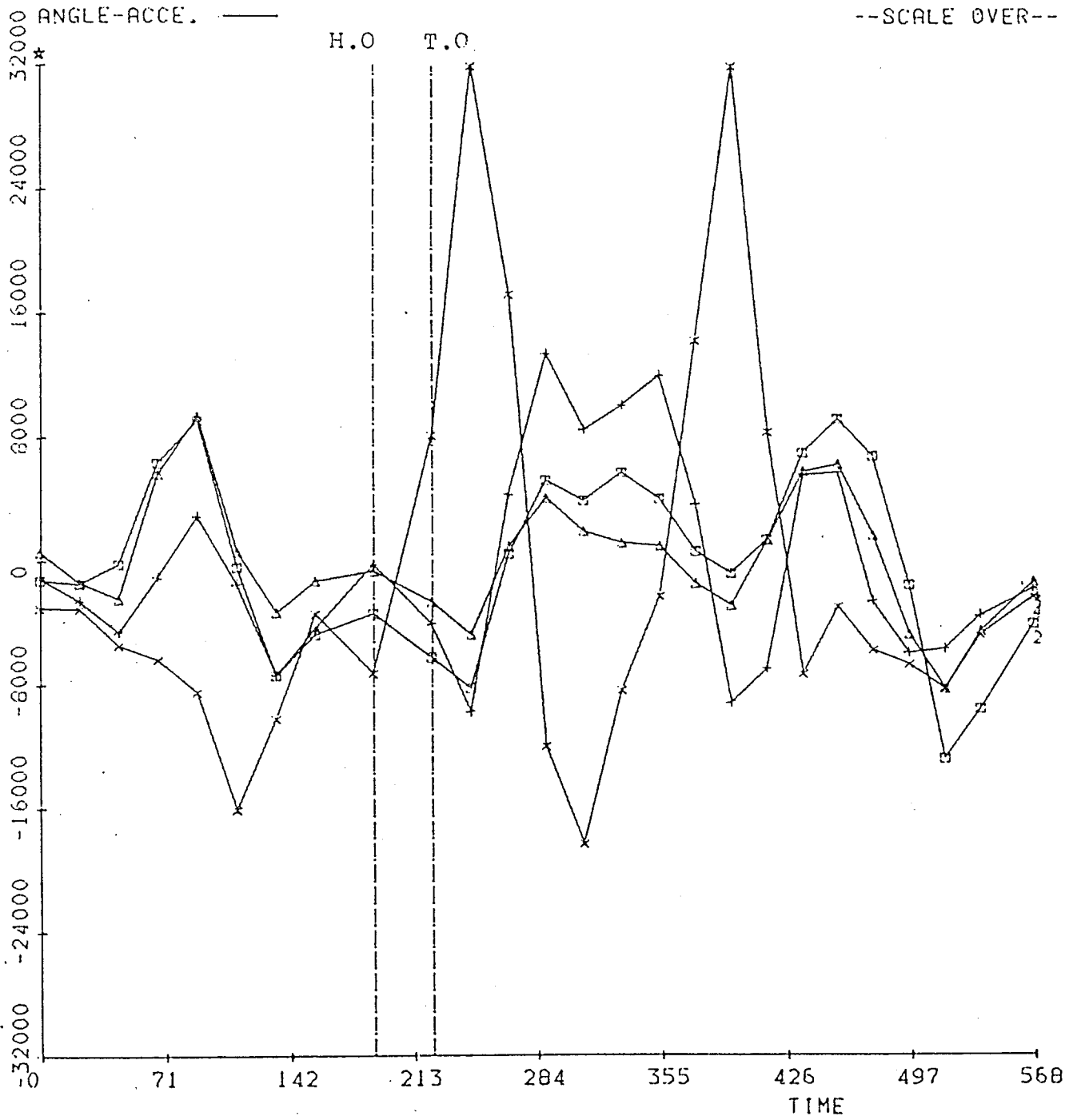


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 128

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 CENTER (LEAD)
--SCALE OVER--



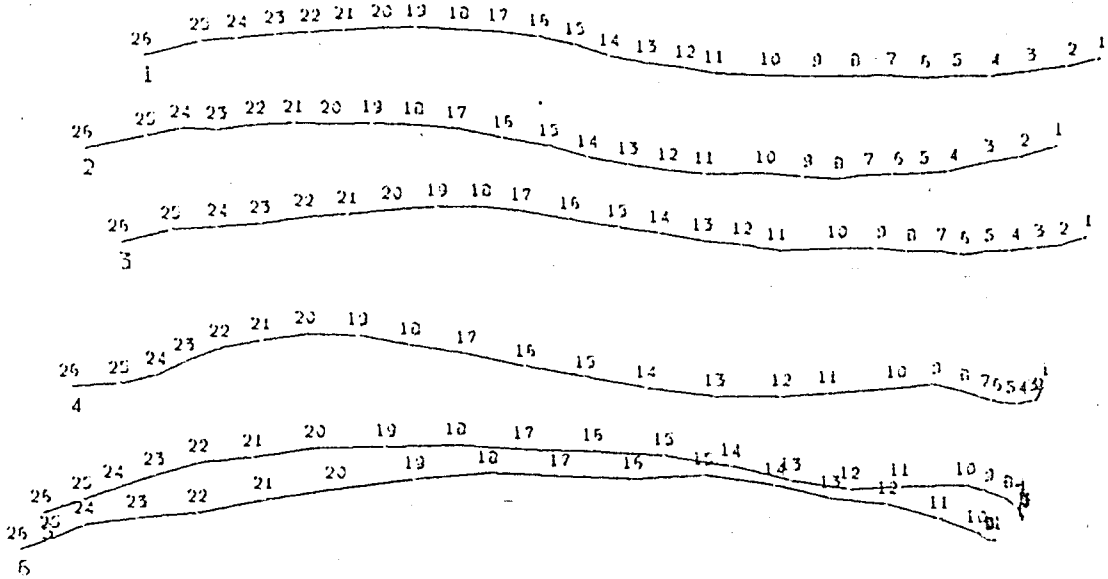
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 129

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 CANTER (TRAIL)



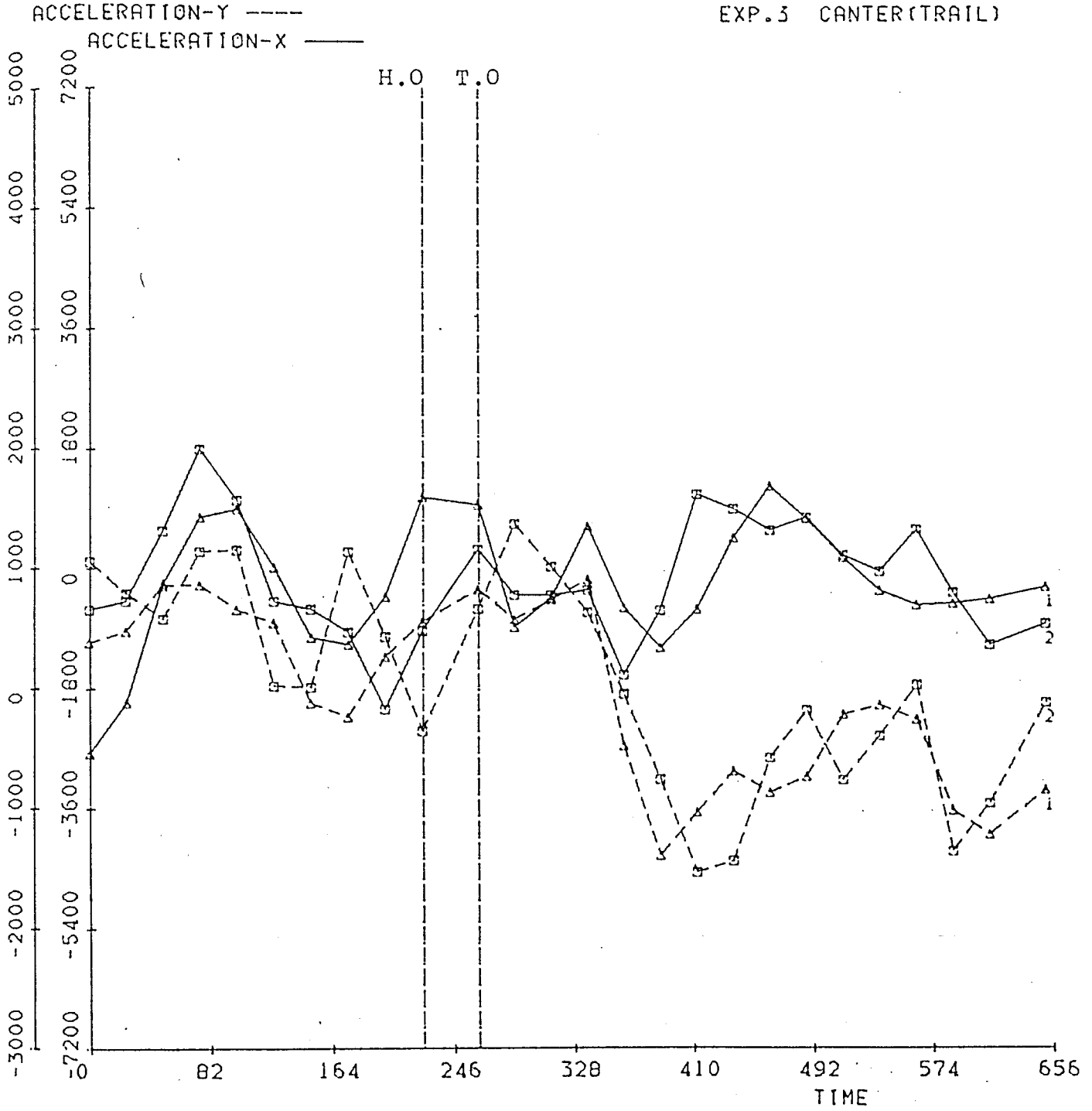
30.720

6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 130

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 CANTER (TRAIL)

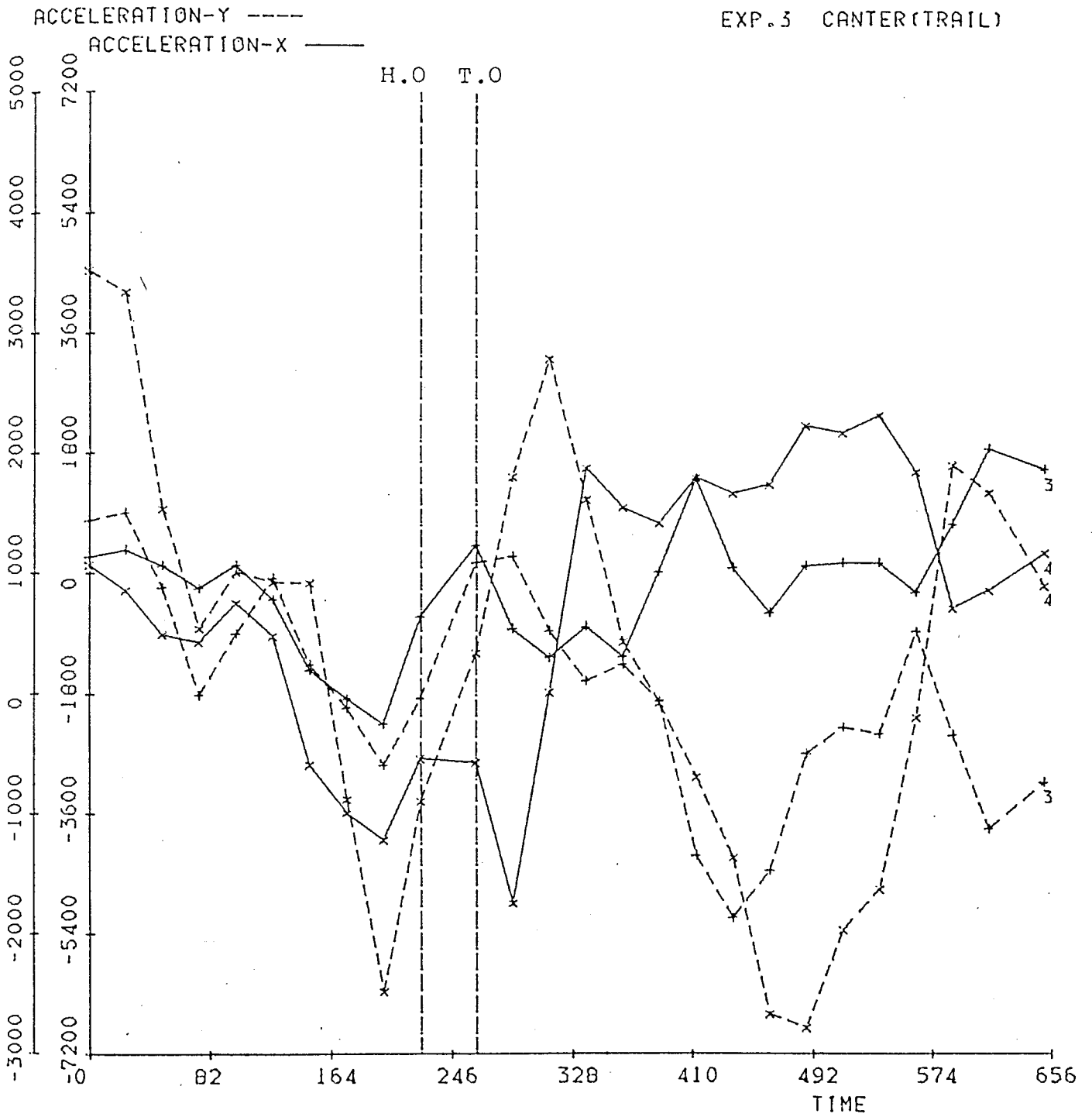


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 131

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP. 3 CANTER (TRAIL)

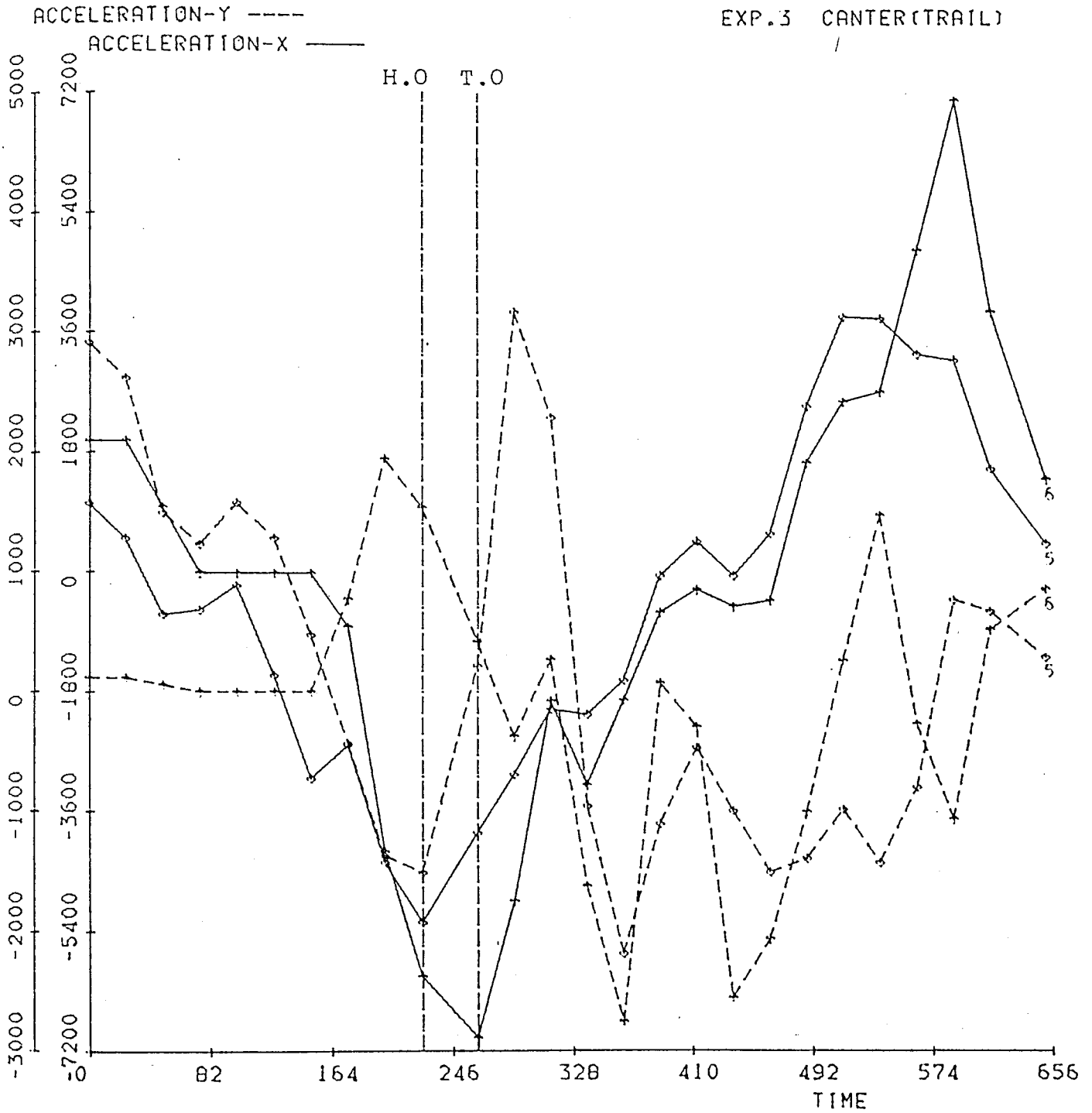


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 132

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP.3 CANTER(TRAIL)
/



6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 133

ANGLE - TIME

TEST:
 CODE: CASE 1. LF
 EXP. 3 CANTER (TRAIL)

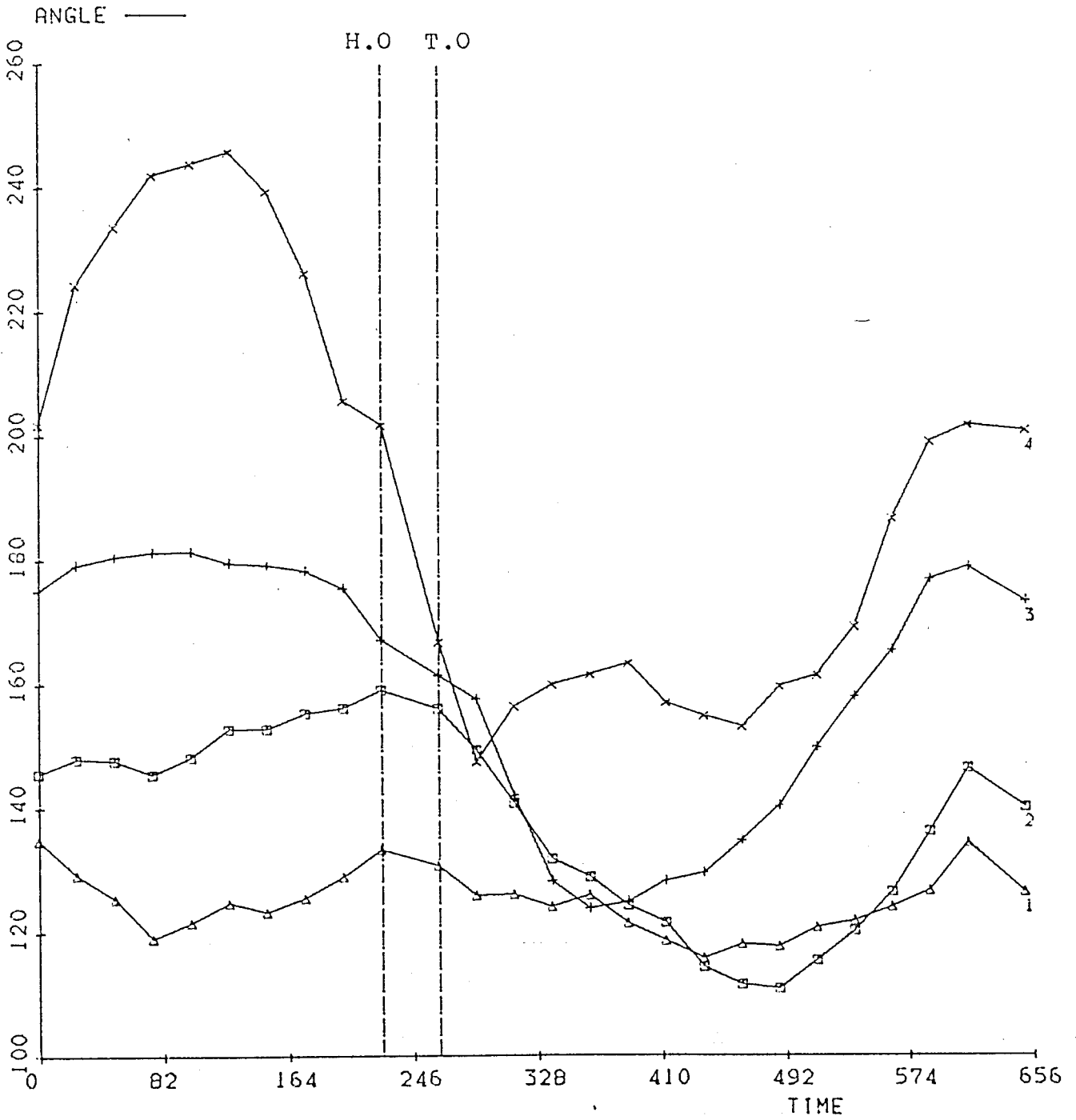
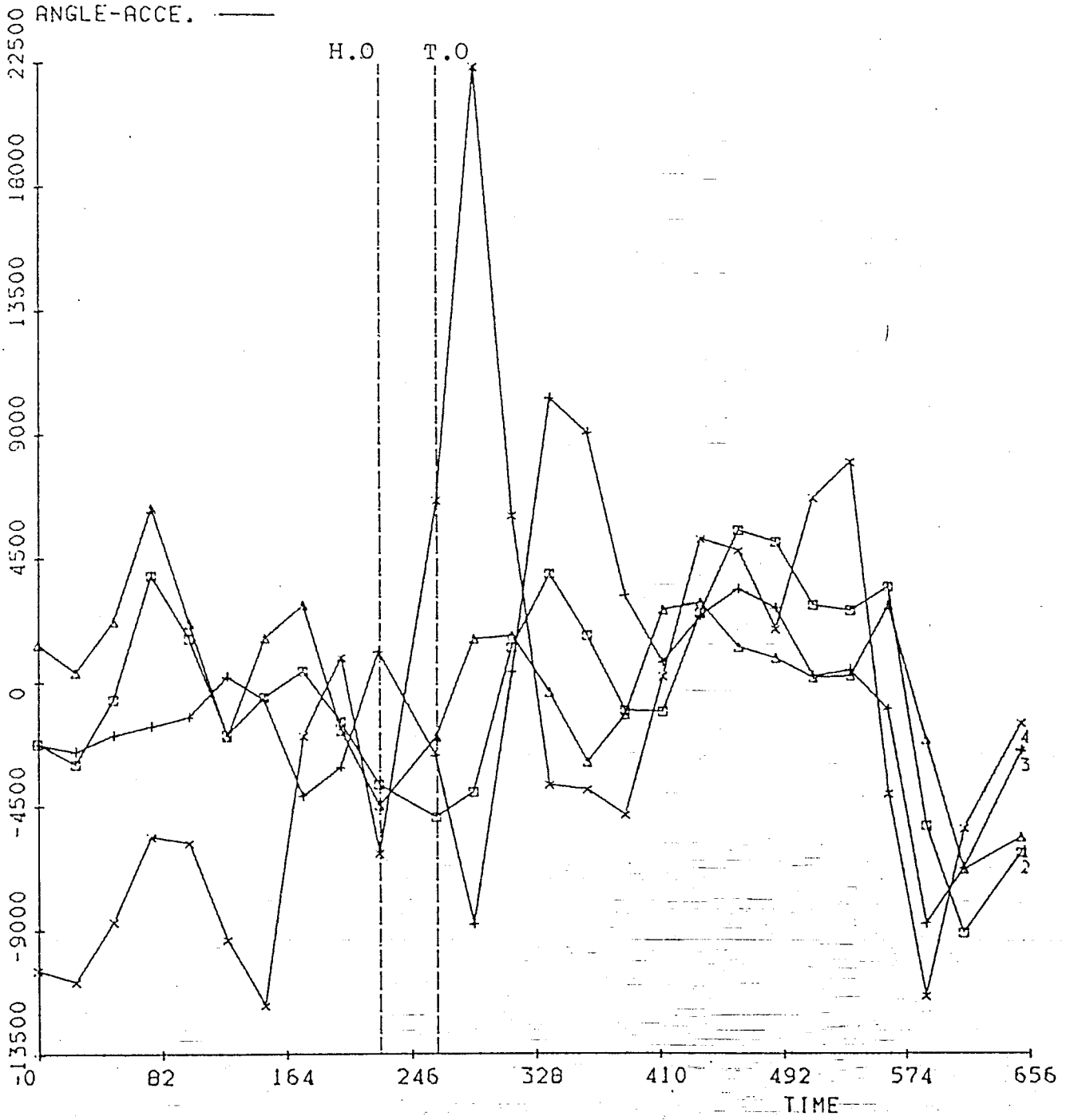


Fig. 134

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 3 CENTER (TRAIL)



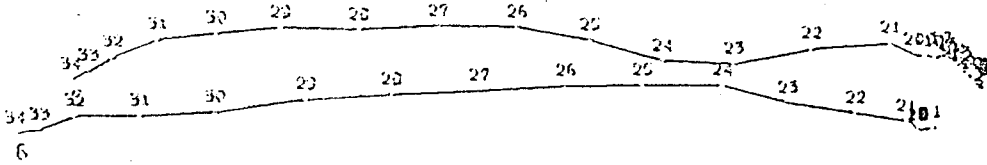
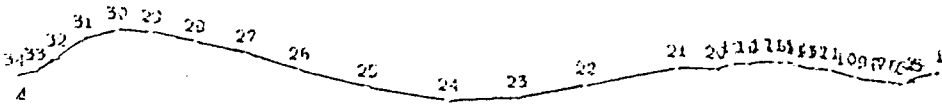
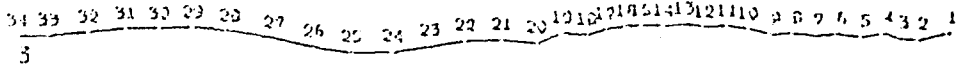
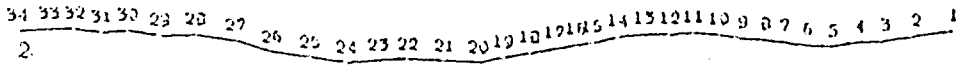
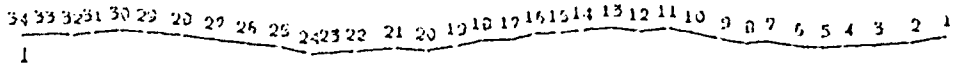
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 135

