

鋼製高欄型S種防護柵の開発に関する 共同研究報告書

平成 4 年 3 月

建設省 土木研究所
道路部 交通安全研究室

財団法人 土木研究センター

Copyright © (1992) 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。

鋼製高欄型 S 種防護柵の 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 絃郎

交通安全研究室 室 長

河島 正治

研究員

酒井 洋一

財団法人 土木研究センター

専務理事

柳田 力

研究開発部

次 長

近藤 伸治

スチール高欄会

株式会社興和工業所

ミナト東工場土木建材部

部 長

藤澤 保

ミナト東工場土木建材部

建設技術課長

宮前 裕道

積水樹脂株式会社

建設資材事業本部景観事業部

高欄企画担当課長

磯本 真治

建設資材事業本部景観事業部

景観住建商品開発室グループ長

山本 文雄

株式会社ダイクレ

営業本部土木加工製品部

営業二課長

澤田 宣明

技術本部

研究開発課

荒神 明登

日本軽金属株式会社

公共エンジニアリング事業部

営業担当部長

光畑 裕彦

公共エンジニアリング事業部

設計工事部設計課長

三上 聡

要 旨

高欄型の防護柵は、美観に配慮する必要の高い橋梁上の防護柵として多く利用されている。これまでに鋼製高欄型防護柵としては、A種以下の防護柵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種の鋼製高欄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まとめたものである。

キーワード：防護柵，高欄，高強度型防護柵，鋼製

ま え が き

美観に配慮する必要性の高い橋梁には、高欄型の防護柵が使用されている。高欄型防護柵は「防護柵設置要綱・資料集」に基づいて設計されており、A・B・C種についてはこれまでに数多くの形式が提案され、実際に設置されている。しかしながら、二次的事故のおそれのある区間に設置されるS種の鋼製高欄型防護柵については「防護柵設置要綱資料集」に設計諸元が示されていないため、これまで実用化されてなかったのが現状である。

このような状況から、建設省土木研究所と財団法人土木研究センターでは、これまで未開発であった鋼製高欄型S種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および研究成果についてとりまとめたものである。

平成4年3月

建設省土木研究所

道路部 交通安全研究室

室 長 河島 正治

鋼製高欄型 S 種防護柵の
開発に関する共同研究報告書
目 次

1. 研究目的と背景	1
2. 研究手順	2
3. 供試体の部材検討	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	10
4.3.1 実験車両	10
4.3.2 防 護 柵	10
4.4 測定内容	13
4.4.1 測定項目	13
4.4.2 測定方法	13
4.4.3 計測システム	17
4.5 実験結果と考察	18
4.5.1 車両の挙動	18
4.5.2 防護柵の挙動	24
4.6 衝突シミュレーションとの比較	27
4.7 支柱定着部の検討	27
4.8 床版に与える影響	27
5. 実用化へ向けての検討	43
5.1 防護柵本体の改良	43

5.2	標準断面形状	44
5.3	定着部の検討	44
5.3.1	定着部の強度計算	44
5.3.2	定着部の考え方	47
6.	結 論	49
	あ と が き	50
	参 考 文 献	51
	付 録	53
付1.	資 料 編	55
付1.1	静荷重試験	57
付1.2	衝突シミュレーション(2)	62
付1.3	供 試 体	64
付1.4	測定方法	68
付1.5	衝突実験結果	73
付1.6	衝突シミュレーション(3)	90
付1.7	支柱定着部の検討	92
付1.8	床版に与える影響	93
付1.9	下段横梁へん平試験	96
付1.10	実用化支柱の静荷重試験	98
付2.	鋼製高欄型S種防護柵に関する設計の考え方	99

1. 研究目的と背景

防護柵は、「防護柵設置要綱（S47.10）」に基づいて整備が図られてきたが、橋梁用防護柵（高欄型防護柵）に関する詳細な技術指針が不足していた。そこで、「防護柵設置要綱」を補完する技術資料として「防護柵設置要綱・資料集（S61.7）」が発刊され、A、B、C種の高欄型防護柵に関する設計諸元が確立された。しかしながら、S種の設計諸元については未確立であった。

S種防護柵の用途は、「道路橋示方書」および「防護柵設置要綱」で次のように述べられている。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止まらず、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種の防護柵を設置することが望ましい。」となっている。また、防護柵設置要綱では「道路の種類に関係なく国鉄新幹線と交差または接近している道路の区間や、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起こすおそれのある区間では種別Sを使用することが望ましい。」とされている。

一方、最近の我が国においては道路整備が進み道路交通が高速化していることから、これらに対応する車両用防護柵の必要性が高まってきた。

このような背景から、平成2年3月にはアルミニウム合金製高欄型S種防護柵の開発が行われた。

ところで、鋼製高欄型防護柵は以下のような特徴を有している。

① 経済性

各種材料で最も安価な鋼材を使用している為、経済性に優れている。

② 施工性

構造形式が単純で、個々の橋梁経常に合わせて部材加工を行えることから、組立・補修等の現場施工性に優れている。

③ 耐候性

溶融亜鉛めっき、または溶融亜鉛めっき＋塗装をすることにより、長期耐候性を有することが可能である。

④ デザイン性

個々の橋梁景観に合わせたデザインで設計が可能であることからランドマークとしての橋梁用防護柵として優れている。

以上のようなことから、鋼製についてもS種防護柵の開発が望まれるようになってきた。そこで、本研究では鋼製高欄型S種防護柵の開発を目的として、各種実験や検討を行い、防護柵の強度機能や安全性を確認するとともに、衝突車両、防護柵の挙動等の観察・測定結果に検討を加え、高強度型車両用防護柵に関する種々の基礎資料を得ることとした。

2. 研究手順

本研究の手順を以下のフローに示す。

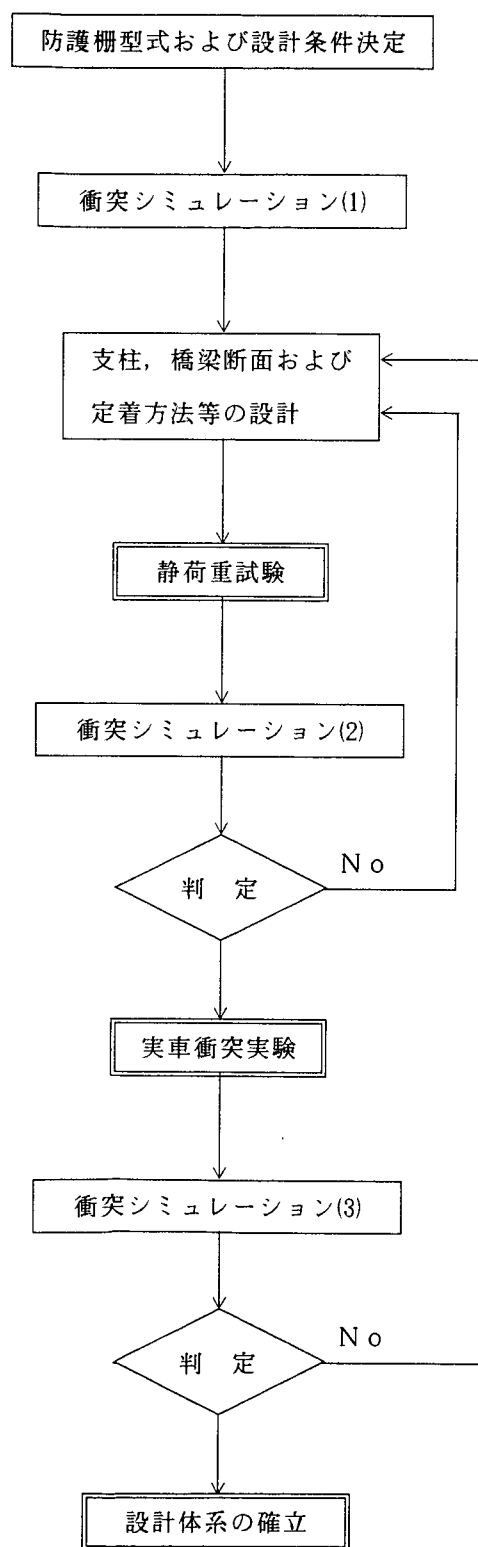


図-2.1 研究フロー

防護柵形式	鋼製高欄型防護柵
設計条件	種別 S

設計する防護柵の断面の目安を付けるための強度計算を行う。

設計変形量から目安のついた防護柵強度により、部材および定着構造について検討する。

地覆定着部、支柱・横梁の各部材について、静荷重試験を行い、衝突シミュレーション(2)の入力データに必要な断面諸値を測定する。

静荷重試験結果を基にデータを入力し、計算する。

静荷重試験および衝突シミュレーション結果から構造および部材断面を決定する。

実際に車両を衝突させて防護柵の強度、機能、安全性等を確認する。

実際の衝突条件を入力し、実験結果と比較検討する。

防護柵として実用に供されるかどうかを判定する。

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、部材強度基準等の設計に対する考え方を確立するとともに、支柱定着部および床版に与える影響についても検討する。

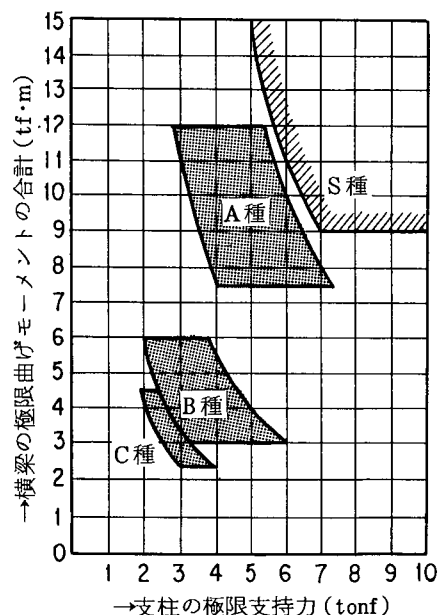
3. 供試体の部材検討

供試体の構造は、鋼製高欄型車両用防護柵で最も実績が多く強度およびデザイン性に優れたブロックアウト型丸パイプビーム構造を採用した。また、防護柵高さは他の種別で実績の最も多い85cm、下段横梁は経済性を考慮して1本、支柱間隔は1.5mにした。

3.1 部材の断面設計

鋼製高欄型S種防護柵に必要な主要部材の性能は、土木研究所共同研究報告書第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）」で提案された〔S種防護柵に関する設計の考え方〕に準じて、図-3.1の部材選定域を満足するものとした。

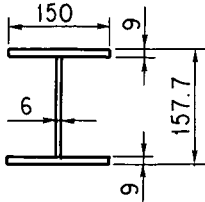
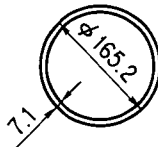
図-3.1を満足するように設定した主要部材の断面形状および計算性能値を表-3.1に示す。



注) 支柱間隔は、S種1.5m以下
A. B. C種2.0m以下とする。

図-3.1 支柱と横梁の部材選定領域

表-3.1 主要部材の計算性能値

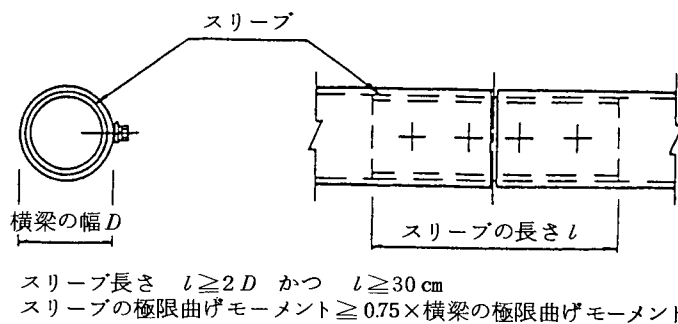
構 造	部 材	形 状	材 質	塑性断面係数 (cm ³)	計算性能値
	支 柱 A-A 断面		SS 400	230	$P_w=6.5tf$ $(\alpha=0.75)$
	主要横梁		STK 400	178	$M_o=7.7tf \cdot m$ $(\alpha=1.8)$
	下段横梁		STK 400	73.8	$M_o=2.7tf \cdot m$ $(\alpha=1.5)$

注： α は他種別の鋼製高欄型防護柵で、経験上得られた値より設定した。

3.2 継手部の設計

横梁の継手は施工性を考慮して支柱位置に設定することとした。

継手の強度は、土木研究所共同研究報告書第42号に準じて、「防護柵設置要綱・資料集」で規定されているA種と同等とした。図-3.2に継手の設計条件、図-3.3に継手構造を示す。



種 別	引 張 力 (軸力) tf	
	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

注：支柱間隔は、1.5m以下とする。

図-3.2 継手部の設計条件

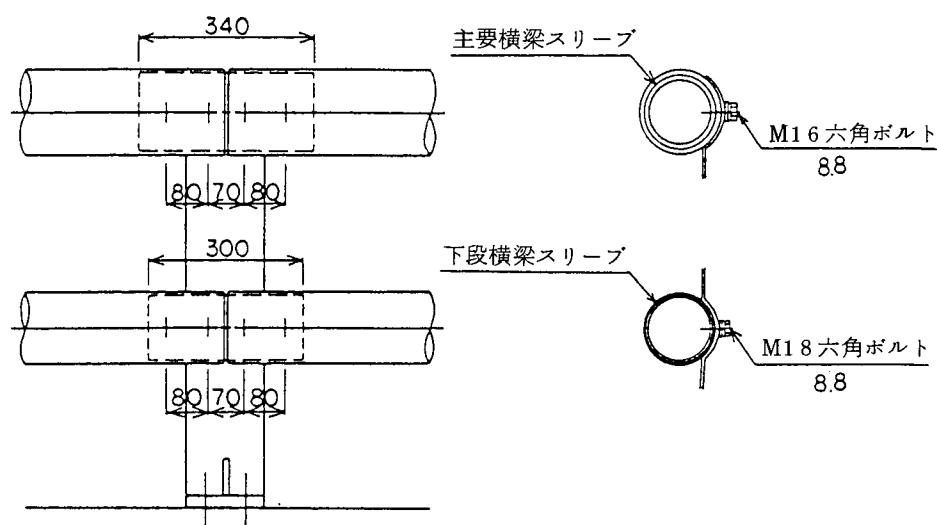


図-3.3 継手構造

3.3 定着部の設計

支柱の定着方法は、アンカーボルト（アンカープレートの埋め込み深さ＝250mm）方式を採用し、地覆幅は「防護柵設置要綱・資料集」に準じて600mm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が、「建設省制定標準設計」に示される床板片持ち部の許容できる支柱最大支持力（＝9.7tf）に耐えられるものとした。図-3.4に定着構造を示す。

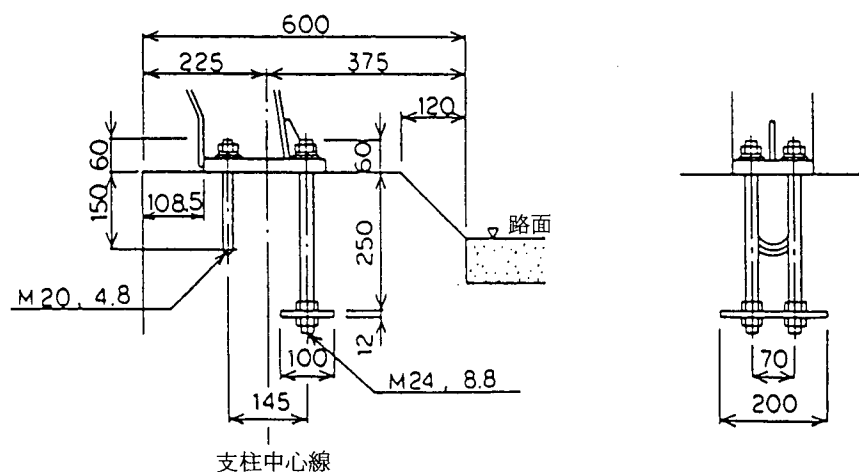


図-3.4 支柱定着部の構造

3.4 静荷重試験

「3.1」で設計された主要部材について、「防護柵設置要綱・資料集」に準じて静荷重試験を行った。その結果、図-3.5に示すように計算値とほぼ同等の性能が得られた。

なお、支柱の選定に際して数種類の構造について試験を実施したので、その結果を「付録1.1」に参考として示した。

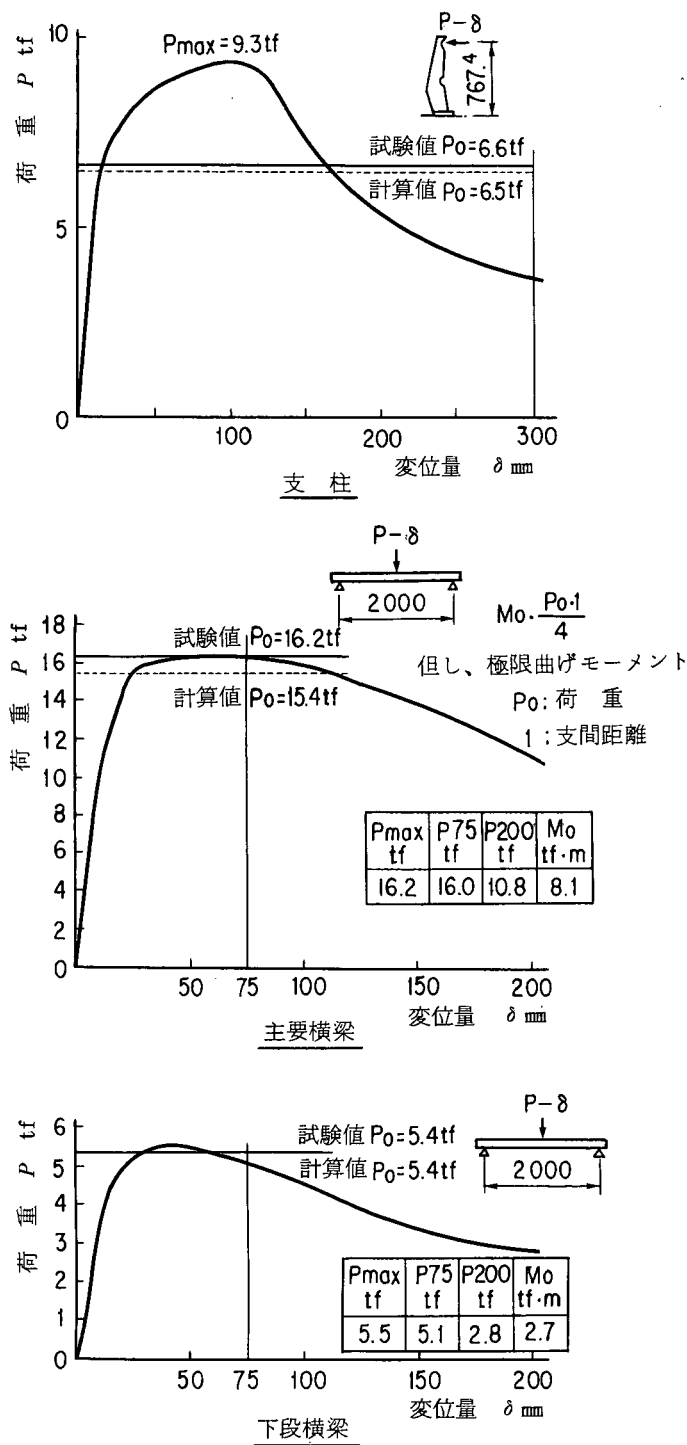


図-3.5 静荷重試験結果

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」に基づいて行なった。なお、ここでは衝突シミュレーション(1)については省略し、衝突シミュレーション(2)につい

て述べる。

衝突条件は、「防護柵設置要綱」のS種とし、各種条件を表-3.2に示した。防護柵に関するデータは設計された主要部材断面の静荷重試験値を入力して衝突シミュレーション(2)を行った。その結果、防護柵の最大変位量は29.7cmとなり、本供試体用防護柵が設計条件に対して強度的に満足していることが確認された。

表-3.2 衝突条件

種 別	車 両 重 量	車両衝突角度	車両衝突速度
S	14 t	15 度	80km/h

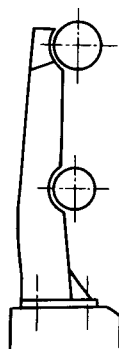
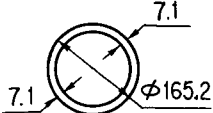
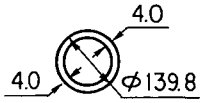
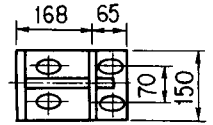
4. 実車衝突実験

「3.」項で構造設計されたものについて実車実験を行い、S種車両防護柵としての性能、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

実験は、新たに開発されたパイプビーム型S種防護柵について、小型乗用車および大型貨物車の各1ケースずつ行うこととした。なお、実験条件は「防護柵設置要綱」に準拠し、表-4.1のように定めた。

表-4.1 実験の種類と条件

名 称	防 護 柵 式	実 験 号	車 両	衝突条件	車 両 重 量	車両の最大 進入行程	備 考
高欄型S種防護柵 	パイプビーム ムタイプ S種	No.1	小 型 乗用車	速度 80 km/h 進入角度 15°	1.1 t	300mm 以下	主要構梁  下段横梁  ベース 
		No.2	大 型 貨物車	速度 80 km/h 進入角度 15°	14 t		

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-4.1に示す。

衝突車はドーリー（牽引用連結金具）を介してワイヤーに接続し、巻取ウインチにより供試体に向かって牽引加速される。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 140km/h、大型貨物車（20 t）で 100km/hであり、設定された速度は速度制御装置により、±1%の精度で制御されている。

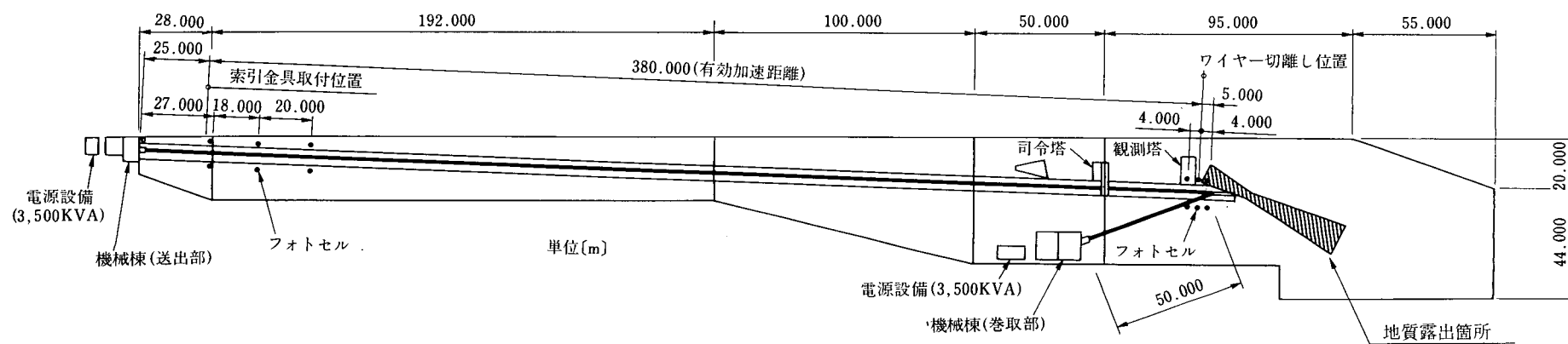


図-4.1 実験施設

4.3 供 試 体

4.3.1 実験車両

実験車両の諸元を表-4.2に示す。実験に使用した大型貨物車は、3軸で車両重量が10t（満載時の車両総重量が20t）の車両に4t積載して14t（衝突条件）としたものとし、小型乗用車については排気量1,500cc程度とした。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-4.2 実験車両の諸元

項 目		実験番号	
		1	2
		小 型 乗 用 車	大 型 貨 物 車
型 式		E-AE81 (1,452cc)	KF786
車 名		トヨタ・スプリンター	日 野
全 長		4,140	11,635
全 幅		1,615	2,430
全 高		1,343	2,635
重心位置（前輪からの距離）		1,070	4,110
重 心 高 さ		—	1,200
軸 距		2,430	第1：5,630 第2：1,265
軸 距	前 輪	1,440	2,000
	後 輪	1,440	1,760
オ ー バ ー ハ ン グ		810	1,325
タ イ ヤ 幅		155	200（接地幅）
タ イ ヤ の 外 径		570	1,020
ホイールの外径		360	560
車 両 重 量 （満載時） （kg）	前 輪	616	4,532
	後 輪	484	9,468
	合 計	1,100	14,000

注) オーバーハングは、車両前輪軸から全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-4.2に示し、各種使用部材の材質および機械的性質を表-4.3に示す。

床版と地覆コンクリートは普通ポルトランドセメントを使用し、設計基準強度 $\sigma_{ck}=240\text{kg/cm}^2$ とした。品質管理試験結果を表-4.4に示す。

また、床版と地覆部の鉄筋コンクリートの配筋は建設省制定「土木構造物標準設計…活荷重プレートガータ橋、床版構造」の1等橋TL-20に準拠した。

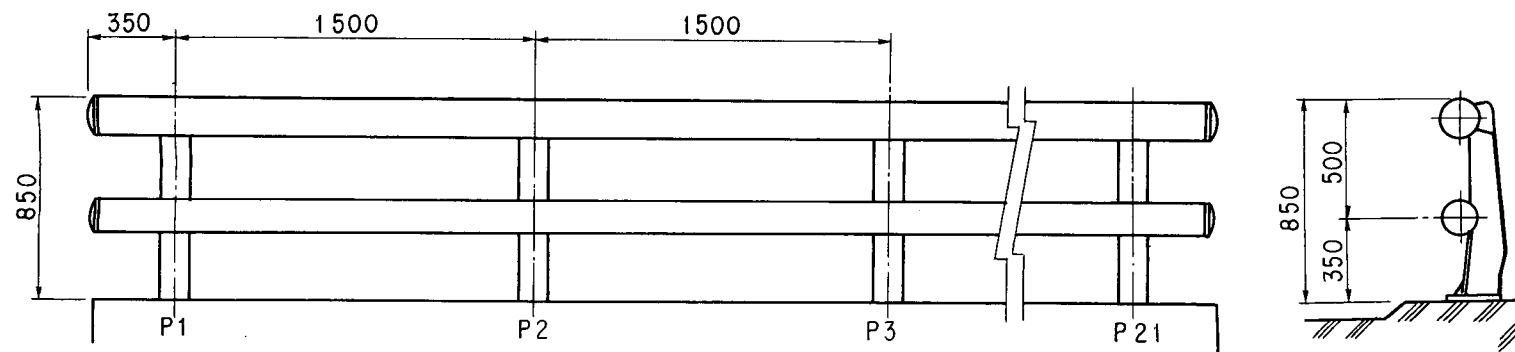
表－4.3 各部材の性質と強度区分および機械的性質

項 目 部 材 名	材 質 と 強 度 区 分	機 械 的 性 質 (J I S 規 格)	
		耐 力 (kgf/cm ²)	引 張 強 さ (kgf/cm ²)
主 要 横 梁	JIS G 3444「一般構造用炭素鋼鋼管」 STK400	2,400	4,100 以上
下 段 横 梁	JIS G 3444「一般構造用炭素鋼鋼管」 STK400	2,400	4,100 以上
支 柱	JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」 SS400	2,500 以上	4,100～5,200
主要横梁用スリーブ	JIS G 3445「機械構造用炭素鋼鋼管」 STKM13A	2,200	3,800
下段横梁用スリーブ	JIS G 3445「機械構造用炭素鋼鋼管」 STKM13A	2,200	3,800
アンカーボルト	JIS B 1180「六角ボルト」 8.8T	6,400	8,000
アンカーボルト	JIS B 1180「六角ボルト」 4.8T	2,500 以上	4,100～5,200
アンカープレート	JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」 SS400	2,500	4,100～5,200
主要横梁 — 支柱セットボルト	JIS B 1180「六角ボルト」 8.8T	6,400	8,000
下段横梁 — 支柱セットボルト	JIS B 1180「六角ボルト」 8.8T	6,400	8,000

表－4.4 コンクリートの品質管理試験結果

スランブ (cm)	空気量 (%)	※ コンクリート強度 (kgf/cm ²)			
		材 令		圧 縮 強 度	引張強度
8.2	4.1	実験時	小型乗用車	$\sigma 15$ (15日), 242	—
目 標 値			大型貨物車	$\sigma 23$ (23日), 255	23
8	4	目 標 値		240	24

※ テストピース 3 箇の平均値を示す。



接続部詳細

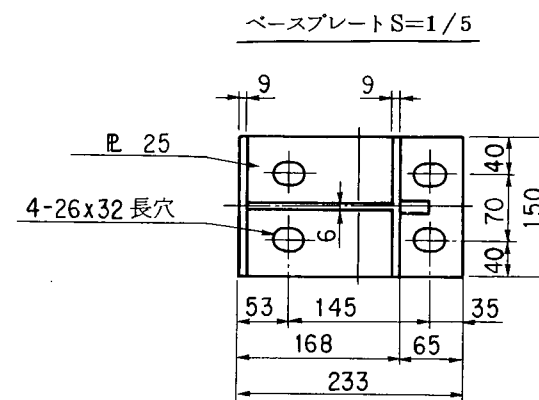
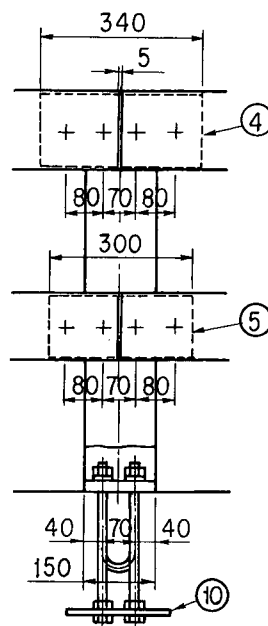
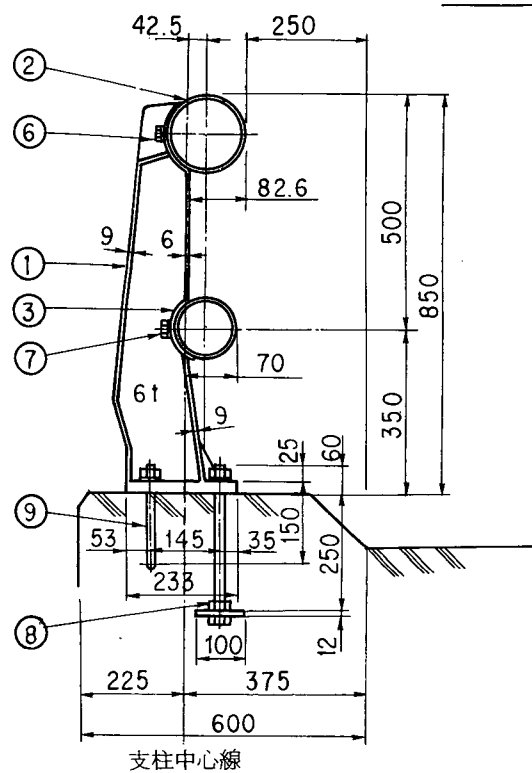


図-4.2 防護柵の組立断面形状図

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，離脱速度，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

衝突速度はドローリー切り離し位置付近に設けられたフォトセル，テープスイッチ式車両感知器および高速撮影フィルムの解析値から求めた。各々の方法は表－4.5に示す。

表－4.5 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	テープスイッチ式	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。（離脱速度も測定）
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。

(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（進行方向X，進行直角方向Y，垂直方向Z）を加速度計により図－4.3に示す測定系で行った。なお，運転席ダミーは，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－4.6に加速度計取付部位とその測定方法を示す。

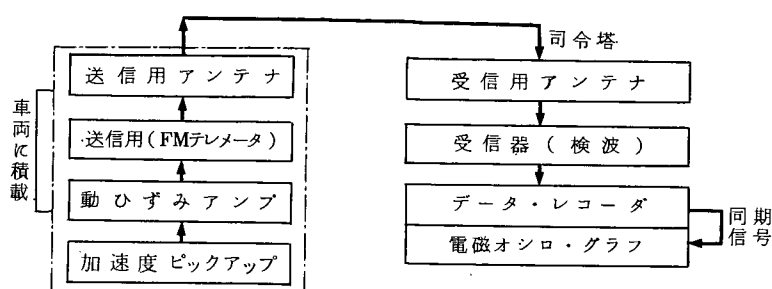
表－4.6 加速度計取付部位と測定方法

実験番号		ダミ－					車両重心	合計 FM+C
		運転席			助手席			
		頭部	胸部	大腿部	頭部	胸部		
No. 1	X	○	●	▲	○	●	○	6+8=14
No. 2	Y	○	●		○	●	○	
	Z	●	●	—	—	—	●	

