

高重心車両用防護柵に関する研究

——剛性防護柵に関する共同研究報告書——

平成6年5月

建設省土木研究所
道路部交通安全研究室
日本道路公団
首都高速道路公団
阪神高速道路公団
本州四国連絡橋公団

Copyright © (1994) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of This book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

高重心車両用防護柵に関する研究

－剛性防護柵に関する共同研究報告書－

建設省土木研究所

道 路 部

部 長

総合交通安全研究官

交通安全研究室 室 長

研 究 員

研 究 員

部外研究員

部外研究員

神崎 紘郎

松村 哲男

瀬尾 卓也

安藤 和彦

酒井 洋一*1

梶 聡

矢村 昌之*2

日本道路公団

技 術 部

部 長

交通技術課

課 長

課長代理

課長代理

畑濃 次人

栗原 光二

大石 嗣雄

阿江 章*3

石橋 善明

長浜 和実

首都高速道路公団

工 務 部

部 長

設計技術課

課 長

課長補佐

保全施設部

保全施設課

課 長

課長補佐

榎本 守

原 光夫

吉川 博

斉藤 亮

甘利 憲一

堀米 憲治

阪神高速道路公団

計 画 部

部 長

小野 薫

計画第二課

課 長

雲川 晃弘

課長補佐

垣下 賢

係 長

要 政博

工 務 部

設 計 課

課 長

橋本 良之

課長補佐

中村 一平

本州四国連絡橋公団

企画開発部

部 長

霧島 稜一

道 路 課

課 長

阿部 和智

課長代理

永田 孝夫

向原 和明

岡本 豊

*1（現）土木研究所企画課建設専門官

*2（現）日鐵建材工業（株）土木商品開発部

*3（現）名古屋管理局技術部交通技術課長

要旨

進行方向を誤った車両が鉄道や人家に近接している高架橋梁部に衝突した場合、車両や車両に積載してある荷物が路外に逸脱すると2次災害を引き起こすことが予想される。現防護柵設置基準では、このような場所に設置する防護柵は強度ランクの上級のものを設置することとなっている。しかし、近年の道路交通の高速化や車両の大型化・高重心化に伴い、防護柵衝突時の衝突エネルギーは更に増加すると予想され、今後の高重心車両の高速度衝突に対応した防護柵の開発が望まれている。

本報告書は、これらの状況を踏まえ、高重心車両用防護柵の機能について検討した結果について述べたものである。

キーワード：防護柵、高重心車両、衝突実験、荷受け

高重心車両用防護柵に関する研究
－剛性防護柵に関する共同研究報告書－

まえがき

近年、道路交通網の整備や車両性能の向上などにより、物流の中に占める車両の果たす役割は更に重要となってきた。このようなことから、道路交通の高速化や車両の大型化・高重心化が進み、道路構造や安全施設もそれに対応した機能の向上が望まれてきている。安全施設の中でも特に防護柵は強度的に高速化・大型化・高重心化の影響を受けることや、現在の防護柵構造の基本は昭和30～40年代に確立されたものであることから、今後の高速化・大型化・高重心化に向けて改良や新形式のものを開発していくことが必要である。

そこで、建設省土木研究所・日本道路公団・首都高速道路公団・阪神高速道路公団・本州四国連絡橋公団では、防護柵の中でも比較的検証実験の少ない剛性防護柵の構造や強度について検討することを目的として、平成4年度から共同研究を実施している。

本報告書は、その共同研究の中でも、高重心車両が防護柵に衝突した場合に車両の路外逸脱や積載物の散乱等を防止する防護柵構造について衝突実験を行い検証した結果について述べたものである。

平成6年5月

交通安全研究室長

瀬尾 卓也

目 次
— 高重心車両用防護柵に関する研究 —

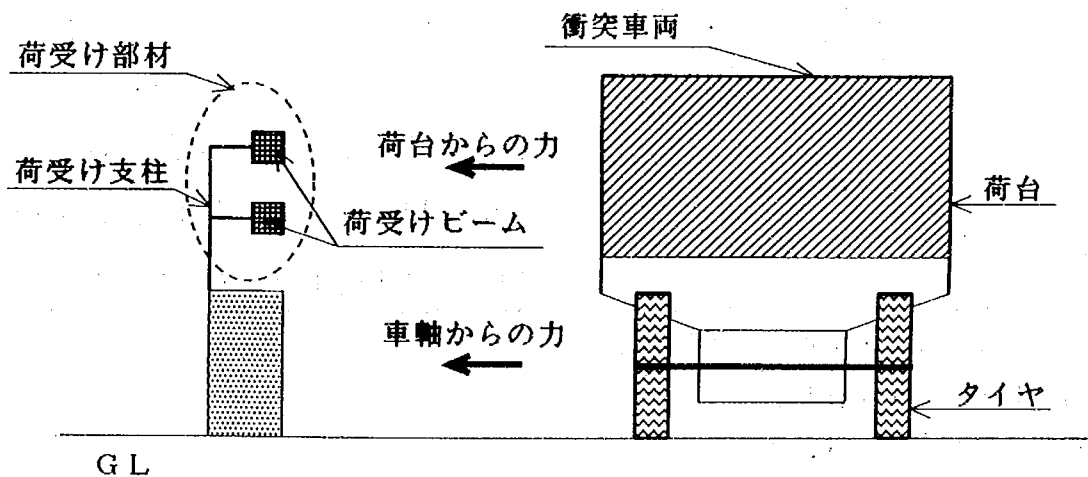
まえがき		
第1章 目的	-----	1
第2章 研究概要	-----	2
2. 1. 実験の種類	-----	2
2. 2. 研究手順	-----	3
2. 3. 衝突条件について	-----	4
2. 3. 1. 車両重量	-----	4
2. 3. 2. 衝突速度	-----	4
2. 3. 3. 衝突角度	-----	4
2. 3. 4. 衝撃度	-----	5
2. 3. 5. 車両重心高さ	-----	5
第3章 実車衝突実験の概要	-----	7
3. 1. 実験方法	-----	7
3. 1. 1. 実験施設	-----	7
3. 1. 2. 計測項目	-----	8
3. 1. 3. 計測方法	-----	9
3. 2. 評価項目および方法	-----	15
3. 2. 1. 車両関係	-----	15
3. 2. 2. 防護柵関係	-----	18
第4章 実車衝突実験結果	-----	20
4. 1. 荷受け1段型コンクリート直壁 [実験1]	-----	22
4. 1. 1. 実験目的	-----	22
4. 1. 2. 衝突条件	-----	22
4. 1. 3. 供試体構造	-----	22
4. 1. 4. 供試体の配置および計測位置	-----	26
4. 1. 5. 実験結果及び考察	-----	28
4. 1. 6. 今後の課題	-----	41
4. 2. 荷受け2段型コンクリート直壁 [実験2]	-----	47
4. 2. 1. 実験目的	-----	47
4. 2. 2. 衝突条件	-----	47
4. 2. 3. 供試体構造	-----	47
4. 2. 4. 供試体の配置および計測位置	-----	51
4. 2. 5. 実験結果及び考察	-----	53
4. 2. 6. 今後の課題	-----	65
4. 3. 荷受け2段型鋼製防護柵 [実験3]	-----	71
4. 3. 1. 実験目的	-----	71
4. 3. 2. 衝突条件	-----	71
4. 3. 3. 供試体構造	-----	71
4. 3. 4. 供試体の配置および計測位置	-----	73
4. 3. 5. 実験結果及び考察	-----	75
4. 3. 6. 今後の課題	-----	83
第5章 まとめ及び今後の課題	-----	89
5. 1. 実験結果のまとめ	-----	89
5. 1. 1. 荷受け1段型コンクリート直壁	-----	91
5. 1. 2. 荷受け2段型コンクリート直壁	-----	91
5. 1. 3. 荷受け2段型鋼製防護柵	-----	91
5. 2. 荷受け型防護柵構造	-----	92
5. 2. 1. 大型貨物車用	-----	92
5. 2. 2. 高重心車両用	-----	92
5. 3. 今後の問題点	-----	93
5. 3. 1. 荷受け型コンクリート直壁	-----	93
5. 3. 2. 荷受け型鋼製防護柵	-----	94
あとがき	-----	95
参考文献	-----	96
付 録	-----	96
	付-1 ~ 116	

第1章 目 的

現在の防護柵基本構造は、昭和47年（1972年）以前に検討されたものである。しかし、現在の車両の性能や形状等が当時に比べて異なっていること、貨物車等の大型車が大型化・重量化・高重心化の傾向にあることなどから、今後の道路交通状況を踏まえた防護柵構造について検討しておくことが必要である。特に高架部と鉄道・民家・道路等と交差する部分においては、進行方向を誤った車両が路外逸脱するなどの事故をおこすと大きな2次災害が発生すると予想される。これらのことより、大型貨物車の内でも特に高重心車両衝突に対しても防護柵機能を発揮できる防護柵の開発が望まれている。

本研究は、高架部と鉄道部等が交差隣接する重要箇所において、大型貨物車等の路外逸脱による2次災害を防止することを主目的に、壁高柵や鋼製防護柵に^{*)}荷受けビームを設置する方法を考案し、その部材強度や車両の誘導性を確認する目的で一連の実験を行ったものである。

^{*)} 荷受けとは、車両横転や荷物の飛散を防止する目的で車両衝突時の荷台部に発生する慣性力を受け止めるために防護柵上に設置する支柱、ビーム、プレート等の部材をいう。1段、2段は、荷受けビームの本数をいう。



第2章 研究概要

2. 1. 実験の種類

本研究で想定した防護柵設置区間は、進行方向を誤った車両が路外逸脱等をおこすと2次災害が予想される鉄道、人家の交差近接区間である。

過去の実験例からも路外逸脱を引き起こす可能性が大きいのは大型車両である。今回は大型貨物車両と高重心車両の2タイプについて車両を想定し、その重心や荷台高さにより車両横転・突破や荷台積載物の飛散防止などを目的とした荷受け部材（第1章参照）を配置してその防護柵機能について検討を行うこととした。

また、防護柵形状としては衝突時の車軸からの荷重（第1章参照）を受け持つ下部構造をコンクリート壁、鋼製ビームの2種類を設定し、そのそれぞれの防護柵機能について確認を行うこととした。

表-2・1・1に本研究で検討を行う荷受け構造別の各種条件、図-2・1・1に下部構造別の代表例をそれぞれ示す。

表-2・1・1 荷受け構造別の設定条件

車種	重心高さ	衝突条件	荷受け種別	*2) 下部構造	研究開発状況
大型貨物車両	*1) 1.3m	20t, 100km/h,	1 段型	コンクリート壁	本研究により確認する *3) 高速化対応型で検討済
				土中用鋼製防護柵	
高重心車両	*1) 1.8m	20°	2 段型	コンクリート壁	本研究により確認する
				土中用鋼製防護柵	本研究により確認する

*1) "2. 3. 5. 車両重心高さ"を参照。

*2) 図-2・1・1を参照。

*3) 参考文献20と4. 3. 3. を参照。

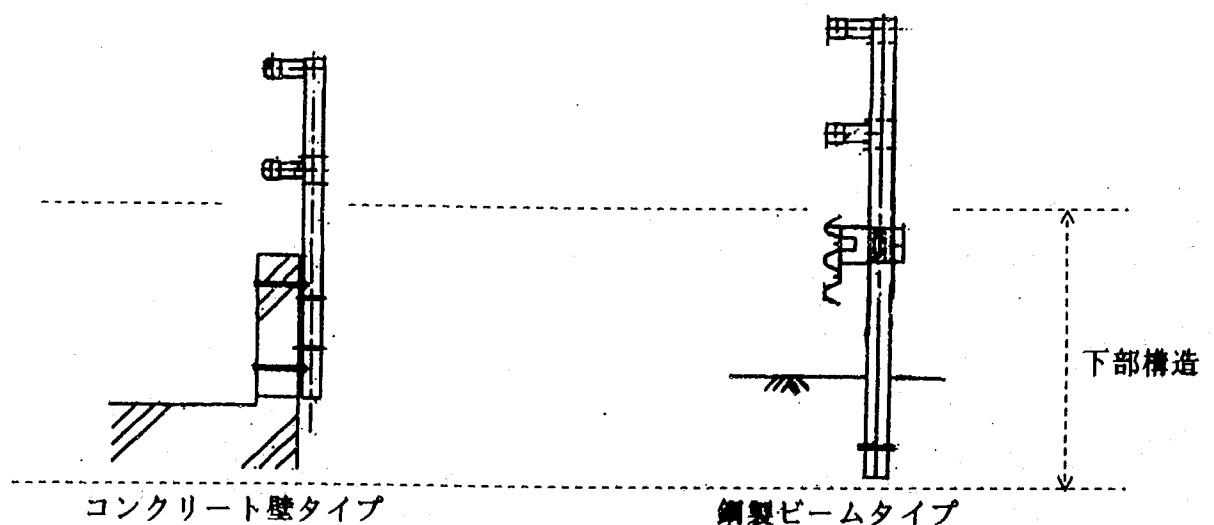


図-2・1・1 下部構造別の断面図

2. 2. 研究手順

研究手順のフロー図を以下に示す。

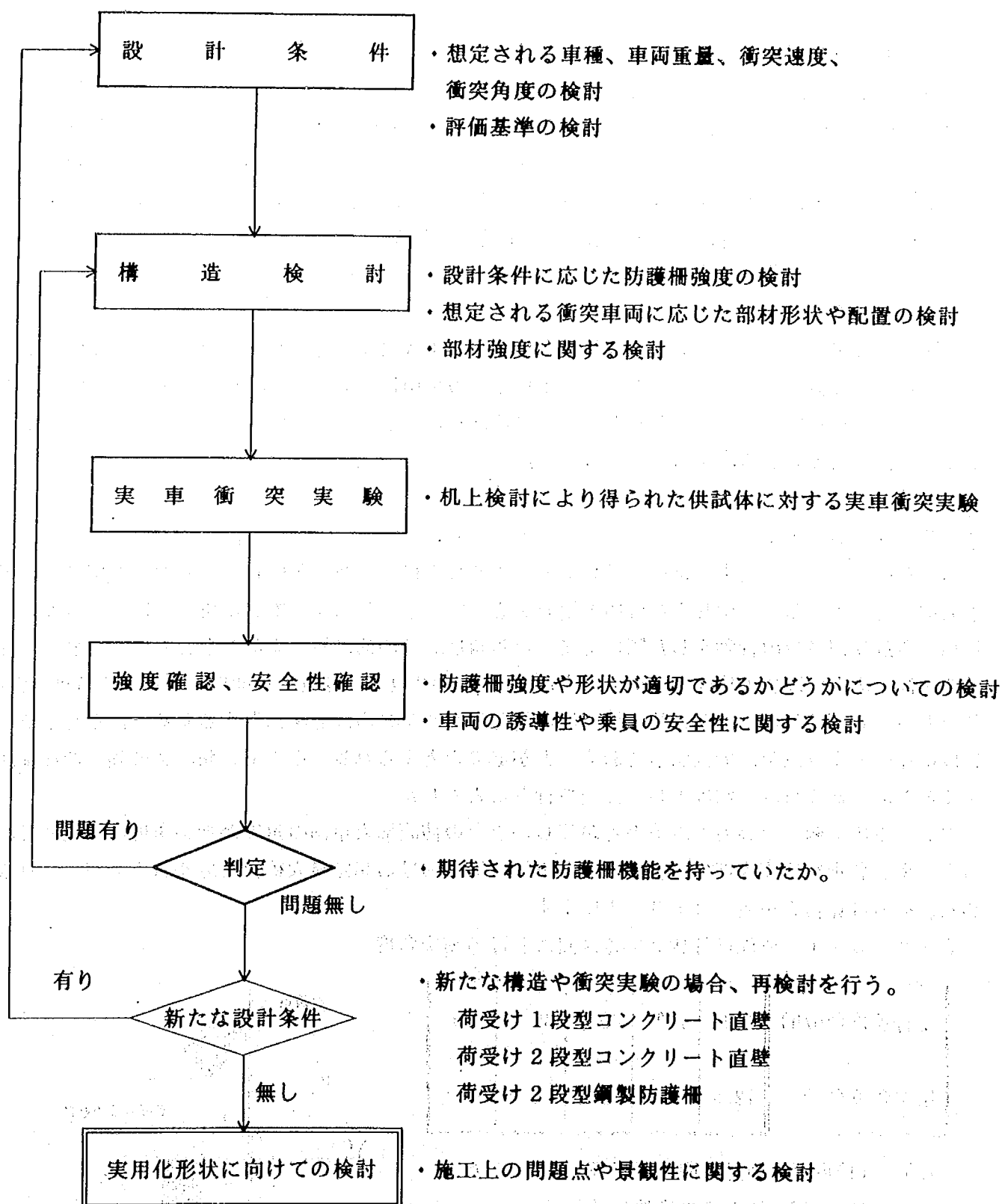


図-2.2.1 研究フロー図

2. 3. 衝突条件について

衝突条件は、以下のような仮定に基づいて設定した。

2. 3. 1. 車両重量

「防護柵設置要綱」では衝突車両の設計重量を14tと定めているが、実験条件を設定した平成4年12月当時、一般公道を走行できる車両の最大重量は車両制限令により20tであったことや、実験施設の最大牽引重量は20tであることから、本研究では規定負荷としての設計車両重量を20tとした。

なお、平成5年11月車両制限令の改正が行われ、特定区間に限り重量25tの車両は通行可能となったが、無条件に公道を走行出来る車両最大重量は20tである。

2. 3. 2. 衝突速度

「防護柵設置要綱」では、道路の設計速度の80%を走行速度、走行速度の80%を衝突速度としている。これらの数値は設置要綱制定当時（昭和47年）の車両性能や交通状況を基に定められたものである。しかし、現在は車両の性能も向上し、走行速度が高くなってきている。そこで、本研究における衝突速度は道路の設計速度を用いるものとした。

2. 3. 3. 衝突角度

衝突角度は、実際に発生した衝突事故を調査することにより明らかにしていくことが望ましいが、事故実態を調査することは膨大な時間と労力が必要である。したがって、本研究では、通常の走行状態から危険回避等の行動をした際に衝突し得る角度を理論的に検討することとした。一般に走行速度が高い場合、限界の旋回半径が大きくなり、100km/h以上では概ね20度以上で衝突する可能性が低いものと考えられる。また、防護柵の終局的な強度や挙動の限界を把握するためには現行基準の15度に比べてより急角度で確認しておくことが必要と考えられる。そこで、防護柵の強度的な確認をするために衝突角度を20度として実験を行うこととした。

なお、車両に働く遠心力と摩擦力とが等しいときの防護柵と車両の角度が衝突角度の最大値であると考え、各走行速度度別の直線部片側2車線区間における想定最大衝突角度を机上計算により求めた。その計算結果を表-2・3・1に示す。

表-2・3・1 直線部片側2車線区間における衝突角度

走行速度(km/h)	120	100	80	60	40
衝突角度(°)	12.5	15.1	18.9	25.2	38.2

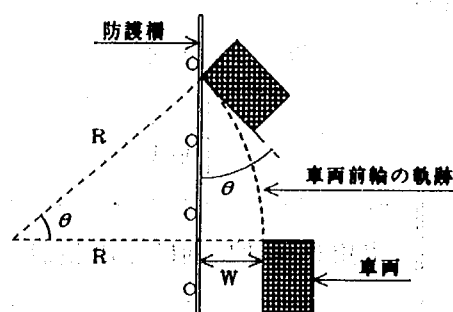
注) (1)車両～防護柵間の距離(W)を6mとした。

(2)車両～路面間の摩擦係数(μ)

を0.45とした。

(3)衝突角度(θ)

(4)仮想運動半径(R)



$$R = V^2 / (\mu \cdot g)$$

$$\cos \theta = (R - W) / R$$

$$\theta = \cos^{-1} \{1 - (g \cdot W \cdot \mu) / V^2\}$$

2. 3. 4. 衝撃度

衝撃度は、車両衝突時の衝撃の程度を表す指標であり、下式により求める。

$$IS = W \cdot (V \cdot \sin \theta)^2 / (2 \cdot g) \text{ --- (2.3.1)}$$

IS: 衝撃度 (t・m)

W: 車両重量(t)

V: 衝突速度(m/sec)

θ : 衝突角度($^{\circ}$)

g: 9.8(m/sec²) 重力加速度

2. 3. 5. 車両重心高さ

防護柵の基本的機能として、車両の路外逸脱防止や円滑な誘導等があり、これらの機能が良好に発揮できるかは車両と防護柵のさまざまな要因により決定される。その中でも車両の重心高さは大きな要因と考えられる。今回の一連の実験では、大型貨物車についての検証を行ったが、その重心高さについては、以下に示す一般車両と高重心車の二種類を想定した。

①大型貨物車両

一般的な車両総重量20tの大型貨物車両は、車両重心高さを自動車諸元表に記載されている約1.3mとした。

②高重心車両

高重心車両の場合、コンテナ専用車を想定し、以下に示す考えで車両重心高さを算出した。

(図-2.3.1を参照)

車両空車時の重量: 9t (自動車諸元表より)

空車時の重心高さ: 0.9m (")

積載物重量: 11t (")

積載物の重心位置: 2.55m (")

車両総重量: 20t

車両重心位置: A (以下に示す方法で計算を行った。)

$$(9 \times 0.9) + (11 \times 2.55) = 20 \times A$$

$$A = 1.8\text{m}$$

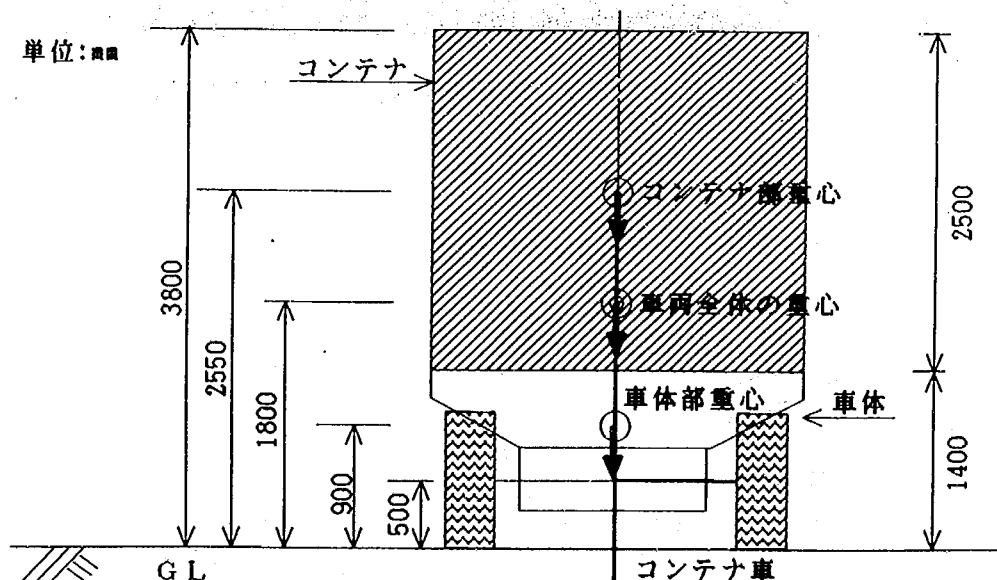


図-2.3.1 高重心車両の重心位置

③実験時の重心位置の決定

実験車両としてはコンテナ車にかわって、入手し易いアルミバンタイプを用い、荷台内部に鋼管で足場を組んでその上に荷物を載せ、車両重心高さをコンテナ車と同等に調節した。

なお、高重心車両を想定するため車両重心高さは上記計算結果1.8mよりも高い車両もあると考え、荷受け2段型の2回の実験では車両重心高さ2.0mとして高重心車両用防護柵の衝突条件として厳しいもので実験を行った。

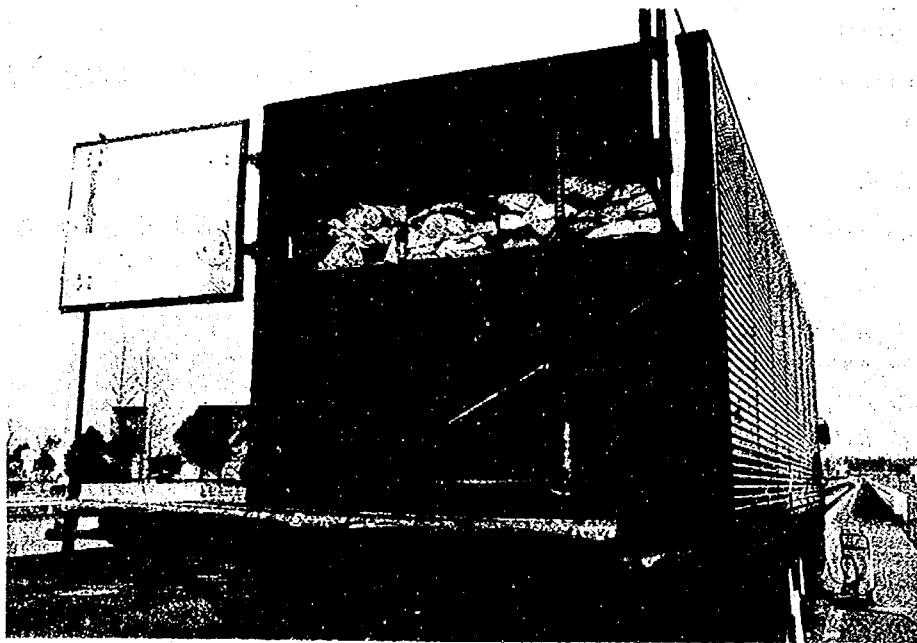


写真-2・3・1 高重心車両の実験時荷台状況

3. 1. 実験方法

3. 1. 1. 実験施設

1) 実験場所

建設省土木研究所衝突実験施設

2) 実験施設の概要

本実験施設は、衝突車をウインチにより牽引する方式である。加速路の長さは410m（有効加速長；380m）で、衝突車を牽引ワイヤに接続するドーリー（牽引用金具）を誘導するためのガイドレールが設置されている。ウインチには直流電動機を使用し、ドラムの回転により牽引ワイヤを巻き取るものである。本施設では、巻取部と送出部を分離してワイヤを短くし精度の向上を図っている。

衝突点には移動式観測塔を設置して、上方から衝突時の挙動が観測できるようになっている（図-3・1・1参照）。

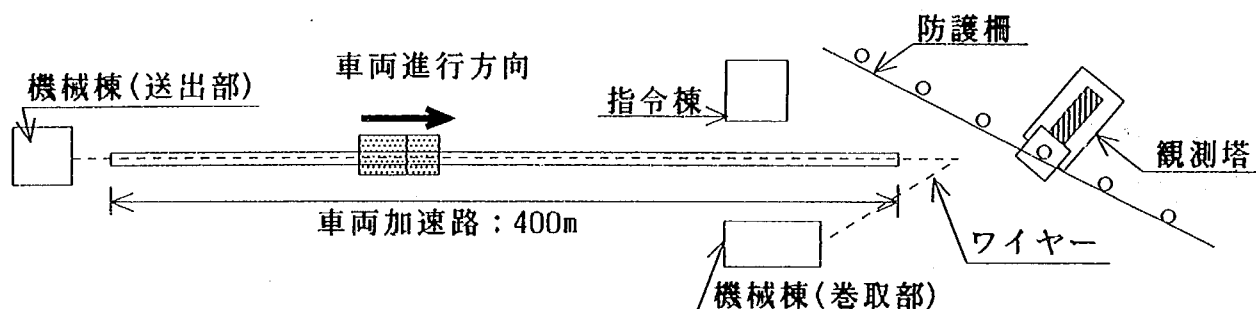


図-3・1・1 建設省土木研究所衝突実験施設

3) 実験地盤

実験地盤は、支持力に与える影響が大きいため同一条件下で行うことが望ましい。本実験では、標準地盤を図-3・1・2のとおりとした。

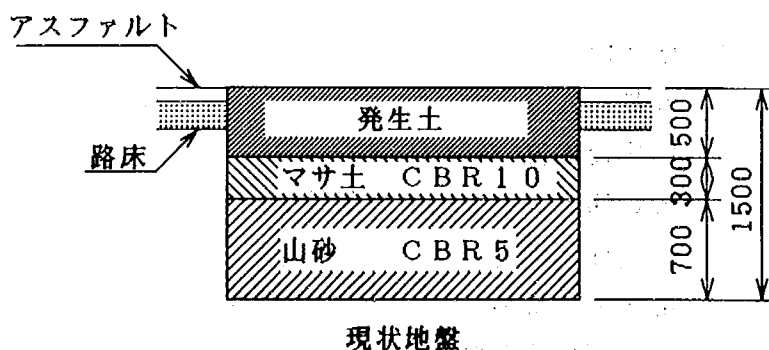


図-3・1・2 実験地盤

4) 実験施設の能力

実験施設の能力および仕様を以下に示す。

最大牽引能力；

大型車 車両重量：20.0t 牽引速度：100km/h

小型車 車両重量：2.5t 牽引速度：140km/h

仕様；

駆動電動機（巻取） 電圧：DC440V 定格出力：920kW

駆動電動機（送出） 電圧：DC440V 定格出力：75kW

切離速度精度 $\pm 0.1\%$

加速方式 無段階加速方式

制動方式 ディスクブレーキ制動方式

ワイヤ径 19.0mm

加速路長 410m

有効加速距離 380m

3. 1. 2. 計測項目

計測項目は、実験の種類により異なるが、主な車両および防護柵についての計測項目を下記に示す。

1) 車両

- a. 衝突速度
- b. 離脱速度
- c. 離脱角度
- d. 軌跡
- e. 加速度
- f. 傾斜角と飛び上がり量
- g. 損傷状況
- h. 挙動

2) 防護柵

- a. 最大変位
- b. 残留変位
- c. 鉄筋コンクリートの部材応力
- d. 支柱水平力
- e. ビーム張力
- f. 車両の接触跡
- g. 損傷状況

3. 1. 3. 計測方法

1) 車両関係

a. 衝突速度

衝突速度は、ドローリー切り離し位置付近に設けられた光電管式速度計、テープスイッチ式車両感知器および高速度撮影フィルムの解析値から求めた。各々の方法を表-3・1・1に示す。

表-3・1・1 衝突速度測定方法

番号	計測器	検出方法
1	光電管式速度計	2点の光電管を車両が遮る時間差から速度を検出する。
2	テープスイッチ式車両感知器	車両の前後輪の通過時間差をテープスイッチ、車両感知器で検出し、速度を算出する。
3	高速度撮影カメラ	フィルムコマ数と車両の移動量から算出する。

b. 離脱速度

テープスイッチ式車両感知器で、前後輪の通過時間差を検出し、速度を算出する。

c. 離脱角度

車両の軌跡より防護柵との角度を測定する。

d. 軌跡

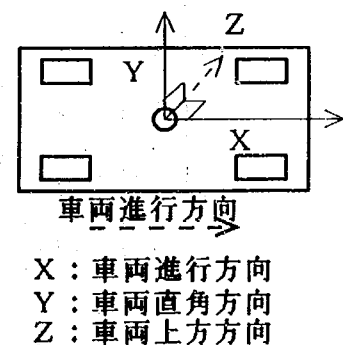
車両の軌跡は、路面に残された轍や車輪の摺痕により測定する。

e. 加速度

加速度の測定は、車両重心、ダミー（運転席、助手席）頭部に3成分の加速度計を取り付けて測定した。なお、加速度データの収録は車両に搭載したラムカードにより行った。表-3・1・2に加速度計取付部位、その測定方法を図-3・1・3に示す。

表-3・1・2 加速度計取付部位

方向	車両重心	ダミー 頭部		測点合計
		運転席	助手席	
X	○	○	○	7点
Y	○	○	○	
Z	○			



注) 加速度成分方向は右図のとおりとした。

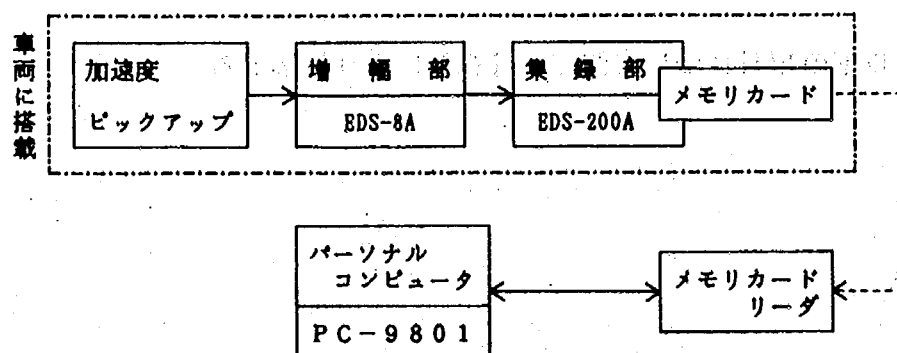


図-3・1・3 加速度測定方法

f. 傾斜角と飛び上がり量

車両衝突時の傾斜角および飛び上がり量は、16mm映画撮影により求めている。図-3・1・4にカメラの種類と配置を示した。

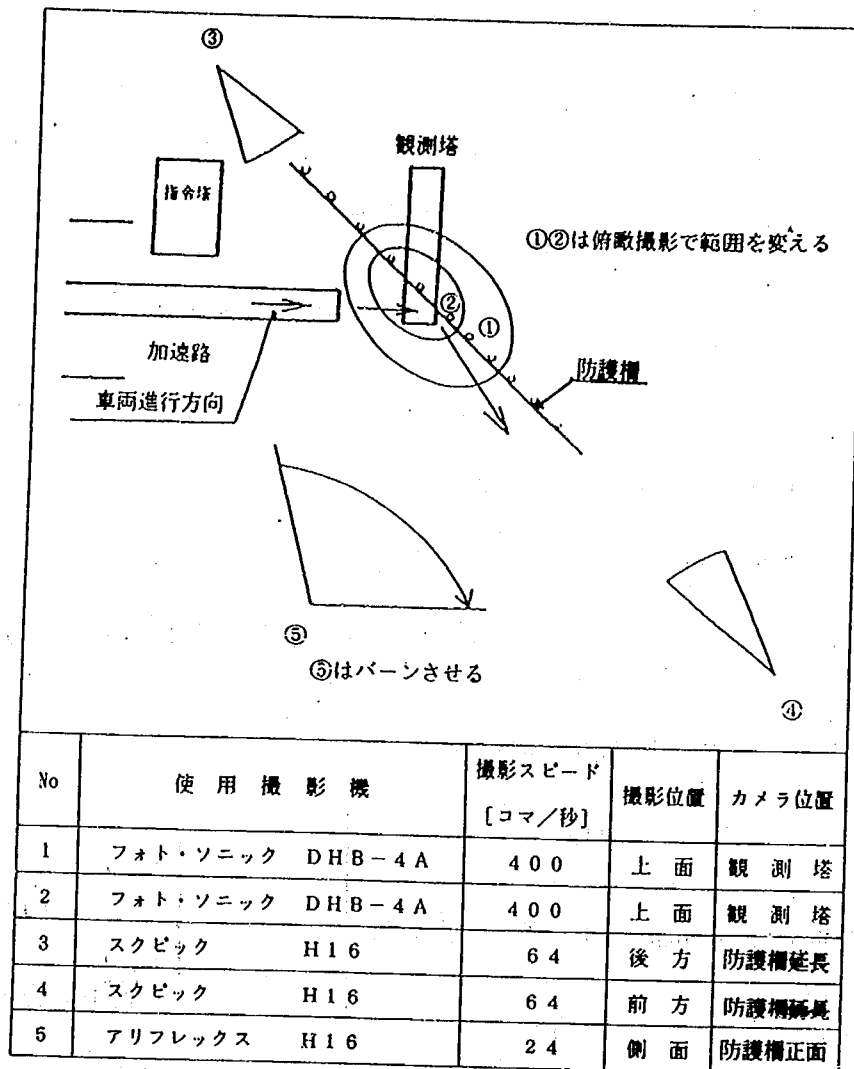


図-3・1・4 16mmカメラ配置

g. 損傷状況

損傷状況は、以下の項目について測定、目視等により観察する。

- ・ 車体へこみ
- ・ 車軸の変形
- ・ 車輪の損傷
- ・ 窓ガラス破損
- ・ 車室内変形
- ・ 牽引、自力走行の可否

h. 車両の挙動

衝突時の車両の挙動を見るために、16mmカメラ以外にビデオカメラにより多方向から撮影している（図-3・1・5参照）。

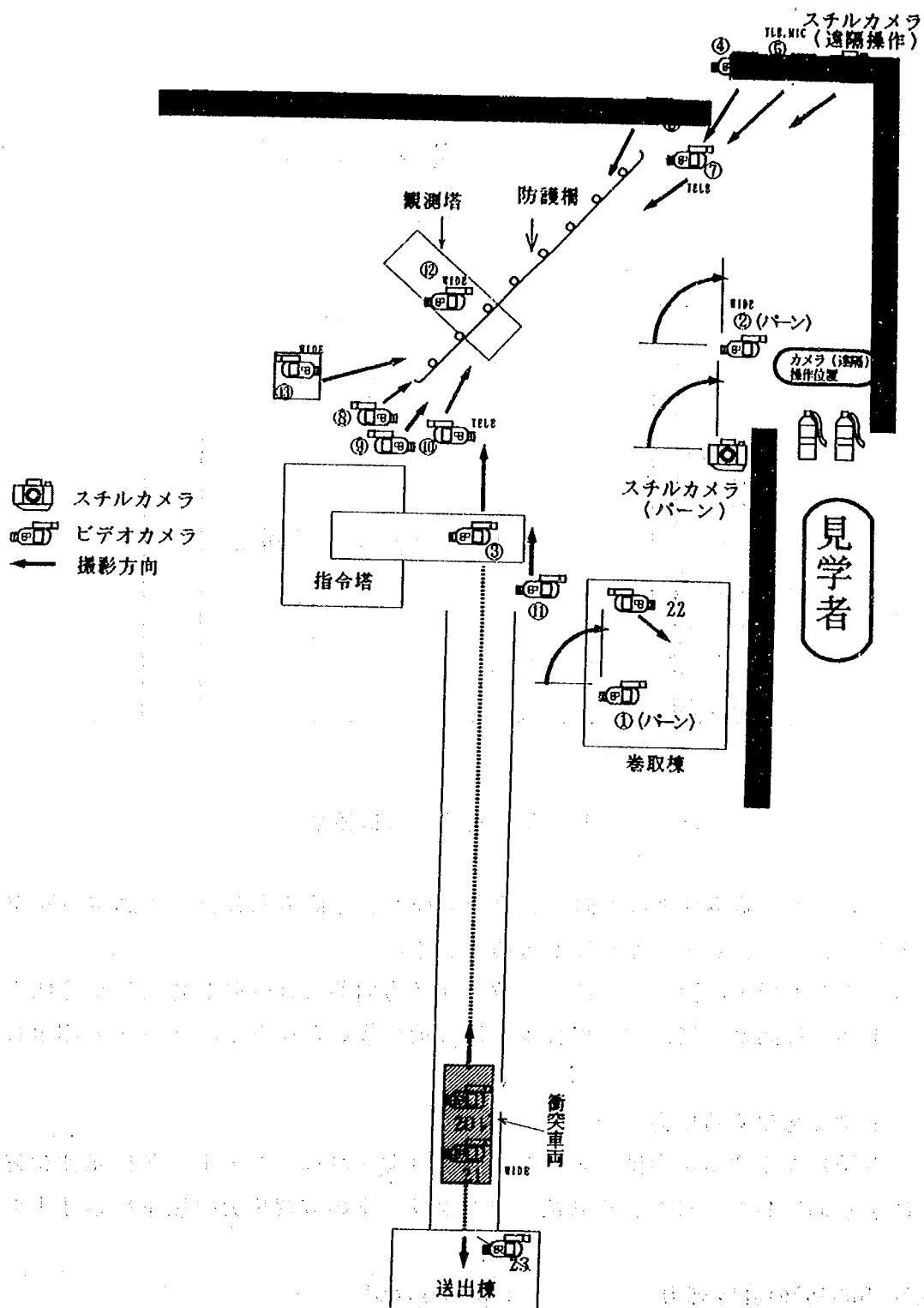


図-3・1・5 ビデオカメラ配置図

2) 防護柵関係

a. 最大変位

防護柵の最大変位量は、柵直角方向に対して棒状変位計を取り付けての直接測定や変位測定板（ターゲットマーク）を高速度撮影フィルムから読みとることなどにより、測定を行っている。なお、変位計の概要を図-3・1・6に示す。

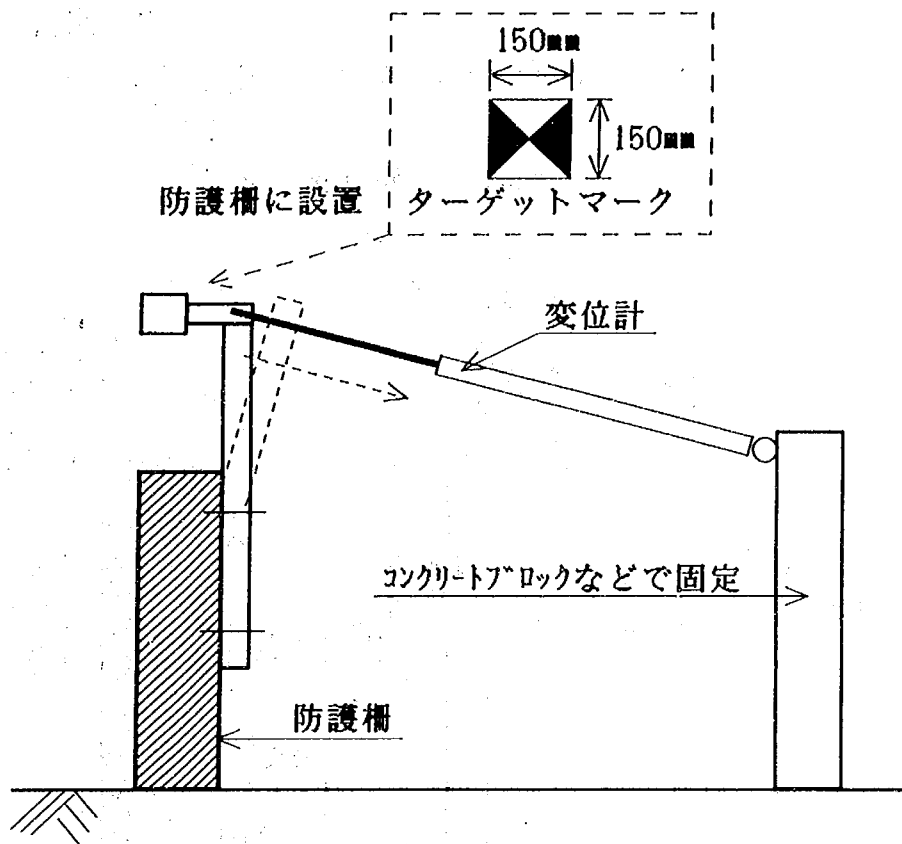


図-3・1・6 変位計設置概要

b. 残留変位

残留変位については、防護柵平行方向X、直角方向Y、鉛直方向Zとして測定点を定め、衝突前後に測量（トランシット、レベル等）して求めている。

衝突による防護柵の影響範囲は、支柱の変位がXY方向共に10mm以上発生した範囲を測定する。

また、継ぎ手部の移動量を測定する場合は、衝突前に描いたケガキをノギスで測定している。

c. コンクリート壁に発生する応力

コンクリート壁に発生する応力は、表-3・1・3および図-3・1・7に示す位置に張り付けた歪ゲージにより測定した。また、鉄筋及びコンクリートの許容応力は以下に示すとおりとした。

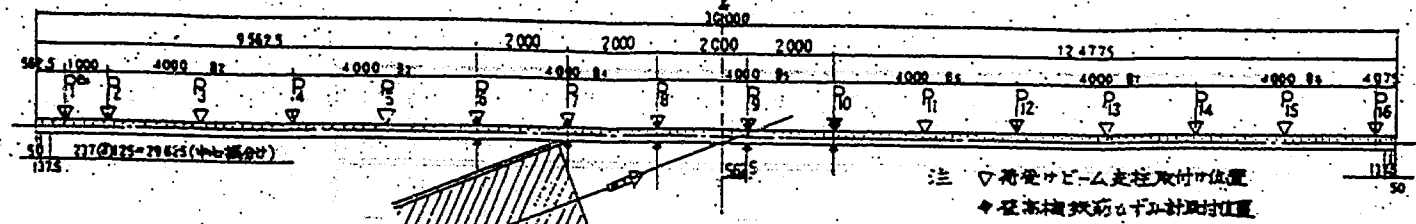
鉄筋(SD345)の許容応力 : 3000kg/cm^2

コンクリート($\sigma_c=240$)の許容応力 : 120kg/cm^2

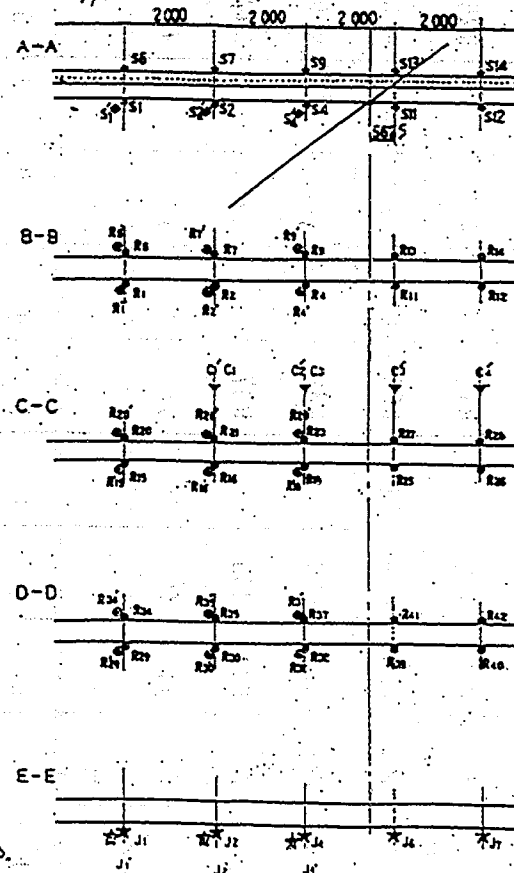
表-3・1・3 コンクリート壁の応力測点位置

壁延長 壁断面		P 6	P 7		P 8		P 9		P 1 0		計
		鉄筋	鉄筋	壁面	鉄筋	壁面	鉄筋	壁面	鉄筋	壁面	
A-A	表	S1	S2	-	S4	-	S11	-	S12	-	10
	裏	S6	S7	-	S9	-	S13	-	S14	-	
B-B	表	R1	R2	-	R4	-	R11	-	R12	-	10
	裏	R6	R7	-	R9	-	R13	-	R14	-	
C-C	表	R15	R16	-	R13	-	R25	-	R25	-	14
	裏	R20	R21	C1	R23	C2	R27	C3	R28	C4	
D-D	表	R29	R30	-	R32	-	R39	-	R40	-	10
	裏	R34	R35	-	R37	-	R41	-	R42	-	
E-E	表	J1	J2	-	J4	-	J6	-	J7	-	5
	裏	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
計		9	9	1	9	1	9	1	9	1	29

荷受付型



針取付位置図

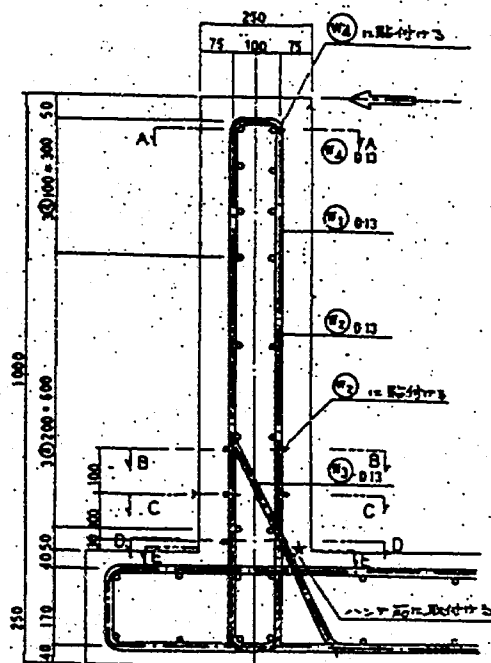


型式高欄関係の測点位置・数量

[illegible]

(注1) H— 試料の高さ
B— 試料の幅
試料の中心に圧力を加へて測定する。
試料の（ ）部は千分ゲージである。

断面图



※) 記号内のX印は予備ゲージを示し、設置は1本予備の位置に取付する。

図-3・1・7 コンクリート壁応力測点位置図

d. 支柱水平力

支柱に働く水平力の計測には、2軸の歪みゲージを支柱側面に貼り付け、せん断歪みを測定する。

e. ビーム張力

ビームに働く張力は1軸歪みゲージを貼り付け測定値から算定した。

f. 車両の接触跡

防護柵の車両による接触跡（スクラブマーク）は、前輪後輪および車体前後に図-3・1・7に示すように異なった色のペイントを塗布し、防護柵に車両のどの部位が接触したか観察できるようにしている。

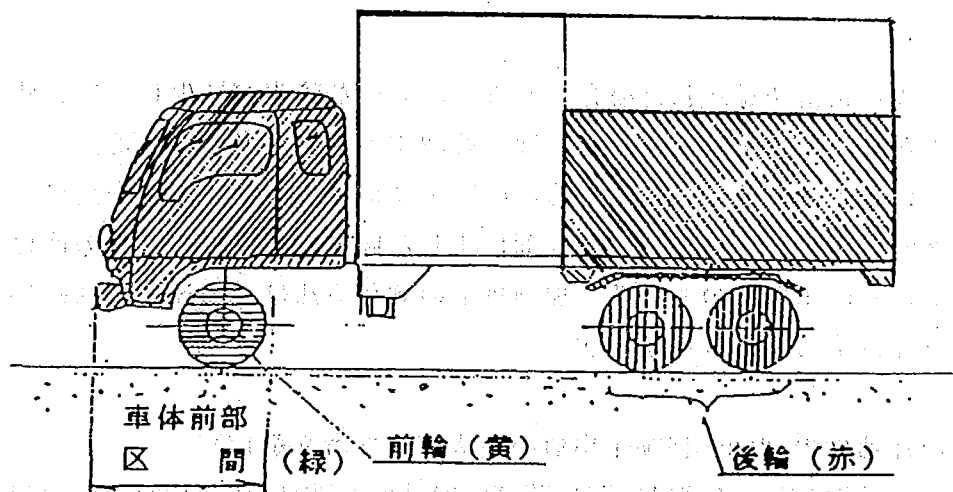


図-3・1・7 車両のスクラブマーク塗布概要

g. 損傷状況

防護柵の損傷状況は以下の項目について目視等により観察している。

- ・コンクリート壁の損傷
- ・ビームの破損、コルゲーションの潰れ等
- ・支柱の折れ曲がり
- ・ブラケットの変形

3. 2. 評価項目および方法

衝突実験で測定された項目について、その評価項目と方法を下記に示す。

3. 2. 1. 車両関係

1) 離脱速度

離脱速度は、後続の車両の追突や追突回避行動に大きく影響することから、誘導された車両の極端な減速は望ましくない。誘導された場合の評価基準としては、過去の実験や海外の基準等を参考にして算定したものであり、以下のとおりである。

- ・離脱速度は衝突速度に対して20km/h程度（米国では24km/h）以上減速しないこと、および25%以上減速しないこと。（参考文献18）

2) 軌跡

衝突後の軌跡は、2次的事故に対して影響するため非常に重要である。衝突後の軌跡を示す指標としては、離脱角度（車両の進行角）および離脱時の車両の姿勢角（車両前面の向き）である。特に進行角と姿勢角に極端に差があるとスピンや転倒を起こすことから、ビデオの映像等を参考に判断している。

- ・離脱角度は衝突角度の60%以下、および10°以下であること。（参考文献18）
- ・進行角と姿勢角に余り差がないこと。
- ・車両の最大進入行程は、1.1m以下（防護柵設置要綱による）であること。

3) 加速度

衝突後の車両が正常誘導された場合でも乗員に大きな障害が発生しては、防護柵の機能として問題があることから、衝突実験により安全性を確認することが必要である。

乗員の安全性を評価するには、基本的には衝突時に発生した加速度を用いている。これは人間の対衝撃性に関する研究から加速度値と人間に生じる障害の程度にある種の関係が存在することが確認されていることによるものである。加速度値の評価方法は、加速度処理にいくつかの方法があり、以下にその計算方法と評価基準を示す。

- ・車両重心加速度の50msec移動平均値の最大値（参考文献17）

(LOCATION, SELECTION, AND MAINTENANCE OF HIGHWAY TRAFFIC BARRIERS.; NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 118, HIGHWAY RESEARCH BOARD. 1971)

次式により車両重心位置の車両進行方向X、車両進行直角方向YおよびX、Yの合成方向の加速度波形を計算処理し、その最大値（以下 α_{50} と表す）が表-3・2・1に示す許容値を超えないこととされている。

$$\alpha_{50} = \left(\int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right) / 0.05 \quad \text{--- (3・2・1)}$$

ここで α_{50} ：50msec間の加速度の移動平均値の最大値（g）

a ：発生加速度（g）

t_1 ：加速度作用中の任意の時点（sec）

t_2 ： $t_1 + 50\text{msec}$ （sec）

表-3・2・1 α_{50} の評価基準

乗員拘束状態	X方向	Y方向	合成方向	備考
無拘束	5	3	6	望ましい値
腰ベルト	10	5	12	
3点式ベルト	25	15	25	許容限界値

・乗員の打撃速度および10msec移動平均値の最大値（参考文献18）

(RECOMMENDED PROCEDURES FOR THE SAFETY PERFORMANCE EVALUATION OF HIGHWAY APPURTENANCE;
NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 230, HIGHWAY RESEARCH BOARD, 1981)

X、Y波形を用いて、次式により各時点における10msec移動平均値を求め、この移動平均値を積分して乗員の車内における相対的な移動速度、移動距離を求める。その結果を用い、移動中に生じた最大加速度、乗員が車室に衝突すると仮定した距離を移動したときの速度（以下打撃速度と表す）および10msec移動平均値の最大値（以下 α_{10} と表す）から乗員への危険度を判断する。

$$\alpha_{x,y} = \int_{t_1}^{t_2} a_{x,y} dt / 0.01 \quad \text{----- (3・2・2)}$$

$$V_{x,y} = \int_{t_0}^{t_1} \alpha_{x,y} dt \quad \text{----- (3・2・3)}$$

$$D_{x,y} = \int_{t_0}^{t_1} V_{x,y} dt \quad \text{----- (3・2・4)}$$

ここで α ：発生加速度（g）

$\alpha_{x,y}$ ：加速度の10msec間の移動平均値（g）

$V_{x,y}$ ：乗員の移動速度（m/sec）

$D_{x,y}$ ：乗員の移動距離（m）

t_0 ：車両の衝突開始時（sec）

t_1 ：加速度作用中の任意の時点（sec）

t_2 ： $t_1 + 10\text{sec}$ （sec）

上式より求められた値の許容値は、 α_{10} はX、Y方向にそれぞれ20g、また $V_{x,y}$ はX方向については D_x が0.6mの時点で打撃速度が12m/sec、Y方向については D_y が0.3mの時点で打撃速度が9m/secを超えないこととしている。

・ダミー頭部に生じた加速度

(FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARD NO. 208.; NATIONAL HIGHWAY SAFETY
ADMINISTRATION, 1986)

ダミー頭部の合成加速度について、次式より各時点における値を計算し、その最大値（以下HICと表す）を求める。

$$HIC = \left\{ (t_2 - t_1) \left\{ \int_{t_1}^{t_2} a dt / (t_2 - t_1) \right\}^{2.5} \right\} \quad \text{----- (3・2・5)}$$

ここでHIC：頭部の衝撃度の程度を示す値

a ：発生加速度（g）

t_1, t_2 ：衝突加速度作用中の任意の時点（sec）

ただし、 $t_1 < t_2$

HICは1000を超えないこととされている。

4) 傾斜角と飛び上がり量

車両衝突時の傾斜角および飛び上がり量は、正常誘導した場合でもその防護柵の限界を知る上で重要である。

5) 損傷状況

車両の損傷については、衝突後の誘導性に影響を及ぼすことから、外見的な判断だけではなく損傷した機能に着目して判断することが必要である。

また、損傷状況からも乗員の安全性について評価することが可能である。したがって、乗員の安全性については加速度の値だけでなく、車室空間の確保状況や窓ガラスの状況についても観察し総合的に評価を行うことが必要である。特に車室空間が侵されると乗員に対する危険度が大きくなることが考えられる。

主な検討項目を以下に示す。

- ・車室内の変形が乗員の安全を侵害しないこと。
- ・フロント、サイドガラスが破損していないこと。
- ・自力走行、または牽引走行が可能であること。

6) 車両の挙動

衝突時の車両の挙動から、防護柵の構造上の問題点や車両の衝撃吸収特性を把握することが可能である。各種問題点を解明するために、車両の傾きだけではなくビデオカメラによって多角的に撮影したものを観察して総合的に判断している。

- ・車体の姿勢角と進行角がずれていないかどうか。
- ・大きなピッチングやローリングが発生していないかどうか。
- ・タイヤのバースト原因は何か。

3. 2. 2. 防護柵関係

1) 最大変位

最大変位は、車両の横転運動に関する影響を調査する為に重要であり、鋼製防護柵の場合には背面側の保護路肩の必要幅を決定する際に用いる。

- ・支柱の最大変位は、1.1m以下であること。

2) 残留変位

残留変位は、防護柵の衝突時の影響範囲を知るうえで重要である。

- ・コンクリート壁面、ビームおよび支柱の局所的な変形がないこと。

3) 強度

防護柵を構成する部材の評価項目と評価方法は以下の通りである。

①コンクリート壁に発生する応力

- ・コンクリートや鉄筋に発生する応力が許容値を超えないこと。

②ビーム張力

- ・ビーム発生張力は許容耐力を超えないこと。

③支柱水平力

- ・支柱水平力は許容耐力を超えないこと。
- ・極端な折れ曲がりがないこと。

④ブラケットの変形

- ・座屈していないこと。

⑤ボルト

- ・ボルト類は破断していないこと。

4) 防護柵損傷状況

防護柵損傷状況は、防護柵の強度を知る上で重要な要因となる。この損傷状況により、防護柵強度が衝突条件に対して十分であったか判断することが出来る。損傷状況の代表的な判断項目としては以下の通りとなる。

- ・コンクリート壁にひび割れや大きな破損などが無いこと。
- ・ビームコルゲーションの潰れが無いこと。
- ・ビーム、支柱にタイヤによる踏み込みがないこと。

5) 車両の軌跡および損傷状況

防護柵の接触跡（スクラブマーク）から車両の接触状況を観察し、接触長や防護柵の構造上の問題点がないかを判断する。

第4章 実車衝突実験結果

本研究で行う衝突実験は、荷受け1段型コンクリート直壁、荷受け2段型コンクリート直壁、荷受け2段型鋼製防護柵の3ケースを実施した。

対象車種	衝突実験供試体	衝突条件
大型貨物車両 車両重心高さ1.3m	荷受け1段型コンクリート直壁(4.1. 参照)	20t, 100km/h, 20°
	鋼製高速化対応型 (参考文献20)	20t, 100km/h, 20°
高重心車両 車両重心高さ1.8m	荷受け2段型コンクリート直壁(4.2. 参照)	20t, 100km/h, 20°
	鋼製荷受け2段型 (4.3. 参照)	20t, 80km/h, 20°

また、本研究で用いる荷受け構造は、高速化対応型防護柵(参考文献20)を参考に検討を行った。図-4・1に高速化対応型防護柵の研究開発で有効であると確認された鋼製高速化対応型防護柵(以下文献20の記載名称に従い、Gr-SS改良2型とする)の断面図、表-4・2にその実験結果を示す。

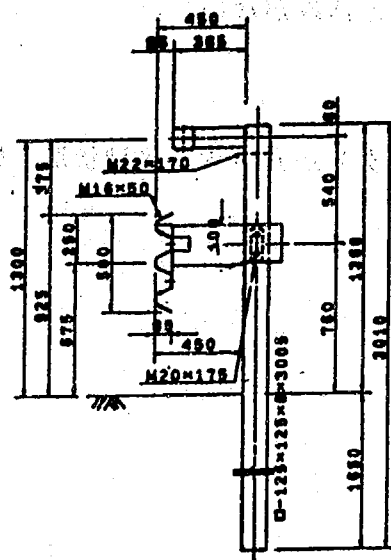


図-4・1 高速化対応型防護柵の断面図

表-4・2 Gr-SS改良2型 結果一覧表

				実験結果	許 容 値
衝突条件	車 両 重 量 (t)			20.5	—
	衝 突 速 度 (km/h)			100	—
	衝 突 角 度 (°)			20	—
	衝 撃 度 (t・m)			94.4 [925kJ]	—
離 脱 速 度 (km/h)				79.5 (減速率21%)	75 以上
離 脱 角 度 (°)				7	12 以内
接触長	主 ビ ー ム (m)			20.0	—
	荷 受 け ビ ー ム (m)			21.3	—
防護構最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位 (mm)		1,178 (P19)	—
		残留	直角(Y)方向 (mm)	1,602 (P20)	—
			延長(X)方向 (mm)	134 (P25)	—
	Y方向ビーム		主ビーム	1,671	—
	残留変位 (mm)		荷受けビーム	1,260	—
	最 大 進 入 行 程 (mm)				1,045 (P19)
車両最大傾斜角 (°)		前 端		24.7	—
		後 端		41.2	—
支 柱 最 大 水 平 力 (t)				16.4 [161kN]	—
ビーム最大張力 (t)		主 ビ ー ム		25.8 [253kN]	64.0 [627kN]
		荷受けビーム		24.4 [239kN]	34.2 [335kN]
加速度	車両重心値	50 msec	進行(X)方向 (g)	1.6	25
			直角(Y)方向 (g)	1.5	15
			垂直(Z)方向 (g)	—	—
			合 成 (g)	3.5	25
H I C 値	運 転 席 ダ ミ ー			8.3	1,000
	助 手 席 ダ ミ ー			11.3	1,000

4. 1. 荷受け1段型コンクリート直壁〔実験1〕

4. 1. 1. 実験目的

実験供試体は、コンクリート製直壁上部に車両衝突時の荷台慣性力を受け止める鋼製の荷受け部材を取り付けた構造を考案した。この供試体に大型貨物車を高速度衝突させ、防護柵機能の有効性を検証することを目的とした。

4. 1. 2. 衝突条件

衝突条件を表-4・1・1に示す。

表-4・1・1 衝突条件

衝突車種	大型貨物車
重心高さ	1.8m
車両重量	20 t
衝突速度	100km/h
衝突角度	20度
衝撃度	92.1t・m [903kJ]

4. 1. 3. 供試体構造

Gr-SS改良2型の構造を参考に荷受け構造を検討した。基本的な考え方としては、Gr-SS改良2型の主ビーム部に相当するコンクリート直壁（壁厚250mm、壁高さ900mm）で車両本体の衝撃力に抵抗し、荷台の衝突荷重は、新たに設置する荷受けビームにより抵抗するものとした。

1) 前提条件

①コンクリート壁

平成4年11月に行われたコンクリート直壁（壁厚250mm、壁高さ1,000mm）の衝突実験（20t, 100km/h, 20°）では、コンクリート壁上端部に荷台後部が衝突し局部破壊が発生したが、防護柵全体の強度としては問題はなかった。このことより、今回の実験についても、コンクリート壁は車両本体からの力に抵抗する強度は十分であると考えられる。

②荷受け部材の強度

鋼製防護柵とコンクリート製防護柵とでは、衝突による車両本体の荷重を受け止める防護柵下部が異なるが、荷台の衝撃を受け止める荷受け部材はGr-SS改良2型と同様の部材を用いても強度的に問題はないと考えられ、同一部材を使用することとした。

- ・ 荷受けビーム : □-100×100×4.5
- ・ 支柱 : □-125×125×6.0
- ・ 荷受けビーム用ブラケット : □-100×100×4.5

③荷受け支柱取付方法

荷受け支柱をコンクリート壁に取り付ける方法は、支柱に溶接した取付プレートを壁背面にアンカーボルトで取り付けるものとした。

④ブロックアウト量

荷受けビームのブロックアウト量は、コンクリート壁の前面に合わせ250mmとした。

2) 取り付け部（アンカーボルト方式）の検討

①支柱の降伏曲げモーメント

前記のGr-SS改良2型の構造を参考にしているが、下部がコンクリート壁であり、荷受け支柱に働くモーメントは不明であるため、ここでは降伏曲げモーメントにより取り付け部の照査を行った。

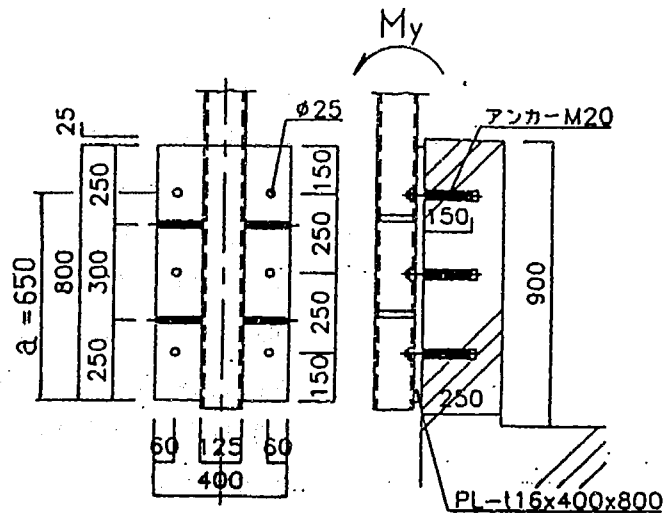
□-125×125×6.0支柱の断面性能 : $Z=103\text{cm}^3$

$A=27.63\text{cm}^2$

$I=641\text{cm}^4$

SS400材の降伏点応力度(σ_y) : 2400kg/cm^2

支柱の降伏曲げモーメント(M_y) : $M_y = Z \cdot \sigma_y = 103 \cdot 2400 = 247200\text{kg}\cdot\text{cm}$



②アンカーボルトの検討

アンカーボルトに働く引き抜き力(P_{max}): $P_{max} = (8 \cdot M_y) / (7 \cdot n \cdot a)$

$$= (8 \cdot 247200) / (7 \cdot 2 \cdot 65)$$

$$= 2173 \text{ kg/本}$$

アンカーボルト M20

: 材質 → SS400材 $s\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$

コンクリート → 普通コンクリート $F_c = 240 \text{ kg/cm}^2$

削孔深さ → $l = 17 \text{ cm}$

削孔径 → $D = 2.5 \text{ cm}$

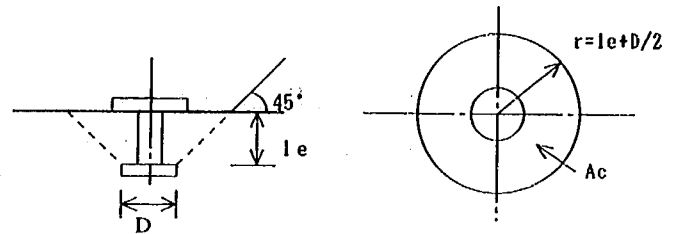
有効埋込深さ → $l_e = l - d = 17 - 2.0 = 15 \text{ cm}$ (d : アンカーボルト径)

有効投影半径(r)

$$: r = l_e + D/2 = 15 + 2.5/2 = 16.25 \text{ cm}$$

有効投影面積(A_c)

$$: A_c = \pi \cdot r^2 - \pi \cdot D^2/4 = \pi \cdot 16.25^2 - \pi \cdot 2.5^2/4 = 825 \text{ cm}^2$$



アンカーボルトの引張耐力

$$: Pa1 = \phi 1 \cdot 10 \cdot (F_c/210)^{0.6} \cdot A_c$$

$$= \phi 1 \cdot 10 \cdot (240/210)^{0.6} \cdot 825$$

$$= 8820 \cdot \phi 1 \text{ kg/本}$$

$$Pa2 = \phi 2 \cdot s\sigma_y \cdot s\sigma_a$$

$$= \phi 2 \cdot 2400 \cdot 2.45$$

$$= 5880 \cdot \phi 2 \text{ kg/本}$$

$$Pa3 = \phi 3 \cdot 100 \cdot (F_c/210)^{0.6} \cdot \pi \cdot D \cdot l_e$$

$$= \phi 3 \cdot 107 \cdot \pi \cdot 2.5 \cdot 15$$

$$= 12606 \cdot \phi 3 \text{ kg/本}$$

$\phi 1, \phi 2, \phi 3$ は、低減係数で短期時において、 $\phi 1 = 0.6, \phi 2 = 1.0, \phi 3 = 0.6$ となり、

$Pa1 = 5292 \text{ kg/本}, Pa2 = 5880 \text{ kg/本}, Pa3 = 7564 \text{ kg/本}$

$$Pa1 = 5292 \text{ kg/本} > P_{max} = 2173 \text{ kg/本} \quad \text{O.K.}$$

③側面プレートの検討

リブプレート及び支柱部からのプレートの剛性によりアンカーボルトの引抜力を分配して検討を行う。

$$P_{max} = 2173 \text{ kg/本}$$

$$P1 = (2173 \cdot 250/77.5) / (137.5/100 + 250/77.5) = 1524 \text{ kg/本}$$

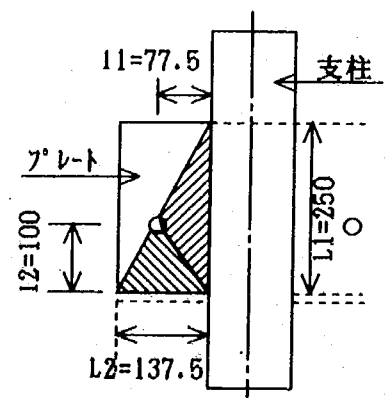
プレート '16mmを使用すると

$$\sigma_b = (6 \cdot P1 \cdot l1) / (L1 \cdot t^2)$$

$$= (6 \cdot 1524 \cdot 77.5) / (25 \cdot 1.6^2)$$

$$= 1107 \text{ kg/cm}^2 < 2400 \text{ kg/cm}^2$$

O.K.



以上の結果より、選定した供試体構造および部材表を図-4.1.1に示す。

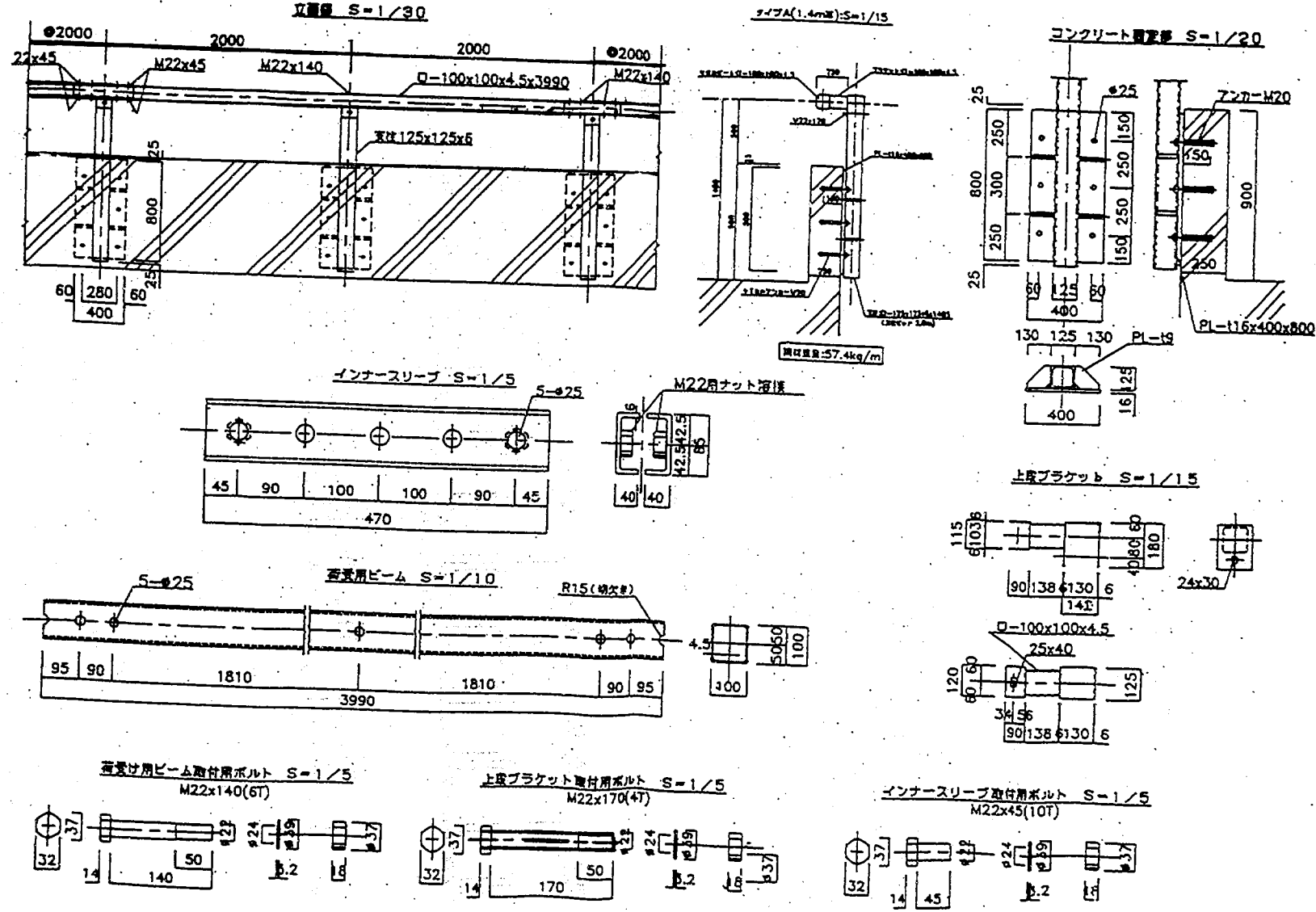


図-4.1.1 供試体構造図および部材表

4. 1. 4. 供試体の配置および計測位置

供試体の配置を図-4・1・2に計測位置を図-4・1・3に示す。なお、荷受け支柱をコンクリート壁に取り付けるボルトのP8～P10の4本は、ボルトに発生する軸力を測定するため埋め込み方式のアンカーボルトを用いた。

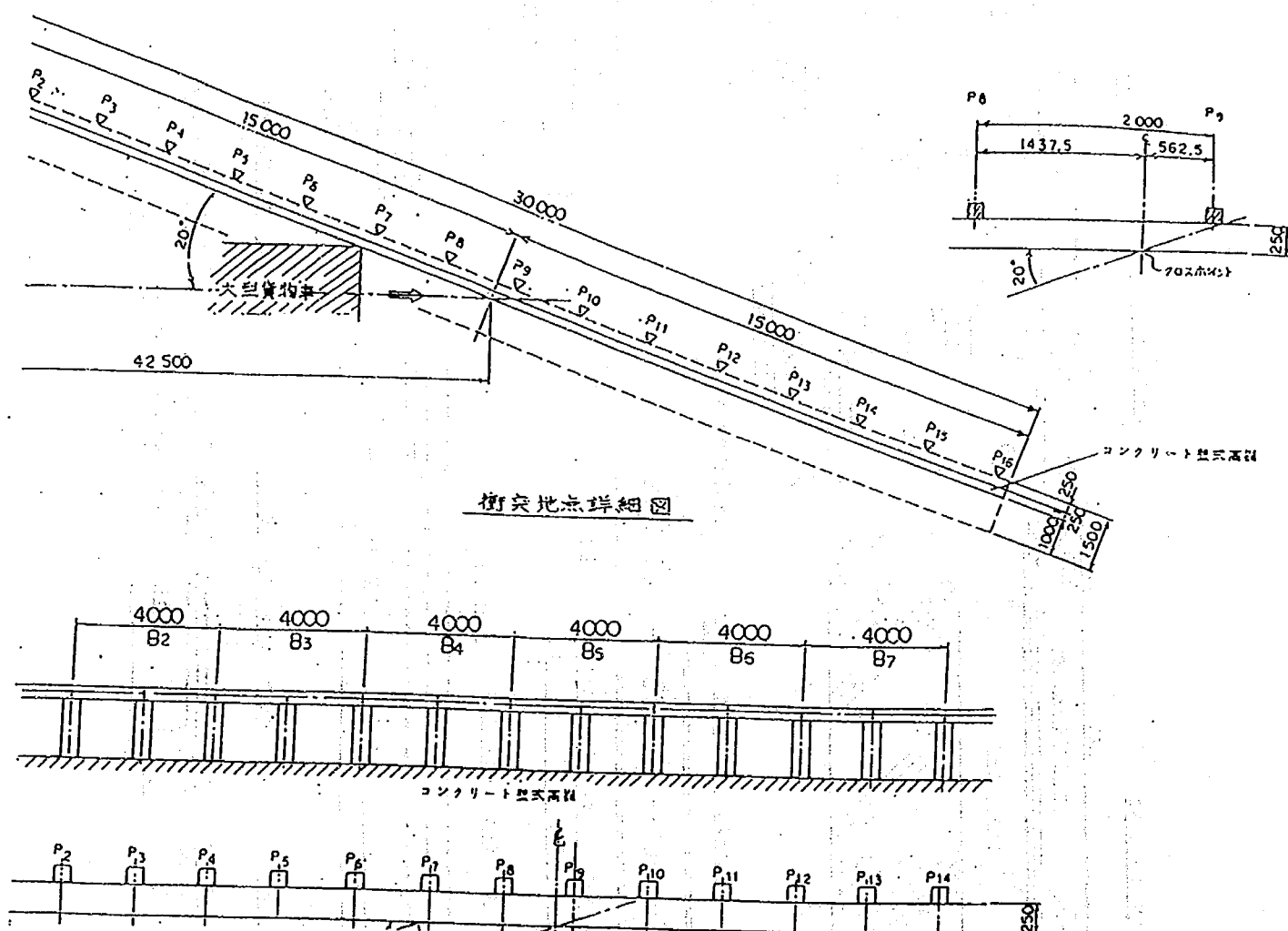
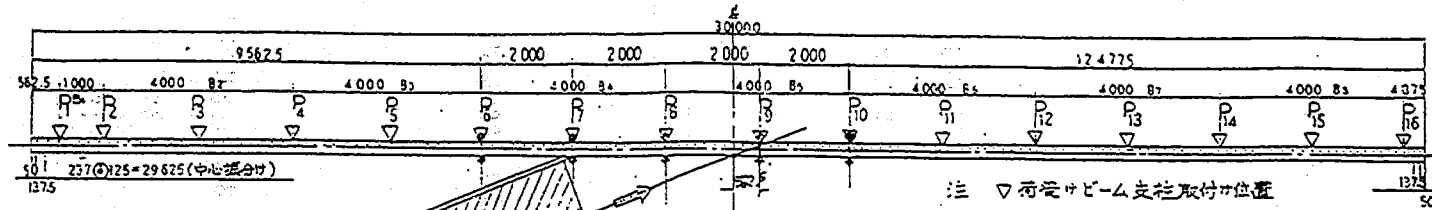


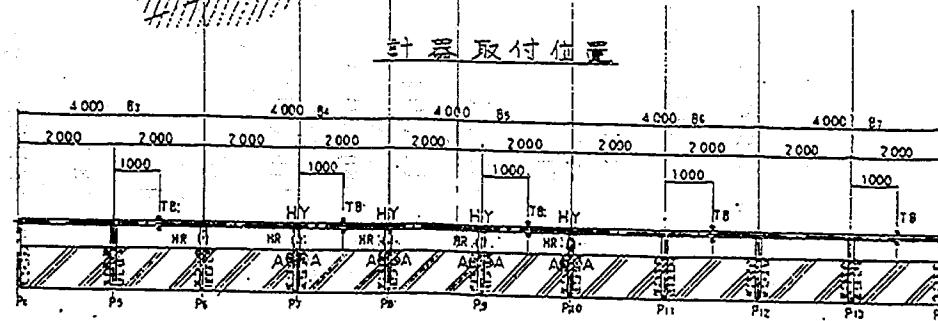
図-4・1・2 供試体配置図

全体平面図



注 ▽荷重サビム支柱取付位置
◆基高縮減部ビム取付位置

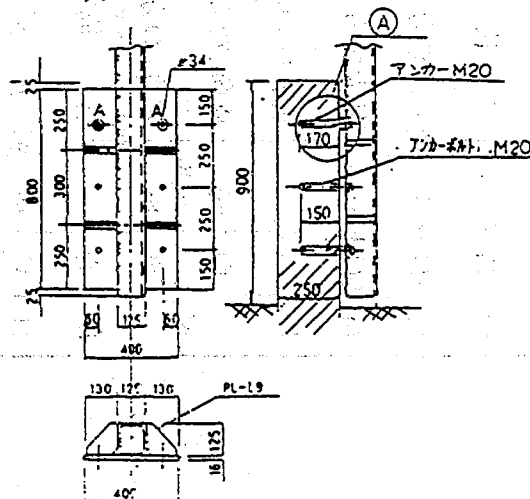
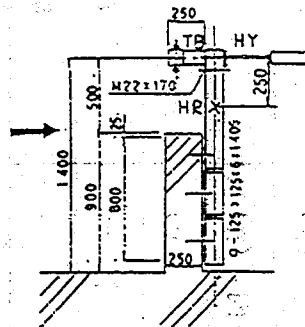
計器取付位置



材質表 (単位SS-400)

NO.	名称	単位
①	ボルト	S
②	ナット	4+1=5
③	ワッシャー	16
④	鋼板	S

断面図



計器位置および取付位置

測定項目	記号	測定位置	箇所数	備考
一般ビーム傾斜	TB	B3, B4, B5, B6, B7	5	ビーム上下面に1軸ゲージ1点
支せん断力	HR	P6, P7, P8, P9, P10	5	支柱両側面にクロスゲージ1点
変位	HY	P7, P8, P9, P10の 変位観測 (H=1,400)	4	運動トランスducer位置計
アンカー傾斜	A	P7, P8, P9, P10	4	770-441 に2軸ゲージ2本/箇所

① 部詳細図

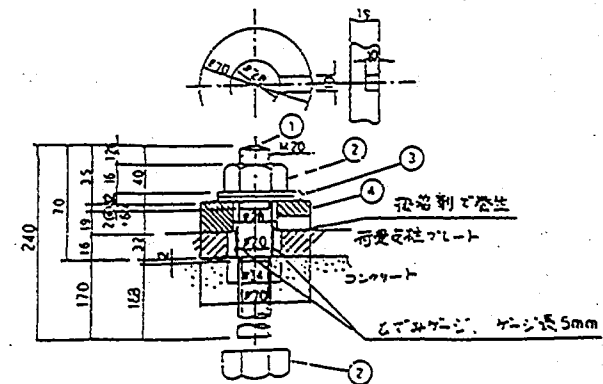


図-4.1.3 計測位置図

4. 1. 5. 実験結果および考察

車両は衝突後、大きく左側に傾き右前後輪ともに浮き上がったが、横転や防護柵突破など無く、角度1.6°で良好に誘導した。衝突後の車両は自力走行可能であった。

実験結果を表-4・1・2に示す。

表-4・1・2 荷受け1段型コンクリート直壁〔実験1〕結果一覧表

実 験 日				1992.12.10	許 容 値
実 験 番 号				1	
衝 突 条 件	車 両 重 量 (t)			20	—
	衝 突 速 度 (km/h)			99.4	—
	衝 突 角 度 (°)			20	—
	衝 撃 度 (t・m)			91.0 [982kJ]	—
離 脱 速 度 (km/h)				— (計測不能)	75 以上
離 脱 角 度 (°)				1.6	9 以内
接 触 長 (m)				21.32	—
防 護 柵 最 大 変 位	支	直角(Y)方向最大変位(mm)		737 (P9)	—
		残 留	直角(Y)方向 (mm)	1,115 (P14)	—
	柱		延長(X)方向 (mm)	-50 (P11)	—
		Y方向ビーム残留変位 (mm)		1,175 (P14)	—
最 大 進 入 行 程 (mm)				—	1,100 以内
車両最大 傾斜角 (°)		前 端		14.8	—
		後 端		58.5	—
荷受け支柱 最大水平力 (t)				29.0 [284kN](P10)	—
荷受けビーム 最大張力 (t)				31.6 [310kN](B6)	34.2 [335kN]
加 速 度	車 両 重 心	50 msec 値	進行(X)方向 (g)	12	25
			直角(Y)方向 (g)	-28	15
			垂直(Z)方向 (g)	—	—
			合 成 (g)	28.7	25
H I C 値	運 転 席 ダ ミ ー			73.5	1,000
	助 手 席 ダ ミ ー			88.7	1,000

1) 車両誘導性

車両は、速度99.4km/h、角度20度で防護柵に衝突した。その際、車両の左側前端部、フェンダーが順に防護柵に衝突し方向転換した。その後、後輪が衝突し、荷台が防護柵側に傾き、右後輪を浮かせ荷台が荷受け部材を押し倒しながら、1.6度で離脱した。

車両の最大傾斜角は、前端部が14.8度、後端が58.5度、車両重心位置で39.1度であった。また、車両の最大浮き上がり量は、右前輪で19cm、右後輪で159cmであり、右後輪は12.3mで接地していない区間があった。

車両の軌跡を図-4・1・4に示す

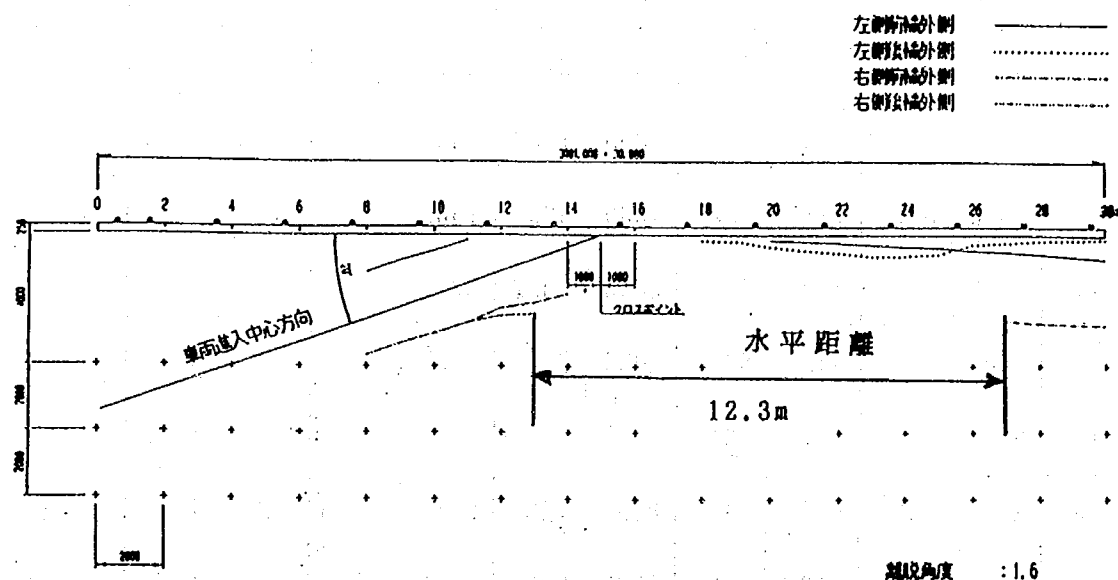


図-4・1・4 車両の軌跡

2) 防護柵強度

(1) コンクリート壁

主鉄筋に発生した最大ひずみは、支柱番号P8の高欄基部（図-4・1・5のD-D断面）において車両前部衝突時に 1830×10 ($\sigma = E \times \varepsilon = 3843 \text{ kgf/cm}^2$)で、鉄筋の許容応力値 3000 kgf/cm^2 を越えていた。また、コンクリートの最大ひずみは支柱番号P8で 874×10 ($\sigma = E \times \varepsilon = 122 \text{ kgf/cm}^2$)で、コンクリートの許容応力値 120 kgf/cm^2 を越えていた。

コンクリート壁の各部に発生した最大ひずみを表-4・1・3に示す。

表-4・1・3 コンクリート壁各部の発生応力とひずみ

断面位置 延長 各値		縦方向筋						ハンチ筋		横方向筋		コンクリート表面	
		B-B断面		C-C断面		D-D断面		E-E断面		A-A断面		C-C断面	
		表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏
P6	ひずみ	574	74	728	104	887	99	732		325	321		-
(-6)	応力	1205	155	1529	218	1863	208	1537		683	674		-
P7	ひずみ	955	405	1167	434	1814	614	2713		571	1004		-
(-4)	応力	2005	851	2451	911	3809	1289	5697		1199	2108		-
P8	ひずみ	1380	327	1712	332	1830	520	1562		-350	714		-874
(-2)	応力	2898	687	3595	697	3843	1092	3280		-735	1499		-122
P9	ひずみ	450	-63	845	86	1020	208	1057		440	665		-567
(0)	応力	945	-132	1775	181	2142	437	2220		924	1397		-79
P10	ひずみ	249	-42	570	-42	826	128	681		-52	194		-249
(+2)	応力	523	-88	1197	-88	1735	269	1430		-109	407		-35

注) ・ひずみの単位: ($\times 10^{-6}$)、応力の単位: (kgf/cm^2)

() 内の数字は、知床°イトまでの距離を示し、+は知床°イトよりも車両進行側、-は車両進入側を表している。

・応力測定位置は、図-3・1・7を参照。

(2) 荷受け支柱

①支柱本体

荷受け部材の取付部が、衝突によりコンクリート壁より外れた箇所が一部あり、発生した支柱水平力の最大値を計測できたか不明であるが、支柱が破断したことより強度が不足していたと考えられる。なお、参考までに計測した支柱最大水平力は、P10で29tであった。

②取付部

打ち込みアンカー方式の7箇所(P6, P11~P16)が高欄より外れた。

埋め込みアンカー方式で取り付けた支柱(P7~P10)のうち、ボルト部もナットやボルトの引き抜けがあり、支柱2本(P7, 8)が高欄より外れた。

アンカーボルトに発生した最大引抜き力は、P9で15.4tであった。

(3) 荷受けビーム

荷受けビームの最大張力は、B4, 5の区間(図-4・1・3参照)だと考えられるが、ひずみゲージが破損したため計測が出来なかった。計測した中でビーム張力の最大のものはB6(支柱P6~P7)で31.6tであり、許容値の34.2t [335kN]以下であった。また、破断の無かったことから強度的には問題ないと考えられる。

(4) ブラケット

ブラケットに関しては、大きな損傷は無く、ブロックアウト量250mmを確保できたと考えられる。

表-4・1・4 支柱の最大変位量 (GL+1400mm)

支柱番号	P7	P8	P9	P10
変位量(mm)	526	720	737	468

表-4・1・5 各支柱の最大水平力

支柱番号	P6	P7	P8	P9	P10
最大水平力(t)	13.9	20.9	-	28.2	29.0

表-4・1・6 荷受けビームに作用した最大張力

ビーム番号	B3	B4	B5	B6	B7
最大張力(t)	25.1	-	-	31.6	-

3) 防護柵損傷状況

車両と防護柵の接触長は、コンクリート壁面で19.5m、荷受けビームで21.3mであった。なお、支柱と車両の接触跡は認められなかった。

車両の接触跡を図-4・1・5、支柱及びコンクリート壁損傷状況を図-4・1・6、防護柵残留変形を図-4・1・7に示す。

(1) コンクリート壁

衝突側壁面に前後輪の衝突による擦り傷があるものの、ひび割れや大きな破損箇所はない。

(2) 支柱

ビームに接触が認められたP6~16までの11本全ての支柱において残留変位が認められた。このうち、コンクリート直壁との定着部を打ち込みアンカー方式で取り付けした支柱7本全てが高欄よりコンクリートの剥離塊を伴い、高欄より抜け外れた。支柱頭部での最大残留変位はP14で1115mmであった。

一方、埋め込みボルトの定着部においてもナットの飛びやボルトの引き抜けがあり、このうち2本の支柱(P7, 8)がコンクリート壁より抜け外れ、残りの2本の支柱(P9, 10)においても支柱が背面の一部を残して支柱は破断した。このときの最大残留変位はP14で1175mmであった。(図-4・1・7参照)

(3) ビーム

荷受けビームの残留変位が10mm以上生じた区間は、支柱取り付け部の脱落や破断にともない20m区間におよび(P6~16)、最大残留変位量はP14で1175mmであった。また、ビーム中心位置の残留曲げ変形が生じた区間は、約8m(P8~12)で最大変形量は50mmであった。

(4) ブラケット

ビーム取付部の”つば”の部分が3箇所変形したが、破断はなかった。

(5) ボルトおよび接合部

支柱取付用アンカーボルト7箇所(P6, P11~P16)が引き抜け。

埋め込みアンカーのナットが引き抜けた。

埋め込みアンカー引き抜け箇所でコンクリート壁背面の局部破壊が発生し、支柱取付プレートの取り外れとともに最大で80×80×6cmのコンクリート塊が剥離した。

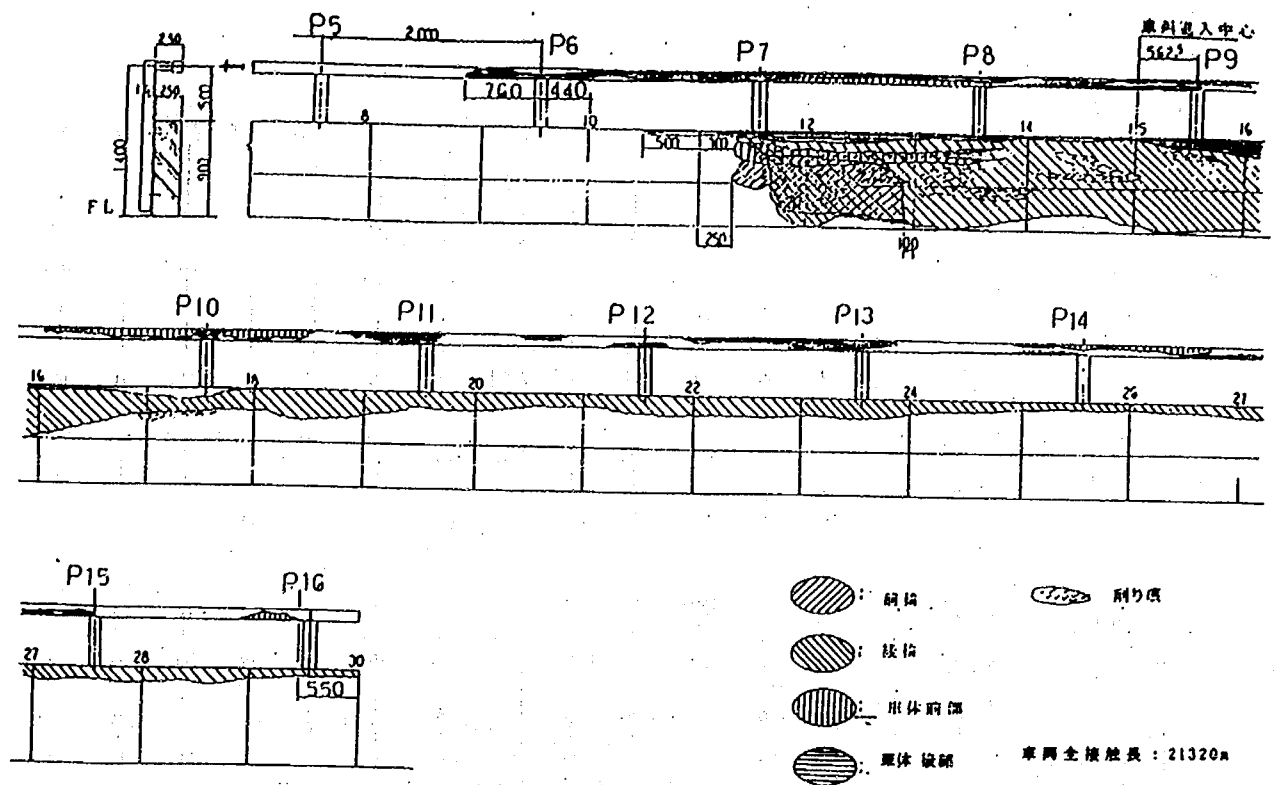


図-4・1・5 車両の接触跡

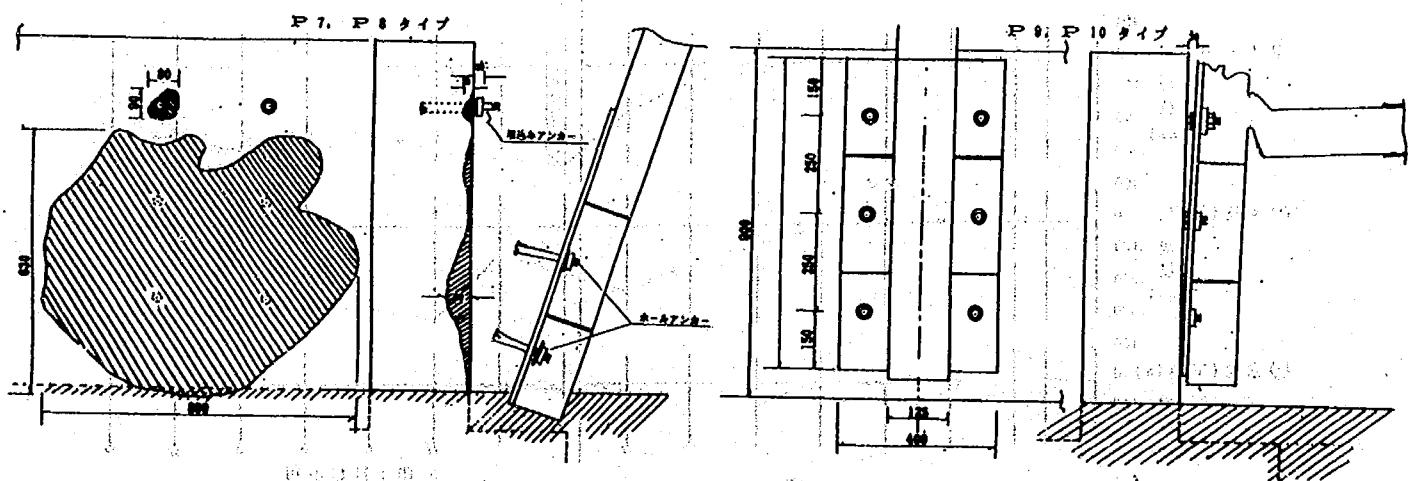


図-4・1・6 支柱及びコンクリート壁損傷状況

4) 車両損傷状況

車両が防護柵衝突後に離脱方向にある土嚢に衝突し、停止したため車両損傷状況の詳細は不明であった。

左前バンパーとフェンダーが運転席床下まで潰れたが、車室内の損傷は無かった。

荷台左側のあおりに荷台の前部1/3から後端にかけて擦り傷(H=1750mm)があった。

衝突後の車両は自力走行不可能であった。

5) 乗員の安全性

車室内の損傷はほとんど見あたらず、運転席・助手席のダミー頭部のHIC値は参考許容値内であったが、車両重心加速度は参考許容値を超えていた。表-4・1・7に車両衝突時に発生した各測定箇所の最大加速度を示す。

