016
共同研究報告書
第９４号

高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書

――高規格幹線道路用鋼製防護柵に関する研究――

平成５年10月

建設省土木研究所
道路部交通安全研究室
日本道路公団
鋼製防護柵協会

Copyright © (1993) 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 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94号　1993年10月

高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書
——高規格幹線道路用鋼製防護柵に関する研究——

建設省土木研究所

道路部	部長		神崎　紘郎
	部長（前）		柴田　正雄＊1
	総合交通安全研究官		松村　哲男
	交通安全研究室	室長	瀬尾　卓也
		室長（前）	河島　正治＊2
		研究員（前）	酒井　洋一＊3

日本道路公団

技術部	部長		畑漫　次人
	部長（前）		長谷　義明＊4
	交通技術課	課長	栗原　光二
		課長（前）	竹本　恒行＊5
		課長代理	大石　嗣雄
		課長代理（前）	阿江　章＊6
		課長代理（前）	高橋　秀喜＊7
			長浜　和実
		（前）	佐藤　久嘉＊8

鋼製防護柵協会

技術委員会委員長	福屋　智亘
委員長（前）	福知　脩
副委員長	河崎　英治
副委員長（前）	川崎　博之
委員	高梨　織利
委員	作野　好秋
委員	押尾　祐三

委員	山本　諄
開発部会幹事長	末成　健夫
副幹事長	納見　昭彦
幹事	安田　誠宏
幹事	永松　修
幹事	波戸元達之
幹事	三原　浩稔
幹事	堀川　紀幸＊9
幹事	矢村　昌之＊10
幹事	梶　聡＊11

要　旨

近年、道路交通の高速化や車両の大型化に伴い、防護柵衝突時の衝撃度も増加しているのが現状である。一方高速道路の延長も5000kmを超え、本格的な高速道路時代を迎えている。また、第二東名、名神のようなさらに高速化を想定した道路も計画されている。このようなことから、今後の高速化に対応した防護柵の開発が望まれている。本報告書は、高速化対応型ガードレールおよびコンクリート壁緩衝型防護柵の形状や安全性について検討した結果について述べたものである。

キーワード：防護柵、高速道路、衝突実験、鋼製防護柵、ガードレール

＊1（現）財団法人日本デジタル道路地図協会専務理事
＊2（現）道路局企画課建設専門官
＊3（現）土木研究所企画課建設専門官
＊4（現）新潟建設局局長
＊5（現）技術部道路技術課長
＊6（現）名古屋管理局技術部交通技術課長
＊7（現）仙台管理局技術部補修第一課長
＊8（現）大阪建設局建設第一部企画調査課課長代理
＊9　平成3年度交通安全研究室部外研究員
＊10　平成4年度交通安全研究室部外研究員
＊11　平成5年度交通安全研究室部外研究員

ま　え　が　き

昭和62年に第二東名・名神をはじめとする高規格幹線道路網計画が策定され、現在5000kmを超える高速道路が供用されており、本格的な高速交通時代に突入している。また近年、車両性能の向上による道路交通の高速化や車両の大型化が進み、道路構造や安全施設もそれに対応した機能の向上が望まれている。安全施設の中でも特に防護柵は強度的に高速化・大型化の影響を受けることや、現在の防護柵構造の基本は昭和30～40年代に確立されたものであることから、今後の高速化・大型化に向けて改良や新形式のものを開発していくことが必要である。そこで、土木研究所では今後の高速道路用防護柵の構造や強度について検討することを目的として、平成２年度から日本道路公団、鋼製防護柵協会と共同研究を実施している。本報告書は、高速化対応型防護柵のなかで最も一般的な路側用ガードレール、およびコンクリート壁衝突時の衝撃を緩和する緩衝用防護柵の開発経緯について述べたものである。

平成５年１０月

交通安全研究室長

瀬尾　卓也

目　　次

序編．高規格幹線道路用防護柵の開発計画

1．研究背景 …… 1

2．高規格幹線道路の整備について …… 2

3．高規格幹線道路用防護柵の開発について …… 3

I編．高速化対応型ガードレール

1．目的 …… 5

2．研究方法 …… 6

2．1．研究手順 …… 6

2．2．衝突条件について …… 7

3．基本構造の調査

3．1．Ｇｒ－ＳＳについて …… 8

3．1．1．ビーム …… 9

3．1．2．ビーム高さ …… 11

3．1．3．ブラケット …… 11

3．1．4．支柱 …… 11

3．2．高速度衝突に対する検討課題 …… 12

3．2．1．Ｇｒ－ＳＳの実験により確認されたこと …… 12

3．2．2．高速度衝突に対する対応策 …… 12

4．改良構造の検討

4．1．ビーム …… 14

4．1．1．強度 …… 14

4．1．2．ビーム高さ …… 15

4．2．支柱 …… 16

4．2．1．載荷実験 …… 16

4．2．2．実験結果のまとめ …… 19

4．3．ブラケット …… 24

4．3．1．ブロックアウト量 …… 24

4．3．2．ブラケットの改良 …… 26

4．4．ＳＳガードレール改良１型の設定 …… 28

4．5．衝突シミュレーションと車両横転検討による構造検討 …… 30

4．5．1．ＳＳ改良１型の改良 …… 30

4．5．2．衝突シミュレーションでの強度検討 …… 30

4．5．3．車両横転の検討 …… 35

4．5．4．検討結果 …… 40

4．5．5．衝突実験供試体の選定 …… 43

5．衝突実験手順

５．１．実験方法 …… 44
５．１．１．実験施設 …… 44
５．１．２．計測項目 …… 45
５．１．３．計測方法 …… 46
５．２．評価項目および方法 …… 51
５．２．１．車両関係 …… 51
５．２．２．防護柵関係 …… 54
６．衝突実験
６．１．Ｇｒ－ＳＳ　［実験１］ …… 56
６．２．Ｇｒ－ＳＳ（改良１型）　［実験２］ …… 72
６．３．Ｇｒ－ＳＳ（改良１型）　［実験３］ …… 89
６．４．Ｇｒ－ＳＳ（改良２型）　［実験４］ …… 105
６．５．Ｇｒ－ＳＳ（背面ビーム型）［実験５］ …… 124
６．６．Ｇｒ－ＳＳ（改良３型）　［実験６］ …… 142
６．７．Ｇｒ－Ａ’　［実験７］ …… 160
６．８．Ｇｒ－ＳＳ（小型乗用車）　［実験８］ …… 175
６．９．Ｇｒ－ＳＳ（改良２型）　［実験９］ …… 188
７．まとめおよび今後の課題
７．１．高速化対応型ガードレール実験結果まとめ …… 203
７．２．高速化対応型ガードレール構造について …… 205
７．３．衝突シミュレーションおよび車両横転検討について …… 208
７．４．今後の課題 …… 215

Ⅱ編．緩衝型防護柵
１．目的 …… 217
２．研究方法 …… 218
２．１．研究手順 …… 218
２．２．衝突条件について …… 219
３．コンクリート製壁式防護柵の衝撃特性 …… 220
４．剛壁緩衝用防護柵ブラケットの開発 …… 222
４．１．過去の研究経緯 …… 222
４．２．供試体構造の検討 …… 222
４．２．１．変形モデル曲線 …… 222
４．３．静的載荷試験 …… 223
４．４．動的載荷試験 …… 228
５．衝突実験
５．１．実験目的 …… 235
５．２．衝突条件 …… 235
５．３．供試体構造概要 …… 235
５．４．供試体の配置および計測位置 …… 235

5．5．実験結果および考察 …… 239
5．6．検討事項および課題 …… 244
6．まとめおよび今後の検討課題
6．1．緩衝型ガードレール実験結果まとめ …… 251
6．2．衝突シミュレーションについて …… 251
6．3．今後の課題 …… 252

あとがき …… 253

参考文献 …… 254

付　録

付録．1　資料編
付．1．1　衝突シミュレーション …… 255
付．1．2　支柱実験データ …… 263
付．1．3　供試体の設計図面 …… 267
付．1．4　実験結果総括表 …… 273

序編．高規格幹線道路用防護柵の開発計画

1．研究背景

わが国における防護柵の整備は、「防護柵設置基準（昭和47年12月１日、道企発第68号道路局長通達）」に基づいて実施されてきた。これによると、防護柵の設置目的は、「主として走行中に誤った車両が、対向車線または歩道等に逸脱するのを防ぐとともに、乗員の障害および車両の破損を最小限にとどめて、車両を正常な進行方向に復元させること」とされている。現在、防護柵は全国的に整備され、路外逸脱事故等の防止に貢献している。

しかし、昭和47年以降高速道路の供用延長が延びていることや自動車の走行性能が飛躍的に向上していること等から、道路交通の実態が変化してきている。昭和62年には第二東名・名神をはじめとする高規格幹線道路網計画（14,000km）が策定され、道路交通の高速化が今後一層促進されるものと推定される。一方、一般道路においても道路規格の高いバイパスの完成等により、道路交通の高速化が進んでいる。また、車両については大型車は重量化、小型車は軽量車の割合の増加の傾向より、車両重量が両極化する傾向がみられる。しかしながら、現在の防護柵構造は昭和40年代前半に確立されたものであることから、今後の高速化・大型化に対して見直していくことが必要であると考えられる。特に高規格幹線道路においては第二東名・名神のような従来より高規格の道路が計画されていることや走行実態も従前に比べ高速化、大型化していることから、これらに対応した防護柵を検討することが必要である。

以上のような理由から、今後の高規格幹線道路に設置する各種防護柵構造の開発を目的として平成２年度から研究を実施している。本報告書は、従来の設計条件を上回る衝突に対するガードレール構造の開発を目的として行った各種検討や実験結果についてとりまとめたものである。

２．高規格幹線道路の整備について

高規格幹線道路は、自動車の高速交通の確保を図るため必要な道路で、全国的な自動車交通網を構成する自動車専用道路をいう。

「第三次全国総合開発計画（昭和５２年１１月４日閣議決定）」では、全国的な幹線交通体系の長期構想として、既定の国土開発幹線自動車道を含め、おおむね１万km余りで形成される高規格の幹線道路網の必要性が提唱された。

建設省においても、第９次道路整備五箇年計画期間内（昭和５８年度～６２年度）に高規格幹線道路網計画を策定すべく鋭意調査を進めてきた。

これらの経緯を踏まえ、昭和６２年６月２６日道路審議会答申に基づき、６月３０日に建設大臣により、従前の国土開発幹線自動車道等（7,600km）および本州四国連絡道路（180km）並びに、これらと接続する新たな高規格幹線道路（6,220km）を合わせた14,000kmが高規格幹線道路網として定められた。

この高規格幹線道路網に対しては、２１世紀にむけ多極分散型の国土を形成するため、交通、情報、通信体系の整備と交流の機会づくりの拡大を目指す“交流ネットワーク構想”を推進する役割が求められており、これを実現するため

（１）高速交通サービスの全国的な普及、主要拠点間の連絡強化を目標とし

（２）地方中枢・中核都市、地域の発展の核となる地方都市およびその周辺地域からおおむね１時間程度で利用が可能となる

ことが必要とされている。

また、高規格幹線道路の整備に当たっては、効率的な整備を図る観点から、路線の性格を勘案し、国土開発幹線自動車道または一般国道の自動車専用道路として整備を推進することとされている。このうち、国土開発幹線自動車道については、昭和６２年９月１日の国土開発幹線自動車道建設法の改正で新たに、3,920kmの路線が位置付けられた。

- 高規格幹線道路 約14,000km
  - 国幹道法に基づく高規格幹線道路（国土開発幹線自動車道） 約11,520km
    - 既定計画 約7,600km
      - うち既供用 約5,404km
    - 新規追加分 約3,920km
  - 道路審議会答申 四全総閣議決定 ／ 建設大臣の指定に基づく高規格幹線道路（一般国道の自動車専用道路） 約2,480km
    - 本州四国連絡道路 約180km
      - うち既供用 約108km
    - 新規追加分 約2,300km
      - うち既供用 約132km

（平成５年３月末現在）

3．高規格幹線道路用防護柵の開発について

高規格幹線道路用防護柵の開発は、新形式の防護柵だけでなく従来の防護柵の改良も行うこととし、以下に示す項目について実施していく予定である。

①従来の設計条件以上の防護柵開発（第二東名・名神用等）

従来の最高種別である種別S（14ｔ、80km/h、15度、23.6t･m(232kJ)）を超える設計条件が予想される路線に設置する防護柵を開発することを目的としているものである。

②現行防護柵の高強度化に関する検討

従来から使用されている防護柵の基本構造を変えずに高強度化を図れるかどうかについて検討することを目的としている。

③現行防護柵の構造改良

現在使用している防護柵で部分的な問題点の解決の可能性について検討することを目的としている。

④特殊箇所（橋梁用、構造物区間緩衝用等）

橋梁用の防護柵形式の開発やトンネル・橋脚等のコンクリート構造物衝突時の衝撃緩和を目的とした防護柵の開発を行うことを目的としている。

⑤コンクリート製防護柵

コンクリート製防護柵の構造、形状、強度と衝撃特性を明らかにすることを目的としている。

本報告書は、上記の内①（第Ⅰ編）と④（第Ⅱ編）の研究成果についての中間報告書である。

I編. 高速化対応型ガードレール

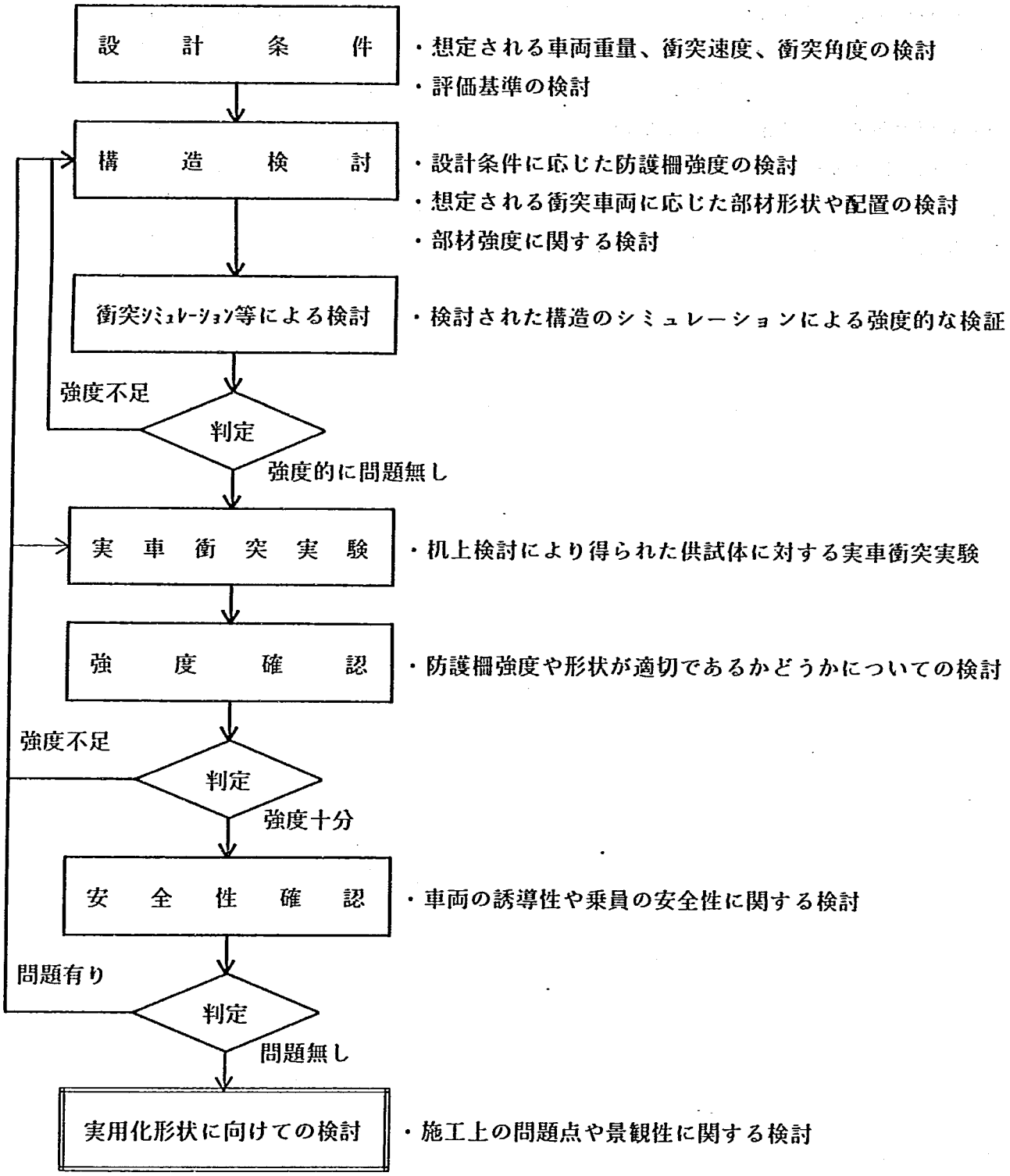
1．目　　的

現在のガードレールは昭和47年（1972年）以前に構造検討されたものである。しかし、現在の車両の性能や形状等は当時に比べて異なってきていることや、貨物車等の大型車は大型化・重量化、乗用車は軽量車の割合が増加しており車両重量の両極化する傾向等から、今後の道路交通状況を踏まえた構造について検討しておくことが必要である。特に高速道路については供用延長が5000kmを超え、一般の利用者が増加してきていることから、より質の高い防護柵の開発が望まれている。

本編は、既存ガードレールの最高種別である種別Ｓ（14ｔ、80km/h、15度、23.6t･m(232kJ)）の設計条件を超えた衝突に対して十分な強度と安全性を有するガードレール構造を提案するために、高速衝突に対するガードレールの挙動や車両の衝撃特性を明らかにすることを目的としている。

2．研究方法

2．1．研究手順



２．２．衝突条件について

衝突条件については、今後のガードフェンス分科会（日本道路協会）等で最終的に検討されることとなるが、防護柵の開発の段階では以下のような仮定に基づいて衝突条件を設定した。

①車両重量

現在、一般公道を無条件で走行できる車両の最大重量は、車両制限令によると20ｔとされている。また、現在の「防護柵設置基準」では車両の重量を14ｔと定めている。しかし、本研究では規定負荷としての設計車両重量を今後の車両の大型化も踏まえて現在の最大重量である20ｔとした。

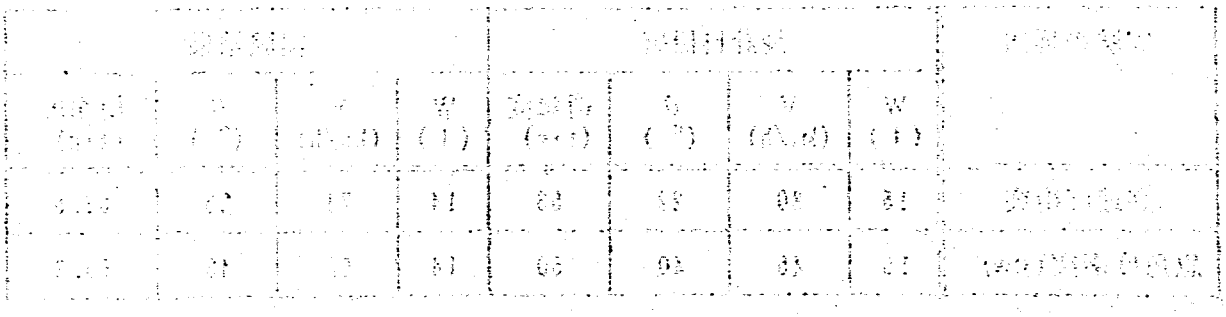
他方、低負荷としての小型車の車両重量（現行基準では3.5ｔ）は、乗用車の保有台数の増加や今後の軽量化を考慮して、平均的な値である１ｔ程度とした。

②衝突速度

現在の「防護柵設置基準」では、道路の設計速度の80％を走行速度、走行速度の80％を衝突速度としている。これらの数値は設置基準制定当時（昭和47年）の車両性能を基に定められたものである。しかし、現在は車両の性能も向上し、走行速度が高くなってきているのが現状である。さらに現在の車両性能から 140km/hで走行することも困難なことではない。そこで、本研究における衝突速度は道路の設計速度と同程度とすることとした。

③衝突角度

衝突角度は、道路設計の観点から設定することが困難であり、詳細な事故調査等により明らかにしていくことが必要となる。しかし、事故実態を調査することは膨大な時間と労力が必要である。したがって、通常の走行状態から危険回避等の行動をした際に衝突し得る角度を理論的に検討することとした。一般に走行速度が高い場合限界の旋回半径が大きくなり、100km/h以上では概ね20度以上で衝突する可能性が低いものと考えられる。また、防護柵の終局的な強度や挙動の限界を把握するためには現行基準の15度に比べてより急角度で確認しておくことが必要と考えられる。そこで、車両の誘導性や乗員の安全性を確認する際には15度、防護柵の強度的な確認をする際には20度を標準として実験を行うこととした。しかしながら、実験の効率を考慮し20度を中心として、研究を進めることとした。



3．基本構造の調査

3．1．　Ｇｒ－ＳＳについて

高速化対応型ガードレール（以下Ｇｒ－ＳＳという。この記号は高速化対応型ガードレールの衝突条件が種別Ｓより上位になることから、その違いを明らかにするために仮に名付たものである。）を開発するにあたり、研究効率を高めるために、まず大型貨物車による衝突実験を行い、ガードレール強度、大型車両の誘導性を確認して、研究目的に沿った防護柵の基本的な構造を見出すことにした。そこで有効と認められた防護柵構造に対して小型乗用車に対する安全性確認のための実験を実施し、大型車、小型車双方に有効な構造諸元を提案していくことにした。

今回の研究で当初設定した衝突条件を表－３・１・１に示す。これは道路の設計速度（大型車）が100km/hの区間への適用を想定したものである。

表－３・１・１　Ｇｒ－ＳＳの衝突条件

車両重量 W(t)	衝突速度 V(km/h)	衝突角度 θ(°)	(*)衝撃度 (t･m)
20	100	15	52.7 [517kJ]

(*)　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。

$$衝撃度 = W(V\sin\theta)^2 / 2g \quad (t\cdot m)$$

$$g：重力の加速度(9.8\ m/sec^2)$$

$$= W(V\sin\theta)^2 / 2 \quad (kJ)$$

一方、この衝撃度に相当するものとして急カーブ用防護柵の開発で得られた成果[1]がある。そのときの衝突条件を表－３・１・２に示す。

表－３・１・２　急カーブ用防護柵の衝突条件

実験の種類	設計目標値				実験結果			
	W (t)	V (km/h)	θ (°)	衝撃度 (t･m)	W (t)	V (km/h)	θ (°)	衝撃度 (t･m)
高速度衝突	15	80	22	53	14	73	25	52.5
急角度衝突(参考)	15	45	40	50	14	52	43	69.3

備考）設計目標値と実験結果で車両重量、衝突角度、衝突角度が相違しているが、これは研究当時の実験施設の能力（最大重量14ｔ、最高速度75km/h）から設計目標値の確保が困難であったため、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ものである。

ここで、「衝撃度が等価であるならば、車両や防護柵の挙動も同等になる」と仮定し、Ｇｒ－ＳＳの基本構造を急カーブ用防護柵の成果と同一形状にした。

以下に、「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」[1]で提案している主要構造諸元の設定根拠の概要について述べる。なお、詳細については報告書を参照されたい。

３．１．１．ビーム

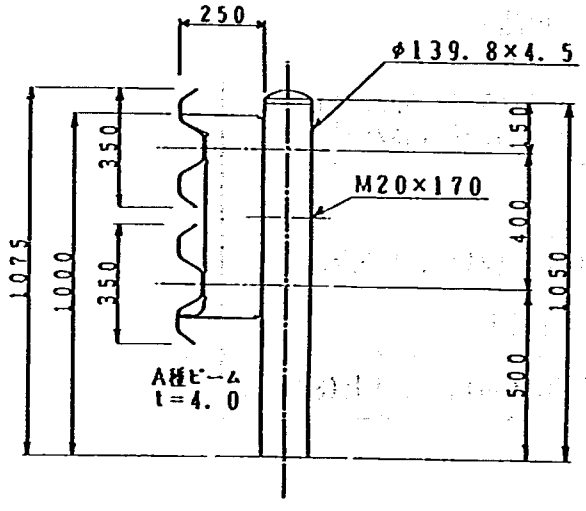
車両重量14ｔとして、衝撃度が53t･mになる衝突速度と角度を求めて、衝突シミュレーションによる演算を行い、ガードレールの変位とビーム張力からビーム断面の基本設計値を表－３・１・３のように定めた。

表－３・１・３　ビームの基本設計値

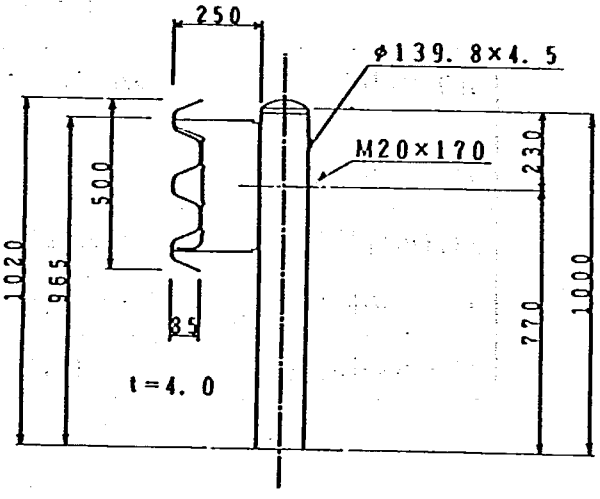
項目	基本設計値
引張強度　　（ｔ）	55 以上
曲げ剛性ＥＩ　（t･m）	52 以上

表－３・１・３の基本設計値を有する防護柵として現行Ａ種ビーム２段型（上下２段）と３山ビーム型の２種類について衝突実験による機能検証を行った。

その結果、Ａ種ビーム２段型は、上段ビームが破断し、良好な成果を得られなかったが、３山ビーム型は、車両の誘導性・防護柵の強度とも良好な成果が得られた。



（１）Ａ種ビーム２段型



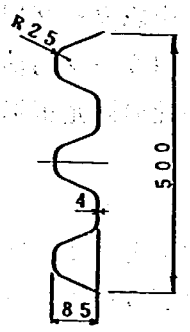
（２）３山ビーム型

図－３・１・１　急カーブ用防護柵の開発で検討したビーム形状

その断面諸元と形状を表－３・１・４、　図－３・１・２に示す。

表－３・１・４　断面諸元

板厚	4.0 ㎜
幅	500 ㎜
深さ	85 ㎜
材質	SS400
断面積	31.2 ㎠
許容引張耐力	64 t [672kN]



図－３・１・２　断面形状

３山ビームの断面諸元を設定する際に、基本設計値から表－３・１・５のような各種諸元の目標値を定めこれが満足できる断面について検討した。その結果の一例を表－３・１・６に示す。なお、検討は２山の場合についても行った。また、ビーム幅は「３．１．３．」で述べるビーム上端、下端高さの関係から500㎜にした。

表－３・１・５　ビーム各種諸元

許容応力度　(kg/㎠)	SS400 : 2,500[245N/㎟] SS490 : 2,800[274N/㎟]
ビームの継手効率	0.82
鋼材の弾性係数　(kg/㎠)	2.1×10^6 [21×10^6 N/㎟]
ビームの断面２次モーメント(㎝⁴)	248以上
ビームの断面積　(㎠)	28以上(SS400)、24以上(SS490)

表－３・１・６　ビーム断面の検討結果

形状種類	幅 (㎜)	コルゲーション (㎜)	板厚 4.0 SS400	板厚 4.0 SS490	板厚 4.5 SS400	板厚 4.5 SS490	板厚 5.0 SS400	板厚 5.0 SS490	展開幅 (㎜)	断面積 (cm²)
２山断面	500	75	×	×	×	×	×	×	－	－
		80	×	×	×	×	○	○	641	32.05
		85	×	○	◎	－	－	－	659	26.36
		90	×	◎	○	－	－	－	674	26.96
３山断面	500	75	×	×	×	×	×	×	－	－
		80	×	×	○	○	－	－	754	32.93
		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。
・◎は、静的載荷実験を行ったもの。
・※は、衝突実験に採用したもの。

設計計算や各種の載荷実験の結果によると、力学特性は２山より３山の方が良いこと、材質はSS400が材料入手で容易なこと、板厚は薄い方が施工上で有利なことから、表－３・１・４、図－３・１・２に示す３山ビームを選定した。

３．１．２．ビーム高さ

ビーム上端の高さは、大型乗用車の横転防止を考慮して925㎜、ビーム下端高さは、小型乗用車の潜り込み防止を考えて、従来のガードレールと同様(425㎜)とした。なお、大型乗用車(14ｔ,73km/h,25°)および小型乗用車(1.1ｔ,103km/h,25°)による衝突実験でその有効性が確認された。

３．１．３．ブロックアウト量

ブロックアウト量は、大きいほど車輪の支柱衝突や、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（ブロックアウト効果）。しかし、道路幅や建築限界等の制約を考慮して、250㎜とした。
衝突実験の結果、ブロックアウト効果が確認できた。

３．１．４．支柱

支柱は、各形状の支柱載荷実験結果から表－３・１・７の基本設計値を有する形状を求めた結果、現行Ａ種支柱と同一断面・埋込み深さ（φ-139.8×4.5、埋込み深さ1,650㎜）で支柱間隔が１ｍとなった。「３．１．２．」で述べている衝突実験の結果、選定した諸元の有効性が確認できた。

表－３・１・７　支柱の基本設計値

項目	基本設計値
支柱間隔　（m）	1.0
平均支持力　（t）	2.5 [24.5kN]
バネ常数　（t/m）	60 [588kN/m]

３．２．高速度衝突に対する検討課題

３．２．１．Ｇｒ－ＳＳの実験により確認されたこと

詳細については「６．１．Ｇｒ－ＳＳ［実験１］」で述べるが、Ｇｒ－ＳＳの実験では車両が防護柵上に乗り上げた後に数回転しながら柵延長線上で停止し、誘導性や強度に問題があることがわかった。

防護柵の構造は、衝撃度のみを指標にして考えるのではなく、衝突速度、角度ならびに大型乗用車（バス）や大型貨物車（トラック）という車種の違いなどについて個々の検討が必要であることがわかった。したがって、「衝撃度が等価であるならば防護柵や車両の挙動も同等になる」という考え方を改めることが必要である。

３．２．２．高速度衝突に対する対応策

高速度衝突時の車両の誘導性を向上させるためには、防護柵の構造面において、下記事項への配慮が必要と考え、その技術的検討を加えることにした。

①ビーム
- ・接合部
- ・ビーム高さ

②支柱
- ・支柱強度

③ブラケット
- ・ブロックアウト量
- ・ブラケットの強度

4．改良構造の検討

4．1．ビーム

Ｇｒ－ＳＳ［実験１］では、支柱とブラケットの強度およびブロックアウト量の不足などから柵高が極端に低下し、荷台はビーム上端部に衝突することなく防護柵上を通過し、慣性力により車体を回転させながら防護柵上で横転した。

ここでは、Ｇｒ－ＳＳ［実験１］の結果を踏まえ今後の改良方向を検討する。

4．1．1．強度

１）ビームの強度

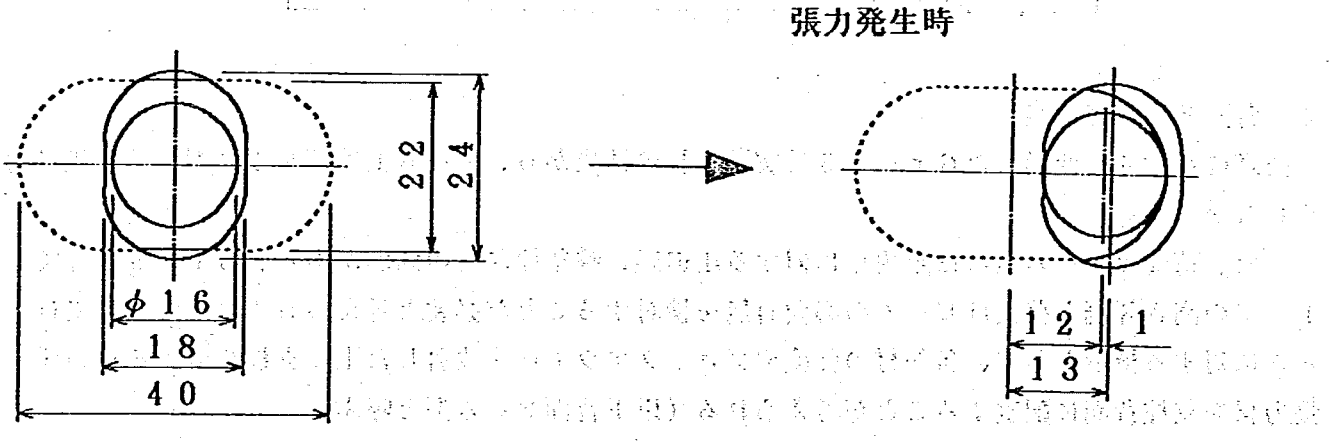
ビームは車両の踏み倒しにより大きく変形し、支柱と分離したため直角方向の残留変位が 1,117㎜と大きかったが、接合部やボルトの破断は生じていなかった。

この状況下で計測されたビーム張力の最大値は、正常な衝突とは異なるのでデータの信頼性に欠けるが26.3ｔであった。ビームの許容張張耐力値(64.0ｔ)から判断しても、ビーム自体の強度は特に問題ないと考えられる。

２）ビームの接合部

ビーム接合部は最大30㎜ずれたが、これはビーム接合部のボルト孔とボルト径とのクリアランスによるものと考えられる。本供試体のボルト孔とボルトの関係は図－４・１・１に示すとおりであるが、中央部に取付けられた状態で、接合部は左右に13㎜、極端な取付条件では最大26㎜可動することになる。接合部の大きなずれは、衝突初期での張力機能の発揮や、支柱の変形拘束に寄与できないことから機能上好ましくない。したがって、施工性は若干低下するが、ボルト孔を極力小さくすることが必要である。

可動量は、「道路橋示方書」（温度変化の影響）に記載される気候寒冷地方における温度変化の範囲（-30℃～+50℃）を最低限確保できるものとし、40㎜から24㎜に変更する。



図－４・１・１　ボルト孔とボルトの関係・可動量

4．1．2．ビーム高さ

支柱の強度不足などからビーム支持高さが極端に低下して、車両が防護柵を突破・横転した［実験1］の結果から、ビーム支持高さの妥当性を評価することは困難である。しかし、大型貨物車の高速衝突における車両挙動が、従来の衝突速度時とは大きく違うことがわかった。具体的には、衝突後車体のねじれがほとんど無く車両全体が防護柵側に大きく傾斜したまま進行すること、車両前後部の衝突時間差がなく後部衝突時に大きな慣性力が作用することなどが挙げられる。

以下、このような従来技術で予測できなかった車両挙動に対処するための改良検討を行う。

1）荷受けビーム型構造

車両後部に生じる転倒方向の回転モーメントを確実に支持できる高さに張力材を配置し、衝突時主荷重は主ビーム、荷台後部の慣性力は荷受けビームが抵抗する構造が考えられる。

荷受けビームの高さは大型貨物車（平ボディー）の車両重心高さ1,300㎜が望ましいと考えられる。

また、荷台後部の慣性力は車両の挙動や車両剛性等複雑で不特定要素が多く、算定が困難であるが、ここでは主ビームに作用する衝突荷重の1/2相当と仮定した。その結果、断面積や接合部強度はA種ビームと同程度の強度が必要であることがわかった。

部材の選定に際しては、道路構造令に設定される乗用車の視線高さ(1,200㎜)に近似するため、圧迫感および眺望性を考慮して表－4・1・2に示すような小断面の鋼管、角形鋼管から選出することが望ましいものと考えられる。

表－4・1・2　A種ビームと同等断面積を持つ鋼管・角形鋼管

形　状	寸　法(㎜)	断面積(㎠)	単重(kg/m)
鋼　管	φ-114.3×4.5	15.52	12.2
	φ-139.8×4.0	17.07	13.4
角形鋼管	□-100×100×4.5	16.67	13.1
	□-125×125×3.2	15.33	12.0

2）背面ビーム型構造

防護柵が大きく変形したＧｒ－ＳＳ［実験1］の結果から、ビーム上端部高さに対する評価は得られなかった。

また、荷受けビーム型には乗用車に対する圧迫感、眺望性などの問題があり、Ｇｒ－ＳＳ［実験1］での高さ評価と荷受けビームの必要有無を検討することが必要と考えられる。そこで荷受けビームに対する構造として、各部材の強度やブロックアウト量を改善した上で支柱の変形を拘束する張力材を支柱背面に配置することが考えられる（以下背面ビーム型と呼ぶ）。

4．2．支　柱

4．2．1．載荷実験

支柱部材の特性を知るために種々の部材による静的および動的の載荷実験を行った。

1）静的載荷実験

（1）実験目的

①断面欠損による支柱折れ曲がり位置への影響確認

（折れ曲がり位置を深くすることにより車輪の踏込みをなくすことを目的とした）

②支柱補強効果の検証

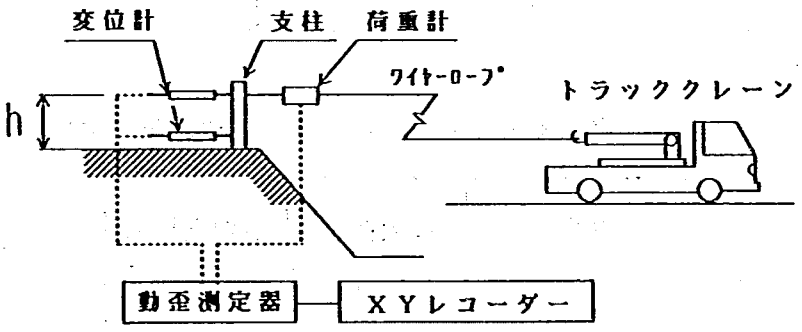
（2）実験内容

①実験場所

建設省土木研究所内の衝突実験場

②載荷および測定方法

クレーン車のワイヤーを単調巻き上げすることにより支柱に載荷した。



図－4・2・1　静的載荷の方法

③供試体

・断面欠損効果確認実験用の供試体は、φ-139.8×‘4.5の鋼管で断面欠損率が 0、15、30、45%と欠損位置が GL -400、-600、-800㎜の組合せとした。

・補強効果確認実験用の供試体は、鋼管 φ-139.8×‘4.5、角形鋼管 □-125×125×‘6の土中部（GL-200㎜）に2種の補強板（‘9×500×400、‘9×500×800）を溶接したものと、補強無しのものとした。

表－4・2・1　供試体（10種類）

支柱寸法	欠損率	欠損位置	支柱断面寸法	支柱補強タイプ
φ-139.8×‘4.5㎜	0 % 15 % 30 % 45 %	GL-400㎜ GL-600㎜ GL-800㎜	φ-139.8×‘4.5㎜	A:補強無し B:補強板‘9×500×400 C:補強板‘9×500×800
			□-125×125×‘6㎜	A:補強無し B:補強板‘9×500×400 C:補強板‘9×500×800

（３）実験結果

表－４・２・２　断面欠損効果実験結果（平均値）

支柱形状	欠損位置 GL-(mm)	欠損部 断面係数 (cm³)	欠損部 欠損率 (%)	最大荷重 Pmax (t)	最大荷重 Pmax (KN)	曲がり位置 GL-(mm)	平均支持力 Pw (t/m)	平均支持力 Pw (KN/m)
φ139.8	－	62.7	0	3.12	30.6	357	2.45	24.0
×t4.5	600	53.3	15	2.95	28.9	600	2.65	26.0
	600	43.9	30	2.55	25.0	600	2.25	22.1
	600	34.5	45	1.90	18.6	600	1.80	17.6
	400	34.5	45	2.60	25.5	400	2.05	20.1
	800	34.5	45	2.90	28.4	360	2.30	22.6

表－４・２・３　補強効果実験結果（平均値）

支柱形状寸法	補強方法	最大荷重 Pmax (t)	最大荷重 Pmax (kN)	平均支持力 Pw (t)	平均支持力 Pw (kN)	バネ常数 Pk (t/m)	バネ常数 Pk (kN/m)
φ-139.8×t4.5	補強無し	3.76	36.9	3.10	30.4	53	520
載荷高:760mm	補強t9×500×400	3.46	33.9	2.91	28.5	67	657
		3.43	33.6	2.91	28.5	59	579
□-125×125×t6	補強無し	4.30	42.2	3.36	33.0	56	549
載荷高:760mm	補強t9×500×400	4.96	48.6	4.13	40.5	79	775
	補強t9×500×800	5.88	57.7	4.55	44.6	75	735

（注）実験結果の全体については付録．１資料編「付．１．２　支柱実験データ」参照。

①断面欠損効果について

・断面欠損位置 GL-400、-600㎜ では強制的な折れ曲がりがみられ、欠損位置GL-800㎜ は欠損なしと同じように GL-360㎜ 付近で折れ曲がった。

・断面欠損位置 GL-600㎜ の場合、欠損率が大きくなると強度定数Pmax、Pwともに低下する傾向がみられたが、欠損率が異なっても同じ折れ曲がり位置(GL-600㎜)であった。

②支柱補強効果について

・鋼管φ-139.8×'4.5は補強部に比べて支柱本体の強度が弱く、補強板取付上部で折れ曲がった。また、補強したことによりバネ常数Pkは少し高くなったが、Pwは低下し補強効果がみられなかった。

・角形鋼管□-125×125×'6は補強板の有り無しともに大きな折れ曲がりが発生しなかった。また、Pk、Pw、Pmaxの強度定数は補強板の効果により大きくなった。

・断面強度が小さい場合（鋼管φ-139.8×'4.5）は、補強板取付上部に応力集中が発生して支柱が曲がり補強効果がみられなかったが、断面強度が大きい角形鋼管（□-125×125×'6）は補強板の効果がみられることがわかった。

2）動的載荷実験

（1）実験目的

①静的載荷と動的載荷の違いによる力学特性の比較

②支柱形状の違いによる力学特性の把握

③載荷位置の違いによる力学特性の把握

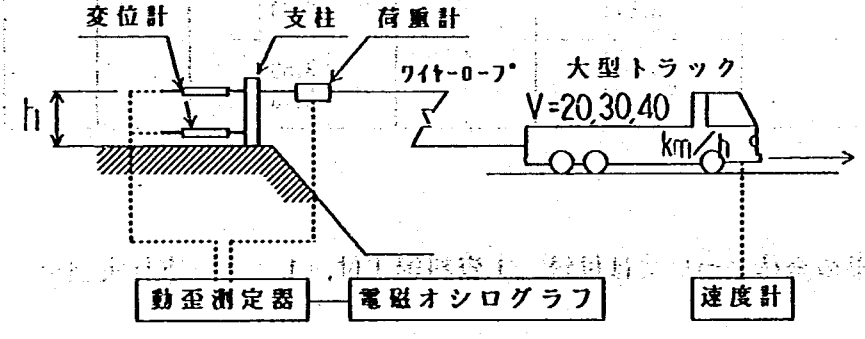
（2）実験内容

①実験場所

建設省土木研究所内の衝突実験場

②載荷および測定方法

ワイヤー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、荷重と支柱変位を測定した。載荷速度は 20、30、40km/h（衝突角度15度の場合で速度80、120、160km/h、衝突角度20度の場合で速度60、90、120km/hの柵直角方向の速度に相当）、載荷位置はブラケットの取付け中心位置を想定して 675、760、1,300㎜で行った。



図－4・2・2　動的載荷の方法

③供試体

鋼管、角形鋼管、H形鋼から7種類を選択し、埋込み深さは 1,650 ㎜とした。

表－4・2・4　供試体（7種類41体）

支柱断面寸法	載荷位置	載荷速度
A:φ-139.8×4.5㎜ B:φ-139.8×6.6㎜ C:H-100×100×6.0×8㎜ D:H-125×125×6.5×9㎜ E:□-125×125×4.5㎜ F:□-200×100×4.5㎜ G:□-125×125×6㎜	1:h=　675㎜ 2:h=　760㎜ 3:h=1,300㎜	1:V=20㎞/h 2:V=30㎞/h 3:V=40㎞/h

（3）実験結果

表－4・2・5　φ-139.8×‘4.5と□-125×125×‘6 の実験結果抜粋（15体）

支柱実験強度比較

支柱形状寸法	断面係数 Z cm3	最大荷重 Pmax (t) 静的 80cm	60cm	動的(載荷時速) 20km	30km	40km	平均支持力 Pw (t) 静的 80cm	60cm	動的(載荷時速) 20km	30km	40km	バネ常数 Pk (t/m) 静的 80cm	60cm	動的(載荷時速) 20km	30km	40km
φ139.8xt4.5 載荷高：760mm	62.7	4.12	3.30	4.60	4.40	5.70	3.25	2.70	2.10	3.90	-	65	-	30.0	43.3	30.4
		3.47	2.80	4.60	4.90	5.00	2.95	2.25	3.45	4.05	3.65	42	-	38.3	45.0	46.3
			3.25	4.90	5.70	4.00		2.40	4.10	5.02	3.70		-	58.6	86.7	
平均値 (KN)		3.8t	3.1t	4.7t	5.0t	4.9t	3.1t	2.5t	3.2t	4.3t	3.7t	54		42.3	58.3	38.4
		37.3	30.4	46.1	49.0	48.1	30.4	24.5	31.4	42.2	36.3	530		415	572	377
□-125x125xt6 載荷高：760mm	103	4.65			5.90		3.25			5.80		54			48.3	
		5.45			6.10		3.35			6.05		66			46.5	
		5.25			6.00		3.50			5.95		83			45.8	
平均値 (KN)		5.1t			6.0t		3.4t			5.9t		68			46.9	
		50.0			58.8		33.3			57.9		667			460	
□-125x125xt6 載荷高：1300mm	103				4.40					-					-	
					5.90					4.00					36.4	
					5.80					2.90					25.6	
平均値 (KN)					5.40					3.50					31.0	
					53.0					34.3					304	

（注）実験結果の全体については付録．1資料編「付．1．2　支柱実験データ」参照。

①載荷速度について

・載荷速度の増加にともなって最大荷重Pmax、平均支持力Pwともに高くなる傾向を示した。また、バネ常数Pkはバラツキが大きく明確な関係は得られなかった。

②支柱形状について

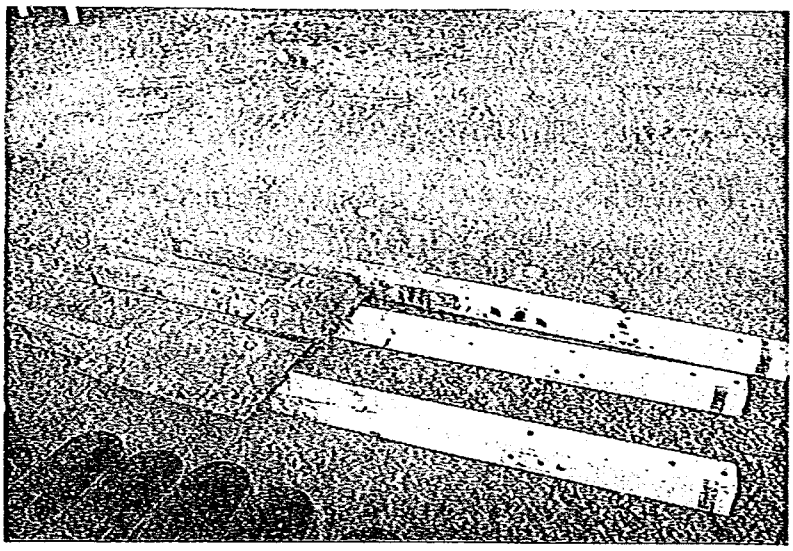
・鋼管、角形鋼管ともに断面係数が高くなるとPmax、Pwは大きくなるが、両者の形状による強度上の有意差は認められなかった。またH形鋼については載荷初期からのねじれが発生し低い耐力となった。

③載荷高さについて

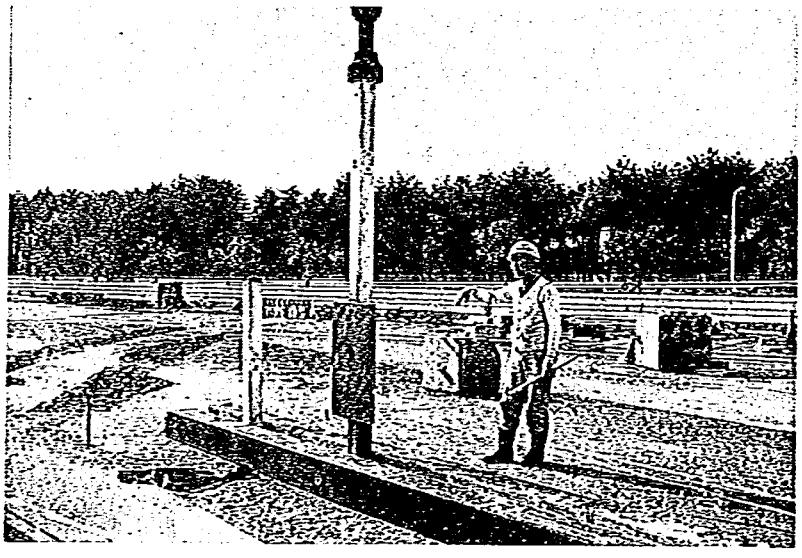
・同一支柱断面において、載荷高さが高くなるにしたがいPmax、Pw、Pkは低下した。

4．2．2．実験結果まとめ

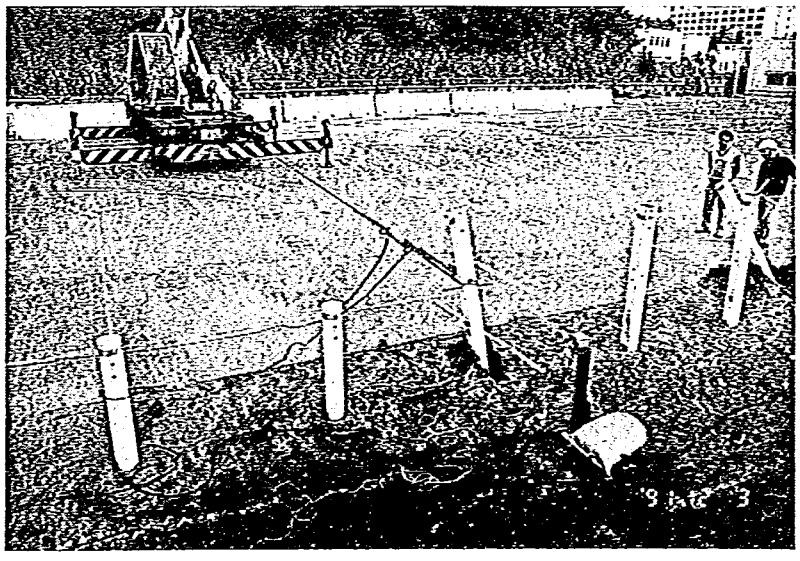
Gr－SS［実験1］の衝突実験結果（車両の逸脱、横転）から衝突初期の支柱踏み込みと柵高低下を防止するために支柱部材の改良が必要となった。改善策としては鋼管φ-139.8×t4.5(z=62.7cm³)を角形鋼管□-125×125×6(z=103cm³)にして断面強度を上げることとした。



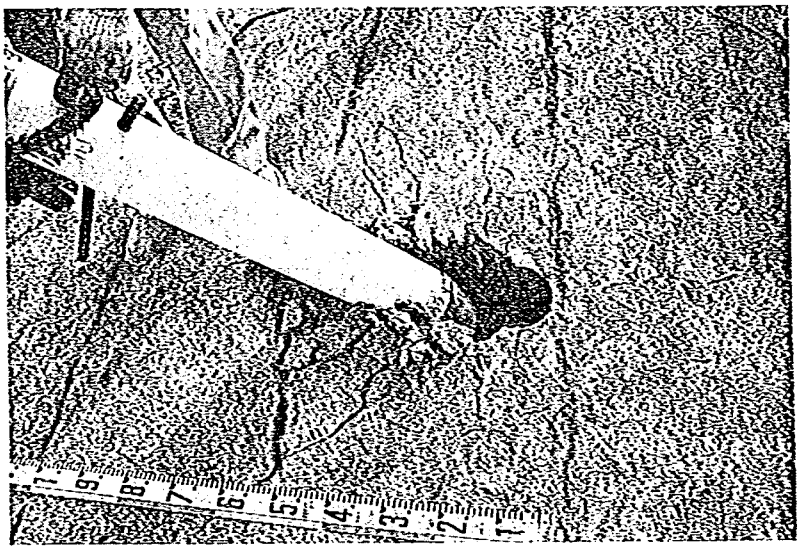
写真－４・２・１　支柱補強の種類



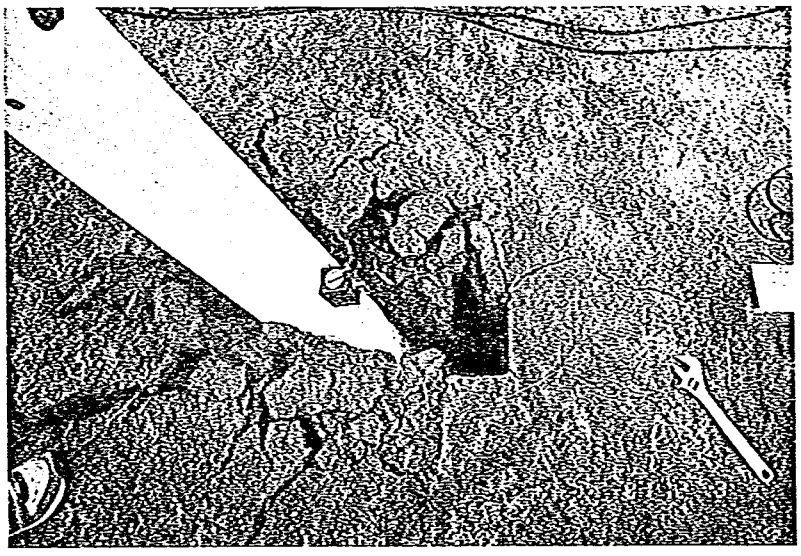
写真－４・２・２　支柱（補強板付き）打ち込み状況



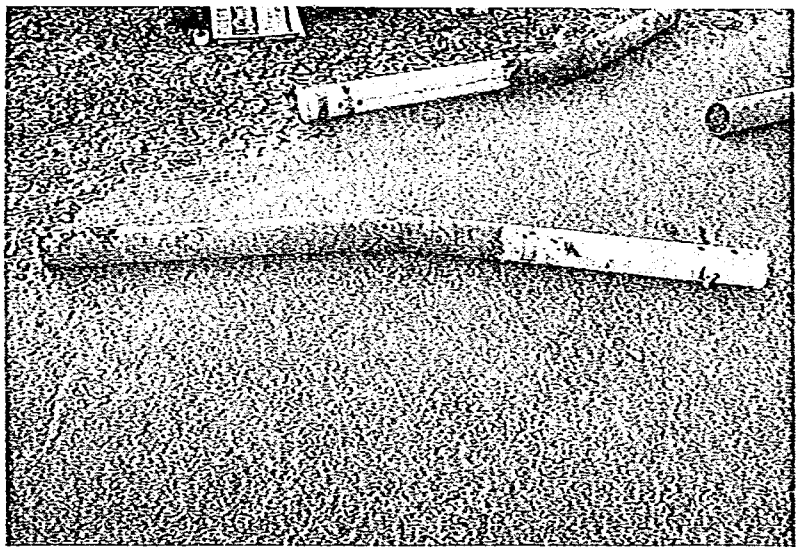
写真－４・２・３　載荷状況



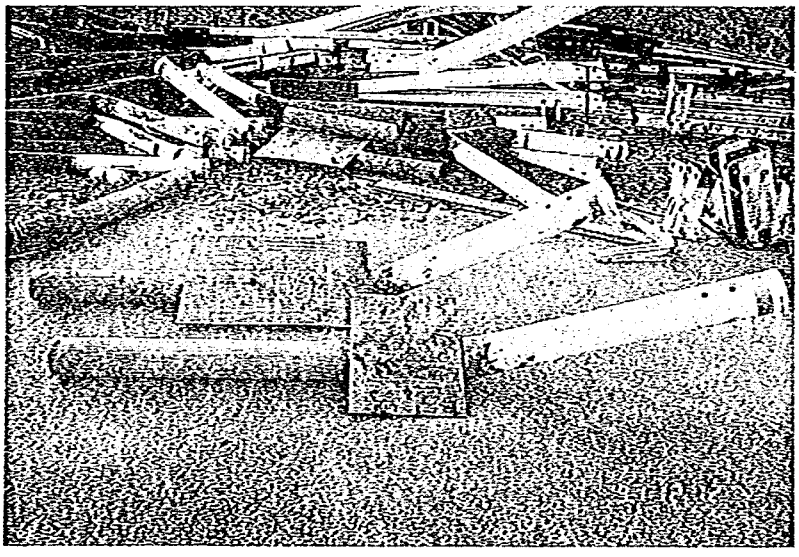
写真－４・２・４　地盤の破壊状況（鋼管）



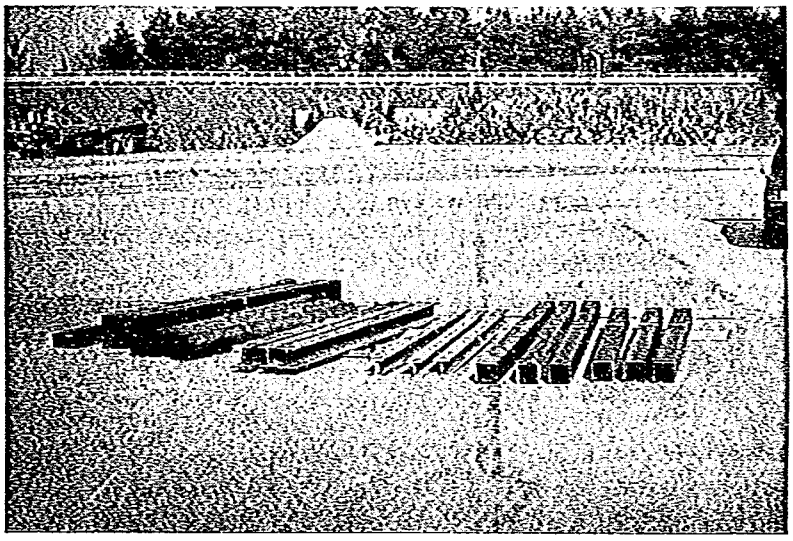
写真－４・２・５　地盤の破壊状況（鋼管）



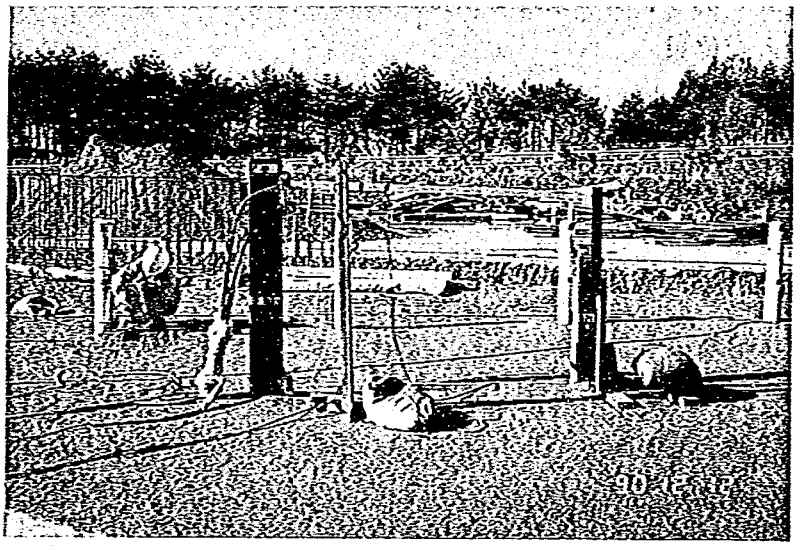
写真－４・２・６　支柱変形状況（鋼管）



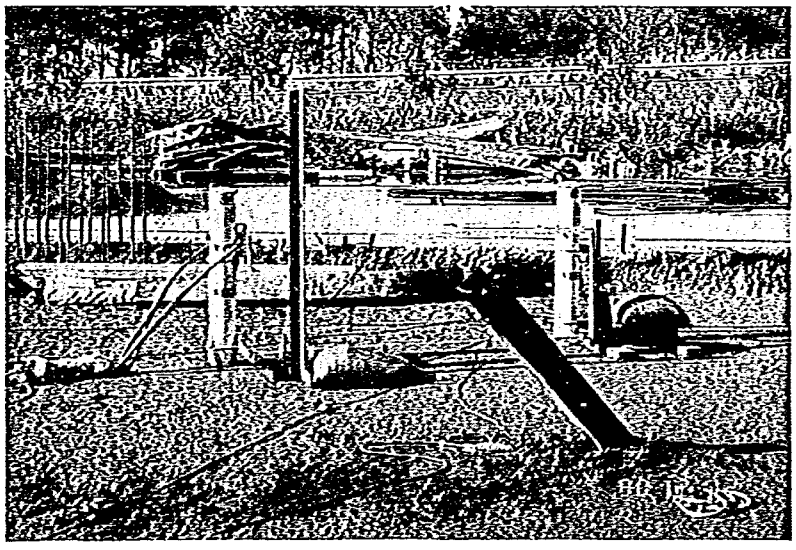
写真－４・２・７　支柱変形状況（鋼管）



写真－４・２・８　動的載荷用支柱



写真－４・２・９　支柱（角形鋼管）載荷開始状態



写真－４・２・１０　支柱（鋼管）載荷開始状態

4．3．ブラケット

Ｇｒ－ＳＳ［実験１］の衝突実験において、ブロックアウト量の不足とブラケットの強度不足が明らかになった。

ブロックアウト効果を確実にするには、防護柵が最大変位に達しても車輪が支柱に接触しないことと、ビームの反力点高さを低下させないことが必要である。ここでは実験結果を踏まえ、適性ブロックアウト量を選定しブラケットの改良構造を検討する．