FM：テレメータ：○（日本無線製），C：カセットレコーダ：●，大腿部のひずみ：▲

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

(a) テレメータの場合



(b) カセットの場合
(車載)

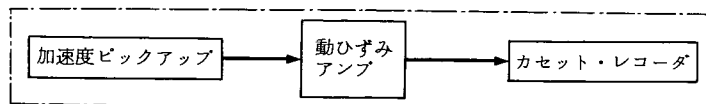
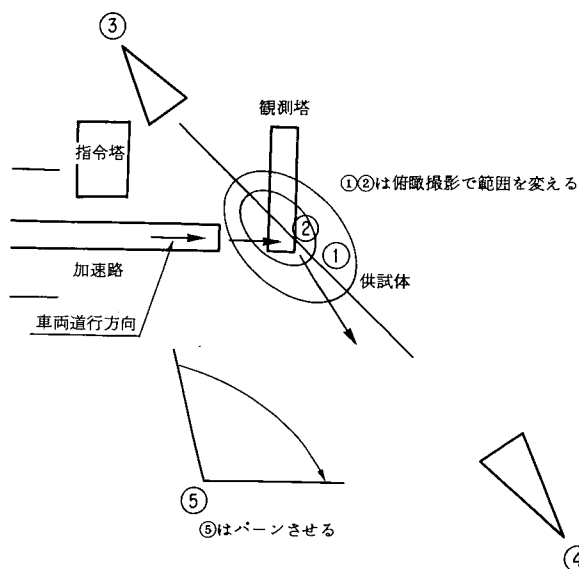


図-4.3 加速度の測定系

(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、16mmフィルムを撮影された映像から求めることとした。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-4.4にカメラの種類と配置を示す。



No	使用撮影機	撮影スピード 〔コマ/秒〕	撮影位置	カメラ位置
1	フォト・ソニック DHB-4A	400	上方	観測塔
2	フォト・ソニック DHB-4A	400	上方	観測塔
3	スクビック H16	64	後方	供試体延長
4	スクビック H16	64	前方	供試体延長
5	アリフレックス H16	24	側面	供試体正面

図-4.4 撮影カメラの種類と配置

(5) 衝突車両の損傷状況

衝突後の車両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-4.5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。

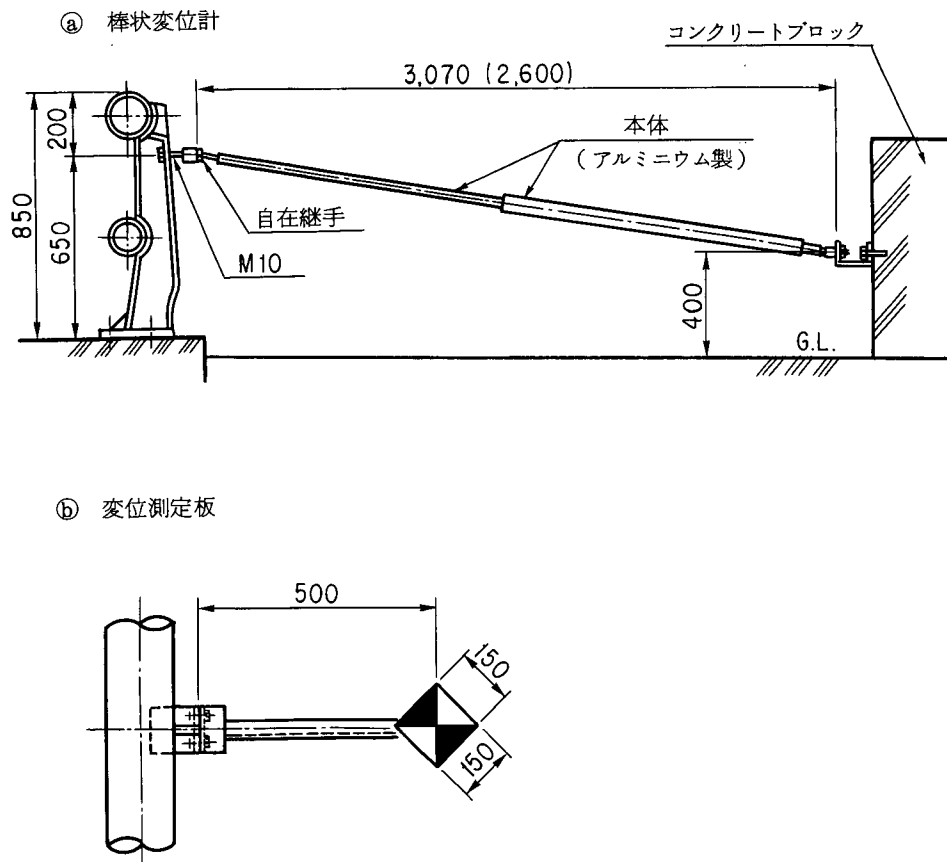


図-4.5 変位計取付要領

(7) 支柱に働く水平力

支柱に働く水平力は、図-4.6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、支柱はH型断面であることから、荷重とせん断力の関係を計算で求めた場合に誤差が大きくなると想定されたので、静荷重試験の際に校正した。

(a) ひずみゲージ貼付位置、方向 (b) ストレインゲージの結線方法

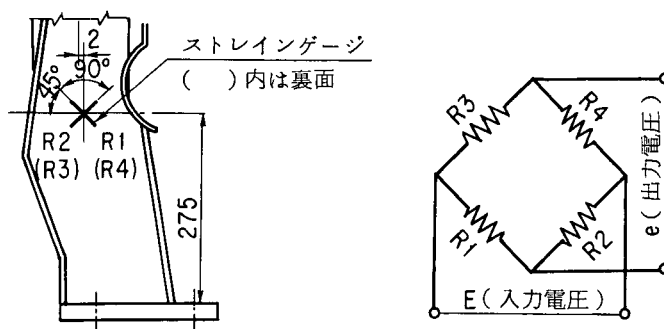


図-4.6 ひずみゲージ貼付け位置および結線方法

(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-4.7に示す位置にひずみゲージを貼り付けて測定された値から算定した。

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。

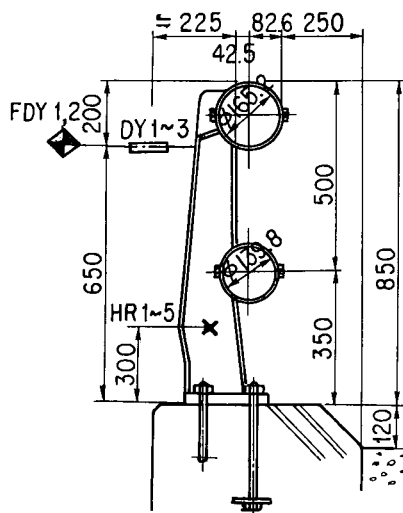


図-4.7 主要・下段横梁のひずみゲージ取付位置

(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、後輪および車体の前後端部に図-4.8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。

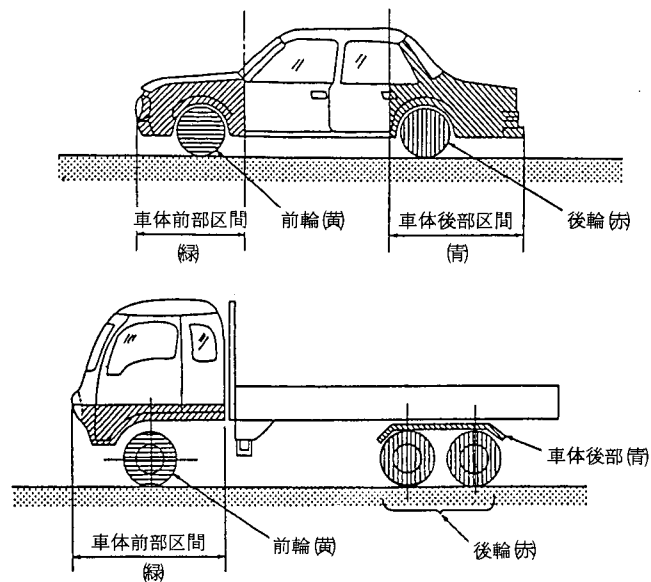


図-4.8 車両のスクラブマーク

4.4.3 計測システム

各測定項目の計測システムを図-4.9に示す。

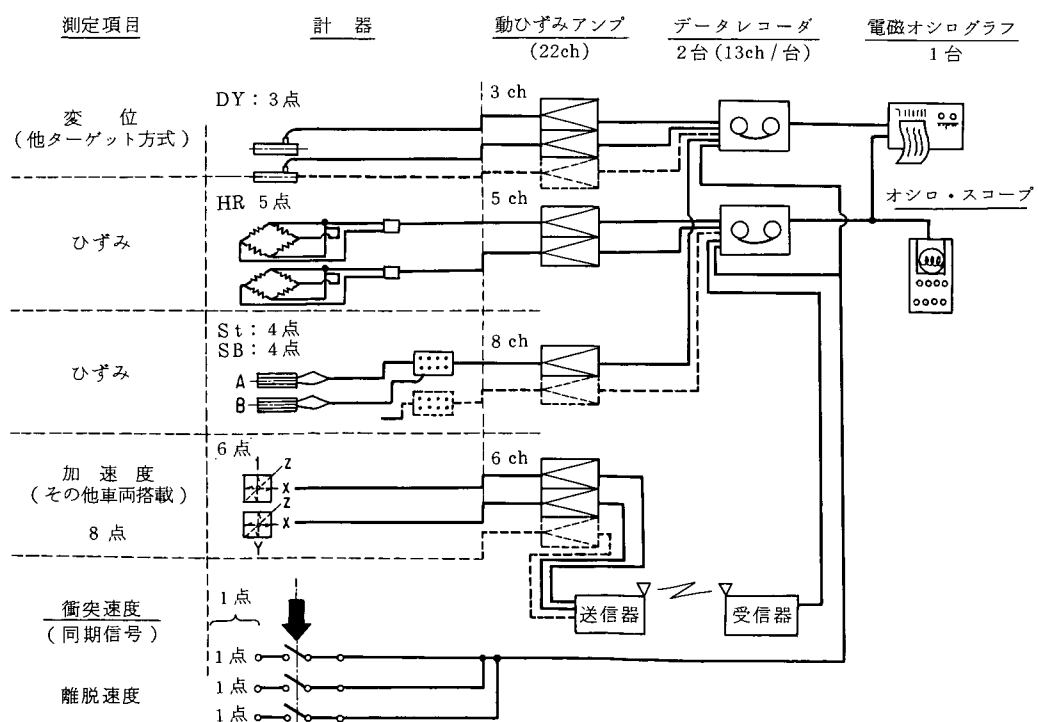


図-4.9 計測体系図

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－4.7に総括表として示し、実験状況を写真－4.2に示す。

4.5.1 車両の挙動

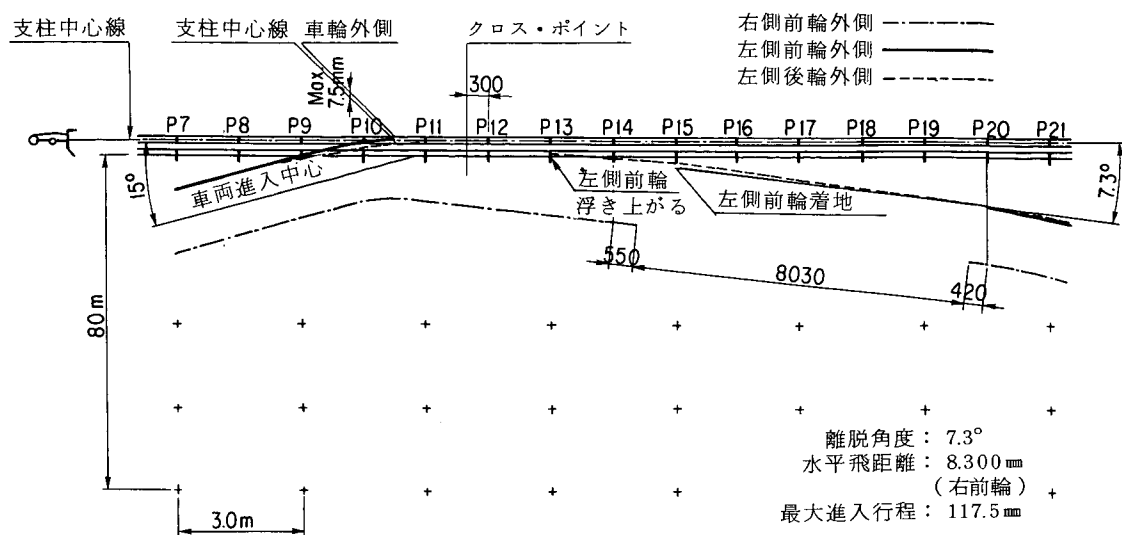
(1) 衝突速度・離脱速度

車両の衝突速度は実験1，実験2ともに設定条件の80km/hであった。一方，離脱速度は実験1で59km/h，実験2が65km/hであり，減速率はそれぞれ26%，19%であった。

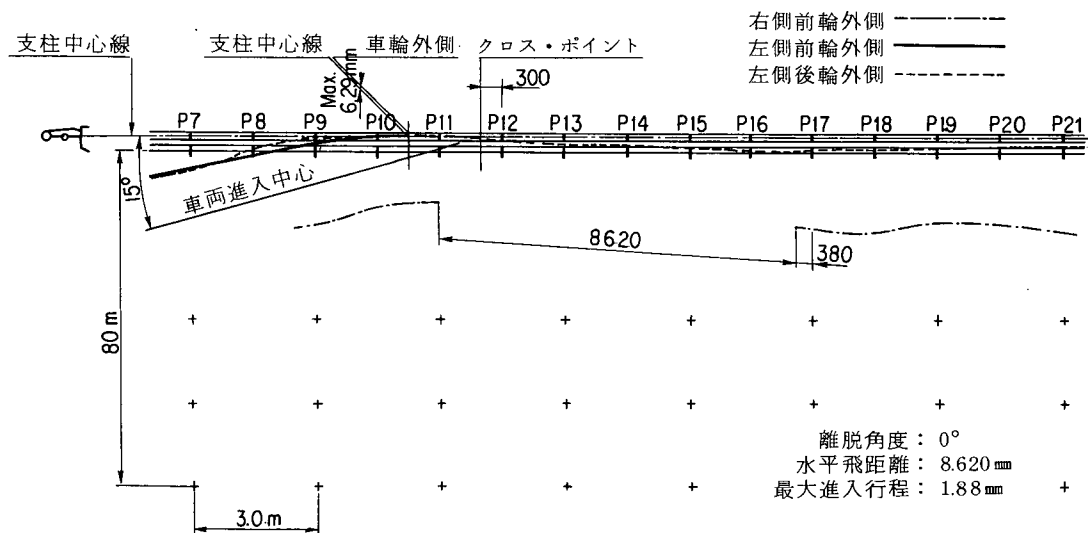
(2) 軌 跡

車両の衝突角度（進入角）は実験1，2ともに15度であり，車輪の外側最大進入量は実験1で118mm，実験2で188mmであった。なお，実験1（小型乗用車）の値は実験2（大型貨物車）に比べて，下段横梁の損傷や凹み等が衝撃度の割合より大きかった。これは小型乗用車の左側前輪下端部が下段横梁の下面に斜めに喰込んだためと考えられる。しかし，これらの値は「防護柵設置要綱」の規定値300mm以下であり，十分満足している。

一方，離脱角度は実験1で7.3度，実験2で0度であった。これらの値はいずれも浅い角度であり，さらにアメリカの実験基準（進入角の60%以下＝9度）よりも小さいことから，二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－4.10に実験1，2の車両の軌跡を示す。



軌 跡 図 (実験 1)



軌 跡 図 (実験 2)

図-4.10 車両の軌跡図



表－付 4. 7 実験結果総括表

実験番号 防護柵 型式	実験条件及び結果				離脱角度 (離脱 速度)	衝突車両の 最大傾斜角 及び車輪の 浮上がり量 (cm)		車 両 防護柵 (m)	車両の 最大進 入行程 (mm)	車 両 最 大 加 速 度 (g)			防 護 柵 変 位 量			防 護 柵 最 大 応 力		損 傷 状 況																	
	重 量 (ton)	速 度 (km/h)	進入角 (度)	衝撃度 (tf・m)		前端	後端			車 両 重 心	X	Y	支 柱 Y方向 (PL+ 650m)	最大残留変位量 (mm)		支柱最大 水平力 (tf) Y 方 向	横梁の軸力 及び曲げ モーメント	防 護 柵	車 両																
														支	柱					Y方向	X方向	Y方向													
実験 1 パイプ ビーム型 S 種 小 型 乗 用 車	1.10	80 [80.4]	15	1.86 [1.88]	7.3 度 km/h (59.1)	6°	5°	3.67	117.5 (P10～ P11間)	車 両 重 心	X	9	☆ FD1:0 (P9) D1:8 (P10) D2:18 (P11) D3:3 (P12) ☆ FD2:0 (P13)	MAX 4 (P10)	0 (P10)	主要 横梁 4 (P10) 下段 横梁 13 (P9+ 1.300 mm)	HR1:1.0 (P9) HR2:6.3 (P10) HR3:4.0 (P11) HR4:0.2 (P12) HR5:0.5 (P13) ΣHR:9.1	主要横梁 軸力 (tf) ST1:0.25 ST2:0.01 (圧縮-0.995tf)	・支柱に2本 (P10, P11) 付根部に左前輪踏付跡, 横梁間に車体前後部の接触跡。 ・下段横梁2箇所 (P10 - 200mm, P10+400mm) に局部断面変形有り。 (凹み12～15mm)	・左前バンパー, フェンダー潰れ (18cm) ・左車体前から後ろにかけて摺痕有 (H=500mm) ・左前輪ホイールカバー取外れ ・左前輪ホイール外端局部潰れ ・左前輪タイヤ取外れ ・左前輪タイヤ外側面に直角方向の切傷有り (4cm幅) ・左前輪右方向に、且つ上端が内方向にねじれによってステアリング変形 ・車室内の変形は全くなし ・自力走行不可															
						防護柵側に	車輪浮上り			ダミー (頭 部) 運 転 席	X	-186									Y	-136	Z	—	ダミー (胸 部) 運 転 席	X	10	Y	9	Z	8	脚力	kgf	20	
						前輪	0			3	ダミー (頭 部) 助 手 席	X									8	Y	44	ダミー (胸 部) 助 手 席	X	—	Y	—							
						後輪	0			5																									
						対路面着地 角度・5度																													
						水平飛距離 8.03m																													
実験 2 パイプ ビーム型 S 種 大 型 貨 物 車	14.0	80 [80.0]	15	23.6 [23.6]	0 度 防護柵 に接触 し離脱 km/h (64.8)	17.5	27.0	19.52 (端部迄)	188 (P10～ P11間)	車 両 重 心	X	6	D1:39 (P9) D2:97 (P10) D3:70 (P11) ☆ FD1:18 (P12) ☆ FD2:8 (P13)	MAX 84 (P9)	4 (P9)	主要 横梁 76 (P9) 下段 横梁 130 (P10～ 11間)	HR1:9.05 (P9) HR2:9.0 (P10) HR3:9.01 (P11) HR4:6.1 (P12) HR5:3.7 (P13) ΣHR:14.6	主要横梁 軸力 (tf) ST1:4.87 ST2:29.3 曲げモーメント (tf・m) ST1:0.61 ST2:1.33 下段横梁 軸力 (tf) SB1:1.32 SB2:2.52 曲げモーメント (tf・m) SB1:0.06 SB2:-0.12	・支柱4本 (P9～P12) 付根部に左前後輪 (前輪はP9のみ) 踏付跡, 支柱2本 (P9, 10) 横梁間に車体前部の接触跡 ・支柱頂部ブラケット (P12～P20) に変形 ・下段横梁断面変形または潰れ (P8+500mm～P12+1,200mm) ・下段横梁端部2箇所 (P9, P10) ひきちぎれ (長さ80～100mm) ・支柱背面 (P10) の地覆コンクリートが局部破壊 (せん断) ・支柱3箇所 (P9, 10, 11) 後方へずれ (最大5mm)	・左前バンパー同フェンダー凹み (45cm) それらはシャーシ先端より後方に曲がり (床下まで) ・左前輪取付軸後方へ37cm 移転 (車輪外側中心で68cm) ・左前輪ステップ全部潰れ ・オイルパン破損の為オイル漏れ ・左後前輪フレーム “8” の字形に大変形によってタイヤバースト ・左後後輪フレーム2箇所外端部局部めくれ有り ・荷台下端突起部, 4箇所の内3箇所取外れ (前部) 他曲がり ・室内変形なし ・自力走行・牽引走行不可															
						防護柵側に	車輪浮上り			ダミー (頭 部) 運 転 席	X	6									Y	6	Z	7	ダミー (胸 部) 運 転 席	X	5	Y	6	Z	7	脚力	kgf	60	
						前輪	—			30	ダミー (頭 部) 助 手 席	X									4	Y	14	ダミー (胸 部) 助 手 席	X	6	Y	14							
						後輪	(平 均)			67																									
						対路面着地 角度・7.2度																													
						水平飛距離 8.62m																													
備 考	1) [] 内は, 実験結果を示す。 2) X, Y, Z, それぞれ前後, 左右, 上下方向を示す。 3) 加速度の+, -は, それぞれ加速度, 減速度を示し, この値は原波形を80Hzで処理し, オシロ波形より直続したものである。 4) 加速度値内の○印はカセットテープレコーダを車両に搭載して測定したものである。 5) 支柱の変位 (残留を除く), 防護柵応力の値はテープ入力よりデジタイザー処理したものである。 6) 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。																																		

(3) 加 速 度

防護柵設置要綱では、S種の最大加速度値については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-4.8に、米国での50msec推奨値を表-4.9、H I C値（頭部損傷基準）の評価基準値を表-4.10に示す。運転席および助手席のダミー頭部のH I C値は、実験1の運転席のみが評価基準(1,000)を超えていたが、その他は9.1~79.8であった。実験1で運転席ダミー頭部のH I C値が、評価基準(1,000)を超えたことについては、シートベルト着用の仕方が悪かったためか、助手席のダミーに撃打するという特殊なことが発生したこと等によるものと考えられる。しかし、防護柵に近く通常の衝突では危険側にある助手席ダミー頭部のH I C値が79.8であることから、特に問題はないものと考えられる。

一方、車両重心位置の加速度値は、原波形が実験1で15.4g、実験2が9.7gであった。また、実験1，2における50msec平均値（XY合成値）はそれぞれ7.4g，3.3gで、米国での推奨値（2点式ベルト着用条件で12g）以下であり、XおよびY方向成分別にみても同様であることから、問題ないと考えられる。

表-4.8 加速度波形解析結果

		車 両 重 心			ダ ミ ー						
		原波形 (g)	50msec 平 均 (g)	実効値 (g)	運 転 席		助 手 席				
					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 № 1 小型乗用車 (80. 4km/h)	X	8. 9	3. 3	3. 8	-166. 3	4905. 5	7. 7	-6. 4	79. 8	-	
	Y	13. 7	6. 8	6. 5	-150. 8		8. 7	42. 5		8. 8	
	Z	-12. 4			20. 4		5. 2				
	合計	15. 4	7. 4	7. 5	166. 6			42. 9			
実験 № 2 大型貨物車 (80. 0km/h)	X	6. 0	1. 4	1. 4	4. 7	9. 1	4. 3	4. 4	14. 4	-6. 0	
	Y	9. 1	3. 2	3. 0	4. 6		5. 6	14. 0		-11. 1	
	Z	-15. 5			6. 3		-5. 6				
	合計	9. 7	3. 3	3. 3	6. 1			14. 2			
備 考	〔注〕 1) 原波形は80Hzのローパスフィルターを通しての結果である。										
	2) H I C値はX, Y成分の合成値より算定した。										
	3) -はデータレコーダチャンネル不良の為、読みとり不能。										

表－4.9 アメリカでの推奨値（車両重心50msec平均値）

乗員の拘束 条件の区分	最大加（減）速度（g）			備 考
	直角方向（Y）	進行方向（X）	合 成	
無 拘 束	3	5	6	より望ましい範囲
2点シートベルト	5	10	12	
3点式シートベルト	15	25	25	

表－4.10 H I C 値（頭部損傷基準）

H I C 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。H I C 値は次式で定義されている。

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

ここに、

t_1, t_2 : t_1 と t_2 との組合せて H I C 値が最大と

H I C 値は、1,000を安全限界値としている。

なる加速度作用中の時間（sec）

(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で離脱時に車両前端が6度防護柵側に傾き、右側後輪が5cm程度とび上がった。

実験2では、後端が27度防護柵側に傾き、右側後輪が67cm（後前輪と後後輪の平均）とび上がった。これらの値は同様の衝突条件であったアルミニウム合金製高欄防護柵（大型貨物車で15度、40cm）に較べて大きい、実験1、2ともに乗り越し、転倒および路外の逸脱等もなく、正常に誘導されていることから特に問題ないと考えられる。

(5) 車両の損傷状況

実験1（小型乗用車）では、左側フェンダー部の凹みが大きかった。また、左側前輪は下段横梁の下にもぐりこんだため、支柱付根部のボルトやリブを踏み、支柱側面に接触して、ホイールの一部に凹みが生じていた。

実験2（大型貨物車）では、左側前輪取付部のボルトが破断し車軸が後方へ移動（37cm）した。足回りが損傷したため自力走行は不可能であったが、牽引走行は可能であると考えられる。

また、実験1、2ともに車室内への変形はほとんどなく、乗員の生存空間は確保されていたものと考えられる。

4.5.2 防護柵の挙動

(1) 最大変位量および残留変位量

防護柵直角方向の支柱最大変位量は、支柱頭部で実験1が24mm（計測値18mm：頂部高さ／計測高さ＝850／

650), 実験2が127mm(計測値97mm)であった。これらの値は最大進入行程の規定値以下であり問題ないものと考えられる。

また、最大残留変位量も実験1, 2でそれぞれ4mm, 84mmと小さいことから、強度的に十分満足するものと考えられる。

(2) 支柱に働く水平力

防護柵直角方向の支柱最大水平力および合計最大水平力(5本分の合計ΣHRの最大値)は、実験1が6.3tf, 9.1tf, 実験2が9.1tf, 14.6tfであった。

(3) 横梁に働く軸力および曲げモーメント

実験1の最大軸力は、主要横梁が0.25tf, 下段横梁が0.55tfと非常に小さかった。

実験2の最大軸力は、主要横梁および下段横梁でそれぞれ29.3tf, 0.25tfであり、最大曲げモーメントの値は主要横梁が1.33tf・m, 下段横梁が-0.12tf・mであった。また、合成最大応力は表-4.11に示すように主要横梁が1,800kgf/cm², 下段横梁が257kgf/cm²となり、材料耐力(2,400kgf/cm²)以下であることから、強度的には十分であると考えられる。

表-4.11 横梁の最大応力算定結果

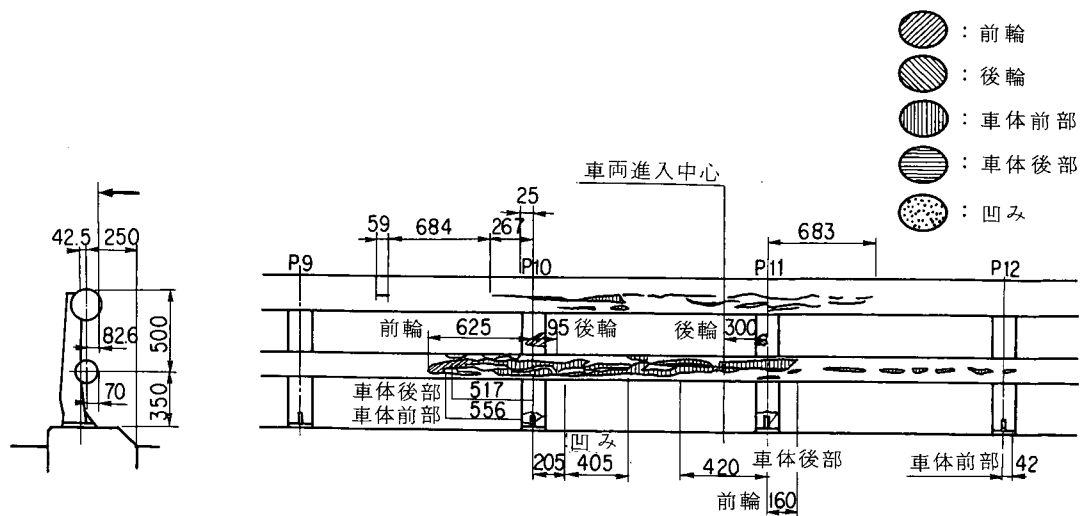
	主要横梁 (ST2)	下段横梁 (SB2)
算定式と諸値	$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$ $M = 1.33 \times 10^5 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ $N = 28,500 \text{ kgf}$ $A = 35.26 \text{ cm}^2$ $Z = 134 \text{ cm}^3$	$M = -12,000 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ $N = -750 \text{ kgf}$ $A = 17.06 \text{ cm}^2$ $Z = 56.3 \text{ cm}^3$
応力	$\sigma = 1,800 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	$\sigma = 257 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

(4) 車両の接触跡および防護柵損傷状況

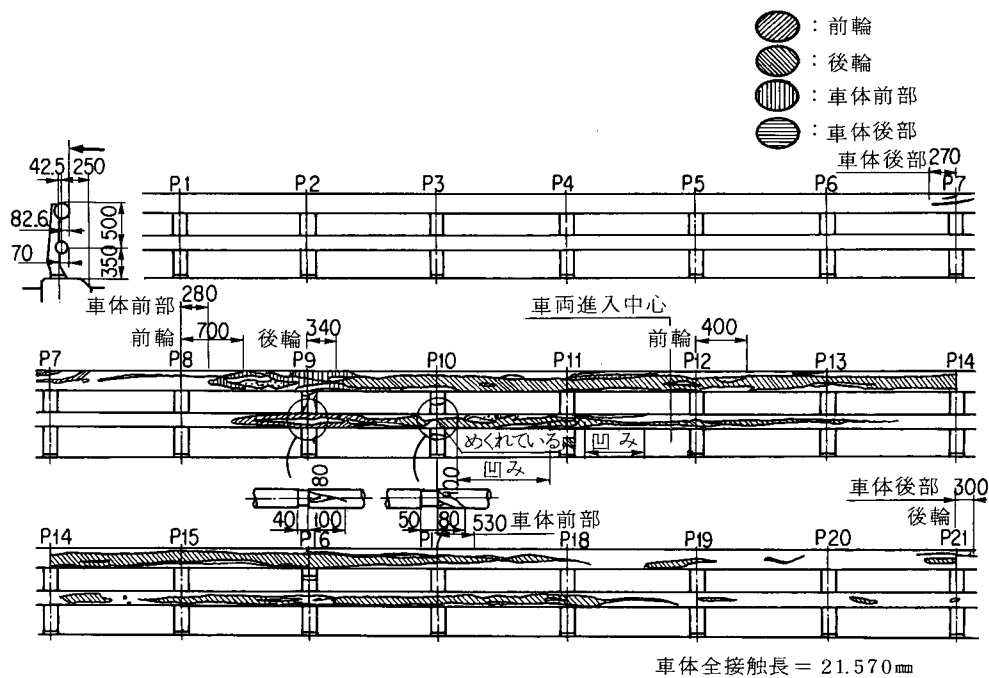
車両の接触跡および防護柵の損傷状況を図-4.11に示す。

実験1では、下段横梁に多少凹みが見られたが、下段横梁の最大残留変位は13mmと小さかった。また、継手部のズレも1mm以下であった。

実験2では、下段横梁の断面が6.7m(P8+500mm~P12+1,200mm)にわたって偏平に潰れ、P9, 10においては横梁の端部が100mm程度引き裂かれた。しかし、主要横梁には穴あきがないことや、主要および下段横梁ともに破断してないことから、強度的には十分であると考えられる。また、下段横梁取付端の最大ズレ(開き)は50mmであったが、車輪の取付ボルト頭等による部分的な損傷であることから、強度上の問題は無いと考えられる。