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2 LF
EXP. 3 WALK



30.720

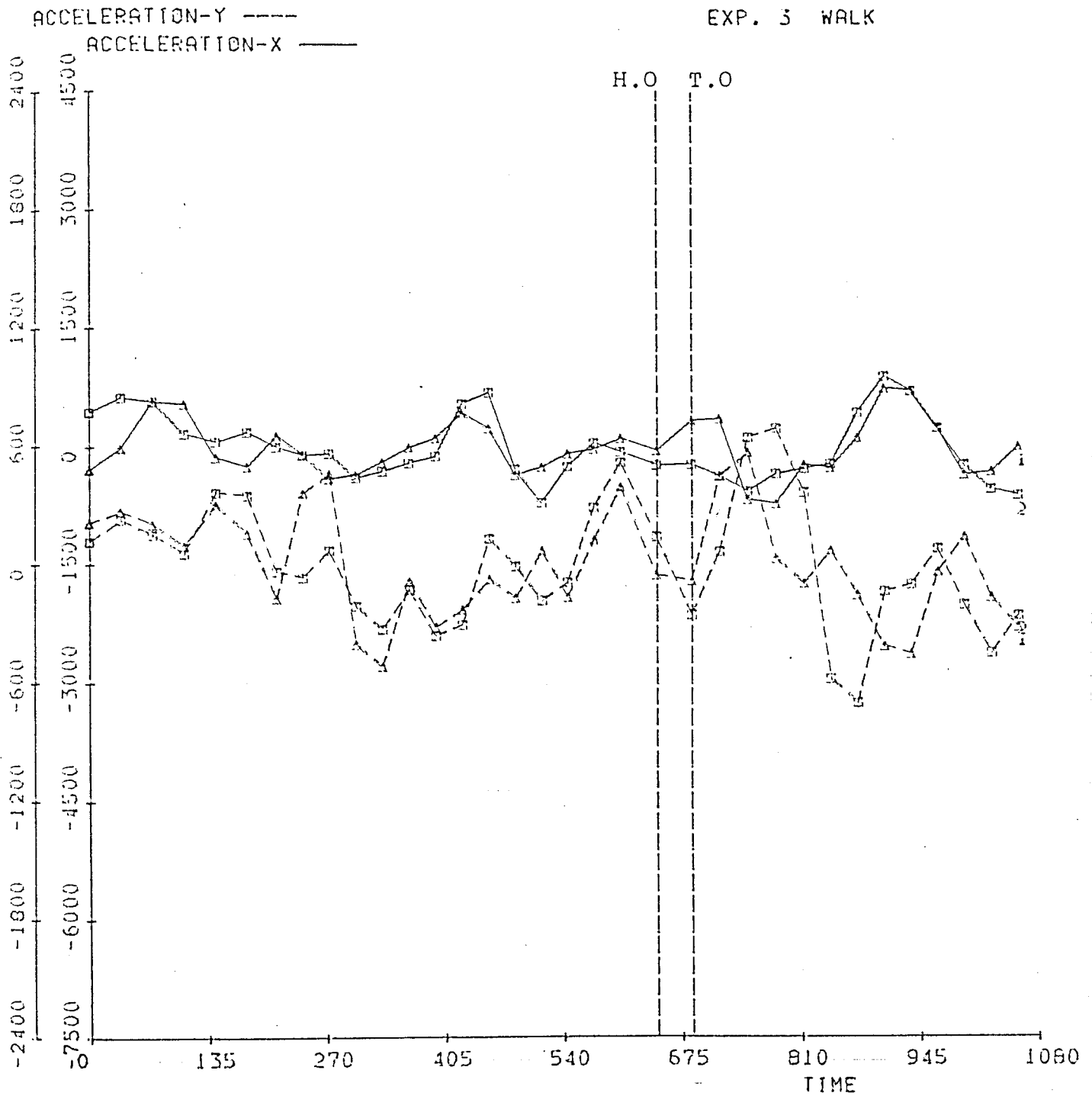
6 POINTS/FRAME

34 FRAMES

Fig. 136

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 2 LF
EXP. 3 WALK

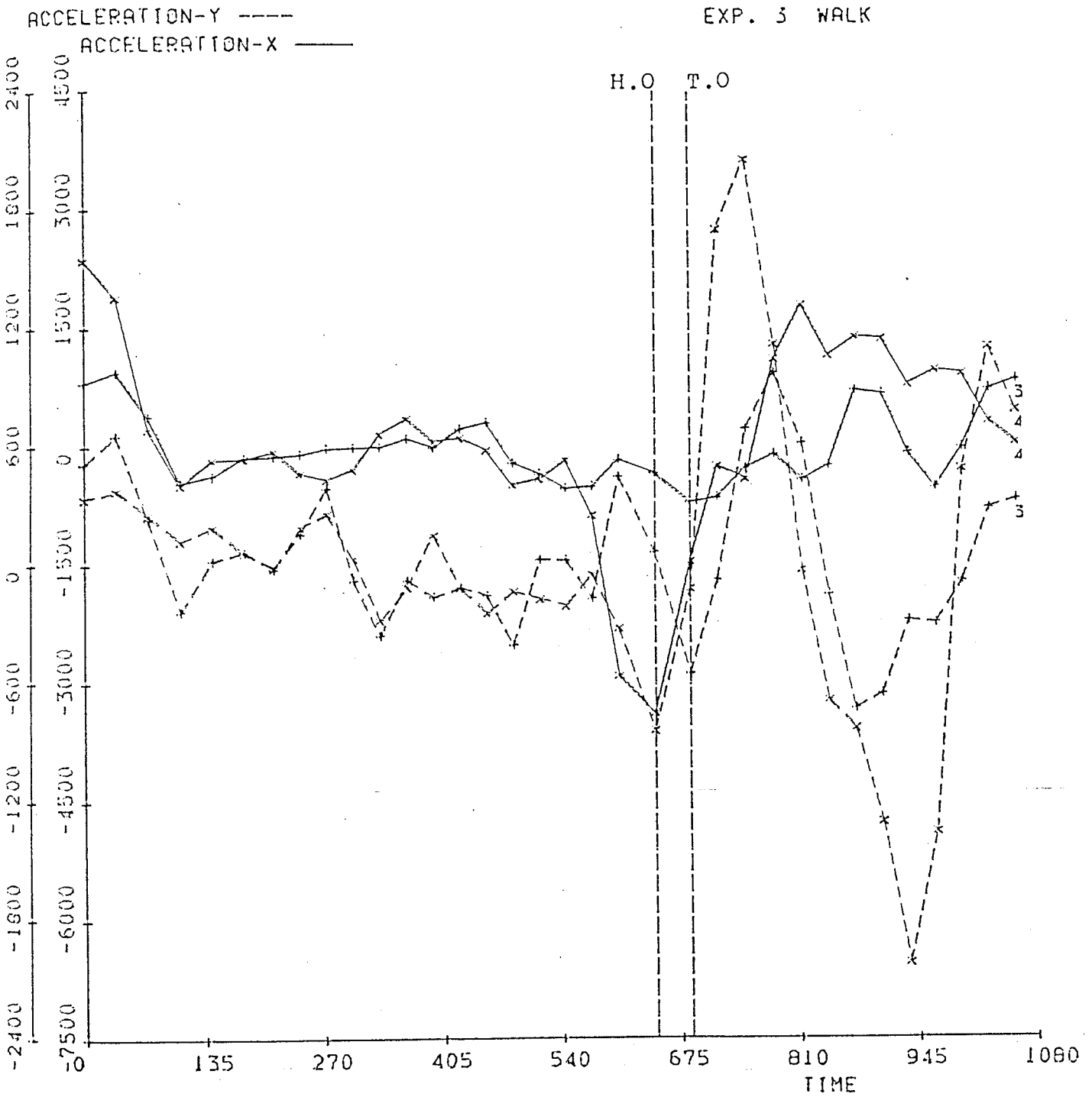


6 POINTS/FRAME 34 FRAMES

Fig. 137

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE>CASE 2 LF
EXP. 3 WALK



6 POINTS/FRAME 34 FRAMES

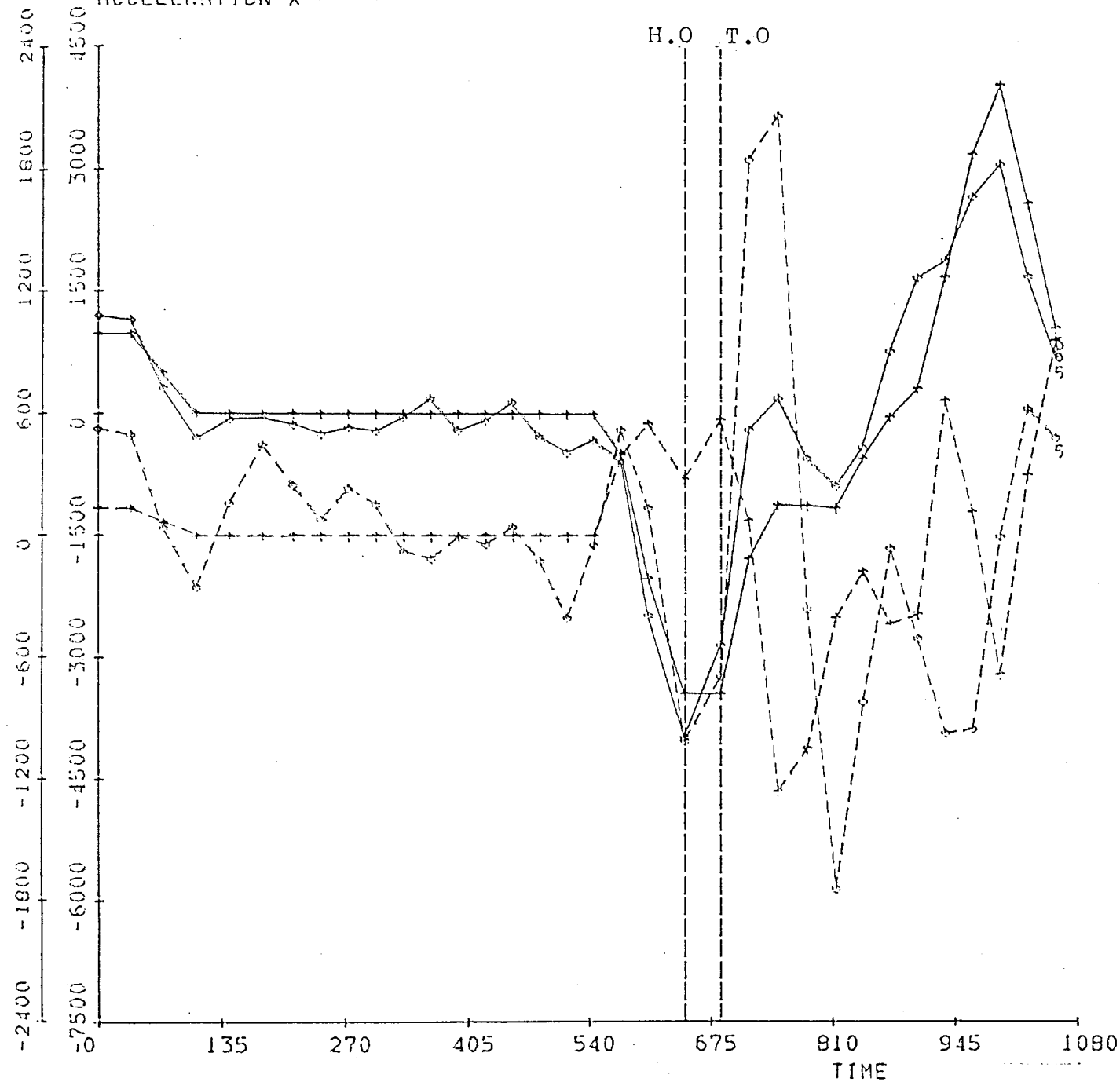
Fig. 138

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2 LF
EXP. 3 WALK

ACCELERATION-Y ----

ACCELERATION-X ———



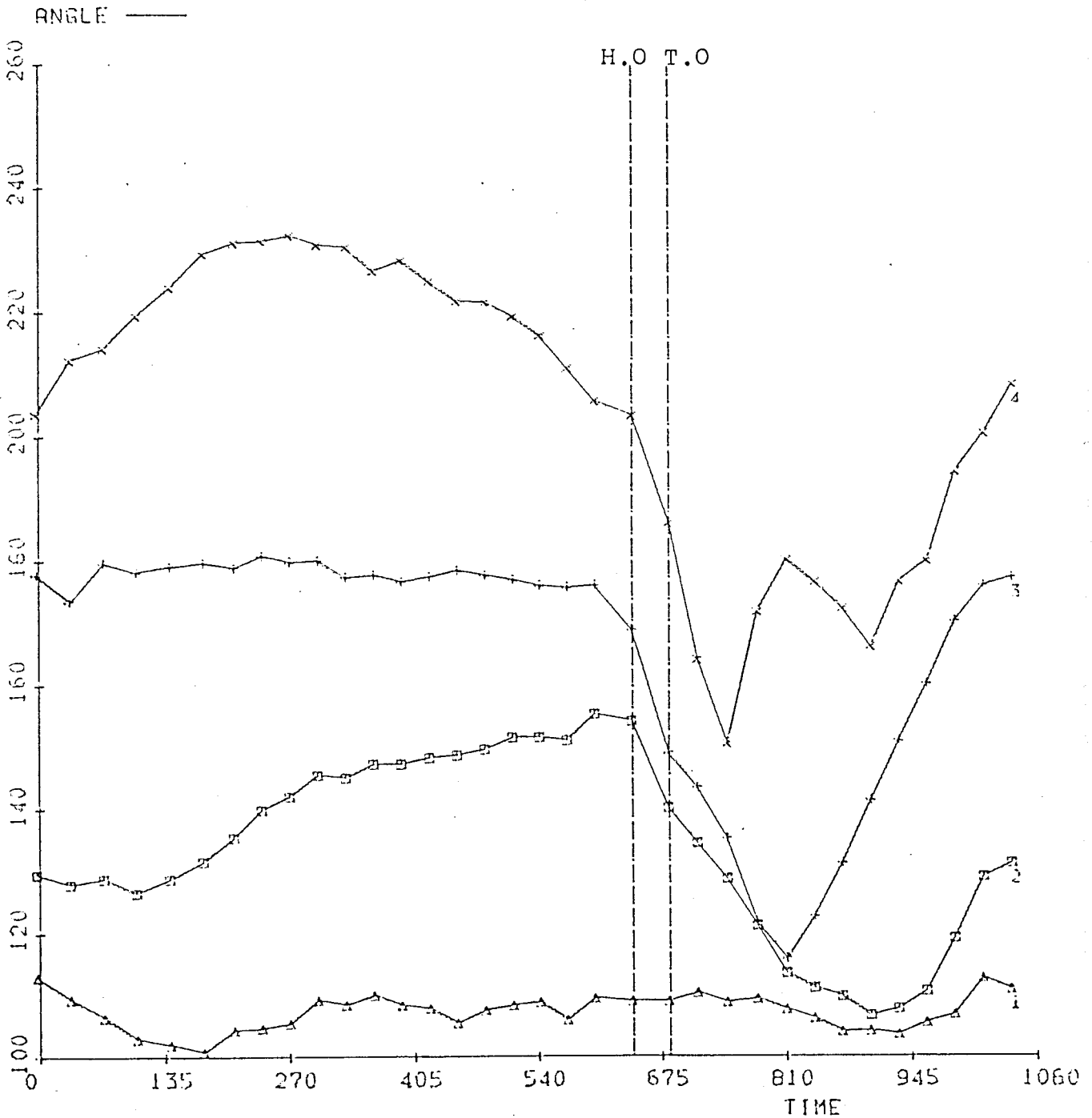
6 POINTS/FRAME

34 FRAMES

Fig. 139

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2 LF
EXP. 3 WALK

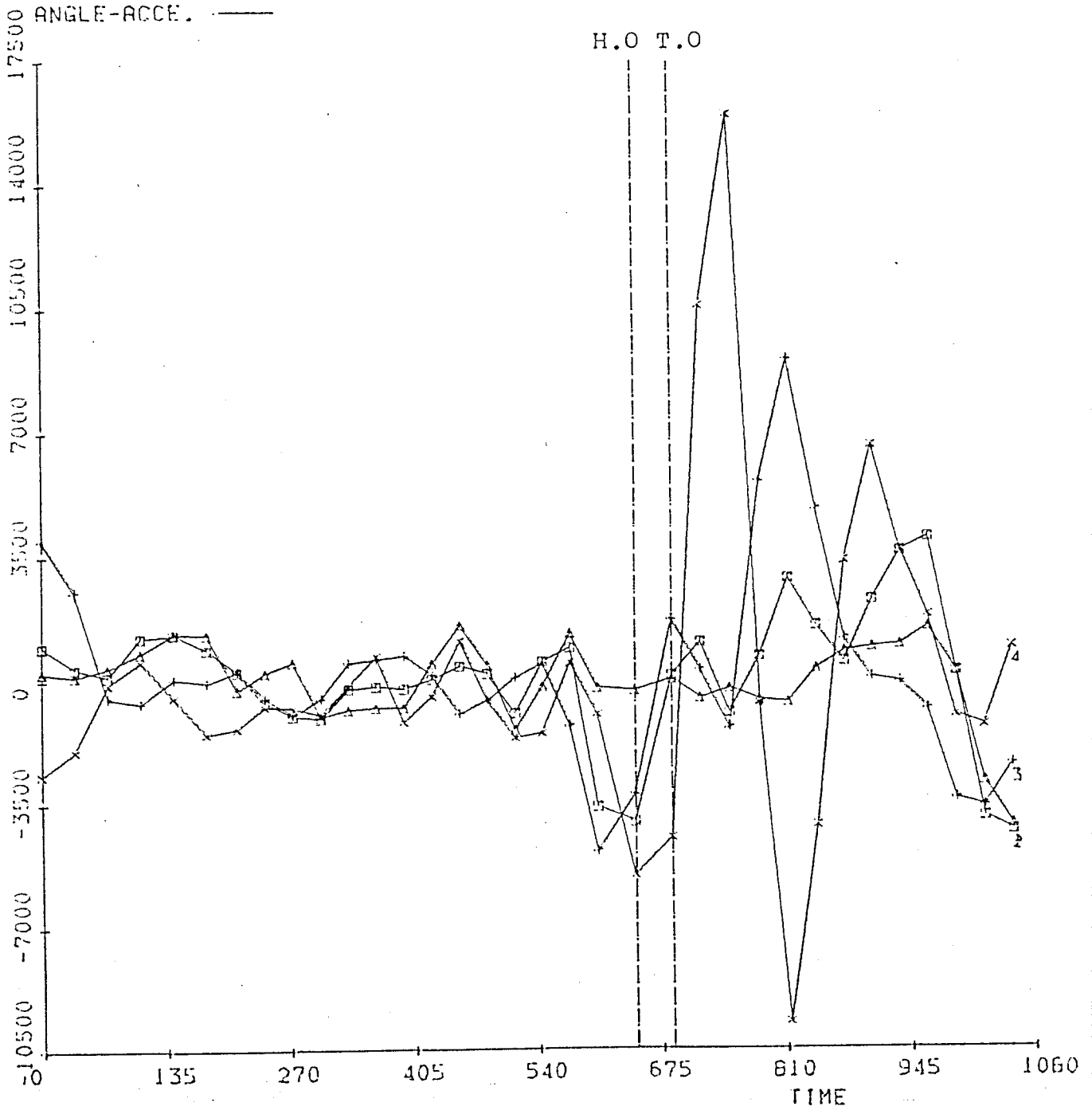


6 POINTS/FRAME 34 FRAMES

Fig. 140

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2 LF
EXP. 3 WALK

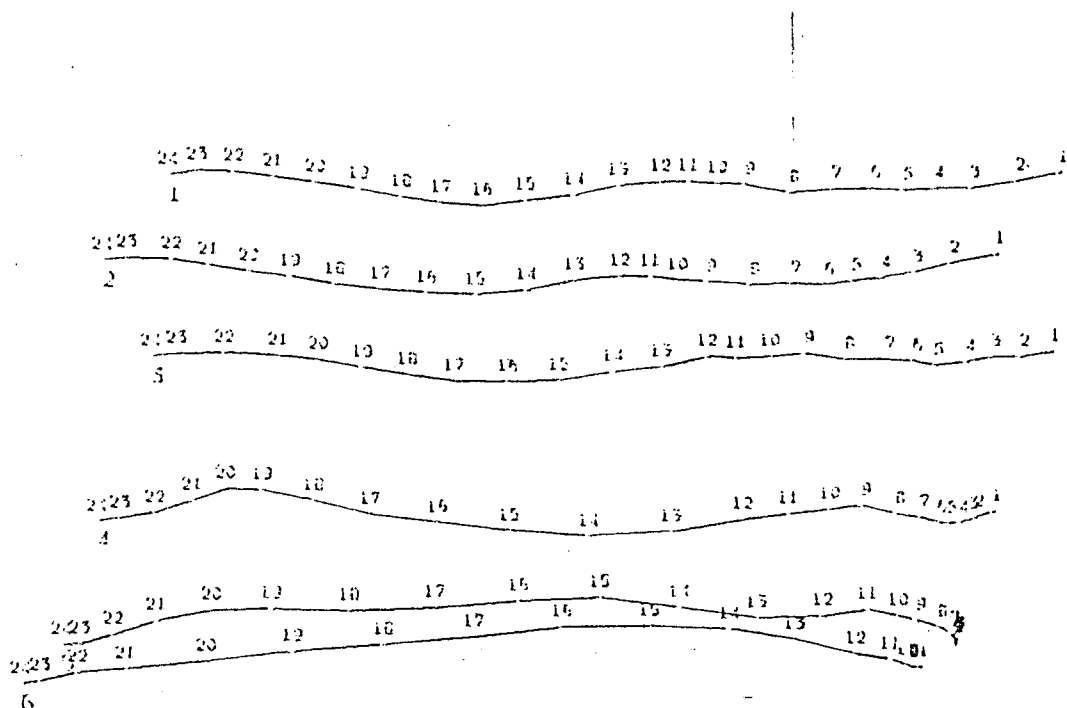


6 POINTS/FRAME 34 FRAMES

Fig. 141

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 5 TROT



30.720

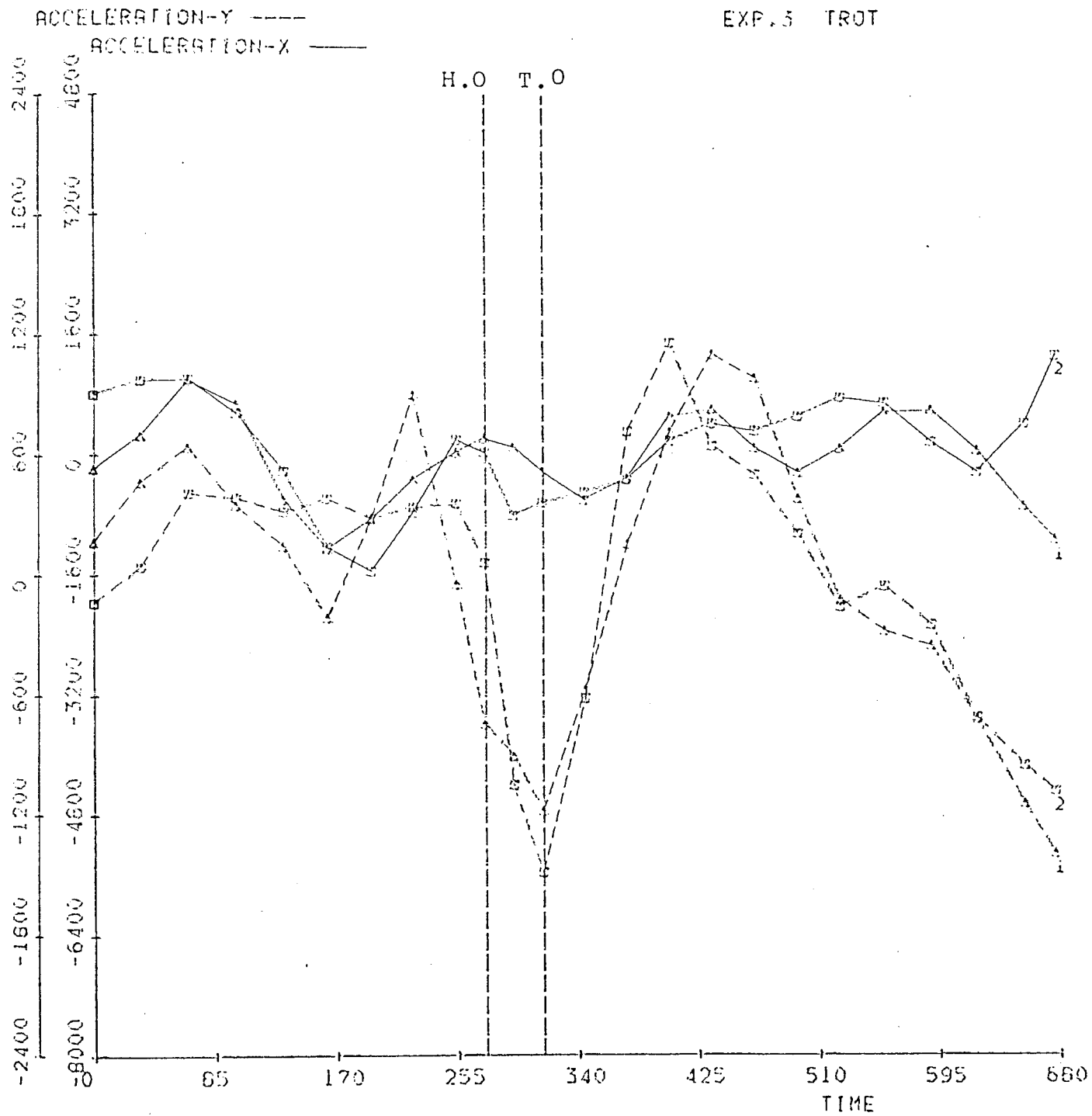
6 POINTS/FRAME

24 FRAMES

Fig. 142

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 2. LF
EXP. 5 TROT

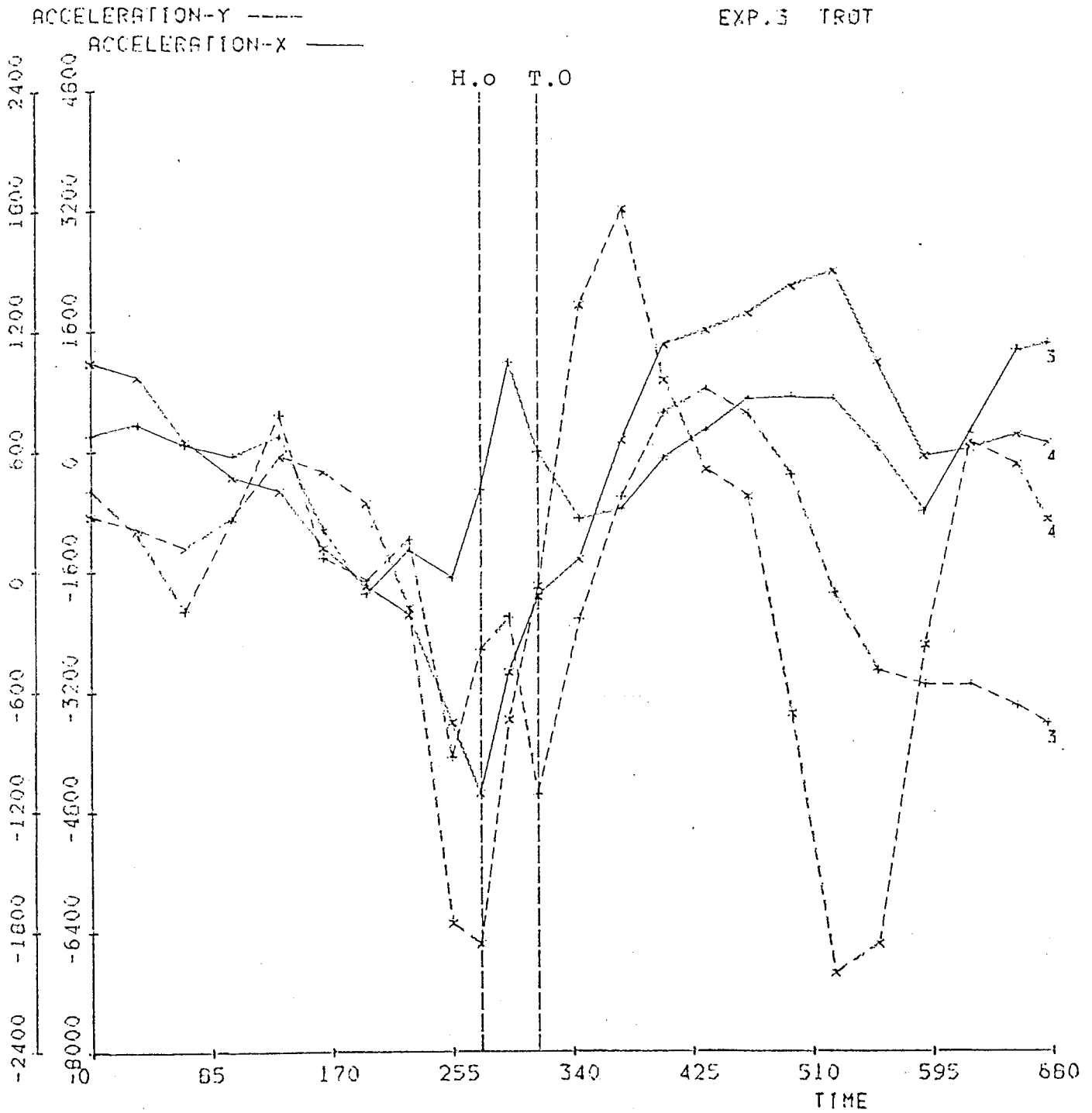


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 143

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 2, LF
EXP. 3 TROT

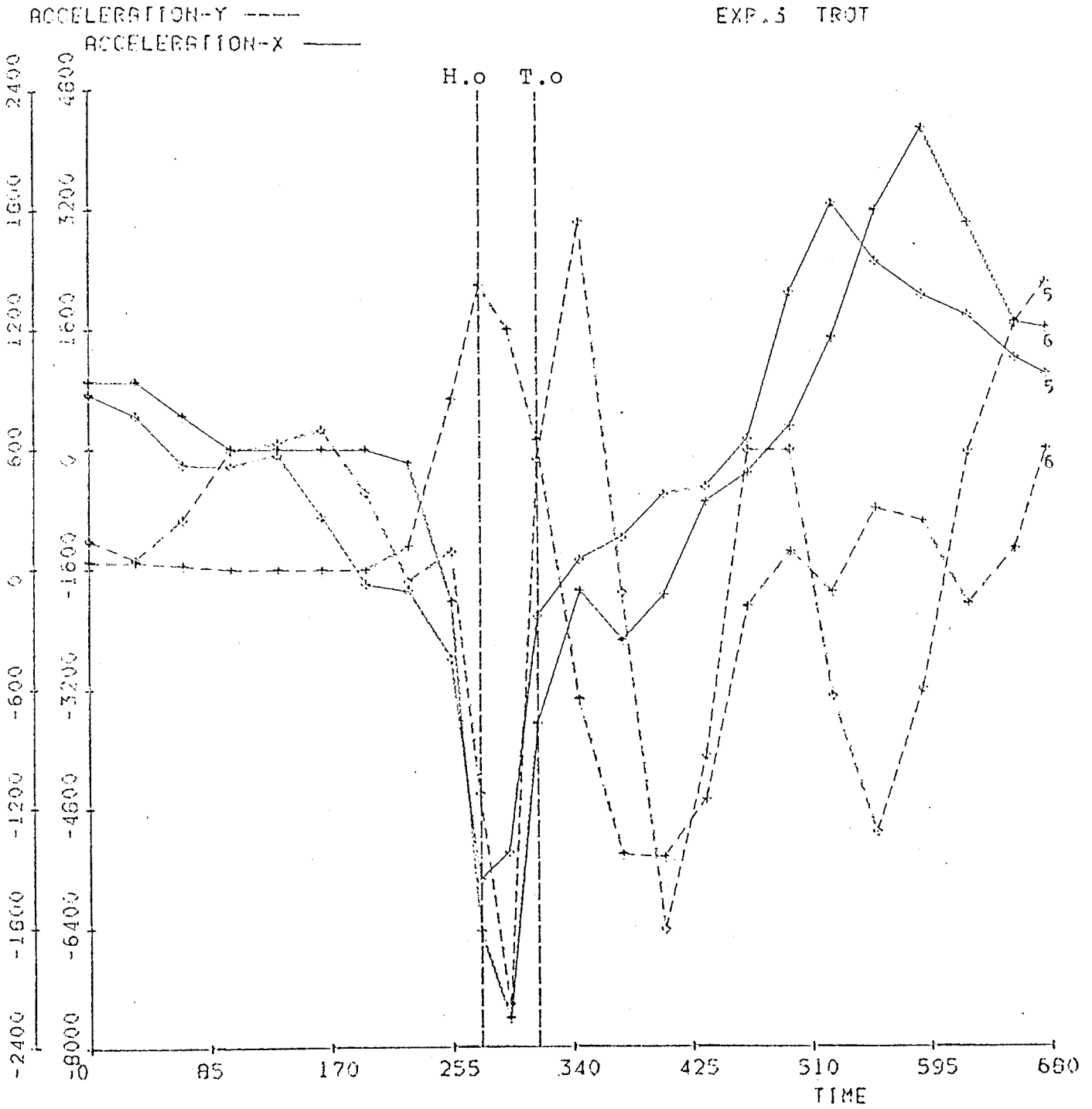


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 144

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 2, LF
EXP. 5 TROT

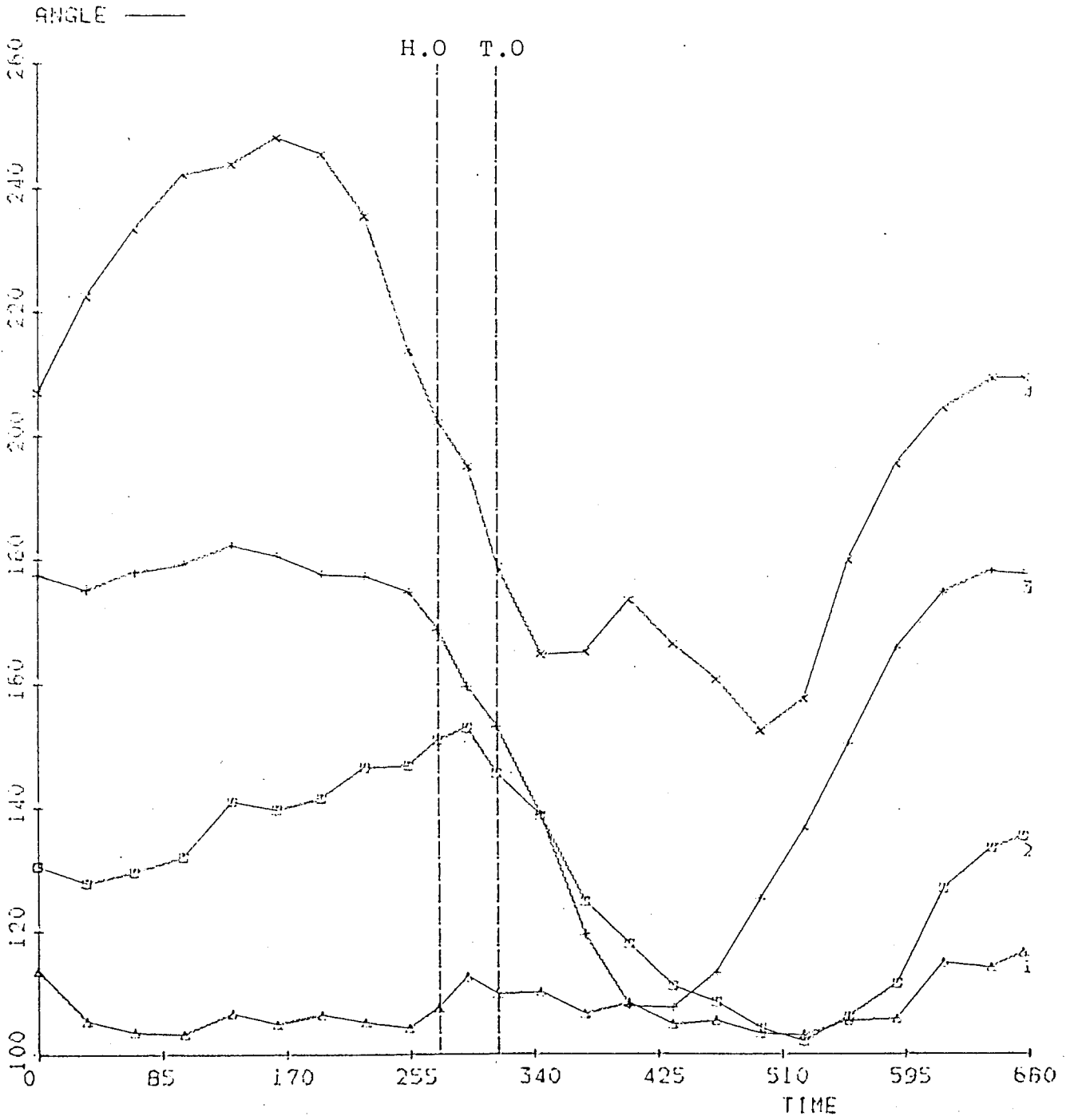


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 145

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 5 TROT

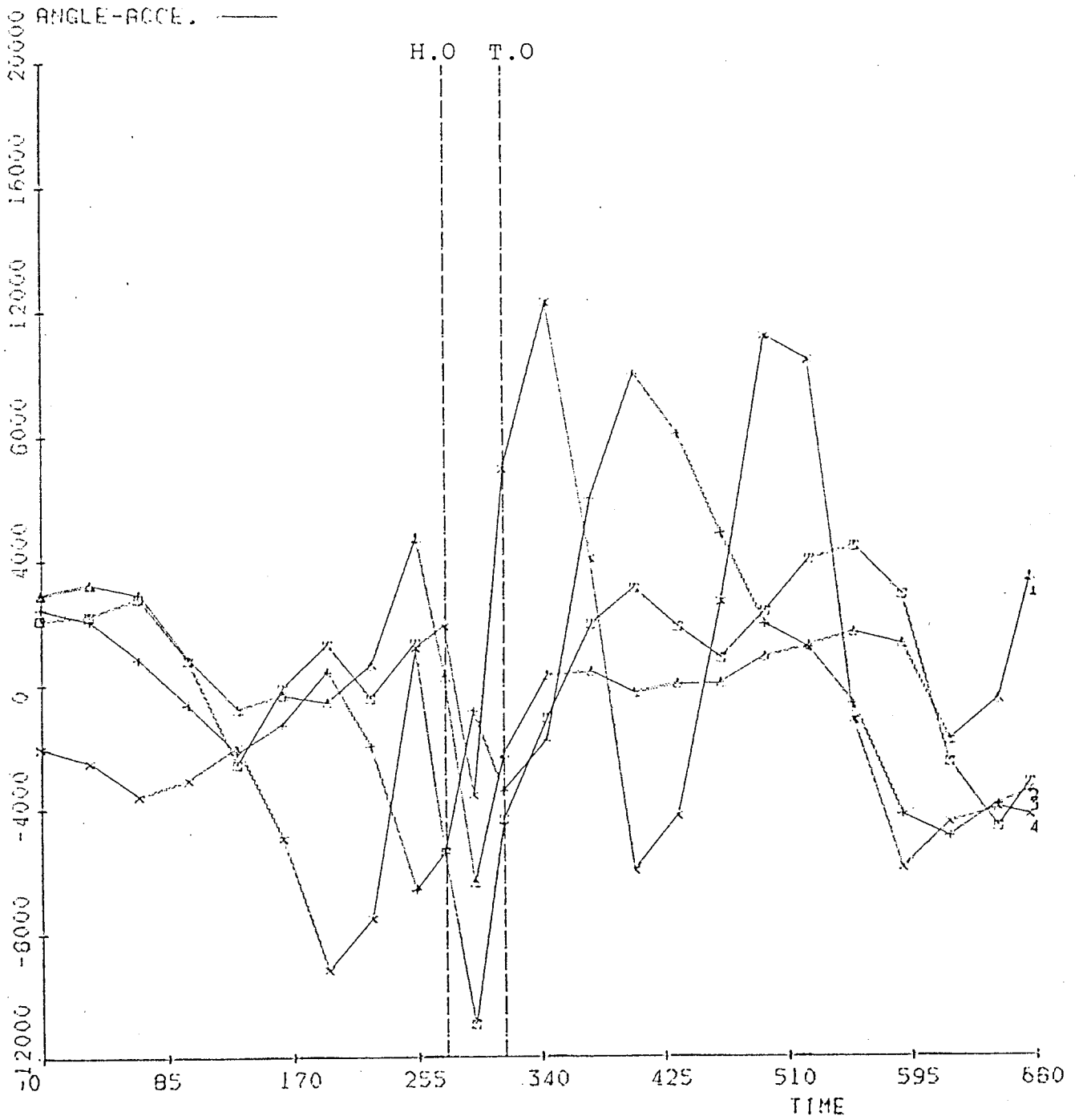


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 146

ANGLE - TIME

TEST:
CODE CASE 2. LF
EXP. 5 TROT

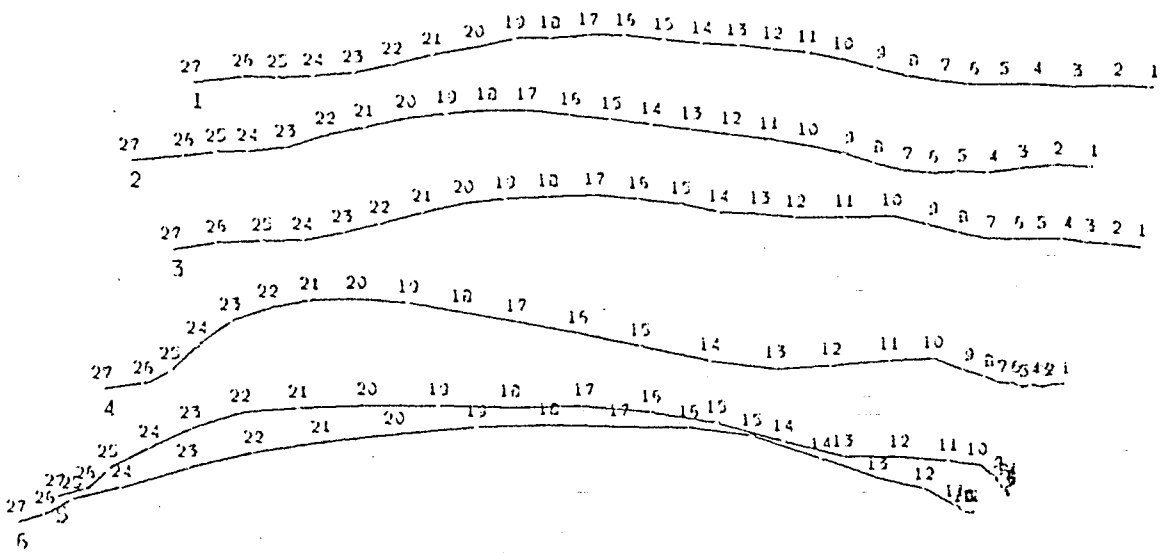


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 147

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (LEAD)



30.720

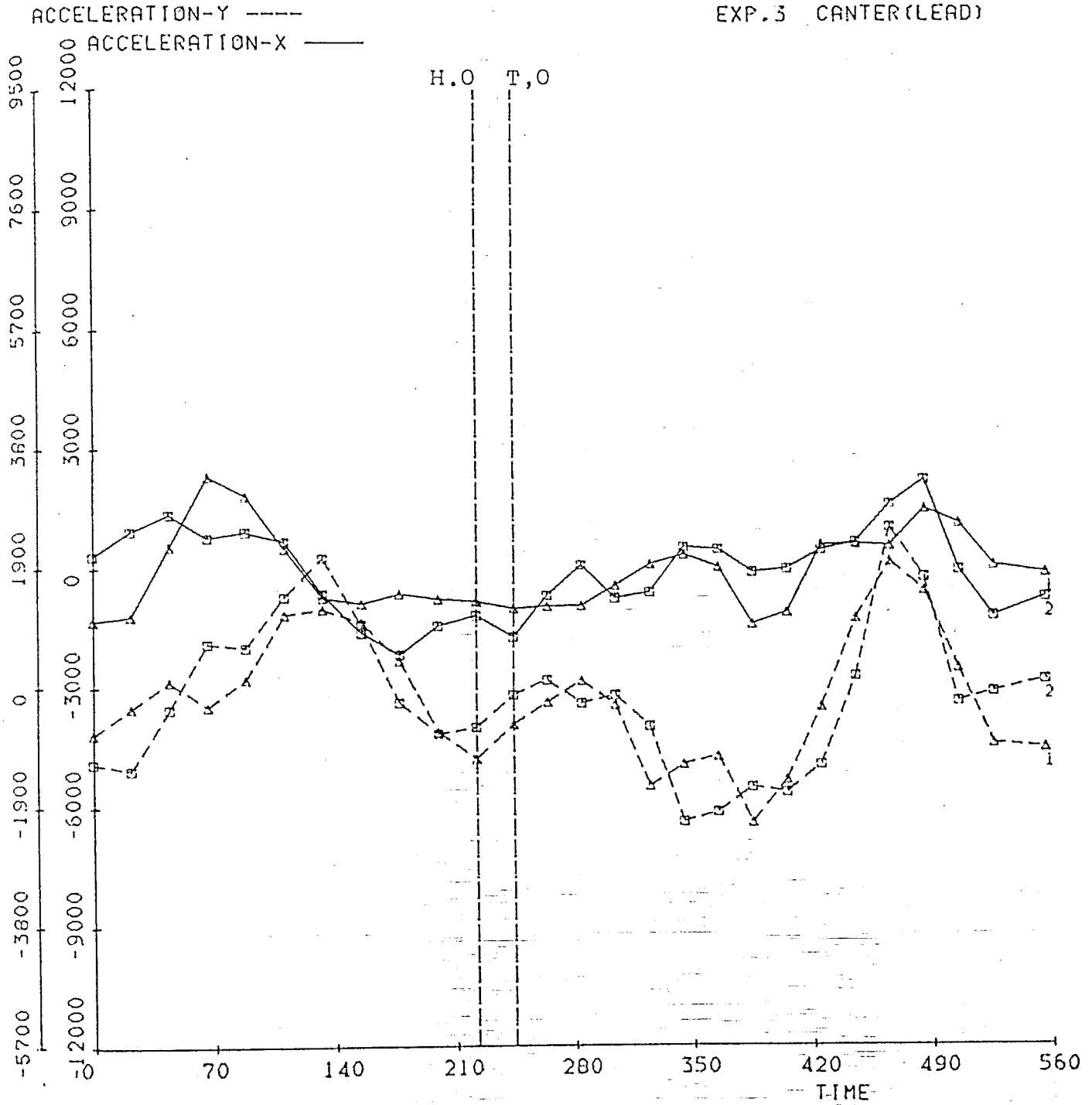
6 POINTS/FRAME

27 FRAMES

Fig. 148

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (LEAD)



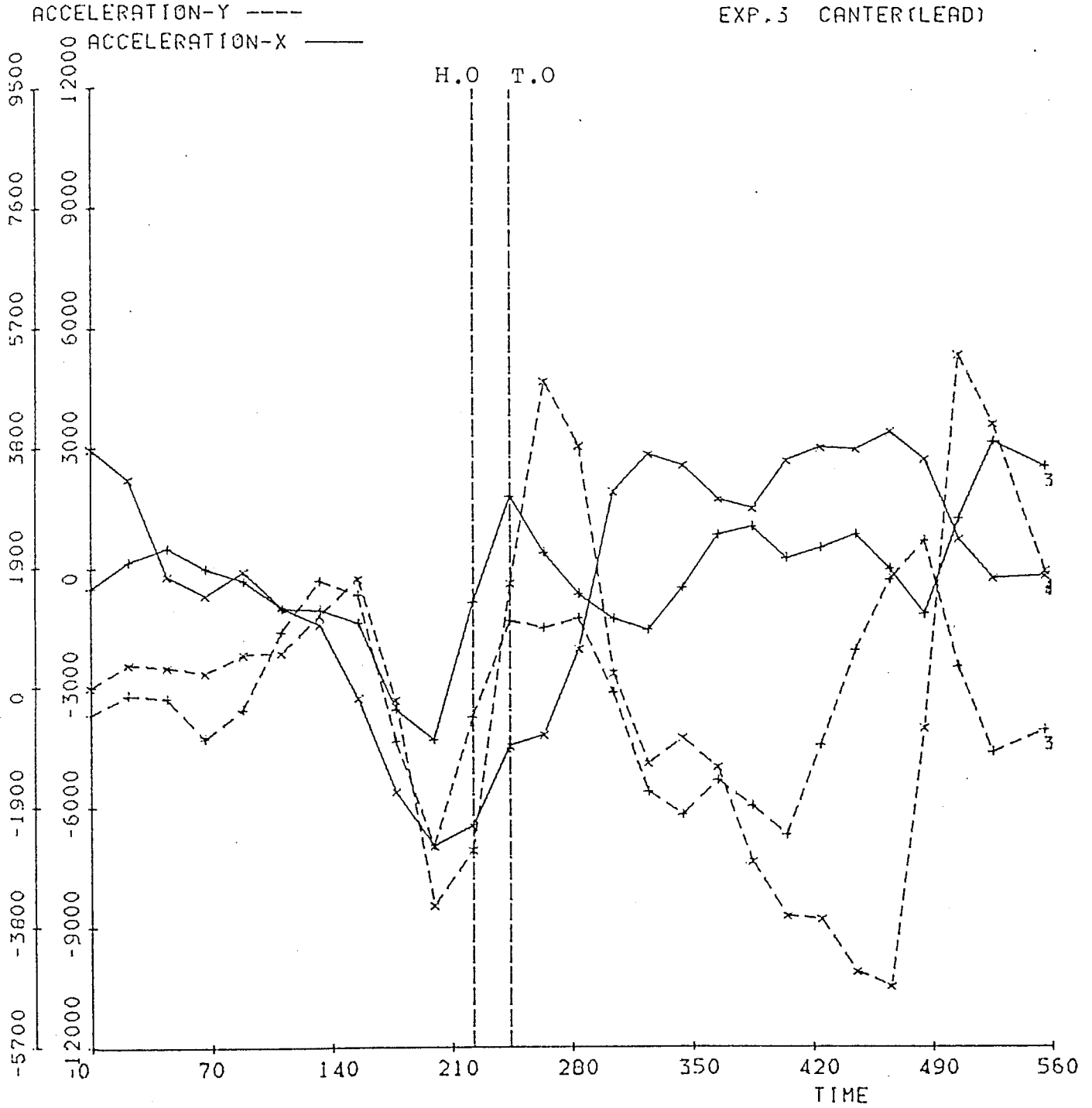
6 POINTS/FRAME

27 FRAMES

Fig. 149

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (LEAD)



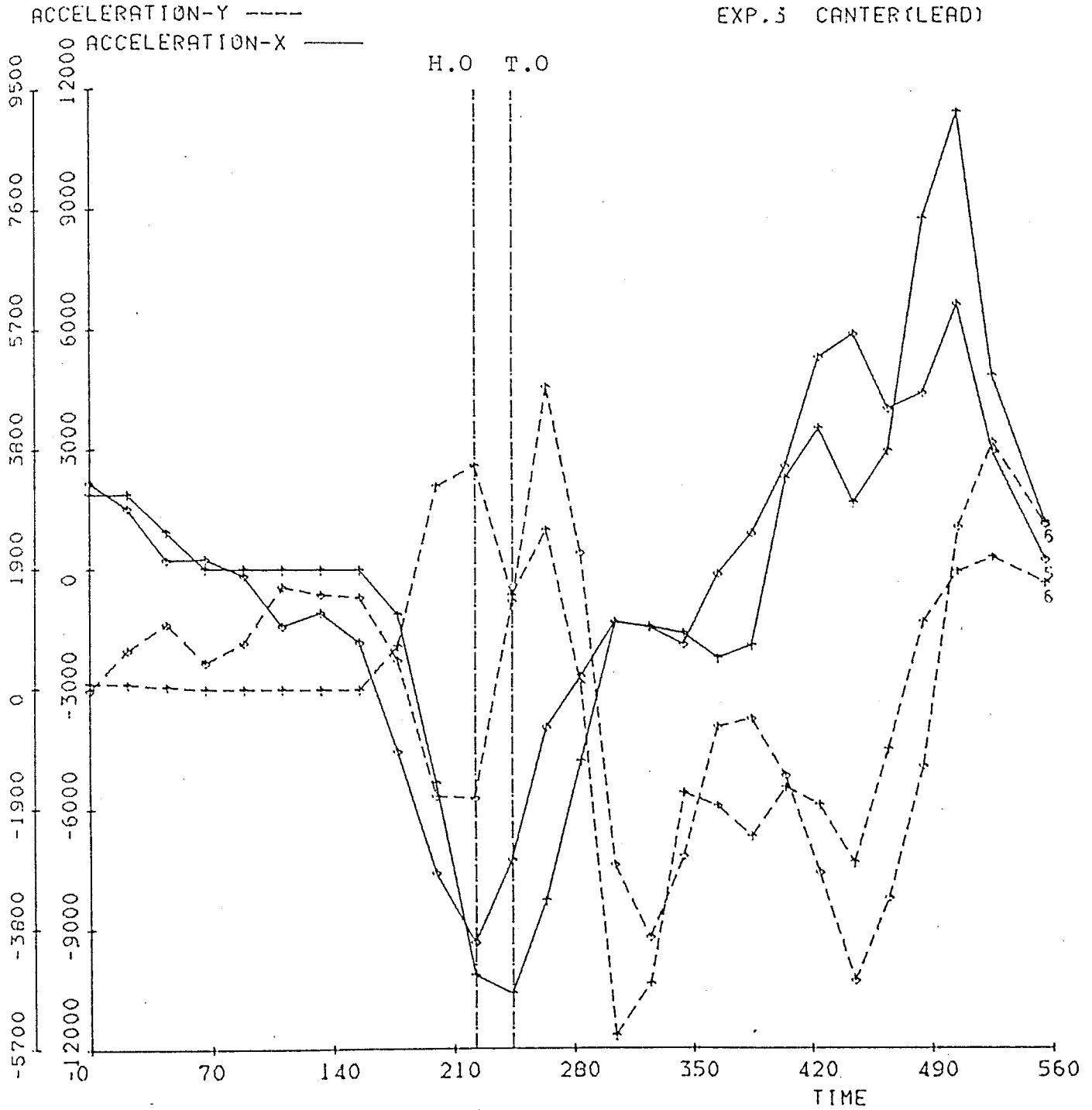
6 POINTS/FRAME

27 FRAMES

Fig. 150

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (LEAD)

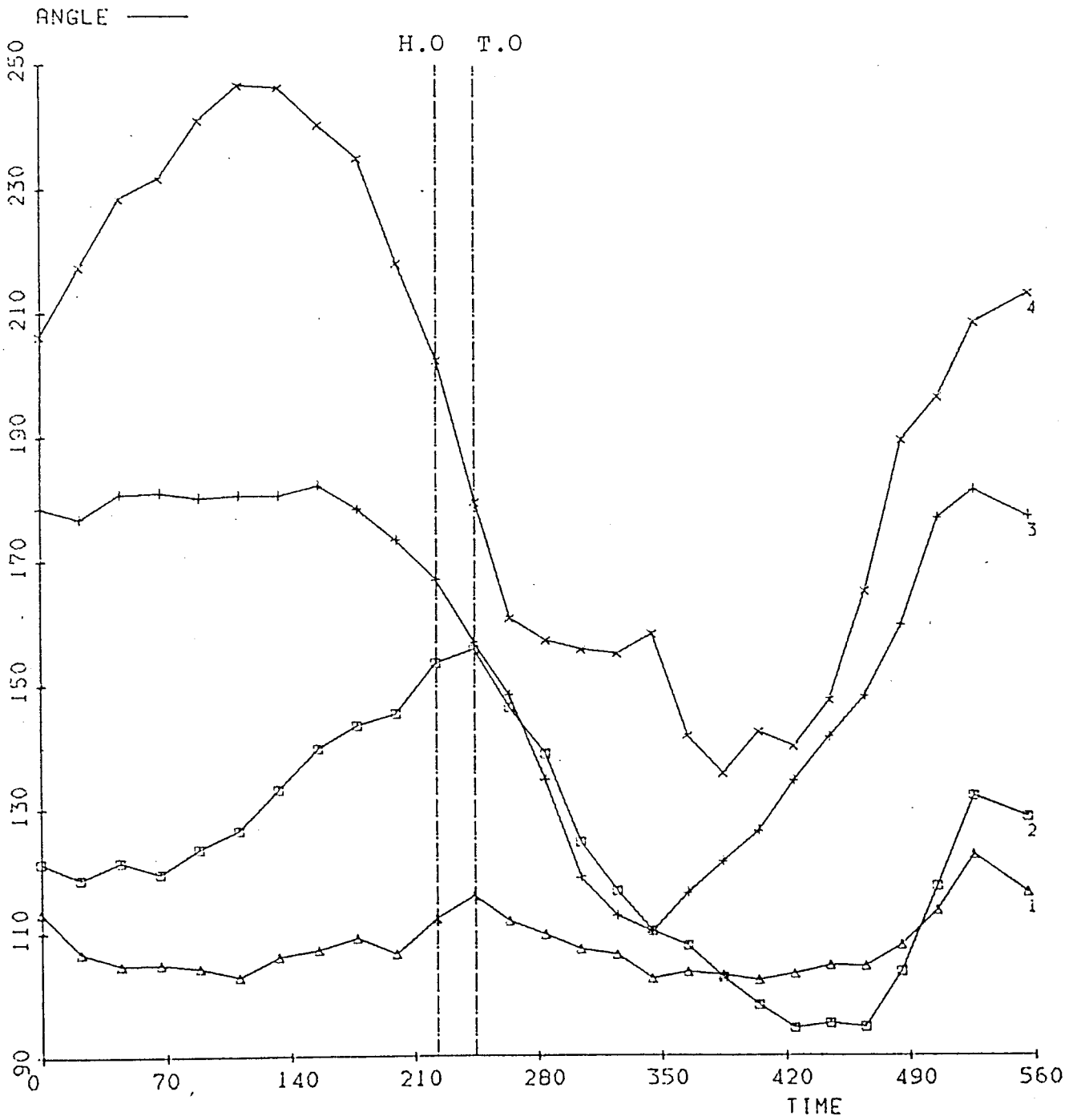


6 POINTS/FRAME • 27 FRAMES

Fig. 151

ANGLE - TIME

TEST:
CODE CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (LEAD)



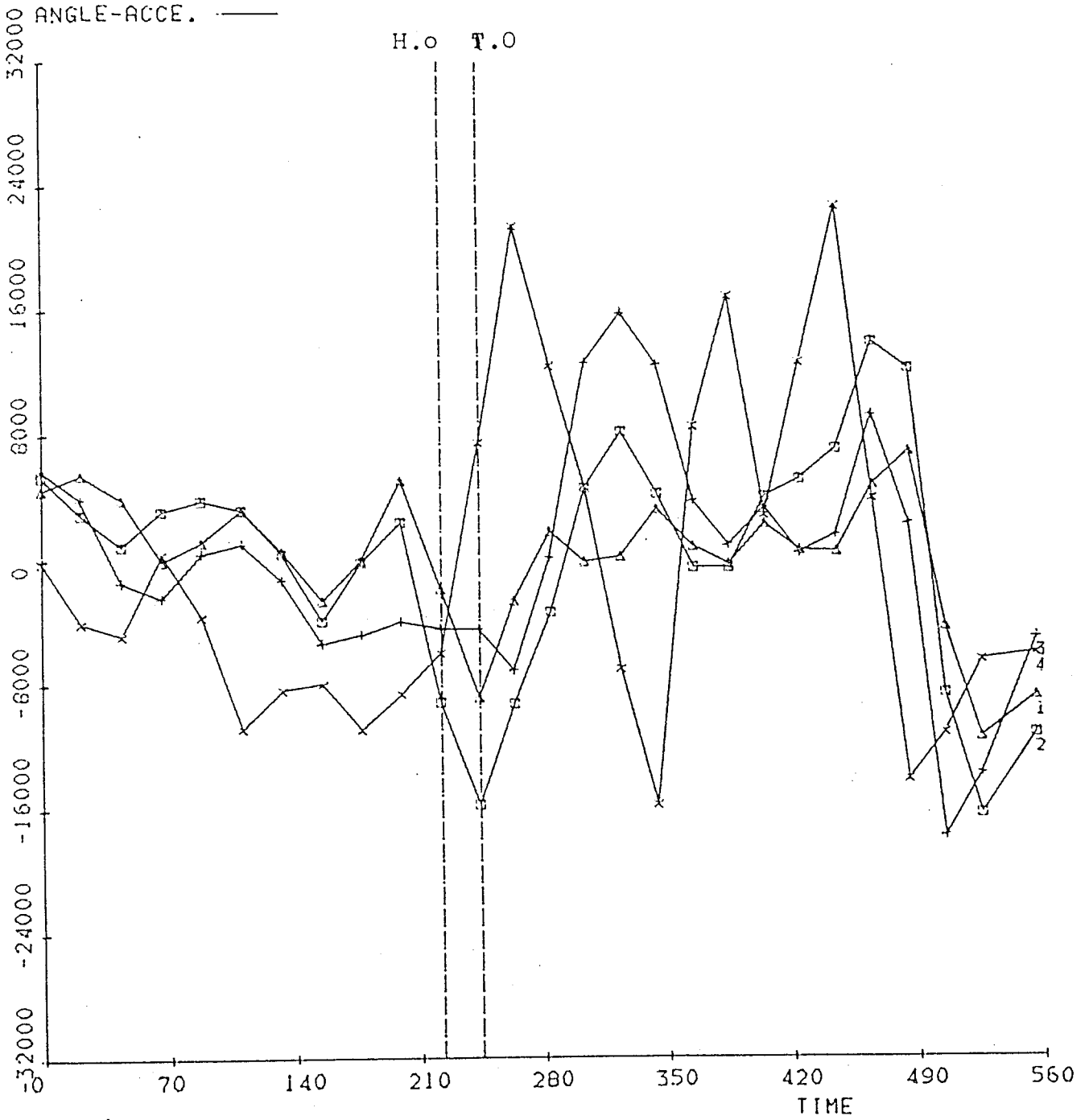
6 POINTS/FRAME

27 FRAMES

Fig. 152

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (LEAD)

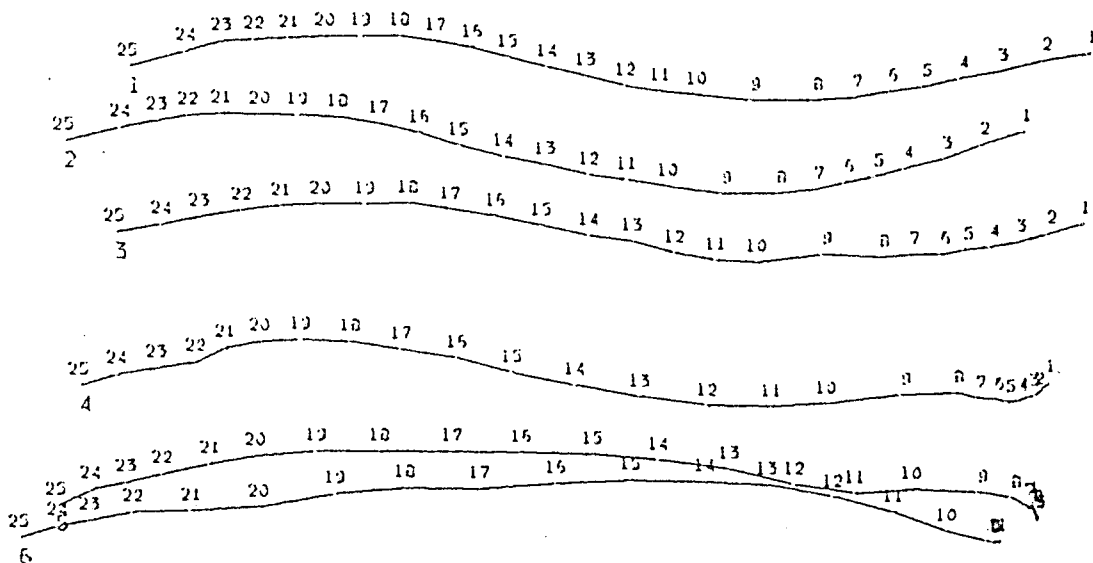


6 POINTS/FRAME 27 FRAMES

Fig. 153

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (TRAIL)



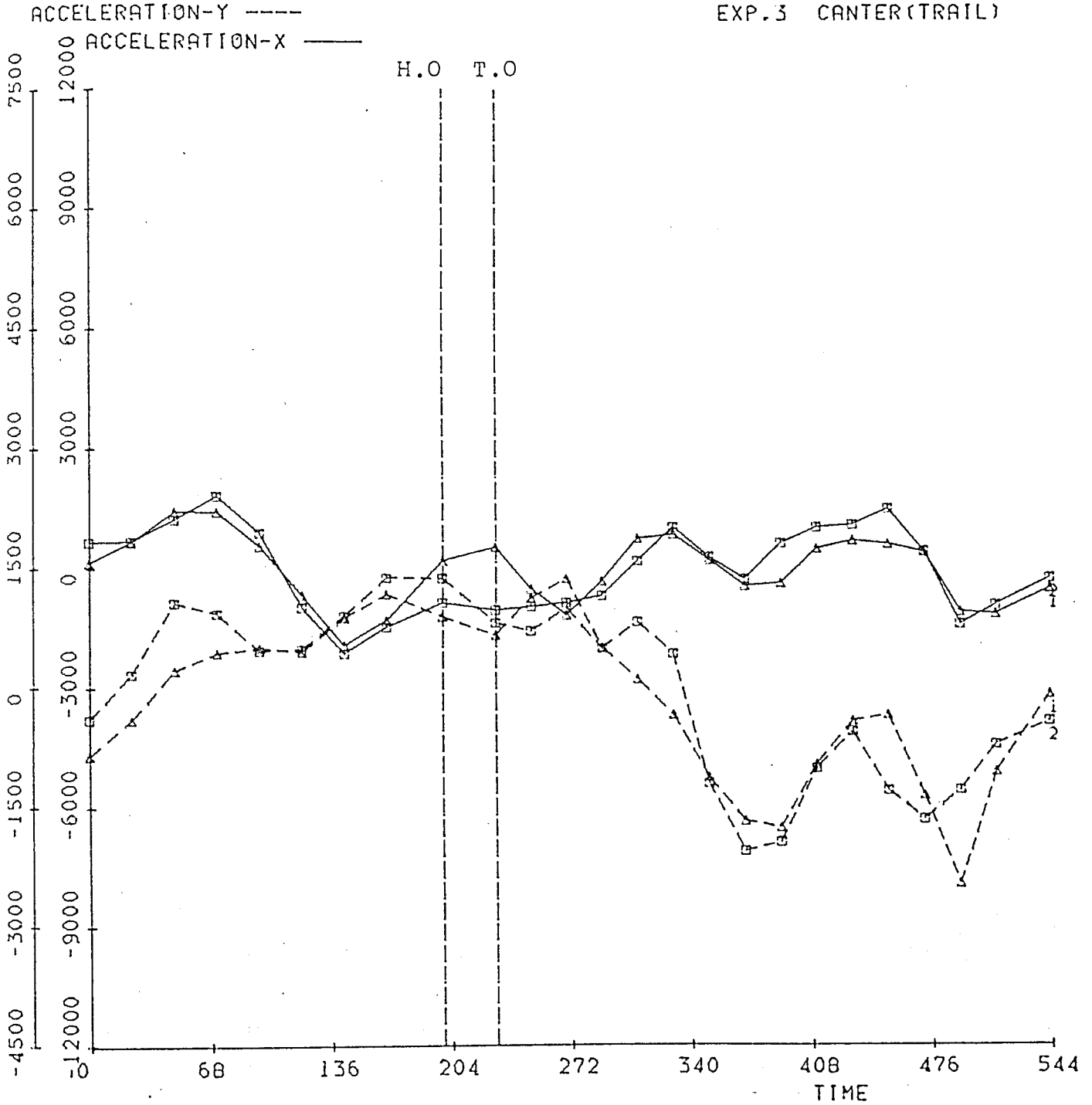
30.720

6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 154

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (TRAIL)

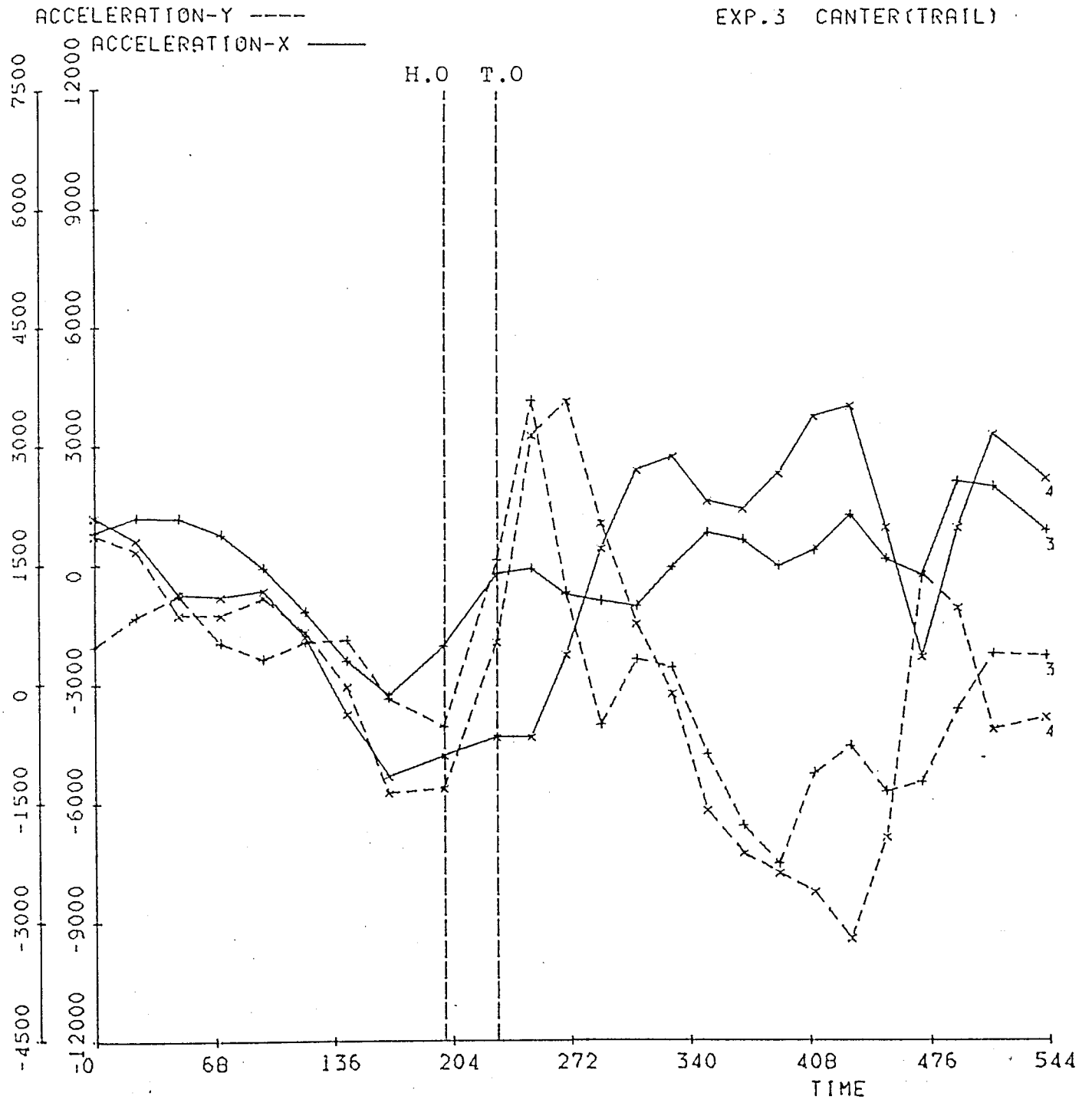


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 155

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (TRAIL)

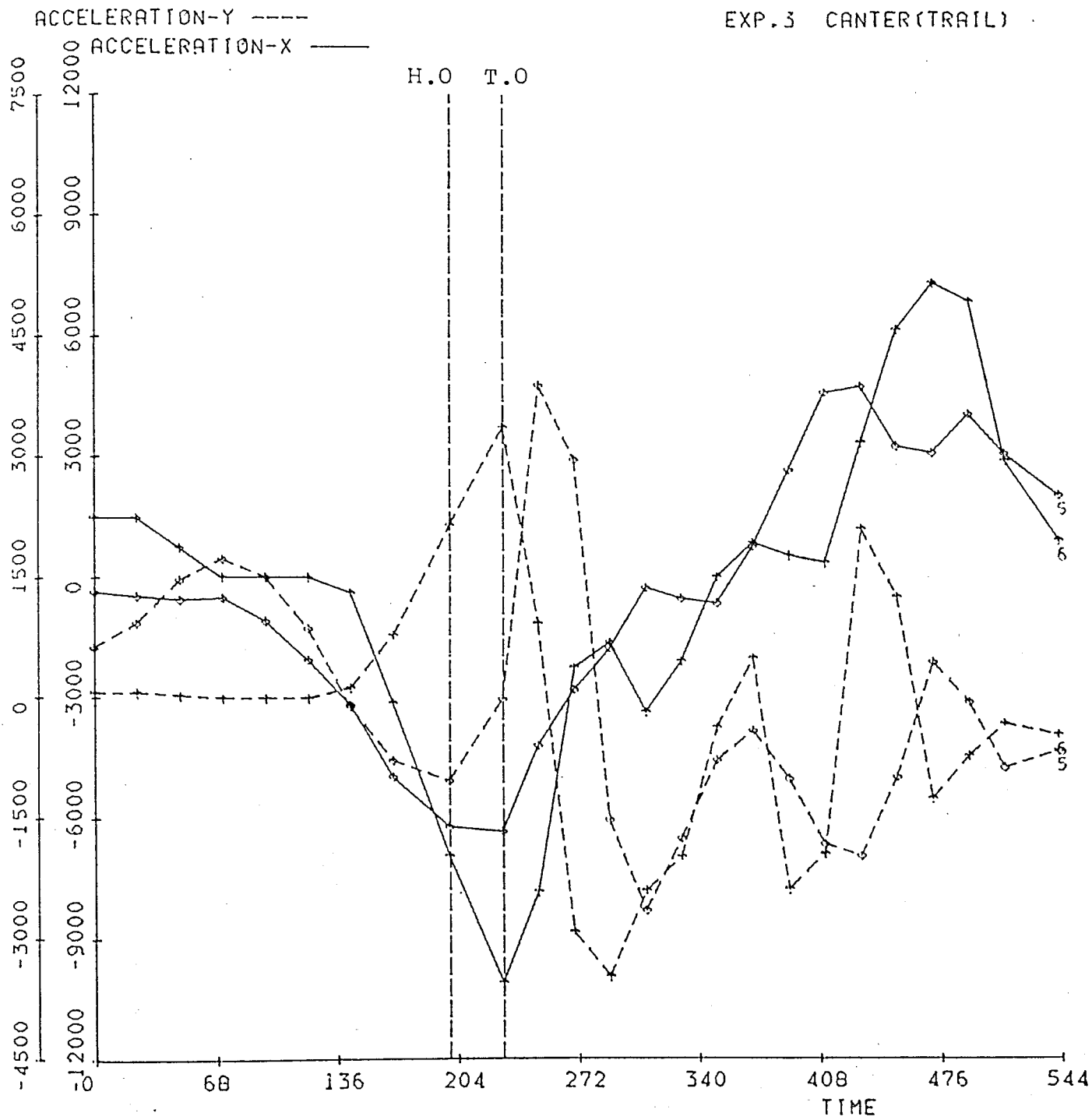


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 156

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (TRAIL)

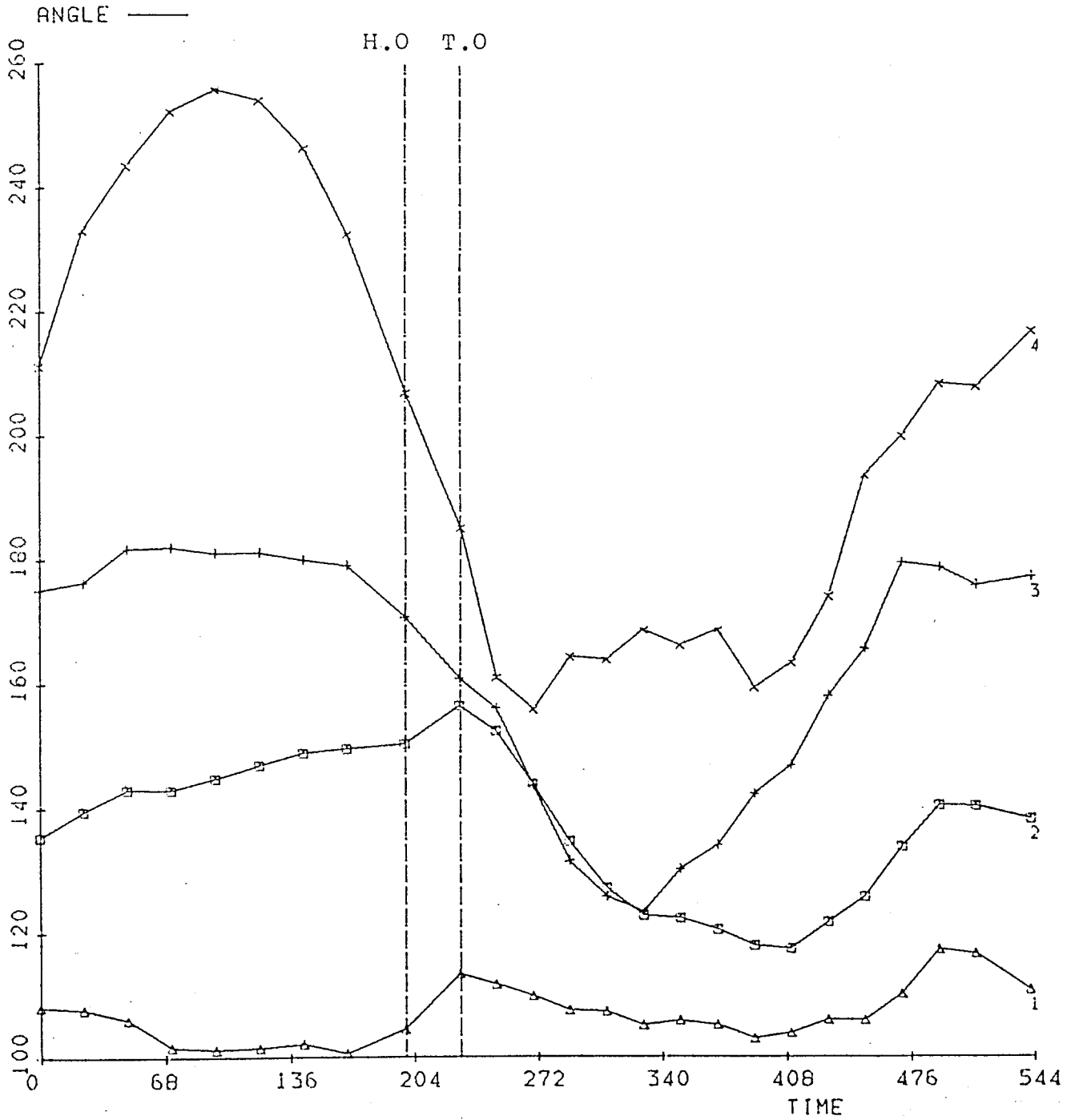


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 157

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (TRAIL)

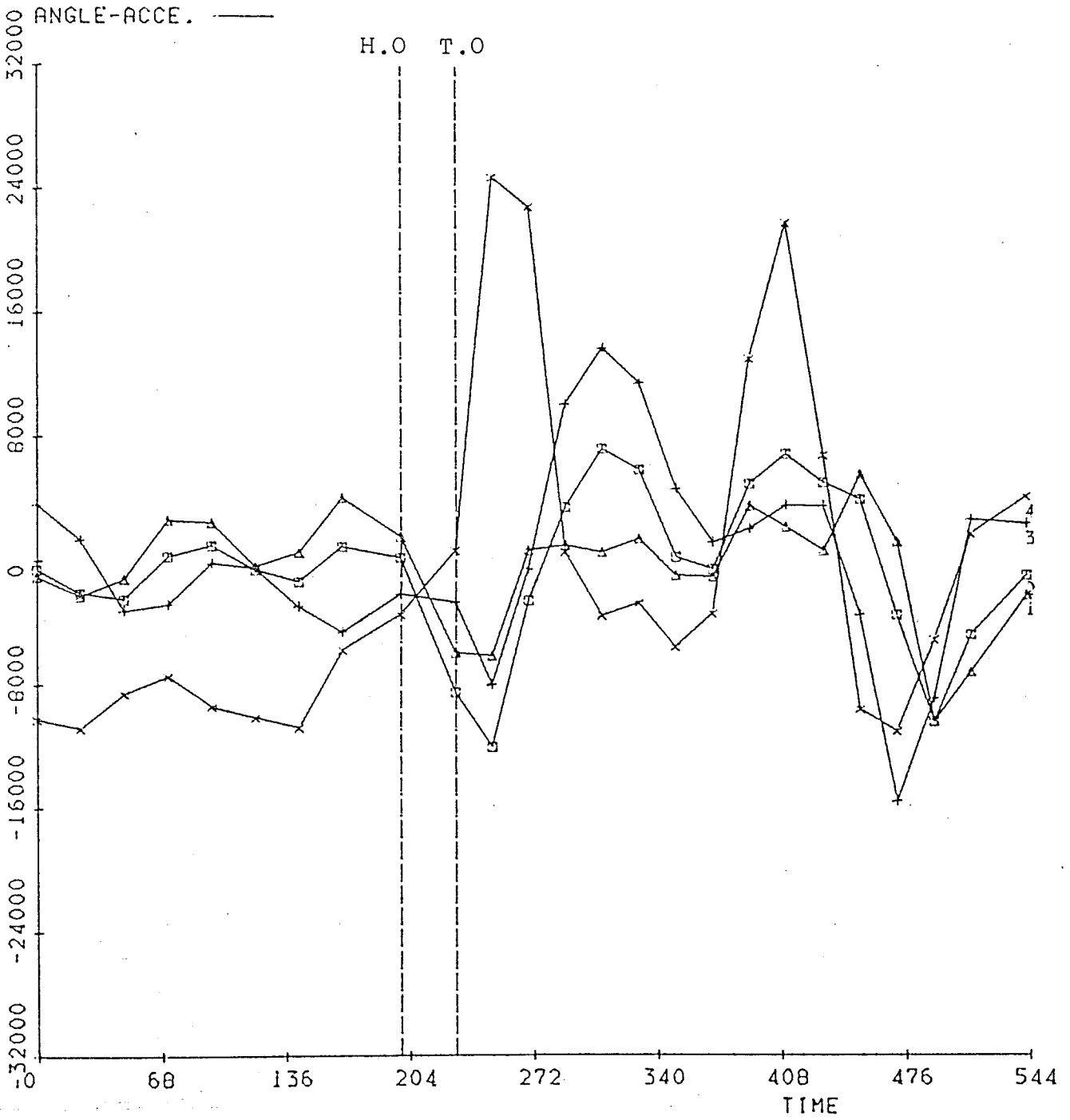


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 158

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 3 CANTER (TRAIL)