4．3．1．ブロックアウト量

車輪の踏み込みと防護柵の反力点高さからみた二つの方法を用いて比較し、必要なブロックアウト量を求めることとした．

1）車輪の踏み込みとブロックアウト量

車輪の支柱衝突を避けるには、ブロックアウト量が大きいほど効果も大きくなるが、道路幅など設置条件に制約があることから、次の条件を前提に検討を行う．

①支柱の回転中心と最大変位量

大型貨物車衝突後の支柱は、地表近くの深さ約 160㎜のところで約45° に折れ曲がり大きく変形したが、防護柵の損傷状況や車両の挙動から判断すると、支柱の機能としては限界に近いと考えられ、回転中心を 160㎜、最大支柱傾斜角を45° として検討する。

②車輪の傾斜角

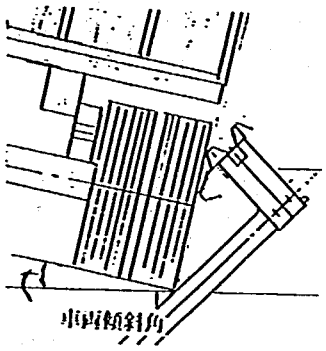
大型貨物車の車輪は、防護柵の変位とともに慣性力で防護柵側に傾斜するが、図－４・３・１に示すように車輪傾斜角は踏み込み量に影響を与える。

Ｇｒ－ＳＳ［実験１］では、車両が転倒したため検討に用いる大型車の傾斜角は推測できなかった。車両が誘導された急カーブの実験結果の傾斜角（右側車輪の浮き上がり量から算出）約12° を用いて検討を行った。

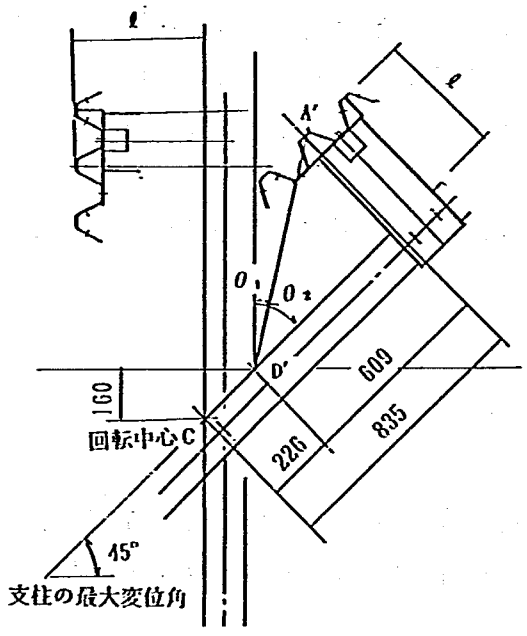
図－４・３・２において、支柱の最大傾斜角が45° に達したときブロックアウト量ℓを変化させると、ビームの反力点と支柱地際部の成す角度A′－D′ の傾斜角θ_2も変化するが、θ_2が大型貨物車の傾斜角12° より小さくなればブロックアウト効果が得られる領域となる。ブロックアウト量ℓを変化させたθ_2の計算結果を表－４・３・１に示す．

表-４・３・１　ブロックアウト量と傾斜角

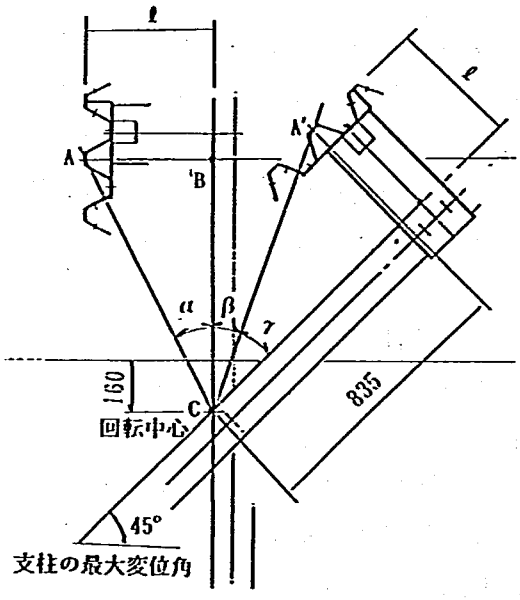
ℓ　(㎜)	350	400	450	500	550	600
θ_1　(°)	30	33	36	39	42	45
θ_2(=45° $-\theta_1$) (°)	15	12	9	6	3	0



図－４・３・１　トラックと防護柵の傾き



図－４・３・２



図－４・３・３

２）反力点高さからみたブロックアウト量

支柱が変位したときのビームの反力点の高さは、ブロックアウト量に比例して変化するが、ここでは支柱が最大変位に達しても反力点を確保するために必要なブロックアウト量を求める。

図－４・３・３より、変位した時の反力点高さを確保するには、常に$\alpha \geqq \beta$が成り立てばよい。支柱の傾斜角は45°で一定であるから$\beta = 45° - \gamma$となる。またℓも変化しないから$\alpha = \gamma$となり$\alpha \geqq 22.5°$。従って$\beta \leqq 22.5°$ならば反力点高さは低下しない。

ブロックアウト量ℓを変化させたαの計算結果を表－４・３・２に示す。

表－４・３・２　ブロックアウト量と傾斜角

ブロックアウト量ℓ(㎜)	350	400	450	500	550	600
α	23	26	28	31	33	36
β	22	19	17	14	12	9

3)ブロックアウト量の選定

表－４・３・２ 、図－４・３・３の結果より、車輪の踏み込み防止と反力点高さの低下防止を共に確保できる最小の適性ブロックアウト量に 450㎜を採用することとした。

４．３．２．ブラケットの改良

１）主ビームブラケット

Ｇｒ－ＳＳ［実験１］の結果、ブラケットは、車両衝突時の衝撃力で変形や潰れが発生し機能を発揮できず改良が必要となった。変形や潰れの主な原因は、衝撃度が大きくなるとブラケットが進行方向の荷重に対して変形しやすく、支柱への取り付けも方法も不安定であったことが課題としてあげられる。そこで、ブラケット本体を閉断面の一体型構造とし支柱との固定方法も改善して、変形拘束力を強化した構造を採用することにした。

また、乗用車衝突時にはビームの下端部を容易に変形させ衝撃力を緩和するような構造案を採用した。図－４・３・４に構造案を示す。

２）荷受けビームブラケット

荷受けビームの取付けは初めての試みであり、構造検討に際しては次項を考慮した。

①ブロックアウト量

大型貨物車（トラック）の荷台は車輪より 50～100㎜程外側に張り出しているが、主・荷受けビームの荷重の分担やトラックへの影響を調査するため、荷受けビームのブロックアウト量を主ビームと同量とする。

②部材強度

荷受けビームの役割は、車両の後輪が衝突した時に慣性力で横転しようとする荷台を受け止めるのが目的である。衝撃力はブラケットを介して支柱に伝達し吸収されるため、ブラケットの強度は支柱支持力以上あれば十分であることから、荷受けビームと同じ断面の部材を採用することにした。図－４・３・５に構造案を示す。

３）ブラケットの圧縮強度と取付けボルトの強度

ブラケットの応力計算は複雑なので、ここではブラケット部材の最大支柱強度に対する圧縮強度および取付けボルトの強度のみを確認する。

表－４・３・３　ブラケットの断面諸元

	断面積 Acm²	断面二次モーメント I,cm⁴	断面係数 Z,cm³	形　状	支取り付けボルト	
					サイズ	有効断面積
主ビーム用	0.17	1130	151	□-200×150×4.5	M20×175(6T)	a=2.45cm²
荷受けﾋﾞｰﾑ用	21.63	311	62.3	□-100×100×6.0	M22×160(4T)	a=3.03cm²

許容応力度:SS400　曲げ応力 および 圧縮応力度 σ_a=245N/mm²

ﾎﾞﾙﾄの引張応力度σ_a=400N/mm²(4T)、せん断応力度$\tau_a=\sigma_a/3$=230N/mm²(6T)

①主ビーム用ブラケット

ビーム中心部の支柱の最大曲げ荷重P

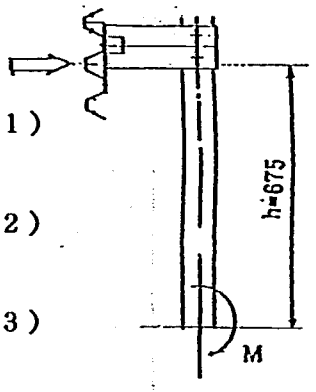
$P=\sigma_a \cdot Z/h$=37385N　－－－－（４・３・１）

ブラケット本体の圧縮応力度σ

$\sigma=P/A$=37385/3017=13N/mm²≦σ_a=245N/mm²　－－－－（４・３・２）

ボルトの強度（偏芯荷重を考慮し一本の両面せん断で計算）

$\tau=P/2a$=37385/(2×245)=77N/mm²≦τ_a=230N/mm²　－－－－（４・３・３）



②荷受けビームブラケット

ビーム中心部の支柱の最大曲げ荷重P

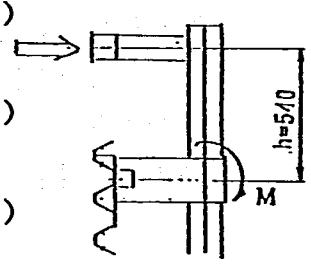
$P=\sigma_a \cdot Z/h$=46731N　－－－－（４・３・４）

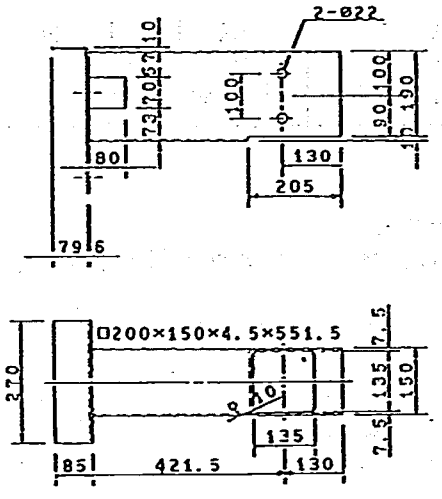
ブラケット本体の圧縮応力度σ

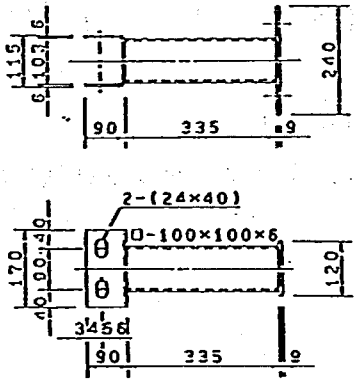
$\sigma=P/A$=46731/2163=21N/mm²≦σ_a=245N/mm²　－－－－（４・３・５）

ボルトの強度（偏芯荷重を考慮し一本の引抜抵抗で計算）

$\tau=P/a$=46731/303=154N/mm²≦τ_a=230N/mm²　－－－－（４・３・６）







図－４・３・４　主ビーム用ブラケット

図－４・３・５　荷受けビーム用ブラケット

４．４．ＳＳガードレール改良１型の設定

Ｇｒ－ＳＳ［実験１］の実験結果から４．１．～４．３．に示す構造の改良があげられた。衝撃度52.7t･m(516KJ)の条件で車両を安全に誘導させる構造を目的とした。

１）ビームおよび構造型式について

改良１型では、車両を安全に誘導させることを優先し、特に衝突後期の荷台慣性力を抑えることを考え、荷受けビーム型に設定した。

衝突荷重の多くを受ける主ビームは、３山断面のビームとし高さは小型乗用車の潜り込みを防止できる高さからＧｒ－ＳＳと同様に設定した。

荷受けビームの形状については、表－４・４・１から同等断面積の中で剛性の高い□-100×100×‘4.5を選定した。

表－４・４・１　構造、補助ビームの選定

項　　目	選　　択　　肢	改　良　１　型
構　　造	荷受けビーム、背面ビーム型	荷受けビーム型
補助ビーム(㎜)	φ-114.3×‘4.5、φ-139.8×‘4.0 □-100×100×‘4.5、□-125×125×‘3.2	□-100×100×‘4.5

２）支柱について

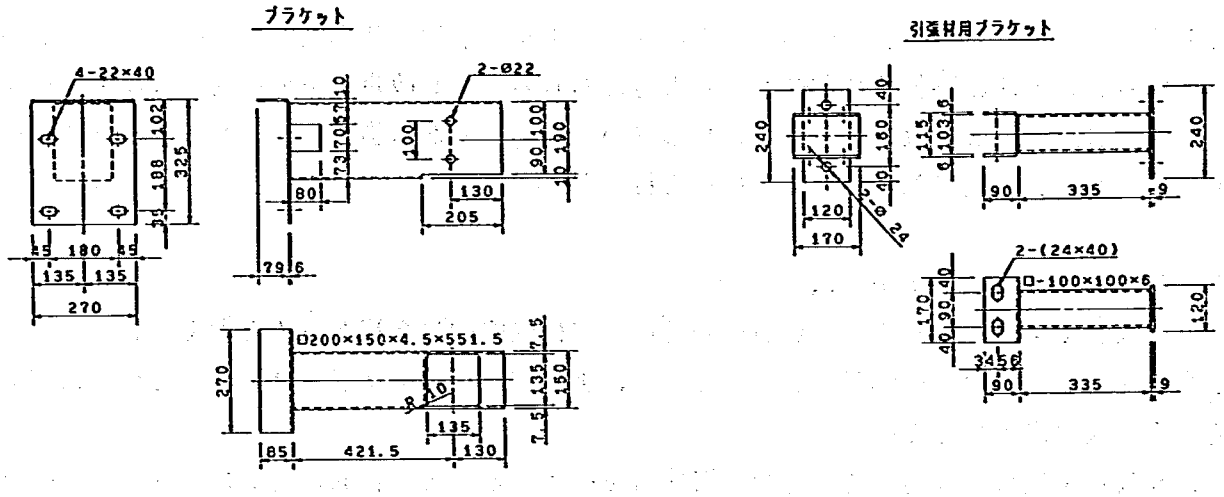
車両衝突時の極端な支柱の変形は、車輪の踏み込みや支持点高さの低下を引き起こし、車両横転を誘発する恐れがあることから、支柱平均支持力の6t程度の□-125×125×‘6.0の支柱を選定し、以上のような現象を抑え、車両を安全に誘導させることを目標とした。

表－４・４・２　支柱の選定

項　　目	選　　択　　肢	改　良　１　型
支　　柱(㎜)	φ-139.8×‘4.5、□-125×125×‘6.0	□-125×125×‘6.0

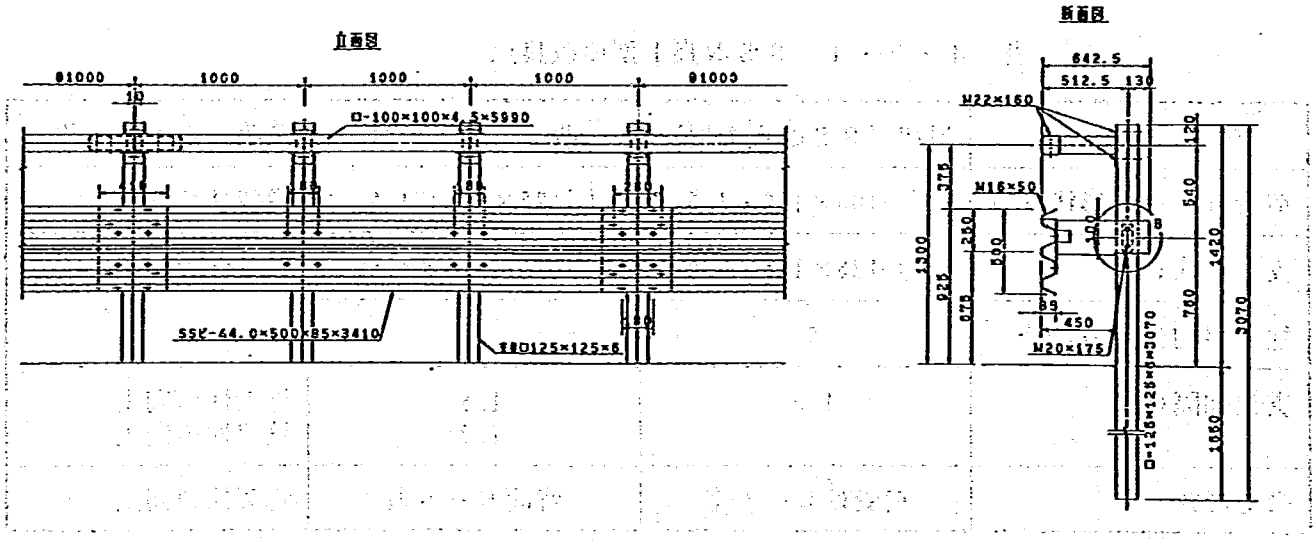
３）ブラケット

４．３．よりブラケット構造を図－４・４・１に示し、ブロックアウト量を450㎜とした。



図－４・４・１

以上より改良１型を図－４・４・２の様に設定した。



図－４・４・２　改良１型

４．５．衝突シミュレーションと車両横転検討による構造検討

［実験３］でＳＳ改良１型が衝突角度20度（衝撃度92.1t･m、903kJ）の条件において、良好に車両を誘導させた。しかし、当供試体は支柱間隔が１ｍ、支柱が角形鋼管、荷受けビームがあることなどから、施工性、眺望性に問題があると考えられる。ＳＳ改良１型の強度および機能を維持させながらこれらのことを改善しなければならない。このことから衝突シミュレーションで強度を検証するとともに、車両横転についても検証を行った。

４．５．１．ＳＳ改良１型の改良

ＳＳ改良１型は、衝撃度92.1t･m(903kJ)程度では強度的に余裕があると考えられる。構成部材の強度を落とすことや支柱間隔を広くすることにより適正な強度に近づけることを目的に実験結果を踏まえて改良点の抽出を行った。

ＳＳ改良１型は車両衝突時の荷台の慣性力を押さえることを目的に荷受けビーム（□-100×100×4.5）を1300㎜高さに配置した構造となっている。これにより乗員に圧迫感を与え、また眺望性を阻害している。改良方法としては、荷受けビームの形状を細くすることや、荷受けビーム位置を低くすることが考えられる。また、荷受けビーム高さを低くすることは、荷受けビームの機能の一つである荷台の慣性力を抑制する機能が失われるが、車両衝突時の荷重を伝達させる機能は確保できる。そこで、荷受けビームを張力材としてのみ機能させ、主ビームの背面に設置する背面ビーム型を検討することにした。

一方、ＳＳ改良１型の施工性を考えると、支柱間隔が１ｍスパンであったり、支柱が角形鋼管であることから施工時の精度が要求される。支柱形状を現状防護柵のような丸形状とし、支柱間隔も広げた方が施工性に有利である。

以上のことから、表－４・５・１に示すような改良案を提案した。

表－４・５・１　ＳＳ改良１型の改良点

項　　目		現状（ＳＳ改良１型）	改　良　案	改良目的
荷受けビーム形状(㎜)		□-100×100×4.5	□-75× 75×4.5	眺望性の向上
支柱	形状(㎜)	□-125×125×6.0	φ-139.8×4.5	施工性の向上
	平均支持力(t)	6	4	
支柱間隔(m)		1.0	1.5 2.0	施工性の向上 眺望性の向上
構造形式		荷受けビーム型	背面ビーム型	眺望性の向上

４．５．２．衝突シミュレーションでの強度検討

１）供試体

上記で示した構造改良点を組み合わせた供試体計16案を表－４・５・２に示す。

表－４・５・２　構造検討の供試体

供試体No.	支柱形状 (㎜)	支柱支持力 (t)	支柱間隔 (m)	荷受けビーム (㎜)	背面ビーム (㎜)
1	φ-139.8×4.5	4	1.5	□-75×75×4.5	—
2				—	□-75×75×4.5
3				□-100×100×4.5	—
4				—	□-100×100×4.5
5			2.0	□-75×75×4.5	—
6				—	□-75×75×4.5
7				□-100×100×4.5	—
8				—	□-100×100×4.5
9	□-125×125×6.0	6	1.5	□-75×75×4.5	—
10				—	□-75×75×4.5
11				□-100×100×4.5	—
12				—	□-100×100×4.5
13			2.0	□-75×75×4.5	—
14				—	□-75×75×4.5
15				□-100×100×4.5	—
16				—	□-100×100×4.5

２）衝突条件

衝突条件は表－４・５・３に示す。

それぞれの実験目的は衝突角度15度では車両の誘導性（離脱速度・角度、挙動、車両の進入行程等）、車両・乗員の加速度値が評価対象となるが、衝突角度20度では防護柵強度、路外逸脱および車両横転の検証である。

表－４・５・３　衝突条件

項目＼条件	1	2
車両重量(t)	20	
衝突速度(km/h)	100	
衝突角度(°)	15	20
衝撃度(t·m)	52.7	92.1

3）評価方法

衝突シミュレーションでは主に防護柵強度と車両の進入行程を○×で評価した。衝突角度15°と20°では防護柵に求める機能が違うため、○となる条件を下記の通りとした。

①15度衝突

最大進入行程は現行防護柵設置要綱規定の1.1m以下とした。

ビームの許容耐力を超えない。

②20度衝突

ビームの許容耐力を超えない。

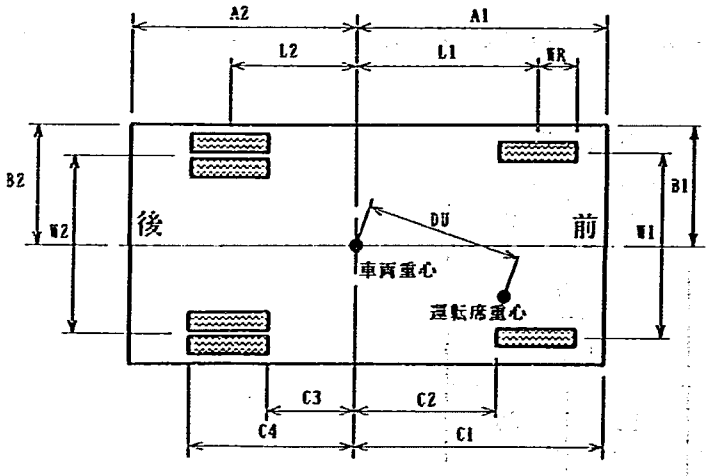
4）入力データ

①車両

車両の入力データを表－4・5・4に示す。車両は、ＳＳ（改良１型）・衝突角度20度の衝突実験で使用した日野K-KF565とした。

表－4・5・4　車両入力データ

L1(m)	4.432	WR(m)	0.462	FWC	0.1
L2(m)	1.533	DU(m)	4.692	FWC2	0.2
A1(m)	5.842	R2(m²)	11.578	FM	0.7
A2(m)	5.468	CW(t)	20.0	C1(m)	5.842
B1(m)	1.245	CK1(t/m²)	50.0	C2(m)	3.9697
B2(m)	1.245	CK2(t/m²)	100.0	C3(m)	0.898
W1(m)	1.00	CK3(t/m²)	50.0	C4(m)	3.0926
W2(m)	0.9325	CK4(t/m²)	50.0		



R2：慣性半径の２乗(m²)
CW：車両重量(t)
CK1：側面前端でのバネ定数(t/m²)
CK2：側面後端でのバネ定数(t/m²)
CK3：前面端部でのバネ定数(t/m²)
CK4：前面中央部でのバネ定数(t/m²)
FWC：車両と防護柵の摩擦係数（側面）
FWC2：車両と防護柵の摩擦係数（前面）
FM：路面の最大横すべり摩擦係数

②防護柵入力データ

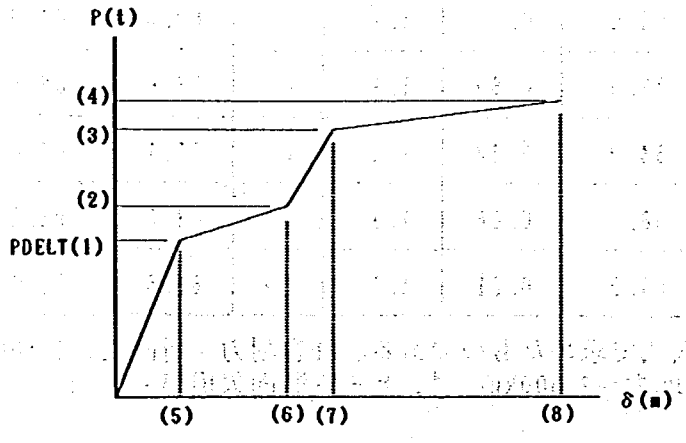
防護柵入力データのうちビームについて表－４・５・５、支柱を表－４・５・６に示す。なお、ビームのデータは計算値を、支柱のデータは動的載荷実験の結果を用いた。

表－４・５・５　ビーム入力条件

構造形式	荷受けビーム型		背面ビーム型	
ビーム形状(㎜)	□-75×4.5	□-100×4.5	□-75×4.5	□-100×4.5
曲げ剛性EI(t・m²)	77.83	109.41	57.12	57.12
ﾓｰﾒﾝﾄMo(t・m)	2.258	2.85	1.60	1.60
バネ常数CFK(t/m)	250	300	280	280
バネ常数CRK(t/m)	－	－	110	150

表－４・５・６　支柱入力条件

支柱形状	φ-139.8×4.5	□-125×6.0
平均支持力(t)	4	6
PDELT(1)	4	6
PDELT(2)	4	6
PDELT(3)	4	6
PDELT(4)	4	6
PDELT(5)	0.089	0.133
PDELT(6)	1.998	1.998
PDELT(7)	1.999	1.999
PDELT(8)	2.0	2.0



5）衝突シミュレーション結果

供試体16体について衝突角度15度、20度における衝突シミュレーション結果を表－４・５・７に示す。なお、ビーム張力の許容耐力は弾性限度応力内とした。

衝突角度15度で全供試体共にビームに発生する張力および車両の進入行程は許容値内であり特に問題なかった。

衝突角度20度では、背面ビーム型で主ビームの張力が許容値を超える供試体があった。特に支柱がφ-139.8×4.5の場合は全ての背面ビーム型でビーム張力が許容値を超えた。

全体的にみると、支柱支持力４ｔ程度の場合は６ｔ程度のものに比べ防護柵変形量が大きくなるため、発生する張力および車両の進入行程共に大きくなる傾向を示した。

表－４・５・７　衝突シミュレーション結果

角　度	１５度					２０度		
供試体	張力(ｔ)※		進入行程(m)		適否	張力(ｔ)※		適否
	最大値	許容耐力	最大値	許容値		最大値	許容耐力	
1	54.5	88.9	0.72	1.1	○	79.3	88.9	○
2	46.6	64.0	0.66	1.1	○	68.2	64.0	×
3	58.1	98.2	0.69	1.1	○	85.1	98.2	○
4	44.3	64.0	0.65	1.1	○	64.5	64.0	×
5	57.6	88.9	0.75	1.1	○	81.8	88.9	○
6	48.5	64.0	0.74	1.1	○	70.7	64.0	×
7	61.2	98.2	0.78	1.1	○	87.7	98.2	○
8	46.0	64.0	0.73	1.1	○	67.1	64.0	×
9	51.2	88.9	0.61	1.1	○	74.8	88.9	○
１０	43.1	64.0	0.56	1.1	○	63.7	64.0	○
１１	53.8	98.2	0.59	1.1	○	79.7	98.2	○
１２	40.9	64.0	0.56	1.1	○	60.3	64.0	○
１３	53.8	88.9	0.69	1.1	○	78.0	88.9	○
１４	45.7	64.0	0.63	1.1	○	67.1	64.0	×
１５	57.1	98.2	0.66	1.1	○	83.5	98.2	○
１６	43.3	64.0	0.61	1.1	○	63.5	64.0	○

※張力の許容値は次式で求めたものである。許容耐力＝断面積×2,500kg/cm²×0.82
SS400の弾性限度応力＝2,500kg/cm²、ビーム断面欠損率＝0.82

4．5．3．車両横転の検討

ＧＲ－ＳＳの衝突実験［実験１］では車両が防護柵を踏み倒しながら飛び上がり防護柵上で横転した。この実験で大型車の高速度衝突を考えた場合、防護柵強度とともに車両横転が重要なポイントとなることがわかり、車両横転有無の検討方法について検討した。

ここでは、衝突シミュレーションで得られる防護柵反力を用いて幾何学的な計算で車両の横転有無検討を行うことを試みた。

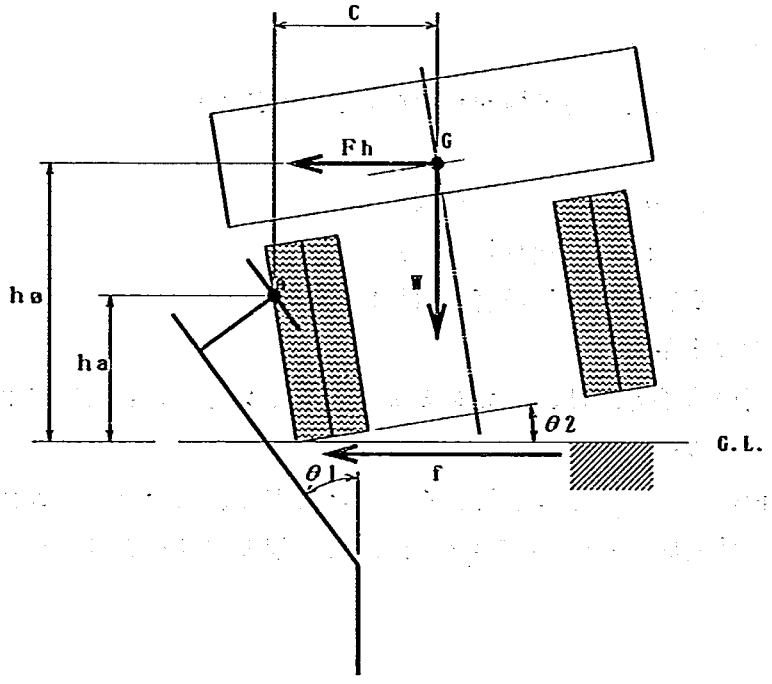
1）検討方法

図－４・５・１に示すような防護柵と車両のモデルを仮定した場合に、ａ点回りの車両と防護柵との釣合を考える。車両の回転モーメントをMf、防護柵抵抗モーメントをMrとしたときそれぞれ次式で求められる。Mr≧Mfであれば横転しないものとする。

$$Mr = W \times C + f \times ha \quad --(4\cdot5\cdot1)$$

$$※f = W \times \mu = W\ (C + \mu \times ha) \quad --(4\cdot5\cdot2)$$

$$Mf = F_h\ (h_0 - ha) \quad --(4\cdot5\cdot3)$$



図－４・５・１　車両横転有無模式図

2）検討における仮定

過去の衝突実験結果などから次に示すようなことを仮定した。

①防護柵

・傾斜角θ_1

衝突シミュレーションで得られる防護柵の変形量DEFの最大値から次式で求める。また、防護柵傾斜角は80度を限度と仮定した。

$\theta_1 = \sin^{-1}(DEF/(x+x0))$ ――(4・5・4)

θ_1：防護柵の傾き(°)

DEF：衝突シミュレーションで得られる防護柵の最大変形量(㎜)

X：ビーム中心高さ(㎜)

荷受けビーム型＝1,300㎜
背面ビーム型＝675㎜

X_0：支柱折れ曲がり位置(㎜)

・支持点高さha

車両のボディまたはタイヤの当たるビーム中心とする。

②車両

・車両の傾斜角θ_2

車両の傾斜角は防護柵傾斜角の1/2と仮定する。

$\theta_2 = \theta_1/2$ ――(4・5・5)

θ_2：車両の傾斜角(°)

θ_1：防護柵の傾斜角(°)

・車両の水平力F_h

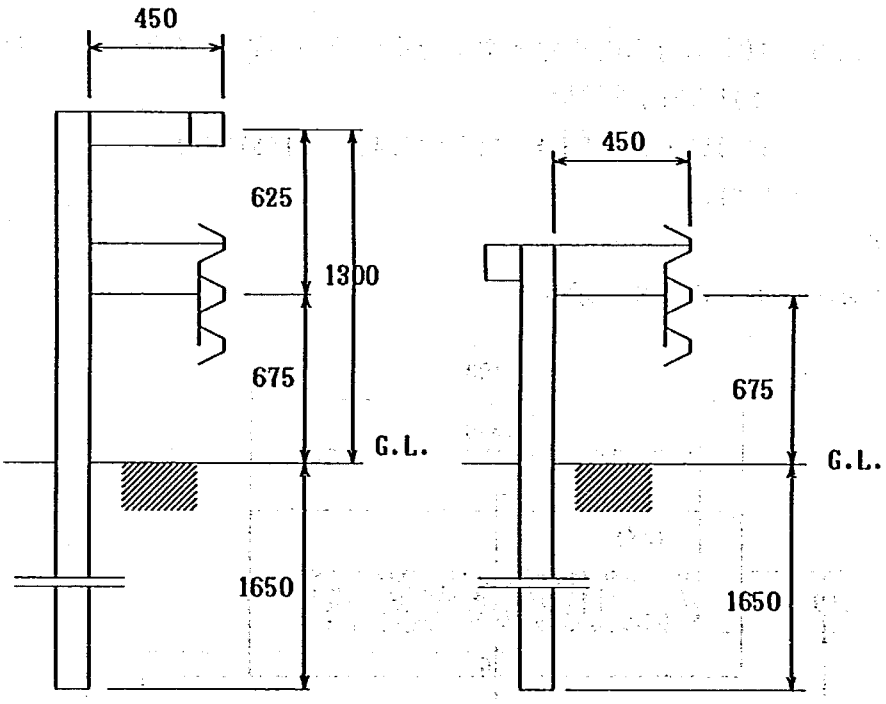
車両の水平力F_hは、衝突シミュレーションで得られる防護柵反力Frの最大値とする。

・荷台の移動

荷台は車軸と平行に移動するものと仮定し、荷台がビームに当たらない場合は荷台の慣性力を考慮し最大500㎜移動するものとし100㎜刻みで計算を行った。

3）防護柵

荷受けビーム型および背面ビーム型の構造を図－４・５・２に示す。



A．荷受けビーム型　　B．背面ビーム型

図－４・５・２　防護柵供試体

4）車両

①車両の諸元

車両は衝突シミュレーションで使用したものと同一とし日野KF565とした。

表－５・５・８　車両の諸元

寸法(mm)						重量	重心高さ
長さ	幅	高さ	軸距	輪距	荷台高さ	(kg)	(mm)
11,310	2,490	2,885	5,965	1,870	1,440	8,355	905

（注）重量および重心高さは空車時のものである。

②積載条件

車両総重量が20ｔになるよう下記の条件で積載する。

積載荷重　　：11.645ｔ
積載物　　：土
土の単位重量：1.8t/m³
積載物寸法　：幅×長さ×高さ＝2.34×8.94×0.309m

③積載時車両重心高さ

積載時の車両重心高さを次式で求めると積載時車両重心高さは1.31mとなる。

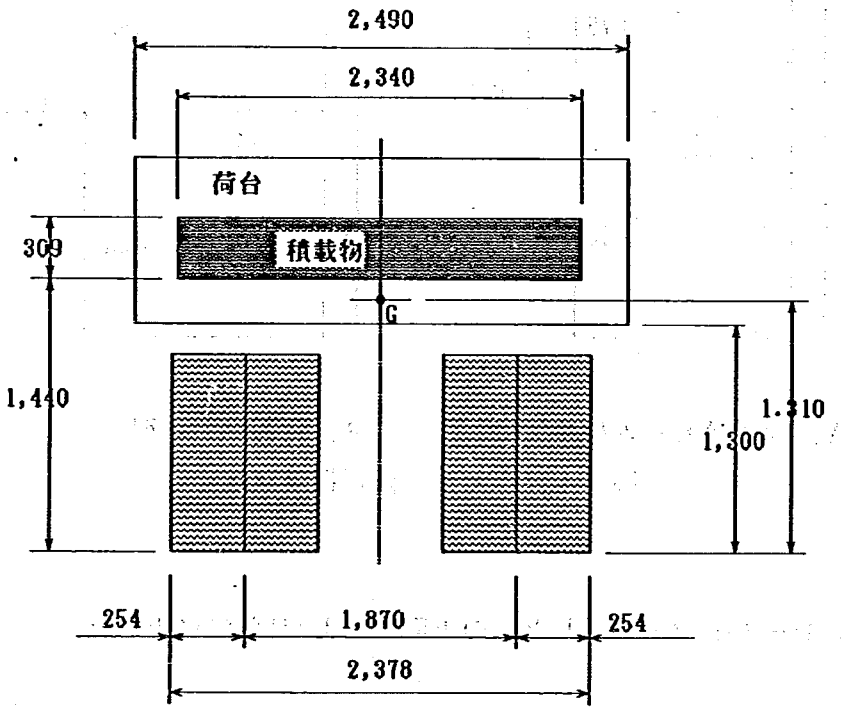
積載時車両重心高さ＝{(空車時車両重量×空車時車両重心高さ)＋(積載荷重×積載物車両重心高さ)}/車両総重量

＝{8.355×0.905＋11.645×(1.44＋0.155)}/20

＝1.31m

④車両モデル図

車両モデル図を図－４・５・３に示す。



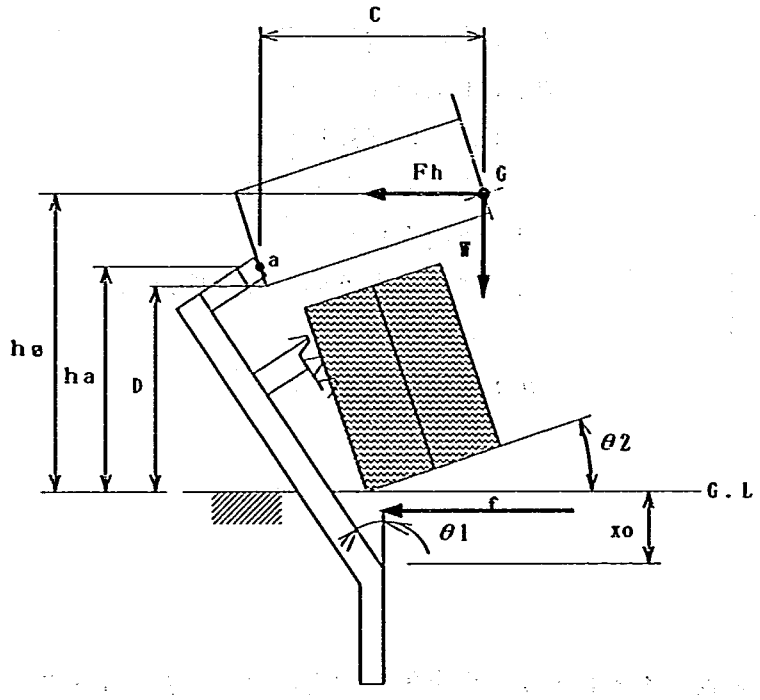
図－４・５・３　車両モデル図

5）計算方法

（1）荷受けビーム型

荷台の下端高さDと荷受けビーム高さhaがha≧Dであれば①、ha＜Dであれば②の方法で行う。

①荷台が荷受けビームに当たる場合



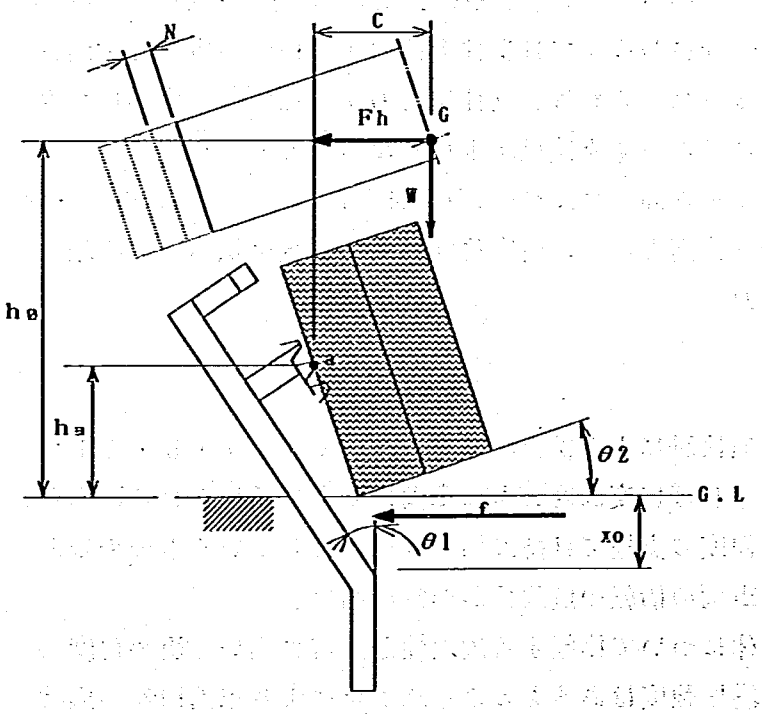
ha：支持点高さ(㎜)

hθ：車両重心高さ(㎜)

D：荷台下端高さ(㎜)

C：支持点と車両重心との隔たり(㎜)

②荷台が荷受けビームに当たらない場合



Xo：支柱折れ曲がり位置＝0㎜

θ_1：防護柵の傾斜角(°)

θ_2：車両の傾斜角(°)

F_h：車両の水平力(t)

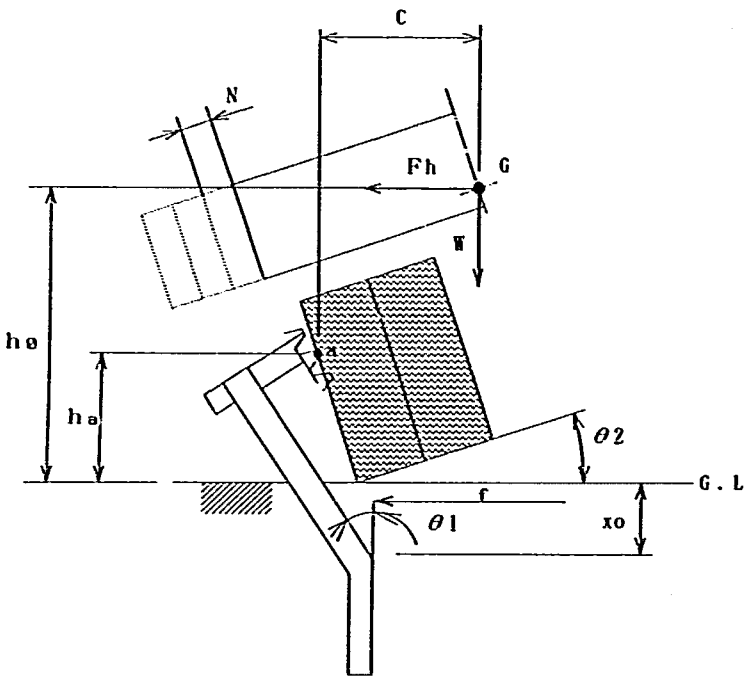
W：車両重量(t)

f：タイヤと路面との摩擦力(t)

$=W\times\mu$

μ：摩擦係数＝0.8

（２）背面ビーム型



ha：支持点高さ(㎜)
h_o：車両重心高さ(㎜)
X_o：支柱折れ曲がり位置＝500㎜
C ：支持点と車両重心との
　隔たり(㎜)
θ_1：防護柵の傾斜角(°)
θ_2：車両の傾斜角(°)
N：荷台の移動量(㎜)
F_h：車両の水平力(ｔ)
W：車両重量(ｔ)
f：タイヤと路面との摩擦力(ｔ)
　＝W×μ
μ：摩擦係数＝0.8

６）車両横転検討結果

車両横転計算結果の衝突角度15度の場合を表－４・５・９、衝突角度20度の場合を表－４・５・１０に示す。これによると支柱支持力４ｔと６ｔ、荷受けビーム型と背面ビーム型では結果に明確な差がみられた。

衝突角度15度（衝撃度52.7t･m）では、荷受けビーム型全供試体で車両は横転しないという結果となったが、衝突角度20度の衝撃度92.1t･m(903kJ)程度では支柱支持力４ｔ程度の構造で車両は横転する危険性が非常に高いという結果となった。これは、支柱支持力４ｔ程度では変形量が大きく防護柵が倒れ込み荷台が荷受けビームに当たらず支持点が下がるためと考えられる。

また、背面ビーム型は荷受けビーム型のビーム高さに比べ約1/2であるため車両の回転モーメントが防護柵の抵抗モーメントを大きく上回る傾向となり、衝突角度15度でも全供試体とも横転する危険性が非常に高いということがわかった。

４．５．４．検討結果

衝突シミュレーションおよび車両横転有無検討による総合評価を○△×で表－４・５・１１に示す。荷受けビーム型で６ｔ程度の支柱であれば15度20度ともに車両は安全に誘導される確率が非常に高いことがわかった。同構造の４ｔ程度の支柱では防護柵強度はみたしているものの変形量が大きく荷台が荷受けビームに当たらず車両の横転の危険性が非常に高い。

背面ビーム型は衝突角度15度でも全供試体について横転する危険性が非常に高い。衝突角度20度では、６ｔ程度の支柱の供試体では、防護柵強度はあるものの柵高不足による車両横転の危険性が非常に高い。

以上より、荷受けビームのような高い支持点（1,300㎜以上）と支柱支持力6ｔ程度の支柱強度確保が衝撃度92.1t･m(903kJ)に耐え得る構造となった。

表－４・５・９　衝突角度１５度における車両横転検討

供試体 No.	支柱形状 (mm)	支柱間隔 (m)	構造	補助ビーム形状 (mm)	最大反力 (t)	車両回転モーメント Mf (t)	防護柵抵抗モーメント Mr (t)	横転有無
1	φ139.8×4.5	1.5	荷	□ 75×4.5	30.9	12.1	43.1	誘導
2			背	□100×4.5	33.0	35.6	26.0	横転
3			荷	□ 75×4.5	31.7	11.6	43.6	誘導
4			背	□100×4.5	33.5	35.4	26.6	横転
5		2.0	荷	□ 75×4.5	28.5	13.8	45.9	誘導
6			背	□100×4.5	30.5	36.8	22.1	横転
7			荷	□ 75×4.5	29.3	14.3	41.7	誘導
8			背	□100×4.5	31.0	36.5	23.0	横転
9	□125×125×6.0	1.5	荷	□ 75×4.5	33.6	9.9	44.9	誘導
10			背	□100×4.5	35.5	33.8	29.3	横転
11			荷	□ 75×4.5	34.4	9.5	45.3	誘導
12			背	□100×4.5	35.9	33.6	29.7	横転
13		2.0	荷	□ 75×4.5	31.3	11.2	43.8	誘導
14			背	□100×4.5	33.2	34.4	27.2	横転
15			荷	□ 75×4.5	32.0	10.7	44.2	誘導
16			背	□100×4.5	33.6	34.1	27.7	横転

表－４・５・10　衝突角度２０度における車両横転検討

供試体 No.	支柱形状 (mm)	支柱間隔 (m)	構造	補助ビーム形状 (mm)	最大反力 (t)	車両回転モーメント Mf (t)	防護柵抵抗モーメント Mr (t)	横転有無
1	φ139.8×4.5	1.5	荷	□ 75×4.5	42.3	51.9	19.8	横転
2			背	□100×4.5	44.8	72.6	6.2	横転
3			荷	□ 75×4.5	43.0	48.5	23.1	横転
4			背	□100×4.5	45.2	73.3	6.2	横転
5		2.0	荷	□ 75×4.5	39.2	47.3	19.8	横転
6			背	□100×4.5	41.9	67.9	6.2	横転
7			荷	□ 75×4.5	40.8	49.3	19.8	横転
8			背	□100×4.5	42.8	69.4	6.2	横転
9	□125×125×6.0	1.5	荷	□ 75×4.5	45.3	23.4	40.1	誘導
10			背	□100×4.5	48.1	59.6	21.1	横転
11			荷	□ 75×4.5	46.4	22.0	41.2	誘導
12			背	□100×4.5	48.9	59.1	22.1	横転
13		2.0	荷	□ 75×4.5	42.5	31.1	33.7	誘導
14			背	□100×4.5	45.1	68.0	11.1	横転
15			荷	□ 75×4.5	44.0	28.9	36.1	誘導
16			背	□100×4.5	45.7	66.1	13.5	横転

表－４・５・１１　総合評価

供試体 No.	支柱形状 (㎜)	支柱支持力 (t)	支柱間隔 (m)	構造	補助ビーム (㎜)	強度		横転有無		総合評価
						15度	20度	15度	20度	
1	φ-139.8×4.5	4	1.5	荷	□-75×4.5	○	○	○	×	△
2				背		○	×	×	×	×
3				荷	□-100×4.5	○	○	○	×	△
4				背		○	×	×	×	×
5			2.0	荷	□-75×4.5	○	○	○	×	△
6				背		○	×	×	×	×
7				荷	□-100×4.5	○	○	○	×	△
8				背		○	×	×	×	×
9	□-125×125×6.0	6	1.5	荷	□-75×4.5	○	○	○	○	○
10				背		○	○	×	×	×
11				荷	□-100×4.5	○	○	○	○	○
12				背		○	○	×	×	×
13			2.0	荷	□-75×4.5	○	○	○	○	○
14				背		○	×	×	×	×
15				荷	□-100×4.5	○	○	○	○	○
16				背		○	○	×	×	×

注１）構造の荷は荷受けビーム型、背は背面ビーム型を示す。

注２）総合評価の記号　○･･･車両は誘導される可能性が高い。

△･･･車両横転する可能性が高い。

×･･･防護柵耐力が低く、車両横転する可能性が非常に高い。

4．5．5．衝突実験供試体の選定

実験供試体の選定は、衝突シミュレーション、および車両横転有無検討による総合評価（表－4・5・11）より選定した。選定方法は、総合評価○×△より各一つ供試体を選定することとした。

総合評価○の供試体No.9、11、13、15は、支柱支持力6ｔ、荷受けビーム型である。これらの供試体は車両の誘導性の可能性が高いことから、支柱間隔を現状の1ｍ間隔から2ｍ、荷受けビームは現状の□-100×100×4.5とし、供試体No.15を選定した。

△の供試体No.1、3、5、7は衝突角度20度における車両横転の可能性が高いことから、これらの中で強度の高いNo.3を選定した。

×の供試体2、4、6、8、10、12、14、16は衝突角度15度でさえ横転する可能性が非常に高く強度的にも危険なことから、支柱間隔を1ｍとした背面ビーム型を選定した。

以上検討した結果、実験で使用する試験体を表－4・5・12に示す。

表－4・5・12　試験体の選定

試験体	支柱			構造	補助ビーム	備考
	形状(㎜)	支持力(t)	間隔(m)			
A	□-125×125×6.0	6	2	荷受	□-100×100×4.5	No.15
B	φ-139.8×4.5	4	1.5	荷受	□-100×100×4.5	No.3
C	□-125×125×6.0	6	1	背面	□-100×100×4.5	

5．衝突実験手順

5．1．実験方法

5．1．1．実験施設

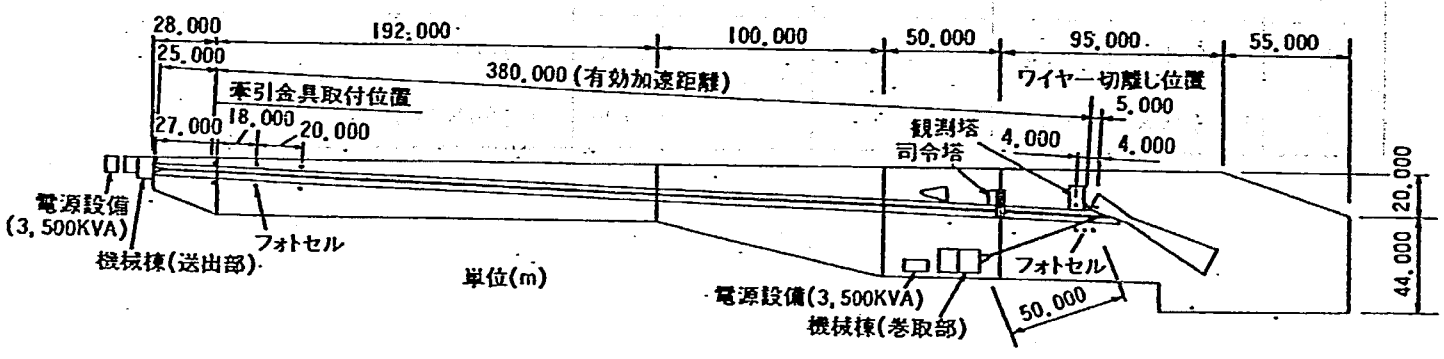
1）実験場所

建設省土木研究所衝突実験施設

2）実験施設の概要

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

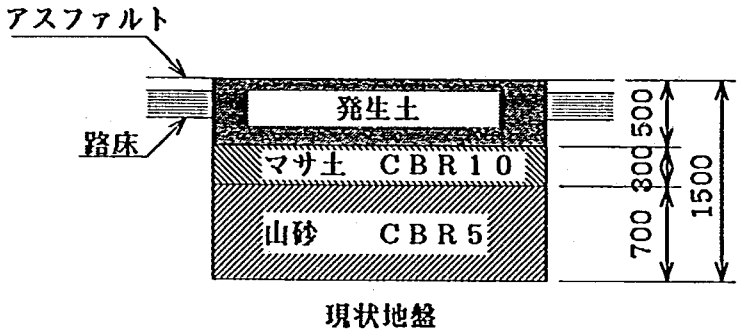
衝突点には移動式観測塔を設置して、上方から衝突時の挙動が観測できるようになっている（図－5・1・1参照）。



