建設省土木研究所
2.7.23
図書館

共同研究報告書
整理番号第42号

アルミニウム合金製高強度型防護柵の開発に関する共同研究報告書

平成２年３月

建設省土木研究所
道路部交通安全研究室

社団法人 軽金属協会
土木製品開発委員会

Copyright © (1990) 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。

共同研究報告書
第42号1990年3月

アルミニウム合金製高強度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

道路部	部長	柴田	正雄
	道路交通総括研究官	神崎	紘郎
	交通安全研究室 室長	河島	正治
	研究員	酒井	洋一
		赤木	幸靖

社団法人軽金属協会 土木製品開発委員会

委員長	昭和アルミニウム株式会社	社長付	島津 清修
技術部会長	住友軽金属工業株式会社	加工品本部設計技術部課長	国枝 明
委員及び参加者	天野アルミニウム株式会社	加工製品事業部部長	中山 博
		技術課課長代理	外山 博昭
	アルメタックス株式会社	東京営業所長	星 克彦
		加工製品事業部業務課	中西 彰
	三協アルミニウム工業株式会社	エクステリア本部次長	車谷 博義
		設計部次長	中野 満男
	昭和アルミニウム株式会社	押出品事業部ビル建材部設計技術課長	中島 義孝
	神鋼建材工業株式会社	東京営業所高欄営業グループ長	鬼沢 昭治
		製造本部アルミ道路資材係	吉井 季孝
	スカイアルミニウム株式会社	技術計画部主査	伊東 光彦
	住友軽金属工業株式会社	加工品本部東京営業部長	大串 保男
		東京営業部施設製品課長	樋口 亮太
		設計技術部副課長	桧山裕二郎
	日本軽金属株式会社	公共エンジニアリング事業部営業部長	磯谷 順雄
		同事業部設計技術部課長	三上 聰
		同事業部設計技術部	遠藤 賢二
	古河電気工業株式会社	軽金属事業本部加工品部加工品営業課長補佐	草場 衛
		同部加工品技術課長補佐	田部井一儀
	三菱アルミニウム株式会社	加工品部課長	遠藤 修
事務局	社団法人軽金属協会	技術開発部課長	佐々木侑慥

要旨

アルミニウム合金は，重量が軽い，耐食性・加工性に優れているなどの特長があり，美観を考慮する橋梁上の防護柵として多く利用されている。これまでにアルミニウム合金製防護柵としては，A·B種の防護柵（オーバルビーム，ボックスビーム及びパイプビームの3形式）が開発されているが，路外が著しく危険な箇所に設置されるS種については未開発であった。本報告書はS種相当以上のアルミニウム合金製高強度型防護柵の開発を目的として行った共同研究結果についてとりまとめたものである。

キーワード：アルミニウム合金，防護柵，高欄，高強度型防護柵

まえがき

アルミニウム合金は，軽量性，耐食性，加工性に優れていることから，特に美観を考慮する必要がある橋梁上の防護柵の材料として優れている。これらの特長を生かして，昭和54年度にA・B種の防護柵について開発を行い，実用化されている。一方，二次的事故を引き起こすおそれのある橋梁（都市高架橋，立体交差橋など）においては，最上級種別S種防護柵あるいは剛性防護柵を使用することが望ましいとされている。しかし，現行ではこれらに該当するアルミニウム合金製の高欄型車両防護柵がないのが現状である。

このような状況から，建設省土木研究所と社団法人軽金属協会ではこれまで未開発であったアルミニウム合金製S種高欄型車両防護柵の開発を目的として共同研究に着手した。

本報告書は，開発の経緯及び研究結果についてとりまとめたものである。

建設省土木研究所
道路部　交通安全研究室
室長　河島正治
社団法人　軽金属協会
土木製品開発委員会
委員長　島津清修

アルミニウム合金製高強度型防護柵の開発に関する共同研究報告書　目次

1. 研究目的と背景 …… 1

1.1 目的 …… 1

1.2 背景 …… 1

2. 研究手順 …… 2

3. 構造検討 …… 3

3.1 部材の断面設計 …… 3

3.2 継手部の設計 …… 4

3.3 定着部の設計 …… 5

3.4 静荷重試験 …… 5

3.5 衝突シミュレーション …… 6

4. 実車衝突実験 …… 8

4.1 実験の種類と条件 …… 8

4.2 実験施設 …… 8

4.3 供試体 …… 9

4.4 測定内容 …… 13

4.5 実験結果と考察 …… 18

4.6 衝突シミュレーションとの比較 …… 24

4.7 支柱定着部の検討 …… 24

4.8 床版に与える影響 …… 29

5. 結論 …… 30

付録Ⅰ　資料編 …… 45

付録Ⅱ　S種防護柵に関する設計の考え方 …… 87

1. 研究目的と背景

1.1 目的

本研究は，アルミニウム合金製高強度型車両防護柵の開発の一環として，「防護柵設置要綱－昭和47年10月 ㈳日本道路協会」に規定されたS種について，静荷重試験，衝突シミュレーション（土木研究所資料第574号「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」）を行い，これらにより決定された防護柵に対し実車衝突実験を実施して，同防護柵の強度機能及び安全性を確認することを目的としている。

また，衝突車両，防護柵の挙動等の観察・測定結果に検討を加え，高強度型車両防護柵に関する種々の基礎資料を得るものとする。

1.2 背景

アルミニウム合金は，以下に示す特長がある。

1) 比重が鉄の約3分の1であり，運搬や取扱いが容易である。

2) 大気中で自然に酸化皮膜が形成され自己防護するので優れた耐食性をもち，また美観上も優れている。

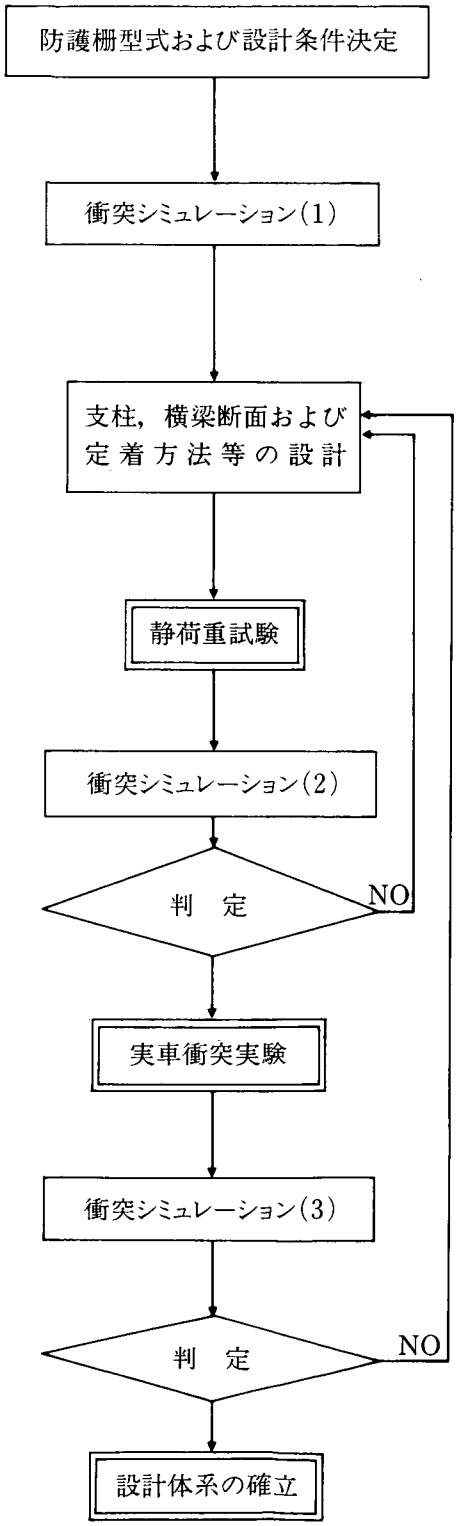
3) 展性，延性に富むことから，断面が複雑な形状や中空形状も押出加工により，製造可能である。

上記のこと等により，特に美観を考慮する必要がある橋梁上の防護柵として優れた材料であるといえる。

これらのアルミニウム合金の特長を生かし，昭和54年度に建設省土木研究所と㈳軽金属協会との共同研究によりオーバルビーム，ボックスビーム及びパイプビームの3種類の形式について，A, B種防護柵の研究開発が行われた。その成果については，「アルミニウム合金製高欄型自動車用防護柵に関する研究報告書－昭和55年3月」に収められ，実用化されてきた。また，これらのデータをもとに更に研究が進められ昭和61年7月の「防護柵設置要綱・資料集―㈳日本道路協会」発刊により，設計の考え方が確立され，多くの普及をみるに至っている。ところで，道路橋示方書によると「車両の橋面外逸脱が当該車両の被害にとどまらず二次的事故を引き起こすおそれのある橋(都市高架橋，立体交差橋，下路または中路橋など)においては，最上級の種別S種の橋梁用車両防護柵，剛性防護柵を設置することが望ましい」，また防護柵設置要綱によると「国鉄新幹線については二次的な事故が，特に重大なものとなるおそれがあるため，それとの交差もしくは接近している区間はすべて種別Sを使用する。なお種別Aを使用する道路において路外に逸脱した車両が二次的な事故をおこすおそれのある区間においても種別Sを使用することがのぞましい」とされている。しかし，現行では適用する高欄型の車両防護柵がないのが現状である。一方，最近の我が国においては高規格道路の整備が進みつつあり，これらに対応する車両防護柵の開発が望まれるようになってきた。このような状況から，今まで未開発であったアルミニウム合金製高強度型防護柵としてS種車両防護柵の研究開発を着手することとした。

2. 研究手順

本研究の手順を以下のフローに示す。



防護柵型式	ボックスビームタイプ
設計条件	S　種

設計する防護柵の強度計算を数種類行い防護柵断面の目安をつける。

設計変形量から防護柵強度の目安がつきそれによって部材および定着構造について検討を行う。

地覆定着部，支柱・横梁の各部材について，静荷重試験を行う。また，衝突シミュレーション(2)インプットデータに必要な断面諸値の測定を行う。

静荷重試験結果をインプットし，計算を行う。

静荷重試験および衝突シミュレーション結果より構造，断面を決定する。

防護柵の強度，機能および安全性等について確認する。

実験条件をインプットし，実車衝突実験と対比し，検討を行う。

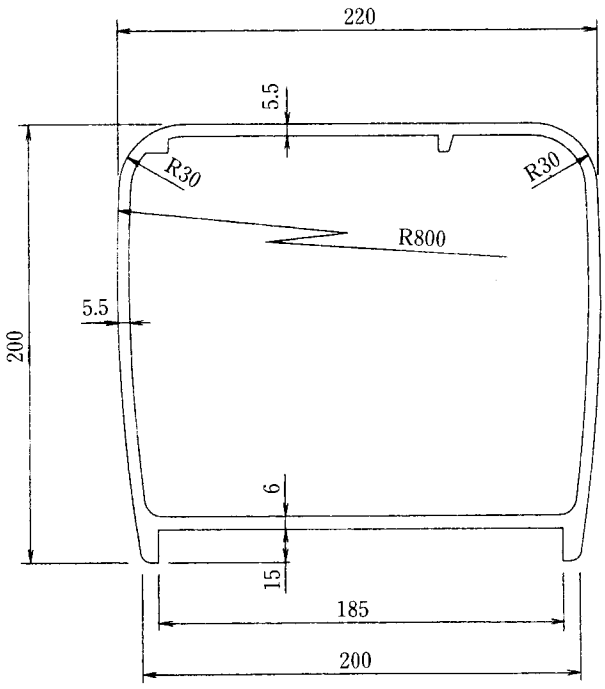
防護柵として実用に供されるかどうか判定を行う。
静荷重試験，衝突シミュレーションおよび実車衝突実験で確認された防護柵をもとに構造型式，強度基準等の設計に対する考え方を確立する。なお・支柱定着部及び床版に与える影響についても検討を加える。

3. 構造検討

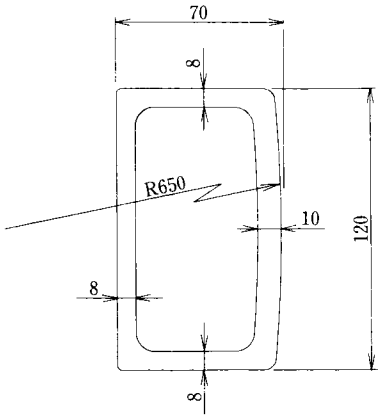
本防護柵の基本構造はブロックアウト型とし，橋梁に設置されている形式の中で最も実績が多く，デザイン性の優れているボックスビーム構造とした。この場合の防護柵高さおよび支柱間隔は防護柵設置要綱・資料集を参考にし，過去の実験結果および経済性等を考慮して高さ80 cm(主要横梁中心高さ：70 cm)支柱間隔 1.5 m とした。

3.1 部材の断面設計

主要横梁，下段横梁および支柱は施工性，経済性等を考慮して，過去の実車実験に使用したA種の断面性能と同程度とし，支柱間隔を1.5 m（A·B·C 種：2 m）にすることにより強度を高める断面設計とした。特に支柱については既に採用している圧縮側を座屈させ変形能をもたせる偏肉構造の断面とした。図1に断面形状および計算性能値を示す。なお，使用材料については全てJIS H 4100(アルミニウム及びアルミニウム合金押出形材）のA6061S–T6とした。

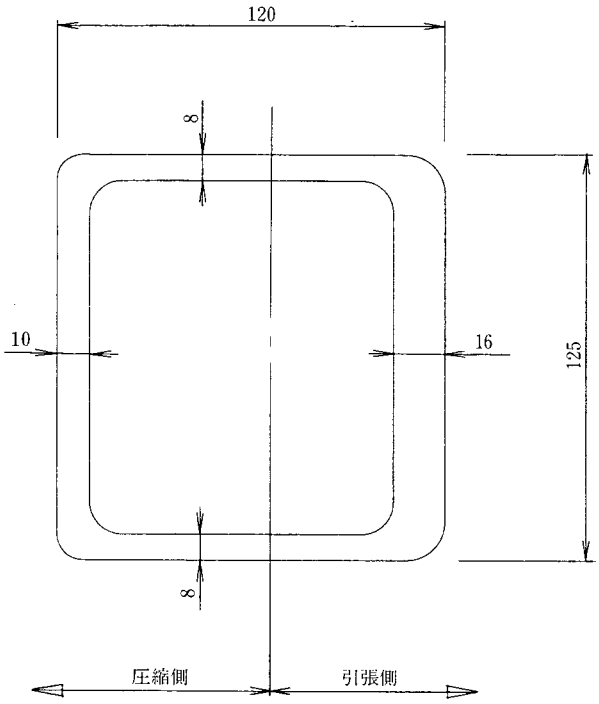


主要横梁
極限曲げモーメント
M_0=6.8 tf·m
(補正係数 α=0.75)



下段横梁
極限曲げモーメント
M_0=2.1 tf·m
(補正係数 α=1.1)

図1 次ページに続く



支柱
極限支持力
$P_W = 7.7$ tf
（補正係数 $\alpha = 1.2$）

図 1　断面形状及び計算性能値

3.2　継手部の設計

横梁の強度，取扱い等を考慮し3スパン通しとし，継手部の位置は従来通り支柱から400 mmに設定した。この場合の継手強度は過去の実験例および防護柵設置要綱・資料集を参考とし，主要横梁で約30 tf，下段横梁でその1/2の軸力に耐えられる構造とした。図2にその構造を示す。

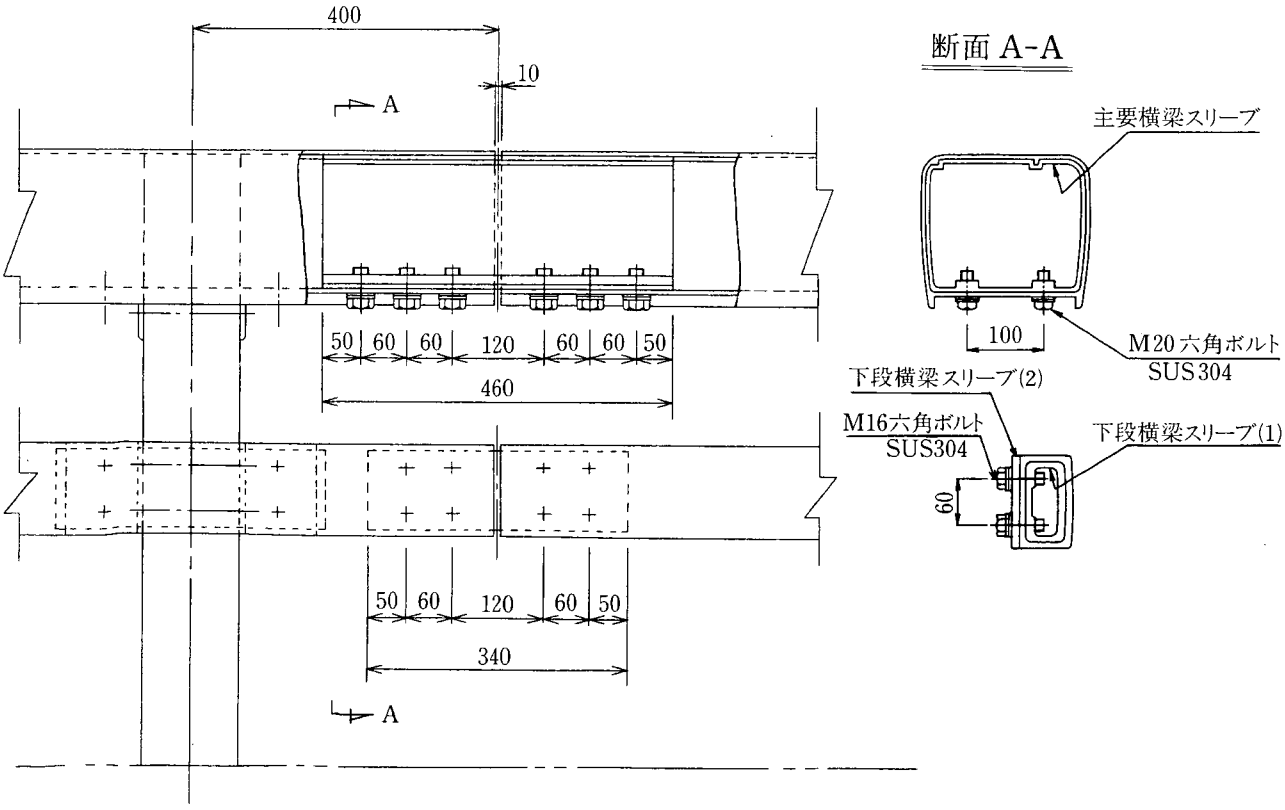


図 2　継手構造

3.3 定着部の設計

支柱定着部は地覆幅600 mm を想定し，ϕ225 mm の埋込鋼管を深さ250 mm まで埋め込み，上部および下部に補強鉄筋を配して定着させる方法とした。この場合の地覆強度は，コンクリートの抵抗せん断力と補強鉄筋の引張力で最大支持力（静荷重試験で得られる支柱の塑性域での最大値）P_{max}=8. 9 tf に耐えられるものとした。図 3 に定着構造図を示す。

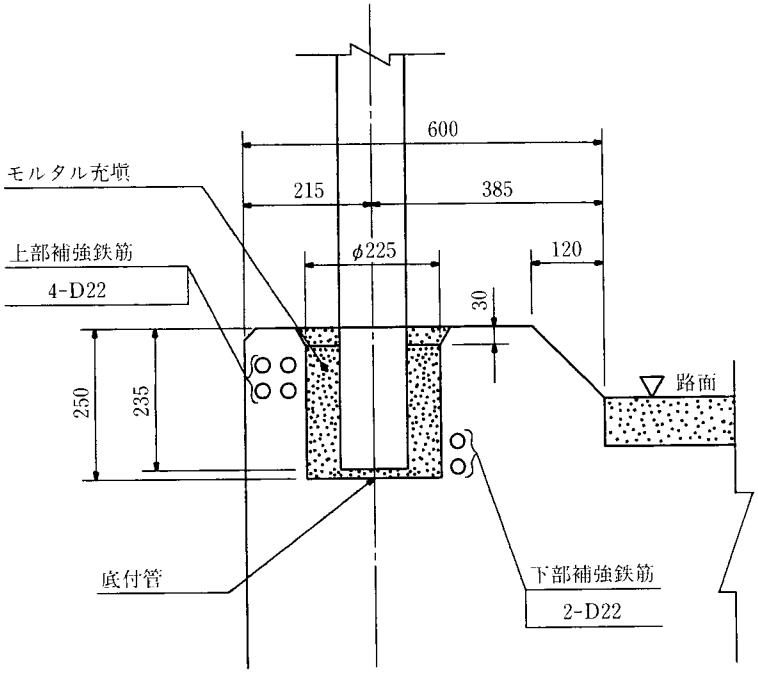
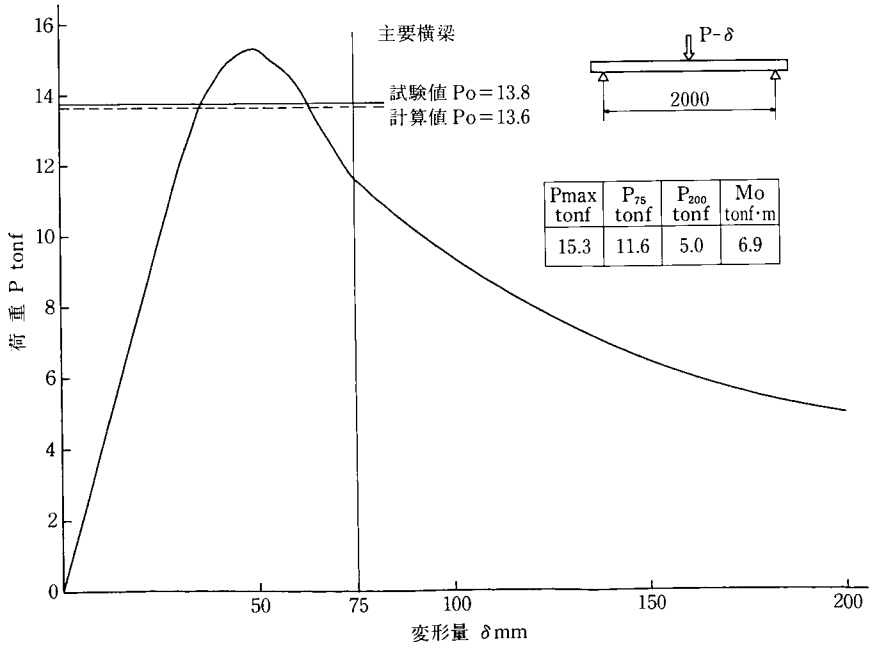


図 3　支柱定着構造図

3.4 静荷重試験

3.1で断面設計されたものについて防護柵設置要綱・資料集に準拠し，静荷重試験を行った。その結果は図 4 に示すとおり計算値に対して同等以上の性能が得られた。なお，支柱は過去の試験で得られた結果であるが合わせてここに示す。



Pmax tonf	P_{75} tonf	P_{200} tonf	Mo tonf·m
15.3	11.6	5.0	6.9

$$M_O=\frac{P_O \cdot l}{4}$$

但し

M_O：極限曲げモーメント

P_O：荷　重

l：支間距離

図 4　次ページに続く

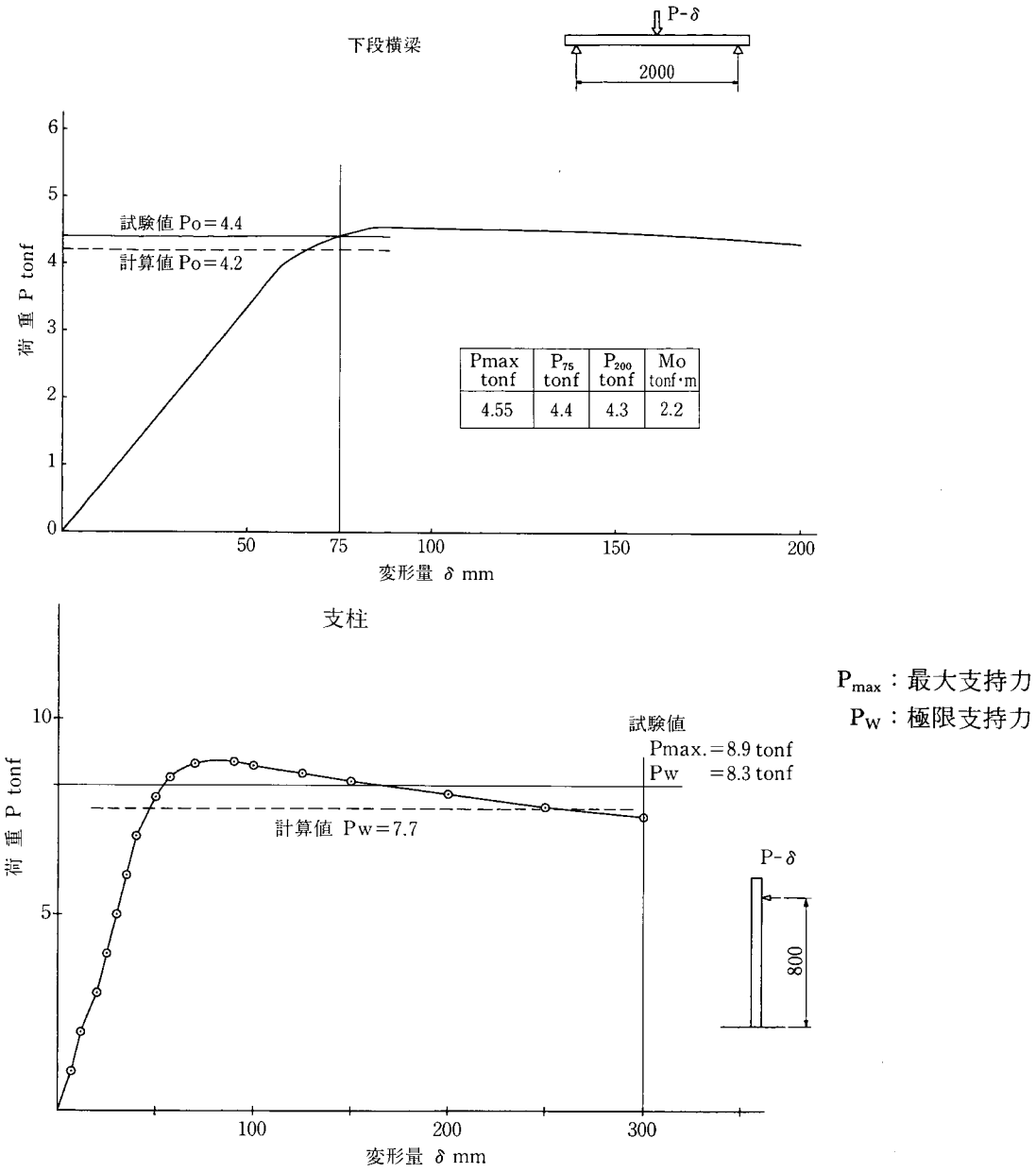


図4　静荷重試験結果

3.5　衝突シミュレーション

衝突シミュレーションは土木研究所資料第574号「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」を基に行った。なお，衝突シミュレーション（1）についてはここでは省略し，（2）について述べる。

衝突条件はS種とし，車両の重量，衝突速度および角度はそれぞれ14t(大型貨物車)，80 km/h，15度とした。この時の防護柵の変形量は30 cm 以下を条件（防護柵設置要綱では車両の最大進入行程であるが，今回の検討では最大進入行程より安全側である防護柵の変位量30 cm で評価することとした。）とし，設計された断面の静荷重試験値をインプットして衝突シミュレーション（2）を行った。

この結果，防護柵の変位量は図5に示すとおり最大27.2 cm となり，本防護柵が設計条件に対して満足し

ていることが確認された。

防護柵の変形

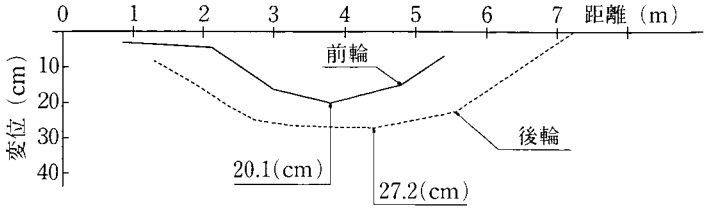


図5　衝突シミュレーション(2)の結果

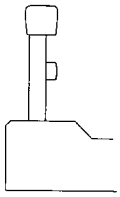
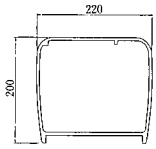
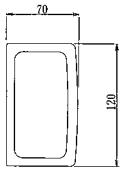
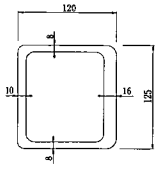
4. 実車衝突実験

3項で構造設計されたものについて実車衝突実験を行い，S種車両防護柵としての機能，強度および安全性を確認する。以下に実車衝突実験結果について述べる。

4.1 実験の種類と条件

実験の種類はボックスビームタイプについて小型乗用車および大型貨物車の各1ケースづつ行うこととした。なお，実験条件は「防護柵設置要綱」に準拠し，表1のように定めた。

表1 実験の種類と条件

名　称	防護柵型式	実験番号	車　両	衝突条件	車両重量	備　考
高強度型防護柵 	ボックス・ビームタイプ S種	No. 1	小型乗用車	速度80 km/h 角度15°	1.1 t	 主要横梁  下段横梁  支柱
		No. 2	大型貨物車	速度80 km/h 角度15°	14 t	

注） 小型乗用車については，乗員の安全性を考慮にいれ車両重量を1.1 tとし一般に普及している1500 cc クラスを実験車両とした。

4.2 実験施設

実験は建設省土木研究所内の衝突実験施設において行った。この実験施設を図6に示す。

衝突車はドーリー（牽引接続金具）を介してワイヤーに接続し，巻き取りウインチによりガイドレールに沿って牽引され，供試体に向かって加速される。所定の速度に達した後は等速牽引され衝突直前にドーリーから切り離され，供試体に衝突するようになっている。

なお，この施設の最大牽引能力は乗用車で140 km/h，大型貨物車（20 t）で100 km/h であり，設定された速度は速度制御装置により±0．1 km/h の精度で制御されている。

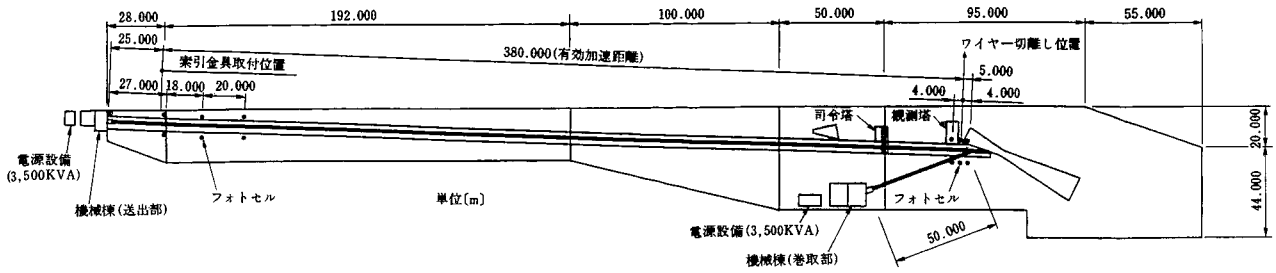


図 6　実験施設

4.3　供試体

4.3.1　実験車両

実験車両の諸元を表 2 に示す。大型貨物車は 3 軸の総重量20 t(自重約10 t) で，小型乗用車は排気量1500 cc クラスとした。また，これらの車両は自力走行が可能であり，タイヤのトレッドも 2 ～ 3 分程度有しているものを使用した。

表 2　衝突車の諸元（単位 mm または kg）

項目 ＼ 実験車両		小型乗用車	大型貨物車
型式		EAE 70(1,450 cc)	CD 51 V
車名		トヨタ・カローラー	ニッサン・ディーゼル
全長		4,054	11,760
全幅		1,610	2,160
重心位置（前輪より）		1,228	4,358
全高		1,370	2,600
軸距		2,413	6,390
輪距	前輪	1,330	1,990
	後輪	1,330	1,780
オーバーハング		701	1,220
タイヤサイズ		155–SR13	10–20–14PR
車両重量（積載時）	前輪	540	4,452
	後輪	560	9,548
	合計	1,100	14,000

注）オーバーハングは，車両前輪軸から前面までの寸法を示す。

4.3.2　防護柵

防護柵の組立・断面形状を図 7 に示し，各種使用部材の化学成分および機械的性質を表 3, 表 4 に示す。

床版と地覆部分は普通ポルトランドセメントを使用した鉄筋コンクリート製とし，設計基準強度 σck は 240 kgf/cm^2 とした。その試験値を表 5 に示す。

なお，床版と地覆部の配筋は建設省制定「土木構造物標準設計…活荷重合成プレートガーダー橋，床版構造」の 1 等橋 TL－20に準拠した。

表 3　使用材料の化学成分

部材名	化学成分 %								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
主要横梁	0.71	0.2	0.23	0.10	1.0	0.06	0.04	0.01	残
下段横梁	0.72	0.2	0.25	0.11	1.0	0.05	0.03	0.01	残
主要スリーブ	0.71	0.2	0.25	0.10	0.9	0.05	0.11	0.01	残
下段スリーブ	0.72	0.2	0.25	0.11	1.0	0.05	0.03	0.01	残
支柱	0.69	0.2	0.22	0.10	1.0	0.05	0.02	0.01	残
JIS H 4100 A6061S-T6	0.40 ～0.8	0.7 以下	0.15 ～0.40	0.15 以下	0.8 ～1.2	0.04 ～0.35	0.25 以下	0.15 以下	残

表 4　使用材料の機械的性質

部材名	引張試験		
	引張強さ kgf/mm²	耐力 kgf/mm²	伸び %
主要横梁	30.4	27.0	13.8
下段横梁	32.8	31.1	16.2
主要スリーブ	32.7	31.5	10.8
下段スリーブ	33.2	30.7	15.0
支柱	32.6	29.5	18.2
JIS H 4100 A6061S-T6	27以上	25以上	10以上 (8以上)

注：（　）の規格値は主要横梁に適用

表 5　コンクリートの品質管理試験結果

スランプ (cm)	空気量 (%)	※コンクリート強度 (kgf/cm²)			
		材令		圧縮強度	引張強度
8.5	4.1	実験前		σ7(7日), 230	—
目標値		実験時	小型乗用車	σ9(9日), 235	—
			大型貨物車	σ18(18日), 250	24
8	4	目標値		240	24

※3個の平均値を示す。

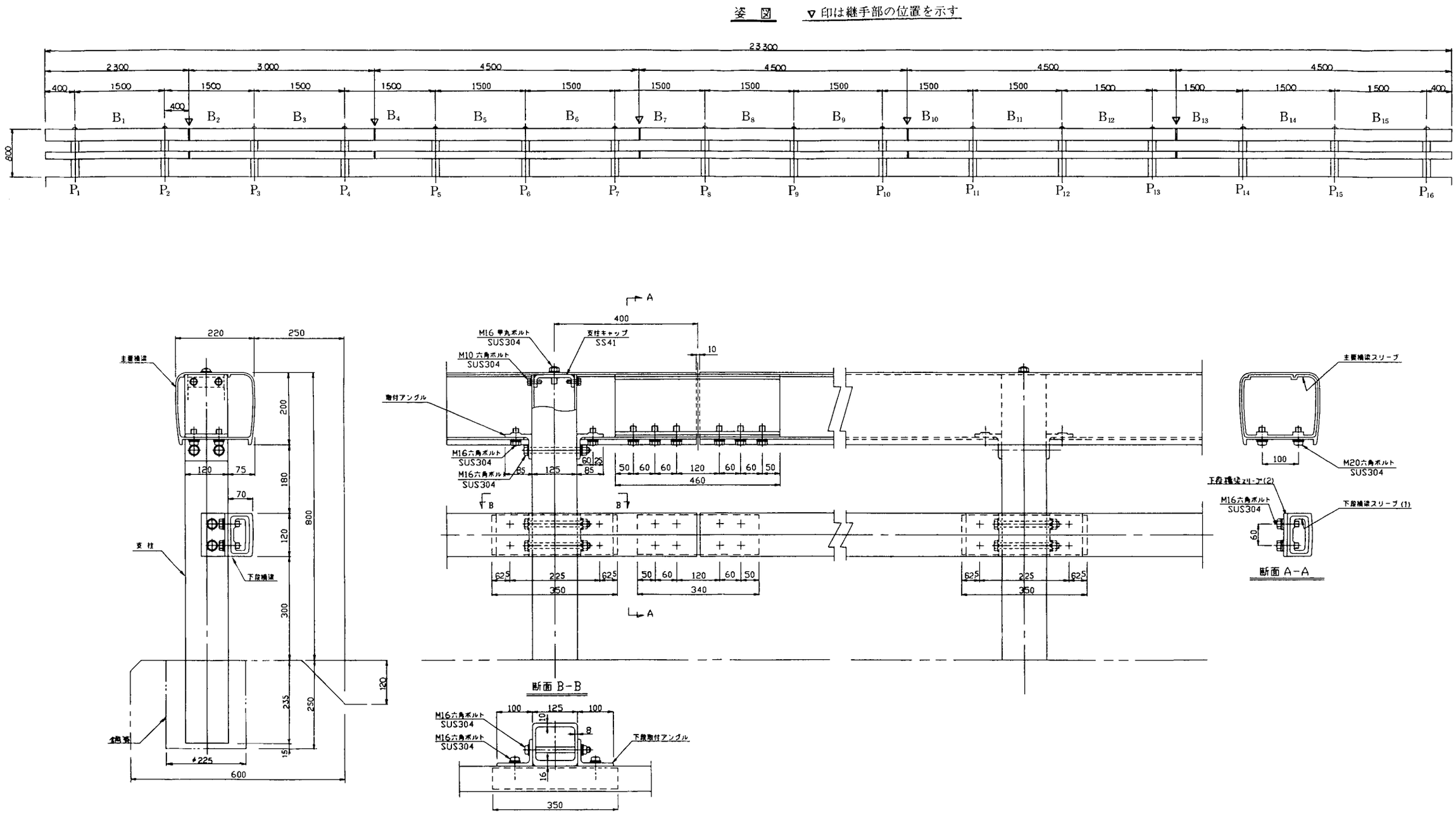


図7　防護柵組立・断面形状

4.4 測定内容

衝突車両および防護柵の挙動に関する測定項目および方法は次に示すとおりとした。

4.4.1 測定項目

車　両：衝突速度，軌跡，加速度，傾斜角，飛び上がり量，損傷状況

防護柵：最大変形，残留変形，支柱水平力，横梁軸力，曲げモーメント，車両の接触跡，損傷状況

4.4.2 測定方法

(1) 衝突速度

衝突速度はドーリー切り離し位置付近に設けられたフォトセル，ウインチドラムの回転数，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。各々の方法は表6に示す。

