建設省土木研究所
2.5.17
図書館

共同研究報告書
整理番号第41号

急カーブ用防護柵の構造形式及び支柱補強に関する共同研究報告書

平成2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 © (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41号1990年3月

急カーブ用防護柵の構造形式及び支柱補強に関する研究

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 元田 良孝＊1
研究員 安藤 和彦＊2
研究員 酒井 洋一

(財)土木研究センター 防護柵技術研究会
専務理事 柳田 力
企画調査部長 篠原 敏雄
川鉄建材工業株式会社 土木技術部主席部員 大野修三郎
神鋼建材工業株式会社 技術開発部係長 永松 修
住金鋼材工業株式会社 営業技術部副長 大沢 俊
東京製綱株式会社 機工部課長 山籐 紀彦
日鐵建材工業株式会社 製品開発部課長 末成 健夫
日本鋼管ライトスチール株式会社 技術部係長 平尾 章司

要旨

近年道路交通は高速化・大型化の傾向にあり、防護柵などの交通安全施設もそれに対応して整備していく必要がある。また、将来の自動車交通を考えると従来よりもハイレベルの防護柵を開発しておく必要がある。

本報告書は、昭和62・63年度において高い強度を有する防護柵と支柱の補強方法についての開発を行った結果について報告するものである。

キーワード：防護柵，衝突実験，高強度型防護柵，支柱補強

＊1 (現)中国地方建設局 岡山国道工事事務所 所長
＊2 (現)土木研究所 新潟試験所 研究員

急カーブ用防護柵の構造形式及び支柱補強に関する研究

まえがき

近年道路交通は高速化，大型化の傾向にあり，道路構造もそれに対応していく必要に迫られている。防護柵などの交通安全施設も高速化，大型化に対応して整備されていく必要がある。防護柵の衝突の実態を調査すると，従来の防護柵設置要綱に示されている設計条件以上の角度，速度で衝突している事例も少なからず見られ，近い将来の自動車交通を考えると，従来よりもハイレベルの防護柵を開発しておく必要があるものと考えられる。また防護柵本体だけでなく，支柱の強度も設置条件によっては十分な値が得られないことがあり，防護柵全体の強度をあげるためにはその補強方法についても検討する必要がある。一方最近は高速バスを中心とするバス需要の回復が著しく，バス交通が今後増加していく傾向にある。従来，防護柵は大型車についてはトラックを中心にして設計の検討が行われてきたが，バスはひとたび事故を起こすと多くの人命を危険にさらすことから，バスの安全性についても十分に検討する必要がある。このような背景から，土木研究所と土木研究センターにおいてバス交通を考慮した急角度，あるいは高速度の衝突に耐えられる防護柵の開発および支柱の補強方法の検討を行うこととなり，昭和62年度，63年度の2ケ年間にわたって共同研究を行ってきた。本報告はこの成果をとりまとめたものである。今後この成果が道路管理の現場に反映され，より高い安全性を有する道路環境が整備されることを願うものである。

建設省　土木研究所
道路部　交通安全研究室長　元田　良孝

研究の概要

本研究では，急角度衝突や高速度衝突等の高い衝撃度の衝突に対応した防護柵を開発すること，および支柱支持力の推定や支持力強化支柱を開発することを目的として各種部材実験，衝突実験等を実施した。これらの実験結果を基に種別Ｓを超えた高強度型防護柵の構造形式を提案するとともに，支柱支持力の推定方法や強化方法について提案した。

今回の研究で提案された高強度型防護柵は，設計衝撃度が50t･m以上で現行のＳ種（23.6t･m）を大幅に上回るものである。設計にあたっては，過去の事故実態や各種車両（バス，乗用車等）の構造諸元を基にした。構造的には，ガードレールはビーム断面形状が３山（現行２山）で幅500mmの新断面，支柱間隔が１m，ガードケーブルはケーブル本数が７本，支柱間隔が２mとし，現行の防護柵に比べて強化されている。さらに，ガードケーブルについては，乗用車衝突時の誘導性を高めるための誘導板や全ケーブルの一体化を図るための柵面補強材を補助部材として導入した。

また，支柱支持力推定方法では弾塑性解析による推定方法を，支持力不足の支柱強化方法では支柱にプレートを取り付けた補剛プレート構造と土中埋込み部分を曲げた曲柱構造が有効であることを提案した。

本報告書では，以下の３編に分類して記述した。

序　　研究の必要性

第１編　高強度型防護柵の開発

第２編　支柱補強方法の研究

研究開発委員会名簿

所　　属	氏　名	役　　職
建設省土木研究所	足立義雄	（前）道路部長（現企画部長）
	柴田正雄	道路部長
	神崎紘郎	道路部道路交通総括研究官
	元田良孝	道路部交通安全研究室長
	西岡南海男	道路部交通安全研究室主任研究員
	安藤和彦	（前）道路部交通安全研究室研究員
	酒井洋一	道路部交通安全研究室研究員
	坂本博文	（前）道路部交通安全研究室研究員
	望月博夫	道路部交通安全研究室技官
㈶土木研究センター	柳田力	専務理事
	篠原敏雄	企画調査部課長
川鉄建材工業株式会社	石渡正夫	土木技術部長
	大野修三郎	土木技術部主席部員
神鋼建材工業株式会社	川口芳之	技術開発部長
	永松修	技術開発部係長
住金鋼材工業株式会社	田中幹夫	営業技術部長
	大沢俊	営業技術部副長
東京製綱株式会社	小山博基	機工部長
	山藤紀彦	機工部課長
日鐵建材工業株式会社	樋口靖明	（前）土木営業技術部長
	吉田達夫	製品開発部長
	末成健夫	製品開発部課長
日本鋼管ライトスチール株式会社	木寺謙爾	（前）技術部部長
	玉田紘一郎	技術部次長
	平尾章司	技術部係長

目　　次

序　研究の必要性 …… 1

1　防護柵についての課題 …… 1

1.1　防護柵衝突の高エネルギー化 …… 1

1.2　バスの路外逸脱防止の必要性 …… 1

1.3　乗用車対策 …… 1

1.4　支柱の課題 …… 2

2　共同研究の目的 …… 3

3　共同研究の手順 …… 4

3.1　共同研究機関 …… 4

3.2　研究の流れ …… 4

3.3　作業分担 …… 5

3.4　研究期間 …… 5

第1編　高強度型防護柵の開発 …… 7

1　設計条件の設定 …… 9

1.1　衝突条件の設定 …… 9

1.2　衝突角度の検討 …… 10

2　防護柵の設計方針 …… 11

2.1　剛性かたわみ性か …… 11

2.2　加速度の考え方 …… 11

2.3　車両の最大進入行程 …… 13

2.4　防護柵の設置高さ …… 13

2.5　ブロックアウト効果 …… 14

3　構造案の検討 …… 15

3.1　防護柵形式の選定 …… 15

3.2　シミュレーションを使った基本設計 …… 16

3.2.1　入力条件と判定基準 …… 16

3.2.2　ガードレール系の諸元についての検討 …… 17

3.2.3　ガードケーブル系の諸元についての検討 …… 18

3.2.4　閉断面ビーム系の諸元についての検討 …… 20

3.3　設置高さの検討 …… 23

3.3.1　現行防護柵の設置高さ …… 23

3.3.2 高強度型防護柵の設置高さ …… 24
3.4 ブロックアウト量の検討 …… 28
3.5 構造案の設計 …… 30
3.5.1 高強度型ガードレール系の構造案 …… 30
3.5.2 高強度型ガードケーブル系の構造案 …… 38
3.5.3 閉断面ビーム系の構造案 …… 40
4 構成部材の力学特性に関する実験 …… 45
4.1 概要 …… 45
4.2 実験項目 …… 45
4.3 支柱に関する実験 …… 45
4.3.1 実験場所 …… 46
4.3.2 設置地盤の条件と供試体 …… 46
4.3.3 実験方法 …… 47
4.3.4 実験結果と考察 …… 47
4.4 ビームに関する実験 …… 50
4.4.1 ガードレール新断面ビームの曲げ実験 …… 50
4.4.2 閉断面ビームの曲げ実験 …… 52
4.5 ビーム継手に関する実験 …… 54
4.5.1 新断面ビームの継手引張り実験 …… 54
4.5.2 閉断面ビームの継手曲げ実験 …… 56
4.6 ブラケットに関する実験 …… 58
4.6.1 ガードレール用ブラケットの載荷実験 …… 58
4.6.2 ガードケーブル用ブラケットの載荷実験 …… 60
5 実車衝突実験 …… 64
5.1 実験目的 …… 64
5.2 実験内容 …… 64
5.2.1 高速度衝突と急角度衝突 …… 64
5.2.2 防護柵の構造形式 …… 64
5.2.3 実験車両 …… 64
5.2.4 衝突条件の設定 …… 65
5.2.5 実験の組合せと各実験で意図した事項 …… 65
5.2.6 実験結果の評価項目 …… 66
5.3 実験施設 …… 66
5.3.1 衝突実験施設 …… 66
5.3.2 実験場の地盤 …… 66

5.4 供試体 …… 68
5.4.1 防護柵 …… 68
5.4.2 実験車両 …… 76
5.5 測定項目と方法 …… 76
5.5.1 測定項目 …… 76
5.5.2 測定方法 …… 77
5.5.3 測定点数および計測ブロック図 …… 85
5.6 実験結果および考察 …… 91
5.6.1 ガードレール系の実験結果と考察 …… 91
5.6.2 ガードケーブル系の実験結果と考察 …… 147
5.6.3 閉断面ビームの実験結果と考察 …… 196
5.7 まとめ …… 205
5.7.1 加速度の評価 …… 205
5.7.2 実験結果からみた高強度型防護柵の構造形式 …… 207
6 衝突シミュレーションと実車衝突実験 …… 216
6.1 入力データ …… 216
6.2 衝突実験との比較 …… 219
7 高強度型防護柵構造（案）について …… 224
7.1 設計の基本方針 …… 224
7.2 高強度型防護柵の構造諸元 …… 225
7.2.1 高強度型ガードレールの構造諸元 …… 225
7.2.2 高強度型ガードケーブルの構造諸元 …… 230
7.3 現行防護柵との比較 …… 236
7.3.1 構造諸元の比較 …… 236
7.3.2 限界の衝撃度 …… 238
7.3.3 施工性と維持補修 …… 246
7.4 経済性の検討 …… 247
7.4.1 費用便益の計算式 …… 247
7.4.2 計算条件 …… 247
7.4.3 計算結果 …… 248
7.4.4 考察 …… 248
7.5 設置についての考え方 …… 248
7.5.1 急角度衝突と高速度衝突について …… 248
7.5.2 設置幅とブロックアウト量 …… 251
7.5.3 最小設置長さ …… 252

7.5.4 現行防護柵とのすりつけ（連続設置） …… 253
7.5.5 コンクリート設置の考え方 …… 254
7.5.6 端部処理 …… 256
8 今後の防護柵研究課題 …… 257
8.1 道路の整備状況 …… 257
8.2 わが国の保有車両の傾向 …… 258
8.3 車両の性能 …… 259
8.4 今後の課題 …… 259

第2編 支柱補強方法の研究 …… 263
1 研究目的 …… 265
2 衝突シミュレーションによる支持力の検討 …… 266
2.1 概要 …… 266
2.2 計算方法 …… 266
2.2.1 入力条件およびデータ …… 266
2.2.2 適用支持力の判定 …… 267
2.3 計算結果と考察 …… 267
2.3.1 標準防護柵の支持力適正範囲 …… 267
2.3.2 支柱間隔を短縮した防護柵の支持力適正範囲 …… 270
3 支柱水平載荷実験 …… 273
3.1 目的 …… 273
3.2 実験内容 …… 273
3.2.1 実験場所 …… 273
3.2.2 土質調査 …… 273
3.2.3 載荷および測定方法 …… 273
3.2.4 供試体および実験種類 …… 274
3.3 土質調査結果および考察 …… 278
3.3.1 標準貫入試験および土質試験結果 …… 278
3.3.2 簡易貫入試験結果 …… 279
3.3.3 実験場所の地盤 …… 279
3.4 載荷実験結果 …… 280
3.4.1 実験データの整理方法 …… 280
3.4.2 実験結果 …… 281
3.5 考察 …… 286
3.5.1 標準支柱 …… 286

3.5.2 強化支柱 …… 300
4 支柱の適用条件と支持力強化 …… 310
4.1 標準支柱の適用範囲 …… 310
4.2 支持力強化の範囲と支柱補強方法 …… 312
4.2.1 強化支柱と支持力強化の範囲 …… 312
4.2.2 支柱補強方法の提案 …… 313
4.2.3 高強度型防護柵の支柱 …… 314
5 支持力推定方法の提案 …… 315
5.1 計算方法 …… 315
5.1.1 前提条件 …… 315
5.1.2 地盤反力係数 …… 315
5.1.3 水平方向の安定 …… 317
5.1.4 極限水平支持力 …… 318
5.1.5 塑性領域の抵抗力 …… 318
5.2 計算の流れ …… 320
5.3 入力データ …… 321
5.4 計算例 …… 327
5.5 まとめ …… 327

あとがき …… 331
参考文献 …… 332

資料編 …… 333
1 衝突シミュレーションと入力データ …… 335
2 高強度型ガードケーブル端末部の設計 …… 352
3 防護柵に関する収集文献リスト …… 363

序　研究の必要性

1　防護柵についての課題

1.1　防護柵衝突の高エネルギー化

近年の道路交通は，全国的に高速道路網が整備されたこと等による高速化や，物流の形態や多様化に伴う大型化の傾向が進んでいる。今後の高規格幹線道路網の整備や社会的ニーズを考えるとこれらの傾向はさらに進むと考えられる。従って，防護柵への衝突も設計条件に対して速度や重量等が高くなり，強度的によりきびしいものとなることが予想される。さらに近い将来の自動車交通を考えると，今後防護柵衝突の高エネルギー化を考慮していく必要があると考えられる。

そこで，現行の防護柵の強度をみるため，「防護柵設置要綱」[1]（以下要綱という）による防護柵種別ごとの適用範囲と衝突実態や衝突シミュレーションによる検証結果から求めた実際的な限界衝撃度を表－1･1･1 に示す。将来的にはＳ種を超える設計衝撃度の防護柵について開発していく必要があると考えられる。

表－1･1･1　防護柵の設計条件および限界衝撃度

種別	設計条件			設計衝撃度 (t･m)	限界衝撃度 (t･m)	適用道路等
	速度 (km/h)	角度 (度)	重量 (t)			
S	80	15	14	23.6	31	危険区間
A	60			13.3	27	高速道路・一般国道
B	40			5.9	18	一般国道・主要地方道
C	35			4.5	13	その他の道路

注）限界衝撃度：衝突シミュレーション[9]により計算したもの

1.2　バスの路外逸脱防止の必要性

防護柵の使命として乗員の保護を考えた場合，衝突事故により多数の人命が損なわれる可能性が高いことや公共交通として利用されていることからバスについての路外逸脱を設計上配慮することが望まれる。

1.3　乗用車対策

乗用車の自動車全保有台数に占める割合の増加には著しいものがあり，昭和30年当時全保有台数の５％に満たなかった乗用車台数が，昭和60年現在60％を占めるに至っていることから，乗用車の安全対策は不可欠と考えられる。さらに，乗員の安全性確保からみると，他の車種と比べて防護柵衝突時に衝撃が大きくなる乗用車の乗員保護を考えることが必要である。そのため，新たに防護柵を開発する場合，前述のようにバス

の逸脱を防止するのみならず，乗用車の円滑な誘導も大きな課題である。

1.4 支柱の課題

防護柵支柱設置上の問題として，①路肩の余裕幅が狭い，②法勾配が急である，③地盤が軟らかい等のため支持力が十分得られない場合があることが挙げられる。防護柵がその機能を発揮するためには，満足する支持力が得られなければならない。従って，路側条件が悪い箇所での支柱補強対策を確立することが求められる。

2　共同研究の目的

前章でも述べているように防護柵への車両衝突は，今後高速でかつ衝突角度が大きくなると予想される。従って，衝突角度の大きくなる未改良区間の急カーブ箇所や現行の走行速度を上回る高速走行での衝突に対処できる高強度型防護柵の開発が今後必要となる可能性がある。さらに，路肩余裕幅の狭い箇所や弱路肩での支柱支持力不足についても，補強対策が必要となっている。この高強度型防護柵の開発や支柱の補強にあたっては，車両衝突時の防護柵の最大変位量や乗員への発生加速度等を考え，安全かつ有効な構造形式にすることが必要である。

本研究は，このような条件に対応する高強度型防護柵の開発を目的として，昭和62年度，昭和63年度の2ヶ年にわたり実施した。

3　共同研究の手順

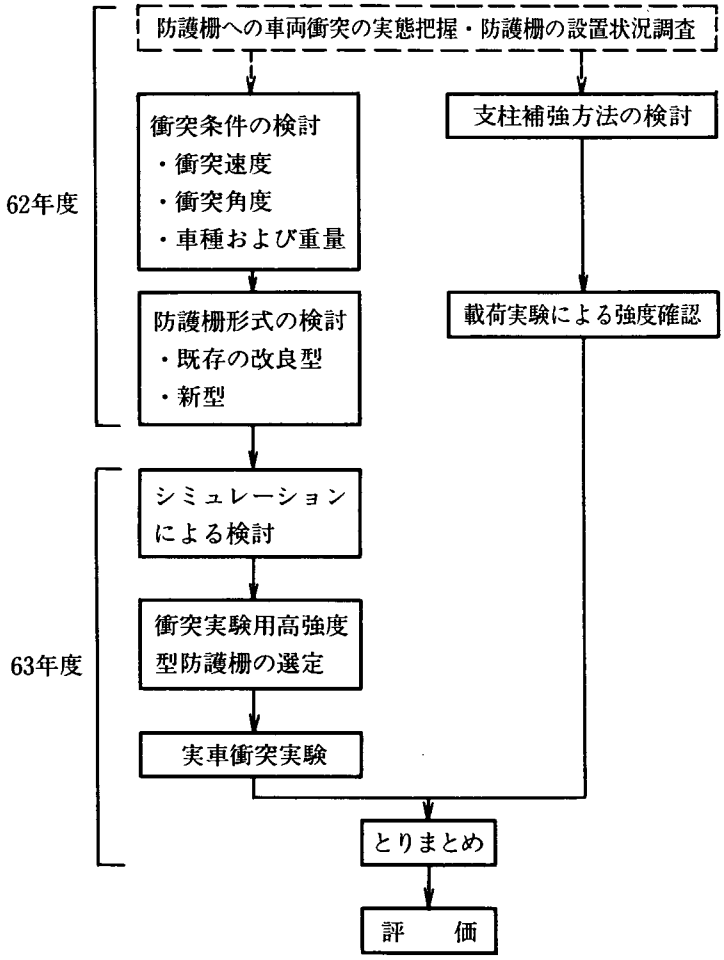
3.1　共同研究機関

建設省土木研究所

㈶土木研究センター

3.2　研究の流れ

研究は以下の流れに基づいて行った。



3.3 作業分担

土木研究所と土木研究センターの作業分担を表－3･3･1のとおりとした。

表－3･3･1 作業分担

年度	作業内容	土木研究所	土木研究センター
62年度	①路肩状況調査		○
	②支柱補強方法の検討		
	・形式の検討		○
	・供試体製作		○
	・載荷実験		○
	③シミュレーションプログラム検討	○	
	④シミュレーションによる構造形式検討	○	○
	⑤高強度型防護柵の構造形式の選定	○	○
63年度	⑥実車衝突実験		
	・供試体製作		○
	・衝突実験	○	○
	・解析	○	○
	⑦全体とりまとめ	○	○
	⑧評価	○	○
	⑨報告書作成	○	○

3.4 研究期間

昭和62年11月10日～平成元年3月31日（2ケ年）

第１編　高強度型防護柵の開発

第１編　高強度型防護柵の開発

高強度型防護柵の開発にあたっては，前で述べたような防護柵に対する課題を満足するため，路線バス等の大型車両が高速度や急角度で衝突した場合にも車両を円滑に誘導できる強度や構造形式を想定し，次に述べる設計条件を設定した。このとき，乗用車の誘導が円滑に行える構造形式となることを前提とした。

1　設計条件の設定

1.1　衝突条件の設定

高強度型防護柵の設計条件は，(1)急カーブ等での急角度衝突，(2)高規格道路等での高速度衝突の２点を考慮し，防護柵の最大の耐力として表－1･1･1に示す衝突条件を設定した。なお，表中の衝撃度とは，衝突車両が防護柵に持ち込む衝撃の程度を表す指標である。

表－1･1･1　設計条件

衝　突　条　件	急角度衝突※1	高速度衝突※1
衝撃度（IS）※2	50　t･m	53　t･m
車両重量（W）	15　t	15　t
衝突速度（V）	45　km/h	80　km/h
衝突角度（θ）	40　度	22　度

※1　車両重量は最大クラスの路線バスの値であり，衝突速度と衝突角度は過去の衝突事故例に基づく値である。

※2　防護柵への車両衝突による衝撃の程度を表す一般的な指標であり，次式により求められる。

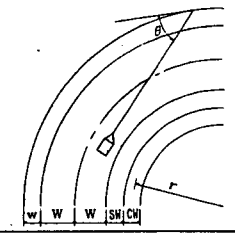
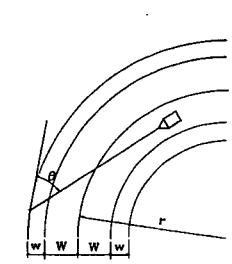
$$IS = \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot (V \sin\theta)^2$$

g：重力の加速度（9.8m/sec²）

1.2 衝突角度の検討

「1.1」の衝突条件設定に際し，急カーブ区間および多車線区間における計算上考えられる最大の衝突角度の検討を行った。その結果を表－1·2·1，2に示す。これらの表によれば，一般道路の急カーブ区間については40度程度の衝突角度とすること，また高速道路などでの高速走行時には20度程度の衝突角度を設定することで，角度的に厳しい衝突状況を再現できるものと考えられる。

表－1·2·1　曲線区間における衝突角度

道路種類（種・級）		設計速度 V(km/h)	最小曲率半径 r(m)	車道幅員 W(m)	路肩幅員 w(m)	分離帯幅員 cw(m)	側帯幅員 sw(m)	衝突角度 θ（度）	計算モデル
高速道路	1－1	120	570	3.5	2.5	4.5	0.75	10.8	
	1－1	100	380	3.5	2.5	4.5	0.75	11.4	
	1－2	80	230	3.5	2.5	4.5	0.75	14.5	
	1－3	60	120	3.5	1.75	3.0	0.5	18.8	
一般道路	3－1	60	120	3.5	1.25	——	——	18.6	
	3－2	50	80	3.25	0.75	——	——	21.1	
	3－2	40	50	3.25	0.75	——	——	26.4	
	3－3	30	30	3.0	0.75	——	——	32.4	
	4－3	20	15	3.0	0.5	——	——	43.1	

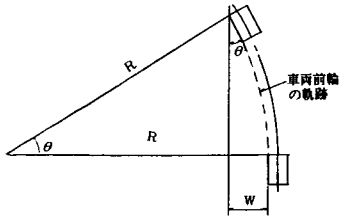
条件　1）道路条件は，設計速度に対して最小の曲率半径で，最大の道路幅員になる道路種別とした。
車線構成は，一般道路では対向2車線とし，高速道路では片側2車線で中央分離帯突破はないものとした。
2）車両は，車線中心を走行するとし，ハンドル操作を行わず直進するものとした。

表－1·2·2　直線部片側2車線区間における衝突角度

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

条件　1）車両～防護柵間の距離を6 mとした。
2）車両～路面間の摩擦係数（μ）を0.45とした。

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



2　防護柵の設計方針

2.1　剛性かたわみ性か

防護柵には，設計上2種類の考え方があり，現在広く用いられているガードレールやガードケーブルのようなたわみ性防護柵と，コンクリート製壁高欄等の剛性防護柵がある。

たわみ性防護柵は，車両が衝突した時にビーム等が変形することによって衝突エネルギーを吸収し衝突の衝撃力を緩和する。従って，衝突車両の損傷を軽減するとともに乗員の安全性が高いという特徴があり，特に乗用車に対して有利である。また，剛性防護柵に比べ土工区間の設置が簡単で設置費が安いという利点もある。しかし，大きな衝突荷重が作用した場合に車両や防護柵の挙動を予測することが難しい面がある。

剛性防護柵は防護柵自体に緩衝能力がなく，主として衝突エネルギーの吸収を車両の変形のみによって行うため，たわみ性防護柵に比較して車両の損傷が大きく，特に乗用車の場合，車両の破損や乗員の損傷が大きくなり安全性が低下する。しかし，防護柵の変形が微少で路外逸脱防止能力が高いことから，高架道路，跨線橋，橋梁など道路外の人や施設あるいは橋の構造に重大な被害を及ぼす恐れのある場合には広く使用されている。この場合，乗用車衝突時の車両と乗員の損傷程度が大きくなっても，路外逸脱時の損傷程度と比較してこれらは許容できるものと判断されている。

本研究は大型車の急角度や高速度衝突のように約50t·mという大きな衝撃度（*IS*）に対して，車両が路外逸脱をしない防護柵であるとともに，先に述べたように現在自動車保有台数の60％を乗用車が占めるまでに至っている状況から，人命の安全性を重視した防護柵の開発が目的であった。従って，大型車の急角度衝突や高速度衝突に対して路外逸脱を防止して安全に誘導し，乗用車に対しても円滑な誘導をさせて乗員の安全を確保するために，たわみ性防護柵でこれらの課題に対応することとした。

2.2　加速度の考え方

要綱では，最も設計強度の大きなS種は車両の受ける加速度の規定がなされていないので，ここでもこれに準じて，加速度の設計上の規定は行わないこととした。ただし，車両およびダミーに生じた加速度を計測し，これを用いて乗員に対する安全性を検討することとした。

ここで乗員に与える影響の検討は，下記の3種類の方法により行った。

1)　車両加速度の50msec移動平均値の最大値による方法[2)]

次式により車両重心の進行方向（x），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−2·2·1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 ：$t_1+0.05$（sec）

表－2·2·1　α_{50}の評価基準

（単位：g）

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
2点式ベルト	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による方法[3]

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。

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

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

$$D_{x,y}=\int_{t_0}^{t_2}V_{x,y}\,dt$$

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　：$t_1+0.01$（sec）

上式より求められた値の許容値は，α_{10}はx，y方向にそれぞれ20g，また$V_{x,y}$はx方向については0.6m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9m/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による方法[4]

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

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

ここで　HIC：頭部の衝撃度

a　：合成加速度（g）

t_1　：加速度作用中の任意の時点（sec）

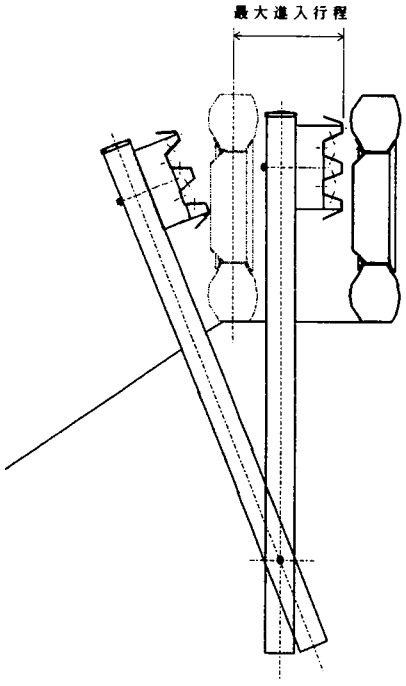
t_2　：t_1+dt（sec）

*HIC*は1,000を超えないこととされている。

2.3　車両の最大進入行程

車両の進入行程とは，衝突車両の車輪が防護柵直角方向に踏み出した距離（車輪中央）をいい（図－2･3･1），その最大値を最大進入行程という。

要綱では路側用防護柵の変位について，車両の最大進入行程1.1ｍを許容限界としている。本研究の衝突条件は従来の防護柵よりかなり大きくなっており，それに伴って防護柵の変位も大きくなることが予想されるが，この防護柵を設置するような場所は路肩条件が厳しい場合も十分考えられるので，最大進入行程が1.1ｍを超えないことを目標とした。



図－2･3･1　車両の最大進入行程

2.4　防護柵の設置高さ

要綱によれば，大型車両のタイヤ中心位置は地面より50cm程度の高さとされている。そのためＡ・Ｂ・Ｃ種の防護柵の場合，ガードレールについてはビームの中心を60cmとしタイヤの上部を支える形式としており，ガードケーブルについてはケーブル複数本を地面より43～95cmの高さに配置し，タイヤ全面を支える形式としている。Ｓ種ガードレールは車両の転落防止を強化するため，上段をＡ種，下段をＣ種の２段ビームとし，地面より上段ビームの中心を80cm，下段ビームの中心を40cmの高さに配置し，タイヤおよび車体を支える形式としている。本研究では高強度型防護柵として，Ｓ種と同様の観点から，ビームがタイヤ

および車体を支える設置高さを基本としたが，この他に，小型車両の衝突に対しても円滑な誘導が行えることや，美観，展望快適性，経済性，施工性等の要件を満足しなければならないと考えられる。これらの要件をすべて満足する防護柵の構造形式や設置高さを机上だけでは判断しにくい面があり，最終的な防護柵の設置高さについては実験等により判断することとした。

2.5 ブロックアウト効果

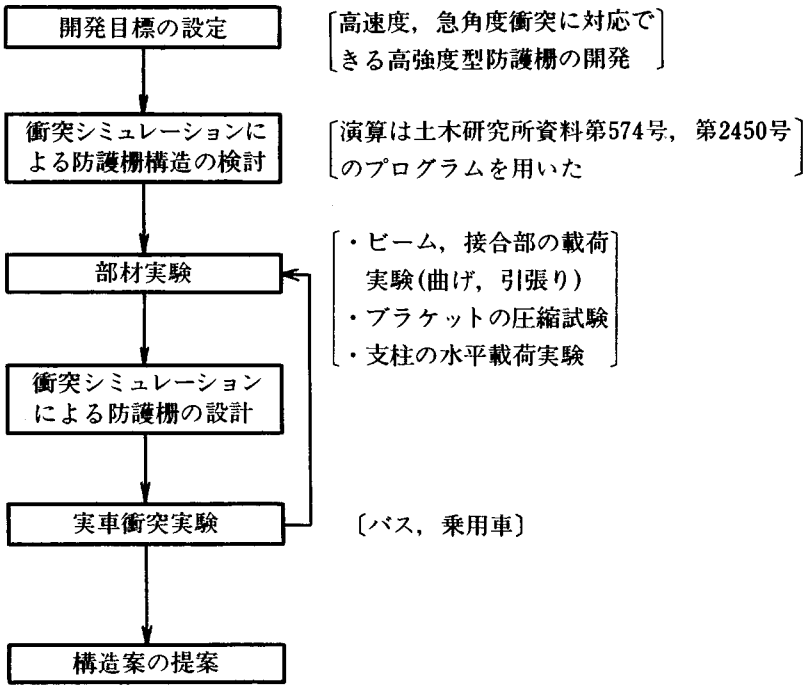
衝突時に車両を円滑に誘導させるには，車両が支柱などの部材に直接接触させないことが必要である。そのため，ビームを支柱から張り出したブロックアウト構造が現在一般的になっている。本研究でもブロックアウト構造とすることとし，ブロックアウト量（ビームの張出し量）については，実験等により検討することとした。

3　構造案の検討

3.1　防護柵形式の選定

本研究で目標としている衝撃度（*IS*）は約50t·mであり，要綱に示されている現行の防護柵の衝撃度（A種13.2t·m，S種23.6t·m）と比較しても非常に高い値である。

この衝撃度に対応できる防護柵構造を開発するため，図－3·1·1に示す手順で検討を行った。



図－3·1·1　高強度型防護柵検討のフローチャート

この章では衝突シミュレーションによる防護柵の基本設計と，各部材の形状設定について述べる。

本研究では「2.1」で述べた理由により高強度型防護柵としてたわみ性防護柵を選定した。

また，防護柵には大型車のみではなく，乗用車に対しても車両を円滑に誘導し乗員の安全を確保する機能が必要である。そのため，防護柵の変形により運動エネルギーを吸収する構造の設計が比較的容易な材料として鋼材を選定した。

たわみ性防護柵の力学モデルには表－3·1·1に示すようにビームの曲げと引張りの両者で抵抗する防護柵，引張りだけで抵抗する防護柵，および曲げだけで抵抗する防護柵がある。本研究ではそれぞれの形式について検討することとした。

表－3·1·1　たわみ性防護柵の力学モデル

形　式	ビ　ー　ム　型		ケーブル型
	ガードレール	閉断面	ガードケーブル
力学モデル	曲げ引張り	曲げ	引張り

3.2 シミュレーションを使った基本設計

供試体諸元の適正値を求めるために，衝突実験に先立ち表－3·2·1に示す衝突シミュレーションプログラムを用いて，衝突時の車両および防護柵の挙動について検討した。

表－3·2·1 使用プログラムの名称

防護柵の種類	プログラム名称
ガードレール，ガードケーブル系	防護柵への車両衝突シミュレーションプログラム （土木研究所資料 第2450号 プログラム番号91B-15-4）
閉断面ビーム系	防護柵衝突シミュレーションに関する研究 （土木研究所資料 第 574号 プログラム番号91B3-12 ）

3.2.1 入力条件と判定基準

シミュレーションの入力条件は，衝撃度を53t·mの一定値とし，衝突速度を50～100km/hの範囲で変化させたときに，この設定した衝撃度となるように衝突角度を選定した。なお，車両重量は要綱の設計条件と同じ14tとした。

支柱の平均支持力およびバネ常数については，支柱実験や実際の道路での地盤状態等から現実に期待し得る範囲内の値をとることとし，原則として表－3·2·2の値を用いることにした。主な入力値を表－3·2·3に示す。

表－3·2·2 シミュレーションに使用した支柱常数

項目	記号	単位	数値		
支柱の平均支持力	*PW*	t	1.5	2.5	3.5
支柱のバネ常数	*PK*	t/m	55	60	70

ガードレール，ガードケーブル系についての防護柵の強度の判定はビーム材の許容引張り強さによることにした。最大進入行程についての判定基準は，要綱の路側用防護柵に対して定められているように1.1m以下となることとした。なお，演算結果では防護柵の最大変位（*DEF*）と車輪の最大進入行程（*YW*）が出力され，一般に*DEF*の値は*YW*の値よりも大きくなる。ここではガードレール系と閉断面ビーム系の最大進入行程の判定は*DEF*の値によって行い，ガードケーブル系については*YW*の値を用いた。要綱で規定している最大進入行程は車輪の最大進入量で計算値の*YW*にあたり，*DEF*での判定は安全側となる。

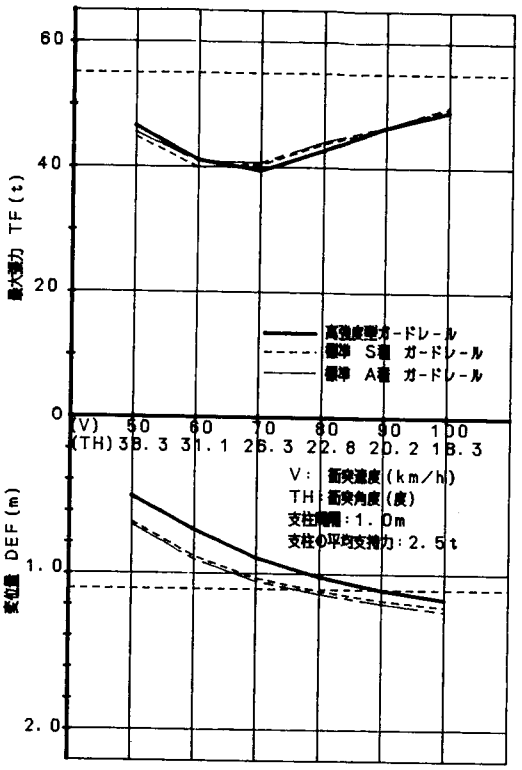
表－3·2·3 主な入力条件

項目	入力値
車両重量（t）	14.0
衝突速度（km/h）	50～100
衝突角度（度）	18.1～38.3
衝撃度（t·m）	53
支柱の平均支持力（t）	2.5
支柱のバネ常数（t/m）	60

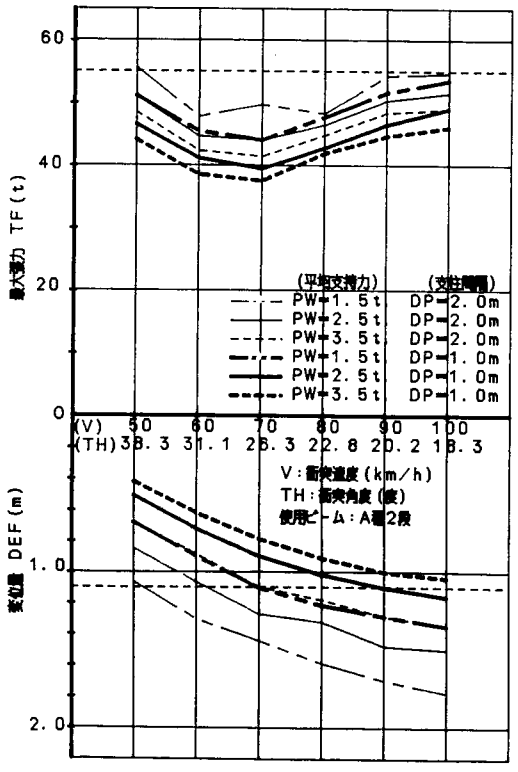
3.2.2 ガードレール系の諸元についての検討

車両重量を14 tとして，衝撃度が53t·mとなるよう，衝突速度に対応して角度を変化させてシミュレーションを行い，防護柵の変位とビームに発生する張力を求め，必要とするビーム断面および支柱間隔を定めた。

現行A種（断面積　$A=18.7\text{cm}^2$，曲げ剛性　$EI=25.64\ \text{t·m}^2$）およびS種（$A=28.1\text{cm}^2$，$EI=31.90\ \text{t·m}^2$）のビームを使用して支柱間隔を1 mとした条件でシミュレーションを行い，ビーム張力（TF），防護柵変位量（DEF）を求め，高強度型ガードレールとして想定したA種2段ビーム（$A=37.4\text{cm}^2$，$EI=51.28\ \text{t·m}^2$）の値と比較して図−3·2·1に示す。この図より，A種，S種等の従来形式では高強度型防護柵についての設計条件を満足できないことがわかり，断面性能がA種2段ビーム相当以上となるビームを採用することにした。



図−3·2·1　標準型ガードレールとの比較



図−3·2·2　支柱間隔，支持力の相違による影響

支柱間隔および支柱の適正支持力についての検討結果を図−3·2·2に示す。これは支柱間隔を1 mと2 mの2種類，支柱の平均支持力を1.5，2.5，3.5 tの3種類とし，ビーム材の断面性能はA種2段ビームに相当する値を入力してシミュレーションを行った結果を示している。これによると，同一の衝撃度であっても衝突速度および角度の組合わせが変わると，ビームに発生する張力および防護柵変位も変化することが示されている。すなわちビームに発生する張力は速度70 km/h，角度26.3度付近で極小となっているが，防護柵変位については低速で衝突角度が大きい場合に比べて，高速で衝突角度の小さい場合の方が大きな値を示している。

そこで，防護柵の変位については高速度衝突の条件（速度80km/h，角度22.8度）で判定し，ビームの強度は今回検討した全ての衝突条件について満足できるように考慮して諸元を決めることにした。

図－3･2･2において，支柱間隔を２ｍとした場合には，支柱の平均支持力を3.5ｔにしても高速度衝突の条件での最大進入行程が1.1ｍを超えることになるため，支柱間隔は１ｍとすることにした。この場合，支柱は通常の支持力である2.5ｔの条件で設置すれば良いことになる。

また，支柱間隔を１ｍとした場合のビームに発生する張力の最大値は53.5ｔとなるので，ビームの引張強度としてはそれ以上の値が必要である。

このような検討過程を経て，高強度型ガードレールとしての基本的な構造諸元を次のように設定した。

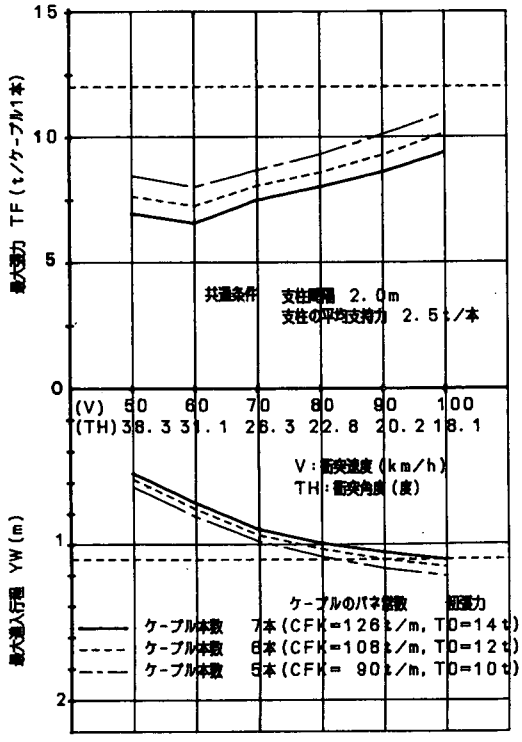
表－3･2･4　ガードレール系の基本設計値

項目		基本設計値
ビーム	引張強度　（t）	55以上
	曲げ剛性　EI（t･m²）	52以上
支柱	支柱間隔　（m）	1.0
	平均支持力　（t）	2.5
	バネ常数　（t/m）	60

3.2.3　ガードケーブル系の諸元についての検討

ガードレールの場合と同様に車両重量を14ｔとし，衝撃度が53t･mとなるように衝突速度と角度を変化させてシミュレーションを行い，最大進入行程とケーブルに発生する張力を求め（図－3･2･3～6），ケーブル本数，初張力，支柱間隔，支柱の平均支持力についての検討を行った。

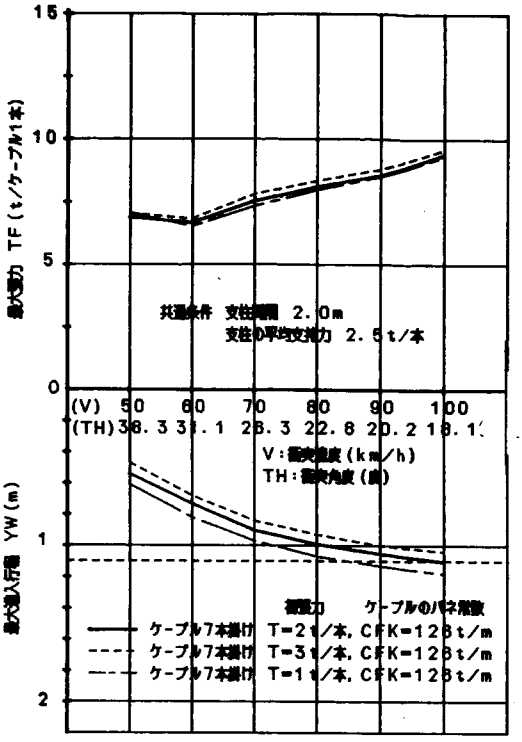
図－3･2･3は支柱間隔を2.0ｍ，平均支持力を2.5ｔ，初張力を2.0ｔとしてケーブル本数を５，６，７本と変化させたものである。この図においてケーブル張力はいずれの場合も許容値以下となるので問題ないが，最大進入行程が1.1ｍ以下になるのは７本掛けの場合のみであった。そこでケーブル本数を７本掛けとして以下の検討を進めることとした。



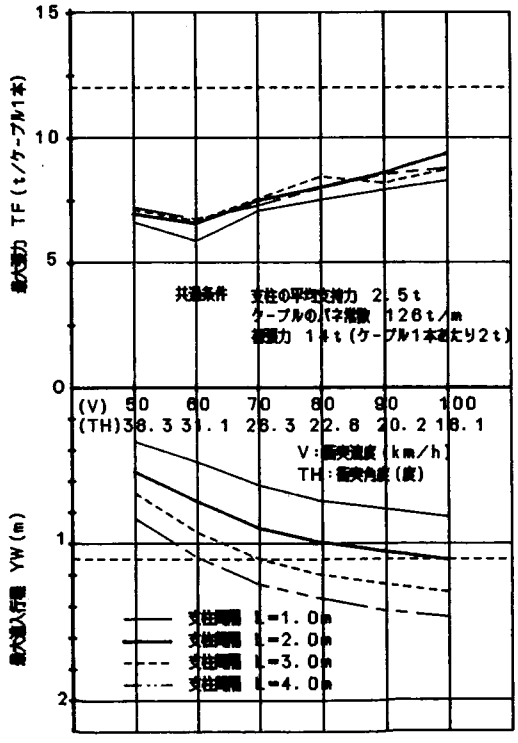
図－3･2･3　ケーブル本数の相違による影響

図－3･2･4はケーブル本数７本，支柱間隔2.0ｍ，平均支持力2.5ｔとして初張力を1.0，2.0，3.0ｔとした場合についてシミュレーションを行い，最適なケーブル初張力の検討を行ったものである。この図から初張力が変化しても衝突時のケーブル最大張力への影響は少なく，３種類の条件でのケーブル張力はほぼ同じ値となっていることがわかる。一方，最大進入行程は初張力が大きくなるほど小さな値となっている。この結果，最大進入行程を1.1ｍ以下に保持するという条件を満足させるため，ケーブルの初張力としては１本あたり２ｔ以上とすることが必要となった。

図－3･2･5はケーブル本数７本，初張力２ｔ，平均支持力2.5ｔとして支柱間隔を1.0，2.0，3.0，4.0ｍとしてシミュレーションを行い，最適な支柱間隔についての検討を行ったものである。図－3･2･5から車両衝突時のケーブル最大張力はいずれの支柱間隔の場合でも許容張力以下の値となっているが，支柱間隔が最大進入行程に与える影響は大きく，1.1ｍ以下という設計条件を満足させるには支柱間隔を２ｍ以下に設定しなくてはならない。



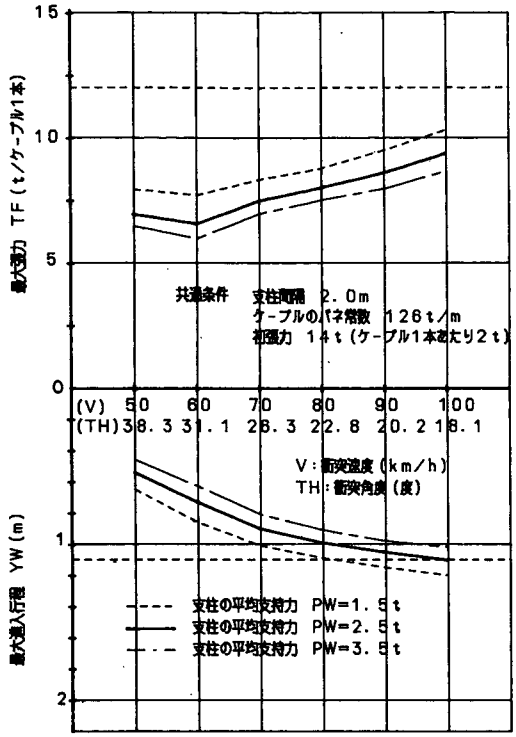
図－3･2･4　ケーブル初張力の検討



図－3･2･5　支柱間隔の相違による影響

図－3･2･6はケーブル本数７本，初張力２ｔ，支柱間隔２ｍ，平均支持力を1.5，2.5，3.5ｔとした場合についてシミュレーションを行い，適応可能な平均支持力の範囲についての検討を行ったものである。図－3･2･6から平均支持力の変化が衝突時のケーブル最大張力および最大進入行程の値に影響を与えていることがわかる。すなわち，平均支持力が大きくなるとケーブル最大張力は増加し最大進入行程は減少する傾向になっている。

今回検討した平均支持力の範囲では，ケーブル最大張力が増加した場合でも許容張力を超えることはないので，最大進入行程を規定値以内に保つ条件から平均支持力を2.5ｔ以上としなくてはならない。



図－3･2･6　支柱の平均支持力の相違による影響

このような検討過程を経て，高強度型ガードケーブルとして基本となる構造諸元を次のように設定した。

表－3･2･5　ガードケーブル系の基本設計値

項　　目		単位	基　本　設　計　値
ケーブル	構　　造		3×７　G/O
	直　　径	mm	18
	バネ常数	t/m	18（ケーブル１本あたり）
	本　　数	本	7
	初 張 力	t	2（ケーブル１本あたり）
支　　柱	支柱間隔	m	2.0
	平均支持力	t	2.5
	バネ常数	t/m	60

注）ケーブルのバネ常数は，張長100ｍを基準として，単位長さ（１ｍ）の弾性伸びに対応する力で，１％の伸びを生じさせる値である。

3.2.4　閉断面ビーム系の諸元についての検討

閉断面ビームは前項と同様にしてシミュレーションを行い必要とする構造を求めた。なお，検討にあたっ

ては，まず任意にビームの曲げ剛性（*EI*）および極限曲げモーメント（*Mo*）を選定して防護柵変位を満足する支柱の平均支持力（*PW*）と支柱間隔（*DP*）の値を求めた。つぎに，この*PW*と*DP*を用いて*EI*と*Mo*の範囲を定め，この範囲に納まる経済的な閉断面ビーム形状を求めた。

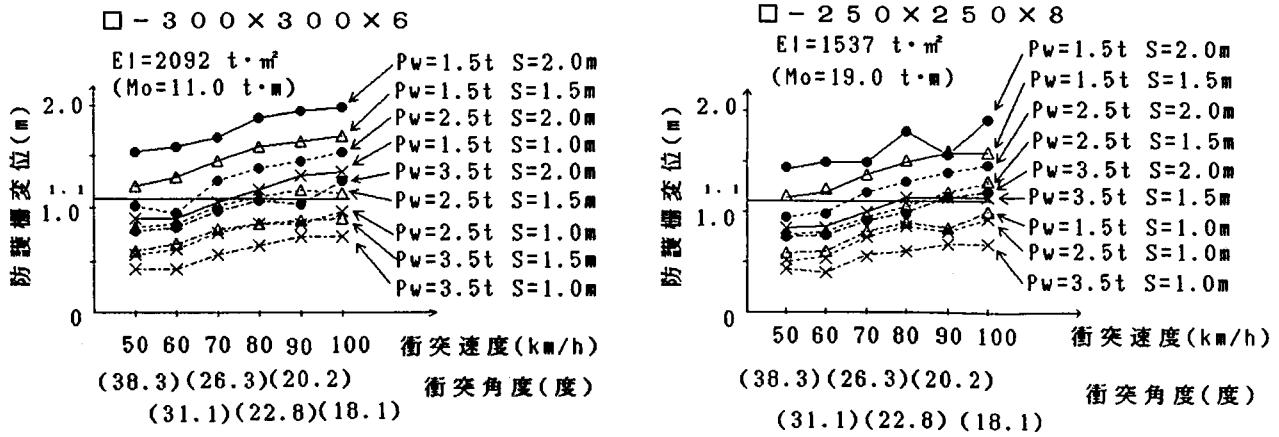
衝突条件は表－3･2･3，支柱常数は表－3･2･2の組合わせを用い，支柱間隔は1.0，1.5，2.0ｍの３種類とした。また，計算に用いた角形鋼管の断面性能は過去の実験値を参考に，６ケースを選んだ。その断面形状と*EI*および*Mo*を表－3･2･6に示す。

表－3･2･6　計算に用いた角形鋼管断面性能表

計算に用いた断面形状 (mm)	*EI* (t･m²)	*Mo* (t･m)
250×250× 6	1,191	10.5
200×200× 8	760	13.7
300×300× 6	2,092	11.0
250×250× 8	1,537	19.0
2-175×175× 6	782	14.6
2-200×200× 6	1,188	17.5

ここでは，最大進入行程の判定は安全側である防護柵の変位によるものとし，その許容値は1.1ｍ以下とした。

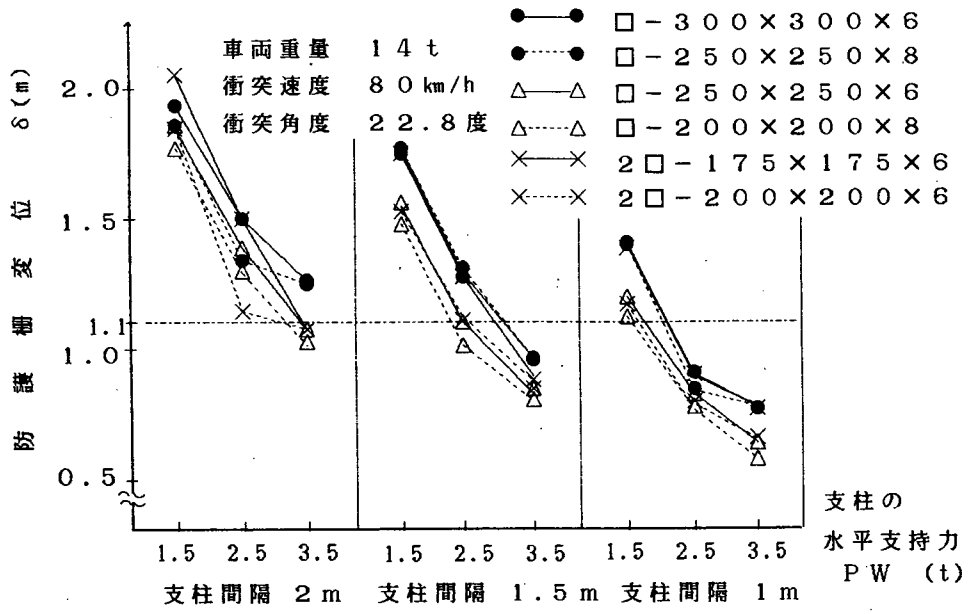
表－3･2･6の各断面について平均支持力および支柱間隔を変えて計算した結果の一例を図－3･2･7に示す。図－3･2･7において，同一衝撃度53t･ｍの条件下では高速度衝突の方が急角度衝突よりも防護柵変位が大きくなる傾向を示しており，その他の断面についても同様の傾向になっている。従って，支柱条件の選定は防護柵変位が大きくなる高速度衝突条件で行うこととした。



図－3･2･7　速度（角度）と防護柵変位の関係

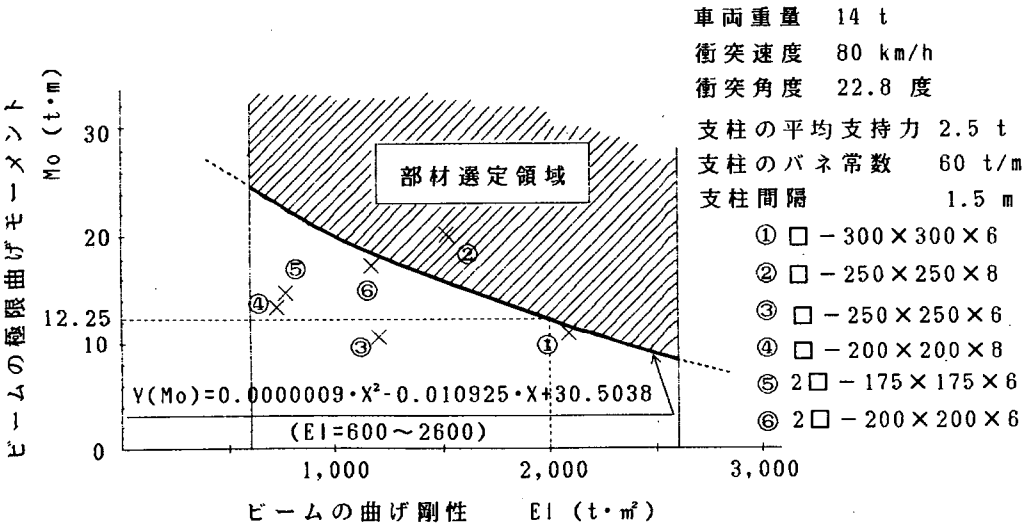
上記計算結果の中から高速度衝突条件での支柱常数と防護柵変位の関係を図－3･2･8に示す。平均支持力をガードレール・ガードケーブルと同様に2.5ｔとすると，図－3･2･8から防護柵変位が1.1ｍ以下になる

ビーム材を得るには支柱間隔を1.5m以下にする必要がある。そこで，施工性・経済性を考慮して，支柱間隔（*DP*）は1.5mを選定した。



図－3·2·8 支柱条件と防護柵変位の関係

平均支持力2.5t，支柱間隔1.5mとして，防護柵変位が1.1m以下になるビームの曲げ剛性と極限曲げモーメントの範囲を求めて図－3·2·9に示す。図中の曲線より上方の領域が防護柵変位1.1m以下を満足する部材領域である。例えば*EI*を2,000t·m²とした場合，防護柵変位1.1m以下を満足するには*Mo*が12.25t·m以上必要となる。



図－3·2·9 防護柵変位1.1mにおける曲げ剛性と極限曲げモーメントの選定図

図－3·2·9の部材選定領域の中からEIとMoの組み合わせを変えることによる優位性を見出すために，表－3·2·7に示す3ケースの断面形状を仮定し，各々について重量比較等の検討を行った結果，ケース2の場合が経済的であることがわかった。

以上の結果から，高強度型閉断面ビーム系の基本設計値を表－3·2·8のように設定した。

表－3·2·7　検討に用いた断面性能

ケース	曲げ剛性 EI (t·m²)	極限曲げモーメント Mo (t·m)
1	600	24.7
2	1,600	15.1
3	2,600	8.4

表－3·2·8　閉断面ビーム系の基本設計値

項目			基本設計値
ビーム	曲げ剛性	(t·m²)	1,600
	極限曲げモーメント	(t·m)	15.1
支柱	支柱間隔	(m)	1.5
	平均支持力	(t)	2.5
	バネ常数	(t/m)	60.0

3.3　設置高さの検討

3.3.1　現行防護柵の設置高さ

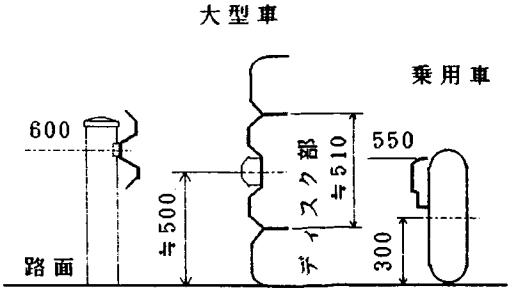
現在，要綱に示されている路側用防護柵の設置高さは表－3·3·1のとおりである。

表－3·3·1　現行防護柵の設置高さ

形式	種別	設置高さ (mm)	
ガードレール	A·B·C種	ビーム中心	600
	S種	上段ビーム中心	800
		下段ビーム中心	400
ガードケーブル	A·B·C·S種	最下段ケーブルの高さ	430

ガードレールA·B·C種のビーム中心高さの設定は，大型トラックの車輪のディスク部および乗用車のバンパー近辺を基準としている。また，S種のビーム中心高さの設定は，衝突車両が傾斜して積荷を路外に落としたり，車両が転倒する危険性を少なくするために，上段ビームの中心高さを800mmに上げ，乗用車が支柱に直接衝突するのを防止するために下段ビームを400mmの高さに設置している。ガードケーブルの設置高さは要綱で，乗用車とトラックの衝突実験結果から最下段ケーブルの高さは430mm，ブラケット最下端の高さは300mm程度が適当であるとされている。なお，防護柵へ作用する力点高さは車輪の径，車体の構造から路面上600mmの位置としている。

現行の防護柵と車両の位置関係を示すと，図－3·3·1のようになる。



図－3·3·1　防護柵と車両の位置関係

3.3.2 高強度型防護柵の設置高さ

高速度での衝突では路外方向への慣性力が大きくなるため，車両横転の可能性が高くなると予想された。そこで，従来の考え方を基本とした上で横転現象についても考慮する必要があり，つぎのような点に留意して設置高さを決めた。

・大型車の横転を防止できるように防護柵の上部反力点高さを決める

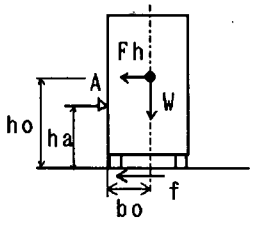
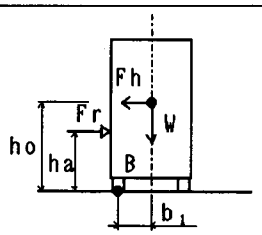
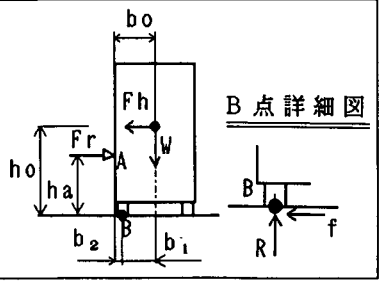
・小型車の潜り込みを防止できるように防護柵の下端高さを決める

なお，ここでは設計値の検討であることから十分安全側になるようにし，最終的な防護柵の設置高さについては衝突実験により判断することとした。

1) 防護柵の上部反力点高さの検討

上部反力点高さを求めるために，衝突シミュレーションで求められる防護柵反力の値を利用して表－3･3･2に示すようなモーメントのつり合いを考え，幾何学的な計算で横転検討を行った。

表－3･3･2 車両の横転検討方法

No	車両の横転の考え方	模式図
1	柵反力点（A点）回りのモーメントのつり合いで $W \cdot b_0 + f \cdot ha \geqq Fh \cdot (h_0 - ha)$ ならば，車両は横転しない	
2	衝突側タイヤ中心（B点）回りのモーメントのつり合いで $Fr \cdot ha + W \cdot b_1 \geqq Fh \cdot h_0$　$(Fr = Fh)$ ならば，車両は横転しない	
3	柵反力点（A点）回りのモーメントつり合いで $W \cdot b_0 + f \cdot ha \geqq Fh \cdot (h_0 - ha) + R \cdot b_2$ 衝突側タイヤ中心（B点）回りのモーメントのつり合いで $W \cdot b_1 + Fr \cdot ha \geqq Fh \cdot h_0$ の2条件が成り立つならば，車両は横転しない	

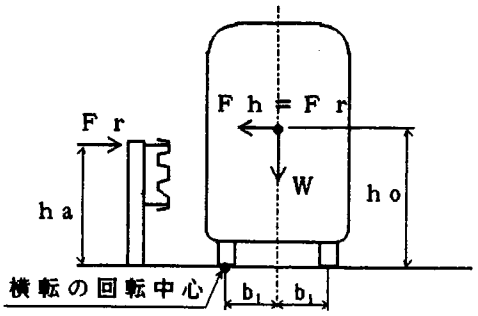
W：車両重量　　Fr：防護柵の反力（30.8ｔ）

f：タイヤの摩擦抵抗　$(=W \cdot \mu / g)$　　Fh：車両の水平力（$Fh=Fr$）

μ：タイヤと路面の摩擦係数　　b_1：輪距の半分

ha：防護柵の反力点高さ（$<h_0$）　　h_0：積載時の重心高さ

ここでは，表－3･3･2の中で最も単純化した考え方のNo.2の方法を採用した。なお，防護柵の最大反力は高速度衝突によるシミュレーションの演算で求められた30.8ｔの値を用い，車両の諸元は表－3･3･3に示すバスの値を使用した。



図－3·3·2　横転検討のモデル

表－3·3·3　バスの寸法諸元[7]

車両名	寸法 (mm)					車両重量 (kg)	空車時重心高さ (mm)	定員 (人)
	長さ	幅	高さ	軸距	前輪輪距			
ニッサン	11,980	2,490	3,100(1,850)	6,650	2,020	11,640	1,250[1,380]	62
日野－1	10,680	2,490	3,200(2,020)	5,200	2,010	8,390	1,230[1,380]	57
日野－2	10,240	2,490	3,115(1,905)	4,800	2,010	10,025	1,250[1,415]	83
実験 1	11,240	2,490	3,100(1,780)	5,700	2,000	10,510	1,180[1,355]	57

注（ ）内は室内高さ

［ ］内は積載時重心高さ

積載時重心高さ＝{(車両重量)×(空車時重心高さ)＋(積載重量)×(積載物の重心高さ)}／(車両総重量)

ただし，車両総重量はシミュレーションの入力値に合わせ14ｔとした

積載物の重心高さ＝(床の高さ)＋(座席高さ約45cm)

計算結果

積載時重心高さで計算したバスの横転検討結果を表－3·3·4に示す。合否判定の結果，表－3·3·3に挙げたバスの場合，路面から反力点までの高さを1,000mm以上とれば衝突時の横転は防止できることがわかった。

実際の車両衝突時には，サスペンション等による車体の沈みによって重心が下がることもあり，表－3·3·4に示した計算結果は十分安全側になっていると考えられる。従って，構造案では上部反力点高さを1,000mmにしたが，最終的な高さは衝突実験で確認することにした。現行防護柵の高さは1,000mmより低いが，衝突条件も小さいので充分安全と考えられる。

表－3·3·4　バスの横転検討結果　　(t·m)

ha / 車両名	800mm			900mm			950mm			1,000mm		
	Mf	*Mr*	合否	*Mf*	*Mr*	合否	*Mf*	*Mr*	合否	*Mf*	*Mr*	合否
ニッサン	42.5	38.8	×	42.5	41.9	×	42.5	43.4	○	42.5	44.9	○
日野－1	42.5	38.7	×	42.5	41.8	×	42.5	43.3	○	42.5	44.9	○
日野－2	43.6	38.7	×	43.6	41.8	×	43.6	43.3	×	43.6	44.9	○
実験 1	41.7	38.6	×	41.7	41.7	×	41.7	43.3	○	41.7	44.8	○

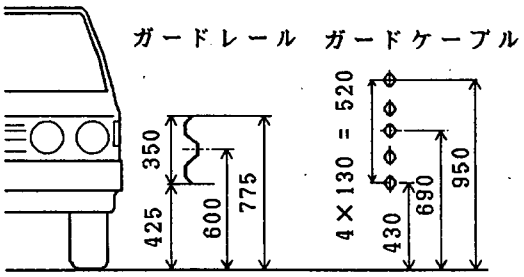
Mf：車両の回転モーメント（$=Fh\times h_o$）

Mr：防護柵の抵抗モーメント（$=Fr\times ha+W\times b_1$）

2) ビーム下端高さの検討

ビーム下端高さを設定する際に重要なことは防護柵と車両の位置関係（図－3･3･1）から，小型車の潜り込み防止と考えられる。参考として図－3･3･3に現行のA種防護柵の標準高さを示す。

一般的な乗用車の実測値を表－3･3･5に示す。現行の防護柵はこの位置関係からみてバンパー高さで車両を支持することを考慮している。従って，高強度型防護柵の設計でも，柵面で車両を支持し潜り込みを防止するため，できるだけ現行防護柵程度の下端高さを確保することとした。



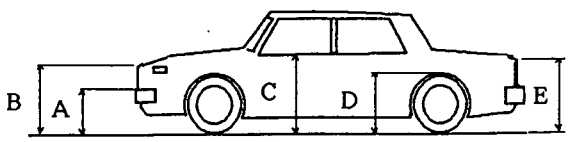
図－3･3･3　A種防護柵の柵面高さ

表－3･3･5　乗用車寸法実測例

（単位：mm）

メーカー	車　名	バンパー天端 A	フロント天端 B	ドアガラス下端 C	タイヤ径 D	リア天端 E
トヨタ	ビスタ	600	780	920	620	910
	スープラ	550	680	880	640	900
	コロナ	530	770	880	570	890
	カローラ	520	700	860	570	910
日産	グロリア	530	800	920	630	850
	セドリック	570	780	960	620	910
	スカイライン	530	750	910	640	950
	フェアレディ	510	680	840	570	800
	ブルーバード	540	770	910	610	930
	パルサー	550	700	880	580	920
	サニー	520	720	880	570	－
ホンダ	プレリュード	540	670	850	600	870
	シビック	510	710	860	580	－
マツダ	RX－7	520	640	860	620	870
フォード	フェスティバ	520	710	910	540	－

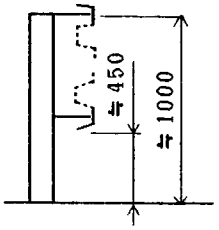
注）計測した車両は無作為に抽出したので年式は統一されていない。



3) 高強度型防護柵の設置高さ

(1) ガードレール系

ガードレールのビームは開断面であるため高い衝撃度に対する抵抗幅としてビームエッジまでは期待できないと考えられる。従って，防護柵の上部反力点高さはビーム山部と考え，ビーム上部の山の高さを1,000mm前後に設定した。また，ビーム下端高さは小型車の潜り込み防止のため450mm前後に設定した。図－3·3·4に高強度型ガードレールの設置高さを示す。



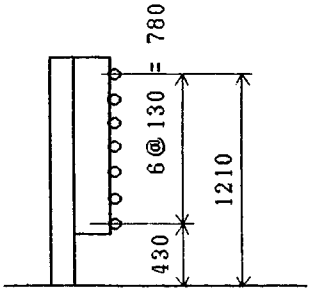
図－3·3·4 高強度型ガードレールの設置高さ

(2) ガードケーブル系

現行の標準型ガードケーブルの最下段ケーブルの高さは路側用で430mm，中央分離帯用で440mmと定められている。後者の中央分離帯用の最下段ケーブルの高さ440mmは昭和43年から昭和46年に行われた「中央分離帯の構造に関する研究」[24]において，トラックと乗用車の衝突実験により安全性・誘導性が確認されている。そこで今回の供試体の最下段ケーブルの高さは，標準型ガードケーブルの路側用と同じ430mmとした。

ケーブル相互の間隔はケーブル面が安定した状態で車両および車体を押さえることができるように定めることが必要である。現行のケーブル間隔は路側用で130mm，中央分離帯用で170mmとなっているので，130～170mmの範囲の値をとれば良いと考えられる。そこで，本実験の供試体としてのガードケーブルは130mmのケーブル間隔で取付けることにした。最下段ケーブルの高さを430mm，ケーブル間隔を130mmにした場合，7本掛けガードケーブルの最上段ケーブルの高さは1,210mmになる。

ガードレールの設置高さを設定するにあたっては，横転の可能性について詳細な検討を行ったが，7本掛けガードケーブルの最上段ケーブルの高さはガードレールの天端高さ（1,020mm）に比べて高くなるので，ガードケーブルについての検討は特に行わなかった。

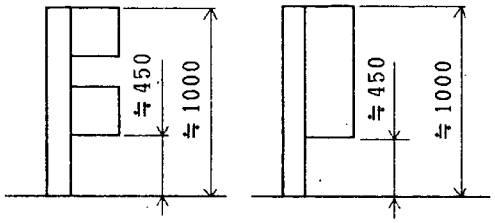


図－3·3·5 高強度型ガードケーブルの設置高さ

(3) 閉断面ビーム系

閉断面ビーム系の場合もガードレール系と同様に，横転防止の上部反力点高さと潜り込み防止のビーム下端高さについて考える必要がある。ここでは，供試体として図－3･3･6 の(A)，(B)の 2 形状について考えた。

(A)の構造ではビーム幅が小さいため，上部反力点高さを確保し，かつ小型車の潜り込みを防止するためには 2 段のビームを上下に配置する必要がある。また，(B)の構造ではビーム幅を広くとれるため，上部反力点高さとビーム下端高さを 1 本のビーム面でカバーすることも可能である。



（A）　　（B）

図－3･3･6　高強度型閉断面ビームの設置高さ

3.4 ブロックアウト量の検討

ブロックアウト量は，支柱と車輪が接触しないように定めるのが理想的である。しかし，防護柵の設置幅には種々の制約があることから，次のような検討を行って設定した。

1) 誘導性からみたブロックアウト量の検討

車両の誘導性は前輪衝突時の挙動に左右されるので，前輪を支柱に衝突させないようなブロックアウト量を定める必要がある。

前輪衝突時の防護柵の変位は「3.2.2 ガードレール系の諸元についての検討」で行った高速度衝突時のシミュレーション結果から 600mm が最大になった。このときにブロックアウト量と法肩から支柱までの距離を変化させ，ビーム中心の前面と支柱前面の距離を計算して，支柱と車輪が接触するかしないかを判断した。その計算結果を表－ 3･4･1 に示す。

計算の前提条件は

・法勾配は 1 ：1.5 とした

・反力点高さはビーム中心とし 600，700，800mm の 3 種類とした

・支柱は折れ曲がらないものとし，支柱の回転中心までの深さは 1,200mm とした

表中の計算値の正負は，（+）の場合支柱に車輪が接触せず，（－）の場合接触することを示す。なお，図中のＳ寸法は支柱背面から法肩までの距離を示す。

表－3･4･1　ビーム中心から支柱前面までの水平方向の距離 (A)

(a)　ビーム中心高さ　600mm

（単位 mm）

ブロックアウト量 B / 法肩距離 S	150	175	200	250	300
0	-90	-66	-42	+7	+56
100	-88	-47	-23	+26	+74
200	-53	-28	-4	+44	+93
300	-39	-15	+9	+57	+105

(b)　ビーム中心高さ　700mm

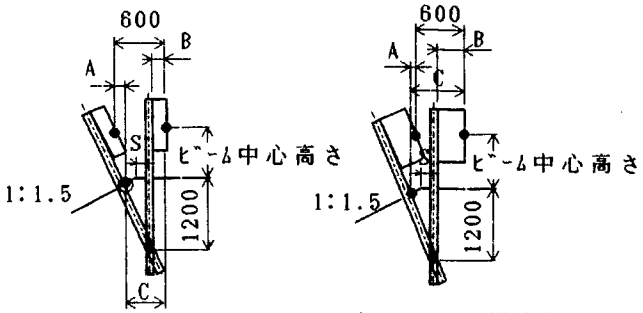
（単位 mm）

ブロックアウト量 B / 法肩距離 S	150	175	200	250	300
0	-102	-82	-58	-9	+40
100	-89	-64	-40	+9	+57
200	-71	-46	-22	+26	+75
300	-62	-38	-14	+34	+83

(c)　ビーム中心高さ　800mm

（単位 mm）

ブロックアウト量 B / 法肩距離 S	150	175	200	250	300
0	-121	-97	-73	-24	+25
100	-104	-80	-56	-7	+42
200	-87	-63	-39	+10	+59
300	-83	-58	-34	+15	+63



（Ａ＜０の場合）　（Ａ＞０の場合）

Ａ＝Ｃ－６００

表－3･4･1から，前輪と支柱の衝突を防ぎ車両の誘導性を損なわないようにするには，反力点高さが高くなるほど大きなブロックアウト量を必要とすることがわかる。例えば，反力点高さが600mmの場合，支柱に前輪が当たらないブロックアウト量は250mmで良いが，800mmになるとブロックアウト量は300mmを必要とする。

2)　柵高低下防止からみたブロックアウト量の検討

後輪衝突時の防護柵の変位は要綱の最大進入行程1.1ｍの値を最大変位として次のような検討をした。

前輪が支柱に衝突すると車両の誘導性に影響を及ぼすのに対し，後輪の場合には図－3･4･1に示すように前輪がすでに防護柵から離脱しつつあるため，誘導性に与える影響は少ないと考えられる。しかしシミュレーション結果から，後輪衝突時の方が前輪衝突時よりも防護柵変位が大きくなる傾向がみられるため，防護柵が大きく変位した場合の上部反力点高さの低下量について検討した。



図－3･4･1　車両の後輪衝突

防護柵の変位を1,100mmとし，ブロックアウト量(B)と法肩から支柱背面までの距離（S）を変化させ，幾何学的に計算したビーム中心高さを表－3･4･2に示す。反力点高さは前項と同様600，700，800mmの３種類とし，計算の前提条件も前項と同様に考えた。表中の計算値（△H）の正負は（＋）の場合ビーム中心高さが低下せず，（－）の場合低下することを示す。

表－3･4･2から防護柵変位後もビーム中心高さを低下させないためのブロックアウト量は250 mm必要であることがわかった。

表－3.4.2.　ビーム中心から支柱前面までの高さの変化量　（ΔH）

ΔH＝H－(変位前のビーム中心高さ)

(a)　ビーム中心高さ　600mm

（単位 mm）

ブロックアウト量 B / 法肩距離 S	150	175	200	250	300
0	+107	+122	+138	+168	+198
100	+62	+77	+93	+123	+152
200	+17	+32	+48	+78	+107
300	-28	-13	+2	+32	+62

(b)　ビーム中心高さ　700mm

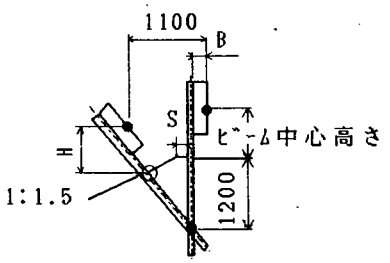
（単位 mm）

ブロックアウト量 B / 法肩距離 S	150	175	200	250	300
0	+99	+114	+129	+157	+186
100	+53	+68	+83	+111	+139
200	+7	+22	+36	+65	+93
300	-39	-24	-10	+19	+49

(c)　ビーム中心高さ　800mm

（単位 mm）

ブロックアウト量 B / 法肩距離 S	150	175	200	250	300
0	+93	+107	+120	+148	+175
100	+46	+60	+73	+101	+127
200	-1	+13	+26	+53	+80
300	-48	-34	-21	+6	+33



3)　ブロックアウト量の設定

防護柵は，「道路構造令」の第８条，第10項でいう「保護路肩」に設置される。保護路肩の幅は，日本道路公団の「設計要領」のように500mm設ける例[8]もあるが一般にはこれよりも狭い。従ってブロックアウト量を大きくとることは難しい場合が多いので，効果が期待できる最小値250mmを選定した。この場合，表－3･4･1のように支柱と車輪が計算上，若干接触するケースもあるが車両の誘導性に及ぼす影響は少ないと考えられる。

3.5　構造案の設計

前項までは，シミュレーションの演算結果に基づいて高強度型防護柵の基本的な仕様を検討してきた。ここでは，それらの結果からまとめた衝突実験に用いる各構造案を示す。

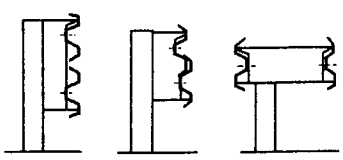
3.5.1　高強度型ガードレール系の構造案

「3.2　シミュレーションを使った基本設計」の検討結果から設計条件を満たす構造として現行Ａ種ビーム２枚を使用した形式とそれと同等以上の性能を有する新断面ビームを使用した形式の２種類を選定した。

1)　既存ビームを使用したガードレール

(1)　ビーム

ビーム２枚を配置する方法は図－3･5･1に示す構造で検討し，施工性，道路のカーブ区間への対応，防護柵の設置高さ等を考慮して上下２段型を採用した。

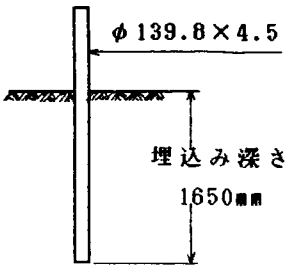


２段型　ラップ型　両面型

図－3･5･1　ビームの配置

(2) 支柱

表−3·2·4のガードレール系の基本設計値に示すように，支柱の諸元は，支柱間隔1.0m，平均支持力2.5ｔ，バネ常数60 t/mとした。この支柱常数を満足できるように，図−3·5·2に示す外径139.8mm，板厚4.5mm，埋込み深さ1,650mmを選定した。

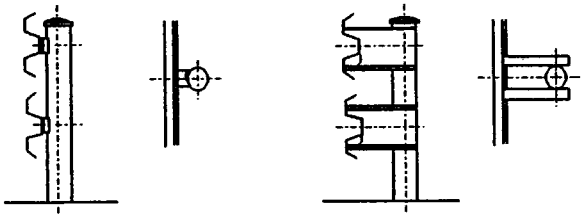


図−3·5·2 支柱の構造案

(3) ブラケット

ブラケットの機能は,車両衝突時にビームに作用した荷重を支柱に伝達すること,および防護柵のブロックアウト量を保持して支柱に直接車両が衝突しないようにすることである。さらに，A種ビーム2段型のブラケットは車両衝突時に上下のビームが同時に抵抗できる構造とした。

現行のブラケット構造には，分離帯用ガードレールに使用されている支柱側面取付け型と路側用ガードレールに使用されている支柱前面取付け型がある。支柱側面取付け型は道路縦断勾配への対応が困難であること，側面にボルトがあることで衝突時にボルトのせん断やボルト穴が支圧で変形するのに対し，支柱前面取付け型はボルトを1本とすることで縦断勾配への対応も容易で，支柱前面で荷重を受けることから支柱への荷重伝達が確実になるといった有利な点がある。そのため，高強度型ガードレール系ブラケットは支柱前面取付け型とした。



図−3·5·3 ブラケット取付け方法

ブラケットに要求される機能から考えて，ブラケットの強度は支柱材の最大強度以上あれば十分である。φ139.8×4.5の支柱材の強度（P）は次のようになり，ブラケットの圧縮強度は安全率を考慮して5.0ｔに設定した。

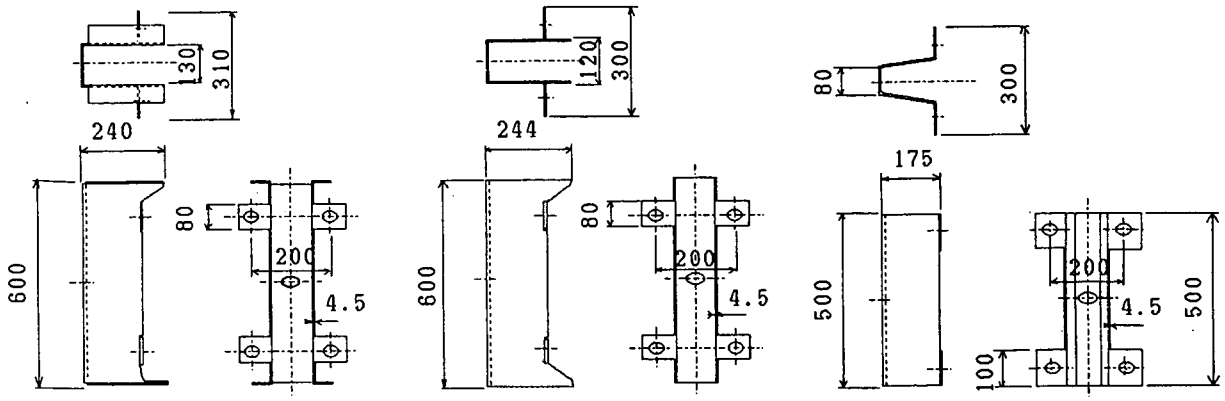
$$P = \sigma \cdot Z/h$$
$$= 4{,}100 \times 62.7/60$$
$$= 4{,}285\text{kg}$$

ここに Z：断面係数（＝62.7cm³）

σ：材料の引張強さ（＝4,100kg/cm²）

h：載荷高さ（＝600mm）

上記の事項を考慮して設計したA種ビーム2段型のブラケットは，図−3·5·4に示す3種類であり，後述の部材実験により適正な一案に絞り込むこととした。



タイプー1　　タイプー2　　タイプー3

図－3·5·4　ブラケット案

タイプー1　従来のブロックアウト量を大きくとった中央分離帯用のブラケット断面に似た溝形とし，最大変位時にも上段ビームが車両を支持できるように，ブラケット上部に突起を設け，下部にも施工性を考えて突起を設けた。

タイプー2　タイプー1と同主旨で形状を考えたが，ブラケット上下の折り返し部を省き突起部は上下同形状とした。

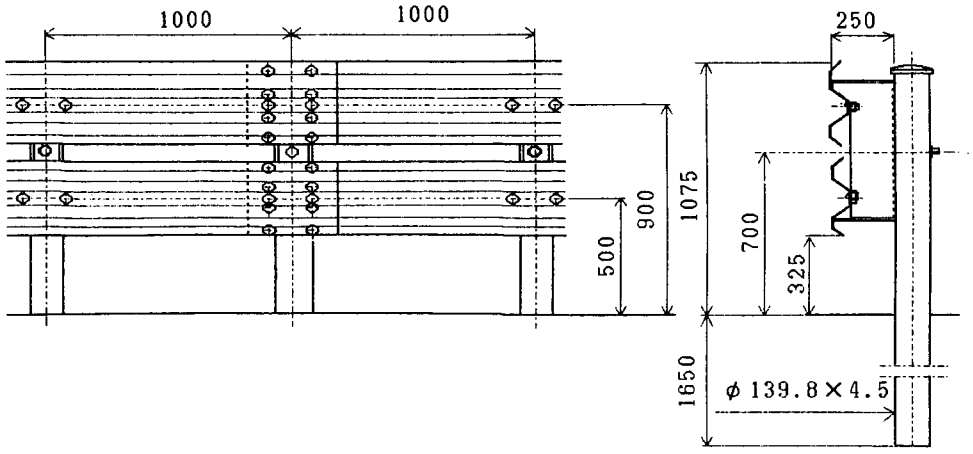
タイプー3　従来の路側用ブラケットの形状をもとにして考案した。

(4)　設置高さ

「3.3　設置高さの検討」で述べたように上部反力点高さは1,000mm前後，ビーム下端高さは450mm前後が望ましい値である。従って，衝突車両の横転を防止するために，まず上部反力点高さを1,000mmに設定し，上段ビームの中心高さは900mmとした。ビームの配置はS種と同様に上下の間隔を50mmあけ，下段ビームの中心高さを500mmとした。この結果，下段ビームの下端高さは325mmとなった。

(5)　A種ビーム2段型の構造案

以上のように設計したA種ビーム2段型の構造を図－3·5·5に示す。



図－3·5·5　A種ビーム2段型の構造

2) 新断面ビーム型

(1) ビーム

新しいビーム形状は，「3.2 シミュレーションを使った基本設計」で検討したガードレールの基本設計値（表－3·2·4）をもとに断面諸元を表－3·5·1のように定めた。

表－3·5·1 新断面ビームの断面諸元

基本設計値	EI (t·m²)	52以上
	T (t)	55
設計条件	σ (kg/cm²)	2,400(SS41)，2,800(SS50)
	η	0.82
	E (kg/cm²)	2.1×10^6
断面諸元	Iy (cm⁴)	248以上
	A (cm²)	28以上(SS41)，24以上(SS50)

ただし EI：ビーム曲げ剛性
T：設計張力
Iy：断面二次モーメント
E：材料の弾性係数
σ：材料の降伏点
η：ビームの継手効率（要綱より）
A：断面積 $A=T/(\sigma\times\eta)$

新断面ビームは従来のビームからみて実現可能と判断される形状とした。設定した条件を下記に示す。

・図－3·3·4に示した防護柵高さの位置関係から，ビーム幅を450，500mmの2種類とした

・ビームの山数は上記のビーム幅で加工性，継手ボルトの取付け等の施工性を考えて2山および3山の2種類とした

・ビームのコルゲーションは75，80，85，90mmの4種類とした

・材質はSS41とSS50の2種類とした

・ビームの板厚は曲げ加工や継手部の重ね合わせを考慮して従来の板厚に近い4.0，4.5，5.0mmの3種類とした

上記の検討条件にしたがって各々の断面性能を計算し，目標値との比較から適用の可否を判定した。その結果を表－3·5·2に示す。

表－3·5·2に示すように合格する形状は数種類あるが，「3.3.2 高強度型防護柵の設置高さ」での検討結果から高強度型防護柵の設置高さは柵面上端で1,000mm前後，柵面下端で450mm前後が必要となる。従って，ビーム幅は広い方が有利なため500mmを選択した。

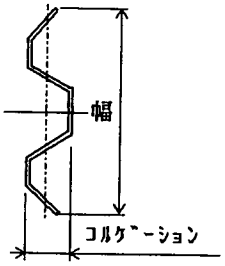
山数は表－3·5·2に示すように2山と3山としたが，同一幅の場合，一般的に幅厚比の小さい3山のほうが力学上有利であると考えられる。これについては後述する実験で確認することとした。

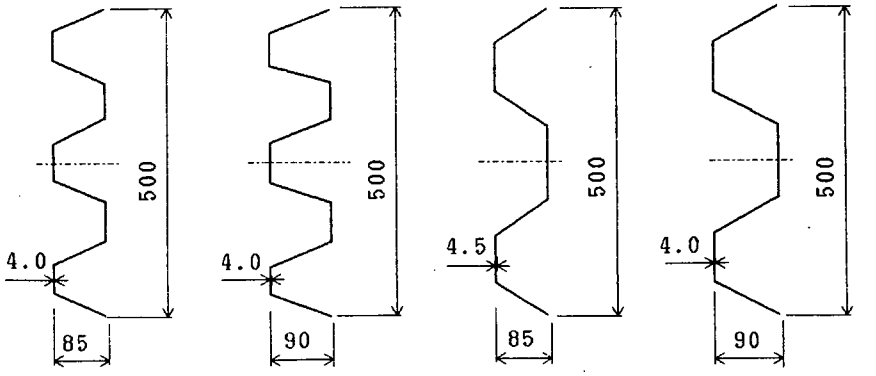
表－3·5·2　計算の組合わせと結果

（単位：mm）

形状種類	幅	コルゲーション	板厚 4.0 SS41	板厚 4.0 SS50	板厚 4.5 SS41	板厚 4.5 SS50	板厚 5.0 SS41	板厚 5.0 SS50	展開幅	断面積 (cm²)
2山新断面	450	75	×	×	×	×	×	×	－	－
		80	×	×	×	×	×	×	－	－
		85	×	×	×	○	○	－	614	27.63
		90	×	○	○	－	－	－	632	25.28
	500	75	×	×	×	×	×	×	－	－
		80	×	×	×	×	○	○	641	32.05
		85	×	○	○	－	－	－	659	26.36
		90	×	○	○	－	－	－	674	26.96
3山新断面	450	75	×	×	×	×	×	×	－	－
		80	×	×	×	×	○	○	716	35.80
		85	○	○	－	－	－	－	747	29.88
		90	○	○	－	－	－	－	773	30.92
	500	75	×	×	×	×	×	×	－	－
		80	×	×	○	○	－	－	754	33.93
		85	○	○	－	－	－	－	781	31.24
		90	○	○	－	－	－	－	807	32.28

注）断面積は板厚の小さい方の値を示した。
適否の判断は断面積（A）と断面二次モーメント（Iy）によった。
○はAとIyの両方が目標値以上のもの
×はAまたはIyのどちらかが目標値以下，または両方が目標値以下のもの
－は条件を満足することが明らかであるため計算を省略したもの。





1案(SS 41)　2案(SS 41)　3案(SS 41)　4案(SS 50)

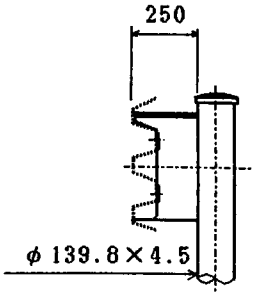
図－3·5·6　新断面ビーム形状案

(2) 支柱

支柱の諸元はA種ビーム2段型と同様に，外径139.8mm，板厚4.5mm，埋込み深さ1,650mmとした。

(3) ブラケット

新断面ビームのブラケット形状はA種ビーム2段型のブラケットの検討結果を参考に，図－3·5·7に示すようにした。



図－3·5·7 新断面ビームブラケット形状

(4) 継手部の構造

ガードレールのビーム継手部の構造には，重ね継手と，突合わせ継手がある。従来から使われている重ね継手は構造的に簡単であるが，ビーム形状によってはビーム重ね部分の隙間が大きくなる。突合わせ継手は，添接板を使用することでこの隙間はなくなるが，ボルト本数が多くなって施工性が低下すること，またビームの温度変化を考慮して突合わせ部にクリアランスを設ける必要があること等の短所がある。

ここではこれらを考慮して重ね継手を選択し，設計は要綱の計算方法に従うこととした。

ビーム継手の設計にあたっては，ボルトは強度区分を6TとしてM16，18，20の3種類，ビームの板厚は4.0，4.5mmの2種類，材質はSS41，SS50の2種類をそれぞれ組合わせて検討した。

① 設計条件

設計に使用した許容応力度を表－3·5·3に示す。

なお，継手部の設計に使用したビームの設計張力(T)は，表－3·5·1に示した基本設計値から55 tとした。

表－3·5·3 設計に使用した許容応力度

ビームの許容引張り応力度 F (kg/cm²)	2,400 (SS41) 2,800 (SS50)
材料の許容せん断応力度 τ (kg/cm²)	2,360 (SS41) 2,750 (SS50)
材料の許容支圧応力度 λB (kg/cm²)	10,000 (SS41) 11,900 (SS50)
ボルトの許容引張り応力度 Fb (kg/cm²)	6,000 (6T)

② 継手部の設計

継手部の設計はすべての連結ボトルが有効に働き，全ボルトのせん断強度がビームの継手部引張り強度以上になるようにした。そのためにボルト１本当たりのせん断強度がビームのボルト穴側面の支圧強度やビームのせん断強度より大きくなるように設計した。

ボルト１本当たりのせん断強度（S）は次式で求められる。

$$S = A \times Fb/\sqrt{3}$$

ただし　A：ボルトの断面積

Fb：ボルトの許容引張り応力度

ビームのボルト穴の支圧強度（B）は次式で求められる。

$$B = \lambda B \times t \times d$$

ただし　λB：材料の許容支圧応力度

t：ビームの板厚

d：ボルト径

表−3·5·4にボルト１本当たりのせん断強度とビームの支圧強度を比較した結果を示す。

表−3·5·4　ボルトのせん断強度とビームの支圧強度の計算結果

ボルト径 d (mm)	ビーム材質	ビーム板厚 t (mm)	ボルトのせん断強度 S (kg)	ビームの支圧強度 B (kg)	判定
16	SS41	4.0	6,960	6,400	○
		4.5		7,200	×
	SS50	4.0		7,600	×
		4.5		8,600	×
18	SS41	4.0	8,800	7,200	○
		4.5		8,100	○
	SS50	4.0		8,600	○
		4.5		9,600	×
20	SS41	4.0	10,880	8,000	○
		4.5		9,000	○
	SS50	4.0		9,500	○
		4.5		10,700	○

判定の欄で　○は　$S>B$，×は　$S<B$　を示す。

ボルトの所要本数（n），ボルト穴の所要端あき量（e）は下記の２式から求めた。

$$n = T/S$$

$$e = T/(2 \times n \times t \times \tau)$$

ただし　T：ビームの引張り強度

τ：材料の許容せん断応力度

表−3·5·5にボルトの所要本数，表−3·5·6にボルト穴の所要端あき量の計算結果を示す。

表－3･5･5　ボルトの所要本数

（単位：本）

ビームの板厚（mm）		4.0			4.5		
ボルト径（mm）		16	18	20	16	18	20
ビームの材質	SS41	8	7	6	－	7	6
	SS50	－	7	6	－	－	6

表－3･5･6　ボルト穴の所要端あき量

（単位：mm）

ビームの板厚(mm)		4.0		4.5	
材　質		SS41	SS50	SS41	SS50
ボルト本数	6	48.6	39.6	43.2	35.2
	7	41.6	34.0	37.0	30.2
	8	36.4	29.7	32.4	26.4
	9	32.4	26.4	28.8	23.5
	10	29.1	23.8	25.9	21.1
	11	26.5	21.6	23.5	19.2
	12	24.3	19.8	21.6	17.6

以上の検討結果から，図－3･5･6の新断面ビーム形状案に対応する継手ボルト本数は施工性を考慮して，ボルトの配列が可能な範囲で最小値を選択した。表－3･5･7に新断面ビームの継手仕様を示す。

図－3･5･8に検討結果の例として新断面ビームの１案（３山，ビーム幅500mm）の継手部ボルト位置を示す。図中の●はブラケット取付け用ボルト位置，○はビーム接続用ボルト位置を表わす。ビーム接続用ボルトの配置はブラケットに当たらないように配慮した。

表－3･5･7　新断面ビーム継手仕様

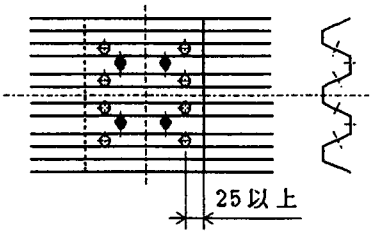
山　数		3 山	2　山	
板　厚　（mm）		4.0	4.0	4.5
材　質		SS41	SS50	SS41
ボルト	径　（mm）	M16	M18	M18
	強度区分	6T	6T	6T
	本　数	12	8	8
ボルト穴端あき(mm)(最小値)		25	30	33

(5)　支柱とブラケットの取付けボルト

支柱とブラケットの取付けボルトは現行Ａ種と同じＭ20を用いることとした。

(6)　設置高さ

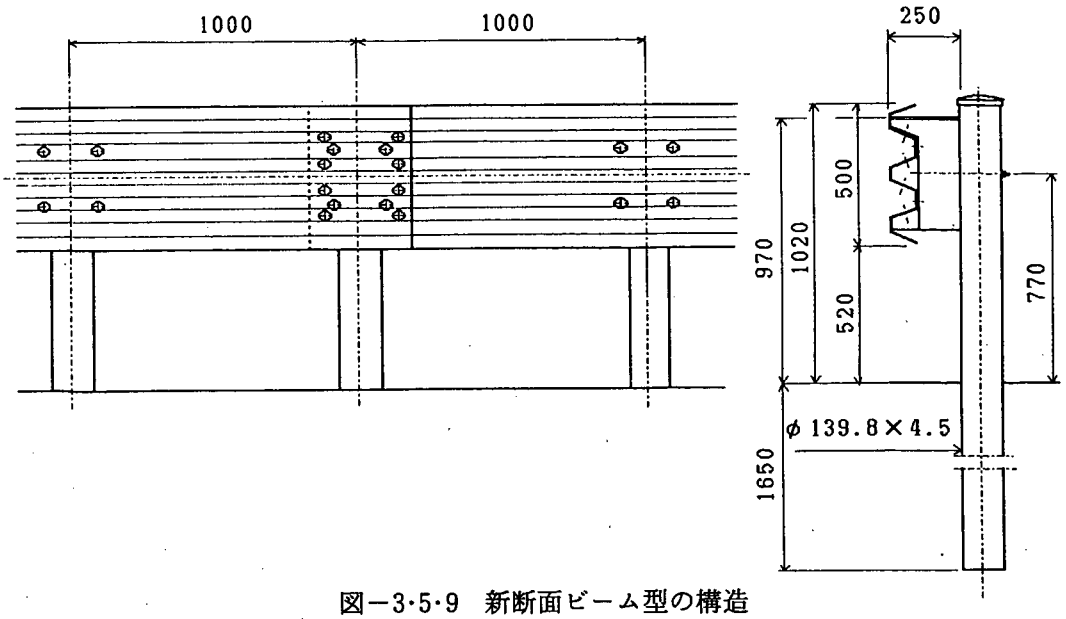
Ａ種ビーム２段型と同様，衝突車両の横転防止を考慮して，まず上部反力点高さを970mmに設定した。この場合，ビーム下端高さは520mmになり，「3.3.2　高強度型防護柵の設置高さ」で設定したビーム下端高さ450mm前後を超える値となるため小型車が潜り込むことも考えられたが，これについては大型車・小型車の双方の衝突実験により確認することとした。



図－3･5･8　新断面ビームの継手部ボルト位置

(7)　新断面ビーム型の構造案

以上のように設計した新断面ビーム型の構造を図－3･5･9に示す。



図－3･5･9　新断面ビーム型の構造

3.5.2　高強度型ガードケーブル系の構造案

高強度型ガードケーブルの基本的な構造は「3.2　シミュレーションを使った基本設計」で決定されており，過去の実験結果および要綱等を参考にして細部の構造を決めた。

1)　ケーブル

ケーブルの構造は標準型ガードケーブルに使用されているのと同じ３×７G/O　18mmとした。これは，シミュレーションの結果から得られた図－3･2･3に示すケーブル本数を変えた検討（ケーブル総断面積の変化，ビーム材弾性係数の変化に対応）により，ケーブルの構造を変えて断面積および弾性係数を増大させなくても，汎用性のあるケーブル３×７G/O　18mmを７本使用する構造にすれば十分に対応することが可能であると判断したためである。

ケーブル初張力は１本あたり１～３ｔとしてシミュレーションによる検討を行った結果，図－3･2･4より現行のA種，S種と同様に２ｔとすることにした。

ケーブル相互の間隔は，ケーブル面が安定した状態で車両を押さえる必要があるため130mmとした。

2)　中間支柱

「3.2」の検討で得られた支柱についての条件は，支柱間隔が2.0ｍ，支柱１本あたりの平均支持力が2.5ｔとなっている。そこで，「第２編　３　支柱水平載荷実験」を参考にして次のように決めた。

支柱には現行の路側用ガードケーブルA種，S種に使用されているものと同じ，外径139.8mm，板厚4.5mmの一般構造用鋼管を用い，埋込み深さを1,650mmとした。

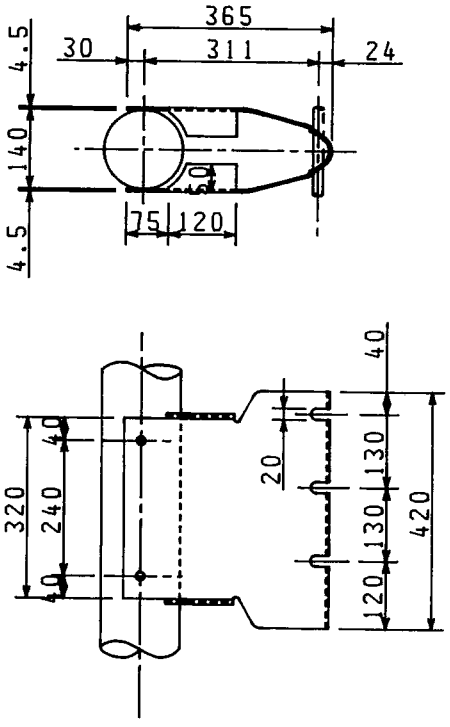
3)　ブラケット

ブロックアウト量については，ガードレールを中心に「3.4」項で詳細に検討しているので，その結果を用いて250mmとした。

ブラケットの基本形状は，７本のケーブルを上４本と下３本の２グループに分けて止める構造にした。これは，乗用車などの軽量車衝突時にブラケットが強すぎて車両の誘導性を阻害することのないようにという

点と，一個の重量を軽量化することにより施工を容易にする点の，二つの理由によるものである。

ブラケットにかかる外力は理論的には防護柵直角方向の水平力について考えれば良いが，ガードケーブルの場合には衝突時のケーブルのたわみにより主応力方向が斜めになることが多く，単に柵直角方向の水平力だけ考えて設計するのは適切ではない。そこで，従来からの形状を踏襲し，耐雪型ガードケーブルのブラケット形状を基本形として図－4･6･6に示す4種類の形式を設計し，「4.6.2　ガードケーブルブラケット」に述べる部材実験により，形状を決めることにした。なお，ブラケットの柵平行方向強度についての基準値を明確にきめるのは困難であるが，車両衝突時にこの方向に生ずると想定される力は約1ｔ程度と考え，ブラケットはこの値を用いて設計した。図－3･5･10に実験で用いた下段ブラケットの形状を示す。ブラケットの上下端を図のように約50mm折り曲げたのは，車両衝突時に柵平行方向に潰れるのを防止するためである。



図－3･5･10　下段ブラケット

4)　端末支柱

要綱ではガードケーブルの端末コンクリート基礎は初張力のみを考えて設計されており，車両衝突時の瞬間的な増加張力による多少の変位を許容している。本研究ではシミュレーションの演算結果との整合性を照査できるように，ケーブル張力を正確に計測する必要があったので，計算から得られたケーブル張力に耐えられるようにコンクリート基礎の設計を行った。

なお，端末支柱およびコンクリート基礎についての強度計算・安定計算は資料編に示す。

5)　柵面補強材

急角度での衝突時では，下段部のケーブルは前輪が衝突したときに巻き込まれて踏み付けられるような現

象が起こり，車両を正常に誘導できなくなることが懸念されたので，支柱間の中央にケーブル相互の間隔を保持し，柵面を安定した状態に保つように柵面補強材を取付けることとした。これについては「柵面補強材を用いたガードケーブル実車実験報告書」[9] で効果が確認されていたので今回の供試体にも応用した。

柵面補強材はケーブルで支持される構造になっているので，大きな曲げ応力が発生する可能性は少なく，過去の実験で使われたものに類似した形状とし，外径 60.5mm，板厚 3.2mm の鋼管を使用した。

6) ブラケット取付けボルト

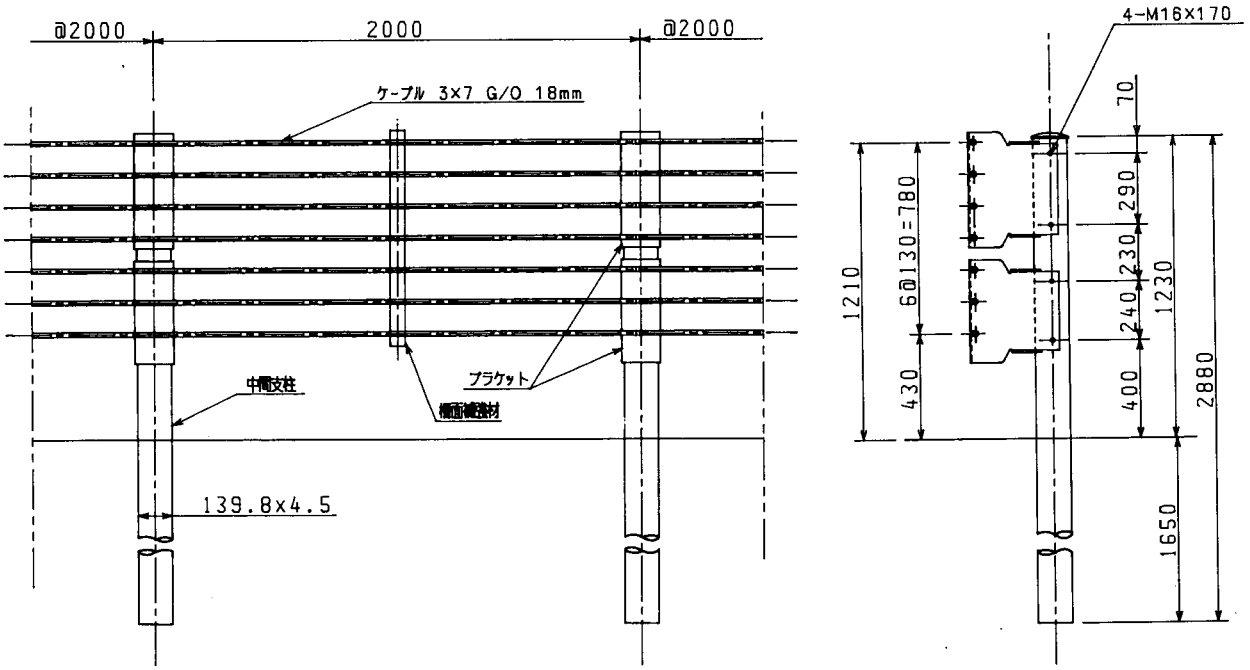
現行のガードケーブルでは，M12のボルトを使用しているが，高強度型ガードケーブルの設計にあたっては次のような理由からM16を使用した。すなわち，ブラケット取付けボルトは柵直角方向に対する設計荷重（5 t）まで破断しないようにしたためである。

7) 索端金具

ケーブルの構造および径は現行のガードケーブルと同じものを使用したので，索端金具についても現在標準的に使用されている形式のものを用いた。

8) ガードケーブルの構造案

以上のように設計したガードケーブルの構造を図－3·5·11 に示す。



図－3·5·11　ガードケーブル７本型の構造

3.5.3 閉断面ビーム系の構造案

閉断面ビームの形状は，「3.2.4　閉断面ビーム系の諸元についての検討」で選定したビームと支柱の基本設計値に従って以下のように検討した。

1) ビーム

閉断面ビームの諸元の検討から，曲げ剛性（EI）は 1,600t·m^2，極限曲げモーメント（Mo）は 15.1t·m とした。

衝突実験に使用するビームは種々の新しい断面形状も検討したが，期間的な制約もあり市販の角形鋼管の中から上記の条件を満足するものを選定した（表－3･5･8）。なお，衝突実験に用いるビーム材は後述する載荷実験により決定することとした。

表－3･5･8　ビーム案（計算値）

寸　法 (mm)	曲げ剛性 EI (t･m²)	極限曲げモーメント Mo (t･m)	単位重量 (kg/m)	備　考
□－250×250×9	1,699	19.0	66.5	
2□－250×250×6	2,382	15.2	90.4	2本当たり

2)　支柱

支柱の基本設計値は「3.2.4」の検討結果から平均支持力2.5ｔ，バネ常数60ｔ/ｍである。形状は，鋼管，角形鋼管，H形鋼の3種類が考えられたが，ビームに対する外観上のつり合いと，ビームと支柱の取付け易さの点から角形鋼管を使用することにした。

支柱の断面形状はガードレールに用いたφ139.8×4.5の鋼管と同等の断面性能を有する表－3･5･9の2種類の角形鋼管を選定し，支柱実験により強度を確認することとした。

表－3･5･9　閉断面ビームの支柱案

寸　法 (mm)	単位重量 (kg/m)	断面二次モーメント (cm⁴)	断面係数 (cm³)	埋込み深さ (mm)
□－125×125×4.5	16.6	506	80.9	1,650
□－150×150×4.5	20.1	896	120.0	
φ139.8×4.5	15.0	438	62.7	

3)　ビーム継手

閉断面ビームの継手構造は一般にスリーブを用いた外挿式と内挿式があるが，ここでは車両の誘導性を考慮して，衝突面に突起物のない内挿式とした。

スリーブには十分に曲げ応力を伝達する強度が要求される。スリーブの設計条件は「防護柵設置要綱・資料集」[10]に従い，スリーブの極限曲げモーメントがビームの極限曲げモーメントの75％以上，スリーブ長さはビーム幅の2倍以上かつ30cm以上とした。

また，スリーブの形状は，図－3･5･12に示すように一体型と分割型がある。ここではこの2形状について設計を行い，載荷実験によって強度を確認することとした。



一体型　　分割型

図－3･5･12　スリーブの形状

ビームとスリーブの極限曲げモーメント（Mo）は次式により求められる。

$$Mo = \alpha \cdot \sigma y \cdot f \cdot Z$$

ただし　α　：計算値と実験値の補正係数

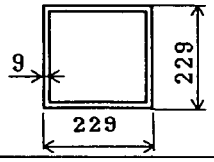
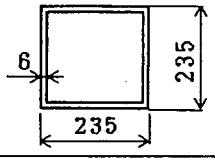
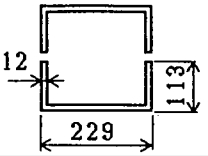
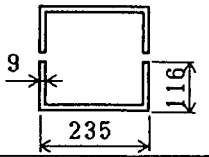
σy　：JISによる降伏点

f　：形状係数

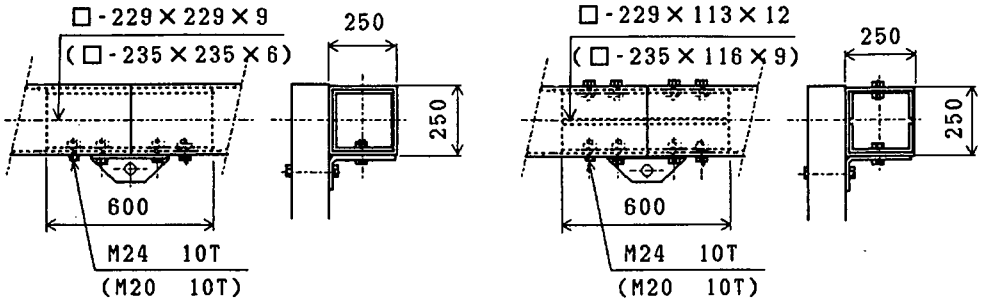
Z　：断面係数

α，σy，fはビーム，スリーブとも同じと考えればスリーブの断面係数はビームの75％以上あれば良い。検討結果を表－3･5･10に示す。

表－3･5･10　スリーブ断面の計算結果

項　　目		仕　　様	
ビーム寸法　　(mm)		□－250×250×9	□－250×250×6
ビームの断面係数（cm³）		647	454
スリーブの必要断面係数（cm³）		485(＝0.75×647)	340(＝0.75×454)
一体型の設計例	形　状		
	断面係数（cm³）	559	409
分割型の設計例	形　状		
	断面係数（cm³）	708	585

図－3･5･13に検討の結果得られた継手部の形状寸法を示す。



（　）内は□－250×250×6用の寸法を示す。

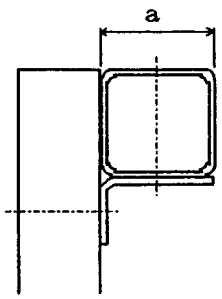
図－3･5･13　継手部の形状寸法案

4)　ブラケット

高強度型防護柵のブロックアウト量は「3.4」で250mmを選定した。この項では閉断面ビームとして250×250の角形鋼管を選定したため，支柱の前面にビームを取付けるだけで必要なブロックアウト量を確保す

ることができる。従って，ブラケットはガードレール・ガードケーブルのように支柱前面から張り出した構造にする必要がないため，図－3･5･14に示すようなビームを下から支持する形状のものとした。

選定したビームの単位重量は□－250×250×6が45.2kg/m，□－250×250×9が66.5kg/mである。ブラケットは図－3･5･14に示すような形状とすれば，必要とする断面係数（Z）はつぎのようになる。



図－3･5･14　ブラケット概略図

$$Z = W \cdot L \cdot a / 2\sigma$$
$$= (66.5 \times 1.5) \times 25 / (2{,}400 \times 2)$$
$$= 0.520\,cm^3$$

ただし　W　：ビームの単位重量　66.5kg/m

L　：支柱間隔　1.5m

a　：ビーム幅　250mm

σ　：材料の許容応力度　2,400kg/cm²（SS41）

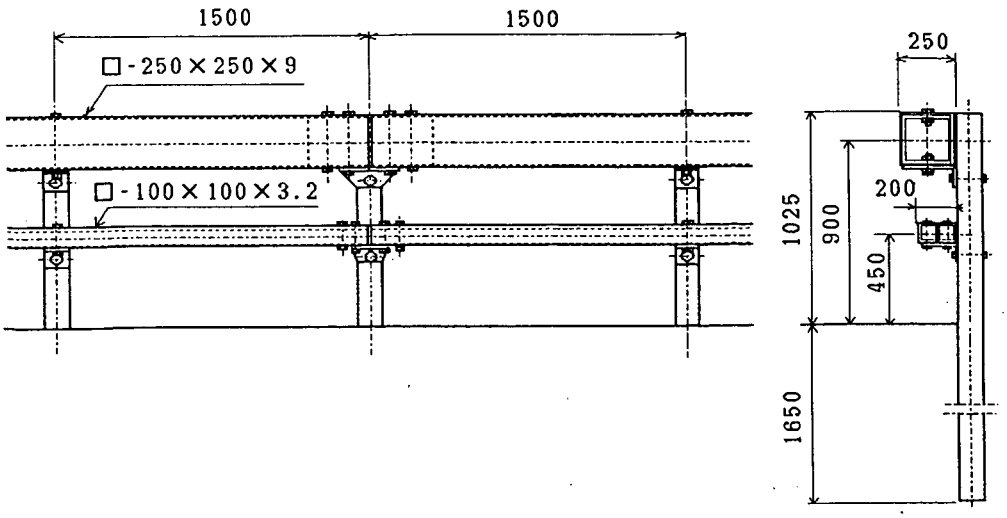
ブラケットの詳細形状については，支柱仕様の決定後に上記断面係数を満足する形状を選定することとした。

5）閉断面ビームの構造

閉断面ビーム系防護柵ではビーム材として□－250×250×6が2本の構造，□－250×250×9が1本の構造の2案を選定した。「3.3.2」で設定した設置高さは上部反力点高さが1,000mm前後，ビーム下端高さが450mm前後である。□－250×250×6を2本使用する場合には，この条件を十分満足することができる。

しかし，ビームに□－250×250×9を1本とする構造では，上部反力点高さとビーム下端高さの両方を満足させることは250mmのビーム幅では無理である。従って，□－250×250×9のビームは上部反力点用としてビーム中心高さ900mmの位置に配置し，ビーム下端高さを確保するための補助ビームとして□－100×100×3.2（断面二次モーメントがガードレールA種ビーム相当）をビーム中心高さ450mmの位置に配置することで高さの設定条件を満足する構造とした。下段の□－100×100×3.2のビームのブロックアウト量は，上段ビームのブロックアウト量や上段ビームと小型車の高さ関係等を考慮して200mmとした。

衝突実験に用いる構造は後述する部材実験によって決定することとした。□－250×250×9を使用した場合の構造を図－3･5･15に示す。



図－3･5･15　閉断面ビームの構造

4　構成部材の力学特性に関する実験

4.1 概　　要

前章の構造案の検討において提案された構成部材の中には，既に現行防護柵に使用されている標準部材と，新たに高強度型防護柵用に設計された部材が含まれている。

標準部材の力学特性等については，過去の研究開発において確認されているので，本章では，新たに設計した構成部材を対象に力学特性の確認を行った。

4.2 実験項目

実験を実施した部材名と実験項目を表－4･2･1 に示す。

表－4･2･1　実験項目

部材名	実験項目	載荷荷重		実験場所
		種類	方向	
支柱	衝突実験場の置換地盤での平均支持力（*PW*）とバネ常数（*PK*）の確認	静	水平引張	衝突実験施設
ビーム	新断面案の曲げ剛性と極限曲げモーメントの確認	静	曲げ	材料構造共同実験棟
ビーム継手	ビーム間のボルト継手による継手効率の確認	静	引張 曲げ	材料構造共同実験棟
ブラケット	支柱取付け時の水平方向圧縮強度の確認	静	圧縮	材料構造共同実験棟

4.3 支柱に関する実験

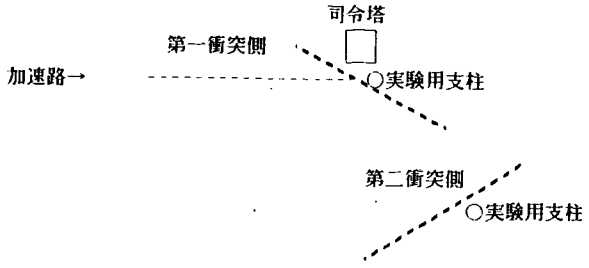
地盤条件は防護柵強度に大きな影響を与える。そこで，路肩部における土中建込み支柱の平均支持力を推定するために，土木研究所内において実験法面を造成し，第２編で報告する支柱支持力実験を実施した。実験の結果，路肩における平均支持力は支柱を補強した場合も含め，2.5ｔ程度までは期待できるという結果を得た。従って，衝突実験場の平均支持力も 2.5ｔを目標とし，その強度が発揮できるよう地盤調整を行うこととした。

この実験は衝突実験の実施にあたり，あらかじめ実験場の供試体施工地盤の平均支持力を調査し，設計条件を満足できる地盤強度であることを確認するものである。

また，表－4･3･1 の２種類の角形支柱については，閉断面ビーム防護柵の支柱としての適性を見極めるために支持力比較を行った。

4.3.1 実験場所

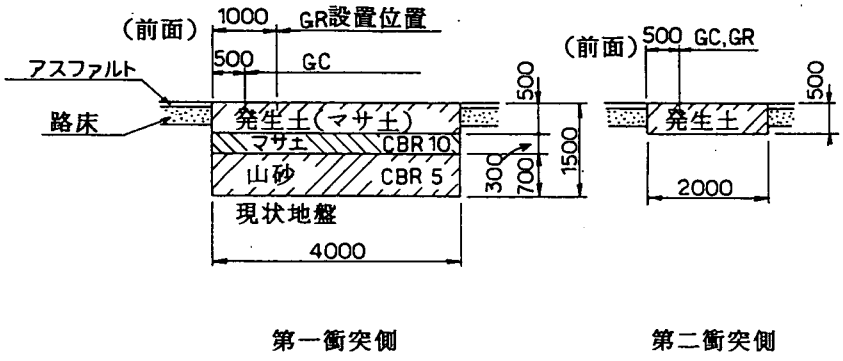
設置場所の概略を右図に示す。



4.3.2 設置地盤の条件と供試体

衝突実験では供試体を第一衝突側と第二衝突側との2ヶ所に施工するので，支柱支持力実験もそれぞれ2ヶ所で実施することとした。第一衝突側地盤は一部舗装路盤の掘削も必要なことや過去の衝突実験による地盤の乱れが予測されることから，平均した地盤支持力を得るために土の置換を行うこととした。また，第一衝突側地盤は土を置換する際の参考資料を得るために，現状地盤での支持力調査も実施した。第二衝突側の地盤は使用頻度も少なく地盤の乱れはないことから，載荷実験の結果が設計支持力と同程度となった場合には乱れた表層土のみを置換することとした。

図－4·3·1に土を置換した第一衝突側，第二衝突側の設置地盤条件を示し，供試体と設置地盤を表－4·3·1に示す。



図－4·3·1 実験場地盤の断面

表－4·3·1 供試体と設置地盤

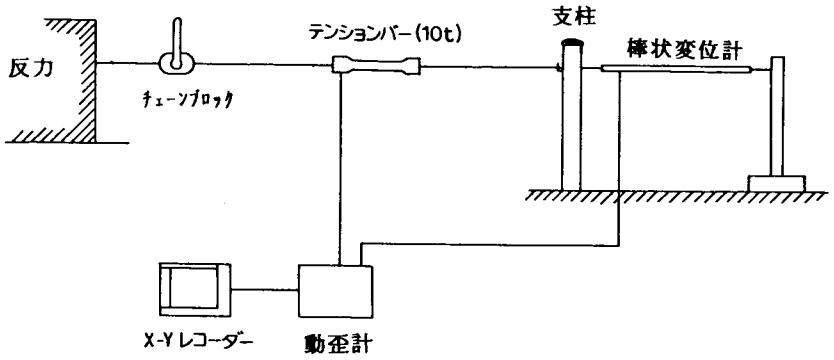
供試体	地盤	支柱寸法(mm) 径 ×板厚×埋込み深さ	＊載荷高さ(mm)	供試体数(本)	実験場所
S1,S2	現状地盤	139.8 × 4.5× 1,650	600	2	第一衝突
S3	現状地盤	139.8 × 4.5× 1,650	770	1	第二衝突
S4	現状地盤	139.8 × 4.5× 1,650	700	1	第二衝突
S5,S6	置換地盤	139.8 × 4.5× 1,650	770	2	第一衝突
S7,S8	置換地盤	139.8 × 4.5× 1,650	770	1	第一衝突
k9,k10	置換地盤	□-125× 4.5× 1,650	800	2	第一衝突
k11,k12	置換地盤	□-150× 4.5× 1,650	800	2	第一衝突

＊支柱の載荷高さについて

載荷高さは防護柵の中心高さとしたが、載荷実験を実施した時期は柵高がまだ決定されていなかったので，供試体S1とS2については現行A種のビーム中心高さ，他の支柱については開発する防護柵の中心高さを想定し，表－4·3·1に示すような値で実験を行った。

4.3.3 実験方法

載荷方法は実験場の既存のコンクリート壁または重機を反力に，チェーンブロック等を使用した静的載荷とし，水平荷重の検出はテンションバーによった。水平変位量は載荷点につる巻型または棒状の変位計を取り付けて測定した。実験方法を図－4·3·2に示す。



図－4·3·2　支柱載荷実験方法

表－4·3·2　実験使用機器

載　荷	チェーンブロック
反　力	コンクリート壁，重機
荷重測定	テンションバー（10ｔ）
変位測定	つる巻型，棒状変位計
記　録	動歪計，ＸＹレコーダー



写真－4·3·1　支柱の載荷実験状況

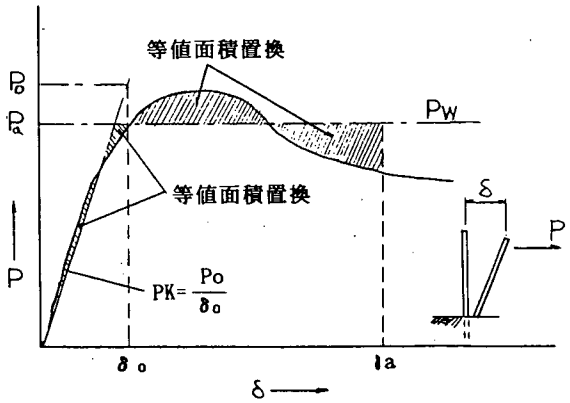
4.3.4 実験結果と考察

力学特性の解析は次の方法で行った。図－4·3·3に支柱平均支持力（PW），支柱のバネ常数（PK）の解析例を示す。

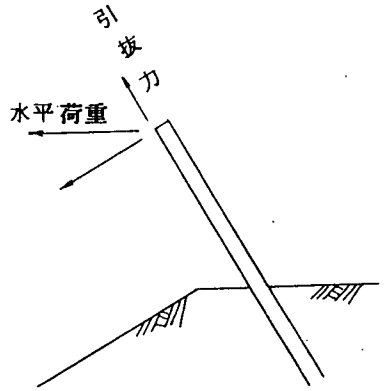
PW …　変位量（δa）を設定し，図に示すような等値面積置換法を用いて，荷重変位曲線を2直線型にモデル化することにより求めた。

PK …　荷重変位曲線の初期弾性域から決定した。

また，支柱に水平載荷を行うと図－4·3·4に示すような状況となり，変位が進行するにつれて引抜き力が大きくなることが知られているので，過去の実験結果[11]を参考に支柱の変位量を60cmに設定して平均支持力を求めた。



図－4·3·3　支柱常数の求め方

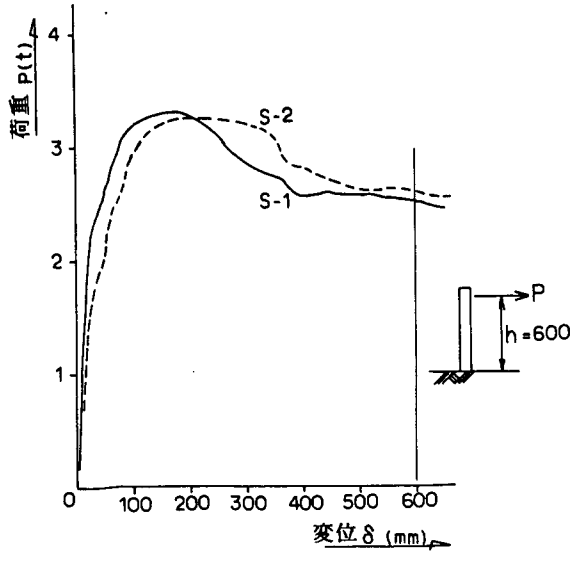


図－4·3·4　引抜き力の発生

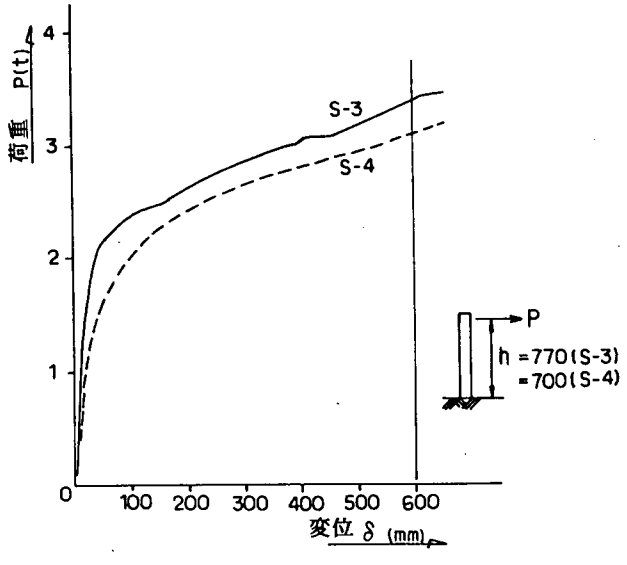
1)　現状地盤

実験結果の荷重変位曲線を図－4·3·5，6に，解析結果を表－4·3·3に示す。表－4·3·3の第一衝突側地盤における実験結果の平均値を求めると，最大支持力3.28 t，平均支持力2.88 t，バネ常数56t/mの結果が得られた。設計目標値と比較すると平均支持力で約15％増，バネ常数ではほぼ同程度となり，充分満足する結果を得たので，実験地盤の調整は現状地盤程度を想定して行うこととした。

第二衝突側については，実験結果の平均値は最大支持力3.2t，平均支持力2.7 t，バネ常数56t/mが得られ，現状地盤において設計値とほぼ同程度の支持力を有することが確認できたので，土の置換は図－4·3·1に示すように乱れた表層土のみを取り除き，良質な土で埋戻し整地することとした。



図－4·3·5　支柱の荷重変位曲線



図－4·3·6　支柱の荷重変位曲線

2)　置換地盤

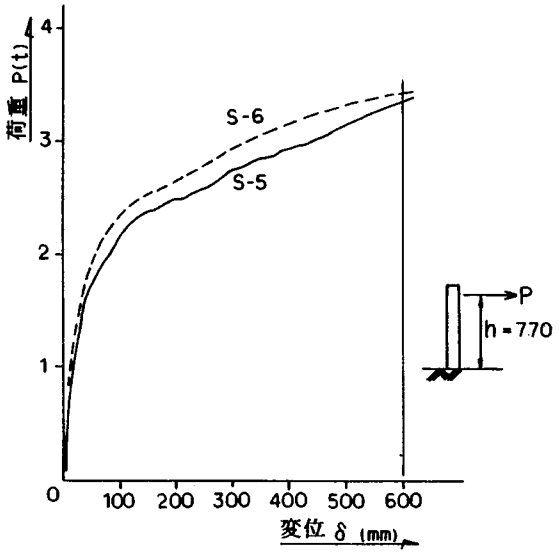
実験結果は多少のバラツキが認められるものの，最大支持力の平均値は3.18 t，平均支持力の場合2.58 tが得られた。またバネ常数については目標値の60t/mより低い結果となったが，静的載荷のバネ常数は動的

表－4·3·3　支柱載荷実験結果

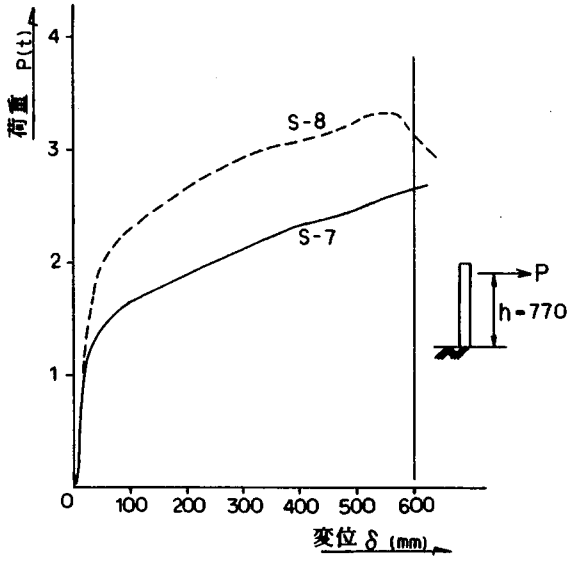
供試体		支柱寸法（mm） 径×板厚×埋込み深さ	載荷高さ（mm）	最大支持力（t） Pm	平均支持力（t） PW	バネ常数（t/m） PK	折曲り深さ（mm）	実験場所
現状地盤	S 1	139.8 ×4.5 ×1,650	600	3.30	2.90	65	580	第一
	S 2	139.8 ×4.5 ×1,650	600	3.25	2.85	47	620	〃
	S 3	139.8 ×4.5 ×1,650	770	3.35	2.80	62	なし	第二
	S 4	139.8 ×4.5 ×1,650	700	3.10	2.60	50	なし	〃
置換地盤	S 5	139.8 ×4.5 ×1,650	770	3.35	2.70	48	550	第一
	S 6	139.8 ×4.5 ×1,650	770	3.45	2.80	51	550	〃
	S 7	139.8 ×4.5 ×1,650	770	2.65	2.05	45	なし	〃
	S 8	139.8 ×4.5 ×1,650	770	3.30	2.80	55	なし	〃
	k 9	□-125×4.5 ×1,650	800	3.55	3.00	38	なし	第一
	k10	□-125×4.5 ×1,650	800	3.20	2.66	36	550	〃
	k11	□-150×4.5 ×1,650	800	2.95	2.40	53	なし	〃
	k12	□-150×4.5 ×1,650	800	3.30	2.70	64	なし	〃

載荷の値より小さいことが過去の実験結果[12]からも知られているので問題ないと考えた。

これらの結果，置換地盤は設計目標値を満足できると考えられたので衝突実験用地盤として採用した。実験から得られた荷重変位曲線を図－4·3·7，8に，実験結果の一覧を表－4·3·3にそれぞれ示す。



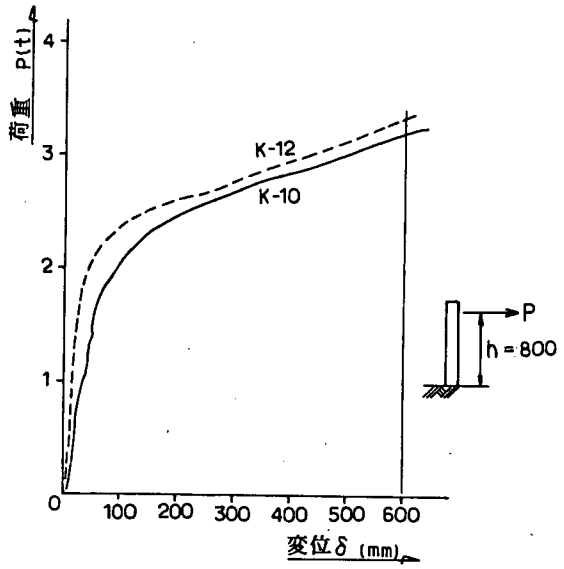
図－4·3·7　支柱の荷重変位曲線



図－4·3·8　支柱の荷重変位曲線

3)　閉断面ビーム用支柱の選定

表－4·3·3と図－4·3·9から，支柱断面の違いによる支持力の差は認められず同程度の平均支持力が得られた。バネ常数については供試体ｋ９，ｋ10が平均で37t/mと目標値に対して約38％低くなり，ｋ11，ｋ12は平均値が59t/mで目標値と同程度の結果となった。従って，支柱断面の違いによって平均支持力に差がないことから□－125×125×4.5を採用した。



図－4·3·9　支柱の荷重変位曲線

4.4　ビームに関する実験

4.4.1　ガードレール新断面ビームの曲げ実験

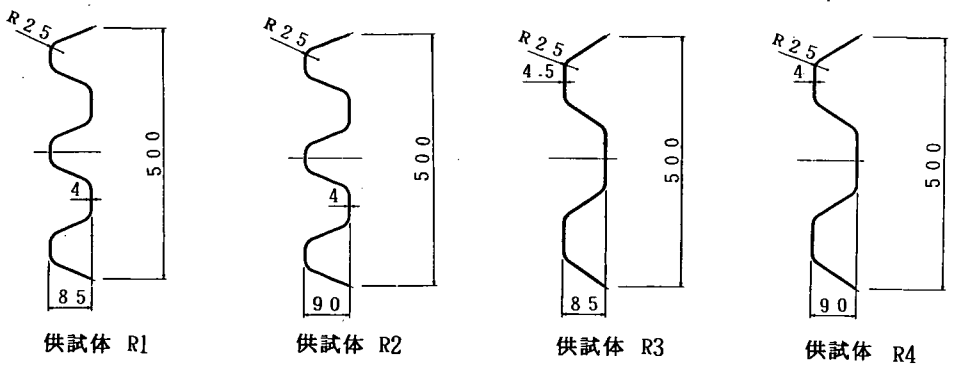
新断面ビームは「3　構造案の検討」において曲げ剛性（EI）を52t·m²以上，断面二次モーメント（Iy）を248cm⁴以上，張力55 t以上の条件から4種類のビーム形状案が得られた。この形状案について静的載荷による力学特性確認のための曲げ実験を行い，衝突実験用ビームを選択した。

1）供試体

新断面ビーム案の諸元を表－4·4·1に，その断面形状を図－4·4·1示す。

表－4·4·1　新断面ビーム案の諸元

供試体	山数	断面寸法（mm） 幅 ×深さ×板厚	材質	断面積 (cm²)	断面二次モーメント I (cm⁴)	断面係数 Z (cm³)	単位重量 W(kg/m)
R 1	3	500 × 85 × 4.0	SS41	31.2	272	64.0	24.5
R 2	3	500 × 90 × 4.0	SS41	32.3	312	69.3	25.4
R 3	2	500 × 85 × 4.5	SS41	29.6	284	63.6	23.2
R 4	2	500 × 90 × 4.0	SS50	27.0	292	61.8	21.2



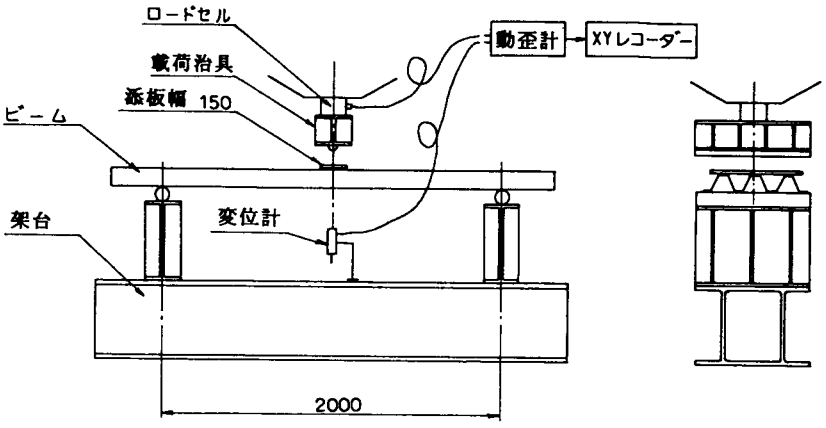
図－4·4·1　新断面ビーム案の形状

2) 実験方法

図－4･4･2に示す載荷方法によりビームの曲げ実験を行い，曲げ剛性（*EI*）と極限曲げモーメント（*Mo*）を求めた。実験は最大荷重に至った後，たわみ量が200mmを超えるか，または載荷不能となるまで継続して行った。また，今までの実験結果[12]によると供試体の支持間隔の違いによる力学特性への影響はほとんど認められないので，今回の実験は支持間隔２ｍとして行った。

表－4･4･2　実験使用機器

項　目	使　用　機　器
荷重載荷	200ｔ油圧万能試験機
荷重測定	ロードセル
変位測定	変位計，スケール
記　　録	ＸＹレコーダー，写真



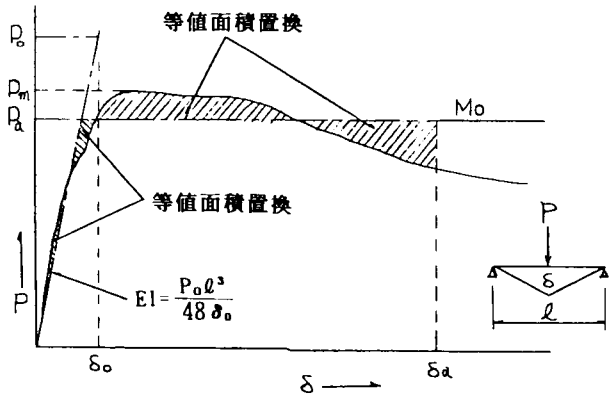
図－4･4･2　載荷および計測方法

3) 実験結果と考察

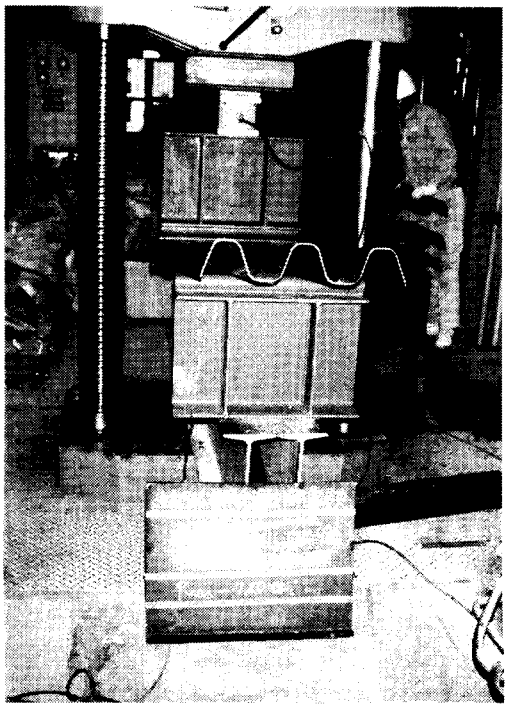
実験結果の解析は次の方法で行った。

曲げ剛性（*EI*）……荷重変位曲線の初期弾性域から求めた。

極限曲げモーメント（*Mo*）……変位量（δa）を設定し図－4･4･3に示すような等値面積置換法を用い，荷重変位曲線を２直線にモデル化して求めた。



図－4･4･3　*EI*，*Mo* の解析

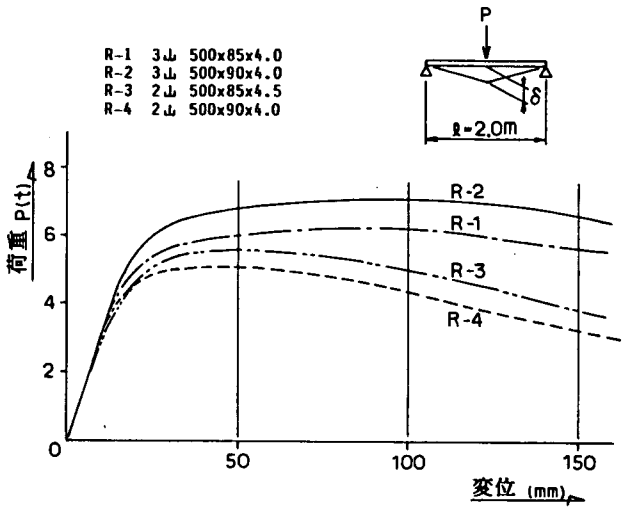


写真－4･4･1　新断面ビーム曲げ実験状況

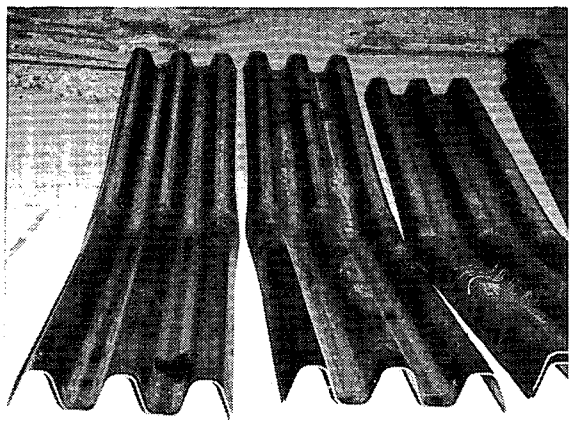
表－4·4·3　新断面ビーム案の力学特性

供試体	実験値					計算値	断面効率比
	最大値		EI	Mo (t·m²)		EI(t·m²)	(δ=150mm)
	Pm(t)	Mm(t·m)	(t·m²)	＊δ=100mm	＊δ=150mm		Mo/Mm
R 1	6.30	3.15	51.68	2.99	3.01	57.12	0.956
R 2	7.14	3.57	57.31	3.40	3.43	65.52	0.961
R 3	5.57	2.79	49.65	2.64	2.55	59.64	0.914
R 4	5.08	2.54	54.45	2.39	2.27	61.32	0.894

＊δ：設定変位量



図－4·4·4　ビームの荷重変位曲線



写真－4·4·2　新断面ビームの変形状況

図－4·4·4の弾性域での荷重変位曲線は4タイプとも近似しているが，塑性域と考えられる荷重3ｔ以上の荷重変位曲線には板厚や形状の違いにより差が現れた。2山断面の場合，変位量50mm程度で最大荷重が発生し，それ以後荷重変位曲線は徐々に下降する傾向を示した。3山断面の場合は2山断面に比べて大きい変位で最大荷重が発生しており，表－4·4·3に断面効率比（Mo/Mm）として示したように塑性域での荷重低下は少ない結果が得られた。

以上のことから，3山断面の供試体Ｒ１，Ｒ２が塑性域における荷重低下も少なく，EIが設計値に対しても満足する結果となり，力学特性，経済性，施工性等を総合的に判断して単位重量の比較的軽い供試体Ｒ１を衝突実験用ビームとして採用した。

4.4.2　閉断面ビームの曲げ実験

構造案で選定された閉断面ビームのEI，Moについて確認を行い，衝突実験用ビームを選択した。

1)　供試体

閉断面ビームとして提案した2種類の供試体を表－4·4·4に示す。

2)　実験方法

実験方法は前項のガードレールと同様とした。

表－4·4·4　閉断面ビーム（案）の断面性能表

供試体	断面寸法（mm） 幅　×高さ×板厚	材質	断面積 (cm^2)	断面二次モーメント I (cm^4)	断面係数 Z (cm^3)	単位重量 W(kg/m)
B1, B2	□-250× 250× 6.0	STKR41	57.6	5,670	454	45.2
B3, B4	□-250× 250× 9.0	STKR41	84.7	8,090	647	66.5

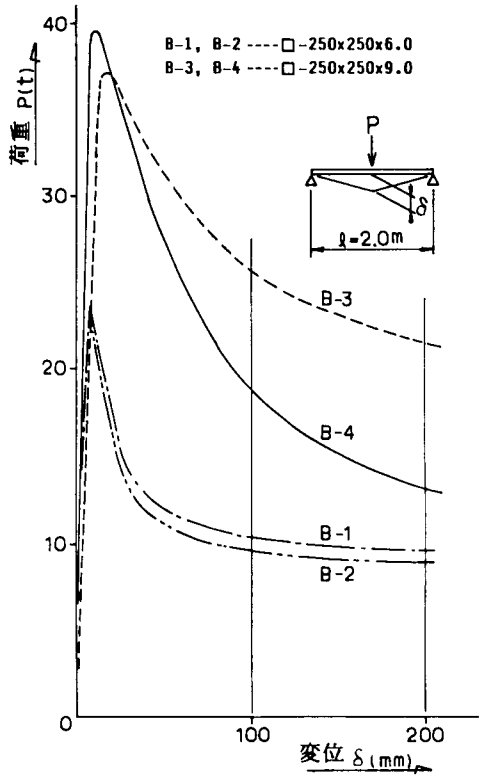
3)　実験結果と考察

載荷実験で得られた各案の荷重変位曲線を図－4·4·5に，力学特性を表－4·4·5にそれぞれ示す。供試体Ｂ１，Ｂ２の曲げ剛性（EI），および極限曲げモーメント（Mo）の実験値は計算値を大幅に下回った。これはビーム板厚が６mmと薄かったことから，早期に局部座屈が発生して急激な荷重低下が生じたためと考えられる。

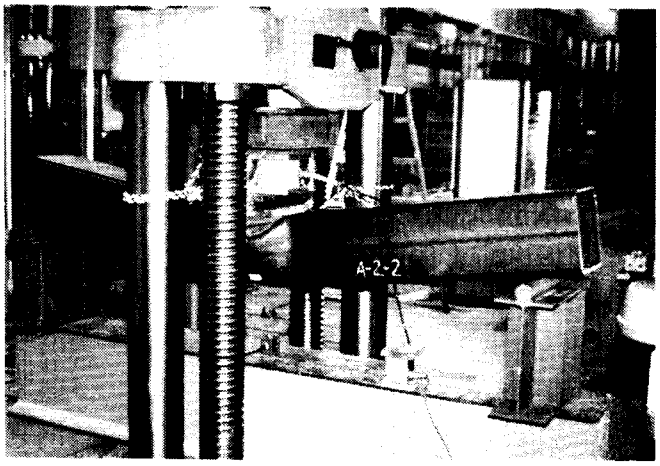
表－4·4·5　閉断面ビーム（案）の力学特性

供試体	実験値					計算値	
	最大値 Pm(t)	EI (t·m²)	Mo (t·m)			EI (t·m²)	Mo (t·m)
			＊δ=100mm	＊δ=150mm	＊δ=200mm		
Ｂ１	23.9	854	7.1	6.5	5.7	1,191	15.2
Ｂ２	23.7	877	6.9	6.4	5.5	1,191	15.2
Ｂ３	37.2	1,330	16.3	15.4	13.4	1,699	19.0
Ｂ４	39.5	1,390	15.3	14.0	10.8	1,699	19.0