スクラブマーク（実験 1）



スクラブマーク（実験 2）

図-4.11 車両の接触跡および防護柵損傷状況

4.6 衝突シミュレーションとの比較

衝撃度の大きい実験2の実験条件を入力した衝突シミュレーション(3)と衝突実験測定値の比較を行った。これによると計算値に対する測定値の比率は表-4.12に示すように、最大変位量が1.37、加速度値が0.85、防護柵直角に加わる力が1.71であり、離脱角度は同等の値を示した。これは「過去の実験データ」でも同様の傾向がみられることから、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ものと考えられる。

表-4.12 計算値と測定値の比較(実験2:大型貨物車)

	最大変位 δ (mm)	加 速 度 (g)	防護柵に加 わる力(tf)	離脱角度 θ (度)
① 計算値	257	8.2	24.9	0
② 測定値	188	9.70	14.6	0
①/②	1.37	0.85	1.71	

4.7 支柱定着部の検討

支柱定着部の検討は、「防護柵設置要綱・資料集」に準拠して行うものとする。静荷重試験の支柱最大支持力値(9.3tf)を用いて算定した結果、アンカーボルトの引張応力度が5,349kgf/cm²、アンカープレートによる押抜きせん断応力度が9.44kgf/cm²となり、いずれも許容応力度の値(アンカーボルト： $\sigma_{sa}=6,400$ kgf/cm²、コンクリート： $\tau_{ca}=13.5$ kgf/cm²)以下であった(計算過程等は資料編7項「支柱定着部の検討」参照のこと)。なお、衝突実験での支柱最大水平力値(9.05tf)は静荷重試験値以下であったため、ここではこの値を用いての検討を省略した。

4.8 床版に与える影響

床版に与える影響については、「防護柵設置要綱・資料集」に準拠して検討を行った。なお、床版構造も「防護柵設置要綱・資料集」に記載されているものとした。

検討方法は、衝突により床版に作用する曲げモーメント(sM_{max})を計算し、許容抵抗曲げモーメント(M'_R)との比較により床版に与える影響を評価した。

$$sM_{max} = MI + Md + Ms$$

ただし、 MI : T 荷重による曲げモーメント

Md : 死荷重による曲げモーメント

Ms : 衝突時の支柱最大水平力による曲げモーメント

衝突による曲げモーメント(Ms)は、衝突実験時に測定した支柱の最大水平力(9.05tf)が支柱の静荷重試験より得られた最大荷重($P_{max}=9.3$ tf)より小さかったことから、ここでは安全側の値である静荷重試験値によるものを用いて検討した。検討結果を以下に示す(詳細な計算過程は資料編8項「床版に与える影

響の検討」参照のこと）。

$$sM_{\max} = 7.40 \text{ tf} \cdot \text{m} \quad (Ml = 2.11 \text{ tf} \cdot \text{m}, \quad Md = 0.526 \text{ tf} \cdot \text{m}, \quad Ms = 4.76 \text{ tf} \cdot \text{m})$$

$$M'_R = 7.65 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$\therefore sM_{\max} < M'_R$$

以上の結果より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ものと考えられる。

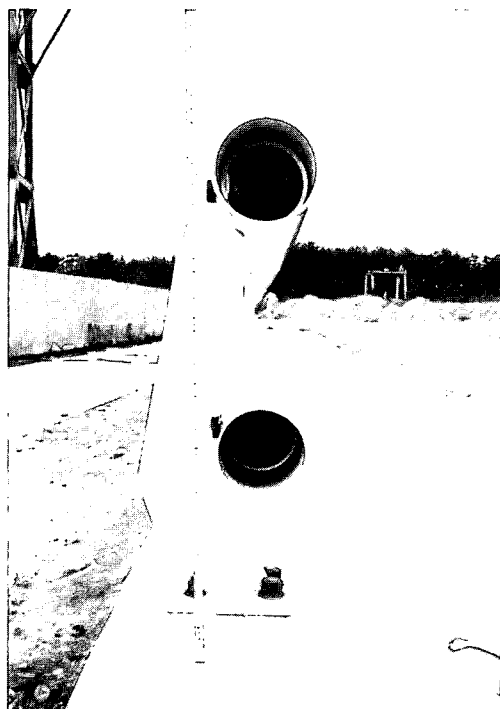


写真-4.1
防護柵の断面と高さ

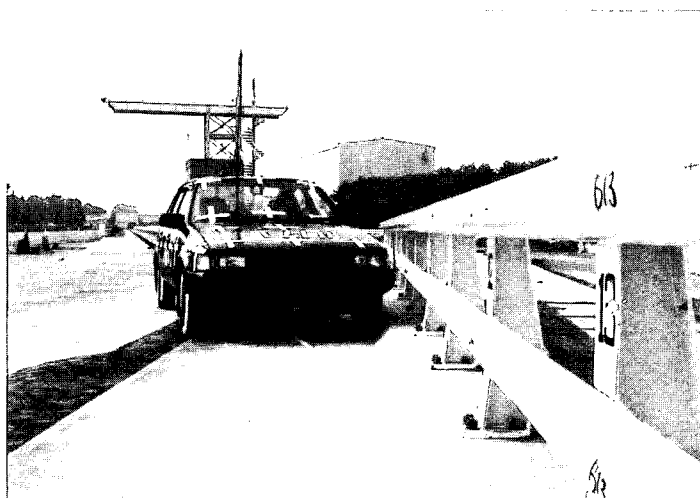


写真-4.2
車両の対防護柵の位置関係
(実験1)

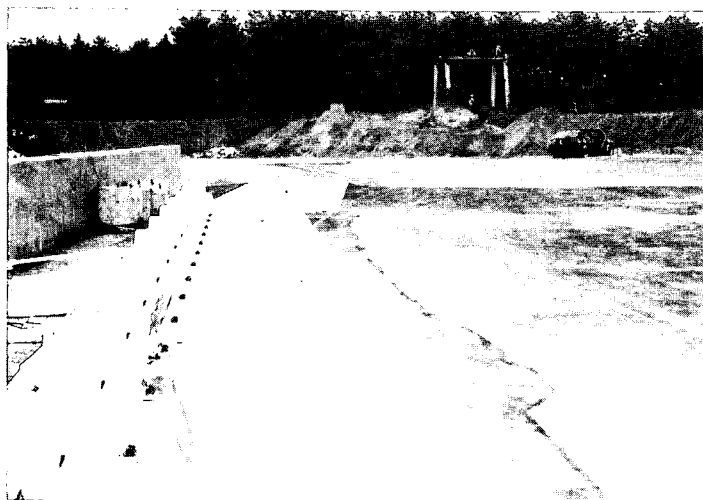


写真-4.3
車両の軌跡と停車状況
(実験1)

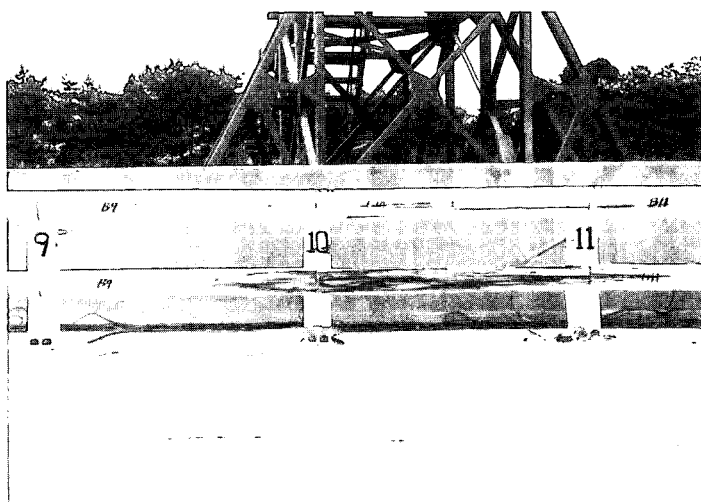


写真-4.4 車両の防護柵への接触跡（実験1）

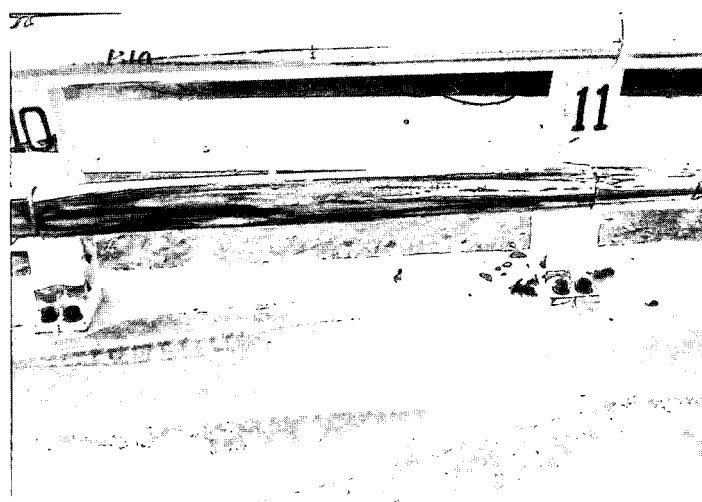


写真-4.5 防護柵の損傷状況（実験1）



写真-4.6 車両の損傷状況（実験1）



写真－4.7

車両の損傷状況（実験1）



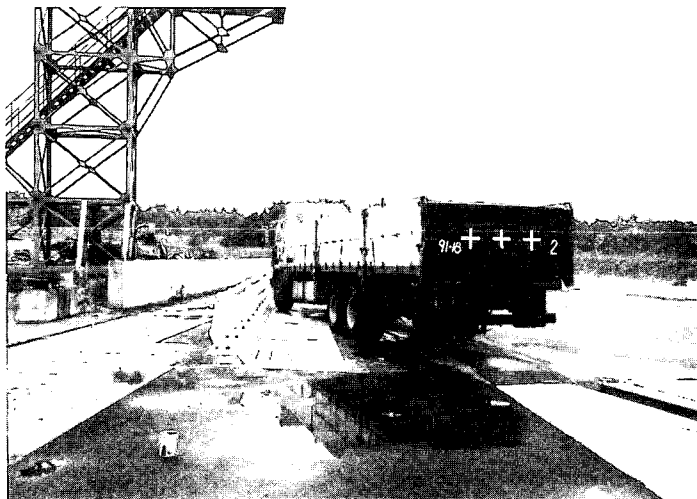
写真－4.8

車両の損傷状況（実験1）



写真－4.9

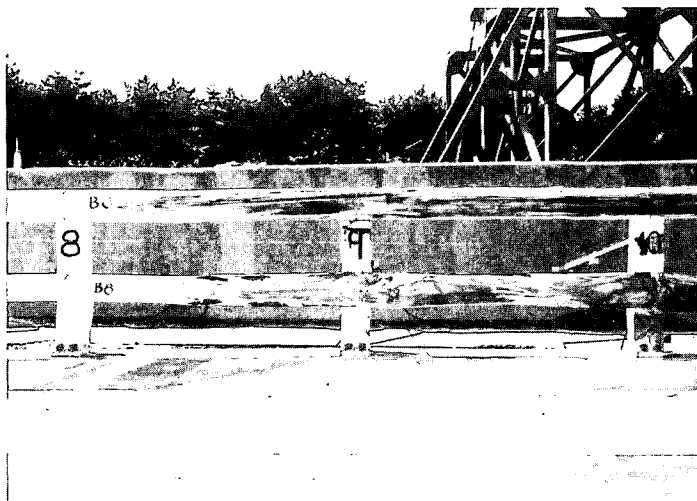
車両の対防護柵の位置関係（実験2）



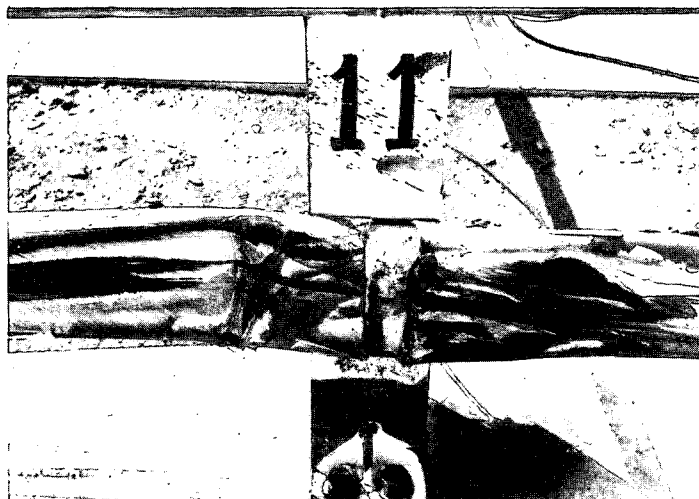
写真－4.10
車両の対防護柵の位置関係
(実験2)



写真－4.11
車両の軌跡と停車状況 (実験2)



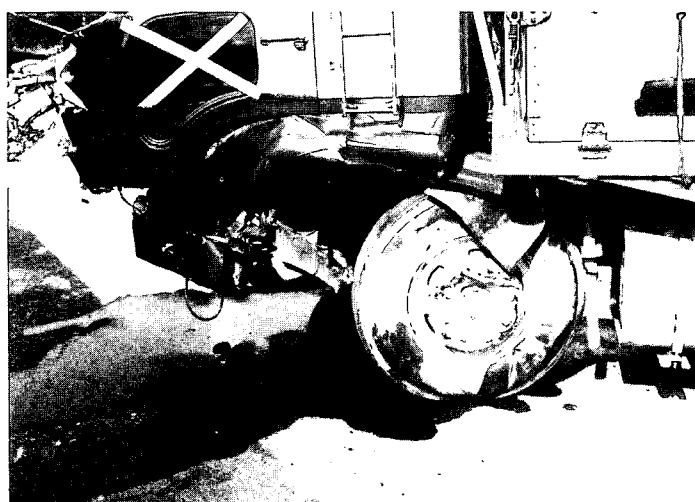
写真－4.12
防護柵の局部的損傷状況
(実験2)



写真－4.13 防護柵の局部的損傷状況（実験2）



写真－4.14 車両の損傷状況（実験2）



写真－4.15 車両の損傷状況（実験2）



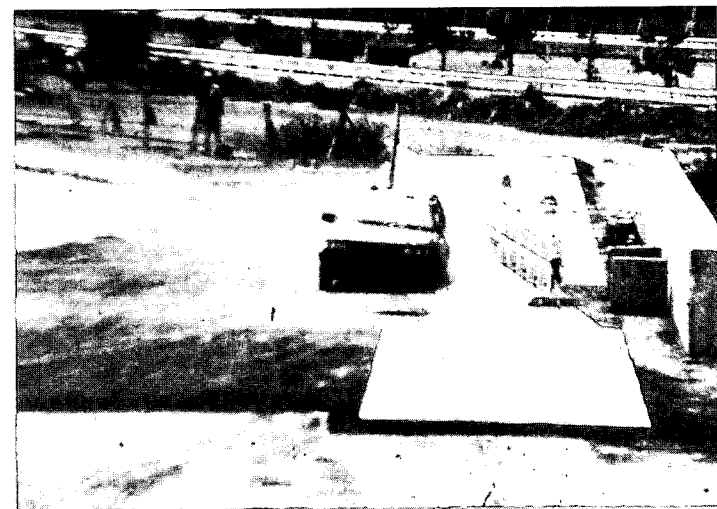
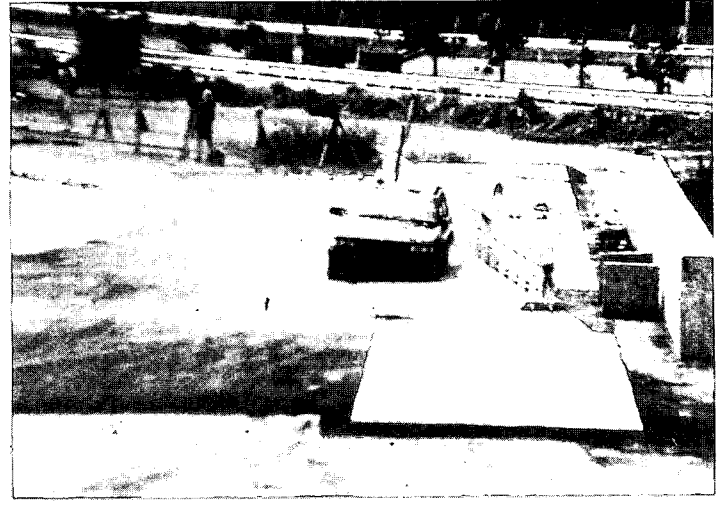
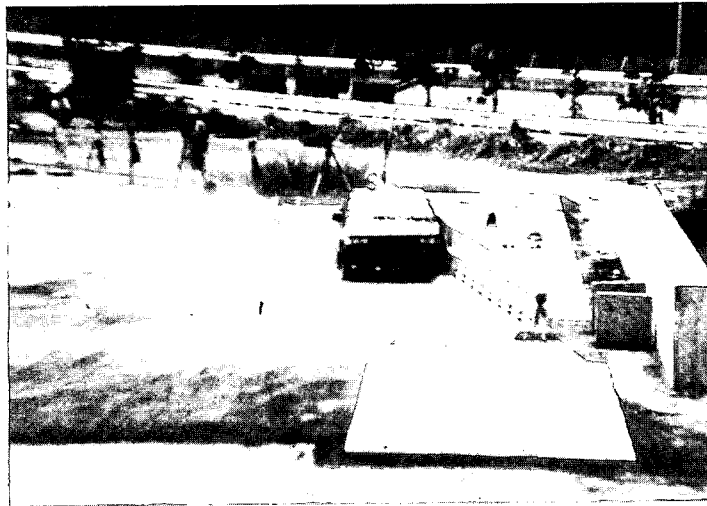
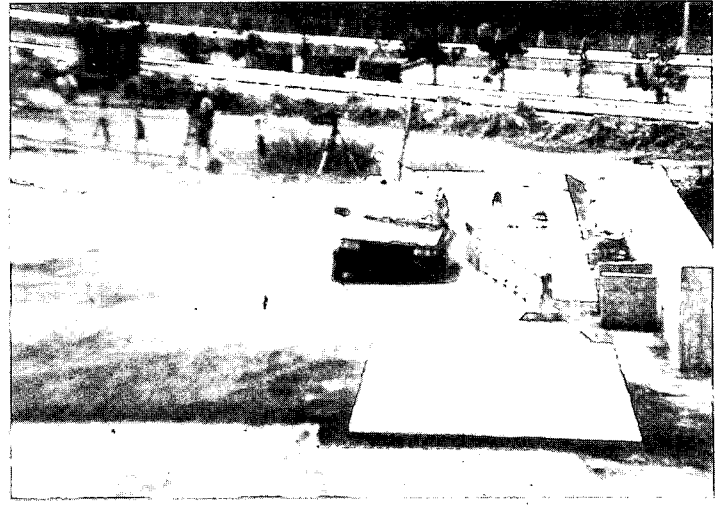
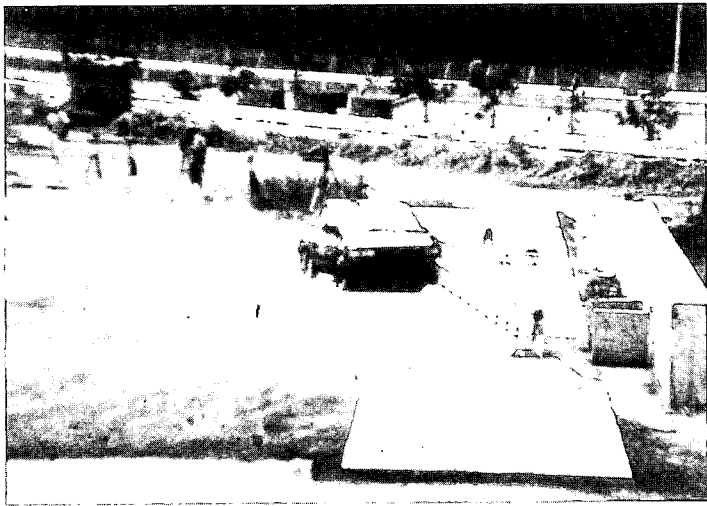


写真-4.16 車両衝突状況連続写真(実験1) 前方から

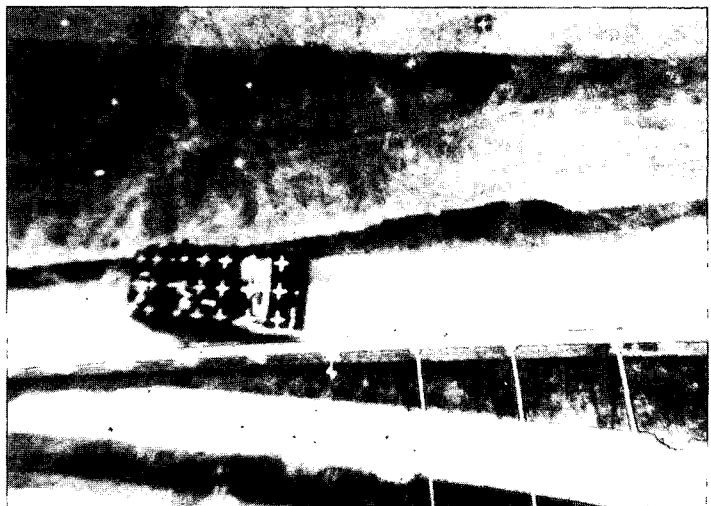
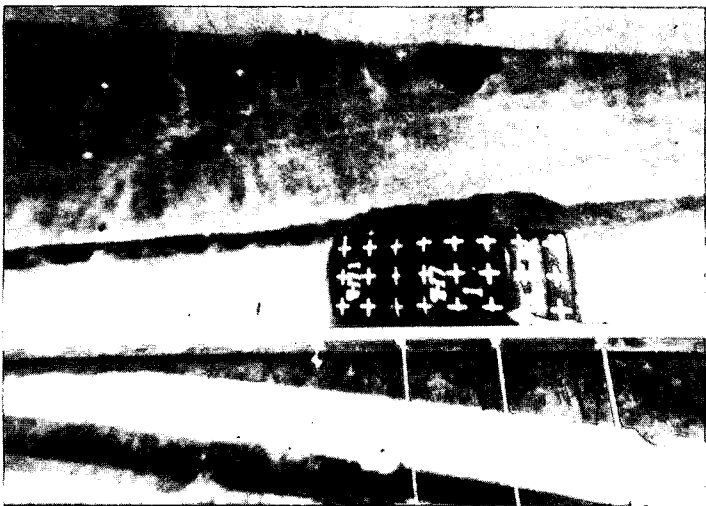
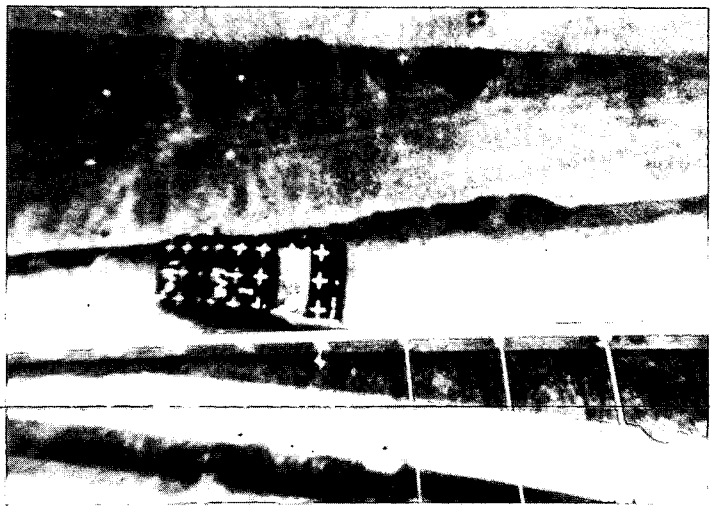
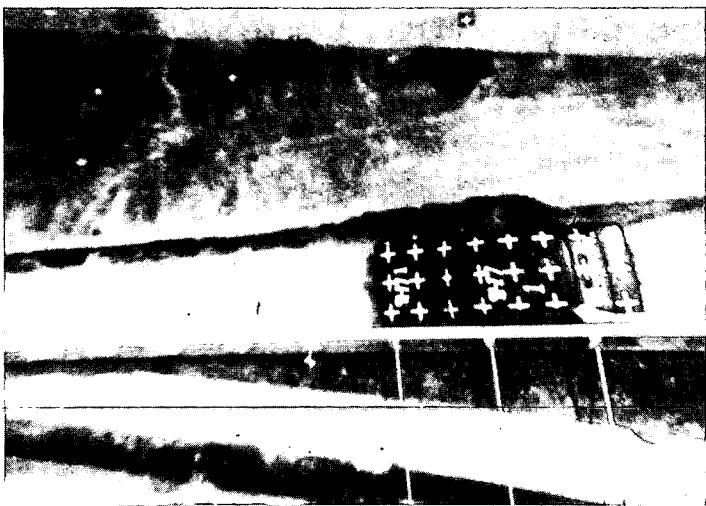
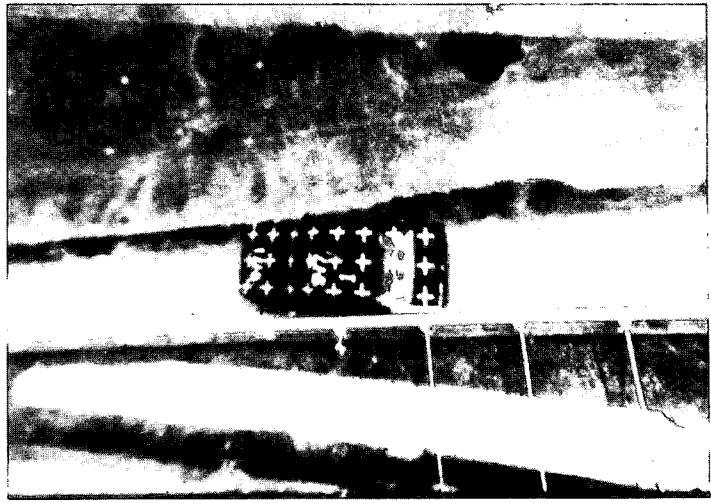
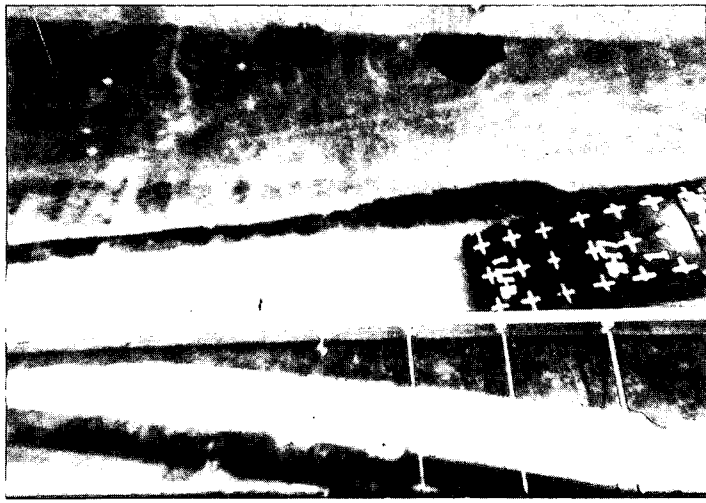
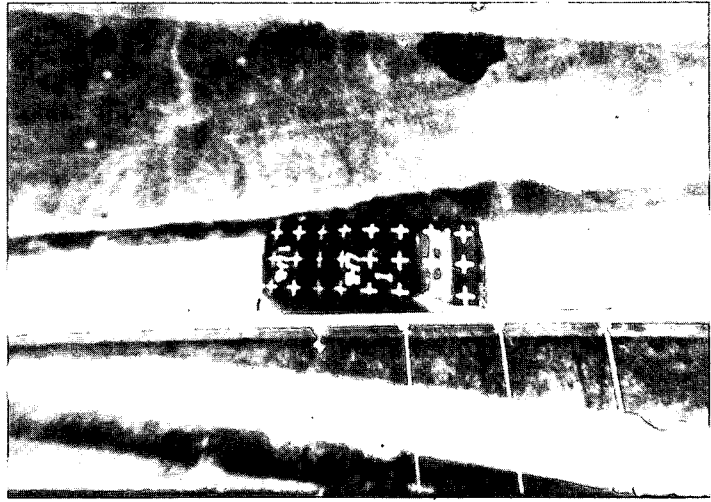


写真-4.17 車両衝突状況連続写真（実験1）上方から

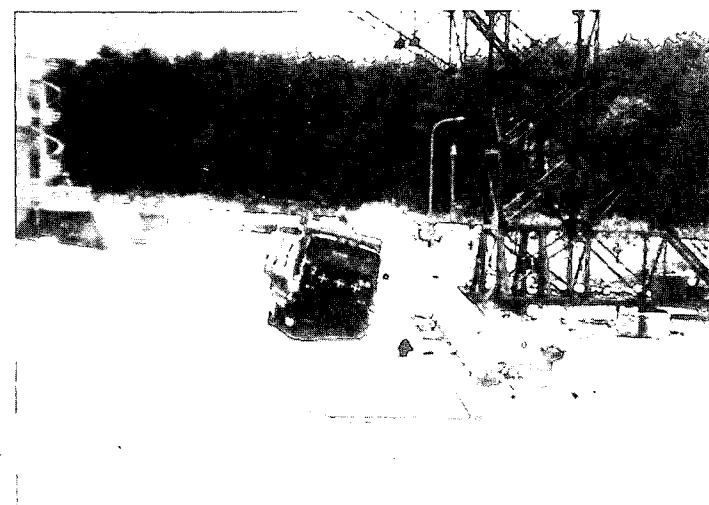
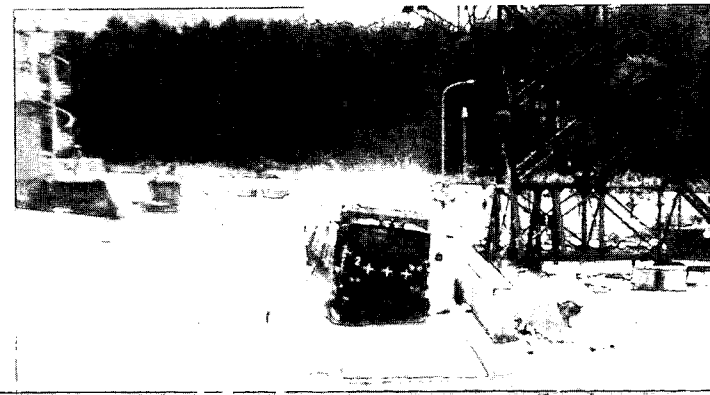
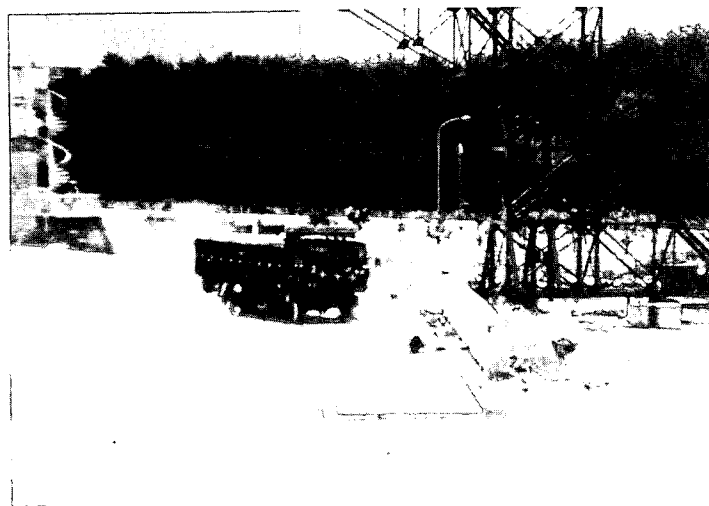