表6　衝突速度の検出方法

番号	計測器	検出方法
①	フォトセル	2点のフォトセルを車両が遮るタイムラグから速度を検出する。
②	回転計	ウインチドラムの回転数を速度に換算する。
③	テープスイッチ式車両感知器	車両の前後輪の通過タイムラグをテープスイッチ，車両感知器で検出し，速度を算出する。
④	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。

(2) 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した。

(3) 加速度

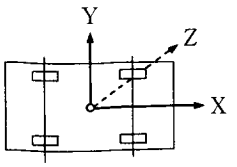
加速度の測定は，車両重心，ダミー（運転席，助手席）について3成分を加速度計により図8に示す測定系で行った。なお，助手席ダミーは衝突時の脚部の衝撃力を測定するために大腿部にゲージを張り付けた。表7に加速度計取付部位とその測定方法を示す。

表7　加速度計取付部位とその測定方法

実験番号	方向	車両重心	ダミー				測点合計
			運転席		助手席		
			頭部	胸部	頭部	胸部	
実験1 小型乗用車	X	○	○	○	●		12点
	Y	○	○	○	●		
	Z	●	●	●		▲	
実験2 大型貨物車	X	○	○	○	●		12点
	Y	○	○	○	●		
	Z	●	●	●		▲	

注：1) ○はテレメータ，●はカセット，▲はひずみゲージを示す。
2) テレメータ測定点数は最大6点のため，それ以外はカセットを車両に積載し直接測定する方法とした。
3) 加速度成分方向は右図の通りとした。

X：車両の進行方向
Y：車両の進行直角方向
Z：車両の垂直方向



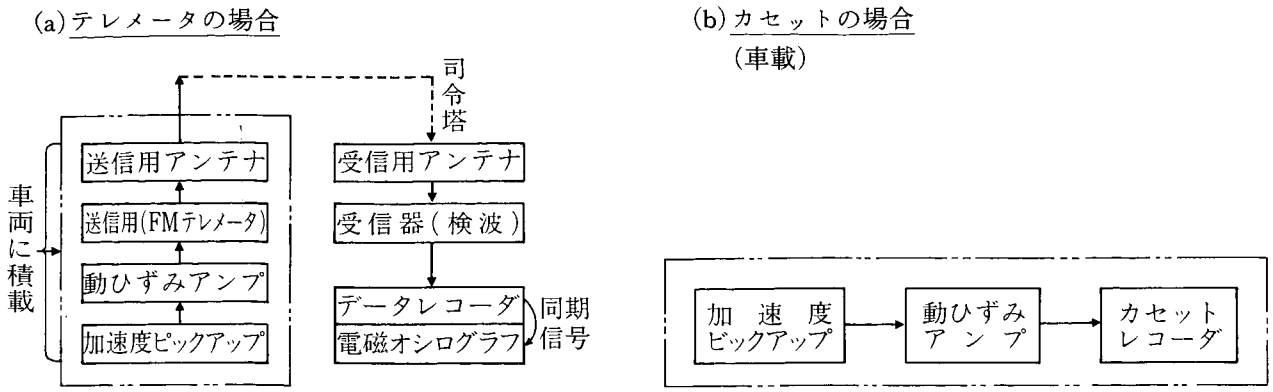
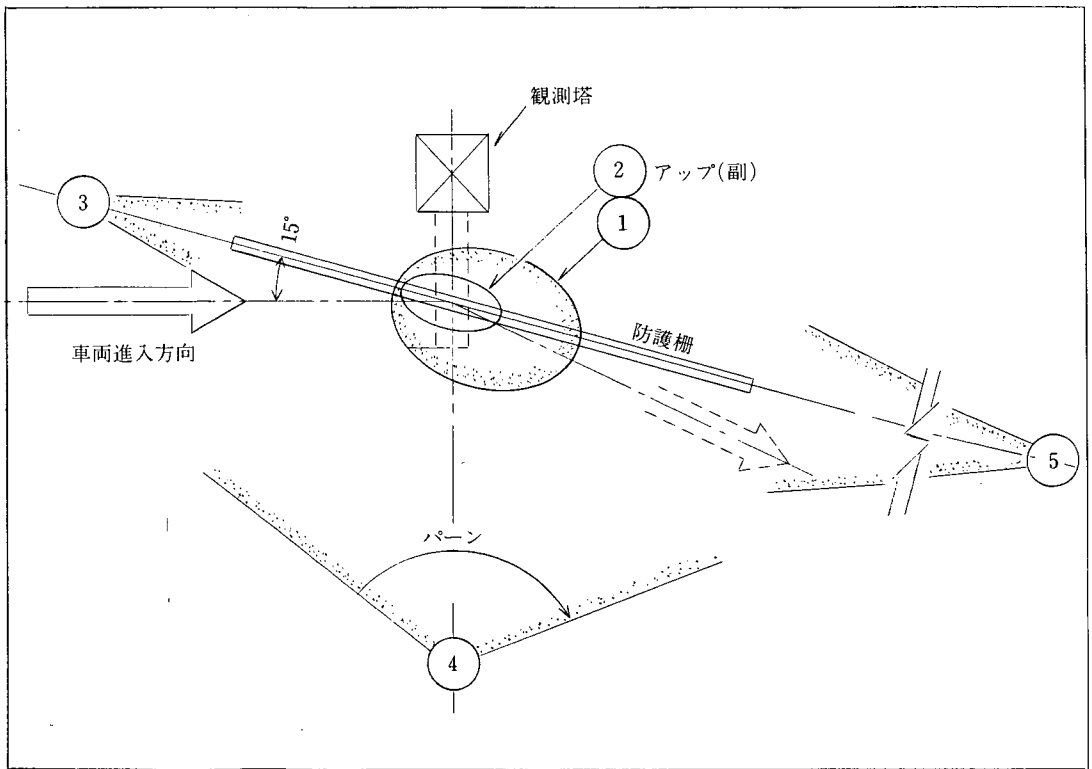


図8　加速度の測定系

(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の測定は，16 mm 映画撮影により求めることとした。なお，映画撮影は衝突から離脱までの車両・防護柵の挙動や観察について実験記録を残すこととした。また，撮影されたフィルムは車両速度，加速度の解析に参考とした。図9にカメラの種類と配置を示す。



カメラ位置	①	②	③	④	⑤	カメラ台数
フイルム速度	400コマ/秒	400コマ/秒	64コマ/秒	24コマ/秒	64コマ/秒	
対車両位置 / 実験車両	上方	上方	後方	側面	前方	
小型乗用車	○	○	○	○	○	5
大型貨物車	○	○	○	○	○	5

図9　撮影カメラの種類と配置

(5) 損傷状況

衝突後の損傷状況については目視および触手により観察した。

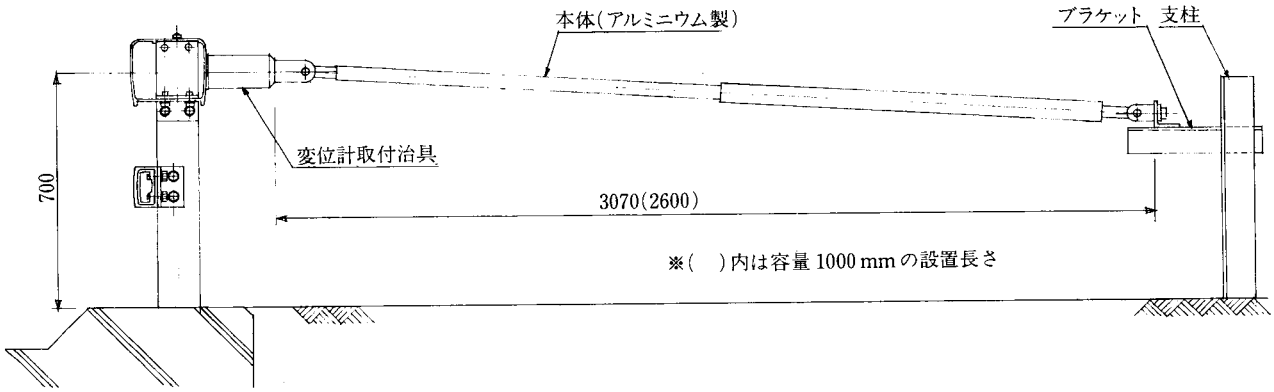
(6) 最大変位および残留変位

防護柵の最大変位量の測定は柵直角方向に対して動的特性の高い棒状変位計を取り付けて行った。また，大型貨物車の実験では計測器が破壊される恐れがあるため，変位測定板（ターゲットマーク）を支柱に取り付けて高速度撮影フィルムから読みとった。図10に変位計の概要を示す。

残留変形については，防護柵平行方向をX，直角方向をYとして測定点を定め，衝突前後の測量（トランシット，レベル等）により求めた。

また，主要・下段横梁継手部の移動量についてもケガキ線をノギスで測定した。

ⓐ 棒状変位計



ⓑ 変位測定板

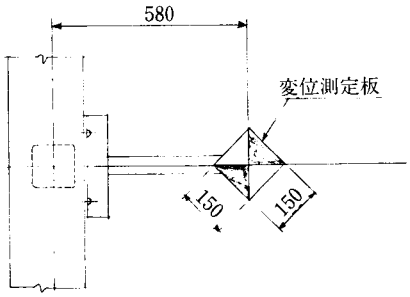


図10　変位計取付要領

(7) 支柱に働く水平力

支柱に働く水平力は，図11に示す取付位置に2軸のひずみゲージを貼り付け，せん断ひずみを測定し求めた。なお，せん断ひずみに対する較正試験を実験に支障のないP16支柱で行った。

(8) 横梁に働く軸力および曲げモーメント

主要・下段横梁に働く軸力および曲げモーメントは図12に示す位置にひずみゲージを貼り付け測定値から算定した。なお，取付位置は衝突による損傷や塑性変形する箇所を避けて配置した。

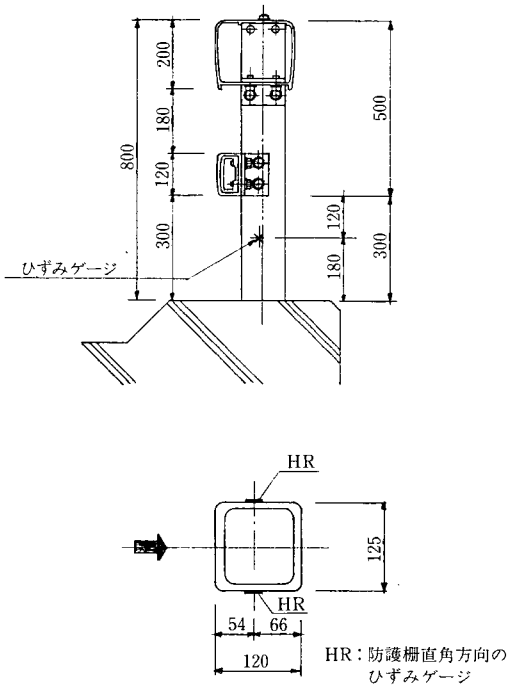


図11 支柱のひずみゲージ取付位置

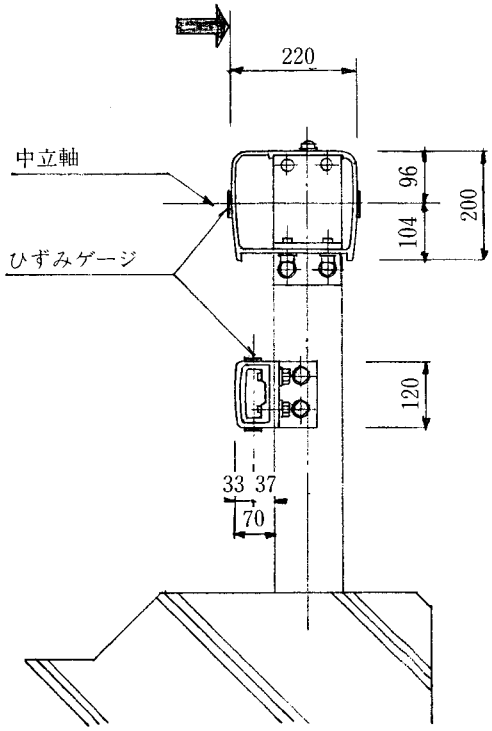
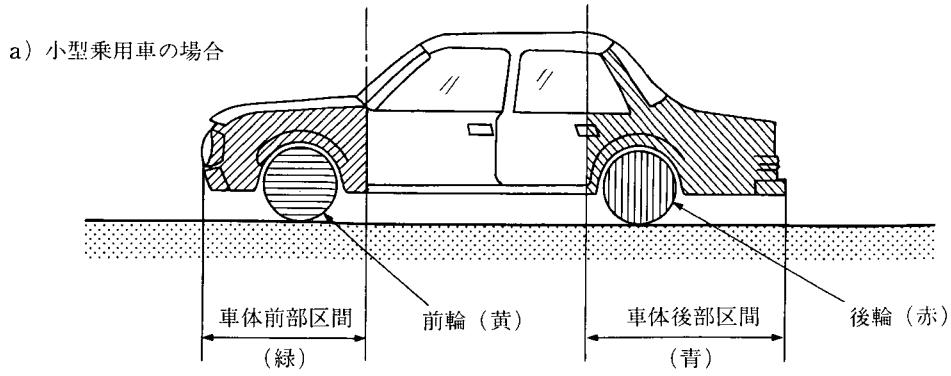


図12 主要・下段横梁のひずみゲージ取付位置

(9) 車両の接触跡および損傷状況

防護柵の車両の接触跡（スクラブマーク）は前輪，後輪および車体前後に図13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た。

また，防護柵の損傷状況は目視，触手により観察した。



b) 大型貨物車の場合

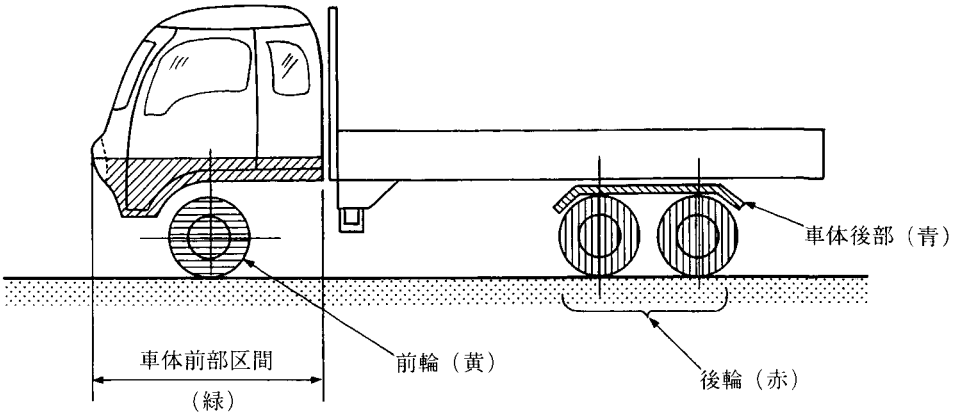


図13　車両のペイント塗布域

4.4.3　計測システム

各測定項目の計測システムを図14に示す。

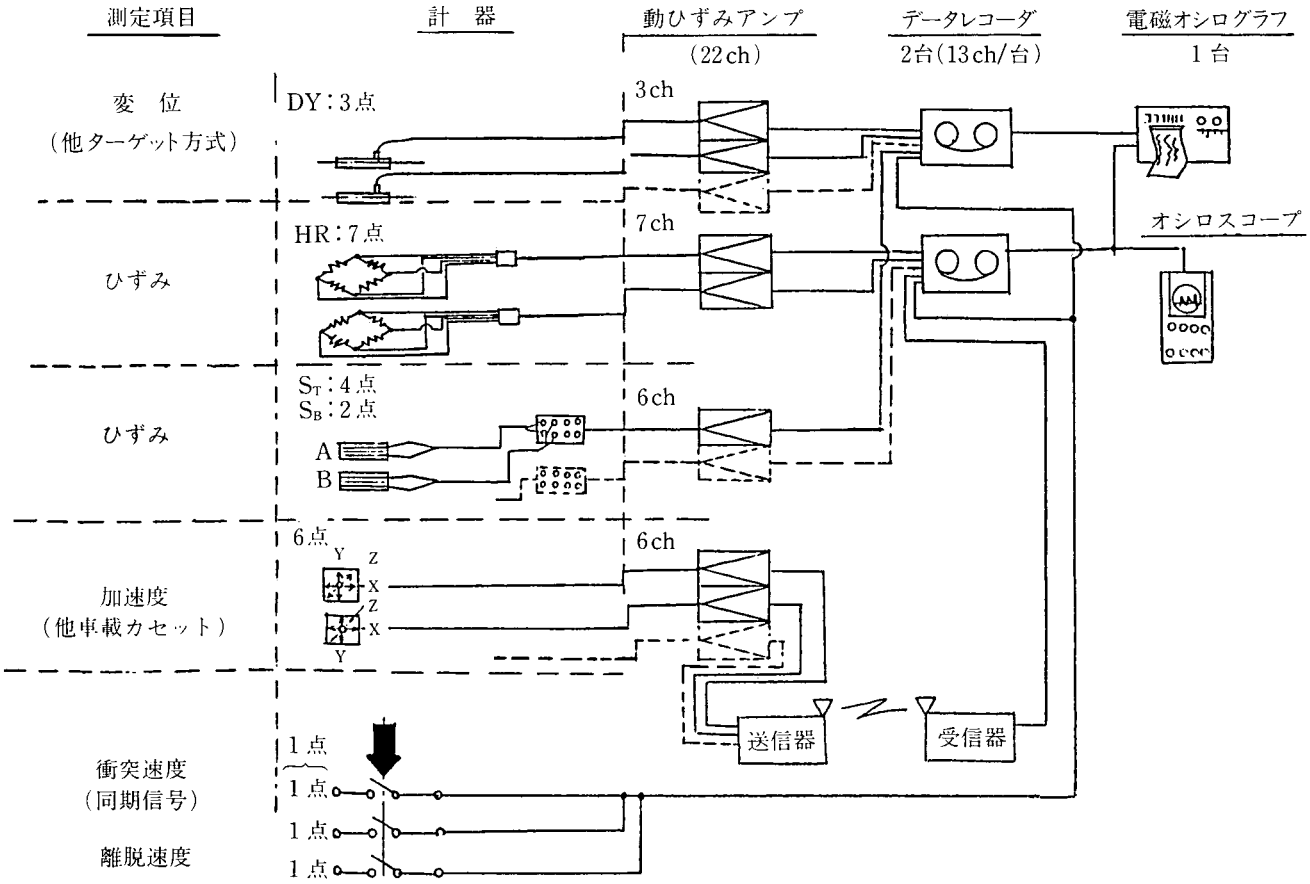


図14　計測システム

4.5 実験結果と考察

実験1（小型乗用車）および実験2（大型貨物車）の結果を表13に総括表として示し，実験状況を写真1－1～4－2に示す。

4.5.1 車両の挙動

(1) 衝突速度

車両の衝突速度は実験1，実験2ともに設定条件の80 km/h であった。

(2) 軌跡

車両の衝突角度（進入角）は実験1, 2ともに15度であり，最大進入量は実験1で85 mm，実験2で35 mm であった。なお，実験2（大型貨物車）に比べて実験1（小型乗用車）が大きな値を示したのは車両の構造や強度の違いによるものと考えられる。

一方，離脱角度は実験1で4.8度，実験2で1度であった。この値は過去の実験例（A·B種防護柵実験）の最大値5.5度より小さく，2次的事故の発生する可能性は少ないものと考えられる。図15に実験1, 2の車両の軌跡を示す。

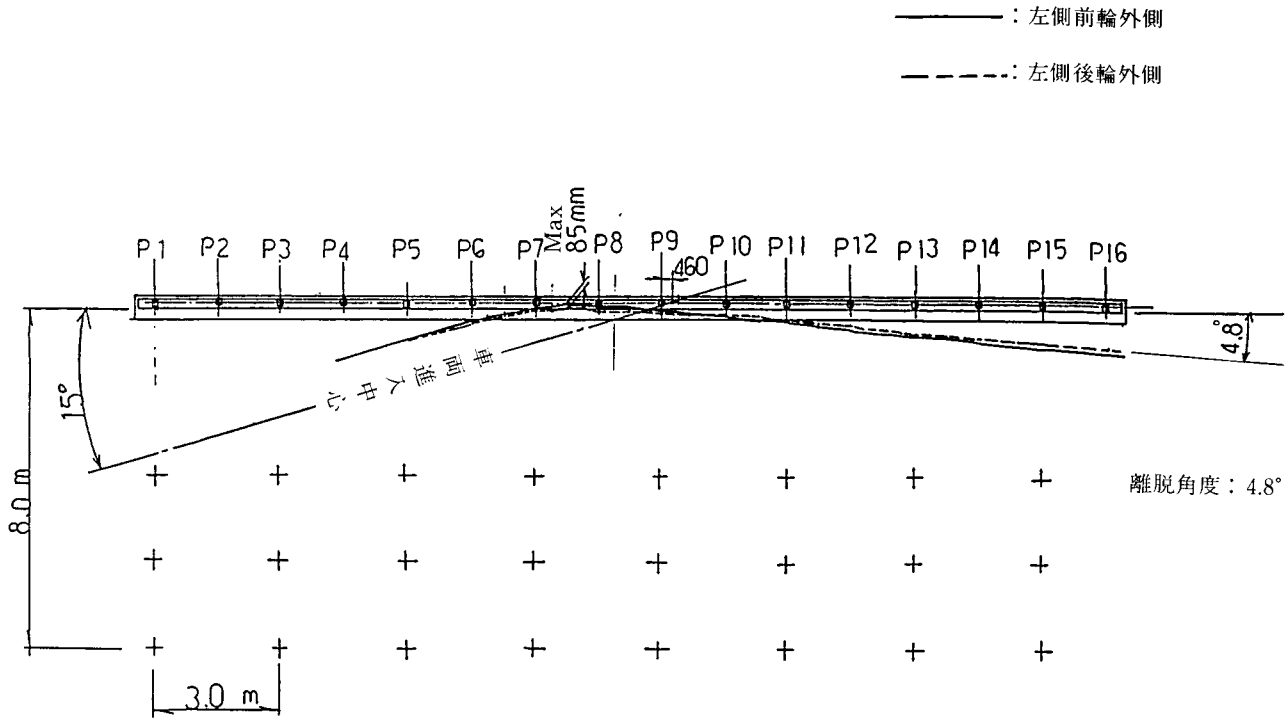
(3) 加速度

防護柵設置要綱では，S種についての最大加速度値について規定されていないが，ここでは今後の基礎資料とするために土木研究所で検討している評価方法にしたがって考察する。

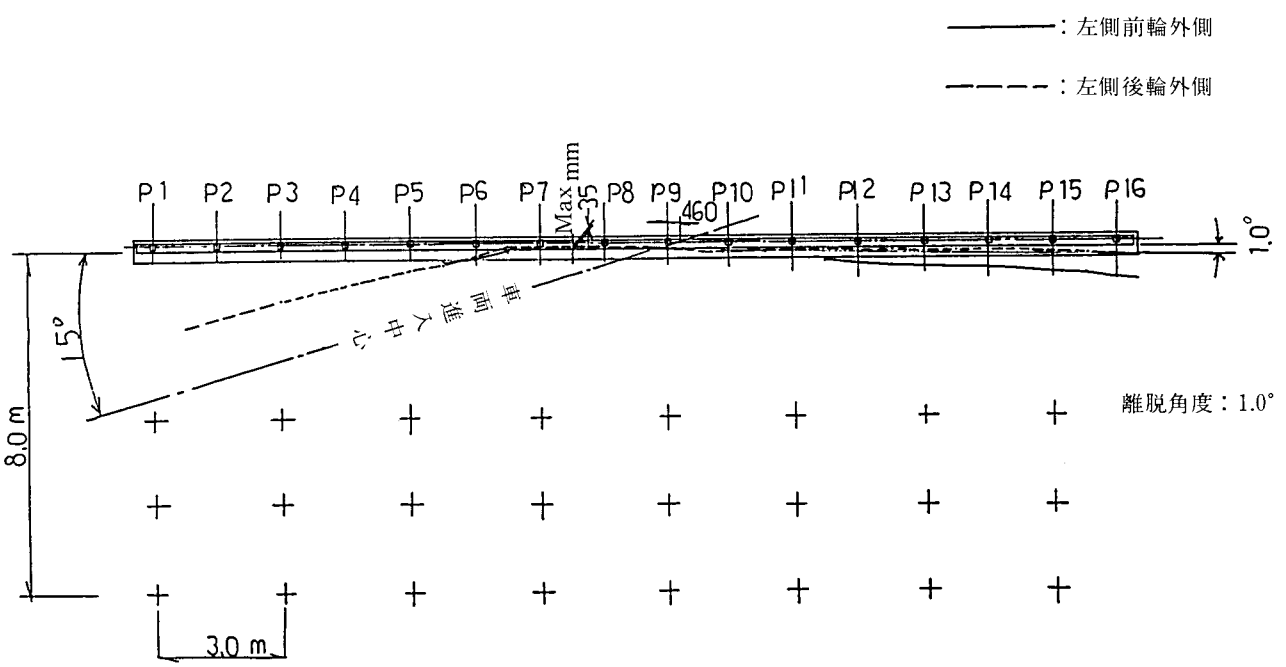
加速度波形解析結果を表8に，米国での推奨値を表9, HICの評価基準値を表10に示す。

車両重心位置の加速度値は原波形が実験1, 2ともに10 g程度であった。また，実験1における50 msec最大値および実効値はそれぞれ6.31 g, 6.06 gであった。これは，米国での推奨値（腰ベルト着用条件で12 g）以下であり，問題ないと考えられる。

一方，運転席および助手席のダミー頭部のHIC値（頭部損傷基準）は，全て1000以下であり，特に問題はないと考えられる。



（実 験 1）



（実 験 2）

図15　車両の軌跡

表 8　加速度波形解析結果

		車両重心			ダミー				
					運転席			助手席	
					頭部		胸部	頭部	
		原波形 (g)	50 msec (g)	実効値 (g)	原波形	HIC	原波形	原波形	HIC
実験 1 (小型乗用車)	X	6.5 (5.5)	3.35	2.87	31 (33.2)	336	6 (6.4)	6 (6.6)	83.0
	Y	10.0 (9.9)	5.37	5.33	64 (70.4)		8 (9.0)	−44 (53)	
	Z	9.0 (5.5)	—	—	−1 (14.2)		−4 (4.5)	—	
	合成	— (10.9)	6.31	6.06	— (77.4)		— (9.1)	— (53.6)	
実験 2 (大型貨物車)	X	3 (2.6)	1.08	0.75	4 (4.4)	6.6	3 (3.5)	7 (9.1)	55.4
	Y	10 (9.5)	4.17	2.98	4 (3.9)		3 (3.0)	36 (42.9)	
	Z	2 (2.0)	—	—	5 (5.5)		−4 (4.5)	—	
	合成	— (9.8)	4.21	3.06	— (4.7)		— (3.6)	— (43.9)	
備考		注：1)（　）内はシグナルアナライザーからの分析結果を示す。 2) HIC 値は X, Y 成分の合成値により算定した。 3) 車両重心の原波形は，80 Hz で処理した。							

表 9　米国での推奨値（50 msec…車両重心評価）

乗員の拘束条件の区分	最大加（減）速度 g			備考
	直角方向	進行方向	合成	
無拘束	3	5	6	より望ましい範囲
腰ベルトのみ	5	10	12	
3 点式シートベルト	15	25	25	

Location, Selection, and Maintenance of Highway Traffic Barriers. Highway Research Board, 1971.

表10　HIC 値

HIC 値は，NHTSA が FMVSS208項（乗員保護装置に関する基準）の傷害基準値として採用したものである。HIC 値は次式で定義されている。

$$\mathrm{HIC}=(t_2-t_1)\left[\frac{1}{t_2-t_1}\int_{t_1}^{t_2} a\,dt\right]^{2.5}$$

ここに，

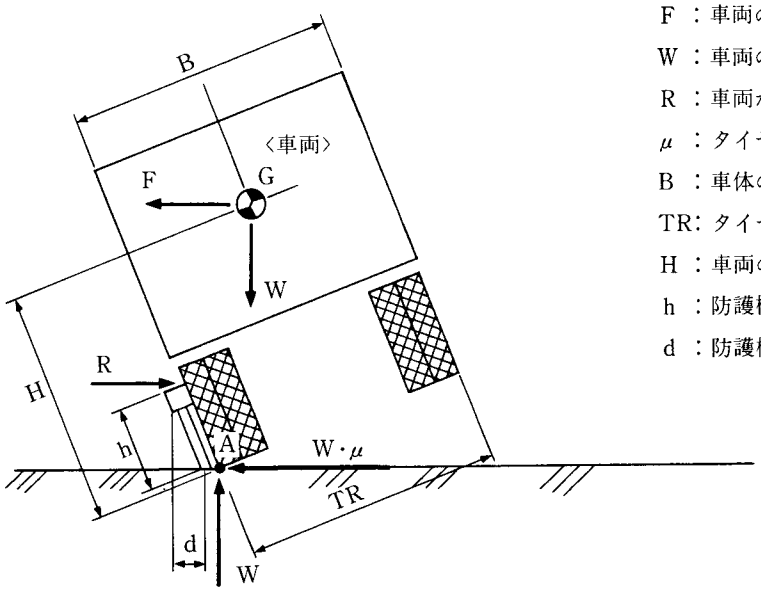
t_1, t_2: t_1 と t_2 との組合せで HIC 値が最大となる加速度作用中の時間（sec）

HIC 値は，1000を安全限界値としている。

(4) 傾斜角およびとび上がり量

車両の最大傾斜角およびとび上がり量は実験1で道路側に前端部が4度傾いたが車輪のとび上がりはなかった。実験2では防護柵側に前端部が15度傾き，右前輪が40 cmとび上がった。これを過去のA種実験と比較すると右前輪のとび上がり量は大きかったが，傾斜角はA種の14度と近似していた。とび上がり量が40 cmを超えていることについては，他の防護柵実験例にもみられていることや，防護柵の乗り越し，転倒および路外逸脱もなく離脱していることなどから，問題ないと考えられる。

つぎに，防護柵の高さについて衝突シミュレーション値から単純なつり合い式を検討し，転倒に対する安全性を検討した。図16に車両の傾きのつり合いモデルを示し，算定結果を表11に示した。なお，参考として防護柵高さを70 cmの場合についても検討した。これによると，転倒に対しては全てのケースに余裕があり，実験においても確認された。したがって，衝突シミュレーション値による簡易的な計算方法により設計検討を行えると考えられる。また，防護柵高さを70 cmとした場合も問題ないと考えられる。



F ：車両の方向転換により生じる遠心力
W ：車両の重量
R ：車両が防護柵から受ける反力（FY）
μ ：タイヤと路面との摩擦係数
B ：車体の幅
TR：タイヤの外側距離
H ：車両の重心高さ
h ：防護柵の有効高さ
d ：防護柵の水平移動距離

力のつり合いから

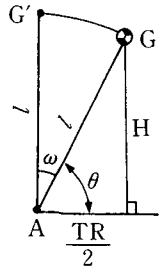
$F+W\cdot\mu=R,\quad F=R-W\cdot\mu$

またA点回りのモーメントより

$\sin^{-1}\dfrac{d}{h}=\omega$ とすると

$R\cdot h\cos\omega+W\cdot l\cos(\theta+\omega)>F\cdot l\sin(\theta+\omega)$

であれば転倒しない。



$$\theta=\tan^{-1}\frac{H}{\frac{TR}{2}}$$

$$l=\frac{H}{\sin\theta}$$

図16 車両傾きつり合いモデル

表11　転倒に対する算定結果

		シミュレーション (2)	シミュレーション (3)	実験測定値
諸値	YR (cm)	27.2	23.2	5.5
	R (tf)	27.2	24.2	17.1
	w (t)	14.0	14.0	14.0
	μ	0.70	0.70	0.70
	TR (m)	2.39	2.39	2.39
	H (m)	1.21	1.16	1.16
	h (m)	0.80 (0.70)	0.80	0.80
	d (m)	0.272(0.238)	0.232	0.050
結　果		左辺＞右辺	左辺＞右辺	左辺＞右辺
(tf·m)		30.43＞26.86 (28.14＞26.86)	28.43＞21.62	29.26＞9.07
評　価		OK	OK	OK

注：（　）内は h＝70 cm の場合を示す。

(5)　損傷状況

車両の損傷状況は，実験 1 で左側前端部のバンパー，フェンダーの潰れ，および左側前輪部アブソーバーの折損があったが，ブレーキをかけるまでは走行可能であったと推定される。また，窓ガラス，ハンドル等の損傷もなく，乗員の生存空間は確保されていたと考えられる。

実験 2 では，左側前端部のバンパー，およびフェンダーが潰れた他に，左側前軸部のスプリング結合用 U ボルトが後方にずれてスプリング，アブソーバーが折損した。しかし，窓ガラスおよびハンドル等に損傷はなかった。なお，衝突後の車両は自力での走行は不可能であるが，牽引走行は可能であることから早期撤去が可能であると考えられる。

4.5.2　防護柵の挙動

(1)　最大変位および残留変位量

防護柵直角方向の最大変位は支柱頭部で実験 1 が 9 mm，実験 2 が55 mm であり，設計条件の300 mm 以下であった。

一方，最大残留変位量は実験 1 では各部材とも 7 mm 以下であり，実験 2 では支柱（頂部）が20 mm，主要横梁が33 mm，下段横梁が46 mm と小さい値であった。なお，実験 2 における残留変形区間（横梁の残留変位量が10 mm 以上の支柱間）は 9 m であった。また，継手部の移動量（ズレ）は実験 1 で0.8 mm 以下，実験 2 では主要横梁，下段横梁がそれぞれ3.1mm，4.6 mm 以下とわずかなものであった。

(2)　支柱に働く水平力

防護柵直角方向の支柱の最大水平力は実験 1 で2.85 tf，実験 2 で8.4 tf であった。これらの値は静荷重試験結果の最大支持力8.9 tf 以下であり，強度的には十分であると考えられる。なお，合計水平力の最大値は

実験 1 で4.04 tf（支柱 5 本），実験 2 で17.1 tf(支柱 5 本）であった。

(3) 横梁に働く軸力および曲げモーメント

主要横梁に働いた最大軸力および最大曲げモーメントは，実験 1 で0.68 tf，0.33 tf·m，実験 2 では1.47 tf，0.94 tf·m であった。

一方，下段横梁の最大軸力は実験 1 で1.5 tf，実験 2 で7.99 tf であった。

以上の結果から，実験 2 について最大応力を求めると表 12 の通り，主要横梁が335 kgf/cm^2，下段横梁が267 kgf/cm^2 となる。この値は材料耐力（2500 kgf/cm^2）以下であり，強度的には十分であると考えられる。

表12 最大応力算定結果（実験 2）

	主要横梁	下段横梁*)
算定式と諸値	$\sigma=\frac{N}{A}\pm\frac{M}{Z}$ M＝94,000 kgf·cm N＝1,470 kgf A＝46.37 cm^2 Z＝310 cm^3	$\sigma=\frac{N}{A}$ N＝7,990 kgf A＝29.95 cm^2
応　　力	σ＝335 (kgf/cm^2)	σ＝267 (kgf/cm^2)

*) 軸力のみ計測

(4) 車両の接触跡および防護柵損傷状況

車両の接触跡および防護柵の損傷状況について図17に示す。

防護柵への車両の接触長は実験 1 で2.9 m，実験 2 で13.35 m であった。

実験 1 の損傷状況は支柱 2 本（P7, P8)にタイヤ跡があったがほとんど変形しなかった。

実験 2 では，支柱にタイヤ跡もなく曲がり変形もほとんどなかった。主要横梁については車体突起部によるへこみと穴あきが 2 箇所（P5～P7間）に生じたが，局部的な損傷であり，全体的には残留変位量が小さいことから強度上の問題はないと考えられる。下段横梁は長い線状の圧痕が生じたが，穴あき，破断等は生じていなかった。継手部は若干のズレがあったが，はしあき部のせん断，穴部の潰れ等はなく強度的には十分であったと考えられる。なお，地覆部コンクリート背面 3 箇所（支柱P6, P7, P8）に浅いクラックが発生していた。