＊δ：設定変位量



図－4·4·5　閉断面ビームの荷重変位曲線



写真－4·4·3　閉断面ビーム曲げ実験状況

供試体Ｂ３，Ｂ４の実験値は計算値に対しEIが約80％，Moが約75％であり，Ｂ１，Ｂ２に比べ比較的良好な結果が得られた。

以上のことから，設計目標値に近い結果が得られた□－250×250×9を衝突実験用閉断面ビームとして採用した。

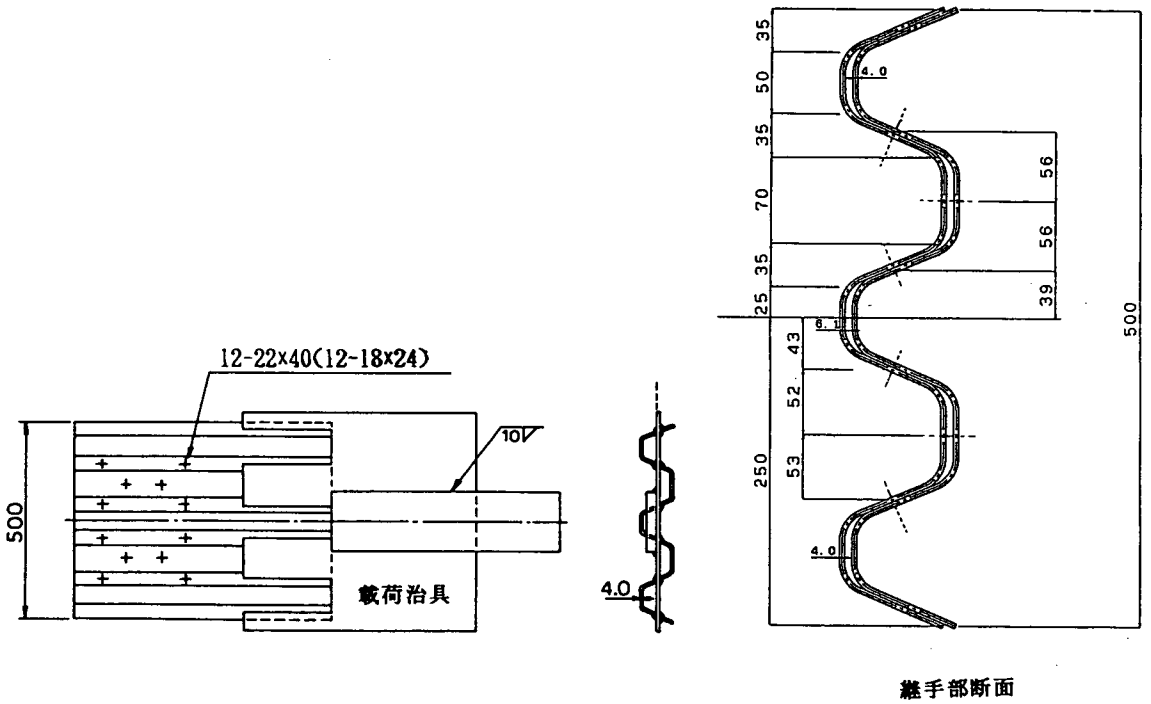
4.5 ビーム継手に関する実験

4.5.1 新断面ビームの継手引張り実験

「3.5」で提案したビームの有効断面（ボルト取付け穴を除く）から求めた引張り強度は65.8ｔとなる。現行防護柵の継手ボルトは，その全せん断抵抗力が継手部ビームの引張り強度以上となるように設計されている。高強度型防護柵においてもこの考えを踏襲し，ビーム引張り強度65.8ｔよりも接合ボルトの全せん断抵抗が上回るように設計し，これを実験で確認することとした。

1) 供試体

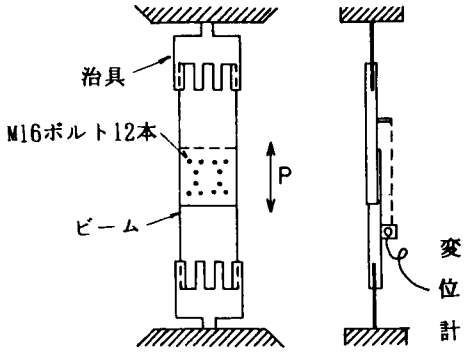
供試体は図－4･5･1に示すように，接合ビームの中立軸に合わせて鋼板製の載荷用治具を固定し，引張試験機で載荷した。ビーム接合には衝突実験用供試体と同様にボルトＭ16（６Ｔ）を12本使用し，締め付けトルクは1,000kg･cmで管理した。



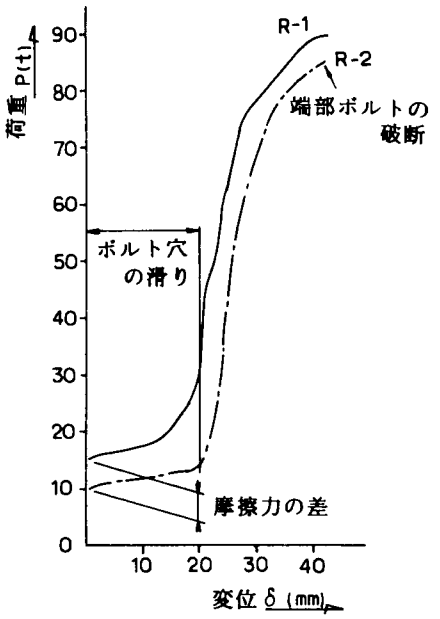
図－4･5･1 新断面ビームの継手

2) 実験方法

実験は図－4･5･2に示す方法で実施し，載荷荷重と変位量の測定を行った。載荷はボルトのせん断破壊強度83.8ｔ以上まで行い，破壊の徴候が現れた時点で中止した。



図－4･5･2　継手部載荷方法

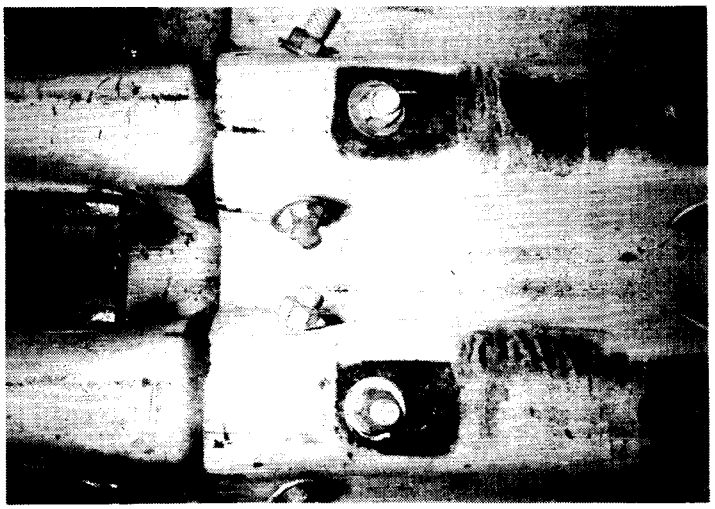


図－4･5･3　継手部の荷重変位曲線

3)　実験結果と考察

図－4･5･3に示すように継手部の滑りは供試体Ｒ１では約15ｔ，Ｒ２では約10ｔから始まった。この滑り開始荷重の違いはビーム断面の形状寸法のバラツキによって摩擦力に差が生じたためと考えられる。Ｒ１は，80ｔを超えると支圧部やボルトが変形し，荷重上昇に比べ変位量が大きくなり始めたので89.3ｔで載荷を中止した。Ｒ２は外側端部の接合ボルト１本が約85ｔで破壊した。これは，ボルト穴位置のバラツキにより，局部的にせん断力が集中したためと考えられる。載荷後の継手部の変形状況を写真－4･5･1に示す。

以上の結果から，接合部の滑りや支圧部の変形が多少認められるものの，表－4･5･1に示す目標値の約83.5ｔまではビームの亀裂やボルトの破断もなかったことから，新断面ビーム継手として満足できると判断した。



写真－4･5･1　ビーム継手部の変形状況

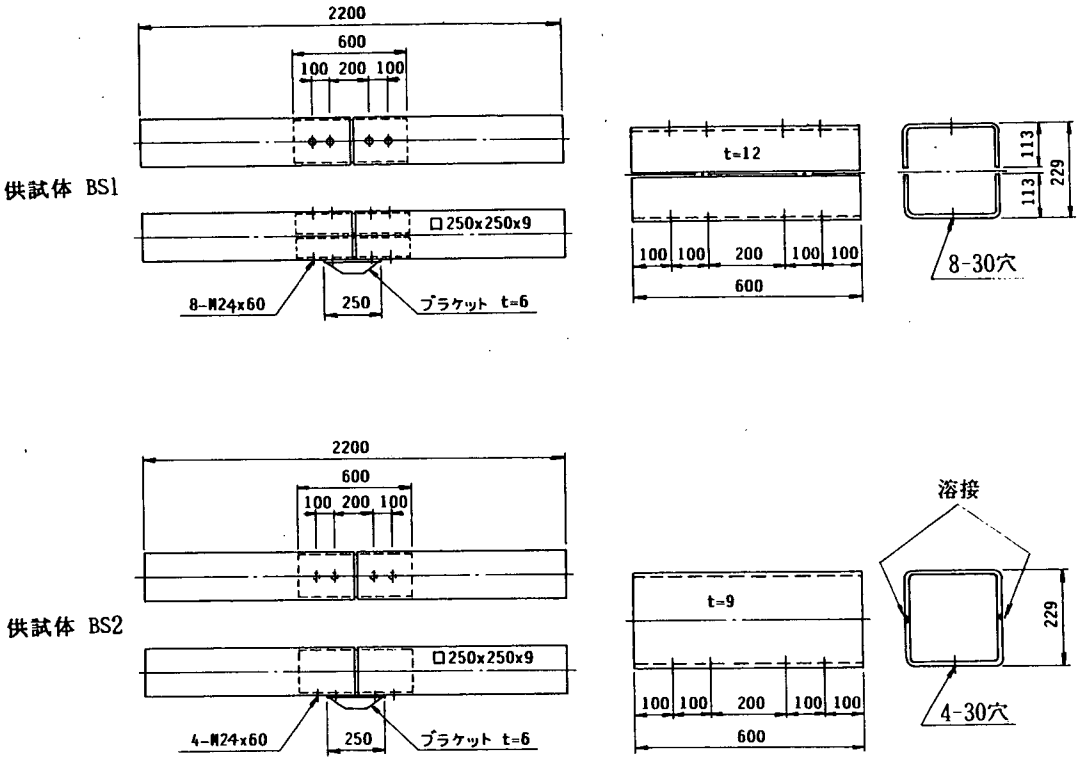
表－4･5･1　ビーム継手載荷実験結果

供試体	実験値		計算値	
	荷重(ｔ)	変位(mm)	ビーム強度(ｔ)	ボルトせん断力(t)
Ｒ１	89.3	43.2	65.8	6.96×12
Ｒ２	84.5	41.2		=83.5

4.5.2 閉断面ビームの継手曲げ実験

1) 供試体

実験に用いた供試体のスリーブは分割型と一体型の2種類とし，形状寸法を図－4·5·4に，断面諸元を表－4·5·2に示す。供試体BS 1はスリーブにナットを溶接して上下8本のボルトでビームに密着させる構造とし，供試体BS 2は4本のボルトでスリーブとビームを貫通させて固定した。なお，接合ボルトはM24（10 T）を使用した。継手部は図－4·5·4に示すように，支柱取付け用ブラケットも同じボルトで固定するので，実験も実際の継手構造に合わせてブラケットを取付けた状態で行った。



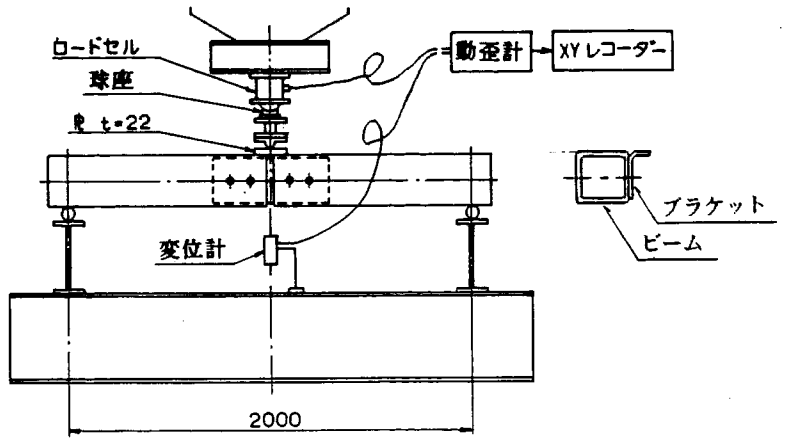
図－4·5·4 閉断面ビーム継手とスリーブ形状

表－4·5·2 スリーブの断面諸元

供試体	断面積 A (cm²)	断面二次モーメント I (cm⁴)	断面係数 Z (cm³)	備 考
BS1	99.5	7,620	664	分割型
BS2	76.8	6,093	532	一体型
B4	84.7	8,090	647	ビーム

2) 実験方法

実験は図－4·5·5に示すような方法で行い，荷重がビーム耐力（40 t）を超えるか，あるいは供試体が完全に降伏したと認められるまで載荷した。



図－4·5·5　閉断面ビーム継手部の載荷方法

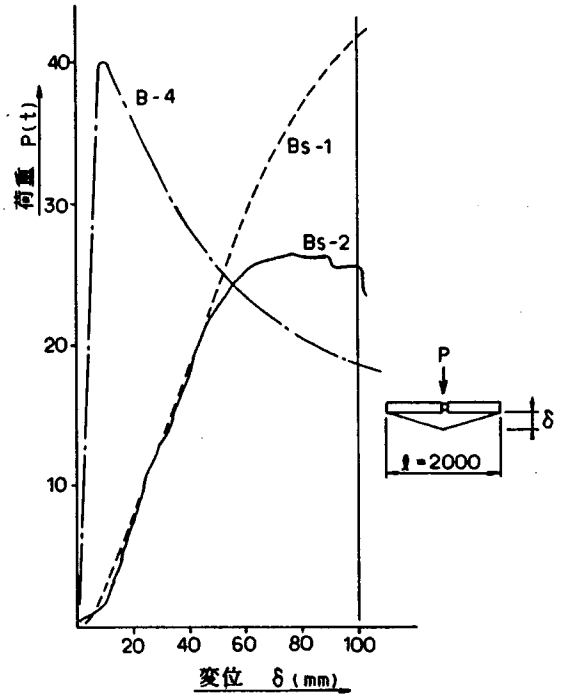
3)　実験結果と考察

ビーム継手およびビームの荷重変位曲線を図－4·5·6に示し，実験で得られた力学特性を表－4·5·3に示す。

表－4·5·3　実験結果の力学特性

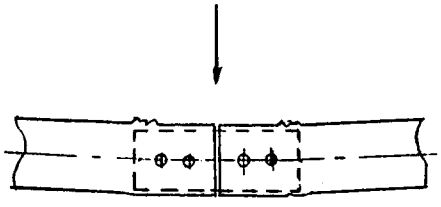
供試体	最大値 Pm（t）	Mo（t·m） ＊δ=100mm	備　考
BS1	42.4	19.6	分割型
BS2	26.4	12.6	一体型
B4	39.5	15.3	ビーム

＊δ：設定変位量

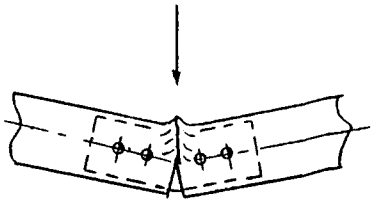


図－4·5·6　ビーム継手部の荷重変位曲線

図－4·5·6に示す継手部の荷重変位曲線はビームと比べて大きな差が現れた。これは継手部の極限曲げモーメントをビームの75％で設計していることやビームとスリーブの間に隙間があることなどが考えられる。特にBS 2はスリーブに局部座屈（図－4·5·8）が発生したため，最大荷重26.4 t，極限曲げモーメント12.6t·mと低い値になった。BS 1はビーム耐力以上となった約42 tで載荷を中止した。このとき，スリーブの座屈や変形は認められなかったが，スリーブの端部でビームに図－4·5·7に示すような変形が発生していた。また，急激な荷重低下も認められず，Moの値も19.6t·mとビームを上回る結果が得られた。



図－4·5·7　供試体BS 1座屈状況



図－4·5·8　供試体BS 2変形状況

以上の結果から，閉断面ビームにおける継手部の変位はビームよりも大きくなるが，継手位置を支柱部に設けることによりある程度小さくできると考えられるので，Pm と Mo の値がビームを上回った供試体BS 1を採用することとした。

4.6 ブラケットに関する実験

ブラケットは圧縮強度の目標値を5.0ｔとし，静的載荷実験で力学性能を確認した。また，ガードレール用ブラケットは上下端の突出部の効果，ガードケーブル用ブラケットはケーブル延長方向（ブラケット側面方向）強度などの確認も行った。

4.6.1 ガードレール用ブラケットの載荷実験

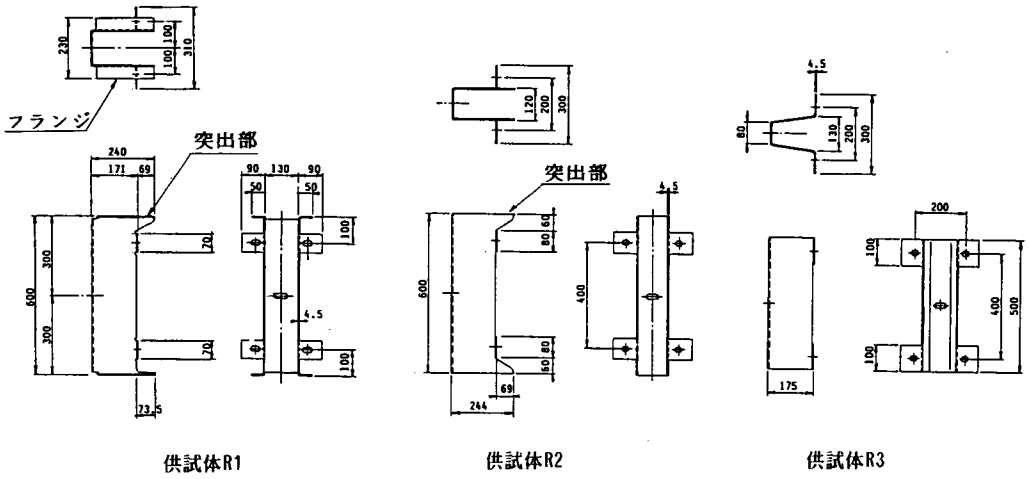
1) 供試体

図－4･6･1に示すA種ビーム２段用ブラケット３種類の構造案について実験し，新断面ビームのブラケットはこの結果を用いて設計した。なお，各供試体の特徴はつぎのとおりである。

供試体Ｒ１…ビームを支えるための突出部と座屈防止のための折り曲げフランジ付き

供試体Ｒ２…ビームを支えるための突出部付き

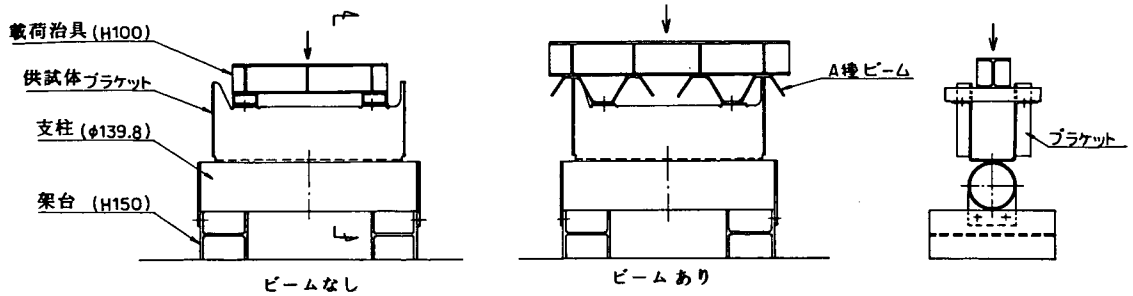
供試体Ｒ３…突出部，フランジ共になし



図－4･6･1　A種ビーム２段用ブラケット

2) 実験方法

載荷は図－4･6･2に示すような２種類の方法で行った。なお，各方法の目的は次のとおりである。



図－4･6･2　ブラケットの載荷方法

①ビームなし……ブラケット全体の圧縮強度を確認する。

②ビームあり……ビームを取付けた状態で突出部とフランジの効果を確認する。

3) 実験結果と考察

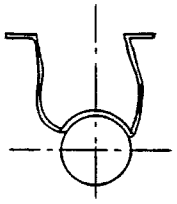
① 圧縮強度（ビームなし）

各供試体の圧縮強度は，表－4·6·1に示すように設計荷重5.0ｔに対して充分満足する結果が得られた。荷重が６ｔ以上になるとブラケットの支柱取付け部の変形が発生したが，図－4·6·3に示すように各タイプとも最大圧縮荷重の差はあまり認められなかった。なお，ブラケットの変形が進行するとフランジ立ち上がり部の座屈が発生し，最終的には図－4·6·4に示す状態となった。

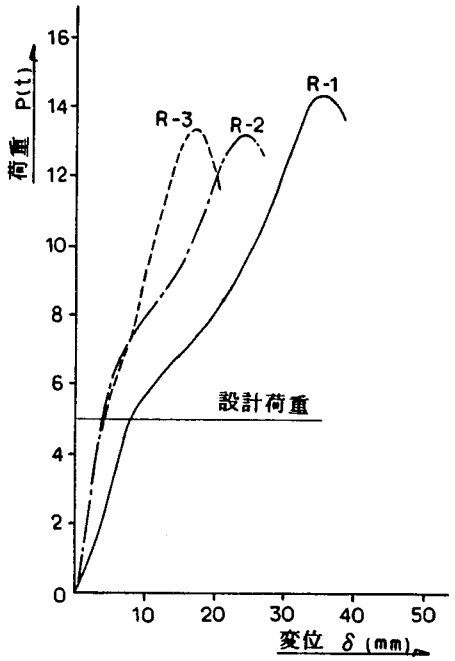
表－4·6·1 ブラケット載荷実験結果

供試体	ビームなし		ビームあり	
	Pm（t）	δ（mm）	Pm（t）	δ（mm）
R 1	14.5	36	21.8	45
R 2	13.2	25	14.1	39
R 3	13.5	18	15.9	56

Pm：最大荷重，δ：最大荷重時の変位



図－4·6·4 ブラケットの変形状態



図－4·6·3 ブラケットの荷重変位曲線

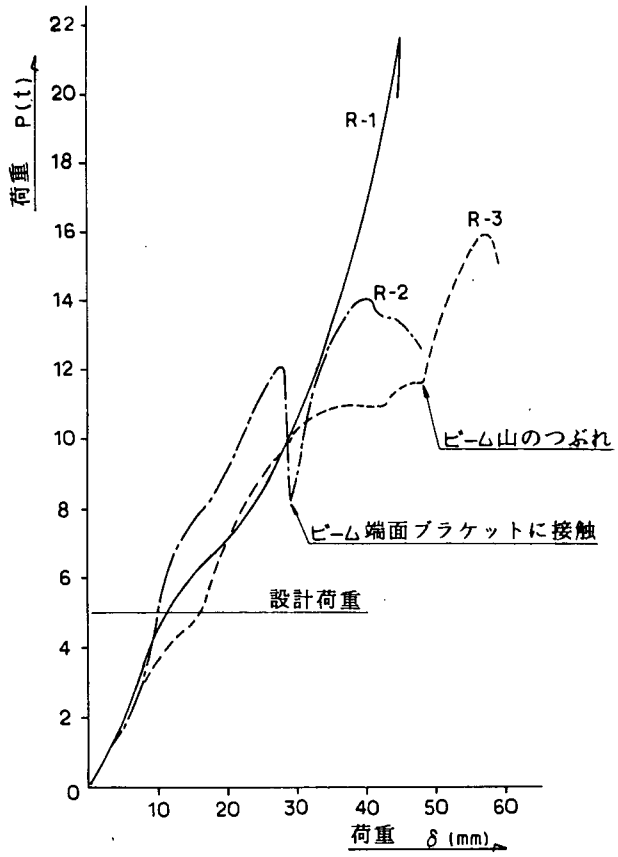
② 突出部とフランジの効果（ビームあり）

図－4·6·5に各供試体の荷重変位曲線を示す。突出部やフランジをつけないＲ３の最大荷重はビームなしの場合とほぼ同程度の値であった。また，突出部のみを付けたＲ２もＲ３とほぼ同程度の値にとどまり，突出部の効果は認められなかった。これは突出部が座屈してビームの変形を抑えることができなかったためと考えられる。一方，突出部とフランジを付けたＲ１は他の２タイプに対し1.5倍以上の最大荷重を示し，突出部とフランジによる顕著な効果が認められた。

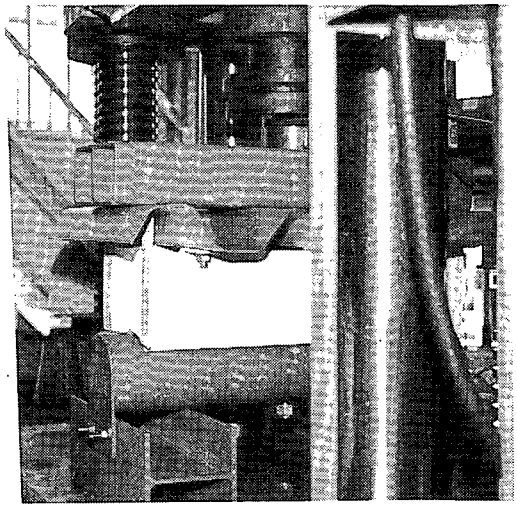
③ ブラケットの選定

ブラケットの圧縮強度は，いずれの場合も設計目標値5.0ｔを満足する結果であった。しかし，実際の車両衝突の場合は荷重の作用形態も異なり，ブラケットの変形はより複雑になることが予測される。

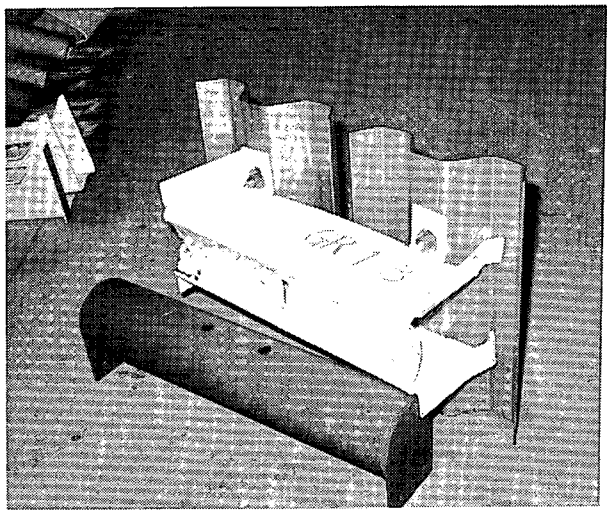
従って，衝突時のブラケットの変形を極力押さえてブロックアウト量を確保するために，フランジと突出部を設けて剛性を高めた構造の供試体Ｒ１を衝突実験用ブラケットとして採用することにした。



図－4·6·5　ビーム付きブラケット荷重変位曲線



写真－4·6·1　供試体Ｒ１のビーム付き実験状況



写真－4·6·2　供試体Ｒ１のビーム付き実験結果

4.6.2　ガードケーブル用ブラケットの載荷実験

1)　供試体

ガードケーブル用のブラケットは，上下分割型で上段にケーブル４本，下段に３本取付ける構造とした。実験は強度的に不利な下段ブラケットについて行った。４種類の供試体を図－4·6·6に示す。

各供試体の特徴

Ｃ１，Ｃ２…現行耐雪型ブラケットを基本構造とし，立上がり部へフランジを付けた構造

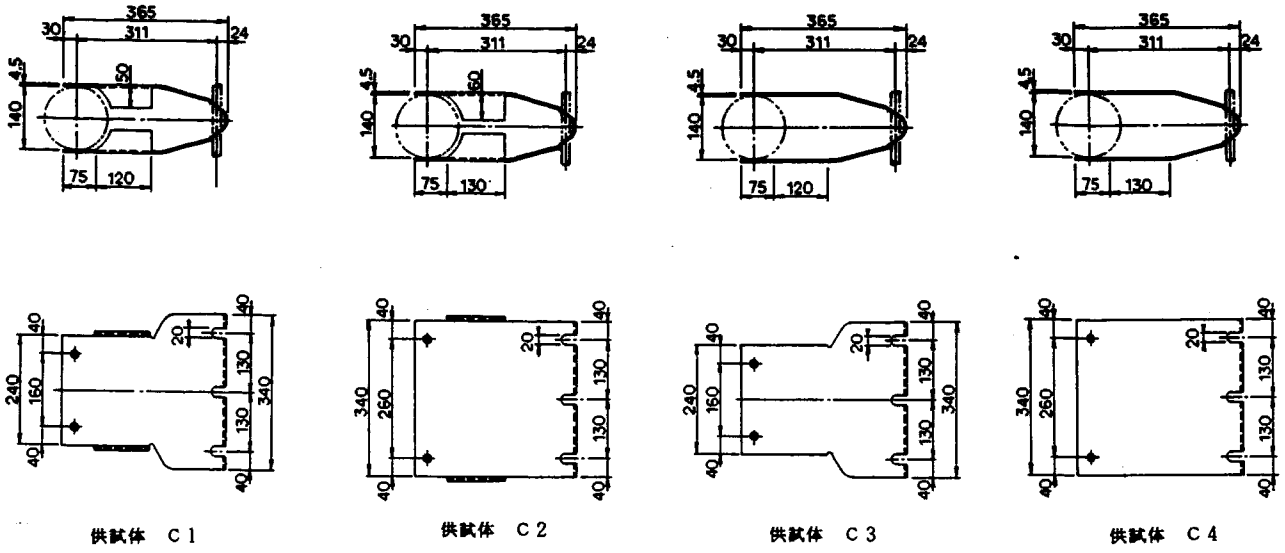
Ｃ３，Ｃ４…現行耐雪型ブラケットを基本構造とし，フランジのないもの

2)　実験方法

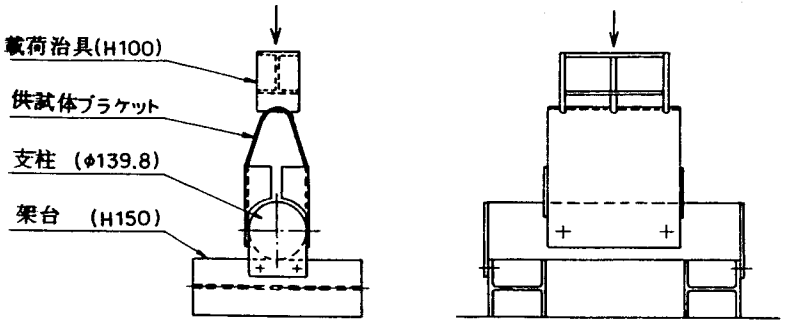
載荷は次に示す２方向について行った。

①　ブラケット圧縮方向（図－4·6·7）

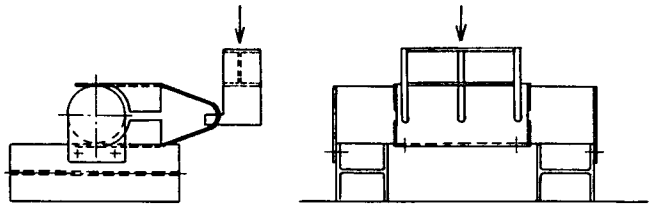
②　ケーブル延長方向（図－4·6·8）



図－4·6·6　ガードケーブル用ブラケット



図－4·6·7　ブラケット圧縮方向の載荷方法



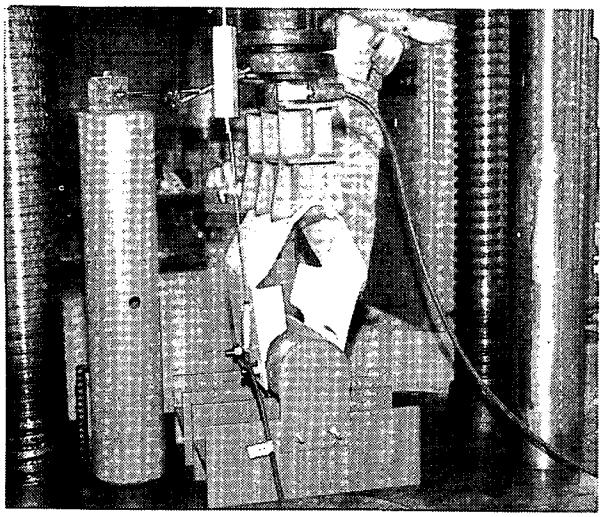
図－4·6·8　ケーブル延長方向の載荷方法

3)　実験結果と考察

①　ブラケット圧縮方向の強度

各供試体とも圧縮荷重が作用すると，図－4·6·9に示すように両側に開きながら座屈するため，供試体Ｃ1，Ｃ2のフランジの効果は認められず図－4·6·10に示すように同程度の圧縮強度となった。なお，表－4·6·2に示すように，いずれの供試体も目標値の5.0ｔ以上を満足する結果を得た。

供試体Ｃ1の圧縮方向実験状況を写真－4·6·3に示す。

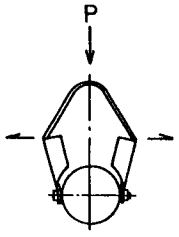


写真－4･6･3　供試体Ｃ１の圧縮方向実験状況

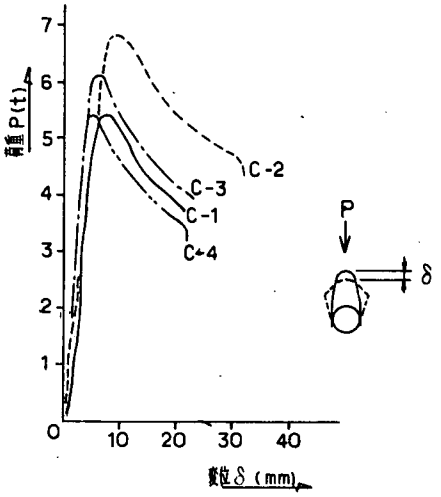
表－4･6･2　ブラケット載荷実験結果

供試体	圧縮方向		延長方向	
	Pm（t）	δ（mm）	*Pm*（t）	δ（mm）
Ｃ１	5.40	7	1.30	117
Ｃ２	6.82	9	1.65	115
Ｃ３	6.15	6	0.90	106
Ｃ４	5.30	5	1.00	112

Pm：最大荷重，δ：最大荷重時の変位量



図－4･6･9　ブラケットの変形状況

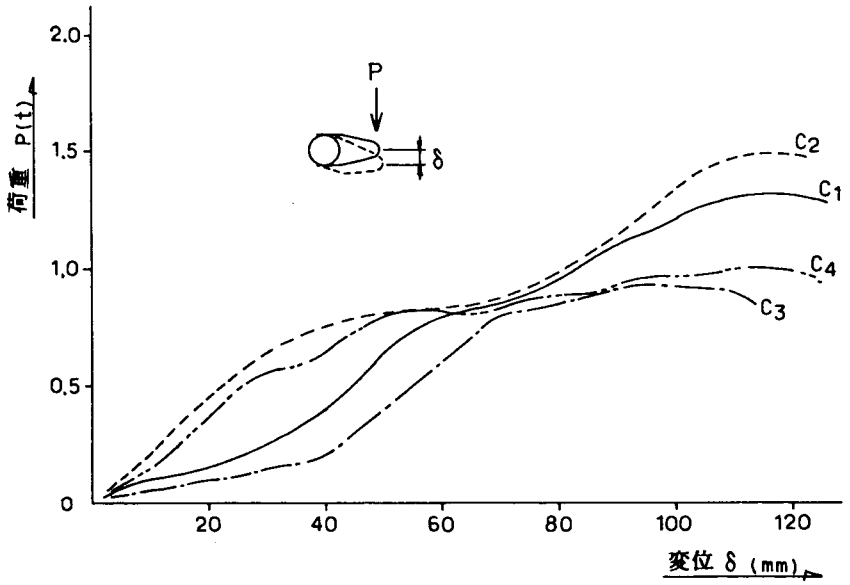


図－4･6･10　ブラケットの荷重変位曲線

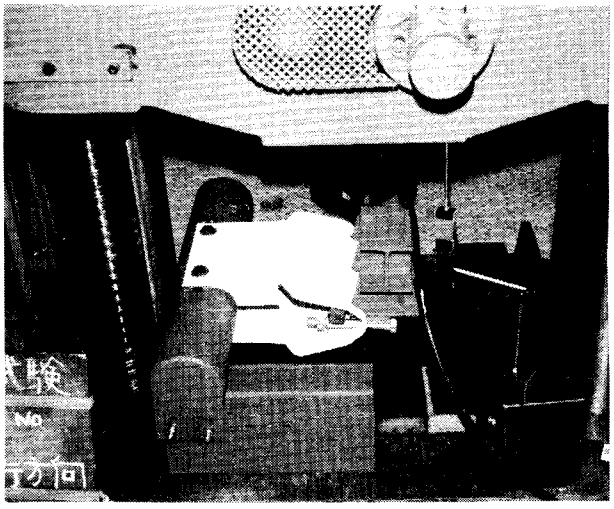
② ケーブル延長方向の強度

図－4･6･11において，変位量が小さい間は板幅の広いＣ２，Ｃ４の方がＣ１，Ｃ３に比べて大きな荷重を示しているが，変位量が大きくなるとフランジが支柱面に接して抵抗するためにフランジ付きのＣ１，Ｃ２が大きな荷重になっている。最大荷重としては表－4･6･2に示すようにＣ１が1.3ｔ，Ｃ２が1.65ｔとなるのに対し，Ｃ３，Ｃ４は0.9～1.0ｔであり，フランジを付けたことによる効果が現れている。

供試体Ｃ１のケーブル延長方向載荷実験の状況を写真－4･6･4に示す。



図－4･6･11　ブラケットの荷重変位曲線



写真－4･6･4　供試体Ｃ１の延長方向実験状況

③　ブラケットの選定

圧縮方向の強度は全て目標値を上回り優劣の差は認められなかった。ケーブル延長方向の強度についての目標値は1.0ｔ以上で，これを満足したＣ１，Ｃ２の供試体の内から経済性を考慮して，使用材料が少なく重量も軽い供試体Ｃ１を衝突実験用ブラケットとして採用した。

5　実車衝突実験

5.1　実験目的

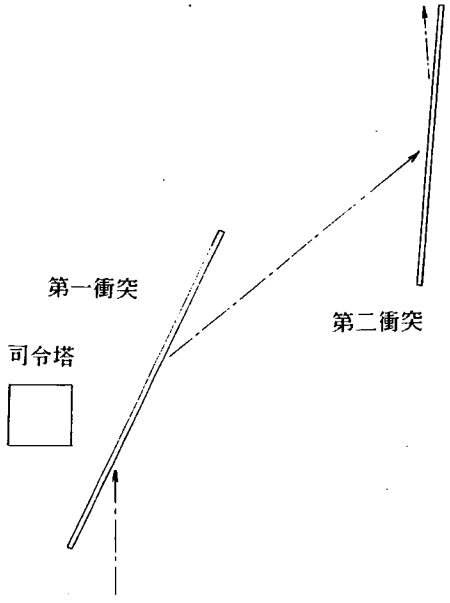
本実験は，前記各章で述べている一連の検討を経て得られた構造形式について，衝突実験から各防護柵の性能確認と防護柵や車両の挙動に関する実証的なデータの収集を目的とした。

5.2　実験内容

実験は衝突形態2種類（高速度衝突，急角度衝突），防護柵の構造形式4種類，車両の形式2種類（バス，乗用車）を組合わせて実施した。

5.2.1　高速度衝突と急角度衝突

実験は「1.1　設計条件の設定」で述べている衝突条件を想定し，高速度衝突と急角度衝突の2種類の衝突形態について行った。さらに，研究を効率良く進めるために，一回の実験で2種類の衝突形態の検証ができるように防護柵を2連設置した。その配置を図－5･2･1に示す。この場合，最初の衝突を第一衝突，後の衝突を第二衝突と称している。第一衝突から離脱する車両の速度は進入時よりも低下するため，高速度衝突を第一衝突側で，急角度衝突を第二衝突側で実施した。また，第一衝突側は実験施設によって車両の速度や進行方向が制御できるが，第二衝突側ではそれらの制御が不可能なため，衝突シミュレーションによってあらかじめ車両の速度，進行方向を予測したうえで供試体を設置した。



図－5･2･1　防護柵の配置

5.2.2　防護柵の構造形式

実験に用いた防護柵の構造形式は，「3.1　構造案の選定」で詳述している4種類とした。その形式を表－5･2･1に示す。

表－5･2･1　実験に用いた防護柵の構造形式

①ガードレール系	・ガードレールA種ビーム2段型 ・ガードレール新断面ビーム型
②ガードケーブル系	・ガードケーブル7本型
③閉断面ビーム系	・閉断面ビーム型

5.2.3　実験車両

実験に使用した車両はバスと乗用車である。その実験順序は，本研究の目的が大きな衝突荷重に耐えうる防護柵の開発であることから，バスによる実験を優先させた。乗用車の実験はバスで成功した防護柵に対し，主として高速度衝突時の誘導性を確認するために実施した。

従来の大型車による衝突実験は，トラックによって行われてきたが，今回の実験ではバスを使用した。これは，万一路外逸脱事故が発生した場合の人的被害はバスの方がトラックに比べてはるかに大きく，実証的なデータを収集しておく必要性があったためである。また，乗用車はわが国で比較的保有台数が多い1,500 cc クラスの車両とした。

5.2.4 衝突条件の設定

衝突条件は実験施設の能力（最大重量14ｔ，最高速度75km/h）から，「1.1」で述べている設計目標値に一致させることが困難なため，衝撃度が設計目標値相当となるように衝突角度を調整して定めた。その条件を表－5･2･2に示す。

なお，第二衝突の衝突条件は，衝突シミュレーションから車両の速度と進行方向を予測し，第一衝突と同様，角度を調整して衝撃度が設計目標値に近似するようにした。また，乗用車の衝突条件は衝撃度が事故実態調査結果の平均的な衝撃度相当となるように速度を調整して決定した。

表－5･2･2 衝突条件

車種	衝突形態	車両重量 W (t)	衝突速度 V (km/h)	衝突角度 θ (度)	衝撃度 IS (t･m)
バス	第一衝突（高速度衝突）	14	75	25	55.4
バス	第二衝突（急角度衝突）	14	47～52	35～40	40～62
乗用車	第一衝突（高速度衝突）	1.1	105	25	8.52

5.2.5 実験の組合せと各実験で意図した事項

実験の組合せとそれぞれの実験で意図した事項を表－5･2･3に示す。

表－5･2･3 実験の組合せと各実験ごとで意図した事項

実験番号	供試体	車両	実験区分	意図した事項
ガードレール系				
1	A種ビーム2段型	バス	第一 第二	・現行A種ビームの使用可否の確認 ・ビーム上端高さ1,075mm，下端高さ 325mm として車両の誘導性を確認
3	新断面ビーム型	バス	第一 第二	・新断面ビームの性能確認 ・ビーム上端高さ1,020mm，下端高さ 520mm として車両の誘導性を確認
4	新断面ビーム型	乗用車	第一	・実験3と同一の供試体で乗用車の誘導性を確認
6	新断面ビーム型（改良型）	バス	第一	・ビーム上端高さ 925mm，下端高さ 425mm として車両の誘導性，とくに横転の有無を確認
ガードケーブル系				
2	ケーブル7本型	バス	第一 第二	・ケーブル7本型の性能確認 ・最下段ケーブル高さ430mmとして車両の誘導性を確認
5	ケーブル7本型	乗用車	第一	・実験3と同一の供試体で乗用車の誘導性を確認
7	ケーブル7本型（改良型）	乗用車	第一	・最下段のケーブル高さを300mmおよび下3段の初張力を2ｔから3ｔに変更して車両の誘導性を確認
8	ケーブル7本型（誘導板付き）	乗用車	第一	・下4段のケーブルに誘導板を取付けて車両の誘導性を確認
閉断面ビーム系				
6	閉断面ビーム型	バス	第二	・閉断面ビームの性能確認

5.2.6 実験結果の評価項目

実験結果の評価は従来の実験結果と整合性をとるために，評価する項目とその内容を表−5·2·4 のように定めて行った。

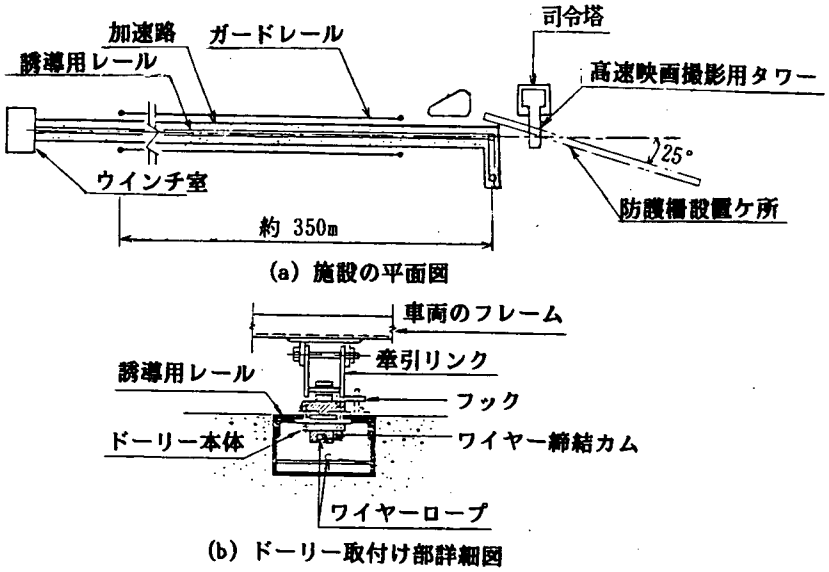
表−5·2·4 実験結果の評価項目

評価項目	調査事項	評価内容
車両の誘導性	車両の軌跡 離脱角度 離脱時の速度	・車両を円滑に誘導したか ・離脱角度，離脱時の速度は後続車へ影響を及ぼすか
乗員の安全性	加速度 車両の損傷	・発生した加速度は乗員に影響を及ぼしたか ・衝突後の車両に乗員の生存空間があったか
最大進入行程	車輪の進入量	・要綱の条件(1.1m以下)を満足していたか
防護柵の強度	防護柵の損傷	・設計どおりの強度が得られていたか

5.3 実験施設

5.3.1 衝突実験施設

実験は建設省土木研究所内にある衝突実験施設を使用して行った。図−5·3·1にその概要を示す。実験車は車両下部に取り付けてある牽引リンクと加速路上のドーリーを介し，ワイヤロープで牽引して加速した。加速路の長さは，始点から防護柵の直前まで約350mである。また，車両は衝突の直前にドーリーから切り離され，あらかじめ設定しておいた速度と角度で防護柵に衝突するようになっている。



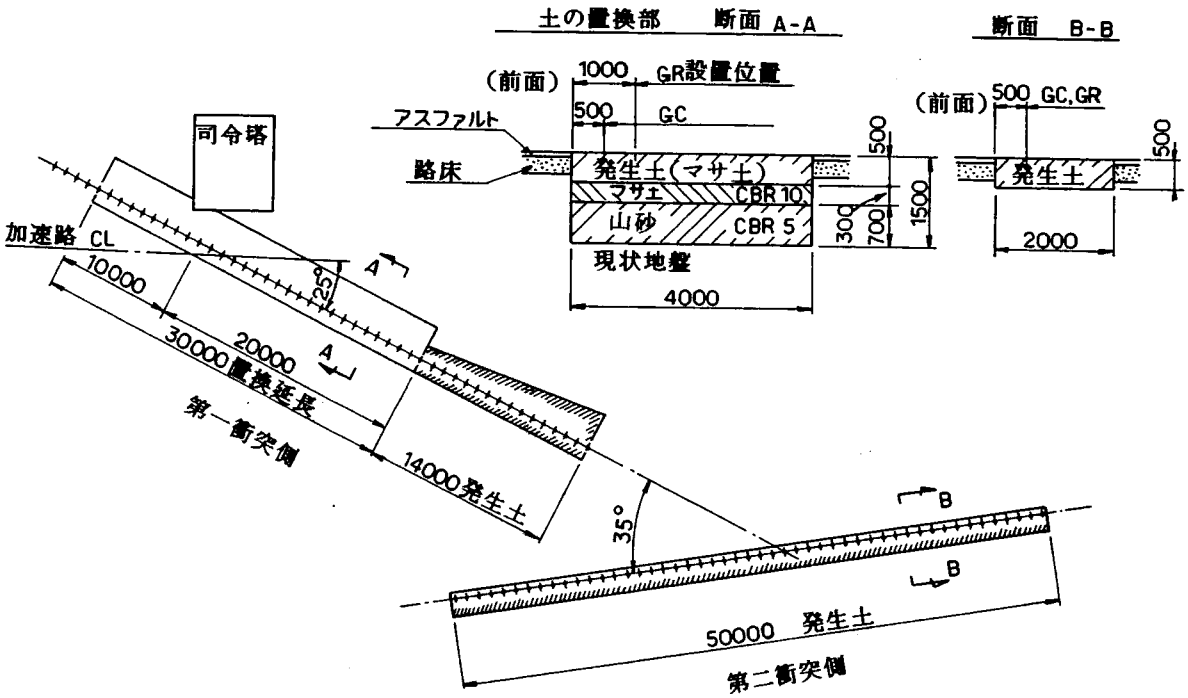
図−5·3·1 実験施設

5.3.2 実験場の地盤

シミュレーションを用い防護柵の構造や支柱支持力の検討を行ってきた結果，必要とする支柱の平均支持

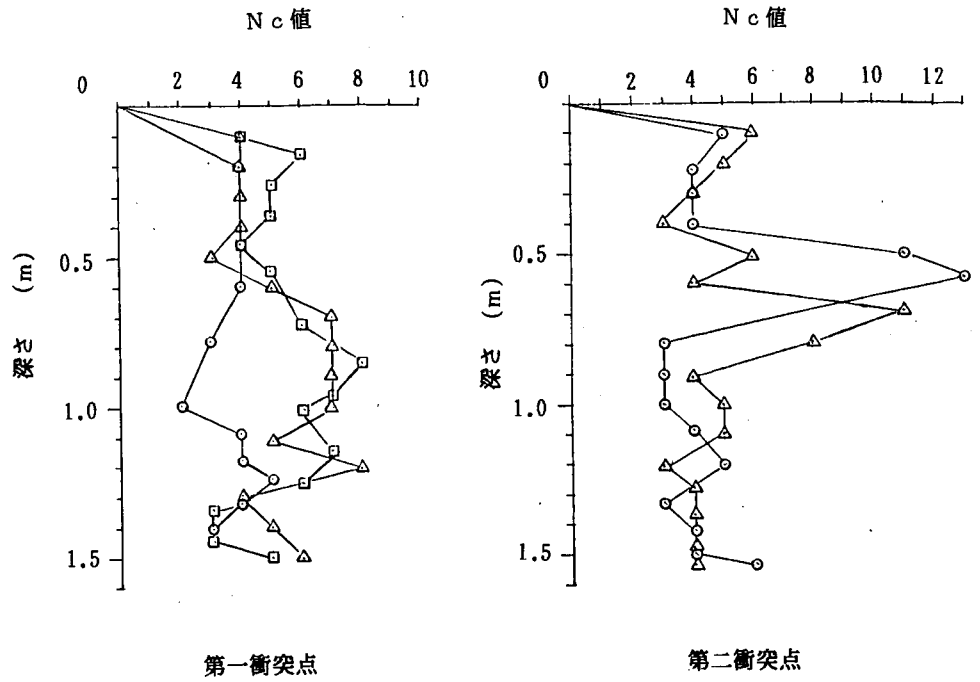
力は2.5ｔとなった（路肩設置において期待しうる支持力の最大値）。衝突実験において，設計支持力が各支柱均一になるよう，実験地盤は土を置換し締固めの管理を行うこととしたが，設計値に地盤を適応させることは非常に難しい。また，支持力と土の締固めの関係や路肩地盤に関する資料がないので，「4.3」に示した実験場内の既設地盤での支柱支持力実験から，本実験地盤の設定を行った。支持力実験の結果，表－4･3･3のとおりほぼ満足できる値が得られたので，この置換地盤で本実験を実施することとした。

土の置換は，特に重要な第一衝突側の衝突点を中心に図－5･3･2に示す防護柵変位が大きくなると考えられる約30ｍの範囲とし，支柱転倒時に背面地盤の影響が少なくなるよう置換幅は4ｍと広くした。そして，置換深さは支柱回転中心以上の1.5ｍまで行った。その残りの防護柵端部箇所および第二衝突地盤は，地表面部分を置換するにとどめた。但し，第二衝突の置換幅は2ｍである。



図－5･3･2　実験場の地盤

参考として，実験地盤における斜面調査用簡易貫入試験（第2編　支柱水平載荷実験参照）の結果を図－5･3･3に示すが，図から本地盤の斜面調査簡易貫入試験値（Nc）は第一衝突側がNc＝4～7，第二衝突側は深さ0.7m付近がNc＝10程度でその上下地盤はNc＝3～5となっている。

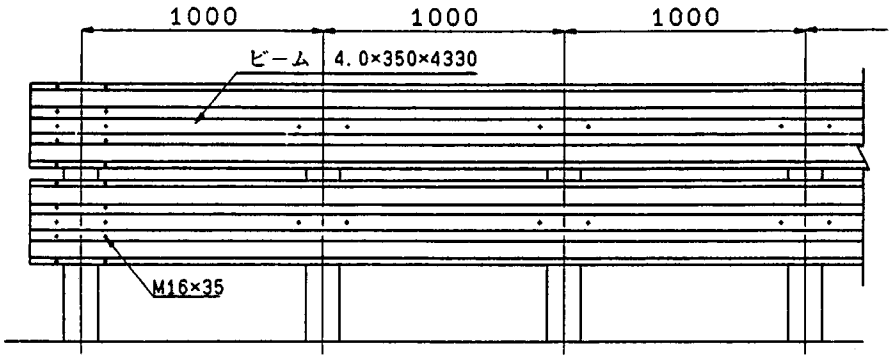


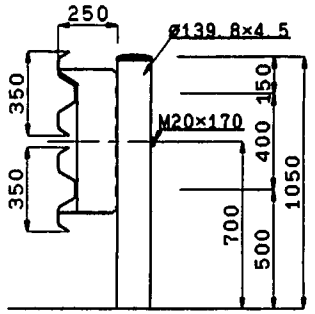
図－5·3·3　実験地盤の斜面調査用簡易貫入試験結果（Nc）値

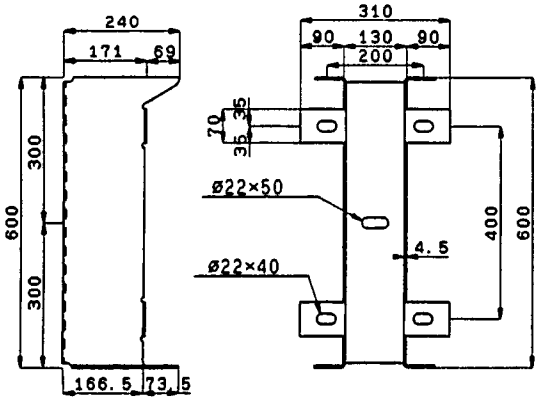
5.4 供　試　体

5.4.1 防　護　柵

衝突実験に使用した防護柵の構造諸元と組立図を図－5·4·1～5に，設置図を図－5·4·6，7にそれぞれ示す。







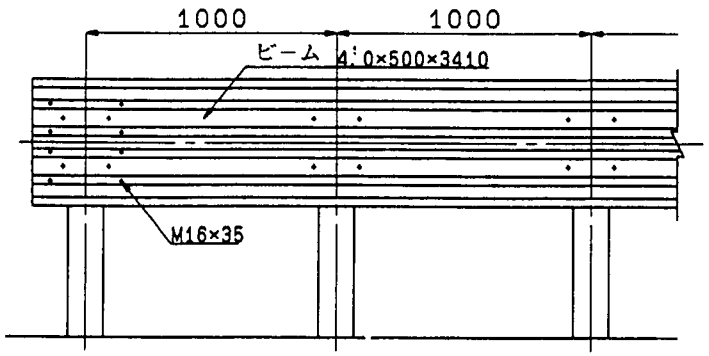
ブラケット詳細図

ガードレールA種ビーム2段タイプの構造諸元

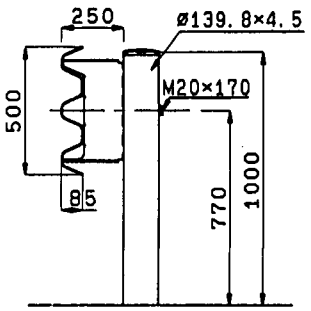
部材名	実験 1		
	部材寸法 (mm)	材質	単位重量 (kg/個)
ビーム	2- 4.0×350 ×75×4,330	SS41	64.1
支柱	φ139.8 ×4.5 ×2,700	STK41	40.5
ブラケット	4.5 ×310 ×600	SS41	12.4
ボルト	M16×35	6T	0.12
ボルト	M20×170	4T	0.57
組立重量	87.9 (kg/m)		

*組立重量は供試体の設置延長96mから算出した。

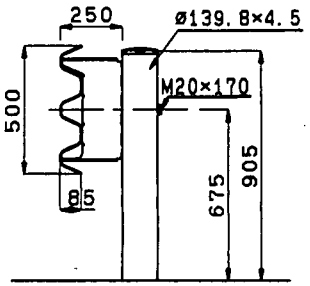
図－5･4･1　ガードレール　A種ビーム2段型

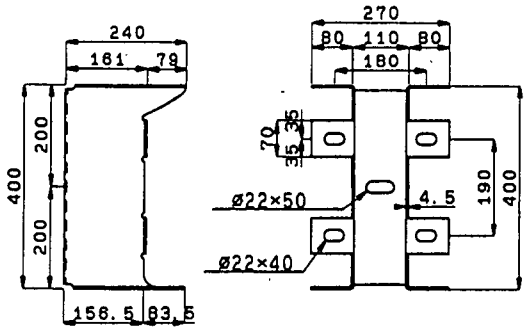


実験3，4



実験6





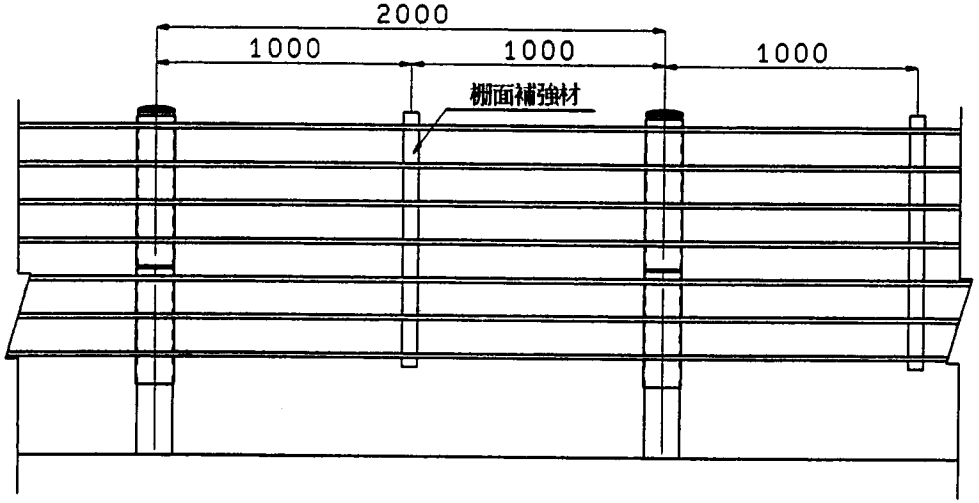
ブラケット詳細図

ガードレール新断面タイプの構造諸元

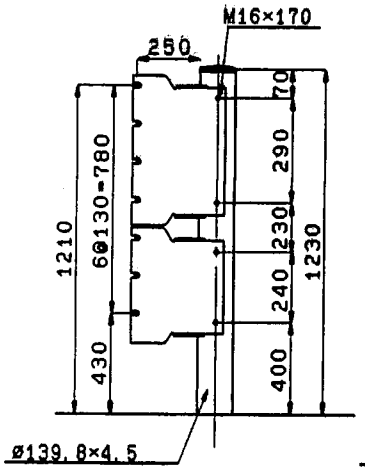
部材名	実験 3，4			実験 6		
	部材寸法 (mm)	材質	単位重量 (kg/個)	部材寸法 (mm)	材質	単位重量 (kg/個)
ビーム	4.0 ×500 ×85×3,410	SS41	83.5	4.0 ×500 ×85×3,410	SS41	83.5
支柱	φ139.8 ×4.5 ×2,650	STK41	39.8	φ139.8 ×4.5 ×2,560	STK41	38.4
ブラケット	4.5 ×270 ×400	SS41	8.85	4.5 ×270 ×400	SS41	8.85
ボルト	M16×50	6T	0.15	M16×50	6T	0.15
ボルト	M20×170	4T	0.57	M20×170	4T	0.57
組立重量	79.1 (kg/m)			77.6 (kg/m)		

＊組立重量は供試体の設置延長９６mから算出した。

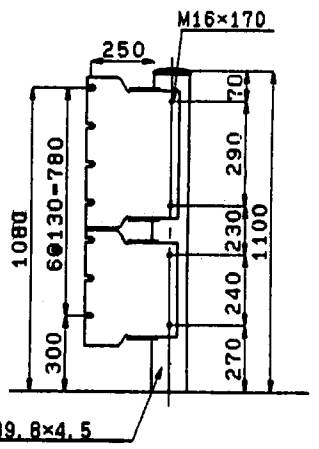
図－5･4･2　ガードレール　新断面ビーム型



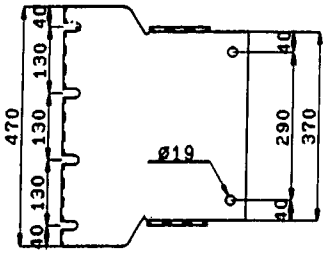
実験2，5



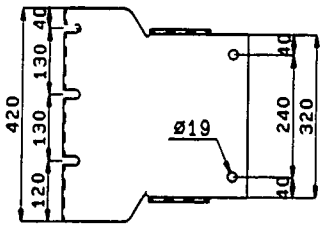
実験7

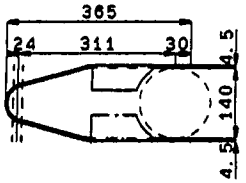


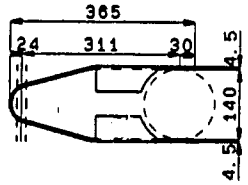
上ブラケット詳細図



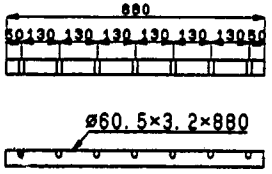
下ブラケット詳細図







棚面補強材詳細図

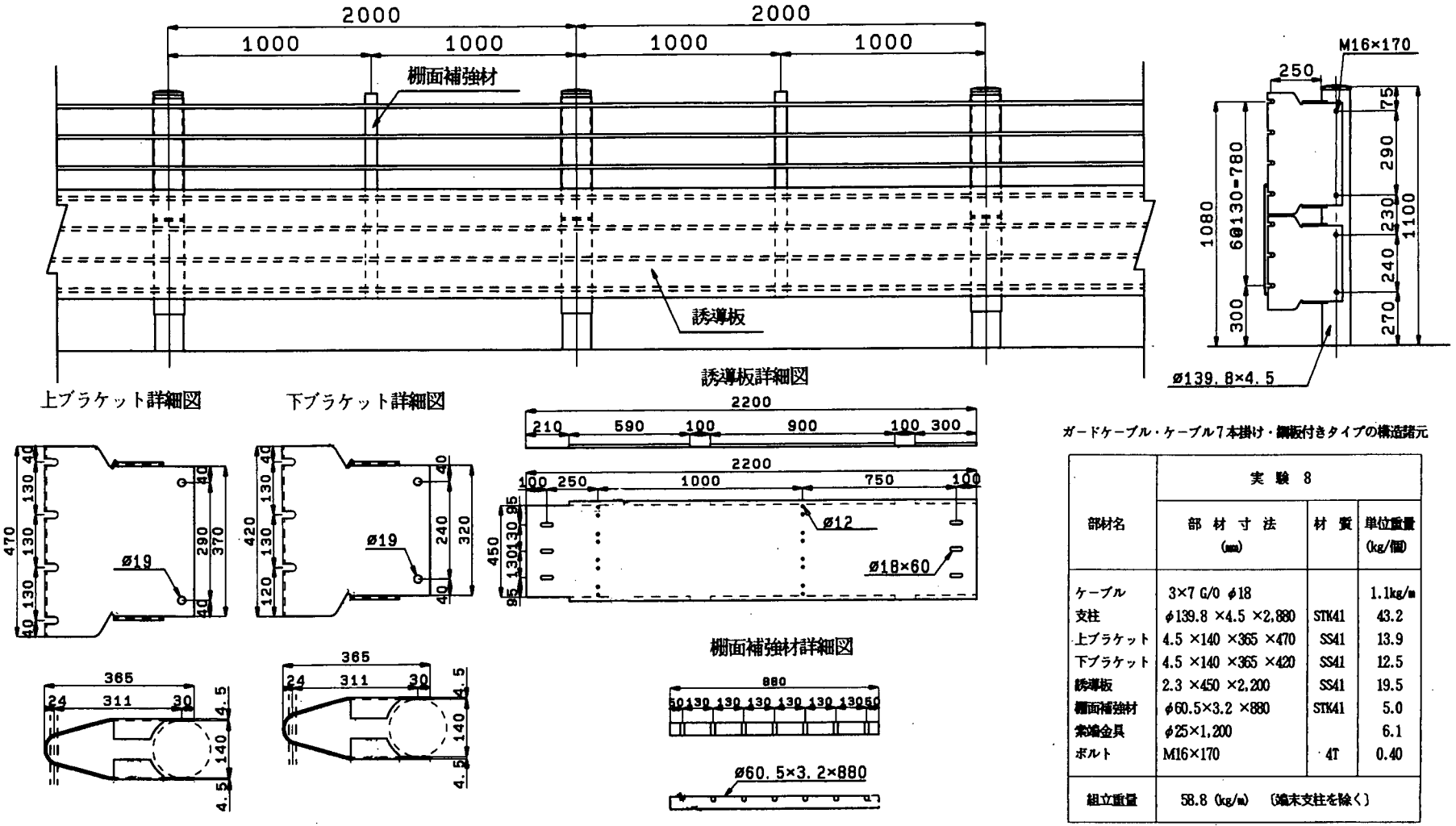


ガードケーブル・ケーブル7本掛けタイプの構造諸元

部材名	実験 2，5，7		
	部材寸法 (mm)	材質	単位重量 (kg/個)
ケーブル	3×7 G/O φ18		1.1kg/m
支柱	φ139.8 ×4.5 ×2,880	STK41	43.2
上ブラケット	4.5 ×140 ×365 ×470	SS41	13.9
下ブラケット	4.5 ×140 ×365 ×420	SS41	12.5
棚面補強材	φ60.5×3.2 ×880	STK41	5.0
索端金具	φ25×1,200		6.1
ボルト	M16×170	4T	0.40
組立重量	48.3 (kg/m) 〔端末支柱を除く〕		

＊組立重量は供試体の設置延長９６mから算出した。

図－5･4･3　ガードケーブル　ケーブル７本型

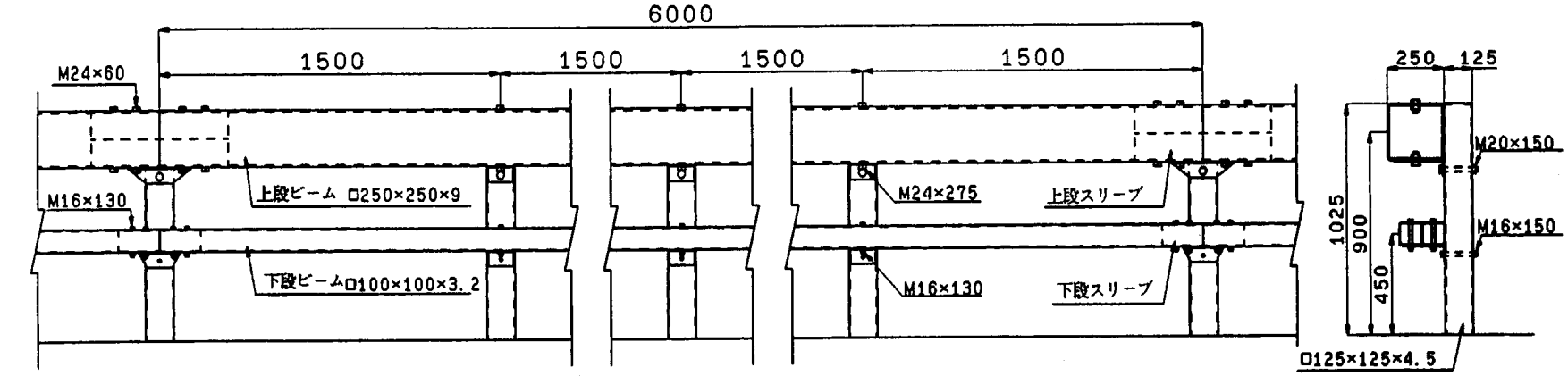


ガードケーブル・ケーブル7本掛け・鋼板付きタイプの構造諸元

部材名	実験 8		
	部材寸法 (mm)	材質	単位重量 (kg/個)
ケーブル	3×7 G/O φ18		1.1kg/m
支柱	φ139.8 ×4.5 ×2,880	STK41	43.2
上ブラケット	4.5 ×140 ×365 ×470	SS41	13.9
下ブラケット	4.5 ×140 ×365 ×420	SS41	12.5
誘導板	2.3 ×450 ×2,200	SS41	19.5
棚面補強材	φ60.5×3.2 ×880	STK41	5.0
索掴金具	φ25×1,200		6.1
ボルト	M16×170	4T	0.40
組立重量	58.8 (kg/m) (端末支柱を除く)		

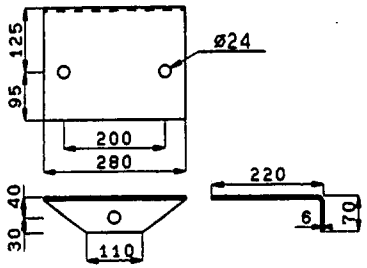
*組立重量は供試体の設置延長96mから算出した。

図－5･4･4　ガードケーブル　ケーブル7本型（誘導板付き）

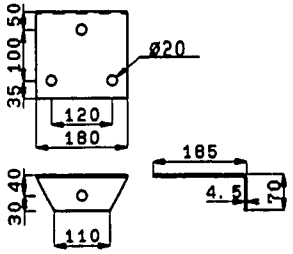


閉断面タイプの構造諸元

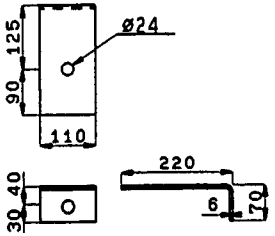
上段継手ブラケット詳細図



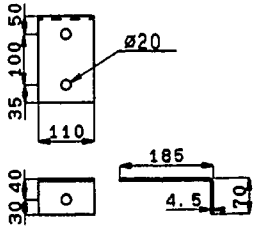
下段継手ブラケット詳細図



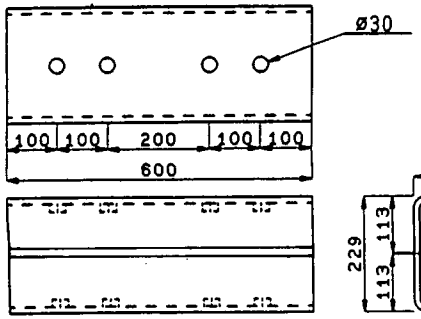
上段中間ブラケット詳細図



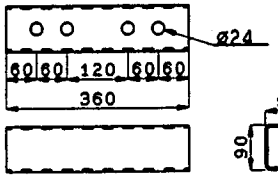
下段中間ブラケット詳細図



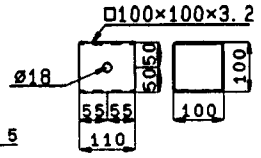
上段スリーブ詳細図



下段スリーブ詳細図



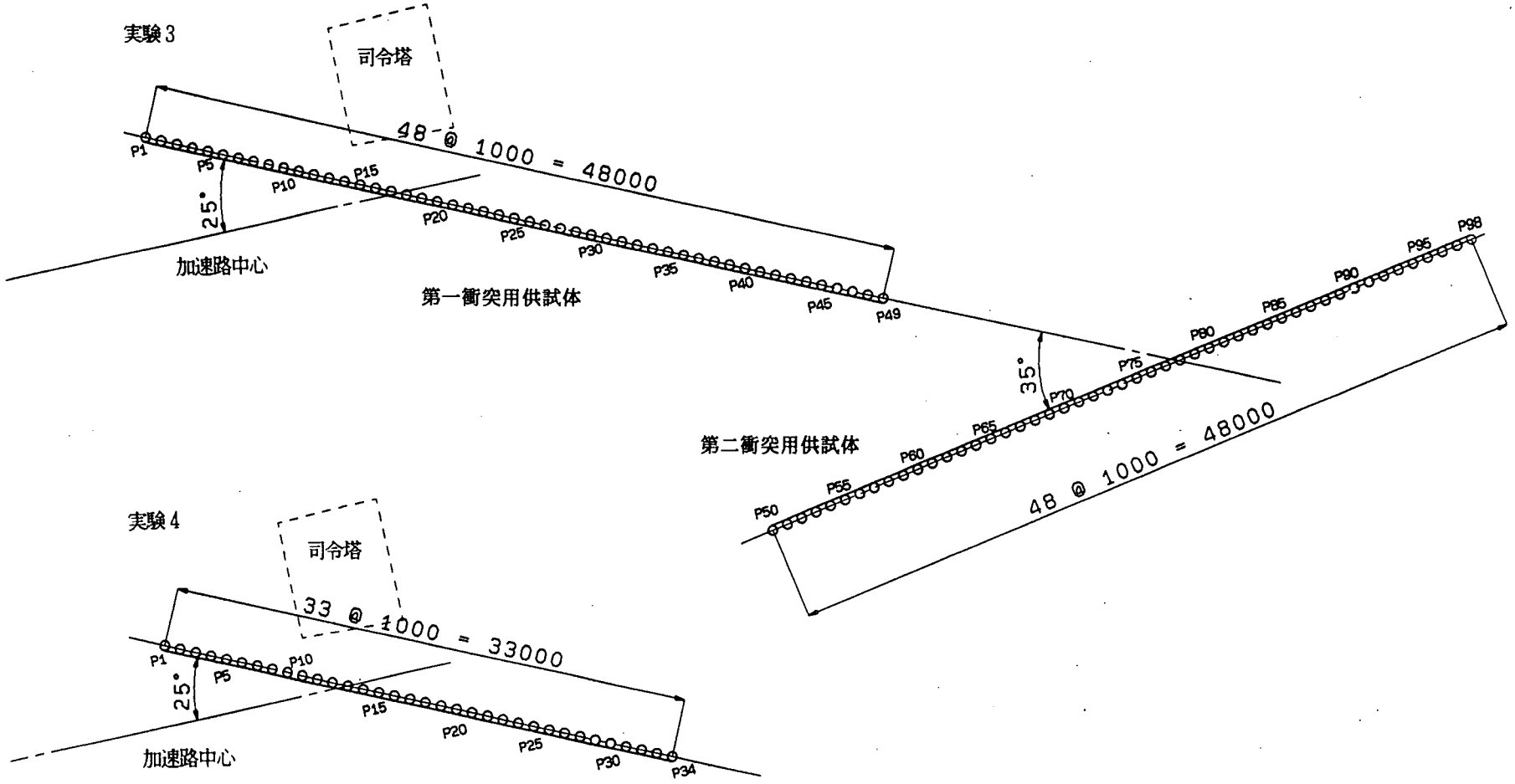
スペーサー詳細図



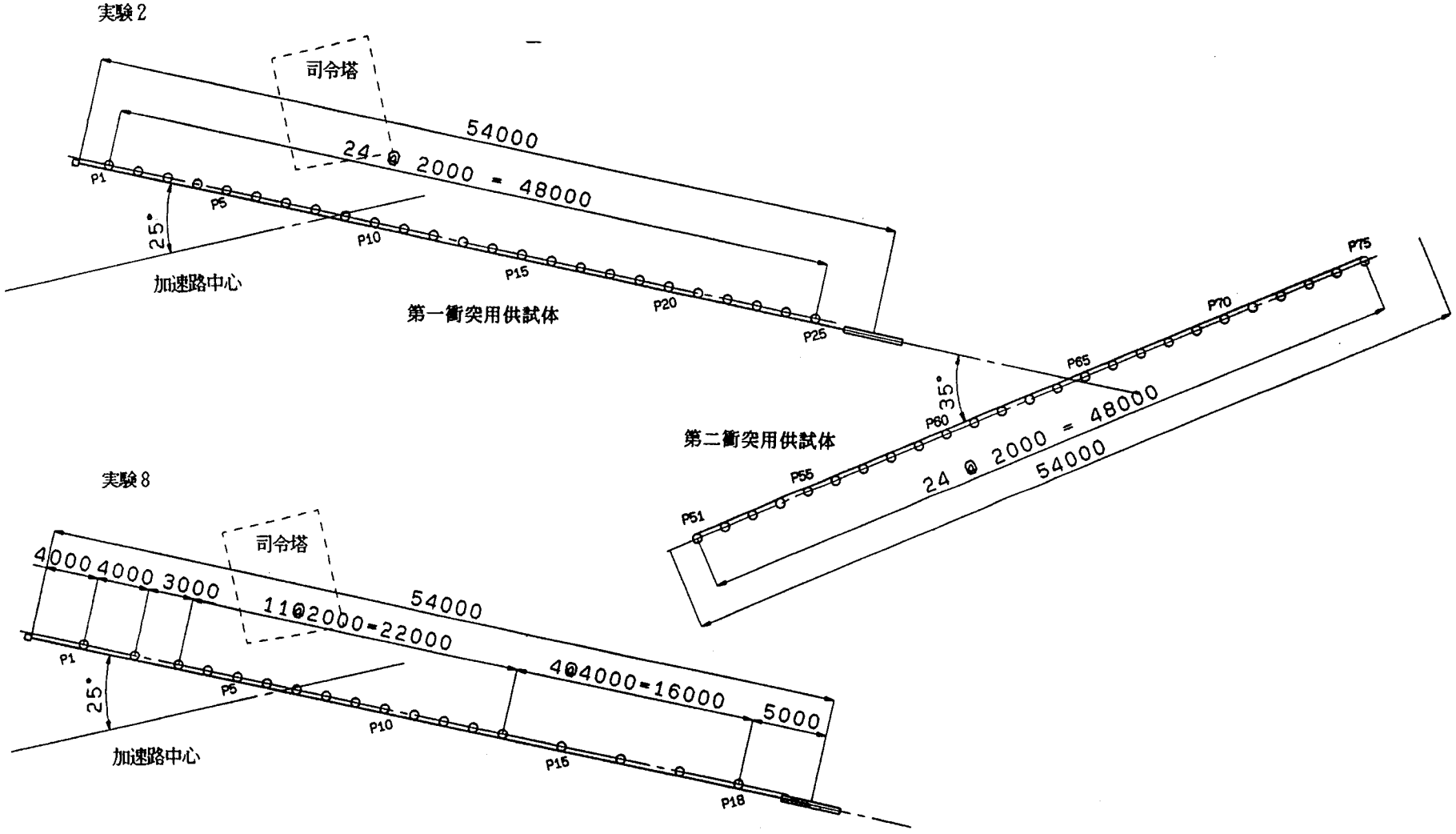
部材名	実験6		
	部材寸法 (mm)	材質	単位重量 (kg/個)
ビーム（上）	250×250 ×9.0 ×5,990	STKR41	399
ビーム（下）	100×100 ×3.2 ×5,990	STKR41	57.1
支柱	125×125 ×4.5 ×2,675	STKR41	44.4
継手ブラケット（上）	6 ×280 ×220 ×70	SS41	3.42
継手ブラケット（下）	4.5 ×180 ×185 ×70	SS41	1.49
中間ブラケット（上）	6 ×110 ×220 ×70	SS41	1.45
中間ブラケット（下）	4.5 ×110 ×185 ×70	SS41	0.96
スリーブ（上）	12×229 ×229 ×600	SS41	47.8
スリーブ（下）	4.5 × 90 × 90 ×360	SS41	4.21
下ビーム用スペーサー	100×100 ×3.2 ×110	STKR41	1.05
ボルト	M20×150	4T	0.61
ボルト	M16×150	4T	0.37
ボルト	M16×130	4T	0.34
ボルト	M24×60	10T	0.35
ボルト	M24×275	10T	1.25
組立重量	122 (kg/m)		

*組立重量は供試体の設置延長48mから算出した。

図－5･4･5　閉断面ビーム型



図－5·4·6　ガードレール　新断面ビーム型　支柱の配置



図－5·4·7　ガードケーブル　ケーブル７本型　支柱の配置

5.4.2 実験車両

衝突実験に使用したバスと乗用車の諸元を表－5·4·1に示す。

表－5·4·1　実験車両の諸元　　（単位：mm）

項目＼実験番号		1	2	3	4	5	6	7	8
		バス	バス	バス	乗用車	乗用車	バス	乗用車	乗用車
型式		MS512N	B806L	B905N	B210	HB310	B905N	E-MB310	E-B310
車名		三菱	三菱	三菱	サニー	サニー	三菱	サニー	サニー
全長		11,135	10,835	11,240	3,935	3,965	11,240	3,940	4,000
全幅		2,490	2,460	2,460	1,560	1,555	2,460	1,540	1,570
全高		2,940	2,910	2,880	1,330	1,320	2,965	1,350	1,320
前輪から重心までの距離		4,050	3,852	3,925	1,085	1,125	3,953	1,106	1,170
重心高さ		1,180	1,195	1,180	——	——	1,180	——	——
軸距		5,710	5,390	5,700	2,340	2,335	5,705	2,340	2,340
輪距	前輪	1,990	1,995	2,000	1,260	1,335	1,995	1,330	1,335
	後輪	1,710	1,695	1,765	1,260	1,335	1,700	1,330	1,335
オーバーハング		1,828	1,873	1,813	690	685	1,818	680	700
タイヤ幅		254	254	254	155	155	254	165	152
タイヤの外径		990	980	980	535	550	980	570	540
ホイール径		508	508	508	305	305	508	330	305
車両重量（積載時）(kg)	前輪	4,080	4,010	4,360	590	570	4,300	580	550
	後輪	9,950	10,040	9,640	510	530	9,700	520	550
	合計	14,030	14,050	14,000	1,100	1,100	14,000	1,100	1,100

5.5 測定項目と方法

車両および防護柵に関する測定項目と方法を以下に示す。

5.5.1 測定項目

1) 車両

・衝突速度および離脱速度

・車両およびダミーの加速度

・軌跡

・挙動観察（傾斜，スピン，浮き上がり等）

・変形および損傷状況

2) 防護柵

・変位（最大値および残留値）

・支柱水平力（防護柵直角方向および平行方向）

・ビームおよびケーブル張力

・車両の接触跡

・変形および損傷状況

5.5.2 測定方法

1) 衝突速度

衝突速度は路面に取付けたテープスイッチによって測定したが，他にウインチドラムの回転数および高速度写真からの解析値も参考にした。

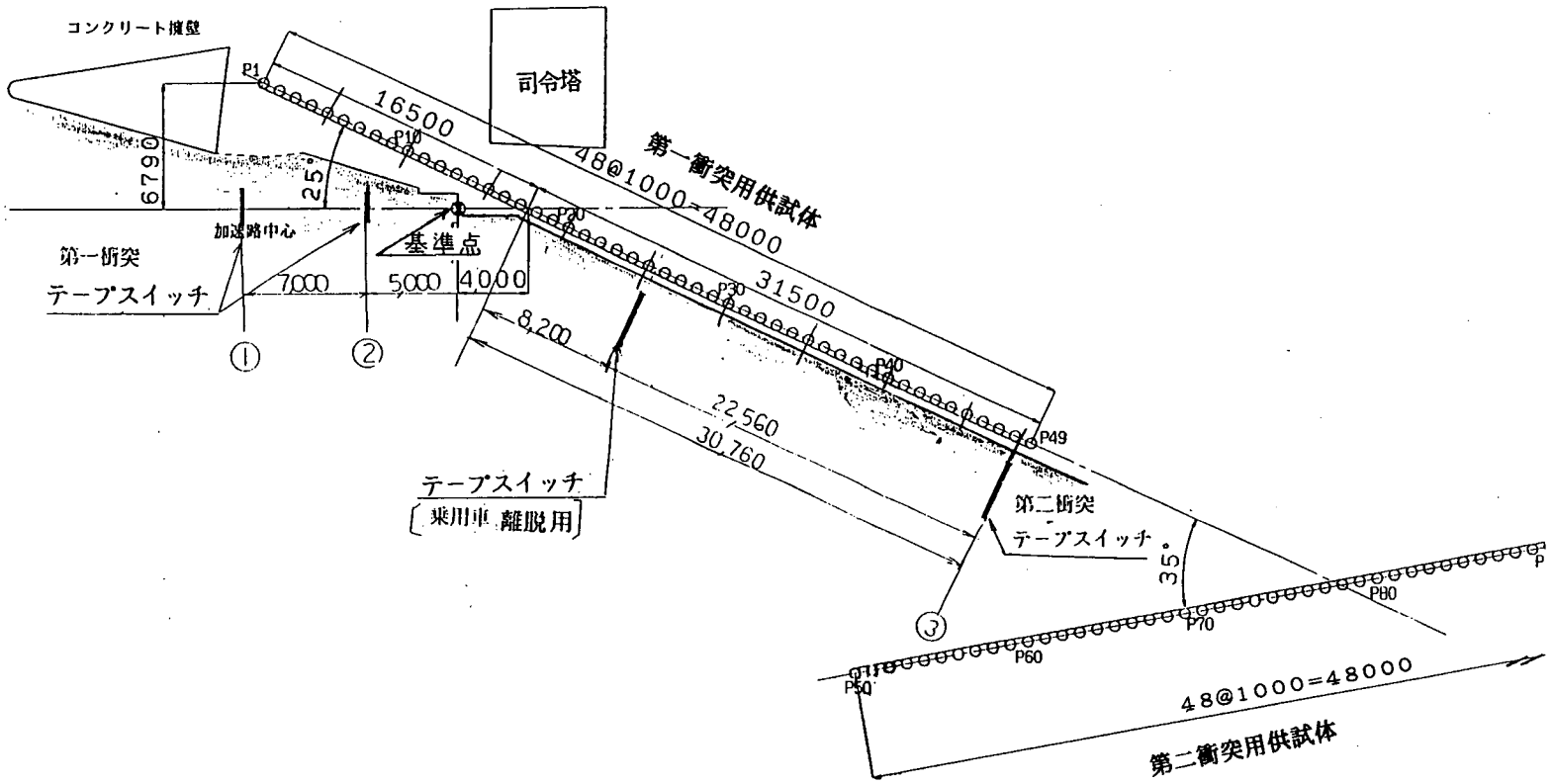
なお，第二衝突については1ケ所のテープスイッチで車両の軸距と感知した時間差から算定した。これらの測定方法を表－5·5·1に，テープスイッチの配置図を図－5·5·1にそれぞれ示す。

表－5·5·1 衝突速度の測定方法

測定機器	検出方法
1 テープスイッチ	基準にした車輪が2測点を通過する時間差から速度を検出する
2 回転計	ウインチドラムの回転数から速度を換算する
3 高速度カメラ	フィルムのコマ数と車両の移動量から算出する

2) 車両とダミーの加速度

バスの衝突時の加速度測定位置は，運転席，左側最前列，同最後列座席上のダミーの頭部とこれらの床上，並びに右側最後列と車両重心位置の床上とし，表－5·5·2に示す組合せとした。測定は，1ケ所あたり2または3成分（車両進行方向：x方向，車両進行直角方向：y方向，車両の垂直方向：z方向）とし，ひずみゲージ式加速度計を用いて行った。



図－5·5·1　テープスイッチ取付け位置

表－5･5･2　加速度計取付け位置

取付け位置 / 実験番号		バス									乗用車				合計 FM+C (点)
		ダミー（頭部）			車両						ダミー（頭部）		車両		
		運転席	左側最前列座席	左側最後列座席	運転座床	左側最前列床	左側最後列床	右側最後列床	重心位置床		運転席	助手席	重心位置床		
1（バス）	X	○	－	－	－	－	－	－	○	－					6
	Y	○	－	－	－	－	－	－	○	－					
	Z	○	－	－	－	－	－	－	○	－					
2（バス）	X	○	●	－	－	－	－	－	○	－					6+3= 9
	Y	○	●	－	－	－	－	－	○	－					
	Z	○	●	－	－	－	－	－	○	－					
3（バス）	X	○	－	○	●	－	●	－	○	●					6+6=12
	Y	○	－	○	●	－	●	－	○	●					
	Z	－	－	－	－	－	－	－	－	－					
4（乗用車）	X										○	○	○	●	6+5=11
	Y										○	○	○	●	
	Z										●	●	－	●	
5（乗用車）	X										○	○	○	●	6+5=11
	Y										○	○	○	●	
	Z										●	●	－	●	
6（バス）	X	－	－	－	○	●	●	●	○	－					6+6=12
	Y	－	－	－	○	●	●	●	○	－					
	Z	－	－	－	○	－	－	－	○	－					
7（乗用車）	X										○	○	○	●	6+5=11
	Y										○	○	○	●	
	Z										●	●	－	●	
8（乗用車）	X										○	○	○	●	6+5=11
	Y										○	○	○	●	
	Z										●	●	－	●	

注　1）テレメータの測定点数は最大６点であるので、それ以上の場合はカセットを車両に積載して測定した。

2）加速度３成分の方向は右図に示すとおりである。

3）ダミーのシートベルトは左側最後列の座席のみ２点式であり、それ以外はすべて３点式とした。

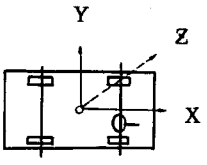
FM：テレメータ；○

C：カセット　；●

X：車両の進行方向

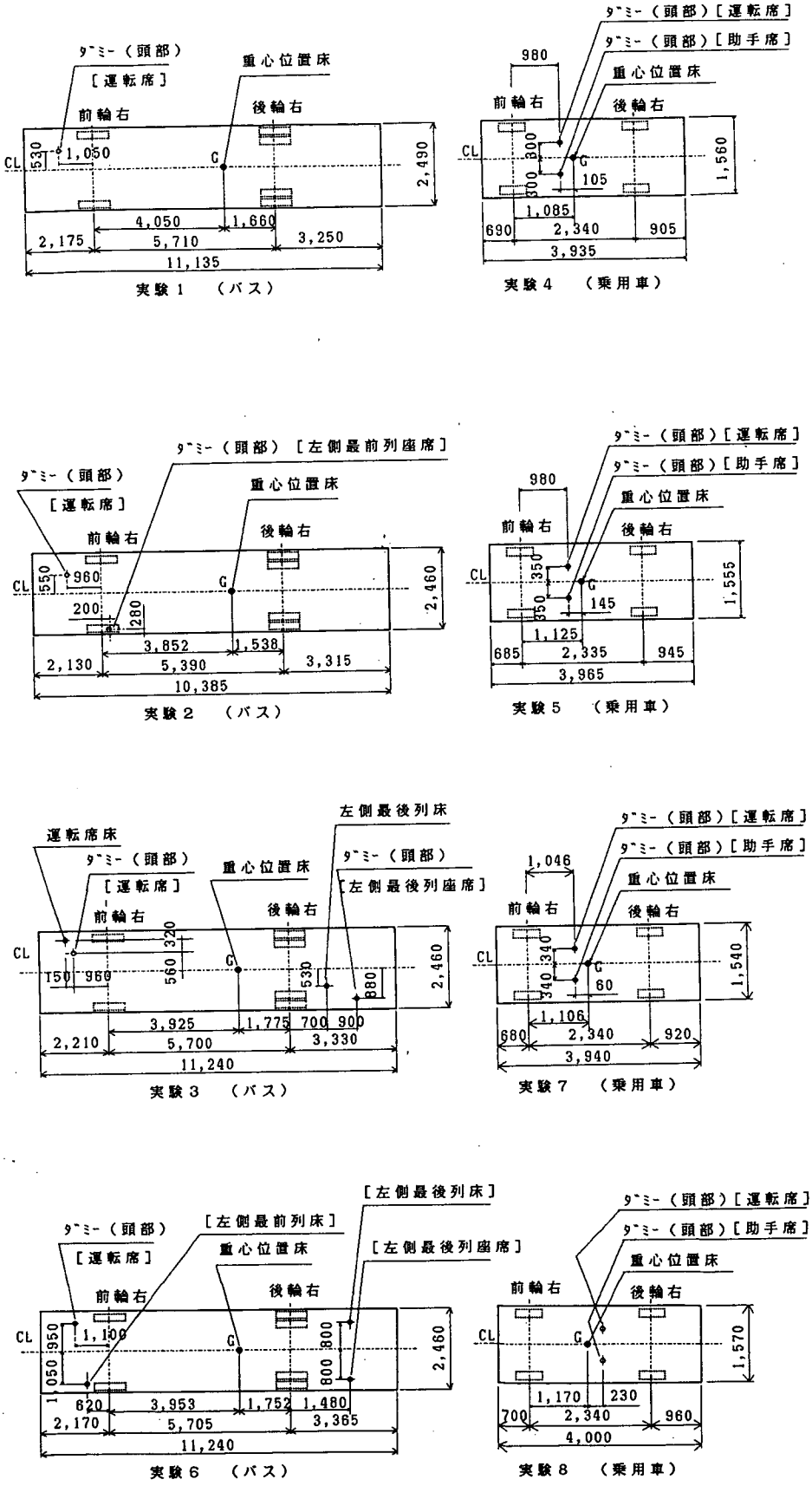
Y：車両の進行直角方向

Z：車両の垂直方向



乗用車については，運転席と助手席のダミーの頭部および車両重心位置の床上で，それぞれ３成分方向の加速度を測定した。

加速度はFMテレメーターを介して測定したが，測点数が多い場合は（FMテレメーターは最大６点までである），車両にカセットレコーダーを搭載して行った。この場合，両機器間の測定誤差を少なくするために，車両重心位置の床上の加速度計からFMテレメーターとカセットレコーダーに分岐し，カセットレコーダー側の測定値を補正するようにした。各実験車両の加速度計取付け位置を図－5･5･2に示す。



図－5･5･2　加速度計取付け位置

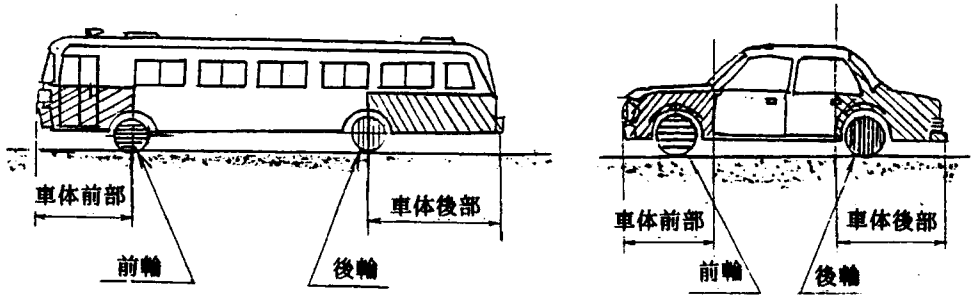
3) 車両の軌跡と接触跡の調査

(1) 車両の軌跡

路面に残った前後輪の痕跡，またはわだちから走行軌跡を求めた。

(2) 車両の接触跡（スクラブマーク）

車両の接触跡から接触長やその領域を測定した。なお，防護柵に車両のどの部位が接触したかの判別ができるように，前後のタイヤおよび車体の前・後端にそれぞれ異なる色のペイントを塗布した。車体に塗布したペイントの領域を図－5･5･3に示す。

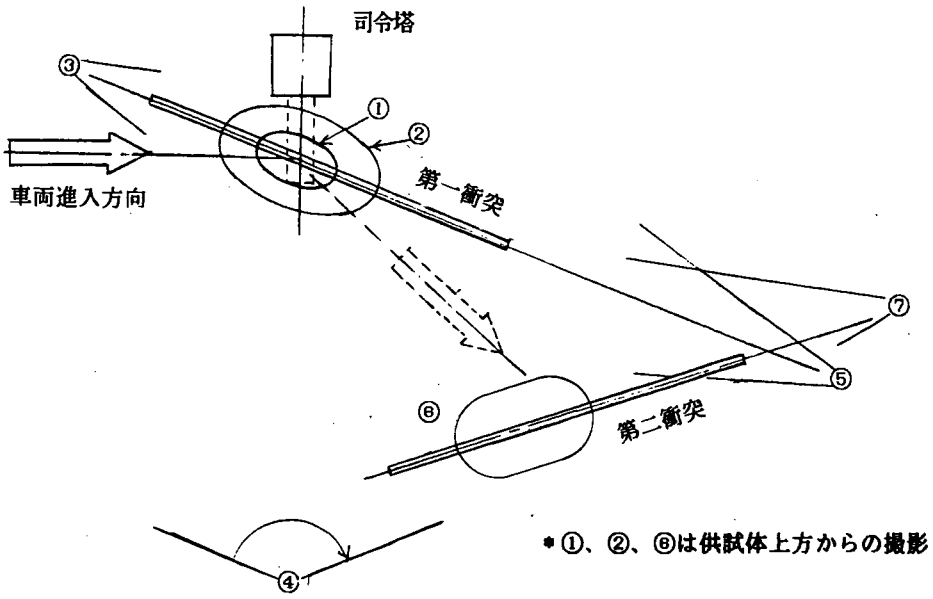


(a) バスの場合　　(b) 乗用車の場合

図－5･5･3　実験車両のペイント塗布領域

4) 車両と防護柵の挙動観測

衝突開始から離脱までの車両と防護柵の挙動は，高速カメラやVTRを使用して記録し，そのフィルムから車両の浮き上がり，傾斜，速度，加速度，防護柵の変形等について解析した。撮影機材の種類と配置を図－5･5･4に示す。



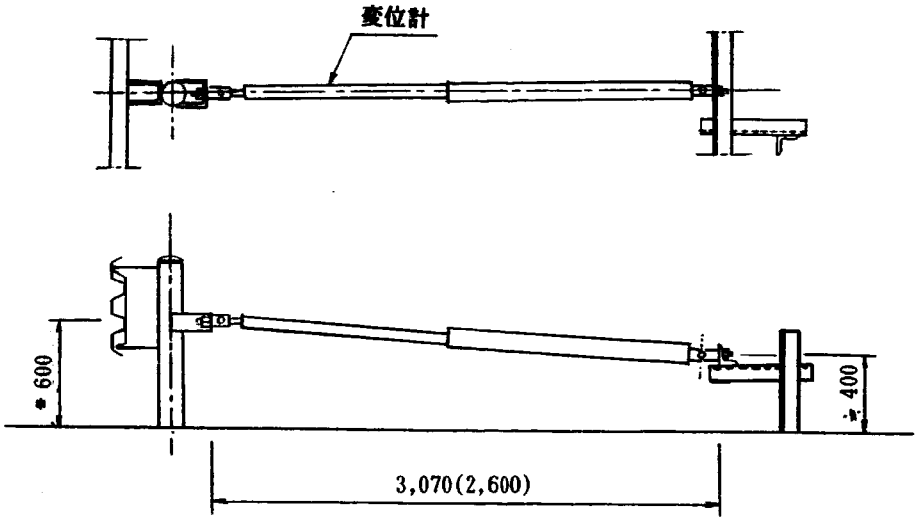
実験番号	① 400 コマ／秒	② 400 コマ／秒	③ 64 コマ／秒	④ 24 コマ／秒	⑤ 64 コマ／秒	⑥ 400 コマ／秒	⑦ 64 コマ／秒	カメラ台数
1 (バス)	○	○	—	○	○	○	○	6
2 (バス)	○	○	○	○	○	○	—	6
3 (バス)	○	○	○	○	○	—	—	5
4 (乗用車)	○	○	○	○	○	—	—	5
5 (乗用車)	○	○	○	○	○	—	—	5
6 (バス)	○	○	○	○	○	—	—	5
7 (乗用車)	○	○	○	○	○	—	—	5
8 (乗用車)	○	○	○	○	○	—	—	5

図－5･5･4　高速度カメラ撮影位置

5)　防護柵の動的変位と残留変位

(1)　防護柵の動的変位

防護柵の動的変位の測定は，支柱の防護柵直角方向（Y方向）のみについて実施した。測定位置は衝突時に最大値が発生すると予想される支柱の近傍数ヶ所とし，図－5･5･5に示している棒状変位計（容量1,000 mmおよび1,200mm）で測定した。



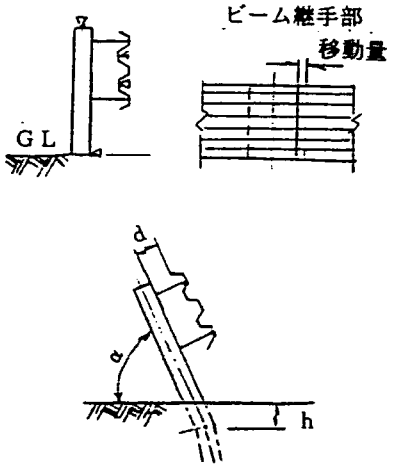
注　1)（　　）内は変位形 1,000mm 用の寸法である。
　　2) 実験 1 では＊寸法を 1,000mm とし，解析時に 600mm 高さに補正した。

図－5·5·5　変位計の取付け例（実験 3　ガードレール新断面ビーム型）

(2) 防護柵の残留変位

防護柵の残留変位は，トランシット，レベルで測定した。表－5·5·3にガードレールの測定内容を示す。

表－5·5·3　ガードレールの残留変形測定内容

測定の方向 / 部材名		X 平行方向	Y 直角方向	Z 上下方向	備考
支柱	頭部	○	○	○	
	地際部	○	○	—	
ビームおよびブラケット		○	○	○	
ビームの継手部		○	—	—	
その他		・ビームの変形量 ・支柱，ブラケットの傾き ・ブラケットの変形量 ・支柱の折れ曲り位置 ・ビーム継手部の移動量			

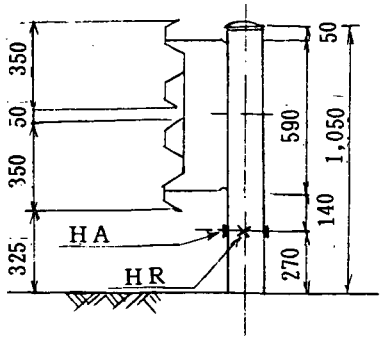
6) 車両の変形と損傷

車両の変形量は巻尺等で測定した。また車両の損傷状況を観察して写真に記録した。

7) 部材の応力

(1) 支柱に作用した水平力

支柱に作用した水平力は，ひずみゲージを貼付して測定した。そのひずみゲージはバスの場合，図－5･5･6のHRとHAの両方向に，また乗用車の場合はHR方向にそれぞれ貼付した。なお，測定精度を向上させるために，あらかじめ単体支柱によるキャリブレーションを実施し測定値の補正を行った。



HR：防護柵直角方向応力測定用ゲージ

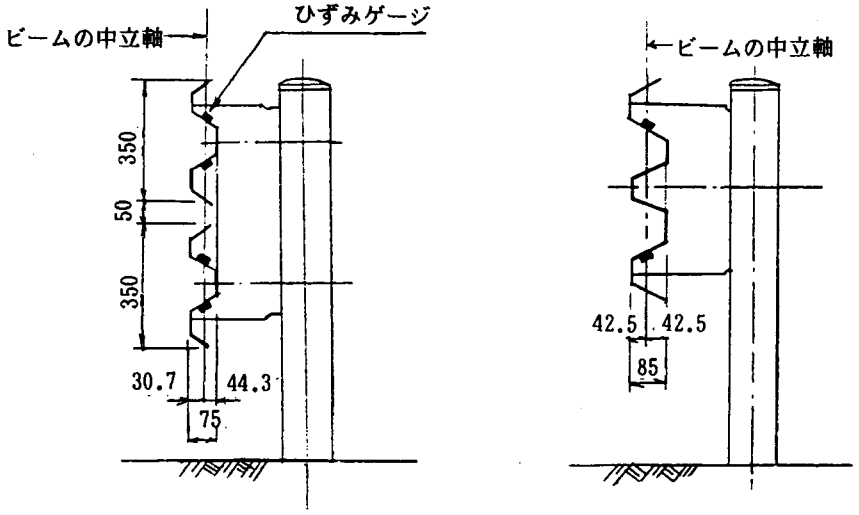
HA：防護柵平行方向応力測定用ゲージ

図－5･5･6　支柱のひずみゲージ貼付位置

(2)　ビームおよびケーブルの張力

①　ビームの張力

ビームの張力は，図－5･5･7に示しているように，ビームにひずみゲージを貼付して測定した。

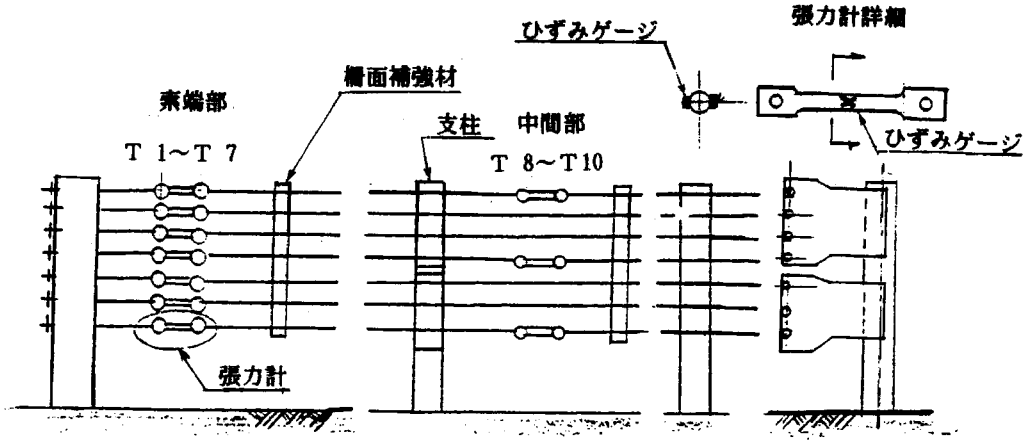


(a) 実験1　　(b) 実験3、6

図－5･5･7　ビームのひずみゲージ貼付位置

②　ケーブルの張力

ケーブルの張力は端末部と中間部に，図－5･5･8に示している張力計を取付けて測定した。2ケ所に張力計を取付けたのは，衝突地点近傍と端末部の張力差を確認するためである。



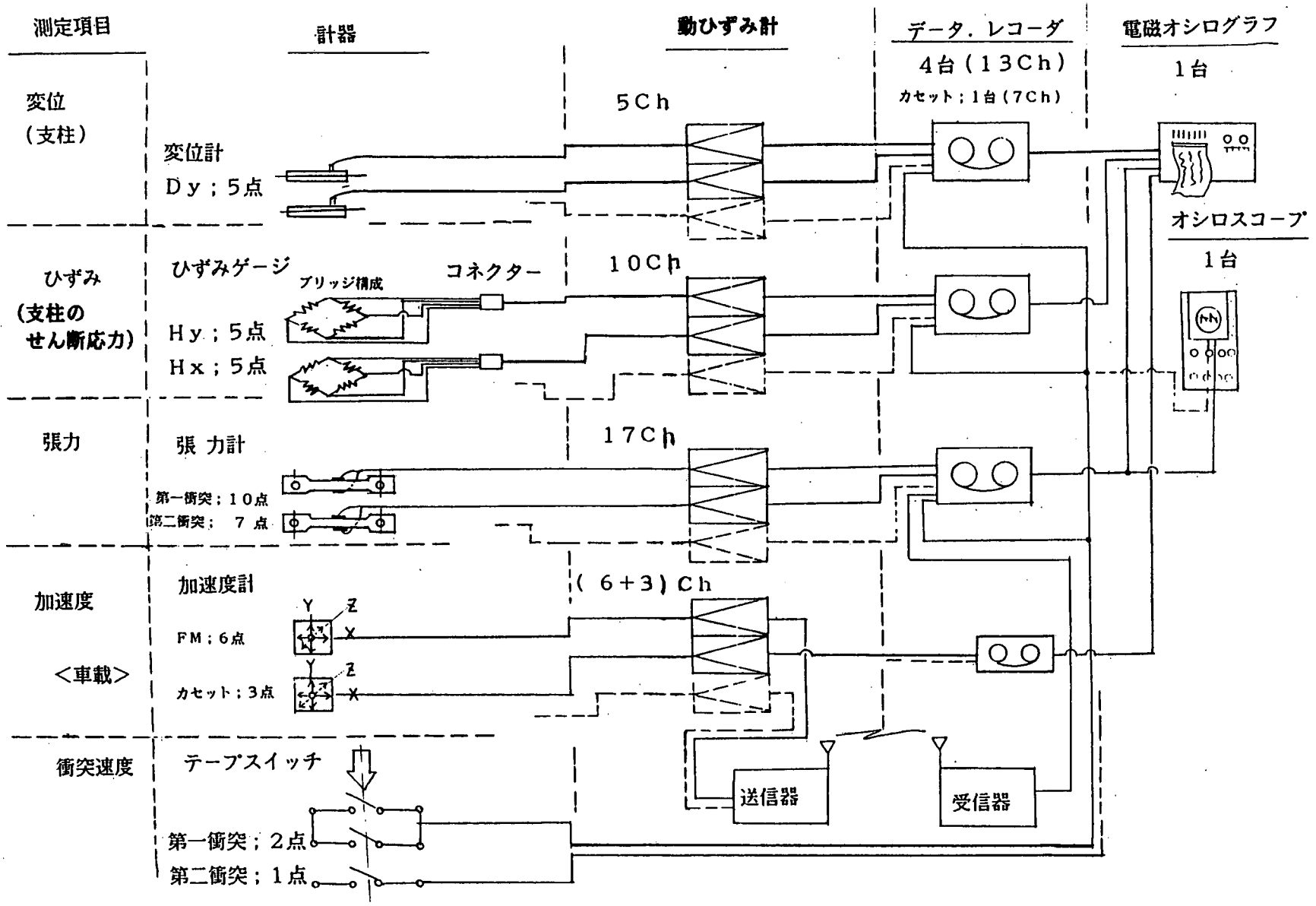
図－5･5･8　張力計取付け位置

5.5.3　測定点数および計測ブロック図

表－5･5･4に各実験ごとの測定点数一覧表を，図－5･5･9に計測ブロック図を，図－5･5･10，11に各測定機器の取付け位置をそれぞれ示す。

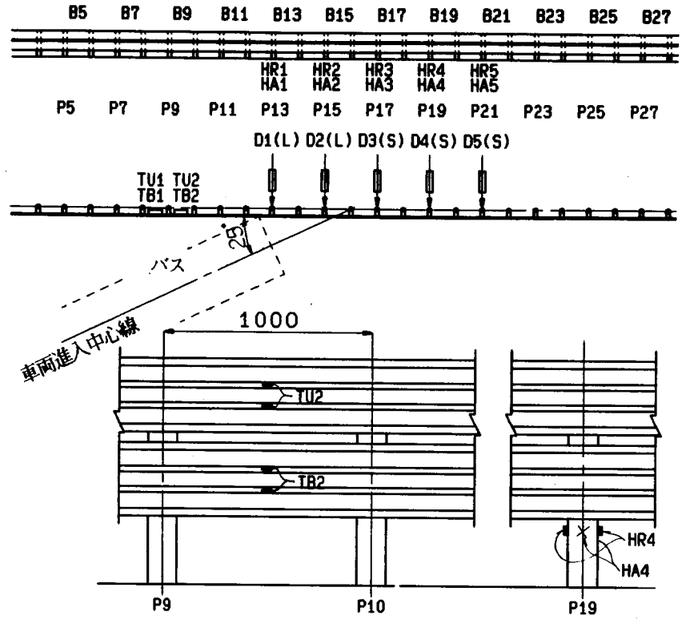
表－5･5･4　計測点数一覧

供試体（防護柵）			車種	第一衝突								第二衝突	合計
構造系	実験番号	形式		速度	加速度		変位	張力		ひずみ		ケーブル張力	
					FM	カセット		ビーム	ケーブル	HR	HA		
ガードレール系	1	A種ビーム2段型	バス	3	6	－	5	4	－	5	5	－	28
	3	新断面ビーム型	バス	3	6	6	5	4	－	5	5	－	34
	4	新断面ビーム型	乗用車	3	6	5	3	－	－	3	－	－	20
	6	新断面ビーム改良型	バス	3	6	6	5	4	－	5	5	－	34
ガードケーブル系	2	ケーブル7本型	バス	3	6	3	5	－	10	5	5	7	44
	5	ケーブル7本型	乗用車	3	6	5	3	－	10	3	－	－	30
	7	ケーブル7本改良型	乗用車	3	6	5	3	－	10	3	－	－	30
	8	ケーブル7本型（誘導板付き）	乗用車	3	6	5	3	－	10	3	－	－	30
閉断面系	6	閉断面ビーム型	バス	－	6	6	－	－	－	－	－	－	12



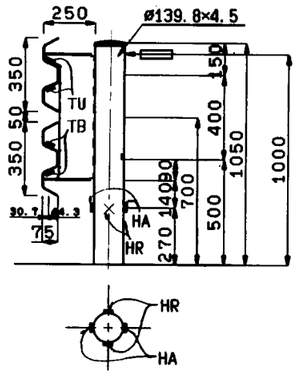
図－5·5·9　計測ブロック図（実験２　ケーブル７本型の例）

実験 1

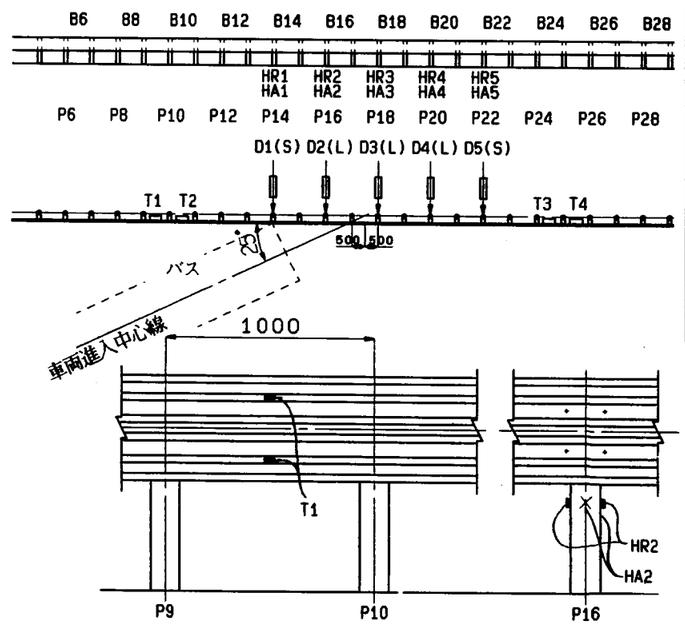


凡 例

測定項目	記号		計測点位置		計測点数		計測目的
変位		D	支柱頂部		5		支柱変位の連続的計測
ひずみ	HR		支柱下部	ビーム方向	5	10	支柱反力
	HA			ビーム直角方向	5		
	TU		ビーム中立軸	上ビーム	2	4	ビーム曲力
	TB			下ビーム	2		
合計					19		

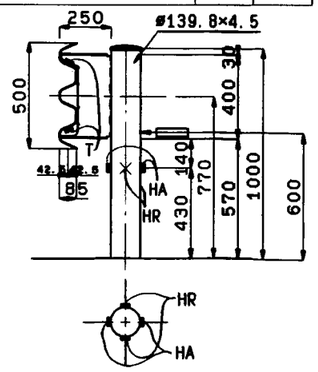


実験 3

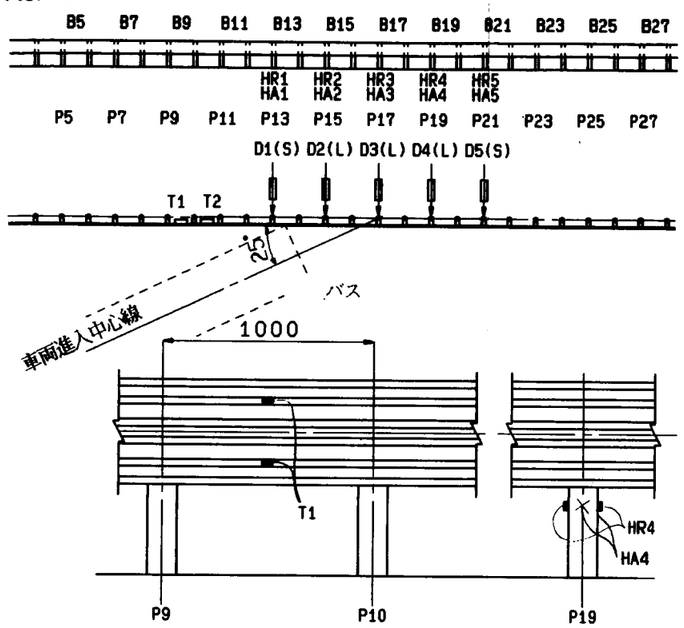


凡 例

測定項目	記号		計測点位置		計測点数		計測目的
変位		D	支柱頂部		5		支柱変位の連続的計測
ひずみ	HR		支柱下部	ビーム方向	5	10	支柱反力
	HA			ビーム直角方向	5		
	T		ビーム中立軸		4		ビーム
合計					19		

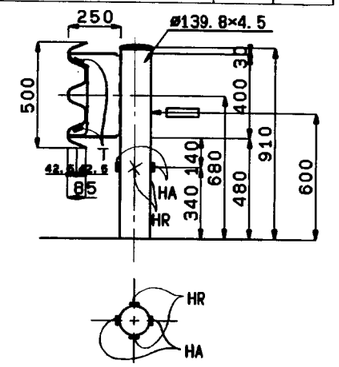


実験 6

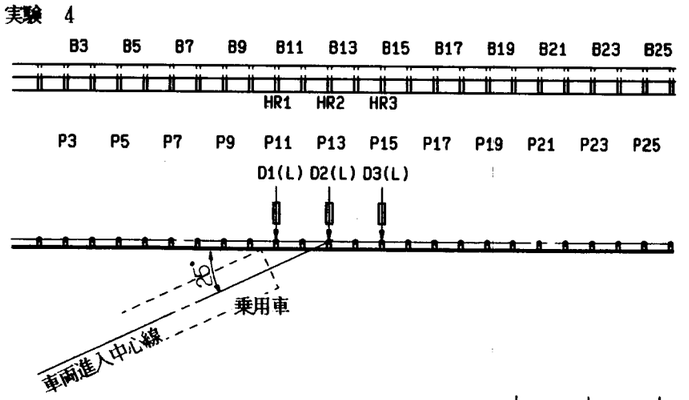


凡 例

測定項目	記号		計測点位置		計測点数		計測目的
変位		D	支柱頂部		5		支柱変位の連続的計測
ひずみ	HR		支柱下部	ビーム方向	5	10	支柱反力
	HA			ビーム直角方向	5		
	T		ビーム中立軸		2		ビーム
合計					17		

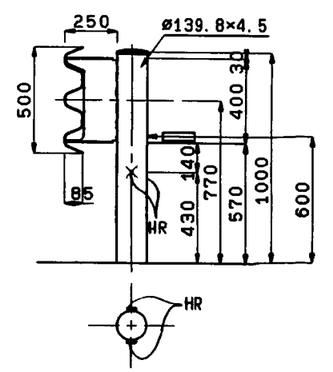


実験 4



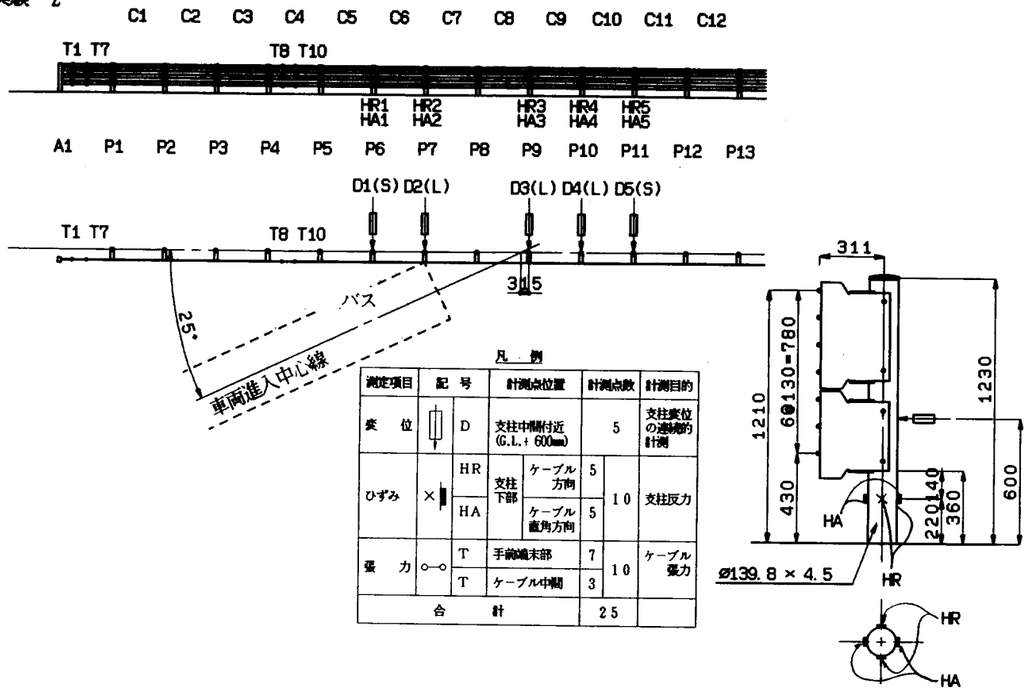
凡 例

測定項目	記号		計測点位置		計測点数	計測目的
変位		D	支柱中間付近 (G.L.+600mm)		3	支柱変位の連続的計測
ひずみ	HR		支柱下部	ビーム方向	3	支柱反力
合計					6	



図－5·5·10 ガードレール系の測定機器取付け位置

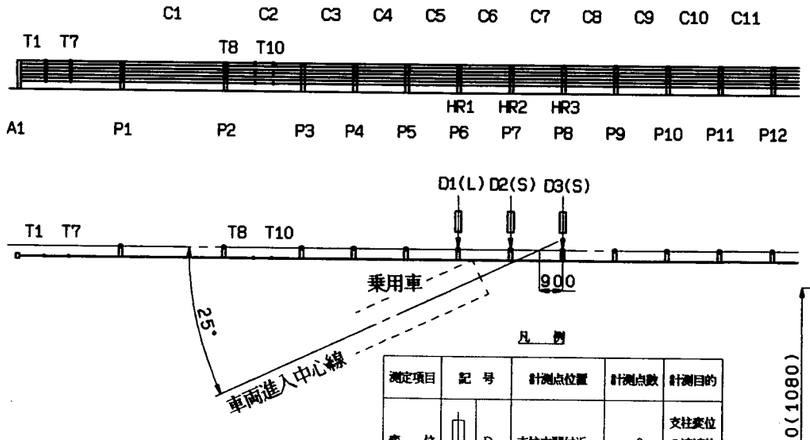
実験 2



凡 例

測定項目	記 号		計測点位置		計測点数		計測目的
変 位		D	支柱中間付近 (G.L.+ 600mm)		5		支柱変位の連続的計測
ひずみ	×	HR	支柱下部	ケーブル方向	5	10	支柱反力
		HA		ケーブル直角方向	5		
張 力	○—○	T	手前端末部		7	10	ケーブル張力
		T	ケーブル中間		3		
合 計					25		

実験 5，実験 7

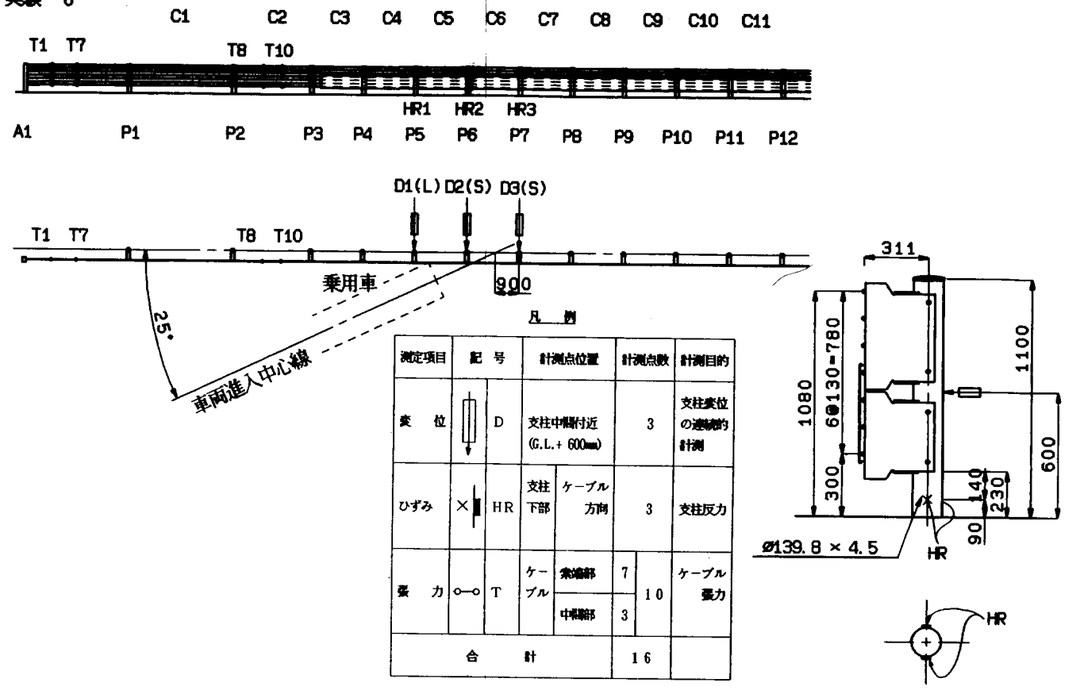


凡 例

測定項目	記 号		計測点位置		計測点数		計測目的
変 位		D	支柱中間付近 (G.L.+ 600mm)		5		支柱変位の連続的計測
ひずみ	×	HR	支柱下部	ケーブル方向	5	10	支柱反力
張 力	○—○	T	ケーブル	索端部	7	10	ケーブル張力
				中間部	3		
合 計					16		

※（ ）内は実験7

実験 8



凡 例

測定項目	記 号		計測点位置		計測点数		計測目的
変 位		D	支柱中間付近 (G.L.+ 600mm)		3		支柱変位の連続的計測
ひずみ	×	HR	支柱下部	ケーブル方向	3		支柱反力
張 力	○—○	T	ケーブル	索端部	7	10	ケーブル張力
				中間部	3		
合 計					16		

図－5·5·11 ガードケーブル系の測定機器取付け位置

5.6 実験結果および考察

衝突実験は高強度型防護柵として有効な構造諸元を見いだすために，今回新たに設計したガードレール系，ガードケーブル系，閉断面ビーム系の防護柵に対し，まずバスによる高速度衝突と急角度衝突の実験を実施して検証した。次にこれらの実験で成功した供試体について，乗用車の高速度衝突の挙動を確認した。実験は合計８回行ったが，各実験ごとの目的とした事項は表－5･2･3で述べたとおりである。以下に各形式別の実験結果と考察について述べる。

5.6.1 ガードレール系の実験結果と考察

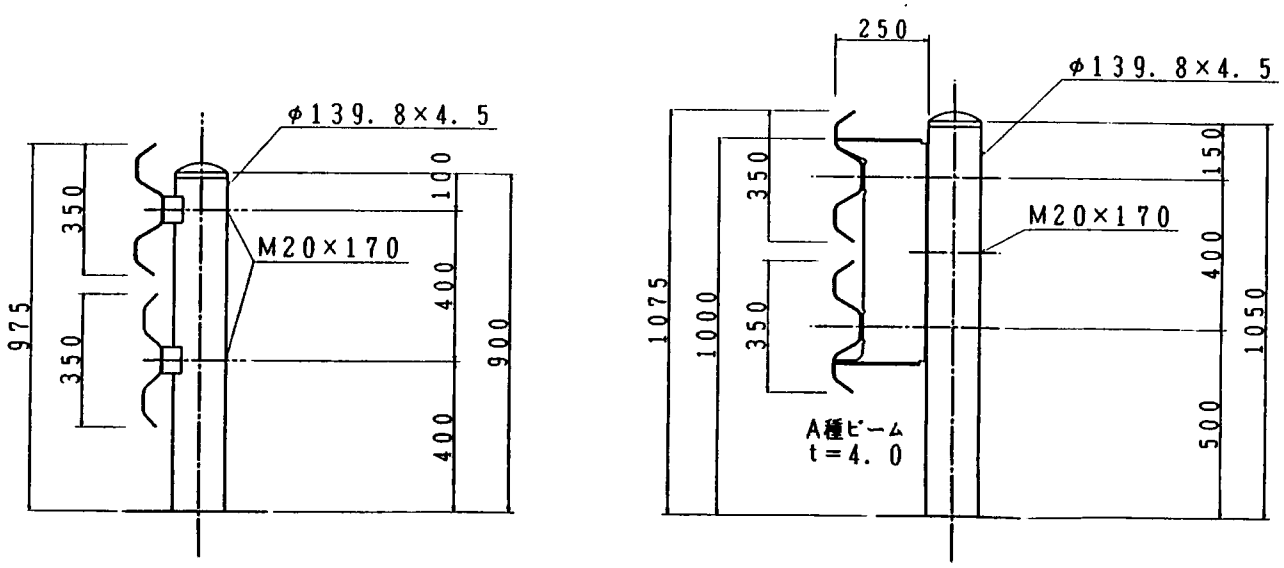
一般的に防護柵の衝突車両に対する逸脱防止機能は，防護柵強度が強いほど高いが，乗用車が衝突した場合に車両の損傷と乗員に与える傷害が大きくなるため，適度に変形する防護柵が望ましい。従って，高速度衝突や急角度衝突のように大きな衝撃度を対象としたこの一連の実験で使用したガードレールは，単に剛性を上げることに終始しないで，運動エネルギーを適度に吸収することを配慮して設計した。

1) A種ビーム２段型 ［実験１ バス］

［供試体概要］

供試体は現行のA種ビームを上下２段に配置し，A種と同断面の支柱を１m間隔に設置した構造である。設置後の供試体を写真－5･6･1および5･6･2に示す。

「３ 構造案の検討」で述べたように，この供試体では上下ビームが同時に作用して，ほぼ上下均等に力が発生することを前提としている。また，防護柵の設置高さはバスの横転現象を配慮して図－5･6･1に示すように現行S種の設置高さよりも全体を100mm上げ，上段ビーム中心高さを900mm，下段ビーム中心高さを500mmとしている。バスとガードレールの高さ関係を写真－5･6･3に示す。



現行S種　　実験１

図－5･6･1 現行S種と供試体の設置高さ

(1) 高速度衝突（第一衝突）

① 車両の挙動

重量14.0ｔのバスは速度73km/h，角度25度，衝撃度（*IS*）52.5ｔ･mでガードレールに衝突した。バスは写真－5･6･4(1)～(3)に示すように，衝突後ガードレールと平行に向きを変え，車両後部がガードレールに衝突して右前輪が浮き上がった（最大浮き上がり量55cm)。その後，写真－5･6･4(4)に示すように，右後輪が浮き上がり（最大浮き上がり量40cm)，車両はガードレール側に大きく傾いた（最大傾斜角10.3度，前端：24度，後端：29度)。車両は傾きを復元させながら離脱角度10.3度，速度51km/h（減速率30％）で第二衝突のガードレールに向かった。車輪の軌跡を図－5･6･2に示し，車輪外側の最大進入量は958mmであった。

表－5･6･1　実験条件と車両関係の実験結果（実験1　高速度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	右前輪	右後輪	最大進入量
14.0ｔ	73km/h	25度	52.5ｔ･m	51km/h	10.3度	24度	29度	55cm	40cm	958mm

車両の損傷状況は図－5･6･3および写真－5･6･9に示すとおり，左側前端および後端部の潰れ，乗降ロドアガラスのひび割れ，ボディ左側面の前から後ろにかけての線状接触痕（地盤上1,400mm)，ボディ後端のへこみ等があった。また，衝突後のバスは，第二衝突への走行状態からみて，足回りの損傷は特にないと推察され，走行可能であったと考えられる。

② 防護柵の挙動

車両前端は支柱Ｐ12から進行方向へ0.3ｍの位置に衝突した。車両とガードレールの接触長は11.6ｍで，支柱との接触は認められなかった。防護柵直角方向の残留変位が生じた区間は約15ｍ（Ｐ8～23)，柵平行方向変位については約29ｍ（Ｐ1～30）であった。この場合の区間は，支柱頭部の残留変位が10mm以上認められた支柱から求めた。車両とガードレールの接触状況を図－5･6･4に，ガードレールの残留変位を図－5･6･5に示す。

車両衝突時における柵直角方向最大変位は，衝突0.7秒後の車体後部が衝突したときにＰ15に生じ，支柱頭部で1,520mm（残留変位1,473mm)，地盤上600mmで1,193mm（残留変位1,125mm）であった。ビームの最大残留変位はＰ16の支柱部分で生じ，防護柵直角方向に上段ビームが1,133mm，下段ビームが975mmであった。

支柱水平力（防護柵直角方向）とビーム張力のピーク値は図－5･6･6および5･6･8に示すように，いずれも車両前部と後部が衝突したときの2度生じた。支柱水平力のピーク値はＰ17で発生し，前部衝突時に4.7ｔ，後部衝突時に5.3ｔであった。ビーム張力のピーク値はＢ9（Ｐ8とＰ9の間のビーム）では，上段ビームは前部衝突時に14.8ｔ，後部衝突時に19.6ｔ，下段ビームは前部衝突時に9.6ｔ，後部衝突時に11.8ｔであった。上下ビームの合計張力のピーク値は，衝突後0.27秒に前部衝突で23.8ｔ，0.59秒に後部衝突で31.0ｔ（Ｂ9）であった。

表－5･6･2　防護柵関係の実験結果（実験１　高速度）

車両と防護柵の接触長	防護柵変位					防護柵応力			
	支柱最大変位 (GL上 600mm) Y方向	最大残留変位				最大水平力		ビーム張力	
		支柱（頭部）		ビーム（Y方向）		支柱部分		B９	
		Y方向	X方向	上段	下段	Y方向	X方向	上段	下段
11.6m	1,193mm [頭部1,520mm] (P15)	1,437mm (P15)	37mm (P15)	1,133mm (P16)	975mm (P16)	5.3ｔ (P17)	1.7ｔ (P19)	前部衝突	
								14.8ｔ	9.6ｔ
								上下合計の最大値23.8ｔ	
								後部衝突	
								19.6ｔ	11.8ｔ
								上下合計の最大値31.0ｔ	

注）ビームの最大残留変位は各々のビーム中心位置を示す。

ガードレールの損傷状況は，写真－5･6･5～7に示すとおりであった。支柱は衝突位置から前方のＰ19が地盤面から0.3ｍの深さで折れ曲がっていたが（写真－5･6･8），その他の支柱については潰れ，抜け出し，折れ曲がり等はなかった。

上段ビームのＢ18と下段ビームのＢ13に圧痕が認められ，コルゲーションの変形も生じていたが，ボルト穴部の亀裂，破断等はなかった。

ブラケットはＰ12～21の10ケ所に潰れ等の変形が生じた。Ｐ14，Ｐ15のブラケット取付けボルト（Ｍ20）は写真－5･6･7に示すようにブラケットのボルト穴の変形によって引き抜けた。

③　考　察

本実験では車両の誘導性，離脱速度，離脱角度，最大進入行程，車両の損傷，防護柵の強度，構成部材の強度に大きな問題はなく，防護柵機能は満足できるものであった。

a　車両の誘導性

衝突後のバスは急激な速度低下もなく，浅い角度で離脱し，車両の誘導性は良好であった。この挙動から，離脱後の車両による二次的な事故の発生は少ないものと推察される。

b　車両の最大進入行程

車輪外側最大進入量は958mmで，要綱の最大進入行程の規定値（1.1ｍ以下）を満足しており，ビーム強度，支柱支持力，支柱間隔は的確であったといえる。

c　防護柵の強度

この供試体は上下ビームが同時に作用して均等に力が発生することを前提としているが，図－5･6･8に示すように，Ｂ８およびＢ９のビームいずれも上段のほうが下段よりも大きな張力が発生している。各々の最大張力を比較すると図－5･6･8に示すように，Ｂ８，Ｂ９いずれも下段ビームは上段ビームの約60％であった。一方，ビームの最大張力は残留変位からみてＢ15付近で発生すると思われるが，変形が大きくなるため計測できなかった。そこで，継手部を挟むＢ８とＢ９の張力比からＢ15付近の張力はＢ９の約1.2倍と考えられ，37.7ｔ（上段23.5ｔ，下段14.2ｔ）程度と推定される（Ｂ９とＢ15の間の継手部は１ケ所）。

この値は「3.2.2　ガードレール系の諸元についての検討」で述べたシミュレーションによるビームの張力の値にほぼ等しい。

ビームの強度は上段ビームのＰ13の継手部上端で板の痩せがあることから限界近くであったと考えられる。

支柱の柵直角方向の平均支持力は，設計上2.5ｔとした。衝突実験の支柱の最大水平力は，図－5･6･6に示すようにＰ13，15，17，19で4.0ｔ以上と，実験場の地盤で測定した単独支柱の支持力の約2.8ｔに対してかなり大きい。これは支柱がビームで連結されているため，ビーム張力による分力が加わったことによると考えられる。

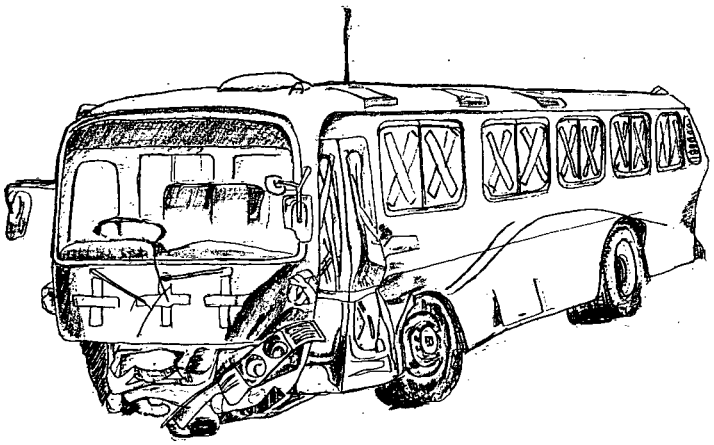
ブラケットは変形したが，ビームから支柱への荷重伝達に十分な強度であった。ガードレールの大変形時にブラケット取付けボルトが引き抜けたが，ビームと支柱が分離することにより，支柱の倒れに追随したビーム高さの低下を防止できるため，衝突車を支持する上で有利であったと考えられる。

ビーム接合ボルトは破断が認められず，現行のM16（６Ｔ）で十分であると判断できた。

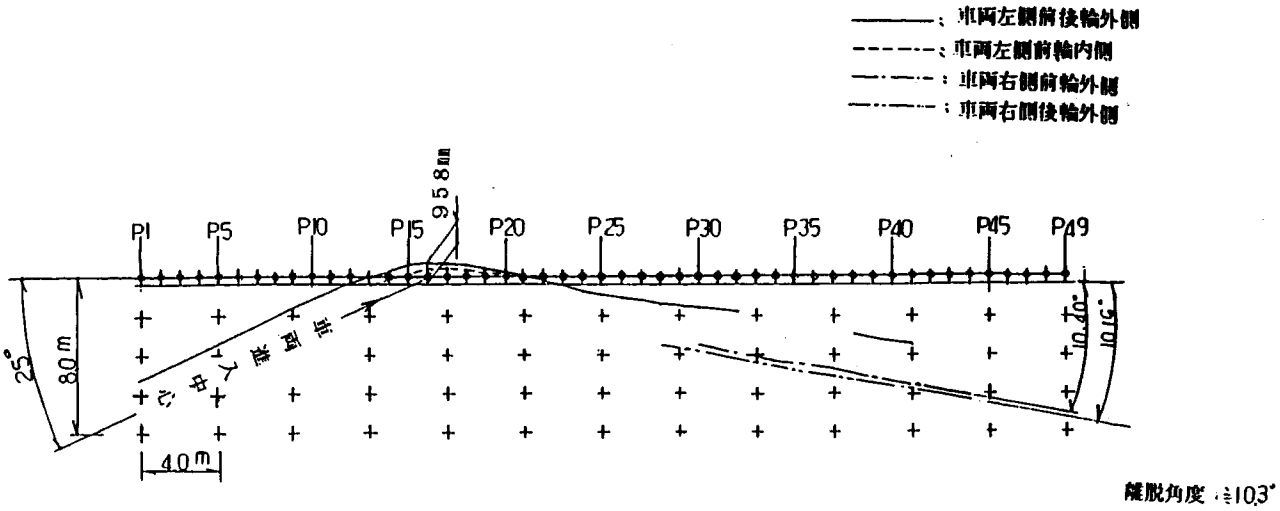
ｄ　車両の損傷

車両の損傷は前部の方が大きく，後部については前部衝突よりも大きな力が加わったにもかかわらず小さい。これは衝突時の姿勢角や前後端の車体強度などの違いによると考えられる。

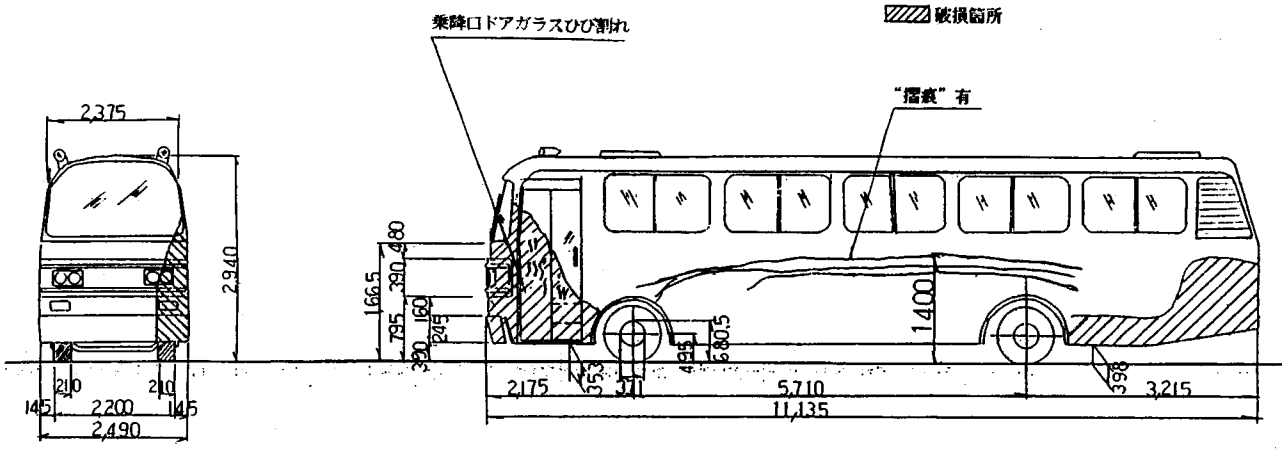
防護柵に対する衝突車の荷重は，大型トラックの場合，車輪のディスクから伝達されるが，バスの場合は車体構造の違いと損傷状況から判断してボディによって伝達されると考えられる。