図－5・1・1　建設省土木研究所衝突実験施設

3)実験地盤

実験地盤は、支柱の変形能や支持力に与える影響が大きいため同一条件下で行うことが望ましい。本実験では、標準地盤を図－5・1・2のとおりとした。



図－５・１・２　実験地盤

４）実験施設の能力

実験施設の能力および仕様を以下に示す。

最大牽引能力；

大型車　車両重量：20.0t　牽引速度：100km/h

小型車　車両重量：　2.5t　牽引速度：140km/h

仕様；

駆動電動機（巻取）	電圧：DC440V　定格出力：920kW
駆動電動機（送出）	電圧：DC440V　定格出力：75kW
切離速度精度	±0.1%
加速方式	無段階加速方式
制動方式	ディスクブレーキ制動方式
ワイヤ径	19.0㎜
加速路長	410m
有効加速距離	380m

５．１．２．計測項目

車両、および防護柵についての計測項目を下記に示す。

１）車両

a. 衝突速度

b. 離脱速度

c. 離脱角度

d. 軌跡

e. 加速度

f. 傾斜角と飛び上がり量

g. 損傷状況

h. 挙動

２）防護柵

a. 最大変位

b. 残留変位

c. 支柱水平力

d. ビーム張力

e. 車両の接触跡

f. 損傷状況

5．1．3．計測方法

1）車両関係

a. 衝突速度

衝突速度は、ドーリー切り離し位置付近に設けられた光電管式速度計、テープスイッチ式車両感知器および高速度撮影フィルムの解析値から求めた。各々の方法を表－5・1・1に示す。

表－5・1・1　衝突速度測定方法

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

b. 離脱速度

テープスイッチ式車両感知器で、前後輪の通過時間差を検出し、速度を算出する。

c. 離脱角度

車両の軌跡より防護柵との角度を測定する。

d. 軌跡

車両の軌跡は、路面に残された轍や車輪の摺痕により測定する。

e. 加速度

加速度の測定は、車両重心、ダミー（運転席、助手席）に3成分の加速度計を取り付けて測定した。なお、運転席か助手席ダミーの何れかに衝突時の脚部の衝撃力を測定するために大腿部にゲージを貼付けた。表－5・1・2に加速度計取付部位、その測定方法を図－5・1・3に示す。

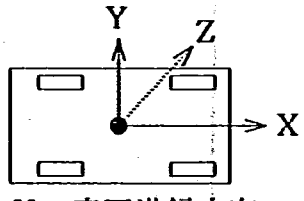
表－５・１・２　加速度計取付部位

方向	車両重心	ダミー				測点合計
		運転席		助手席		
		頭部	脚部	頭部	脚部	
X	○	○	○	●		１２点
Y	○	○	○	●		
Z	●	●	●		▲	

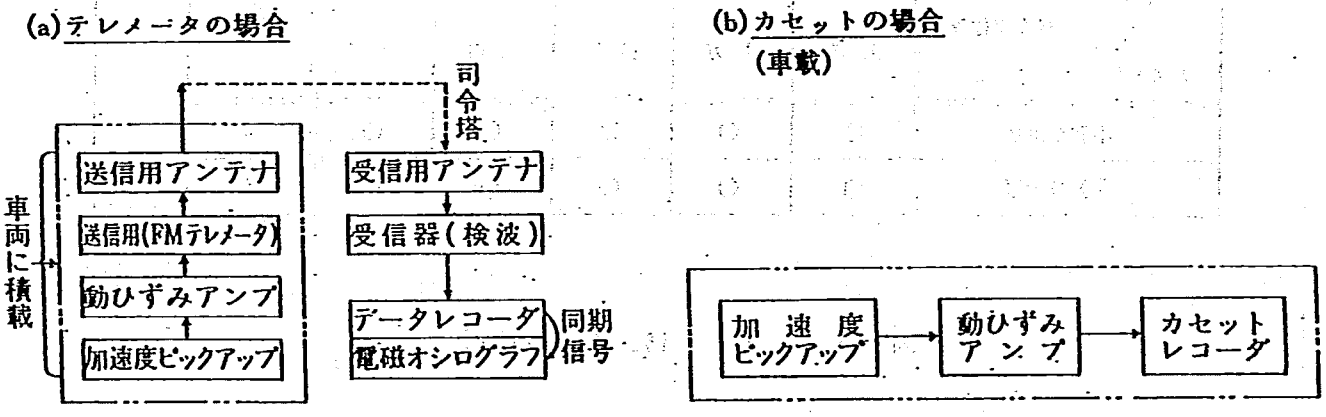
注１）○はテレメータ、●はカセット、▲はひずみゲージを示す。

注２）テレメータ測点数は最大６点のため、それ以外はカセットを車両に積載し直接測定する方法とした。

注３）加速度成分方向は右図のとおりとした。



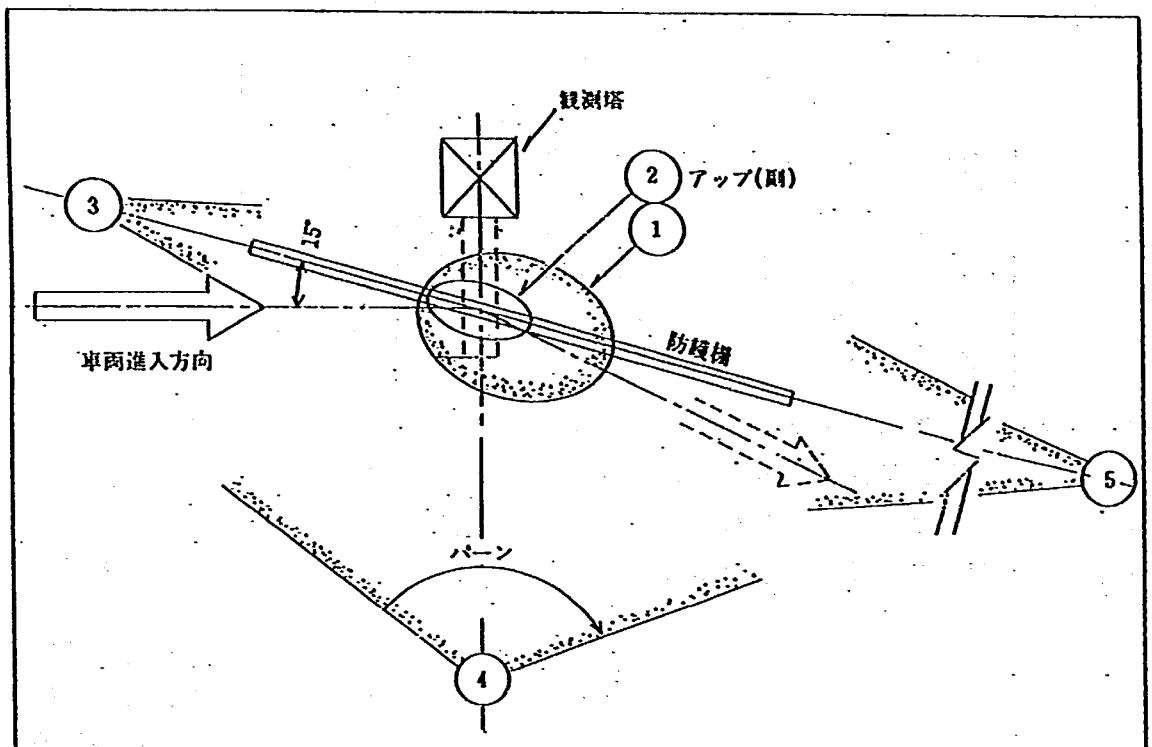
X：車両進行方向
Y：車両進行直角方向
Z：車両垂直方向



図－５・１・３　加速度測定方法

f. 傾斜角と飛び上がり量

車両衝突時の傾斜角および飛び上がり量は、16㎜映画撮影により求めている。図－５・１・４にカメラの種類と配置を示した。



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

図－５・１・４　16㎜カメラ配置

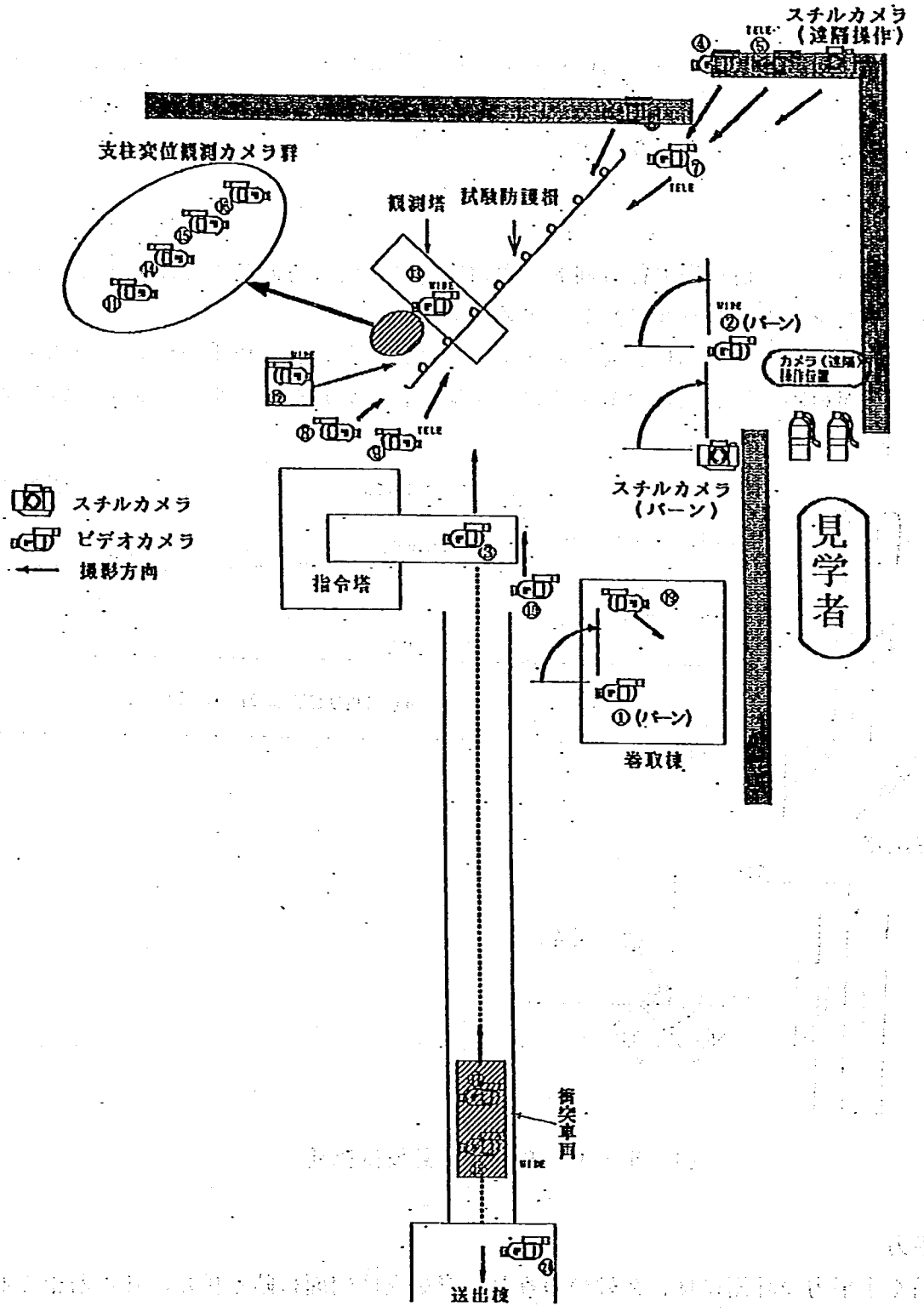
g. 損傷状況

損傷状況は、以下の項目について測定、目視、触手により観察する。

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

h. 車両の挙動

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



図－5・1・5　ビデオカメラ配置図

2）防護柵関係

a. 最大変位

防護柵の最大変位量は、柵直角方向に対して棒状変位計を取り付けての直接測定や変位測定板（ターゲットマーク）を高速度撮影フィルムから読みとることなどにより、測定を行っている。なお、変位計の概要を図－５・１・６に示す。

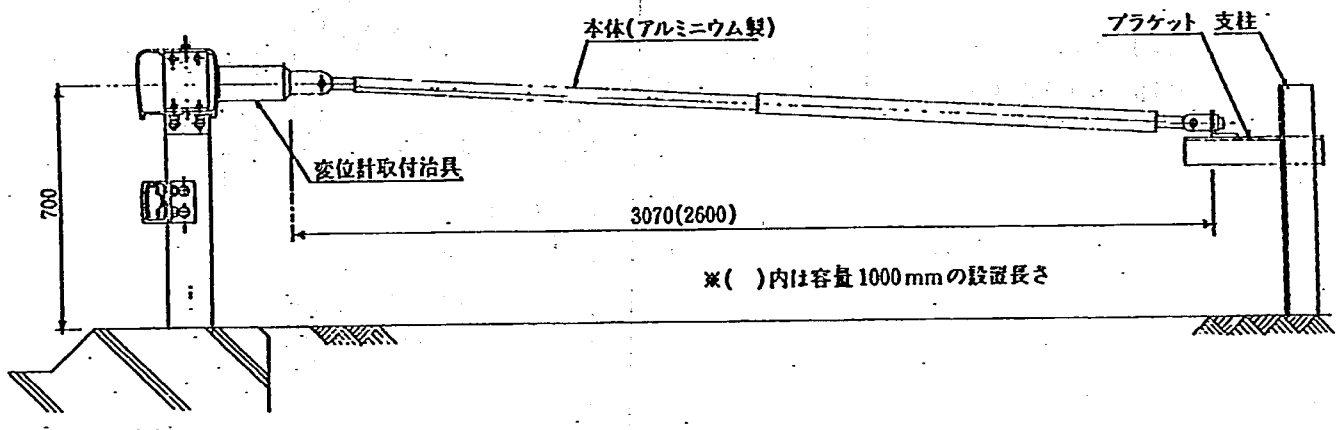
b. 残留変位

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

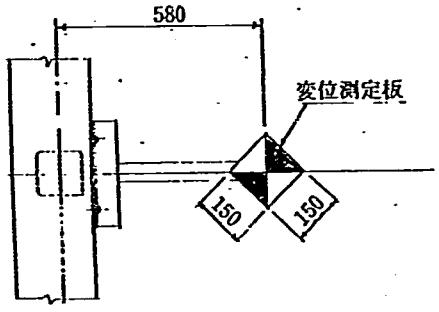
衝突による防護柵の影響範囲は、支柱の変位がＸＹ方向共に10㎜以上発生した範囲を測定する。

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

ⓐ 棒状変位計



ⓑ 変位測定板



図－５・１・６　変位計設置概要

c. 支柱水平力

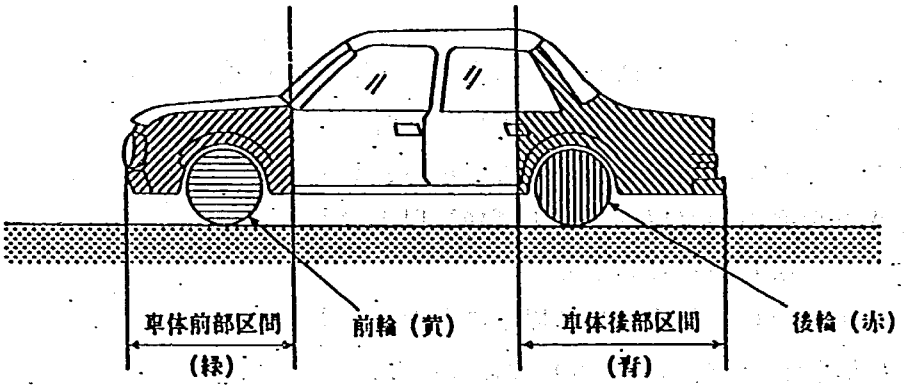
支柱に働く水平力の計測には、２軸の歪みゲージを支柱側面に貼り付け、せん断歪みを測定する。

d. ビーム張力

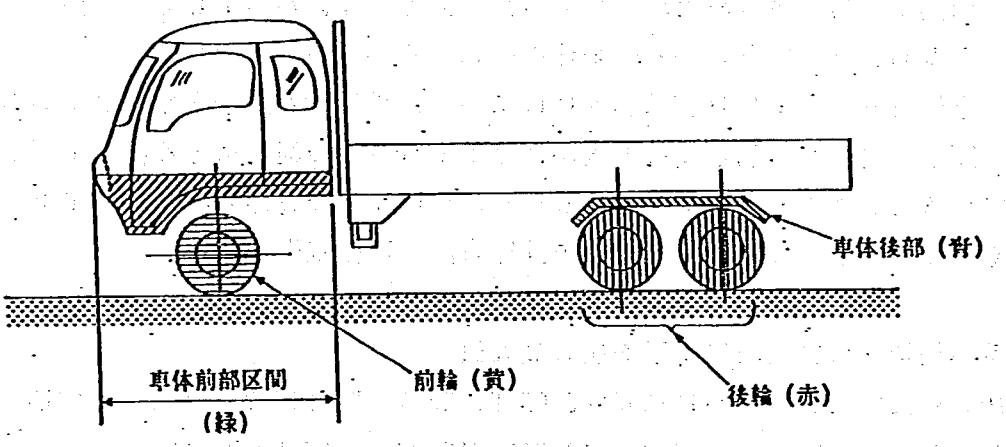
ビームに働く張力は１軸歪みゲージを貼り付け測定値から算定した。

e. 車両の接触跡

防護柵の車両による接触跡（スクラブマーク）は、前輪後輪および車体前後に図－５・１・７に示すように異なった色のペイントを塗布し、防護柵に車両のどの部位が接触したか観察できるようにしている。



A．小型乗用車の場合



B．大型貨物車の場合

図－５・１・７　車両のスクラブマーク塗布概要

f.損傷状況

防護柵の損傷状況は以下の項目について目視、触手により観察している。

・ビームの破損、コルゲーションの潰れ等
・支柱の折れ曲がり
・ブラケットの変形

５．２．評価項目および方法

衝突実験で測定された項目について、その評価項目と方法を下記に示す。

５．２．１．車両関係

１）離脱速度

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

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

2）軌跡

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

・離脱角度は衝突角度の60％以下、および10°以下であること。

・進行角と姿勢角に余り差がないこと。

車両の最大進入行程は、基本的には以下のとおりである。

・1.1m以下（防護柵設置要綱による）であること。

3）加速度

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

乗員の安全性を評価するには、基本的には衝突時に発生した加速度を用いている。これは人間の対衝撃性に関する研究から加速度値と人間に発生する障害の程度にある種の関係が存在することが確認されていることによるものである。しかし、加速度値の算出方法によってその数値の考え方が異なってくることから、以下にその数値の計算方法と評価基準を示す。

・車両重心加速度の50msec移動平均値の最大値

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

次式により車両重心位置の車両進行方向Ｘ、車両進行方向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－５・２・１に示す許容値を超えないこととされている。

$$\alpha_{50} = \left(\int_{t1}^{t2} \alpha \, dt\right) / 0.05 \qquad \text{－－－－（５・２・１）}$$

ここでα_{50}：50msec間の加速度の移動平均値の最大値（g）

α：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＋50msec（sec）

表－５・２・１　α_{50}の評価基準

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

・乗員の打撃速度および10msec移動平均値の最大値

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

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

$$\alpha_{X,Y}=\int_{t1}^{t2}\alpha_{X,Y}dt\ /0.01 \qquad ----(5\cdot2\cdot2)$$

$$V_{X,Y}=\int_{t0}^{t1}\alpha_{X,Y}dt \qquad ----(5\cdot2\cdot3)$$

$$D_{X,Y}=\int_{t0}^{t1}V_{X,Y}dt \qquad ----(5\cdot2\cdot4)$$

ここでα：発生加速度（g）

$\alpha_{x,y}$：加速度の10msec間の移動平均値（g）

$V_{x,y}$：乗員の移動速度（m/sec）

$D_{x,y}$：乗員の移動距離（m）

t_0　：車両の衝突開始時（sec）

t_1　：加速度作用中の任意の時点（sec）

t_2　：t_1+10sec（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Vx,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。

・ダミー頭部に生じた加速度

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

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

$$HIC=\left((t_2-t_1)\left\{\int_{t1}^{t2}\alpha dt/(t_2-t_1)\right\}^{2.5}\right) \qquad ----(5\cdot2\cdot5)$$

ここでHIC：頭部の衝撃度

α　：発生加速度（g）

t_1、t_2　：衝突加速度作用中の任意の時点（sec）

ただし、$t_1<t_2$

HICは1000を超えないこととされている。

4）傾斜角と飛び上がり量

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

5）損傷状況

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

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

主な検討項目を以下に示す。

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

6）車両の挙動

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

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

5．2．2．防護柵関係

1）最大変位

最大変位は、防護柵背面側の保護路肩の必要幅を決定する際に重要である。

・支柱の最大変位は、1.1m以下であること。

2）残留変位

残留変位は、防護柵の衝突時の影響範囲を知るうえで重要である。

・ビームおよび支柱の局部的な変形がないこと。

3）強度

防護柵を構成する部材の評価項目と評価方法は以下の通りである。

①ビーム張力

・ビーム発生張力は許容耐力を超えないこと。

②支柱水平力

・支柱水平力は許容耐力を超えないこと。

・極端な折れ曲がりがないこと。

③ブラケットの変形

・座屈してないこと。

④ボルト

・ボルト類は破断してないこと。

4）防護柵損傷状況

・ビームコルゲーションの潰れが無いこと。

・ビーム、支柱にタイヤによる踏み込みがないこと。

5）車両の軌跡および損傷状況

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

6．衝突実験

6．1．Ｇｒ－ＳＳ［実験１］

6．1．1．実験目的

急カーブ用防護柵として開発されたＧｒ－ＳＳを供試体として用い、高速度衝突の条件で防護柵機能の有効性を検証することを目的とした。

6．1．2．衝突条件

衝突条件を表－６・１・１に示す。

表－６・１・１　衝突条件

衝突車種	大型貨物車
車両車重	20ｔ
衝突速度	100km/h
衝突角度	15度
衝撃度	52.7t･m［517kJ］

6．1．3．供試体構造

供試体構造および部材表を図－６・１・１に示す。

6．1．4．衝突シミュレーションによる誘導性の検討

１）衝突シミュレーション結果

衝突シミュレーションで演算された結果を表－６・１・２に示す。

２）車両横転検討

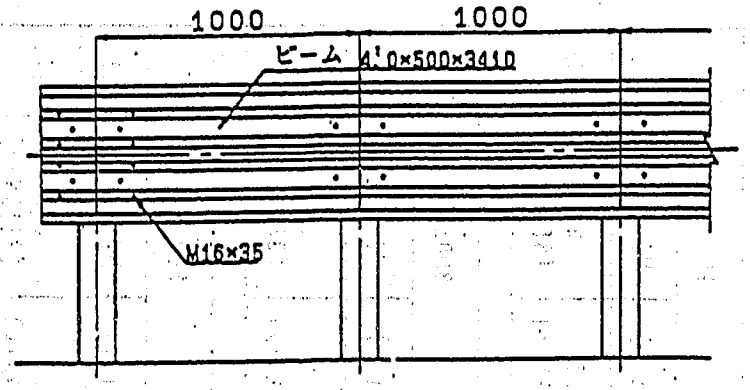
車両横転検討は、前出の４．５．３．項に基づいて行うこととし、以下の実験も同様とした。

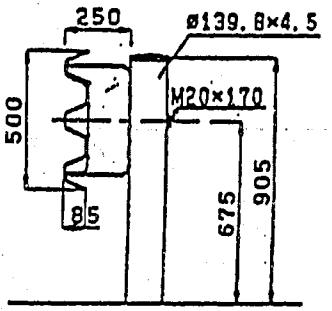
検討結果は、表－６・１・３に示すとおり、横転する可能性が非常に高いという結果となった。

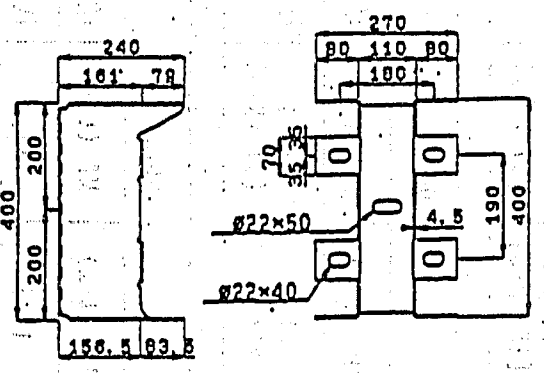
３）総合評価

ビーム強度は、許容耐力64.0ｔに対しシミュレーション値では54.8ｔと余裕があると考えられる。また、車両の最大進入行程は、1.1m以下で、変形量も小さく防護柵強度は特に問題ないと考えられる。

しかし、防護柵の車両を支持する高さが大型貨物車に対して低いため、横転する可能性が高いということから、乗員の安全性および車両の誘導性は良くないと考えられる。







ブラケット詳細図.

GR-SS構造物元

部材名	寸法(mm)	材質	単位重量(kg)
ビーム	500×85×4×3410	SS400	83.5
支柱	φ-139.8×4.5×2560	STK400	38.4
ブラケット	[-270×4.5×400	SS400	8.85
ボルト・ナット	M16×50	6T	0.15
	M20×170	4T	0.57
単位重量	77.6kg/m		

図－6・1・1　供試体構造図および部材表

表－６・１・２　衝突シミュレーション結果

		ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値	許容値	評　価
離脱速度　(km/h)		89.6	75 以上	良好
離脱角度　(°)		15.5	9 以内	不良
最大進入行程　(mm)		660	1,100 以内	良好
防護柵変形範囲(m)		21		
ビーム	最大張力　(t)	54.8	64.0	良好
	最大変形量(mm)	790		
支柱	最大水平力(t)	4.0		
	最大変位量(mm)	787		
水平力　(t)		34.0		

表－６・１・３　車両横転有無検討

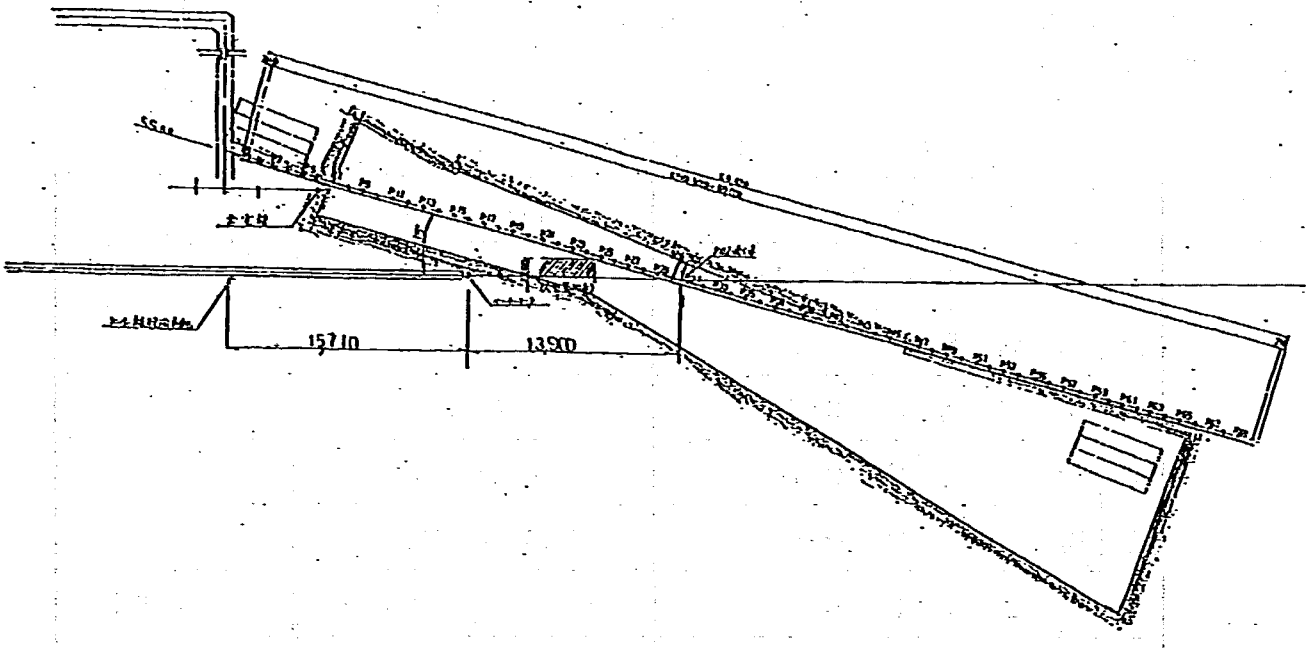
水平力 (t)	荷台の移動量					
	0mm			100mm		
	Mr (t·m)	Mf (t·m)	結果	Mr (t·m)	Mf (t·m)	結果
34.0 [355kN]	25.5 [250kN·m]	37.8 [370kN·m]	横転	23.7 [232kN·m]	36.6 [359kN·m]	横転

200mm			300mm		
Mr (t·m)	Mf (t·m)	結果	Mr (t·m)	Mf (t·m)	結果
21.8 [214kN·m]	35.4 [347kN·m]	横転	19.9 [195kN·m]	34.1 [334kN·m]	横転

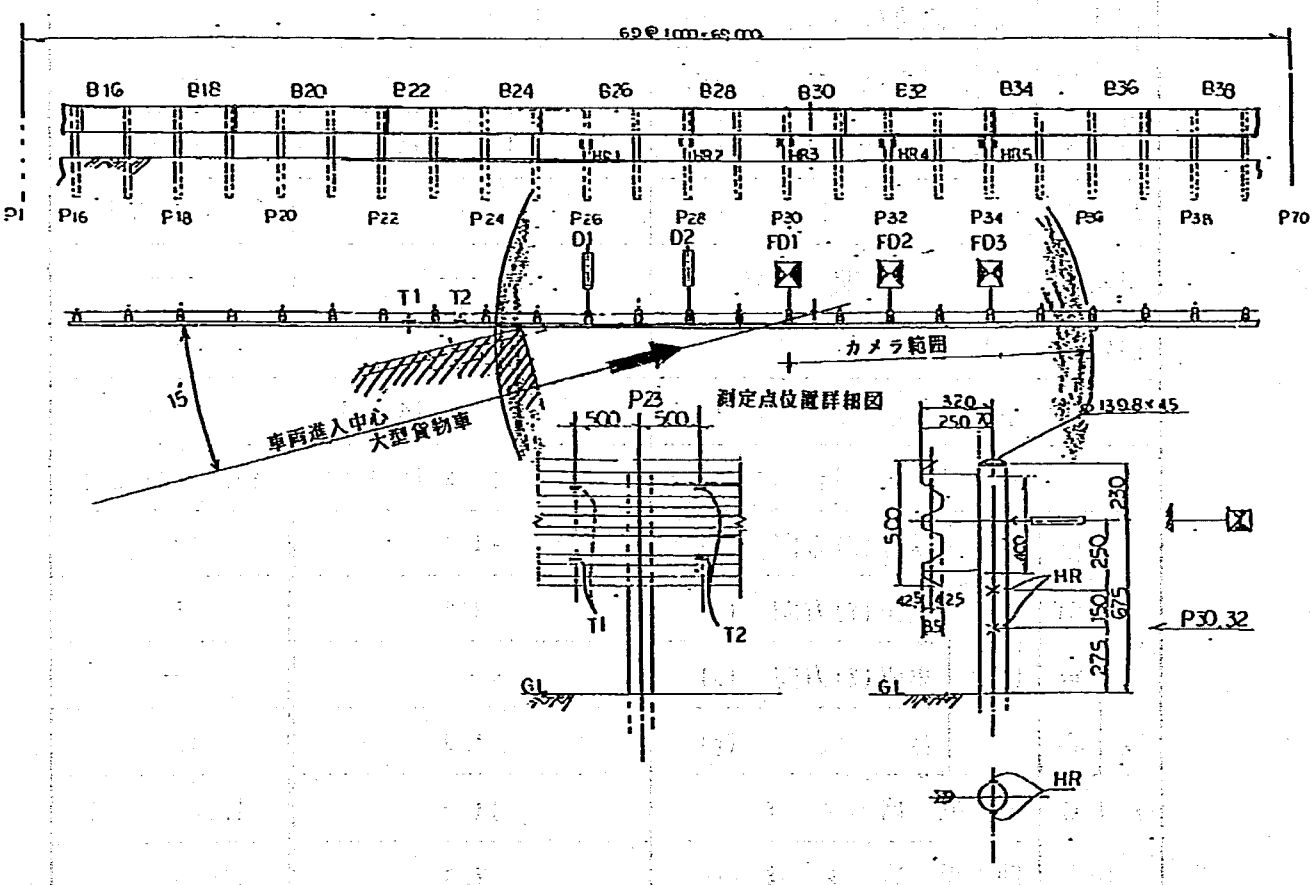
400mm			500mm		
Mr (t·m)	Mf (t·m)	結果	Mr (t·m)	Mf (t·m)	結果
18.1 [177kN·m]	32.9 [322kN·m]	横転	16.2 [159kN·m]	31.7 [311kN·m]	横転

６．１．５．供試体の配置および計測位置

供試体の配置を図－６・１・２に計測位置を図－６・１・３に示す。



図－６・１・２　供試体配置



図－６・１・３　計測位置

6．1．6．実験結果および考察

防護柵に衝突後車両は空中に浮き、防護柵上に落下し車両を誘導させることはできなかった。

実験結果を表－6・1・4に示す。

表－6・1・4　実験1結果一覧表

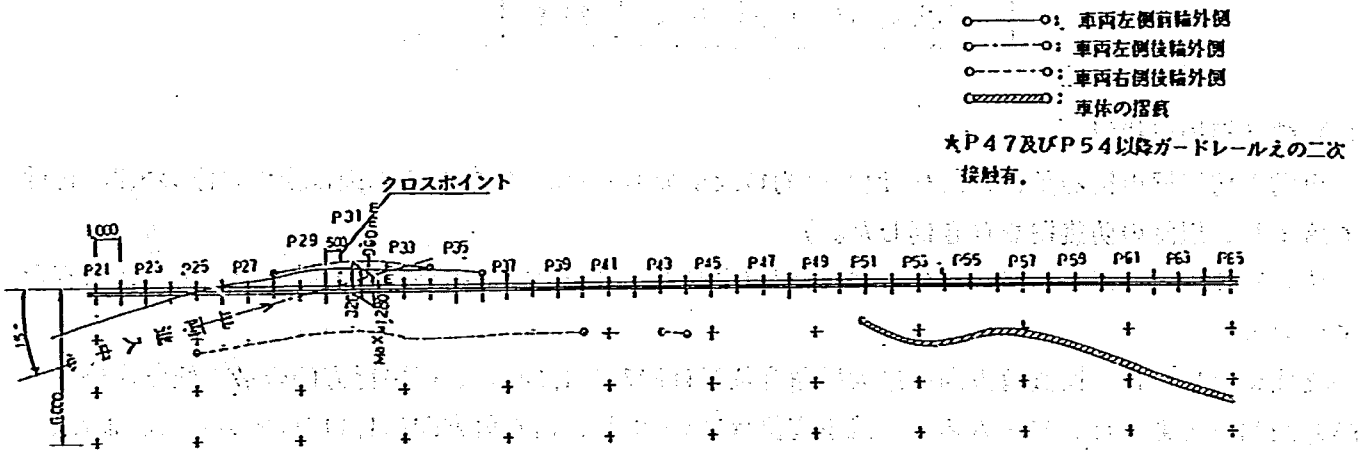
実験日				1990.10.11	許容値
実験番号				1	
衝突条件	車両重量（t）			20	——
	衝突速度（km/h）			100.1	——
	衝突角度（°）			15	——
	衝撃度（t·m）			52.7 [517kJ]	——
離脱速度（km/h）				—— （計測不能）	75 以上
離脱角度（°）				—— （計測不能）	9 以内
接触長（m）				17.4	——
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位(mm)		1,220 (P30)	——
		残留	直角(Y)方向（mm）	1,202 (P33)	——
			延長(X)方向（mm）	627 (P31)	——
	Y方向ビーム残留変位（mm）			1,117 (P34)	——
最大進入行程（mm）				——	1,100 以内
車両最大傾斜角（°）	前端			——	——
	後端			——	——
支柱最大水平力（t）				6.0 [59kN]	——
ビーム最大張力（t）				26.3 [258kN]	64.0 [627kN]
加速度	車両重心	50msec値	進行(X)方向（g）	-4.4	10
			直角(Y)方向（g）	3.2	5
			垂直(Z)方向（g）	——	——
			合成（g）	4.9	12
HIC値	運転席ダミー			14.9	1,000
	助手席ダミー			7.3	1,000

1）車両誘導性

車両は、速度100.1km/h、角度15度で防護柵に衝突した。右側前後輪、左側前後輪の順に浮き上がり、後部がガードレールを乗り越えた。車両はねじれるように回転し90° 回った時点でほぼガードレールの高さまで浮いた。180° 回転したところで屋根から接地し、転がりながらガードレールをなぎ倒した。1回転した時点で車両の車軸方向とガードレールのなす角度は直角となり、車両はそのままさらに1回転して止まった。

衝突初期の段階では、防護柵による若干の誘導は見られた。その後、ビーム接合部にずれが生じ張力材としての機能が低下、支柱変形後ビームのブロックアウト量不足により衝突車左側前後輪が支柱を踏み倒し、柵高を一層低下させた。その結果、ビームは荷台慣性力を受け止めきれず、車両は路外に逸脱し防護柵上にて横転、大破した。

車両の軌跡を図－6・1・4に示す



図－6・1・4　車両の軌跡

2）防護柵強度

（1）支柱

支柱の最大変位量を表－6・1・5に示す。車両衝突時における支柱の防護柵直角方向最大変位量はP30の 1,220㎜であった。

支柱に働いた最大水平力を表－6・1・6に示す。支柱の防護柵直角方向水平力の最大値は、車両前部衝突時の0.19秒後でP30の6.0tであった。車両後部による力は、各支柱ともゲージ不良のためはっきりしたことはわからなかった。

（2）ビーム

ビームに発生した最大張力を表－6・1・7に示す。ビーム最大張力は、B22で衝突から0.56秒後に発生した。計測位置は、支柱の最大残留位置よりビーム4枚分手前であることから真の発生最大張力ではないと考えられる。

（3）ブラケット

ブラケットは強度不足のため座屈変形した。

表－６・１・５　支柱の最大変位量（GL+675㎜）

支柱番号	P26	P28	P30	P32	P34
変位量(㎜)	396	656	1,220	1,128	1,110

表－６・１・６　各支柱の最大水平力

支　柱　番　号	P26	P28	P30	P32	P34
最大水平力(t)	6.0	5.8	6.0	5.2	5.0

表－６・１・７　各ビームに作用した最大張力

ビーム番号	B22	B23
最大張力(t)	26.3	20.9

３）防護柵損傷状況

車両と防護柵の接触長は、P24～P42 の約17.4mであった。（P42から車両は空中に浮いてP54付近で落下し、以降の防護柵をなぎ倒した。）

防護柵の残留変形は、P23～P43 の20m間で生じた。（柵直角・柵平行各方向１㎝以上の残留変形について）

支柱については、柵直角方向の最大残留変位量はP33で 1,202㎜、柵平行方向の最大残留変位量はP33で294㎜であった。ビームの最大残留変位はP34で生じ、柵直角方向に1,117㎜であった。また、ビームに発生した張力により接合部にずれが生じたが、その最大量はＰ３１で30㎜であった。

車両の接触跡を図－６・１・５、防護柵残留変形を図－６・１・６に示す。

（１）支柱

折れ曲がり位置は、GL-110㎜～350㎜（平均 GL-160㎜）で、完全な抜け出しはなかった。但し、18本（P24～P41）が”く”の字に曲がっていた。

（２）ビーム

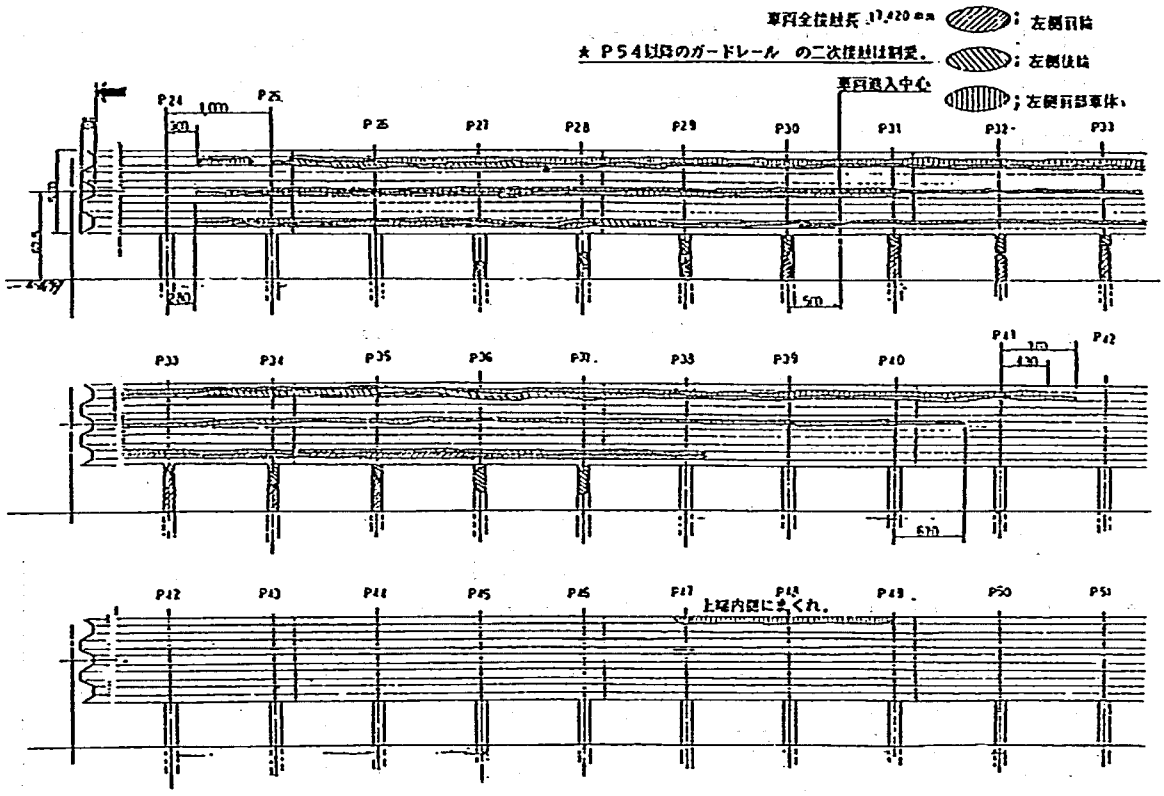
ビーム上下端に波状変形が見られた。孔あきが１カ所（P36付近）生じたが破断は無かった。

（３）ブラケット

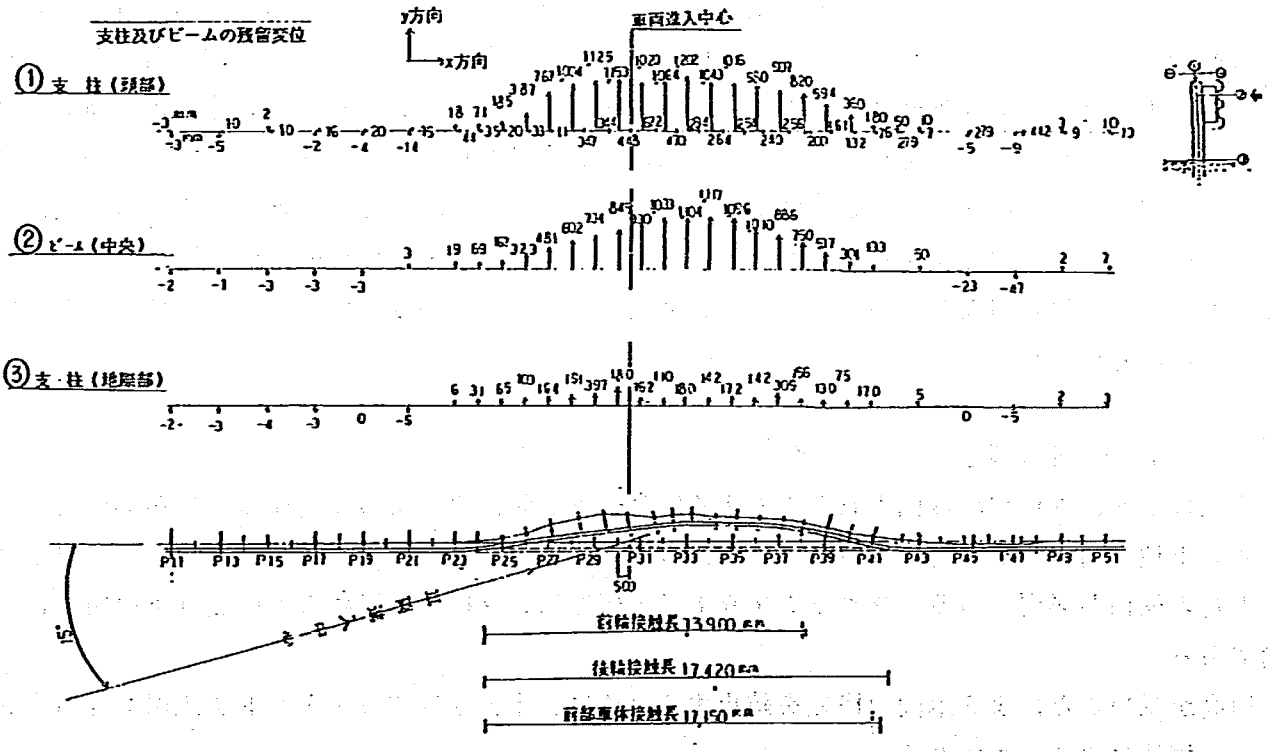
断面変形が多数見られたが破断は無かった。

（４）ボルトおよび接合部

ビームとブラケット接合のボルト取り外れが９箇所あった。



図－６・１・５　車両の接触跡



図－６・１・６　防護柵の残留変形

4）車両損傷状況

車両は横転、回転により大破した。左側前輪タイヤは取りはずれ、左側後後輪は軸板バネが取り外れたため内側へ移動していた。自力走行および牽引走行は不可能であった。

5）乗員の安全性

車室が大きく変形して乗員の生存空間を確保することができなかったため、乗員の安全性を確保することは困難であると考えられる。

表－6・1・8　衝突時加速度（80Hzローパスフィルター処理）

測定箇所＼測定成分	X成分値	Y成分値	Z成分値	合成値	HIC値
車両重心　（原波形）	-6.5 g	8.0 g	(1.2 g)	8.5 g	
（50ms値）	-4.4 g	3.2 g	——	4.9 g	
（有効値）	4.1 g	2.8 g	——	4.6 g	
運転席ダミー（頭部）	3.6 g	5.9 g	(1.0 g)	6.3 g	14.9
（胸部）	(-11.5 g)	(0.5 g)	——		
助手席ダミー（頭部）	2.1 g	11.9 g	——	11.9 g	7.3
（胸部）	(1.0 g)	——	——		
運転席ダミー大腿部衝撃力	45 kg				

（ ）はカセット式データレコーダーによる

6）考察

急カーブ用防護柵の実験と同程度の衝撃度で実験したにも関わらず、車両は誘導されず横転した。この原因は、衝突車両がバスのように一体化構造でなく荷台が移動し易い貨物車であったことや、衝突時の車両挙動が速度条件に大きく影響されるなど事前のシミュレーション等による検討では予測しきれなかったためと考えられる。また、防護柵構成各部材の強度や構造が、大型貨物車の高速度衝突（高エネルギー衝突）に対して不足していたことにも起因していると考えられる。具体的には、支柱の支持力不足で支柱が折れ曲がり、ブロックアウト量不足のため支柱の踏み倒しが起こった。また、供試体の柵高が低かったために、抵抗モーメントが小さく車両の横転を防ぐことができなかったと考えられる。

6．1．7．今後の課題

車両による、支柱が踏み倒されることよる柵高低下を防止するために支柱の強化が必要と考えられる。支柱の踏み倒しを防止するには、支柱の強化以外に、ブラケットの強化と適正なブロックアウト量の確保が必要である。ブロックアウト量の確保は、支柱の変形による柵高低下の防止にも有効である。

柵高が低いことによる車両の横転を防止するために、十分な抵抗モーメントを確保できる高さを持った構造にするべきである。

車両の誘導性を確保するためには、ビームの張力材としての機能を維持しなければならない。今回の実験のように、ビーム接合部のずれによりその機能が低下しないように、接合部の検討を行う

ことが必要である。

以上のことを踏まえて、今後構造的に検討が必要とされる項目を以下に述べる。

1）支柱およびブラケットの強化

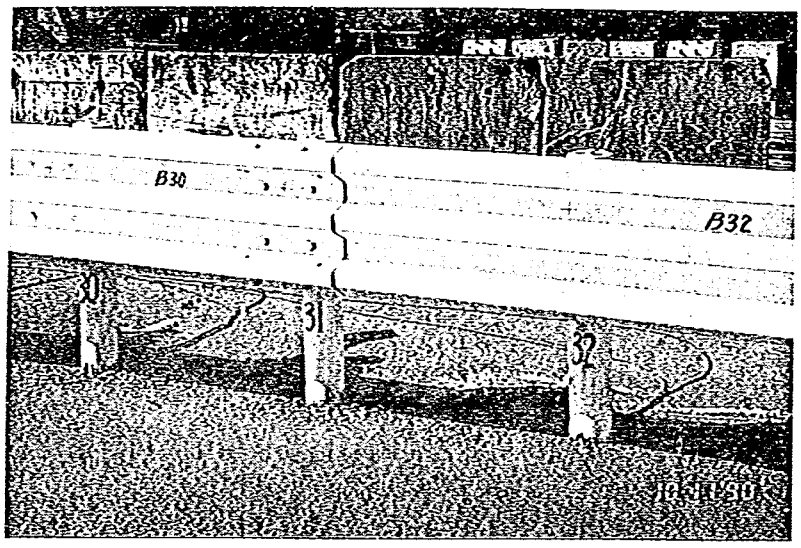
2）ブロックアウト量

3）荷台慣性力に抵抗できる構造

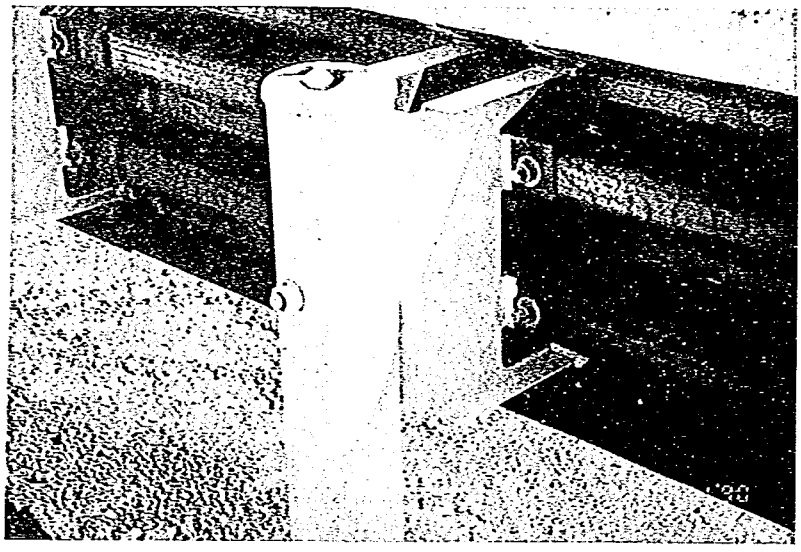
柵高を高くして抵抗モーメントを大きくする。

4）ビーム接合部の改良

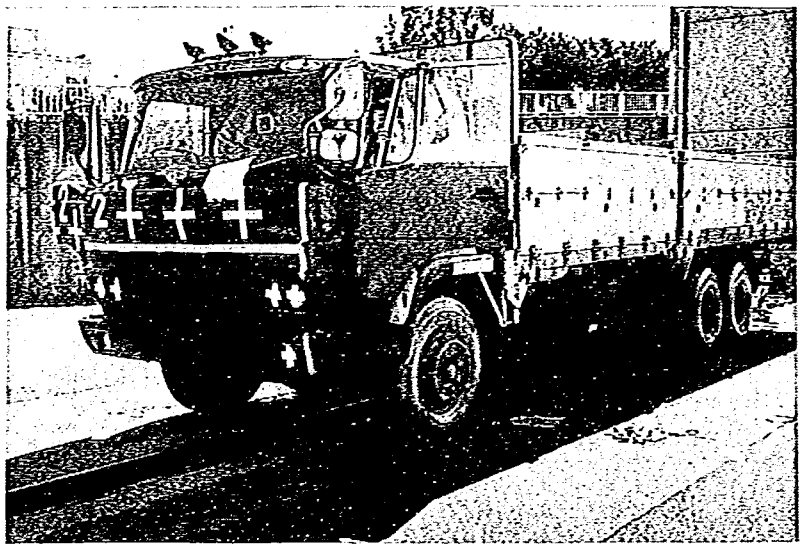
また、今後の課題としては、防護柵の構造と車両の横転に関する検討手法を明確にすることが必要である。