表-4・1・7 衝突時の各最大加速度(RAMカード収録)

測定箇所 \ 測定成分		車両進行方向(G)	車両直角方向(G)	車両上方向(G)	合成値(G)	HIC値
車両重心加速度	原波形	23.1	-146.6	-34.3	146.6	
	50ms値	12.0	-28.0	—	28.7	
運転席ダミー	頭部加速度	13.5	14.4	—	16.6	73.5
助手席ダミー	頭部加速度	-36.0	24.2	—	38.4	88.7

6) 考察

車両が荷受けビームに寄り掛かる状態で誘導された結果、離脱角度が浅く後続車を巻き込む2次事故の可能性は低いと考えられる。大型貨物車の衝突に対して、高さ900mmのコンクリート直壁のみで受け持つ場合、車両が衝突した際に荷台部分に路外方向への慣性力が大きく働き、車両の路外転倒の可能性が大きくなる。この慣性力を抑えるために今回の実験で取り付けした荷受け部材が有効に機能することが確認できた。

車両重心加速度は車両進行・直角方向で参考許容値内であり、運転席・助手席ダミー頭部のHIC値ともに参考許容値内であった。また、車室内の変形もほとんど見られなかったことから、乗員の安全性は十分確保されており、大型貨物車の高速度衝突に対して、荷受け構造は有効であるといえる。

以下に過去にほぼ同衝突条件下で行われたコンクリート直壁と荷受け1段型壁式防護柵の実験結果について比較する。表-4・1・8に実験結果一覧、図-4・1・8に各防護柵の高さを示す。

表-4・1・8 実験結果一覧表

防護柵名		コンクリート直壁 柵高さ 壁厚	コンクリート直壁 1.2m 50cm	コンクリート直壁 1.0m 25cm	荷受け1段型 1.4' [0.9]m 25cm	許容値
実 験 日		1991. 1. 25	1992. 11. 26	1992. 12. 10		
衝突 条件	車 種	大型貨物車				
	車両重心高さ(m)	1 . 3				
	車両重量(t)	2 0				
	衝突速度(km/h)	99. 4	92	99. 4		
	衝突角度(°)	20	20	20		
	衝撃度(t・m)	91. 0 [892kJ]	78. 0 [764kJ]	91. 0 [892kJ]		
離脱速度 (km/h)		79. 4	68(写真より)	(計測不能)	75以上	
離脱角度 (°)		0	0	1. 6	9以内	
接 触 長 (m)		20. 8	21. 28	21. 32	—	
車両最大		前端	17	23	14. 8	—
傾斜角(°)		後端	24	18	58. 5	—
車両 重 50 心msec 加速 度 (g)	進行方向	2. 5	-6. 3	12	25	
	直角方向	9. 1	28. 2	-28	15	
	垂直方向	—	—	—	—	
	合 成	9. 4	28. 2	28. 7	25	
H I C 値	運転席ダミー	11. 0	3223. 9	73. 5	1, 000	
	助手席ダミー	744. 4	33. 8	88. 7	1, 000	
車両誘導状況		誘導	誘導	誘導	—	

*[]内の数値は、コンクリート壁のみの高さを示す。

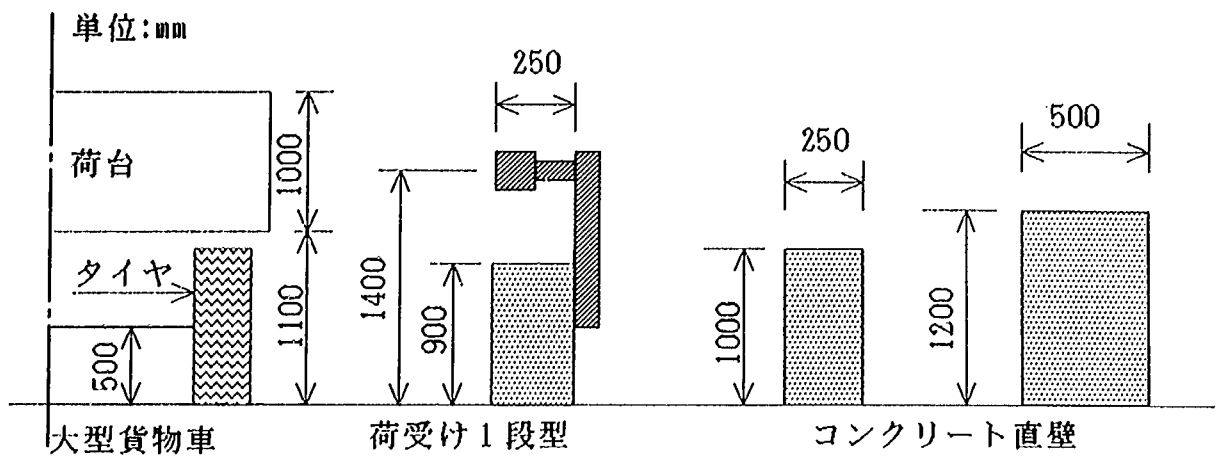
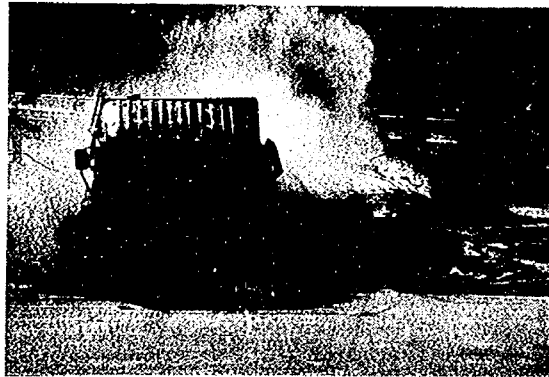


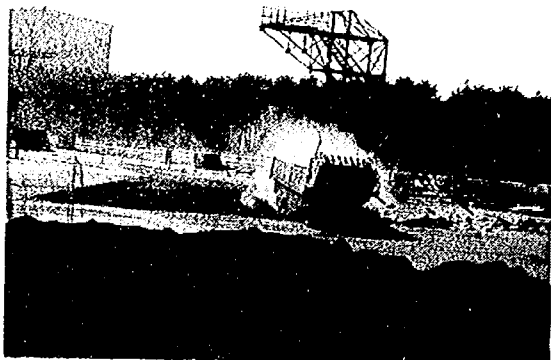
図-4・1・8 荷受け1段型と過去に行ったコンクリート壁の柵高の比較

①車両の誘導性

離脱角度については、過去に行ったコンクリート直壁の衝突実験の場合は、衝突直後車体が壁に食い込みそのまま壁端まで走行している。それに対して、荷受け1段型の実験では、荷受けビームが変形することにより車体の衝突エネルギーが分散され車体前部の変形が少なくなっており、そのため車両前部が方向転換することが可能になり、防護柵端では 1.6° の角度で離脱している。(写真-4・1を参照)



コンクリート直壁(高さ1.0m)



コンクリート直壁(高さ1.2m)



荷受け1段型(高さ0.9+0.5m)

写真-4・1 車両離脱状況の比較

接触長については、コンクリート直壁の場合、図-4・1・9に示すように衝突車両が防護柵に沿って端部までそのまま走行しており、防護柵延長が車両進行方向に延びていれば接触長も更になくなったと予想される。荷受け1段型の場合は、防護柵端で離脱したので、この防護柵延長が接触長の最大値だと考えられる。

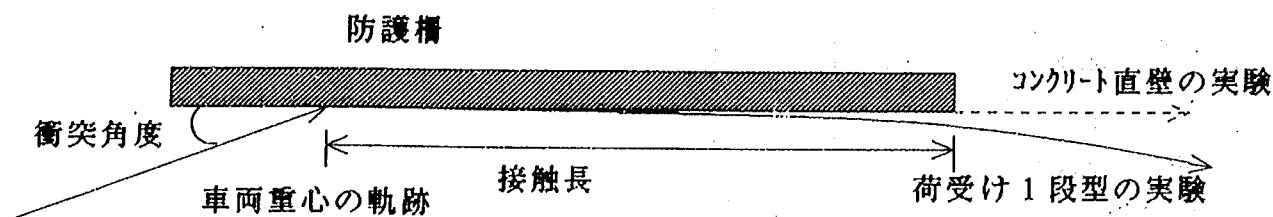


図-4・1・9 車両の軌跡

車両最大傾斜角については、比較を行った実験のコンクリート壁の高さが異なるので、車両の最大傾斜角のみで車両の安定について判断できないが、最も高い1.2mの高さのコンクリート壁の車両最大傾斜角は最も小さいものであった。

荷受け1段型はコンクリート壁の高さが0.9mで、3回の実験の中では柵高さが最も低く、その高さ不足を補い荷台の慣性力に抵抗するために、コンクリート壁上部に荷受け部材を取り付けた構造になっているが、取り付け部および支柱強度が不足していたため、前部衝突時には荷受け部材が倒れ込み、荷受け部材が荷台を抑える適正な位置にないと同時に強度も不足していたため、車両最大傾斜角が大きくなったと考えられる。

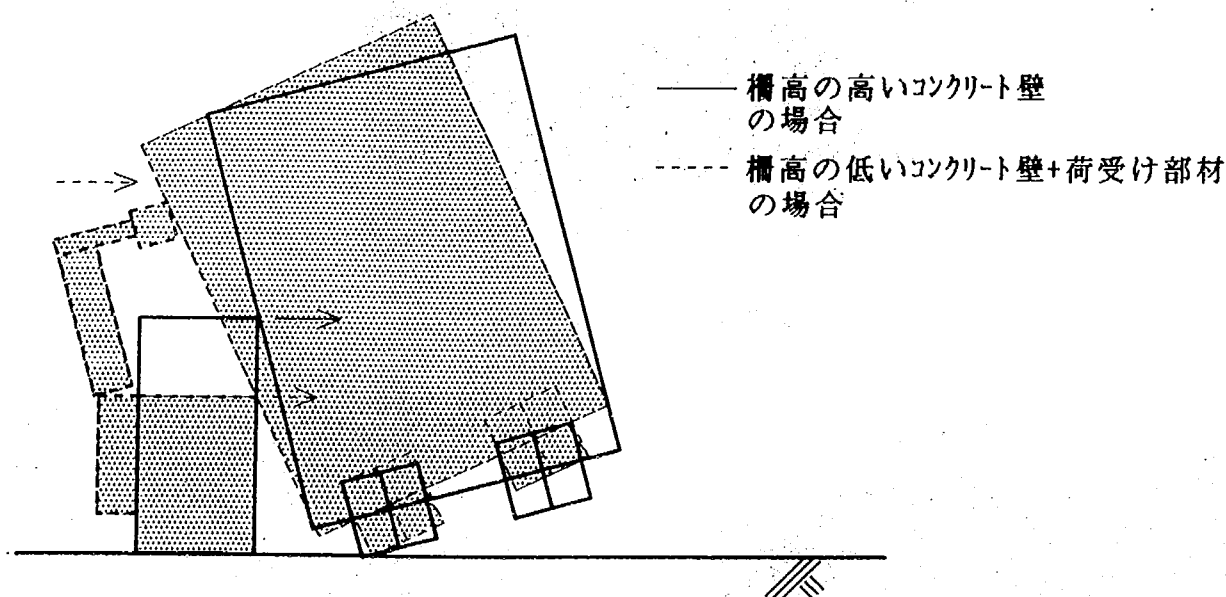


図-4・1・10 車両の傾斜状況

②車両および乗員の安全性

車両重心位置に発生した最大加速度は、コンクリート直壁（高さ1.0m）と荷受け1段型は同レベルのものが発生しているが、荷受け1段型の方が多少大きい値で参考許容値を越えていた。

車両損傷状況は、実験施設の関係上、離脱後、進行方向にある土嚢に衝突する場合があります、定量的に判断できないが写真-4・1の離脱時の状況より判断すると、荷受けビームの変形により車両前部及び荷台の変形は軽減されたと考えられる。

ダミー頭部に発生した加速度により計算されたHIC値は、荷受け1段型実験時のものは最も小さく、運転席・助手席ともにHIC値は参考許容値内であった。

③防護柵強度

同じコンクリート幅、配筋、計測位置のコンクリート直壁（高さ1.0m）と荷受け1段型のコンクリート壁内に発生した応力を表-4・1・9に比較した。これより、荷受け部材を取り付けた場合のコンクリート壁内に発生するひずみは、コンクリート直壁単体時に比べ大きくなっており、中には許容ひずみを超えるものもあり、柵高さを上げることによりコンクリート壁に与える影響は大きくなっている。

表-4・1・9 実験時の最大ひずみの比較（直壁と荷受け型）

（単位： $\times 10^{-6}$ ）

断面位置 *)	延長 各値	縦方向筋						ハンチ筋		横方向筋		コンクリート表面	
		B-B 断面		C-C 断面		D-D 断面		E-E 断面		A-A 断面		C-C 断面	
		表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏
P6	荷・1	574	74	728	104	887	99	732		325	321		-
(-6)	直壁	738	134	1116	193	1257	173	1250		456	841		-
P7	荷・1	955	405	1167	434	1814	614	2713		571	1004		-
(-4)	直壁	706	197	778	188	1177	400	1770		639	1167		-447
P8	荷・1	1380	327	1712	332	1830	520	1562		-350	714		-874
(-2)	直壁	834	69	1183	242	1428	430	1758		473	811		-638
P9	荷・1	450	-63	845	86	1020	208	1057		440	665		-567
(0)	直壁	1038	388	1230	356	1257	360	1150		-571	-623		-545
P10	荷・1	249	-42	570	-42	826	128	681		-52	194		-249
(+2)	直壁	249	-64	487	-50	947	-97	1281		90	469		-213

注) ・(鉄筋の許容ひずみ) $=3000/2.1 \times 10^6 = 1429 (\times 10^{-6})$

(コンクリートの許容ひずみ) $=120/1.5 \times 10^6 = 0.08 (\times 10^{-6})$

許容ひずみを超えるものは、斜体字とした。

・応力測定位置は、図-3・1・7を参照。

*) ()内の数字は、知床イノから車両進行側を+、車両進入方向側を-とした。（単位：m）

また、図-4・1・11の波形に見られるようにコンクリート壁内部に発生するひずみと同じ時間に荷受け部材の支柱にも大きなひずみが発生していることから、荷台部の慣性力に荷受け部材が大きく抵抗していることが分かる。

主鉄筋D断面

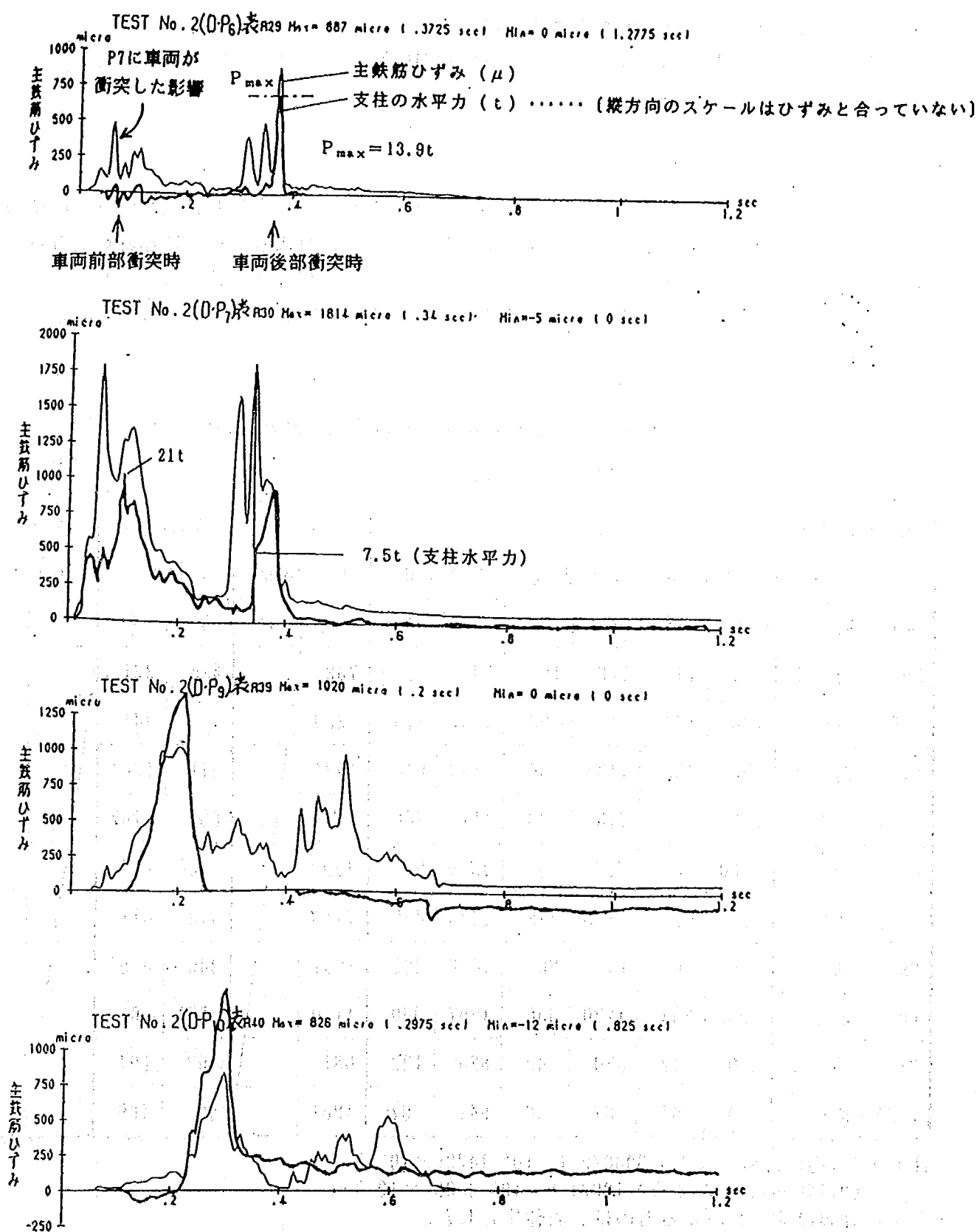


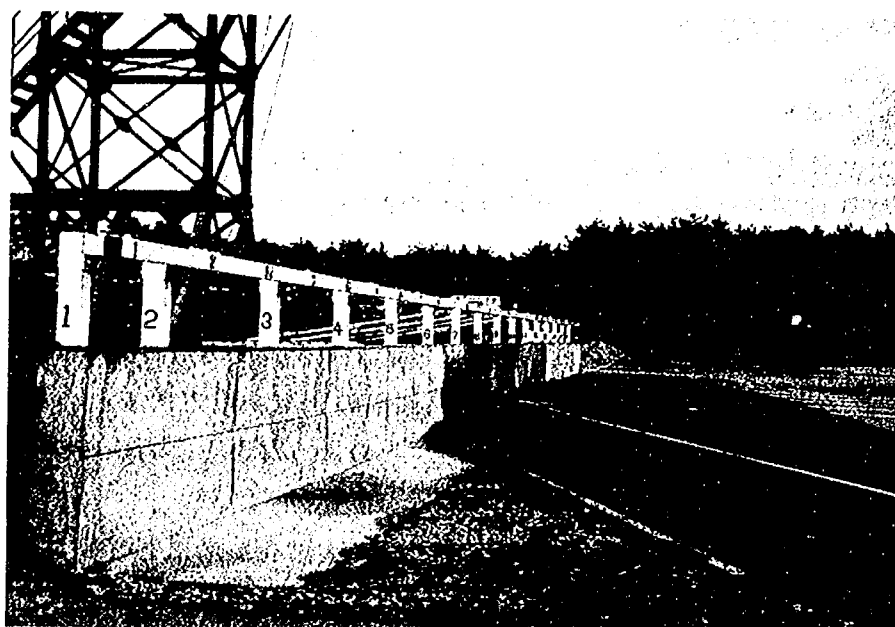
図-4・1・11 ひずみ波形

4. 1. 6. 今後の課題

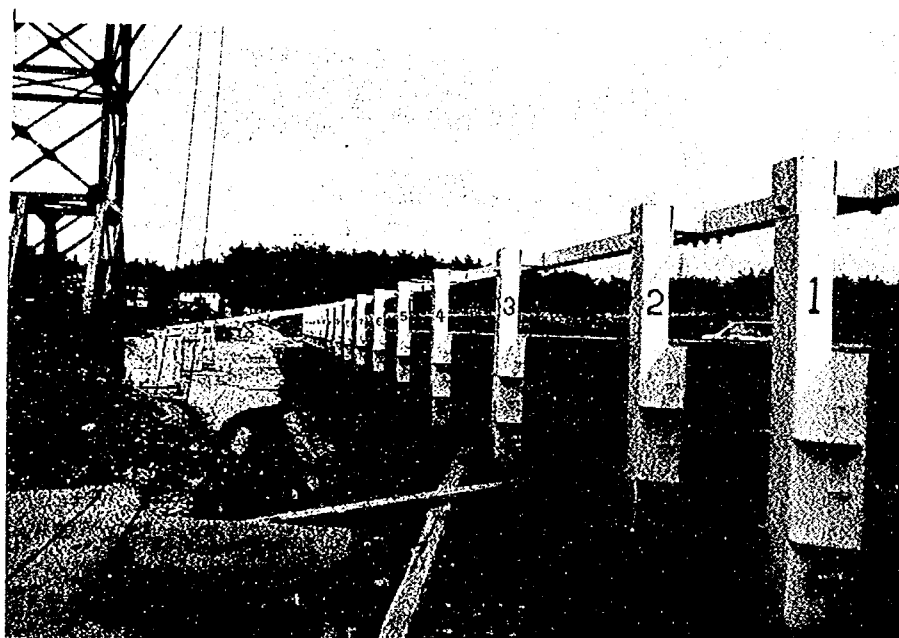
荷受け部材とコンクリート直壁との定着部において、衝突地点より前方の打ち込みアンカー方式のボルトが、支柱取付プレートとコンクリートの剥離を伴いコンクリート直壁より取り外れた。また、埋め込み方式のボルトで定着した部分の支柱取り付けプレートの脱落は無かったものの、支柱がプレート部で破断した。

コンクリート直壁背面の損傷は、支柱定着部打ち込みアンカーの抜け落ちにともない、最大80×80×6cmのコンクリート剥離が生じたため、橋梁高架部の状況を想定すると、コンクリート塊が橋梁下部に落下し第三者に被害を及ぼす可能性がある。このようなことから、荷受け支柱の取付方法の改善が必要だと考えられる。

また、支柱の破断については、今後の車両の高速化・大型化を考慮し、高エネルギー衝突に対しても車両の路外逸脱防止をある程度満足するよう部材耐力に余裕をもたせておくことも必要だと考えられる。



写真－４・１・１ 供試体（荷受け１段型壁高欄）



写真－４・１・２ 供試体（荷受け１段型壁高欄）



写真－４・１・３ 衝突車両（大型貨物車）

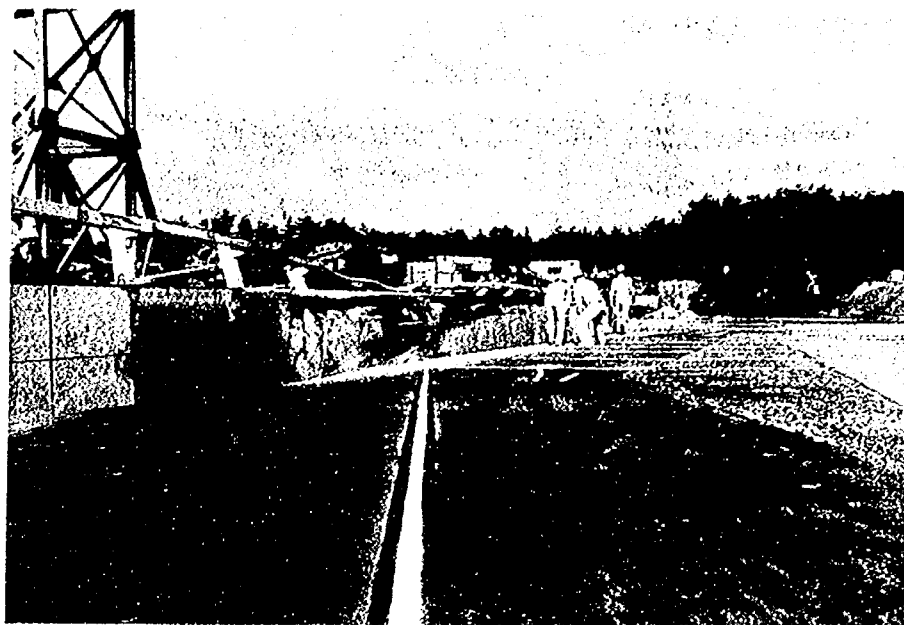


写真 - 4・1・4 衝突後の供試体

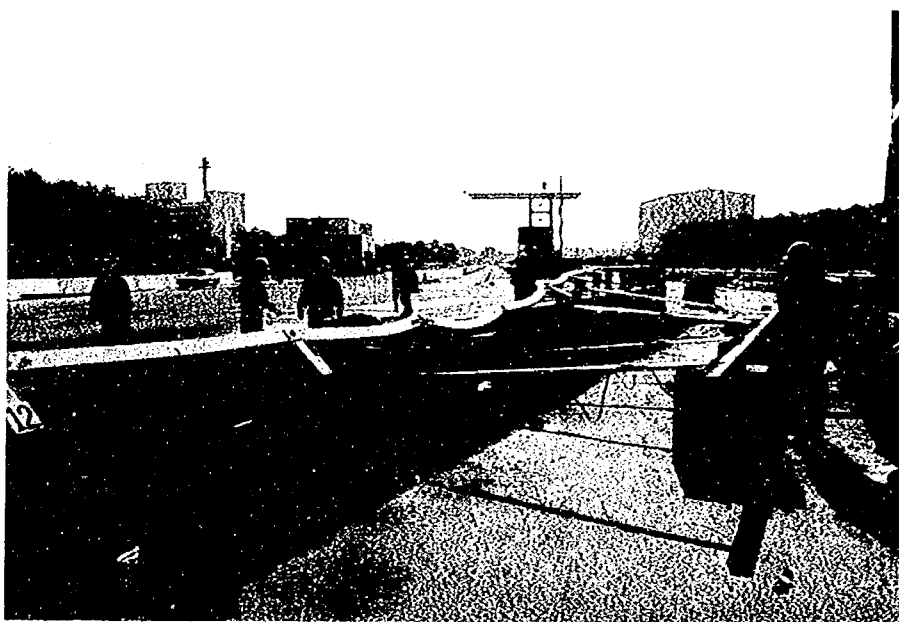


写真 - 4・1・5 衝突後の供試体



写真 - 4・1・6 衝突後の供試体



写真－４・１・７ 衝突後の車両



写真－４・１・８ 衝突後の車両



写真－４・１・９ 衝突後の車両

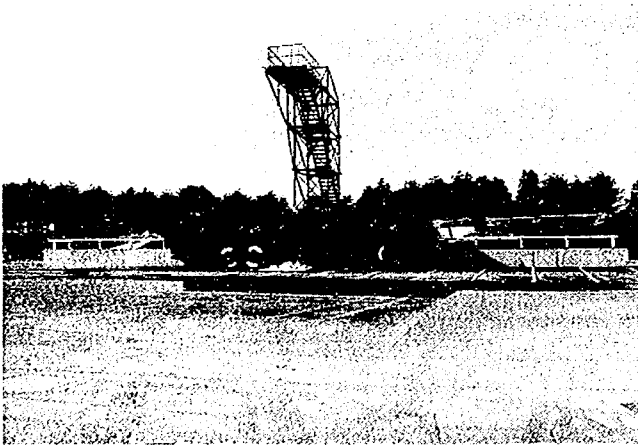
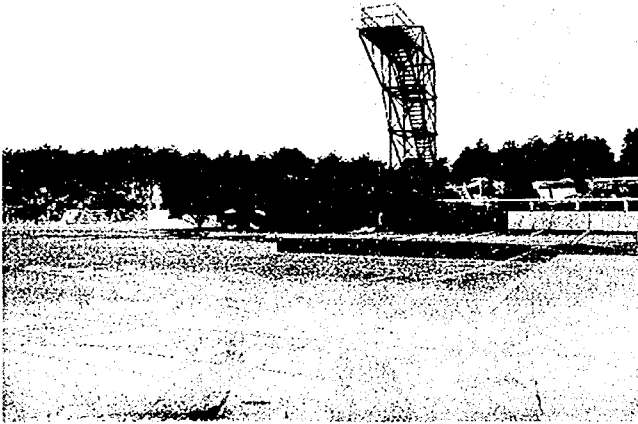
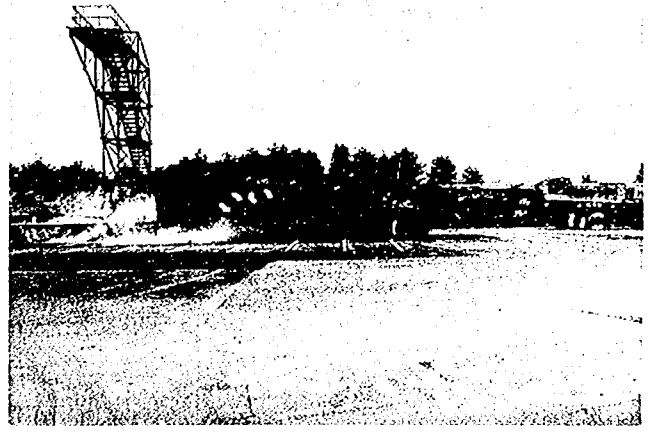
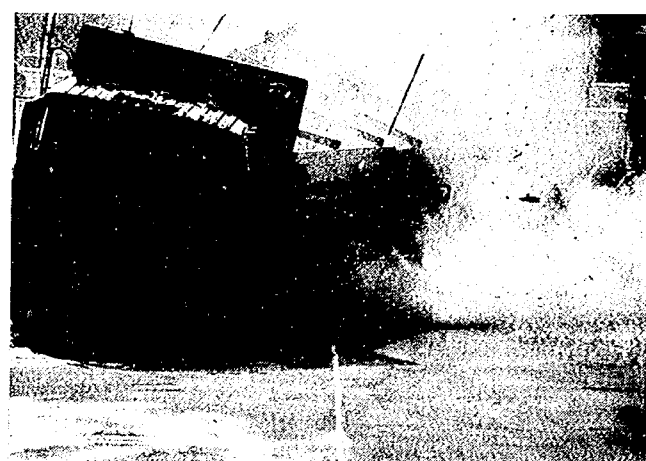
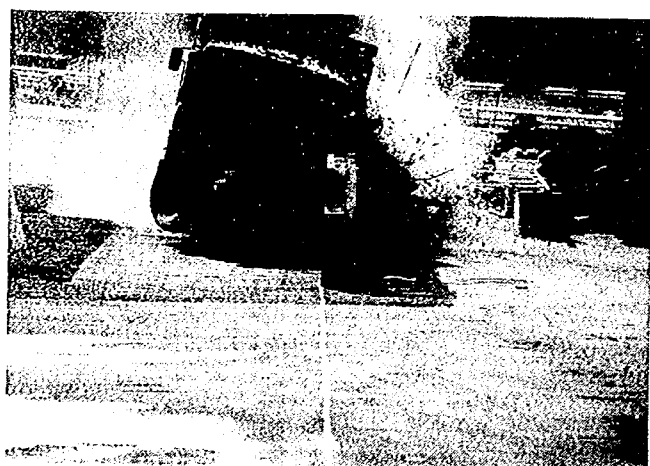
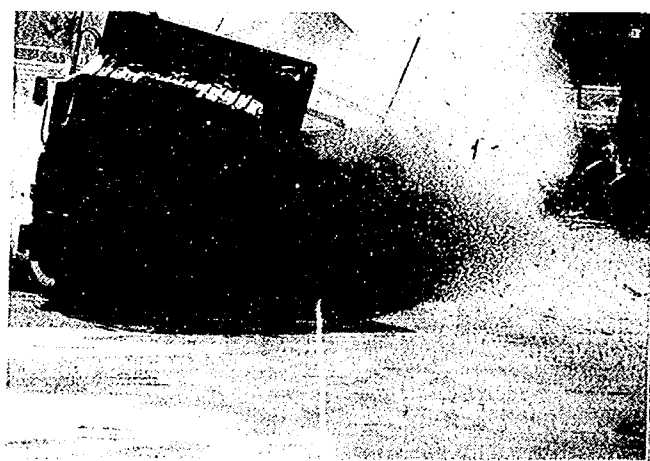
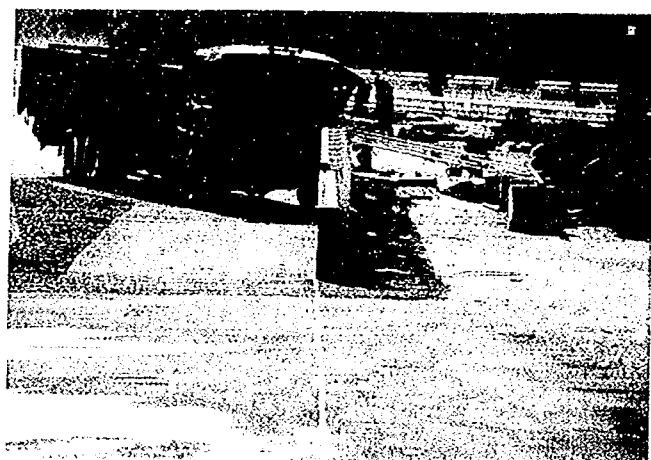
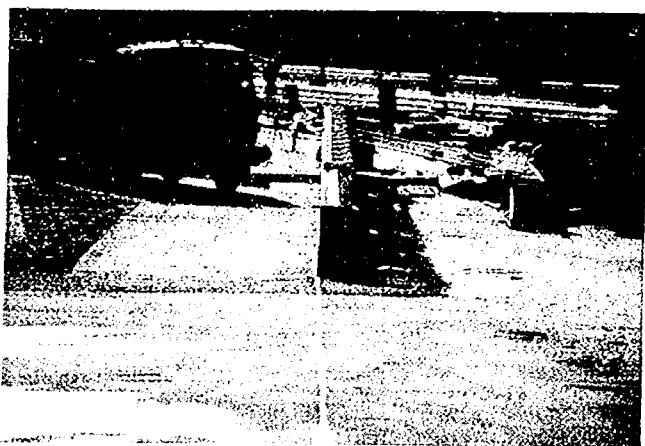


写真 - 4 ・ 1 ・ 1 0 衝突状況（荷受け1段型コンクリート直壁）



写真－４・１・１１ 衝突状況（荷受け１段型コンクリート直壁）

4. 2. 荷受け2段型コンクリート直壁〔実験2〕

4. 2. 1. 実験目的

通常の貨物車両よりも重心や荷台位置が高い高重心車両については、現状の防護柵の高さより車両の重心位置が高いため、防護柵に衝突した場合、車両が横転する可能性がある。そこで本実験では、高重心車両の重心や荷台の慣性力を受け止めるため、コンクリート直壁上部に鋼製の荷受け部材を2段にして取り付けたものを供試体として用い、高速度衝突条件下での防護柵機能の有効性を検証することを目的とした。

4. 2. 2. 衝突条件

衝突条件を表-4・2・1に示す。

表-4・2・1 衝突条件

衝突車種	大型貨物車 (アルバンタイプ)
重心高さ	* ²⁾ 2.0m
車両車重	20 t
衝突速度	100km/h
衝突角度	20度
衝撃度	92.1t・m [903kJ]

*²⁾ "2. 3. 5. 車両重心高さ"を参照。

4. 2. 3. 供試体構造

荷受け1段型の実験では、取付部が破壊し、その部分の改良が必要であること明かとなった。そこで、荷受け2段型では支柱取付方法をアンカーボルト方式から貫通ボルト方式とし、以下にその検討を行った。

1) 前提条件

① 荷受け部材

荷受け部材は、前述の"4. 1. 荷受け1段型コンクリート直壁〔実験1〕"の実験結果から強度的には問題ないと考えられ同様の部材を用いて荷受け2段型とした。

- ・ 荷受けビーム : □-100×100×4.5 (2段)
上段ビーム高さ2.0m、下段ビーム高さ1.4m
- ・ 支柱 : □-125×125×6.0
- ・ 荷受けビーム用ブラケット : □-100×100×4.5

②荷受け支柱取付方法

車両の衝突によりアンカーボルトには荷受け部材からの力が加わり引き抜き力が発生する。荷受け1段型の実験では、コンクリート壁背面よりアンカーボルトは取り外れており、定着部に予想以上の引き抜き力が発生したと考えられる。そこで今回は、支柱に溶接した取付プレートを壁背面より前面にボルトを貫通させ、コンクリート壁衝突面側にプレートにより取り付けて、アンカーの軸力とプレート支圧により、引き抜き力に抵抗する構造とした。

(図-4・2・1, 4・2・2を参照)

③ブロックアウト量

荷受けビームのブロックアウト量は、荷受け1段型と同様のコンクリート壁の前面に合わせ250mmとした。

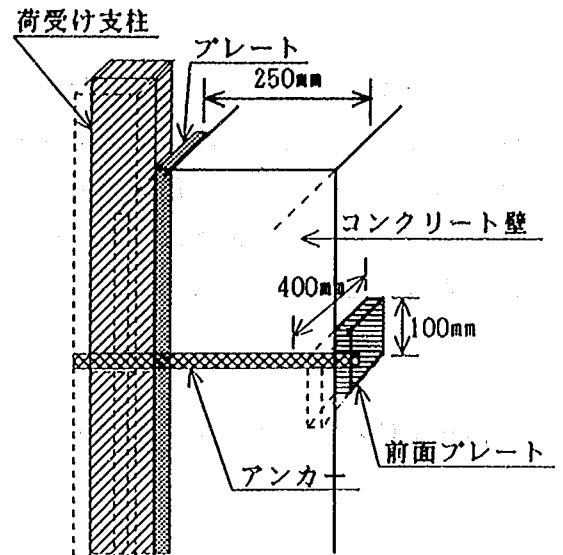


図-4・2・1 荷受け2段支柱取り付け構造

2) 取り付け部(貫通ボルト方式)の検討

荷受け1段型の実験結果の荷受け支柱に発生した力を用いて、貫通ボルト方式の検討を行った。

①材料強度

・コンクリート

設計基準強度 $\sigma_{ck}=240(\text{kgf/cm}^2)$

許容せん断応力 $\tau_a=9.0(\text{kgf/cm}^2)$

・鋼材

アンカーボルト降伏点 $6400(\text{kgf/cm}^2)$

鋼材(STK400)降伏点 $2500(\text{kgf/cm}^2)$

②ボルト1本に作用する引き抜き力

荷受け1段型で発生した最大支柱水平力は29.0tであった。荷受け1段型の実験結果を用いて、荷受け2段型構造の照査を行う。

$$T1=M/(n \cdot l)=(29.0 \times 0.5)/(2 \times 0.5)=14.5(\text{t/本})$$

(荷受け1段型の実験結果より、最大水平力が発生した支柱のアンカー最大引抜き力は19.9t/本であった。)

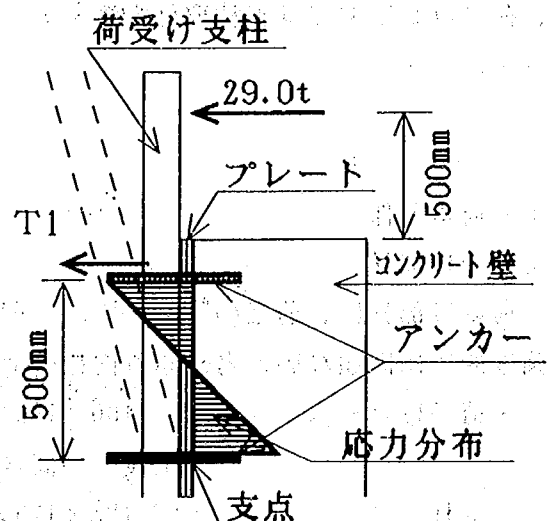


図-4・2・2 荷受け1段型の発生した力

③ボルト応力度算定

使用ボルト：M-24

有効径：22.051mm

$$\sigma_s = (14.5 \cdot 10^3) / (0.25 \cdot \pi \cdot 2.2051^2) \\ = 3797 (\text{kgf/cm}^2) < \sigma_{ay} = 6400 (\text{kgf/cm}^2)$$

④支圧応力度

ボルト1列あたりの最大引張力： $T = 2 \cdot P = 2 \cdot 14.5 = 29.0 (\text{t/列})$

許容支圧応力度

$$\sigma_b = T / (B \cdot l) = (29 \cdot 10^3) / (10 \cdot 40) \\ = 72.5 (\text{kgf/cm}^2) < \sigma_{ba} = 120 (\text{kgf/cm}^2)$$

⑤押し抜きせん断応力度

$$\tau = T / (d \cdot (B + l + 2N)) = 29 \cdot 10^3 / (17.5 \cdot 2 \cdot (10 + 40 + 2 \cdot 17.5)) \\ = 9.7 (\text{kgf/cm}^2) < \tau_a = 9.0 \times 1.5 = 13.5 (\text{kgf/cm}^2)$$

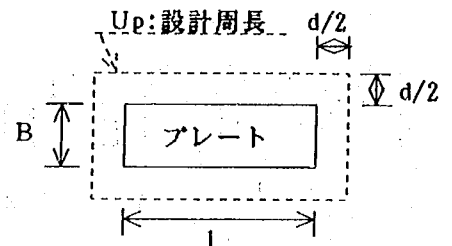


図-4・2・3 押し抜きせん断応力分布

⑥アンカープレートの算定

アンカーボルトを柱、アンカープレートをフーチングと仮定し、断面力を算定する。

・断面力の算定

$$q = T / l = 29 \cdot 10^3 / 40 = 725 (\text{kgf/cm}^2) \\ M = 0.5 \cdot q \cdot l^2 = 0.5 \cdot 725 \cdot 6^2 = 13050 (\text{kgf} \cdot \text{cm})$$

・応力度算定

アンカープレート：PL-100・12・400(SS400)

$$\sigma = 13050 / ((1/6) \cdot 10 \cdot (1.6)^3) = 1912 (\text{kgf/cm}^2) < \sigma_a = 2400 \text{kgf/cm}^2$$

以上の検討結果から選定した供試体構造および部材表を図-4・2・4に示す。

4. 2. 4. 供試体の配置および計測位置
 供試体の配置を図-4・2・5に計測位置を図-4・2・6に示す。

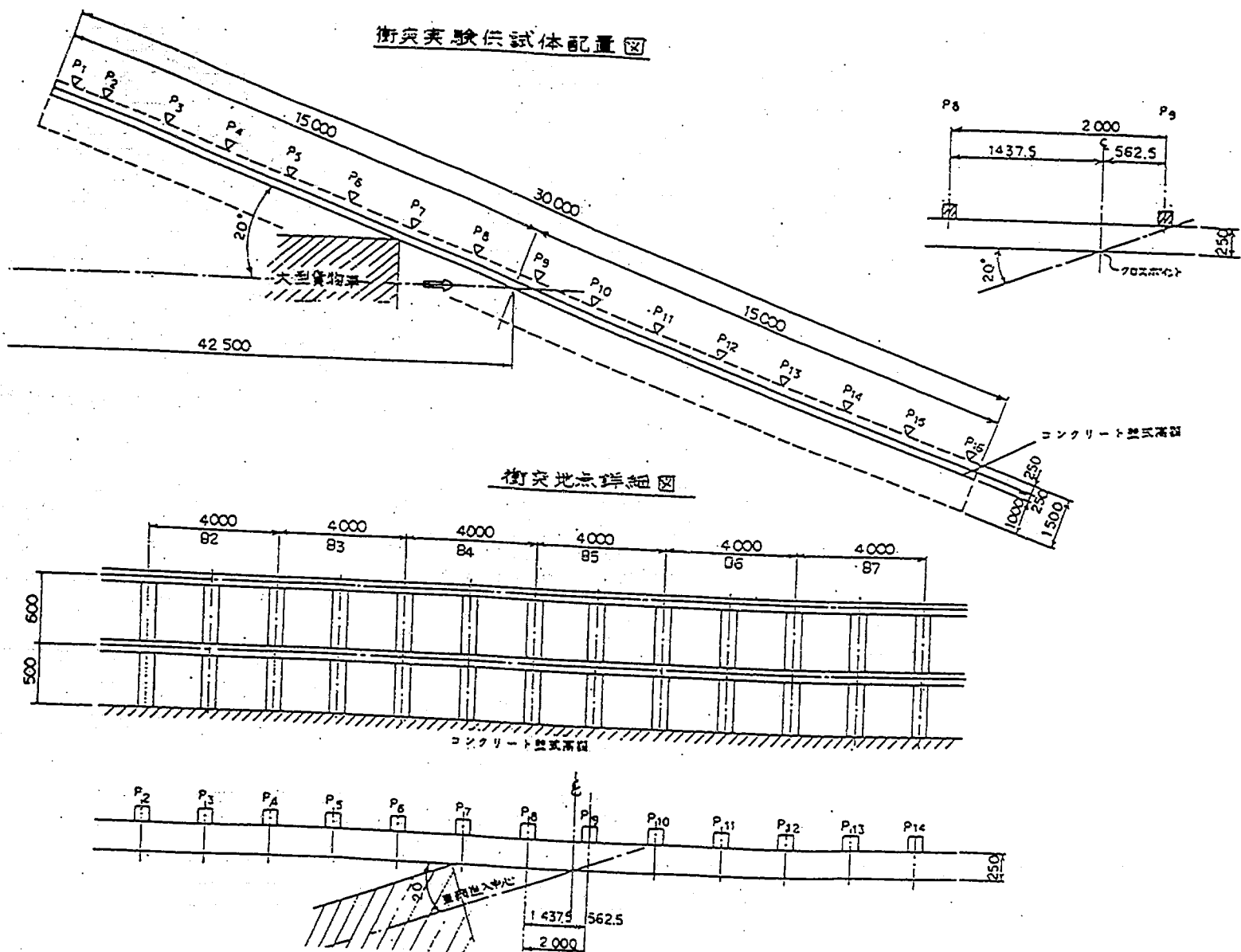
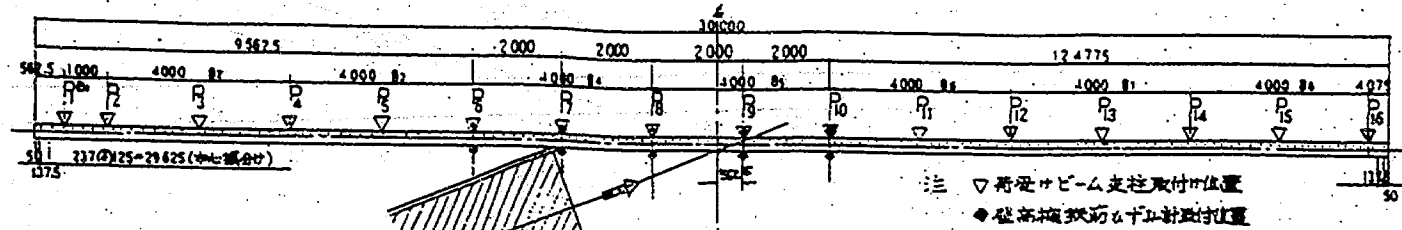
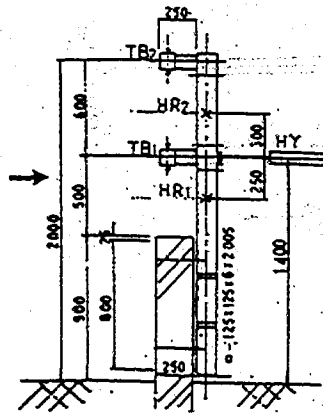


図-4・2・5 供試体配置

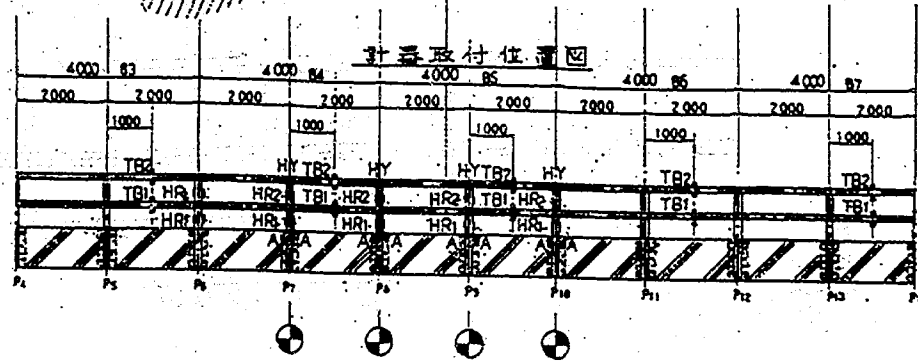
全体平面図



断面図



計測取付位置図



正産機 (MITSUBISHI)

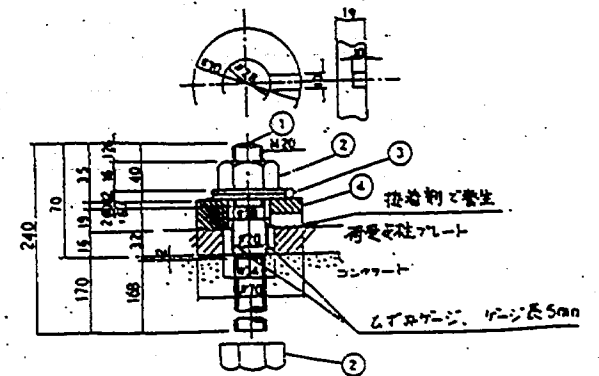
NO	名称	数量
①	鋼板ボルト	8
②	土ナット	8×8=16
③	土ナット	16
④	特殊鋼板	8

図 4・2・6 計測位置

計測位置および取付け位置

測定項目	記号	測定位置	箇所数	備考
一般ビーム変位	TB	B3, B4, B5, B6, B7	5	ビーム上下面に1軸グーグ1点
支柱せん断力	HR	P6, P7, P8, P9, P10	5	支柱両側面にクロスグーグ1点
支柱変位	●	P7, P8, P9, P10 支柱頭部 (H=2,000)	4	ターゲット測定
	HY	P7, P8, P9, P10 支柱 (H=1,400)	4	差動トランス型変位計
アンカー引張力	A	P7, P8, P9, P10	4	70t-6t に3軸ゲージ3本/箇所

① 詳細図



4. 2. 5. 実験結果および考察

防護柵に衝突後、車両の荷台部が荷受け部材を押し倒しながら、防護柵より5.0度の角度で離脱した。その後、防護柵端から約5m進んだところで横転し、そのまま50m滑走し停止した。

実験結果を表-4・2・2に示す。

表-4・2・2 荷受け2段型コンクリート直壁〔実験2〕結果一覧表

実 験 日			1993.1.13	許 容 値	
実 験 番 号			2		
衝突条件	車 両 重 量 (t)		20	—	
	衝 突 速 度 (km/h)		98.6	—	
	衝 突 角 度 (°)		20	—	
	衝 撃 度 (t・m)		89.6 [878kJ]	—	
離 脱 速 度 (km/h)			— (計測不能)	75 以上	
離 脱 角 度 (°)			5.0	9 以内	
接 触 長 (m)			21.04	—	
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位(mm)	401 (P10:GL+1400mm)	—	
		残 留	直角(Y)方向 (mm)	879 (P9:支柱頂部)	—
		延長(X)方向 (mm)	55 (P7:支柱頂部)	—	
	Y方向ビーム残留変位 (mm)		490 (P9:主ビーム中心)	—	
最 大 進 入 行 程 (mm)			—	1,100 以内	
車両最大傾斜角 (°)		前 端	54.1	—	
		後 端	57.3	—	
荷受け支柱最大水平力 (t)			26.8 [263kN](P6)	—	
荷受けビーム最大張力 (t)			31.0 [303kN](TB1-2)	34.2 [335kN]	
加速 度	車 両 重 心	50 msec 値	進行(X)方向 (g)	-1.1	25
			直角(Y)方向 (g)	-0.4	15
			垂直(Z)方向 (g)	—	—
			合 成 (g)	-0.4	25
H I C 値	運 転 席 ダ ミ ー		37.9	1,000	
	助 手 席 ダ ミ ー		2275.2	1,000	

1) 車両誘導性

車両は、速度98.6km/h、角度20度で防護柵に衝突した。車両の左側前端部及びフェンダーが順に防護柵に衝突し車両は方向転換した。その後、後輪が衝突し、荷台が防護柵側に傾き、右後輪を浮き上がり、荷台が荷受け部材を押し倒し、防護柵端部では荷受けビーム上で車両全体がほぼ水平に傾き、防護柵端から約5m先の地点に車両前部、荷台左側面が着地した。着地後、車両はそのまま左側面が地面をすべったまま約50m先の土手に衝突し、停止した。この間、燃料タンクより燃料が路面に漏れ、小規模な炎が発生した。

車両の軌跡を図-4・2・7に示す

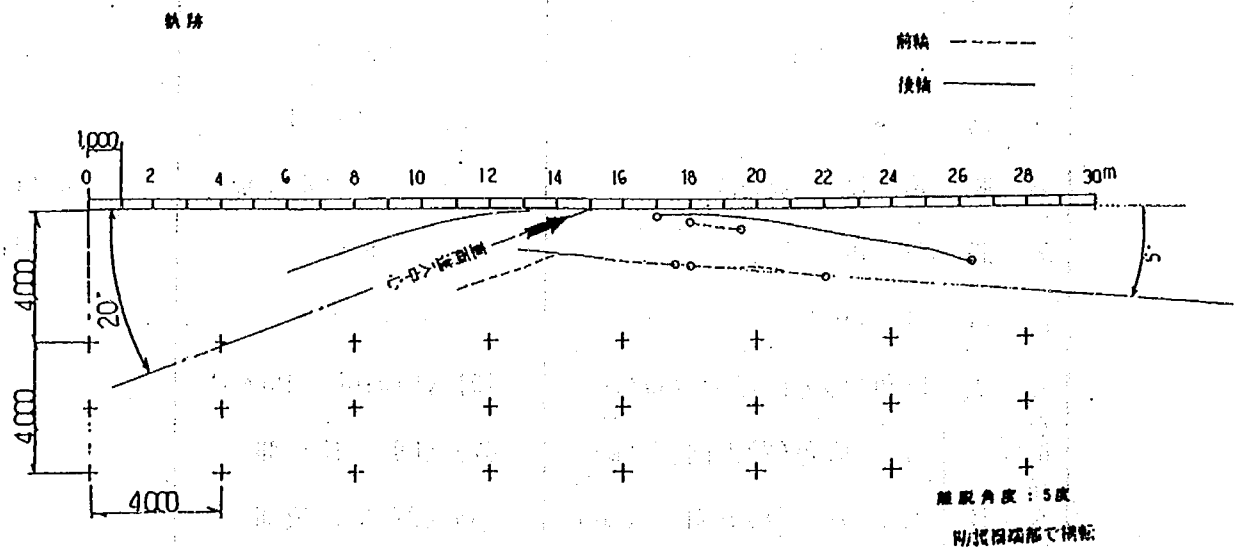


図-4・2・7 車両の軌跡

2) 防護柵強度

(1) コンクリート壁

主鉄筋に発生した最大ひずみは、P7の高欄基部(D-D断面)において車両前部衝突時に 2357μ ($\sigma = E \times \epsilon = 4950(\text{kgf/cm}^2)$)で、鉄筋の許容応力値 3000kgf/cm^2 を越えていた。また、コンクリートの最大ひずみはP8で 1151μ ($\sigma = E \times \epsilon = 161\text{kgf/cm}^2$)で、コンクリートの許容応力値 120kgf/cm^2 を越えていた。

コンクリート壁の断面図および各部に発生した最大ひずみを表-4・2・3に示す。

表-4・2・3 各部の発生最大ひずみ

(単位: $\times 10^{-6}$)

断面位置 延長 各値		縦方向筋						ハンチ筋		横方向筋		コンクリート表面	
		B-B断面		C-C断面		D-D断面		E-E断面		A-A断面		C-C断面	
		表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏
P6	ひずみ	990	167	1124	286	1376	284	1363		356	432		-
(-6)	応力	2079	351	2360	601	2890	596	2863		747	907		-
P7	ひずみ	1264	297	1628	504	2357	719	2020		169	777		-723
(-4)	応力	2654	624	3419	1058	4950	1510	4242		355	1632		-101
P8	ひずみ	1479	306	1940	415	2231	761	2089		372	1266		-1151
(-2)	応力	3106	643	4074	872	4685	1598	4387		781	2659		-161
P9	ひずみ	296	45	675	97	859	145	946		312	405		-841
(0)	応力	622	95	1418	204	1804	305	1987		655	851		-118
P10	ひずみ	191	-70	400	-18	722	92	576		-49	-79		-260
(+2)	応力	401	-147	840	-38	1516	193	1210		-103	-166		-36

注) ・ひずみの単位: $\times 10^{-6}$ 、応力の単位: kgf/cm^2

・ () 内の数字は、知床駅までの距離(m)を示し、+は知床駅よりも車両進行側、-は車両進入側を表している。

・ヤング率 鉄筋:2.1、コンクリート:0.14

応力測定位置は、図-3・1・7を参照。

(2) 支柱

①支柱本体

支柱に発生した最大水平力は、上部（荷受け1段と荷受け2段の間）でP10において10.1tであり、下段（支柱基部と荷受け1段の間）はP7で26.7t、合力で（同時刻最大値）はP6で26.8tであった。また、衝突後支柱は破断していたことから、強度的に不足していたと考えられる。

表-4・2・4 支柱の最大変位量 (GL+1400mm)

支柱番号	P7	P8	P9	P10
変位量(mm)	274	118	364	401

表-4・2・5 各支柱の最大水平力

支柱番号		P6	P7	P8	P9	P10
最大水平力	上段(t)	7.9	7.4	5.3	6.7	10.1
	下段(t)	28.0	26.7	-	-	24.5
	合力(t)	26.8	26.1	15.6	9.9	13.2

②取付部

アンカーボルトの最大張力は、P7で右11.0t、左11.2tが発生した。

表-4・2・6 アンカーボルトに発生した最大張力

支柱番号		P7	P8	P9	P10
最大張力(t)	右側	15.8	14.6	29.7	18.4
	左側	6.1	31.0	16.9	6.8

(3) 荷受けビーム

荷受けビームの最大張力は、上段ビームで29.7t、下段ビームで31.0tであり、いずれも参考許容値内であり、問題はないと考えられる。

表-4・2・7 各ビームに作用した最大張力

ビーム番号		B1	B2	B3	B4	B5
最大張力(t)	上段	15.8	14.6	29.7	18.4	7.1
	下段	6.1	31.0	16.9	6.8	4.2

(4) ブラケット

ブラケットに関しては、大きな損傷は無く、ブロックアウト量250mmを確保しており、強度的に問題はなかったと考えられる。

3) 防護柵損傷状況

車両と防護柵の接触長は、コンクリート壁面部で5.2m、上段荷受けビームで21m、下段荷受けビームで10.7mで、支柱と車両の接触は認められなかった。

車両の接触跡を図-4・2・8、防護柵残留変形を図-4・2・9に示す。

(1) コンクリート壁

衝突側壁面に前後輪の衝突による擦り傷があるものの、ひび割れや大きな破損箇所はなく、コンクリート壁本体には影響はない。

(2) 支柱

防護柵の防護柵直角方向に10mm以上の残留変形が生じた区間は、P5～P16の12本の支柱で生じた。そのうち5本は取り付け部で中立軸付近まで破断し、4本は大きく折れ曲がった。破断した支柱頭部の残留変位はP9で879mm、折れ曲がった支柱はP10で870mmであった。支柱最大傾斜角は、背面側に約40°であった。(写真-4・2・4～6)

(3) ビーム

上下段ビームともに支柱間で曲がりはあるものの、破断した箇所はなかった。最大残留変位は上段ビームで1000mm(P10)、下段ビームで550mm(P10)であった。

(4) ブラケット

上下段ともに変形はなく、破断はない。

(5) ボルトおよび接合部

ブラケット継ぎ手部に変形はあるものの破断はなかった。

支柱定着部の貫通ボルトは、高欄背面部でボルトの曲がり、また前面部で頭部の変形があるものの破断はない。

壁前面支柱取り付けプレートは、ボルトの頭抜けによる変形が認められた。

スクラブマーク

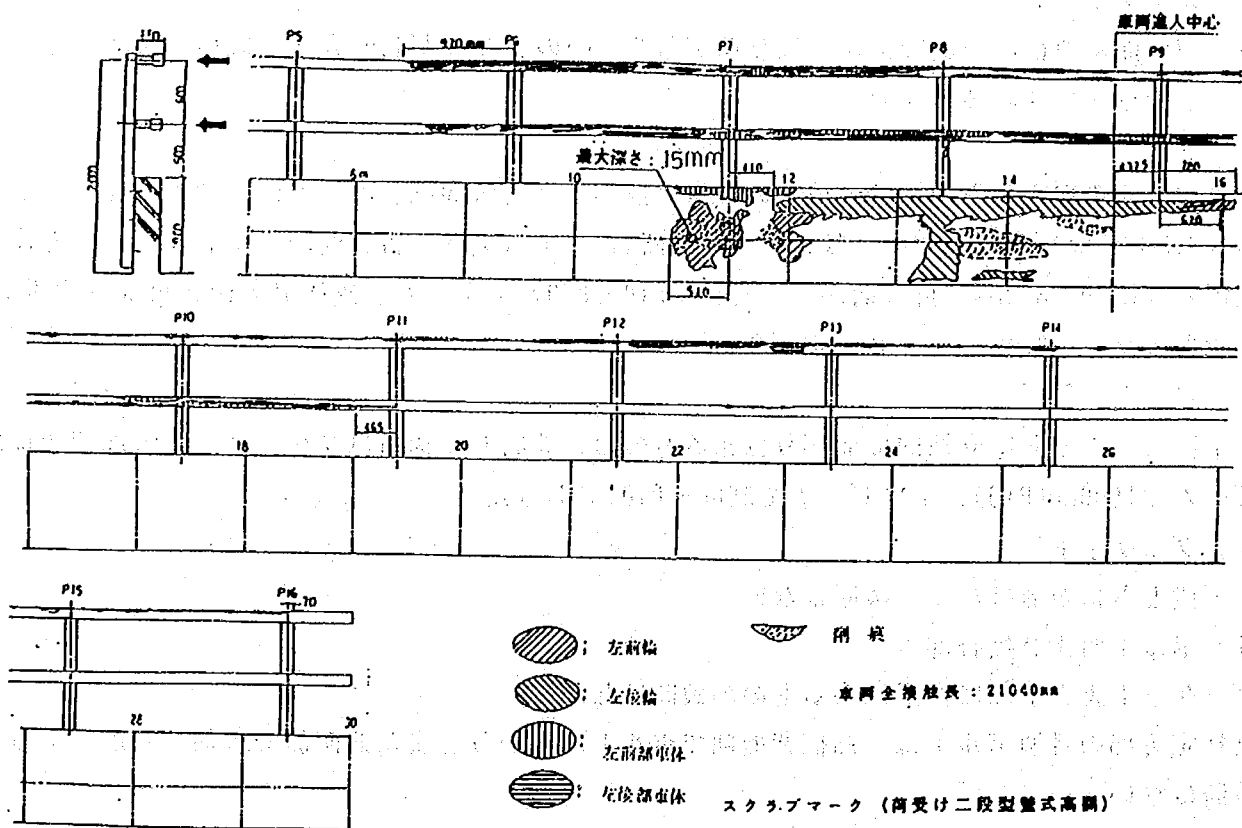


図-4・2・8 車両の接触跡

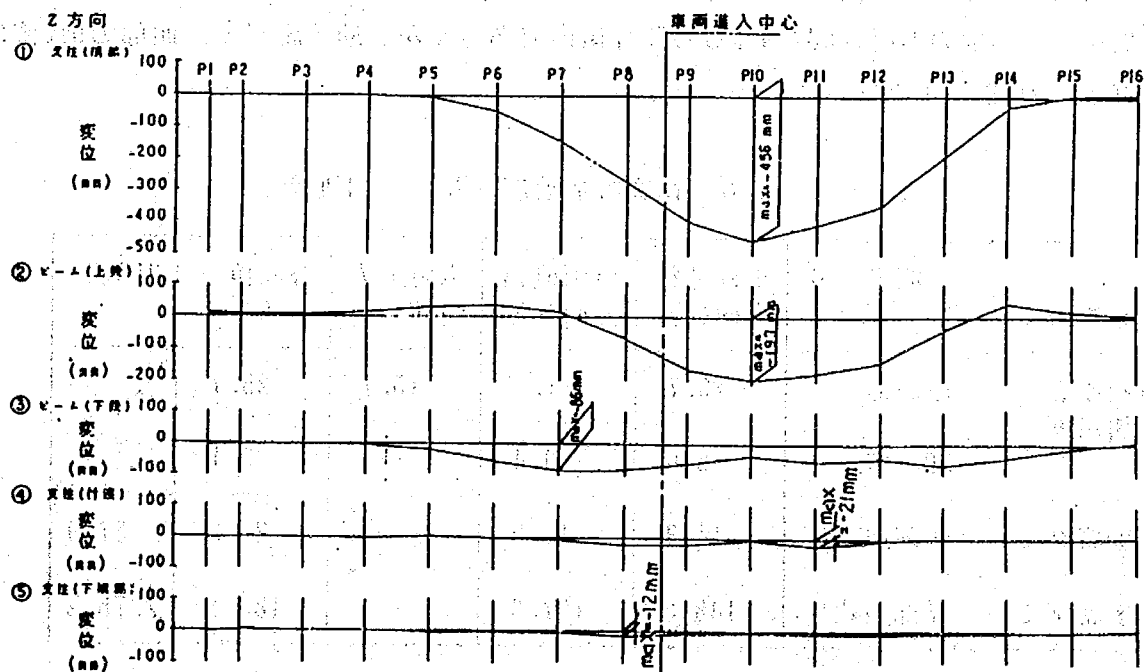
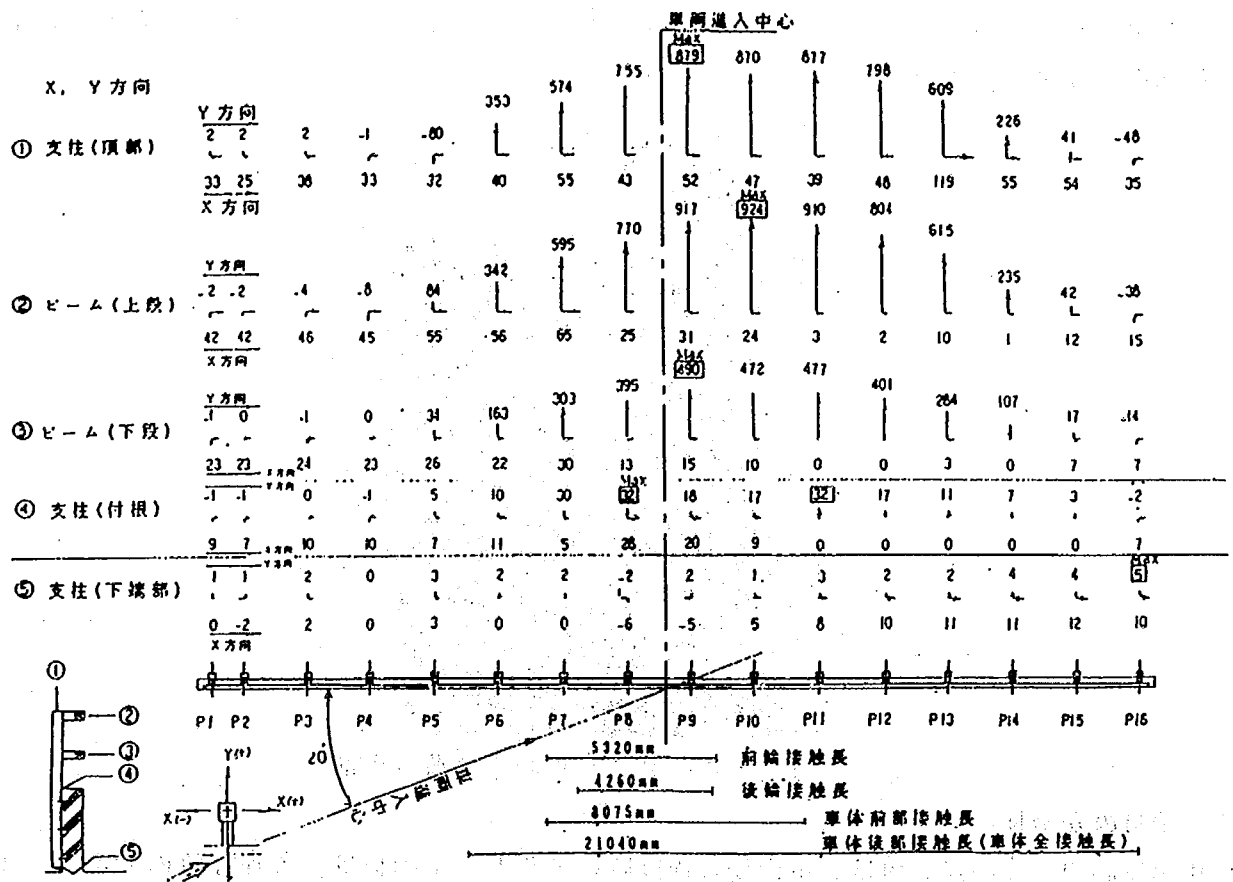


図-4・2・9 防護柵の残留変形

4) 車両損傷状況

荷受けビームに衝突したことによりフロントガラスが破壊し、また、アルミバンの荷台部が荷受けビームに食い込み破断した。

足廻りについては、前輪および後輪が車体から外れ、自力走行は不可能であった。

車両積載内部は、鋼管によって台を作り、その上に土嚢を固定し重心調整を行っており（写真－4・2参照）、衝突時に車両側面のアルミ板が接触し、破断したため、単管の一部が破壊したが、積載部内の骨組み構造の破壊には至らなかった。



写真－4・2 高重心車の荷台内部

5) 乗員の安全性

車両重心加速度の最大値は、車両後輪衝突時に発生し、その値は参考許容値内であり、また、荷受け1段の結果より小さい値であった。

運転席ダミー頭部のHIC値は37.9で参考許容値内であったが、助手席ダミー頭部のHIC値は2275.2で参考許容値の2倍以上となった。

表－4・2・8 衝突時加速度（RAMカード収録）

測定箇所 \ 測定成分		車両進行方向(G)	車両直角方向(G)	車両上方向(G)	合成値(G)	HIC値
車両重心加速度	原波形	25.7	-1.1	-15.1	25.7	
	50ms値	5.0	-0.4	—	5.1	
運転席ダミー	頭部加速度	-11.3	17.3	—	20.3	37.9
助手席ダミー	頭部加速度	148.3	107.8	—	183.3	2275.2

6) 考察

大型車両の荷台部は、防護柵衝突時に大きな慣性力が生じ、防護柵高さが低い場合には車両が防護柵側に倒れ込む現象が発生する。高重心車の場合は特にその運動が発生しやすく、防護柵衝突後に車両が横転する可能性が非常に高いと考えられる。高重心車両の高速衝突に対して、車両の路外逸脱防止や誘導等の防護柵機能を発揮させるためには、柵の高さを上げる方法があるが、景観上の問題、施工性等の問題がある。これに対し、荷受けビームは既設防護柵の上部に設置可能であることから高重心車両対策としては有効な構造だと考えられる。

本実験では、“2. 3. 5. 車両重心高さ”で述べたように車両の重心高さを2.0mとしてより厳しい衝突条件下で実験を行った。その結果、車両衝突により荷受け支柱が破断し衝突車両は横転したものの、車両の路外逸脱を防ぐことができた。これにより、高架橋梁部等からの車両の落下による2次災害は防止できるものと考えられる。

一方、車両は路内横転したことから、道路上で考えると車線を塞ぐ可能性もあり、後続車両のことを考慮すると、交通に大きな影響を与えることが考えられる。今回の実験では荷受け支柱が衝突荷重に対して十分な強度を持っておらず、防護柵荷受け部材の反力によって車両の傾斜を元に戻すことが出来なかったことが車両横転の原因だと考えられる。高重心車両用の防護柵構造としては、本実験結果を参考に支柱の強度を高め、防護柵機能が発揮出来るような構造にすることが車両横転を防止する上で必要だと考えられる。

大型パネルバンを用いた高重心車両の衝突実験は初めての試みであり、過去の実験結果と比較することは難しいが、荷受け1段型の実験結果と比較することにより、その機能を確認することとした。以下にその結果を述べる。

表-4・2・9に荷受け1段型と荷受け2段型の主な実験結果、図-4・2・10に構高さの比較を示す。

表-4・2・9 実験結果比較一覧表

防護柵名 (柵高さ)		荷受け1段型 (1.4*[0.9]m)	荷受け2段型 (2.0*[0.9]m)	許容値
実 験 日		1992.12.10	1993.1.13	
衝突条件	車 種 (車両重心高さ)	大型貨物車 (1.3m)	大型パネルバン (2.0m)	—
	車両重量(t)	20	20	—
	衝突速度(km/h)	99.4	98.6	—
	衝突角度(°)	20	20	—
	衝撃度(t・m)	91.0 [892kJ]	89.6 [878kJ]	—
離脱速度 (km/h)		(計測不能)	(計測不能)	75以上
離脱角度 (°)		1.6	5.0	9以内
接 触 長 (m)		21.32	21.04	—
車両最大 傾斜角(°)	前端	14.8	54.1	—
	後端	58.5	57.3	—
車両重心50msec 加速値 (g)	進行方向	12	-1.1	25
	直角方向	-28	-0.4	15
	垂直方向	—	—	—
	合 成	28.7	-0.4	25
H I C 値	運転席ダミー	73.5	37.9	1,000
	助手席ダミー	88.7	2275.2	1,000
車両誘導状況		誘導	路内横転	—

*[]内の数値は、コンクリート壁のみの高さを示す。

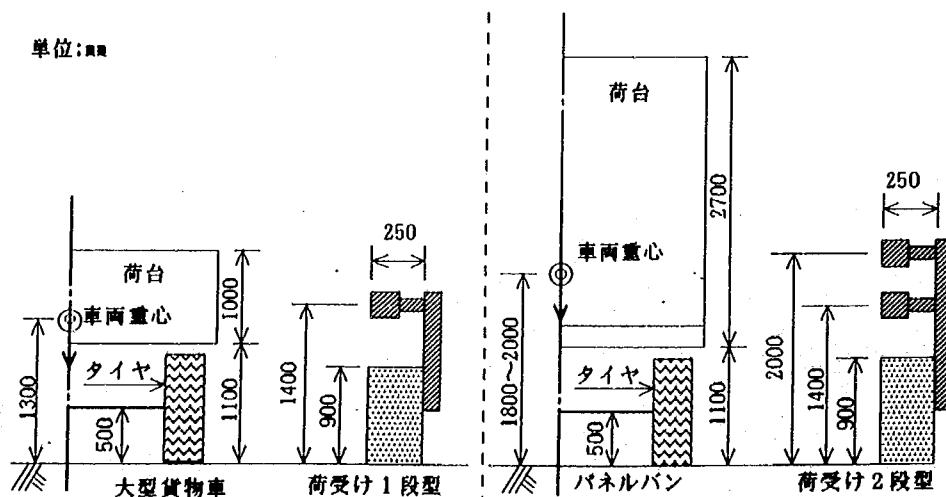


図-4・2・10 防護柵と対象車種の重心

①車両誘導状況

荷受け1段型は衝突車両を誘導したのに対して、荷受け2段型は、車両の路外逸脱は防止できたものの路内で横転した。高重心車両の衝突後の慣性力は高い位置で発生しており、車両前部が防護柵に衝突した際に支柱に大きなモーメントが働き、支柱が路外方向に大きく倒れ込んだ。そのため、荷台後部が衝突する際に発生する慣性力に抵抗できるだけの耐力は防護柵に無く、車両を5m離脱したものの横転した。

②車両及び乗員の安全性

路内横転したことにより、車両および乗員の安全性は確保されなかったと考えられる。

車両重心加速度は、あまり大きな値は示さなかったが、助手席ダミー頭部に発生したHIC値は許容値を超えていた。

荷受け1段型と荷受け2段型を比較した場合に、2段型の荷受けビーム上段が助手席のガラス部の高さとはほぼ同じなので、車両前部衝突初期に荷受けビームが直接助手席ガラス部に衝突し、乗員の安全性を侵す構造となっている。防護柵高さは、車両及び乗員の安全性を考慮し、車両や防護柵構造等の要因により決定される。また、荷受けビームの張り出し量も同様に、路内方向に荷受けビームがあれば横転防止には効果があるが、車両に与えるダメージが大きくなると考えられる。このようなことより今後、荷受けビームの高さや荷受けビームとコンクリート壁との位置関係等を再検討する必要があると考えられる。(図-4・2・11)

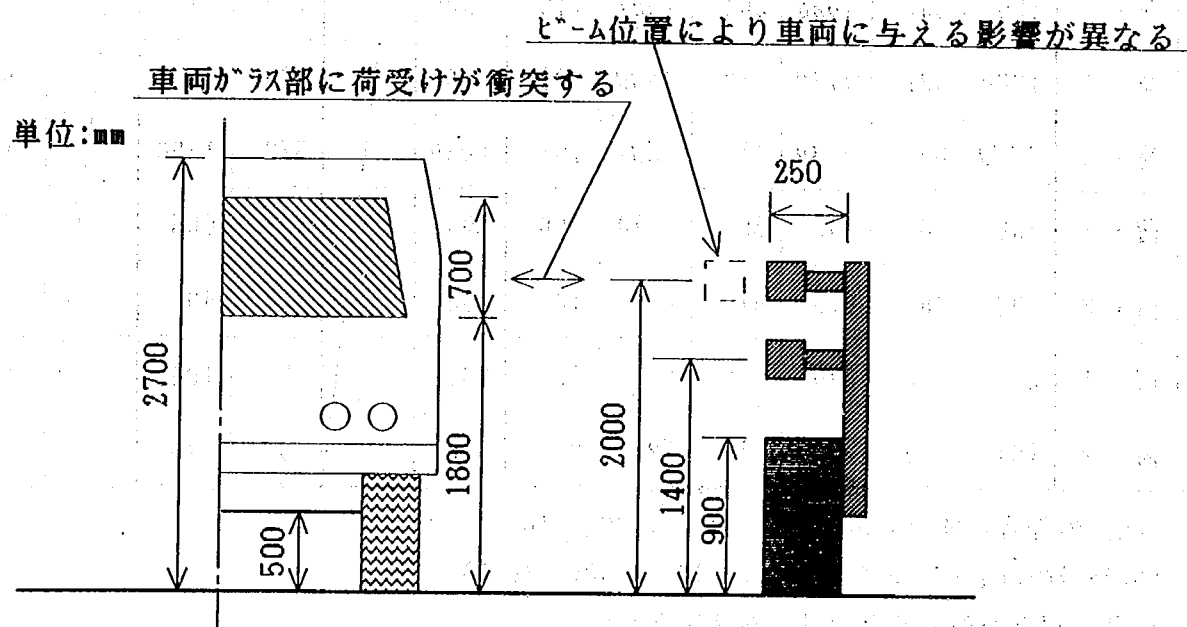


図-4・2・11 荷受け2段型と車両前面の高さ関係

③防護欄強度

表-4・2・10に荷受け1段型と荷受け2段型の実験により発生した各部の最大ひずみをまとめた。これによると、車両が高重心になり防護欄高さ（荷受け部材の高さ）が高くなったことや、荷受け1段型で取り外れ及び破損したアンカー方式を、コンクリート壁と荷受け部材の接合を強めた貫通ボルト方式に変更したことにより、荷受け2段型の実験の場合には大きなひずみが発生しており、また、許容ひずみを超える箇所も多くなっている。

表-4・2・10 実験時の最大ひずみの比較（直壁と荷受け型）

（単位： $\times 10^{-6}$ ）

断面位置 *) 延長 各値		縦方向筋						ハンチ筋		横方向筋		コンクリート表面	
		B-B 断面		C-C 断面		D-D 断面		E-E 断面		A-A 断面		C-C 断面	
		表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏
P6	荷・1	574	74	728	104	887	99	732		325	321		-
(-6)	荷・2	990	167	1124	286	1376	284	1363		356	432		-
P7	荷・1	955	405	1167	434	1814	614	2713		571	1004		-
(-4)	荷・2	1264	297	1628	504	2357	719	2020		169	777		-723
P8	荷・1	1380	327	1712	332	1830	520	1562		-350	714		-874
(-2)	荷・2	1479	306	1940	415	2231	761	2089		372	1266		-1151
P9	荷・1	450	-63	845	86	1020	208	1057		440	665		-567
(0)	荷・2	296	45	675	97	859	145	946		312	405		-841
P10	荷・1	249	-42	570	-42	826	128	681		-52	194		-249
(+2)	荷・2	191	-70	400	-18	722	92	576		-49	-79		-260

注) ・ (鉄筋の許容ひずみ) $=3000/2.1 \times 10^6 = 1429 (\times 10^{-6})$

(コンクリートの許容ひずみ) $=120/1.5 \times 10^6 = 0.08 (\times 10^{-6})$

許容ひずみを超えるものは、斜体字とした。

・ 応力測定位置は、図-3・1・7を参照。

*) ()内の数字は、クロス・イトから車両進行側を+、車両進入方向側を-とした。(単位：m)

また、図-4・2・12にある同一断面でのコンクリート壁内に発生したひずみと荷受け支柱に働いた水平力の代表的な波形を示すが、これによると支柱水平力がコンクリート壁に伝達している様子が分かる。

今回の荷受け2段型構造では、支柱が大きく折れ曲がり強度的に問題があると考えられるが、支柱強度を上げると支柱で衝撃力を緩和すること無く直接コンクリート壁に衝撃力が伝わり、コンクリート壁の破壊につながる可能性がある。

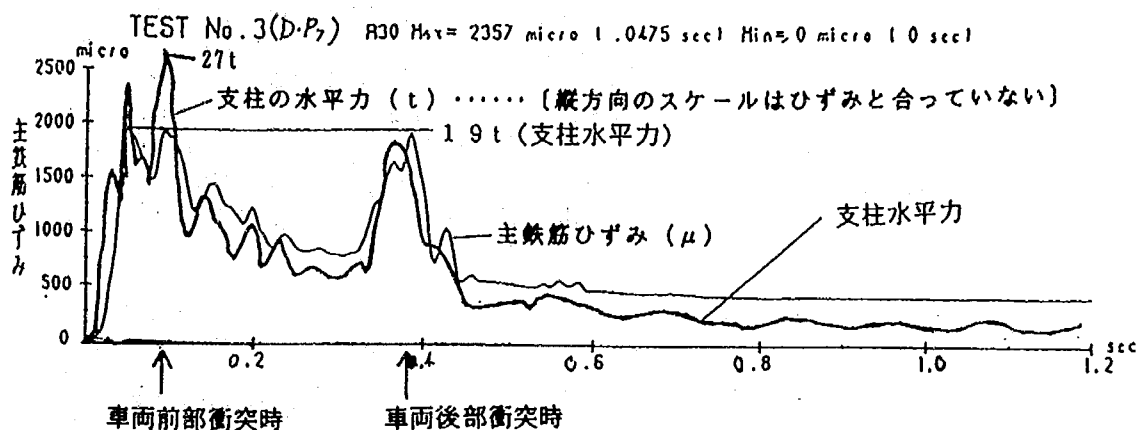


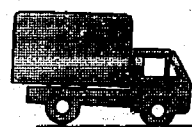
図-4・2・12 コンクリート壁及び支柱についての計測波形の一例

4. 2. 6. 今後の課題

本実験結果より、車両前部が衝突する衝突初期に支柱が大きく倒れ込んだため、車両荷台部が主として衝突する衝突後期においては荷受け材が荷受けの機能を十分発揮できずに車両が横転した。車両横転を防止するためには、支柱の強度を増加する必要がある。しかし、支柱強度を上げるとコンクリート壁の破壊につながる恐れがあり、衝突後の防護柵のメンテナンスを考えた場合、コンクリート壁よりも荷受け部材だけを補修の方が容易であると予想される。

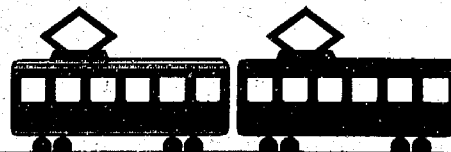
以上のことより、コンクリート壁を破壊せず、高重心車両用防護柵としての機能を発揮できる荷受けビームの強度ならびに取り付け方法を今後検討していく必要があると考えられる。

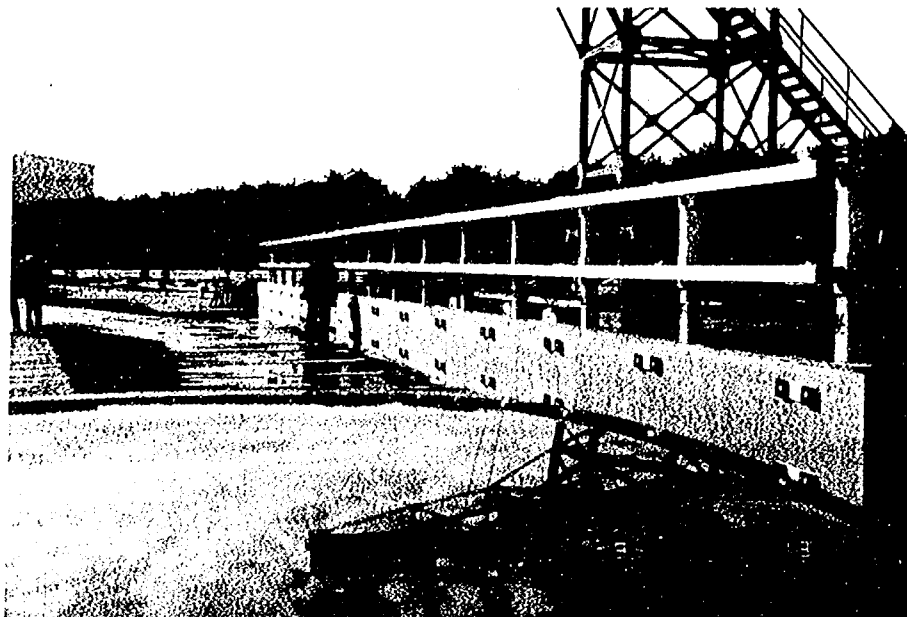
・乗員の安全性を確保する



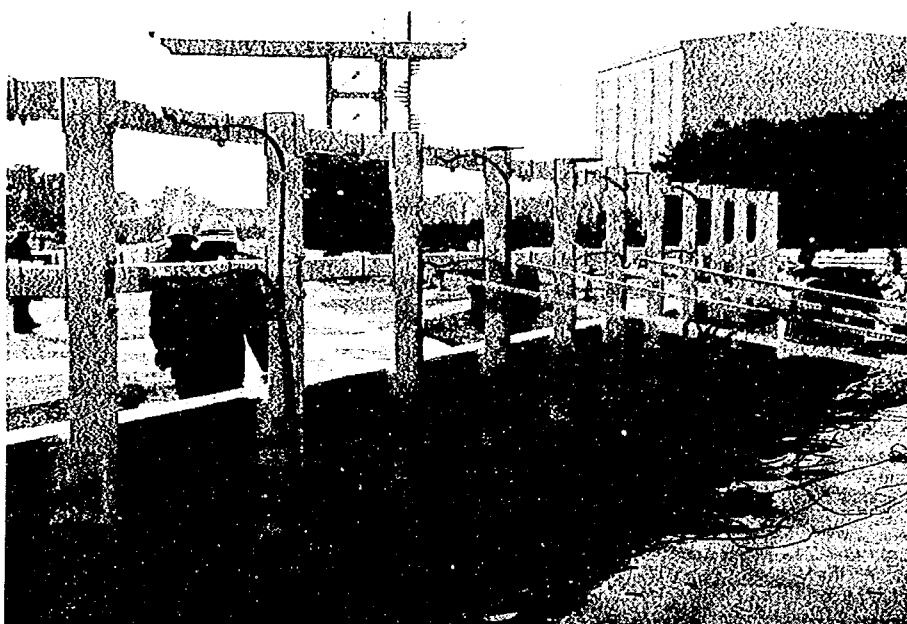
・コンクリート
壁体を破壊しない
(メンテ困難、危険)

・車両や大きな部品など
落下させない

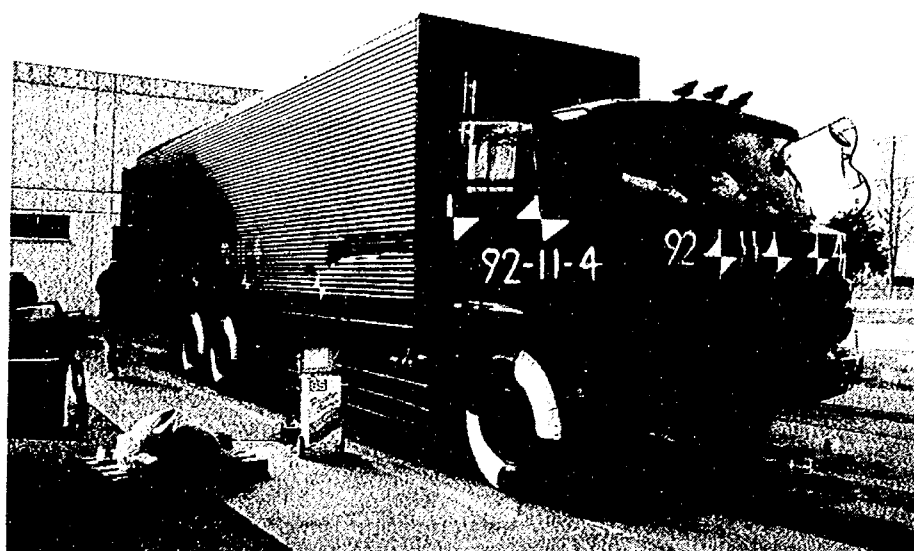




写真－４・２・１ 供試体（荷受け２段型壁高欄）



写真－４・２・２ 供試体（荷受け２段型壁高欄）



写真－４・２・３ 衝突車両（大型貨物車ハ・ニッサン）

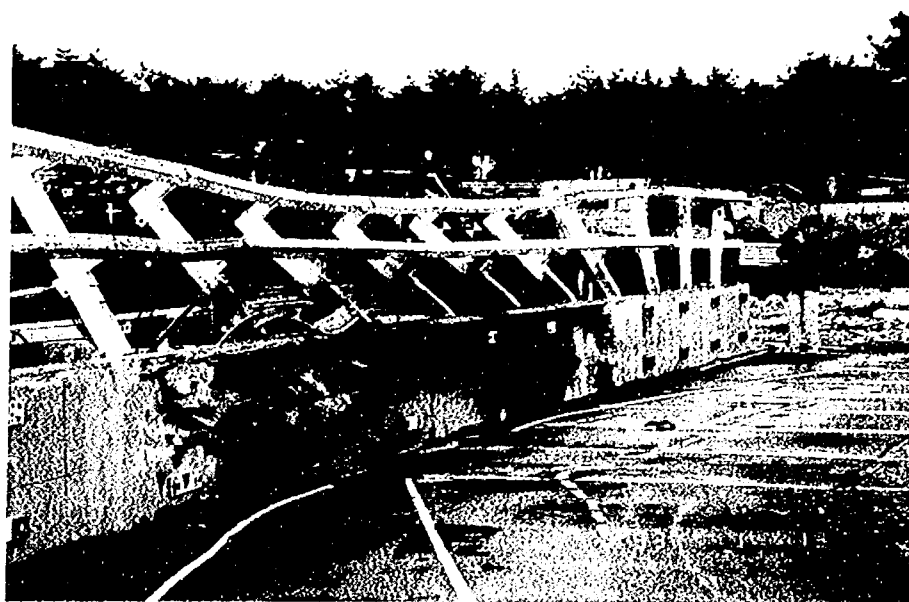


写真-4・2・4 衝突後の供試体

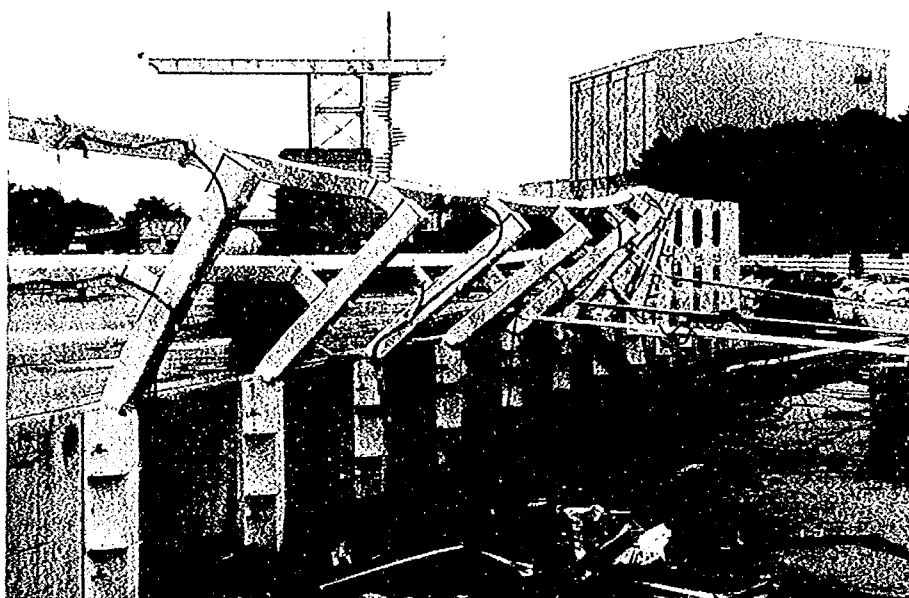


写真-4・2・5 衝突後の供試体

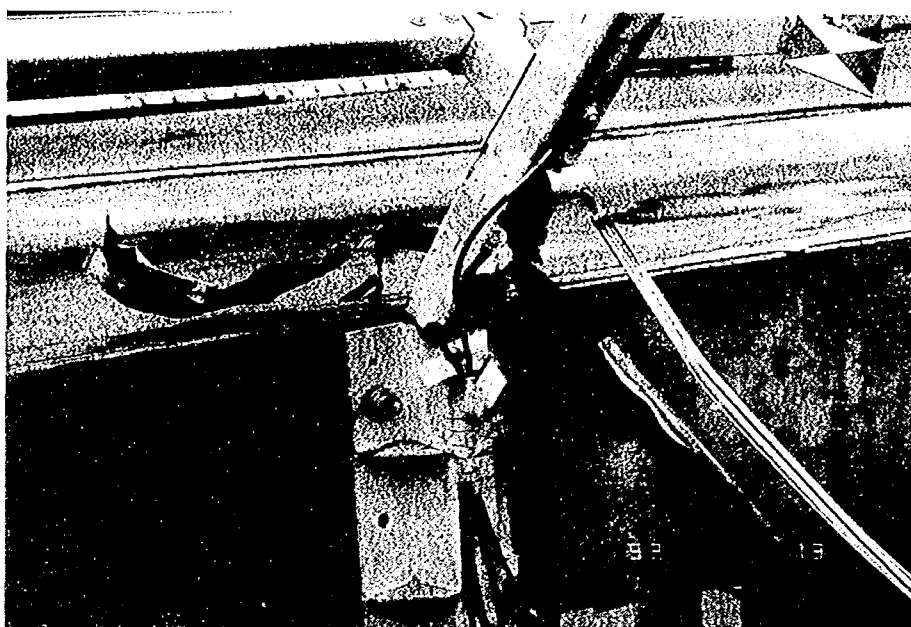
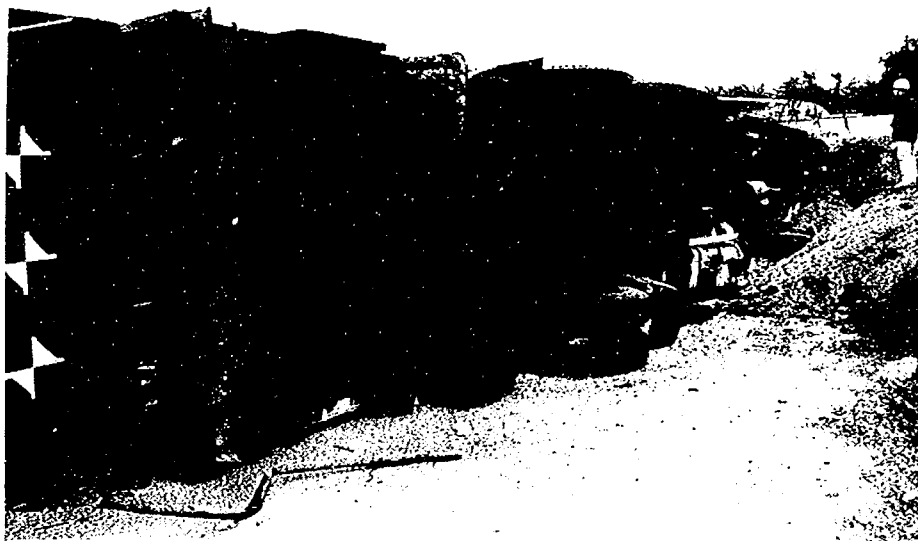