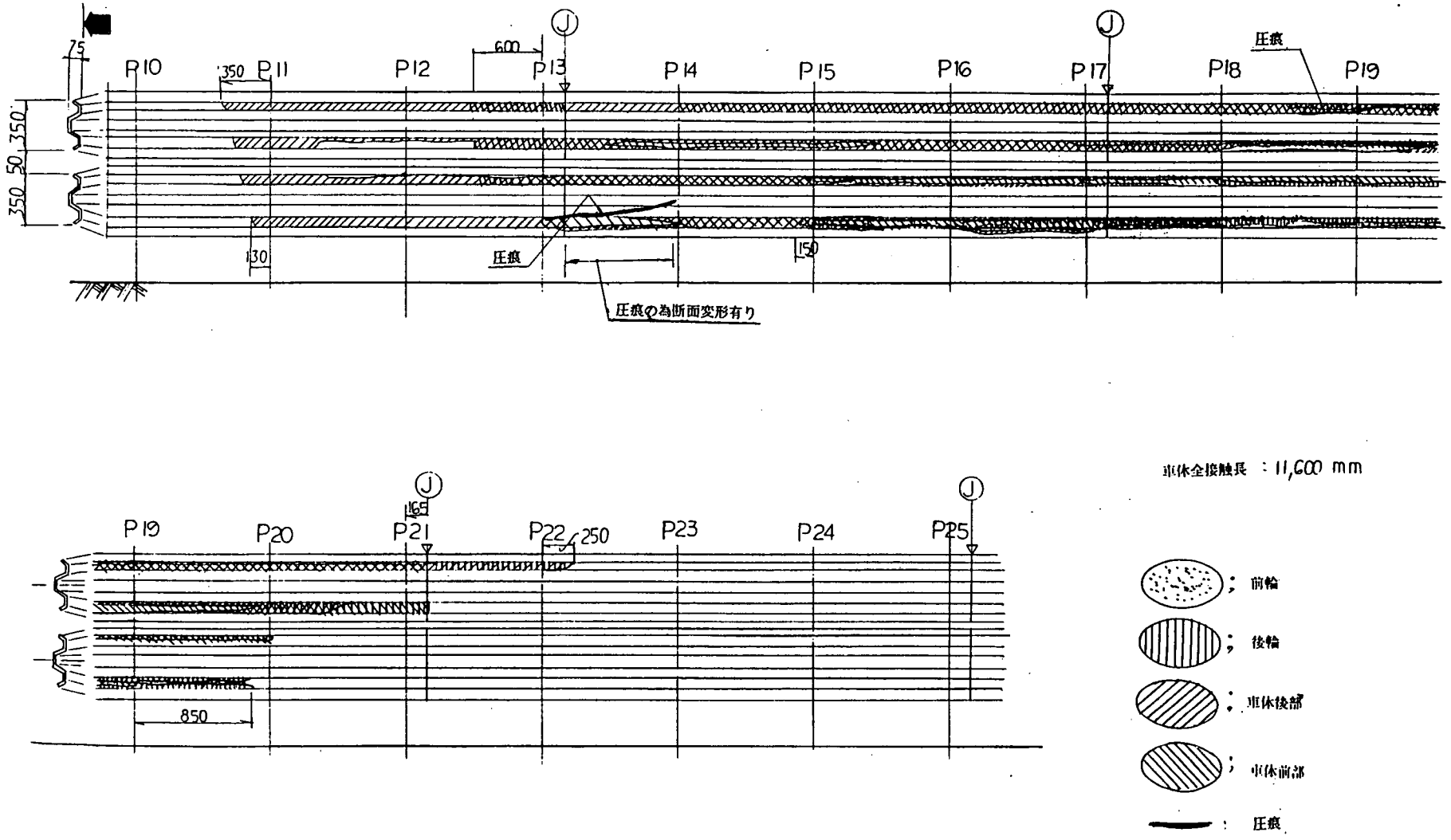
実験１　高速度



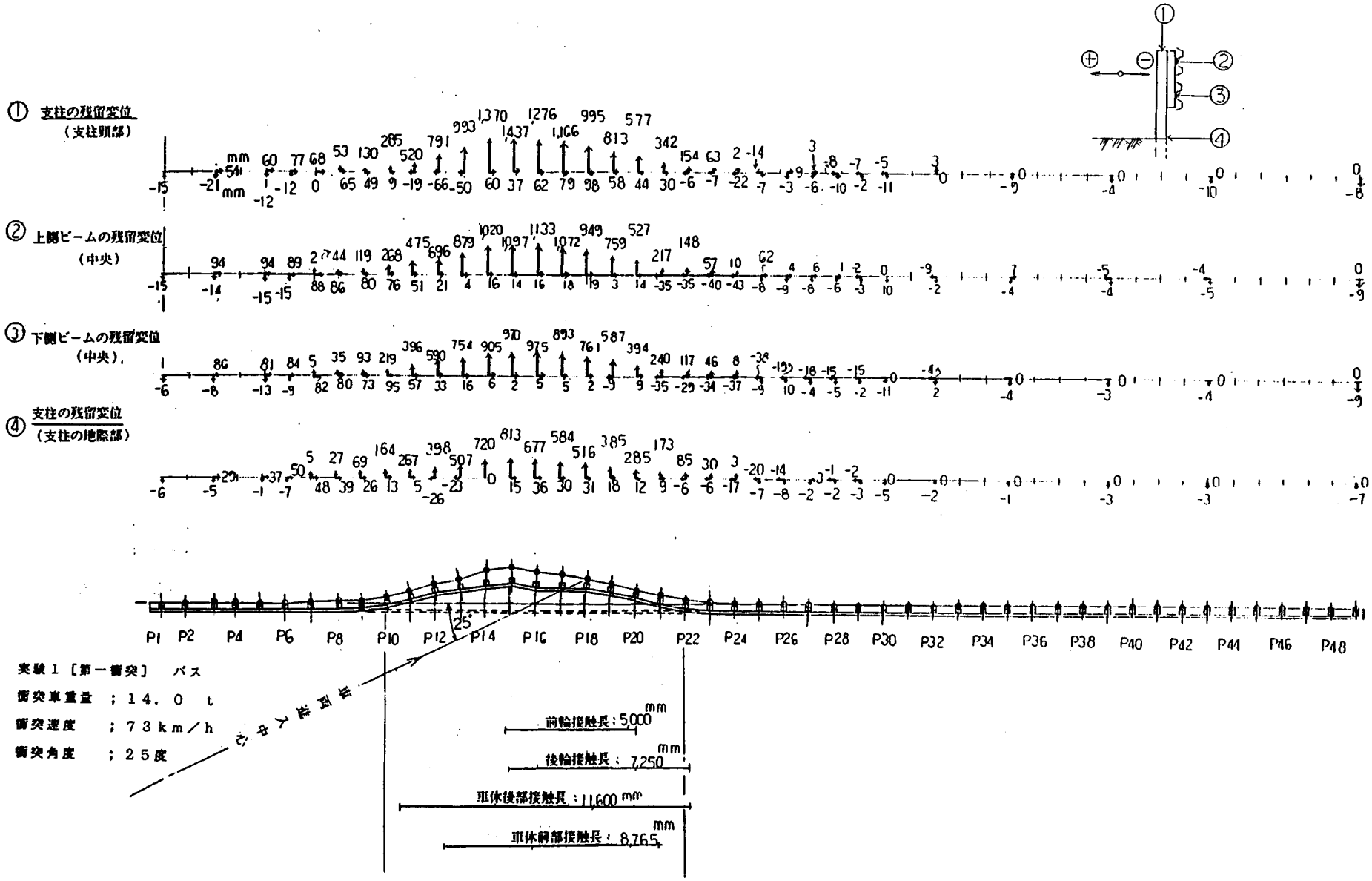
図－5·6·2　車輪の軌跡（実験１　高速度）



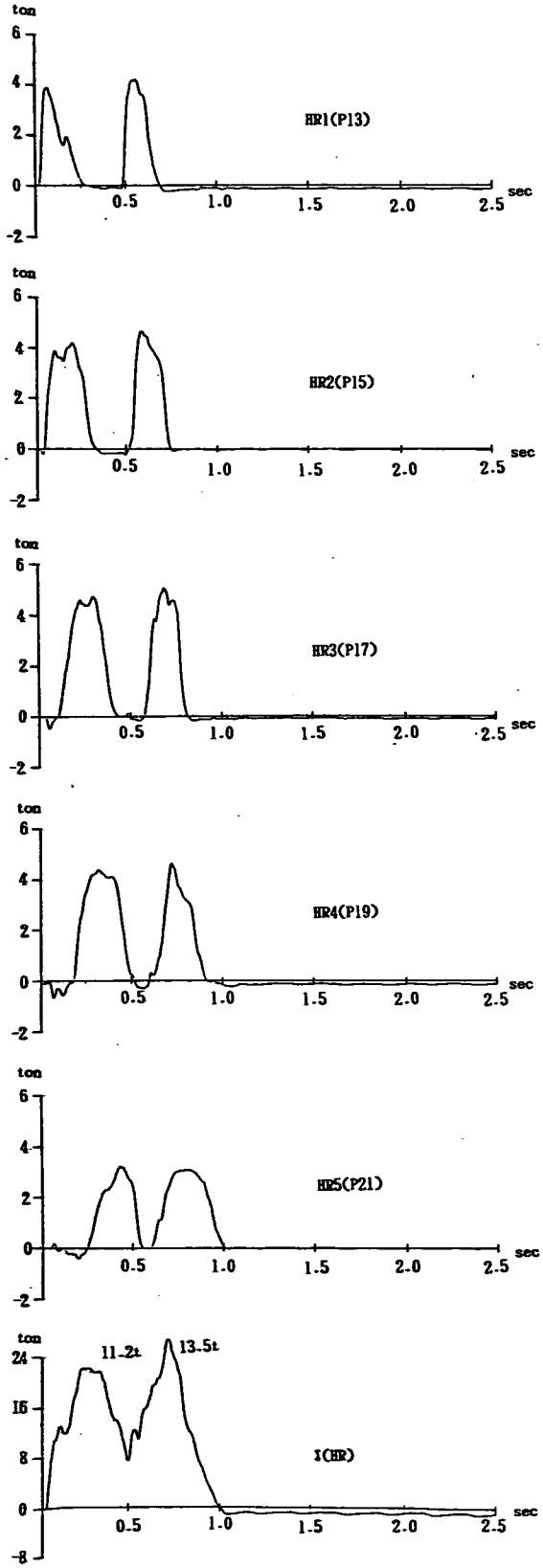
図－5·6·3　車両の損傷状況（実験１　高速度）



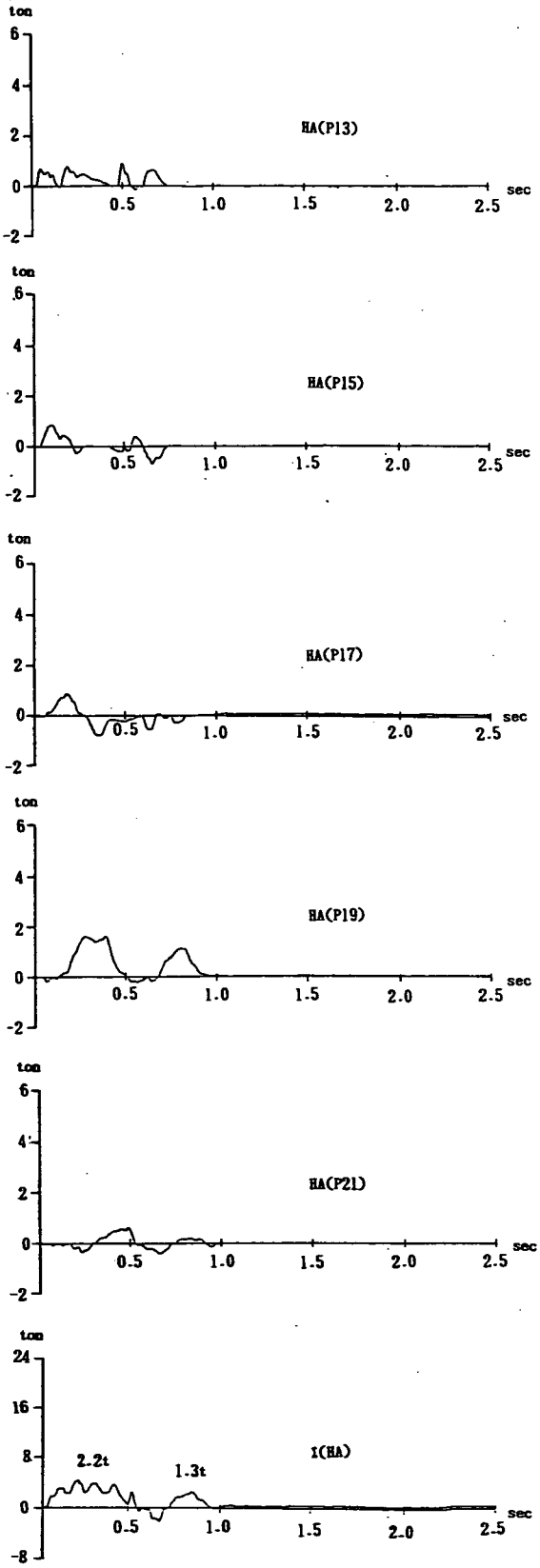
図－5·6·4　車両の接触状況（実験１　高速度）



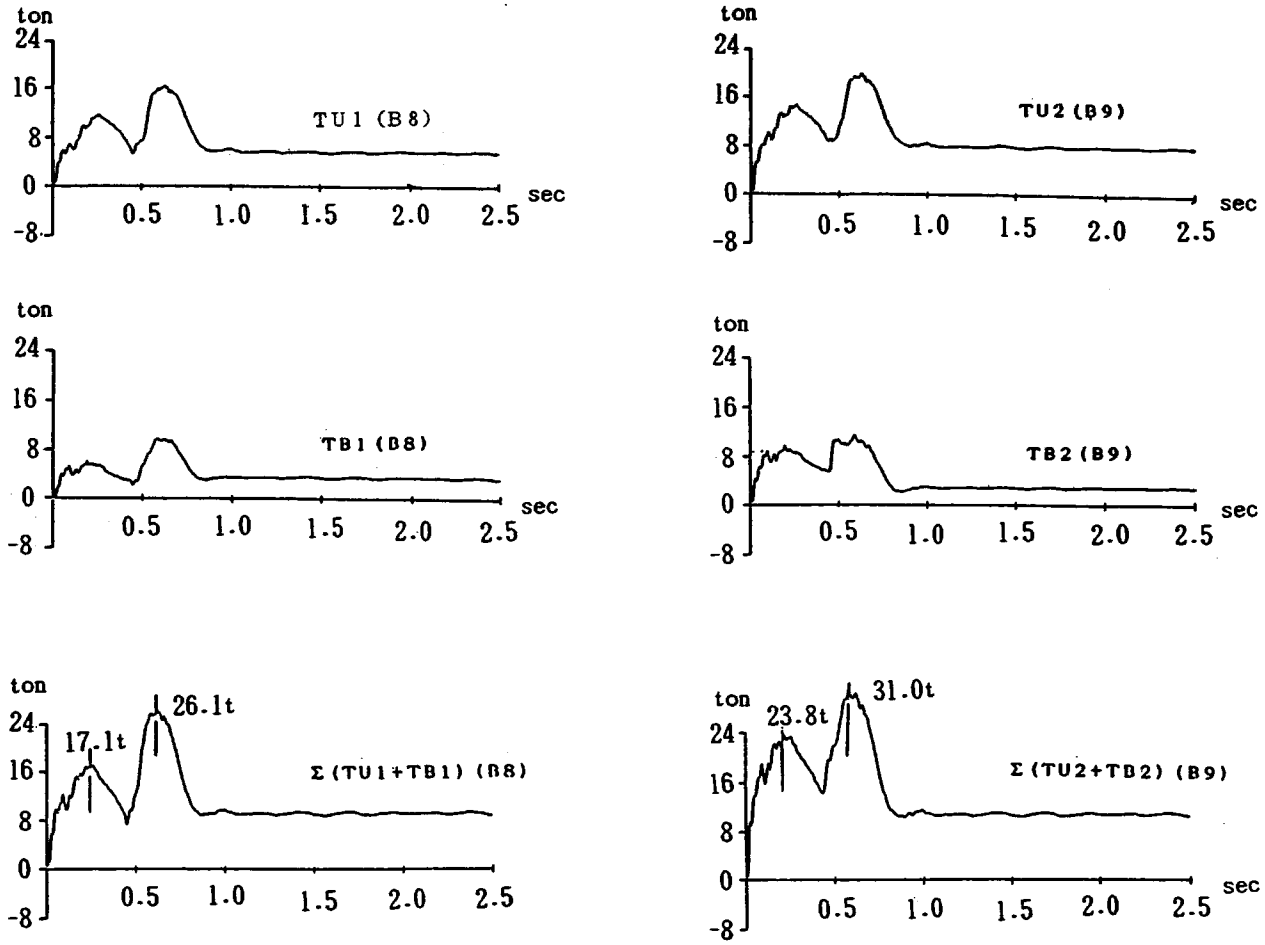
図－5･6･5 支柱およびビームの残留変位（実験１ 高速度）



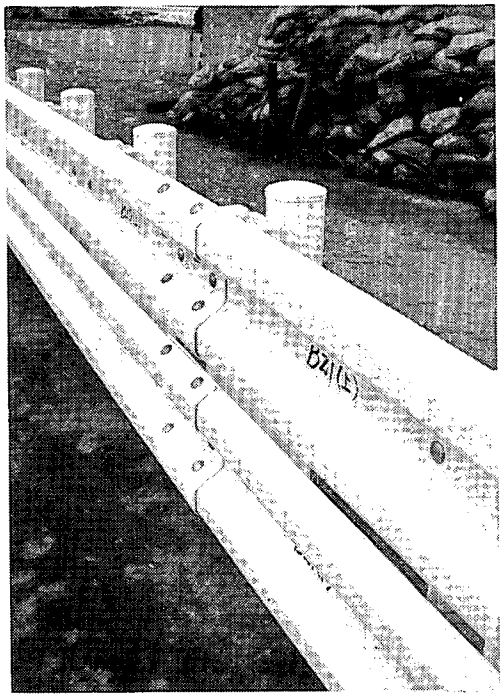
図－5･6･6　支柱に作用した防護柵直角方向の水平力



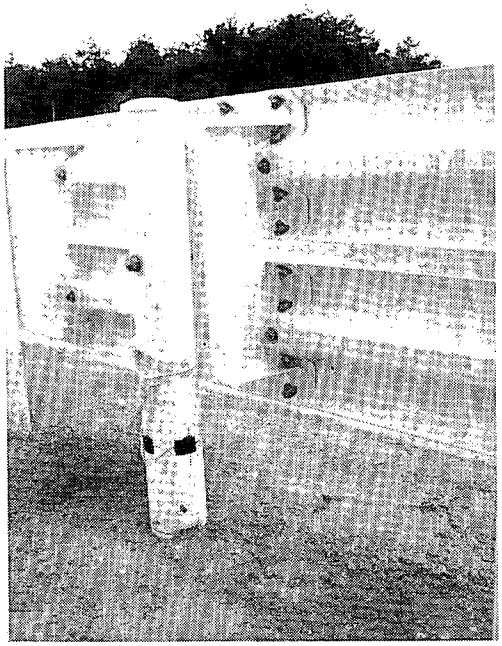
図－5･6･7　支柱に作用した防護柵平行方向の水平力



図－5·6·8　ビームに作用した張力と合計



写真－5･6･1　A種ビーム２段型



写真－5･6･2　A種ビーム２段型



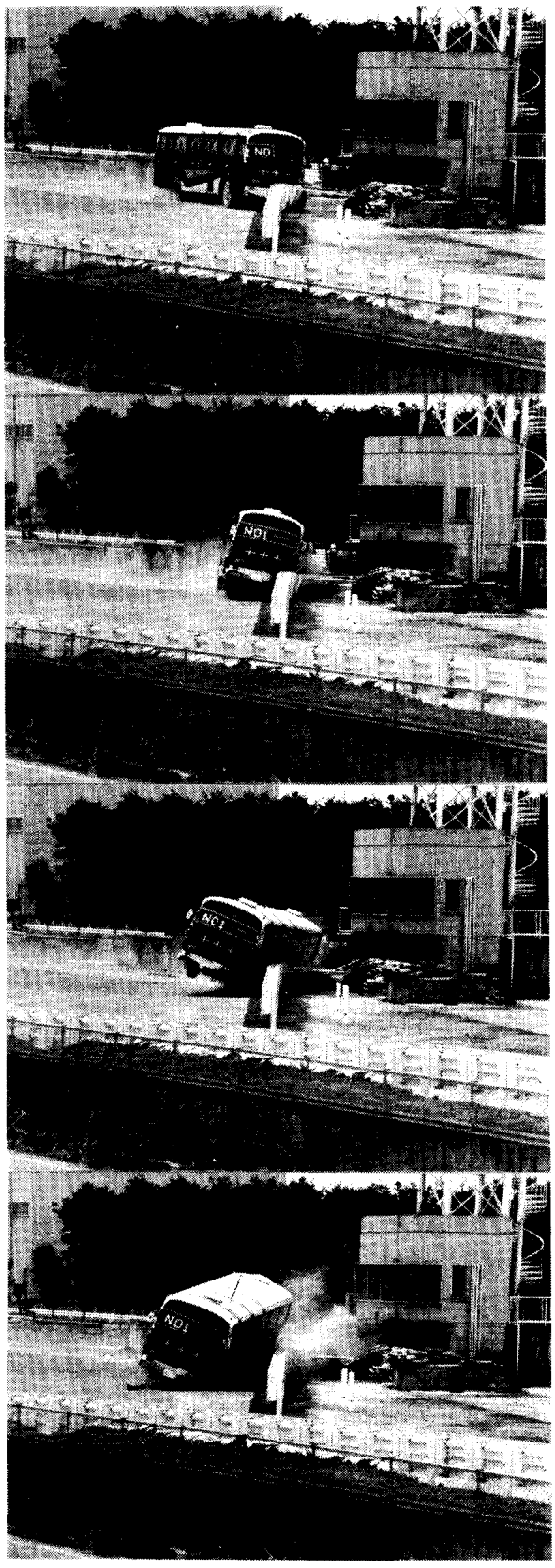
写真－5･6･3　バスとガードレールの高さ関係

(1)

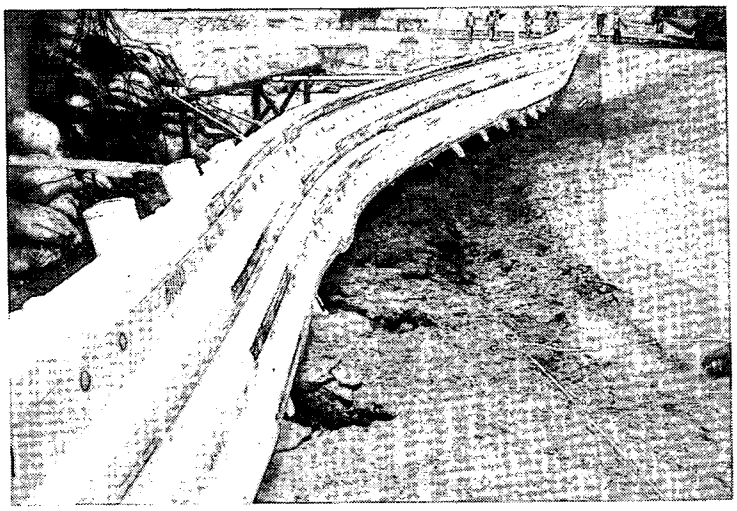
(2)

(3)

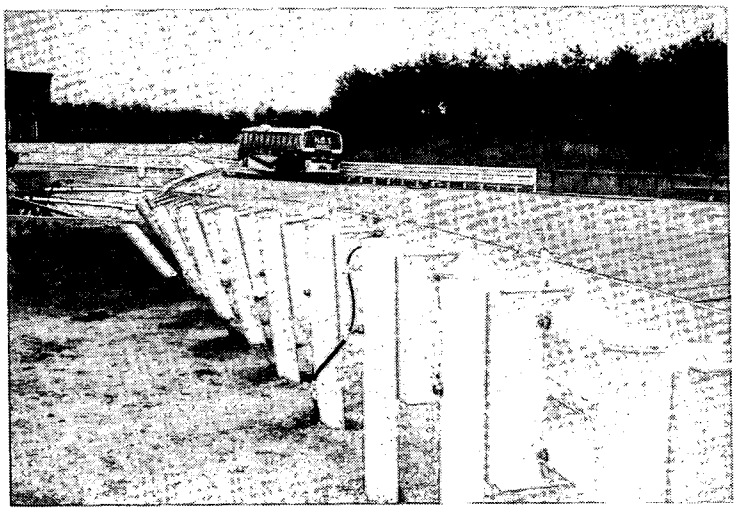
(4)



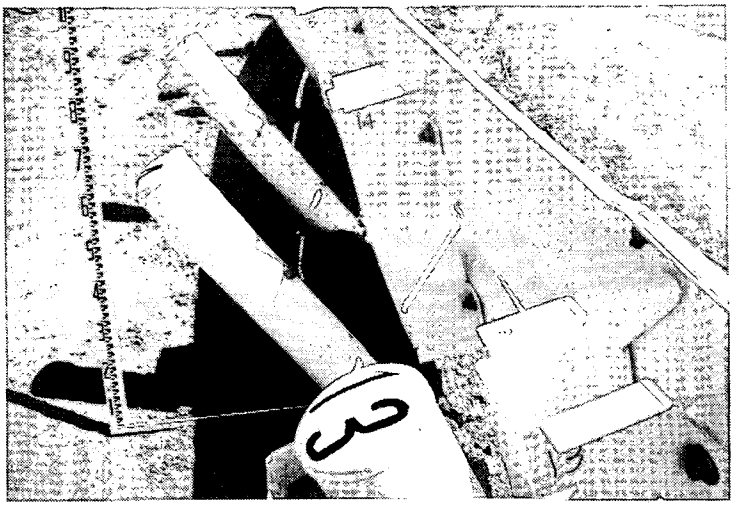
写真－5･6･4　バスの挙動



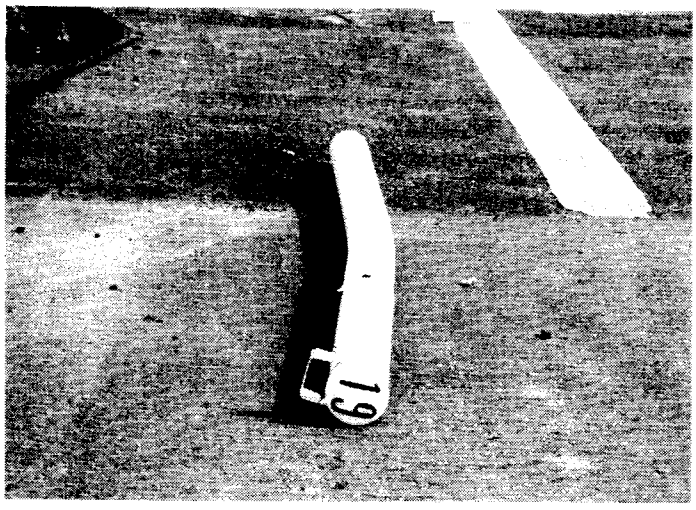
写真－5･6･5　ガードレールの損傷状況



写真－5･6･6　ガードレールの損傷状況

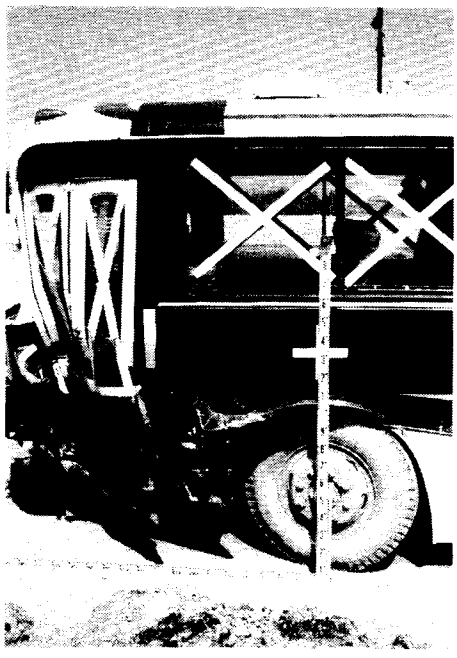


写真－5･6･7　ブラケット部の損傷状況

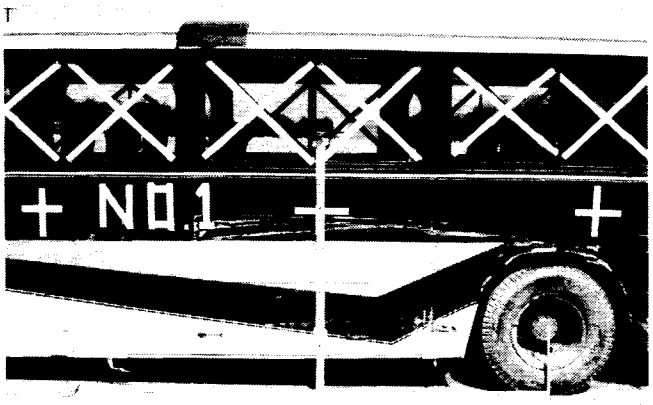


写真－5･6･8　支柱の変形状況

（P 19 以外の変形はない）



(1)　前部



(2)　側面

写真－5･6･9　バスの損傷状況

(2) 急角度衝突（第二衝突）

① 車両の挙動

第一衝突から離脱したバスは，ピッチング（車体の前後方向におけるシーソーのような動き）しながら速度51km/h，角度44度，衝撃度69.2 t・mで第二衝突実験用ガードレールに衝突した。この衝撃度は目標とした値 50 t・mに対し約 1.4 倍であった。

バスは写真－5･6･10 に示すように，衝突後約 4.5 mまでは誘導されたが，その後，衝突位置手前の上段ビーム接合部が破断し，ガードレールに乗り上げて停止した。停止したバスとガードレールの状況を図－5･6･9 および写真－5･6･10 の(4)，5･6･11，12 に示す。車両の最大傾斜角は前端で 12 度，後端で 8 度であった。

表－5･6･3 実験条件と車両関係の実験結果（実験 1 急角度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	左前輪	左後輪	最大進入量
14.0 t	51km/h	44度	69.2 t・m	——	前輪突破	12度	8度	——	——	——

備考）——については計測を行っていない。

② 防護柵の挙動

車両前端はＰ62から進行方向側 0.55 mの位置に衝突した。車両とガードレールの接触状況を図－5･6･11 に，残留変位を図－5･6･12 に示す。

ガードレールの損傷状況は写真－5･6･13 に示すとおりであった。支柱は衝突位置手前側のＰ62～70 までの 9 本が地盤面から 28～59cm の深さで折れ曲がっていた（写真－5･6･15）。

ビームは写真－5･6･14 に示すようにＰ66 の接合部で破断し，同位置の下段ビームではボルト穴上縁の端あき部に亀裂が生じた。なお，ボルトの破断はみられなかった。

ブラケットはＰ61～70 の 10 ケ所に潰れ等の変形を生じ，ビーム取付け部がＰ66～70 の 5 ケ所で破断した。Ｐ66～71 のブラケット取付けボルト（M20）がボルト穴の変形によって引き抜けた。

表－5･6･4 防護柵関係の実験結果（実験 1 急角度）

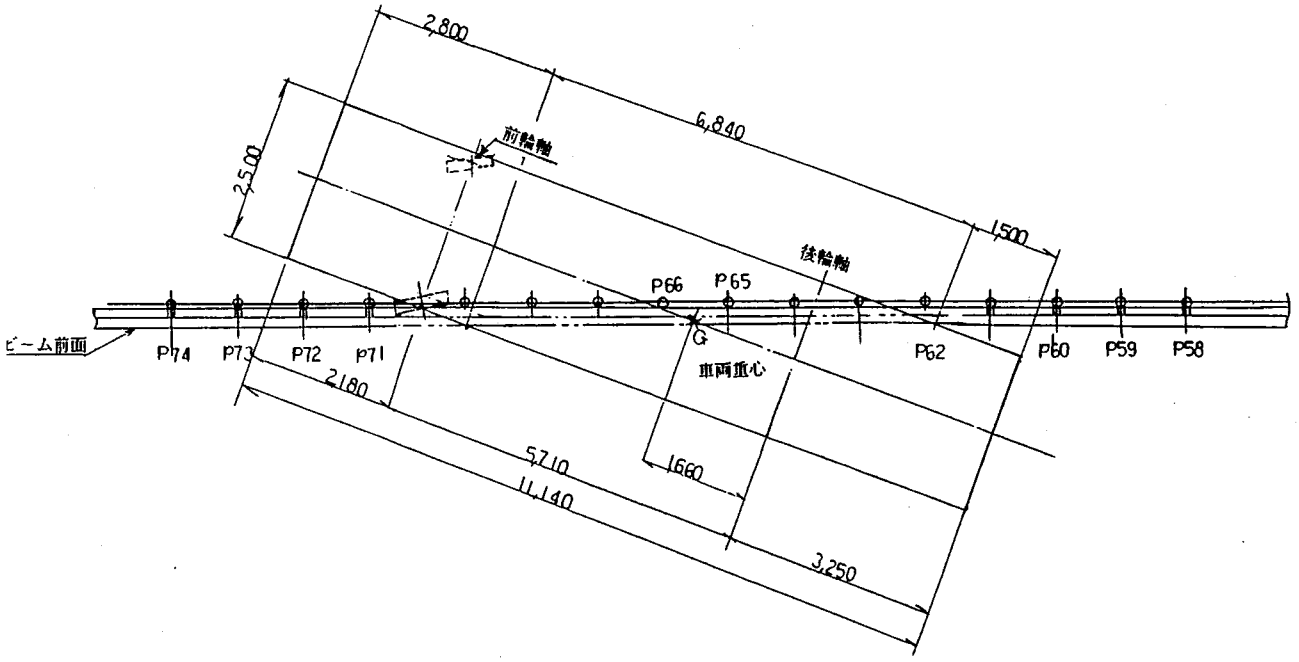
車両と防護柵の接触長	防護柵変位					防護柵応力			
	支柱最大変位 (GL上 600mm) Y方向	最大残留変位				最大水平力		ビーム張力	
		支柱（頭部）		ビーム（Y方向）		支柱部分		X方向	
		Y方向	X方向	上段	下段	Y方向	X方向	上段	下段
——	——	1,108mm (P67)	713mm (P67)	——	——	——	——	——	——

備考）——については計測を行っていない。

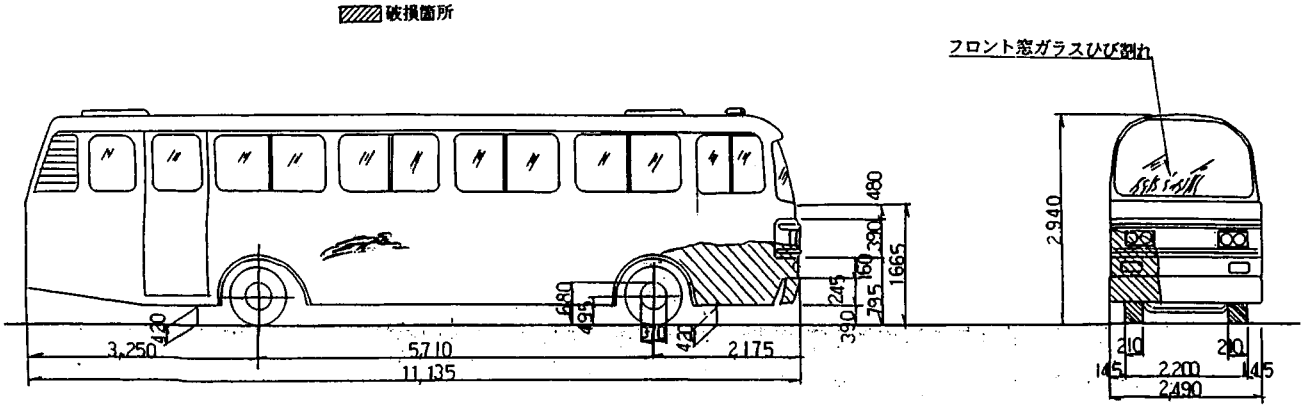
③ 考 察

実験は車両の誘導性の点では満足のいく成果は得られなかったが，ガードレールによってバスが停止したことに関しては，逸脱防止という意味から評価できるものと考えられる。

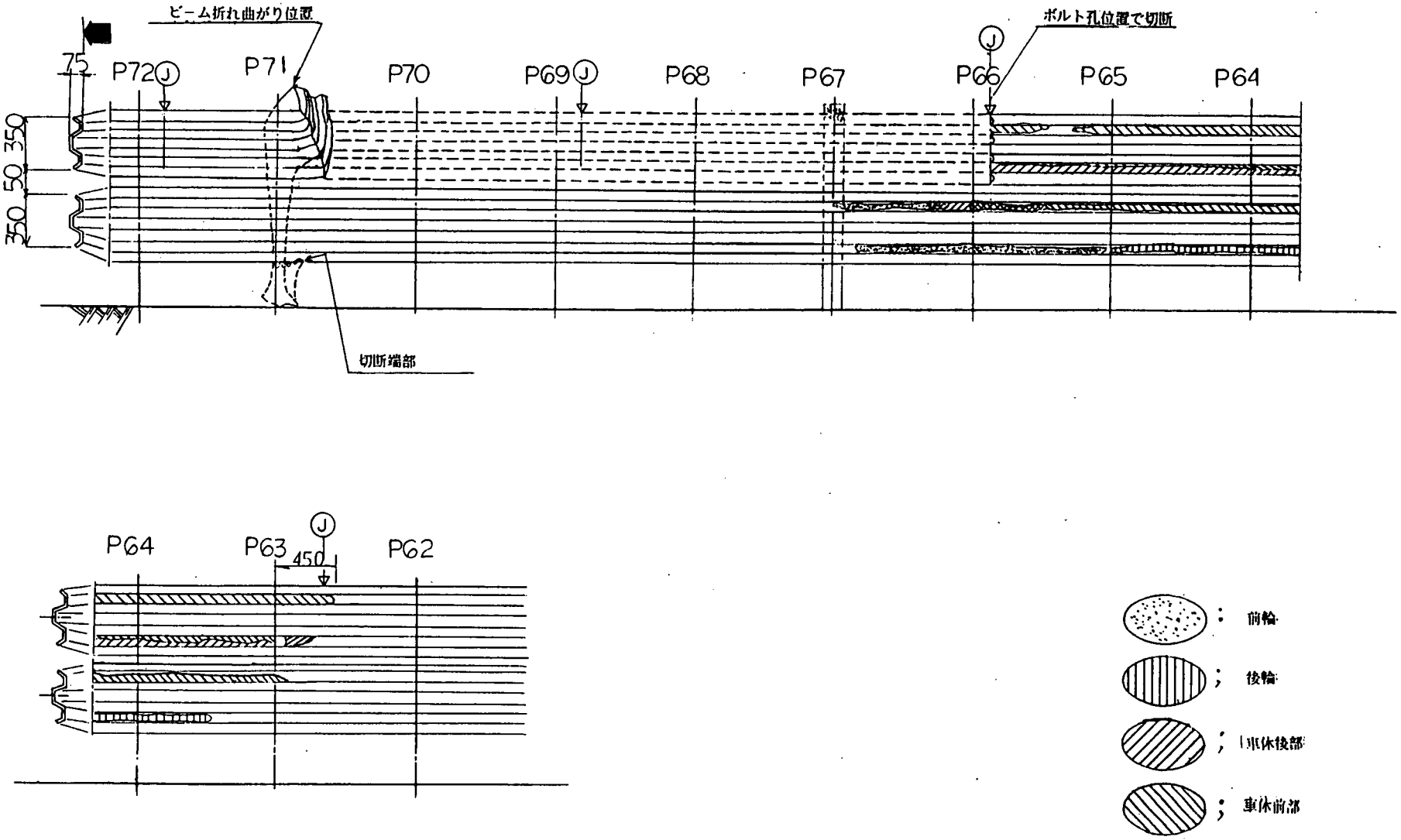
本実験でビームが破断したのは，衝撃度が設計値の約1.4倍（69 t·m）という大きさであったことや，上下ビームに均等な力が作用しなかったためと考えられる。従って，A種ビーム２段型のような構造は上下ビームを有効に機能させる必要があり，ブラケット，ビーム断面等についてさらに検討しなくてはならない。そこで今回の一連の研究では，新断面ビーム型についての検討を進めることにした。



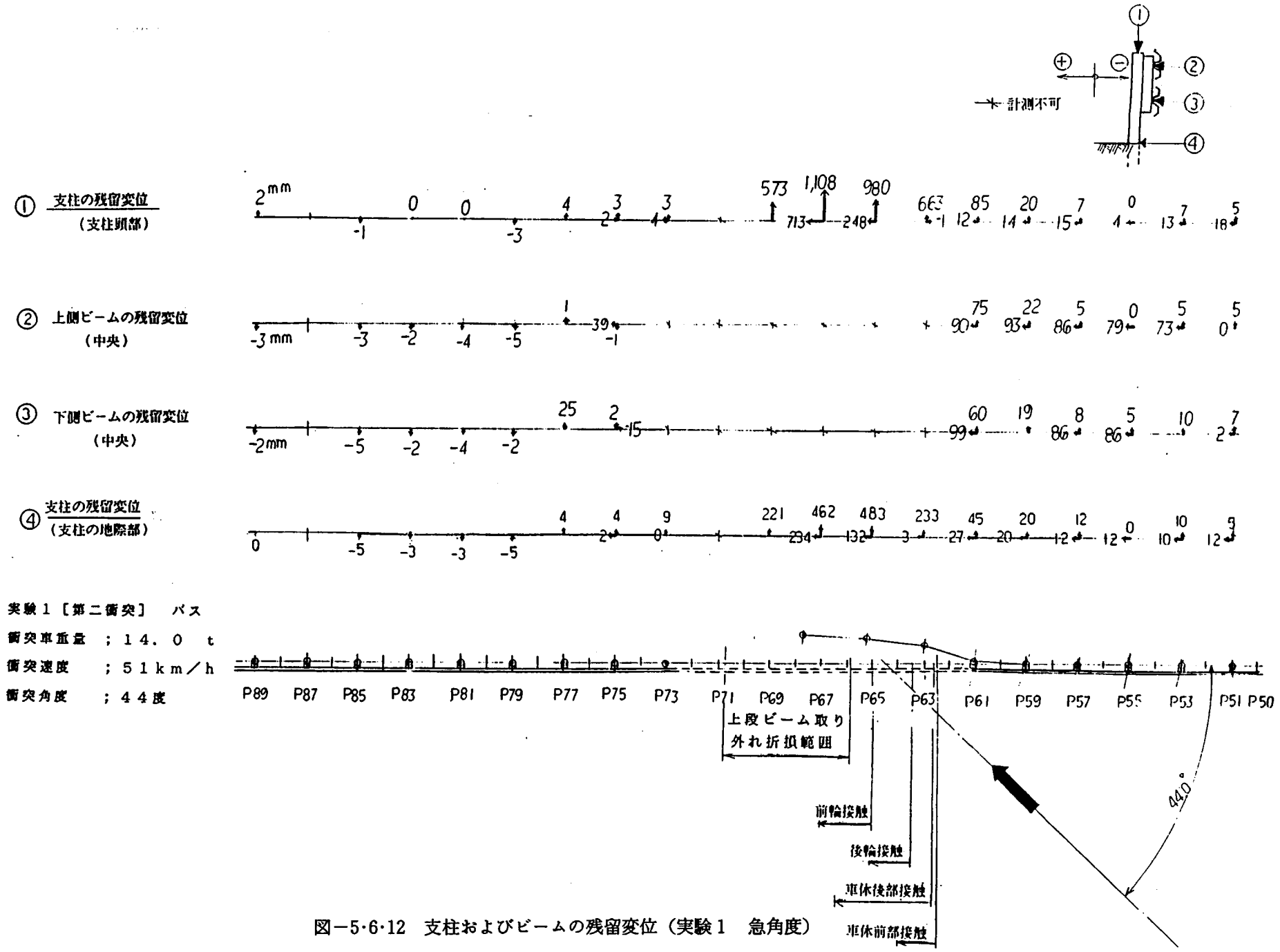
図－5·6·9　車両のガードレール乗り上げ後の平面状況（実験１　急角度）



図－5·6·10　車両の損傷状況（実験１　急角度）

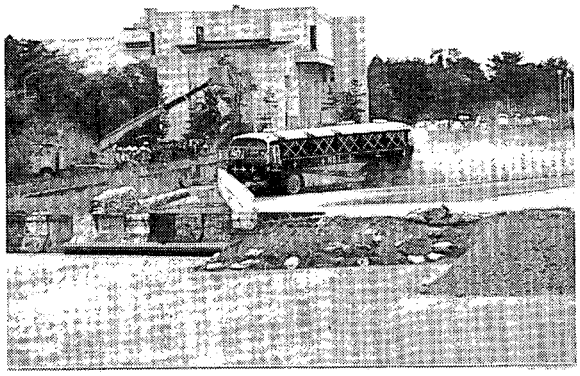


図－5·6·11　車両の接触状況（実験１　急角度）

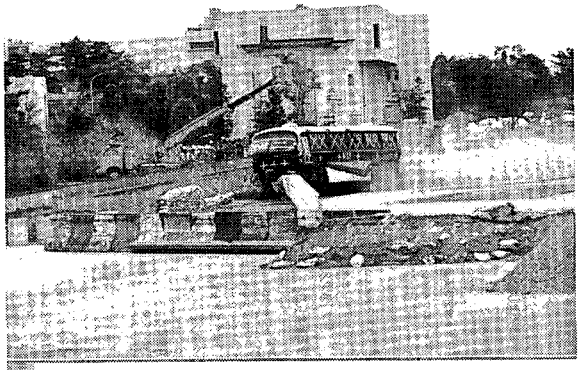


図－5·6·12　支柱およびビームの残留変位（実験１　急角度）

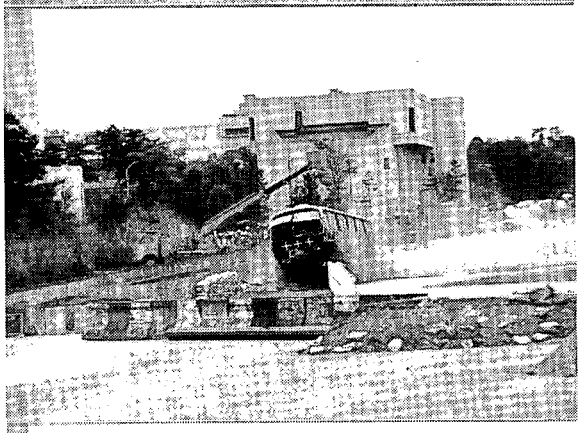
(1)



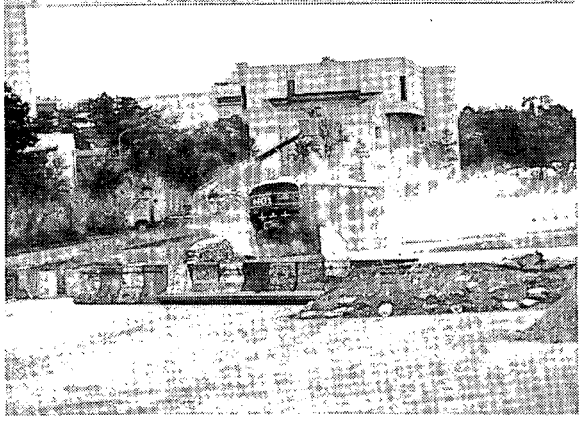
(2)



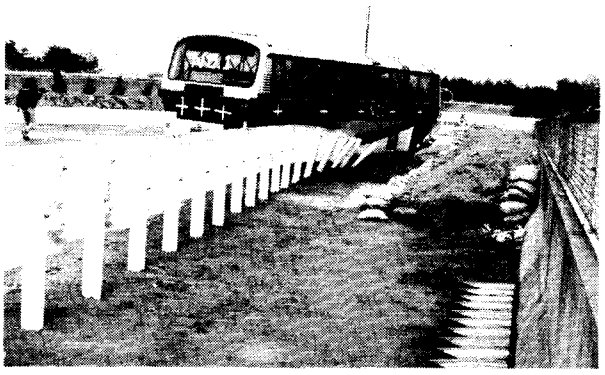
(3)



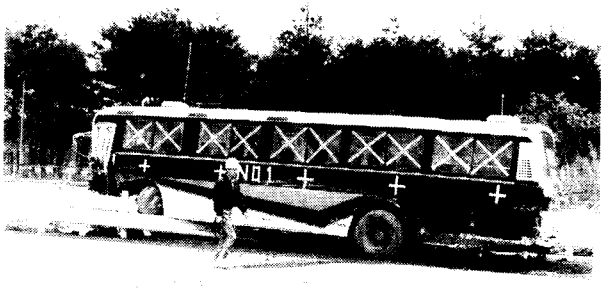
(4)



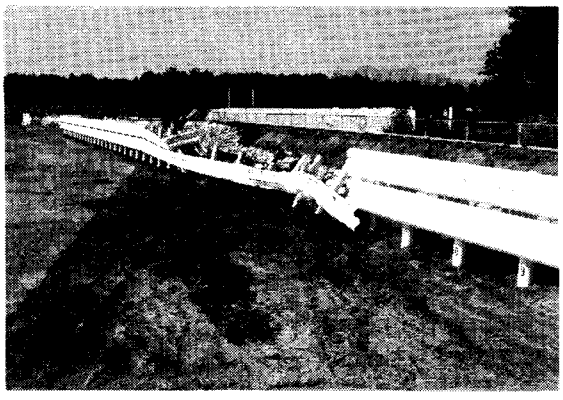
写真－5･6･10　バスの挙動



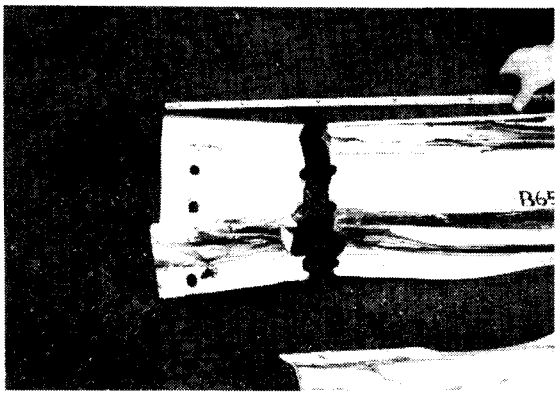
写真－5･6･11　乗り上げ状況



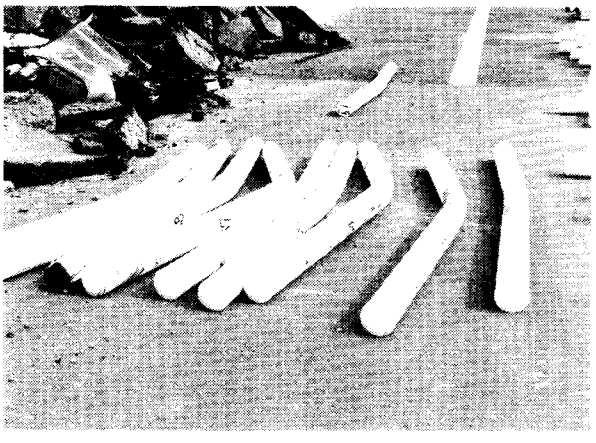
写真－5･6･12　乗り上げ状況



写真－5･6･13　ガードレールの損傷状況



写真－5･6･14　ビームの破断状況



写真－5･6･15　支柱の変形状況



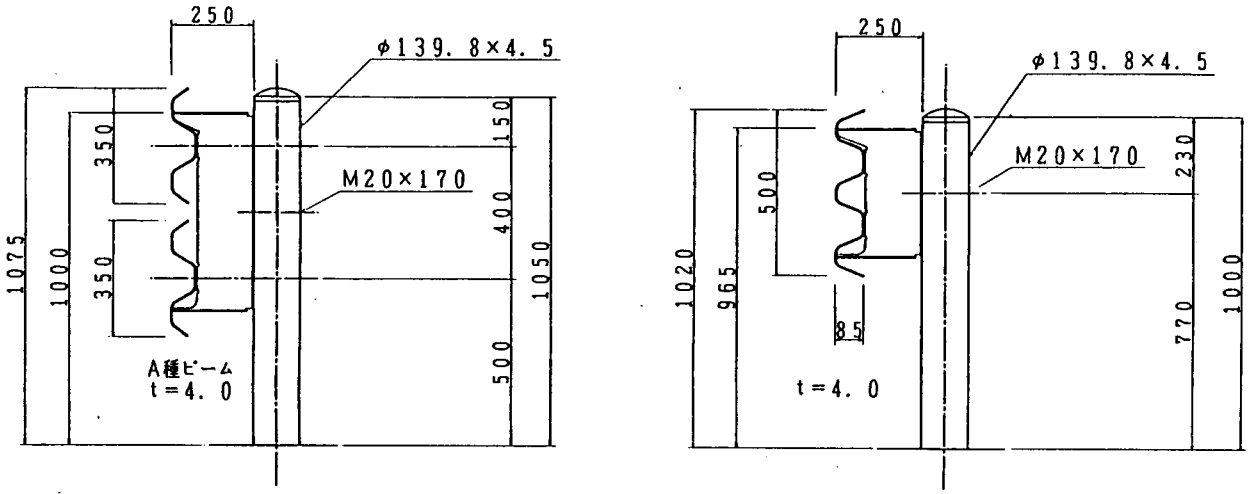
写真－5･6･16　バス前部の損傷状況

2) 新断面ビーム型 ［実験３ バス］

［供試体概要］

供試体は幅500mm，深さ85mm，板厚4.0mmの新断面ビームを使用し，支柱の断面，埋込み深さ，間隔は実験１と同様にした。設置後の供試体を写真－5･6･17，18に示す。

設置高さは一枚のビームでバスと乗用車の誘導性を満足させるために，ビーム中心で770mm，ビーム天端で1,020mmとしている。実験１（A種ビーム２段型）とこの供試体の設置高さの比較を図－5･6･13に示す。バスおよび乗用車と供試体の高さ関係を写真－5･6･19，20に示す。



実験１　　実験３

図－5･6･13 実験１と供試体の設置高さ

(1) 高速度衝突（第一衝突）

① 車両の挙動

重量14ｔのバスは速度73km/h，角度25度，衝撃度52.5ｔ･ｍでガードレールに衝突した。バスは写真－5･6･21の(1)～(3)に示すように，衝突後ガードレールと平行に向きを変え，車両後部がガードレールに衝突して右前輪が浮き上がった（最大浮き上がり量56cm）。その後，写真－5･6･21(4)に示すように右後輪が浮き上がり（最大浮き上がり量35cm），車両はガードレール側に大きく傾いた（最大傾斜角 前端：19度，後端：23度）。車両は速度52km/h（減速率29％），角度11.5度で離脱した。車輪外側の最大進入量は863mmであった。車輪の軌跡を図－5･6･14に示す。

表－5･6･5 実験条件と車両関係の実験結果（実験３ 高速度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	右前輪	右後輪	最大進入量
14.0ｔ	73km/h	25度	52.5ｔ･ｍ	52km/h	11.5度	19度	23度	56cm	35cm	863mm

車両の損傷は図－5･6･15および写真－5･6･26に示すとおり，左側前端および後端部の潰れ，乗降ロドアガラスの飛散，左後部（ダミー配置場所）窓ガラスの割れ，左ボディ側面の前から後ろにかけての線状接触痕（地盤上1,250mm），ボディ後端のへこみ傷等があった。また，衝突後のバスはタイヤがパンクしたが，第二衝突への走行状態からみて走行可能であったと考えられる。

② 防護柵の挙動

車両前端は支柱Ｐ14の位置に衝突した。車両とガードレールの接触長は11.9ｍで，Ｐ14～18の５本の支柱には車体後部が接触していた。防護柵直角方向の残留変位が生じた区間は約15ｍ（Ｐ10～25），柵平行方向については約25ｍ（Ｐ４～29）であった。車両とガードレールの接触状況を図－5･6･16に，残留変位を図－5･6･17に示す。

車両衝突時の柵直角方向の最大変位はＰ18で生じ，支柱頭部で1,447mm（残留変位1,374mm），地盤上600mmで1,163mmであった。ビームの最大残留変位はＰ18の支柱部分で生じ，柵直角方向に1,319mmであった。

支柱水平力（防護柵直角方向）とビーム張力のピーク値は図－5･6･18および図－5･6･20に示すように，いずれも車両前部と後部が衝突した時の２度生じた。支柱水平力のピーク値はＰ20で，前部衝突時に4.6ｔ，後部衝突時に4.8ｔであり，ビーム張力はＢ９で前部衝突時が13.2ｔ，後部衝突時が19.7ｔであった。

表－5･6･6 防護柵関係の実験結果（実験３ 高速度）

車両と防護柵の接触長	防護柵変位					防護柵応力		
	支柱最大変位（GL上600mm）Y方向	最大残留変位				最大水平力		ビーム張力
		支柱（頭部）		ビーム（Y方向）		支柱部分		
		Y方向	X方向	上部	下部	Y方向	X方向	X方向
11.9m	1,163mm [頭部1,447mm] (P18)	1,374mm (P18)	145mm (P19)	1,319mm (P18)	1,215mm (P18)	4.8ｔ (P20)	0.8ｔ (P19)	19.7ｔ（B９） 16.4ｔ（B10） 18.4ｔ（B24） 13.1ｔ（B25）

注）ビームのうち上部は３山断面の上の谷、下部は下の谷を示す。

ガードレールの損傷状況は写真－5･6･22～24に示すとおりであった。支柱はＰ13～24までの12本に変形が認められ，衝突地点から前方Ｐ19～22までの４本が地盤面から0.3ｍの深さで大きく折れ曲がっていた（写真－5･6･25）。

防護柵直角方向の変位が大きかった部分でビームの上下端に波状の変形が生じていたが，ボルト穴部の亀裂，破断等はなかった。

ブラケットはＰ15～20の６ヶ所で変形したが，取付けボルト（M20）は引き抜けなかった。

③ 考 察

本実験では，車両の誘導性，離脱速度，離脱角度，最大進入行程，車両の損傷，防護柵の強度，構成部材の強度に問題はなく，防護柵機能は満足できるものであった。

a 車両の誘導性

衝突後のバスは急激な速度低下もなく，浅い角度で離脱し車両の誘導性は良好であった。この挙動から離

脱後の車両による二次的な事故の発生は少ないものと推察される。

本実験で使用した供試体は，「3.3.2」によって得られた防護柵高さの下限値以下で設置されていることから横転が懸念されたが，車両は安定した状態で誘導された。これは，ボディ側面についた線状痕（図－5･6･15）の位置で車体を支えたとすれば，見掛け上の支持高さが設計時に想定した高さ（970 mm）よりも高くなっていたためと考えられる。

b　車両の最大進入行程

車輪外側の最大進入量は863mmで，要綱の最大進入行程の規定値（1.1ｍ以下）を満足しており，ビーム強度，支柱支持力，支柱間隔は的確であったといえる。なお，この値は実験１よりも10％小さかった。車両の進入行程に大きく関与するのは支柱水平力（防護柵直角方向の支柱支持力）とビーム剛性である。支柱水平力は図－5･6･6および図－5･6･18に示すように実験１とほぼ同じであり，ビーム剛性の違いが最大進入行程に影響を及ぼしたと考えられる。

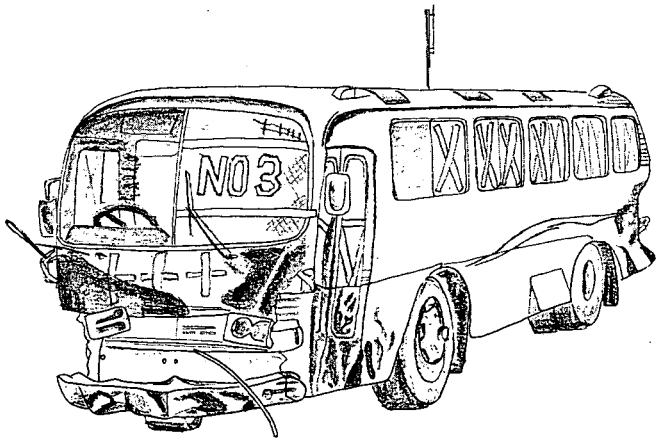
c　防護柵の強度

新断面ビームはコルゲーションの大きな潰れ等の局部的な変形がなく，ビーム接合部の破断やボルトの切断もなかったため，ビームの断面寸法および接合部の設計は妥当であったと判断できる。ビーム張力は同じ衝突条件であった実験１と比較すると表－5･6･2および表－5･6･6に示すように，実験１の上段ビームのみに作用した張力と同程度であった。これは，曲げ剛性や設置高さの違いから生じたビーム変位の差によると考えられる。

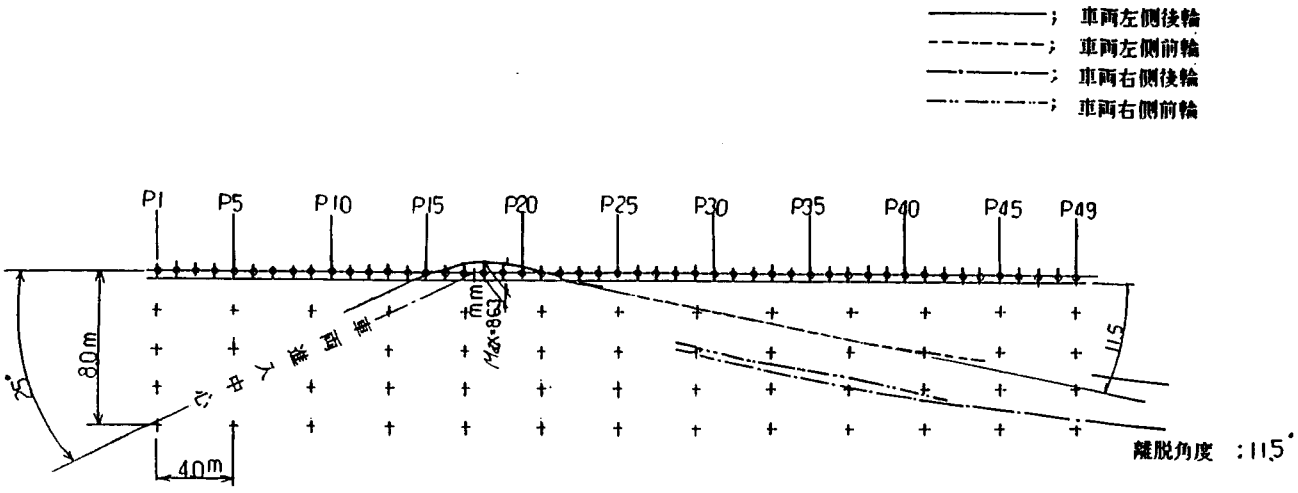
防護柵直角方向の支柱の最大水平力は，図－5･6･18に示すようにＰ18，20，22で4.0ｔ以上となっているが，これは支柱がビームで連結されているためビーム張力による分力が加わっていると考えられる。

ブラケットは写真－5･6･24に示すように，若干の変形が認められた程度でビームから支柱への荷重伝達に十分な強度であった。また，ブラケット取付けボルトの引き抜けはなかった。

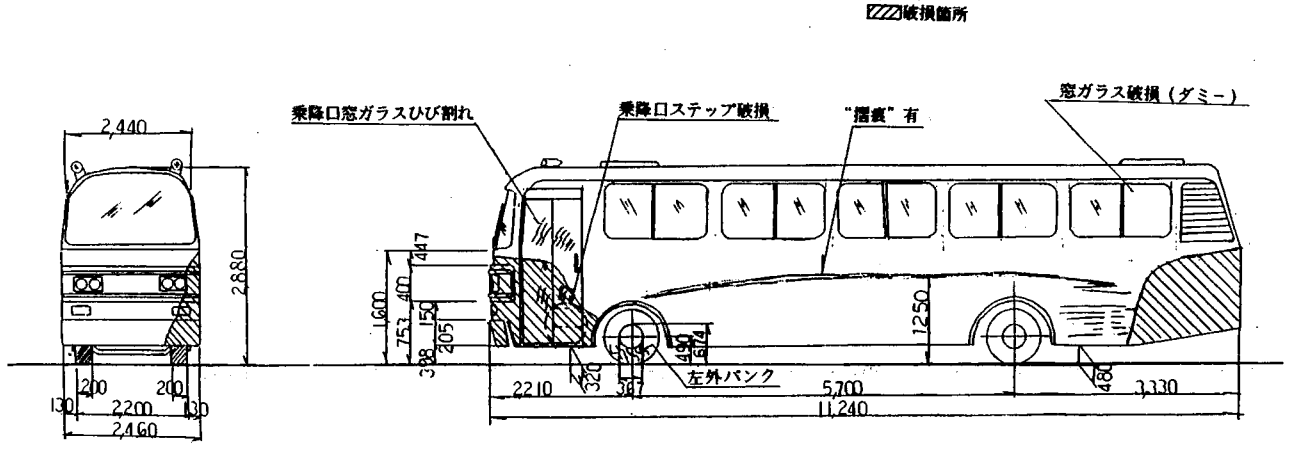
ビーム接合部のボルト穴に支圧痕が認められたがボルトの破断はなく，Ｍ16（６Ｔ）を12本配置した接合部の強度は十分であった。



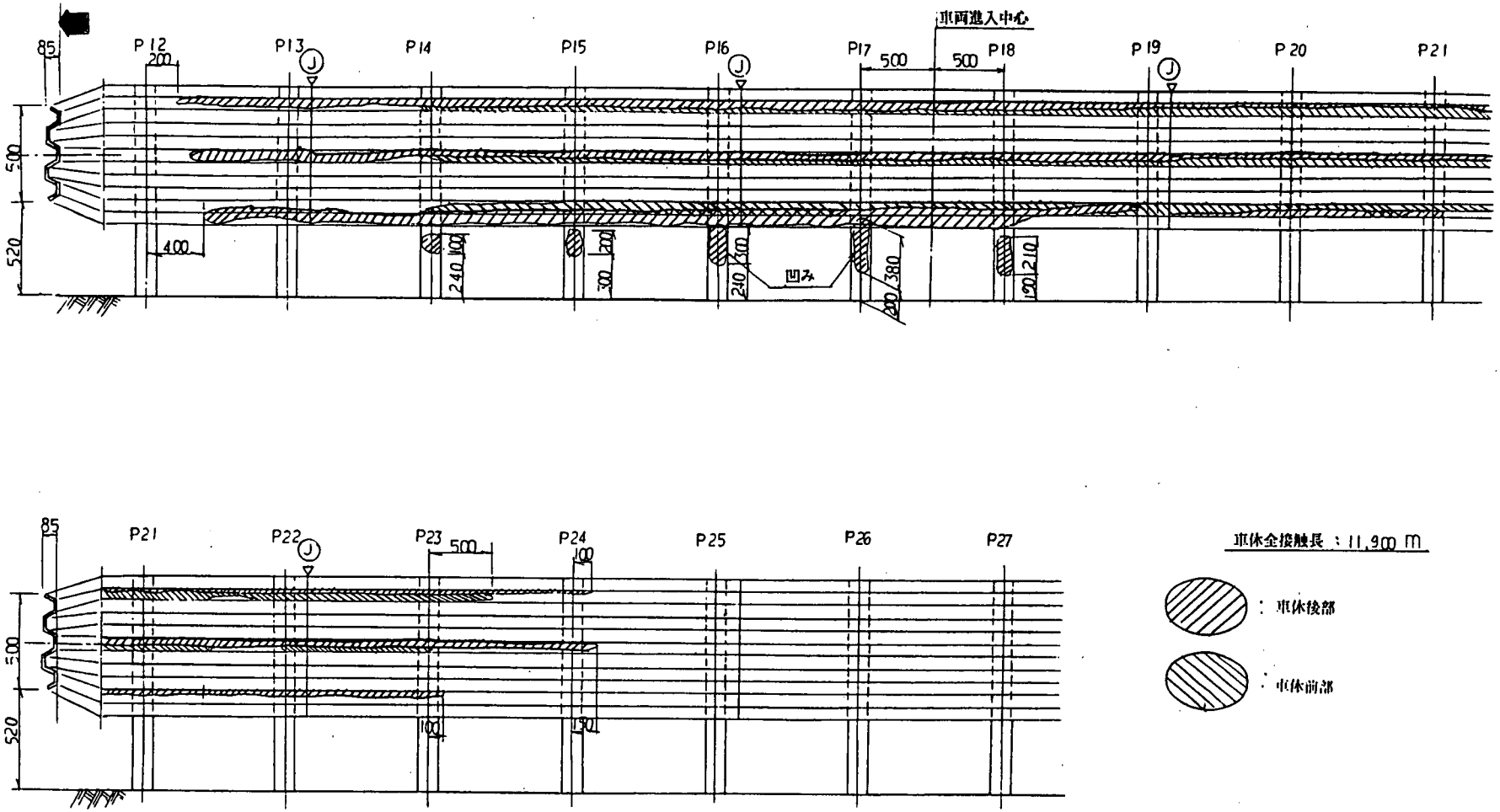
実験３　高速度



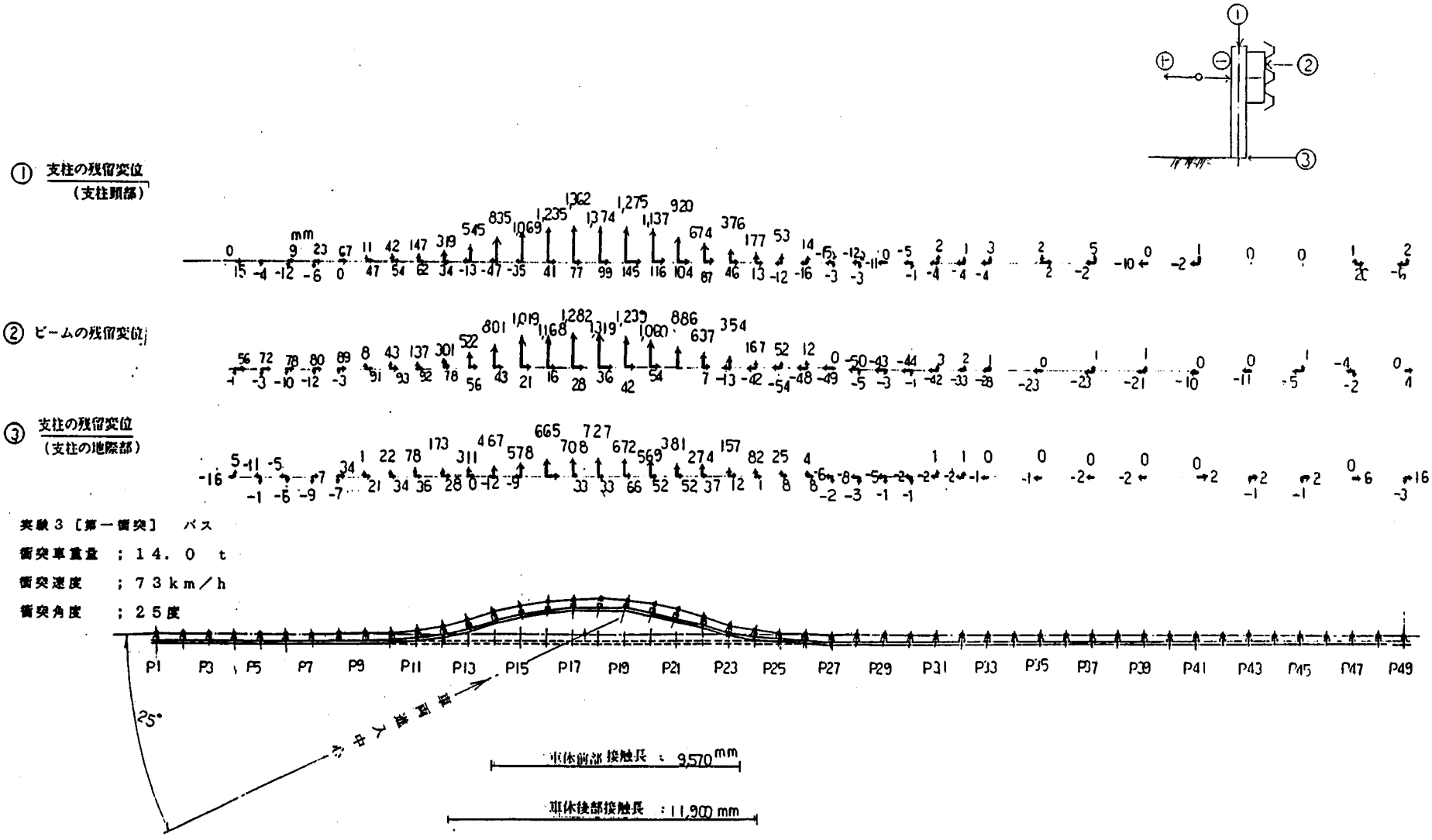
図－5･6･14　車輪の軌跡（実験３　高速度）



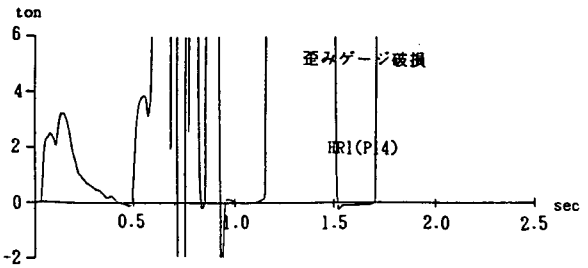
図－5･6･15　車両の損傷状況（実験３　高速度）

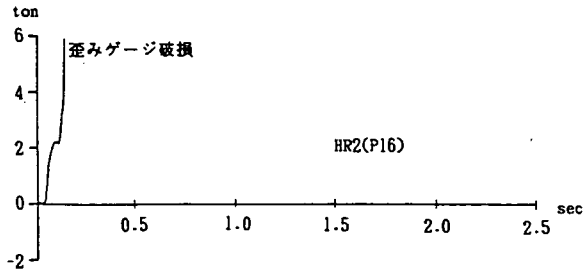


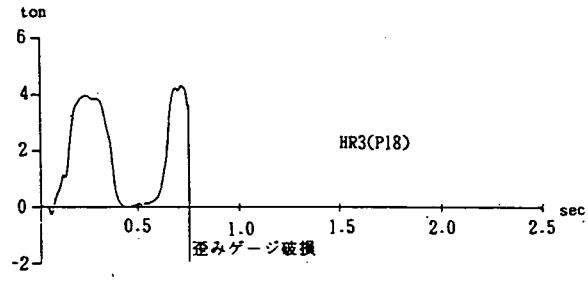
図－5·6·16　車両の接触状況（実験３　高速度）

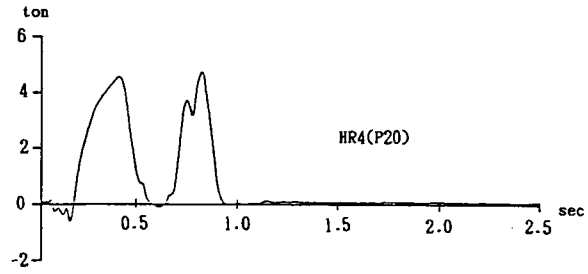


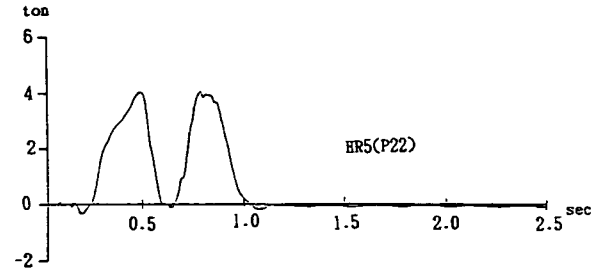
図－5･6･17 支柱およびビームの残留変位（実験３ 高速度）







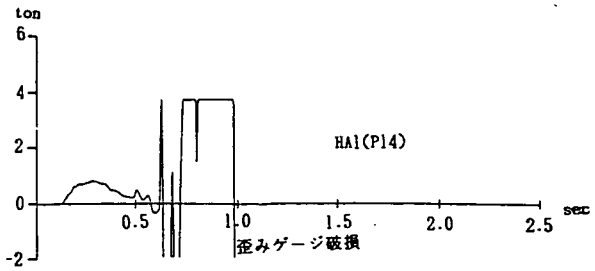


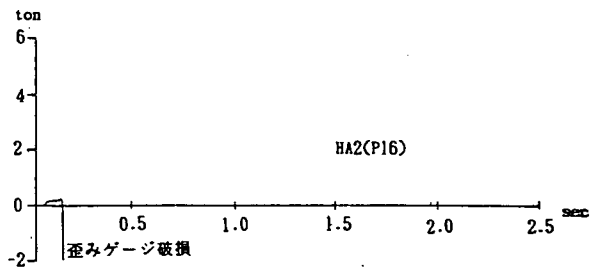


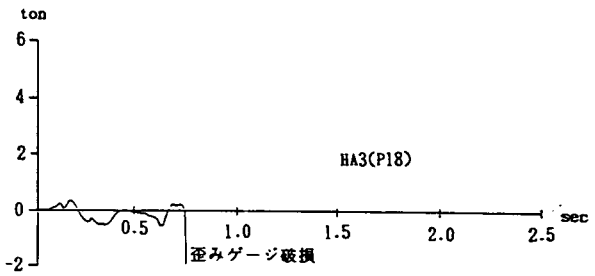
☆Σ(HR)

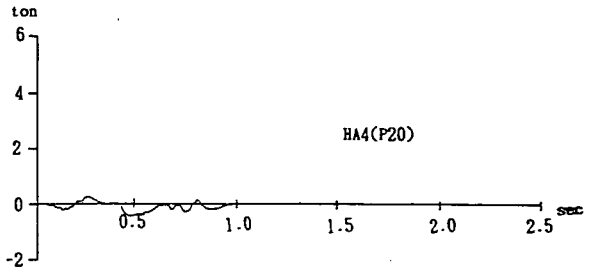
HR1，HR2，HR3のゲージ不良のため合計は削除

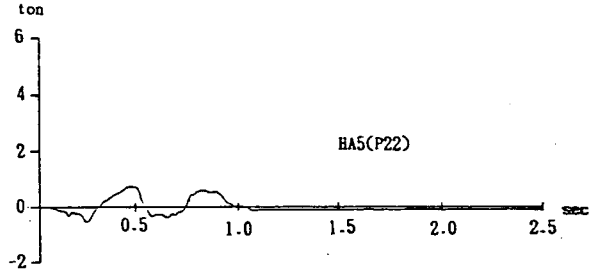
図－5･6･18　支柱に作用した防護柵直角方向の水平力







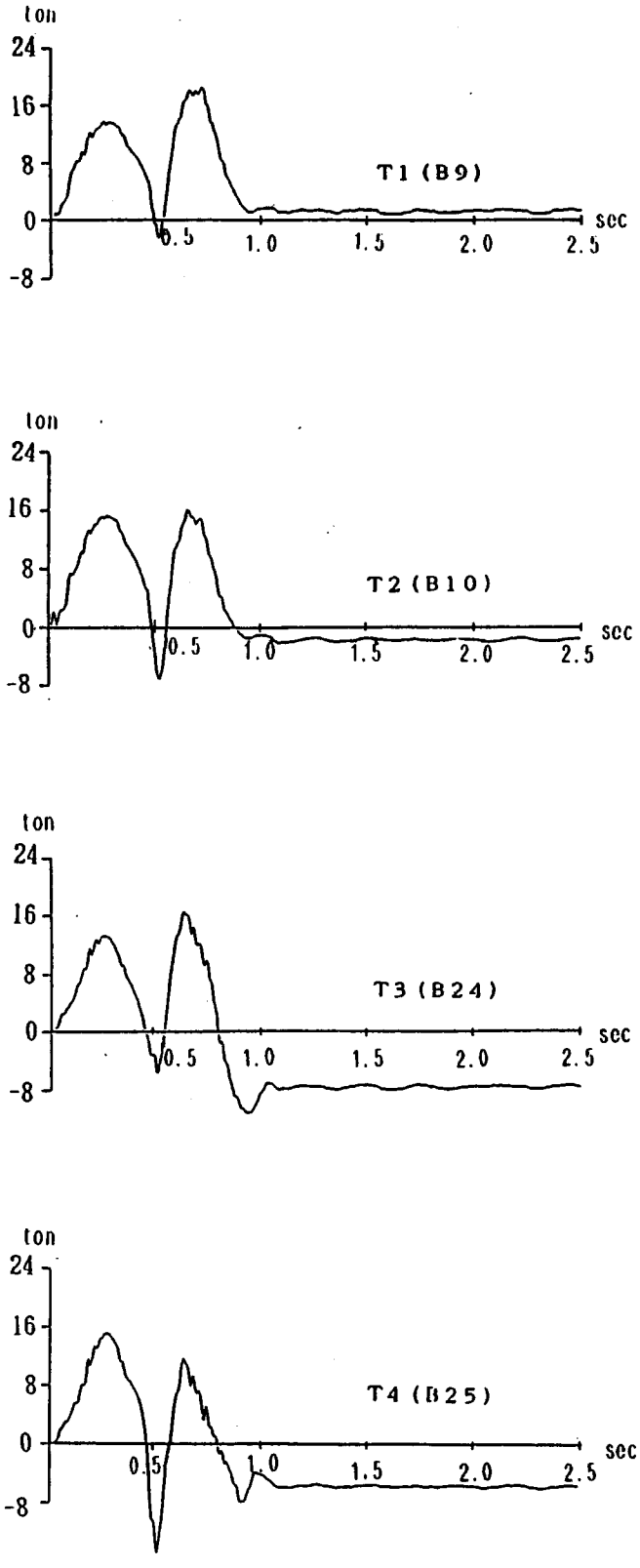




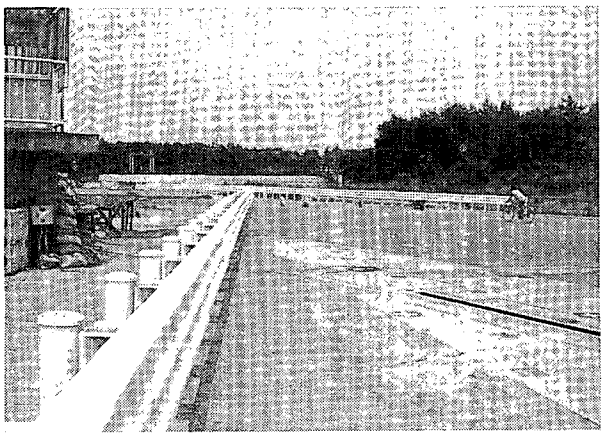
☆Σ(HA)

HA1，HA2，HA3のゲージ不良のため合計は削除

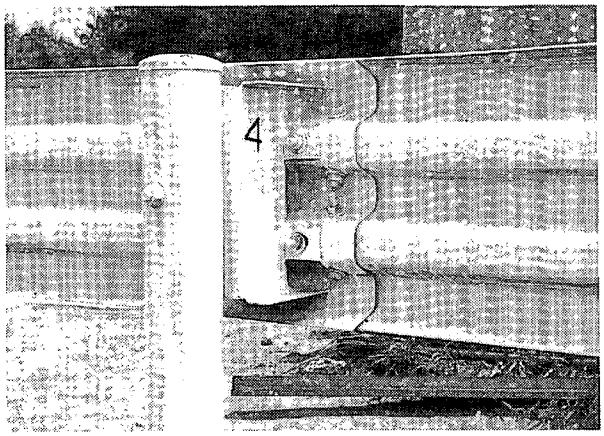
図－5･6･19　支柱に作用した防護柵平行方向の水平力



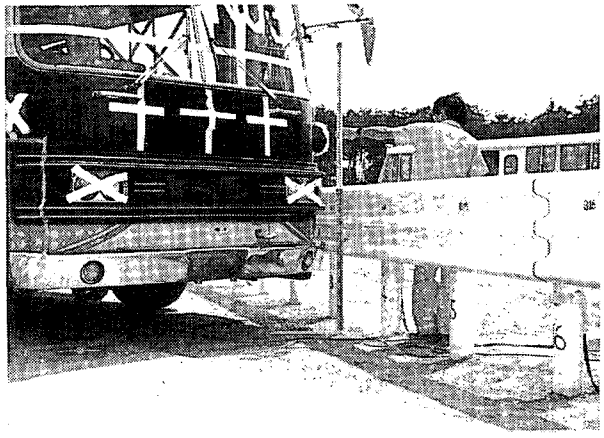
図－5·6·20　ビームに作用した張力



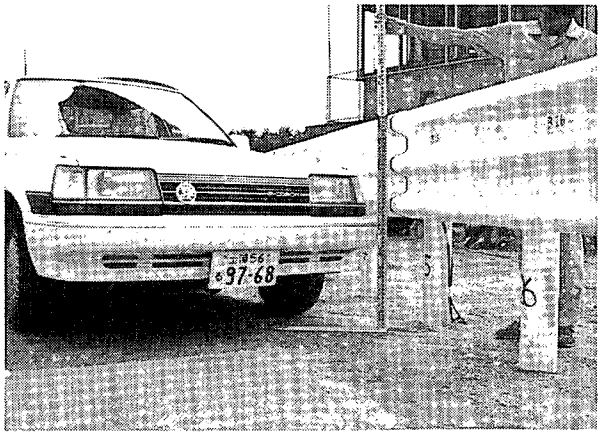
写真－5･6･17　新断面ビーム型



写真－5･6･18　新断面ビーム型

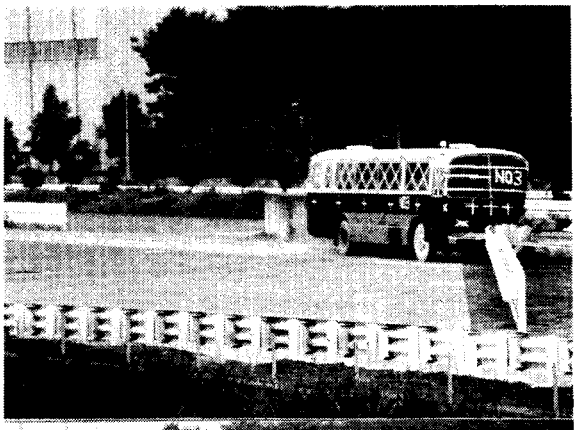


写真－5･6･19　バスとガードレールの高さ関係

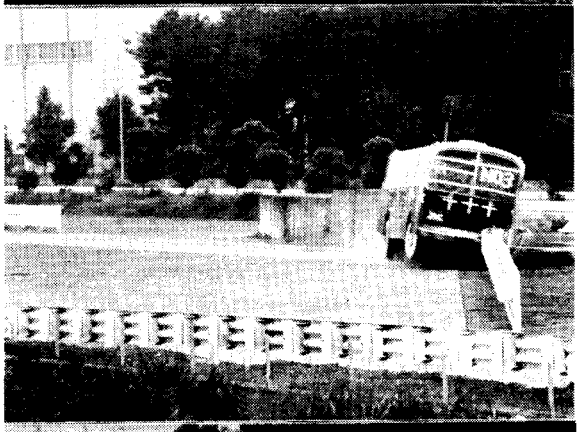


写真－5･6･20　乗用車とガードレールの高さ関係

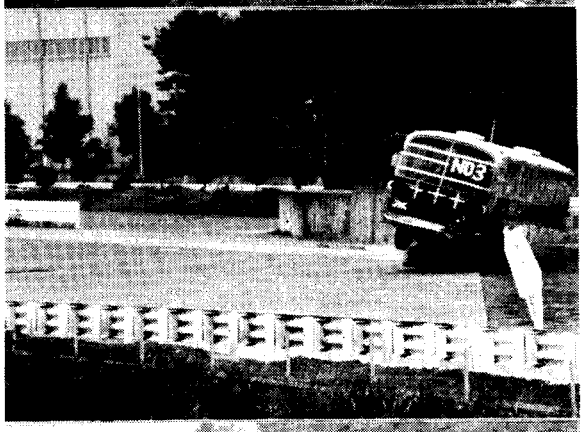
(1)



(2)



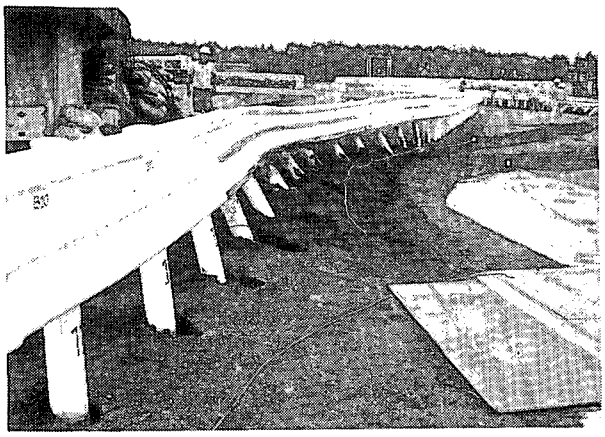
(3)



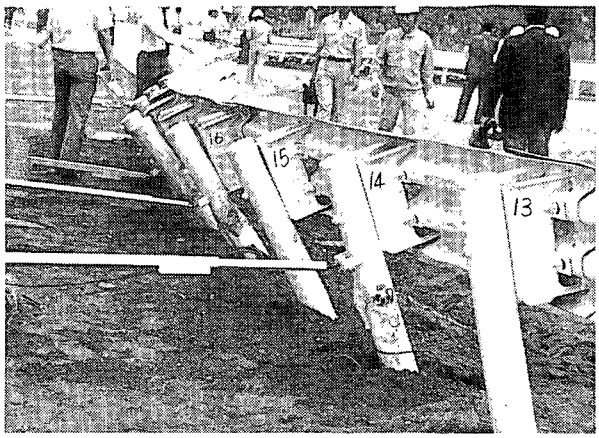
(4)



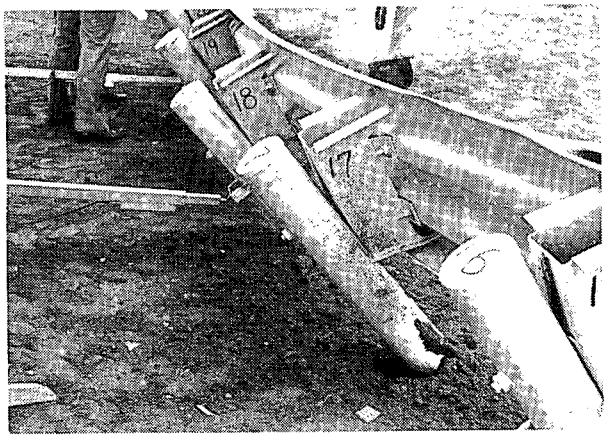
写真－5･6･21　バスの挙動



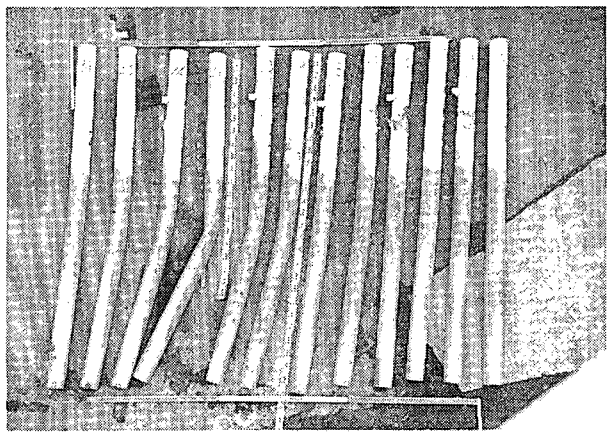
写真－5･6･22　ガードレールの損傷状況



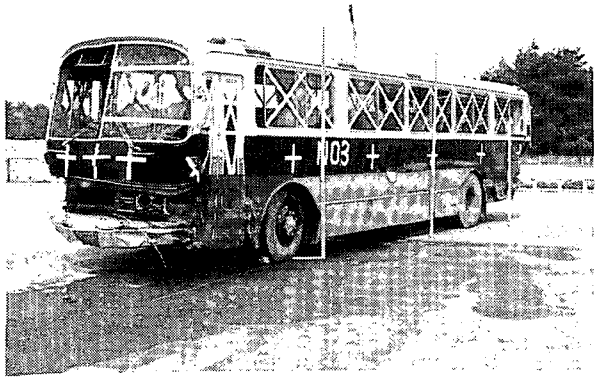
写真－5･6･23　ガードレールの損傷状況



写真－5･6･24　ブラケット部の損傷状況



写真－5･6･25　支柱の変形状況



写真－5･6･26　バスの損傷状況

(2) 急角度衝突（第二衝突）

① 車両の挙動

第一衝突から離脱したバスはピッチングしながら速度52km/h，角度43度，衝撃度69.3 t・mで第二衝突実験用のガードレールに衝突した。この衝撃度は目標値50 t・mの1.4倍であった。バスは写真－5･6･27に示すように，平行に向きを変え，車両後部が衝突してガードレール側に傾き（最大傾斜角　前端：8度，後端：10度），角度22.5度で離脱した。

車輪外側の最大進入量は第一衝突の1.32倍の衝撃度であったにもかかわらず，ほぼ同程度の831 mmであった。車輪の軌跡を図－5･6･22に示す。

表－5･6･7　実験条件と車両関係の実験結果（実験3　急角度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		（離脱直後）	前端	後端	左前輪	左後輪	最大進入量
14.0 t	52km/h	43度	69.3 t・m	——	22.5度	8度	10度	0cm	0cm	831mm

備考）——については計測を行っていない。

車両の損傷は図－5･6･23および写真－5･6･32に示すように右側前端および後端部の潰れ，運転席フロントガラスの外れがあった。第一衝突に比べると前部の損傷は同程度で後部は大きかった。なお，ボディ側面のビームによる線状の接触痕は認められなかった。足回りの損傷は特になかったが，ラジエターファンが損傷したので牽引走行は可能であるが自力走行はできなかった。

② 防護柵の強度

車両前端は支柱P 63とP 64の中間に衝突した。車両とガードレールの接触長は10.0 mで，P 63，66，67の3本の支柱に接触跡が認められた。防護柵直角方向の残留変位が生じた区間は12 m（P 60～72），平行方向については24 m（P 53～77）であった。車両とガードレールの接触状況を図－5･6･24に，残留変位を図－5･6･25に示す。

支柱頭部の最大残留変位はP 67で柵直角方向に1,223 mm，柵平行方向に757 mmであった。また，ビームについてはP 67の支柱部分で柵直角方向に1,094 mmであった。

表－5･6･8　防護柵関係の実験結果（実験3　急角度）

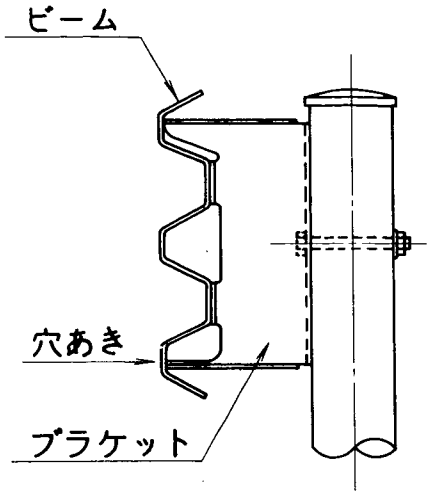
車両と防護柵の接触長	防護柵変位					防護柵応力		
	支柱最大変位（GL上 600 mm）Y方向	最大残留変位				最大水平力		ビーム張力
		支柱（頭部）		ビーム（Y方向）		支柱部分		
		Y方向	X方向	上部	下部	Y方向	X方向	X方向
10.0m	——	1,223mm (P67)	757mm (P67)	1,094mm (P67)	1,011mm (P67)	——	——	——

備考）——については計測を行っていない。

ガードレールの損傷状況は，写真－5･6･28～30に示すとおりであった。支柱はＰ60～72の13本に変形が認められ，Ｐ62～65およびＰ67～70の計８本が地盤面から0.3ｍの深さで折れ曲がっていた。（写真－5･6･31）

ビームはＰ64～71間の７ｍにわたって上下端に波状の変形が生じ，図－5･6･21に示すようなブラケットの突起部でＰ67とＰ70のビーム下部に穴があいた。なお，ビーム接合部の破断等はなかった。

ブラケットはＰ62～70の９ヶ所で変形が生じた。Ｐ67～69のブラケット取付けボルト（Ｍ20）は，写真－5･6･30に示すようにボルト穴の変形によって引き抜けた。



図－5･6･21　ブラケット突起部によるビームの穴あき

③　考　察

69.3ｔ･ｍという大きな衝撃度で衝突したにもかかわらず，車両の誘導性，離脱速度，離脱角度，最大進入行程，車両の損傷，防護柵の強度，構成部材の強度とも問題はなく防護柵の機能は満足できるものであった。

ａ　車両の誘導性

実験１の急角度衝突では上段ビームが破断して車両が乗り上げて停止したのに対し，ほぼ同一の衝突条件であった本実験では，ビームが破断することなく，車両は離脱角度22.5度で良好に誘導された。この挙動から，離脱後の車両による二次的な事故の発生は少ないものと推察される。

ｂ　車両の最大進入行程

車輪外側の最大進入量は831ｍｍで要綱の最大進入行程の規定値（1.1ｍ以下）を満足しており，ビーム強度，支柱支持力，支柱間隔は的確であったといえる。

ｃ　防護柵の強度

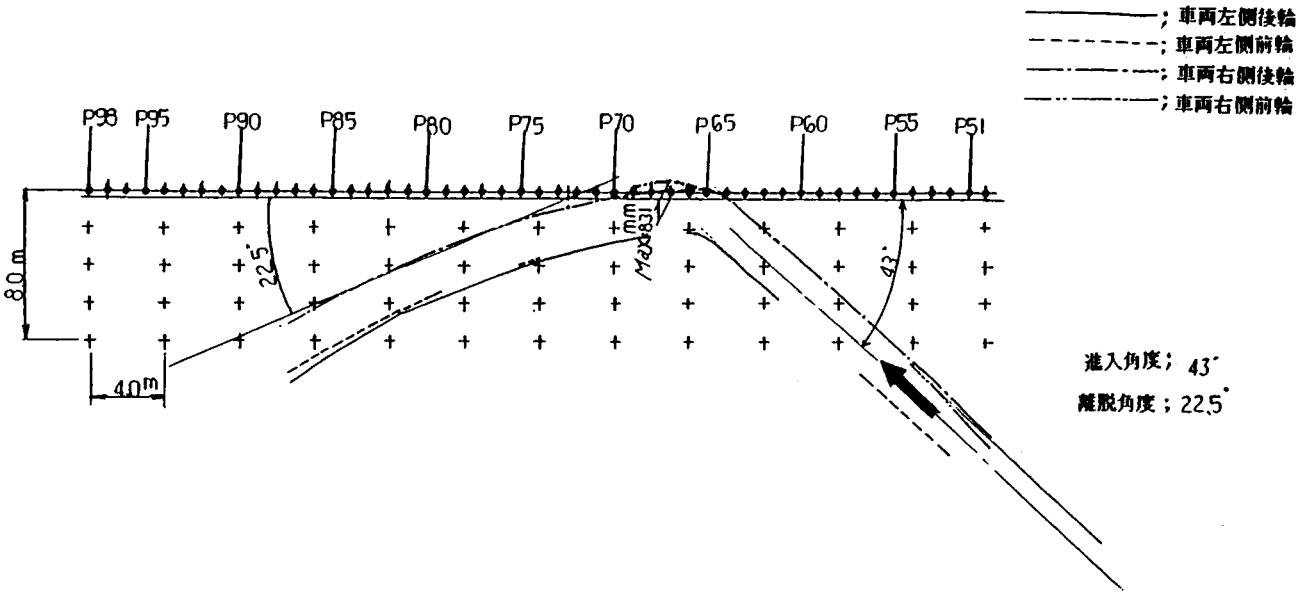
設計上の断面性能が等しい新断面ビームと２段のＡ種ビームでは，本実験のような急角度衝突に対し新断面ビームの方が優位であることが確認された。ビーム強度は継手部の破断等も認められず，妥当であったと判断できる。

ブラケットは変形したが，ビームから支柱への荷重伝達に十分な強度であった。実験１の高速度衝突と同様に，ブラケット取付けボルト（Ｍ20）がボルト穴の変形によって引き抜けた。これは，前述したようにビーム高さの低下が防止できるため有利と考えられる。

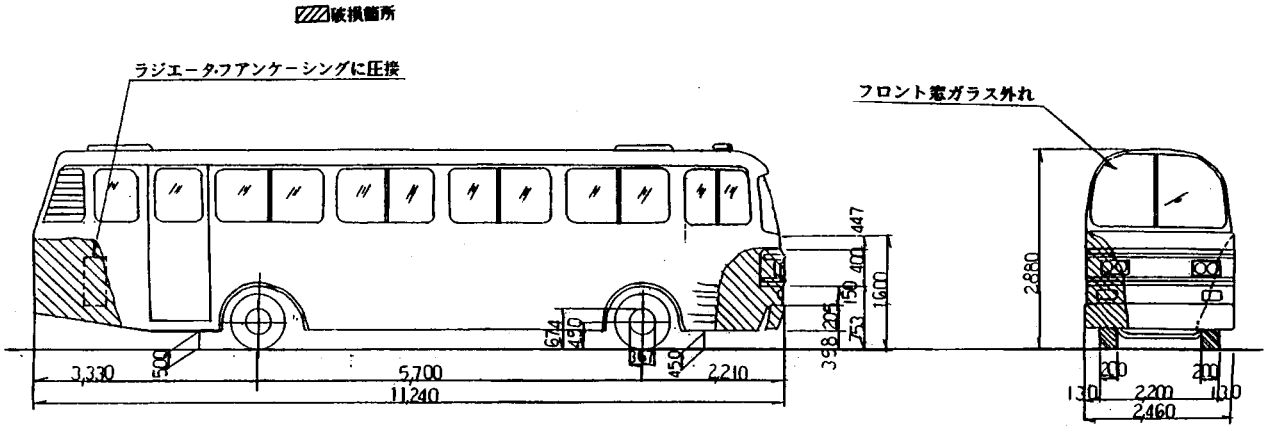
ビーム接合部のボルト穴に支圧痕が認められたがボルトの破断はなく，Ｍ16（６Ｔ）を12本配置した接合部の強度は十分であった。

ｄ　車両の損傷

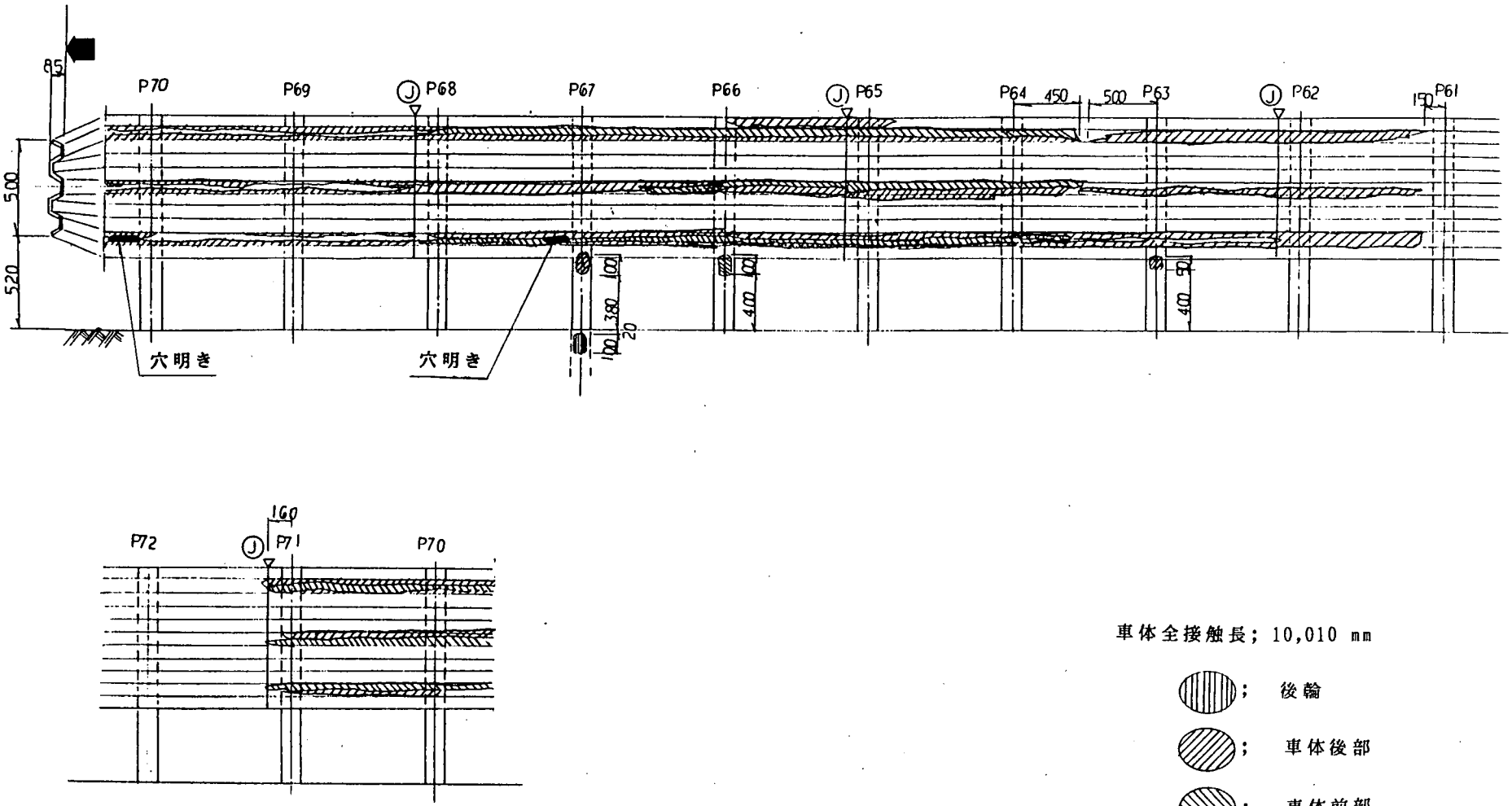
高速度衝突で残ったようなボディ側面の線状の接触痕は認められなかった。これは，衝突速度が52ｋｍ／ｈと低いことや傾斜角が小さかったことによると考えられる。



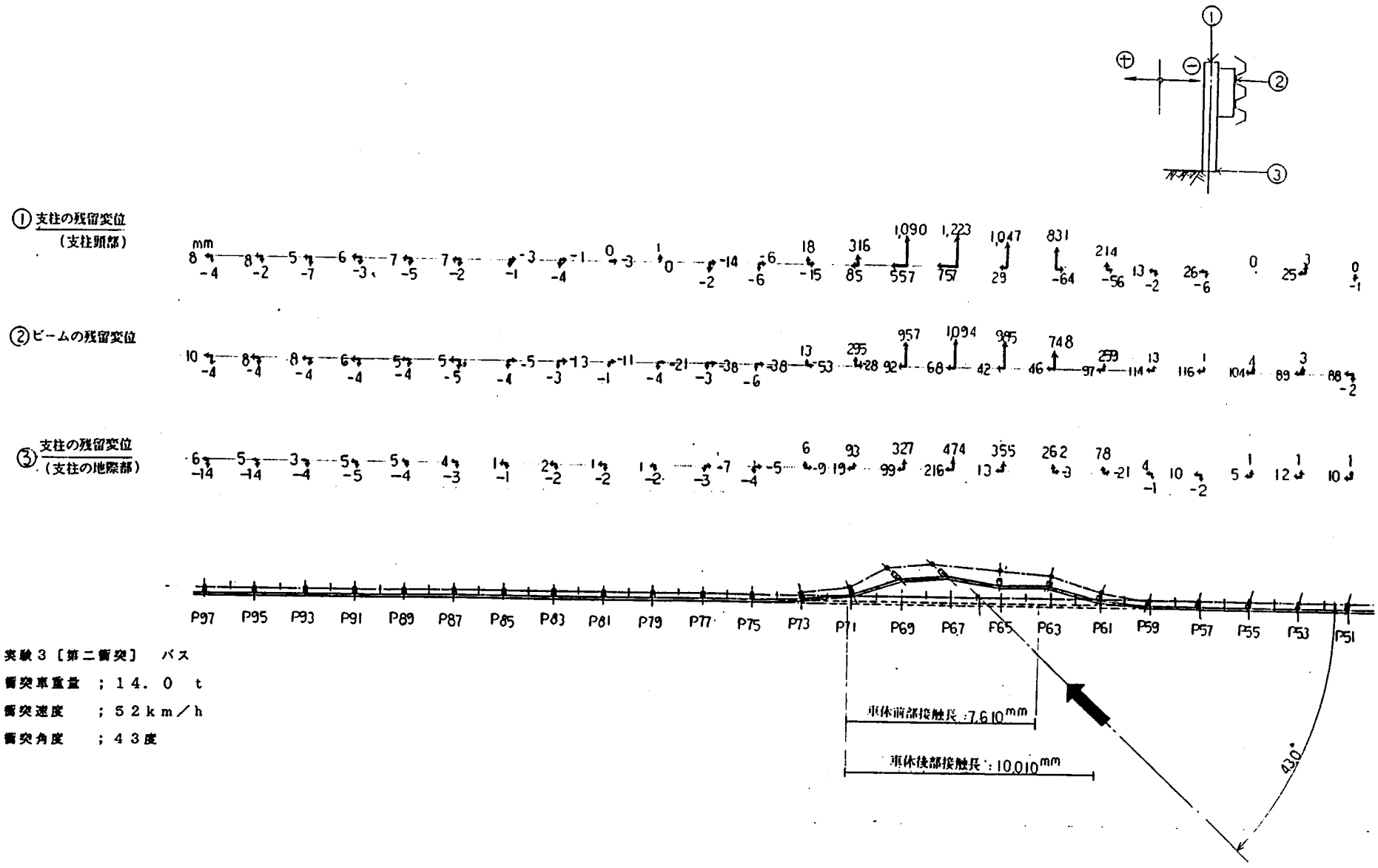
図－5·6·22　車輪の軌跡（実験３　急角度）



図－5·6·23　車両の損傷状況（実験３　急角度）



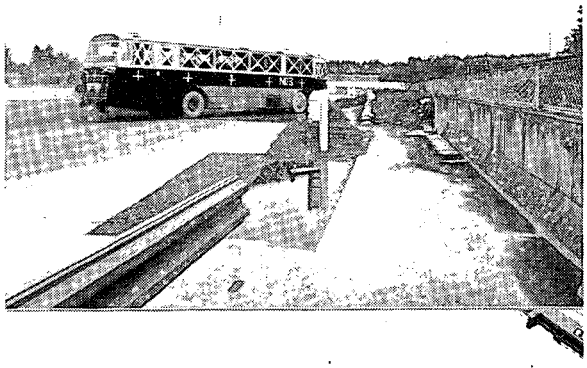
図－5･6･24　車両の接触状況（実験３　急角度）



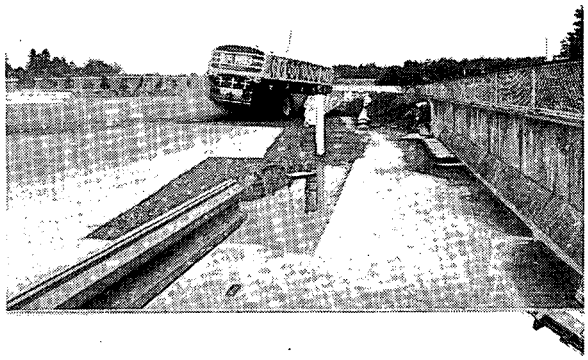
実験３［第二衝突］　バス
衝突車重量　；１４．０　ｔ
衝突速度　　；５２ｋｍ／ｈ
衝突角度　　；４３度

図－5･6･25　支柱およびビームの残留変位（実験３　急角度）

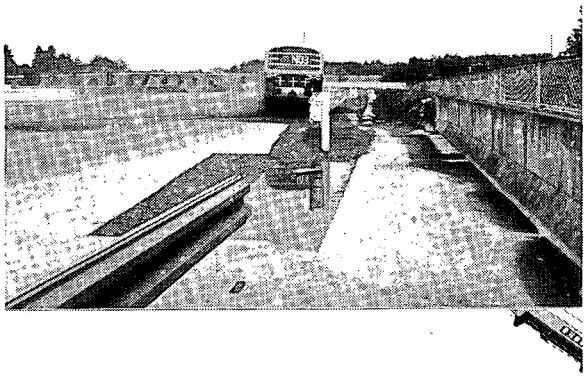
(1)



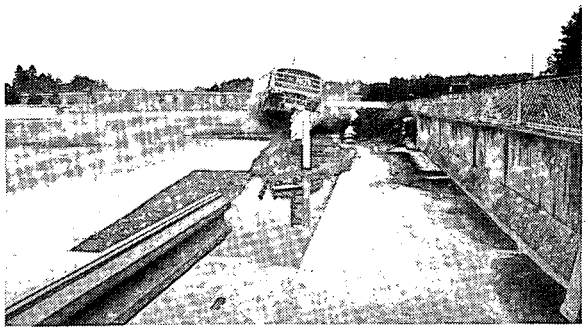
(2)



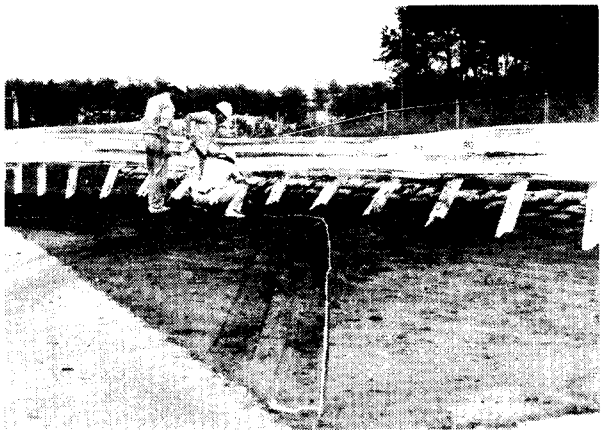
(3)



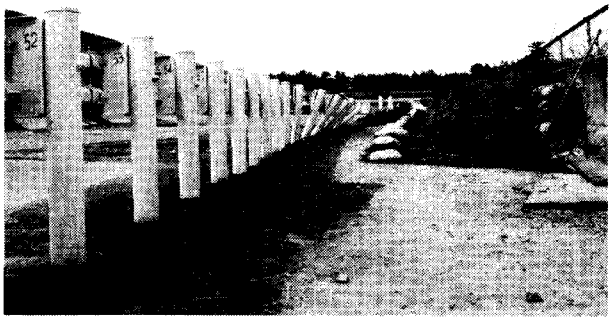
(4)



写真－5･6･27　バスの挙動



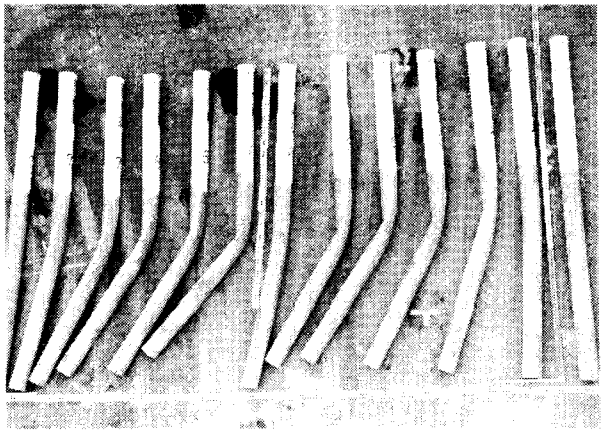
写真－5･6･28　ガードレールの損傷状況



写真－5･6･29　ガードレールの損傷状況



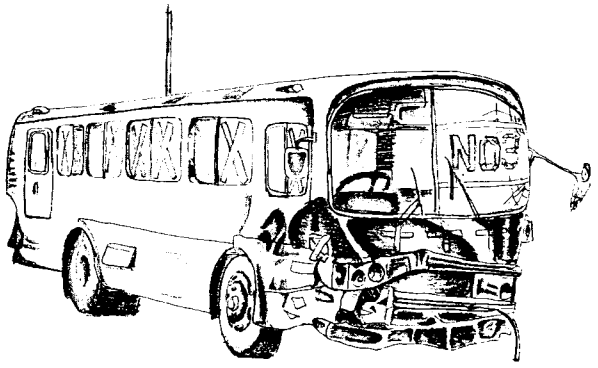
写真－5･6･30　ガードレールの損傷状況



写真－5･6･31　支柱の変形状況



写真－5･6･32　バスの損傷状況

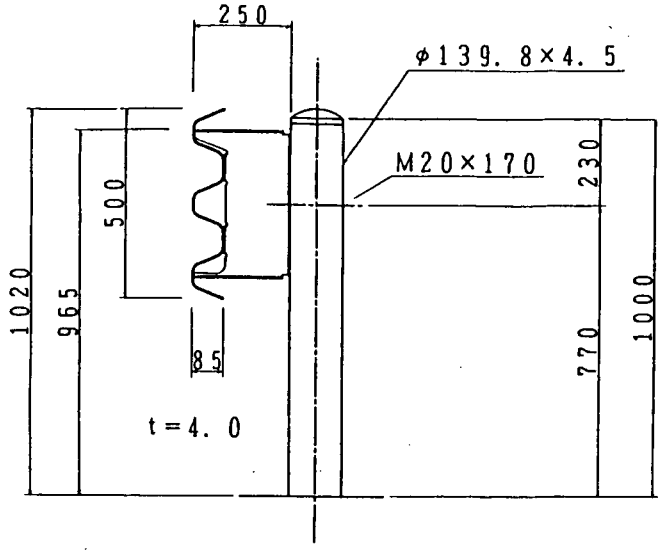


実験３　急角度

3) 新断面ビーム型　[実験４　乗用車]

[供試体概要]

実験３と同じ供試体を用いて乗用車による検証を行った（図－5･6･26)。設置後の供試体を写真－5･6･33に，乗用車とガードレールの高さ関係を写真－5･6･34に示す。



図－5･6･26　供試体

〈高速度衝突〉

①　車両の挙動

重量1.10ｔの乗用車は速度103km/h，角度25度，衝撃度8.2ｔ･mでガードレールに衝突した。乗用車は写真－5･6･35，36に示すように衝突時にフロント側のボディが大きく変形して左前輪がボディ側面からはみ出た形となり，ビームの下に潜り込んでＰ12～15の支柱に接触した。衝突後の車両はガードレールに反発されて角度4.3度，速度75km/h（減速率27％）で離脱した。車輪の軌跡を図－5･6･27に示し，車輪外側の最大進入量は312mmであった。

表－5･6･9　実験条件と車両関係の実験結果（実験４　高速度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	右前輪	右後輪	最大進入量
1.10ｔ	103km/h	25度	8.21ｔ･m	75km/h	4.3度	-10度	-4度	0cm	0cm	312mm

車両は図－5･6･28および写真－5･6･41に示すように大きく変形した。ボディには左側面の前から後にかけてビーム断面形状の痕跡が残り，左側前部フェンダーとボディ前後に潰れがあった。また，フロントガラスおよび左側窓ガラスが破損した。サスペンション等の足回りの損傷や左前輪のホイール内側が変形したことによるタイヤの空気漏れなどにより，走行不可能な状態であった。なお，この損傷内容には車両停止用の土のうに乗り上げて横転したときの損傷も含まれている。

②　防護柵の挙動

車両前端は支柱Ｐ10から進行方向へ0.25ｍの位置に衝突した。車両とガードレールの接触長は5.75ｍで，Ｐ12～15の４本の支柱に左前輪が接触し，Ｐ13にはホイールが接触したと思われるへこみがあった。防護柵直角方向の残留変位が生じた区間は約８ｍ（Ｐ８～16)，柵平行方向については約３ｍ（Ｐ12～15）であった。車両とガードレールの接触状況を図－5･6･29に，残留変位を図－5･6･30に示す。

車両衝突時における防護柵直角方向の最大変位は衝突0.22秒後にＰ13において生じ，支柱頭部で342mm（残留変位106mm)，地盤上600mmが275mmであった。ビームの最大残留変位は174mmでＰ12の支

柱部分で生じた。

支柱の最大水平力（柵直角方向）は図－5･6･31に示すように，衝突0.07秒後にP11で2.5tであった。なお，バスの場合は水平力のピーク値が車体前部と後部が衝突したときの2回であるが，乗用車の場合は1回であった。

表－5･6･10　防護柵関係の実験結果（実験4　高速度）

車両と防護柵の接触長	防護柵変位					防護柵応力		
	支柱最大変位（GL上 600mm）Y方向	最大残留変位				最大水平力		ビーム張力
		支柱（頭部）		ビーム（Y方向）		支柱部分		
		Y方向	X方向	上部	下部	Y方向	X方向	X方向
5.75m	275mm［頭部342mm］（P13）	193mm（P12）	142mm（P12）	173mm（P12）	174mm（P12）	2.5t（P11）	——	——

備考）——については計測を行っていない。

ガードレールの損傷状況は写真－5･6･37～39に示すとおりであり，衝撃度が実験3のバスに比べ1/6以下と小さいため変形も小さかった。支柱はP13，P14にホイールの接触による変形が認められた。（P14の変形は軽微　写真－5･6･38，40)。ビームにはコルゲーションの潰れ等はなかった。また，ブラケットはP13，P14の2ヶ所に写真－5･6･39に示すような変形があったが，他のブラケットには認められなかった。

③　考　察

乗用車の損傷は大きかったが車両の誘導性，離脱速度，離脱角度，最大進入行程とも問題がなく，防護柵機能は満足できる内容であった。

a　車両の誘導性

衝突後の乗用車は速度75km/h，角度4.3度と浅い角度で離脱し，車両の誘導性は良好であった。なお，車輪の支柱への接触が4本で認められたが，誘導性への影響は少なかった。

b　車両の最大進入行程

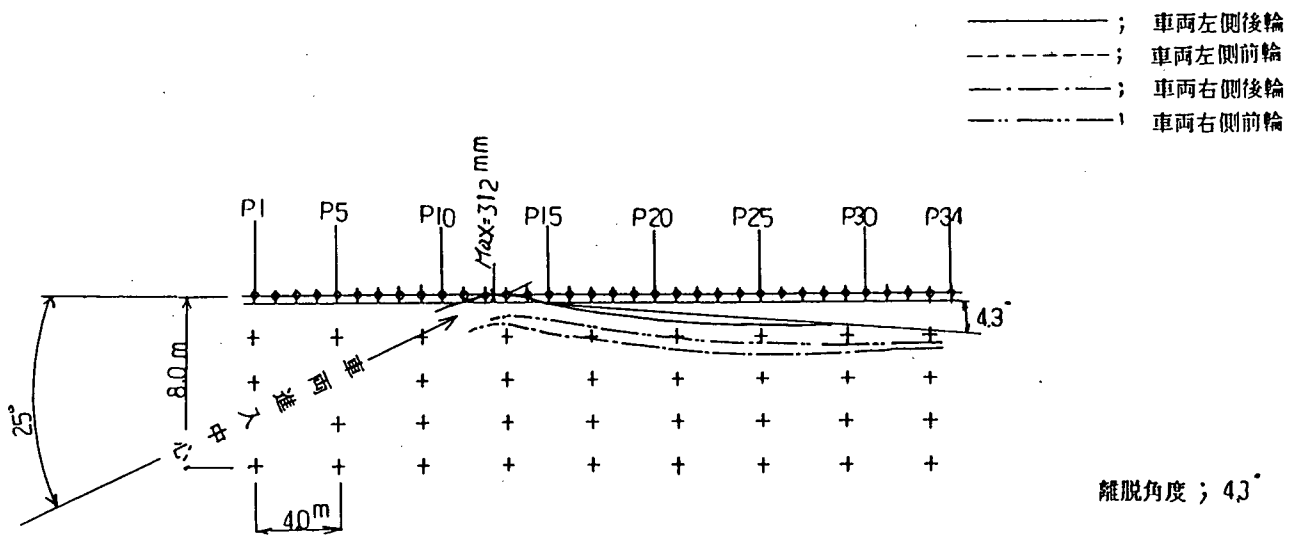
車輪外側の最大進入量は実験3に比べ衝撃度の小さい乗用車の実験であったため312mmと小さく，要綱の最大進入行程の規定値（1.1m以下）に対して十分余裕のある値であった。

c　防護柵の強度

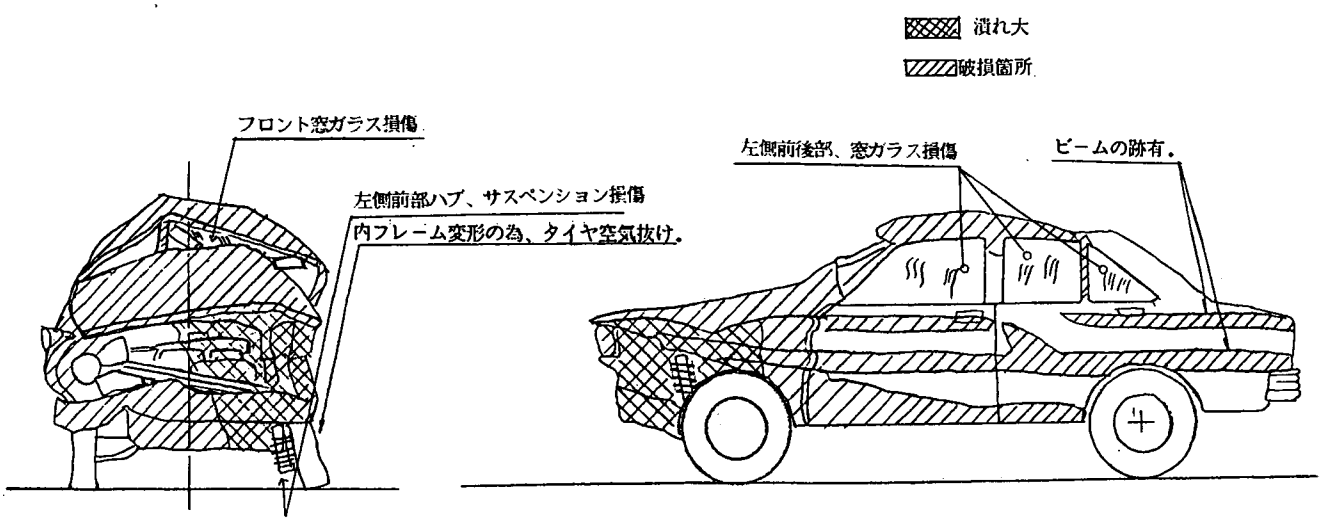
この供試体は主に衝撃度の非常に大きい大型車両の高速度および急角度衝突を対象に設計したものであり，乗用車に対しては充分な強度であった。

d　車両の損傷

衝突後の乗用車は写真－5･6･41に示すように損傷した。これは，防護柵強度が高かったことや実験での衝撃度8.2t･mが一般的な衝突条件と考えられる要綱A種の衝撃度3.2t･m（重量3.5t，速度60km/h，角度15度）の2.6倍と高かったことなどによると推定される。

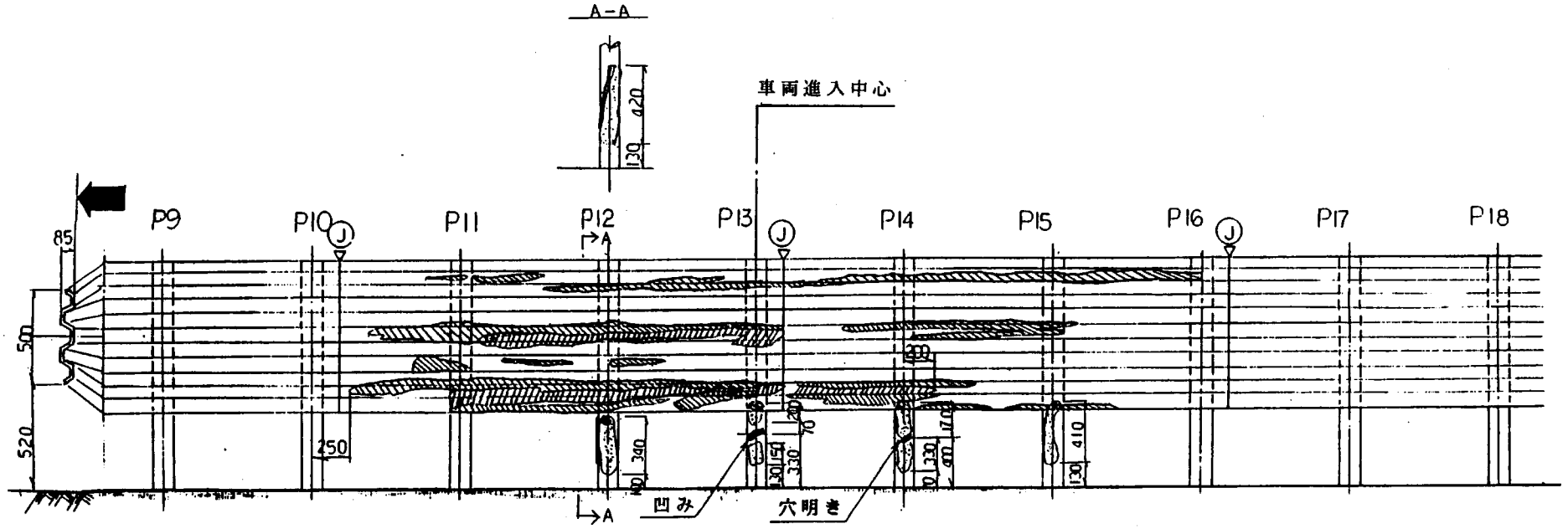


図－5·6·27　車輪の軌跡（実験４　高速度）

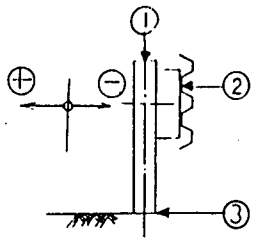


図－5·6·28　車両の損傷状況（実験４　高速度）

（停止用の土のうによる破損も含まれる）



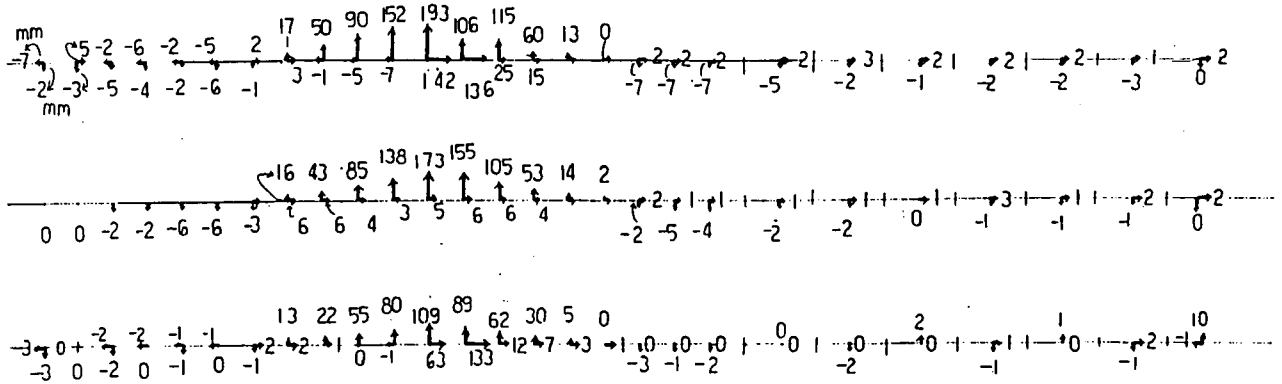
図－5･6･29　車両の接触状況（実験４　高速度）



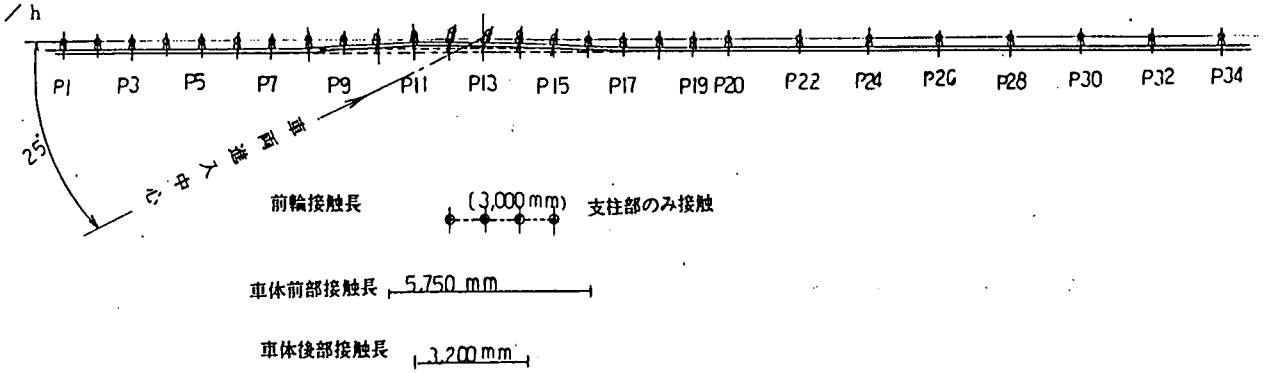
① 支柱の残留変位
（支柱頭部）

② ビームの残留変位

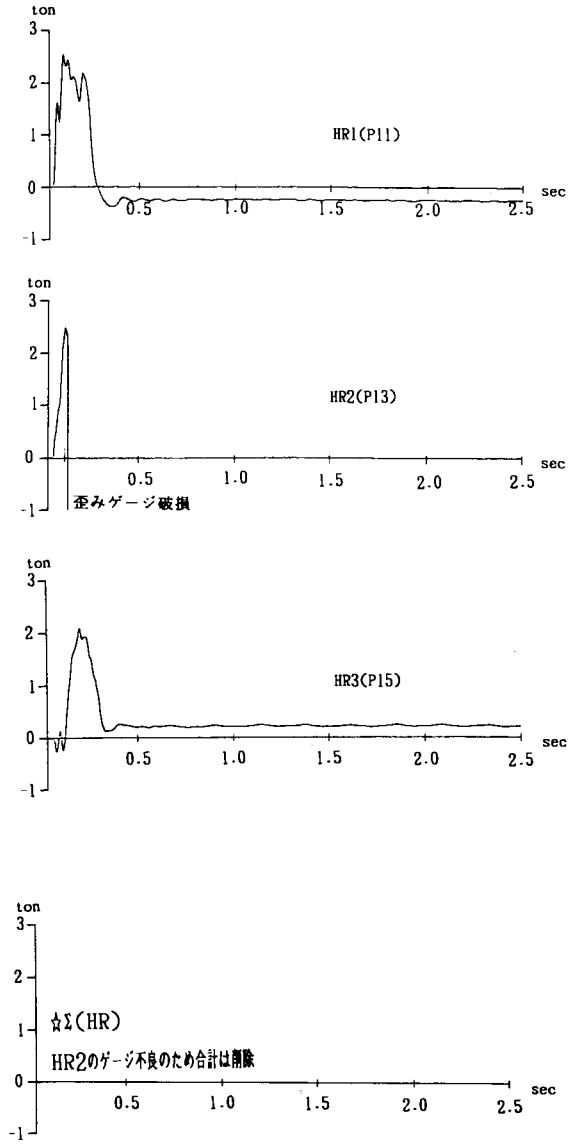
③ 支柱の残留変位
（支柱の地際部）



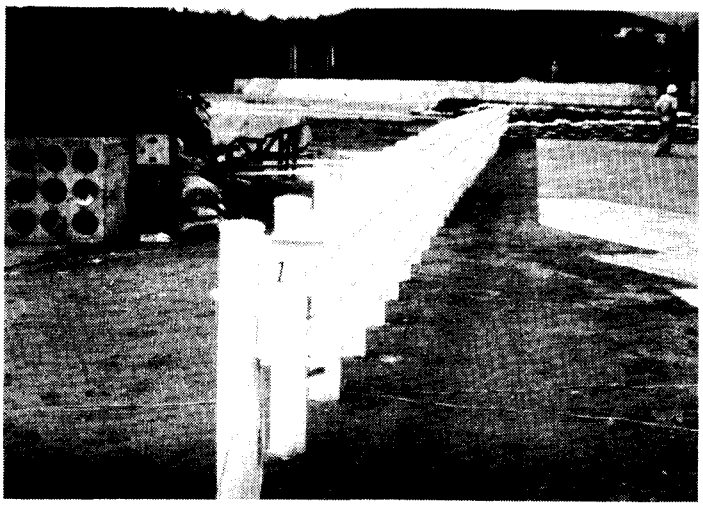
実験４　　乗用車
衝突車重量　；１．１　ｔ
衝突速度　　；１０５ｋｍ／ｈ
衝突角度　　；２５度



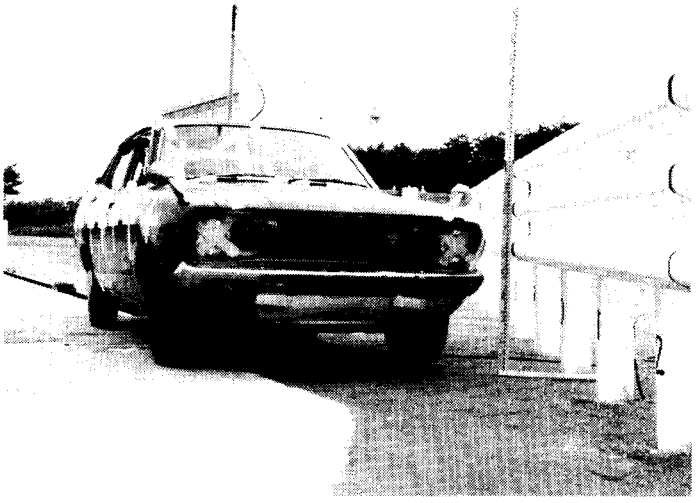
図－5･6･30　支柱およびビームの残留変位（実験４　高速度）



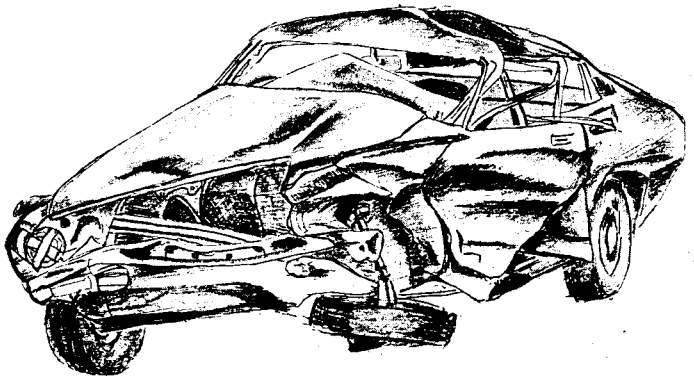
図－5･6･31　支柱に作用した防護柵直角方向の水平力



写真－5･6･33　新断面ビーム型

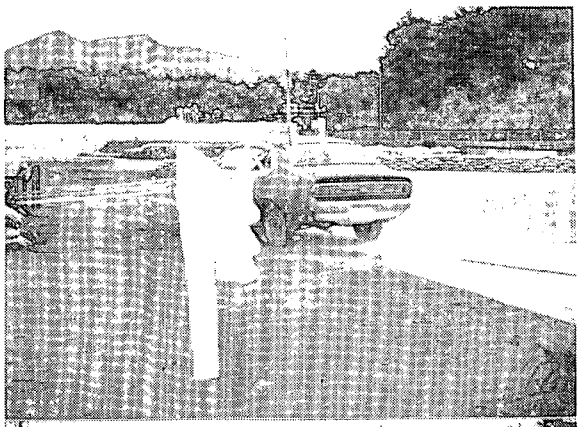


写真－5･6･34　乗用車とガードレールの高さ関係

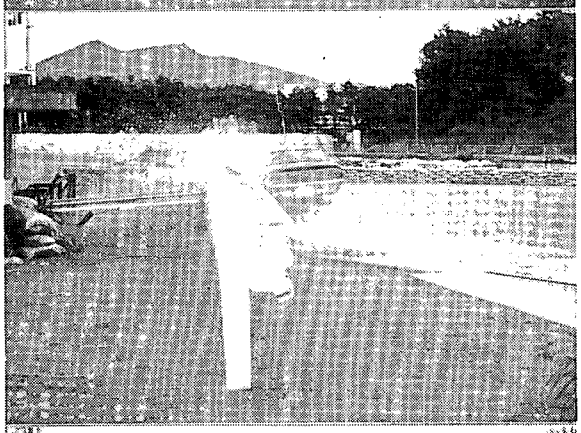


実験４　高速度

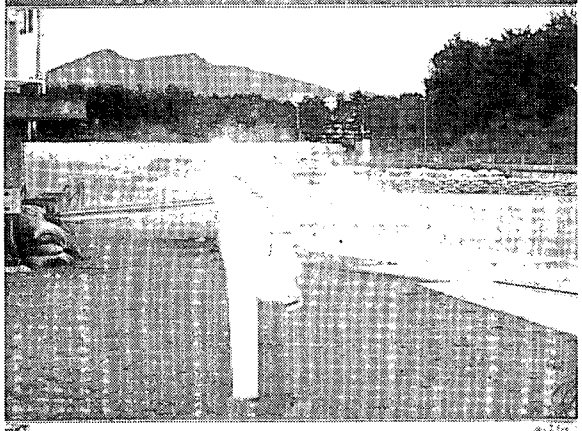
(1)



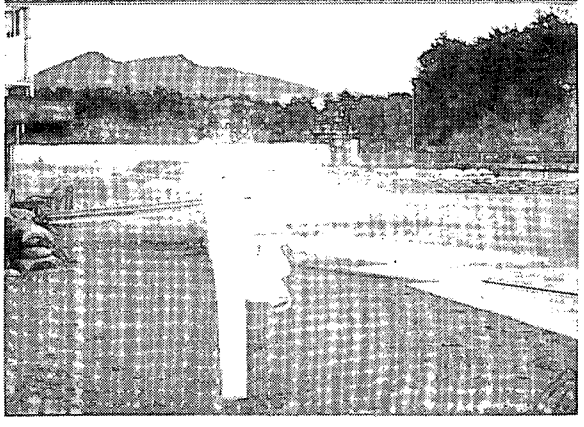
(2)



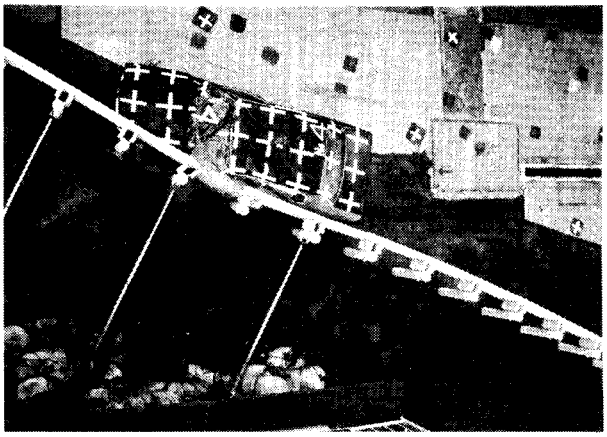
(3)



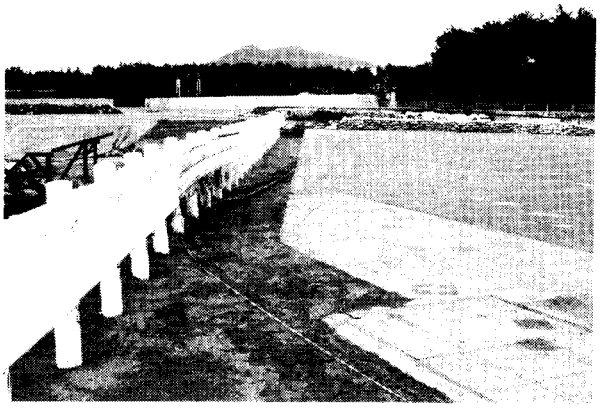
(4)



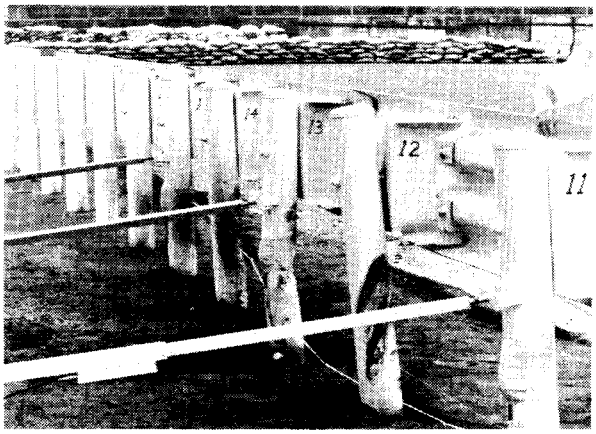
写真－5･6･35　乗用車の挙動



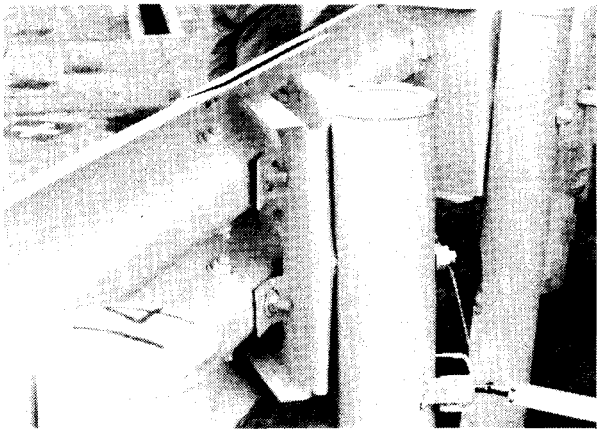
写真－5･6･36　誘導状況



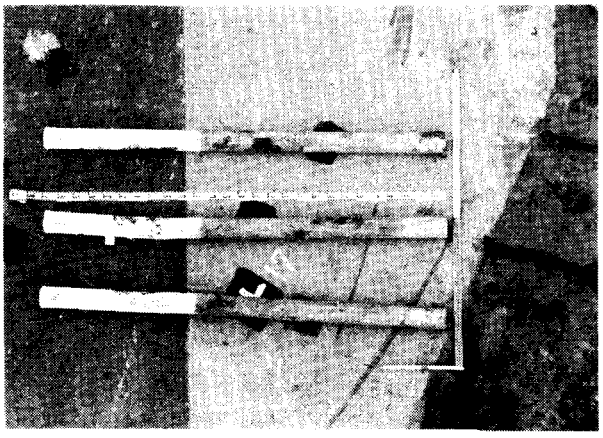
写真－5･6･37　ガードレールの損傷状況



写真－5･6･38　ガードレールの損傷状況



写真－5･6･39　ブラケットの損傷状況



写真－5･6･40　支柱の変形状況

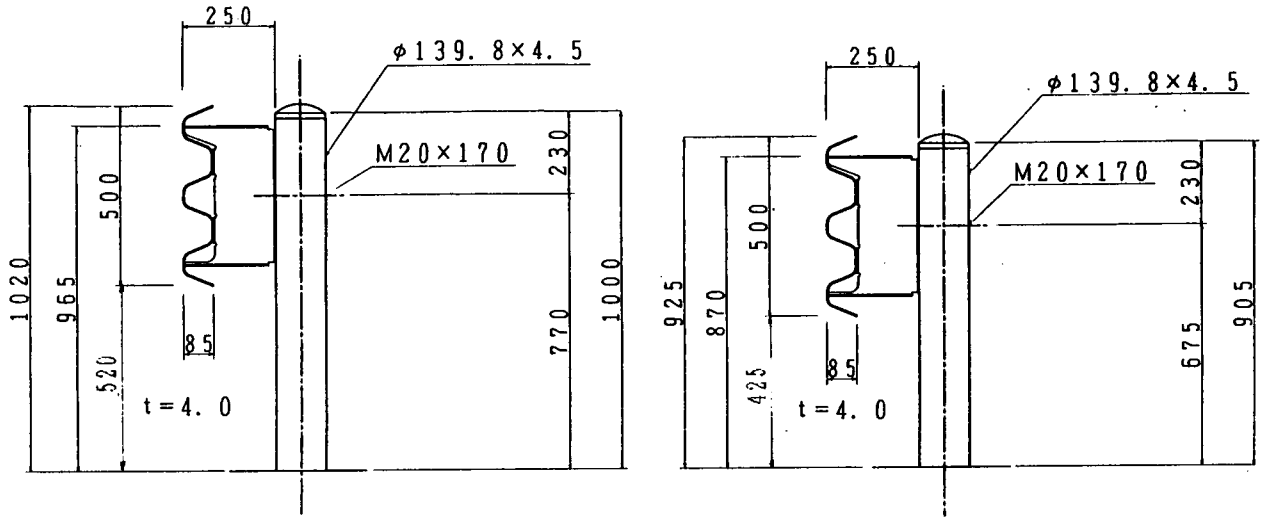


写真－5･6･41　車両の損傷状況

4) 新断面ビーム改良型　[実験６　バス]

[供試体概要]

新断面ビームの防護柵機能は実験３と４で検証されたが，乗用車の実験（実験４）では車輪が支柱に接触した。乗用車に対してはビームの下端高さを現行Ａ種に合わせた方がさらに安全性が向上すると考えられ、図－5･6･32のようにビーム中心高さを95mm下げた。なお，この供試体は乗用車に対して実験４よりも安全性が高いと判断できるため，乗用車の実験は行わないことにした。しかし，バスに対してはビームの上端高さが低くなり横転が懸念されたので，実験はバスを用いて行った。設置後の供試体を写真－5･6･42，43に，車両と供試体の高さ関係を写真－5･6･44，45に示す。



図－5･6･32　実験３，４と実験６の供試体設置高さ

(1) 高速度衝突

① 車両の挙動

重量14.0ｔのバスは速度71km/h，角度25度，衝撃度49.6ｔ･mでガードレールに衝突した。バスは写真－5･6･46に示すようにガードレールと平行に向きを変え，車両後部がガードレールに衝突して右前輪が浮き上がった（最大浮き上がり量44cm)。その後，右後輪が大きく浮き上がり（最大浮き上がり量63cm)，車両はガードレール側に傾いた（最大傾斜角　前端：27度，後端：26度)。車両は傾きを復元させながら角度10.0度，速度50km/h（減速率30％）で離脱した。車輪の軌跡を図－5･6･33に示し，車輪外側の最大進入量は769mmであった。実験結果を実験３と対比して表－5･6･11に示す。

表－5･6･11　実験条件と車両関係の実験結果の比較（実験６　高速度）

実験番号	実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側
	重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	右前輪	右後輪	最大進入量
6	14.0ｔ	71km/h	25度	49.6ｔ･m	50km/h	10.0度	27度	26度	44cm	63cm	769mm
3	14.0ｔ	73km/h	25度	52.5ｔ･m	52km/h	11.5度	19度	23度	56cm	35cm	863mm

車両には図－5·6·34および写真－5·6·51，52に示すように左側前端および後端部の潰れ，左ボディ側面の前から後ろにかけて線状の接触痕があった。損傷は実験３に比べて前部が若干大きく，後部は逆に小さかった。また，乗降口ドアガラスにひび割れが発生していたが，離脱後の走行状態からみて足回りの損傷は特にないと推察され，衝突後のバスは走行可能であったと考えられる。

② 防護柵の挙動

車両前端は支柱Ｐ13の手前0.4ｍの位置に衝突した。車両とガードレールの接触長は11.4ｍで車体前部がＰ18，Ｐ19に車体後部がＰ14～18に接触した。また，防護柵直角方向の残留変位が生じた区間は14ｍ（Ｐ10～24），平行方向については26ｍ（Ｐ３～29）であった。

車両衝突時における柵直角方向最大変位はＰ17の支柱頭部で1,368mm（残留変位1,291mm），地盤上600mmで1,148mm（残留変位1,069mm）であった。ビームの最大残留変位はＰ17の支柱部分で生じ，柵直角方向に1,212mmであった。

支柱水平力（防護柵直角方向）とビーム張力のピーク値は図－5·6·37および図－5·6·39に示すように，いずれも車両前部と後部が衝突したときの２度生じた。支柱水平力のピーク値は前部衝突時にＰ15で4.6ｔ，後部衝突時にＰ17で5.0ｔであり，ビーム張力のピーク値はＢ10で前部衝突時に13.2ｔ，後部衝突時に13.8ｔであった。防護柵関係の実験結果を実験３と対比して表－5·6·12に示す。

表－5·6·12　防護柵関係の実験結果の比較（実験６　高速度）

実験番号	車両と防護柵の接触長	防護柵変位					防護柵応力		
		支柱最大変位（GL上 600mm）	最大残留変位				最大水平力		ビーム張力
			支柱（頭部）		ビーム（Y方向）		支柱部分		
		Y方向	Y方向	X方向	上部	下部	Y方向	X方向	X方向
6	11.4m	1,148mm [頭部1,368mm] （P17）	1,291mm （P17）	102mm （P19）	1,212mm （P17）	——	5.0ｔ （P17）	1.33ｔ （P17）	12.9ｔ（B９） 13.8ｔ（B10） 12.5ｔ（B24） 12.5ｔ（B25）
3	11.9m	1,163mm [頭部1,447mm]	1,378mm	145mm	1,317mm	1,215mm	4.8ｔ	0.8ｔ	19.7ｔ（B９） 16.4ｔ（B10） 18.4ｔ（B24） 13.1ｔ（B25）

備考）１　実験３は高速度衝突の結果を示す。
　　２　――については計測を行っていない。

ガードレールの損傷状況は写真－5·6·47～49に示すとおりであった。支柱Ｐ18～21の４本が地盤面から0.3～0.5ｍの深さで折れ曲がり，その前後のＰ14～17およびＰ22には若干の変形がみられた（写真－5·6·50）。その他の支柱については潰れ，抜け出し，折れ曲がり等はなかった。

ビームは変位の大きかった部分でコルゲーション上下端に波状の変形を生じたが，ボルト穴部の亀裂，破断等はなかった。

ブラケットはＰ15～18の４ケ所に変形を生じたが，ブラケット取付けボルト（Ｍ20）は引き抜けなかった。

③ 考 察

実験3に比べ供試体の高さを95mm下げて実験したが，バスは横転することなく誘導され，離脱速度，離脱角度，最大進入行程，車両の損傷，防護柵強度，構成部材の強度とも問題なかった。

a 車両の誘導性

本実験で使用した供試体は設置高さを実験3よりも下げたため横転が懸念されたが，最大傾斜角は表－5·6·11に示したように実験3と比べ前端で8度，後端で3度大きかったにもかかわらず安全に誘導された。横転しなかったのは次のようなことから，設計よりも安全側の挙動となったものと考えられる。