4.6 衝突シミュレーションとの比較

実験 2 での測定値と衝突シミュレーション (3) の計算値を比較検討し，その結果を表14に示す。

これによると計算値に対する測定値の比率は，最大変位量が4.22倍，防護柵に作用する力が1.42倍，加速度値と離脱角度がほぼ同値であった。この傾向は過去の実験データと類似している。また，衝突シミュレーションによる計算値は設計に対して安全側にあると考えられる。

表14 衝突シミュレーション(3)との比較

	最大変位量 δ(mm)	加速度 Ac(g)	防護柵にかかる力 FY(tf)	離脱角度 θ(度)
①測定値	55	9.8	17.1	1.0
②計算値	232	9.81	24.2	1.0
②/①	4.22	1.0	1.42	—

4.7 支柱定着部の検討

支柱定着部の検討を実験 2 の支柱にかかる最大水平力および静荷重試験の最大支持力値を用いて，防護柵設置要綱・資料集に準拠して算定した結果を表15に示す。なお，この場合の支柱定着部の構造は図18に示すものとした。

表15 支柱定着部の算定結果

	鉄筋の引張応力度 kgf/cm^2	鉄筋の付着応力度 kgf/cm^2
実験での測定値を用いた場合 (最大水平力＝8.4 tf)	2100	18.7
静荷重試験値を用いた場合 (最大支持力＝8.9 tf)	2670	23.7
許容応力度	3000	24

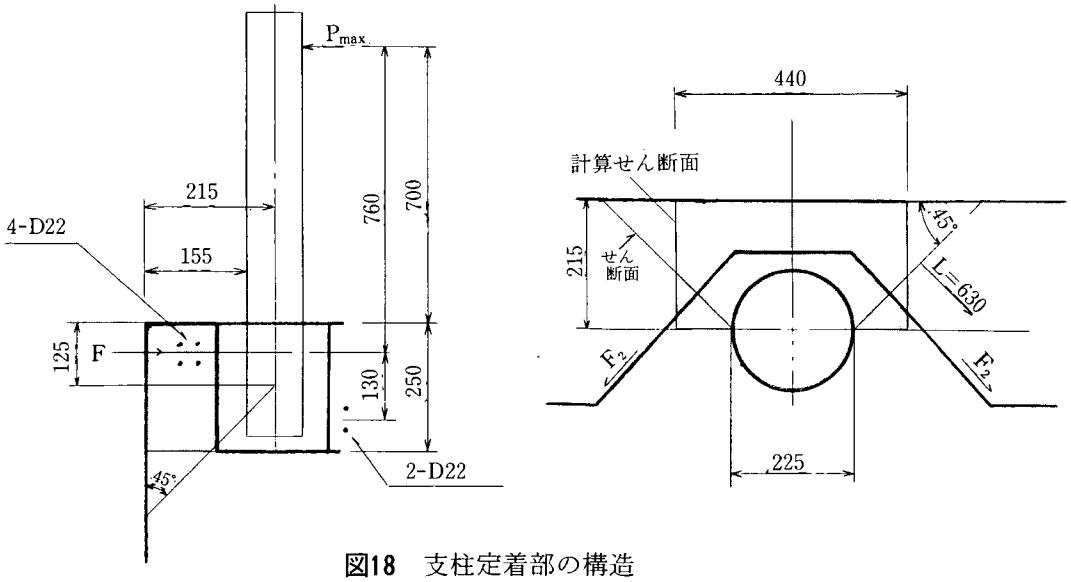


図18 支柱定着部の構造

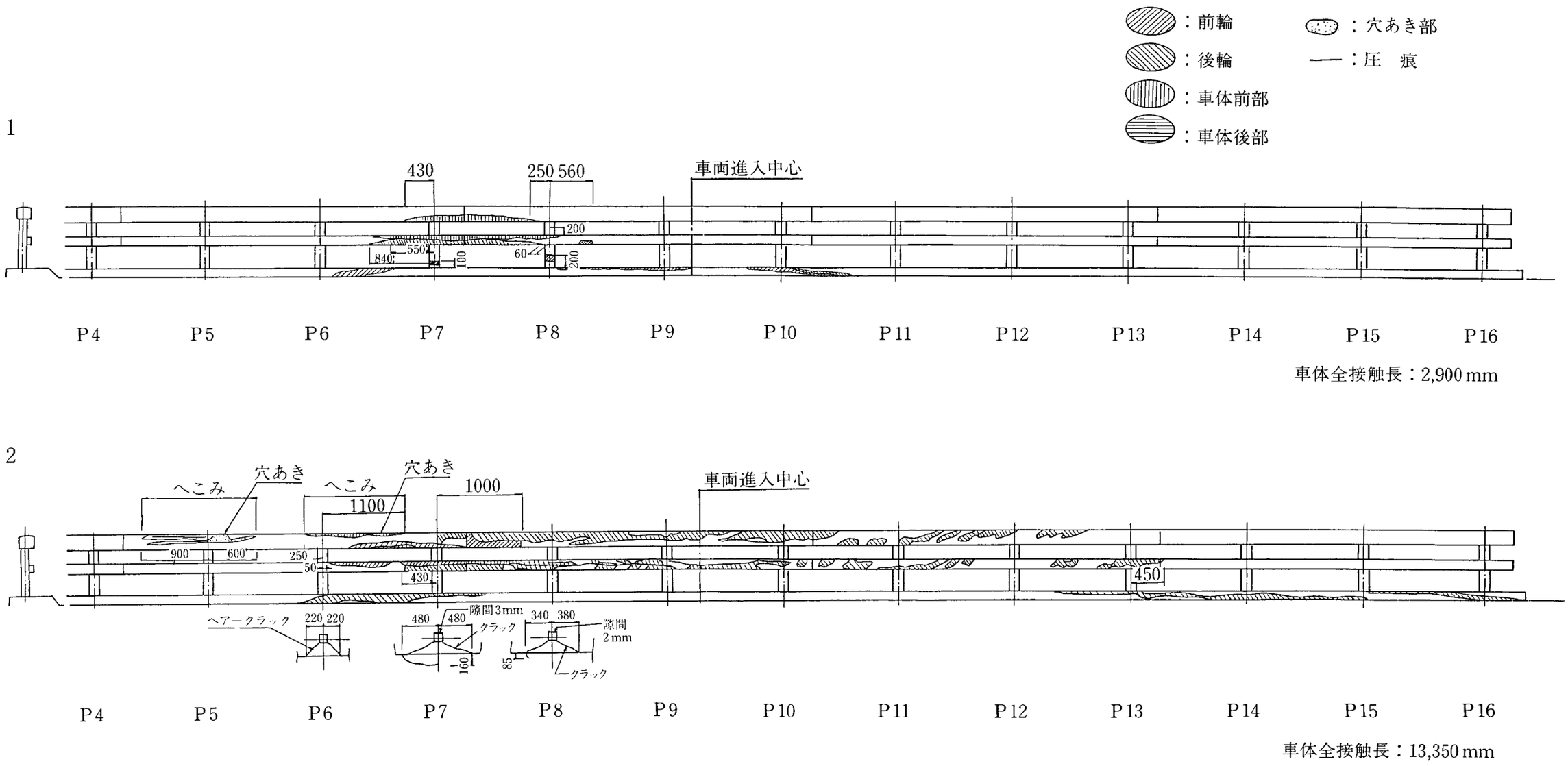


図17　車両の接触跡及び防護柵損傷状況

表13　実験結果総括表

実験番号 防護柵形式	実験条件及び結果 重量 (t)	速度 (km/h)	進入角 (度)	防護柵直角方向運動エネルギー (tf·m)	離脱角度 (離脱直後)	衝突車両の最大傾斜角及び車輪のとび上り量 (cm) 前端 (前輪)	後端 (後輪)	車両—防護柵接触長 (m)	車両の最大進入行程[1] (mm)	最大加速度[2] (g)			防護柵変位量 (mm)[4] 支柱Y方向[3] FL＋700	最大残留変位量 支柱 Y方向	支柱 X方向	ビーム他 (Y方向)	防護柵作用力 支柱最大水平力 (tf) Y方向[5]	主要横梁の軸力，曲げモーメント 下段横梁の軸力	損傷状況 防護柵	車両
実験1 ボックス・ビームタイプ S種	1.10 (小型乗用車)	80 離脱速度 (67)	15	1.86	4.8	道路側に 4°	3°	2.90	85	車両重心	X	6.5	25 (P7) [29]	5 (P7)	−5 (P7)	主要横梁 7 (P7–P8の中間)	P6 0.4 P7 2.85 P8 1.1 [1.25] P9 0.05 [0.10] P10 −0.20 ΣHR 4.04	主要横梁 軸力(tf) B5, 0.51 B6, 0.68	支柱2本（P7, P8）タイヤ跡有り，残留変形ほとんど無し（5 mm以下）。 主要横梁，下段横梁潰れ，損傷，無く残留変形もほとんど無し（7 mm以下）。	左前バンパー，フェンダー，潰れ有。 左車体，前から後にかけて“摺痕”による損傷有。 窓ガラス，ハンドル等損傷無く，乗員の生存空間確保。 自力走行不可。 但しブレーキをかけるまでは自力走行可と考えられた。
											Y	10.0								
											Ⓩ	9								
										ダミー(頭部)運転席	X	31						曲げモーメント(tf·m) B5, 0.105 B6, 0.33		
											Y	64								
											Ⓩ	−1								
										ダミー(胸部)運転席	X	6				下段横梁 6 (P7–P8の中間)				
											Y	8								
											Ⓩ	−4								
										ダミー(頭部)助手席	Ⓧ	6						下段横梁 軸力(tf) B5, 1.05 B6, 1.50		
											Ⓨ	−44								
						右側 0	0			大腿部への作用力 (kgf)		−35								
						左側 0	0													
実験2 ボックス・ビームタイプ S種	14.0 (大型貨物車)	80 離脱速度 (55)	15	23.6	1.0	防護柵側に 15°	11°	13.35	35	車両重心	X	3	48 (P8) [55]	20 (P8)	6 (P9)	主要横梁 33(mm) (P4＋1,125)	P6 6.2 P7 5.2 [5.8] P8 8.4 P9 3.4 P10 1.0 [1.7] ΣHR [17.1]	主要横梁 軸力(tf) B4, 1.31 B5, 1.47	支柱“く”の字形曲がり，タイヤ跡もなく，残留変形も小さい（頂部で20 mm以下）。 主要横梁側面，2固所（P5付近，P6，7間）圧痕によるへこみ，穴あき有るが，頂部ボルトの取外れはない。 下段横梁，長く線状の圧痕（P6–P10）が，有るが，穴あき，破断等は無い。 地覆コンクリート支柱背面，3箇所（P6, 7, 8）クラック有るが，最大深さ160 mm以下である。	左前シャーシ外側，バンパー，フェンダー，潰れ有。 荷台下端突起部，2箇所アルミ付着の痕跡有。 左前輪部，Uボルト後方に移動，スプリング4枚損傷の為，アブソーバ折損したものの窓ガラス，ハンドル等損傷無い。 自力走行不可だが，けん引走行可。
											Y	10								
											Ⓩ	2								
										ダミー(頭部)運転席	X	4						曲げモーメント(tf·m) B4, 0.65 B5, 0.94		
											Y	4								
											Ⓩ	5								
										ダミー(胸部)運転席	X	3				下段横梁 46 mm (P6＋500)				
											Y	3								
											Ⓩ	−4								
										ダミー(頭部)助手席	Ⓧ	7						下段横梁 軸力(tf) B4, 2.95 B5, 7.99		
											Ⓨ	36								
						右側 40	20			大腿部への作用力 (kgf)		−20								
						左側 5	2													

備考

1) 数値は車輪の外側の最大進入量を示す。
2) X, Y, Zはそれぞれ前後，左右，上下方向を示す。また加速度値の＋，−はそれぞれ加速度，減速度を示し数値はオシロ波形から読みとったものを示す。但し○印はカセット値である。
3) [ ]内の数値は支柱頂部の変位量を示す。
4) Y方向は防護柵直角方向を示し，X方向は防護柵平行方向を示す。
5) 数値は，オシロ波形から読みとったものを示す。但しΣHRは原波形からデジタイザー処理し，デジタルで読みとった値である。また［ ］内は，前輪衝突時以外の値を示す。

これによると，実験2の測定値および静荷重試験値を用いて計算を行った結果，何れの発生応力度も許容値以下であり問題ないと考えられる。また，静荷重試験による最大支持力値を用いて支柱定着部の設計を行えばよいことが確認された。

4.8 床版に与える影響

床版に与える影響は，支柱定着部の検討と同様に防護柵設置要綱・資料集に準拠して次の2ケースについて検討を行った。なお，床版構造は同資料集に記載されているものとした。

①支柱の衝突実験測定値からの検討（実験2）

②支柱の静荷重試験値からの検討

検討方法は測定値より床版に作用する最大曲げモーメント $sM_{max}=Ml+Md+Ms$ を求め，床版の許容抵抗曲げモーメント M_R'（7.65 tf·m）との比較により評価する。

ただし，Ml：T荷重による曲げモーメント（=2.11tf·m）

Md：死荷重による曲げモーメント（=0.526tf·m）

Ms：支柱の測定値による最大曲げモーメント

①の場合

$$M_{max}=8.4\times0.7=5.88\ \text{tf·m}$$

$$M_s=\frac{M_{max}}{l}=\frac{5.88}{1.5}=3.92\ \text{tf·m}$$

$$\therefore\quad sM_{max}=2.11+0.526+3.92=6.56\ \text{tf·m}<7.65\ \text{tf·m}\quad \text{OK}$$

②の場合

$$M_{max}=8.9\times0.8=7.12\ \text{tf·m}$$

$$M_s=\frac{M_{max}}{l}=\frac{7.12}{1.5}=4.75\ \text{tf·m}$$

$$\therefore\quad sM_{max}=2.11+0.526+4.75=7.39\ \text{tf·m}<7.65\ \text{tf·m}\quad \text{OK}$$

以上のことから，何れも最大曲げモーメント sM_{max} は許容抵抗曲げモーメント M_R' 以下であり，床版に与える影響はほとんどないと考えられる。

5. 結論

本研究はアルミニウム合金製高強度型防護柵の開発の一環として，S種防護柵の開発を行ってきた。その結果，今回開発された防護柵について以下に示すように機能・強度・安全性が確認された。また，高強度型防護柵に関する種々の基礎資料を得ることができた。

(1) 路外逸脱防止能力について

衝突車の乗り越え，転倒，および横梁の破断等はなかった。最大進入行程についても小型乗用車85 mm，大型貨物車35 mm と小さく，何れも防護柵設置要綱の規定値（300 mm）以下であり，路外逸脱に対して十分安全であることが確認された。

(2) 車両の誘導性について

防護柵からの離脱角度は小型乗用車で4.8度，大型貨物車で1度であり，何れも進行方向に誘導された。この離脱角度はA, B種の過去の実験報告例と比較しても小さく，2次的事故が発生する可能性は少ないものと考えられる。

(3) 車両の損傷について

小型乗用車，大型貨物車ともに局部的な損傷(左側前輪部アブソーバーの折損)がみられたが，窓ガラス，ハンドル等に損傷はなく，乗員の生存空間はほぼ原形状で確保されていた。また，自力走行の可能性については小型乗用車，大型貨物車ともに不可能であったが，牽引走行は可能な状態であり，早期撤去が可能であると考えられる。

(4) 乗員の安全性について

車両重心の最大加速度値は10 g程度であり，米国のシートベルト着用条件における推奨値以下である。50 msec値，実効値についてもそれぞれ6.31 g, 6.06gであった。また，ダミー頭部に発生した加速度によるHIC値（頭部損傷基準）では，運転席が336，助手席が83と許容値1000を下まわっていた。さらに車両の損傷状況では乗員の生存空間がほぼ原形状で保たれていたことなどから，乗用車の衝突に対して乗員の安全性は確保できるものと考えられる。

(5) 支柱の最大変位量および最大水平力について

大型貨物車による支柱の最大変位量は，55 mm(頂部）であり，防護柵の設計条件である300 mm以下であった。一方，最大水平力は8.4 tfであり，静荷重試験値の8.9 tf以内であった。また，残留変形もほとんどなく，支柱の強度は十分であることが確認された。

(6) 横梁の最大応力度について

大型貨物車の衝突によって主要横梁に作用した最大軸力および最大曲げモーメントはそれぞれ1.47 tf, 0.94 tf·m であり，合成応力度は335kgf/cm^2 であった。また，下段横梁に作用した最大軸力は7.99tf であり，応力としては267kgf/cm^2 であった。これらの値は何れも部材耐力（2500kgf/cm^2）以下であり，強度的に十分余裕があることが確認された。

(7) 衝突シミュレーションについて

土木研究所資料第574号「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」に基づいて，主要横梁および下段横梁を合成して計算した結果，最大変位量，防護柵にかかる力等は実験値に比べて大きくなる傾向にあり，設計値に対して安全側であることが確認された。

(8) 床版に与える影響について

床版に与える影響は防護柵設置要綱・資料集に基づいて大型貨物車の実験測定値および静荷重試験値により検討した結果，最大曲げモーメント sM_{max} はそれぞれ6.56 tf·m，7.39 tf·m であり，床版の許容抵抗曲げモーメント M_R'=7.65 tf·m 以下であった。したがって，本防護柵が車両衝突時に床版に与える影響はほとんどないものと考えられる。

あ と が き

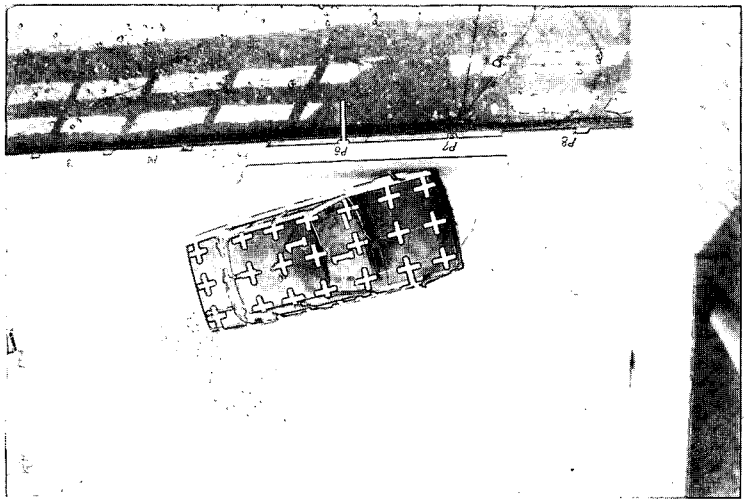
わずか1年間の共同研究であったが，本研究によりボックスビームタイプのアルミニウム合金製S種高欄型防護柵の構造形式について機能・強度・安全性が確認され，実用化が可能となった。

今後は，景観に配慮して様々な形状の防護柵が要望されることから，本研究で得られた成果に基づきそれに対する構造や強度上の留意点についての検討が必要になるものと考えられる。また，今回開発された防護柵を含めた設置条件や各種部材の設計方法等についても検討を進めていく予定である。

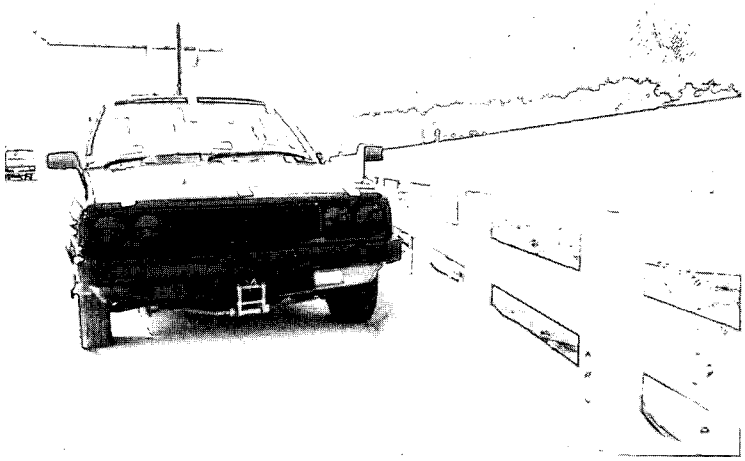
最後に本研究に協力していただいた方々に感謝の意を表するとともに，本研究の成果が今後の交通安全対策に寄与することを期待するものである。

参 考 文 献

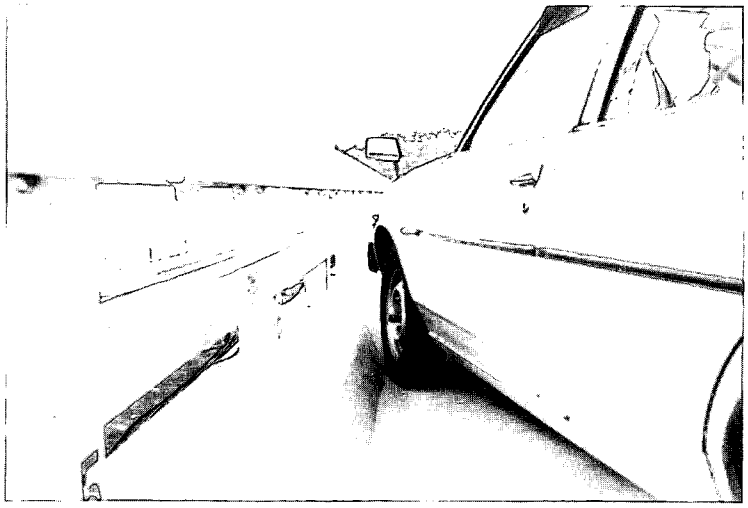
1) 道路橋示方書・同解説（平成2年2月）社団法人日本道路協会
2) 防護柵設置要綱（昭和47年10月）社団法人日本道路協会
3) 防護柵設置要綱・資料集（昭和61年7月），社団法人日本道路協会
4) アルミニウム合金製高欄型自動車用防護柵に関する研究報告書（昭和55年3月），建設省土木研究所・社団法人軽金属協会
5) アルミニウム合金製高欄に関する共同研究報告書（昭和62年3月）建設省土木研究所・社団法人軽金属協会
6) 土木研究所資料第574号—防護柵衝突シミュレーションに関する研究（昭和47年3月），建設省土木研究所
7) 中央分離帯用防護柵に関する研究報告書（昭和60年6月），社団法人日本道路協会
8) 防護柵衝突時の加速度に関する一考察，第16回日本道路会議論文集