写真-4・2・6 衝突後の供試体



写真－４・２・７ 衝突後の車両



写真－４・２・８ 衝突後の車両



写真－４・２・９ 衝突後の車両

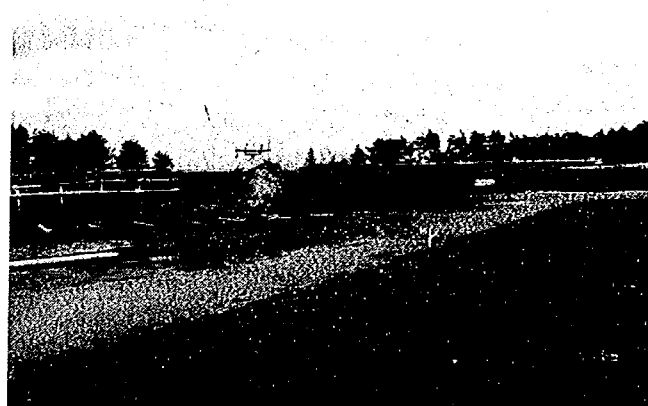
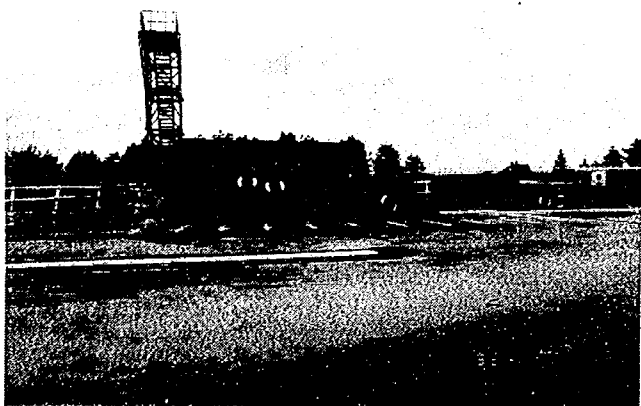
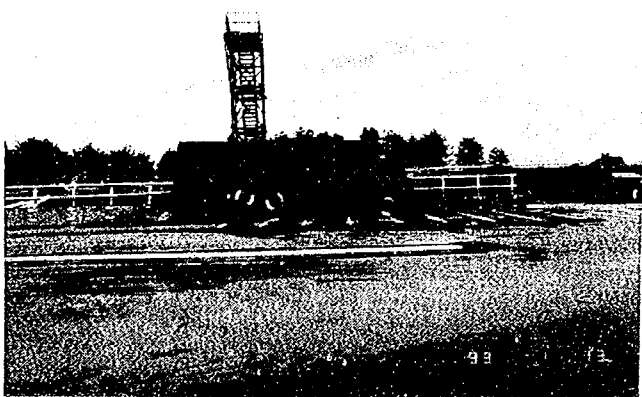
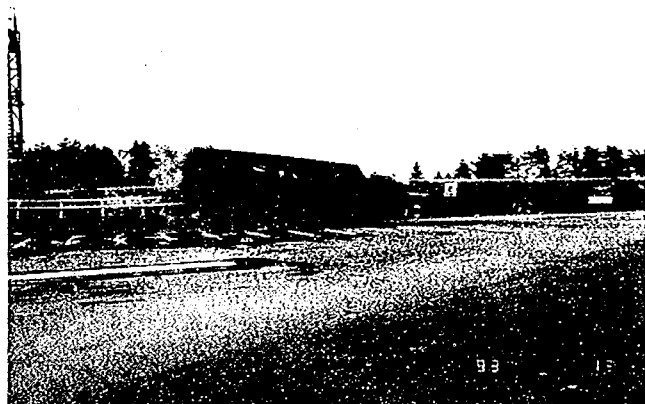
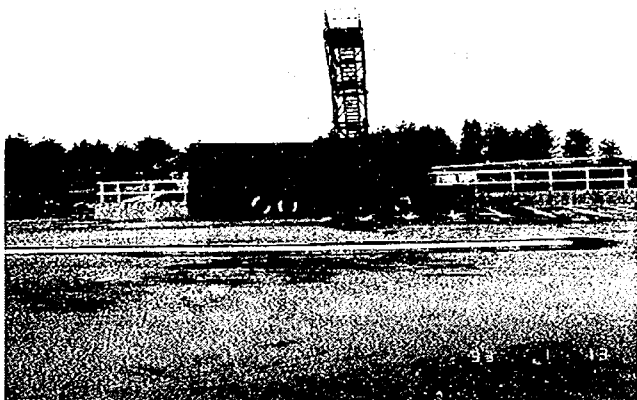


写真 - 4・2・10 衝突状況 (荷受け2段型コンクリート直壁)

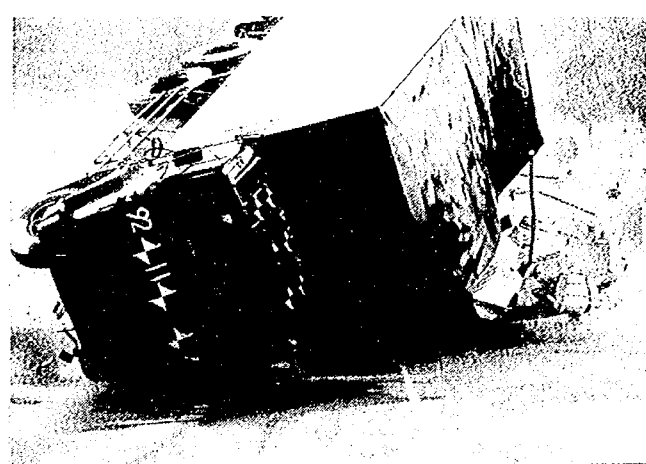
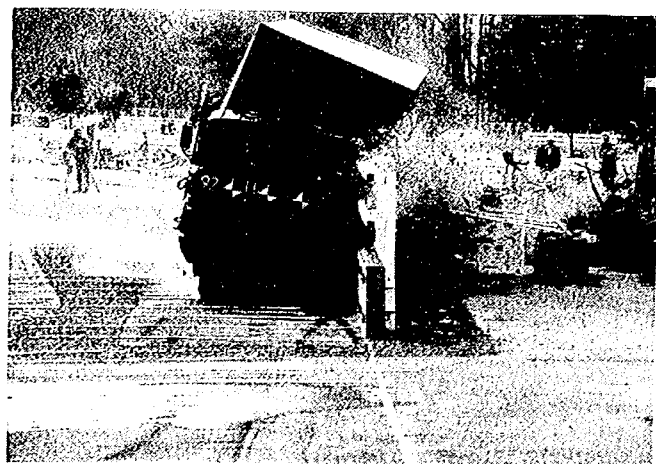
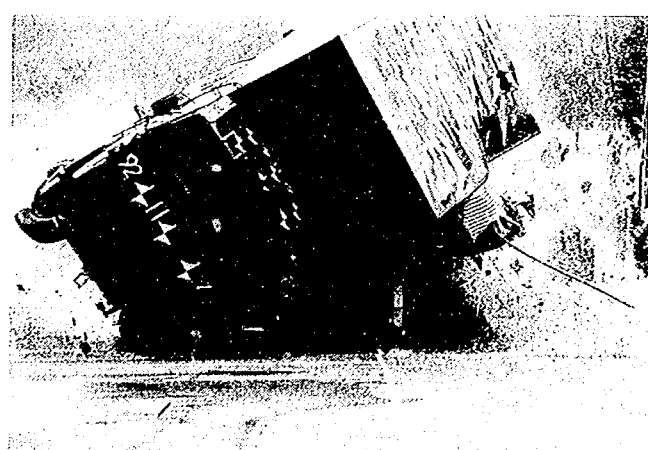
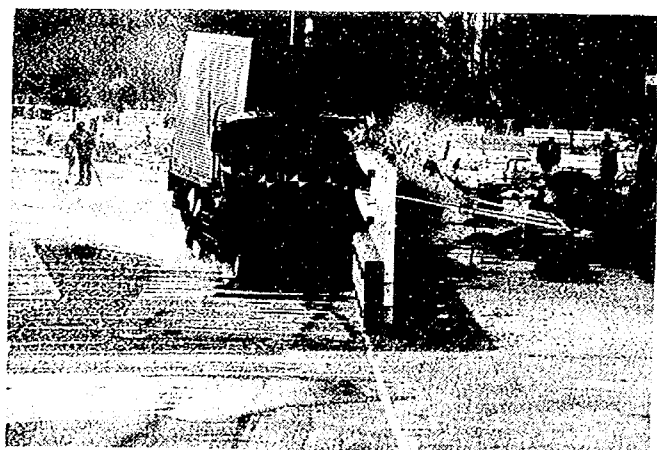
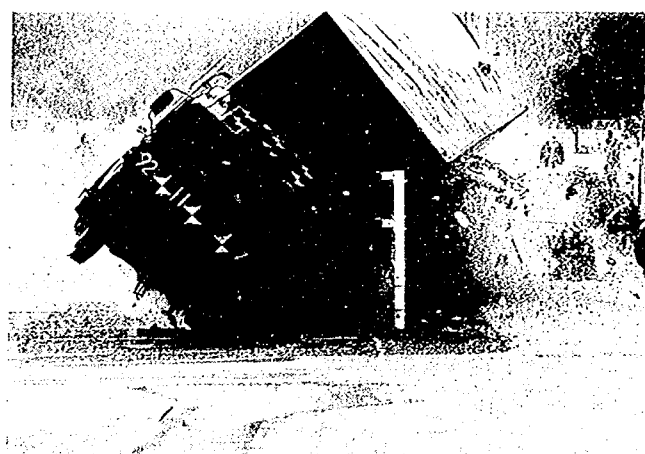
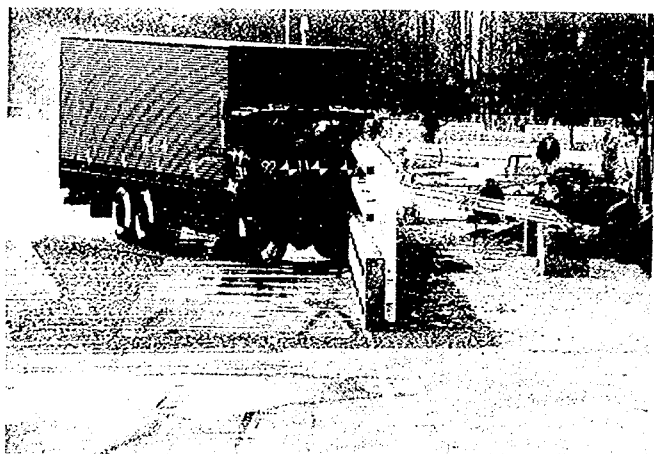
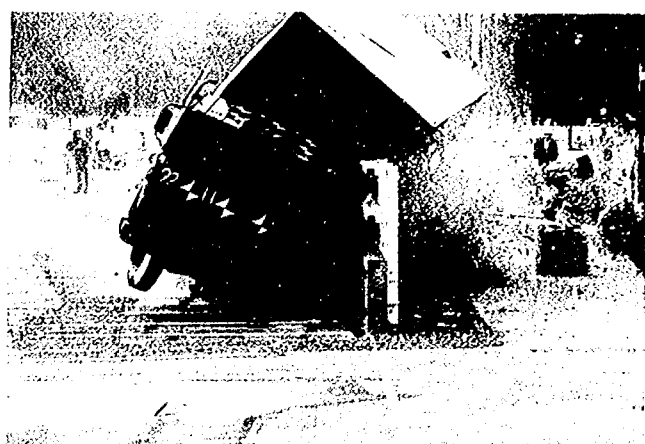


写真 - 4 ・ 2 ・ 1 1 衝突状況（荷受け 2 段型コンクリート直壁）

4. 3. 荷受け2段型鋼製防護柵〔実験3〕

4. 3. 1. 実験目的

荷受け2段型コンクリート直壁〔実験2〕と同様に高重心車両の重心位置や荷台の慣性力を受け止めるため、鋼製の高速化対応型防護柵（参考文献20）と前述の“4. 2. 荷受け2段型コンクリート直壁〔実験2〕”の実験結果を参考にして、鋼製の荷受け2段型防護柵を供試体として用い、高速度衝突の条件で防護柵機能の検証を目的とした。

4. 3. 2. 衝突条件

衝突条件を表-4・3・1に示す。

表-4・3・1 衝突条件

衝突車種	大型貨物車 (7t・ハ・ソタイ°)
重心高さ	2.0m ^{**}
車両車重	20t
衝突速度	80km/h
衝突角度	20度
衝撃度	58.9t・m [577kJ]

^{**} “2. 3. 5. 車両重心高さ”を参照。

4. 3. 3. 供試体構造

供試体構造については、高速化対応型防護柵と“4. 2. 荷受け2段型コンクリート直壁〔実験2〕”の衝突実験結果を参考に検討を行った。

本実験に用いる防護柵構造は、□-125×125×¹6の角型鋼管を2m間隔で支柱として設置し、これに車両衝突時の車体荷重を受け持ち車両を円滑に誘導させるための主ビーム（3山ビーム）を高さ675mmを中心として設けた。更に、高さ1.4m及び2.0mの位置に車両の荷台部の荷重を受け持つ荷受けビームを取り付けるものとした。また、ビームの張り出し量は一般道路部に設置することを想定し250mmとした（図-4・3・1参照）。

また、過去に行った高速化対応型防護柵の実験結果より、衝突条件 20t, 100km/h, 20° で衝突する普通大型貨物車両を良好に誘導させるためには、ブロックアウト量450mm必要であることが確認されているため、荷受け2段型（鋼製）の衝突条件は、過去の鋼製防護柵実験結果より20t, 80km/h, 20° が限界であると判断し設定した。供試体構造および部材表を図-4・3・2に示す。

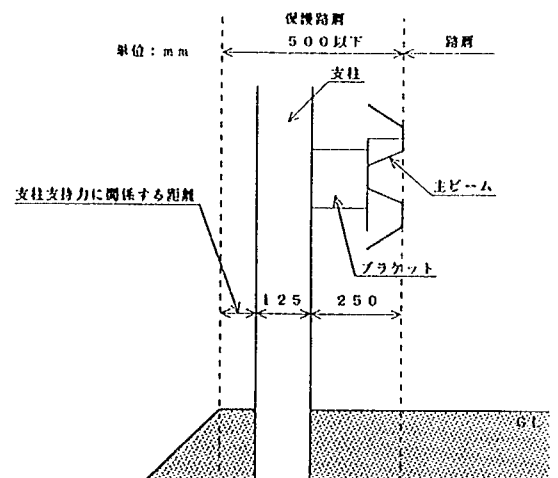
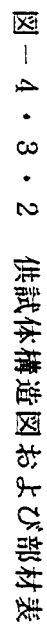
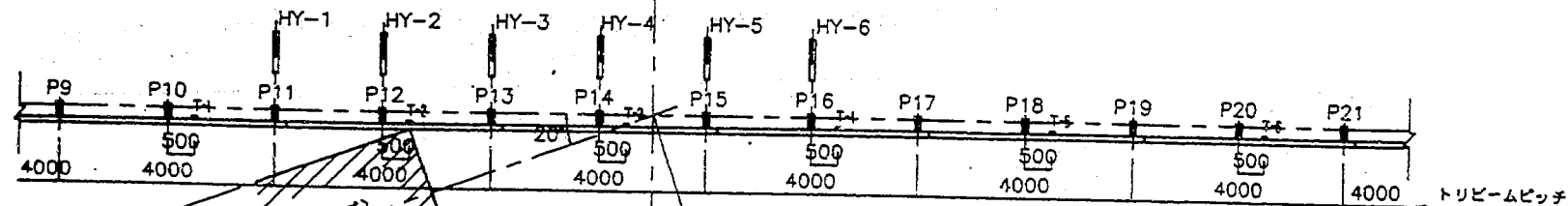
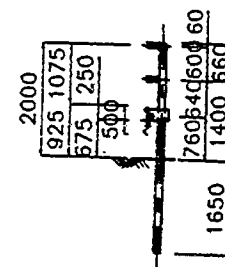
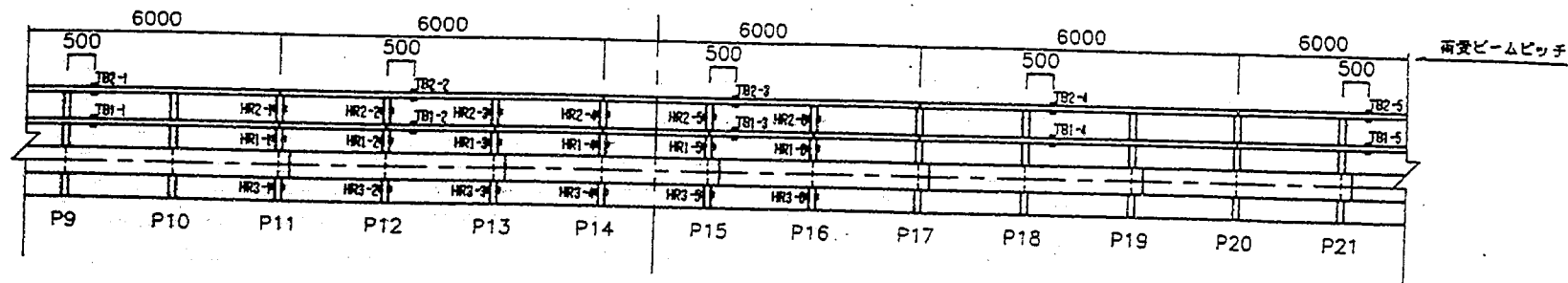


図-4・3・1 保護路肩断面図

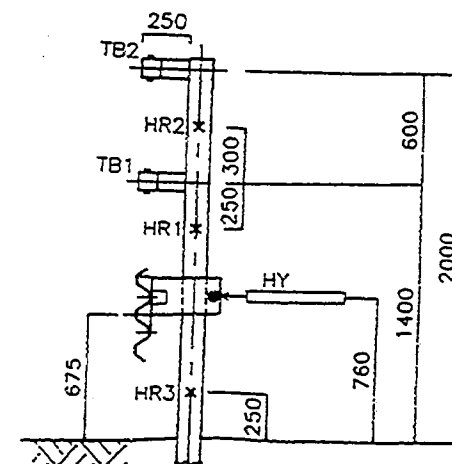


供試体の配置を図-4・3・3に計測位置を図-4・3・4に示す。





支柱断面図 S=1/30



計測数量および計測位置

測定項目		記号	測定位置	箇所数	備 考
トリビーム	張力	T	B10.12.14.16.18.20	6	ビーム裏面中立軸
荷受ビーム (張力)	荷上	T B 2	B9.12.15.18.21	5	ビーム上下面
	荷下	T B 1	〃	5	〃
支 柱 (せん断力)	荷上	H R 2	P11.12.13.14.15.16	6	支柱両側面
	荷下	H R 1	〃	6	〃
	ト/B下	H R 3	〃	6	〃
支柱変位		H Y	P11.12.13.14.15.16	6	棒状変位計

4. 3. 5. 実験結果および考察

車両は衝突後、大きく左側に傾き右前後輪ともに浮き上がったが、横転や防護柵突破等はなく、防護柵に沿って円滑に誘導され離脱した。衝突後の車両は自力走行可能であった。

実験結果を表-4・3・2に示す。

表-4・3・2 荷受け2段型鋼製防護柵〔実験3〕 結果一覧表

実 験 日				1993. 3. 11	許 容 値
実 験 番 号				3	
衝突条件	車 両 重 量 (t)			20	—
	衝 突 速 度 (km/h)			80.0	—
	衝 突 角 度 (°)			20	—
	衝 撃 度 (t・m)			58.9 [577kJ]	—
離 脱 速 度 (km/h)				— (計測不能)	75 以上
離 脱 角 度 (°)				6.0	9 以内
接 触 長 (m)				28.01 (全接触長)	—
防護柵最大変位	支	直角(Y)方向最大変位(mm)		981 (P16:GL+760)	—
		残 留	直角(Y)方向 (mm)	1100 (P15:主 ^t -A中心)	—
	柱		延長(X)方向 (mm)	124 (P6:支柱頂部)	—
		Y方向ビーム残留変位 (mm)		1100 (P15)	—
最 大 進 入 行 程 (mm)				990(P15)	1,100 以内
車両最大傾斜角(°)		前 端		30	—
		後 端		48	—
支 柱 最 大 水 平 力 (t)				22.8 [223kN](P15)	—
ビ ー ム 最 大 張 力 (t)				39.3 [385kN](荷受け上)	34.2 [335kN]
加速 度	車 両 重 心	50 msec 値	進行(X)方向 (g)	1.3	25
			直角(Y)方向 (g)	4.6	15
			垂直(Z)方向 (g)	—	—
			合 成 (g)	4.7	25
H I C 値	運 転 席 ダ ミ ー			7.3	1,000
	助 手 席 ダ ミ ー			18.9	1,000

1) 車両誘導性

車両は、速度80.0km/h、角度20度で防護柵に衝突した。車両の左フェンダー部が衝突した際に車体が防護柵方向に小さく傾き、方向転換をはじめた。その後右前後輪が次第に大きく浮き上がり、車体が更に大きく傾いた。そして、車両の傾きを復元しながら角度6で離脱した。

車両の最大傾斜角は、前端部が30度、後端が48度、車両重心位置で39度であった。また、車両の最大浮き上がり量は、右前輪で114cm、右後輪で143cmであった。なお、離脱速度は車輪が浮き上がったため計測不能であったが、高速写真から算定すると約63km/hで、減速率は21%(1-63/80)となり、参考許容値内であったと推測される。離脱角度6度については、参考基準値内であった。

車両の軌跡を図-4・3・5に示す

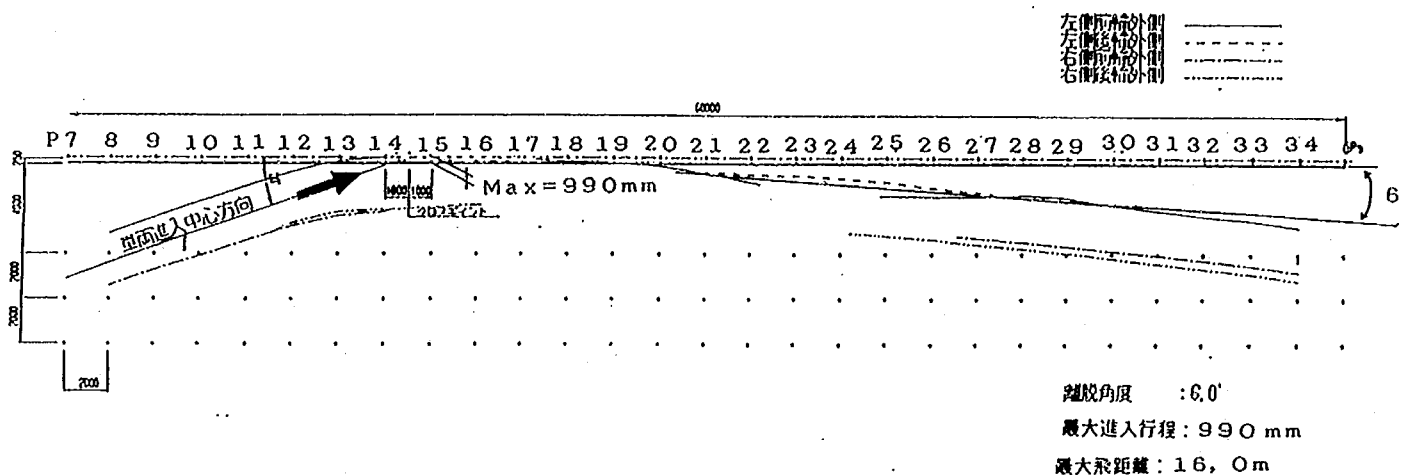


図-4・3・5 車両の軌跡

2) 防護柵強度

(1) 主ビーム

主ビームの最大発生張力は、B12で23.77tであった。この値は主ビームの引張耐力値 $64t(2500kg/cm^2 \times 31.2cm^2 \times 0.82)$ 以下であり、強度的には問題はないと考えられる。

(2) 荷受けビーム

上段ビームの最大発生張力は、B15で39.31tであった。この値は、荷受けビームの引張耐力値の $34t(2500kg/cm^2 \times 16.67cm^2 \times 0.82)$ を約16%上回る値であるが、局部変形であり、破断している箇所も無く、破断強度 $56t(4100kg/cm^2 \times 16.67cm^2 \times 0.82)$ に至っていないことから問題はないと考えられる。

(3) 支柱

支柱に発生した最大水平力は、P13で12.69tであり、合計最大水平力は34.93t(6本 Σ P12~P16H R)であった。また、支柱は破断していないことから、強度的には問題はないと考えられる。

(4) ブラケット

ブラケットに関しては、大きな損傷は無く、ブロックアウト量250mmを確保できたと考えられる。

表-4・3・3 支柱の最大変位量 (GL+760mm)

支柱番号	P11	P12	P13	P14	P15	P16
変位量(mm)	473	713	893	937	935	981

表-4・3・4 各支柱の最大水平力(主ビーム位置)

支 柱 番 号	P11	P12	P13	P14	P15	P16
最大水平力(t)	3.4	15.7	19.4	16.5	22.8	12.9

表-4・3・5 各ビームに作用した最大張力

ビーム番号		B9	B10	B12	B14	B15	B16	B18	B20	B21
最大張力(t)	主ビーム	-	8.8	23.8	8.5	-	19.8	10.9	9.6	-
	荷受け(下)	3.4	-	4.9	-	3.4	-	2.6	-	3.3
	荷受け(上)	11.5	-	20.7	-	39.3	-	20.7	-	14.6

3) 防護柵損傷状況

車両と防護柵の接触長は、主ビームがP11~P19の20.75m、荷受けビーム上段はP11~P24の28.01m、荷受けビーム下段でP11~P20の16.99mであった。(車両全接触長28.01m)

防護柵の残留変形は、主ビーム部でP8~P29の約42m間で生じた。(柵直角・柵平行各方向1cm以上の残留変形について)

車両の接触跡を図-4・3・6、防護柵残留変形を図-4・3・7に示す。

(1) 支柱

支柱最大変位は、車両後輪衝突時にP16のGL+750mmの位置で981mmであった。

柵直角方向の最大残留変位量はP15の主ビーム位置(GL+0.76m)で1,100mm、柵平行方向の最大残留変位量はP6で124mmであった。

左前輪の接触跡がある支柱が1本あり、埋め込み部で”く”の字曲がり12本(P10~22:平均深さGL-190mm)があったが、その他のへこみ、変形等は無かった。

最大引き抜け量は、180mm(P18)であった。

(2) ビーム

ビームの最大残留変位はP15, 16で生じ、柵直角方向に荷受け上段部(GL+2000mm)で1,861mmであった。主ビームや上下段荷受けビームに変形はあるものの、破断などは認められなかった。

(3) ブラケット

主ビームや上下段荷受けビームのブラケットに変形は無かった。

(4) ボルトおよび接合部

また、ビームに発生した張力により接合部にずれが生じたが、その最大量は主ビームのP11で6mm、荷受けビーム上段のP14で16mm、荷受け下段のP11で14mmであった。主ビーム及び上下段荷受けビームの取り付け部の大きな損傷は無い。(図-4・3・8)

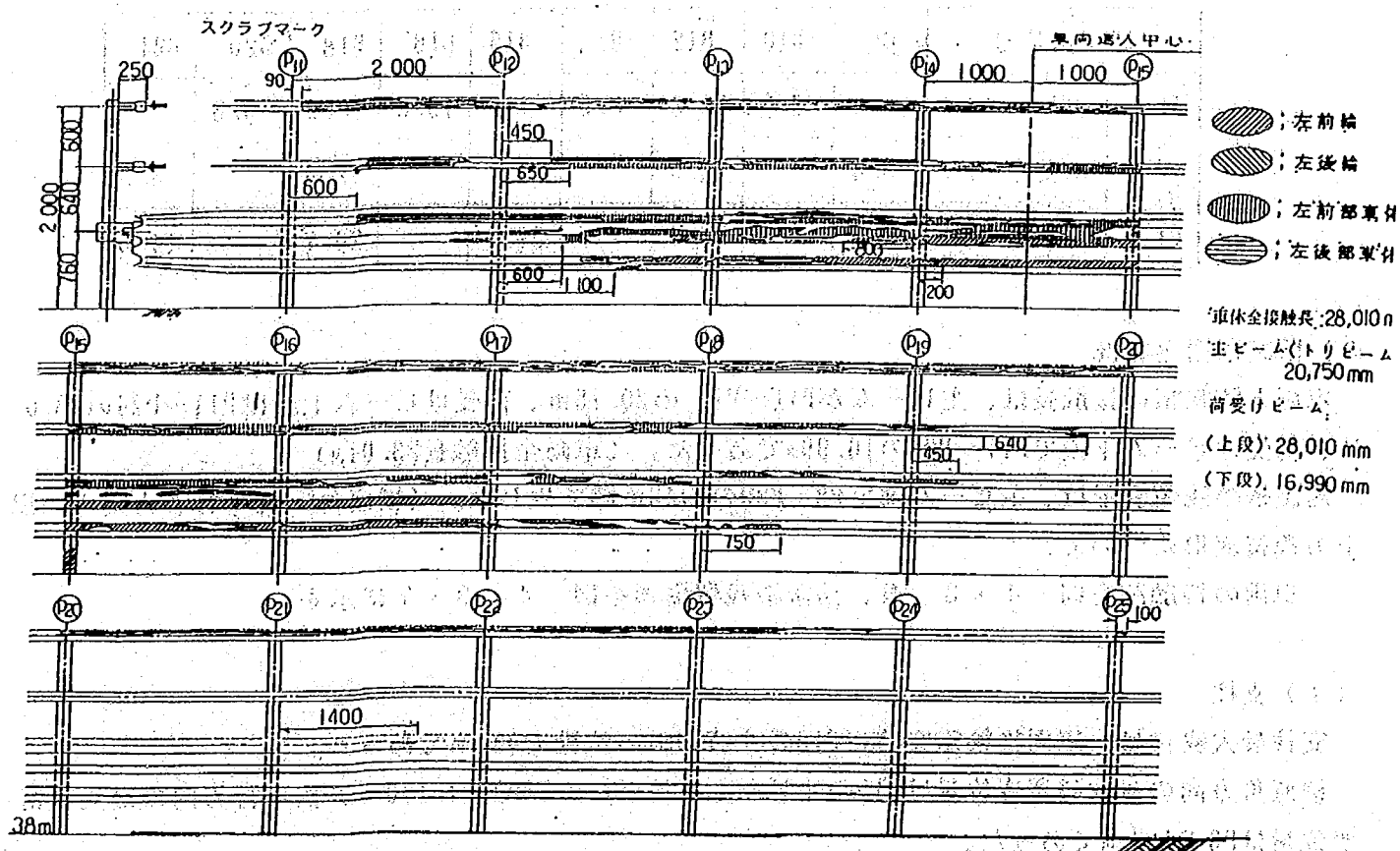
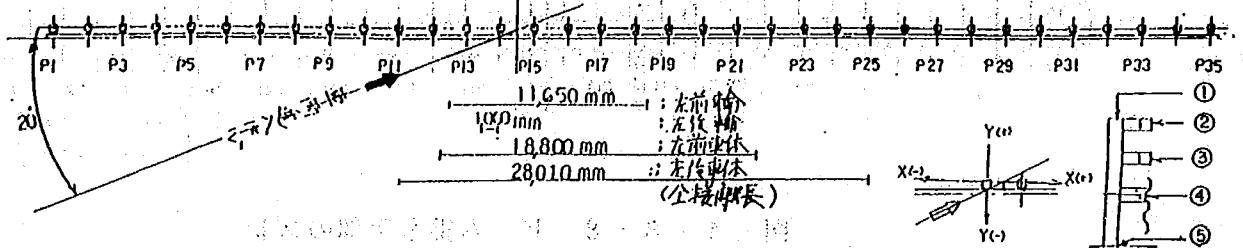
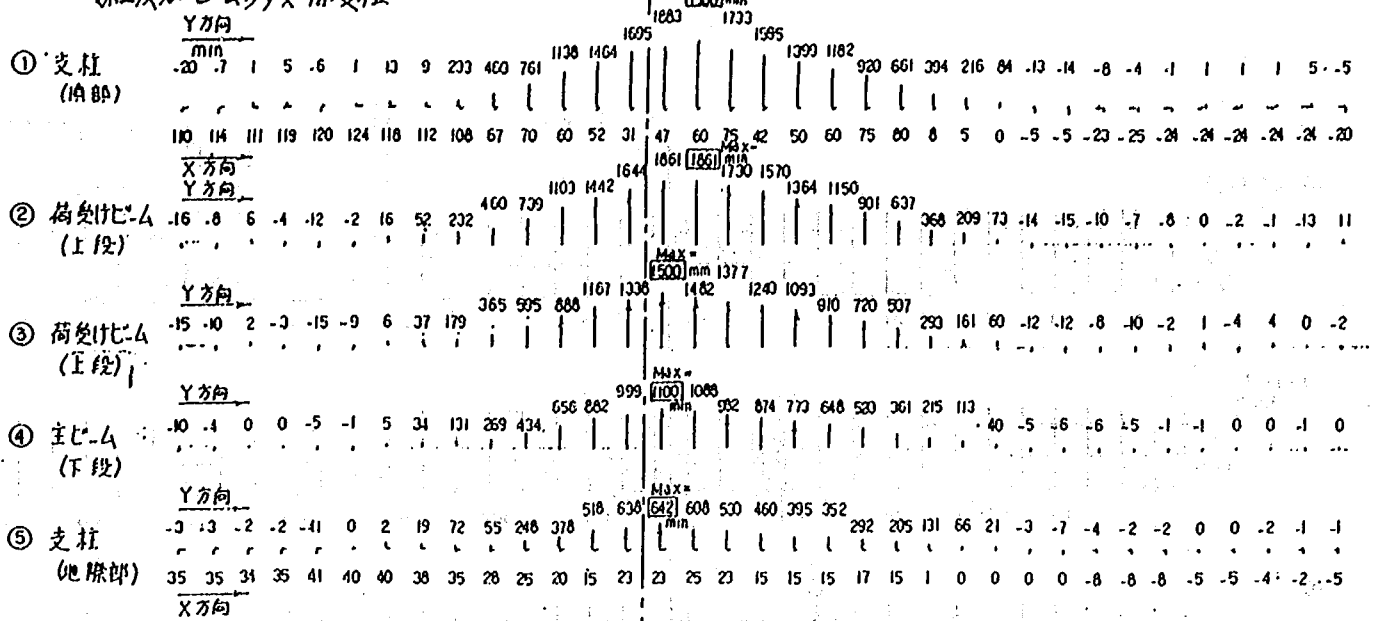


図-4・3・6 車両の接触跡

防護柵の残留変位
主ビームの残留変位



支柱の残留変位
(Z方向) : 上下

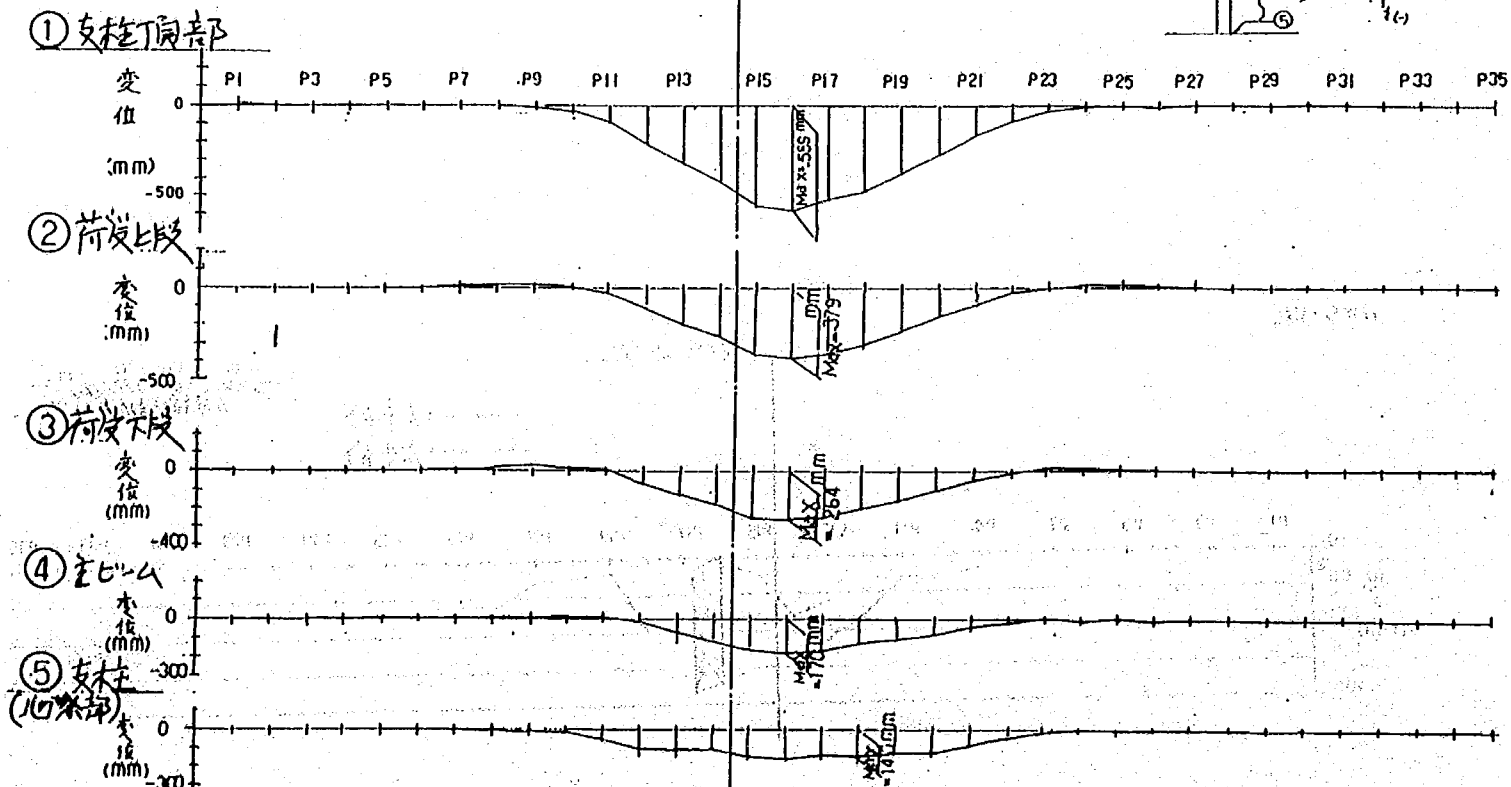


図-4・3・7 防護柵の残留変形

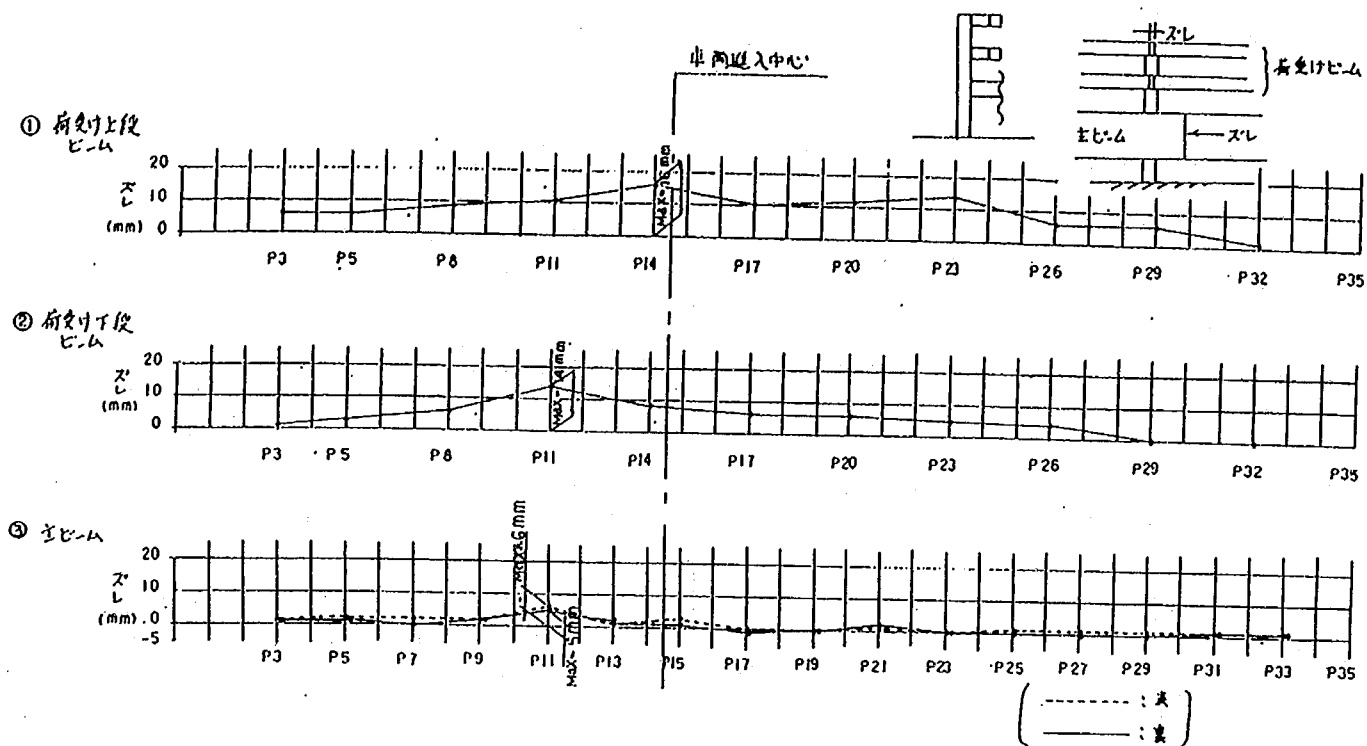


図-4・3・8 ビーム継ぎ手部のズレ

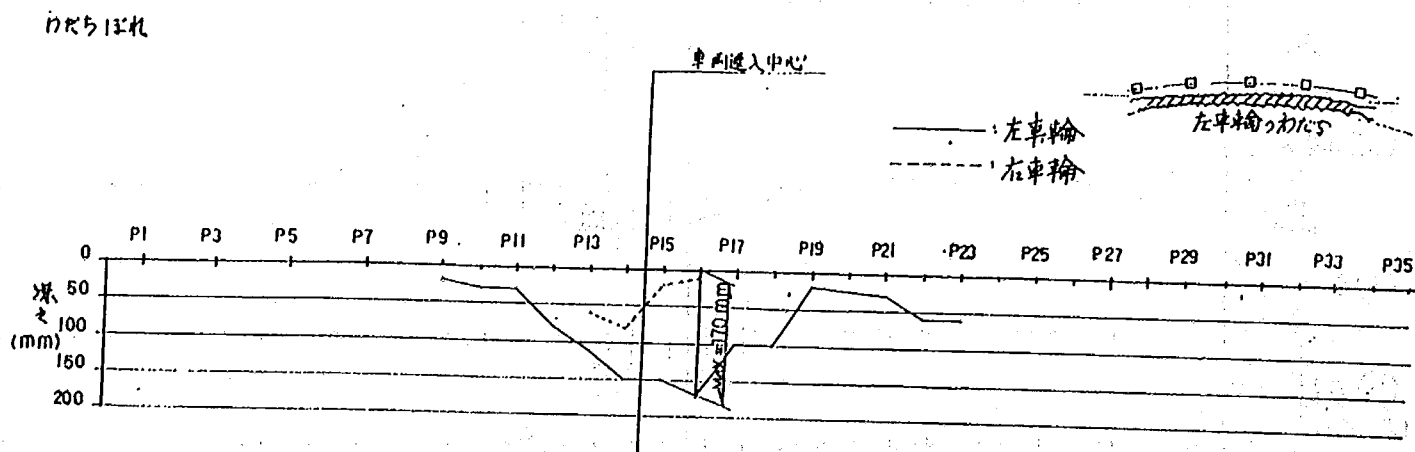


図-4・3・9 実験地盤のわだち掘れ

4) 車両損傷状況

左前バンパーとフェンダーが約22cmへこみ、左パネル部の地表面高さ1.85m部に荷受け上段ビームによるへこみが生じた。

左前輪のステップが全損し、同取り付けボルトナットの頭部に切削痕が認められたが、前後輪のバースト、ホイールの変形等は生じなかった。

左前輪が後方に3cm移動したものの、自力走行は可能であった。(写真-4・3・7~9)

5) 乗員の安全性

助手席側方の窓ガラスが破損したが、乗員の生存空間は十分確保されていた。また、車両重心加速度、ダーミーのHIC値ともに参考許容値内にあり、衝突により乗員に与える影響は少ないと考えられる。表-4・3・6に衝突時に発生した各測定箇所の最大加速度を示す。

表-4・3・6 衝突時の各最大加速度(RAMカード収録)

測定箇所 \ 測定成分		車両進行方向(G)	車両直角方向(G)	車両上方向(G)	合成値(G)	HIC値
車両重心加速度	原波形	3.6	15.3	-3.2	15.3	
	50ms値	1.3	4.6	—	4.7	
運転席ダミー	頭部加速度	-4.7	4.7	—	5.1	7.3
助手席ダミー	頭部加速度	6.9	22.7	—	23.7	18.9

6) 考察

今回の実験結果より、衝突車両は路外逸脱や横転もなく、離脱状況も良好であり、車両の最大進入行程も990mmと参考許容値内であった。防護柵部材の強度については、各部材の損傷状況や変位量より判断して、問題はないと考えられる。また、乗員の安全性に関しても、車両重心加速度、ダミー頭部のHIC値および車室内の損傷状況などから判断して十分確保されていたと考えられる。以上のことより、荷受け2段型鋼製防護柵は今回の衝突条件に関して、防護柵機能を十分発揮できたといえる。

しかし、最大進入行程が990mmとほぼ参考許容値近くになっていることや、車両重心位置の傾斜角が39度とかなり傾いていたことより、今回実験した衝撃度の58.9t・mが限界衝突条件だと考えられる。

実験結果に基づき誘導性、安全性、強度の項目に分けて以下に考察を述べる。

① 車両の誘導性

衝突車両は、防護柵を乗り越えたり、路外への転倒やビーム破断による突破などもなく、最大進入行程及び防護柵の最大変位量はそれぞれ990mm、981mmであり、要綱規定の1.1m以下であった。

また、衝突後右後輪が1.43m浮き上がり、防護柵側に重心位置で39°傾いたが、その後車輪は着地し防護柵から離脱した。離脱角度は6°、離脱速度は63km/h(ビデオより判読)であり、基準値を満足しており、後続車の追突などの二次災害が発生する可能性は小さいと考えられる。

②車両及び乗員の安全性

車両重心の加速度およびダミー頭部のHIC値は、いずれも参考許容値内であり、また、車室内の変形が少なかったことから、乗員の安全性は確保されていたと考えられる。

車両は、左前バンパーやフェンダーが凹み、左荷台パッド部が荷受けビームにより凹んだが、荷物の飛び出しもなく自力走行が可能な状態で離脱した。

荷受け2段型コンクリート直壁の実験では、荷受け上段部が助手席のガラスに直接衝突し、乗員の安全性が懸念されたが、2段型鋼製防護柵の場合、柵全体が滑らかに変形するため、ガラスに直接衝突することはない、荷受けビームが安全性を阻害するという問題は発生しなかった。

③防護柵強度

衝突により、支柱は大きく塑性変形し（主ビームで最大882mm）、最大水平力は12.69t発生したが（静的載荷試験の支持力は6t）、防護柵の機能を損なうほどのものでなくこの衝突条件に対しては強度的に問題はないと考えられる。

荷受け2段の各ビームに発生した最大張力は許容張力34tに対して、上段ビームで39t、下段ビームで5t発生しており、上下段ビームの差が大きく、上段ビームは許容張力を超えていた。主ビーム（3山ビーム）は許容張力64tに対して、最大張力24t程度であった。以上のビーム発生最大張力結果より、今回の防護柵構造は、衝突車両を誘導出来る構造であったが、更に適切なビーム部材の選定や配置が有ると考えられる。衝突時のビーム波形を図-4・3・10に示す。

鋼製荷受け2段型ビーム(B18)張力波形

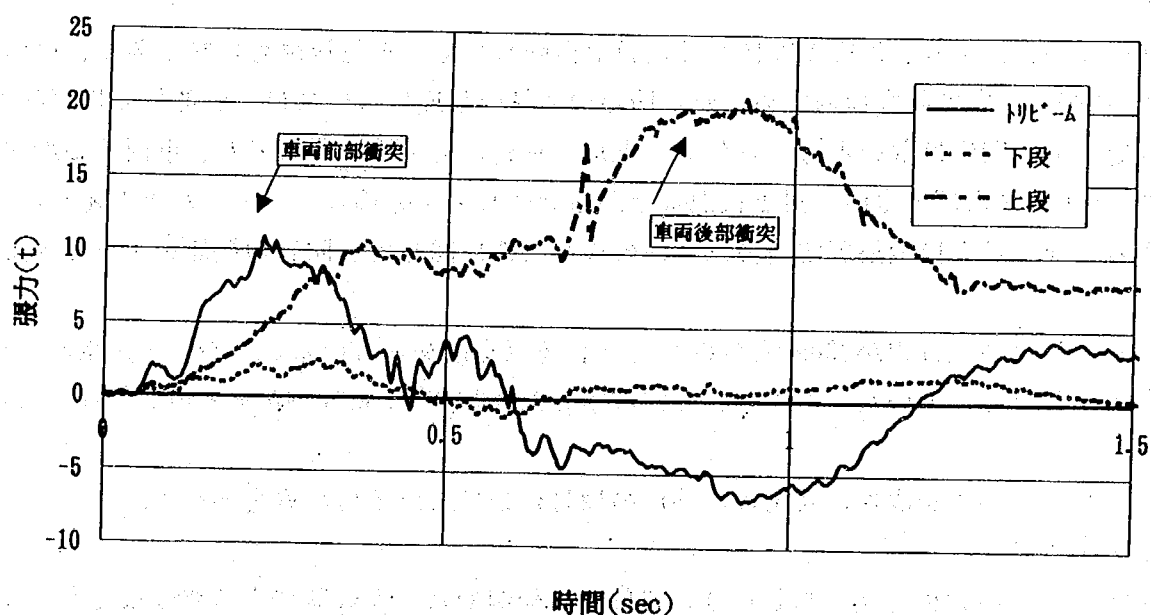


図-4・3・10 鋼製荷受け2段型防護柵の（主、上段、下段）ビーム張力波形

4. 3. 6. 今後の課題

今後の課題について以下に述べる。

1) 構造上の問題点

今回の実験では、上段の荷受けビームの発生最大張力は39.1tで荷受けビーム引張耐力34tを超えていたのに対して、下段の荷受けビームの発生最大張力は4.94tであった。また、主ビームの発生最大張力は23.77tで主ビーム引張耐力と比較して強度的に十分余裕のある結果となった。以上のように今回の構造体は、部材強度・部材配置が衝突車種や衝突条件に対して適切であったとは言えず、今後、今回の実験結果を参考に更に合理的な構造を再検討する必要がある。

また、今回の衝突速度は、80km/hであったが、今後さらに高速度の衝突条件にも車両を良好に誘導する防護柵構造を検討する必要があると考えられる。

2) 施工性

今回実験に用いた構造は、土中に支柱を打ち込みその支柱に主、上下段ビームの計3本のビームを取り付けるものである。このため、支柱打ち込みには正確さが要求される。

また、荷受けビームの上段は地面から2.0mの高さにあり、従来の防護柵と比較して施工が困難になると考えられる。

このようなことから、施工性を考えた構造検討が必要だと考えられる。

3) 景観への配慮

荷受けビームの上段は、大型車両の運転席とほぼ同じ高さにあり、眺望性を妨げると考えられるので、上段ビームの位置を下げるような構造検討が必要である。

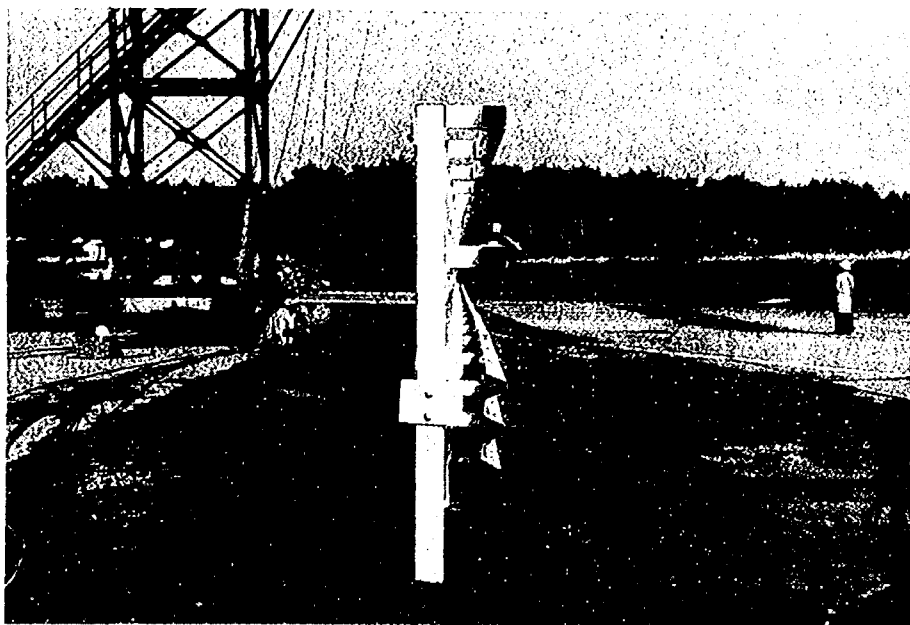


写真-4・3・1 供試体（荷受け2段型鋼製防護柵）

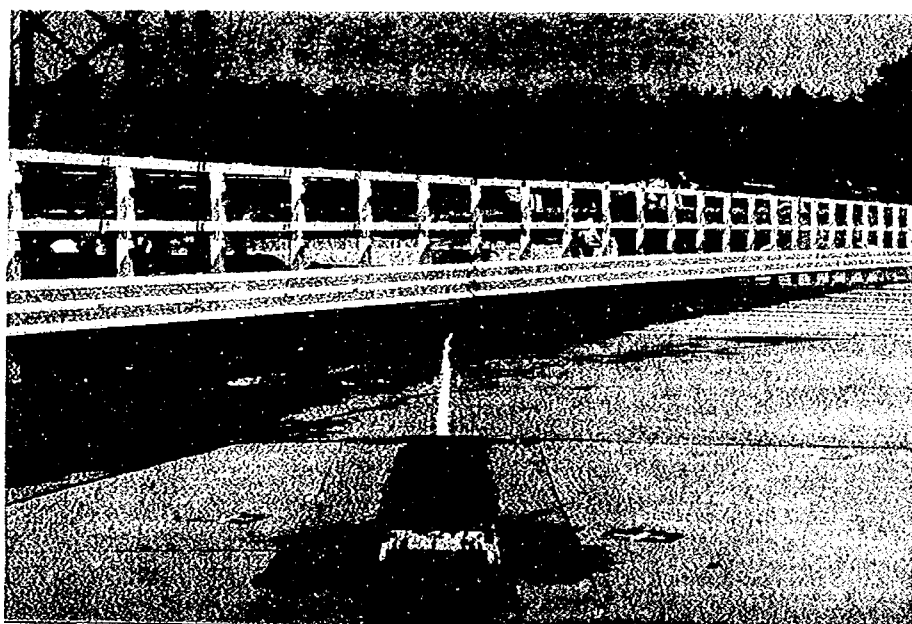


写真-4・3・2 供試体（荷受け2段型鋼製防護柵）



写真-4・3・3 衝突車両（大型貨物車ハ・ルハ・ンタ17）

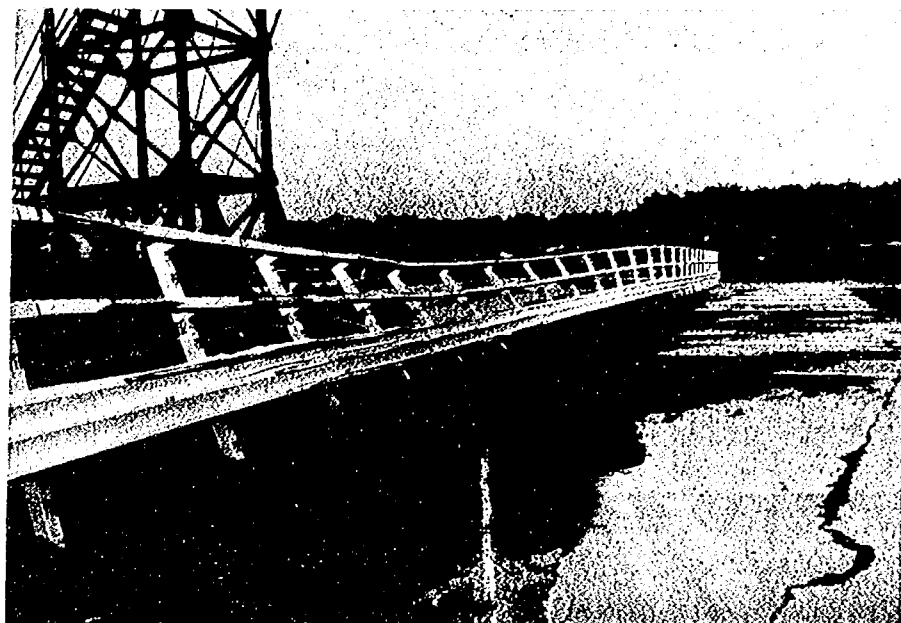


写真 - 4・3・4 衝突後の供試体

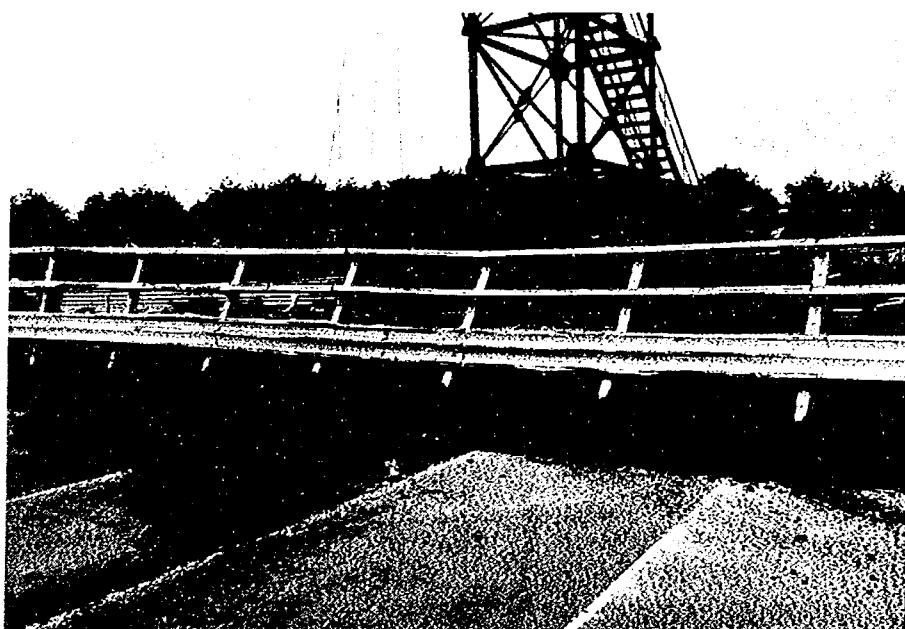


写真 - 4・3・5 衝突後の供試体

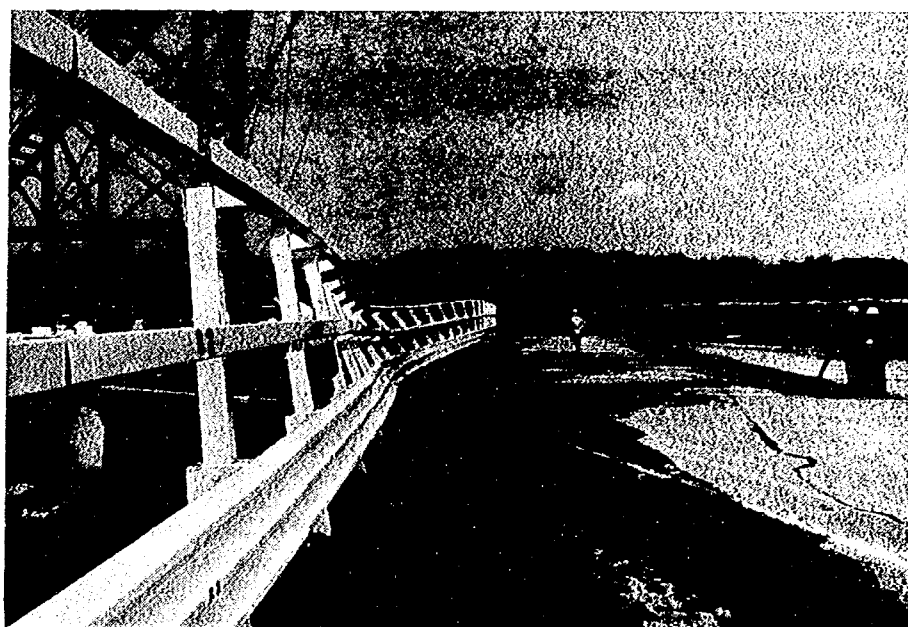


写真 - 4・3・6 衝突後の供試体

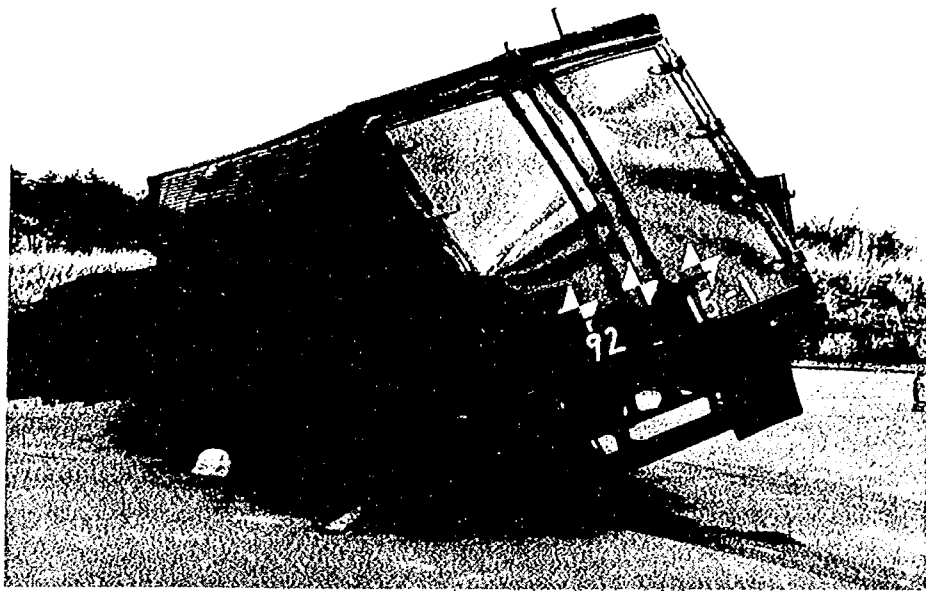


写真 - 4 ・ 3 ・ 7 衝突後の車両

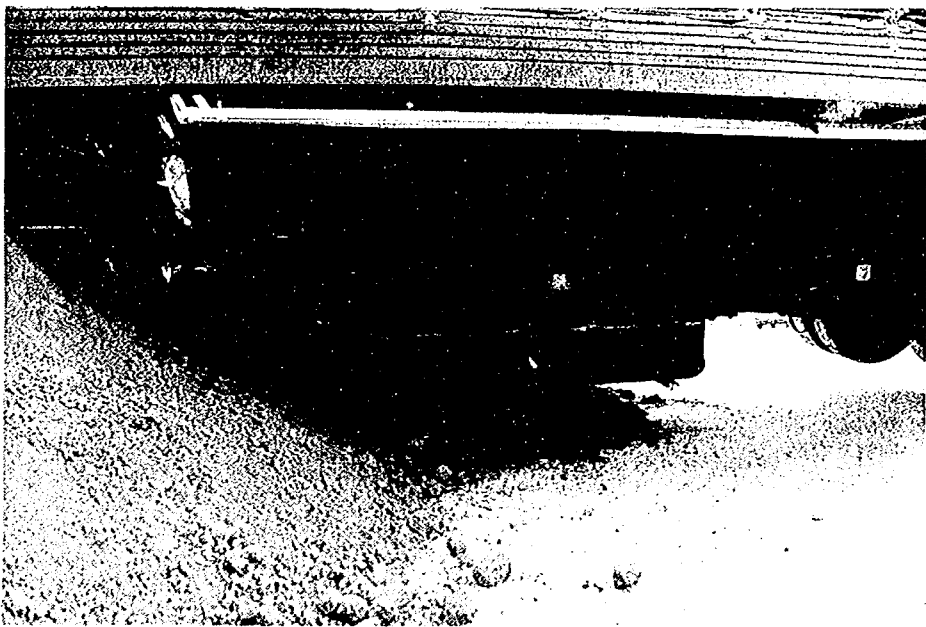


写真 - 4 ・ 3 ・ 8 衝突後の車両

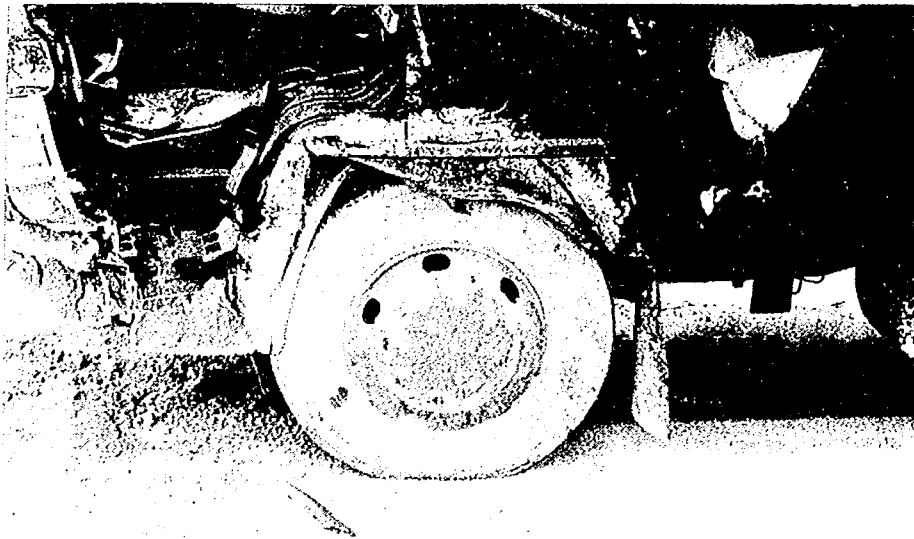


写真 - 4 ・ 3 ・ 9 衝突後の車両

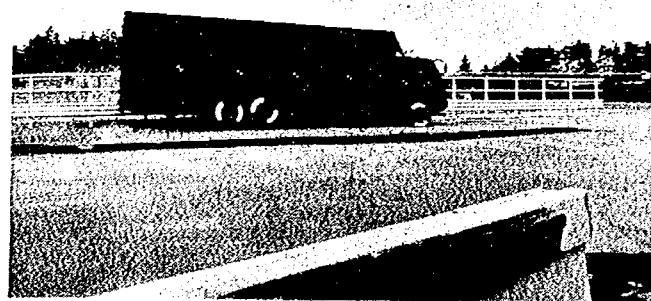
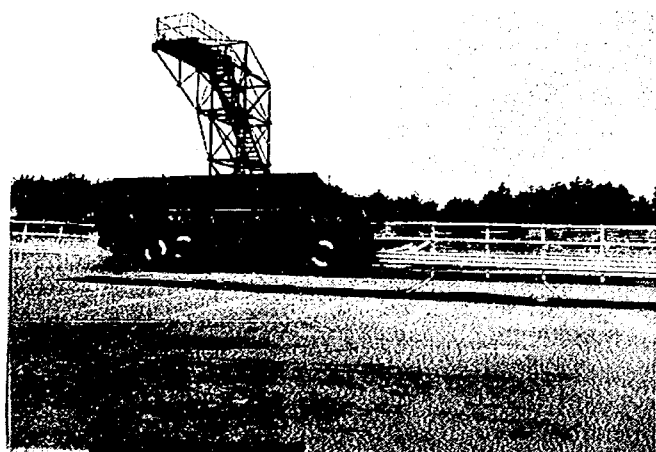
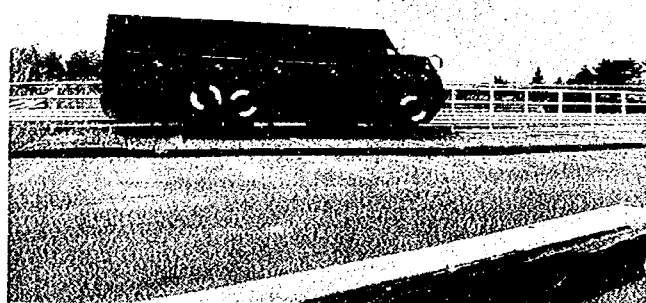
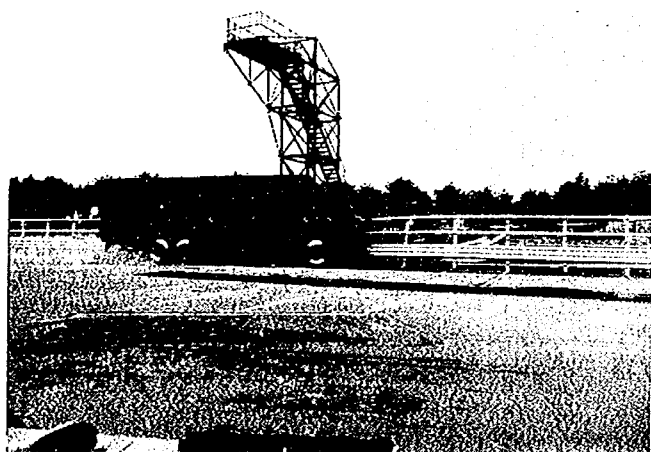
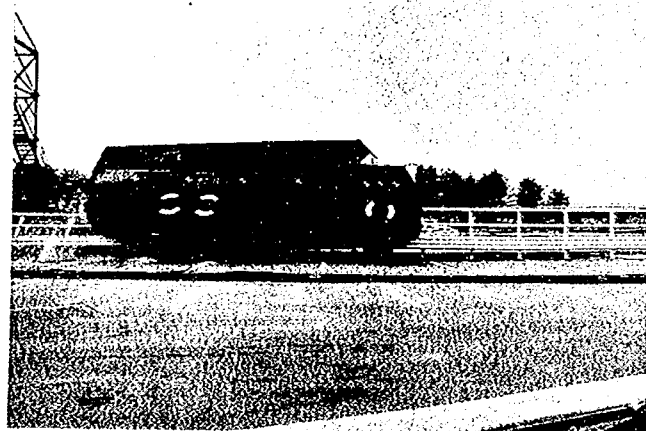
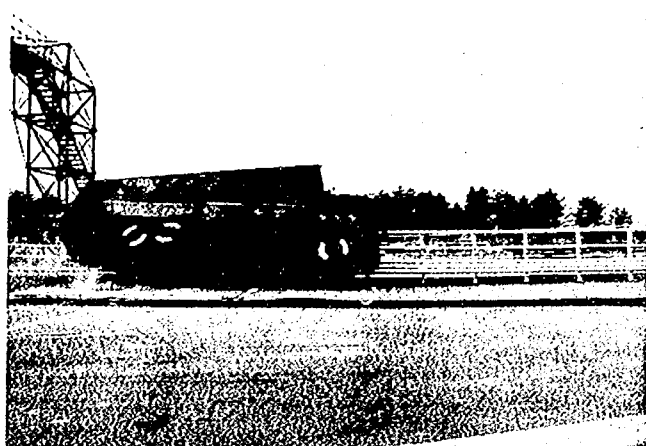
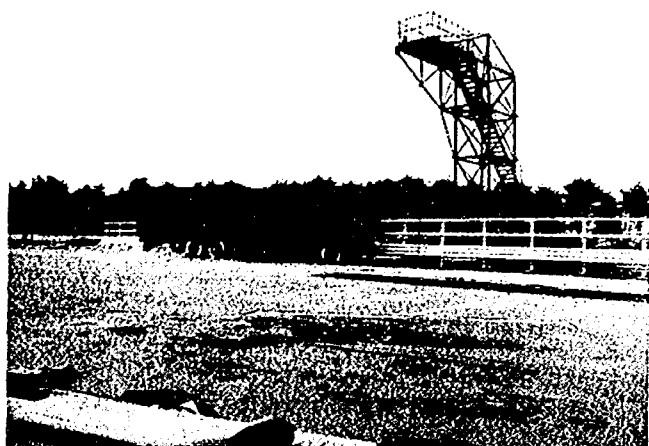


写真 - 4・3・10 衝突状況（荷受け2段型鋼製防護柵）

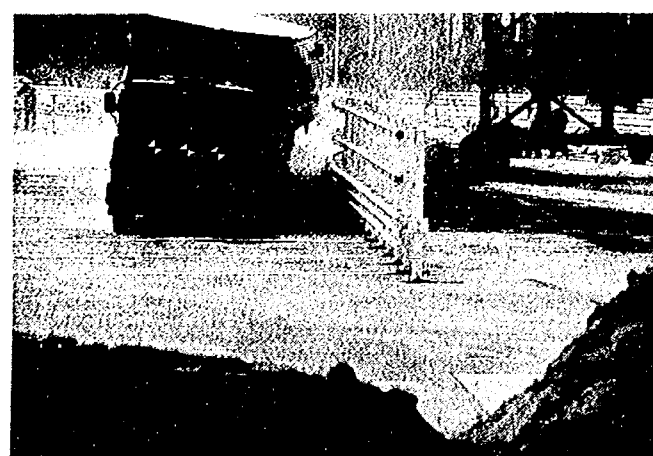
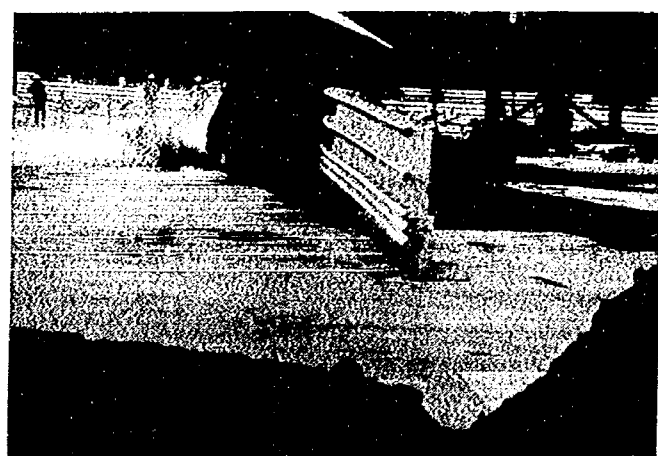
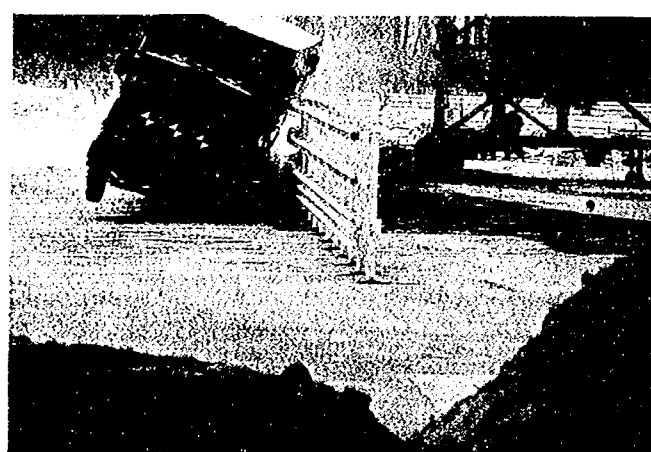
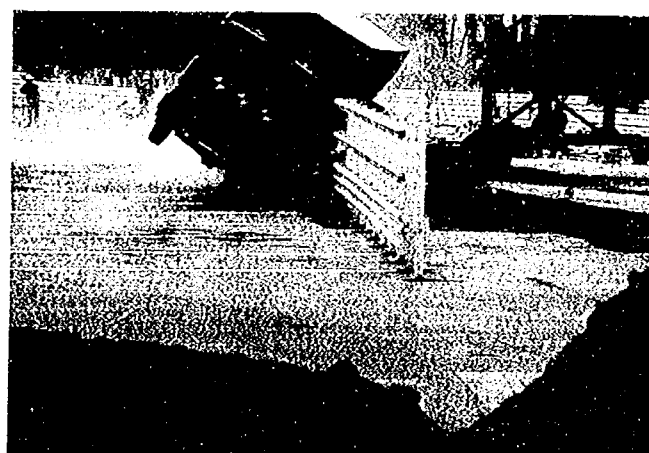
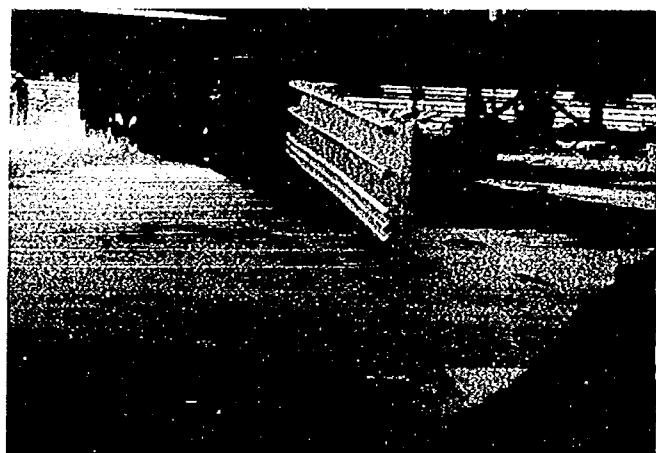
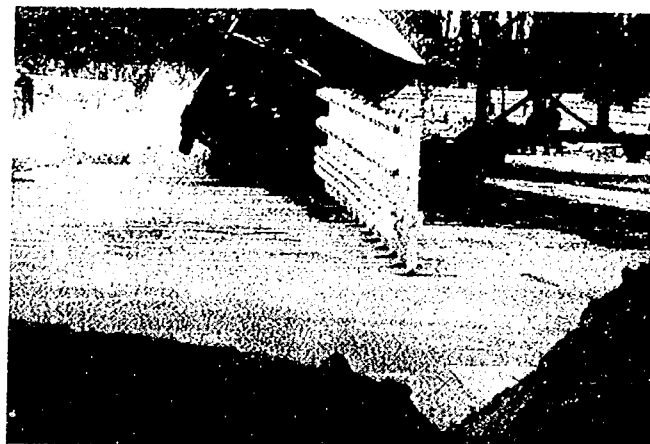
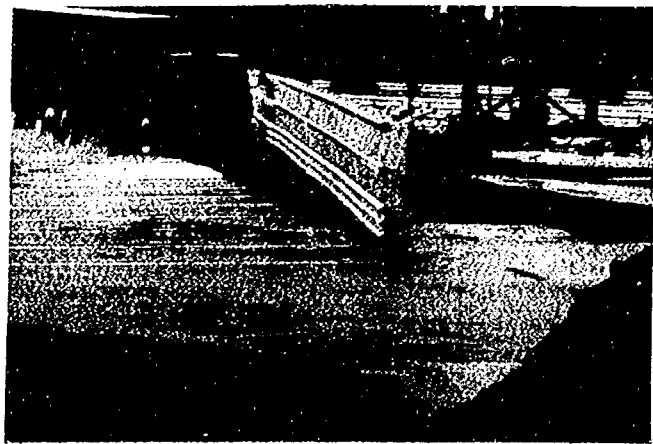


写真-4・3・11 衝突状況（荷受け2段型鋼製防護柵）

第5章 まとめ及び今後の課題

5. 1. 実験結果のまとめ

表-5・1・1に実験結果の一覧を表-5・1・2に実験結果の各項目についての評価をそれぞれ示す。

表-5・1・1 実験結果一覧表

防護柵名		荷受け1段型	荷受け2段型	荷受け2段型	許容値
柵高さ(m)		1.4	2.0	2.0	
下部構造		コンクリート直壁	コンクリート直壁	土中用鋼製防護柵	
高さ(m)		0.9	0.9	0.925	
実験日		1992.12.10	1993.1.13	1993.3.11	
衝突条件	車種	大型貨物車	大型パネルバス	大型パネルバス	—
	重心高さ(m)	1.3	1.8	1.8	
	車両重量(t)	20	20	20	—
	衝突速度(km/h)	99.4	98.6	80.0	—
	衝突角度(°)	20	20	20	—
	衝撃度(t・m)	92.1 [903kJ]	89.6 [878kJ]	58.9 [577kJ]	—
離脱速度 (km/h)		(計測不能)	(計測不能)	(計測不能)	75以上
離脱角度 (°)		1.6	5.0	6.0	9以内
接触長 (m)		21.32	21.04	28.01	—
車両最大傾斜角(°)	前端	14.8	54.1	20	—
	後端	58.5	57.3	48	—
車両重心50msec加速度値(g)	進行方向	12	-1.1	1.3	25
	直角方向	-28	-0.4	4.8	15
	垂直方向	—	—	—	—
	合成	28.7	-0.4	4.7	25
HIC値	運転席ダメージ	73.5	37.9	7.3	1,000
	助手席ダメージ	88.7	2275.2	18.9	1,000
車両誘導状況		誘導	路内横転	誘導	—
積載物の路外飛散		無し	無し	無し	—

表－５・１・２ 衝突実験の評価総括表

供試体名	車種	車両 重心 高さ	衝突条件	実験結果						
				車両 誘導性	積載物 の飛散 防止	防護柵強度			部材 配置	乗員、 車両の 安全性
						支柱	ヒーム	接合部		
荷受け１段 コンクリート直壁	大型 貨物 車両	1.3m	20t 100km/h 20°	○ 良好	○ 飛散 無し	× 破断	○	× 破損 外れ	○	○
荷受け２段 コンクリート直壁	高 重心 車両	1.8m	20t 100km/h 20°	△ 路内 横転	○ 飛散 無し	× 破断	○	○	△ ヒーム 余裕有	× 横転
荷受け２段 鋼製防護柵	高 重心 車両	1.8m	20t 80km/h 20°	○ 良好	○ 飛散 無し	○	○	○	△ ヒーム 余裕有	○

注) それぞれの記号は、各項目の以下の事項を示している。

○：合格

△：合格ではあるが、やや問題有り

×：不合格

以下に、各実験ごとの評価を示す。

5. 1. 1. 荷受け1段型コンクリート直壁

車両は良好に誘導し、荷台の積載物の路外飛散は防止できたことより、防護柵構造としては有効であると考えられる。しかし、今回の実験ではコンクリート壁に荷受け支柱を取り付ける方法として打ち込み式アンカーを用いたが、その取り付け部強度が不足していたため、コンクリート壁の剥離を伴い、荷受け支柱が取り外れた。このことから、剥離したコンクリート片が道路外へ落下し、交差近接する鉄道・道路・人家等へ大きな被害を与えることも考えられる。

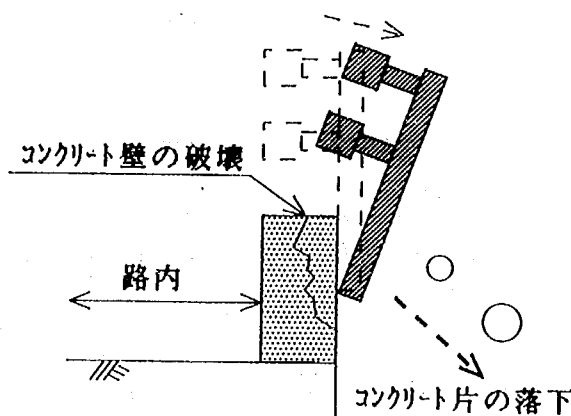


図-5・1・1 コンクリート片の路外飛散

5. 1. 2. 荷受け2段型コンクリート直壁

車両は衝突後、路内横転したことから、同一車線内を走行中の後続車両が追突するという可能性はあるが、車両本体や荷台等は路外へ逸脱しなかったことより交差近接する鉄道、道路、人家などへの被害は防止できると考えられる。

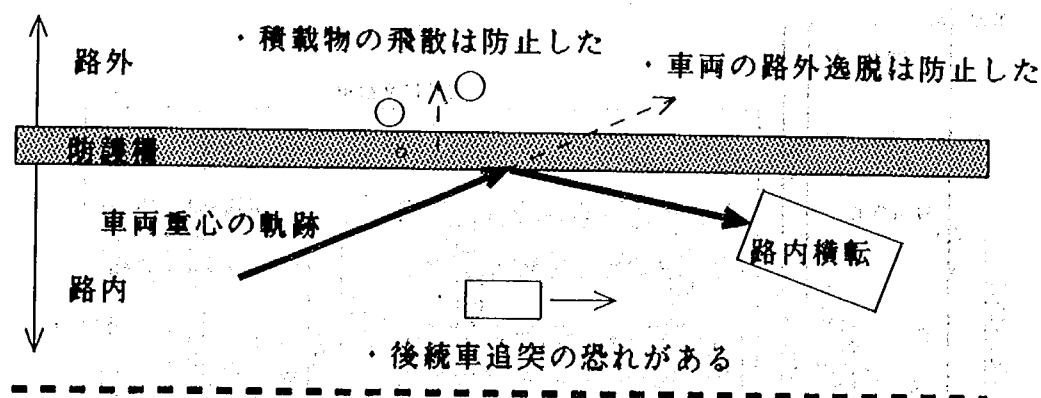


図-5・1・2 荷受け2段型コンクリート壁実験結果

5. 1. 3. 荷受け2段型鋼製防護柵

実験結果より判断すると、荷受け2段型鋼製防護柵は車両誘導性、防護柵強度、車両及び乗員の安全性等の防護柵機能を十分有していたと考えられる。

また、今回のビーム張り出し量は250mmであったが、高速化対応型防護柵と同様の450mmであれば、タイヤの支柱踏みつけによる支柱支持力低下や柵高さの低下は防止でき、衝突条件20t, 100km/h, 20°に対しても防護柵機能を十分発揮できると考えられる。

5. 2. 荷受け型防護柵構造

5. 2. 1. 大型貨物車用

今回の実験により、大型貨物車の路外逸脱や積載物の飛散を防止するためには、高さ約1.4mの位置に荷受け部材を設置することが有効であると確認された。図-5・2・1に荷受け1段型柵と実験で用いた大型貨物車の位置関係を示す。

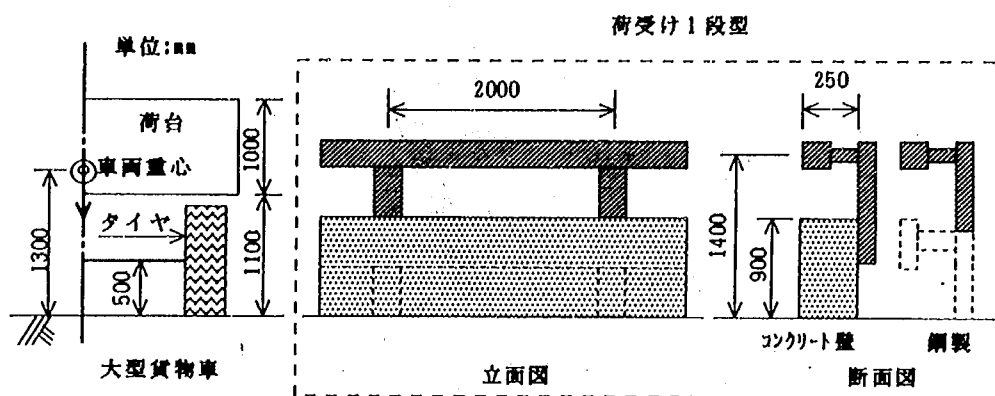


図-5・2・1 荷受け1段型柵の構造

5. 2. 2. 高重心車両用

今回の実験により、高重心車両の路外逸脱や積載物の飛散を防止するためには、高さ約2.0mの位置に荷受け部材を設置することが有効であると確認された。図-5・2・2に荷受け2段型柵と実験で用いたパネルバンの位置関係を示す。

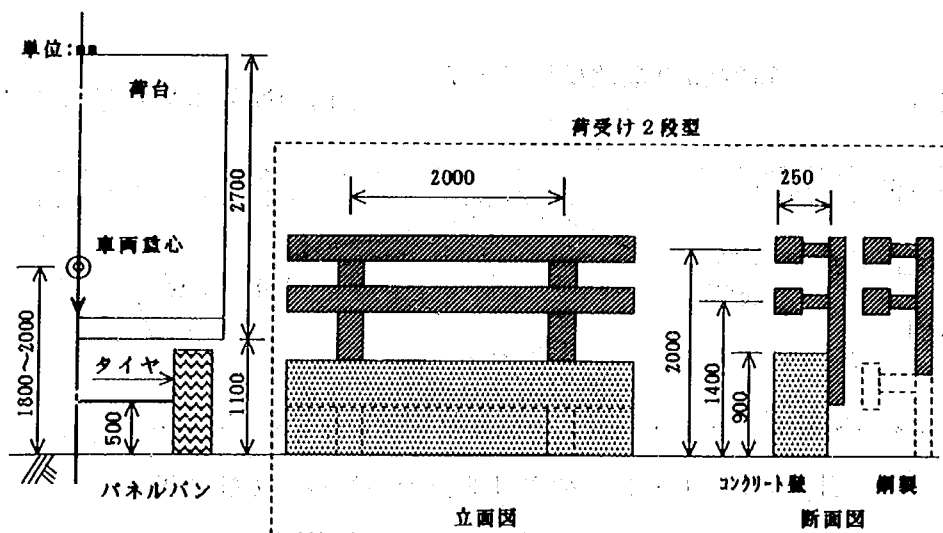


図-5・2・2 荷受け2段型柵の構造

5. 3. 今後の問題点

車両タイプ別にそれぞれの想定した構造の有効性は、車両の路外逸脱や積載物飛散を防止した実験結果より確認できた。しかし、下部構造の違いにより、それぞれの実験について問題があると考えられる。以上のことから、今後の問題点を下部構造のタイプ別に以下に示す。

5. 3. 1. 荷受け型コンクリート直壁

1) 支柱定着部

荷受け1段型防護柵では、荷受け支柱の取り付け方法をアンカー方式としたが、衝突により定着部が引き抜けてしまい、荷台の慣性力に対する抵抗力が得られなかった。この結果を参考に荷受け2段型では、貫通ボルト方式で実験を行いボルトの引き抜けは防止できた。

支柱からの力をコンクリート壁に伝えるため、定着部は貫通ボルト方式のような接合がよいと考えられるが、既存のコンクリート壁に荷受け部材を取り付ける場合、貫通ボルト方式では施工が困難なときもあると考えられ、施工性を考慮した取り付け方法を考案する必要がある。

2) 支柱強度

支柱は、荷受け1、2段型ともに支柱取り付け基部で破断した箇所があり、特に荷受け2段型では車両後部衝突時に支柱強度が不足し、車両は大きく傾き、横転という結果となった。このことより、衝突荷重に抵抗できるだけの強度をもつ支柱を採用する必要がある。

3) 部材配置

荷受けビームの高さが乗員の座席ガラス部高さとはほぼ同じであったことから(図-4・2・11参照)、衝突初期に助手席窓ガラスを破壊し、乗員の安全性を侵す結果となった。また、支柱に大きな力が発生し支柱が大きく傾いたのはコンクリート壁と荷受けビームが同一平面位置であったことも理由に上げられる。以上のことより、乗員の安全性を考慮した適正な部材配置を今後検討していくことが必要であると考えられる。

4) 全体の強度バランス

荷受け2段型は、貫通方式でコンクリート壁に支柱を取り付け、支柱耐力の限界までコンクリート壁に力が伝達されたと考えられる。その結果、コンクリート壁外観には大きなクラック等の破損は確認できなかったものの、壁内部には許容値を超えるひずみが発生した。

荷受け2段型の横転の原因である支柱の傾きを抑えるため、コンクリート壁に断面剛性の大きい部材を強固に取り付けると、コンクリート壁や床版を破壊する可能性がある。コンクリート壁や床版が破壊してしまうと、補修するための時間や費用が掛かり荷受け部材を補修するより不経済であると考えられる。

以上のことより、想定する衝突エネルギー、車両特性、荷受け部材の強度、コンクリート壁の強度等を考慮し、コンクリート壁や床版の破壊がなく、フレキシブルな荷受け部材の変形により衝突車両を誘導できるバランスの良い構造を考案する必要があると考えられる。

5. 3. 2. 荷受け型鋼製防護柵

1) 各部材強度バランス

今回の実験に用いた荷受け 2 段型鋼製防護柵の構造は、パネルバン車両の衝突時に発生した力から判断すると、部材強度に余裕のある部分やそうでない部分があり、主ビームや上下段の荷受けビームが有効にその機能を発揮できたとは言えない。(表-5・3・1 参照)

以上のことより、今後、部材強度や部材配置等の再検討を行い、より効果的な構造を見いだす必要があると考えられる。

表-5・3・1 各ビームの耐力と発生最大張力

	①最大張力(t)	②耐力(t)	①/②(%)
主ビーム(3山ビーム)	23.8	64	37
下段荷受けビーム	4.9	34	14
上段荷受けビーム	39.3	34	116

2) 今後の高速化・大型化

今回の鋼製 2 段型の実験は、高重心車両が進行方向を誤った場合、車両の路外逸脱または積載物の多くが飛散することにより重大な 2 次災害が発生すると予想され、更にコンクリート壁等の剛性防護柵の施工が困難な現場状況(基礎工や工期の問題)を想定し、そのような設置箇所での鋼製防護柵の対応を考え、実験を行った。

実験時の車両の誘導状況などから判断すると、今回実験に用いた構造体は、高重心車両 20t, 80km/h, 20° が衝突条件の限界であると予想される。下部構造の異なる(図-2・1・1を参照)荷受け型コンクリート直壁と比較して衝突速度が 20km/h 低く、同条件の 100km/h では横転または突破すると考えた理由としては、以下のことが挙げられる。

- ・支柱強度不足により防護柵の傾きが大きくなる。
- ・ビーム強度バランスが適正とはいえず、ビーム破断や局部変形が予想される。
- ・車両による支柱踏みつけで柵高さが低下する。

今後は、今回の実験結果を参考に部材の配置(設置高さ、部材配置)や部材強度(ビーム、支柱)などの再検討を行い、車両交通の高速化や大型化等を考え、衝突速度 100km/h や車両重量 25t 等の更に高いエネルギーでの高重心車両衝突に対応する荷受け型鋼製防護柵を開発する必要があると思われる。

あとがき

本研究報告書は、平成4年度に行われた高重心車両用防護柵の研究内容についてとりまとめたものである。車両の高速化・重量化・高重心化に対応する防護柵として設定した設計条件や高重心車両による衝突実験により、過去の衝突実験からは予想出来なかった荷台の衝撃力が発生し、高重心車両衝突におけるさまざまな問題点が明らかになった。

今後は引き続き詳細な検討を行うとともに、将来の高速化・重量化・高重心化に対応したより高い安全性を有する防護柵の開発を行っていく予定である。

最後に、本研究を進めていく上で、ご支援いただいた鋼製防護柵協会の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 「防護柵設置要綱」 社団法人日本道路協会 昭和47年10月
- 2) 「防護柵設置要綱・資料集」 社団法人日本道路協会 昭和61年7月
- 3) 「道路構造令の解説と運用」 社団法人日本道路協会 昭和58年2月
- 4) 「中央分離帯用防護柵に関する研究報告書」
社団法人日本道路協会 防護柵開発調査特別委員会 昭和60年6月
- 5) 「中央分離帯の構造に関する研究」 社団法人日本道路協会 昭和46年2月
- 6) 「急カーブ用防護柵の構造形式及び支柱補強に関する共同研究報告書」
建設省土木研究所、財団法人土木研究センター 共同研究報告書第41号 平成2年3月
- 7) 「高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書」
建設省土木研究所、日本道路公団、鋼製防護柵協会 共同研究報告書第94号 平成5年10月
- 8) 「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」
建設省土木研究所 土木研究所資料第574号 昭和47年3月
- 9) 「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」
建設省土木研究所 土木研究所資料第3047号 平成4年2月
- 10) 「防護柵衝突実験結果報告書」
建設省土木研究所 土木研究所資料第3108号 平成4年3月
- 11) 「防護柵の開発に関する研究」
建設省土木研究所 土木研究所資料第2450号 昭和62年2月
- 12) 「防護柵支柱の力学特性に関する研究」
建設省土木研究所 土木研究所資料第657号 昭和46年9月
- 13) 「積雪寒冷地における防護柵に関する研究報告書（その4、最終編）」
建設省土木研究所 土木研究所資料第2463号 昭和62年2月
- 14) 「欧州防護柵技術調査報告」 財団法人土木研究センター 平成元年3月
- 15) 「欧州道路安全施設調査報告書」 財団法人鋼材倶楽部 平成5年1月
- 16) 「設計要領」第4集 日本道路公団
- 17) 「1990年度版自動車諸元表」 自動車技術会 平成2年4月
- 18) LOCATION SELECTION, AND MAINTENANCE OF HIGHWAY TRAFFIC BARRIERS.
NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 118.
HIGHWAY RESEARCH BOARD. 1971
- 19) RECOMMENDED PROCEDURES FOR THE SAFETY PERFORMANCE EVALUATION OF HIGHWAY APPURTENANCE.
NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 230.
TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. 1981
- 20) FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARD NO. 208.
NATIONAL HIGHWAY SAFETY ADMINISTRATION. SEPTEMBER 1986

— 付 録 —

— 付 録 —

— 目次 —

付 1. 実験結果総括表	付 - 1
付 2. 車両の諸元一覧表	付 - 3
付 3. 荷受け 1 段型コンクリート直壁 [実験 1]	付 - 4
付 3. 1. 軌跡	付 - 4
付 3. 2. 車両接触跡	付 - 4
付 3. 3. 防護柵の残留変位関係	付 - 5
付 3. 3. 1. 支柱及びビームの残留変位(X, Y方向)	付 - 5
付 3. 3. 2. 支柱の残留変位(Z方向)	付 - 5
付 3. 3. 3. 支柱の傾斜角	付 - 6
付 3. 3. 4. ビームの開き	付 - 6
付 3. 4. 支柱路外方向(Y)の変位	付 - 7
付 3. 5. コンクリート壁のひずみ	付 - 8
付 3. 5. 1. 縦方向筋(B)	付 - 8
付 3. 5. 2. 縦方向筋(C)	付 - 10
付 3. 5. 3. 縦方向筋(D)	付 - 12
付 3. 5. 4. ハンチ筋	付 - 15
付 3. 5. 5. 横方向筋	付 - 16
付 3. 5. 6. コンクリート表面	付 - 18
付 3. 6. 支柱に作用した路外方向(Y)の水平力と合計	付 - 19
付 3. 7. アンカーボルトに作用した張力	付 - 21
付 3. 8. ビームに作用した張力	付 - 24
付 3. 9. 加速度波形	付 - 25
付 3. 10. 加速度波形の分析結果	付 - 27
付 3. 10. 1. 加速度波形分析結果一覧表	付 - 27
付 3. 10. 2. 車両重心加速度分析波形	付 - 28
付 3. 10. 3. 運転席ダミー(頭部)加速度分析波形	付 - 32
付 3. 10. 4. 助手席ダミー(頭部)加速度分析波形	付 - 33
付 3. 11. 高速度フィルムの解析結果	付 - 34
付 3. 11. 1. 車両重心と運転席位置	付 - 34
付 3. 11. 2. 運転席速度	付 - 35
付 3. 11. 3. 車両重心速度	付 - 36
付 3. 11. 4. 運転席加速度	付 - 37
付 3. 11. 5. 車両重心加速度	付 - 38
付 3. 11. 6. 車両の姿勢角、進行角、回転角速度	付 - 39
付 3. 12. 実験車の寸法と車検証	付 - 41
付 3. 13. ダミー頭部の感圧状況	付 - 42

付4. 荷受け2段型コンクリート直壁〔実験2〕	付-48
付4. 1. 軌跡	付-43
付4. 2. 車両接触跡	付-43
付4. 3. 防護欄の残留変位関係	付-44
付4. 3. 1. 支柱及びビームの残留変位(X, Y方向)	付-44
付4. 3. 2. 支柱の残留変位(Z方向)	付-44
付4. 3. 3. 支柱の傾斜角	付-45
付4. 3. 4. ビームの開き	付-45
付4. 4. 支柱路外方向(Y)の変位	付-46
付4. 5. コンクリート壁のひずみ	付-47
付4. 5. 1. 縦方向筋(B)	付-47
付4. 5. 2. 縦方向筋(C)	付-49
付4. 5. 3. 縦方向筋(D)	付-51
付4. 5. 4. ハンチ筋	付-53
付4. 5. 5. 横方向筋	付-54
付4. 5. 6. コンクリート表面	付-56
付4. 6. 支柱に作用した路外方向(Y)の水平力と合計	付-57
付4. 7. アンカーボルトに作用した張力	付-62
付4. 7. 1. アンカーボルトの引張試験結果	付-62
付4. 7. 2. アンカーボルトの張力波形	付-63
付4. 8. ビームに作用した張力	付-65
付4. 9. 加速度波形	付-67
付4. 10. 加速度波形の分析結果	付-69
付4. 10. 1. 加速度波形分析結果一覧表	付-69
付4. 10. 2. 車両重心加速度分析波形	付-70
付4. 10. 3. 運転席ダミー(頭部)加速度分析波形	付-74
付4. 10. 4. 助手席ダミー(頭部)加速度分析波形	付-75
付4. 11. 高速度フィルムの解析結果	付-76
付4. 11. 1. 車両重心と運転席位置	付-76
付4. 11. 2. 運転席速度	付-77
付4. 11. 3. 車両重心速度	付-78
付4. 11. 4. 運転席加速度	付-79
付4. 11. 5. 車両重心加速度	付-80
付4. 11. 6. 車両の姿勢角、進行角、回転角速度	付-81
付4. 12. 実験車の寸法と車検証	付-82
付4. 13. ダミー頭部の感圧状況	付-83