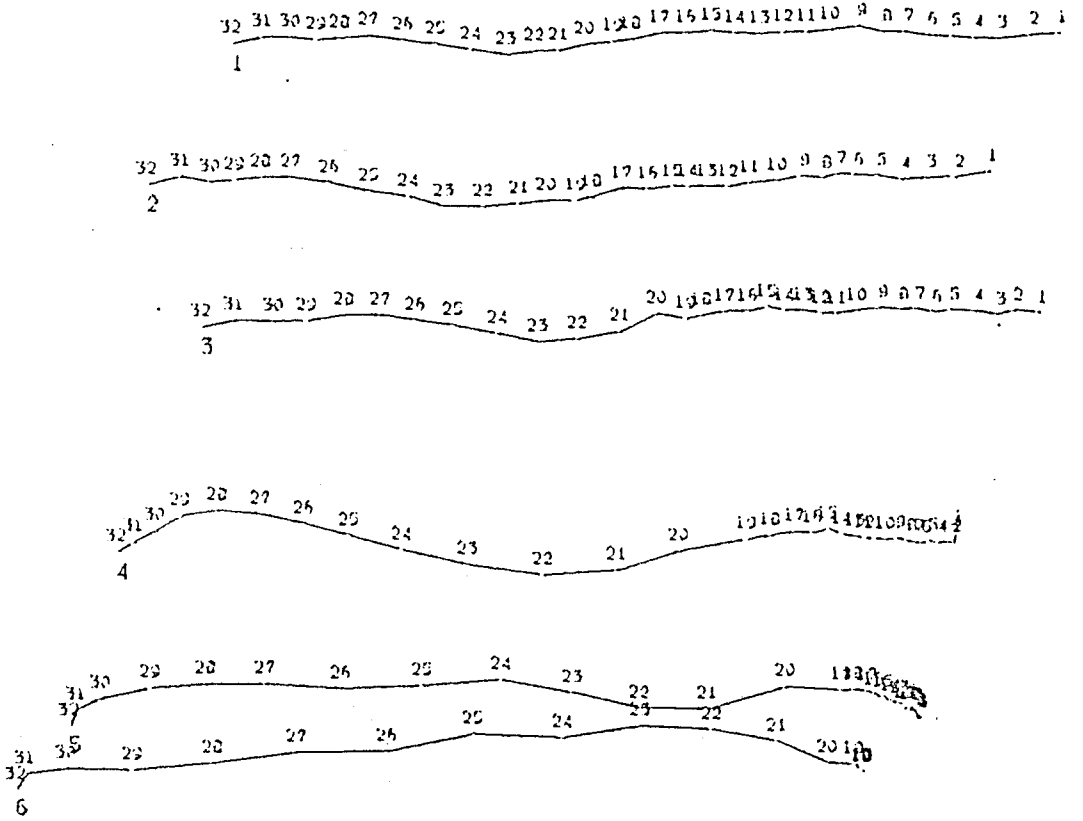
6 POINTS/FRAME

25 FRAMES

Fig. 159

LOCUS

TEST:
CODE=CASE 1.LF
EXP.4 WALK



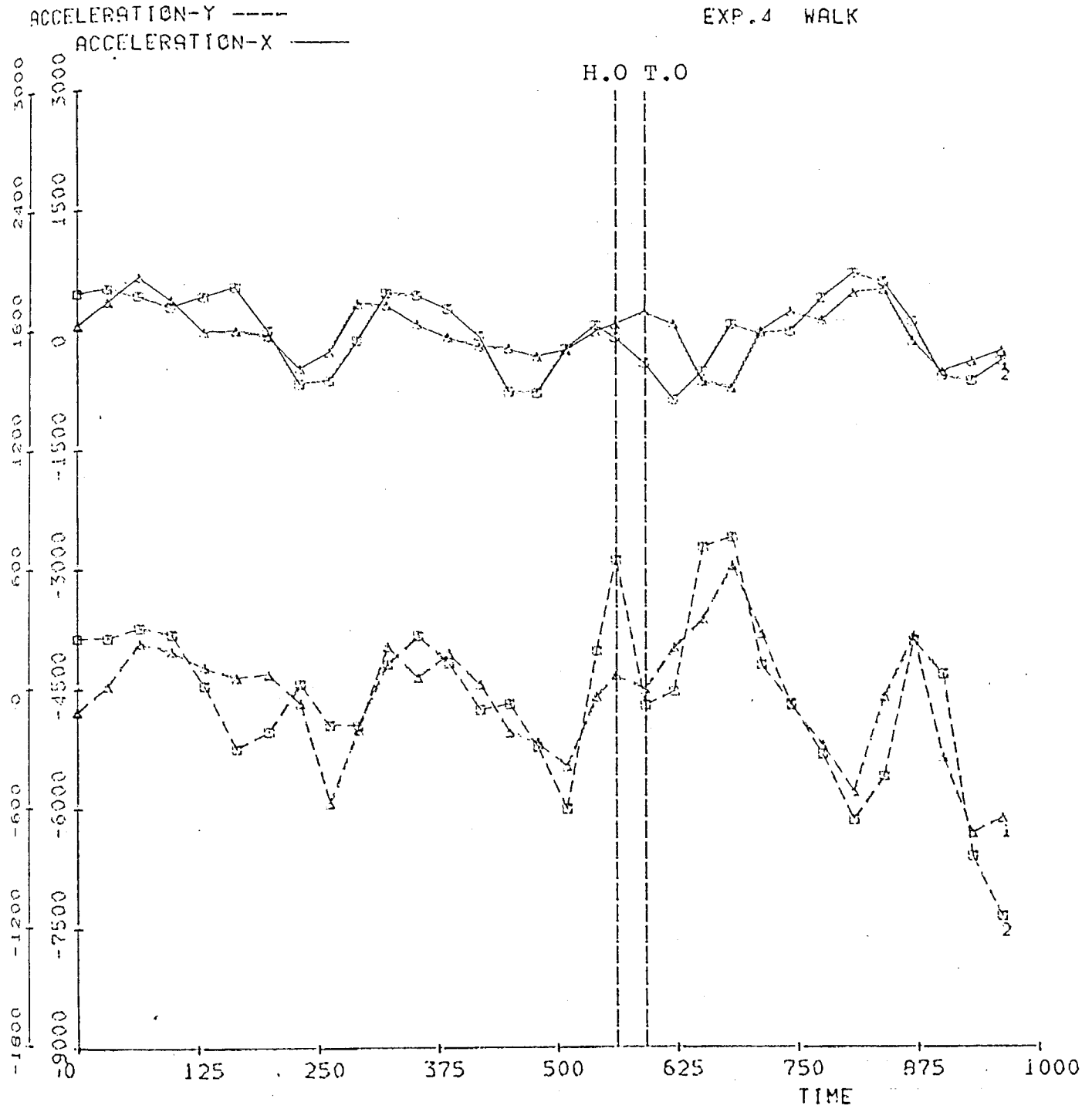
30.720

6 POINTS/FRAME 32 FRAMES

Fig. 160

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1.LF
EXP. 4 WALK

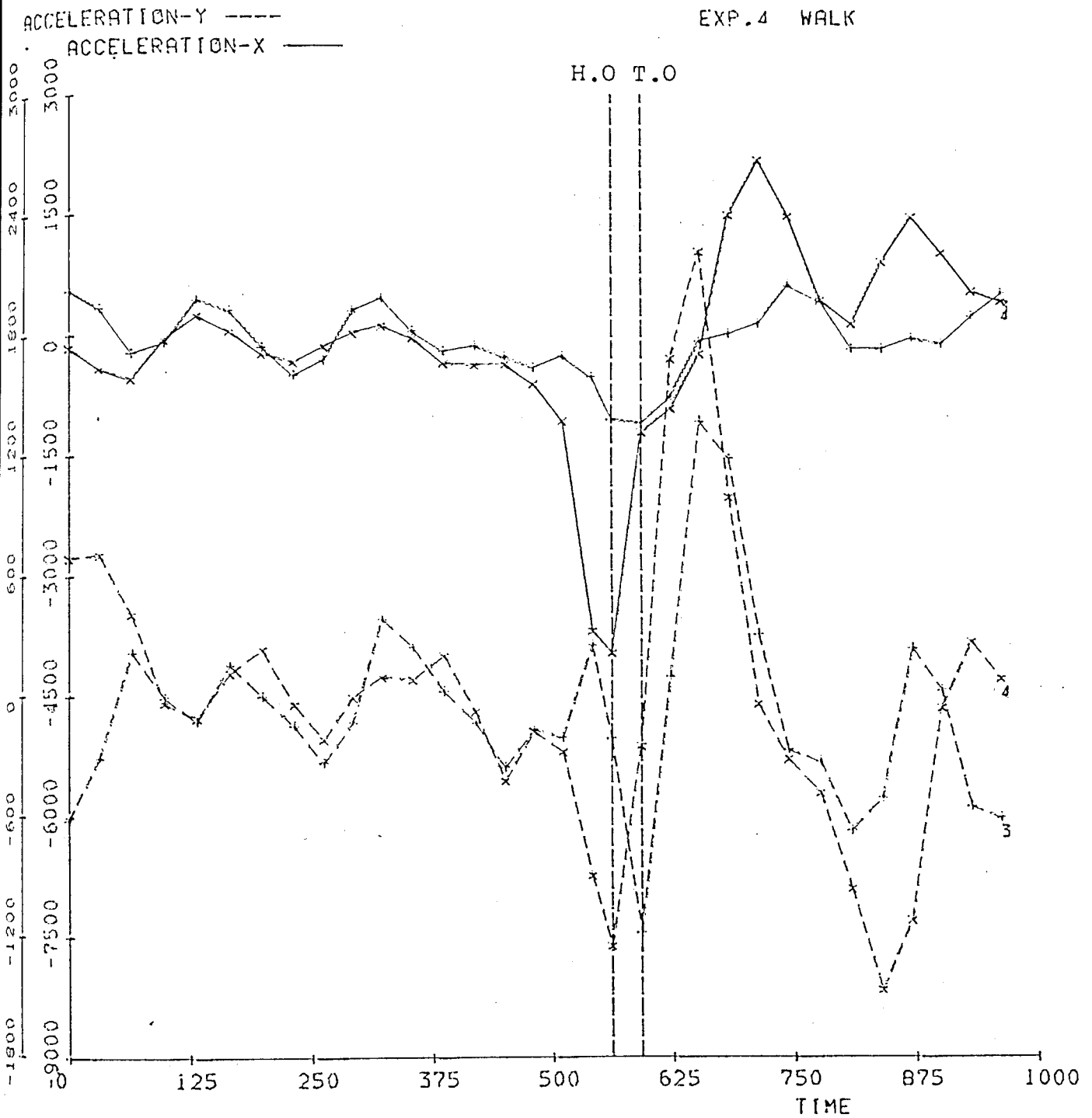


6 POINTS/FRAME 32 FRAMES

Fig. 161

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP. 4 WALK

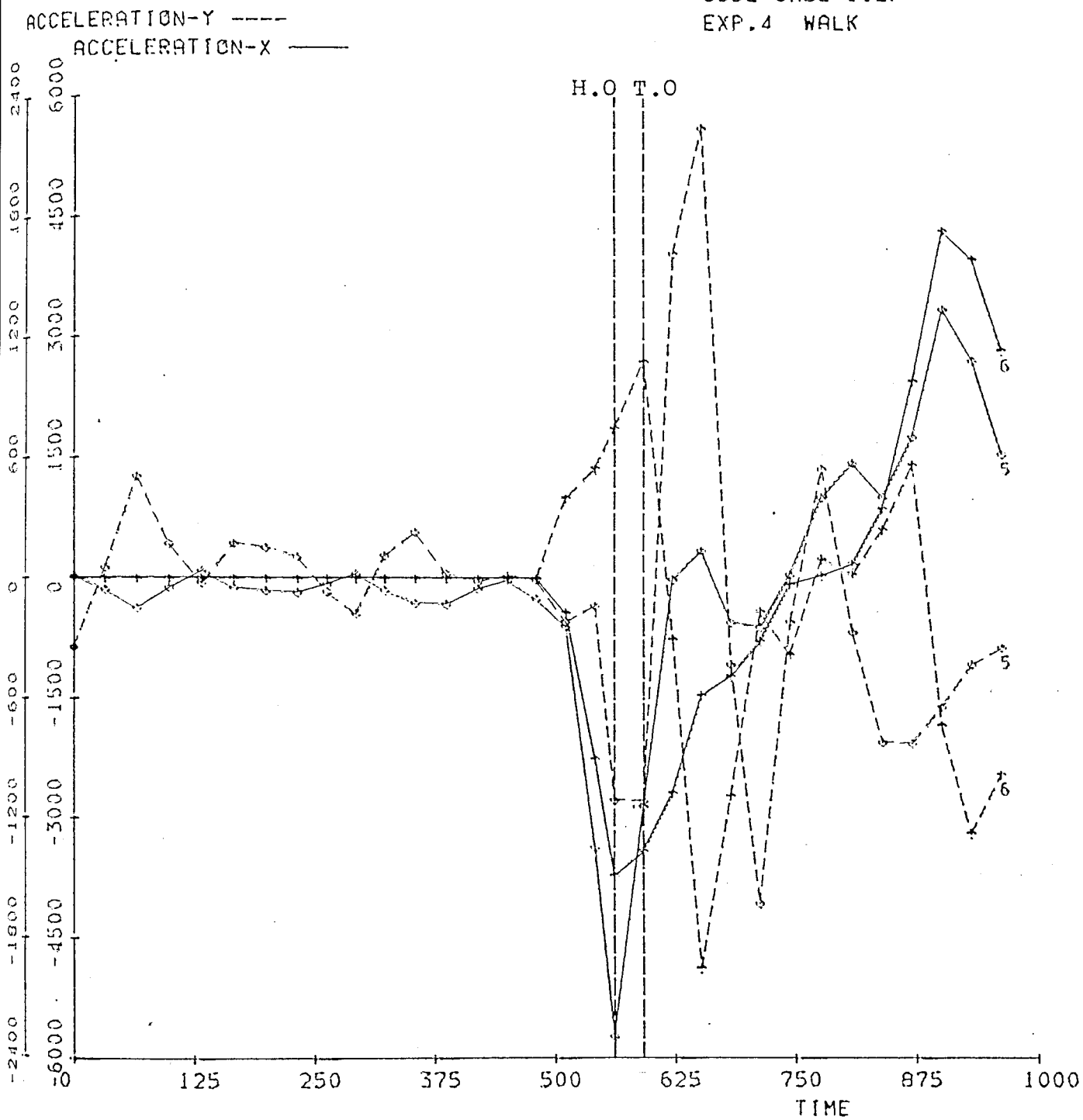


6 POINTS/FRAME 32 FRAMES

Fig. 162

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1.LF
EXP. 4 WALK

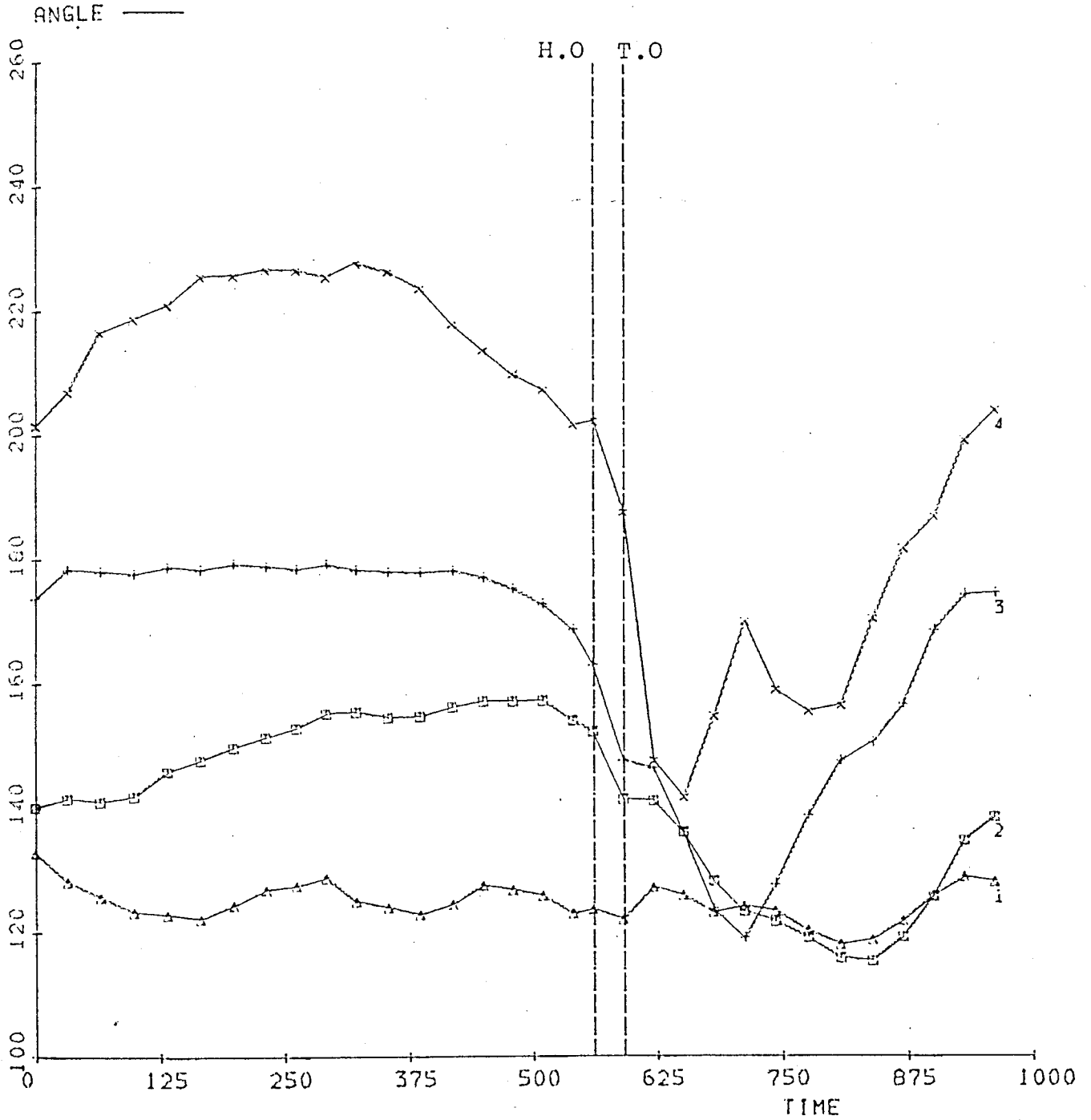


6 POINTS/FRAME . 32 FRAMES

Fig. 163

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1.LF
EXP. 4 WALK

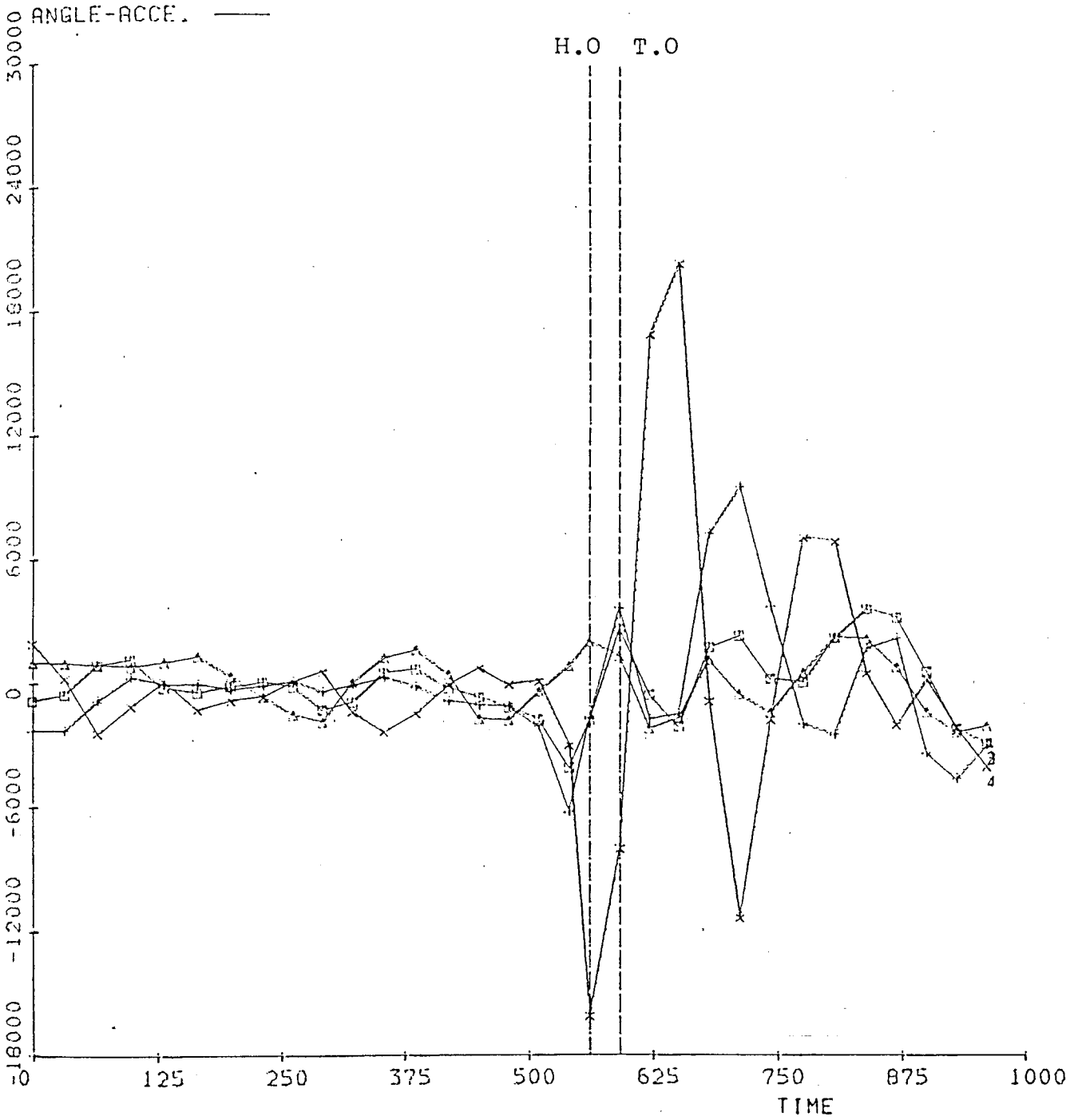


6 POINTS/FRAME 32 FRAMES

Fig. 164

ANGLE - TIME

TEST:
CODE CASE 1.LF
EXP. 4 WALK



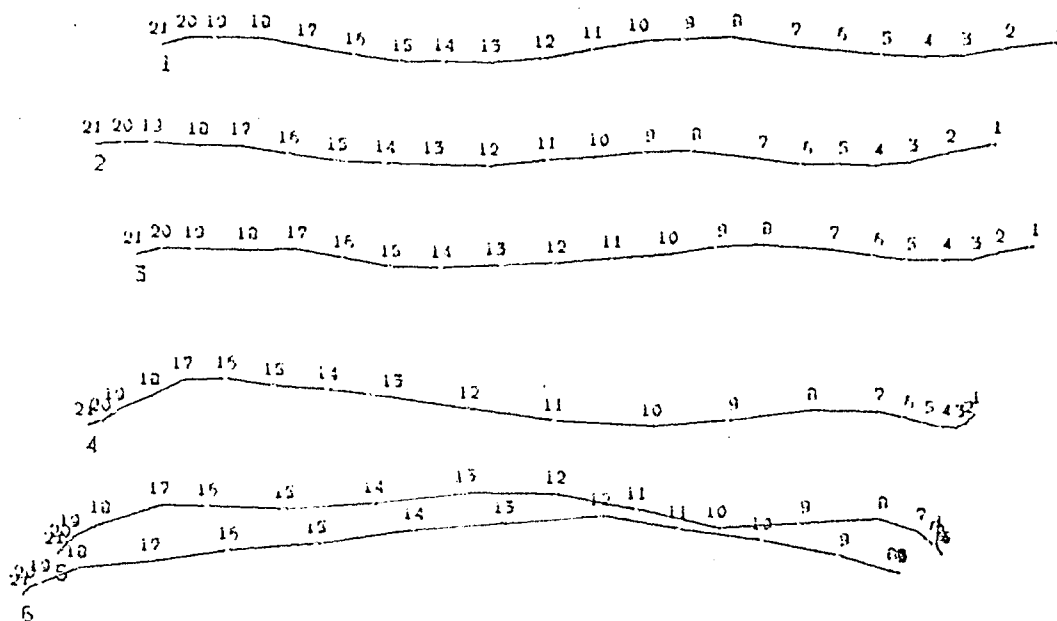
6 POINTS/FRAME

32 FRAMES

Fig. 165

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 1 TROT



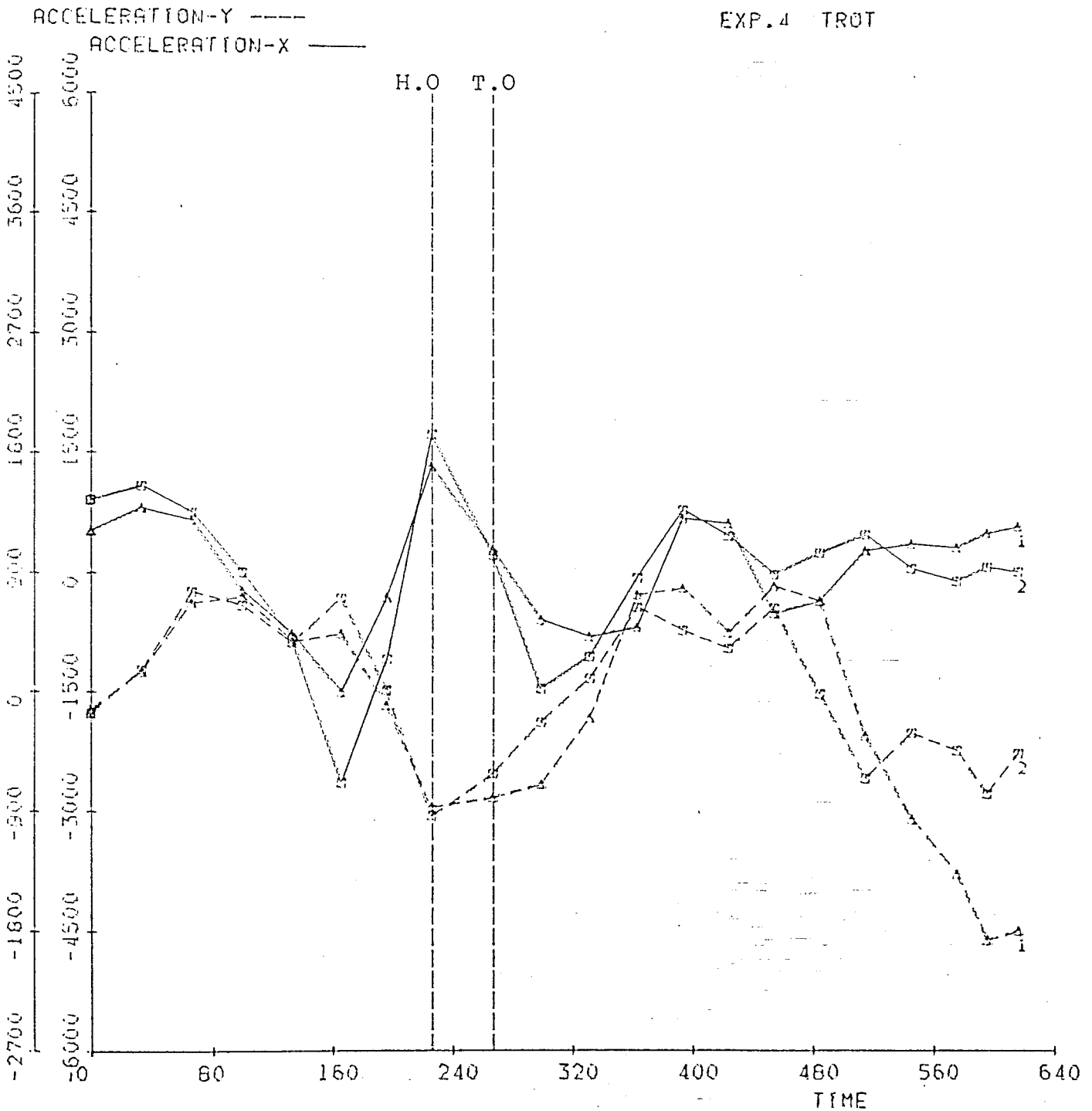
30.120

6 POINTS/FRAME 21 FRAMES

Fig. 166

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 4 TROT



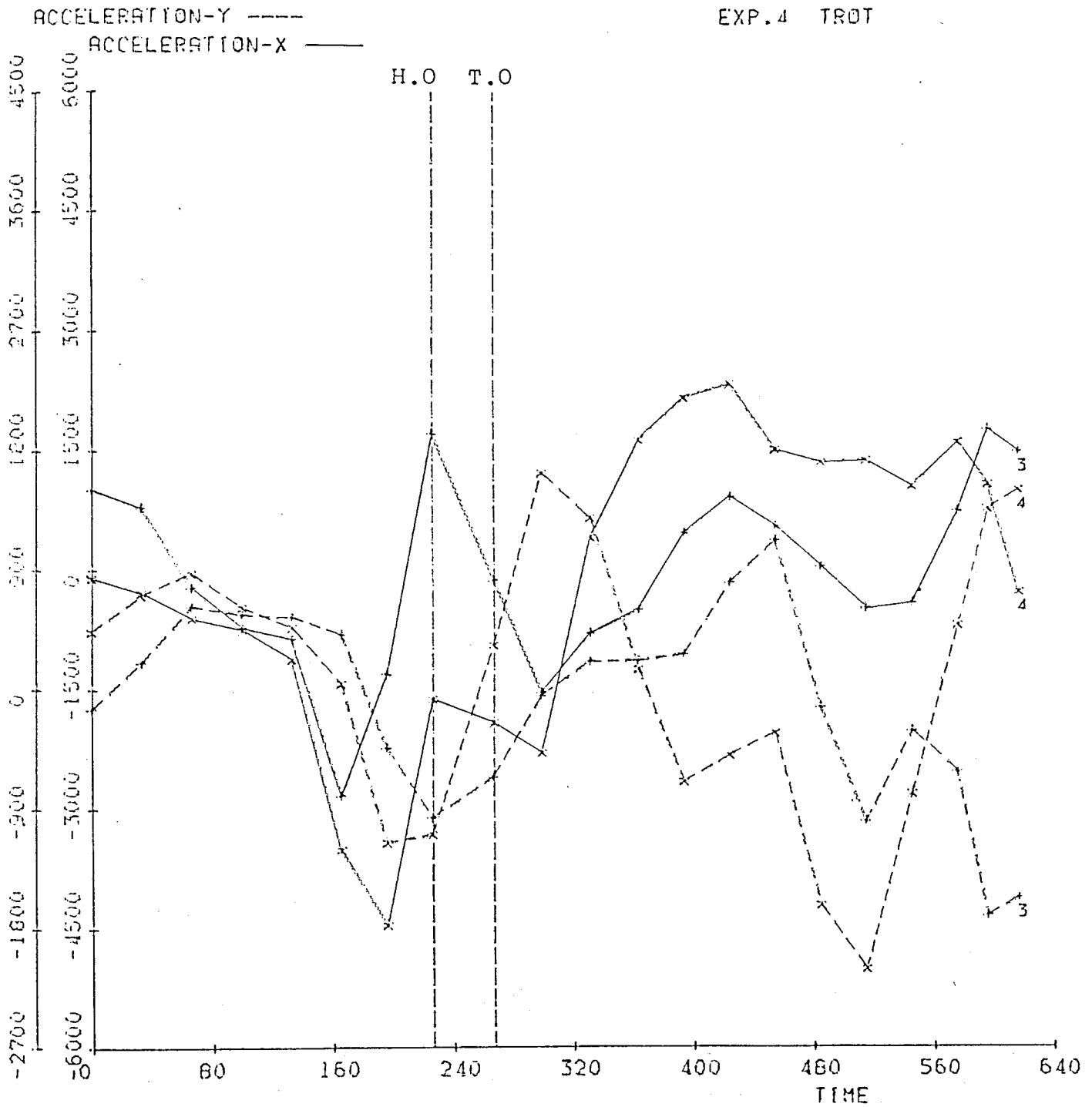
6 POINTS/FRAME

21 FRAMES

Fig. 167

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 4 TROT

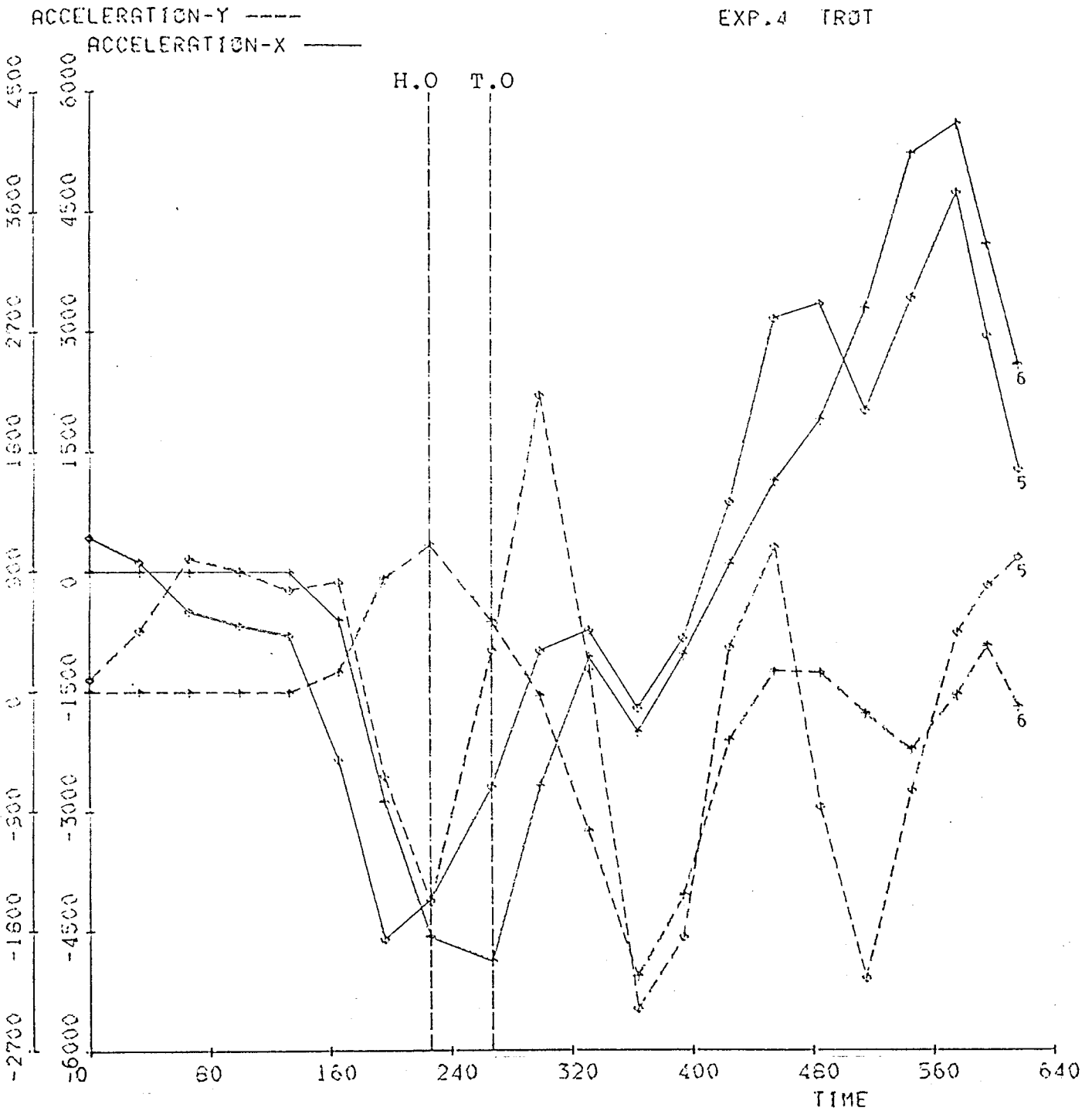


6 POINTS/FRAME 21 FRAMES

Fig. 168

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 4 TR0T

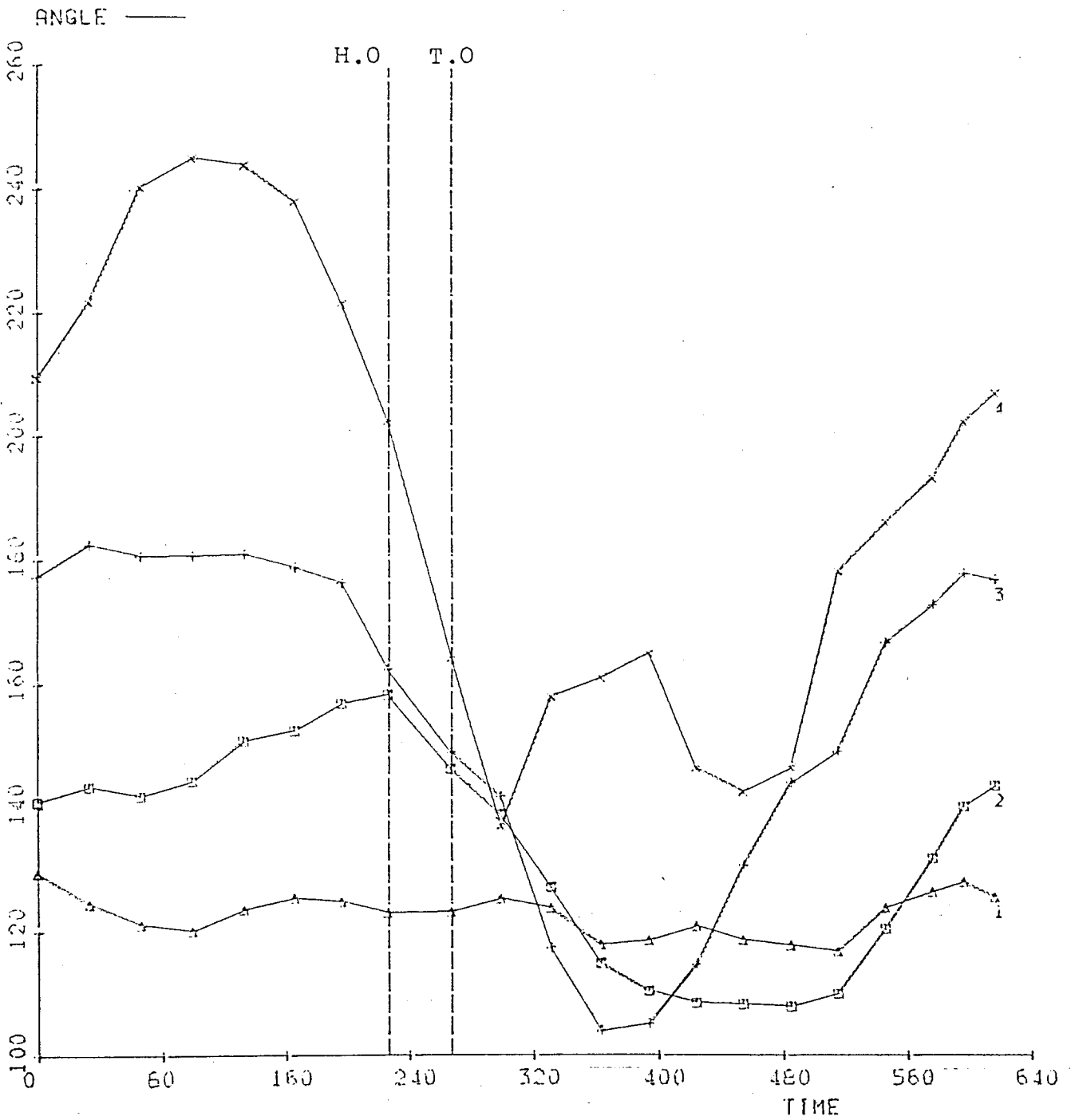


6 POINTS/FRAME 21 FRAMES

Fig. 169

ANGLE - TIME

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP. 1 TROT

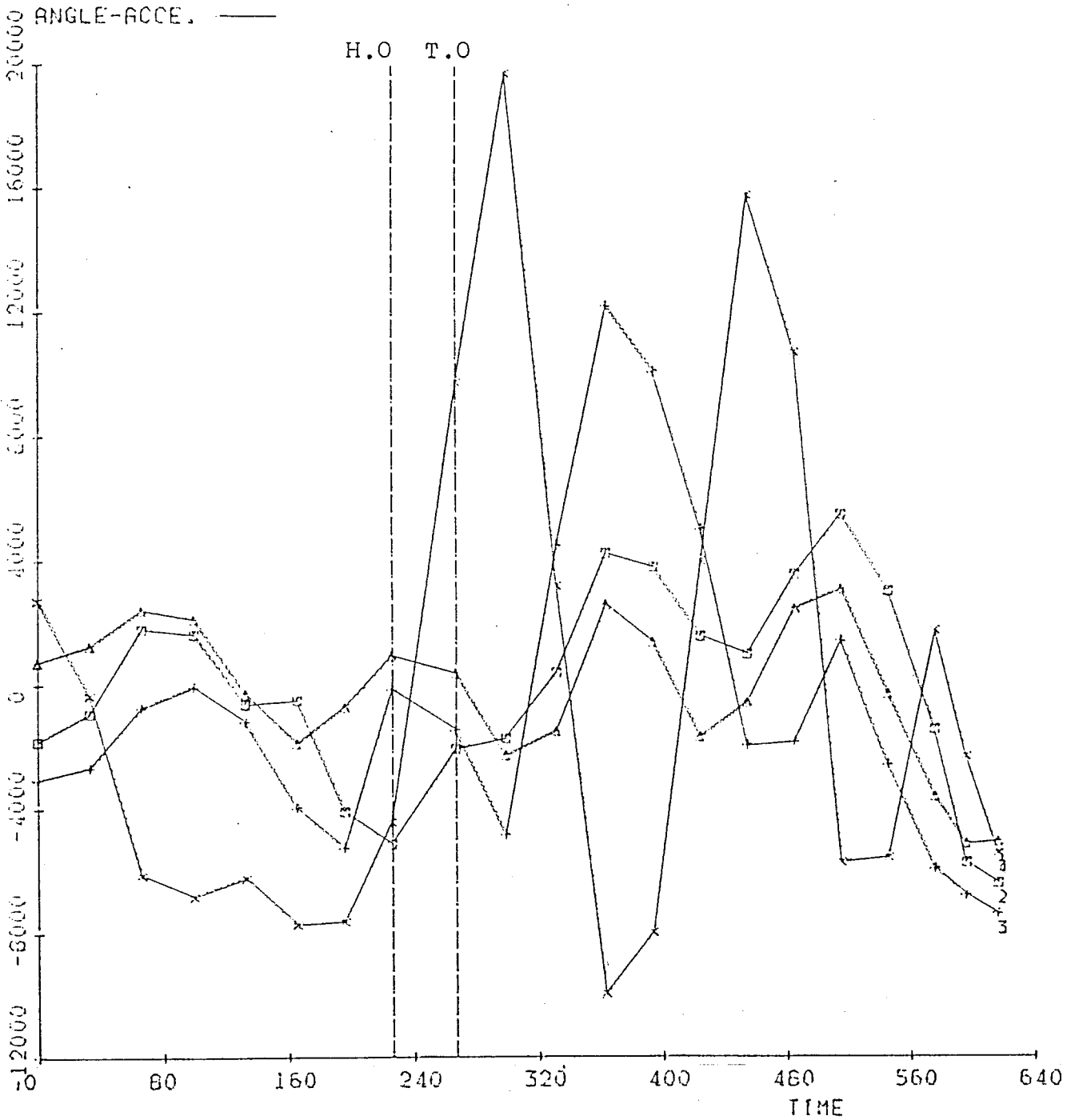


6 POINTS/FRAME 21 FRAMES

Fig. 170

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 4 TROT

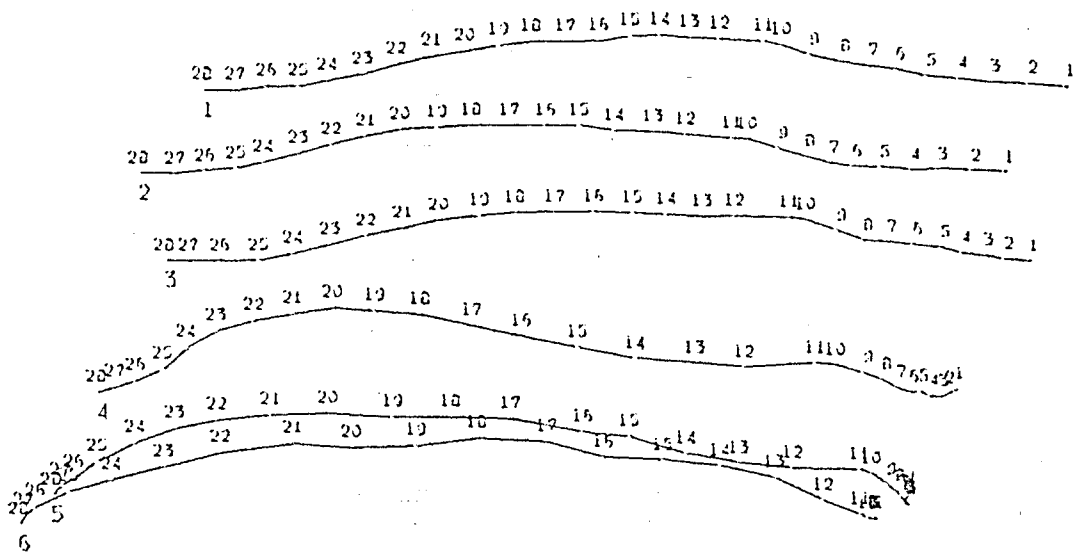


6 POINTS/FRAME 21 FRAMES

Fig. 171

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 4 CENTER (LEAD)



30.720

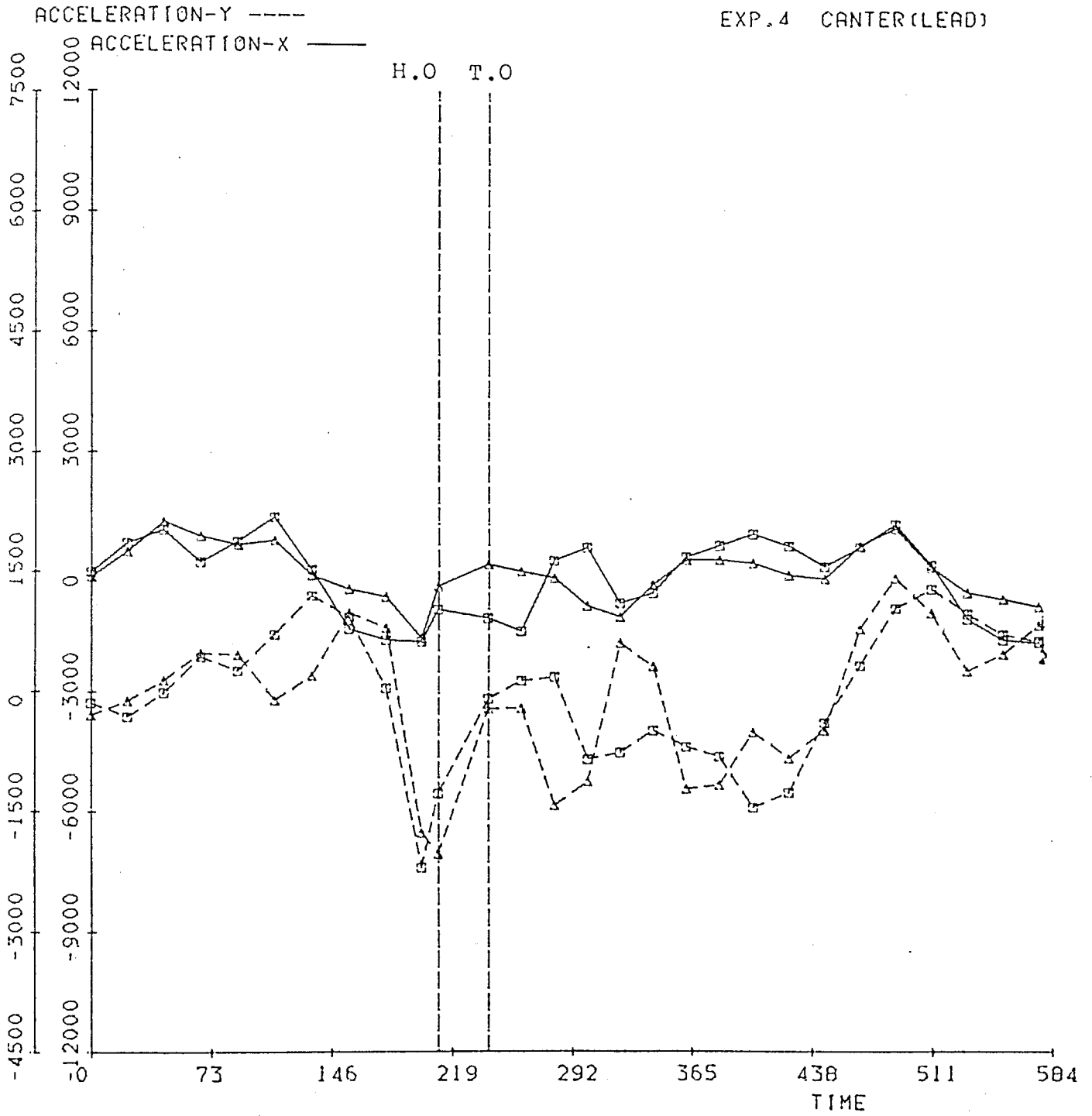
6 POINTS/FRAME

28 FRAMES

Fig. 172

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)

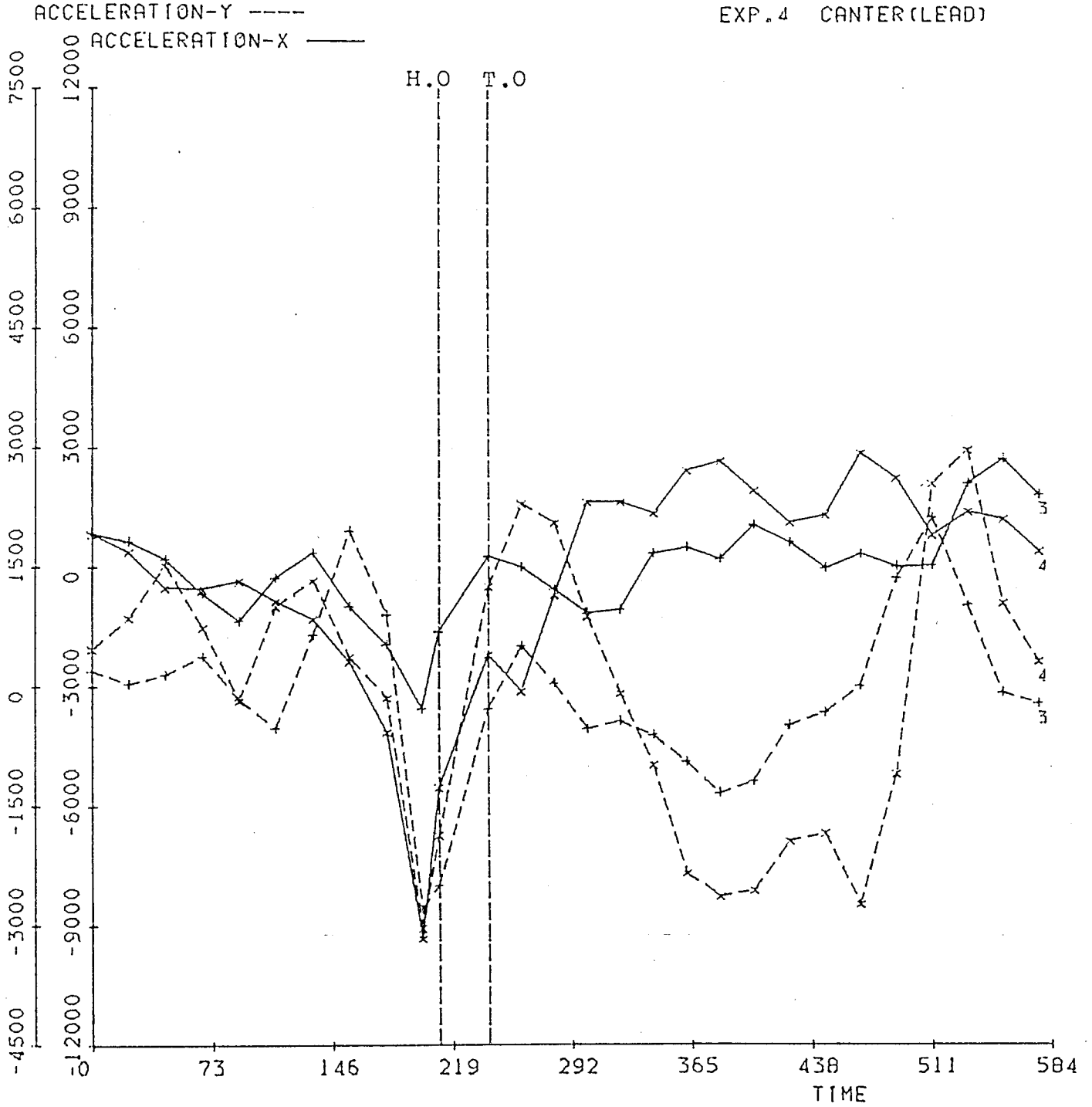


6 POINTS/FRAME 28 FRAMES

Fig. 173

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1, LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)

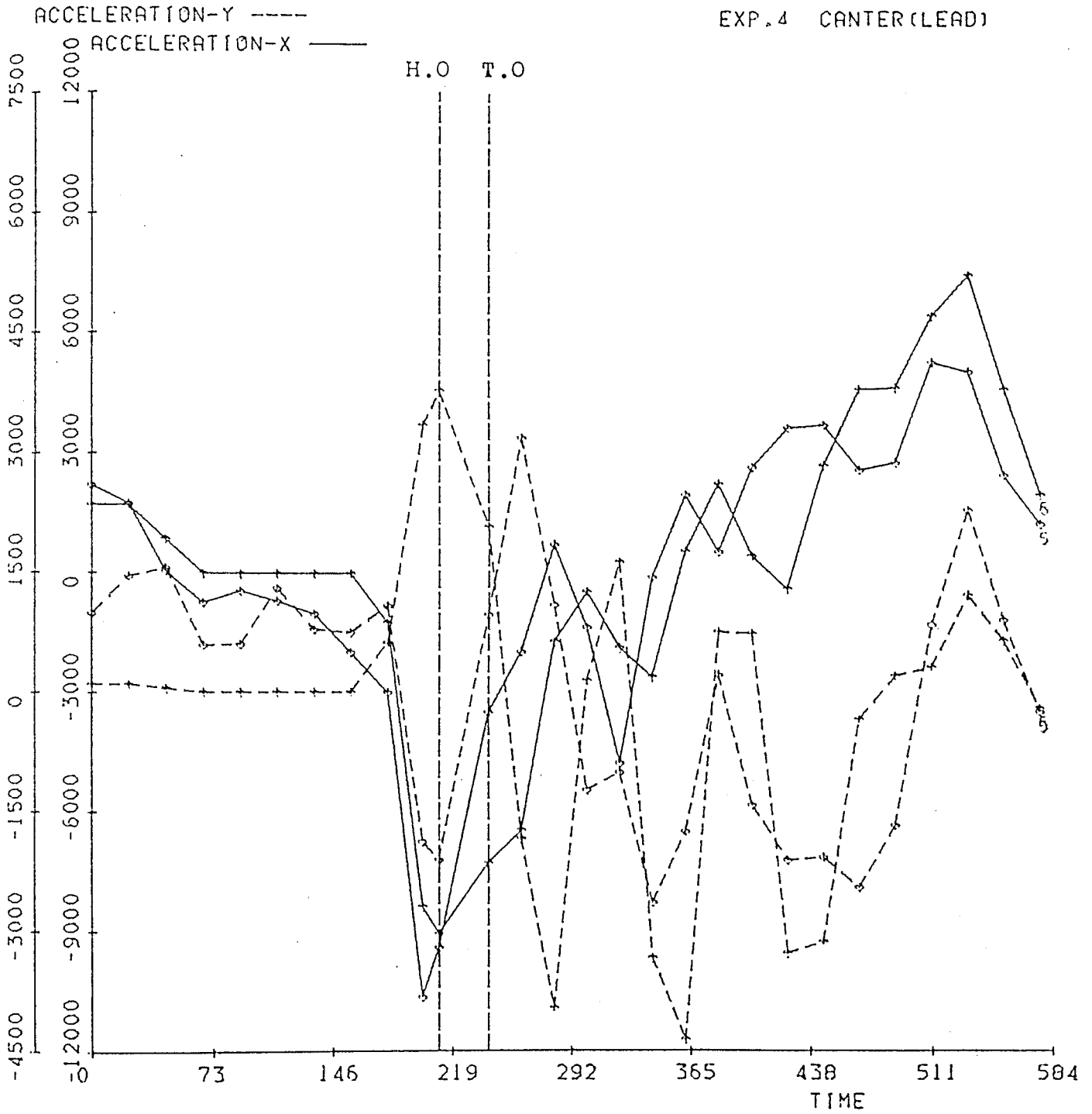


6 POINTS/FRAME 28 FRAMES

Fig. 174

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)

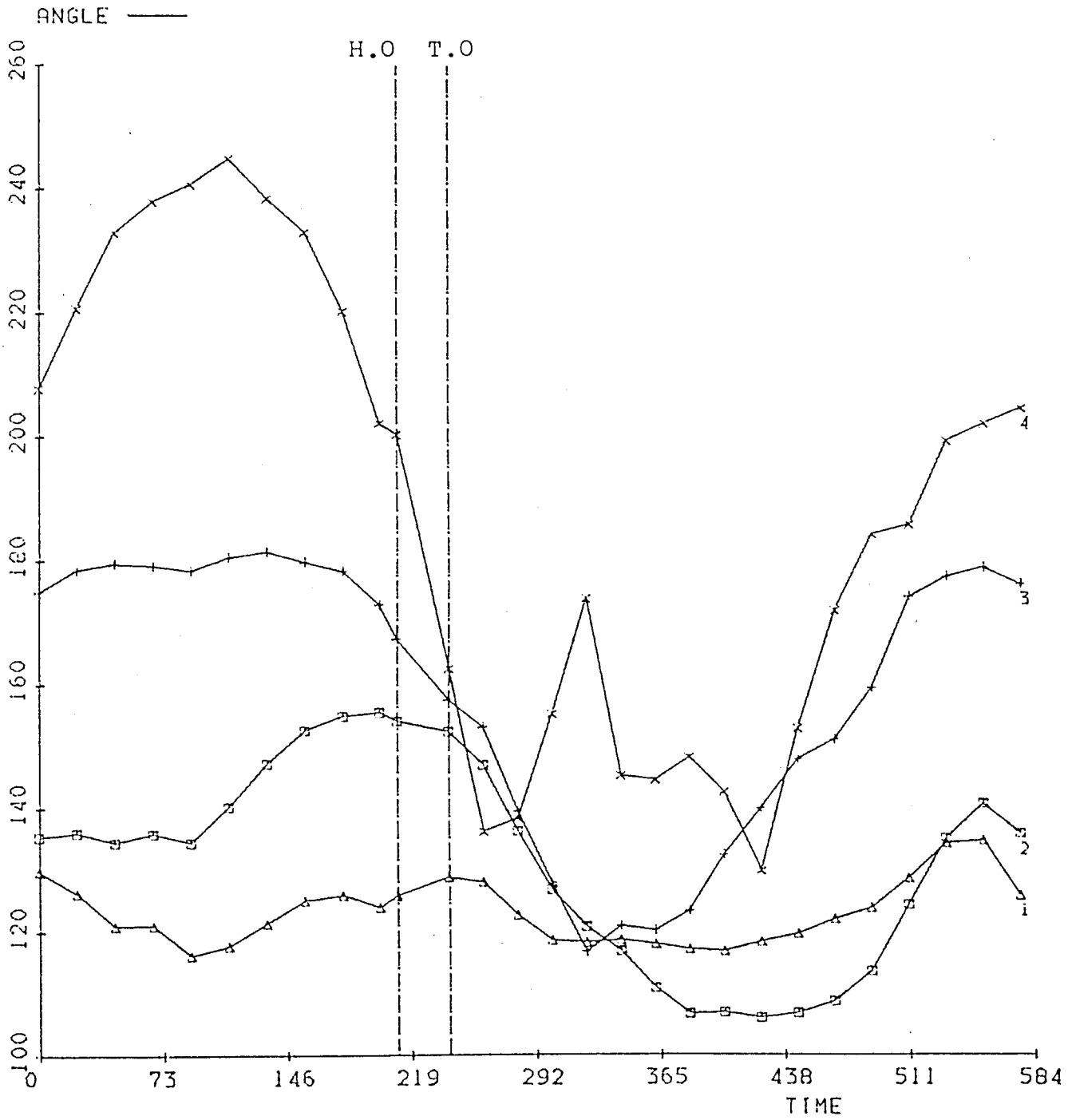


6 POINTS/FRAME 28 FRAMES

Fig. 175

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)