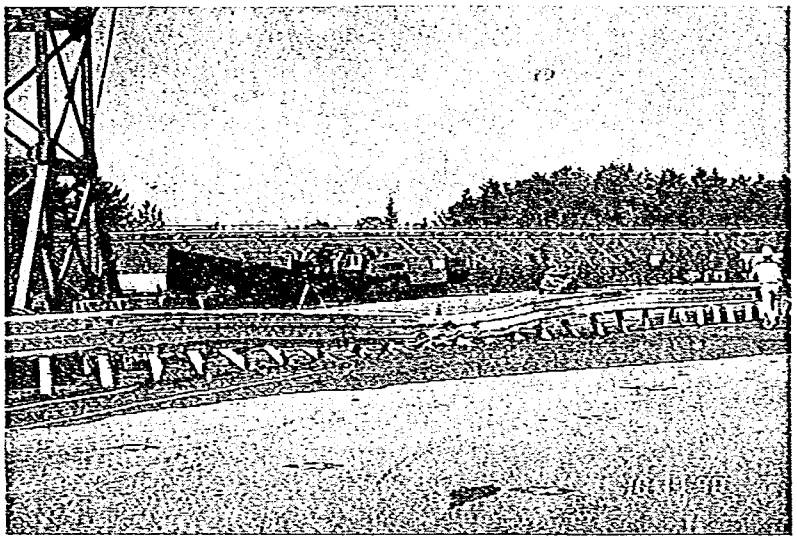
写真－６・１・１　供試体（Ｇｒ－ＳＳ）



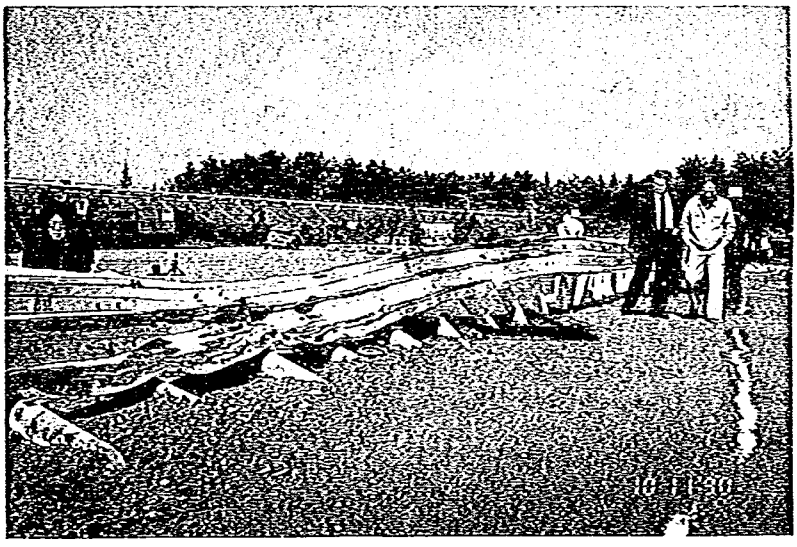
写真－６・１・２　供試体（Ｇｒ－ＳＳ）



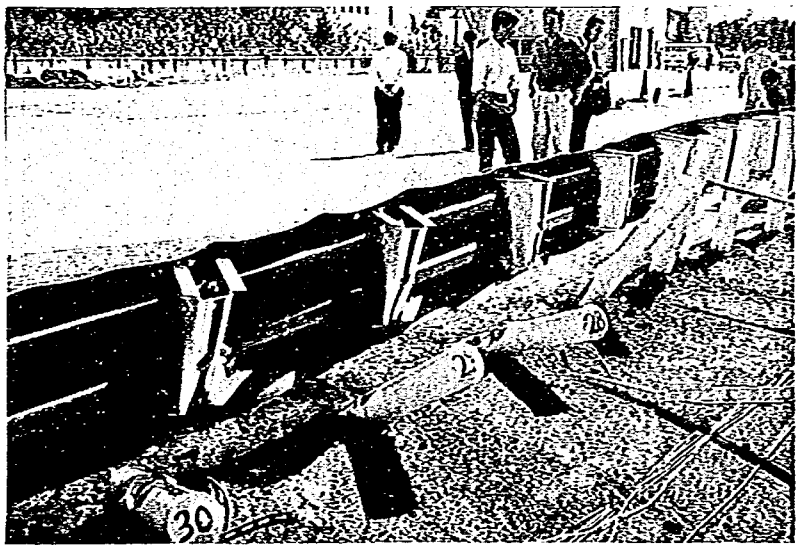
写真－６・１　３　衝突車両（大型貨物車）



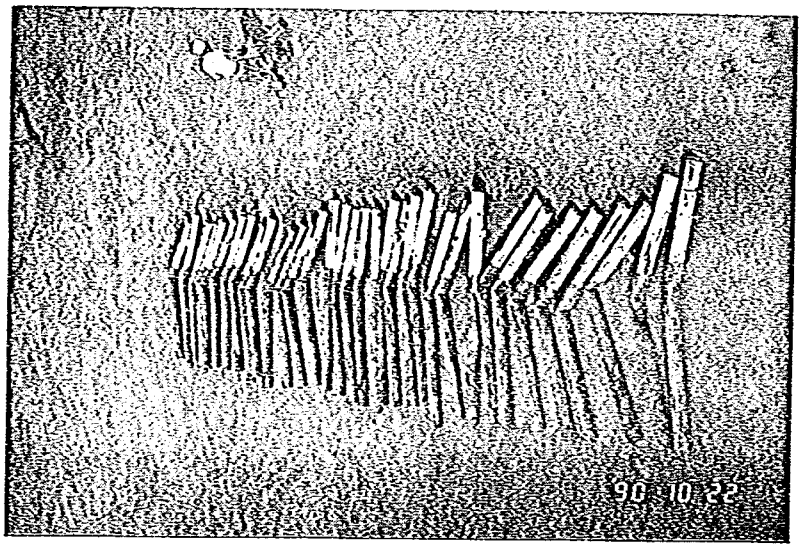
写真－６・１・４　衝突後の供試体



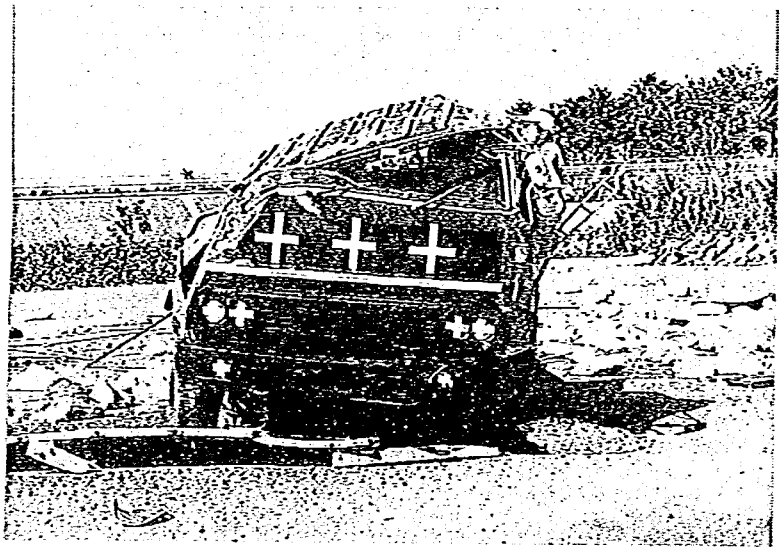
写真－６・１・５　衝突後の供試体



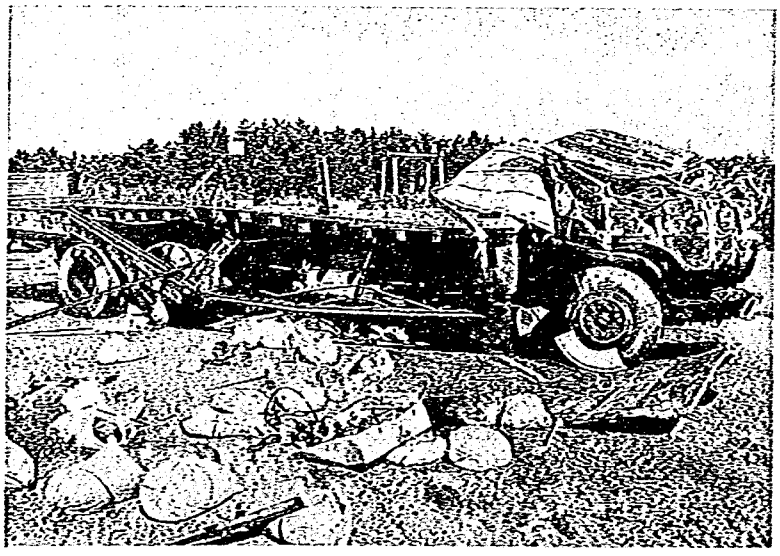
写真－６・１・６　支柱とビームの取り外れ



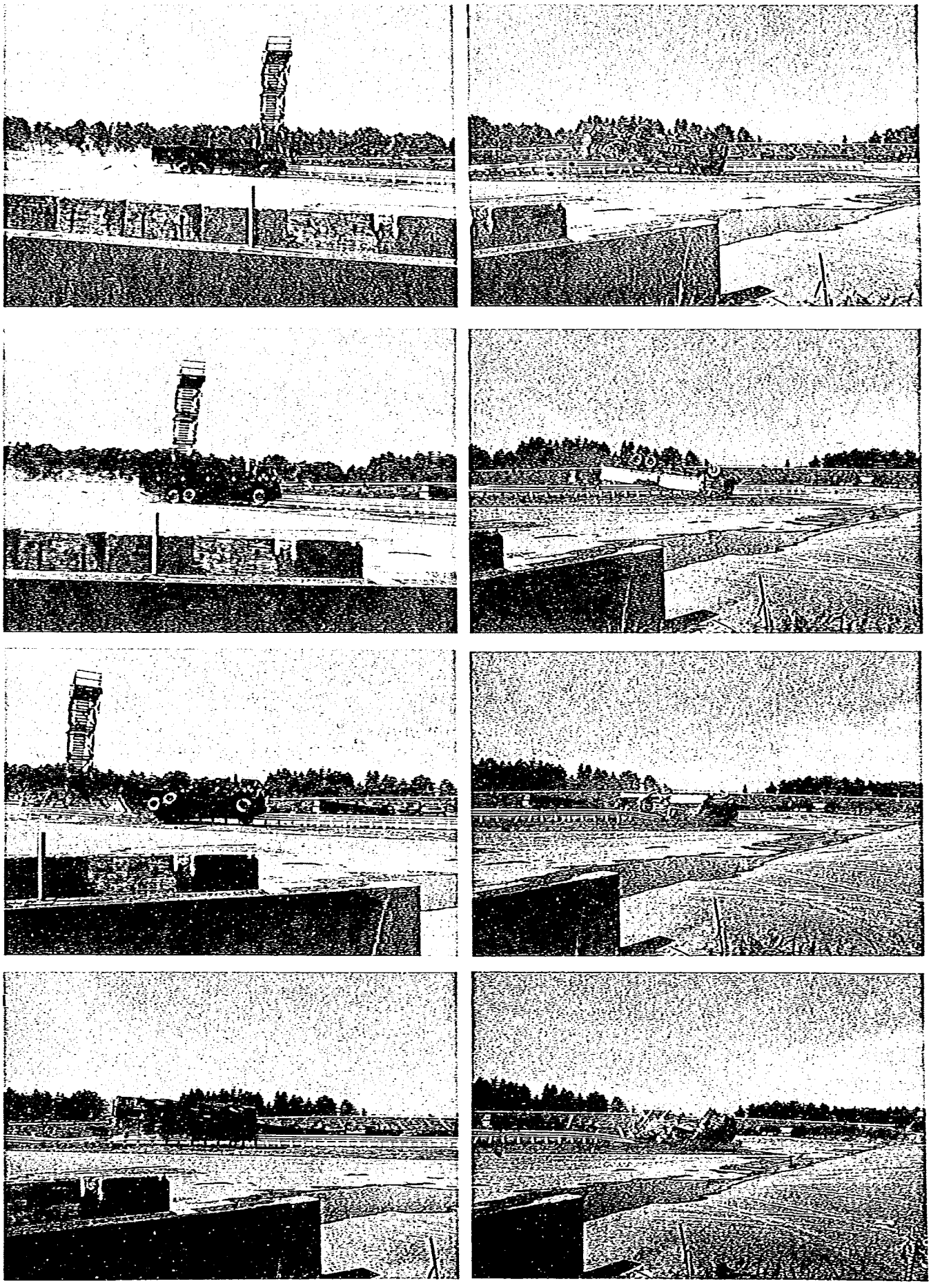
写真－６・１・７　支柱の折れ曲がり状況



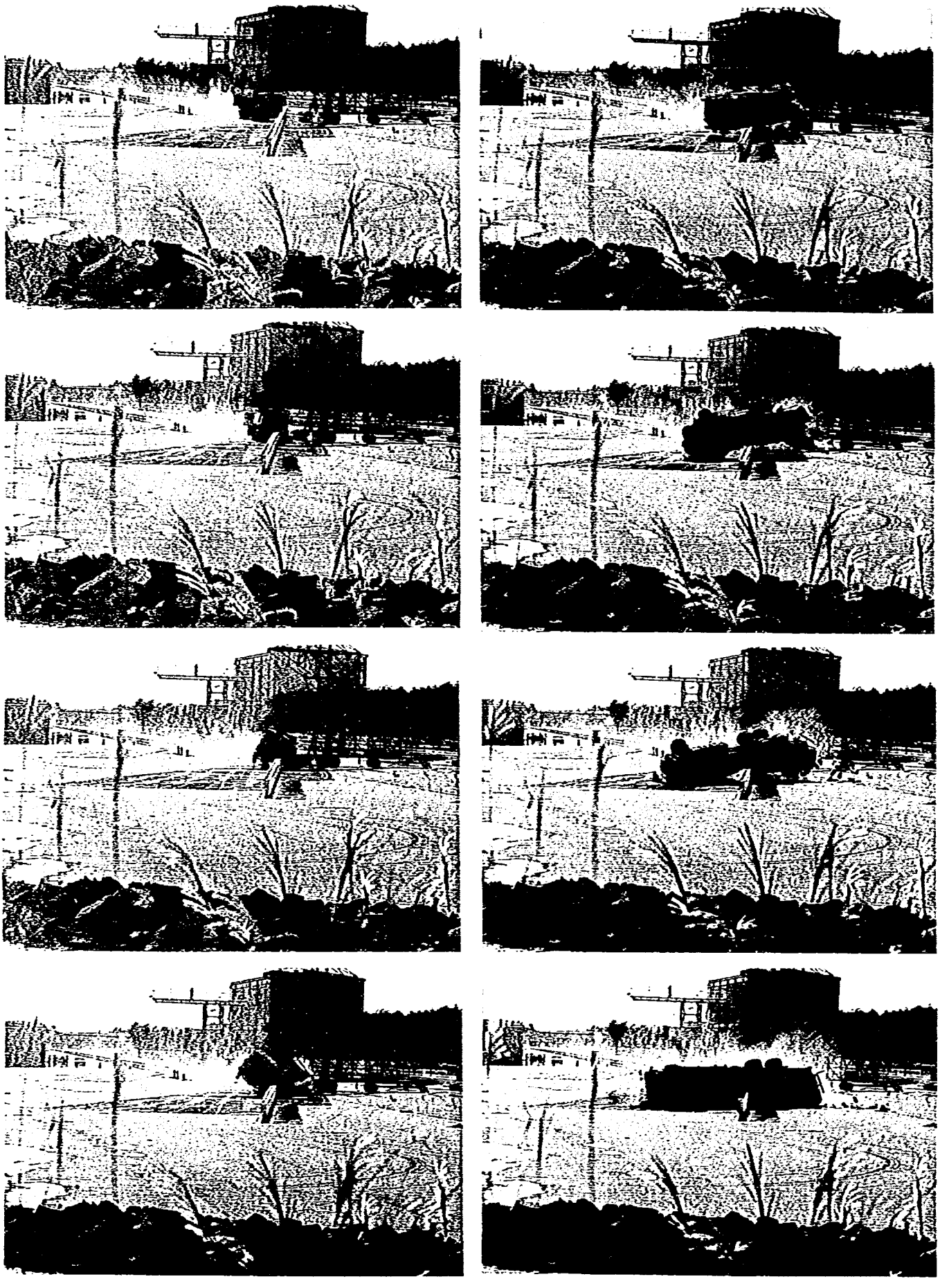
写真－６・１・８　衝突後の車両



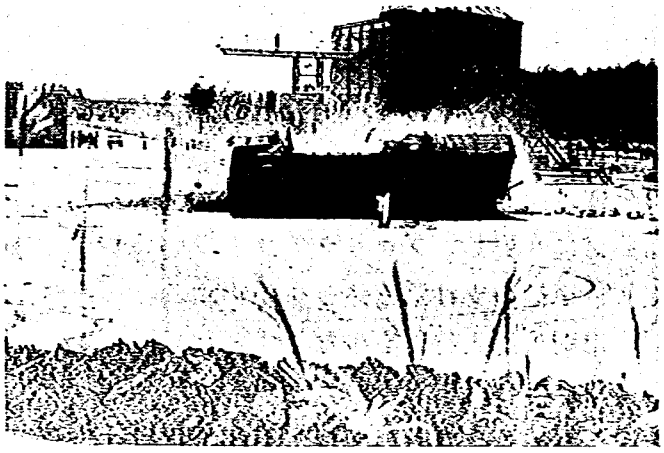
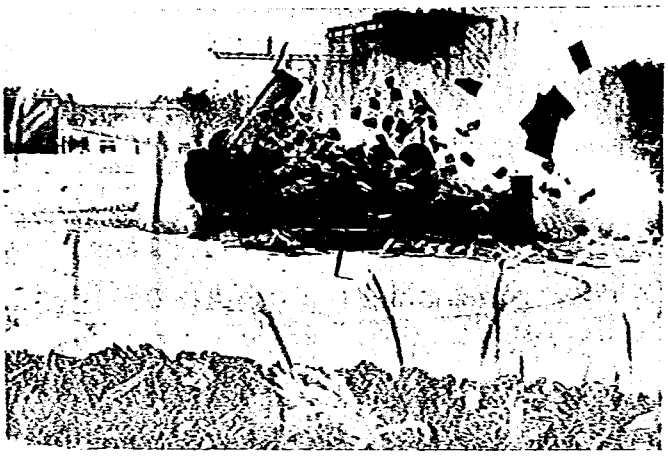
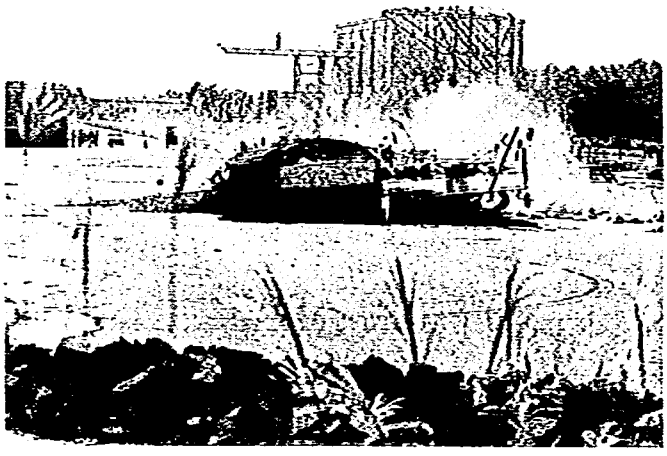
写真－６・１・９　衝突後の車両

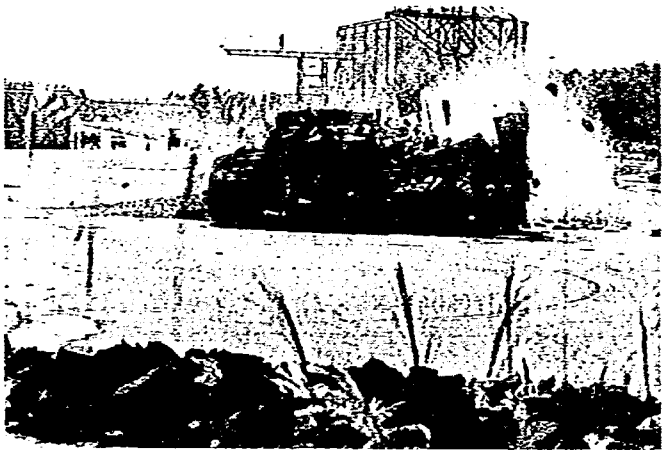
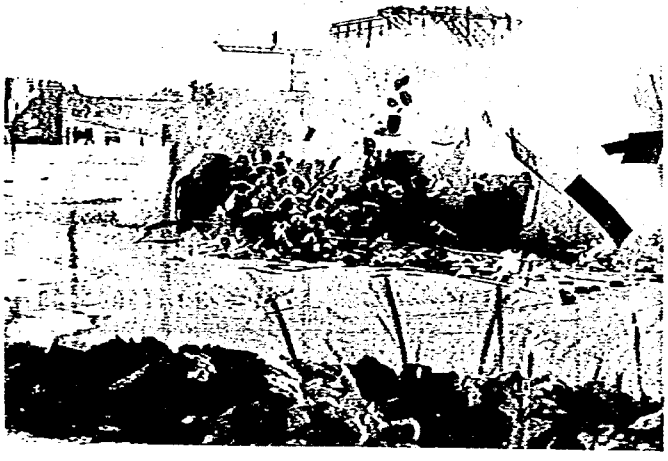


写真－６・１・１０　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ）



写真－6・1・11　衝突状況（Gr－SS）



６．２．Ｇｒ－ＳＳ改良１型［実験２］

６．２．１．実験目的

前回の実験結果を踏まえて、以下に、その改良点を述べる。

支柱の形状・寸法を変更することにより、支持力を従来の４ｔから６ｔに上げる。ブラケットは鋼板の曲げ加工材から、曲げ・圧縮強度の高い閉断面部材に変更し、ブロックアウト量を450㎜と大きくする。これらの改良により、支柱の変形を少なくし、車輪の支柱踏み込みを防止する。

主ビームについては、衝突時の変形量を少なくし、車両の進入行程を少なくするために、接合部を従来の施工性優先による大きな長孔からあそびの少ない接合孔とした。

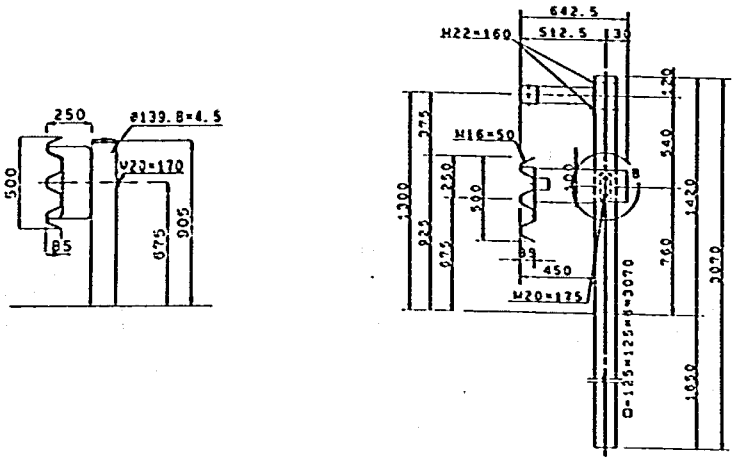
衝突車荷台の慣性力を支持し安定した車両誘導を行うために、新たに曲げ・引張抵抗材（角形鋼管）を荷受けビームとして、主ビームの上段に配置する。この結果、Ｇｒ－ＳＳ改良１型は２段ビーム構造となった。

本実験は以上のような改良構造の有効性を確認する。

改良点を表－６・２・１、図－６・２・１に示す。

表－６・２・１　Ｇｒ－ＳＳとＧｒ－ＳＳ改良１型の改良点

改良項目	Ｇｒ－ＳＳ	Ｇｒ－ＳＳ改良１型
支　　柱	φ-139.8×4.5	□-125×125×6
支柱間隔	１ｍ	１ｍ　（変更なし）
ブラケット	[270×'4.5×400	主ビーム用　□-200×150×4.5 荷受けビーム用　□-100×100×6.0
ブロックアウト量	250 ㎜	450 ㎜
主ビーム	３山(500×85×4)	３山(500×85×4)　（変更なし）
荷受けビーム	―――	□-100×100×4.5



GR-SS　　GR-SS 改良１型

図－６・２・１　ＧＲ－ＳＳと改良１型の断面図

６．２．２．衝突条件

衝突条件を表－６・２・２に示す。

表－６・２・２　衝突条件

衝突車種	大型貨物車
車両車重	20ｔ
衝突速度	100km/h
衝突角度	15度
衝撃度	52.7t･m［517kJ］

６．２．３．供試体構造

供試体構造および部材表を図－６・２・２に示す。

６．２．４．衝突シミュレーションによる誘導性の検討

１）衝突シミュレーション結果

衝突シミュレーションで演算された結果を表－６・２・３に示す。

２）車両横転検討

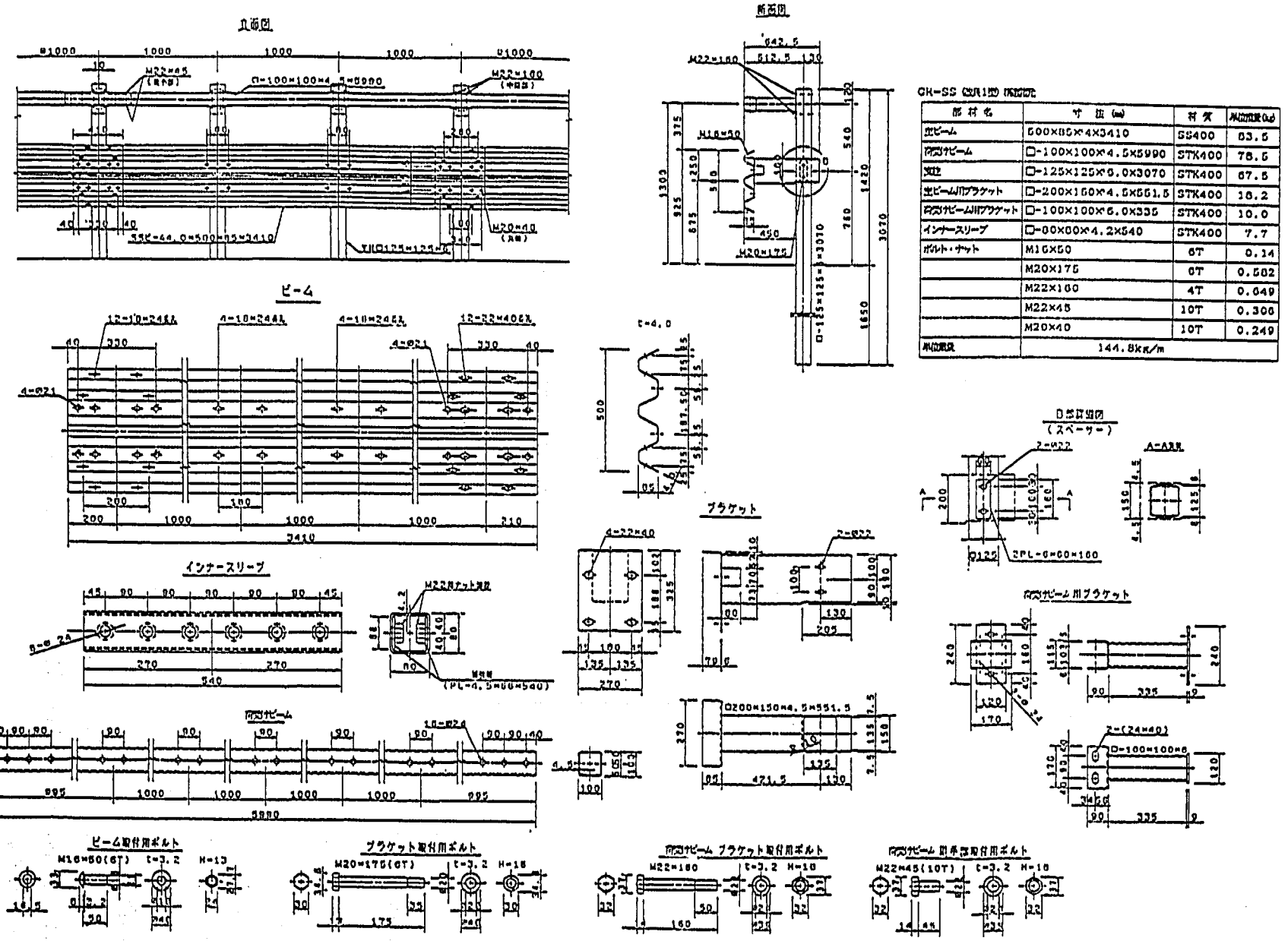
表－６・２・４に示すとおり車両は横転せずに誘導される可能性が高いという結果となった。

３）総合評価

ビーム強度は、許容耐力98.2ｔに対しシミュレーション値は49.8ｔで余裕があると考えられる。

また、車両の最大進入行程は1,100㎜以下で、防護柵変形量も小さく防護柵強度は特に問題ないと考えられる。

車両の誘導性は、車両横転する可能性が低いということから良好であると考えられる。



部材名	寸法(mm)	材質	単位質量(kg)
主ビーム	500×80×4×3410	SS400	63.5
対称ビーム	□-100×100×4.5×5990	STK400	78.5
支柱	□-125×125×6.0×3070	STK400	67.5
主ビーム用ブラケット	□-200×150×4.5×551.5	STK400	16.2
対称ビーム用ブラケット	□-100×100×6.0×335	STK400	10.0
インナースリーブ	□-80×80×4.2×540	STK400	7.7
ボルト・ナット	M16×50	6T	0.14
	M20×175	6T	0.502
	M22×160	4T	0.649
	M22×45	10T	0.306
	M20×40	10T	0.249
単位質量	144.8kg/m		

図－６・２・２　供試体構造図および部材表

表－６・２・３　シミュレーション結果

		ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値	許容値	評　価
離脱速度　(km/h)		88.8	75 以上	良好
離脱角度　(°)		15.2	9 以内	不良
最大進入行程　(mm)		540	1,100 以内	良好
防護柵変形範囲(m)		19		
ビーム	最大張力　(t)	49.8	98.2	良好
	最大変形量(mm)	630		
支柱	最大水平力(t)	6.0		
	最大変位量(mm)	611		
水平力　(t)		35.2		

表－６・２・４　車両横転有無検討

水平力(t)	Mr (t･m)	Mf (t･m)	結果
35.2 [355kN]	46.4 [455kN･m]	6.5 [64kN･m]	誘導

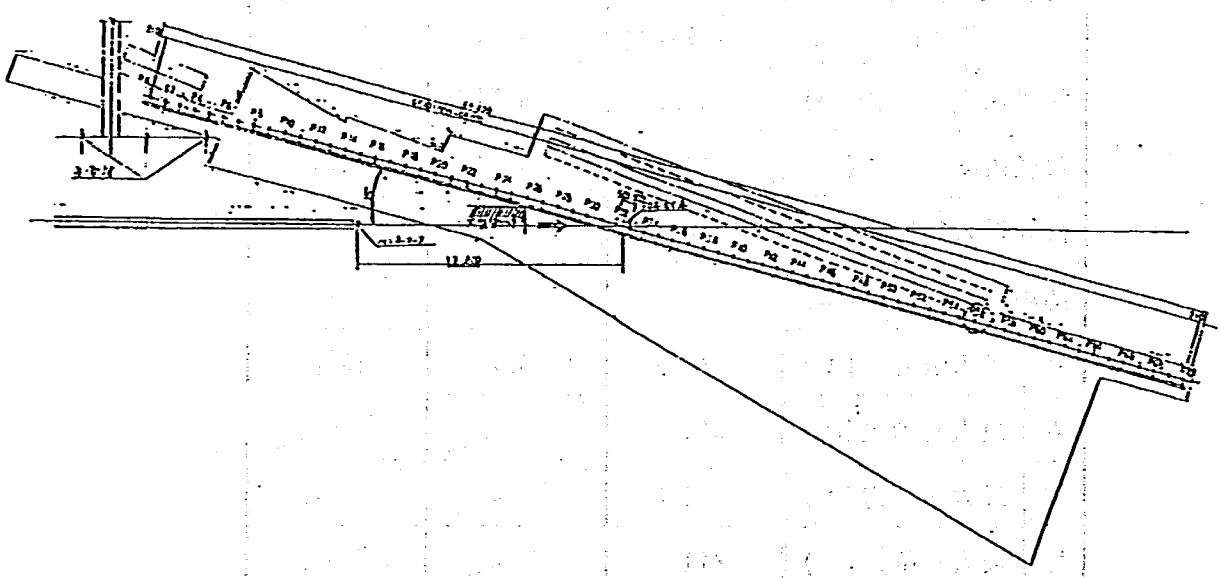
６．２．５．供試体の配置および計測位置

供試体の配置を図－６・２・３、計測位置を図－６・２・４に示す。

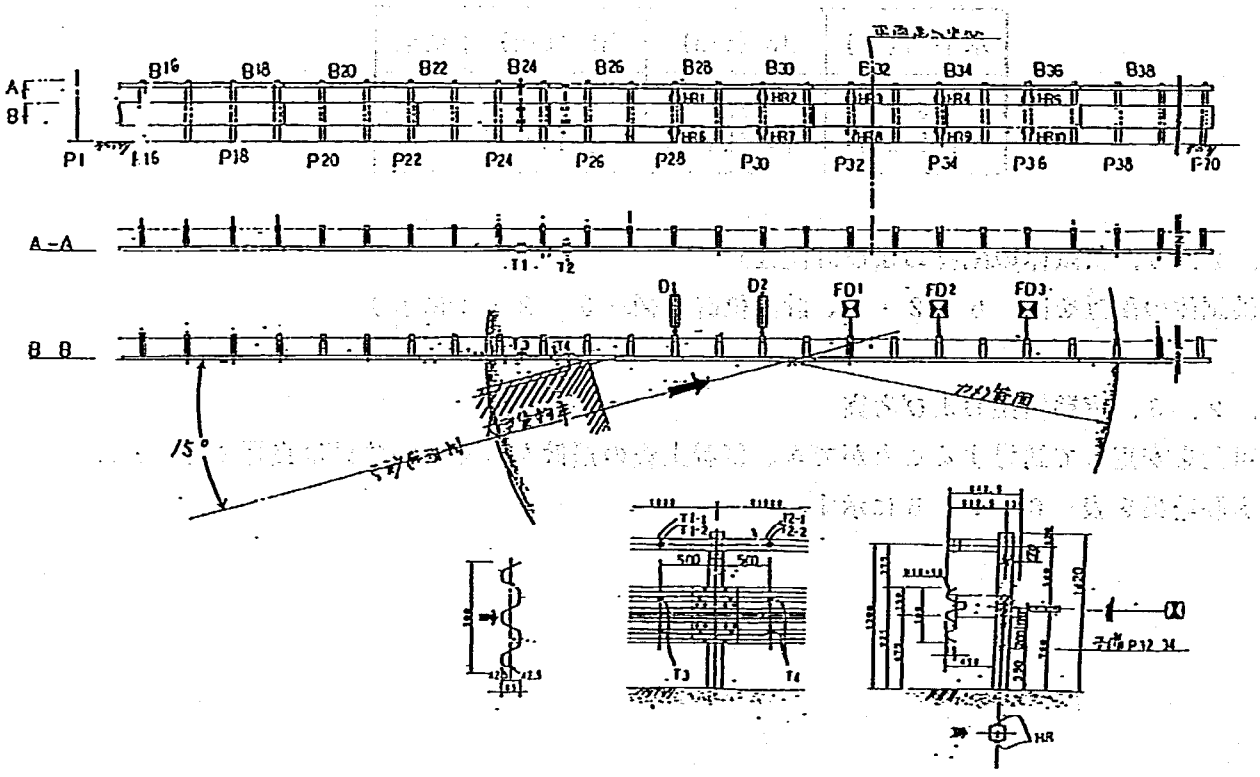
６．２．６．実験結果および考察

車両を安定して誘導することができ、積載土嚢の飛散もなく実験結果は良好であった。

実験結果を表－６・２・５に示す。



図－６・２・３　供試体配置図



図－６・２・４　計測位置図

表－６・２・５　実験２結果一覧表

実験日				1991. 2. 6	許容値
実験番号				2	
衝突条件	車両重量（t）			20	——
	衝突速度（km/h）			100	——
	衝突角度（°）			15	——
	衝撃度（t·m）			52.7 [517kJ]	——
離脱速度（km/h）				88.9（減速率11%）	75 以上
離脱角度（°）				6.2	9 以内
接触長	主ビーム（m）			12.5	——
	荷受けビーム（m）			14.5	——
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位（mm）		440 (P30)	——
		残留	直角(Y)方向（mm）	678 (P29)	——
			延長(X)方向（mm）	25 (P27)	——
	Y方向ビーム残留変位（mm）		主ビーム	648	——
			荷受けビーム	433	——
最大進入行程（mm）				240 (P29)	1,100 以内
車両最大傾斜角（°）			前端	4	——
			後端	9	——
支柱最大水平力（t）				11.0 [108kN]	——
ビーム最大張力（t）			主ビーム	26.6 [261kN]	64.0 [627kN]
			荷受けビーム	15.3 [150kN]	34.2 [335kN]
加速度	車両重心	50 msec 値	進行(X)方向（g）	1.8	10
			直角(Y)方向（g）	4.2	5
			垂直(Z)方向（g）	——	——
			合成（g）	4.3	12
HIC値	運転席ダミー			6.5	1,000
	助手席ダミー			146	1,000

1）車両誘導性

車両は、速度100km/h、角度15度で防護柵に衝突した。衝突後車両は極めて安定した挙動で誘導され、誘導中も車輪の浮き上がりはほとんど確認されなかった（表－６・２・６参照）。また、衝突後積載土嚢の飛散はなかった。

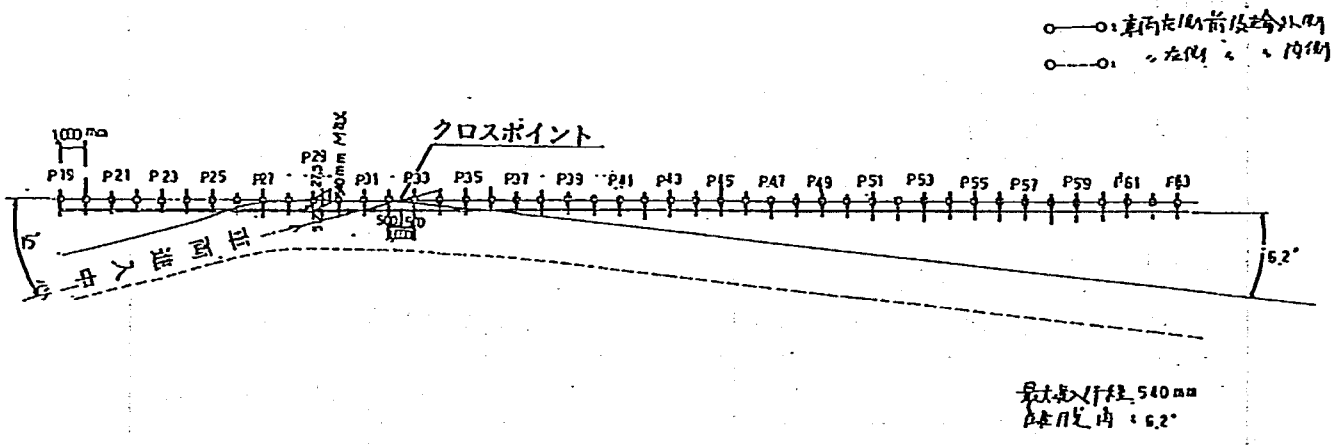
衝突速度が100km/hに対し離脱速度は88.9km/hで、減速率は11%である。これは、参考許容値(25%)以下、衝突速度に対して20km/h以上減速していない。離脱角度は6.2度で、衝突角度の41.3%で参考許容値以下であり、かつ10度以下である。以上の結果より、車両誘導性は良好であると判断できる。

車両の最大進入行程は 240㎜で、これは防護柵設置要綱の規定値 1,100㎜以下である。

車両軌跡を図－６・２・５に示す。

表－６・２・６　車両の挙動

車両の最大傾き（度）	車両重心	－	前　端	4	後　端	9
車両の最大飛び上がり量（㎜）	前端部	右側	0	荷台後端部	右側	100
		左側	0		左側	0



図－６・２・５　車両の軌跡

2）防護柵強度

（1）支柱

支柱の最大変位量を表－６・２・７に示す。車両衝突時における支柱の防護柵直角方向最大変位量はP30の440㎜であった。

支柱に働いた水平力はP28で車両前部衝突時に11.0ｔ、このとき、荷受けビーム取付部の水平力は

最小値の-2.25ｔであった。

（２）ビーム

ビームに発生した最大張力を表－６・２・９に示す。主ビームの最大張力はB24で衝突前半時に26.6ｔ、荷受けビームの最大張力はT25で衝突前半時に15.3ｔであった。主ビームの許容耐力は64.0ｔ、荷受けビームの許容耐力は34.2ｔであり、それぞれのビームに発生する張力に対して、両ビームとも余裕があった。荷受けビームの最大曲げモーメントはT25で衝突前半時に144t･cmであった。

主ビームと荷受けビームに生じた応力を比較すると、初期衝突時には主ビームが張力の約70％を分担しており、主たる張力材として機能していた。荷受けビームは曲げモーメントの大きさから、全断面が降伏状態になるまで曲げ変形して各支柱に作用する荷重を分担しており、このことが防護柵全体の強度向上に機能したと考えられる。

表－６・２・７　支柱の最大変位量（GL+760㎜）

支柱番号	P28	P30	P32	P34	P36
変位量　（㎜）	420	440	354	153	30

表－６・２・８　支柱と荷受けビーム取付部に作用する最大水平力

支柱番号		P28	P30	P32	P34	P36
最大水平力　（ｔ）	衝突前半	11.0	8.6	6.6	4.3	2.1
	衝突後半	6.5	6.4	4.2	0.2	1.5
荷受けビーム取付部の最大水平力（ｔ）	衝突前半	4.8	4.9	7.5	8.3	3.7
	衝突後半	5.2	3.3	2.8	5.0	4.2

表－６・２・９　主ビーム、荷受けビームに作用する最大張力

主ビーム番号		B24	B25	荷受けﾋﾞｰﾑ番号		T24	T25
張力（ｔ）	衝突前半	26.6	22.8	張力（ｔ）	衝突前半	11.2	15.3
	衝突後半	16.4	17.0		衝突後半	－	－

表－６・２・１０　荷受けビームに作用する最大曲げモーメント

荷受けビーム番号		T24	T25
最大曲げモーメント（t･cm）	衝突前半	100.0	144.0
	衝突後半	98.0	75.0

3）防護柵損傷状況

車両と防護柵の接触長は、支柱P25から14.5mであった。

防護柵の残留変形が生じた区間は、P21～P38 の約17mであった。

車両の接触跡を図－６・２・６、防護柵の残留変形を図－６・２・７に示す。

（１）支柱

Y方向の最大残留変位量はP29で 678㎜、X方向の最大残留変位量はP27で 25㎜であった。

折れ曲がり位置は、GL-120㎜～220㎜で平均が GL-176㎜ （P23～P36）であった。変位（傾斜角）は少なく、完全な抜け出しも無かった。また、14本が ”く” の字に変形していたが、車輪による支柱の踏みつけは無かった。

（２）ビーム

主ビームの最大残留変位はT29で生じ、Y方向に548㎜、荷受けビームはB29で433㎜であった。

主ビーム下端に波状変形、コルゲーションの断面変形（P26～P34）があり、孔あきも２カ所（P23付近）あったが、破断は無かった。

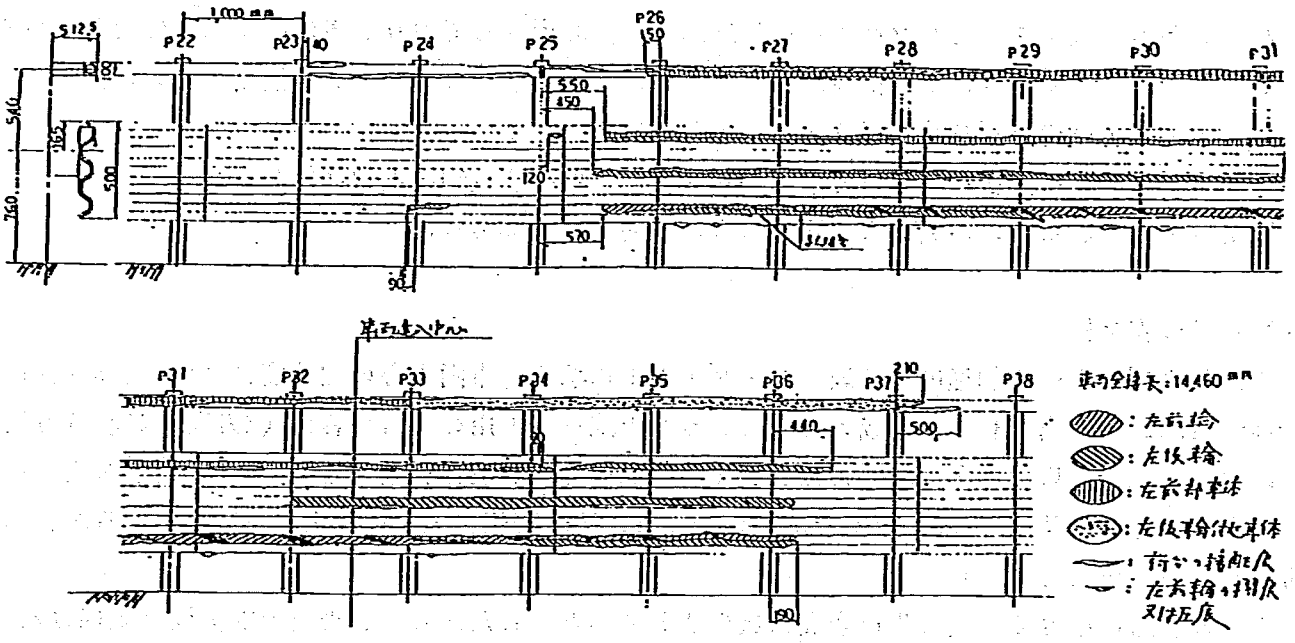
荷受けビームは、2～4㎜のへこみ（P25～P36）があったが、破断は無かった。

（３）ブラケット

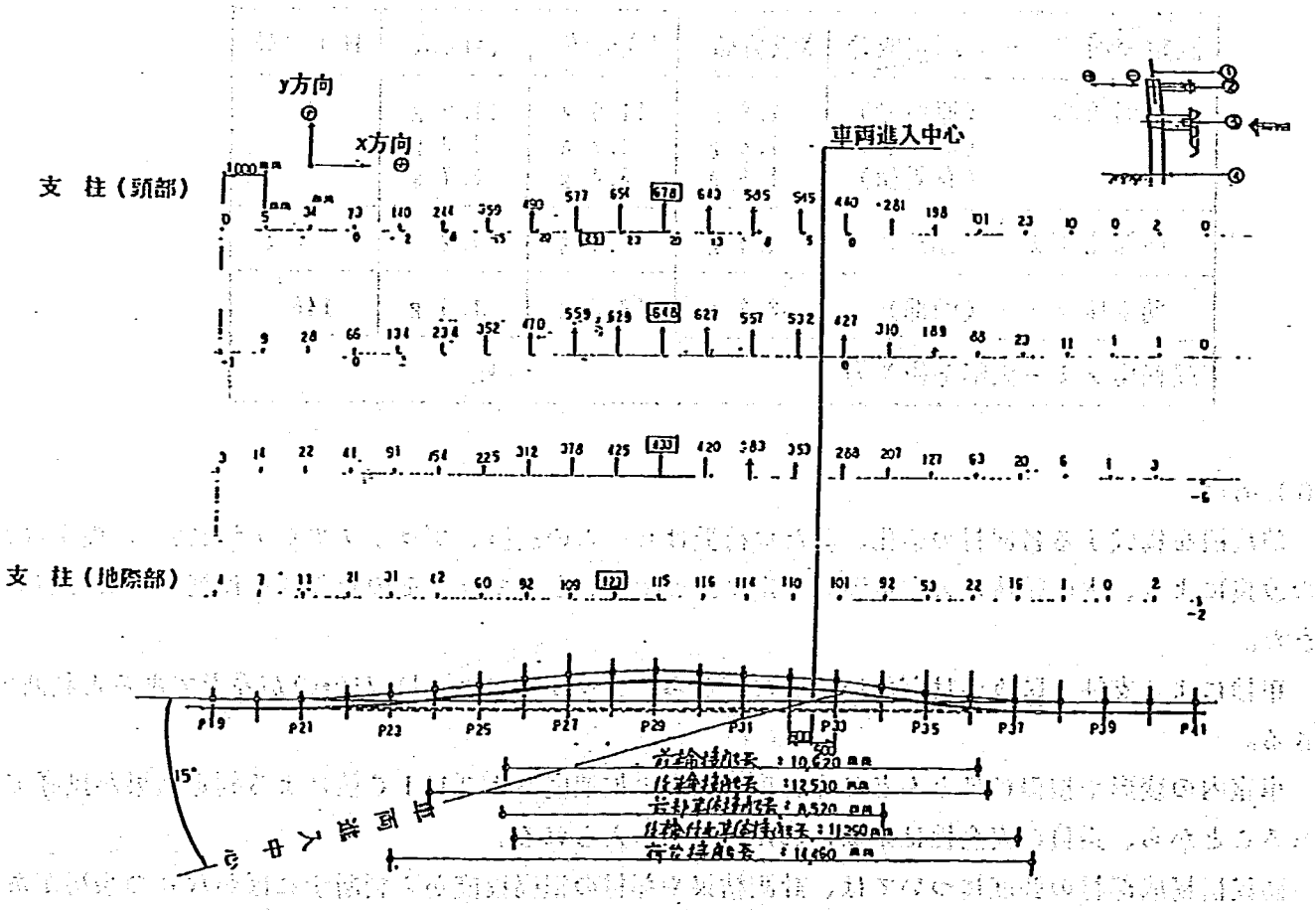
主ビーム用、荷受けビーム用共にブラケット残留変形はほとんどなかった。

（４）ボルトおよび接合部

各ビームに発生した張力により接合部にずれが生じたが、その最大量は、主ビームがP28で 4.2㎜、荷受けビームがP31で 11.1㎜であった。ボルトの破断は無かった。



図－６・２・６　車両の接触跡



図－６・２・７　防護柵の残留変形

4）車両損傷状況

左側前部のフェンダーとバンパーが運転席床下まで変形をしており、車体の左側には前から後ろにかけて、荷受けビームによる摺痕があった。また、左側前輪のステップが損傷していた。

左サイドドアーの下廻り視界ガラスが破損していた。

ステアリングには異状なく、自力走行が可能であった。積載物の飛散は無かった。

以上のように、車両の衝突による変形および損傷は軽微であった。

5）乗員の安全性

車両およびダミーの加速度値を表－６・２・１１に示す。車両重心の加速度について、50ms値はX方向：1.8g　Y方向：4.2g　合成：4.3gであり３点式ベルト用の参考許容値（X方向：25g　Y方向：15g　合成：25g）以下であった。また、ダミー頭部のＨＩＣ値は、運転席側：6.5　助手席側：146であり参考許容値（1,000）以下であった。また、運転席側ダミーは左側に転倒しているが、助手席側ダミーは正常であった。

車室の変形は小さく乗員の生存空間は確保されていた。したがって、乗員の安全性は確保されていたものと考えられる。

表－６・２・１１　衝突時加速度（80Hzﾛｰﾊﾟｽﾌｨﾙﾀｰ処理）

測定箇所＼測定成分	X成分値	Y成分値	合成値	ＨＩＣ値
車両重心　（原波形）	2.8 g	11.0 g	11.0 g	
（50ms値）	1.8 g	4.2 g	4.3 g	
（有効値）	1.6 g	3.4 g	3.7 g	
運転席ダミー（頭部）	4.4 g	7.1 g	7.2 g	6.5
助手席ダミー（頭部）	3.7 g	59.3 g	1.9 g	146
運転席ダミー大腿部衝撃力	— kg			

6）考察

防護柵を構成する各部材の強化、新たな荷受けビームの設置、ブロックアウト量450mmの設定などの改良により、本供試体は大型車両を安定に誘導することができ、その有効性を検証することができた。

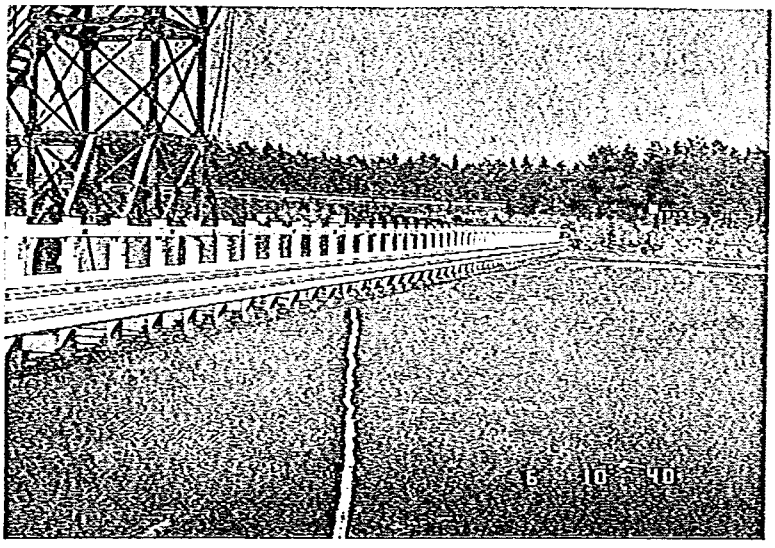
車輪による支柱の踏みつけがないことなどから、ブロックアウト量(450mm)が妥当であると判断できる。

車室内の変形や損傷はほとんどなく、車両重心の加速度およびＨＩＣ値による判定結果が良好であることから、乗員の安全性は確保されたものと考えられる。

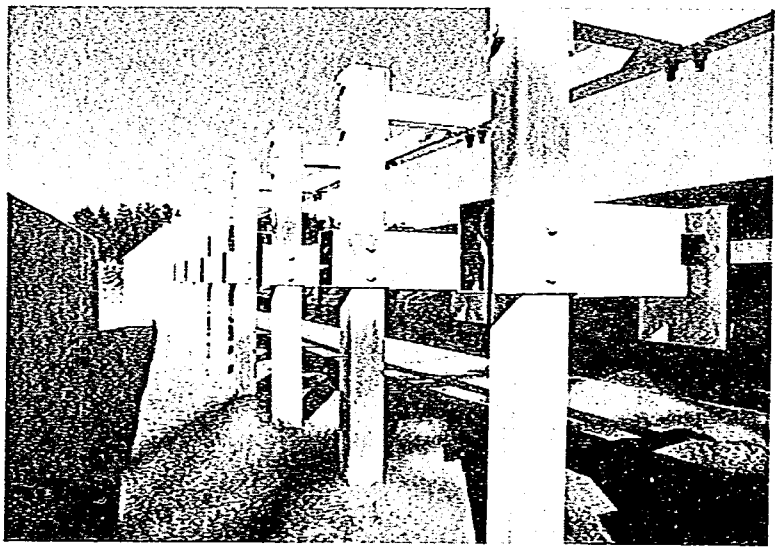
防護柵構成部材の強度については、計測結果や部材の損傷程度から判断すればかなりの余裕があるものと考えられる。

6．2．7．今後の課題

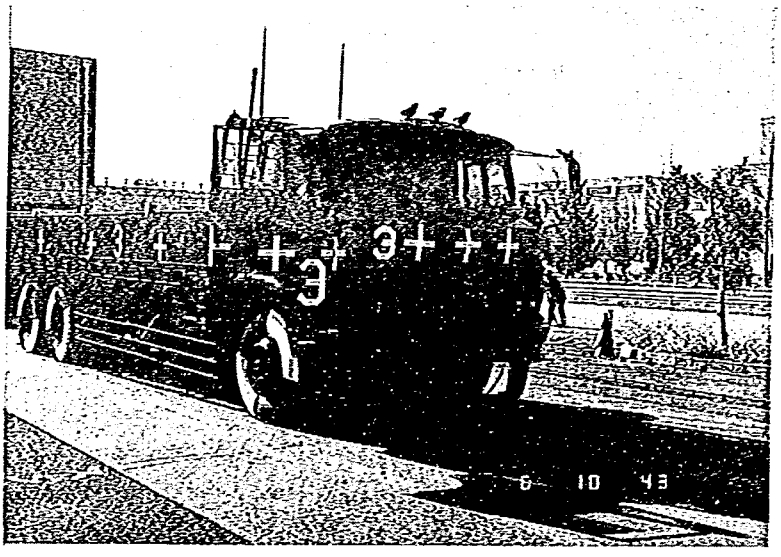
今回の実験結果が極めて良好であったことから、よりきびしい条件（衝突角度20度）で実験を行い、強度の限界を確認することが必要である。