付5. 荷受け2段型鋼製防護柵 [実験8]	付-84
付5. 1. 軌跡	付-84
付5. 2. 車両接触跡	付-84
付5. 3. 防護柵の残留変位関係	付-85
付5. 3. 1. 支柱及びビームの残留変位(X, Y方向)	付-85
付5. 3. 2. 支柱の残留変位(Z方向)	付-85
付5. 3. 3. 支柱の傾斜角	付-86
付5. 3. 4. ビームの開き	付-87
付5. 3. 5. わだちぼれ	付-87
付5. 4. 支柱路外方向(Y)の変位	付-88
付5. 5. 支柱に作用した路外方向(Y)の水平力	付-89
付5. 5. 1. 支柱荷受け上段部の水平力波形	付-89
付5. 5. 2. 支柱荷受け下段部の水平力波形	付-90
付5. 5. 3. 支柱主ビーム(トリム部)の水平力波形	付-91
付5. 5. 4. 支柱荷受け上下段部の合計波形	付-92
付5. 5. 5. 支柱荷受け上下段、主ビームの合計波形	付-94
付5. 5. 6. 支柱P. 11~P. 16までの水平力合計波形	付-96
付5. 6. ビームに作用した張力	付-97
付5. 6. 1. 荷受けビーム上段に作用した張力	付-97
付5. 6. 2. 荷受けビーム下段に作用した張力	付-98
付5. 6. 3. 主ビームに作用した張力	付-99
付5. 7. 加速度波形	付-100
付5. 8. 加速度波形の分析結果	付-101
付5. 8. 1. 加速度波形分析結果一覧表	付-101
付5. 8. 2. 車両重心加速度分析結果	付-102
付5. 8. 3. 運転席ダミー(頭部)加速度分析波形	付-107
付5. 8. 4. 助手席ダミー(頭部)加速度分析波形	付-108
付5. 9. 高速度フィルムの解析結果	付-109
付5. 9. 1. 車両重心と運転席位置	付-109
付5. 9. 2. 運転席速度	付-110
付5. 9. 3. 車両重心速度	付-111
付5. 9. 4. 運転席加速度	付-112
付5. 9. 5. 車両重心加速度	付-113
付5. 9. 6. 車両の姿勢角、進行角、回転角速度	付-114
付5. 10. 実験車の寸法と車検証	付-115
付5. 11. ダミー頭部の感圧状況	付-116

実験番号	車種	実験条件及び結果				離脱速度 (km/h)	離脱角度 (度)	車両の最大傾斜角		車両の防護構 接触長 (m)	車両の最大進入 行程 (mm)	車両最大加速度 (g)		防護構(荷受け部材)の変位量			防護構応力		損傷状況	
		重量 (t)	速度 (km/h)	角度 (度)	衝撃度 (t-m)			前端 (度)	後端 (度)			Y方向 (mm)	X方向 (mm)	Y方向 (mm)	支柱最大 変位量(t)	ビーム 最大変位 (t)	防護構	車両		
																			最大残留変位量(mm)	
																			支柱	ビーム
実験1 荷受け 一段 コンクリート壁	大型貨物車	20.0	100 [99.4]	20	92.1 [91.0]	計測不可	1.6	14.8	58.5	21.32	0	車両重心 X 23.1 Y -146.6 Z -34.3 運転席 X 13.5 Y 14.4 (頭部) Z 運転席 X Y (胸部) Z 助力席 X -36.0 Y 24.2 (頭部) Y 助力席 X Y (胸部) Y	(GL+1.4m) HY1 (P7) 526 HY2 (P8) 720 HY3 (P9) 737 HY4 (P10) 468	頂部 1.115 (P14)	頂部 27 (P14)	1.175 (P14)	HR1 (P6) 13.9 HR2 (P7) 20.9 HR3 (P8) HR4 (P9) 28.2 HR5 (P10) 29.0	B3 25.1 B4 - B5 - B6 31.6 B7 - 7ノ軸力(t) P7 19.3 L: 15.2 P8 21.0 L: 17.5 P9 14.0 L: 15.4 P10 19.9 L: 20.0	支柱2本が上端より背面側へ破断(背面肉厚約7mm)。 支柱取付用ボルト7箇所(P6, P7, P8, P9, P10)のうち、P6, P7, P8, P9の4箇所の上2本が、1本引き抜ける。これら引き抜けた箇所のコンクリート局部破損。 乗客手前のねじれはあるが破断無し。 アジャストの取り付けつばに変形(P8, 9, 10)はあるが、破断無し。 シグナル部手前には大きな破損無し。	○外回り ・左側ハブ・フロント・運転席床下まで潰れ。 ・左側台のあたり局所に約1/3程度から後端まで潰れ。 ○足回り ・車両が土塵に衝突し停止したため、詳細は不明。 ○車室内 ・損傷なし。
90-2 平成2年 10/11																				
実験2 荷受け 一段 コンクリート壁	大型貨物車	20.0	100 [98.6]	20	92.1 [89.6]	計測不可	5.0	54.1	57.3	21.04	0	車両重心 X 25.7 Y -1.1 Z -15.1 運転席 X -11.3 Y 17.3 (頭部) Z 運転席 X Y (胸部) Z 助力席 X 148.3 Y 107.8 (頭部) Y 助力席 X Y (胸部) Y	(GL+1.4m) P7 274 P8 118 P9 364 P10 401	頂部 879 (P9)	頂部 52 (P9)	上段 924 (P10) 下段 490 (P9)	TB BB TB2-1 15.8 TB2-2 7.9, 28.0 Σ 28.8 TB2-3 14.6 TB2-4 7.4, 26.7 Σ 28.1 TB2-5 18.1 TB2-6 5.3 Σ 15.6 (P9) TB1-1 6.1 TB1-2 31.0 Σ 9.9 (P10) TB1-3 16.9 TB1-4 10.1, 24.5 Σ 13.2 TB1-5 4.2	○上段 TB2-1 15.8 TB2-2 7.9, 28.0 Σ 28.8 TB2-3 14.6 TB2-4 7.4, 26.7 Σ 28.1 TB2-5 18.1 TB2-6 5.3 Σ 15.6 ○下段 TB1-1 6.1 TB1-2 31.0 Σ 9.9 (P9) TB1-3 16.9 TB1-4 10.1, 24.5 Σ 13.2 TB1-5 4.2 7ノ軸力(t) 最大 R: 10.4 L: 10.1 (P9)	○ビーム 上下端ともに曲がり、局部的凹みがあるが、破断等無し。 ・残留変位区間約20mm(P1~15) ・アジャストは、残留変形や破断無し。 ○支柱 ・支柱付根拠は、ほぼ中立偏り付まで破断5本。(P6, 7, 8, 9, 10) ・曲がり変形は4本。(P10, 12, 13, 24) ・最大傾斜角は、背面側へ40度。(P10) ・取り付けボルトは壁前面プレートから頭抜けおよびプレート上でも変形。 ○コンクリート壁 ・左側ハブ付近に約10mmの外周による深さ13mmの割れ(φ=30mm)等があるが、軽微で本体に影響はない。 ・支柱取付ボルト後面側破断3ヶ所(取り外れ。(P6~11))	・防護構から離脱直後、フロントインから20mmの位置で破断。 ・左側ハブ、後方に移動。 ・運転席車室内の損傷無し。 ・フロントガラス損傷。 ・バース無し。 ・自力走行不可能。
91-6 平成3年 2/6																				

備考 1) [] 内は、実験結果を示す。
2) X, Y, Zは、それぞれ前後、左右、上下方向を示す。
3) 加速度のナニは、それぞれ加速度、減速度を示す。また値は加速度分析結果時(50SEC平均値等)の原波形値(ローパスフィルター80Hz処理)である。
4) *印は、プリモのテレメータの値を示すが、テレメータ(プリモ)F M特性不良の為判断不良。(一印)
5) 支柱Y方向の変位量の★印は変位測定板から読みとった値である。

付

実験結果総括表

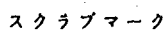
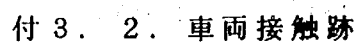
実験番号 防護構 形式	車種	実験条件及び結果				離脱 速度 (km/h)	離脱 角度 (度)	車両の最 大傾斜角		車両- 防護構 接触長 (m)	車両の 最大進入 行程 (mm)	車両最大加速度 (g)	防護構の変位量				防護構応力		損 傷 状 況				
		重量 (t)	速度 (km/h)	角度 (度)	衝撃度 (t・m)			前端 (度)	後端 (度)				最大残留変位量(mm)		支柱最大 水平力(t)	ビーム 最大力 (t)	支柱1本(P15)左前輪 の接触部、凹み断面 変形無し。 支柱2本の字曲がり12 本(P10~22)、平均深 さGL-190mm(GL-50~ -480mm)有り 主ビーム上下端部(P12 ~17)に波形状変形有 るがコーションの凹みはな い。 荷受け上、下段ビーム 突付近の支柱部で多少 屈折し、継ぎ手部(P11 、14、17、20、22)でねじ れていたが、口型の変 形、つぶれ、ホルトの 破損無し。 フック、カート部の串が り(P13~17)がある他 破損無し。 ビームの継ぎ手部の最大 スリまたは開きは主ビ ーム(P11)、荷受け上 段(P14)、下段14mm (P11)有るが、端部 部の破損はない。	支柱	ビーム	防 護 構	車 両		
													Y方向	X方向								Y方向	Y方向

| 実験3 荷受け ビーム一段 鋼製 | 大型貨物車 パネルバン | 20.0 | 80.0 [80.0] | 20 | 58.9 [58.9] | 63 高速写 真より 判読 | 6.0 | 30.0 | 48.0 | 主ビーム 20.75 荷受け 上段 28.01 下段 16.99 全接触 28.01 | 990(P15) | 車 両 重 心 Z -3.2 運転席 X 6.9 ダミー Y 22.7 (頭部) Z - 運転席 X - ダミー Y - (胸部) Z - 脚力 (kg) 935 助手席 ダミー (頭部) X -4.7 Y 4.7 助手席 ダミー (胸部) X - Y - | X 3.6 Y 15.3 Z -3.2 X 6.9 Y 22.7 Z - X - Y - Z - - X -4.7 Y 4.7 X - Y - | P11 (HY1) 473 P12 (HY2) 713 P13 (HY3) 393 P14 (HY4) 937 P15 (HY5) 935 P16 (HY6) 981 | 頂部 (GL+ 2m) P16 1.900 P6 124 主ビーム (GL+ 0.76m) 主ビーム (GL+ 0.76m) 地盤部 (GL) P15 642 P5 -41 地盤部 (GL) P15 23 P5 41 | 荷受け 上段 P15.16 1.861 主全体4.42 主ビーム (GL+ 0.76m) 主ビーム (GL+< |

付 2. 車両の諸元一覧表

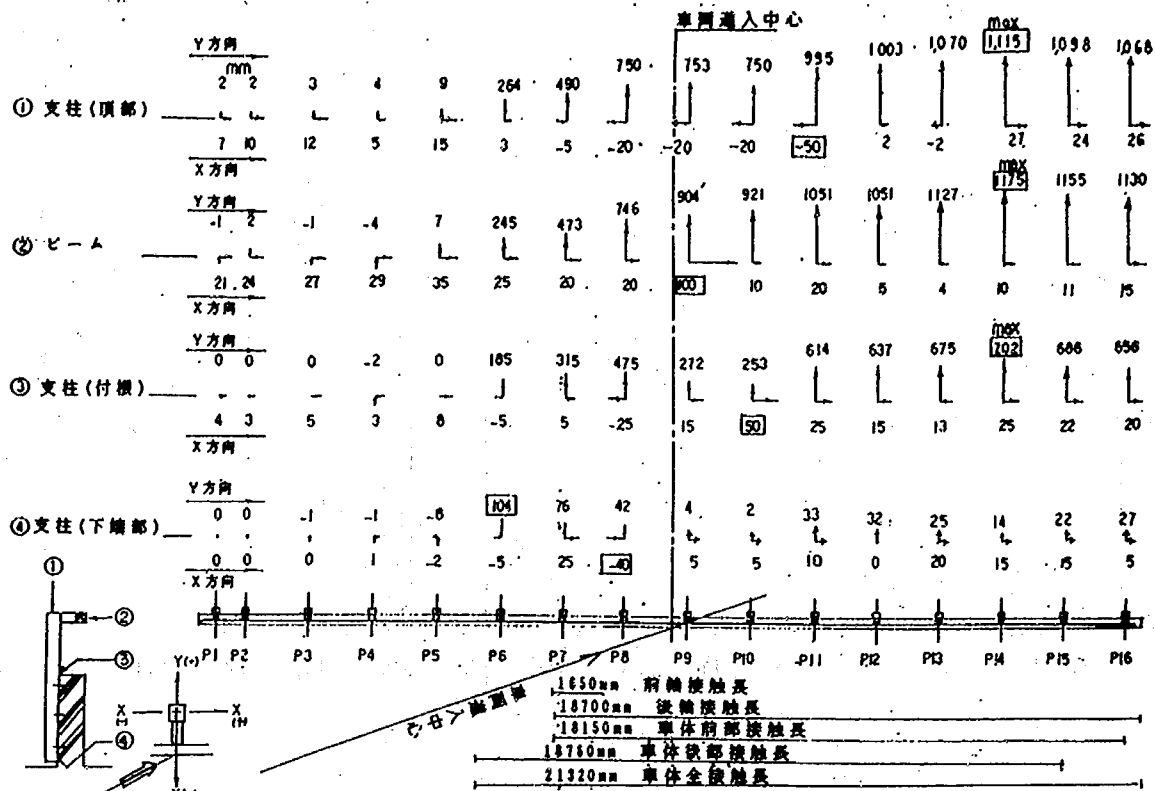
項目 \ 実験番号		実験 1	実験 2	実験 3
車 種		大型貨物車	大型貨物車	大型貨物車
形 式		KF797	K-KF391改	P-FR289BA改
車 名		日野	日野A' 30A' ヲ	日野A' 30A' ヲ
全 長 (mm)		1,1820	1,1920	11,960
全 幅 (mm)		2,410	2,400	2,420
全 高 (mm)		2,690	2,595	3,570
前輪から重心までの距離(mm)		4,600	4,800	4,750
重 心 高 さ (mm)		1,290	2,000	2,000
軸 距 (mm)	第 1	5,820	5,750	5,830
	第 2	1,280	1,320	1,280
輪 距 (mm)	前 輪	2,070	2,010	2,045
	後 輪	1,870	1,845	1,870
オーバーハング (mm)		1,400	1,320	1,430
タ イ ヤ 幅 (mm)		210	210	254
タイヤの外径 (mm)		1,000	1,040	1,020
ホ イ ル 径 (mm)		570	420	508
車両重量 (積載時: kg)	前 輪	5,086	4,640	4,940
	後 輪	14,914	15,360	15,060
	合 計	20,000	20,000	20,000

付 3. 1. 軌跡

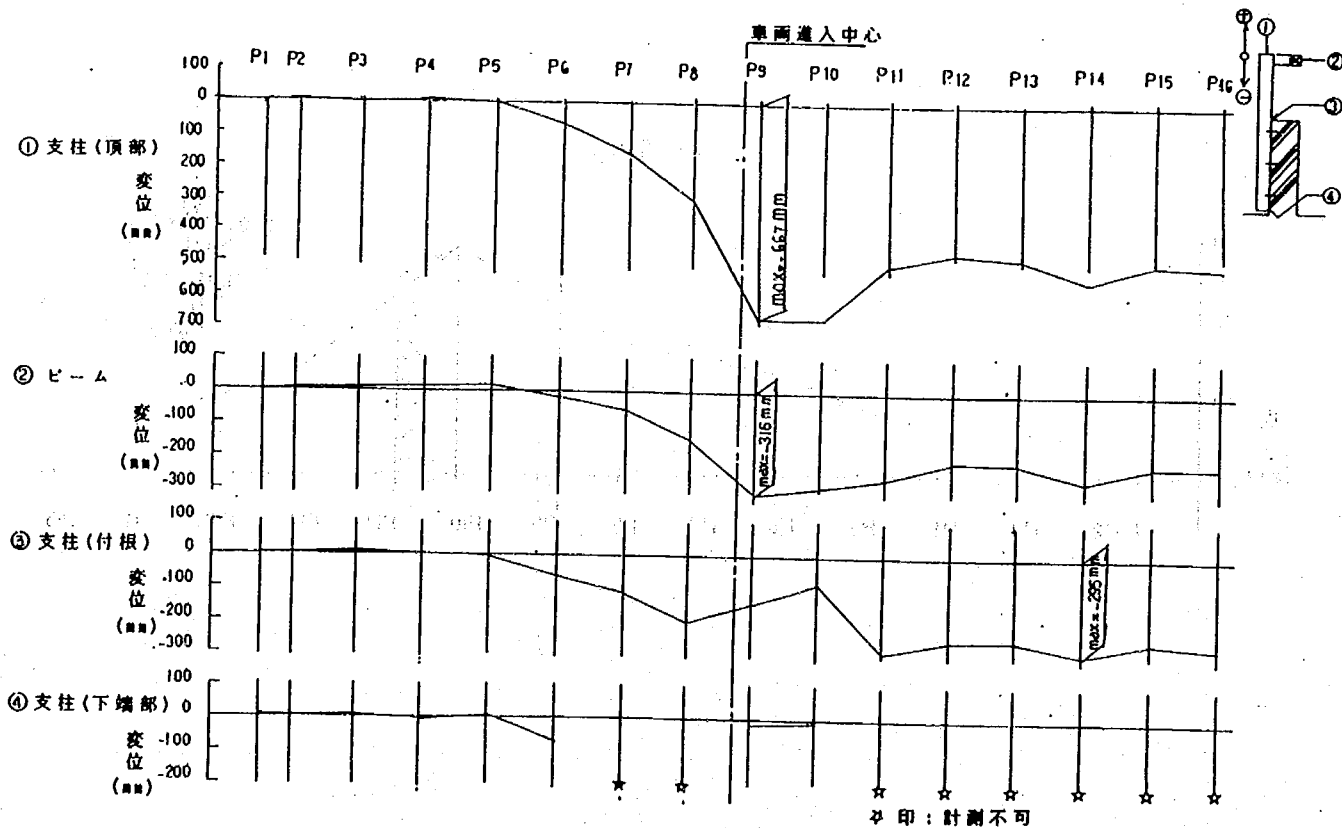


付 3. 3. 防護柵の残留変位関係

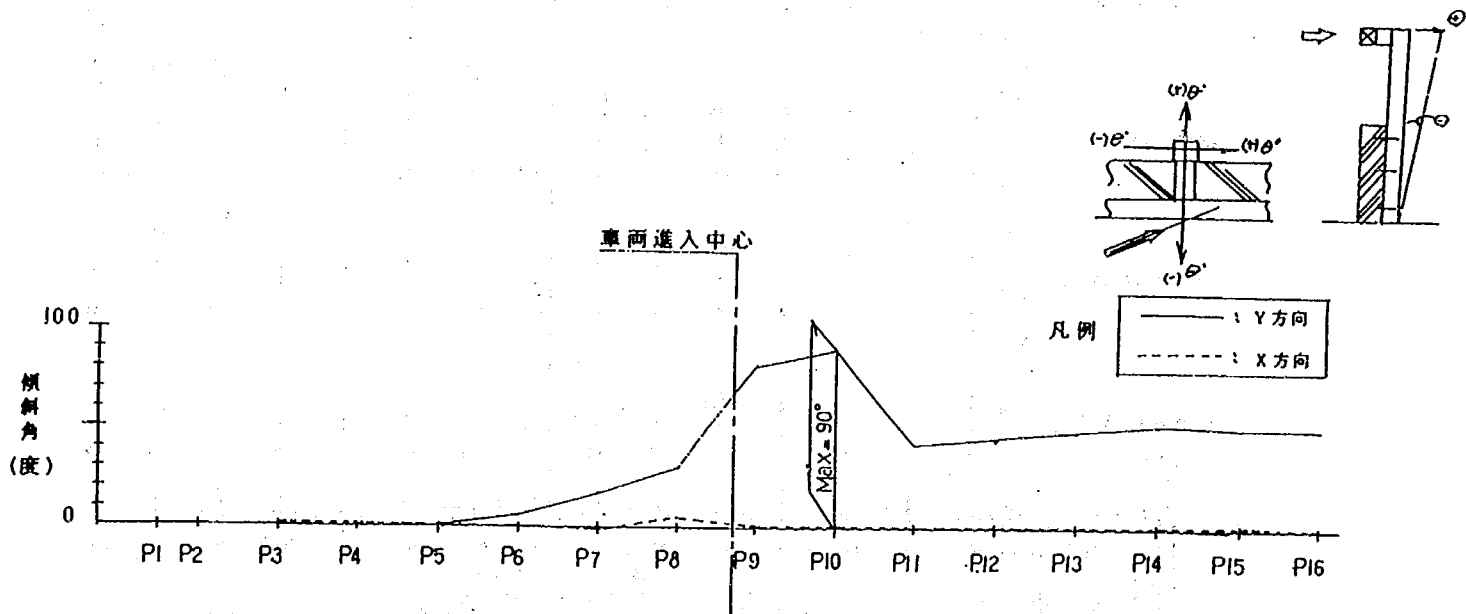
付 3. 3. 1. 支柱及びビームの残留変位(X, Y方向)



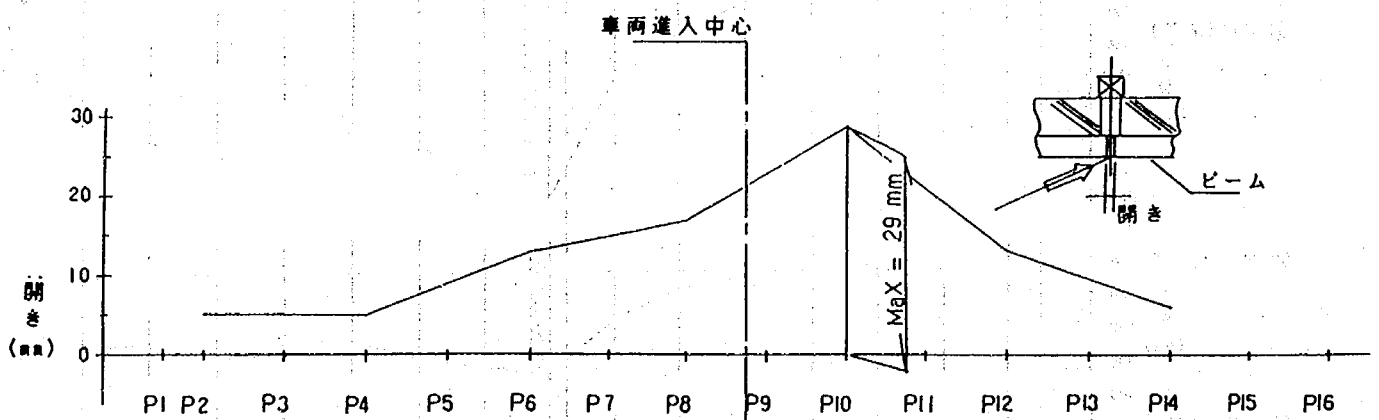
付 3. 3. 2. 支柱の残留変位(Z方向)



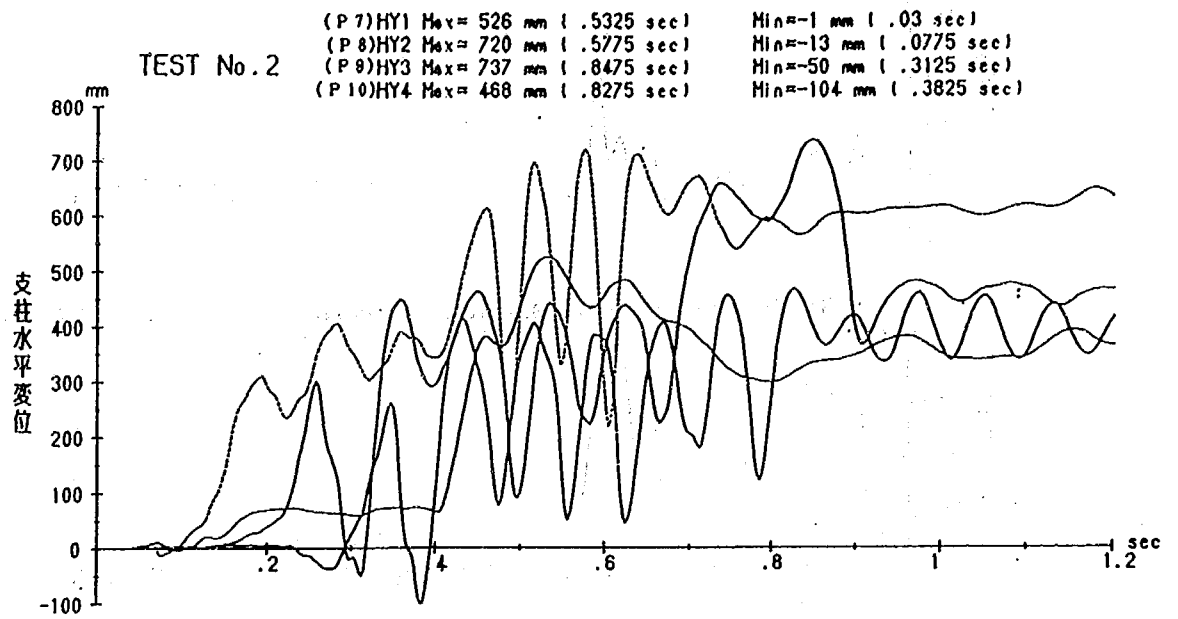
付 3. 3. 3. 支柱の傾斜角



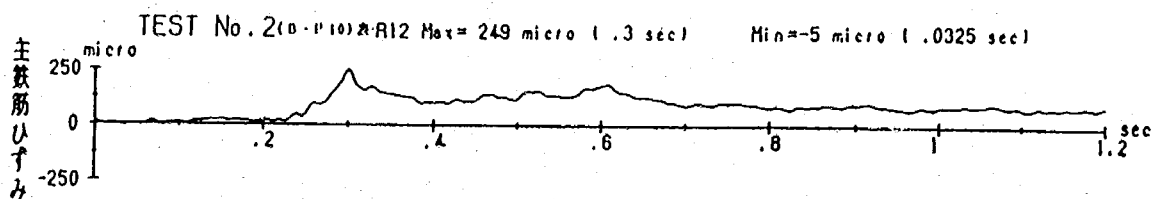
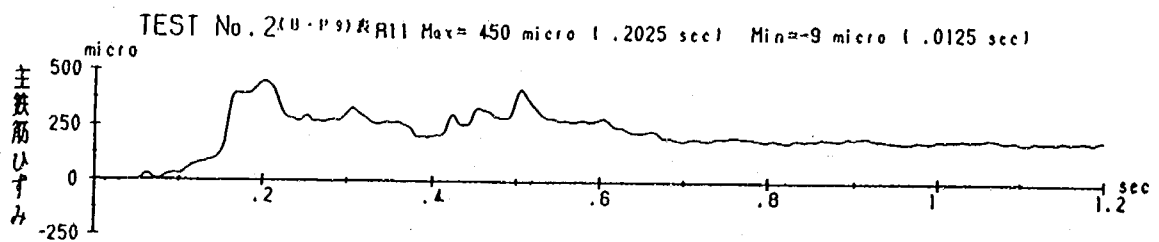
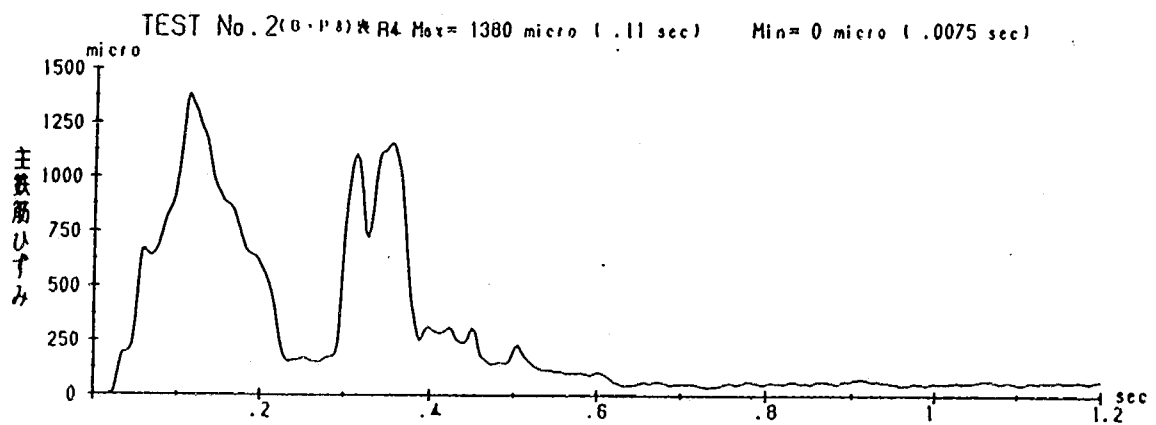
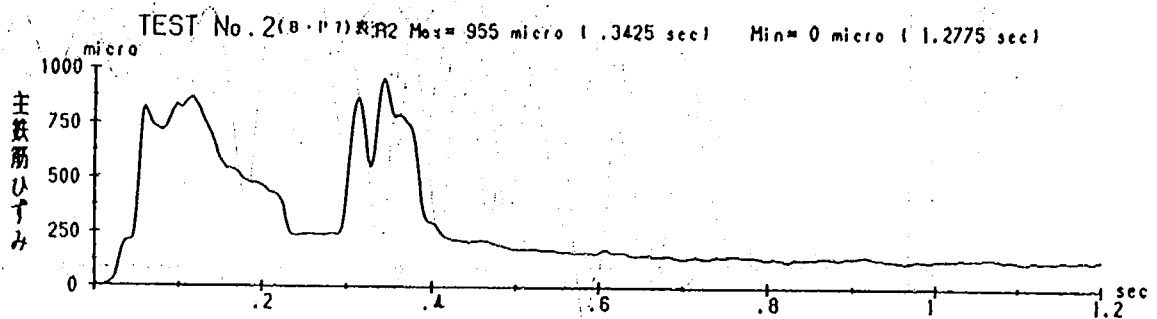
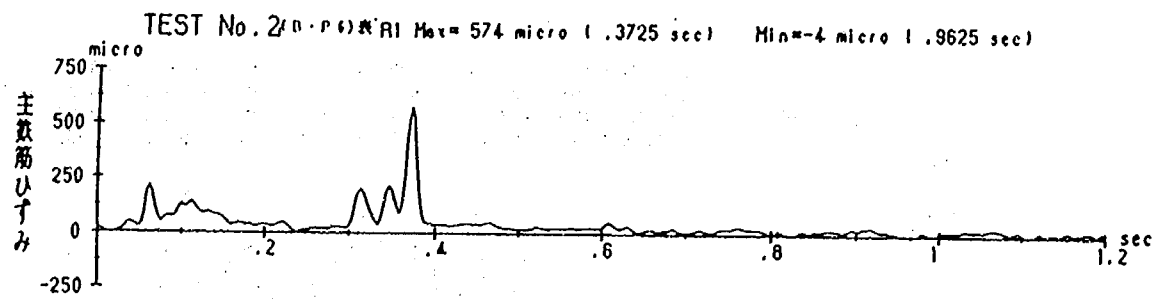
付 3. 3. 4. ビームの開き

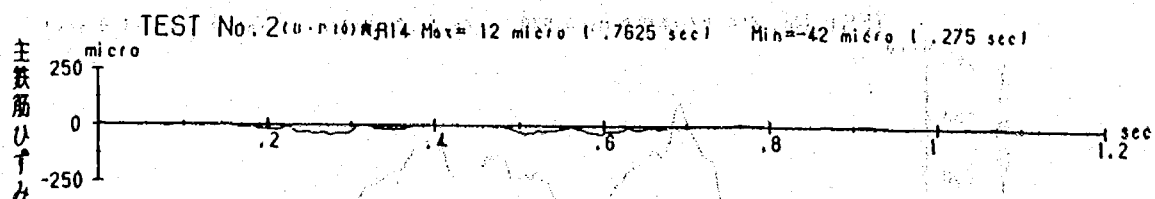
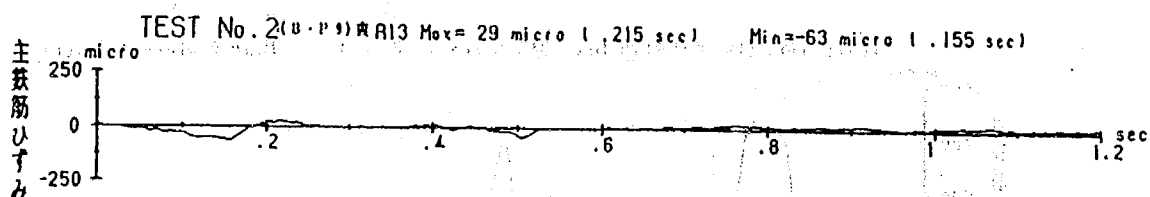
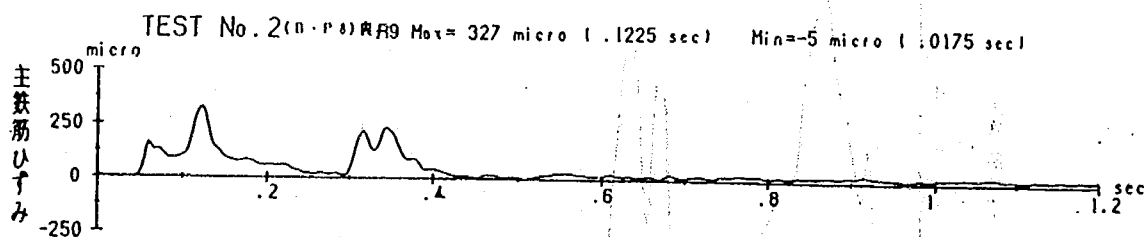
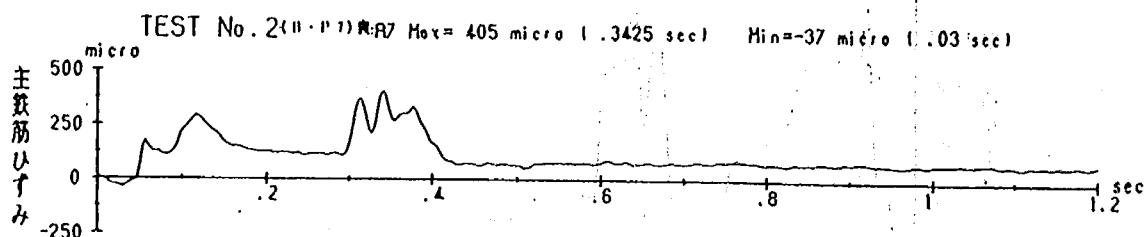
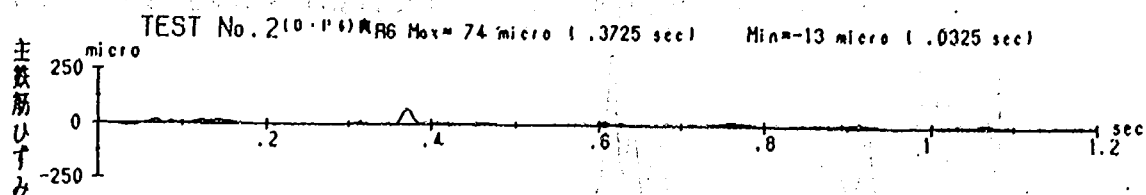


付 3. 4. 支柱の路外方向(Y)の変位

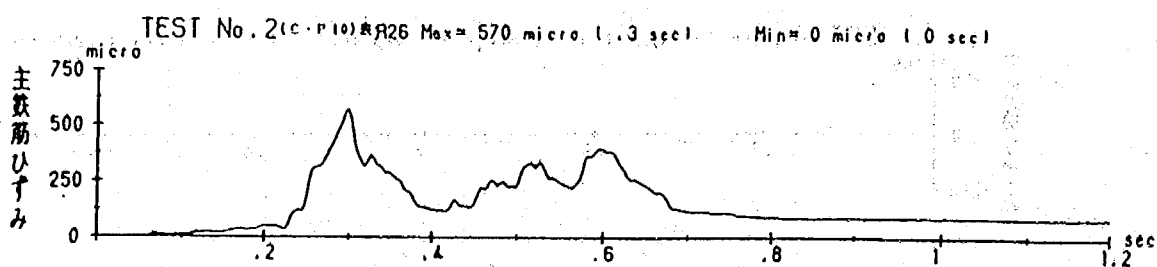
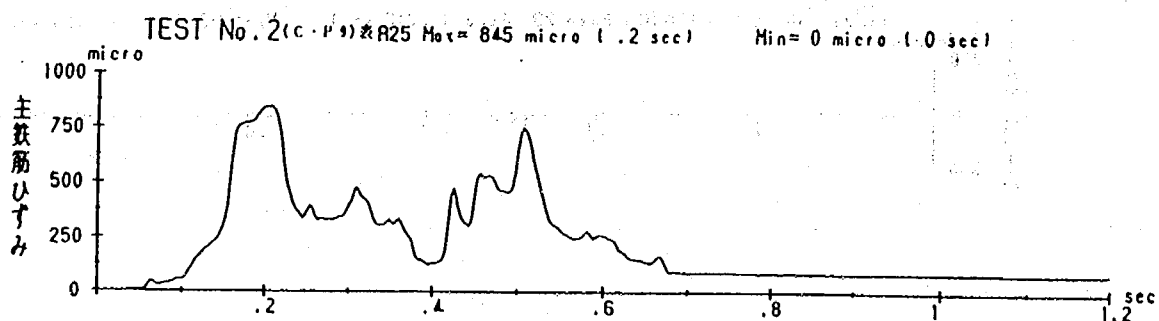
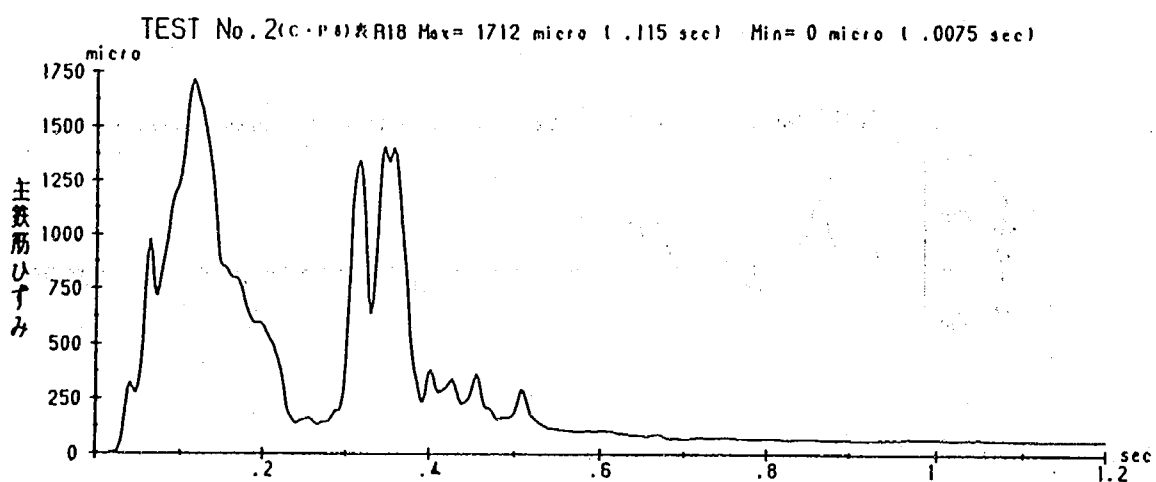
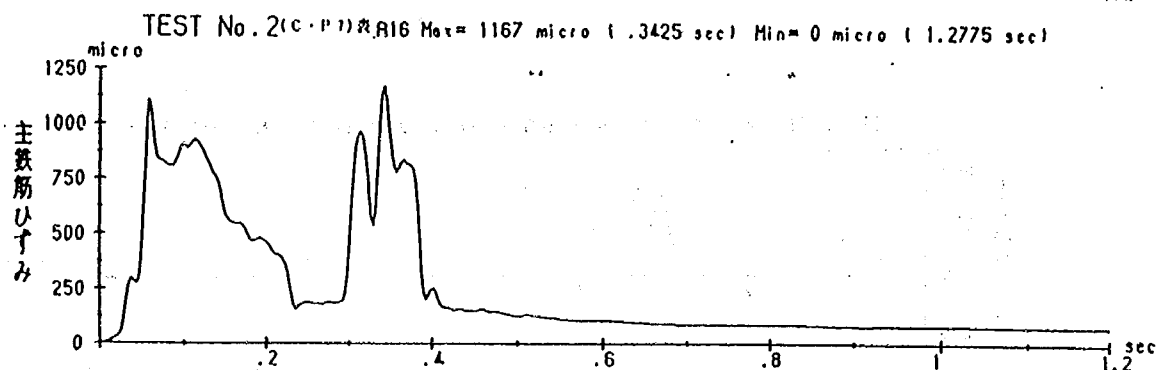
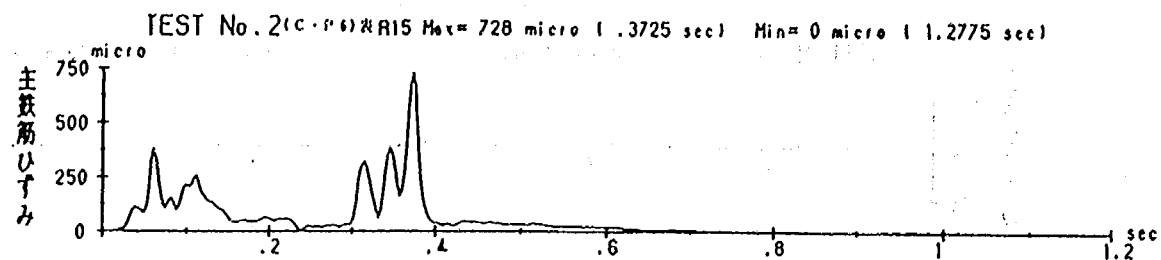


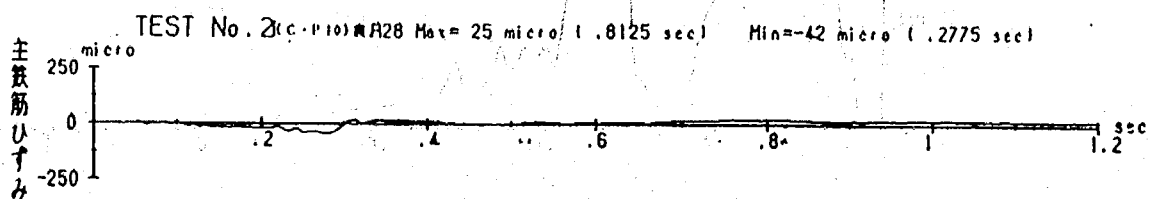
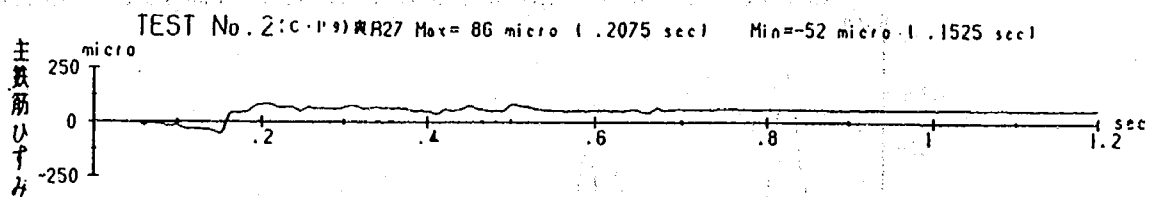
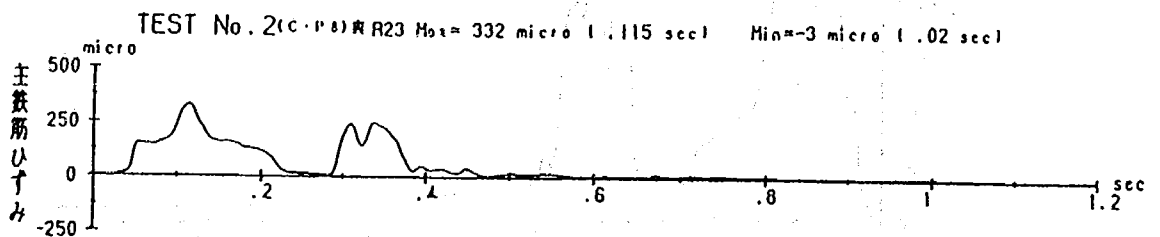
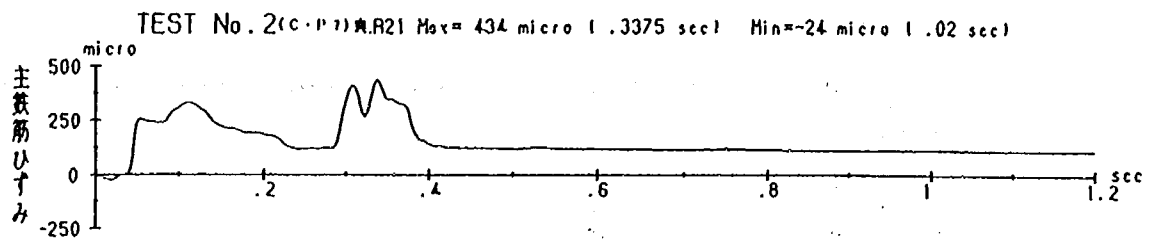
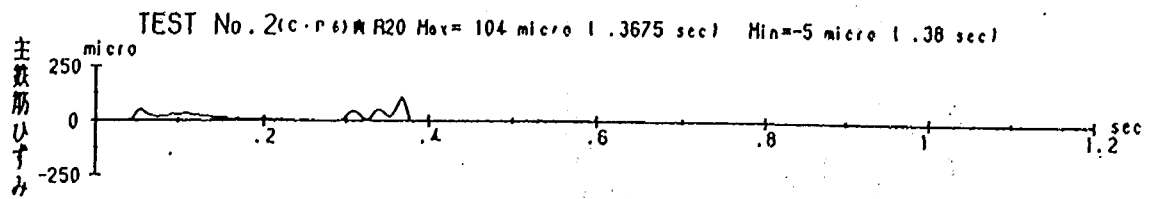
付 3. 5. コンクリート壁のひずみ
付 3. 5. 1. 縦方向筋(B)



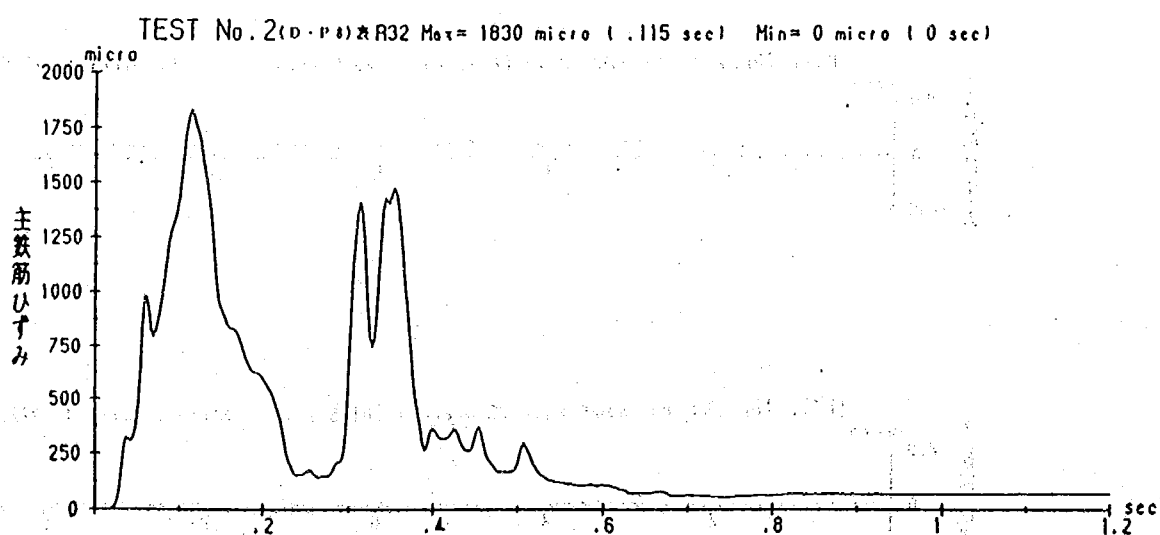
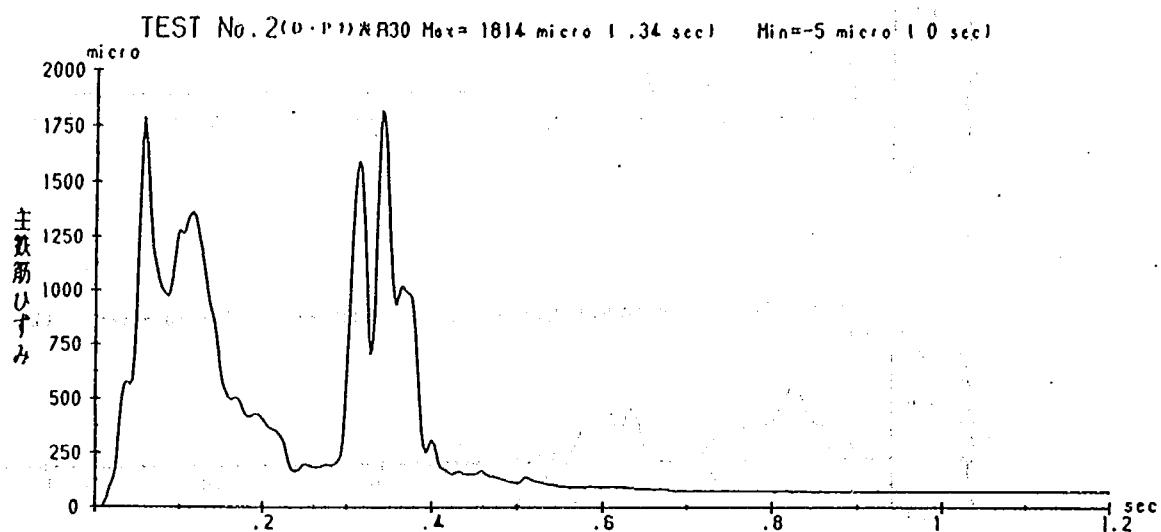
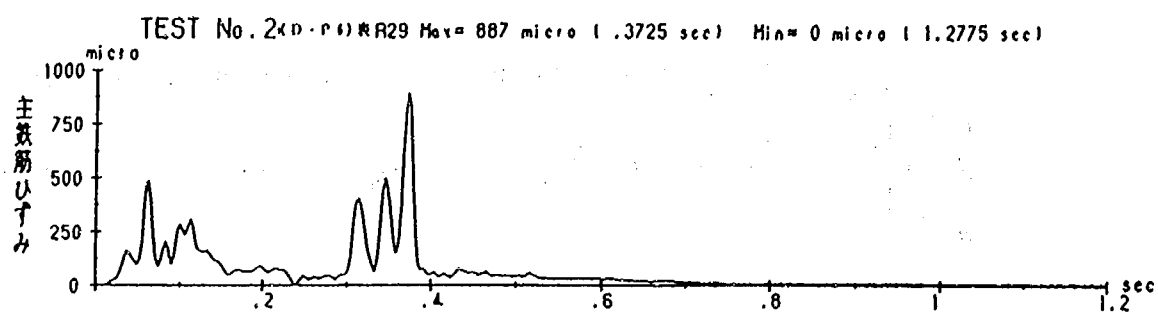


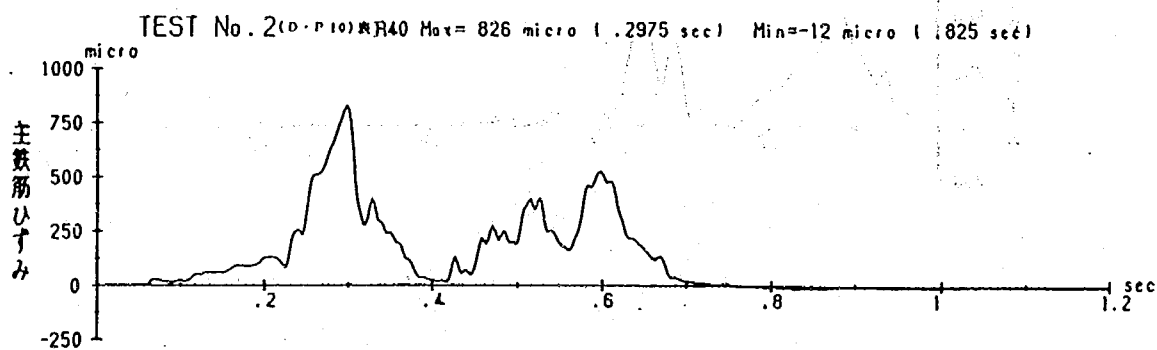
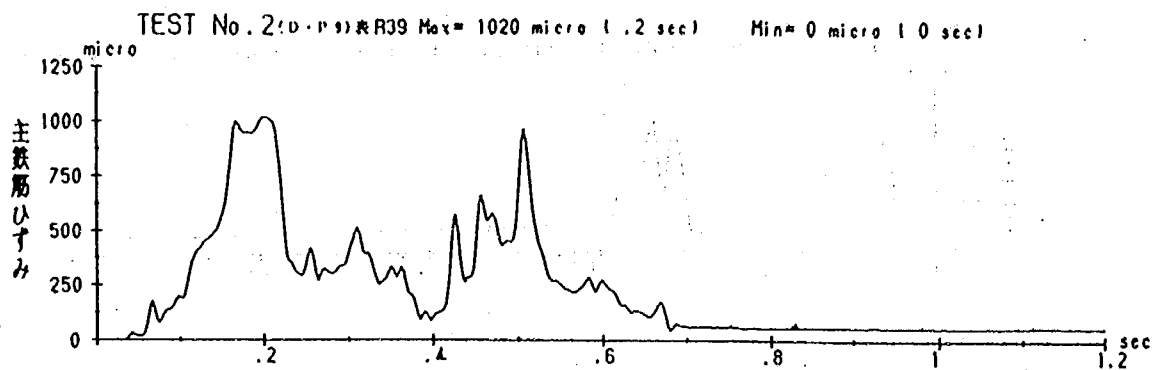
付 3. 5. 2. 縦方向筋(C)

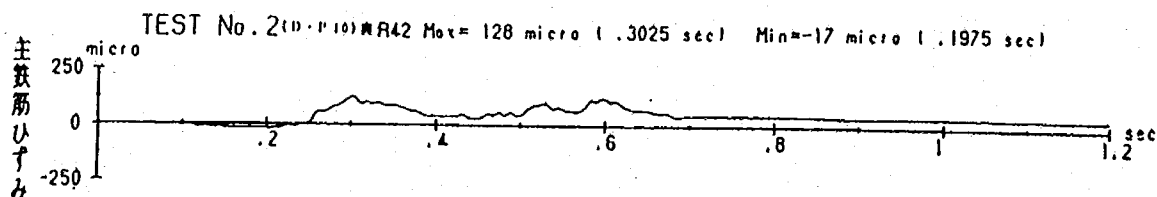
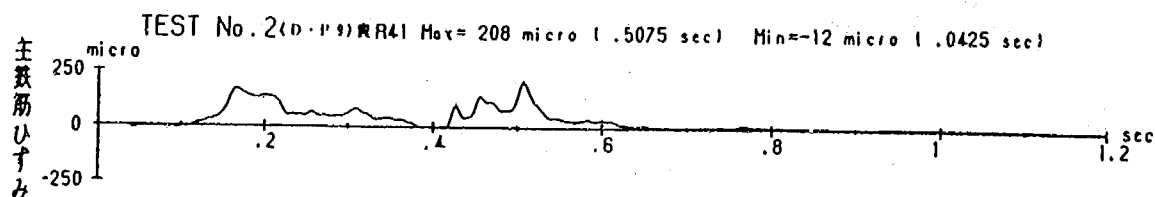
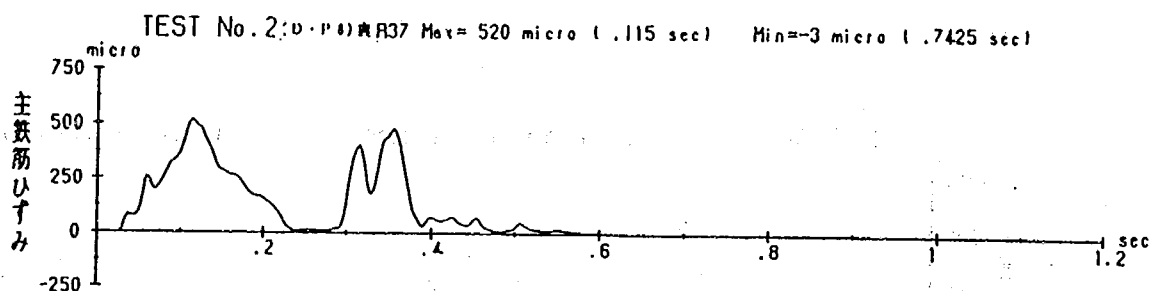
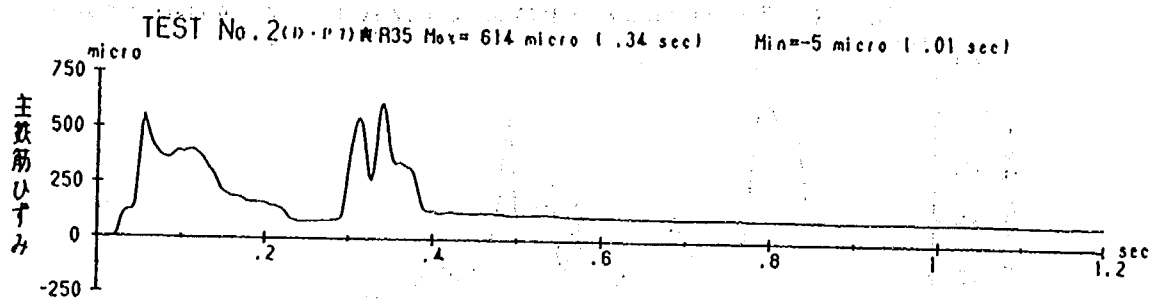
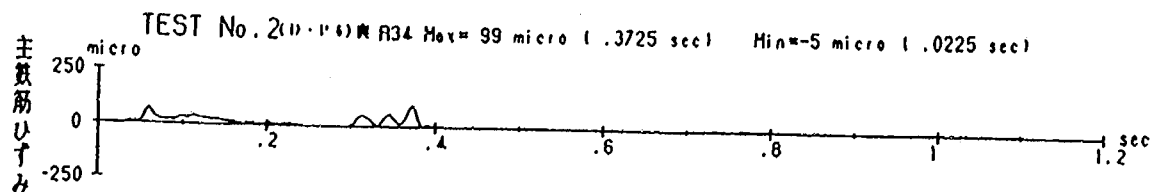




付 3. 5. 3. 縦方向筋(D)

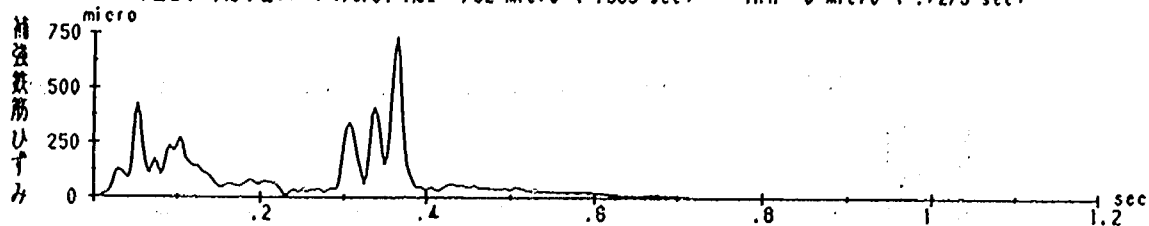




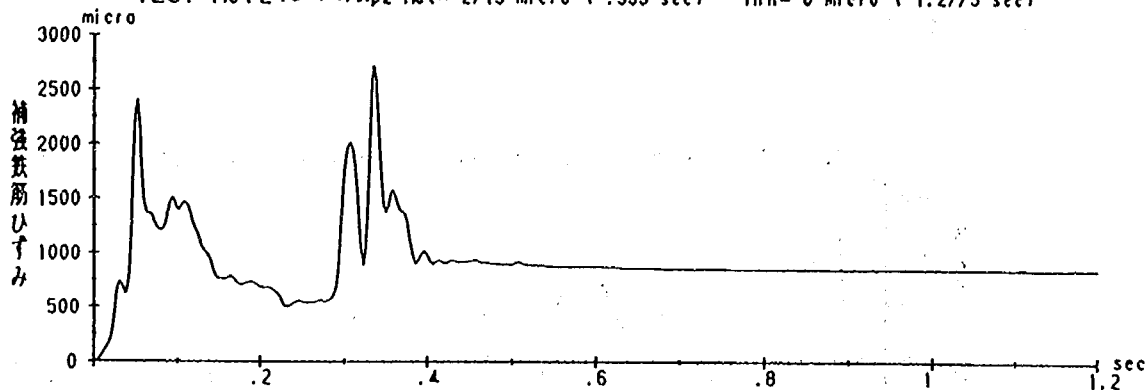


付 3. 5. 4. ハンチ筋

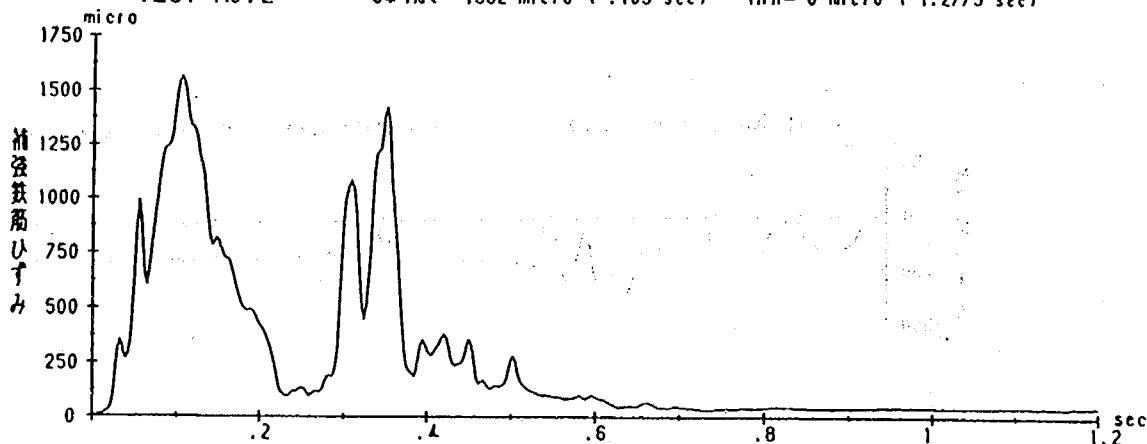
TEST No. 2 (E-P) 表 J1 Max= 732 micro (.365 sec) Min= 0 micro (1.2775 sec)



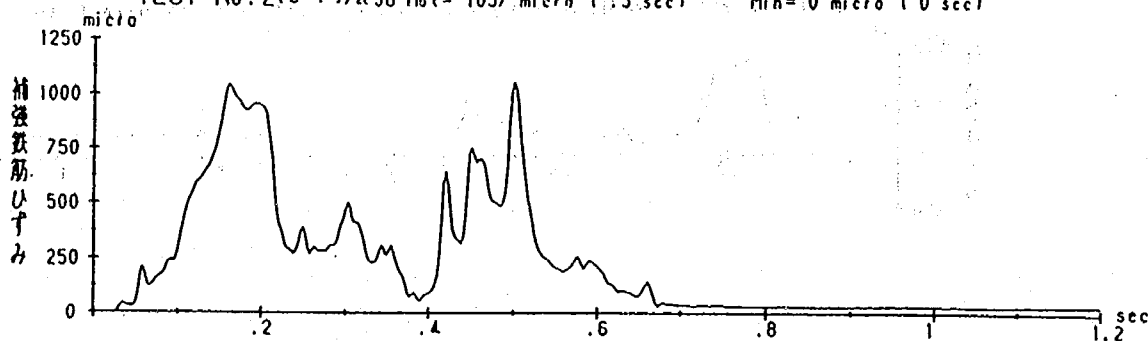
TEST No. 2 (E-P) 表 J2 Max= 2713 micro (.335 sec) Min= 0 micro (1.2775 sec)



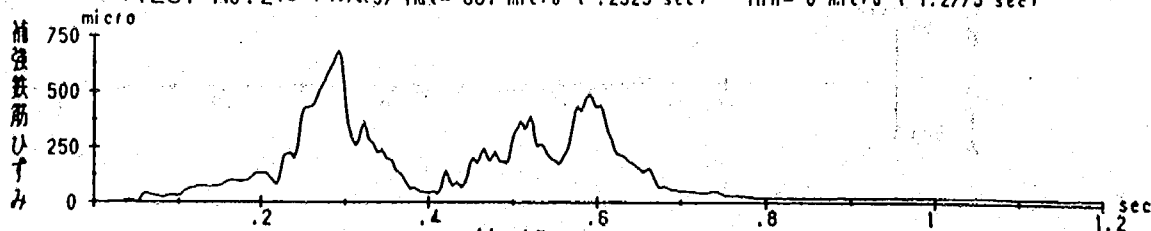
TEST No. 2 (E-P) 表 J4 Max= 1562 micro (.105 sec) Min= 0 micro (1.2775 sec)



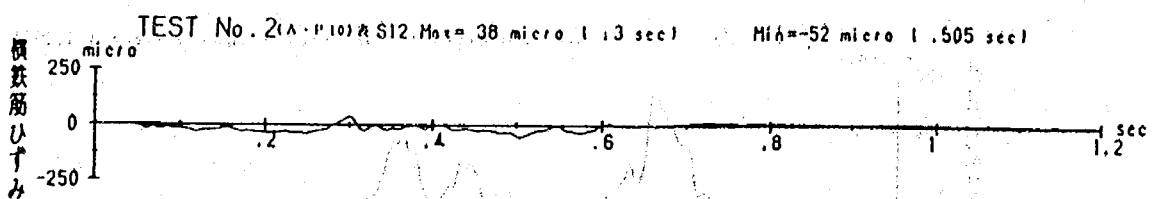
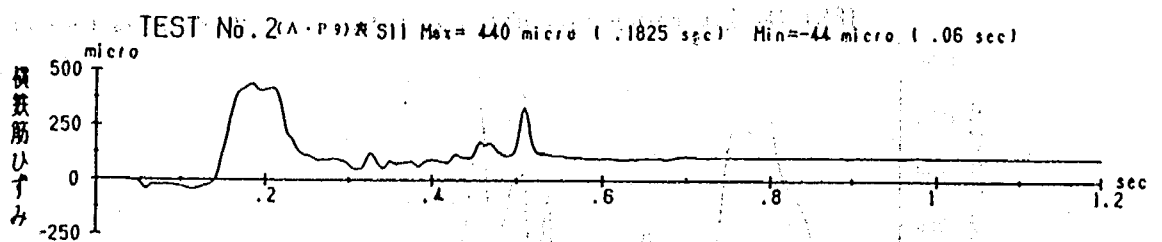
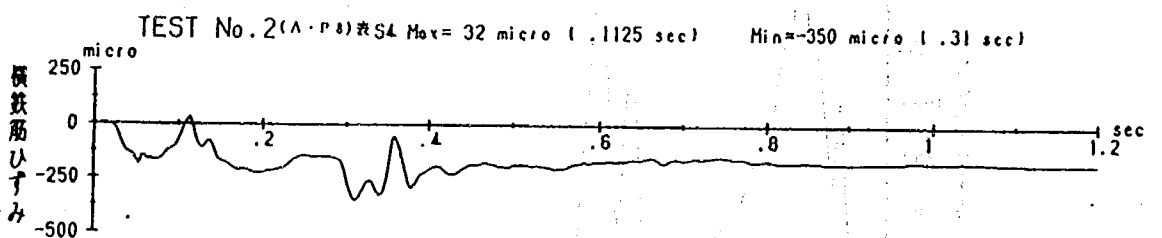
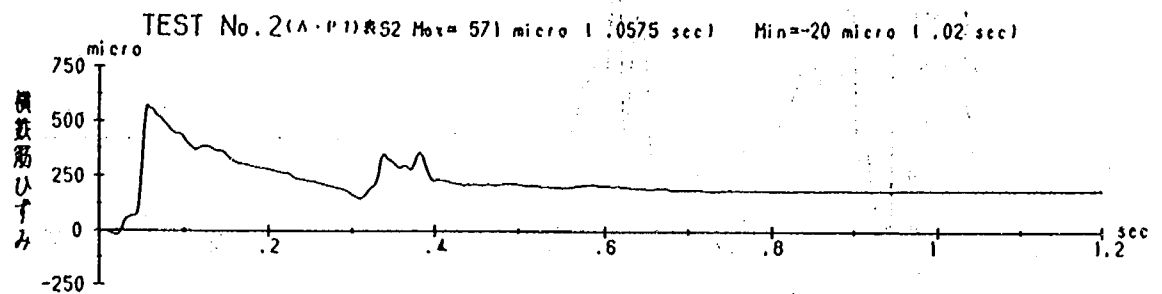
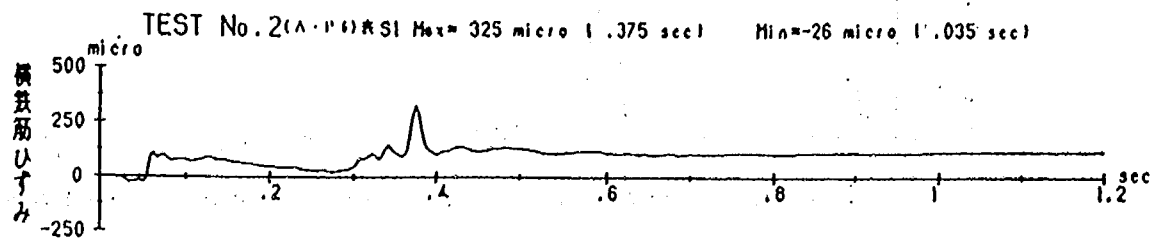
TEST No. 2 (E-P) 表 J6 Max= 1057 micro (.5 sec) Min= 0 micro (0 sec)

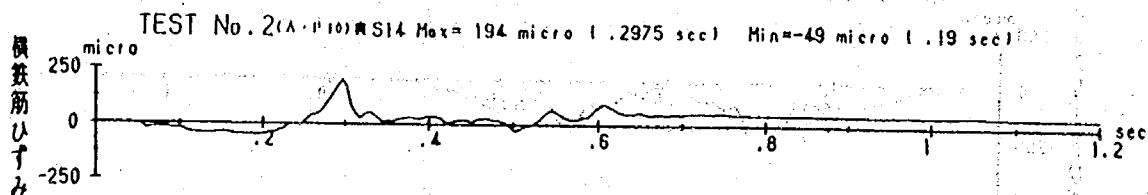
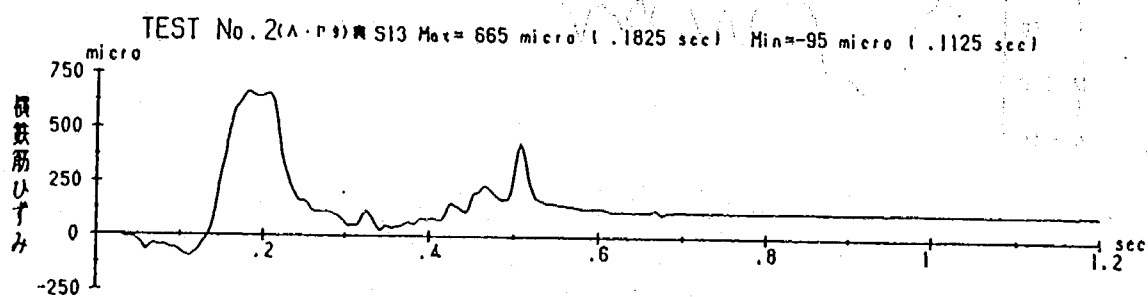
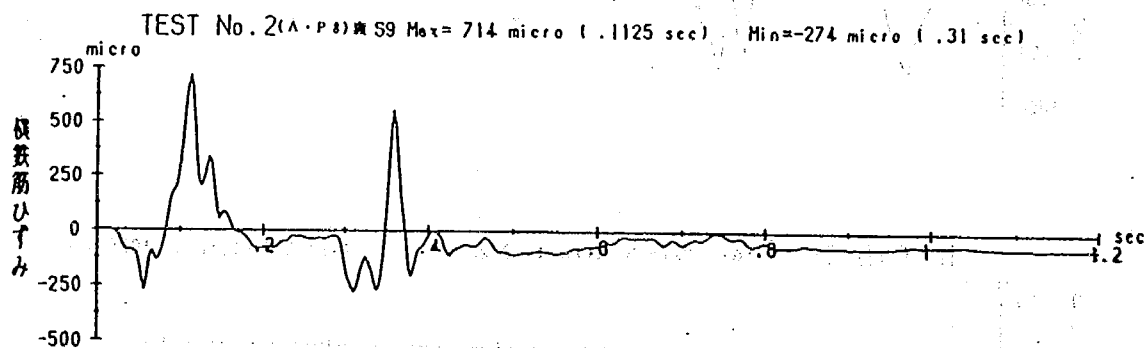
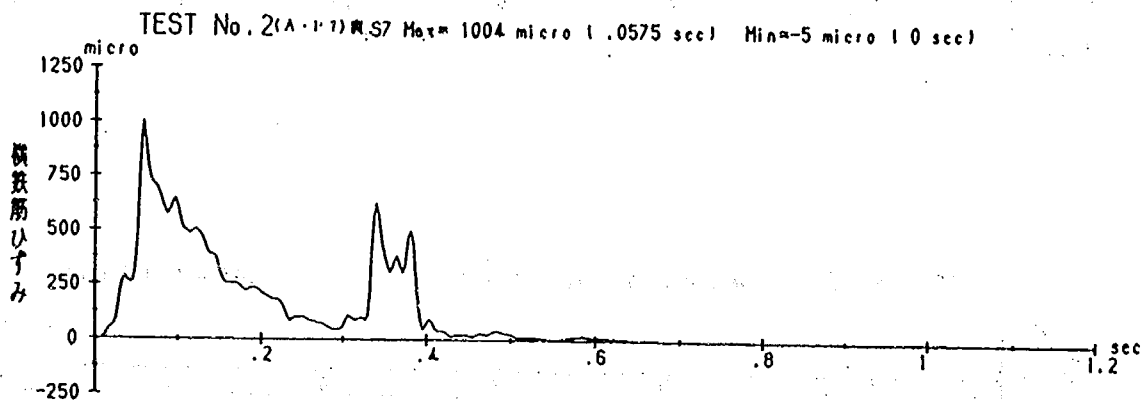
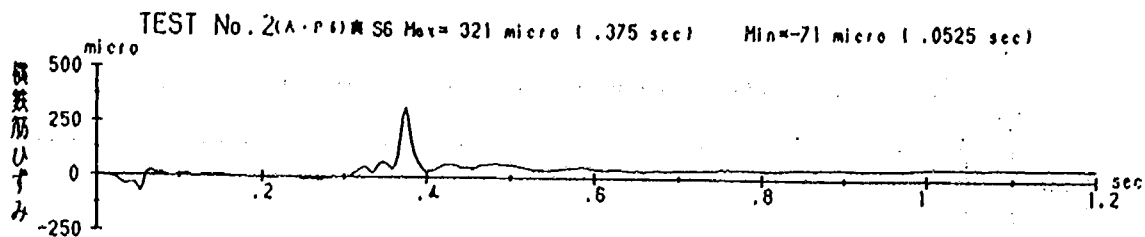


TEST No. 2 (E-P) 表 J7 Max= 681 micro (.2925 sec) Min= 0 micro (1.2775 sec)

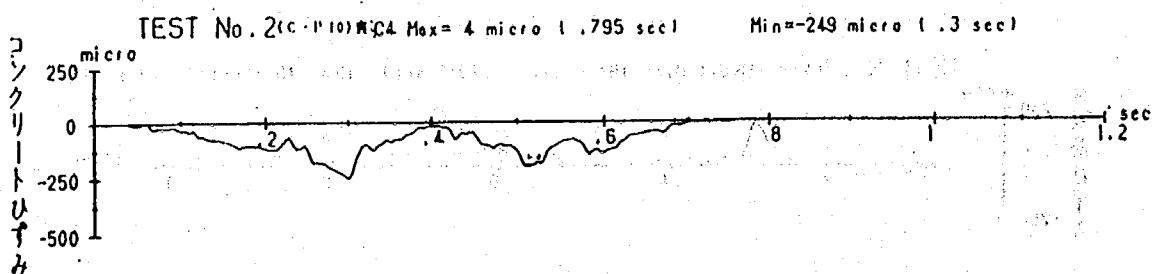
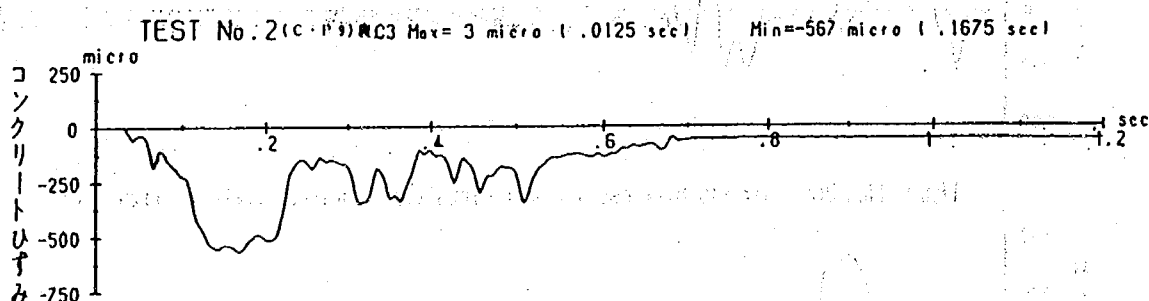
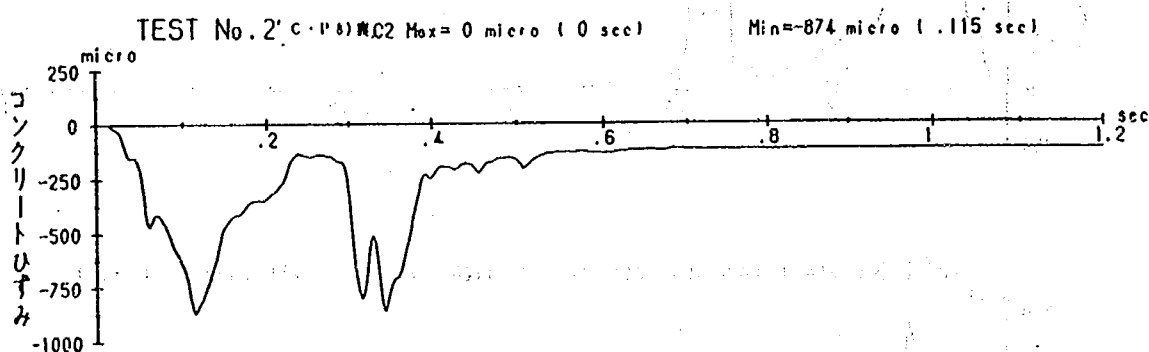
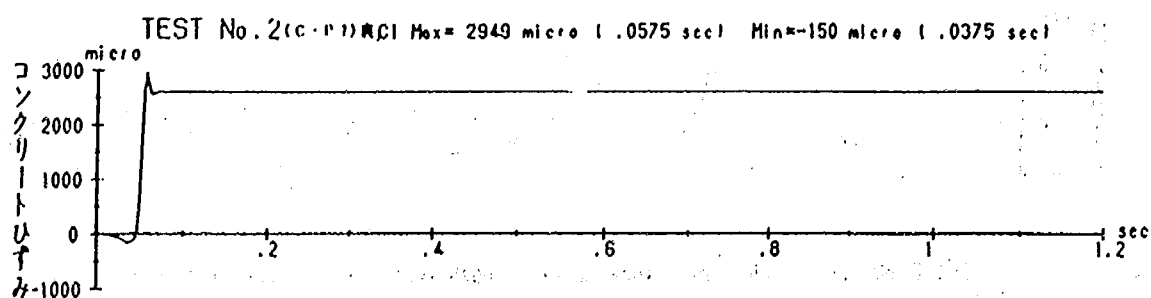


付 3. 5. 5. 横方向筋

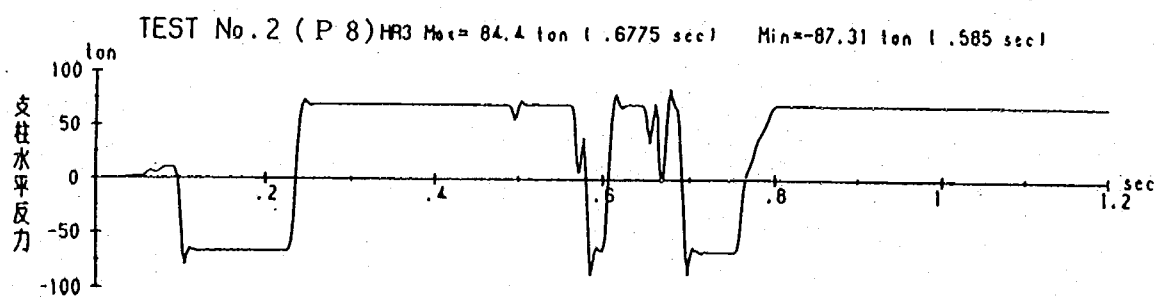
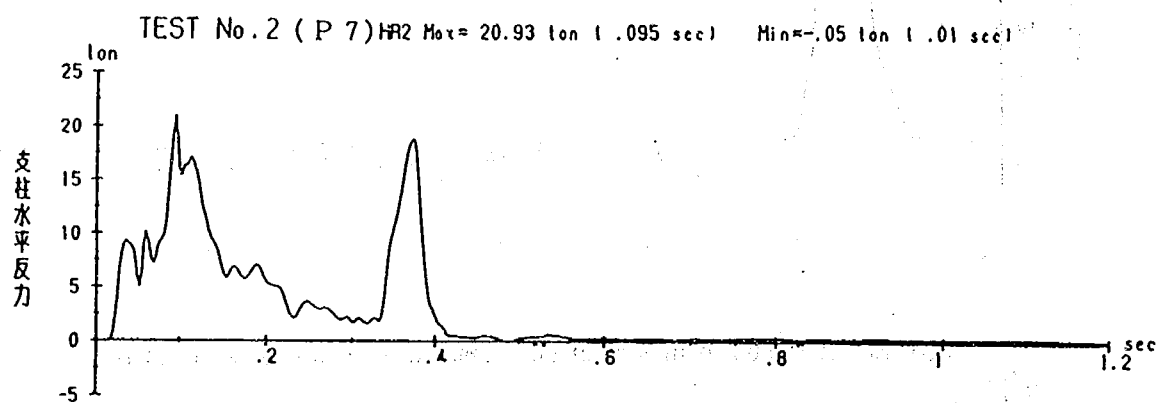
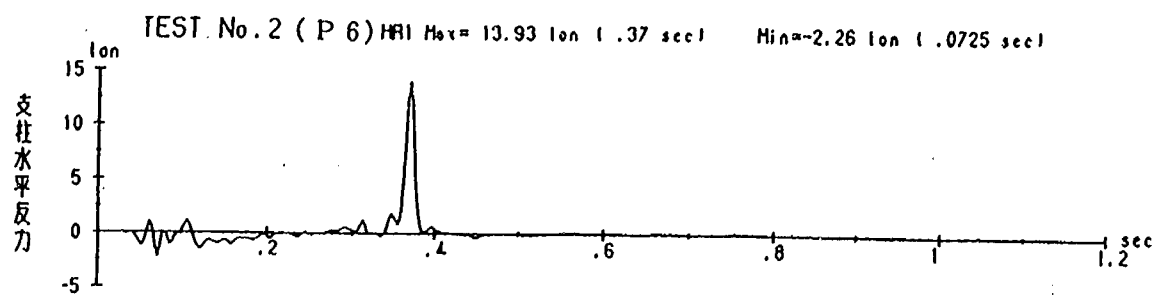


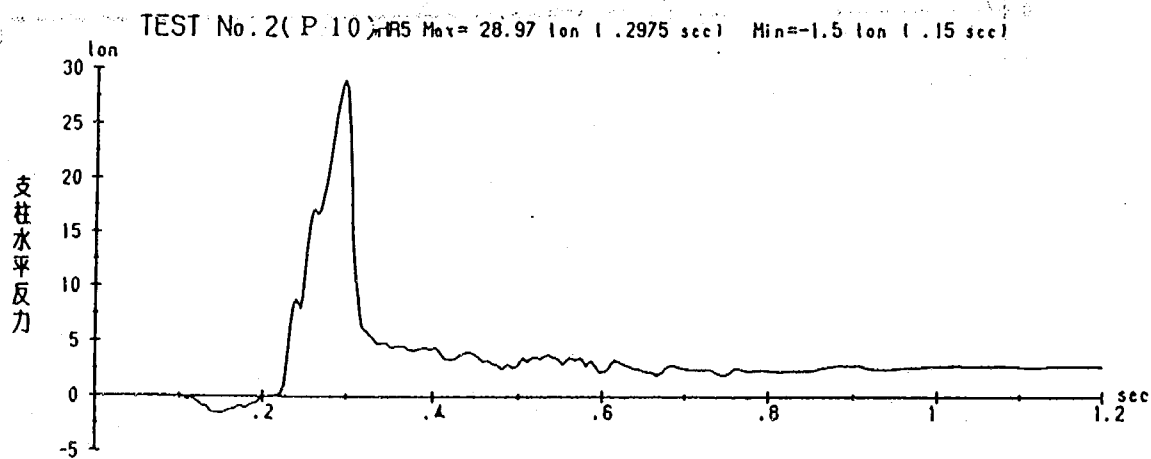
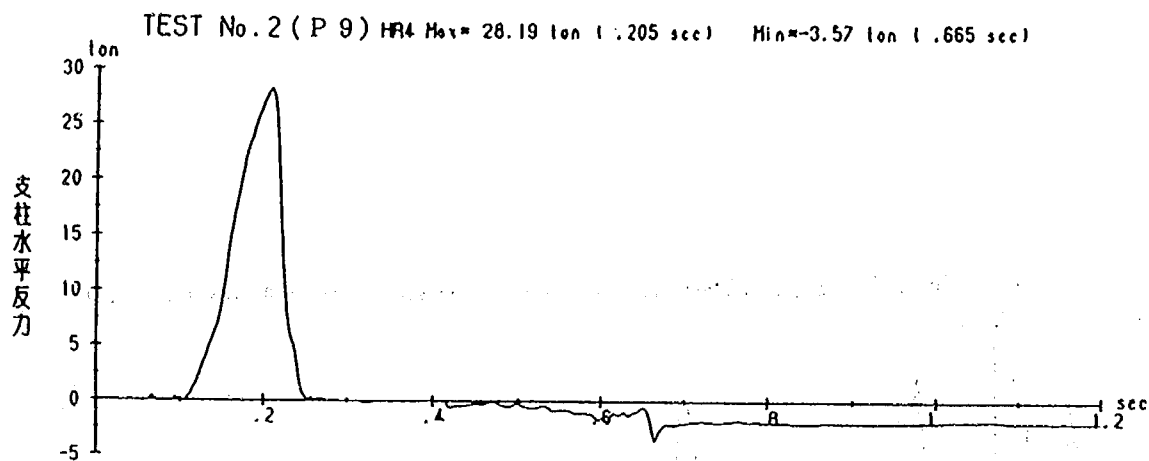


付 3. 5. 6. コンクリート表面

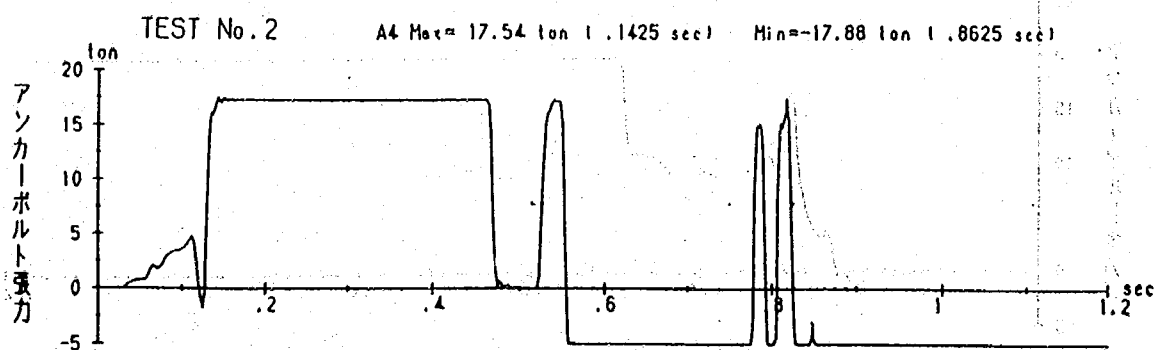
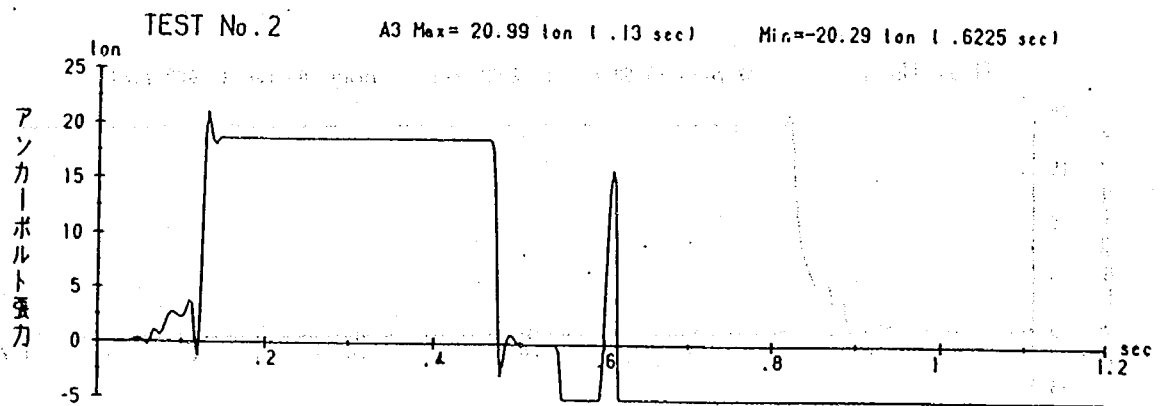
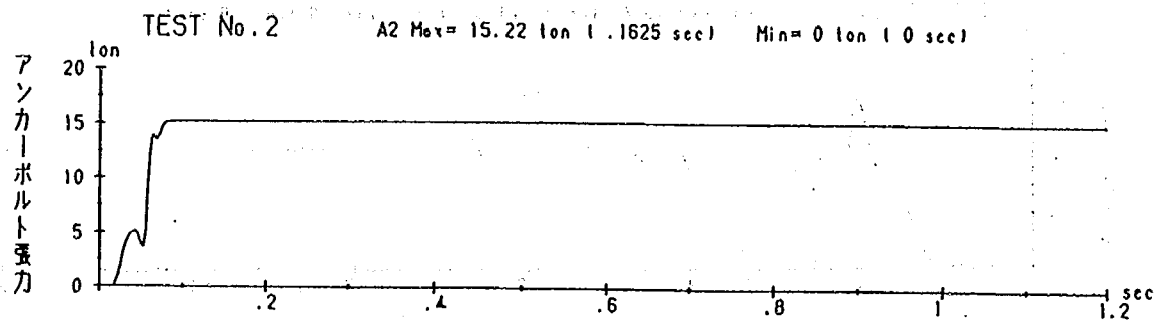
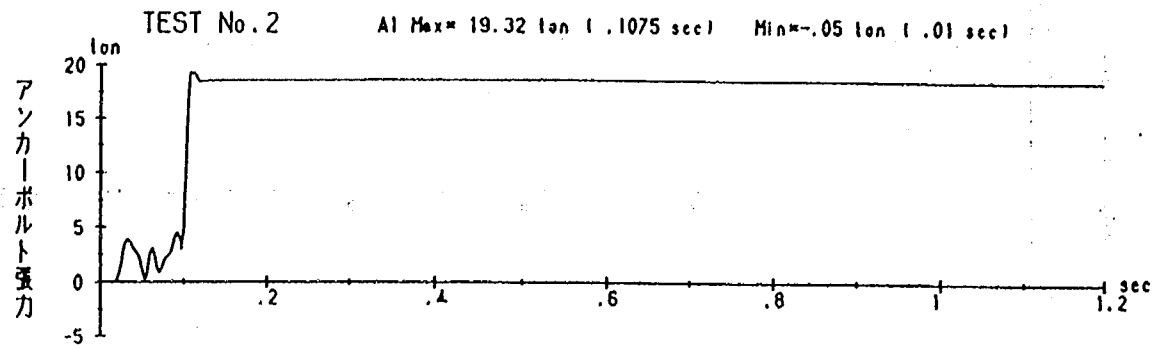


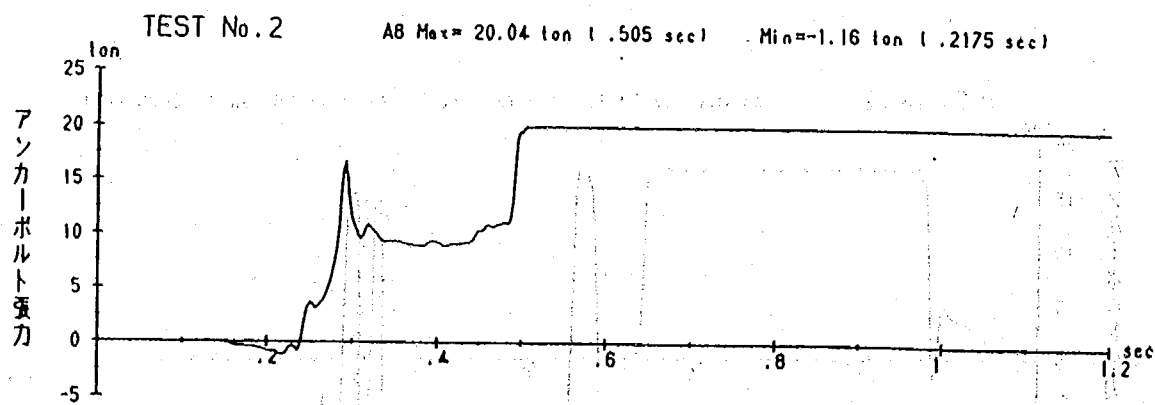
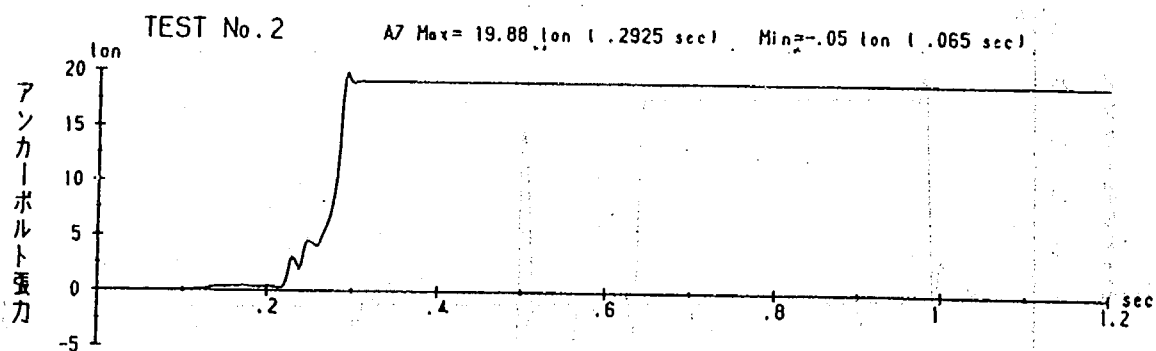
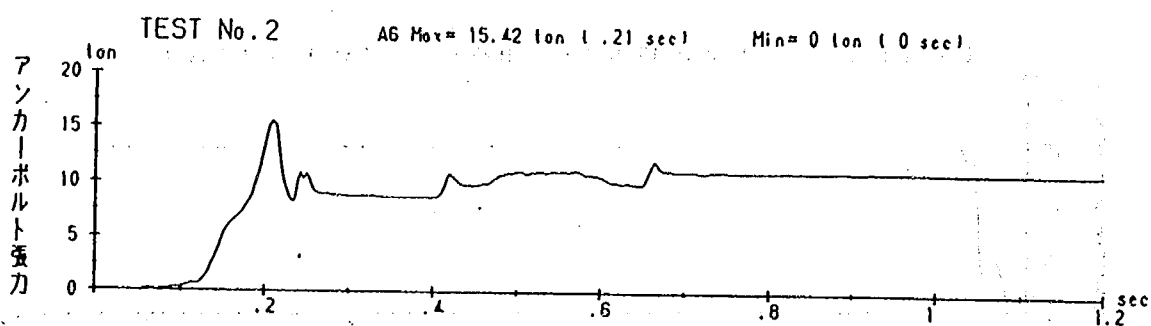
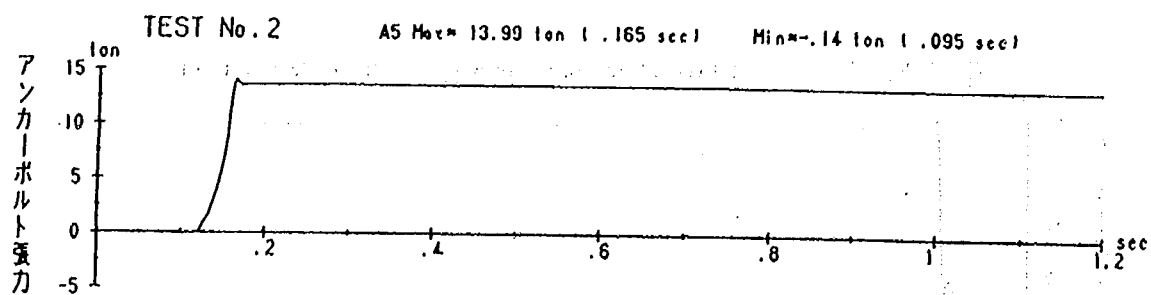
付 3. 6. 支柱に作用した路外方向(Y)の水平力と合計