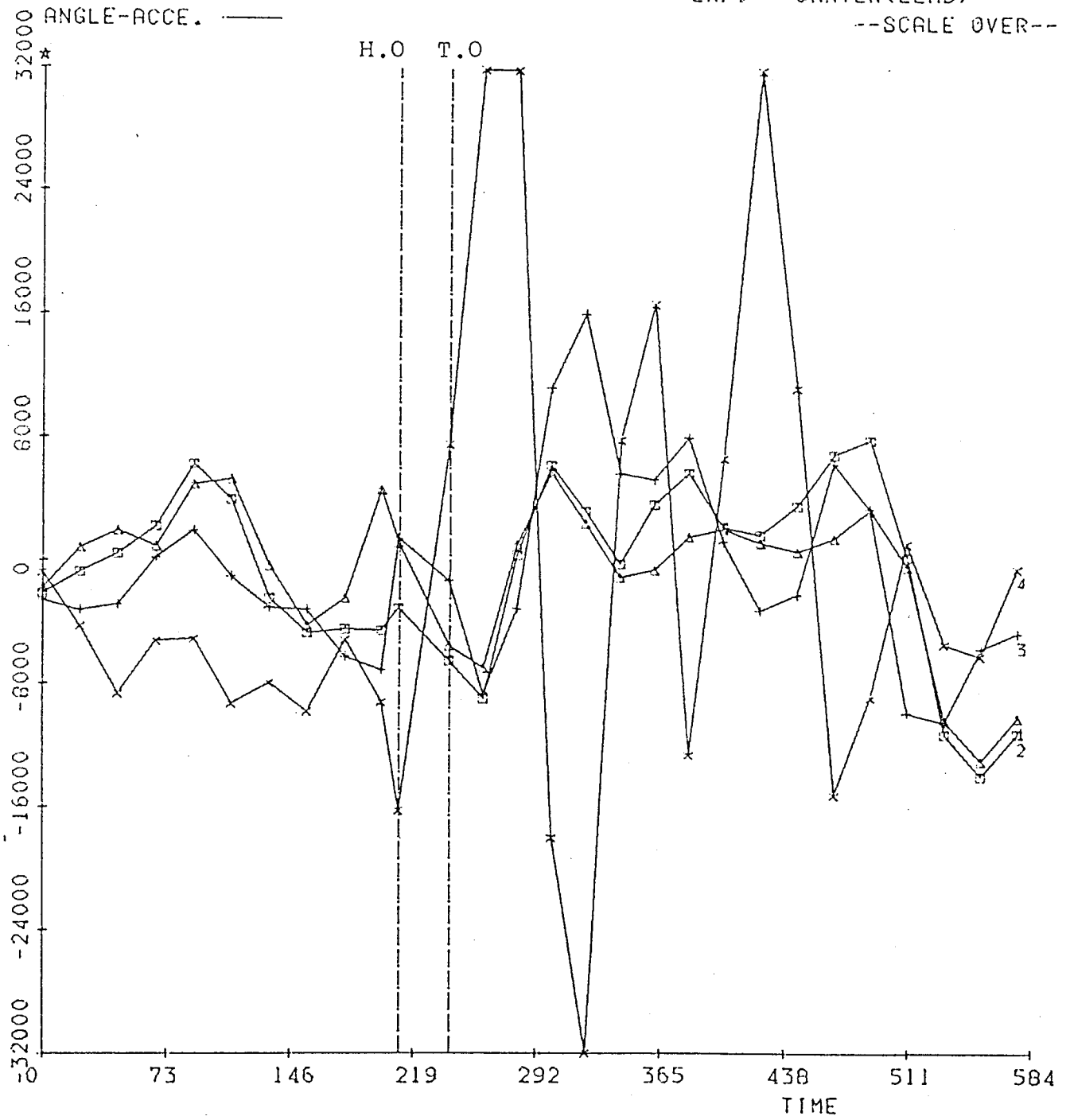
6 POINTS/FRAME 28 FRAMES

Fig. 176

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)

--SCALE OVER--



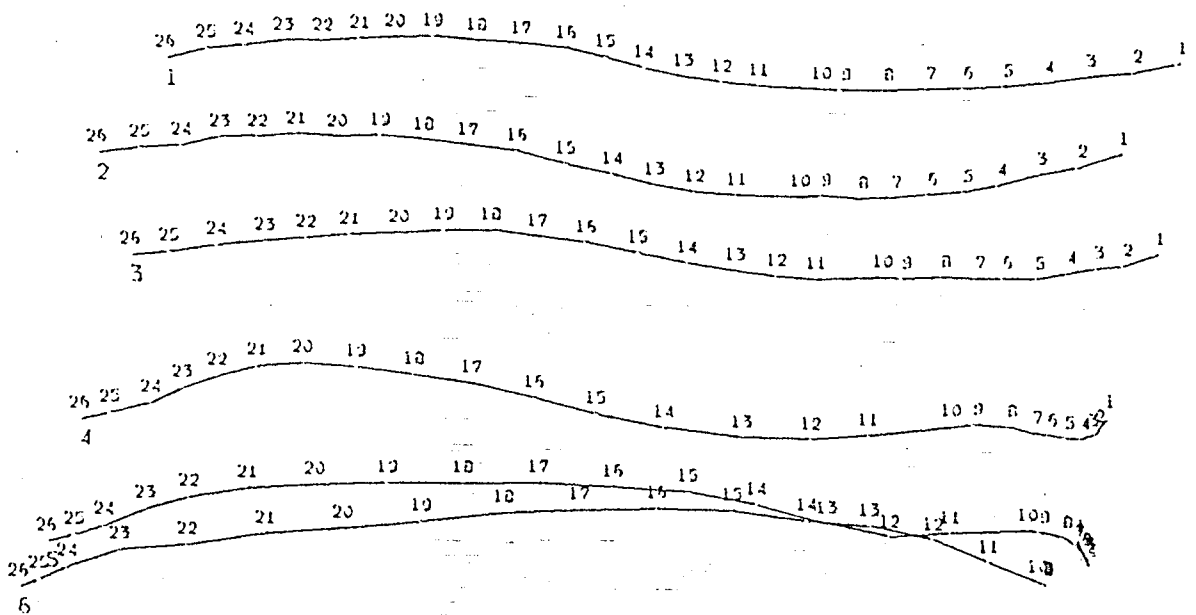
6 POINTS/FRAME

28 FRAMES

Fig. 177

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP: 4 CANTER (TRAIL)



30.720

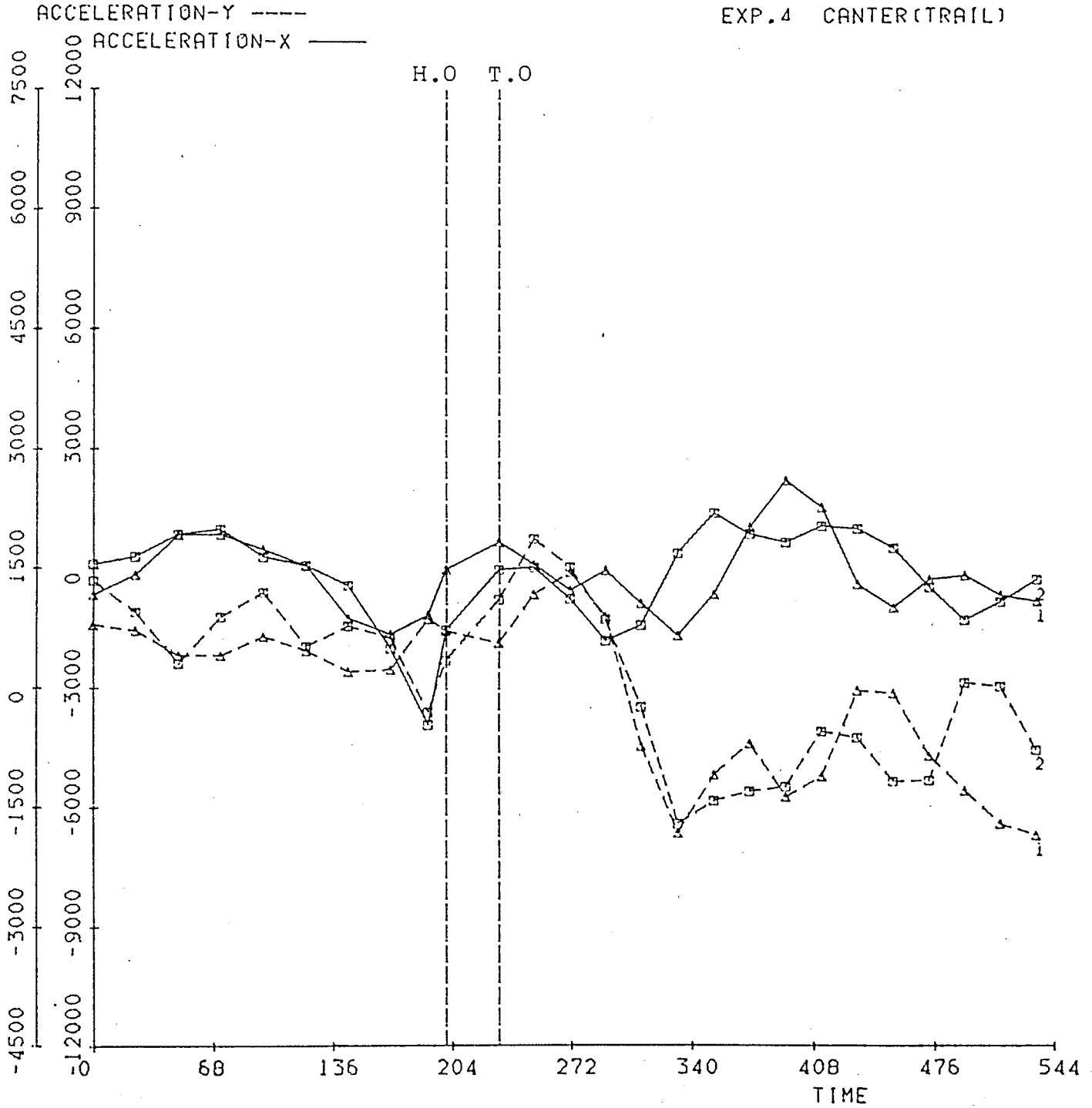
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 178

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 4 CENTER (TRAIL)

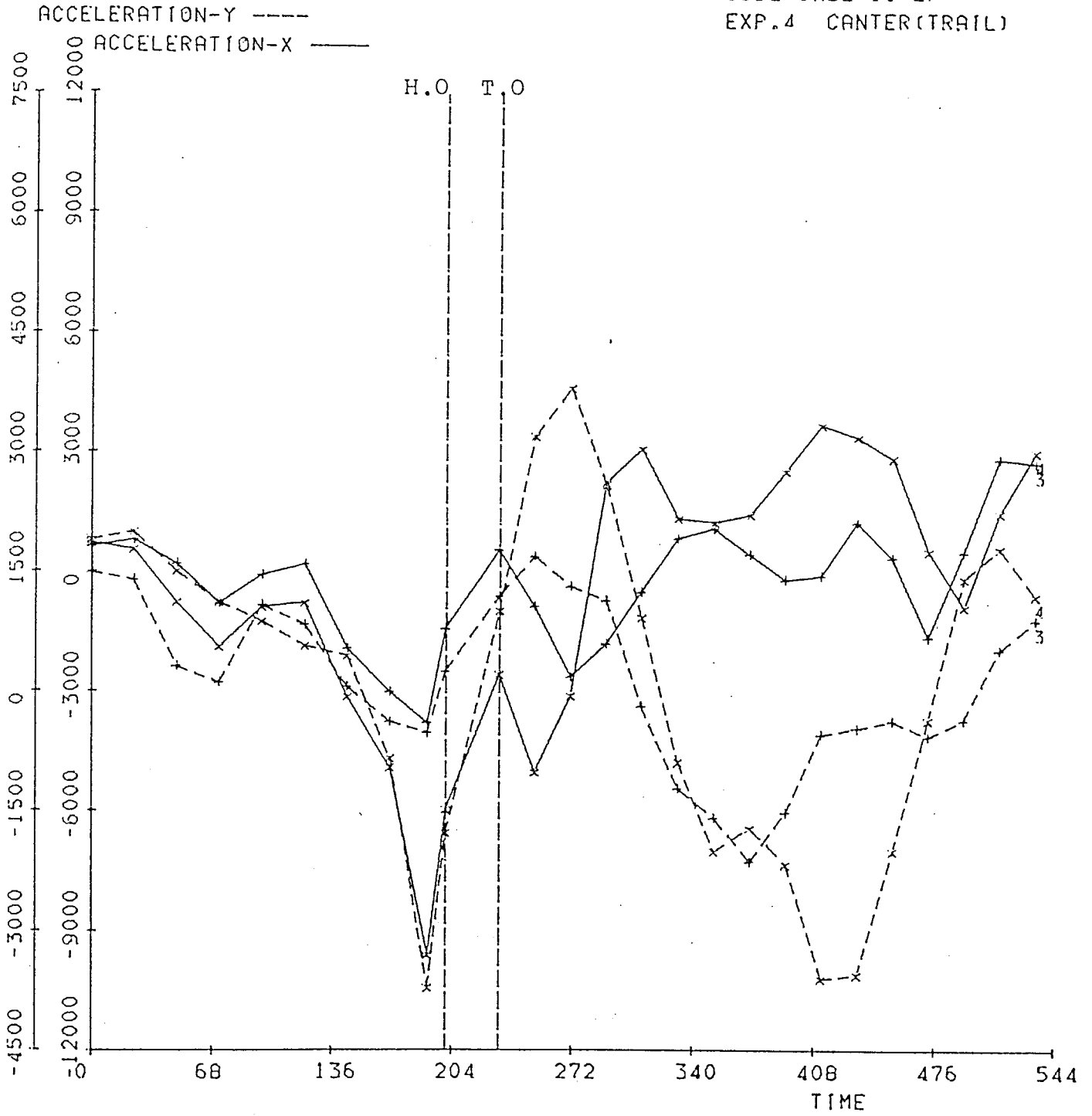


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 179

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 1, LF
EXP. 4 CANTER (TRAIL)

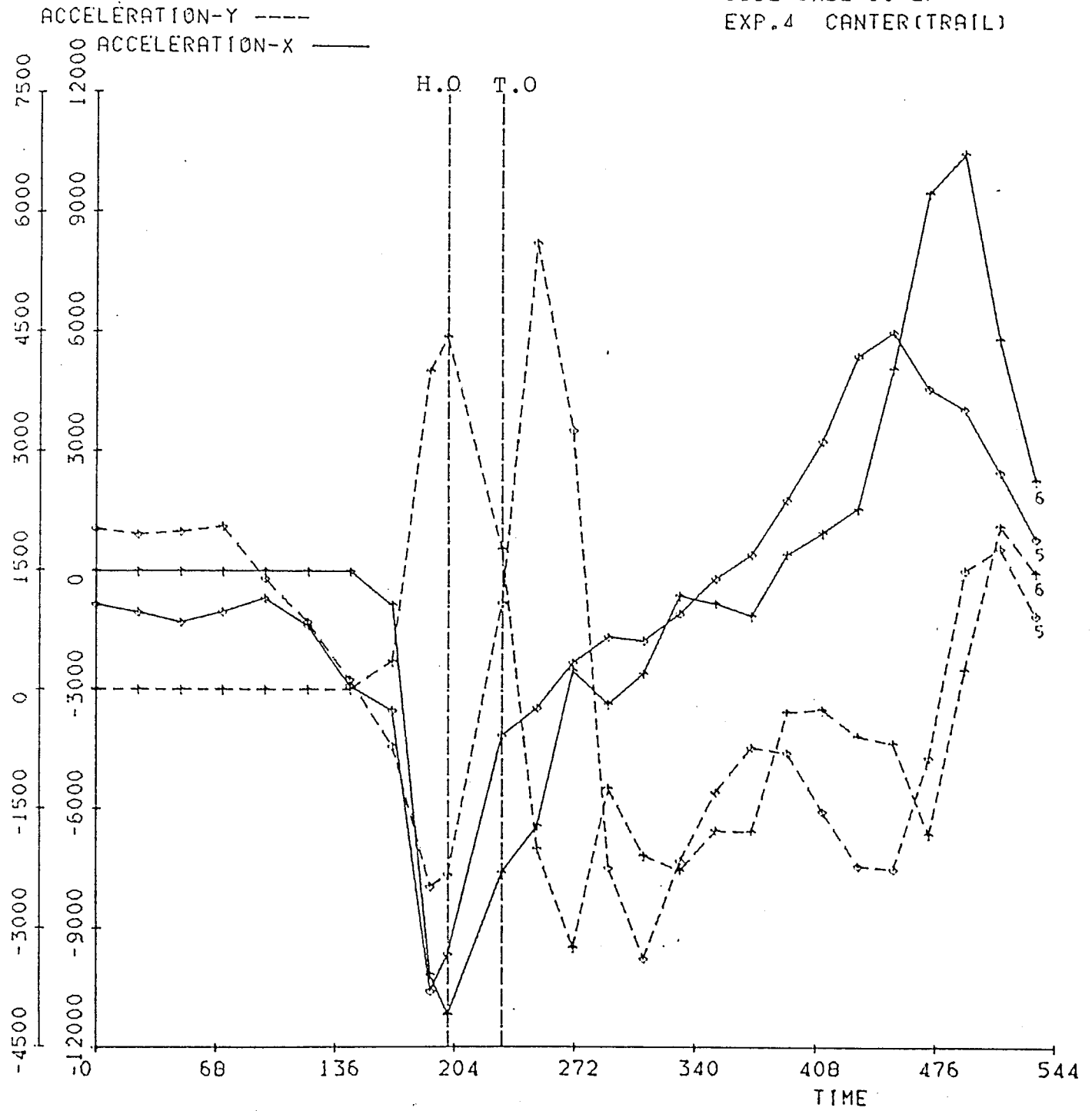


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 180

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE CASE 1. LF
EXP. 4 CANTER (TRAIL)

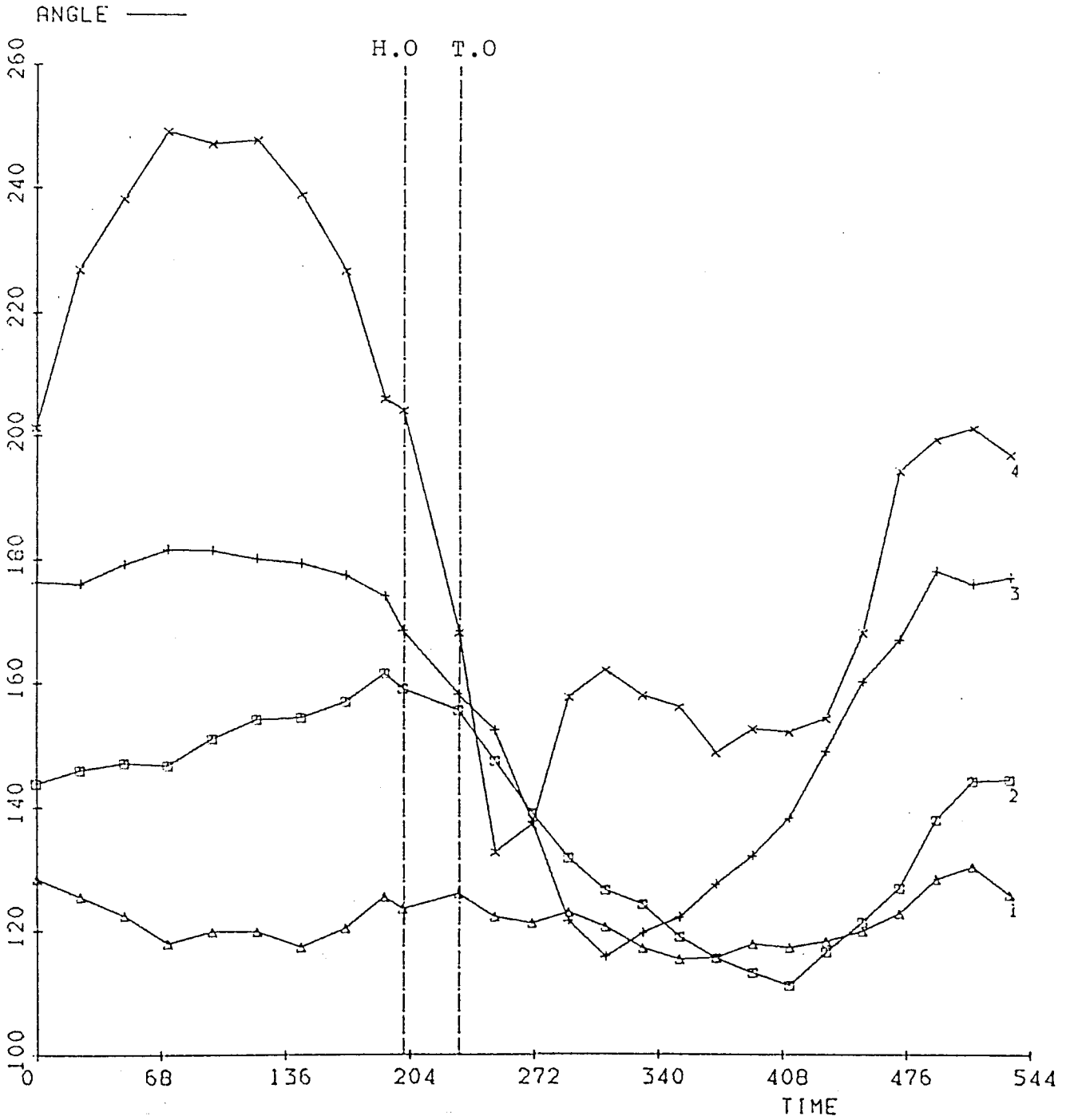


6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 181

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 4 CANTER (TRAIL)



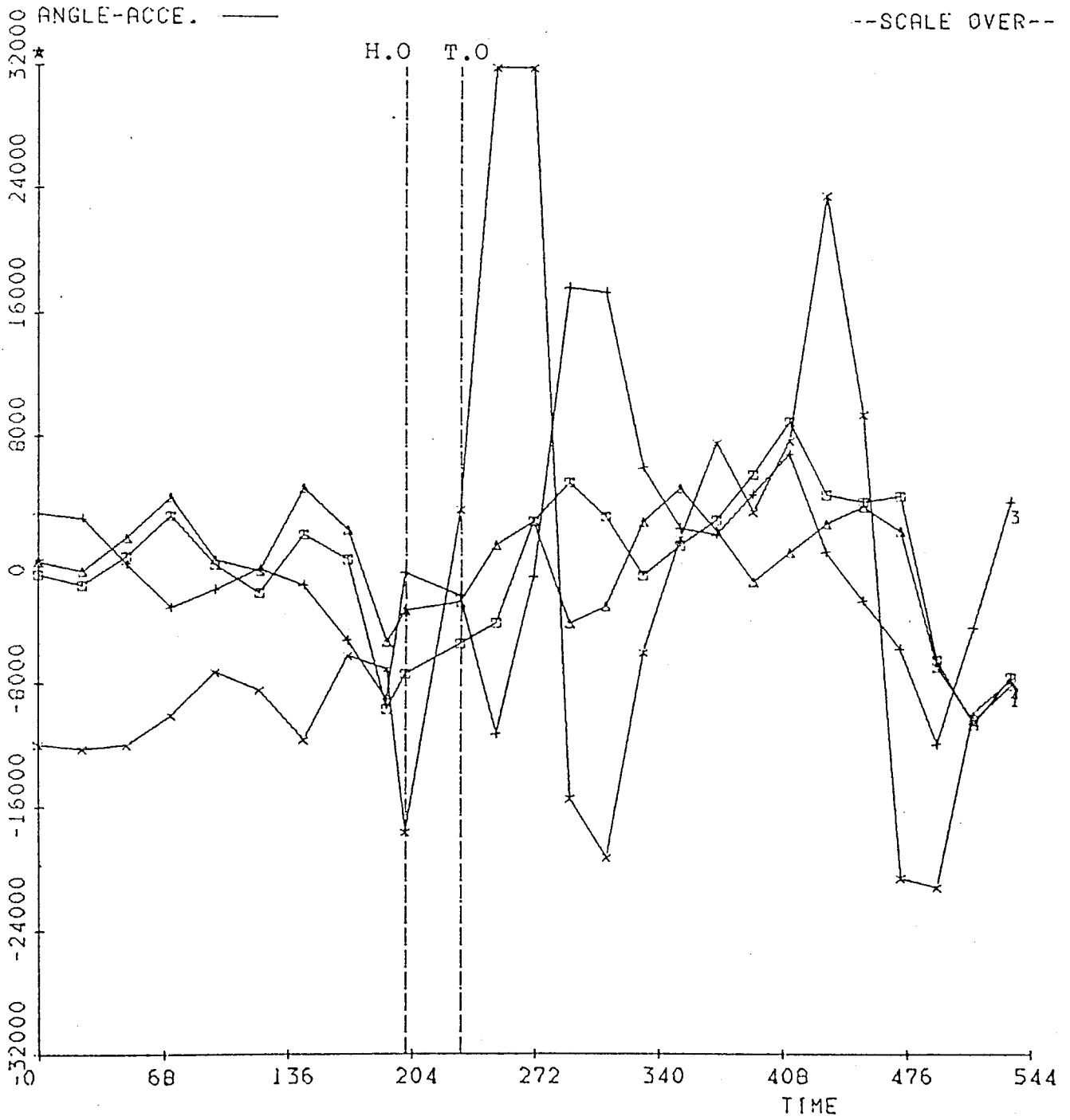
6 POINTS/FRAME 26 FRAMES

Fig. 182

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 1. LF
EXP. 4 CANTER (TRAIL)