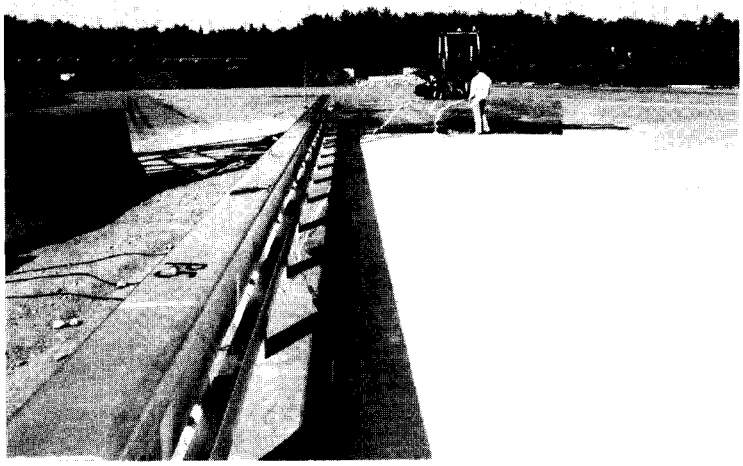
［写真1-1］　車両と防護柵の位置関係（その 1）



［写真1-2］　車両と防護柵の位置関係（その 2）

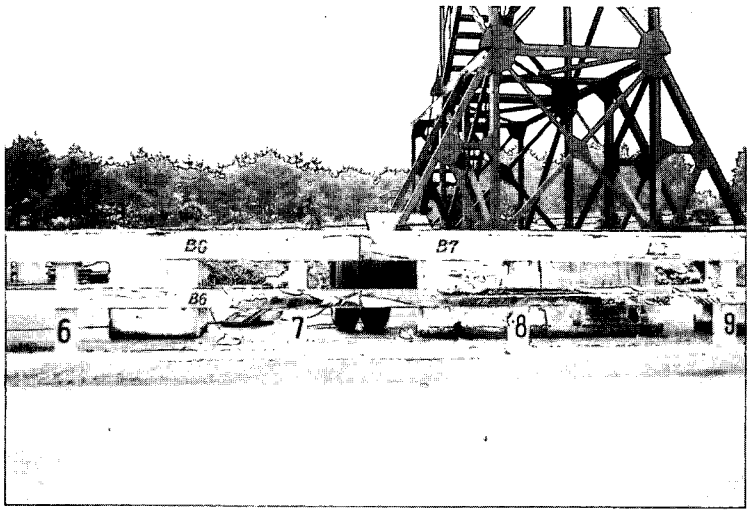


［写真1-3］　車両と防護柵の位置関係（その 3）

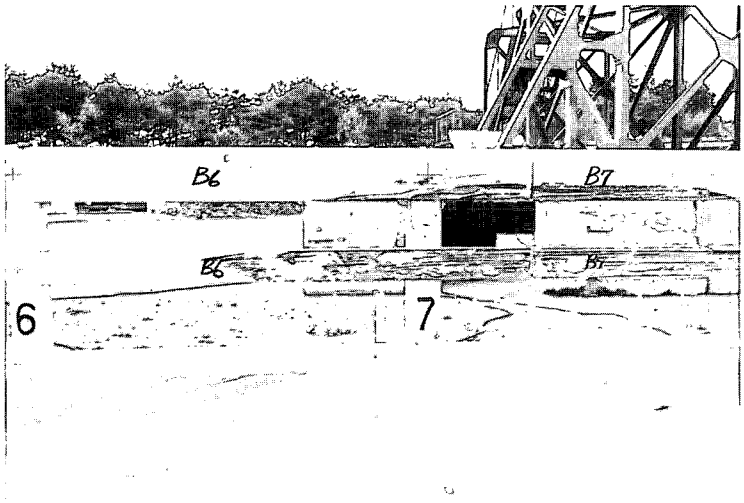


[写真1-4]　車両の軌跡と防護柵の残留変形（その 1）

[写真1-5]　車両の軌跡と停車状況



［写真1-6］ 防護柵の損傷状況（その 1）



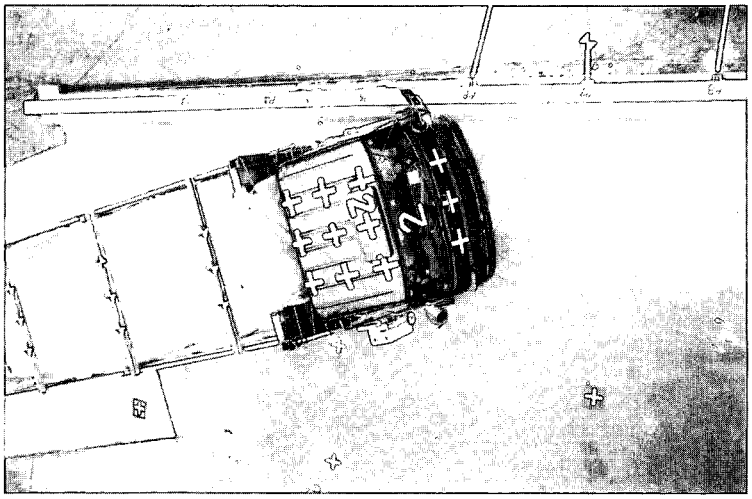
［写真1-7］ 防護柵の損傷状況（その 2）

［写真1-8］ 防護柵の損傷状況（その 3）

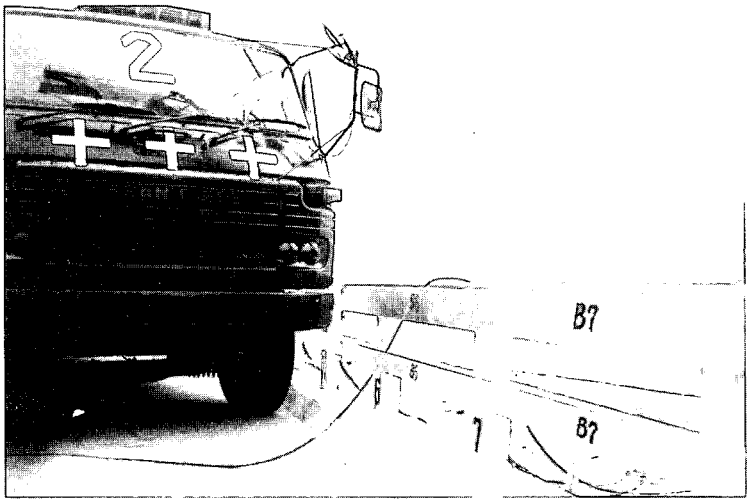
[写真1-9]　車両の損傷状況（その 1）

[写真1-10]　車両の損傷状況（その 2）

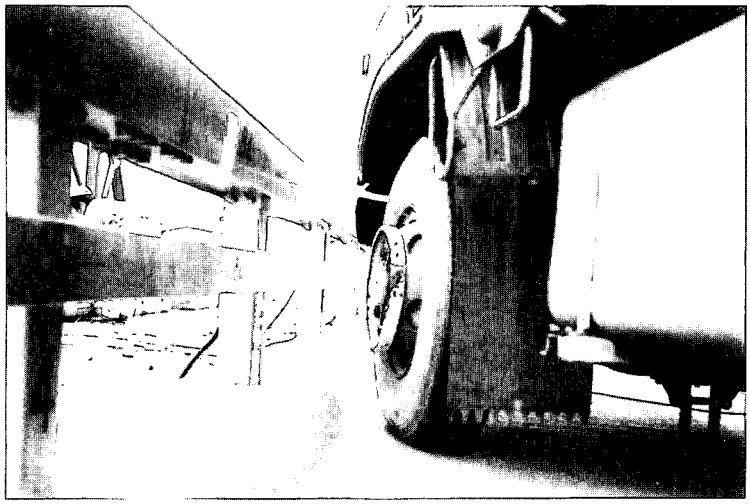
[写真1-11]　車両の損傷状況（その 3）



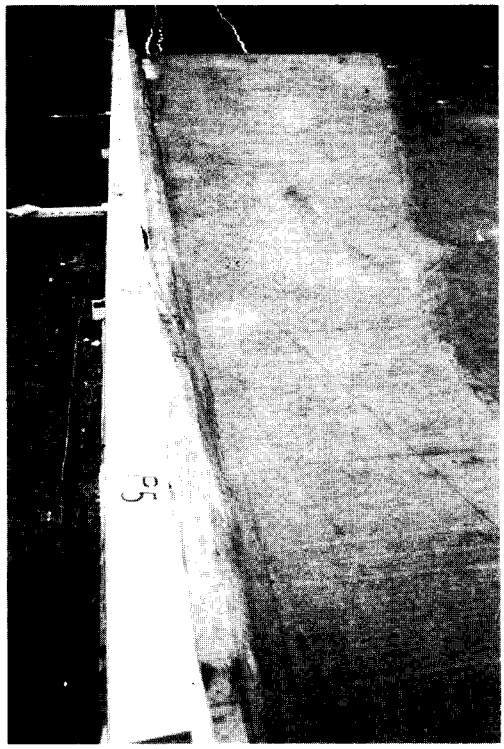
［写真2-1］　車両と防護柵の位置関係（その 1）



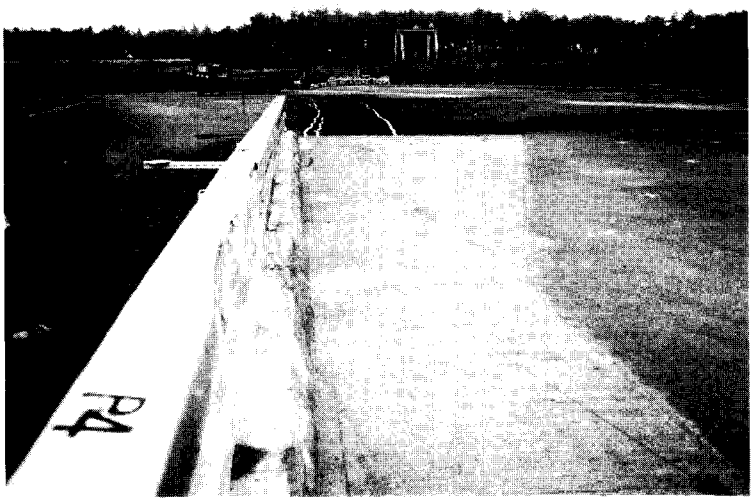
［写真2-2］　車両と防護柵の位置関係（その 2）



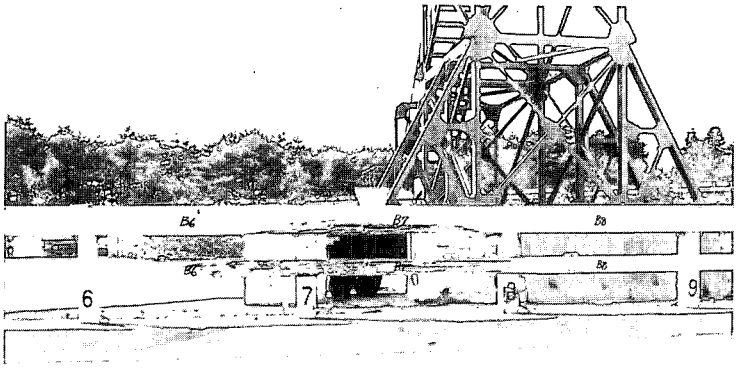
［写真2-3］　車両と防護柵の位置関係（その 3）



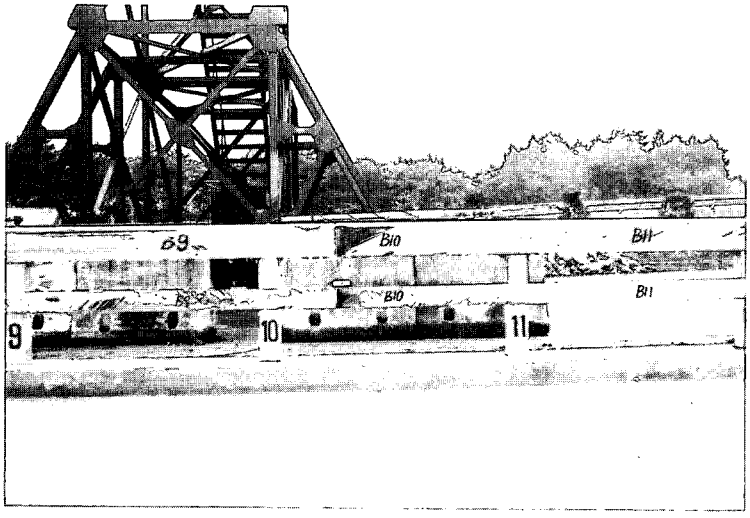
[写真2-4]　車両の軌跡と防護柵の残留変形（その 1）



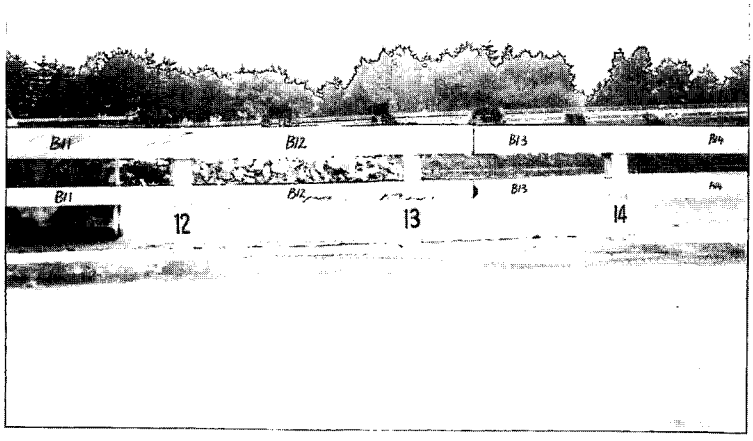
[写真2-5]　車両の軌跡と防護柵の残留変形（その 2）



［写真2-6］ 防護柵の損傷状況（その 1）

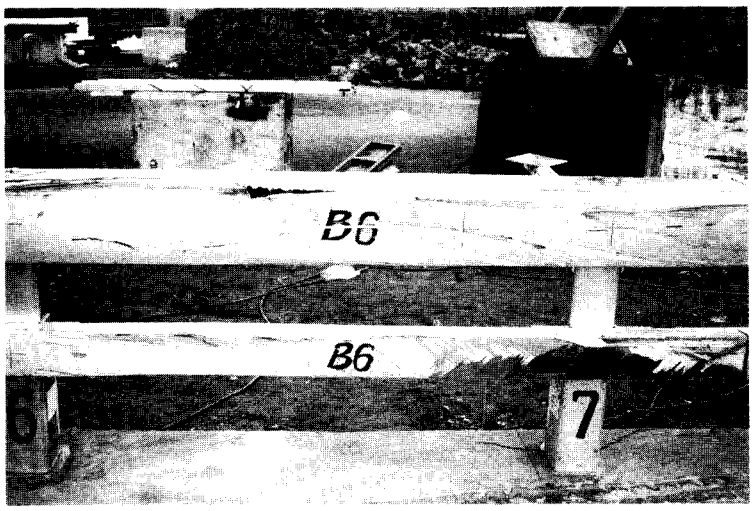


［写真2-7］ 防護柵の損傷状況（その 2）

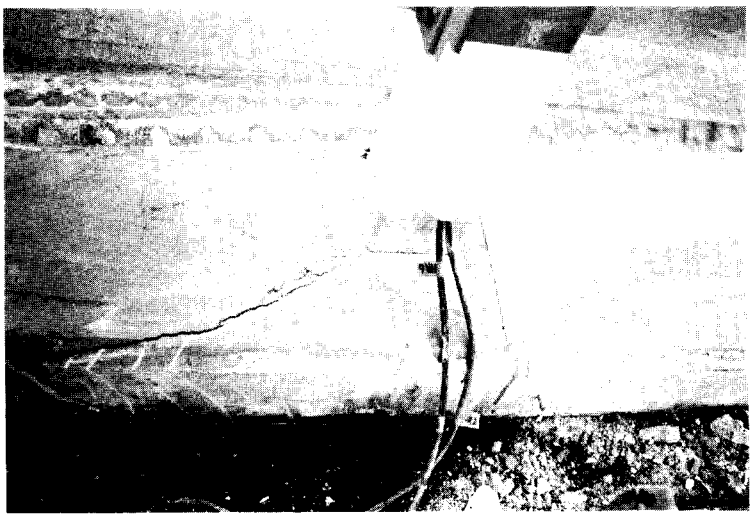


［写真2-8］ 防護柵の損傷状況（その 3）

[写真2-9]　主要横梁穴あき状況

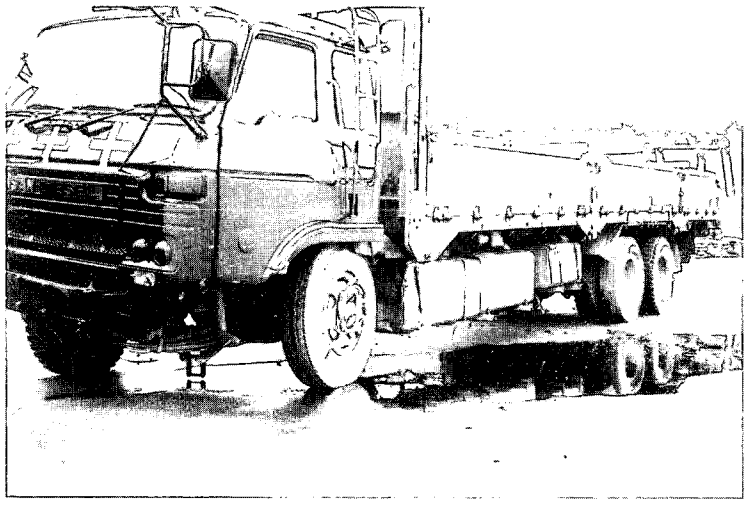


[写真2-10]　前輪衝突による圧痕状況

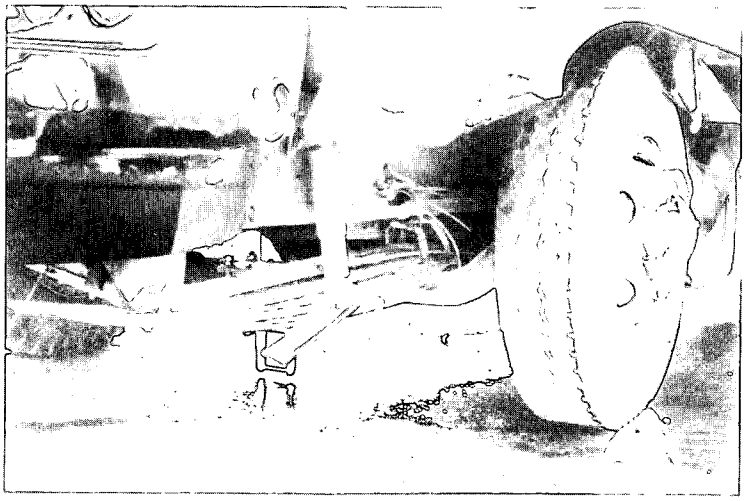


[写真2-11]　地覆コンクリート，クラック状況

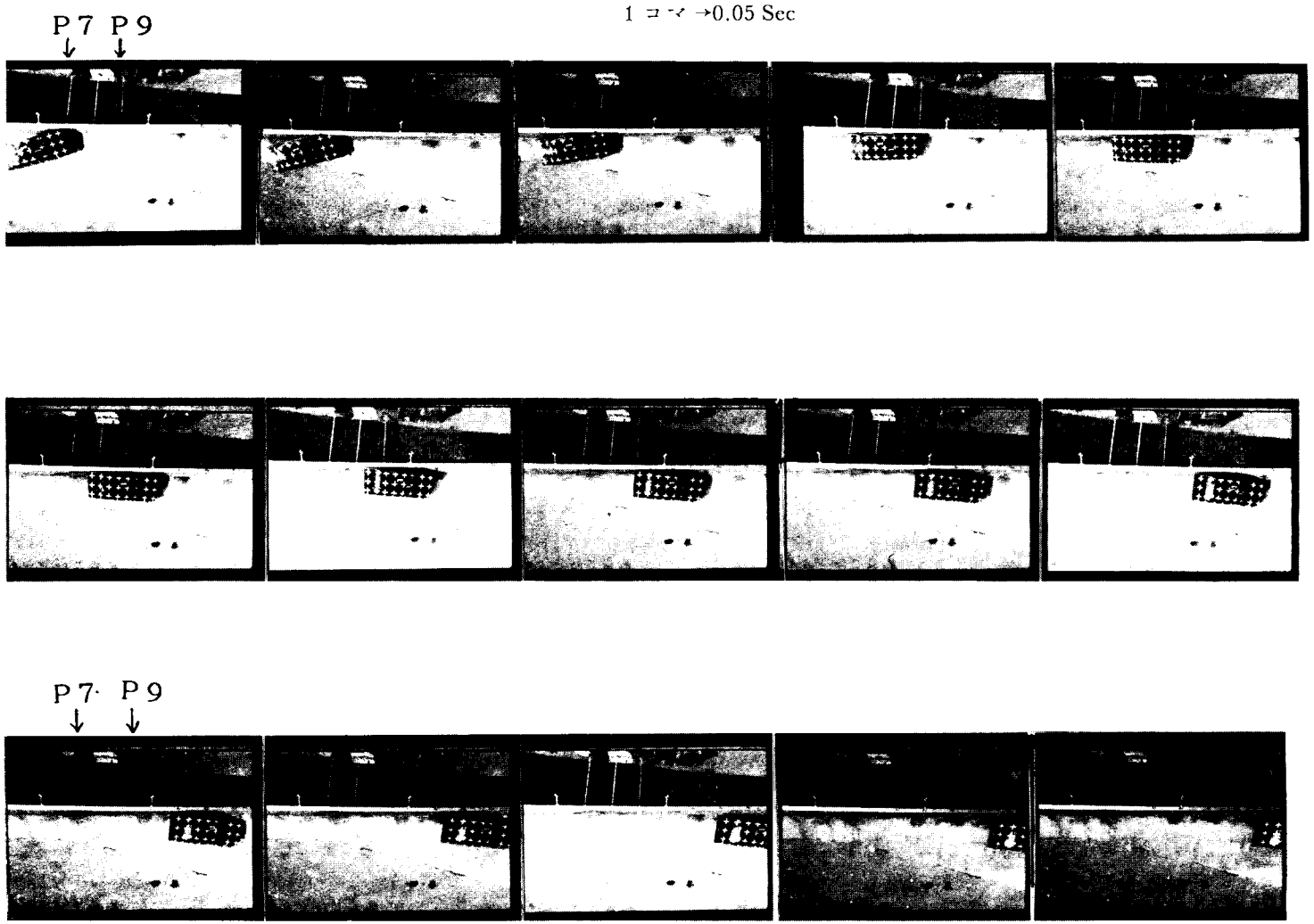
［写真2-12］ 車両の損傷状況（その 1）



［写真2-13］ 車両の損傷状況（その 2）

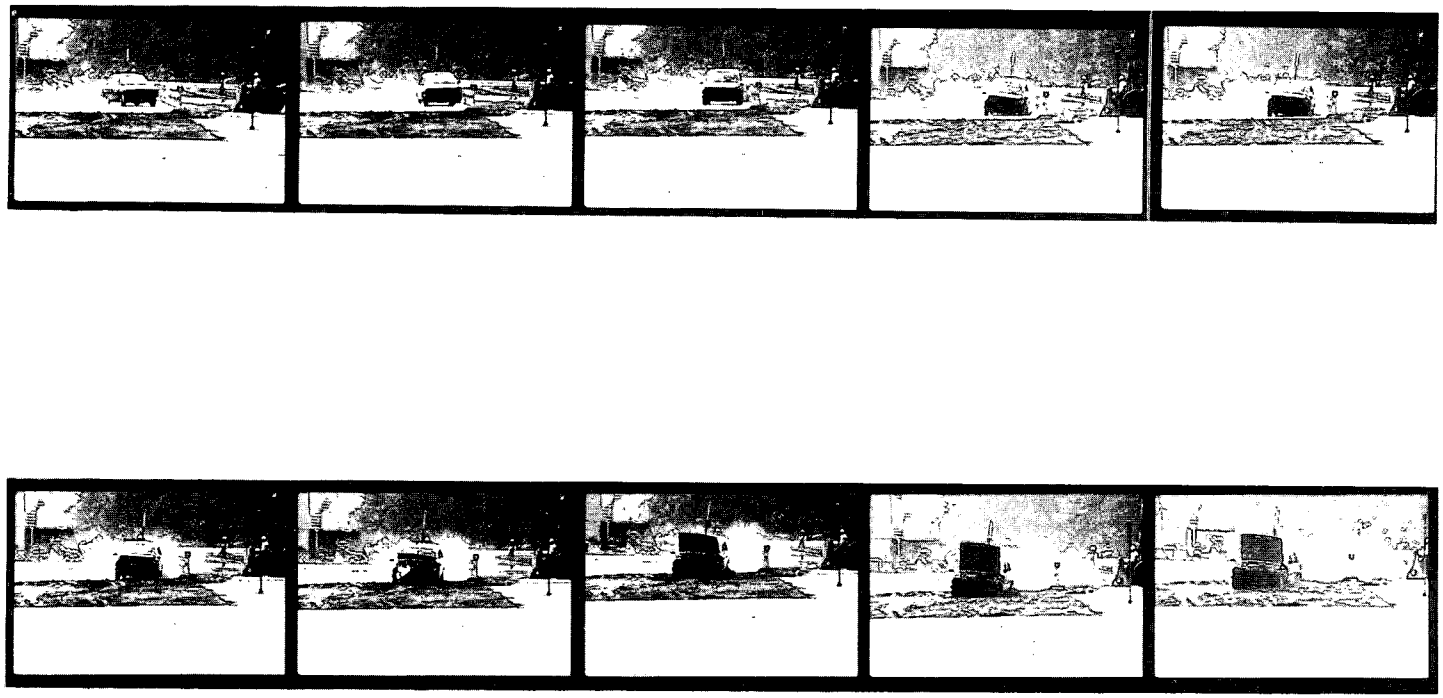


［写真2-14］ 車両の損傷状況（その 3）



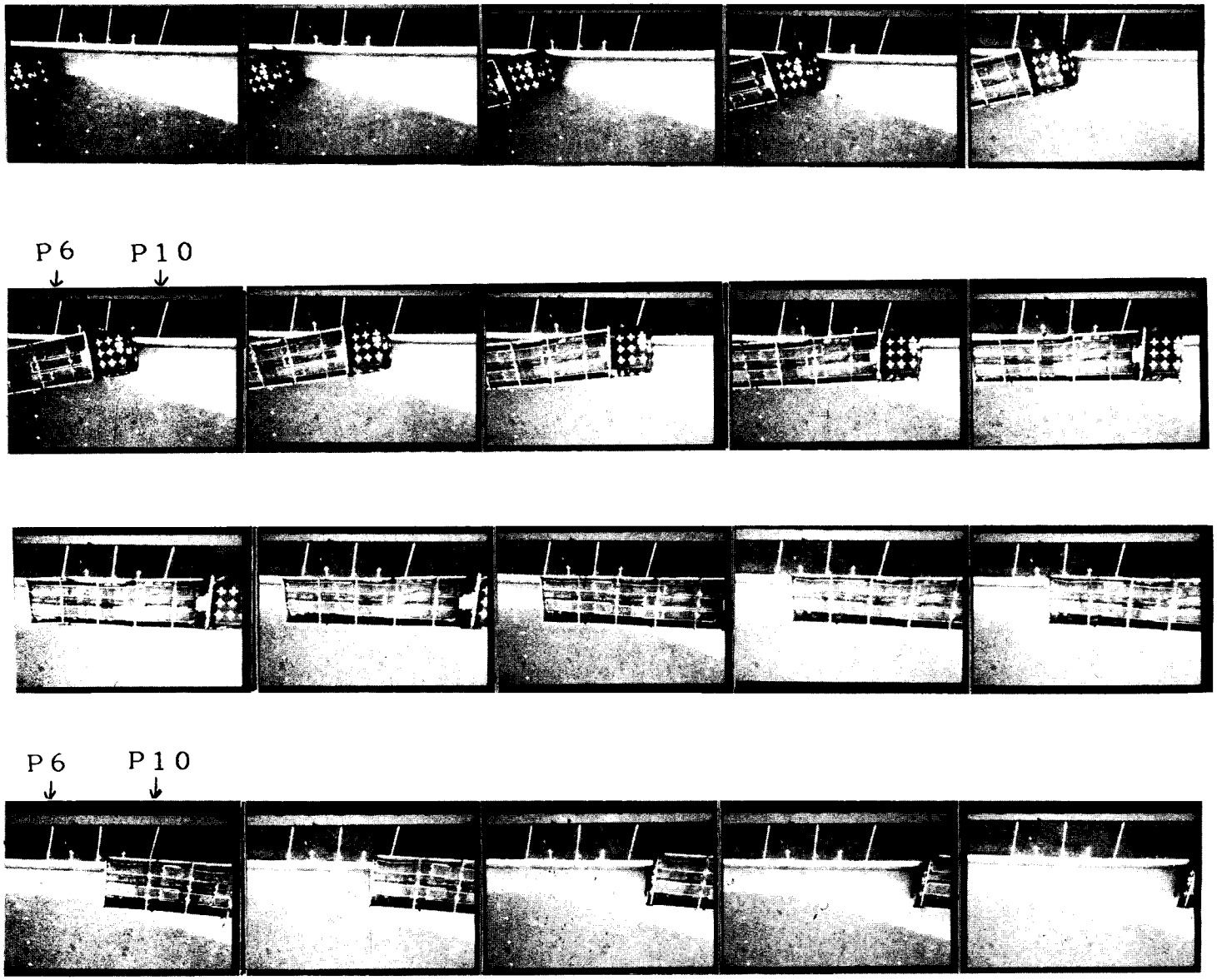
［写真3-1］ 車両の防護柵への衝突連続写真（実験 1）

1 コマ→0.156 Sec



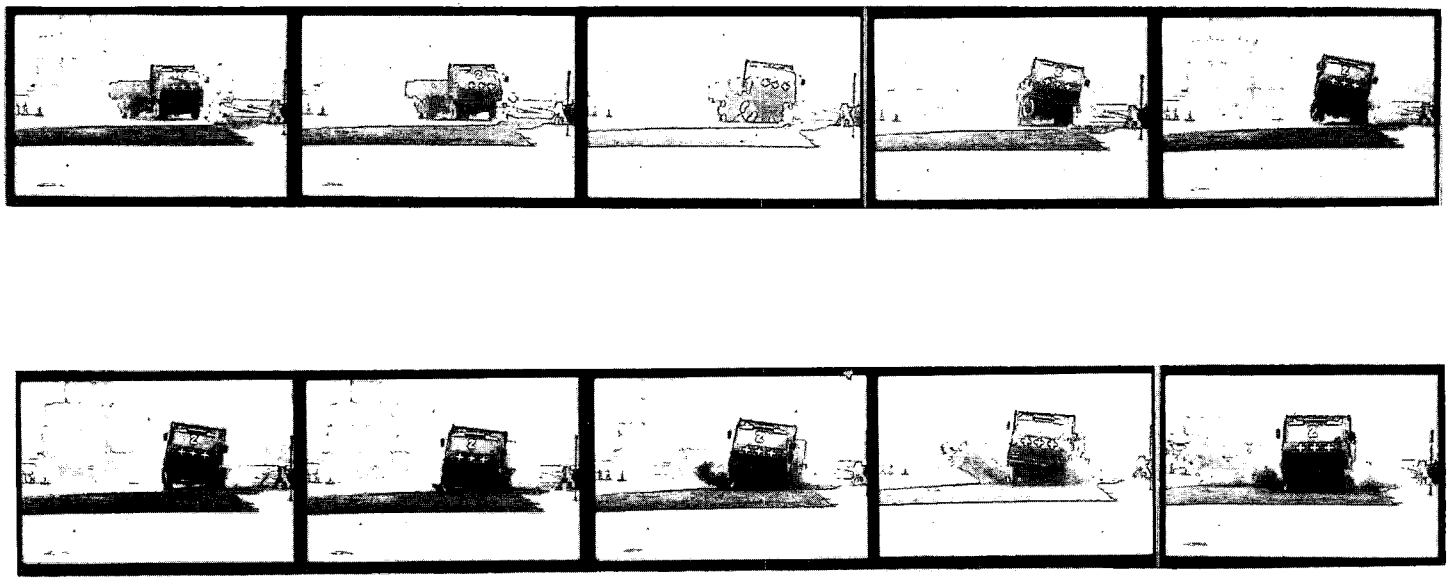
［写真3-2］ 車両の防護柵への衝突連続写真（実験 1）前面から

1 コマ →0.05 Sec



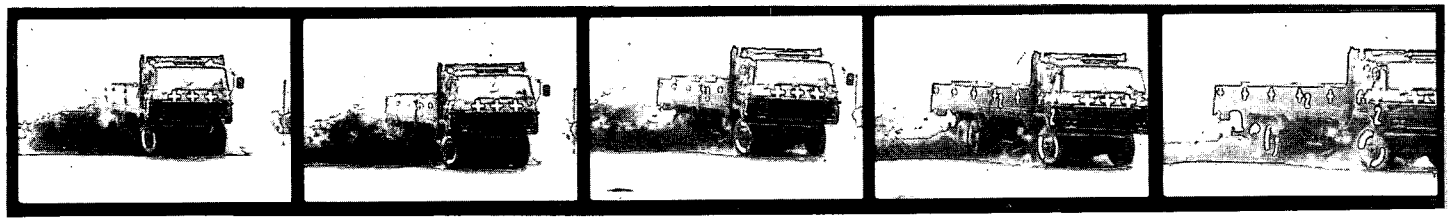
[写真4-1] 車両の防護柵への衝突連続写真（実験 2）

1 コマ→0.156 Sec



（実験 2）前面から

1 コマ→0.417 Sec



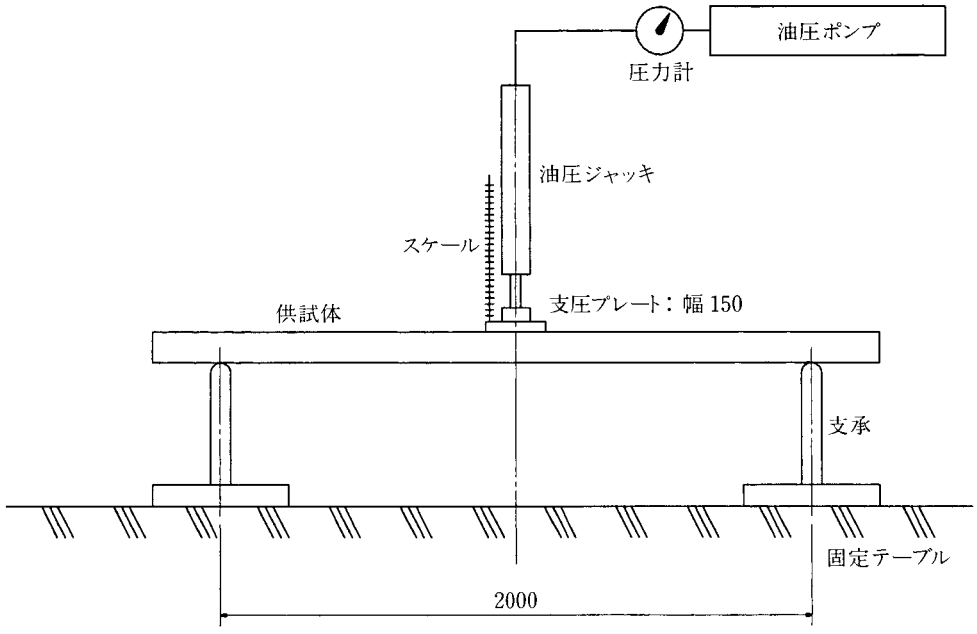
[写真4-2] 車両の防護柵への衝突連続写真（実験 2）側面から

付録Ⅰ

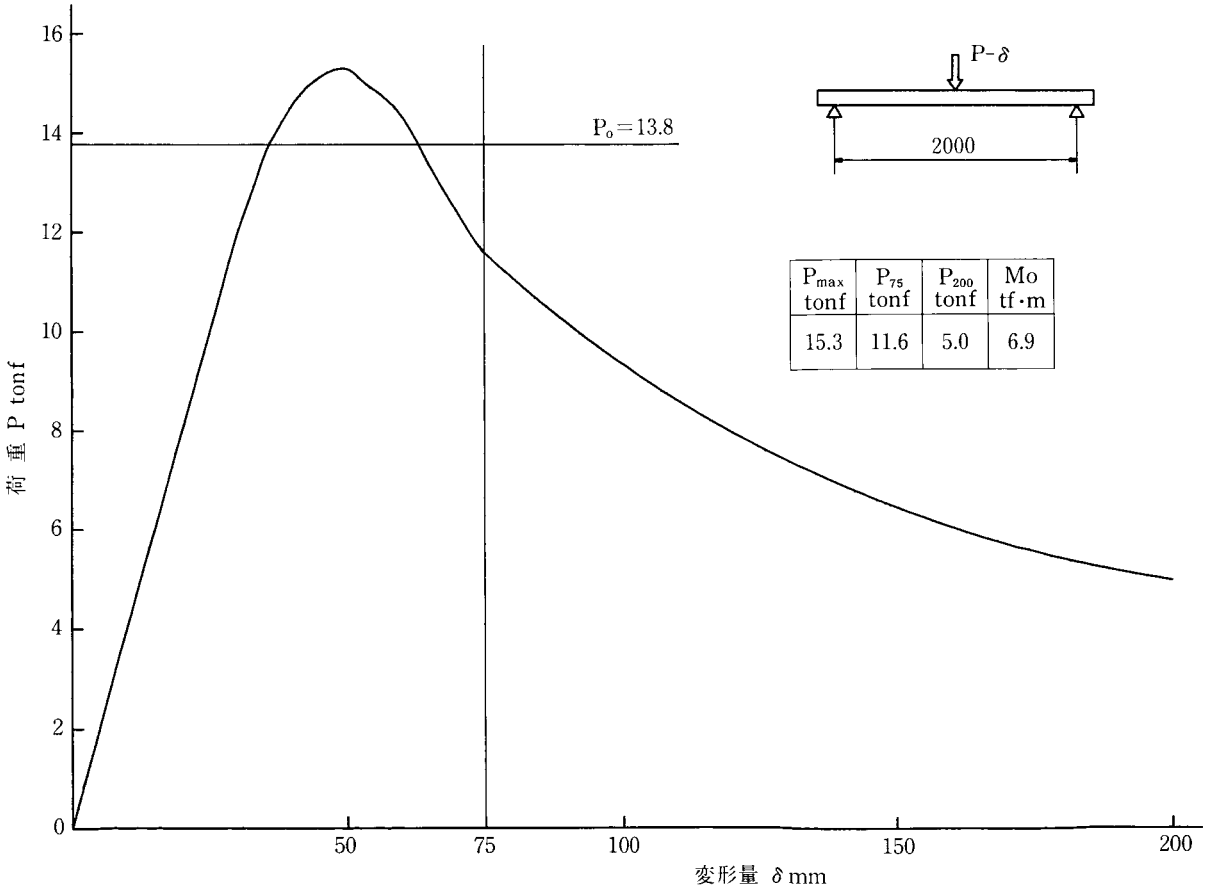
資 料 編

1. 静荷重試験 ……47
2. 衝突シミュレーション(2) ……50
3. 供試体 ……52
4. 測定方法 ……56
5. 衝突実験結果 ……61
   5.1 加速度 ……61
   5.2 防護柵の変位，水平力，軸力，曲げモーメント ……71
6. 衝突シミュレーション(3) ……78
7. 支柱定着部の検討 ……80
8. 床版に与える影響 ……83

1. 静荷重試験

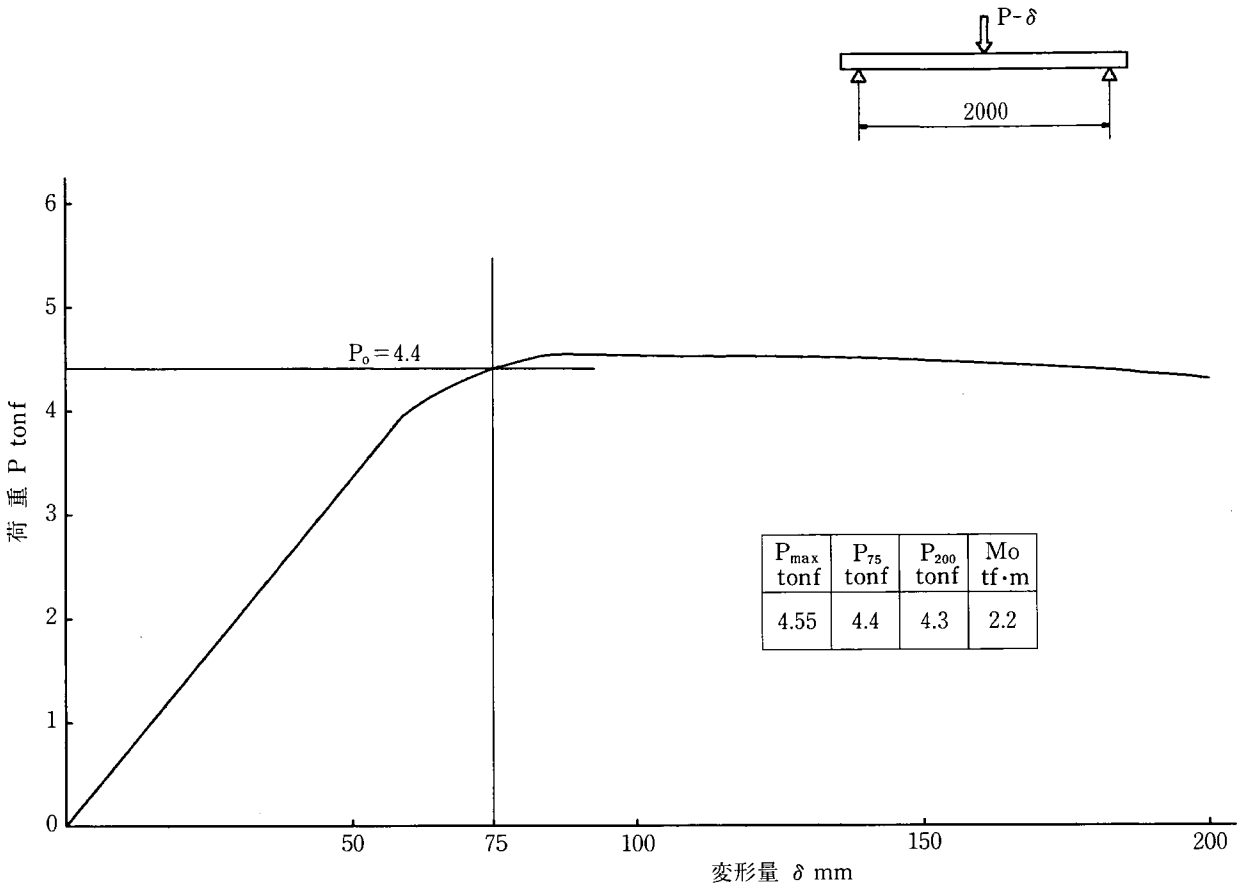


付図1-1　横梁試験方法



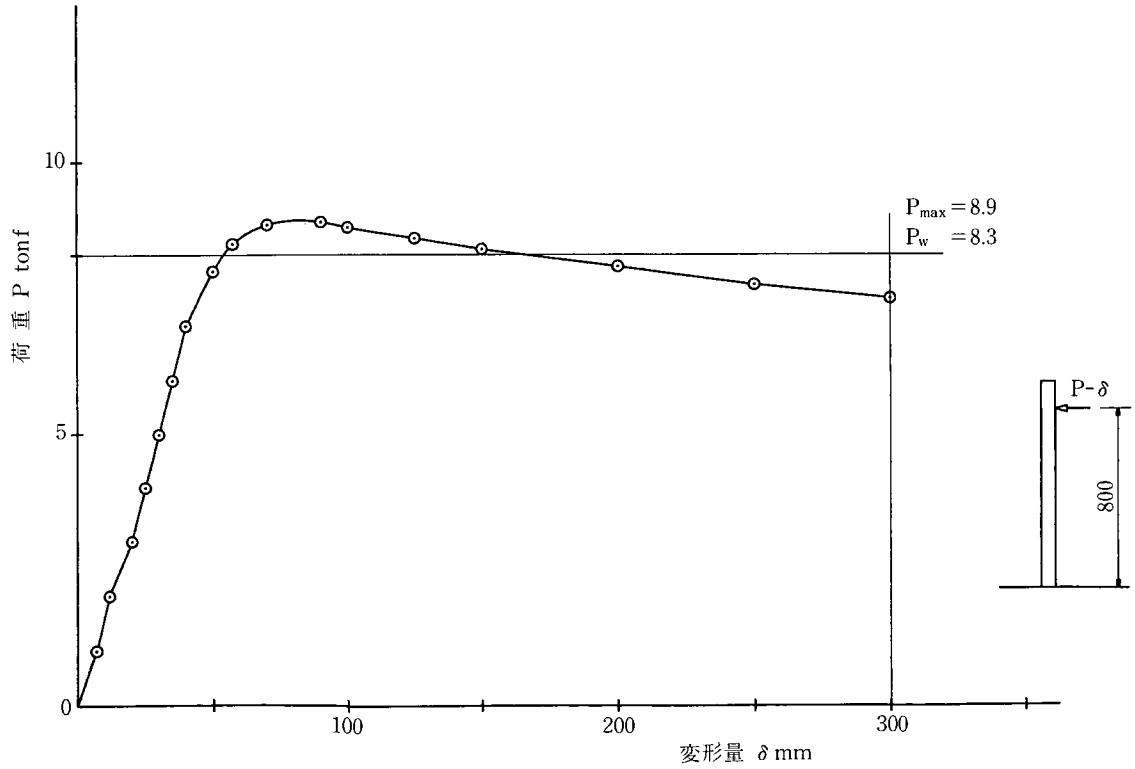
P_{max} tonf	P_{75} tonf	P_{200} tonf	Mo tf·m
15.3	11.6	5.0	6.9

付図1-2　主要横梁試験結果



P_{max} tonf	P_{75} tonf	P_{200} tonf	Mo tf·m
4.55	4.4	4.3	2.2

付図1-3　下段横梁試験結果



付図1-4　支柱試験結果

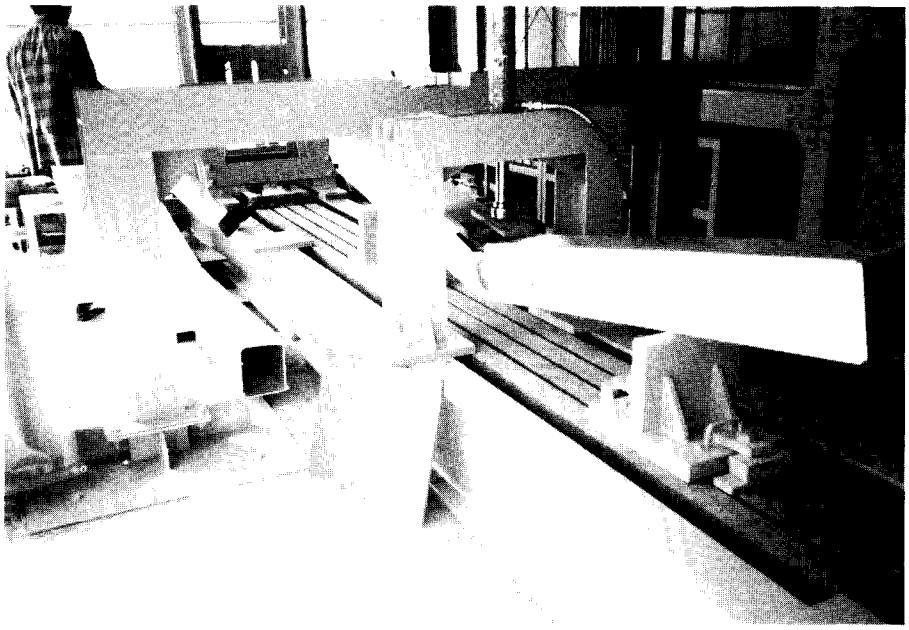


写真1-1　主要横梁試験状況

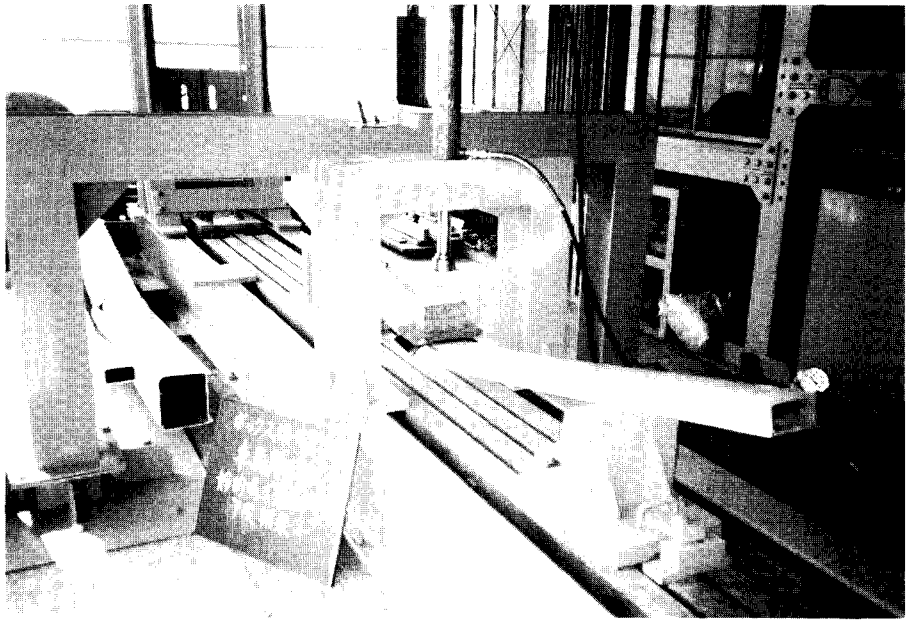
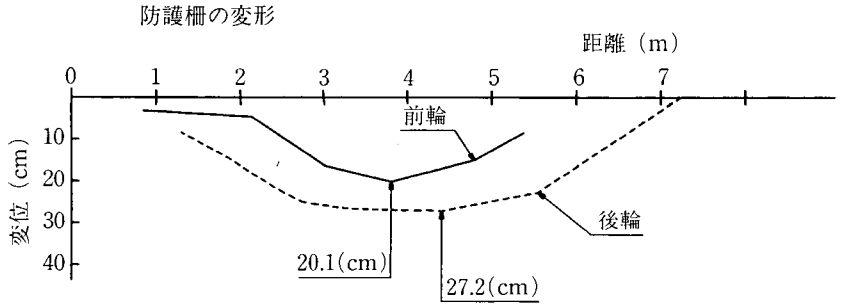
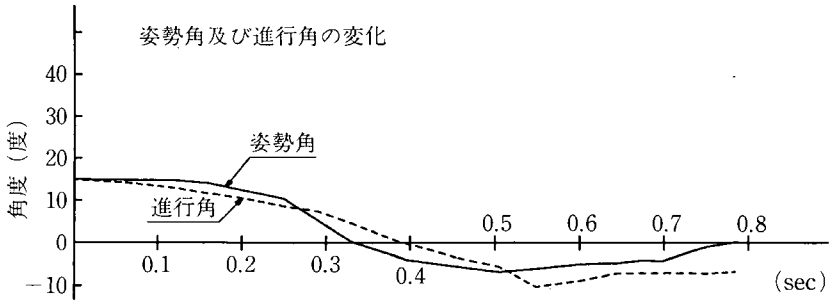
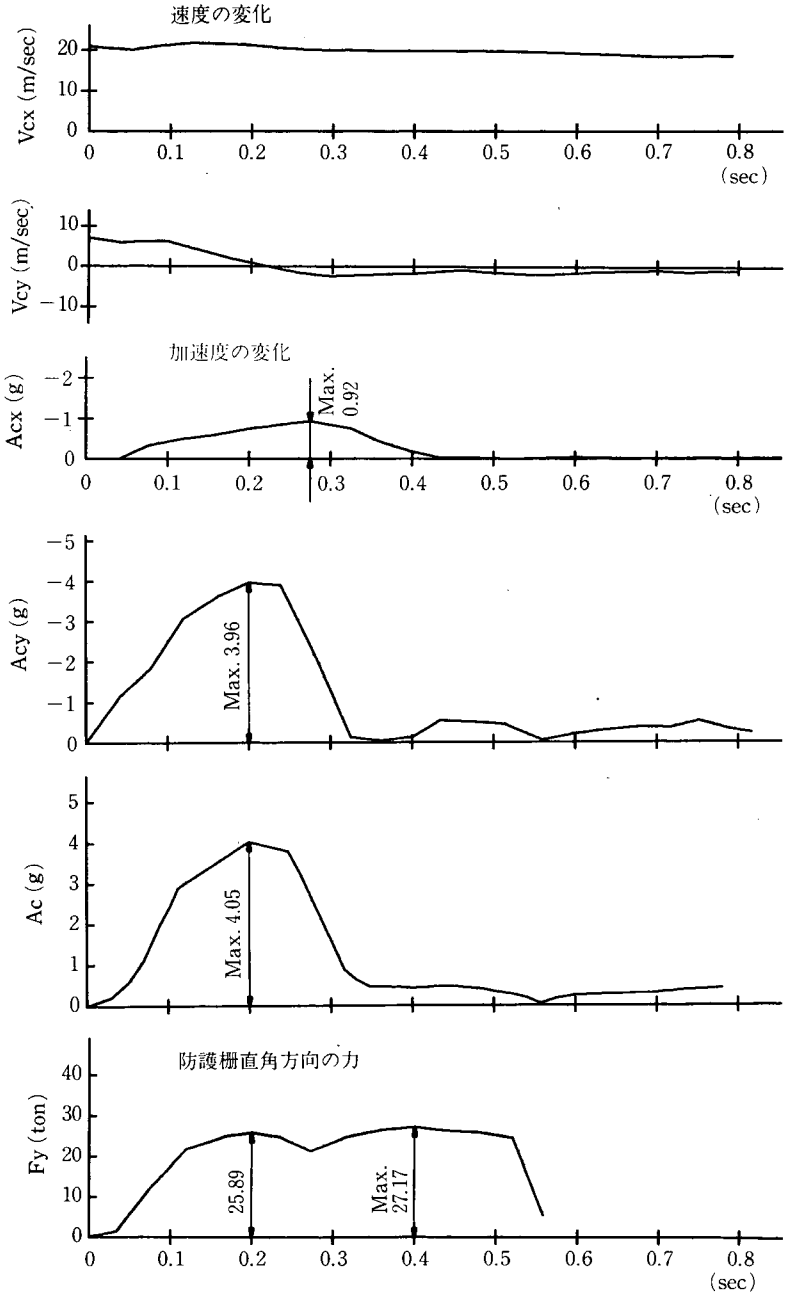