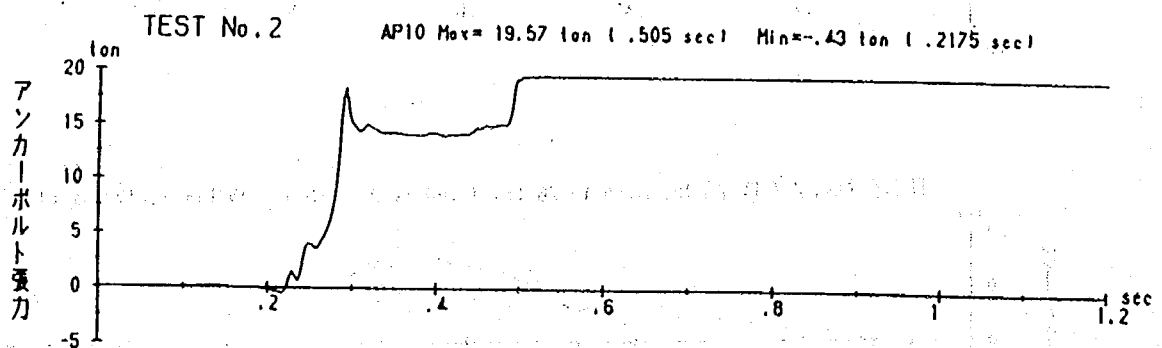
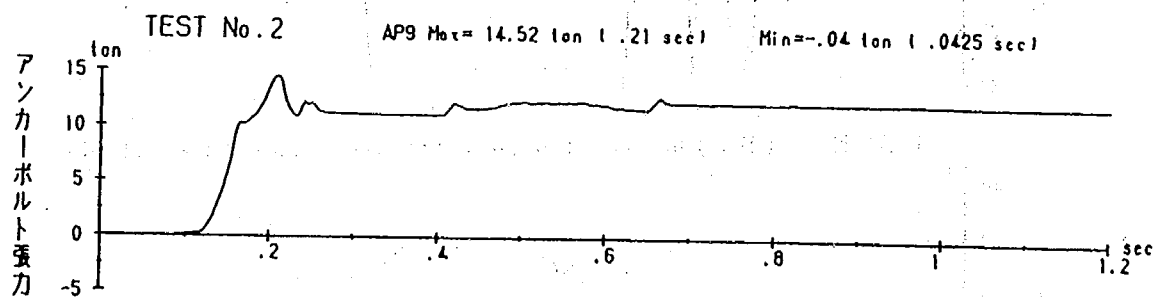
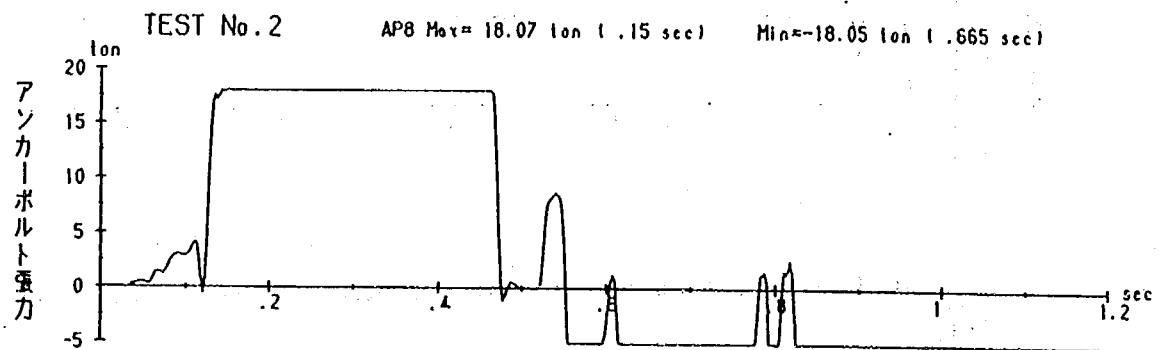
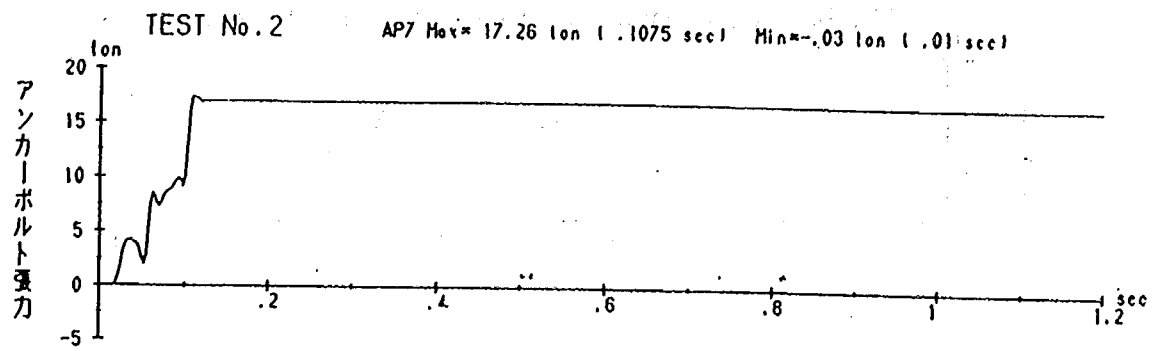


付 3. 7. アンカーボルトに作用した張力

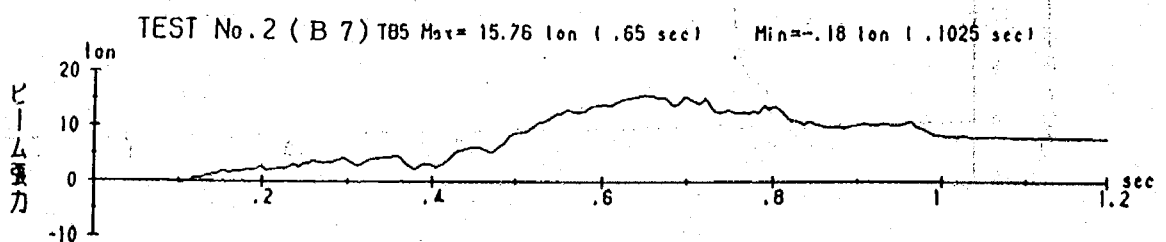
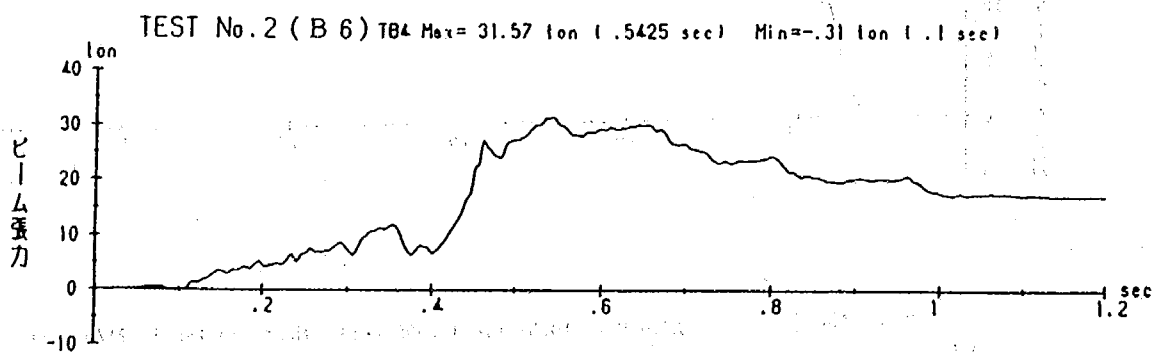
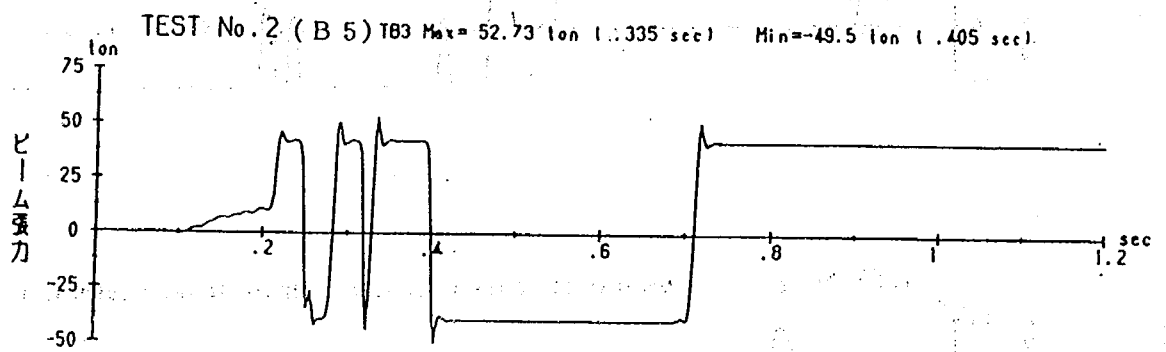
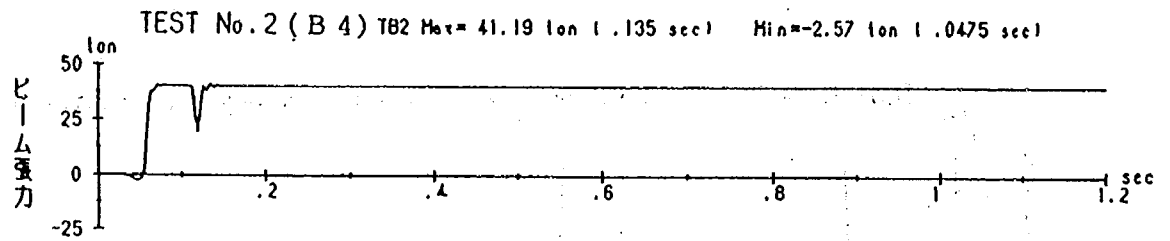
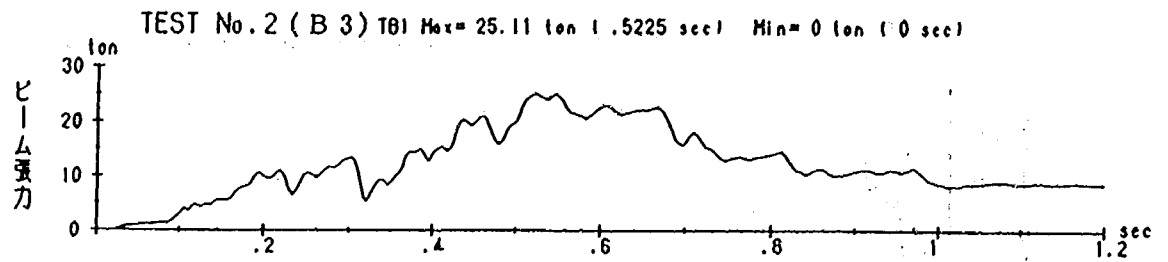




(平均)

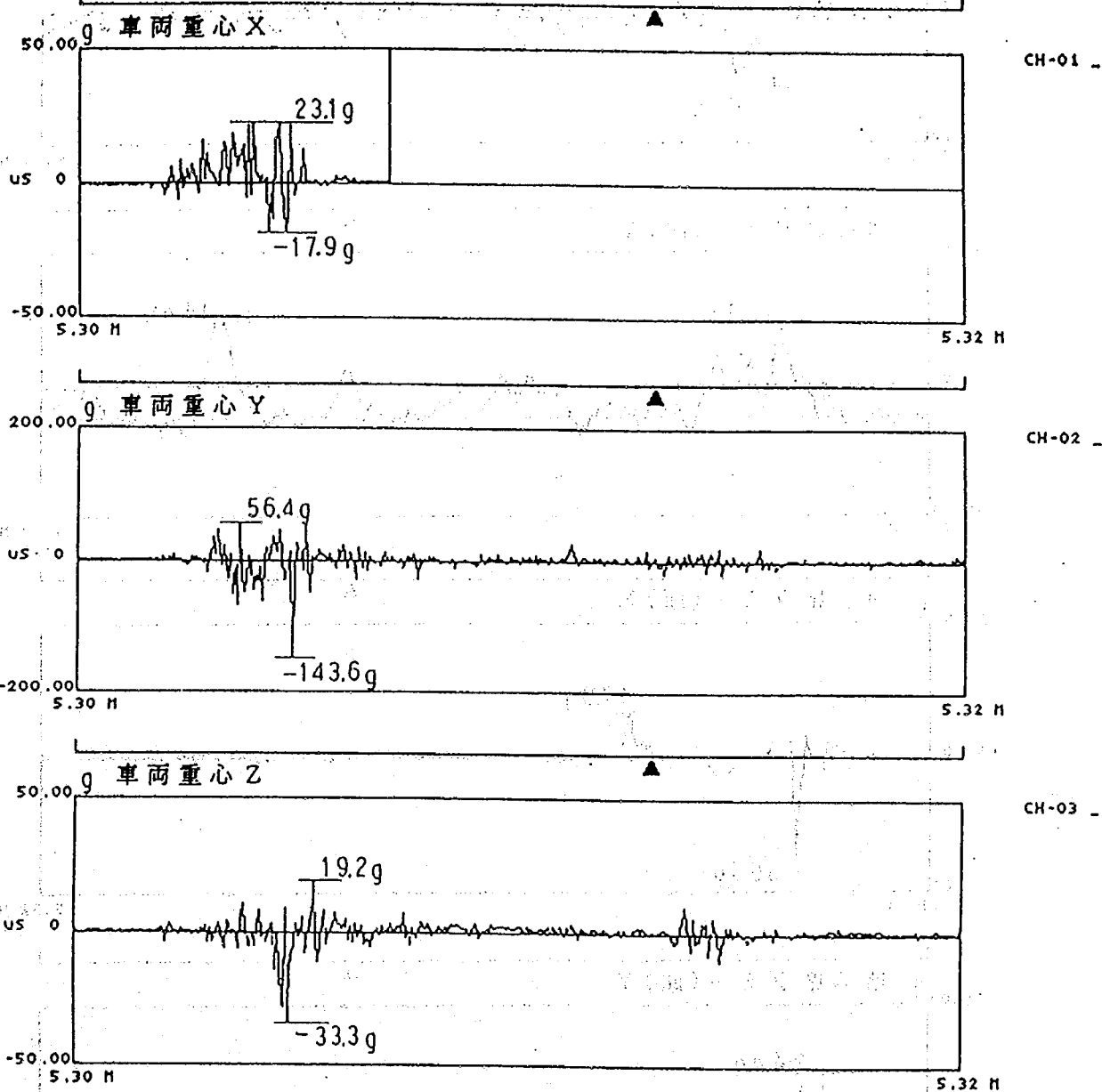


付 3. 8. ϵ^*-4 に作用した張力

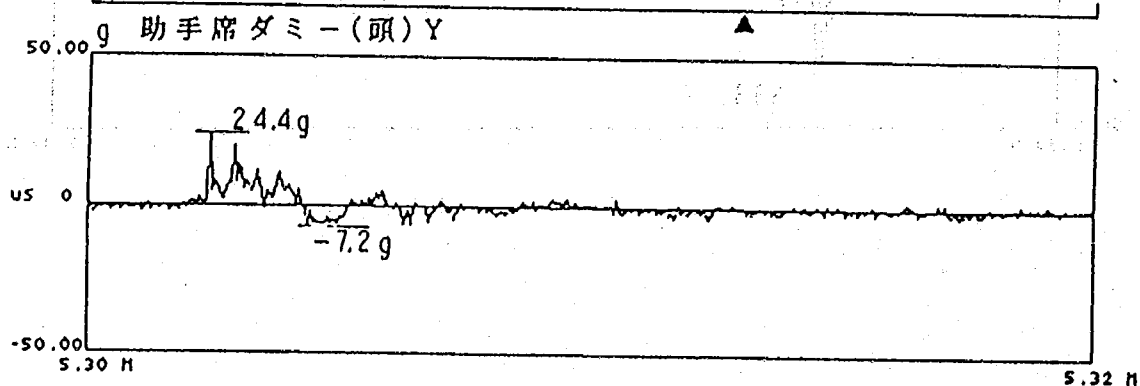
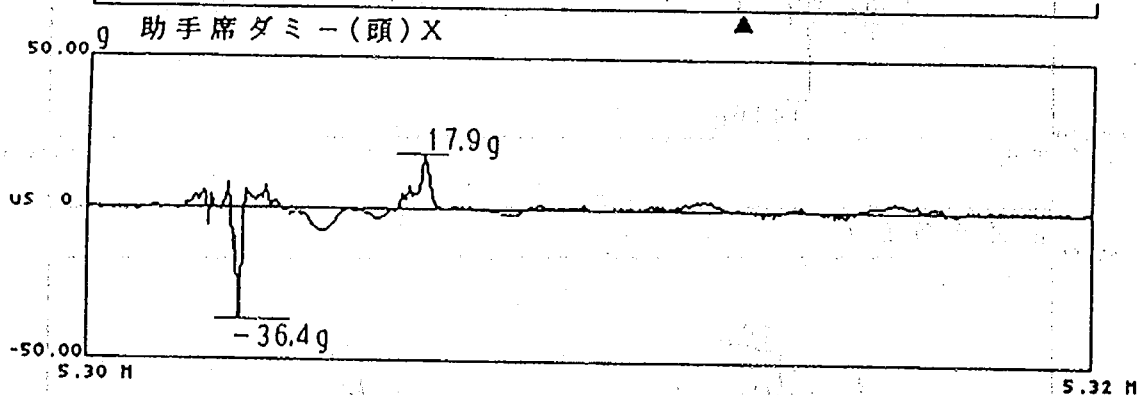
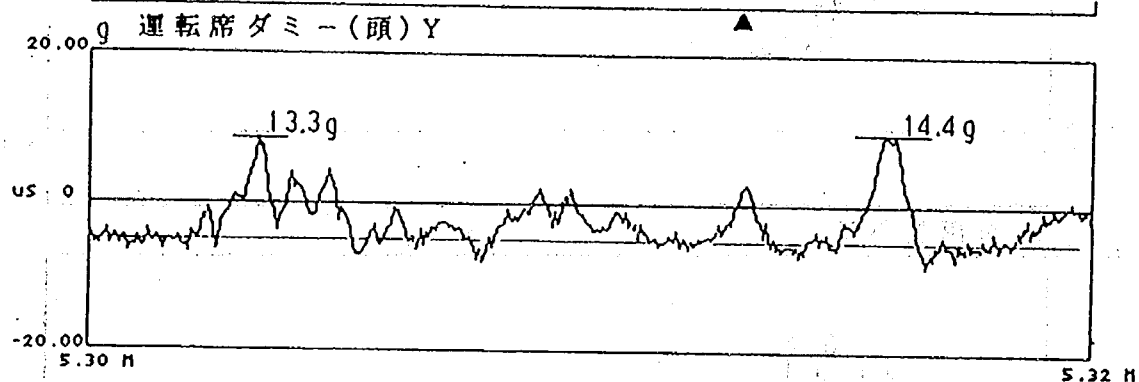
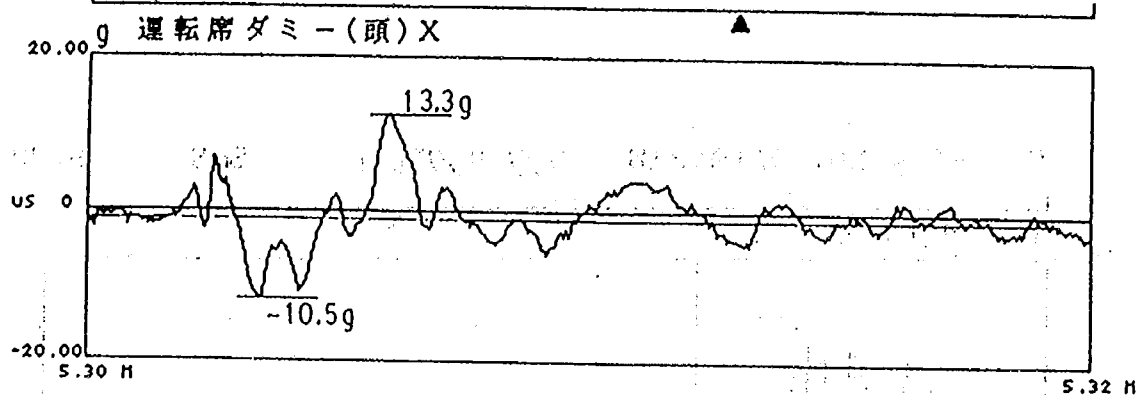


付 3. 9. 加速度波形

データ NO: DATA1218 サンプリングレート: 5mS 8.30 M



データ NO: DATA1218 サンプルレート : 5mS 8.30 M



付 3. 1 0. 加速度波形の分析結果

付 3. 1 0. 1. 加速度波形分析結果一覧表

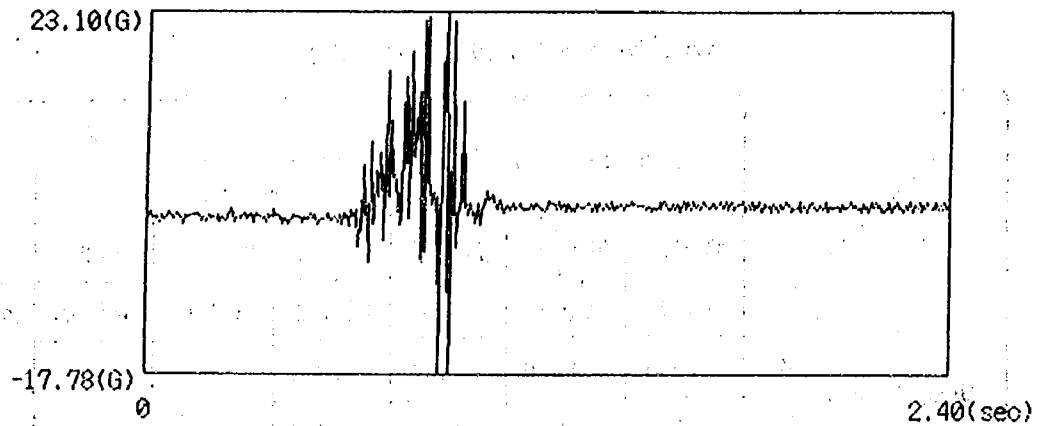
(剛性防護柵 + 1 段荷受ビーム)

		車 両 重 心			ダ ミ ー					
					運 転 席			助 手 席		
		原波形 (g)	50msec 平均 (g)	実効値 (g)	頭 部		胸 部	頭 部		胸 部
					原波形	H I C	原波形	原波形	H I C	原波形
実験 No. 2 大型貨物車 (100 km/h)	X	23.1	12.0	9.7	13.5		--	-36.0		
	Y	-146.6	-28.0	31.4	14.4		--	24.2		
	Z	-34.3								
	合成	146.6	28.7	32.7	16.6	73.5		38.4	88.7	
備 考		(注) 1)原波形はRAMカードに収録した結果である。 No. 2 実験 (sampling time :5 msec) 2)H I C 値はX, Y成分の合成値より算定した。 3)--はレコーダー不良の為、読みとり不能。								

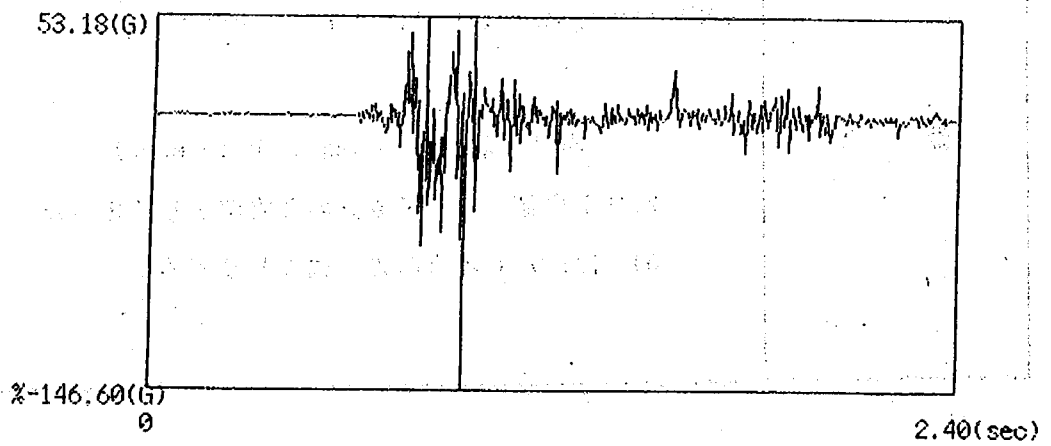
付 3. 1 0. 2. 車両重心加速度分析波形

WAVE 1= 1210-1.PRN WAVE 2= 1210-2.PRN WAVE 3= 1210-3.PRN

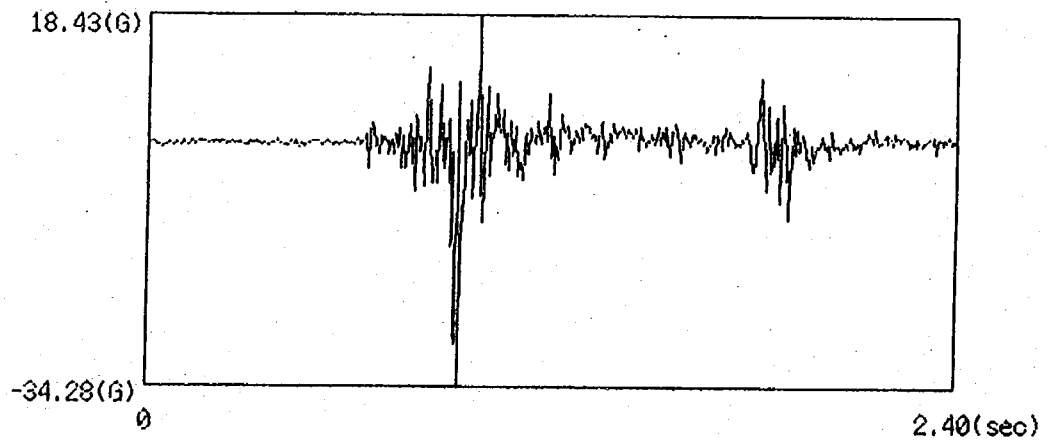
原波形 X WAVE NO.=1210-1.PRN
 サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
 最大値 A1(178) = 2.3097E+01 (G)
 最小値 A1(173) = -1.7776E+01 (G)



原波形 Y WAVE NO.=1210-2.PRN
 サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
 最大値 A2(161) = 5.3184E+01 (G)
 最小値 A2(184) = -1.4660E+02 (G)



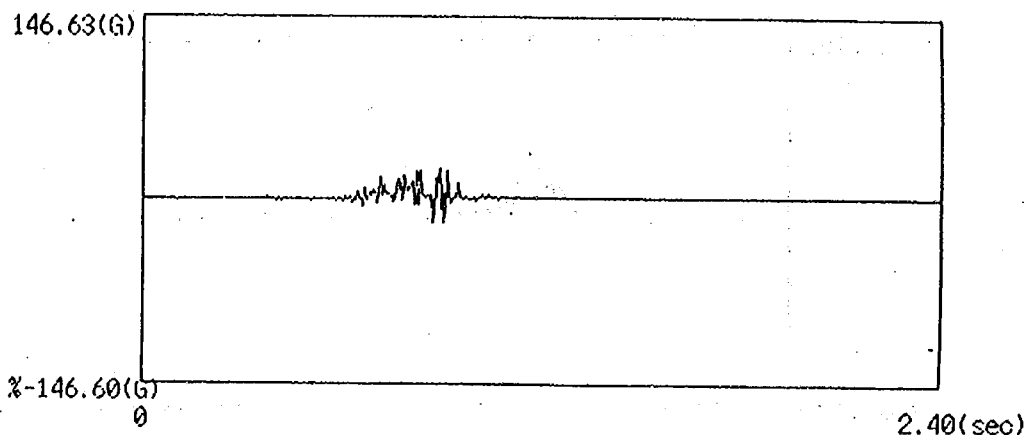
原波形 Z WAVE NO.=1210-3.PRN
 サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
 最大値 A4(195) = 1.8429E+01 (G)
 最小値 A4(183) = -3.4282E+01 (G)



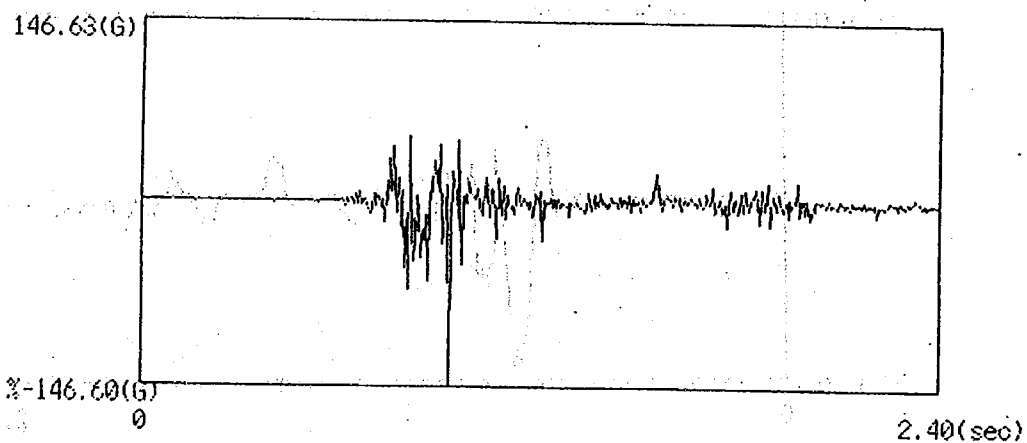
WAVE 1= 1210-1.PRN WAVE 2= 1210-2.PRN

原波形 X

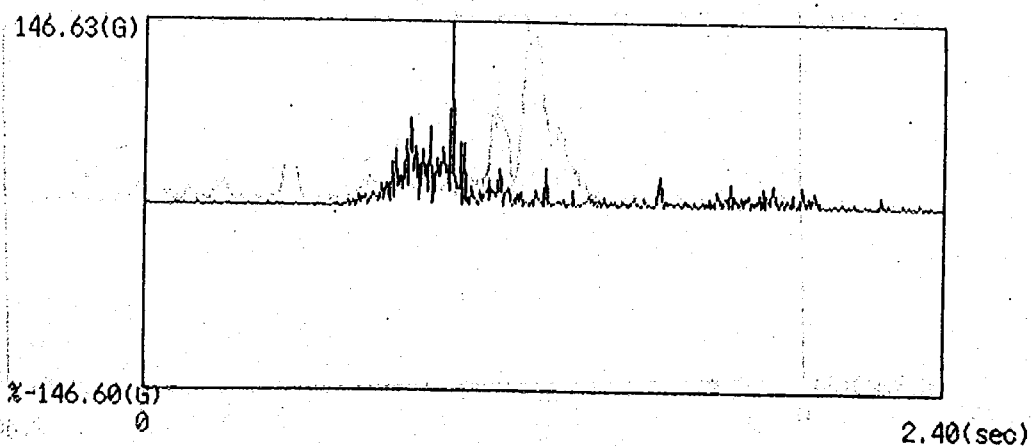
WAVE NO.=1210-1.PRN
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A1(178) = 2.3097E+01 (G)
最小値 A1(173) = -1.7776E+01 (G)



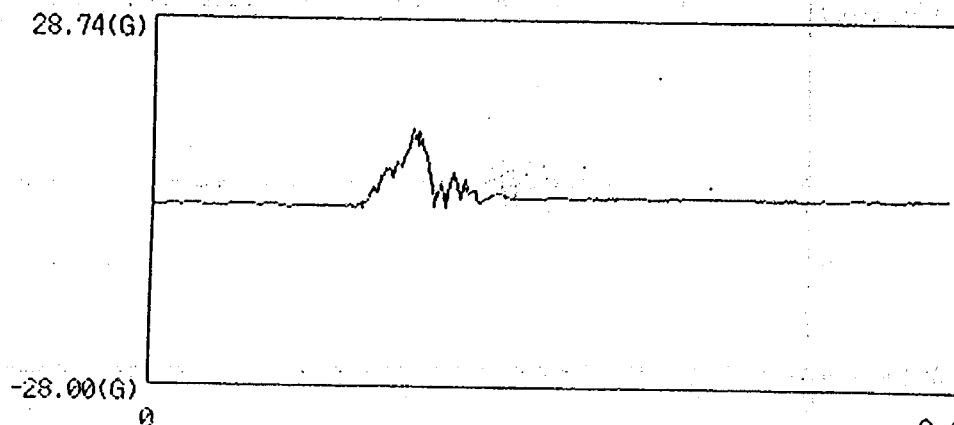
原波形 Y WAVE NO.=1210-2.PRN
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A2(161) = 5.3184E+01 (G)
最小値 A2(184) = -1.4660E+02 (G)



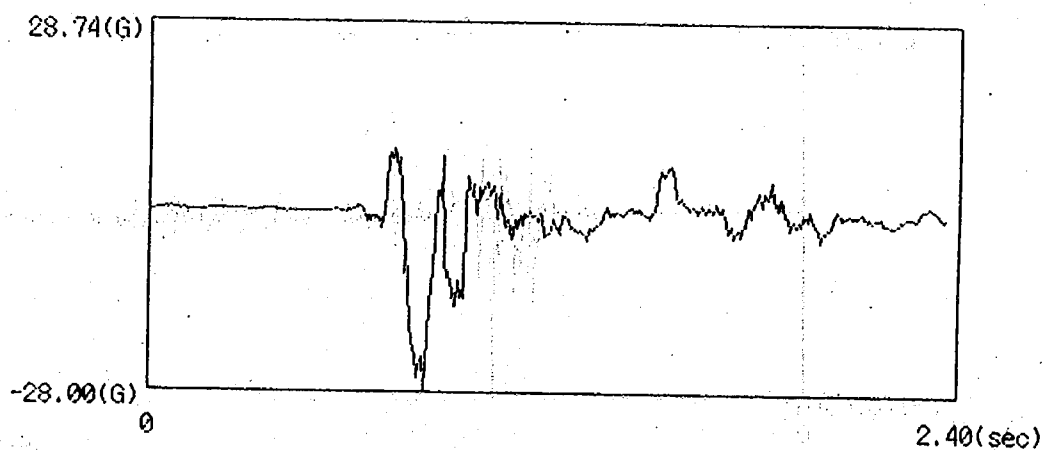
X Y 波形 合成値 WAVE 1= 1210-1.PRN WAVE 2= 1210-2.PRN
最大値 = 1.4663E+02 (G)



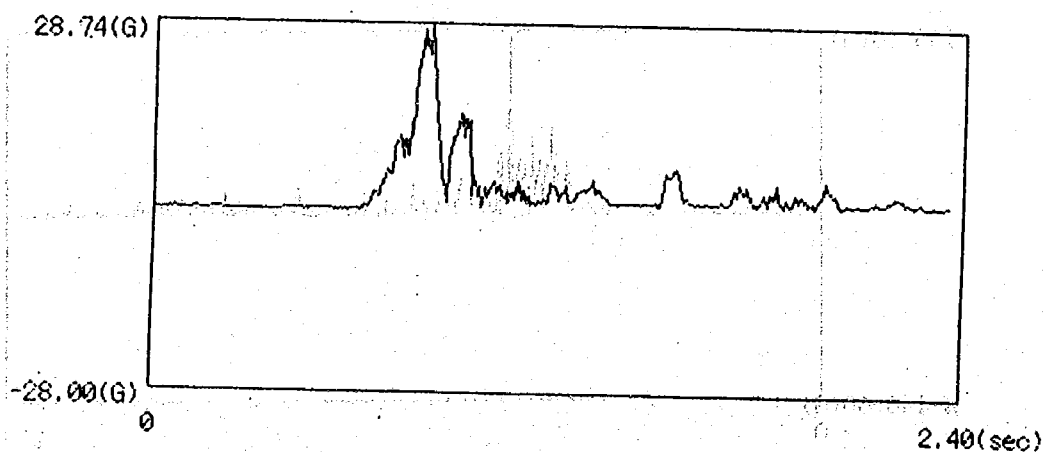
50msec平均 X WAVE 1=1210-1.PRN
 最大値 = $1.2018\text{E}+01$ (G)
 最小値 = $-4.3742\text{E}-01$ (G)



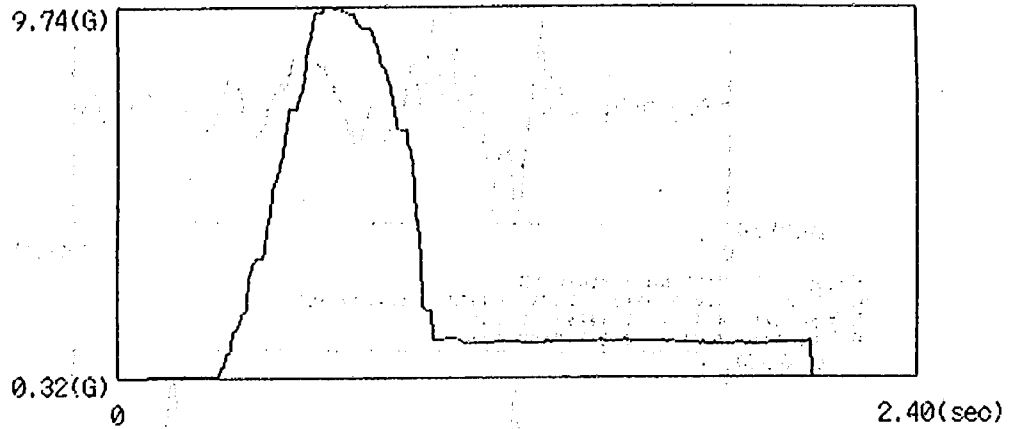
50msec平均 Y WAVE 2=1210-2.PRN
 最大値 = $9.3912\text{E}+00$ (G)
 最小値 = $-2.8000\text{E}+01$ (G)



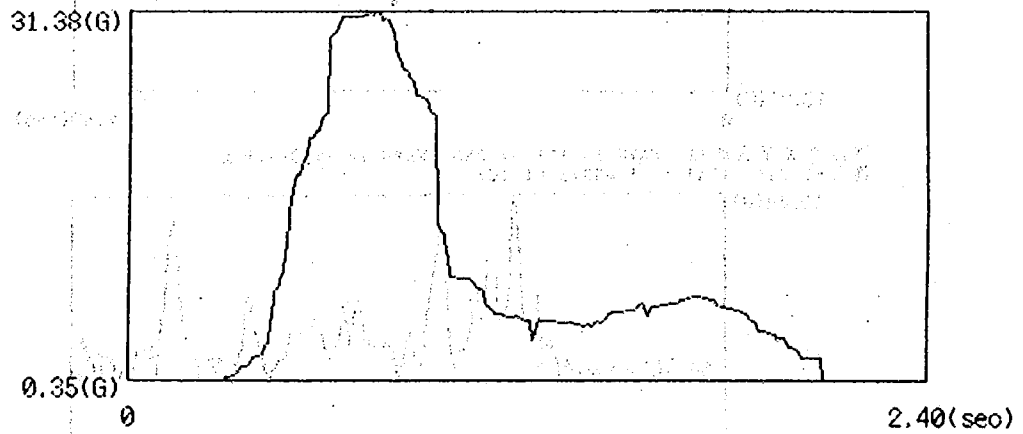
50msec平均 X Y 合成値
 最大値 = $2.8737\text{E}+01$ (G)



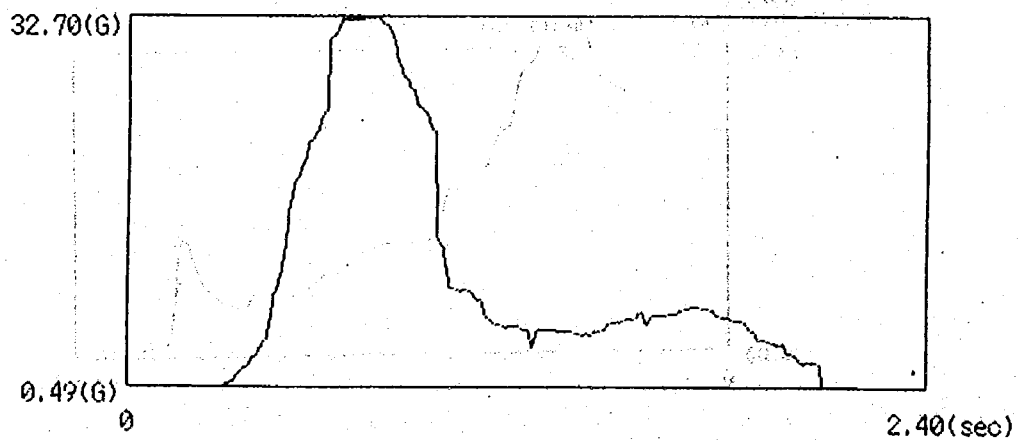
最大進入行程 突効値 X WAVE 1=1210-1.PRN
最大値 = 9.7358E+00 (G)



最大進入行程 突効値 Y WAVE 2=1210-2.PRN
最大値 = 3.1383E+01 (G)

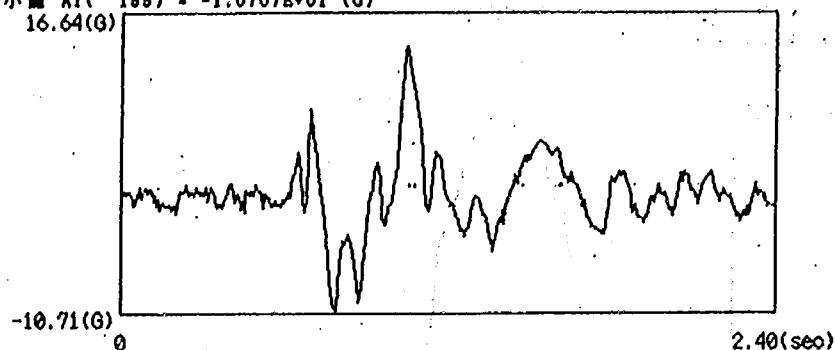


最大進入行程 突効値 合成値
最大値 = 3.2698E+01 (G)

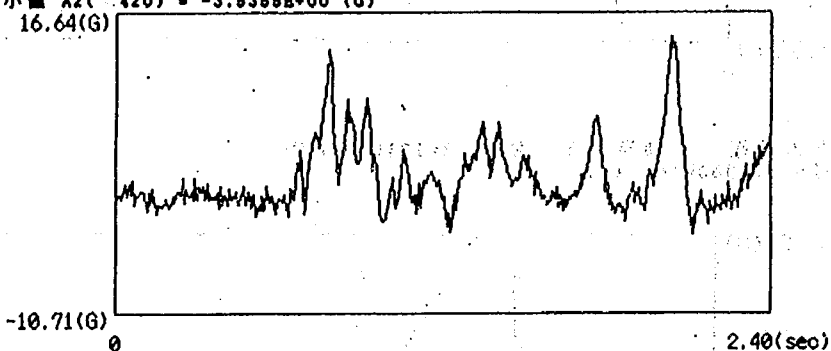


付 3. 1 0. 3. 運転席ダミー（頭部）加速度分析波形

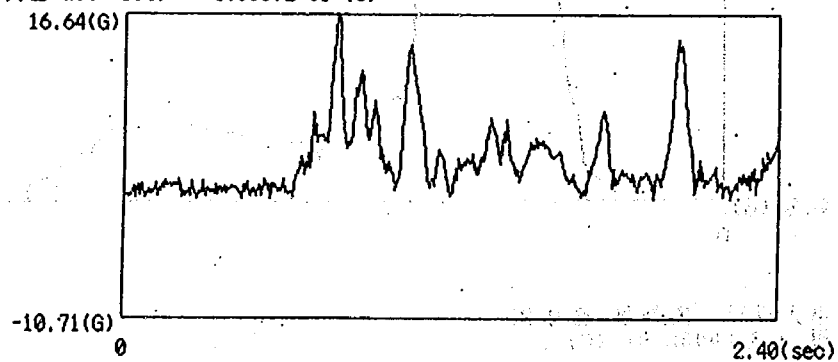
原波形 X WAVE NO.=1210-4.PRN
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A1(208) = 1.3458E+01 (G)
最小値 A1(166) = -1.0707E+01 (G)



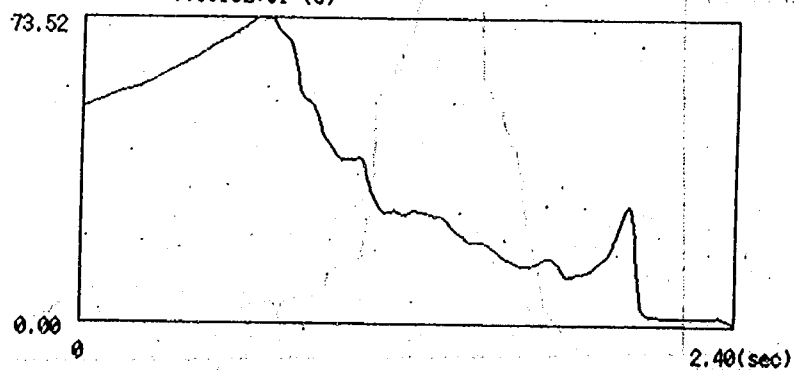
原波形 Y WAVE NO.=1210-5.PRN
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A2(404) = 1.4429E+01 (G)
最小値 A2(420) = -3.5355E+00 (G)



原波形 X Y 合成値 WAVE 1= 1210-4.PRN WAVE 2= 1210-5.PRN
最大値 XY(154) = 1.6637E+01 (G)

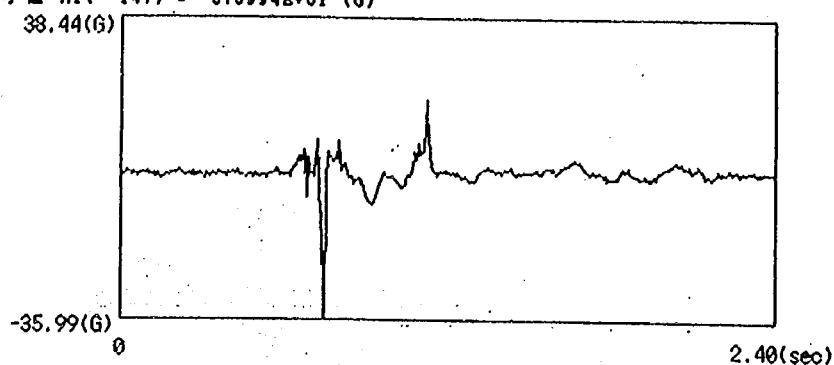


H I C の最大値
最大値 HIC(128) = 7.3518E+01 (G)

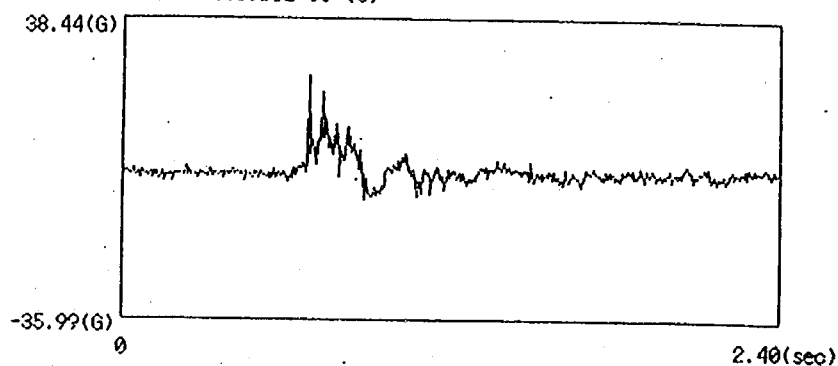


付 3. 1 0. 4. 助手席ダミー（頭部）加速度分析波形

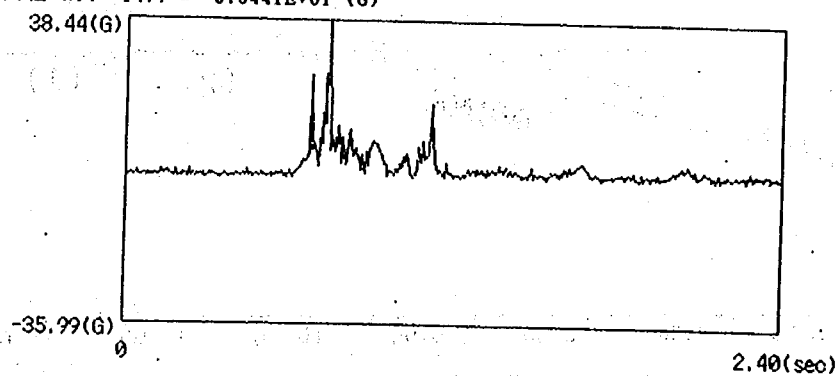
原波形 X WAVE NO.=1210-6.PRN
サンプリング = 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A1(222) = 1.8110E+01 (G)
最小値 A1(147) = -3.6994E+01 (G)



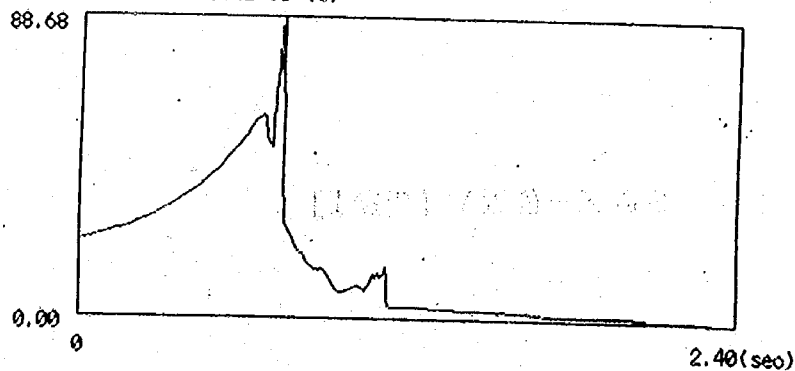
原波形 Y WAVE NO.=1210-7.PRN
サンプリング = 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A2(135) = 2.4161E+01 (G)
最小値 A2(175) = -6.1311E+00 (G)



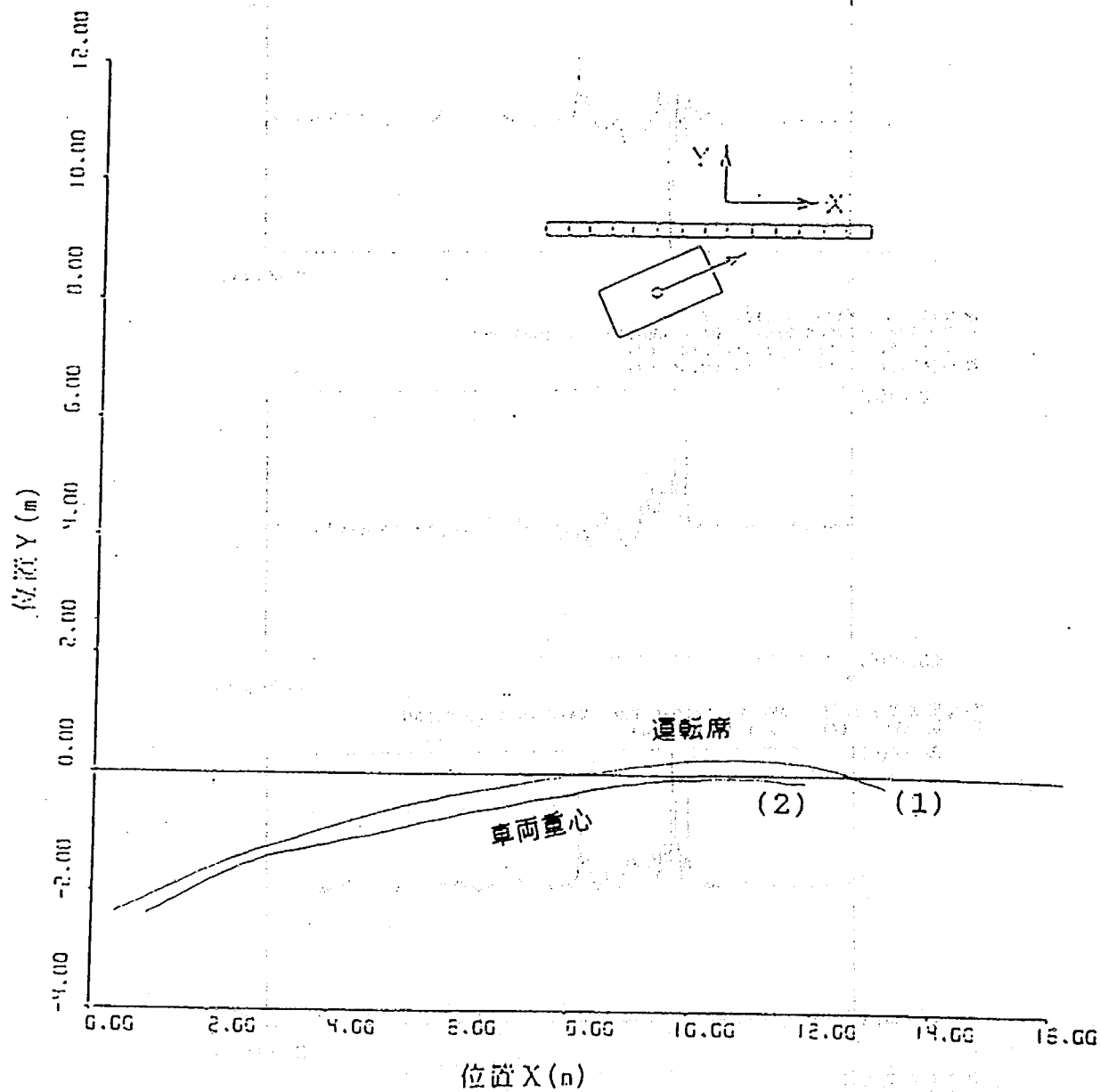
原波形 X Y 合成値 WAVE 1= 1210-6.PRN WAVE 2= 1210-7.PRN
最大値 XY(147) = 3.8441E+01 (G)



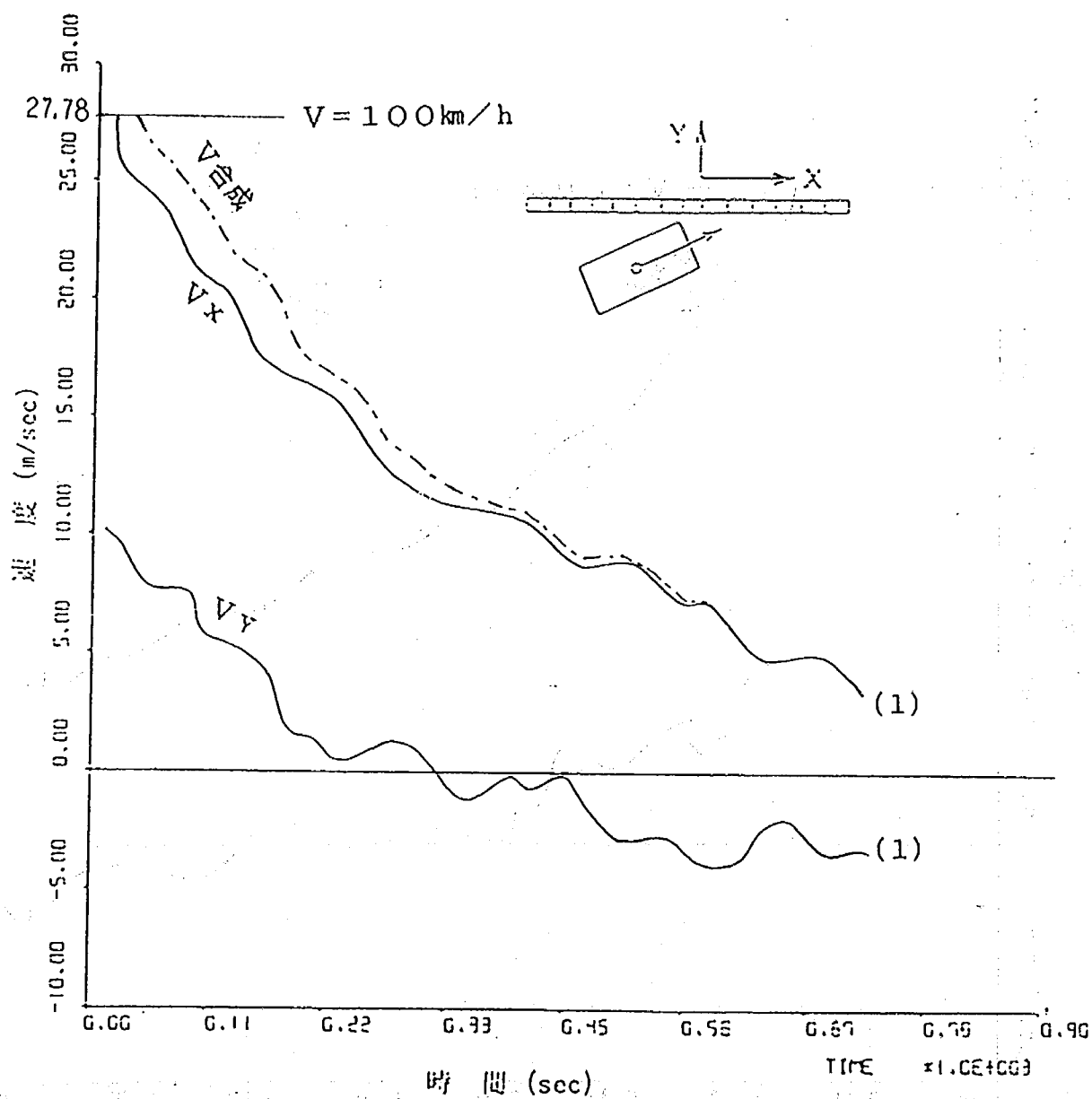
HIC の最大値
最大値 HIC(147) = 8.8684E+01 (G)



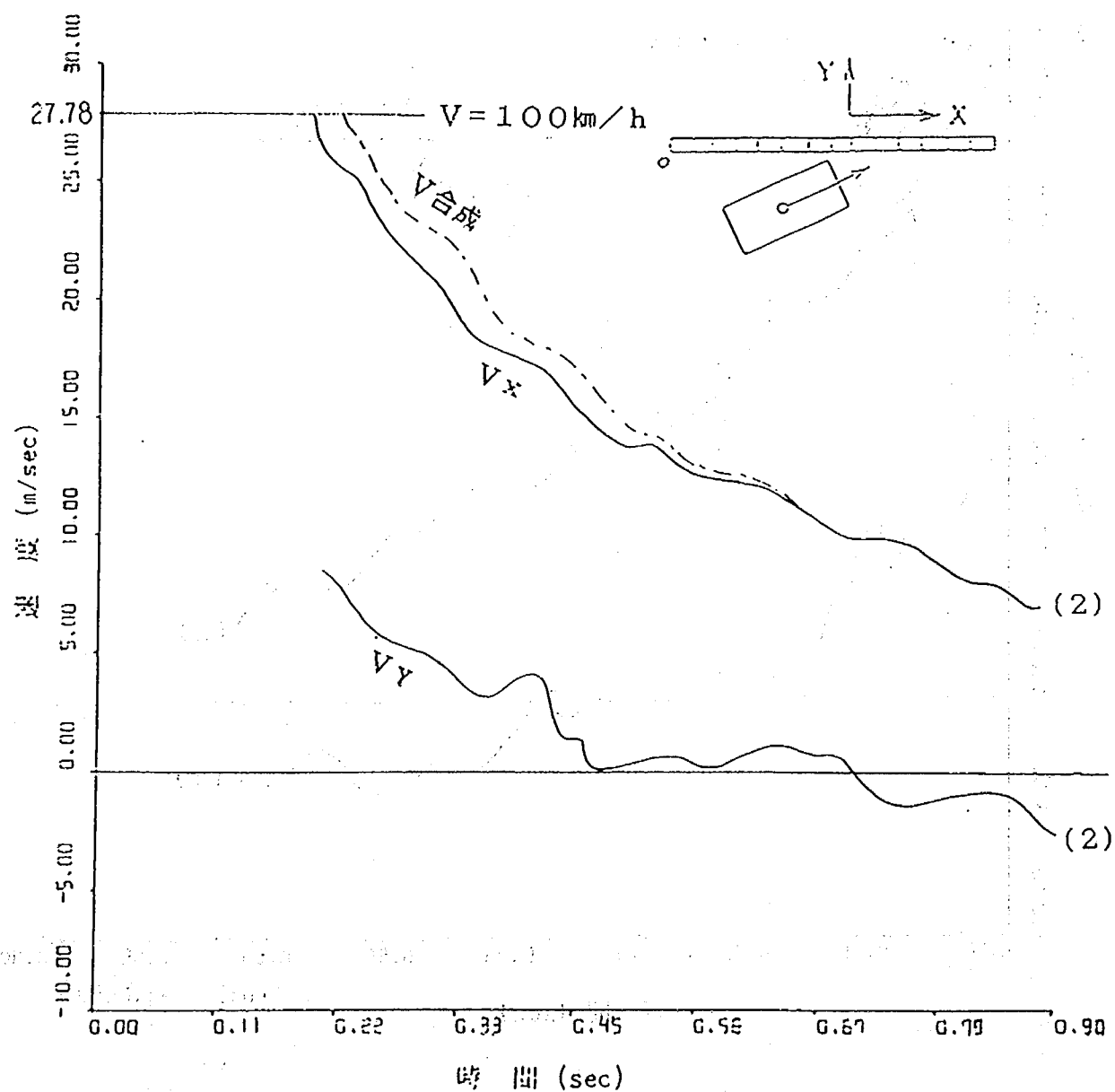
付3. 11. 高速度フィルムの解析結果
 付3. 11. 1. 車両重心と運転席位置



位置 X - 位置 Y [実験1]

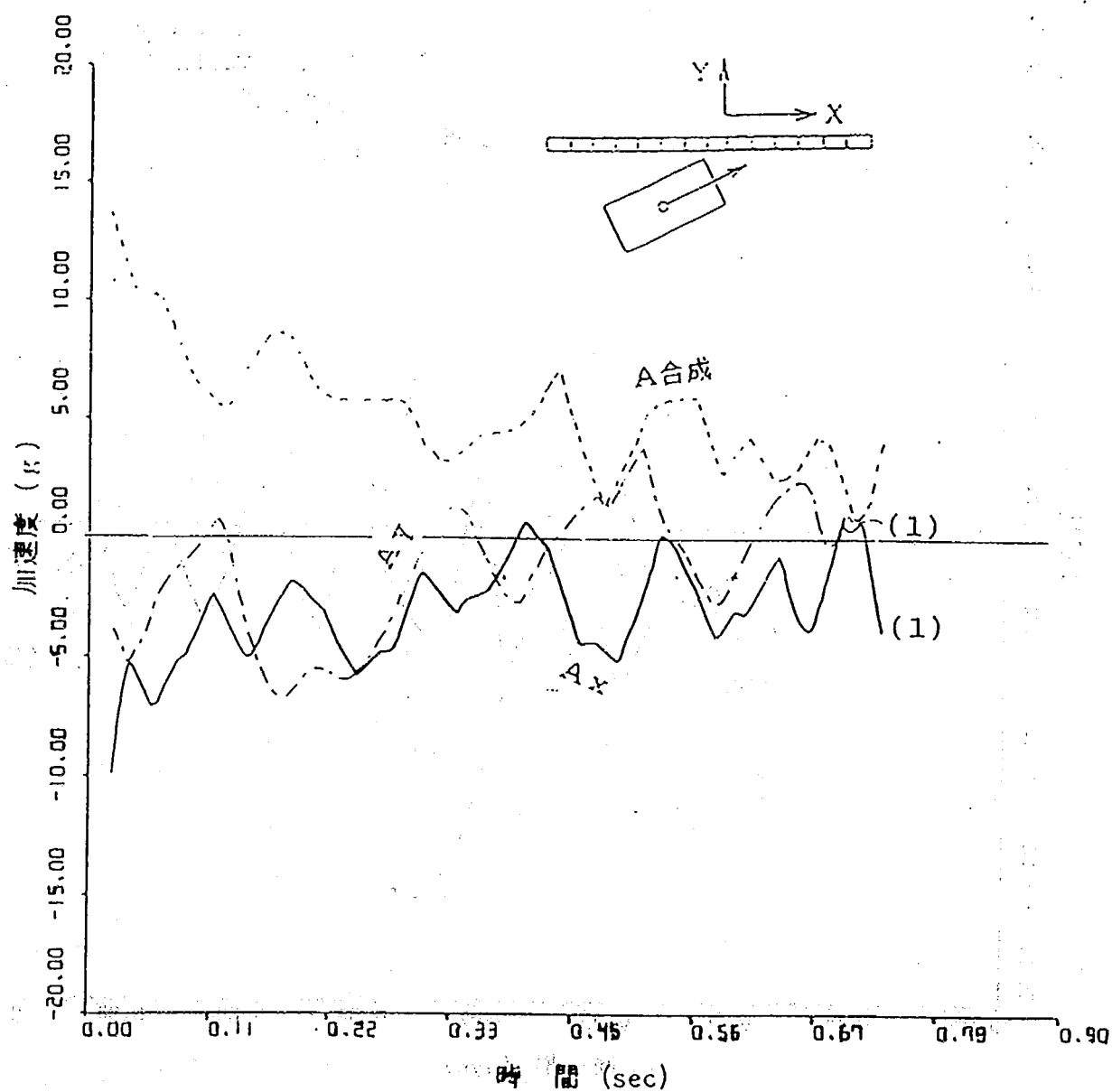


速度 (運転席) [実験 1]



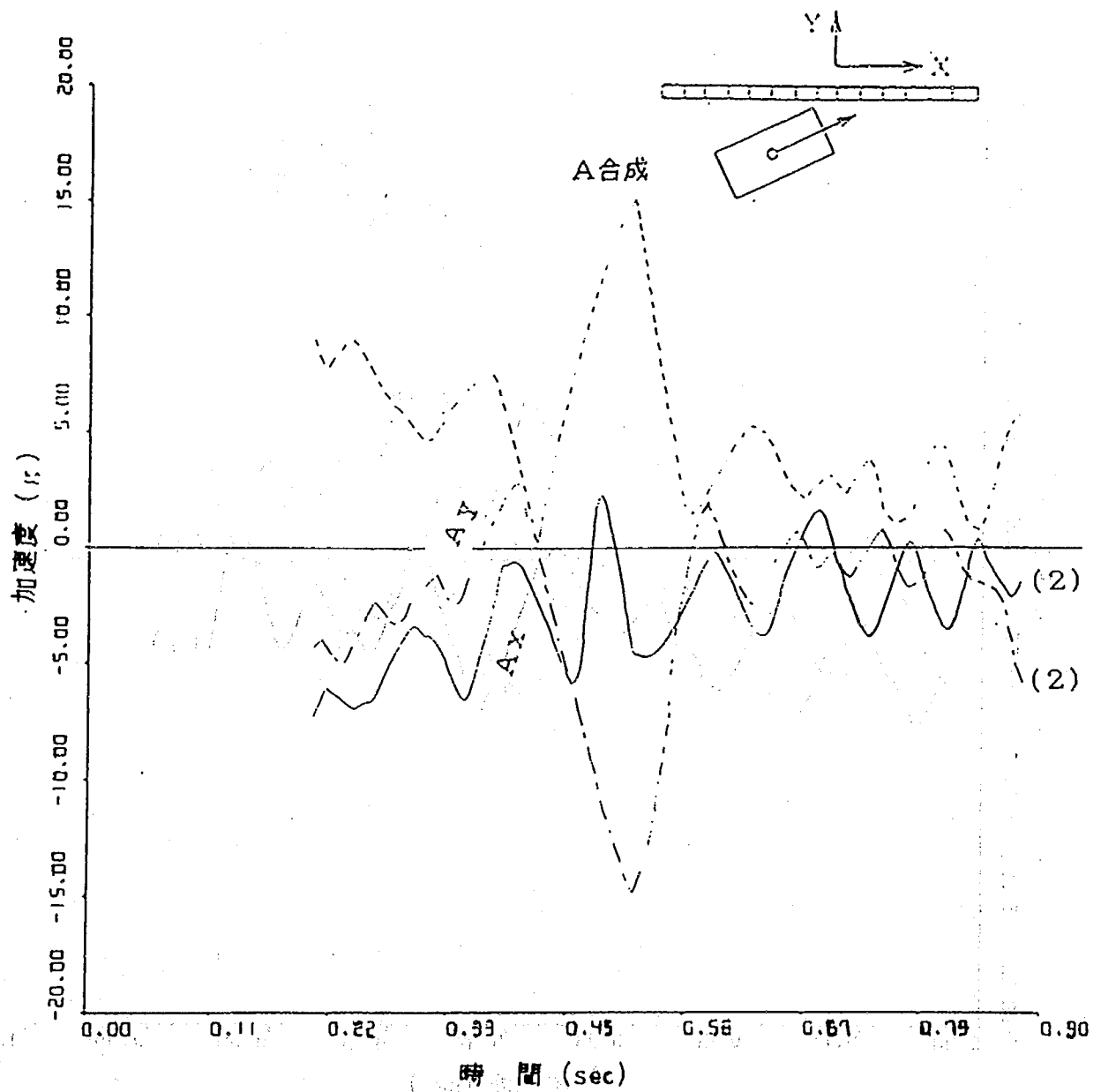
速度 (車両重心) [実験1]

付3. 1 1. 4. 運転席加速度



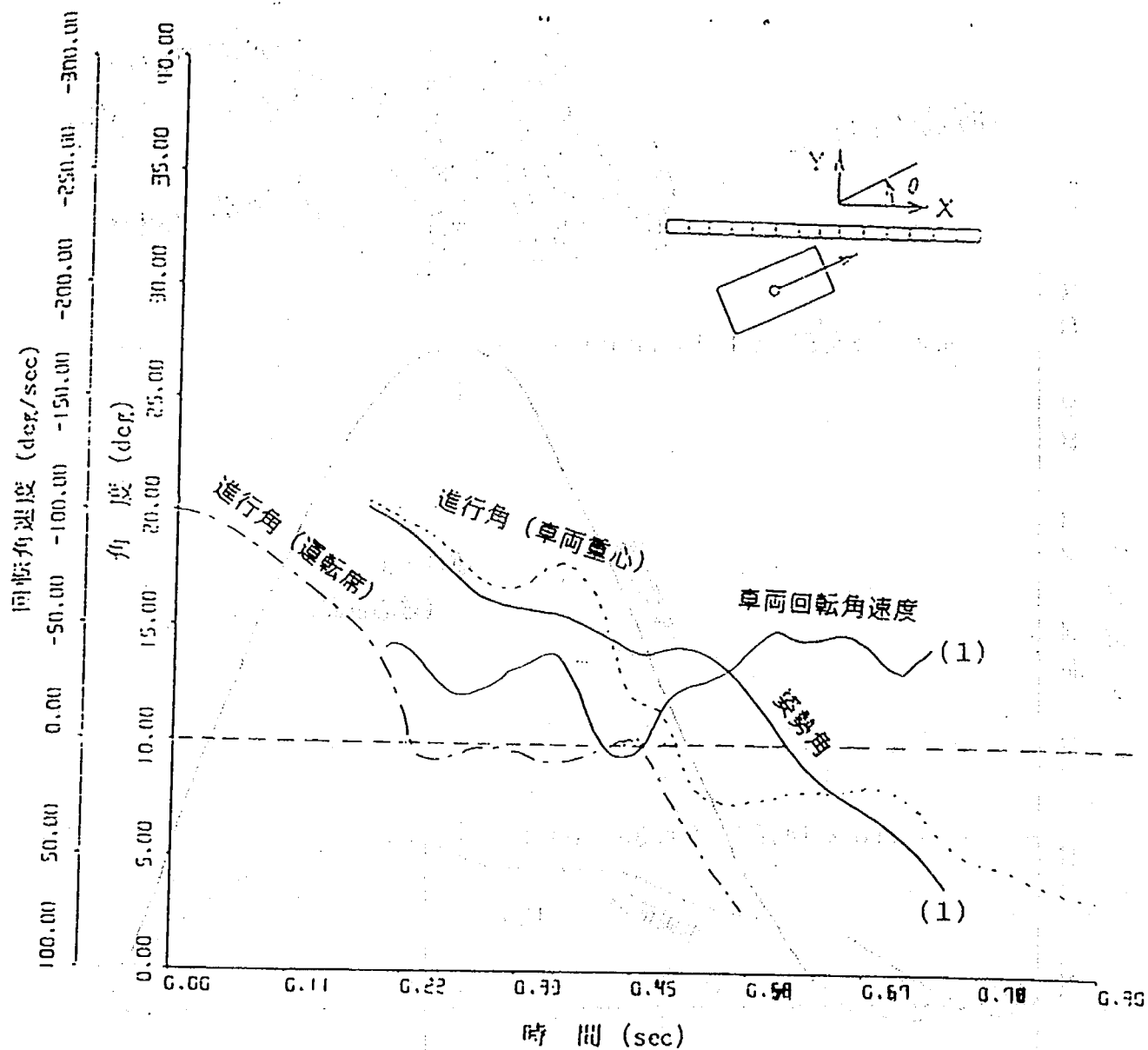
加速度 (運転席) [実験1]

付 3. 1 1. 5. 車両重心加速度

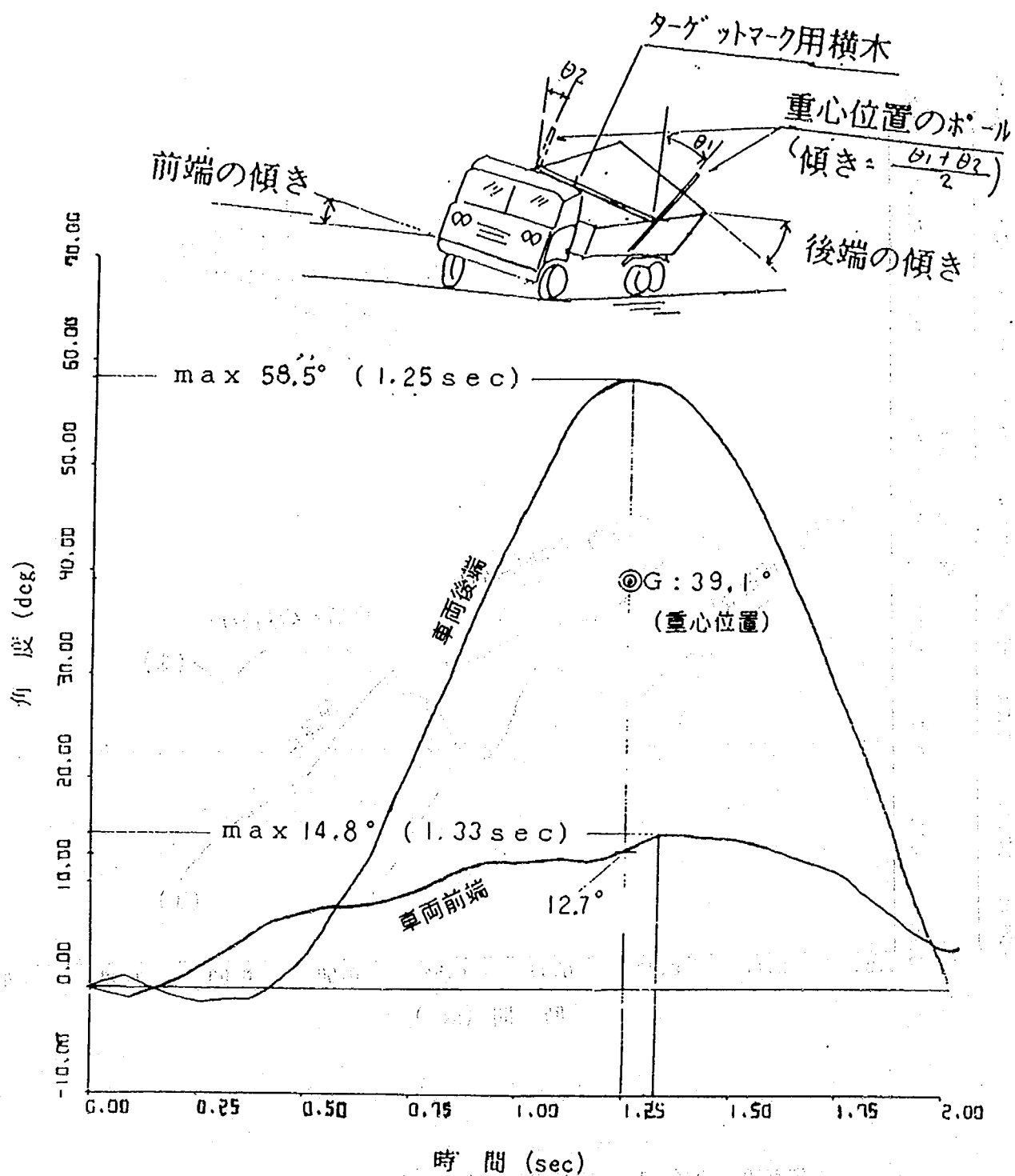


加速度 (車両重心) [実験1]

付 3. 1 1. 6. 車両の姿勢角、進行角、回転角速度

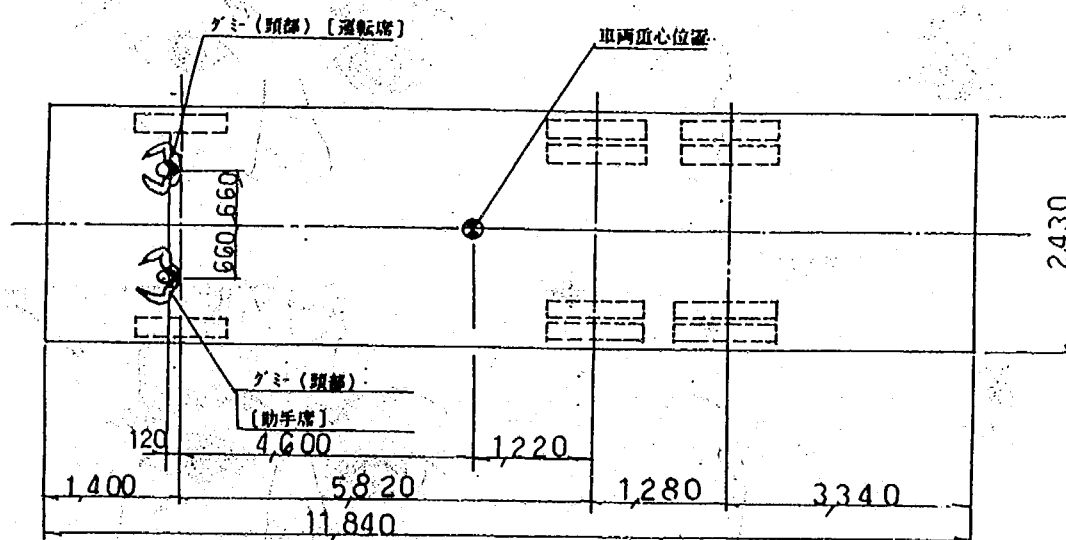
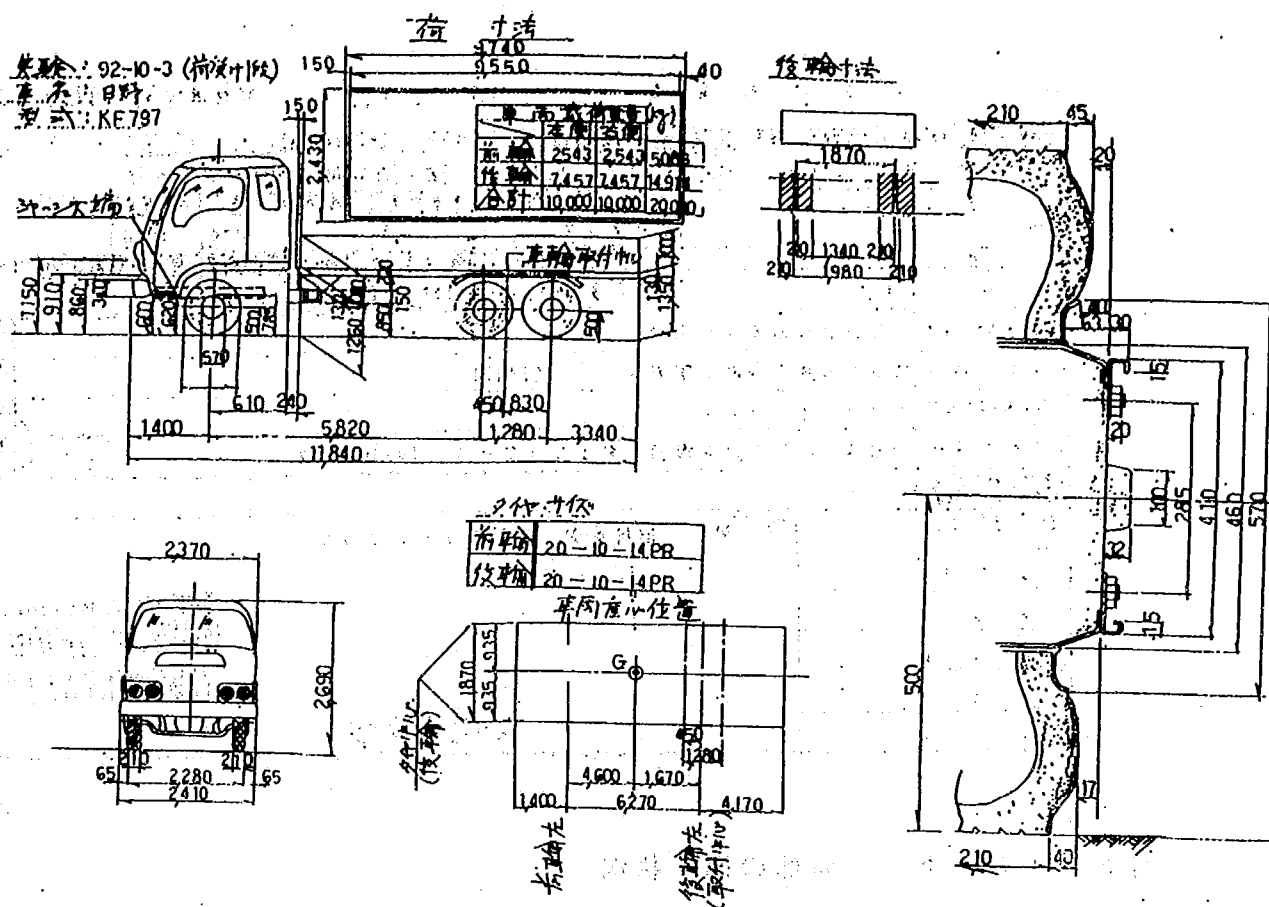


姿勢角・進行角・車両回転角速度 [実験1]



車両傾斜角 [実験1]

付 3. 1 2. 実験車の寸法と車検証

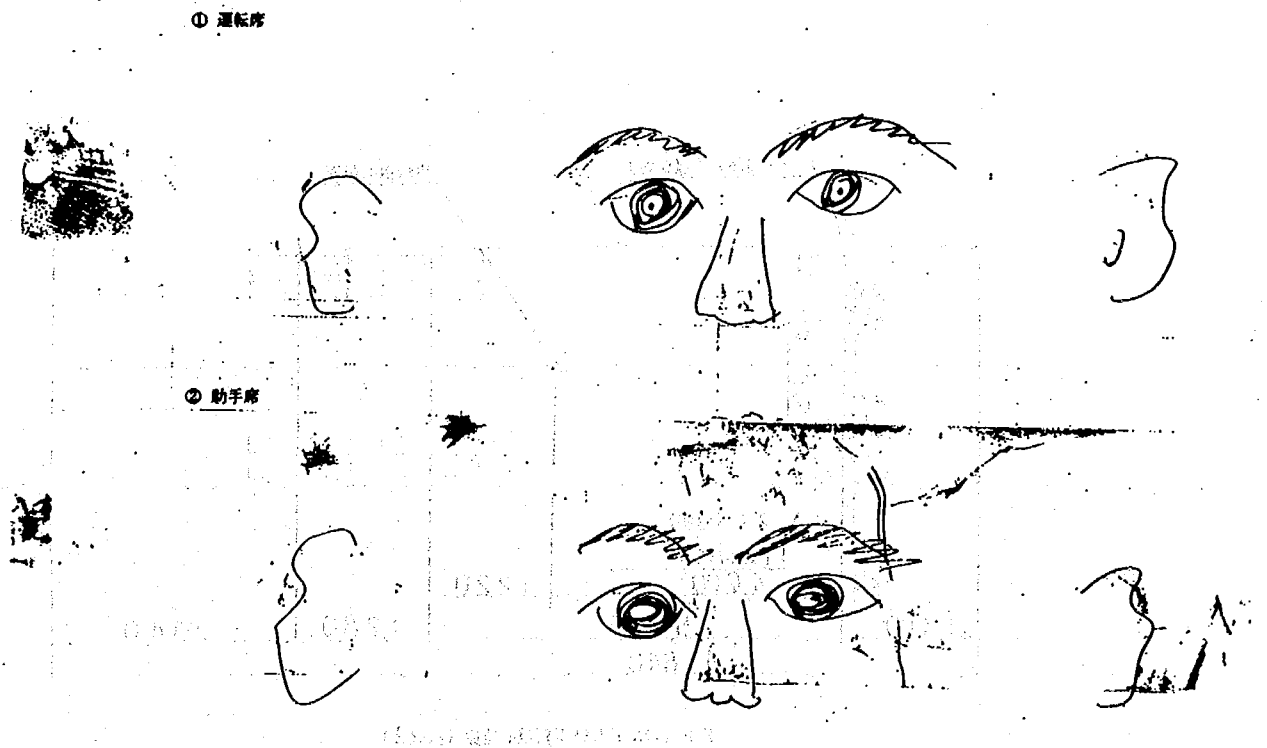


ゲミ（頸部）及び車両重心位置（実験1）

A086 自動車検査証 平成 2 年 5 月 30 日 東京都警視庁 洗車場検査場

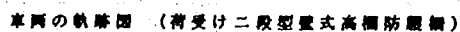
車種	1.1	さ	7.16	54	5.29	54	5.29	貨物自動車	キャブオートバ
日野	K P 7 9 7			3	9750	9950	19905		
K P 7 9 7 - 1 1 8 1 1	B P 3 0 0			1198	247	315	14.38	軸重	
所有者の氏名又は名称	茨城日報自動車株式会社								4190
所有者の住所	茨城県水戸市栄町1丁目2-7 (1421)								4190
所有権のある方の住所	トツカ キヨウジ								5620
使用上の住所	茨城県水戸市栄町栄新田町1247-1 (0840 0252)								5800
使用の本拠の地区	***								2180
製造年の所定年次	***								
定期検定の期日									
平成	3			5			29		
(注) 総重量 B P 1 2 6 , 0 0 0 茨城県つくば市大字高野1219-4 (株) 皆葉自動車 TEL 0296(7)21140 FAX 0296(7)21140 大野 拓也									

付 3. 1 3. ダミー頭部の感圧状況

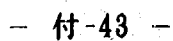


付 4. 荷受け 2 段型コンクリート直壁 [実験 2]

付 4. 1. 軌跡

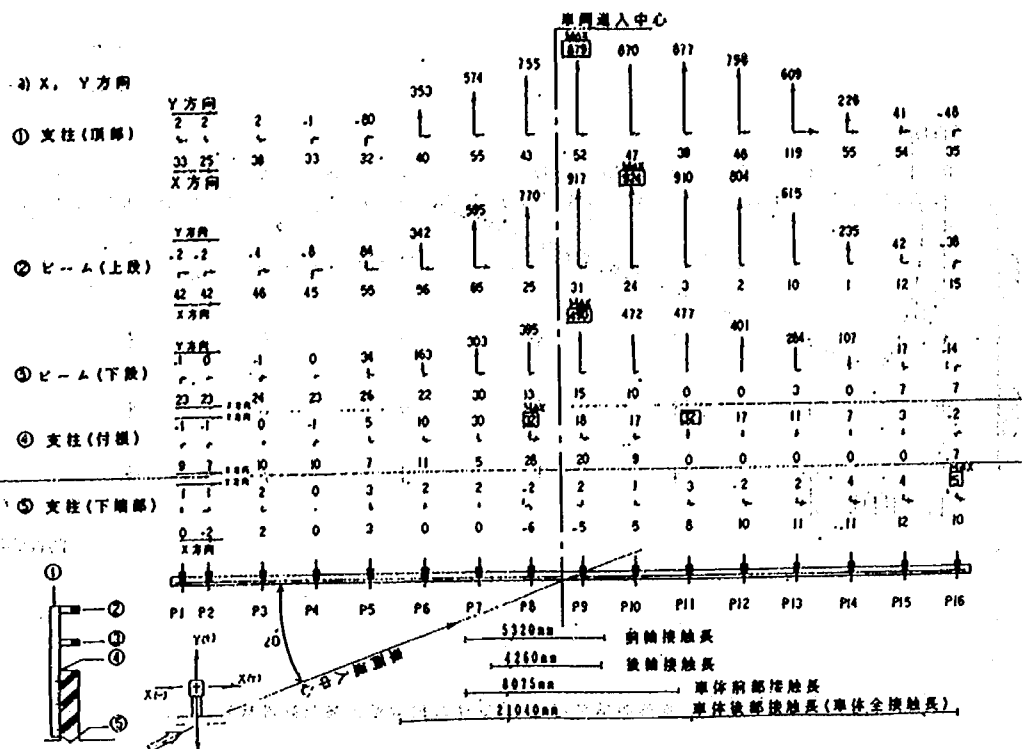


16. What is the purpose of the study?

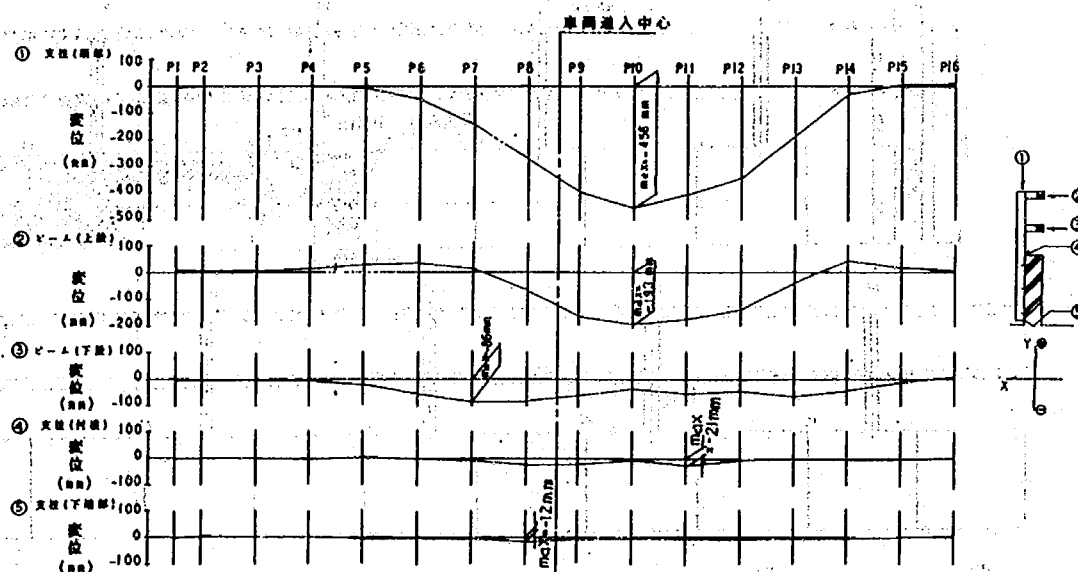


付 4. 3. 防護柵の残留変位関係

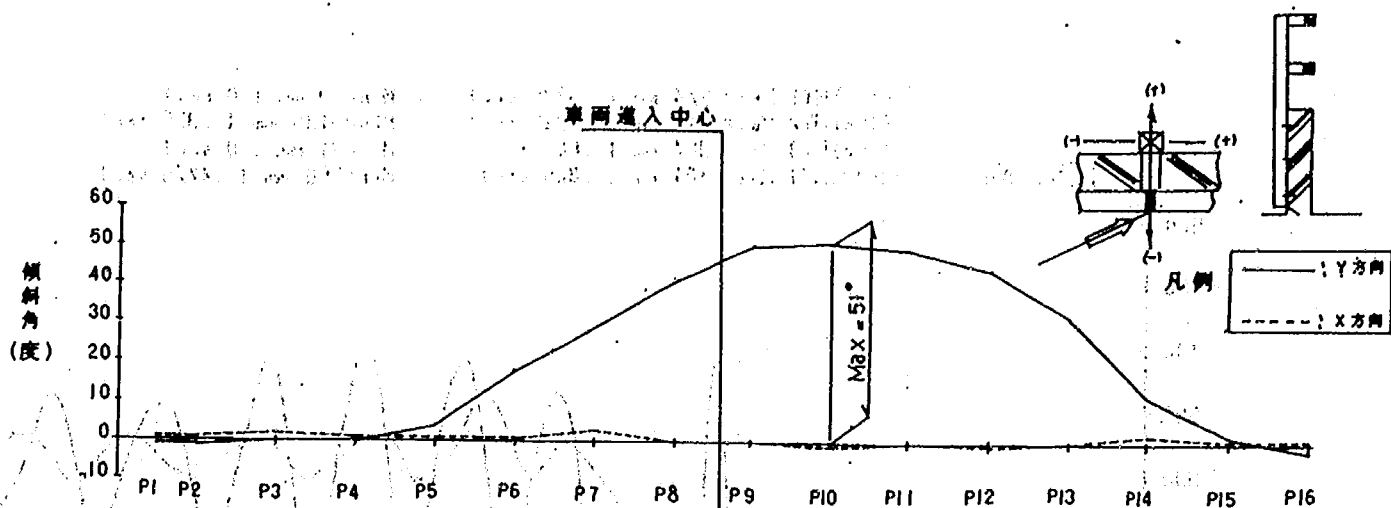
付 4. 3. 1. 支柱及びビームの残留変位(X, Y方向)



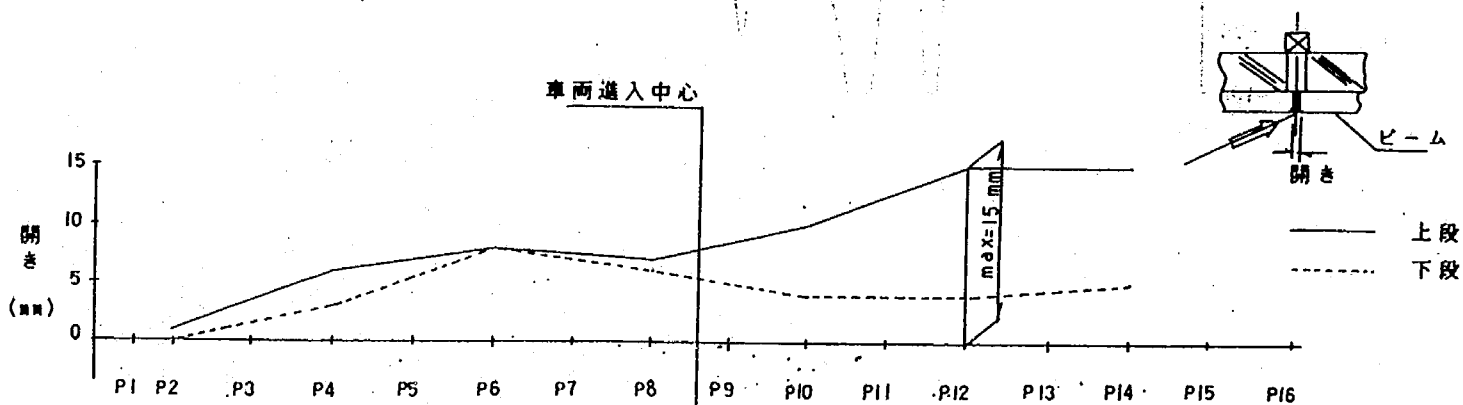
付 4. 3. 2. 支柱の残留変位(Z方向)