・側面についた線状痕（図－5·6·34）の位置で車体を支えたとすれば，見掛け上の支持高さは設計時に想定した位置（875mm）よりも高くなっていた

・車両の挙動は単なるローリングだけでなく，ピッチングや車体のねじれ等も生じるので，単純化したモデルとは異なる

・時間経過に応じて力の作用方向や作用点が変化した

b 車両の最大進入行程

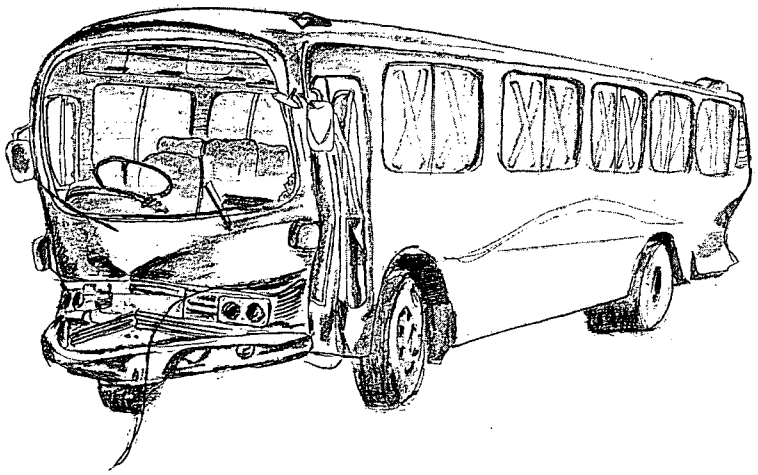
車輪外側の最大進入量は769mmで要綱の規定値（1.1m以下）を満足していた。

c 防護柵の強度

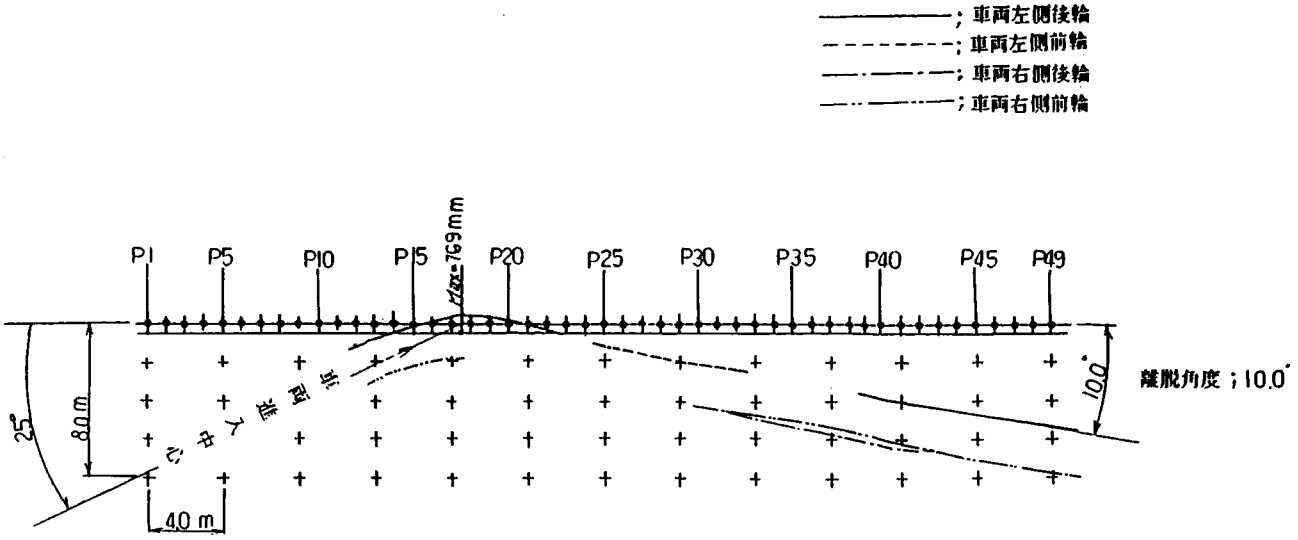
ガードレールの損傷は写真－5·6·47～49に示すように実験3と同程度となっており，ビーム高さを下げたことによる防護柵強度への影響はないと考えられる。

d 車両の損傷

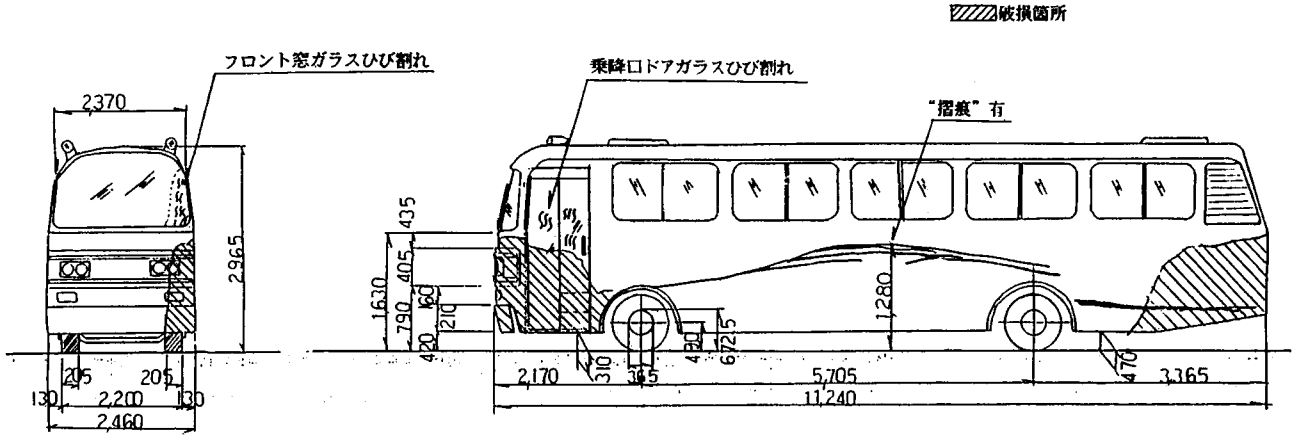
車両の損傷は実験3と同程度であった。柵高が実験3より95mm低いにもかかわらず，ボディ側面の線状痕の高さは30mm高い1,280mmとなった。これは，衝突時の傾斜角が実験3に比べて大きかったためと考えられる。



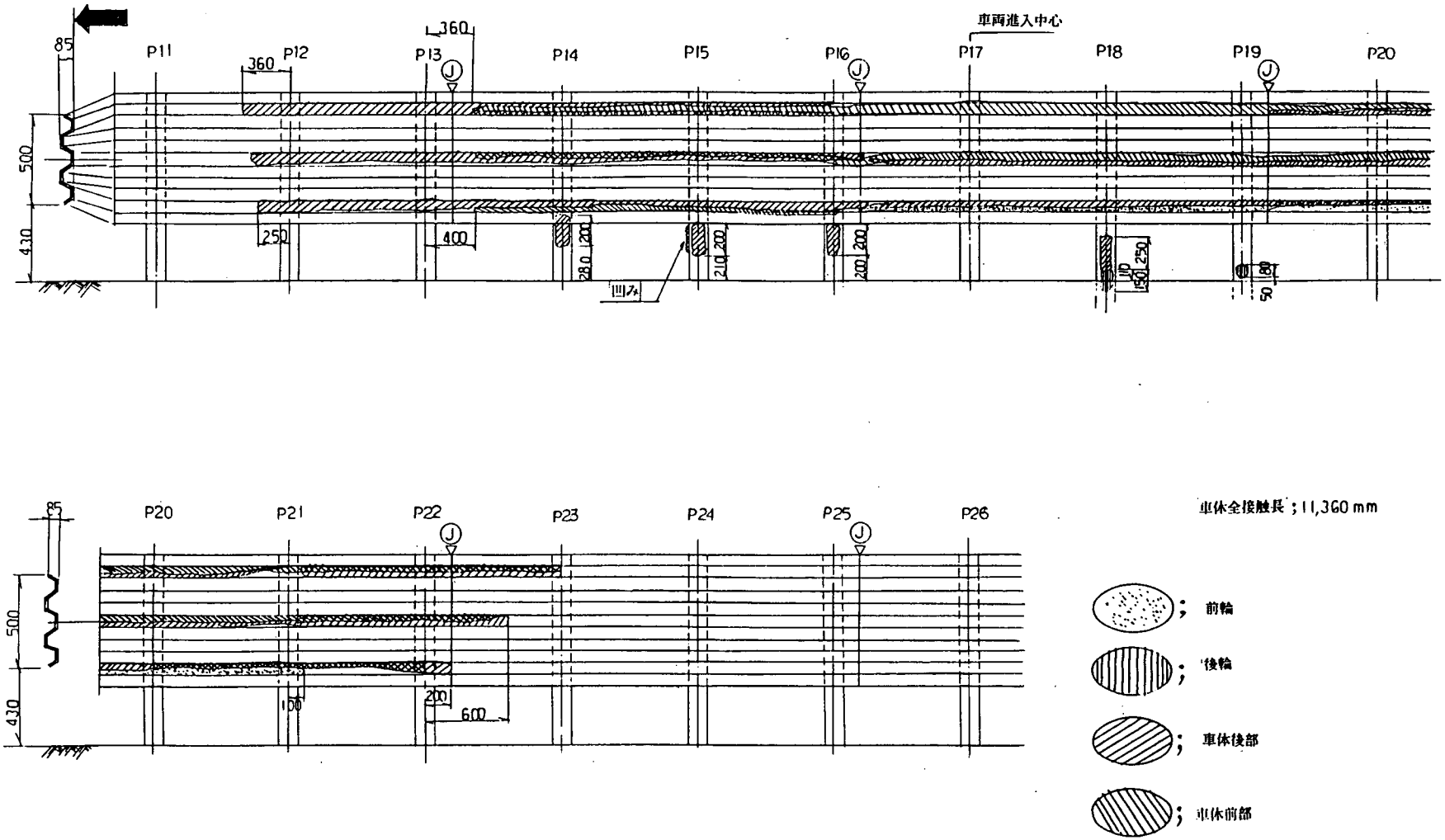
実験6 高速度



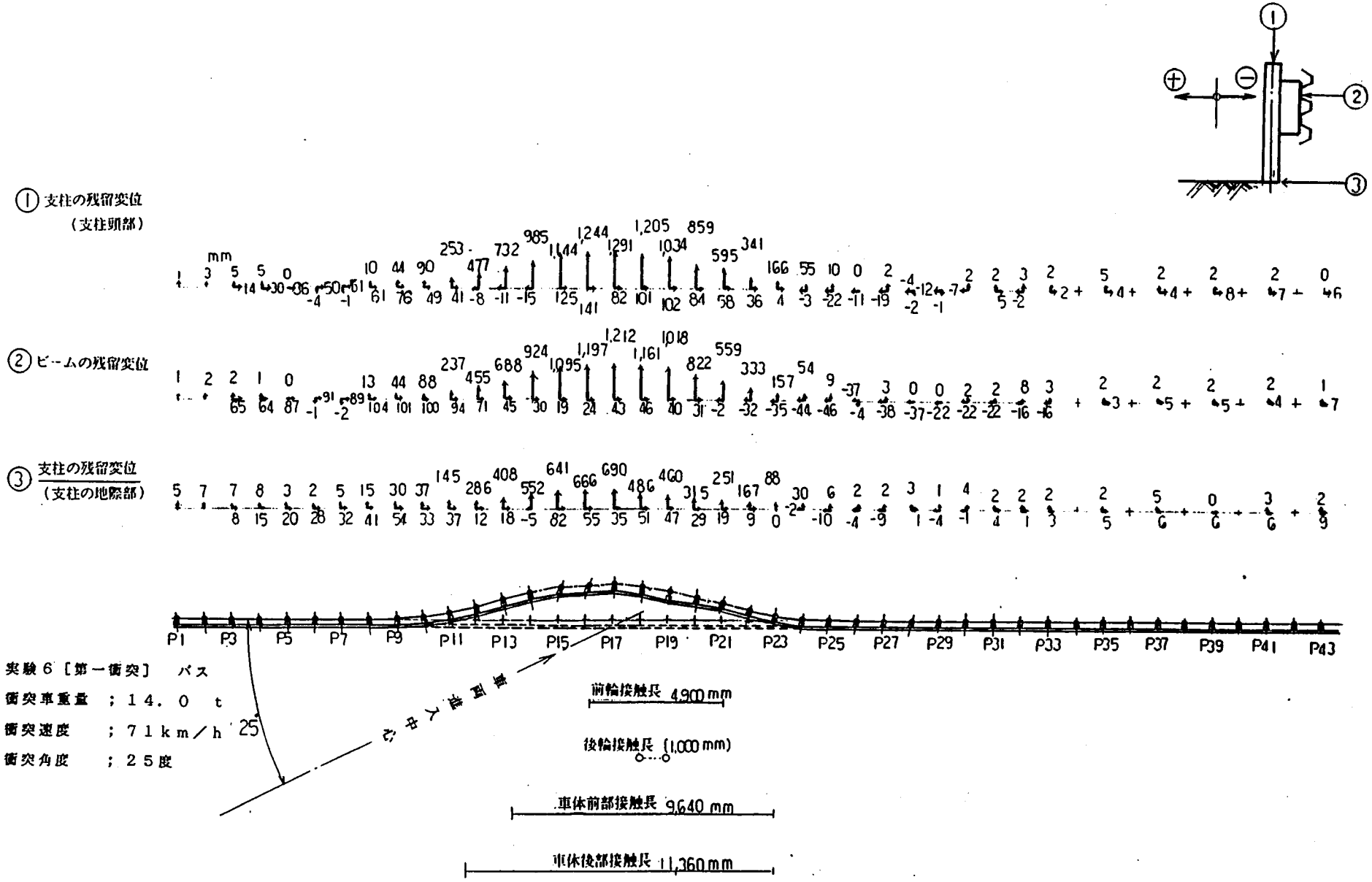
図－5·6·33　車輪の軌跡（実験 6　高速度）



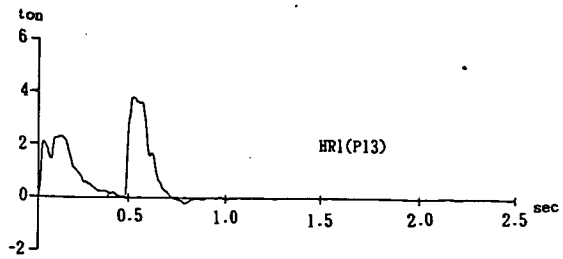
図－5·6·34　車両の損傷状況（実験 6　高速度）

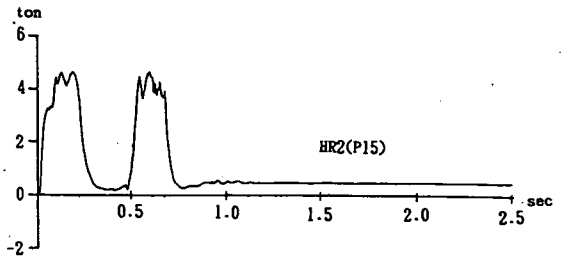


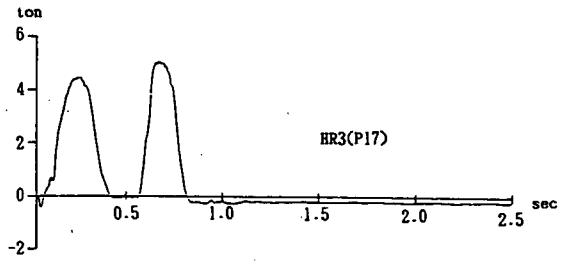
図－5･6･35　車両の接触状況（実験６　高速度）

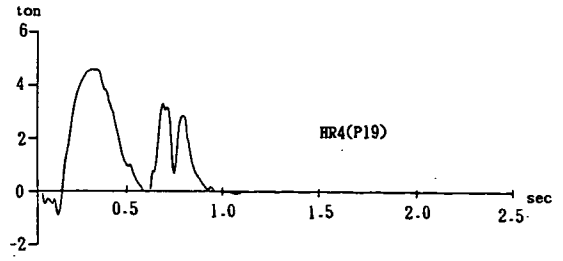


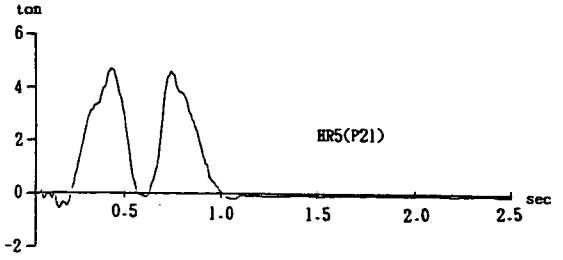
図－5･6･36 支柱およびビームの残留変位（実験６ 高速度）

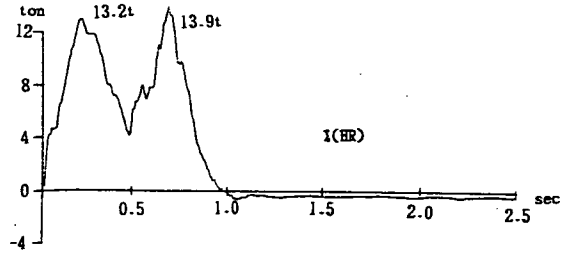




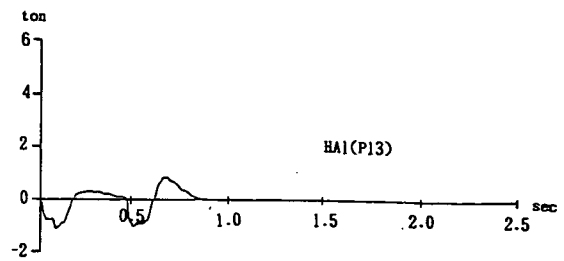


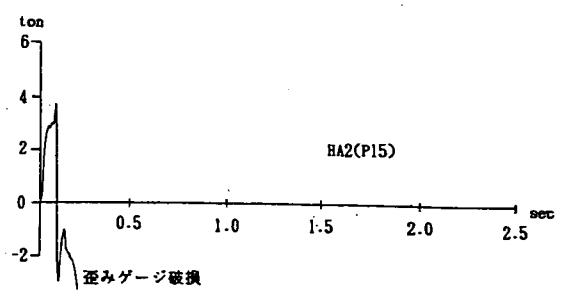


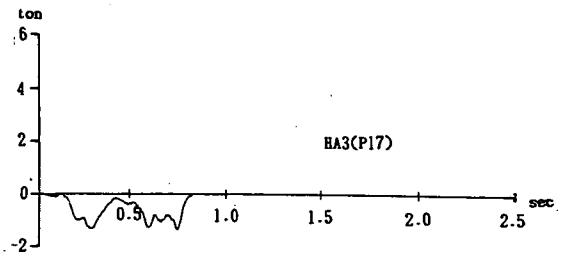


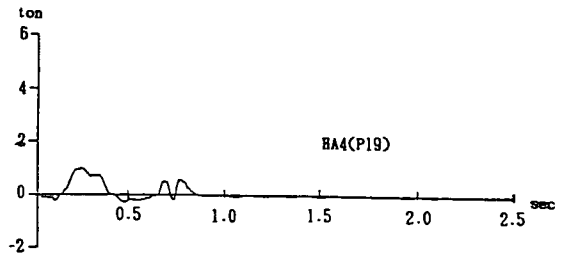


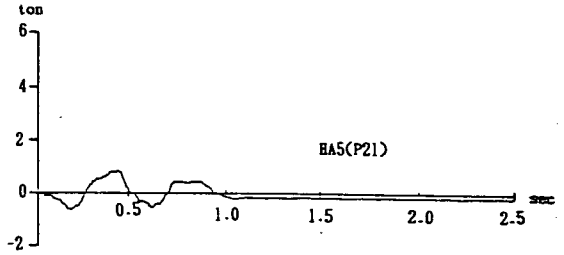
図－5･6･37　支柱に作用した防護柵直角方向の水平力

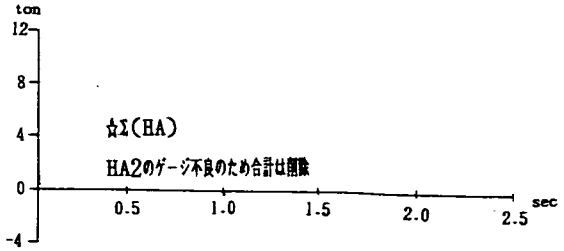




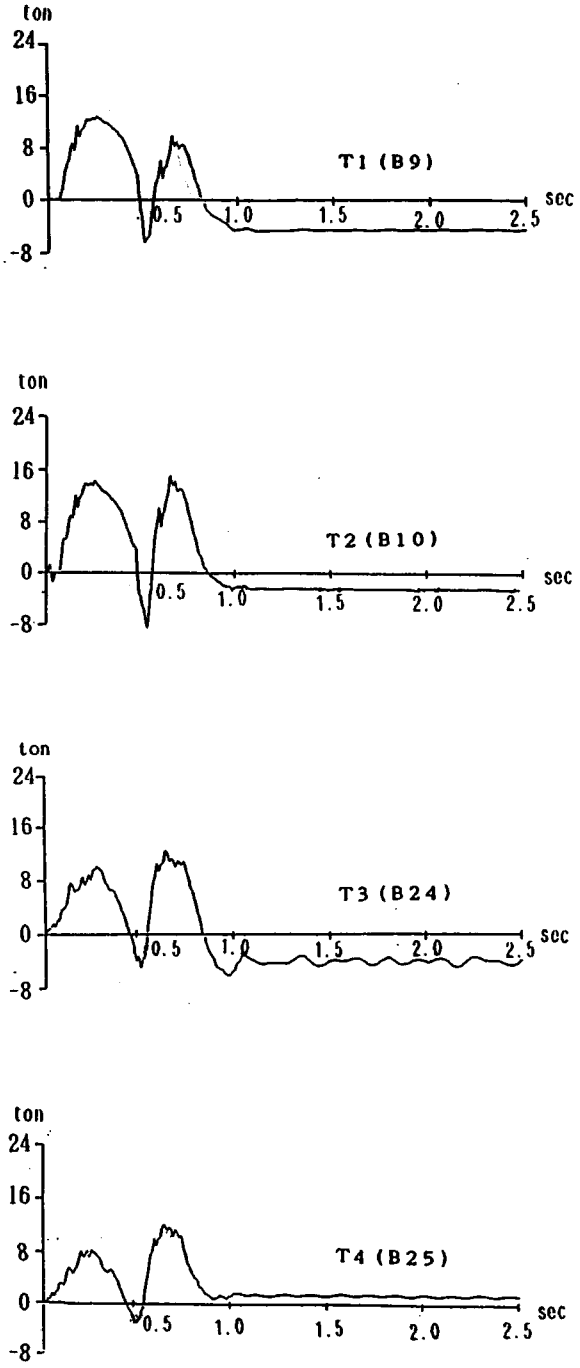




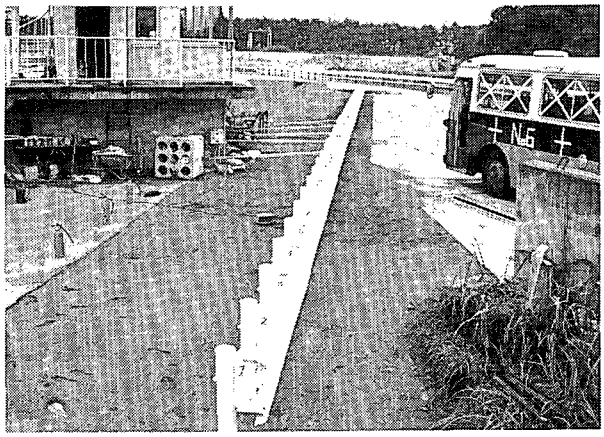




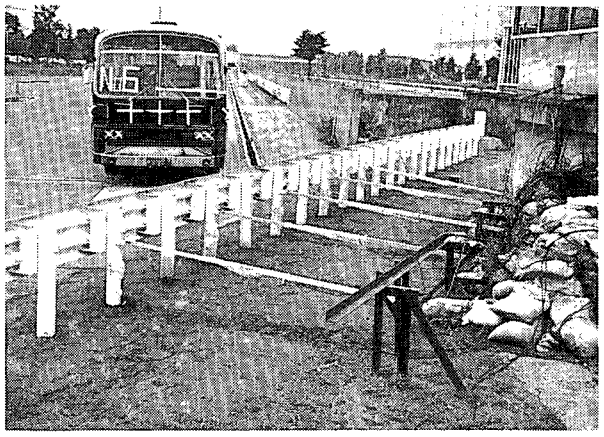
図－5･6･38　支柱に作用した防護柵平行方向の水平力



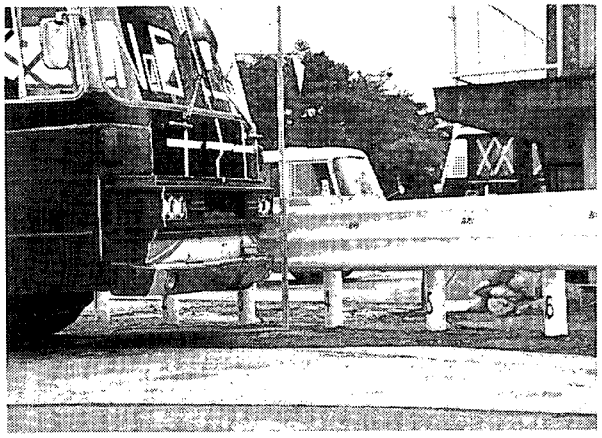
図－5･6･39　ビームに作用した張力



写真－5･6･42　新断面ビーム改良型



写真－5･6･43　新断面ビーム改良型

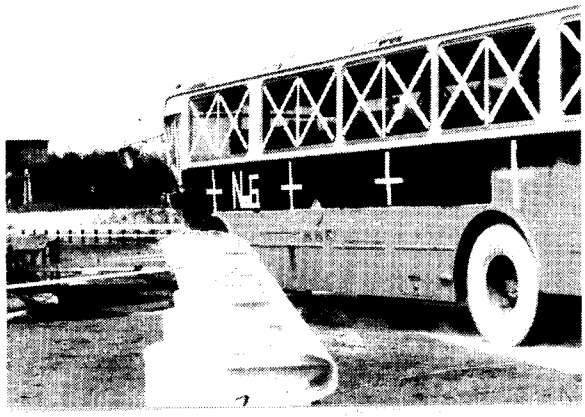


写真－5･6･44　バスとガードレールの高さ関係

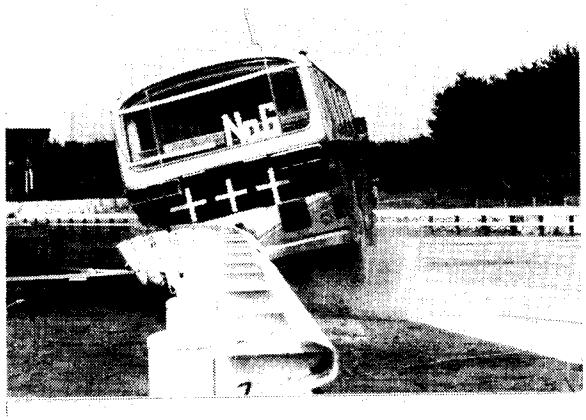


写真－5･6･45　乗用車とガードレールの高さ関係

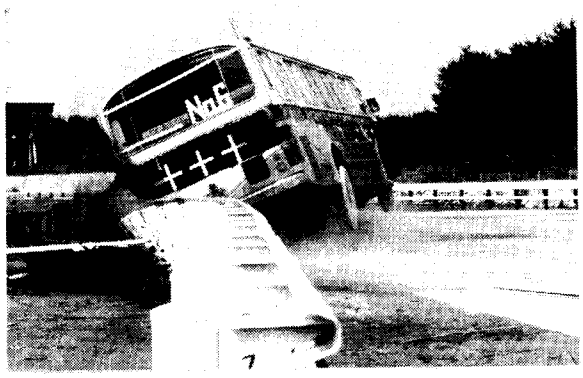
(1)



(2)



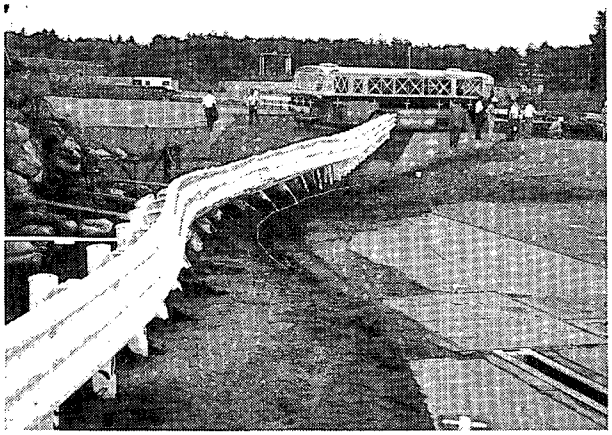
(3)



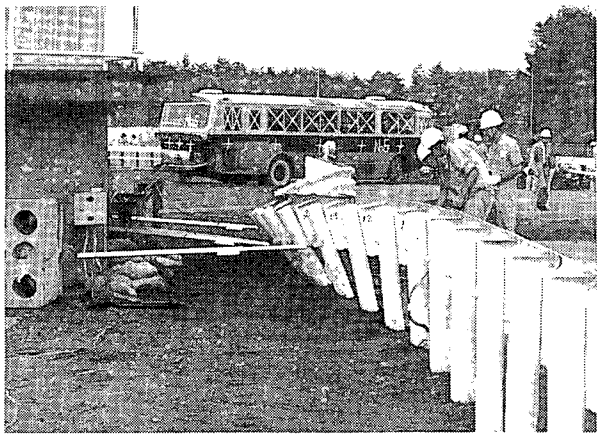
(4)



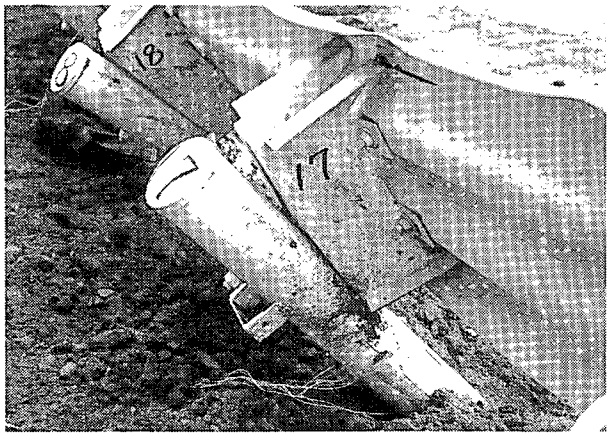
写真－5･6･46　バスの挙動



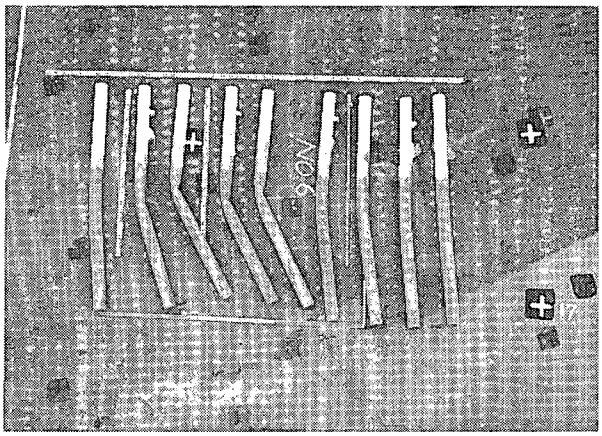
写真－5･6･47　ガードレール損傷状況



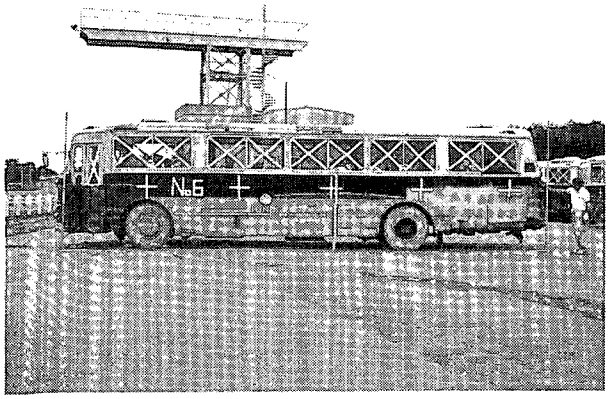
写真－5･6･48　ガードレールの損傷状況



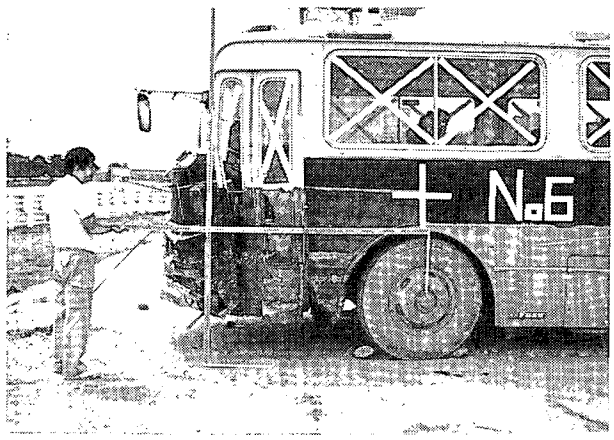
写真－5･6･49　ブラケット部の損傷状況



写真－5･6･50　支柱の変形状況



写真－5･6･51　バスの損傷状況



写真－5･6･52　バス前部の損傷状況

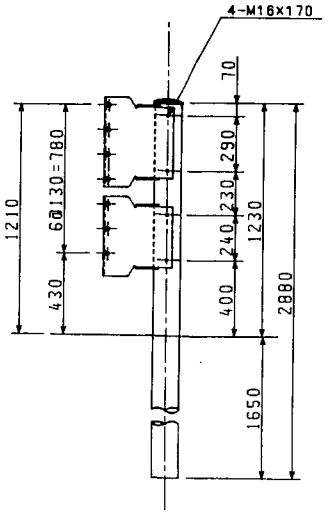
5.6.2 ガードケーブル系の実験結果と考察

ガードケーブルはガードレールのように柵面の曲げ剛性がないため，張力と支柱の水平支持力とによって衝突車両を誘導する構造である。「3　構造案の検討」で定まった諸元について衝突実験を行い，材料強度，車両の最大進入行程，誘導性，横転などについての確認を行った。

1)　ガードケーブル7本型［実験2　バス］

［供試体概要］

「3.5.2」の検討結果から，ケーブル本数7本，支柱間隔2.0m，最上段ケーブルの高さ1,210mm，最下段ケーブルの高さ430mm，ケーブル間隔130mmと決め，図－5·6·40に示す供試体とした。バスとガードケーブルの高さの関係を写真－5·6·53に示す。



図－5·6·40　供試体の設置高さ

(1)　高速度衝突（第一衝突）

①　車両の挙動

重量14.0tのバスは速度72km/h，角度25度，衝撃度51.0t·mでガードケーブルに衝突した。

車輪の軌跡は図－5·6·42に示すとおりで，車輪外側の最大進入量は支柱P9とP10の中間で1,074mmとなった。車両は2.3度の角度で離脱後，ほぼガードケーブルと平行に走行した。車両は写真－5·6·56(2)のように，前端部で31度，後端部で30度程度傾いたが，写真－5·6·56(3)のような走行状態で第二衝突の供試体に向かった。また車輪の最大浮き上がり量は，高速度フィルムの解析結果から右前輪で90cm，右後輪で100cmであった。

表－5·6·13　実験条件と車両関係の実験結果（実験2　高速度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	右前輪	右後輪	最大進入量
14.0t	72.0km/h	25度	51.0t·m	46.0km/h	2.3度	31度	30度	90cm	100cm	1,074mm

車両の損傷状況は写真－5·6·59に示すとおりで左側前端および後端部の潰れ，乗降ロドアガラスのひび割れ，ボディ左側面の線状接触痕（地盤上1,630mm）等があった。

衝突後のバスは第二衝突への走行状態からみて，足回りの損傷は特にないと推察され，走行可能であったと考えられる。

②　防護柵の挙動

車両とガードケーブルの接触状況は図－5·6·44に示すとおりであり，車両前端は支柱P7の位置に衝突した。車両と防護柵の接触長は10.83mで，P9およびP10には後輪の接触跡があった。衝突に関与したと推定される区間を高速度フィルムによる防護柵変形についての解析から求めると，衝突0.26秒後の前部衝突時では，支柱P5～12（約14m）で変位が認められた。

支柱の動的変位をP6，7，9，10，11について計測したが，地盤上600mmでの最大変位は0.61秒後の後部衝突時に支柱P9で生じ，1,000mmであった。残留変位については測定結果を図－5·6·45に示す。

支柱水平力（防護柵直角方向）のピーク値は図－5·6·46，47に示すように，いずれも車両前部と後部が衝突したときの2度生じ，前部衝突時に3.95ｔ（P11），後部衝突時に3.86ｔ（P 7）であった。

支柱はP 8，9，11，12，13，14の6本が地盤面から0.4～0.5ｍの深さで折れ曲がっていた（写真－5·6·58）。

ケーブル増加張力の変化を図－5·6·48（進入側端末部での計測）および図－5·6·49（支柱P 4とP 5の中間での計測）に示す。ケーブル張力の最大値は約0.68秒後の後部衝突時に端末部で9.2ｔ（最上段ケーブル），中間部で12.0ｔ（最下段ケーブル）であった。なお，車両衝突時に支柱P 9の手前35cmのところで，最下段ケーブルの1ストランド内の2本の素線（全構成素線数21本）が切断した。

表－5·6·14　防護柵関係の実験結果（実験2　高速度）

車両と防護柵の接触長	防護柵変位量			防護柵応力					
	支柱最大変位（GL上 600mm）	最大残留変位		最大水平力		ケーブル増加張力			
		支柱（頭部）		支柱水平力		端末部（上から）		中間部（上から）	
	Y方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向				
10.83m	1,000mm（頭部 1,380mm）（P 9）	951mm（P 9）	871mm（P 9）	4.2ｔ（P11）	4.3ｔ（P10）	1	9.2ｔ	1	9.2ｔ
						2	8.6		
						3	8.0		
						4	7.4	4	7.8
						5	7.0		
						6	6.4		
						7	8.0	7	12.0
						合計注)	52.6		
						平均	7.8		
						偏差	0.88		

注）ケーブル増加張力の合計は経過時間ごとに累計した最大値を示す

ブラケットはP 7～11の上下段およびP12～14の上段に変形を生じた（写真－5·6·54）。

柵面補強材はR 7（支柱P 7とP 8の間，以下同様）～R11が進行方向に移動した。R 7は下部が大きく湾曲したが，その他についてはほとんど変形しなかった（写真－5·6·57）。一方，R 7の移動量は少なかったが，R 8～11は0.5～0.9m移動した。しかし，いずれも隣接支柱を越えて移動することはなかった。

③　考察

本実験では車両の誘導性，離脱速度，離脱角度，最大進入行程，車両の損傷，防護柵の強度，構成部材の強度に大きな問題はなく，防護柵機能は満足できるものであった。

a　車両の誘導性

衝突後の車両は2.3度の浅い角度で離脱し，誘導性は良好であった。また，急激な速度低下もなく，離脱後の車両による二次的な事故の発生は少ないものと推察される。

b　車両の最大進入行程

車輪外側の最大進入量は1,074mmで，要綱の規定値（1.1m以下）を満足しており，支柱諸元，ケーブル本数，初張力等の選定は適正であったといえる。

なお，表－5·6·13の車輪外側最大進入量が，表－5·6·14の支柱最大変位を超えているのは，図－5·6·42

に示すように支柱間の中央部で最大進入量となっているためと考えられる。

c　防護柵の強度

・支柱頭部の変位

主要な支柱の残留変位と動的変位の最大値を表－5･6･15に示す。残留変位は動的最大変位の70～80％となっており，ケーブルの残留張力の影響もあって小さくなっている。また，防護柵の支柱はできるだけ柵と直角方向に変位することが望ましいが，ガードケーブルの場合は柵面の剛性がないために支柱が車両進行方向に倒れる傾向がある。そこで，支柱頭部の残留変位の柵平行方向成分と直角方向成分との比を“残留変位の成分比率”として表－5･6･15に示す。この値が1.0以下なら支柱が車両衝突時に効果的に作用していたと判断でき，本実験結果ではいずれの支柱もこれを満足していた。すなわち，柵直角方向への変位が優越しており，防護柵の支柱として効果的に作用していたと推察される。

表－5･6･15　支柱頭部の残留変位と成分比率（実験２　高速度）

支柱	防護柵平行方向成分 残留変位 A（mm）	防護柵直角方向成分 残留変位 B（mm）	防護柵直角方向成分 動的変位の最大値（mm）	残留変位の比　率 A／B
P 5	−25	374	−	−0.067
P 6	−60	569	900	−0.10
P 7	−86	705	960	−0.12
P 8	714	896	−	0.80
P 9	871	951	1,380	0.92
P10	251	944	1,280	0.27
P11	160	815	980	0.20
P12	79	644	−	0.12
P13	72	380	−	0.19
P14	76	134	−	0.57

備考）－印は計測を行っていない

・支柱に作用した水平力

支柱に作用した柵直角方向水平力の最大値と，その発生時間を表－5･6･16に示す。

表－5･6･16　支柱に作用した柵直角方向水平力（実験２　高速度）

支柱	最大水平力（t）	発生時間（sec）
P 6	3.15	0.61
P 7	3.80	0.51
P 9	3.70	0.19
P10	3.90	0.27
P11	3.95	0.39

表－5･6･16において衝突位置手前側の支柱（Ｐ６，７）は最大水平力の発生時間がＰ９，10に比べて遅くなっているが，これは後部衝突時に最大となったためである。また，車両はＰ６の位置に直接衝突していないが，Ｐ７付近のケーブル変位の影響を受けて水平力が発生しているので，時間的には他の支柱よりも遅れていた。

実験場の地盤で測定した単独柱の支持力に比べてＰ６～11で計測された水平力は大きな値を示している。これはケーブルで支柱上部を支持されているために，見掛けの水平力が大きくなっているものと考えられる。

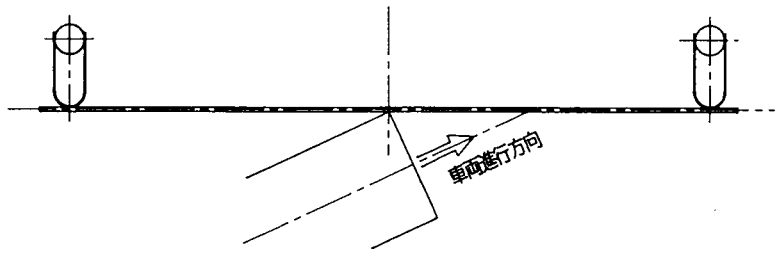
・ケーブル張力

ケーブルの最大増加張力は表－5･6･14に示すように，端末部で9.2ｔ，中間部で12.0ｔとなっている。従って初張力２ｔを加えた張力の最大値は14.0ｔとなるが，ケーブルの切断荷重（16ｔ）以下であり，強度については問題なかった。

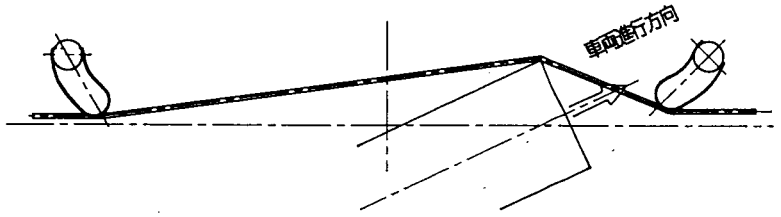
一方，21本の素線中の２本が切断したが，ケーブルの切断には至らなかった。この破断面はせん断破面であったことから，車体の一部が当たって生じたものと考えられ，ケーブルの構造諸元の選定は適正であったと判断できる。

ｄ　構成部材の評価

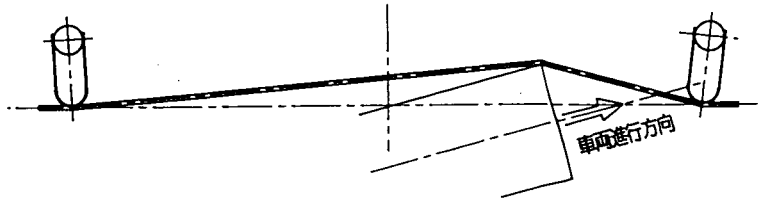
ブラケットの設計は，柵直角方向に対して支柱材の最大強度と同等以上（５ｔ以上）の圧縮力に耐えることとした。また，柵平行方向については，車両がブラケットの位置に到達する前に図－5･6･41の（ｂ）のような変形をすると衝突車両の誘導性を阻害しやすいので，同図（ｃ）のように車両が到達するまでブラケッ



（ａ）衝突前



（ｂ）ブラケットが弱すぎる時



（ｃ）適正強度のブラケット

図－5･6･41　衝突時のブラケットの挙動

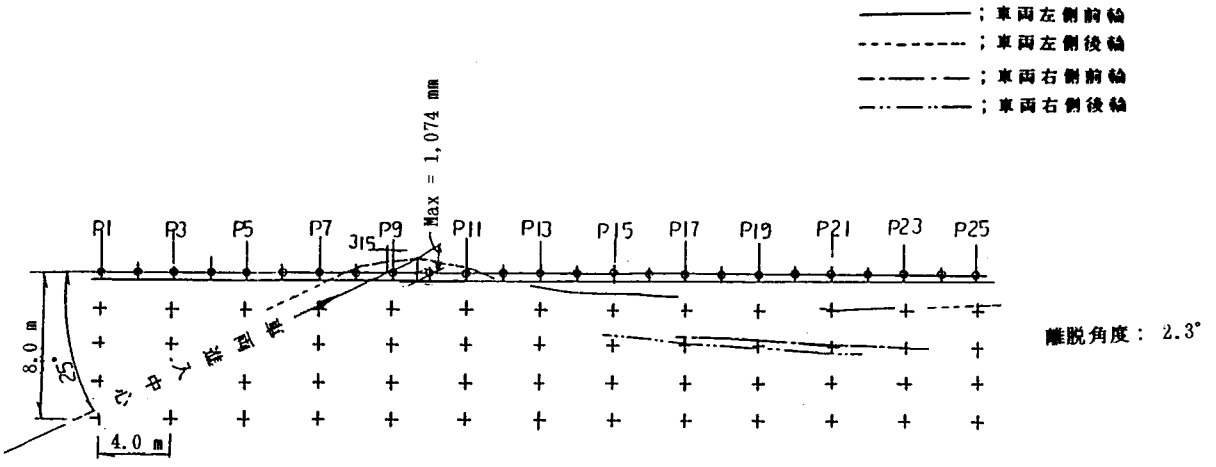
トが手前側に変形しないような約１ｔ程度の耐力となる構造とした。本実験で衝突位置の上部から撮影した高速度フィルムおよびビデオを詳細に調べると，ブラケットは図－5･6･41(ｃ)に示すような挙動を示していたことが確認できた。一方，表－5･6･15の残留変位の比率，表－5･6･16の最大水平力を参照すると，ほぼ予想したとおりの方向に防護柵反力が発生していたと考えられる。以上のことから，進行方向および直角方向への強度は適正であったと考えられる。

ケーブルの止め金具には厚さ4.5mm，幅19mm（面取り分を削除した断面積＝81.5mm²）のピンを用いた。車両衝突時に支柱Ｐ８の上から１段目，Ｐ９の１，２段目，Ｐ10の１，７段目の５ケ所でケーブルがブラケットから外れたが，防護柵の誘導機能に対する影響は生じなかった。従ってケーブルの止め方はこの方法で良いことが確認できた。

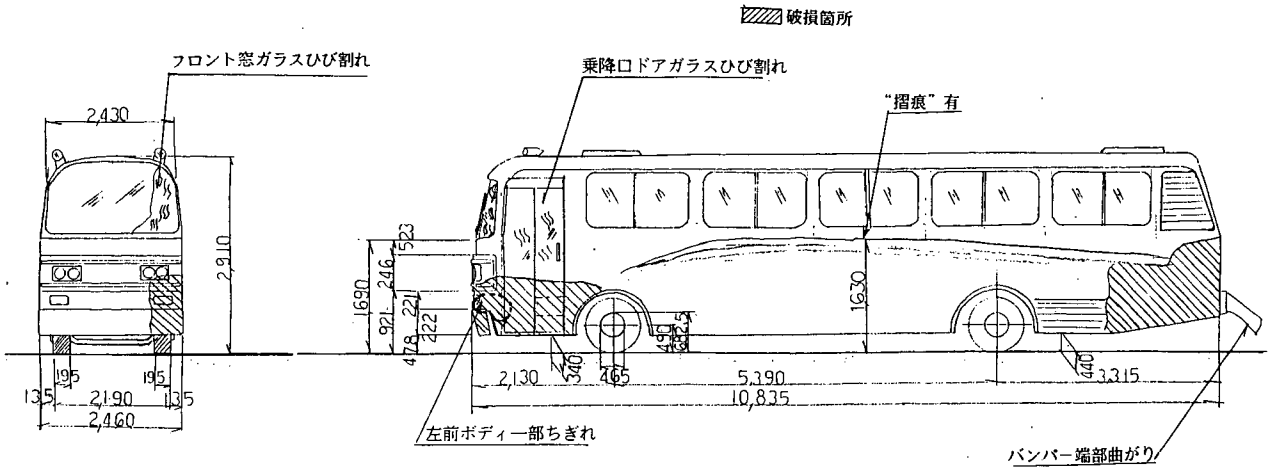
支柱間の中央に柵面補強材を取付けて７本のケーブルの一体化を図った。その結果，車両衝突時に下段ケーブルの踏み付けやケーブル間隔の広がりもなく，７本のケーブルにほぼ均等に増加張力が発生して衝突車両を円滑に誘導することができたといえる。衝突位置にあった柵面補強材Ｒ７は変形がやや大きかったが，所期の使用目的は達していた。以上のことから，柵面補強材の諸元は本実験で使用したもので充分であると考えられる。

ｅ　車両の損傷

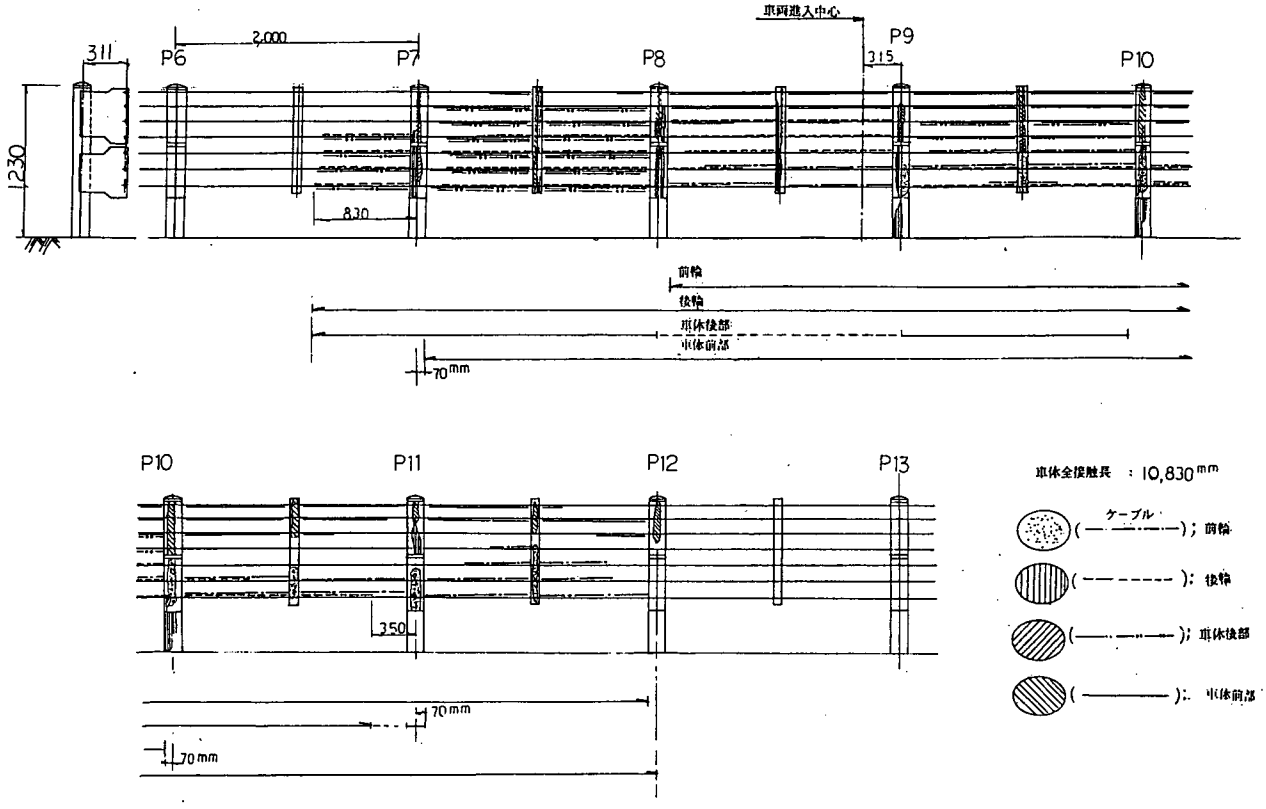
衝突による変形で乗降口のドアは開閉不能になり，車体後部にも潰れを生じたが客室内の変形はなかった。なお，側面上部に残った線状の接触痕は離脱時に傾いた車両がＰ13，14のブラケットの天端に触れて付いたものであると思われるが，傷の深さが浅く，Ｐ13，14のブラケットの変形も少なかった。



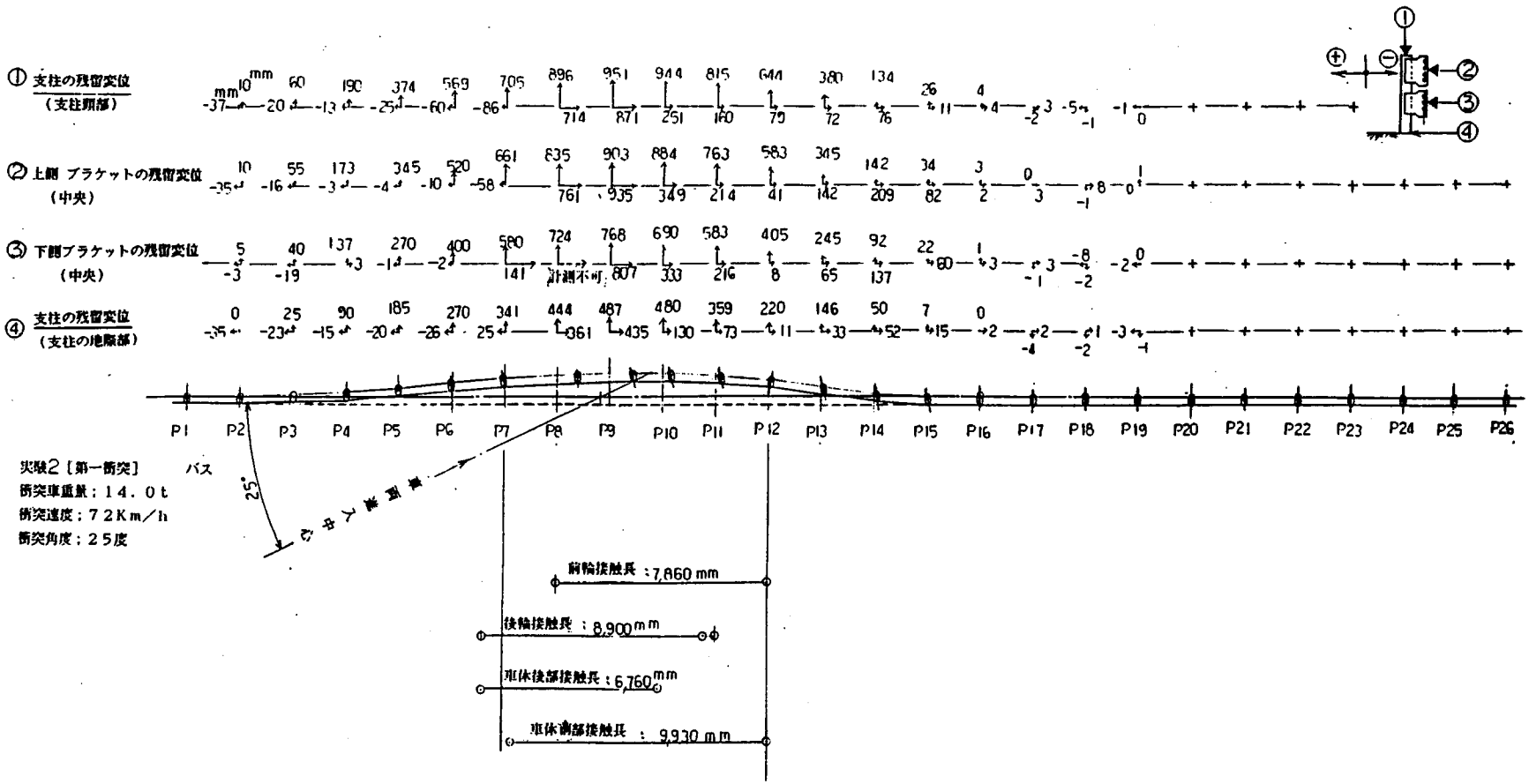
図－5･6･42　車輪の軌跡（実験２　高速度）



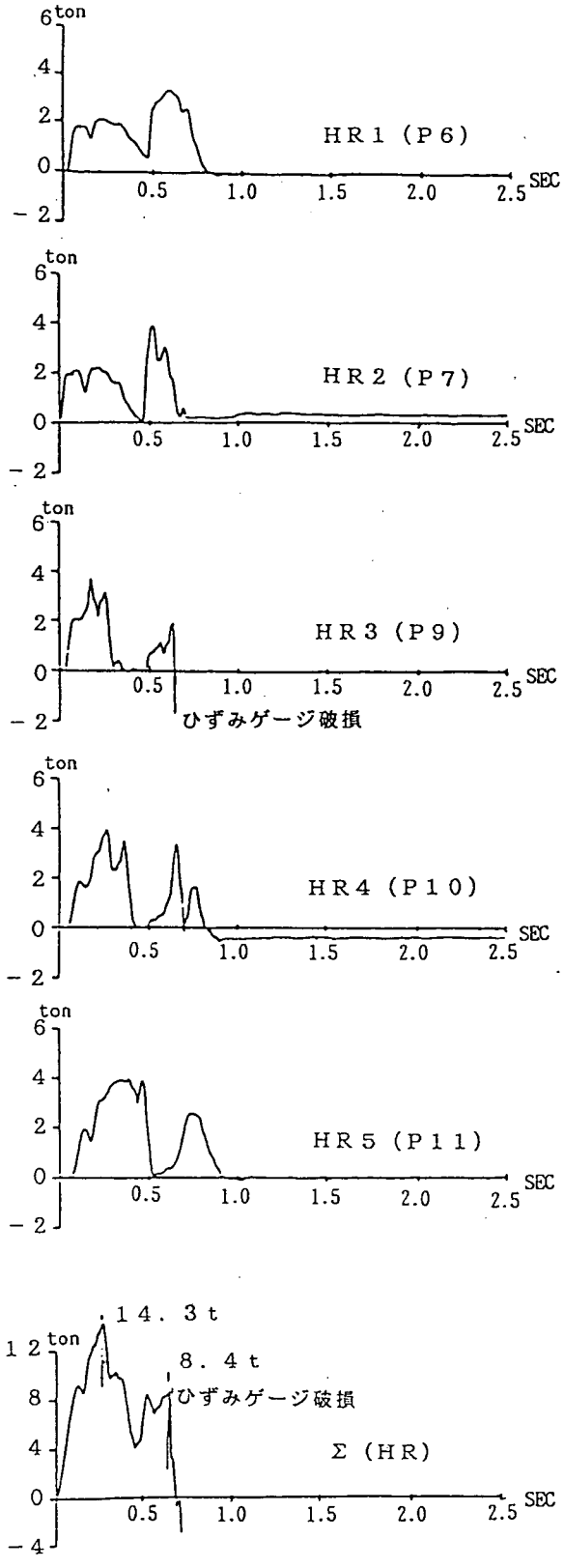
図－5·6·43　車両の損傷状況（実験２　高速度）



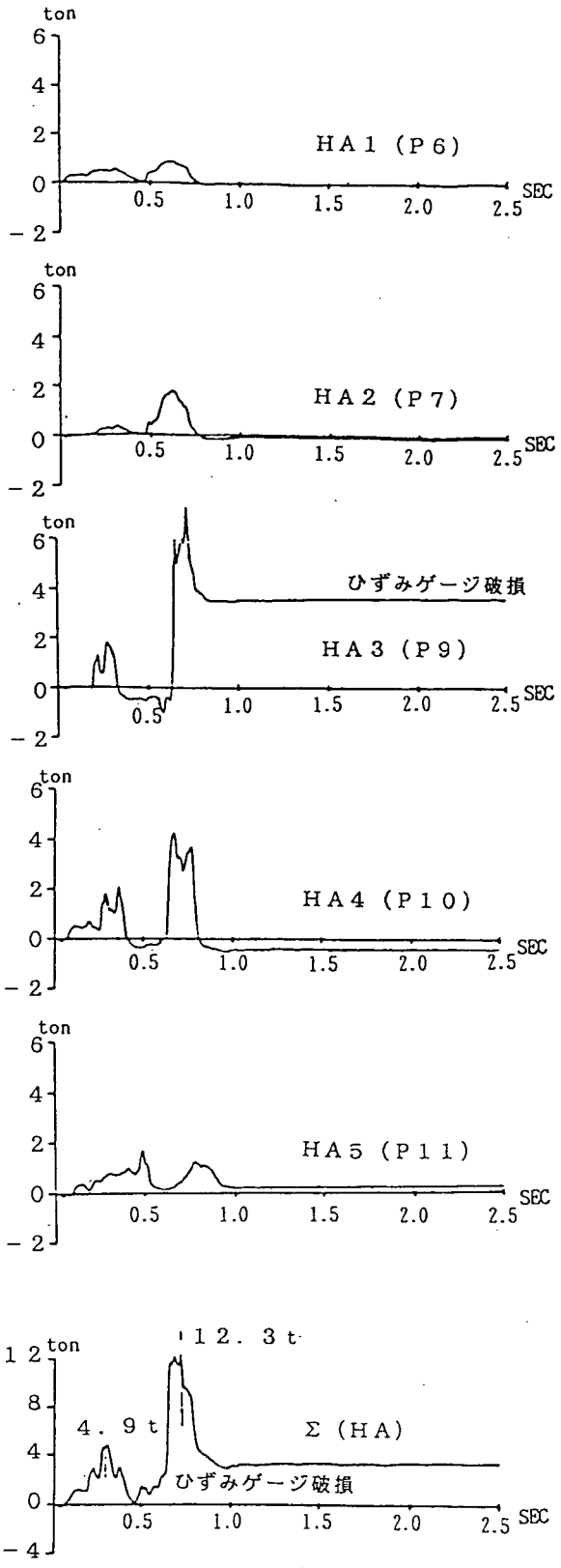
図－5·6·44　車両の接触状況（実験２　高速度）



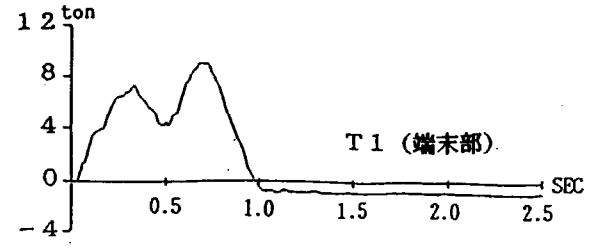
図－5·6·45　支柱およびブラケットの残留変位（実験2　高速度）

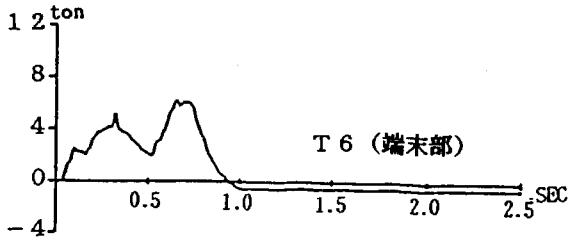


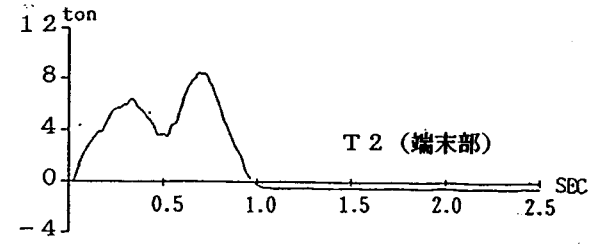
図－5·6·46　支柱に作用した防護柵直角方向の水平力

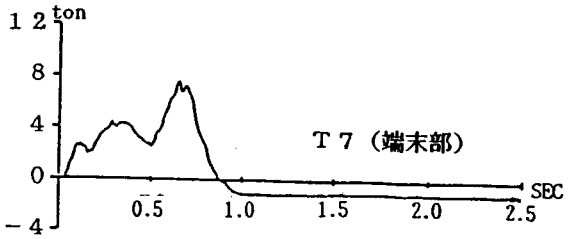


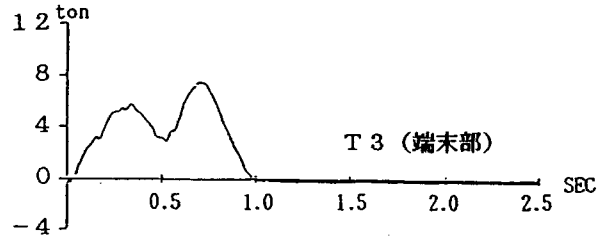
図－5·6·47　支柱に作用した防護柵平行方向の水平力

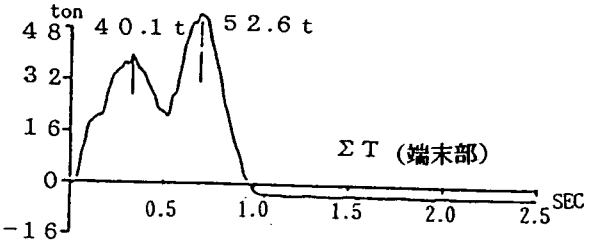


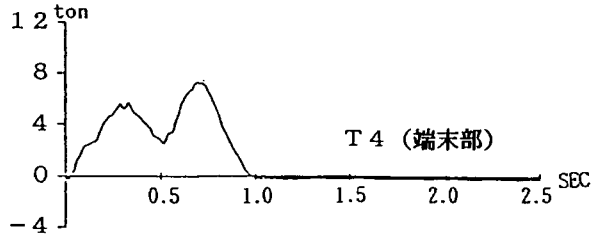


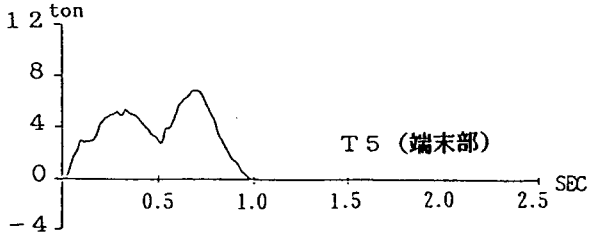




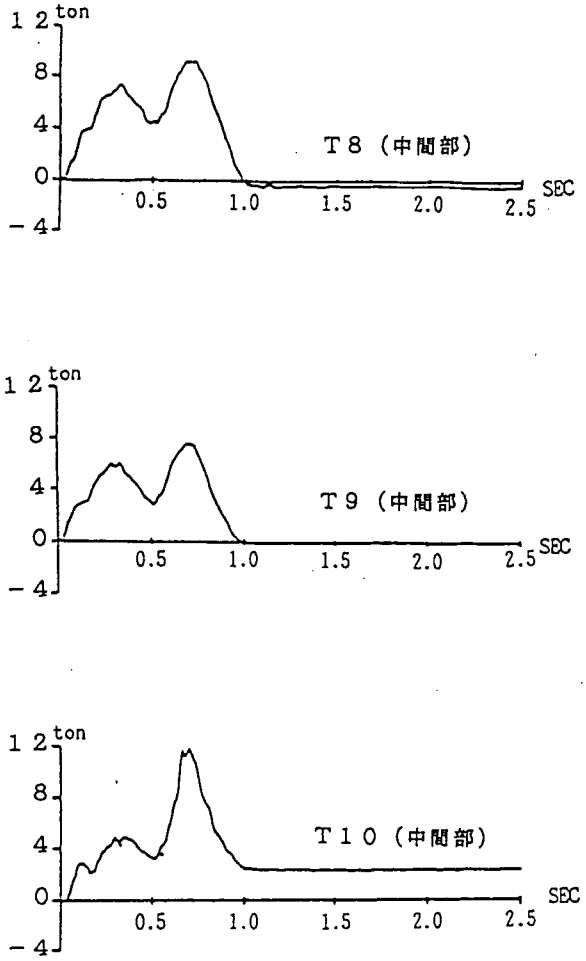




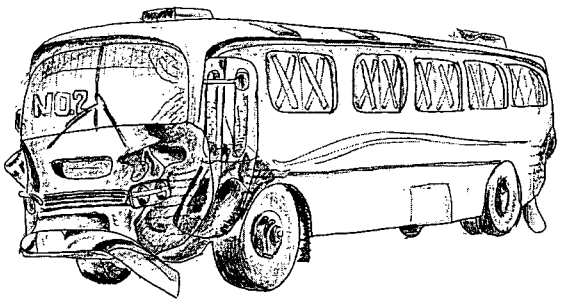




図－5·6·48　ケーブルに作用した張力（端末部）



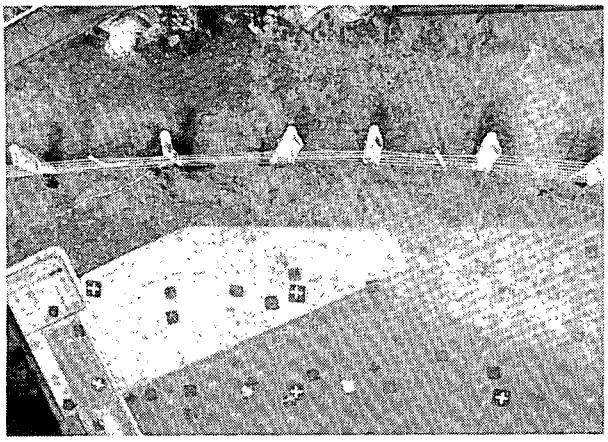
図－5･6･49　ケーブルに作用した張力（中間部）



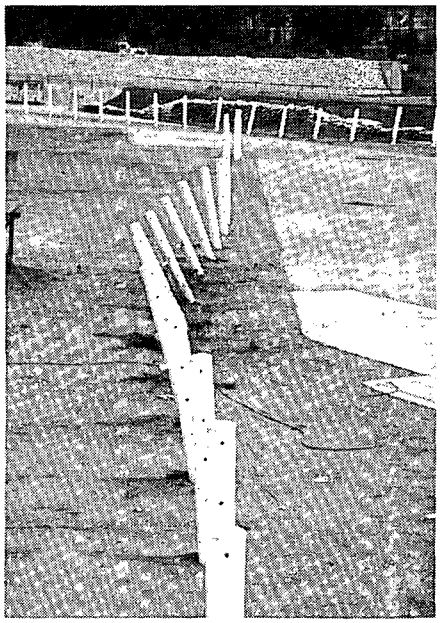
実験２　高速度



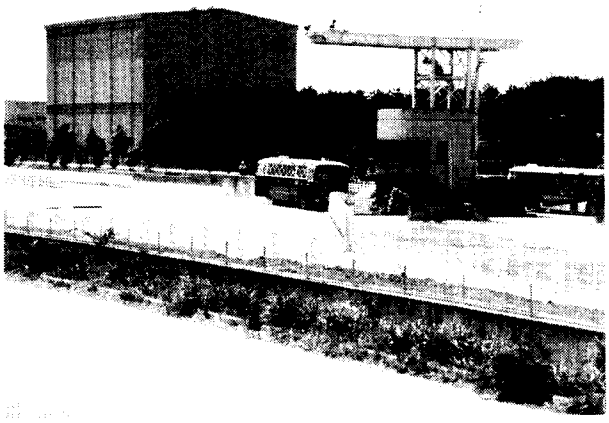
写真－5･6･53　ガードケーブル７本型



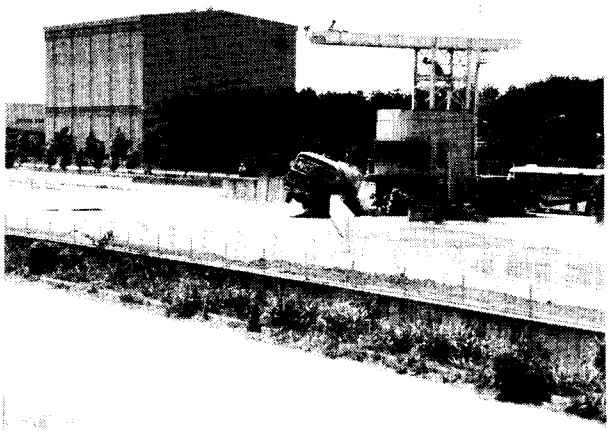
写真－5･6･54　ガードケーブルの変形状況



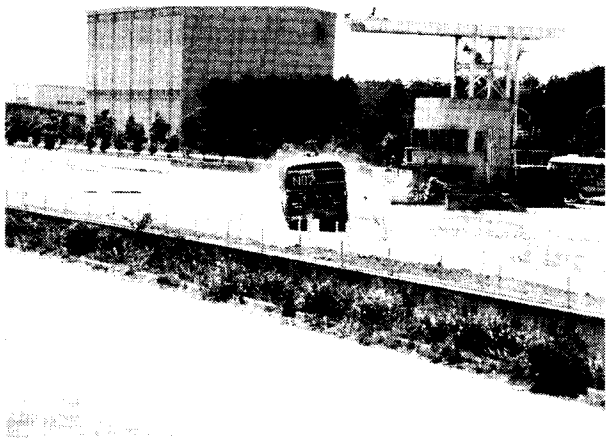
写真－5･6･55　支柱の変形状況



(1)



(2)



(3)

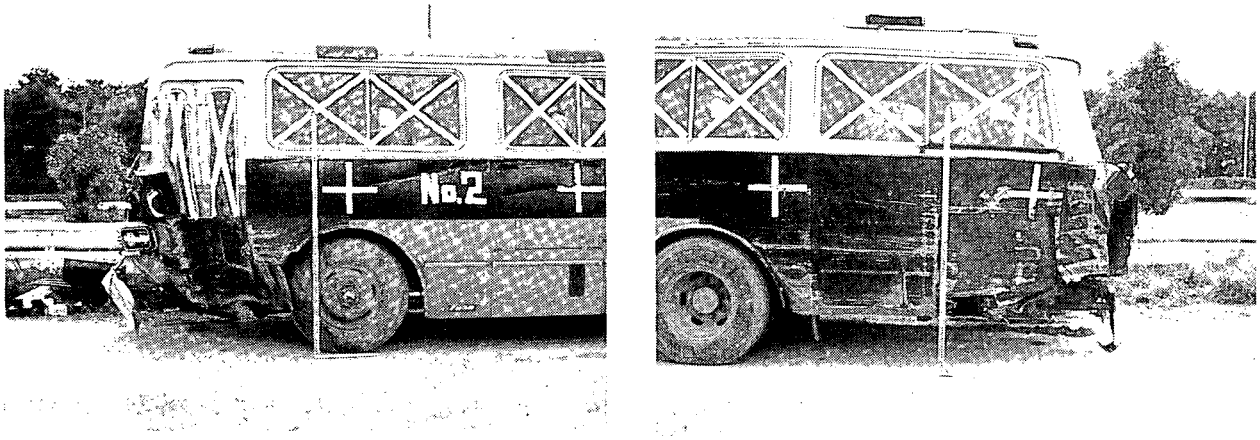
写真－5･6･56　衝突時の車両誘導状況



写真－5･6･57　ガードケーブルの変形状況



写真－5･6･58　支柱の変形



写真－5･6･59　車両の損傷状況

(2)　急角度衝突（第二衝突）

①車両の挙動

第一衝突から離脱した重量14.0ｔのバスは，速度46km/ｈ，角度34度，衝撃度34.5ｔ･ｍで第二衝突用のガードケーブルに安定した姿勢で衝突した（写真－5･6･63(1)）。

車輪の軌跡は図－5･6･50に示すとおりで，車輪外側の最大進入量は支柱Ｐ９とＰ10の中間で523ｍｍとなった。バスは，写真－5･6･63に示すように左前輪を浮き上がらせて右側面をガードケーブルに接触させながら進行方向を変え，その後車体後部が衝突した。いったん離脱した車両は，約12ｍ進んで再度接触し，端末支柱に接しながら離脱した。

表－5･6･17　実験条件と車両関係の実験結果（実験２　急角度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	左前輪	左後輪	最大進入量
14.0ｔ	46.0km/h	34.0度	34.5ｔ･ｍ	－	0.0度	15度	13度	38cm	－	523mm

備考）－印は計測を行っていない

車両の損傷状況は，図－5･6･51および写真－5･6･65に示すとおり，右側前端および後端部の潰れ，ボディ右側面の線状接触痕（地上高1,330ｍｍ）等があった。衝突後の車両は，ステアリング装置およびラジエターファンの損傷により，牽引走行はできるが自力走行はできなかった。

②防護柵の挙動

車両前端は支柱Ｐ36の約１ｍ手前に衝突した。車両と防護柵の接触長は8.0ｍで，Ｐ45から再接触し，その時の接触長は13.0ｍであった。Ｐ36とＰ38には後輪との接触によるペイント跡が認められた。車両とガードケーブルの接触状況を図－5･6･52に示す。

支柱頭部の最大残留変位は柵直角方向に760ｍｍ（Ｐ37），柵平行方向に620ｍｍ（Ｐ36）であった。

支柱はＰ36～40に地中部での曲がりがみられ，その位置は地盤面から315～385ｍｍの深さであった。変形状況を写真－5･6･64に示す。

表－5·6·18　防護柵関係の実験結果（実験２　急角度）

車両と防護柵の接触長	防護柵変位量			防護柵応力					
	支柱最大変位 (GL上 600mm) Y方向	最大残留変位 支柱（頭部）		最大水平力 支柱水平力		ケーブル増加張力			
						端末部（上から）		中間部（上から）	
		Y方向	X方向	Y方向	X方向				
一次接触 8.0m	－	760mm (P37)	620mm (P36)	－	－	1	5.6 t	1	－
						2	5.6		
						3	5.6		
						4	6.2	4	－
二次接触 13.0m						5	4.0		
						6	4.2		
						7	6.0	7	－
						合計	29.8		
						平均	5.3		
						偏差	0.80		

備考）・ケーブルの増加張力の合計は，経過時間ごとに累計した最大値を示す
・－印は計測を行っていない

ケーブル張力は図－5·6·54（進入側端末部での計測）に示すように変動し，ピーク値は車両前部と後部が衝突したときの２度生じた。最大値は上から４段目のケーブルで衝突0.30秒後の前部衝突時に生じた6.2 tであった。

ブラケットはP36～39の上下段が変形したが，P36とP39のブラケットの変形はわずかだった。P37およびP38付近の損傷状況を写真－5·6·62に示す。衝突時にケーブルはP37の最上段およびP38の最上段と最下段の３ヶ所でブラケットからはずれた。

柵面補強材はR36（支柱P36とP37の間，以下同様）とR37の２本が進行方向に約１m移動し，R36～38の３本が若干変形した。

③考察

本実験は第一衝突から離脱した車両を再度衝突させる方法で行ったために，衝突速度および角度の制御ができず，速度，角度ともに当初の目標値を下回り，衝撃度は目標値の50 t·mに対し69％の34.5 t·mとなった。そこで，目標条件での挙動の推定を「e」項で述べる。

本実験結果と目標条件に対する検討結果から総合的に評価すると，車両の誘導性，離脱速度，離脱角度，最大進入行程，車両の損傷，防護柵の強度，構成部材の強度等に大きな問題はなく，防護柵機能は満足できるものであった。

a　車両の誘導性

本実験により急角度衝突の場合でも車両を誘導できることが確認でき，離脱後の車両による二次的な事故の発生は少ないものと推察される。

b　車両の最大進入行程

車輪外側の最大進入量は523mmで，要綱の規定値（1.1 m以下）を満足しており，支柱諸元，ケーブル本数，初張力等の選定は適正であったといえる。

c　防護柵の強度

・支柱頭部の変位

主要な支柱の残留変位と成分比率を表－5･6･19に示す。残留変位の成分比率（A/B）は各支柱とも1.0以下で，柵直角方向への変位が優越していることを示しており，支柱は車両の路外逸脱防止に有効に働いていたといえる。

表－5･6･19　支柱頭部の残留変位と成分比率（実験２　急角度）

支　柱	防護柵平行方向成分 A（mm）	防護柵直角方向成分 B（mm）	残留変位の成分比率　A／B
P34	3	330	0.01
P35	38	530	0.07
P36	620	740	0.84
P37	613	760	0.81
P38	583	690	0.84
P39	231	540	0.43
P40	7	288	0.02

・ケーブル張力

ケーブル張力のピーク値を整理すると表－5･6･20のようになる。

表－5･6･20　ケーブル張力のピーク値（実験２　急角度）

ケーブル位置	増加張力(各ケーブルの初張力＝2ｔ)	
	前部衝突（ｔ）	後部衝突（ｔ）
最上段	5.3	4.8
2段目	5.0	5.2
3	4.2	4.3
4	5.4	2.3
5	4.1	3.9
6	2.6	4.1
最下段	2.4	5.2
合計[注)1]	29.0	29.8

注）1　経過時間ごとに累計した張力の最大値
　　2　前部衝突は0.27秒時，後部衝突は0.93秒時の張力を示す

各ケーブル張力の経時変化については図－5･6･54からわかるように，前部衝突時の上５段のピーク値はほぼ同程度であるが，下２段は小さくなっている。後部衝突時のピーク値は４段目が若干低いがいずれのケーブルも４ｔ前後の値となっている。これは前部の車体強度が高さによって異なるために前部衝突時にはケーブルに均等な力が作用しなかったと考えられる。

各ケーブルがピーク値を示す時間は，前部衝突時が0.3秒後，後部衝突時が0.95秒後となっており，近似した張力変動の傾向を示している。このことは各ケーブルが一体となって作用していることを裏付けており，柵面補強材を含めて実験に使用した供試体の構造は適正であったといえる。

ｄ　構成部材の評価

残留変位の成分比率（表－5･6･19）はいずれの支柱についても柵直角方向が優越していること，および車

両の誘導が円滑に行われていることから，ブラケットの棚直角方向および棚平行方向に対する強度はいずれも適正であったと判断できる。ケーブル止め金具は，P37の最上段，P38の最上段と最下段の3ヶ所で外れたが，防護棚機能への影響はなかった。このようなことからブラケットとケーブルの止め方についても問題ないと考えられる。

棚面補強材は衝突位置付近のR36,37が約1m移動したが，車両はケーブルを踏み付けることもなく円滑に誘導され，所期の目的を達していたものと考えられる。

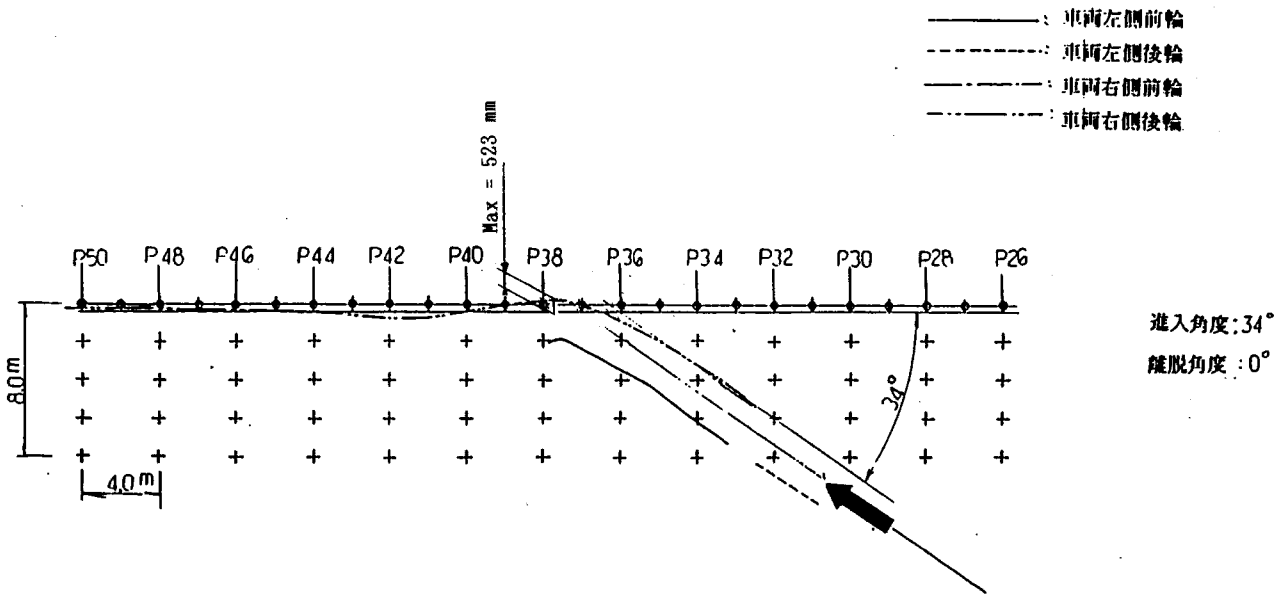
e　目標条件での誘導性の推定

急角度衝突の目標条件と本実験の衝突条件でシミュレーションを行い，ケーブル張力，最大進入行程，最大変位を求めて表－5·6·21に示す。

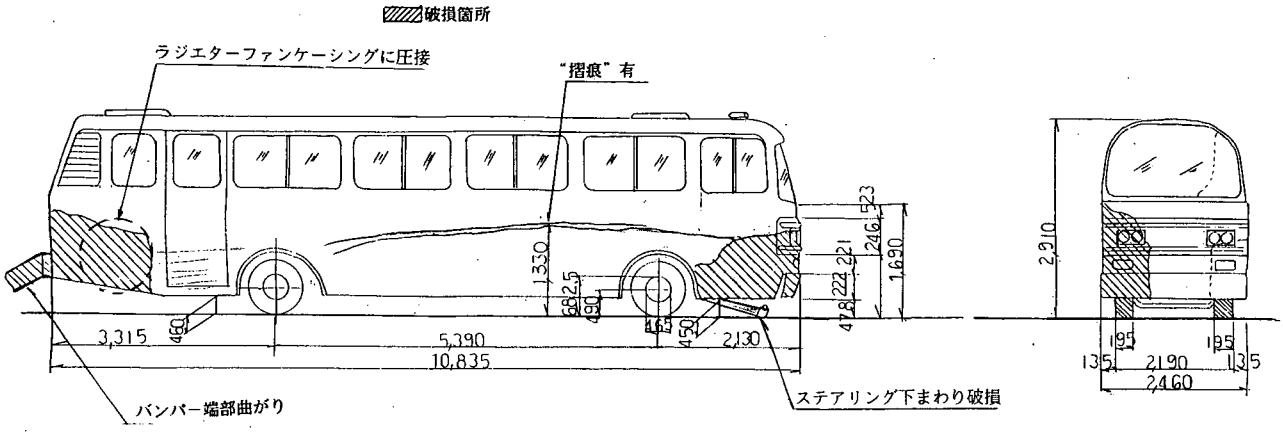
表－5·6·21　衝突条件と衝突時データ

区　分	衝突条件				項　目	衝突時データ		
	衝突速度 V(km/h)	車両重量 W(t)	衝突角度 (度)	衝撃度 IS(t·m)		ケーブル張力 TF(t)	最大進入行程 YW(m)	最大変位 DEF(m)
本実験	46	14	34	34.5	測定値	29.8	0.523	0.760
					計算値	33.0	0.15	0.53
目標値	45	15	40	50.0	計算値	38.2	0.25	0.66

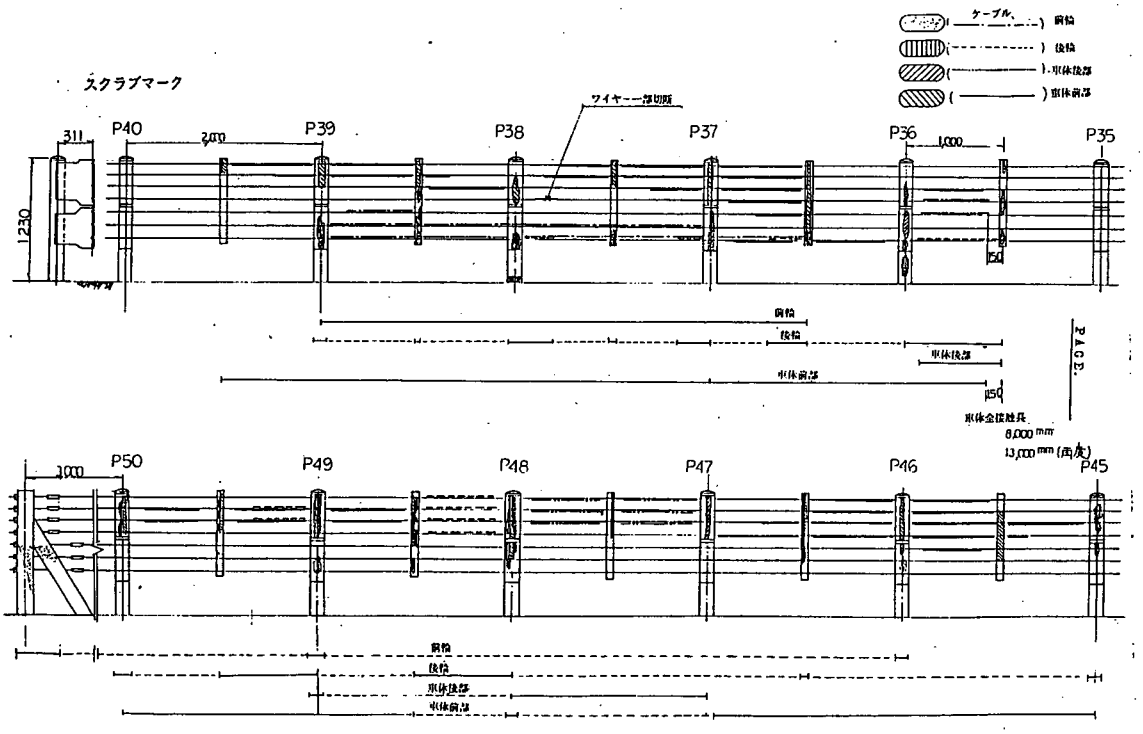
本実験の「測定値」と「計算値」との比を利用して，目標値の衝突条件での「計算値」から「測定値」を推定すると，ケーブル張力は34.5t，最大進入行程は0.87m，棚変位量は0.95mとなり，いずれについても許容値以下の値となる。このことから，ガードケーブル7本型は目標値の50t·mの衝撃度に対しても十分な強度があり安全であると推定できる。



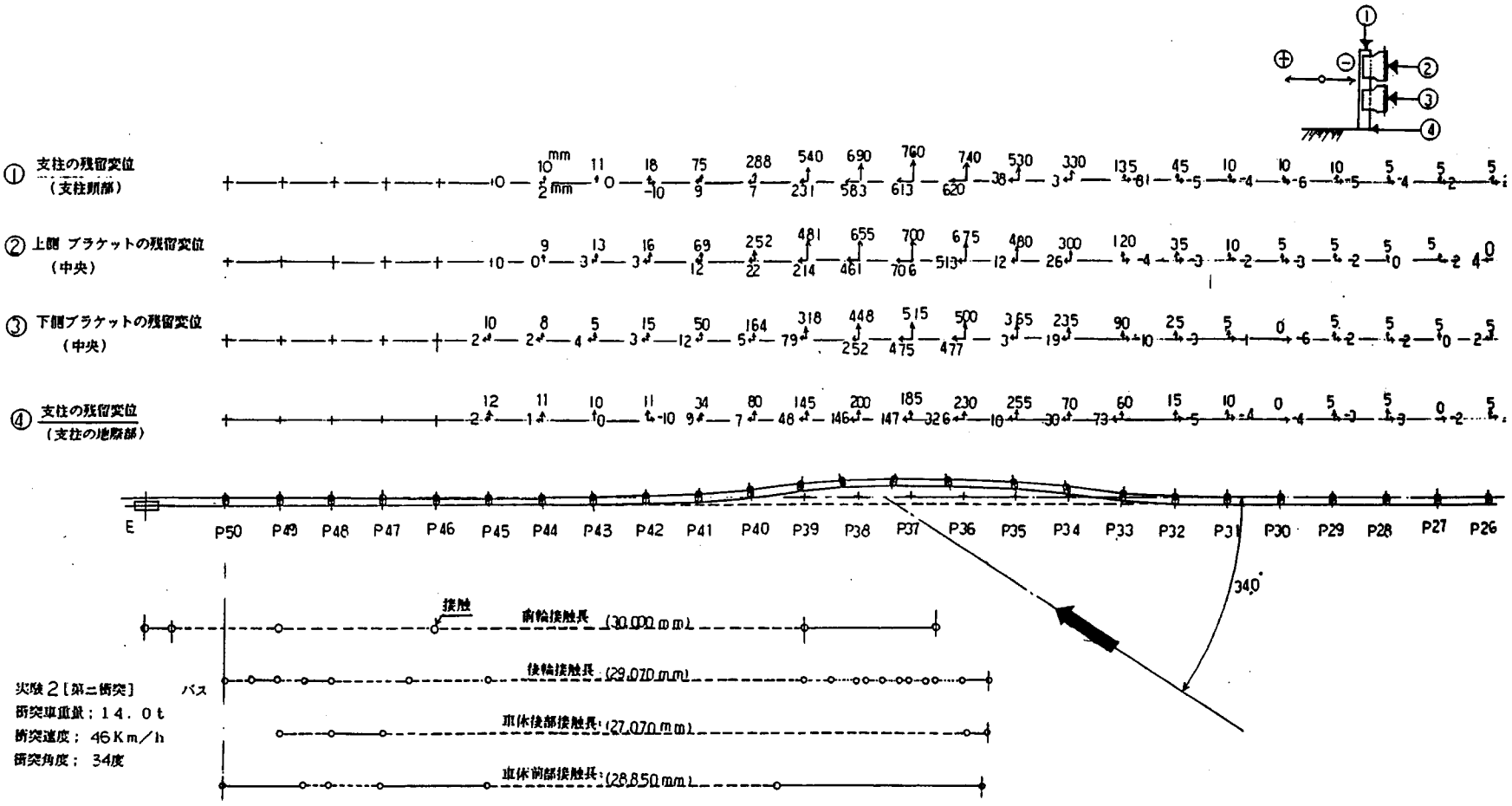
図－5·6·50　車輪の軌跡（実験2　急角度）



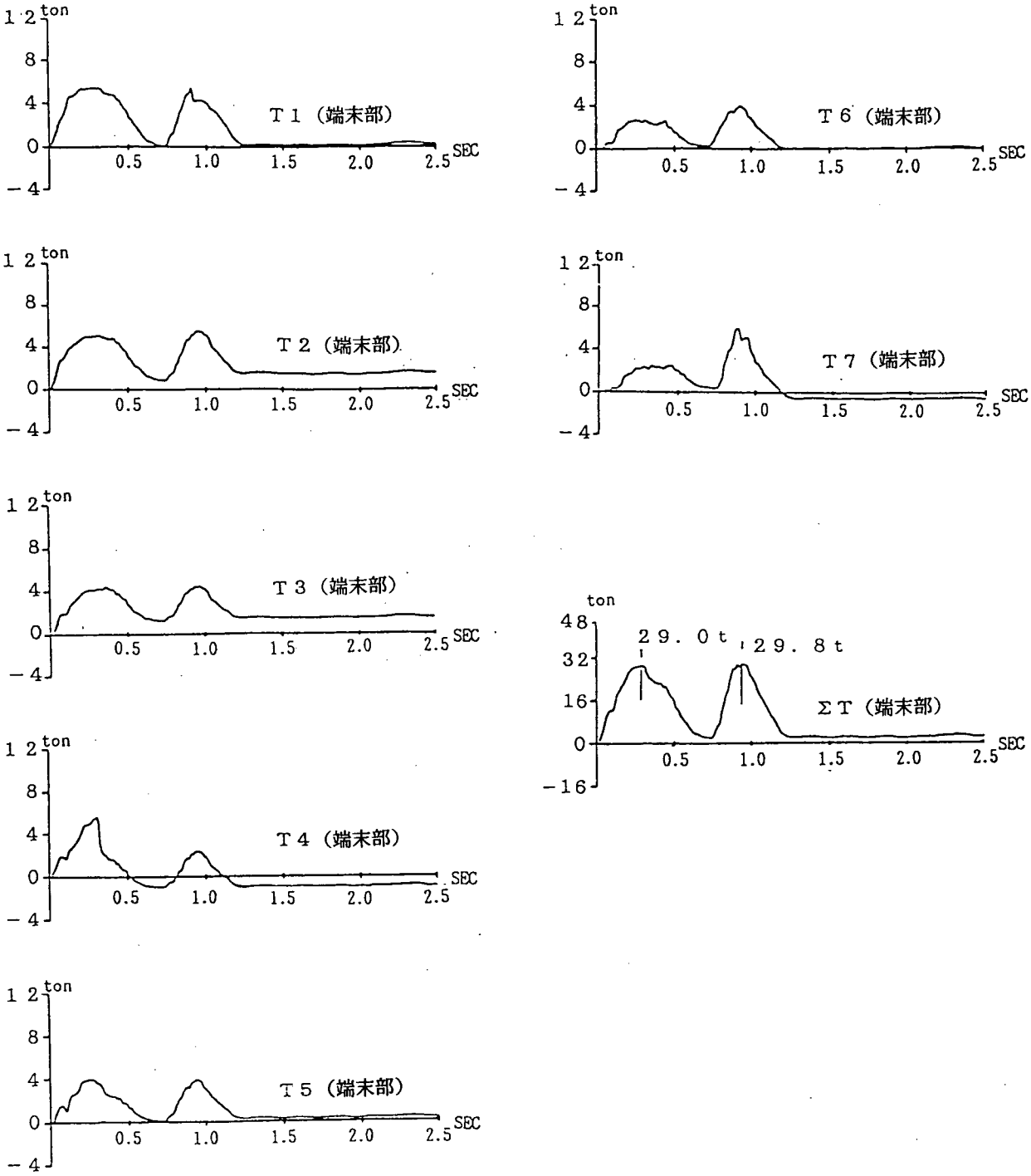
図－5·6·51　車両の損傷状況（実験２　急角度）



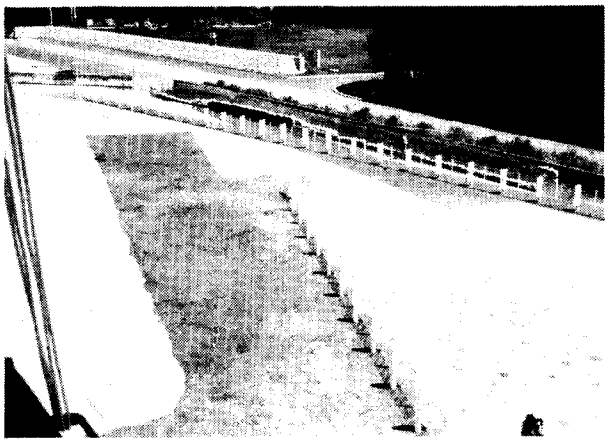
図－5·6·52　車両の接触状況（実験２　急角度）



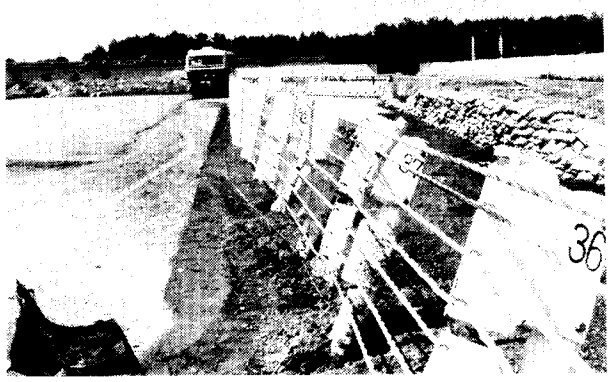
図－5･6･53　支柱およびブラケットの残留変位（実験２　急角度）



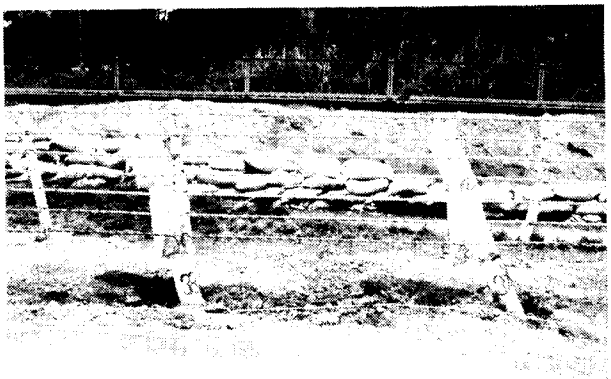
図－5·6·54　ケーブルに作用した張力（端末部）



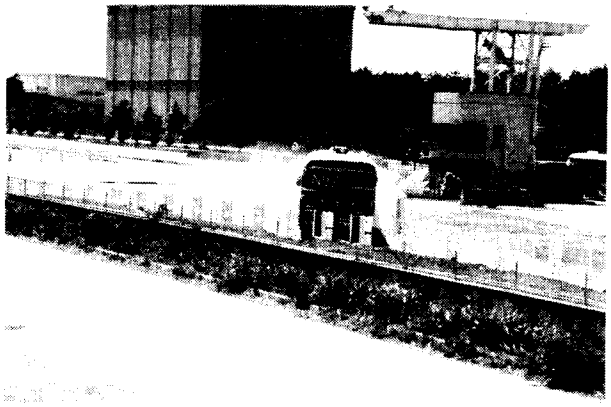
写真－5･6･60　ガードケーブル７本型の設置状況



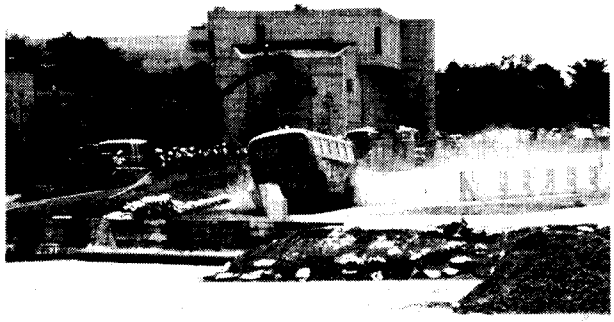
写真－5･6･61　ガードケーブルの変形状況



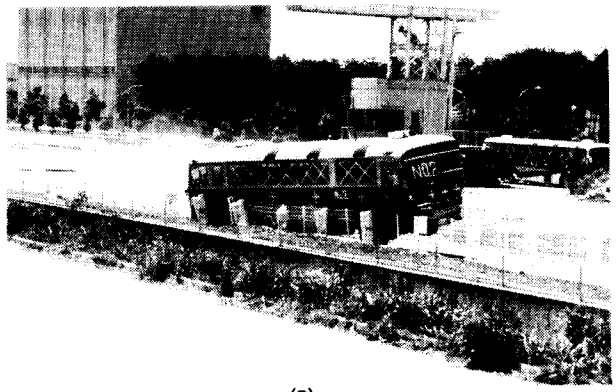
写真－5･6･62　ガードケーブルの変形状況



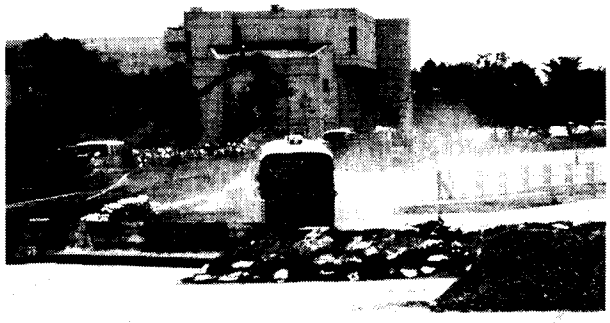
(1)



(2)

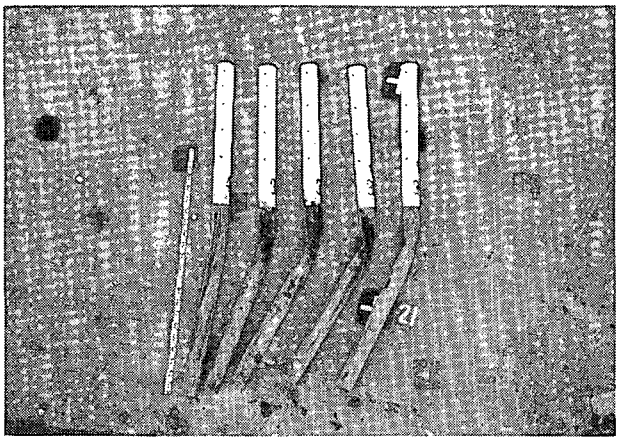


(3)

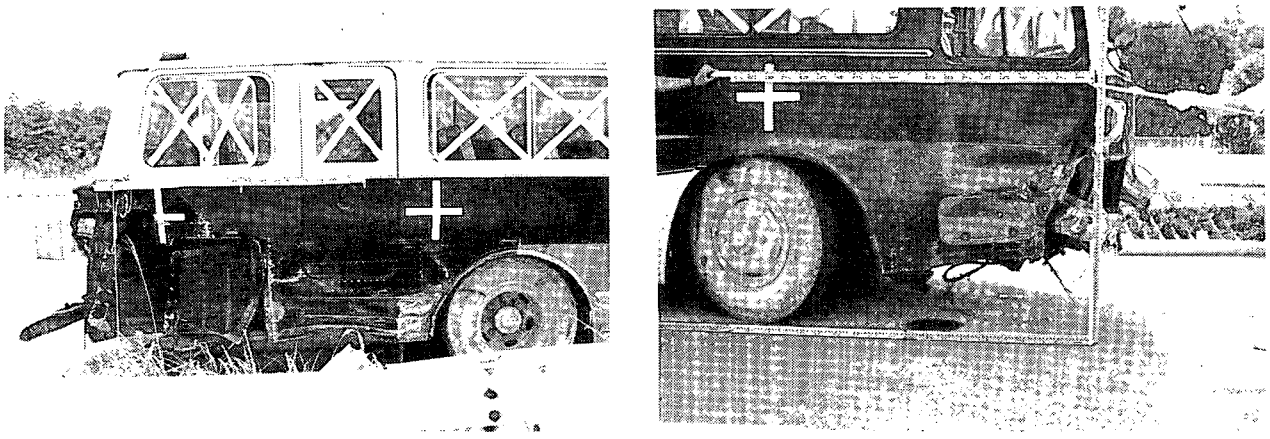


(4)

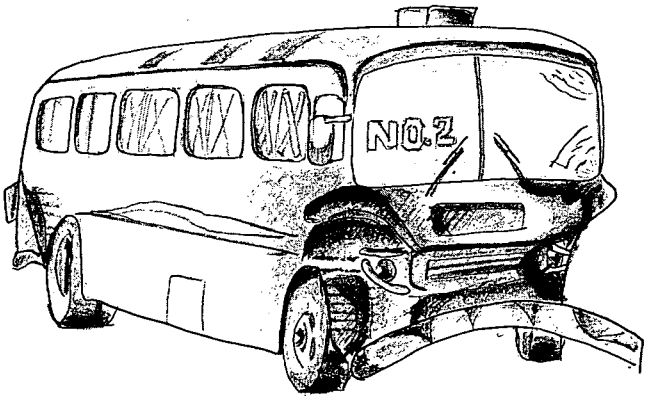
写真－5･6･63　衝突時の車両誘導状況



写真－5･6･64　支柱の変形



写真－5･6･65　車両の損傷状況



実験２　急角度

2) ガードケーブル7本型［実験5　乗用車］

［供試体概要］

実験2と同じ供試体を用いて乗用車の衝突実験を行った（図－5·6·40参照）。供試体の設置状況を写真－5·6·66に，乗用車とガードケーブルの高さの関係を写真－5·6·67，68に示す。

〈高速度衝突〉

① 車両の挙動

重量1.10tの乗用車は速度103km/h，角度25度，衝撃度8.21t·mでガードケーブルに衝突した。

車両前端は，図－5·6·57に示すように支柱P6の手前約30cmの位置に衝突した。車両は進行角をわずかに変えながらガードケーブルに車体を食い込ませるようにして進み，左側前輪が写真－5·6·69(2)のようにP7をほぼ車両進行方向へ押し倒した後，P8にも衝突して車両後端が浮き上がり，左側前部を軸として反時計回りに58.5度回転して停止した（図－5·6·55）。

表－5·6·22　実験条件と車両関係の実験結果（実験5　高速度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		外側車輪の
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	右前輪	右後輪	最大進入量
1.10t	103km/h	25.0度	8.21t·m	離脱せず	離脱せず	－	7度	－	－	－

備考）－印は計測を行っていない

車両の損傷状況は写真－5·6·72に示すとおり，左側前部が大きく潰れ，車全体が「く」の字状に変形した。衝突後の車両は変形が大きく，走行不可能であった。

② 防護柵の挙動

車両とガードケーブルの接触状況を図－5·6·57に示し，接触長はP6～8付近の約4mであった。

衝突時の支柱の動的最大変位は，地盤上600mmで484mmであった。

表－5·6·23　防護柵関係の実験結果（実験5　高速度）

車両と防護柵の接触長	防護柵変位量			防護柵応力					
	支柱最大変位 (GL上600mm) Y方向	最大残留変位 支柱（頭部）		最大水平力 支柱水平力		ケーブル増加張力			
						端末部 (上から)		中間部 (上から)	
		Y方向	X方向	Y方向	X方向				
4.1m	484mm (頭部　667mm) (P7)	625mm (P7)	2,200mm (P7)	3.2t (P8)	－	1	1.45t	1	1.70t
						2	2.10		
						3	2.23		
						4	2.90	4	2.95
						5	3.45		
						6	3.03		
						7	3.05	7	3.25
						合計	18.7		
						平均	2.60		
						偏差	0.64		

備考）・ケーブル増加張力の合計は，経過時間ごとに累計した最大値を示す
・－印は計測を行っていない

支柱の残留変位は図－5·6·58に示すとおりであり，支柱Ｐ７の頭部が最大値を示し，柵直角方向に625mm，柵平行方向に2,200mmであった。

柵直角方向の支柱水平力の計測結果を図－5·6·61に示す。

衝突時のケーブル増加張力変化を図－5·6·59（進入側端末部での計測）および図－5·6·60（支柱Ｐ４とＰ５の中間での計測）に示す。端末部の最大増加張力は，上から５段目のケーブルの3.45ｔ，中間部は最下段のケーブルの3.25ｔであった。

支柱Ｐ７は車両衝突時に大きく変位し，写真－5·6·71に示すように下部にくぼみを生じたが，折れ曲がりはなかった。

Ｐ６～８のブラケットは上下とも変形し，特にＰ７上下，Ｐ８下のブラケットの変形が大きかった（写真－5·6·71）。Ｐ７のブラケットのケーブル止め金具は各ケーブルごとに切断して付近に散乱した。

柵面補強材はＲ６（支柱Ｐ５とＰ６の間），Ｒ７の２本が移動し，若干変形したが，ピンの切断もなく，ケーブルが外れることもなかった。

③　考察

この実験では車両がガードケーブルに衝突後，左前輪が２本目（Ｐ７）および３本目（Ｐ８）の支柱に衝突して誘導できなかったので，その原因および対策について検討した。

ａ　最下段ケーブルの高さ

最下段ケーブルの高さを現行と同じ430mmとして実験を行ったが，Ａ種（軽量車）の約2.6倍という大きな衝撃度であったために，車輪が最下段ケーブルの下へ潜り込みやすい状態になったと考えられる。この高さでは最下段ケーブルが車輪（直径550mm）の上部に位置し，衝突時にケーブルから大きな水平力を受けた時，車輪支承部が変形して車輪が傾きやすくなることが原因であろうと考えられる。従って，最下段ケーブルの高さを車輪の中心付近にすることが望ましいと考え，次回の実験７では300mmに下げることにした。

ｂ　柵面の剛性度

乗用車の場合，車輪と支柱を衝突させないことが重要である。そこでケーブルの局部的な変形を抑え，車輪の潜り込みを防止するためには，ケーブルの伸び量を少なくし，柵面の剛性を高めることで対応できると考えてつぎの３つの方法を検討した。

（ａ）ケーブル断面積を増やすこと

（ｂ）ブラケットとケーブルの固定度を増すこと

（ｃ）初張力を大きくすること

これらの方法の中で（ａ）は「3.2　シミュレーションを使った基本設計」の項において，効果が小さいことが分かっているので，（ｂ），（ｃ）についての対策を検討した。すなわち，ケーブルの増加張力による伸びが生じるとき，支柱部での固定度がゼロであれば，伸びが衝突スパンに集中されるのに対して，固定度を高くした場合には各々の支柱部で張力が減衰され，衝突スパンに生じる伸びは小さくなり，車輪進入量を小さく抑えることができると考えられる。また，初張力を大きくすることによっても衝突時の伸びを少なくすることが可能である。

そこで，次回の実験ではケーブルとブラケットとの固定度を高め，下３段の初張力を１本あたり２ｔから

3ｔに増加させて，車輪の最大進入量の減少を図ることにした。

c　中間支柱

衝突に関与した支柱頭部の残留変位と成分比率を表－5･6･24に示す。

支柱Ｐ７，８の成分比率は１以上となっており，車輪の衝突により進行方向へ倒れていることを示している。これはケーブルの下へ潜り込んだ車輪が支柱に衝突したことに起因しているので，支柱支持力についての補強は不要と考えた。

またＰ７は約80度回転したが高速度フィルムやビデオで解析すると車輪が支柱に衝突する前にはほとんど回転していないので，特に補強する必要はないと判断した。

表－5･6･24　支柱頭部の残留変位と成分比率（実験５　高速度）

支　柱	防護柵平行方向成分 A（mm）	防護柵直角方向成分 B（mm）	残留変位の成分比率　A／B
Ｐ５	3	44	0.07
Ｐ６	52	63	0.83
Ｐ７	2,200	625	3.52
Ｐ８	440	110	4.00
Ｐ９	12	69	0.17

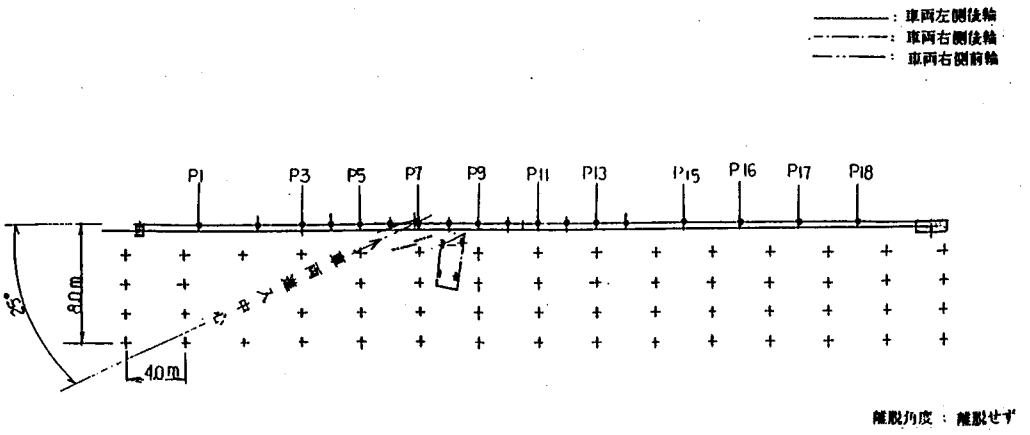
d　ブラケット

車両衝突直前までのブラケットの変形状況を高速度フィルムやビデオで検討したが，回転，変形等は見られず設計どおりの形状，強度で良いと考えられた。しかし，ケーブルとブラケットの固定度を高くするために取付け金具は改良することにした。

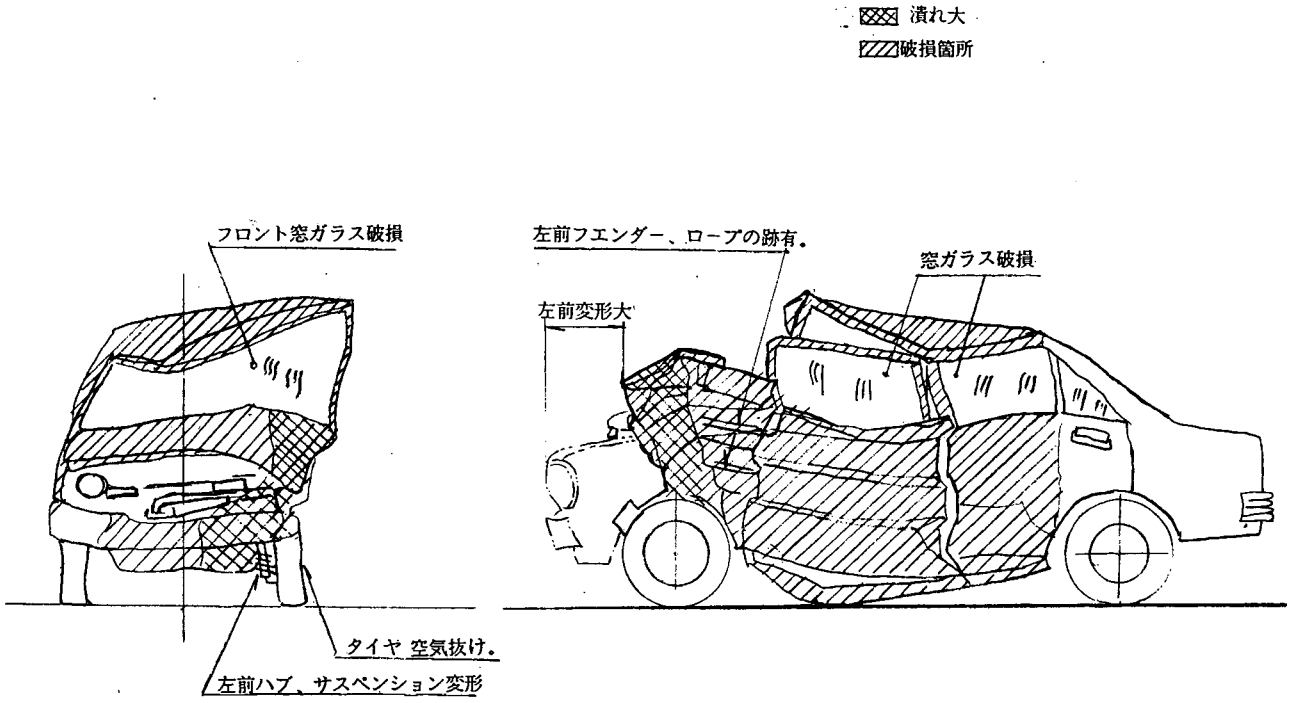
e　柵面補強材

本実験では柵面補強材を可動型としたために約３ｍ移動したものもあった。移動を防止するためには柵面補強材とケーブルの固定度を高くすることが必要であるが，その場合，柵面の安定化が図れる一方で，車両側面の抵抗が増加して誘導性に対して悪影響を与えることも考えられる。

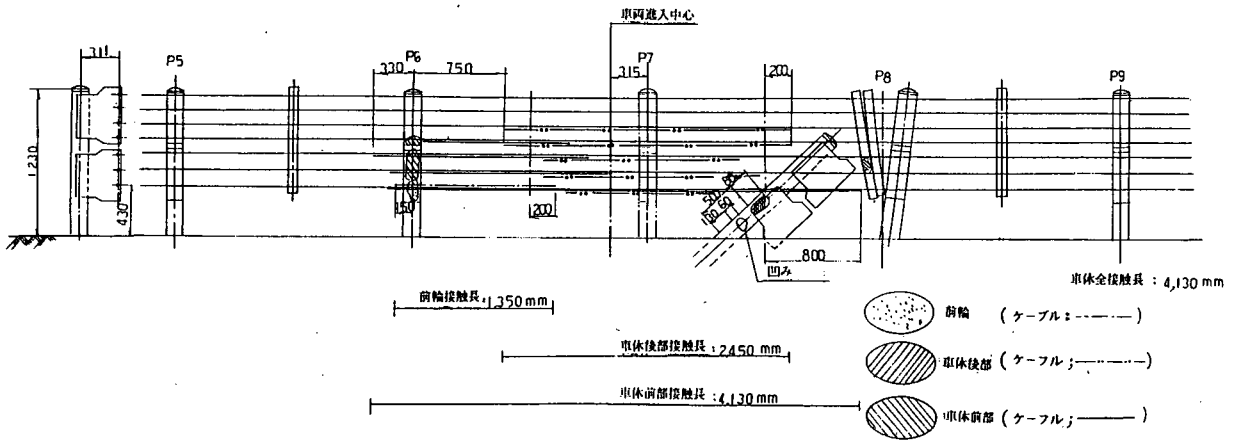
従来の実験は可動型で行われていたので，次回の実験では固定型で性能を確認することにした。



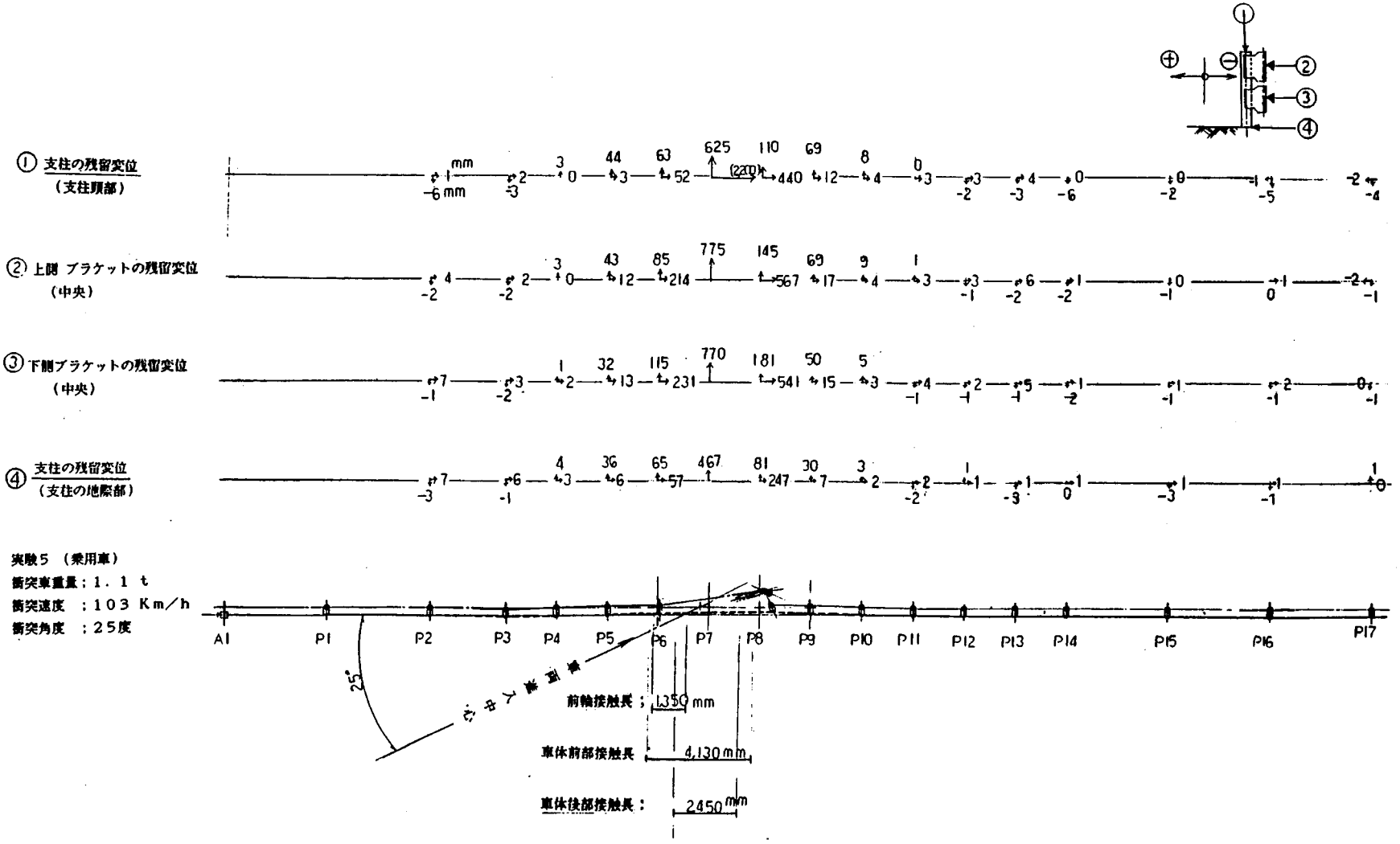
図－5･6･55　車輪の軌跡（実験５　高速度）



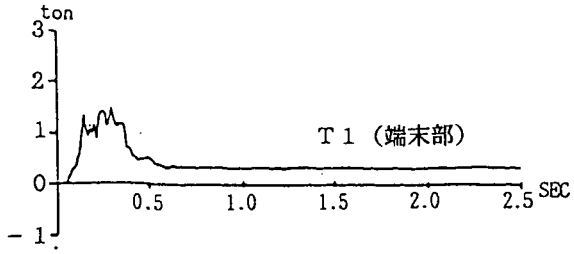
図－5･6･56　車両の損傷状況（実験5　高速度）

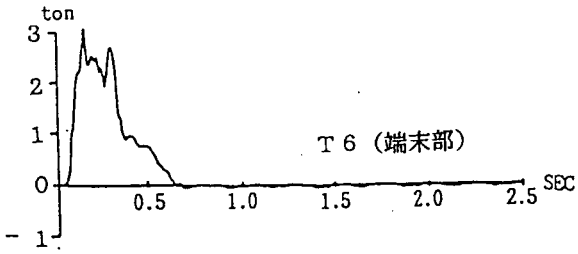


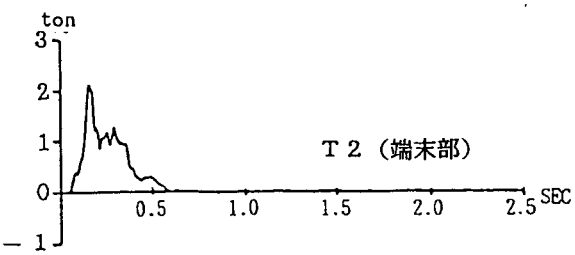
図－5･6･57　車両の接触状況（実験5　高速度）

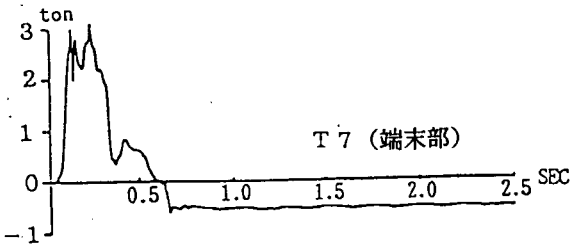


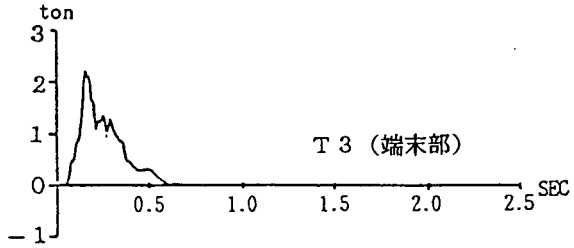
図－5·6·58　支柱およびブラケットの残留変位（実験５　高速度）

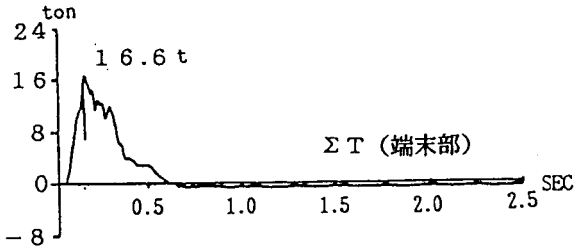


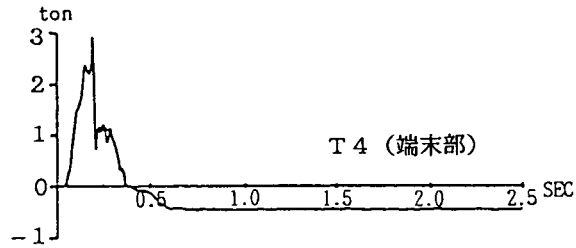


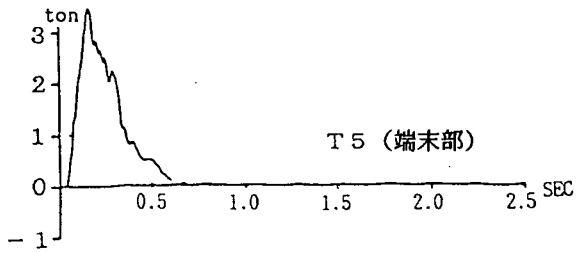




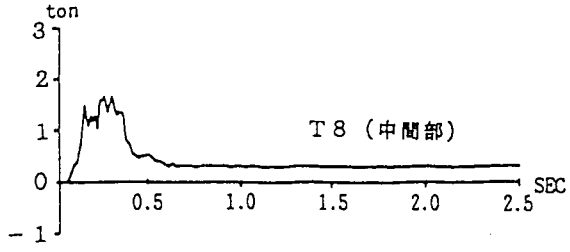


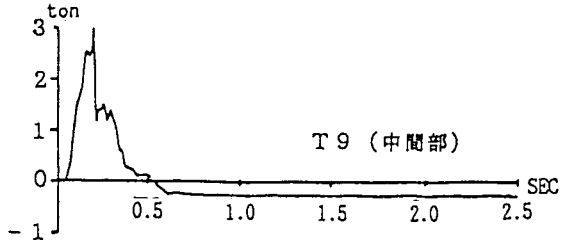


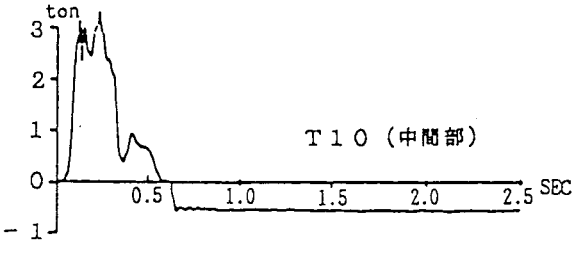




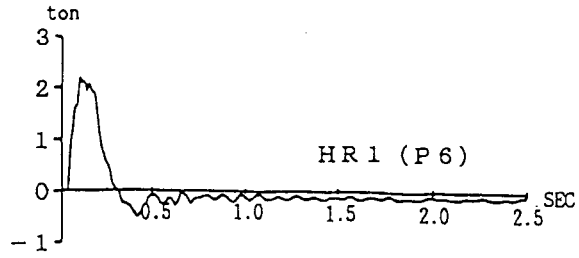
図－5･6･59　ケーブルに作用した張力（端末部）

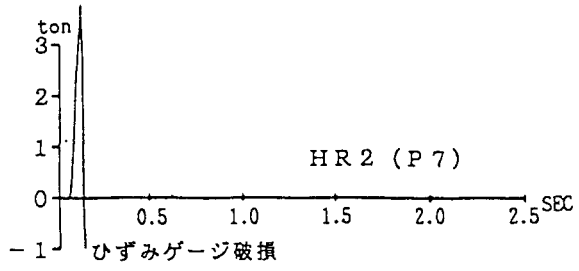


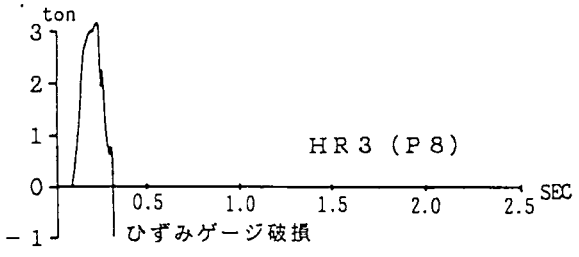




図－5·6·60　ケーブルに作用した張力（中間部）

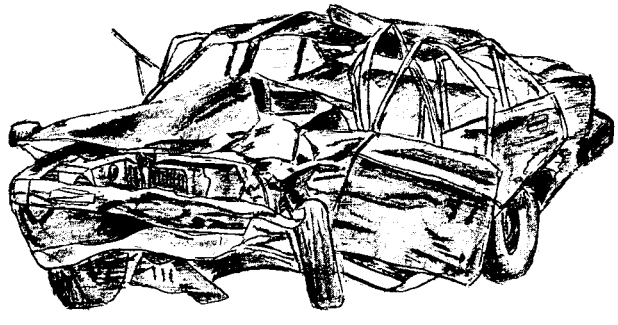




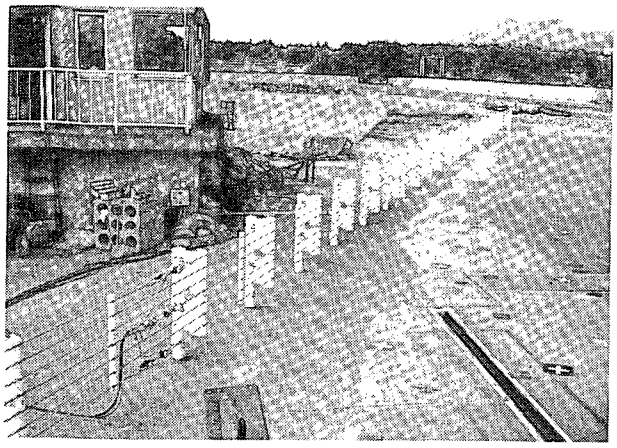


＊Σ（HR）
HR２およびHR３のゲージ不良のため合計は削除

図－5·6·61　支柱に作用した柵直角方向の水平力



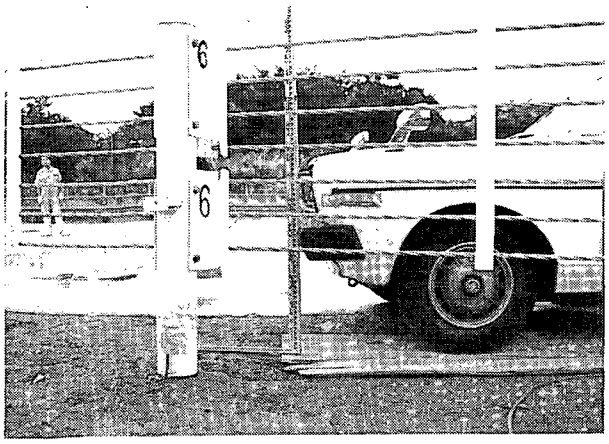
実験５　高速度



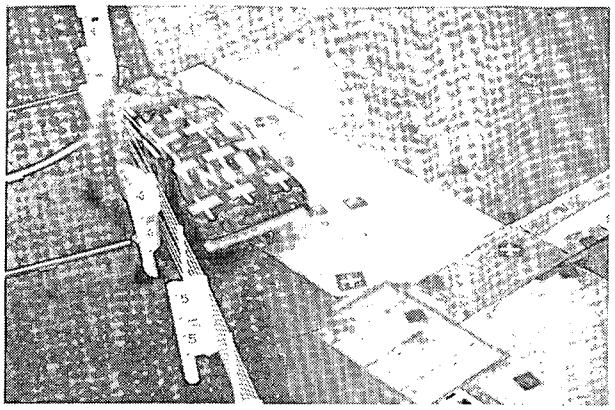
写真－5･6･66　ガードケーブル７本型



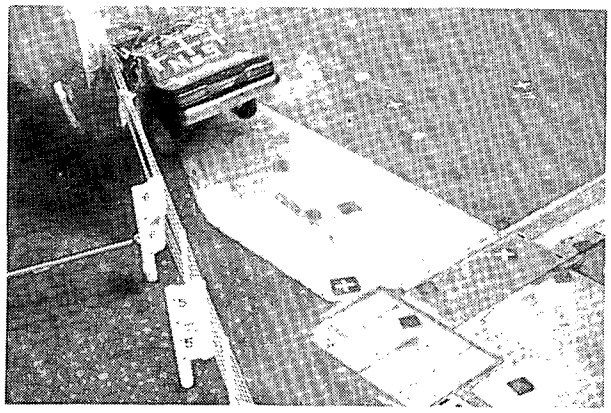
写真－5･6･67　ガードケーブル７本型と乗用車



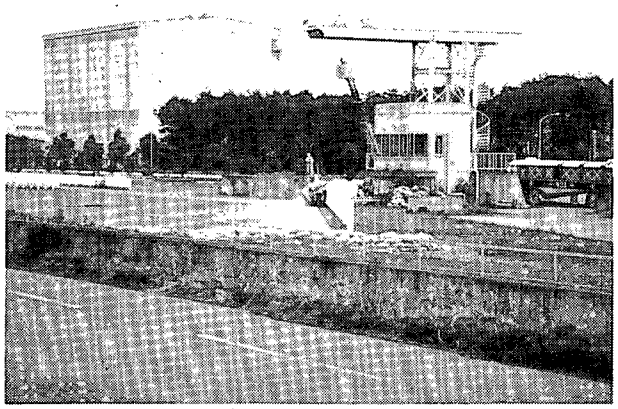
写真－5･6･68　タイヤとケーブルの高さ



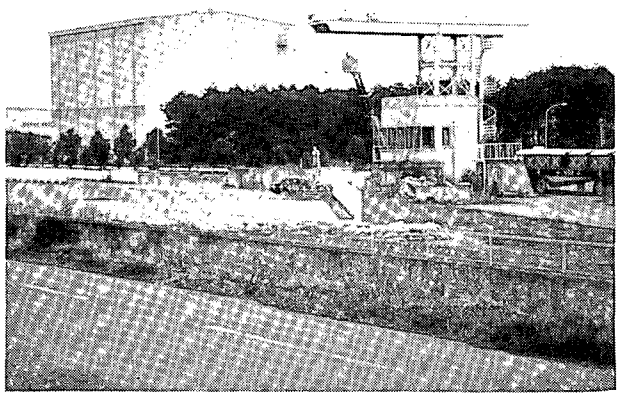
(1)



(2)

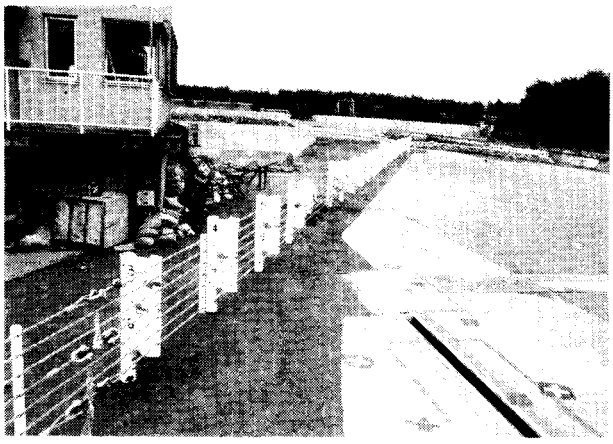


(3)

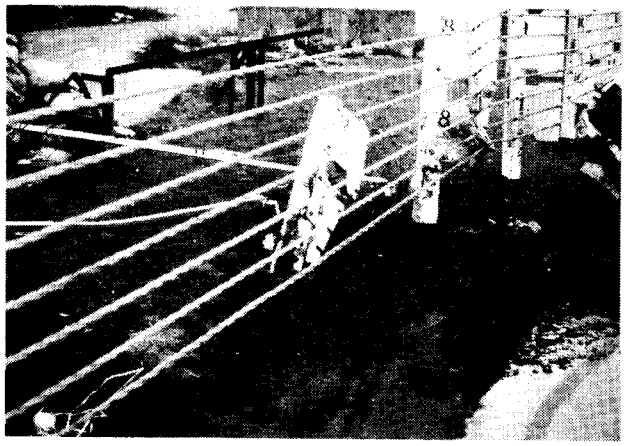


(4)

写真－5･6･69　衝突時の状況



写真－5･6･70　実験後のガードケーブル



写真－5･6･71　ガードケーブルの変形状況



写真－5･6･72　車両の損傷状況

3)　ガードケーブル７本（改良型）［実験７　乗用車］

［供試体概要］

実験５で車両がガードケーブルの下に潜り込み，支柱に衝突して誘導できなかったので，次のような改良を行った。

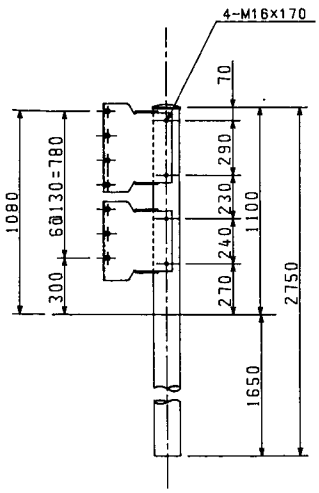
・最下段ケーブルの高さを 130mm 下げ 300mm とする（図－5･6･62）

・ケーブルとブラケットの取付け部の固定度を強化する（図－5･6･63）

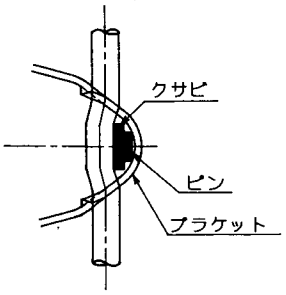
・下３段のケーブルの初張力を１本あたり２ｔから３ｔにする

・柵面補強材とケーブルの固定度を強化する（図－5･6･64）

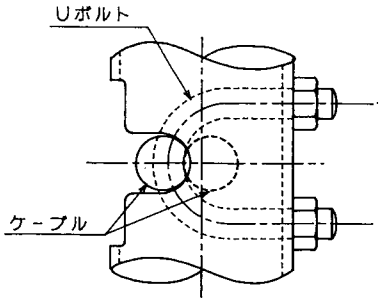
乗用車とガードケーブルとの高さの関係を写真－5･6･73 に示す。



図－5･6･62　各ケーブルの高さ（実験７）



図－5･6･63　ケーブルとブラケットの固定法



図－5･6･64　ケーブルと柵面補強材の固定法

〈高速度衝突〉

①　車両の挙動

重量1.10ｔの乗用車は実験５と同じ条件（速度103km/ｈ，角度25度，衝撃度8.21ｔ･m）でガードケーブルに衝突した。

車両前端は支柱Ｐ５とＰ６の中間へ衝突して実験５と同様にガードケーブルに車体を食い込ませるように進行し，Ｐ７に衝突した後（写真－5･6･76(2)）車両後端が浮き上がり，左側前部を軸として反時計回りに回転しながら，離脱地点から約８ｍ前方で横転した。図－5･6･65に車輪の軌跡と停止位置を示し，写真－5･6･79に車両の停止状態を示す。

車両の損傷状態は図－5･6･66，写真－5･6･80に示すとおり，左側前部が大きく潰れ，車全体が「く」の字状に変形した。なお，左側フェンダー部がケーブルとブラケットの間に挟まれてもぎ取られた。衝突後の車両は変形が大きく，走行不可能であった。

表－5･6･25　実験条件と車両関係の実験結果（実験７　高速度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側の
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	右前輪	右後輪	最大進入量
1.10ｔ	103km/h	25.0度	8.21ｔ･m	離脱せず	転倒	0度	17度	－	－	670mm

備考）　－印については計測を行っていない

②　防護柵の挙動

車両とガードケーブルの接触状況は図－5･6･67に示し，その接触長は約５ｍであった。

支柱の動的最大変位（柵直角方向）は衝突0.20秒後に地盤上600mmで500mmであった。

支柱の残留変位は図－5･6･68に示すとおりであり，支柱Ｐ７の頭部が最大値を示し柵直角方向に287mm，平行方向に500mmであった。

棚直角方向の支柱水平力の計測結果を図－5·6·71に示す。

衝突時のケーブル増加張力の経時変化を図－5·6·69（進入側端末部での計測）および図－5·6·70（支柱Ｐ2とＰ3の中間での計測）に示す。端末部での最大増加張力は最上段ケーブルの3.28ｔ，中間部では最下段ケーブルの3.90ｔであった。

表－5·6·26　防護柵関係の実験結果（実験7　高速度）

車両と防護柵の接触長	防護柵変位量			防護柵応力					
	支柱最大変位 (GL上600mm) Y方向	最大残留変位 支柱（頭部） Y方向	X方向	最大水平力 支柱水平力 Y方向	X方向	ケーブル増加張力 端末部（上から）		中間部（上から）	
5.0m	550mm (頭部　715mm) (P 7)	287mm (P 7)	500mm (P 7)	2.9ｔ (P 7)	－	1	3.28t	1	3.20t
						2	3.13		
						3	2.70		
						4	2.93	4	3.00
						5	2.80		
						6	2.45		
						7	3.25	7	3.90
						合計	19.6		
						平均	2.93		
						偏差	0.28		

備考）・－印については計測を行っていない
・ケーブル増加張力の合計は経過時間ごとに累計した最大値を示す

支柱Ｐ6とＰ7の側面には前輪との接触跡があったが，写真－5·6·78に示すように地中部の曲がりはなかった。

写真－5·6·75に示すように，支柱Ｐ6，7のブラケットは上下とも変形しており，下段ブラケットの変形が特に大きかった。

棚面補強材は写真－5·6·77に示すようにＲ6，7が下部の移動により変形した。これはＵボルトで強く固定されていたために上部はほとんど移動できず，大きな変形を起こしたものと考えられる。またＲ6の最下段のケーブル止め用のＵボルトが切断した。

③　考察

供試体概要に述べた4項目を改良して実験5と同一条件で衝突実験を行ったところ，ほぼ同様に左側フェンダー部がブラケットとケーブルの間に食い込み，車両は反時計回りに回転しながら横転した。

本実験で誘導できなかったことの原因と対策について検討を行った。

a　ケーブル張力の変化

今回の実験は下3段のケーブルの初張力を3ｔに増加して行ったが，車輪の外側最大進入量は実験5の730mmに対し実験7では670mmと大差なく，支柱への車輪の衝突を防ぐことはできなかった。

各ケーブルに発生した最大増加張力を実験5と比較して表－5·6·27に示す。

表－5･6･27　各ケーブルに発生した最大増加張力

ケーブル位置	各ケーブルに発生した最大増加張力				実験5の張力に対する実験7の張力の比率（A／C）
	実験7		実験5		
	端末部（A）	中間部（B）	端末部（C）	中間部（D）	
最上段	3.28t	3.20t	1.45t	1.70t	2.26
2段目	3.13	－	2.10	－	1.49
3	2.70	－	2.23	－	1.21
4	2.93	3.00	2.90	2.95	1.01
5	2.80	－	3.45	－	0.81
6	2.45	－	3.03	－	0.81
最下段	3.25	3.90	3.05	3.25	1.06
合計 注)	19.6	－	16.6	－	1.18
平均	2.93	－	2.60	－	1.13
標準偏差	0.28	－	0.64	－	0.44

注）時間ごとに累計した張力の最大値

表－5･6･27より実験7では各ケーブル毎の増加張力の標準偏差は実験5の約44％に減少した。また，ケーブル合計張力は18％増加して衝突時に車両が防護柵から受ける反力が大きくなったために，車体が大きく変形したと考えられる。従って，初張力を増加させても乗用車の誘導性を改善することはできないといえる。

b　最下段ケーブルの高さ

本実験では支柱Ｐ７に車輪接触跡が残ったが，実験5に比べると軽微であった。また，最下段ケーブルへの前輪接触跡も衝突地点からＰ７のブラケットの位置まで約3m残っていたことから，最下段ケーブルが車輪を押さえていたことが確認できた。従って，最下段ケーブルの高さを下げた効果はあったと考えられる。

c　ケーブルとブラケットの固定方法

ケーブル止め用のピンとケーブルの間にクサビを打ち込んでブラケットとの固定度を高くしたことにより，ビデオ等からみた支柱の支持力影響範囲は実験5の2倍以上に広がった。この結果，衝突時の柵面はスムーズに変形しており，固定度強化による効果が認められた。しかし，クサビを挟んだことによりケーブル固定部材の断面積が増加して強くなりすぎたためにケーブルがはずれず，左フェンダーがもぎとられる一因になったとも考えられる。

従って，ケーブル止め金具は過負荷時に破断させてケーブルが外れるような構造が望ましいと考えられる。

d　柵面補強材

柵面補強材の使用目的は大型車に対する効果を期待しているので，乗用車についての実験でその可否を論ずるのは適当ではないが，本実験のように柵面補強材が移動せずに大きく変形したことは，車両誘導時に乗用車の側面に大きな抵抗力が作用する原因になっていたとも考えられる。従って，衝突車両に対して抵抗の少ない可動型の構造が適していると考えられる。