写真-4.18 車両衝突状況連続写真(実験2)前方から

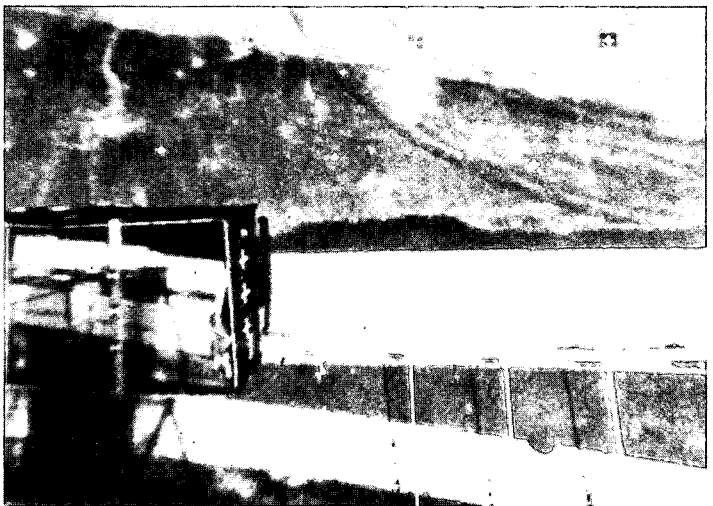
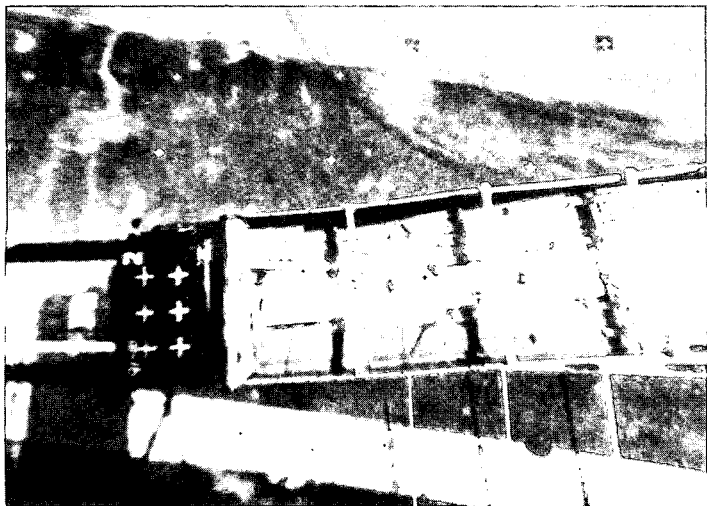
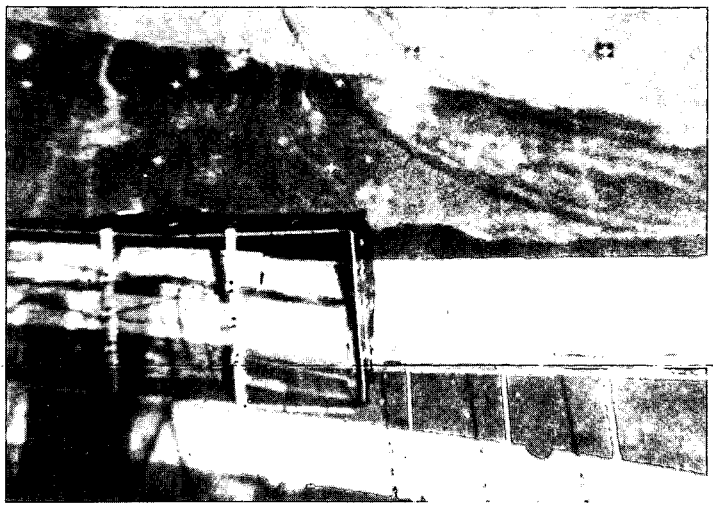
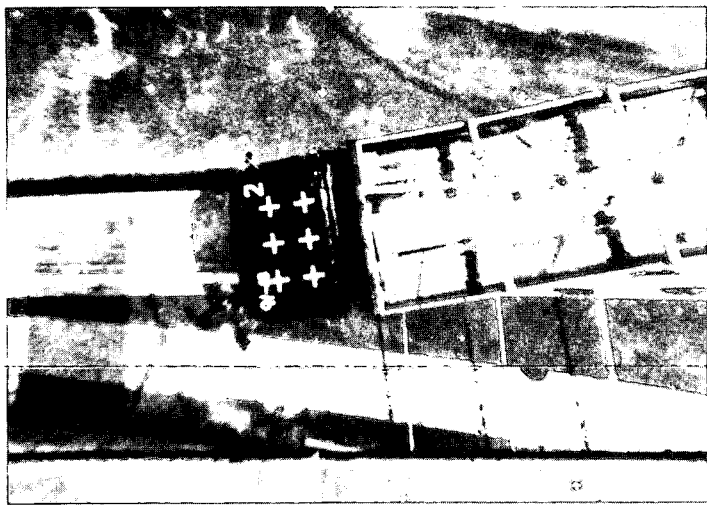
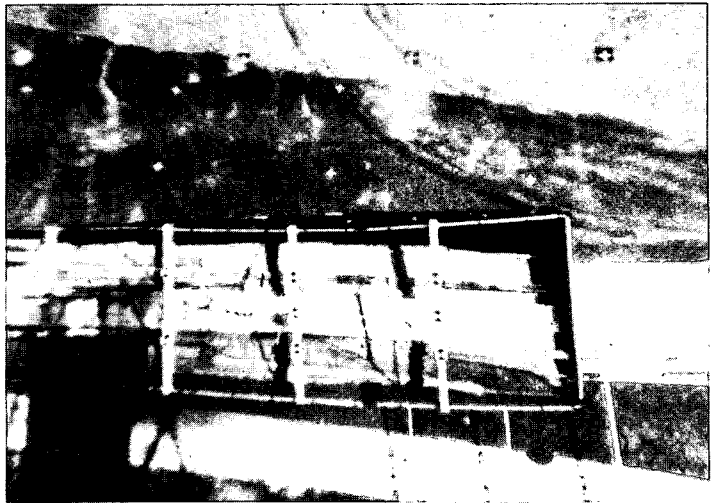
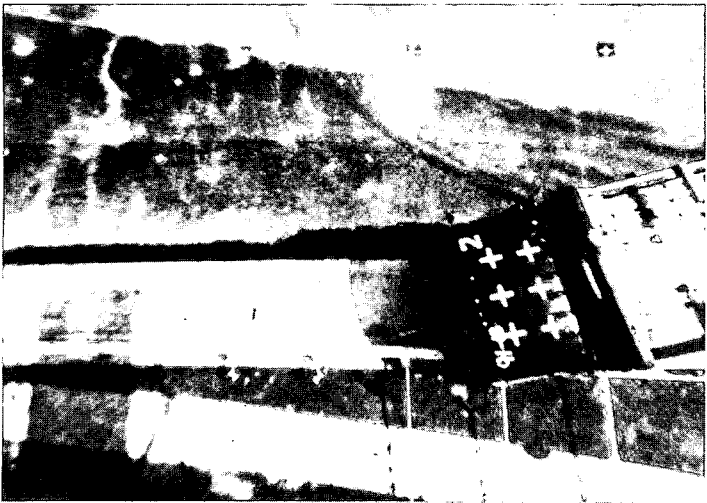
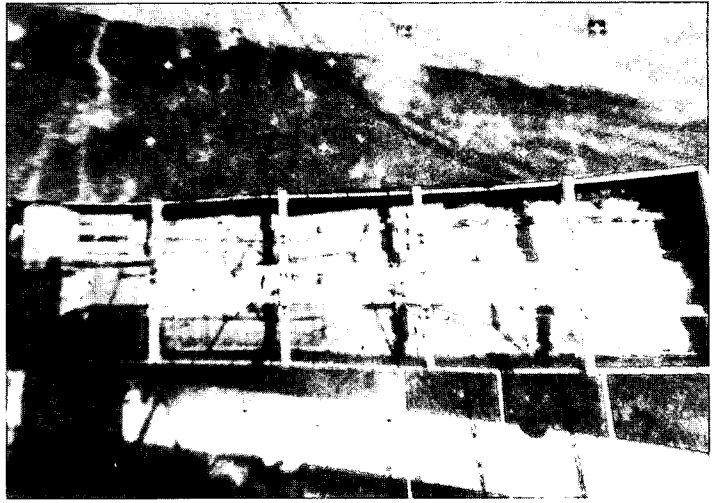


写真-4.19 車両衝突状況連続写真(実験2)上方から

5. 実用化へ向けての検討

防護柵の主な機能は衝突車両の路外逸脱を防ぎ、進行方向へ復元させることである。今回の供試体は、強度的に機能を有していることが確認された。また、本防護柵は、土木研究所共同研究報告書第42号「アルミニウム合金製高強度型防護柵に関する共同研究報告書（平成2年3月）」の中で提案した「S種防護柵に関する設計の考え方」に基づいて設計されたものである。したがって、今回の実験結果により、この「設計の考え方」の正当性が確認されたものと考えられる。

しかし、今回の実車衝突実験結果から、実用化に向けてより一層の防護柵機能を充実させるための改善策を検討、改善策を基に鋼製高欄型S種防護柵（パイプビーム型）の標準タイプを提案することとした。また、提案された標準タイプの影響についても評価を加えた。

5.1 防護柵本体の改良

(1) 改良ポイント1（アンカーボルト位置）

小型乗用車が衝突した際に、車体が下段横梁の下にもぐり込み、支柱前面フランジより車道側に配置されたアンカーボルトおよび補強リブに接触して、タイヤがバーストしたものと考えられる。これまで設置されたA、B、C種の防護柵の中にはこのような形式のものがあるが、S種防護柵の場合には衝突条件がより苛酷となることから、この影響を無視できないものと考えられる。また、小型乗用車の衝突前後で減速率26%と大きかったことから、支柱フランジ前面の突起物は極力避けることが望ましいと考えられる。したがって、標準タイプとしては、アンカーボルトおよび補強リブを支柱前面フランジの背後に移動するものとする。

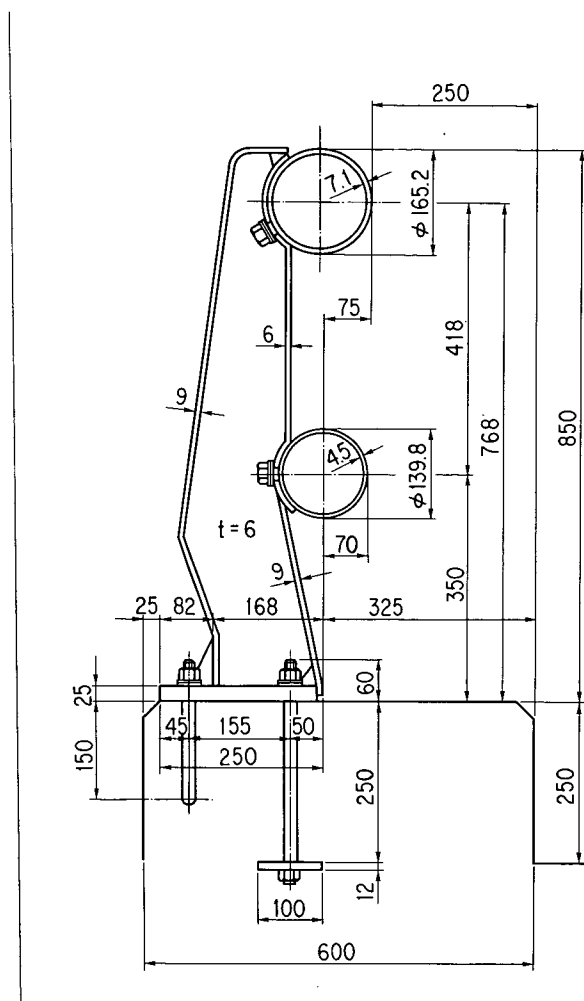
(2) 改良ポイント2（下段横梁の断面）

大型貨物車が衝突した際に、主要横梁に比べて下段横梁の損傷が激しく、5スパンにわたって大きく偏平に潰れてしまった。車両衝突時の荷重を予想以上に下段横梁が受け持っていることがわかった。そこで、下段横梁の部材を $\phi 139.8 \times t 4.0$ から $\phi 139.8 \times t 4.5$ に肉厚を増やすことにより、潰れに対する剛性を高めて極限曲げモーメント M_0 値の向上を図り、安全性を高めることとした。

（潰れに対する剛性に関する検討過程は資料編9項「下段横梁偏平試験」を参照のこと）

5.2 標準断面形状

5.1 項の改良案に基づき、鋼製高欄型S種防護柵（パイプビームタイプ）の標準断面形状を図－5.1に示す。



図－5.1 標準断面形状（S種鋼製パイプビーム型防護柵）

5.3 定着部の検討

5.3.1 定着部の強度計算

(1) 「道路橋示方書」および「コンクリート標準示方書」に準拠した場合

標準タイプの場合、ベースプレートが後方に移動するため、コンクリート端面とベースプレート後面との間隔が25mmと小さくなることから、定着部の強度について検討することが必要である。そこで、コンクリートの支柱耐力について検討した結果を以下に示す。

なお、計算にあたって以下の文献を参考にした。

- ・応力分布状態：「道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編（平成2年2月），2.2.4部材断面の破壊抵抗曲げモーメント」
- ・コンクリートの支圧強度：「コンクリート標準示方書・設計編（平成3年），3.2.2設計強度」

① 支柱に作用する最大荷重 P_{max}

$$P_{max} = 9,340 \text{ [kgf]} \text{ (静荷重試験値)}$$

② 定着部コンクリート面の応力分布

定着部コンクリート面には、図-5.2に示すような応力分布となっている。

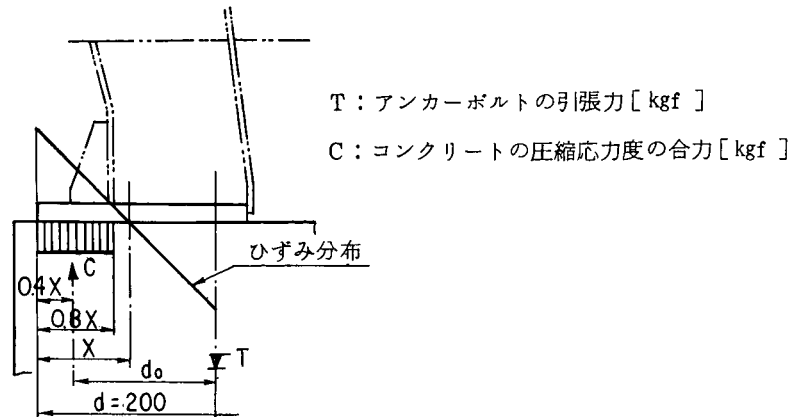


図-5.2 応力分布図

③ 中立軸 X の算定

$$\frac{X}{\varepsilon_{cu}} = \frac{d - X}{\varepsilon_s}$$

$$\frac{X}{0.0035} = \frac{20 - X}{3.205 \times 10^{-3}}$$

$$\therefore X = 10.44 \text{ (cm)}$$

ここに ε_{cu} : コンクリートの終局ひずみ ($=0.0035$)

ε_s : アンカーボルトのひずみ ($=3.205 \times 10^{-3}$)

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_{sy}}{E_s} = \frac{6,730}{2.1 \times 10^6} = 3.205 \times 10^{-3}$$

σ_{sy} : アンカーボルト材の降伏点 ($=6,730 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$)

E_s : アンカーボルト材の縦弾性係数 ($=2.1 \times 10^6 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$)

④ $C - T$ 間距離 d_o

$$d_o = d - 0.4X = 20 - 0.4 \times 10.44 = 15.82 \text{ (cm)}$$

⑤ C および T の算定

$$C = T = \frac{H = P_{max}}{d_o} = \frac{76.74 \times 9,340}{15.82} = 45,342 \text{ (kgf)}$$

H : 主要横梁中心高さ ($=76.8 \text{ (cm)}$)

⑥ アンカーボルトの引張耐力 F_A

$$F_A = 2A \sigma_{sy} = 2 \times 3.53 \times 6,730 = 47,514 \text{ (kgf)} > T = 45,342 \text{ (kgf)} \quad \text{OK}$$

A : アンカーボルトの有効断面積 ($=3.53 \text{ (cm}^2\text{)}$)

⑦ 地覆コンクリートの抵抗せん断力

$$F_r = \tau_{ca} \cdot S = 13.5 \times 3,475 = 46,913 \text{ (kgf)} > T = 45,342 \text{ (kgf)}$$

τ_{ca} : コンクリート (設計基準強度 $\sigma_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$) の許容押拔せん断応力度
 道路橋示方書に規定される許容押拔せん断応力度に割増係数 1.5 を適用する。

$$\tau_{ca} = 1.5 \times 9.0 = 13.5 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

S : せん断面積

せん断面積は地覆表面に投影される面積に等しい (図-5.3 参照)。

$$S = 70 \times 52.5 - 20 \times 10 = 3,475 \text{ [cm}^2\text{]}$$

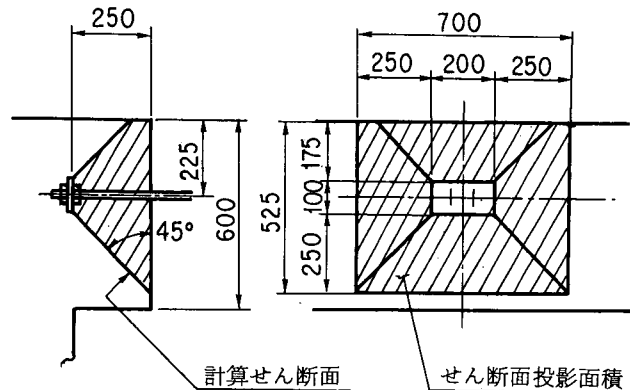


図-5.3 せん断面積

⑧ 地覆コンクリート面の支圧耐力 F_{CB}

・コンクリート面の支圧分布面積 A

$$A = 13.35 \times 150 = 2,002.5 \text{ [cm}^2\text{]}$$

・支圧を受ける面積 A_a

$$A_a = 8.35 \times 15 = 125 \text{ [cm}^2\text{]}$$

A , A_a については図-5.4 参照のこと。

$$\eta = \sqrt{\frac{A}{A_a}} = \sqrt{\frac{2,002.5}{125}} = 4.0$$

但し, $\eta \leq 2$ とするため, $\eta = 2$ を適用する。

$$\text{支圧強度 } \sigma_{CB} = \frac{\eta \cdot \sigma_{ck}}{1.3} = \frac{2 \times 240}{1.3} = 369 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

$$F_{CB} = \sigma_{CB} \cdot A_a = 369 \times 125 = 46,125 \text{ [kgf]} > C = 45,342 \text{ [kgf]} \quad \text{OK}$$

以上の計算結果から, アンカーボルトの引張強度, コンクリートのせん断強度および支圧強度はともに安全であることがわかった。

(2) 「防護柵設置要綱・資料集」に準拠した場合

「防護柵設置要綱・資料集」では, 支柱のベースプレート後端部をモーメントの支点と考え, アンカーボルトの引張力 F_{max} を算定している (図-5.5 参照)。この引張力 F_{max} と, アンカーボルトの引張耐力 F_A , 地覆コンクリートの抵抗せん断力 F_r との比較による強度評価に留めており, コンクリート面の支圧に関する照査は規定されていない。

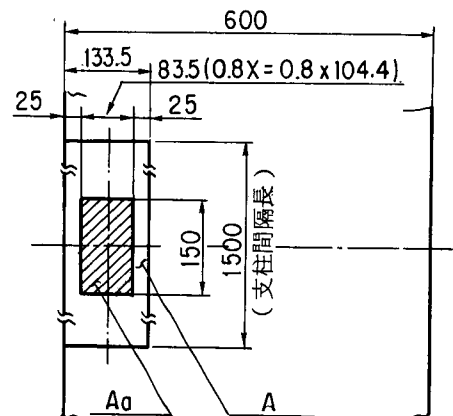


図-5.4 支圧面積

$$F_{max} = \frac{M_{max}}{d}$$

$$= \frac{H \times P_{max}}{d} = \frac{76.74 \times 9,340}{20} = 35,866 \text{ (kgf)}$$

$$F_A = 47,514 \text{ (kgf)} > F_{max} = 35,866 \text{ kgf} \quad \text{OK}$$

$$F_r = 46,913 \text{ (kgf)} > F_{max} = 35,866 \text{ kgf} \quad \text{OK}$$

なお、 F_A および F_r 値は「5.3(1)⑥・⑦項」参照のこと。

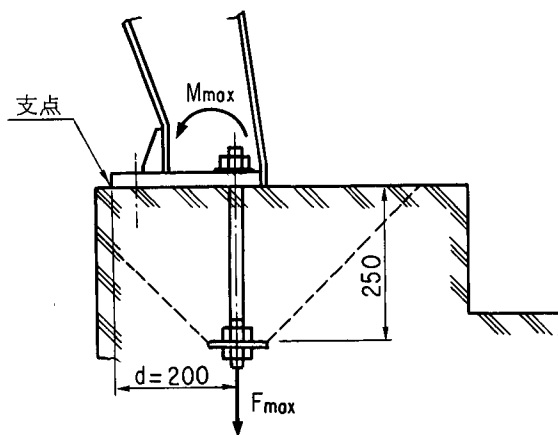


図-5.5 アンカーボルトの引張り力

5.3.2 定着部の考え方

車両用防護柵の場合、支柱や主要横梁および下段横梁は塑性域での強度を対象として選定されることから、定着部の強度についても同等のレベルである破壊を前提としても差し支えないものと考えられる。

アンカーボルトについては降伏点を許容値としており、引張強さに至るまでには余裕がある。またコンクリートのせん断強さは割増係数 1.5を採用しているが、許容応力度の範囲であり破壊に対してはかなり安全側である。したがって、「5.3(1)項」の強度計算により決定された定着部は、破壊の観点からみると安全側のものであると考えられる。

ここで、支柱ベースプレートが地覆コンクリートの縁端と一致している場合（ベースプレート背面が0mm）について計算してみた。

支柱面積 A 、 A_s は図-5.6のようになる。

$$\eta = \sqrt{\frac{A}{A_s}} = \sqrt{\frac{8.35 \times 150}{8.35 \times 15}} = 3.16$$

但し、 $\eta \leq 2$ とするため、 $\eta = 2$ が適用される。

$$\text{支圧強度 } \sigma_{CB} = \frac{\eta \cdot \sigma_{ck}}{1.3} = \frac{2 \times 240}{1.3}$$

$$= 369 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

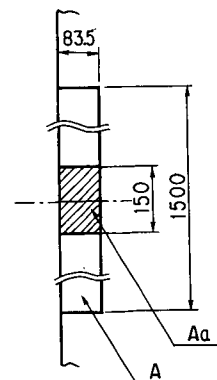


図-5.6 支圧面積

この支圧強度は縁端距離がある場合と同値であることから、今回の地覆における縁端距離の大小は支圧強度に影響しないものと考えられる。

今回の供試体の定着部は「防護柵設置要綱・資料集」に準拠して設計されている。また、実車衝突実験における支柱への最大荷重 P_{max} (9,050 [kgf]) が、設計強度計算に使用した静荷重試験値(9,340 [kgf]) とほぼ同等であったにもかかわらずコンクリート地覆は正常な状態であった。

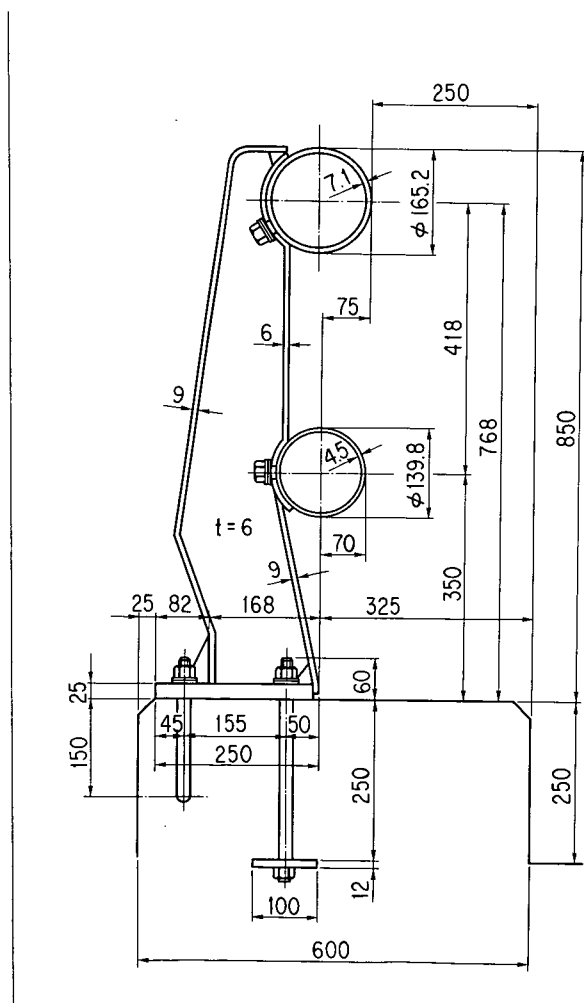
一方、これまでに「防護柵設置要綱・資料集」に準拠して、A、B、C種の車両用防護柵が設置されてきたが、定着コンクリート部に関して特に問題は生じていないのが現状である。

以上のことから、「防護柵設置要綱・資料集」に準拠して強度を算定すれば、適切な強度を有した定着部構造が設定されるものと考えられる。しかし、現況においてはS種防護柵の実績が少ないことを考慮すると、ここでは「5.2項」で提案した形状を鋼製高欄型S種防護柵の標準タイプとすることとした。

6. 結 論

今回の研究結果から得られたことを以下に示す。

- ① 供試体に採用された鋼製高欄型S種防護柵（パイプビーム型，図－4.2）は，S種の衝突条件に対し小型乗用車，大型貨物車ともに正常な進行方向に誘導し，S種としての強度は満足するものであったが，実用化に向けて防護柵機能の充実を計るために，以下の改良を加えて標準タイプの防護柵（図－5.1）を提案することができた。
 - イ) アンカーボルトおよび補強リブを支柱前面フランジより後方に移動する。
 - ロ) 下段横梁部材を $\phi 139.8 \times t 4.0$ から $\phi 139.8 \times t 4.5$ に肉厚を増やし，強度アップを計る。
- ② 土木研究所共同研究報告書第42号「アルミニウム合金製高強度型防護柵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・社団法人軽金属協会）」の中で提案されている「S種防護柵に関する設計の考え方」の正当性があらためて確認された。



図－5.1 鋼製高欄型S種防護柵標準図（パイプビーム）

あ と が き

わずか1年間の共同研究であったが、本研究によりパイプビームタイプの鋼製高欄型S種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) 「防護柵設置要綱」：日本道路協会；昭和47年10月
- 2) 「防護柵設置要綱・資料集」：日本道路協会；昭和61年7月
- 3) 「道路橋示方書」：日本道路協会；平成2年2月
- 4) 「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
- 5) 「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；霜上民生，安藤和彦，望月博夫，石平貞夫；昭和62年2月
- 6) 「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，(社)軽金属協会；土木研究所共同研究報告書第42号；柴田正雄，河島正治，酒井洋一，島津清修他；平成2年3月
- 7) 「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；河島正治，酒井洋一，赤木幸靖；平成4年2月
- 8) 「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；河島正治，酒井洋一，堀川紀幸；平成4年3月
- 9) Location, Selection, and Maintenance of Highway Traffic Barriers : National Cooperative Highway Research Program Report 118, 1981.10
- 10) Recommended Procedures for The Safety Performance Evaluation of Highway Aprurtenance : National Cooperative Highway Research Program Report 230, 1991.
- 11) Federal Moter Vehicle Safety Standard No.208 : National Highway Traffic Safety Administration, 1986.