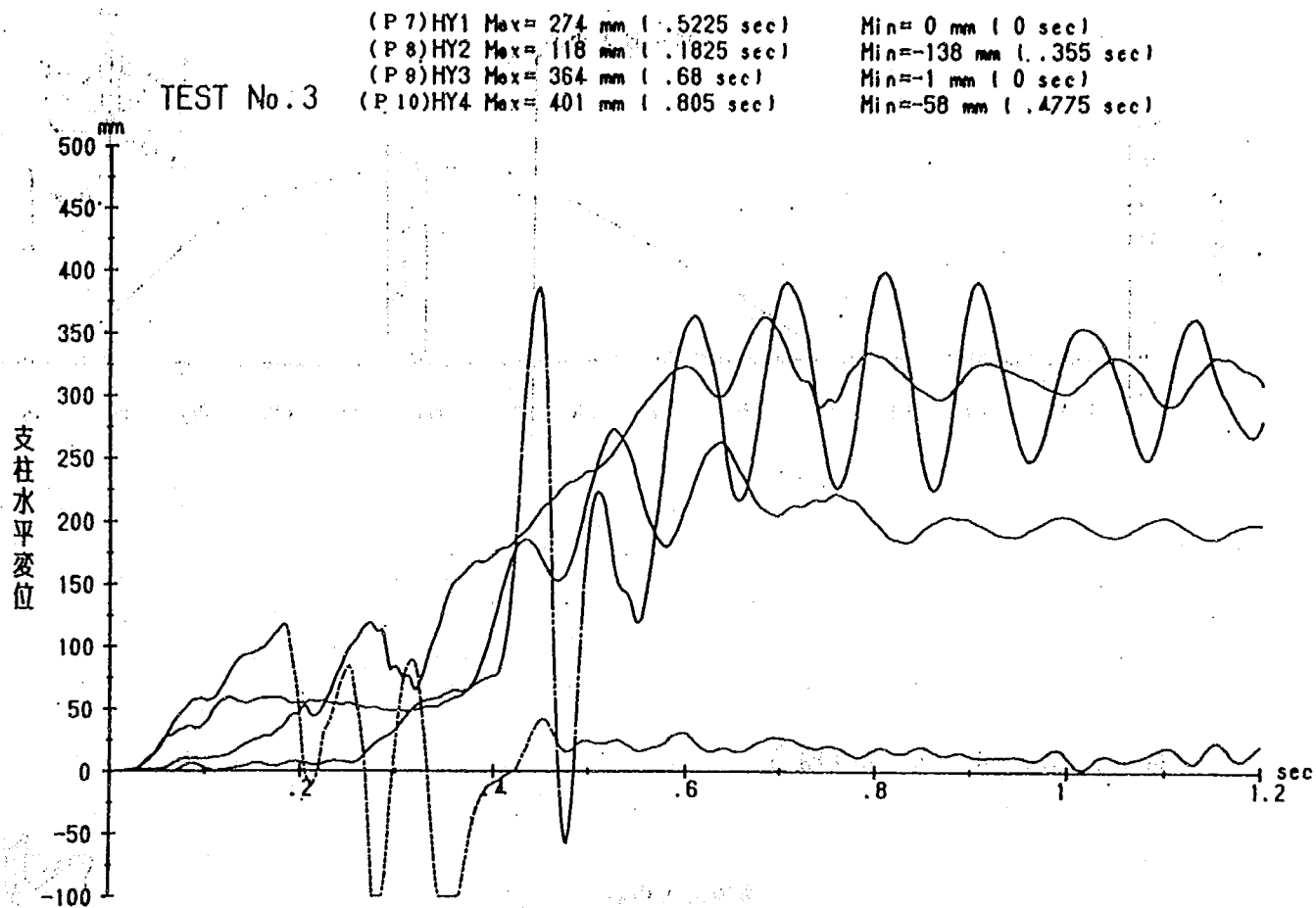
付 4. 3. 3. 支柱の傾斜角



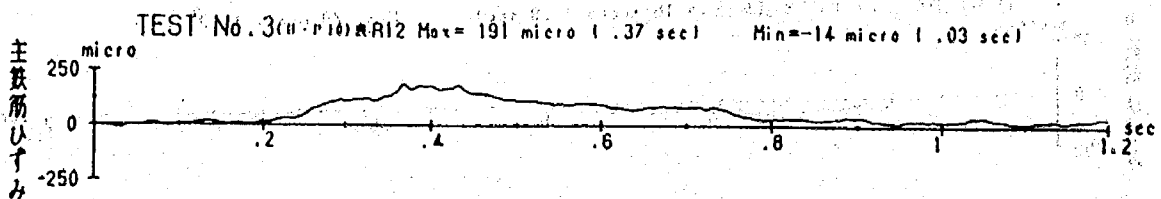
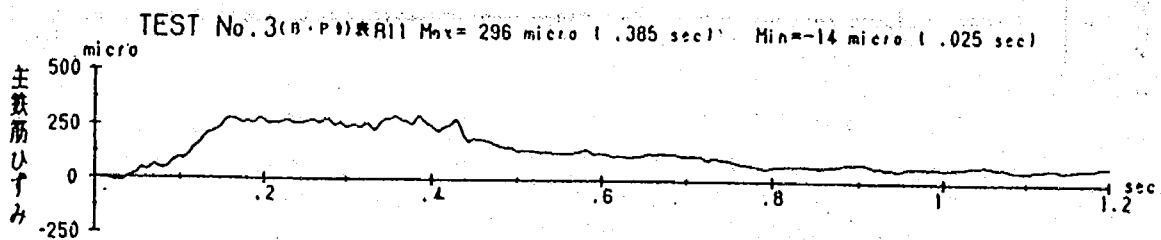
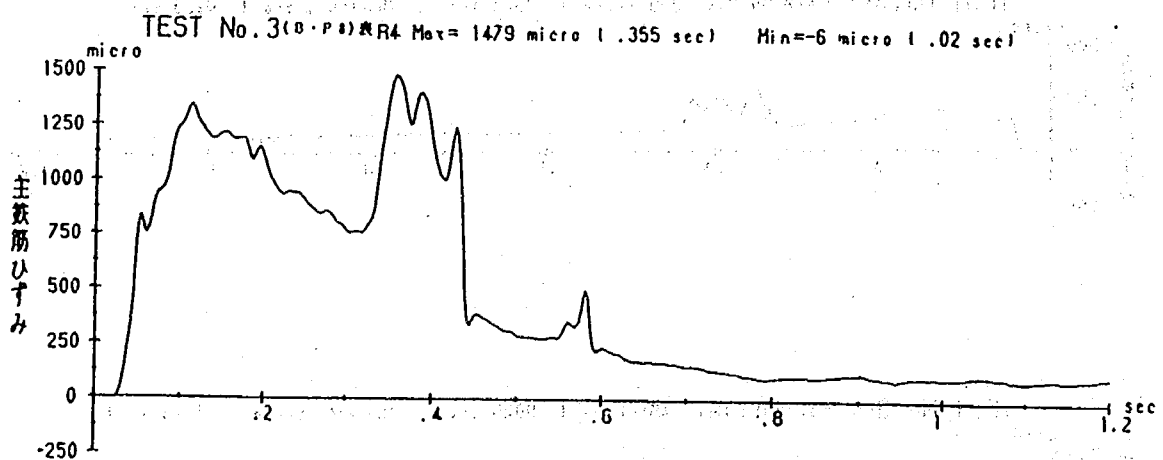
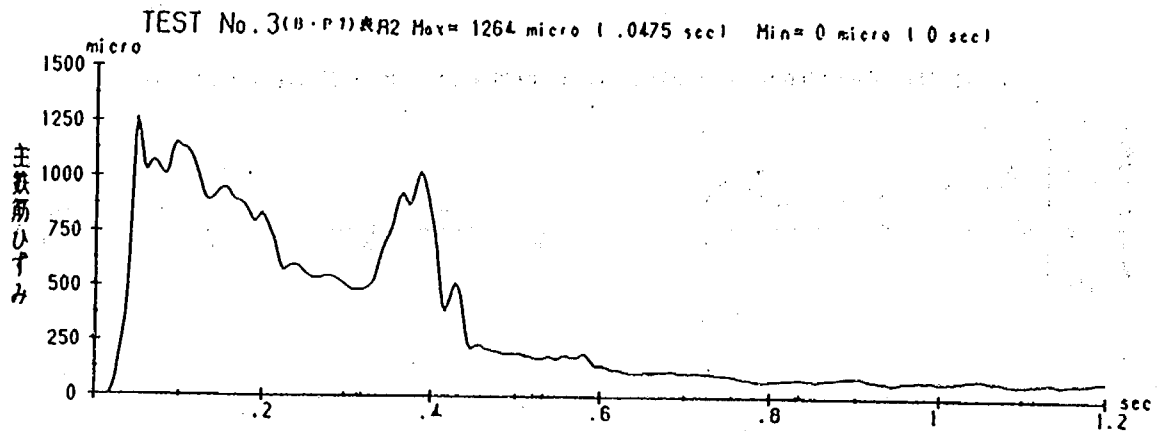
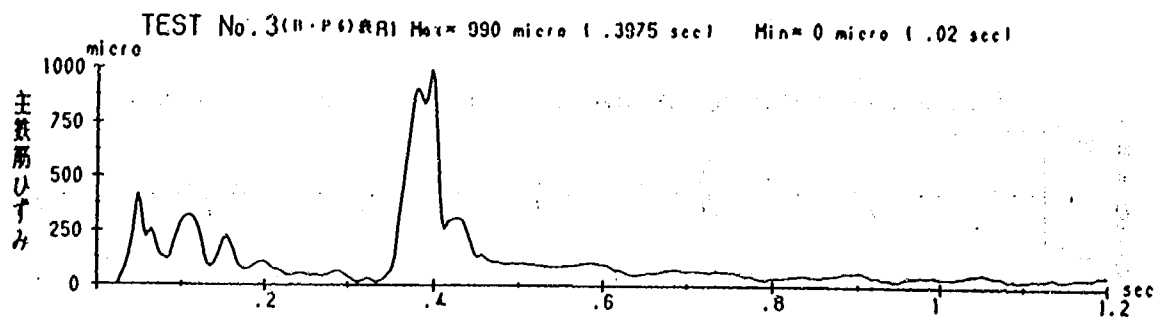
付 4. 3. 4. ビームの開き

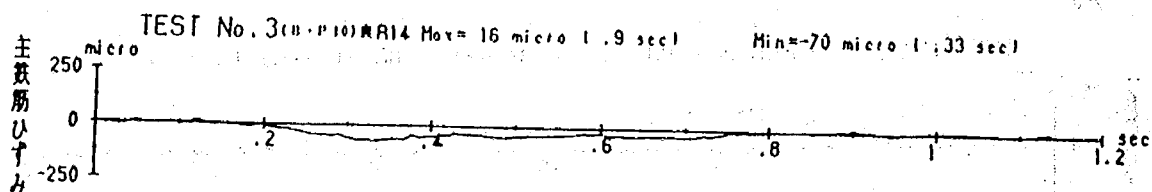
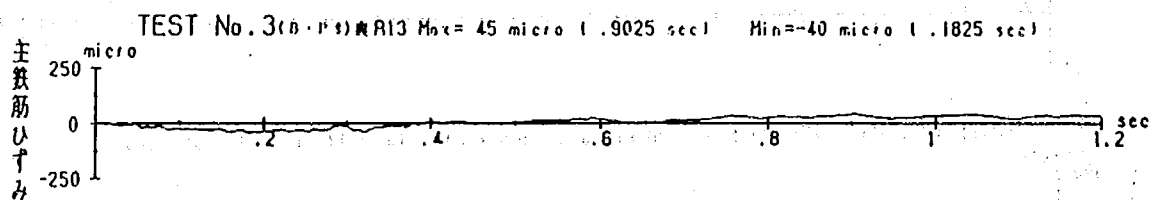
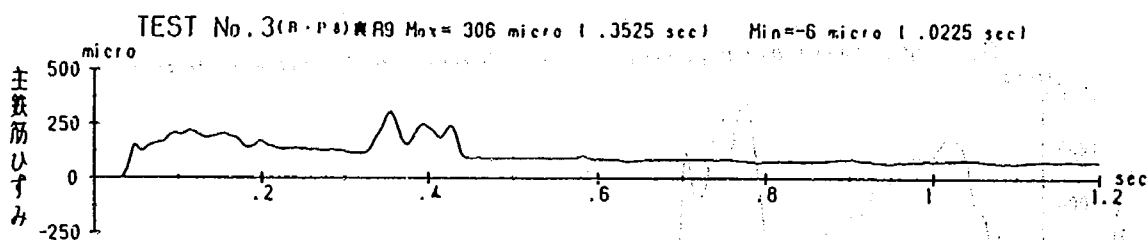
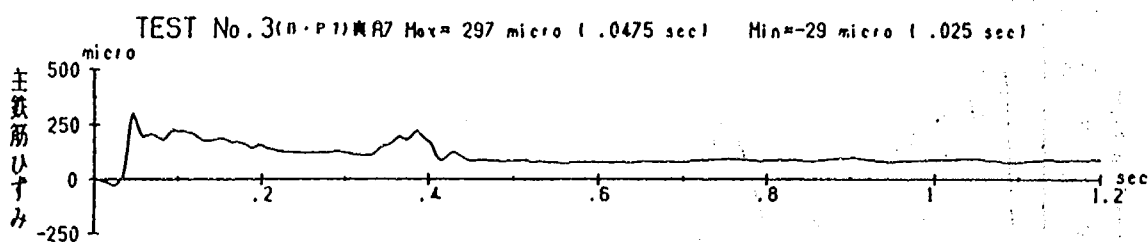
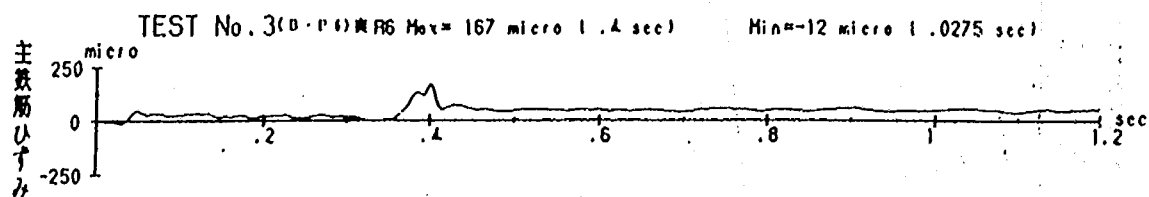


付 4. 4. 支柱路外方向(Y)の変位

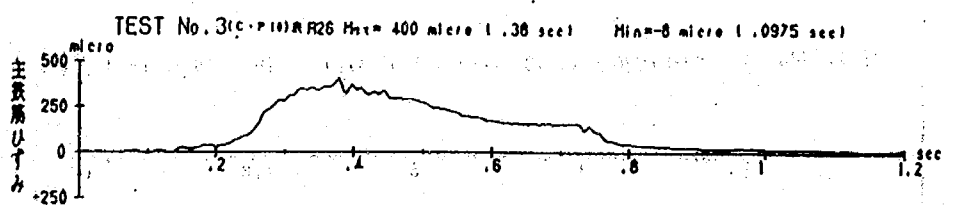
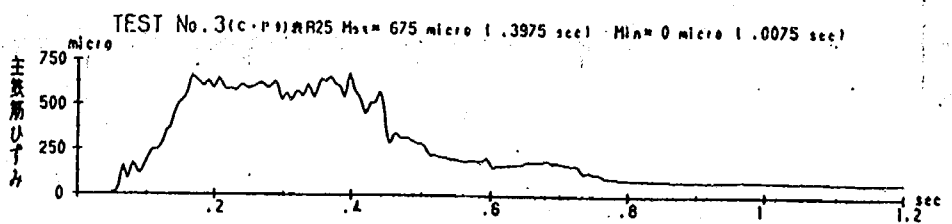
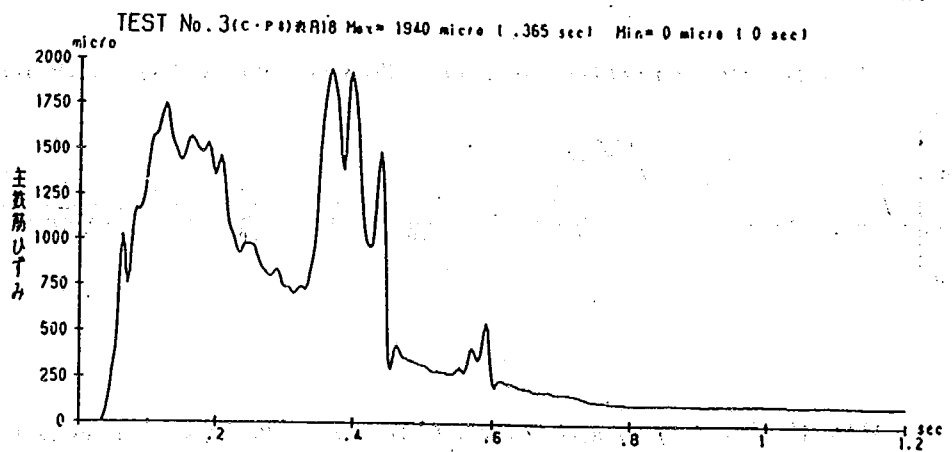
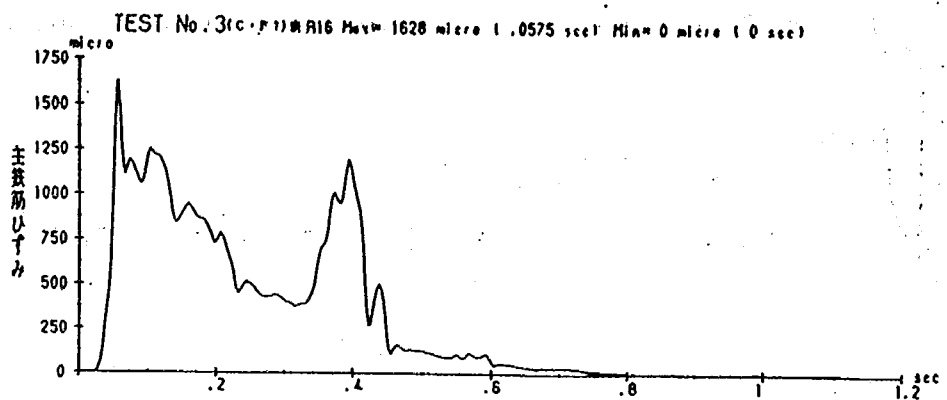
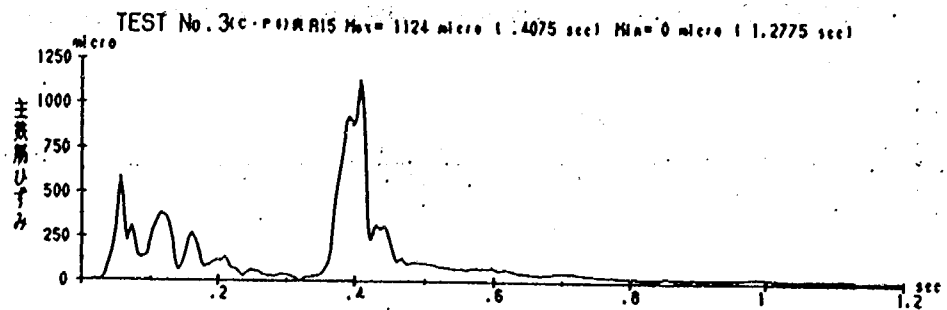


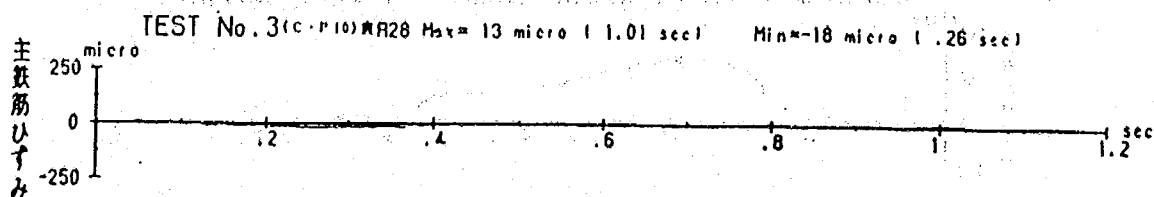
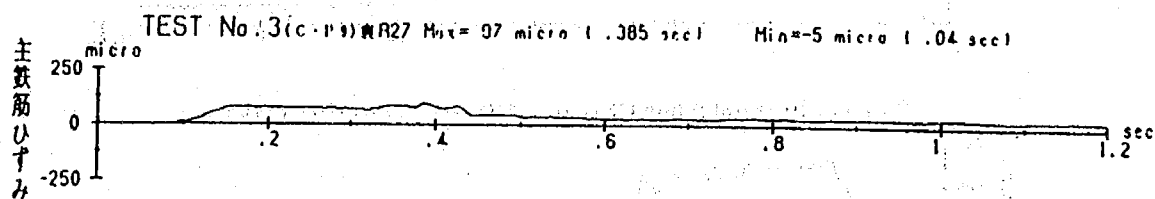
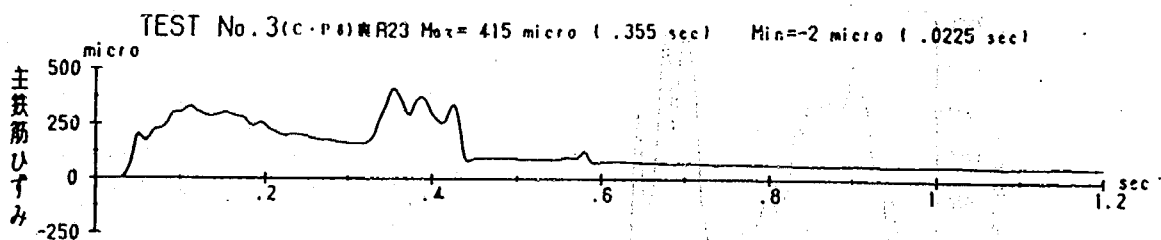
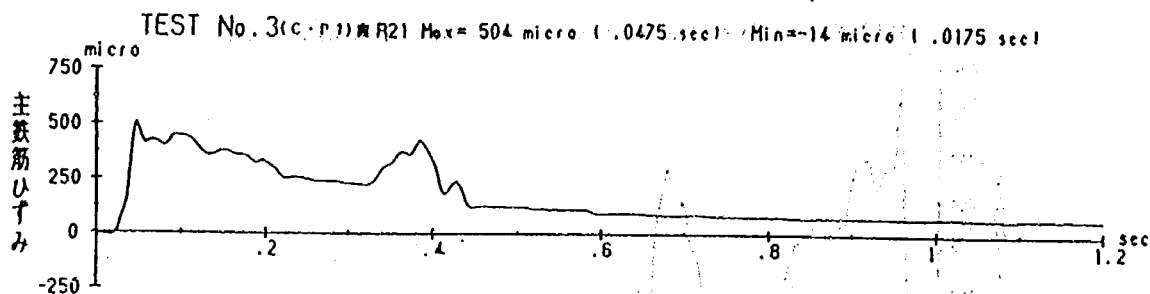
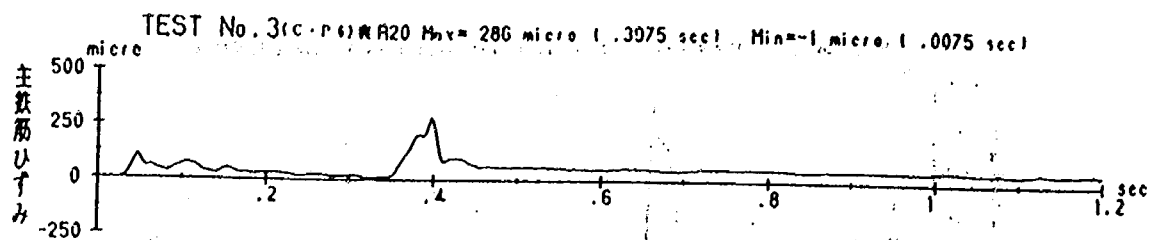
付 4. 5. コンクリート壁のひずみ
付 4. 5. 1. 縦方向筋(B)



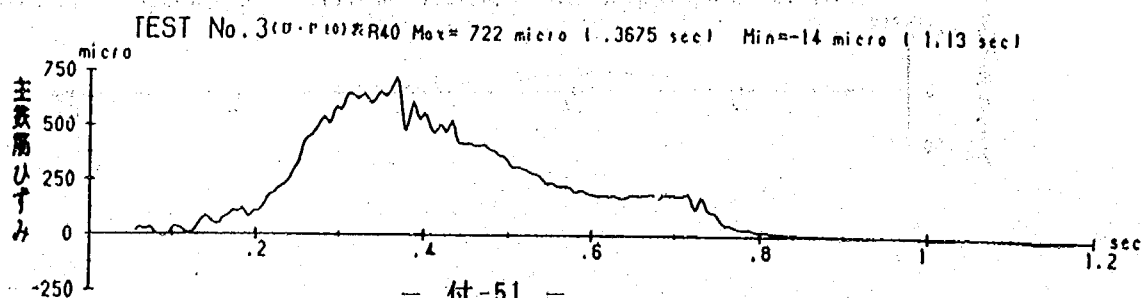
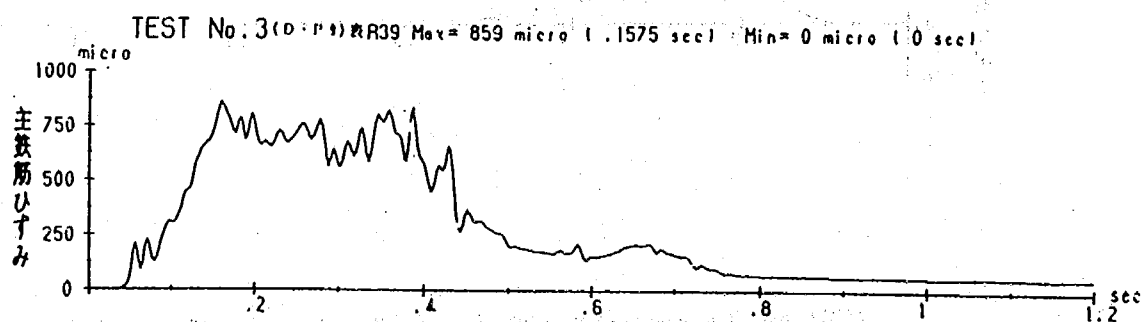
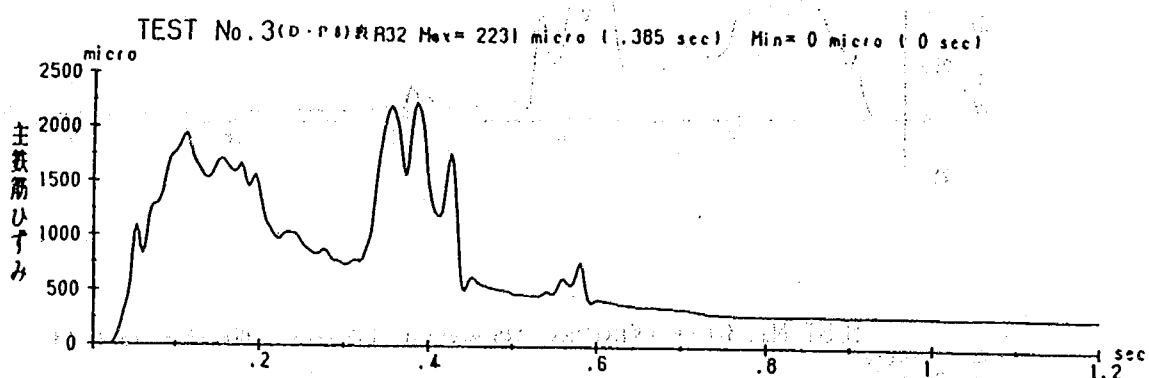
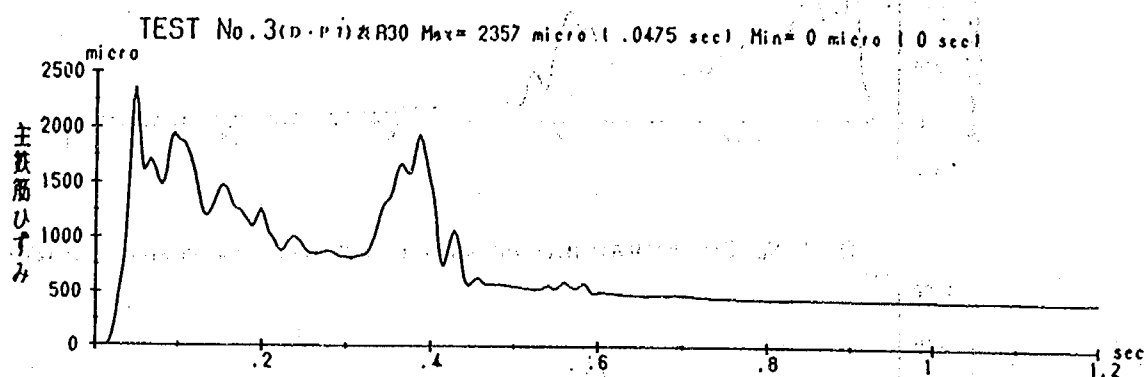
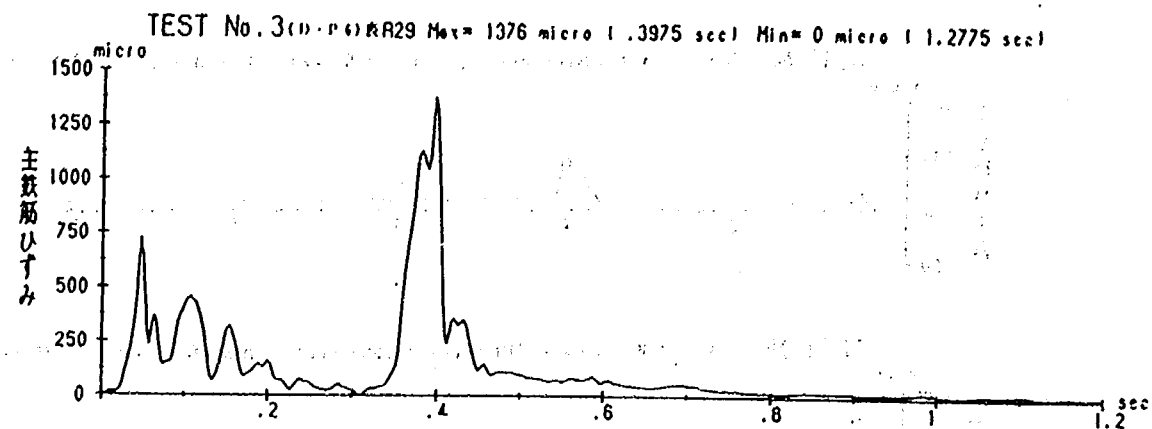


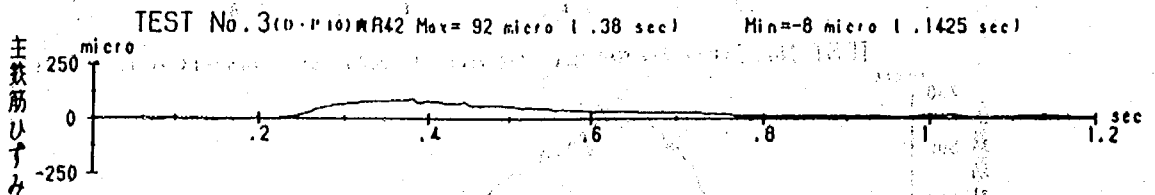
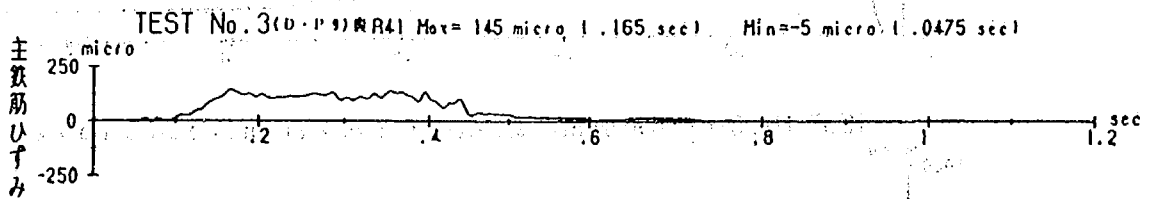
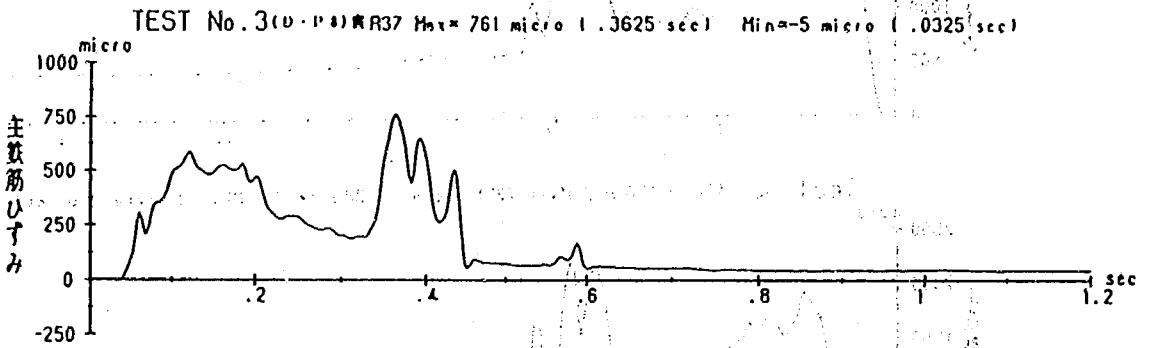
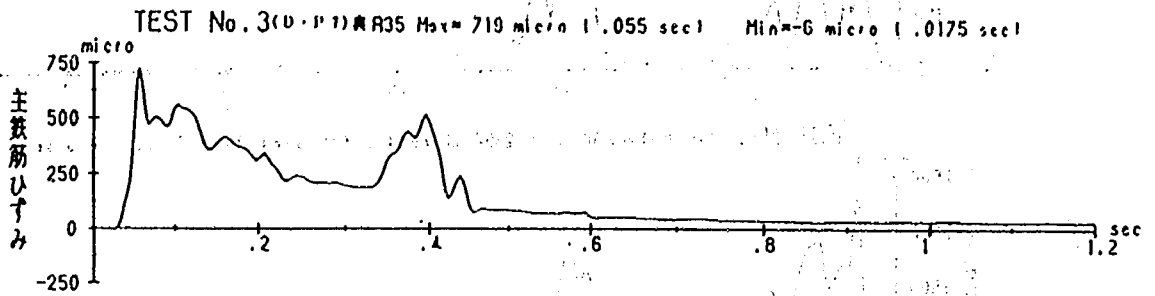
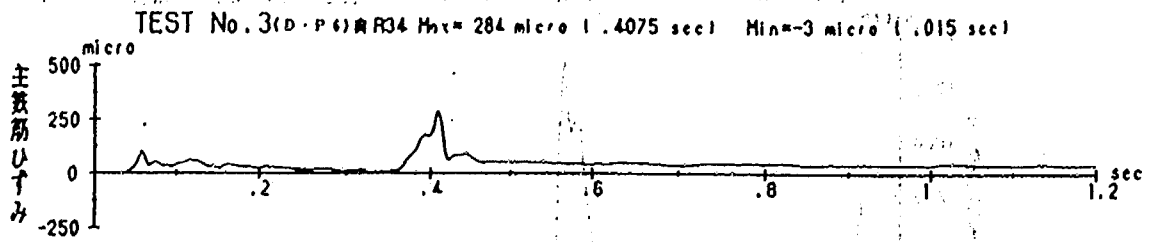
付 4. 5. 2. 縦方向筋(C)



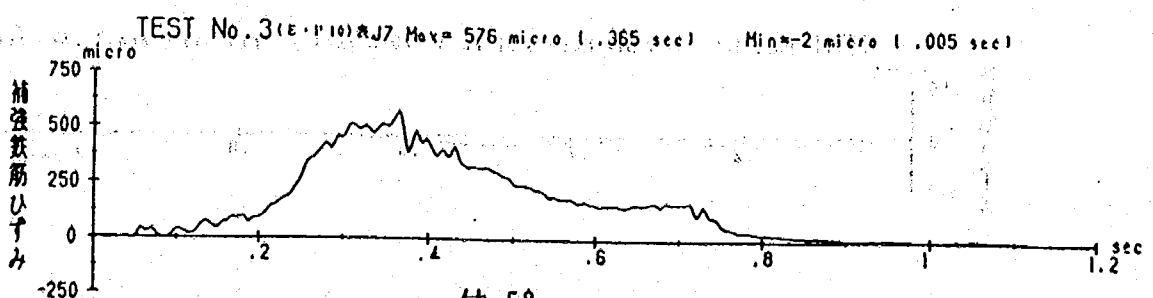
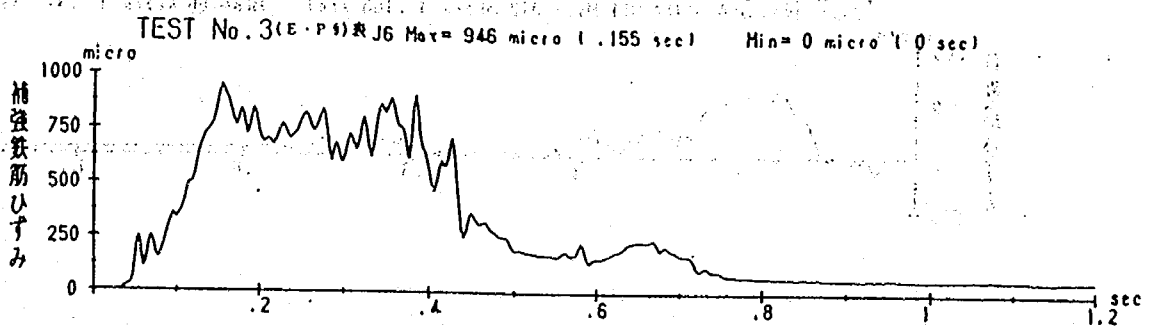
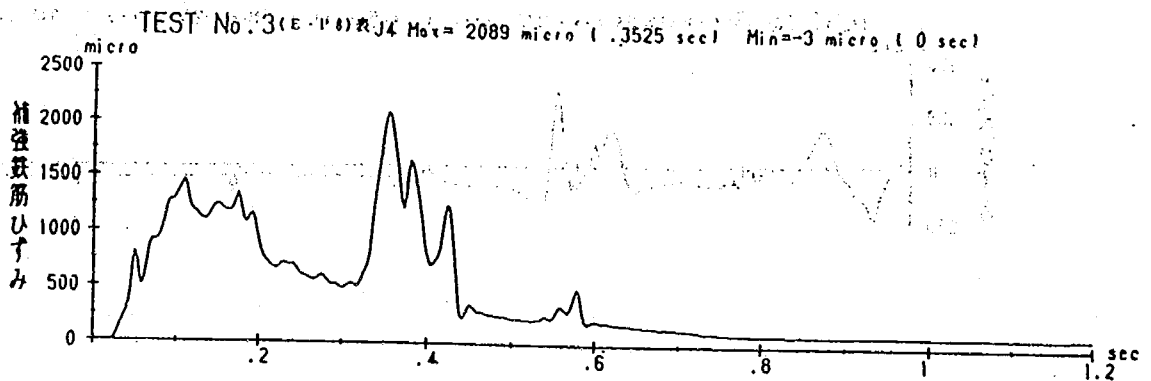
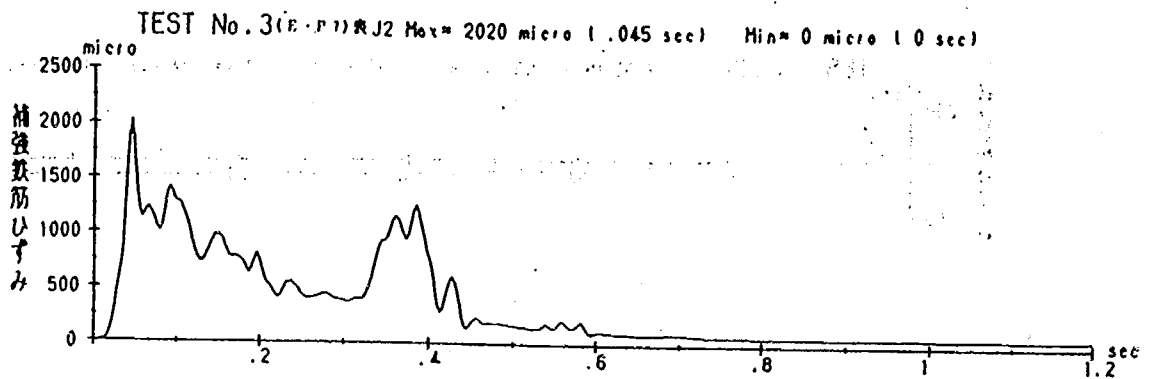
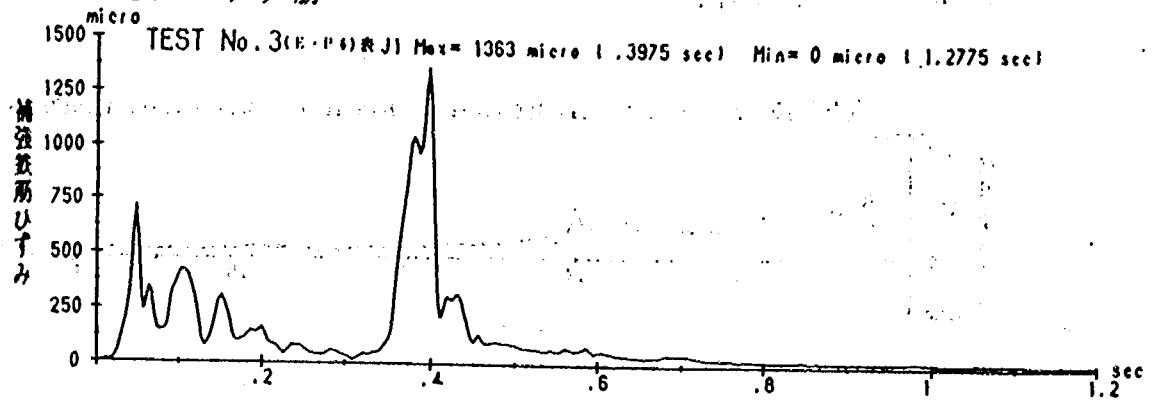


付 4. 5. 3. 縦方向筋(D)

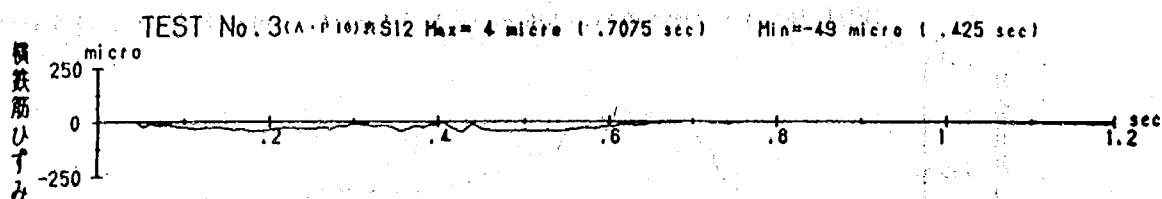
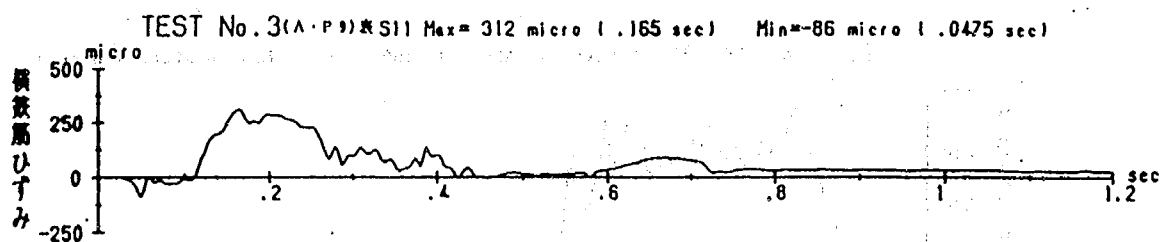
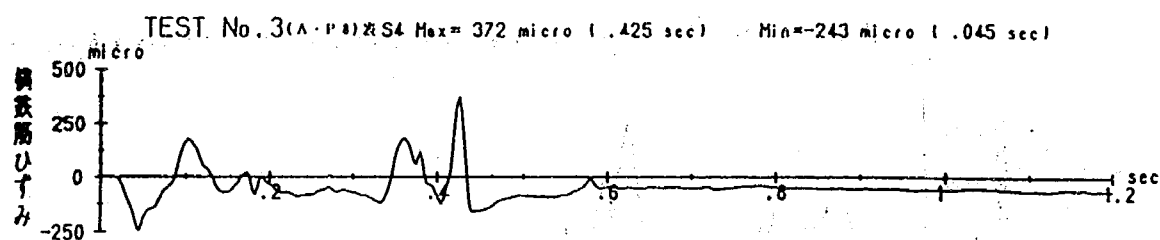
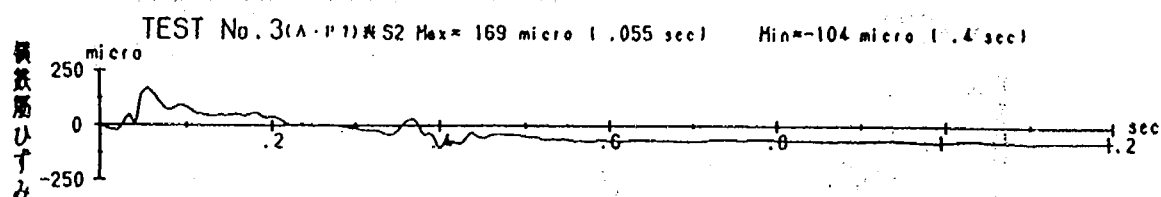
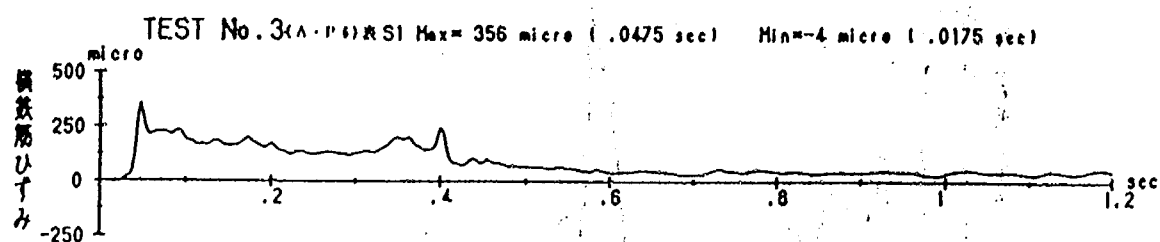


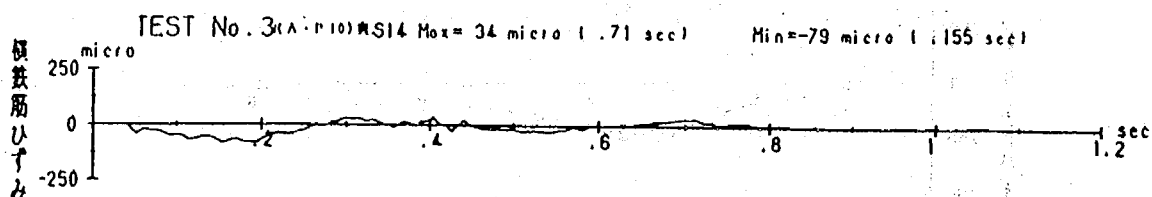
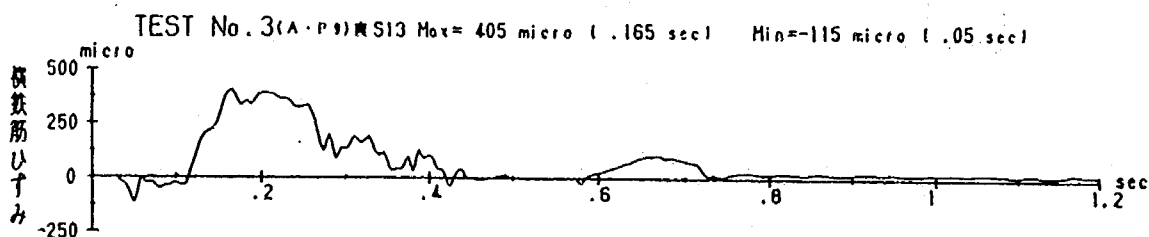
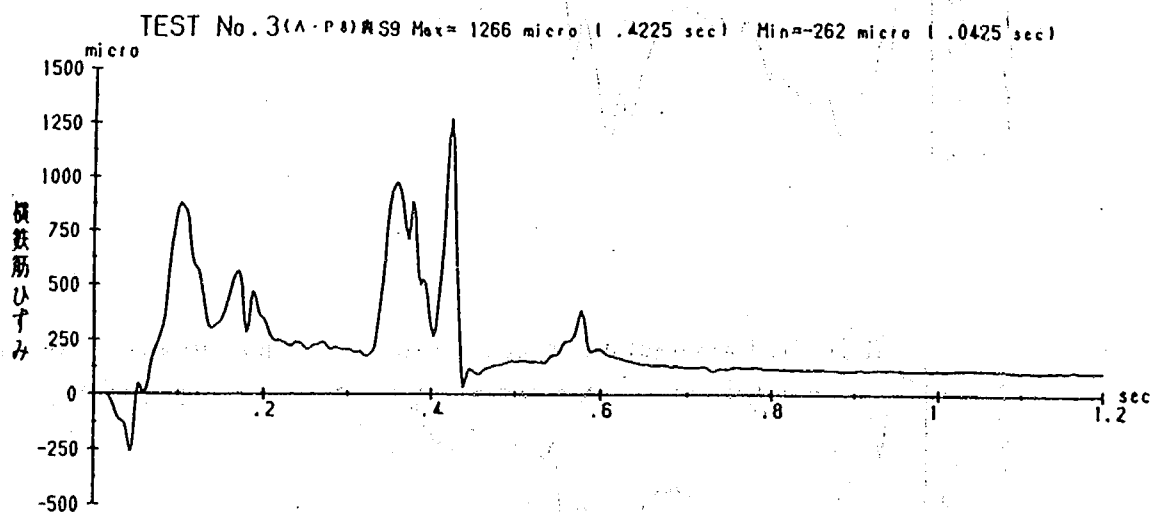
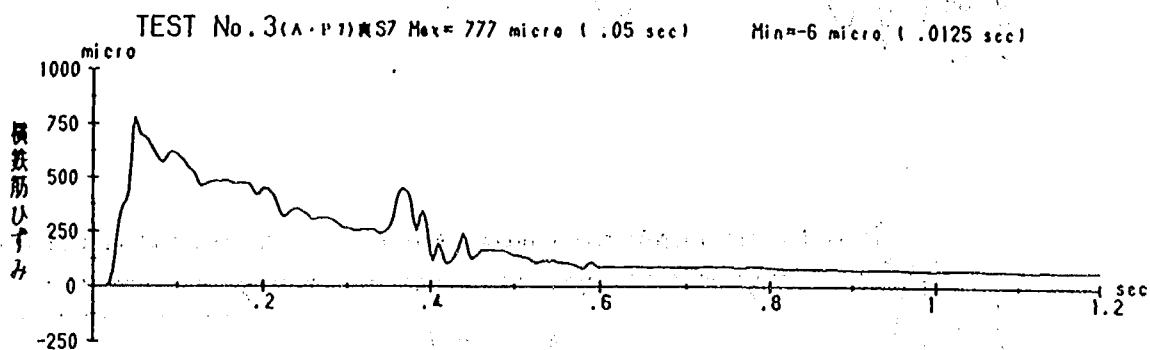
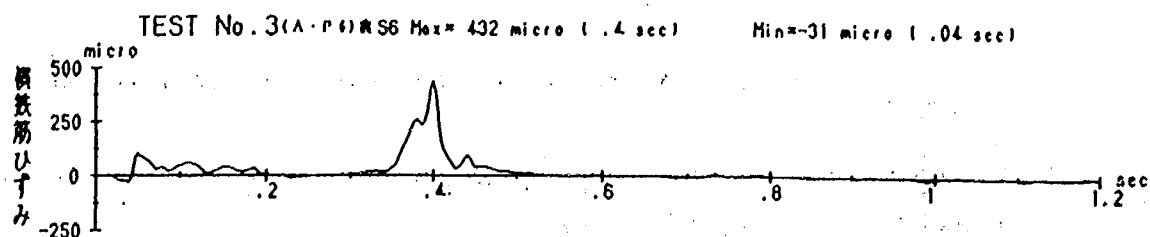


付 4. 5. 4. ハンチ筋

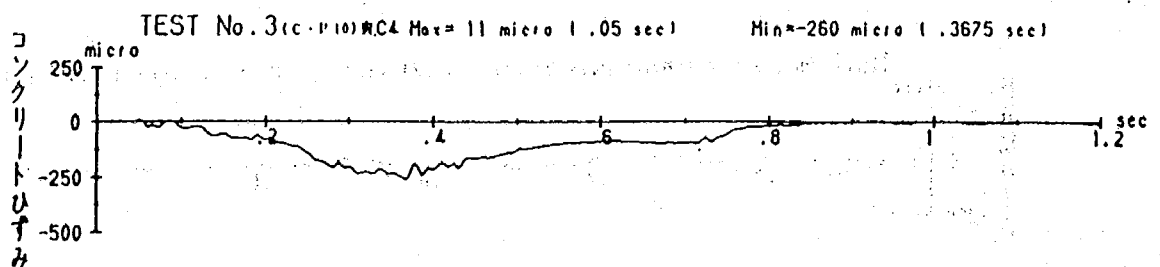
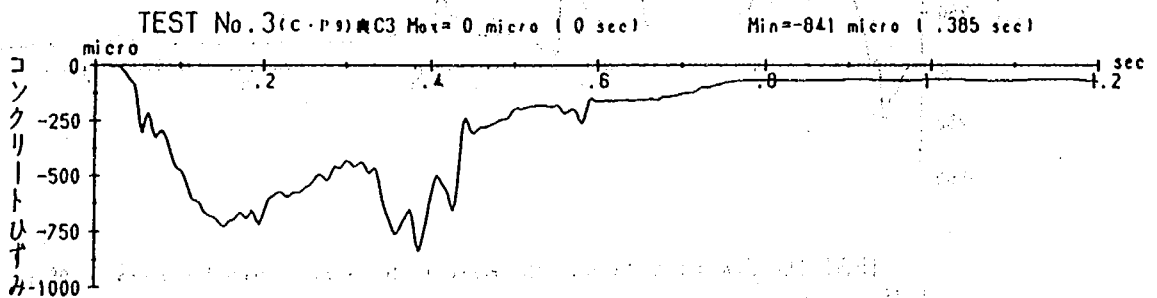
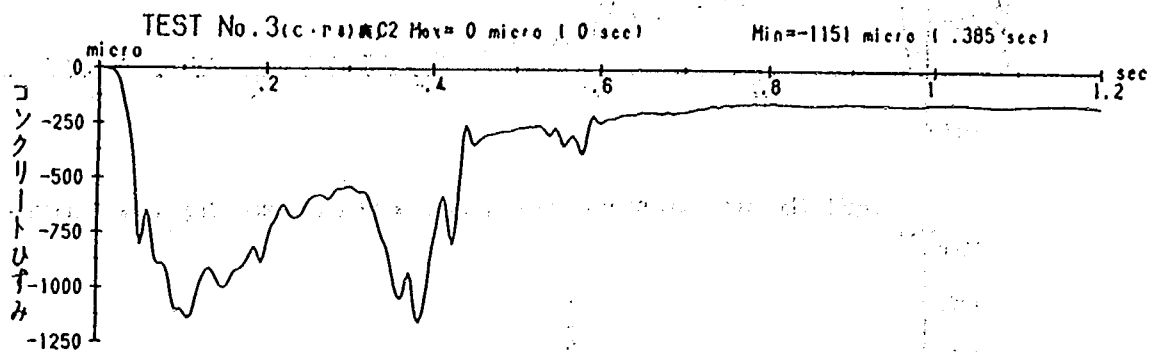
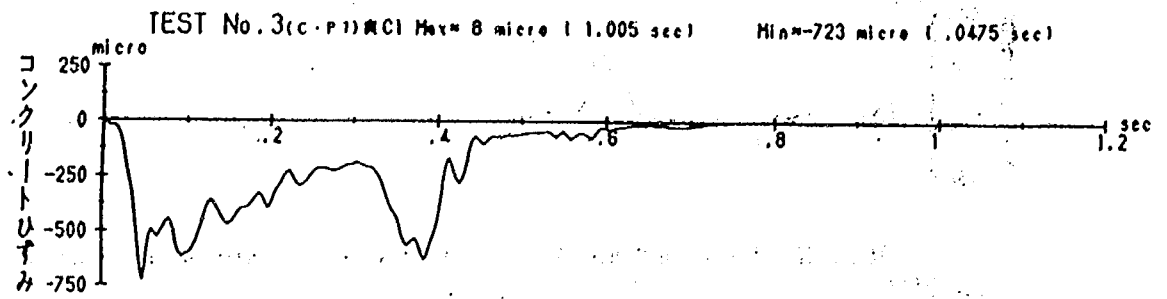


付 4. 5. 5. 横方向筋

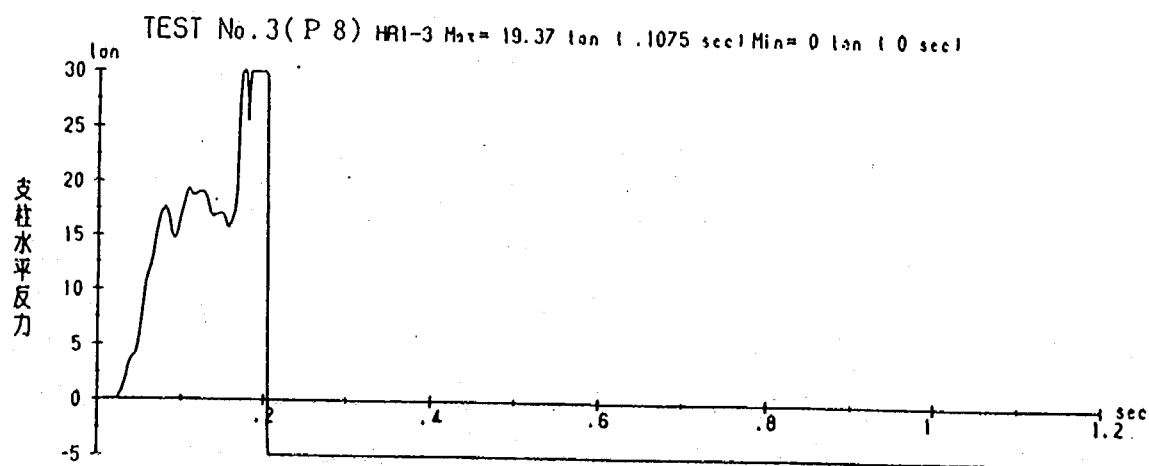
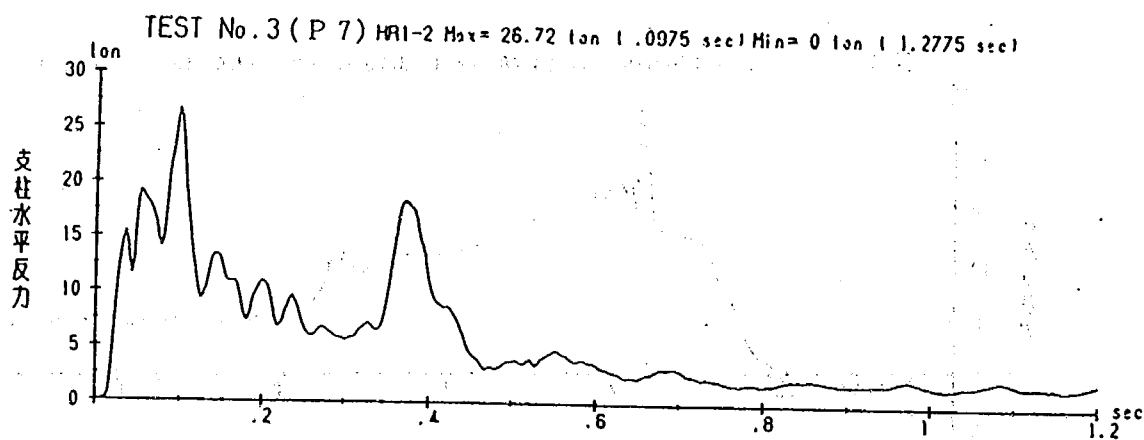
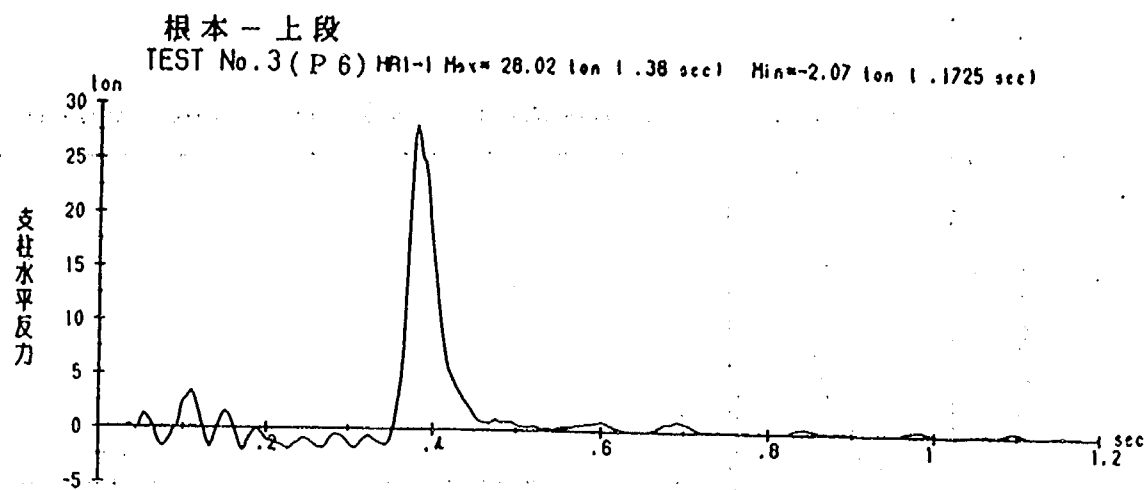


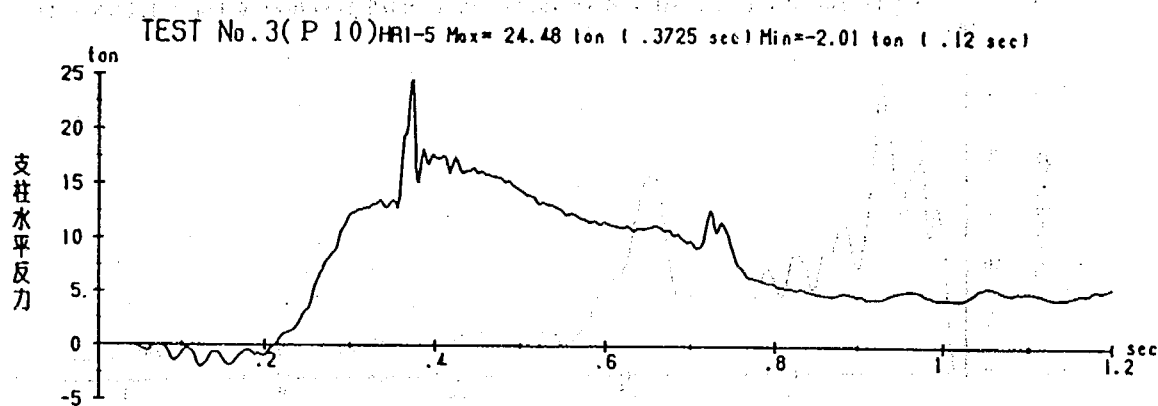
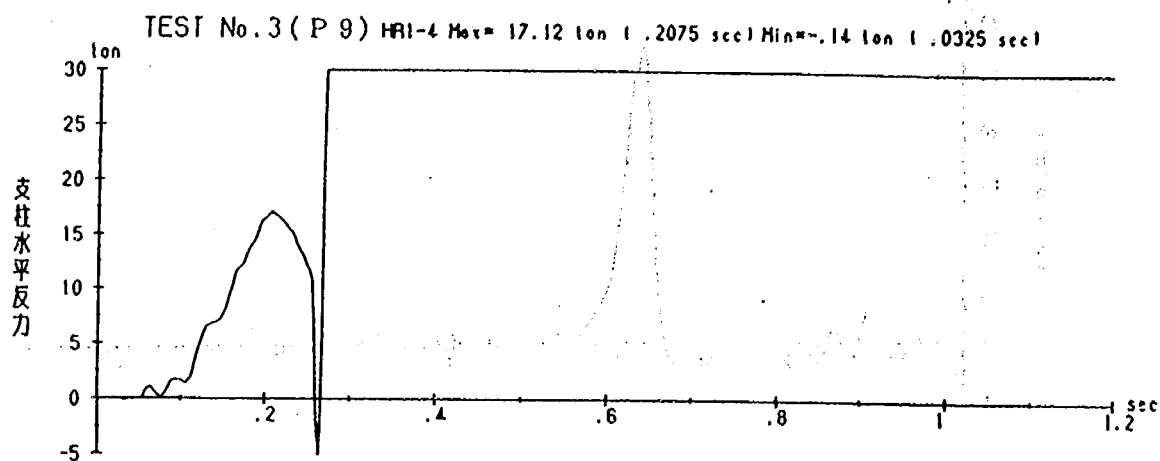


付 4. 5. 6. コンクリート表面

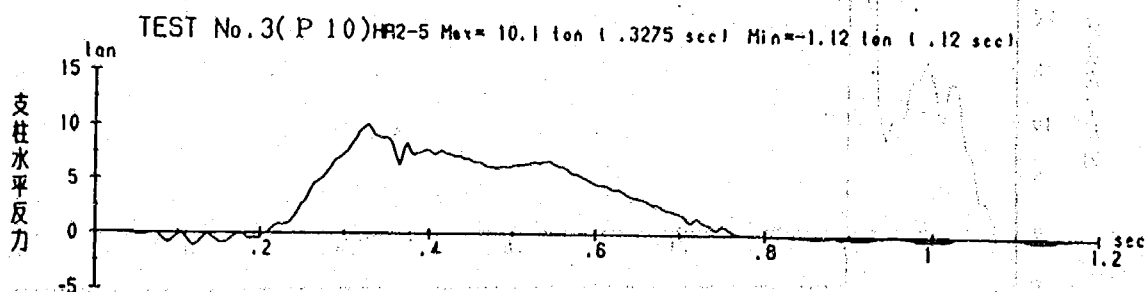
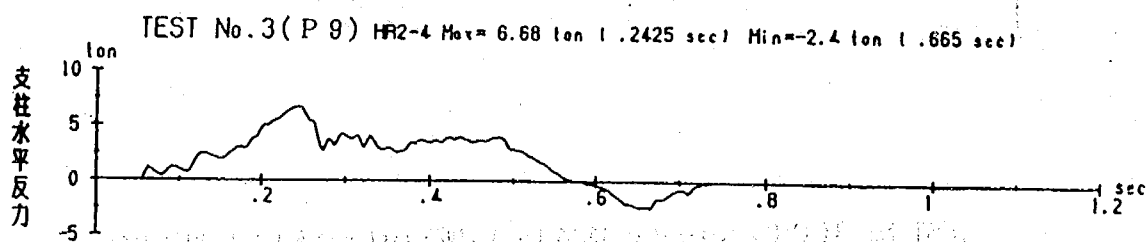
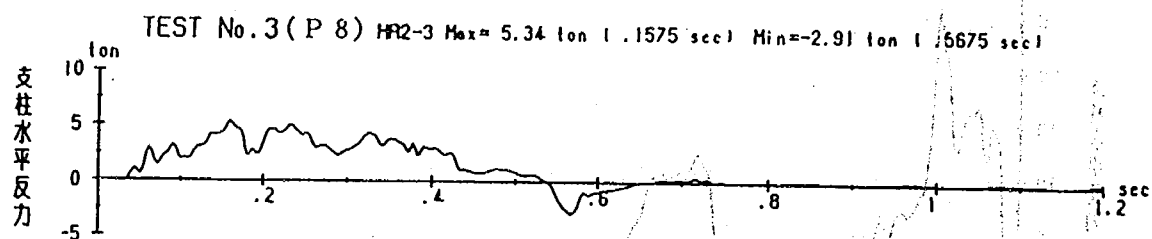
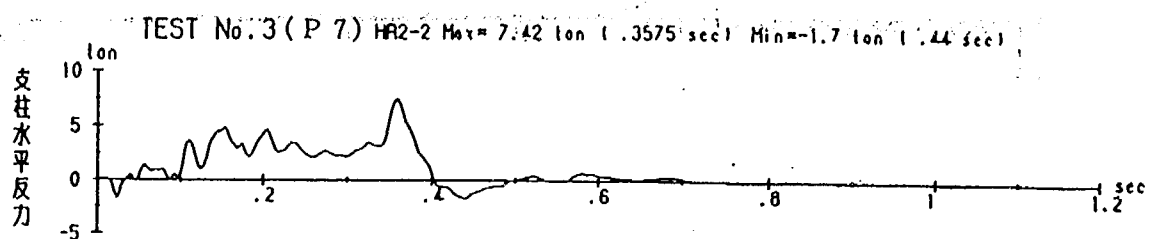
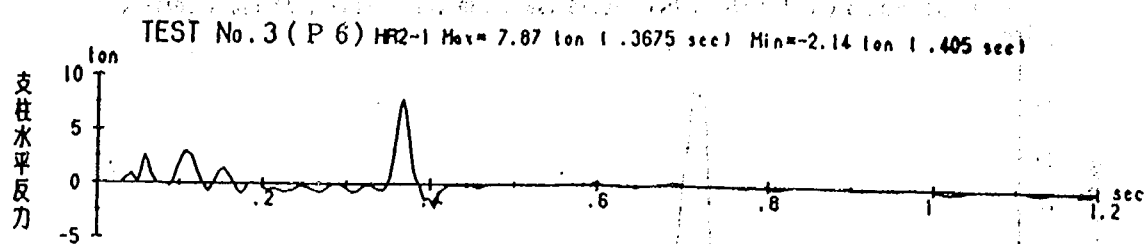


付 4. 6. 支柱に作用した路外方向(Y)の水平力と合計

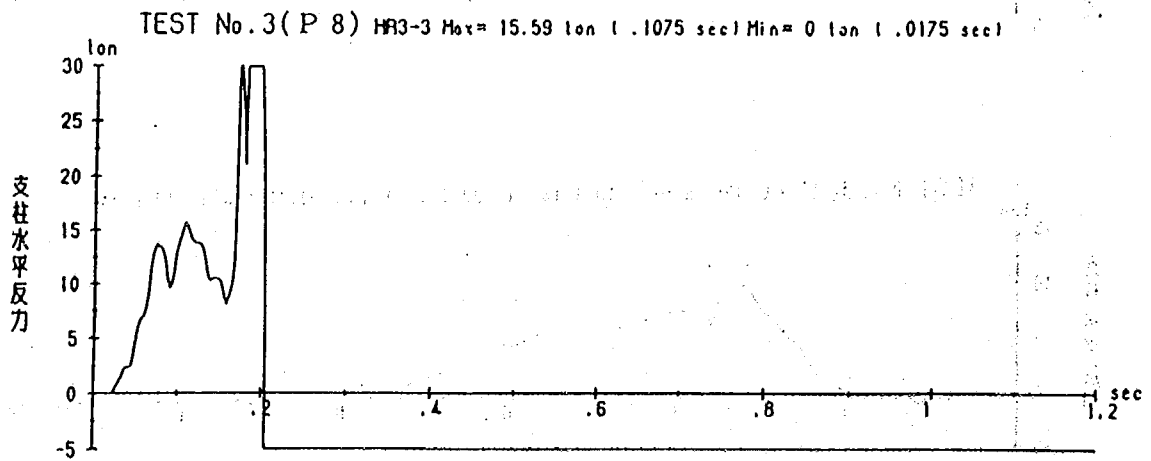
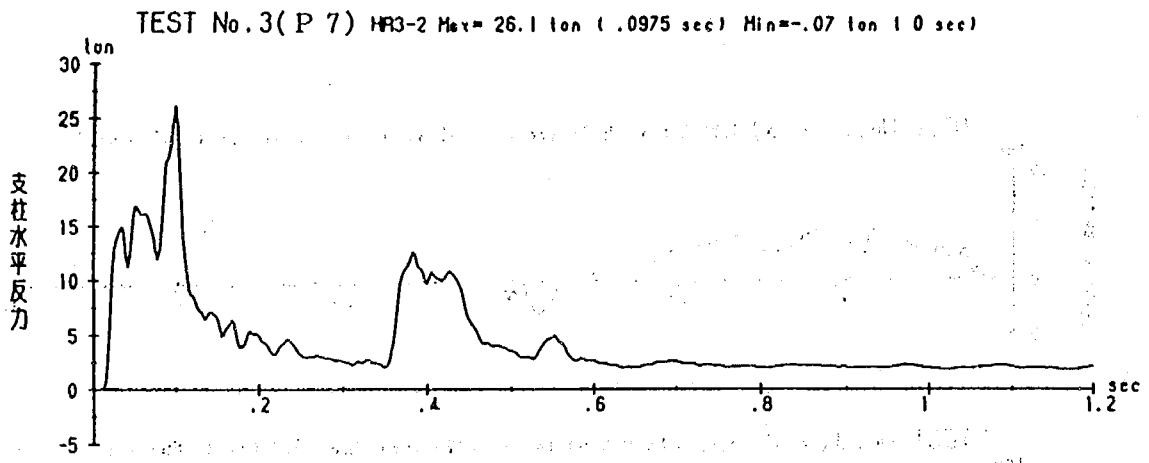
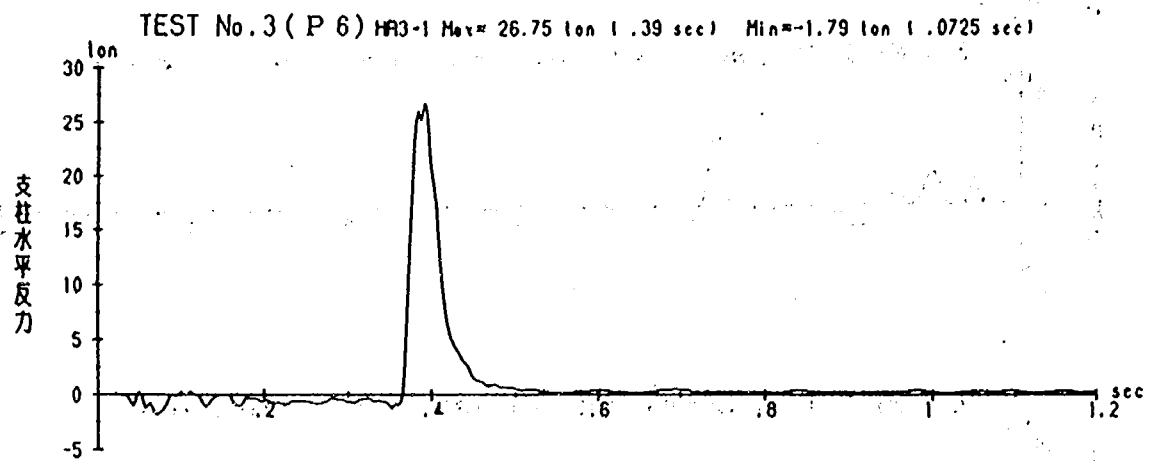




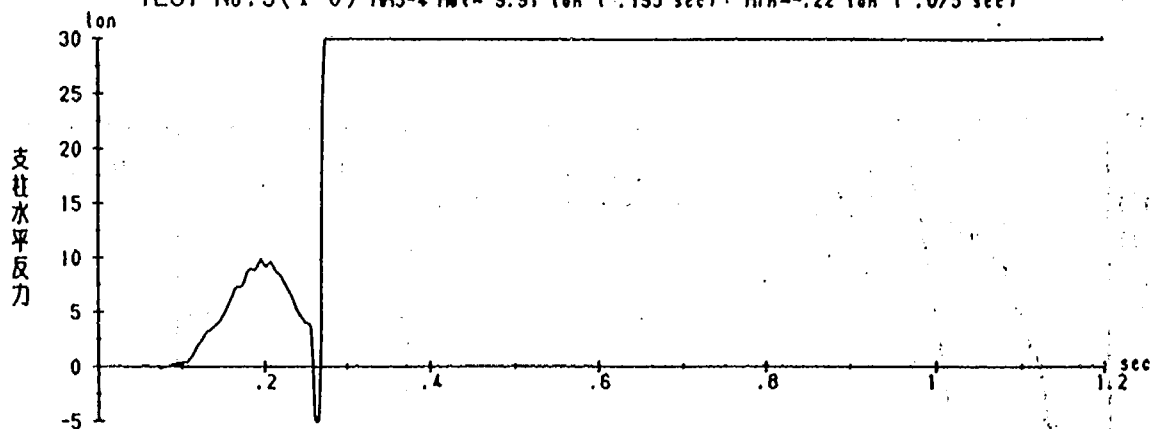
上段



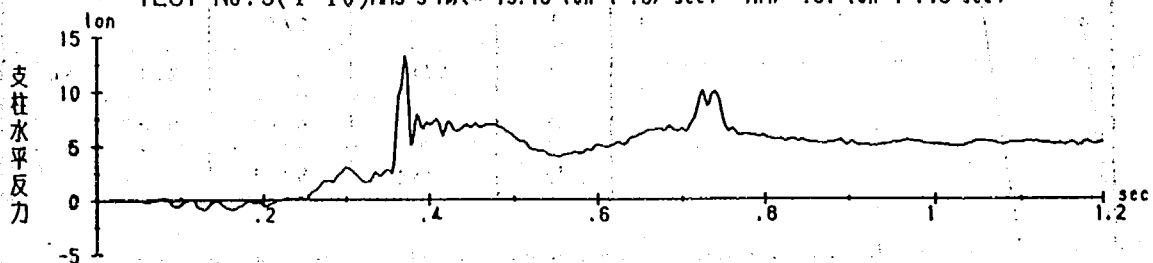
合計



TEST No. 3 (P 9) HR3-4 Max = 9.91 ton (.195 sec) Min = -.22 ton (.075 sec)

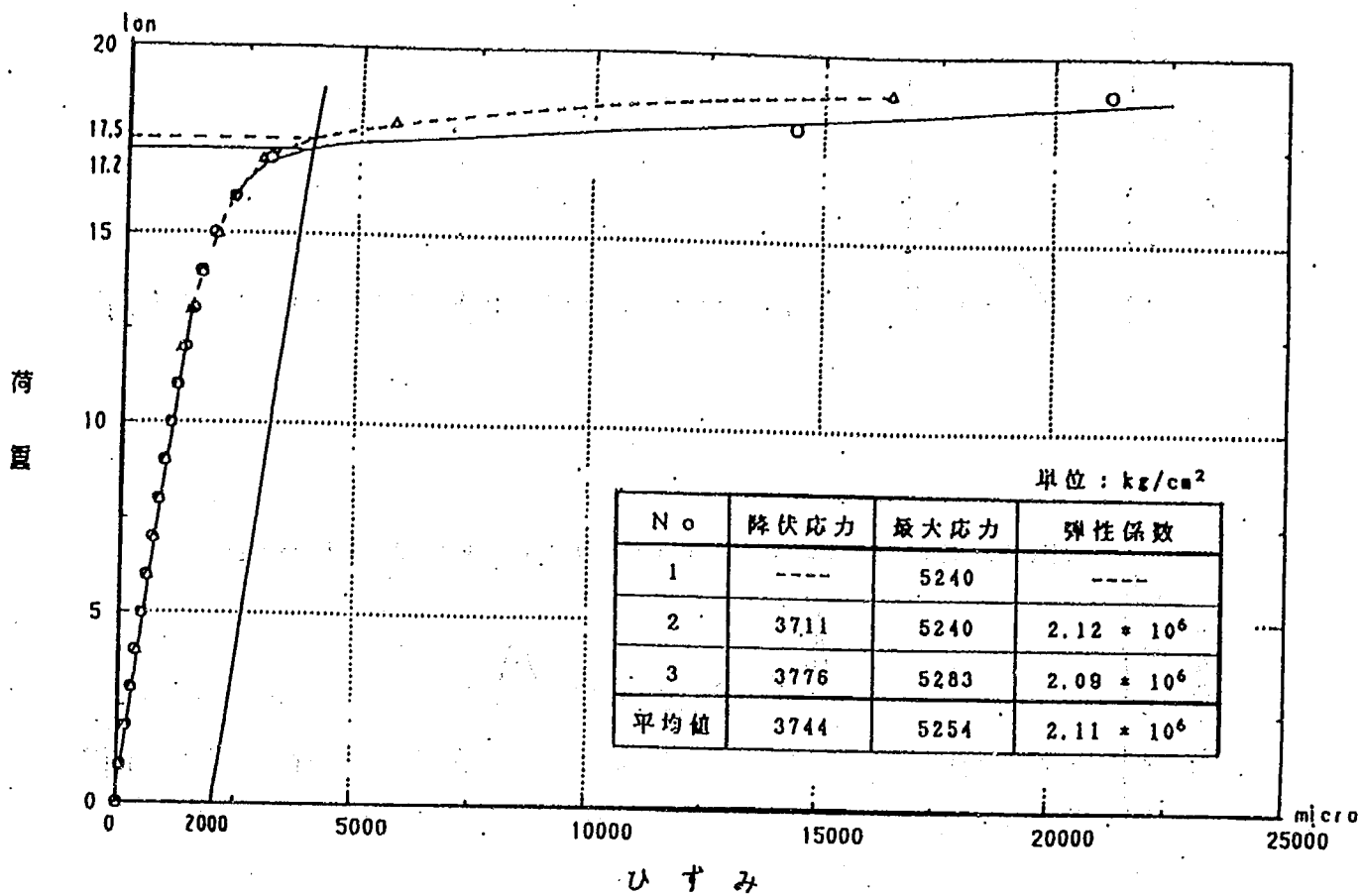


TEST No. 3 (P 10) HR3-5 Max = 13.18 ton (.37 sec) Min = -.91 ton (.13 sec)



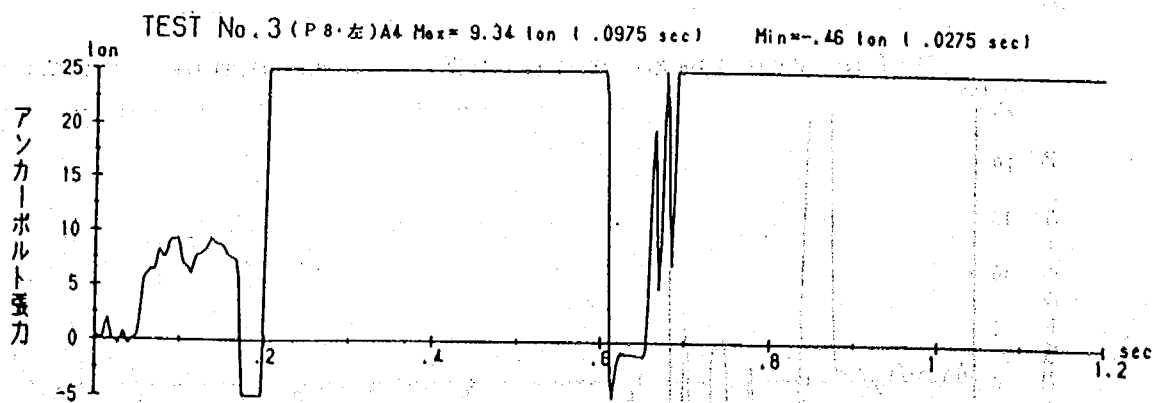
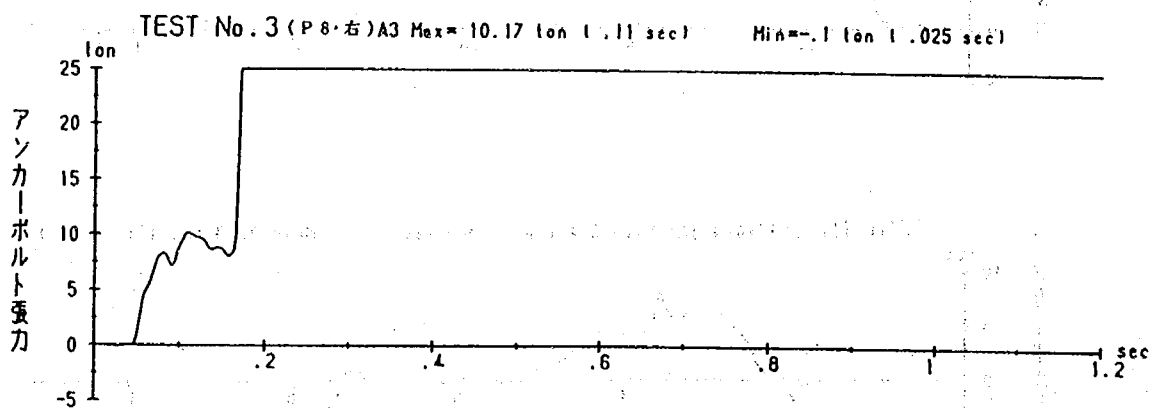
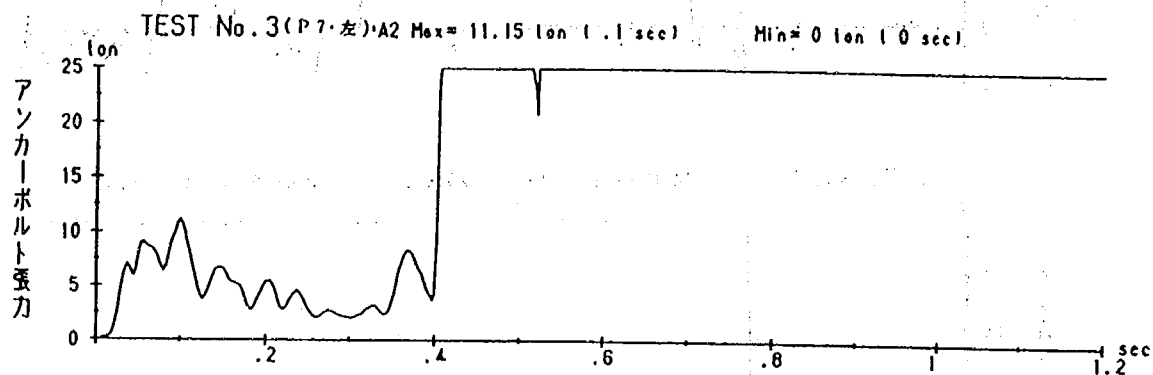
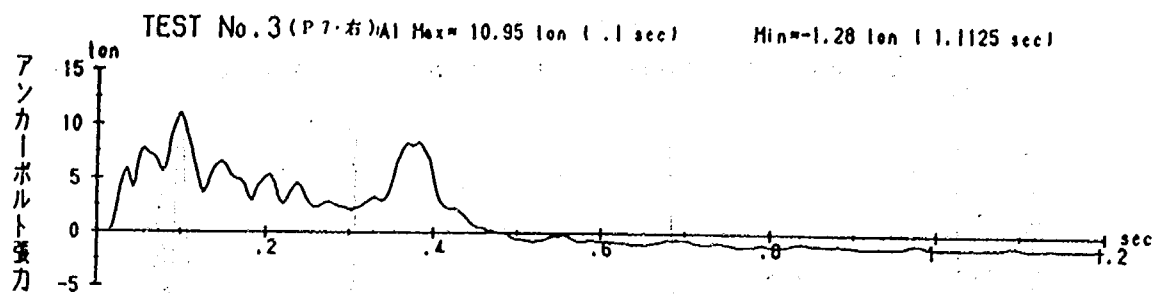
付 4. 7. アンカーボルトに作用した張力

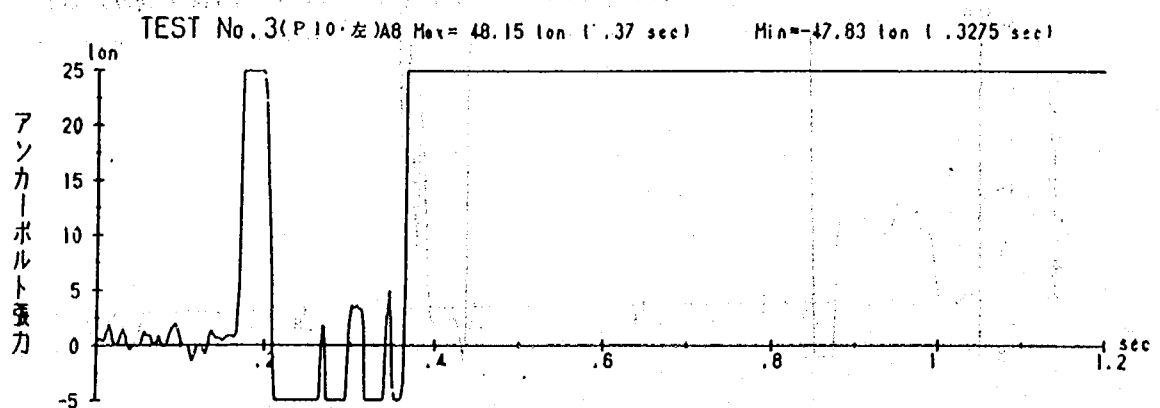
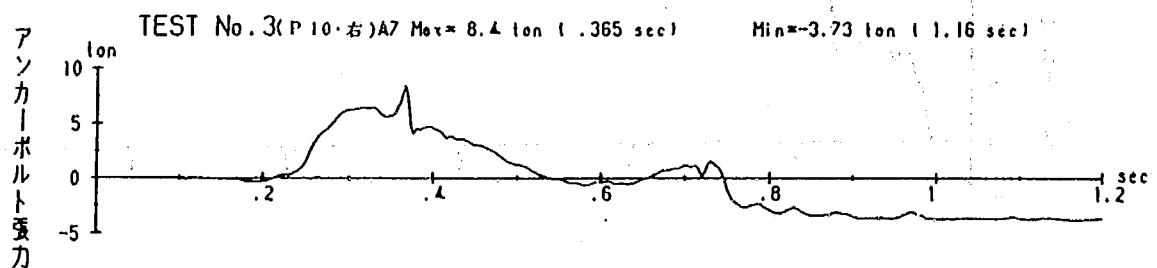
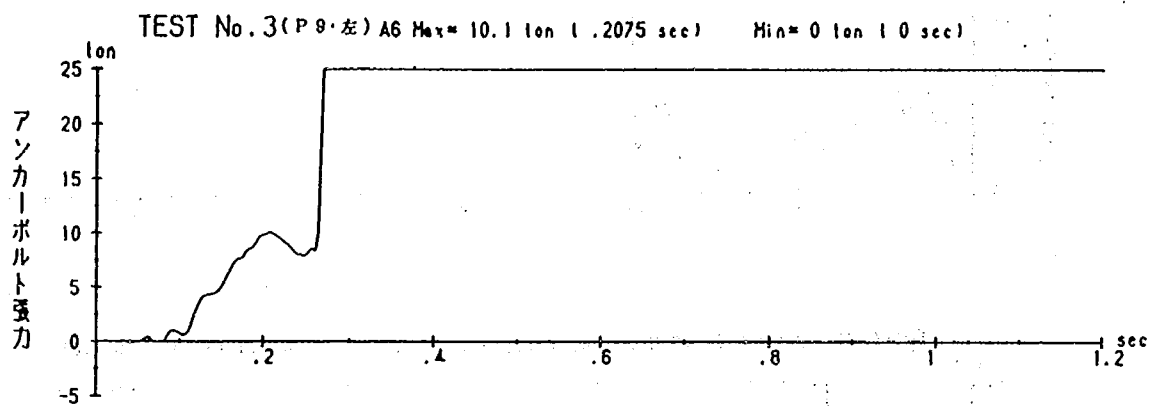
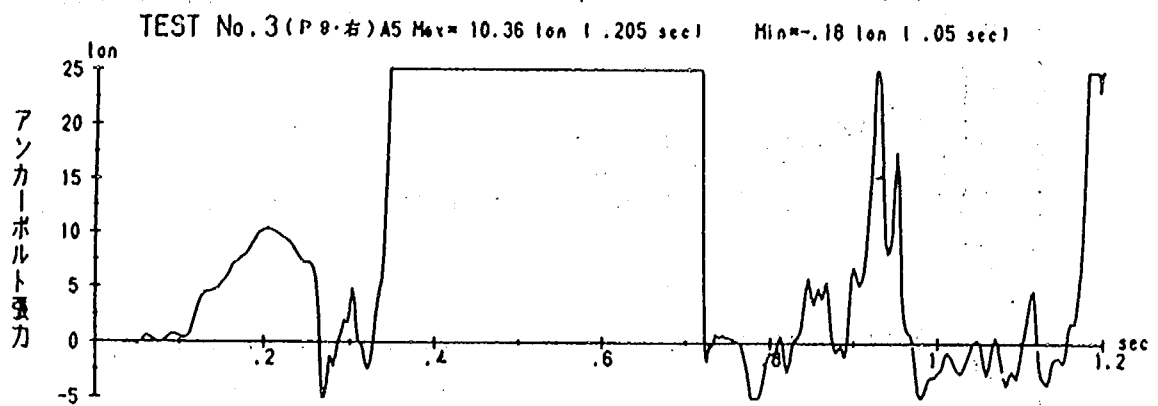
付 4. 7. 1. アンカーボルトの引張試験結果



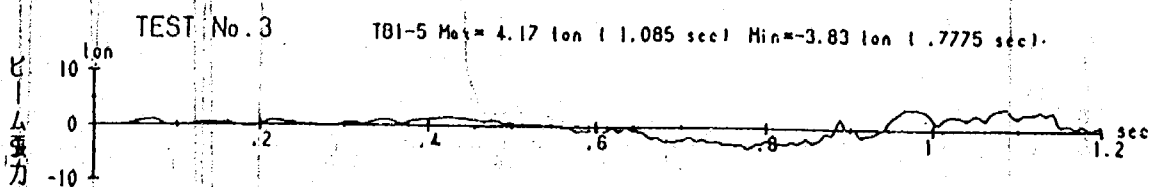
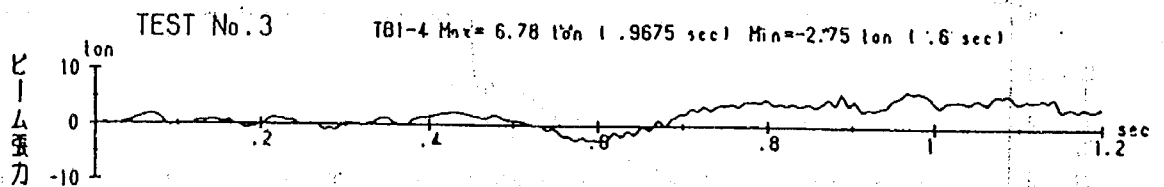
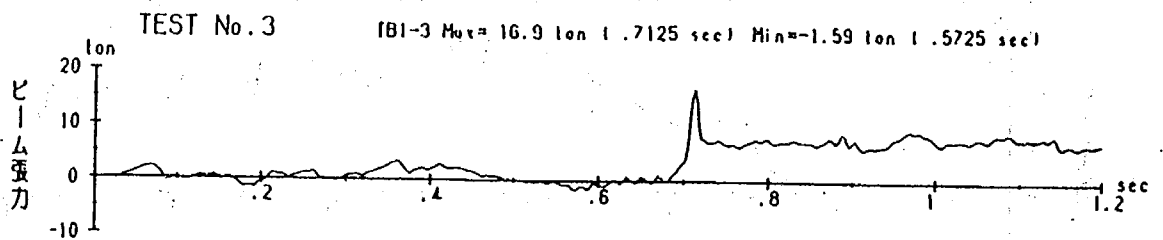
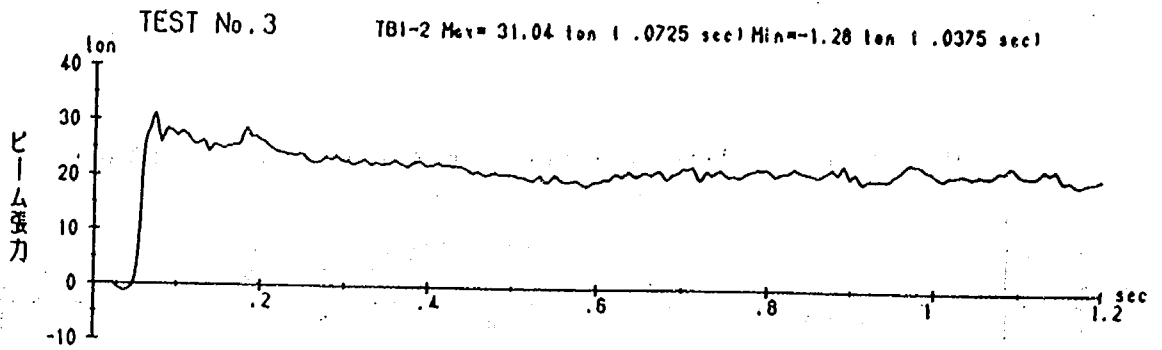
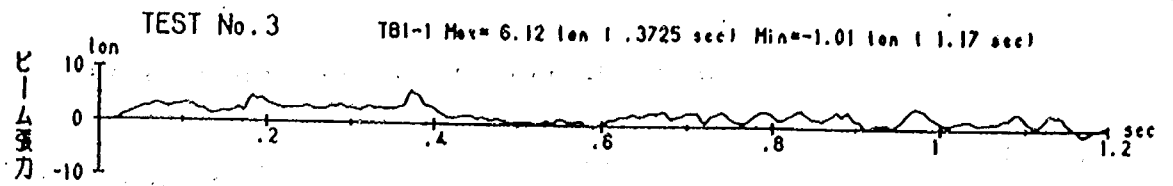
アンカーボルト引張試験結果($\phi 24$)

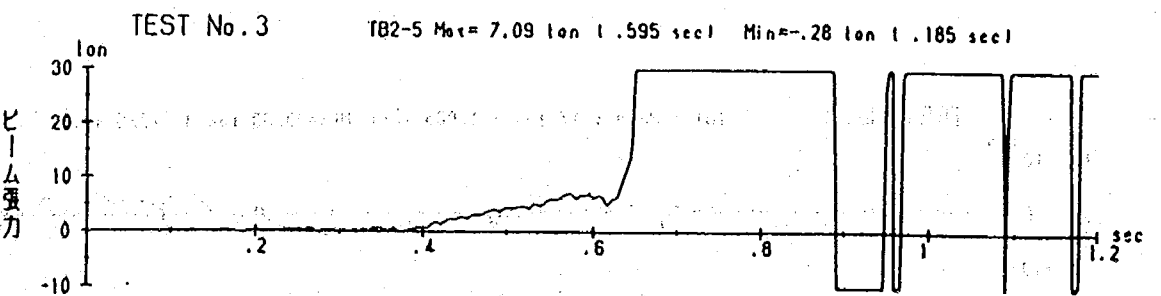
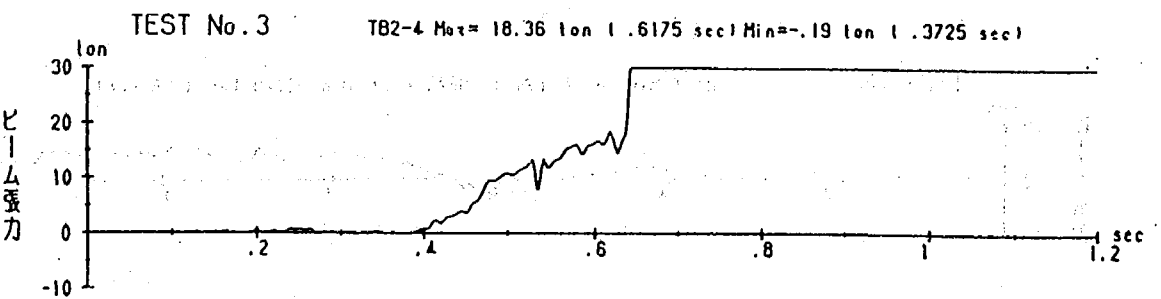
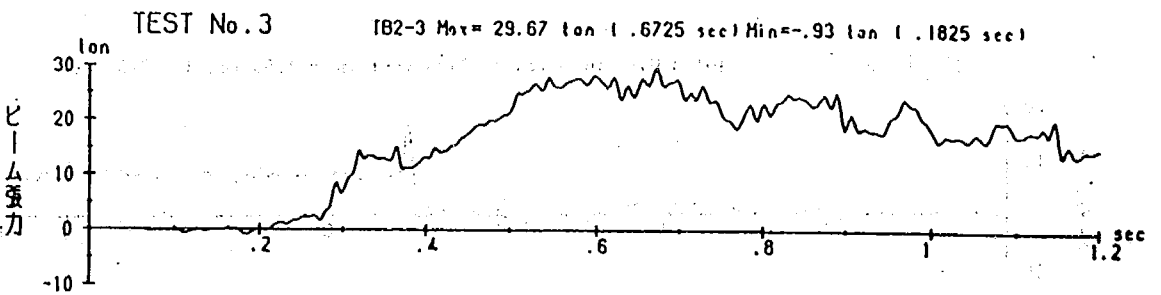
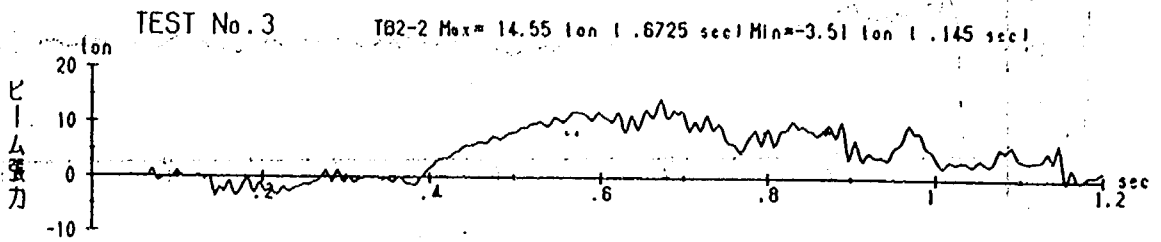
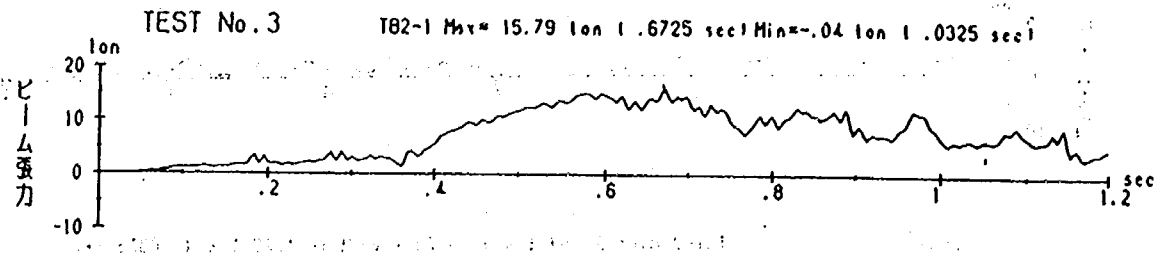
付 4. 7. 2. アンカーボルトの張力波形