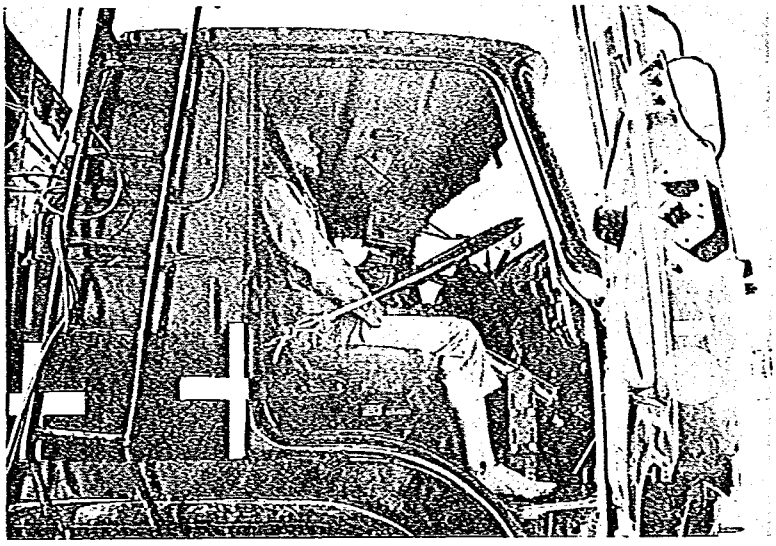
写真－６・２・１　供試体（Ｇｒ－ＳＳ改良１型）



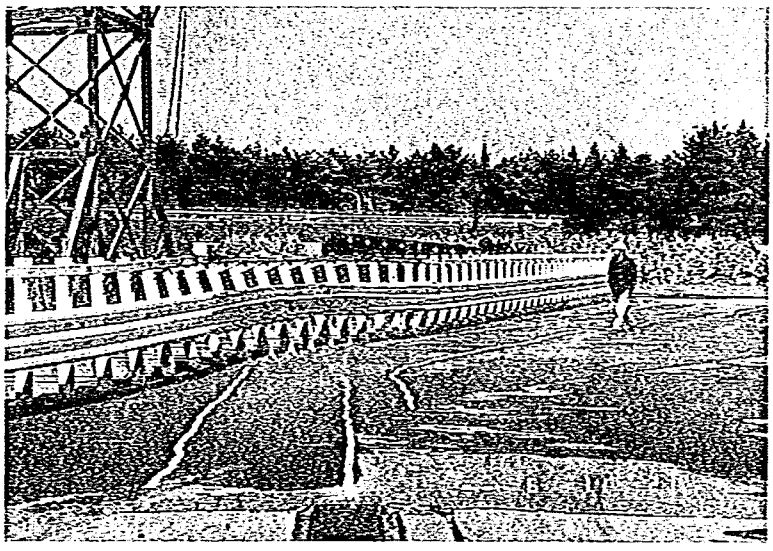
写真－６・２・２　供試体（Ｇｒ－ＳＳ改良１型）



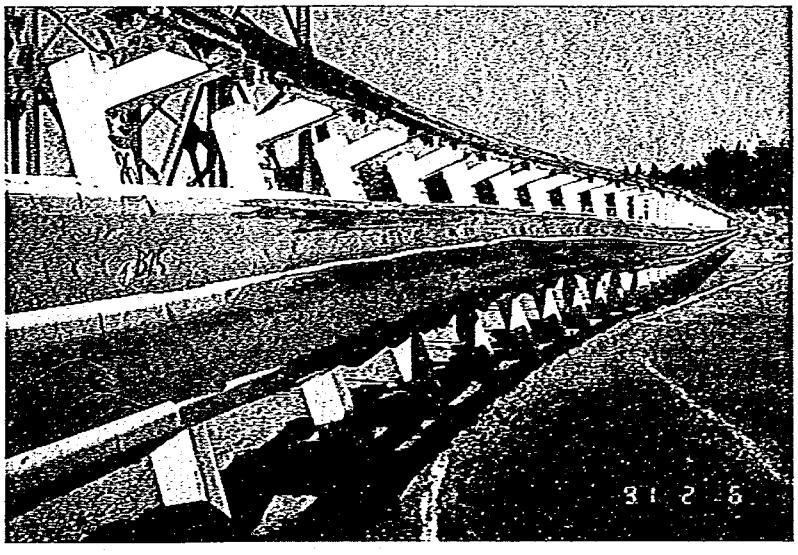
写真－６・２・３　衝突車両（大型貨物車）



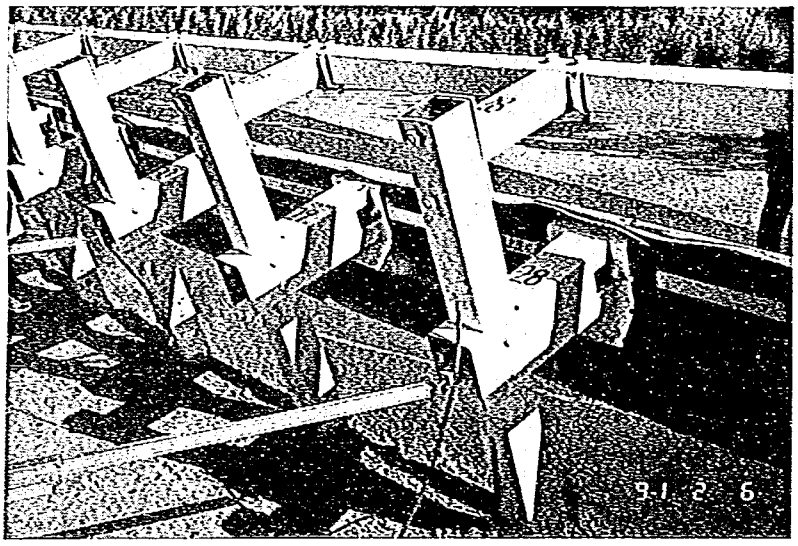
写真－６・２・４　ダミーの搭載状況



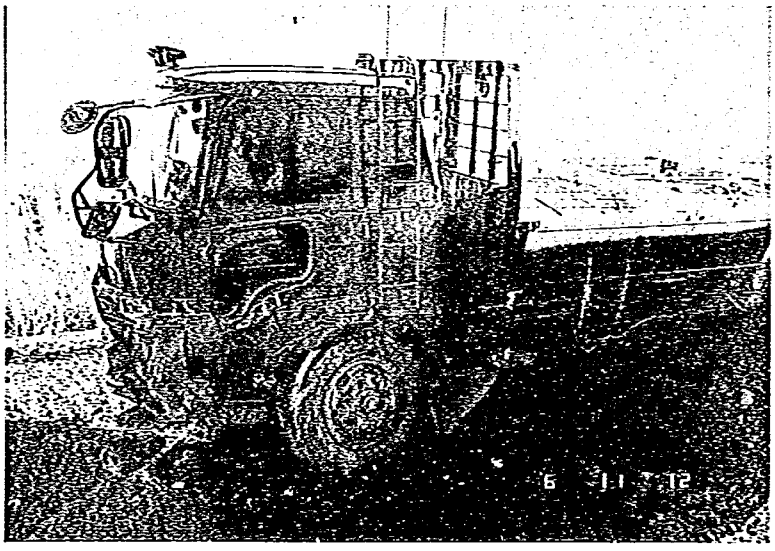
写真－６・２・５　衝突後の供試体



写真－６・２・６　衝突後の供試体



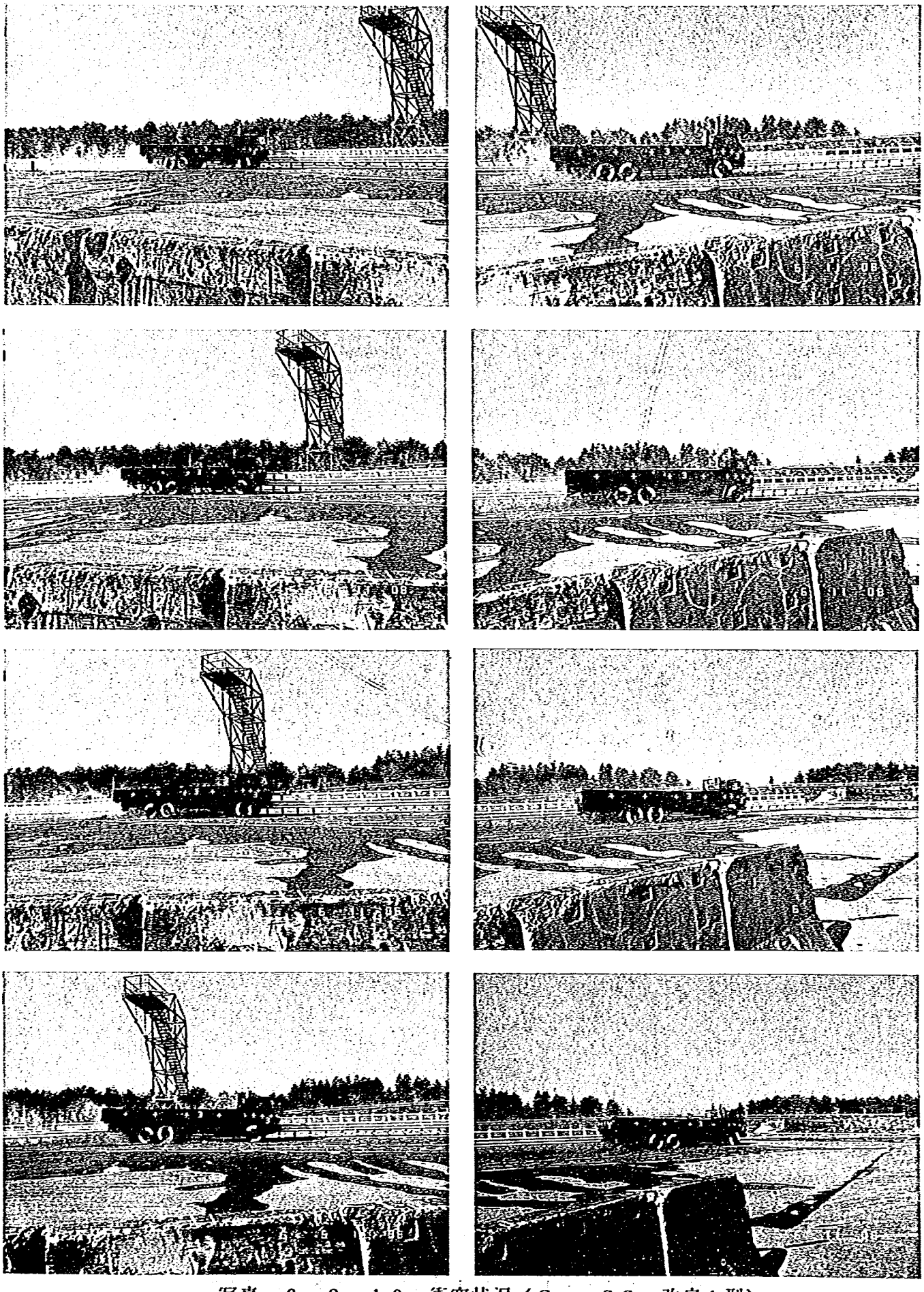
写真－６・２・７　支柱の折れ曲がり状況



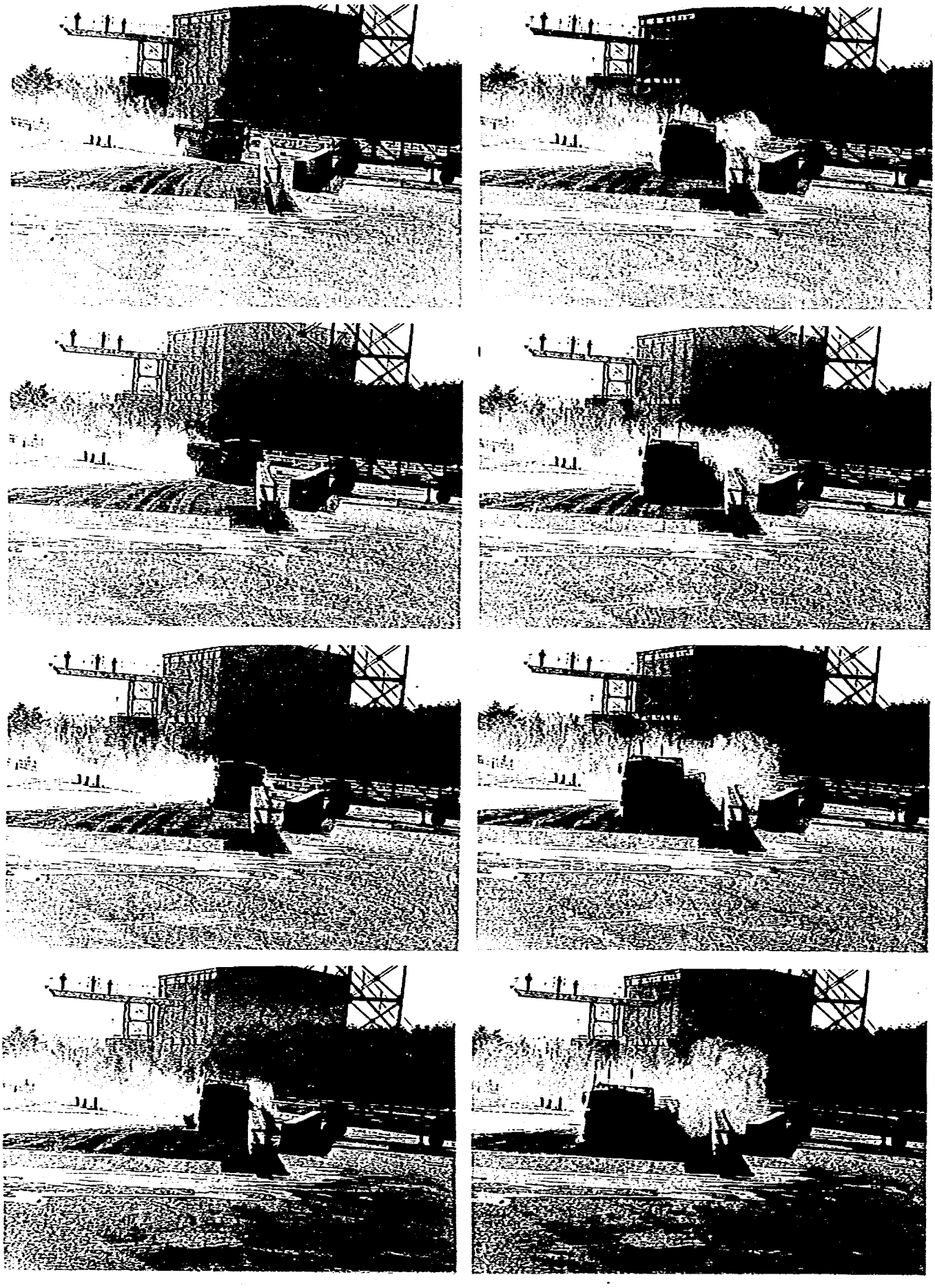
写真－６・２・８　衝突後の車両



写真－６・２・９　衝突後の車両



写真－６・２・１０　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　改良１型）



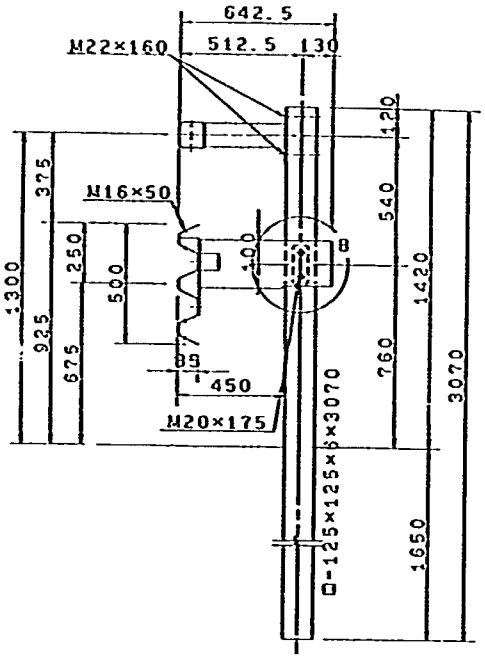
写真－6・2・11　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　改良１型）

６．３．Ｇｒ－ＳＳ改良１型［実験３］

６．３．１．実験目的

本実験は、前回と同一構造（改良１型）の防護柵に対して、衝突角度を20度にし前回の1.7倍の衝撃度における防護柵強度と車両誘導性の検証を行うことを目的とした。（２．２．参照）

改良１型の断面図を図－６・３・１に示す。



図－６・３・１　改良１型の断面図

６．３．２．衝突条件

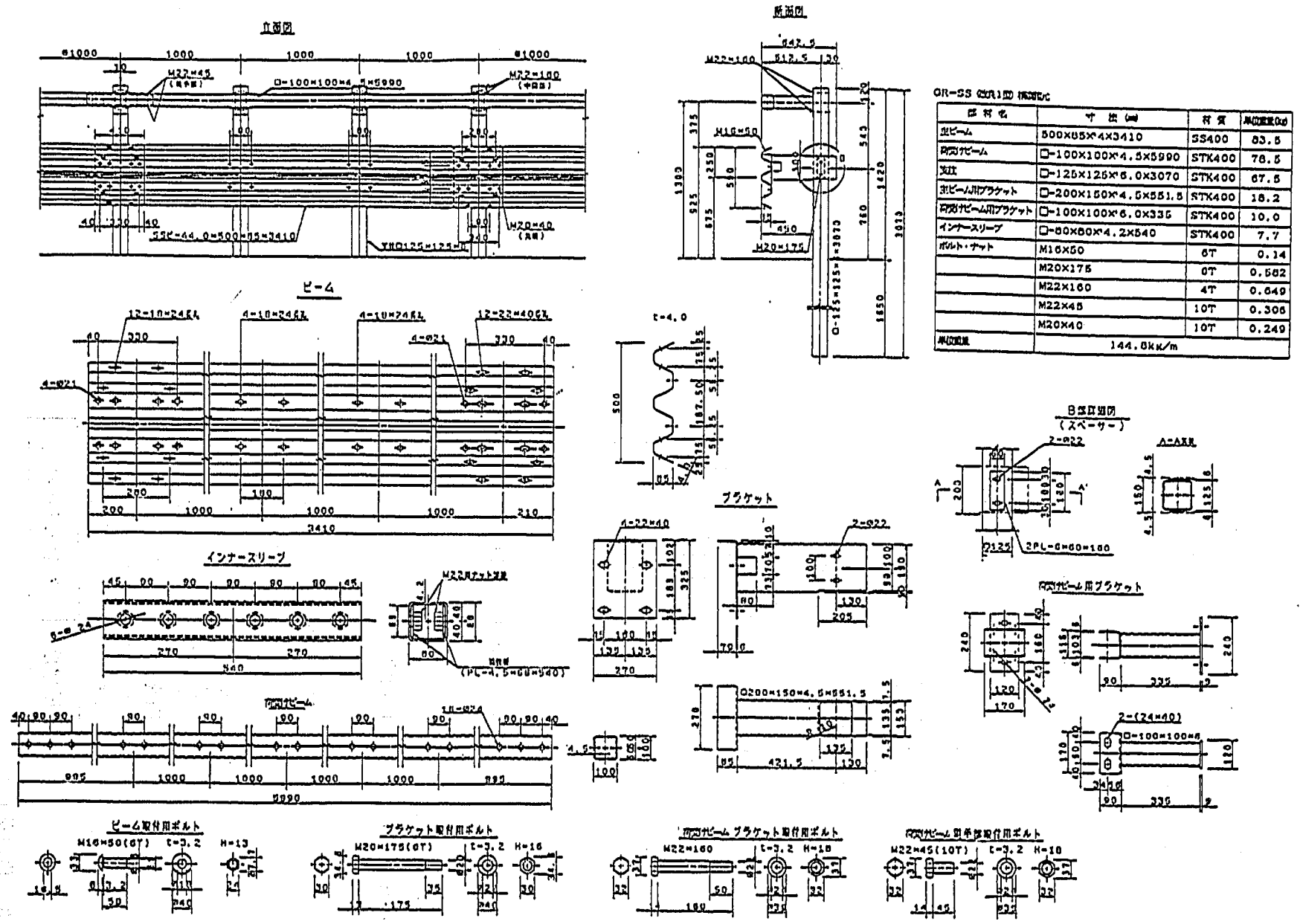
衝突条件を表－６・３・１に示す。

表－６・３・１　衝突条件

衝突車種	大型貨物車
車両車重	20 t
衝突速度	100km/h
衝突角度	20度
衝撃度	92.1t･m[903kJ]

６．３．３．供試体構造

供試体構造および部材表を図－６・３・２に示す。



部材名	寸法(mm)	材質	単位重量(kg)
H形ビーム	500×85×4×3410	SS400	83.5
円形ビーム	□-100×100×4.5×5990	STK400	78.5
支柱	□-125×125×6.0×3070	STK400	67.5
H形ビーム用ブラケット	□-200×150×4.5×551.5	STK400	18.2
円形ビーム用ブラケット	□-100×100×6.0×335	STK400	10.0
インナースリーブ	□-80×80×4.2×540	STK400	7.7
ボルト・ナット	M16×50	6T	0.14
	M20×175	8T	0.582
	M22×160	4T	0.649
	M22×45	10T	0.306
	M20×40	10T	0.249
単位重量	144.6kg/m		

図－６・３・２　供試体構造図および部材表

6．3．4．衝突シミュレーションによる誘導性の検討

1）衝突シミュレーション結果

衝突シミュレーションで演算された結果を表－6・3・2に示す。

2）車両横転検討

検討結果は、表－6・3・3に示すとおり誘導される可能性が高いという結果となった。

3）総合評価

ビームの最大張力が許容耐力内であること、車両の最大進入行程も1,100㎜以内であることから防護柵強度は問題ないと考えられる。また、車両横転する可能性が低いということから車両の誘導性は良好であると考えられる。

表－6・3・2　シミュレーション結果

		シミュレーション値	許容値	評　価
離脱速度　(km/h)		85.5	75 以上	良好
離脱角度　(°)		20.1	12 以内	不良
最大進入行程　(㎜)		760	1,100 以内	良好
防護柵変形範囲(m)		20		
ビーム	最大張力　(t)	76.9	98.2	良好
	最大変形量(㎜)	890		
支柱	最大水平力(t)	6.0		
	最大変位量(㎜)	879		
水平力　(t)		50.9		

表－6・3・3　車両横転有無検討

水平力(t)	Mr (t･m)	Mf (t･m)	結果
50.9 [499kN]	44.2 [433kN･m]	17.1 [167kN･m]	誘導

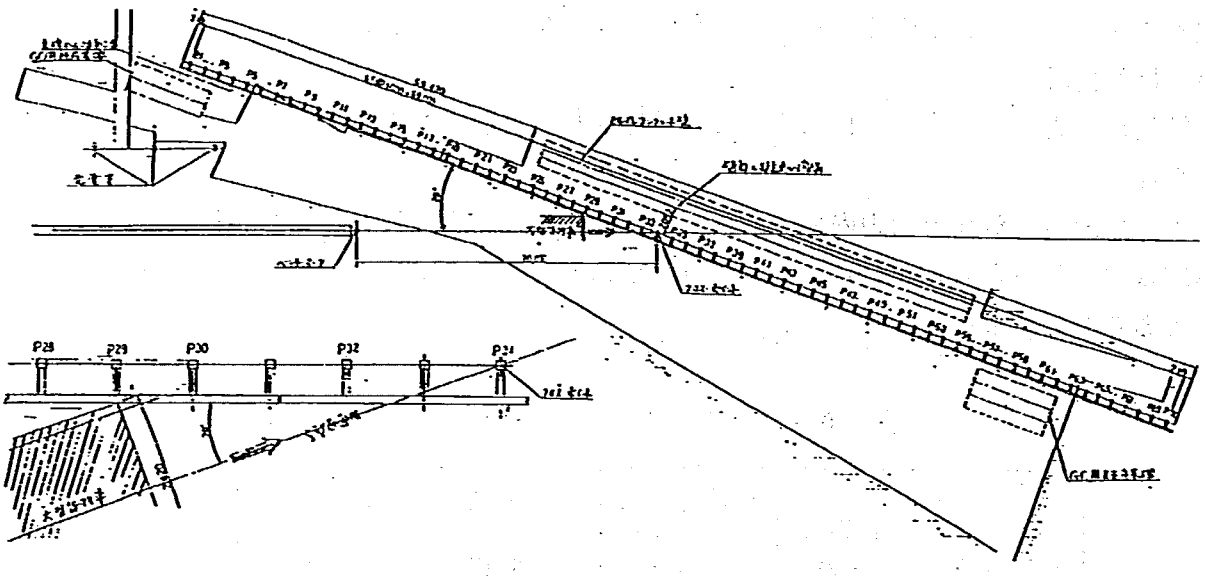
6．3．5．供試体の配置および計測位置

供試体の配置を図－6・3・3、計測位置を図－6・3・4に示す。

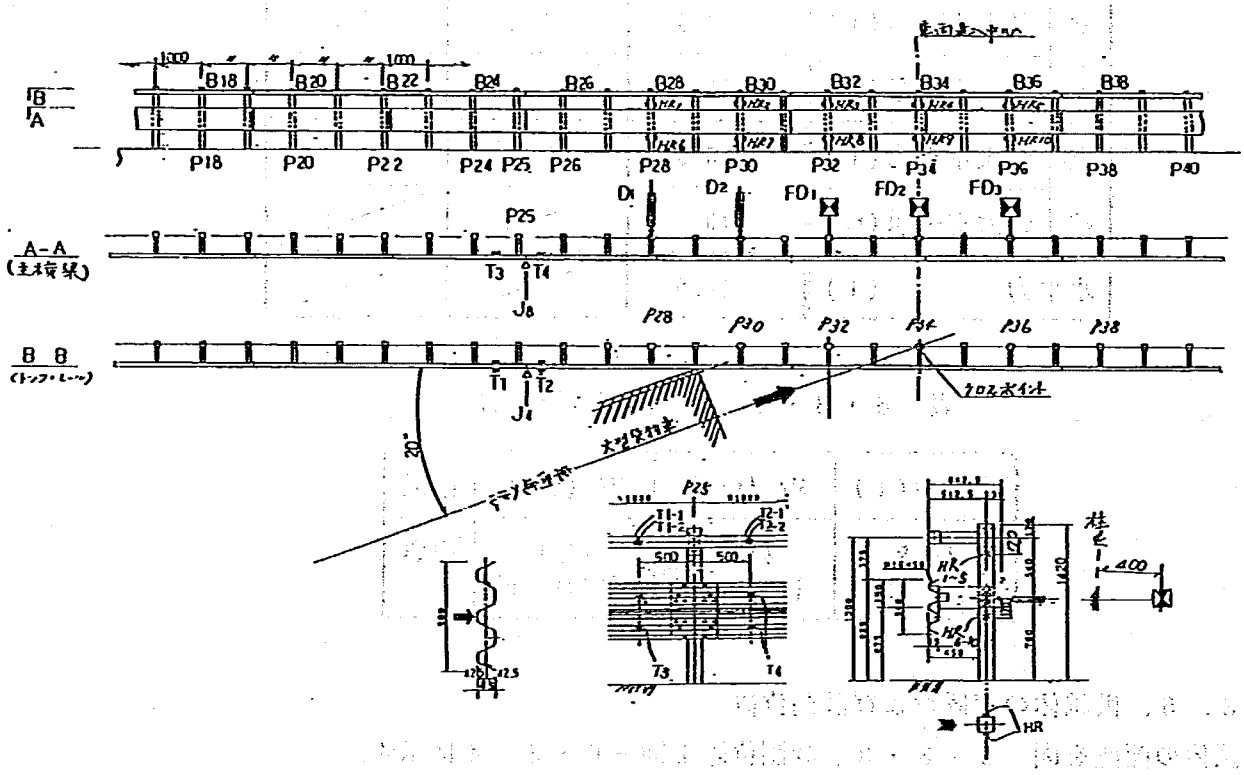
6．3．6．実験結果および考察

車両を滑らかに誘導することができ、防護柵強度が十分であることが確認された。

実験結果を表－6・3・4に示す。



図－６・３・３　供試体配置



図－６・３・４　計測位置

表－６・３・４　実験３結果一覧表

						許容値
実験日					1991. 3.12	
実験番号					3	
衝突条件	車両重量（t）				20	——
	衝突速度（km/h）				100	——
	衝突角度（°）				20	——
	衝撃度（t･m）				92.1 [903kJ]	——
離脱速度（km/h）					76.9（減速率23%）	75 以上
離脱角度（°）					9.8	12 以内
接触長	主ビーム（m）				12.7	——
	荷受けビーム（m）				16.1	——
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位（mm）			972 (P34)	——
		残留	直角(Y)方向（mm）		1,084 (P34)	——
			延長(X)方向（mm）		64 (P31)	——
	Y方向ビーム残留変位（mm）		主ビーム		1,082	——
			荷受けビーム		771	——
最大進入行程（mm）					550 (P35)	1,100 以内
車両最大傾斜角（°）	前端				8	——
	後端				22	——
支柱最大水平力（t）					8.3 [81kN]	——
ビーム最大張力（t）	主ビーム				23.3 [228kN]	64.0 [627kN]
	荷受けビーム				21.7 [213kN]	34.2 [335kN]
加速度	車両重心	50 msec 値	進行(X)方向（g）		2.0	10
			直角(Y)方向（g）		2.1	5
			垂直(Z)方向（g）		——	——
			合成（g）		2.6	12
HIC値	運転席ダミー				50.5	1,000
	助手席ダミー				22.8	1,000

1）車両誘導性

車両は、速度100km/h、角度20度で防護柵に衝突した。左側前端部衝突後、車両は右側車輪を若干浮き上がらせながら、滑らかにたわんだ防護柵に沿って、進行方向へ復帰し、良好な状態で誘導された。また、衝突後積載土嚢の飛散はなかった。

衝突速度が100km/hに対し離脱速度は76.9km/hで、減速率は23%であった。これは、参考許容値（25%）以下であった。離脱角度は9.8度で、これは衝突角度の49%で参考許容値60%以下であり、かつ10度以下であった。以上の結果より、車両誘導性は良好であると判断できる。

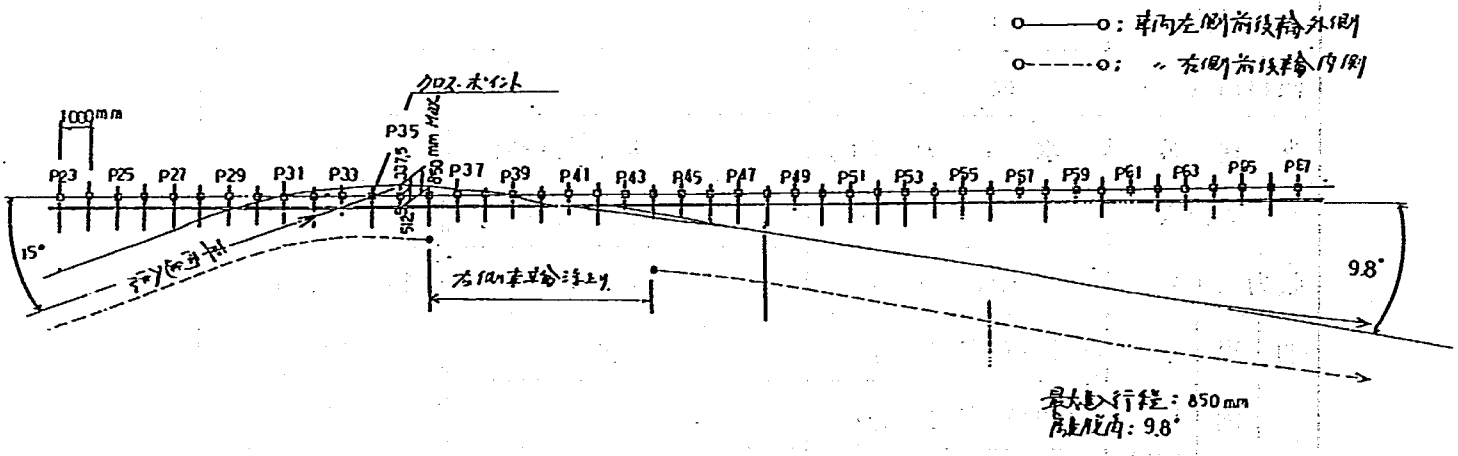
また、離脱するまでの車両の最大傾斜角は前後端それぞれ8度、22度であり、その時右側前輪で10cm、後輪で32cmの浮き上がりがあった（表－６・３・５参照）。

車両の最大進入行程は550㎜で、1,100㎜以下であった。

車両軌跡を図－６・３・５に示す。

表－６・３・５　車両の挙動

車両の最大傾き（度）	車両重心	—	前端	8	後端	22
車両の最大飛び上がり量（㎜）	前端部	右側	100	荷台後端部	右側	320
		左側	0		左側	0



図－６・３・５　車両の軌跡

2）防護柵強度

（１）支柱

支柱の最大変位量を表－６・３・６に示す。支柱の柵直角方向最大変位量（主ビームの中心取付位置）は、衝突0.66秒後の後輪衝突時にP34で 972㎜であった。

支柱の防護柵直角方向最大水平力は各支柱の主ビーム取付部と荷受けビーム取付部とで、それぞれ計測した。主ビーム取付部の最大水平力は、P30で衝突前半時に10.3ｔ、荷受けビーム取付部の最大水平力は、P30で衝突後半時に5.7ｔ発生した。

（２）ビーム

ビームに発生した最大張力を表－６・３・８に示す。主ビームと荷受けビームに発生する張力について、主ビームの最大張力はB25で衝突前半時に23.3ｔ、荷受けビームの最大張力はT25で衝突後半時に21.7ｔであった。主ビームの許容耐力は64.0ｔ、荷受けビームの許容耐力は34.2ｔであり、両ビームとも余裕があった。

表－６・３・６　支柱の動的最大変位量（GL+760㎜）

支柱番号	P28	P30	P32	P34	P36
変位量　(㎜)	323	521	954	972	894

表－６・３・７　各支柱、荷受けビーム取付部に作用した最大水平力

支　柱　番　号		P28	P30	P32	P34	P36
最大水平力　(ｔ)	衝突前半	-1.8	10.3	7.9	6.2	7.2
	衝突後半	3.0	10.2	6.0	6.1	6.3
荷受けビーム取付部の最大水平力(ｔ)	衝突前半	3.2	4.9	3.3	2.6	4.1
	衝突後半	4.7	5.7	5.2	3.2	1.3

表－６・３・８　主ビーム、荷受けビームに作用した最大張力

主ビーム番号		B24	B25	荷受けビーム番号		T24	T25
張力(ｔ)	衝突前半	21.5	23.3	張力(ｔ)	衝突前半	10.4	11.7
	衝突後半	4.9	21.8		衝突後半	19.0	21.7

３）防護柵損傷状況

車両と防護柵の接触長は、P27～P43 の 16.1ｍであった。

防護柵の残留変形が生じた区間は、P25～P44 の19ｍであった。

車両の接触跡を図－６・３・６、防護柵の残留変形を図－６・３・７に示す。

（１）支柱

支柱頂部の最大残留変位量はY方向がP34で1,084㎜、X方向がP31で64㎜であった。４本（P33～P36）にタイヤの接触跡があった。16本（P27～P42）が”く”の字に変形し、その折れ曲がり位置は、GL-100㎜～300㎜（平均 -213㎜）の深さであった。なお、亀裂、完全な抜け出しはなかった。

（２）ビーム

主ビームの最大残留変位はB34で、Y方向に771㎜、荷受けビームはT34で同様に1,082㎜であった。主ビーム下端に波状変形、コルゲーションの断面変形（P30～P36）、および前輪取付ボルトによる局部的な孔あきが２カ所（P31付近）生じたが、破断は無かった。荷受けビームは、2～4㎜のへこみ（P29～P37）があったが、破断は無かった。

（３）ブラケット

数個に局部的な変形が生じ、その内の１箇所（P34）の主ビーム取付面の下部に局部的な亀裂が生じた。

（４）ボルトおよび接合部

接合部の最大ずれ量は、主ビームがP31で 8.5㎜、荷受けビームがP31で 17.9㎜であり、ボルトの破断は無かった。

４）車両損傷状況

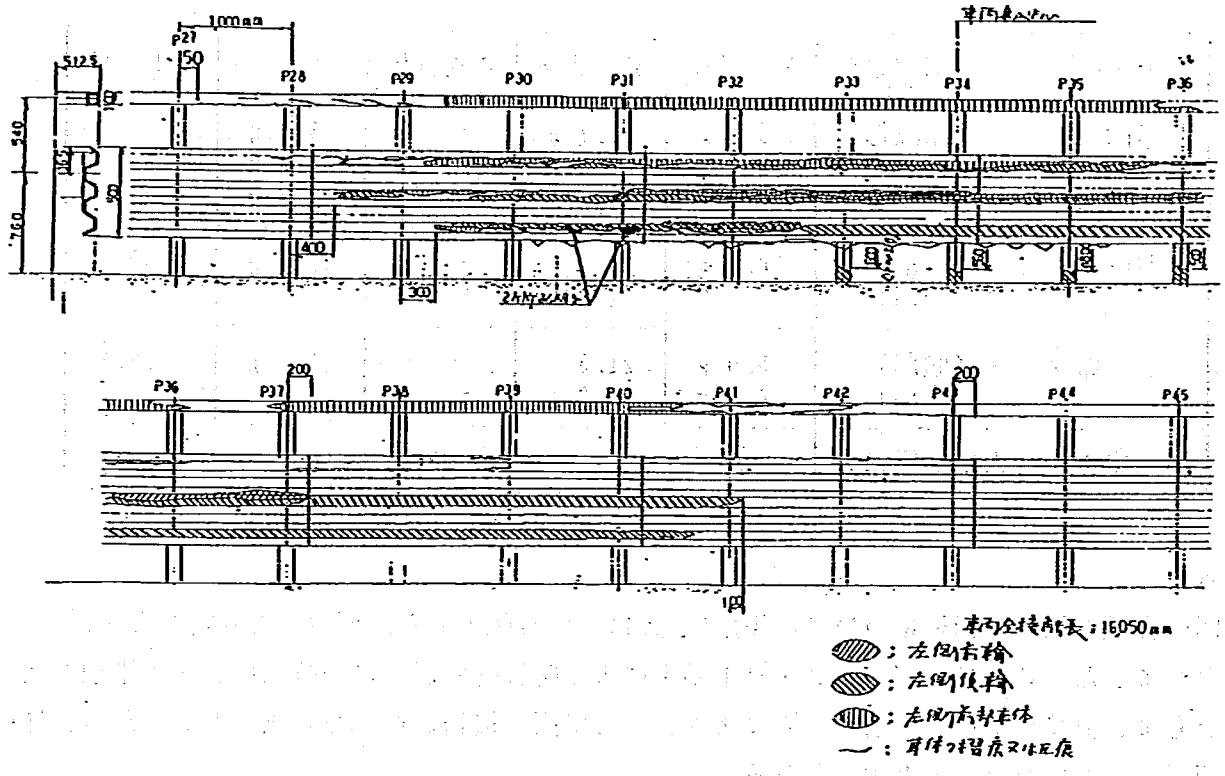
左側前部のフェンダーとバンパーが運転席床下まで大きく潰れていた。車体の左側には前から後ろにかけて、1,600㎜の位置に荷受けビームによる摺痕があった。また、左側前輪のステップは完全に潰れ、前輪軸は右側へ10cm程度移動していた。左サイド窓ガラスおよびフロントガラスの左側隅角部が破損していた。

自力走行および牽引走行は前輪軸の足廻りの損傷で不可能であった。積載物の飛散は無かった。

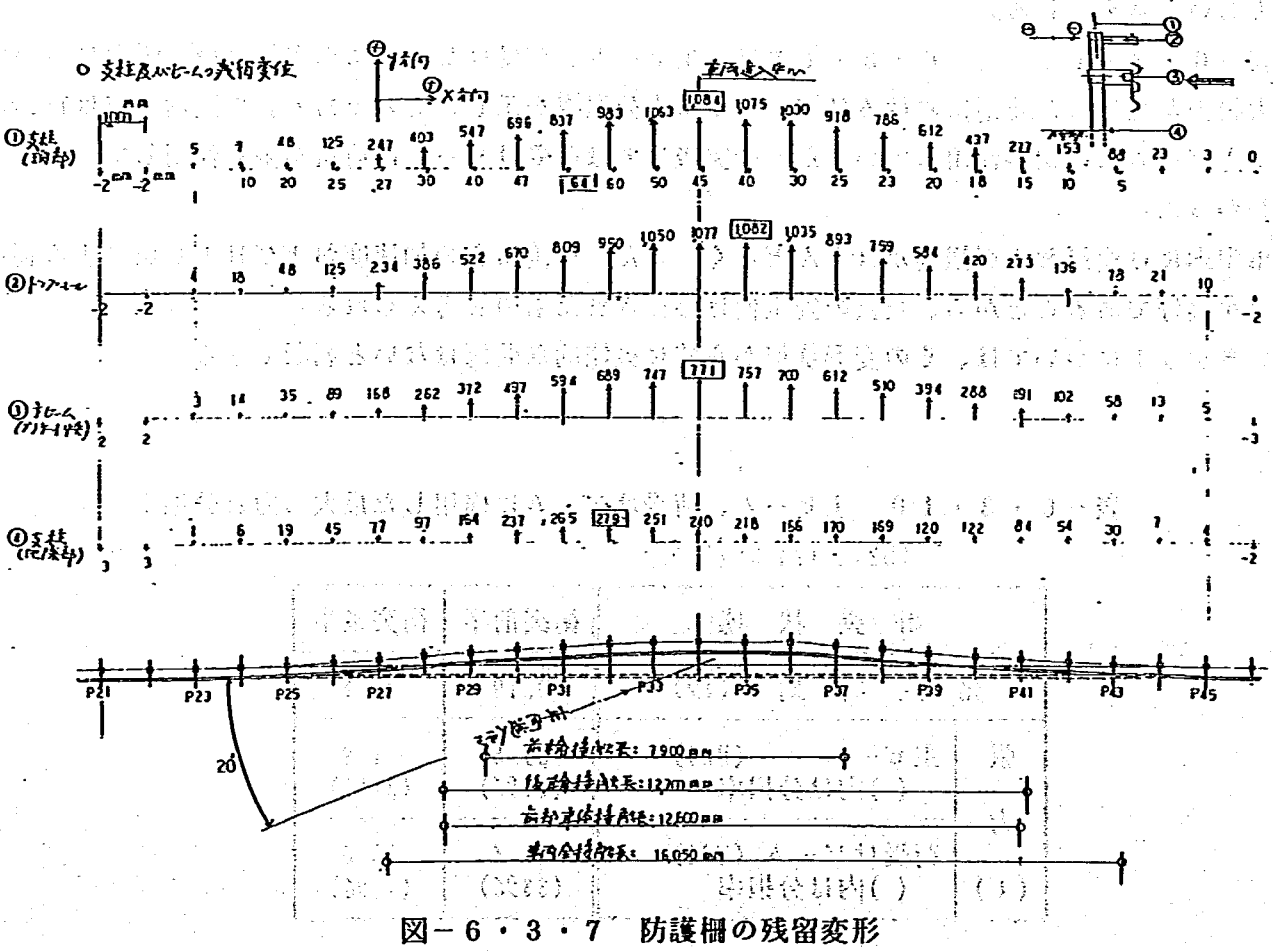
５）乗員の安全性

車両重心の加速度について、50ms値はX方向：2.0g　Y方向：2.1g　合成：2.6gであり２点式ベルトの参考許容値（X方向：10g　Y方向：5g　合成：12g）以下であった。また、ダミー頭部のＨＩＣ値は、運転席側：50.5、助手席側：22.8であり参考許容値（1,000）以下である。

運転席側ダミーは左側に転倒しているが、助手席側ダミーは正常であった。車室の変形は小さく乗員の生存空間は確保されていた。したがって、乗員の安全性は確保されていたものと考えられる。



図－６・３・６　車両の接触跡



図－６・３・７　防護柵の残留変形

表－６・３・９　衝突時加速度（80Hzローパスフィルター処理）

測定箇所＼測定成分	X成分値	Y成分値	Z成分値	合成値	ＨＩＣ値
車両重心　（原波形）	3.1 g	3.7 g	——	3.8 g	
（50ms値）	2.0 g	2.1 g	——	2.6 g	
（有効値）	1.7 g	1.4 g	——	2.2 g	
運転席ダミー（頭部）	6.9 g	29.4 g	——	35.2 g	50.5
（胸部）	——	12.6 g	4.8 g		
助手席ダミー（頭部）	5.0 g	21.5 g	——	21.5 g	22.8
（胸部）	4.9 g	4.3 g	——		
運転席ダミー大腿部衝撃力	—— kg				

６）考察

前回の実験と同一の構造について、衝撃度92.1t･mの条件下でも大型車両を安定した挙動で誘導することができた。これは、ブロックアウト効果により防護柵変形時に一時的に高さの増加が図られたとともに、荷受けビームと主ビームにより、衝突車両の横転、逸脱を防止したことから、進行方向へ円滑に誘導できたものと考えられる。

主ビームと荷受けビームの許容耐力に対する計測値の最大張力の割合は、それぞれ、38%、72%であった。したがって、耐力に余裕のある主ビームに張力をより多く分担させるようにすることが望ましいと考えられる。

表－６・３・１０、表－６・３・１１は、主ビームと荷受けビームに作用した最大張力について、最大張力が発生した時刻における各ビームの張力分担率を示したものである。衝突前半では7:3の割合で主ビームに荷重が作用しているが、衝突後半では荷受けビームに荷重が多く作用していることがわかった。

車室内には変形および損傷がほとんどなく、また、車両重心の加速度およびＨＩＣ値による判定結果が良好であることから、乗員の安全性は確保されたものと考えられる。

ブラケットについては、その変形状況から特に機能的な問題はないと判断できる。

表－６・３・１０　主ビーム、荷受けビームに作用した最大張力と分担率
（B24、T24について）

衝突状態		衝突前半	衝突後半
発生時刻（秒）		0.19	0.56
張力（t）	主ビーム　（B24） （ ）内は分担率	21.5 (67%)	4.9 (21%)
	荷受けビーム（T24） （ ）内は分担率	10.4 (33%)	19.0 (79%)

表－６・３・１１　主ビーム、荷受けビームに作用した最大張力と分担率
（B25、T25について）

衝突状態		衝突前半	衝突後半
発生時刻（秒）		0.19	0.47
張力（t）	主ビーム　(B25) （）内は分担率	23.3 (67%)	21.8 (54%)
	荷受けビーム　(T25) （）内は分担率	11.7 (33%)	※18.8 (46%)

※最大張力ではない（最大張力は 0.56秒で 21.7ｔ）

６．３．７．検討事項および課題

各部材の強度および防護柵としての耐力についてはまだ十分余裕がある。そこで、単位重量を減らし、経済的に有利にするべきである。荷受けビームの部材を小さくするために、初期衝突時の荷重をもっと主ビームに負担させて、荷受けビームの負担を減らすことが必要である。

今回の供試体は、支柱が１ｍ間隔であることから、施工性が悪く、乗員に対する心理的圧迫感が大きいと考えられる。

以上のことから、今後検証が必要とされる事項を述べる。

（１）鋼材重量の軽減化による経済性を考慮した構造の検討

（２）施工性を考慮した構造の検討

・支柱間隔を拡げる

（３）乗員が受ける心理的圧迫感を減少させるような構造の検討

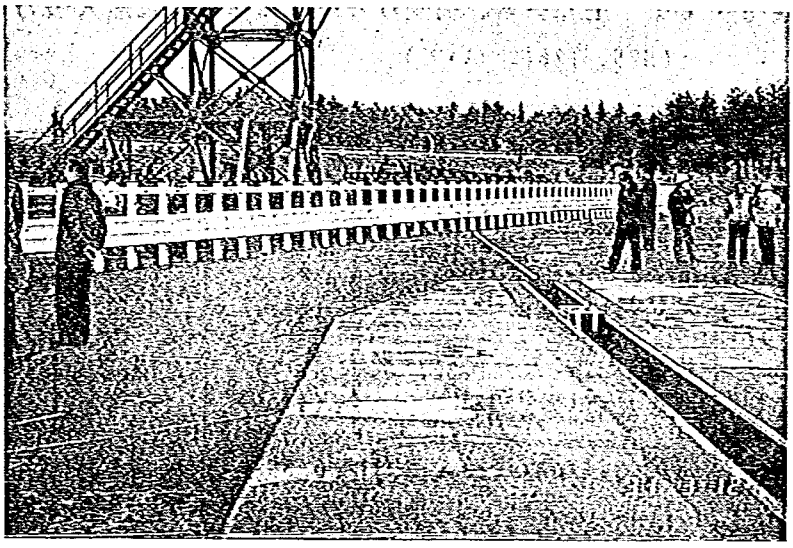
・支柱間隔を拡げる

・高さを低くする

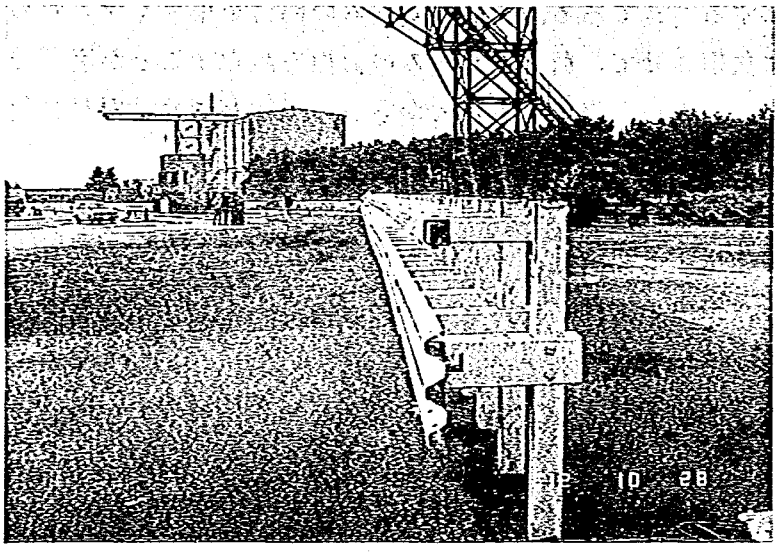
（４）荷受けビームの機能上の必要性とその設置位置の検討

・主ビーム（３山ビーム）に主荷重を分担させる

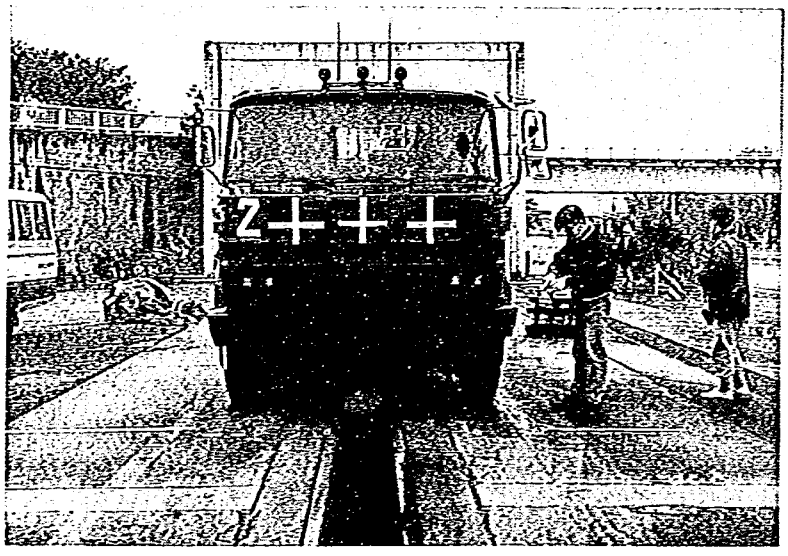
・荷受けビームに車両後部衝突時の荷台荷重を分担させる



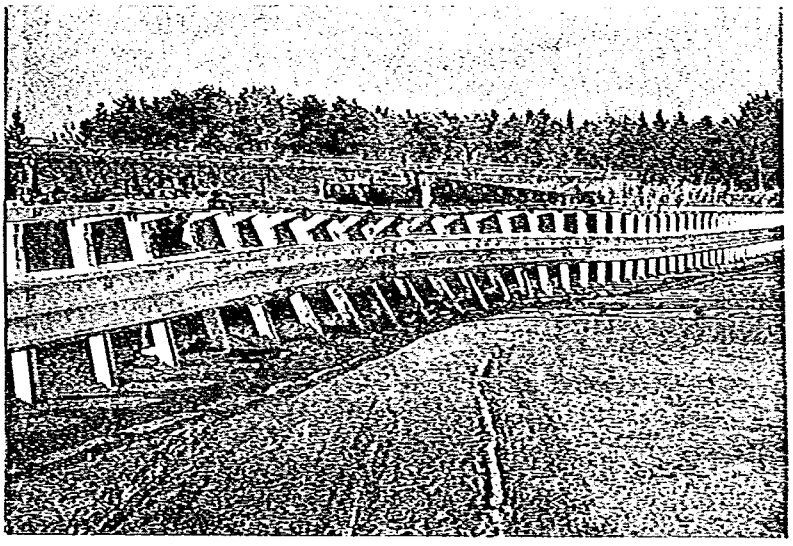
写真－６・３・１　供試体（Ｇｒ－ＳＳ改良１型）



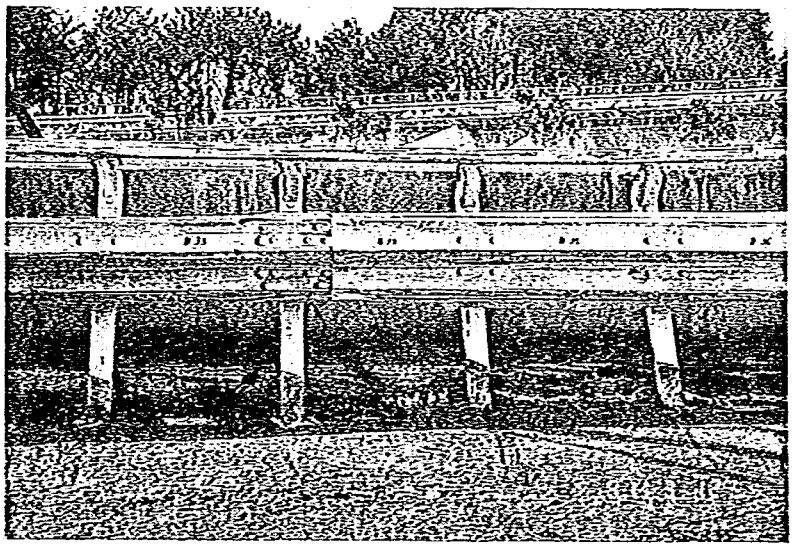
写真－６・３・２　供試体（Ｇｒ－ＳＳ改良１型）



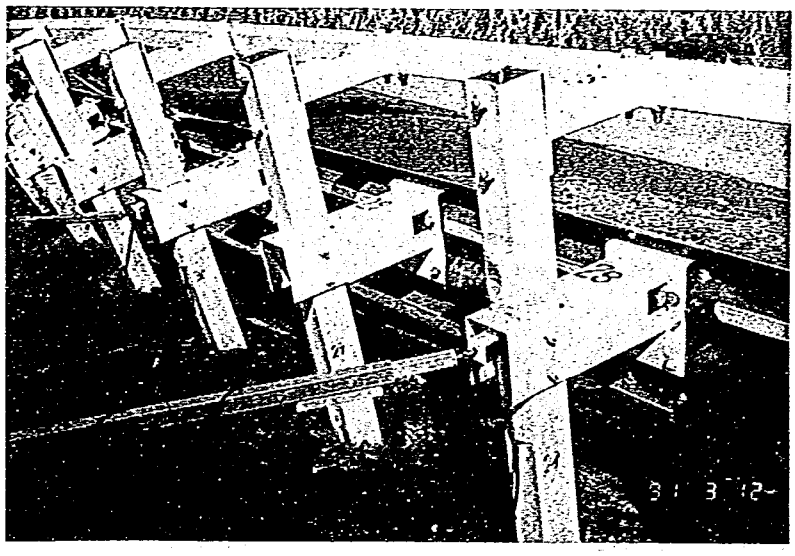
写真－６・３・３　衝突車両（大型貨物車）



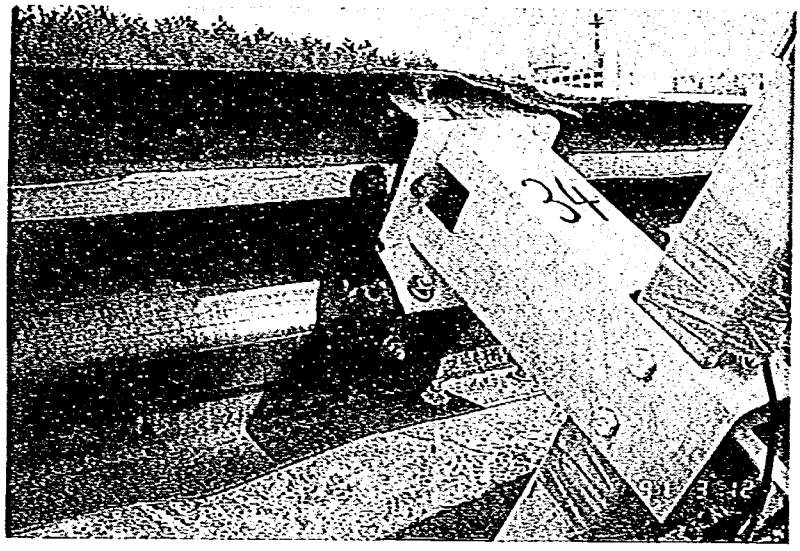
写真－６・３・４　衝突後の供試体



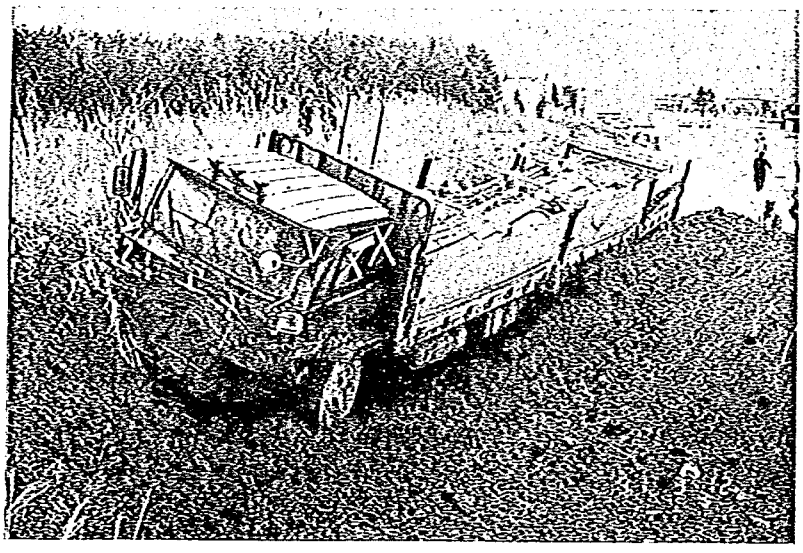
写真－６・３・５　衝突後の供試体



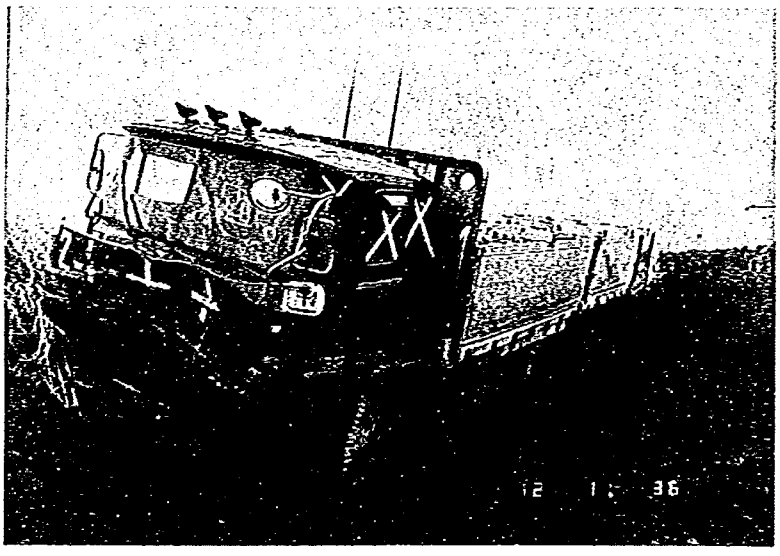
写真－６・３・６　衝突後の供試体



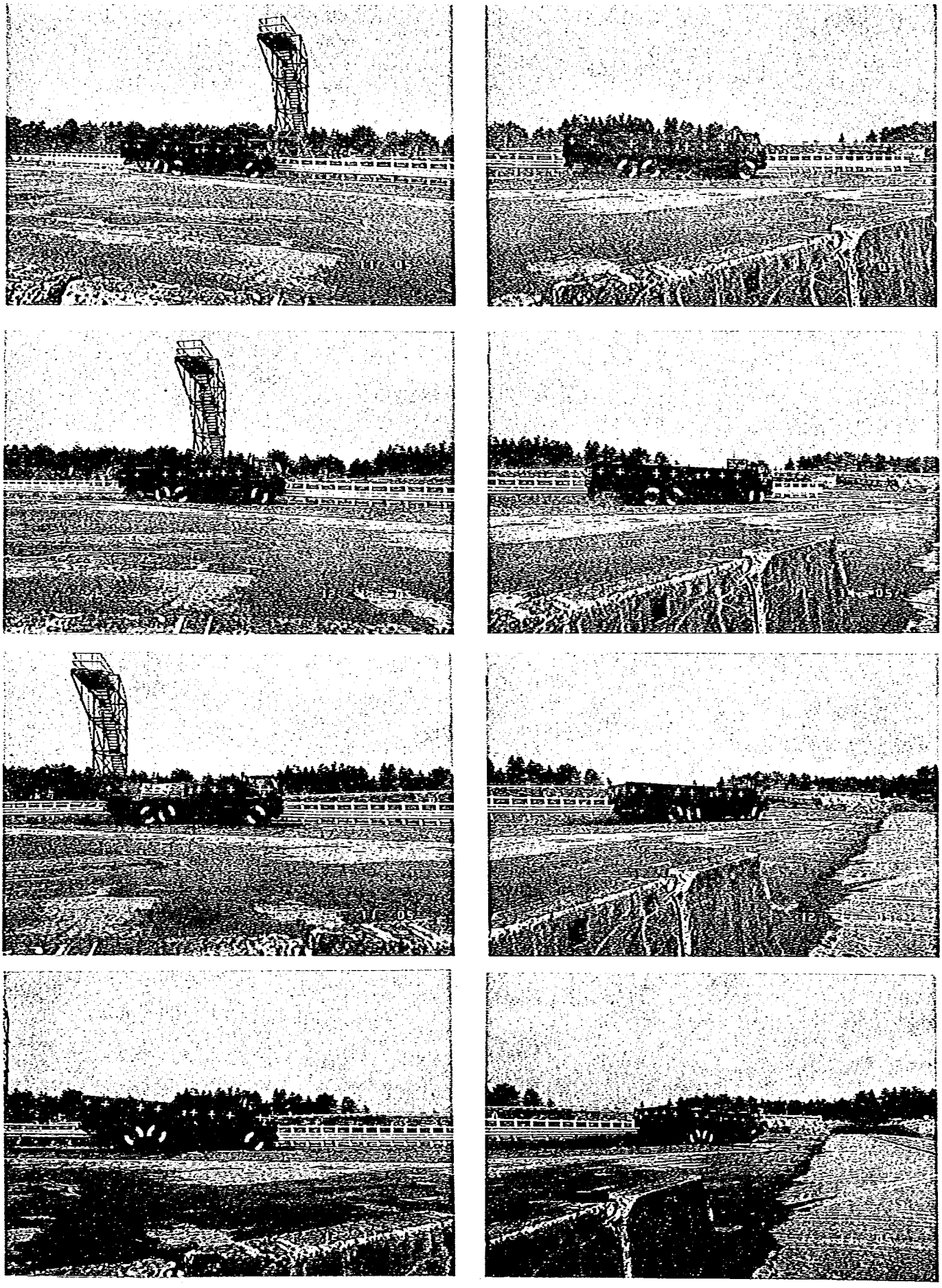
写真－６・３・７　ブラケットの変形状況



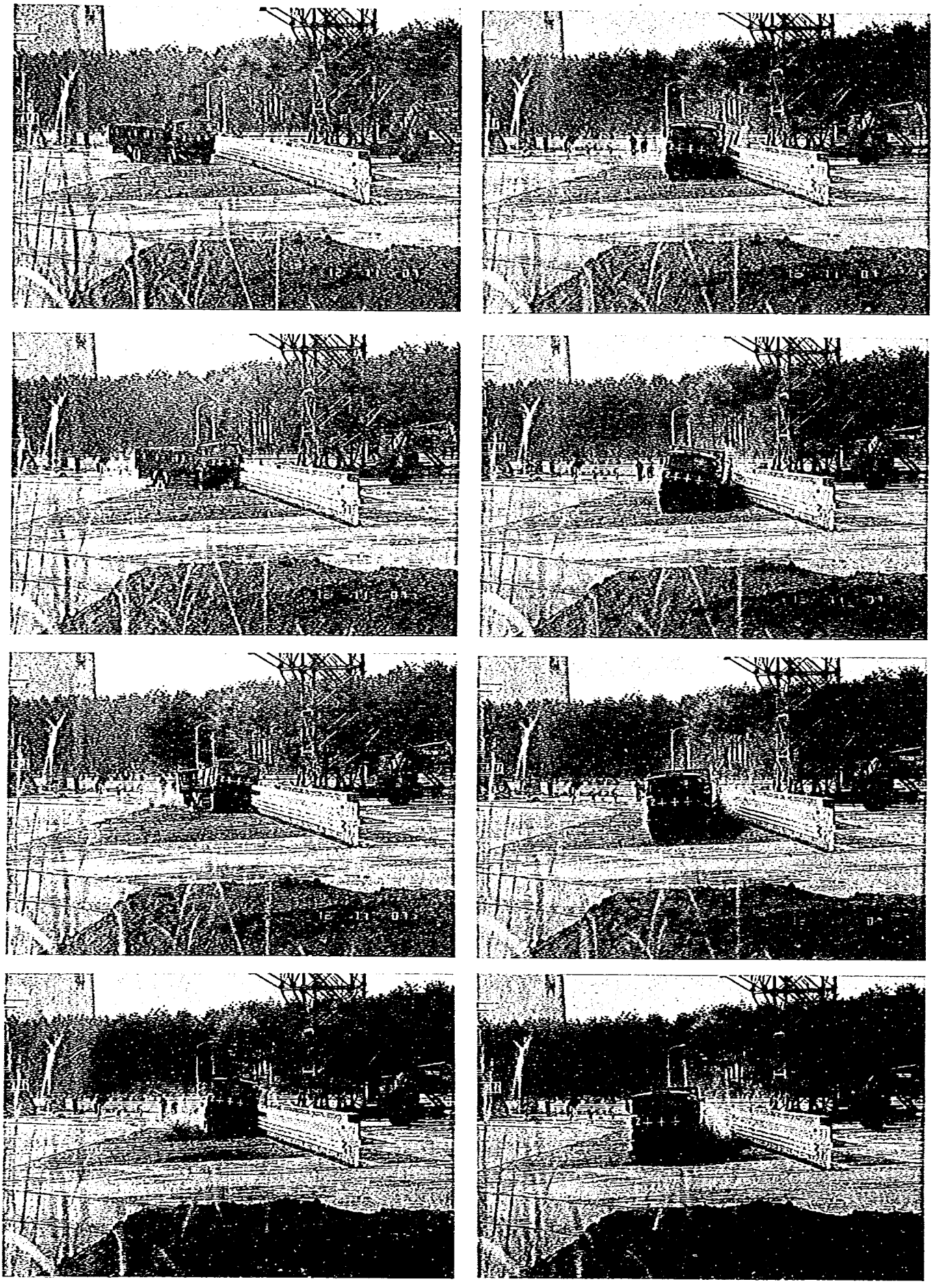
写真－６・３・８　衝突後の車両



写真－６・３・９　衝突後の車両



写真－6・3・10　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　改良１型）



写真－６・３・１１　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　改良１型）

６．４．Ｇｒ－ＳＳ改良２型［実験４］

６．４．１．実験目的

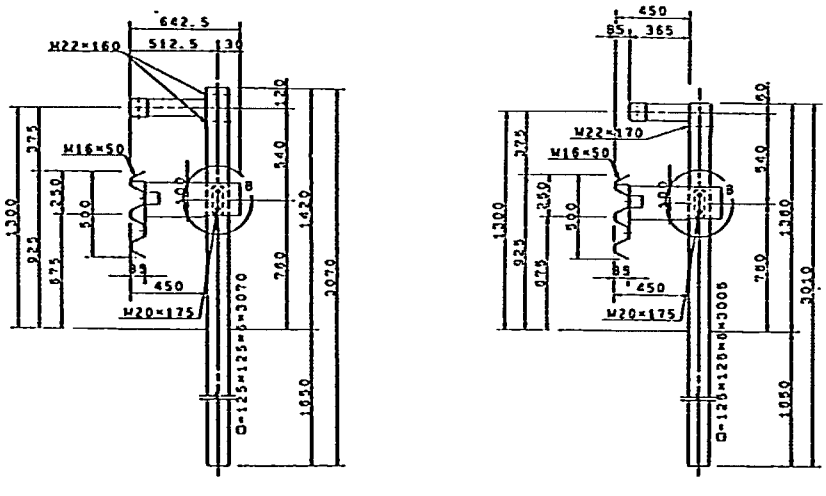
Ｇｒ－ＳＳ改良１型の実験結果から強度にまだ余裕があるものと判断できた。そこで、軽量化および施工性を向上させることや乗員が受ける心理的圧迫感を軽減することを目的として、支柱間隔を１ｍから２ｍに広げた。この改良により、Ｇｒ－ＳＳ改良１型と比べ単位重量で37％の軽量化となった。また、車両の初期衝突荷重を主に主ビームに分担させて、荷受けビームの荷重を軽減するために、荷受けビームのブロックアウト量を主ビームより85㎜セットバックさせて365㎜した。このセットバック量は、主ビームのコルゲーションの幅に合わせた。