写真1-2　下段横梁試験状況





衝突条件：速度 80 km/h
進入角度 15°
重量 14 ton 大型貨物車



付図2-1　衝突シミュレーション結果

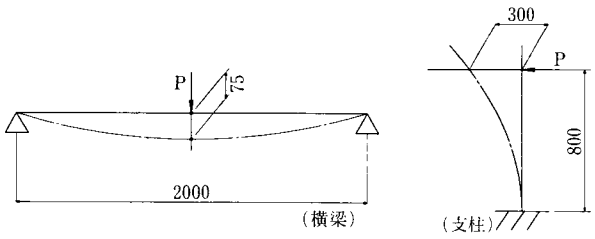
付表2-1　車両に関するインプットデータ（第1群インプットデータ）

項	目		数値
M	数値解のくり返し回数	—	—
H	くり返し間隔	sec	0.02
L_1	前輪軸の重心よりの隔たり	m	3.330
L_2	後輪軸の　〃	m	1.470
A_1	前端の　〃	m	3.830
A_2	後端の　〃	m	1.970
B_1	前端の幅の半分	m	1.080
B_2	後端の　〃	m	1.180
W_1	前輪の輪距の半分	m	0.930
W_2	後輪の　〃	m	0.880
W_R	車輪の半径	m	0.500
D_U	運転席の重心よりの隔たり	m	2.430
R＊R	慣性半径の2乗	m^2	4.930
W	重量	t	14.00
K_1	前端でのバネ常数	tf/m^2	50.0
K_2	後端での　〃	tf/m^2	100.0
FWC	防護柵の間の摩擦係数		0.100
FMAX	路面の最大横すべり摩擦係数		0.700

付表2-2　防護柵に関するインプットデータ（第2群インプットデータ）

種別	型式	横梁				支柱			
		断面寸法	Mo tf·m	ΣMo tf·m	EI $tf·m^2$	断面寸法	Pw tf	Pk tf/m	支柱間隔 m
S	ボックスビーム	上段　220×200	6.9	9.1	81.3	125×120	8.3	202	1.5
		下段　120×70	2.2						

注：1)　Mo, Pw, EI, Pk は静荷重試験値である。
　　2)　静荷重試験の概要は下図の通りである。



付表2-3　衝突条件に関するインプットデータ（第3群インプットデータ）

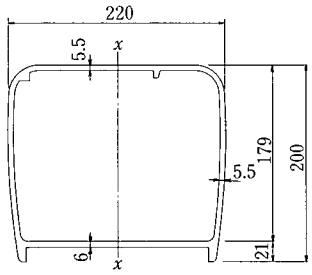
種　別	車両衝突角度	車両衝突速度
S　種	15度	80 km/h

3. 供試体

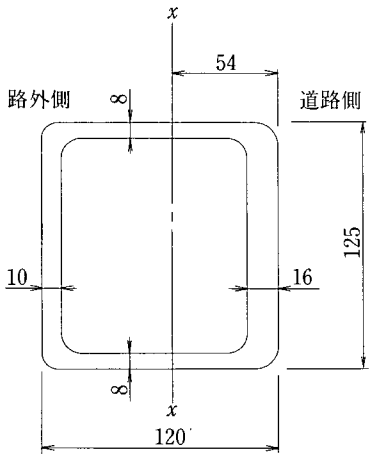
付表3-1 部材の断面性能

部材名	A cm^2	I cm^4	Z cm^3	Zp cm^3	試験値
主要横梁	46.37	3410	310	362	Mo＝6.9 tf·m
下段横梁	29.95	220	59.8	76.3	Mo＝2.2 tf·m
支柱	47.51	1064	160	205	Pw＝8.3 tf

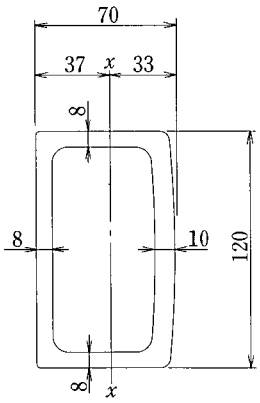
注： A：断面積
I：断面2次モーメント
Z：断面係数
Z_p：塑性断面係数
E：ヤング率＝7×10^5 kgf/cm^2
M_o：極限曲げモーメント
P_w：極限支持力



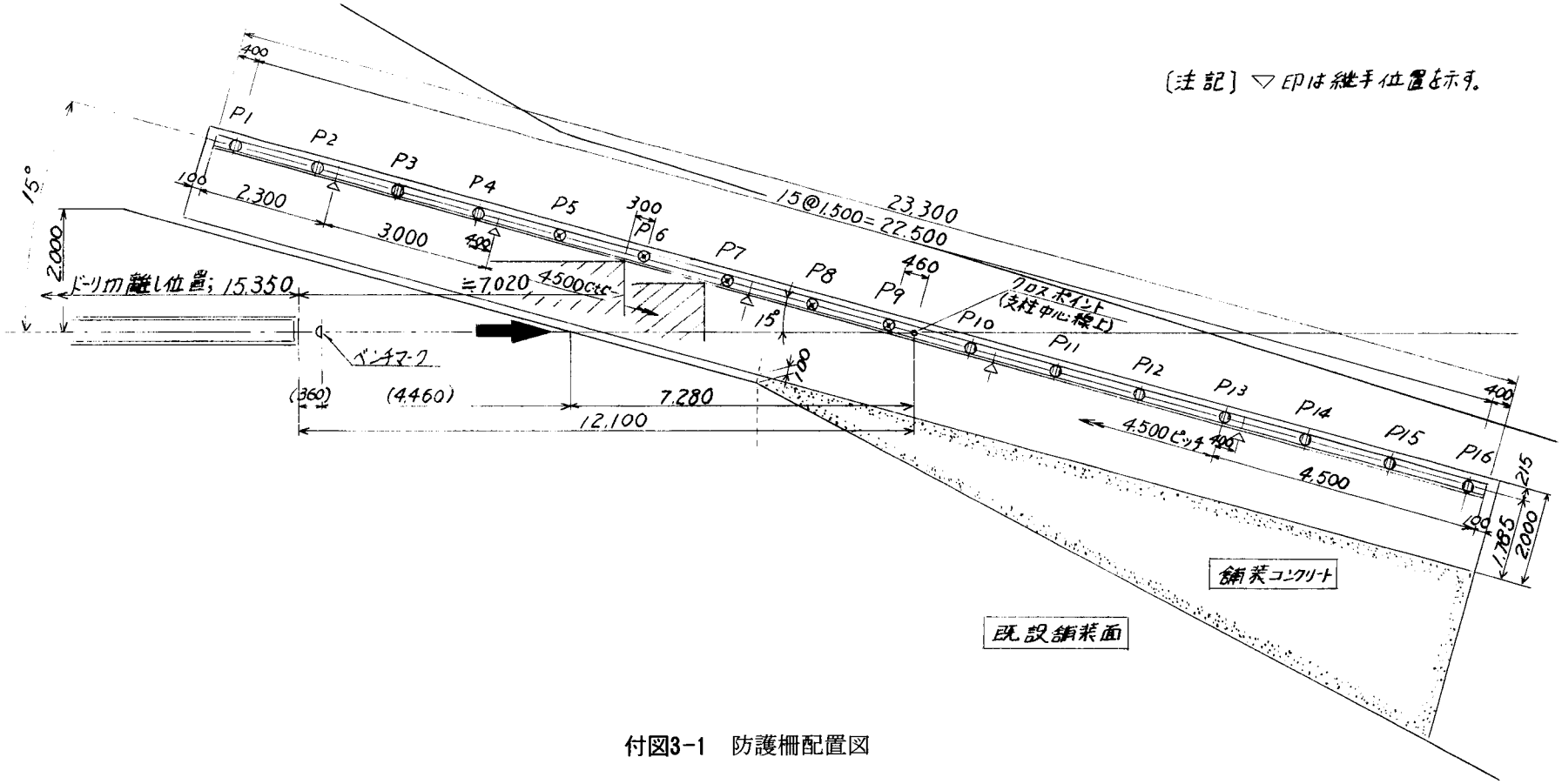
主要横梁



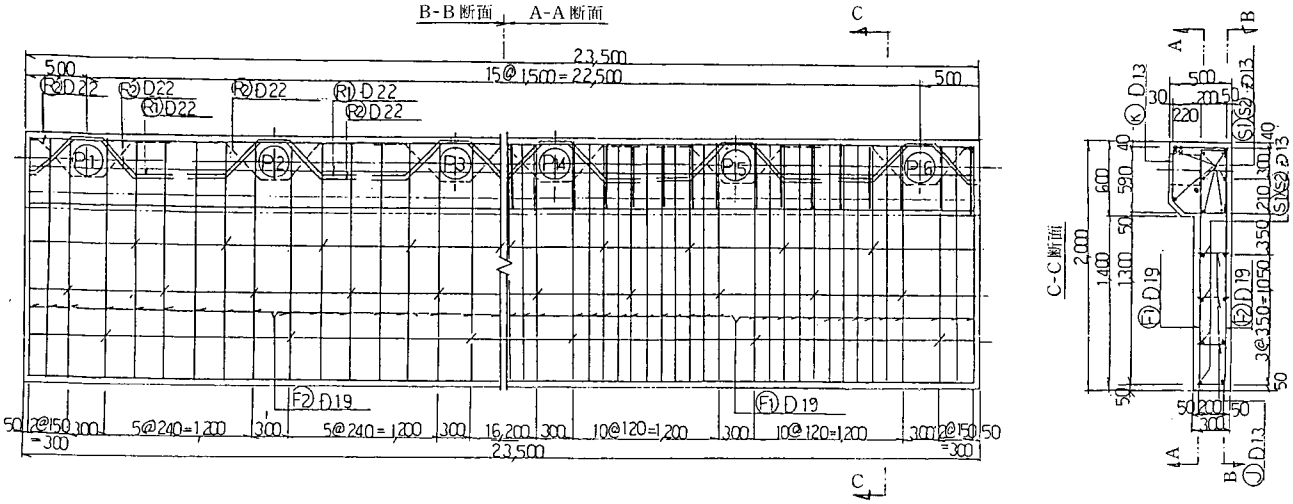
支柱



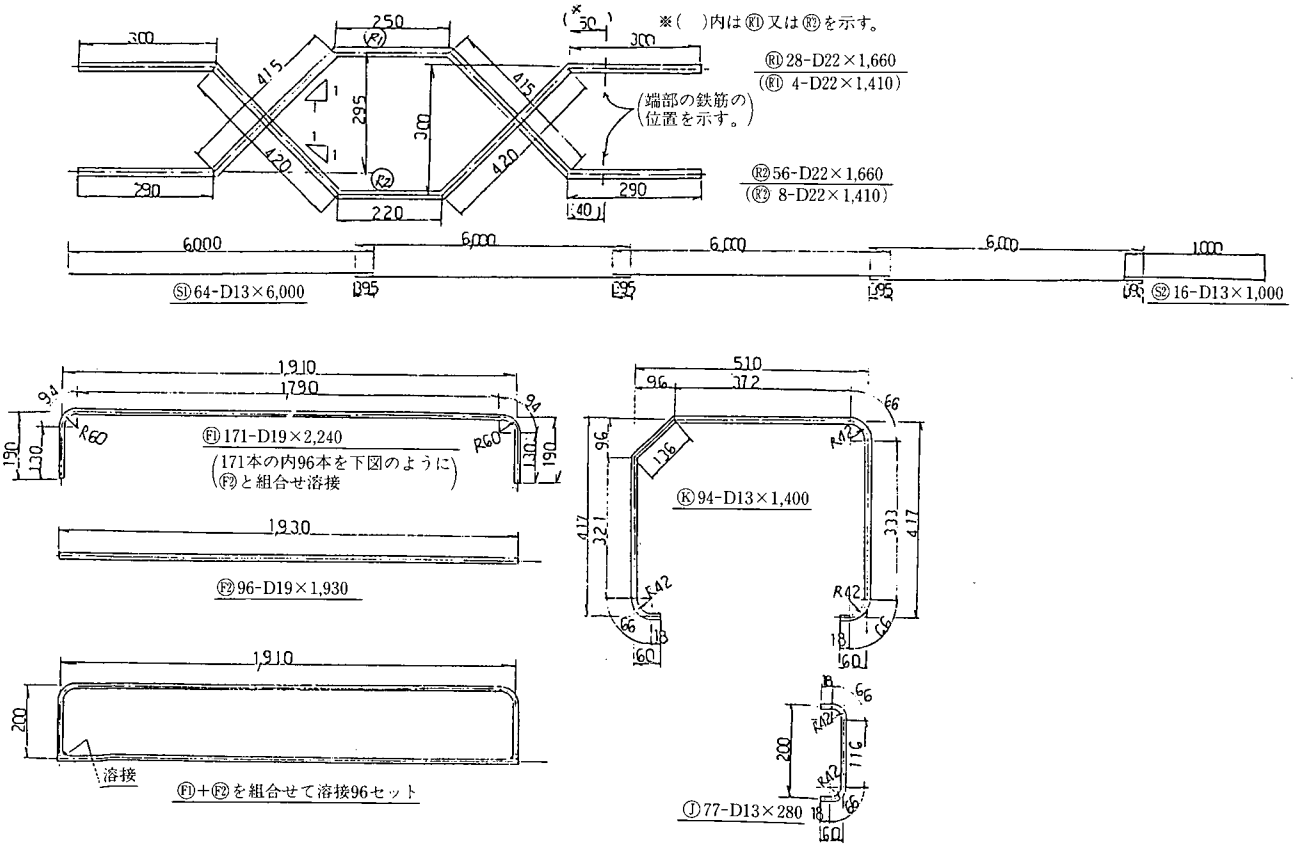
下段横梁


〔注記〕▽印は継手位置を示す。
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P16
400
100
2,300
3,000
300
15@1,500=22,500
23,300
460
クロスポイント
(支柱中心線上)
15°
2,000
ドーリの離し位置; 15,350
≒7,020
4500ctc
ベンチマーク
(360)
(4,460)
7,280
12,100
180
4,500ピッチ
4,500
215
1,865
2,000
舗装コンクリート
既設舗装面

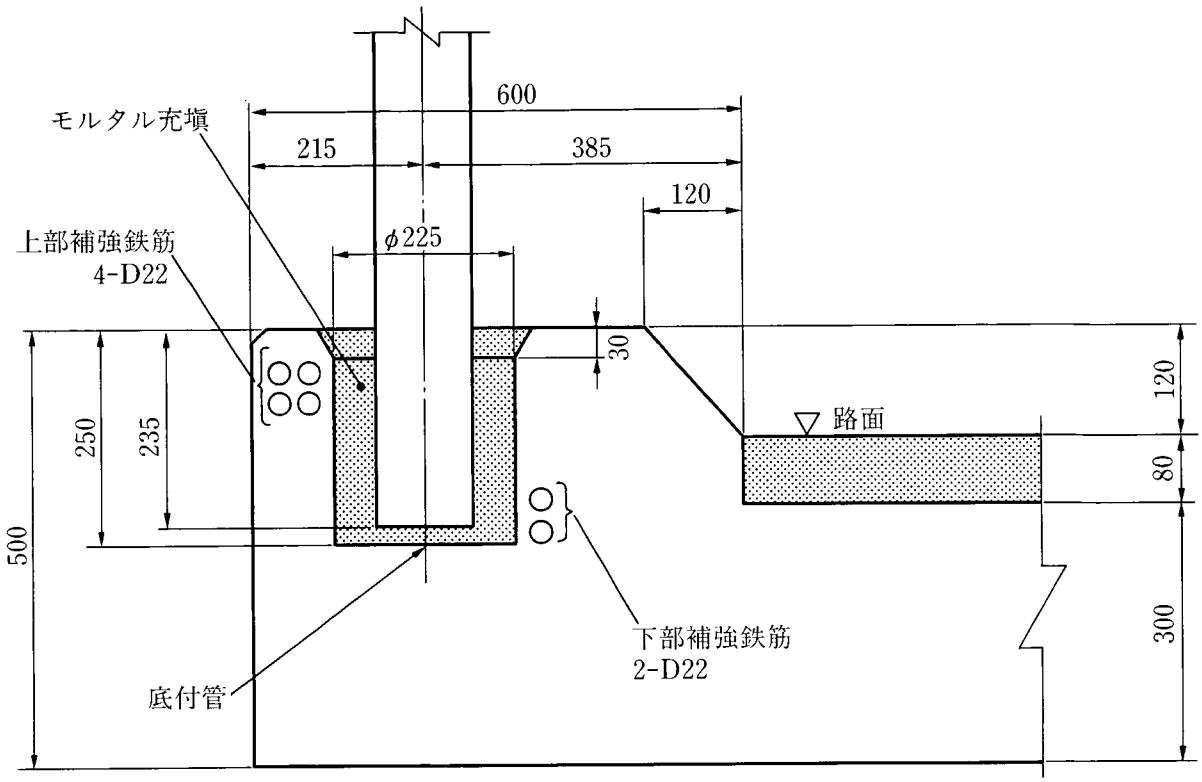
付図3-1　防護柵配置図



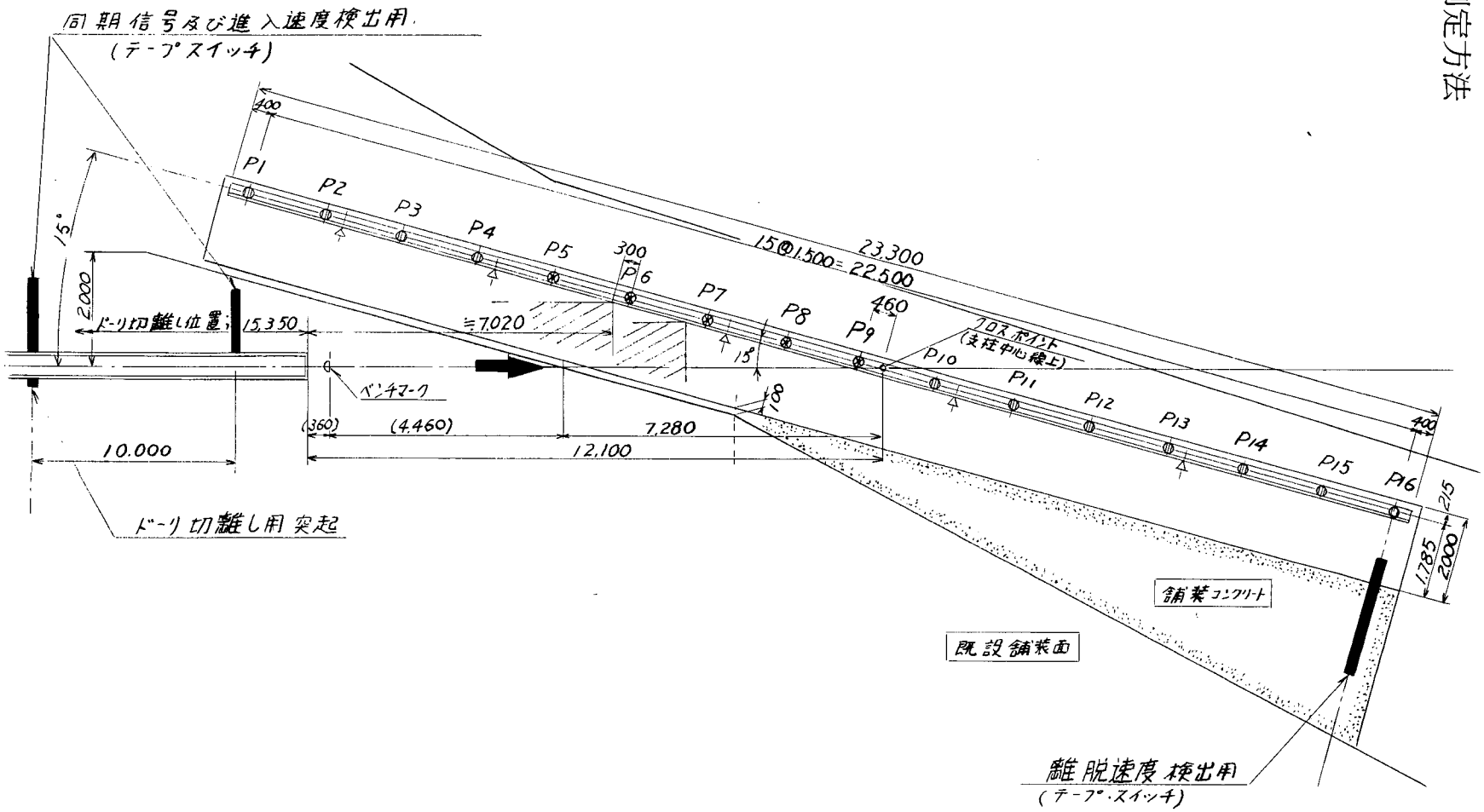
付図3-2　コンクリート供試体配筋図



付図3-3　鉄筋加工図

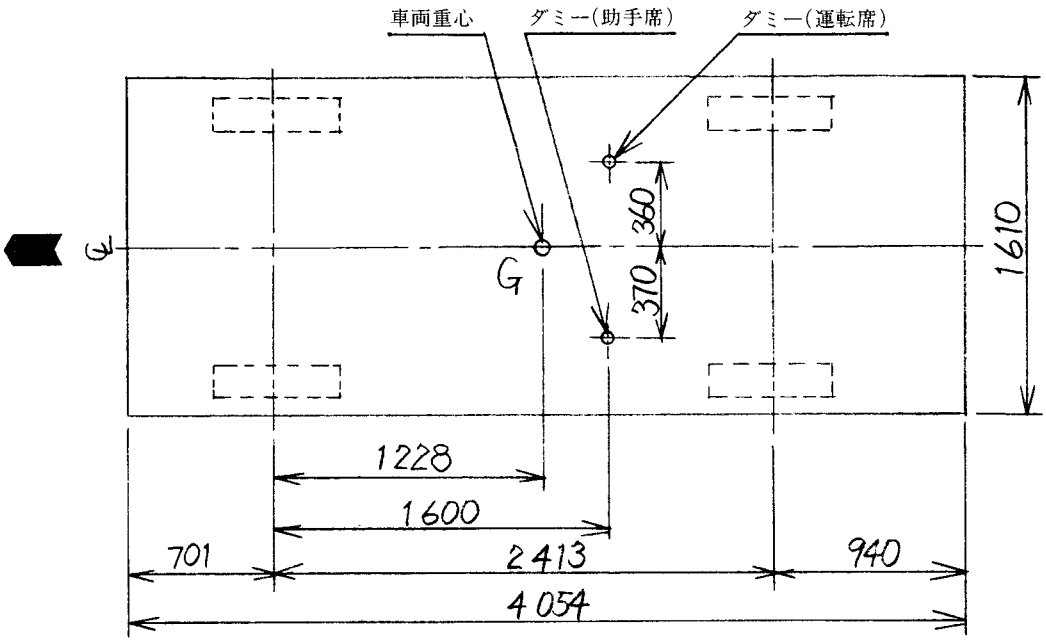


付図3-4　地覆形状及び定着構造断面

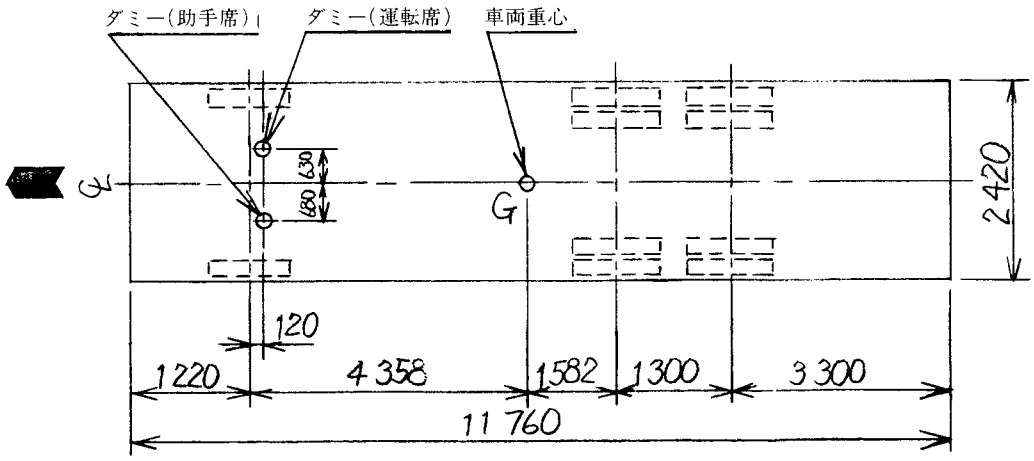


付図4-1　テープスイッチ取付位置

実験１（小型乗用車）

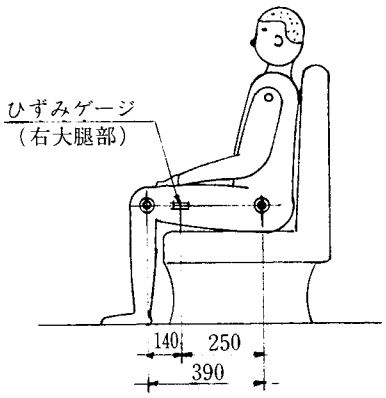


実験２（大型貨物車）

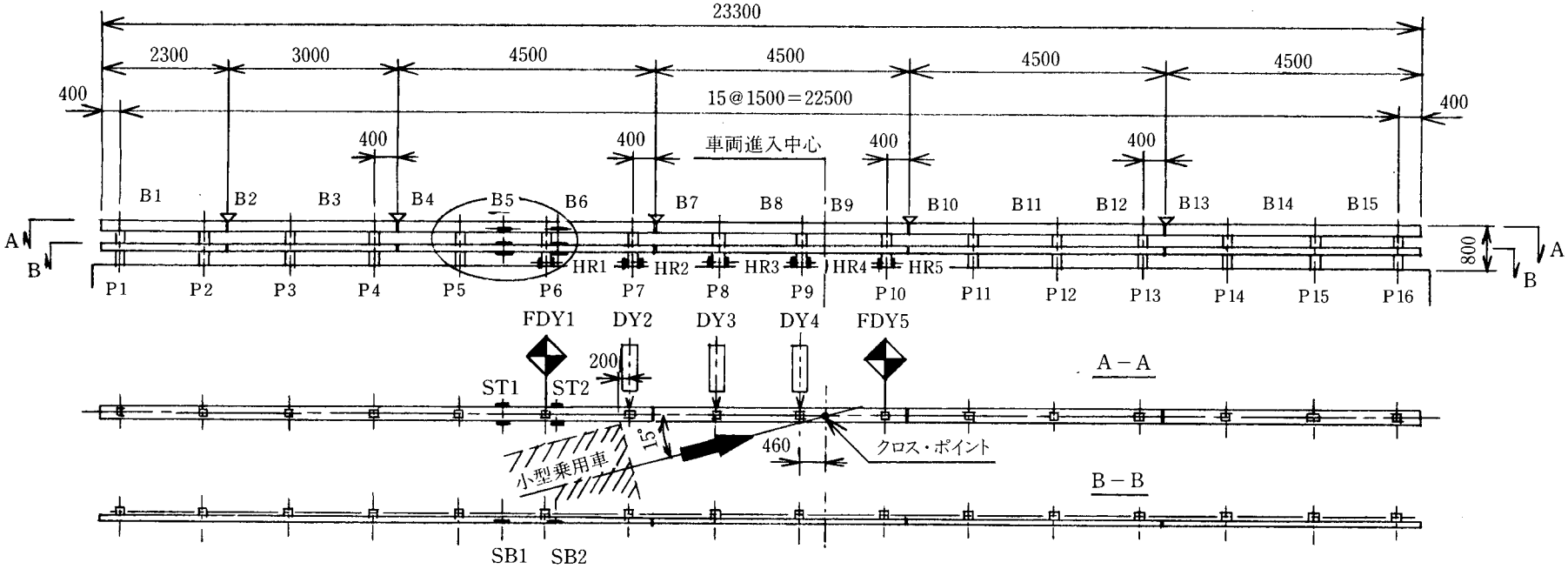


〔注〕ダミーの測定位置は，頭部中心とした。

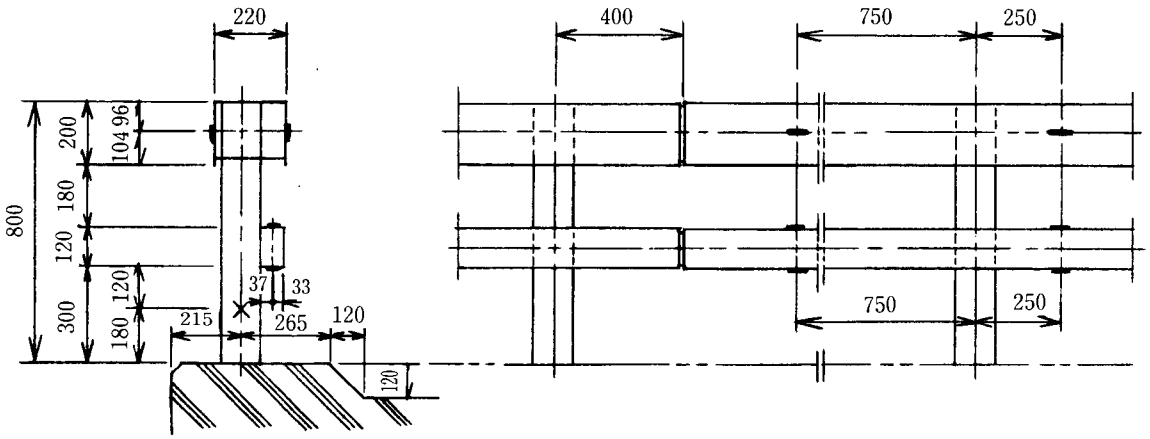
付図4-2　加速度計取付位置



付図4-3　ダミー大腿部ひずみゲージ貼付位置



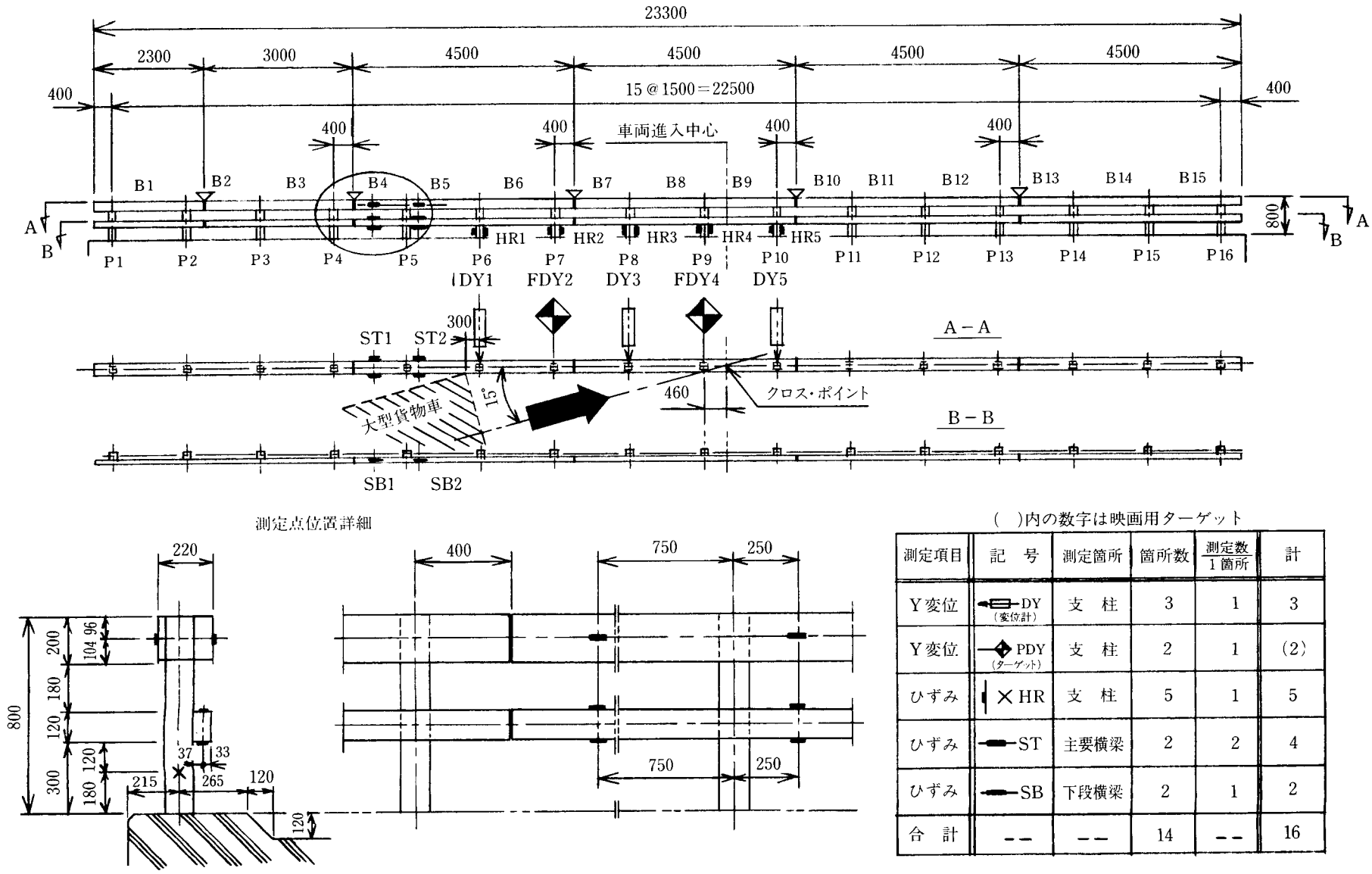
測定点位置詳細



（　）内の数字は映画用ターゲット

測定項目	記　号	測定箇所	箇所数	測定数／1箇所	計
Y変位	DY（変位計）	支　柱	3	1	3
Y変位	PDY（ターゲット）	支　柱	2	1	(2)
ひずみ	HR	支　柱	5	1	5
ひずみ	ST	主要横梁	2	2	4
ひずみ	SB	下段横梁	2	1	2
合　計	――	――	14	――	16