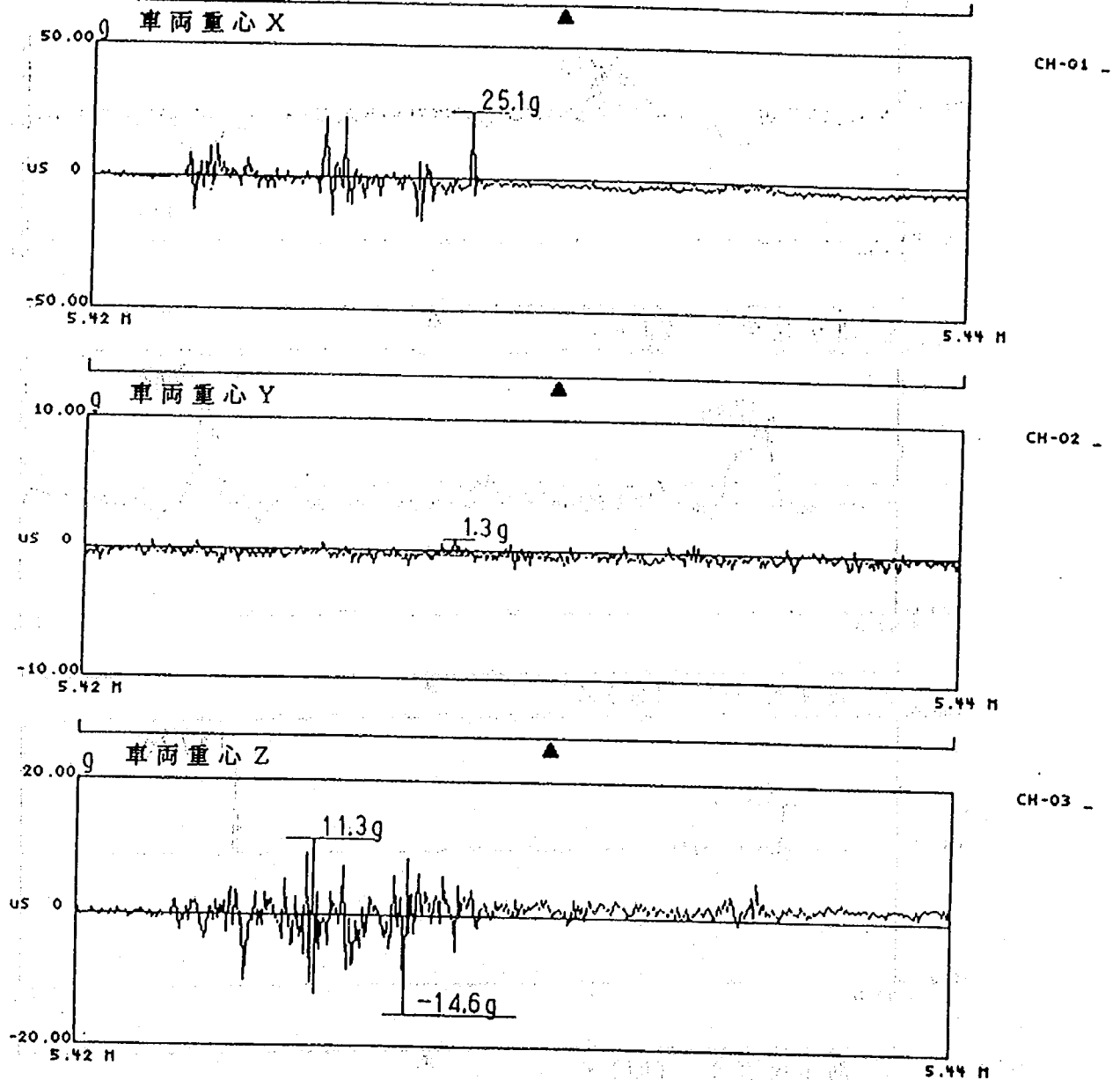
付 4. 8. ビームに作用した張力



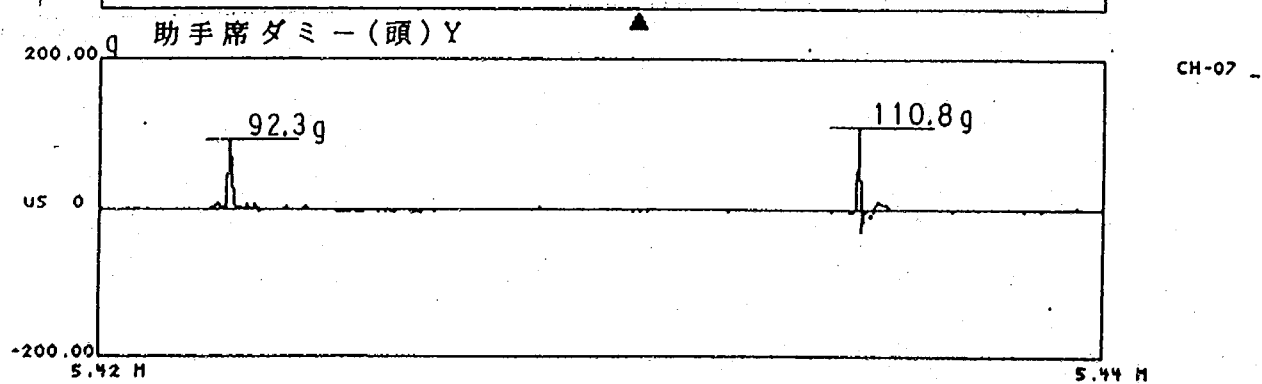
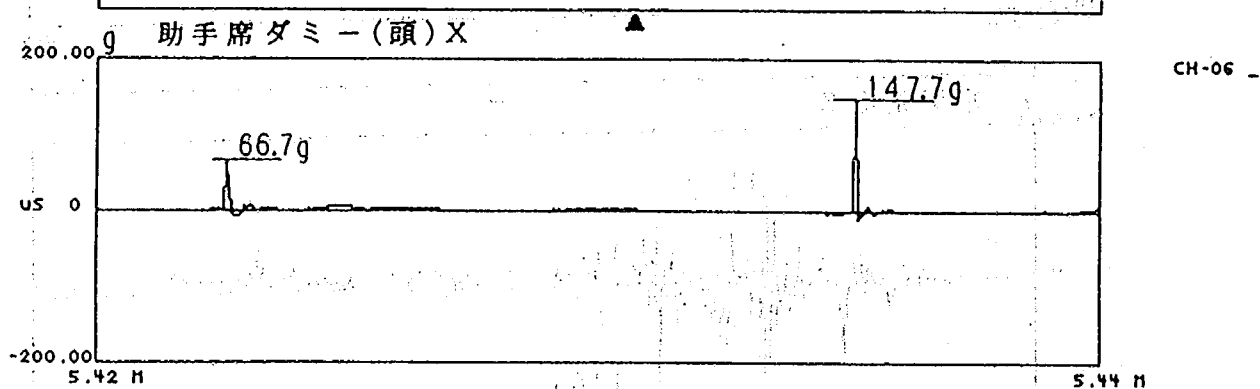
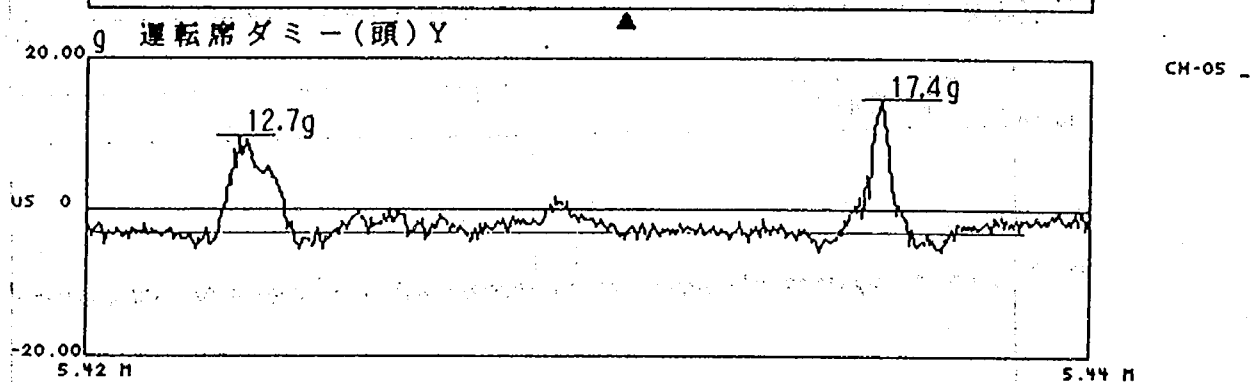
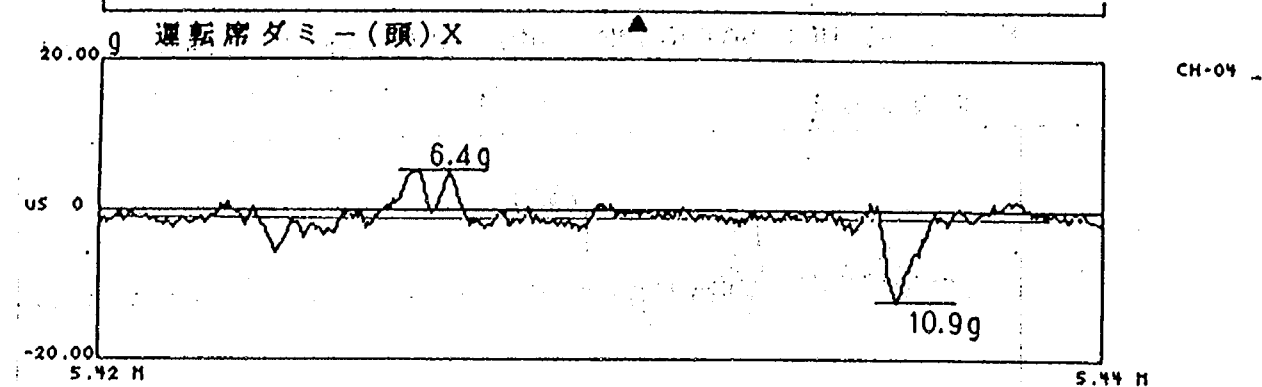


付 4. 9. 加速度波形

データ NO: DATA0000 サンプリングレート: 5mS 10.40 M



データ NO: DATA0000 サンプリングレート : 5mS 10.40 M



付4. 10. 加速度波形の分析結果

付4. 10. 1. 加速度波形分析結果一覧表

(剛性防護柵+2段荷受ビーム)

		車両重心			ダミー					
					運転席			助手席		
		原波形 (g)	50msec 平均 (g)	実効値 (g)	頭部		胸部	頭部		胸部
					原波形	HIC	原波形	原波形	HIC	原波形
実験 No. 3 大型貨物車 (100 km/h)	X	25.7	5.0	5.5	-11.3		--	148.3		
	Y	-1.1	-0.4	-0.4	17.3		--	107.8		
	Z	-15.1								
	合成	25.7	5.1	5.5	20.3	37.9		183.3	2275.2	
実験 No. 4 (km/h)	X									
	Y									
	Z									
	合成									
備考		〔注〕1)原波形はRAMカードに収録した結果である。 No. 3 実験 (sampling time :5 msec) 2)H I C 値はX, Y成分の合成値より算定した。 3)--はテレメータ不良の為、読みとり不能。								

付4. 10. 2. 車両重心加速度分析波形

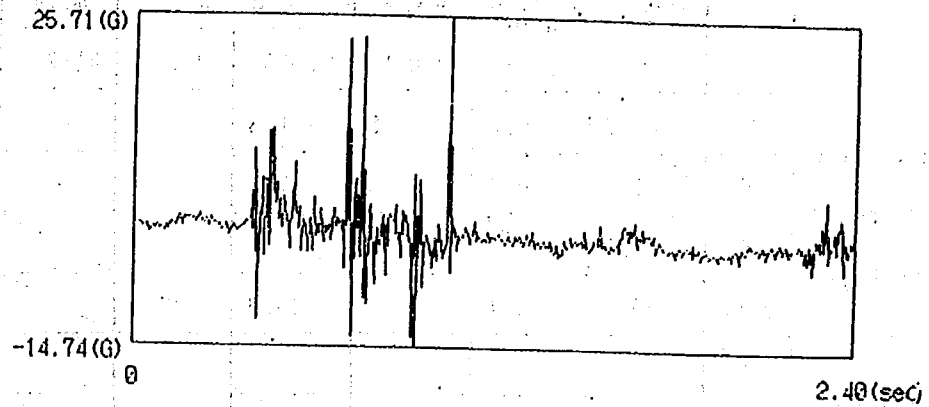
原波形 (X, Y, Z 方向)

50 msec 波形 (X, Y 方向)

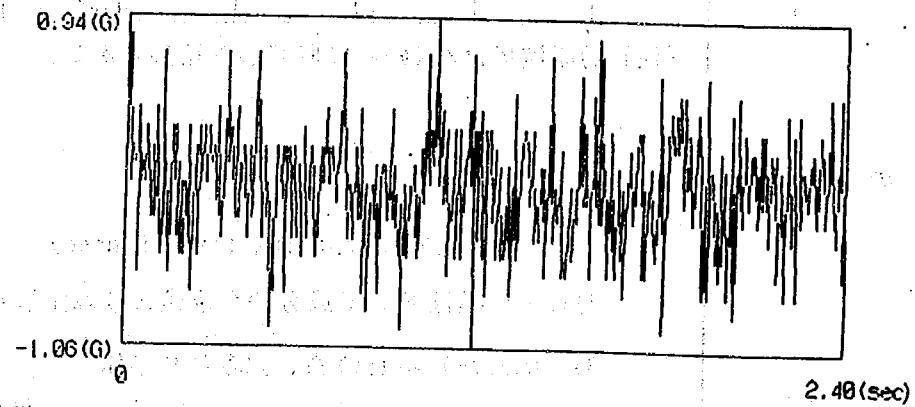
実効値波形 (X, Y 方向)

WAVE 1= 0113-1.PRN WAVE 2= 0113-2.PRN WAVE 3= 0113-3.PRN

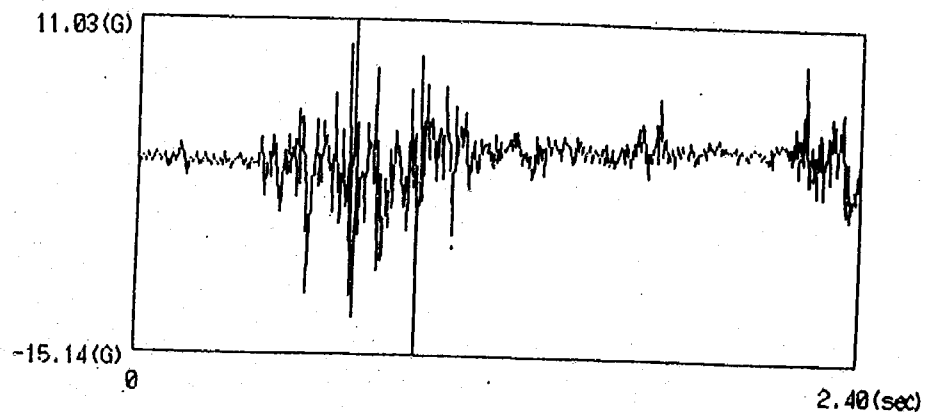
原波形 X WAVE NO.=0113-1.PRN
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A1(209) = 2.6707E+01 (G)
最小値 A1(186) = -1.4737E+01 (G)



原波形 Y WAVE NO.=0113-2.PRN
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A2(205) = 9.4074E-01 (G)
最小値 A2(232) = -1.0593E+00 (G)



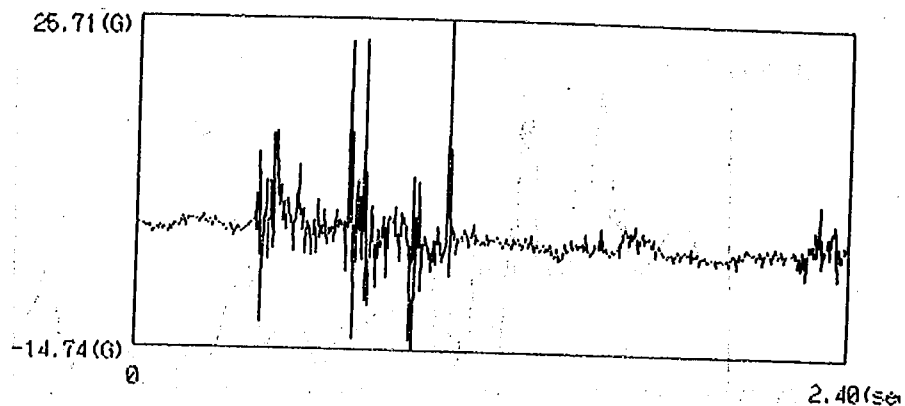
原波形 Z WAVE NO.=0113-3.PRN
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A4(144) = 1.1028E+01 (G)
最小値 A4(186) = -1.5139E+01 (G)



WAVE 1= 0113-1.PRN, WAVE 2= 0113-2.PRN

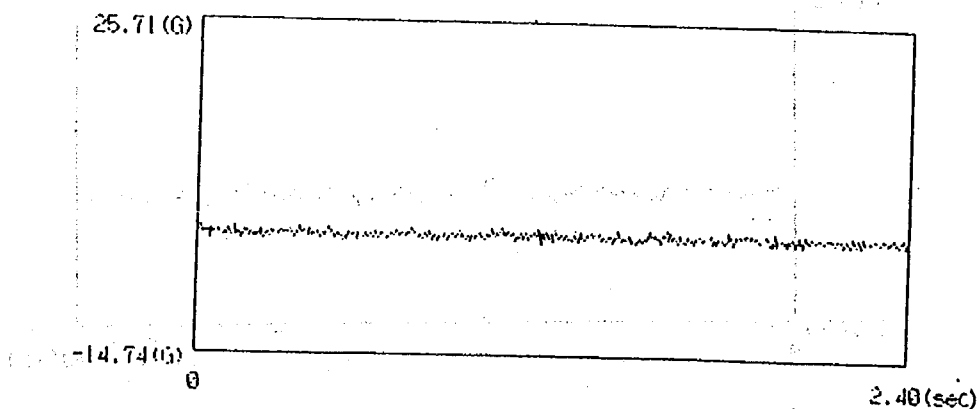
原波形 X

WAVE NO.=0113-1.PRN
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A1(209) = 2.5707E+01 (G)
最小値 A1(186) = -1.4737E+01 (G)

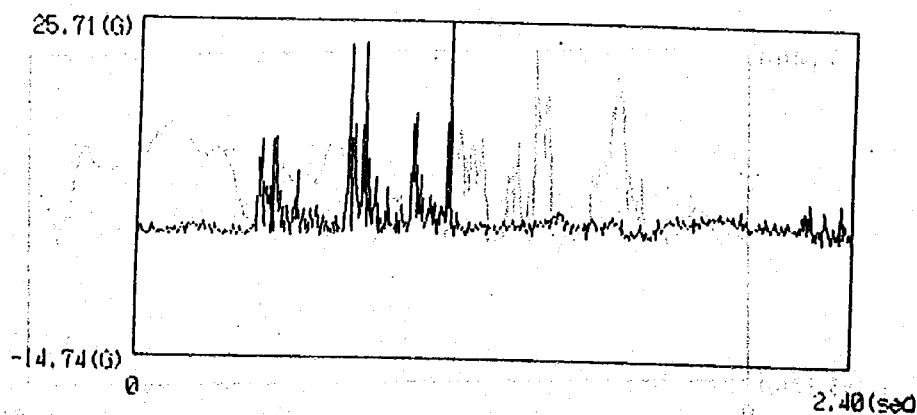


原波形 Y WAVE NO.=0113-2.PRN

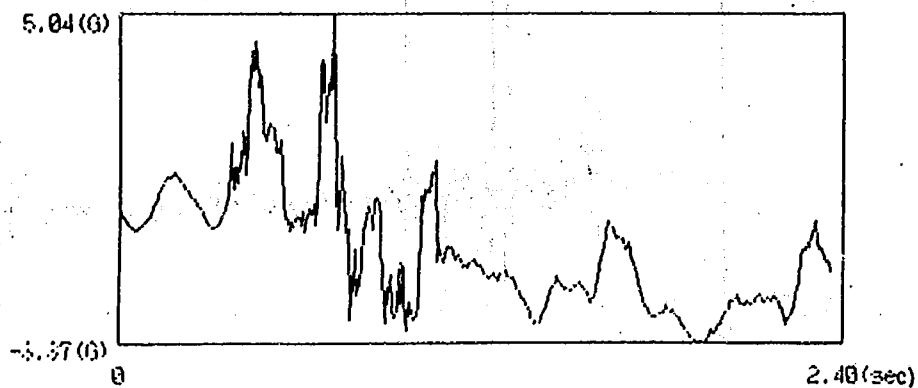
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A2(205) = 9.4074E-01 (G)
最小値 A2(232) = -1.0593E+00 (G)



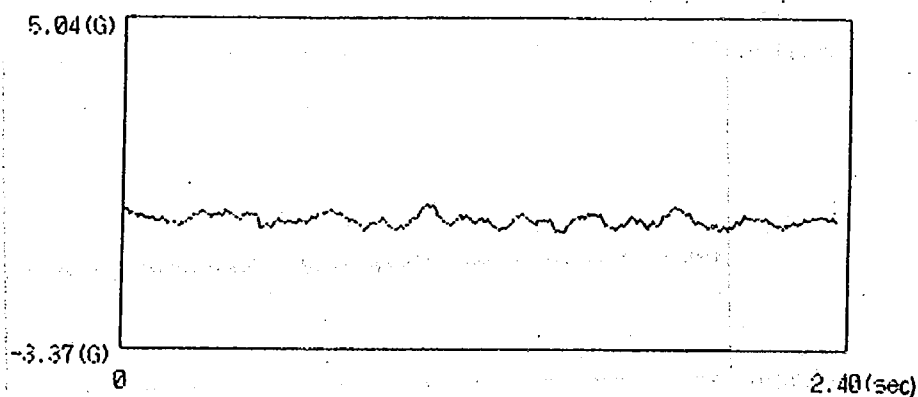
X Y 波形 合成値 WAVE 1= 0113-1.PRN WAVE 2= 0113-2.PRN
最大値 = 2.5709E+01 (G)



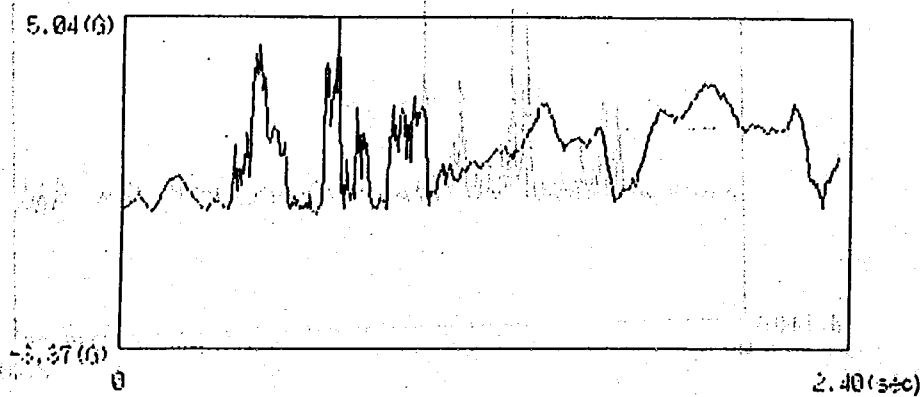
50msec平均 X WAVE 1=0113-1.PRN
 最大値 = 5.0408E+00 (G)
 最小値 = -3.3704E+00 (G)



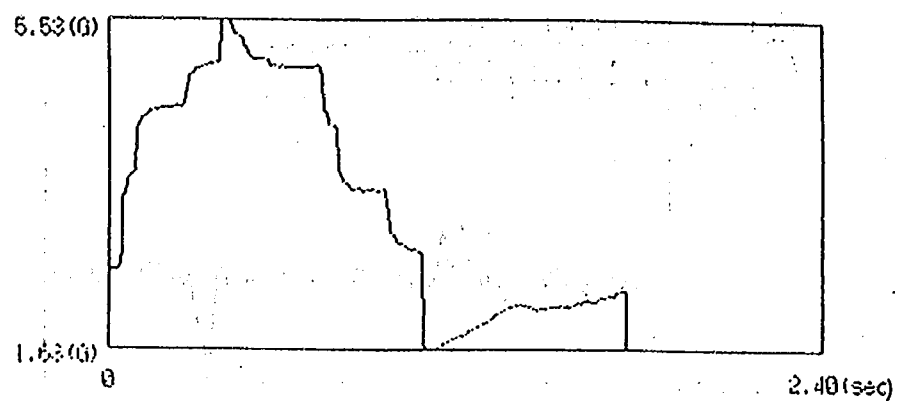
50msec平均 Y WAVE 2=0113-2.PRN
 最大値 = 3.0741E-01 (G)
 最小値 = -3.8148E-01 (G)



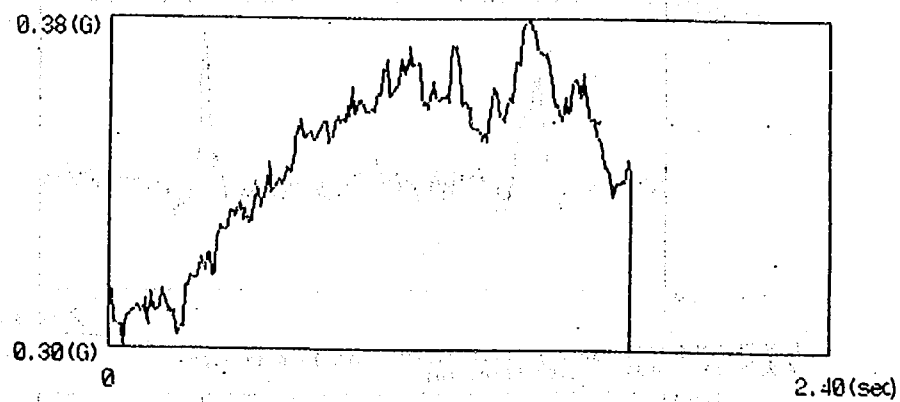
50msec平均 X Y 合成値
 最大値 = 5.0408E+00 (G)



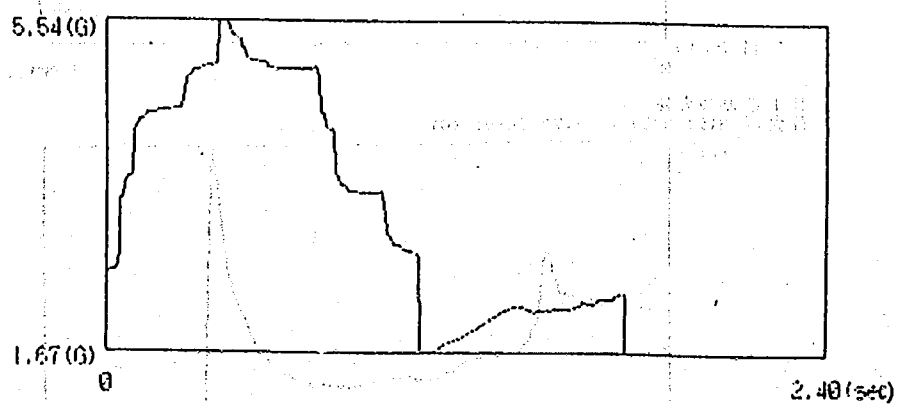
最大進入行程 実効値 X WAVE 1=0113-1.PRN
最大値 = 5.5329E+00 (G)



最大進入行程 実効値 Y WAVE 2=0113-2.PRN
最大値 = 3.8212E-01 (G)



最大進入行程 実効値 合成値
最大値 = 5.5429E+00 (G)



付4. 10. 3. 運転席ダミー（頭部）加速度分析波形

原 波 形 (X, Y 方向)

H I C 値 (X, Y 方向)

WAVE 1= 0113-4.PRN WAVE 2= 0113-5.PRN

原 波 形 X WAVE NO.=0113-4.PRN

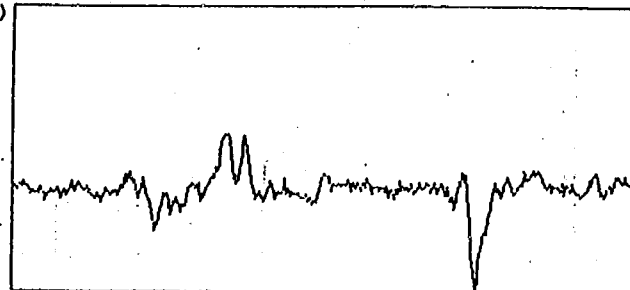
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC

最大値 A1(162) = 6.2741E+00 (G)

最小値 A1(364) = -1.1281E+01 (G)

20.27(G)

-11.28(G)



0

2.40(sec)

原 波 形 Y WAVE NO.=0113-5.PRN

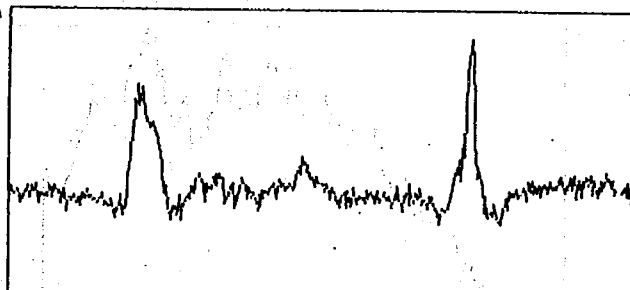
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC

最大値 A2(353) = 1.7274E+01 (G)

最小値 A2(328) = -2.9482E+00 (G)

20.27(G)

-11.28(G)



0

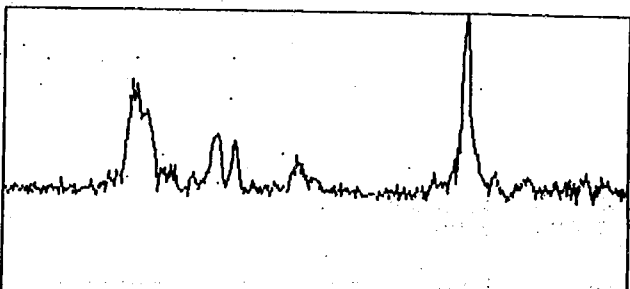
2.40(sec)

原 波 形 X Y 合成値 WAVE 1= 0113-4.PRN WAVE 2= 0113-5.PRN

最大値 XY(353) = 2.0275E+01 (G)

20.27(G)

-11.28(G)



0

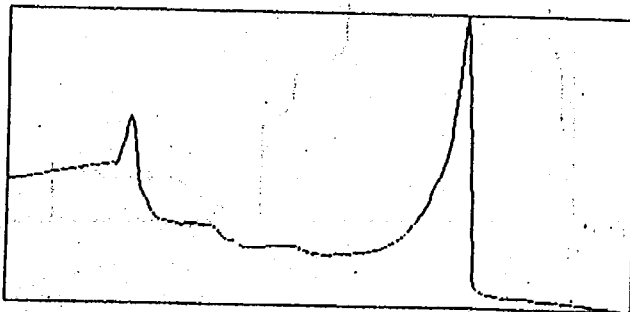
2.40(sec)

H I C の最大値

最大値 HIC(349) = 3.7948E+01 (G)

37.95

0.00



0

2.40(sec)

付 4. 1 0. 4. 助手席ダミー（頭部）加速度分析波形

原 波 形 (X, Y 方 向)

H I C 値 (X, Y 方 向)

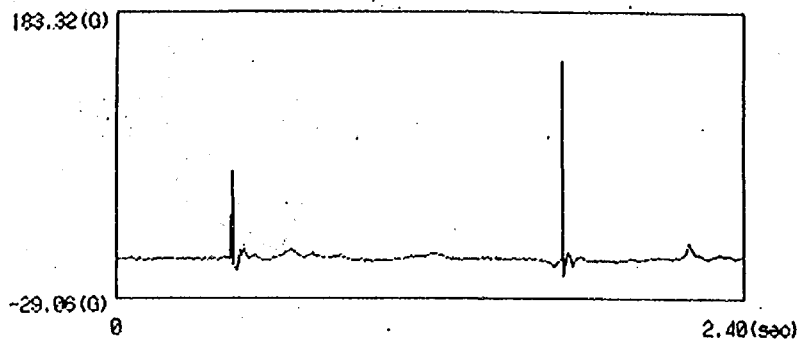
WAVE 1= 0113-6.PRN WAVE 2= 0113-7.PRN

原 波 形 X WAVE NO.=0113-6.PRN

サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC

最大値 A1(339) = 1.4826E+02 (G)

最小値 A1(340) = -1.1407E+01 (G)

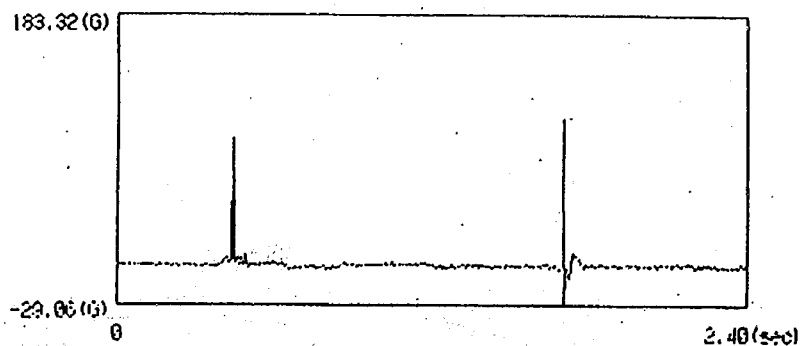


原 波 形 Y WAVE NO.=0113-7.PRN

サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC

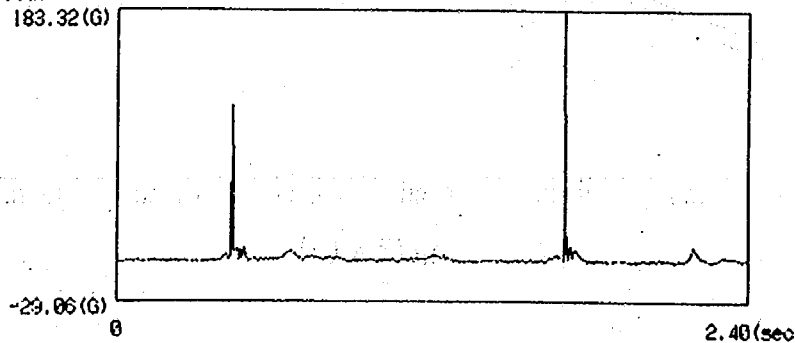
最大値 A2(339) = 1.0783E+02 (G)

最小値 A2(340) = -2.9059E+01 (G)



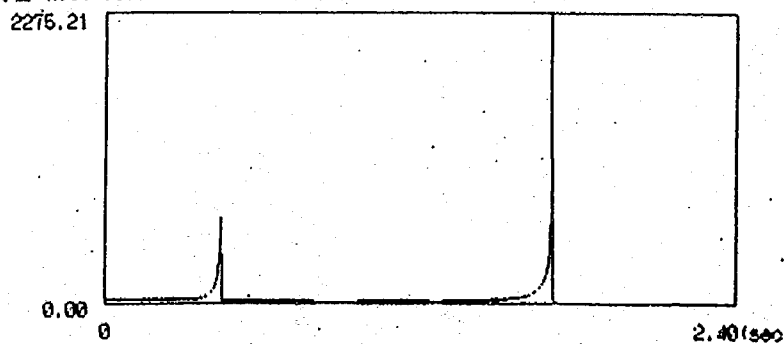
原 波 形 X Y 合 成 値 WAVE 1= 0113-6.PRN WAVE 2= 0113-7.PRN

最大値 XY(339) = 1.8332E+02 (G)



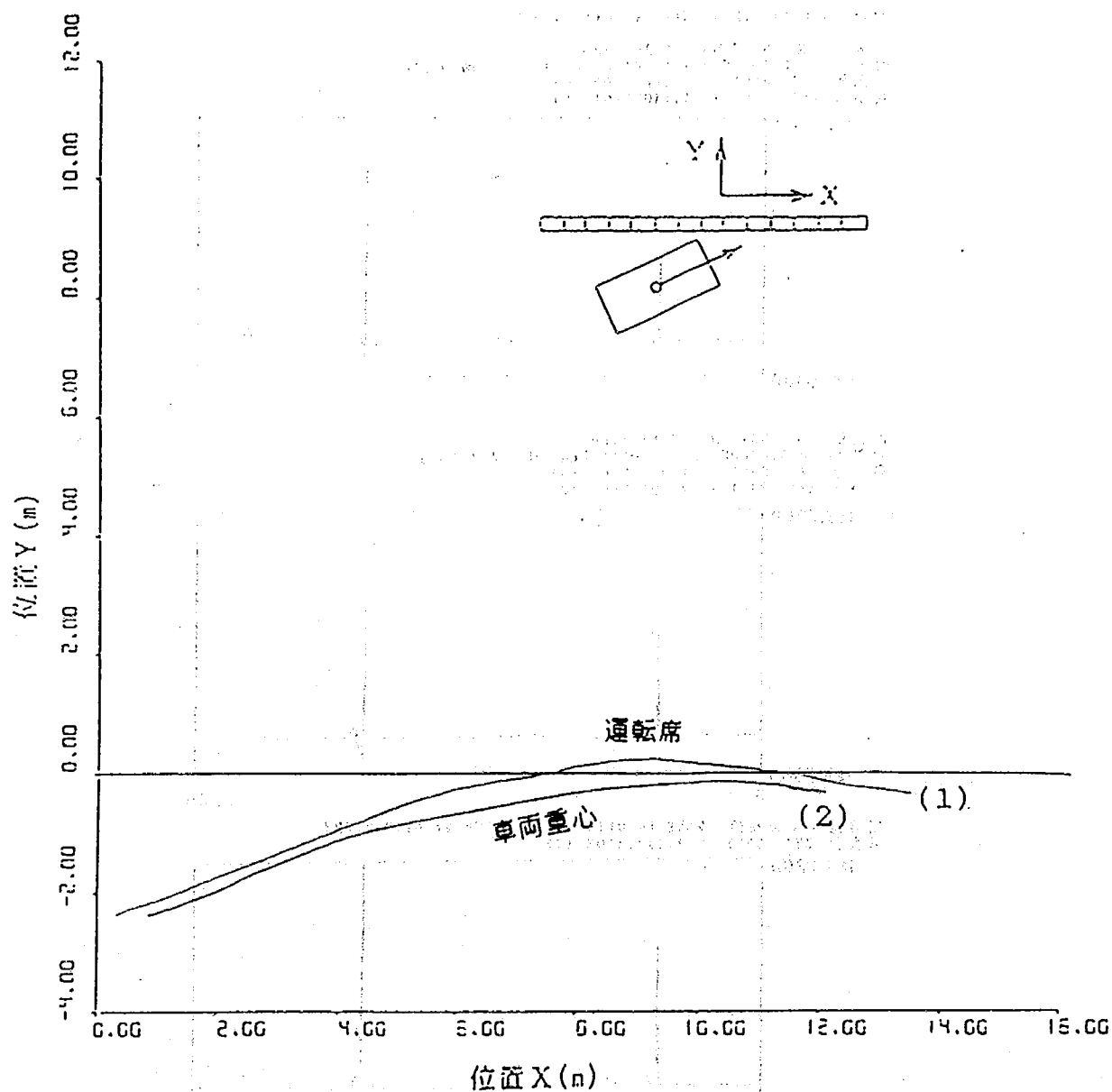
H I C の 最 大 値

最大値 HIC(339) = 2.2752E+03 (G)

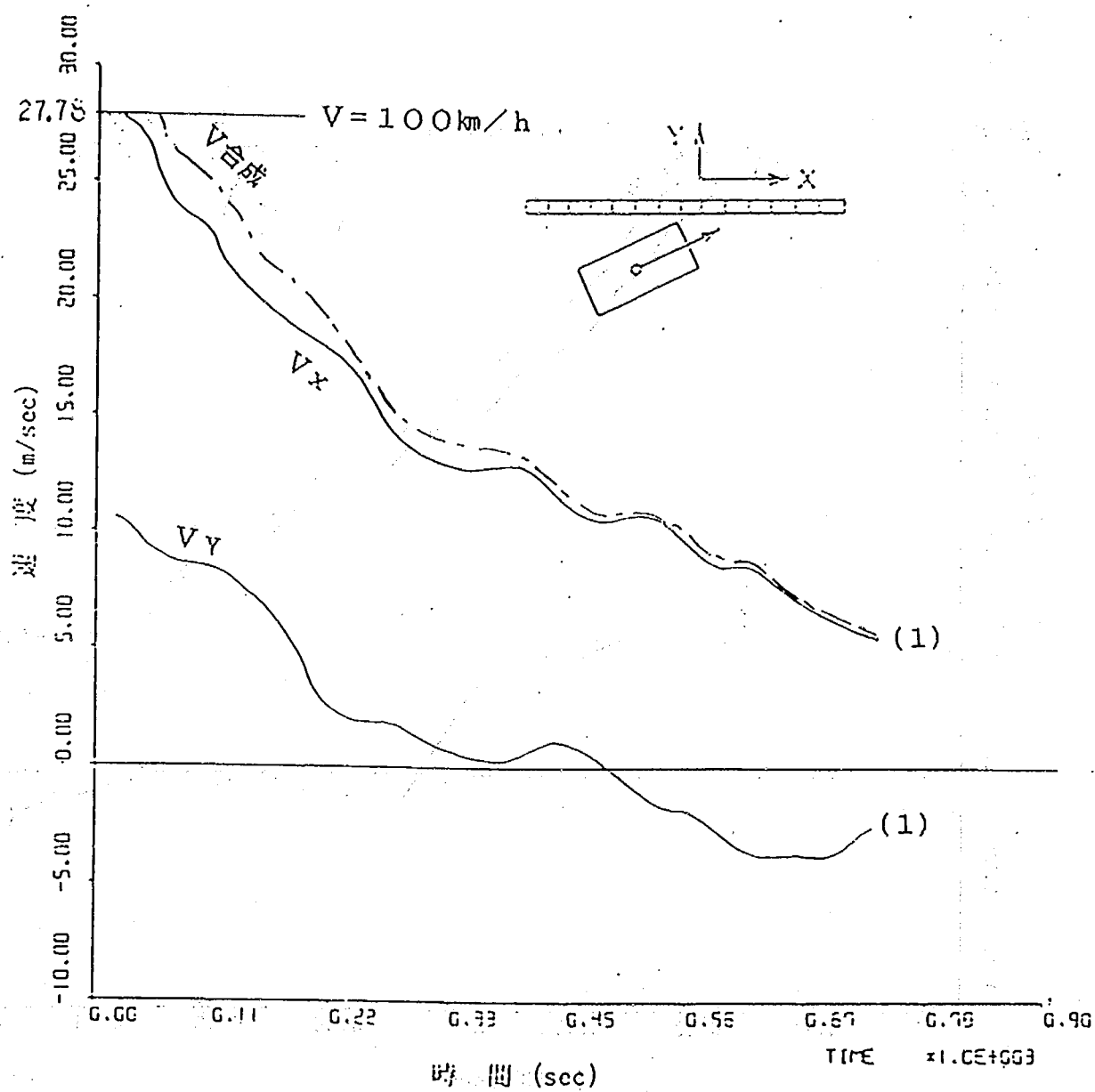


付4. 1 1. 高速度フィルムの解析結果

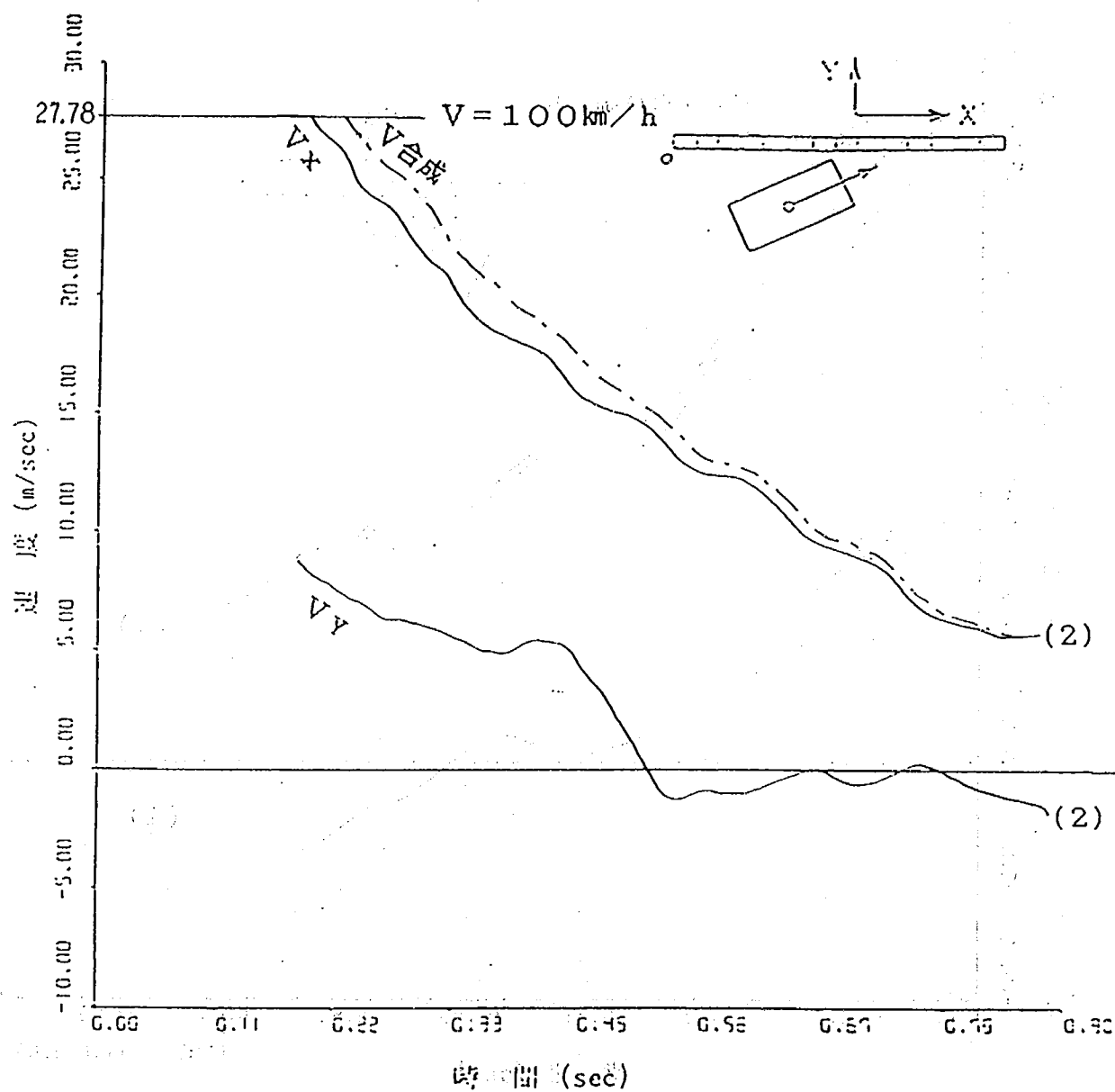
付4. 1 1. 1. 車両重心と運転席位置



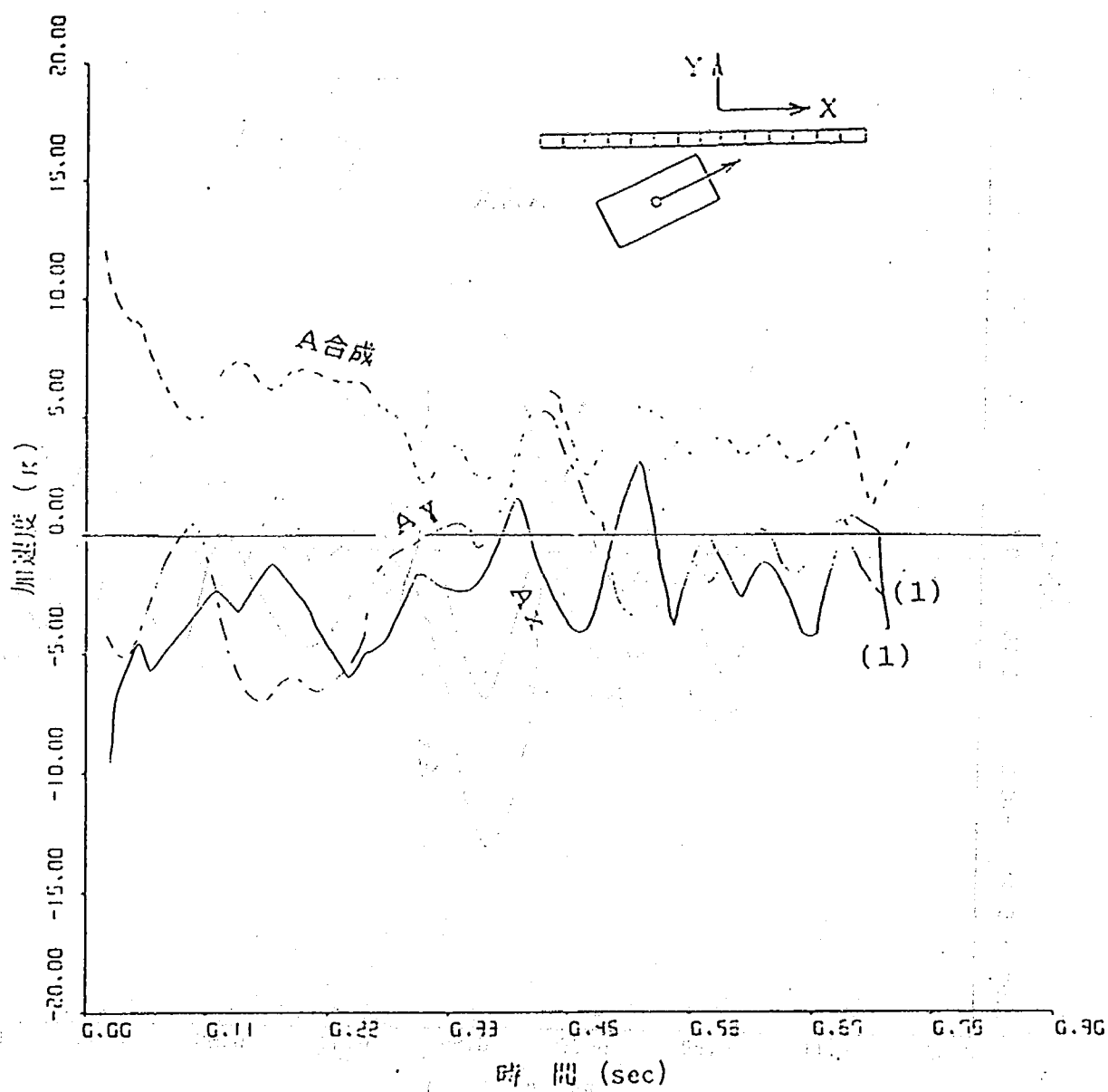
付 4. 1 1. 2. 運転席速度



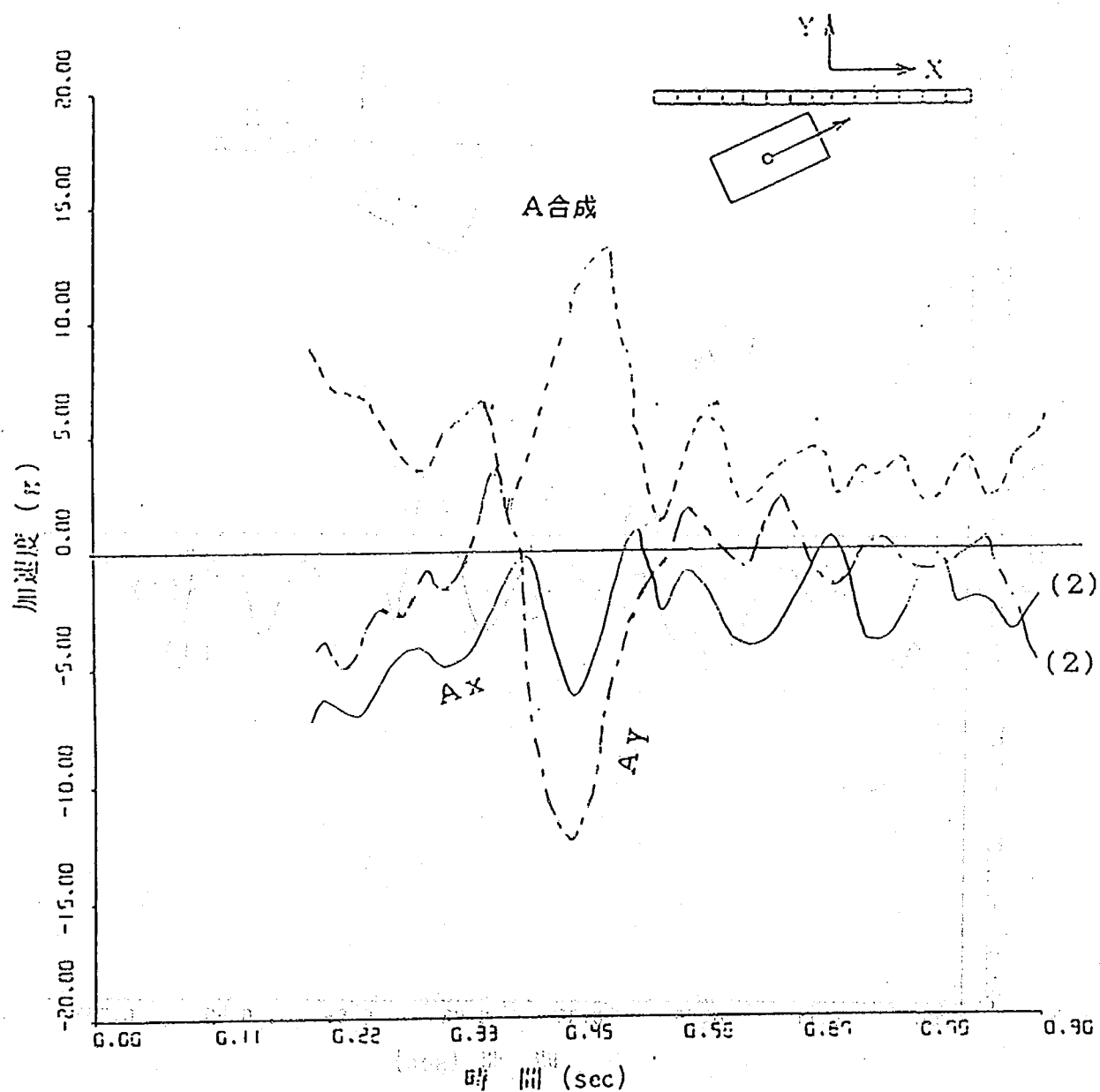
付 4. 1 1. 3. 車両重心速度



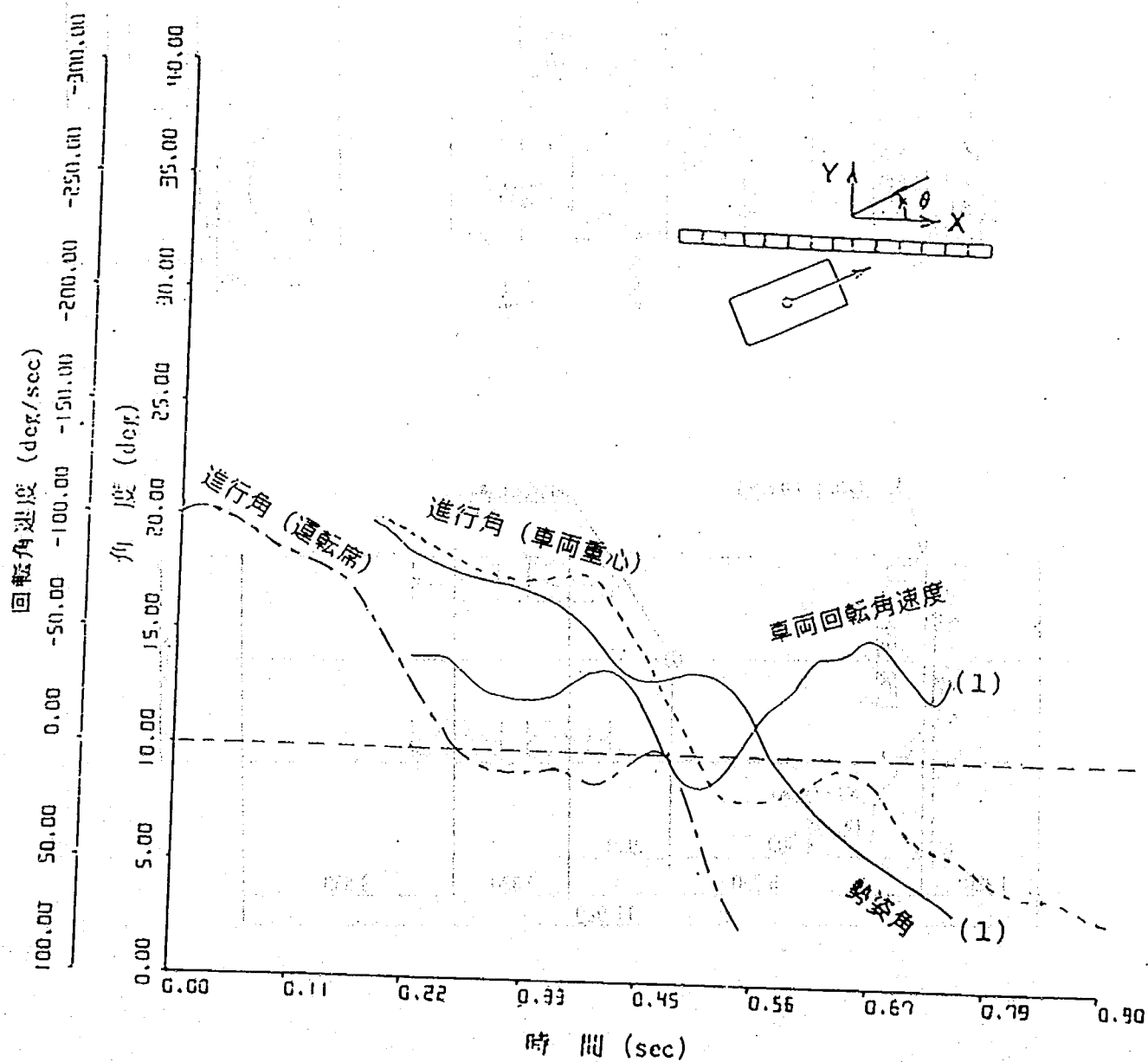
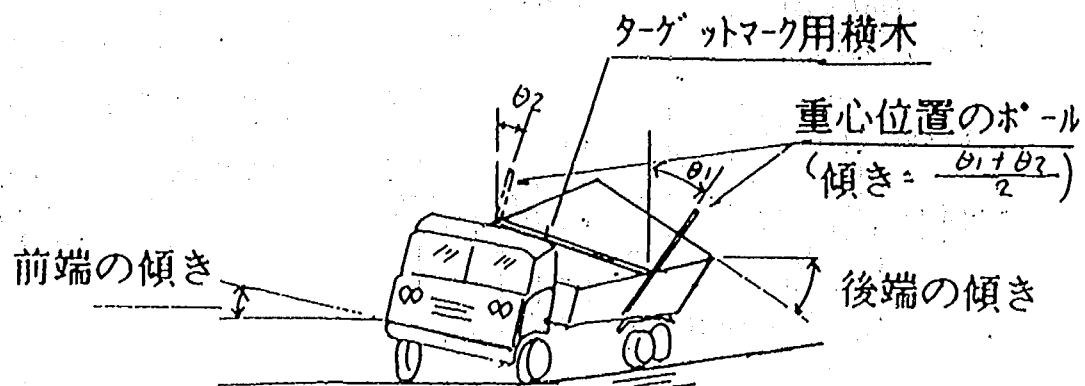
付4. 1 1. 4. 運転席加速度



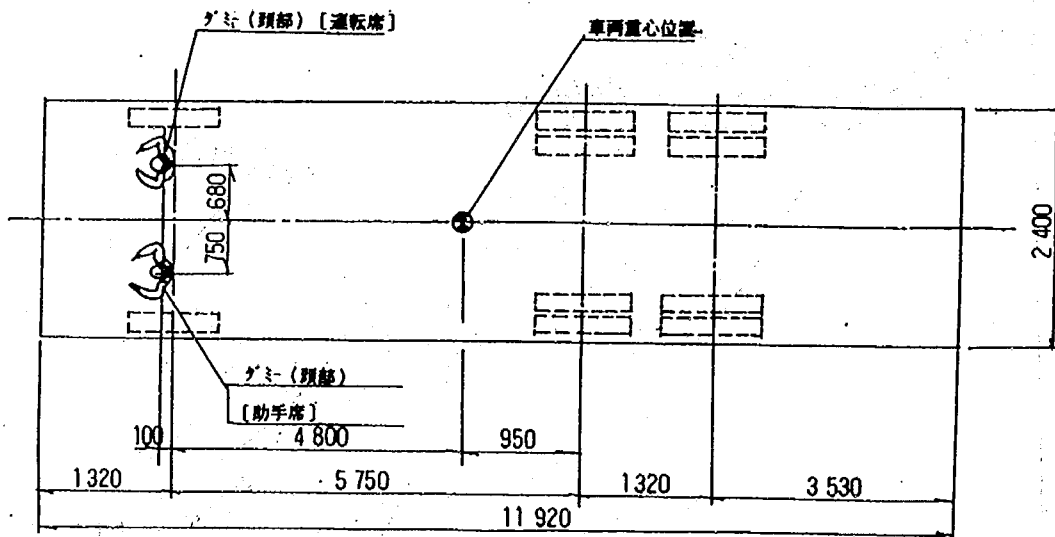
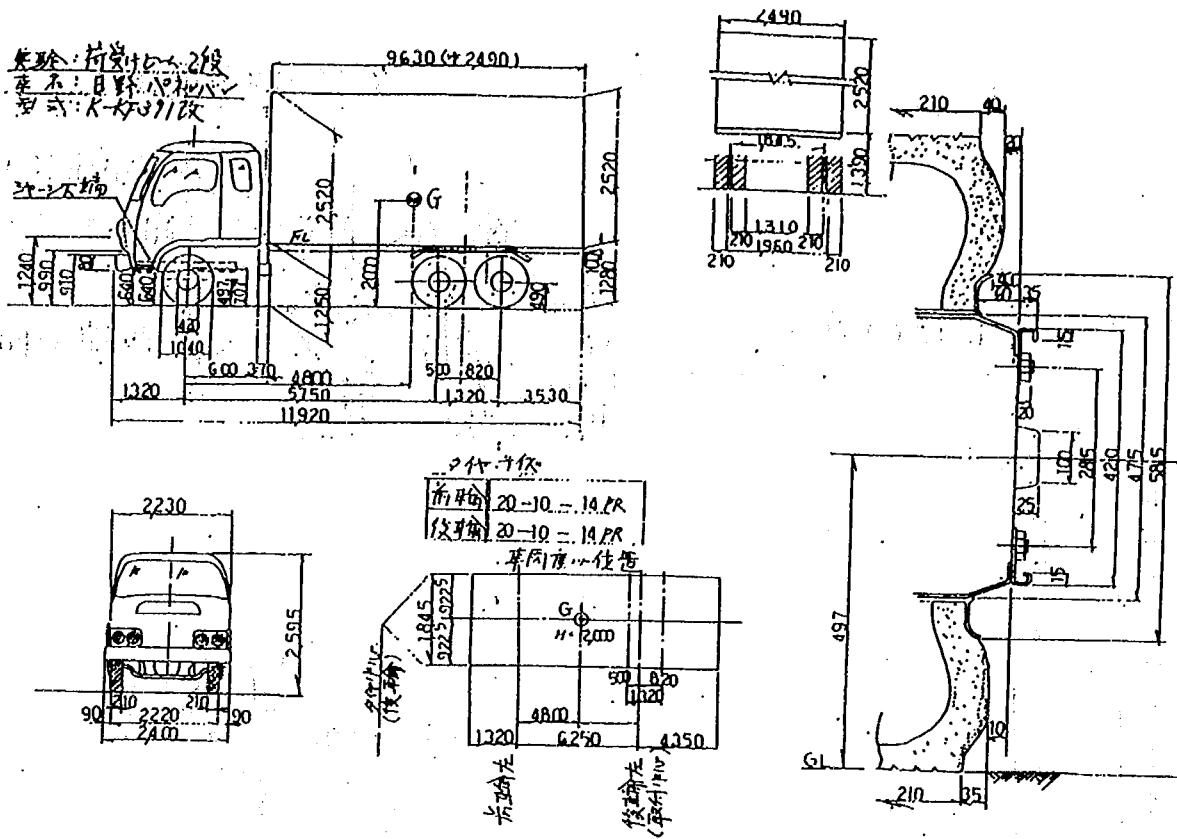
付4. 1 1. 5. 車兩重心加速度



付 4. 1 1. 6. 車両の姿勢角、進行角、回転角速度



付 4. 1 2. 実験車両の寸法と車検証



01293 検・消 登 録 証 明 書 平成 4 年 10 月 26 日 東京運輸局 東京陸運支局

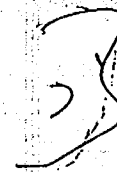
品川 1.1	品川 1.3	平成 4 年 10 月 26 日	昭和 57 年 9 月 26 日	品川 1.1	品川 1.3	品川 1.1	品川 1.3	品川 1.1	品川 1.3
K-KE391		10250		9400		10819		10819	
KE391		EK100		1198		140		13.26	
所有者の氏名又は名称		東京日野自動車株式会社						3780	
所在地		東京都江戸川区中葛西1丁目31-15 (1961)						3780	
使用者の氏名又は名称		オガワ ウンユ ユウゲンガイシャ						3540	
使用者の住所		東京都大田区西船場3丁目9-10 (1311 0262)						3080	
使用の本拠の位置		品川						品川	
登録の目的		[品川] 検消登録						品川	
平成 4 年 10 月 26 日									

付 4. 1 3. ダミー頭部の感圧状況

① 運転席

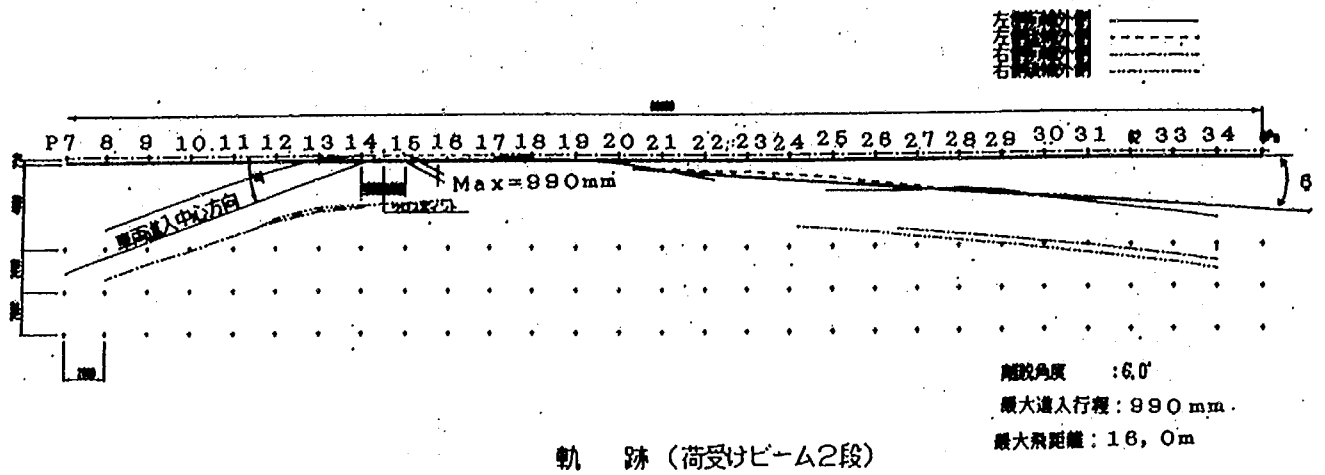


② 助手席

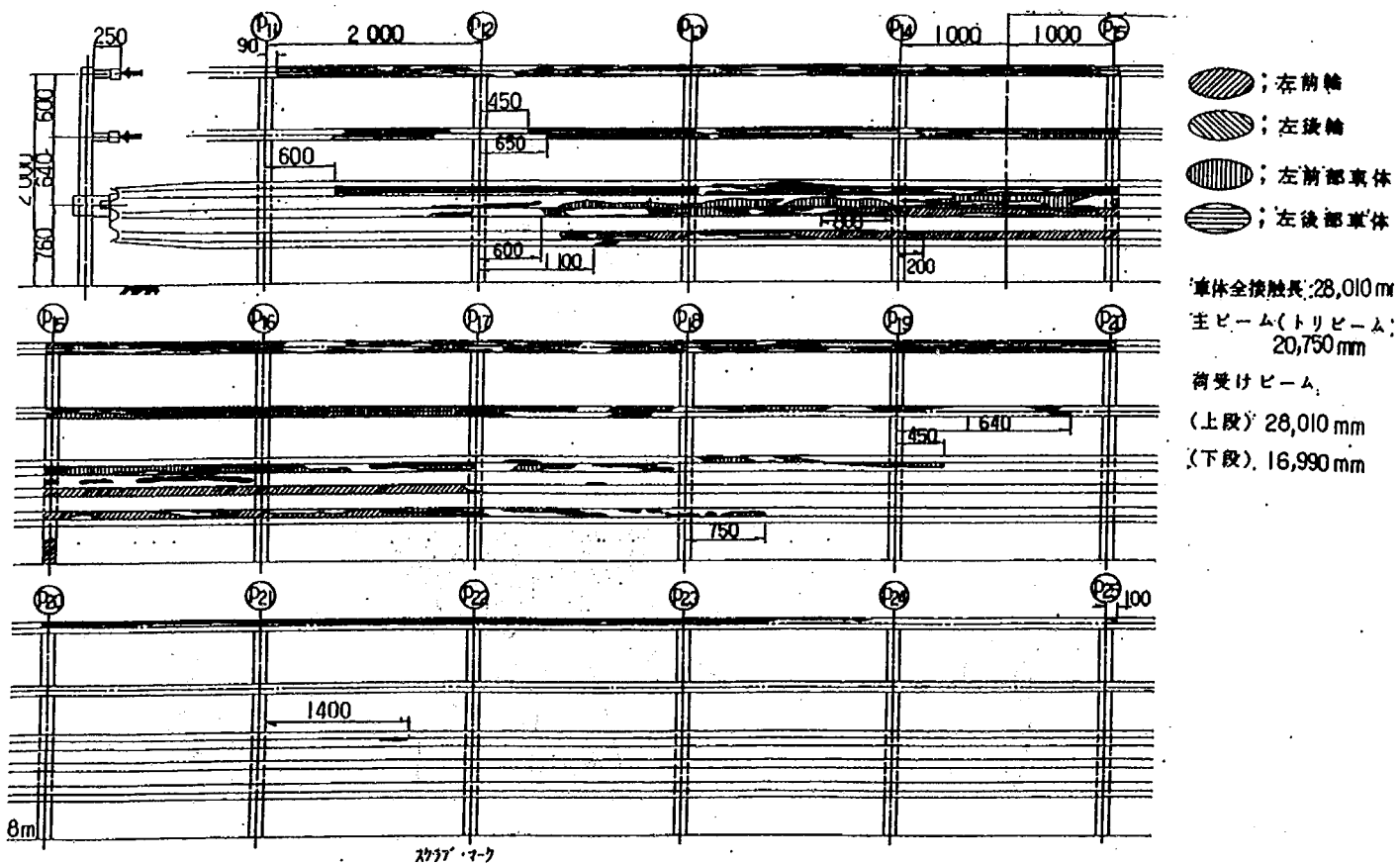


付 5. 荷受け 2 段型鋼製防護欄

付 5. 1. 軌跡

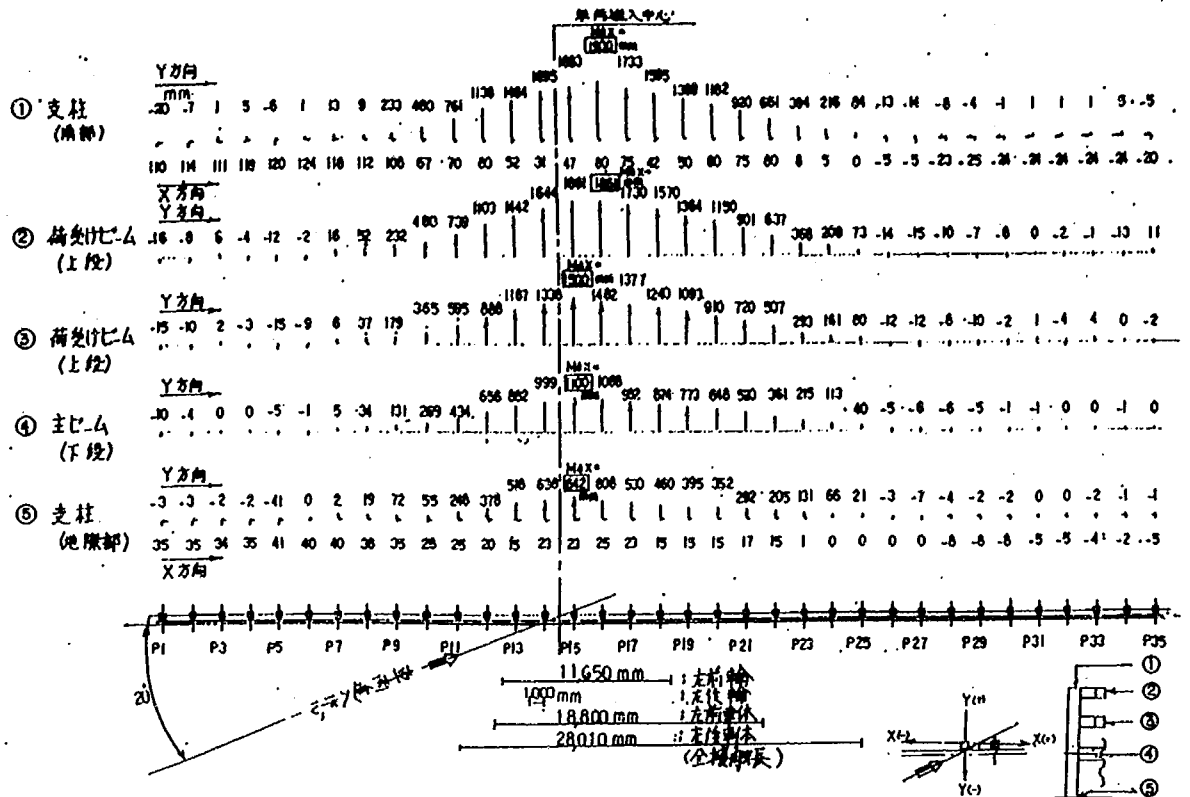


付 5. 2. 車両接触跡

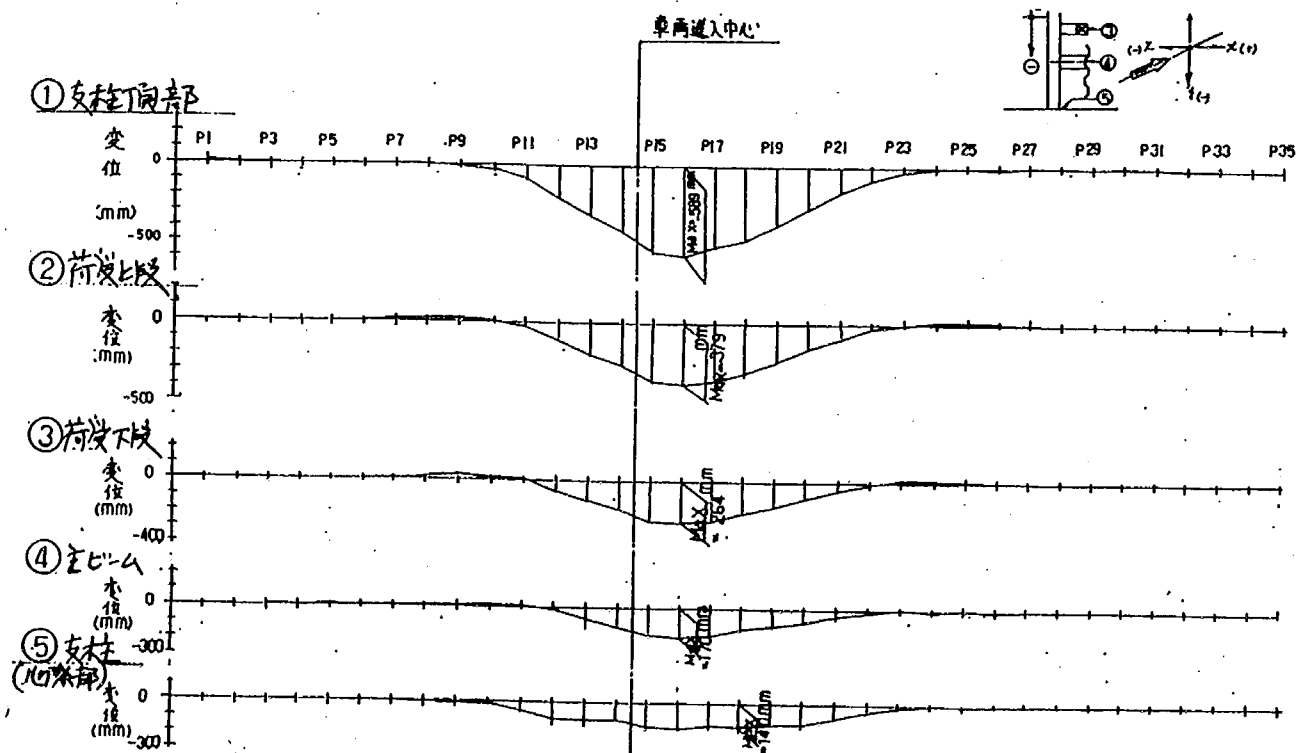


付 5. 3. 防護柵の残留変位関係

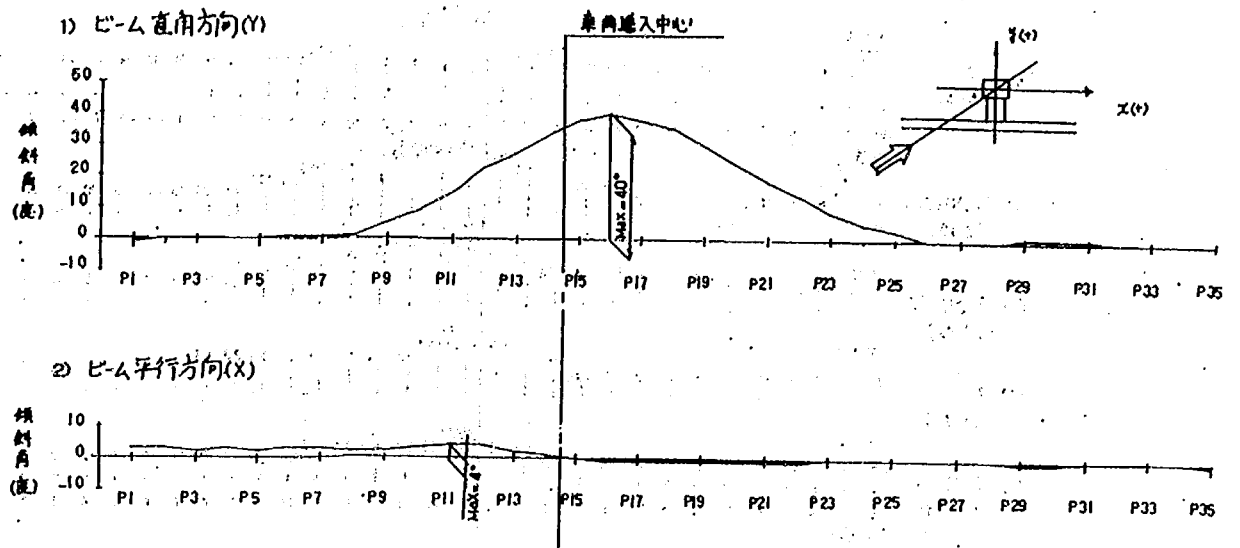
付 5. 3. 1. 支柱及びび-4の残留変位(X, Y方向)



付 5. 3. 2. 支柱の残留変位(Z方向)

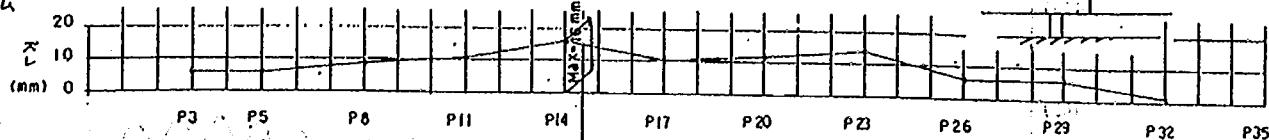


付 5. 3. 3. 支柱の傾斜角

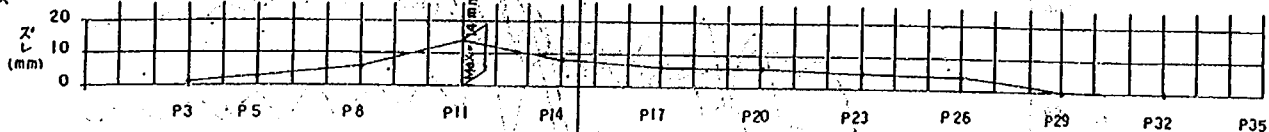


付 5. 3. 4. ビームの開き

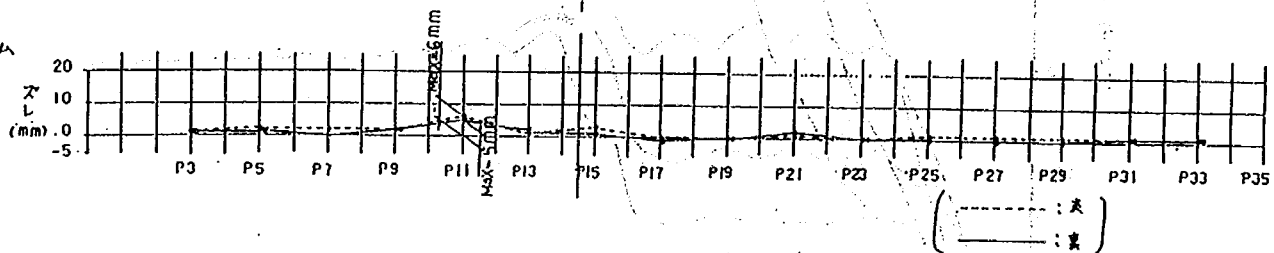
① 荷受け上段
ビーム



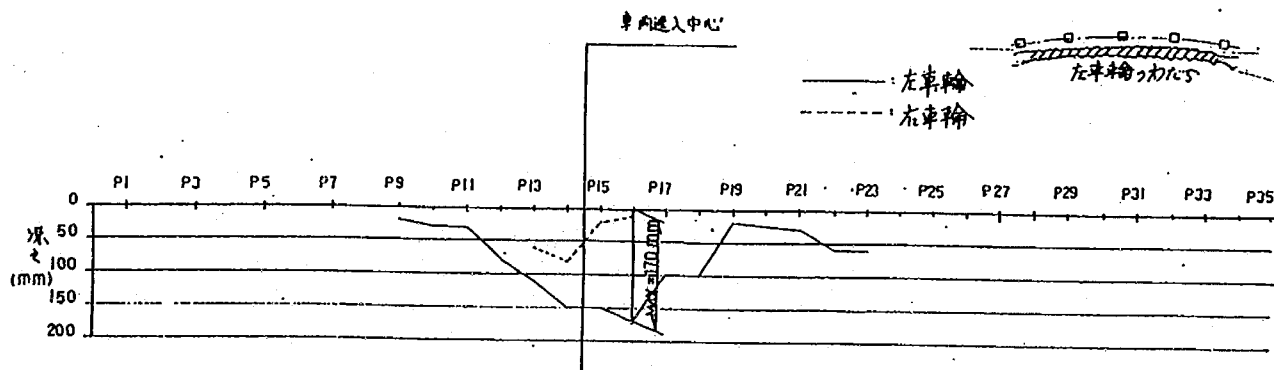
② 荷受け下段
ビーム



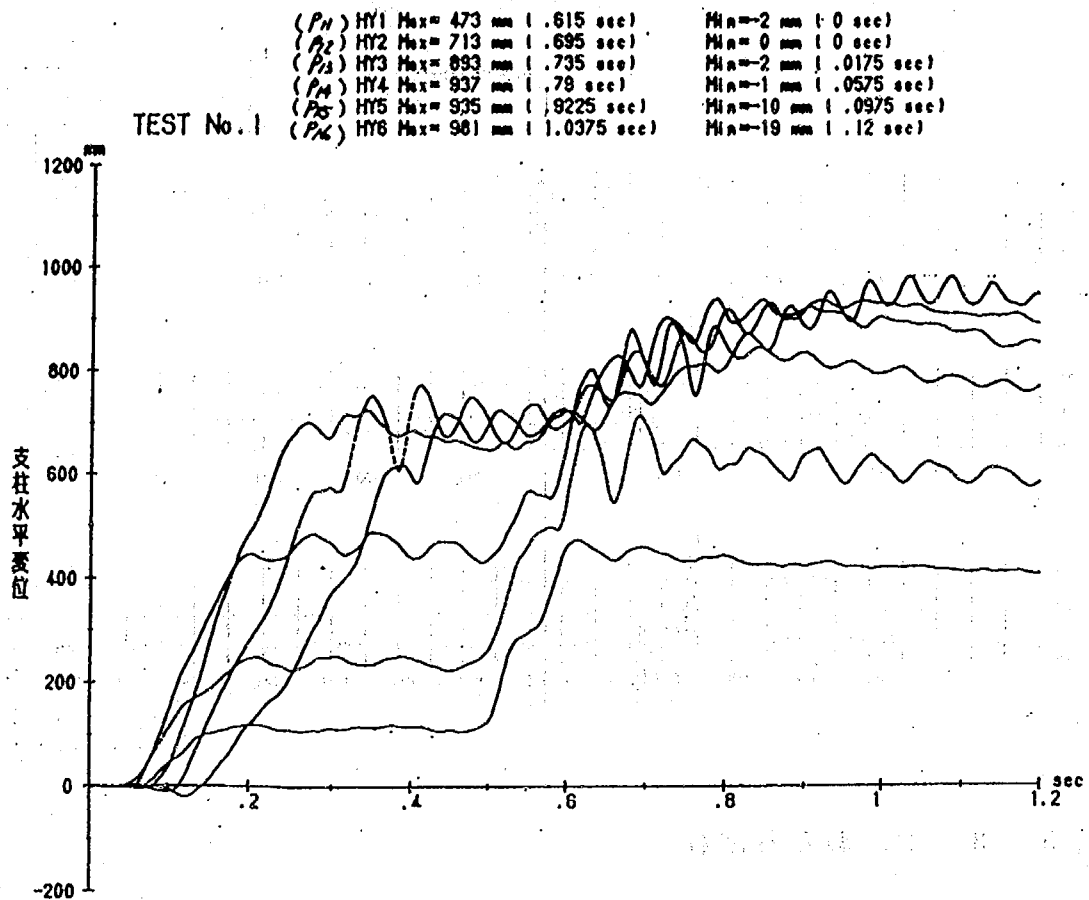
③ 主ビーム



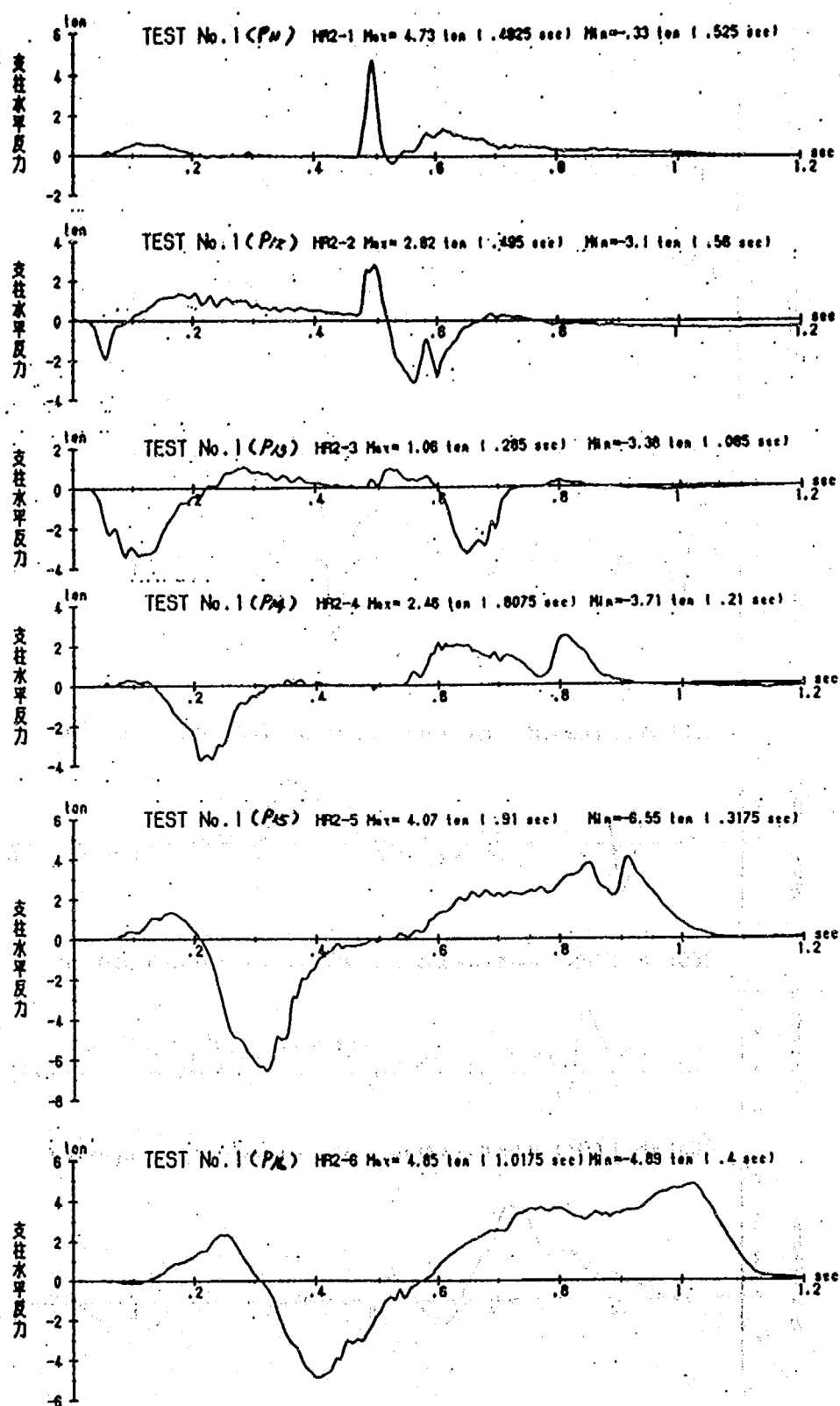
付 5. 3. 5. わだちぼれ



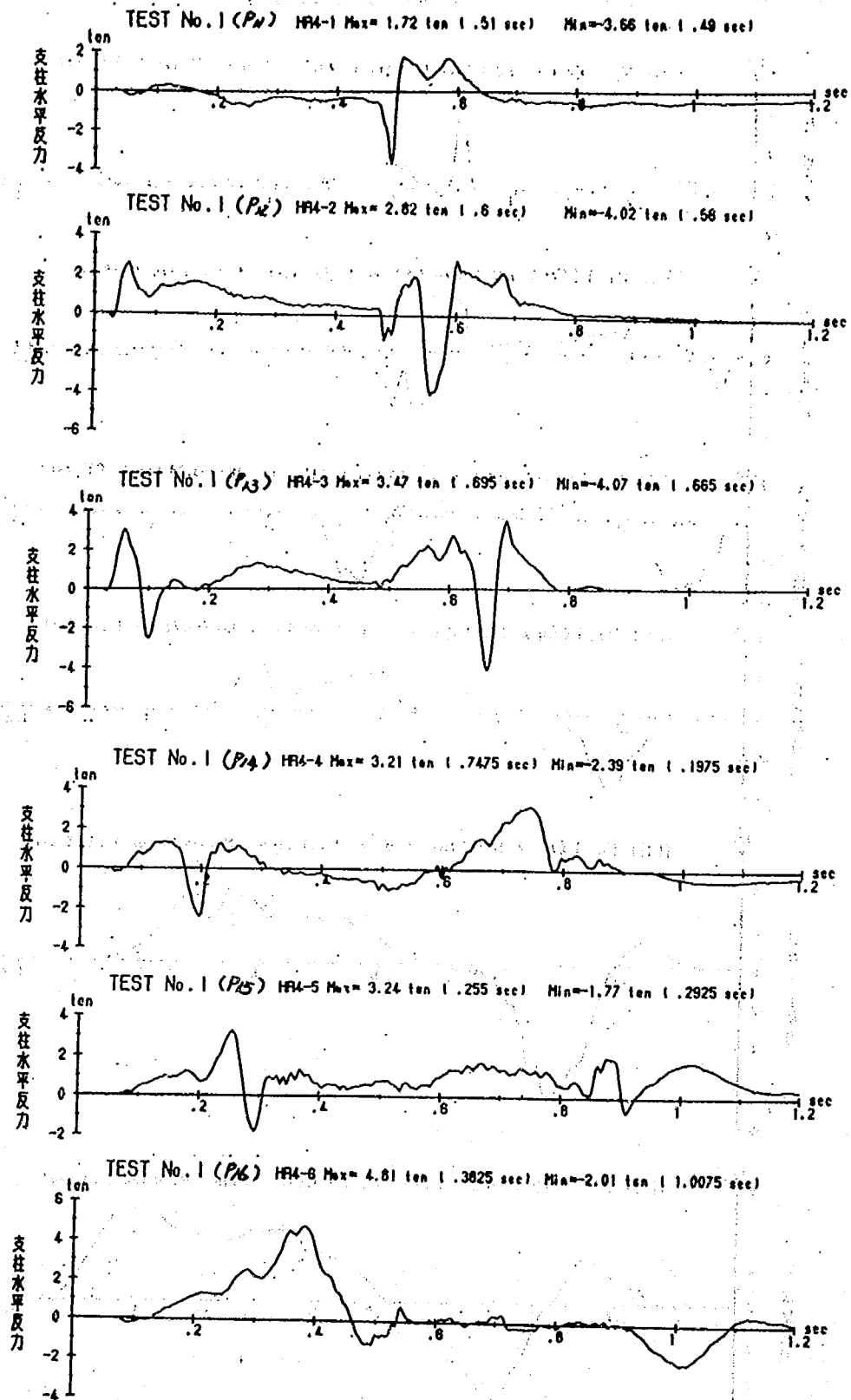
付 5. 4. 支柱路外方向(Y)の変位



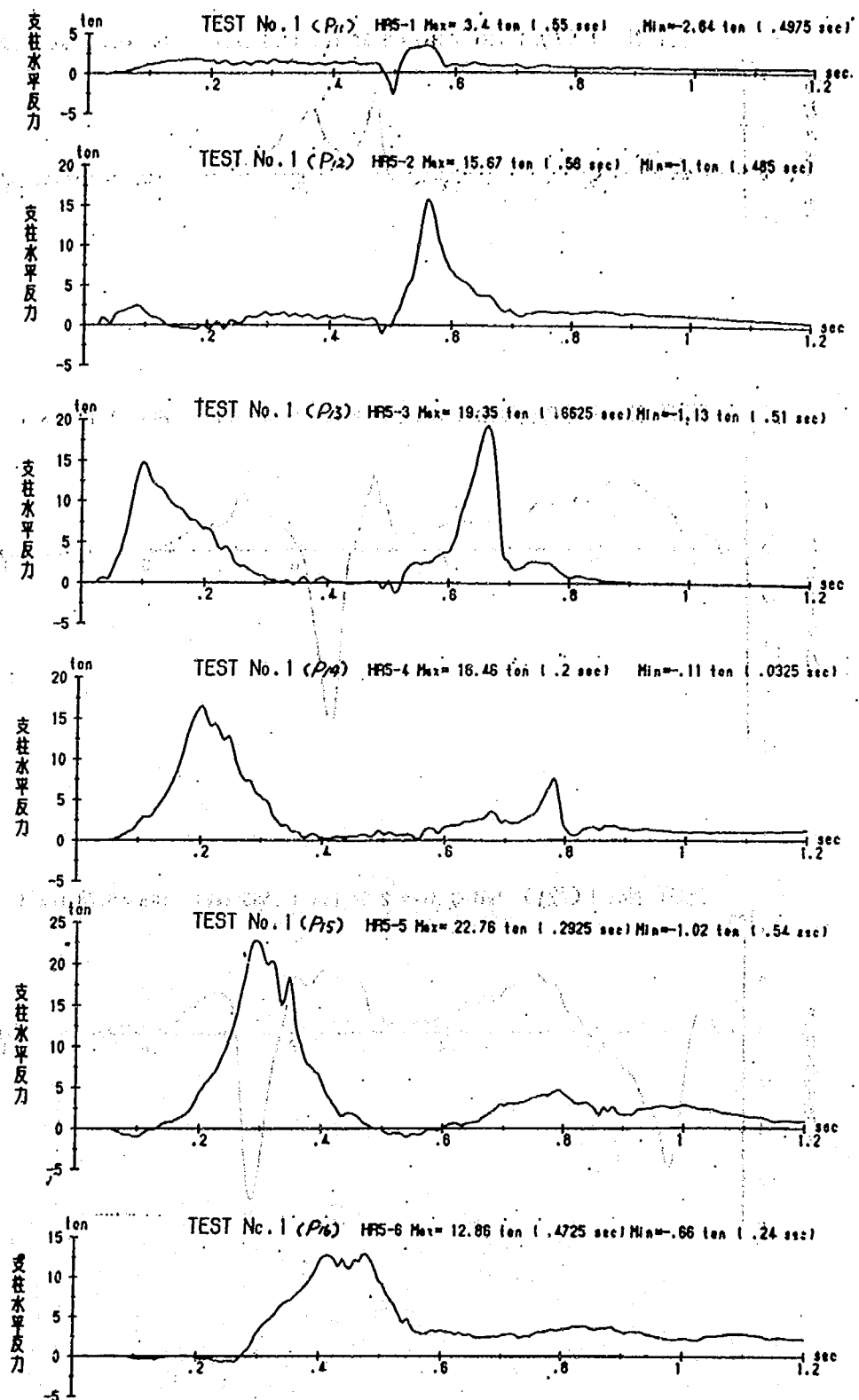
付 5. 5. 支柱に作用した路外方向(Y)の水平力
 付 5. 5. 1. 支柱荷受け上段部の水平力波形