本実験では、上述のように軽量化を図った防護柵の、高い衝撃度(92.1t･m)に対する防護柵機能および強度の検証を行う。

改良点を表－６・４・１、図－６・４・１に示す。

表－６・４・１　Ｇｒ－ＳＳ改良１型とＧｒ－ＳＳ改良２型の改良点

改良項目	Ｇｒ－ＳＳ改良１型	Ｇｒ－ＳＳ改良２型
支柱間隔	１ｍ	２ｍ
荷受けビーム ブロックアウト量	450㎜	365㎜



改良１型　　改良２型

図－６・４・１　改良１型と改良２型の断面図

6．4．2．衝突条件

衝突条件を表－6・4・2に示す。

表－6・4・2　衝突条件

衝突車種	大型貨物車
車両車重	20 t
衝突速度	100km/h
衝突角度	20度
衝撃度	92.1t・m［903kJ］

6．4．3．供試体構造

供試体構造および部材表を図－6・4・2に示す。

6．4．4．衝突シミュレーションによる誘導性の検討

1）衝突シミュレーション結果

衝突シミュレーションで演算された結果を表－6・4・3に示す。

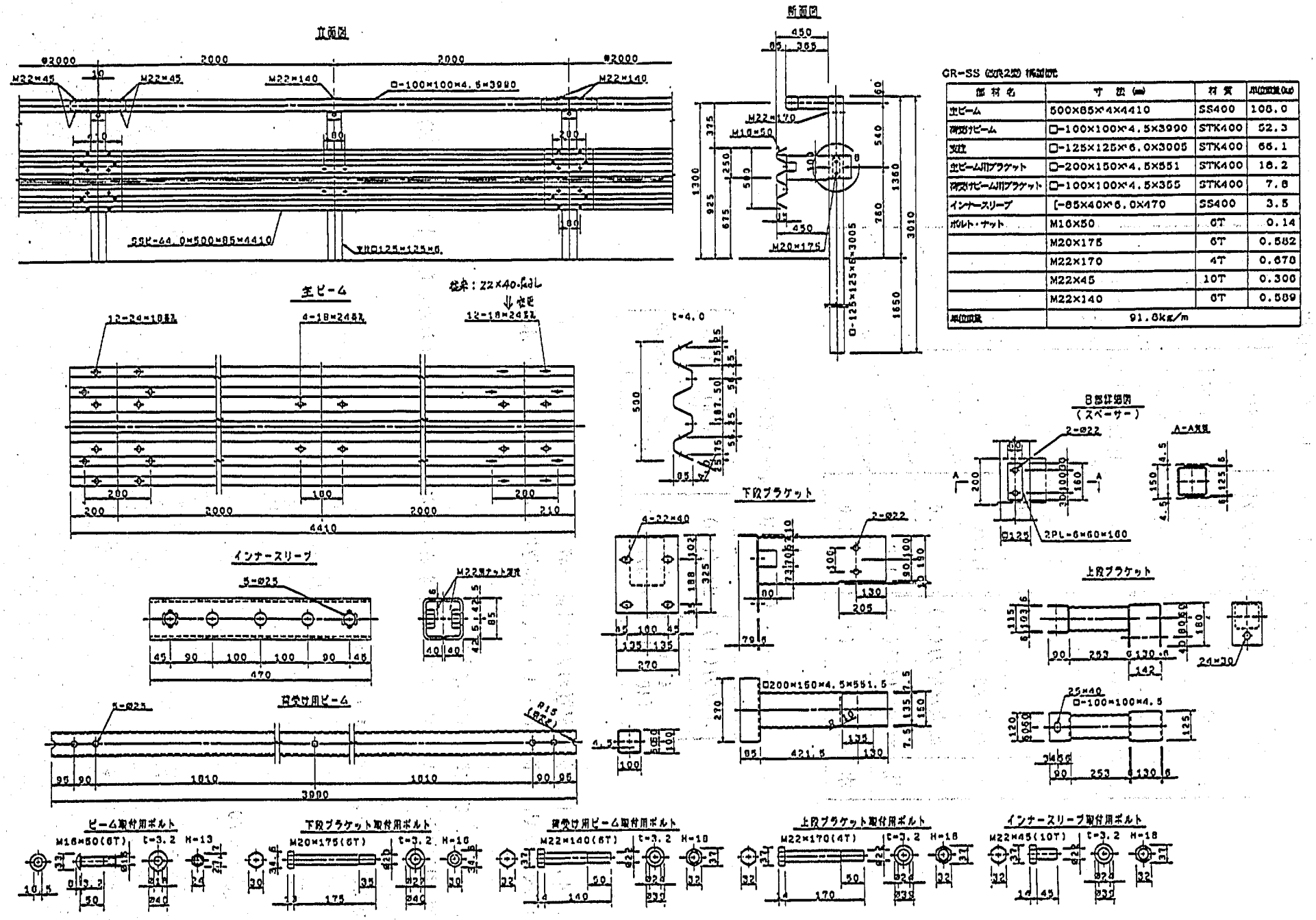
2）車両横転検討

検討結果は、表－6・4・4に示すとおり、横転せず誘導されると考えられる。

3）総合評価

ビームの強度については、部材の変形量が大きいが、破断はせず張力材として有効に働くと思われる。また、車両の最大進入行程は1,100mm以下であるが、変形量はやや大きく変形範囲も実験3に比べて広かった。

車両の横転検討結果から誘導可能であると考えられる。



GR-SS (GR.25) 橋脚式

部材名	寸法 (mm)	材質	単位質量(kg)
主ビーム	500×85×4×4410	SS400	108.0
横受けビーム	□-100×100×4.5×3990	STK400	52.3
支柱	□-125×125×6.0×3005	STK400	66.1
主ビーム用ブラケット	□-200×150×4.5×551	STK400	16.2
横受けビーム用ブラケット	□-100×100×4.5×355	STK400	7.8
インナースリーブ	[-85×40×6.0×470	SS400	3.5
ボルト・ナット	M16×50	6T	0.14
	M20×175	6T	0.582
	M22×170	4T	0.670
	M22×45	10T	0.300
	M22×140	6T	0.589
単位質量	91.6kg/m		

図－６・４・２　供試体構造図および部材表

表－６・４・３　シミュレーション結果

		シミュレーション値	許容値	評　価
離脱速度　(km/h)		80.6	75 以上	良好
離脱角度　(°)		18.9	12 以内	不良
最大進入行程　(mm)		1,030	1,100 以内	良好
防護柵変形範囲(m)		32		
ビーム	最大張力　(t)	82.7	98.2	良好
	最大変形量(mm)	1,120		
支柱	最大水平力(t)	6.0		
	最大変位量(mm)	1,058		
水平力　(t)		41.0		

表－６・４・４　車両横転有無検討

水平力(t)	Mr (t·m)	Mf (t·m)	結果
41.0 [402KN]	35.9 [352kN·m]	24.8 [243kN·m]	誘導

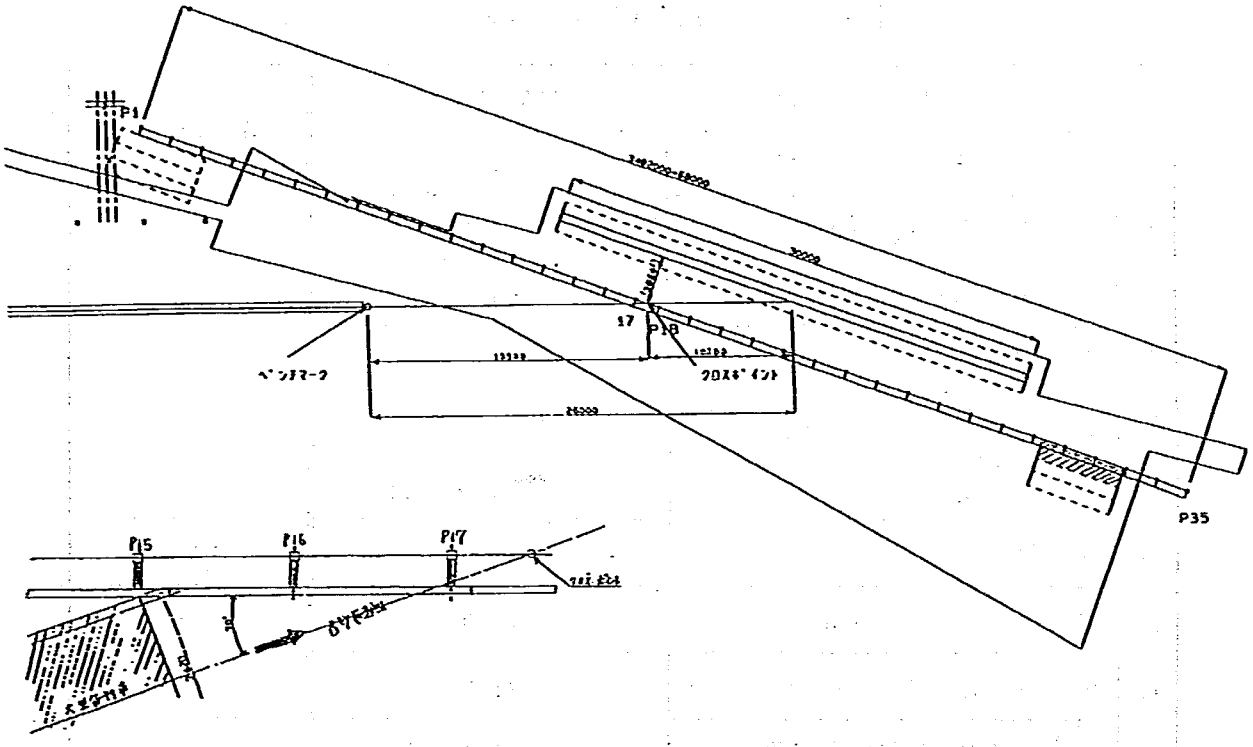
６．４．５．供試体の配置および計測位置

供試体の配置を図－６・４・３、計測位置を図－６・４・４に示す。

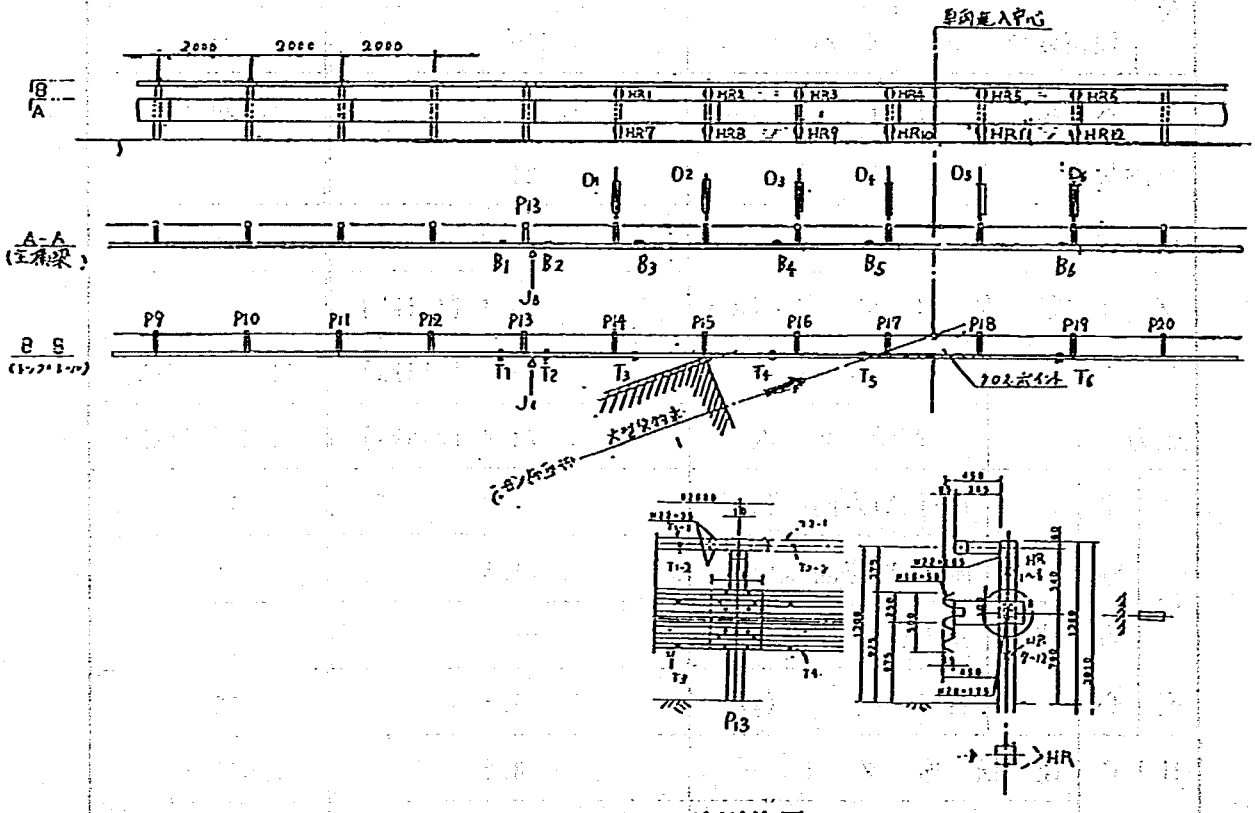
６．４．６．実験結果および考察

車両は大きく傾いたが、突破、横転することなく良好に誘導された。積載土嚢は約半分が飛散した。

実験結果を表－６・４・５に示す。



図－６・４・３　供試体配置



図－６・４・４　計測位置

表－６・４・５　実験４結果一覧表

					許容値
実験日				1991.12.19	
実験番号				4	
衝突条件	車両重量（t）			20.5	——
	衝突速度（km/h）			100	——
	衝突角度（°）			20	——
	衝撃度（t·m）			94.4 [925kJ]	——
離脱速度（km/h）				79.5（減速率21%）	75 以上
離脱角度（°）				7	12 以内
接触長	主ビーム（m）			20.0	——
	荷受けビーム（m）			21.3	——
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位（mm）		1,178 (P19)	——
		残留	直角(Y)方向（mm）	1,602 (P20)	——
			延長(X)方向（mm）	134 (P25)	——
	Y方向ビーム残留変位（mm）		主ビーム	1,671	——
			荷受けビーム	1,260	——
最大進入行程（mm）				1,045 (P19)	1,100 以内
車両最大傾斜角（°）			前端	24.7	——
			後端	41.2	——
支柱最大水平力（t）				16.4 [161kN]	——
ビーム最大張力（t）			主ビーム	25.8 [253kN]	64.0 [627kN]
			荷受けビーム	24.4 [239kN]	34.2 [335kN]
加速度	車両重心	50 msec 値	進行(X)方向（g）	1.6	10
			直角(Y)方向（g）	1.5	5
			垂直(Z)方向（g）	——	——
			合成（g）	3.5	12
HIC値	運転席ダミー			8.3	1,000
	助手席ダミー			11.3	1,000

1）車両誘導性

車両は、速度100km/h、角度20度で防護柵に衝突した。車両重量が20.5ｔで、衝撃度は94.4t･m であった。衝突後、車両は防護柵に沿って進行し、右側車輪を大きく浮き上がらせ、防護柵を大きく円弧状に変形させながらも、突破、横転することなく良好に誘導された。しかし、衝突後、車体が向きを変えて離脱する際、遠心力と車両が大きく傾いたために、荷台の後半分から土嚢が飛び散った。積載土嚢530袋中道路内に 28袋、路外に 215袋飛散した。

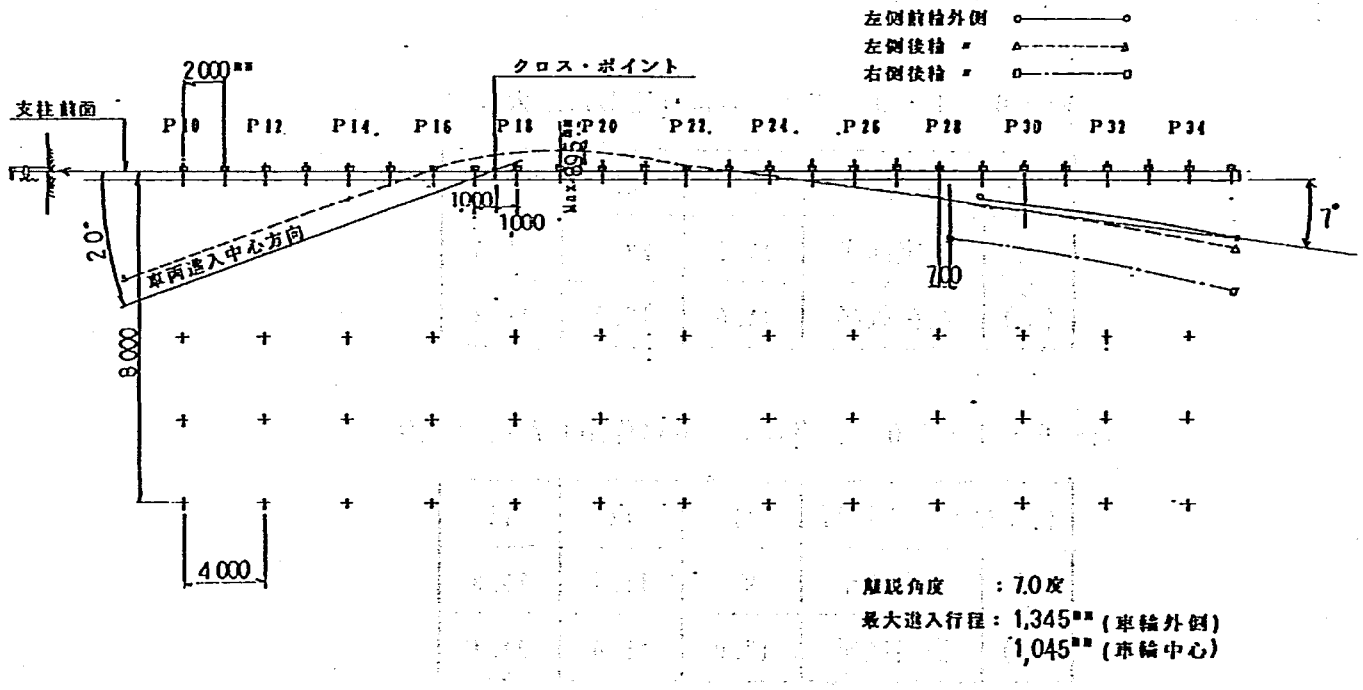
衝突速度が100km/hに対し離脱速度は79.5km/hで、減速率は21%であった。これは、参考基準値(25%)以下であった。離脱角度は7.0度で、浅い角度であった。参考基準値以下であり、かつ10度以下であった。以上これらの結果より、車両誘導性は良好であると判断できる。

車両の最大進入行程は 1,045㎜であった。

車両軌跡図を図－６・４・５に示す。

表－６・４・６　車両の挙動

車両の最大傾き（度）	車両重心	32.5	前端	24.7	後端	41.2
車両の最大飛び上がり量（㎜）	前端部	右側	580	荷台後端部	右側	1200
		左側	0		左側	0



図－６・４・５　車両の軌跡

2）防護柵強度

（１）支柱

支柱の柵直角方向最大変位量はP19の 1,178㎜であった。

支柱の水平力（防護柵直角方向）は、各支柱の主ビーム取付部と荷受けビーム取付部で計測した。

主ビーム取付部の最大水平力はP17で衝突後半時に16.4ｔ、荷受けビーム取付部はP16で衝突後半時に7.4ｔ発生した。支柱間隔が１ｍから２ｍに広がったことで、発生支柱最大水平力が実験３に比べて約２倍になった。

主ビームの最大張力はB3で25.8ｔ、荷受けビームはT3で24.4ｔであった。主ビームの許容耐力は64.0ｔ、荷受けビームの許容耐力は34.2ｔであり、両ビームとも余裕があった。

表－６・４・７　支柱頭部の最大変位量（GL+760㎜）

支柱番号	P14	P15	P16	P17	P18	P19
変位量　(㎜)	469	542	881	988	1049	1178

表－６・４・８　各支柱、荷受けビーム取付部に作用した最大水平力

支　柱　番　号		P14	P15	P16	P17	P18	P19
最大水平力　(ｔ)	衝突前半	1.8	5.8	9.2	14.5	16.0	9.9
	衝突後半	2.8	4.8	6.8	16.4	10.8	9.6
荷受けビーム取付部の最大水平力(ｔ)	衝突前半	0.5	3.3	5.0	2.3	2.9	3.0
	衝突後半	5.3	7.0	7.4	4.8	4.0	6.3

表－６・４・９　主ビームに作用した最大張力

主ビーム番号		B1	B2	B3
張力(ｔ)	衝突前半	17.8	23.7	25.8
	衝突後半	15.0	17.9	19.3

表－６・４・１０　荷受けビームに作用した最大張力

荷受けビーム番号		T1	T2	T3
張力(ｔ)	衝突前半	9.5	11.7	15.3
	衝突後半	17.0	18.0	24.4

３）防護柵損傷状況

車両と防護柵の接触長は、P15～P26 の 21.8mであった。

防護柵の残留変形が生じた区間は、P12～P27 の30mであった。

車両の接触跡を図－６・４・６、防護柵の残留変形を図－６・４・７に示す。

（1）支柱

Y方向の最大残留変位量はP20で1,602㎜、X方向の最大残留変位量はP25で134㎜であった。２本（P18,P19）にタイヤの接触跡がみられた。10本（P16～P25）が”く”の字に変形し、GL-190㎜～270㎜（平均 GL-240㎜）の深さで折れ曲がっていた。完全な抜け出しはなかった。

（2）ビーム

主ビームの最大残留変位はP20で、Y方向に1,260㎜、荷受けビームはP20で同様に1,671㎜であった。主ビーム上下端に波状変形、コルゲーションの断面変形（P15～P22）が生じたが、破断は無かった。

荷受けビーム前面に車両接触による引き裂き傷が生じた（P19～+700㎜）。

（3）ブラケット

主ビーム用、荷受けビーム用共にブラケット残留変形はほとんどなかった。

（4）ボルトおよび接合部

最大ずれ量は、主ビームが10㎜（J8、J9）、荷受けビームが19㎜（J8、J9）であり、ボルトの破断はなかった。

4）車両損傷状況

左側前部のフェンダーとバンパーが運転席床下まで変形をしており、車体の左側には前から中央にかけて、1,450㎜の位置に荷受けビームによる摺痕が生じていた。

荷台左側後部のあおり板（アルミ製）が、外に出ようとする土嚢の重みで取外れた。左側前輪のステップが損傷しており、同ホイール外端突出部に切断傷が生じた。また、左側前輪の後方移動はなかった。

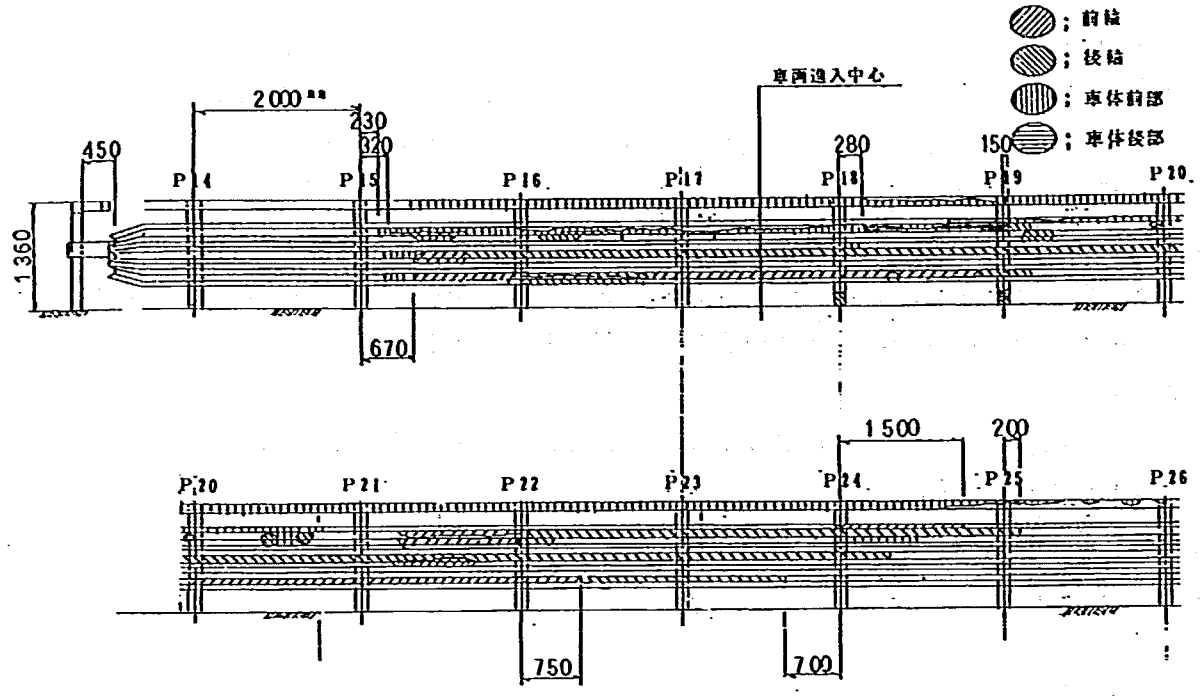
ステアリングには異常なく、自力走行が可能であった。積載物は約半分が飛散した。

車両内外の衝突による変形および損傷は軽微であった。

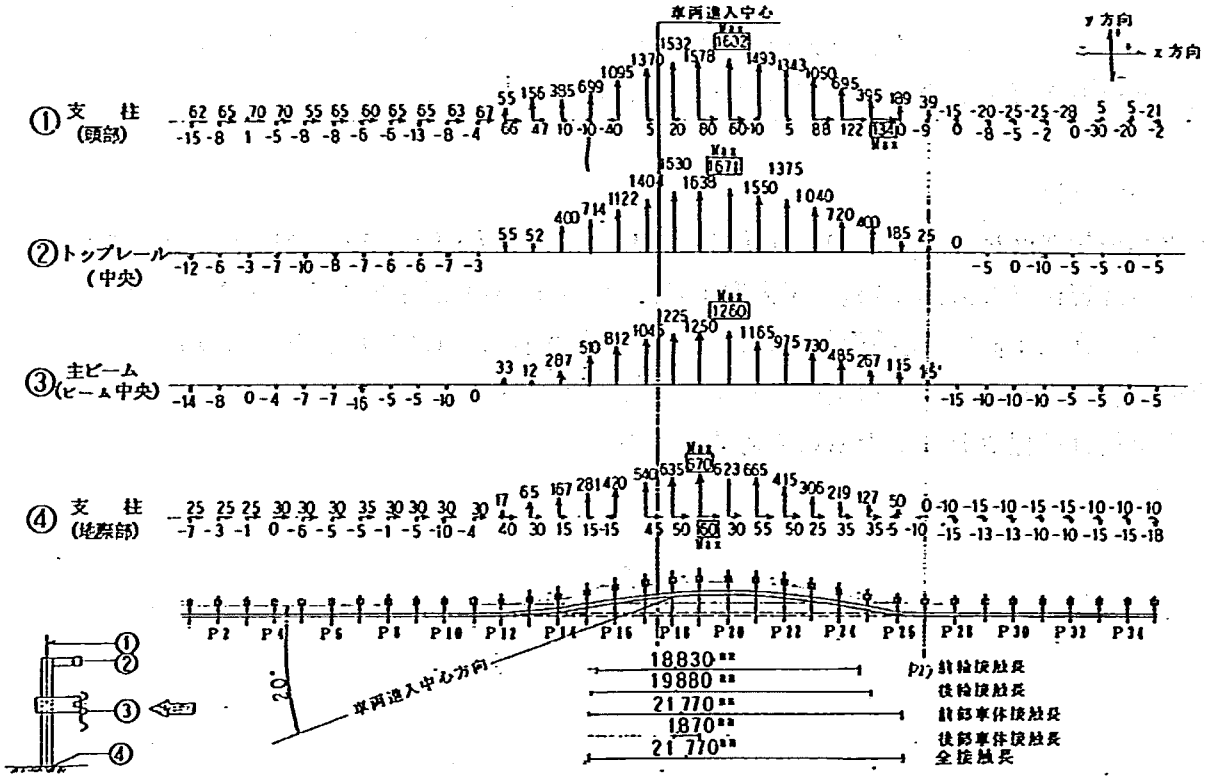
5）乗員の安全性

車両重心の加速度について、50msec値はX方向：1.6g　Y方向：1.5g　合成：3.5gであり３点式ベルトの参考許容値（X方向：25g　Y方向：15g　合成：25g）以下である。また、ダミー頭部のＨＩＣ値は、運転席側：8.3　助手席側：11.3であり参考許容値（1,000）以下であった。

車室内は、変形や窓ガラスの損傷もなく、乗員の生存空間は確保されていた。以上のことから、乗員の安全性は確保されていたものと考えられる。



図－６・４・６　車両の接触跡



図－６・４・７　防護柵の残留変形

表－６・４・１１　衝突時加速度（80Hzﾛｰﾊﾟｽﾌｨﾙﾀｰ処理）

測定箇所＼測定成分		X成分値	Y成分値	Z成分値	合成値	ＨＩＣ値
車両重心	（原波形）	2.6 g	7.7 g	4.8 g	7.7 g	
	（50ms値）	1.6 g	1.5 g	——	3.5 g	
	（有効値）	1.1 g	2.8 g	——	2.9 g	
運転席ダミー	（頭部）	3.6 g	4.8 g	7.5 g	5.1 g	8.3
	（胸部）	7.9 g	5.2 g	——	——	
助手席ダミー	（頭部）	3.9 g	12.7 g	——	12.8 g	11.3
運転席ダミー大腿部衝撃力		92 kg				

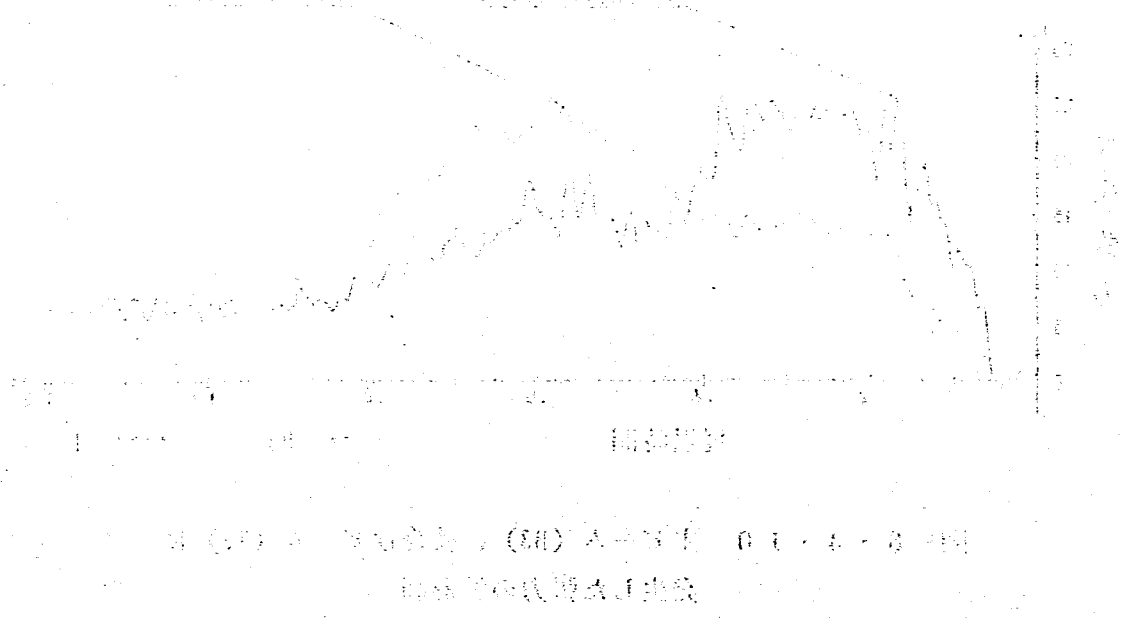
６）考察

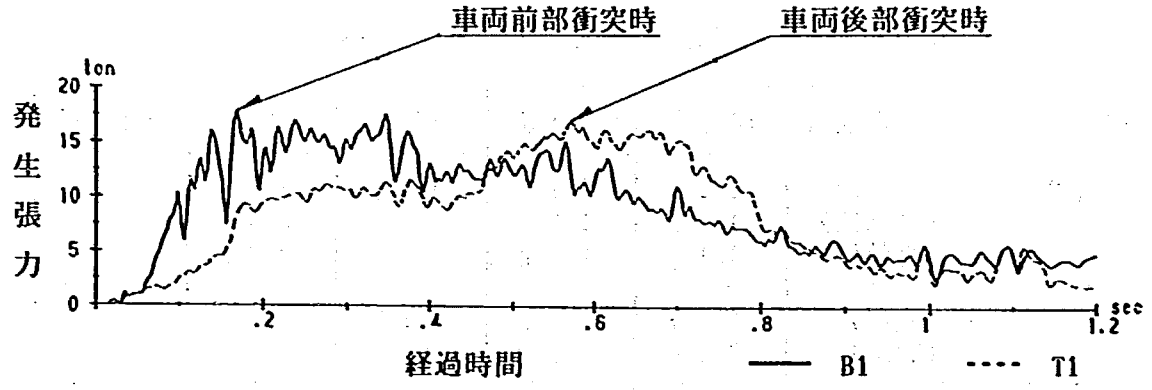
主ビームにより多くの荷重を負担させるため荷受けビームを85㎜セットバックし、支柱間隔を広げて軽量化を図った供試体について、高い衝撃度（92.1t･m）での実験を行った結果、安全性が確認され、部材強度や配置においてバランスの良い構造が見いだされた。

支柱間隔を１ｍから２ｍに広げたが、進入行程が規定値の1,100㎜に対して1,045㎜であるため、支柱の支持力が6ｔの場合の、支柱間隔は２ｍが限界であると考えられる。

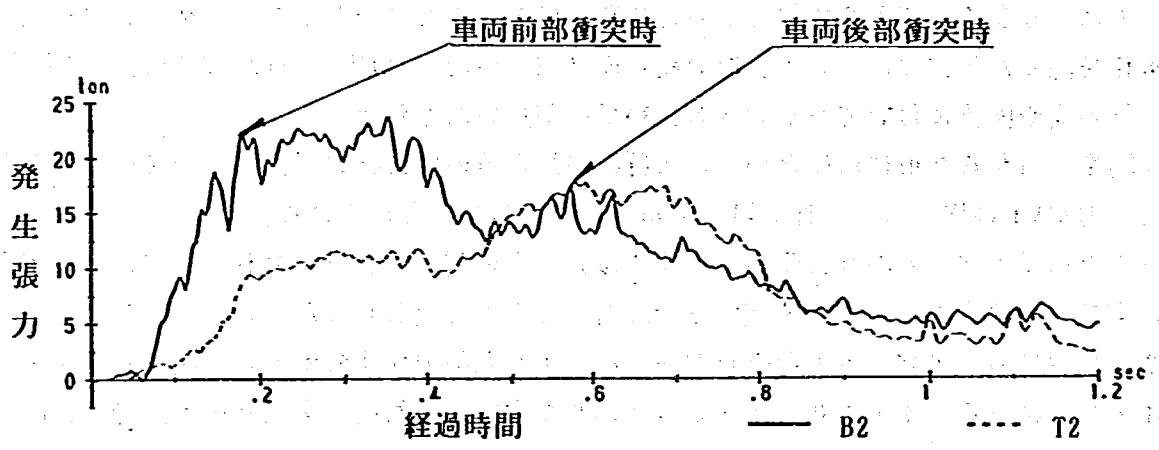
主ビームと荷受けビームの許容耐力に対する最大張力の割合は、それぞれ、42%、74%であった。これは、実験３の改良１型・衝突角度20度の場合とほとんど変わらなかった。

衝突初期における、主ビームと荷受けビームに発生した張力を比較すると、図－６・４・８、図－６・４・９、図－６・４・１０に示すように前部衝突時の衝撃荷重を主ビームが受け止め、車両後部衝突時の荷台荷重を荷受けビームが受け止めていることがわかった。

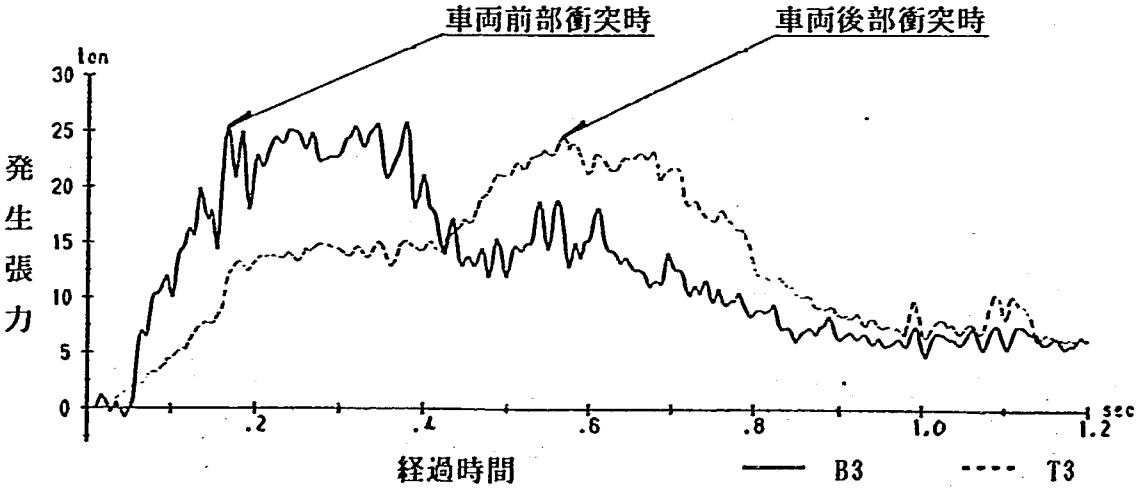




図－６・４・８　主ビーム（B1）、荷受けビーム（T1）に
発生した張力の波形図



図－６・４・９　主ビーム（B2）、荷受けビーム（T2）に
発生した張力の波形図



図－６・４・１０　主ビーム（B3）、荷受けビーム（T3）に
発生した張力の波形図

しかし、表－６・４・１２、表－６・４・１３、表－６・４・１４に示すように、衝突前半では７：３あるいは６：４の割合で主ビームに荷重が分担されているが、衝突後半では実験３に比べて、荷受けビームの荷重分担率が低下し、５：５の分担率に留まっている。以上のことから、85㎜のセットバック量ではセットバックの有無に関わらず同様の傾向を示すことがわかった。

表－６・４・１２　主ビーム、荷受けビームに作用する最大張力と分担率
（B1、T1について）

衝突状態		衝突前半	衝突後半
発生時刻（秒）		0.17	0.57
張力（t）	主ビーム（B1） （ ）内は分担率	17.8 (65%)	15.0 (47%)
	荷受けビーム（T1） （ ）内は分担率	9.5 (35%)	17.0 (53%)

表－６・４・１３　主ビーム、荷受けビームに作用する最大張力と分担率
（B2、T2について）

衝突状態		衝突前半	衝突後半
発生時刻（秒）		0.36	0.58
張力（t）	主ビーム（B2） （ ）内は分担率	23.7 (67%)	17.9 (50%)
	荷受けビーム（T2） （ ）内は分担率	11.7 (33%)	18.0 (50%)

表－６・４・１４　主ビーム、荷受けビームに作用する最大張力と分担率
（B3、T3について）

衝突状態		衝突前半	衝突後半
発生時刻（秒）		0.38	0.57
張力（t）	主ビーム（B3） （ ）内は分担率	25.8 (63%)	19.3 (44%)
	荷受けビーム（T3） （ ）内は分担率	15.3 (37%)	24.4 (56%)

車両外部には変形および損傷はあったが、車室内にはほとんどなかった。また、車両重心の加速度およびＨＩＣ値による判定結果が良好であることから、乗員の安全性は確保されたものと考えられる。

支柱には車輪による軽微な接触があることから、ブロックアウト量は450㎜以上必要であると判断

できる。

6．4．7．今後の課題

本実験では、支柱間隔を２ｍに広げても強度的に安全性を確認することができた。しかし、支柱材が角形鋼管では、従来使用していた鋼管に較べて、材料の汎用性、施工性について不利であると考えられる。そこで、支柱を鋼管に変えて、防護柵の構造強度を検証する必要があるものと考えられる。