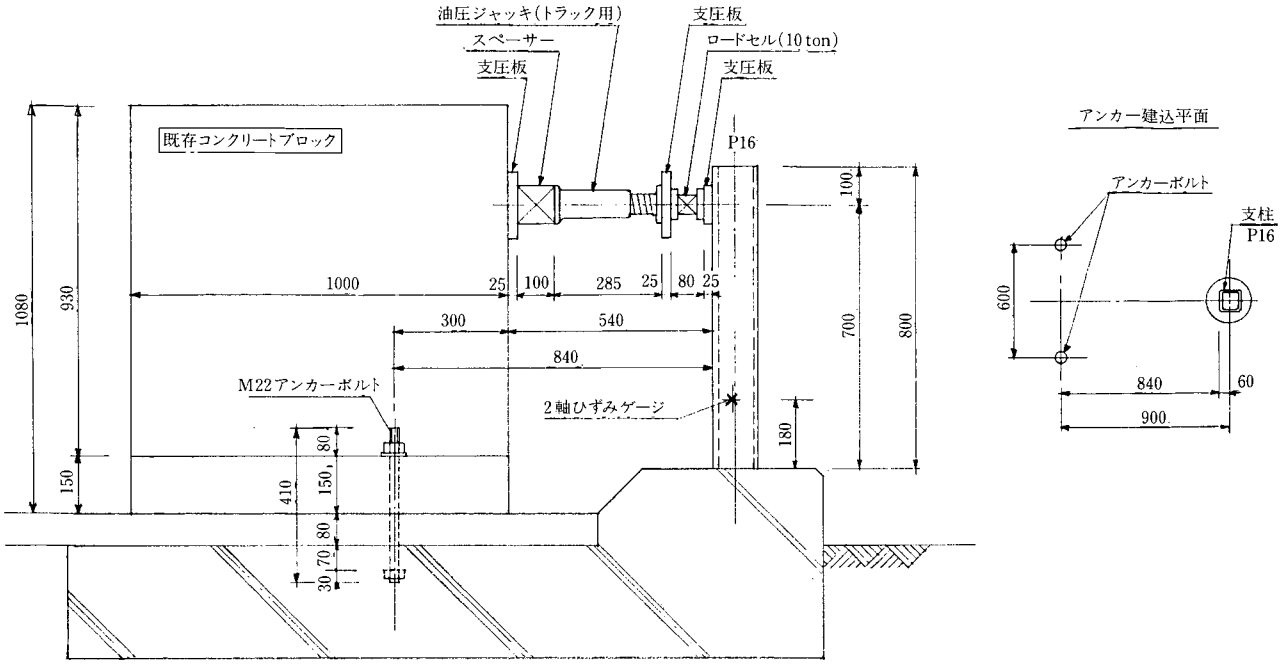
付図4-4　防護柵計測点位置（実験１小型乗用車）



( )内の数字は映画用ターゲット

測定項目	記　号	測定箇所	箇所数	測定数／1箇所	計
Y変位	DY（変位計）	支　柱	3	1	3
Y変位	PDY（ターゲット）	支　柱	2	1	(2)
ひずみ	HR	支　柱	5	1	5
ひずみ	ST	主要横梁	2	2	4
ひずみ	SB	下段横梁	2	1	2
合　計	--	--	14	--	16

付図4-5　防護柵計測点位置図（実験２大型貨物車）

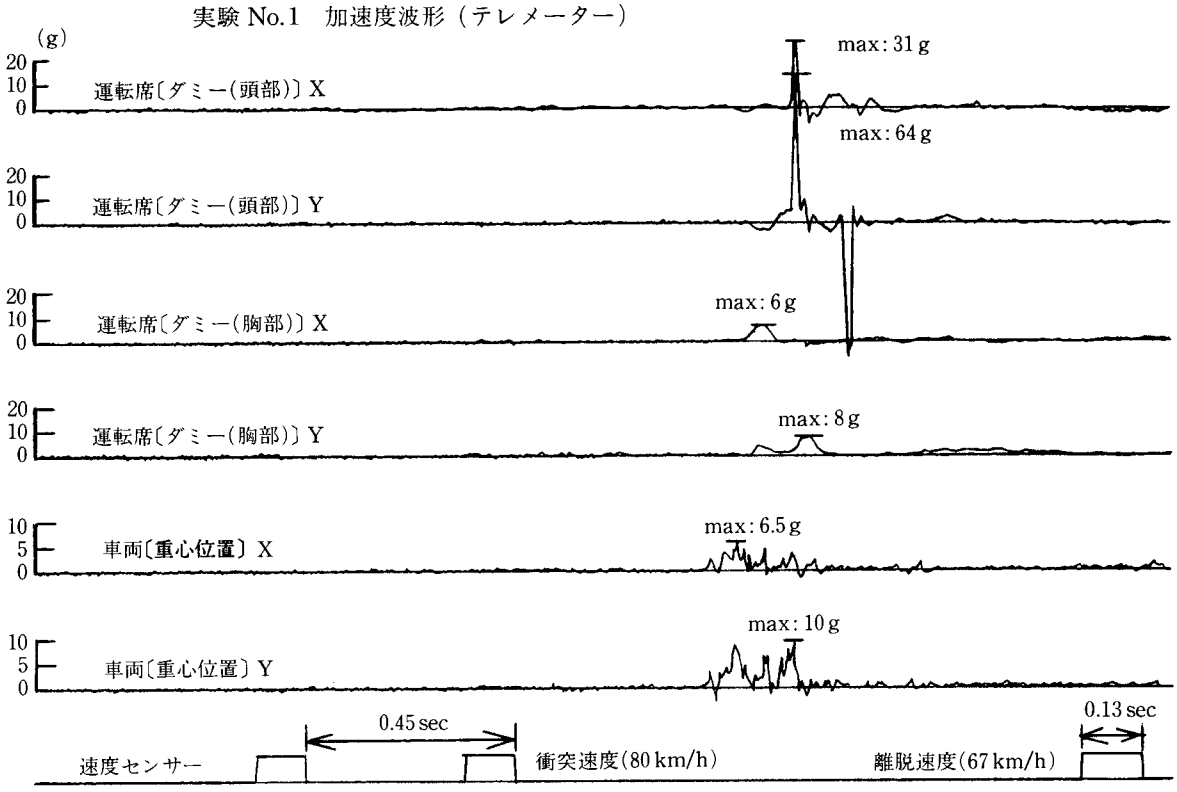


付図4-6　支柱のせん断力較正試験要領

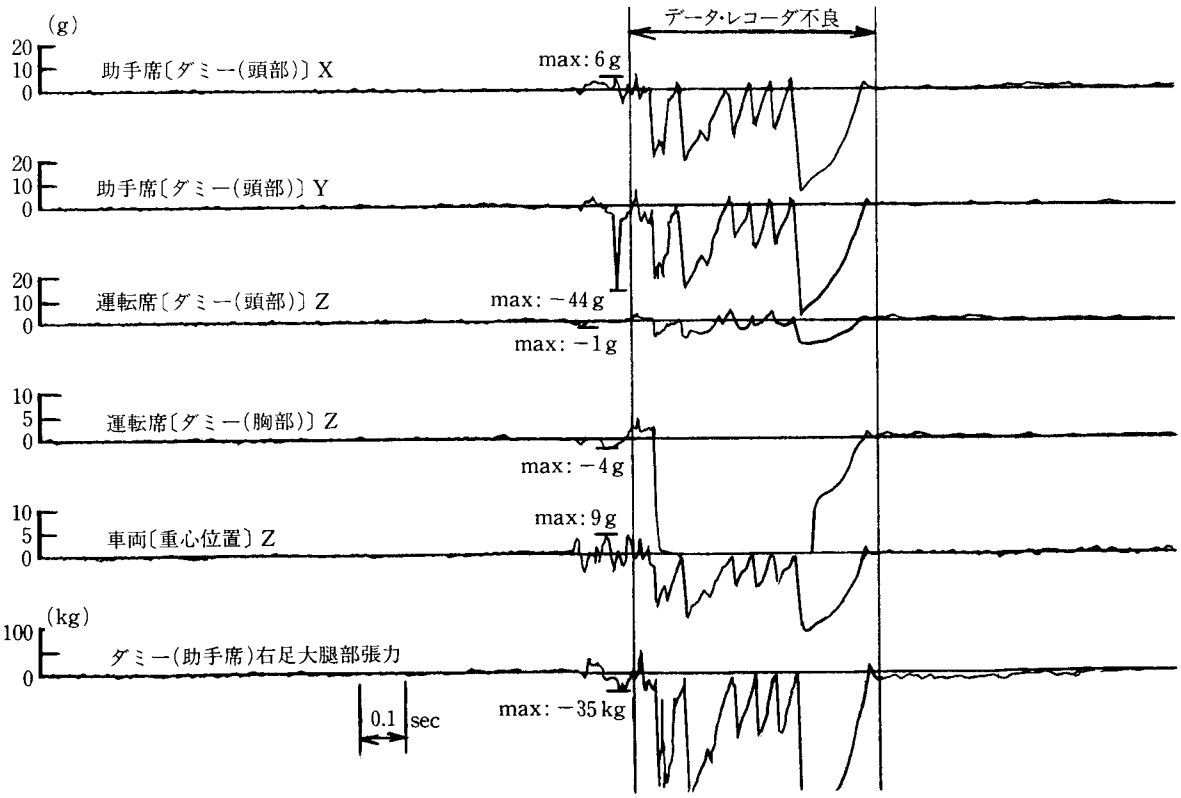
5. 衝突実験結果

5.1 加速度

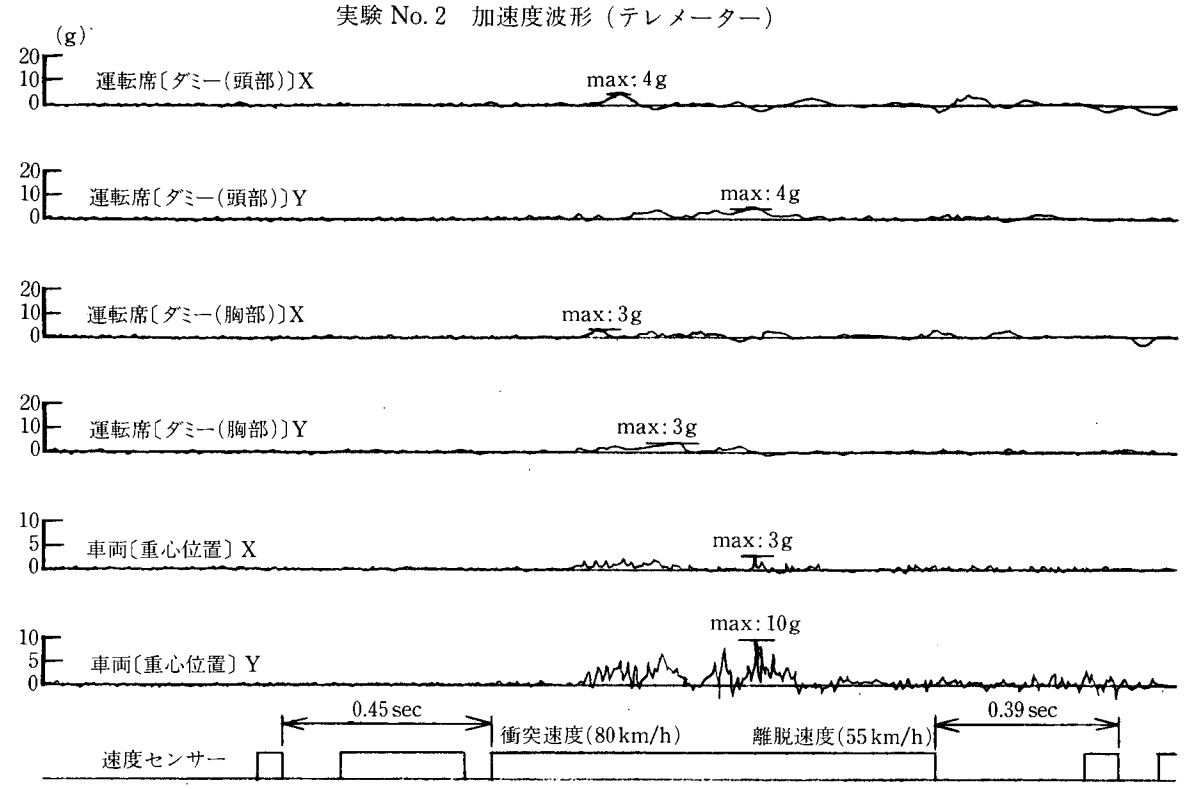
実験 No.1 加速度波形（テレメーター）

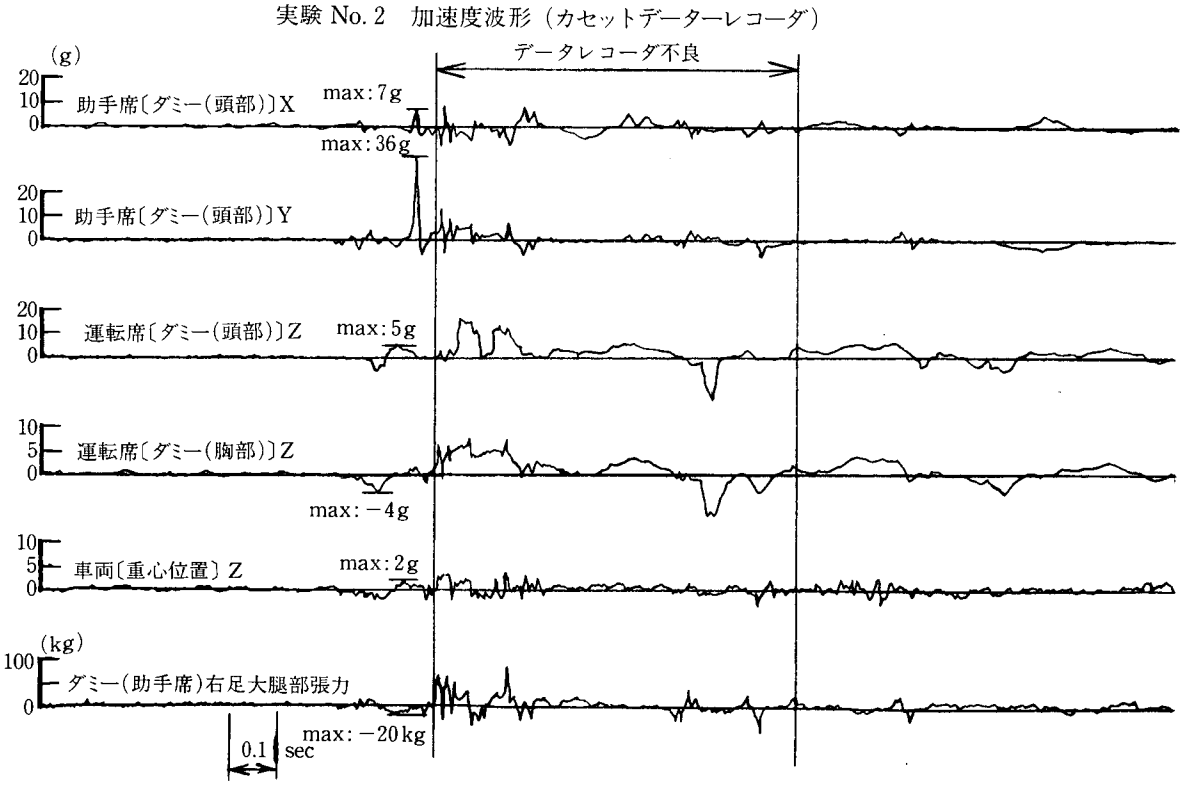


実験 No. 1 加速度波形（カセットデーターレコーダ）



付図5-1 加速度波形測定結果（実験 1）





付図5-2　加速度波形測定結果（実験 2）

付表5-1　加速度波形解析結果

		車両重心			ダミー				
					運転席			助手席	
					頭部		胸部	頭部	
		原波形 (g)	50 msec (g)	実効値 (g)	原波形	HIC	原波形	原波形	HIC
実験1 (小型乗用車)	X	6.5 〔5.5〕	3.35	2.87	31 〔33.2〕	336	6 〔6.4〕	6 〔6.6〕	83.0
	Y	10.0 〔9.9〕	5.37	5.33	64 〔70.4〕		8 〔9.0〕	−44 〔53〕	
	Z	9.0 〔5.5〕	—	—	−1 〔14.2〕		−4 〔4.5〕	—	
	合成	— 〔10.9〕	6.31	6.06	— 〔77.4〕		— 〔9.1〕	— 〔53.6〕	
実験2 (大型貨物車)	X	3 〔2.6〕	1.08	0.75	4 〔4.4〕	6.6	3 〔3.5〕	7 〔9.1〕	55.4
	Y	10 〔9.5〕	4.17	2.98	4 〔3.9〕		3 〔3.0〕	36 〔42.9〕	
	Z	2 〔2.0〕	—	—	5 〔5.5〕		−4 〔4.5〕	—	
	合成	— 〔9.8〕	4.21	3.06	— 〔4.7〕		— 〔3.6〕	— 〔43.9〕	
備考		注：1)〔　〕内はシグナルアナライザーからの分析結果を示す。 2) HIC 値は X, Y 成分の合成値より算定した。 3) 車両重心の原波形は，80 Hz で処理した。							

加速度解析

(1)　録音データの加速度解析

録音データの加速度解析は収録された信号を，シグナルアナライザーに取り込み（サンプリング間隔 $\Delta t=1.22$ msec），パーソナルコンピュータによりプログラム処理を行なった。

なお，車両波形に関してはシグナルアナライザーに取り込む際にローパスフィルターを介しそのカットオフ周波数は 80 Hz とした。

①　50 msec 間の最大平均値

車両重心の x, y 波形について，次式により 50 msec 間の平均値およびその合成値を計算し，波形を求めるとともに 50 msec 間の平均値の最大値（最大平均値）を求めた。

$$\alpha_{50x,y}=\int_{t_1}^{t_2} a_{x,y}\,dt/50$$

$$\alpha_{50}\ 合成=\sqrt{\alpha_{50x}{}^2+\alpha_{50y}{}^2}$$

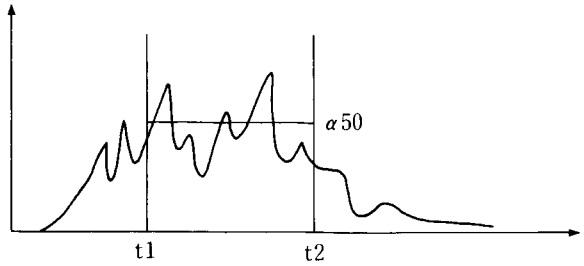
ここに　$\alpha_{50x,y}$：x, y 波形の 50 msec 間の平均値（g）

α_{50} 合成：x, y 波形の 50 msec 間の平均値の 2 乗平均（g）

t_1：加速度作用中の任意の時点（sec）

t_2：t_1+50 msec（sec）

$a_{x,y}$：発生加速度（g）



② HIC の最大値算出

ダミー頭部の合成加速度について，次式により各時点における HIC の値を計算し波形を求めるとともに，HIC 値（算出された値の最大値）を求める。

$$\alpha_{HIC}=(t_2-t_1)\left\{\int_{t_1}^{t_2} a\,d_t/(t_2-t_1)\right\}^{2.5}$$

ここに　α_{HIC}：各時点における HIC の値

t_1：加速度作用中の任意の時点（sec）

t_2：t_1+d_t（sec）

α_{HIC} が最大となる時点

a：発生加速度（g）

③ 実効値

車両重心の x, y 波形について，次式により実効値およびその合成値を計算し，波形を求めるとともにその最大値を求めた。

$$\alpha_{T_{x,y}}=\sqrt{\int_{t_2}^{t_1} a_{x,y}{}^2\,dt/T}$$

$$\alpha_T\text{ 合成}=\sqrt{\alpha_{T_x}{}^2+\alpha_{T_y}{}^2}$$

ここに　$\alpha_{T_{x,y}}$：x, y 波形の実効値（g）

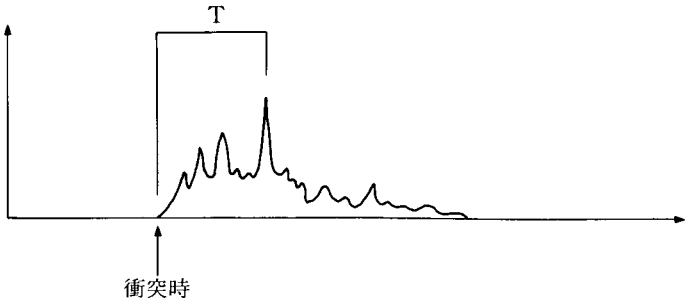
α_T 合成：x, y 波形の実効値の 2 乗平均（g）

T：最大進入行程；衝突時から発生加速度が最大になるまでの時間（sec）

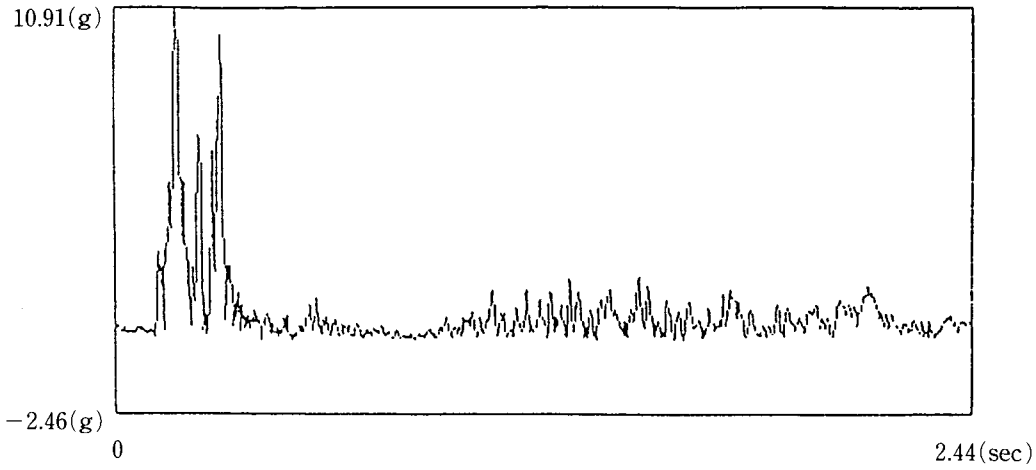
t_1：加速度作用中の任意の時点（sec）

t_2：t_1+T（sec）

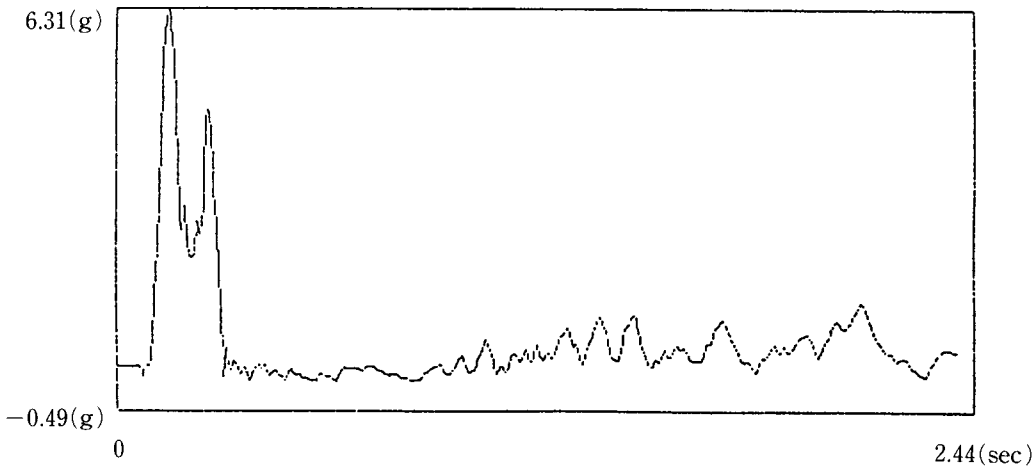
$a_{x,y}$：発生加速度（g）



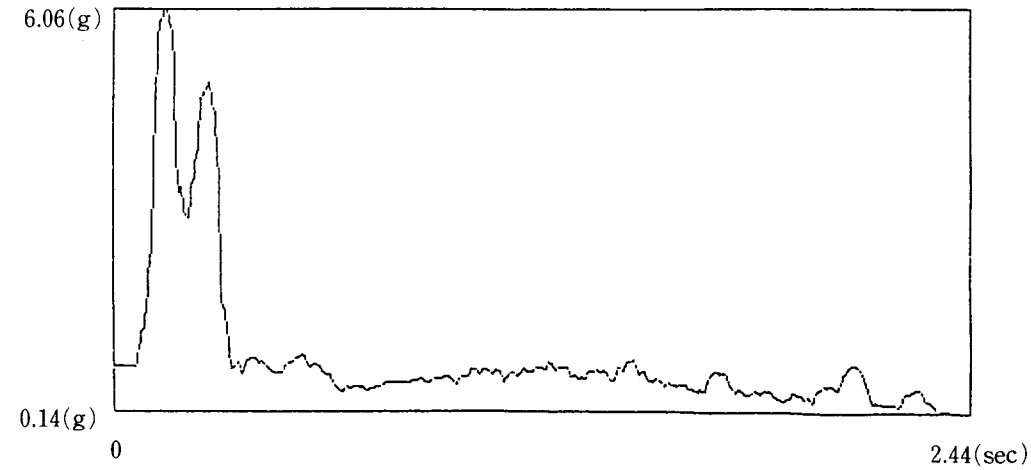
原波形 XY合成値 WAVE 1＝H1AL15 WAVE 2＝H1AL16
最大値＝1.0910E＋01 (g)



50 msec 平均 XY合成値
最大値＝6.3098E＋00 (g)

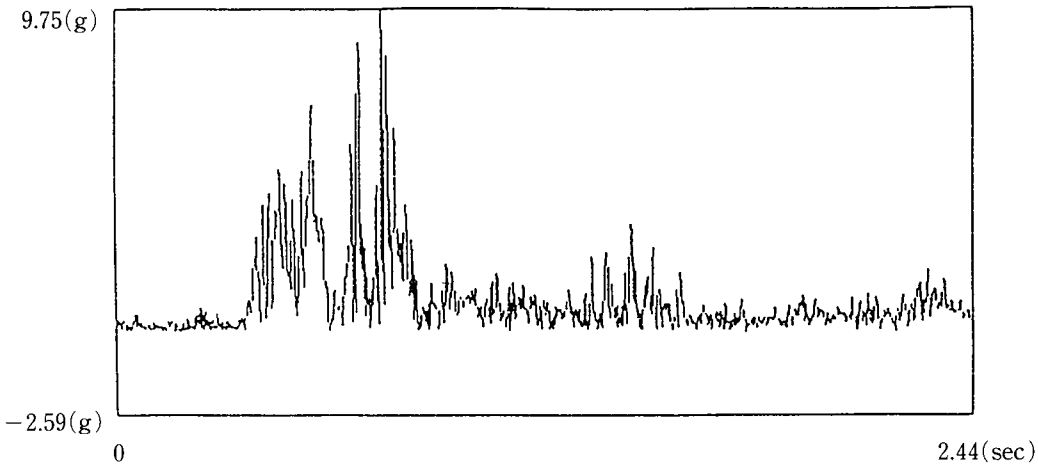


実効値 XY合成値
最大値＝6.0560E＋00 (g)

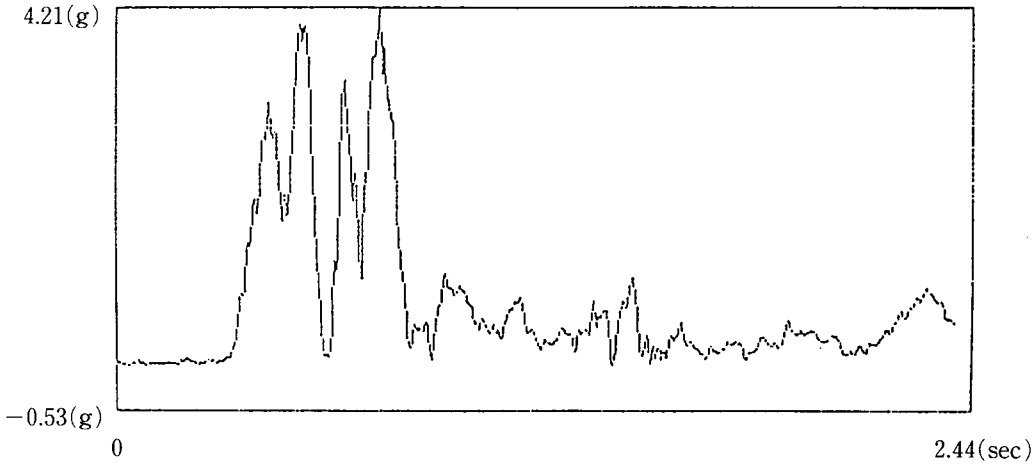


付図5-3 加速度波形解析結果：車両重心（実験 1）

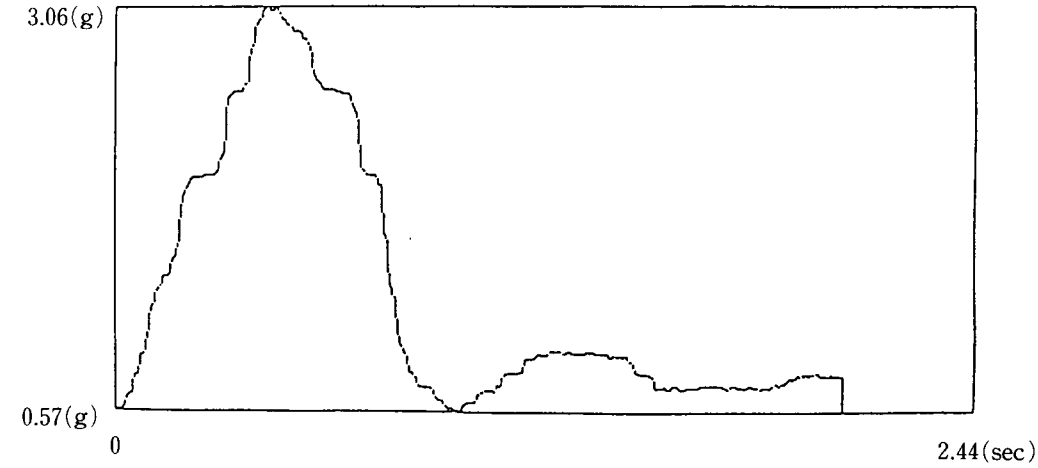
原波形 XY合成値 WAVE 1＝H1AL25　WAVE 2＝H1AL26
最大値＝9.7523E＋00 (g)



50 msec平均 XY合成値
最大値＝4.2101E＋00 (g)

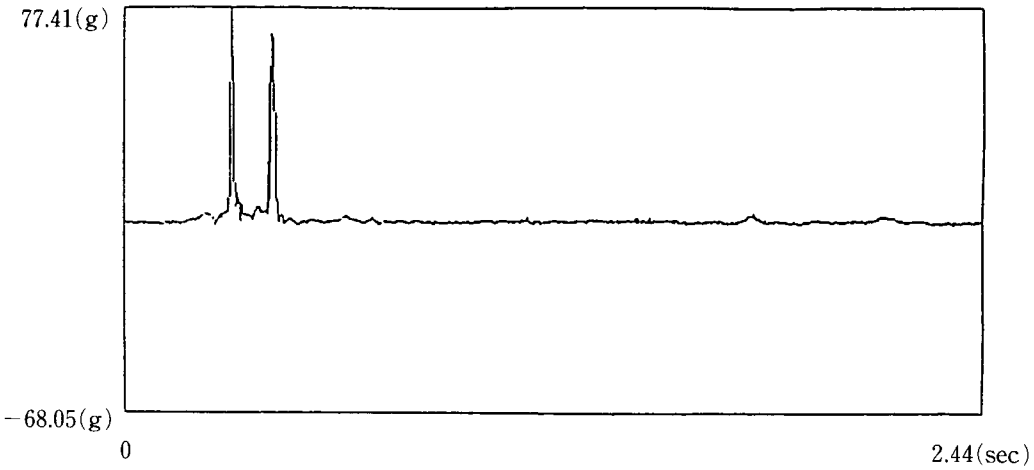


実効値 XY 合成値
最大値＝3.0630E＋00 (g)

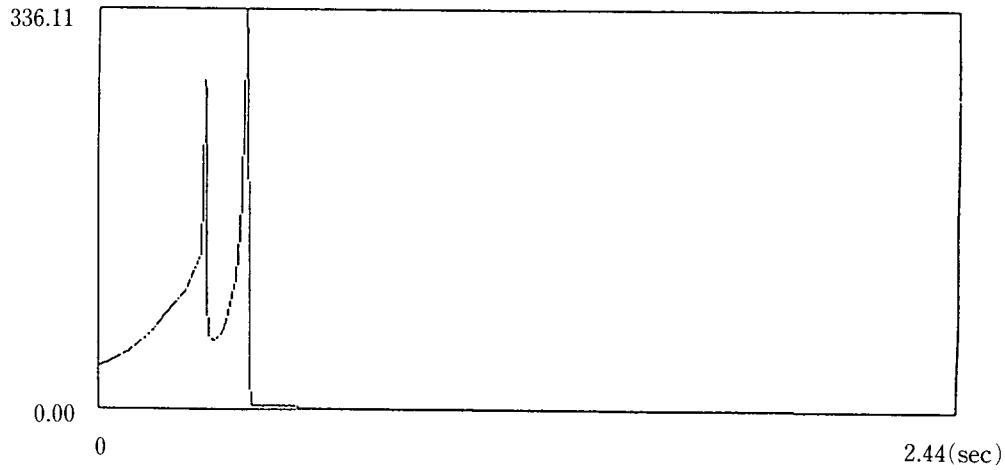


付図5−4　加速度波形解析結果：車両重心（実験 2）

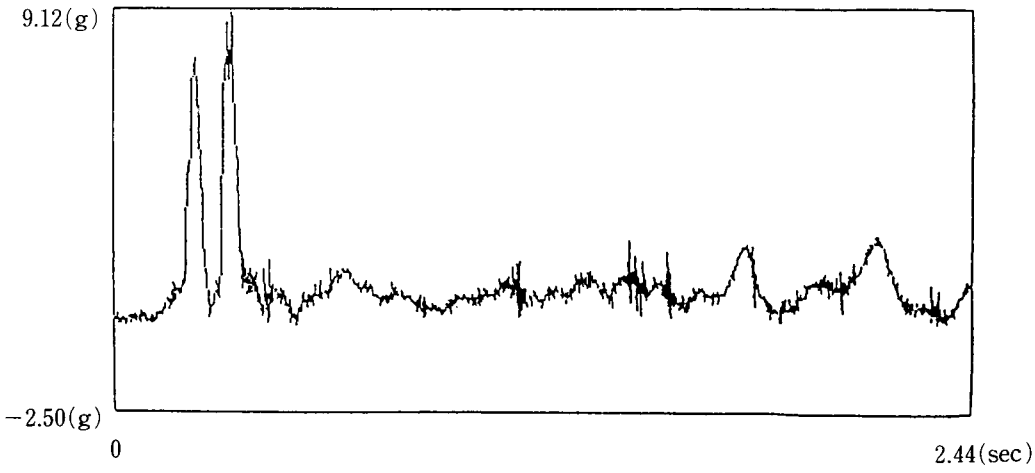
原波形 XY合成値　WAVE 1＝H1AL11　WAVE 2＝H1AL12
最大値 XY (254)＝7.7411E＋01 (g)　　頭　部



HICの最大値
最大値 HIC (344)＝3.3611E＋02 (g)　　頭　部

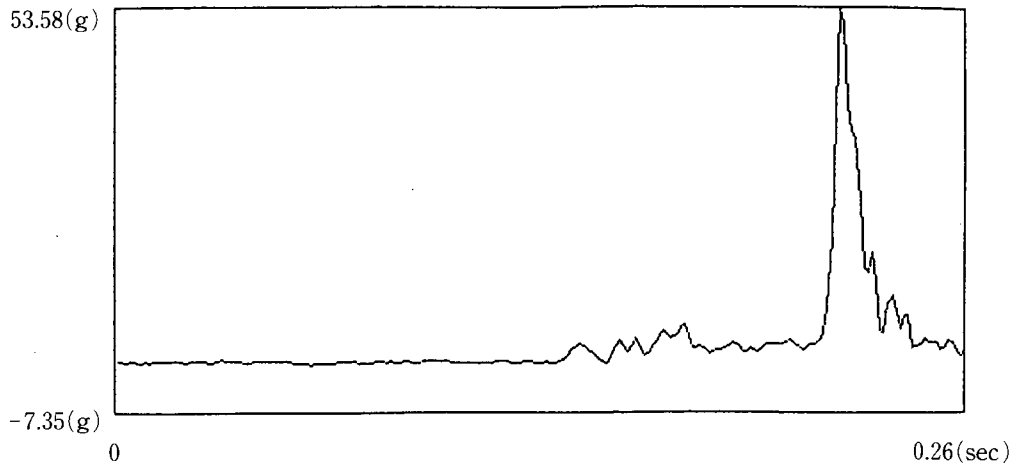


原波形 XY合成値　WAVE 1＝H1AL13　WAVE 2＝H1AL14
最大値＝9.1183E＋00 (g)　　胸　部

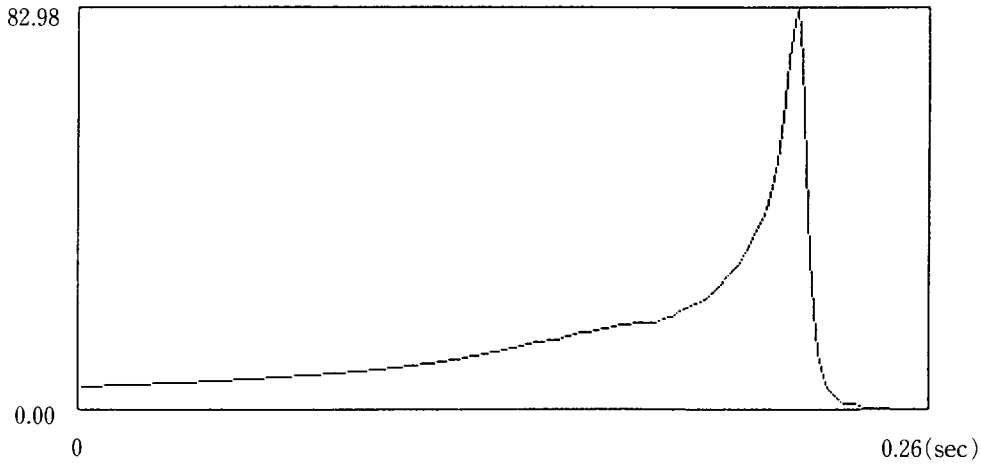


付図5−5　加速度波形解析結果：運転席ダミー頭部，胸部（実験 1）

原波形 XY合成値　WAVE 1＝H1AC11H　WAVE 2＝H1AC12H
最大値 XY(180)＝5.3577E＋01 (g)