--SCALE OVER--



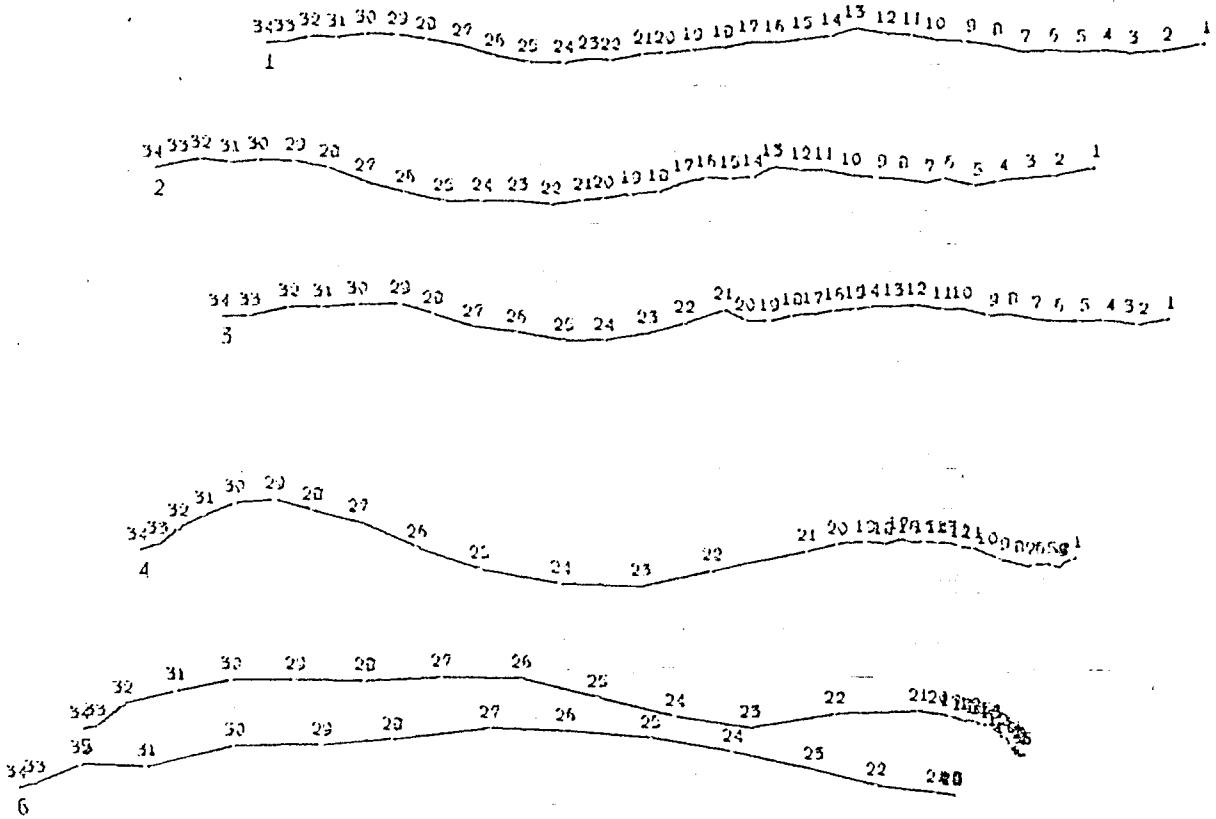
6 POINTS/FRAME

26 FRAMES

Fig. 183

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 WALK



30.720

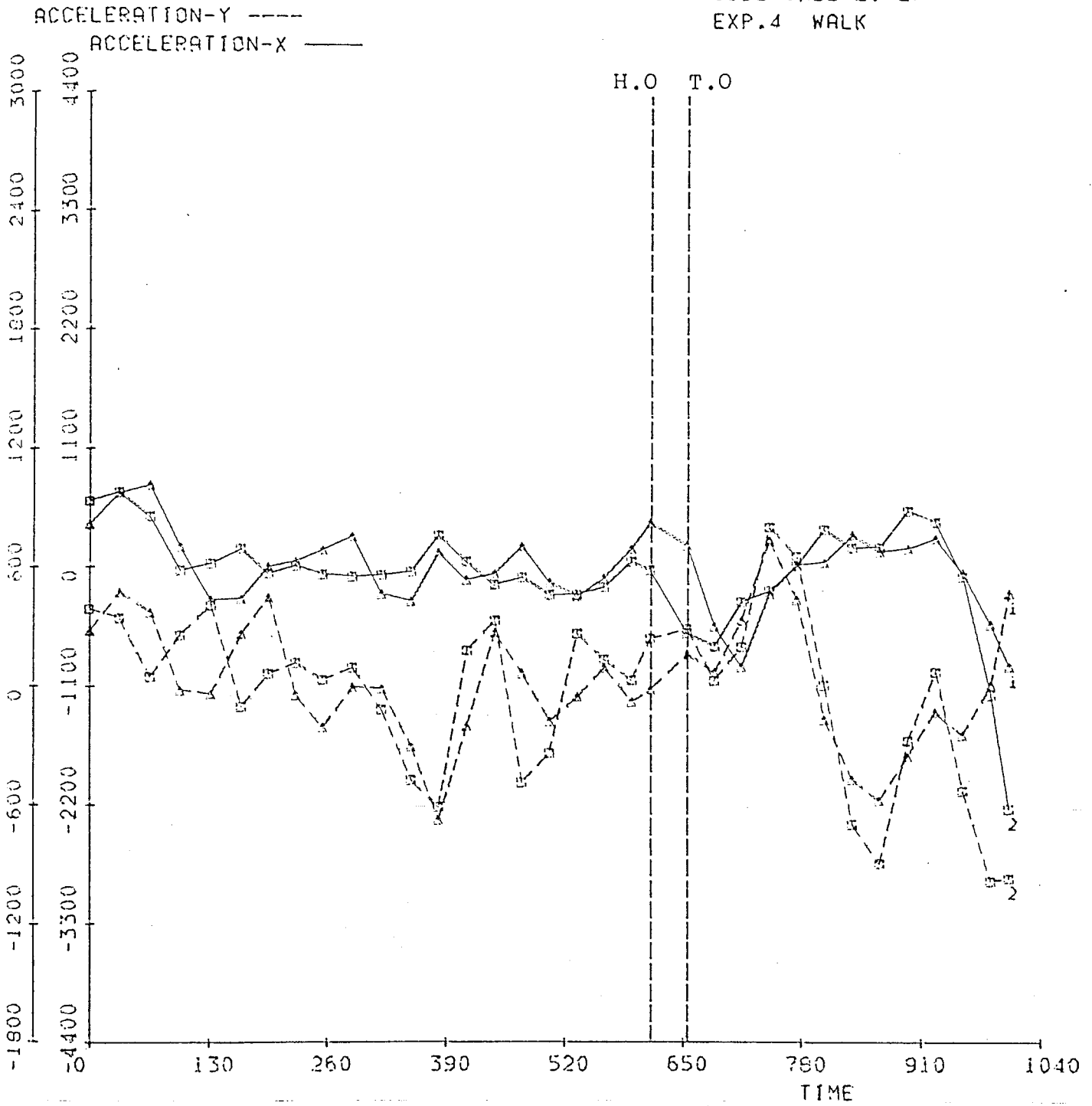
6 POINTS/FRAME

34 FRAMES

Fig. 184

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 WALK

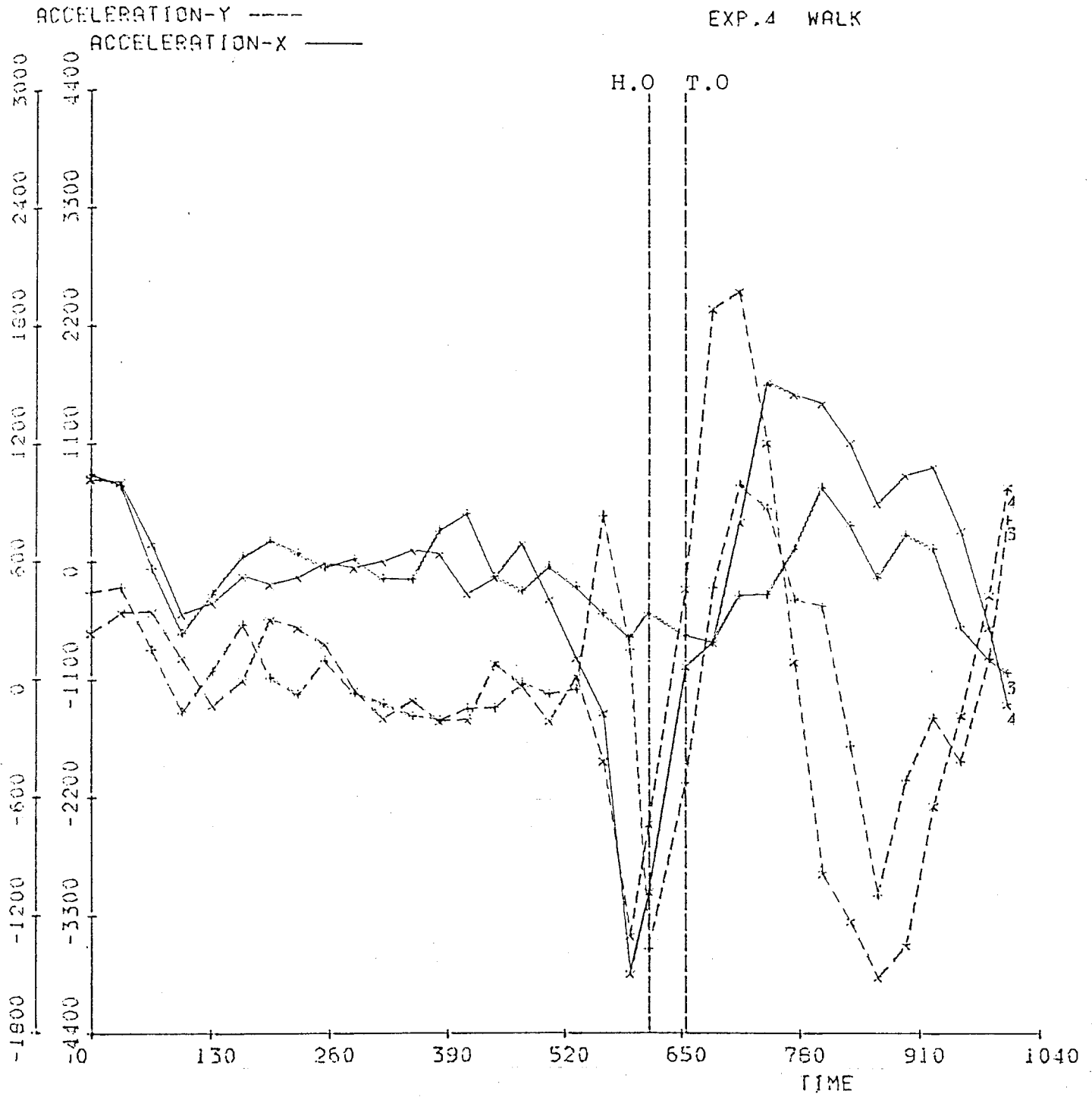


6 POINTS/FRAME 34 FRAMES

Fig. 185

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 WALK

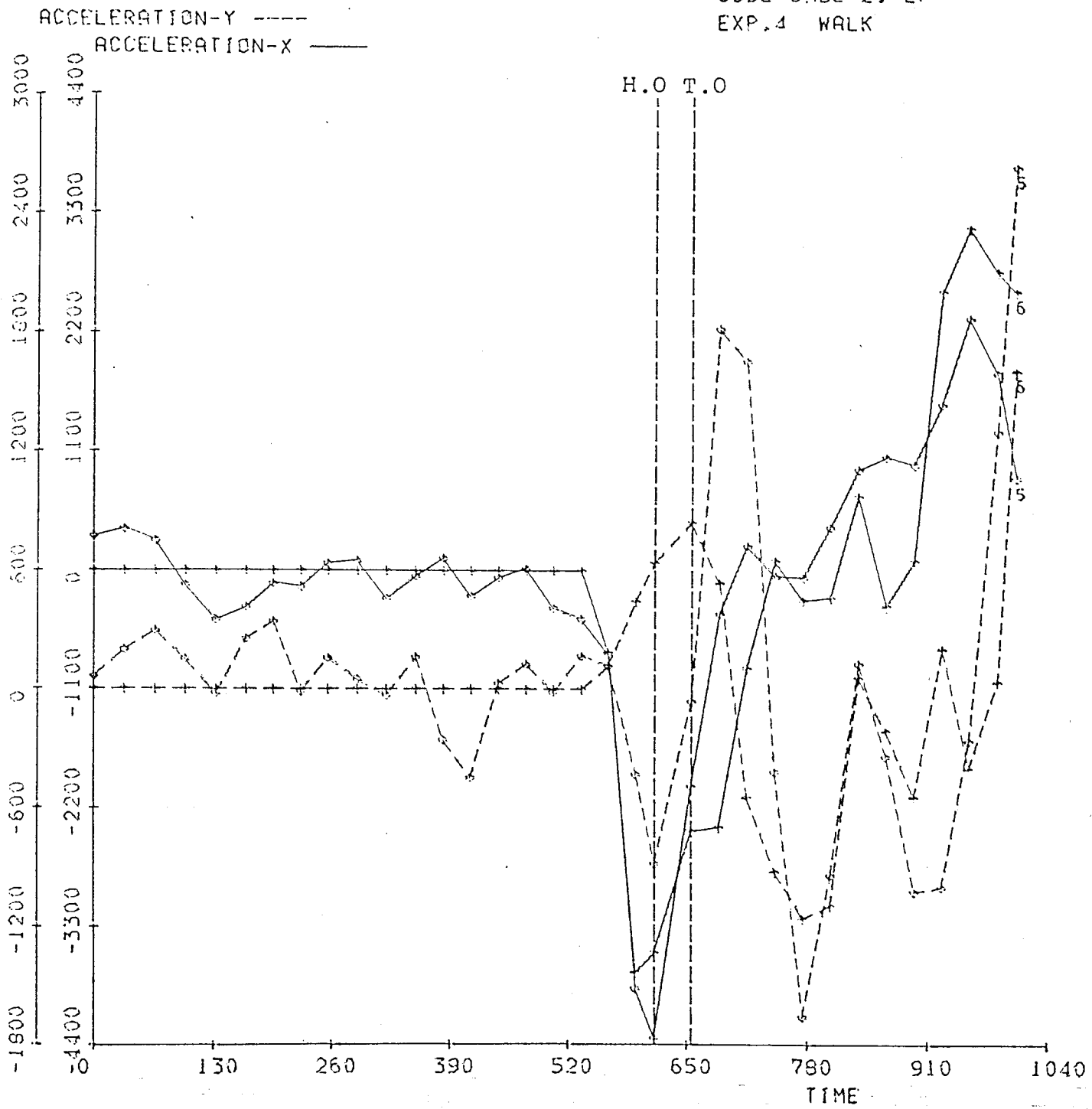


6 POINTS/FRAME 34 FRAMES

Fig. 186

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 WALK

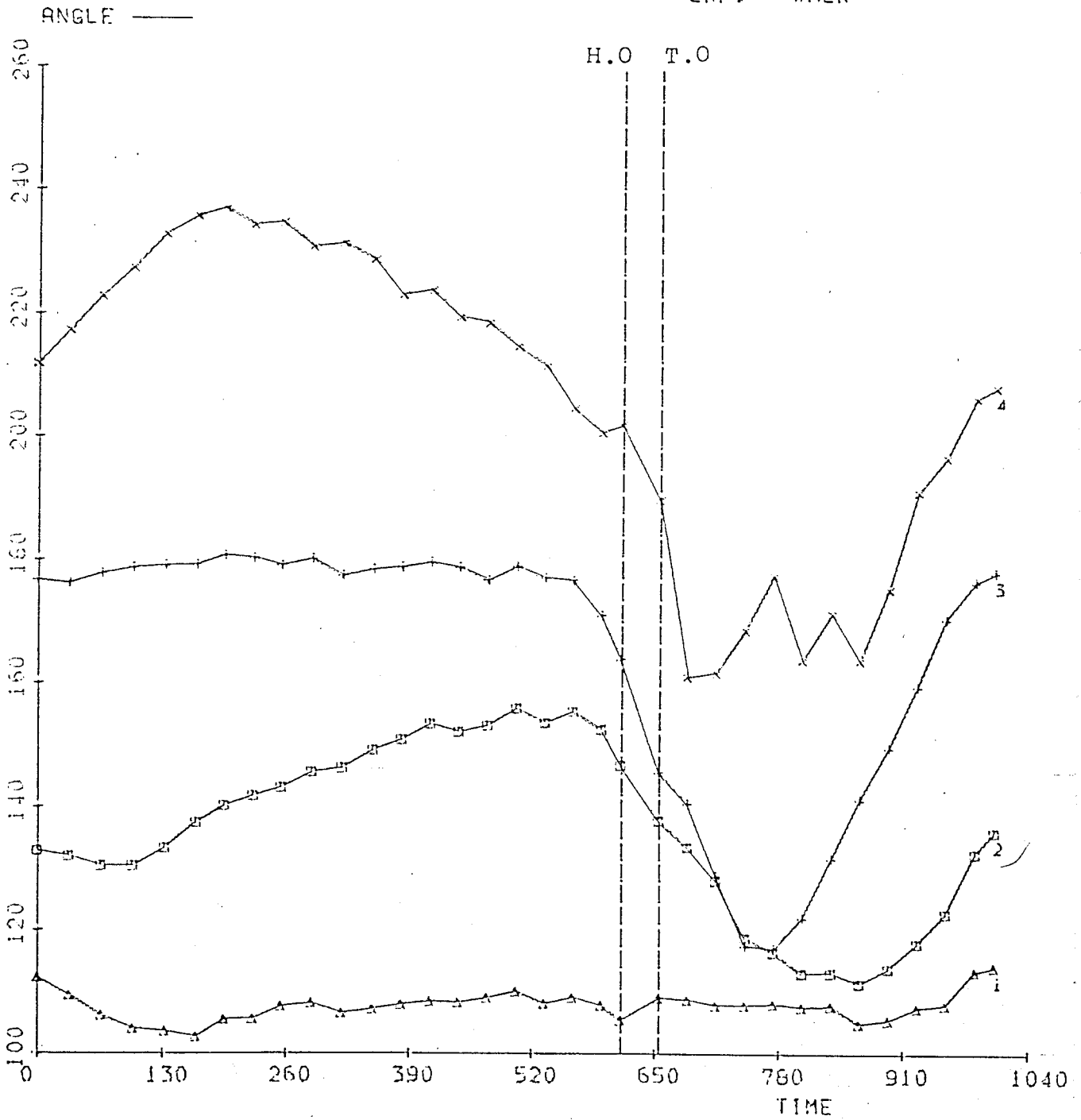


6 POINTS/FRAME 34 FRAMES

Fig. 187

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 1 WALK

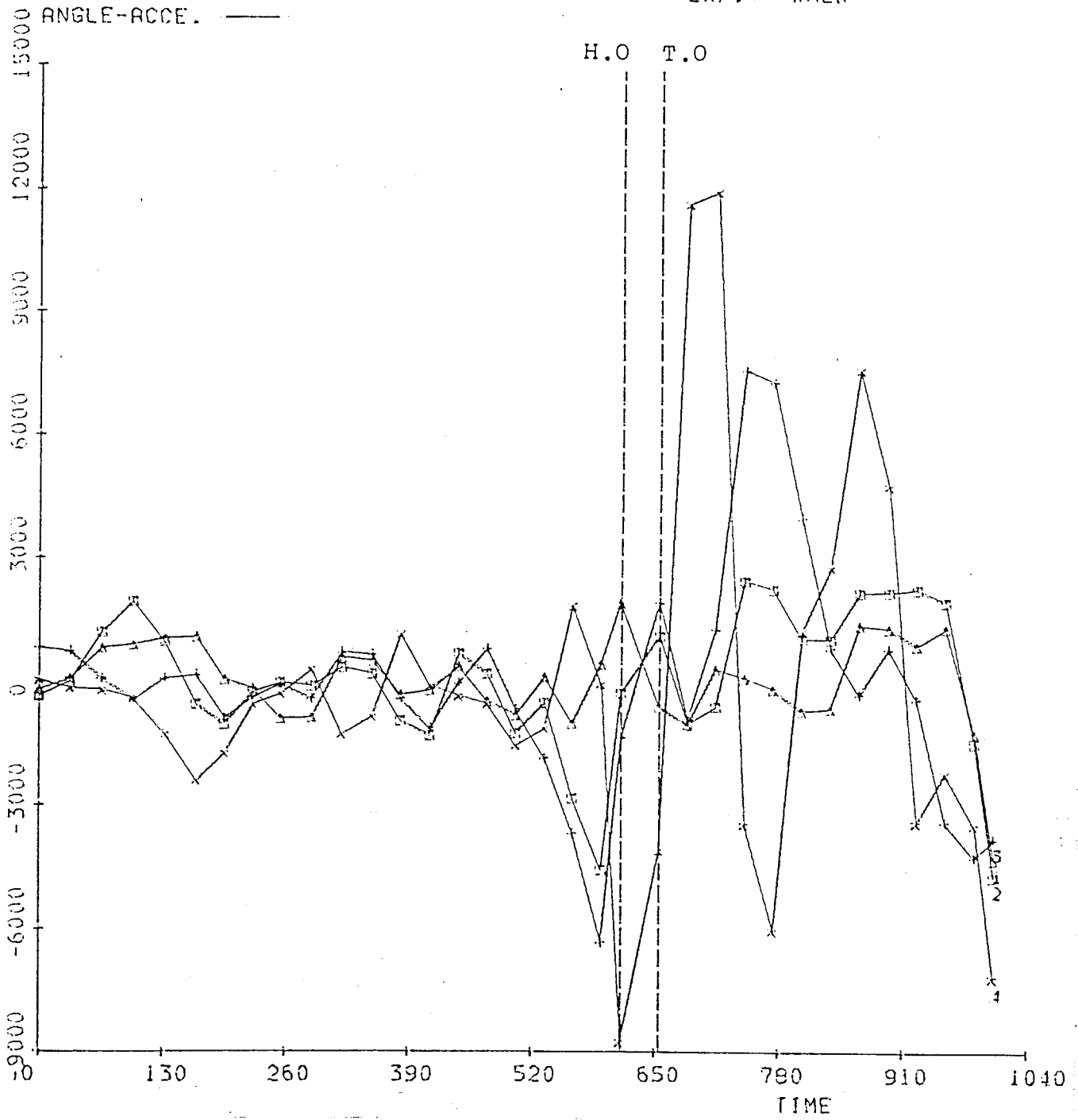


6 POINTS/FRAME 34 FRAMES

Fig. 188

ANGLE - TIME

TEST:
CODE=CASE 2. LF
EXP. J WALK

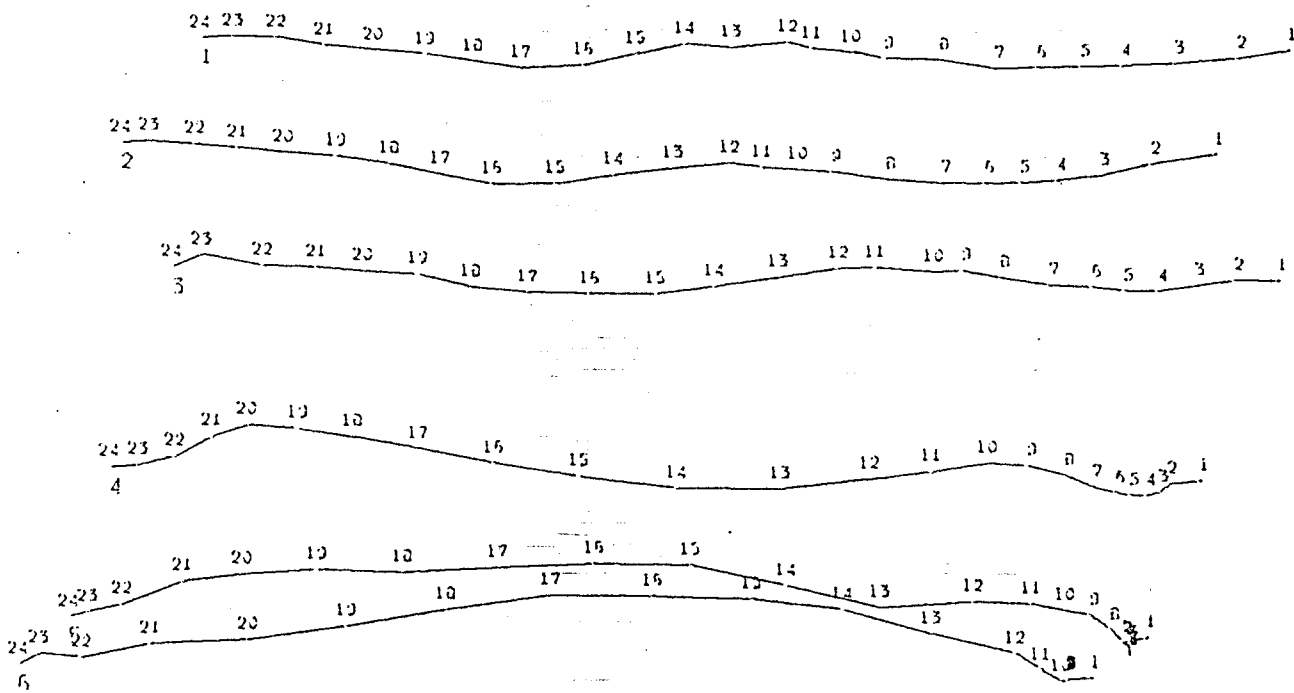


6 POINTS/FRAME 34 FRAMES

Fig. 189

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 TROT



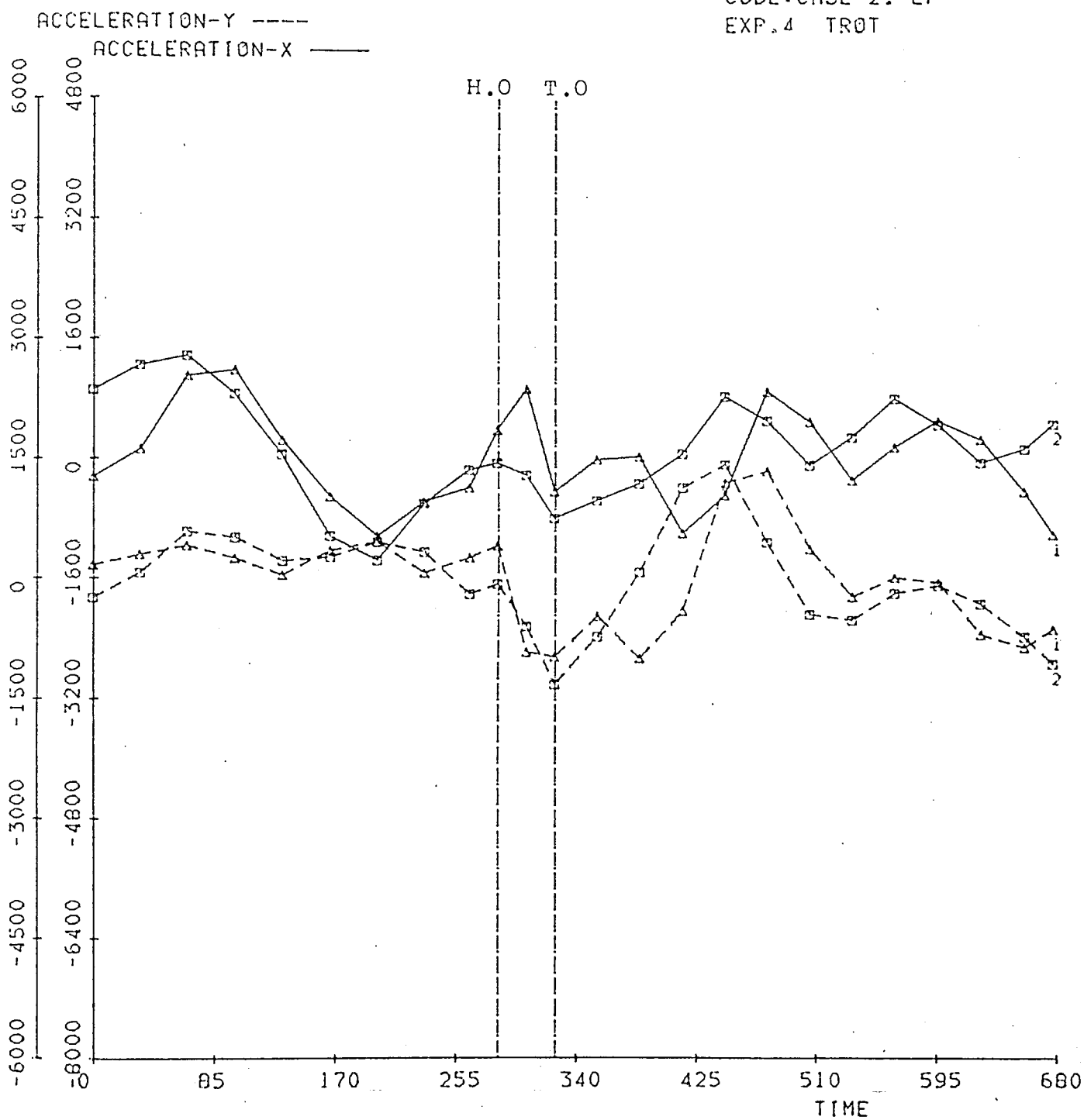
30.720

6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 190

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 TROT

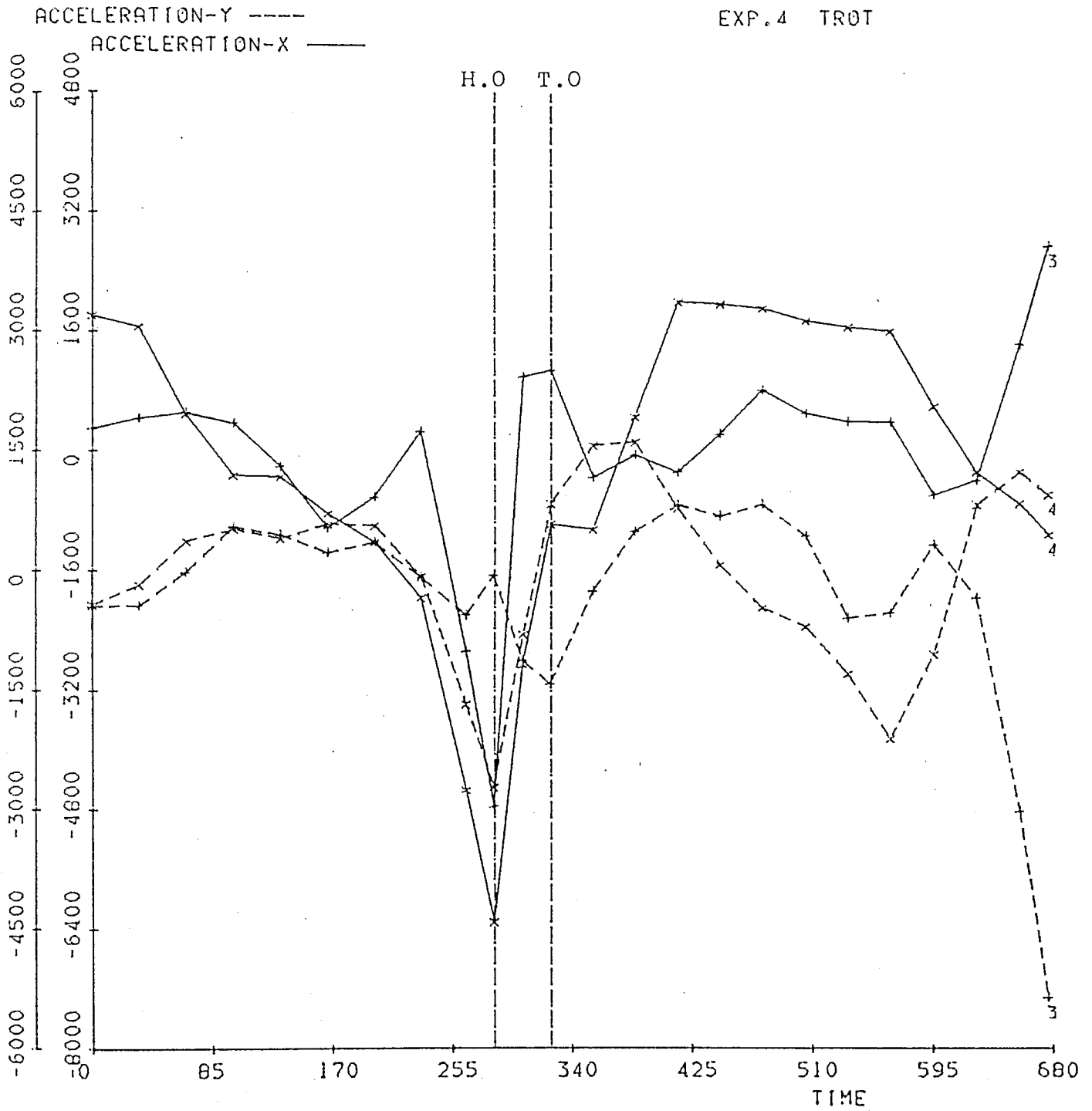


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 191

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 TROT

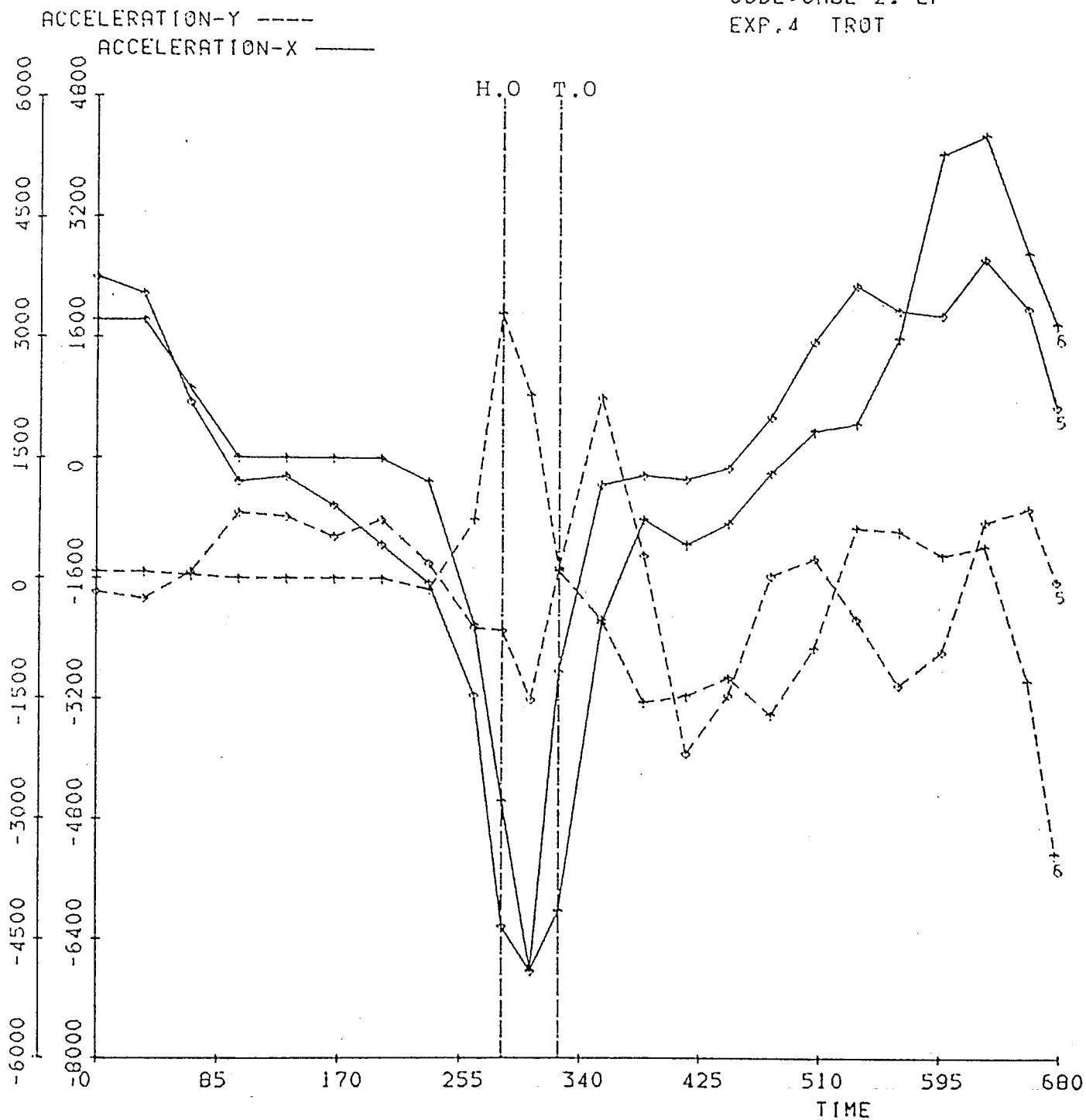


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 192

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 TROT

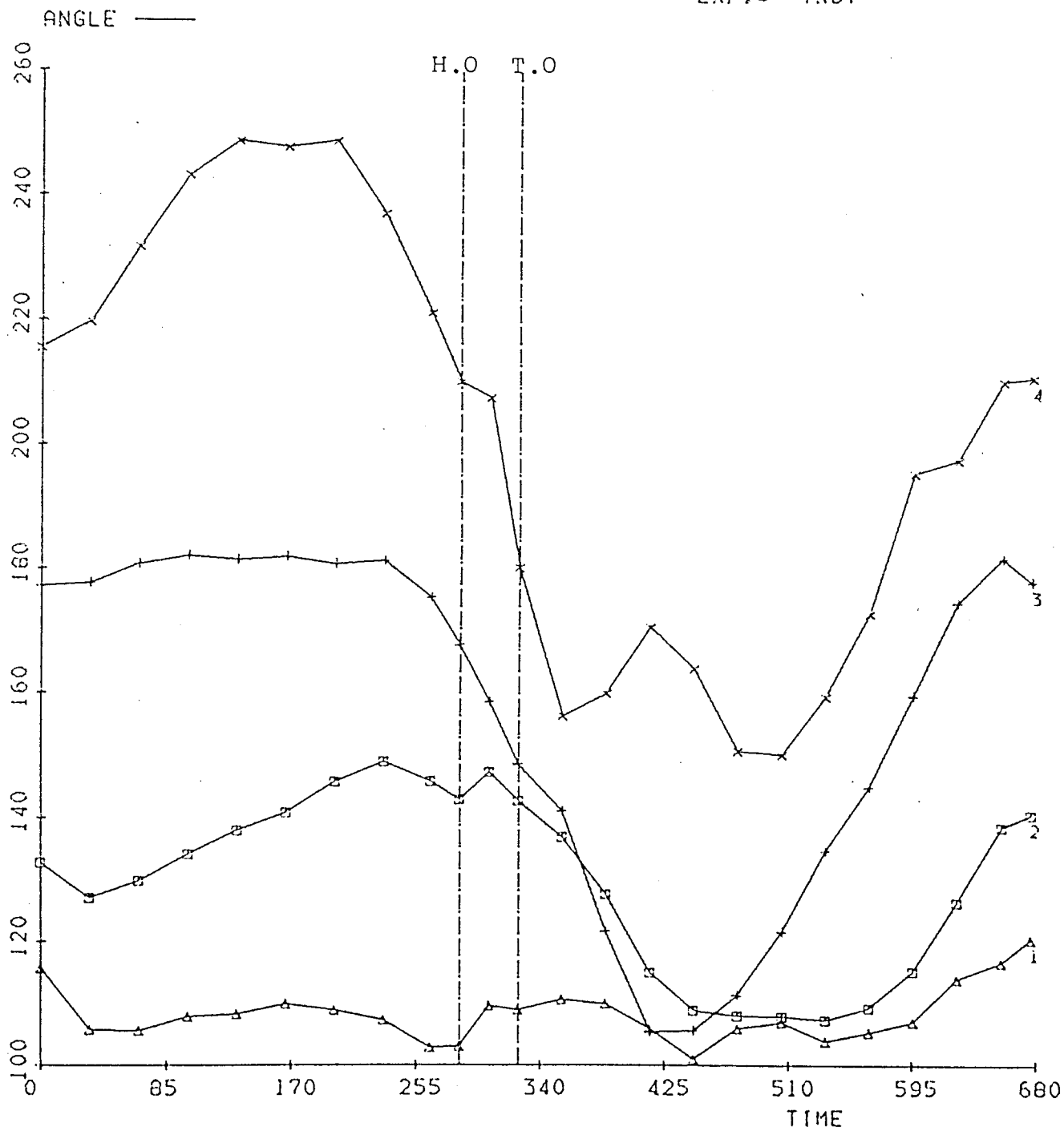


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 193

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 TROT

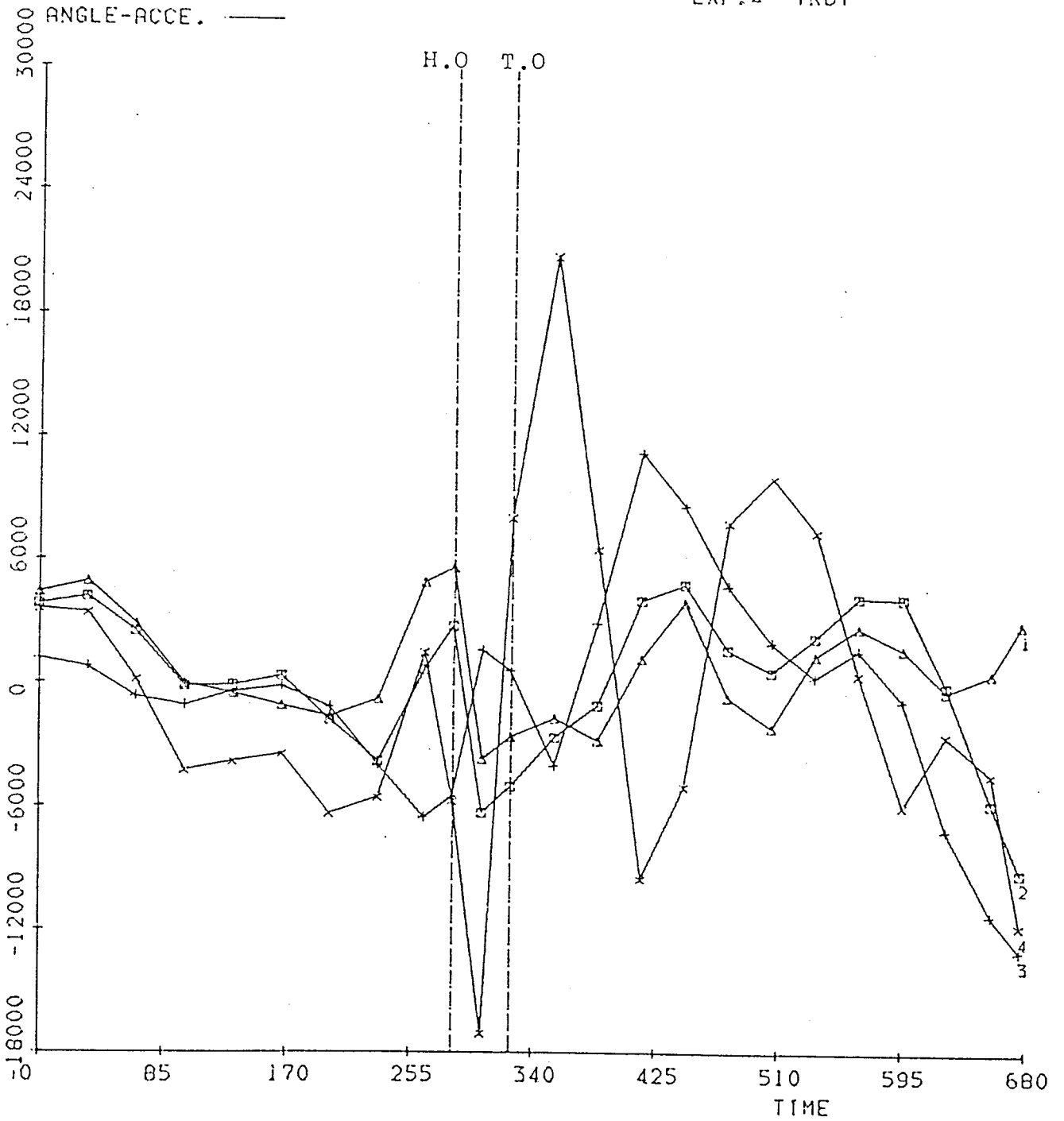


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 194

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 TROT

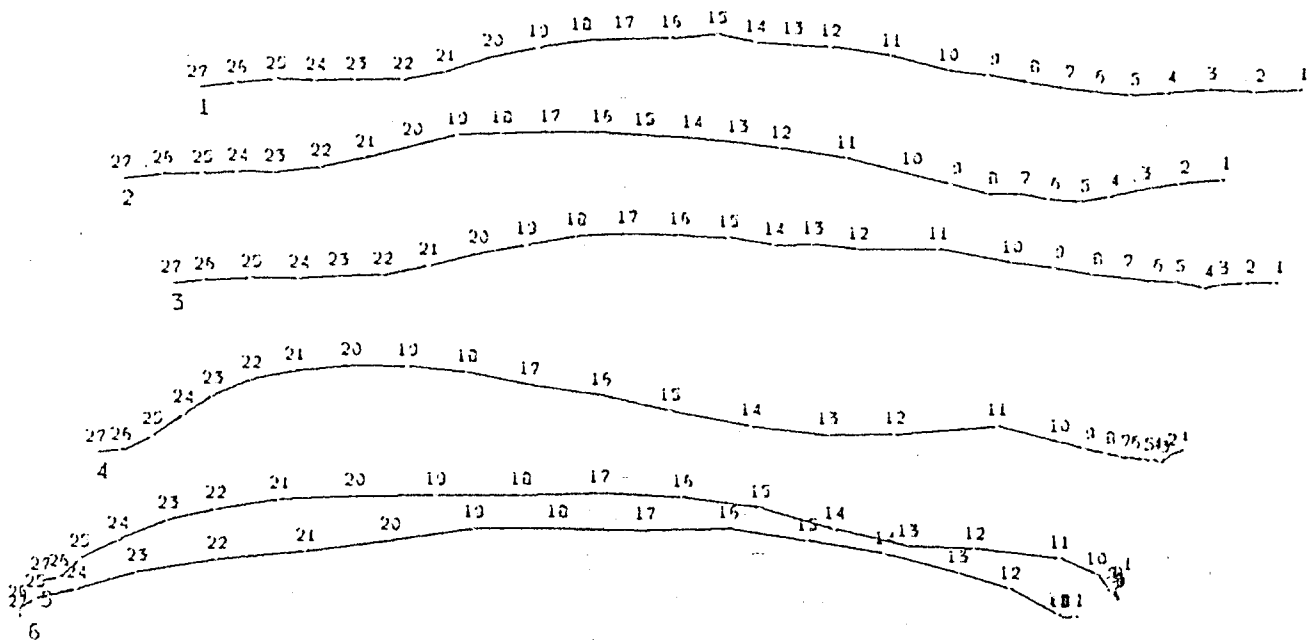


6 POINTS/FRAME 24 FRAMES

Fig. 195

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)



30.720

6 POINTS/FRAME

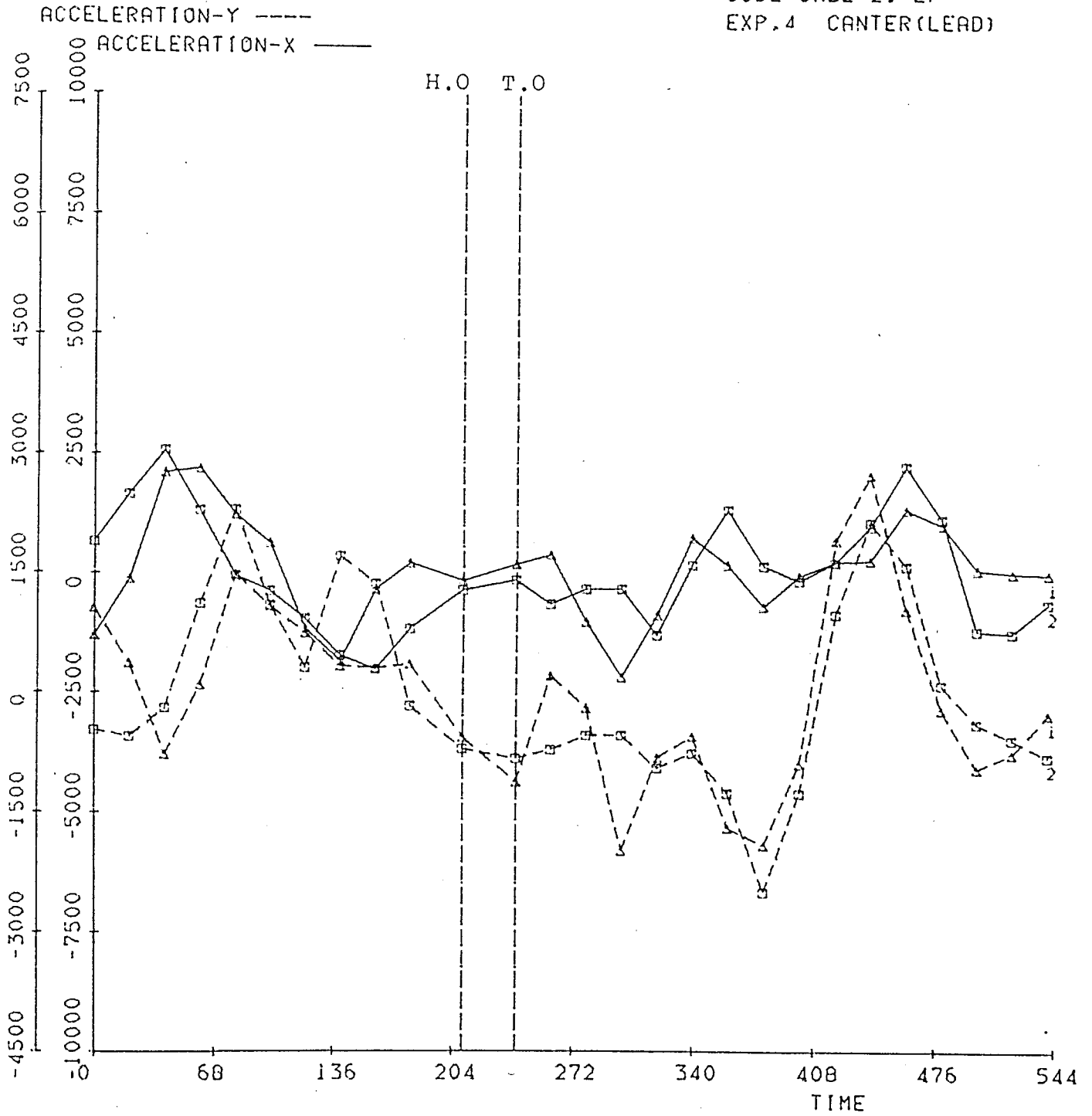
27 FRAMES

Fig. 196

*

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)

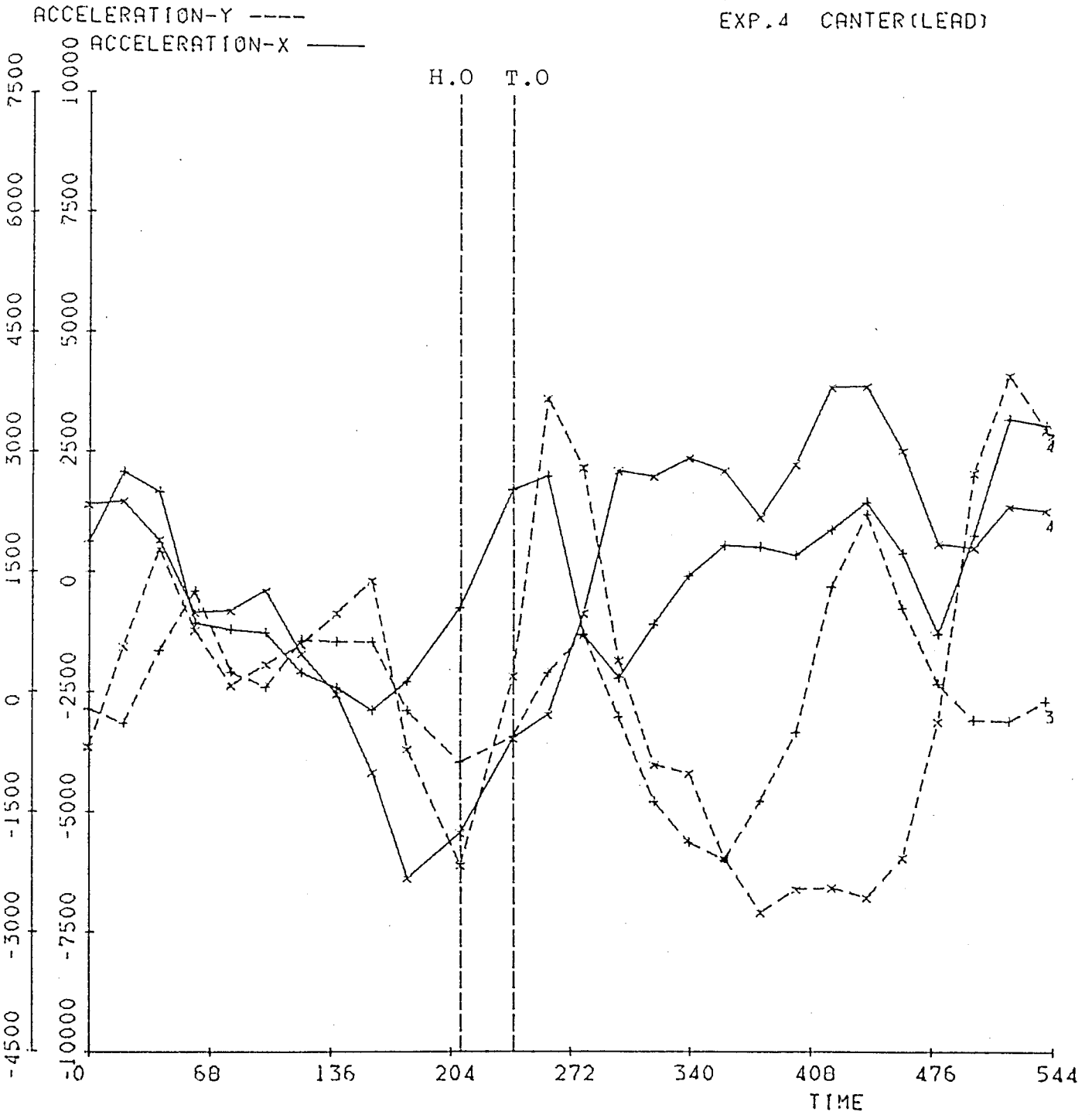


6 POINTS/FRAME 27 FRAMES

Fig. 197

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2, LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)



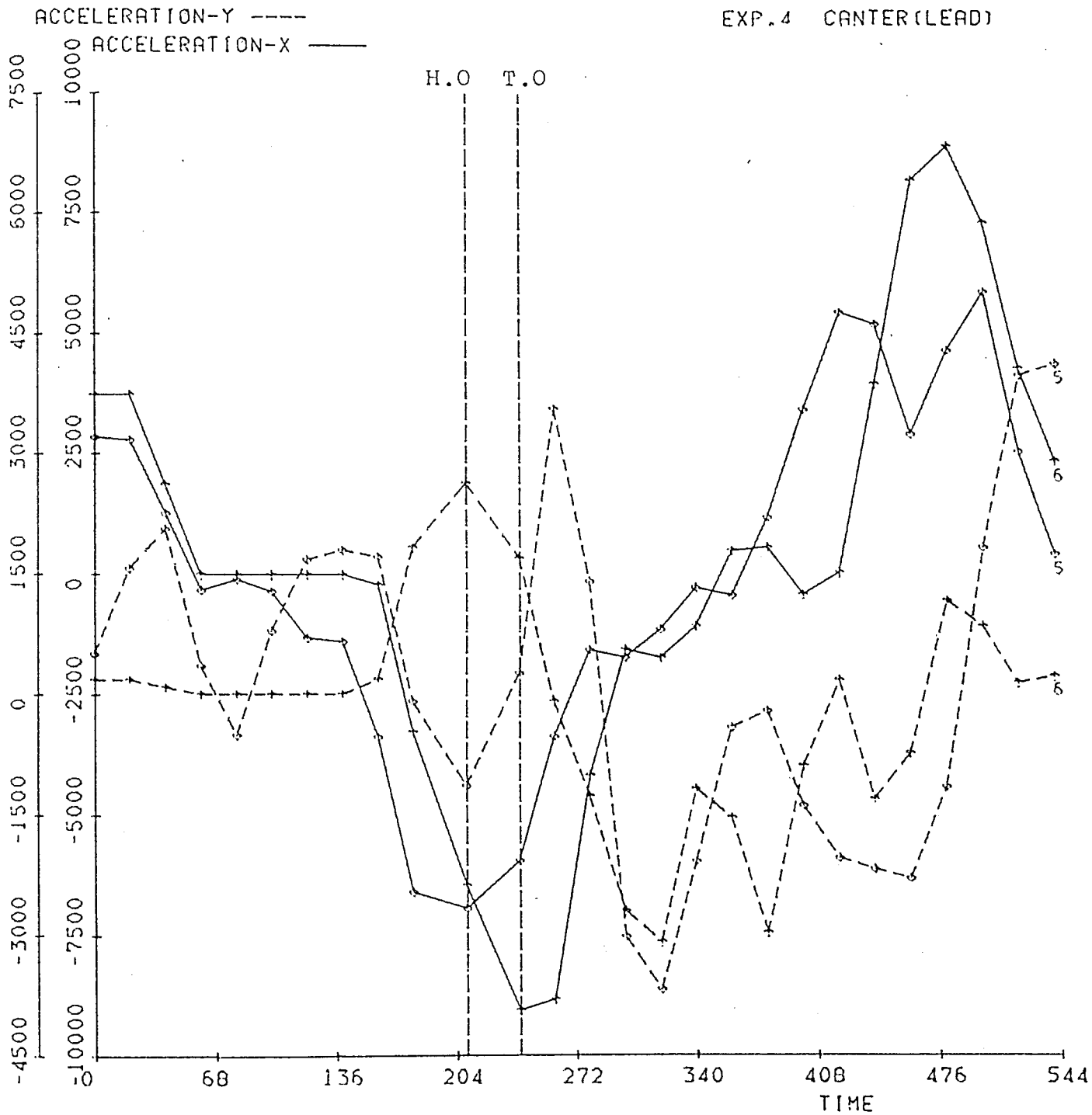
6 POINTS/FRAME

27 FRAMES

Fig. 198

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)



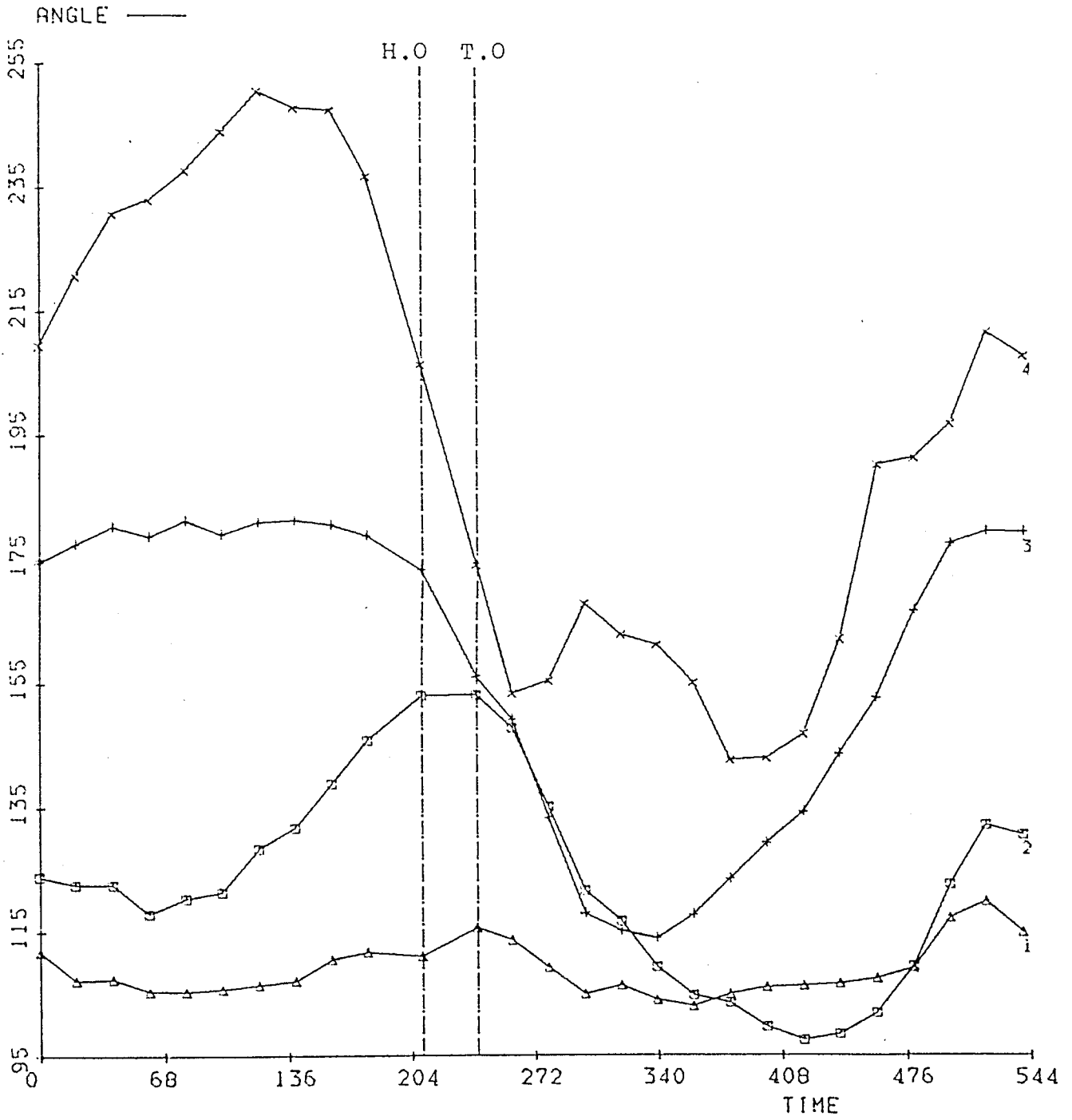
6 POINTS/FRAME

27 FRAMES

Fig. 199

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)



6 POINTS/FRAME

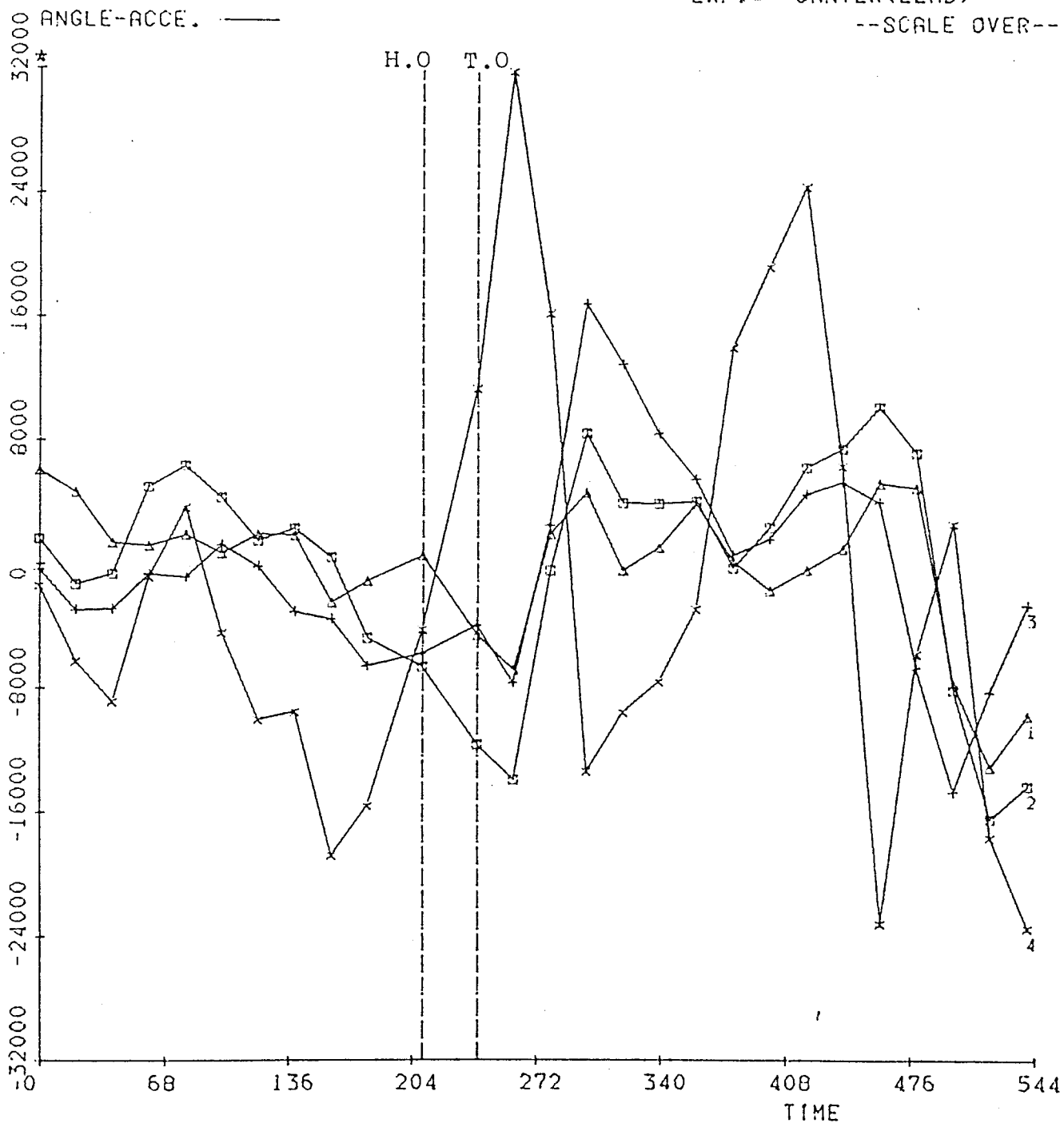
27 FRAMES

Fig. 200

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 CANTER (LEAD)

--SCALE OVER--

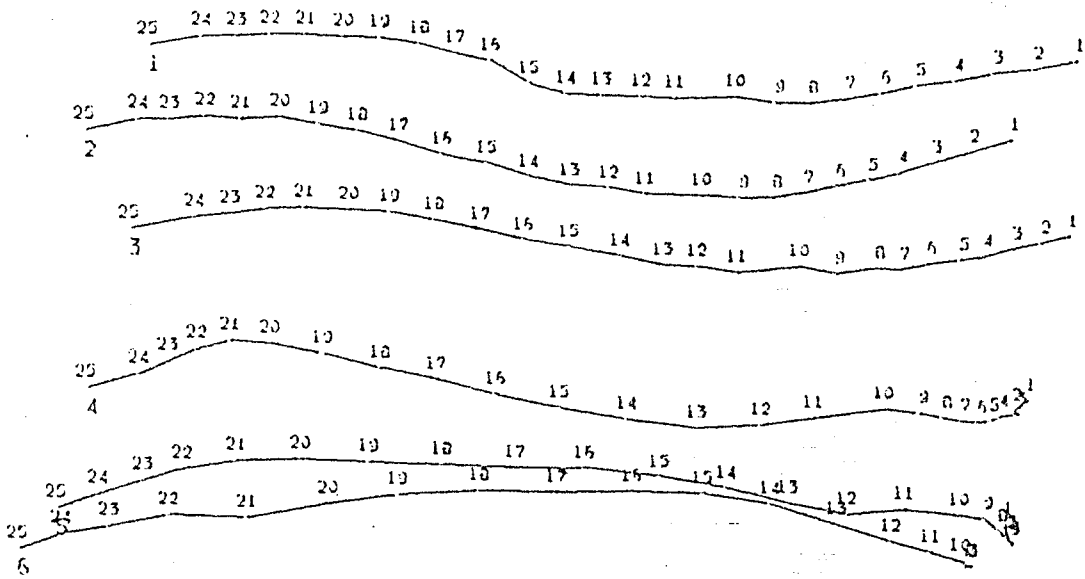


6 POINTS/FRAME 27 FRAMES

Fig. 201

LOCUS

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 CANTER (TRAIL)



30.720

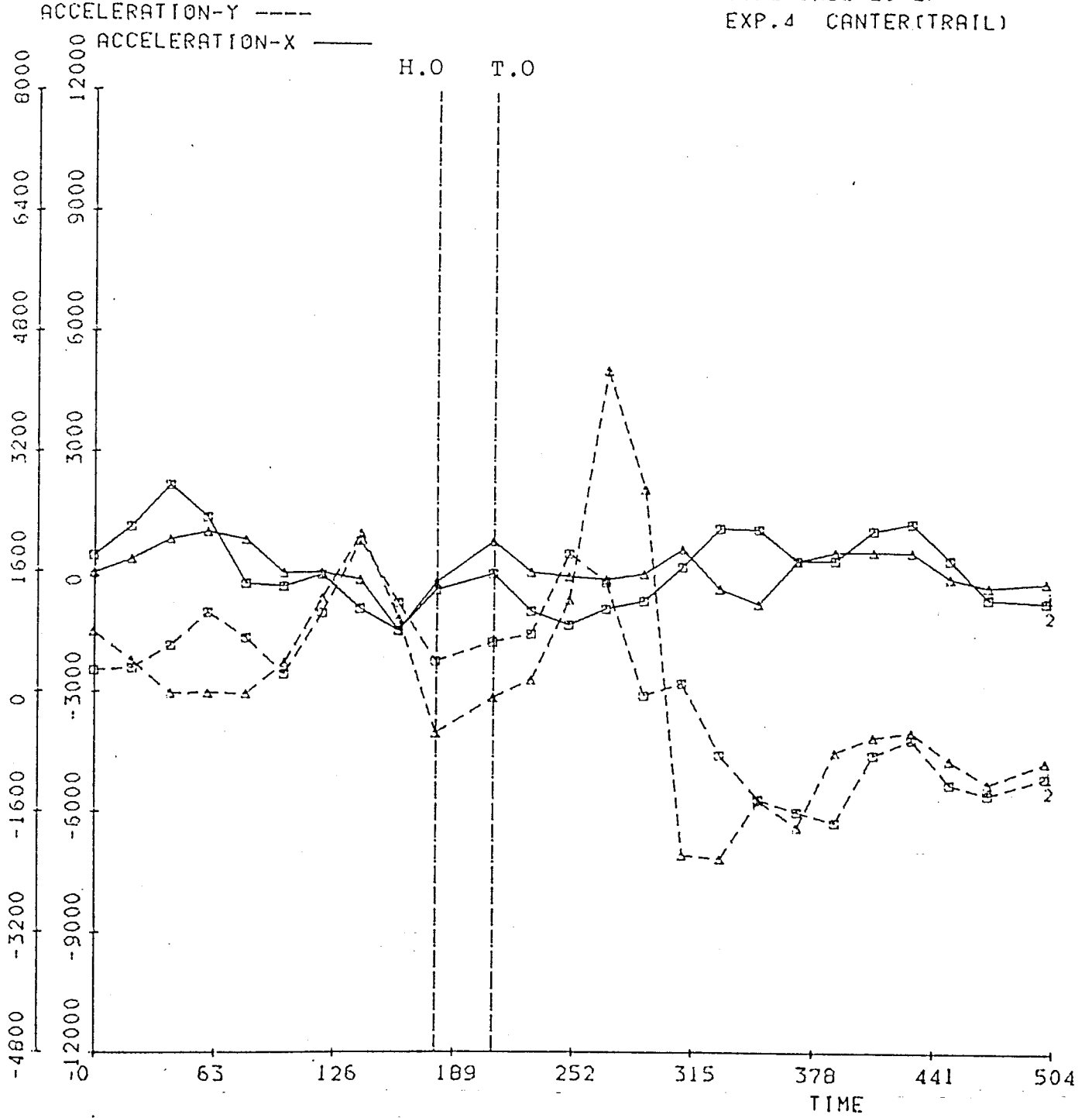
6 POINTS/FRAME

25 FRAMES

Fig. 202

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE>CASE 2. LF
EXP.4 CANTER(TRAIL)

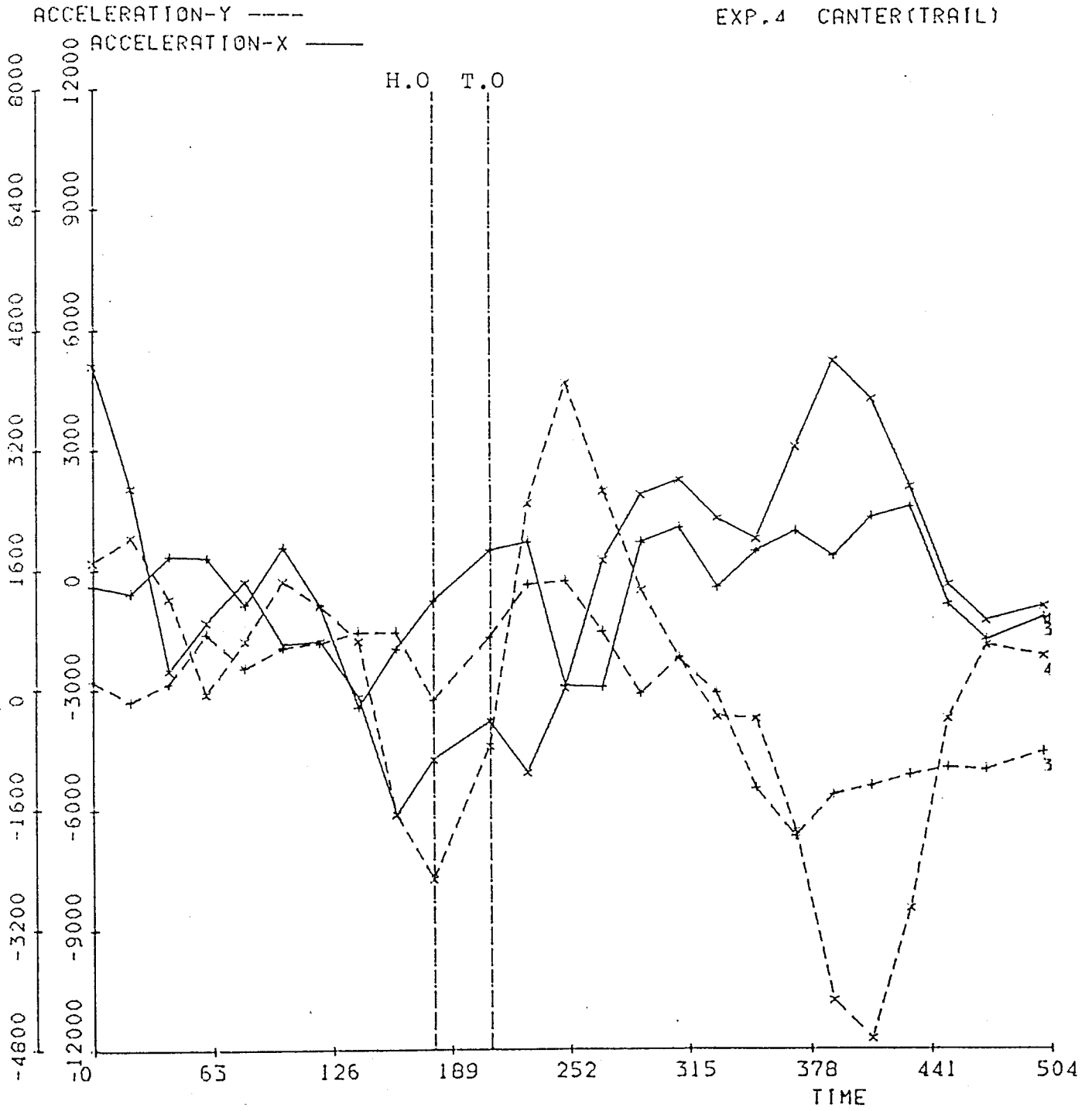


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 203

ACCELERATION - TIME ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 CANTER (TRAIL)

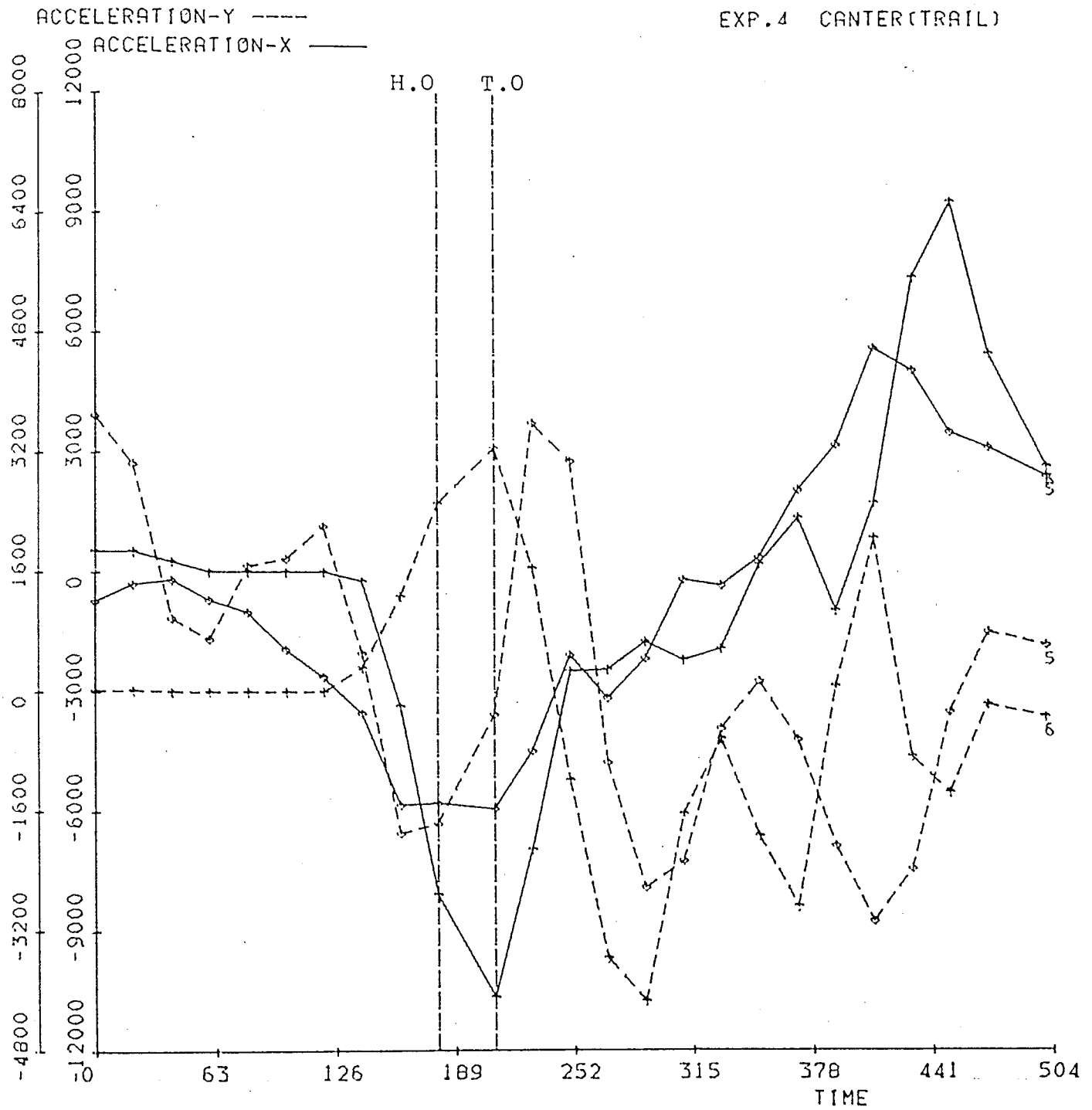


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 204

ACCELERATION - TIME
ACCELERATION

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 CANTER (TRAIL)

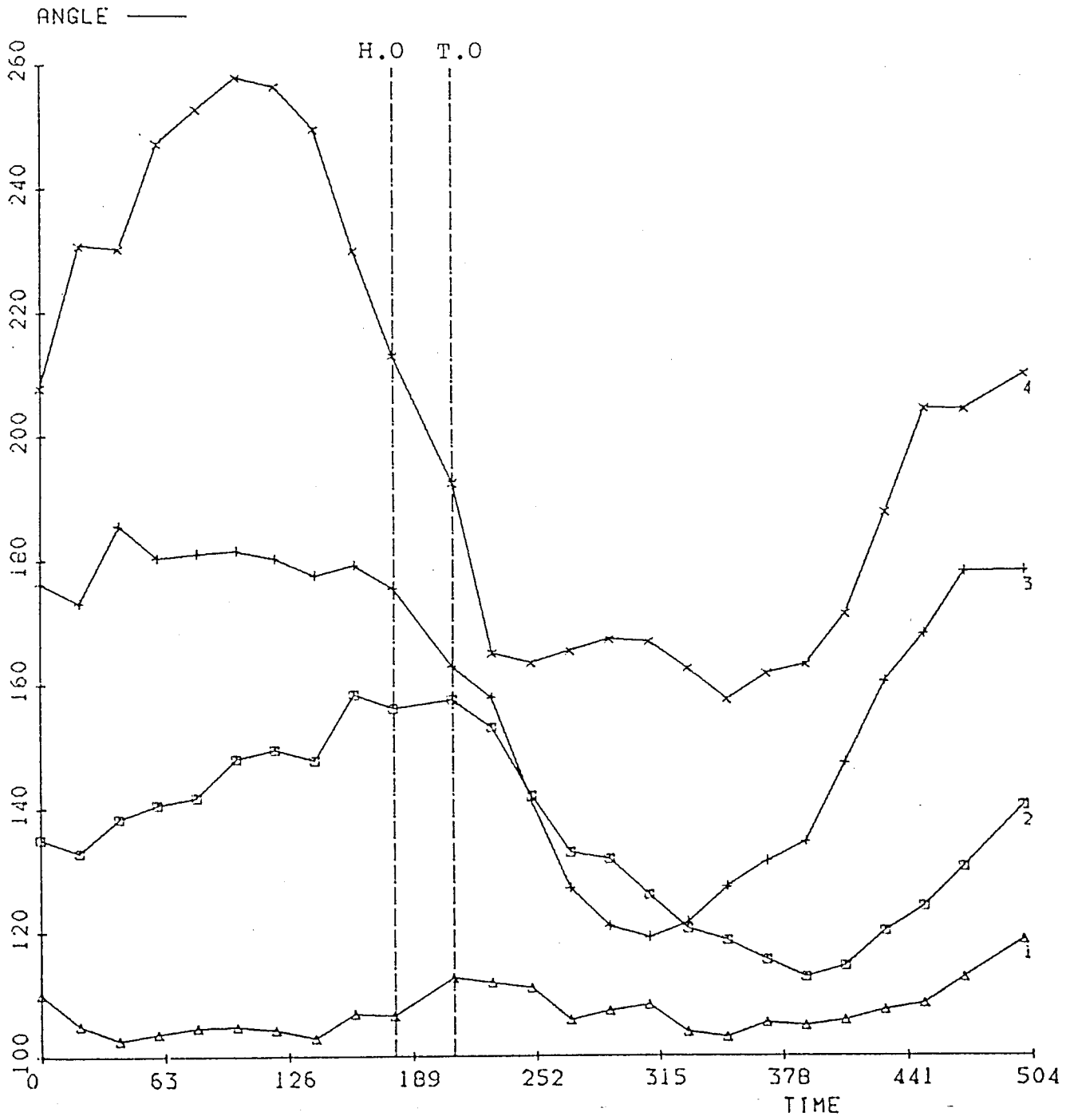


6 POINTS/FRAME 25 FRAMES

Fig. 205

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 CANTER (TRAIL)



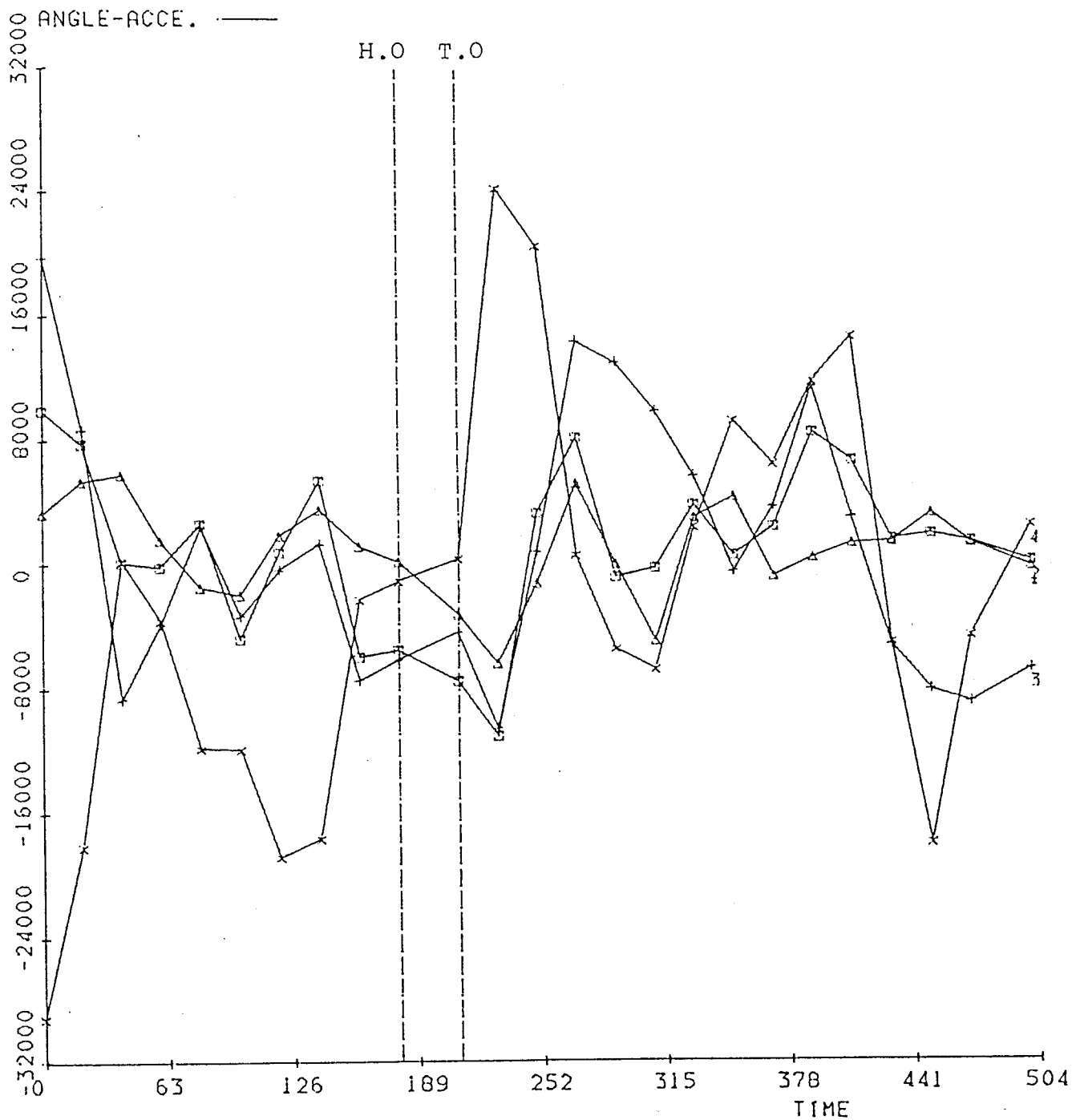
6 POINTS/FRAME

25 FRAMES

Fig. 206

ANGLE - TIME

TEST:
CODE: CASE 2. LF
EXP. 4 CANTER (TRAIL)



6 POINTS/FRAME

25 FRAMES

Fig. 207

The pattern of the strain changes of the hoof during one stride at the each experiment.