付 録

付録1 資 料 編

付録2 S種防護柵の設計の考え方



付 録 1 資 料 編

付 1. 1	静荷重試験	57
付 1. 2	衝突シミュレーション(2)	62
付 1. 3	供 試 体	64
付 1. 4	測定方法	68
付 1. 5	衝突実験結果	73
付 1. 6	衝突シミュレーション(3)	90
付 1. 7	支柱定着部の検討	92
付 1. 8	床版に与える影響	93
付 1. 9	下段横梁へん平試験	96
付 1.10	実用化支柱の静荷重試験	98



付 1. 1 静荷重試験

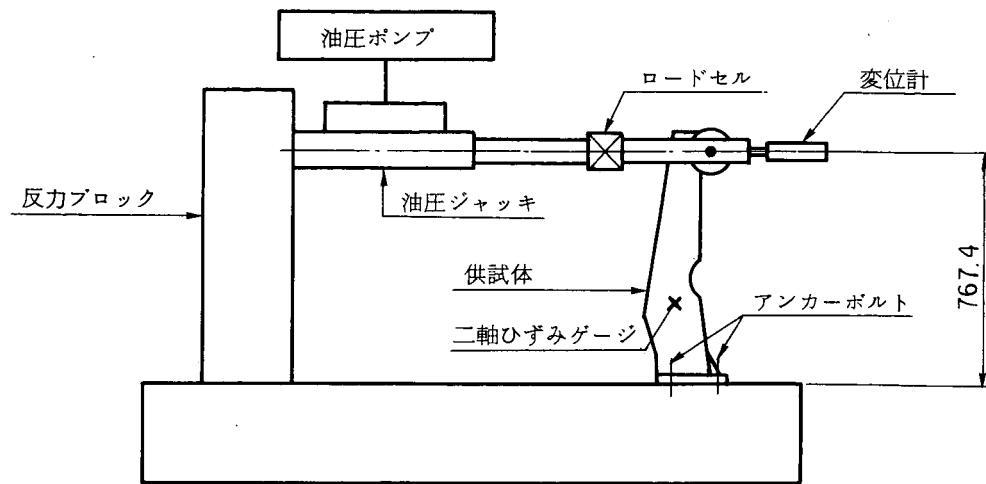


図-付 1. 1. 1 支柱静荷重試験方法

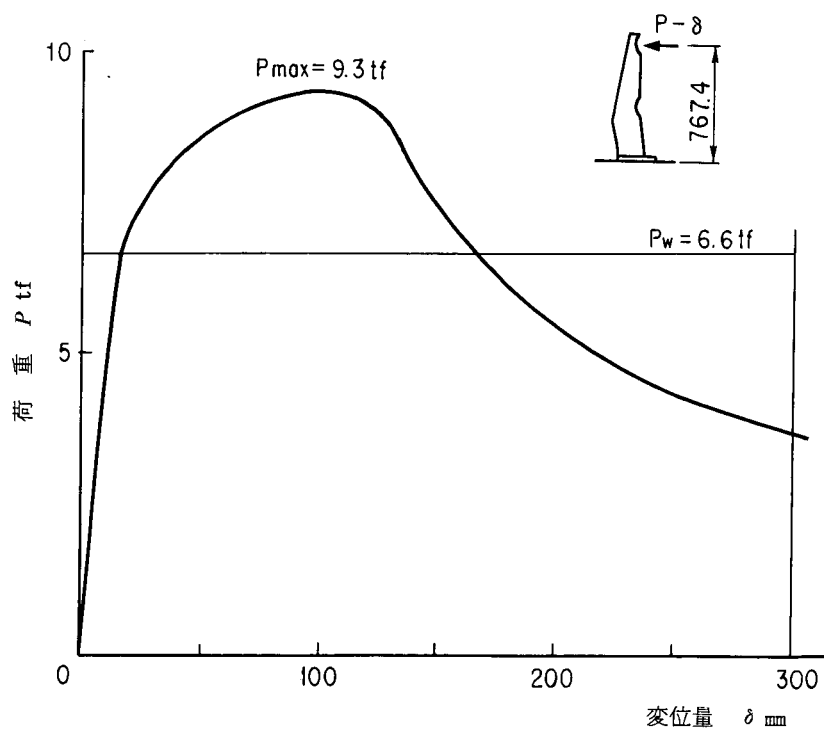
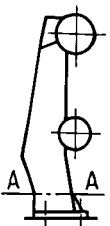
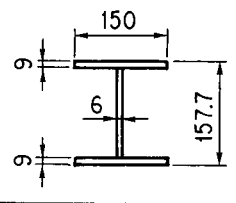
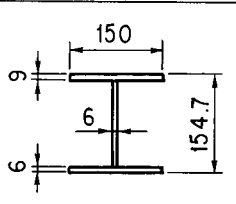
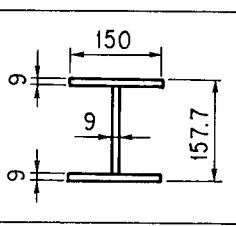
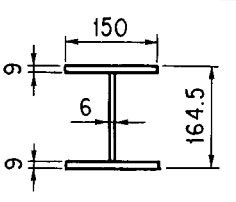
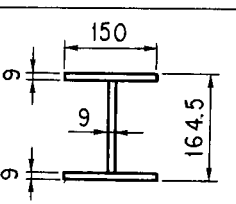
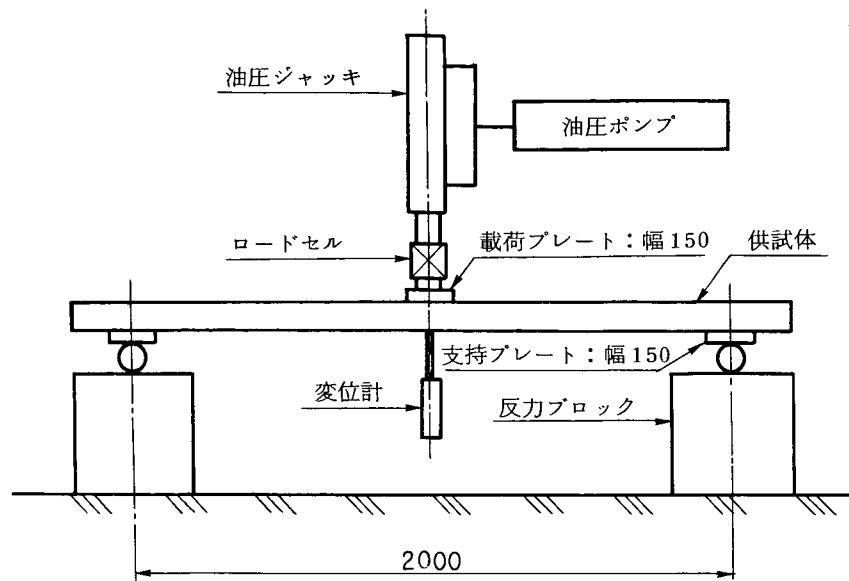


図-付 1. 1. 2 支柱静荷重試験結果

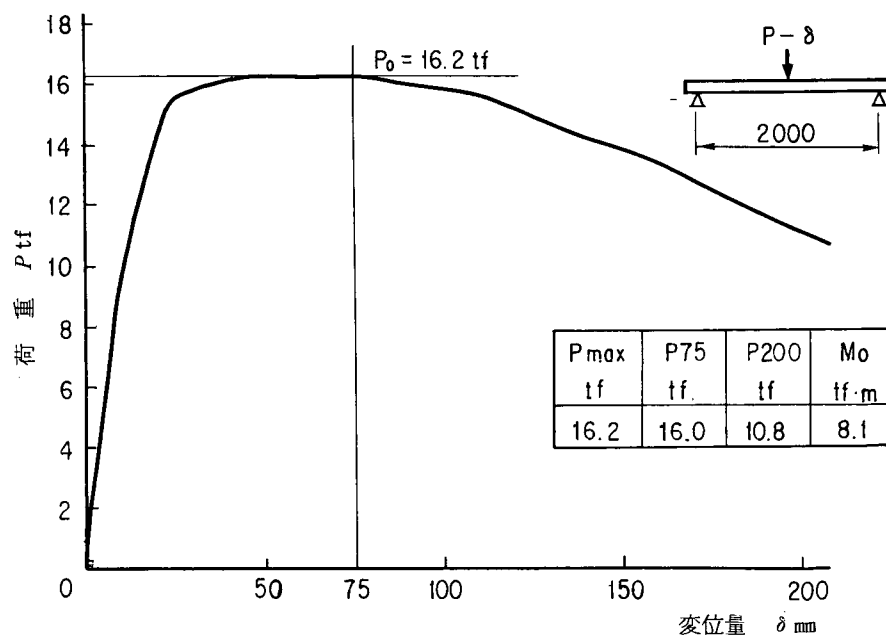
表-付 1. 1. 1 その他の供試体結果

構 造	No.	A - A 断面形状	材質	塑性断面係数 (cm^3)	試 験 結 果		備 考
					Pw (tf)	Pmax (tf)	
	1		SS 400	230	6.60	9.30	採用
	2			207	4.02	6.50	採用
	3			245	198mmにて 下梁 ね穴 縁端が破断	11.80	
	4			242	6.40	9.90	
	5			258	11.60	13.10	外

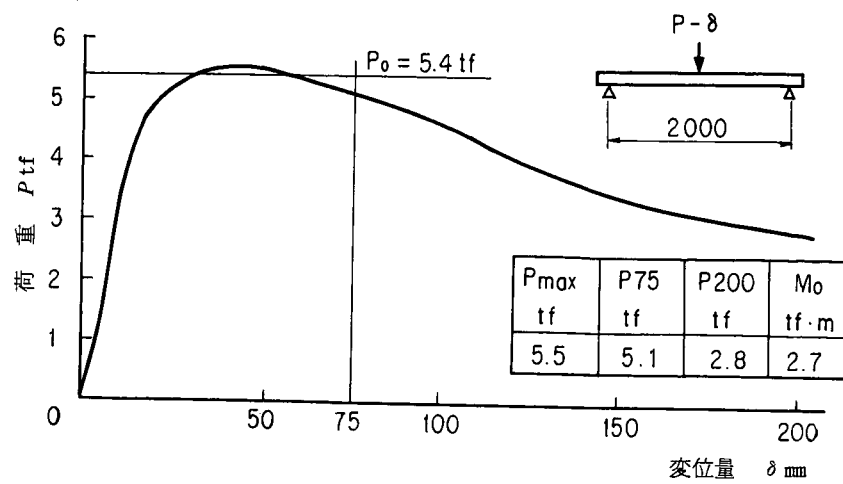
- ・供試体No. 2, 3 は, S 種に必要な極限支持力を満足できない。
- ・供試体No. 4, 5 は, S 種に必要な極限支持力を有しているが, 最大支持力が大きい「建設省制定標準設計」に示される床版片持ち部 (許容力 = 9.7tf) で許容できない。
- ・供試体No. 1 は, S 種に必要な極限支持力を有するとともに, 最大支持力も「建設省制定標準設計」に示される床版片持ち部で許容できる。



図一付 1. 1. 3 横梁静荷重試験方法



図一付 1. 1. 4 主要横梁静荷重試験結果



圖—付 1. 1. 5 下段橫梁靜荷重試驗結果

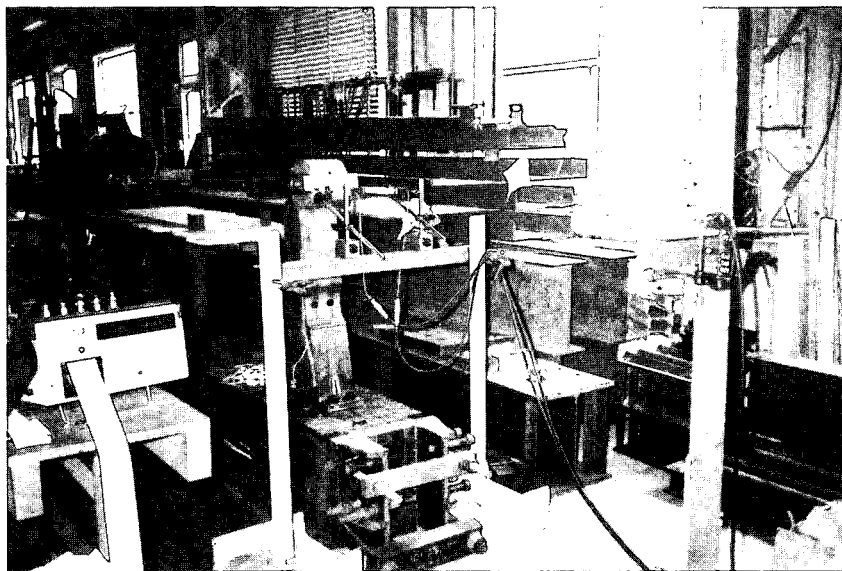


写真-付 1. 1. 1 支柱静荷重試験状況

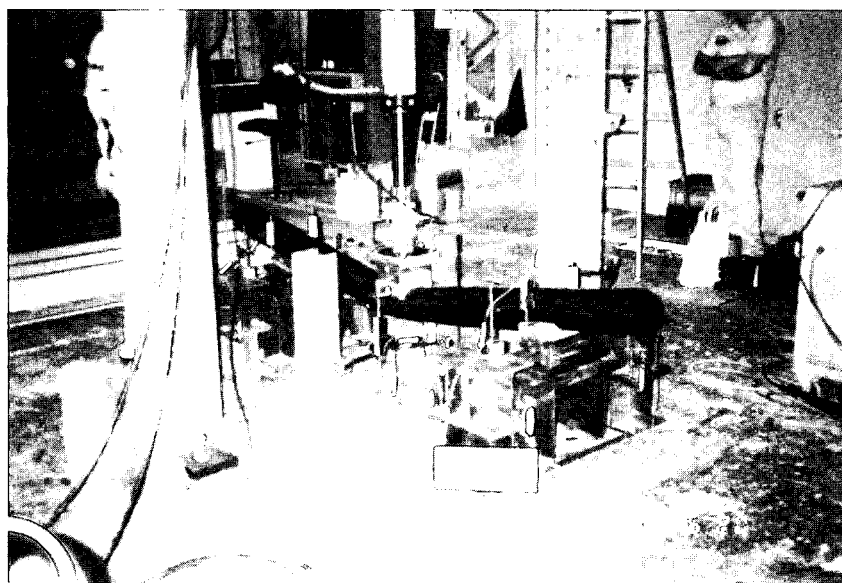


写真-付 1. 1. 2 横梁静荷重試験状況

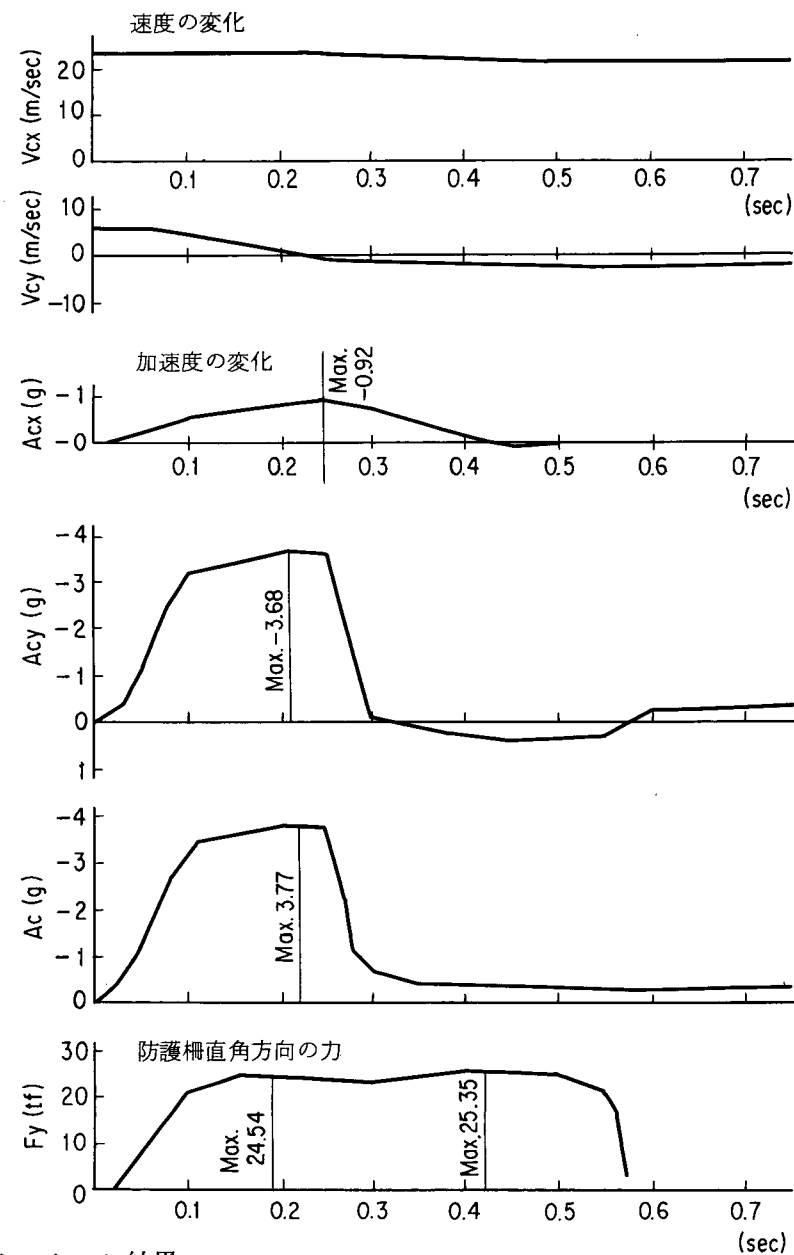
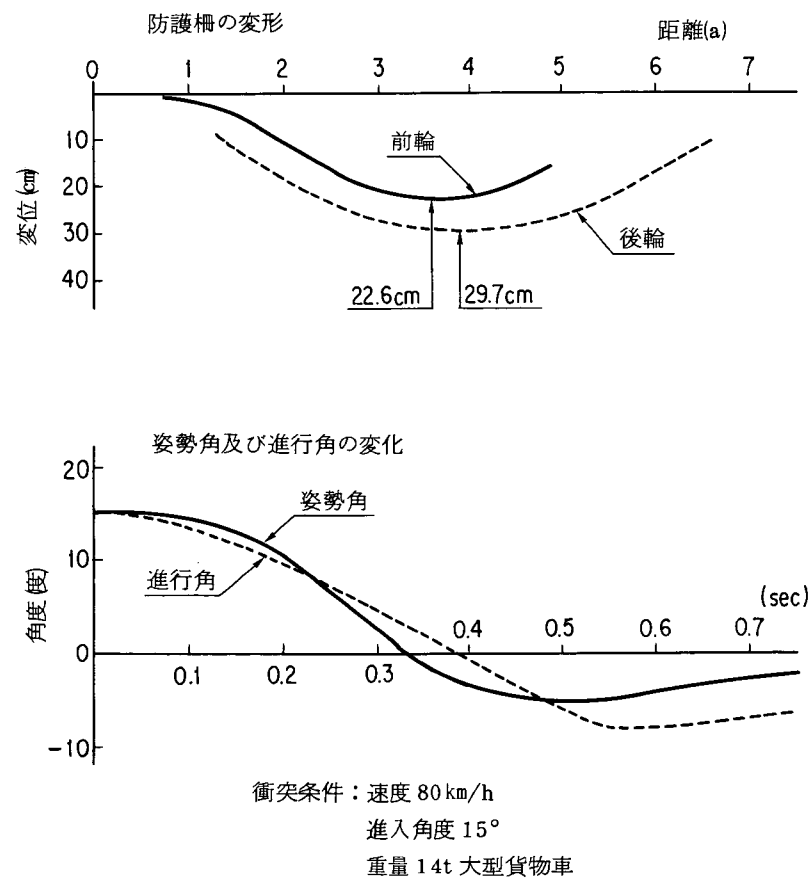


図-付1.2.1 衝突シミュレーション結果

表-付 1.2.1 衝突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	数値解の繰り返し回数		—
H	繰り返し間隔	sec	0.005
L 1	前輪軸の重心よりの隔たり	m	3.330
L 2	後輪軸の重心よりの隔たり	m	1.470
A 1	前端の重心よりの隔たり	m	3.830
A 2	後端の重心よりの隔たり	m	1.970
B 1	前端の幅の半分	m	1.080
B 2	後端の幅の半分	m	1.180
W 1	前輪の輪距の半分	m	0.930
W 2	後輪の輪距の半分	m	0.880
WR	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**2	慣性半径の2乗	m ²	4.930
W	重 量	t	14.000
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

表-付 1.2.2 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	構 造	支 柱			横 梁				
		Pw	PK	支柱間隔	断 面 寸 法	Mo	Σ Mo	EI	Σ EI
		tf	tf/m	m		tf・m	tf・m	tf・m ²	tf・m ²
S	丸パイプ ビーム	6.60	495	1.5	主要φ 165.2×7.1	8.1	10.8	142	189.4
					下段φ 139.8×4.0	2.7		47.4	

注：1. Pw, PK, Mo, EI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。

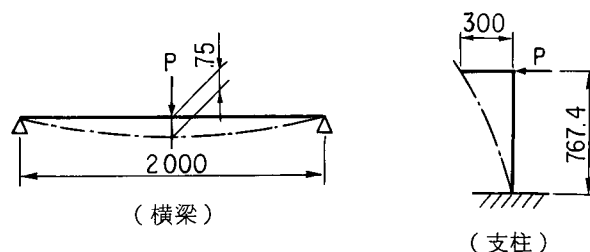


表-付 1.2.3 衝突条件に関するインプットデータ（第3群インプットデータ）

種 別	車両衝突角度	車両衝突速度
S	15 度	80km/h

付1.3 供試体

表-付1.3.1 部材の断面性能

部 材 名	A cm ²	I cm ⁴	Z cm ³	Z _p cm ³	試 験 値
主要横梁	35.24	1,102	133	178	Mo= 8.1tf・m
下段横梁	17.05	393	56.2	73.8	Mo= 2.7tf・m
支 柱	35.38	1,630	206	230	Pw= 6.5tf

注： A：断面積

I：断面2次モーメント

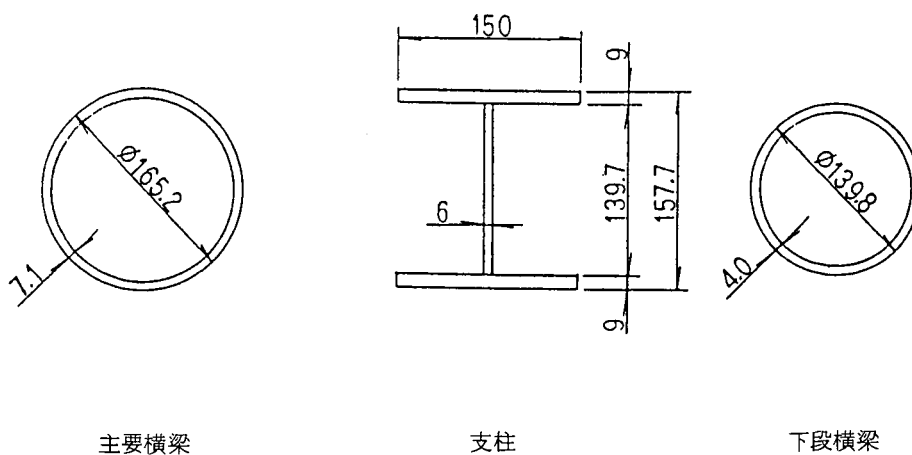
Z：断面係数

Z_p：塑性断面係数

E：ヤング率=2.1×10⁶kgf/cm²

Mo：極限曲げモーメント

Pw：極限支持力



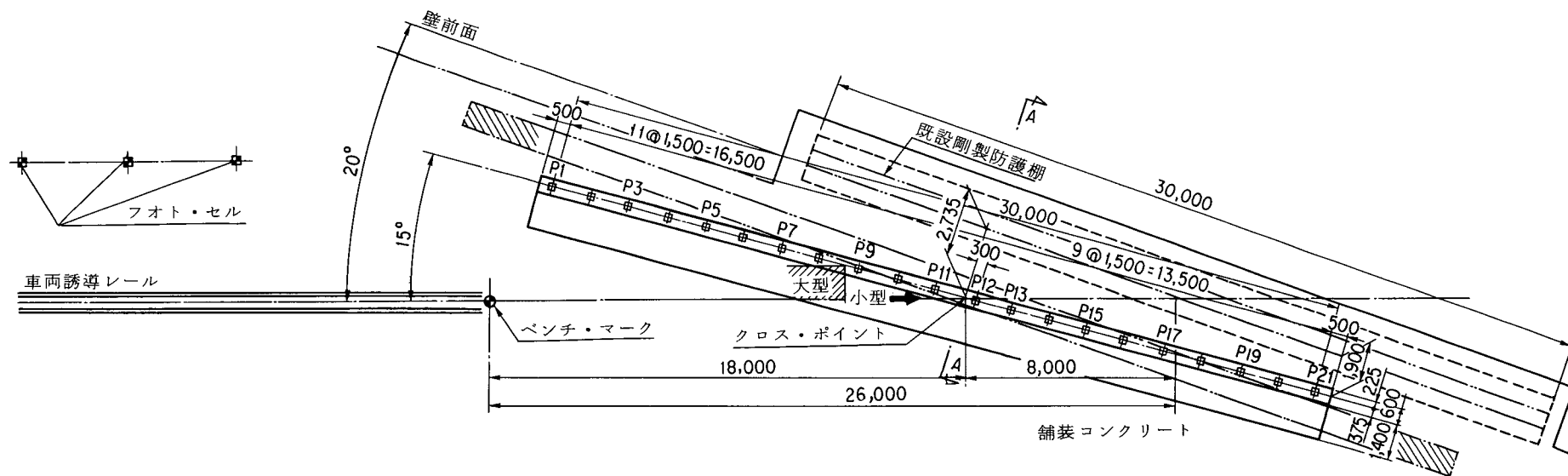


図-付 1.3.1 防護柵配置図

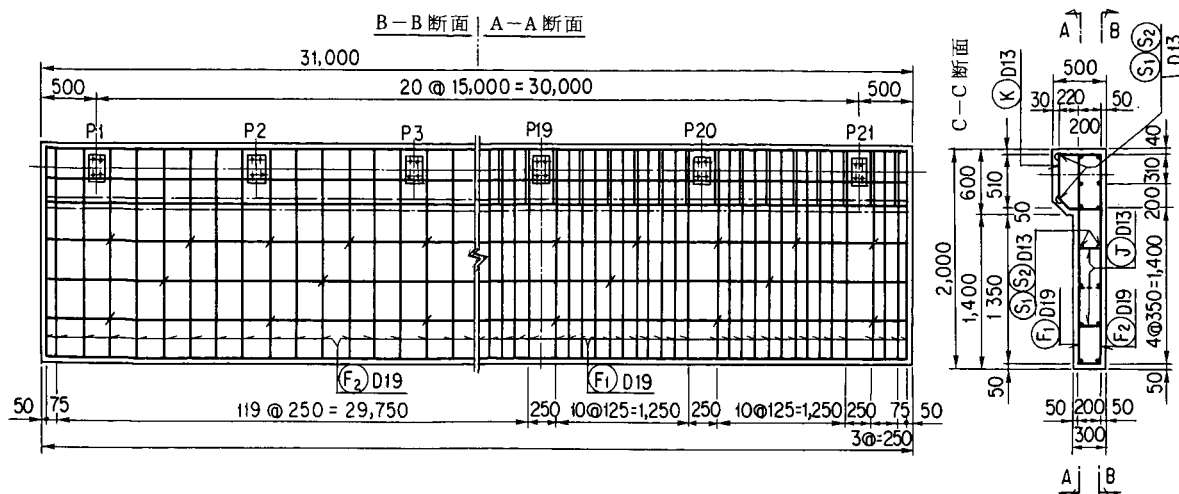


図-付 1.3.2 コンクリート床版配筋図

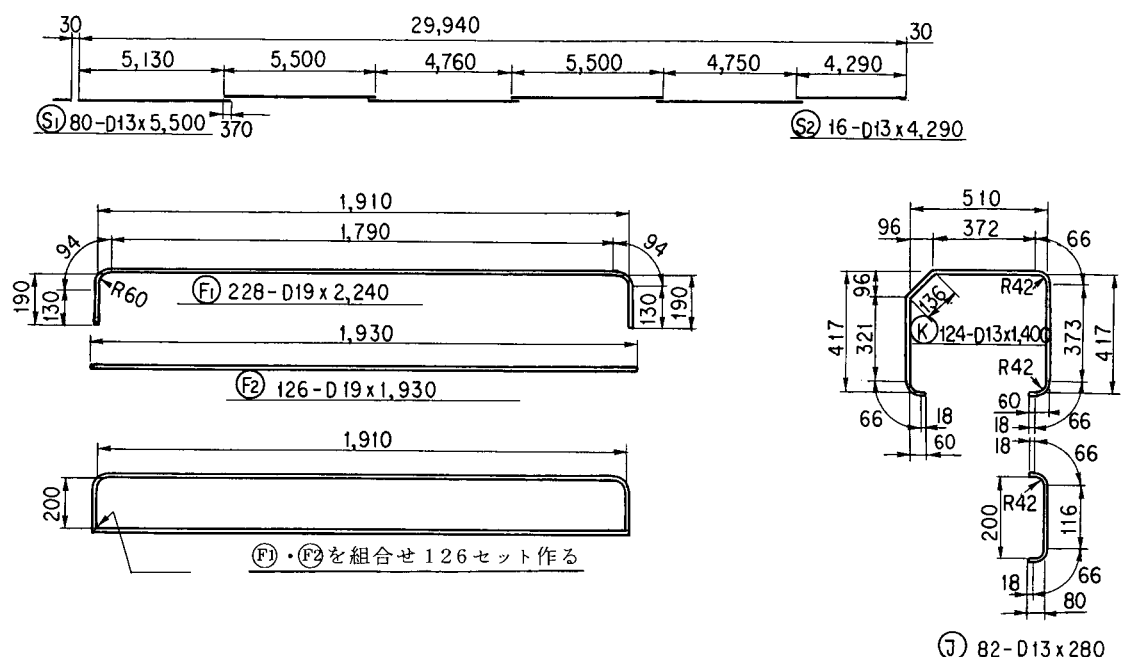


図-付 1.3.3 鉄筋加工図

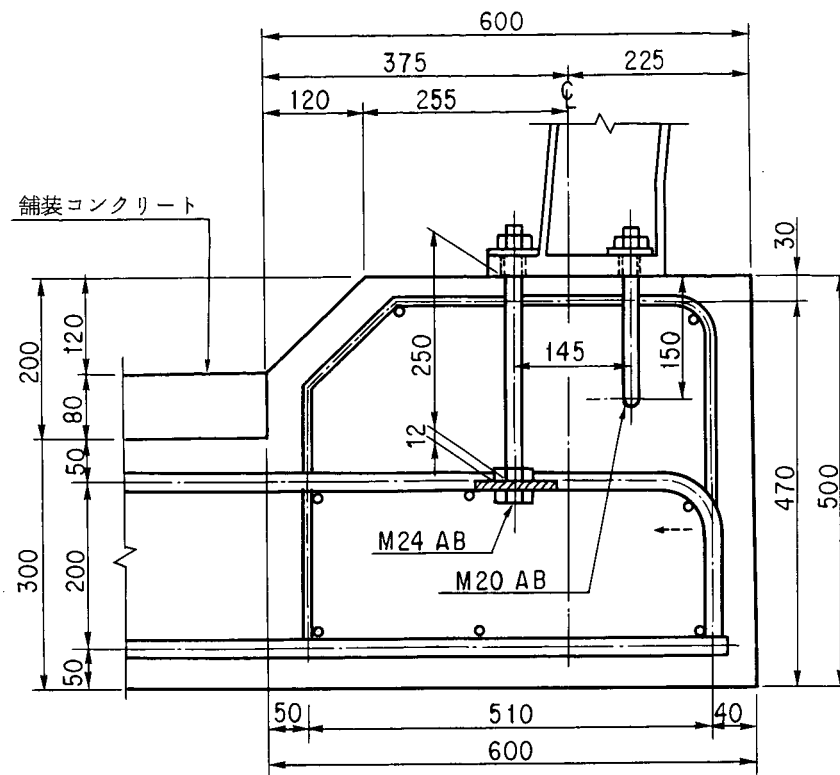
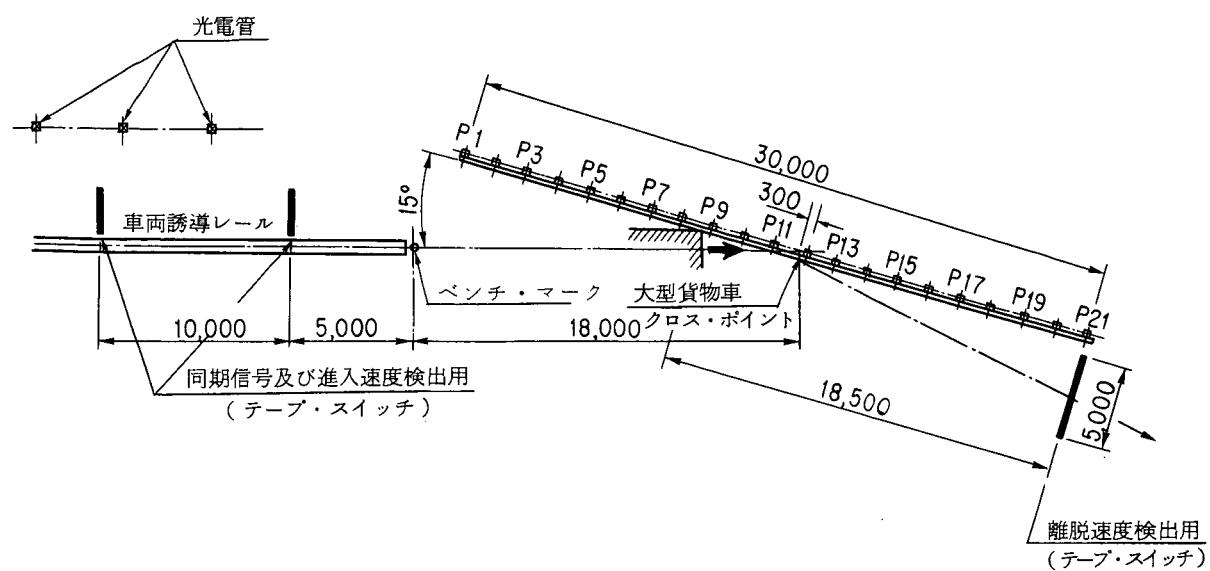
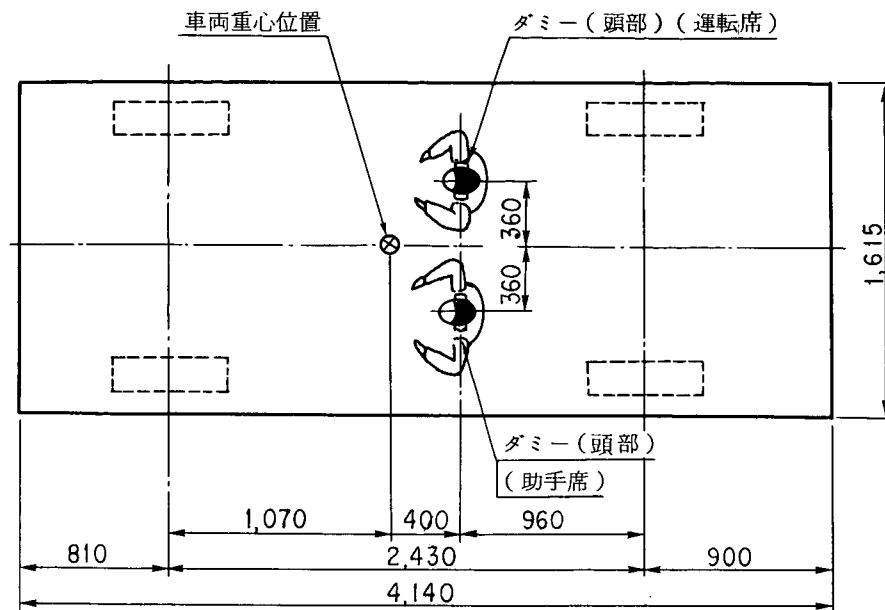