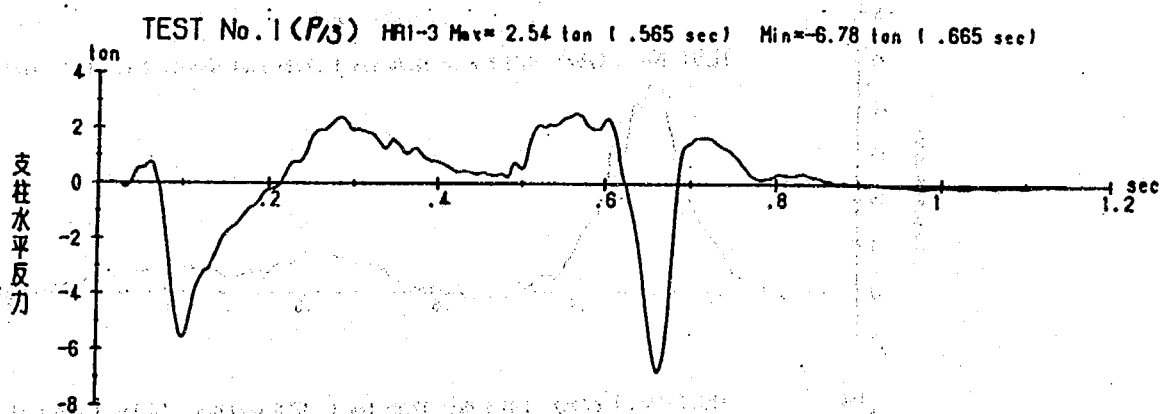
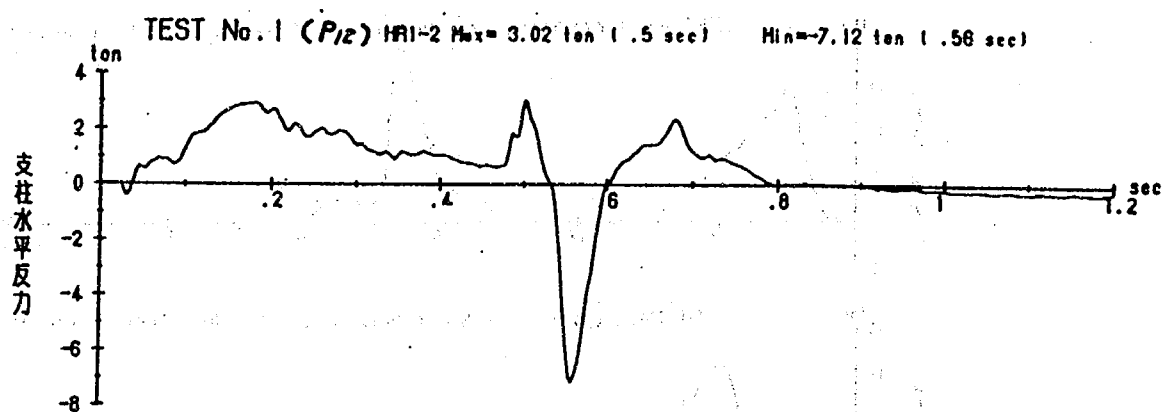
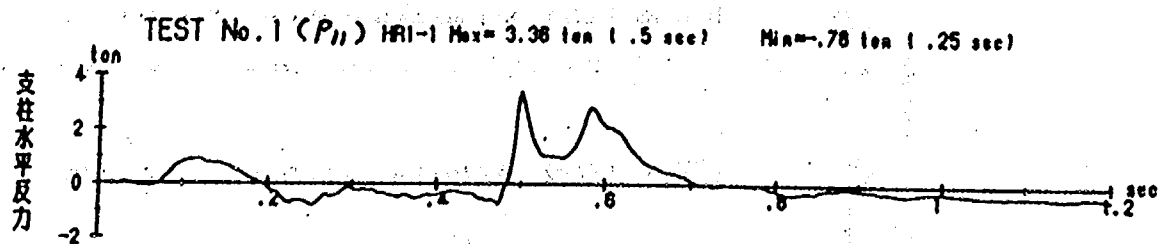
付 5. 5. 2. 支柱荷受け下段部の水平力波形

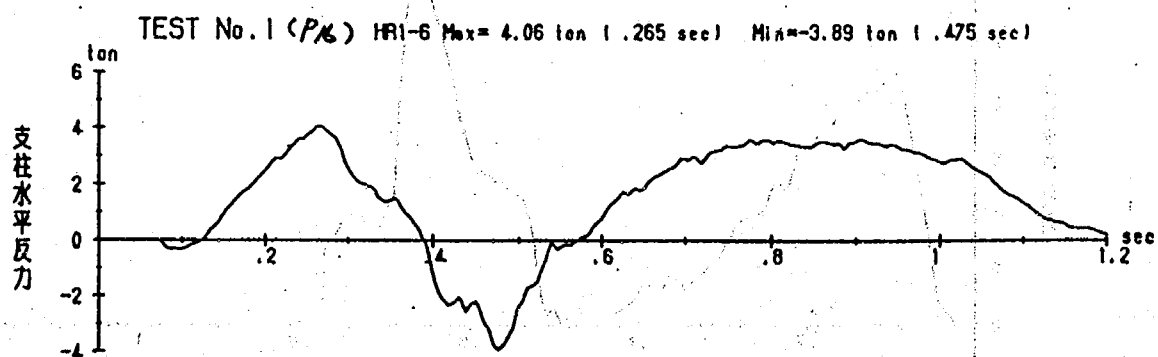
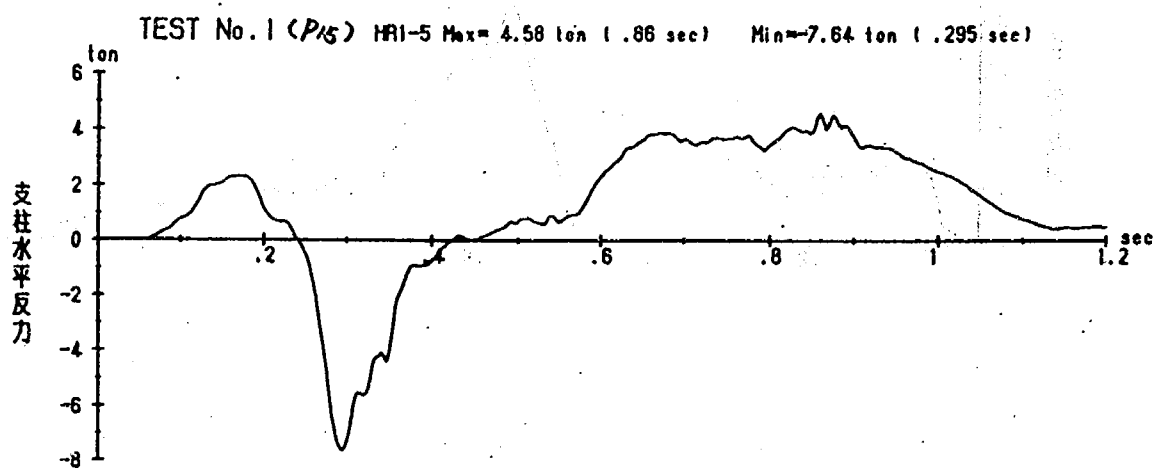
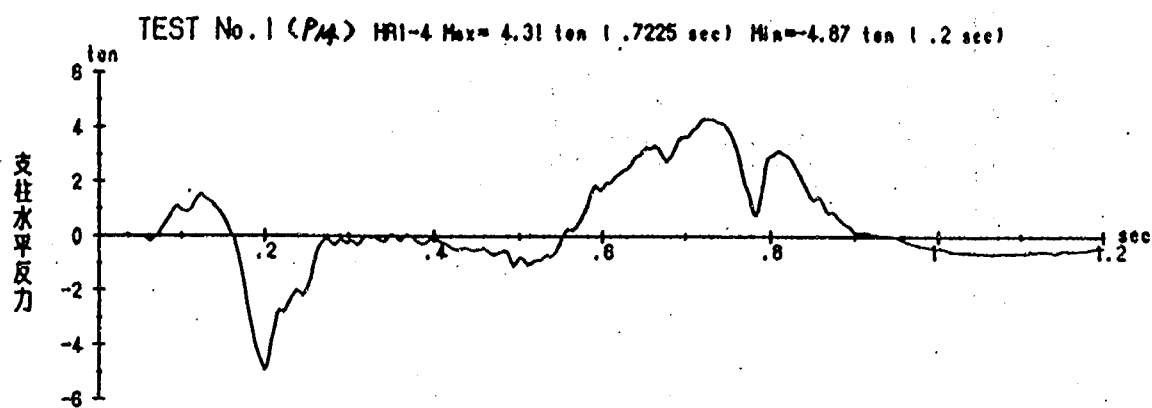


付 5. 5. 3. 支柱主ビーム(トリビーム)部の水平力波形

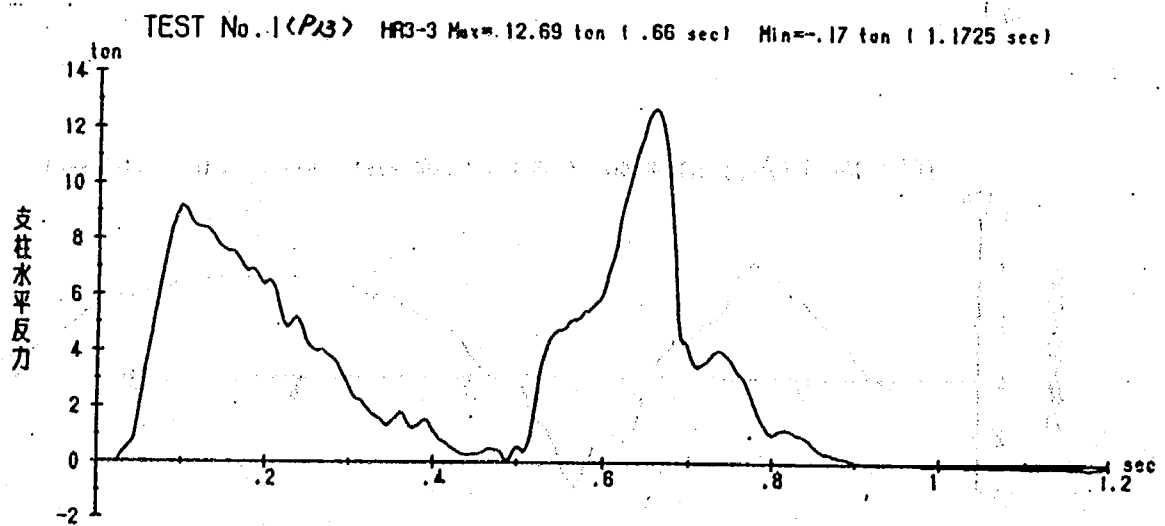
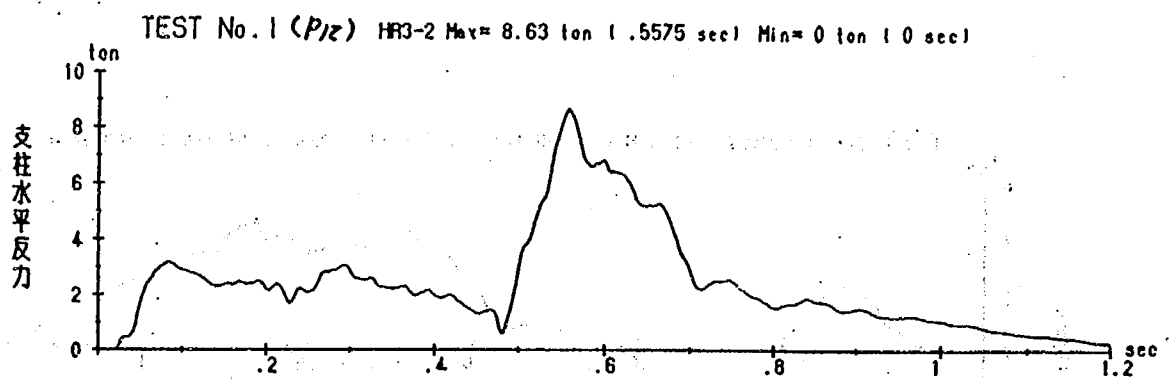
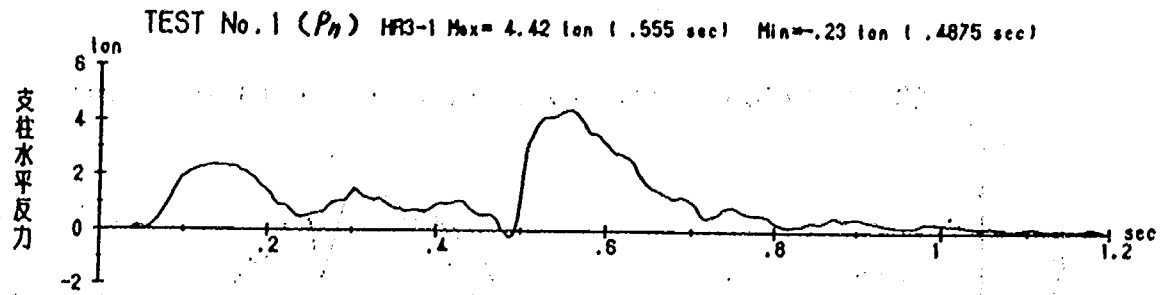


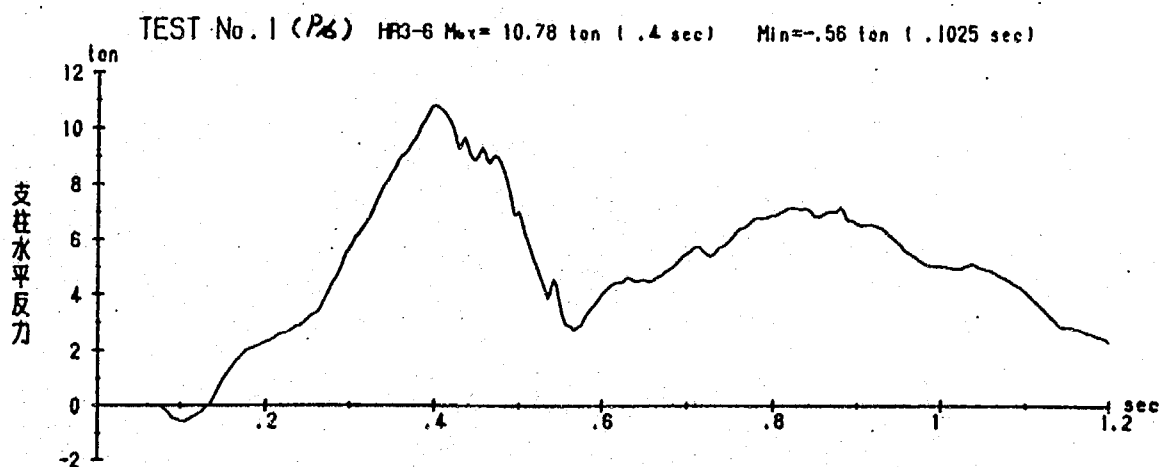
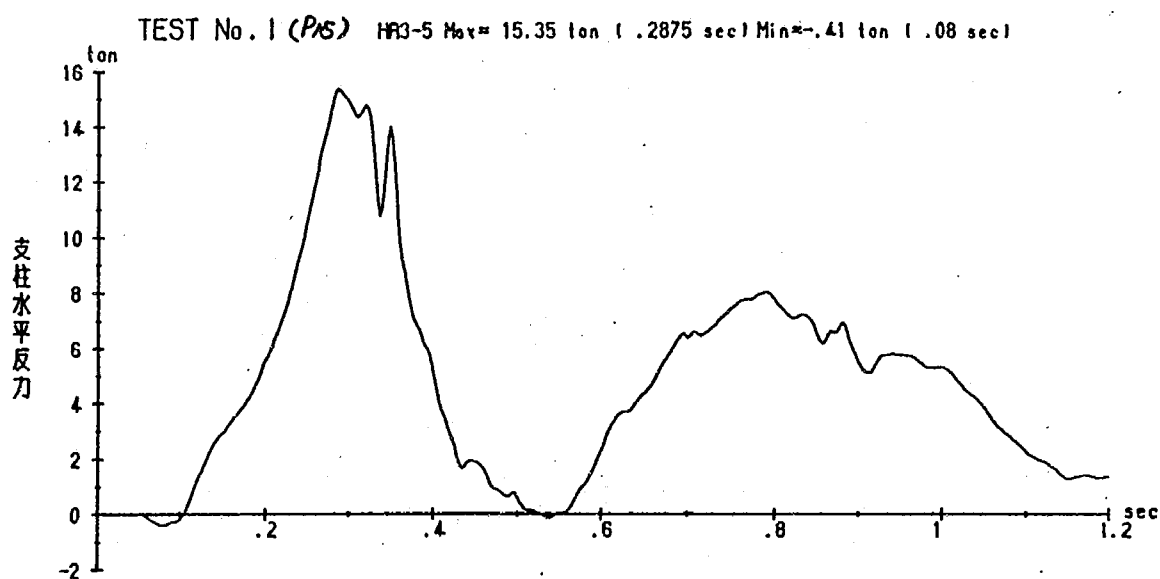
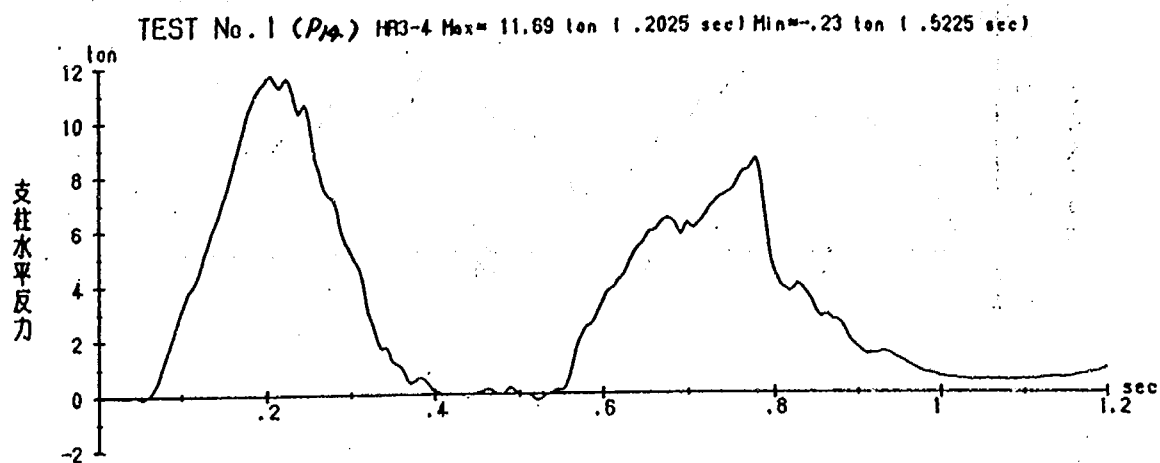
付 5. 5. 4. 支柱荷受け上下段部の合計波形



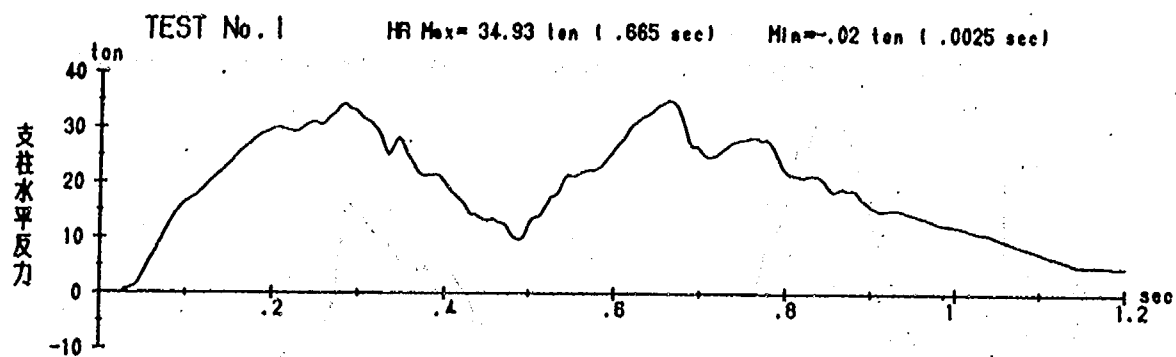


付 5. 5. 5. 支柱荷受け上下段、主ビームの合計波形



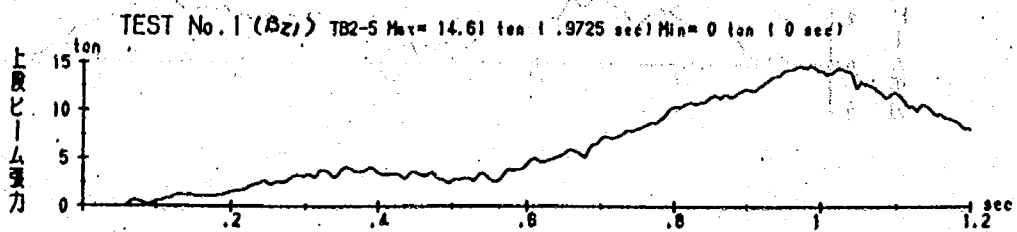
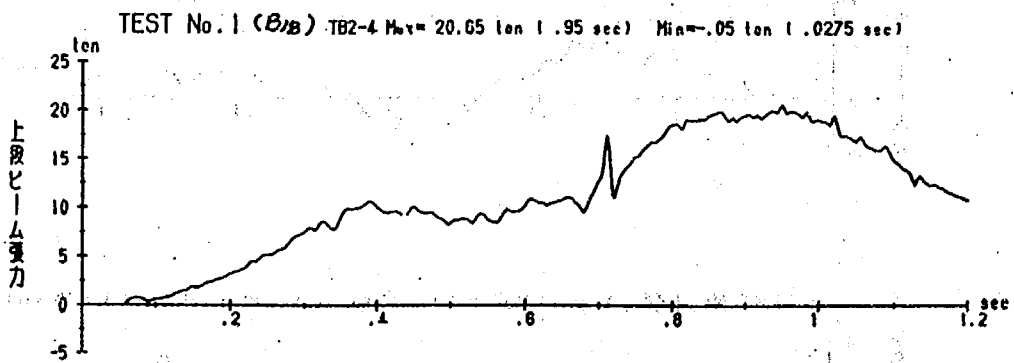
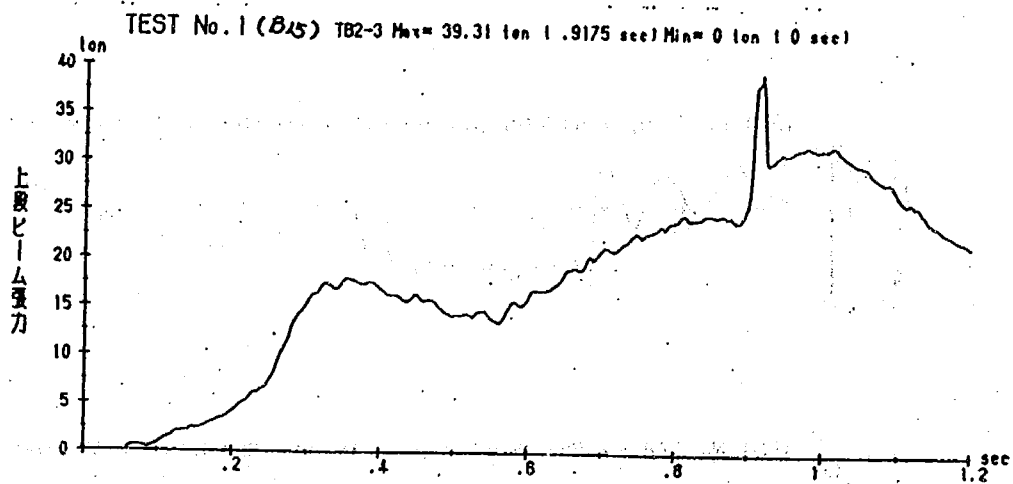
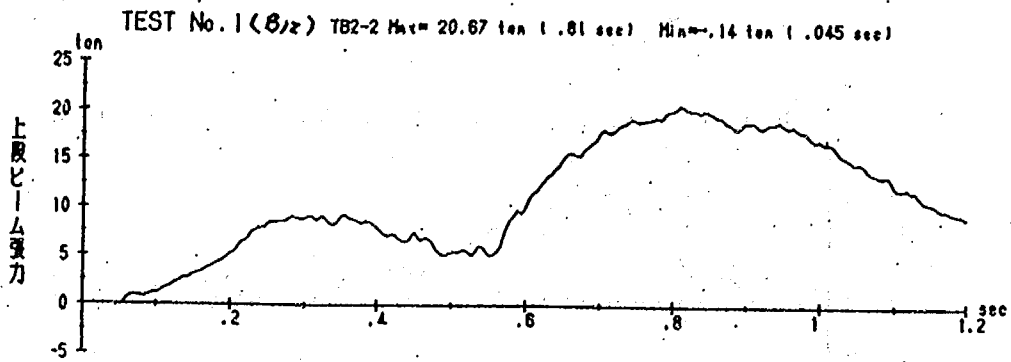
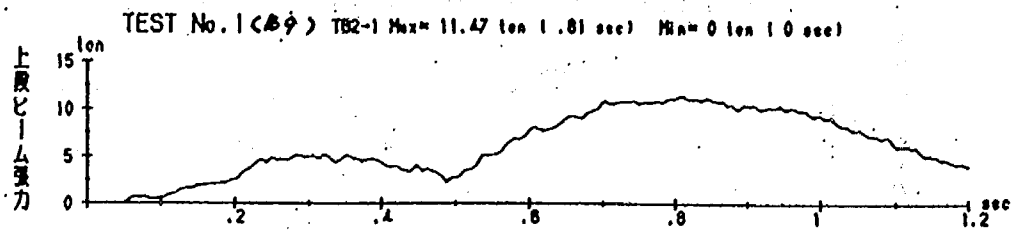


付 5. 5. 6. 支柱P11~P16 の水平力合計波形

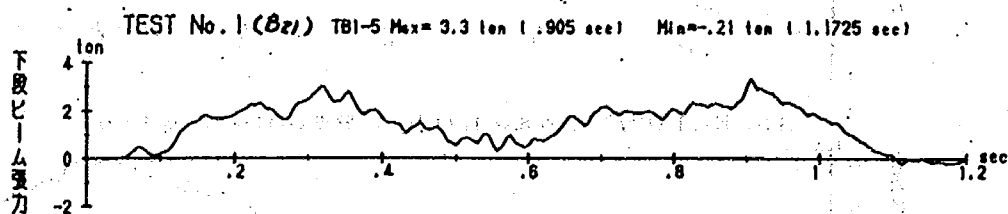
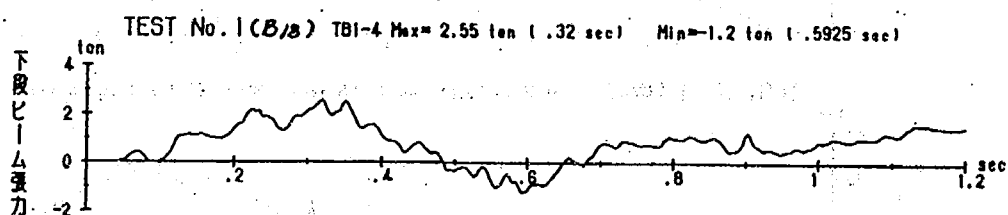
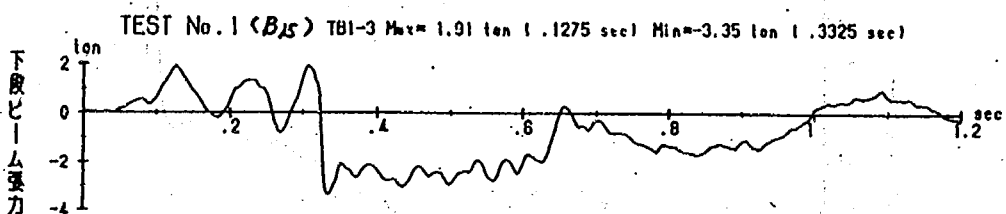
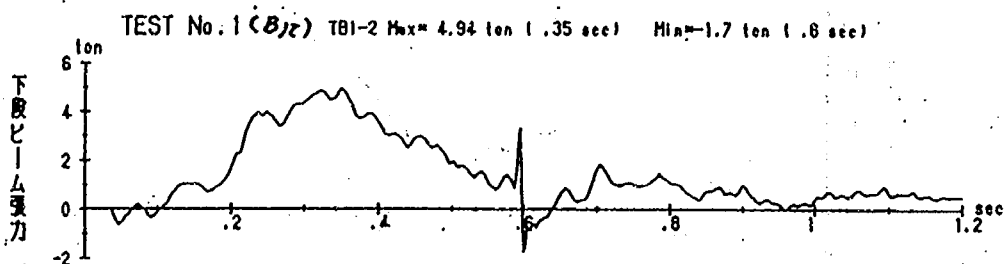
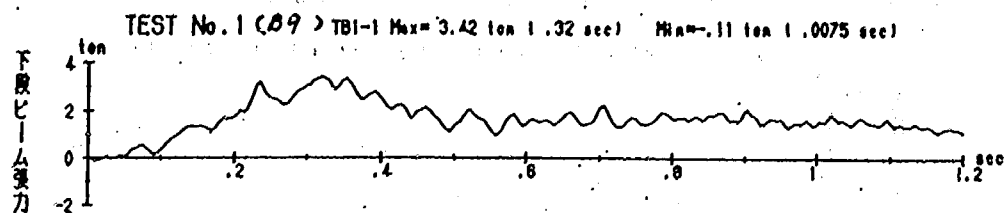


付 5. 6. ビームに作用した張力

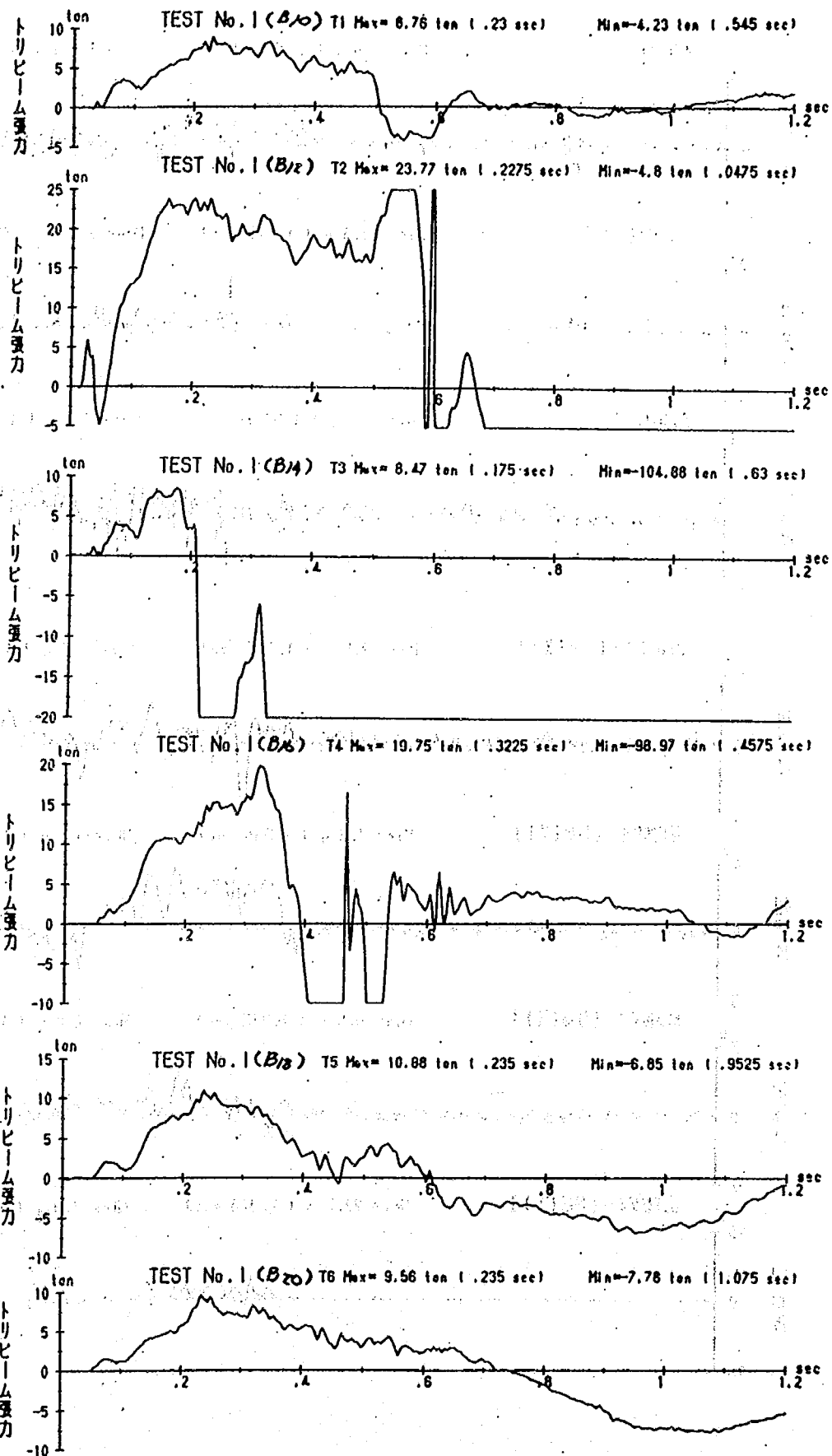
付 5. 6. 1. 荷受けビーム上段に作用した張力



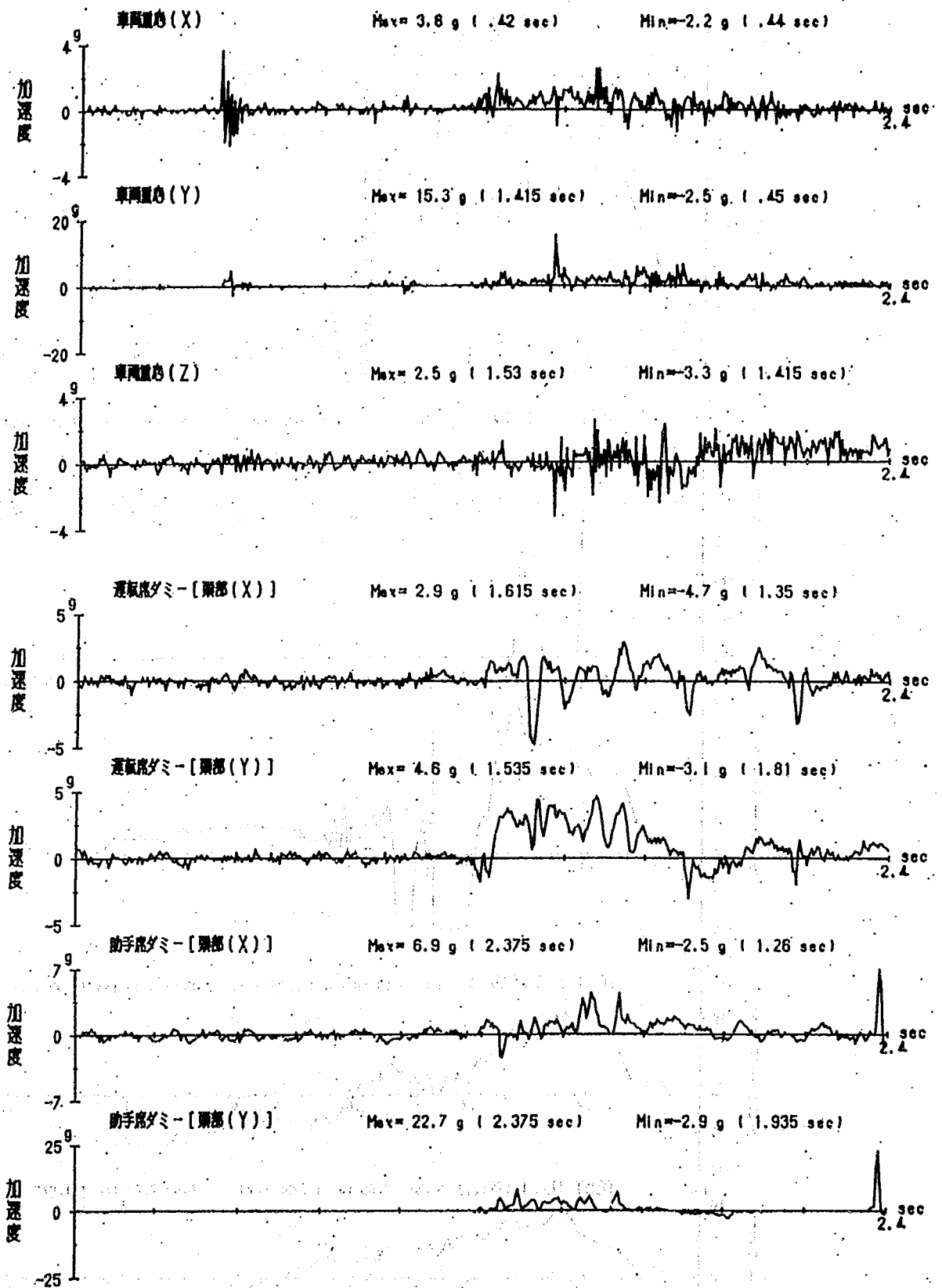
付 5. 6. 2. 荷受けビーム下段に作用した張力



付 5. 6. 3. 主ビームに作用した張力



付 5. 7. 加速度波形



付 5. 8. 加速度波形の分析結果

付 5. 8. 1. 加速度波形分析結果一覧表

(2 段荷受けビーム+トリビーム)

		車 両 重 心			ダ ミ ー					
					運 転 席		助 手 席			
		原波形 (g)	50msec 平均 (g)	実効値 (g)	頭 部		胸部	頭 部		胸部
					原波形	H I C	原波形	原波形	H I C	原波形
実験 No. 1 大型パネル パン (80 km/h)	X	3.6	1.3	1.8	-4.7	7.3	--	6.9	18.9	
	Y	15.3	4.6	2.3	4.7		--	22.7		
	Z	-3.2								
	合成	15.3	4.7	2.6	5.1			23.7		
備 考		〔注〕 1)原波形はRAMカードに収録した結果である。 (sampling time :5 msec) 2)H I C 値はX, Y成分の合成値より算定した。 3)--はテレメータ不良の為、読みとり不能。								

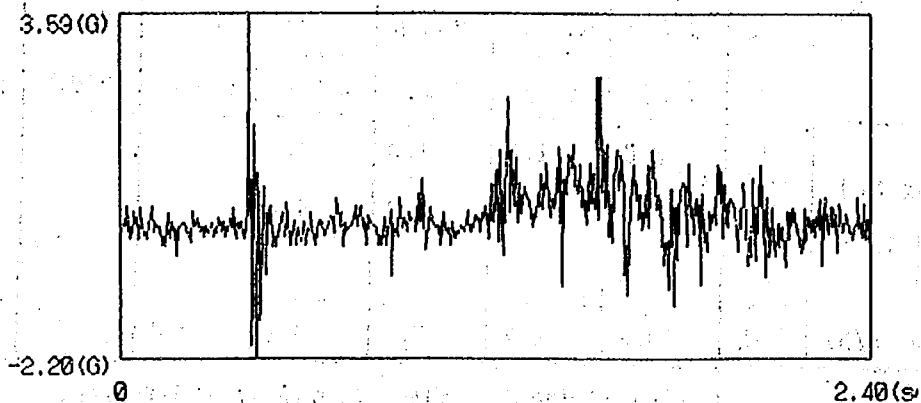
付5. 8. 2. 車両重心加速度分析結果

原波形 (X, Y, Z 方向)

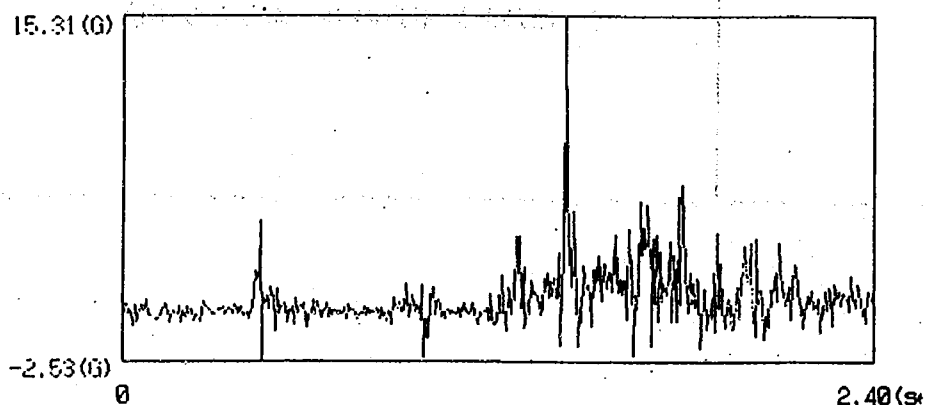
50 msec 波形 (X, Y 方向)

実効値波形 (X, Y 方向)

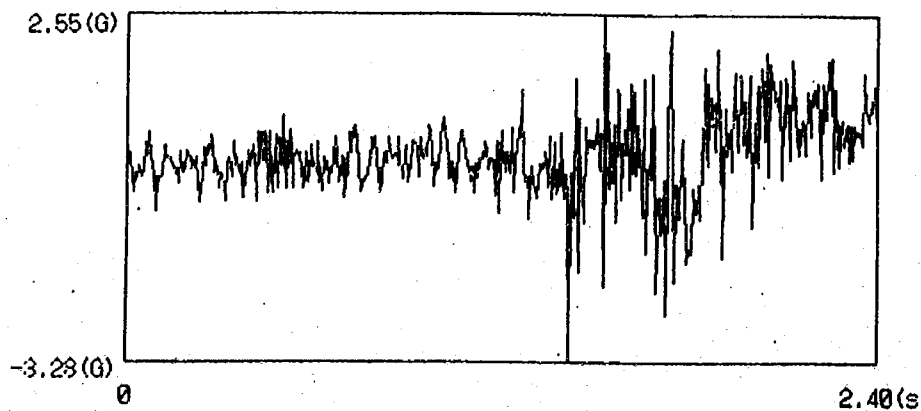
原波形 X WAVE NO.=NO1-1.PRN
サンプリング = 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A1(84) = 3.5913E+00 (G)
最小値 A1(88) = -2.1975E+00 (G)



原波形 Y WAVE NO.=NO1-2.PRN
サンプリング = 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A2(283) = 1.5313E+01 (G)
最小値 A2(90) = -2.5260E+00 (G)



原波形 Z WAVE NO.=NO1-3.PRN
サンプリング = 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A4(306) = 2.5510E+00 (G)
最小値 A4(283) = -3.2751E+00 (G)



WAVE 1= NO1-1.PRN WAVE 2= NO1-2.PRN

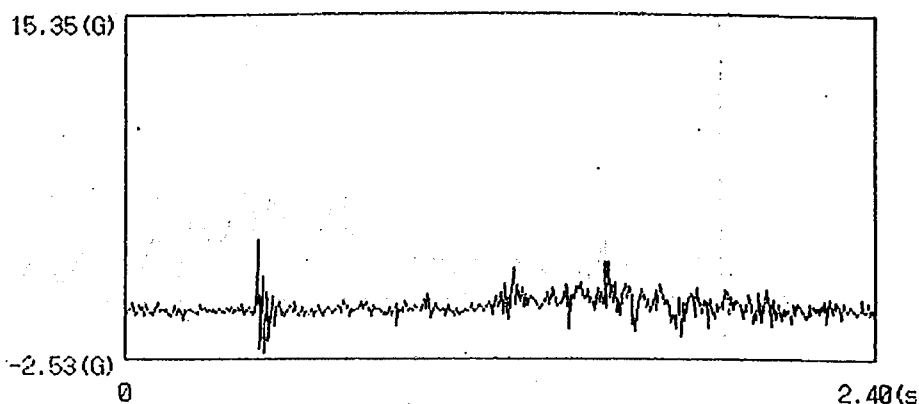
原波形 X

WAVE NO.=NO1-1.PRN

サンプリング = 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC

最大値 A1(84) = 3.5913E+00 (G)

最小値 A1(88) = -2.1975E+00 (G)

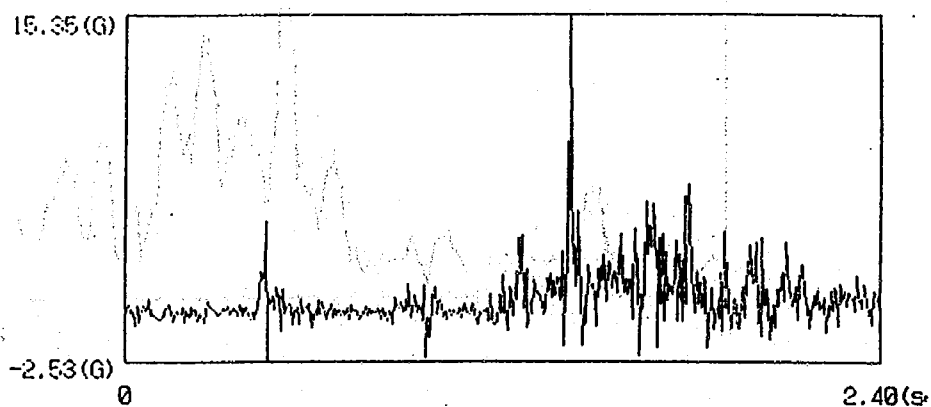


原波形 Y WAVE NO.=NO1-2.PRN

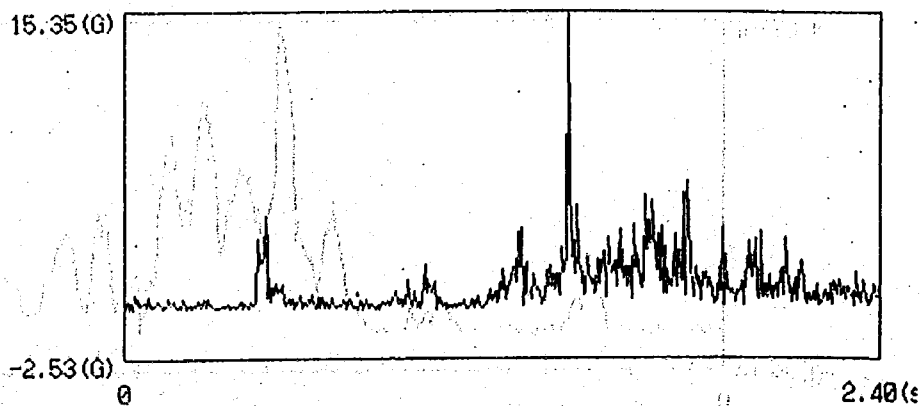
サンプリング = 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC

最大値 A2(283) = 1.5313E+01 (G)

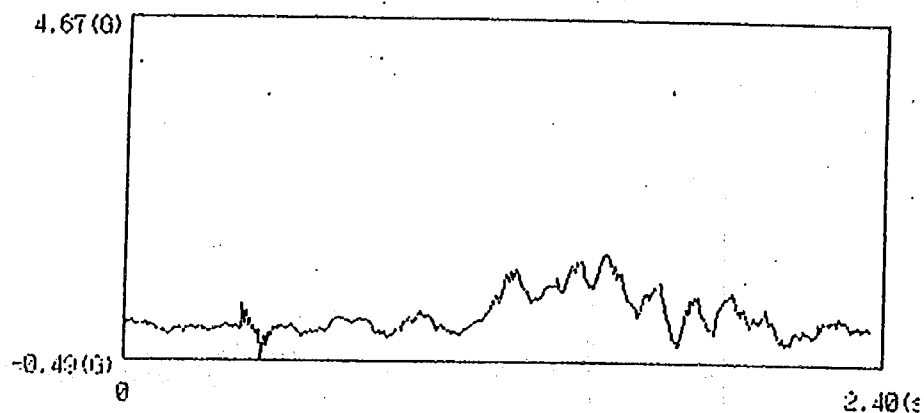
最小値 A2(90) = -2.5260E+00 (G)



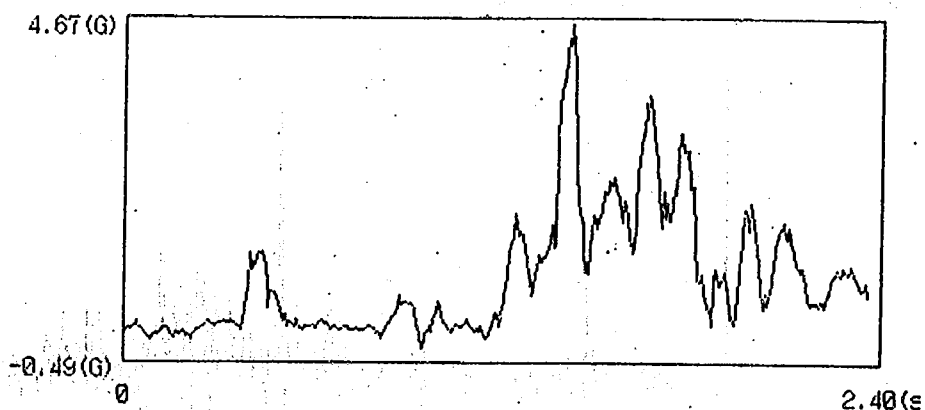
X Y 波形 合成値 WAVE 1= NO1-1.PRN WAVE 2= NO1-2.PRN
最大値 = 1.5345E+01 (G)



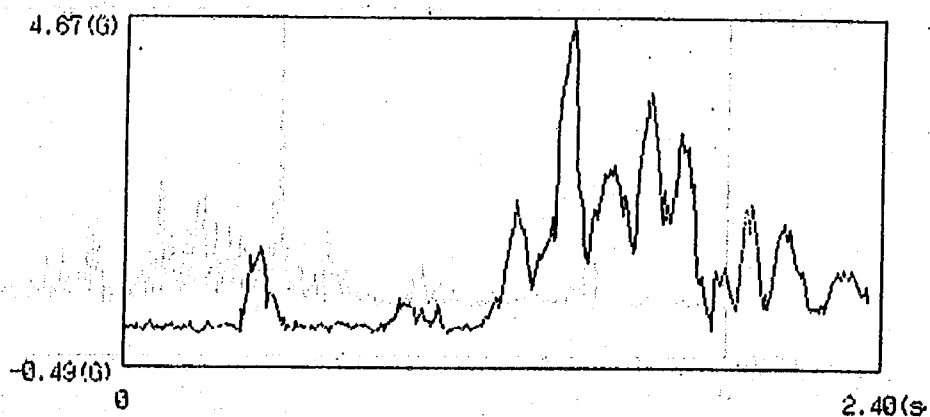
50msec平均 X WAVE 1=NO1-1.PRN
 最大値 = 1.1258E+00 (G)
 最小値 = -4.9420E-01 (G)



50msec平均 Y WAVE 2=NO1-2.PRN
 最大値 = 4.5713E+00 (G)
 最小値 = -3.0757E-01 (G)

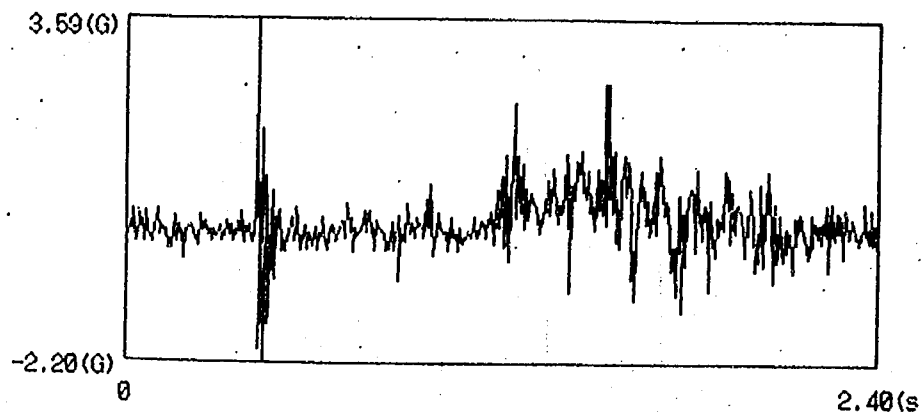


50msec平均 X Y 合成値
 最大値 = 4.6700E+00 (G)

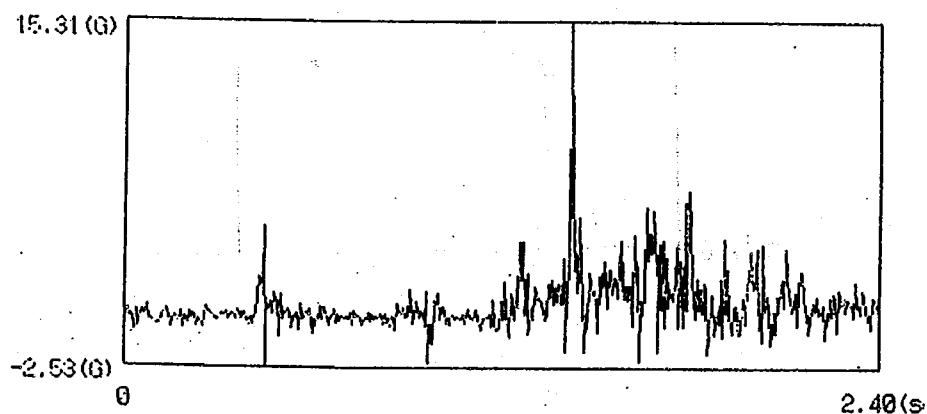


WAVE 1= NO1-1.PRN WAVE 2= NO1-2.PRN 最大進入行程X= 0.0500 最大進入行I

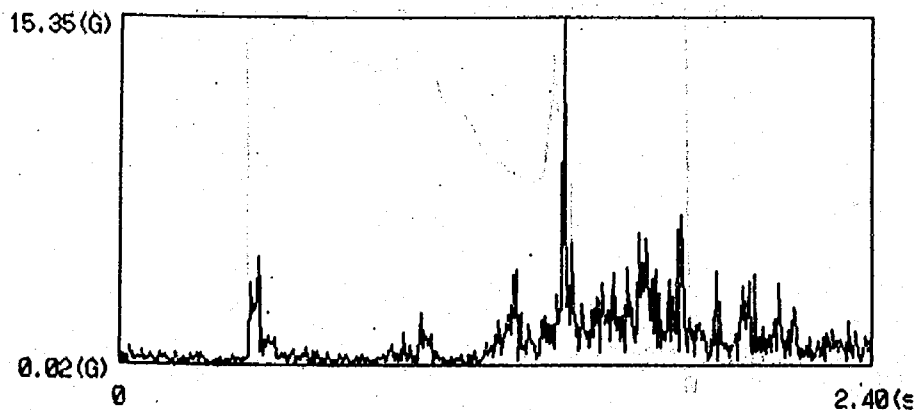
原波形 X WAVE NO.=NO1-1.PRN
 サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
 最大値 A1(84) = 3.5913E+00 (G)
 最小値 A1(88) = -2.1975E+00 (G)



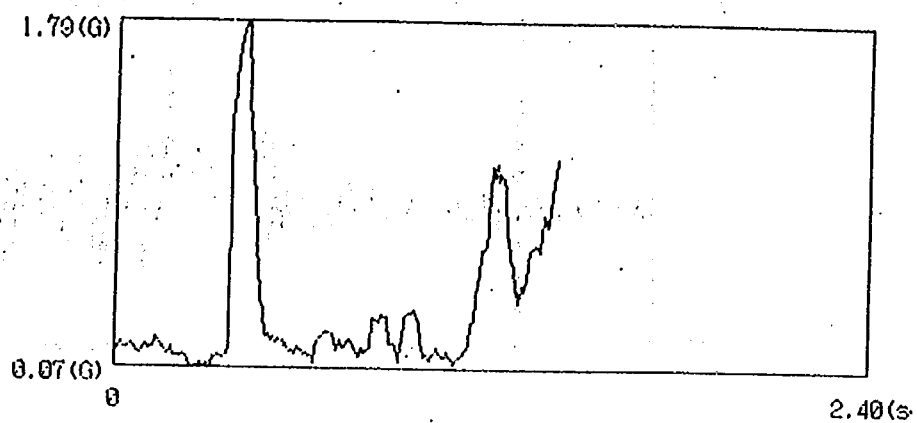
原波形 Y WAVE NO.=NO1-2.PRN
 サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
 最大値 A2(283) = 1.5313E+01 (G)
 最小値 A2(90) = -2.5260E+00 (G)



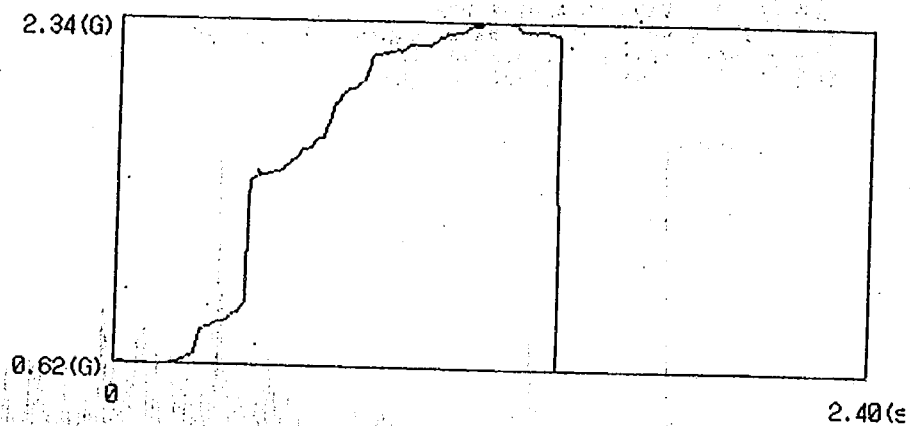
原波形 合成値 WAVE 1= NO1-1.PRN WAVE 2= NO1-2.PRN
 最大値 = 1.5345E+01 (G)



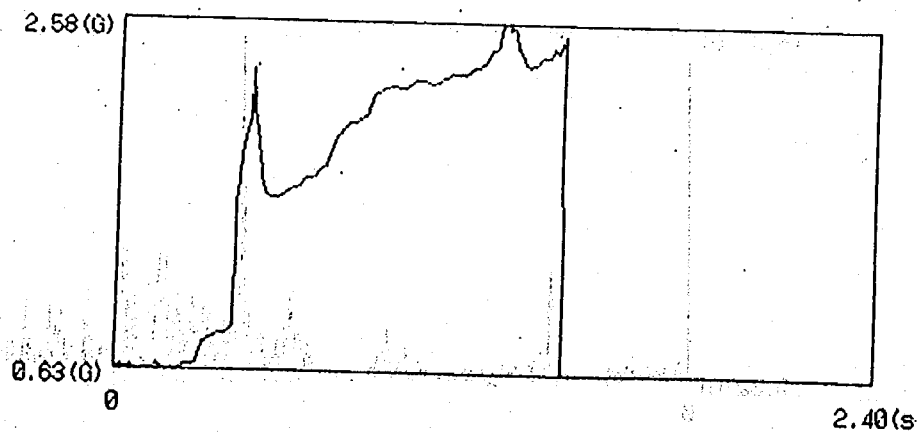
最大進入行程 実効値 X WAVE 1=NO1-1.PRN
最大値 = 1.7940E+00 (G)



最大進入行程 実効値 Y WAVE 2=NO1-2.PRN
最大値 = 2.3414E+00 (G)



最大進入行程 実効値 合成値
最大値 = 2.5792E+00 (G)



付 5. 8. 3. 運転席ダミ（頭部）加速度分析波形

原 波 形 (X, Y 方向)

H I C 値 (X, Y 方向)

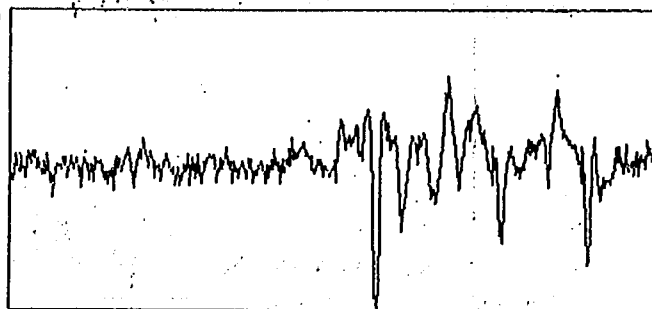
原 波 形 X WAVE NO.=NO1-4.PRN

サンプリング = 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC

最大値 A1(323) = 2.9251E+00 (G)

最小値 A1(270) = -4.7235E+00 (G)

5.09(G)



-4.72(G)

0

2.40(se)

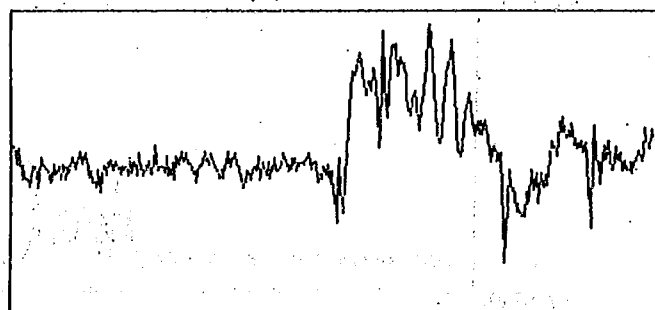
原 波 形 Y WAVE NO.=NO1-5.PRN

サンプリング = 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC

最大値 A2(307) = 4.6545E+00 (G)

最小値 A2(362) = -3.0490E+00 (G)

5.09(G)



-4.72(G)

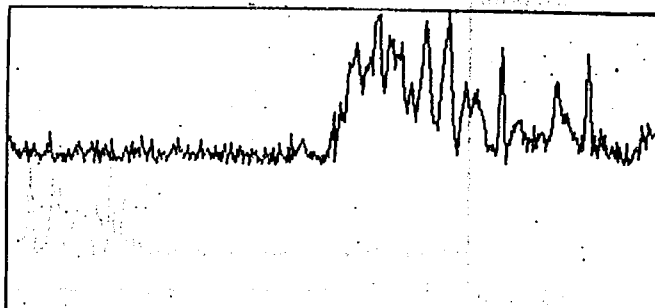
0

2.40(se)

原 波 形 X Y 合成値 WAVE 1= NO1-4.PRN WAVE 2= NO1-5.PRN

最大値 XY(323) = 5.0926E+00 (G)

5.09(G)



-4.72(G)

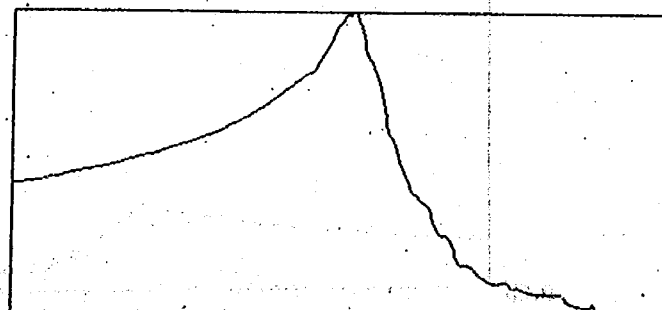
0

2.40(se)

H I C の最大値

最大値 HIC(248) = 7.2610E+00 (G)

7.26



0.00

0

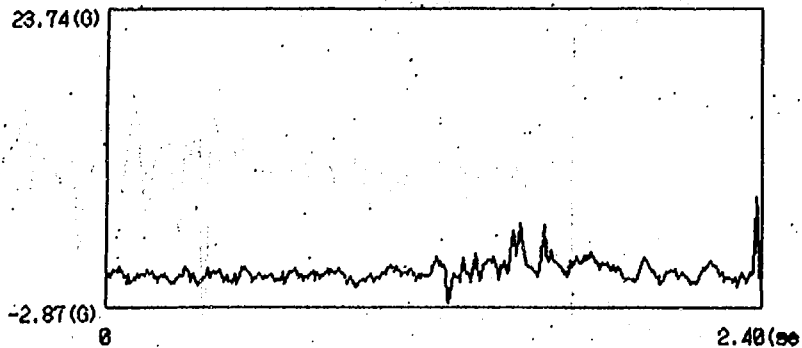
2.40(se)

付 5. 8. 4. 助手席ダミー（頭部）加速度分析波形

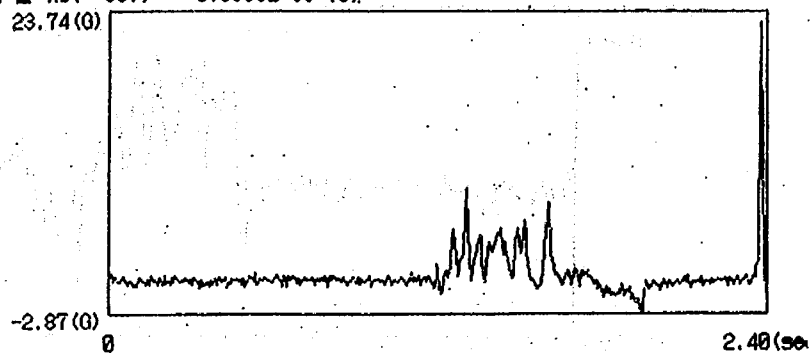
原波形 (X, Y 方向)

H I C 値 (X, Y 方向)

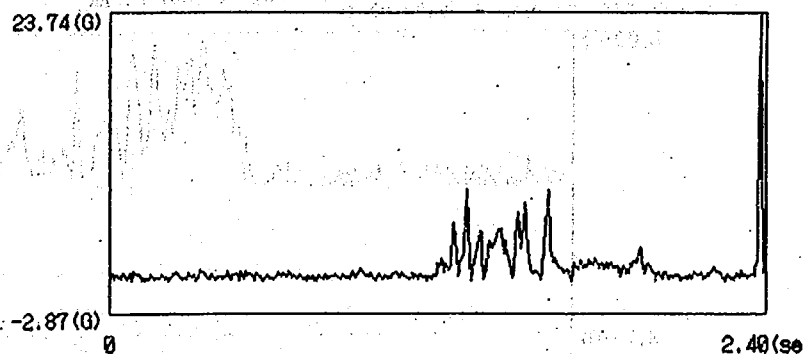
原波形 X WAVE NO.=NO1-6.PRN
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A1(475) = 6.9283E+00 (G)
最小値 A1(282) = -2.4948E+00 (G)



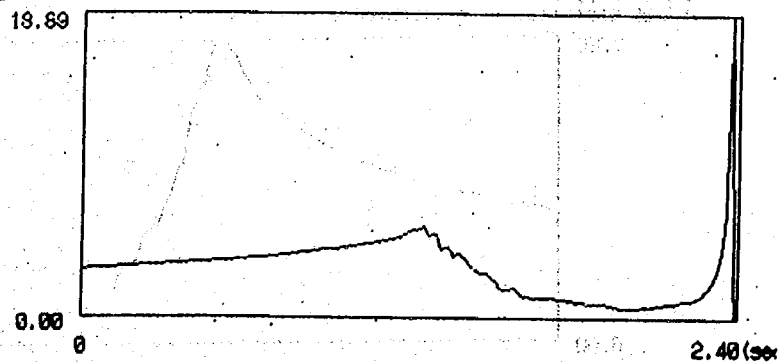
原波形 Y WAVE NO.=NO1-7.PRN
サンプリング= 5.0000E-03sec DATA LENGTH= 2.4000 SEC
最大値 A2(475) = 2.2704E+01 (G)
最小値 A2(387) = -2.8686E+00 (G)



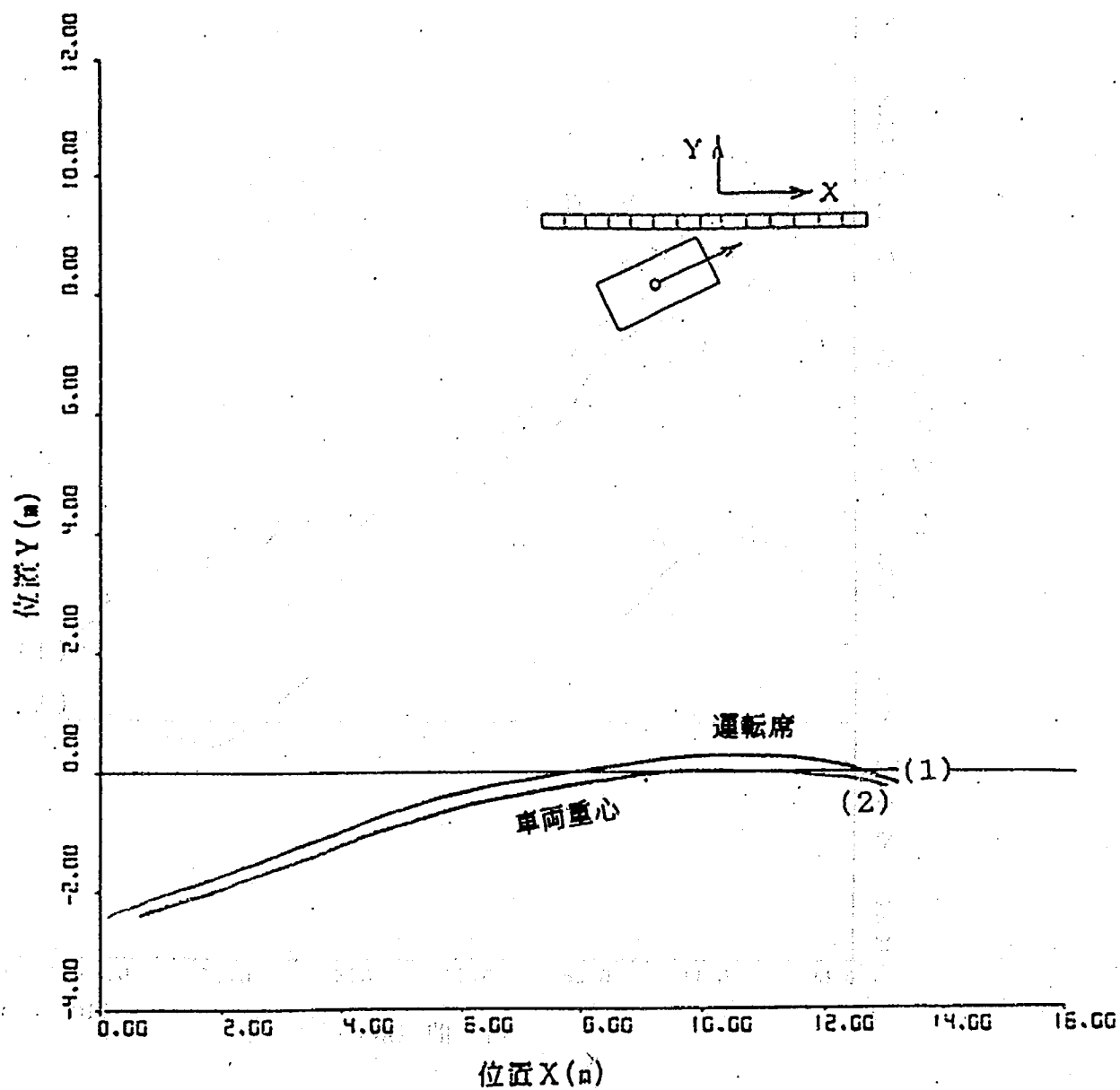
原波形 X Y 合成値 WAVE 1= NO1-6.PRN WAVE 2= NO1-7.PRN
最大値 XY(475) = 2.3738E+01 (G)



H I C の最大値
最大値 HIC(474) = 1.8890E+01 (G)

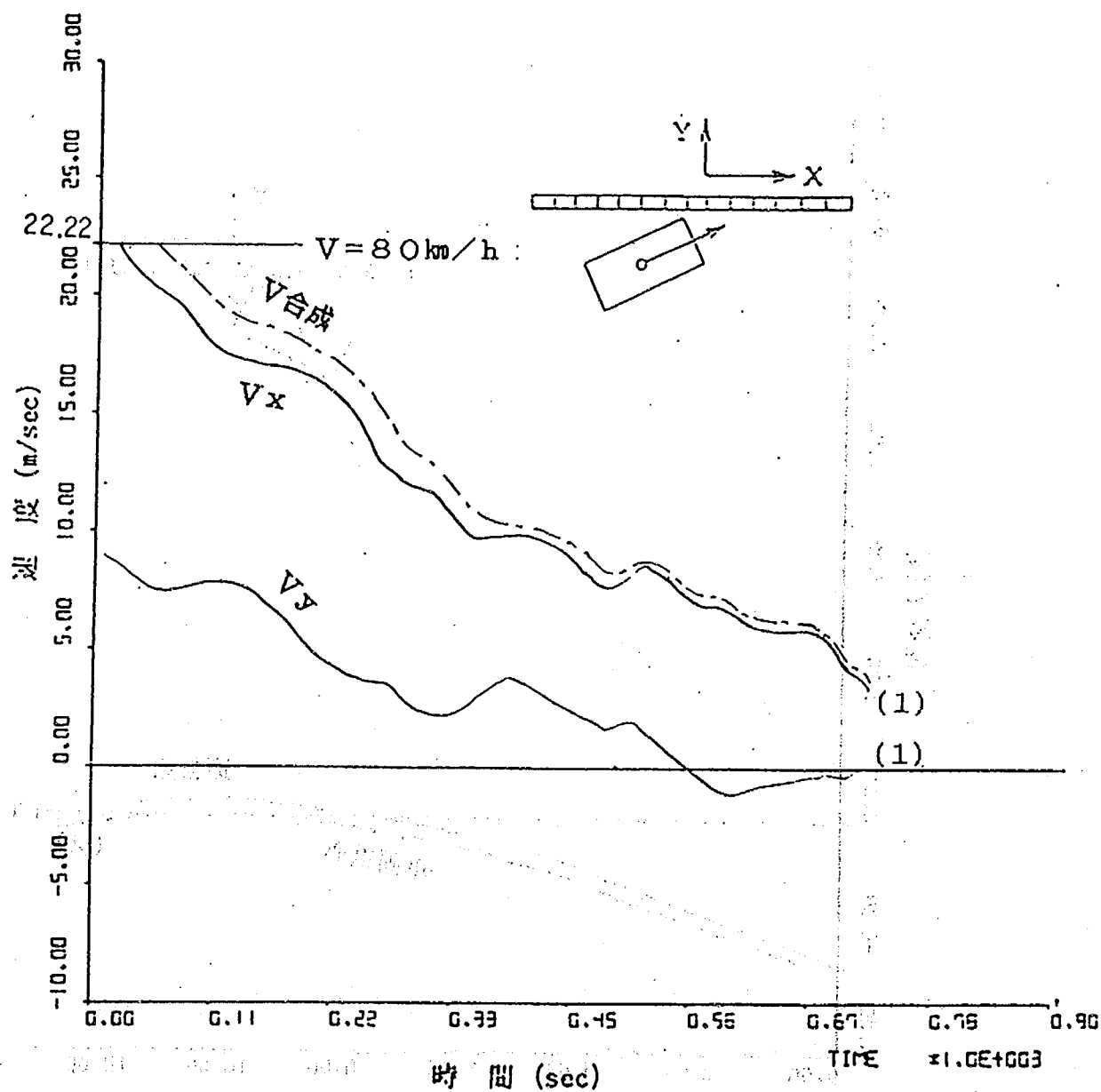


付 5. 9 高速度フィルムの解析結果
 付 5. 9. 1. 車両重心と運転席位置



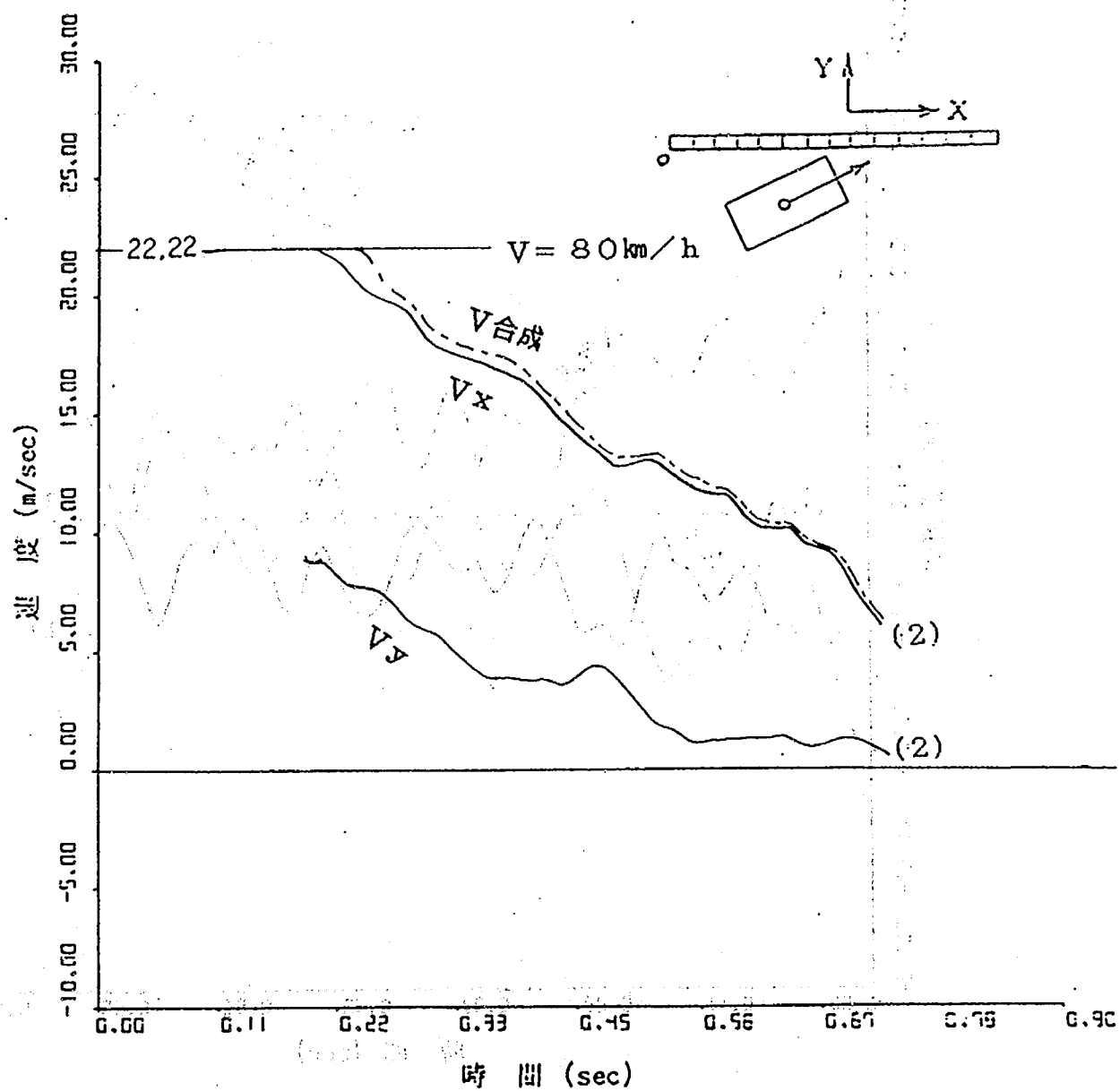
位置 X - 位置 Y [実験 - 92 - 14]

付 5. 9. 2. 運転席速度



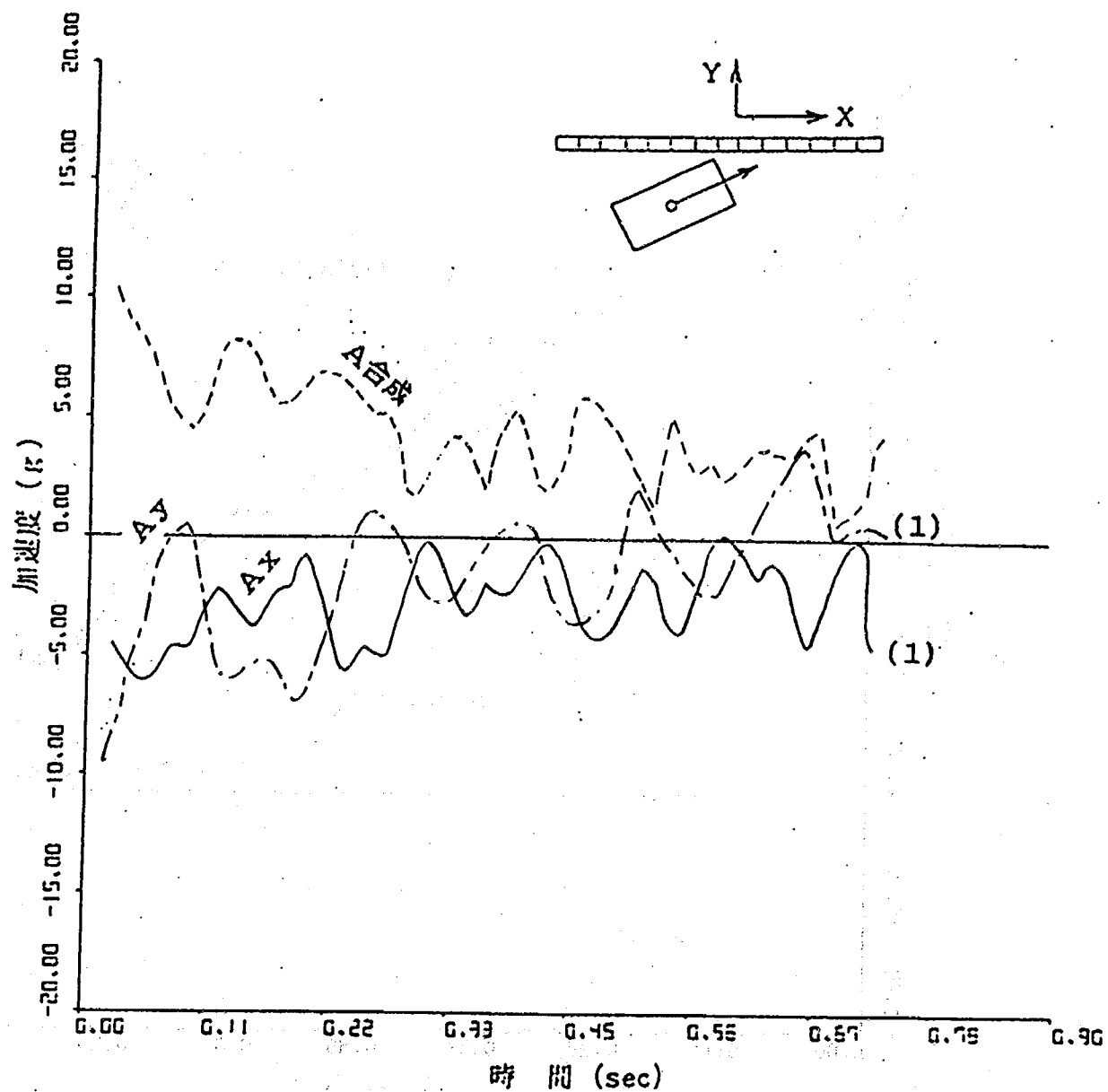
速度 (運転席)

付 5. 9. 3. 車両重心速度



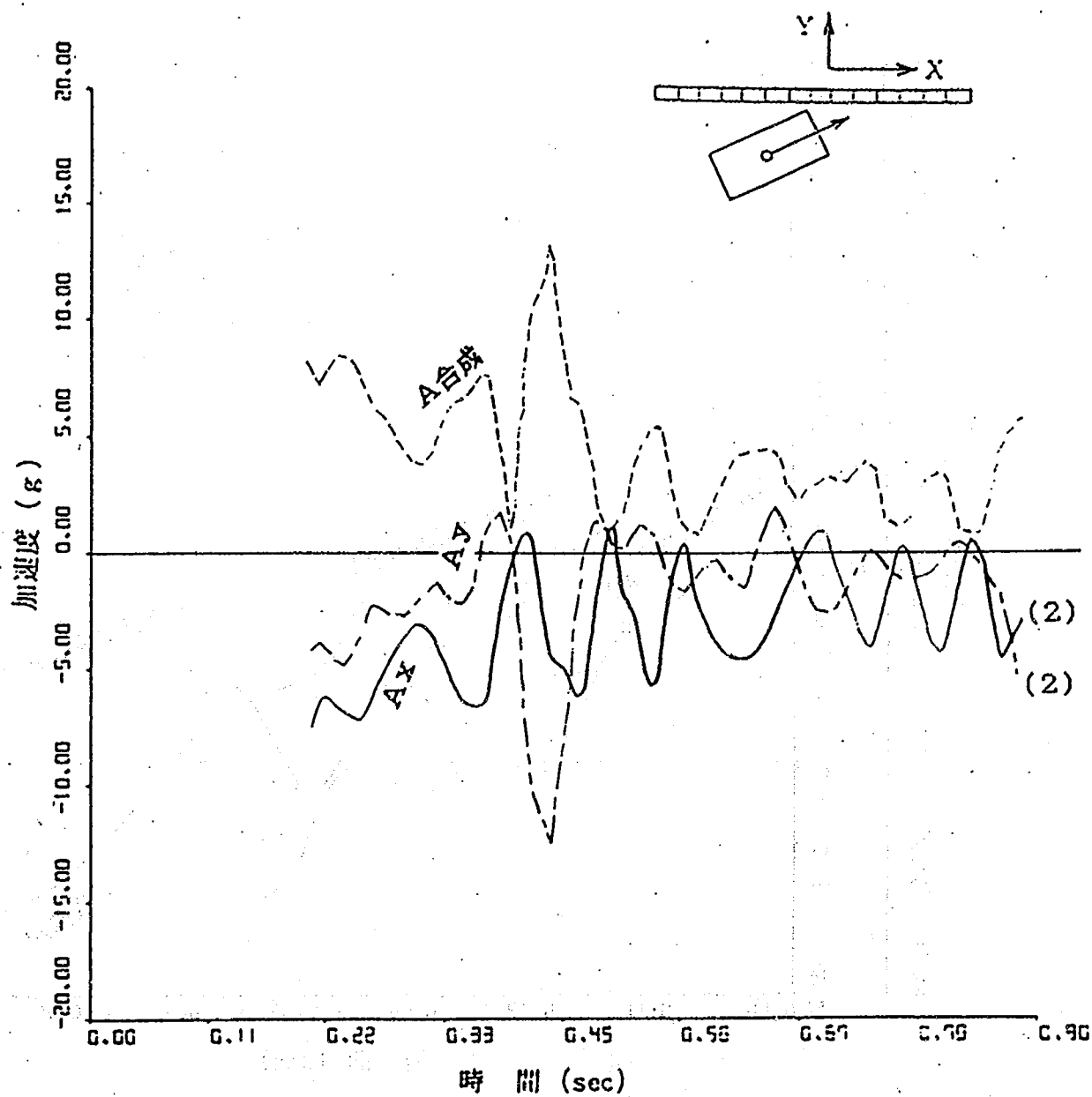
速度 (車両重心) [実験-92-14]

付 5. 9. 4. 運転席加速度



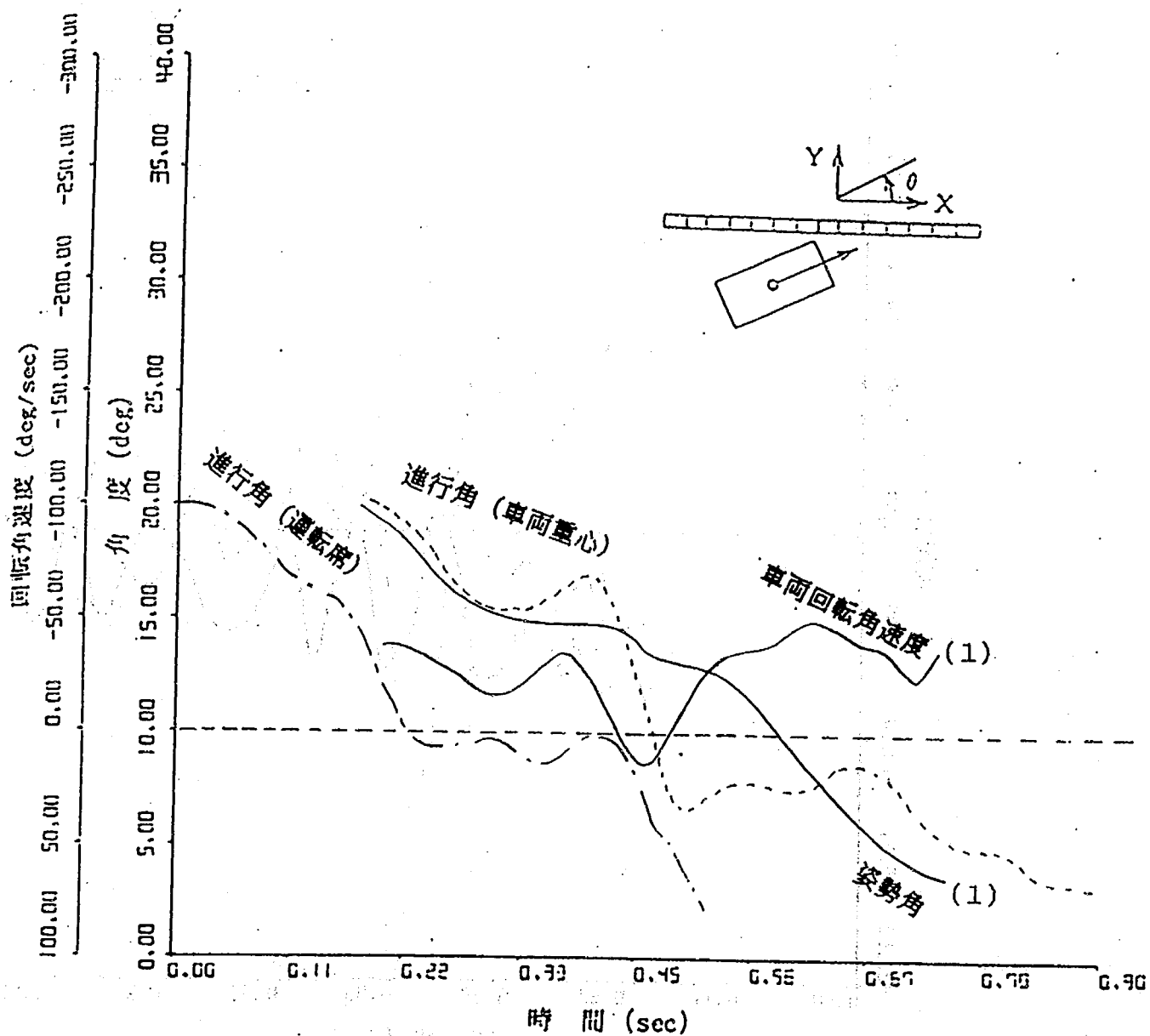
加速度(運転席) [実験-92-14]

付 5. 9. 5. 車両重心加速度



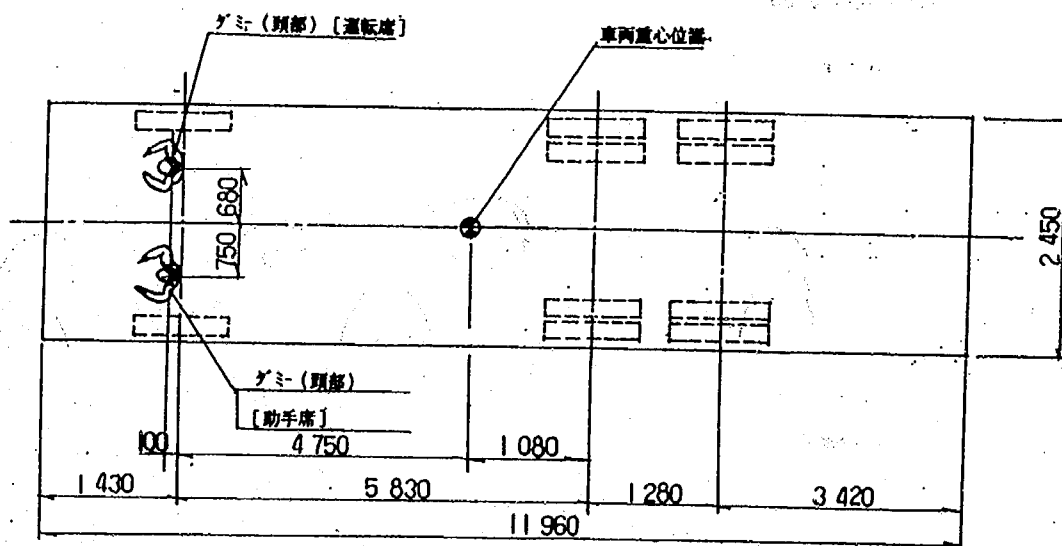
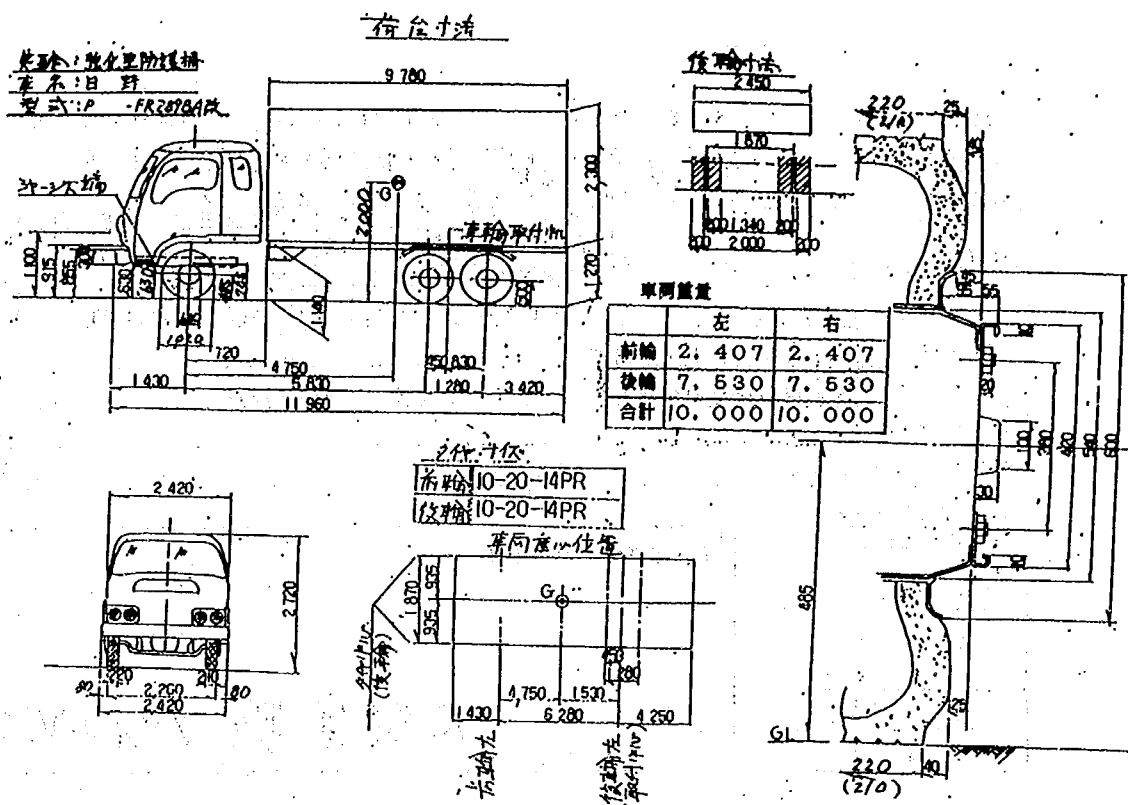
加速度 (車両重心)

付 5. 9. 6. 車両の姿勢角、進行角、回転角速度



姿勢角・進行角・車両回転角速度

付 5. 1 0. 実験車の寸法と車検証



ゲミ (頭部) 及び車両重心位置 (実験)

車検証 (92-14)

番号
00459

抹消登録証明書

平成 4年 11月 11日

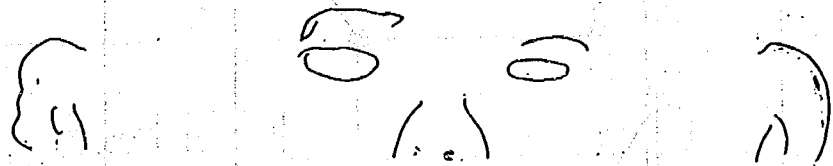
関東運輸局 東京臨海支局

自動車登録番号又は車両番号/自動車同乗者証番号		平成 4年 11月 11日	抹消登録	自動車同乗者証の氏名	抹消の氏名	
八王子 11 年 2014		平成 4年 11月 11日	抹消	登録車種	バン	
目録		P-PR289B A改		最大積載量	9750	9920
FR289B10216		EP100	1196	242	362	8.02
所有者の氏名又は名称	有限会社 クライム商事					登録地
所有者の住所	東京都西多摩郡瑞穂町二本木476-16 (1870-0154)					3870
使用者の氏名又は名称	***					3770
使用者の住所	***					2200
使用の本拠の位置	***					6.50
登録期間の満了する日	平成 4年 10月 11日					
[八王子], 抹消登録						
大型実験 パネルV.717						

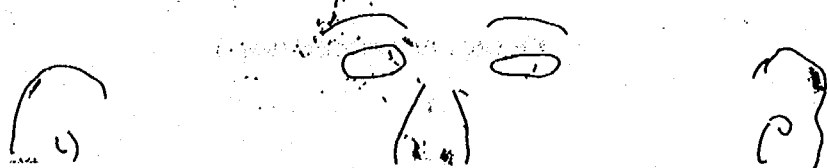
付5. 11. ダミー頭部の感圧状況

1.2) ダミー頭部の感圧状況

a) 前頭部



b) 後頭部



高重心車両用防護柵に関する研究
—剛性防護柵に関する共同研究報告書—

土木研究所共同研究報告書第102号
平成6年5月 (1994)

建設省土木研究所
日本道路公団
首都高速道路公団
阪神高速道路公団
本州四国連絡橋公団

要旨 進行方向を誤った車両が鉄道や人家に近接している高架橋梁部に衝突した場合、車両や車両に積載してある荷物が路外に逸脱すると2次災害を引き起こすことが予想される。現防護柵設置基準では、このような場所に設置する防護柵は強度ランクの上級のもので設置することとなっている。しかし、近年の道路交通の高速化や車両の大型化・高重心化に伴い、防護柵衝突時の衝突エネルギーは更に増加すると予想され、今後の高重心車両の高速衝突に対応した防護柵の開発が望まれている。

本報告書は、これらの状況を踏まえ、高重心車両用防護柵の機能について検討した結果について述べたものである。

キーワード：防護柵、高重心車両、衝突実験、荷受け

郵便はがき

3 0 5 - □ □

五十円切手
をはって下
さい。

建設省土木研究所

交通安全研究室 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 00001

No. 00001

配布先住所

配布先氏名

○

共同研究報告書 第 1 0 2 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

共同研究報告書 第 1 0 2 号

○