また、大型車ばかりではなく、小型車についても防護柵機能の有効性を検証することが必要と考えられる。

以上のことから、今後検証が必要とされる事項を述べる。

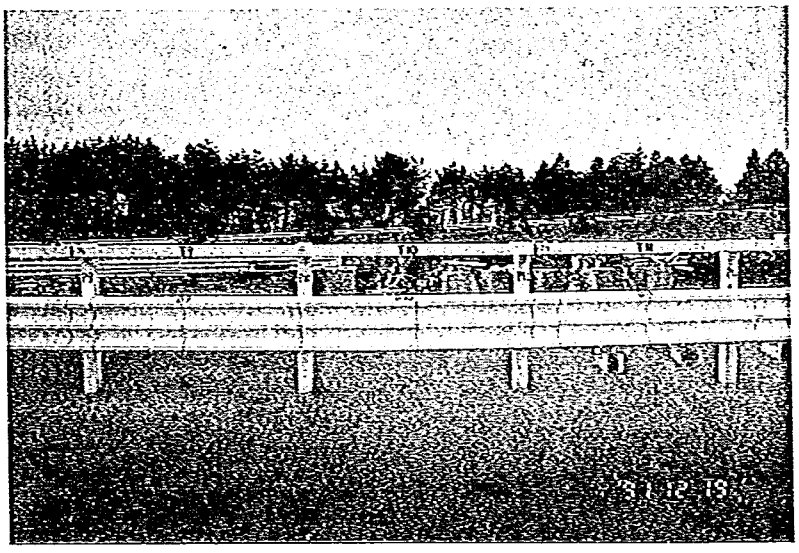
（１）支柱材の汎用化による経済性および施工性の向上を考慮した構造の検討。

・角形鋼管から丸形鋼管への変更

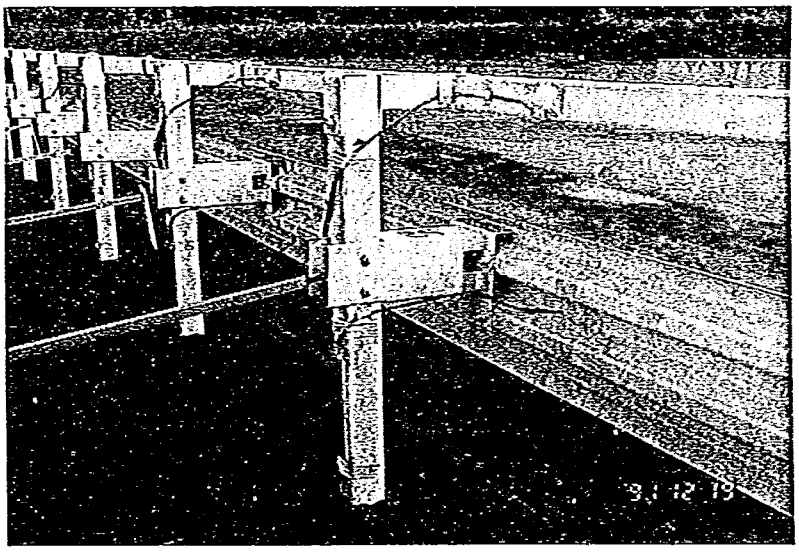
（２）小型車衝突時の防護柵機能の検討

（３）荷受けビームの必要性とその設置位置の検討

・部材の形状



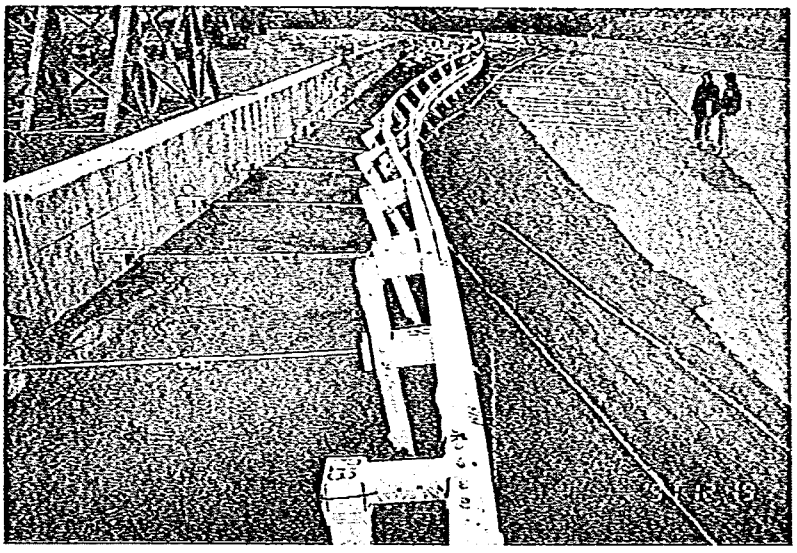
写真－６・４・１　供試体（Ｇｒ－ＳＳ改良２型）



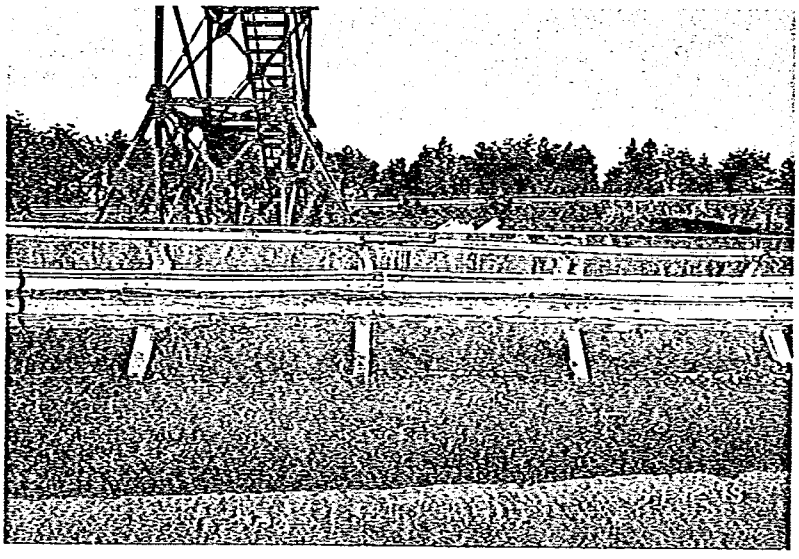
写真－６・４・２　供試体（Ｇｒ－ＳＳ改良２型）



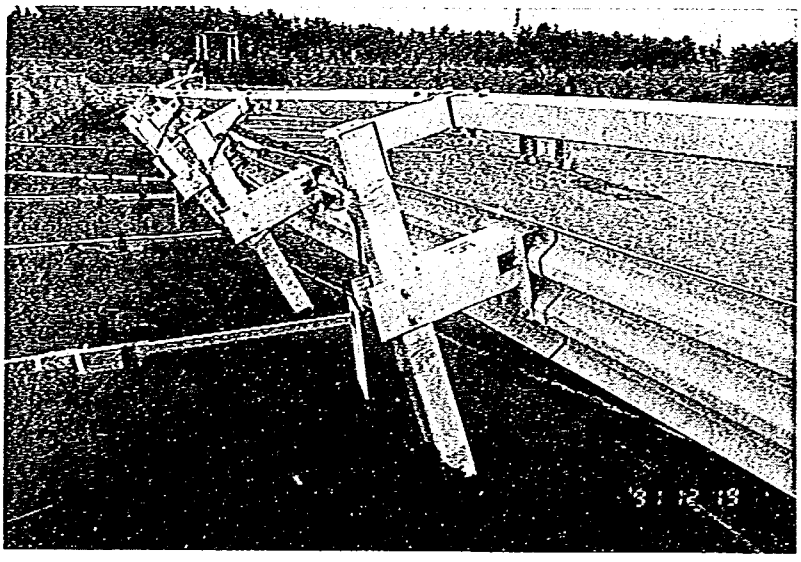
写真－６・４・３　衝突車両（大型貨物車）



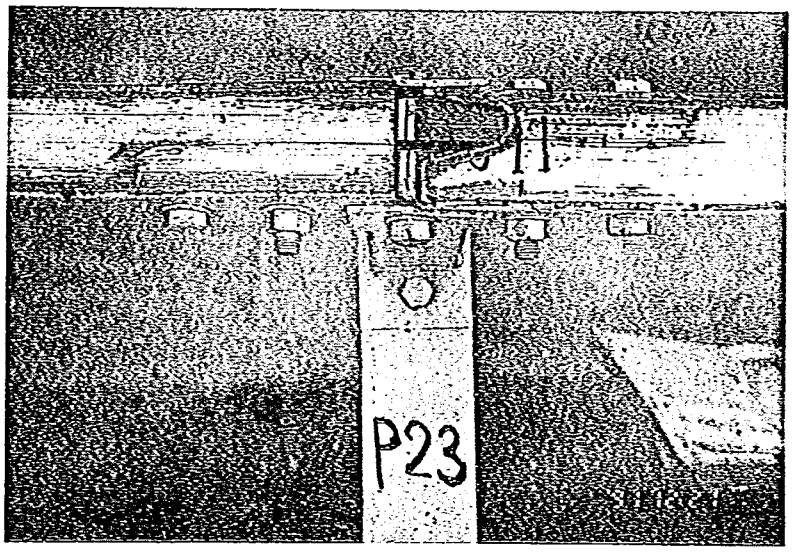
写真－６・４・４　衝突後の供試体



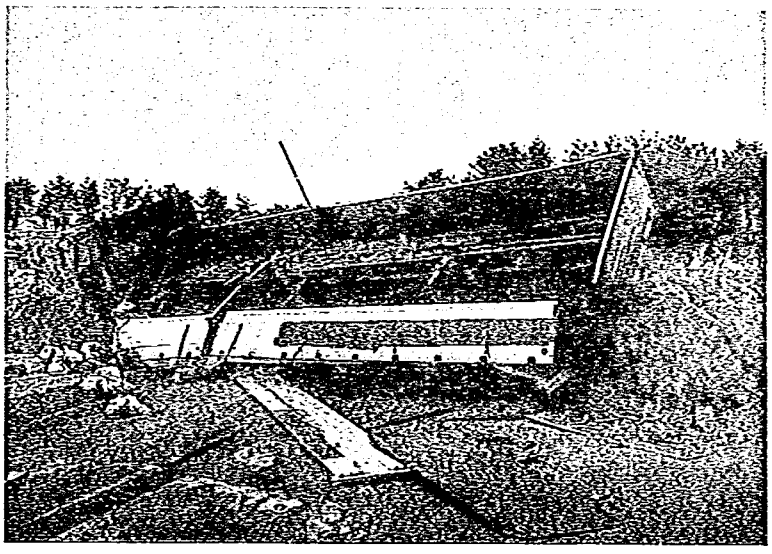
写真－６・４・５　衝突後の供試体



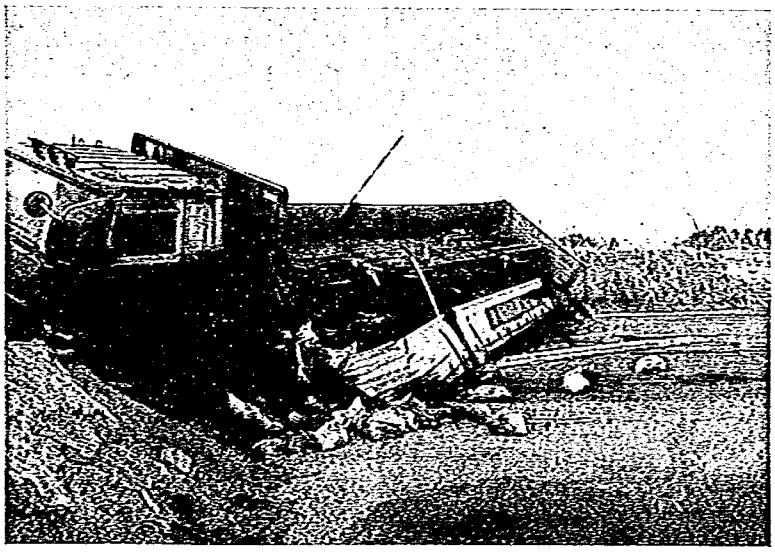
写真－６・４・６　衝突後の供試体



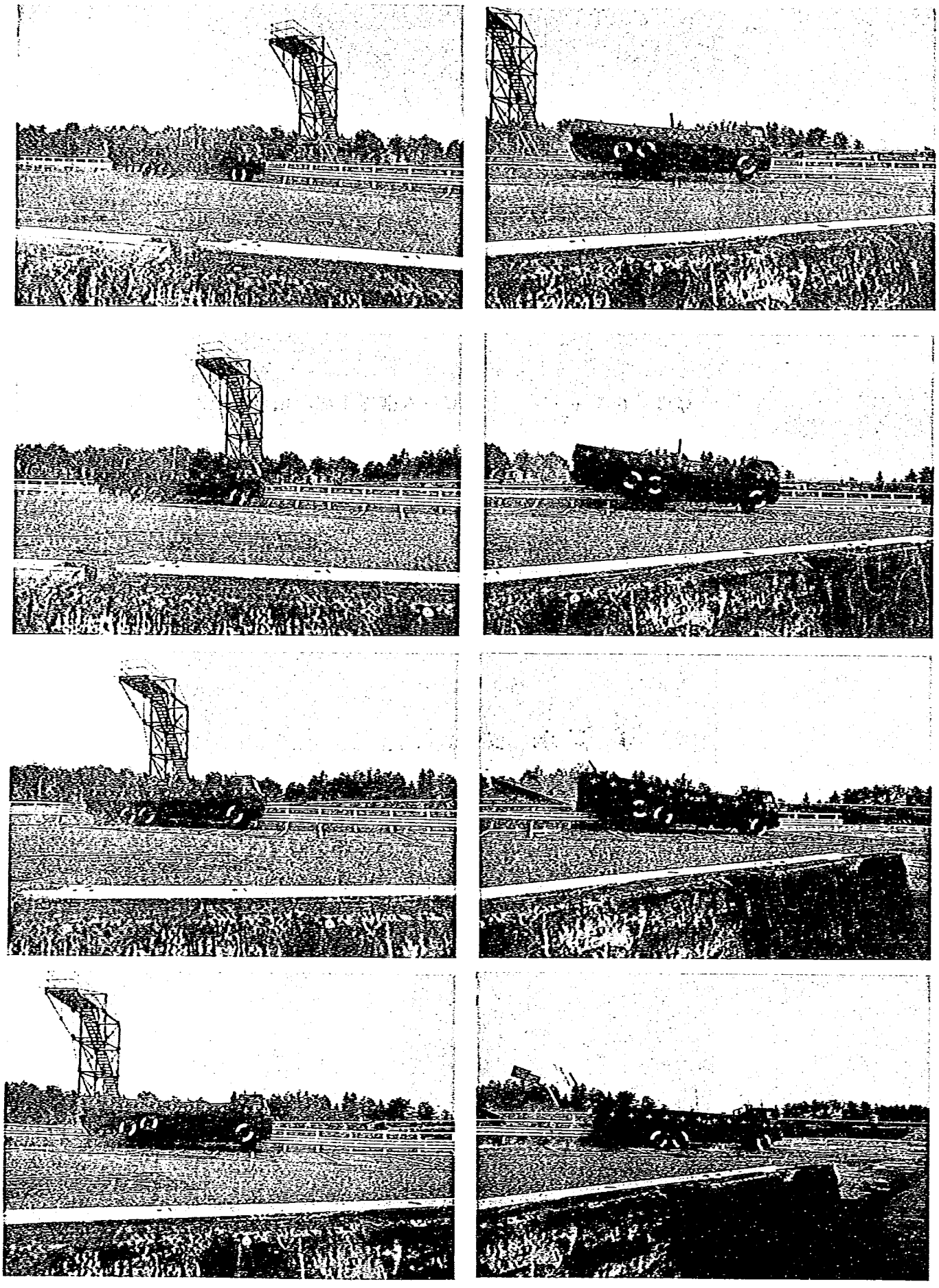
写真－６・４・７　上段ビーム継ぎ手部の損傷状況



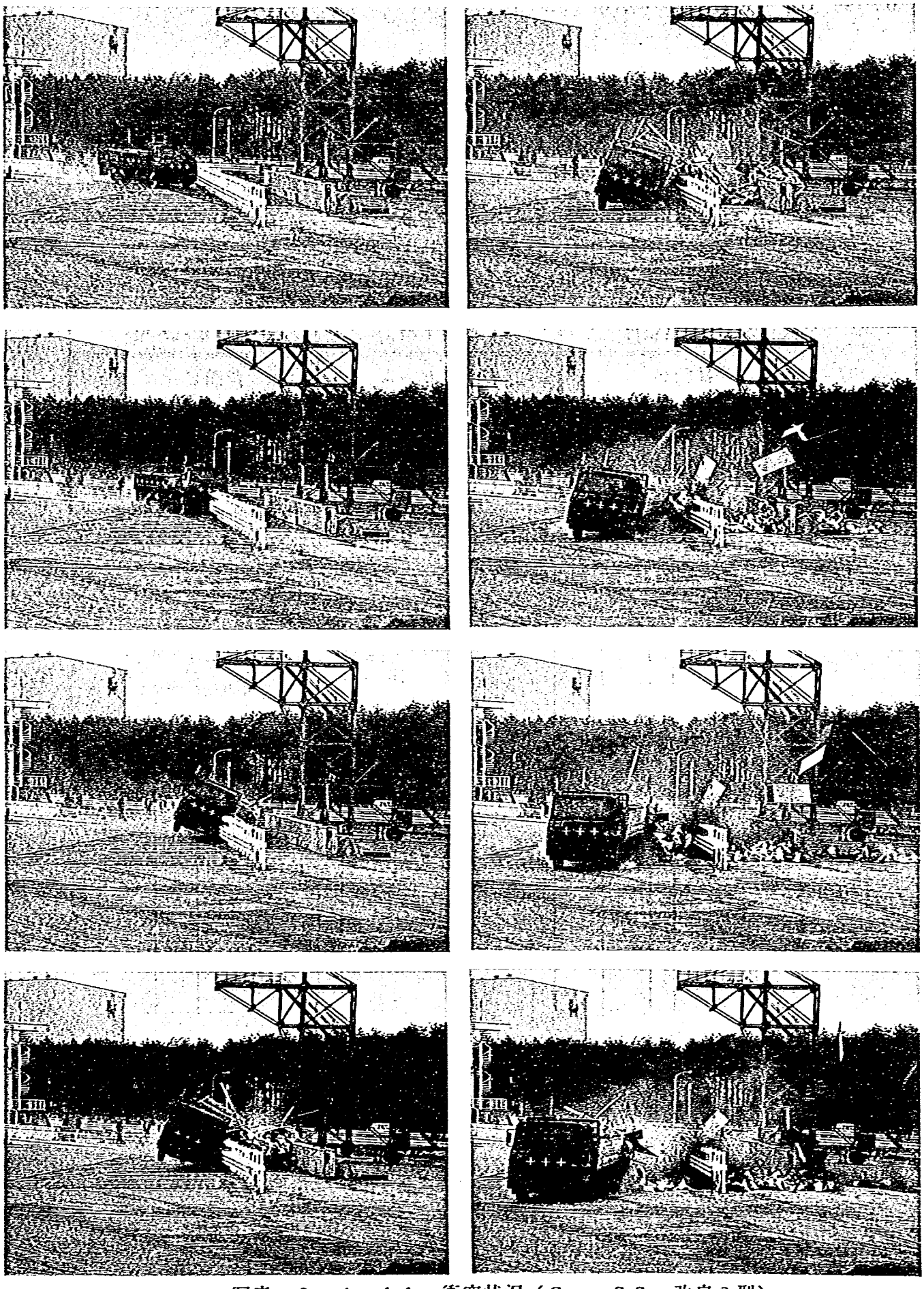
写真－６・４・８　衝突後の車両



写真－６・４・９　衝突後の車両



写真－６・４・１０　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　改良２型）



写真－６・４・１１　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　改良２型）

6．5．Gr－SS背面ビーム型［実験5］

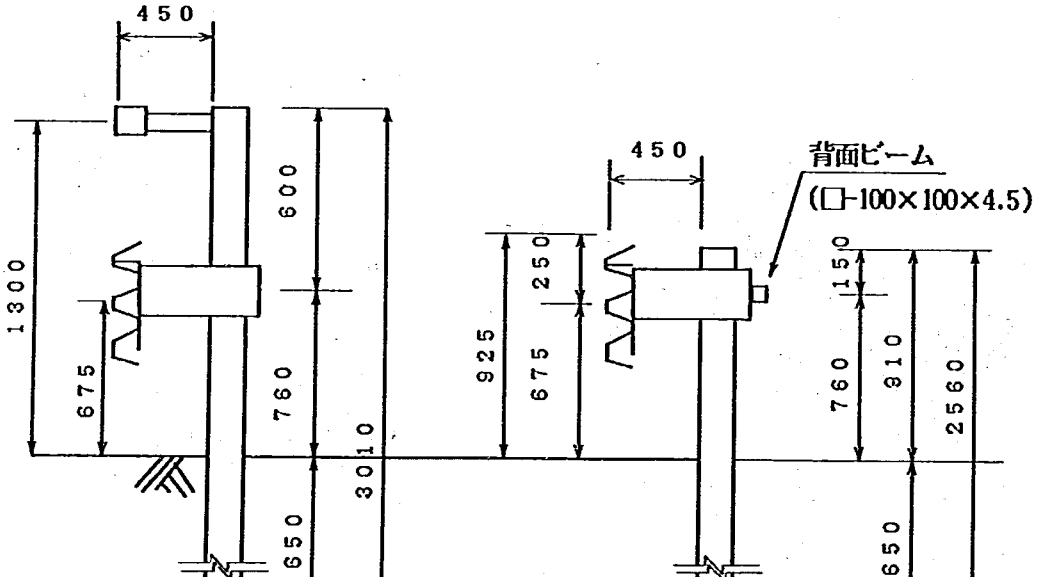
6．5．1．実験目的

荷受けビームの配置が乗員に圧迫感を与え、乗員の眺望性を損なうことが懸念された。そこで、本実験では、眺望性の改善、荷受けビームの必要性あるいは設置位置を検討することを目的として、改良1型の荷受けビームを主ビーム背面に配置した背面ビーム型の機能検証を行った。

改良点を表－6・5・1、図－6・5・1に示す。

表－6・5・1　改良点の項目

改良項目	改良1型	背面ビーム型
補助ビーム	荷受けビーム	背面ビーム
補助ビームの機能	・荷台反力（柵高確保） ・荷重伝達、変形拘束	・荷重伝達、変形拘束
支柱間隔	1 m	1 m　（変更なし）



図－6・5・1　改良1型と背面ビーム型との構造比較

6．5．2．衝突条件

衝突条件を表－6・5・2に示す。

表－6・5・2　衝突条件

衝突車種	大型貨物車
車両車重	20 t
衝突速度	100km/h
衝突角度	20度
衝撃度	92.1t·m[903kJ]

6．5．3．供試体構造概要

供試体構を図－6・5・2に示す。

6．5．4．衝突シミュレーションによる検討

1）衝突シミュレーション結果

中央分離帯用防護柵のシミュレーションを用い行った。

衝突シミュレーションの演算結果を表－6・5・3に示す。

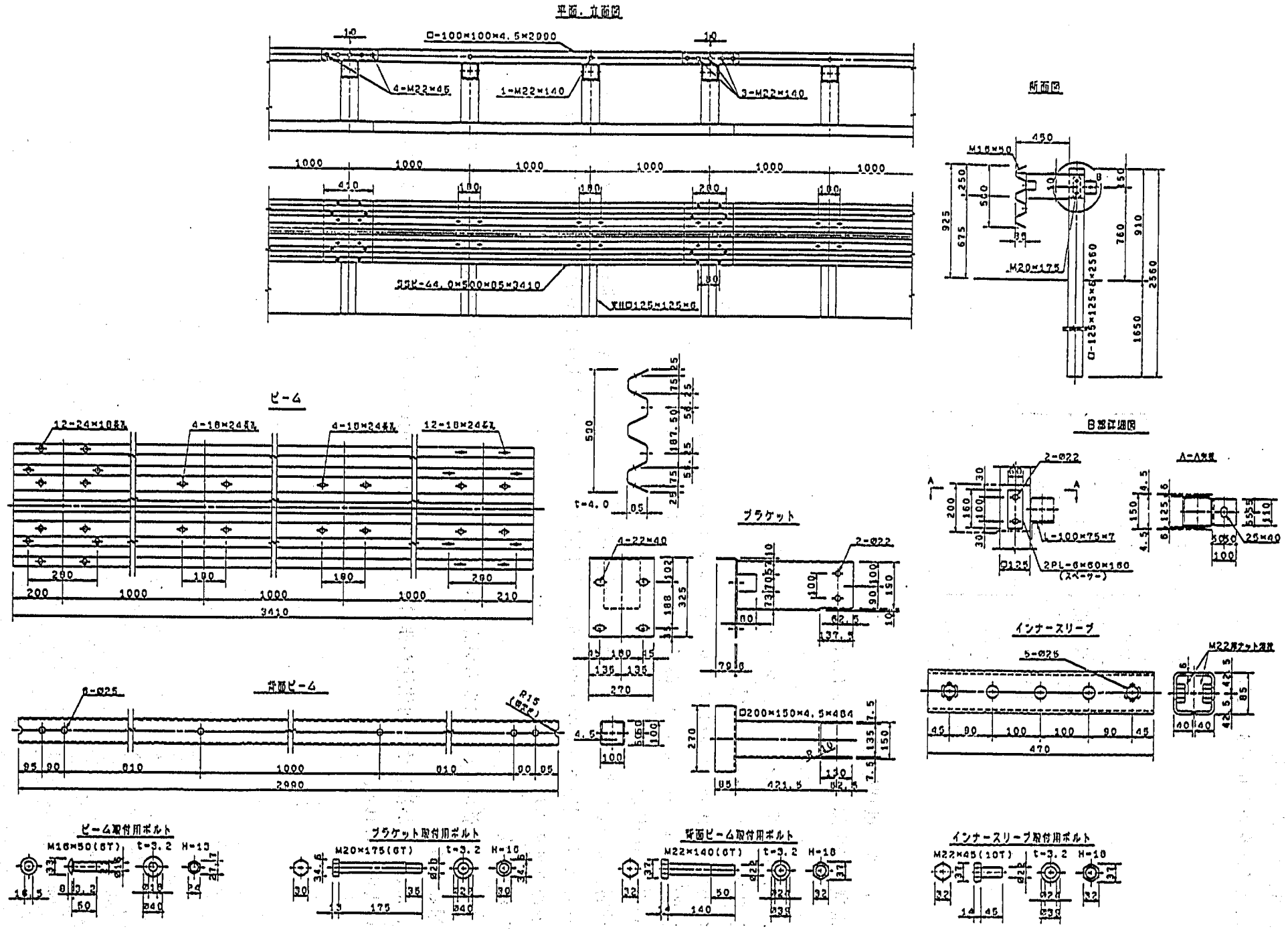
2）車両横転検討

検討結果を表－6・5・4に示す。車両の荷台はビームに当たらず、荷台の移動量 0～500㎜でいずれも車両の回転モーメントMfが防護柵の抵抗モーメントMrを上回り車両横転の可能性は非常に高いものと考えられる。

3）総合評価

主ビームの強度は、発生張力が許容値内であるが、主ビームに荷重が集中すると破断することも予想される。

また、車両が横転する可能性が非常に高いことから車両の誘導性及び乗員の安全性に問題があるものと考えられる。


平面・立面図
□-100×100×4.5×2000
4-M22×45
1-M22×140
3-M22×140
1000
410
100
190
200
SSK-44.0×500×85×3410
FHD125×125×6
断面図
M16×50
450
250
500
925
675
760
910
2560
1650
M20×175
□-125×125×6×2560
ビーム
12-24×10長孔
4-18×24長孔
290
190
210
3410
ブラケット
4-22×40
2-Ø22
325
270
□200×150×4.5×484
470
B部詳細図
A-A断面
L-100×75×7
2PL-6×60×160
(スペーサー)
インナースリーブ
5-Ø25
M22用ナット溶接
ビーム取付用ボルト
M16×50(6T)
t-3.2
H-13
ブラケット取付用ボルト
M20×175(6T)
H-16
床面ビーム取付用ボルト
M22×140(6T)
インナースリーブ取付用ボルト
M22×45(10T)

図－6・5・2　供試体構造図

表－６・５・３　シミュレーション結果

			シミュレーション値	許容値	評　価
離脱速度　(km/h)			81.8	80 以上	良好
離脱角度　(°)			19.1	10 以内	不良
最大進入行程　(mm)			760	1,100 以内	良好
防護柵変形範囲(m)			21		
ビーム	最大張力(t)	主ビーム	57.8	64.0	良好
		背面ビーム	32.0	34.2	良好
	最大変形量(mm)		780		
支柱	最大水平力(t)		6.0		
	最大変位量(mm)		727		
水平力　(t)			50.1		

表－６・５・４　車両横転有無検討

水平力 (t)	荷台の移動量								
	0mm			100mm			200mm		
	Mr (t·m)	Mf	結果	Mr	Mf	結果	Mr	Mf	結果
50.1 [491kN]	28.9 [283kN·m]	48.6 [476]	横転	27.0 [265]	46.8 [459]	横転	25.2 [247]	45.0 [441]	横転

300mm			400mm			500mm		
Mr (t·m)	Mf	結果	Mr	Mf	結果	Mr	Mf	結果
23.3 [228kN·m]	43.2 [423]	横転	21.4 [210]	41.5 [407]	横転	19.6 [192]	39.7 [389]	横転

注）［　］内はＳＩ単位の表示をしている。

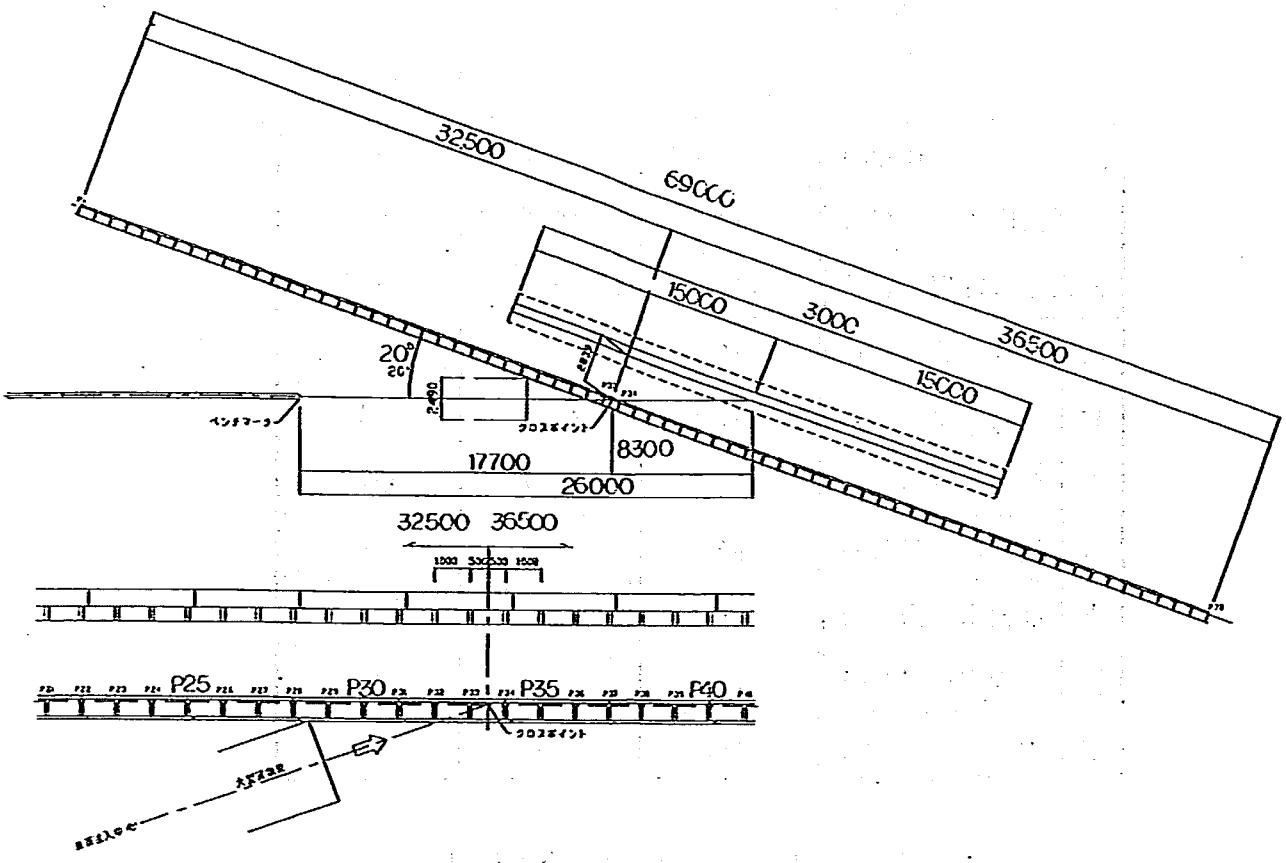
６．５．５．供試体の配置および計測位置

供試体の配置を、図－６・５・３に示す。

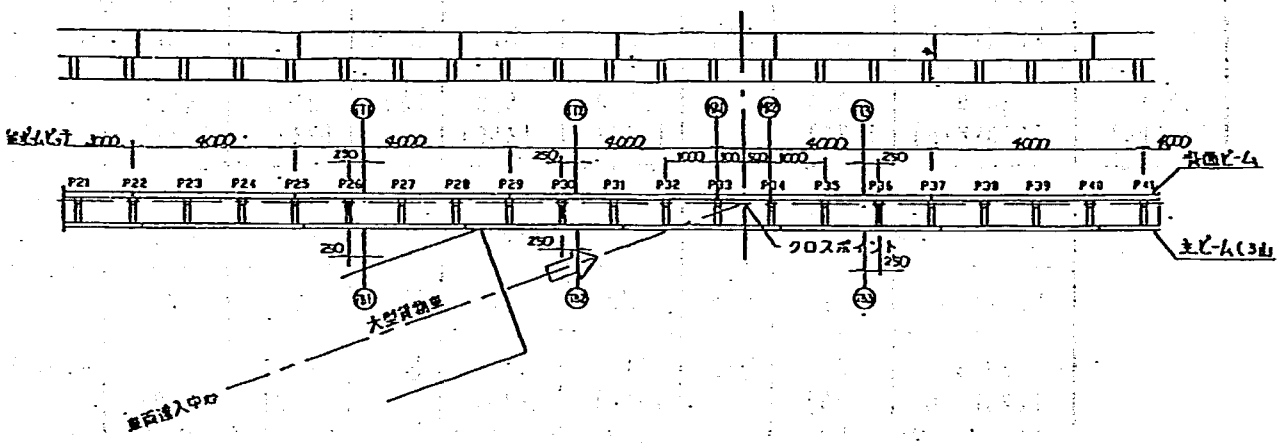
衝突時の計測は車両の横転の可能性があることから簡易的に行い、測点数は従来よりも少なくした。計測位置関係は、図－６・５・４に示す。

６．５．６．実験結果および考察

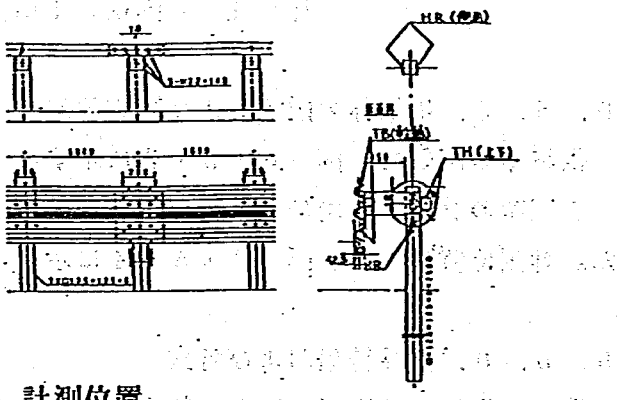
衝突車両は、速度99.6km/h、角度20度で衝突し、離脱した後90度横転したまま数メートル進み停止した。また、防護柵の損傷は軽微であった。結果一覧表を、表－６・５・５に示す。



図－６・５・３　供試体配置



測定項目	記号	測定位置	箇所数	備考
支柱荷重	⑰	P33, P34	2	支柱両側面、590mm高、2軸ゲージ
ビーム曲げ	⑱	B3, B30, B35	3	ビーム背面中立軸2方向、1軸ゲージ
背面材曲げ	⑲	T25, T30 T35	3	背面材上下面、1軸ゲージ
合　計			8	



図－６・５・４　計測位置

表－６・５・５　実験５結果一覧表

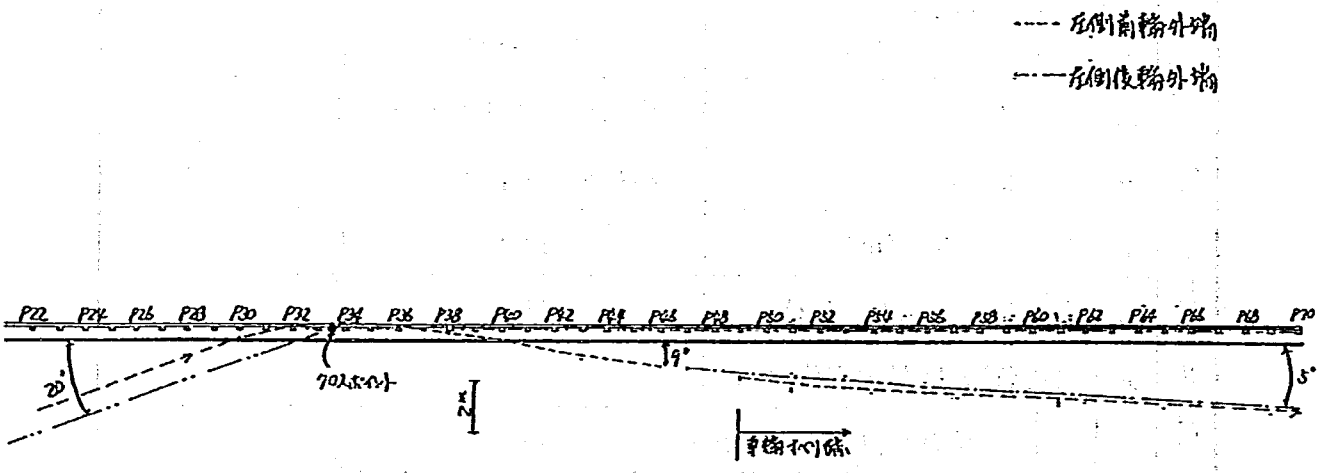
実験日				1992. 1.30	許容値
実験番号				5	
衝突条件	車両重量（t）			20	——
	衝突速度（km/h）			99.6	——
	衝突角度（°）			20	——
	衝撃度（t･m）			91.4 [896kJ]	——
離脱速度（km/h）				横転により計測不能	80 以上
離脱角度（°）				横転により計測不能	10 以内
接触長	主ビーム（m）			13.5	——
	背面ビーム（m）			43.5	——
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位（mm）		——	——
		残留	直角(Y)方向（mm）	570	——
			延長(X)方向（mm）	——	——
	Y方向ビーム残留変位（mm）			506	——
最大進入行程（mm）				——	1,100 以内
車両最大傾斜角（°）	前端			——	——
	後端			——	——
支柱最大水平力（t）				9.5 [93kN]	——
ビーム最大張力（t）	主ビーム			45.9 [450kN]	64.0 [627kN]
	背面ビーム			10.5 [103kN]	34.2 [335kN]
加速度	車両重心	50msec値	進行(X)方向（g）	——	25
			直角(Y)方向（g）	——	15
			垂直(Z)方向（g）	——	——
			合成（g）	——	25
HIC値	運転席ダミー			——	1,000
	助手席ダミー			——	1,000

1）車両誘導性

衝突後、衝突車両は誘導されかかったが、荷台の反力となる荷受けビームが無いため荷台が路外方向へ大きく張り出し、防護柵支柱頭部に荷台底側が接触しつつ、路内で進行方向に横転した。

土襄は、P40付近に50体、また転倒によりP70に約300体、停車位置に約150体、合計500体（全数）飛散した。

車両の軌跡を図－６・５・５に示す。



図－６・５・５　車両の軌跡

2）防護柵強度

（１）支柱

支柱の水平力を表－６・５・６に示す。

表－６・５・６　支柱水平力

支柱番号			P33	P34
*1)クロスポイントまで距離　(m)			-0.5	+0.5
主ビーム取付け部の水平力	前半	(t) (kN)	9.7 (93.1)	9.5 (93.1)
		*2) 発生時間	0.10	0.10
	後半	(t) (kN)	7.4 (72.6)	6.4 (62.8)
		*2) 発生時間	0.34	0.35

*1)クロスポイントまでの距離　：－を進入側、＋を離脱側とした。(m)

*2)発生時間　：車両が衝突した時からの経過時間(sec)

（２）ビーム

ビームに発生した最大張力を表－６・５・７に示す。背面ビームは、最大発生張力10.5ｔに対し、許容耐力は34.2ｔであり、約3.3倍（耐力／発生張力）の余裕があった。また、主ビームは、最大発生張力45.9ｔに対し、ビーム耐力は64.0ｔであり、強度的に約1.4倍の余裕があった。改良１型の実験３と比較すると背面ビーム型の方が、主ビームに発生する最大張力が大きかった。背面ビーム型の計測張力波形は、ピークが一つであった。

表－６・５・７　ビームの最大張力（改良１型との比較）

			主ビーム			背面ビーム		
背面ビーム型	*)ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄまでの距離		-7.5(m)	-3.5(m)	+2.5(m)	-7.5(m)	-3.5(m)	+2.5(m)
	張力	(t) (kN)	22.9 (224)	45.9 (450)	39.3 (385)	-0.8 (8)	5.3 (52)	10.5 (103)
	最大変形位置		C.Pより進行側0.5mで柵直角方向の支柱変位が最大					

			主ビーム		荷受けビーム	
改良１型	*)ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄまでの距離		-9.5m	-8.5m	-9.5m	-8.5m
	張力	(t) (kN)	21.5 (211)	23.3 (228)	20.9 (205)	23.7 (232)
	最大変形位置		クロスポイントで柵直角方向の支柱変位が最大			

*)クロスポイントまでの距離は、進入側を－、離脱側を＋とした。

（３）ブラケット

荷台の引っかかりにより局部的な変形はあったが、ブロックアウト量は確保できたので強度上の問題は無いと考えられる。

３）防護柵損傷状況

主ビームの車両接触長は、P28～P29とP30～P42の13.5mであり、背面ビームの接触跡は、P36～P37の約0.6mである。これらの接触跡は、車両が柵にもたれかかったことにより生じた。

防護柵の残留変形が生じた区間は、P27～P47の約20mであった。

車両の接触跡を図－６・５・６、残留変位図を図－６・５・７にそれぞれ示す。

（１）支柱

P34～P52の支柱頭部に車両接触による変形があった。車輪の支柱への接触跡は無かった。

柵直角方向の残留変位量は支柱頭部でP34の516㎜、平行方向の最大残留変位量はP42で27㎜であった。

（２）ビーム

主ビームの最大残留変位はB33において506㎜（ビーム中心）であった。B31～36の上部にへこみがあり、B45～47に荷台接触による波状変形及び傷があった。B34に15×8㎜の孔あきがあった。

背面ビームのB41～69の上部に接触跡があった。

（３）ブラケット

P29～41のブラケット前面下端部が折れ曲がり、P35のブラケットは角形鋼管上部に60×20㎜の孔あきと50㎜程度の切れ目があった。

（４）ボルト及び接合部

B63とB64の接合部のボルト抜けが１箇所あった。

また、接合部にずれが生じたが、その最大量は主ビームがP34で10㎜（裏）、背面ビームはP33で8㎜であった。

４）車両損傷状況

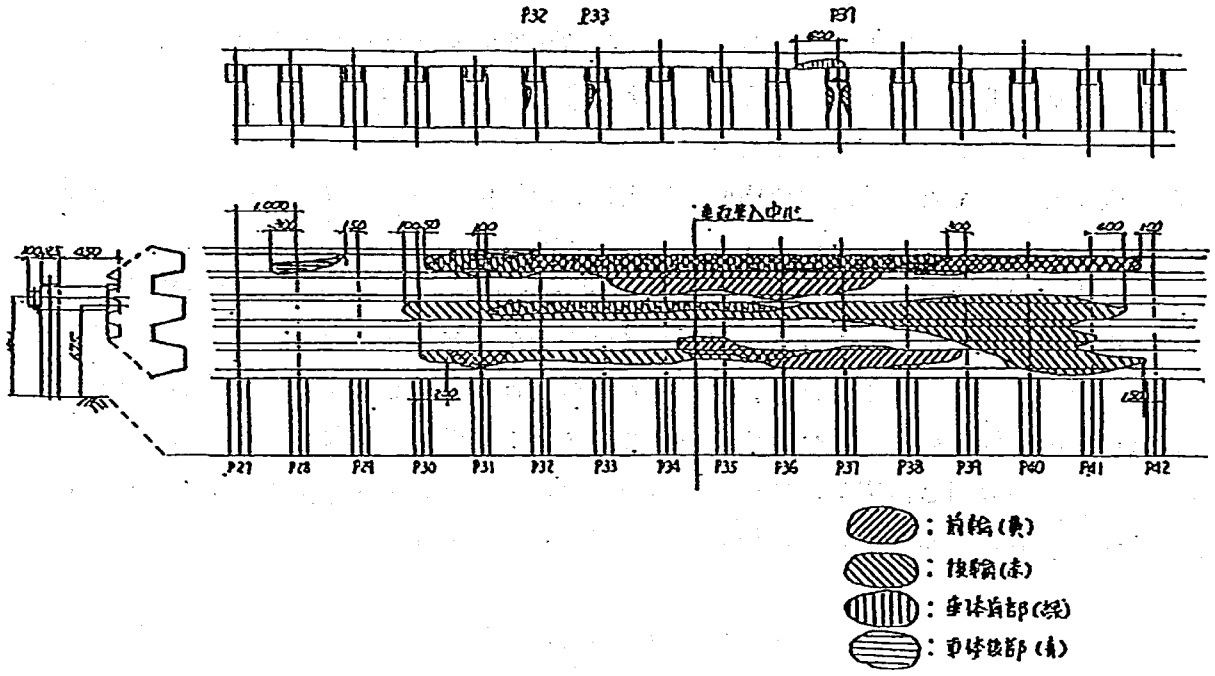
全車輪ともパンクは無かったが、前輪の車軸が少し曲がった。荷台は防護柵乗り上げ時および横転による破壊が大きかった。

左側ドア下部が切断し、左荷台側面パネルがはずれた。荷台に防護柵との摺痕は無かった。荷台左半分がシャーシ上部の角材部分で切断した。

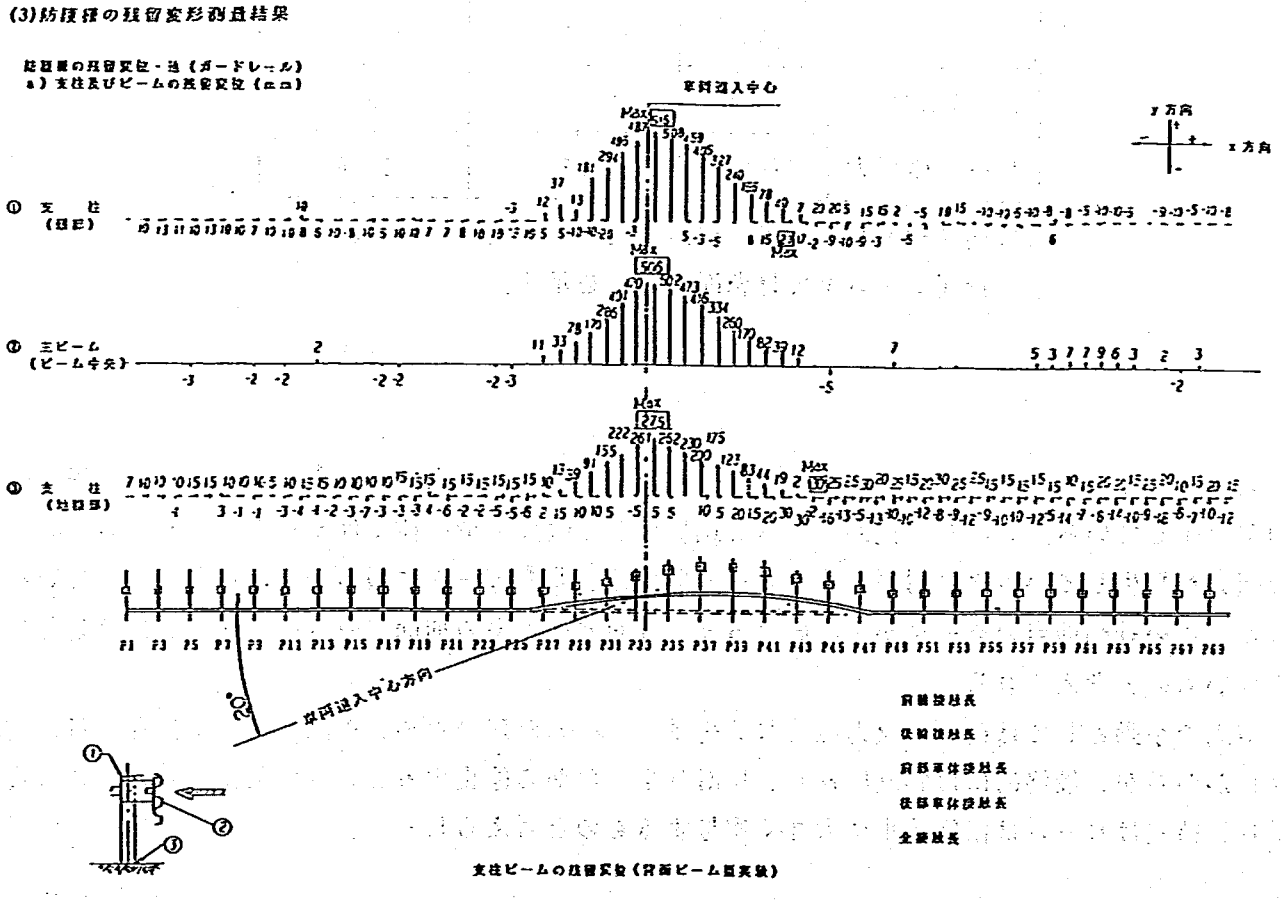
５）乗員の安全性

窓ガラスの破損および車室内の変形は無かった。

加速度の計測は行わなかった。



図－６・５・６　車両の接触跡



図－６・５・７　防護柵の残留変形

6）考察

車両は横転したものの、路内での現象であり突破防止機能をはたした。これは防護柵強度面においては、本供試体（背面ビーム型）が今回の衝突条件（92t・m）に対して満足できるものであったことを示している。しかし、衝突により積載土嚢のほとんどを飛散落下させ、路外または対向車線に与える危険性が高い。また、路内での横転、停止は、後続車の追突事故などによる２次災害が懸念される。

ビームの最大張力を改良１型と比較すると（表-６・５・７　ビームの最大張力を参照）、主ビームで約２倍近く増加している。これは、荷重を受ける面が主ビームのみとなったためと考えられる。またその逆に補助ビーム（ここでは、背面ビームと荷受けビームを指す）の荷重が約半分に減少しているのは荷台の慣性力によって発生する転倒モーメントを受けていないためと考えられる。背面ビーム型と改良１型の同じ衝突条件で行った実験結果について、クロスポイントから測定位置までの距離がほぼ同じものを発生張力で比較すると下表－６・５・８に示すとおりとなる。

表－６・５・８　発生張力の比較

		改良１型	背面ビーム型
ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄまでの距離(m)		8.5	7.5
主ビーム	(t)	23.32	22.9
の張力	(kN)	228.5	254.8
(*)補助機能	(t)	23.7	-0.8
ビームの張力	(kN)	232.3	19.6

(*)補助機能ビームは、改良１型では荷受けビーム、
背面ビーム型では背面ビームを示す。

表－６・５・８より、クロスポイントから進入側の約８ｍ地点では、主ビームにほぼ同程度の張力が発生している。しかし、補助ビームを比較すると改良１型の荷受けビームに主ビームと同程度の張力が発生しているのに対し、背面ビーム型では、背面ビームに張力がほとんど発生していなかった。この計測地点のデータから評価すると、背面ビーム型の補助ビームの部材配置は有効とはいえないものと考えられる。

車両の挙動としては荷台の反力点となる荷受けビームが無いため、車両は大きく傾き一旦は誘導されかかるが、最終的には90度横転し、横滑りをしながら停止するという結果になった。このことより、荷受けビームは転倒防止に大きく寄与するものと考えられる。

6．5．7．検討事項および課題

実験結果より、大型貨物車を誘導するために、荷受けビームの配置が必要であることが確認された。

このことから今後の課題としては、以下のことが考えられる。

1）荷受けビームの設置位置

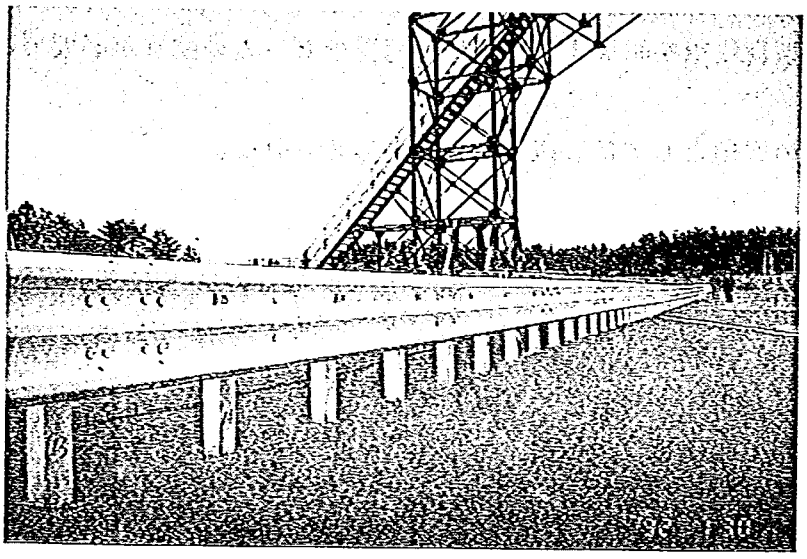
・有効な設置位置

・眺望性についての検討

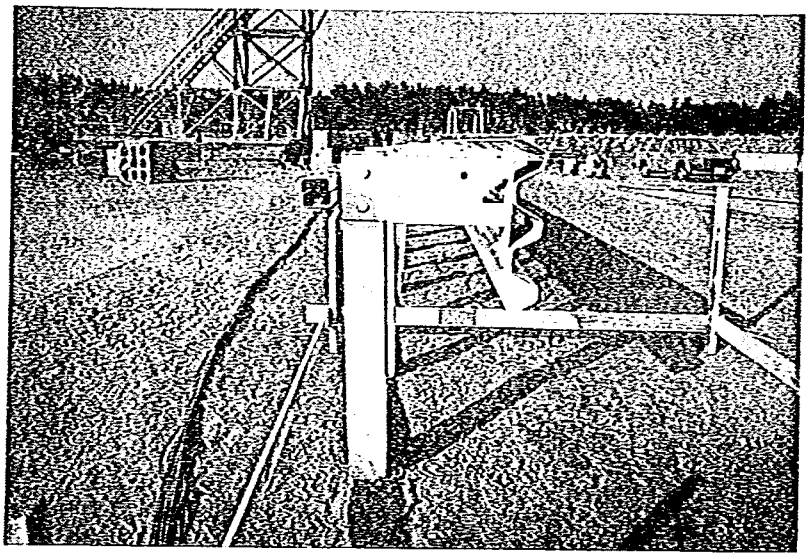
2）背面ビーム型の限界衝突条件の認識

・車種による検討（バス、トレーラーなど）

・誘導できる大型車の限界重量の検討



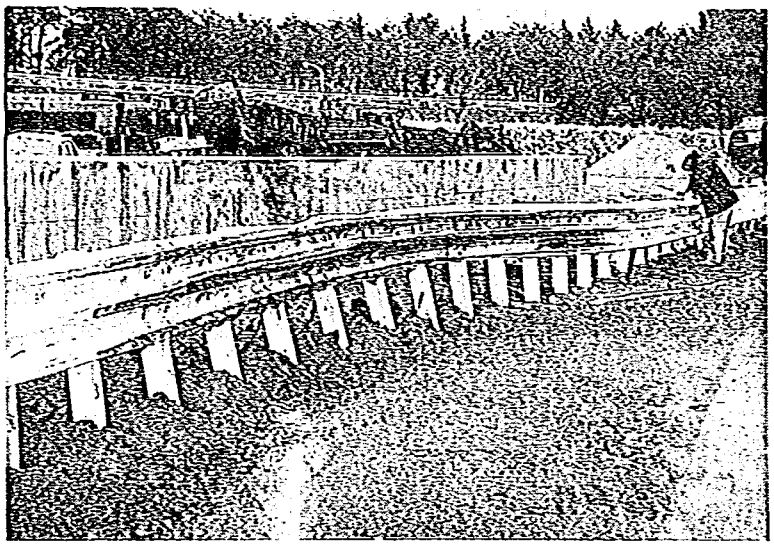
写真－６・５・１　供試体（Ｇｒ－ＳＳ背面ビーム型）



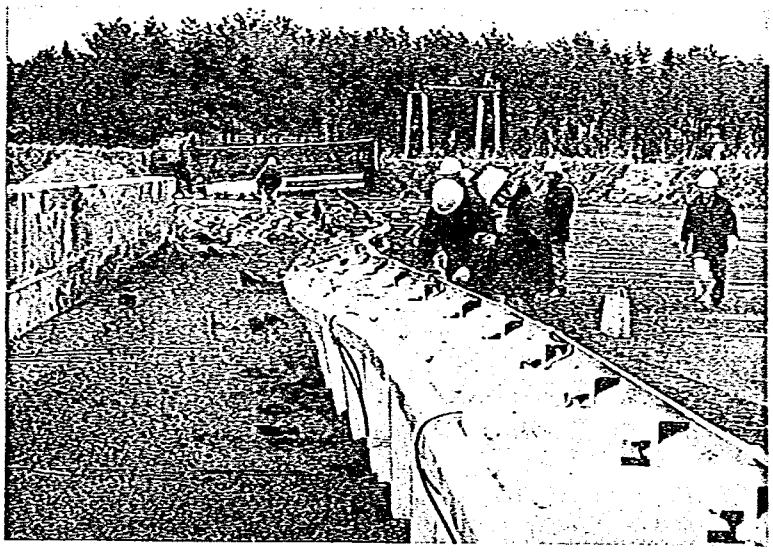
写真－６・５・２　供試体（Ｇｒ－ＳＳ背面ビーム型）



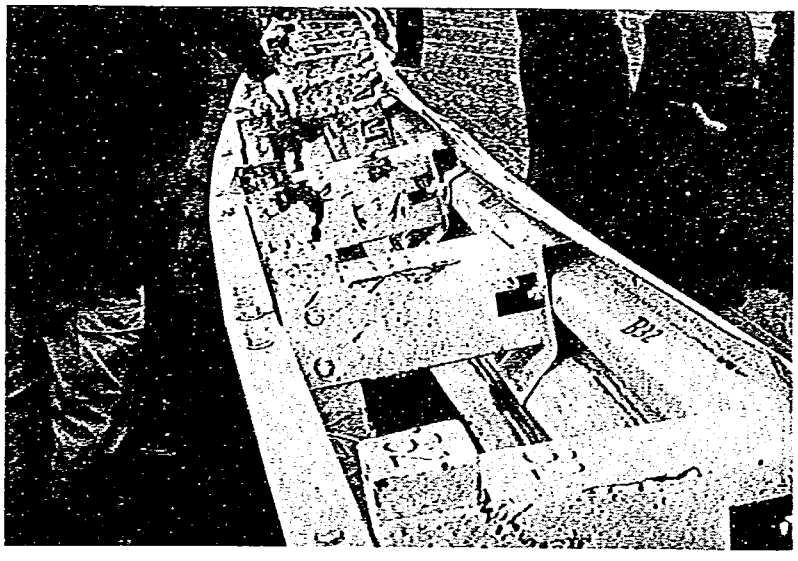
写真－６・５・３　衝突車両（大型貨物車）



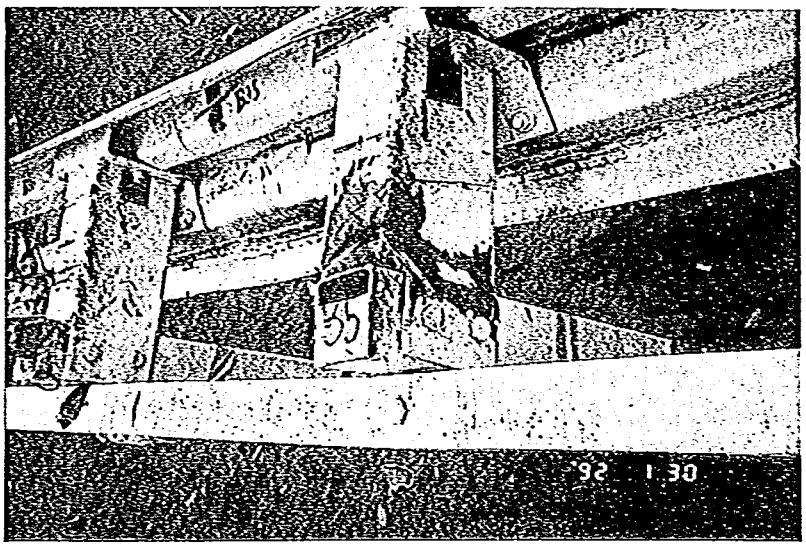
写真－６・５・４　衝突後の供試体



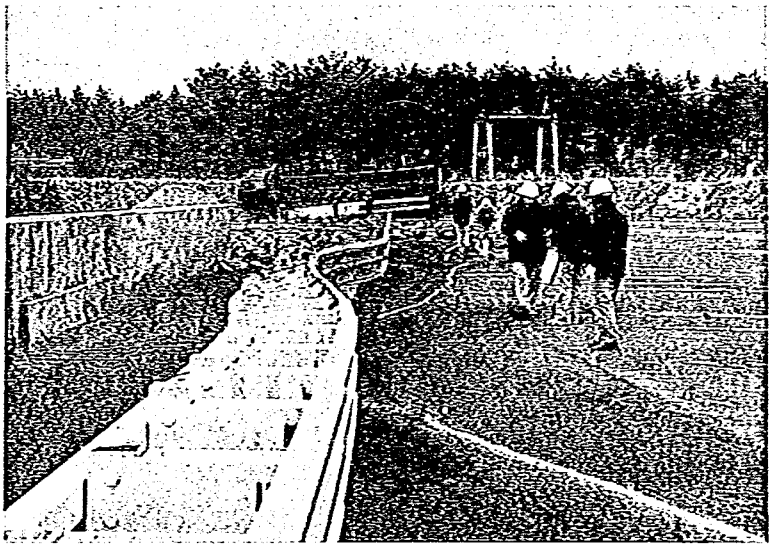
写真－６・５・５　衝突後の供試体



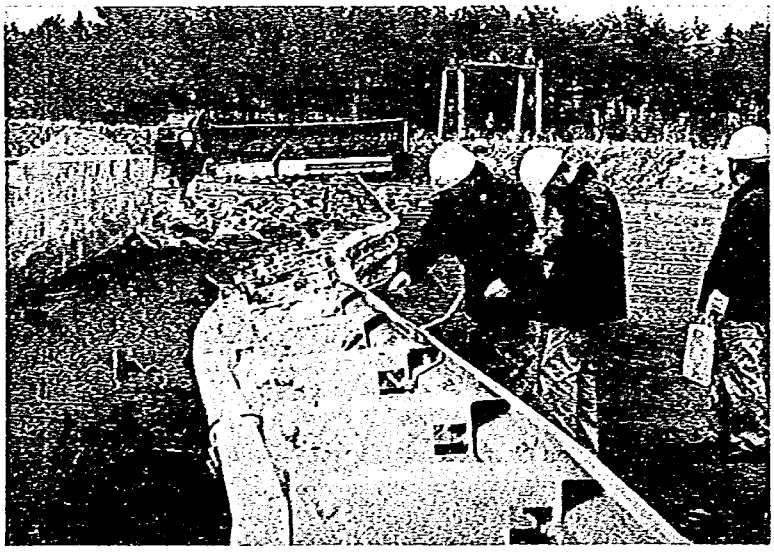
写真－６・５・６　衝突後の供試体



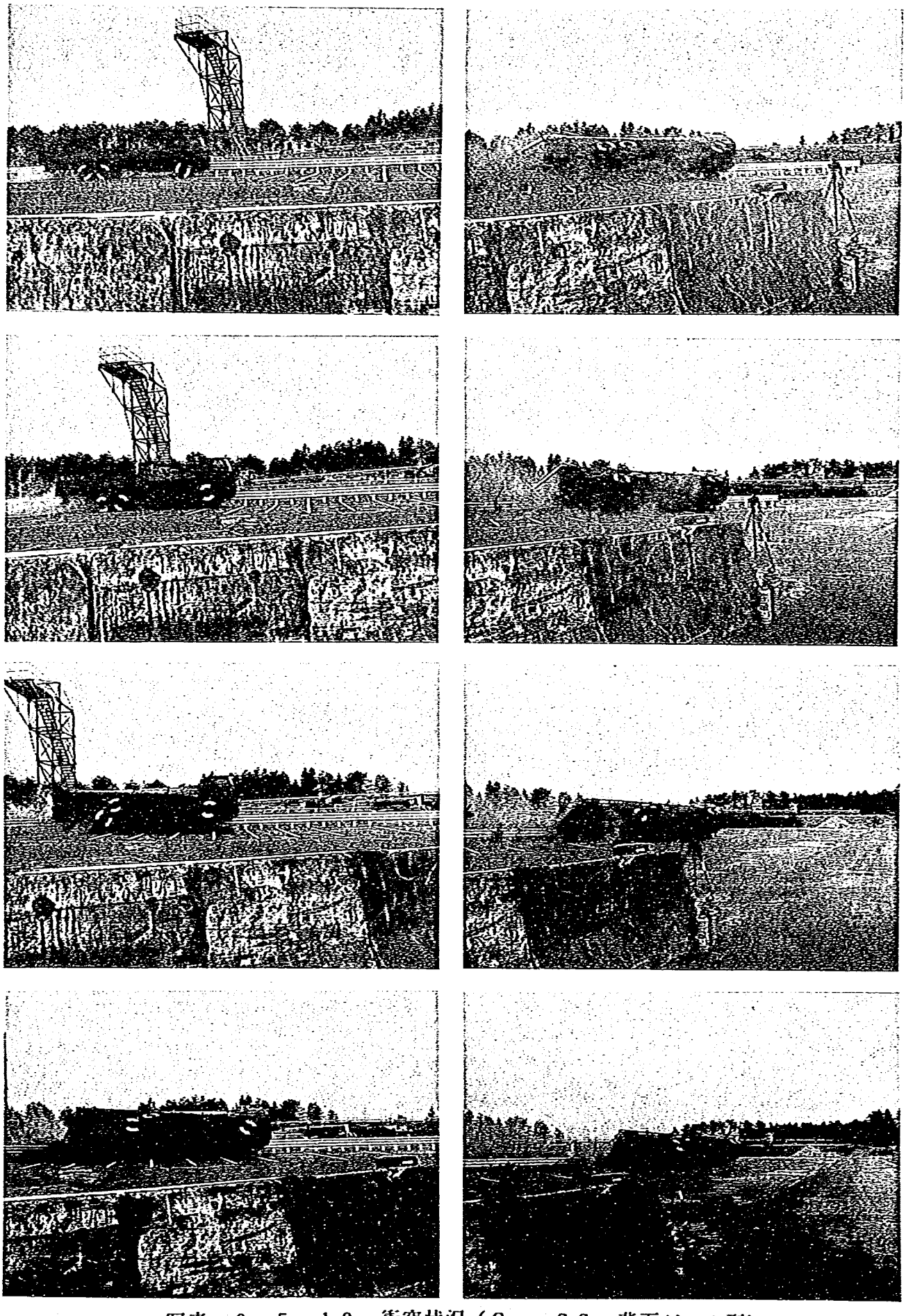
写真－６・５・７　損傷状況



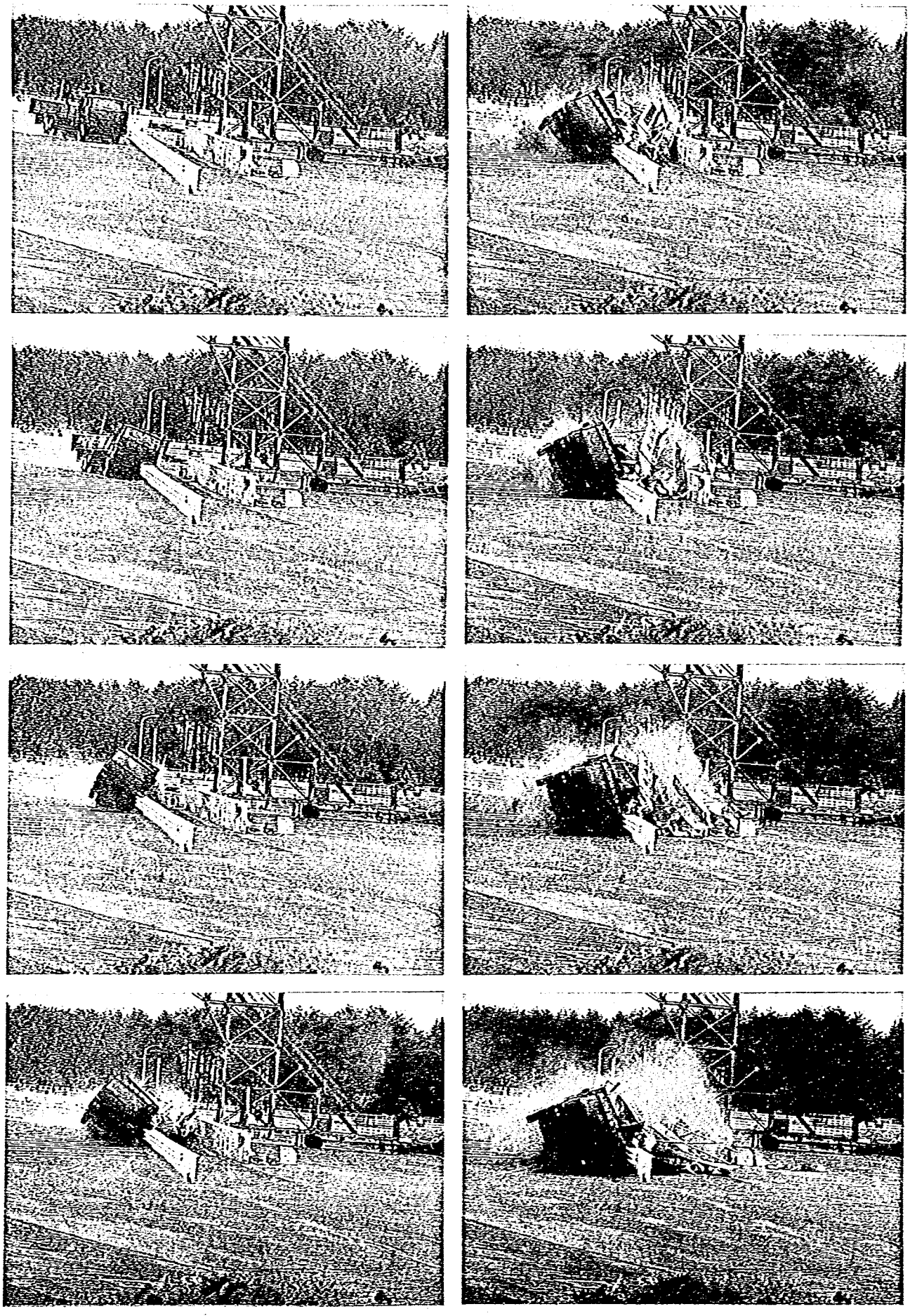
写真－６・５・８　衝突後の車両



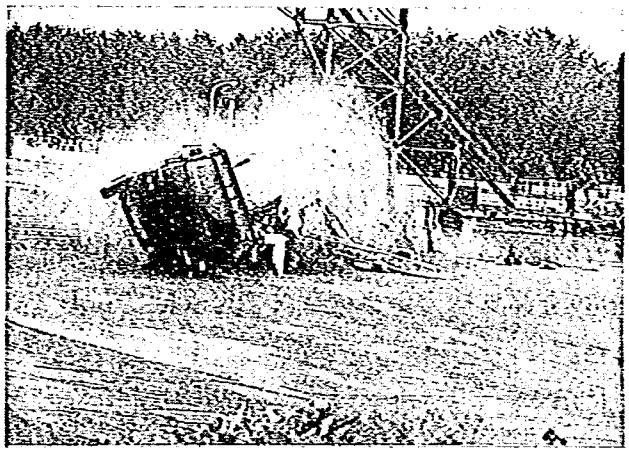
写真－６・５・９　衝突後の車両

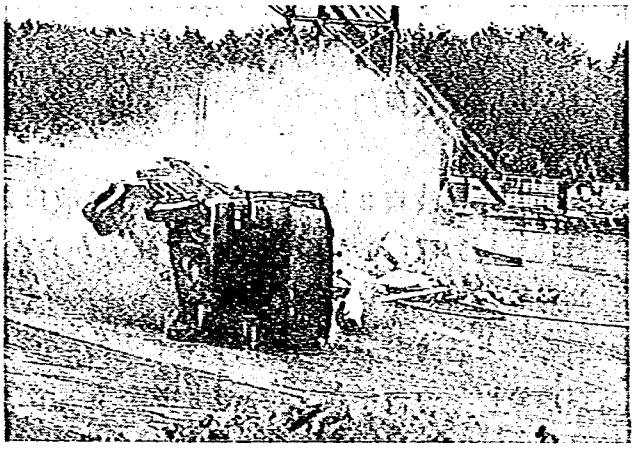


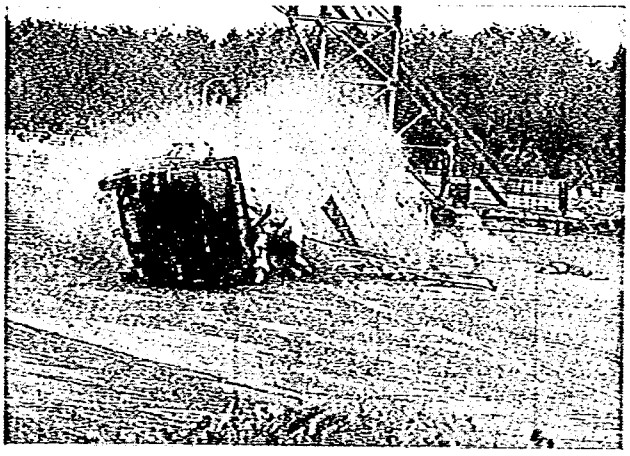
写真－６・５・１０　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　背面ビーム型）