図-付 1.3.4 地覆形状及び定着構造断面

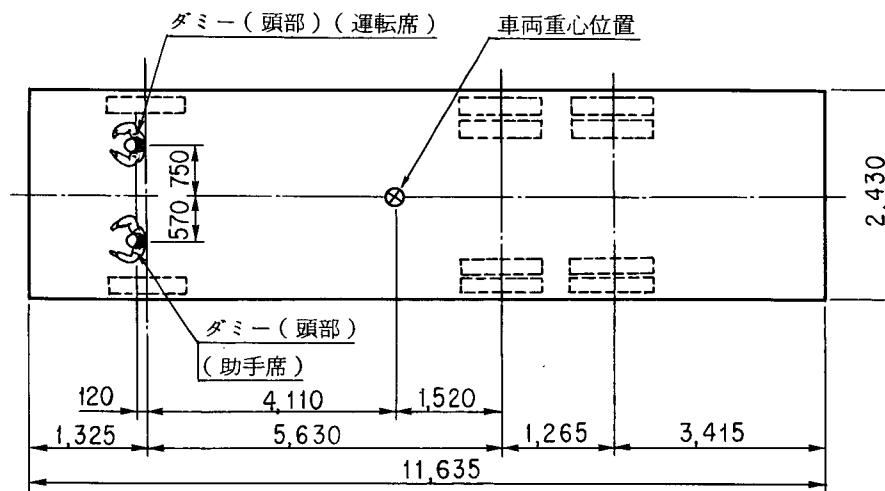
付 1. 4 測定方法



図ー付 1. 4. 1 テープスイッチ取り付け位置

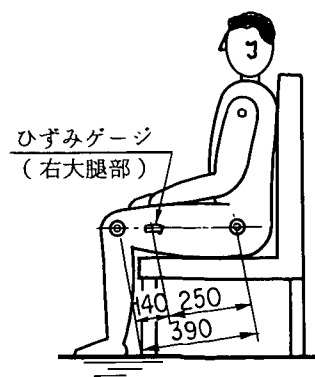


ダミー(頭部)及び車両重心位置(実験1)



ダミー(頭部)及び車両重心位置(実験2)

図一付 1.4.2 加速度計取り付け位置



図一付 1.4.3 ダミー大腿部歪ゲージ取り付け位置

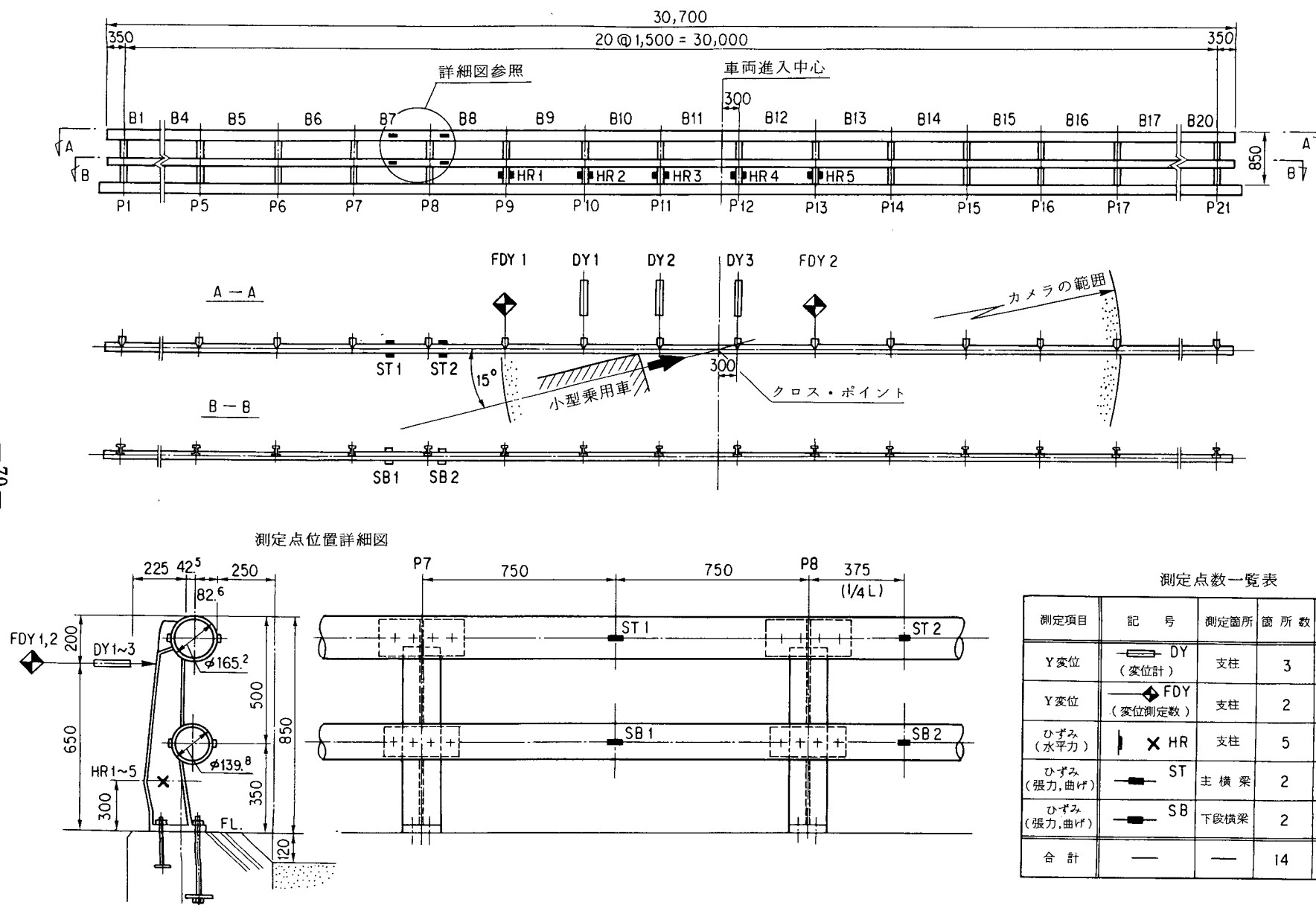
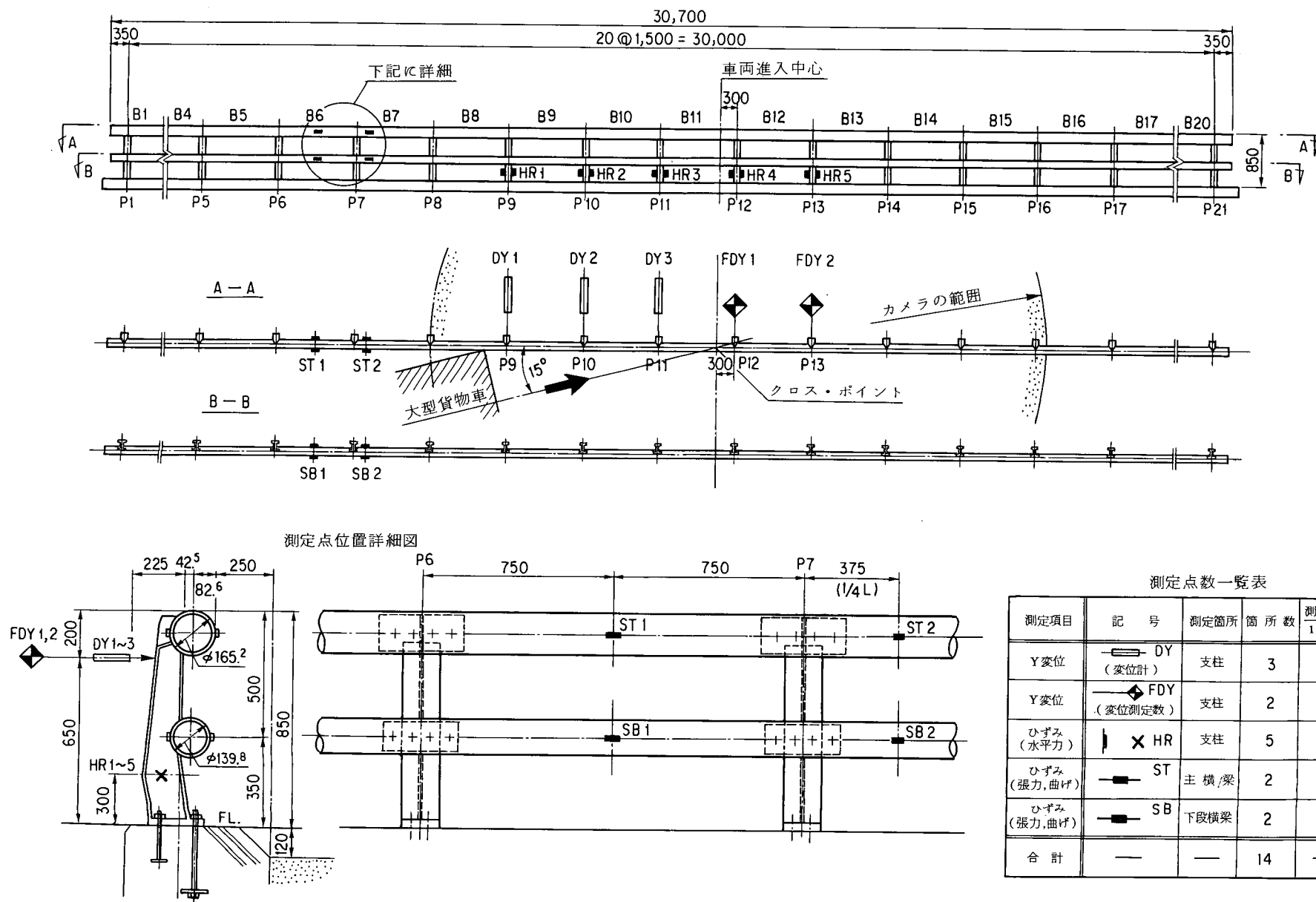


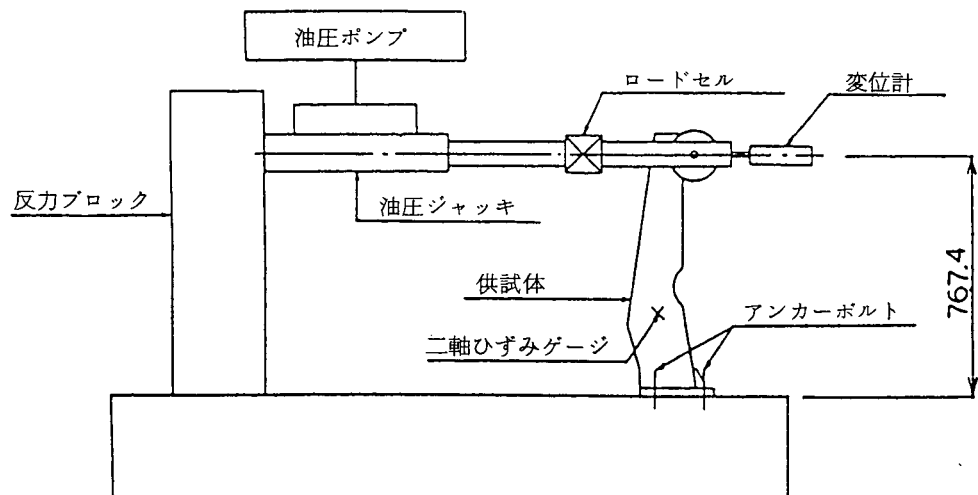
図-付 1.4.4 防護柵計測点位置 (実験 1 : 小型乗用車)



測定点数一覧表

測定項目	記号	測定箇所	箇所数	測点数 1箇所	計
Y変位 (変位計)	DY	支柱	3	1	3
Y変位 (変位測定数)	FDY	支柱	2	1	(2)
ひずみ (水平力)	HR	支柱	5	1	5
ひずみ (張力, 曲げ)	ST	主横梁	2	2	4
ひずみ (張力, 曲げ)	SB	下段横梁	2	2	4
合計	—	—	14	—	16 (2)

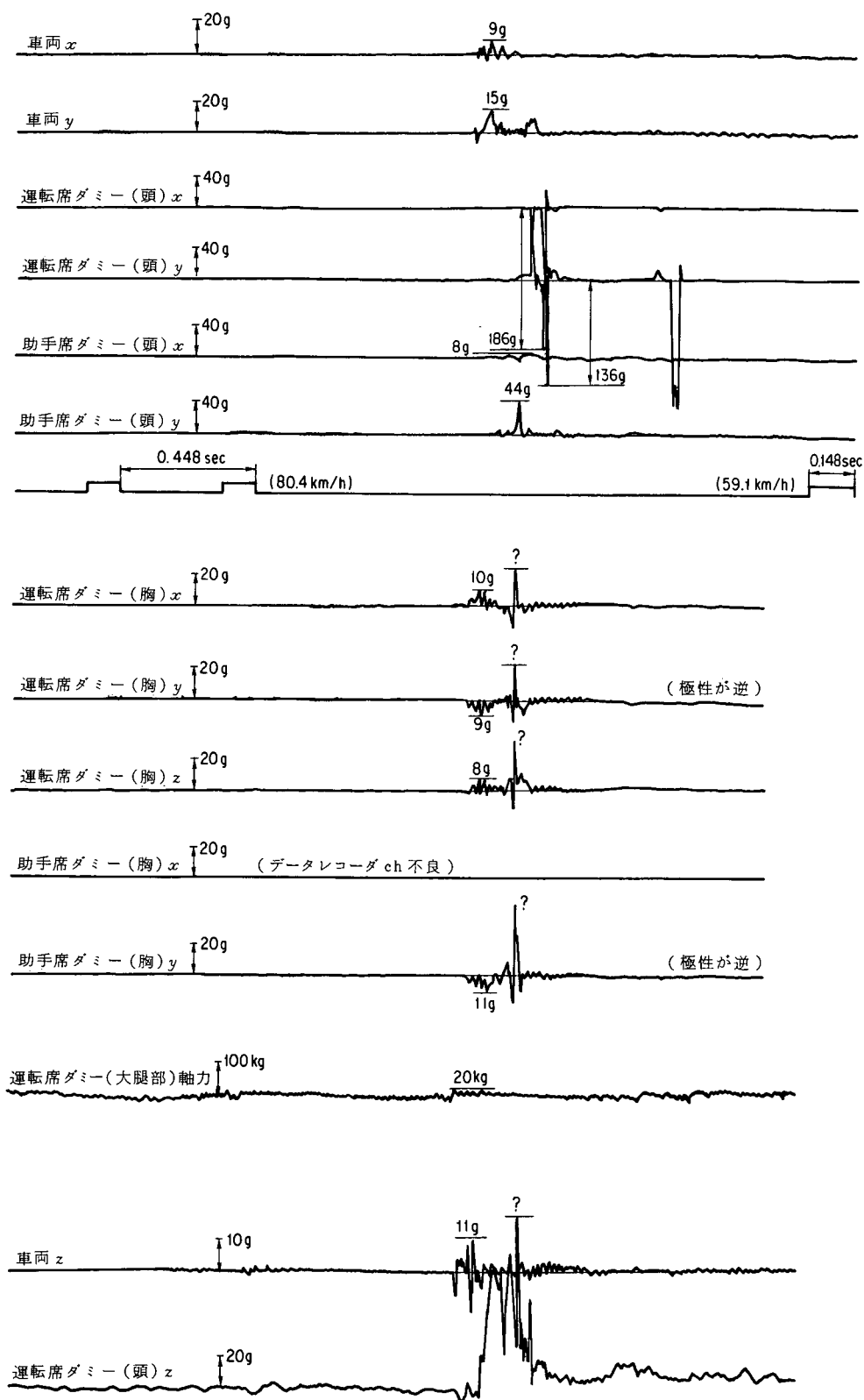
図-付 1.4.5 防護柵計測点位置 (実験 2 : 大型貨物車)



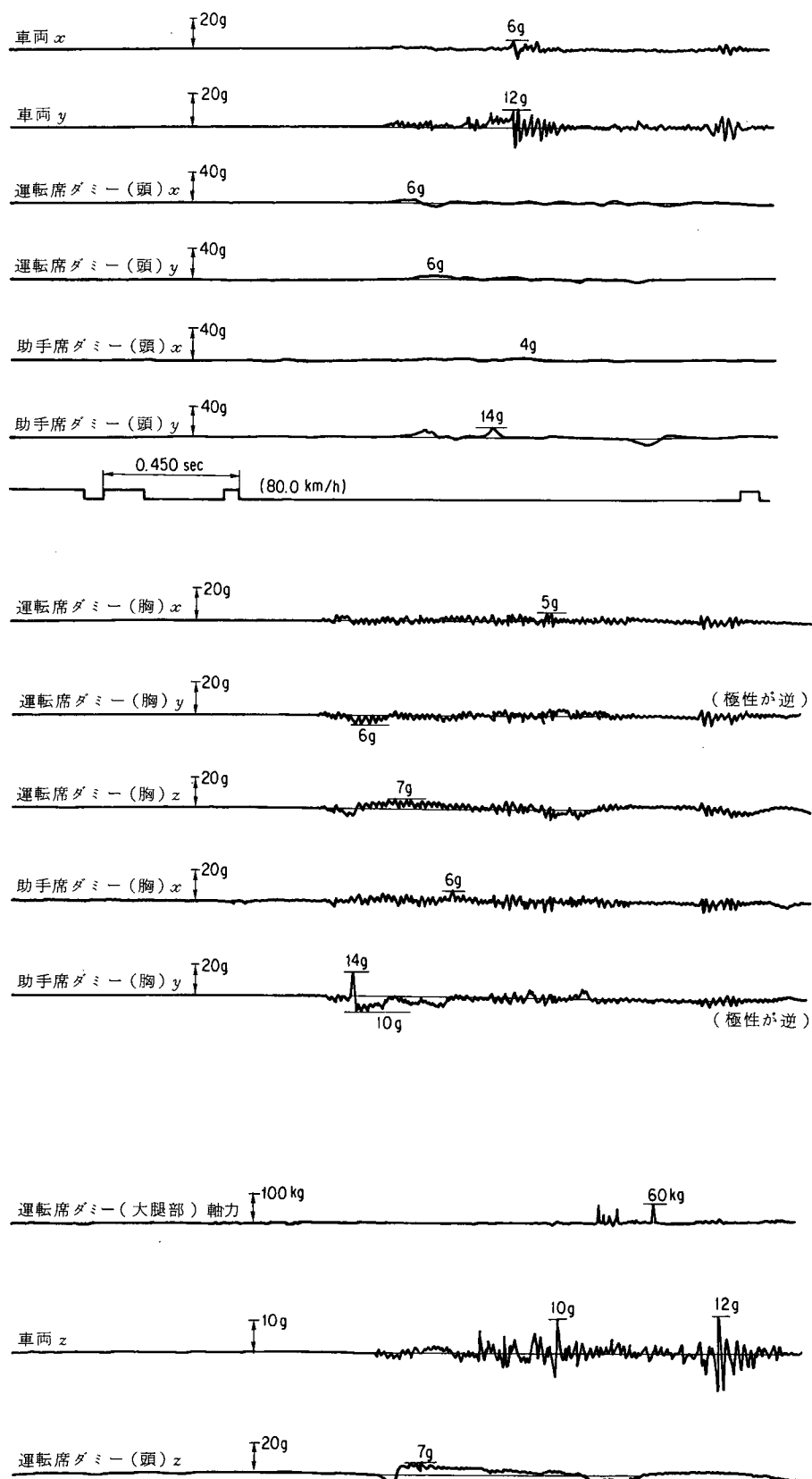
図一付 1. 4. 6 支柱のせん断力較正試験要領

付1.5 衝突実験結果

(1) 加速度



図一付 1.5.1 加速度測定結果波形 (実験 1)



図一付 1.5.2 加速度測定結果波形（実験 2）

表-付 1.5.1 加速度波形解析結果

		車 両 重 心			ダ ミ ー					
		原波形 (g)	50msec 平均値 (g)	実効値 (g)	運 転 席		助 手 席			
					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 小型乗用車 (80.4km/h)	X	8.9	3.3	3.8	-166.3	4905.5	7.7	-6.4	79.8	—
	Y	13.7	6.8	6.5	-150.8		8.7	42.5		8.8
	Z	-12.4			20.4		5.2			
	合計	15.4	7.4	7.5	166.6			42.9		
実験 No.2 大型貨物車 (80.0km/h)	X	6.0	1.4	1.4	4.7	9.1	4.3	4.4	14.4	-6.0
	Y	9.1	3.2	3.0	4.6		5.6	14.0		-11.1
	Z	-15.5			6.3		-5.6			
	合計	9.7	3.3	3.3	6.1			14.2		
備 考		〔注〕 1) 原波形は80Hzのローパスフィルターを通しての結果である。 2) H I C 値はX, Y成分の合成値より算定した。 3) /はデータレコーダチャンネル不良の為、読みとり不能。								

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 $\Delta t=1.22\text{msec}$ ），パーソナルコンピュータにより処理した。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（カットオフ周波数：80Hz）を介した。

① 車両重心加速度の50msec移動平均値の最大値

(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の車両進行方向 (x)，車両進行方向直角方向 (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-2.3に示す許容値を超えないこととされている。

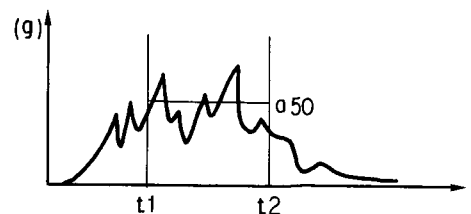
$$\alpha_{50} = \max \left(\int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right) / 0.05$$

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)



表一付 1.5.2 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

② 乗員の打撃速度および10msec移動平均値の最大値

(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。

$$\alpha_{x,y} = \int_{t_1}^{t_2} a_{x,y} dt / 0.01$$

$$V_{x,y} = \int_{t_0}^{t_1} \alpha_{x,y} dt$$

$$D_{x,y} = \int_{t_0}^{t_1} V_{x,y} dt$$

ここで a : 発生加速度 (g)

$\alpha_{x,y}$: 加速度の10msec間の移動平均値 (g)

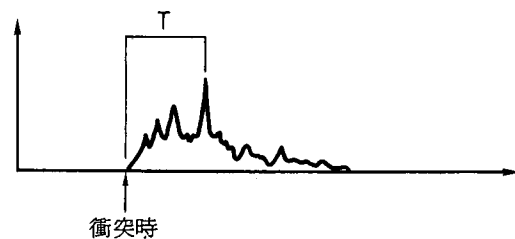
$V_{x,y}$: 乗員の移動速度 (m/sec)

$D_{x,y}$: 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 : $t_1 + 10\text{msec}$ (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20 g, また $V_{x,y}$ は x 方向については0.6 m移動した時点で打撃速度が12m/sec, y 方向については 0.3m移動した時点で打撃速度が9 m/secを超えないこととしている。

③ 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H I Cと表す）を求める。

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

ここで HIC : 頭部の衝撃度

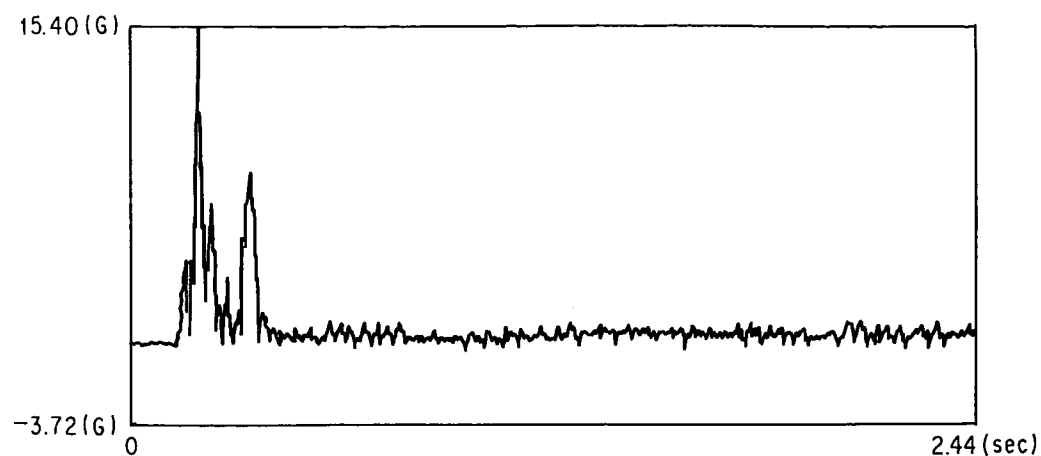
a : 発生加速度 (g)

t_1, t_2 : 衝突加速度作用中の任意の時点 (sec)

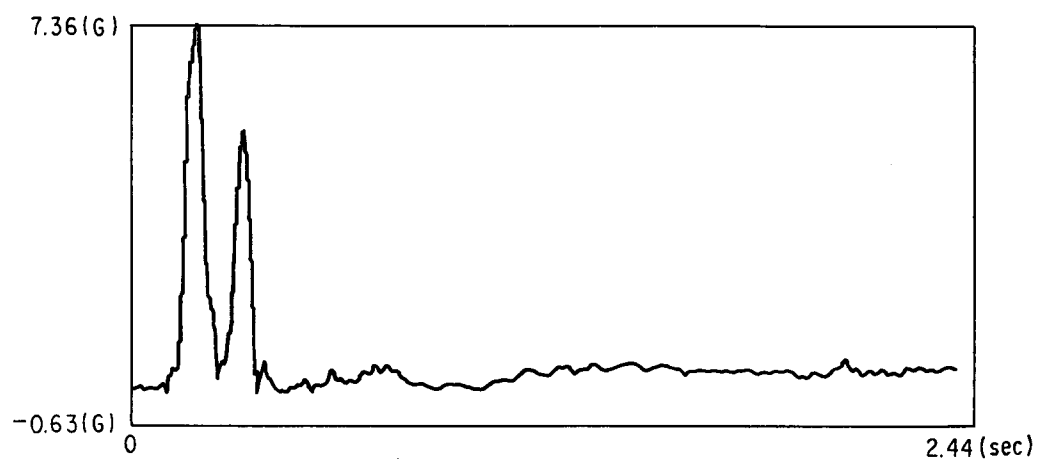
ただし, $t_1 > t_2$

H I C は 1,000 を超えないこととされている。

XY波形 合成值 WAVE 1=NO1GX WAVE 2=NO1GY
 最大值=1.5401E+01(G)



50 msec 平均 XY 合成值
 最大值=7.3611E+00(G)



最大進入行程 実効値 合成値
 最大值=7.5415E+00(G)

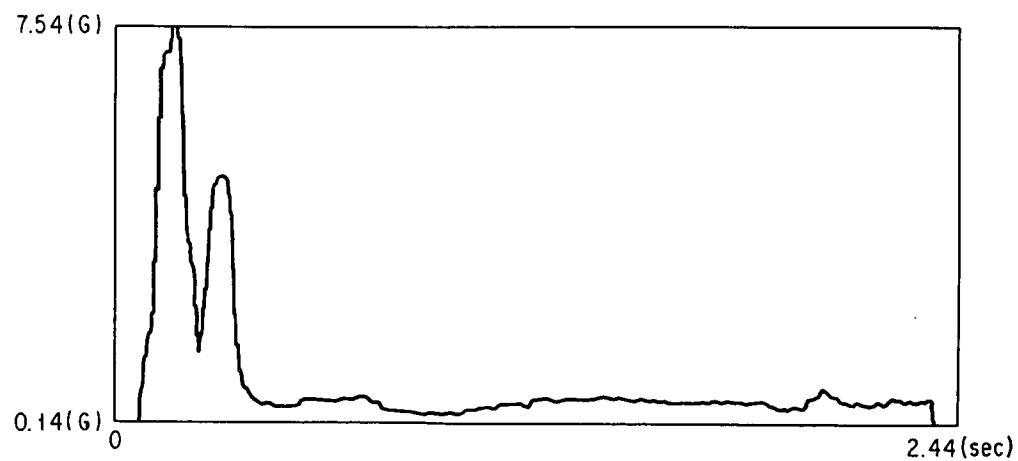
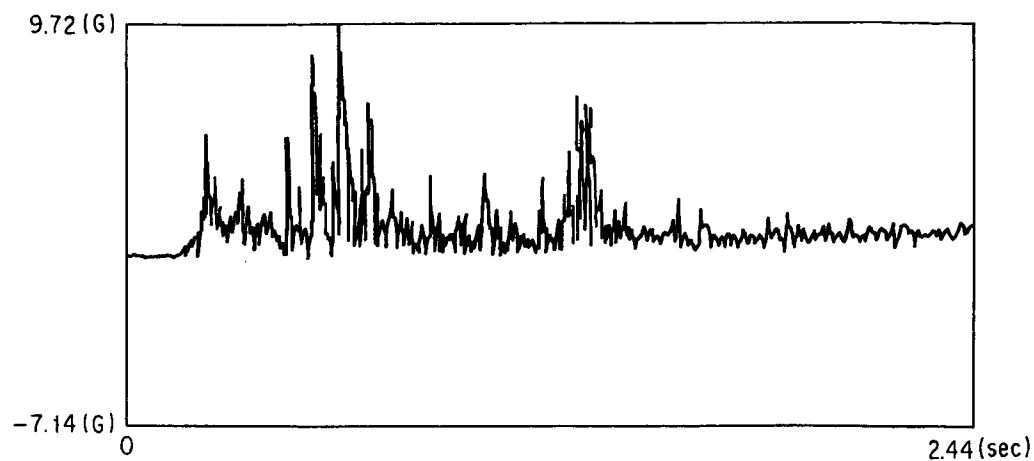
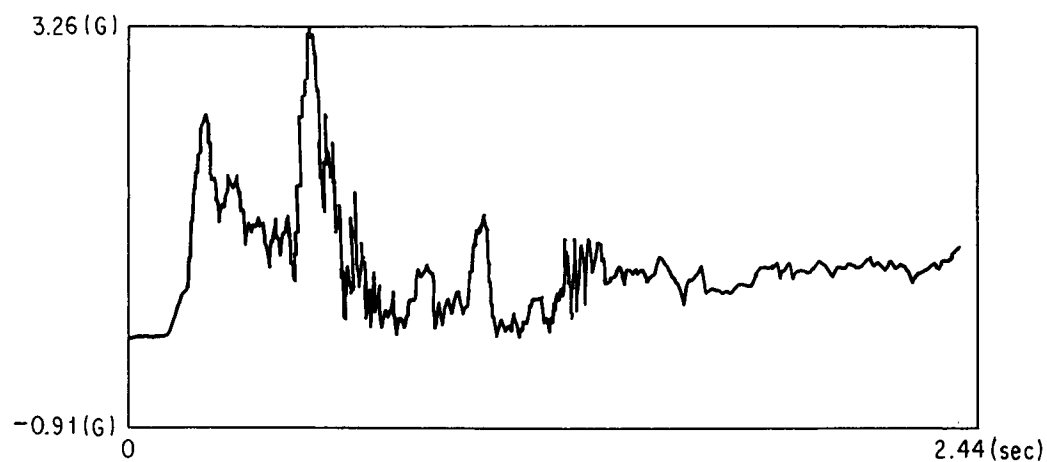


図-付 1.5.3 車両重心加速度波形解析結果(実験1)

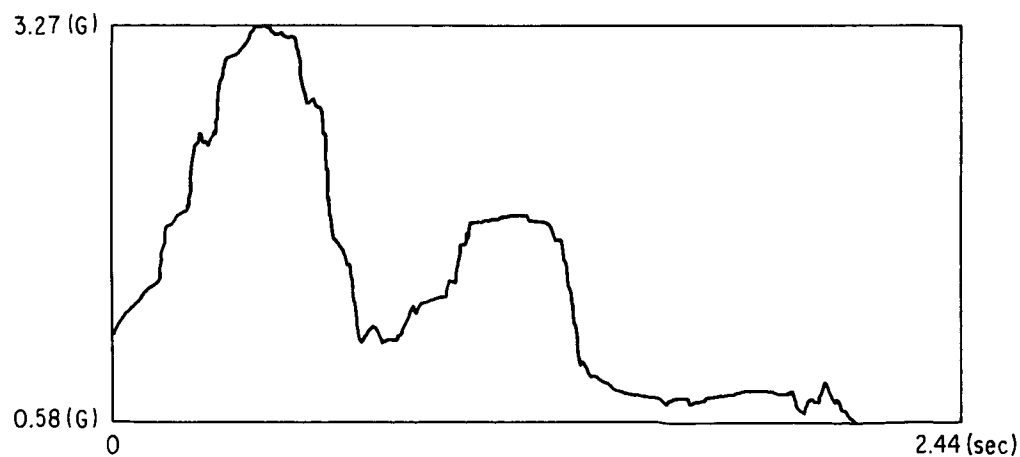
XY波形 合成値 WAVE 1=NO 2GX WAVE 2=NO 2GY
 最大値 = 9.7212E+00 (G)



50msec 平均 XY 合成値
 最大値 = 3.2566E+00 (G)