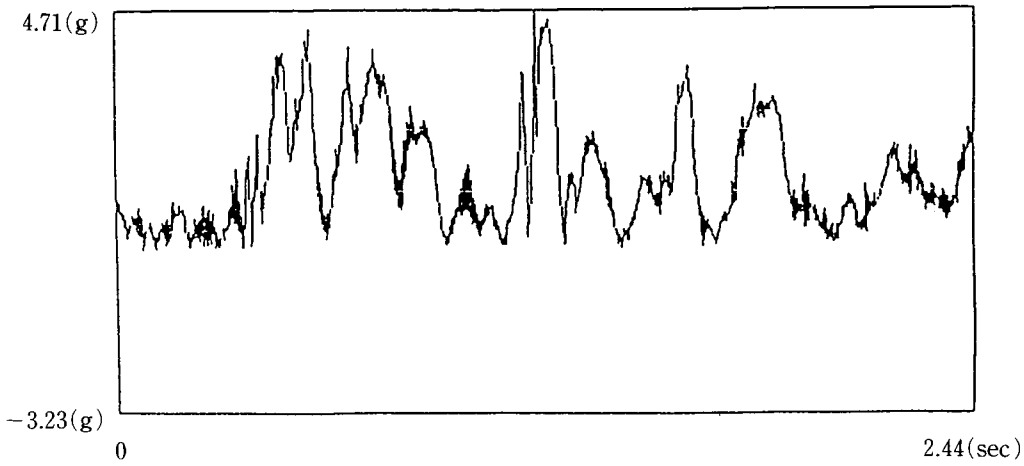


HICの最大値
最大値 HIC (179)＝8.2979E＋01 (g)

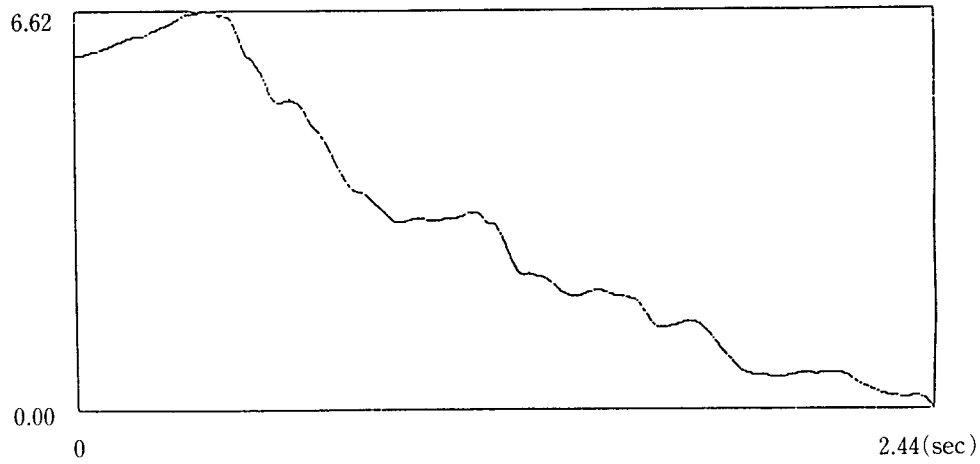


付図5-6　加速度波形解析結果：助手席ダミー頭部（実験 1）

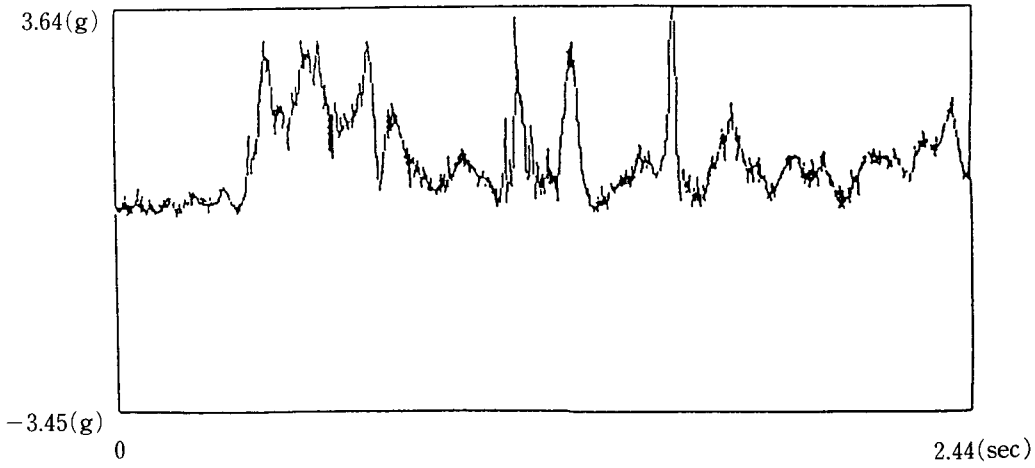
原波形 XY合成値　WAVE 1＝H1AL21　WAVE 2＝H1AL22
最大値 XY(981)＝4.7147E＋00 (g)　　頭　部



HIC の最大値
最大値 HIC(301)＝6.6157E＋00 (g)　　頭　部

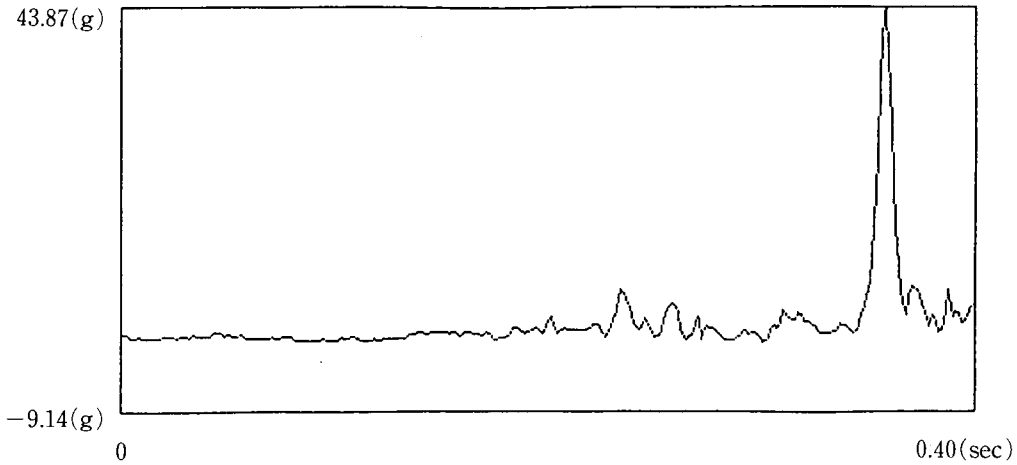


XY 波形　合成値　WAVE 1＝H1AL23　WAVE 2＝H1AL24
最大値＝3.6401E＋00 (g)　　胸　部

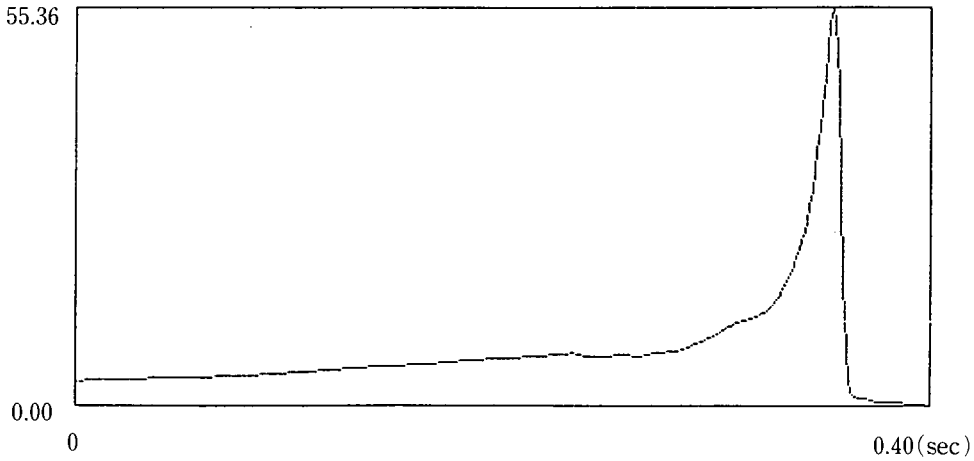


付図5−7　加速度波形解析結果：運転席ダミー頭部，胸部（実験 2）

原波形 XY合成値　WAVE 1＝H1AC21H　WAVE 2＝H1AC22H
最大値 XY (291)＝4.3873E＋01 (g)

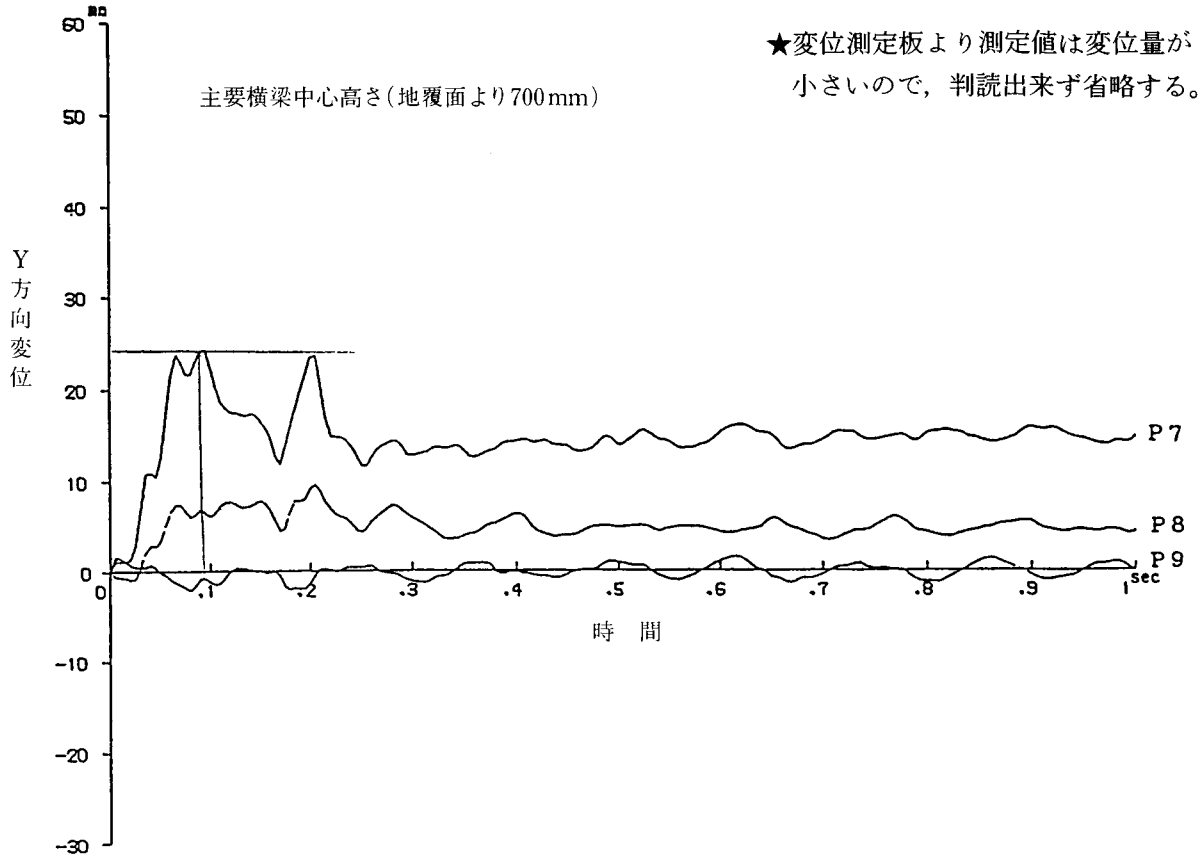


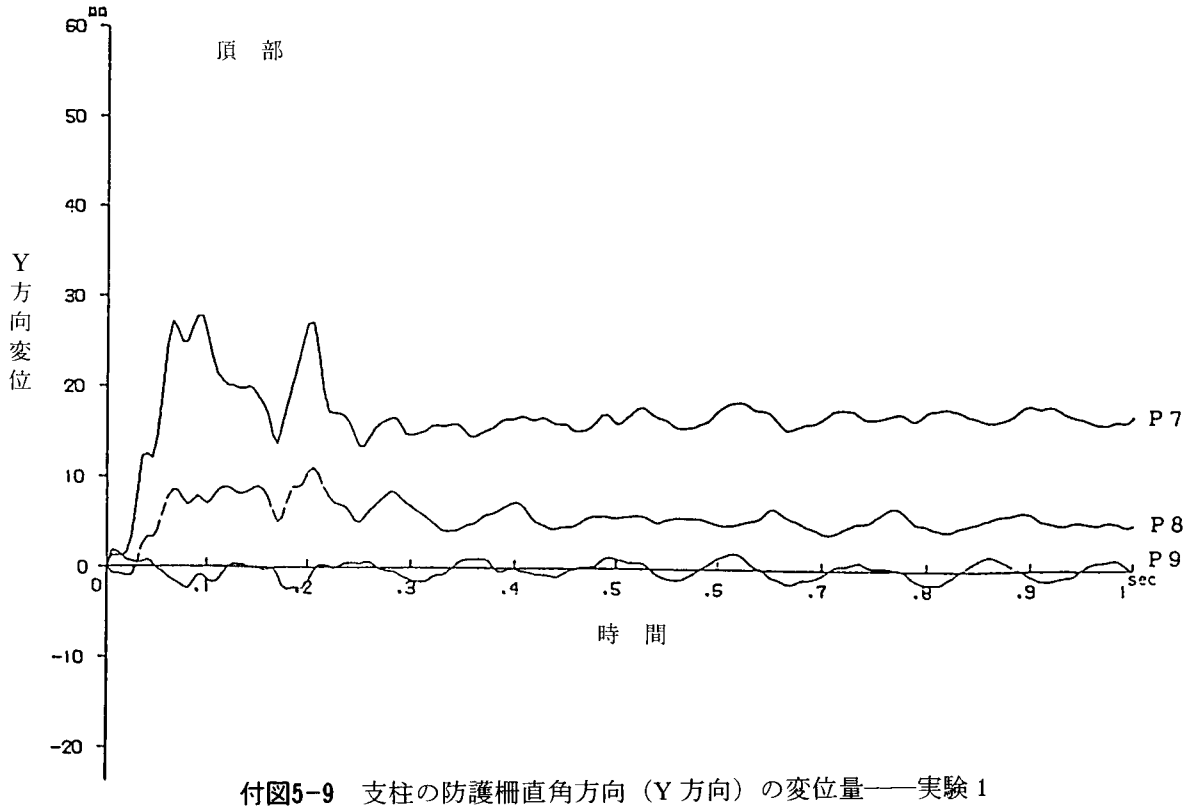
HIC の最大値
最大値 HIC (288)＝5.5363E＋01 (g)



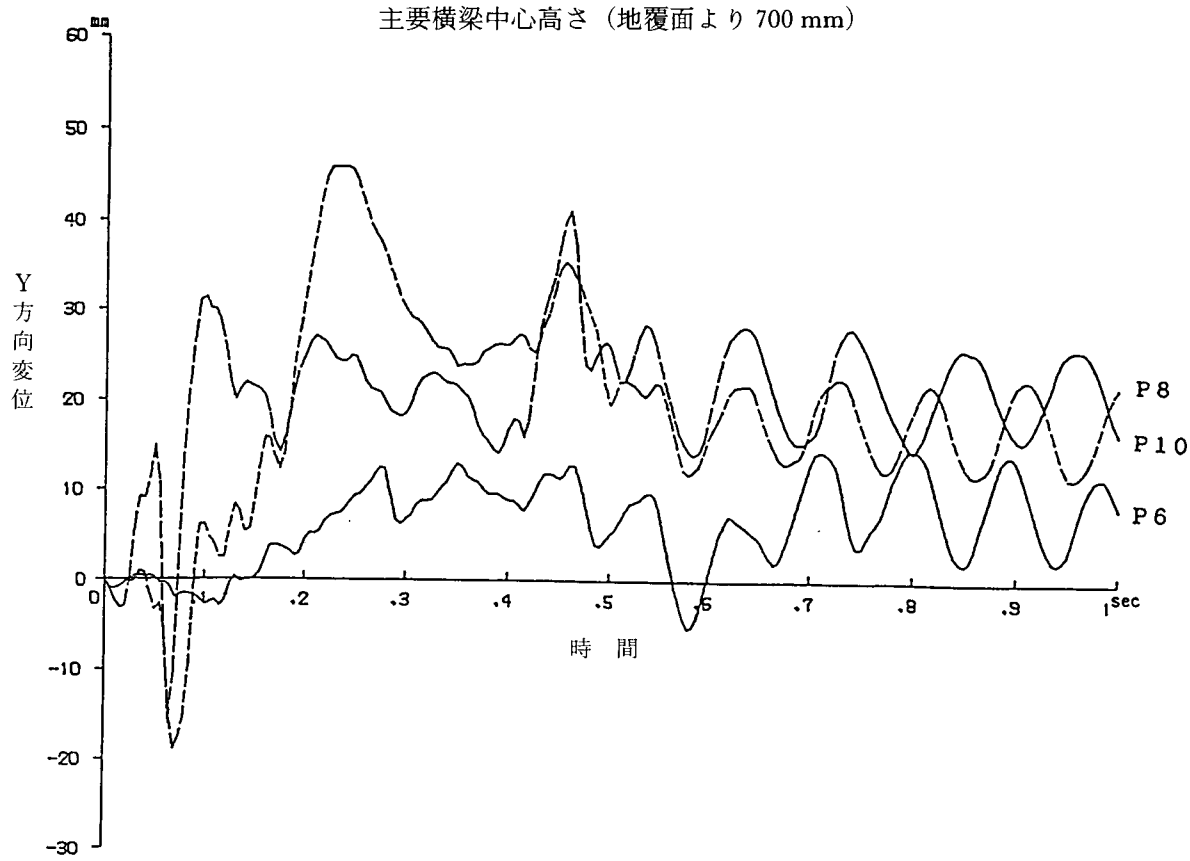
付図5−8　加速度波形解析結果：助手席ダミー頭部（実験 2）

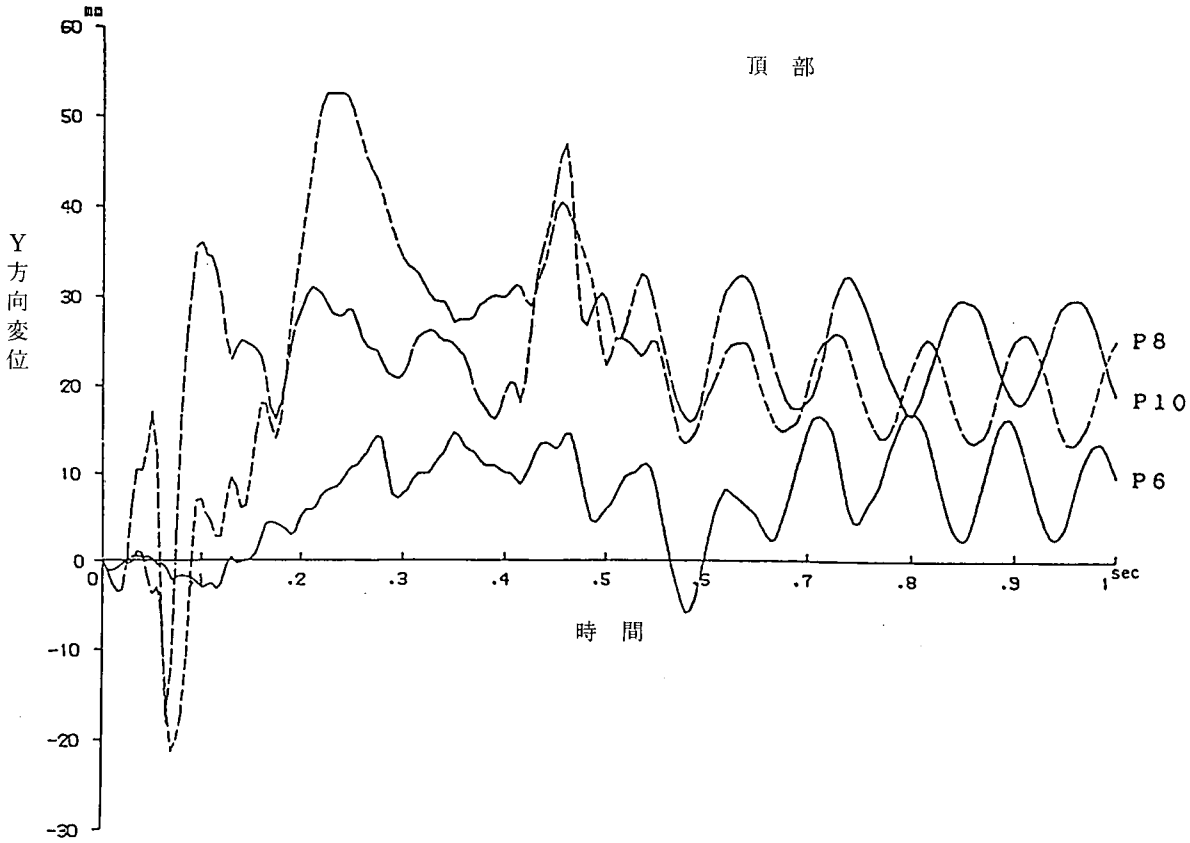
5.2 防護柵の変位，水平力，軸力，曲げモーメント



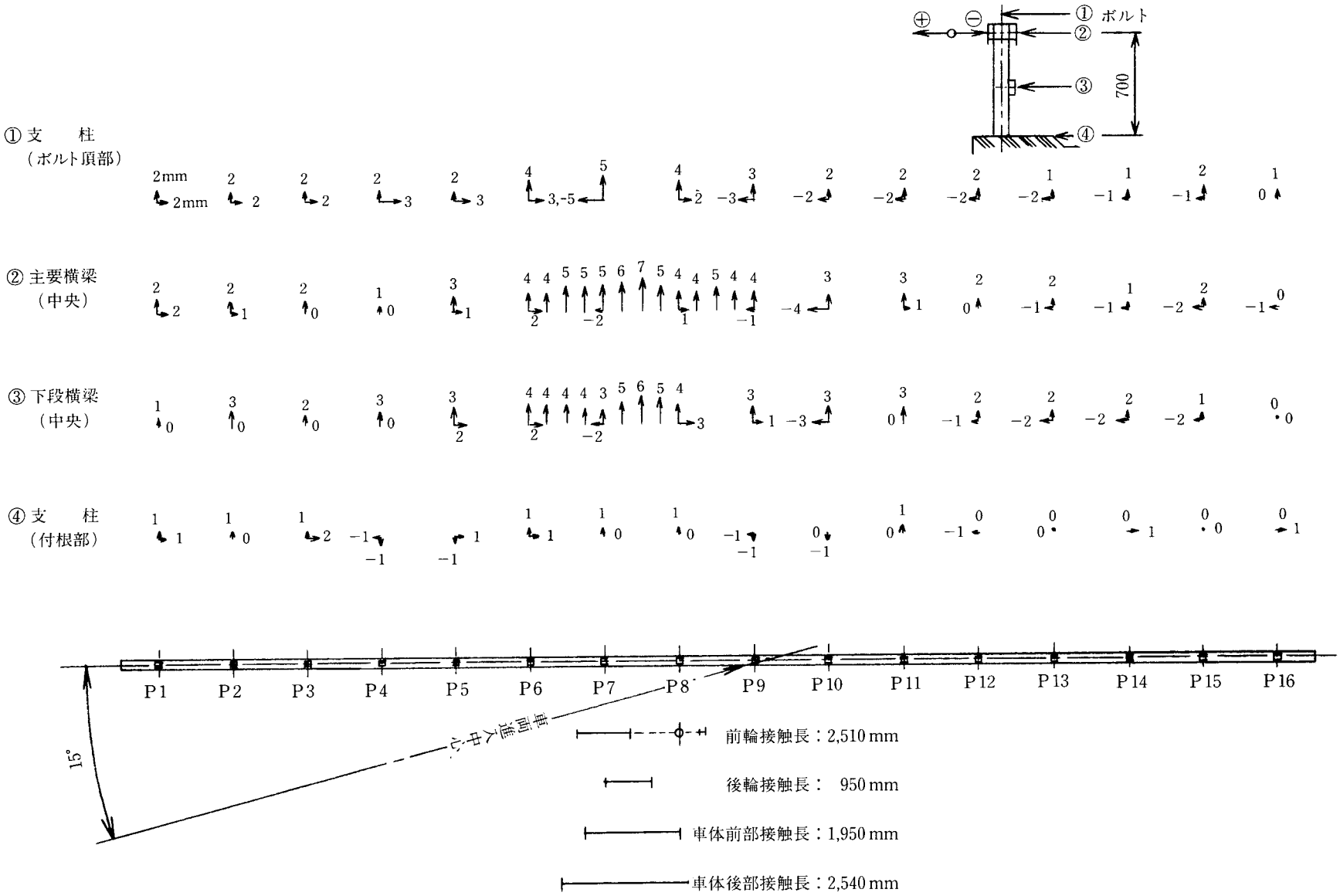


付図5-9　支柱の防護柵直角方向（Y方向）の変位量――実験1

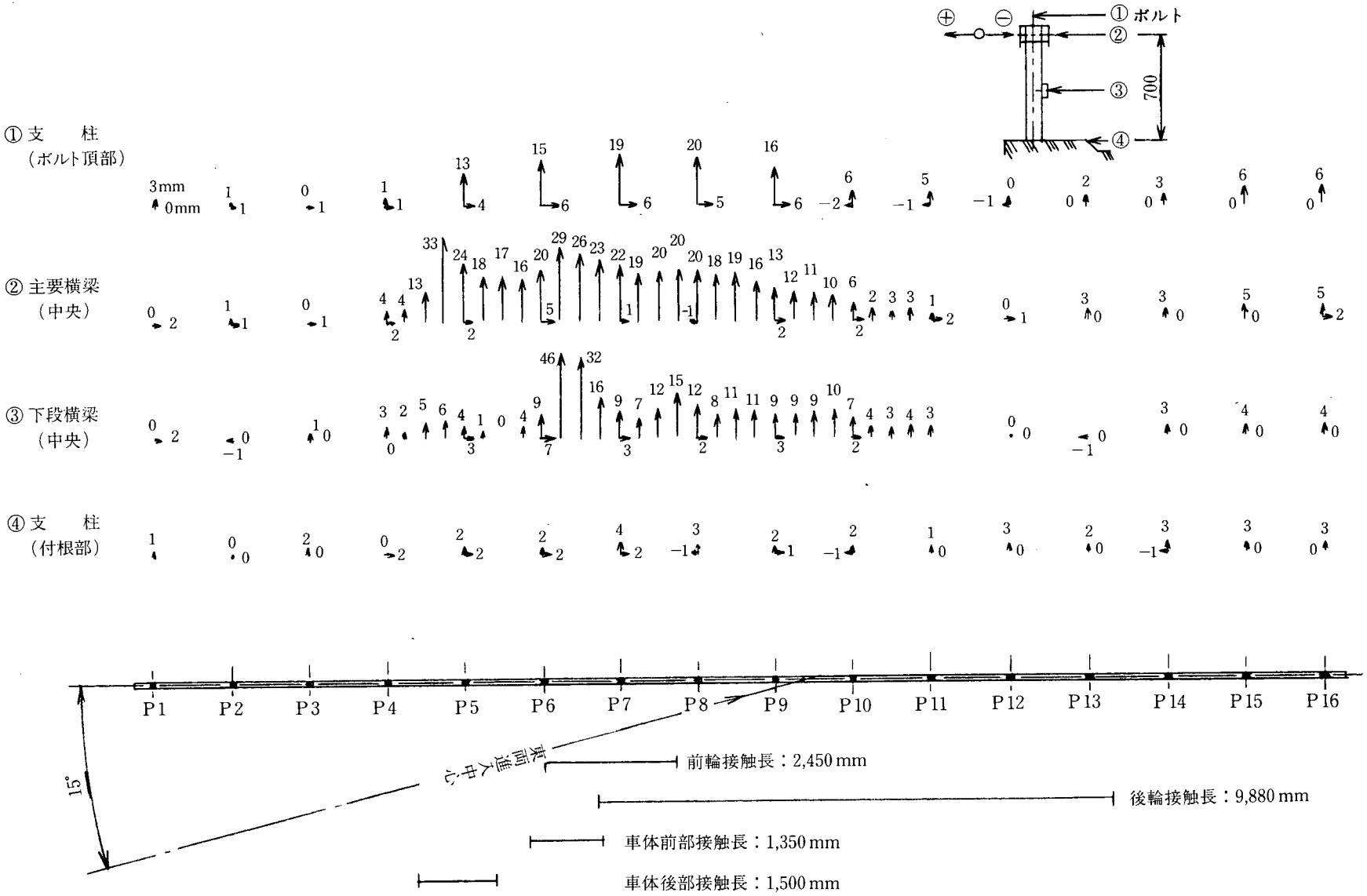




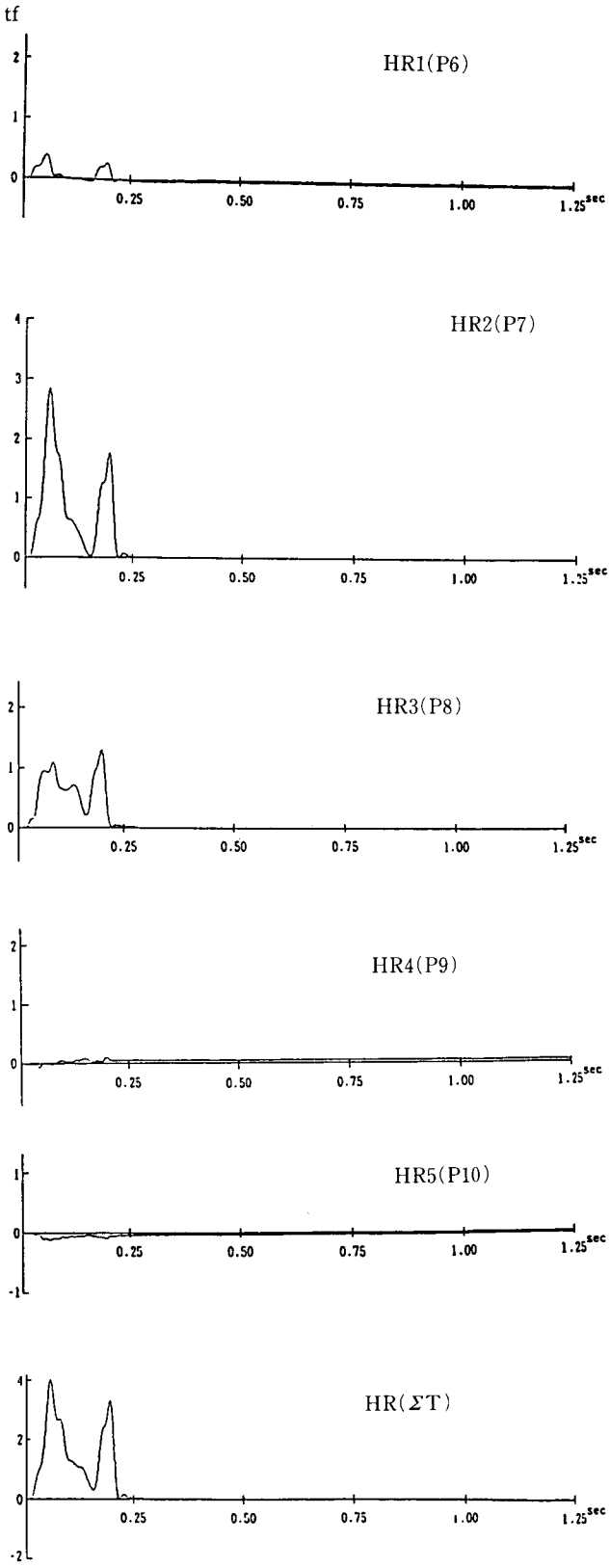
付図5-10 支柱の防護柵直角方向（Y 方向）の変位量——実験 2



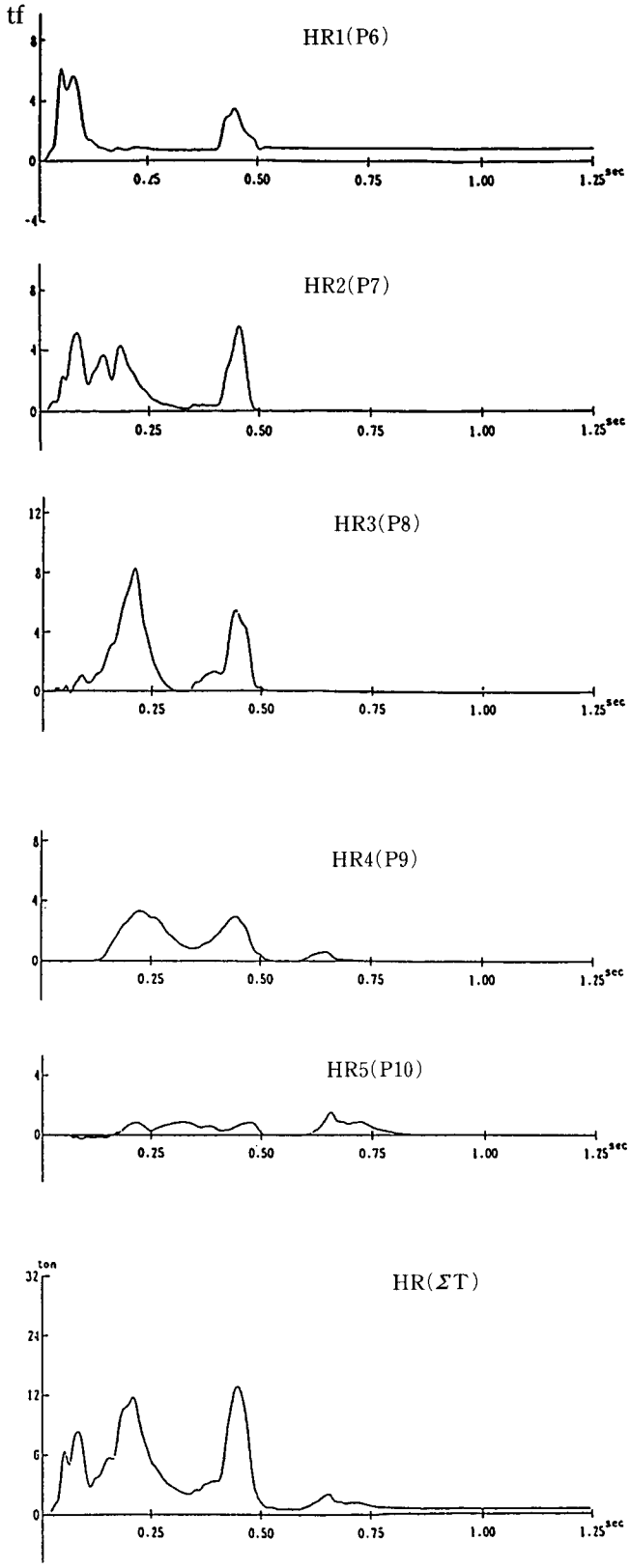
付図5-11　支柱及び横梁の残留変位量（実験 1）



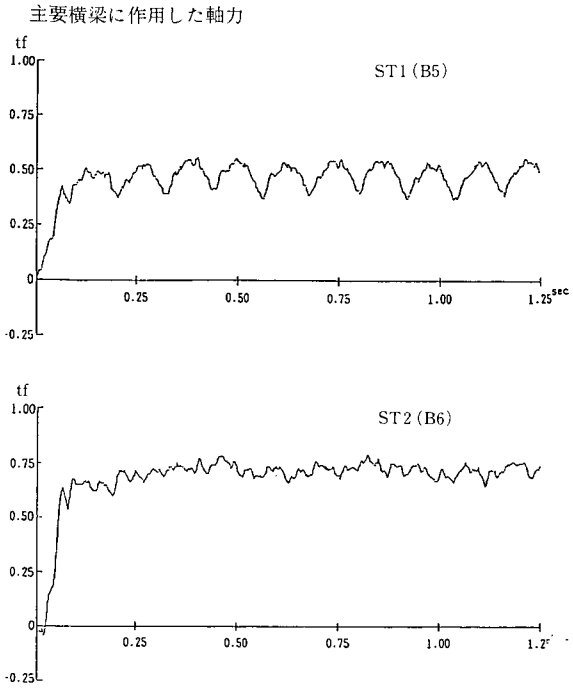
付図5-12　支柱及び横梁の残留変位量（実験 2）



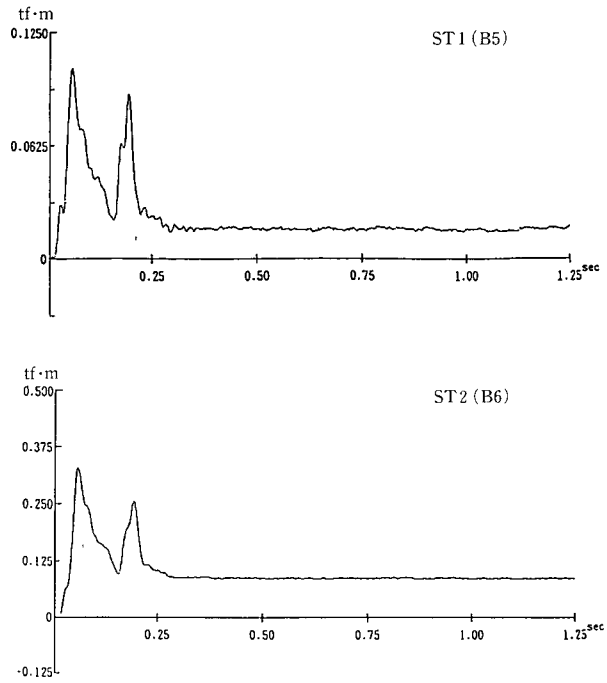
付図5-13　支柱に作用した防護柵直角方向（Y 方向）の水平力とその合計（実験 1）