Abbreviation of figure.

Vert. : Vertical diraction

Hori. : Horizontal diraction

Exp. 1 - Exp. 4

MH : Medial Heel

UP : Upper point

MQ : Medial Quarter

LP : Lower point

Toe : Toe

LQ : Lateral Quarter

LH : Lateral Heel

Exp. 5

MQ : Medial Quarter

CP : Center point

Toe : Toe

LQ : Lateral Quarter

Exp. 6

MQ : Medial Quarter

SP : Same point

Toe : Toe

(This point is same
as Exp. 5 - CP)

LQ : Lateral Quarter

CP : Center point

Case 1, Walk, Exp. 1

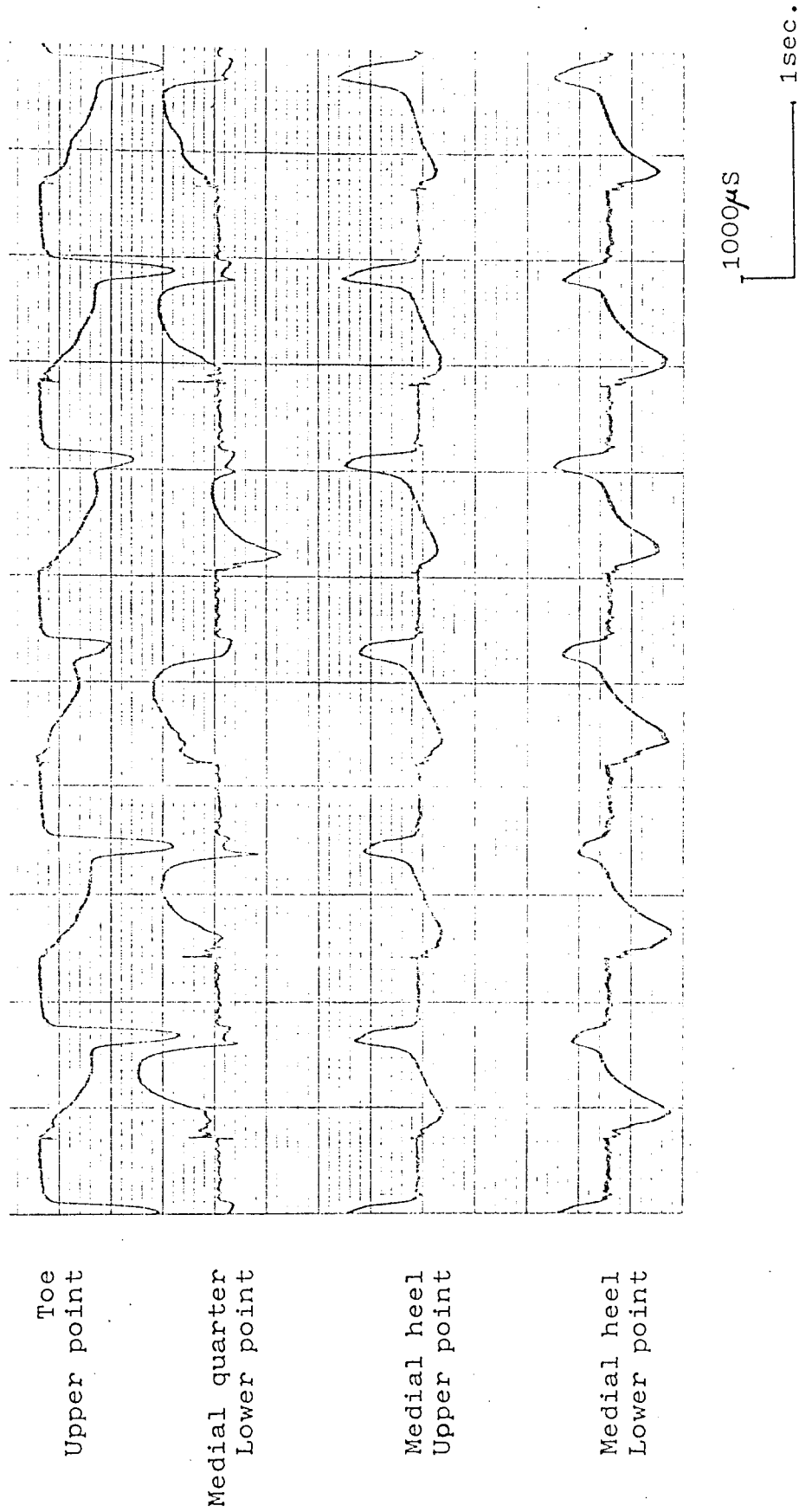


Fig. 208 Records of the strain changes on the hoof in the experiment.

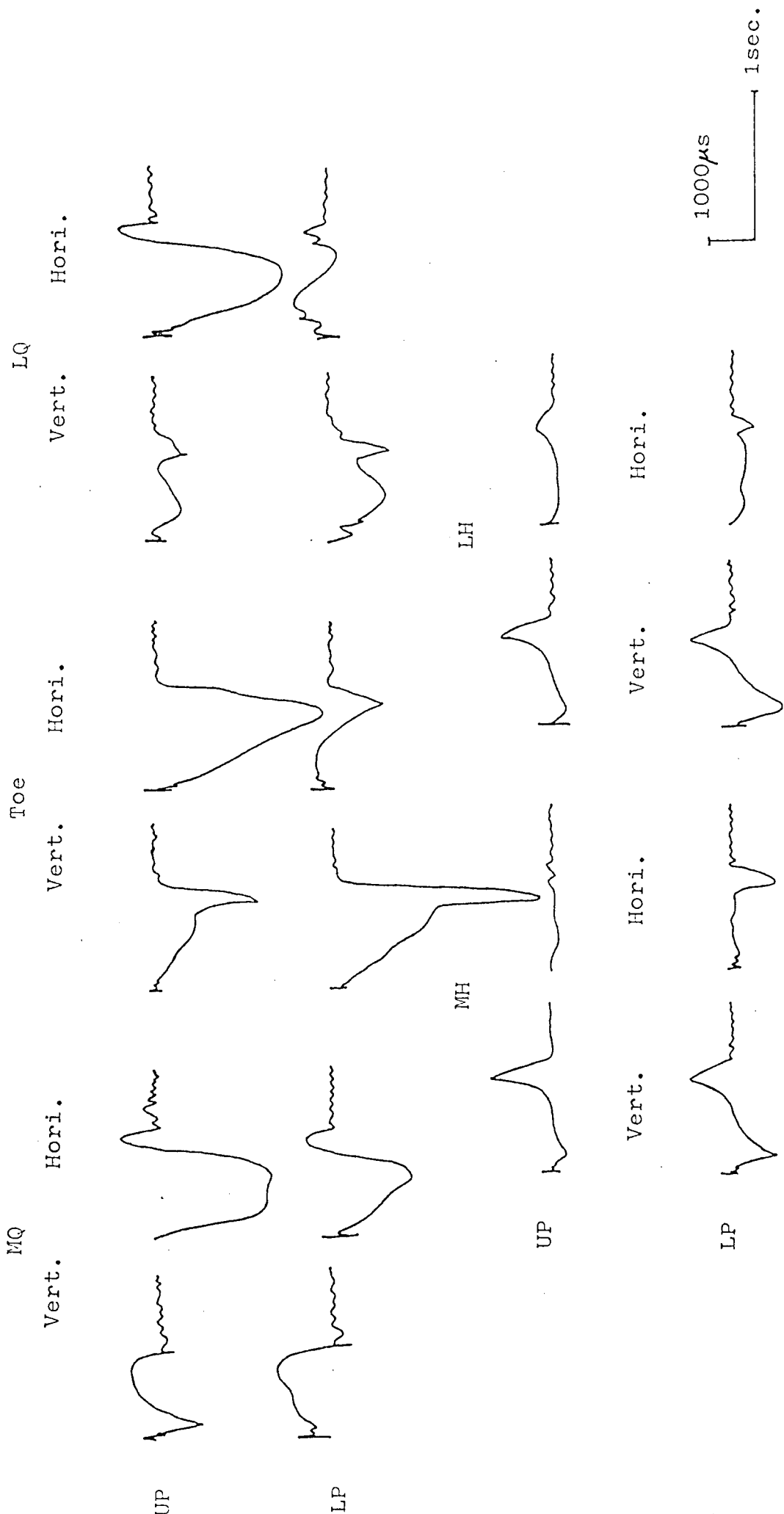


Fig. 209 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 1
 Walk

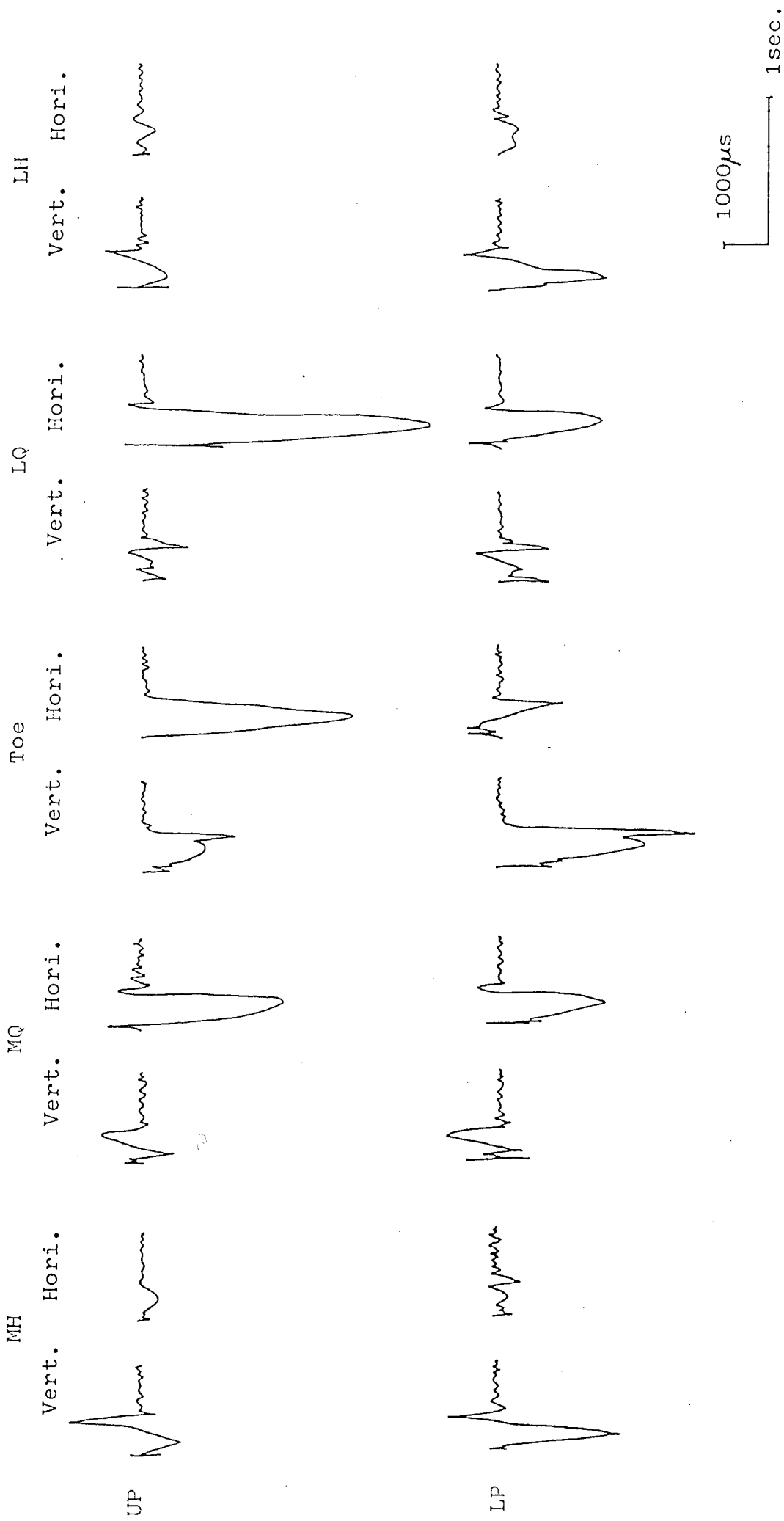


Fig. 210 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 1
 Trot

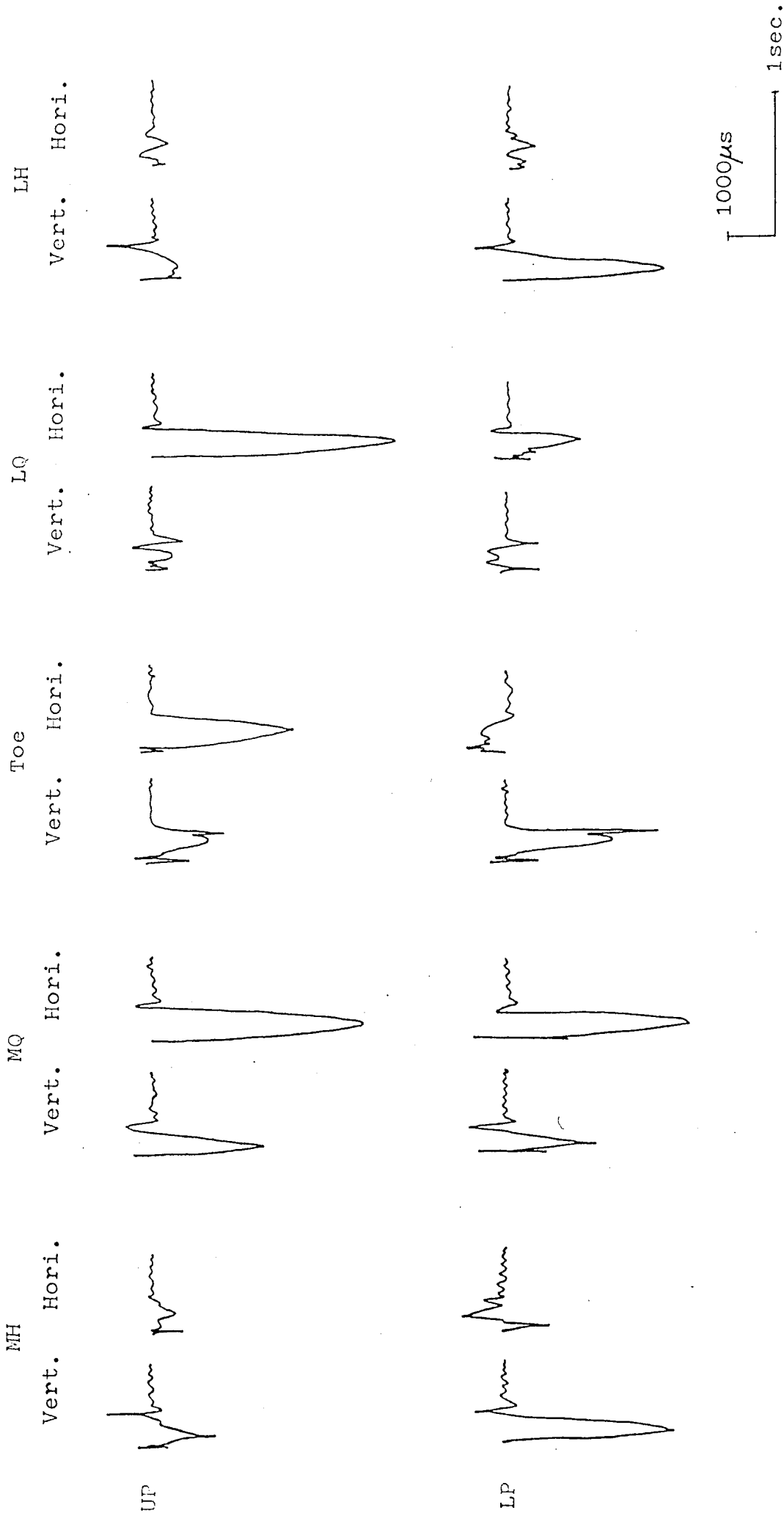


Fig. 211
 Case 1
 Left fore hoof
 Exp.1
 Canter (lead)

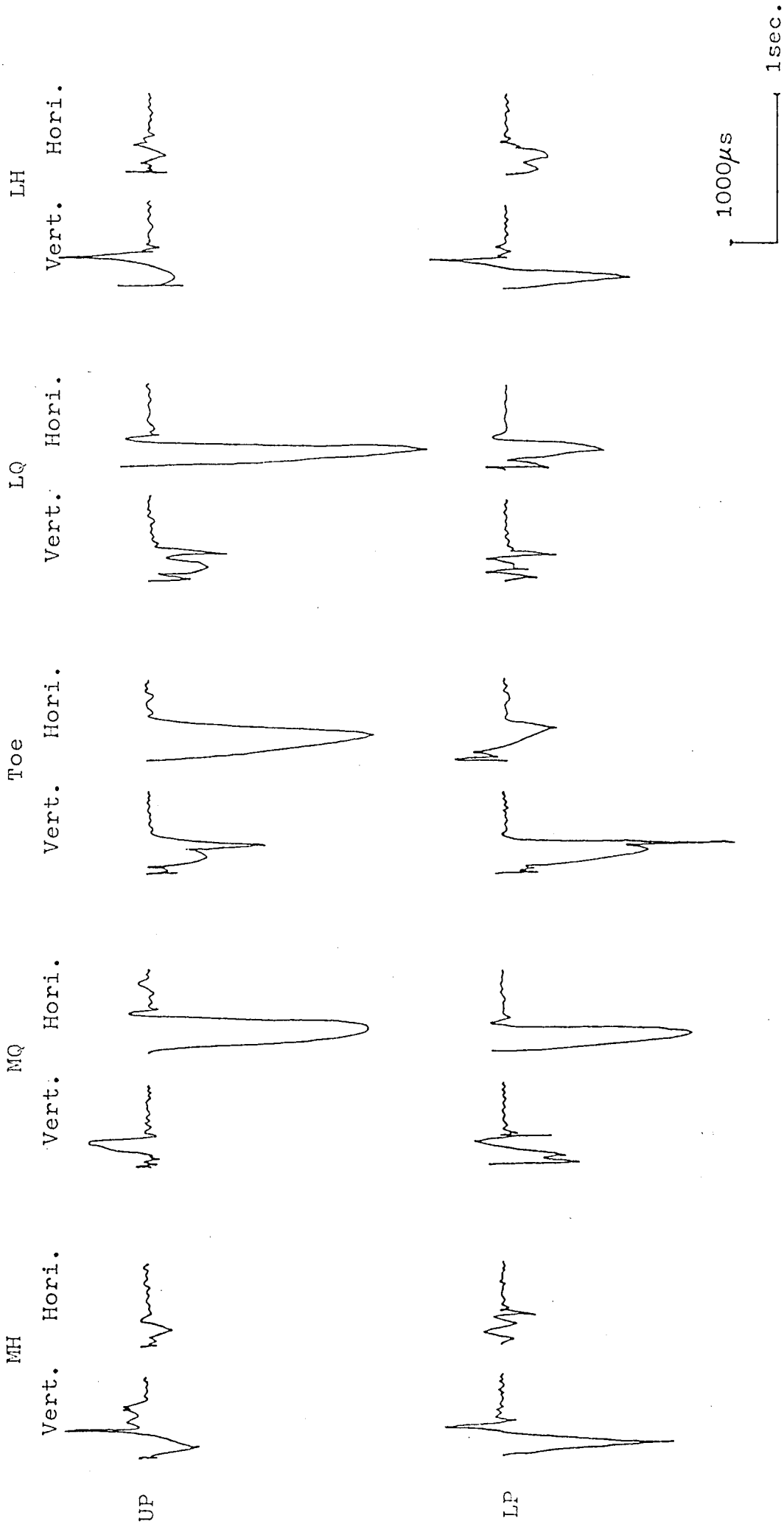


Fig. 212
 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 1
 Canter (trail)

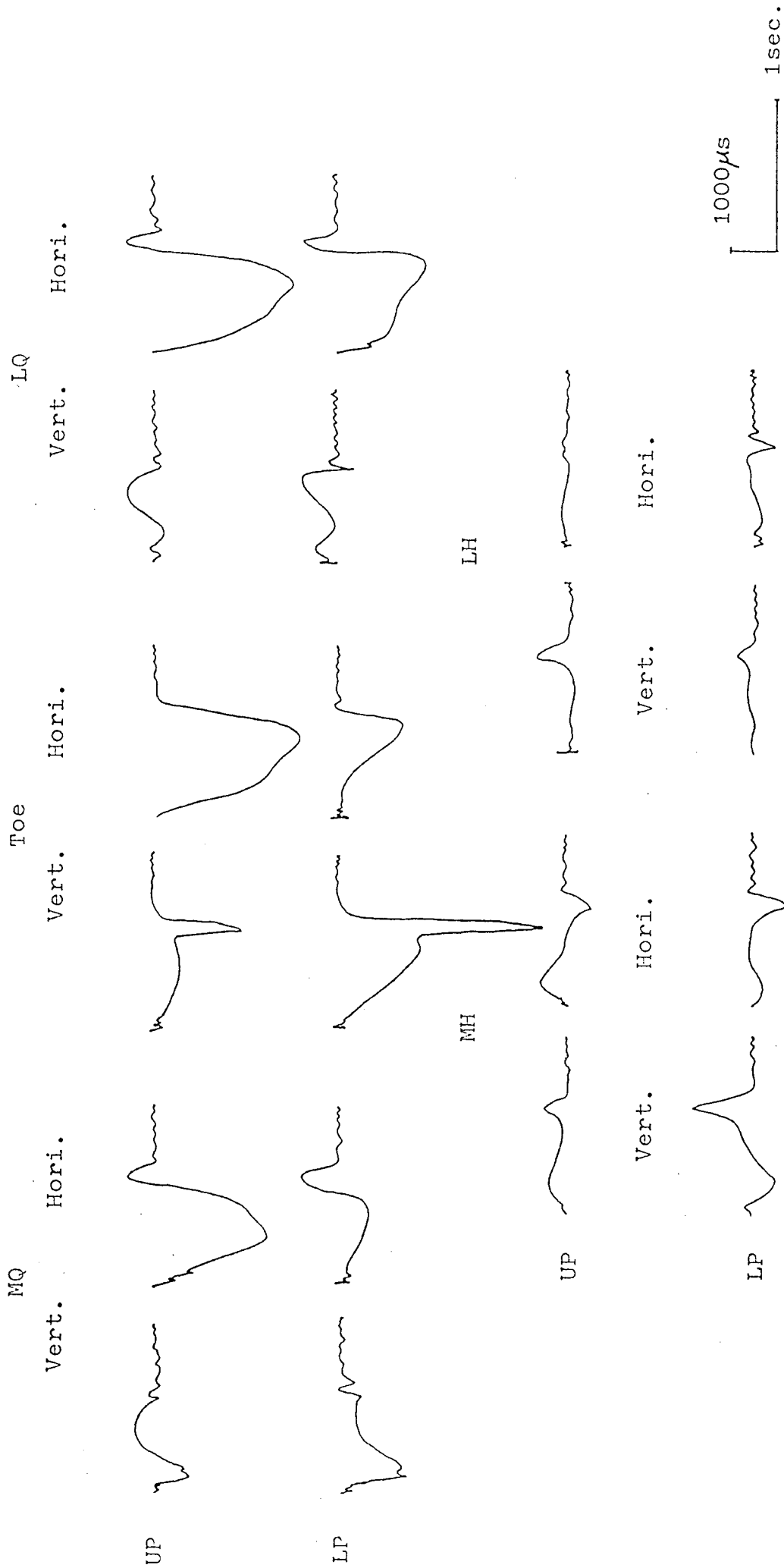


Fig. 213 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 1
 Walk

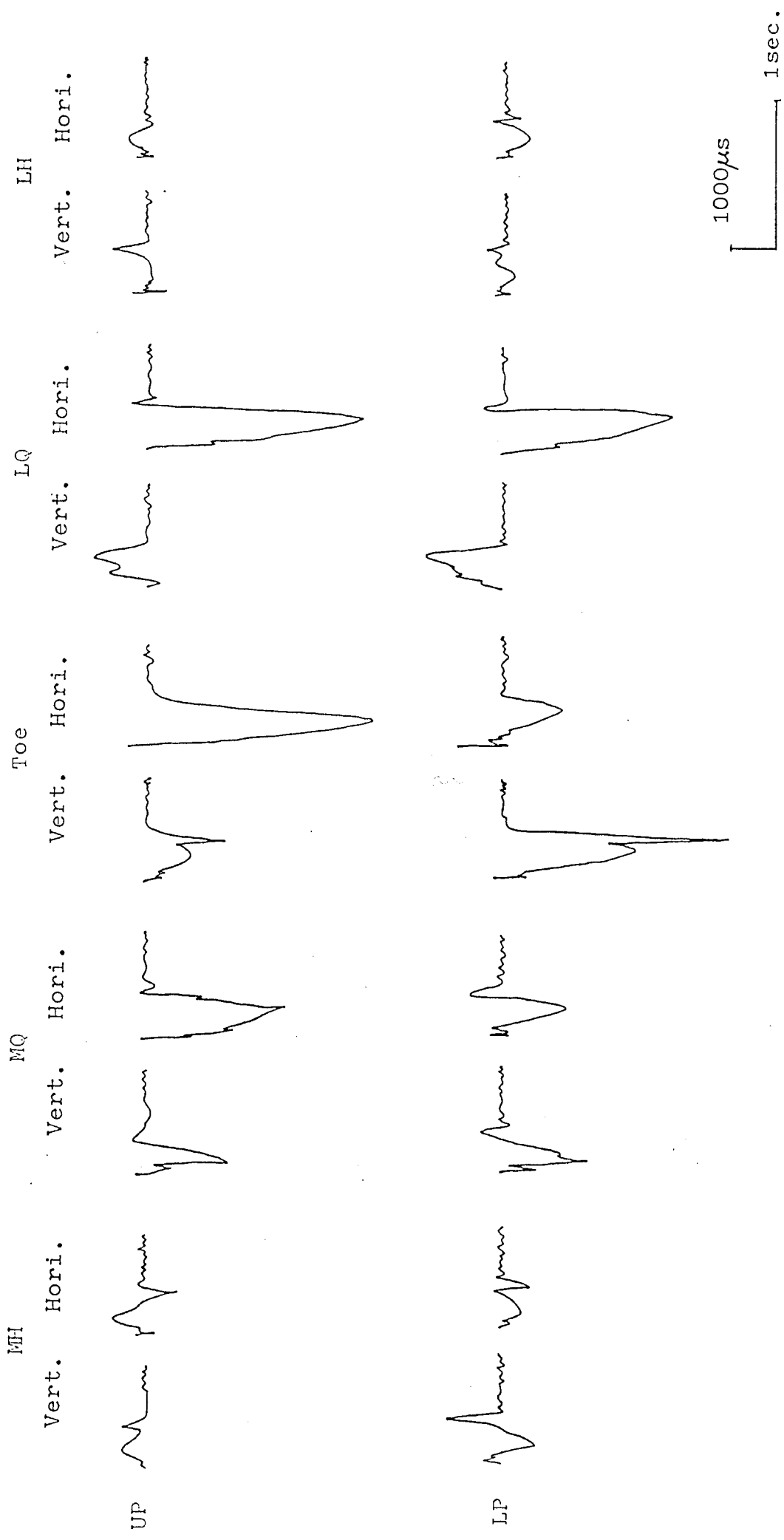


Fig. 214 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 1
 Trot

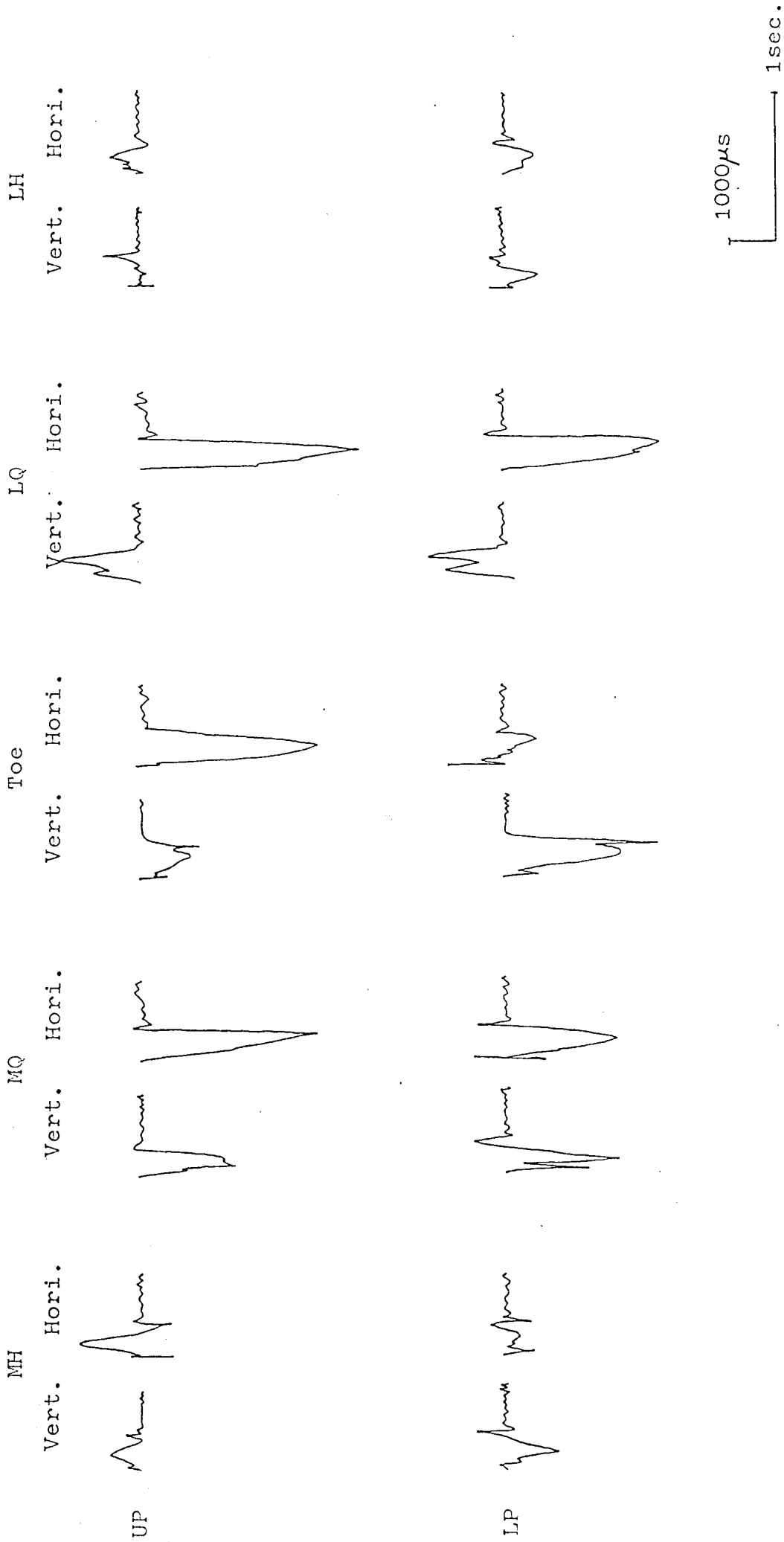


Fig. 215
 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 1
 Canter (lead)

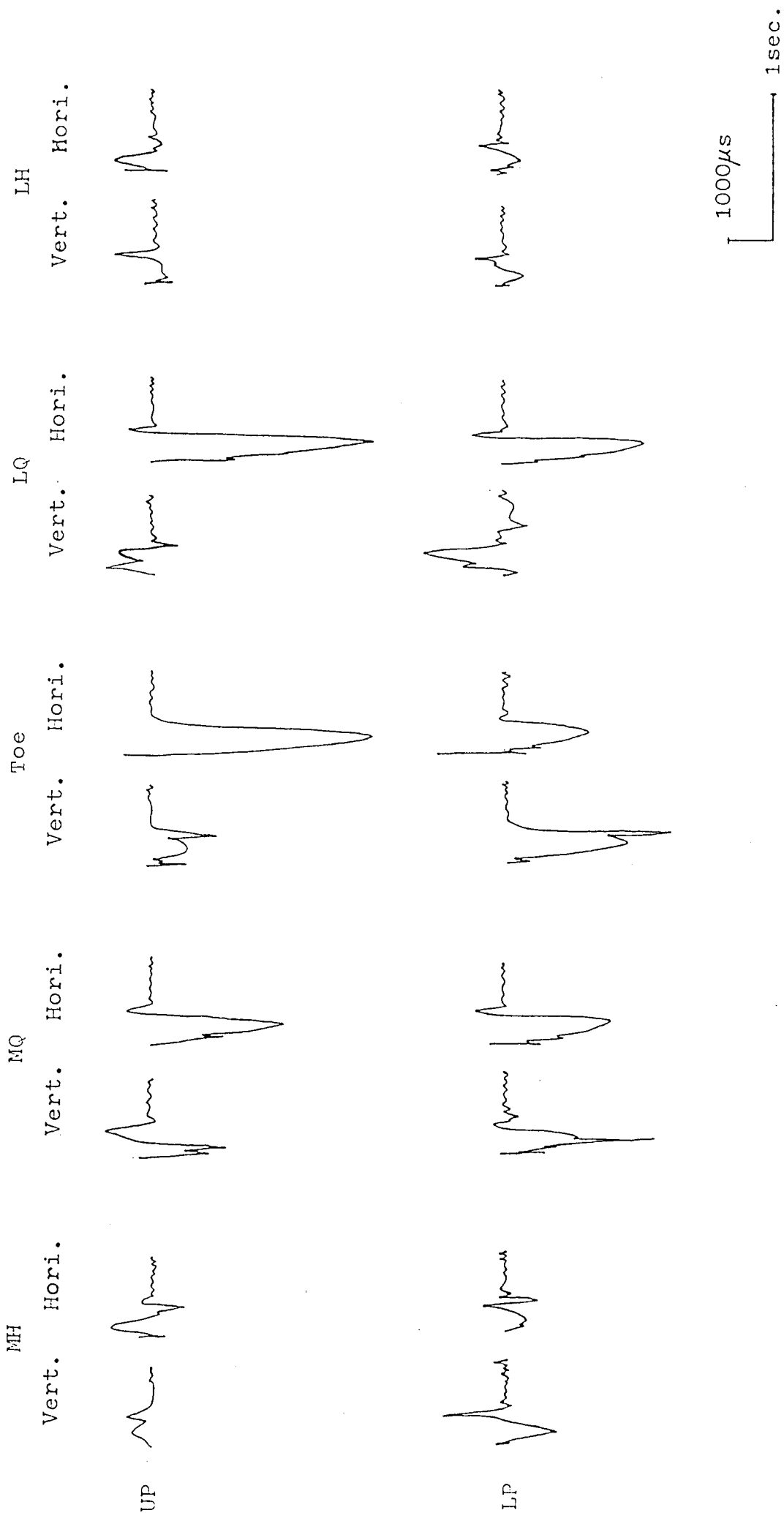


Fig. 216 Case 2
 Left fore hoof
 Exp.1
 Canter (trail)

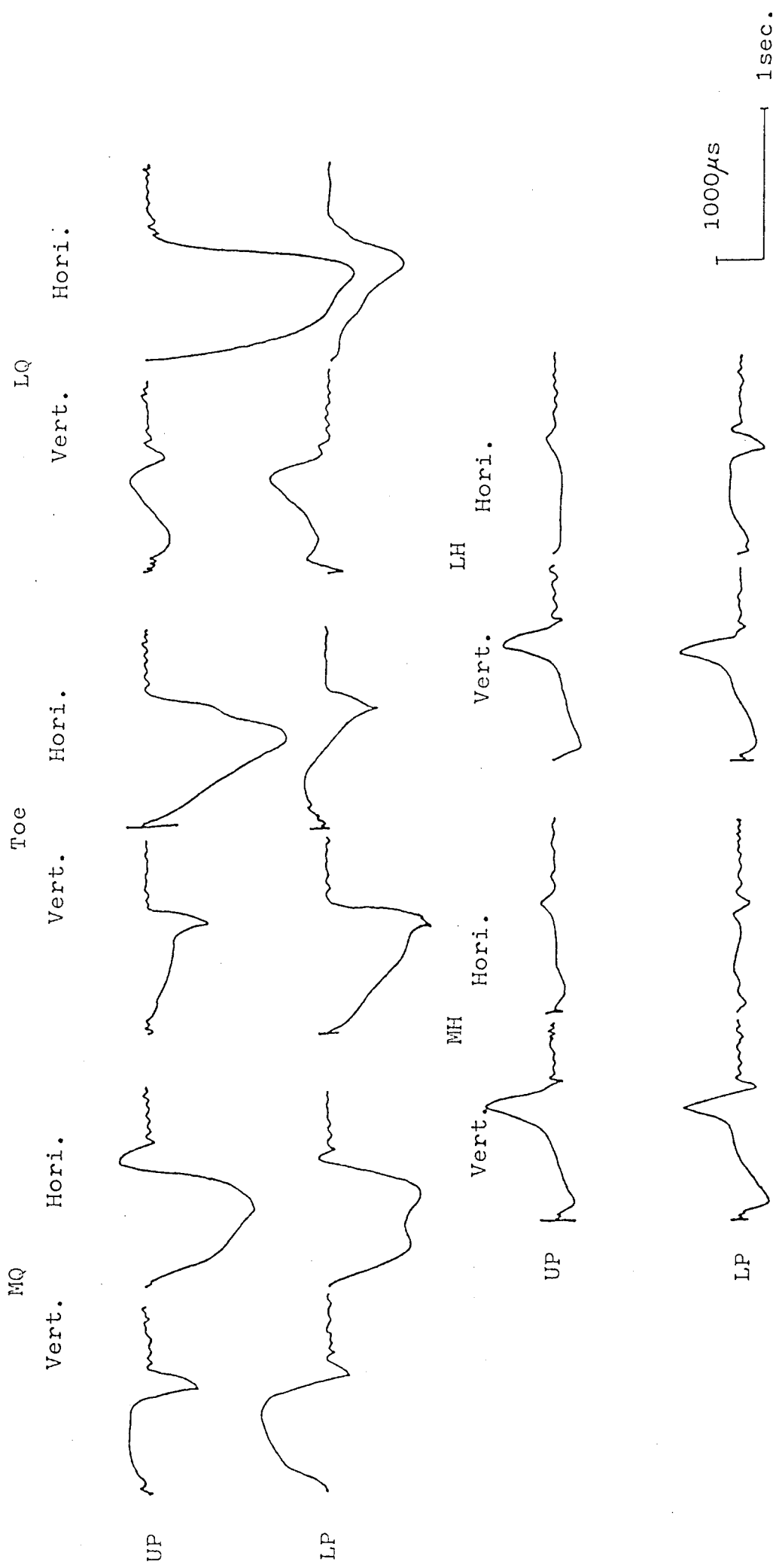


Fig. 217 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 2
 Walk

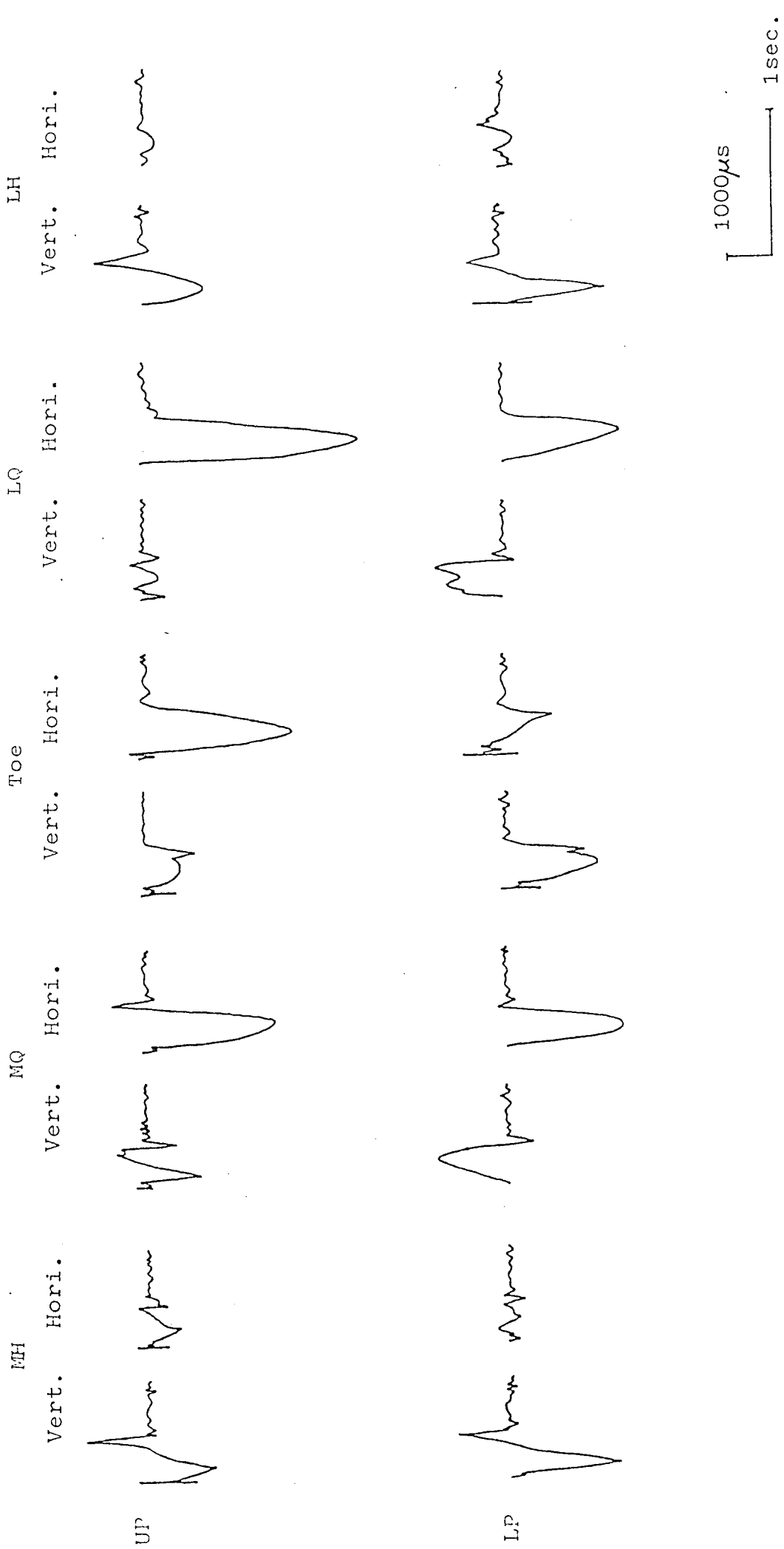


Fig. 218 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 2
 Trot

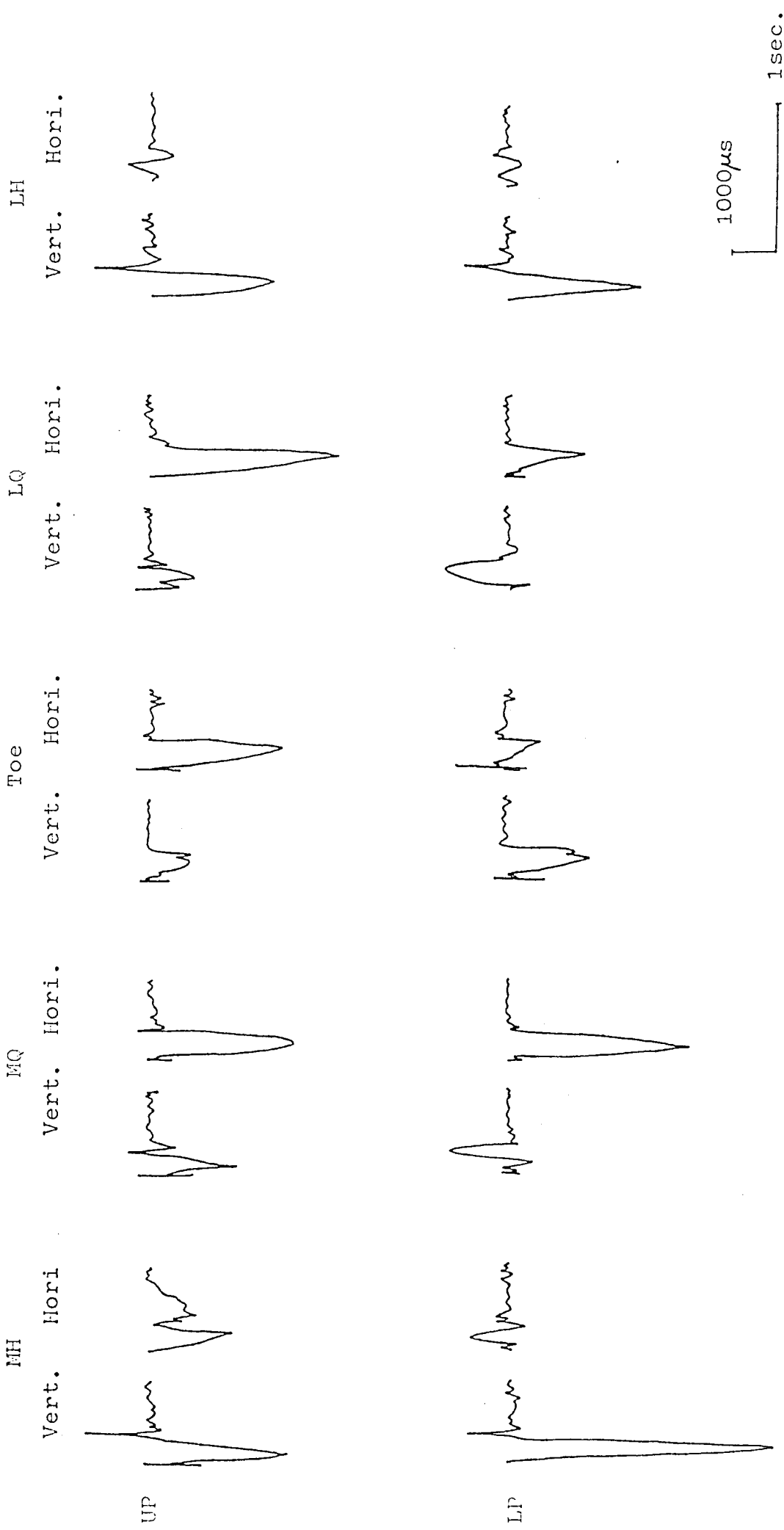


Fig. 219 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 2
 Canter (lead)

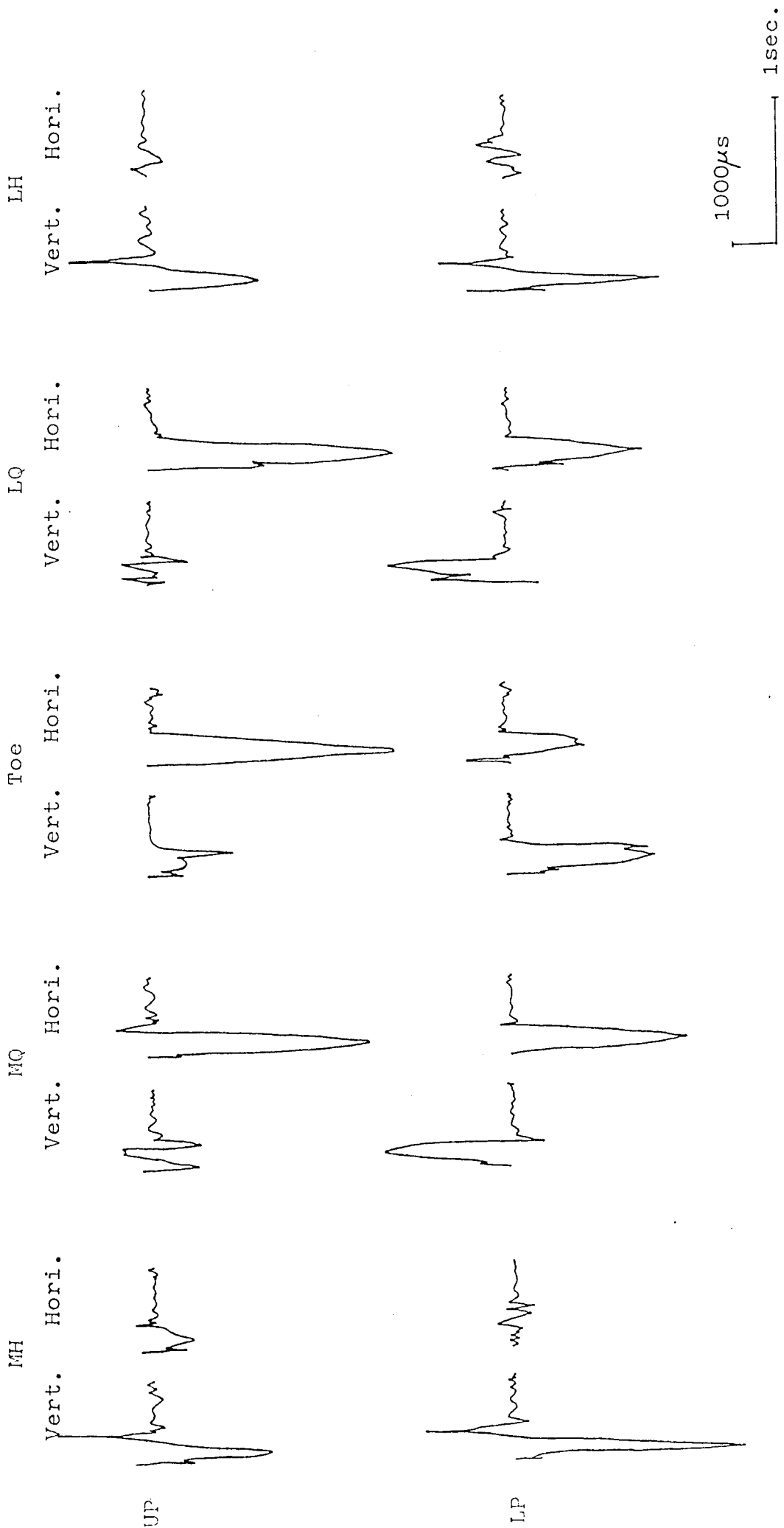


Fig. 220 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 2
 Canter (trail)