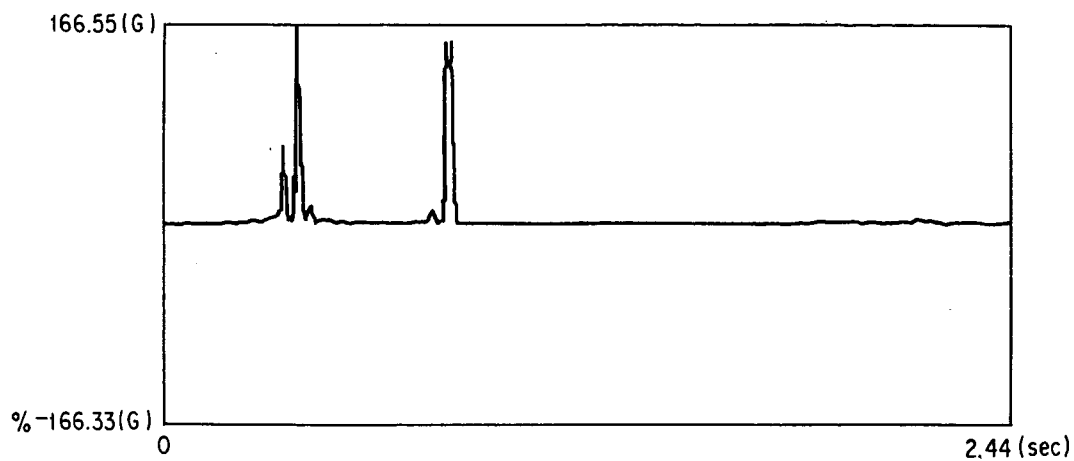
最大進入行程 実効値 合成値
 最大値 = 3.2726E+00 (G)



図一付 1.5.4 車両重心加速度波形解析結果 (実験 2)

原波形XY合成値 WAVE 1=NO1UTX WAVE 2=NO1UTY

最大値 XY (308) = 1.6655E+02 (G)



HICの最大値

最大値 HIC (658) = 4.9055E+03 (G)

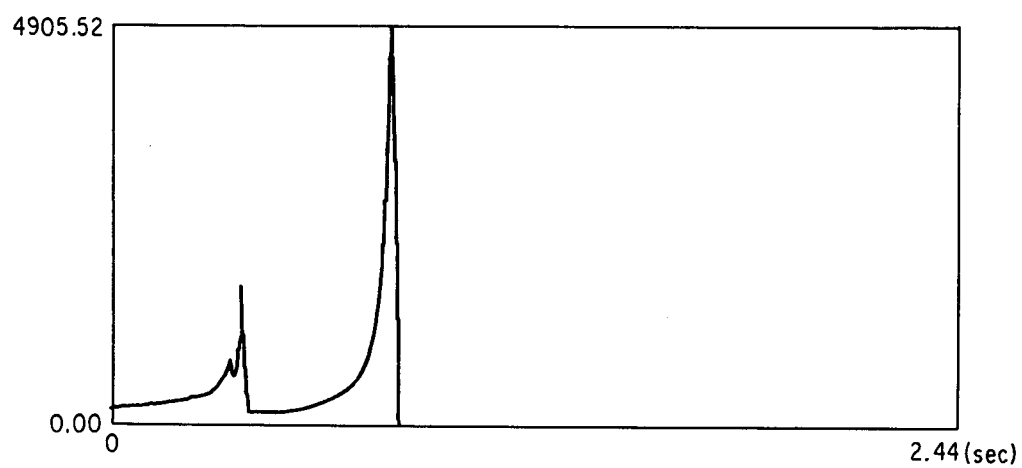
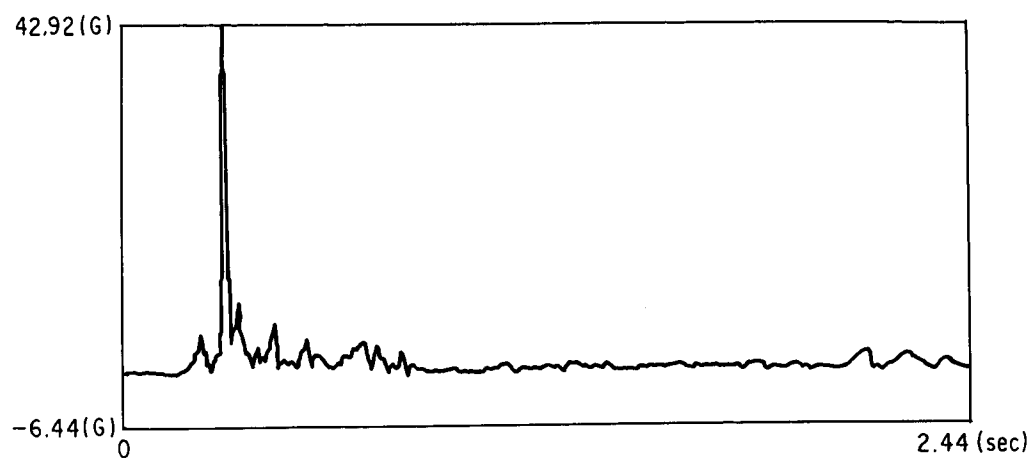
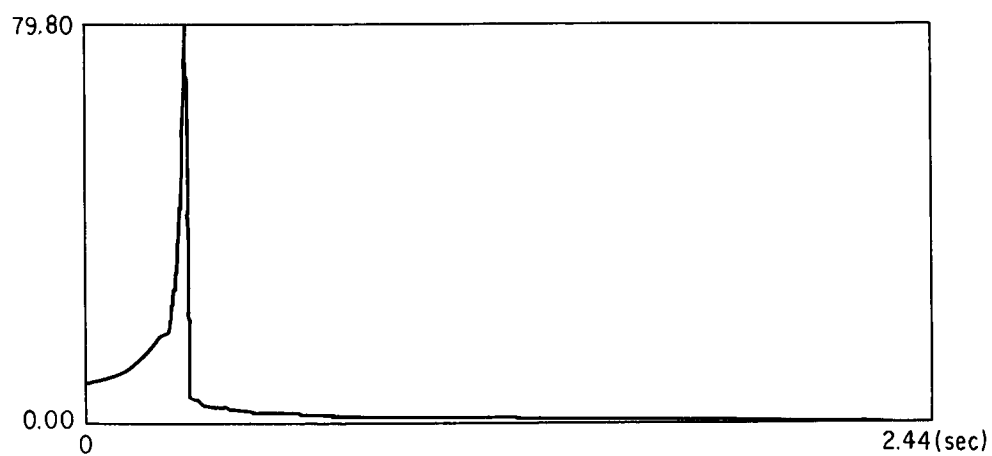


図-付 1.5.5 運転席ダミー頭部加速度波形解析結果(実験1)

原波形XY合成値 WAVE 1=NO1JTX WAVE 2=NO1JTY
最大値XY(245)=4.2918E+01 (G)

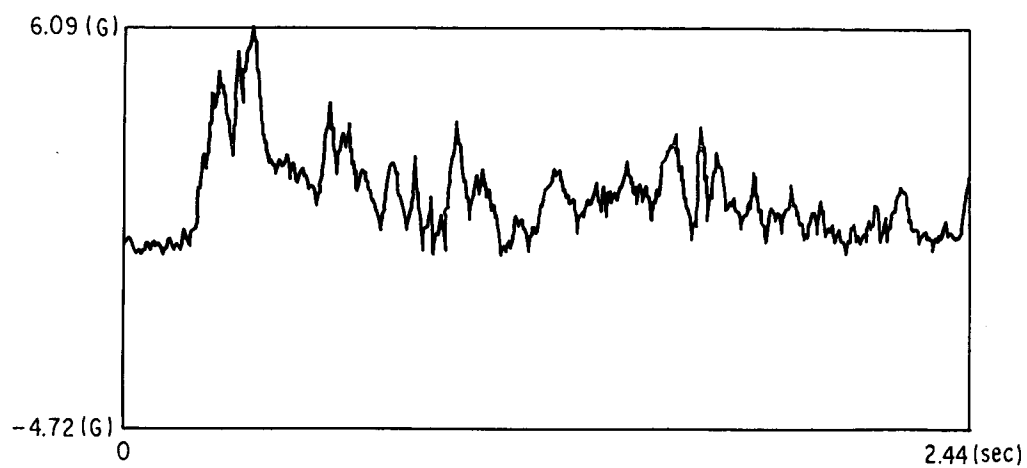


HICの最大値
最大値 HIC(240)=7.9800E+01 (G)



図一付 1.5.6 運転席ダミー頭部加速度波形解析結果(実験2)

原波形XY合成値 WAVE 1=NO2UTX WAVE 2=NO2UTY
最大値XY (304) = 6.0871E+00 (G)

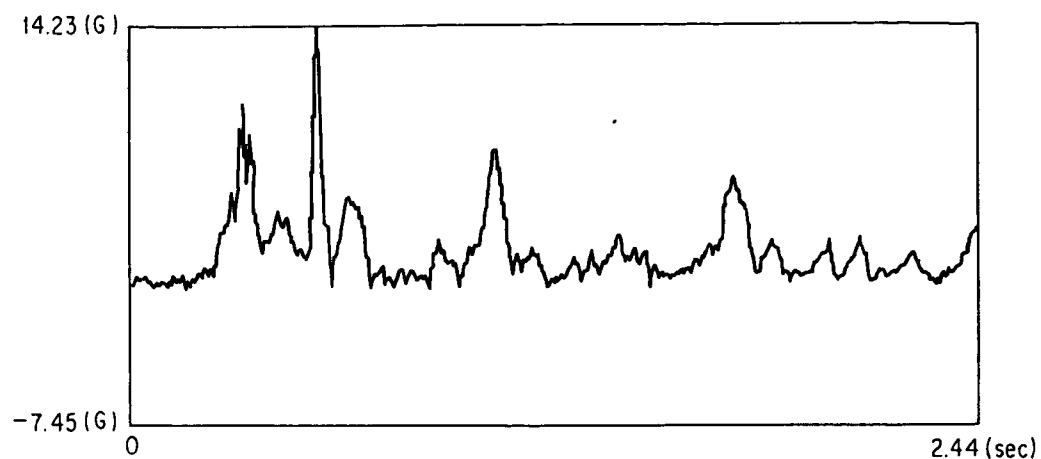


HICの最大値
最大値 HIC (174) = 9.0848E+00 (G)

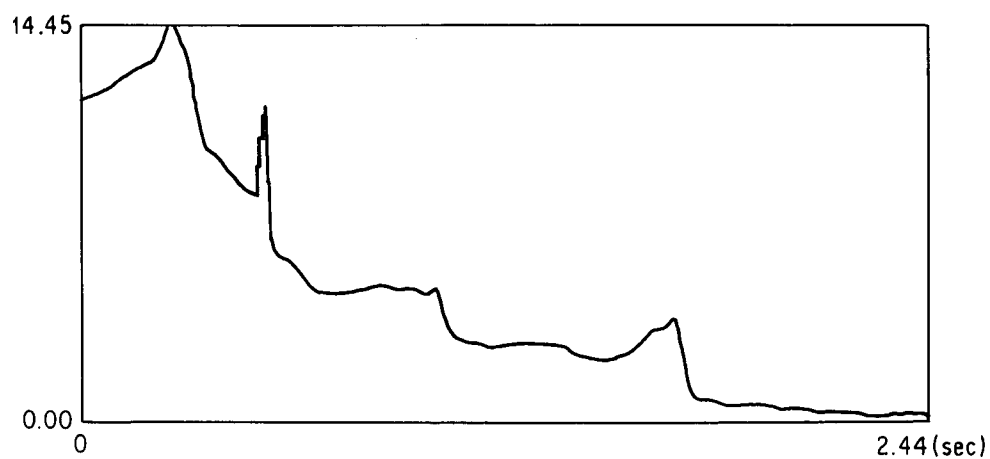


図一付 1.5.7 助手席ダミー頭部加速度波形解析結果 (実験1)

原波形XY合成値 WAVE 1=NO2JTX WAVE 2=NO2JTY
 最大値XY(448)=1.4231E+01 (G)



HICの最大値
 最大値 HIC(214)=1.4449E+01 (G)



図一付 1.5.8 助手席ダミー頭部加速度波形解析結果（実験2）

(2) 防護柵の変位, 水平力, 軸力, 曲げモーメント

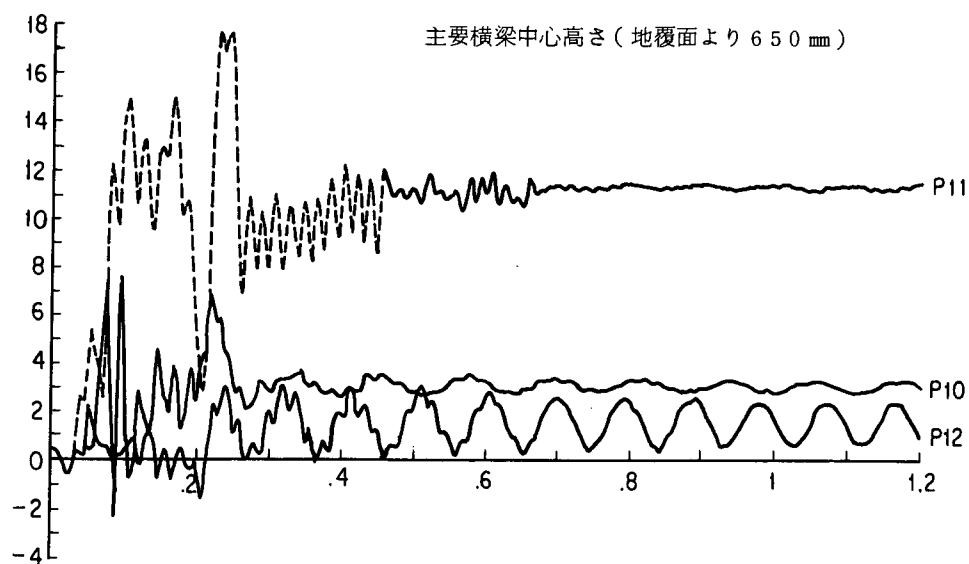


図-付 1.5.9 支柱の防護柵直角方向(Y方向)の変位量(実験1)

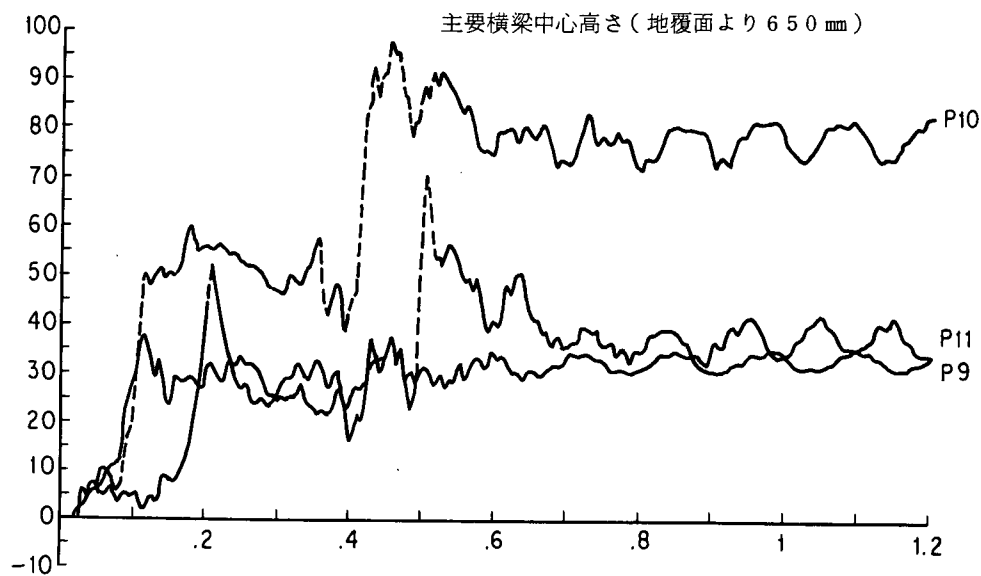


図-付 1.5.10 支柱の防護柵直角方向(Y方向)の変位量(実験2)

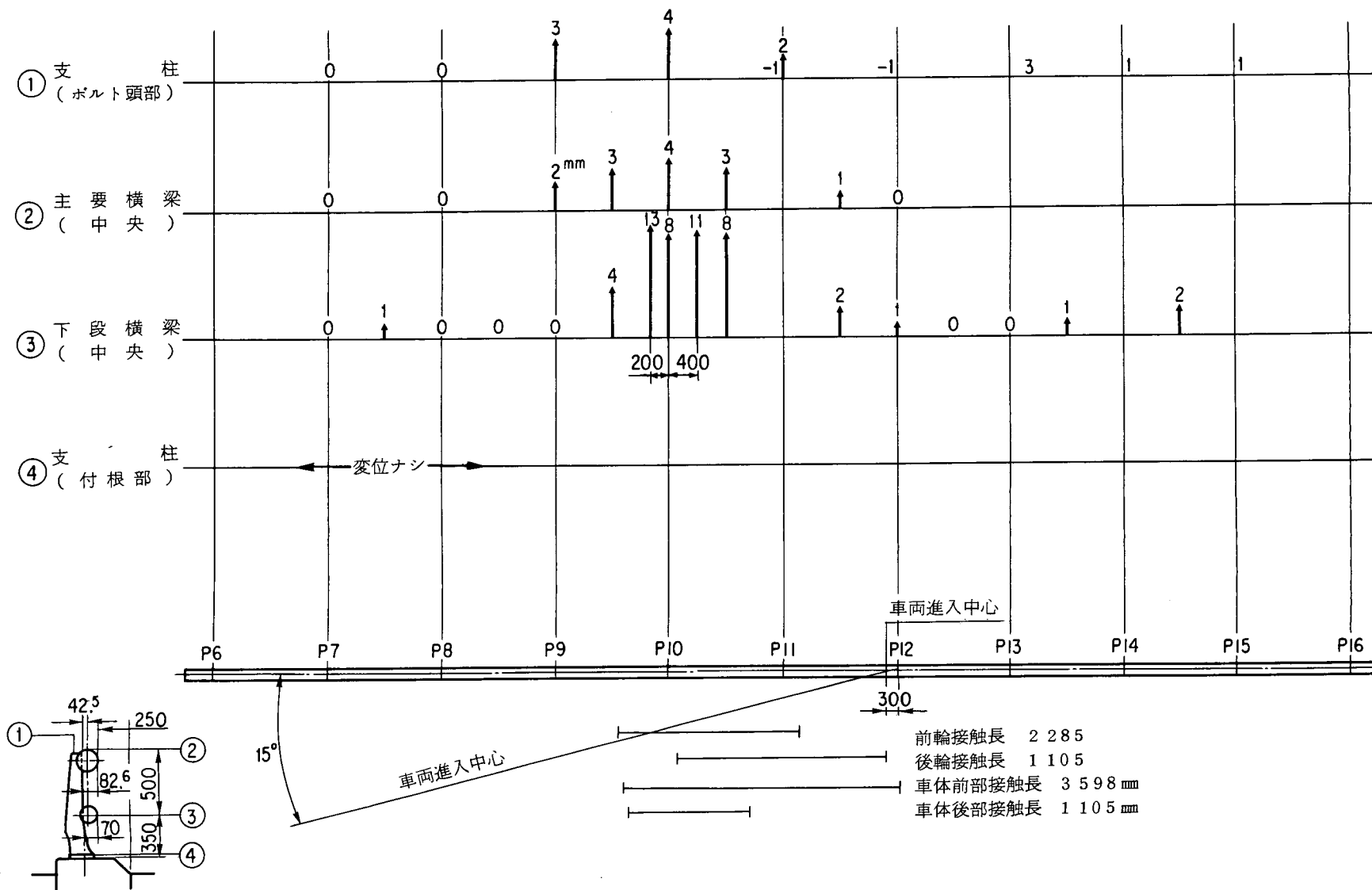


図-付 1.5.11 支柱及び横梁の残留変位量 (実験 1)

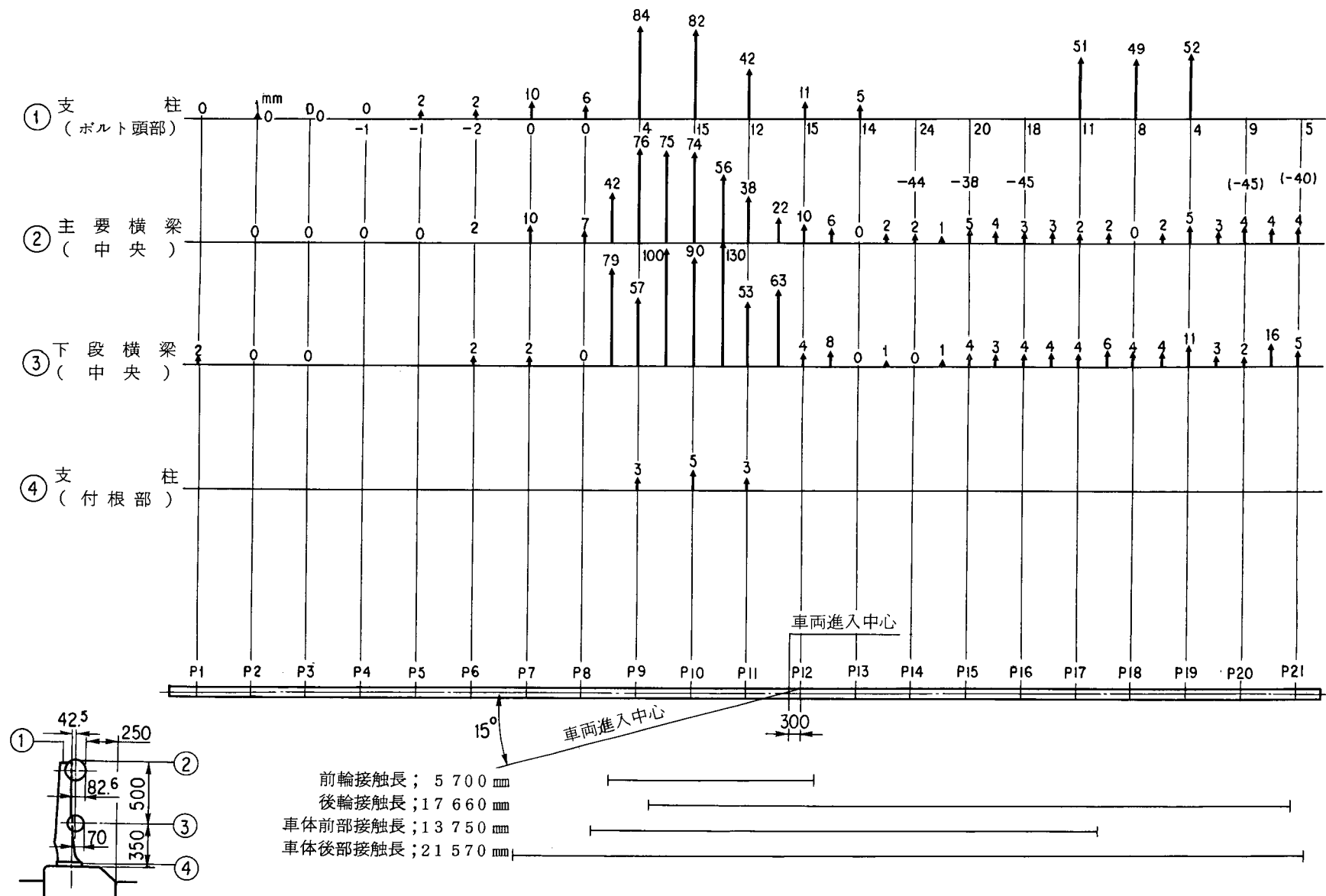


図-付 1.5.12 支柱及び横梁の残留変位量 (実験 2)

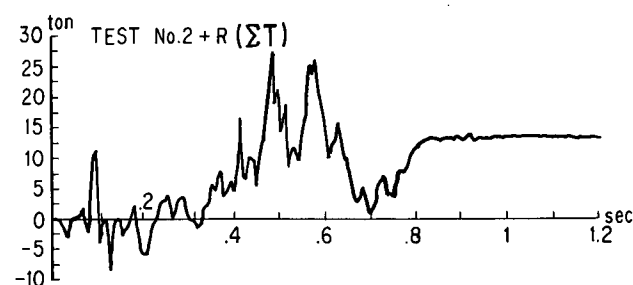
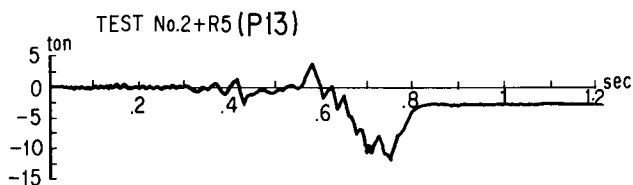
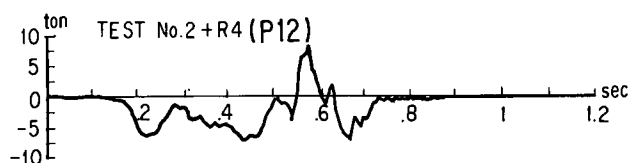
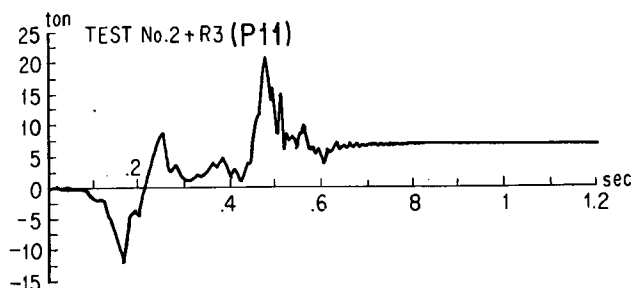
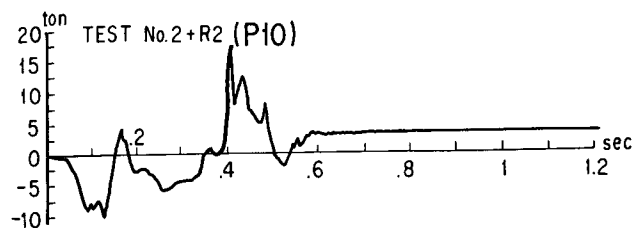
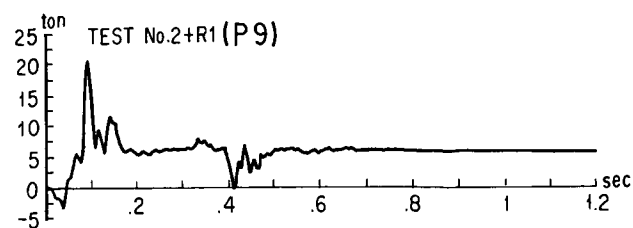
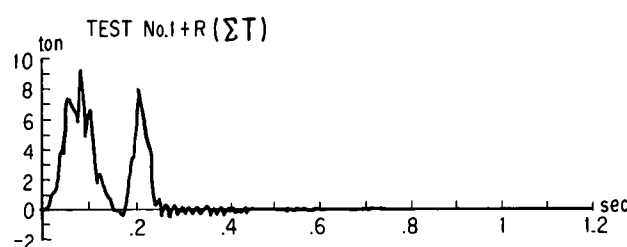
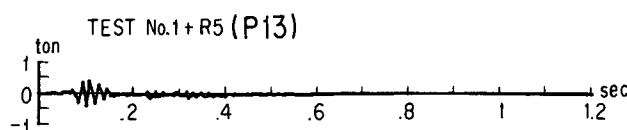
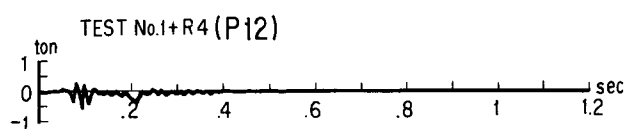
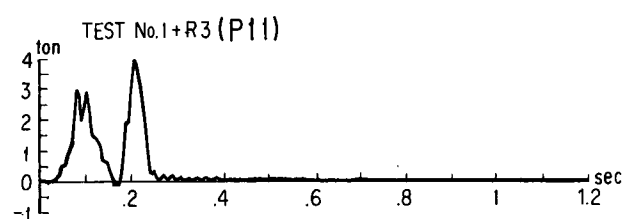
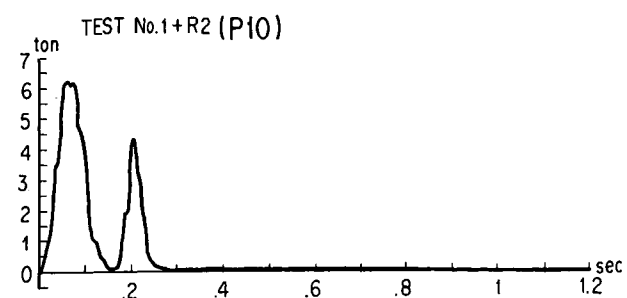
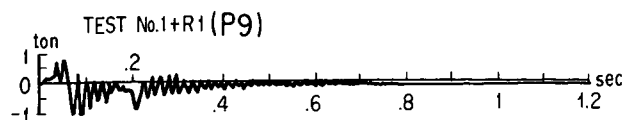
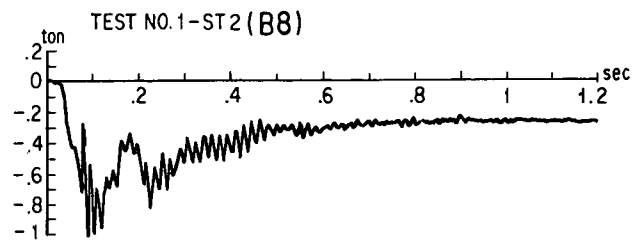
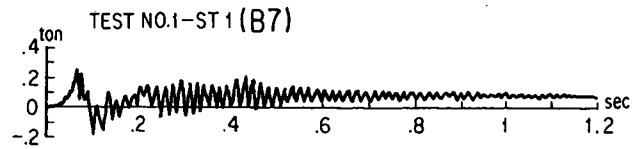
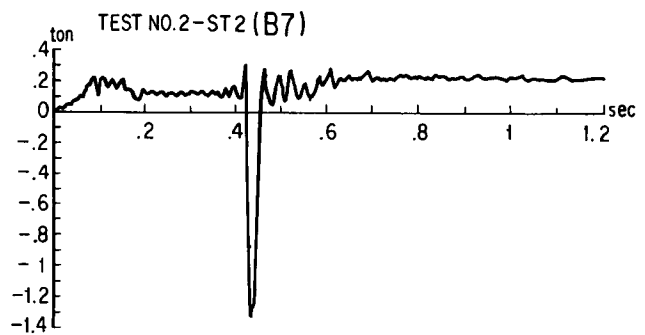
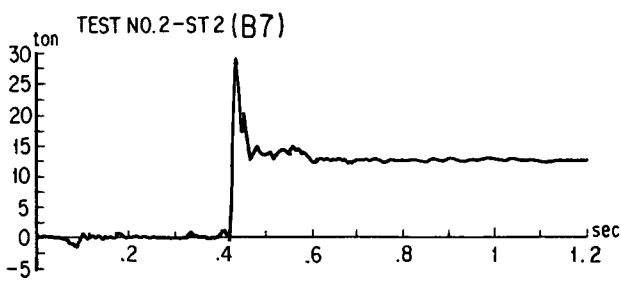
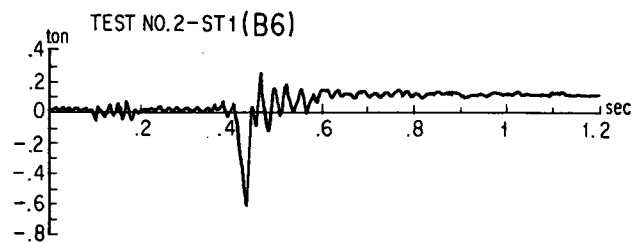
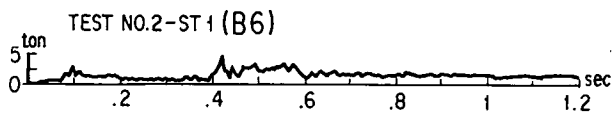


図-付 1. 5.13 支柱に作用した防護柵直角方向
(Y方向)の水平力(実験1)