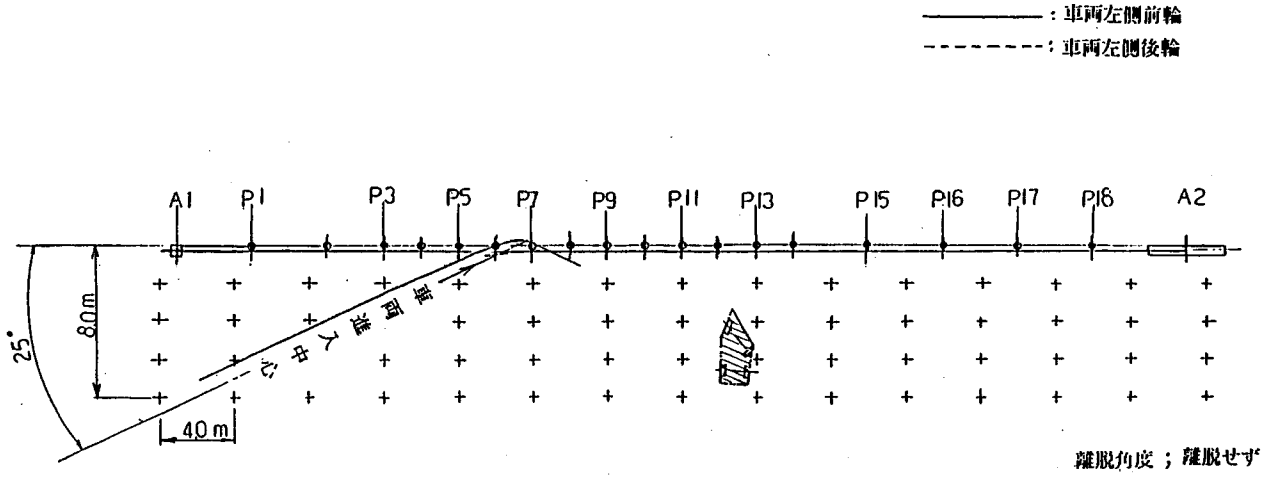
e　車両の損傷

車両は写真－5･6･80のように，左側前部の変形は大きく室内にまで及んだ。このように大きく変形したのは衝撃力が大きかったことや，写真－5･6･77のように左フェンダーの一部がケーブルとブラケットの間に挟まれてもぎ取られたこと等が原因であったと思われる。ボディ板厚の薄い乗用車が大きな衝撃度で衝突する

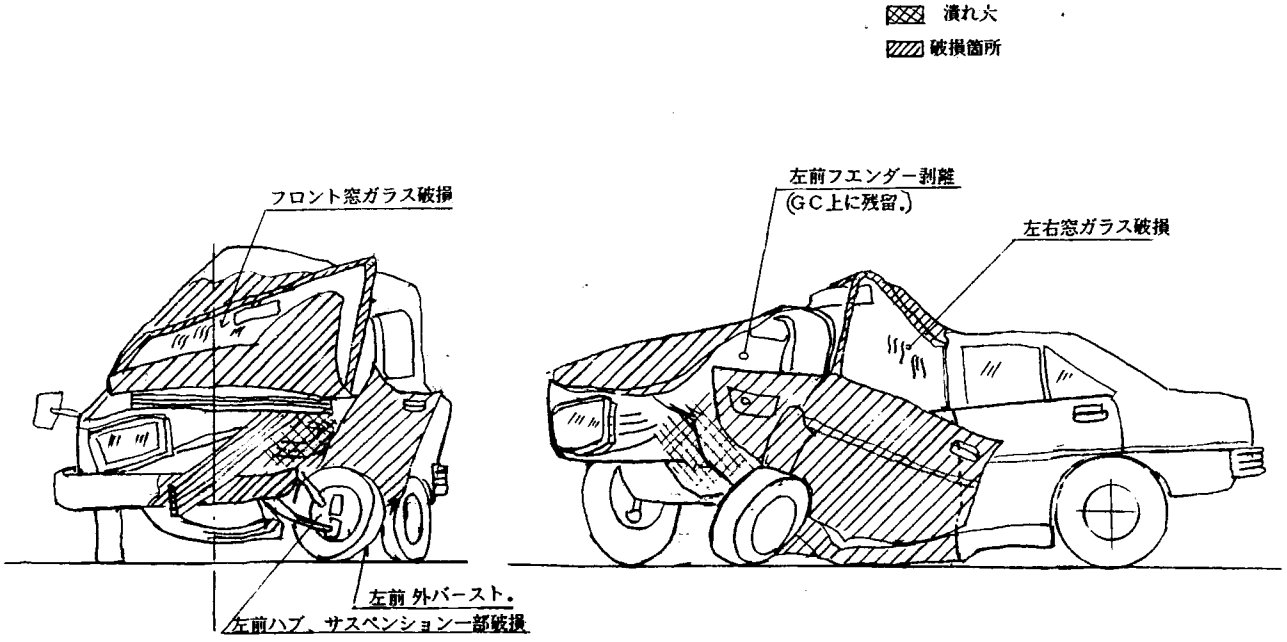
場合には，フェンダー部等の食い込みを防ぐことが重要になると考えられる。そこで，次回の実験８では乗用車ボディの板厚よりも厚い鋼板（誘導板）をケーブル前面に取り付けることにした。

以上のことから，ケーブル初張力を増加させたことや棚面補強材とケーブルの固定度を高めたことが逆に車両の誘導性に悪影響を与えたように思われるが，支持力影響範囲を広げる効果は認められた。

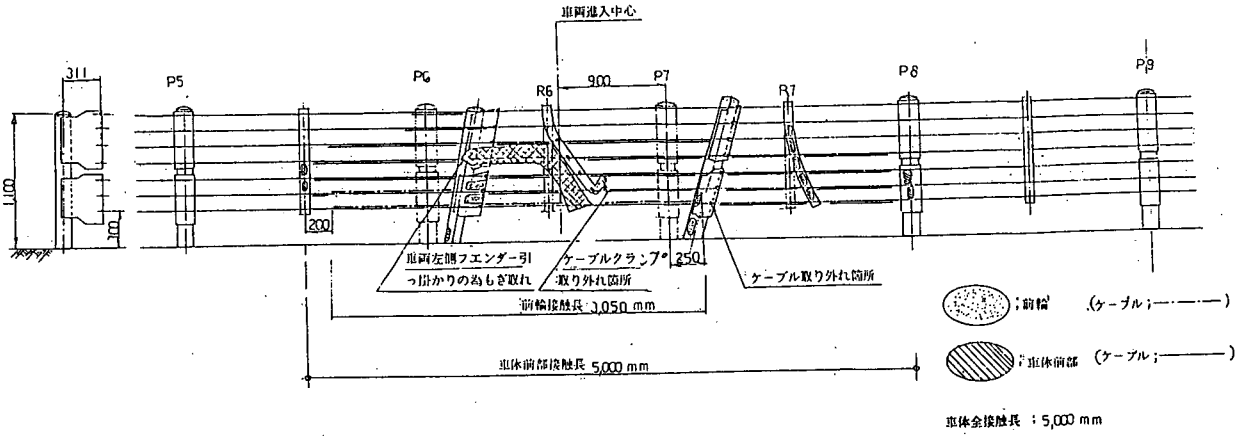
そこで，棚面補強材の止め方および初張力は実験５と同じにし，下４段のケーブルの前面に誘導板（板厚2.3mm）を取付けて，次回の実験を計画した。



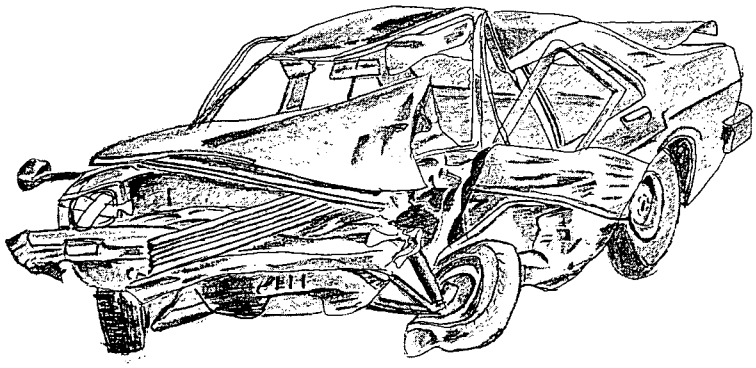
図－5･6･65　車輪の軌跡（実験７　高速度）



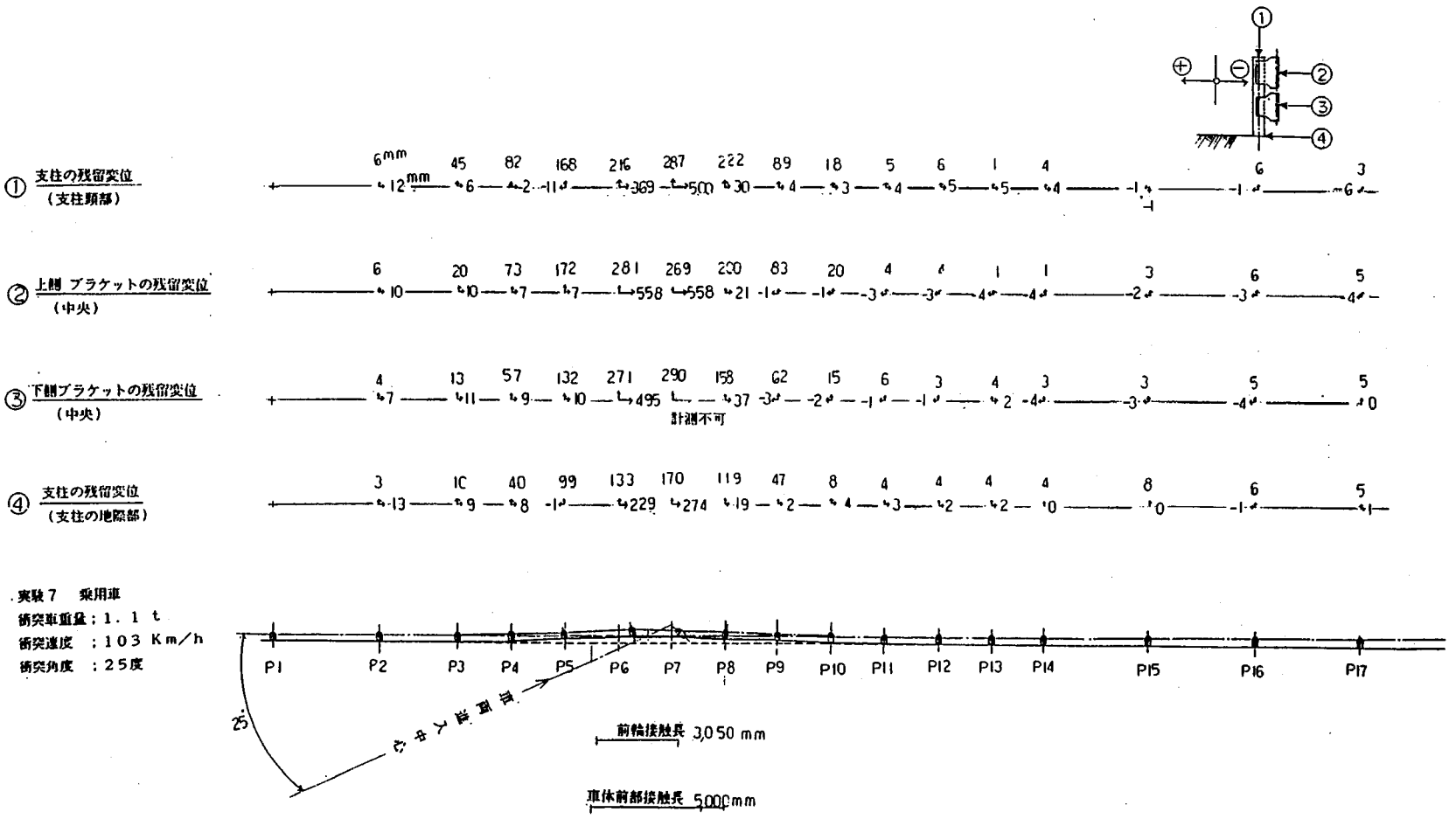
図－5･6･66　車両の損傷状況（実験７　高速度）



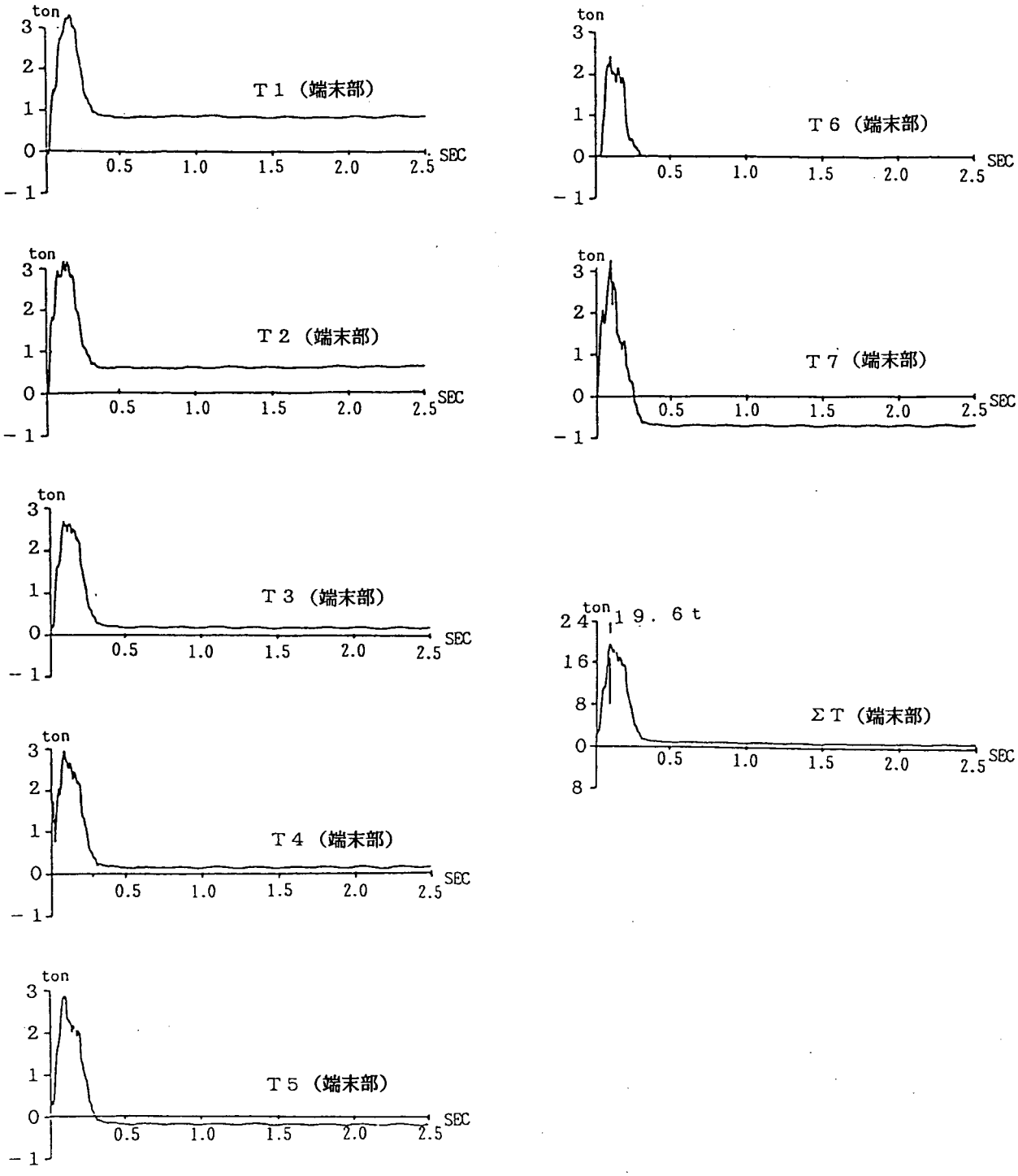
図－5･6･67　車両の接触状況（実験７　高速度）



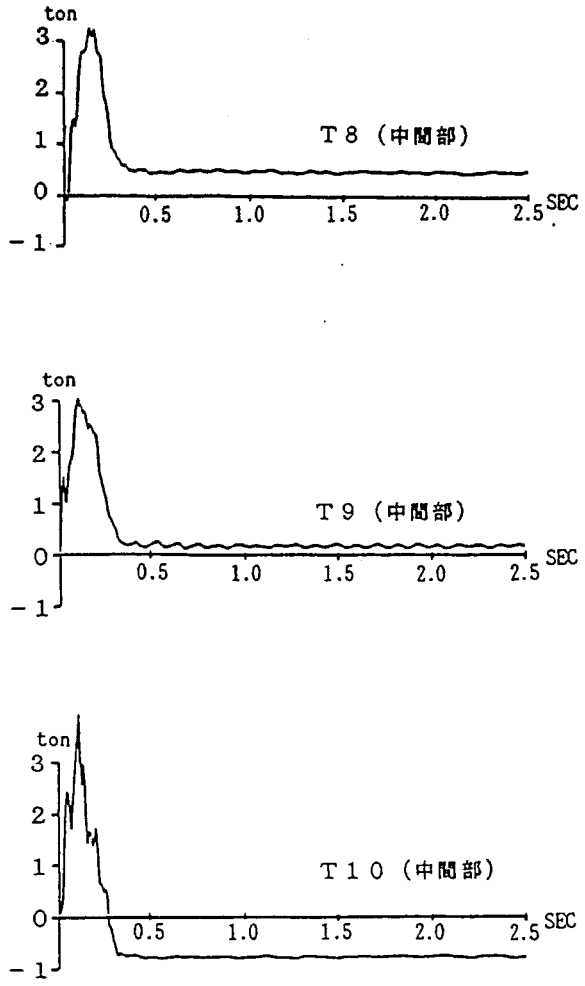
実験７　高速度



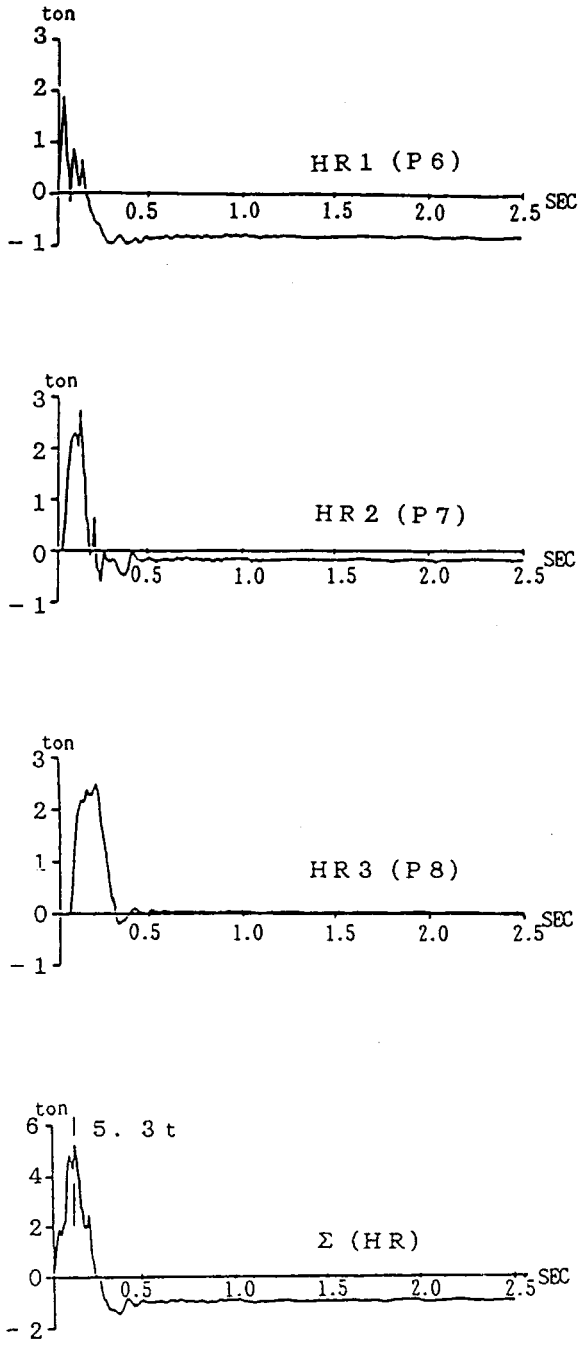
図－5·6·68　支柱およびブラケットの残留変位（実験7　高速度）



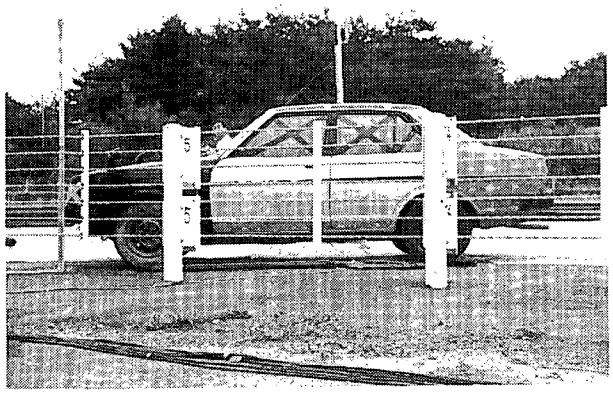
図－5･6･69　ケーブルに作用した張力（端末部）



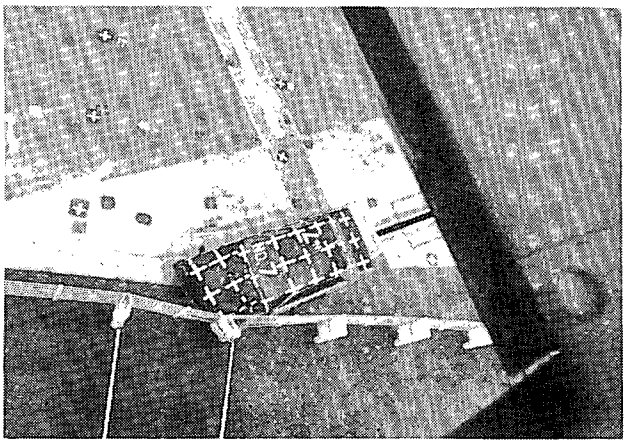
図－5·6·70　ケーブルに作用した張力（中間部）

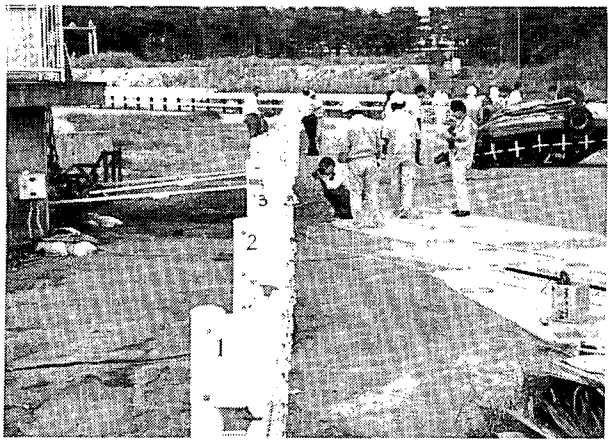


図－5·6·71　支柱に作用した防護柵直角方向の水平力

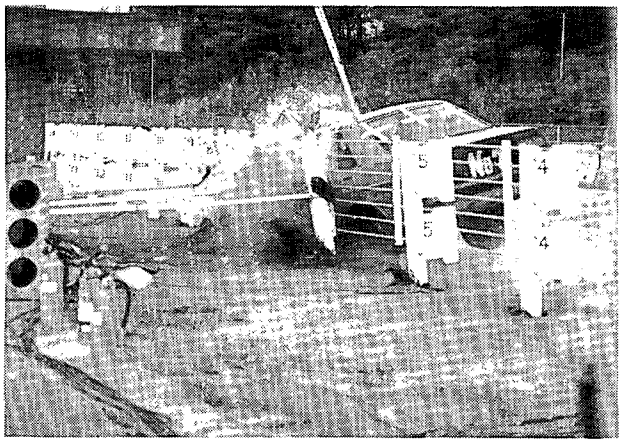


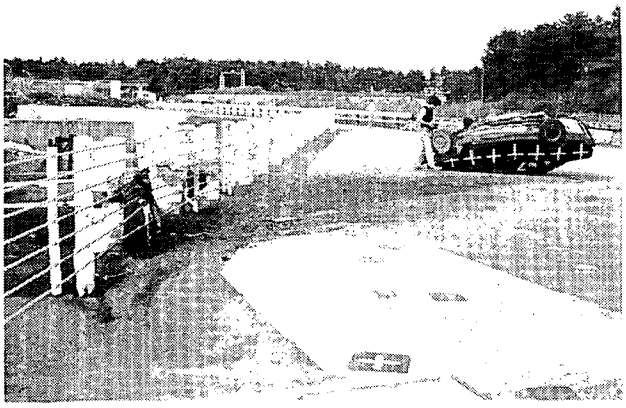
写真－5･6･73　ガードケーブル７本（改良型）



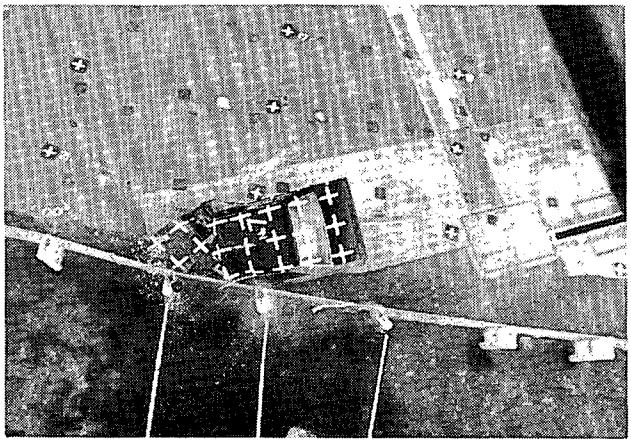


写真－5･6･74　ガードケーブルの損傷状況





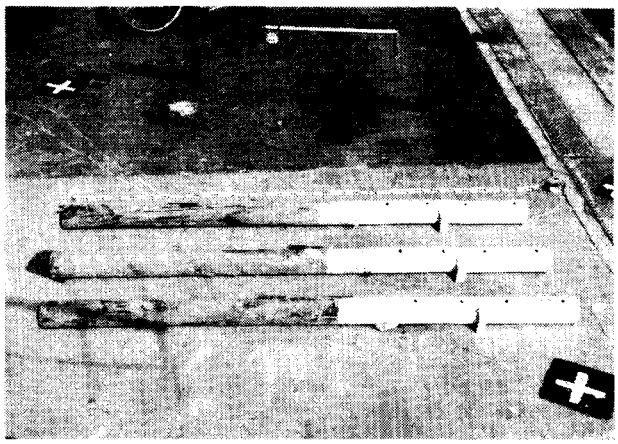
写真－5･6･75　ガードケーブルの損傷状況



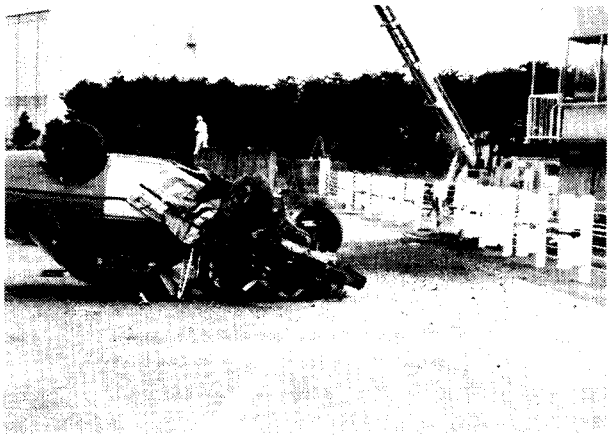
写真－5･6･76　衝突時の状況



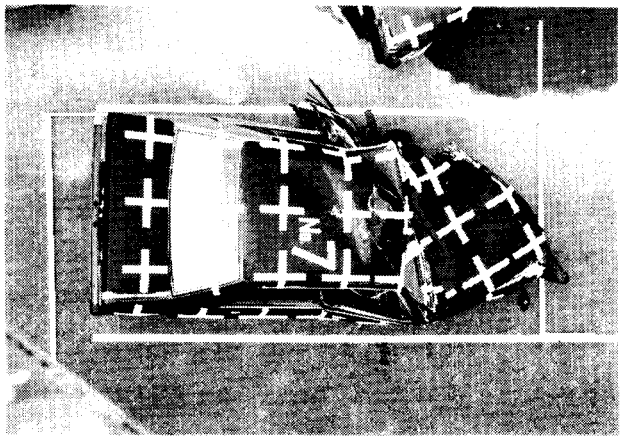
写真－5･6･77　支柱（Ｐ６）



写真－5･6･78　実験終了後の中間支柱



写真－5･6･79　車両の停止状況



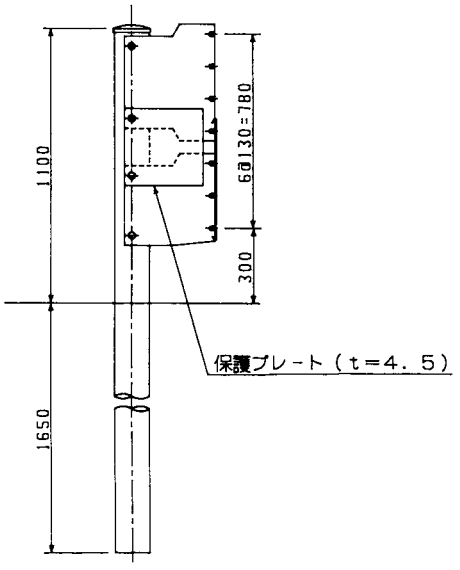
写真－5･6･80　車両の損傷状況

4）　ガードケーブル７本(誘導板付き)[実験８　乗用車]

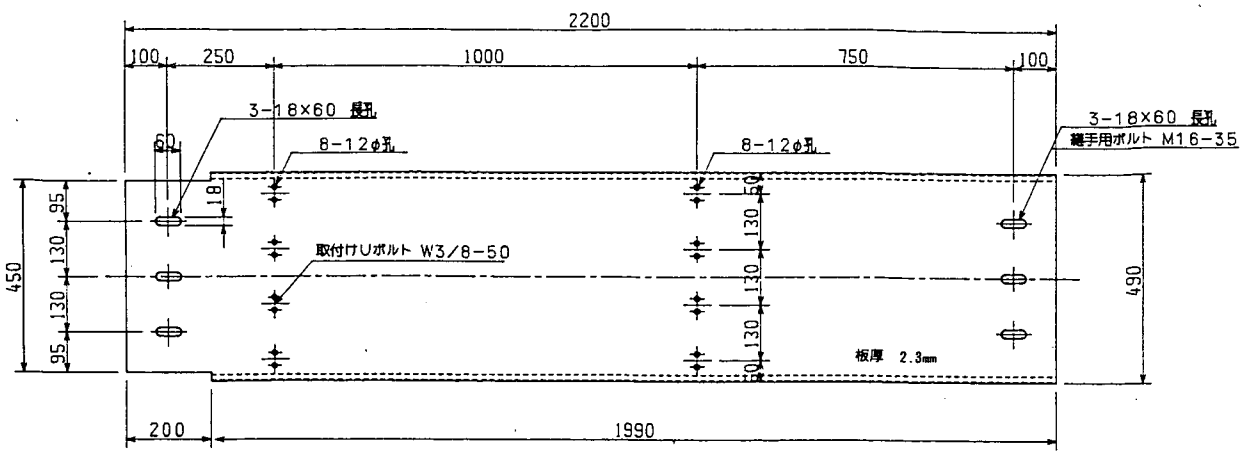
[供試体概要]

供試体は乗用車の誘導性を向上させるため，図－5･6･72，写真－5･6･81に示すように，ガードケーブル前面に誘導板を取付けた構造とした。また，ケーブルの初張力は全て２ｔとし，柵面補強材のケーブルへの止め方は実験５と同じピン方式に戻した。

なお，ボディの一部が上下ブラケットの隙間に食い込むことを防止するために図－5･6･72に示すような保護プレート（板厚 4.5mm）を使用した。



図－5･6･72　誘導板付きガードケーブル



図－5·6·73　誘導板

〈高速度衝突〉

①　車両の挙動

重量 1.10 t の乗用車は速度 104km/h，角度 25 度，衝撃度 8.30 t·m でガードケーブルに衝突した。

車両は図－5·6·74 に示すように支柱Ｐ５とＰ６の中間に衝突し，車輪外側の最大進入量は 460mm であった。写真－5·6·84(1)に示すように，衝突後の車両はガードケーブルに食い込むことなく誘導され，角度11度で離脱した。車両衝突時の挙動は写真－5·6·84(3)に示すように，最初ガードケーブル側に傾いて，右側車輪が浮き上がり，接地した後左側車輪が浮き上がった。なお，高速度フィルムの解析による車両の最大傾斜角および車輪の浮き上がり量を表－5·6·28 に示す。

表－5·6·28　実験条件と車両関係の実験結果（実験 8　高速度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	右前輪	右後輪	最大進入量
1.10 t	104km/h	25.0度	8.30 t·m	67.0km/h	10.5度	9度	11度	19cm	18cm	460mm

車両の損傷は写真－5·6·85，86 に示すとおりであり，実験５，７のような顕著なケーブルの食い込みによる変形とは異なり，誘導板によりボディの左側面がほぼ均等に変形した。また，助手席の窓ガラス以外に割れはなかった。

車両は左前輪とそのサスペンション部が泥除けの背面に押し付けられて車輪の回転が不能となっていたため，走行不可能であった。なお，この損傷内容には車両停止用盛土に衝突した時の損傷も含まれている。

②　防護柵の挙動

車両とガードケーブルの接触状況を図－5·6·76 に示し，その接触長は4.92mであった。衝突時の支柱の動的最大変位は，衝突 0.17 秒後に地盤上 600mm で 531mm（Ｐ７）であった。一方，支柱の残留変位は図－5·6·77 に示すとおりであり，柵直角方向の最大変位は 159mm（Ｐ７）で，平行方向は 227 mm（Ｐ６）であった。

柵直角方向の支柱水平力の計測結果は図－5·6·80 に示すとおりで，最大値は 3.45 t（Ｐ７）であった。

表－5･6･29　防護柵関係の実験結果（実験8　高速度）

車両と防護柵の接触長	防護柵変位量			防護柵応力					
	支柱最大変位 (GL上600mm) Y方向	最大残留変位 支柱（頭部）		最大水平力 支柱水平力		ケーブル増加張力 端末部（上から）		中間部（上から）	
		Y方向	X方向	Y方向	X方向				
4.92m	531mm (頭部　692mm) (P 7)	159mm (P 7)	227mm (P 6)	3.4 t (P 7)	－	1	2.50t	1	2.75t
						2	2.45		
						3	2.45		
						4	2.45	4	2.20
						5	2.50		
						6	2.63		
						7	2.68	7	2.75
						合計	16.8		
						平均	2.52		
						偏差	0.09		

備考）・－印は計測を行っていない
・ケーブル増加張力の合計は、経過時間ごとに累計した最大値を示す

支柱には車輪等の接触による痕跡は見られなかった。

衝突時のケーブル増加張力の経時変化を図－5･6･78（進入側端末部での計測）および図－5･6･79（P 2とP 3の中間での計測）に示す。端末部の最大増加張力は最下段ケーブルの2.68 t，中間部では最上段および最下段ケーブルの2.75 tであった。

P 6，7の下段ブラケットが若干変形したが，取付けボルト類の破損はなかった。誘導板の変形状況は写真－5･6･87，88に示すとおりで，B 5（P 5とP 6の間），B 6（P 6とP 7の間）の2枚が曲がったが，誘導板や取付けボルト等の破損はなかった。

柵面補強材は変形しなかったが，車体前部の接触によりR 6の上部が約100mm進行方向に動いた。

③　考察

a　車両の誘導性

本実験では，衝突車両は角度11度，速度67km/h（衝突速度の64.4%）で離脱した。これは，ケーブル前面に取付けた誘導板の効果が発揮されたものと思われる。

b　車両の最大進入行程

車輪外側の最大進入量は460mmで，要綱の規定値（1.1m以下）を満足しており，今回の供試体構造は適切なものであったと判断できる。

c　ケーブルの張力

表－5･6･29に示すように，各ケーブルの増加張力の平均は1本あたり2.52 tで，実験5の2.6 tとほぼ同程度の値であった。ケーブル増加張力の標準偏差を比較すると，実験5の0.64に対し本実験では0.09となり，ケーブルの増加張力はほぼ均等に発生していた。

d　防護柵の強度

支柱頭部の柵直角方向残留変位は支柱P 7の159mmが最大で，実験5の625mm，実験7の287mmに比べ小さな値となっている。また，柵平行方向についてもP 6の227mmが最大で，実験5の2,200mm，実験

7の500mmと比べ小さな値となっており，防護柵が安定した状態で作用していることを裏付けている。なお，P6の柵平行方向変位が直角方向変位に比べて大きくなっているが，変位の絶対量が小さい上に，直角方向についてはケーブルの残留張力をうけて支柱の変位が戻っていることも考えられ，この場合，平行方向成分が大きいことについては特に問題としなくても良いと考えられる。

表－5·6·30　支柱頭部の残留変位と成分比率（実験8　高速度）

支柱	防護柵平行方向成分	防護柵直角方向成分		残留変位の成分比率
	残留変位 A（mm）	残留変位 B（mm）	動的変位の最大値（mm）	A／B
P 5	15	80	244	0.19
P 6	227	101	417	2.25
P 7	39	159	692	0.25
P 8	64	109	－	0.59
P 9	9	59	－	0.15

支柱に作用した柵直角方向水平力の最大値と発生時間を表－5·6·31に示す。

表－5·6·31　支柱に作用した防護柵直角方向水平力（実験8　高速度）

支柱	最大水平力（t）	発生時間(sec)
P 5	2.00	0.21
P 6	2.25	0.05
P 7	3.45	0.13

この表でP5の最大水平力の発生時間がP6に比べて大幅に遅れているのは，P6では前部衝突時と考えられるピークが最大となっているのに対し，P5では後部衝突と思われるピークが最大となっているためである。

ブラケットの強度，形状については，変形も少なく特に問題はなかった。

柵面補強材の取付け方法は，車両の挙動，ケーブル張力の均等化などから判断して，移動しやすい形式が適切であるといえる。

e　誘導板

今回の供試体の最大の特長はケーブルの前面に誘導板を取付けたことであった。これにより実験5，実験7で起こった車両の回転や支柱への衝突による急停止などの現象を生じることなく，車両を誘導することができた。

誘導板を用いたのは，1000～1500ccクラスの小型乗用車のボディが弱く，高速でガードケーブルに衝突すると局部的に変形し，ケーブルと噛み合うことにより誘導性を悪くすることがないように，車両とケーブルの間に生ずる抵抗を減少させることであった。

誘導板はその目的から曲げ剛性や引張り力を期待せず，強度部材として使用していない。従って，板厚2.3mmの鋼板をM8のUボルトでケーブルにぶら下げた状態で取付けている。実験では誘導板にケーブルの

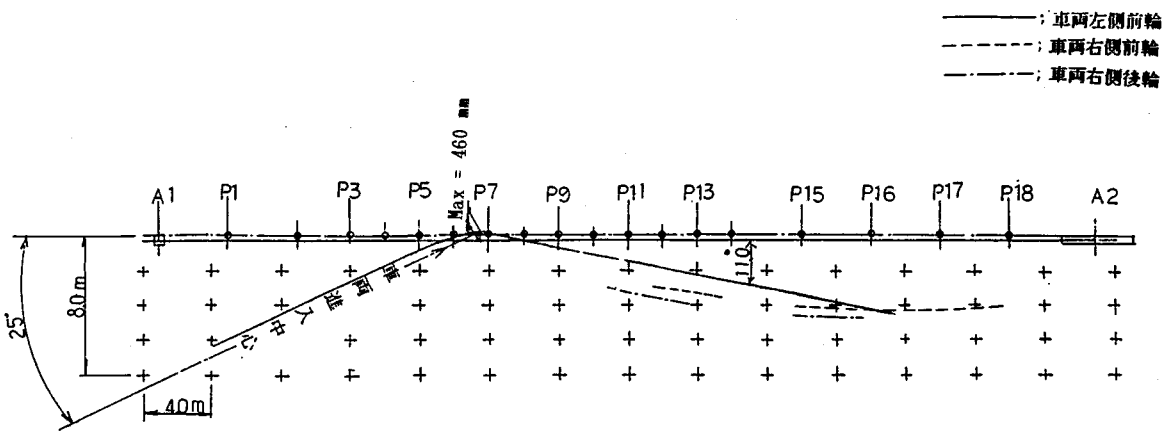
変形に沿った円弧状の曲がりを生じたが，切断・破損等は起きなかった。従って，本実験で使用した諸元は適正であったと判断できる。また，大型車の誘導性に対する悪影響はないと考えられる。なお，誘導板の板厚については今後さらに検討する必要がある。

f　最下段ケーブルの高さ

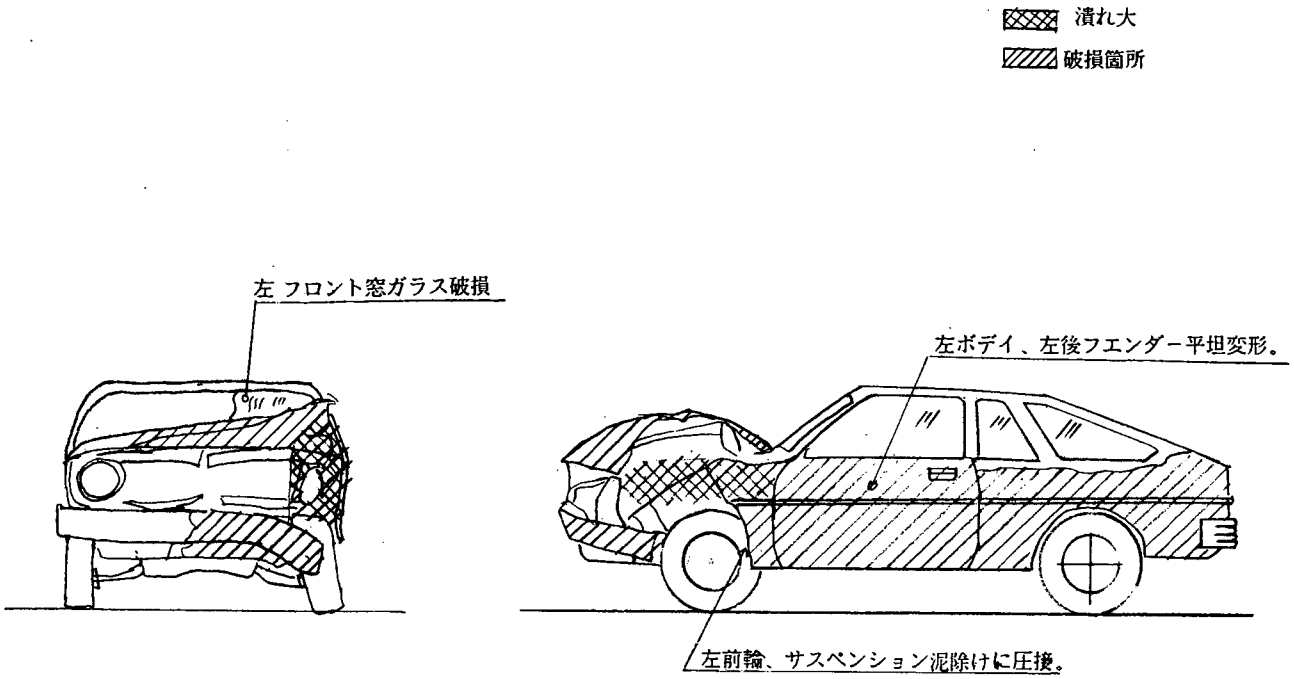
実験7，8は，最下段ケーブルの高さを現行ガードケーブルより130mm下げ，地上高300mmで行った。本実験では誘導板との複合効果により，車輪が支柱に衝突することもなく正常に誘導することができた。従って最下段ケーブルの高さは300mm程度で良いと考えられる。

g　車両の損傷

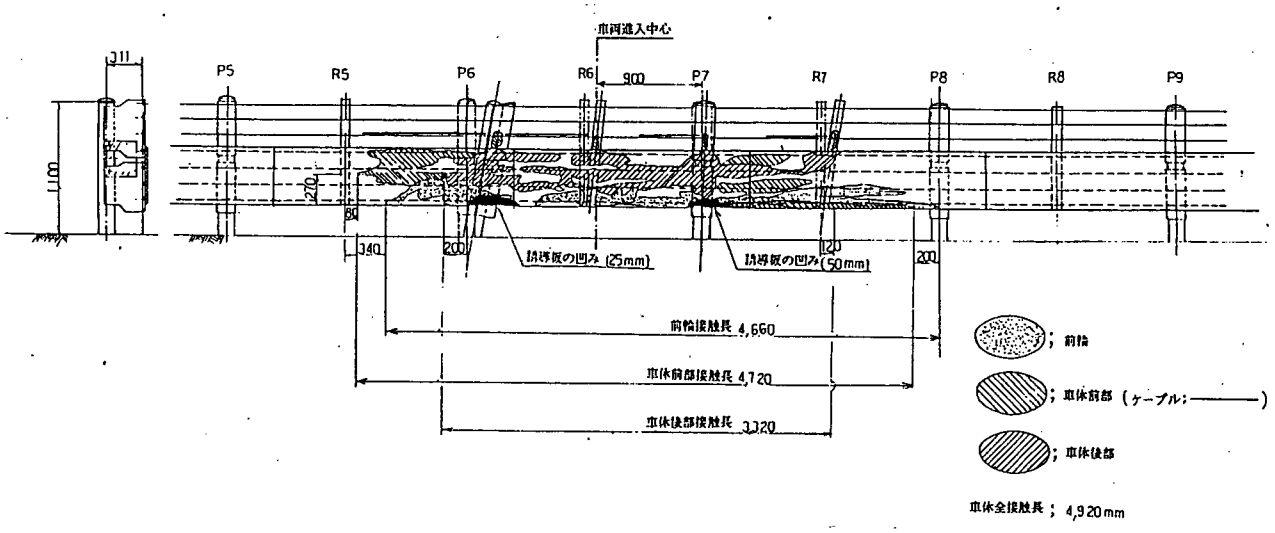
左側前部の損傷は大きかったが車室内に及ぶ変形はなく，実験5，7に比べると車体の変形は小さかった。また，乗員が車体変形に起因する傷害を受ける可能性は少ないといえる。



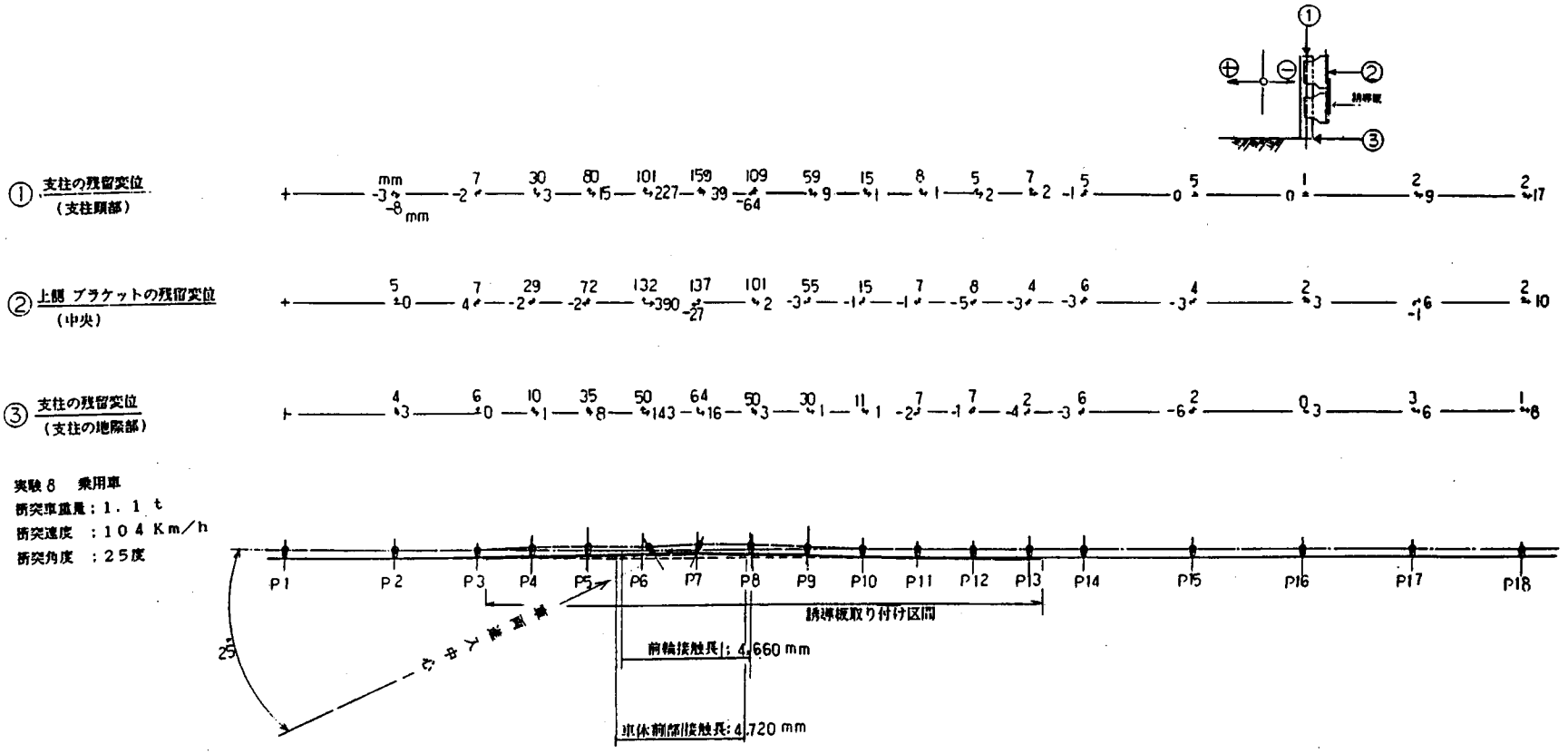
図－5·6·74　車輪の軌跡（実験8　高速度）



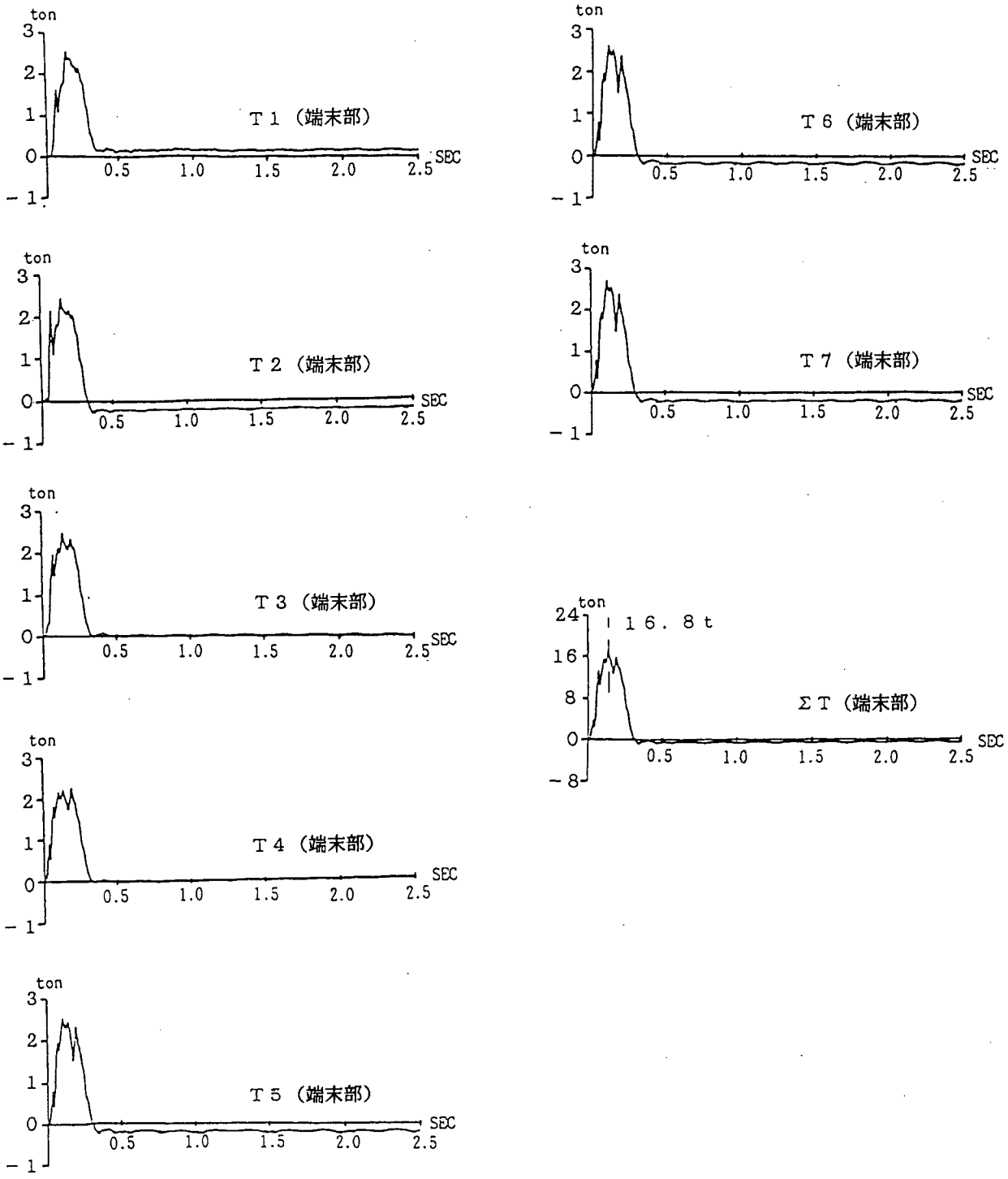
図－5·6·75　車両の損傷状況（実験 8　高速度）



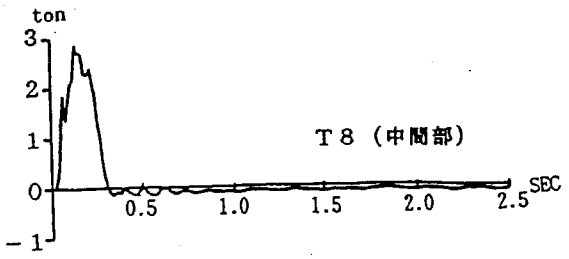
図－5·6·76　車両の接触状況（実験 8　高速度）

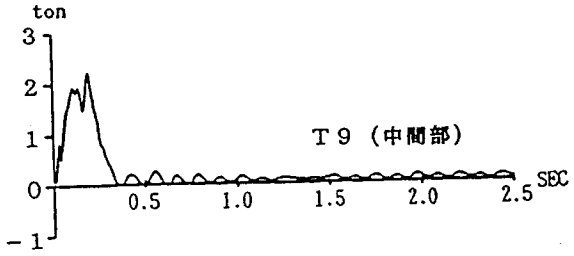


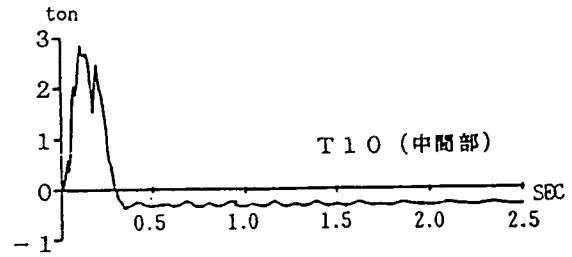
図－5･6･77　支柱およびブラケットの残留変位（実験８　高速度）



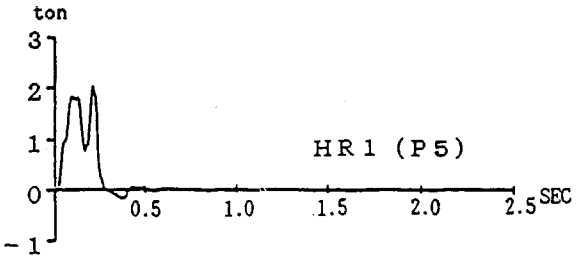
図－5·6·78　ケーブルに作用した張力（端末部）

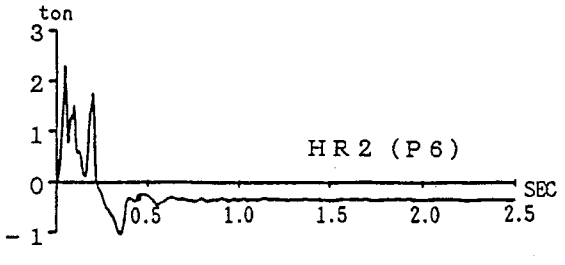


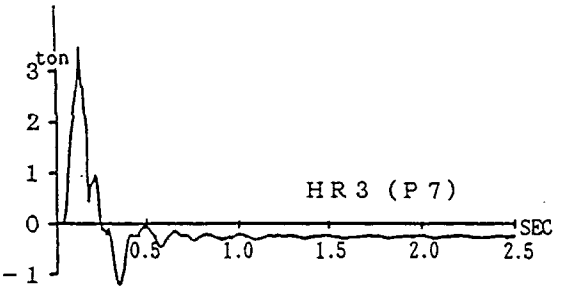


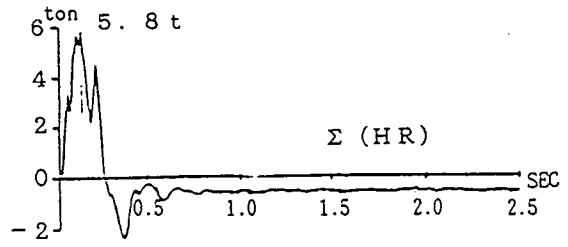


図－5･6･79　ケーブルに作用した張力（中間部）

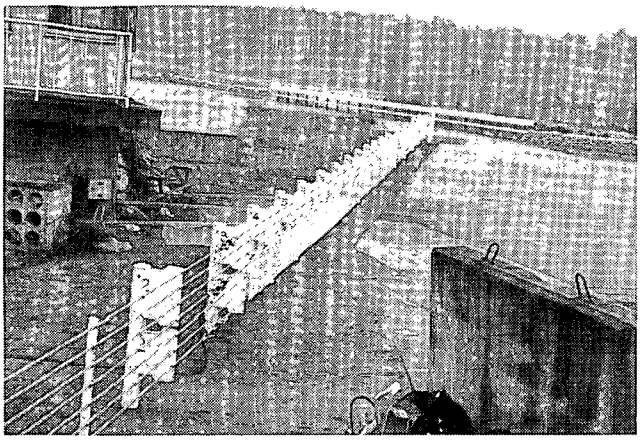




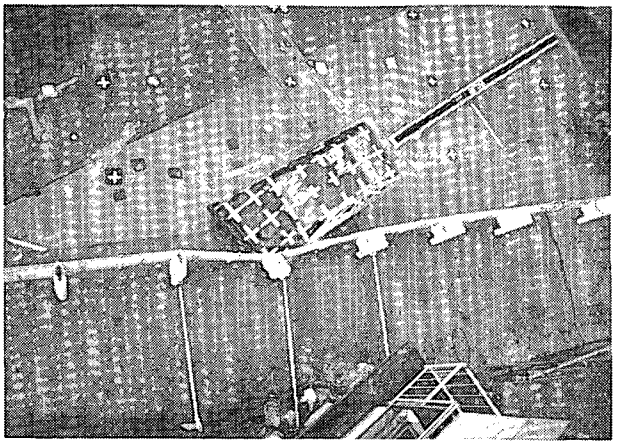




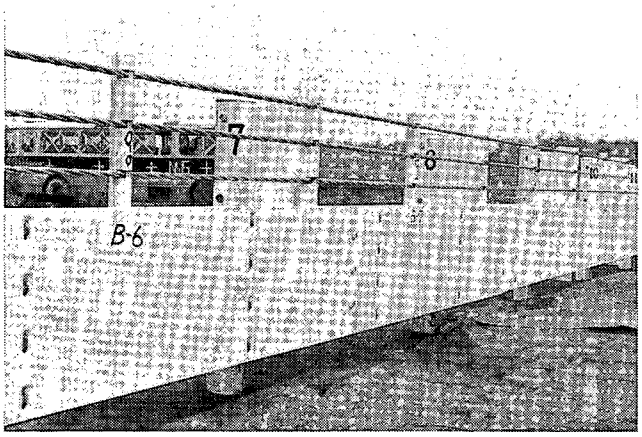
図－5･6･80　支柱に作用した防護柵直角方向の水平力



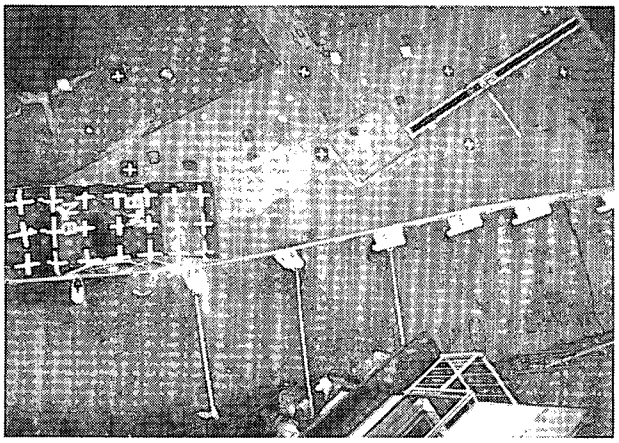
写真－5･6･81　ガードケーブル７本型(誘導板付き)



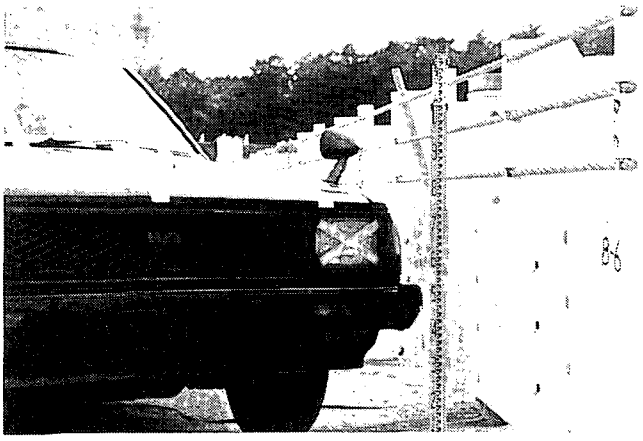
(1)



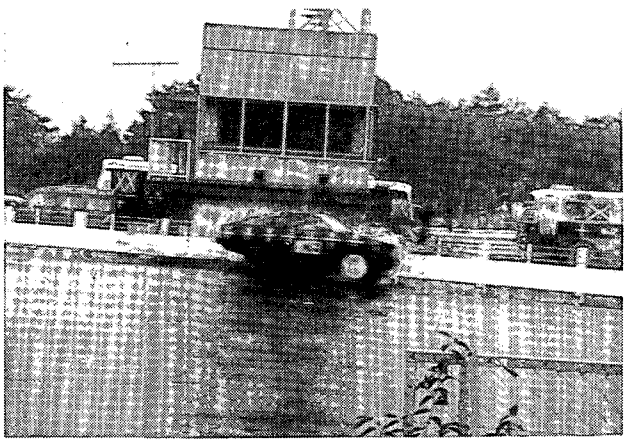
写真－5･6･82　誘導板取付け状況



(2)

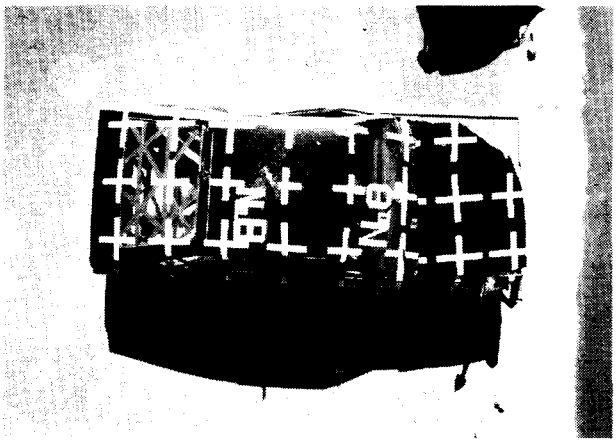


写真－5･6･83　ガードケーブル７本型
(誘導板付き)と乗用車

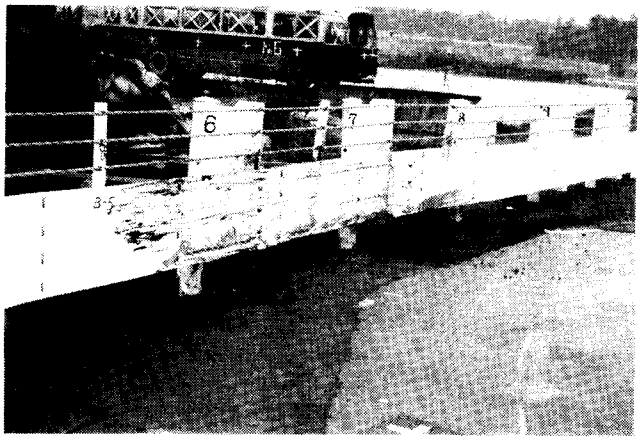


(3)

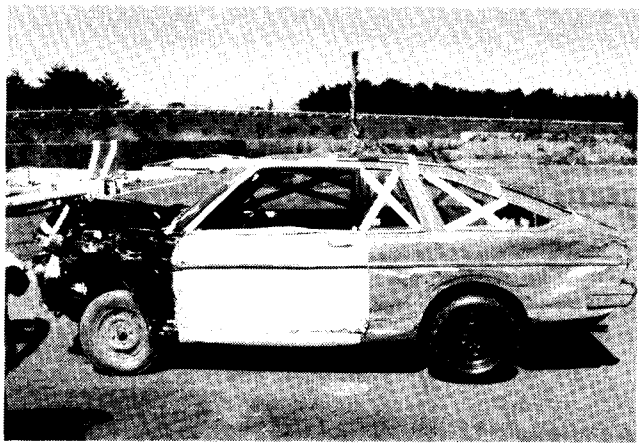
写真－5･6･84　衝突時の車両誘導状況



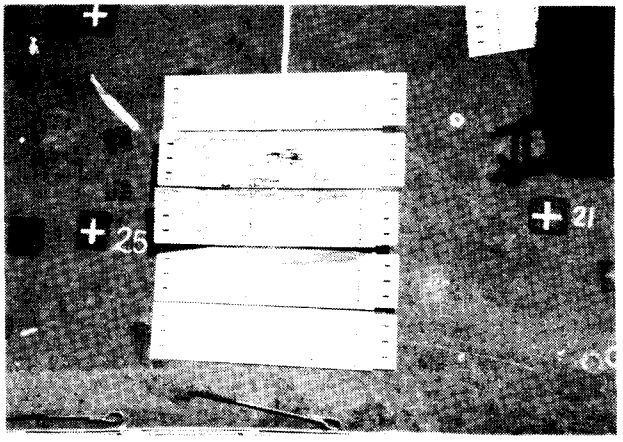
写真－5·6·85　車体の変形



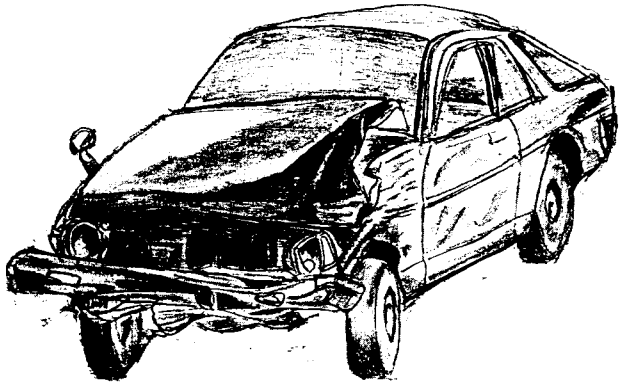
写真－5·6·87　ガードケーブルの損傷状況



写真－5·6·86　車両の損傷状況



写真－5·6·88　誘導板の変形



実験 8　高速度

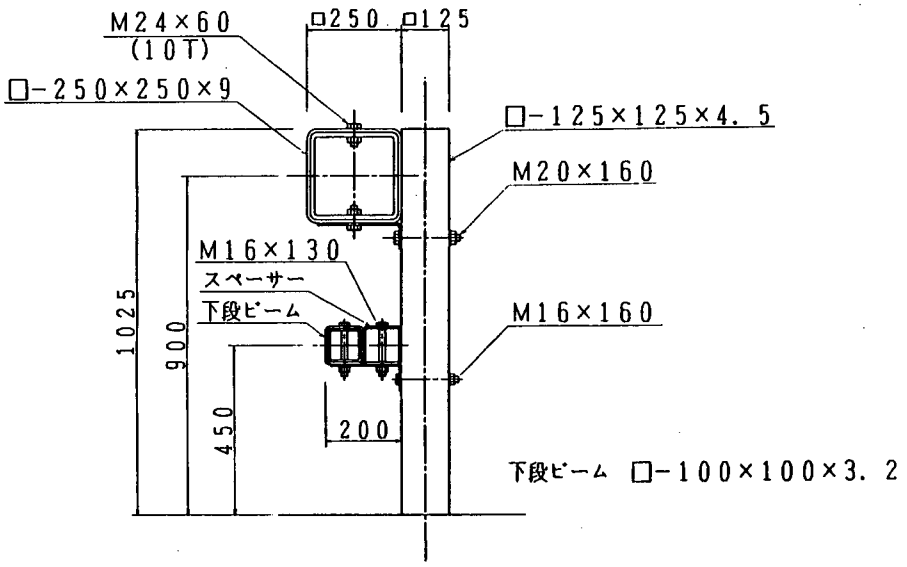
5.6.3 閉断面ビームの実験結果と考察

閉断面ビームはガードレールやガードケーブルとは異なり，曲げのみで抵抗する防護柵として設計されている。このような防護柵について，大きな衝撃度に対する検証はなされていない。従って，将来の研究の基礎資料を収集しておくことも必要と考え，急角度衝突を対象として実験を行った。

1) 閉断面ビーム型［実験6　バス］

［供試体概要］

供試体はビーム，支柱とも角形鋼管で構成し，ビームは上段に□－250×250×9を，下段に□－100×100×3.2を配置し，支柱は□－125×125×4.5を1.5m間隔に設置した構造である。上段ビームは大型車両を横転させない高さとし，下段ビームは乗用車の潜り込みを防止する高さとした。なお，下段ビームの張り出し量は上段ビームのブロックアウト量250mmの関係から，支柱と下段ビームの間に角形鋼管のスペーサーを入れて200mmとしている。供試体の側面図を図－5·6·81に，設置後の供試体を写真－5·6·89，90に，供試体とバスおよび乗用車の高さ関係を写真－5·6·91，92にそれぞれ示す。



図－5·6·81　供試体

〈急角度衝突〉

①　車両の挙動

重量14tのバスは，速度50km/h，角度41度，衝撃度59.3t·mで閉断面ビームに衝突した。この衝撃度は目標とした50t·mの約1.2倍であった。

バスは写真－5·6·93に示すように，柵と平行に向きを変え，車両後部がビームに衝突して角度13.5度で離脱し，車輪外側の最大進入量は620mmであった。車輪の軌跡を図－5·6·83に，実験結果を表－5·6·32に示す。

表－5·6·32　実験条件と車両関係の実験結果（実験６　急角度）

実験条件				離脱速度	離脱角度	最大傾斜角		最大浮き上がり量		車輪外側
重量	速度	進入角度	衝撃度(*IS*)		(離脱直後)	前端	後端	左前輪	左後輪	最大進入量
14.0ｔ	50km/h	41度	59.3ｔ·m	——	13.5度	——	14度	——	——	620mm

備考）　——については計測を行っていない。

車両の損傷は図－5·6·84，写真－5·6·99に示すように，右側前端および後端部の潰れ，床の盛り上がり，ラジエターファンの潰れ，フロントガラスや運転席横の窓ガラスの割れ等があった。しかし，ボディ側面にはビームによる線状接触痕はみられなかった。衝突後の車両は足回り等の損傷が大きく走行不可能であった。

②　防護柵の挙動

車両前端は支柱Ｐ59の位置に衝突した。車両と防護柵の接触長は6.5ｍで，支柱への接触は認められなかった。防護柵直角方向の残留変位が生じた区間は25.5ｍ（Ｐ51～68）で，柵平行方向については27ｍ（Ｐ51～69）であった。支柱頭部の最大残留変位はＰ59で柵直角方向に1,117mm，Ｐ60で平行方向に80mmであった。また，ビームについてはＰ59の支柱部分で柵直角方向に上段が1,016mm，下段が893mmであった。車両と防護柵の接触状況を図－5·6·85に，残留変位を図－5·6·86に，実験結果を表－5·6·33に示す。

表－5·6·33　防護柵関係の実験結果（実験６　急角度）

車両と防護柵の接触長	防護柵変位					防護柵応力		
	支柱最大変位 (GL上 600mm) Y方向	最大残留変位				最大水平力		ビーム張力
		支柱（頭部）		ビーム（Y方向）		支柱部分		
		Y方向	X方向	上段	下段	Y方向	X方向	X方向
6.52m	——	1,117mm (Ｐ59)	80mm (Ｐ60)	1,016mm (Ｐ59)	893mm (Ｐ59)	——	——	——

備考）　——については計測を行っていない。

閉断面ビームの損傷状況を写真－5·6·95に示す。上段ビームの継手部は４ケ所で折れ曲がり，Ｐ59の継手部分が最も大きく図－5·6·85に示すように13度であった。上段ビームは車両の進入中心線上に位置する１本のビーム（Ｐ59～63）がゆるい円弧を描いて変形し，Ｐ59の継手部で写真－5·6·97に示すような長さ約10cmの亀裂が生じた。なお，その他のビームには変形がなかった。また，下段ビームはＰ55～59およびＰ59～63の２本が大きく変形し，潰れやへこみがみられた。支柱は写真－5·6·98に示すようにＰ54～61の８本に軽微な変形が認めれた。ブラケットは上下段とも写真－5·6·96に示すように変形したが，ボルト穴の変形による引き抜けはなかった。

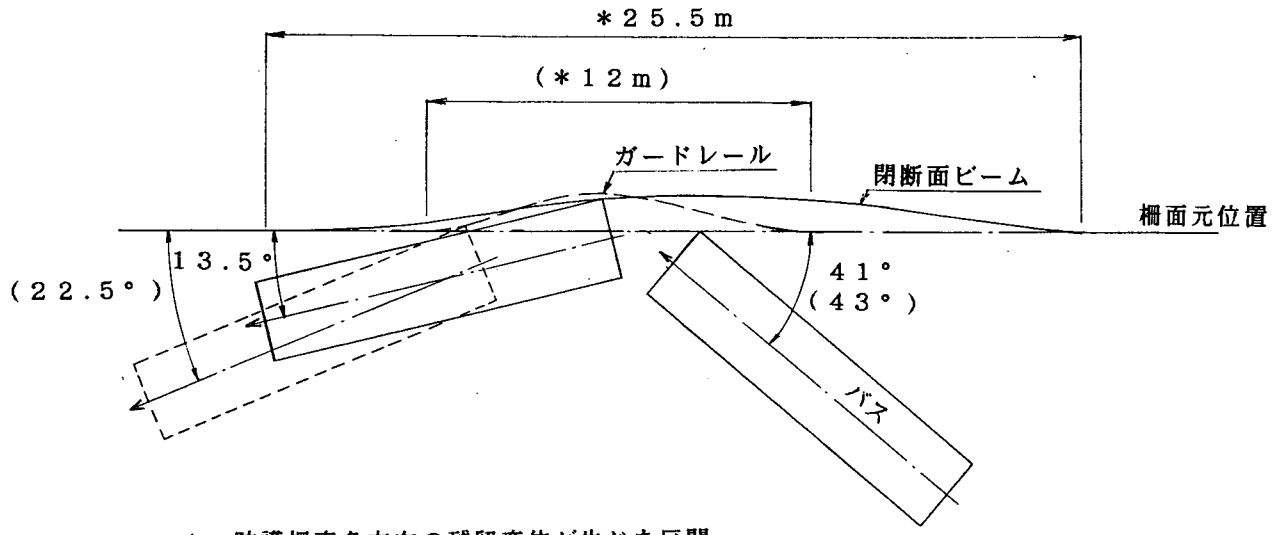
③　考　察

本実験では車両の誘導性，離脱速度，離脱角度，最大進入行程，車両の損傷等に問題はなく，防護柵機能は満足できるものであった。

a　車両の誘導性

衝突後のバスは急激な速度低下もなく浅い角度で離脱し，車両の誘導性は良好であった。この挙動から離脱後の車両による二次的な事故の発生は少ないものと推察される。離脱角度はガードレールに比べ半分近い値であった。閉断面ビームは剛性の高いビームを使用して広い範囲で運動エネルギーを吸収する構造であり，図－5･6･82に示すようにビームの変形曲線の曲率がガードレールに比べて大きくなるため，離脱時の車両の姿勢角や離脱角度が小さくなったと考えられる。

下段ビームは乗用車の支持を対象としているが，大型車が衝突した時に悪い影響を与えないことが必要である。今回の実験では下段ビームにボディが接触したが，車両の誘導性に影響はなかったものと考えられる。



＊　防護柵直角方向の残留変位が生じた区間

（）内寸法はガードレールに関するものを示す

図－5･6･82　閉断面ビームとガードレールの車両離脱時の挙動

b　車両の最大進入行程

車輪外側の最大進入量は620mmで要綱の規定値（1.1ｍ以下）を満足しており，ビーム強度，支柱支持力，支柱間隔は的確であったといえる。

c　防護柵の強度

上段ビームの継手部は局部的に折れ曲がり荷重伝達が不十分であった。また，Ｐ59の継手部では上段ビームに亀裂を生じたが，これはスリーブの長さ不足でビーム端部に応力が集中したためと考えられる。従って，スリーブの長さおよび曲げ強度について検討する必要がある。

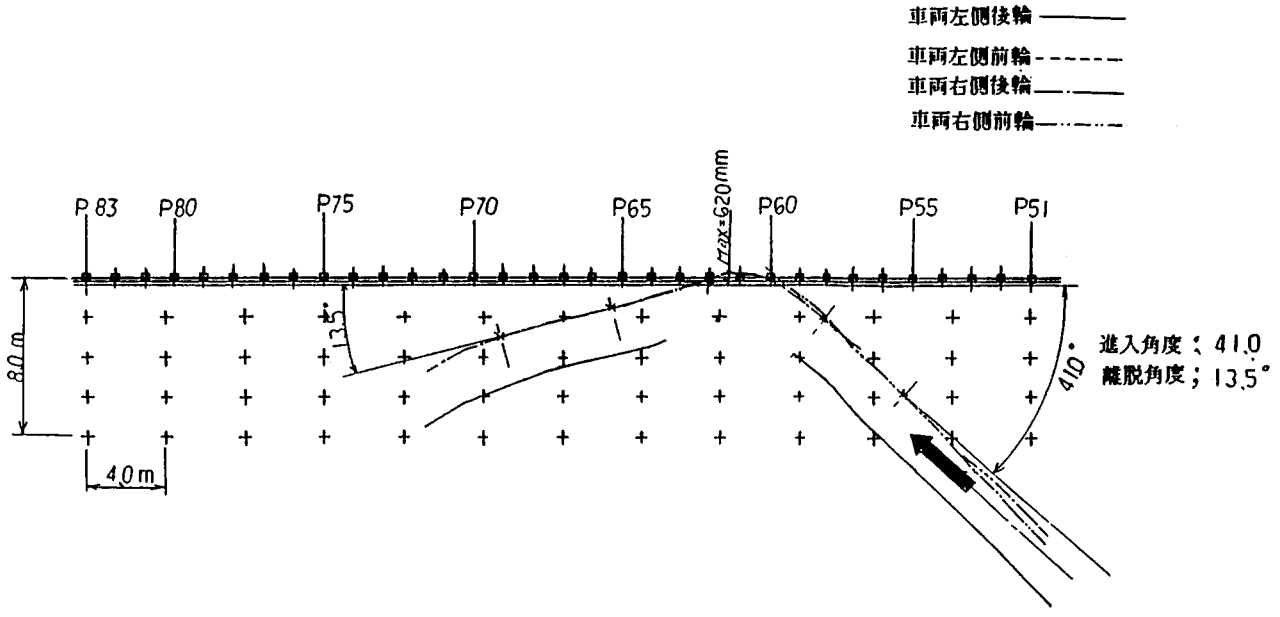
下段ビームは変形して潰れやへこみがみられたが，ビーム材や継手部の破断はなくこれらの強度は適当であったと考えられる。

支柱は大きく傾いたが変形は僅かで局部的な座屈もなく，十分な強度であったと考えられる。

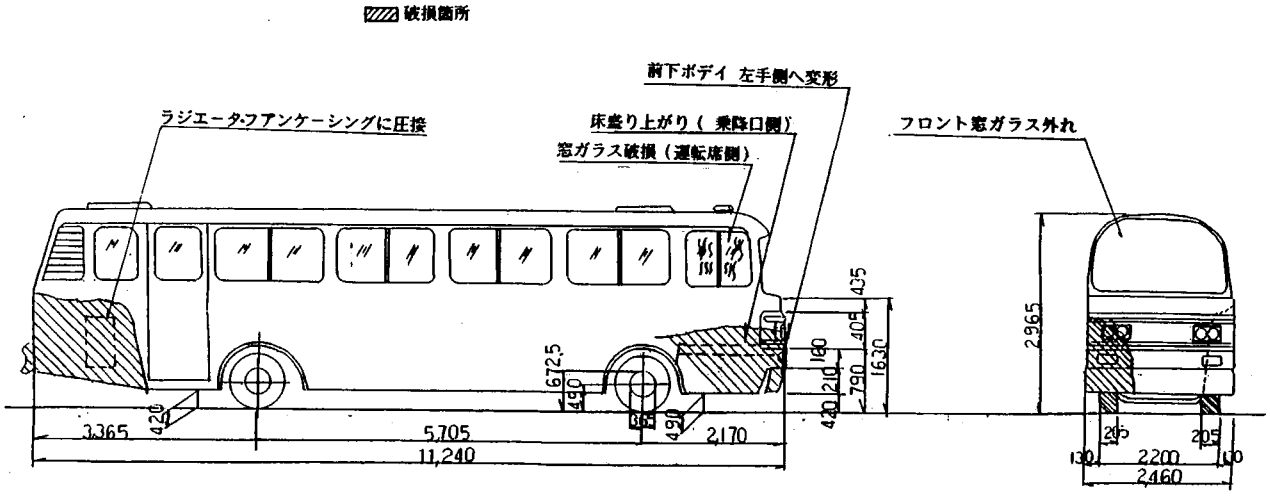
上段ビームのブラケットは大きく変形したが，ボルト穴からの引き抜けもなく機能面では問題ないと考えられる。

d　車両の損傷

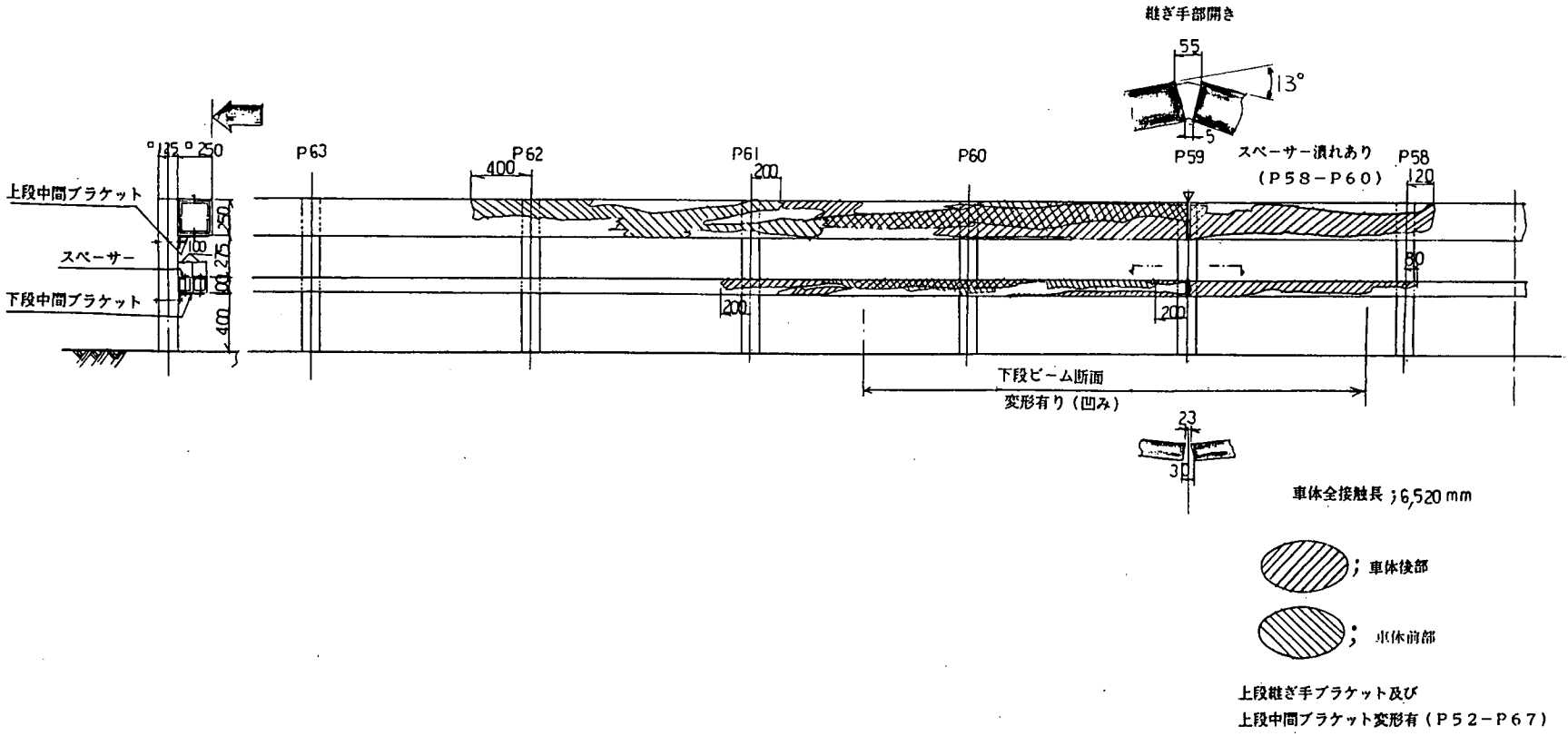
車両の損傷が実験３（ガードレール）に比べて大きかったのは，剛性の高いビームへの衝突であったためと考えられる。



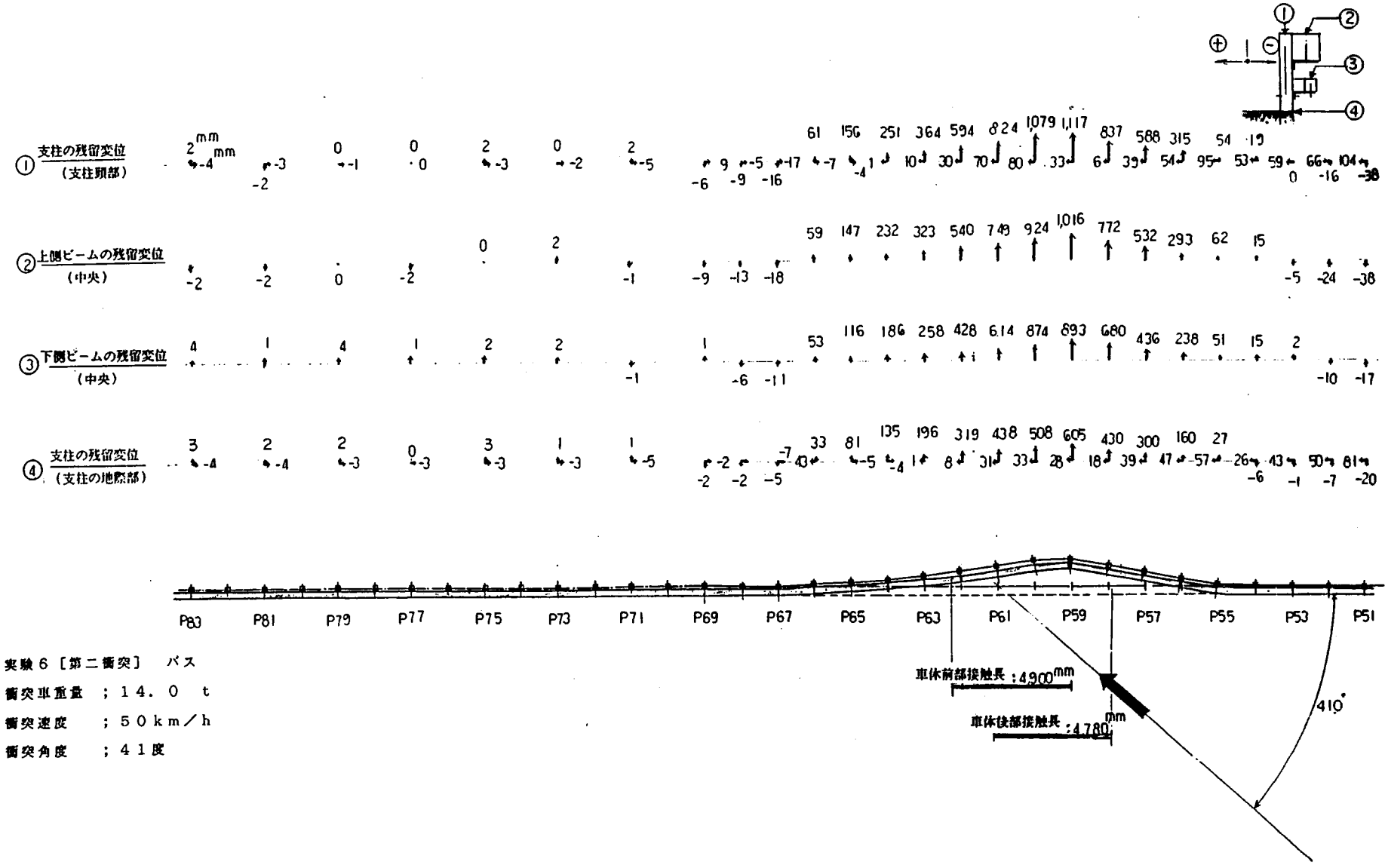
図－5･6･83　車輪の軌跡（実験６　急角度）



図－5･6･84　車両の損傷状況（実験６　急角度）



図－5·6·85　車両の接触状況（実験６　急角度）



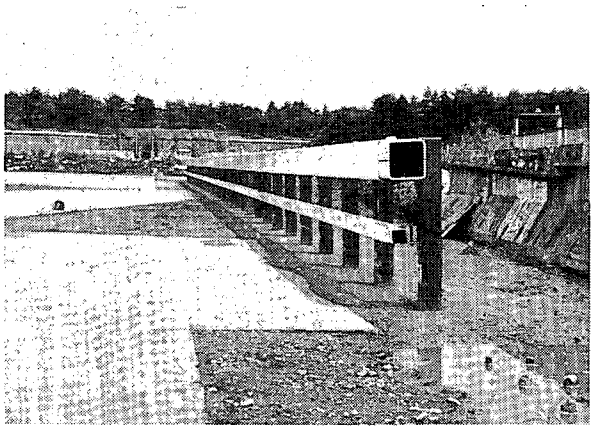
実験６［第二衝突］　バス

衝突車重量　；１４．０　ｔ

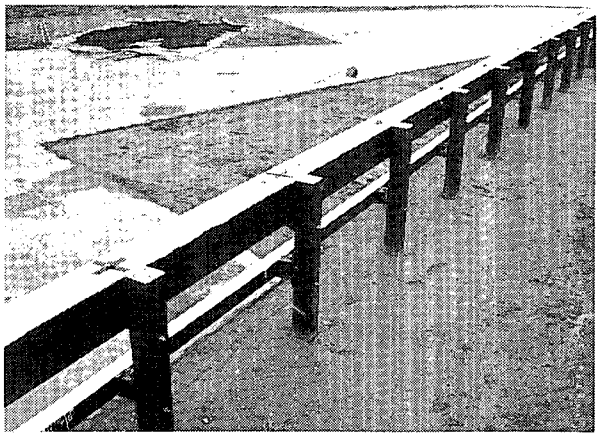
衝突速度　　；５０ｋｍ／ｈ

衝突角度　　；４１度

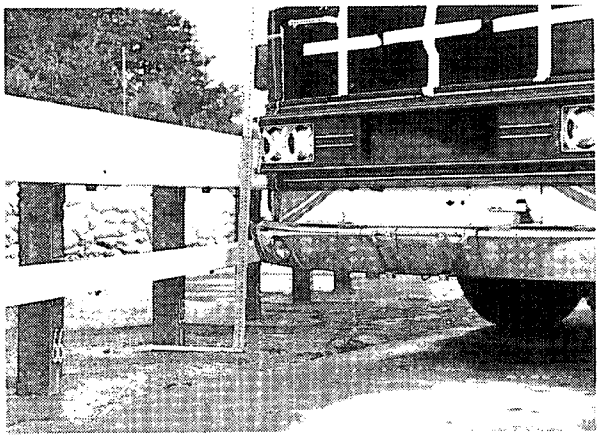
図－5･6･86　支柱およびビームの残留変位（実験６　急角度）



写真－5･6･89　閉断面ビーム型



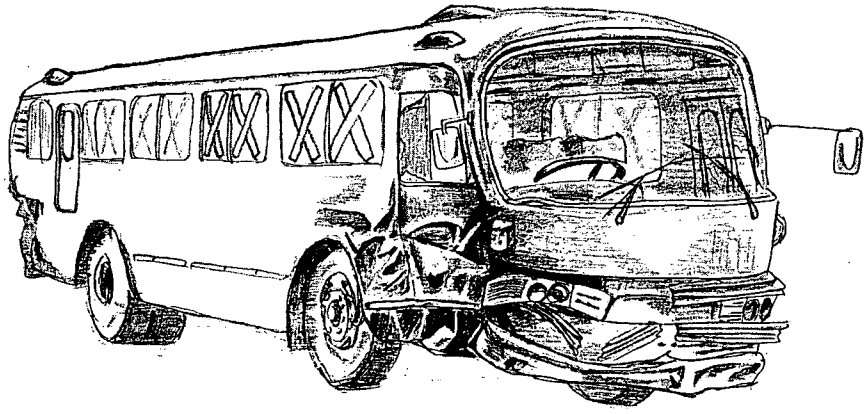
写真－5･6･90　閉断面ビーム型



写真－5･6･91　バスと供試体の高さ関係

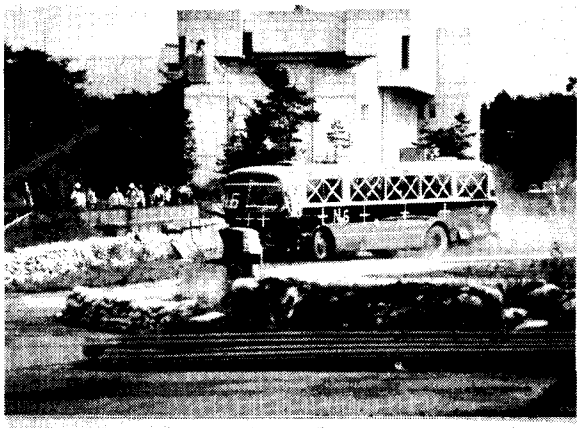


写真－5･6･92　乗用車と供試体の高さ関係



実験 6　急角度（閉断面）

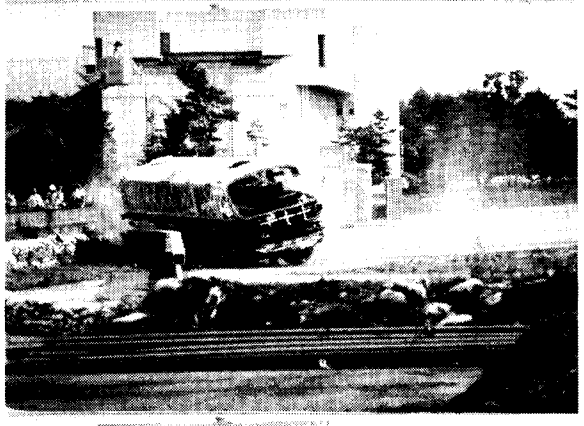
(1)



(2)



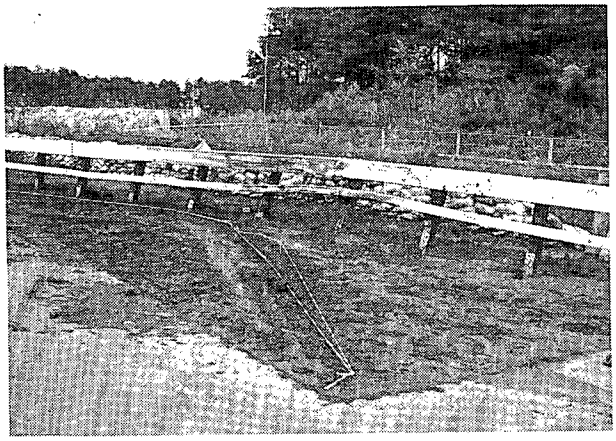
(3)



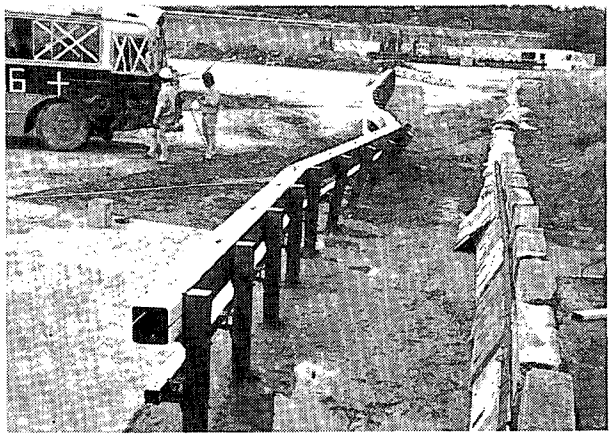
(4)



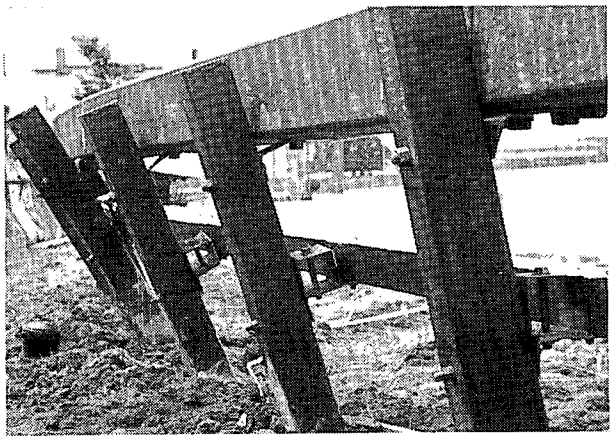
写真－5･6･93　バスの挙動



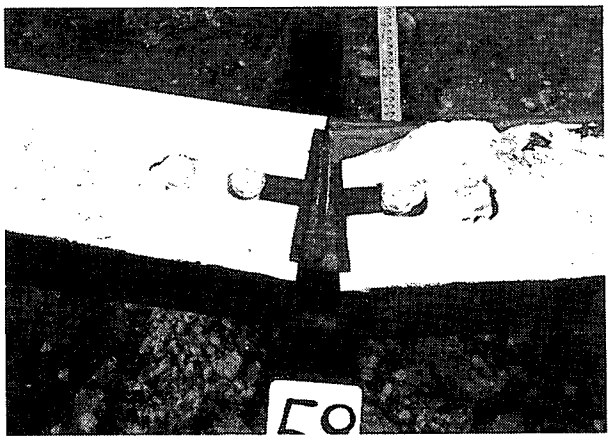
写真－5･6･94　閉断面ビームの損傷状況



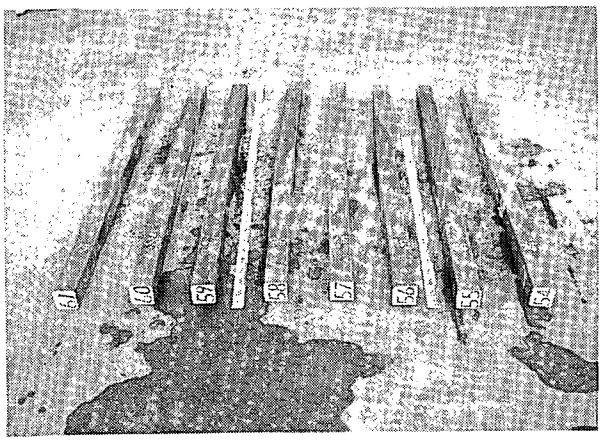
写真－5･6･95　閉断面ビームの損傷状況



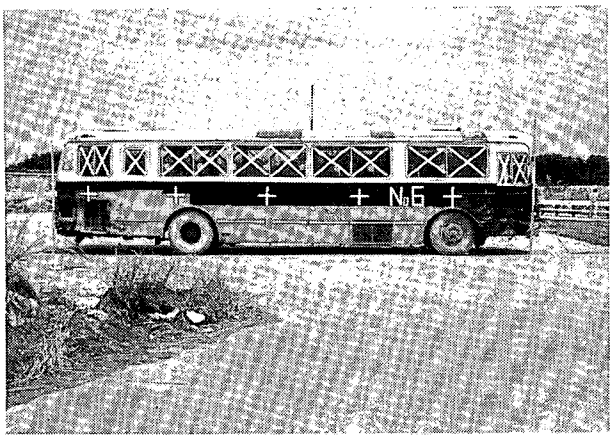
写真－5･6･96　ブラケット部の損傷状況



写真－5･6･97　上段ビームに発生した亀裂



写真－5･6･98　支柱の変形状況



写真－5･6･99　バスの損傷状況

5.7 まとめ

5.7.1 加速度の評価

計測された加速度波形に「2.2」で述べた処理を施してまとめたものを表－5･7･1に示し，各実験結果の考察について述べる。

表－5･7･1 加速度検討結果

実験番号	実験車両	衝突種類	*HIC*		50msec最大値			10msec最大値		打撃速度		供試体種類
			運転席	助手席（客席）	X (g)	Y (g)	合成 (g)	X (g)	Y (g)	X (m/s)	Y (m/s)	
1	バス	高速度	192	―	1	3	3	1	5	―	―	A種ビーム２段型
		急角度	106	―	2	-2	2	3	1	―	―	
2	バス	高速度	38	44	1	3	3	2	4	―	―	ケーブル７本型
		急角度	117	13	1	-2	2	1	3	―	―	
3	バス	高速度	37	―	1	■ 4	4	1	5	―	―	新断面ビーム型
		急角度	46	―	2	-2	3	3	2	―	―	
4	乗用車	高速度	―	188	―	▲ 10	―	―	16	―	9	新断面ビーム型
5	乗用車	高速度	299	478	▲ 13	▲ 6	▲ 14	17	15	12	5	ケーブル７本型
6	バス	高速度	―	―	1	■ 4	4	1	5	―	―	新断面ビーム改良型
		急角度	―	―	2	-3	3	1	4	―	―	閉断面ビーム型
7	乗用車	高速度	824	● 1,376	▲ 14	▲ 7	▲ 15	18	11	12	6	ケーブル７本改良型
8	乗用車	高速度	―	183	■ 8	▲ 10	■ 11	7	15	9	7	ケーブル７本型誘導板付

注） ①*HIC* の●は，許容値の1,000を超えた場合を示す。
②50 msec 最大値（α_{50}）の■は無拘束状態の許容値を超えた場合を示し，▲は２点式シートベルト状態の許容値を超えた場合を示す。
③10 msec 最大値（α_{10}）および乗員打撃速度は，許容値を超えたものはない。

① 実験１ （A種ビーム２段型・バス）

高速度衝突，急角度衝突ともに *HIC*（ダミー頭部に生じた合成加速度），α_{50}（50 m sec 間の加速度の移動平均の最大値），α_{10}（加速度の 10 m sec 間の移動平均の最大値），打撃速度に評価基準を超えたものはなく，乗員に対する影響は少ないと考えられる。

② 実験２（ケーブル７本型・バス）

座席位置による乗員への衝撃の変化をみるため，ダミーを運転席および客席に配置し比較した。高速度衝突では運転席，客席ともほぼ同程度の *HIC* となっており，急角度衝突では運転席が客席の 10 倍程度の *HIC* となっていたが，いずれも評価基準を超えるものではなかった。また，重心加速度でも α_{50}，α_{10}，打撃速度の値はいずれも小さく，問題はないと考えられる。

③ 実験３（新断面ビーム型・バス）

HIC は高速度衝突，急角度衝突のいずれの値も小さくなっている。重心加速度で，高速度衝突のＹ方向の α_{50} が無拘束状態の許容値を超えている。高速走行時には，乗客についてもベルト着用が必要と考えられる。その他の値については，実験１，２と同様問題ないと考えられる。

④ 実験4（新断面ビーム型・乗用車）

厳しい衝突状況になると予想される助手席についても，*HIC*は小さい値となっていた。車両重心の加速度については，X成分の加速度波形が不良となりY方向しか測定できなかったが，Y方向のα_{50}では3点式のシートベルトをすれば許容される加速度となっている。従って100km/hを超えるような衝突については，シートベルトの着用が不可欠と考えられる。

⑤ 実験5（ケーブル7本型・乗用車）

本実験では車両が誘導されずに衝突位置に停止してしまったため，助手席の*HIC*は実験4と比較すると2倍以上の値となっているが，これは許容範囲内の値である。α_{10}，打撃速度はかなり大きな値となっているが評価基準以内であり，α_{50}についても3点式シートベルトをすれば許容範囲内である。

⑥ 実験6（新断面ビーム型，閉断面ビーム型・バス）

高速度衝突はガードレール新断面，急角度衝突は閉断面ビームについて実験を行った。加速度は実験3とほぼ同じであり，高速走行時には乗客についてもベルト着用が必要と考えられる。

⑦ 実験7（ケーブル7本改良型・乗用車）

本実験でも実験5と同様に車両は誘導されず，*HIC*は一連の実験で初めて助手席で評価基準（1,000）を超える値を示した。しかし，α_{10}，打撃速度についてはかなり大きな値ではあるが評価基準内であり，α_{50}についても3点式シートベルトをすれば許容範囲内である。

⑧ 実験8（ケーブル7本型誘導板付き・乗用車）

車両は円滑に誘導され実験4と同様*HIC*に問題はなく，車両重心加速度についても3点式シートベルトをすれば許容範囲内である。

全体的には，乗員に対する衝撃の程度を表すダミーの*HIC*をみると，評価基準の1,000を超えたのは，乗用車で車両が誘導されなかった実験7のみであった。従って，車両が円滑に誘導されれば，乗員に与える衝撃の程度は許容範囲内に収まるものと考えられる。

車両の加速度では，α_{10}および打撃速度が評価基準を超えたものはなかった。α_{50}からみると，バスの高速度衝突では乗客についても2点式以上のシートベルト着用が望まれ，乗用車については3点式シートベルトの着用が乗員の被害軽減のために必要と考えられる。

5.7.2 実験結果からみた高強度型防護柵の構造形式

1) ガードレール系

高強度型防護柵としての性能を確認するため，バスおよび乗用車を対象にして表－5·7·2に示すような4回の衝突実験を行った。この一連の実験から得られた結果をもとに，高強度型防護柵として最適な構造形式について述べる。

(1) バスの誘導性

新断面ビームを使用した実験3（新断面ビーム型），実験6（新断面ビーム改良型）では高速度および急角度衝突のいずれの場合もバスを誘導したが，実験1（A種ビーム2段型）では急角度衝突の際に上段ビームが破断し誘導できなかったことから，複数ビーム型よりも単一ビーム型の方が誘導についての安定性が高いことがわかった。

新断面ビーム改良型の急角度衝突実験は行わなかったが，高速度衝突の車両挙動は新断面ビーム型の場合と近似していること，および実験3の急角度衝突の車両挙動に十分な安定性がみられたこと等から推察して安全に誘導されると判断した。

従来のトラックの実験では，防護柵への荷重伝達は主に車輪から行われていたが，バスの場合にはボディから行われていた。

ビームと支柱はブラケット取付けボルト穴の変形によって分離したが，これはガードレールの大変形時に支柱の倒れによるビーム高さの低下を防止でき，衝突車両の支持に有利となった。

(2)乗用車の誘導性

新断面ビーム型の高速度衝突実験では車体が大きく変形して車輪が接触したが，ガードレールの反発力によって離脱し，誘導された。

新断面ビーム改良型は，乗用車の誘導性を改善するために車輪が支柱に接触しないように設置高さを95mm下げたものである。従って，乗用車の衝突実験は行っていないが新断面ビーム型よりも安全性は高いと考えられる。

(3) 車両の最大進入行程

バスの高速度衝突における新断面ビーム型の最大進入行程は863mm（A種2段ビーム型は958mm），ビーム高さの低い新断面ビーム改良型で769mm，実験3の急角度衝突でも831mmと，いずれの場合も要綱の規定値（1.1m以下）を満足していた。

(4) ビームに発生する張力

バスによる実験で，ビームに発生した張力のピーク値は前部が衝突したときと，後部が衝突したときの2度発生し，後部衝突時の方が大きい結果となった。

A種ビーム2段型の設計では，上下2枚のビームの張力が同時にかつ均等に発生することを前提にしていたが，実験（高速度衝突）では均等にならず，下段ビームの張力は上段ビームの約60％であった。また，急角度衝突では上段ビームが強度不足となり破断した。なお，このような上下2段型の場合は，それぞれのビームが同時に作用するような工夫が必要と考えられたが，車両衝突時のビーム挙動が異なるため，構造面で配慮することは非常に困難と思われる。

新断面ビームによる実験ではビーム張力の最大値として19.7ｔ（実験３），12.9ｔ（実験６）と低い値になっている。これは衝突地点での張力の計測ができず，近傍のビームで計測したことによると考えられる。しかし，実験後の状況からビーム強度は十分であると推察された。

これらのことから，強度面での複数ビームと単一ビームの差が明らかとなり，後者（新断面ビーム）の方が高強度型防護柵のビーム材として適していると判断できた。

(5) 支柱に作用する水平力

支柱に作用する水平力は高速度衝突についてのみ計測した。支柱１本当たりの最大水平力はバスによる実験で4.8～5.3ｔになっている。荷重変位曲線図から求めた平均支持力（*PW*）は3.1～4.5ｔであった。これらの値は単独柱による水平載荷実験の結果に比べ大きくなっている。これは衝突実験結果がビームで連結された支柱の計測値であり，衝突時にビームの変形によって生じる分力が影響して大きくなったものと考えられる。支柱の残留変位からみた衝突時の影響範囲は，バスの場合約24～26m，乗用車の場合約８ｍであった。

いずれの実験でも，選定した支柱は十分その機能を発揮していたと思われる。

(6) 車両の損傷

バスの損傷は前後の側面に生じたが，客室内に及ぶ変形はなかった。また，乗用車は実験での衝撃度がＡ種条件の2.6倍であったことにもよるが大きく変形した。しかし，客室内は乗員の生存空間が確保されていた。

乗員の安全性については衝撃度が大きかった乗用車の場合でも，*HIC*（乗員に対する衝撃の程度を表わす指標で1,000が許容値）が188と小さく，問題はないと判断された。しかしながら，被害の軽減をはかる上から，バス，乗用車ともシートベルトの着用が必要と考えられる。

(7) 実験からの最適構造

以上のことから，高強度型ガードレールの形式は，実験６の高速度衝突で使用した新断面ビーム改良型が最適と考えられる。

表－5·7·2(1)　実験結果総括表（ガードレール系　その１）

実験番号 防護棚形式		衝突条件 重量 （t）	衝突条件 速　度 (km/h)	衝突条件 進入角 （度）	衝突条件 衝撃度 (t·m)	離脱 角度 （度）	車両の最大傾斜角 前　端 （度）	車両の最大傾斜角 後　端 （度）	車輪外側の 最大進入量 （mm）	最大加速度 （g）	支　柱 最大変位 （mm）	支　柱 最大水平力 （t）	ビーム 張　力 （t）	最大残留変位 支　柱 （mm）	最大残留変位 ビーム （mm）	損　傷　状　況
実験１ GR A種２段 （バス）	第一 衝突	14.0	73	25	52.5	10.3	24	29	958	50msec 最大値 X＝0.9 Y＝3.4 合成値＝3.4 *HIC*の最大値 ＝194.2	1,193	5.3	19.6 （上段） 11.8 （下段）	1,437	1,133 （上段） 975 （下段）	・車両の接触長は11.6m ・残留変位の区間：(X)約29m，(Y)約15m ・ビームの破断はなかった ・車両は前後端が変形したが，客室内の変形はなかった ・走行可能
	第二 衝突	14.0	51	44	69.2	前輪 突破	12	8	－	50msec 最大値 X＝2.1 Y＝-1.8 合成値＝2.4 *HIC*の最大値 ＝106.2	－	－	－	1,108	－	・上段ビームが破断した ・車両は下段ビームに乗り上げて停止した ・車両前端部が変形し，フロントガラスにひび割れを生じた
実験３ GR 新断面 （バス）	第一 衝突	14.0	73	25	52.5	11.5	19	23	863	50msec 最大値 X＝0.9 Y＝3.7 合成値＝3.7 *HIC*の最大値 ＝36.8	1,163	4.8	19.7	1,374	1,319 （上部） 1,215 （下部）	・車両の接触長は11.9m ・残留変位の区間：(X)約25m，(Y)約15m ・ビームの破断はなかった ・車両の損傷は実験１の第一衝突と同程度であったが左前輪がパンクした ・走行可能
	第二 衝突	14.0	52	43	69.3	22.5	8	10	831	50msec 最大値 X＝2.3 Y＝-1.7 合成値＝2.5 *HIC*の最大値 ＝46.4	－	－	－	1,223	1,094 （上部） 1,011 （下部）	・車両の接触長は10.0m ・残留変位の区間：(X)約24m，(Y)約12m ・車両の損傷は第一衝突と比べて前部は同程度で後部は大きかった ・索引走行可能

表－5･7･2(2)　実験結果総括表（ガードレール系　その２および閉断面ビーム防護柵）

実験番号 防護柵形式		衝突条件				離脱角度（度）	車両の最大傾斜角		車輪外側の最大進入量（mm）	最大加速度（g）	支柱最大変位（mm）	支柱最大水平力（t）	ビーム張力（t）	最大残留変位		損傷状況
		重量（t）	速度（km/h）	進入角（度）	衝撃度（t･m）		前端（度）	後端（度）						支柱（mm）	ビーム（mm）	
実験４ GR 新断面 （乗用車）		1.1	103	25	8.21	4.3	-10	-4	312	50msec 最大値 X＝11.8 Y＝10.4 合成値＝11.8 *HIC*の最大値 ＝45.6	275	2.5	－	193	173 （上部） 174 （下部）	・車両の接触長は5.75m ・残留変位の区間：(X)約３m，(Y)約８m ・車両の変形は大きく，側面にビーム形状の痕跡が残った ・走行不可能
実験６ GR 新断面 改良型 （バス）	第一衝突	14.0	71	25	49.6	10.0	27	26	769	50msec 最大値 X＝1.2 Y＝4.1 合成値＝4.1 *HIC*の最大値 は測定できず	1,148	5.0	13.8	1,291	1,212 （上部） －	・車両の接触長は11.4m ・残留変位の区間：(X)約26m，(Y)約14m ・車両の損傷は実験３に比べて前部が大きく後部は小さかったが，客室内の変形はなかった
実験６ 閉断面 ビーム （バス）	第二衝突	14.0	50	41	59.3	13.5	－	14	620	50msec 最大値 X＝1.6 Y＝-3.3 合成値＝3.3 *HIC*の最大値 は測定できず	－	－	－	1,117	1,016 （上段） 893 （下段）	・車両の接触長は6.52m ・残留変位の区間：(X)約27m，(Y)約25m ・車両の前後端が変形し，フロントガラスが飛散し，運転席の床に盛り上がりがあった ・走行不可能

備考）(1)　変位は防護柵直角方向の値を示す
(2)　支柱の最大変位は地盤上600mmの値を示す
(3)　車両の最大傾斜角は防護柵側への傾斜角を示す
(4)　（上段）は上段ビームを，（下段）は下段ビームを示す
(5)　（上部）は新断面ビームの上の谷を，（下部）は下の谷を示す
(6)　加速度の方向は　X：車両進行方向，Y：左右方向　を示す
(7)　残留変位の区間（X）は防護柵平行方向，（Y）は柵直角方向から求めた値である
(8)　－は計測を行っていない

2) ガードケーブル系

表－5·7·3に示すガードケーブルについての一連の実験から，ガードケーブルの性能と効果および各部材強度の確認等について考察し，最適な構造形式について述べる。

(1) バスの誘導性

バスは高速度・急角度衝突のいずれの実験でも，円滑に誘導されて防護柵に沿うように離脱した。また，後続車の追突などの二次災害の危険性の少ない状態であり，良好な誘導性を示した。このことから実験2の構造で問題ないと考えられる。

(2) 乗用車の誘導性

ボディの板厚が薄い乗用車の高速度衝突では，実験5，7の結果からケーブルが車体を傷付けないように配慮することが必要となった。そこで，下4段のケーブル前面に誘導板を取付けて実験8を行った結果，車輪が支柱に衝突したり，フェンダーがガードケーブルに引っ掛かることなく円滑に誘導され，角度11度，衝突速度の65％の速度で離脱し，良好な誘導性を示した。

従って，高強度型ガードケーブルとしては乗用車の誘導性を良くするための誘導板を取付けた構造が望ましいといえる。

(3) 車両の最大進入行程

バスの衝突実験における最大進入行程は，高速度衝突で1,074mm，急角度衝突で523mmとなっており，これらの値は要綱の規定値（1.1m以下）を満足していた。

(4) 柵の高さ

最上段ケーブルの高さは実験2で1,200mm，実験8で1,080mmとしたが，これはケーブル間隔を一定にしたままで最下段ケーブルの高さを変えたためである。

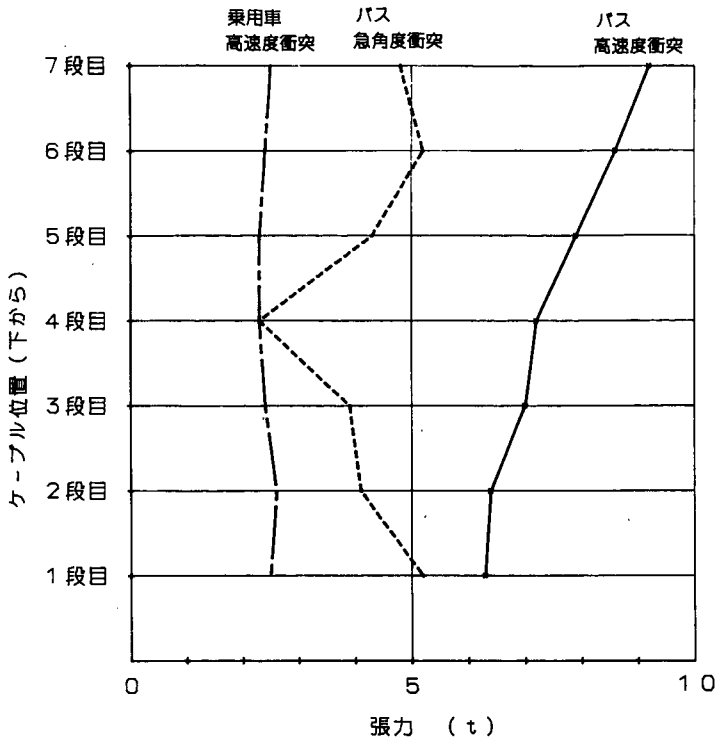
実験8に使用した諸元ではバスについての実験を行っていないが，最上段ケーブルの高さを約1,200mmにすれば，実験2と同等の構造と考えられる。従って，実用化形式としては最上段ケーブルの高さを1,200mm，ケーブル間隔を150mm，最下段ケーブルの高さを300mmとすることが適切と考えられる。

(5) ケーブルに発生する張力

ケーブル1本についての最大増加張力は9.2tで初張力を加算すると11.2tとなるが，実験で使用した3×7 G/O 18mmのケーブル1本あたりの切断荷重は16tであることから，1.4倍の安全率がある。

ケーブル張力はバスの場合，前部衝突時と後部衝突時の2回のピークがはっきり示されており，後部衝突時のピーク値は，前部衝突時の約1.3倍の値を示している。この傾向は急角度衝突実験でも同様に示されている。また，乗用車の衝突実験では，いずれの場合も前後の衝突によるピークはバスの場合のように明確には現われていなかった。これは速度が大きく車体の長さが短いために，前後衝突の時間差が小さくピークが明確に分離しなかったと考えられる。

各段ごとのケーブル張力の分布をみると実験2と実験8から図－5·7·1のようになる。バスの場合には多少の差を生じているが，各段ごとのケーブル増加張力は概ね均等に発生していた。



図－5･7･1　累計張力最大時の張力分布

(6)　支柱に作用する水平力

支柱に作用する水平力は高速度衝突についてのみ計測したが，支柱１本あたり3.15ｔ～3.95ｔの値になっている。これは実験場の地盤で実施した単独柱の支持力実験の結果に比較して20～30％大きくなっているが，衝突時にケーブルが支持していることや，衝撃的な荷重であること等により，支柱支持力以上の水平力に対応できたものと考えられる。

なお，支柱変位から求めた支持範囲（支柱の残留変位がある区間）の長さはバスの場合，高速度・急角度のいずれの場合も約26mであった。

(7)　車両の損傷

バスは前後の側面に損傷があったが，客室内への変形は全くなく，乗客の安全性は確保できていた。乗用車については，実験５，実験７では誘導できず，車体も大変形して助手席側の内部まで及んでいた。しかし，円滑に誘導した実験８では車体変形は少なく，乗員の生存空間は確保できていた。

(8)　誘導板の効果

誘導板は強度を期待する部材として用いたのものではなく，乗用車の車体が食い込むのを防止するために取付けたものである。そこで，支柱およびブラケットなどに固定するのではなくケーブルにＵボルトを使って簡単に取付ける形式とした。また，乗用車のボディの板厚よりも厚い誘導板を使用すると，乗用車の誘導性は著しく改善できることがわかった。なお，バスの衝突を想定した場合の柵面の力学特性は実験２の構造と同等であると考えられる。

(9) 横面補強材の効果

支柱スパンの中央に横面補強材を取付けて７本のケーブルの一体化を図った。その結果，車両衝突時に下段ケーブルを車輪が踏み付けることもケーブルの上下間隔が広がることもなく，７本のケーブルにほぼ均等に増加張力が発生して衝突車両を円滑に誘導することができたと考えられる。

(10) 実験からの最適構造

以上のことから，高強度型ガードケーブルの形式としては，実験８で使用したガードケーブル７本型（誘導板付き）が最適と考えられる。

表－5･7･3(1) 実験結果総括表（ガードケーブル系 その１）

実験番号 防護柵形式		衝突条件 重量 (t)	衝突条件 速度 (km/h)	衝突条件 進入角 (度)	衝突条件 衝撃度 (t･m)	離脱 角度 (度)	車両の最大傾斜角 前端 (度)	車両の最大傾斜角 後端 (度)	車輪外側の 最大進入量 (mm)	最大加速度 (g)	支柱 最大変位 (mm)	支柱最大 水平力 (t)	ケーブル 張力 (t)	最大残留変位 支柱頭部 (mm)	損傷状況
実験２ GC ７本型 （バス）	第一衝突	14.0	72	25	51.0	2.3	31	30	1,074	50msec最大値 X＝1.3 Y＝-1.8 合成値＝2.4 *HIC*の最大値 ＝106.2	1,000	4.2	9.2 (合計張力 ＝52.6)	951	・車両の接触長は10.8m ・残留変位の区間:(X)約26m,(Y)約26m ・ケーブルの破断はなかった ・車両は前後端が変形したが，客室内の変形はなかった ・走行可能
	第二衝突	14.0	46	34	34.5	0 再度接触	15	13	523	50msec最大値 X＝1.2 Y＝-2.2 合計値＝2.3 *HIC*の最大値 ＝116.6	－	－	6.2 (合計張力 ＝29.8)	760	・車両の接触長は8.0m（再接触時の接触長は13.0m） ・残留変位の区間:(X)約12m,(Y)約26m ・ケーブルの破断はなかった ・車両の損傷は第一衝突と同程度であった ・索引走行可能
実験５ GC７本型 （乗用車）		1.1	103	25	8.21	離脱せず	－	-7	測定できず	50msec最大値 X＝12.6 Y＝6.0 合計値＝13.5 *HIC*の最大値 ＝299.4	484	3.2	3.5 (合計張力 ＝18.7)	625	・車両の接触長は4.1m ・残留変位の区間:(X)約８m,(Y)約10m ・前輪がケーブルの下に潜りこんで支柱に衝突し，車両を誘導できなかった ・急停止の状態となったため，車体は「く」の字状に大変形した ・走行不可能

表－5･7･3(2)　実験結果総括表（ガードケーブル系　その２）

実験番号 防護柵形式	衝突条件				離脱角度（度）	車両の最大傾斜角		車輪外側の最大進入量（mm）	最大加速度（g）	支柱最大変位（mm）	支柱最大水平力（t）	ケーブル張力（t）	最大残留変位 支柱頭部（mm）	損傷状況
	重量（t）	速度（km/h）	進入角（度）	衝撃度（t･m）		前端（度）	後端（度）							
実験７ GC７本型 （改良型） （乗用車）	1.1	103	25	8.21	転倒	0	17	離脱せず	50msec 最大値 X＝14.4 Y＝6,5 合成値＝14.5 *HIC*の最大値 ＝824.4	550	2.9	3.28 （合計張力 ＝19.6）	287	・車両の接触長は5.0m ・残留変位の区間:(X)約６m,(Y)約14m ・柵との接触時にフェンダーが引きちぎられ車両は反時計回りに回転し，転倒した ・車体は「く」の字状に曲がり，大破した ・走行不可能
実験８ GC７本型 （誘導板付き） （乗用車）	1.1	104	25	8.30	11.0	9	11	460	50msec 最大値 X＝7.7 Y＝9.7 合成値＝10.7 *HIC*の最大値 ＝183.0	531	3.4	2.68 （合計張力 ＝16.8）	159	・車両の接触長は4.9m ・残留変位の区間:(X)約６m,(Y)約12m ・支柱とタイヤの接触もなく，車両を誘導した ・ブラケット，柵面補強材の変形も少なかった ・車体の変形は，実験５，７に比べると軽微だった ・走行不可能

備考）(1)　変位は防護柵直角方向の値を示す
(2)　支柱の最大変位は地盤上600mmの値を示す
(3)　車両の最大傾斜角は防護柵側への傾斜角を示す
(4)　加速度の方向は　X：車両進行方向，Y：左右方向　を示す
(5)　残留変位の区間（X）は防護柵平行方向，（Y）は柵直角方向から求めた値である
(6)　－は計測を行っていない

6　衝突シミュレーションと実車衝突実験

衝突シミュレーションは，「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」[5]，「防護柵への車両衝突シミュレーション」[6]に解析手法とプログラムが報告されている。ここではガードレールとガードケーブルについて衝突シミュレーションと衝突実験結果を対比した。

6.1　入力データ

(1)　衝突車関係

各実験で使用した衝突車関係の入力データを表－6･1･1 に示す。

(2)　防護柵と衝突条件

防護柵と衝突条件の入力データを表－6･1･2 に示す。

表－6·1·1　衝突車関係の入力データ

実験番号	1	2	3	4	6	8
車　種	バス	バス	バス	乗用車	バス	乗用車
車　名	三菱	三菱	三菱	サニー	三菱	サニークーペ
型　式	MS512N	B806L	B905N	B210	B905N	E-B310
L1：前輪軸の重心からの隔たり（m）	4.050	3.852	3.925	1.085	3.953	1.170
L2：後輪軸の重心からの隔たり（m）	1.660	1.538	1.775	1.255	1.752	1.170
A1：前端の重心からの隔たり（m）	6.225	5.982	6.135	1.775	6.123	1.870
A2：後端の重心からの隔たり（m）	4.910	4.853	5.105	2.160	3.365	2.130
B1：衝突車の前端の幅の半分（m）	1.245	1.230	1.230	0.780	1.230	1.770
B2：衝突車の後端の幅の半分（m）	1.245	1.230	1.230	0.780	1.230	1.770
W1：前輪の輪距の半分（m）	0.995	0.998	1.000	0.630	0.998	0.665
W2：後輪の輪距の半分（m）	0.855	0.848	0.883	0.630	0.850	0.665
WR：車輪の半径（m）	0.500	0.500	0.508	0.270	0.495	0.265
DU：運転席の重心からの隔たり（m）	5.125	5.838	4.917	0.318	5.142	0.394
R2：衝突車の慣性半径の二乗（m²）	10.850	9.490	11.030	1.500	11.032	1.530
CW：衝突車の重量（t）	14.030	14.050	14.000	1.100	14.000	1.100
CK1：側面前端の1m当たりバネ常数（t/m²）	50.000	50.000	50.000	75.000	50.000	75.000
CK2：側面後端の1m当たりバネ常数（t/m²）	100.000	100.000	100.000	50.000	100.000	50.000
CK3：前面端部の1m当たりバネ常数（t/m²）	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
CK4：前面中央部の1m当たりバネ常数（t/m²）	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
FWC：衝突車と防護柵の間の摩擦係数（側面）	0.200	0.600	①0.200②0.500	0.100	0.200	0.100
FWC2：衝突車と防護柵の間の摩擦係数（前面）	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
FM：路面の最大横すべり摩擦係数	0.500	0.700	0.500	0.500	0.500	0.700
C1：衝突車の重心から前部までの接触範囲（m）	6.225	5.980	6.135	1.775	6.120	1.870
C2：衝突車の重心から前部までの接触範囲（m）	①4.350②4.850	①3.850②4.350	①4.425②4.625	0.0	①4.450②3.950	1.270
C3：衝突車の重心から後部までの接触範囲（m）	①1.660②3.810	①2.040②3.050	①2.275②4.405	0.0	①2.250②3.315	0.570
C4：衝突車の重心から後部までの接触範囲（m）	4.920	4.850	5.105	2.160	5.510	2.130

備考）・衝突車の慣性半径の二乗は車両の重量を等分布として計算した
・C1～C4は実車衝突実験後の実測値による
・①は高速度衝突，②は急角度衝突を示す

表－6·1·2　防護柵（ガードレール，ガードケーブル）関係および衝突条件の入力データ

実験番号	1（バス）	3（バス）		4（乗用車）	6（バス）	2（バス）		8（乗用車）
防護柵形式	A種2段	新断面		新断面	新断面改良型	ケーブル7本型		ケーブル7本誘導板付き
NHON：直角方向に変位する支柱の初期本数	12	12		6	12	6		6
ＥＩ：ガードレールの曲げ剛性（t·m²）	* 51.28	* 51.68		* 51.68	* 51.68	0.0		0.0
Ｍｏ：ガードレールの極限曲げモーメント（t·m）	* 2.28	* 2.95		* 2.95	* 2.95	0.0		0.0
CFK：前レールの引張り材としてのバネ定数（t/m）	170.00	170.00		170.00	170.00	126.00		126.00
CRK：後レールの引張り材としてのバネ定数（t/m）	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0
PX：衝突開始点と最近接前方支柱との隔たり（m）	0.50	0.50		0.50	0.50	1.00		1.00
DP：支柱間隔（m）	1.00	1.00		1.00	1.00	2.00		2.00
PFM：支柱の防護柵平行方向の支持力（t）	3.66	3.66		3.66	3.66	3.66		3.66
MHON：ガードレールの張力の変化を考慮する支柱本数	0	0		0	0	0		0
RAILK：ガードレールの引張り材としてのバネ定数(t/m)	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0
THADAN：防護柵の破断時の張力（t）	200.00	200.00		200.00	200.00	200.0		200.0
PTANB：端部支柱の反力（t）	3.66	3.66		3.66	3.66	112.0		112.0
RCOL：レール中心から支柱の回転中心までの距離（m）	2.00	1.87		1.87	1.78	2.12		1.99
ACOL：ブロックアウト量（m）	0.32	0.32		0.32	0.32	0.31		0.31
DELTV：レール中心の最大低下量（m）	0.90	0.77		0.77	0.68	1.02		0.89
TINTAL：ガードケーブルの初期張力（t）	0.0	0.0		0.0	0.0	14.00		14.00
DELT 1～4：支柱の荷重変位モデルにおける荷重（t）				2.470	2.480	2.490	2.500	
DELT 5～8：支柱の荷重変位モデルにおける変位（m）				0.042	1.998	1.999	2.000	
NL：防護柵の荷重変位関係を求める位置の数 ND：防護柵の荷重変位関係を求める設定変位数 AKR：前後輪位置での防護柵反力の干渉係数 AKD：支柱の除荷時の剛性（t/m） ABACK：後輪位置での防護柵反力の低減係数	（省　　略）							
[衝突条件]	高速度	高速度	急角度	高速度	高速度	高速度	急角度	高速度
V：衝突車の衝突速度（km/h）	73.0	73.0	52.0	103.0	71.0	72.0	46.0	104.0
TH：衝突車の衝突角度（度）	25.0	25.0	43.0	25.0	25.0	25.0	34.0	25.0

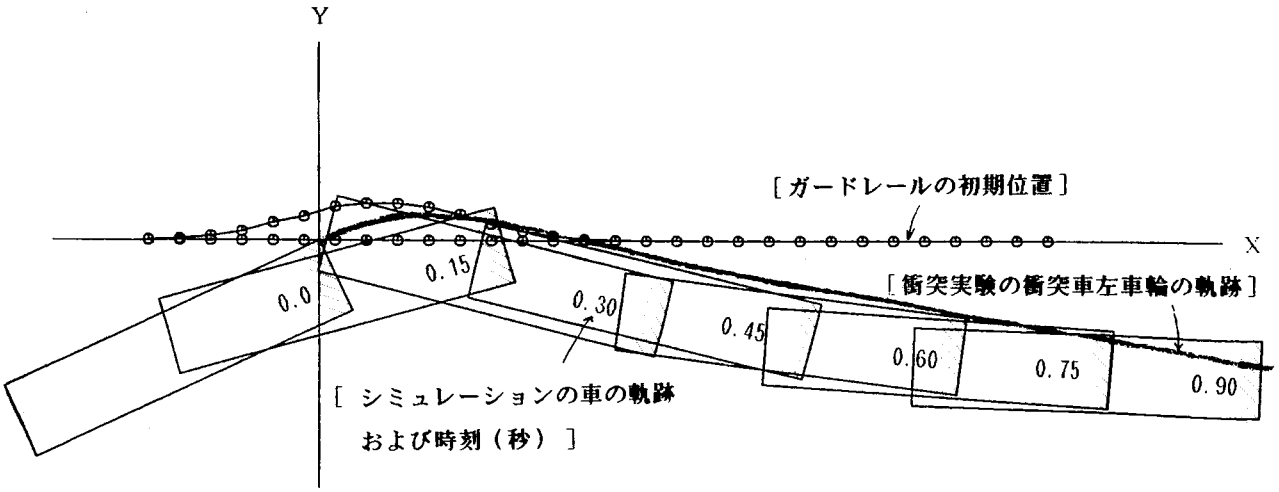
備考）　＊は実験値を示す

6.2 衝突実験との比較

衝突シミュレーションと実験結果の対比を行い，ガードレールについては図－6·2·1～5に，ガードケーブルについては図－6·2·6～8に示す。

図に示す車両の挙動はシミュレーション結果の衝突車重心のＸ－Ｙ座標および衝突車の姿勢角（TH）を用いて図化したもので，太線は実験での左車輪の軌跡である。表中に示す支柱の最大反力はシミュレーションの場合には設計平均支持力，衝突実験の場合には最大水平力とした。

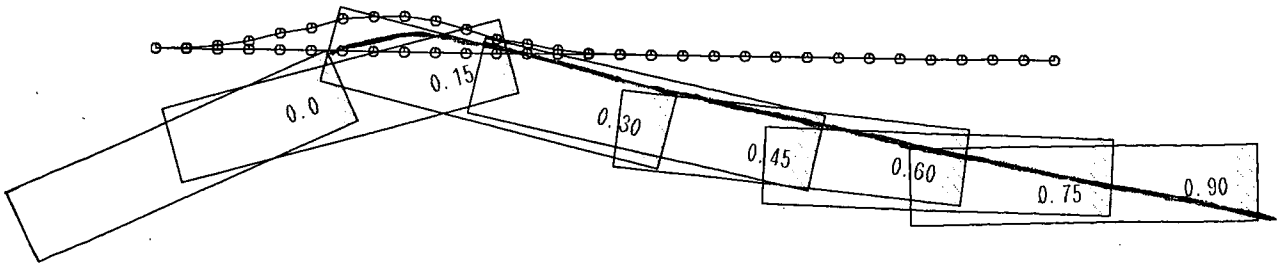
シミュレーションから求めた防護柵の最大変位はどのケースも実験結果と良く近似したが，姿勢角，走行軌跡，離脱角度等，車両の挙動は結果に差が生じた。今後，車両のバネ常数や防護柵との摩擦係数等，車両関係の入力データを再検討し，シミュレーションの精度を向上させていくことが必要と考えられる。さらに，衝突車両の挙動は車体のねじれ，車輪の浮き上がり等種々の要素を伴っており，二次元平面解析での本計算値と実験値との差は大きいと予想され，三次元シミュレーションプログラムの開発を検討することが望まれる。



［A種ビーム２段型］　　FM=0.5　FWC=0.2

項　目	防護柵の最大変位 (m)	車輪外側の最大進入量 (m)	離脱角度 (度)	離脱時の速度 (km/h)	ビームの最大張力 (t)	支柱の最大反力 (t)
シミュレーション	1.19	0.57	14.1	58.2	46.8	2.5
実験　1	1.19	0.96	10.3	51.0	31.0	5.3

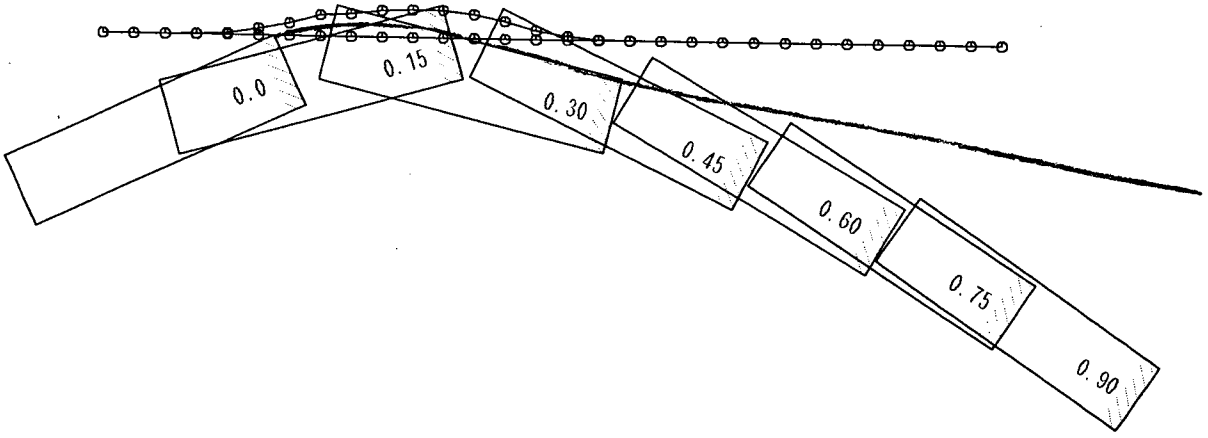
図－6·2·1　実験１（バスの高速度衝突）とシミュレーションの比較



［新断面ビーム型］　　FM=0.5　FWC=0.2

項　目	防護柵の最大変位 (m)	車輪外側の最大進入量 (m)	離脱角度 (度)	離脱時の速度 (km/h)	ビームの最大張力 (t)	支柱の最大反力 (t)
シミュレーション	1.19	0.60	13.3	57.8	46.5	2.5
実験　3	1.16	0.86	11.5	52.5	19.7	4.8

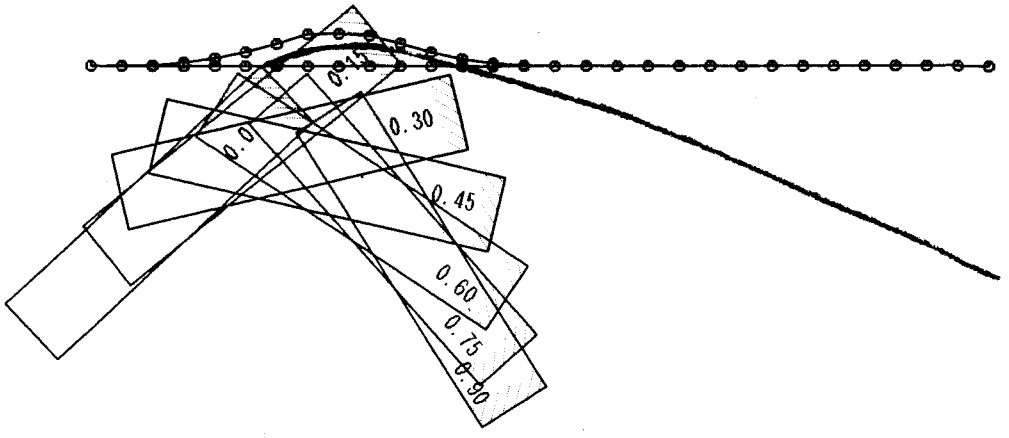
図－6･2･2　実験３（バスの高速度衝突）とシミュレーションの比較



［新断面ビーム改良型］　　FM=0.5　FWC=0.2

項　目	防護柵の最大変位 (m)	車輪外側の最大進入量 (m)	離脱角度 (度)	離脱時の速度 (km/h)	ビームの最大張力 (t)	支柱の最大反力 (t)
シミュレーション	0.96	0.58	18.9	54.9	45.0	2.5
実験　6	1.21	0.77	10.0	50.0	13.8	5.0

図－6･2･3　実験６（バスの高速度衝突）とシミュレーションの比較

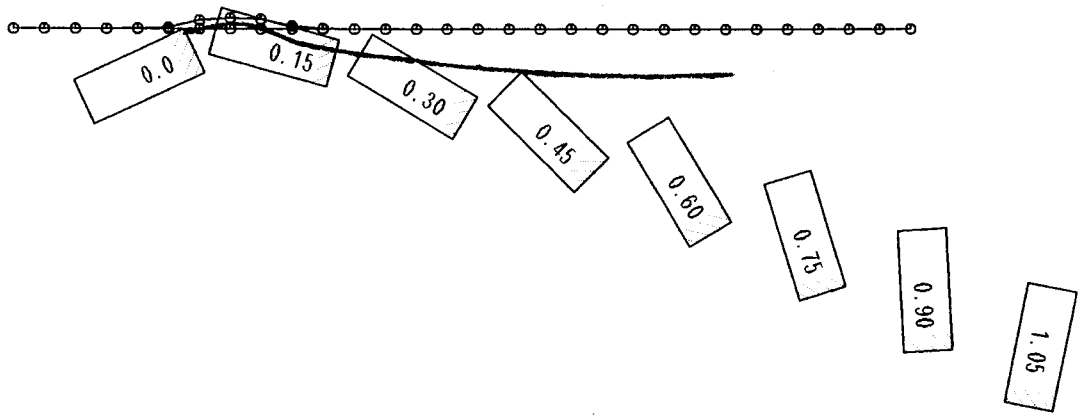


[新断面ビーム型]　　FM=0.5　FWC=0.5

項　目	防護柵の最大変位 (m)	車輪外側の最大進入量 (m)	離脱角度 (度)	離脱時の速度 (km/h)	ビームの最大張力 (t)	支柱の最大反力 (t)
シミュレーション	0.93	0.54	62.6	15.4	80.5	2.5
実験　3	1.09	0.83	22.5	−	−	−

備考）−については計測を行っていない。FWCは急角度衝突のため，0.5に上げた。

図−6·2·4　実験３（バスの急角度衝突）とシミュレーションの比較

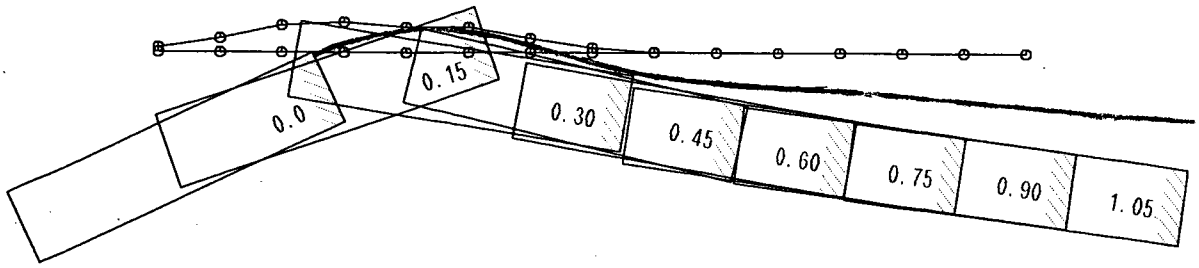


[新断面ビーム型]　　FM=0.5　FWC=0.1

項　目	防護柵の最大変位 (m)	車輪外側の最大進入量 (m)	離脱角度 (度)	離脱時の速度 (km/h)	ビームの最大張力 (t)	支柱の最大反力 (t)
シミュレーション	0.36	0.29	19.5	82.0	18.1	2.5
実験　4	0.31	0.17	4.3	75.0	−	2.5

備考）−については計測を行っていない。

図−6·2·5　実験４（乗用車の高速度衝突）とシミュレーションの比較

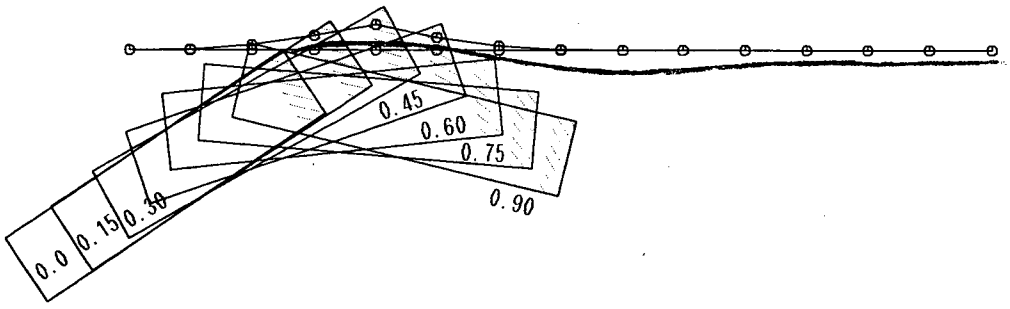


［ケーブル７本型］　　FM=0.7　FWC=0.6

項　　目	防護柵の最大変位 (m)	車輪外側の最大進入量 (m)	離脱角度 (度)	離脱時の速度 (km/h)	ケーブルの最大張力 (t)	支柱の最大反力 (t)
シミュレーション	1.05	0.56	11.8	43.4	50.9	2.5
実験　2	1.00	1.07	0.0	—	52.6	4.2

備考）—については計測を行っていない。

図－6･2･6　実験２（バスの高速度衝突）とシミュレーションの比較

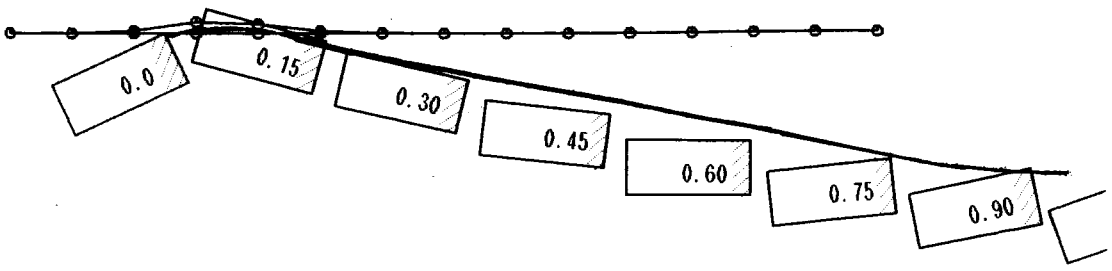


［ケーブル７本型］　　FM=0.7　FWC=0.6

項　　目	防護柵の最大変位 (m)	車輪外側の最大進入量 (m)	離脱角度 (度)	離脱時の速度 (km/h)	ケーブルの最大張力 (t)	支柱の最大反力 (t)
シミュレーション	0.82	0.17	6.0	45.1	45.5	2.5
実験　2	0.76	0.52	0.0	—	29.0	—

備考）—については計測を行っていない。

図－6･2･7　実験２（バスの急角度衝突）とシミュレーションの比較



［ケーブル7本型（誘導板付き）］　　FM=0.7　FWC=0.1

項　目	防護柵の最大変位 (m)	車輪外側の最大進入量 (m)	離脱角度 (度)	離脱時の速度 (km/h)	ケーブルの最大張力 (t)	支柱の最大反力 (t)
シミュレーション	0.46	0.48	20.1	88.4	27.3	2.5
実験　8	0.53	0.46	10.0	－	16.8	3.4