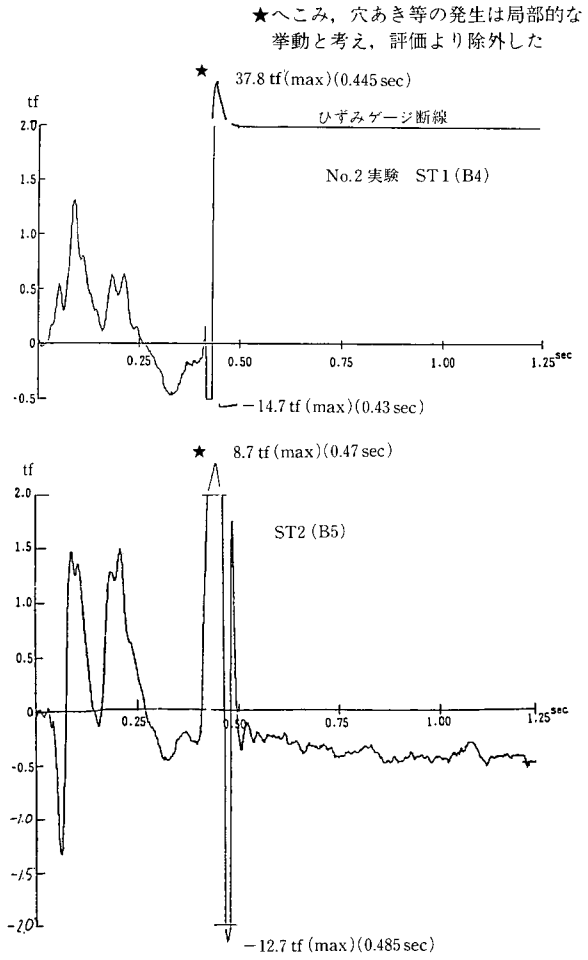
付図5-14　支柱に作用した防護柵直角方向（Y 方向）の水平力とその合計（実験 2）



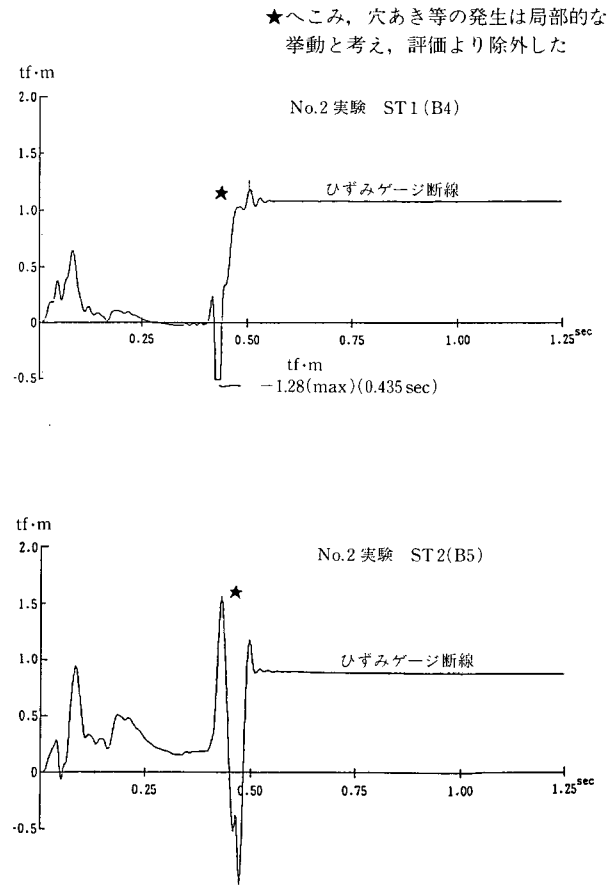
付図5-15　主要横梁に作用した軸力（実験 1）



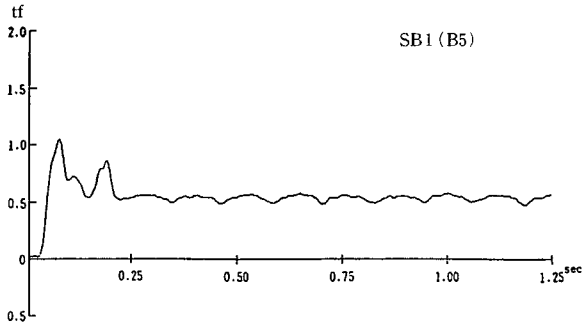
付図5-17　主要横梁に作用した曲げモーメント（実験 1）

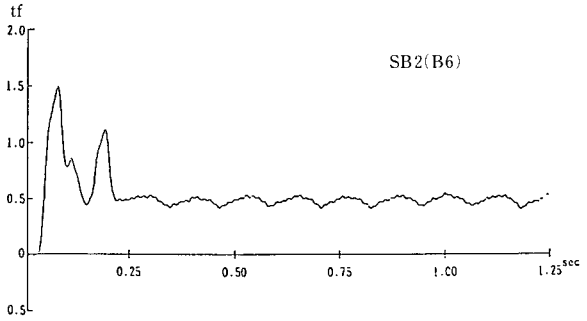


付図5-16　主要横梁に作用した軸力（実験 2）

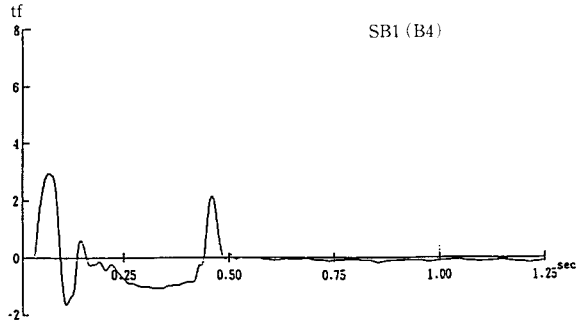


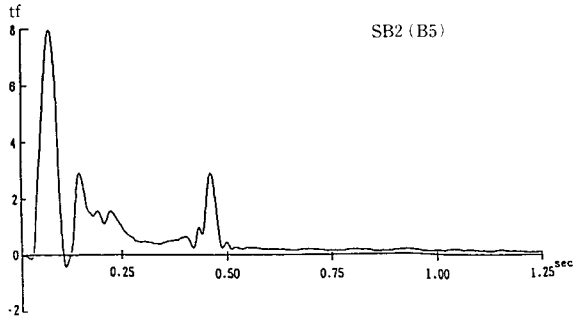
付図5-18　主要横梁に作用した曲げモーメント（実験 2）





付図5-19　下段横梁に作用した軸力（実験 1）

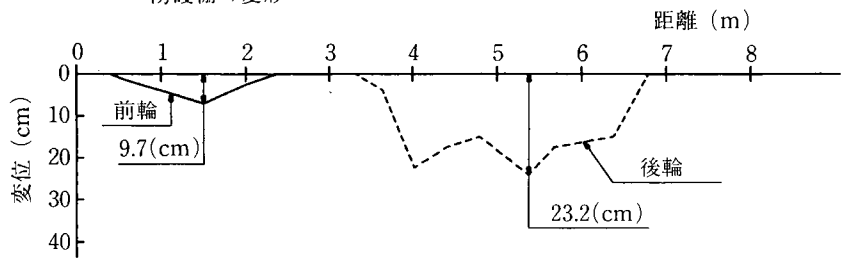




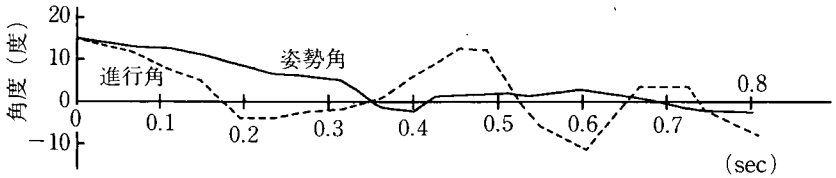
付図5-20　下段横梁に作用した軸力（実験 2）

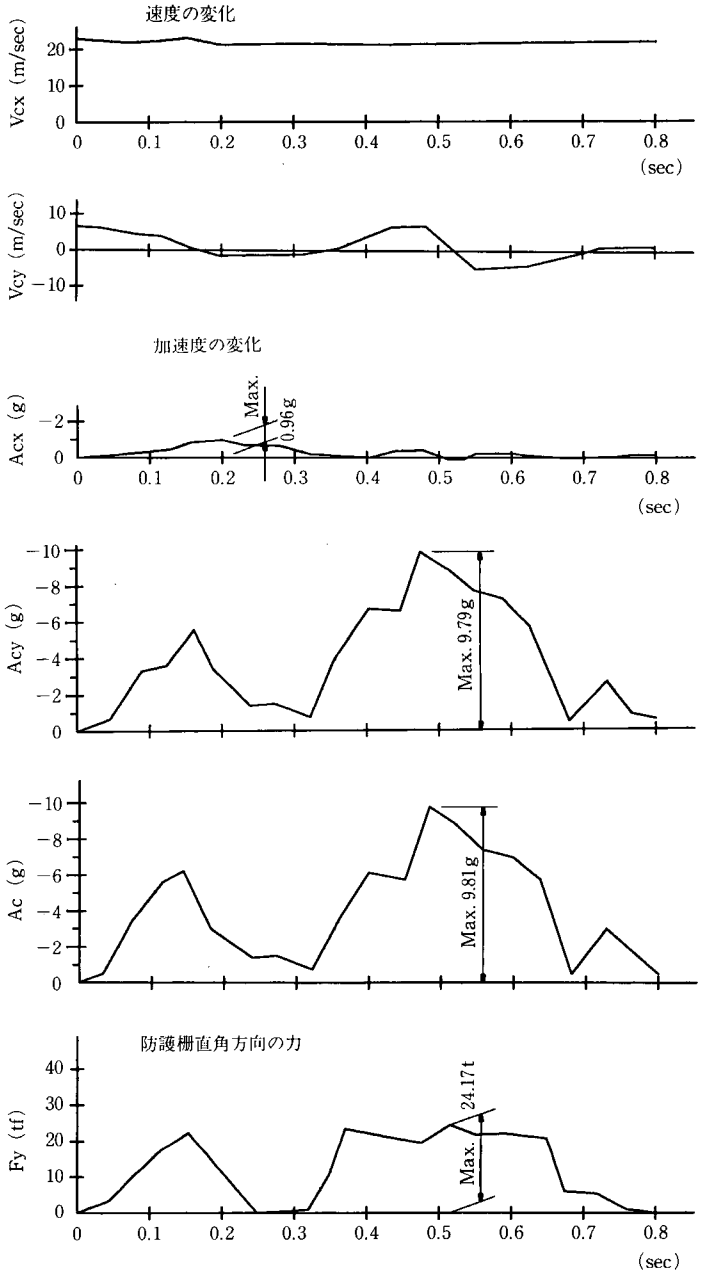
衝突条件：速度＝80 km/h　進入角度＝15度　重量＝14 ton

防護柵の変形



姿勢角及び進行角の変化





付図6-1　衝突シミュレーション結果

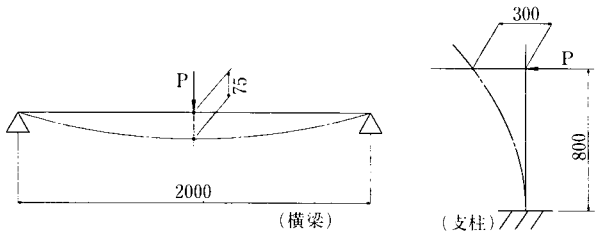
付表6-2　車両に関するインプットデータ（第1群インプットデータ）

項	目		数値
M	数値解のくり返し回数	—	—
H	くり返し間隔	sec	0.02
L_1	前輪軸の重心よりの隔たり	m	4.358
L_2	後輪軸の重心よりの隔たり	m	2.032
A_1	前端の重心よりの隔たり	m	5.578
A_2	後端の重心よりの隔たり	m	6.182
B_1	前端の幅の半分	m	1.150
B_2	後端の幅の半分	m	1.210
W_1	前輪の輪距の半分	m	0.995
W_2	後輪の輪距の半分	m	0.890
W_R	車輪の半径	m	0.500
D_u	運転席の重心よりの隔たり	m	4.238
R＊R	慣性半径の2乗	m^2	4.930
W	重量	t	14.00
K_1	前端でのバネ常数	tf/m^2	50.0
K_2	後端でのバネ常数	tf/m^2	100.0
FWC	防護柵の間の摩擦係数		0.100
FMAX	路面の最大横すべり摩擦係数		0.700

付表6-3　防護柵に関するインプットデータ（第2群インプットデータ）

種別	型式	横梁				支柱			
		断面寸法	Mo tf·m	ΣMo tf·m	EI tf·m^2	断面寸法	Pw tf	Pk tf/m	支柱間隔 m
S	ボックスビーム	上段　220×200	6.9	9.1	81.3	125×120	8.3	202	1.5
		下段　120×70	2.2						

注：1)　M_O, P_W, EI, PK は静荷重試験値である。
　　2)　静荷重試験の概要は下図のとおりである。



付表6-4　衝突条件に関するインプットデータ
（第3群インプットデータ）

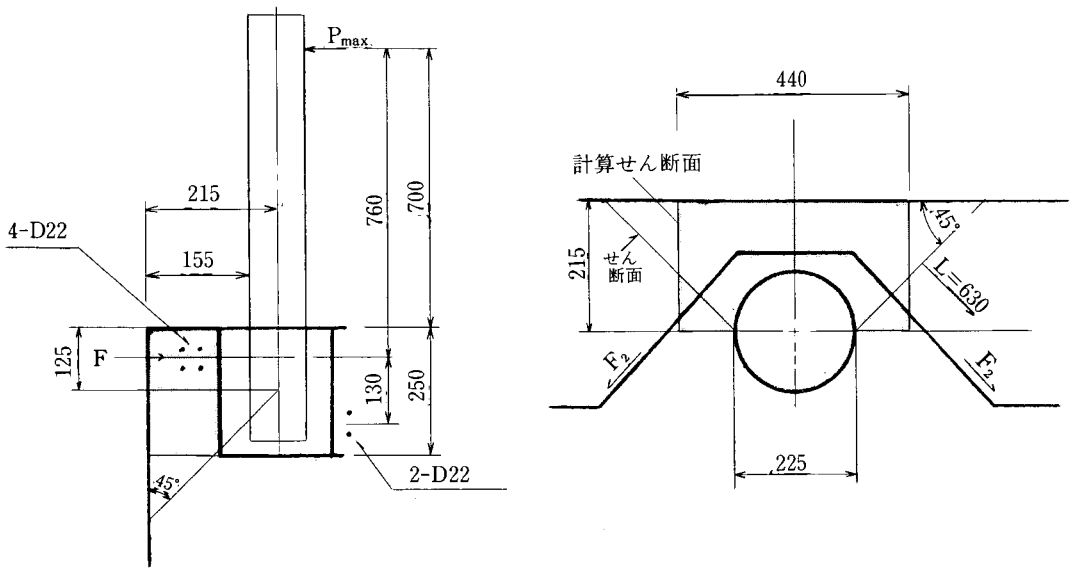
種　別	車両衝突角度	車両衝突速度
S　種	15度	80 km/h

7. 支柱定着部の検討

(1) 衝突実験測定値より算出

1) 後部地覆

地覆に発生する水平力
P_{max} = 8.4 tonf
h_1 = 13.0 cm
h_2 = 76.0 cm



付図7-1

後部地覆に作用する力 F

$$F=\frac{h_1+h_2}{h_1}\cdot P_{max}=\frac{13+76}{13}\times 8400=57500\ \text{kgf}$$

Fに対して，コンクリートの抵抗せん断力 F_1 と補強筋が抵抗する力 F_2' にて抵抗する。

コンクリートの抵抗せん断力 F_1

$F_1=\tau_{ca}\cdot S$　ここに S は付図7-1より

$$S=2\times 23.3\times 21.5+21.5\times 44=1950\ \text{cm}^2$$

$\therefore F_1=5.85\times 1950=11410$ kgf

道路橋示方書により許容せん断力は 3.9 kgf/cm², 割増係数を1.5とすると

$\tau_{ca}=3.9\times 1.5=5.85$ kgf/cm²

補強筋が受け持つ F_2'

$F_2'=F-F_1$

$=57500-11410=46090$ kgf

補強筋に作用する引張力 F_2

$$F2=\frac{F_2'}{2\cdot\cos 45^\circ}=\frac{46090}{2\cdot\cos 45^\circ}=32590\ \text{kgf}$$

鉄筋に発生する引張応力度 σ(4−D22, SD30)

$$\sigma=\frac{F_2}{4\cdot A}=\frac{32590}{4\times 3.871}=2100\ \mathrm{kgf/cm^2}<3000\ \mathrm{kgf/cm^2}\cdots\cdots\mathrm{OK}$$

D22 公称断面積　$A=3.871\ \mathrm{cm^2}$

SD30 の降伏点　$\sigma=3000\ \mathrm{kgf/cm^2}$

2)　前部地覆

前部は後部に比較して十分なコンクリートがあるため，後部筋の半分，D22 を 2 本配置すればよい。

3)　補強筋の付着応力度 f

$$f=\frac{F_2}{4\cdot\pi DL}=\frac{32590}{4\times\pi\times 2.2\times 63}=18.7\ \mathrm{kgf/cm^2}<24\ \mathrm{kgf/cm^2}\cdots\cdots\mathrm{OK}$$

道路橋示方書により許容付着応力度は16 kgf/cm²，割増係数を1.5とすると

許容付着応力度　$fa=16\times 1.5=24\ \mathrm{kgf/cm^2}$

(2)　静荷重試験値より算出

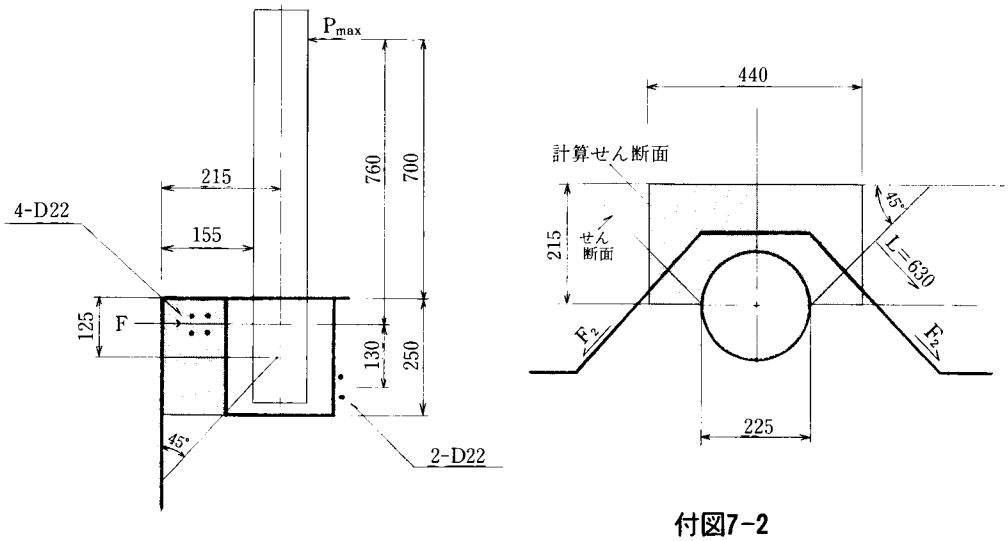
1)　後部地覆

地覆に発生する水平力

$$P_{max}=8.9\times\frac{800}{700}=10.2\ \mathrm{tonf}$$

$h_1=13.0\ \mathrm{cm}$

$h_2=76.0\ \mathrm{cm}$



付図7-2

後部地覆に作用する力 F

$$F=\frac{h_1+h_2}{h_1}\cdot P_{max}=\frac{13+76}{13}\times 10200=69830\ \mathrm{kgf}$$

Fに対して，コンクリートの抵抗せん断力 F_1 と補強筋が抵抗する力 F_2' にて抵抗する。

コンクリートの抵抗せん断力 F_1

$F_1=\tau_{ca}\cdot S$　ここに S は付図7−2より

$$S=2\times 23.3\times 21.5+21.5\times 44=1950\ \mathrm{cm^2}$$

$\therefore F_1 = 5.85 \times 1950 = 11410$ kgf

道路橋示方書により許容せん断力は 3.9 kgf/cm^2，割増係数を1.5とすると

$\tau_{ca} = 3.9 \times 1.5 = 5.85$ kgf/cm^2

補強筋が受け持つ力 F_2'

$F_2' = F - F_1$

$= 69830 - 11410 = 58420$ kgf

補強筋に作用する引張力 F_2

$$F_2 = \frac{F_2'}{2 \cdot \cos 45^\circ} = \frac{58420}{2 \cdot \cos 45^\circ} = 41300 \text{ kgf}$$

鉄筋に発生する引張応力度 σ (4－D22, SD30)

$$\sigma = \frac{F_2}{4 \cdot A} = \frac{41300}{4 \times 3.871} = 2670 \text{ kgf/cm}^2 < 3000 \text{ kgf/cm}^2 \cdots\cdots \text{OK}$$

D22 公称断面積　$A = 3.871$ cm^2

SD30 の降伏点　$\sigma = 3000$ kgf/cm^2

2)　前部地覆

前部は後部に比較して十分なコンクリートがあるため，後部筋の半分，D22 を 2 本配置すればよい。

3)　補強筋の付着応力度 f

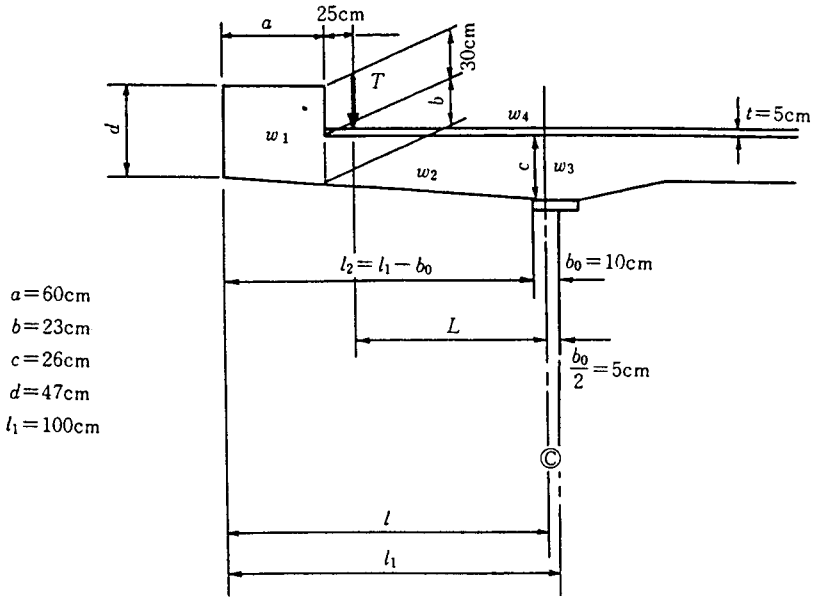
$$f = \frac{F_2}{4 \cdot \pi DL} = \frac{41300}{4 \times \pi \times 2.2 \times 63} = 23.7 \text{ kgf/cm}^2 < 24 \text{ kgf/cm}^2 \cdots\cdots \text{OK}$$

道路橋示方書により許容付着応力度は 16 kgf/cm^2，割増係数を1.5とすると

許容付着応力度　$fa = 16 \times 1.5 = 24$ kgf/cm^2

8. 床版に与える影響

防護柵を設置する床版は建設省制定標準設計の中から下図の形状を仮定する。



付図8-1

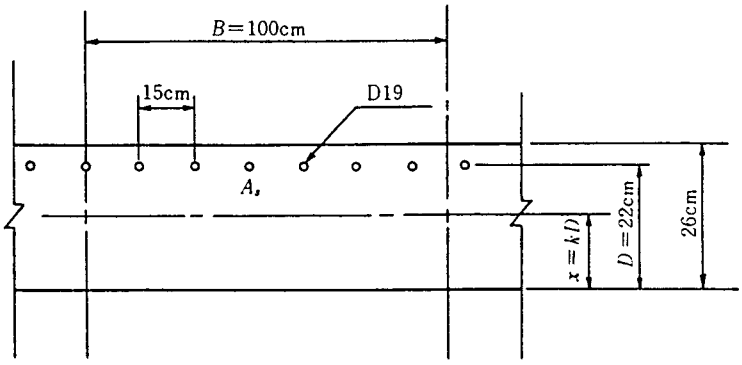
(i) 片持版©部の抵抗曲げモーメント M_R の算定（1 m 幅当り）

鉄筋断面積　$A_s = D19 - 150^{ctc} = 19.1\ \mathrm{cm}^2$

鉄筋比　$P = \dfrac{A_s}{BD} = \dfrac{19.1}{100 \times 22} = 0.00868$

中立軸比 $k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$

$n = 15$ より



付図8-2

$k=0.396$

中立軸までの距離 x

$$x=kD$$
$$=0.396\times 22$$
$$=8.71\ \text{cm}$$

釣り合い中立軸までの距離 x'

$$x'=\frac{2\cdot\sigma_{sa}\cdot A_s}{B\cdot\sigma_{ca}}$$

ここに　$\sigma_{sa}=1400\ \text{kgf/cm}^2$

$\sigma_{ca}=85.7\ \text{kgf/cm}^2$

$$\therefore x'=\frac{2\times 1400\times 19.1}{100\times 85.7}=6.24\ \text{cm}$$

$x>x'$ より鉄筋で抵抗曲げモーメントがきまる。

抵抗曲げモーメント M_R

$$M_R=As\cdot\sigma_{sa}\left(D-\frac{x}{3}\right)$$

$$=19.1\times 1400\left(22-\frac{8.71}{3}\right)=510600\ \text{kgf}\cdot\text{cm}$$

$$\longrightarrow 5.1\ \text{tf}\cdot\text{m}$$

主荷重＋衝突荷重の場合，許容応力度の割増しを1.5とすると

許容抵抗曲げモーメント M_R'

$$M_R'=1.5\times M_R=1.5\times 5.1=7.65\ \text{tf}\cdot\text{m}$$

(ii)　片持版©部に発生する最大曲げモーメント $sM_{\max}$（1 m 幅当り）

$$sM_{\max}=M_t+M_d+M_s$$

ここに　M_t：T 荷重による曲げモーメント

M_d：死荷重による曲げモーメント

M_s：衝突による曲げモーメント

$$M_t=\frac{P\cdot L}{1.30L+0.25}$$　　P：kgf

L：m

ここに　$P=8.0\text{tf}$

$$L=l_1-\frac{bo}{2}-(a+25)=100-5-(60+25)=10\ \text{cm}$$

$$\therefore M_t=\frac{8000\times 0.1}{1.30\times 0.1+0.25}=2105\ \text{kgf}\cdot\text{m}\longrightarrow 2.11\ \text{tf}\cdot\text{m}$$

$$M_d=\frac{wld^2}{2}=W\cdot l$$

W:自重

l:重心から支点までの距離

ここに　$W_1=2.5\times(0.47+0.53)\times0.6\times\frac{1}{2}=0.750$ tf

$W_2=2.5\times(0.23+0.26)\times0.3\times\frac{1}{2}=0.184$ tf

$W_3=2.5\times0.05\times0.26=0.0325$ tf

$W_4=2.3\times0.05\times0.35=0.0403$ tf

$M_{d1}=W_1\cdot l=0.750\times0.65=0.488$ tf·m

$M_{d2}=W_2\cdot l=0.184\times0.164=0.030$ tf·m

$M_{d3}=W_3\cdot l=0.0325\times0.025=0.001$ tf·m

$M_{d4}=W_4\cdot l=0.0403\times0.175=0.007$ tf·m

$\therefore M_d=M_{d1}+M_{d2}+M_{d3}+M_{d4}=0.526$ tf·m

1)　衝突実験測定値の場合（実験 2）

$M_s=\frac{M_{\max}}{l}$　ここに $M_{\max}=8.4\times0.7=5.88$ tf·m

$l=1.5$ m（支柱間隔）

$=\frac{5.88}{1.5}$

$=3.92$ tf·m/m

以上より

$sM_{\max}=M_t+M_d+M_s$

$=2.11+0.526+3.92=6.56$ tf·m

2)　静荷重試験測定値の場合

$M_s=\frac{M_{\max}}{l}$　ここに $M_{\max}=8.9\times0.8=7.12$ tf·m

$l=1.5$ m（支柱間隔）

$=\frac{7.12}{1.5}$

$=4.75$ tf·m/m

以上より

$sM_{\max}=M_t+M_d+M_s$

$=2.11+0.526+4.75=7.39$ tf·m

∴許容抵抗曲げモーメントはいずれも $M_R'=7.65$ tf·m であることから OK

付録Ⅱ

S種防護柵に関する設計の考え方

1. 設計条件……89
2. 設計諸元……89
3. 支柱と横梁の部材選定域……90
4. 継手の設計……91
5. 定着部の設計……91

建設省土木研究所と㈳軽金属協会では，昭和54年度に『アルミニウム合金製高欄型自動車用防護柵に関する研究』を共同で行い，その成果は『防護柵設置要綱・資料集』に活用され，その中に掲げられた設計方法，設計諸元等は，防護柵設計に当たってのよりどころとなっている。

今回，未開発種別であったS種防護柵に焦点を当て，実車衝突実験を通しその機能，強度，安全性等についての研究を行った。ここで得られた各種データを基に，『防護柵設置要綱』，『同・資料集』に準拠してS種に関する設計の考え方を検討してみた。今後の高強度型防護柵設計に当たっての参考となるであろう。

1. 設計条件

S種防護柵の設計条件は，『防護柵設置要綱』に準拠し，付表-1の通りとした。

付表—1

	種別	適用する道路の種類	設計条件					
			車両の衝突速度 (km/h)	車両の重量 (t)	車両の衝突角度 (度)	車両の受ける加速度 (g)	車両の最大進入行程 支柱を土中に埋め込む場合 (m)	車両の最大進入行程 支柱をコンクリートに埋め込む場合 (m)
路側用	A	高速自動車国道 自動車専用道路 特に主要な一般国道	60	14 および 3.5	15	4 以下	1.1 以下	0.3 以下
	B	主要な一般国道 主要な地方道 都市内の主要道路	40					
	C	その他の道路	35					
	S	道路の種類に関係なく国鉄新幹線等と交差または近接している道路の区間	80			—		

なお，同要綱では土中及びコンクリート埋込みの各々について，最大進入行程が規定されている。

しかし，本設計の考え方では，コンクリート埋込みの場合を対象とした。

2. 設計諸元

設計諸元は，『防護柵設置要綱・資料集』（以下『資料集』という）に準拠し実車衝突実験により得られたデータを基に，付表-2の通りとした。

ブロックアウト量，横梁の極限曲げモーメント及び支柱間隔については，実験供試体の諸元を採用した。主要横梁及び，下段横梁中心高さは『資料集』の値と同じとした。

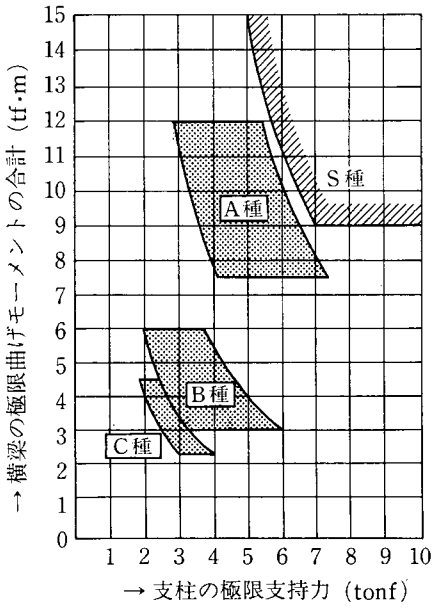
付表—2　設計諸元

諸元 ＼ 種別	ブロックアウト量 (mm)		横梁の極限曲げモーメント (tf·m)				支柱間隔 (m)	主要横梁中心高さ (cm)	下段横梁中心高さ (cm)
	主要横梁	下段横梁	横梁合計	主要横梁	下段横梁				
					1本使用の場合の単体	複数本使用の場合の単体			
S	以上 75	以上 70	以上 9.0	以上 6.8	以上 2.2	以上 1.3	以下 1.5	以上 60 以下 80	以上 25 以下 55
A	以上 75	以上 50	以上 7.5	以上 5.5	以上 2.0	以上 1.2	以下 2.0	以上 60 以下 80	以上 25 以下 55
B	以上 45	以上 30	以上 3.0	以上 2.2	以上 0.8	以上 0.5			
C	以上 40	以上 25	以上 2.3	以上 1.7	以上 0.6	以上 0.4			

注1　ブロックアウト量は，支柱の最前面までの突出量を示す。なお，衝突車両の転倒を防止するために下段横梁は，主要横梁より突出してはならない。
注2　主要横梁及び下段横梁の中心高さは，地覆上端からとする。

3.　支柱と横梁の部材選定域

支柱と横梁の部材選定域は，前項の2の設計諸元と同様に『資料集』に準じ付図-1の通りとした。



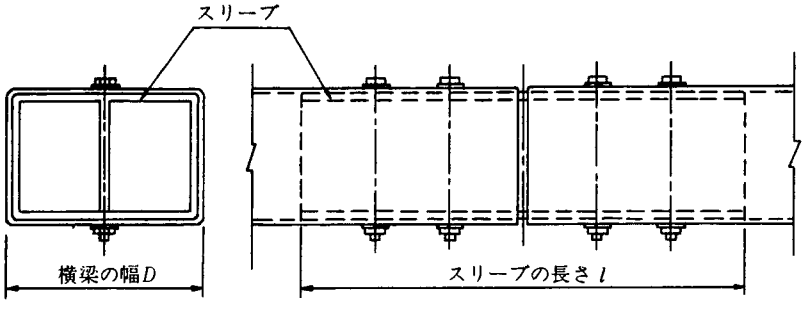
付図-1　支柱と横梁の部材の選定

注：支柱間隔は，S種1.5 m以下，A, B, C種2 m以下とする。

なお，本選定域は，土木研究所資料第574号『防護柵衝突シミュレーションに関する研究』により，防護柵変位量が 300 mm 以下になるように設定した。但しこの場合の支柱間隔は 1.5 m とした。

4. 継手の設計

横梁の継手構造は，『資料集』に準拠し，付図-2 の通りとした。



スリーブ長さ $l \geqq 2D$ かつ $l \geqq 30$ cm

スリーブの極限曲げモーメント≧0.75×横梁の極限曲げモーメント

付図-2 横梁の継手構造

また，本実験の S 種については，支柱間隔を 1.5 m に短縮した結果，過去の A 種の支柱間隔 2 m の実験における防護柵の変位量と同等であった。

このことから S 種の継手部に作用した引張力は，A 種とほぼ同じと考え，付表-3 の通りとした。

付表—3 継手部の引張力

種　別	引　張　力（軸力） tonf	
	主要横梁の継手部	下　段　横　梁　の　継　手　部
S	22.5	$22.5 \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}}$ あるいは11.3の大きいほう。
A	22.5	$22.5 \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}}$ あるいは11.3の大きいほう。
B 及び C	10.0	$10.0 \times \frac{\text{下段横梁の極限曲げモーメント}}{\text{主要横梁の極限曲げモーメント}}$ あるいは5.0の大きいほう。

注：支柱間隔は，S 種1.5 m 以下，A,B,C 種 2 m 以下とする。

5. 定着部の設計

定着部の設計に当たっては，支柱の塑性域での最大支持力 P_{max} によって地覆が破壊されないように設計するものとする。

以上，設計の考え方を述べたが，公的機関による実車衝突実験にて安全性の確認された防護柵については，ここで示した各種設定値に拘束されることはない。

SI 単位系への換算率表

量	SI 単位以外		SI 単位		SI 単位への換算率
	名称	記号	名称	記号	
力	重量キログラム	kgf	ニュートン	N	9.80665
応力	重量キログラム毎平方センチメートル	kgf/cm^2	パスカル	Pa	9.80665
			ニュートン毎平方ミリメートル	N/mm^2	9.80665×10^{-2}
圧力	重量キログラム毎平方センチメートル	kgf/cm^2	パスカル	Pa	9.80665
仕事	重量キログラム×メートル	kgf·m	ジュール	J	9.80665
加速度	ガル	gal	メートル毎称毎秒	m/s^2	10^{-2}
	ジー	g			9.80665
角度	度	°	ラジアン	rad	$\pi/180$

注：SI 単位以外の量×SI 単位への換算率＝SI 単位における量
例：1 kgf×9.80665＝9.80665N

アルミニウム合金製高強度型
防護柵の開発に関する研究

土木研究所共同研究報告書第42号
平成２年３月　(1990)

建設省土木研究所
社団法人　軽金属協会

アルミニウム合金は，重量が軽い，耐食性・加工性に優れているなどの特長があり，美観を考慮する橋梁上の防護柵として多く利用されている。これまでにアルミニウム合金製防護柵としては，Ａ・Ｂ種の防護柵（オーバルビーム，ボックスビーム及びパイプビームの３形式）が開発されているが，路外が著しく危険な箇所に設置されるＳ種については未開発であった。本報告書はＳ種相当以上のアルミニウム合金製高強度型防護柵の開発を目的として行った共同研究結果についてとりまとめたものである。

キーワード：アルミニウム合金，防護柵，高欄，高強度型防護柵

郵便はがき

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

交通安全研究室　御中

No. 16

No. 16

土木研究所共同研究報告書

第 42 号　　部

上記のとおり受領しました。

所属(住所)

氏名　　印