図-付 1. 5.14 支柱に作用した防護柵直角方向
(Y方向)の水平力(実験2)

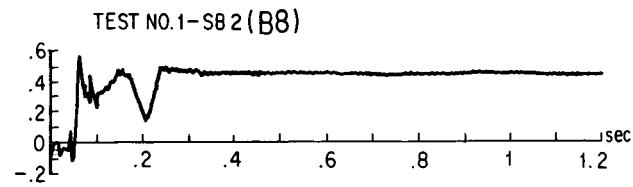
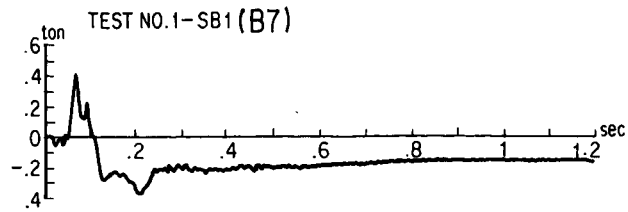


図一付 1. 5.15 主要横梁に作用した軸力 (実験 1)

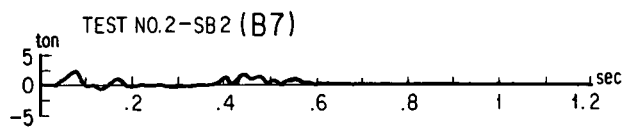
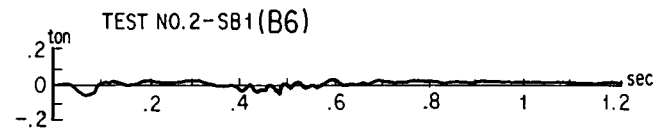
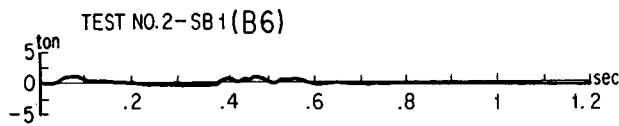


図一付 1. 5.16 主要横梁に作用した軸力
(実験 2)

図一付 1. 5.17 主要横梁に作用した曲げモーメント
(実験 2)



図一付 1. 5.18 下段横梁に作用した軸力 (実験 1)



図一付 1. 5.19 下段横梁に作用した軸力
(実験 2)

図一付 1. 5.20 下段横梁に作用した曲げモーメント
(実験 2)

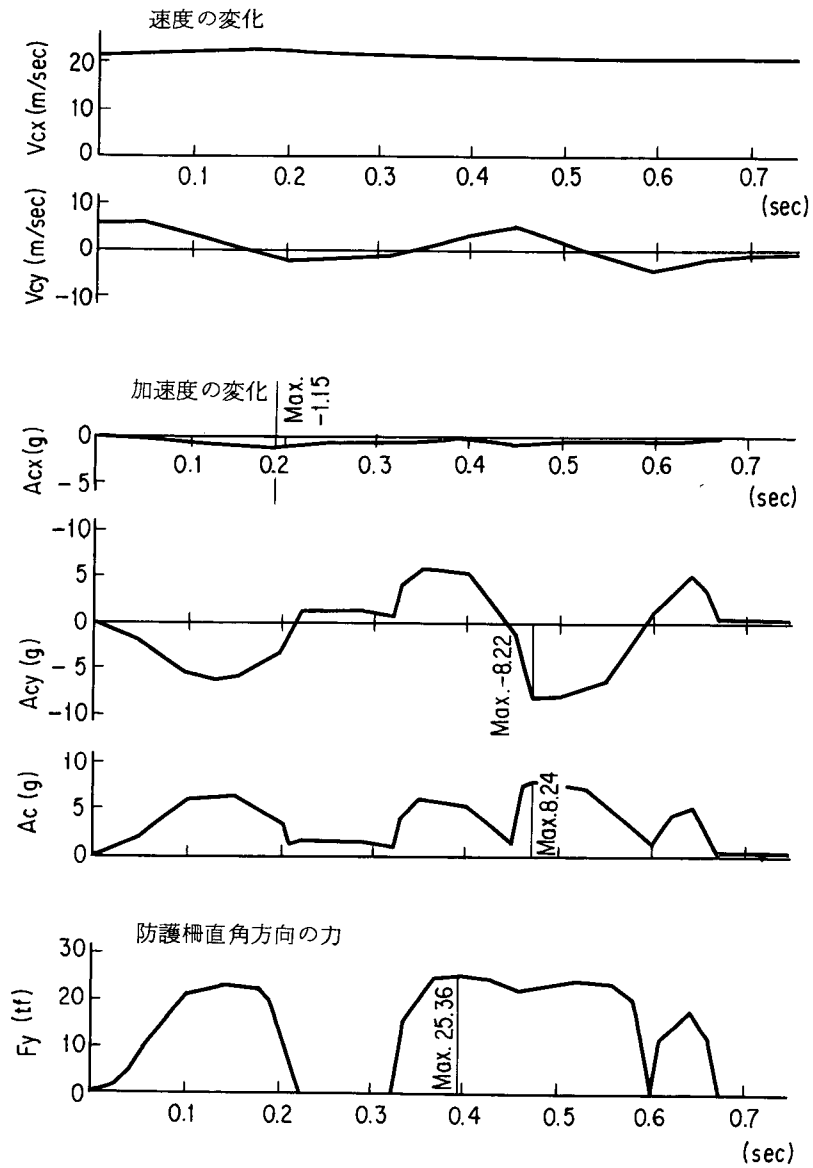
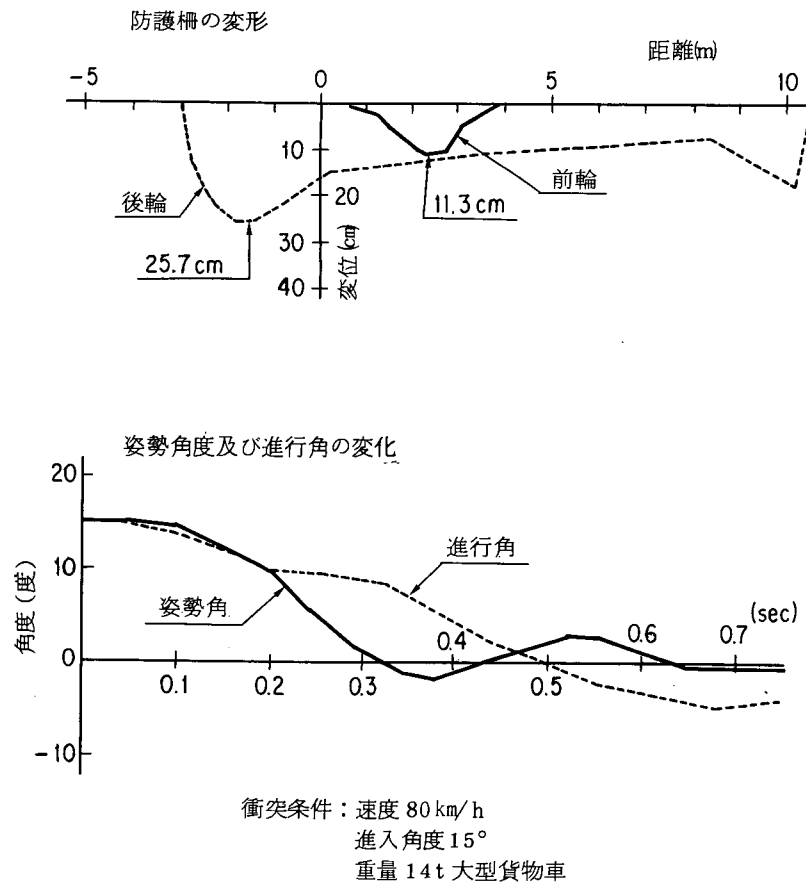


図-付 1.6.1 衝突シミュレーション結果

表-付 1.6.1 衝突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	数値解の繰り返し回数		—
H	繰り返し間隔	sec	0.005
L 1	前輪軸の重心よりの隔たり	m	4.110
L 2	後輪軸の重心よりの隔たり	m	1.970
A 1	前端の重心よりの隔たり	m	5.435
A 2	後端の重心よりの隔たり	m	6.200
B 1	前端の幅の半分	m	1.193
B 2	後端の幅の半分	m	1.205
W 1	前輪の輪距の半分	m	1.000
W 2	後輪の輪距の半分	m	0.880
WR	車輪の半径	m	0.490
D U	運転席の重心よりの隔たり	m	2.430
R**2	慣性半径の2乗	m ²	4.930
W	重 量	t	14.000
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

表-付 1.6.2 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	構 造	支 柱			横 梁				
		Pw	PK	支柱間隔	断 面 寸 法	Mo	Σ Mo	EI	Σ EI
		tf	tf/m	m		tf・m	tf・m	tf・m ²	tf・m ²
S	丸パイプ ビーム	6.60	495	1.5	主要φ 165.2×7.1	8.1	10.8	142	189.4
					下段φ 139.8×4.0	2.7		47.4	

注：1. Pw, PK, Mo, EI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。

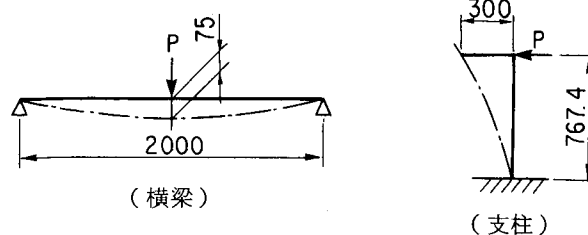


表-付 1.6.3 衝突条件に関するインプットデータ (第3群インプットデータ)

種 別	車両衝突角度	車両衝突速度
S	15 度	80km/h

付 1.7 支柱定着部の検討

支柱定着アンカーボルト形式であり，図-付 1.7.1 にその概略構造を示す。

(1) 支柱に作用する最大荷重 P_{max}

$$P_{max} = 9,300 \text{ kgf (静荷重試験値)}$$

(2) アンカーボルトに作用する最大引抜力 F_{max}

$$\begin{aligned} F_{max} &= \frac{H + P_{max}}{d} \\ &= \frac{76.74 \times 9,300}{18.9} = 37,761 \text{ kgf} \end{aligned}$$

H : 主要横梁中心高さ (=76.74cm)

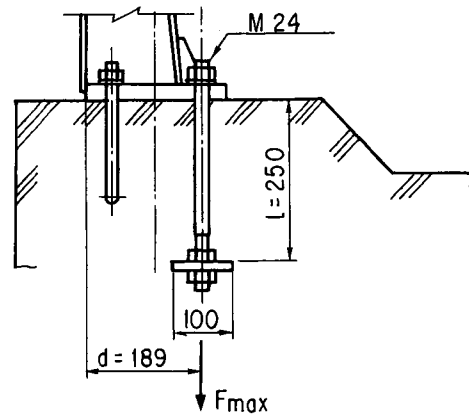


図-付 1.7.1 供試体定着部の構造

(3) アンカーボルトの引抜耐力 FA

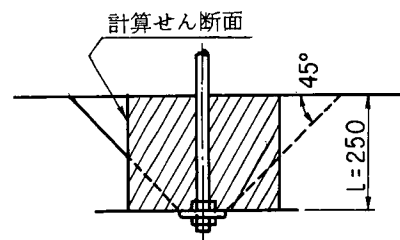
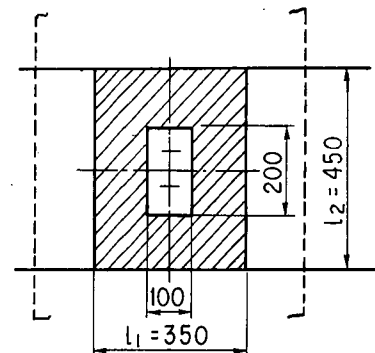
$$\begin{aligned} FA &= 2 \times A \times \sigma_{sy} \\ &= 2 \times 3.53 \times 6,400 \\ &= 45,184 \text{ kgf} > F_{max} = 37,761 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

使用ボルト径 $M24$

有効断面積 $A = 3.53 \text{ cm}^2$

使用ボルト強度 : 8.8

使用ボルト耐力 $\sigma_{sy} = 6,400 \text{ kgf/cm}^2$



(4) 地覆コンクリートの抵抗せん断力 F_r

アンカープレートによる押拔せん断力 F_r により抵抗する。

$$F_r = \tau_{ca} \cdot S = 13.5 \times 4,000 = 54,000 \text{ kgf} > F_{max} = 37,761 \text{ kgf}$$

OK

図-付 1.7.2 せん断面積

τ_{ca} : コンクリート (設計基準強度 $\sigma_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$) の許容押拔せん断力度

道路橋示方書に規定される許容押拔せん断応力度に割増係数 1.5 を適用する。

$$\tau_{ca} = 1.5 \times 9.0 = 13.5 \text{ kgf/cm}^2$$

せん断面積 S は : 図-付 1.7.2 より算出する。

$$S = 2(l_1 + l_2) \times L = 2 \times (35 + 45) \times 25 = 4,000 \text{ cm}^2$$

付 1. 8 床版に与える影響の検討

防護柵を設置する床版は建設省制定標準設計の中から図-付 1. 8. 1 の形状を仮定する。なお、コンクリートは設計基準強度 $\sigma_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2$ とし、鉄筋はSD30とする。

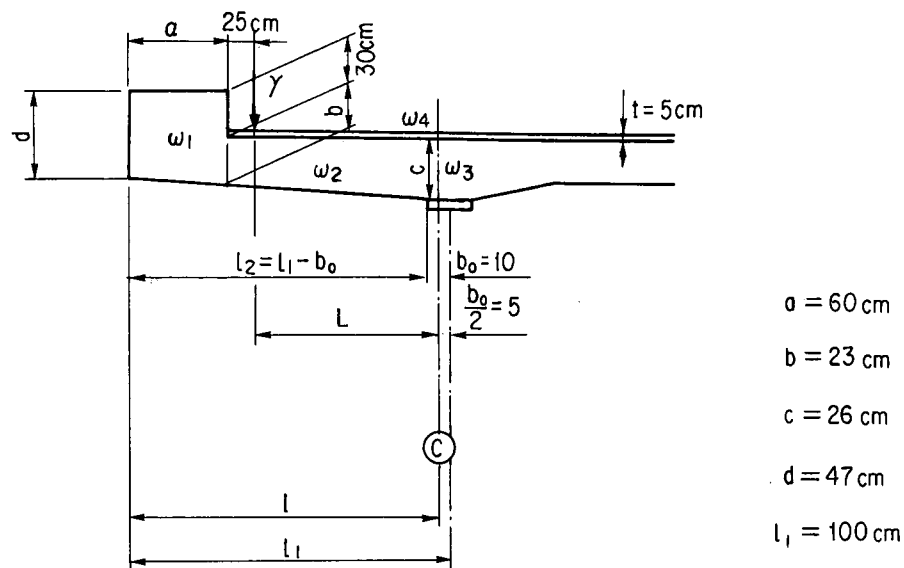


図-付 1. 8. 1 床版の形状

(1) 片持版C部の抵抗曲げモーメント M_R の算定 (1 m 幅当り)

$$\text{鉄筋断面積 } A_s = 2.865 \times \frac{1,000}{150} = 19.1\text{cm}^2$$

(D 19 の公称断面積 2.865cm^2)

$$\text{鉄筋比 } p = \frac{A_s}{BD} = \frac{19.1}{100 \times 22} = 0.00868$$

$$\text{中立軸 } k = 2np + (np)^2 - np$$

$$\text{ヤング係数比 } n = 15 \text{ より}$$

$$k = \sqrt{2 \times 15 \times 0.00868 + (15 \times 0.00868)^2} - 15 \times 0.00868 \\ = 0.396$$

なお、鉄筋の配置については、図-付 1. 8. 2 参照のこと。

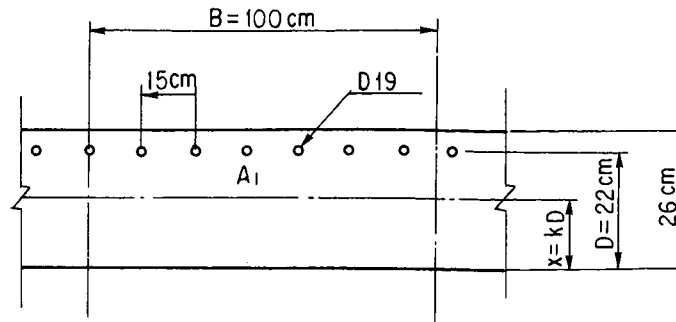


図-付 1.8.2 床版の鉄筋配置図

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 $\sigma_{sa} = 1,400 \text{ kgf/cm}^2$ (道路橋示方書に規定する床版鉄筋の許容引張応力度)

$\sigma_{ca} = 80 \text{ kgf/cm}^2$ (道路橋示方書に規定するコンクリートの曲げ圧縮応力度)

$$\therefore X' = \frac{2 \times 1,400 \times 19.1}{100 \times 80} = 6.69 \text{ cm}$$

$X > X'$ 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

$$\begin{aligned} M_R &= A_s \cdot \sigma_{sa} \left(D - \frac{X}{3} \right) \\ &= 19.1 \times 1,400 \left(22 - \frac{8.71}{3} \right) = 510,600 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \rightarrow 5.1 \text{ tf} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

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' は

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

(2) 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)

$$sM_{max} = M_I + M_d + M_s$$

ここに M_I : 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

$$Ml = \frac{P \cdot L}{1.30L + 0.25} \quad \dots\dots\dots \begin{array}{l} P : \text{kgf} \\ L : \text{m} \end{array}$$

ここに $P = 8,000\text{kgf}$

$$L = l_1 - \frac{bo}{2} - (a + 25) = 100 - 5 - (60 + 25) = 10\text{cm} = 0.1\text{m}$$

$$\therefore Ml = \frac{8,000 \times 0.1}{1.30 \times 0.1 + 0.25} = 2,105\text{kgf} \cdot \text{m} \rightarrow 2.11\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$Md = W \cdot l \quad W : \text{自重}$$

l : 重心から支点までの距離

$$\text{ここに } W_1 = 2.5 \times (0.47 + 0.53) \times 0.6 \times \frac{1}{2} = 0.750\text{tf}$$

$$W_2 = 2.5 \times (0.23 + 0.26) \times 0.3 \times \frac{1}{2} = 0.184\text{tf}$$

$$W_3 = 2.5 \times 0.05 \times 0.26 = 0.0325\text{tf}$$

$$W_4 = 2.5 \times 0.05 \times 0.35 = 0.0403\text{tf}$$

$$Md_1 = W_1 \cdot l_1 = 0.750 \times 0.65 = 0.488\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$Md_2 = W_2 \cdot l_2 = 0.184 \times 0.164 = 0.030\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$Md_3 = W_3 \cdot l_3 = 0.0325 \times 0.025 = 0.001\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$Md_4 = W_4 \cdot l_4 = 0.0403 \times 0.175 = 0.007\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$\therefore Md = Md_1 + Md_2 + Md_3 + Md_4 = 0.526\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$Ms = \frac{M_{\max}}{l_p} = \frac{7.14}{1.5} = 4.76\text{tf} \cdot \text{m} \quad (1\text{m幅当り})$$

$$\text{ここに } M_{\max} = 9.3 \times 0.7674 = 7.14\text{tf} \cdot \text{m}$$

l_p : 支柱間隔 (=1.5m)

以上より

$$sM_{\max} = Ml + Md + Ms$$

$$= 2.11 + 0.526 + 4.76 = 7.40\text{tf} \cdot \text{m}$$

許容抵抗曲げモーメント $M'_R = 7.65\text{tf} \cdot \text{m}$ であることから O・K

付 1. 9 下段横梁へん平試験

大型貨物車の衝突実験に於いて、主要横梁に比べて下段横梁の損傷が大きく、車両衝突時の荷重を予想以上に下段横梁が受け持つことがわかった。

そこで、下段横梁の肉厚を増加して潰れに対する剛性を高めることを策定した。尚、その効果はパイプのへん平試験で確認した。

(1) 試験要領

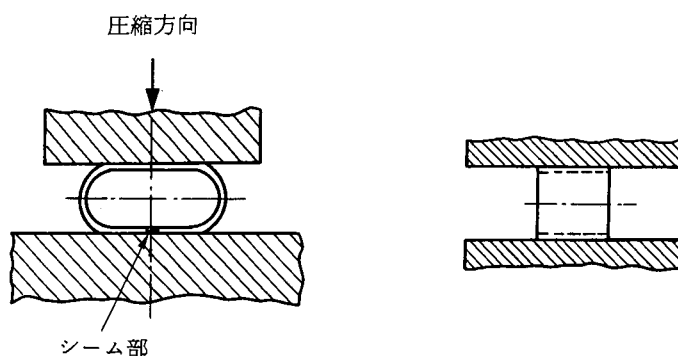
・ 供 試 体 表－付 1. 9. 1 参照

表－付 1. 9. 1 へん平試験供試体

寸 法 (mm)	材 質	備 考
ϕ 139.8×4.0×60	STK400	実車供試体部材
ϕ 139.8×4.5×60		変 更 部 材

- ・ 試 験 機 50 t 万能材料試験機械
- ・ 試 験 形 式 圧縮試験
- ・ 試験の種類 破壊試験
- ・ 試験要領

図－付 1. 9. 1 に示すよう、供試体を常温のまま上下 2 枚の平板間に挟み圧縮させた。



図－付 1. 9. 1 へん平試験要領

(2) 試験結果

供試体のへん平量が S 種下段横梁ブロックアウト量 70mm となる荷重を表－付 1. 9. 2 に示す。

表-付 1.9.2 ヘン平量が70mmとなるヘン平荷重

供 試 体	ヘン平荷重
ϕ 139.8×4.0	530 kgf
ϕ 139.8×4.5	840 kgf

尚, ヘン平量-ヘン平荷重線図を図-付 1.9.2 に示す。

(3) 結 論

今回の試験結果より, パイプ ϕ 139.8 の肉厚をt 4.0 からt 4.5 に増加することで, 60%程度のヘン平荷重の増加が確認できた。

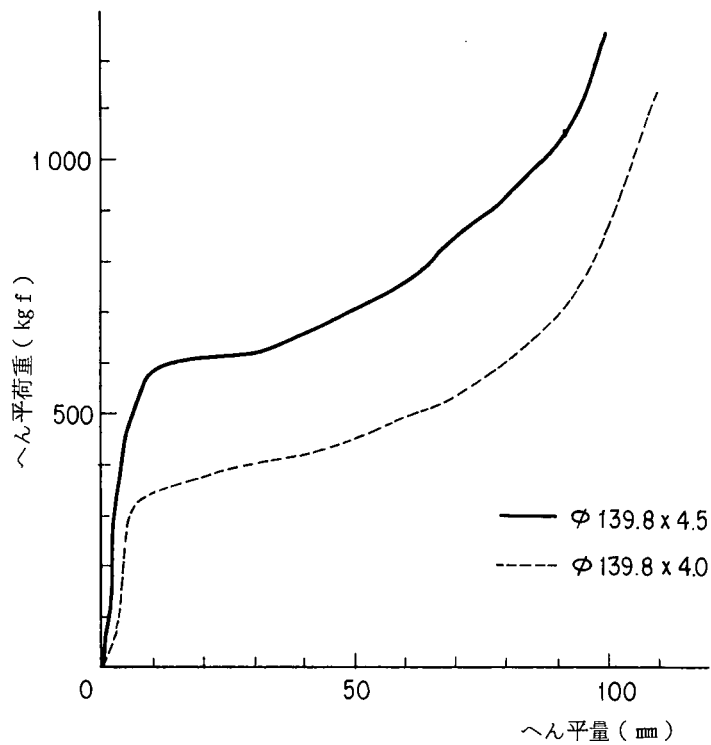


図-付 1.9.2 ヘン平量-ヘン平荷重線図

付1.10 実用化支柱の静荷重試験

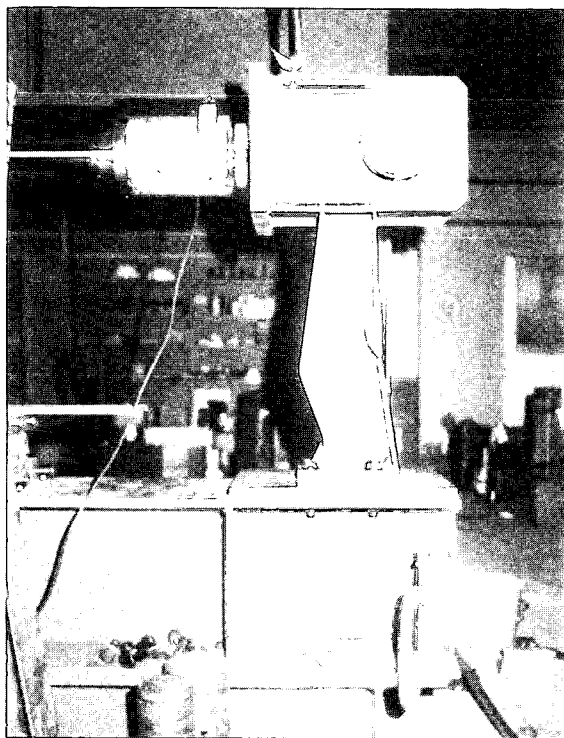


写真-付 1.10.1 実用化支柱試験状況

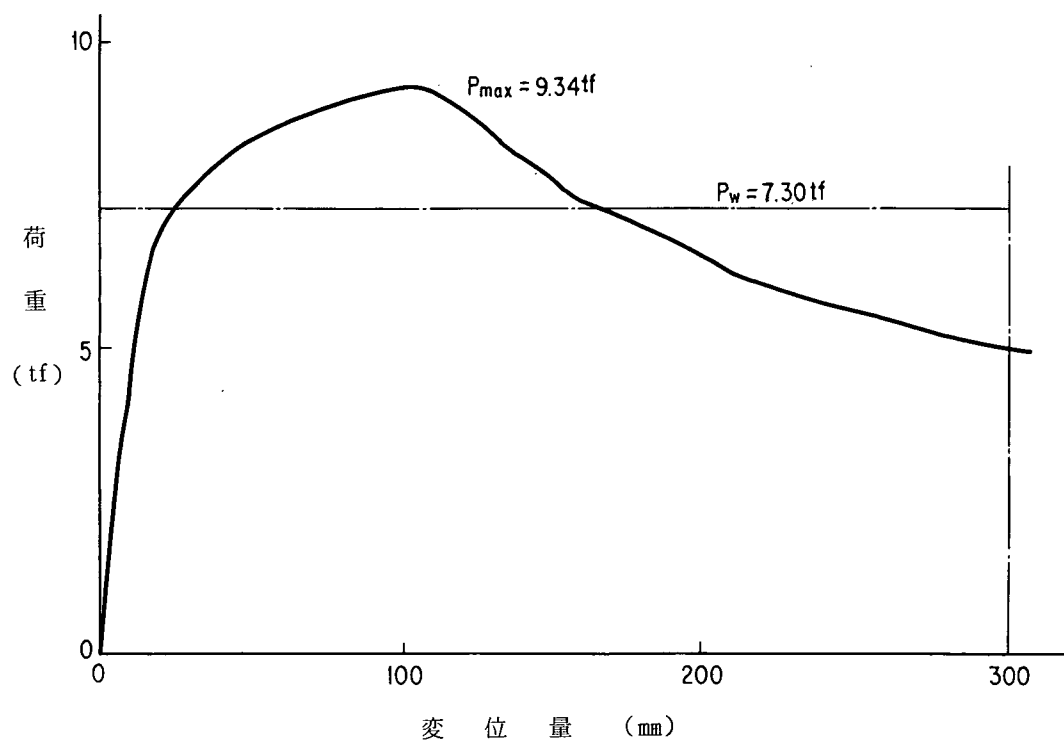


図-付 1.10.1 実用化支柱静荷重試験結果

付 録 2 鋼製高欄型 S 種防護柵に関する設計の考え方

(1) 設計条件	101
(2) 設計諸元	101
(3) 支柱と横梁の部材選定域	102
(4) 継手の設計	103
(5) 定着部の設計	103



付録 2 鋼製高欄型 S 種防護柵に関する設計の考え方

鋼製高欄型 S 種防護柵について、今回の研究により得られた強度、安全性等に関するデータを基に、「防護柵設置要綱」および「同・資料集」に準じて鋼製高欄型 S 種防護柵に関する設計の考え方について以下に示す。

(1) 設計条件

S 種防護柵の設計条件は、「防護柵設置要綱」に準拠して表-付 2.1 とした。

表-付 2.1 設計条件

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)	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め込みの各々について最大進入行程が規定されているが、本設計の考え方はコンクリート埋め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）に準拠して、実車衝突実験により得られたデータを基に表-付 2.2 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は、実車実験供試体の諸元と土木研究所共同研究報告書第 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（H2.3）」を総合評価して設定した。

また、主要横梁及び下段横梁中心高さは「資料集」の値を参考とした。

表一付2.2 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	以上 1.5	以上 60 80	以上 25 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	以上 25
B	以上 45	以上 30	以上 3.0	以上 2.2	以上 0.8	以上 0.5		以下 80	以下 55
C	以上 40	以上 25	以上 2.3	以上 1.7	以上 0.6	以上 0.4			

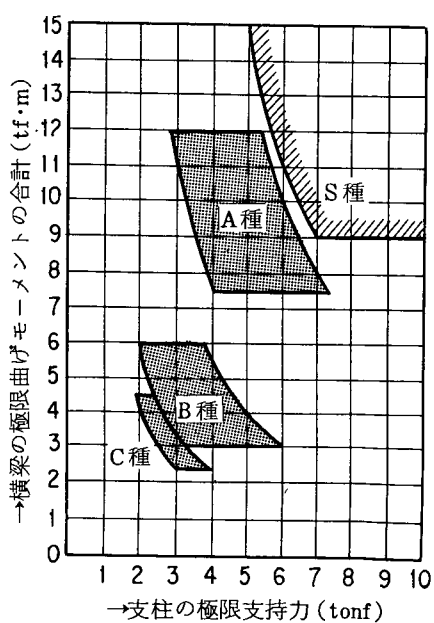
注1 ブロックアウト量は、支柱の最前面までの突出量を示す。

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「(2) 設計諸元」と同様に「資料集」に準じて図一付2.1とした。



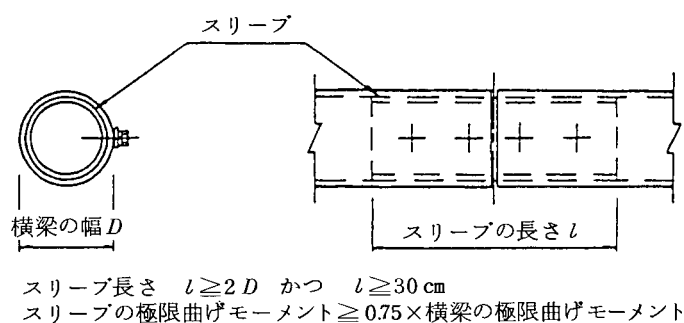
注) 支柱間隔は、S種1.5m以下
A. B. C種2.0m以下とする。

図一付2.1 支柱と横梁の部材選定領域

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 300mm以下になるように設定した。但し、支柱間隔は 1.5mとした。

(4) 継手の設計

横梁の継手構造は、「資料集」に準拠して図一付2.2とした。



図一付2.2 横梁の継手構造

また、継手部に作用する引張力は、A種と同等と考え表一付2.3とした。

表一付2.3 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、 1.5m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、設計に関する考え方を述べたが、公的機関による実車衝突実験にてその安全性が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。

鋼製高欄型S種防護柵の開発
に関する共同研究報告書

ISSN 0386-5878
共同研究報告書 第74号
平成4年3月(1992年)
建設省土木研究所
道路部交通安全研究室
財団法人土木研究センター

要 旨

高欄型の防護柵は、美観に配慮する必要の高い橋梁上の防護柵として多く利用されている。これまでに鋼製高欄型防護柵としては、A種以下の防護柵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種の鋼製高欄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まとめたものである。

キーワード：防護柵，高欄，高強度型防護柵，鋼製

郵便はがき

305-□□

41円切手
をはって
下さい

茨城県つくば市旭一番地
建設省土木研究所
道路部交通安全研究室
御中

No. 183

No. 183

配布先氏名

配布先住所



共同研究報告書第 74 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 74 号