備考）－については計測を行っていない。

図－6·2·8　実験8（乗用車の高速度衝突）とシミュレーションの比較

7　高強度型防護柵構造（案）について

7.1　設計上の基本方針

現在，わが国で多く用いられている防護柵は車両が衝突すると，防護柵が滑らかに変形することで車両の運動エネルギーを吸収し，下記に述べる機能を発揮させる構造になっている。

〈防護柵の機能〉（防護柵設置要綱から引用）

・制御を失った車両が路外に逸脱するのを防止する

・衝突車を正常な進行方向に復元させる

・衝突車の乗員の安全性を確保する

・衝突後，衝突車あるいは防護柵による交通障害のないようにする

・歩行者の安全を確保する

・物的損害を最小限に押さえる

・運転者の視線を誘導する

今回取り組んだ高強度型防護柵の設計目標は，「1.1　設計荷重の設定」で述べているように，衝撃度をA種条件の約4倍に設定した。対象にした車両は，路外逸脱したとき多数の人命が損なわれる可能性の大きいバスとした。さらに，大型車に比べ防護柵衝突時の衝撃が大きくなる乗用車についての検討も合わせて行った。

対象となる設置場所は路側と中央分離帯であるが，中央分離帯については昭和60年に研究を終了させ，高強度型中央分離帯用ガードレールとしての構造諸元も得られていることから，今回は路側に限定して取り組んだ。

つぎに，防護柵の構造を大別すると，たわみ性防護柵と剛性防護柵になる。高強度型防護柵の開発では，中央分離帯用ガードレールの開発[12]と同主旨でたわみ性防護柵を取り上げ，後述するように現行のガードレールやガードケーブルの延長線上で新しい構造諸元を見出だすことにした。防護柵の剛性を高めることは，車両の路外逸脱防止性能を向上させることになる。しかし，乗員の安全性を低下させることにも通じ，剛性を必要以上に高めることには問題があろう。そこで，防護柵の材料は，従来のガードレールやガードケーブルと同様，延性とじん性を有し，変形あるいは伸びによってエネルギーの吸収ができる鋼材にした。

高強度型中央分離帯用ガードレールはSm種（$IS=23.6\,t\cdot m$）以上の大きな衝突荷重が作用すると，裏側ビームが接地し間隔材で荷重を支持させて強度を高める構造になっているので，今回目標としている設計条件が満足できると考えられる。しかし，本研究では設置場所が路側であるため，中央分離帯用ガードレールと同様の構造を採用することは困難である。そこで，構造面でビームや支柱等の主要部材の諸元を変更して防護柵を強化することにした。

以上のようなことを前提にしながら，車両の逸脱防止と誘導性能等，各種機能が確保できる防護柵を開発するための構造設計で考慮した基本方針は次のとおりである。

なお，今回開発した防護柵の種別は従来タイプと整合性をとると，S種より上位になる。

1)　ブロックアウト構造

ブロックアウトとは，ビームを支柱から大きく張り出させることである。この構造の特長は車輪が支柱へ衝突するのを防止すること，および車両衝突後の支柱の倒れによってビーム中心高さが低下するのを防止することである。過去の実験でも車両の誘導性を高める構造であることが実証され，中央分離帯用ガードレールや橋梁用防護柵に採用されている。また，欧米諸国の防護柵にも広くとり入れられている構造でもあり，今回の高強度型防護柵もこの考え方を踏襲した。

2) 防護柵の設置高さ

現行の防護柵の設置高さは，大型車両（トラック）のタイヤ中心高さ（約500mm）やタイヤ径および乗用車の誘導性を考慮して定めている。一般的に設置高さという場合はビーム中心高さで表わし，600 mm が標準である。この高さは車両と防護柵の荷重伝達の位置にも相当している。高強度型防護柵もこれらの考え方を踏襲したが，研究の対象が重心位置の高いバスと車高の低い乗用車であったことから，防護柵の設置高さの検討は次の事項を考慮して行った。しかし，設置高さの最終的な決定は，衝突実験の結果から判断した。

・柵面の上端はバスが横転しない高さとする

・柵面の下端は乗用車が潜り込まない高さとする

3) 防護柵の形式

選定した防護柵の形式は，現在最も普及しているガードレール，ガードケーブルとした。これは既に定着している防護柵の設計，施工技術が有効活用できること，主要部材の兼用化によって，実用化に伴う大幅なコスト上昇が防止できること等の見通しが得られたためである。

4) 防護柵の強度

防護柵全体の強度を高めるために，ビーム材を強化し，支柱間隔を短縮して支柱による支持力を増加させた。

7.2 高強度型防護柵の構造諸元

7.2.1 高強度型ガードレールの構造諸元

1) 構造諸元の設定について

(1) 支柱

支柱による支持力を増加させるための強化策は次のような方法があるが，本研究では支柱間隔を短縮する考え方を採用した。

①支柱間隔を短縮する

②支柱径を大きくする

③埋込み深さを長くする

④根固めをする

⑤上記方法のそれぞれを組合わせる

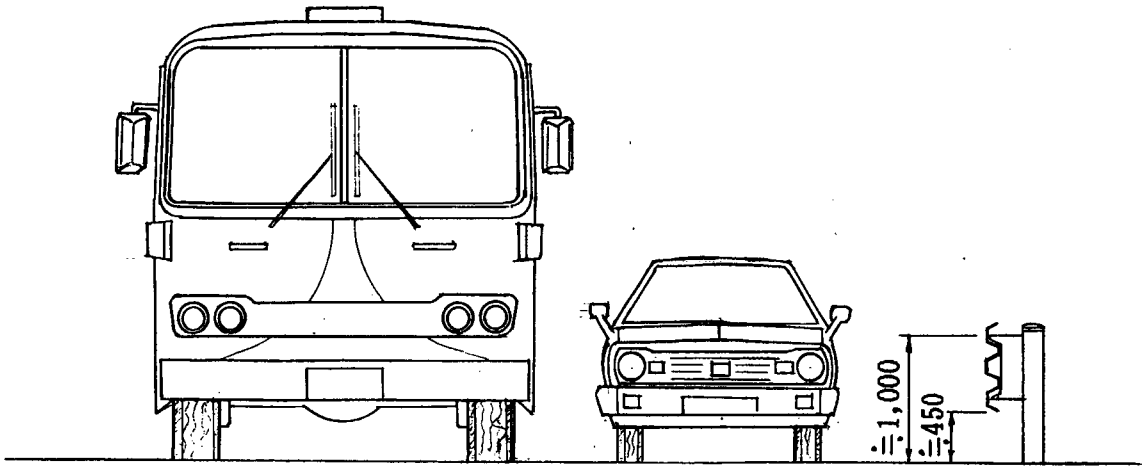
表－7･2･1 支柱の諸元

外径（mm）	139.8
厚さ（mm）	4.5
埋込み深さ（mm）	1,650
支柱間隔（mm）	1,000

これは「3.1 構造案の選定」での検討結果から，支柱間隔を1.0ｍに短縮すると必要支持力は2.5ｔとなり，現行Ａ種支柱と同一の断面，埋込み深さで対応可能と判断できたことによる。衝突実験の結果，これら選定した諸元の有効性が確認できたので支柱の諸元を表－7･2･1のように定めた。

(2) 設置高さ

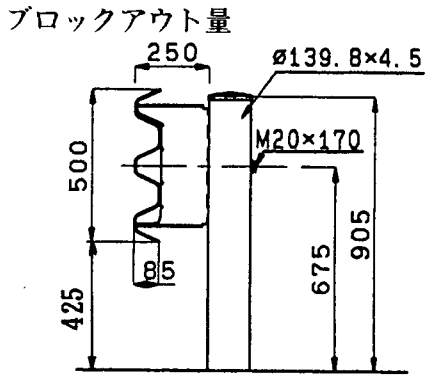
ガードレールの設置高さは上端部と下端部に分けて検討した。図－7･2･1に示しているように上端部はバスの横転が抑制できる反力点高さとし，下端部は乗用車の潜り込みが抑制できるバンパー近辺の高さとした。図－7･2･2に高強度型ガードレールの設置高さを示すが，これは，バスと乗用車双方の衝突実験から有効性を確認して定めたものである。



図－7･2･1　上端部と下端部の高さ

(3) ブロックアウト量

ブロックアウト構造の目的は車輪が支柱に衝突するのを防ぎ，かつ衝突後のビーム高さの低下を防止して，車両の誘導性を向上させることにある。従って，ブロックアウト量は大きいほど良いことになるが，道路幅や建築限界等の制約から，防護柵の設置幅を大きくとるのは困難である。そこで，ブロックアウト量は上記で述べた効果を期待できる最小値250mmで衝突実験を行い，車両の誘導性が良好であったことから，この設定値を採用した。



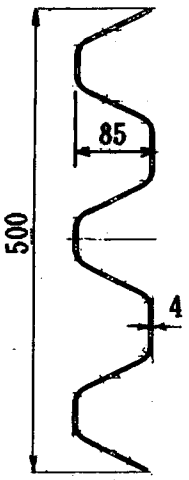
図－7･2･2　高強度型ガードレールの設置高さ

(4) ビーム

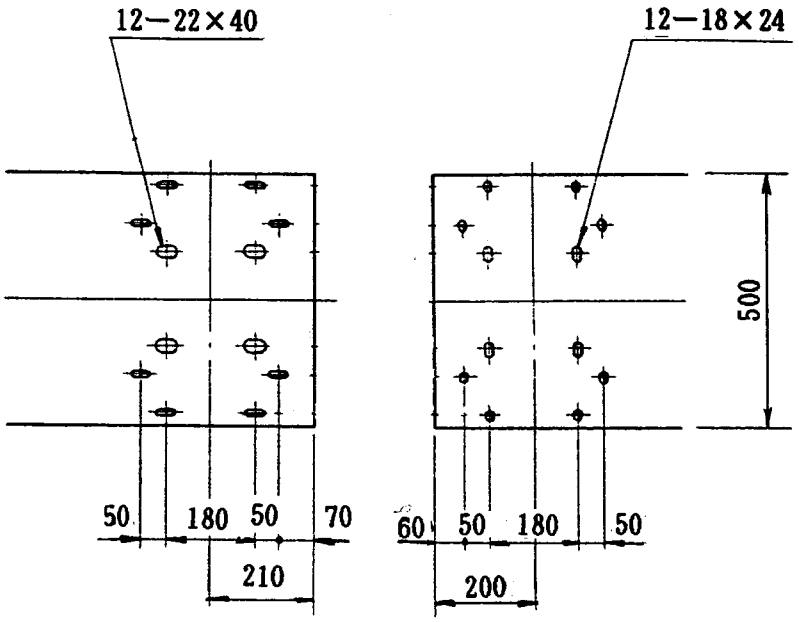
検討対象にしたビームは，A種ビーム２段と新断面ビームである。A種ビーム２段（図－3･5･5）は現行ビームの活用を意図したが，急角度衝突で上段ビームが破断した。このタイプは，設計上，張力が上下ビーム均等に発生することを前提にしていたが，「5.6.1　1)」で述べたように実験では上段ビームに荷重が集中し，上下ビームが一体となって作用していなかった。これに対し，新断面ビームは実験３，６（バスを使用した２回の実験）からみて，ビームの強度面でなんら問題となる現象はなかった。従って，ビームは新断面を採用することにし，その形状を図－7･2･3に示す。

(5) 継手部の構造

継手部の構造は現行ビームと同様重ね継手とし，ビーム継手用ボルトの全せん断力がビームのボルト穴を除いた純断面の引張り強さ以上となるように設計した。また，ボルトの径や材質は，現行のガードレールと同じM16，6Tを採用し，ボルト本数を増やして所定の耐力を確保した。実験3，6いずれの衝突実験でもボルト破断等，問題となる現象はなかった。継手構造の詳細を図－7･2･4に示す。



図－7･2･3　新断面ビームの断面形状



図－7･2･4　継手部の構造

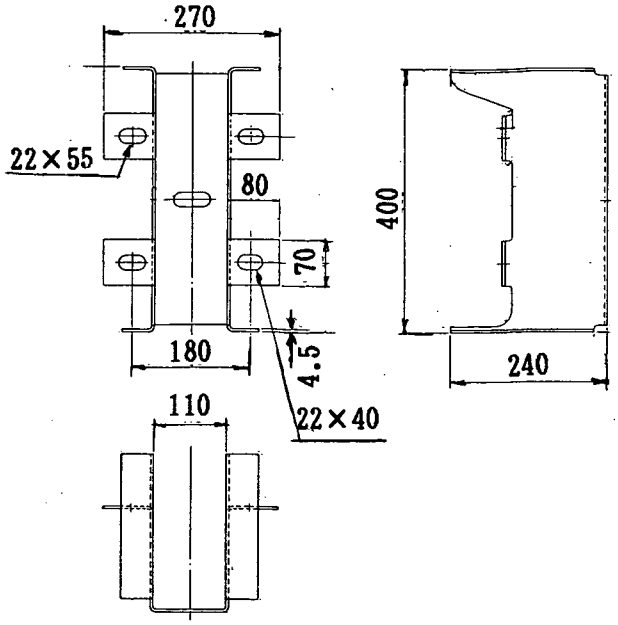
(6) ブラケット

ブラケットは所定のブロックアウト量を確保し，かつビームに作用する荷重を支柱に伝達する機能が必要である。形状の検討にあたっては次のようなことに配慮した。すなわちブラケット上端部の形状は大型車衝突時にビーム上部がブラケットの上端に接触し，車両の横転に対する反力点として作用するため，その強度を高めるようにした。また，乗用車の潜り込み防止や施工性を考慮して，ブラケット下端に突起を設けた。これらのことからブラケットの形状はA種に比べて大幅に大きくなった。

ブラケットと支柱の取付けは，道路に縦断勾配がある場合の施工性を向上させるためにボルト1本で取付けるようにした。この場合，衝突時にブラケットと支柱が分離したとしても，支柱の倒れに応じてビーム設置高さが低下しないので，車両の誘導性に対し好結果になると判断した。

ブラケットの水平方向の強度は，「3.5　構造案の設計」で述べているように，支柱材の限界支持力がほぼ4ｔ前後と推定されるので安全率も考慮し5ｔで設計した。

衝突実験の結果，特に問題となる事項もなかったので，図－7･2･5に示す形状を採用することにした。



図－7･2･5　高強度型ガードレールのブラケット

2)　高強度型ガードレールの構造諸元（案）

高強度型ガードレールの構造諸元（案）を表－7･2･2に，各部材の材質と強度区分を表－7･2･3に，設置図を図－7･2･6にそれぞれ示す。なお，各部材の材質と強度区分は現行のガードレールと同一である。

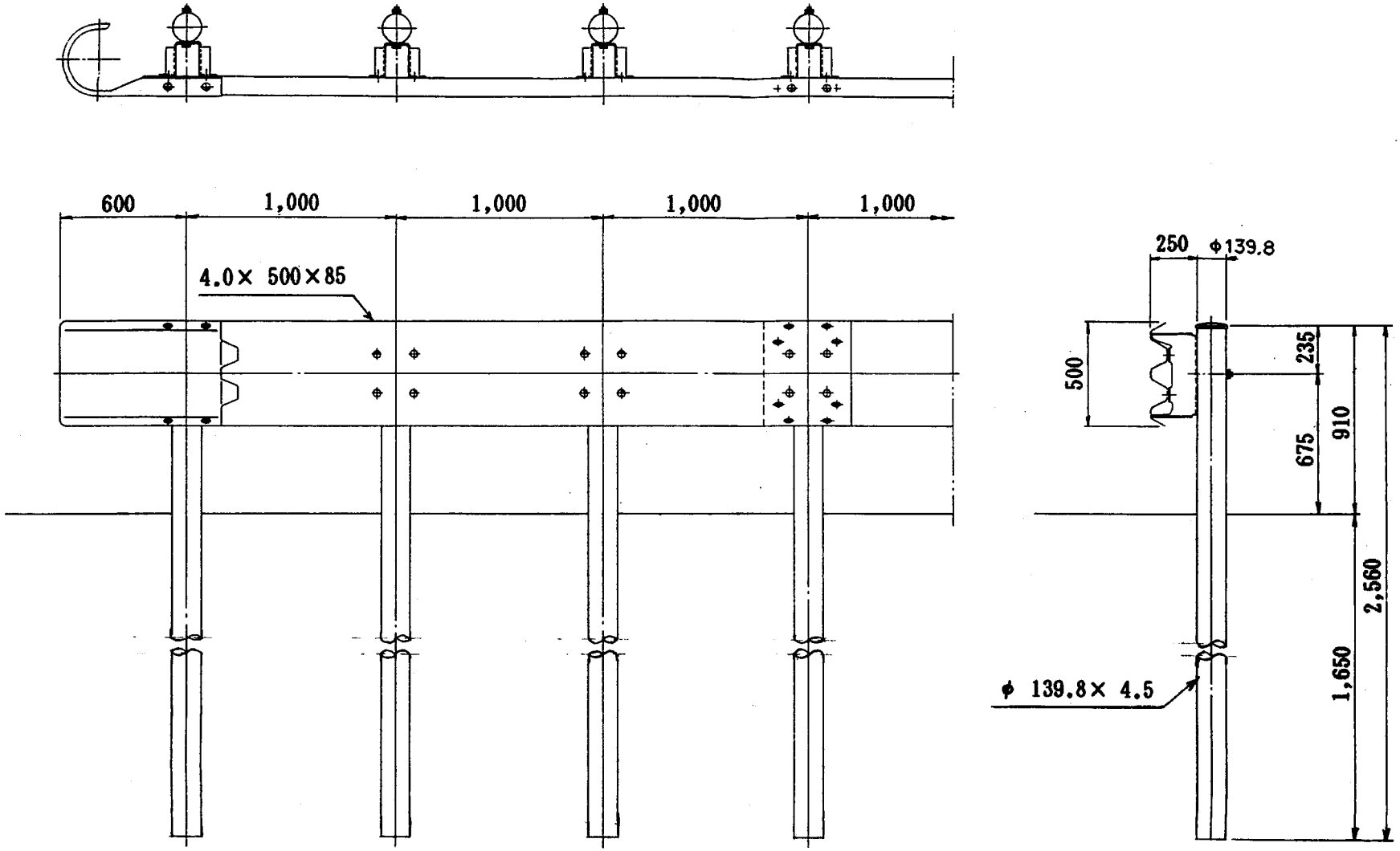
表－7･2･2　高強度型ガードレールの構造諸元（案）

ビーム				支柱			ブラケット			ビーム中心高さ	最大支柱間隔
幅	コルゲーション	厚さ	断面積	外径	厚さ	埋込み深さ	幅	深さ	厚さ		
(mm)	(mm)	(mm)	(cm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
500	85	4.0	31.2	139.8	4.5	1,650	400	165	4.5	675	1,000

注）・橋渠，擁壁，函渠等のコンクリート中に設置する場合の埋込み深さは400 mmとする。
・ビーム中心高さは路面からの高さをいう。ただし，縁石，アスカーブ等のある場合は，それらの上端からの高さをいう。

表－7･2･3　各部材の材質と強度区分

部材名	材質と強度区分
ビーム	JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」　SS41
支柱	JIS G 3444「一般構造用炭素鋼鋼管」STK41
ブラケット	JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」　SS41
ビーム継手用ボルト	JIS B 1180「六角ボルト」　6T
ブラケットと支柱の取付けボルト	JIS B 1180「六角ボルト」　4T



図−7·2·6　高強度型ガードレールの標準図

7.2.2 高強度型ガードケーブルの構造諸元

1) 構造諸元の設定について

(1) 中間支柱

支柱はガードレールと同様，支柱間隔を短縮して強化した。衝突実験の結果，これら選定した諸元の有効性が確認できたので，支柱の諸元を表－7･2･4のように定めた。

表－7･2･4 支柱の諸元

外径（mm）	139.8
厚さ（mm）	4.5
埋込み深さ（mm）	1,650
支柱間隔（mm）	2,000

(2) ケーブル

ケーブルは現行と同じ3×7 G／O 18mm（切断荷重16ｔ，許容荷重12ｔ）とした。ケーブル本数は「3.2.3 ガードケーブル系の諸元についての検討」で述べているように，衝突シミュレーションの結果，車両の最大進入行程の規定値を満足し，所定の強度が確保できる7本を採用した。

ケーブルの初張力は，衝突シミュレーションで1,2,3ｔとした場合の車両の最大進入行程とケーブル張力の比較検討を行った結果，2ｔ以上で効果を期待できることが分かった。実験7で，乗用車の誘導性を高めるために下4段のケーブルの初張力を3ｔにして衝突実験を行ったが，良好な結果は得られなかった。従って，ケーブルの初張力を必要以上に大きく設定すると，乗用車のような軽量車が衝突した場合，車両の誘導性を阻害する一因になりやすいと考えられる。実験2のバス，実験8の乗用車による衝突実験から，ケーブルの初張力は2ｔに設定しておけば良いと判断した。

以上の結果からケーブルの諸元を表－7･2･5のように定めた。

表－7･2･5 ケーブルの諸元

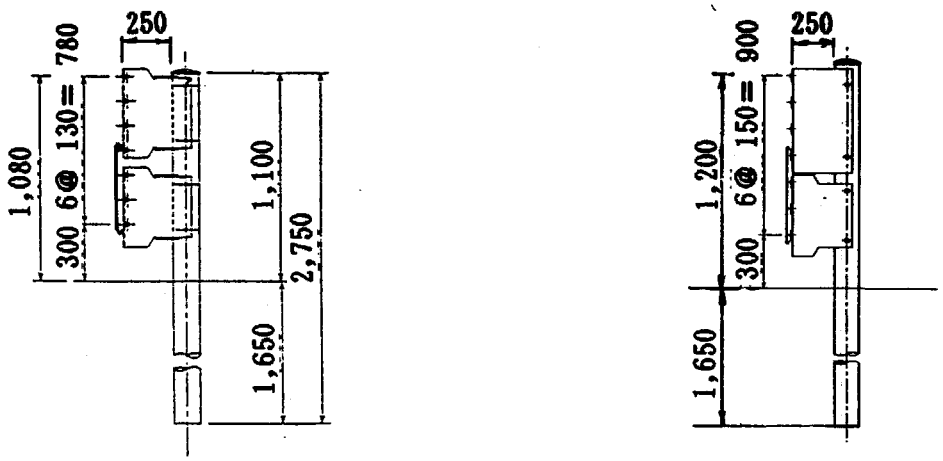
構 造	径（mm）	本数（本）	初張力（ｔ）
3×7 G／O	18	7	2

(3) ケーブルの設置高さ

最上段ケーブルの高さは，バスの横転が防止できる反力点位置1,000mmで良いが，横転に対する安定性をより高めるために，実験2と同じ1,200mmに設定した。

最下段ケーブルの高さは現行のA種と同一にして行った実験2（バス）では所定の機能を発揮したが，実験5（乗用車）では車輪が潜り込んだため車両を誘導しなかった。そこで，ケーブル高さを130mm下げて実験7を行った。この結果「5.6.2 3)」で述べているように，車輪の潜り込みを防止できることが認められたので，最下段ケーブル高さは300mmに設定することとした。

ケーブル間隔はすべて130mmで実験したが，上述の最上段ケーブルの高さと最下段ケーブルの高さを保持する必要性があるため，実用化に際してはケーブル間隔を150mmとした。図－7･2･7に実験で採用した設置高さと提案する設置高さを示す。



(a) 実験で採用した設置高さ　　(b) 提案する設置高さ

図－7･2･7　実験で採用した設置高さと提案する設置高さ

(4) ブロックアウト量

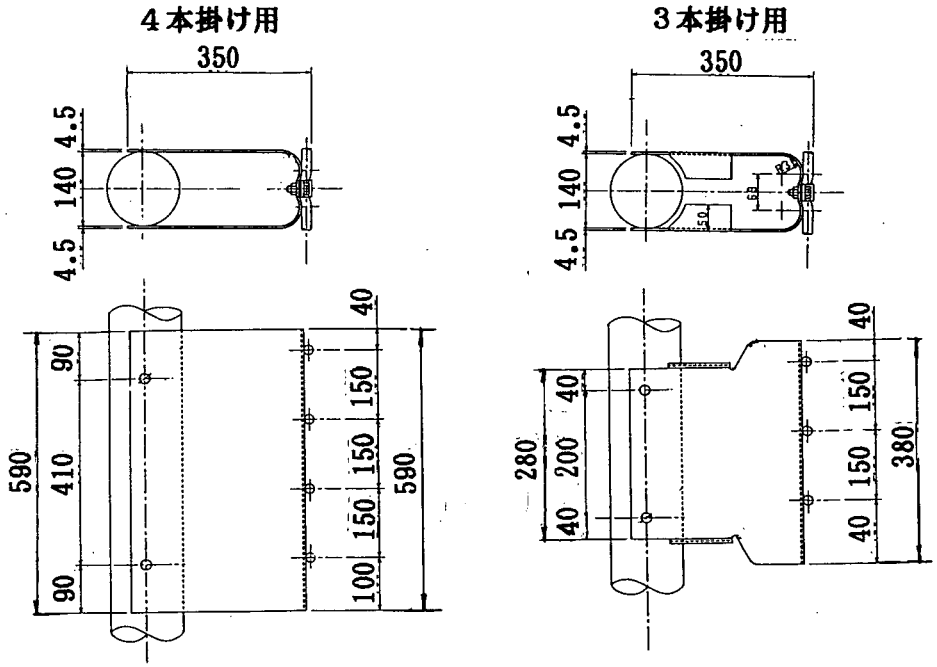
ブロックアウト量は，ガードレールと同様の主旨から250 mmに設定した。バス，乗用車による衝突実験の結果，この設定値で車両の誘導性に何等問題ないと判断した。

(5) ブラケット

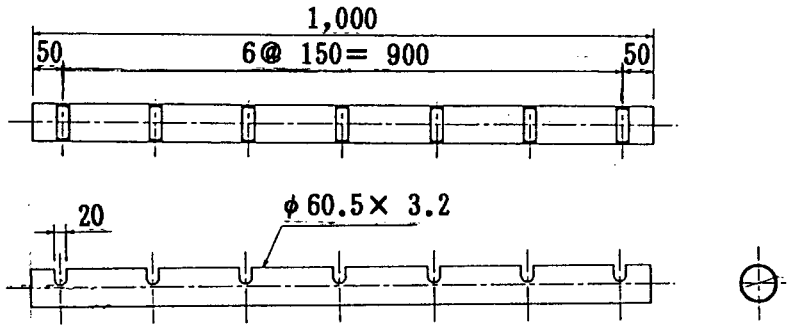
ブラケットの設計荷重は，ガードレールと同様に考えた。ブラケットを上4本のケーブル用と下3本用の二つに分割したのは，一体型ブラケットにすると形状が大型化し剛性も大きくなって，乗用車等の軽量車が衝突したときの誘導性に悪影響を及ぼすことと，施工の容易さを考えると部材は軽量な方が良いことの二つの理由による。図－7･2･8に衝突実験で検証し，所定の機能，強度を備えていると認められたブラケットの形状を示す。

(6) 柵面補強材

柵面補強材は数段のケーブルの一体化を図り，車両衝突時に車輪が下段ケーブルを踏み付ける現象を防止する目的で開発した部材[9]である。衝突実験の結果，特に大型車の誘導性にその効果が認められた。柵面補強材の形状を図－7･2･9に示す。



図－7·2·8　高強度型ガードケーブルのブラケットの形状



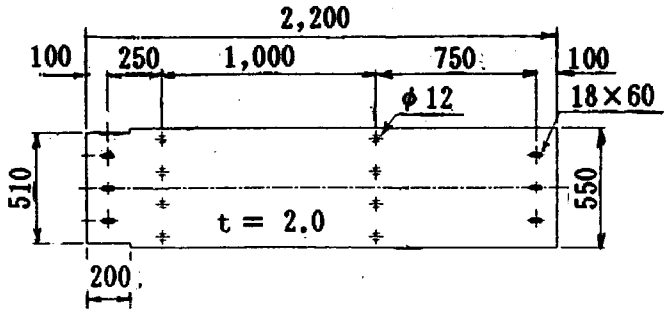
図－7·2·9　柵面補強材の形状

(7)　誘導板

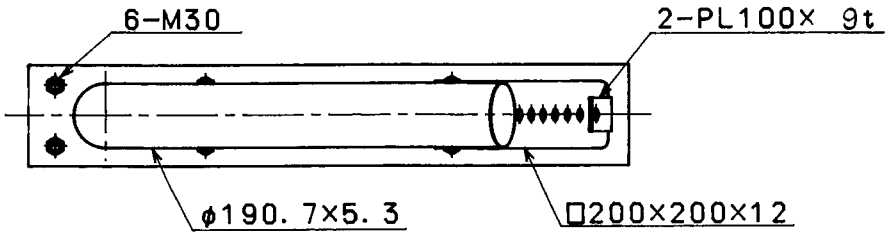
乗用車を使用した実験７で車体がケーブルに食い込み，車両の誘導性を損なう現象が生じた。従って，バス等の大型車に比べ車体強度が小さい乗用車は，柵面と面接触させて車体の食い込みを防止する必要がある。そこで，乗用車が接触すると考えられた下４段のケーブルに鋼板を取付けて実験８を実施した。その結果が良好であったため，乗用車の誘導効果を高める補助部材として採用することにした。図－7·2·10に誘導板の形状を示す。バス等の大型車に対しては前項で述べた柵面補強材で対処することにし，これら補助部材の役割分担をはかることにした。

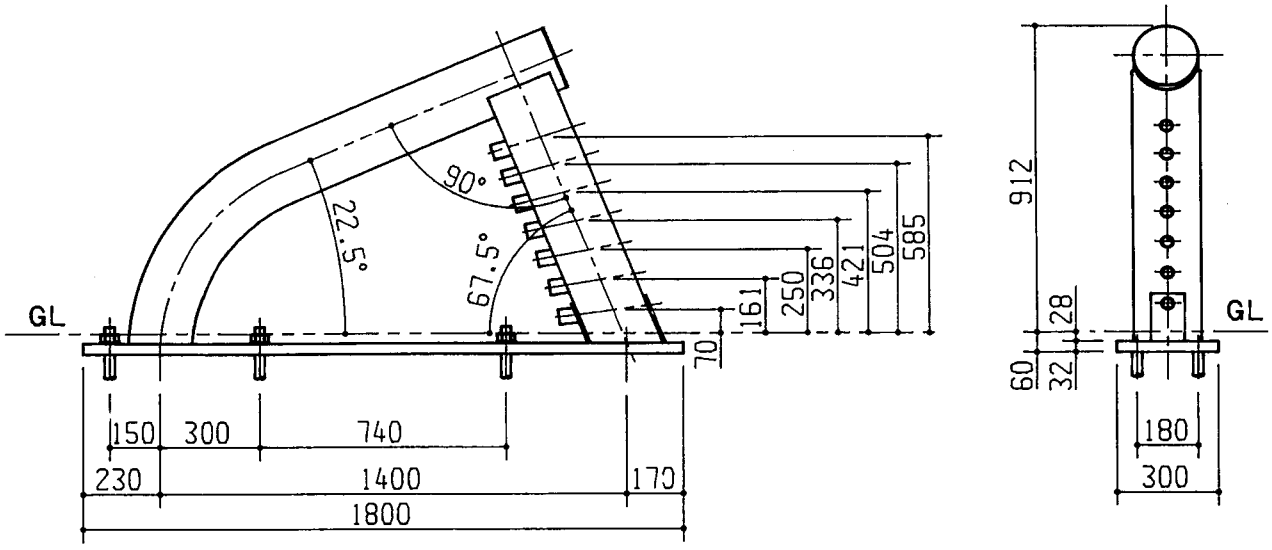
(8)　端末支柱

衝突時のケーブル張力は実験２（バス）の高速度衝突の場合が最大であり，合計増加張力で52.6ｔ，初張力を加算して66.6ｔとなった。そこで，端末支柱は設計張力を66.6ｔとして計算を行い諸元を定めた。図－7·2·11に端末支柱の形状を示す。



図－7･2･10　誘導板の形状





図－7･2･11　端末支柱の形状

2)　高強度型ガードケーブルの構造諸元（案）

高強度型ガードケーブルの構造諸元（案）を表－7･2･6に，各部材の材質を表－7･2･7に，設置図を図－7･2･12にそれぞれ示す。

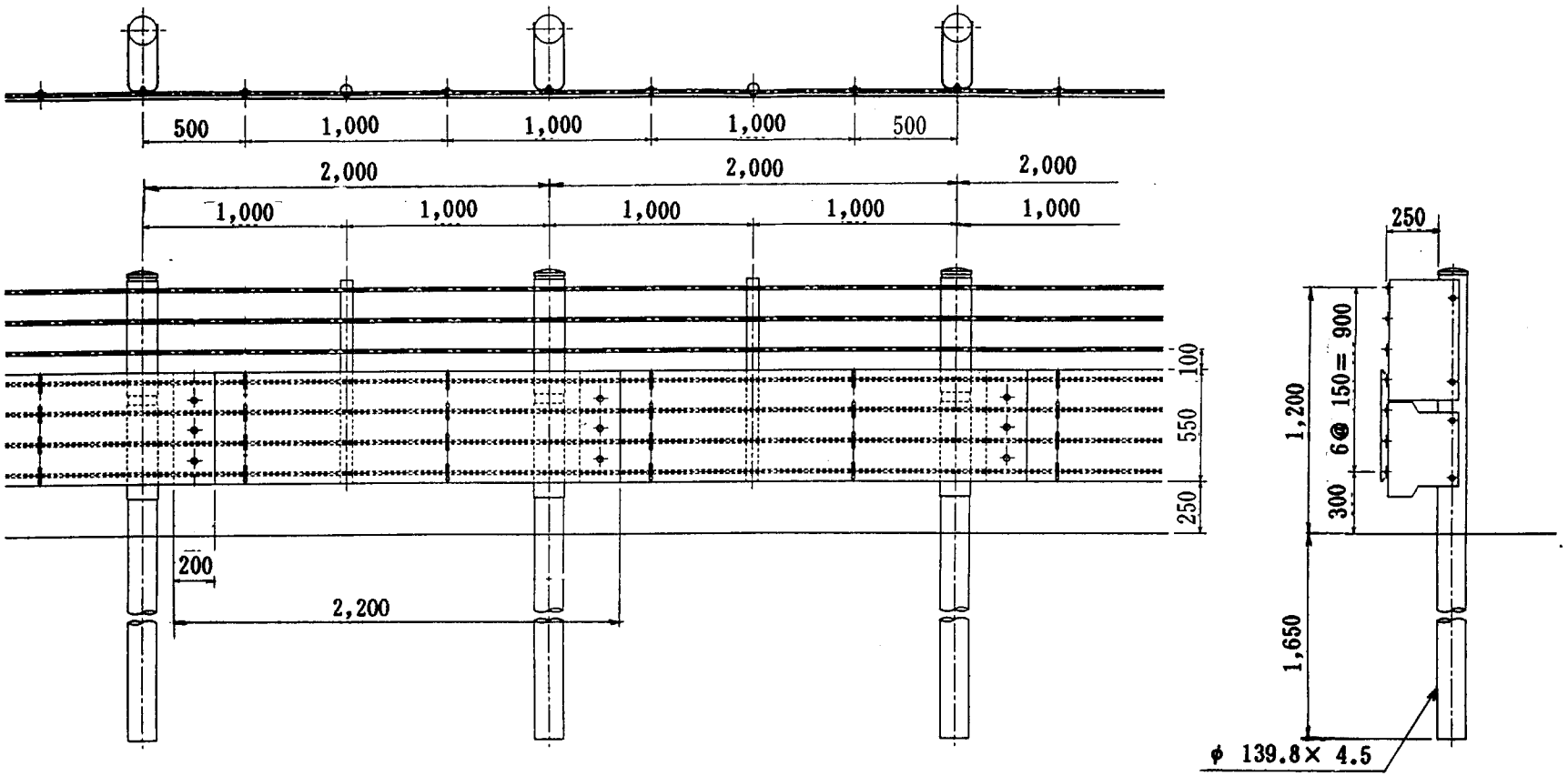
表－7･2･6　高強度型ガードケーブルの構造諸元

ケーブル			中間支柱			ブラケット		端末支柱		索端金具		最下段ケーブル高さ	最大支柱間隔	支柱と柵面の距離	誘導板		柵面補強材		
ケーブル本数	初張力	ケーブル間隔	外径	厚さ	埋込み深さ	幅	厚さ	外径	厚さ	ロッド径	全長				幅	厚さ	外径	長さ	厚さ
(本)	(t)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
7	2	150	139.8	4.5	1,650	上470 下420	4.5	200	12	25	1,200	300	2,000	250	550	2.0	60.5	1,000	3.2

注）・橋渠，擁壁，函渠等のコンクリート中に設置する場合の埋込み深さは400mmとする。
・最下段ケーブルの高さは路面からの高さをいう。ただし，縁石，アスカーブ等のある場合は，それらの上端からの高さをいう。

表－7･2･7　各部材の材質と強度区分

部材名	材質と強度区分
ケーブル	JIS G 3525「ワイヤロープ」
中間支柱	JIS G 3444「一般構造用炭素鋼鋼管」STK 41
端末支柱	JIS G 3444「一般構造用炭素鋼鋼管」STK 41 JIS G 3466「一般構造用角形鋼管」STKR 41
ブラケット	JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」　SS 41
誘導板	JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」　SS 41
柵面補強材	JIS G 3444「一般構造用炭素鋼鋼管」STK 41
ボルト	JIS B 1180「六角ボルト」　4T



図－7·2·12　高強度型ガードケーブルの標準図

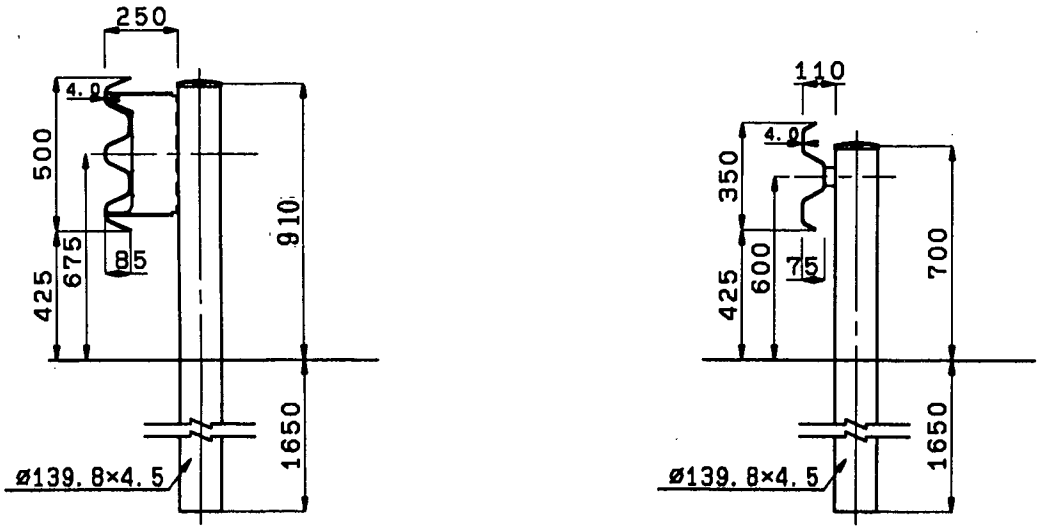
7.3 現行防護柵との比較

7.3.1 構造諸元の比較

高強度型防護柵と現行防護柵の構造諸元の比較を表－7･3･1，2ならびに図－7.3.1，2にそれぞれ示す。

表－7･3･1 構造諸元の比較（ガードレール）

項目		高強度型ガードレール	ガードレールA種
ビーム	形状寸法 (mm)	4.0×500×85×3,410	4.0×350×75×4,330
	中心高さ (mm)	675	600
	単位重量 (kg/枚)	83.5	65.8
支柱	形状寸法 (mm)	φ139.8×4.5×2,560	φ139.8×4.5×2,350
	埋込み深さ (mm)	1,650	1,650
	支柱間隔 (mm)	1,000	4,000
	単位重量 (kg/本)	38.4	36.8
ブラケット	形状寸法 (mm)	4.5×270×400	4.5×300×70
	単位重量 (kg/個)	8.85	0.95
ブロックアウト量 (mm)		250	110
概算組立て重量 (kg/m)		77.6	27.2

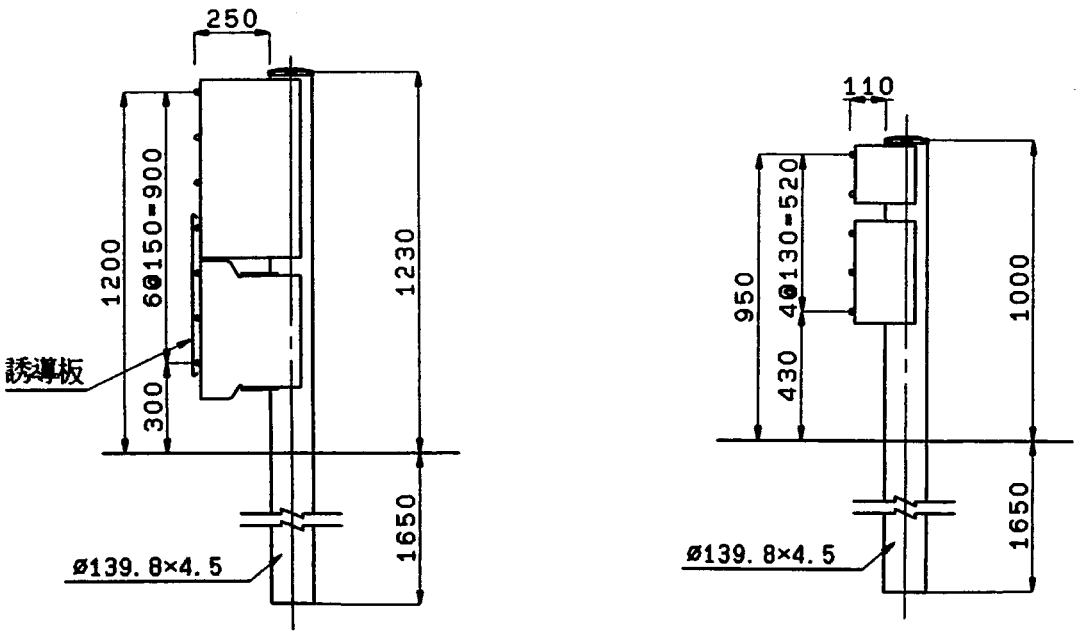


(a) 高強度型ガードレール　　(b) ガードレールA種

図－7･3･1 高強度型ガードレールとガードレールA種

表−7·3·2　構造諸元の比較（ガードケーブル）

項目			高強度型ガードケーブル	ガードケーブルA種
ケーブル	構造・径	(mm)	3×7 G/O 18	3×7 G/O 18
	ケーブル本数	(本)	7	5
	初張力	(t)	2.0	2.0
	ケーブル間隔	(mm)	150	130
	最下段ケーブル高さ	(mm)	300	430
	単位重量	(kg/m)	7.7	5.5
支柱	形状寸法	(mm)	φ139.8×4.5×2,880	φ139.8×4.5×2,650
	埋込み深さ	(mm)	1,650	1,650
	支柱間隔	(mm)	2,000	7,000
	単位重量	(kg/本)	43.2	41.6
ブラケット	上 形状寸法	(mm)	4.5×332×590	3.2×192×214
	上 単位重量	(kg/個)	16.1	3.6
	下 形状寸法	(mm)	4.5×332×380	3.2×192×422
	下 単位重量	(kg/個)	10.4	6.5
索端金具	ロッド径	(mm)	25	25
	全長	(mm)	1,200	1,200
	単位重量	(kg/本)	6.1	6.1
棚面補強材	形状寸法	(mm)	φ60.5×3.2×1,000	———
	単位重量	(kg/本)	5.0	———
誘導板	形状寸法	(mm)	2.0×550×2,200	———
	単位重量	(kg/枚)	19.0	———
ブロックアウト量		(mm)	250	110
概算組立て重量		(kg/m)	58.8	16.0



(a)　高強度型ガードケーブル　　(b)　ガードケーブルA種

図−7·3·2　高強度型ガードケーブルとガードケーブルA種

7.3.2 限界の衝撃度

衝撃度（IS）は「1.1　衝突条件の設定」で述べているように，防護柵への車両衝突による衝撃の程度を示す指標で式（7･1）から求める。

$$IS=1/2\cdot W/g\cdot(V\ \sin\theta)^2 \qquad (7\cdot1)$$

ここで　W：車両の重量（t）

g：重力の加速度（m/sec^2）

V：車両の衝突速度（m/sec）

θ：車両の衝突角度（度）

ここでは，高強度型防護柵がどの程度の衝撃度まで耐え得るかについて，衝突シミュレーションの演算結果を基に検討した。

1)　入力データ

衝突車関係，防護柵関係および衝突条件の入力データは，表－7･3･3に示す値とした。

表－7･3･3　入力データ一覧

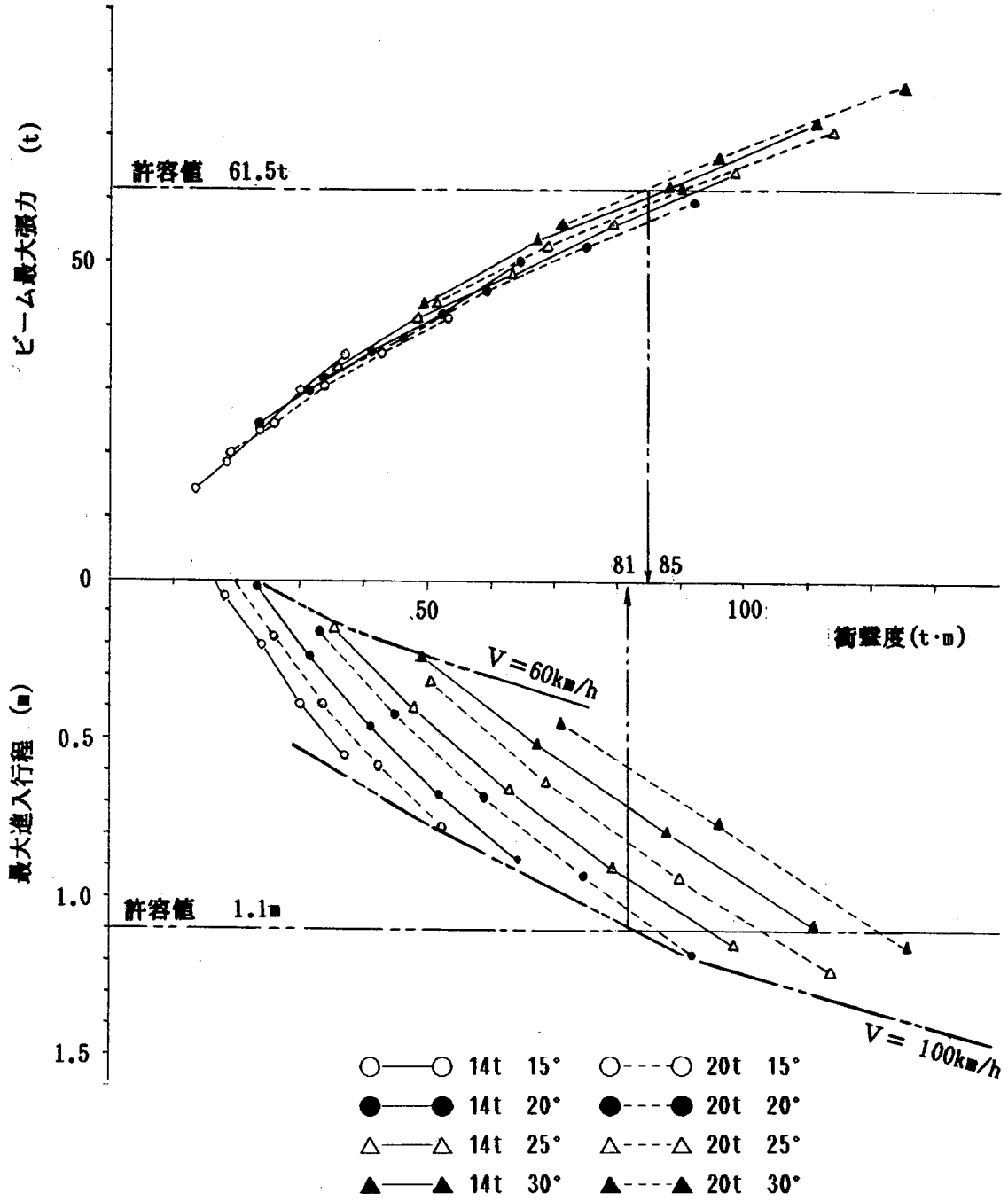
項　　目	入　力　デ　ー　タ
衝突車関係	表－6･1･1実験6のバスの諸元
防護柵関係	
・高強度型ガードレール	表－6･1･2実験6の新断面ビームの諸元
・高強度型ガードケーブル	表－6･1･2実験2のケーブル7本型の諸元
衝突条件	
・車両重量（t）	14，20の2ケース
・衝突角度（度）	15，20，25，30の4ケース
・衝突速度（km/h）	60，70，80，90，100の5ケース

2)　出力データの評価

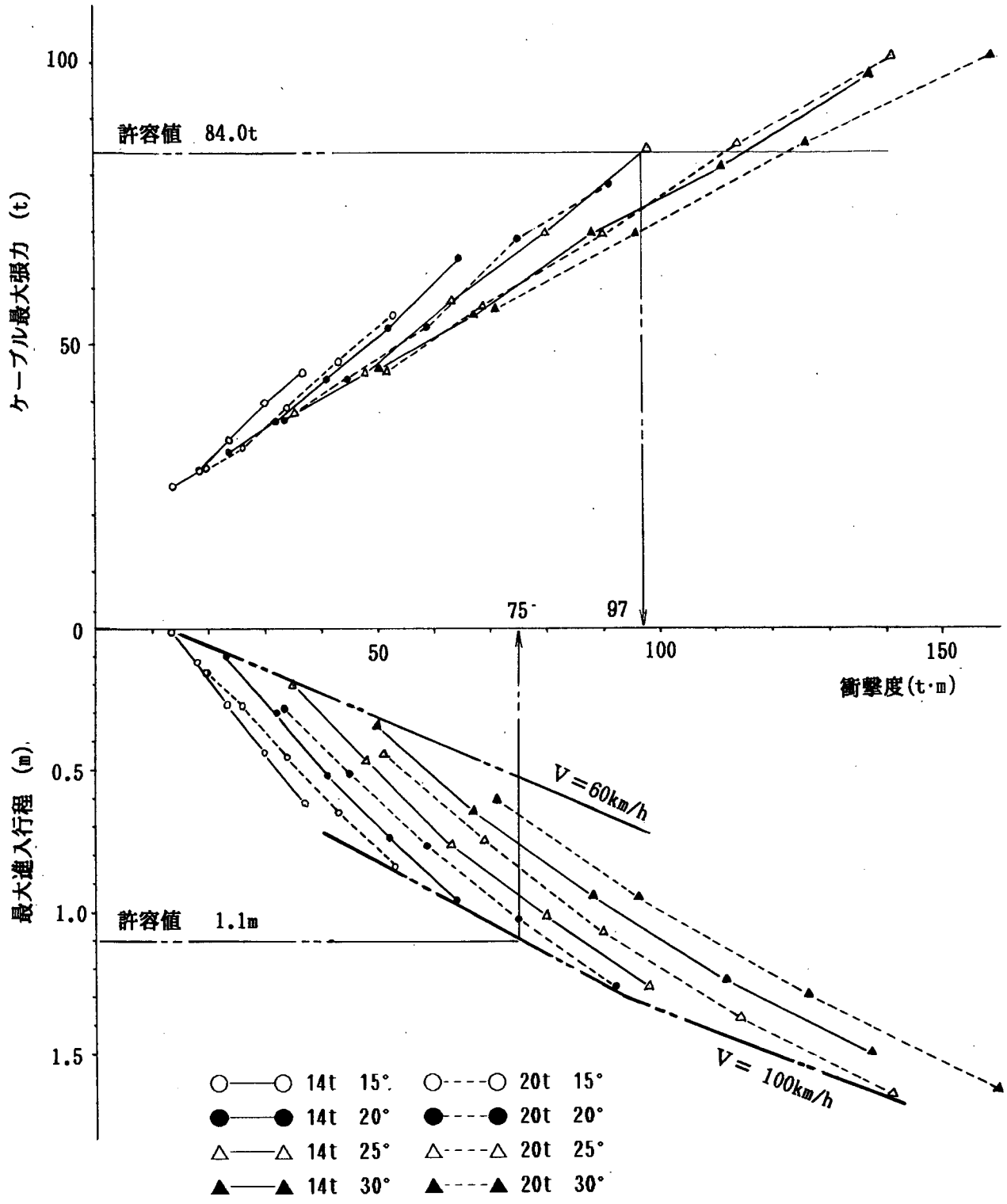
出力データの評価は車両の逸脱防止，誘導性を考える上で，最も重要な要素である車両の最大進入行程とビーム材の最大発生張力で行った。ここで，車両の最大進入行程（YW）は前後輪による値の大きい方を採用した。また，車両の最大進入行程の許容値は要綱で規定している1.1mとし，ビーム材張力の許容値は鋼材の降伏点から定めた許容張力（ガードレールは61.5t，ガードケーブルは84.0t）に設定した。

3)　演算結果

高強度型ガードレールの演算結果を図－7･3･3に，高強度型ガードケーブルを図－7･3･4にそれぞれ示す。



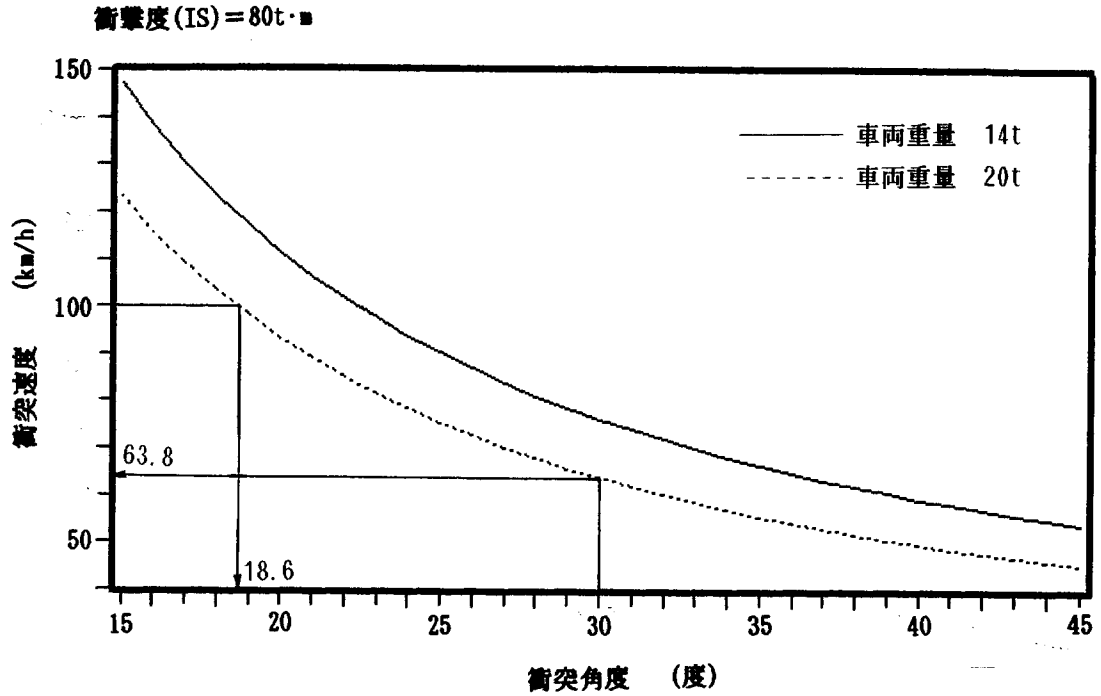
図−7·3·3 高強度型ガードレール 衝撃度と最大張力，最大進入行程の関係



図－7·3·4　高強度型ガードケーブル　衝撃度と最大張力，最大進入行程の関係

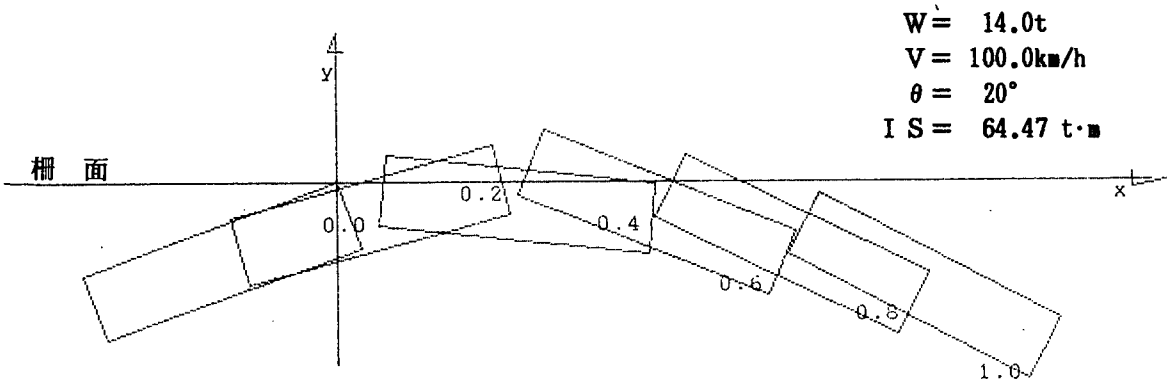
4) 高強度型防護柵の限界衝撃度

高強度型防護柵の限界衝撃度は，図－7･3･3，4に示しているようにガードレール，ガードケーブルとも，車両の最大進入行程からそれぞれ約81 t･m，75 t･mとなる。これは，「序　1.1　防護柵衝突の高エネルギー化」に示しているA種の限界衝撃度の約3倍に相当する。つぎに，高強度型ガードレールを例として，この限界衝撃度に相当する衝突速度と角度の関係を示すと図－7･3･5のようになる。



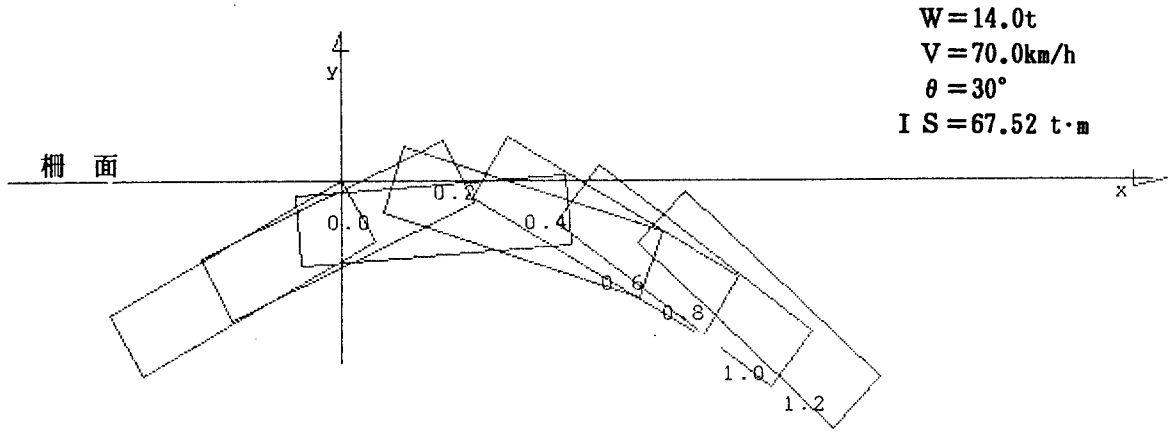
図－7･3･5　高強度型ガードレールの限界衝撃度に相当する衝突速度と角度の関係

図－7･3･5から高強度型ガードレールは20 tの車両が速度100km/hのとき18.6度の角度まで，あるいは角度30度のとき63.8km/hの速度まで耐え得ると推定される。図－7･3･6～9に高強度型ガードレール，ガードケーブルの限界衝撃度に近似している出力データリストから作成した車両の軌跡を示す。



最大進入行程		最大加速度		防護柵	防護柵	ビーム	支柱	進行角
前 輪 (m)	後 輪 (m)	X (g)	Y (g)	最大反力 (t)	最大変位 (m)	最大張力 (t)	最大反力 (t)	(度)
0.50	0.88	-2.69	-7.95	36.06	1.26	50.50	2.48	14.80

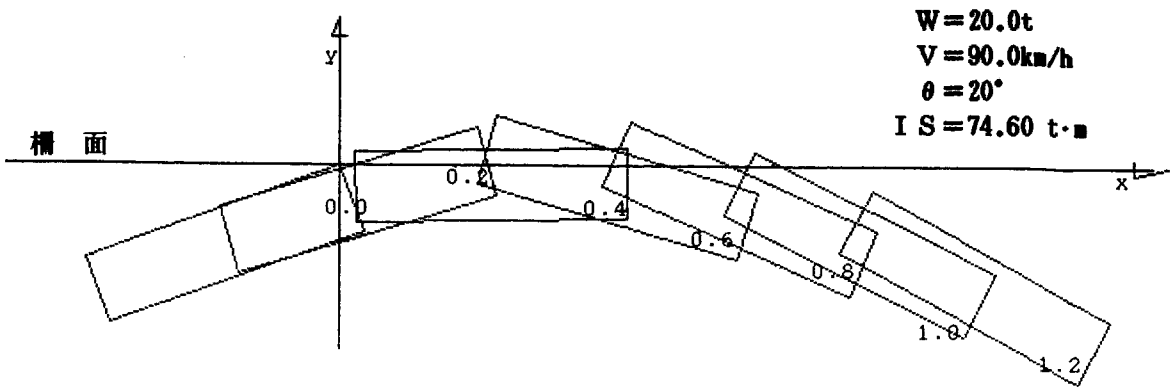
（1）高速度衝突



最大進入行程		最大加速度		防護柵	防護柵	ビーム	支柱	進行角
前 輪 (m)	後 輪 (m)	X (g)	Y (g)	最大反力 (t)	最大変位 (m)	最大張力 (t)	最大反力 (t)	(度)
0.35	0.51	-3.14	-7.94	29.54	1.05	53.90	2.48	20.90

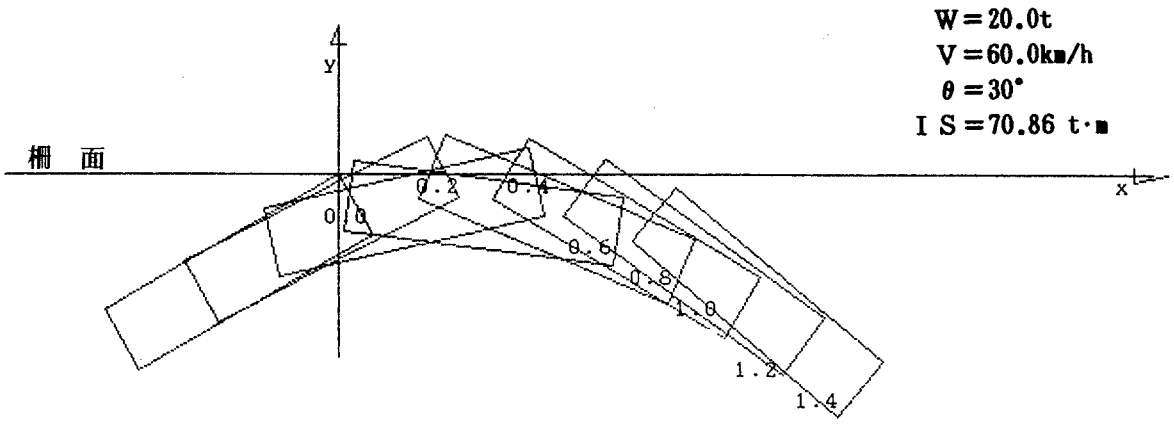
（2）急角度衝突

図－7·3·6 高強度型ガードレールの衝突シミュレーション結果（車両重量 14 t）



最大進入行程		最大加速度		防護柵	防護柵	ビーム	支柱	進行角
前 輪 (m)	後 輪 (m)	X (g)	Y (g)	最大反力 (t)	最大変位 (m)	最大張力 (t)	最大反力 (t)	(度)
0.61	0.93	-2.04	-6.08	36.89	1.29	53.20	2.48	15.70

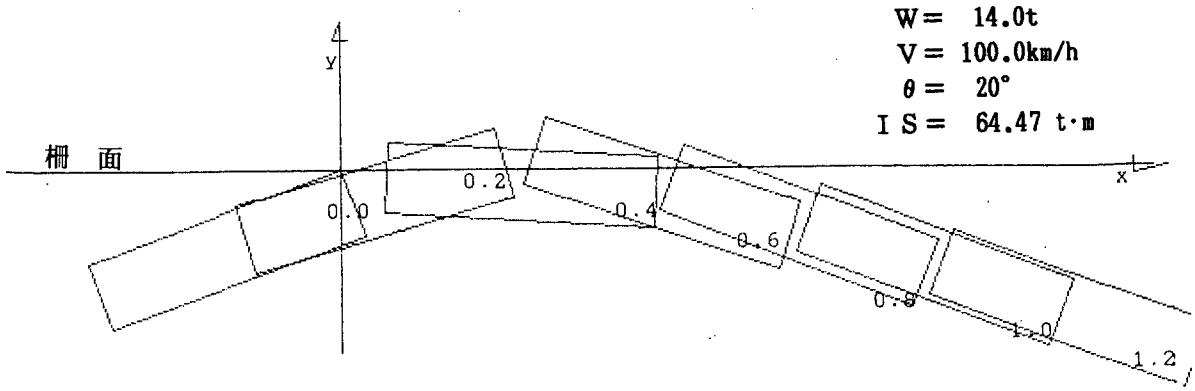
（1）高速度衝突



最大進入行程		最大加速度		防護柵	防護柵	ビーム	支柱	進行角
前 輪 (m)	後 輪 (m)	X (g)	Y (g)	最大反力 (t)	最大変位 (m)	最大張力 (t)	最大反力 (t)	(度)
0.40	0.44	-2.20	-5.63	27.12	0.97	56.50	2.47	18.90

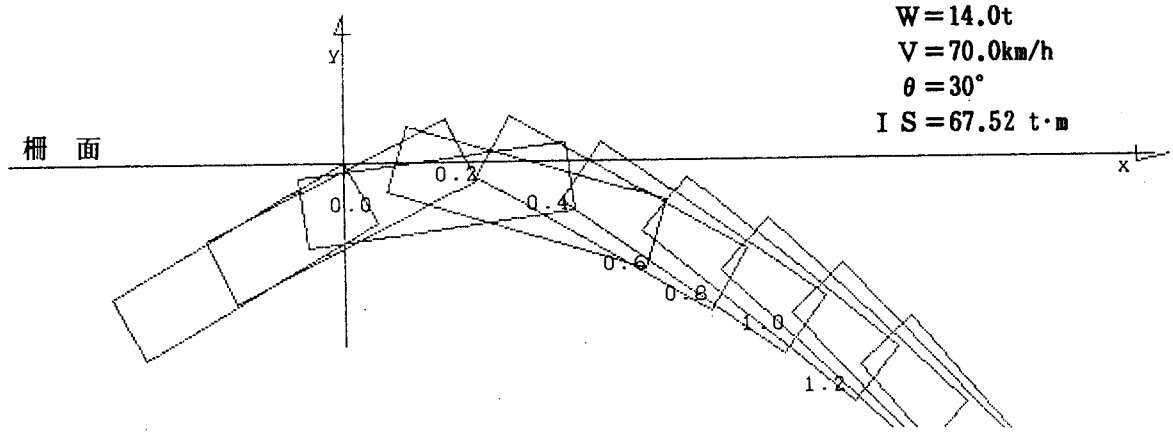
（2）急角度衝突

図－7·3·7　高強度型ガードレールの衝突シミュレーション結果（車両重量　20 t）



最大進入行程		最大加速度		防護柵	防護柵	ケーブル	支柱	進行角
前 輪 (m)	後 輪 (m)	X (g)	Y (g)	最大反力 (t)	最大変位 (m)	最大張力 (t)	最大反力 (t)	(度)
0.67	0.96	-2.51	-6.94	41.99	1.26	65.70	2.48	15.20

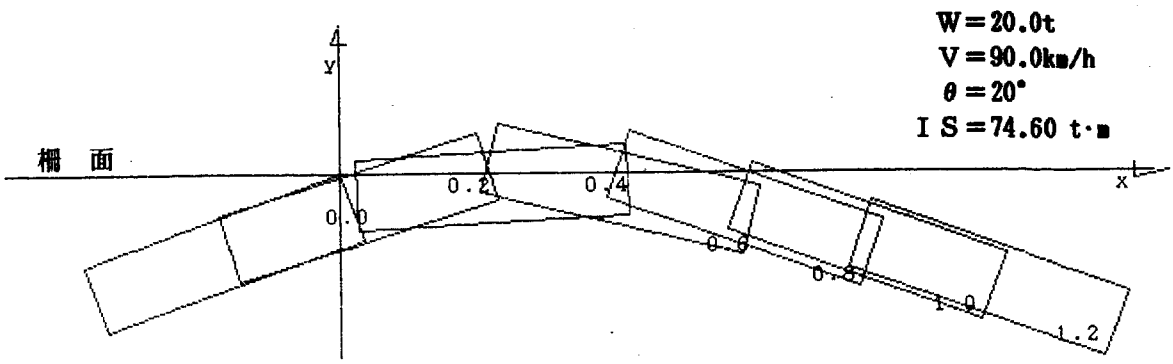
（1）高速度衝突



最大進入行程		最大加速度		防護柵	防護柵	ケーブル	支柱	進行角
前 輪 (m)	後 輪 (m)	X (g)	Y (g)	最大反力 (t)	最大変位 (m)	最大張力 (t)	最大反力 (t)	(度)
0.53	0.64	-2.98	-6.99	34.59	1.11	55.70	2.48	21.40

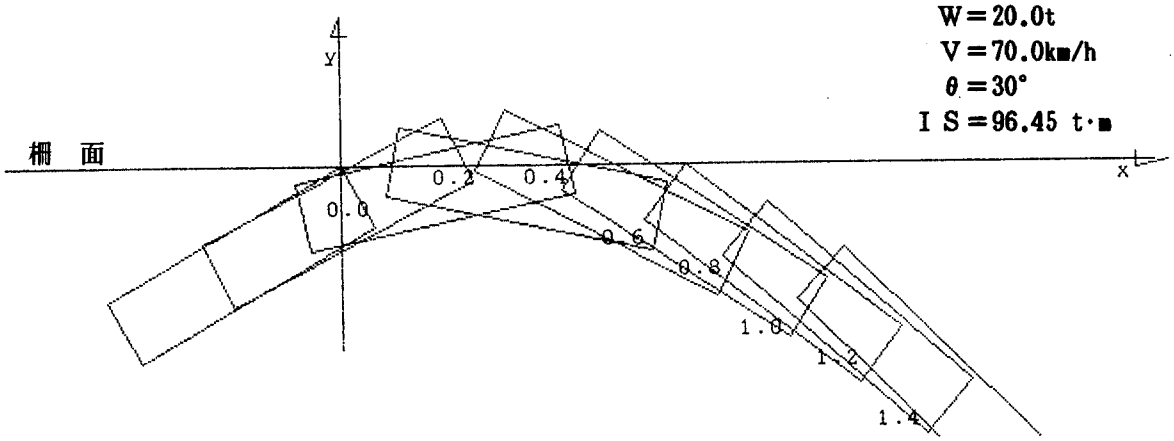
（2）急角度衝突

図－7·3·8 高強度型ガードケーブルの衝突シミュレーション結果（車両重量 14ｔ）



最大進入行程		最大加速度		防護柵	防護柵	ケーブル	支柱	進行角
前 輪 (m)	後 輪 (m)	X (g)	Y (g)	最大反力 (t)	最大変位 (m)	最大張力 (t)	最大反力 (t)	(度)
0.80	1.02	-1.85	-5.21	44.45	1.28	68.70	2.48	14.90

（1）高速度衝突



最大進入行程		最大加速度		防護柵	防護柵	ケーブル	支柱	進行角
前 輪 (m)	後 輪 (m)	X (g)	Y (g)	最大反力 (t)	最大変位 (m)	最大張力 (t)	最大反力 (t)	(度)
0.84	0.94	-2.86	-6.55	43.87	1.32	69.90	2.48	21.00

（2）急角度衝突

図－7·3·9　高強度型ガードケーブルの衝突シミュレーション結果（車両重量　20 t）

7.3.3 施工性と維持補修

1) 施工性

高強度型防護柵は各部材をボルトで組立てる構造で大型機械を必要とせず，従来の施工方法で対応することができる。しかし，高強度型防護柵としての機能を確保するためにビーム材の強度増加（ガードレールは新断面で，ガードケーブルはケーブルの本数増加で対応）や，支柱間隔の短縮等の対策を講じたために，使用する部材の重量と数量が増加した。例として高強度型ガードレールとA種の部材重量の比較を表－7･3･4に，100ｍ当たりの部材数量の比較を表－7･3･5に示す。

表－7･3･4 部材の重量比較

部材名	高強度型ガードレール		ガードレールA種	
	形状寸法 (mm)	単位重量 (kg)	形状寸法 (mm)	単位重量 (kg)
ビーム	4.0×500×85×3,410	83.5	4.0×350×75×4,330	65.8
支　柱	φ139.8×4.5×2,560	38.4	φ139.8×4.5×2,350	36.8

表－7･3･5 100ｍ当たりの部材数量表

部材名	高強度型ガードレール	ガードレールA種
ビーム	33.1枚	25枚
支　柱	101本	26本

部材の単位重量が増加することは，とくに人力施工の際にハンドリングで支障をきたすことになる。しかし，供試体設置工事の状況からみて表－7･3･4，5に示している程度の重量や数量の増加は施工上問題ないと考えられるが，これらに見合う歩掛りの上昇は見込んでおく必要がある。

2) 維持補修

車両が衝突したときの高強度型防護柵の損傷領域は衝突形態によって異なるが，ここでは衝突実験で部材の補修が必要と認められた数量から推定することにした。その結果を表－7･3･6，7に示す。表－7･3･7の補修延長は高強度型ガードレールの場合，ビームの補修数量から，高強度型ガードケーブルの場合は支柱の据え直し領域から求めた。

表－7･3･6 実車衝突実験による部材の補修必要数量

防護柵の種類	衝突条件		部材の補修数量				
	車両	衝突形態	ビーム	支柱	ブラケット	柵面補強材	誘導板
高強度型ガードレール	バス	高速度衝突	5	8	17	－	－
	バス	急角度衝突	5	12	23	－	－
	乗用車	高速度衝突	2	3	5	－	－
高強度型ガードケーブル	バス	高速度衝突	－	5	上 9，下 5	5	5*
	バス	急角度衝突	－	10	上 5，下 4	5	10*
	乗用車	高速度衝突	－	2	上 0，下 2	2	2

＊印は車両と防護柵の接触長から推定した値

表－7･3･7　車両と防護柵の接触長および補修延長

防護柵の種類	車　両	衝突条件				車両と防護柵の接触長(m)	補修延長(m)
		W (t)	V (km/h)	θ (度)	IS (t･m)		
高強度型ガードレール	バス	14	73	25	52.5	11.9	15
	バス	14	52	43	69.3	10.0	15
	乗用車	1.1	103	25	8.21	5.75	6
高強度型ガードケーブル	バス	14	72	25	51.0	10.8	14
	バス	14	46	34	34.5	21.0	20
	乗用車	1.1	104	25	8.30	4.92	4

W：車両重量，V：衝突速度，θ：衝突角度，IS：衝撃度

7.4　経済性の検討

防護柵設置効果の評価方法は種々考えられるが，ここでは，防護柵を設置しない場合と，高強度型防護柵を設置した場合について，国民経済的にみた費用便益を検討した。

7.4.1　費用便益の計算式

防護柵設置の費用便益は一般に式（7･2）で表される。

$$Be = Nb \cdot Db - Na \cdot Da - I - M \qquad (7\cdot2)$$

ここに　Be：設置便益

Na, Nb：防護柵設置前後の防護柵への衝突事故発生率

Da, Db：防護柵設置前後の防護柵衝突事故の１件あたり損害額

I：初期の防護柵設置費用

M：維持補修費

7.4.2　計算条件

① 防護柵の耐用年数を20年とする。

② 年利率を６％とする。

③ 各交通量ランクごとに設置区間長100kmについて計算する。

④ 事故率は防護柵衝突事故実態調査による値を用いる。また，防護柵設置前後の事故率に変化はないものとする。

⑤ 人身，物損事故の被害額は国内に適当な資料がないため，米国の資料を参考にし，両国の所得比率，物価上昇率などを基に補正して算出した被害予想額を用いる。また，防護柵設置前の事故被害は，事故実態調査で路外逸脱した事故より求め，防護柵設置後の事故被害は，正常離脱や防護柵乗り上げ事故より求めるものとする。

⑥ 清掃は年１回とし清掃費用を70円／ｍとする。

⑦ 事故１件当りの防護柵損傷延長は，事故実態調査より６ｍ／件とする。

⑧ 事故にかかわる規制費，通行止め，規制にかかわる時間損失評価額については，防護柵設置前後の比較が困難なため考慮しないものとする。

⑨ 高強度型防護柵の設置費用は，利用状況やメーカーのコスト低減化により変わるものと思われるが，ここでは3万円／mとする。

7.4.3 計算結果

「7.4.2」の仮定に基づき計算した結果を表－7･4･1に示す。

表－7･4･1 高強度型防護柵設置便益

交通量（台／日）	設置便益（*Be*）
10,000	2億円
20,000	7
30,000	13
40,000	19
50,000	24

Be：20年間 100km

7.4.4 考 察

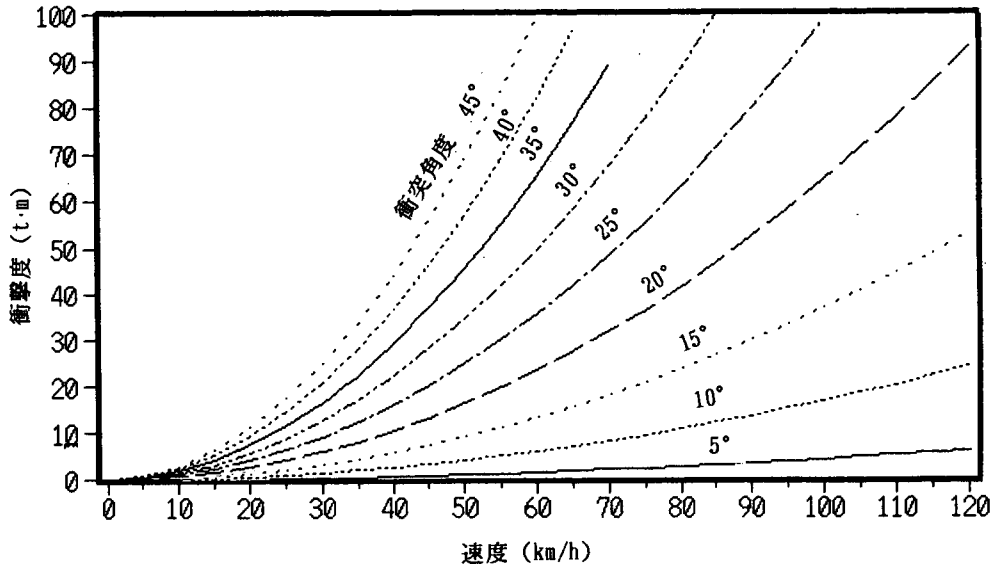
表－7･4･1によれば，交通量が多くなると設置便益も大きく，経済的にみた効果が上がると考えられ，また，式（7･2）により設置便益が生じる最小日交通量を求めると約7,000台／日となる。

一方，高強度型防護柵は社会的影響の大きいバスの転落事故の防止等を主な目的としている。従って，交通量の多少以外に車種構成や路外の危険性を配慮することも必要と考えられる。

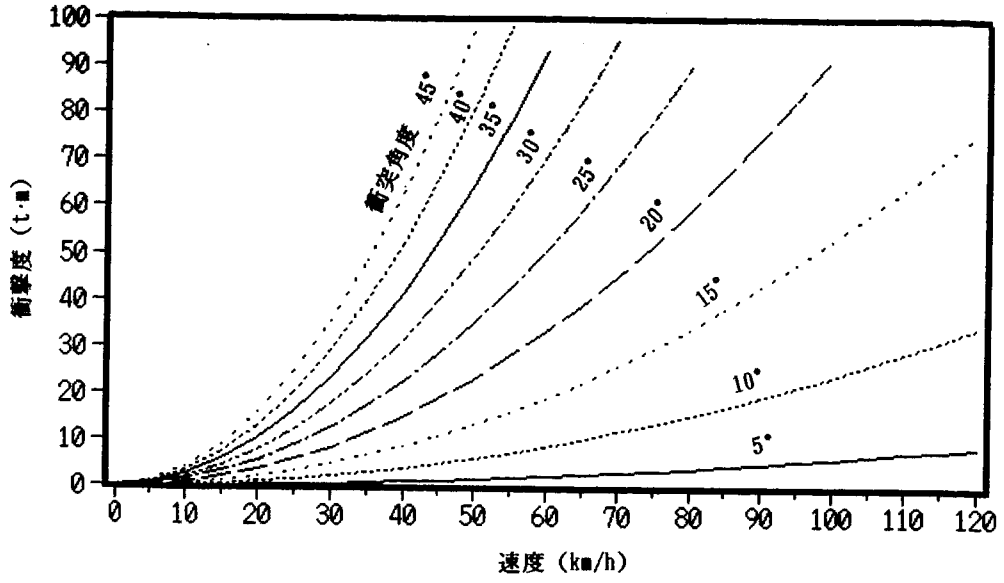
7.5 設置についての考え方

7.5.1 急角度衝突と高速度衝突について

本研究は路線バス等の大型車両が高速度や急角度で衝突しても車両を円滑に誘導できる防護柵の開発を目標とした。図－7･5･1，2に車両重量が14ｔおよび20ｔの場合の衝突速度，角度ならびに衝撃度の関係を示す。これから分かるように同じ衝撃度であっても種々の衝突速度，角度の組み合わせが生じ，車両と防護柵の挙動は異なってくると考えられる。実験では「5 実車衝突実験」で述べているように，角度を卓越させた急角度衝突と速度を卓越させた高速度衝突の2種類の衝突形態について実施し，高強度型防護柵の開発を行った。以下に道路状況，交通状況に応じたこの防護柵の設置についての考え方を急角度衝突と高速度衝突の場合について述べる。



図－7･5･1 衝突速度，角度と衝撃度の関係（車両重量 14ｔの場合）



図－7･5･2　衝突速度，角度と衝撃度の関係（車両重量　20ｔの場合）

1)　急角度衝突と急カーブ区間について

急角度衝突とは道路の曲線半径が小さく，前後の線形の状況等により防護柵への衝突角度が大きくなる現象とし，実際に現道で想定できるのは曲線半径の小さい道路で車両が反対車線等から直進した場合である。これについては，「1.2　衝突角度の検討」で述べているように，道路の設計速度と最小曲線半径（表－7･5･1）および車道幅員によって定まり，それぞれの値が小さいほど衝突角度は大きくなる。

表－7･5･1　最小曲線半径の規定値

設計速度 (km/h)	曲線半径 (m)				
	標準の場合	地形その他特別な理由がある場合，附すことができる最大片勾配の値			片勾配を附さない場合
		6％	8％	10％	
120	710	710	630	570	—
100	460	460	410	380	—
80	280	280	250	230	—
60	150	150	140	120	220
50	100	100	90	80	150
40	60	60	55	50	100
30	30	—	—	—	55
20	15	—	—	—	25

つぎに，表－1･2･1の設計速度と衝突角度をもとに車両重量が14ｔの場合の衝撃度を求め，現行防護柵の設計衝撃度と比較したのが表－7･5･2である。この表からいずれの曲線半径においても現行防護柵の上級種別，あるいは高強度型防護柵の適用が必要になることが分かる。

表－7･5･2　曲線区間での衝突角度と衝撃度

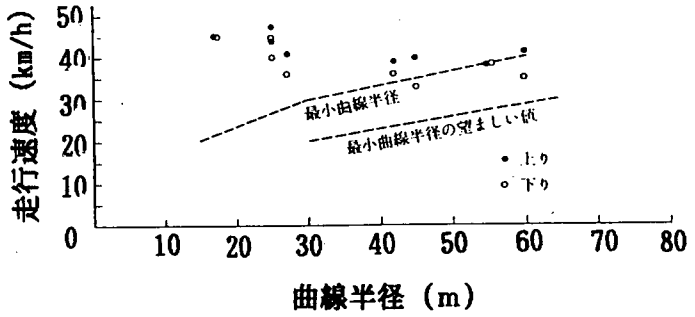
曲線半径（m）	570	380	230	120	80	50	30	15
設計速度（km/h）	120	100	80	60	50	40	30	20
衝突角度[注1)]（度）	10.8	11.4	14.5	18.8	21.1	26.4	32.4	43.1
衝撃度[注2)]（t･m）	27.9	21.5	22.1	20.6	17.9	17.4	14.2	10.3

注1）曲線区間を直進したときの角度で表－1･2･1に示している値である。
注2）車両重量を14ｔとした場合の値である。

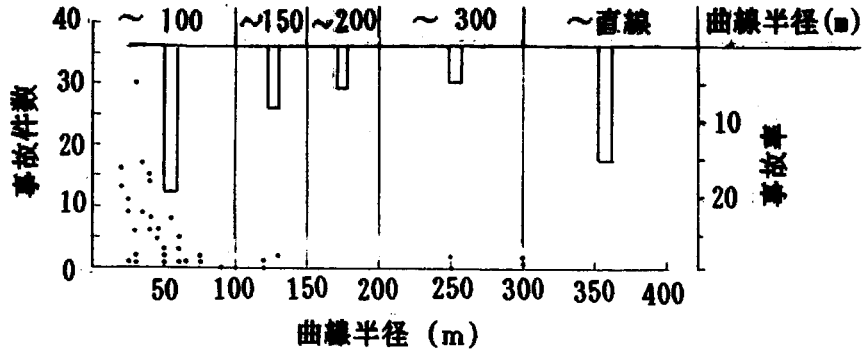
表－7･5･3　現行の設計条件と衝撃度

種　別	設計条件			設計衝撃度
	速度（km/h）	角度(度)	重量（t）	（t･m）
S	80	15	14	23.6
A	60			13.3
B	40			5.9
C	35			4.5

道路の曲線半径と事故の関係について，元田，小橋，星らの「カーブ区間における事故とその予測に関する考察」[14]によれば，曲線部での走行実態は図－7･5･3に示すように曲線半径が小さくなってもスピードを変えずに走行している。また，図－7･5･4に示す曲線半径と事故件数の関係から，曲線半径が100～150ｍより小さくなると急激に事故件数が多くなっていると報告している。さらに，曲線半径が小さくて速度を落とさないということは相乗的に運転が困難となり，事故の発生する可能性が急速に高まるとしている。



図－7･5･3　曲線半径と走行速度



図－7･5･4　曲線半径と事故件数

以上述べてきたように，道路の曲線半径は設計速度に応じてその最小値が道路構造令で規定されている。従って，急角度衝突が想定される急カーブ区間とは，道路構造令での規定値以下の曲線半径を有している道路区間と一応整理できる。しかし，図－7･5･3と7･5･4に示す曲線半径と走行速度あるいは事故件数の調査結果から，特に設計速度が50km/h以下の道路は，同構造令で規定している曲線半径にかかわらず走行速度や事故件数が高くなっている。従って，設計速度が50km/h以下の道路での急カーブ区間は曲線半径が150m以下とするのが望ましいと考える。

2)　高速度衝突について

高速度衝突とはバス，トラック，乗用車等の一般的な車両が規制最高速度相当の高速度で衝突する現象をいう。通常，直進している車両が防護柵に衝突する際の角度は，車両の横すべり摩擦係数から「1.2　衝突角度の検討」で述べている値が限界と予測される。この中から高速走行とみなせる速度での衝撃度をまとめたのが表－7･5･4である。

表－7･5･4のような衝突が発生すれば，高速走行時に路外逸脱の可能性が高いことから，路外が著しく危険な区間には高強度型防護柵を設置していくことが望ましい。

表－7･5･4　車両の横すべり摩擦係数をもとに求めた衝突条件

車両重量 (t)	走行速度 (km/h)	限界と考えられる衝突角度 (度)	衝撃度 (t･m)
14	60	25.2	36.0
	80	18.9	37.0
	100	15.1	37.4
	120	12.5	37.2

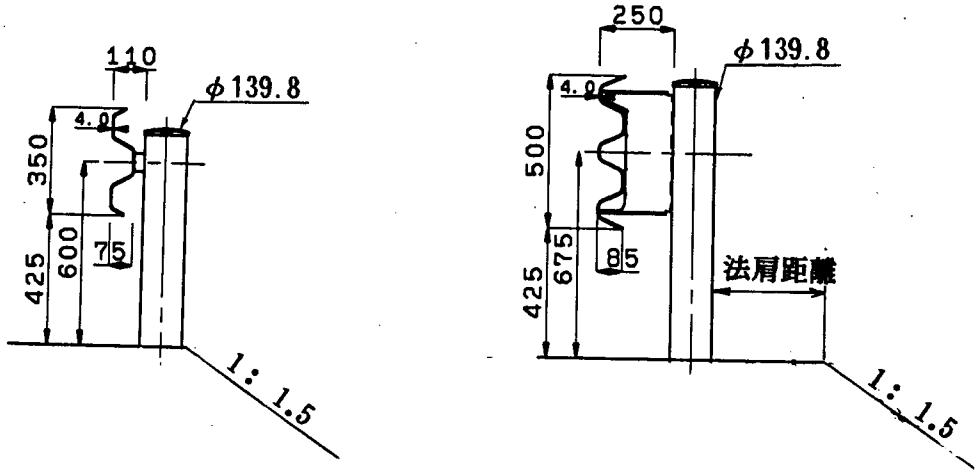
道路整備水準と車両の性能が向上したことから，車両の平均走行速度も高まる傾向にあり，その利便性や経済的効果への波及ははかりしれないものがある。その反面，スピードの出し過ぎや運転操作の誤り等による交通事故も生じている。防護柵によるサービスレベルをどこにおくかは，以前からも種々議論されてきた。本研究の最大の目的は多数の人命が損なわれる可能性の大きいバスが，高速度や急角度で衝突しても路外逸脱を防止でき，かつ進行方向の復元も可能となる防護柵を開発することであった。この一連の研究で開発された防護柵により，バスを含めた大型車両の高速度あるいは急角度衝突への対応が可能となった。

7.5.2　設置幅とブロックアウト量

高強度型防護柵は誘導性の向上をはかるためにブロックアウト構造を採用し，そのブロックアウト量を250mmに設定した。これは，現行の防護柵と同様，法勾配が1：1.5の法肩に設置するとして求めた。防護

柵は道路構造令に規定されている保護路肩に設置することになっている。防護柵の誘導効果を高めるためにはブロックアウト量が大きいほど良いが，これは防護柵の設置幅を大きくすることになり，特に一般道でその幅を確保することは困難である。従って，ブロックアウト量は効果が期待できる最小限度の値を選定した。高強度型ガードレールとガードレールA種のブロックアウト量の差は，図－7･5･5に示しているように140 mmである。なお，ガードケーブルについても同様である。

防護柵の設置幅に影響するもう一つの要素として，図－7･5･5に示している法肩距離（支柱背面から法肩までの距離）がある。高強度型防護柵の支柱の設計支持力は前述したように2.5 tに設定している。この支持力が期待できる法肩距離は，第2編で述べている支柱水平載荷実験の結果，法勾配が1：1.5の場合で約0.45 mになった。従って，この値が確保できない，あるいは法勾配が1：1.5よりきつくなるときは，同編で提案している補強対策が必要である。



(a) ガードレールA種　　(b) 高強度型ガードレール

図－7･5･5　ブロックアウト量の比較

7.5.3 最小設置長さ

防護柵が設計上要求される機能を発揮するためには，ある範囲の長さが必要である。これは衝突時の速度や角度によって異なるが，今回実施した高速度衝突と急角度衝突の実験結果から一つの指標として有効設置長さを求めた。ここでいう有効設置長さは，支柱の防護柵延長方向（X方向）の残留変位量から判断して，車両衝突時の影響を受けていると認められた領域とし，表－7･5･5に示すように衝突点の手前側と進行側に分けて表わした。同表から高強度型防護柵としての有効設置長さはガードレール，ガードケーブルとも，衝突点の手前側12 m，進行側14 mと考えられる。

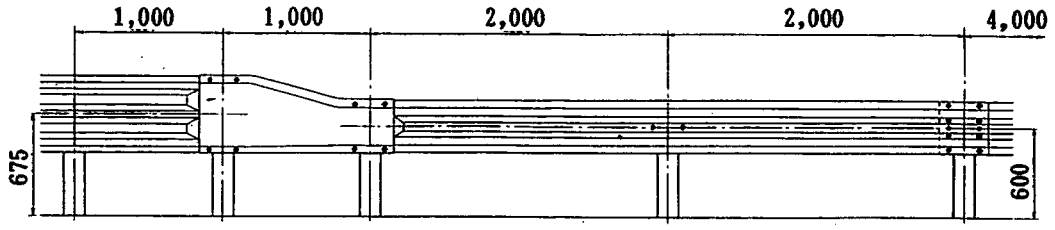
現道での設置にあたっては，ここで述べている有効設置長さの前後に10～20 m加算した値を防護柵の最小設置長さとするのが望ましい。

表－7･5･5　実験から求めた高強度型防護柵の最小設置長さ

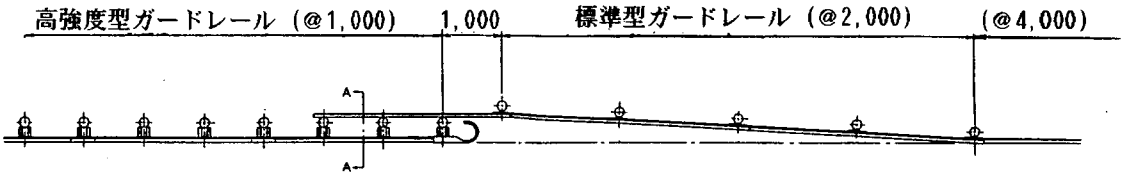
防護柵の種類	衝突の形態	手前側 (m)	進行側 (m)
高強度型ガードレール	高速度衝突	12	14
	急角度衝突	12	12
高強度型ガードケーブル	高速度衝突	12	14
	急角度衝突	10	12

7.5.4 現行防護柵とのすりつけ（連続設置）

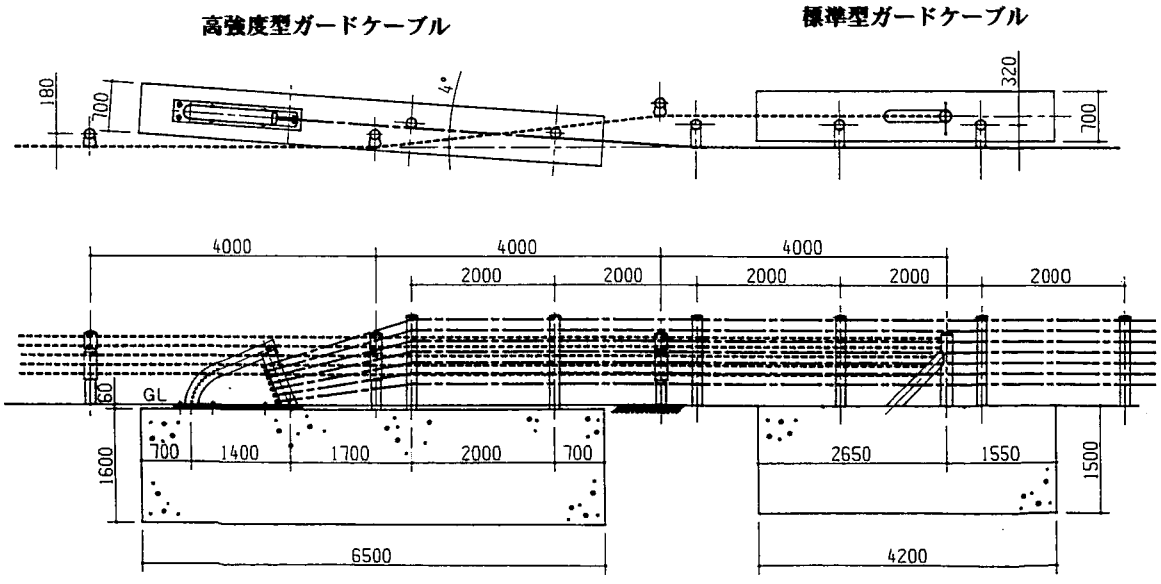
高強度型防護柵は設置する場所によって，現行防護柵と連続設置の必要性が生じる。連続設置の例を図－7･5･6～8に示す。図－7･5･6は高強度型ガードレールと既存のガードレールを図示している接続部材でつなぎ，防護柵に連続性をもたせる考え方である。両者間の荷重伝達は相互の支柱を接続している部材で行うものとし，カバープレートはビームの連続性を保持して視線誘導効果を高めるための部材である。図－7･5･7はどちらか一方のガードレールの端末をセットバックして設置する例である。図－7･5･8は高強度型ガードケーブルの場合を示している。これは，現在ガードケーブルの延長が長いときに使用している中間端末処理の方法を応用した例である。高強度型防護柵と現行防護柵をすりつける場合は，防護柵の強度が急激に変化するのを防ぐために，現行防護柵の支柱間隔を短縮させたすりつけ区間を設けるものとする。



図－7･5･6　高強度型ガードレールと標準型ガードレールのすりつけ(1)



図－7･5･7　高強度型ガードレールと標準型ガードレールのすりつけ(2)



図－7･5･8　高強度型ガードケーブルと標準型ガードケーブルのすりつけ

7.5.5 コンクリート設置の考え方

現行の防護柵は橋梁，擁壁，函渠等の構造物区間に設置する場合，防護柵の変位が限定されること，および支柱の埋込み部がコンクリートで固定されることから，支柱反力が大きくなってビームの局部的な変形を生じ，車両が乗り上げるという現象を防止するために支柱間隔を土中建込み用の1/2，すなわちガードレールは最大2m，ガードケーブルは最大4mに短縮して設置している。しかし，高強度型防護柵の支柱間隔は土中建込みでガードレールが1m，ガードケーブルが2mと非常に小さい値であること，およびビームやケーブルの諸元も現行のA種に比べ2倍相当の強度を有していることから，構造物区間に設置する場合でも支柱間隔の短縮は行わず土中建込みと同様とし，衝突シミュレーションから防護柵と車両の挙動を予測した。

1) 入力データ

計算に用いた入力データは表−7·5·6に示すとおりである。

表−7·5·6 入力データ一覧

項　　目	入　力　デ　ー　タ	
衝突車関係	表−6·1·1実験6のバスの諸元	
防護柵関係 ・高強度型ガードレール ・高強度型ガードケーブル	表−6·1·2実験6の新断面ビームの諸元 表−6·1·2実験2のケーブル7本型の諸元 ただし，支柱の常数は過去の実験結果[12]をもとに下記のよう定めた。 支柱の平均支持力（*PW*）　5.8 t 支柱のバネ常数（*PK*）　289.25 t/m	
衝突条件	高強度型ガードレール	高強度型ガードケーブル
・車両重量（t）	14	14
・衝突速度（km/h）	71	75
・衝突角度（度）	25	25

2) 出力データの評価

出力データの評価は「7.3.2 限界の衝撃度」と同様の考え方で行った。その評価基準値を表−7·5·7に示す。

表−7·5·7 出力データの評価基準値

項　　目	許容値
車両の最大進入行程（m）	0.3
ビームの張力　〔高強度型ガードレール〕　（t）	61.5
ケーブルの張力〔高強度型ガードケーブル〕（t）	84.0

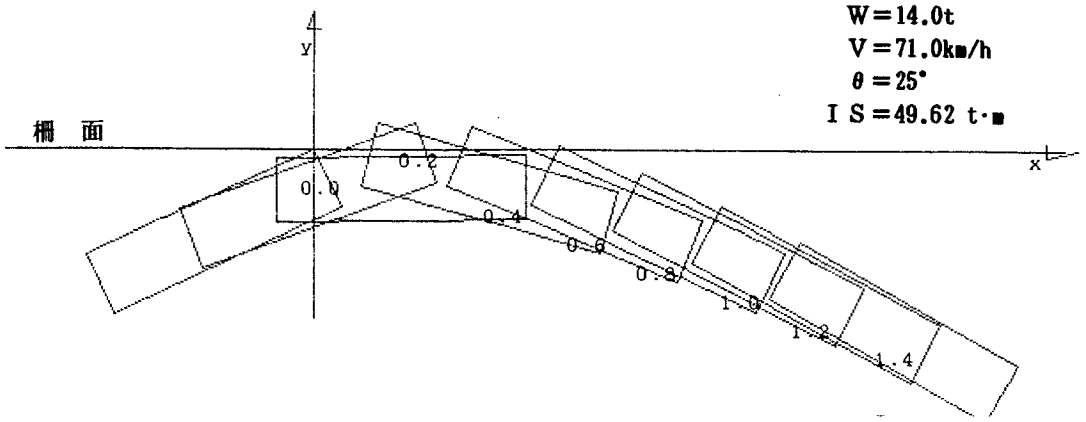
3) 演算結果

演算結果を表−7·5·8に，出力データリストをもとにして作成した高強度型ガードレールとガードケーブルの車両の軌跡図を図−7·5·9，10に示す。ガードレールはビームの張力，車両の最大進入行程とも許容値を満足していた。一方ガードケーブルの場合，ケーブル張力は許容値を満足していたが最大進入行程が0.37 m

となった。これは衝突条件がガードレールに比べ若干大きかったことによると考えられるが，許容値に近いことから良好と判断した。

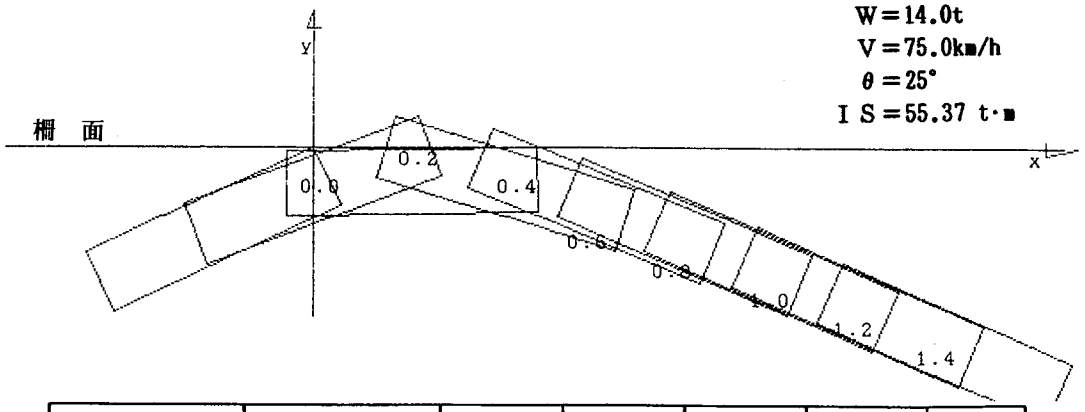
表－7･5･8　張力と車両の最大進入行程

防護柵	張力（t）		最大進入行程（m）	
	計算結果	許容値	計算結果	許容値
高強度型ガードレール	33.5	61.4	0.23	0.30
高強度型ガードケーブル	46.4	84.0	0.37	0.30



最大進入行程 前輪 (m)	最大進入行程 後輪 (m)	最大加速度 X (g)	最大加速度 Y (g)	防護柵 最大反力 (t)	防護柵 最大変位 (m)	ケーブル 最大張力 (t)	支柱 最大反力 (t)	進行角 (度)
0.07	0.23	-2.47	-8.25	32.41	0.63	33.50	5.79	14.10

図－7･5･9　高強度型ガードレールの衝突シミュレーション結果（コンクリート設置）



最大進入行程 前輪 (m)	最大進入行程 後輪 (m)	最大加速度 X (g)	最大加速度 Y (g)	防護柵 最大反力 (t)	防護柵 最大変位 (m)	ケーブル 最大張力 (t)	支柱 最大反力 (t)	進行角 (度)
0.25	0.37	-2.57	-7.55	35.85	0.73	46.40	5.79	18.10

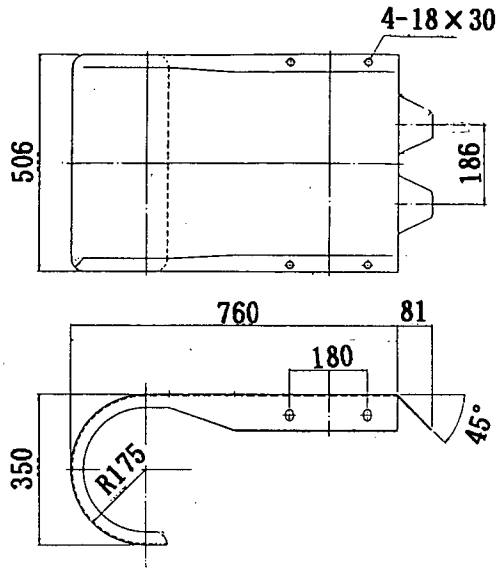
図－7･5･10　高強度型ガードケーブルの衝突シミュレーション結果（コンクリート設置）

7.5.6 端部処理

高強度型防護柵の端部処理は，現行の防護柵と同様の方法とした。

1) 高強度型ガードレール

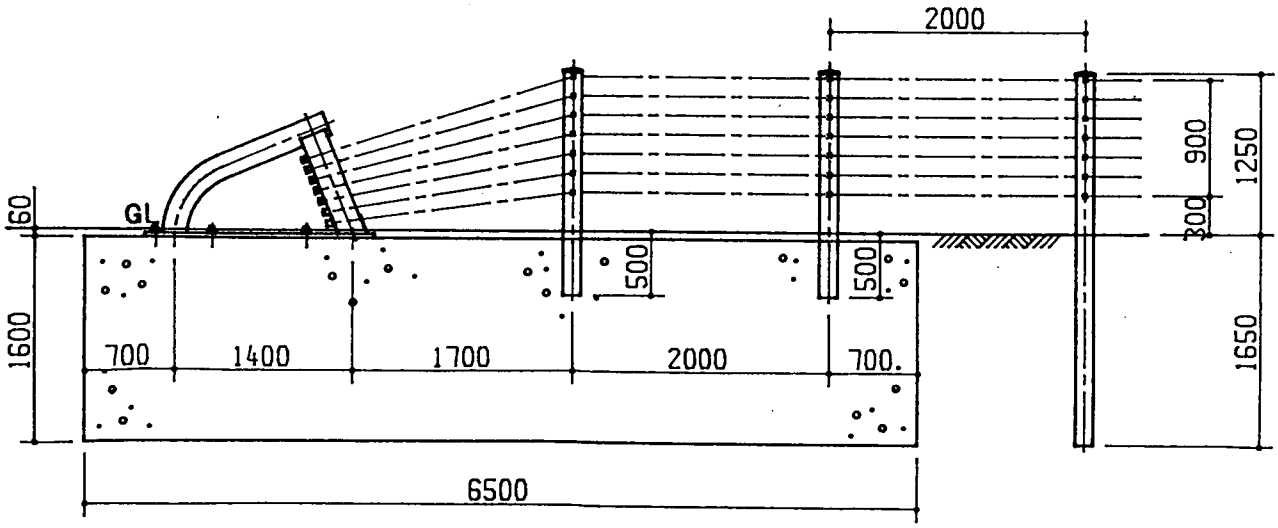
高強度型ガードレールの端部は現行と同様，巻袖ビーム方式とし，その形状を図－7･5･11 に示す。



図－7･5･11 巻袖ビームの形状

2) 高強度型ガードケーブル

高強度型ガードケーブルの端末支柱とコンクリート基礎についても，現行と同じ設計方法で検討した。その結果を図－7･5･12 に示す。



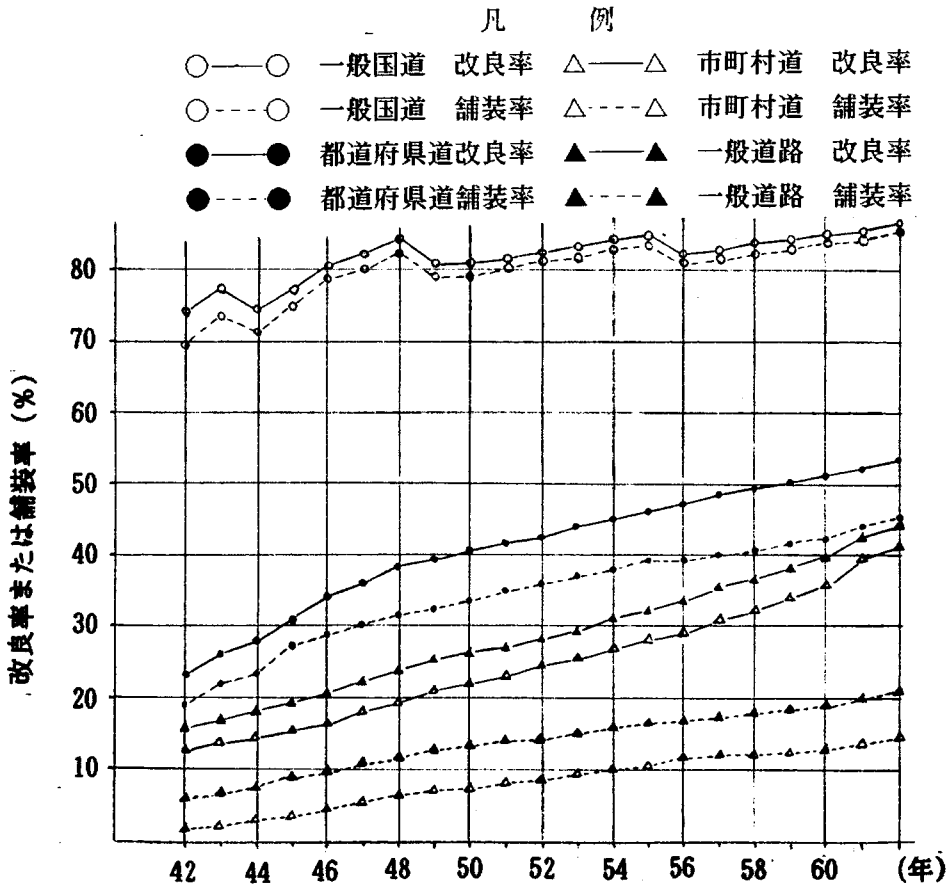
図－7･5･12 端末支柱とコンクリート基礎の形状

8　今後の防護柵研究課題

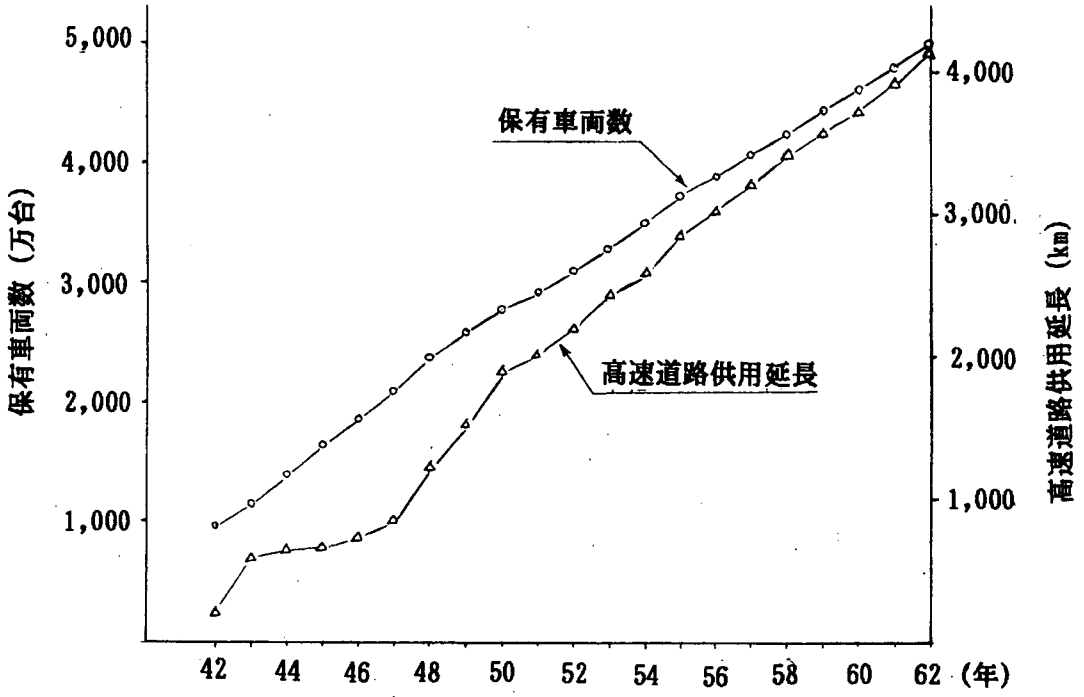
本研究では高速度衝突，急角度衝突を対象にした高強度型防護柵の開発を行った。しかし，近年，わが国の道路整備水準の向上，保有する車両構成の変化，車両性能の向上は著しく，防護柵の研究において今後残された課題があると考えられ，それらについて以下に述べる。

8.1　道路の整備状況[15]

図－8·1·1から，一般国道の改良率，舗装率は昭和50年度以降80％という高水準に達している。都道府県道は昭和62年度で改良率53.5％，舗装率45.4％，また，市町村道においても，それぞれ41.1％，14.2％を示し，年々3～6％の伸び率で進展している。高速道路の供用延長は図－8·1·2に示しているが，これも年々3～5％の伸び率で推移し，昭和63年度末現在4,406kmに達している。このことは，道路が悪いからスピードが出せないという過去の状況から，安全で快適に高速走行できる道路環境が着々と整えられてきていることを示している。



図－8·1·1　道路の改良率と舗装率の推移



図－8･1･2　保有車両数と高速道路供用延長の推移

8.2　わが国の保有車両の傾向

わが国の保有車両の傾向は図－8･1･2のように昭和50年度以降，約5％の伸び率を示し，昭和61年度で4,800万台に達している。この内訳を表－8･2･1に示すが，貨物車の保有車両数は1,725万台，構成比は35.8％，乗用車はそれぞれ2,779万台，57.6％である。

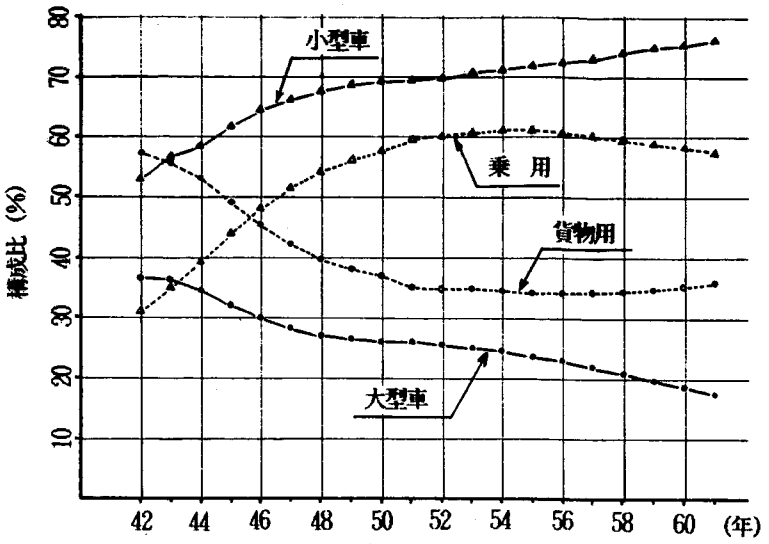
また，貨物用と乗用の構成比および本研究で称している大型車と小型車の構成比について昭和42年度以降の推移を図－8･2･1に示す。ここでいう大型車とは貨物用の普通車，小型車，被けん引車および乗合用を含めたものであり，小型車とは乗用に貨物用の軽自動車を加えたものである。この図によれば昭和46年度以降，乗用の方が大きくなり，現在では60％をピークにほぼ横這いで推移している。小型車の構成比は昭和42年度以降増えつづけ，昭和61年度では76.1％に達しているのに対し，大型車は昭和42年度の36.5％から昭和61年度では17.7％に減少している。

なお，上記の保有車両数は「自動車保有車両数 10年表」[16]から引用した。

表－8･2･1　車種別の保有車両数と構成比
（昭和61年度）

用途	車種	保有車両数（万台）	構成比（％）
貨物用	普通車	167	3.5
	小型車	657	13.6
	被けん引車	7	0.1
	軽自動車	894	18.6
	計	1,725	35.8
乗合用	普通，小型車計	23	0.5
乗用	普通車	72	1.5
	小型車	2,513	52.1
	軽四輪車	194	4.0
	計	2,779	57.6
その他		297	6.1
総計		4,824	100.0

わが国と欧米諸国の保有車両を比較したのが表－8･2･2である。この表からわが国のバス，トラックの大型車両が占める比率は，欧米諸国に比べて高いというきわだった特徴を示している。防護柵の諸元を検討するに際して，欧米諸国が乗用車を第一義的に考えて進めているのに対し，わが国は現在でも大型車，乗用車（小型車）双方を対象としている理由をここに見出だすことができる。



図－8･2･1　保有車両構成比の推移[15]

表－8･2･2　保有車両数と構成比の比較[15]

国名	乗用車		バス，トラック等		計	
	車両数（台）	構成比（%）	車両数（台）	構成比（%）	車両数（台）	構成比（%）
フランス	21,970,000	84	4,082,000	16	26,052,000	100
西ドイツ	28,304,184	95	1,379,078	5	29,683,262	100
イギリス	17,421,000	85	3,008,000	15	20,429,000	100
アメリカ	135,431,112	77	40,760,227	23	176,191,339	100
日本	29,478,368	59	20,428,514	41	49,906,882	100

8.3　車両の性能

1978年と1987年の自動車諸元表[7][17]をもとにバス，トラック，乗用車の性能比較を表－8･3･1に示す。比較するにあたりバスは定員数，トラックは積載量，乗用車は排気量がほぼ同じクラスになるもので行った。この表から，車両の性能とくに公称速度がバス，トラックで約20％，乗用車で約10％前後向上していることが分かる。

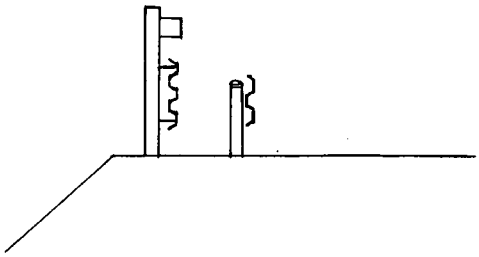
8.4　今後の課題

1)　現要綱の設計条件の検討

道路の整備水準の向上，および車両の性能とくに速度の向上により，乗用車はもとより大型車も以前より高速で走行するようになり，今後，設計条件以上の速度で防護柵に衝突する可能性も有り得ると考えられる。これらのことから，将来的には設計条件を道路の交通実態に照らし合わせて検討していくことが望まれる。

2) 小型乗用車に配慮した防護柵

車両の大型化，高速化により防護柵への衝突荷重が大きくなるため，これを救済するには防護柵の構造そのものを見直し，従来のガードレールやガードケーブルに比べ強化することになる。最近の乗用車はスタイリング，加速性能，高速走行時の安定性等を重視し，車高を低くし軽量なものへと変化してきている。この結果，乗用車に対しては強すぎる構造となり，衝突時の車両に与える衝撃は従来のガードレールやガードケーブルに対するよりも大きなものとなる。



図－8･4･1　2ステージシステム(例)

小型乗用車に対してより安全性を高めるための方策に，最近，欧州で広く普及している2ステージシステムがある。このシステムの特長は，図－8･4･1に示すように防護柵を2列設置して前列で小型車を救済し，後列で大型車による大きな運動エネルギーを吸収する考え方である。フランスではこのシステムにより，38 t トレーラまで救済しようという研究[18]を始めている。わが国においても，今後このシステムの技術的評価に関する研究が必要ではないかと考えられる。

表－8·3·1　車両の性能比較

①バス

年次	定員（座席＋立席＋乗務員）（人）	メーカー名	型式	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	軸距 (mm)	重量 (kg)	総重量 (kg)	性能 最高速度 (km/h)	制動停止距離 (m)	登坂能力 tanθ	最小回転半径 (m)
1978	64（41＋21＋2）	いすゞ	BA20	9,150	2,250	3,030	4,300	6,430	9,950	100	20	0.23	8.2
1985	55（37＋16＋2）	〃	P-LR211J	8,990	2,295	3,005	4,300	6,160	9,185	120	18	0.34	7.8
1978	92（53＋37＋2）	〃	BU20K	11,000	2,460	3,120	5,500	8,385	13,445	115	18	0.30	9.4
1985	67（49＋16＋2）	〃	P-LV219S	11,970	2,490	3,130	6,500	11,360	15,045	125	18	0.32	10.7

＊　制動停止距離は初速50km/hの場合を示す。

②トラック

年次	積載量 (kg)	メーカー名	型式	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	軸距 (mm)	重量 (kg)	総重量 (kg)	性能 最高速度 (km/h)	制動停止距離 (m)	登坂能力 tanθ	最小回転半径 (m)
1978	7,500	三　菱	FQ112H	7,250	2,490	3,150	4,300	7,035	14,700	95	18.5	0.51	8.7
1985	7,750	〃	P-FP413N	9,970	2,490	3,185	5,700	6,940	14,855	120	19.5	0.39	9.2
1978	11,000	〃	FU212T	11,990	2,490	2,860	7,200	8,480	19,645	105	17.5	0.27	10.7
1985	11,000	〃	P-FS415T	11,990	2,490	3,080	6,950	8,620	19,785	120	18.5	0.30	10.0

③乗用車

年次	排気量 (cc)	車　名	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	軸距 (mm)	重量 (kg)	総重量 (kg)	性能 最高速度 (km/h)	制動停止距離 (m)	登坂能力 tanθ	最小回転半径 (m)
1978	1,397	日産サニー	3,940	1,580	1,370	2,340	820	1,095	150	14.0	0.48	4.3
1985	1,487	〃	4,135	1,640	1,390	2,400	800	1,075	165	14.5	——	4.5
1978	1,988	日産スカイライン	4,460	1,625	1,390	2,615	1,165	1,440	160	13.5	0.45	5.2
1985	1,988	〃	4,620	1,675	1,385	2,615	1,150	1,425	180	14.0	——	5.1

第２編　支柱補強方法の研究

第２編　支柱補強方法の研究

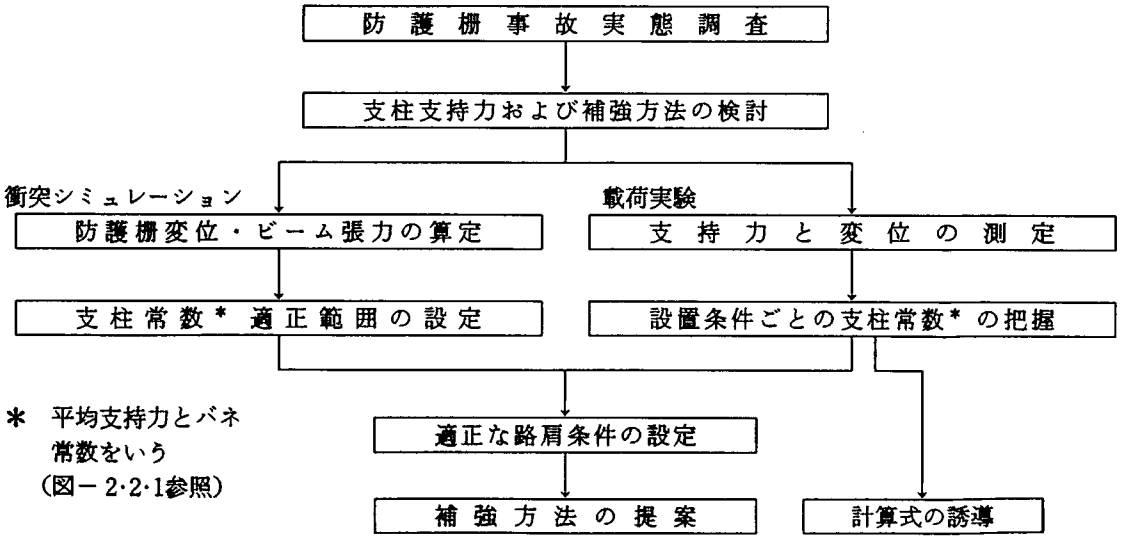
1　研究目的

防護柵支柱の水平支持力（以下　支持力という）と変位は防護柵の機能上非常に重要であるが，土中設置の場合設置条件によっては支持力などに差が生じる。支持力は防護柵の構造や形式に応じて適正値があるはずであり，特に支持力不足の場合，柵変位が過大になる可能性があり危険である。

防護柵事故実態調査では，車両の防護柵突破原因の一つとして支持力不足があげられる例が見られた。支持力不足となった主な原因としては，設置幅が狭い，法勾配が急，地盤が弱いなどの設置条件が悪い場合についての設計や施工時の対応方法が整備・確立されていなかったためであった。

要綱には，支柱１本当りの衝突に関与する土などの重量や支柱１本当りに加わる力について記載されているが，具体的な支持力の設計や補強の方法は示されていない。しかし，現実には急な法勾配や弱地盤の区間に支柱を設置せざるを得ない場合もあり，このような区間で満足できる支持力を得るための補強方法を確立する必要がある。

土中設置の支柱支持力に影響する主な要素としては，支柱構造，路肩条件，地盤強度などが考えられる。本編ではこれらの要素について支持力と変位の力学的関係を求め，①防護柵の機能上必要な支持力や限界値の把握，②適正な路肩条件の設定，③支持力不足となる場合の補強方法の確立を行うことを目的とした。検討の進め方としては衝突シミュレーションで支持力の適正範囲を求め，載荷実験で設置条件や支柱構造別の支持力を測定し，両者の結果から支柱補強方法を検討した。本研究のフローを図－1･1･1に示す。



図－1･1･1　検討フロー

2　衝突シミュレーションによる支持力の検討

2.1　概要

衝突シミュレーションにより，ガードレールA・B・C種の支持力の適正範囲を検討した。これは支柱の平均支持力とバネ常数をパラメータとし，要綱の衝突条件でのガードレール変位およびビームに発生する張力の値から支持力の適否を判定したものである。すなわち，防護柵変位が大きすぎる場合は支持力不足，ビームの発生張力が降伏点以上であれば支持力過大と判定した。

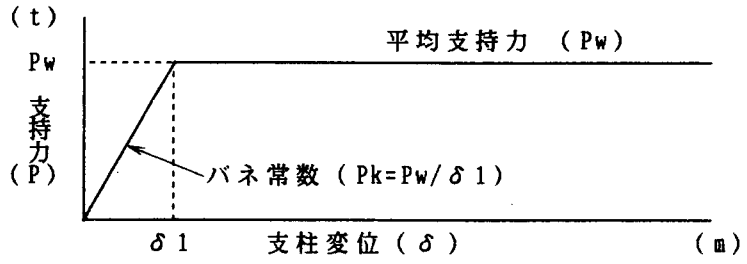
ガードケーブルは衝突シミュレーション上，ガードレールより防護柵変位が若干大きく出る傾向にあるが，支持力の違いは少なくガードレールで十分置き換えることができると考え，ガードレールを対象に検討した。

シミュレーションによる支持力不足の判定は車輪の最大進入行程ではなく，支持力を検討する上で安全側となる防護柵最大変位の値とした。

2.2　計算方法

支柱支持力に関する入力は図－2･2･1に示すモデル化した平均支持力とバネ常数を用い，現実に近い数値を組合わせた。以下，支柱の平均支持力とバネ常数を総称して示す場合は支柱常数という。

計算は衝突条件および支柱間隔・平均支持力・バネ常数の組合わせで，合計468ケース行った。



図－2･2･1　支持力（支柱常数）の入力モデル

2.2.1　入力条件およびデータ

1)　平均支持力およびバネ常数

入力した支柱常数は表－2･2･1に示すように，非常に弱いケースからコンクリート設置を想定した強い条件まで広い範囲に設定し，支柱間隔は4mおよび2mとした。

2)　衝突条件

衝突条件は要綱の設計条件に示されている衝突速度・重量・角度（表－2･2･2）とし，車両の入力データは「中央分離帯用防護柵に関する研究報告書」[12]の第4回衝突実験用トラックの諸数値を用いた。

表－2·2·1　シミュレーション演算ケース

平均支持力	バネ常数　PK　(t/m)										
PW (t)	5	10	20	30	50	75	100	150	200	300	400
0.30	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
0.50	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
0.75	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
1.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
1.50	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
2.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
2.50						○	○	○	○	○	○
3.00						○	○	○	○	○	○
4.00						○	○	○	○	○	○

表－2·2·2　衝突条件

防護柵種別	A種	B種	C種
衝突速度 (km/h)	60	40	35
衝突角度 (度)	15		
車両重量 (t)	14		
車　　種	トラック		

3)　ガードレール

ビームはA・B・C種3タイプで曲げ剛性 (EI) と極限曲げモーメント (Mo) は，前述の「中央分離帯用防護柵に関する研究報告書」および「積雪寒冷地における防護柵に関する研究報告書」[19] の実験結果から表－2·2·3の値とした。

表－2·2·3　ビームの力学特性

種　別		A種	B種	C種
曲げ剛性	EI (t·m²)	25.64	8.74	6.26
極限曲げモーメント	Mo (t·m)	1.14	0.60	0.37
最大張力 (降伏点)	T (t)	36.8	25.8	18.5

2.2.2　適用支持力の判定

支持力の適否をガードレールの変位とビームの張力から判断することとした。防護柵変位の許容値は要綱の最大進入行程の値 (1.1m) とし，ビームの最大張力は衝突時の曲げねじりによる変形や局部的な応力集中を考慮し，降伏点強度とした。

2.3　計算結果と考察

2.3.1　標準防護柵の支持力適正範囲

図－2·3·1はA種・支柱間隔4mの結果を支柱常数ごとの防護柵変位とビーム発生張力の関係を示したもので，次のような傾向がある。

・平均支持力が高いほど防護柵変位および張力は小さい

・同じ平均支持力の場合，バネ常数が高いほど防護柵変位は小さくなるが，張力は大きくなる

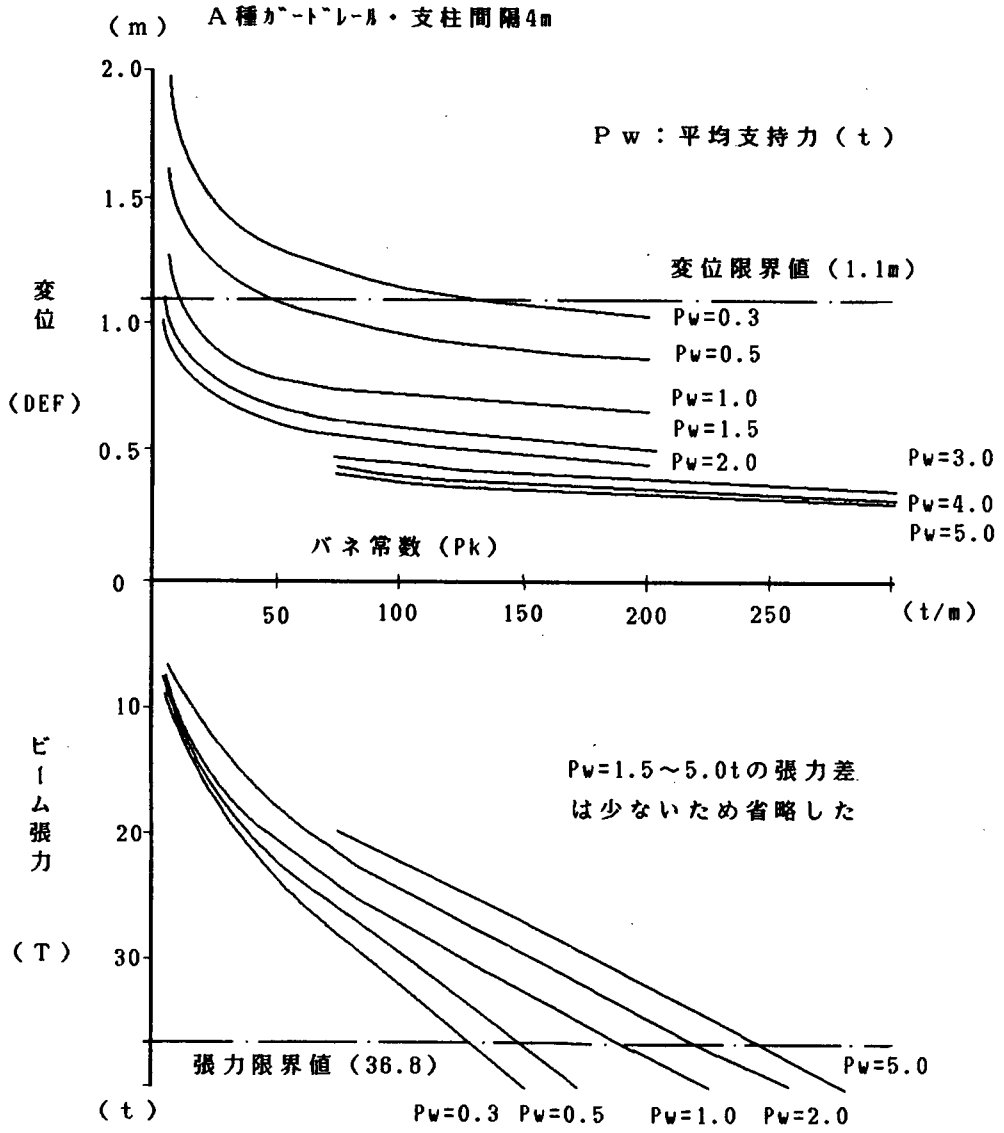
・平均支持力が小さい場合，変位に与える支持力の影響は非常に大きいが，平均支持力が２ｔを超えるとその影響は少なくなる

・バネ常数と張力の関係は平均支持力が1.5ｔを超えるとほとんど差がなくなる

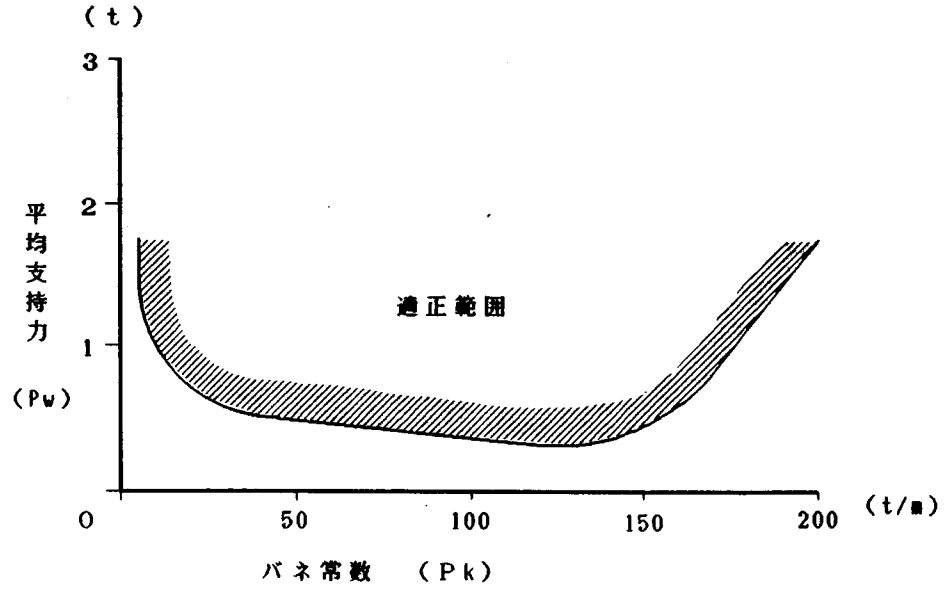
なお，量的な違いはあるがＢ・Ｃ種の計算結果もＡ種と同じ傾向にある。

図－2･3･1の一点鎖線は変位および張力の限界値である。この限界値と各曲線の交点からＡ種の支柱常数の境界を求めたものが図－2･3･2である。Ｂ・Ｃ種についても同様にして求め，その結果を図－2･3･3に示す。図中の曲線外の部分は防護柵支柱として適さない支柱常数の範囲である。

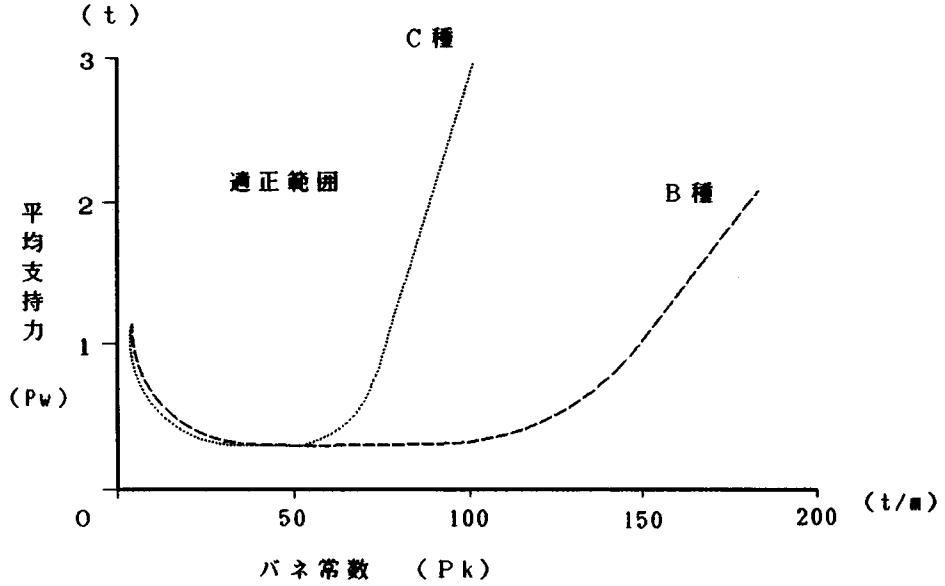
シミュレーションではバネ常数が確保できれば平均支持力は低くても良い結果となったが，実際の土中設置の場合支柱常数は限られた範囲にあり，弱い路肩では高いバネ常数は期待できないと思われる。従って，ここでは低めのバネ常数（５ｔ/ｍ）で防護柵変位1.1ｍ以下を満足できる平均支持力を図－2･3･2，３から



図－2･3･1　ガードレールＡ種のシミュレーション結果



図－2·3·2　支柱常数の適正範囲（A種）



図－2·3·3　支柱常数の適正範囲（B・C種）

表－2·3·1　平均支持力下限値および要綱の支柱１本当りに加わる力（t）

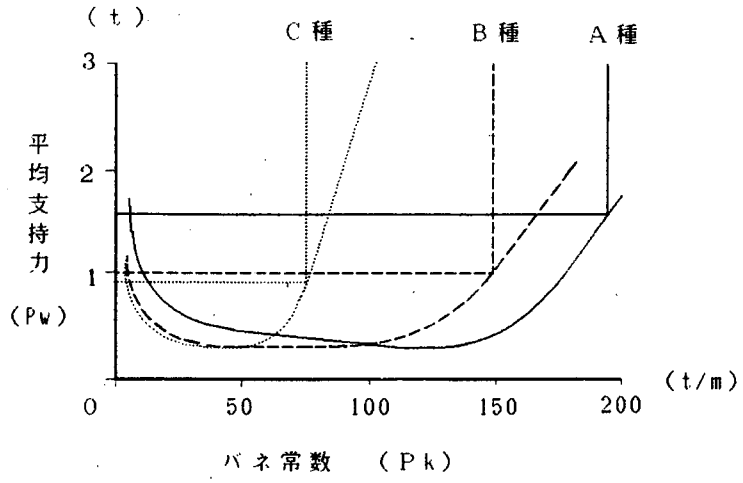
種　　別	A種	B種	C種
計算値・平均支持力下限値	1.5	0.9	0.9
要綱・支柱に加わる力（土中設置）	1.6	1.0	0.9

求めた。その結果，平均支持力の下限値はA種が1.5ｔ，B・C種が0.9ｔとなり（表－2·3·1），この値以下では支持力不足であると判断した。

また，要綱には支柱１本当りに加わる力として表－2·3·1の値が示されている。要綱の値とここで求めた値がほぼ同等と判断できることから，本研究では要綱の支柱１本当りに加わる力を支柱の必要とする平均支持力の基準値とした。

平均支持力下限値の設定方法と同様にバネ常数の上限値は次のように設定した。平均支持力の基準値はA

種1.6ｔ，B種1.0ｔ，C種0.9ｔであることから，支柱常数の境界値との交点を限界値とし，図－2･3･4のようにして求めた。



図－2･3･4　バネ常数の上限値

以上の検討から得られた支柱常数の適正範囲を表－2･3･2に示す。表－2･3･2の支持力より低い場合は支持力不足であり，支柱補強等の対策が必要である。そして，バネ常数が高すぎる場合もビーム張力の面から問題である。

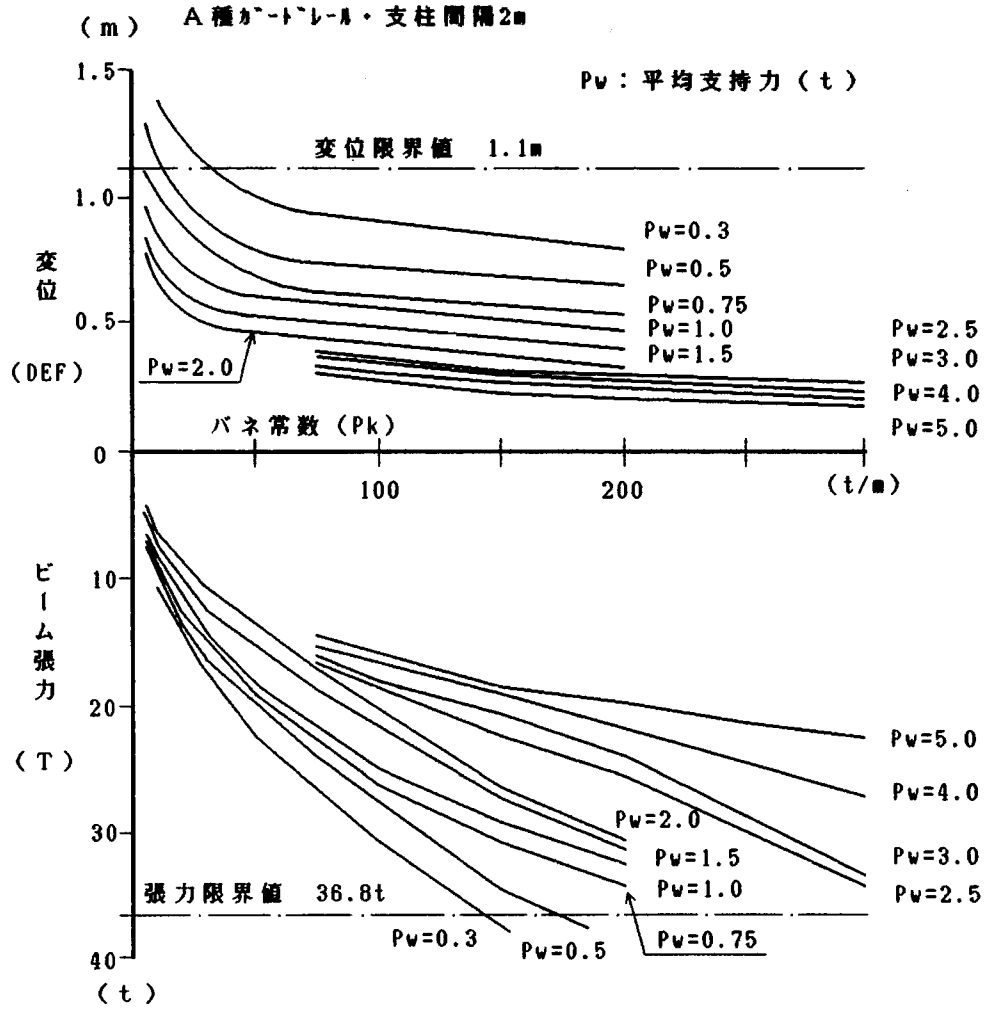
表－2･3･2　標準防護柵の支柱常数適正範囲

種　別	平均支持力（ｔ）	バネ常数（ｔ/m）
A	1.6　以上	5～200
B	1.0　以上	5～150
C	0.9　以上	5～ 75

2.3.2　支柱間隔を短縮した防護柵の支持力適正範囲

図－2･3･5は支柱間隔２ｍのA種ガードレールのシミュレーション結果を平均支持力ごとに示したものである。図から防護柵変位1.1ｍとなるバネ常数（５ｔ/m）の平均支持力下限値は0.75ｔで，標準防護柵支柱の半分の値である。標準防護柵の計算結果（図－2･3･1）とこの図－2･3･5とを比べると以下に示す傾向がある。

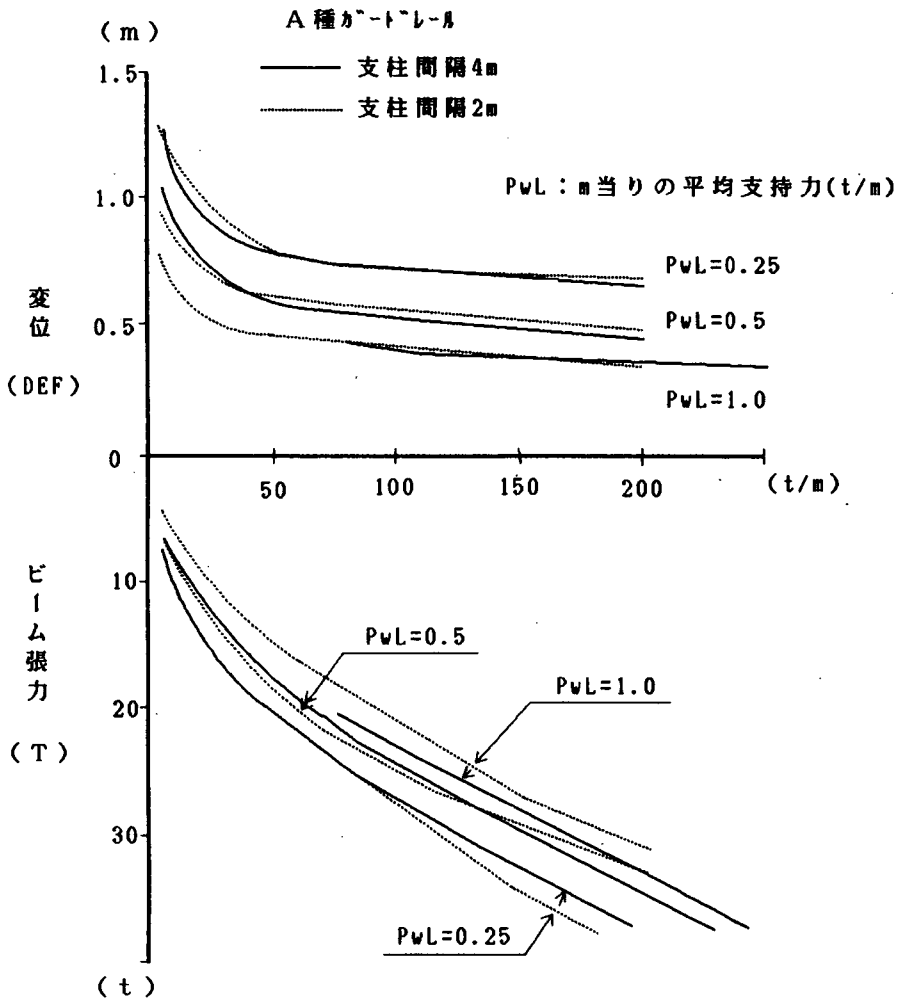
- 防護柵変位およびビーム張力と支柱常数との定性的な関係は，支柱間隔４ｍ，２ｍとも同じ傾向である
- 同じ支柱常数の場合，支柱間隔２ｍの防護柵変位は４ｍ間隔より0.1～0.3m少なく，平均支持力が低いほどその差は大きい
- ビーム張力は支柱間隔２ｍの方が全般的に少なく，張力差は同じ支柱常数でも平均支持力が高いほど，また，バネ常数が高いほど大きくなる



図－2·3·5　支柱間隔２m・ガードレールA種のシミュレーション結果

図－2·3·6は支柱間隔４mと２mの計算結果の一部を合わせたもので，平均支持力 PW を支柱間隔 L で割った１m当りの平均支持力 PWL（$PWL = PW / L$，１t／４m＝0.25t/m）で整理したものである。この図から両者のバネ常数と防護柵変位・張力の関係はほぼ等しく，支柱間隔と必要とする支持力は比例関係にある。この傾向はB・C種も同様であった。標準防護柵（支柱間隔４m）の必要平均支持力から支柱間隔２mとした場合の値を推定するとA種0.8t，B種0.5t，C種0.45tとなる。