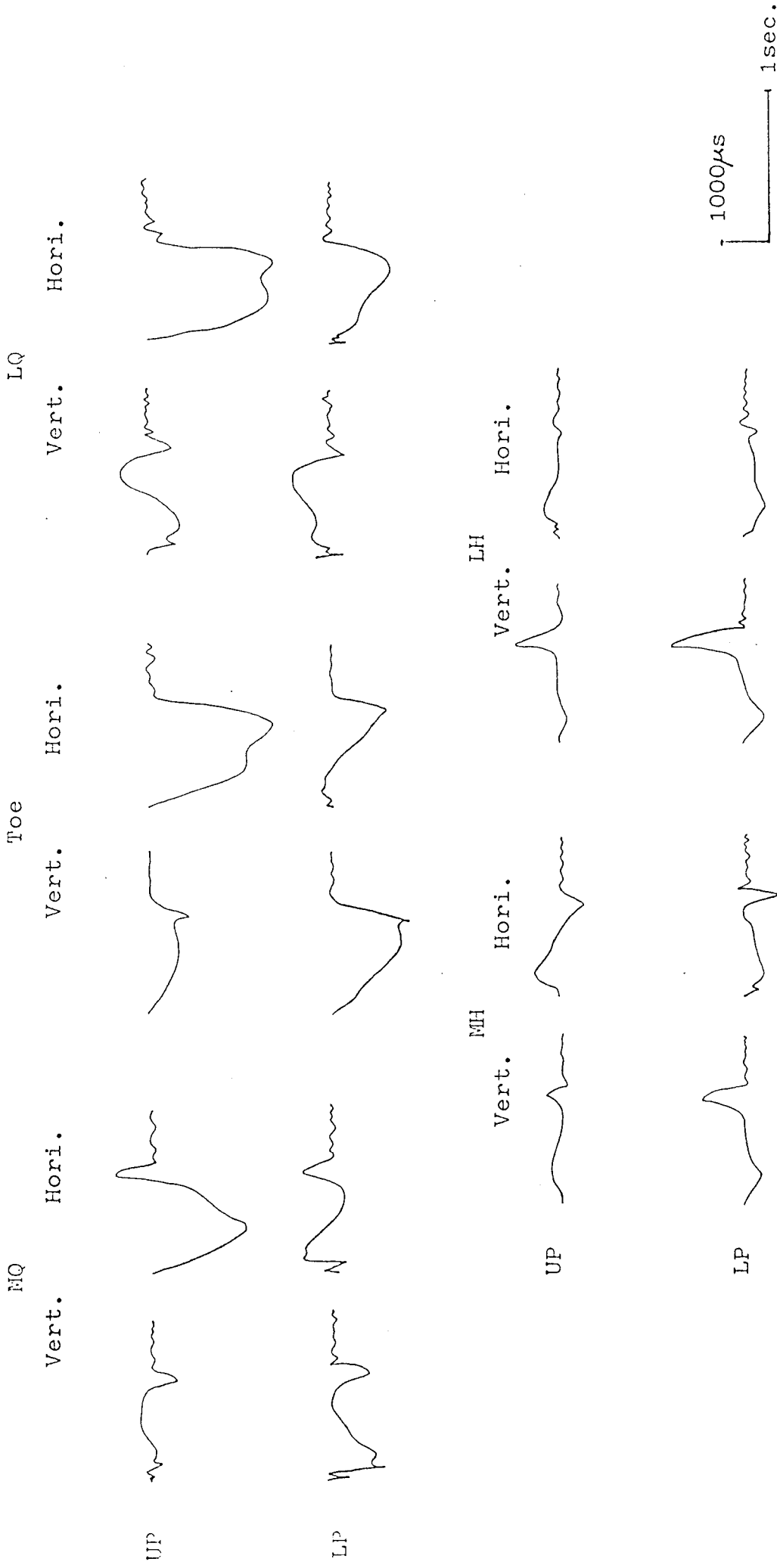


Fig. 221
 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 2
 Walk

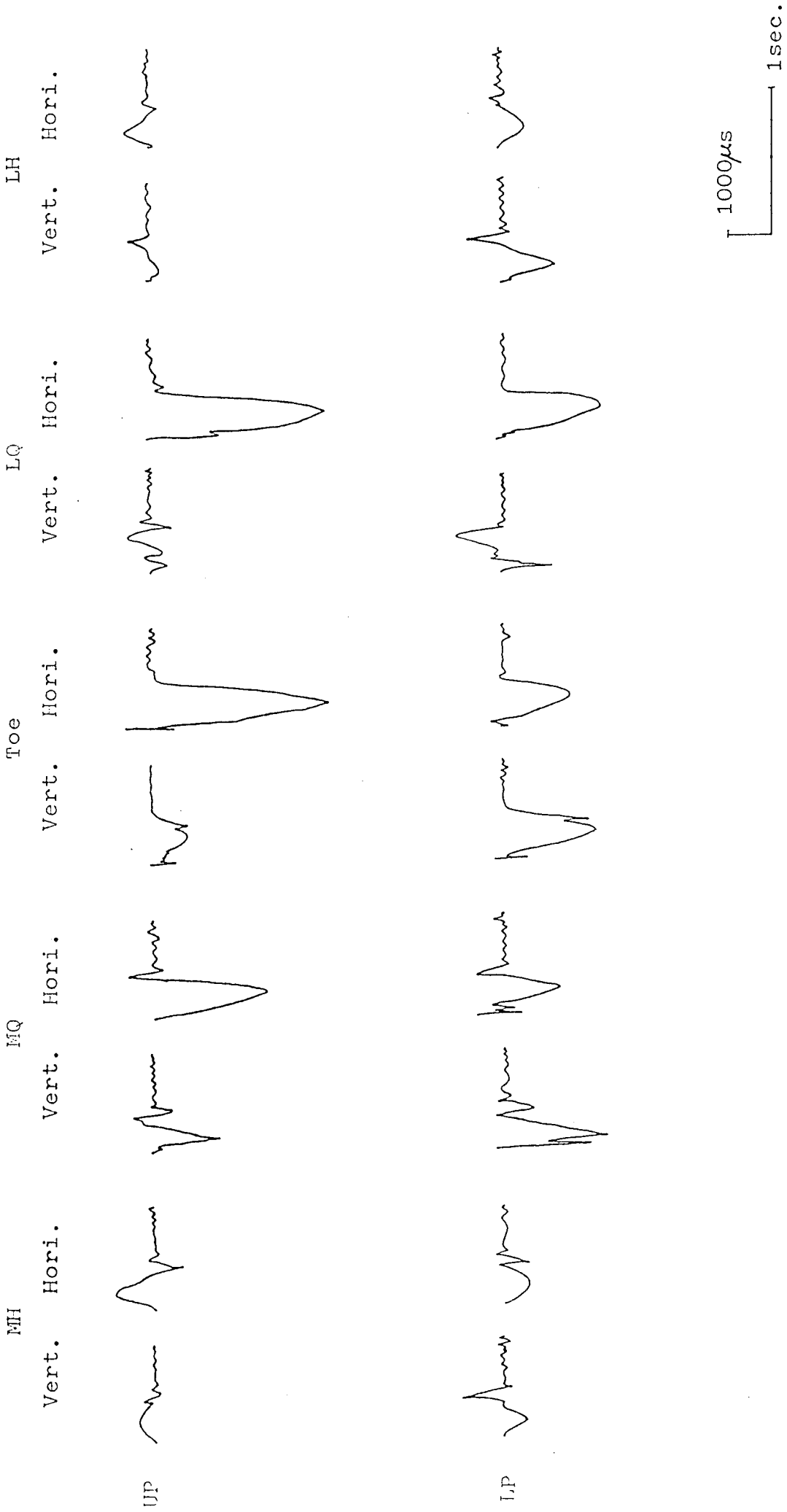


Fig. 222 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 2
 Trot

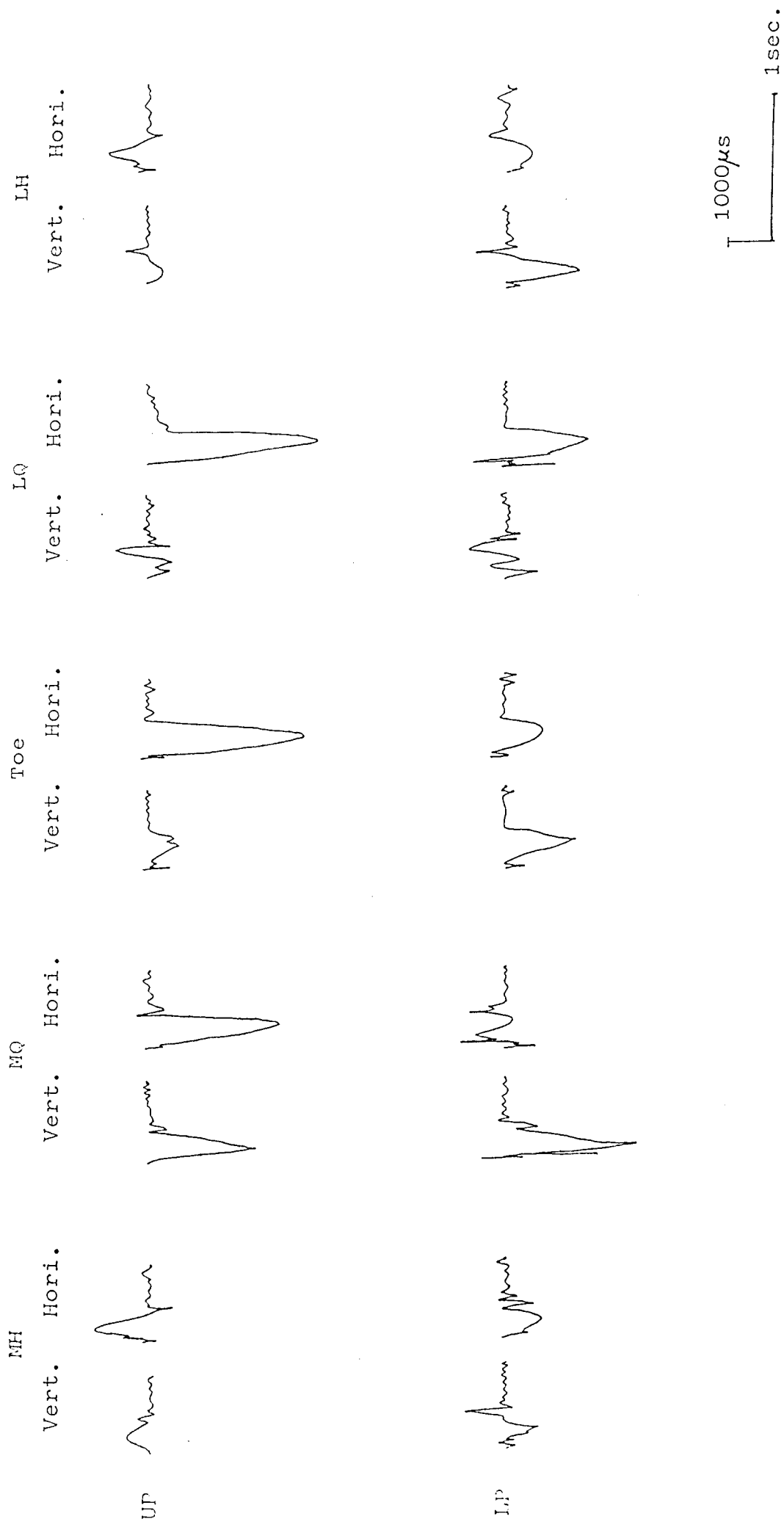


Fig. 223 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 2
 Canter (lead)

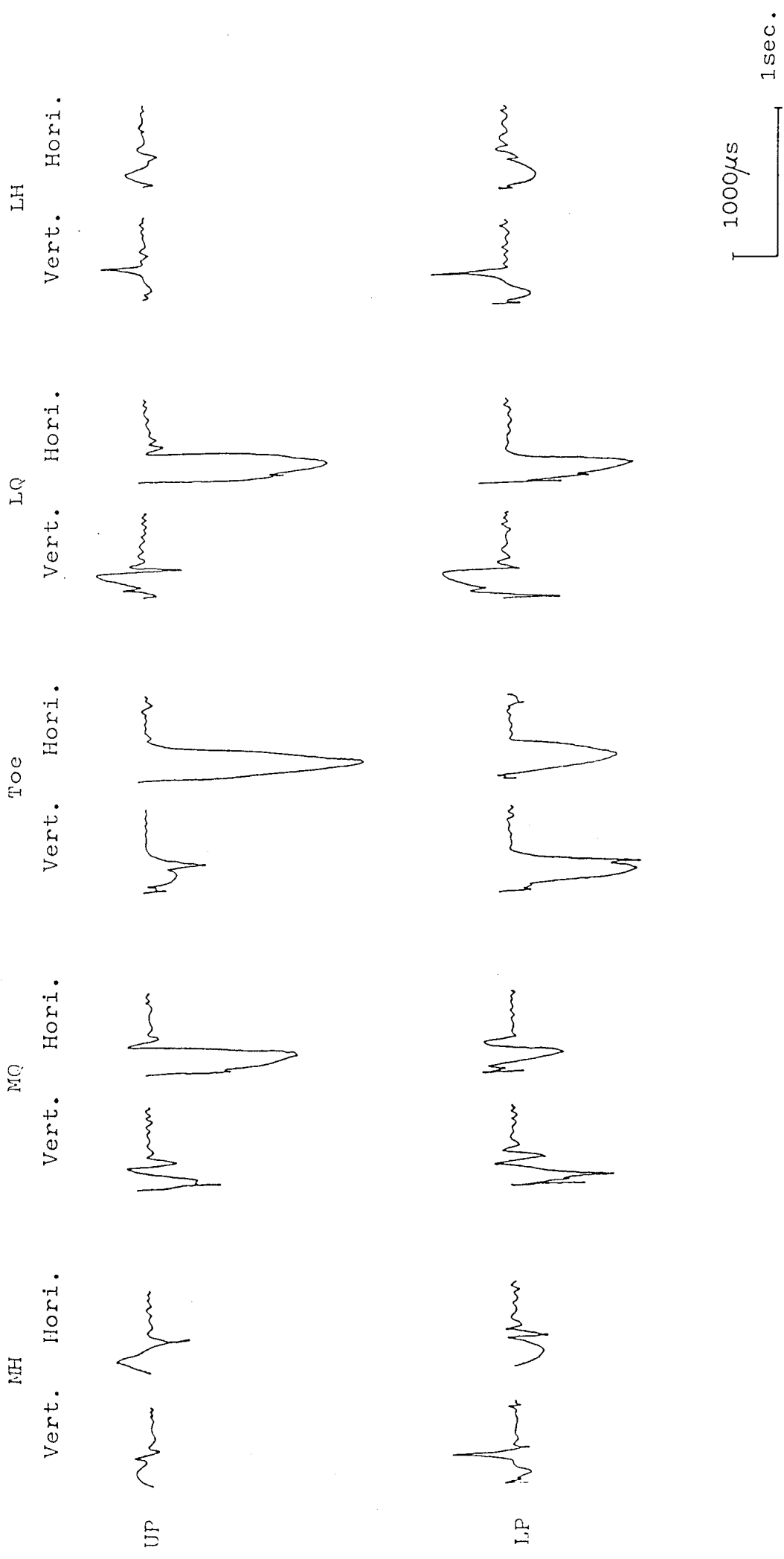


Fig. 224
 Case 2
 Left fore hoof
 Exp.2
 Canter (trail)

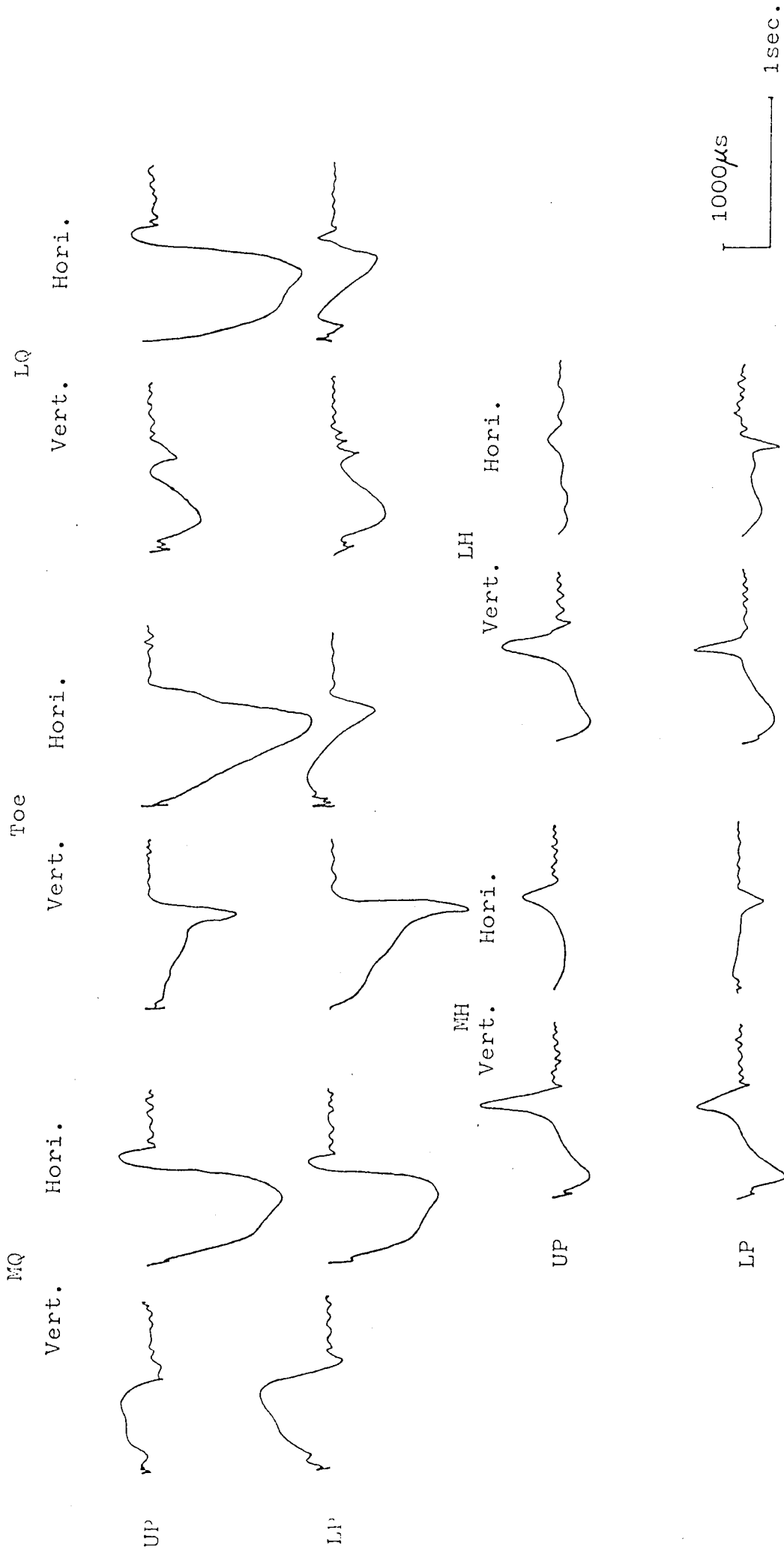


Fig. 225 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 3
 Walk

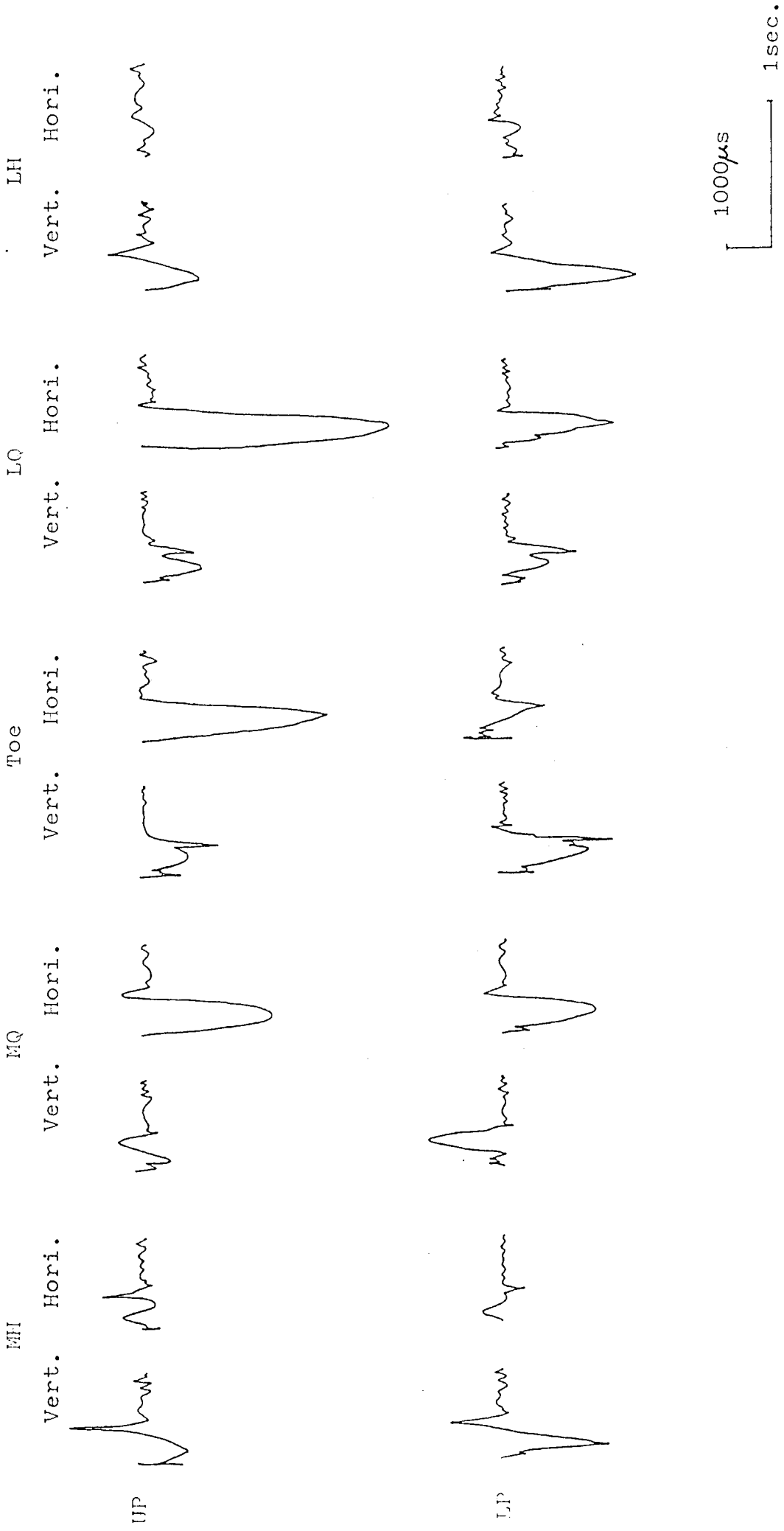
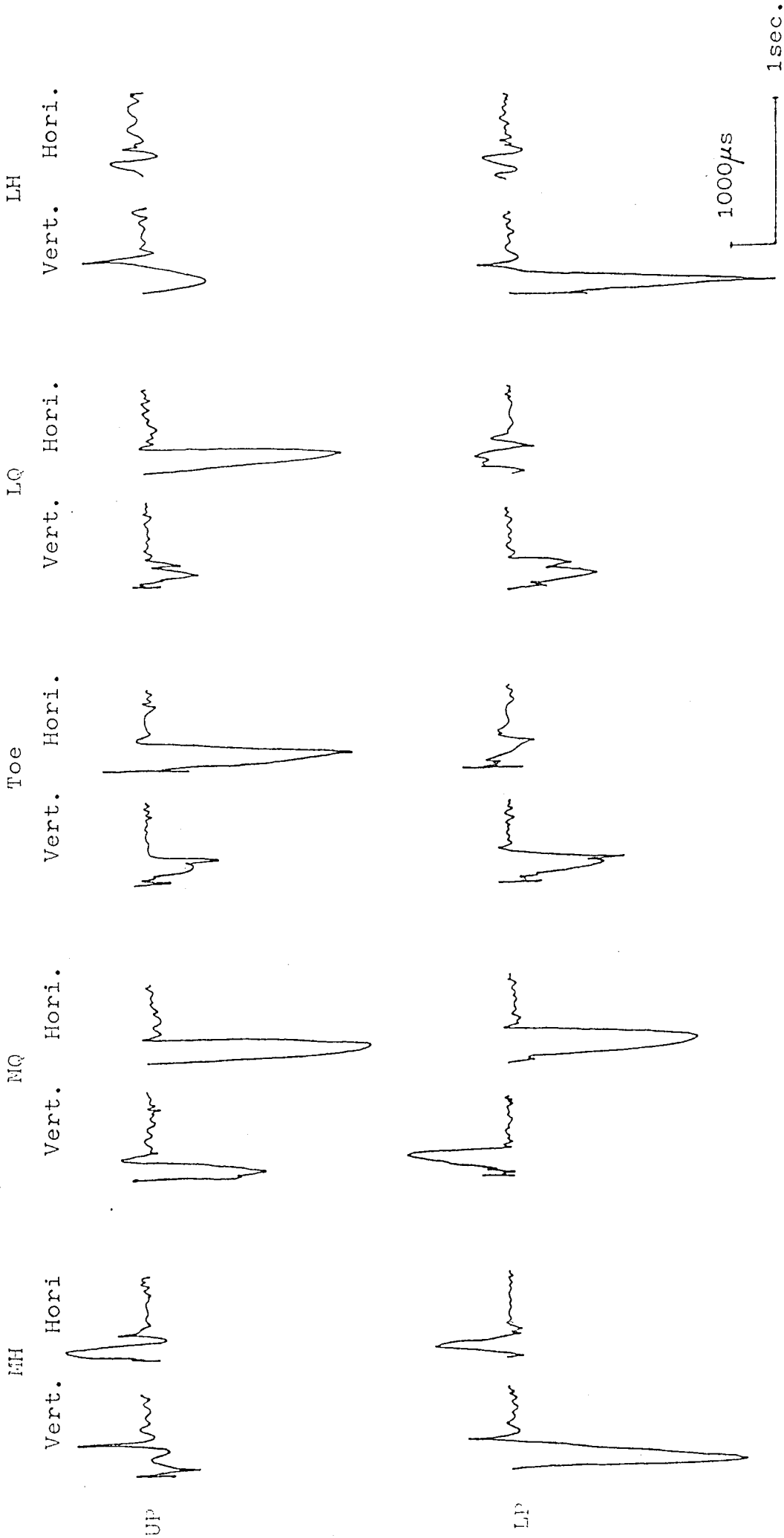


Fig. 226 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 3
 Trot



Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 3
 Canter (lead)

Fig. 227

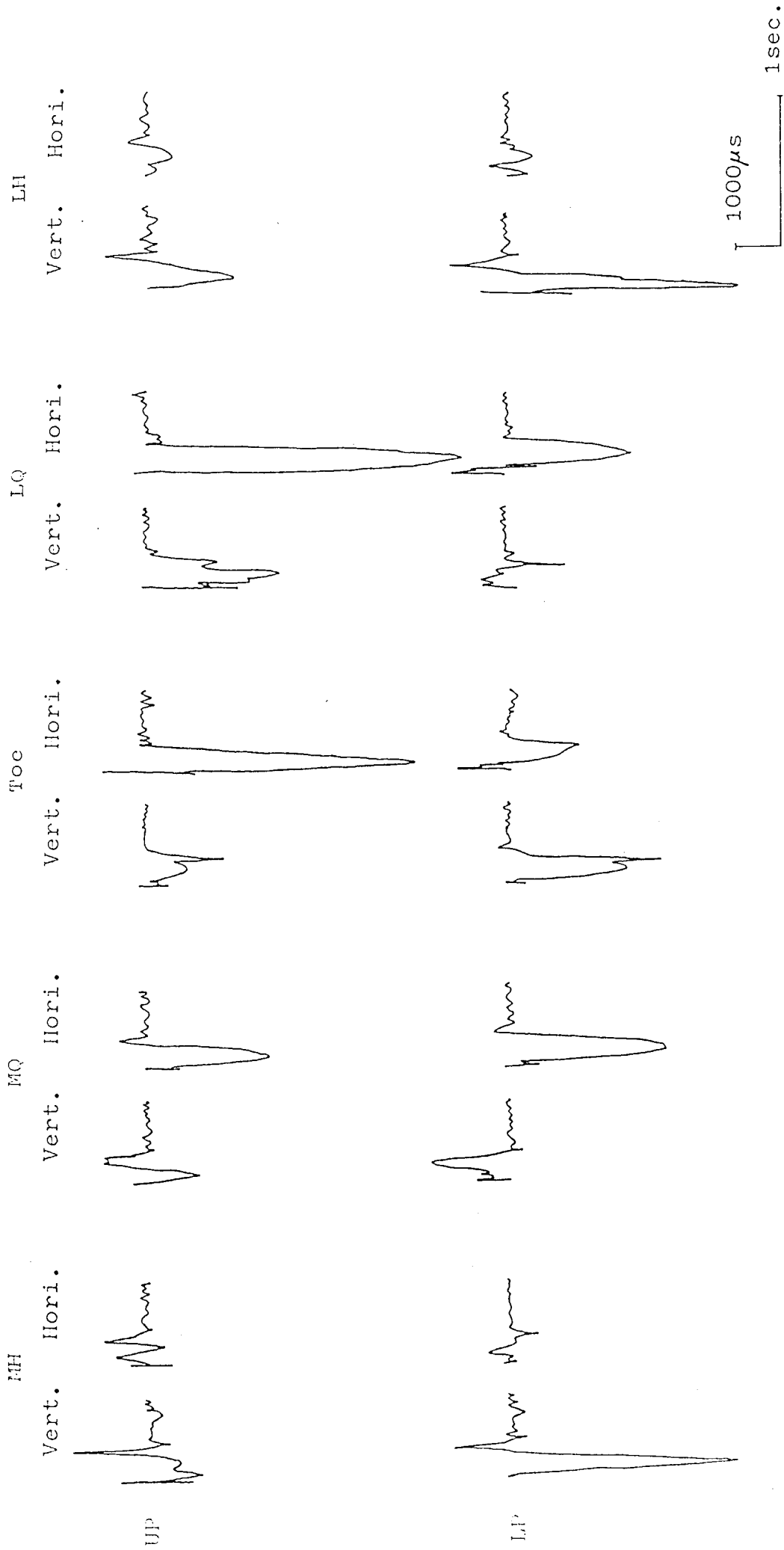


Fig. 228 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 3
 Canter (trail)

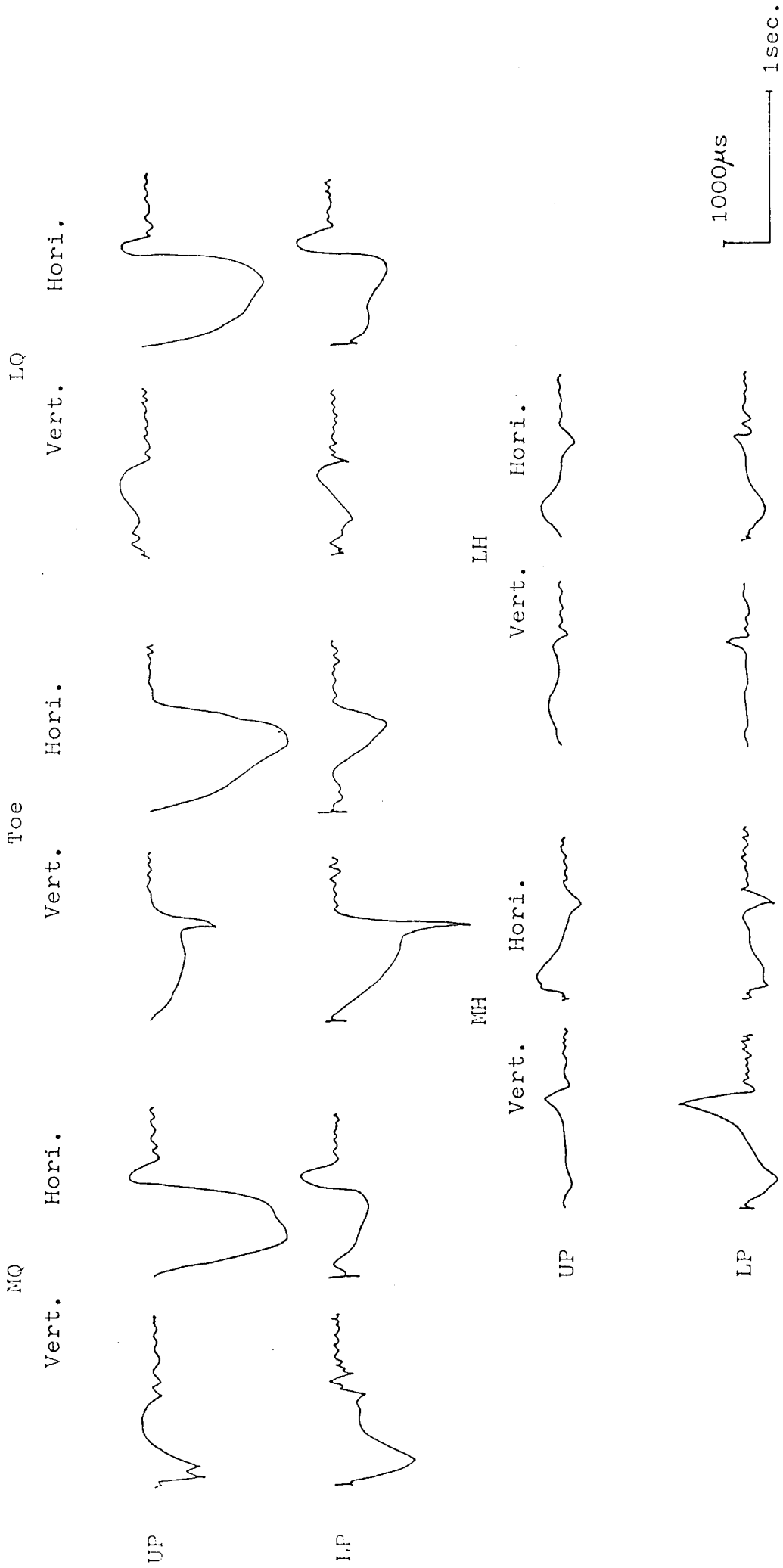


Fig. 229
 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 3
 Walk

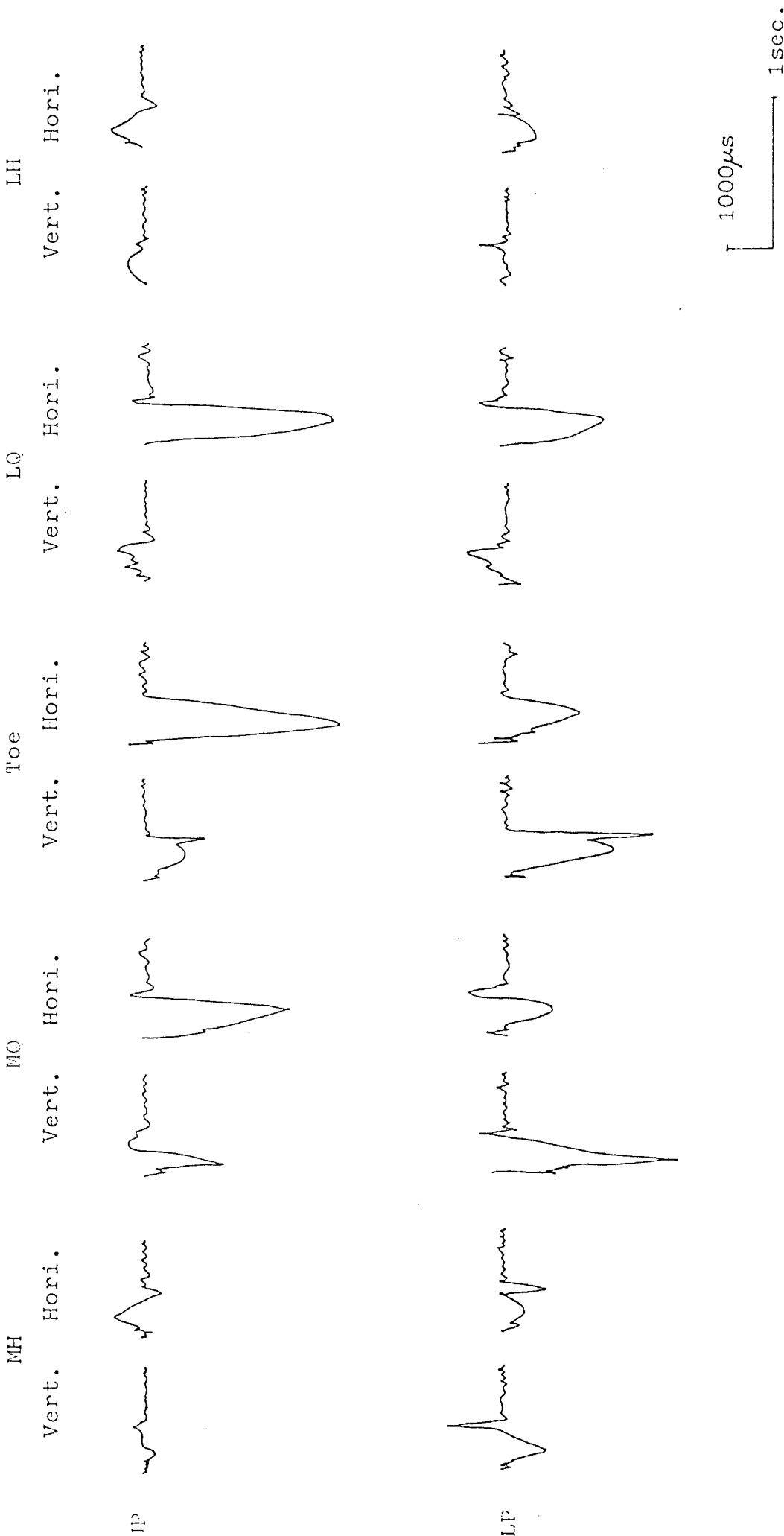


Fig. 230 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 3
 Trot

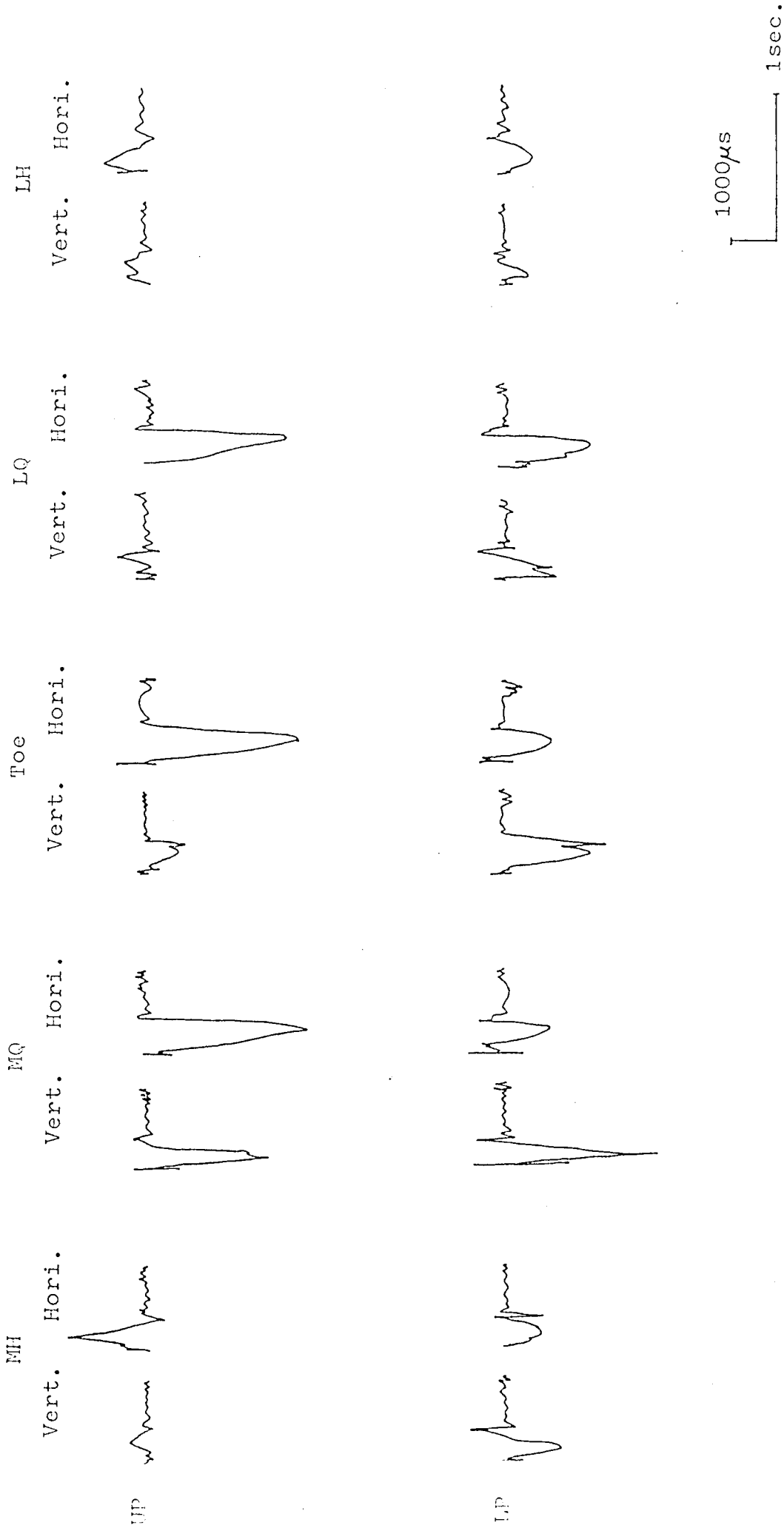


Fig. 231
 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 3
 Canter (lead)

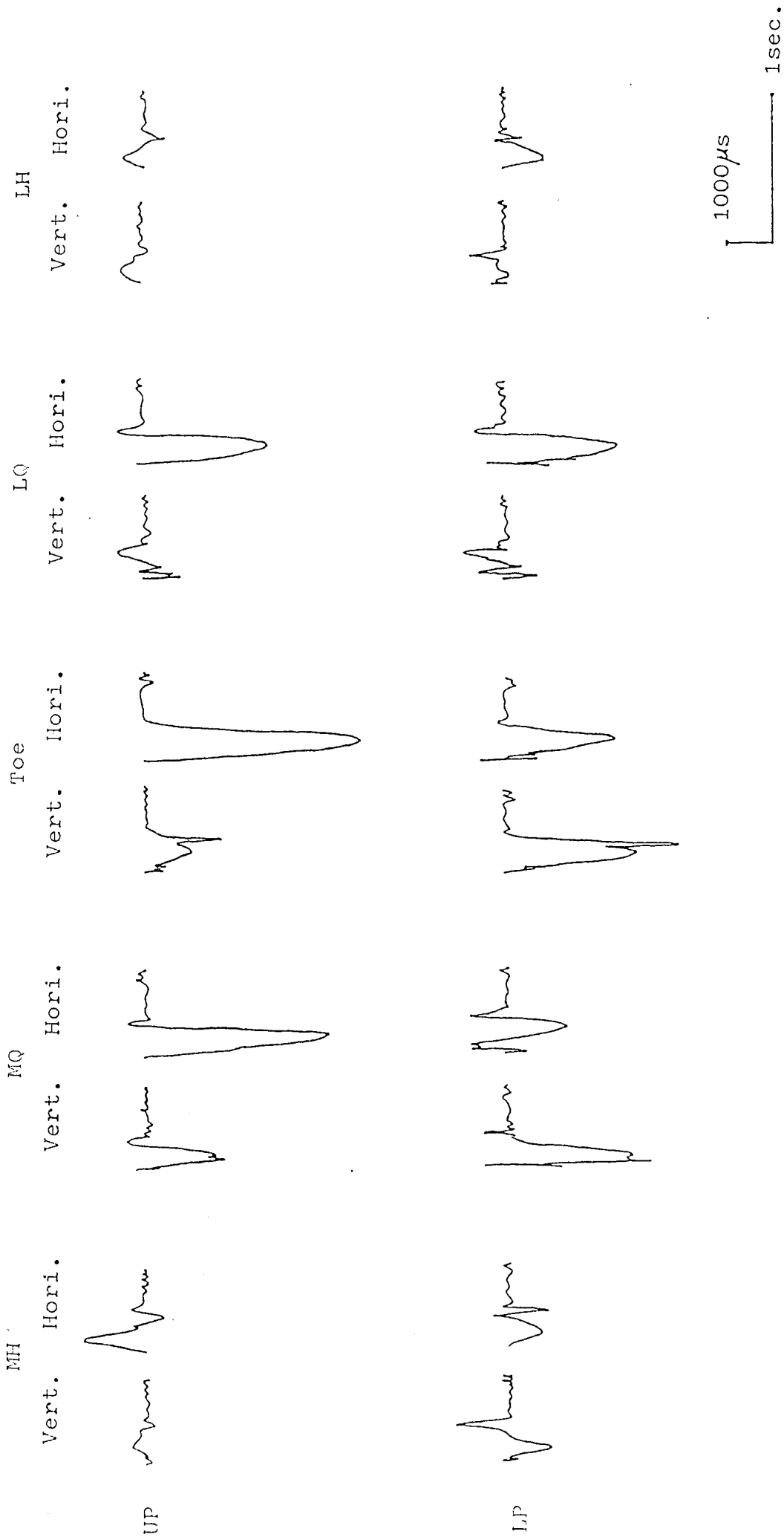


Fig. 232 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 3
 Canter (trail)

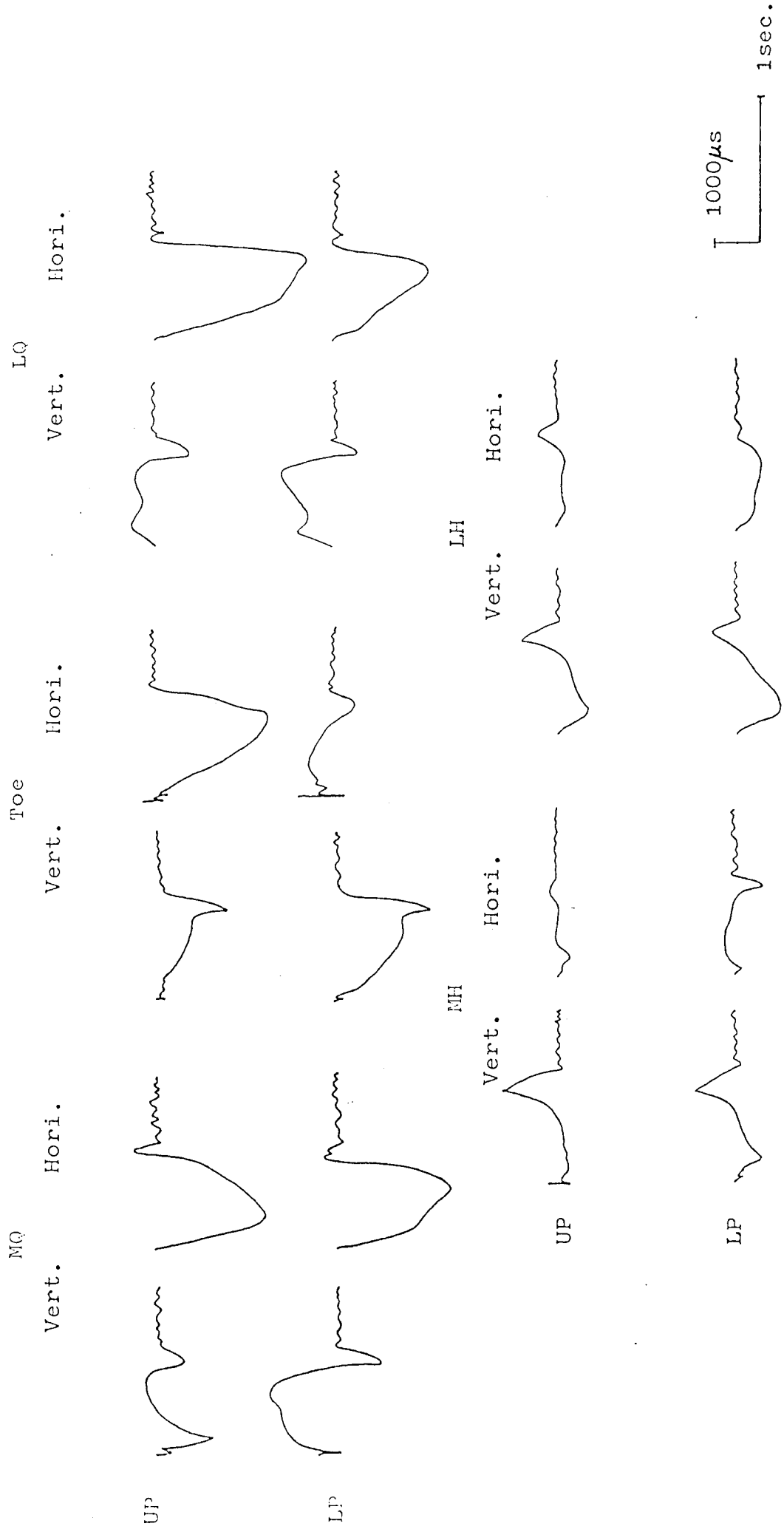


Fig. 233 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 4
 Walk

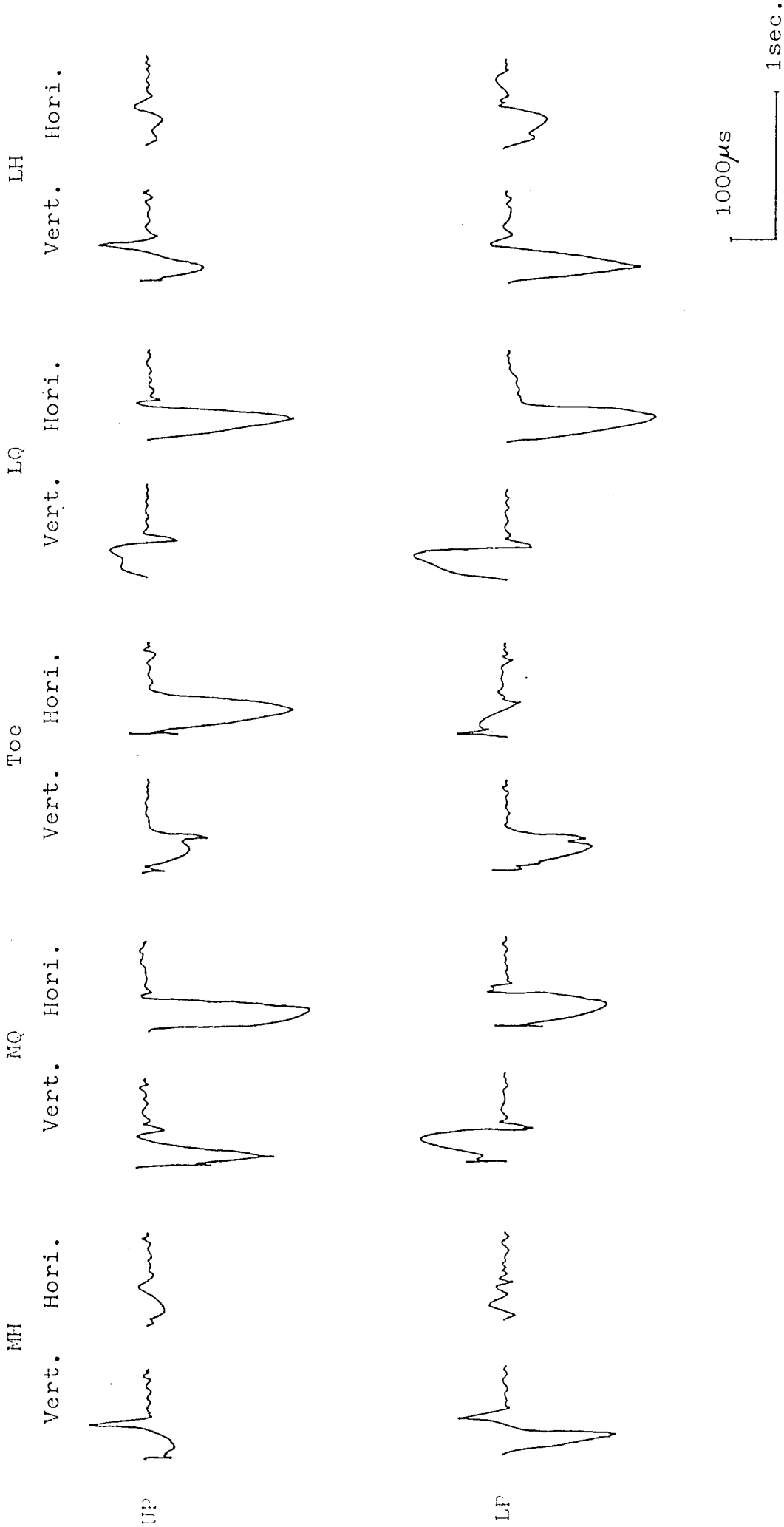


Fig. 234 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 4
 Trot

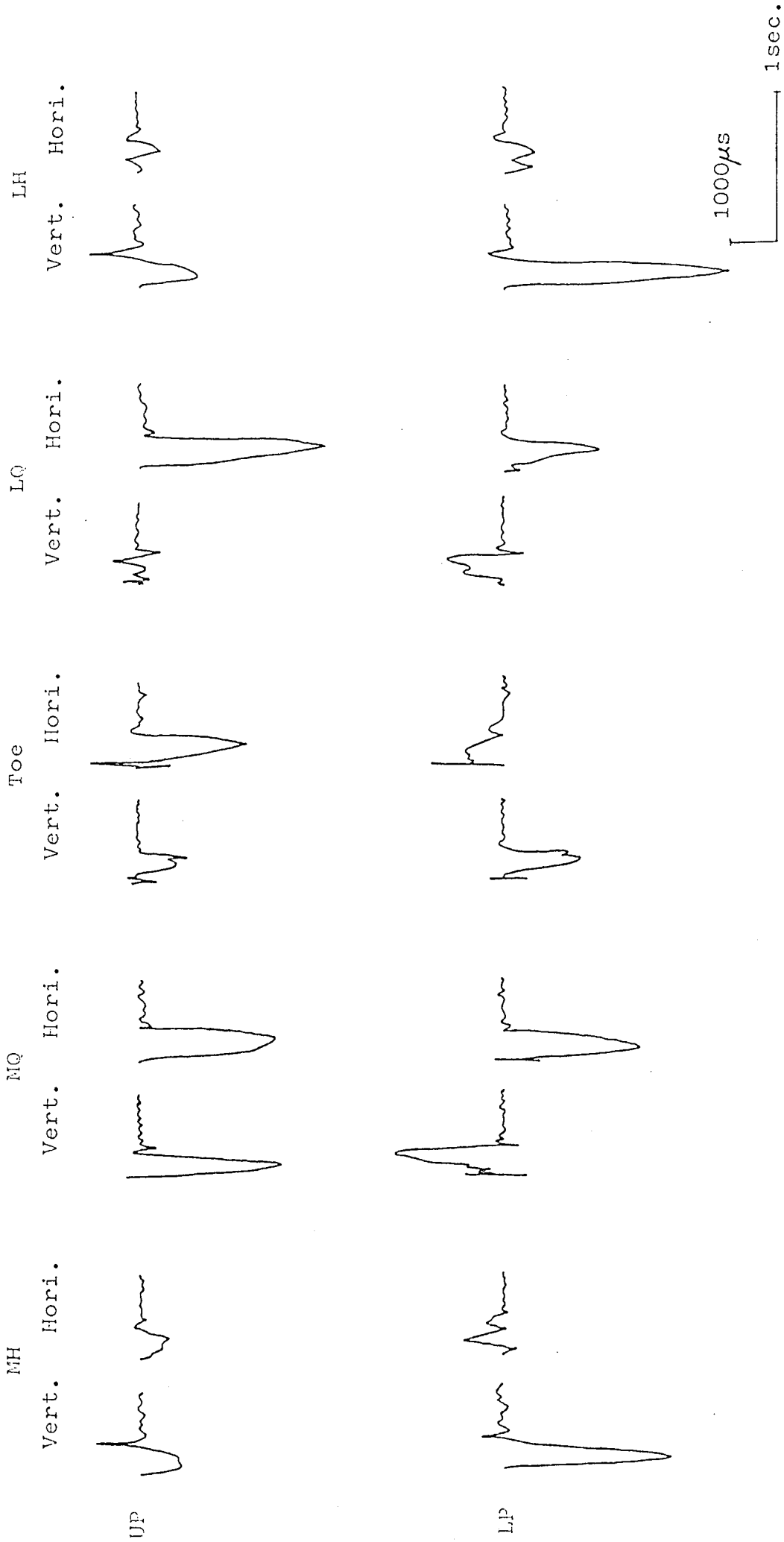


Fig. 235 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 4
 Canter (lead)

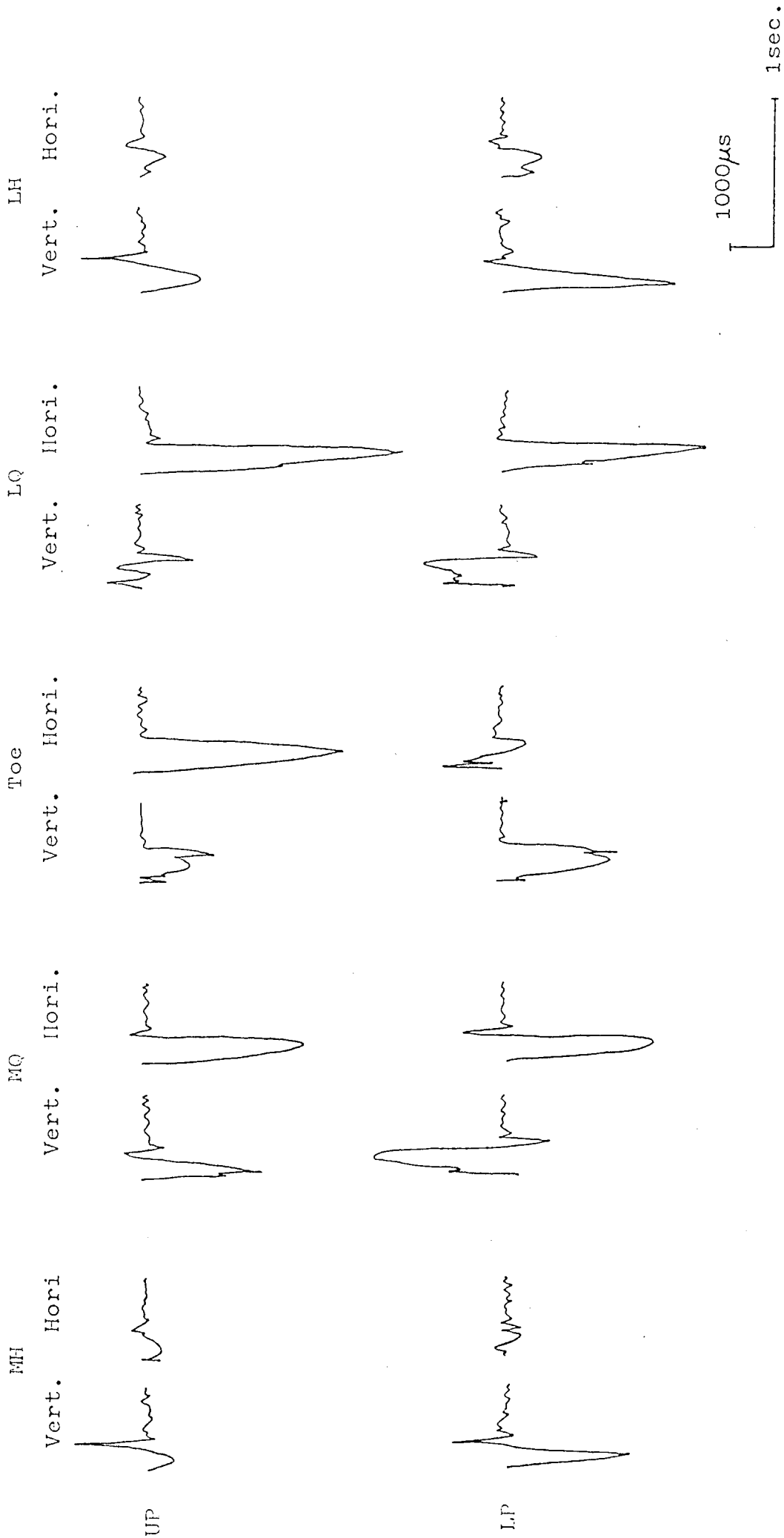


Fig. 236
 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 4
 Canter (trail)

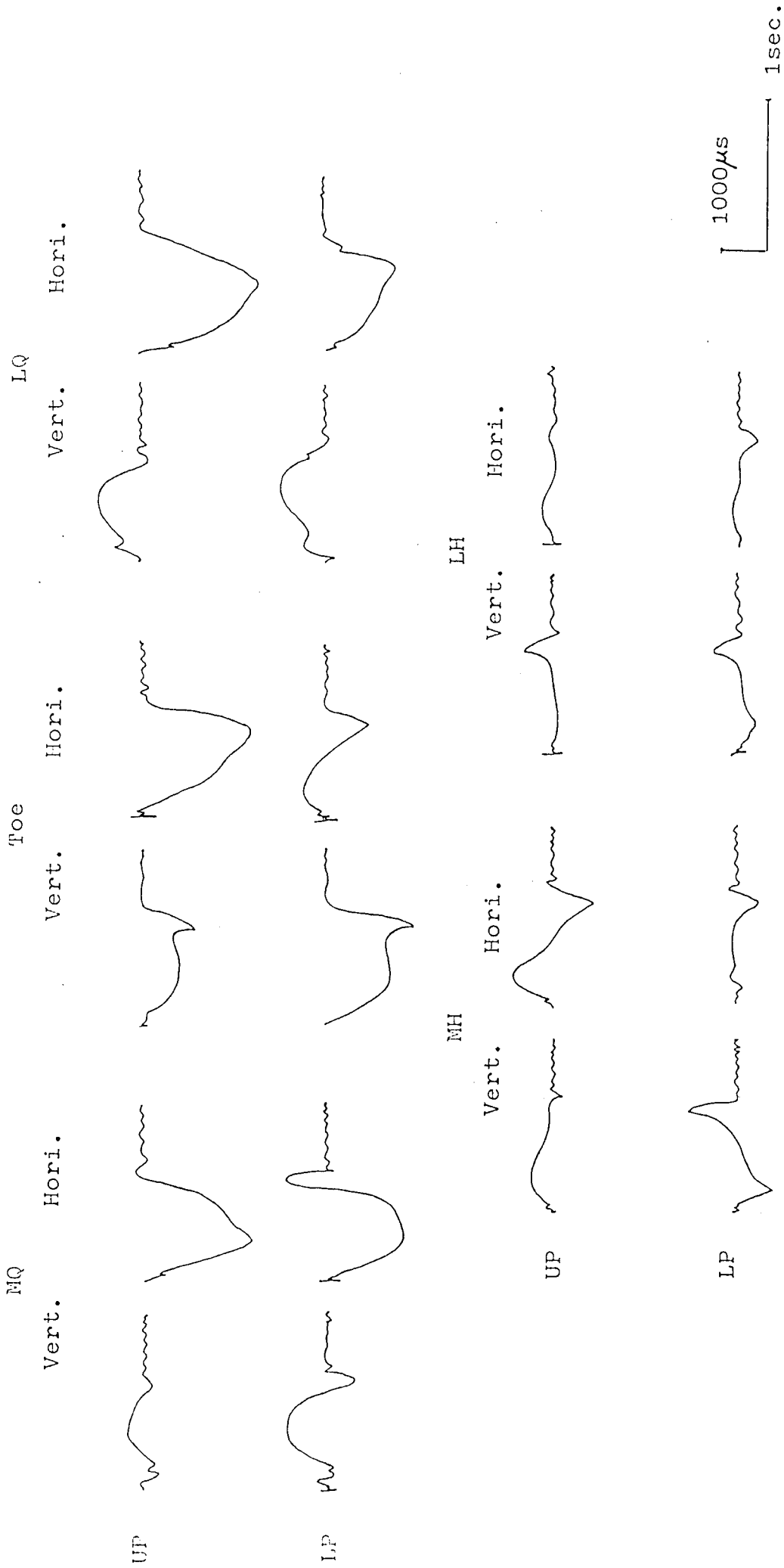


Fig. 237 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 4
 Walk

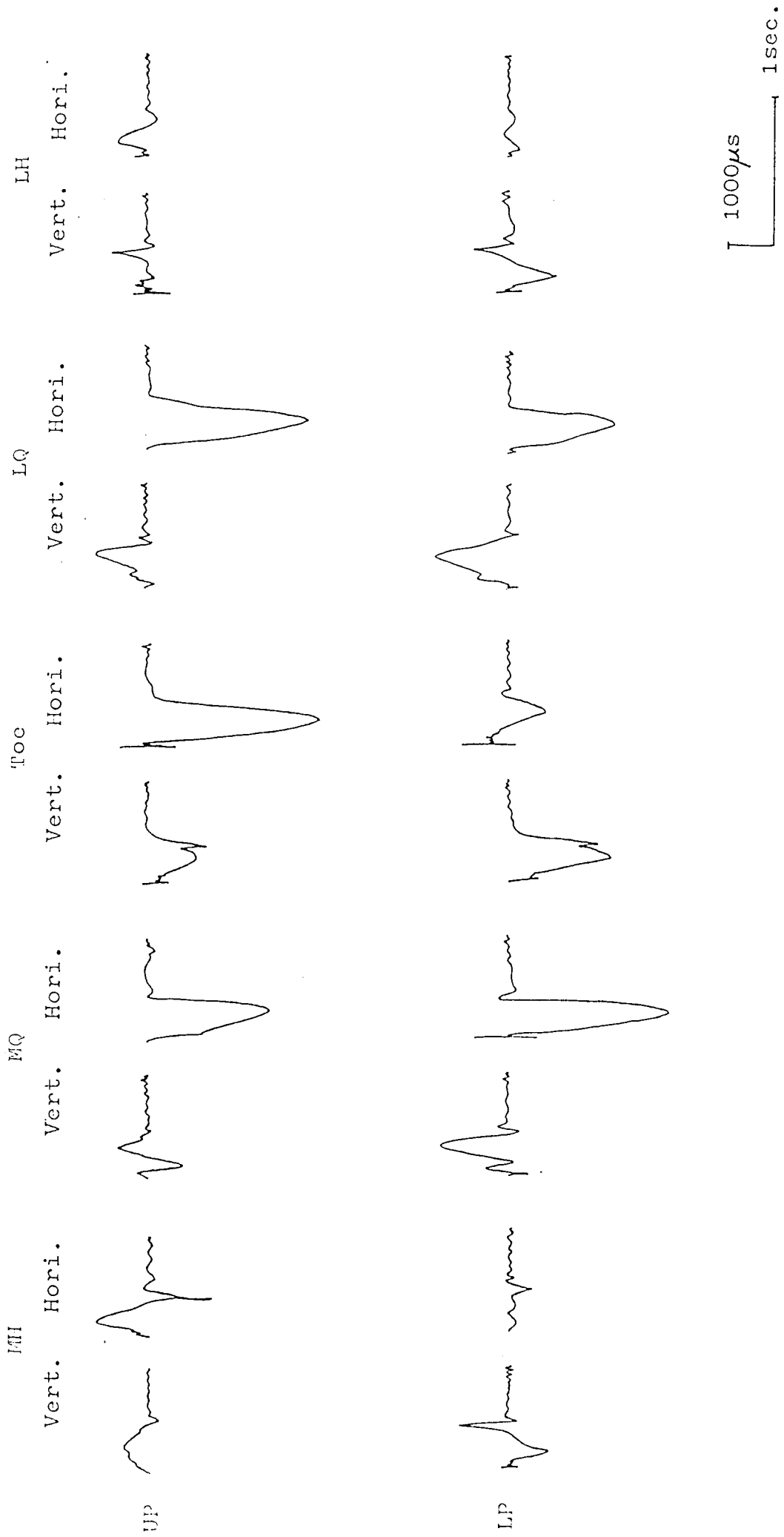


Fig. 238 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 4
 Trot

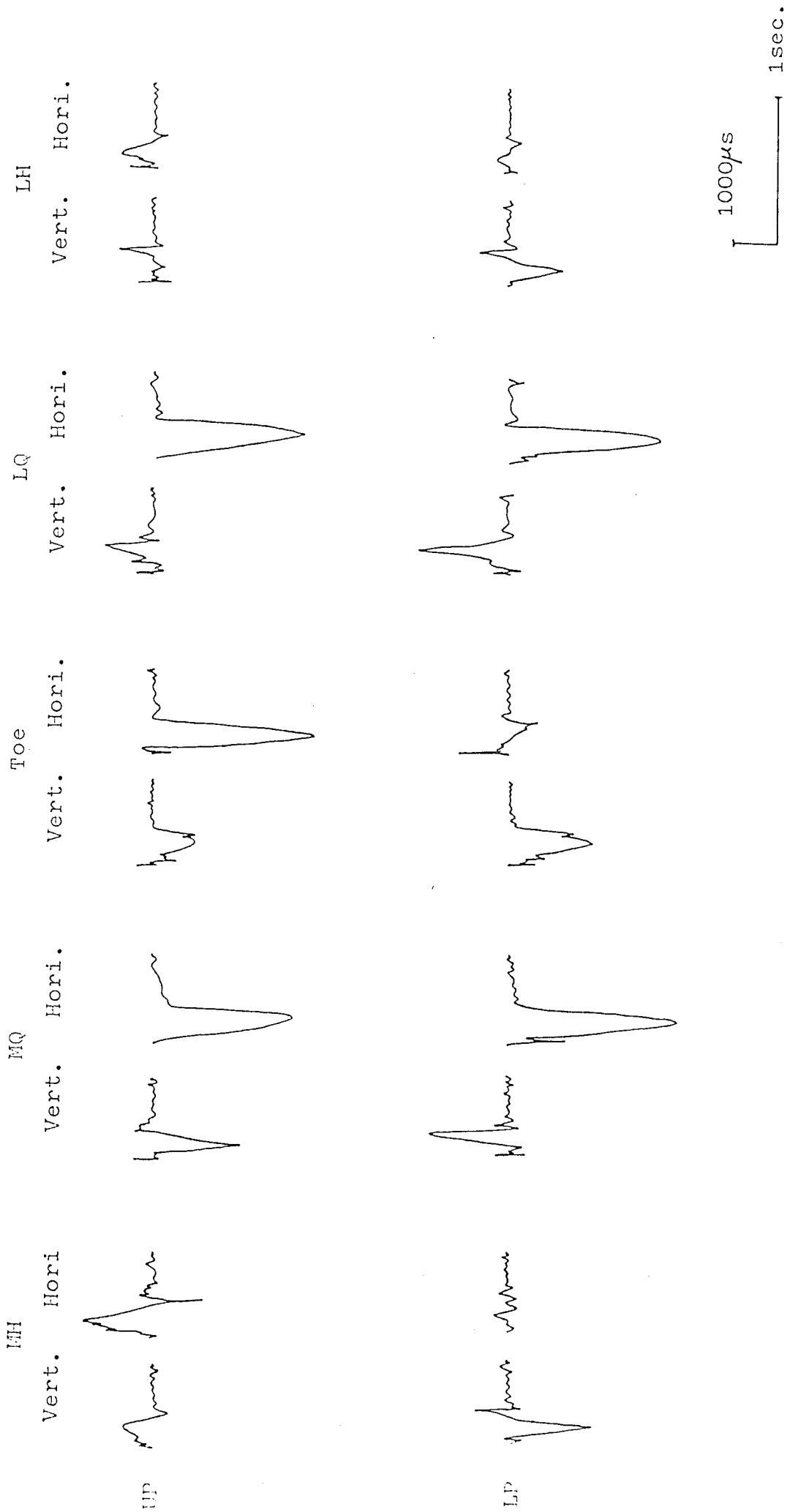


Fig. 239
 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 4
 Canter (lead)

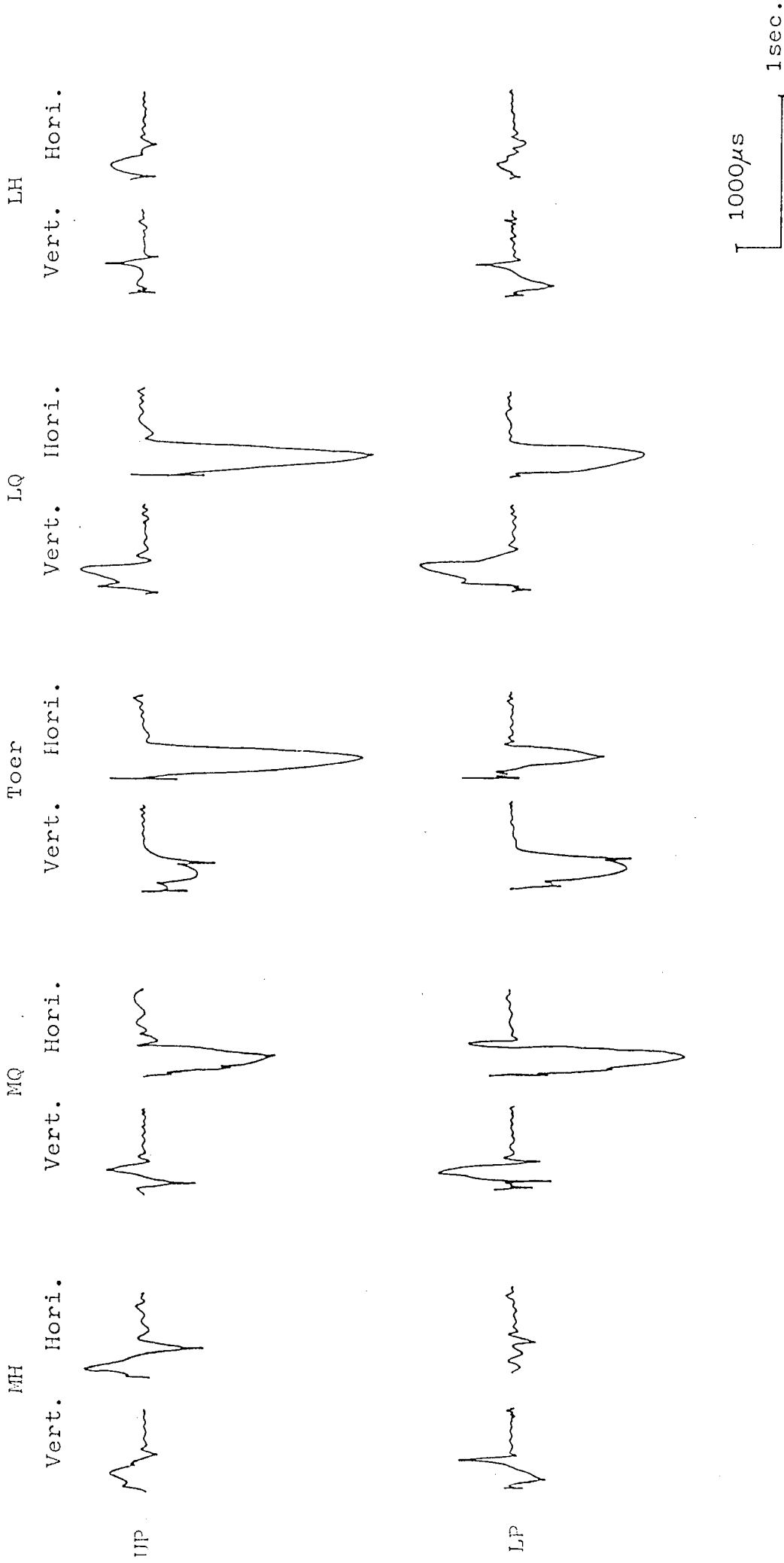
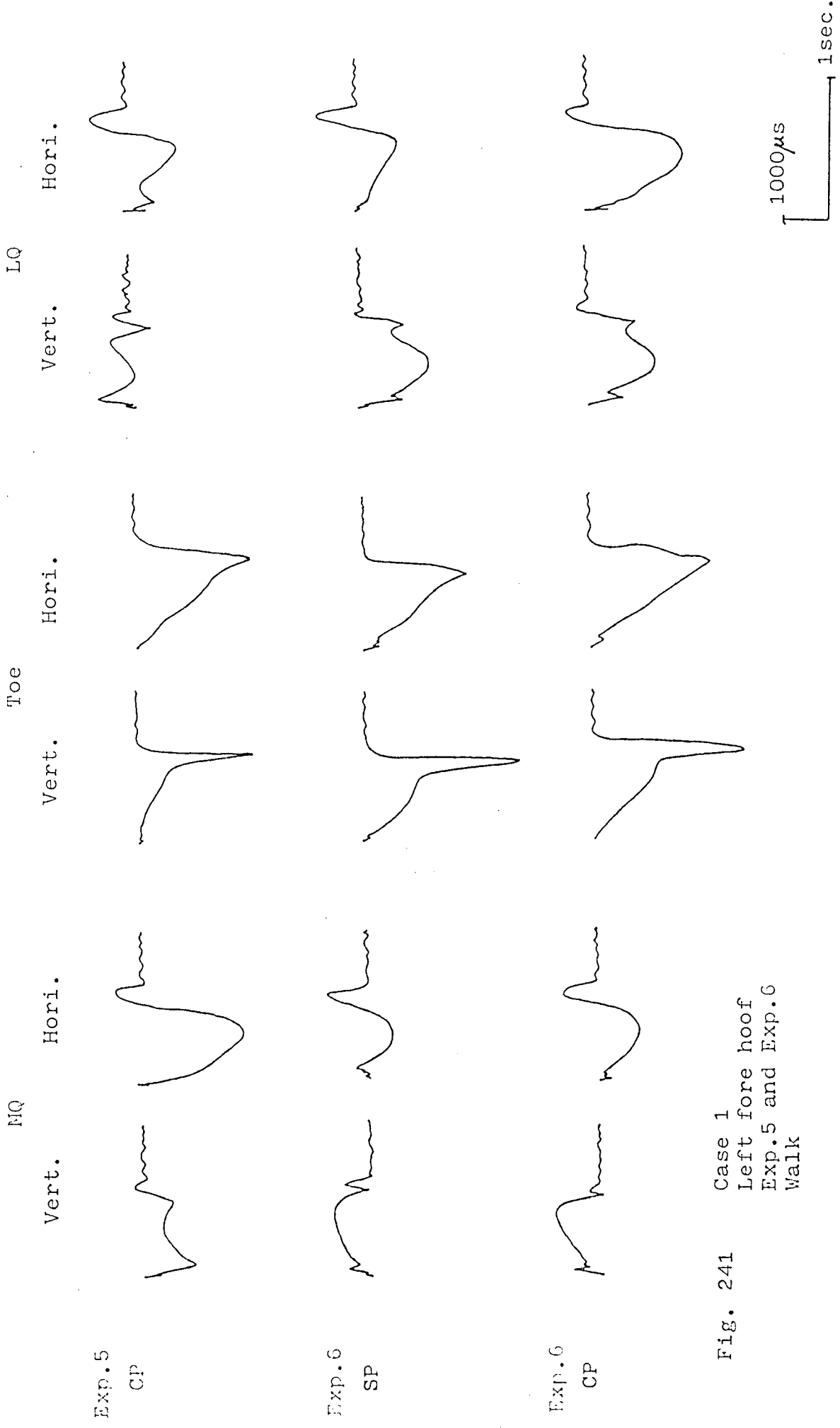


Fig. 240
 Case 2
 Left fore hoof
 Exp. 4
 Canter (trail)



Exp. 5
CP

Exp. 6
SP

Exp. 6
CP

Fig. 241 Case 1
Left fore hoof
Exp. 5 and Exp. 6
Walk

1000µs
1sec.

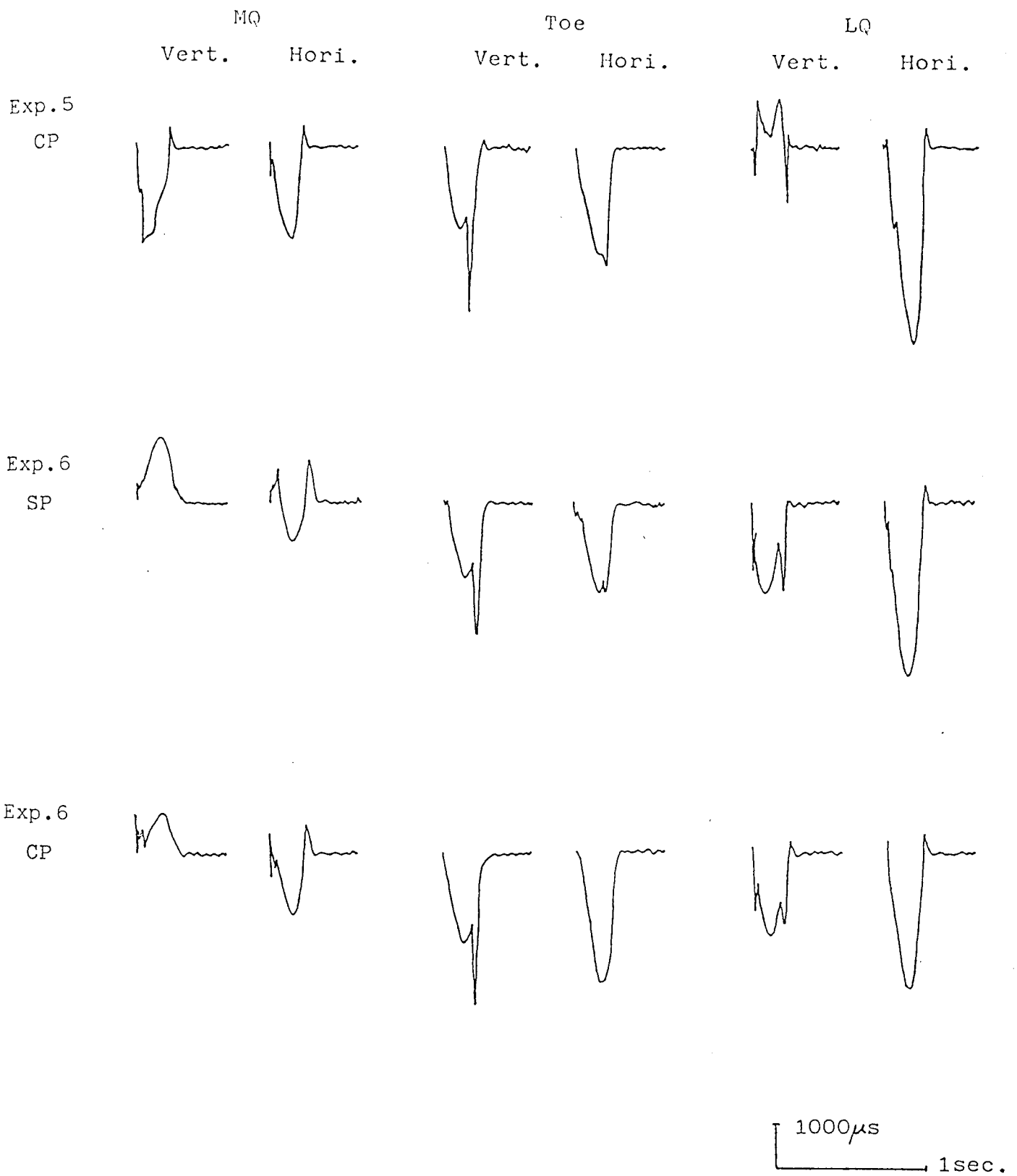


Fig. 242 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 5 and Exp. 6
 Trot

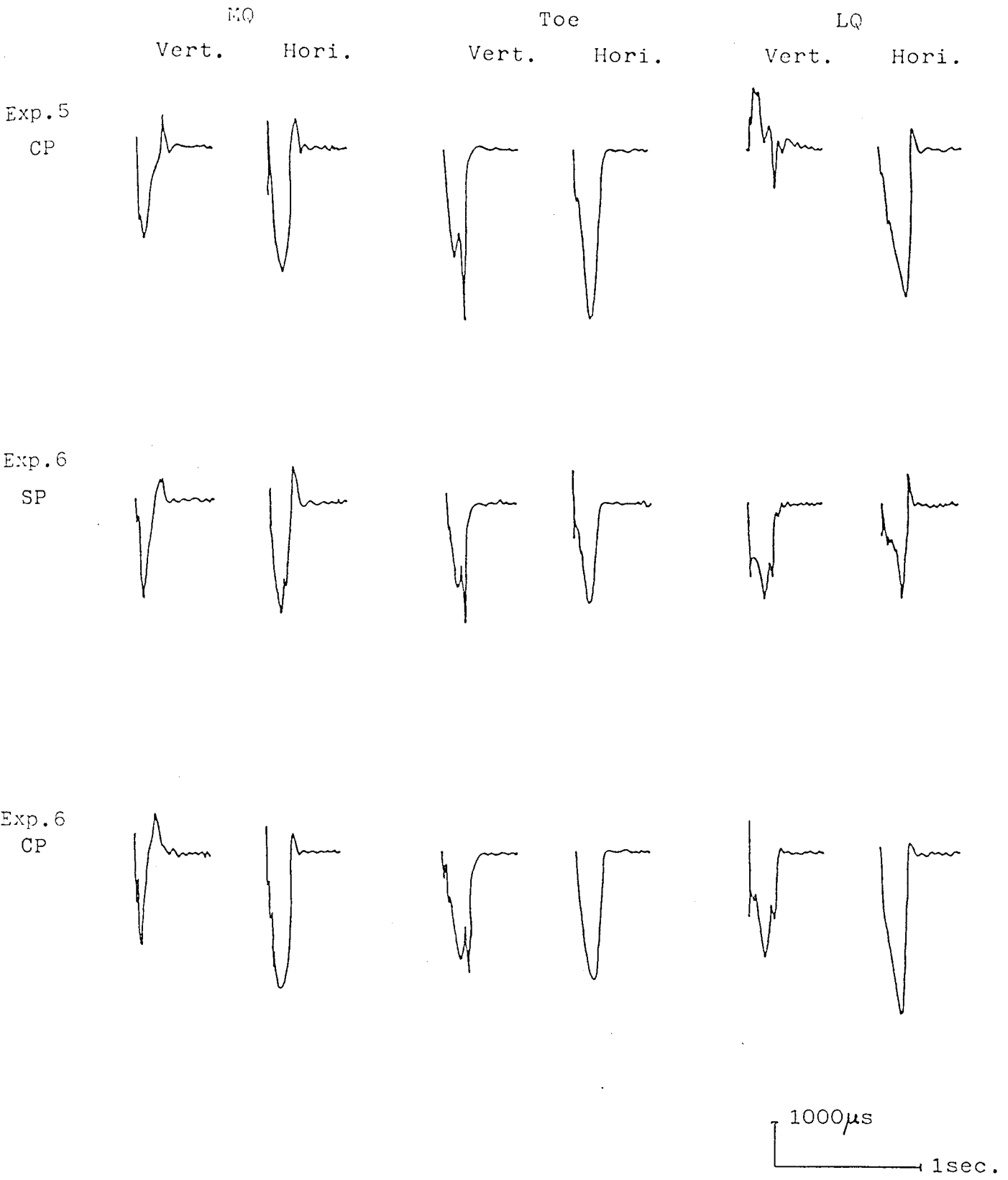


Fig. 243 Case 1
 Left fore hoof
 Exp.5 and Exp.6
 Canter (lead)

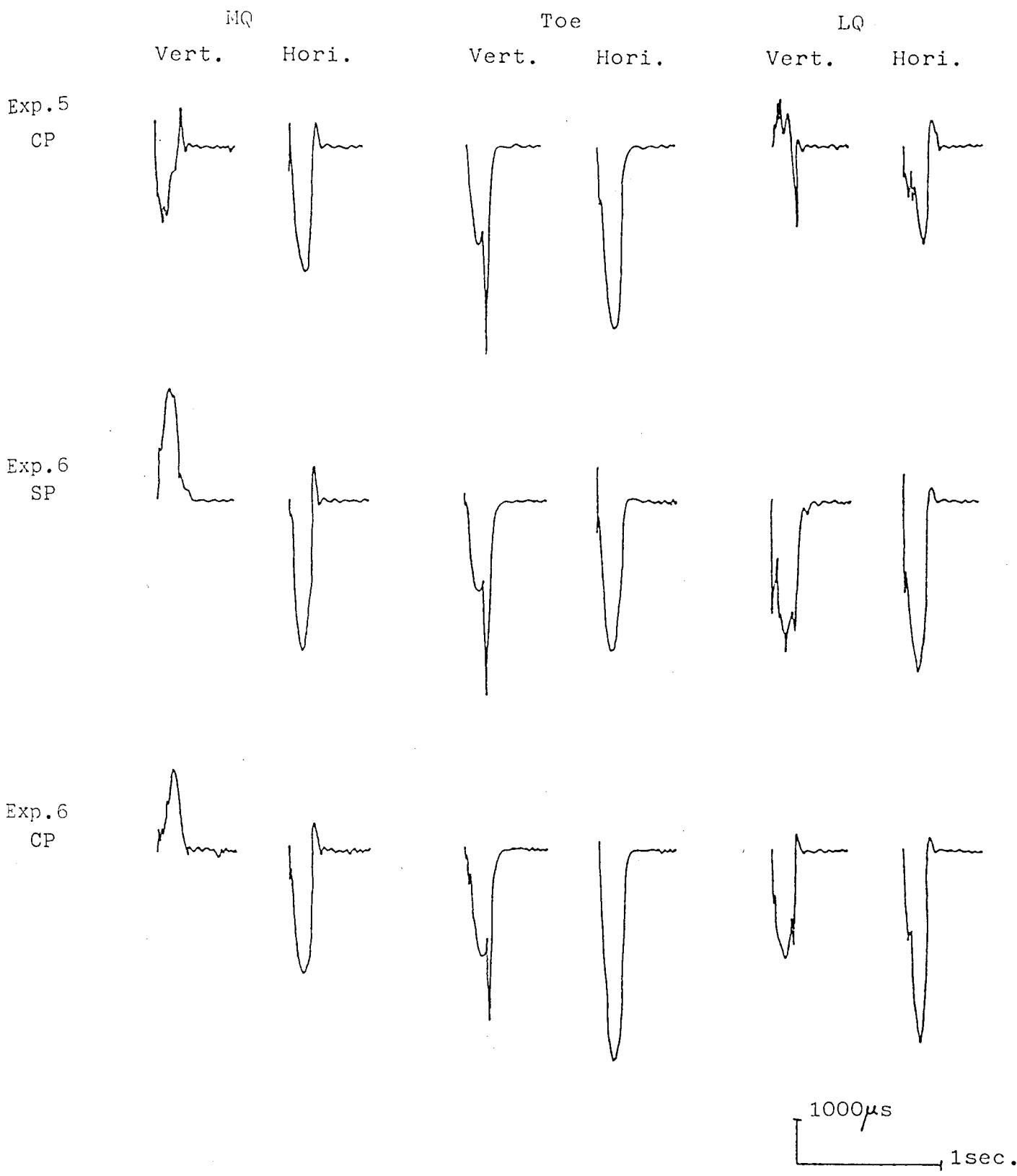


Fig. 244 Case 1
 Left fore hoof
 Exp. 5 and Exp. 6
 Canter (trail)

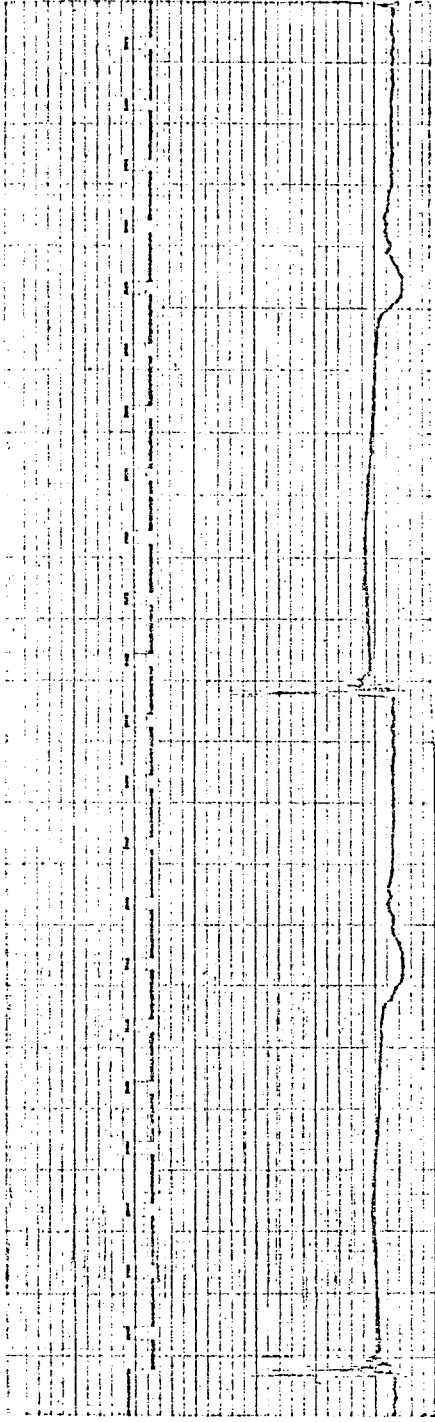
The pattern of the transformation changes of the heel during one stride at the exp. 2 and exp. 3.

Abbreviation of figure.

TM : Timing Mark

Exp. 2

T M



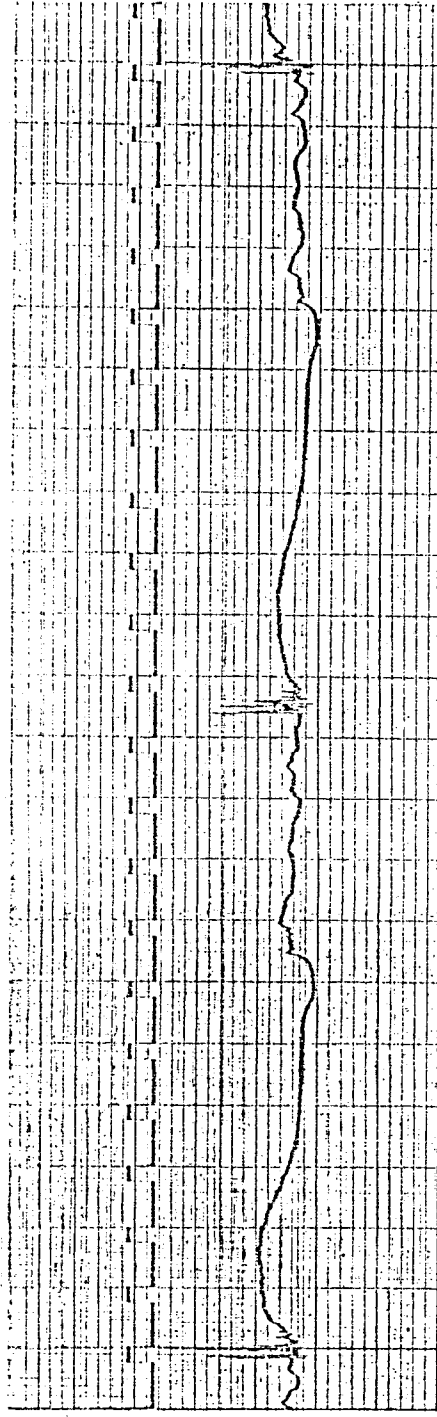
Transformation

7mm

0.5sec.

Exp. 3

T M

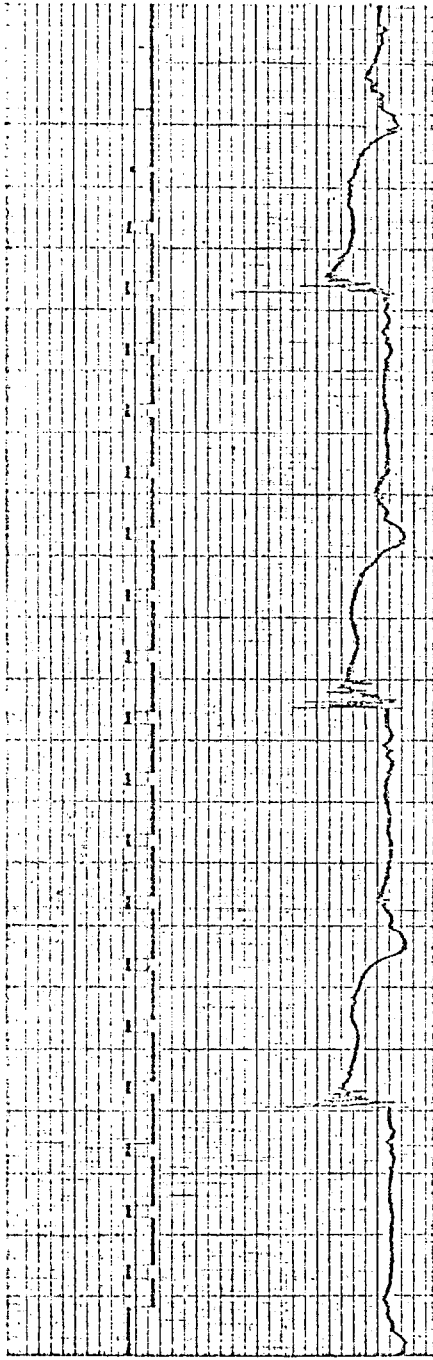


Transformation

Fig. 245 Case 1, Walk.

Exp. 2

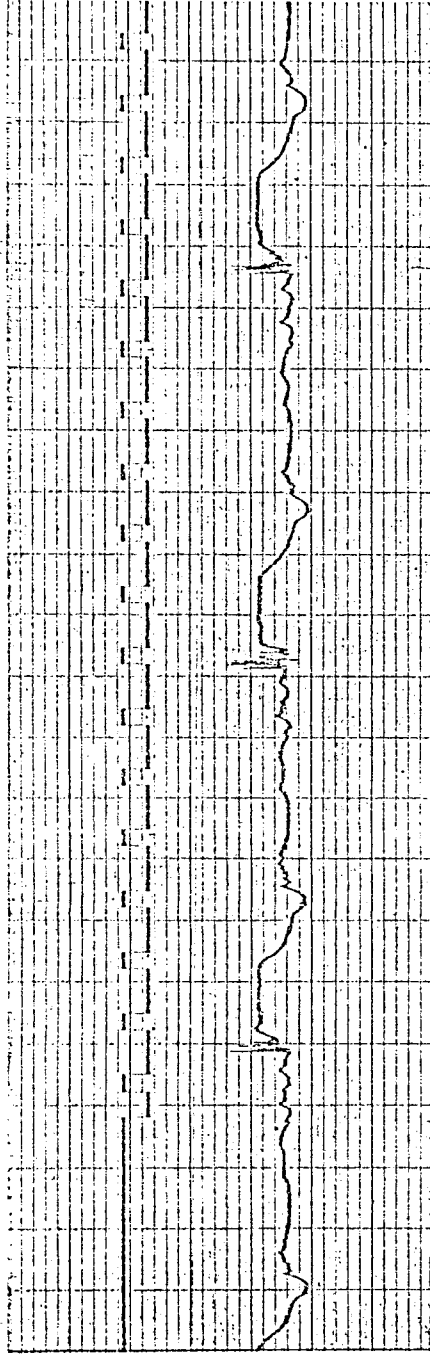
T M



Transformation

Exp. 3

T M

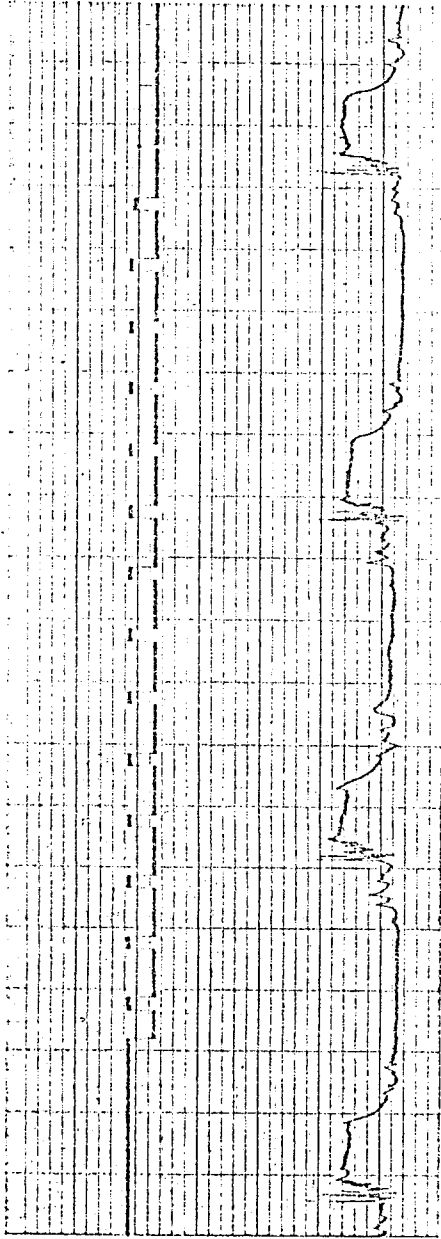


Transformation

Fig. 246 Case 1, Trot.

Exp. 2

T M



7 mm

0.5 sec.

Exp. 3

T M

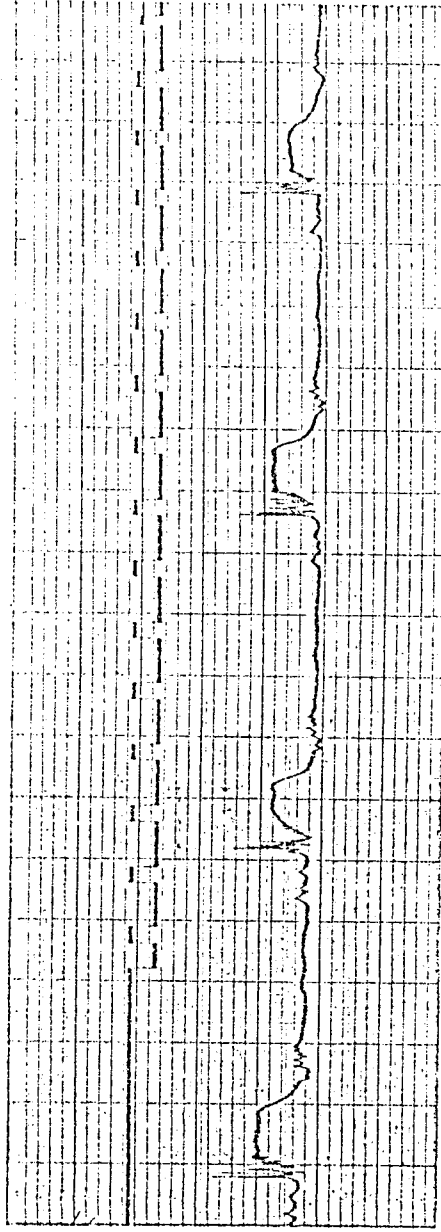
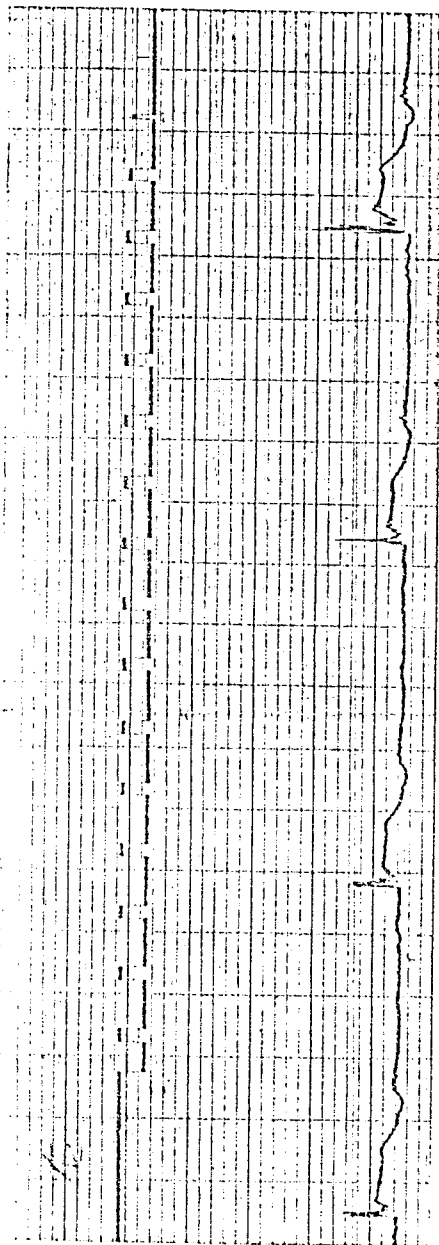


Fig. 247 Case 1, Canter (lead).

Exp. 2

T M



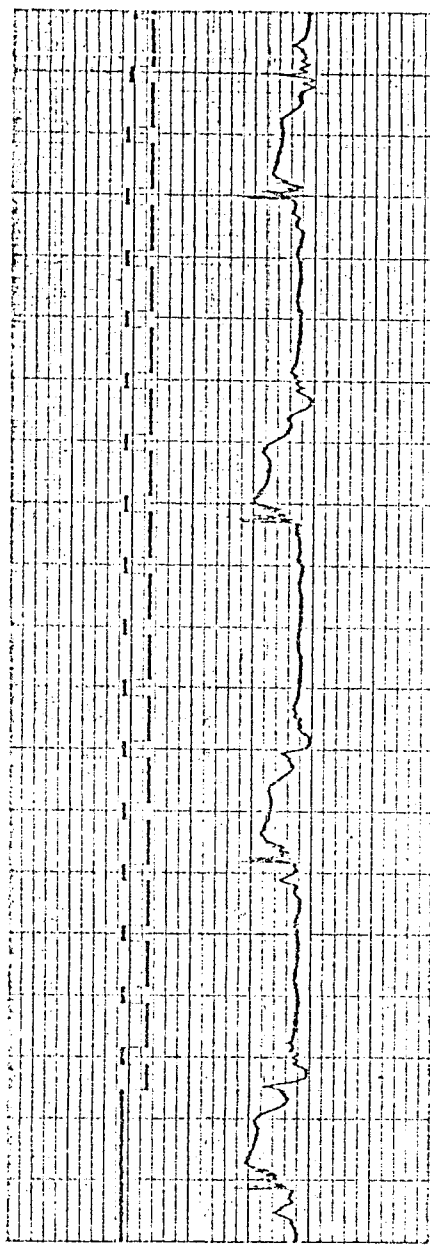
Transformation

7mm

0.5sec.

Exp. 3

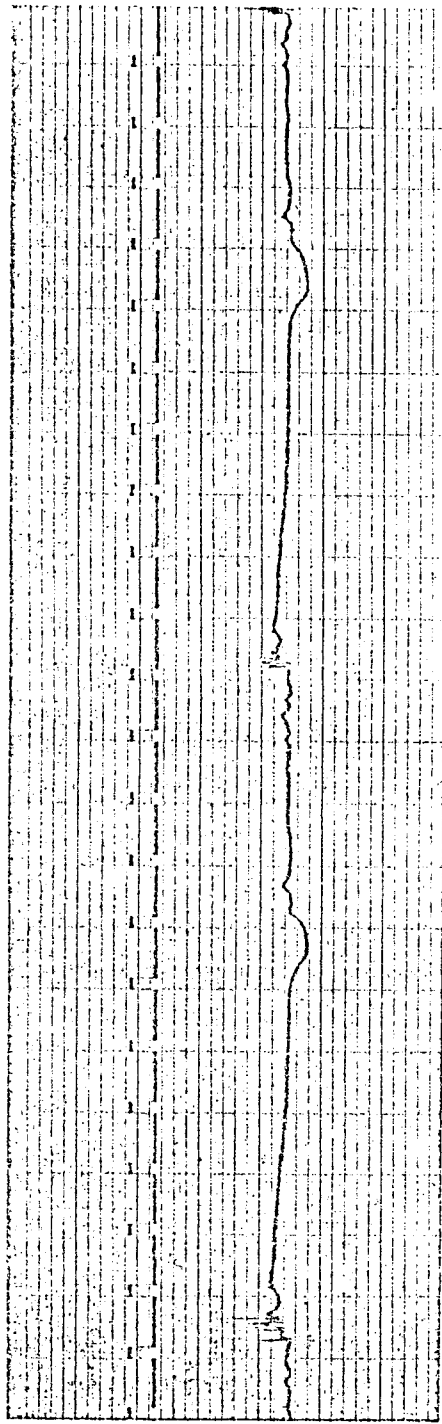
T M



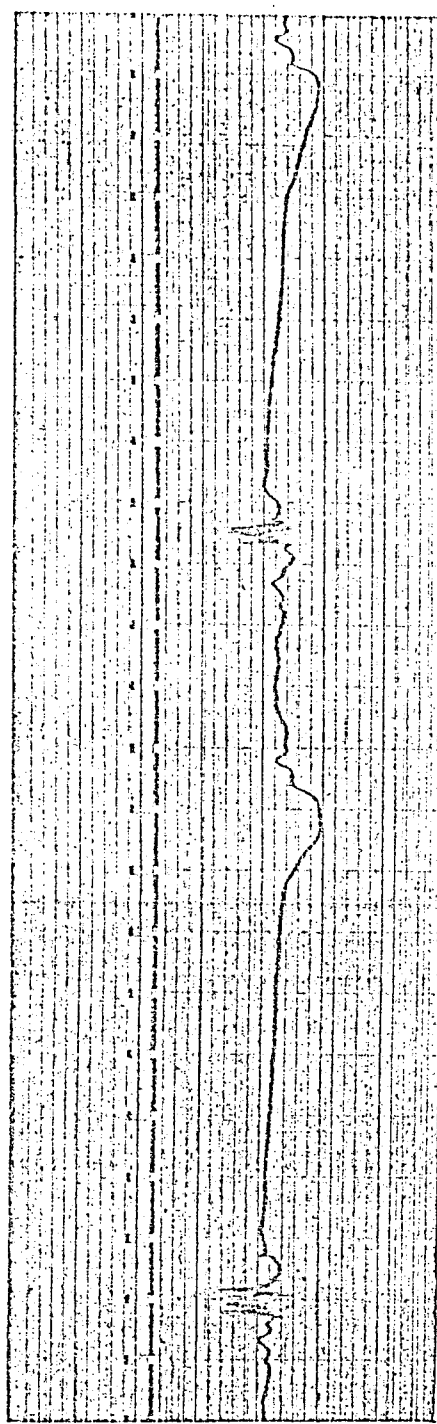
Transformation

Fig. 248 Case 1, Canter (trail).

Exp. 2



Exp. 3

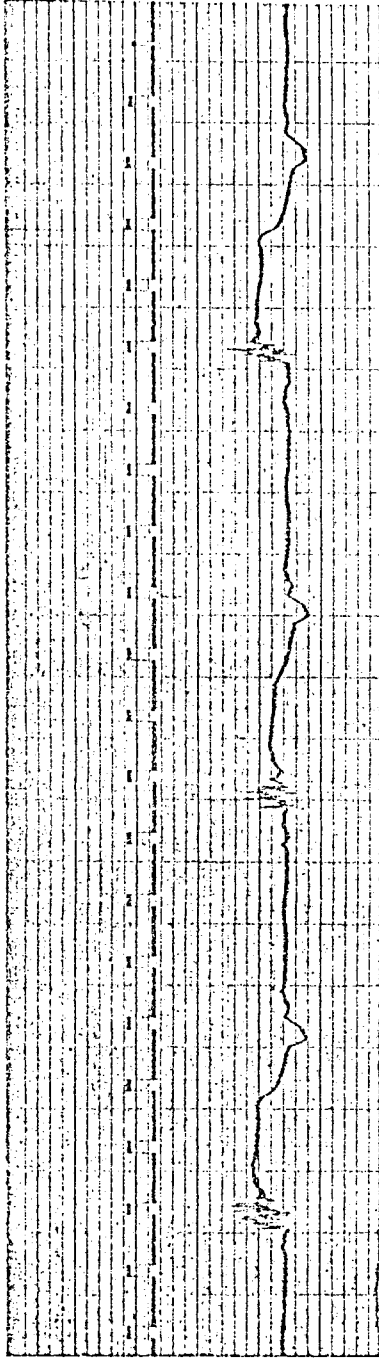


7mm

0.5sec.

Fig. 249 Case 2, Walk.

Exp. 2



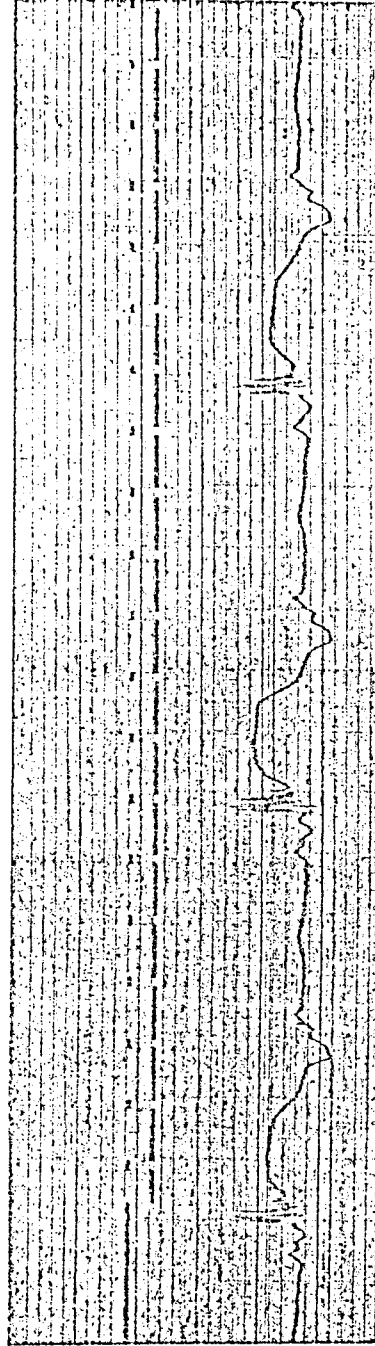
T M

Transformation

7mm

0.5sec.

Exp. 3

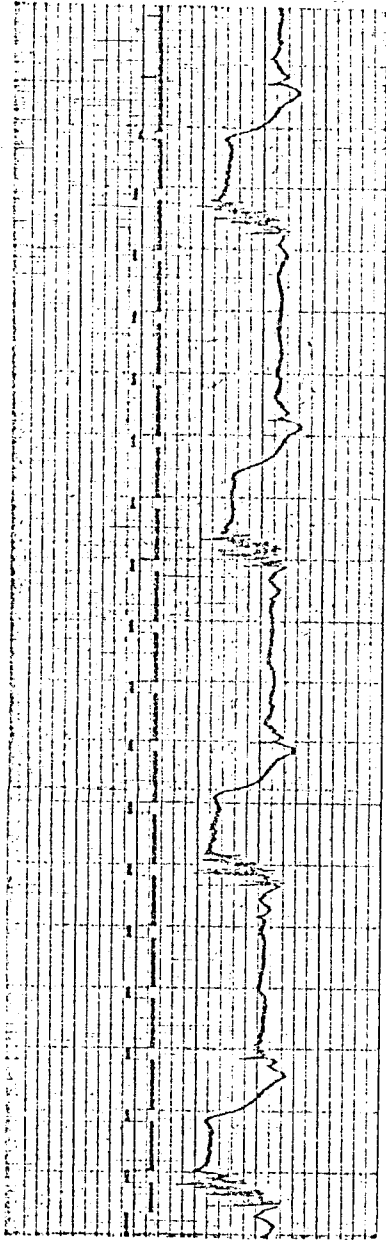


T M

Transformation

Fig. 250 Case 2, Trot.

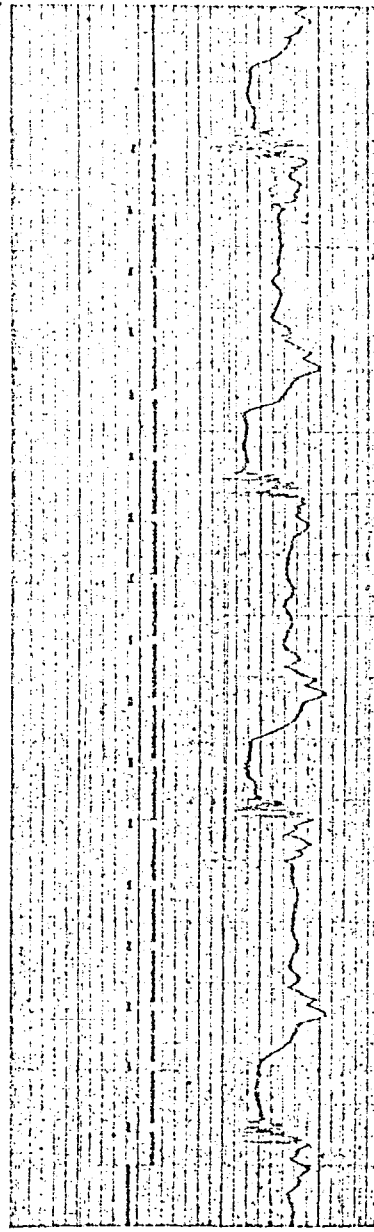
Exp. 2



T M

Transformation

Exp. 3



T M

Transformation

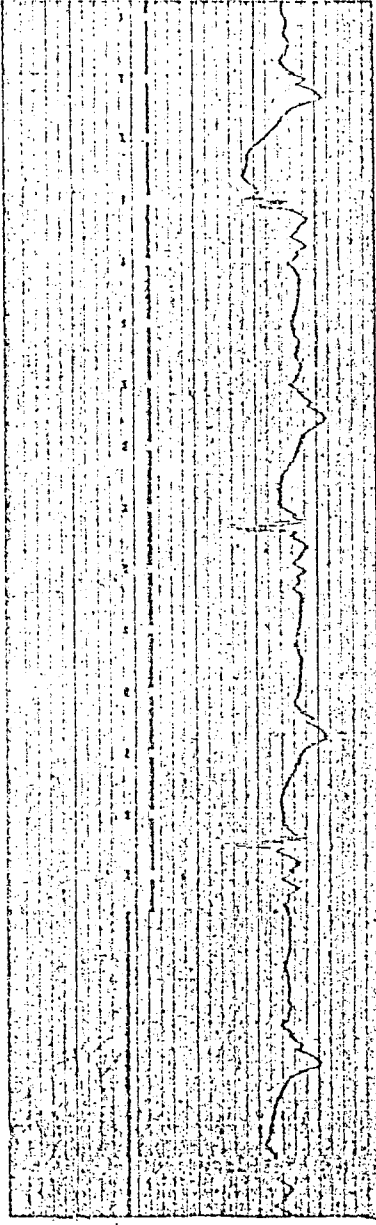
Fig. 251 Case 2, Canter (lead).

Exp. 2



Transformation

Exp. 3



T M

Transformation

Fig. 252 Case 2, Canter (trail).