ビーム張力限界から決まるバネ常数の上限値は，１m当りの平均支持力で判断すれば標準防護柵と支柱間隔２mのビーム張力がほぼ同等であるため，支柱間隔２mの場合も表－2·3·2のバネ常数と同じ値とした。表－2·3·3に支柱間隔２m（標準支柱間隔の1/2）の支柱常数適正範囲を示す。



図－2·3·6　支柱間隔４ｍ・２ｍのシミュレーション結果比較（ガードレールＡ種）

表－2·3·3　支柱間隔２ｍの支柱常数適正範囲

種　別	平均支持力（t）	バネ常数（t/m）
A	0.8　以上	5～200
B	0.5　以上	5～150
C	0.45 以上	5～ 75

3　支柱水平載荷実験

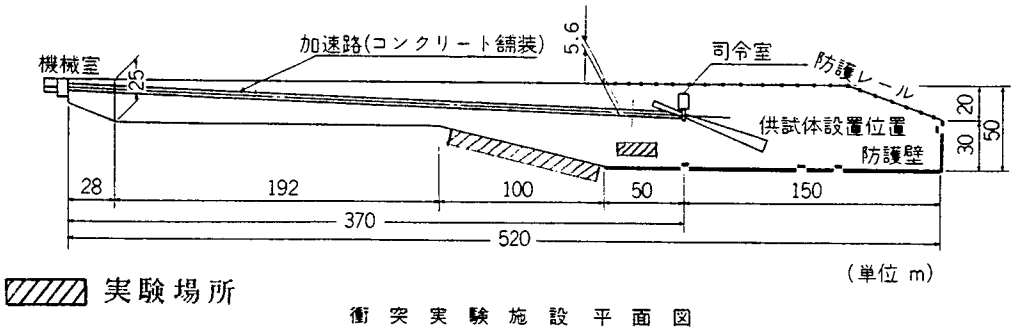
3.1　目的

この実験は，支持力に与える影響が大きいと考えられる支柱構造，設置位置，地盤状況に関し，水平載荷によって支持力との関係を求めるものである。ここでは特に，支持力不足となる条件を明らかにするため地盤の弱い試験斜面を造成し，支持力と支柱構造および設置条件との関係を検討した。

3.2　実験内容

3.2.1　実験場所

建設省土木研究所内において一様の地盤で，動的載荷の行える場所を選定した（図－3·2·1)。



図－3·2·1　実験場所

3.2.2　土質調査

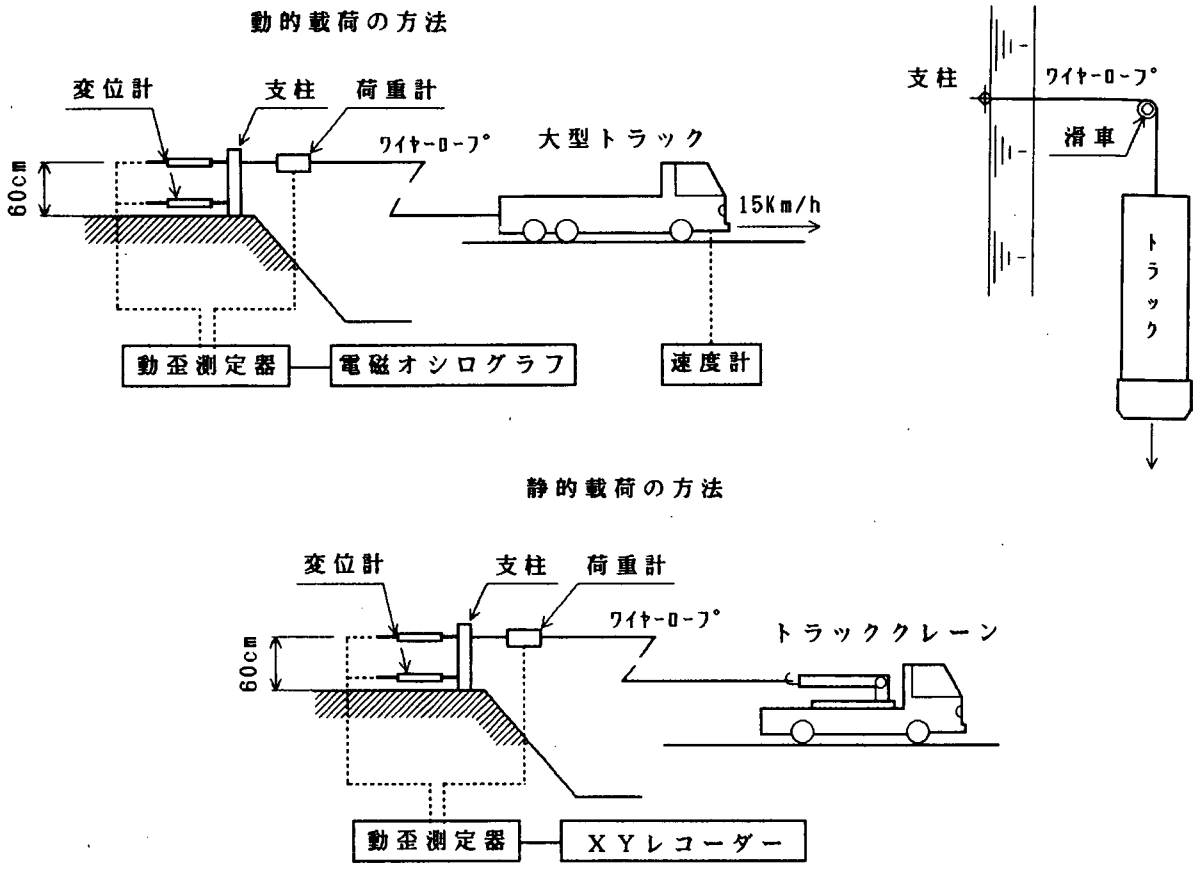
土質調査は，標準貫入試験と斜面調査用簡易貫入試験[注)1]（以下，簡易貫入試験という）を含めて行った。

[注)1] 簡易貫入試験機は，標準貫入試験機を小型にしたような構造で，取扱いが容易で移動性に優れており，斜面調査用に開発されたものである。試験は5kgの重錘を50cm落下させ，打込みロッド（φ25mm先端角60°の円錐形コーン付）の10cm貫入量に対する打撃回数（Nc値）を求めるものである。

〔土木研究所急傾斜地崩壊研究室，㈱砂防・地すべり技術センター〕

3.2.3　載荷および測定方法

支柱の設置はドロップハンマーによる機械打込みで行い，図－3·2·2に示すとおり地表面から60cmの位置に動的および静的に載荷した。実験では，実際の車両衝突時の支柱挙動を再現するために動的載荷を主体とし，ワイヤロープで供試体とつないだトラックを走行させて載荷した。載荷速度は，A種防護柵の衝突条件である速度60km/h，角度15度における柵直角方向成分の15km/h（約4.2m/s）とし，B・C種支柱の動的載荷も15km/hで実施した。載荷用ワイヤロープを止めるフックは支柱の転倒角度が45度程度になると外れるように設計し，図－3·2·2の方法により荷重（支持力）と支柱変位，および高速ビデオによる転倒挙動の測定を行った。なお，変位の測定は変位計の性能上から最大1mまでとした。



図－3·2·2　載荷および測定方法

3.2.4　供試体および実験種類

供試体は，図－3·2·3に示す標準支柱と支持力不足対策用として設計した強化支柱であり，A種を主体に実験を行った。実験種類を表－3·2·1，2に示すが，設置条件の設定は以下の考えで行った。

地　　盤　　支柱が設置される路肩は締固めの管理は行うが，舗装路盤と違い転圧が難しくなる盛土端であるため，一般的に弱い地盤と考えられる。

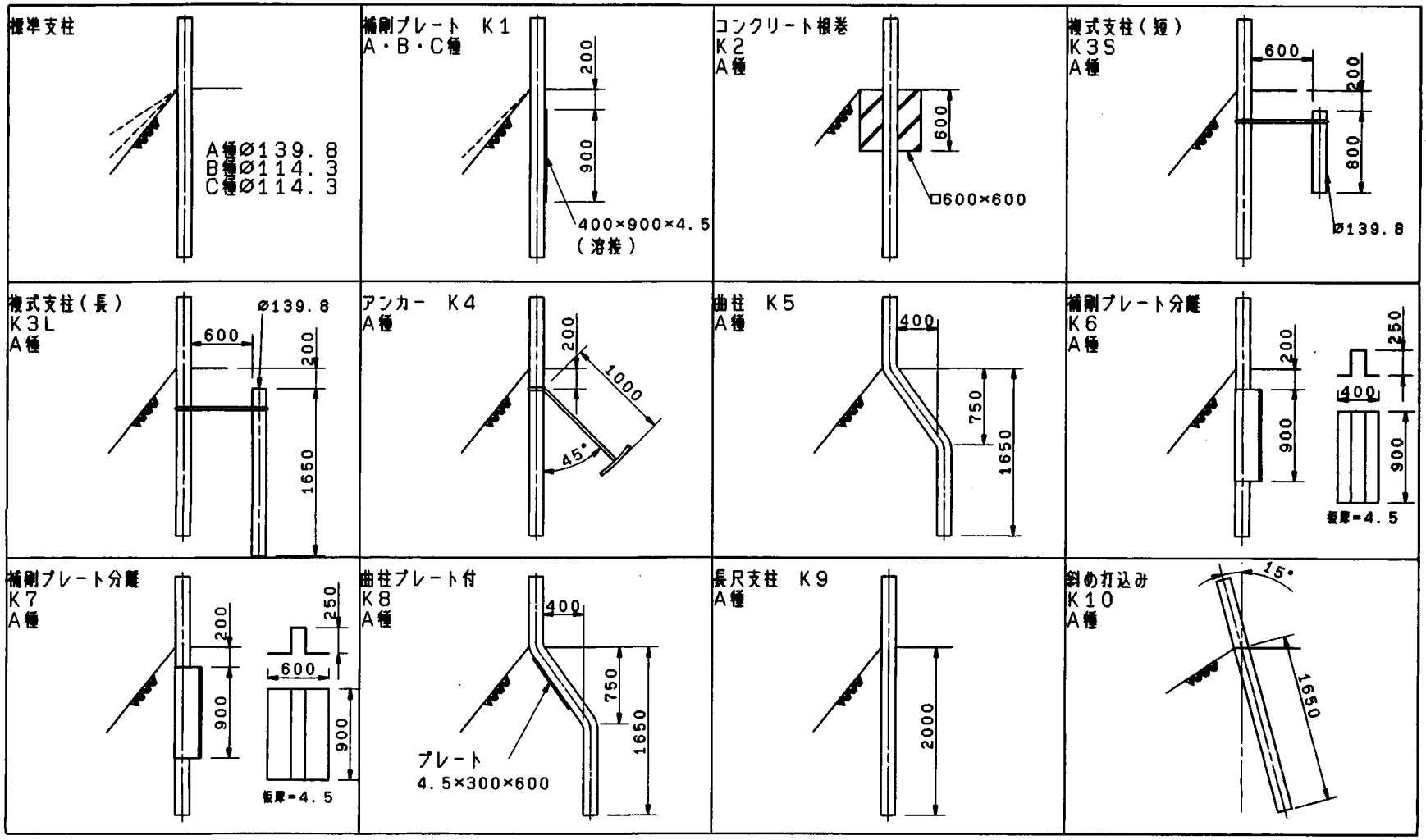
地盤強度については区分が難しいため，実験は弱いと推定した一種類の地盤とした。

法 勾 配　　法勾配は実際の道路では種々あるが，ここでは1割5分勾配を標準的なものとし，それより支持力が低くなると思われる急な勾配に関しても検討することとした。

法肩距離[注)2]　現道では，短い法肩距離での設置が多いと推察される。法肩距離の変化が支持力に及ぼす影響を求めるため，法肩距離は0～0.6mで行い無限大と考えられる大きいもの（約5m）も含めた。

注)2　法肩距離とは，支柱背面から法肩までの距離をいう。

標準支柱による実験は主に設置条件が支持力に及ぼす影響を，強化支柱については主に構造の違いによる支持力の比較を目的として行った。強化支柱はA種標準支柱をベースに打込み設置可能な構造とし，勾配8分・法肩距離0mの条件で支持力1.6t以上を基本に設計した（K 10斜め打込み支柱は参考に実施した）。

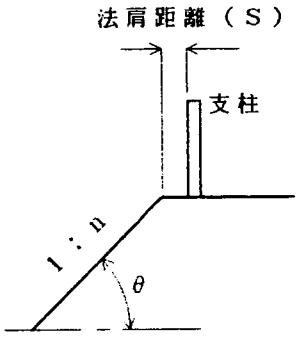

標準支柱
A種Ø139.8
B種Ø114.3
C種Ø114.3
補剛プレート K1
A・B・C種
200
900
400×900×4.5
(溶接)
コンクリート根巻
K2
A種
600
□600×600
複式支柱(短)
K3S
A種
600
200
800
Ø139.8
複式支柱(長)
K3L
A種
Ø139.8
600
200
1650
アンカー K4
A種
200
1000
45°
曲柱 K5
A種
400
750
1650
補剛プレート分離
K6
A種
200
900
250
400
900
板厚=4.5
補剛プレート分離
K7
A種
200
900
250
600
900
板厚=4.5
曲柱プレート付
K8
A種
400
750
1650
プレート
4.5×300×600
長R支柱 K9
A種
2000
斜め打込み
K10
A種
15°
1650

図－3·2·3　供試体の種類

表－3･2･1　設置条件別供試体数（標準支柱）

種　別	支柱寸法（mm）		設　置　条　件				
	外径と板厚	埋込深さ	S(m) ＼ 法勾配	0	0.3	0.6	∞
A	φ139.8 ×4.5	1,650	1：0.8	6	6	6	－
			1：1.0	6	6	6	－
			1：1.5	12 (6)	6 (4)	3 (3)	－
			平　坦	－	－	－	3
B	φ114.3 ×4.5	1,500	1：1.5	3	－	－	－
C		1,400	1：1.0	3	－	－	－
			1：1.5	2	－	－	－

（　）内は静的載荷13体，他は動的載荷68体，計81体



1：n	θ（度）
1：0.8	51.3
1：1.0	45.0
1：1.5	33.7

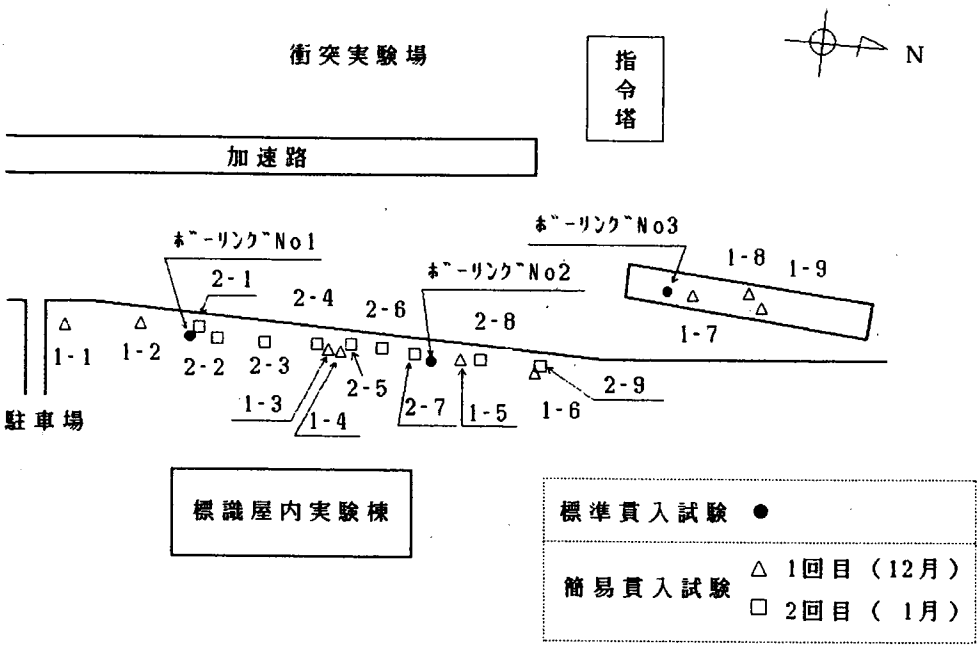
表－3·2·2　設置条件別供試体数（強化支柱）

強化方法	種　別	支柱寸法（mm）		設　置　条　件		
		外径と板厚	埋込深さ	S(m) / 法勾配	0	0.3
補剛プレート（溶接）	A(K1)	φ139.8 ×4.5 〔400〕	1,650	1：0.8	3	3
				1：1.0	3	3
	B(K1)	φ114.3 ×4.5 〔400〕	1,500	1：1.0	3	－
	C(K1)		1,400	1：1.0	2	－
コンクリート根巻	A(K2)	φ139.8 ×4.5	1,650	1：0.8	3	－
複式支柱	A($K3_S$)		1,650 (800)	1：0.8	2	－
	A($K3_L$)		1,650 (1,650)		3	－
アンカー	A(K4)		1,650	1：0.8	3	－
曲　柱	A(K5)			1：0.8	3	－
補剛プレート（分離型）	A(K6)	φ139.8 ×4.5 〔400〕		1：0.8	3	－
	A(K7)	φ139.8 ×4.5 〔600〕			3	－
曲柱プレート付	A(K8)	φ139.8 ×4.5		1：0.8	3	－
長尺支柱	A(K9)		2,000	1：0.8	3	－
斜め打込み	A(K10)		1,650	1：1.5	1	－

（　）内はアンカー支柱の埋込み深さ
〔　〕内は補剛プレートの横幅を示す
動的載荷 44 体

3.3 土質調査結果および考察

図－3·3·1に示す位置で行った標準貫入試験とサンプリング試料による土質試験，および簡易貫入試験の結果を以下に示す。



図－3·3·1　土質調査場所

3.3.1 標準貫入試験および土質試験結果

標準貫入試験によるN値および土質試験結果を以下に示す。

① 平均N値（地盤面から0～1.8m）

調査地点	No 1	No 2	No 3
平均N値	4.75	5.75	3.50

② 粒度分布による分類　　細粒度（F）

③ コンシステンシー特性（平均）

液性限界（W_L）：155.0％　　塑性限界（W_P）：93.9％

塑性指数（I_P）：　61.1　　塑性図による分類：VH_2（火山灰質粘性土）

④ 物理特性（平均）

比重（G_S）：2.463　　自然含水比（W_n）：133.5％

湿潤密度（ρ_t）：1.283 g/cm^3　　間隙比（e）：3.487

飽和度（S_t）：94.3％

⑤ 力学特性（平均）

一軸圧縮強度（q_u）：1.286kg/cm^2

3.3.2 簡易貫入試験結果

簡易貫入試験は2回実施した。測定は支柱埋込み深さまで行い，その結果を表－3·3·1，図－3·3·3，4に示す。

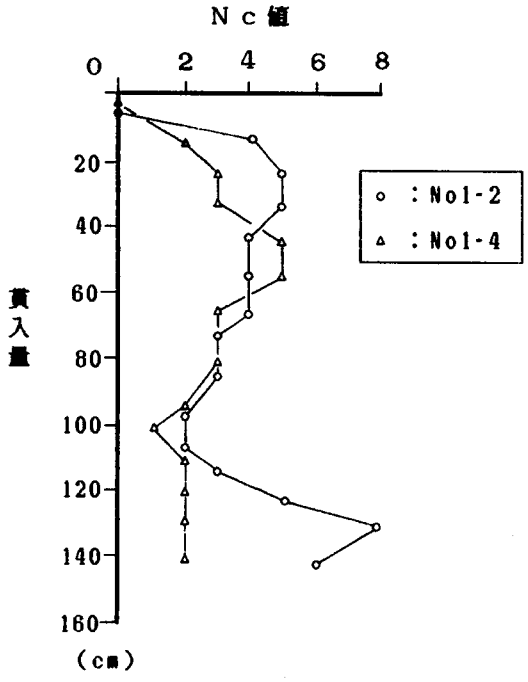
表－3·3·1 簡易貫入試験結果の平均値

1回目

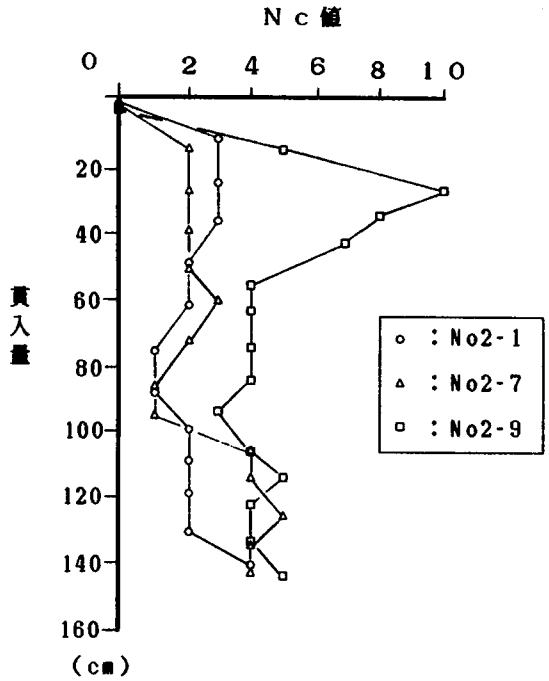
調査地点	平均Nc値
1－1	3.2
1－2	4.1
1－3	3.4
1－4	2.7
1－5	4.1
1－6	5.7
1－7	5.1
1－8	4.4
1－9	6.1
全平均	4.3

2回目

調査地点	平均Nc値
2－1	2.3
2－2	4.0
2－3	4.1
2－4	3.9
2－5	3.6
2－6	3.4
2－7	2.8
2－8	5.5
2－9	5.1
全平均	3.9



図－3·3·3 実験地盤の簡易貫入試験（1回目）



図－3·3·4 実験地盤の簡易貫入試験（2回目）

3.3.3 実験場所の地盤

1） 実験場所の地盤強度

標準貫入試験結果によると，3ヶ所の平均N値はそれぞれ3.5，4.75，5.75となっており，全N値の平均は4.7である。従って，実験場所全体のN値は4～5とみることができ，軟らかい粘性土と中くらいの粘性土との境界付近に相当する地盤と考えられる。一軸圧縮強さ（qu）は0.66～1.69kg/cm²で，一般的な粘性土における$qu \fallingdotseq N/8$の関係より大きくなっているが，N値5未満の粘性土では$qu=(1～2.5)\ N/8$とい

われており[20]，このことからも実験地盤は軟らかい粘性土といえる。

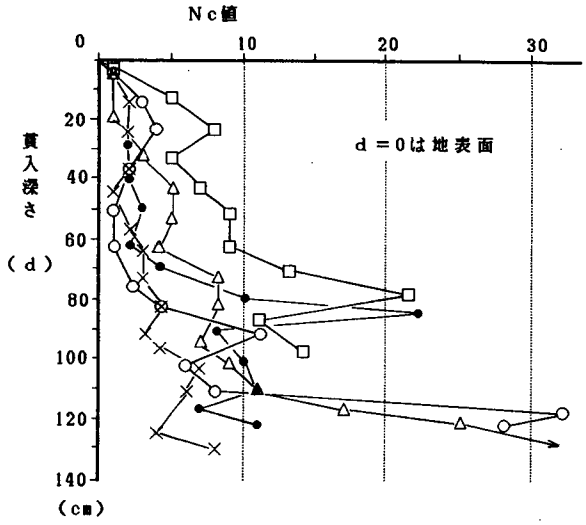
今回の調査における標準貫入試験N値と，その近傍地盤の簡易貫入試験 Nc 値との比較を表－3･3･2 に示す。表中のN値は地表面下 0～1.8mまでの平均値で，Nc値は深さ 0～1.5 m程度までの平均値である。それぞれのバラツキの範囲をみると，N値は 3.5～5.75，Nc 値は 2.3～5.1 となっている。試料数は少ないが，今回の調査でのN値と Nc 値はほぼ等しいと考えられる。

表－3･3･2　標準貫入試験と簡易貫入試験の比較

調査地点	N値（平均）	Nc値（平均）
No 1	4.75	——
2－1	——	2.3
2－2	——	4.0
No 2	5.75	——
2－7	——	2.8
1－5	——	4.1
No 3	3.5	——
1－7	——	5.1

2)　実験地盤と現道の路肩地盤

図－3･3･5は事故実態調査における大型車突破事故例で路肩地盤が弱いと推定した場所から選んだ 5 ヶ所の簡易貫入試験結果である。同図において，地表面から約60cmまでの表層部はNc値の平均が 5 程度であり地盤は弱い傾向にあると思われ，実験場所での Nc 値とN値との関係から現道におけるN値も 5 程度と考えられる。図－3･3･3，4 と図－3･3･5を比較すると，実験地盤は現道の路肩の比較的弱い地盤に位置づけられる。

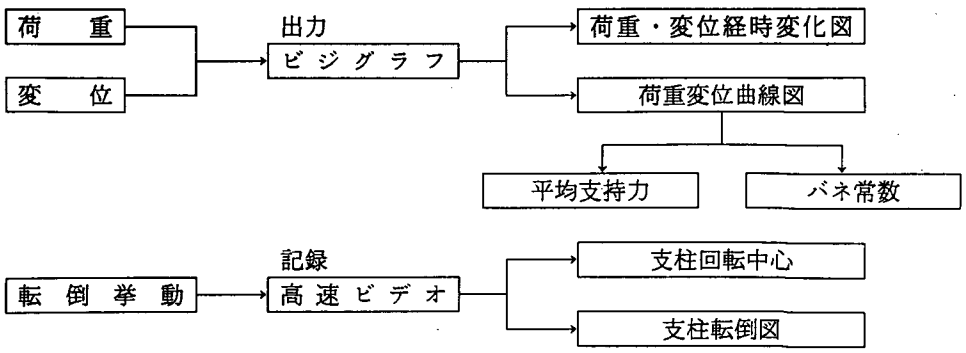


図－3･3･5　現道の弱地盤の簡易貫入試験結果

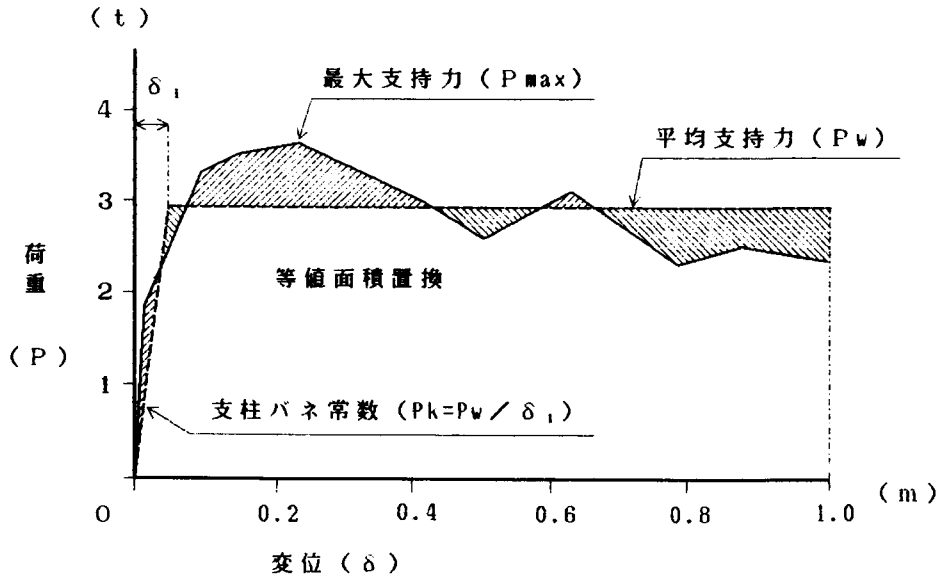
3.4　載荷実験結果

3.4.1　実験データの整理方法

実験は表－3･2･1,2 に示した条件で動的載荷 112 体，静的載荷 13 体の合計 125 体実施し，データの整理は次の手順で行った。



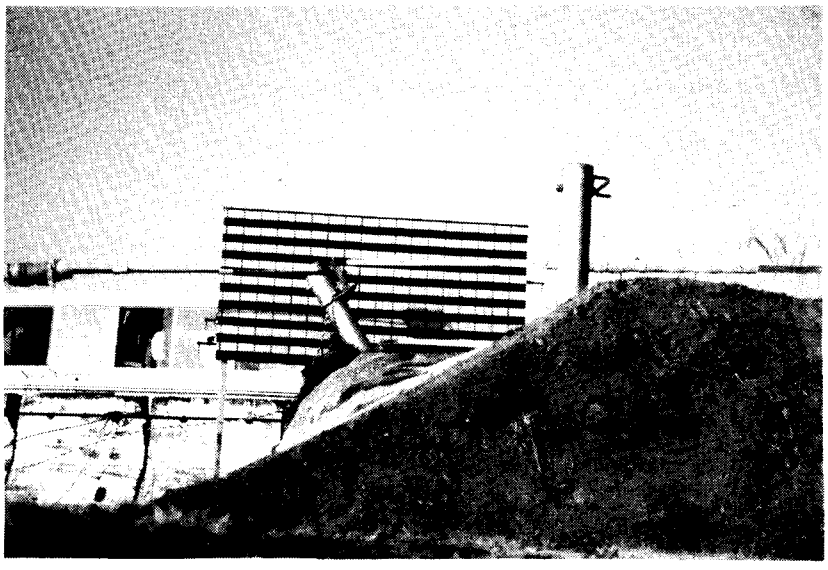
バネ常数および平均支持力は図－3·4·1に示す等値面積置換により２直線にモデル化して算出した。なお，平均支持力を求める際の変位は原則として１ｍまでとした。動的載荷実験では高速ビデオにより撮影した支柱の転倒挙動から支柱転倒図を作成し，支柱回転中心を求めた。



図－3·4·1　荷重変位曲線図における平均支持力とバネ常数

3.4.2　実験結果

表－3·4·1に実験結果の総括，図－3·4·2～４に荷重・変位の経時変化，図－3·4·5～８に動的載荷の荷重変位，図－3·4·9に支柱の転倒，図－3·4·10に静的載荷の荷重変位の関係を示す。なお，支柱の載荷位置は全て地表面から60cm高さであり，単に荷重・支持力または変位という場合は，載荷高さ60cmでの値を意味している。



写真－3·4·1　実験状況

表－3·4·1 (1) 実験結果一覧表

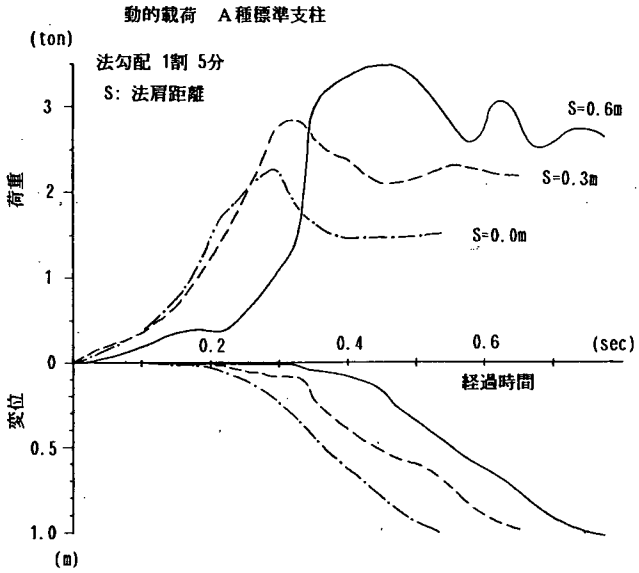
（　）内データは削除

番号	載荷方法	種別	供試体 記号	供試体 構造	法勾配	法肩距離 (m)	供試体 NO.	最大支持力 支持力 Pmax (t)	最大支持力 変位 δm(cm)	平均 支持力 PW(t)	変位 δ1(cm)	バネ常数 PK (t/m)	回転中心 深さ (cm)	備考
1	動的載荷	A種	標準		8分	0	1-1	1.23	16	0.89	2.8	31.5	110	変位発生時から最大支持力までの時間（秒）
2							1-2	0.80	9	0.62	4.4	13.9		
3							1-3	0.77	8	0.70	5.8	12.0		
4							1-11	0.97	8	0.67	2.8	23.8		
5							1-12	0.93	6	0.63	3.9	16.2		
6							1-13	1.27	12	0.70	3.5	20.0	130	0:22
7						0.3	2-1	0.99	7	0.75	3.5	21.3		
8							2-2	1.03	7	0.74	2.0	36.4		
9							2-3	1.27	17	0.93	2.0	46.2	122	0:19
10							2-11	1.85	6	1.21	2.5	47.7	130	0:19
11							2-12	1.50	12	0.89	4.3	20.9		
12							2-13	2.27	14	1.33	5.1	26.0		
13						0.6	10-1	(3.80)	(20)	(2.72)	(5.1)	(52.8)		
14							10-2	(2.77)	(9)	(2.46)	(2.0)	(125.2)		
15							10-3	(3.13)	(19)	(2.30)	(4.9)	(47.3)	(110)	0:25
16							10-11	1.50	20	1.35	7.8	17.3	104	0:42
17							10-12	2.33	19	1.85	4.4	41.7		
18							10-13	3.20	14	2.18	2.1	104.0		
19					1割	0	3-1	1.12	19	0.91	2.7	33.7		
20							3-2	1.12	27	0.92	1.1	80.8	110	0:27
21							3-3	1.29	12	1.00	1.4	72.4		
22							3-4	1.20	21	0.88	1.8	50.0		
23							3-5	1.27	9	0.78	2.6	30.2		
24							3-6	1.07	30	0.85	5.3	16.1	(156)	0:26
25						0.3	4-1	2.10	21	1.41	(0.6)	(222.3)		
26							4-2	1.83	13	1.21	1.9	65.5	132	0:16
27							4-3	1.23	23	1.02	3.4	29.8		
28							4-4	2.07	7	(1.72)	3.8	45.2		δmax0.4m
29							4-5	2.47	12	1.84	4.9	37.3		
30							4-6	1.60	18	0.99	2.2	43.8	126	0:27
31						0.6	5-1	1.87	12	1.40	5.2	27.1		
32							5-2	2.50	9	1.82	6.2	29.4		
33							5-3	2.20	29	1.73	3.4	50.4	122	0:24
34							5-4	2.87	23	2.18	5.6	38.6		
35							5-5	2.53	31	(2.11)	4.9	42.8		δmax0.6m
36							5-6	2.53	14	2.09	4.1	50.8	124	0:22
37					1割5分	0	6-1	1.43	19	1.27	5.8	21.9	118	0:22
38							6-2	1.87	7	1.13	1.7	64.6		
39							6-4'	1.23	(80)	1.06	(19.5)	(5.4)		
40							11-1	2.27	19	1.69	2.4	69.0		
41							11-2	2.47	13	1.89	4.8	39.6	112	0:23
42							11-3	2.13	11	1.73	2.8	62.7		
43							12-1	(2.33)	(100)	(1.89)	(13.8)	(13.6)		
44							12-2	2.13	(55)	1.95	8.0	24.5	116	0:34
45							12-3	2.47	14	2.35	7.1	32.9		
46							6-4	2.30	7	1.78	3.1	57.4		
47							6-5	2.87	10	2.06	4.6	45.0	137	0:20
48							6-6	2.97	28	2.04	5.1	40.0		
49						0.3	7-1	1.57	12	1.46	6.5	22.4		
50							7-3	1.83	36	1.69	4.2	40.0		
51							7-4	3.07	23	2.44	2.9	83.5		
52							7-5	2.83	9	2.36	4.4	53.8		
53							7-6	3.23	11	2.30	3.3	70.2	110	0:25
53'							予備	(5.00)	(20)	(4.39)	(7.1)	(62.0)		
54						0.6	8-1	3.47	27	3.00	4.8	62.1		
55							8-2	3.40	11	3.03	7.3	41.4		VTRの記録なし
56							8-3	3.27	7	2.88	5.1	56.9		
57		B種				0	21-1	1.63	14	1.44	6.7	21.3		
57'							21-2	1.33	47	1.23	(24.3)	(5.1)		
58							21-3	1.89	14	1.49	4.4	33.9	110	0:21
59		C種			1割		22-1	1.27	42	1.12	12.7	8.9	84	
60							22-2	0.70	13	0.59	5.1	11.5		
60'							22-3	0.80	(30)	(0.74)	(6.1)	(12.2)		
61					1割5分		23-1	2.27	42	1.66	6.4	25.7		
62							23-2	1.67	7	0.99	3.5	28.5	90	0:16

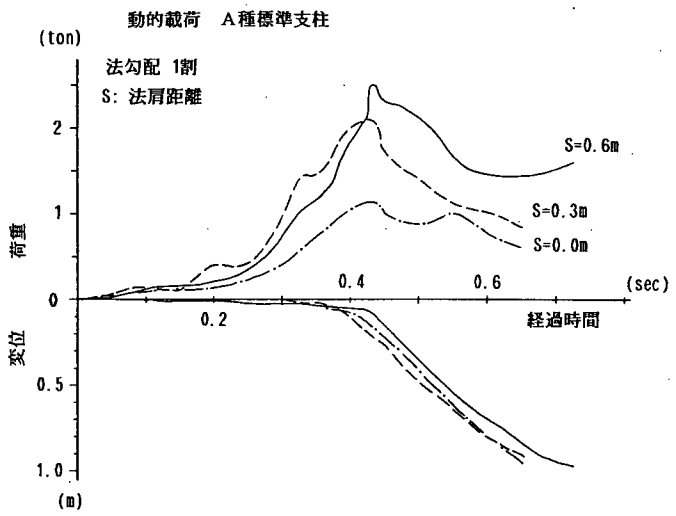
表－3·4·1 (2) 実験結果一覧表

（　）内データは削除

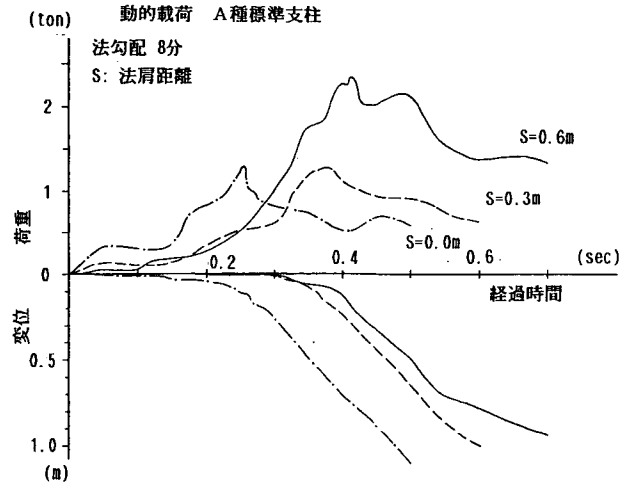
番号	載荷方法	種別	供試体 記号	供試体 構造	法勾配	法肩距離 (m)	供試体 NO.	最大支持力 支持力 Pmax (t)	最大支持力 変位 δm(cm)	平均支持力 PW(t)	変位 δ1(cm)	バネ常数 PK(t/m)	回転中心深さ (cm)	備考
63	動的載荷	A種	標準		－	∞	9-1	4.40	29	3.69	5.9	62.2		
64					(平坦地)	(平坦地)	9-2	4.73	14	3.86	5.5	69.8	110	0:24
65							9-3	4.40	14	3.91	4.7	82.4		
66			K1	補剛プレート(溶接) 4.5×400×900	8分	0	K-1-0-1	2.77	17	1.72	2.4	70.6	118	0:24
67							K-1-0-2	2.93	11	1.68	(1.1)	(156.0)		
68							K-1-0-3	2.93	5	1.63	1.8	89.0		
69						0.3	K-1-03-1	3.07	14	(2.35)	3.3	70.8		δmax0.7m
70							K-1-03-2	3.27	27	2.48	3.1	80.8	124	0:29
71							K-1-03-3	2.29	17	1.50	2.1	70.0		
72					1割	0	K-1-3-1	1.33	12	1.07	6.4	16.9	102	0:26
73							K-1-3-2	1.13	7	0.86	3.3	25.9		
74							K-1-3-3	1.60	10	0.94	2.8	34.1		
75						0.3	K-1-4-1	1.57	17	1.08	2.0	54.0		
76							K-1-4-2	2.13	20	1.37	2.1	66.5	120	0:23
77							K-1-4-3	1.57	28	1.30	3.3	38.9		
78		B種				0	K-1-2-1	0.83	13	0.54	1.4	40.0	100	0:28
79							K-1-2-2	1.40	7	0.90	2.0	45.0		
80							K-1-2-3	1.20	3	0.56	2.0	28.4		
81		C種				0	K-1-1-2	1.20	28	0.88	6.4	13.9	112	0:29
82							K-1-1-3	0.77	10	0.51	4.7	10.9		
83		A種	K2	コンクリート根巻 600×600×600	8分	0	K-2-1	2.67	25	1.35	(0.5)	(246.0)		
84							K-2-2	1.99	10	1.39	2.1	67.3	156	0:16
85							K-2-3	2.73	18	1.68	1.8	92.5		
86			K3 S	複式支柱(短)			K-3-S-2	1.83	11	1.08	1.3	85.9	130	0:28
87							K-3-S-3	1.63	4	1.27	3.2	39.8		
88			K3 L	複式支柱(長)			K-3-L-1	3.17	18	2.11	2.5	85.4		
89							K-3-L-2	3.00	9	2.00	(4.6)	(45.0)	110	0:17
90							K-3-L-3	3.07	9	2.03	(1.0)	(207.0)		
91			K4	アンカー			K-4-1	(1.62)	(9)	(0.92)	(2.7)	(34.2)	(134)	アンカー抜け
92							K-4-2	(1.43)	(16)	(0.96)	(3.7)	(26.7)		アンカー抜け
93							K-4-3	2.55	45	2.11	11.6	18.2		
94			K5	曲柱			K-5-1	3.00	18	2.05	6.3	32.4		
95							K-5-2	1.80	16	1.48	9.6	15.4		
96						0	K-5-3	2.33	28	1.60	4.7	34.1	128	0:37
97			K6	補剛プレート(分離) 4.5×400×900			K-1-11	2.53	13	1.59	2.7	58.4		
98							K-1-12	3.07	16	1.97	4.5	44.2		VTRの記録なし
99							K-1-13	2.40	14	1.57	3.3	47.6		
100			K7	補剛プレート(分離) 4.5×600×900			K-1-21	2.80	9	1.76	5.3	33.2		
101							K-1-22	2.60	11	1.66	2.7	60.9	120	0:31
102							K-1-23	1.85	23	(1.39)	11.2	12.4		δmax0.7m
103			K8	曲柱プレート付 4.5×300×600			K-5-11	2.27	14	1.64	4.9	33.6	150	0:25
104							K-5-12	2.10	19	1.43	3.8	37.4		
105							K-5-13	2.23	17	1.55	5.2	29.9		
106			K9	長尺支柱 深さ2,000			K-6-11	1.70	20	1.30	4.2	30.6		
107							K-6-12	1.60	17	1.26	5.3	23.7		
108							K-6-13	1.63	12	1.26	2.8	45.6	196	0:17
109			K10	斜め打込み			40	3.60	17	(3.23)	5.5	58.3	100	0:24
110	静的載荷		標準		1割5分		31-1	1.10	8	1.01	2.0	50.0		
111							31-2	1.00	(100)	0.97	2.1	45.0		
112							31-3	0.90	(112)	0.82	2.7	30.0		
113							31-4	1.05	(122)	0.85	3.4	25.5	140	
114							34-1	1.70	(100)	1.49	3.7	40.0		
115							34-2	1.70	12	1.46	3.7	40.0	138	
116						0.3	32-1	1.95	(100)	1.75	3.5	50.0		
117							32-2	2.00	(110)	1.96	3.9	50.0		
118							32-3	2.15	(100)	1.97	3.9	50.0	174	
119							予備	(2.55)	(100)	(2.31)	(3.7)	(63.0)		
120						0.6	33-1	2.40	(100)	2.13	(1.1)	(200.0)	132	
121							33-2	2.25	7	2.09	2.2	93.8		
122							33-3	2.65	10	2.55	3.6	70.1		



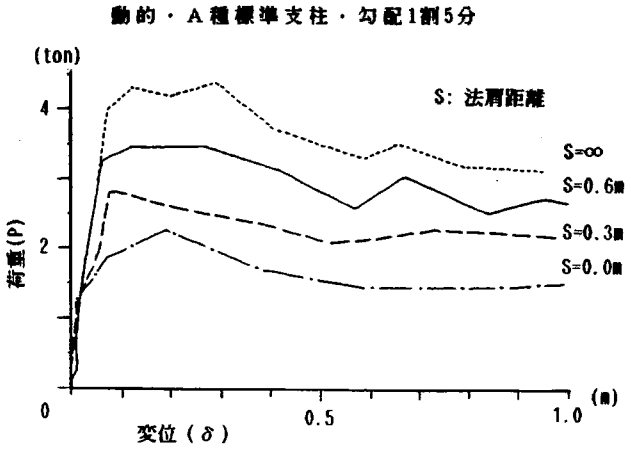
図－3･4･2　荷重・変位経時変化線図(1)



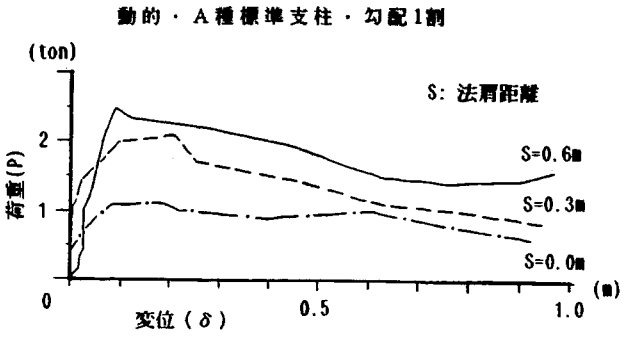
図－3･4･3　荷重・変位経時変化線図(2)



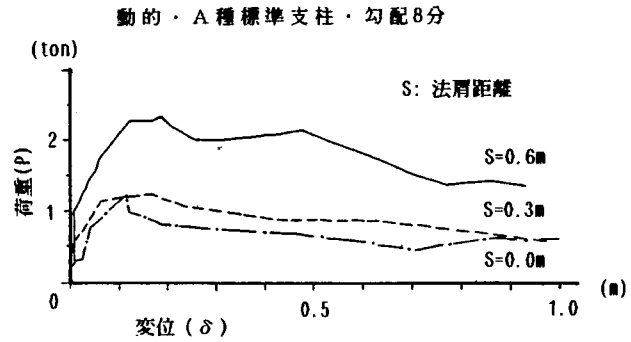
図－3･4･4　荷重・変位経時変化線図(3)



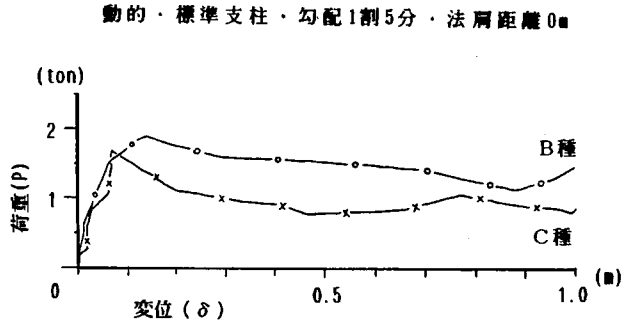
図－3·4·5　荷重変位曲線図(1)



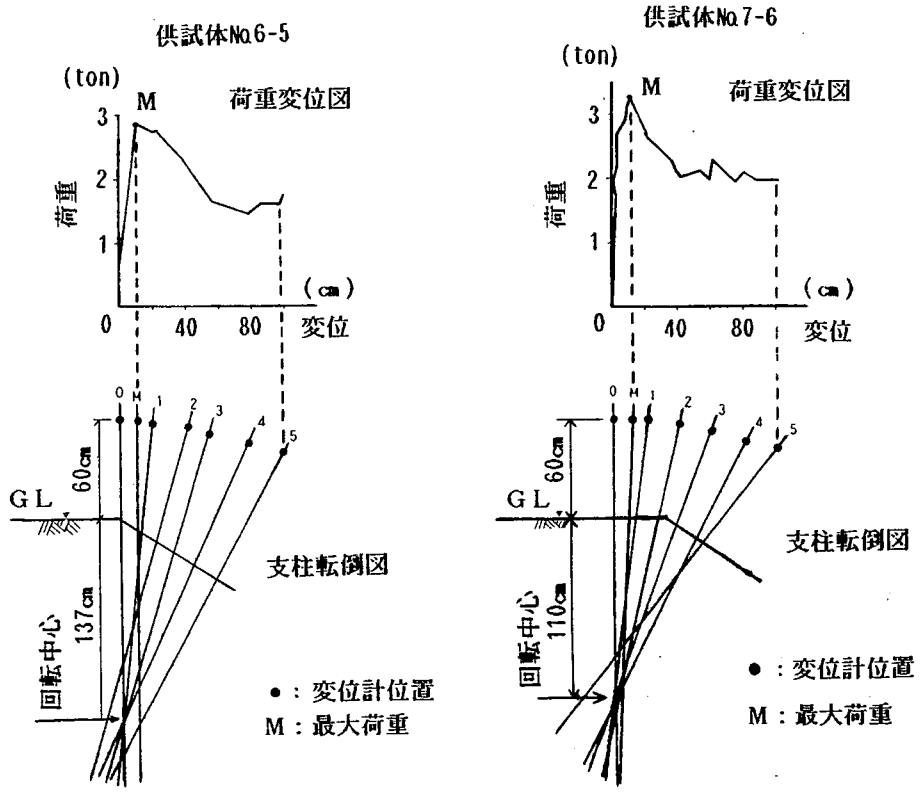
図－3·4·6　荷重変位曲線図(2)



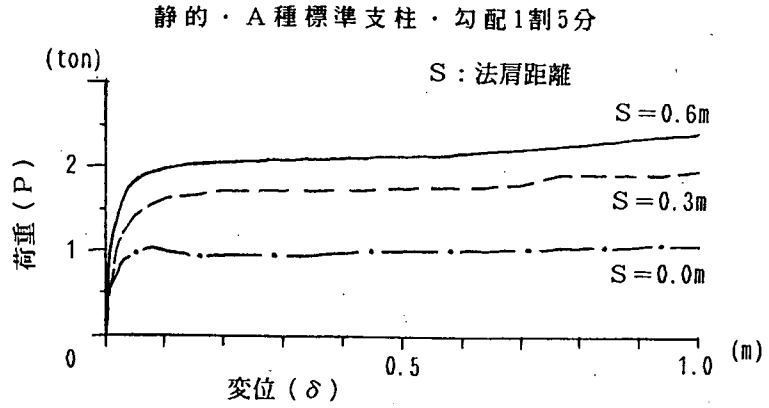
図－3·4·7　荷重変位曲線図(3)



図－3·4·8　荷重変位曲線図(4)



図－3·4·9　支柱転倒図（動的・A種標準支柱・勾配１割５分）



図－3･4･10　荷重変位曲線図(5)

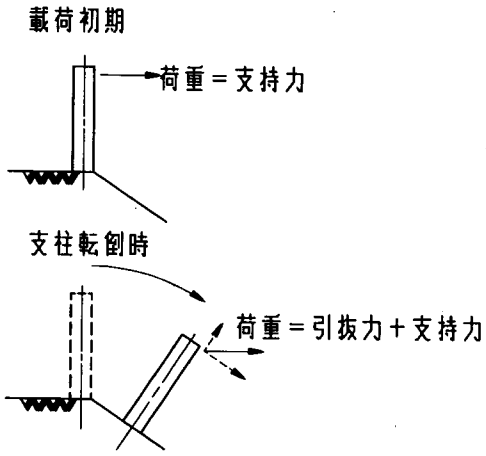
3.5　考察

表－3･5･1に条件ごとの実験結果の平均値を示し，以下に考察を述べる。

3.5.1　標準支柱

1)　動的載荷と静的載荷

ワイヤロープで水平に載荷したが，図－3･5･1のように支柱の変位が大きくなると，支柱を引抜く力の影響がでてきていると思われる。特に静的載荷の場合，支柱変位に応じて荷重の増加傾向が全般的に現れた。また，静的載荷の方が同一条件におけるバラツキは少ない。



図－3･5･1　概念図

法勾配1割5分の同一条件で両者を比較すると，表－3･5･2から次のような傾向があると考えられる。

- 最大支持力は動的載荷の方が20～80％，平均で47％大きい
- 平均支持力は動的載荷の方が10～50％，平均で36％大きい
- 最大支持力（*Pmax*）／平均支持力（*PW*）は動的の場合1.1～1.3，静的では約1.1であり，静的載荷の方が*Pmax/PW*の比は小さい
- A種支柱の埋込み深さは165cmであるが，回転中心深さは動的110～120cmに対し，静的の場合は130cm以上と静的載荷の方が深くなっている

また「防護柵支柱の力学特性に関する研究」[11]においては，動的載荷支持力／静的載荷支持力は1.36～1.40と報告されており，今回の実験においても同様の結果が得られた。表－3･5･2の全体平均の比率から，動的な最大支持力および平均支持力は，静的載荷実験のそれぞれの値を1.47倍および1.36倍することにより求められる。

表－3·5·1　実験結果平均値一覧表

番号	載荷条件					最大支持力		平均支持力	変位	バネ常数	回転中心深さ	備考
	方法	種別	勾配	距離	構造	支持力 P_{max}(t)	変位 δm(cm)	PW (t)	$\delta 1$(cm)	PK(t/m)	(cm)	
1	動的載荷	A種	8分	0.0	標準	1.00	10	0.70	3.9	19.6	120	
2				0.3		1.49	11	0.98	3.2	33.1	126	
3				0.6		2.34	18	1.79	4.8	54.3	107	
4			1割	0.0		1.18	20	0.89	2.5	47.2	133	
5				0.3		1.88	16	1.29	3.2	44.3	129	
6				0.6		2.42	20	1.83	4.9	39.9	123	
7			1割5分	0.0		2.19	14	1.66	4.5	45.8	121	
8				0.3		2.51	18	2.05	4.3	54.0	110	
9				0.6		3.38	15	2.97	5.7	53.5	－	VTRの記録なし
10		B種		0.0		1.62	25	1.39	5.6	27.6	110	
11		C種	1割			0.92	28	0.86	8.9	10.2	84	
12			1割5分			1.97	25	1.33	5.0	27.1	90	
13		A種	－	∞		4.51	19	3.78	5.4	71.5	110	
14			8分	0.0	K1	2.88	11	1.68	2.1	79.8	118	
15				0.3		2.88	19	1.99	2.8	73.9	124	
16			1割	0.0		1.35	10	0.96	4.2	25.6	102	
17				0.3		1.76	22	1.25	2.5	53.1	120	
18		B種				1.14	8	0.67	1.8	37.8	100	
19		C種				0.99	19	0.70	5.6	12.4	112	
20		A種	8分	0.0	K2	2.46	18	1.47	2.0	79.9	156	
21					$K3_S$	1.73	8	1.18	2.3	62.9	130	
22					$K3_L$	3.08	12	2.05	2.5	85.4	110	
23					K4	2.55	45	2.11	11.6	18.2	－	
24					K5	2.38	21	1.71	6.9	27.3	128	
25					K6	2.67	14	1.71	3.5	50.1	－	VTRの記録なし
26					K7	2.42	14	1.71	6.4	35.5	120	
27					K8	2.20	17	1.54	4.6	33.6	150	
28					K9	1.64	16	1.27	4.1	33.3	－	
29			1割5分		K10	3.60	17	3.23	5.5	58.3	100	
30	静的載荷				標準	1.24	10	1.10	2.9	38.4	139	
31				0.3		2.03	－	1.89	3.8	50.0	－	
32				0.6		2.43	8	2.26	2.9	82.0	132	

表－3·5·2　A種標準支柱・勾配1割5分　動／静支持力比較(平均値)

項目	S (m)	動的載荷	静的載荷	動／静
P_{max} (t)	0.0	2.19	1.24	1.77
	0.3	2.51	2.03	1.24
	0.6	3.38	2.43	1.39
	0.0～0.6　平均			1.47
PW (t)	0.0	1.66	1.10	1.51
	0.3	2.05	1.89	1.08
	0.6	2.97	2.26	1.31
	0.0～0.6　平均			1.36
P_{max}/PW	0.0	1.27	1.13	———
	0.3	1.22	1.07	
	0.6	1.13	1.08	

P_{max}：最大支持力
PW　：平均支持力
S　：法肩距離

図－3･4･2～4に示すように載荷初期（0～0.2秒）では変位が増加せず，荷重の増加速度も遅い。これは，ロープのたるみや滑車部の移動等の影響と考えられる。実験では最大荷重は載荷開始後0.2～0.4秒に発生しているが，実際の車両衝突時にはもっと早い時間に発生するものと考えられる。また，最大荷重に対応した変位は約20cmとなっており，載荷速度4.2m/sとして計算すると約0.05秒で最大荷重が発生すると推定できる。

2) 平均支持力と最大支持力

図－3･5･2は動的載荷における平均支持力と最大支持力の関係を示したもので，図中の直線は式（3･1）で表わされる回帰直線で，図－3･5･3と式（3･2）は同様に静的載荷の値である。いずれも高い相関を示しており，動的載荷の式（3･1）の場合，平均支持力は最大支持力の70～80％である。

静的載荷の場合は平均支持力と最大支持力が同程度の値となっている。これは，図－3･4･10に示したように支柱の転倒に伴って引抜き力の影響が大きくなり，荷重が増加したためと思われる。引抜き力の影響が少なければ，図－3･4･5の動的載荷と同傾向の結果が得られたと考えられる。

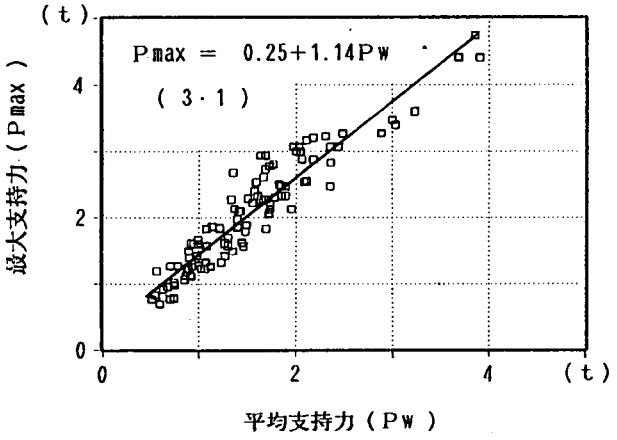
平均支持力と最大支持力の相関が高いことから，他の載荷実験において最大支持力がつかめれば，変位1m程度までの平均支持力は回帰式により推定できると考えられる。防護柵支柱の支持力は特に平均支持力が重要であるため，以下，平均支持力を主体に各要素の考察を行うこととする。

動的載荷　$Pmax = 0.25 + 1.14PW$　$(n = 49 \quad r = 0.96)$　(3･1)

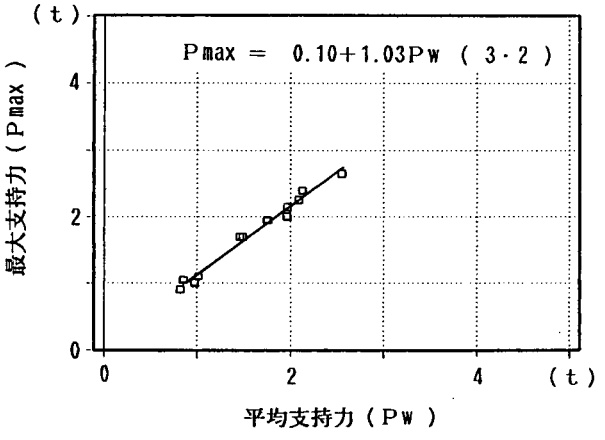
静的載荷　$Pmax = 0.10 + 1.03PW$　$(n = 12 \quad r = 0.99)$　(3･2)

$Pmax$：最大支持力（t）　　n：試料数

PW　：平均支持力（t）　　r：相関係数



図－3･5･2　最大支持力・平均支持力の関係(動的載荷)

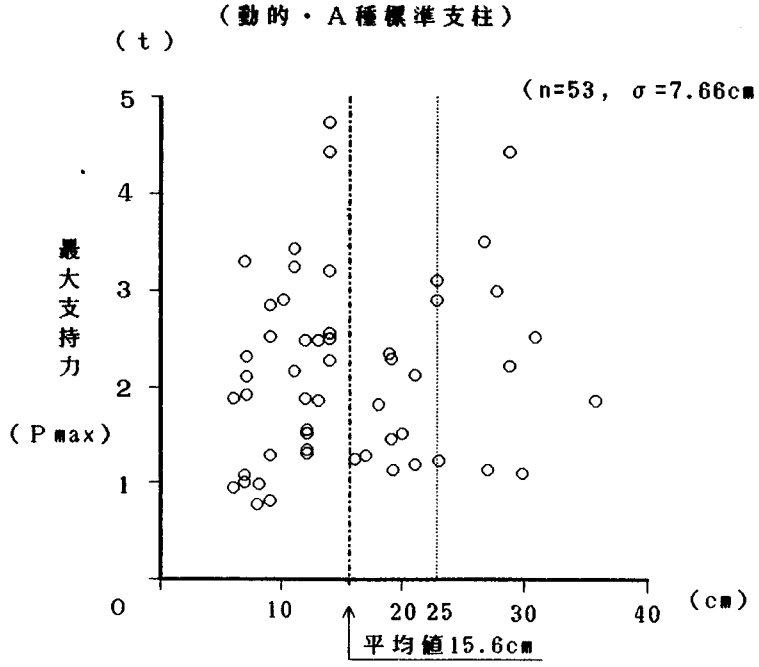


図－3･5･3　最大支持力・平均支持力の関係(静的載荷)

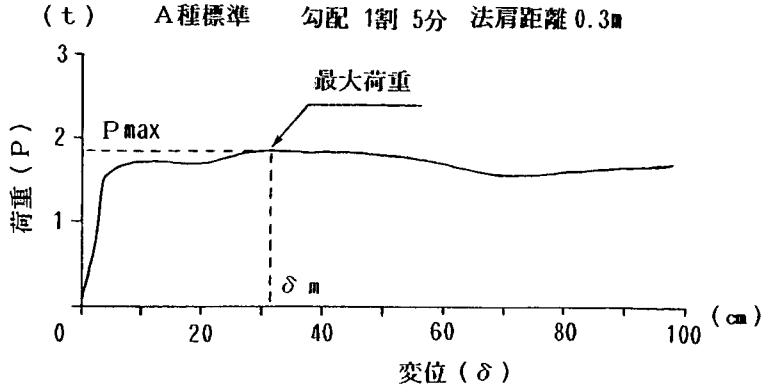
図－3･5･4は，最大支持力とその発生時の変位との関係を示したものである。支柱の最大支持力発生時の変位（δm）は5～30cmの範囲に分散し，平均は15.6cmで標準偏差7.7cmである。従って，標準偏差から支柱の最大支持力が発生する変位の85％タイル値を推定すると，約25cmと考えられる。図－3･5･4で変位30cm以上のデータは図－3･5･5に一例を示すように，変位が大きくなったときのピークが最大支持力と

なったものであり，最初のピーク値は変位が 20cm 以下で発生している。通常は最初のピーク値が最大支持力である。

以上のことから，平均支持力は通常の静的載荷実験で変位 30cm 程度まで行えば推定できる。



図－3·5·4　最大支持力と発生時変位の関係



図－3·5·5　最大支持力発生時の変位が大きい例

3）法肩距離

実験での法肩距離は，0.0，0.3，0.6mおよび無限大（5 m）としたが，法肩距離が長くなると背面の抵抗する土圧が増加するため，最大支持力・平均支持力とも大きくなる。

図－3·5·6～8は動的載荷における平均支持力と法肩距離の関係を示したもので，式（3·3）～（3·5）はその回帰式である。法勾配ごとの法肩距離による平均支持力の増加傾向は，図－3·5·7の直線の傾きから勾配8分や1割より勾配1割5分の方が大きい。法肩距離無限大の平均支持力3.78 tを回帰式の平均支持力に代

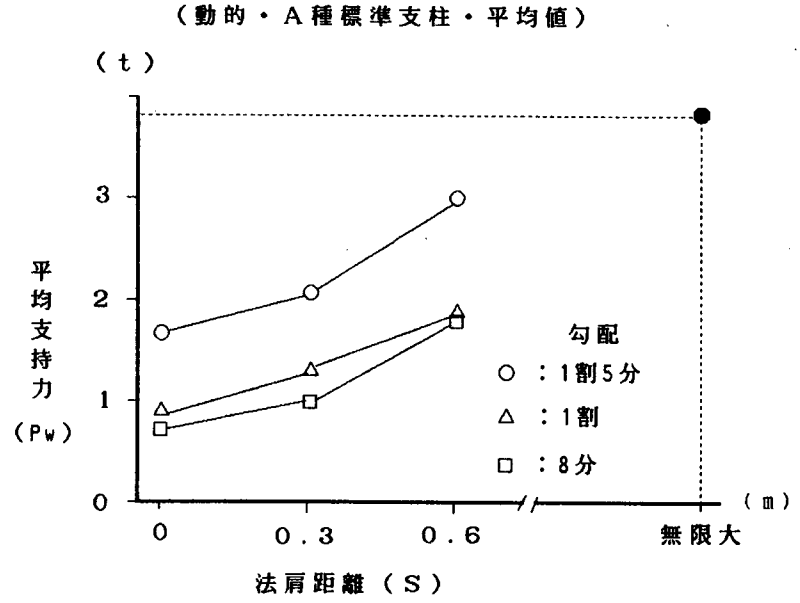
入すると法肩距離は勾配1割5分で1.07m，1割および8分で1.87mとなる。このことから，平均支持力は法肩距離1～1.9m程度まで法面（斜面）の影響を受けると考えられる（図－3·5·8)。図－3·5·9は同じ設置条件の動的載荷と静的載荷の平均値を示したものであり，静的載荷も法肩距離が大きくなると平均支持力は増加する。

8分勾配　$PW=0.62+1.69S$　$(r=0.83)$　(3·3)

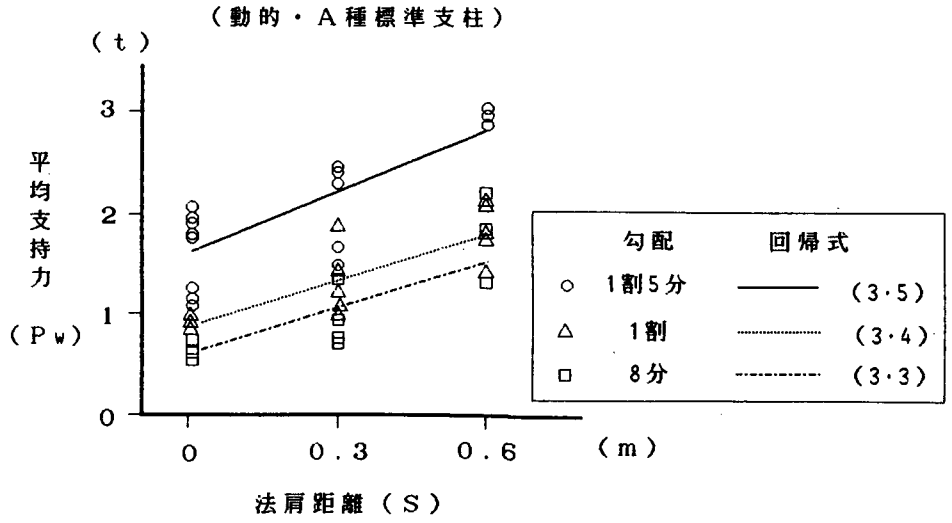
1割勾配　$PW=0.87+1.56S$　$(r=0.86)$　(3·4)

1割5分勾配　$PW=1.62+2.02S$　$(r=0.79)$　(3·5)

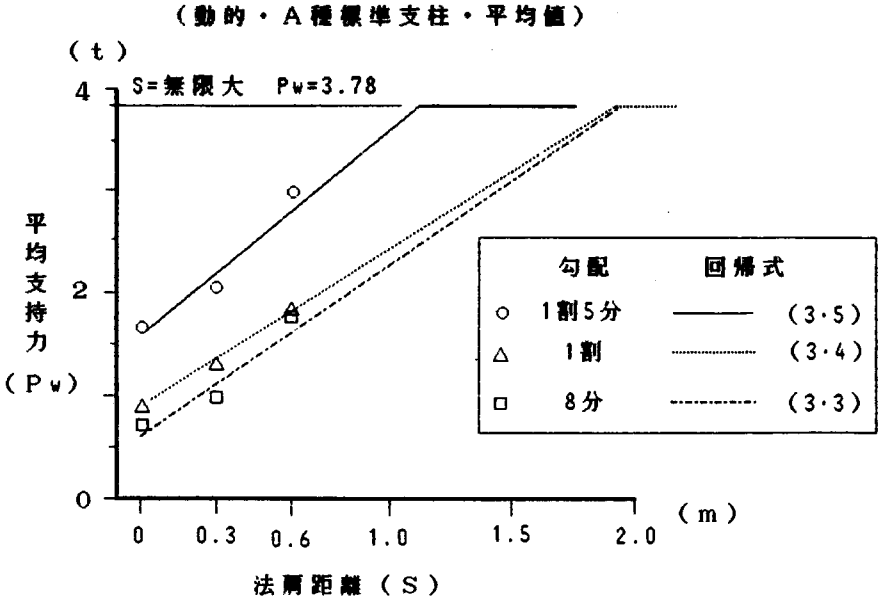
PW：平均支持力（t)，S：法肩距離（m)，r：相関係数



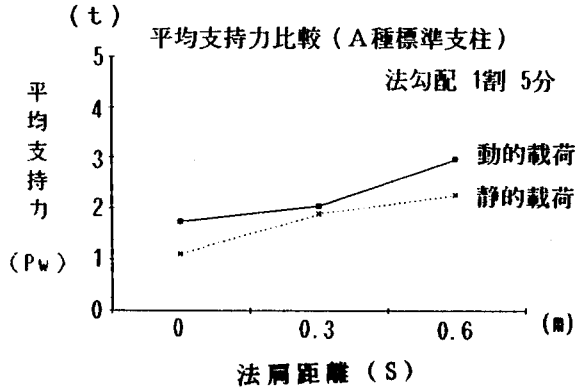
図－3·5·6　法肩距離と平均支持力（平均値）



図－3·5·7　法肩距離と平均支持力



図－3・5・8 平均値と回帰直線



図－3・5・9 動的静的・平均支持力比較（A種標準支柱）

4) 法勾配

図－3・5・10～13は法肩距離ごとに平均支持力と法勾配の関係を示したもので，図中の直線は式（3・6）～（3・8）の回帰直線である。これによると，両者は非常に相関が高く，法勾配が急になるほど平均支持力は減少する傾向がある。勾配8分と1割5分の平均支持力の差は，約1tである（表－3・5・3)。これは，支柱背面の土圧および土の重量による抵抗力の違いと考えられる。平均支持力は式（3・6）～（3・8）によると法肩距離にかかわらず，法勾配が急になるほど低下する傾向にある。

参考に式（3・7）と（3・8）から平坦地の平均支持力（3.78t）と同等になるような勾配を求めると，法肩距離0.3mの場合は法勾配5度，法肩距離0.6mの場合は20.6度（2割7分）となる。

法肩距離0m　$PW=3.56-0.055\theta$　($n=22$　$r=0.86$)　(3・6)

法肩距離0.3m　$PW=4.11-0.062\theta$　($n=16$　$r=0.82$)　(3・7)

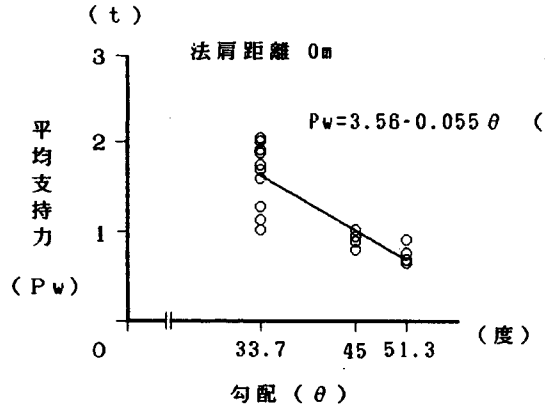
法肩距離0.6m　$PW=5.28-0.072\theta$　($n=11$　$r=0.83$)　(3・8)

PW：平均支持力（t）　θ：法勾配（度）　n：試料数　r：相関係数

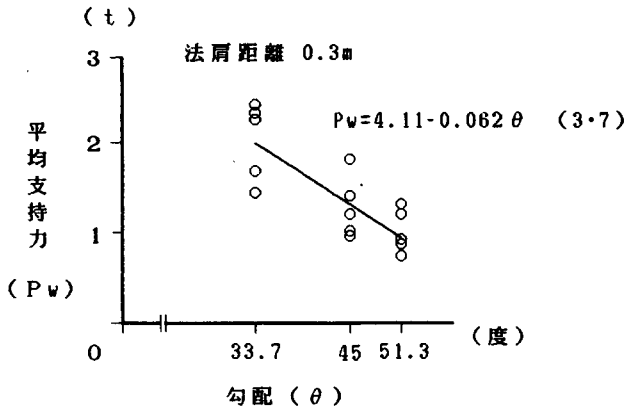
表－3･5･3　動的載荷・A種標準支柱　平均支持力の平均値（単位ｔ）

勾配		法肩距離（m）		
		0	0.3	0.6
8分	51.3度	0.70	0.98	1.79
1割	45.0度	0.89 (0.19)	1.29 (0.31)	1.83 (0.04)
1割5分	33.7度	1.66 (0.96)	2.05 (1.07)	2.97 (1.18)

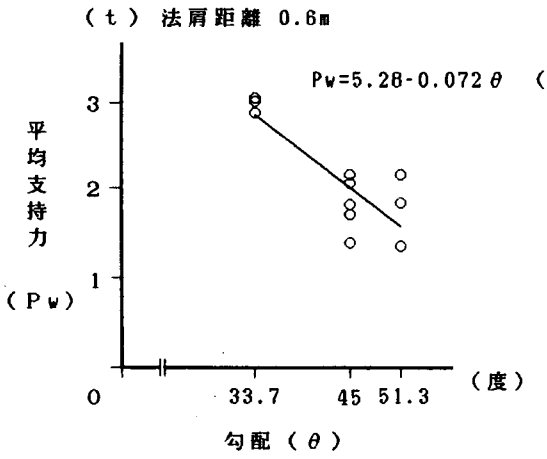
（　）内数字は勾配8分の値との差を示す。



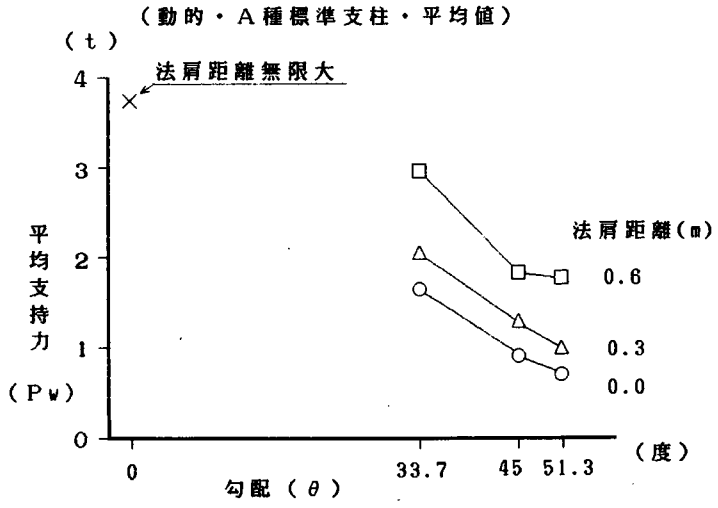
図－3･5･10　平均支持力と法勾配(1)



図－3･5･11　平均支持力と法勾配(2)



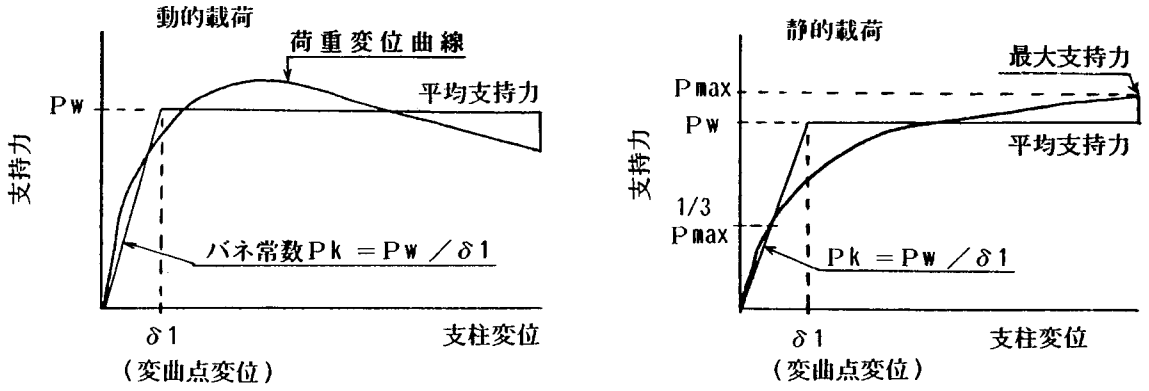
図－3･5･12　平均支持力と法勾配(3)



図－3･5･13　平均支持力（平均値）と法勾配の関係

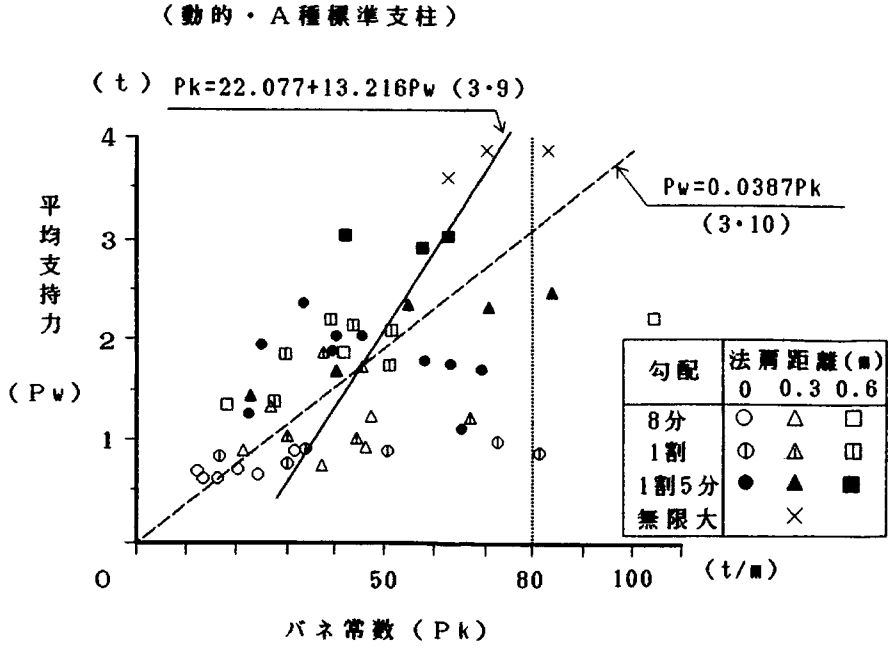
5) 支柱のバネ常数

支柱のバネ常数は，図－3·5·14に示したように荷重変位曲線から2直線に近似して求めるもので，弾性域の支持力として衝突シミュレーション上重要なものである。なお，静的載荷の場合のバネ常数は荷重変位曲線と最大荷重の1/3の点を結ぶ直線の勾配として求めた。図－3·5·15はA種標準支柱のバネ常数と平均支持力の関係を示したもので，全体的な傾向としては支持力に比例してバネ常数も大きくなる傾向はあるが，バラツキが大きく拡散した値となっている。図－3·5·16に示す静的載荷の結果では動的載荷に比べてバラツキは少ない。

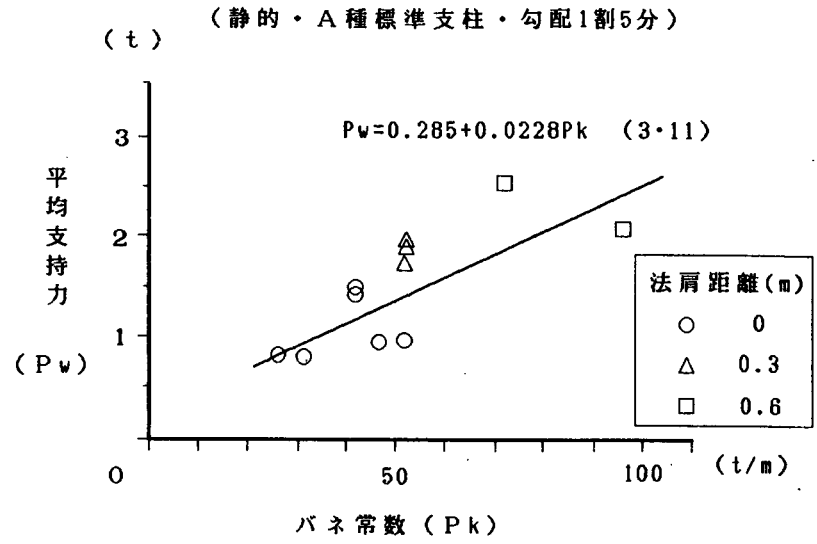


図－3·5·14　バネ常数と平均支持力の求め方

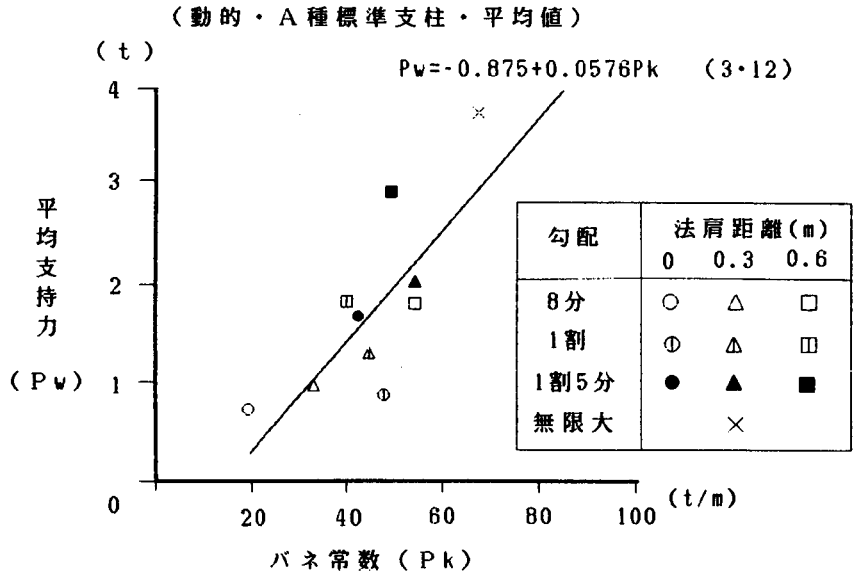
図－3·5·15，16からA種標準支柱のバネ常数は10～100 t/mの範囲にあり，さらにバネ常数が最大と推定される平坦地の値から考えると，本実験のような条件におけるバネ常数は10～80 t/m程度と思われる。図－3·5·17は動的載荷の条件ごとの平均値を示したものである。



図－3·5·15　動的載荷　バネ常数・平均支持力の関係

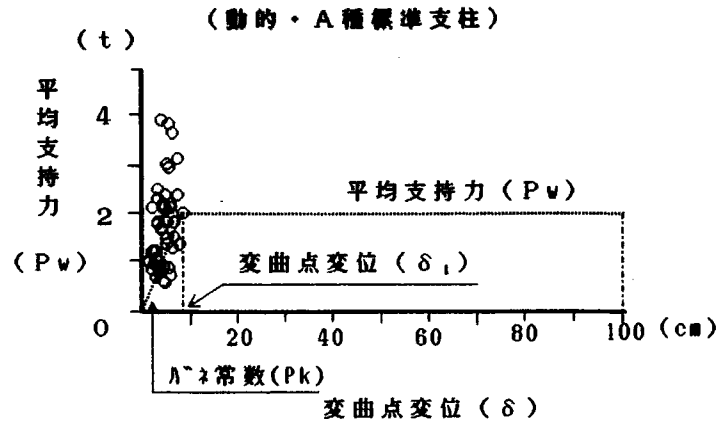


図－3・5・16　静的載荷　バネ常数・平均支持力の関係

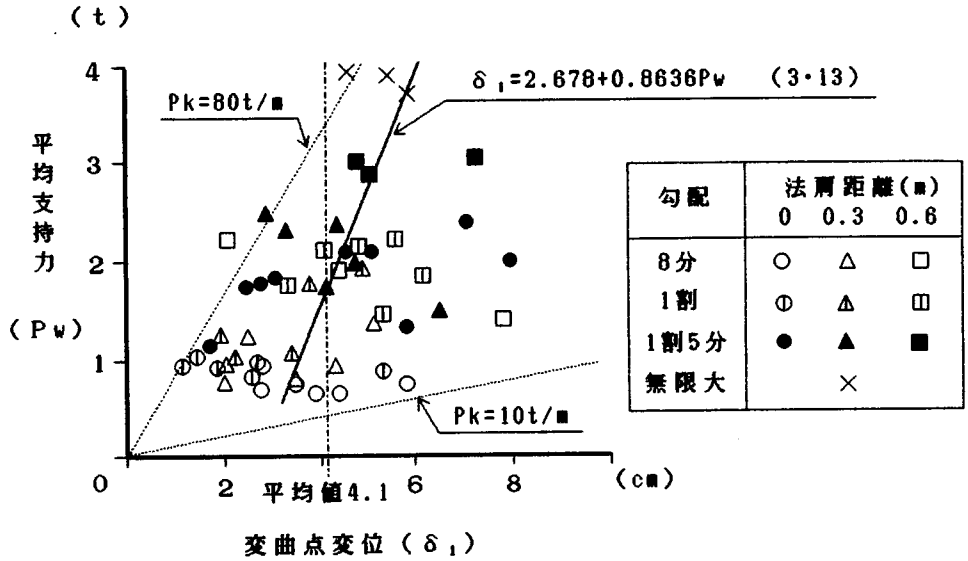


図－3・5・17　動的載荷　バネ常数・平均支持力の平均値

バネ常数は荷重変位曲線を2直線で近似し，その変曲点における変位で荷重（支持力）を割るため，同じ支持力1 tでも変曲点変位が1 cmと2 cmとでは，バネ常数が100 t/mと50 t/mと大きな差になる。図－3・5・18，19は動的載荷における変曲点変位δ_1（2直線に近似したバネ常数と平均支持力との交点変位）と平均支持力PWとの関係を示したものである。図－3・5・18では許容変位（1.1m）に対し変曲点変位は狭い範囲である。しかし，同図を拡大した図－3・5・19でみると，変曲点変位は1～8 cmに分布しており，バネ常数は10～80 t/mの値となっている。



図－3·5·18　変曲点変位と平均支持力



図－3·5·19　変曲点変位と平均支持力（図－3·5·18 の部分拡大）

動的・A種全体	$PK = 22.077 + 13.216PW$	$(n = 53 \quad r = 0.53)$	(3·9)
動的・A種全体・中間値	$PW = 0.0387PK$	$(n = 53)$	(3·10)
静的・A種・勾配1割5分	$PW = 0.285 + 0.0228PK$	$(n = 8 \quad r = 0.81)$	(3·11)
動的・A種全体・平均値	$PW = 0.875 + 0.0576PK$	$(n = 10 \quad r = 0.83)$	(3·12)
動的・A種全体・変曲点	$\delta_1 = 2.678 + 0.8636PW$	$(n = 53 \quad r = 0.43)$	(3·13)

PK：バネ常数（t/m）　　PW：平均支持力（t）　　δ_1：変曲点変位（cm）

n：試料数　　r：相関係数

以上の結果から土中設置においてはバネ常数のバラツキは大きいが，式（3·9），（3·10），（3·12）および図－3·5·19の変曲点変位の平均値 $\delta_1 = 4.1$cm からバネ常数を求めると表－3·5·4となる。本実験の結果からみると，中間的な値をとった式（3·10）のバネ常数が，実用的な値と思われる。

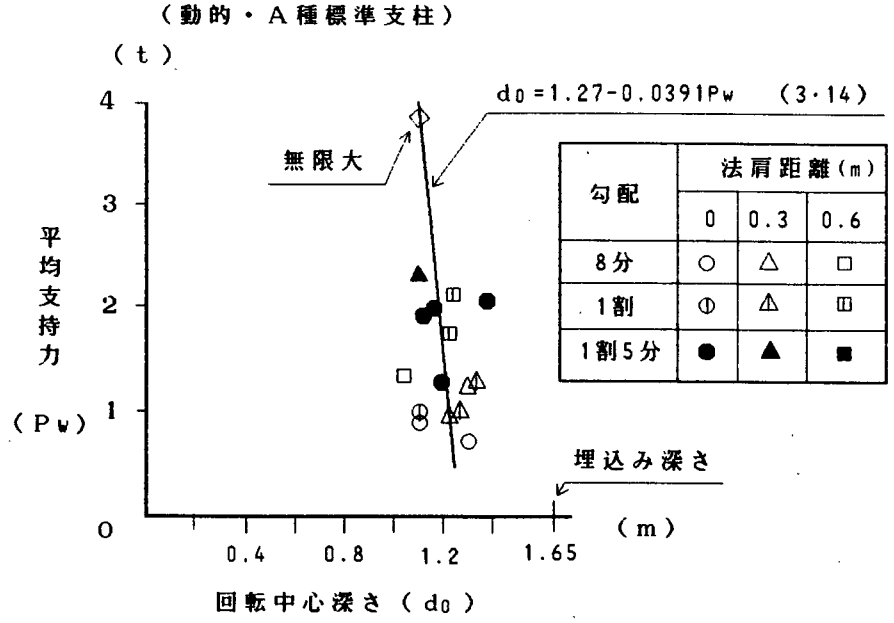
表－3·5·4　平均的なバネ常数の推定値

平均支持力	バネ常数　（t/m）			
（t）	式(3·9)	式(3·10)	式(3·12)	図－3·5·19
1.0	35	26	33	24
2.0	49	52	50	49
3.0	62	77	67	73
4.0	75	103	85	97

6）支柱の回転中心深さ

定性的には，法肩距離が大きく法勾配が緩くなるほど抵抗する土圧の増加が期待できるため支持力は上がり，力のつり合いから支柱回転中心の深さは浅くなると考えられる。図－3·5·20は動的載荷におけるA種標準支柱（断面寸法ϕ139.8×4.5mm，埋込み深さd＝165cm）の地表面からの回転中心深さ（d_0）と平均支持力との関係を示したもので，回転中心深さは110～130cm（平均値120cm），埋込み深さとの比（d_0/d）は0.7～0.9になっている。本実験では支持力の違いにかかわらず，A種標準支柱の場合，回転中心深さは120cm程度であった。

平坦地の場合，支柱は最大支持力が発生した後，地表面下40cmで折れ曲がり塑性変形を生じたが，平坦地以外では支柱の変形は見られなかった。図－3·5·20の平坦地のデータは塑性変形前の回転中心である。支柱が折れ曲がる場合その深さは地盤強度の増加に伴って急激に浅くなり，コンクリート設置の場合には基礎表面で支柱が折れ曲がり，見掛けの回転中心位置は地表面となる。



図－3·5·20　支柱の回転中心深さと平均支持力

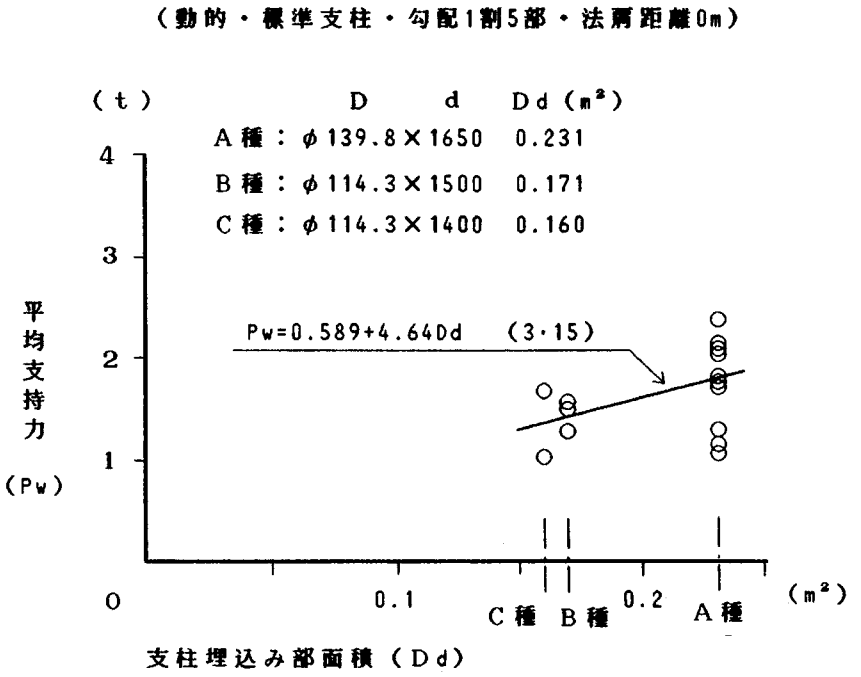
本実験結果から回転中心深さと平均支持力の回帰式を求めると式（3·14）となる。

動的・A種標準支柱　　$d_0 = 1.27 - 0.0391PW$　（n＝15　r＝0.32）　　(3·14)

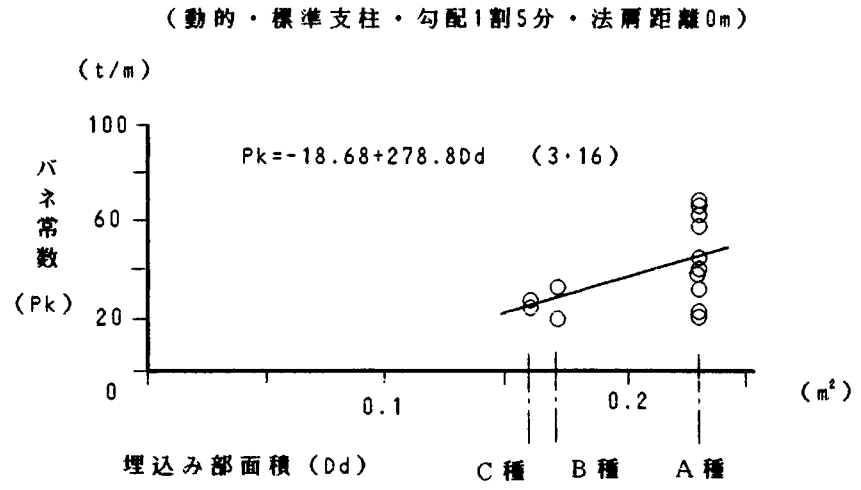
d_0：回転中心深さ（m）　PW：平均支持力（t）　n：試料数　r：相関係数

7) 防護柵種別と支柱常数

図－3･5･21，22は同じ設置条件におけるA・B・C種標準支柱の平均支持力とバネ常数との関係を示したもので，図中の直線は回帰直線である。式 (3･15)，(3･16) および条件ごとの平均値を表－3･5･5からみると支柱埋込み部投影面積の増加に伴い，平均支持力とバネ常数は大きくなる傾向にある。しかし，試料数が少なくバラツキもありその関係を明確にすることはできなかった。なお，A・B・C種支柱とも載荷後の変形は認められなかった。



図－3･5･21 支柱種別と平均支持力



図－3･5･22 支柱種別とバネ常数

平均支持力　$PW = 0.589 + 4.64Dd$　$(n = 15 \quad r = 0.41)$　(3·15)

バネ常数　$PK = -18.68 + 278.8Dd$　$(n = 14 \quad r = 0.52)$　(3·16)

PW：平均支持力（t）　Dd：支柱埋込み部投影面積〈支柱径D×埋込み深さd〉(m^2)

PK：バネ常数（t/m）　n：試料数　r：相関係数

表－3·5·5　種別ごとの平均値（動的載荷・1割5分勾配・法肩距離0m）

種別	平均支持力（t）	バネ常数（t/m）	埋込み部投影面積(m^2)
A種平均値	1.66 (1.00)	46 (1.00)	0.231 (1.00)
B種平均値	1.39 (0.84)	28 (0.61)	0.171 (0.74)
C種平均値	1.33 (0.80)	27 (0.59)	0.160 (0.69)

（ ）内数字はA種との比率を示す。

表－3·5·6は式（3·15）で求めた平均支持力とA種標準支柱の値との比を示したものである。動的載荷・勾配1割5分・法肩距離0mだけの比較であるが，B・C種の平均支持力は，表－3·5·6のA種との比率を形状係数と考えれば，A種の支持力から求められる。

B・C種のバネ常数は図－3·5·15の$PK = 10 \sim 80$ t/mの範囲にあり，式（3·10）で推定できると思われる。

表－3·5·6　形状係数

種別	平均支持力（t）	形状係数（比率）
A	1.66	1.00
B	1.38	0.83
C	1.33	0.80

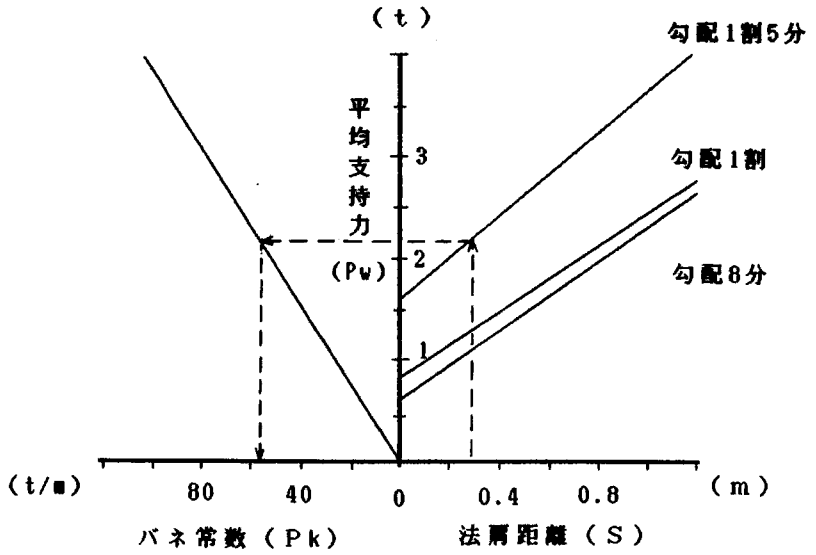
8)　設置条件と支柱常数

今までの実験結果から設置条件による標準支柱の支柱常数を推定するため，それらの関係をとりまとめると次のようになる。

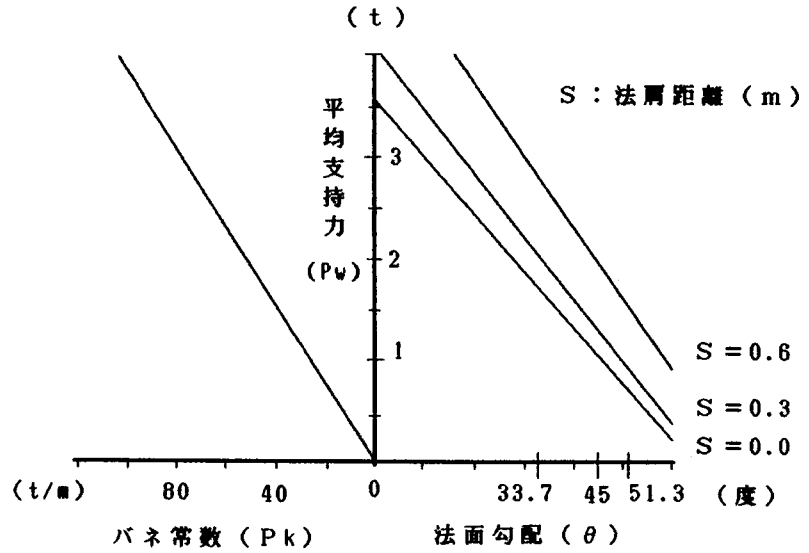
A種について法肩距離と支柱常数の関係を図－3·5·23に，法勾配と支柱常数の関係を図－3·5·24に示す。実験からB・C種はほぼ同じ支柱常数と考えられるため，形状係数を0.8としてA種の回帰式から法肩距離との関係を求め，図－3·5·25に示した。

一例を示すと，法勾配33.7度（1割5分），法肩距離0.3mのA種支柱の場合，図－3·5·23，24から平均支持力は2.2t，バネ常数は58 t/mとなり，同条件のB・C種は図－3·5·25から平均支持力1.8t（2.2×0.8），バネ常数45 t/mとなる。

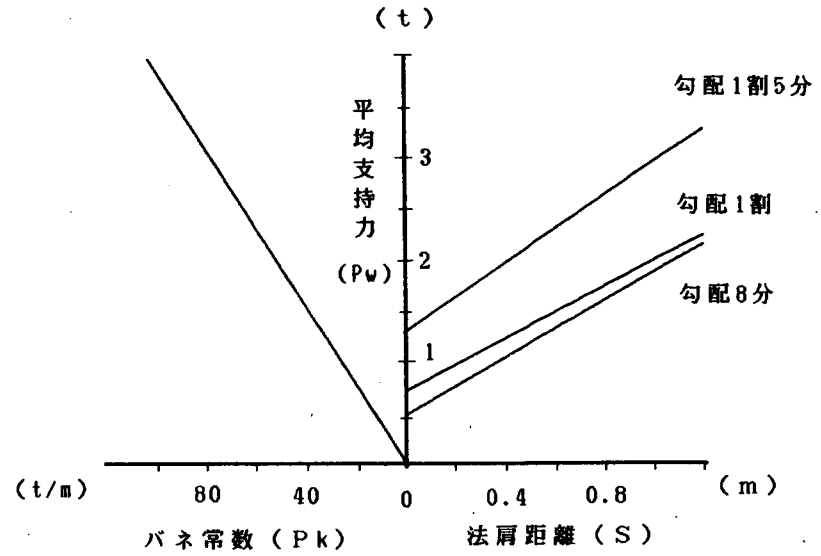
以上，試料数が少ないデータもあり，法肩距離が大きい場合や法勾配が緩い場合などで上記関係が適用できるか疑問は残るが，各種の設置条件における支持力の推定は可能と考えられる。



図－3·5·23　A種の法肩距離と支柱常数の関係



図－3·5·24　A種の法勾配と支柱常数の関係



図－3·5·25　B・C種の法肩距離と支柱常数の関係

3.5.2　強化支柱

強化支柱は標準支柱の支持力が不足する設置条件において，必要とする支持力を得ようとするものである。従って，設置条件が悪い路肩においても強化支柱の支持力は「2.3」に示した標準防護柵の必要とする平均支持力（A種1.6ｔ・B種1.0ｔ・C種0.9ｔ）以上でなくてはならない。

実験は動的載荷で行い，標準支柱が支持力不足になると予想された勾配８分・法肩距離０ｍの条件を中心に行った。供試体の種類は図－3·2·3に示した構造である。以下に各要素ごとの考察と標準支柱を含めた構造ごとの比較および強化構造案について述べる。

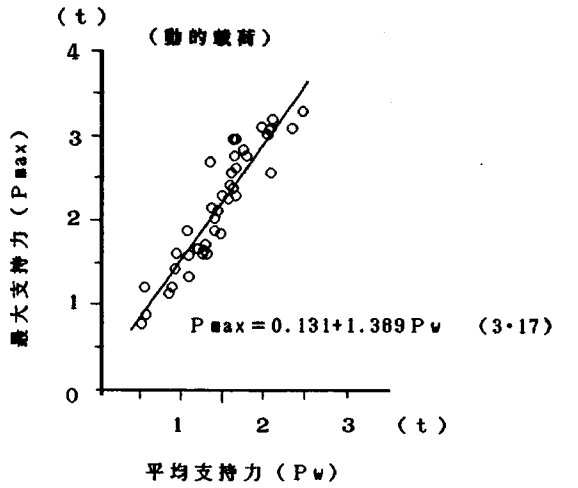
1)　最大支持力と平均支持力

図－3·5·26は全強化支柱の最大支持力（$Pmax$）と平均支持力（PW）の関係を示し，図中の直線は式（3·17）の回帰直線で，相関は標準支柱と同様に高い。また，表－3·5·7はそれらの平均値を表わしたもので，これによると，$PW/Pmax$の比は60～80％となり，標準支柱の70～80％に比べ小さくなっている。$PW/Pmax$の比が特に小さい構造はＫ２（コンクリート根巻）の60％であり，図－3·5·31に示すように載荷初期はコンクリート自重が反力として有効に働くが，変位が大きくなると逆に転倒力として作用するため，支持力が低下したと思われる。逆に$PW/Pmax$比が大きいものはＫ４（アンカー）とＫ９（長尺支柱）で約80％である。これは，比較的深い部分で抵抗する土圧を期待した構造のためで，防護柵の支柱としてはこのように$PW/Pmax$の比が大きい構造（変位が大きくなっても支持力の保持が期待できる）が有利といえる（図－3·5·27）。

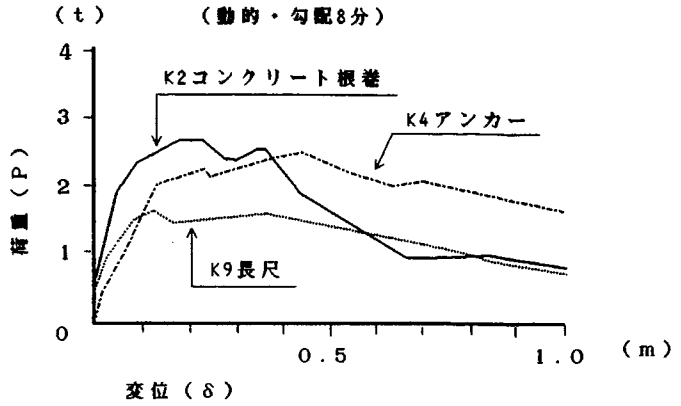
なお，Ｋ１（補剛プレート・溶接）の場合，８分勾配の支持力が１割勾配のデータより大きくなっている。これは，同じ地盤で３回実験を行ったため，土の乱れ等の影響によると考えられる。

$$Pmax = 0.131 + 1.389PW \quad (n = 41 \quad r = 0.93) \tag{3·17}$$

$Pmax$：最大支持力（ｔ）　PW：平均支持力（ｔ）　n：試料数　r：相関係数



図－3・5・26　強化支柱の最大支持力と平均支持力



図－3・5・27　構造の違いによる荷重変位の差

表－3・5・7　強化支柱支持力の平均値　（供試体寸法はmm）

供試体　（A種）	勾配	法肩距離（m）	*Pmax*（t）	*PW*（t）	*PW/Pmax*
K1　補剛プレート（幅400・溶接）	8分	0	2.88	1.68	0.58
		0.3	2.88	1.99	0.71
	1割	0	1.35	0.96	0.71
		0.3	1.76	1.25	0.72
K2　コンクリート根巻	8分	0	2.46	1.47	0.60
K3s　複式支柱（短）			1.73	1.18	0.68
K3L　複式支柱（長）			3.08	2.05	0.66
K4　アンカー			2.55	2.11	0.83
K5　曲柱			2.38	1.71	0.72
K6　補剛プレート（幅400・分離）			2.67	1.71	0.64
K7　補剛プレート（幅600・分離）			2.42	1.71	0.71
K8　曲柱プレート付			2.20	1.54	0.70
K9　長尺支柱（埋込み2,000）			1.64	1.27	0.78

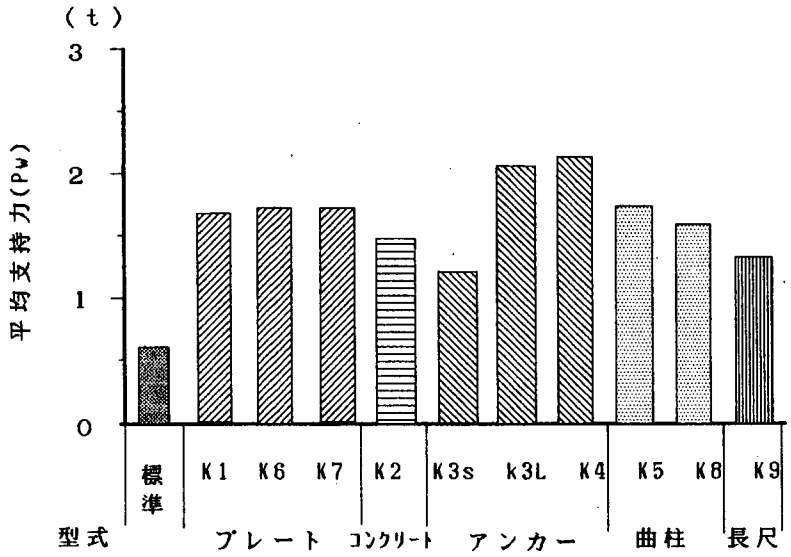
Pmax：最大支持力　　*PW*：平均支持力

2)　構造の違いと平均支持力

法勾配8分・法肩距離0mにおける型式別（表－3・5・8）に分類した平均支持力の平均値を図－3・5・28に，その比較を表－3・5・9に示す。強化構造はA種標準支柱の平均支持力0.7tに対し1.6倍以上に支持力が増加しており，供試体K1～K9とも補強効果が大きいといえる。

表－3·5·8　強化支柱の型式別分類

①　プレートタイプ	鋼板を取付け土圧抵抗面積を大きくした構造
②　コンクリート根巻タイプ	コンクリートで地表部分を補強した構造
③　アンカータイプ	支柱から離れた地盤に反力を求めた構造
④　曲柱タイプ	支柱を曲げ，埋込み部の法肩距離を大きくした構造
⑤　長尺タイプ	標準支柱と同じ断面で埋込み深さを大きくした構造



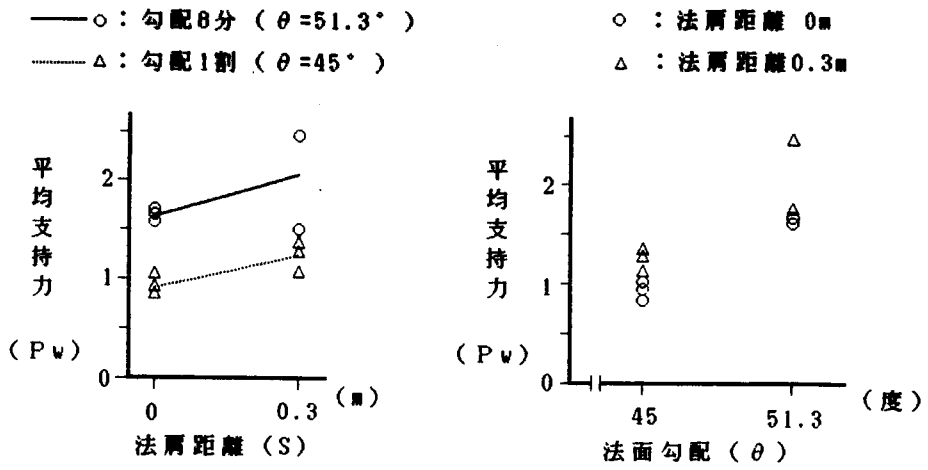
図－3·5·28　A種支柱の型式別平均支持力（平均値）

表－3·5·9　強化支柱と標準支柱の比較（A種・勾配8分・法肩距離0 m）

順位	構　造	平均支持力（t）	比率	支持力差（t）
1	K4　アンカー	2.11	3.01	1.41
2	$K3_L$　複式支柱（長）	2.05	2.93	1.35
3	K5　曲柱 K6　補剛プレート（幅400·分離） K7　補剛プレート（幅600·分離）	1.71	2.44	1.01
4	K1　補剛プレート（幅400·溶接）	1.68	2.40	0.98
5	K8　曲柱プレート付	1.54	2.20	0.84
6	K2　コンクリート根巻	1.47	2.10	0.77
7	K9　長尺支柱	1.27	1.81	0.57
8	$K3_s$　複式支柱（短）	1.18	1.69	0.48
－	標準支柱	0.70	1.00	－

3)　法肩距離と法勾配

図－3·5·29はK1（補剛プレート）の設計条件と平均支持力の比較を行ったものである。また表－3·5·10はK1（補剛プレート）と標準支柱との平均支持力の比較を行ったものであり，法肩距離が増加（0～0.3 m）すると平均支持力も増加する傾向を示した。K1構造のB・C種支柱の平均支持力は，同等と考えられる。また，勾配8分の支持力が勾配1割の値より大きくなり，標準支柱と逆の傾向が現われた。これは地盤強度の差，実験時期の違い，土の乱れなどの影響と考えられる。この実験では法勾配の違いによるK1構造の支持力に与える影響はつかめなかった。



図－3·5·29　動的・A種強化支柱K１の法肩距離・法勾配の関係

（図中の線は平均値を結んだものである）

表－3·5·10　種別ごとの支持力比較（K１補剛構造と標準支柱）

種別	勾配	構造	平均支持力の平均値（t）			
			法肩距離（m）		差	比率
			0	0.3		
A	8分	K１	1.68	1.99	0.31	1.18
		標準	0.70	0.98	0.28	1.40
	1割	K１	0.96	1.25	0.29	1.30
		標準	0.89	1.29	0.40	1.45
B		K１	0.67	－	－	－
C		K１	0.70	－	－	－
		標準	0.86	－	－	－

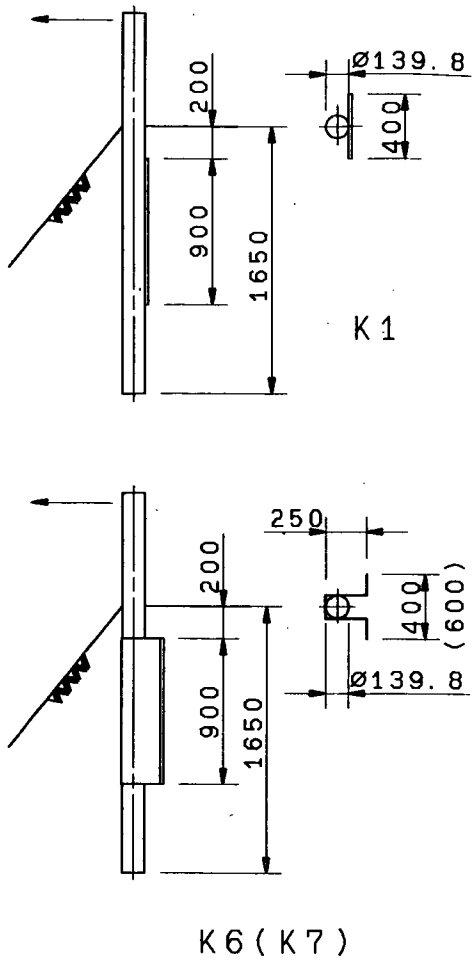
4) 強化支柱型式別の評価

(1) プレートタイプ （K1・K6・K7）

構造概要を表－3·5·11，図－3·5·30に示す。

表－3·5·11 プレートタイプ概要

K1	支柱とプレートは溶接 プレート寸法4.5×400×900㎜ プレート面積0.36m²
K6	支柱とプレートは分離 プレート寸法4.5×400×900㎜ プレート面積0.36m²
K7	支柱とプレートは分離 プレート寸法4.5×600×900㎜ プレート面積0.54m²

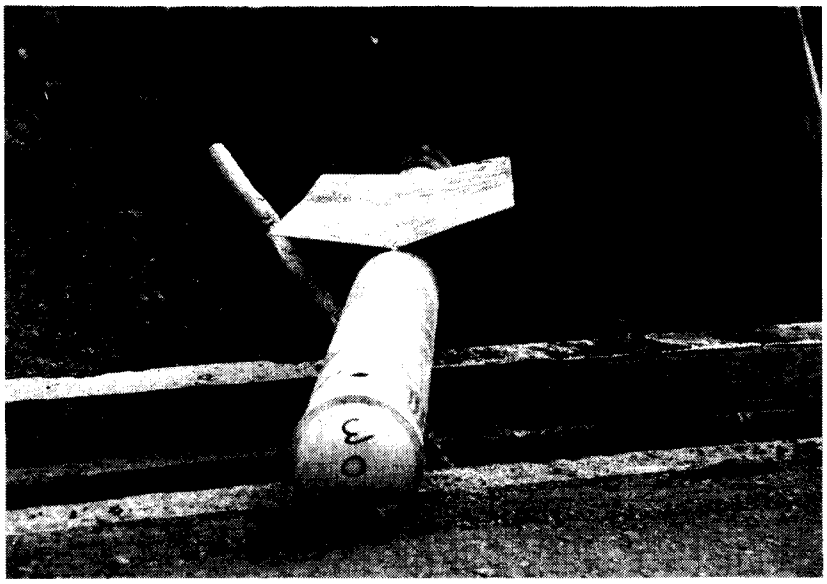


図－3·5·30 プレートタイプ構造概要

表－3·5·9に示したように3タイプとも補強効果が高く，標準支柱に対しいずれも平均支持力は約1ｔ増加している。

K1とK6の違いはプレートの土被り厚の差110 mm (250-139.8) であり，理論的には被り厚さの大きい方が有利と考えられるが，実験での支持力差はなかった。しかし，K1で法肩距離 (0.3m) の違いによる支持力差があることから，K6のプレートと法肩までの距離をさらに大きくとれば効果は得られたと思われる。また抵抗面積の大きいK7の方がK6より平均支持力は高いと思われたが，実験での差はなかった。これはプレートが土被りの十分とれない部分に位置しているためと考えられる。従って，勾配8分・法肩距離0ｍの場合，プレート幅は，支柱の幅程度両側に張り出していれば補強効果はあり，設計支持力は期待できると考えられる。実験ではプレートに変形が若干発生していたが（写真－3·5·1），設計支持力が得られたことから機能上問題ないと考えられる。

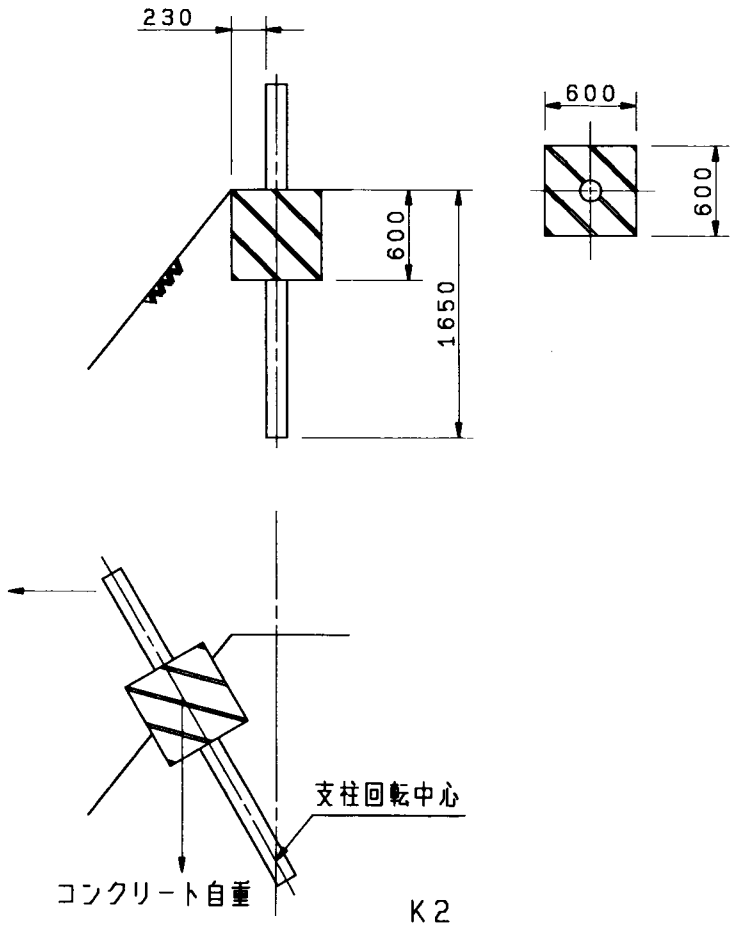
K1・K6・K7とも現状の施工方法において対応可能である（分離タイプのプレートは支柱設置後に打込んだ)。



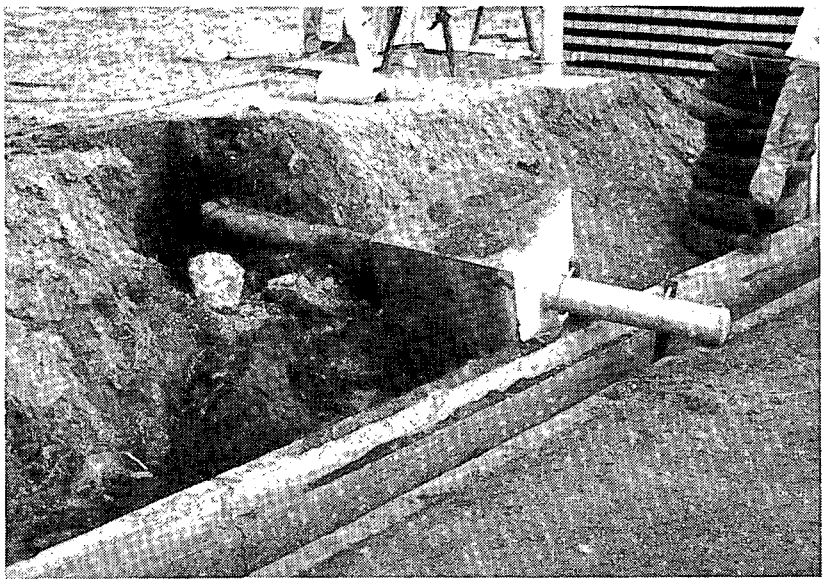
写真－3･5･1　若干変形した補剛プレート（A種・K１）

(2)　コンクリート根巻タイプ（K２）

コンクリート根巻寸法は0.6×0.6×0.6mで図－3･5･31のように，厳密には法肩距離0.23mの支柱位置である。勾配8分・法肩距離0.3mの標準支柱の平均支持力は0.98tであり，これと比較すると支持力の増加は0.49t，比率は1.5となり強化構造の中では効果が低い結果となった。これは，今回のコンクリート根巻形状（写真－3･5･2）では変位が進むとコンクリート自重が支柱を転倒させようとする力となるためである。また，支柱位置もコンクリート根巻の幅だけ道路寄りになるので，基礎寸法の決定にあたっては，これらの点を配慮して設計する必要がある。



図－3･5･31　コンクリート根巻タイプの概要

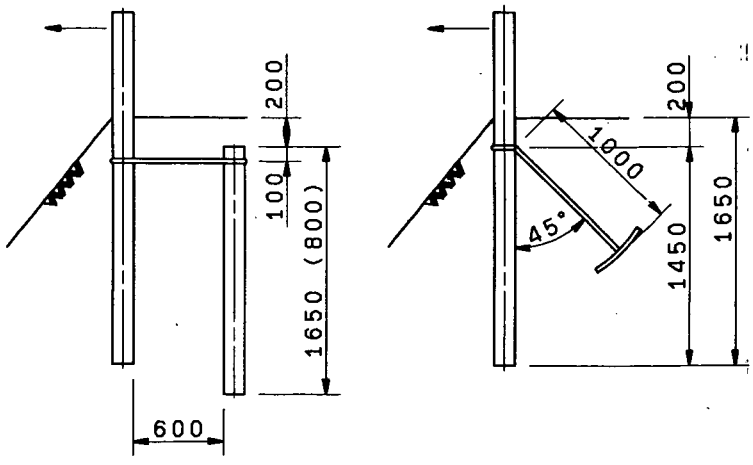


写真－3･5･2　コンクリート根巻タイプの実験状況

(3)　アンカータイプ（$K3_S$・$K3_L$・K4）

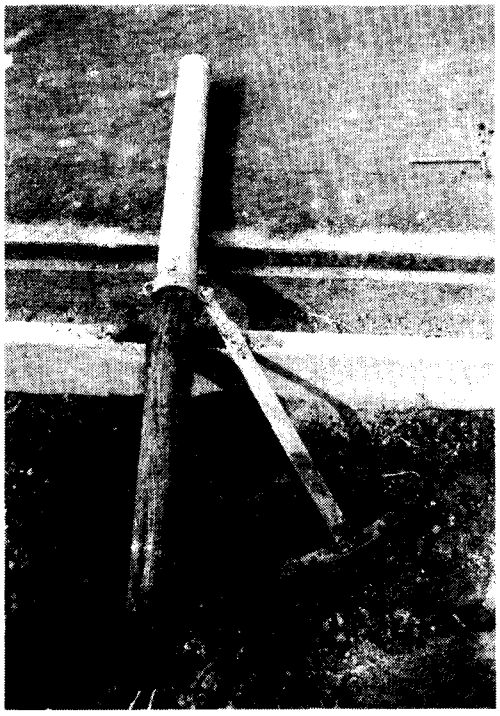
$K3_S$･$K3_L$は支柱から道路側0.6mの位置に支柱と同径のアンカー支柱を打込み，ボルトで連結したものである。また，アンカー支柱の長さは図－3･5･32に示すとおり2種類（$K3_S$：800mm　$K3_L$：1,650mm）とした。$K3_L$の標準支柱に対する支持力増加は1.35ｔであり，この値は勾配8分・法肩距離0.6mの標準支柱の平均支持力1.79ｔの約75％に相当する。$K3_S$の支持力の増加は0.48ｔと強化構造の中では最も低い結果となった。これは，前後の支柱径（抵抗幅）が同じであるため，支柱が先に抵抗側の土を破壊してしまい，アンカー支柱の抵抗力が少なくなったものと思われる。従って，アンカー支柱は支柱より幅を大きくするか，埋込みを深くするか，支柱からの距離を十分とる必要がある。

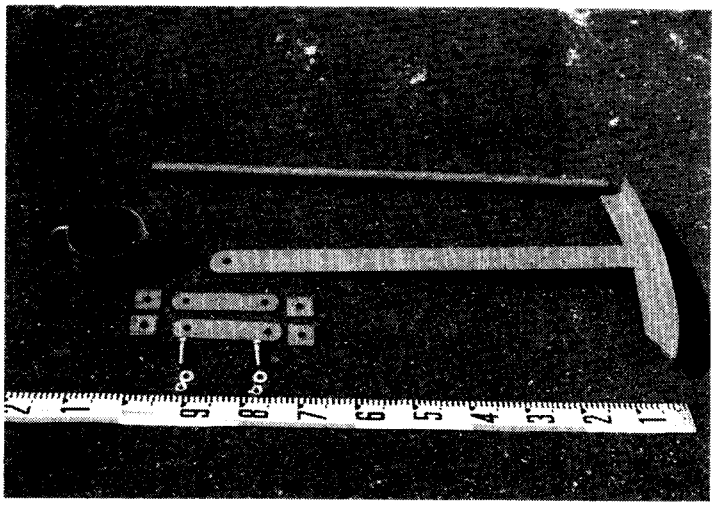
K4は図－3･5･32に示すようにアンカーを設置したもので，形状は錨形（写真－3･5･3）と羽根形（写真－3･5･4）の2種類である。羽根形アンカーは電柱用支線アンカーとして広く使われているものを参考に設計したもので，アンカー単独の静的引抜き実験を行い効果を確認した。しかし，動的な載荷実験では羽根の部分が変形して抜けたため，効果はみられなかった（表－3･5･1参照）。表－3･5･9の値は錨形1体のデータであるが，その平均支持力の増加量は1.41ｔで強化構造中最も大きい。従って，法面の影響のない箇所で反力をとるアンカー構造は，非常に効果が高いといえる。ただし，抵抗力が大きくなるのでアンカーの強度は十分安全率を考慮し，変形による抜けがないように設計することおよび施工上の検討を行うことが必要である。



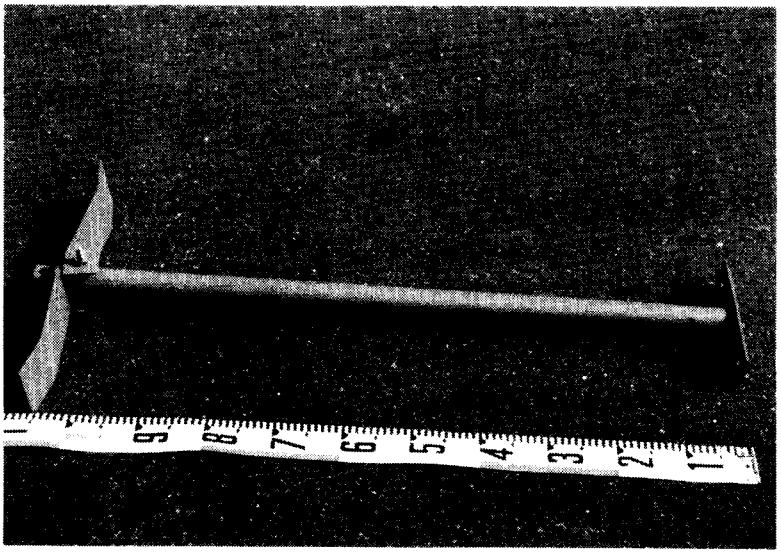
K3L（K3S）　　K4

図－3･5･32　アンカータイプの概要





写真－3·5·3　Ｋ４・錨形のアンカー



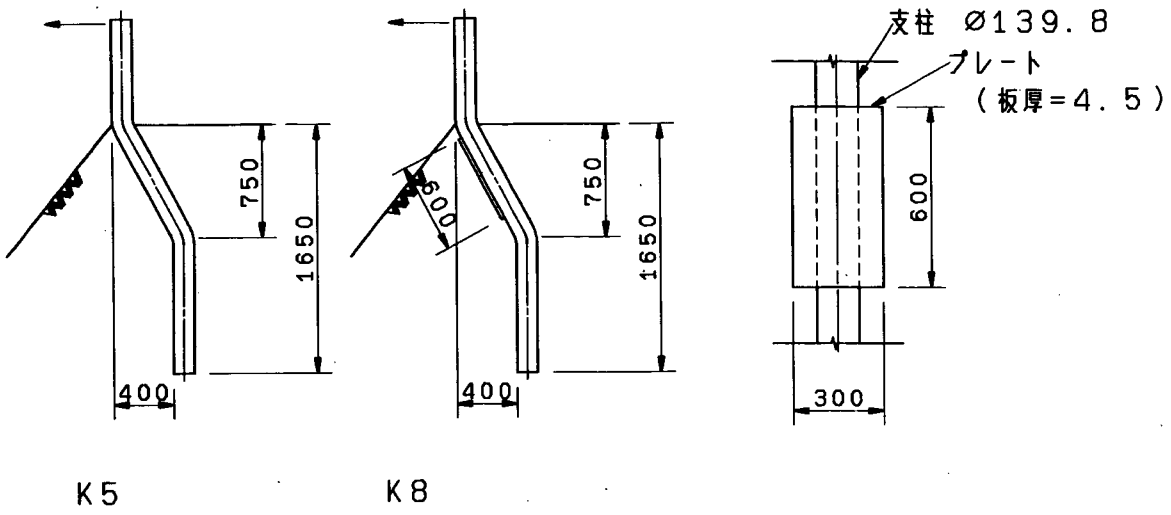
写真－3·5·4　Ｋ４・羽根形のアンカー

(4)　曲柱タイプ（Ｋ５・Ｋ８）

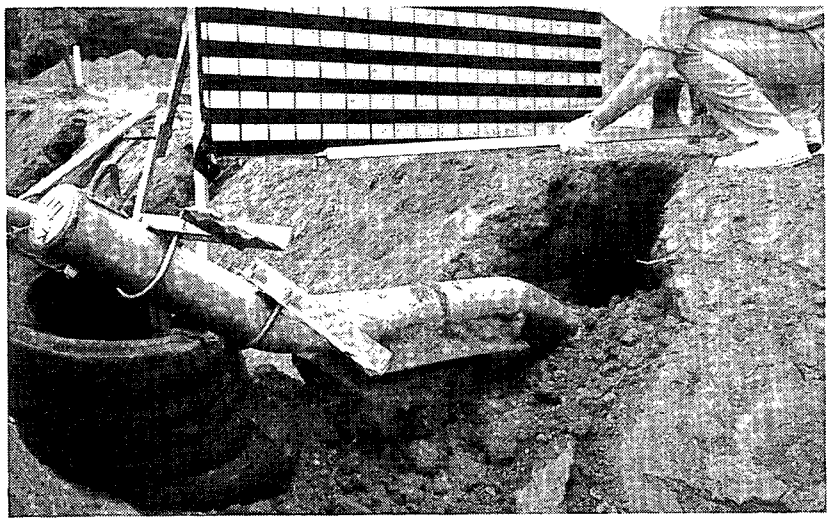
Ｋ５は図－3·5·33のとおり埋込み部分を道路側に曲げ，法面からの距離を大きくしたものである。Ｋ８はそれにプレート（300×600mm，プレート面積0.18m²）を施工しやすい支柱の斜め部分に取付け，プレートの有効性を確認したものである。Ｋ５・Ｋ８の平均支持力はそれぞれ1.71ｔ，1.54ｔで，プレートがないＫ５の平均支持力の方が約0.2ｔ（10％）大きくなっている。プレートの効果が現れなかったのは，幅が300mmと狭く抵抗面積の差が少なかったこと（面積の差は（0.3－0.1398）×0.6＝0.096m²　図－3·5·33），お

よびプレートが法面に近すぎたためと考えられる。標準支柱に対する平均支持力の増加量は0.84～1.01ｔ，支持力の比は2.20～2.44であり，曲柱構造の効果が認められた。

施工は事前に深さ約40cm掘削して通常のドロップハンマーによる方法で打込んだが，特に問題はなかった。



図－3･5･33　曲柱タイプの概要



写真－3･5･5　曲柱タイプの実験状況

(5)　長尺タイプ（K９）

本実験の長尺支柱は標準支柱と同断面で埋込み深さを2,000mmとし（標準支柱：1,650mm），支持力の増加をねらったものである。標準支柱に対する平均支持力の増加は0.57ｔと効果は認められるが，他の構造と比べると支持力増加は少なかった。この程度の長尺支柱では浅い部分の土圧抵抗が標準支柱と同じであるため効果が少なくなったものと考えられる。法面のない平坦地であれば埋込み深さの影響は大きくなると思われるが，法肩に設置する支柱の補強として単に埋込みを深くする方法はあまり有効ではないと考えられる。

ただし，図－3･5･27に示したように，この構造は変位が大きくなっても支持力が低下しにくい特長がある。

(6) 斜め打込み支柱（K 10） 〔参考〕

斜め打込み支柱は勾配１割５分・法肩距離０ｍ（供試体数１体）の条件で，約15度法面側に傾けて打込んだものである（支柱寸法は標準と同じ）。斜め支柱は埋込み部の法面までの距離が大きくなること，また鋼管杭の研究などで報告[21]されているように斜杭では水平地盤反力係数が上昇するため支持力増加が見込まれる。実験では標準支柱の平均支持力1.66ｔ（勾配１割５分・法肩距離０ｍ）に対しK 10は3.23ｔと極端に大きくなった。この構造の場合，効果は期待できるが施工面や部材設計面の問題が残されており，本研究では参考とした。

(7) 強化支柱構造の総合評価

標準支柱と比較した強化支柱の総合評価を次の観点から判断し，その結果を表－3･5･12に示す。

・支持力　①設計支持力の確保・補強効果

・施工性　②新規設置時の難易度

　　③維持補修の対応性

・加工性　④支柱や部材加工の難易度

・適用性　⑤既設支柱への補強可否

　　⑥現道路肩内での設置可否

・経済性　⑦上記②～④から定性的な判断をした

表－3･5･12　強化支柱構造の総合評価（○：良い　△：普通　×：悪い）

構造		① 支持力	② 新　設	③ 補　修	④ 加　工	⑤既設 対応	⑥ 路肩幅	⑦ 経済性	総　合 評　価
プレート	K 1	○	○	△	○	×	○	○	○
	K 6	○	○	△	○	○	○	○	
	K 7	○	○	△	○	○	○	○	
コンクリート根巻	K 2	×	○	△	○	△	△	○	△
アンカー	K 3_S	×	×	×	△	△	○	×	×
	K 3_L	○	×	×	△	△	○	×	
	K 4	○	×	×	△	△	○	×	
曲　柱	K 5	○	△	○	○	×	○	○	○
	K 8	○	△	△	○	×	○	△	
長　尺	K 9	×	○	○	○	×	○	○	×

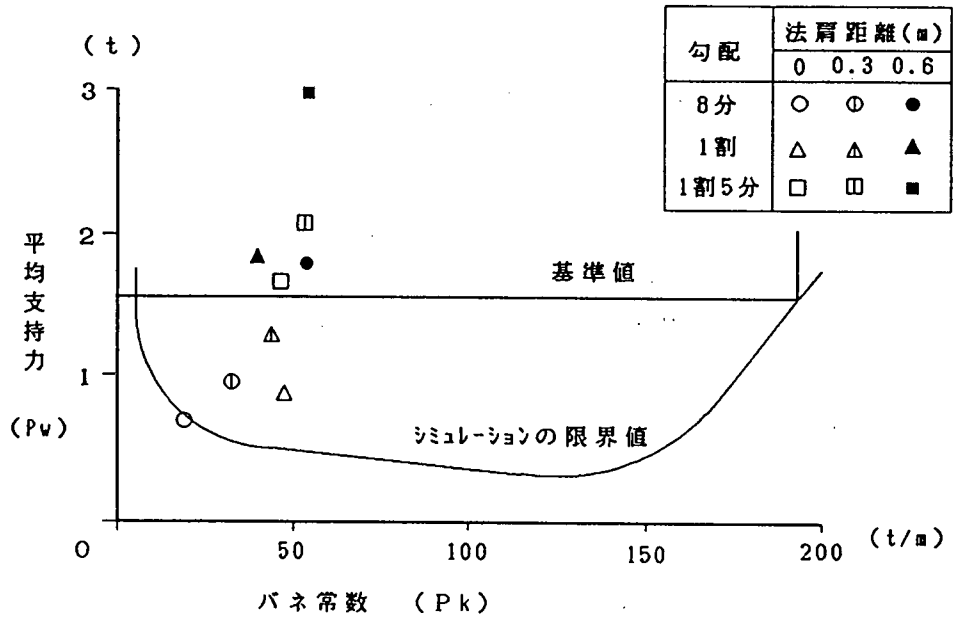
表－3･5･12から支持力不足の支柱補強方法としては，支柱にプレートを取付けた補剛プレート構造（K 1・K 6・K 7）と土中埋込み部分を曲げた曲柱構造が（K 5・K 8）が現時点では優れていると判断できる。

4　支柱の適用条件と支持力強化

本章では，今までに得られた支持力と設置条件に関する結果から，支柱構造ごとの適用範囲についてその考え方を示すものである。

4.1　標準支柱の適用範囲

A種標準支柱の必要とする支持力と実験で得られた支持力の関係を図－4·1·1に示す。図中の曲線は図－2·3·3のシミュレーションでの標準防護柵の変位1.1mとなる支柱常数の下限値を示し，直線は表－2·3·2のバネ常数が低くても変位1.1mを超えない平均支持力の値（以下，基準値という）である。ここでは「2」と「3」で示したように支柱常数のバラツキや弱い地盤の路肩でも全て安全設計となる基準値から支柱の適用範囲を判断することとした。図－4·1·1から基準値に対する実験値の適否を示したものが表－4·1·1である。適用外の設置条件としては，路肩条件の悪い勾配8分と1割の法肩距離0，0.3mである。



図－4·1·1　A種支持力の計算および実験値の関係

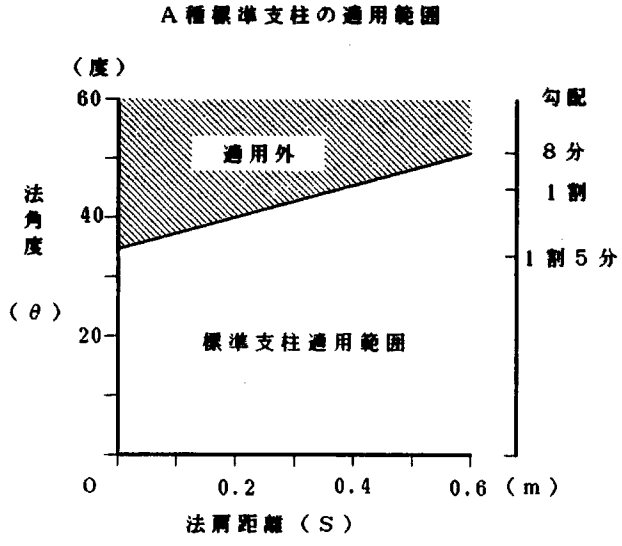
つぎに図－3·5·23，24から平均支持力の基準値1.6t以下の設置条件を求め，その領域を示したものが図－4·1·2である。図中の斜線部分は標準支柱が適用できない範囲である。この場合，法肩距離0mとすると法勾配は1割4分より緩いことが必要であり，8分勾配での法肩距離は0.6m以上が望ましい値となる。

B・C種標準支柱の支持力に関する計算値と実験値の関係は，図－3·5·25と図－4·1·3である。この関係から，平均支持力の基準値をB種1.0t，C種0.9tとして適用範囲を求めたものが図－4·1·4である。A・B・C種とも法勾配が1割5分であれば，法肩距離0mでも標準支柱が適用できる。

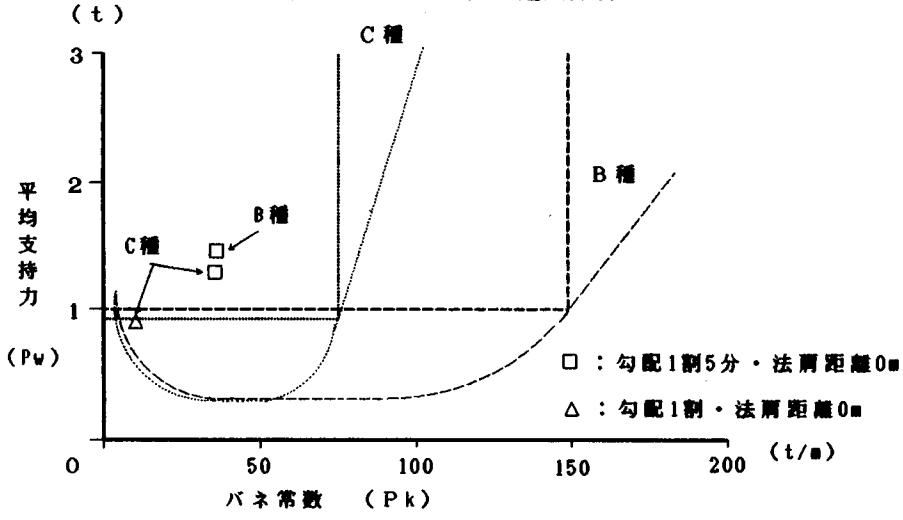
表－4·1·1　A種標準支柱の設置条件の適否

勾配	法肩距離（m）		
	0	0.3	0.6
8分	×	×	○
1割	×	×	○
1割5分	○	○	○

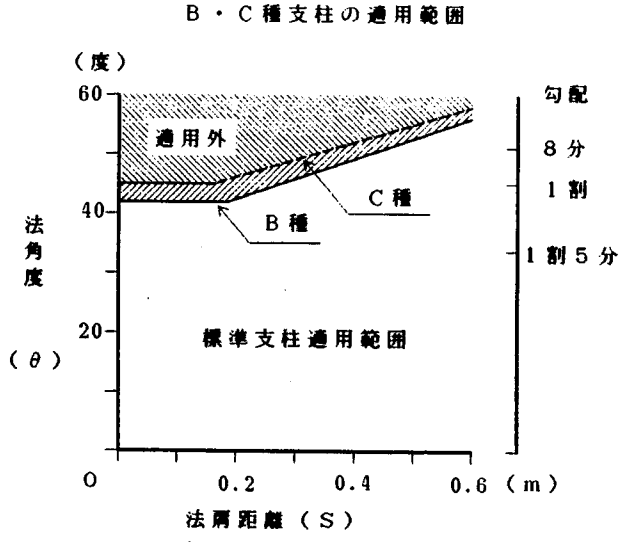
○：基準値を満足
×：基準値未満



図－4·1·2　A種の適用条件



図－4·1·3　B・C種支持力の計算および実験値の関係



図－4·1·4　B・C種の適用条件

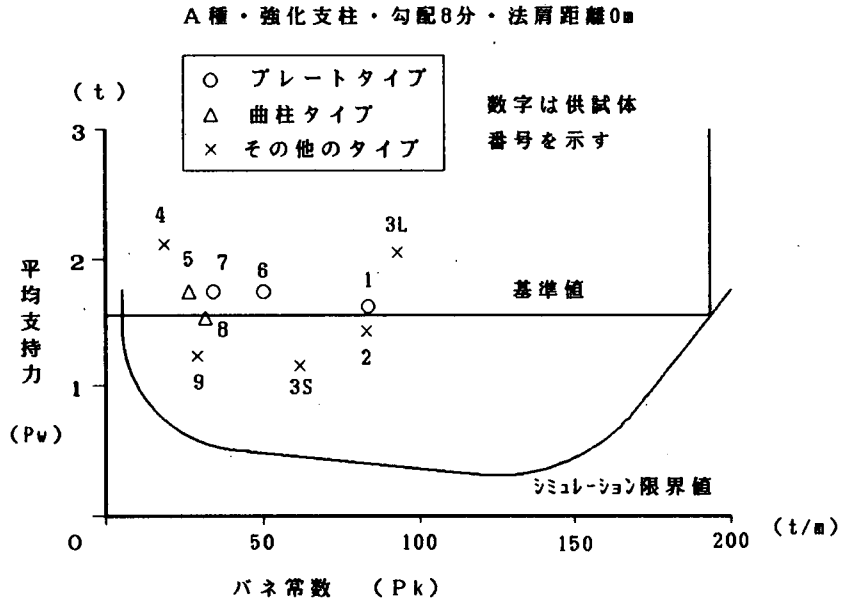
4.2 支持力強化の範囲と支柱補強方法

4.2.1 強化支柱と支持力強化の範囲

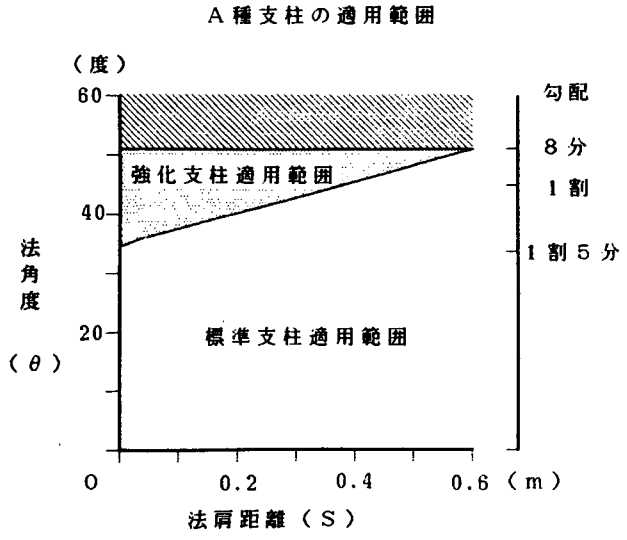
図－4·2·1は支持力に関する計算値とA種強化支柱・勾配8分・法肩距離0mでの実験値を示したものである。実験値はいずれも限界値を満足しているが，$K3_S$（複式支柱），K9（長尺支柱），K2（コンクリート根巻）は基準値を下回っており，K8（曲柱）はほぼ基準値と同じである。

勾配8分・法肩距離0mの条件において，支柱をプレートタイプや曲柱タイプとすれば支持力は満足できるものと考えられる。

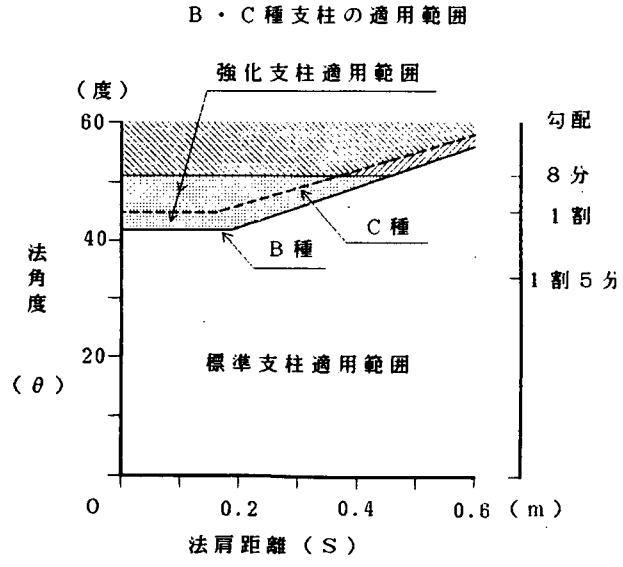
図－4·2·2は強化支柱の適用範囲を示したものである。



図－4·2·1 A種強化支柱支持力の計算値と実験値



図－4·2·2 A種強化支柱の適用条件



図－4·2·3 B・C種強化支柱の適用条件

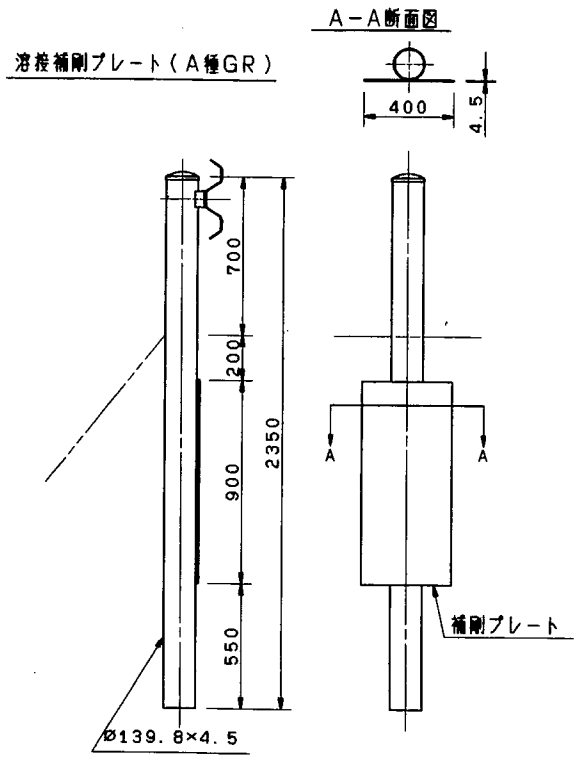
B・C種強化支柱の検討はA種との比率で推定した。K1（補剛プレート）・勾配1割・法肩距離0mの条件でA・B・C種の平均支持力を比較すると，表－3·5·10からA種とB・C種の比は1：0.7となり，K1も標準支柱（表－3·5·6から1：0.8）も種別間の支持力の比率に差は少なかった。従って，B・C種強化支柱の支持力をA種強化支柱の80％と仮定すれば，補剛プレートタイプと曲柱タイプの勾配8分の平均支持力は1.2～1.4t程度と推定される。図－4·2·3にB・C種強化支柱の適用範囲を示す。

標準支柱の支持力が不足するかどうかは設置条件（法勾配や法肩距離）から図－4·2·2，3により判断でき，平均支持力は式（3·3）～（3·8）により求められる。

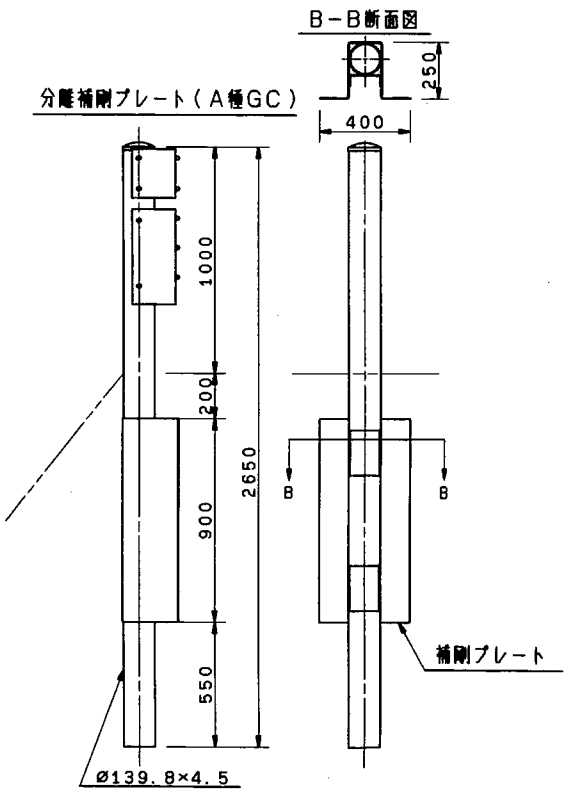
4.2.2 支柱補強方法の提案

今まで述べたとおり標準支柱の支持力が不足する場合，設計支持力が得られるよう補強する必要がある。その補強方法としては支柱間隔の短縮・法肩距離の確保・法勾配の改良・地盤の改良等も考えられるが，ここでは支柱構造の変更による比較的簡易な方法で補強することを前提とした。

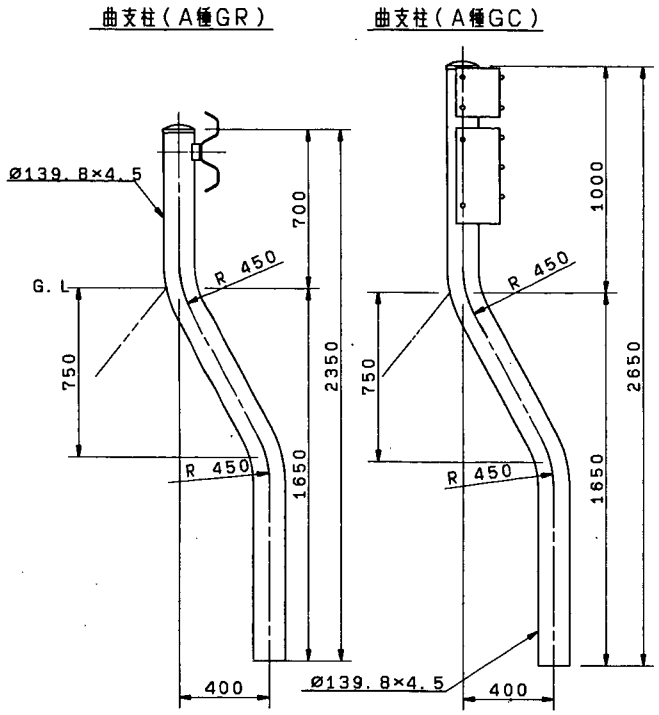
補強の方法は載荷実験で確認した構造の中から，支持力や施工性など総合的に優れていると判断できる補剛プレートタイプと曲柱タイプを選定し，その構造を図－4·2·4～6に示す。



図－4·2·4　溶接補剛プレートタイプ



図－4·2·5　分離補剛プレートタイプ



図－4･2･6　曲柱タイプ

4.2.3　高強度型防護柵の支柱

高強度型防護柵の支柱はφ139.8×4.5mm，埋込み深さ1,650mmで設計上の平均支持力は2.5ｔである。この支柱寸法で平均支持力が2.5ｔ以上を期待できる設置条件を標準支柱の実験結果（図－3･5･23，24）から求めると，法勾配1割5分の場合は法肩距離が約45cm以上必要であり，法肩距離0ｍの場合は法勾配が19.3度（1：3）以下となる。

また，図－4･2･4～6の補強支柱は表－3･5･9に示したように勾配8分・法肩距離0ｍで標準支柱に対し平均支持力が約1ｔ増加する。そして勾配1割5分・法肩距離0ｍにおける標準支柱の平均支持力は1.66ｔで，これに増加支持力1ｔを加えると補強支柱の平均支持力は2.66ｔとなる。従って，補強支柱を用いれば高強度型防護柵は法勾配1割5分・法肩距離0ｍの条件でも設置することができる。

5　支持力推定方法の提案

載荷実験等により支持力の検討を行った結果，支持力と支柱構造や設置条件との関係は明らかになった。しかし，実験で種々の条件を確認することは現実面で時間的・経済的に無理である。そこで今までの結果を踏まえ，路肩設置の水平支持力を計算で求める方法を提案するものである。

防護柵の支柱に限らず土中に埋込まれた杭構造の水平支持力と変位に関する解析法としては，土の極限状態の地盤反力と外力とのつり合いから求める極限地盤反力法，土を弾性体として梁の曲げ理論を適用する弾性地盤反力法，および地表面近くの地盤に塑性領域を考えてその下の地盤を弾性領域とする複合地盤反力法等で行われてきた。防護柵支柱は路肩に設置されることが多く，また一般の基礎杭と比較して許容される水平変位が大きいため，斜面の影響をより多く受けるものと考えられる。従って，ここでの支柱の水平支持力の算定法は斜面による影響を考慮した斜面上の深礎杭の設計法[22) 23)]の考え方を基本にし，今までの実験結果に適応させながらより大きな水平変位に対する水平支持力の算定を行うものである。

5.1　計算方法

5.1.1　前提条件

① 斜面（法面）の影響を考慮した計算とする。

② 水平方向の地盤反力度・支柱の応力および変位量の計算は弾性支承上の梁として解析し，水平方向の安定は地盤の塑性化を考慮した弾塑性解析により計算する。

③ 弾性支承上の梁の計算はコンピューターによる。

5.1.2　地盤反力係数

計算は斜面を考慮した弾性支承（各接点）のバネ定数を用い，弾性支承上の連続梁として行う。斜面の場合，水平方向地盤反力係数は平坦地での値を次式で補正する。

$$kh = 0 \qquad (0 \leqq \omega < 0.5)$$

$$kh = (0.3 \log_{10}\omega + 0.7)\ k_0 \qquad (0.5 \leqq \omega < 10)$$

$$kh = k_0 \qquad (10 < \omega)$$

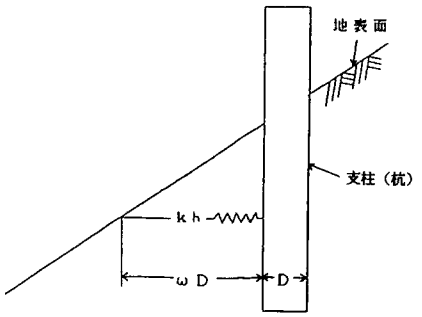
kh：斜面を考慮した水平方向地盤反力係数（kg/m³）

ω：斜面（法面）までの水平土被り厚と支柱径の比（図－5·1·1）

ただし　$\omega \max = 10$ とする

k_0：水平地盤に関する水平方向地盤反力係数（kg/m³）

$k_0 = \alpha E_0 D^{-3/4}$



図－5·1·1　斜面上の支柱

表－5･1･1　変形係数と補正係数

場　所	変形係数の試験法 E_0 (kg/cm²)	$D<5$ m	$D\geqq 5$ m	
		α		
		常時地震時共	常　時	地震時
原位置	平板載荷試験	0.2	1	2
	標準貫入試験（$E_0=28$N）	0.2	1	2
	孔内横方向載荷試験	0.8	4	8
室　内	三軸圧縮試験	0.8	4	8

α：変形係数を知るための試験法とそれに対応する係数

弾性支承上の梁の計算で必要なバネは以下の式により求める。

① 水平バネ（Kh）

$$Kh=kh\cdot D\cdot \Delta L$$

ここに　kh：斜面および隣接基礎の影響を考えた水平方向地盤反力係数（kg/cm³）

D：支柱径（cm）

ΔL：バネ間隔長さ（cm）

② 底面鉛直バネ（Kv）……全断面有効の場合

$$Kv=kv\cdot A$$

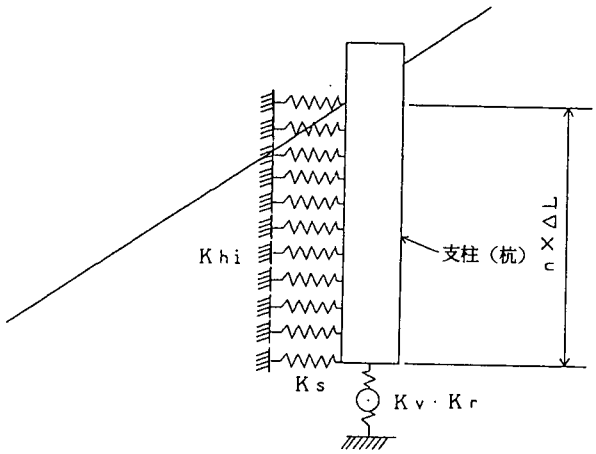
ここに　kv：鉛直地盤反力係数（kg/cm³）

A：支柱底面積$\left(=\frac{\pi}{4}D^2\right)$　（cm²）

③ 底面回転バネ（Kr）……全断面有効の場合

$$Kr=kv\cdot I$$

ここに　I：支柱底面の断面二次モーメント（cm⁴）



図－5･1･2　計算上のバネ

④ 底面せん断バネ（Ks）……全断面有効の場合

$$Ks=ks\cdot A$$

ここに　ks：せん断バネ定数　（kg/cm³）

水平バネ位置における地盤反力，底面に作用する鉛直地盤反力，およびせん断抵抗力は，次の式により求められる。

ⓐ 水平地盤反力

$$Ri=Khi\cdot \delta i$$

ここに　Ri：水平バネ位置における水平地盤反力（t）

Khi：水平バネ（t/m）

δi：水平変位（m）

ⓑ 鉛直地盤反力

$$q=\frac{N}{A}\pm\frac{M}{I}\cdot\frac{D}{2}$$

ここに　q：鉛直地盤反力度（t/m²）

N：底面に作用する鉛直反力（t）

M：底面に作用するモーメント（t・m）

A：底面積（m²）

I：底面の断面二次モーメント（m⁴）

D：底面の直径（m）

ⓒ　せん断抵抗力

$$S_B=K_S\cdot\delta_B$$

ここに　S_B：底面に作用するせん断抵抗力（t）

K_S：底面のせん断バネ（t/m）

δ_B：底面の水平変位（m）

5.1.3　水平方向の安定

水平方向のつり合い計算により地盤の塑性領域を決定する。

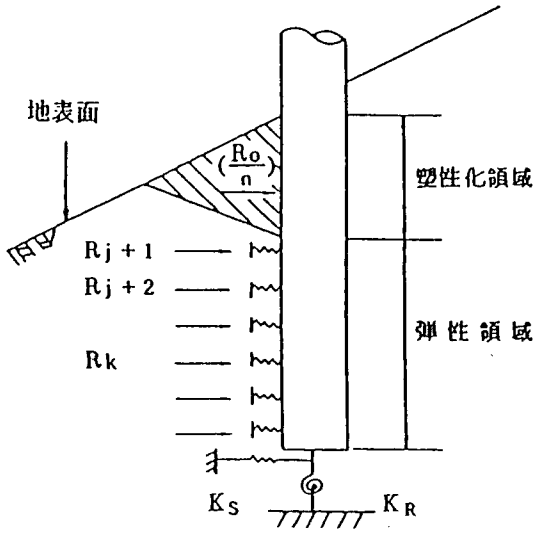
図－5·1·3に示すように塑性領域は，各節点深さまでの水平力の総和がその位置における地盤の許容水平支持力を超える場合，地表面からその節点までの深さまでとし，それより深い地盤を弾性領域とする。従って，弾性領域とは次式を満足する領域，すなわち水平バネが有効な範囲をいう。

$$R_{qak}\geqq\left(\frac{R_0}{n}\right)+\sum_{i=j+i}^{k}R_i$$

ここに，R_{qak}：k段目のバネ位置での地盤の許容水平支持力（t）

$\left(\frac{R_0}{n}\right)$：塑性領域の抵抗力（t）　　n：安全率

$\sum_{i=j+i}^{k}R_i$：$j+1$段目からk段目までのバネ位置における反力の総和（t）



図－5·1·3　水平方向の安定（弾塑性解法）

5.1.4　極限水平支持力

極限水平支持力は図－5·1·4に示す地盤の直線すべり面のせん断抵抗力の最小値として次式により求める。

$$R_q=\frac{W(\cos\alpha+\sin\alpha\cdot\tan\phi)+C\cdot A}{\sin\alpha-\cos\alpha\cdot\tan\phi}$$

ここにR_q：極限水平支持力（t）　　C：地盤の粘着力（t/m）

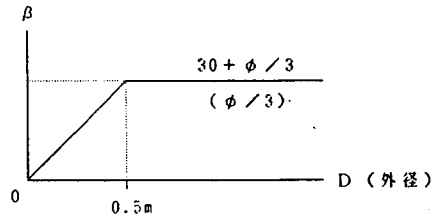
W：すべり面より上の地盤の重量（t）　　α：最小の水平支持力を与えるすべり角（度）

A：すべり面の面積（m²）　　β：すべり面のひろがり角（度）

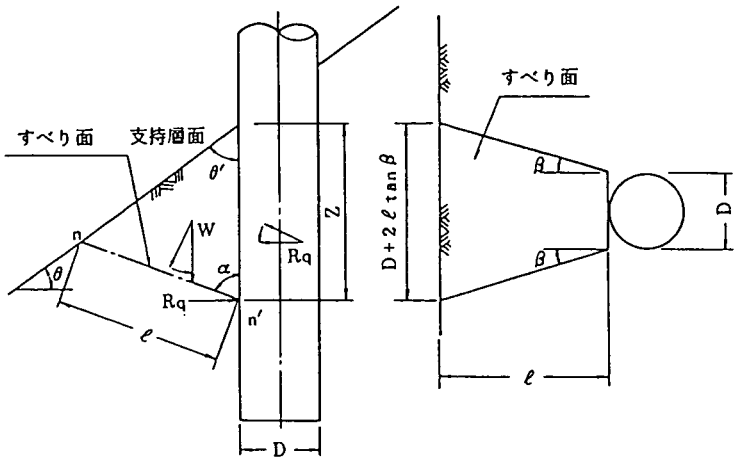
ϕ：地盤の内部摩擦角（度）

一般に

$$\begin{cases}\text{土砂,軟岩} & \beta=30+\dfrac{\phi}{3}\\ \text{硬岩} & \beta=\dfrac{\phi}{3}\end{cases}$$



但し，杭径が0～0.5mでは土砂，軟岩のβを0～$\left(30+\frac{\phi}{3}\right)$まで，硬岩の場合は0～$\frac{\phi}{3}$まで直線的に変化させるものとする。



図－5·1·4　地盤のすべり面

5.1.5　塑性領域の抵抗力

計算は支柱設置方法や設置場所の状況に応じ①，②のように判断して行う。

①　塑性域の水平バネを取り外し，弾性支承上の梁の計算を行う。

②　塑性域の水平バネを取り外し，塑性域の抵抗力を作用させて弾性支承上の梁の計算を行う。

塑性領域の抵抗力はその領域の地盤の重量によりすべり面に生ずるせん断力（図－5·1·5）として次式より求める。この抵抗力は図－5·1·6に示すとおり等分布反力として扱う。

$$Ro=\frac{(\cos\alpha_0+\sin\alpha_0\cdot\tan\phi_B)\cdot Wo+Co\cdot A}{\sin\alpha_0-\cos\alpha_0\cdot\tan\phi_B}$$

Ro の作用位置 ep は次式により算定できる。

$$ep=\left\{\frac{1}{4}+\frac{1}{12\left(1+\frac{2}{3D}\cdot\frac{\sin\theta'\cdot\tan\beta}{\sin(\theta'+\alpha_0)}\cdot Zo\right)}\right\}Zo$$

ここに

Ro：塑性領域の極限抵抗力（t）

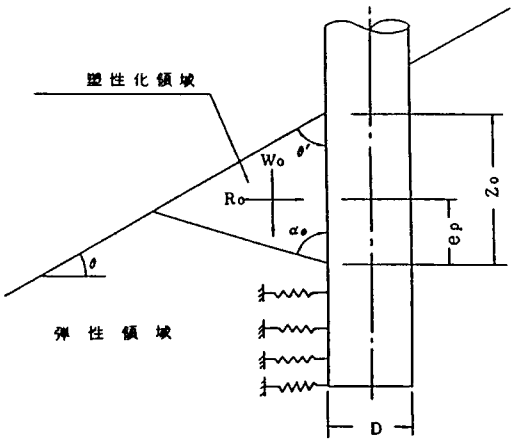
Wo：塑性領域の地盤重量（t）　　$Wo=W$

α_0：極限水平支持力を与えるすべり角　　$\alpha_0=\alpha$

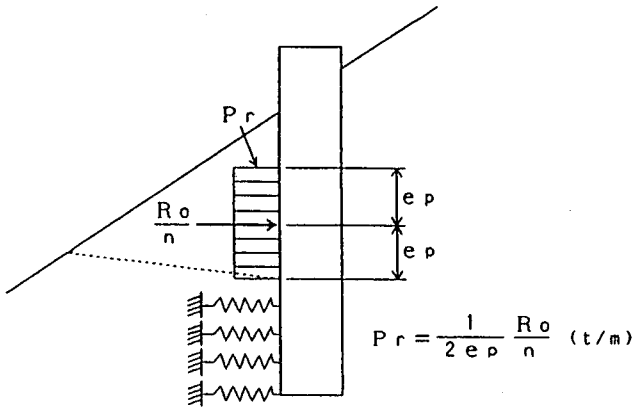
ϕ_B, Co：塑性領域と弾性領域のすべり摩擦角と粘着力で表－5·1·2に示す値とする。

表－5·1·2　塑性化後のせん断定数

土　　質	土砂～軟岩（CL）	中硬岩（CM以上）
粘着力 Co	$Co=C$	$Co=0$
摩擦力 ϕ_B	$\phi_B=\phi'$（$\phi'=\phi$，$\leqq 30°$）	$\phi_B=\frac{2}{3}\phi'$（$\phi'=\phi$，$\leqq 30°$）



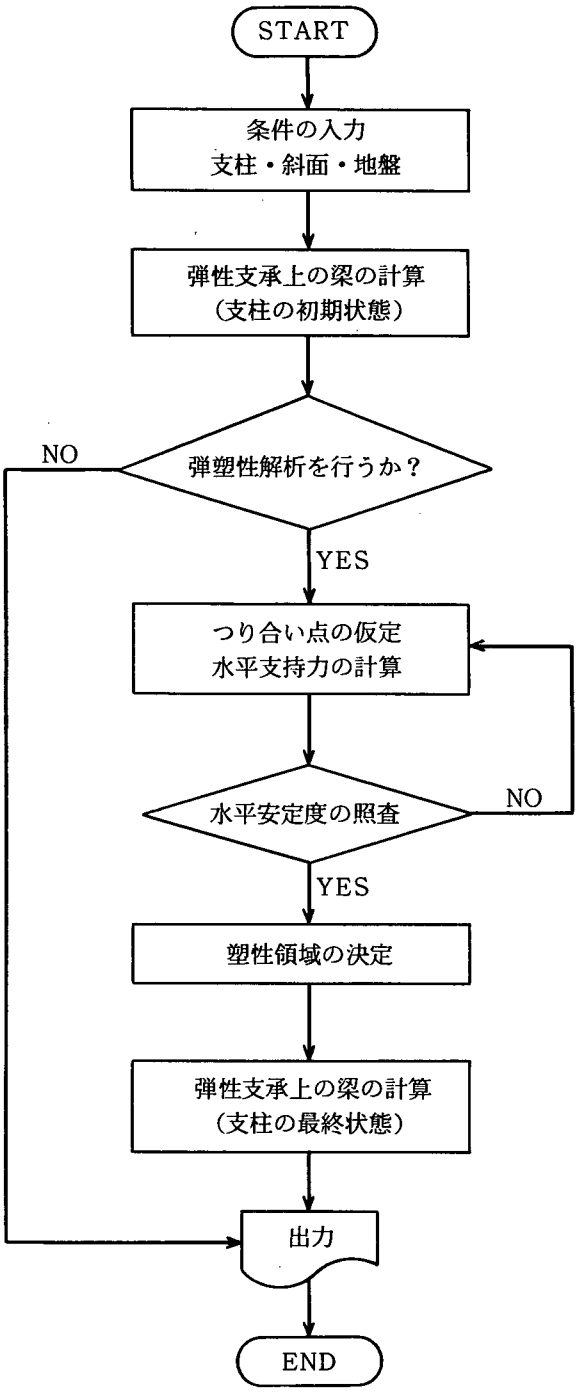
図－5·1·5



図－5·1·6

5.2 計算の流れ

計算プログラムのフローを以下に示す。



5.3 入力データ

入力データは支柱・斜面・荷重関係の３種類であり，各々の考慮できる主な要素は次のとおりである。

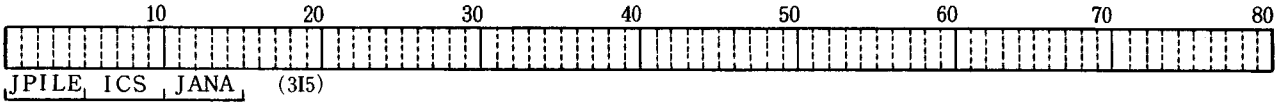
・支柱条件　支柱断面の変化を考慮できる
　　節点の間隔は自由に設定できる
　　変位は支柱の弾性変位を含むことができる

・斜面条件　斜面（法面）の角度・法肩距離は自由に設定できる
　　地盤の深さ方向の強度（地層）変化を考慮できる

・荷重条件　荷重は自由に設定できる（集中・等分布・モーメント，数，方向，位置）
　　塑性域の抵抗土圧を考慮できる
　　支柱の自重を考慮できる

以下に入力データマニュアルを示す。

(1)　解析モデルの判定



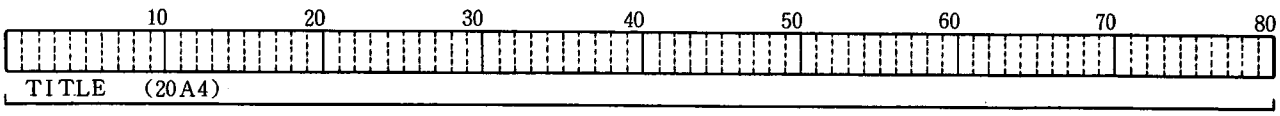
JPILE　：＝０　斜面上の杭の解析
　　≠０　平面地盤の有限長杭の解析

ICS　：解析ケース数（構造モデルまたは常時および地震時の荷重状態のケース数）

JANA　：設計法判定　＝０　斜面を考慮したバネ常数により，弾性支承上の杭の解析を行う
　　＝１　弾塑性解析により塑性域を求め，塑性域のバネを外して弾性支承上の杭の解析を行う
　　＝２　弾塑性解析により塑性域を求め，塑性域の抵抗土圧を考慮して弾性支承上の杭の解析を行う

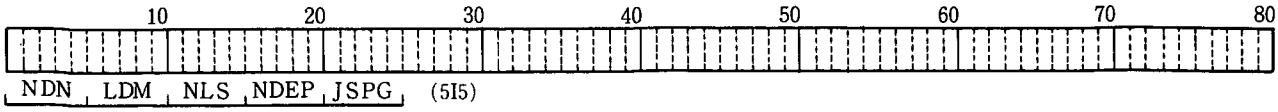
以下のデータを（ICS）組作成する。

(2)　タイトル



TITLE　：解析ケースの名称等（条件などを記入する）

(3) 計算条件



NDN　：地上に突出した部分の要素分割数（≧２）

LDM　：杭中間部に載荷する場合の載荷荷重の個数〔(11)－②で作成する。〕

NLS　：初期根入れの要素数

NDEP　：杭の根入れ長の増加回数

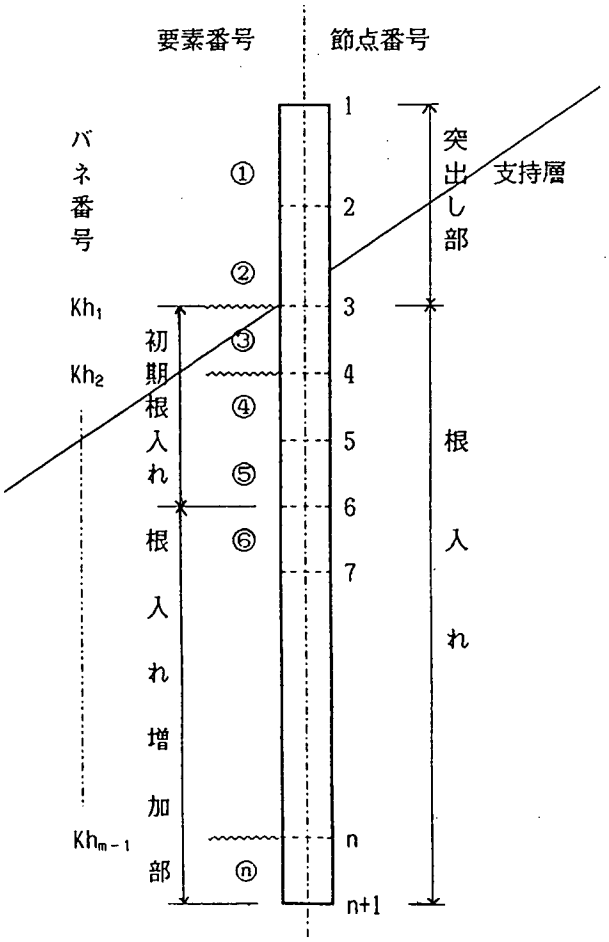
JSPG　：杭自重の処理状態の設定

＝０　杭の自重による鉛直力および水平力（地震時）を杭全長にわたって考慮する場合

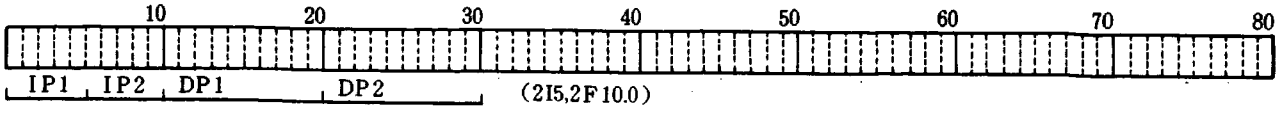
＝１　杭の自重による鉛直力および水平力（地震時）を水平つり合い点より浅い部分のみを考慮する場合（突出し部から塑性領域までを対象とする）

＞１　杭の自重による鉛直力および水平力は無視する

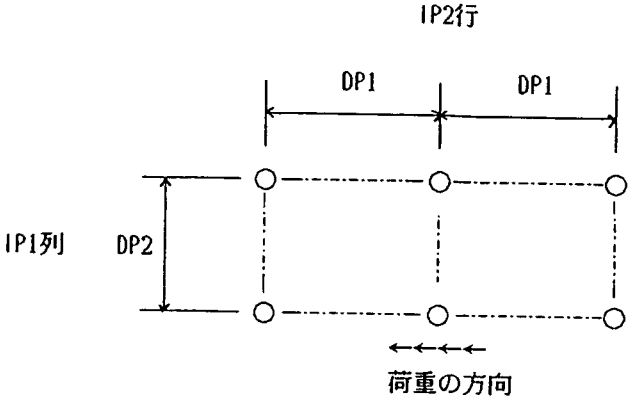
制約条件：NDN＋NLS＋NDEP ≦ 50



(4) 杭の配置



IP 1　：対象となる杭の列番号
IP 2　：対象となる杭の行番号
DP 1　：列の間隔（m）
DP 2　：行の間隔（m）
注）単杭の場合は
IP 1=IP 2= 1，DP 1=DP 2=0.0
群杭の場合は行列の番号により前面の抵抗領域が異なり，後の杭の負担分は前の杭の抵抗領域として除かれ，また隣の杭の負担分は隣の杭の抵抗領域として除かれるために，後列中央部ほど地盤の抵抗は低減される。

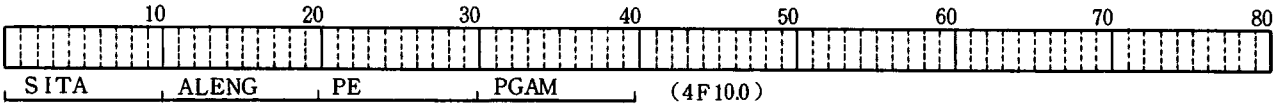


群杭の水平方向地盤反力係数：$kh = \mu kh_0$

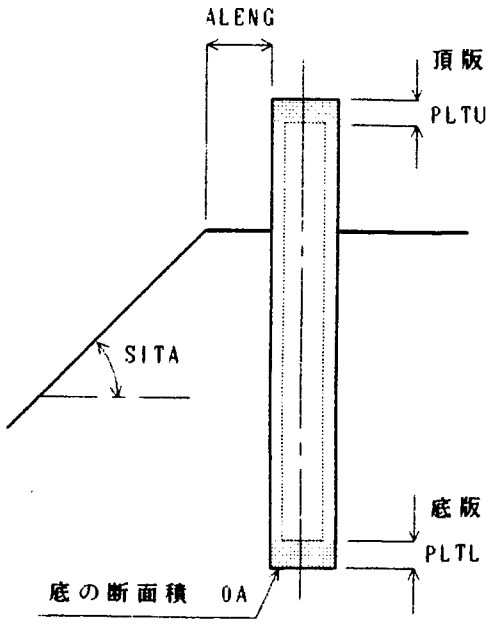
1列の場合　$\mu = 1/10 \cdot (DP\ 1/D + 5)$

2列の場合　$\mu = 1/6 \sqrt{(DP\ 1/D+1)(DP\ 2/D+1)}$

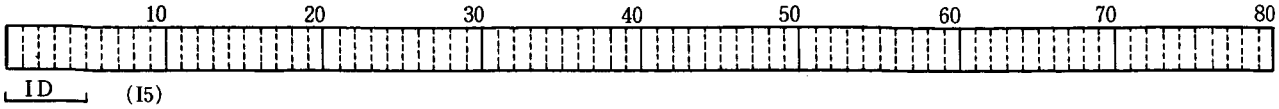
(5) 解析条件および杭の初期データ



SITA　：斜面の傾斜角　　(度)，JPILE≠0 の場合は不要
ALENG：法肩距離　　(m)
PE　　：杭の弾性係数　　(t/m²)
PGAM　：杭の単位体積重量（t/m³）

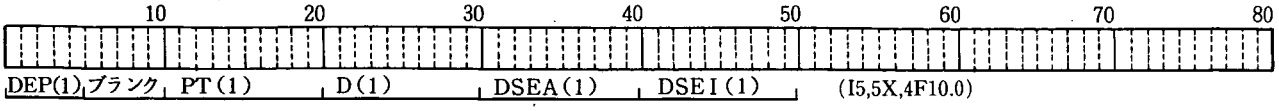


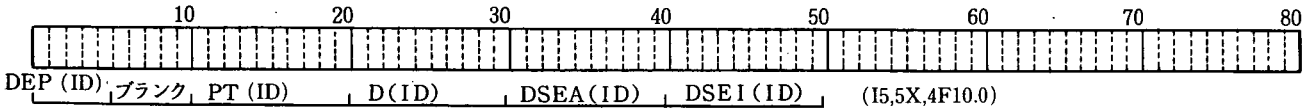
(6) 杭の断面変化



ID：分割数

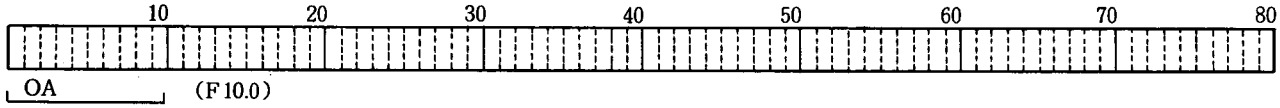
(7) 杭断面の節点と要素





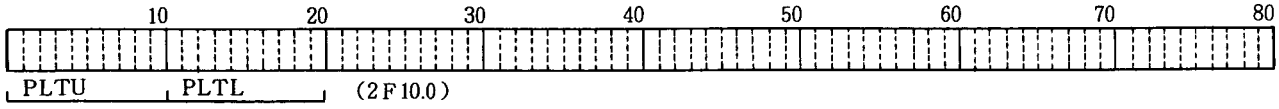
DEP　：変化点の節点番号
PT　：変化点までの要素の長さ（m）
D　：杭径（m）
DSEA　：変化点の要素の有効断面積（m^2）
DSEI　：変化点の要素の断面二次モーメント（m^4）

(8) 杭底の断面積



OA：杭底の断面積（m^2）

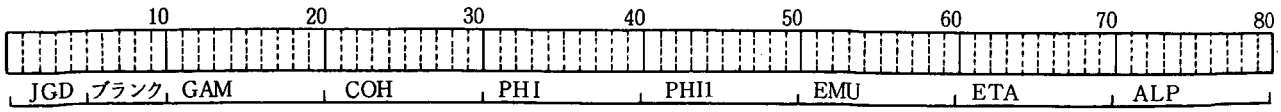
(9) 頂版および底版の厚さ



PLTU：　頂版の厚さ（m）
PLTL：　底版の厚さ（m）
　　中空の場合は 0.0

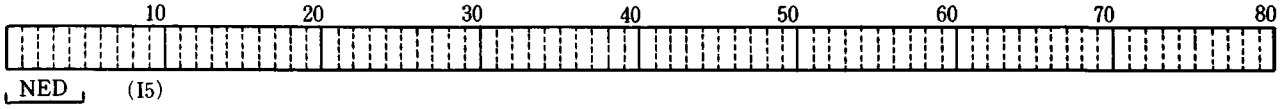
(10) 地盤の定数

① 地表の地盤定数と換算比および低減係数



JGD　：支持地盤の種類　　（1＝土砂軟岩，2＝硬岩）
GAM　：支持地盤の単位体積重量（t/m³）
COH　：支持地盤の粘着力　　（t/m²）
PHI　：支持地盤の内部摩擦角　（度）
PHI1：支持地盤の塑性化した部分の内部摩擦角（度）
EMU　：杭の行数による水平地盤反力係数の低減係数（μ）　$K=\mu K_0$
　　（単杭の場合は1.0，群杭の場合は0.0）
ETA　：鉛直地盤反力係数に対する底面せん断バネ比（1/3～1/4）
ALP　：地盤の変形係数と弾性係数の補正係数（α）　$E=\alpha E_0$

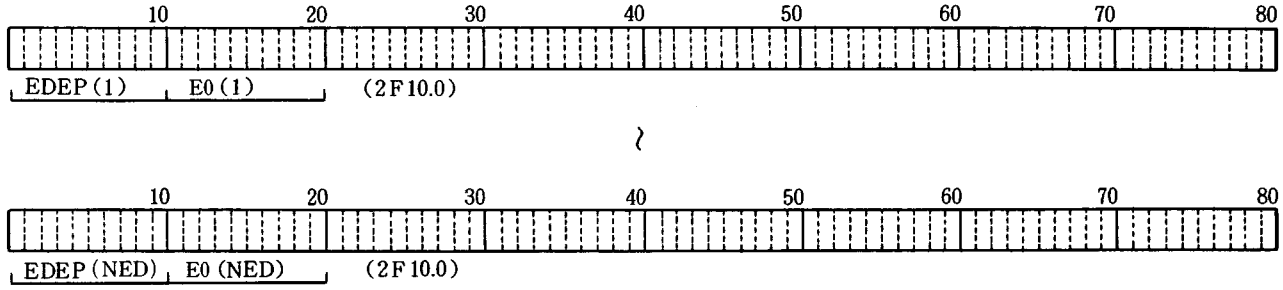
② 地盤の変形係数



NED　：地盤の地層の数（≦10）

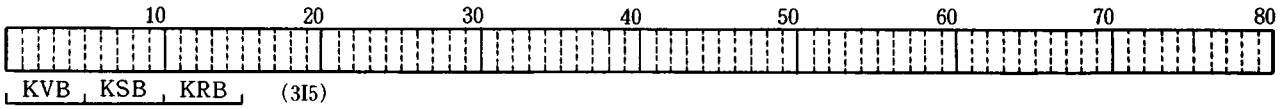
注，突出し部も1層と見なす。また，EDEP以上の根入れとなる場合は最深層〔EDEP(NED)〕の変形係数を用いる。

③ 各地層の変形係数



EDEP　：地盤の変形係数の変化点の位置で，杭頭からの距離（m）
E0　：その位置までの変形係数の値（kg/cm³）

④ 底面抵抗の条件



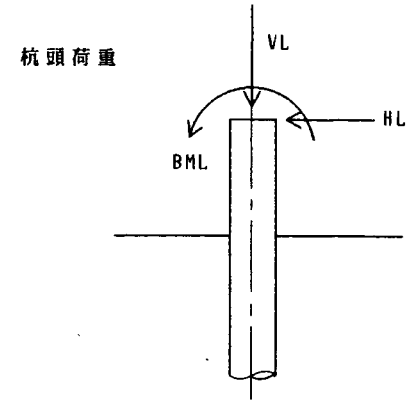
KVB　：鉛直抵抗の判定
KSB　：水平抵抗の判定　＜0：自由，＝0：固定，＞0：バネ抵抗
KRB　：回転抵抗の判定

⑾ 制限と荷重

① 制限および杭頭の荷重

```
         10        20        30        40        50        60        70        80
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
SF       DISL      COFK      VL        HL        BML       EQKH      (7F10.0)
```

SF　：荷重ケースごとの安全率（JPILE≠0の場合），n：常時＝3，地震時＝2，通常＝1
DISL　：地表面での杭の許容水平変位量（m）
COFK　：地盤反力バネ係数の割増し率（通常は1.0とする）
VL　：杭頭の鉛直方向荷重（t）
HL　：杭頭の水平方向荷重（t）
BML　：杭頭の曲げモーメント荷重（t･m）
EQKH　：地震時の水平震度



② 杭中間部の荷重〔(3)で設定した（LDM）組作成する。無い場合は不要〕

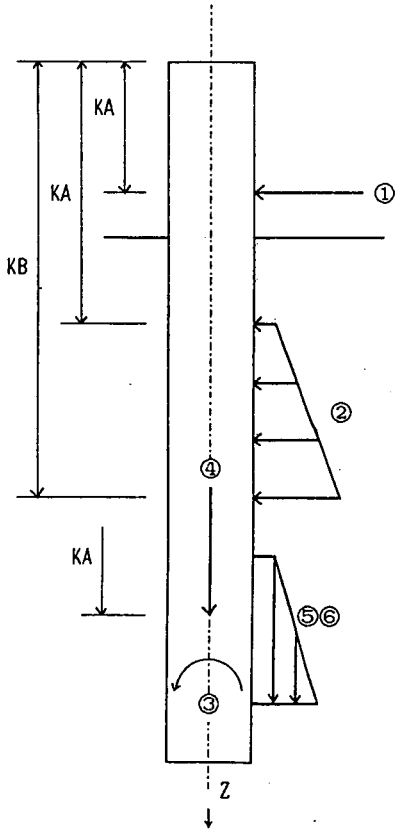
```
         10        20        30        40        50        60        70        80
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
LY(1) ブランク  PA(1)     PB(1)     KA(1)     KB(1)     (I5,5X,4F10.0)
```

≀

```
         10        20        30        40        50        60        70        80
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
LY(LDM) ブランク  PA(LDM)    PB(LDM)    KA(LDM)    KB(LDM)    (I5,5X,4F10.0)
```

LY：荷重の形態（コード番号1～6）
PA：開始位置での強度（t or t/m）
PB：終了位置での強度（t or t/m）
KA：開始位置　　（m）
KB：終了位置　　（m）

注，PB，KBは，分布荷重の場合のみ必要



荷重の形態とコード番号

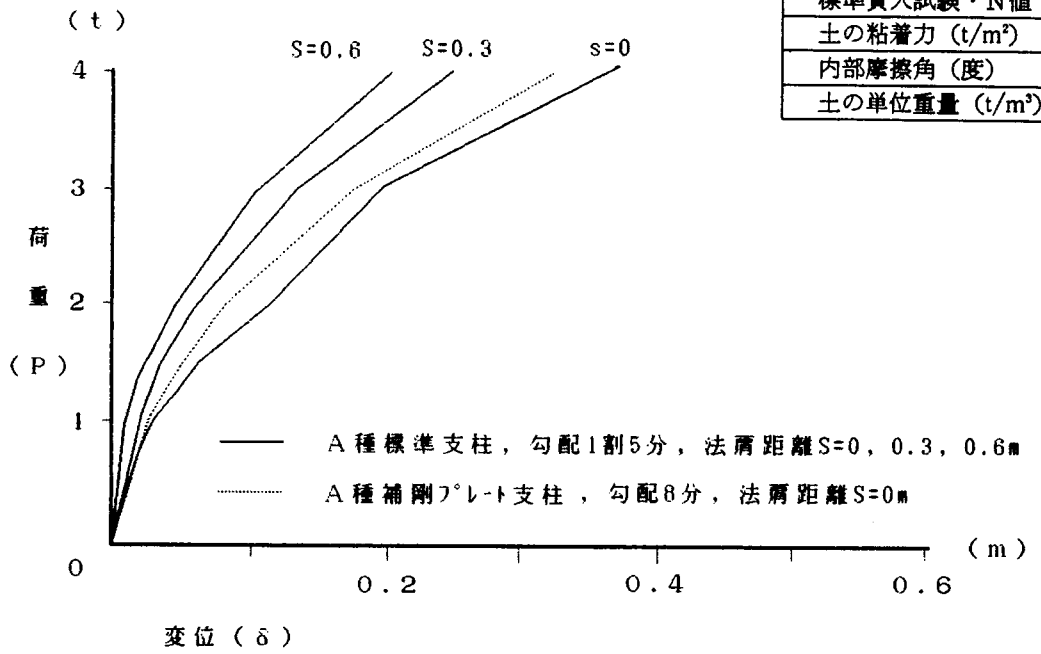
コード	荷重の形態
1	水平方向集中荷重
2	水平方向分布荷重
3	曲げモーメント荷重
4	軸方向集中荷重
5	軸方向等分布荷重
6	軸方向分布荷重

5.4 計算例

支柱水平載荷実験の「3.3 土質調査結果および考察」から路肩の地盤条件を表－5·4·1とし，A種標準支柱（法勾配1割5分，法肩距離0，0.3，0.6m）およびA種補剛プレート支柱（K1構造，法勾配8分，法肩距離0m）の弾塑性解析計算例を図－5·4·1に示す。図の荷重変位曲線の勾配は変位2cm程度から地盤の塑性領域が増加するため徐々に倒れてくる。

表－5·4·1 地盤の計算条件（実験値）

標準貫入試験・N値	4
土の粘着力（t/m²）	7
内部摩擦角（度）	25
土の単位重量（t/m³）	1.3



図－5·4·1 支柱支持力の弾塑性計算例（荷重変位曲線）

5.5 まとめ

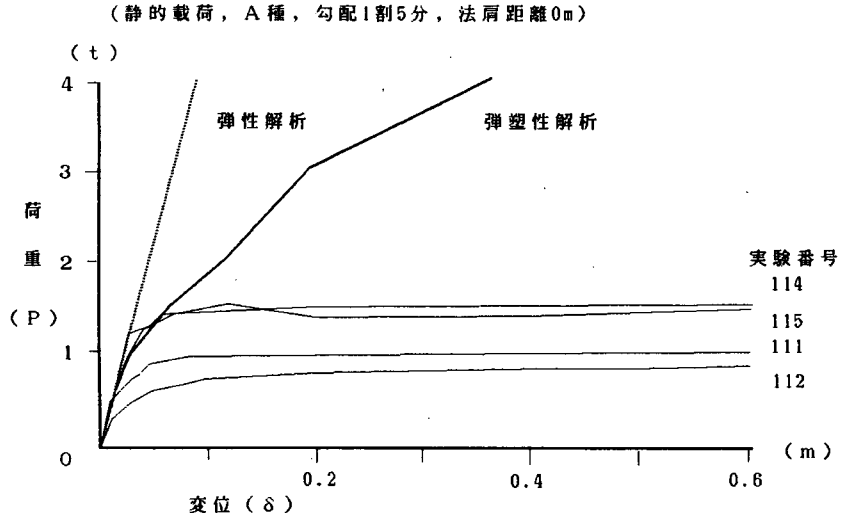
図－5·5·1～3は支持力（荷重変位）の計算値と静的載荷実験値との関係を示したもので，図－5·5·4，5は同じく動的載荷との関係である。

計算値と静的載荷とを比べると，変位10cm程度まで両者の荷重変位は非常に近似した値である。また，「3.5 考察」で述べたとおり動的載荷の支持力・バネ常数（*PK*）は静的載荷より大きく現われる傾向にあり，図－5·5·4，5の動的載荷における初期の荷重変位は弾性解析に近い値である。計算値と実験値の荷重変位を比較すると，変位が小さい領域では相関が高いといえる。これは，変位が小さい場合実際の地盤においてもある程度弾性域が残っており，計算の仮定に近い地盤状態であるためと考えられる。しかし，変位が大きくなった場合の計算では荷重が増加するのに対し実験では荷重の増加がないため，変位が大きいほど両者の荷重差は開く傾向にある。

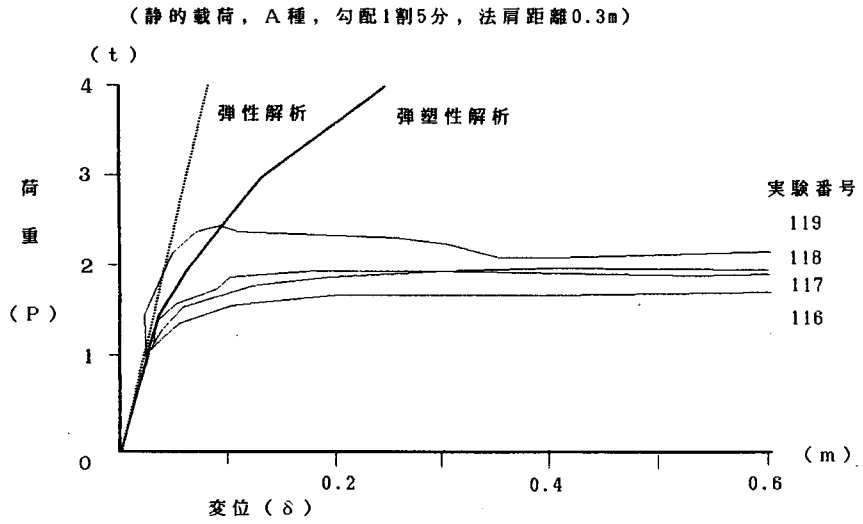
以上のことから，この計算式で支柱支持力を推定することは実験値との相関がよい変位の小さい領域で判

断すれば可能と考えられる。推定方法の一例を示すと，図－3･5･19の平均支持力（*PW*）とバネ常数（*PK*）の変曲点変位の値（3～5cm）から弾塑性解析による荷重を求め，計算上の支持力とする方法が考えられ，この場合の支持力は静的な荷重に対する平均支持力（*PW*）といえる。

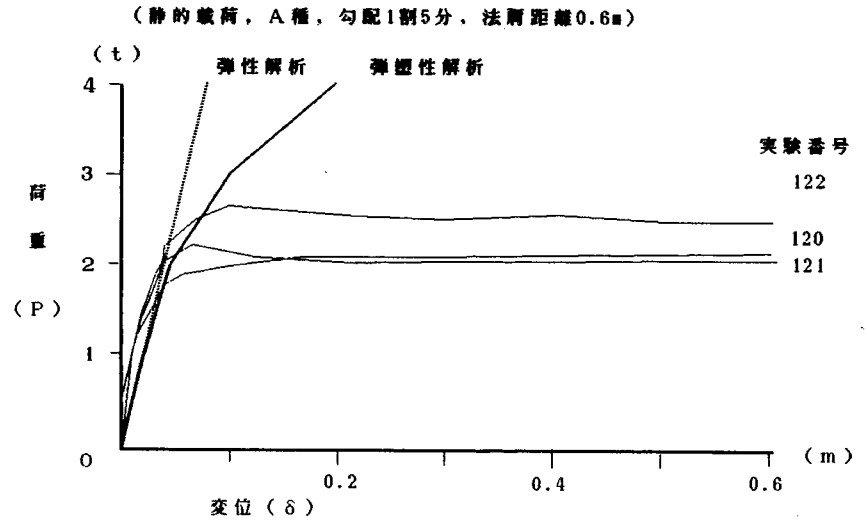
支柱構造や路肩条件が異なるケースの支持力はここで提案した計算方法で推定できると考えられるが，今後残りの実験ケースとの比較も行い，大きな変位発生時の地盤バネの取扱いや支持力の設定方法などさらに検討を加える必要がある。



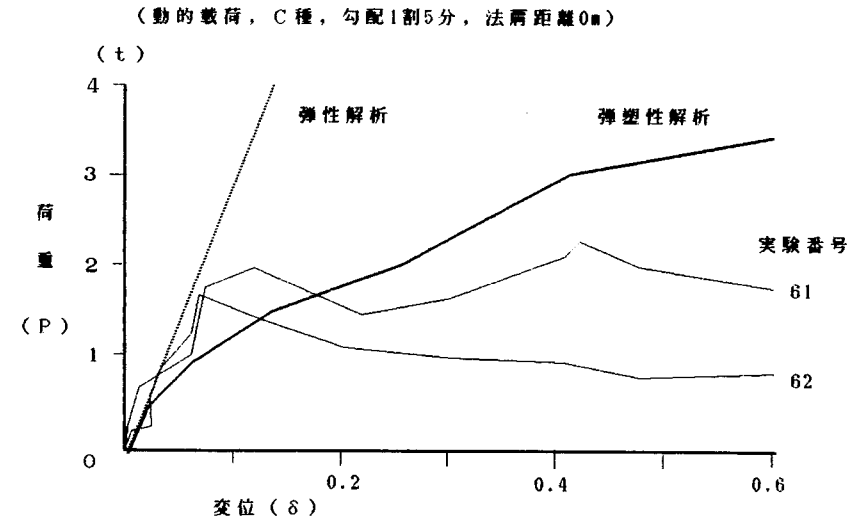
図－5･5･1　計算値と静的載荷との比較例　(1)



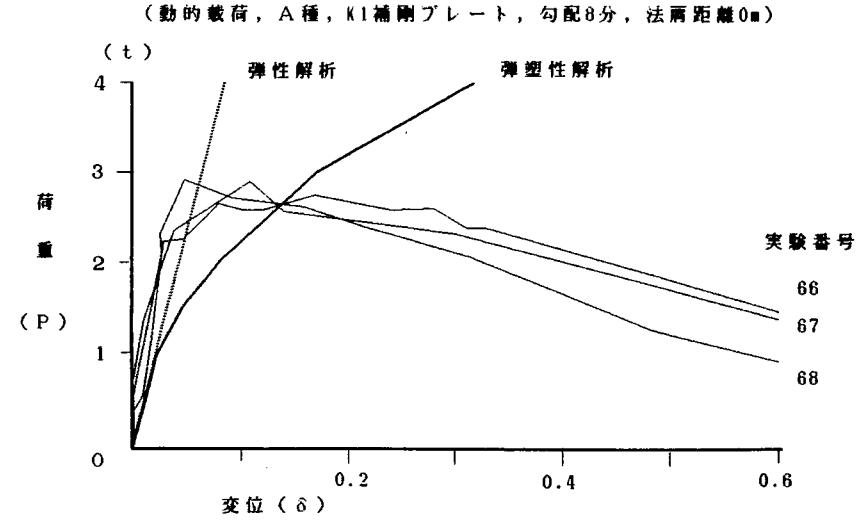
図－5･5･2　計算値と静的載荷との比較例　(2)



図－5·5·3　計算値と静的載荷との比較例　(3)



図－5·5·4　計算値と動的載荷との比較例　(1)



図－5·5·5　計算値と動的載荷との比較例　(2)

あとがき

昭和62年度，63年度の２ケ年にわたって本研究が行われた。わずか２年間の研究であったが，なかなか思うように研究が進まず，苦労を重ねたときもあった。当初予想していなかった結果が出て，夜遅くまで議論を重ねたこともあった。また，本研究の検討手段の主体となった衝突実験装置も研究期間に改造工事が行われ，このため工事に追われながらの実験を行わざるを得なかった。

しかしながらこうした努力が実り，研究に参加した多くの人々の苦労によってここに一つの成果がまとめられた。出来上がった報告書のボリュームを見て，我々の行ってきた作業量に改めて驚かされる。研究の間，昭和から平成へと時代の変わり目も体験した。また実験で使われた装置は既に新しいものとなっており，研究で用いられた旧衝突実験装置は面影を残すだけである。しかし，時代は変わってもここで行われた成果は近い将来有効に活用されるであろう。最近とみに増加している交通事故の防止に少しでも貢献できれば幸いである。

最後に，本研究に参加し，あるいは協力された各人の絶大なる努力に感謝するとともに，協力をしていただいた各防護柵メーカーの方々，建設省の関係各位に感謝するものである。

参 考 文 献

1）日本道路協会　「防護柵設置要綱」　昭和47年10月

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

3）RECOMMENDED PROCEDURES FOR THE SAFETY PERFORMANCE EVALUATION OF HIGHWAY APPURTENANCE. NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 230. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. 1981

4）FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDARD NO. 208. NATIONAL HIGHWAY SAFETY ADMINISTRATION. SEPTEMBER 1986

5）建設省土木研究所　「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」　土木研究所資料　第574号　昭和47年3月

6）建設省土木研究所　「防護柵の開発に関する研究」　土木研究所資料　第2450号　昭和62年2月

7）運輸省自動車局　「60年版自動車諸元表」

8）日本道路公団　「設計要領」第4集

9）東京製綱　「柵面補強材を用いたガードケーブル実車実験報告書」　昭和62年1月

10）日本道路協会　「防護柵設置要綱・資料集」　昭和61年7月

11）建設省土木研究所　「防護柵支柱の力学特性に関する研究」　土木研究所資料　第657号　昭和46年9月

12）日本道路協会　「中央分離帯用防護柵に関する研究報告書」　昭和60年6月

13）日本道路協会　「道路構造令の解説と運用」　昭和58年2月

14）元田良孝，小橋秀俊，星卓見　「カーブ区間における事故とその予測に関する考察」　土木技術資料　VOL 31，NO 5，1989

15）建設省道路局　「道路統計年報」　全国道路利用者会議　1989

16）自動車検査登録協力会　「自動車保有車両数　10年表」

17）運輸省自動車局　「53年版自動車諸元表」

18）土木研究センター　「欧州防護柵技術調査報告書」　平成元年3月

19）建設省土木研究所　「積雪寒冷地における防護柵に関する研究報告書　その2」　土木研究所資料　第2134号　昭和59年3月

20）土質工学会　「土質調査試験結果の解釈と適用例」　昭和63年1月

21）鋼管杭協会　「鋼管ぐい　－その設計と施工－」　昭和55年5月

22）日本道路協会　「杭基礎設計便覧」　昭和61年1月

23）日本道路公団　「斜面上深礎基礎設計要領」　昭和60年9月

24）日本道路協会　「中央分離帯の構造に関する研究」　昭和46年2月

資　料　編

1　衝突シミュレーションと入力データ

2　高強度型ガードケーブル端末部の設計

3　防護柵に関する収集文献リスト

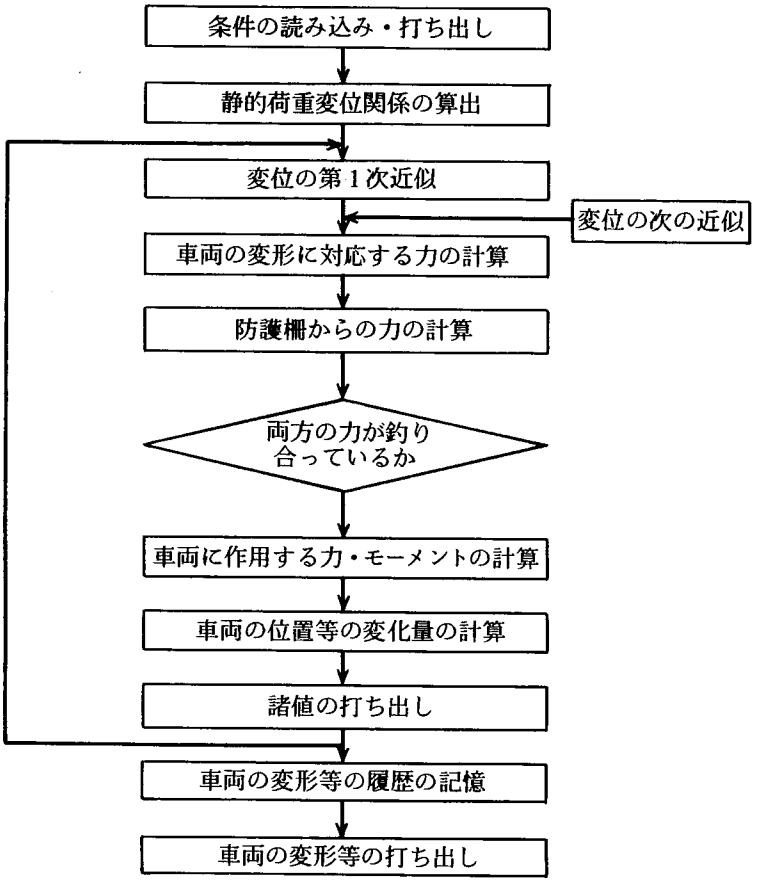
1　衝突シミュレーションと入力データ

ガードレールとガードケーブルの路側用および分離帯用の汎用プログラム（土木研究所資料　第2450号「防護柵への車両衝突シミュレーション」昭和62年２月）の概要と，本実験で成功したガードレールとガードケーブルについて一部の入力データをパラメータとして演算し，その結果と衝突実験を比較した。

1.1　衝突シミュレーションの概要

1.1.1　プログラムのフローチャート

プログラムのフローチャートを図－1･1に示す。



図－1･1　プログラムのフローチャート

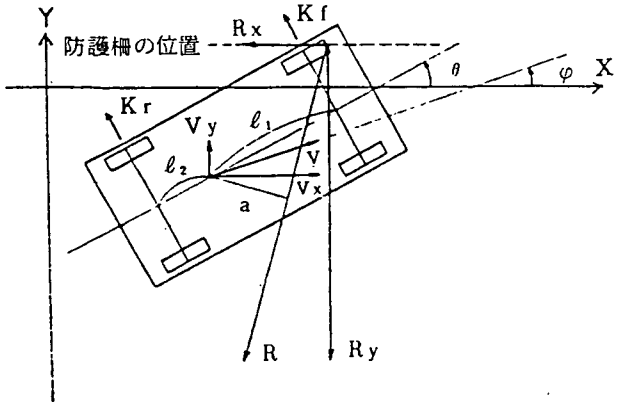
1.1.2　衝突車に関する仮定

衝突車に関する仮定は以下のとおりである。（図－1･2）

① 車両の運動は平面的に考える。また運動に関して車両は剛体と考える。従って，車両の自由度は３，方程式も３である。

② 車両に作用する力は，防護柵から受ける力とタイヤのコーナリングフォースのみを考える。

③ 防護柵との位置関係と受ける力を考える場合，変形と力の関係は，車体軸に直角に切った小部分において比例関係にあるとする。



X, Y ：衝突車の重心のX, Y座標（m）

θ ：衝突車の姿勢角（rad）

W ：衝突車の重量（t）

ρ ：衝突車の慣性半径（m）

Kf, Kr ：前後輪のコーナリングフォース（t）

l_1, l_2 ：前後輪の重心からの隔たり（m）

R ：防護柵からの力（t）

（Rx, RyはX, Y方向成分）

a ：車の重心からRまでのアーム長（m）

g ：重力の加速度（9.8 m/sec²）

φ ：衝突車重心の進行角（rad）

V ：重心の速度（m/sec）

$$\frac{W}{g}\cdot\frac{d^2X}{dt^2}=(K_f+K_r)\cdot\sin\theta+R_x$$

$$\frac{W}{g}\cdot\frac{d^2Y}{dt^2}=-(K_f+K_r)\cdot\cos\theta+R_y$$

$$\frac{W}{g}\cdot\rho^2\cdot\frac{d^2\theta}{dt^2}=-K_f\cdot l_1+K_f\cdot l_2+a\cdot R$$

$$K_f=\frac{l_2}{l_1+l_2}\cdot W\cdot k_f \qquad K_f=\frac{l_1}{l_1+l_2}\cdot W\cdot k_f$$

k_f, k_r ：横すべり摩さつ係数

$k_f=5.7\,\beta_f$ $\qquad$ $k_f=5.7\,\beta_r$

ただし $|k_f|\cdot|k_f|\leqq f_{max}$

β_f β_r ：横すべり角（rad）

f_{max} ：最大横すべり摩さつ係数

$$\beta_f=\varphi-\theta+\frac{l_1}{V}\cdot\frac{d\theta}{dt} \qquad \beta_r=\varphi-\theta-\frac{l_2}{V}\cdot\frac{d\theta}{dt}$$

図－1･2　衝突車の運動方程式

1.1.3　防護柵に関する仮定

防護柵に関する仮定は以下のとおりである。

［ガードレールの仮定］

① 荷重のかかっているビームを，まず支柱間隔をスパンとする単純曲げビームと考え，曲げと引張りの両方を受けるものとする。

② 他のビームは連続梁とせず，引張りのみを受けるものとする。

③ ビームの曲げモーメントと変形曲率の関係は，ある値まで比例し，それ以後は一定の曲げモーメントとする。

④ 中間支柱はバネによる支持力（$K\delta$）と平均支持力（PW）の2直線に仮定する。（図－1·3）

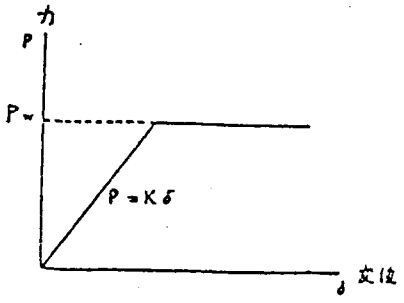
⑤ 変位を考える中間支柱前後の両端の支柱は支持力はあるが，変位はしないものとする。

［ガードケーブルの仮定］

① ワイヤロープは引張りのみを受けるものとする。

② 中間支柱はバネによる支持力と平均支持力の2直線に仮定する。（図－1·3）

③ 変位を考える中間支柱前後の両端の支柱は支持力はあるが，変位しないものとする。

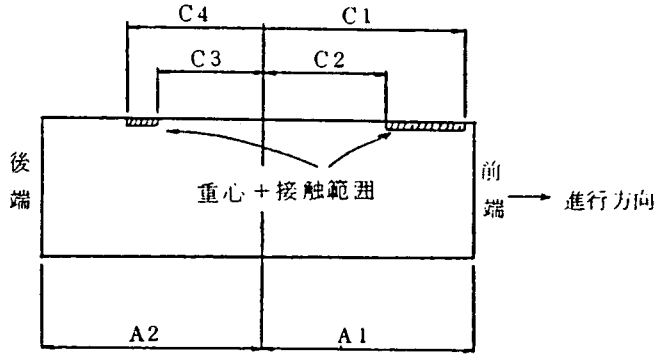


図－1·3 支柱の変位と力の関係

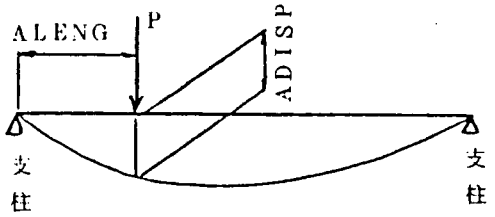
1·1·4 プログラムの入出力データ

1） 入力データ

入力データを表－1·1に示す。



図－1·4 衝突車側面のガードレールとの接触位置C1～C4



図－1·5 防護柵の荷重変位を求める位置 ALENG および変位 ADISP

表－1･1　入力データ

コントロールデータ関係	M	くり返し回数（M×Hが追跡時間）
	H	時間きざみ（sec）
	IPRT	静的解析結果の出力制御（IPRT＝1のとき出力する）
	NOUT	衝突解析結果の出力制御（H×NOUT 間隔で出力する）
	ITMAX	連立非線形方程式解法時の最大反復回数
	EPS 1，EPS 2	連立非線形方程式解法時の収束係数
	JUMP, ICHK	連立非線形方程式解法時の初期条件および出力制御
	NCSP	車とガードレールの接触位置の制御（NCSP＝1のときC 1～C 4入力）
衝突車関係	L 1	衝突車の前輪軸の重心からの隔たり（m）
	L 2	衝突車の後輪軸の重心からの隔たり（m）
	A 1	衝突車の前端の重心からの隔たり（m）
	A 2	衝突車の後端の重心からの隔たり（m）
	B 1	衝突車の前端の幅の半分（m）
	B 2	衝突車の後端の幅の半分（m）
	W 1	衝突車の前輪の輪距の半分（m）
	W 2	衝突車の後輪の輪距の半分（m）
	WR	衝突車の車輪の半径（m）
	DU	衝突車の運転席の重心からの隔たり（m）
	R 2	衝突車の慣性半径の2乗（m^2）
	CW	衝突車の重量（t）
	CK 1～4	衝突車各部の1m当りのバネ常数（t/m^2）
	FWC	衝突車と防護柵の間の摩擦係数
	FM	路面の最大横すべり摩擦係数
	C 1，C 2，C 3，C 4	衝突車側面のガードレールとの接触位置（m）
防護柵関係	NHON	Y方向に変位する支柱の本数
	E I	ビーム1枚当りの曲げ剛性（$t \cdot m^2$）
	MO	ビーム1枚当りの極限曲げモーメント（t・m）
	CFK, CRK	表側・裏側ビームの引張材としてのバネ常数（t／m）
	PX	衝突開始点と最近接前方支柱との隔たり（m）
	DP	支柱間隔（m）
	PFM	支柱の平行方向支持力（t）
	PDELT　1～4	支柱の荷重変位モデルにおけるP 1～P 4（t）
	PDELT　5～8	支柱の荷重変位モデルにおけるδ 1～δ 4（m）
	NL, ND	防護柵の荷重変位関係を求める位置の数および設定変位数
	NCHNG	防護柵の力等の変更数
	AFR	前後輪位置でのガードレール反力の干渉係数
	AKD	除荷時剛性（再載荷時のバネ常数）
	ABACK	後輪位置でのガードレール反力の低減係数
	ALENG 1～	防護柵の荷重変位関係を求める位置（m，NL 箇所必要）
	ADISP 1～	防護柵の荷重変位関係を求める設定変位（m，ND 箇所必要）
衝突条件	V	衝突車の衝突速度（km／h）
	TH	衝突車の衝突角度（度）

2) 出力データ

出力データを表－1·2に示す。

表－1·2 出力データ

衝突車関係	X 0	衝突車の重心のX座標（m）
	Y 0	衝突車の重心のY座標（m）
	XW 1	衝突車の左前輪中心のX座標（m）
	YW 1	衝突車の左前輪中心のY座標（m）
	XW 2	衝突車の左後輪中心のX座標（m）
	YW 2	衝突車の左後輪中心のY座標（m）
	TH	衝突車の姿勢角（度）
	PH	衝突車の重心の進行角（度）
	CPH	衝突車の運転席の進行角（度）
	VCX	衝突車の運転席のX方向速度（m／sec）
	VCY	衝突車の運転席のY方向速度（m／sec）
	ACX	衝突車の運転席の前後方向加速度（g）
	ACY	衝突車の運転席の左右方向加速度（g）
	AC，T	衝突車の運転席に働く最大加速度（g）および生起時刻（秒）
	DESTRUCTION OF CAR	衝突車の前端から後端まで全長／100間隔の位置での最大変形量（m）
防護柵関係	K 1，K 2，K 3，K 4	支柱の各載荷段階における1本あたりのバネ常数（t／m）
	DEF 1	車両前部衝突によるガードレール変形量（m）
	DEF 2	車両後部衝突によるガードレール変形量（m）
	FY 1	車両前部衝突によるガードレール反力（t）
	FY 2	車両後部衝突によるガードレール反力（t）
	TF	表側ビームの張力（t）
	TR	裏側ビームの張力（t）
	PC，T	間隔材に働く最大軸力（t）および生起時刻（秒）
	MAX OF POST X	支柱のX座標方向位置（m）
	DELT	支柱の最大変位量（m）
	P，T	支柱の最大反力（t）および生起時刻（秒）
その他	EY	衝突車の防護柵直角方向速度成分による運動エネルギー（t・m）
	T	時刻（秒）

1.2 常数データのパラメータ解析

シミュレーションの入力データは表－1·1に示したとおりである。シミュレーションと衝突実験では次のような差異があるが，ここでは衝突車と防護柵の間の摩擦係数（FWC）と路面とタイヤの最大横すべり摩擦係数（FM）の2種類をパラメータとしたシミュレーションを実行し，衝突実験結果と対比してパラメータ値による演算結果の傾向を求める。

・シミュレーションは2次元解析であるのに対し，車両の衝突現象および防護柵の変形は3次元の挙動である。

・シミュレーションの出力数値と実験での計測数値の内容に，若干異っているものがある。（たとえば，最大進入行程，防護柵の変位等）

パラメータ解析は，本研究で実験が成功したガードレールとガードケーブルについて行った。パラメータの範囲は，このプログラムの元となっている「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」（土木研究所資料第574号　昭和47年3月）の演算例のデータであるFMは0.7，FWCは0.1を基準とし，ガードレールはFMをその前後0.5～0.9，FWCを0.1～0.5，ガードケーブルはFMを0.7～0.9，FWCを0.1～0.9とした。ガードケーブルの場合はケーブルが車体に食い込み，FWCは大きくなることが予想されるため，ガードレールの場合よりも広い範囲としている。なお，検討した内容は本研究で実施した衝突条件の範囲内であるため，衝突条件が異なる場合については，別途検討する必要がある。

演算結果と衝突実験の対比をガードレール系は図－1·6～10に，ガードケーブル系は図－1·11～13に示す。それぞれの図に示す衝突実験結果の内，防護柵の最大変位は地盤上600mmの支柱最大変位の値を採用し，最大変位を計測していない急角度衝突ではビーム上部の最大残留変位の値を採用した。また，ガードレールのビーム最大張力は衝突実験で計測していないため，実験値との対比はしていない。

1.2.1　ガードレール

1)　ビームに発生する最大張力

(1)　路面の最大横すべり摩擦係数（FM）の影響

・バスの場合は高速度・急角度衝突とも衝突車と防護柵の摩擦係数（FWC）が0.1のとき以外は，最大張力への影響はほとんどないと考えられる。（図－1·6，7）

・乗用車の場合はFMの違いによって多少の差がでるが，シミュレーションによる検討では支障のない範囲といえる。（図－1·10）

(2)　衝突車と防護柵の間の摩擦係数（FWC）の影響

・FWCが大きいほど，バス，乗用車とも最大張力が増加していくが，高速度衝突の場合はFWCによる最大張力の差が少ないので，この範囲の係数ではどの値を選択しても実用上問題ないと考えられる。（図－1·6～8，図－1·10）

・バスの急角度衝突でも同様にFWCが大きいほど張力が増加していくが，FWCが0.1と0.5とでは最大張力の差が約15 tとなった。（図－1·9）

2)　離脱時の姿勢角と進行角

姿勢角（θ）とは図－1·2に示すように，衝突車を車両重心上から見た場合の防護柵に対する車の向き（角度）をいい，進行角（φ）は防護柵に対する車両重心の移動角度をいう。

(1)　路面の最大横すべり摩擦係数（FM）の影響

・バスの高速度衝突はFMの影響がほとんどないが（図－1·6～8），急角度衝突では図－1·9に見られるようなバラツキがでる。

・乗用車の高速度衝突では，FMによる影響が若干あるが，むしろFWCによる影響の方が大きい。（図－1·10）

(2)　衝突車と防護柵の間の摩擦係数（FWC）の影響

・バスの高速度衝突はFM同様，FWCによる影響がほとんどない。（図－1·6～8）

・バスの急角度衝突はFWCの値によって支配される。（図－1·9）

・乗用車の高速度衝突ではFWCが大きいほど，姿勢角，進行角とも大きくなる傾向がある。(図－1･10)

(3) 衝突実験結果との対比

・バスの高速度衝突は実験6で差があるが，近似した傾向を示す。

・バスの急角度衝突は図－1･9に示すように，シミュレーション値がかなりが大きく，また，FMとFWCの値によっても大きくバラつく。

・乗用車の高速度衝突は実験値よりも大きいが，FMとFWCによる影響が小さいため，離脱角度を推定しやすい。

3) 防護柵の最大変位

(1) 路面の最大横すべり摩擦係数（FM）の影響

・バスの高速度衝突は，FMが小さいとガードレールへ持ち込むエネルギーが大きくなるため，変位は大きくなる。(図－1･6～8)

・バスの急角度衝突はFMの影響がほとんどない。(図－1･9)

・乗用車の高速度衝突もFMの影響がほとんどない。(図－1･10)

(2) 衝突車と防護柵の間の摩擦係数（FWC）の影響

・バスの高速度衝突はFWCが大きいほど最大変位は小さくなる。(図－1･6～8)

・バスの急角度衝突では逆にFWCが大きいほど最大変位は大きい。(図－1･9)

・乗用車の高速度衝突はFWCの影響がほとんどない。(図－1･10)

(3) 衝突実験結果との対比

・バスの高速度衝突は実験番号によって多少精度が異なるが，FMが0.5でFWCは0.1または0.2が実験結果に近い。

・バスの急角度衝突はFMが0.5～0.9で，FWCは0.5が実験値とよく合う。

・乗用車の高速度衝突は図－1･10に示すように，FMとFWCの影響がほとんどないが，シミュレーション値の方が高めにでる傾向がある。

4) 車輪の最大進入行程

(1) 路面の最大横すべり摩擦係数（FM）の影響

・バスの場合は高速度・急角度衝突ともFMの影響はない。(図－1･6～9)

・乗用車の高速度衝突もFMの影響はない。(図－1･10)

(2) 衝突車と防護柵の間の摩擦係数（FWC）の影響

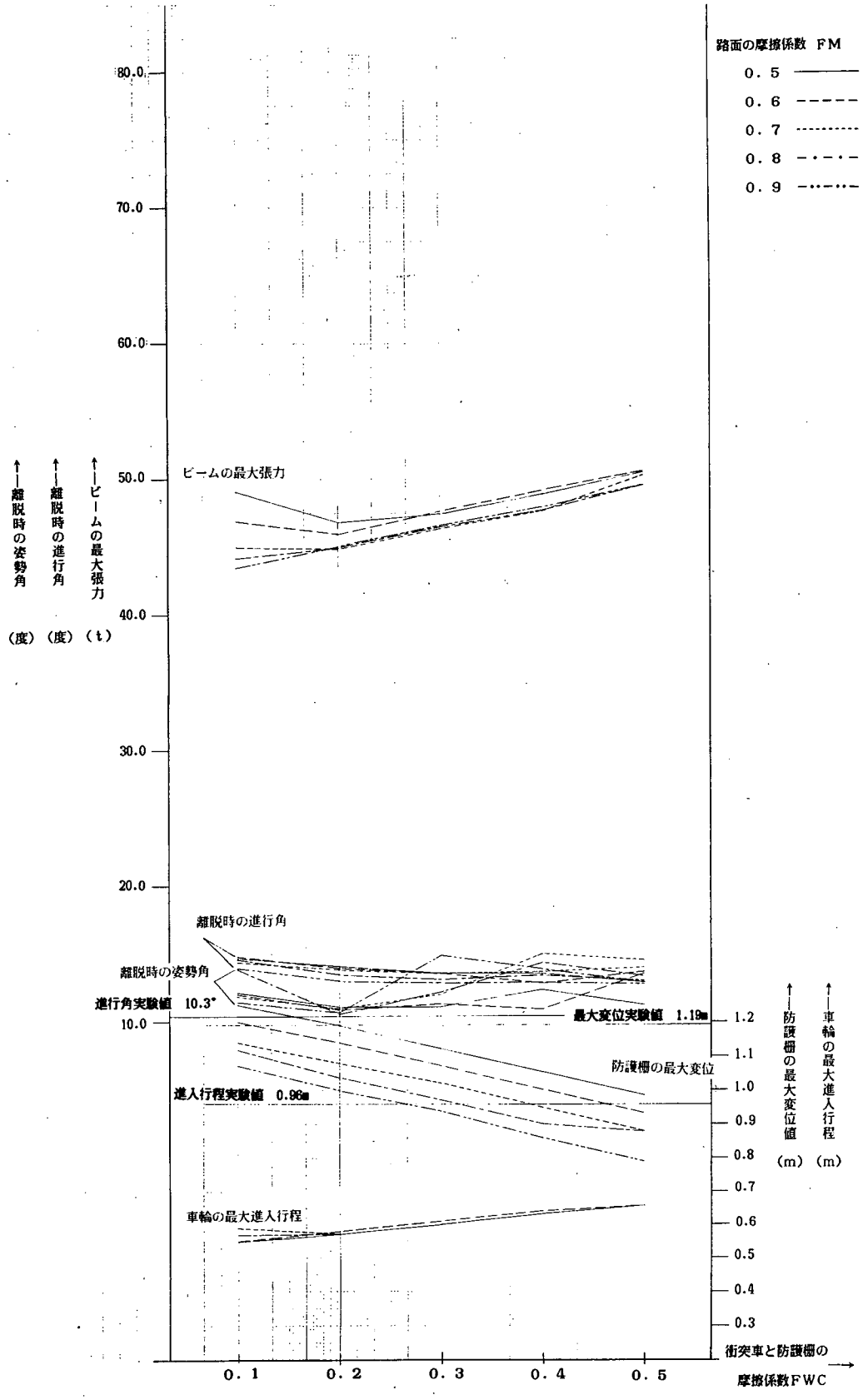
・バスの高速度衝突はFWCの値に関係なく，最大進入行程はほぼ一定である。(図－1･6～8)

・バスの急角度衝突はFWCが大きいほど，最大進入行程は大きくなる。(図－1･9)

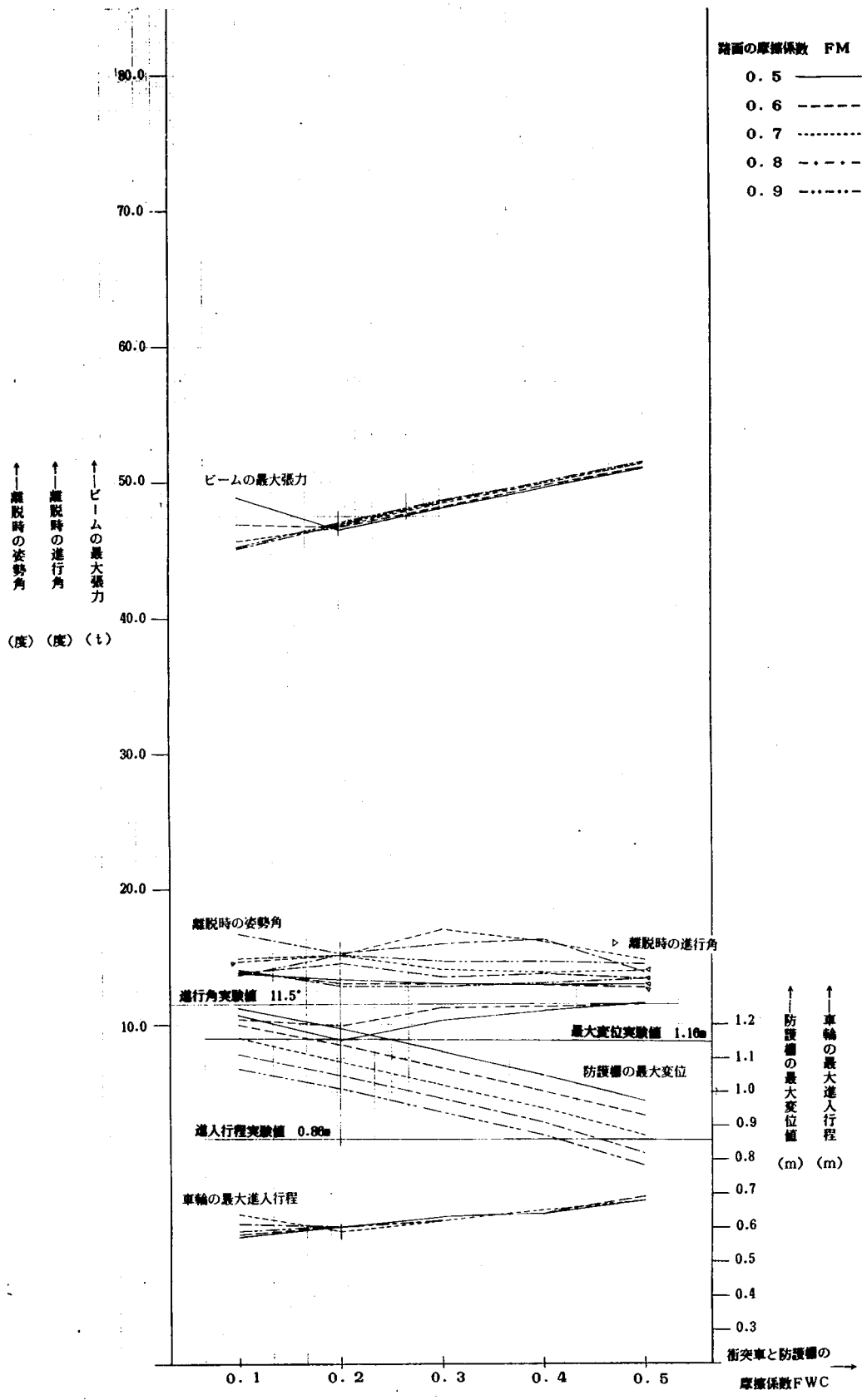
・乗用車の高速度衝突はFWCが大きいと，最大進入行程は若干大きくなる。(図－1･10)

(3) 衝突実験結果との対比

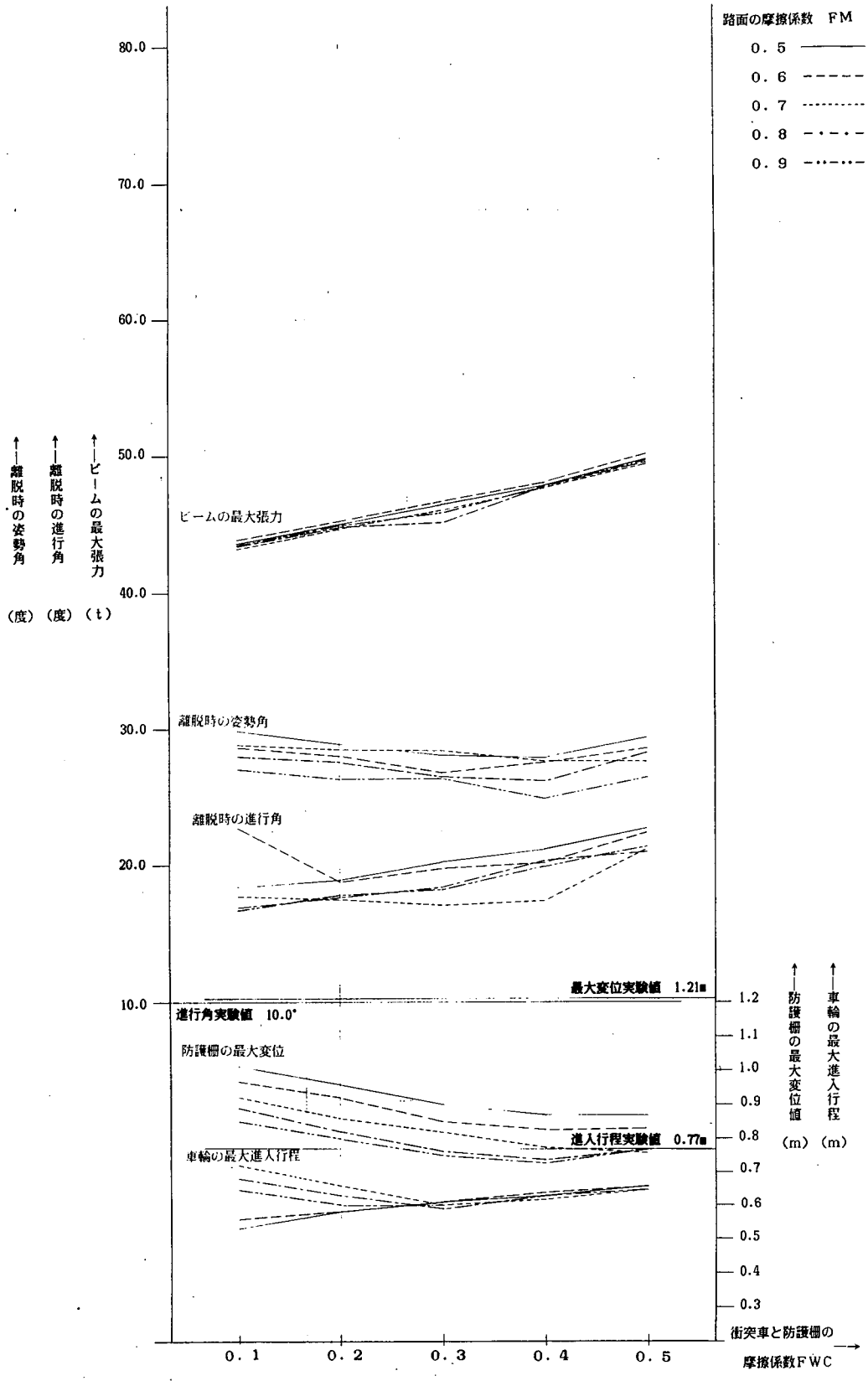
・バス，乗用車ともシミュレーション値は実験値を下回る。



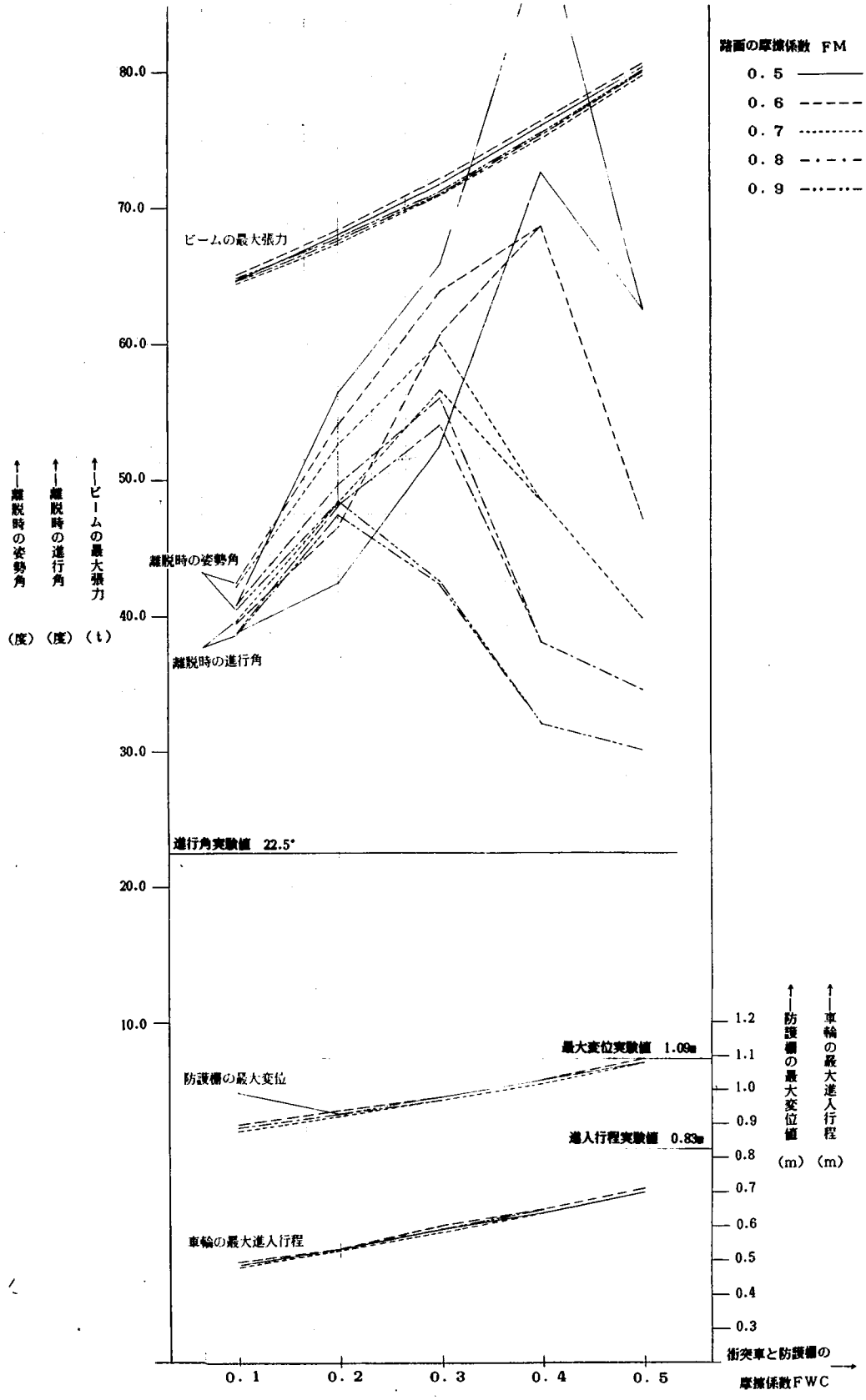
図－1·6　実験１　A種ビーム２段型　高速度衝突（バス）



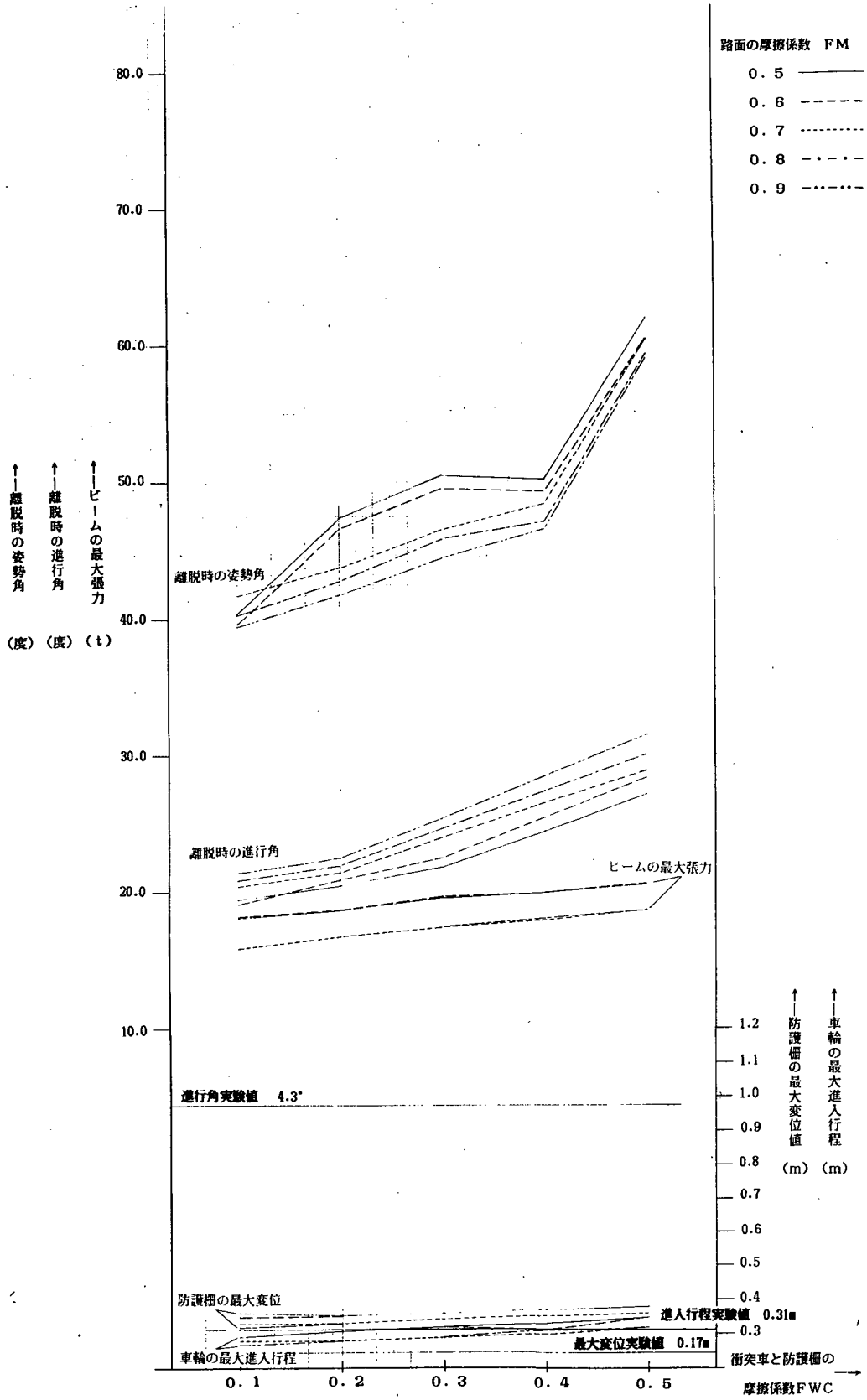
図－1·7　実験３　新断面ビーム型　高速度衝突（バス）



図－1·8　実験６　新断面ビーム改良型　高速度衝突（バス）



図－1·9　実験３　新断面ビーム型　急角度衝突（バス）



図－1·10　実験４　新断面ビーム型　高速度衝突（乗用車）

1.2.2 ガードケーブル

1) ケーブルに発生する最大張力

(1) 路面の最大横すべり摩擦係数（FM）の影響

・バスの高速度衝突の場合にFWCが0.1～0.3の範囲では影響があるが，それ以上の値ではFMの影響はない。(図－1･11)

・バスの急角度衝突および乗用車の高速度衝突いずれもFMの影響はない。(図－1･12，13)

(2) 衝突車と防護柵の間の摩擦係数（FWC）の影響

・バスの高速度衝突はFWCが0.3で最大張力は最小となり，その前後では張力が増加していく。(図－1･11)

・バスの急角度衝突はFWCが大きいほど最大張力は大きくなり，0.1と0.9では約21 tの差がある。(図－1･12)

・乗用車の高速度衝突もFWCが大きくなるにつれて，最大張力は大きくなる。(図－1･13)

(3) 衝突実験結果との対比

・バスの高速度衝突はFWCが0.1，0.2および0.7の場合に，実験値に近似する。

・バスの急角度衝突および乗用車の高速度衝突はシミュレーション結果がかなり大きくなる。

2) 離脱時の姿勢角と進行角

(1) 路面の最大横すべり摩擦係数（FM）の影響

・バスの高速度衝突はFMの影響がほとんどない。(図－1･11)

・バスの急角度衝突はFWCが0.3以上で影響があり，FMが大きいほど角度は大きくなる。(図－1･12)

・乗用車の高速度衝突はFMの影響がない。(図－1･13)

(2) 衝突車と防護柵の間の摩擦係数（FWC）の影響

・バスの高速度衝突はFWCに関係なく，ほぼ一定である。(図－1･11)

・バスの急角度衝突はFWCの値によって変化する。(図－1･12)

・乗用車の高速度衝突はFWCに大きく影響され，その値による変化が大きい。(図－1･13)

(3) 衝突実験結果との対比

・バス，乗用車ともシミュレーション結果よりも，実験値の方がかなり小さい。

3) 防護柵の最大変位

(1) 路面の最大横すべり摩擦係数（FM）の影響

・バスの高速度衝突はFMの影響が若干でる。(図－1･11)

・バスの急角度衝突および乗用車の高速度衝突ではFMによる影響がまったくなく，演算結果が同じ直線上にくる。(図－1･12，13)

(2) 衝突車と防護柵の間の摩擦係数（FWC）の影響

・バスの高速度衝突はFWCが0.6の場合に最大変位の値が最小になり，その前後は増加していく。(図－1･11)

・バスの急角度衝突および乗用車の高速度衝突はFWCが大きくなるにつれて，最大変位は増加していく。

（図－1･12，13）

(3) 衝突実験結果との対比

・バスの高速度衝突はFWCが0.6，急角度衝突は0.2，乗用車の高速度衝突は0.4が実験値とよく一致する。

4) 車輪の最大進入行程

(1) 路面の最大横すべり摩擦係数（FM）の影響

・バスの高速度衝突でFWCが0.1と0.2でFMの影響があるが，それ以外ではほとんどない。（図－1･11）

・バスの急角度衝突および乗用車の高速度衝突では，FMの影響はほとんどない。（図－1･12，13）

(2) 衝突車と防護柵の間の摩擦係数（FWC）の影響

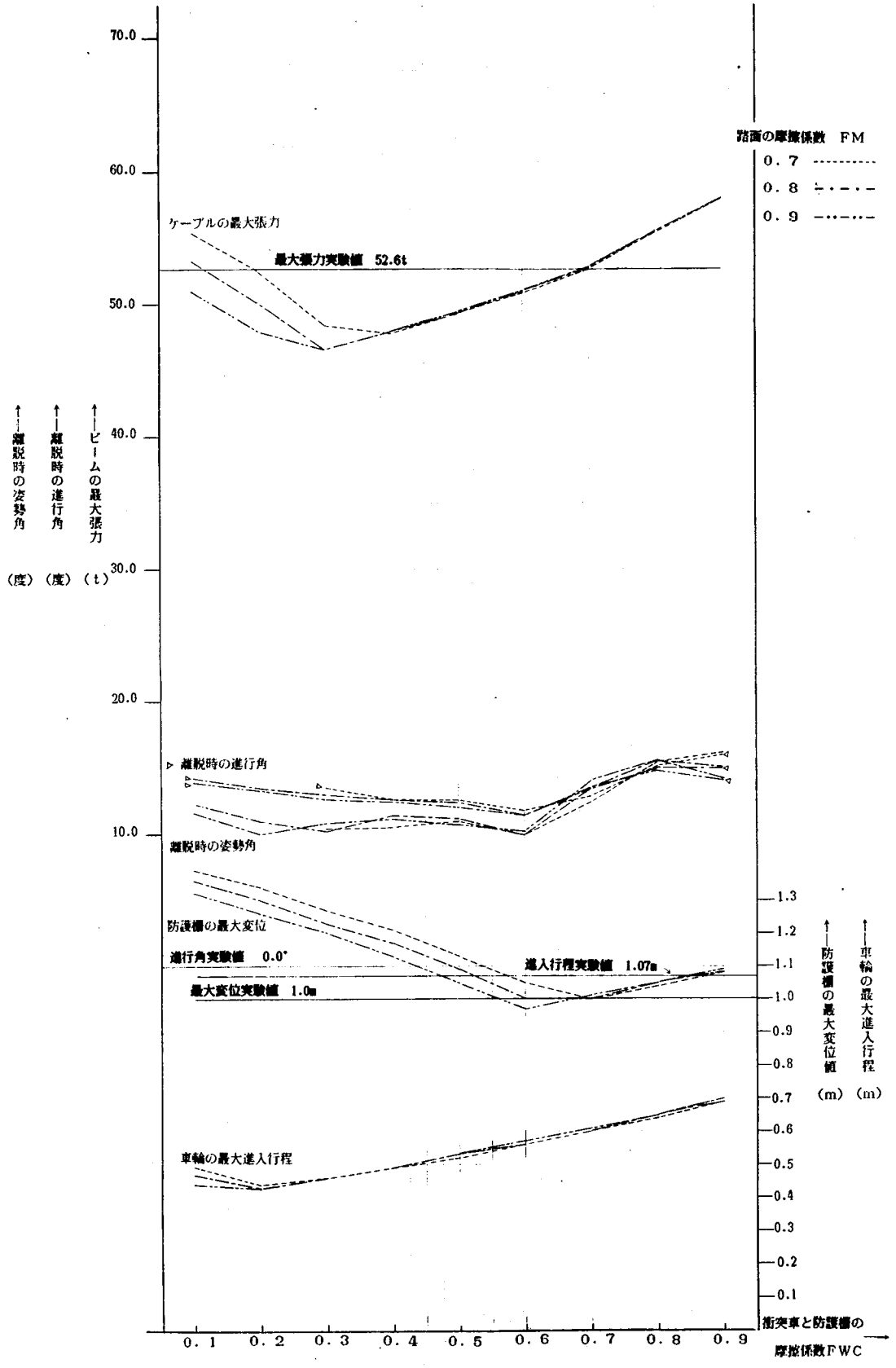
・バスと乗用車の高速度衝突はFWCの値によってほとんど変化しない。（図－1･11，13）

・バスの急角度衝突はFWCが大きいほど最大進入行程は大きくなる。

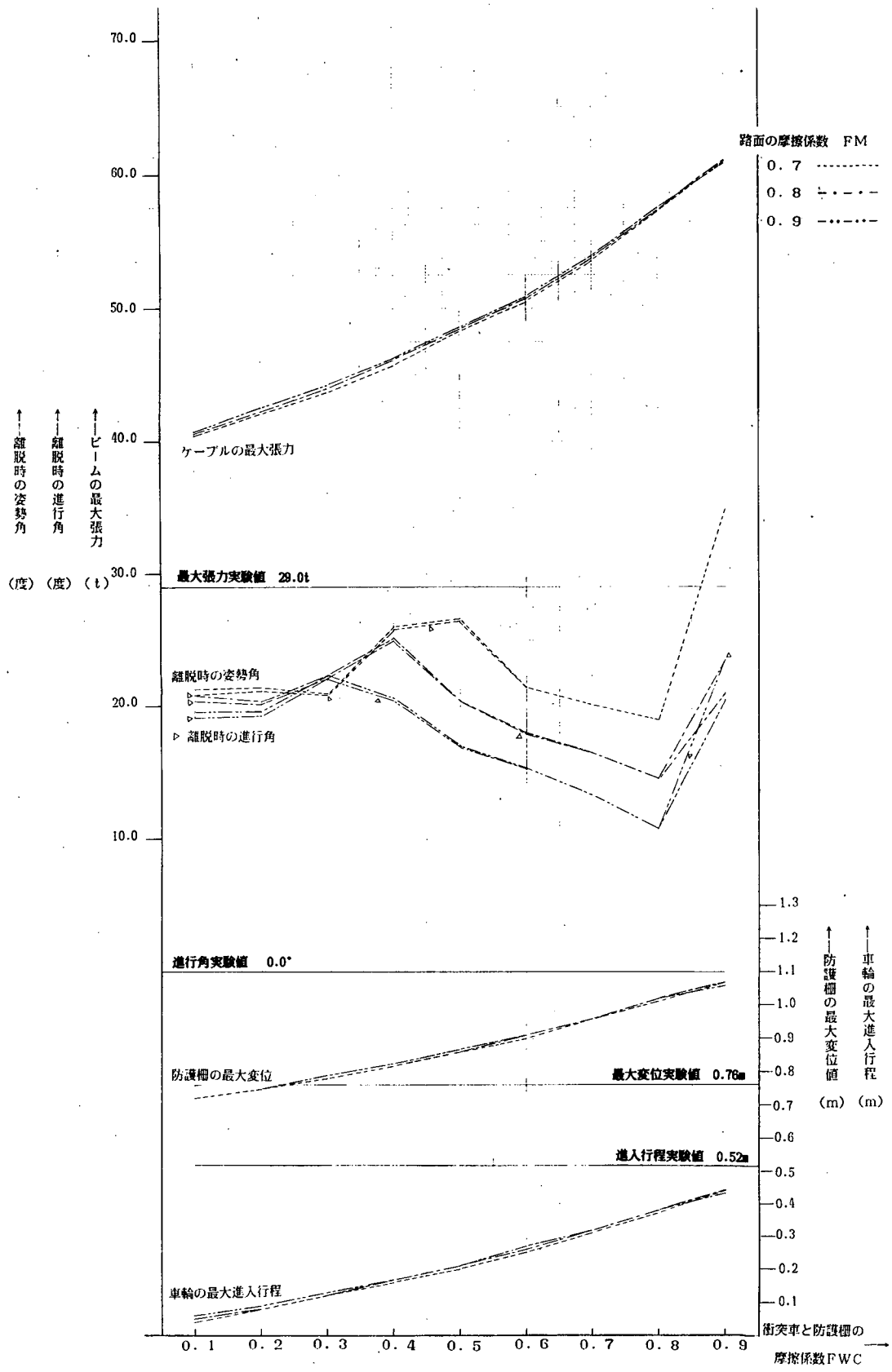
(3) 衝突実験結果との対比

・バスの場合は高速度・急角度衝突ともシミュレーションよりも実験値の方が大きいが，FWCが0.9で実験値に近づいてくる。

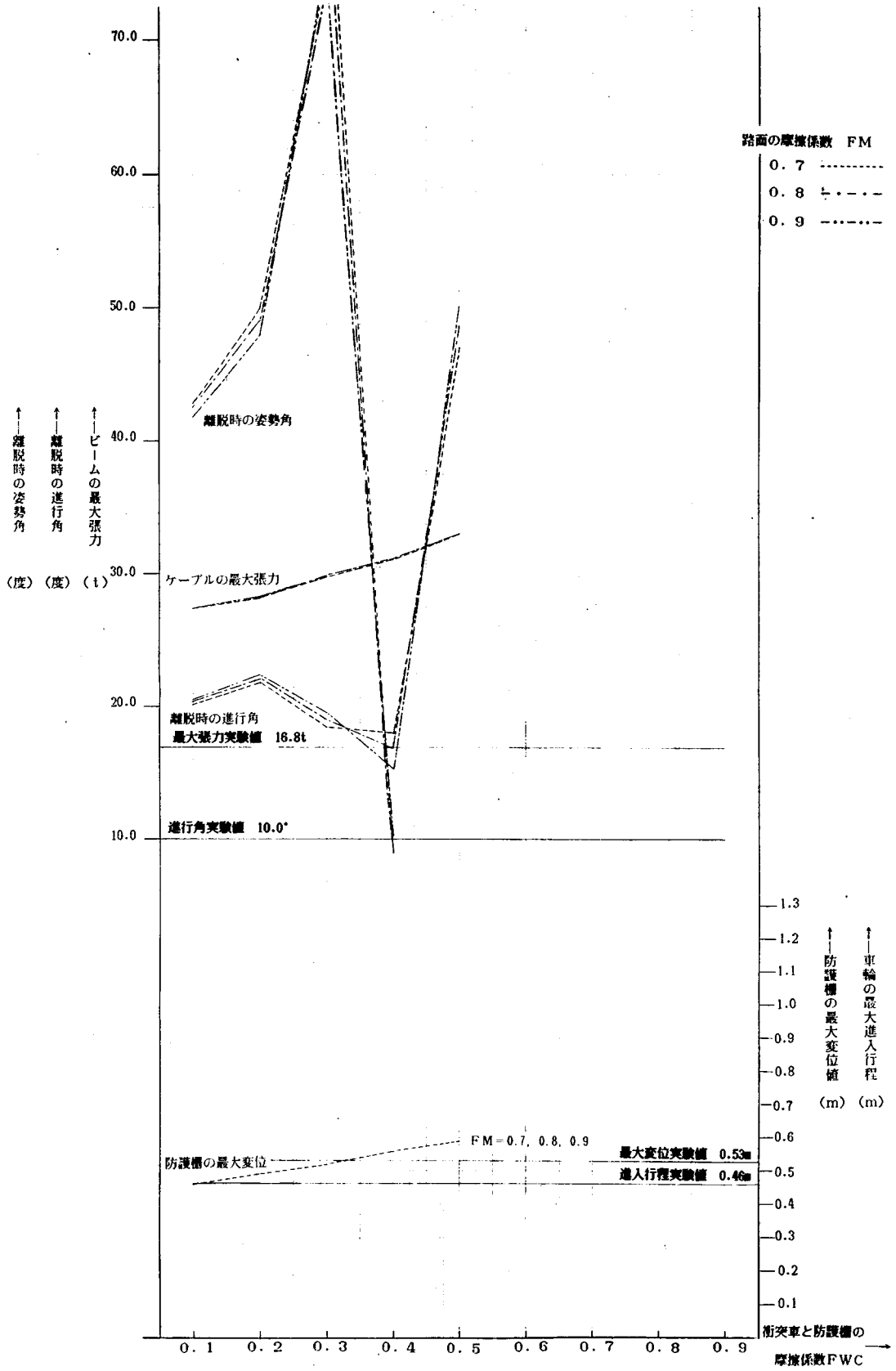
・乗用車の高速度衝突ではFWCが0.3で実験値によく近似する。



図－1·11　実験２　ガードケーブル７本型　高速度衝突（バス）



図－1·12　実験２　ガードケーブル７本型　急角度衝突（バス）



図－1·13　実験８　ガードケーブル７本型　高速度衝突（乗用車）

2　高強度型ガードケーブル端末部の設計

2.1　高強度型ガードケーブル実験用端末部の設計

一般にガードケーブルの端末コンクリート基礎は車両衝突時の瞬間的な増加張力に対しては若干の変位を許容して設計されているが，本実験ではシミュレーションの計算結果との整合性を照査できるようにケーブル張力を正確に計測することが必要であった。そこで衝突速度75km/h，角度25度，車両重量14 tとしたときの計算張力を用い，ケーブル1本あたりの張力を8 tとして端末コンクリート基礎および端末支柱の設計を行った。

2.1.1　端末支柱

（設計条件）

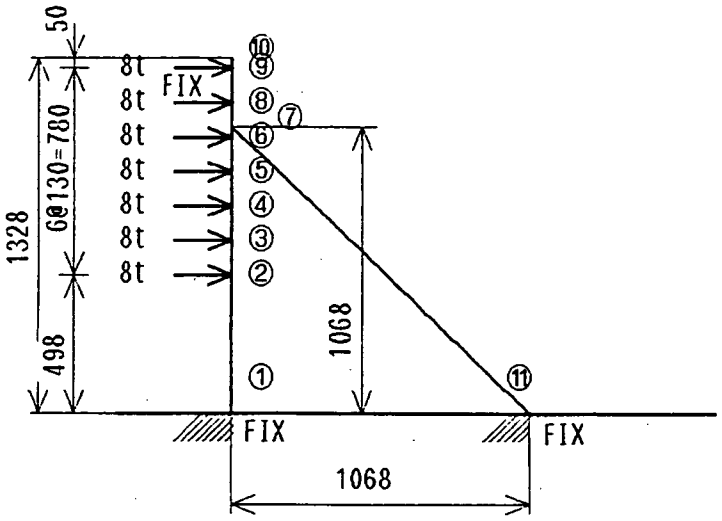
ケーブルに生ずる最大張力	T＝8 t／本
主柱部材	□-175×175×9（A＝57.67cm^2，I＝2,600cm^4，Z＝297cm^3）
斜柱部材	□-175×175×9（A＝57.67cm^2，I＝2,600cm^4，Z＝297cm^3）
鋼材の弾性係数	E_s＝2.1×10^6 kg/cm^2
鋼材の許容応力度（短期）	σ_s＝2,400kg/cm^2

計算は有限要素法で行い，最も不利な断面について応力度を照査する。

（応力度の照査）

応力解析結果より要素6の節点7（図－2･1の⑦）での応力度が最大となるので，この位置の応力度について照査する。

軸力	N＝40.172 t
曲げモーメント	M＝274.76 t･m



図－2･1　構造モデル

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{Z} = \frac{40.172}{57.67} + \frac{274.76}{297} = 1.622 \text{ t/cm}^2$$

$$< \sigma_s = 2.4 \text{t/cm}^2$$

ラーメン解析

9.1 入力データ

I.各点数

①節点数＝11　②材料数＝ 1　③要素数＝10　④支持点数＝ 2　⑤荷重点数＝ 7

II.節点座標

節点 No.	X座標 (cm)	Y座標 (cm)
1	0.0	0.0
2	0.0	49.8
3	0.0	62.8
4	0.0	75.8
5	0.0	88.8
6	0.0	101.8
7	0.0	106.8
8	0.0	114.8
9	0.0	127.8
10	0.0	132.8
11	106.8	0.0

III.材料諸元

材料 No.	部材	ヤング率 (t/cm2)	断面積 (cm2)	断面二次モーメント (cm4)
1	□-175×175×9	2100	57.67	2800.00

IV.要素の定義

要素 No.	i節点	j節点	材料 No.
1	1	2	1
2	2	3	1
3	3	4	1
4	4	5	1
5	5	6	1
6	6	7	1
7	7	8	1
8	8	9	1
9	9	10	1
10	7	11	1

V.支持点の条件

支持点 No.	節点 No.	X方向拘束	Y方向拘束	回転拘束
1	1	固定	固定	固定
2	11	固定	固定	固定

VI.荷重条件

荷重点 No.	節点 No.	X方向荷重 (t)	Y方向荷重 (t)	モーメント (t-cm)
1	2	8.000	0.000	0.000
2	3	8.000	0.000	0.000
3	4	8.000	0.000	0.000
4	5	8.000	0.000	0.000
5	6	8.000	0.000	0.000
6	8	8.000	0.000	0.000
7	9	8.000	0.000	0.000

9.2 各節点の変位

節点 No.	X方向変位 (cm)	Y方向変位 (cm)	回転角 (DEG.)
1	+0.00000	+0.00000	+0.00000
2	+0.07575	+0.01652	-0.11186
3	+0.09847	+0.02083	-0.08648
4	+0.11467	+0.02514	-0.05684
5	+0.12501	+0.02946	-0.03713
6	+0.13334	+0.03377	-0.04154
7	+0.13740	+0.03543	-0.05260
8	+0.14586	+0.03543	-0.06671
9	+0.16206	+0.03543	-0.07380
10	+0.16850	+0.03543	-0.07380
11	+0.00000	+0.00000	+0.00000

9.3 軸力・せん断力・曲げモーメント

要素 No.	節点 No.	軸力 (t)	せん断力 (t)	曲げモーメント (t-cm)
1	1	-40.172	14.399	572.574
	2	40.172	-14.399	144.488
2	2	-40.172	6.399	-144.491
	3	40.172	-6.399	227.671
3	3	-40.172	-1.601	-227.672
	4	40.172	1.601	206.858
4	4	-40.172	-9.601	-206.859
	5	40.172	9.601	82.049
5	5	-40.172	-17.601	-82.047
	6	40.172	17.601	-146.761
6	6	-40.172	-25.595	146.769
	7	40.172	25.595	-274.760
7	7	0.000	15.998	231.992
	8	-0.000	-15.998	-104.008
8	8	0.000	7.998	103.998
	9	-0.000	-7.998	-0.016
9	9	0.000	0.000	0.019
	10	0.000	-0.000	0.021
10	7	57.818	1.006	42.752
	11	-57.818	-1.006	109.124

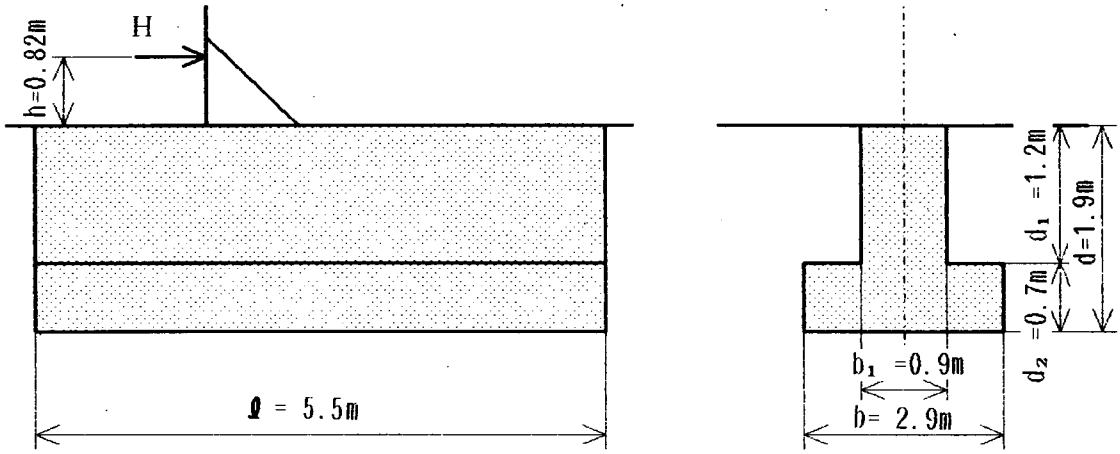
2.1.2 基礎コンクリート

防護柵設置要綱に記載されている計算方法により安定計算を行う。

（外力）

水平力	H＝60 t	（8 t×7本≒60 t）
力点の高さ	h＝82cm	
回転中心の深さ	d＝190cm	
外力によるモーメント	$M=H\times(h+d)$＝163.2 t・m	

（寸法諸元）



図－2･2　基礎コンクリートの寸法諸元

（土およびコンクリートに関する諸数値）

土の内部摩擦角	ϕ	＝30°
主働土圧係数	K_A	＝0.3
受働土圧係数	K_P	＝3.0
土とコンクリートの摩擦係数	μ	＝0.55
土の地耐力度	q	＝15 t/m²
土の単位重量	γ_s	＝1.8 t/m³
コンクリートの単位重量	γ_c	＝2.3 t/m³

（安定計算）

① 滑動に対する安定

自重による抵抗

$$P_W=\mu\ (W_C+W_S) \quad =0.55\{(0.9\times5.5\times1.2\times2.3+2.9\times5.5\times0.7\times2.3)$$
$$+2(1.0\times1.2\times5.5)\times1.8\} \quad =34.7\ \text{t}$$

側面の土圧による抵抗

$$P_F = \mu K_A \gamma_S d^2 l \quad = 0.55 \times 0.3 \times 1.8 \times 1.9^2 \times 5.5$$

$$= 5.90\ \mathrm{t}$$

前面の土圧による抵抗

$$P_S = (K_P \gamma_S d_1 / 2)\ d_1 b_1 + \{K_P \gamma_S (d_1 + d) / 2\}\ d_2 b$$

$$= (3.0 \times 1.8 \times 1.2/2) \times 1.2 \times 0.9 + \{3.0 \times 1.8\ (1.2 + 1.9)/2\} \times 0.7 \times 2.9$$

$$= 20.5\ \mathrm{t}$$

滑動に対する抵抗

$$P_R = P_W + P_F + P_S = 61.1\ \mathrm{t} > H$$

② 転倒に対する安定

自重による抵抗

$$M_W = (W_C + W_S) \times l/2 = 63.1 \times 5.5/2$$

$$= 173.5\ \mathrm{t \cdot m}$$

側面の土圧による抵抗

$$M_F = P_F \times l / 2 = 5.90 \times 5.5/2$$

$$= 16.2\ \mathrm{t \cdot m}$$

前面の土圧による抵抗

$$M_S = P_S \times d / 3 = 20.5 \times 1.9/3$$

$$= 13.0\ \mathrm{t \cdot m}$$

転倒に対する抵抗モーメント

$$M_R = M_W + M_F + M_S = 202.7\ \mathrm{t \cdot m} \quad > M$$

③ 地耐力度の照査

$$m = M - M_F - M_S = 163.2 - 16.23 - 12.98$$

$$= 134.0\ \mathrm{t \cdot m}$$

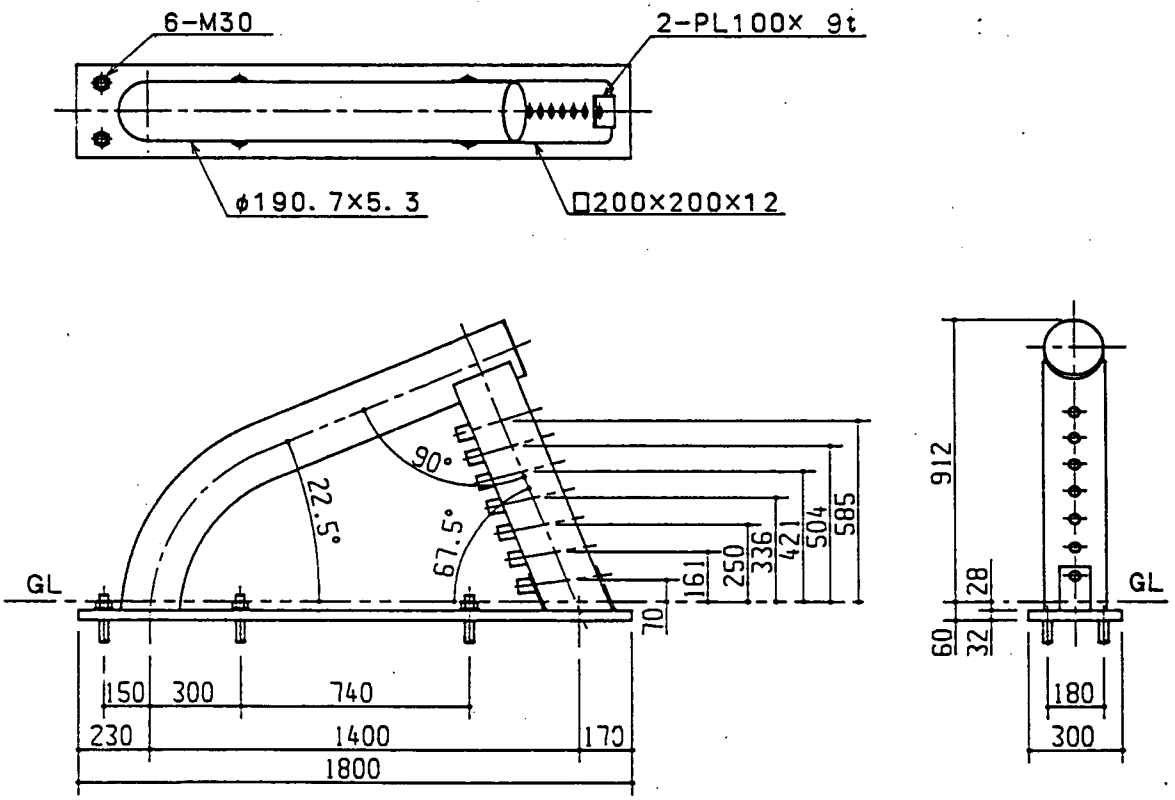
$$\sigma = \frac{W_c}{lb} + \frac{6m}{l^2 b} = \frac{63.1}{2.1 \times 5.5} + \frac{6 \times 134.0}{5.5^2 \times 2.9} = 13.1 < q$$

2.2 実用化にあたっての端末部の計算

シミュレーションの検討結果による初張力を含めた７本分のケーブル張力は55ｔであったが，実験時に計測された最大値は66.6ｔとなった。そこで，実用化端末支柱の設計にはケーブル１本あたり9.5ｔ（＝66.6/7）の張力がかかると設定して計算を行うことにした。また，基礎コンクリートの計算は要綱に準じて行った。

2.2.1 端末支柱

図－2･3に示す端末支柱の構造を図－2･4のようにモデル化して各部応力を算出し，応力度の照査を行った。



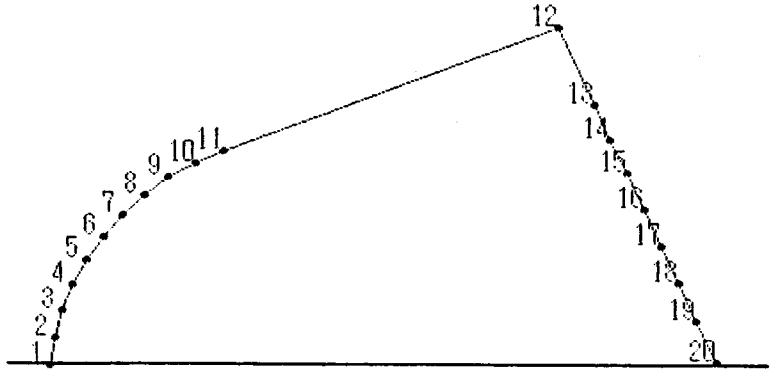
図－2･3　端末支柱の形状

GC7TANMATSU

＊ 基本制御 データ ＊

総格点数	N	: 20
総部材数	M	: 19
支点数	S	: 2
二重格点数	DJ	: 0
支点条件ケース数	SL	: 1
部材バネケース数	KL	: 0
基本荷重ケース数	NL	: 1
荷重組合せケース数	ML	: 0
最大抽出ケース数	PL	: 0
データ ファイル名		: GC7TAN

＊ 構造図 ＊



格点No	座標値 X座標 (m)	Y座標 (m)
1	0.0000	0.0000
2	0.0080	0.0660
3	0.0230	0.1300
4	0.0460	0.1920
5	0.0750	0.2510
6	0.1100	0.3070
7	0.1520	0.3580
8	0.1990	0.4050
9	0.2510	0.4460
10	0.3070	0.4810
11	0.3660	0.5100
12	1.0670	0.8000
13	1.1450	0.6130
14	1.1780	0.5320
15	1.2130	0.4490
16	1.2480	0.3640
17	1.2840	0.2780
18	1.3200	0.1890
19	1.3580	0.0980
20	1.4000	0.0000

図－2･4　端末支柱の構造モデル

＊ 部材 データ ＊

部材 No	格点番号 I - J	断面積 A (m2)	断面2次モーメント I (m4)	材端条件 I - J	部材長 L (m)	ヤング係数 E (t/m2)
1	1- 2	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.066	2.10E+07
2	2- 3	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.066	2.10E+07
3	3- 4	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.066	2.10E+07
4	4- 5	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.066	2.10E+07
5	5- 6	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.066	2.10E+07
6	6- 7	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.066	2.10E+07
7	7- 8	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.066	2.10E+07
8	8- 9	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.066	2.10E+07
9	9- 10	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.066	2.10E+07
10	10- 11	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.066	2.10E+07
11	11- 12	0.00309	0.000013	Fix-Fix	0.759	2.10E+07
12	12- 13	0.00865	0.000050	Fix-Fix	0.203	2.10E+07
13	13- 14	0.00865	0.000050	Fix-Fix	0.087	2.10E+07
14	14- 15	0.00865	0.000050	Fix-Fix	0.090	2.10E+07
15	15- 16	0.00865	0.000050	Fix-Fix	0.092	2.10E+07
16	16- 17	0.00865	0.000050	Fix-Fix	0.093	2.10E+07
17	17- 18	0.00865	0.000050	Fix-Fix	0.096	2.10E+07
18	18- 19	0.00865	0.000050	Fix-Fix	0.099	2.10E+07
19	19- 20	0.00865	0.000050	Fix-Fix	0.107	2.10E+07

＊ 変　　位 ＊

Case. 1

節点No.	X-DIS.(mm)	Y-DIS.(mm)	ROTA.(mRad)
1.	0.00000	0.00000	0.00000
2.	0.02127	0.00733	-0.57622
3.	0.07397	0.00632	-0.96319
4.	0.14582	-0.00706	-1.18931
5.	0.22497	-0.03114	-1.27305
6.	0.30325	-0.06336	-1.23644
7.	0.37281	-0.10123	-1.10408
8.	0.43112	-0.13760	-0.90048
9.	0.47547	-0.16834	-0.65288
10.	0.50718	-0.18911	-0.38890
11.	0.52886	-0.19750	-0.13465
12.	0.56057	0.19763	0.25850
13.	0.57557	0.20666	-0.18840
14.	0.54603	0.19630	-0.53365
15.	0.48560	0.17312	-0.89813
16.	0.39443	0.13865	-1.20428
17.	0.28097	0.09525	-1.36958
18.	0.15810	0.05063	-1.30535
19.	0.05218	0.01315	-0.90666
20.	0.00000	0.00000	0.00000

* 最大・最小 部材力 *

CASE 1 ROPE TENSION

部材No		L(m)	M (tm)	S (t)	N (t)
1- 2	Max	0.066	-2.007	12.279	9.605
	Min	0.000	-2.823	12.279	9.605
2- 3	Max	0.066	-1.274	11.154	10.890
	Min	0.000	-2.007	11.154	10.890
3- 4	Max	0.066	-0.632	9.709	12.196
	Min	0.000	-1.274	9.709	12.196
4- 5	Max	0.066	-0.078	8.422	13.118
	Min	0.000	-0.632	8.422	13.118
5- 6	Max	0.066	0.387	7.046	13.906
	Min	0.000	-0.078	7.046	13.906
6- 7	Max	0.066	0.729	5.179	14.703
	Min	0.000	0.387	5.179	14.703
7- 8	Max	0.066	0.978	3.739	15.134
	Min	0.000	0.729	3.739	15.134
8- 9	Max	0.066	1.106	1.935	15.468
	Min	0.000	0.978	1.935	15.468
9- 10	Max	0.066	1.122	0.240	15.587
	Min	0.000	1.106	0.240	15.587
10- 11	Max	0.000	1.122	-1.344	15.531
	Min	0.066	1.034	-1.344	15.531
11- 12	Max	0.000	1.034	-2.344	15.412
	Min	0.759	-0.745	-2.344	15.412
12- 13	Max	0.000	-0.745	-15.418	-2.299
	Min	0.203	-3.869	-15.418	-2.299
13- 14	Max	0.000	-3.869	-5.931	-3.207
	Min	0.087	-4.387	-5.931	-3.207
14- 15	Max	0.090	-4.076	3.460	-4.293
	Min	0.000	-4.387	3.460	-4.293
15- 16	Max	0.092	-2.890	12.900	-5.610
	Min	0.000	-4.076	12.900	-5.610
16- 17	Max	0.093	-0.819	22.219	-7.356
	Min	0.000	-2.890	22.219	-7.356
17- 18	Max	0.096	2.218	31.628	-8.918
	Min	0.000	-0.819	31.628	-8.918
18- 19	Max	0.099	6.238	40.766	-11.481
	Min	0.000	2.218	40.766	-11.481
19- 20	Max	0.107	11.548	49.803	-14.428
	Min	0.000	6.238	49.803	-14.428

（応力照査）

① 主柱

使用部材　□−200×200×12

断面積　$A=86.53\,cm^2$

断面係数　$Z=498\,cm^3$

外力によるモーメントの最大値　$M=11.548\times10^5$ kg・cm（格点19～20）

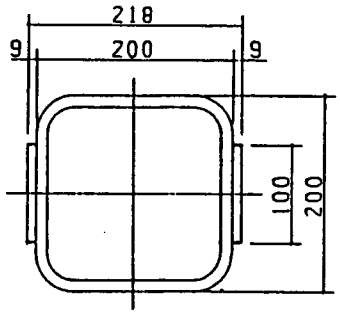
外力による軸力の最大値　$N=14.428\times10^3$ kg（格点19～20）

$$\text{部材応力度}\quad \sigma=\frac{M}{Z}+\frac{N}{A}=2{,}486>2{,}400(kg/cm^2)$$

格点18～19間の最大値

外力によるモーメントの最大値　$M_1=6.238\times10^5$ kg·cm

外力による軸力の最大値　$N_1=11.481\times10^3$ kg



$$\text{部材応力度}\quad \sigma=\frac{M_1}{Z}+\frac{N_1}{A}=1{,}385<2{,}400(kg/cm^2)$$

格点19～20間については右図のように補強することにする。

断面積　$A_0=104.5\,cm^2$

断面係数　$Z_0=637\,cm^3$

$$\text{部材応力度}\quad \sigma=\frac{M}{Z_0}+\frac{N}{A_0}=1{,}951<2{,}400(kg/cm^2)$$

② 控柱

使用部材　$\phi190.7\times5.3$

断面積　$A=30.87\,cm^2$

断面係数　$Z=139\,cm^3$

外力によるモーメントの最大値　$M=2.823\times10^5$ kg·cm　（格点1～2）

外力による軸力の最大値　$N=9.605\times10^3$ kg　（格点1～2）

$$\text{部材応力度}\quad \sigma=\frac{M}{Z}+\frac{N}{A}=2{,}342<2{,}400(kg/cm^2)$$

2.2.2 基礎コンクリート

要綱に記載されている計算方法により安定計算を行う。

1) 設計条件

ケーブル張力　水平方向　$H=13.64$ t（$14\cos12.5^\circ$）

鉛直方向　$V=3.04$ t（$14\sin12.5^\circ$）

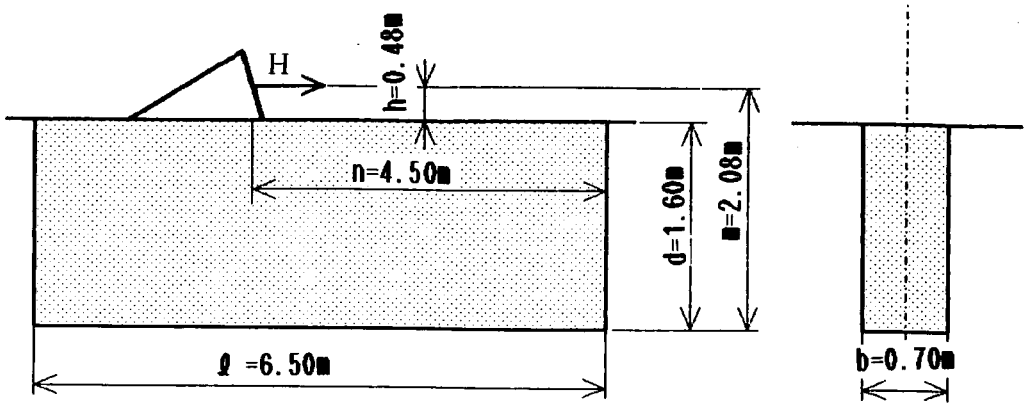
力点の高さ　$h=48$ cm

回転中心と力点の距離　水平方向　$m=1.60+0.48=2.08$ m

鉛直方向　$n=4.50$ m

外力による回転モーメント　　$M_E = mH + nV = 42.05$ t・m

2)　寸法諸元



図－2･5　基礎コンクリートの寸法諸元

3)　土およびコンクリートに関する諸数値

土の内部摩擦角	$\phi = 30^\circ$
主働土圧係数	$K_A = 0.3$
受働土圧係数	$K_P = 3.0$
土とコンクリートの摩擦係数	$\mu = 0.55$
土の地耐力度	$q = 15$ t/m^2
土の単位重量	$\gamma_S = 1.8$ t/m^3
コンクリートの単位重量	$\gamma_C = 2.3$ t/m^3

4)　安定計算

(1)　滑動に対する安定

自重による抵抗

$$P_W = \mu\ (W_C - V) = \mu\ (\gamma_c\ b\ d\ l - V)$$
$$= 7.54 \text{ t}$$

側面の土圧による抵抗

$$P_F = \mu K_A \gamma_S\ d^2\ l$$
$$= 4.94 \text{ t}$$

前面の土圧による抵抗

$$P_S = K_P \gamma_S\ d^2\ b / 2$$
$$= 4.84 \text{ t}$$

$$P_R = P_W + P_F + P_S = 17.32 \text{ t}$$

一方　$1.2H = 16.37 \text{ t} < P_R$

(2)　転倒に対する安定

自重による抵抗

$$M_W = (W_c - V)\ l/2$$

$$= 44.53\ \text{t}\cdot\text{m}$$

$$M_F = P_F \times l/2$$

$$= 16.06\ \text{t}\cdot\text{m}$$

$$M_S = P_S \times d/3$$

$$= 2.58\ \text{t}\cdot\text{m}$$

$$M_R = M_W + M_F + M_S = 63.17\ \text{t}\cdot\text{m}$$

一方　$1.2M_E = 50.46\ \text{t}\cdot\text{m} < M_R$

(3)　地耐力度の照査

$$m = M_E - M_F - M_S$$

$$= 23.41\ \text{t}\cdot\text{m}$$

$$\sigma = \frac{W_c - V}{lb} + \frac{6m}{l^2 b}$$

$$= 7.76\text{t/m}^2 < q$$

3　防護柵に関する収集文献リスト

分類　1)　実車衝突実験

文　　献	内　　容
「中央分離帯の構造に関する研究」 日本道路協会　1969．3．	縁石の研究，ガードレールの実車衝突実験
「中央分離帯の構造に関する研究　その２」 日本道路協会　1970．2．	ガードレール，ガードケーブルの実車衝突実験
「中央分離帯の構造に関する研究　中間報告」 日本道路協会　1970．8．	ガードレール，ガードケーブルの実車衝突実験
「中央分離帯の構造に関する研究 （中間報告その２）」 日本道路協会　1971．1．	ガードレール，ガードケーブルの実車衝突実験
「高速度カメラを用いた各種測定と解析方法」 （自動車技術　26-10）　1972	自動車実験における高速度カメラを用いた測定方法
「自動車の衝突試験における計測方法」 （自動車技術　25- 7）　1971	自動車の衝突試験における加速度負荷の計測方法
「実車衝突および転覆試験方法」 （自動車技術　22- 9）　1968	固定壁衝突，車対車の衝突，転覆試験方法の紹介
「衝突実験」 （自動車技術　21- 8）　1967	自動車の実車衝突実験方法の紹介
「狭い中央分離帯に設置する防護柵に関する研究報告書」 高速道路調査会　　1972．3．	コンクリート構造物に設置されたガードレールの実車衝突実験
「衝撃によるガードレールの諸性能試験報告書」 （土木研究所資料）　1968.12．	コンクリート構造物に設置されたガードレールの実車衝突実験
「固定壁への正面衝突実験」 機械技術研究所　　104号	固定壁への衝突時の減速度と挙動
「立体駐車場における自動車の転落防止に関する調査報告書」 日本建築センター　　1986．3．	乗用車衝突時の発生荷重
「レール付きｺﾝｸﾘｰﾄ高欄の実験的研究報告書」 高速道路調査会　　1969．2．	乗用車の実車衝突実験
「鋼製高欄の構造形式に関する研究(S.44年度)」 高速道路調査会　　1970．3．	乗用車・トラックの実車衝突実験
「鋼製高欄の構造形式に関する研究(S.45年度)」 高速道路調査会　　1971．2．	乗用車・トラックの実車衝突実験
「橋梁用鋼製防護柵に関する研究報告書」 高速道路調査会　　1978．2．	実車衝突実験，静的実験，シミュレーション
「コンクリート高欄実車衝突実験報告書」 高速道路調査会　　1969．2．	乗用車・トラックの実車衝突実験
「防護柵の実車衝突実験」 （土木技術資料　11-7）　1969	過去における防護柵の実車衝突実験のまとめ
「防護柵の実車衝突実験　その２」 （土木技術資料　13-10）　1971	同　上
「ｺﾝｸﾘｰﾄ壁式剛性防護柵の構造に関する研究」 日本道路協会　　1974．3．	ｺﾝｸﾘｰﾄ壁防護柵に緩衝材を付けた場合と無い場合の実車衝突実験
「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概要」 建設省土木研究所・軽金属協会　　1980．1．	３種類のビーム形状での実車衝突実験

「標準型路側用ガードケーブル衝突実験報告書」 新日本製鐵，神戸製鋼所，東京製綱　1973．9.	乗用車の衝突実験による誘導性，安全性の確認
「中央分離帯用防護柵に関する研究報告書」 日本道路協会　　1985．6.	中央分離帯用ガードレールの実車衝突実験
「新しい防護柵の歩み」 （高速道路と自動車　12-11）　1969	1960年代に欧米で実施された衝突実験の紹介と問題点
「ガードレール野外試験の考察」 （高速道路と自動車）　1959．6.	日本道路公団の室内基礎実験と実車実験の関連性検討
「道路用ガードレールの衝突実験」 土木学会誌　1960．3.	乗用車のガードレール衝突実験
「ガードフェンスについての考察」 （道路建設）　1960．3.	1960年頃の防護柵と問題点
「Minicar Crash Test Evaluation of Longitudinal Traffic Barriers」 Transportation Research Records	軽量車の実車衝突実験
「Recommended Procedures for The Safety Performance Evaluation of Highway Appurtenances National Cooperative Highway Research Program Report 230　　1981.10.	乗用車とバスの衝突実験結果と評価

2)　衝突シミュレーション

文　　献	内　　容
「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」 （土木研究所資料　No.574）　1972．3.	衝突車両に関する仮定と計算式
「防護柵の開発に関する研究」 （土木研究所資料　No.2450）　1987．2.	防護柵への車両衝突シミュレーションプログラム
「車体の衝突解析へのDYNA３Dの応用」 （自動車技術　40-11）　1986	スーパーコンピューター用プログラムによる衝突解析
「車両運動の模型実験によるシミュレーション」 （自動車技術　31-３）　1977	模型実験による車両運動の解析と問題点

3)　事故調査・分析

文　　献	内　　容
「最近の交通事故解析から」 （自動車技術　27-９）　1973	交通事故の実態と事故解析の問題点
「わが国の交通事故の現況」 （道路　1988．9.）　　元田　良孝	わが国の交通事故の変遷と傾向，問題点
「カーブ区間における事故とその予測に関する考察」　（土木技術資料　31-５）　1989	カーブ区間の安全性評価への錯綜手法の適用
「緩衝施設の効果に関する研究」 （高速道路と自動車　32-４）　1989	緩衝施設の実車衝突実験報告
「防護柵の性能向上について」 建設工業調査会設計資料　　霜上　民生	積雪寒冷地用防護柵，大衝突荷重に対応する防護柵の開発について
「錯綜手法をもちいたカーブ区間の事故危険度の評価について」 土木学会第43回講演会　1988.10.	カーブ区間のはみだし事故分析

4) 設計

文　　献	内　　容
「交通工学ハンドブック（1984)」 交通工学研究会　　1984. 1.	車両の構造と強度，構造試験方法 転倒試験，衝突と減速度
「防護柵の補強方法に関する研究」 土木学会第43回講演会　1988.10.	弱路肩に設置する支柱の補強方法
「ガードレールの設計について」 日本道路協会　　1959. 1.	支柱の静・動荷重実験
「ガードレール設計上の諸問題」 （高速道路と自動車）　1959. 1.	ガードケーブルの構造検討
「防護柵支柱の力学特性に関する研究」 （土木研究所資料）　1971. 9.	支柱の静・動的載荷実験

5) 衝突による人体の障害

文　　献	内　　容
「自動車の安全性の評価基準」 （自動車技術　23-11）　1969	車の保安基準と乗員頭部の安全性実験
「衝突実験による人間工学的検討」 （自動車技術　22- 7）　1968	衝突実験の方法と各種拘束条件時のダミーの挙動
「衝突実験用人体模型（ダミー）の開発」 （自動車技術　22- 7）　1968	衝突実験用ダミーの構造紹介
「安全試験と人体の耐衝撃限度について」 （自動車技術　22- 7）　1968	人体の耐衝撃試験方法と装置，試験結果の考察
「衝撃に関する実験計測技術とその問題点」 （自動車技術　26-10）　1972	交通事故を模した人体の衝撃実験方法

6) 車体の特性

文　　献	内　　容
「バス車体の軽量化」 （自動車技術　23- 7）　1969	バス車体の軽量化の必要性と方向
「乗用車の軽量構造設計」 （自動車技術　21-10）　1967	自動車各部分の軽量化の検討
「自動車の軽量化と耐久性」 （自動車技術　21-10）　1967	自動車の軽量化と耐久性，保障品質の技術展望
「車体の軽量化」 （自動車技術　21-10）　1967	乗用車の軽量化に際しての検討事項，問題点
「トラック・トレーラおよびコンテナの軽量化」 （自動車技術　21-10）　1967	軽量化の方向と現状，展望
「軽量小型車における衝突エネルギーの吸収性のよいボディ構造」 （自動車技術　32- 3）　1978	軽量車での乗員保護の検討
「軽自動車の概要と車体設計について」 （自動車技術　34-10）　1980	軽自動車の特長と機能面からの車体設計について
「車体軽量化動向」 （自動車技術　34-10）　1980	省エネとしての車体の軽量化

「車体構造部材の座屈特性(1)」 （自動車技術　27- 5）　1973	車体部材の圧縮荷重，エネルギー吸収性
「車体構造部材の座屈特性(2)」 （自動車技術　27- 7）　1973	車体部材各種形状の曲げ特性，変形挙動
「トラック・バスの操縦性・安定性」 （自動車技術　36- 3）　1982	大型多軸車の運動モデルと諸特性の紹介
「大型車の操安性」 （自動車技術　32- 4）　1978	操安性の一般的試験において得られた大型車の操安性の概要
「路面のすべりと凹凸」 （自動車技術　25- 2）　1971	路面とタイヤのすべり現象の解析方法
「年鑑(2)　バス」 （自動車技術　38- 6）　1984	1983年のバスの新製品の特徴
「バスボディ構造の最近の傾向」 （自動車技術　25- 8）　1971	バスの車体構造の傾向について国内外の現況紹介
「車体のクラッシュ特性」 （自動車技術　25- 8）　1971	事故発生時の車体のクラッシュ特性と乗員の保護対策

7)　その他

文　　献	内　　容
「新編・自動車工学ハンドブック」 1962. 7.	車の保有状況，道路交通情勢の推移，車の転倒，安全性，事故特性
「自動車工学便覧」	車の操安性，転倒，乗用車構造
「防護柵設置要綱（改訂版）」 （社）日本道路協会　1972.10.	防護柵構造，設置方法の基準解説
「防護柵設置要綱・資料集」 （社）日本道路協会　1986. 7.	橋梁用防護柵・耐雪型防護柵の設計指針
「防護柵，とくにガードレールのあらまし」 （自動車技術　22- 4）　1968	ガードレール事故の解析，要求される機能，設置条件
「国内外における交通安全の研究内容の紹介」 （自動車技術　21- 8）　1967	視覚，生力学，2次衝突等の研究紹介
「西ドイツの新しい防護柵指針と最近の防護柵開発について」 （高速道路と自動車　30- 3）　1987	西ドイツの新防護柵指針紹介
「積雪寒冷地における 防護柵に関する研究報告書」 土木研究所資料　1987.2	耐雪型防護柵の形状検討
「欧州防護柵技術調査報告書」 土木研究センター　1989. 3.	欧州の防護柵基準の現況紹介
「Location, Selection, and Maintenance of Highway Traffic Barriers」 National Cooperative Highway Research Program Report 118　1981.10.	高速道路用防護柵の形状と設置方法の紹介

急カーブ用防護柵の構造形式及び支柱補強に関する研究

共同研究報告書 第 41 号
平成 2 年 3 月 (1990年)
建設省 土木研究所
交通安全研究室 元田良孝
酒井洋一

要 旨

近年道路交通は高速化・大型化の傾向にあり、防護柵などの交通安全施設もそれに対応して整備していく必要がある。また、将来の自動車交通を考えると従来よりもハイレベルの防護柵を開発しておく必要がある。

本報告書は、昭和62・63年度において高い強度を有する防護柵と支柱の補強方法についての開発を行った結果について報告するものである。

キーワード：防護柵，衝突実験，高強度型防護柵，支柱補強

郵便はがき

〒305-□□

41円切手をはって下さい

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. 26

No. 26

配布先氏名

配布先住所

共同研究報告書第　41　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 41 号