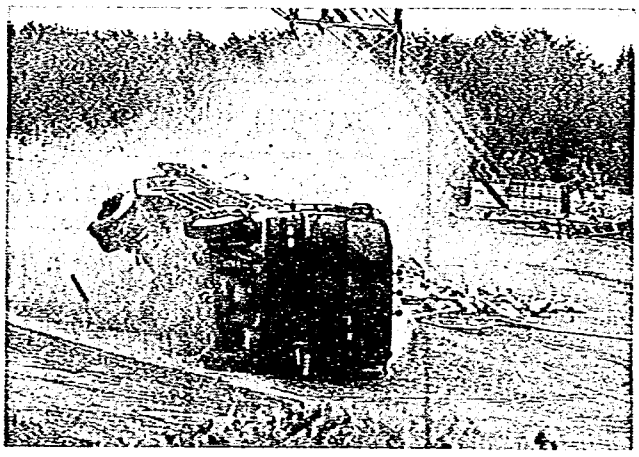


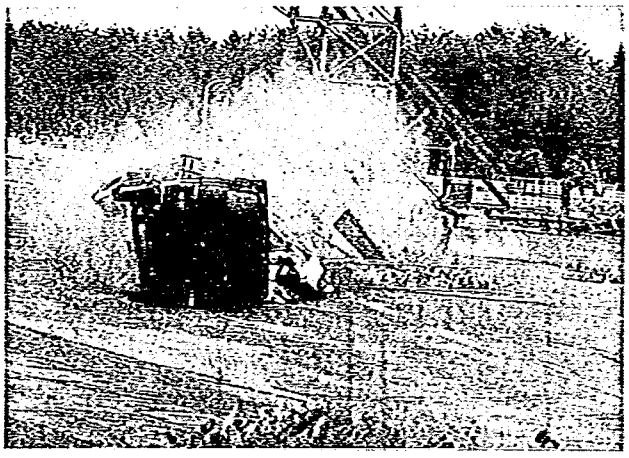
写真－６・５・１１　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　背面ビーム型）

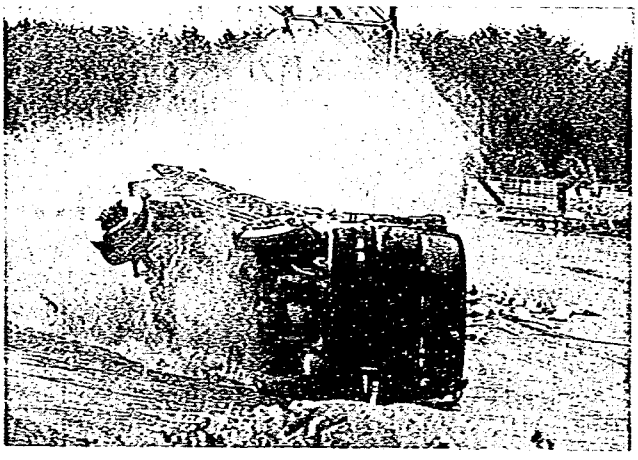


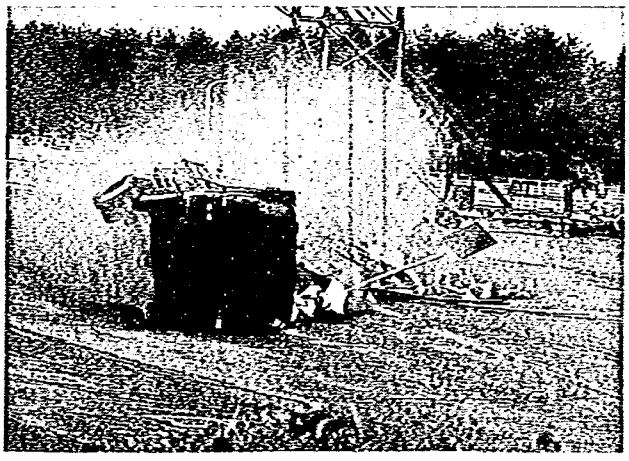












６．６．Ｇｒ－ＳＳ改良３型［実験６］

６．６．１．実験目的

Ｇｒ－ＳＳ（改良３型）は、Ｇｒ－ＳＳ改良２型の支柱の施工性と材料の汎用性を考慮し、支柱を□-125×125×t6.0（平均支持力６ｔ）からφ-139.8×t4.5（平均支持力４ｔ）に変更した。また、支柱間隔を２ｍから1.5ｍに短縮し、メートル当たりの支柱支持力をほぼ改良２型と同等にして、車両の誘導性と防護柵強度を検証することを目的とした。

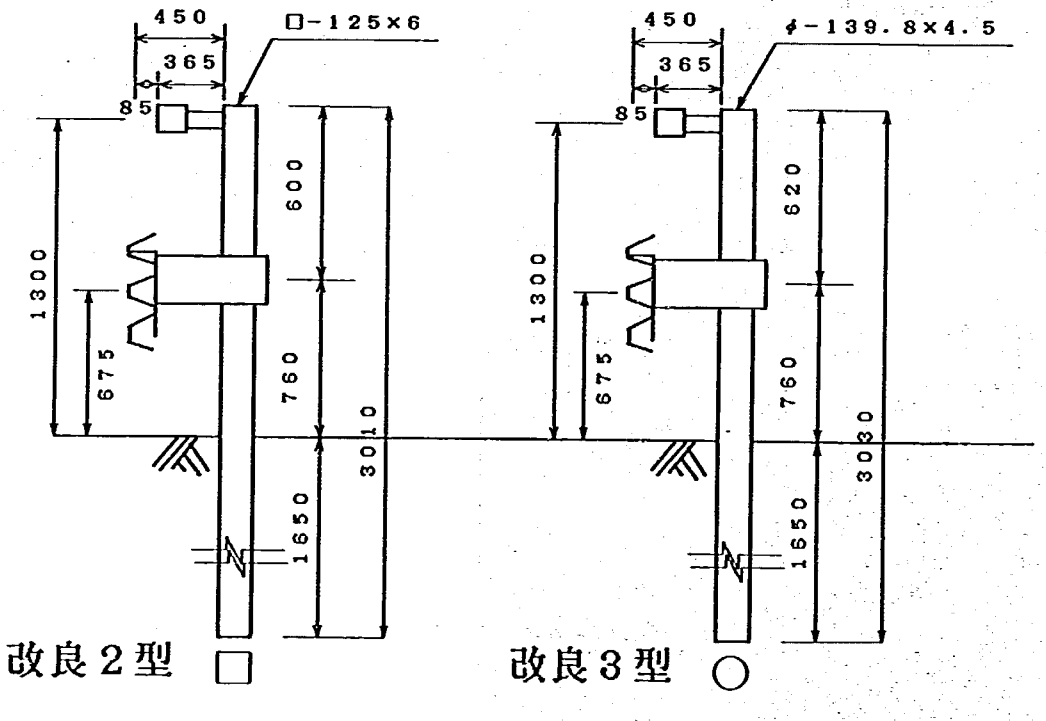
改良点を以下の表－６・６・１、図－６・６・１に示す。

表－６・６・１　改良点の項目

改良項目	改良２型	改良３型
支柱	□-125×125×t6.0	φ-139.8×t4.5
支柱支持力 *1	６ｔ	４ｔ
支持力 *2	３ t/m	2.7 t/m
支柱間隔	２ｍ	1.5m

*1 支柱支持力：支柱載荷実験結果より

*2 支持力　　：（支柱支持力）／（支柱間隔）



図－６・６・１　改良２型と改良３型との構造比較

6．6．2．衝突条件

衝突条件を表－6・6・2に示す。

表－6・6・2　衝突条件

衝突車種	大型貨物車
車両車重	20 t
衝突速度	100km/h
衝突角度	20度
衝撃度	92.1t・m[903kJ]

6．6．3．供試体構造概要

供試体構造を図－6・6・2に示す。

6．6．4．衝突シミュレーションによる検討

1）衝突シミュレーション結果

衝突シミュレーションで演算された結果を表－6・6・3に示す。

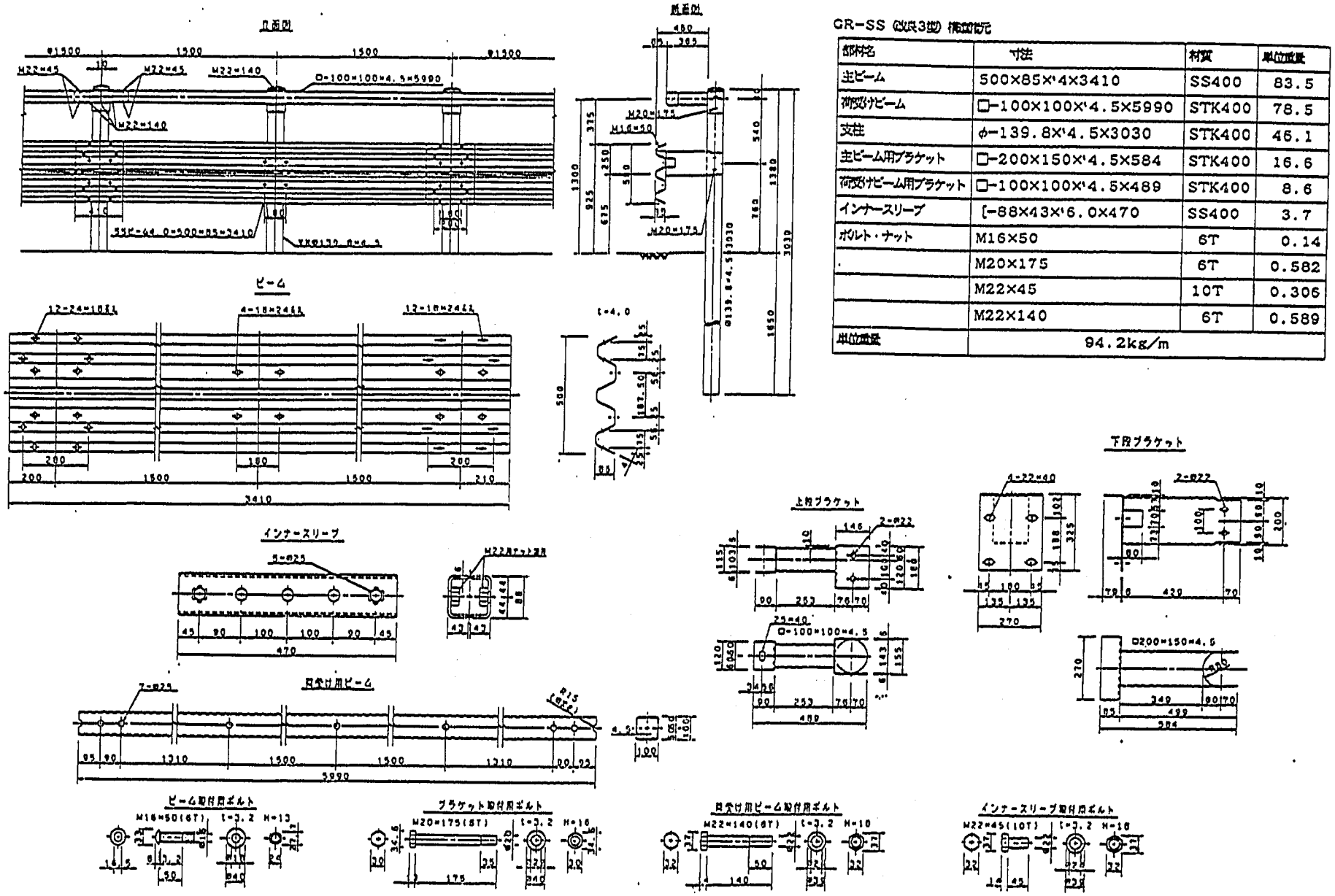
2）車両横転検討

車両の荷台は荷受けビームに当たり、支持点高さは確保されるが車両の回転モーメントが防護柵の抵抗モーメントを約2倍上回り横転する可能性が高いという結果となった。

3）総合評価

ビームに発生した張力が許容耐力に近いが破断することはないものと考えられる。

車両横転検討結果から、車両は横転する可能性が非常に高く、車両誘導性は確保できないものと考えられる。



GR-SS (仕様3型) 構成部材

部材名	寸法	材質	単位重量
主ビーム	500×85×4×3410	SS400	83.5
荷受けビーム	□-100×100×4.5×5990	STK400	78.5
支柱	φ-139.8×4.5×3030	STK400	46.1
主ビーム用ブラケット	□-200×150×4.5×584	STK400	16.6
荷受けビーム用ブラケット	□-100×100×4.5×489	STK400	8.6
インナースリーブ	[-88×43×6.0×470	SS400	3.7
ボルト・ナット	M16×50	6T	0.14
.	M20×175	6T	0.582
	M22×45	10T	0.306
	M22×140	6T	0.589
単位重量	94.2kg/m		

図－６・６・２　供試体構造図

表－６・６・３　シミュレーション結果

		シミュレーション値	許容値	評　価
離脱速度　(km/h)		81.2	80 以上	良好
離脱角度　(°)		18.8	10 以内	不良
最大進入行程　(mm)		1,060	1,100 以内	良好
防護柵変形範囲(m)		21.75		
ビーム	最大張力　(t)	84.6	98.2	良好
	最大変形量(mm)	780		
支柱	最大水平力(t)	6.0		
	最大変位量(mm)	727		
水平力　(t)		50.1		

表－６・６・４　車両横転有無検討

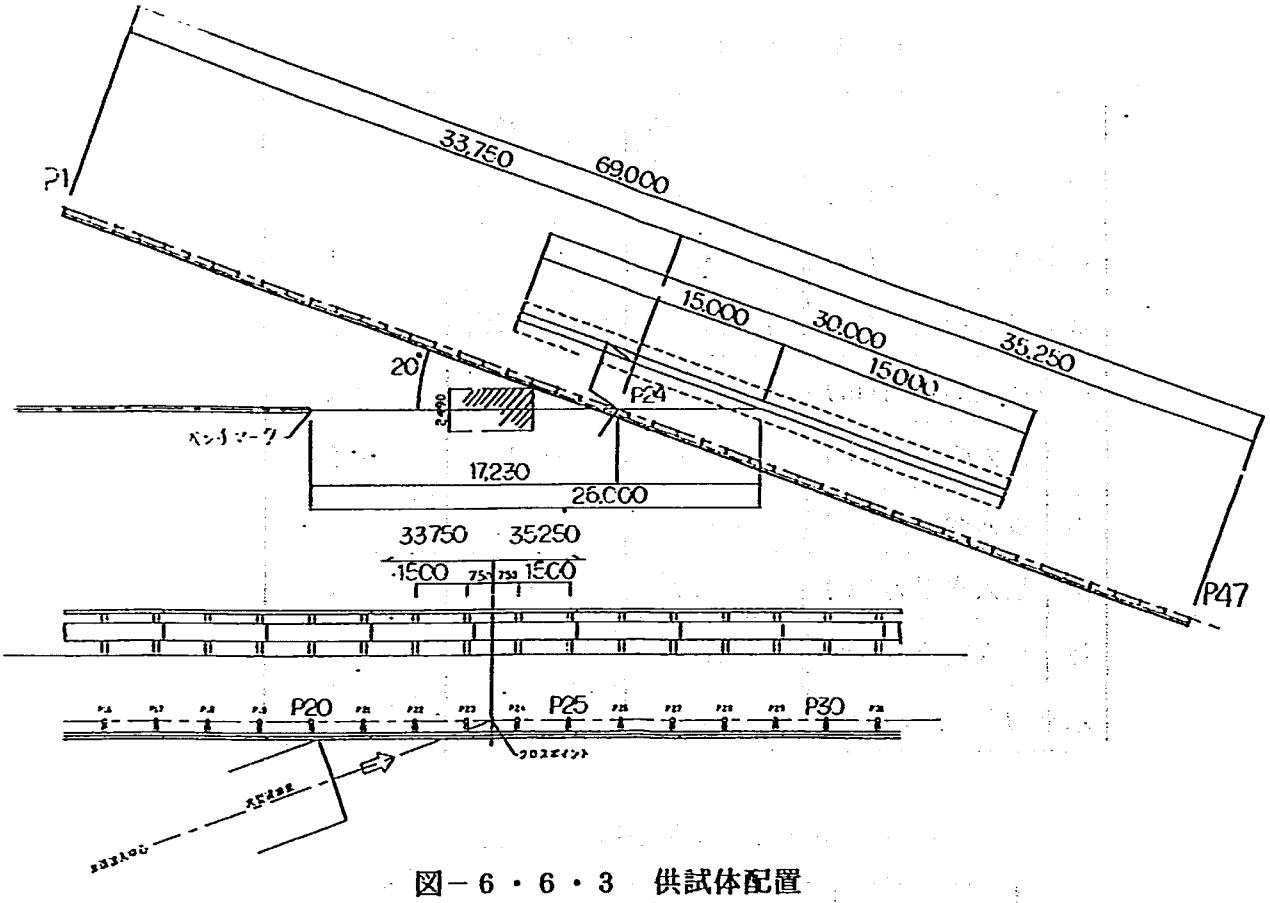
水平力(t)	Mr (t･m)	Mf (t･m)	結果
84.6 [829KN]	27.2 [267kN･m]	55.9 [548kN･m]	横転

６．６．５．供試体の配置および計測位置

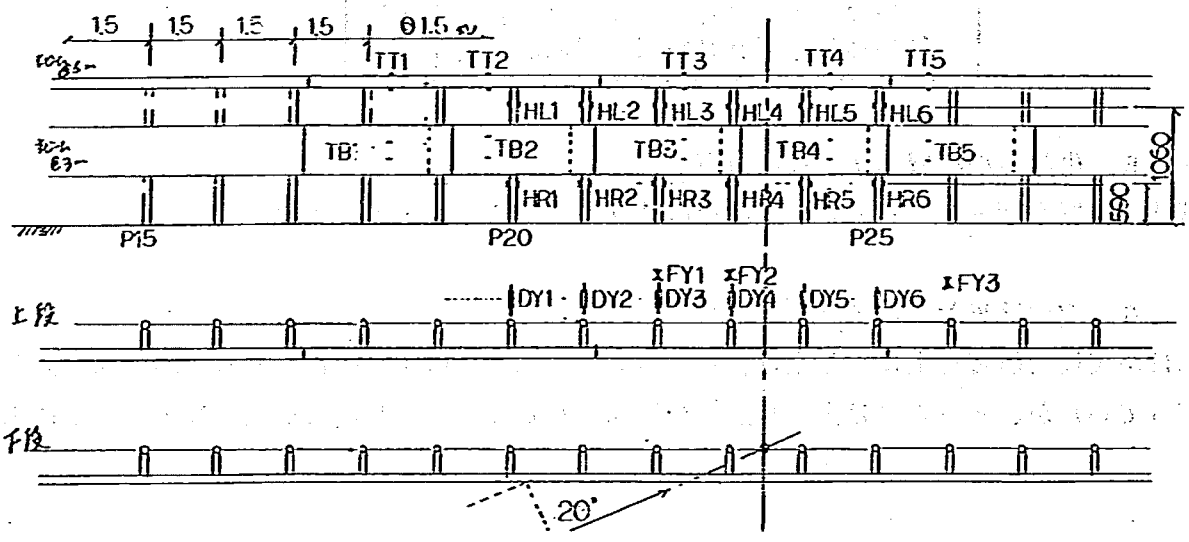
供試体の配置を図－６・６・３、計測位置関係を図－６・６・４に示す。

６．６．６．実験結果および考察

車両は衝突後、防護柵上に乗り上げ横転大破した。衝突後の防護柵は、支柱が地際部で大きく折れ曲がっていたが、ビームには大きな変形や破断はなかった。実験結果を表－６・６・５に示す。



図－６・６・３　供試体配置



測定項目	記号	測定部位	箇所数	点数／箇所	計
変位（静状）	ＤＹ	支柱	6	1	6
変位（光ｾﾝｻｰ）	ＦＹ		3	1	3
水平力	ＨＲ	Ｈ=590 支柱	6	1	6
	ＨＬ	Ｈ=1060支柱	6	1	6
張力	ＴＢ	主ビーム	5	1	5
	ＴＴ	上段ビーム	5	1	5
速度		路面	1	1	1
加速度		車両重心	1	Ｘ・Ｙ・Ｚ：3	3
		運転席ﾀﾞﾐｰ-頭部	1	Ｘ・Ｙ・Ｚ：3	3
		運転席ﾀﾞﾐｰ-胸部	1	Ｘ・Ｙ・Ｚ：3	3
		助手席ﾀﾞﾐｰ-頭部	1	Ｘ・Ｙ：2	2
		助手席ﾀﾞﾐｰ-胸部	1	Ｘ・Ｙ：2	2
軸力		運転席ﾀﾞﾐｰ-大腿部	1	1	1
合計					46

図－６・６・４　計測位置

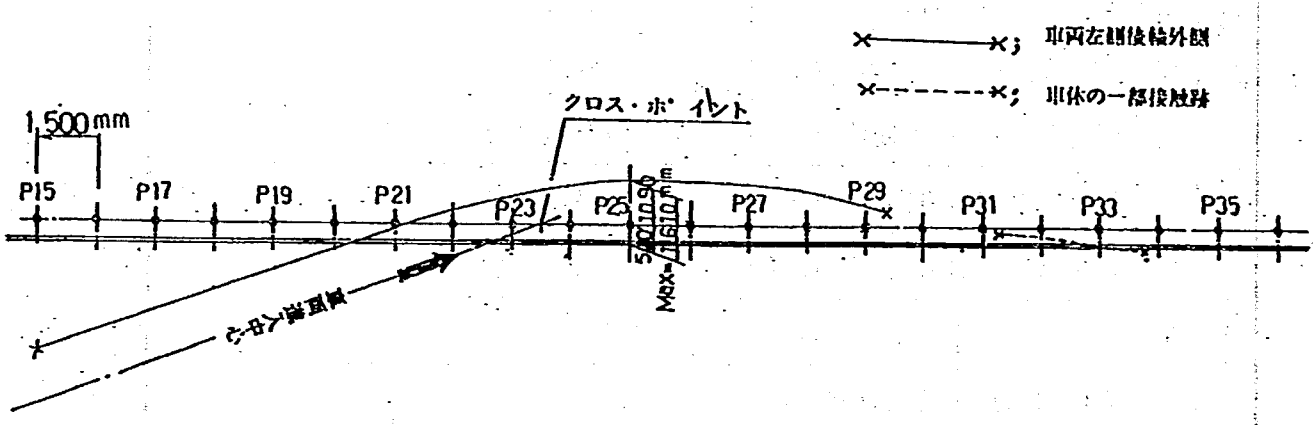
表－６・６・５　実験６　結果一覧表

実験日					1991. 4.16	許容値
実験番号					6	
衝突条件	車両重量（t）				20	——
	衝突速度（km/h）				100	——
	衝突角度（°）				20	——
	衝撃度（t·m）				92.1 [903kJ]	——
離脱速度（km/h）					横転のため計測不能	80 以上
離脱角度（°）					横転のため計測不能	10 以内
接触長	主ビーム（m）				25.1	——
	荷受けビーム（m）				26.6	——
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位（mm）			1,175 (P34)	——
		残留	直角(Y)方向（mm）		1,832 (P34)	——
			延長(X)方向（mm）		775 (P31)	——
	Y方向ビーム残留変位（mm）		主ビーム		1,565	——
			荷受けビーム		1,942	——
最大進入行程（mm）					——	1,100 以内
車両最大傾斜角（°）	前端				——	——
	後端				——	——
支柱最大水平力（t）					9.7 [95kN] (P23)	——
ビーム最大張力（t）	主ビーム				18.9 [185kN]	64.0 [627kN]
	荷受けビーム				37.5 [368kN]	34.2 [335kN]
加速度	車両重心	50msec値	進行(X)方向（g）		——	10
			直角(Y)方向（g）		——	5
			垂直(Z)方向（g）		——	——
			合成（g）		——	12
HIC値	運転席ダミー				——	1,000
	助手席ダミー				——	1,000

1）車両誘導性

車両は、速度100km/h、角度20度で衝突し、防護柵に沿って若干進行したが、支柱の地際部での極端な変形から左側前輪の支柱接触に続く後輪の踏み込みにより、車両荷台が支持できない高さに防護柵を低下させた。その結果、車両は大きく防護柵上に乗り上げ、防護柵上で横転大破した。

車両の軌跡を図－６・６・５に示す。



図－６・６・５　車両の軌跡図

2）防護柵強度

（１）支柱

本供試体（改良３型）は、支柱単体の平均支持力（実験値）を６ｔから４ｔに、一方スパンを２ｍから1.5ｍに縮小した。高速度衝突の場合、衝突初期の荷重が、防護柵の広い範囲には伝わらず、局部的に作用することがわかった。防護柵機能を良好に発揮するためには全体の強度とは別に支柱１本当たりの強度が必要になることがわかった。

表－６・６・６に改良２、３型の各支柱に発生した最大水平力を示すが、改良３型では支柱の局部的な変形により、水平力があまり発生していなかった。

表－６・６・６　支柱水平力

支柱番号			P20	P21	P22	P23	P24	P25
改良3型	ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄまでの距離*1		-5.25	-3.75	-2.25	-0.75	+0.75	+2.25
	衝突前半	(t) (kN)	3.0 (29.4)	4.1 (40.2)	4.1 (40.2)	5.1 (50.0)	4.3 (42.1)	－*2 －
		発生時間 *3	0.07	0.10	0.13	0.24	0.29	－
	衝突後半	(t) (kN)	4.1 (40.2)	4.1 (40.2)	3.5 (34.3)	2.6 (25.5)	－ －	－ －
		発生時間	0.41	0.41	0.48	0.45	－	－
	最大変位の位置		クロスポイントより進行側に3.7m					

改良2型	ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄまでの距離*1		-7	-5	-3	-1	+1	+3
	衝突前半	(t) (kN)	2.8 (27.4)	6.1 (59.7)	8.8 (86.2)	12.1 (118.5)	11.8 (115.6)	9.5 (93.1)
		発生時間	0.11	0.08	0.11	0.17	0.23	0.38
	衝突後半	(t) (kN)	4.4 (43.1)	5.5 (53.9)	6.9 (67.6)	11.1 (108.7)	8.2 (80.3)	9.0 (88.2)
		発生時間	0.45	0.42	0.48	0.43	0.45	0.61
	最大変位の位置		クロスポイントより進行側に5.0m					

*1 ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄまでの距離：－を進入側、＋を離脱側とした。(m)

*2 －　：計測異常値

*3 発生時間　：車両が衝突した時からの経過時間(sec)

（２）ビーム

支柱の局部的な変形により、ビームの本来の評価ができなかった。参考までに、測定したビーム張力を表－６・６・７に示す。

表－６・６・７　ビーム張力

主ビーム番号		TB1	TB2	TB3	TB4	TB5
ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄまでの距離*1		-8.25	-6.75	-2.25	+2.25	+3.75
張力	(t) (kN)	18.9 (185.2)	15.8 (154.8)	29.3 (287.1)	18.7 (183.3)	－*2 －
	発生時間*3	0.28	0.34	0.14	0.15	0.34

荷受けビーム番号		TT1	TT2	TT3	TT4	TT5
ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄまでの距離		-8.25	-6.75	-2.25	+2.25	+3.75
張力	(t) (kN)	35.1 (344.0)	37.5 (367.5)	－ －	－ －	－ －
	発生時間	0.53	0.52	－	－	－

*1 C.P距離　：クロスポイントまでの距離を示し、－を進入側、＋を離脱側とした。(m)

*2　　－　　：計測異常値

*3 発生時間：車両が衝突した時からの経過時間(sec)

（３）プラケット

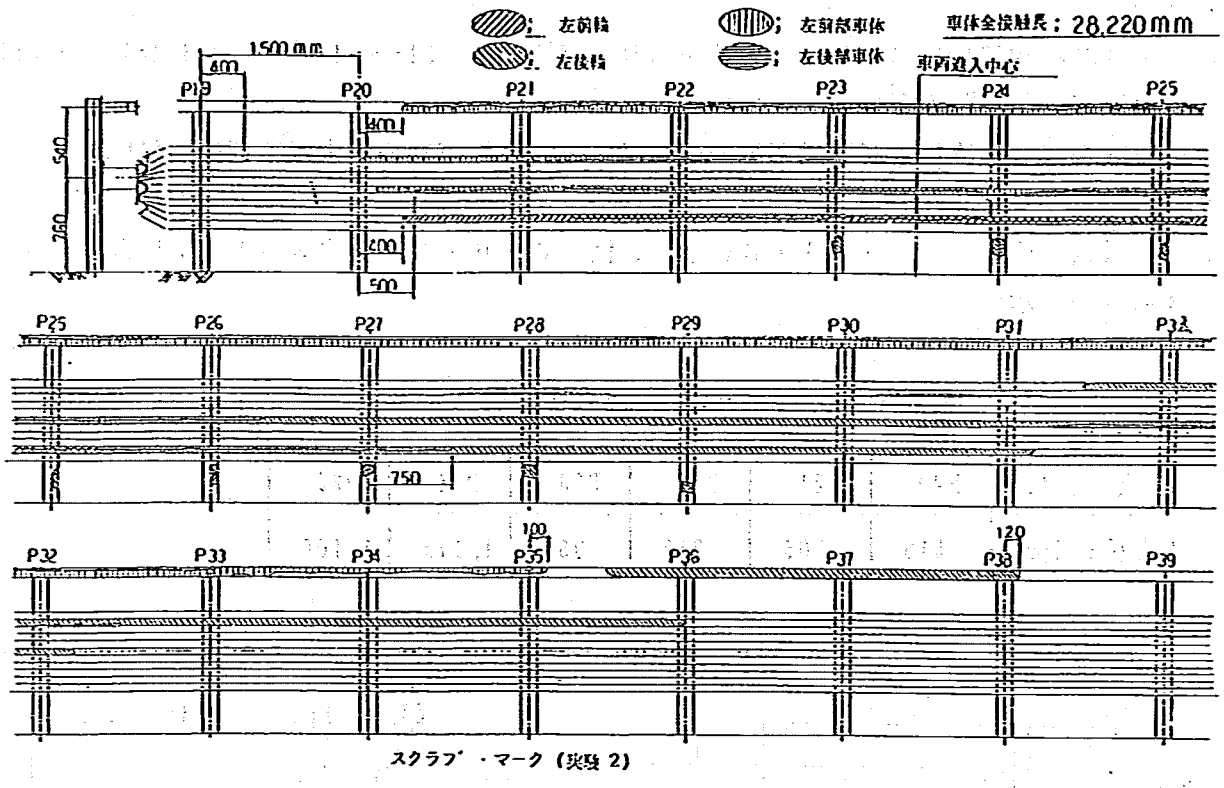
変形がなく、強度的には問題ないものと考えられる。

３）防護柵損傷状況

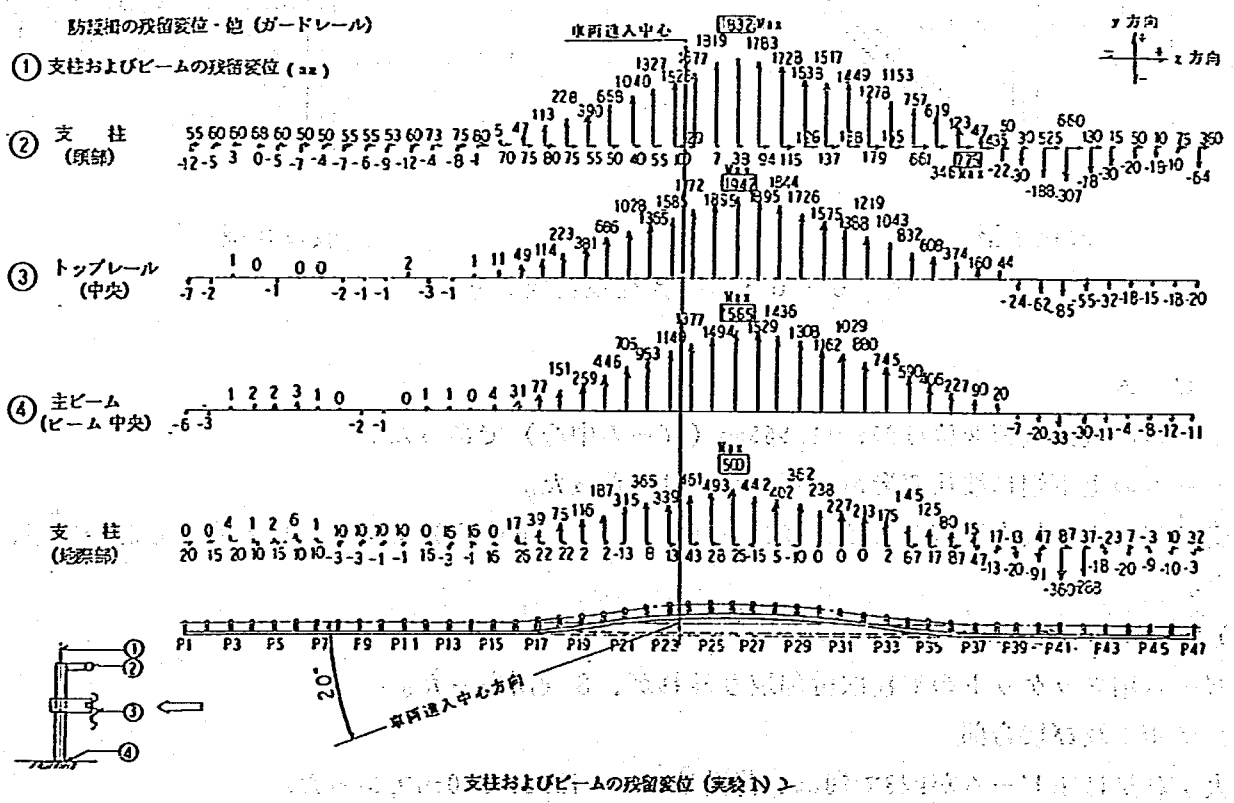
防護柵の残留変形区間は36mであった。

主ビームの接触長は、P19～P36の25.1mであり、荷受けビームの接触跡はP20～P38の26.6mである。また、P22～P29までの支柱８本に車輪の接触があった。

防護柵の接触跡を図－６・６・６、残留変位を図－６・６・７にそれぞれ示す。



図－６・６・６　車両の接触跡



図－６・６・７　防護柵の残留変形

（１）支柱

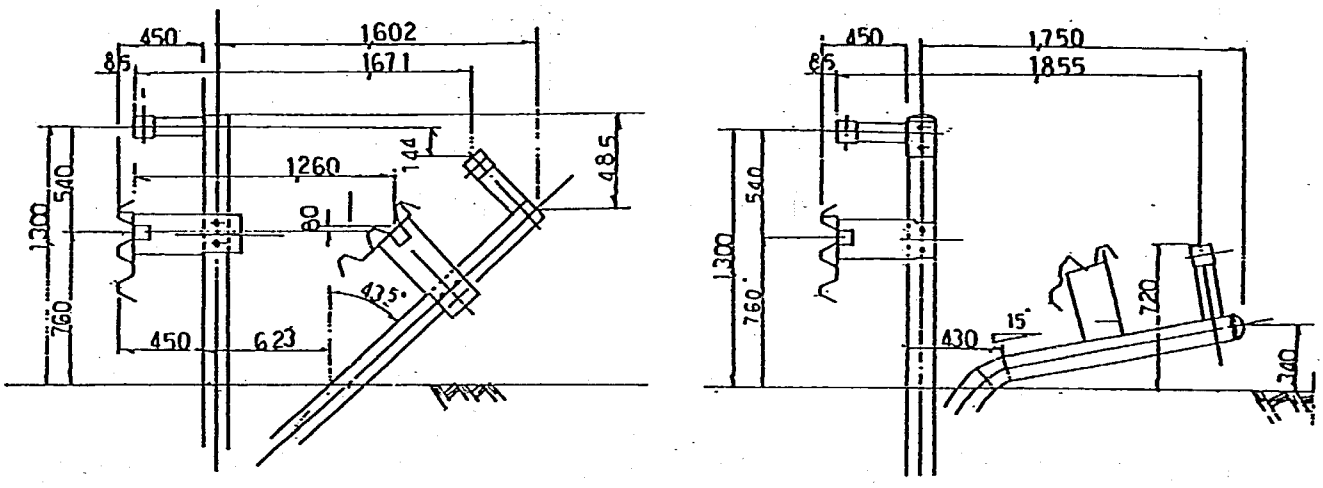
支柱８本（P22～P29）に車輪踏みつけ跡があり、支柱28本（P18～P47除く　P43,44）がGL+30～-365㎜の位置で、”く”の字に曲がっていた。

柵直角方向の残留変位量は支柱頭部でP26の1,832㎜、平行方向の最大残留変位量はP36で775㎜であった。

各支柱の最大変位量は表－６・６・８に示し、図－６・６・８に改良２型と本実験改良３型の支柱残留変形寸法を示す。

表－６・６・８　支柱の最大変位量

支柱番号	P20	P21	P22	P23	P24	P25
変位量(㎜)	519	806	932	955	1,175	1,106



改良２型　　改良３型

図－６・６・８　支柱残留変形寸法

（２）ビーム

主ビームの最大残留変位はP26で1,565㎜（ビーム中心）であった。

主ビームの上下端に波状変形あるが、破断はなかった。

荷受けビームの最大残留変形は、P26で1,942㎜（ビーム中心）であり、局部的な変形や破断はなかった。

（３）ブラケット

主ビーム用ブラケットの支柱取付部取り外れが、８箇所あった。

（４）ボルト及び接合部

最大ずれ量は主ビームがP23で20㎜、荷受けビームはP23で20㎜であった。

ビーム取り付けプレートから７箇所のボルトが抜けた。

4）車両損傷状況

左側バンパー、フェンダーに約40cmの潰れがあり、右前輪取り付けボルトが破断した。衝突後の車両は、牽引走行不可能であった。

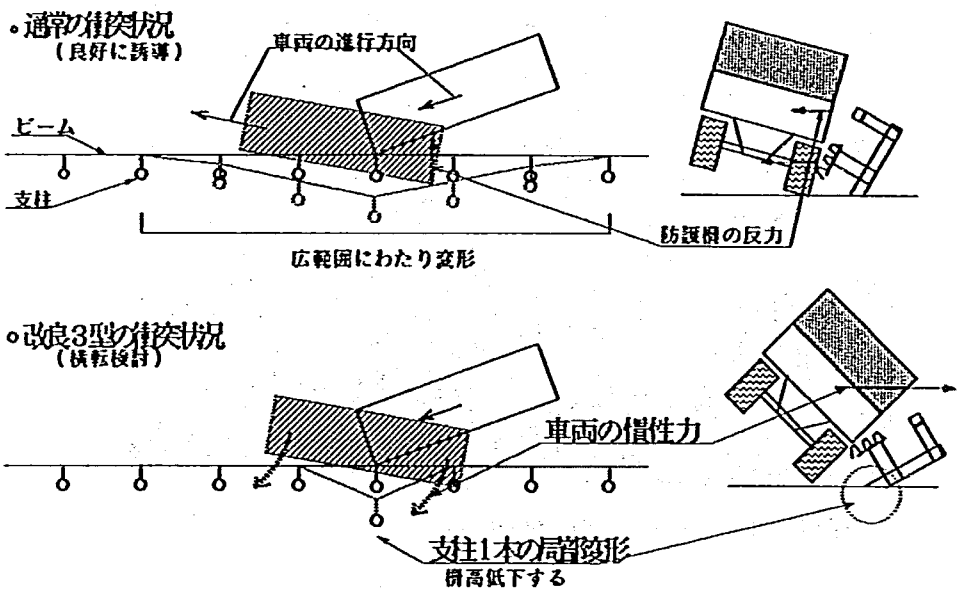
また、左側荷台のあおり板（アルミ製）が取り外れ、土嚢が路内外に飛散した（数量不明）。

5）乗員の安全性

車両横転により助手席側の車室内空間が約半分つぶれた。また、加速度計による計測ができなかった。

6）考察

本実験では、路外横転し、誘導できなかった。これは、支柱単体の支持力が不足していたため、衝突初期の荷重を個々の支柱が受けきれず折れ曲がってしまい、柵高さが低下し、荷台が路外に振られて車両の転倒を誘発させたものと考えられる。



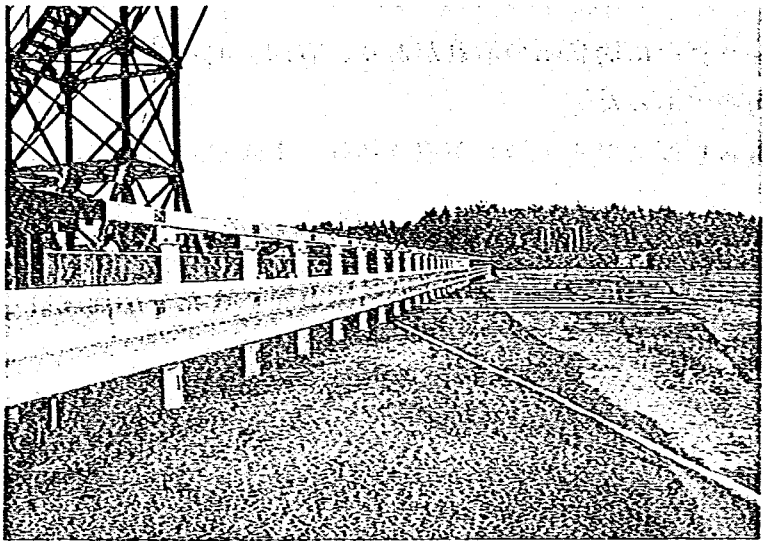
図－６・６・９　変形状況の違い

したがって、92t・Ⅲレベルの高衝撃度下における支柱強度は支柱間隔、支柱単体の平均支持力、鋼管の形状、寸法ならびに形状特性などの関係を考慮することが必要であると考えられる。

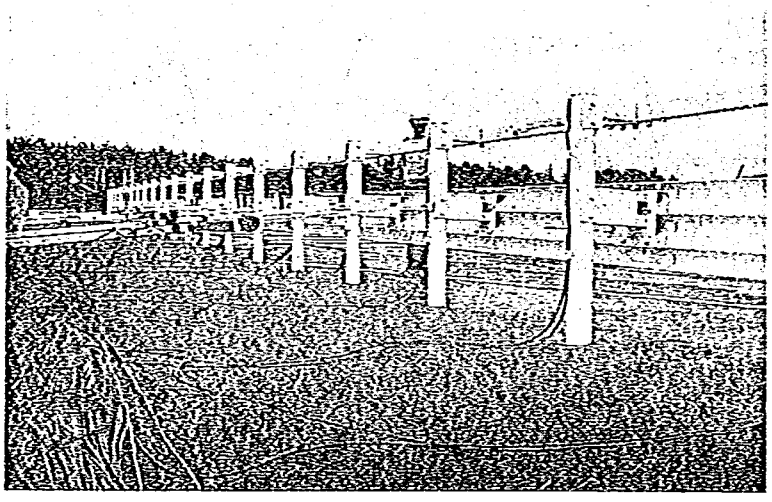
６．６．７．検討事項および課題

高エネルギー衝突での支柱単体の強度が防護柵機能上において重要であることが判明し、今後この点のデータ整理および解析が必要であると考えられる。

そこで、支柱の個々の耐力と全体耐力の関係を解明するために支柱実験などを行い、鋼管の形状、形状特性、載荷スピードなどによる耐力差や変形状況などの違いを把握することが必要であると考えられる。



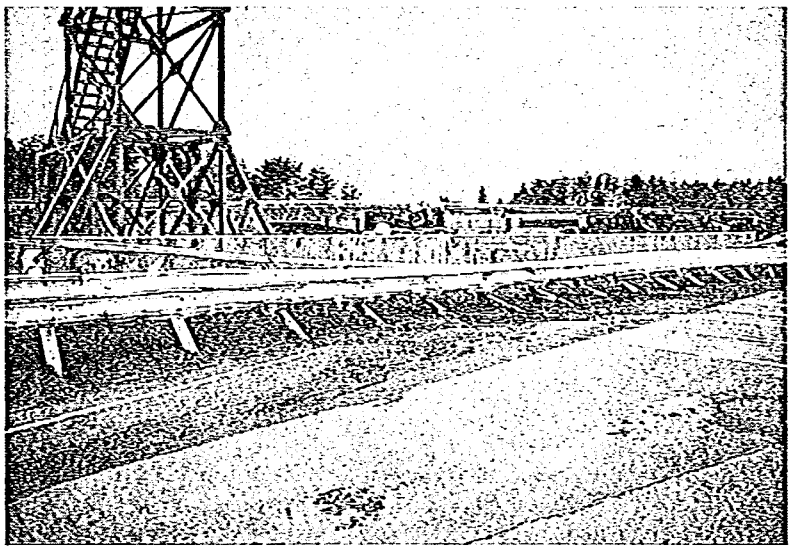
写真－６・６・１　供試体（Ｇｒ－ＳＳ　改良３型）



写真－６・６・２　供試体（Ｇｒ－ＳＳ　改良３型）



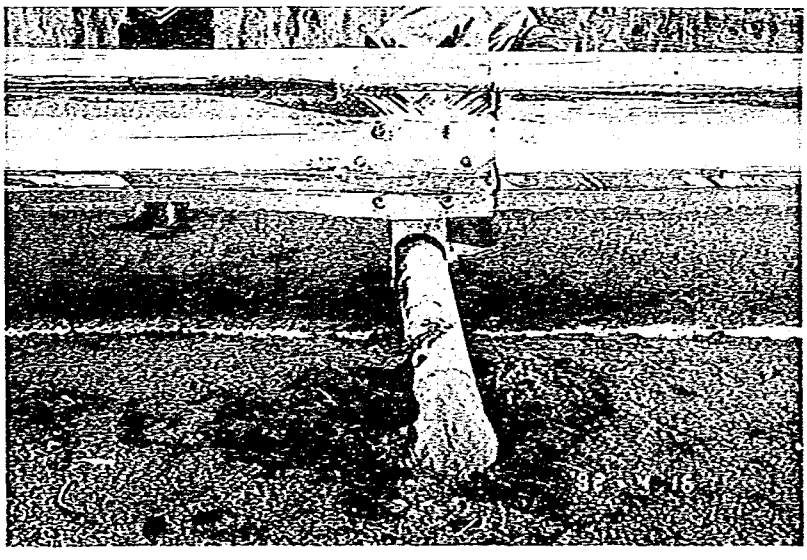
写真－６・６・３　衝突車両（大型貨物車）



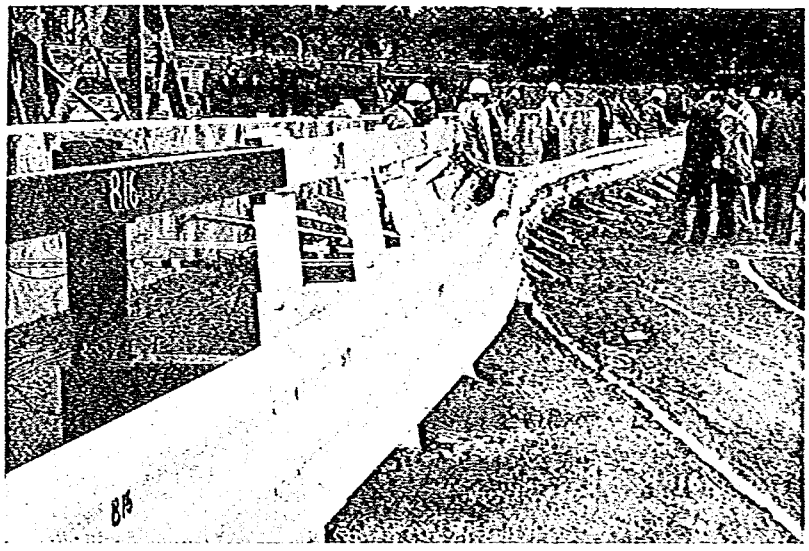
写真－６・６・４　衝突後の供試体



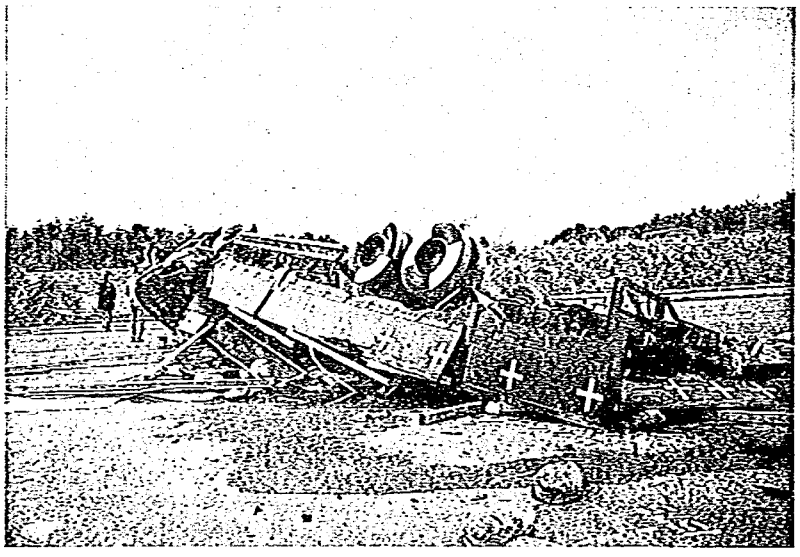
写真－６・６・５　衝突後の供試体



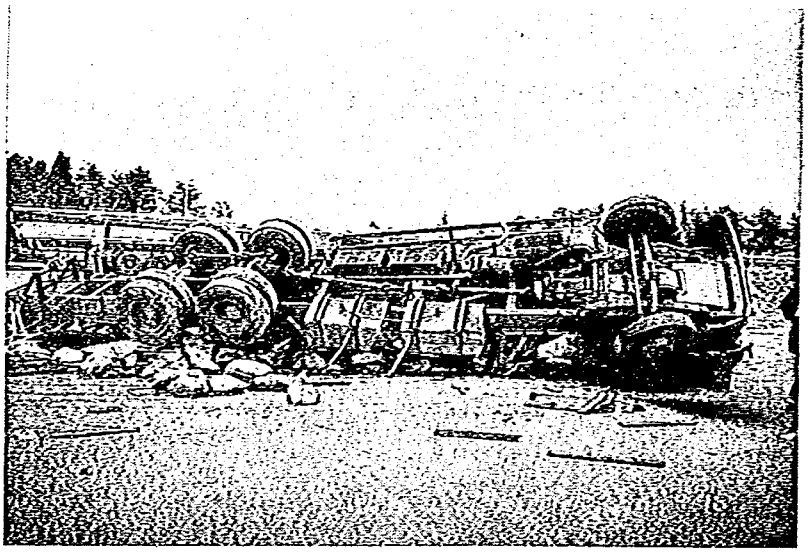
写真－６・６・６　衝突後の供試体



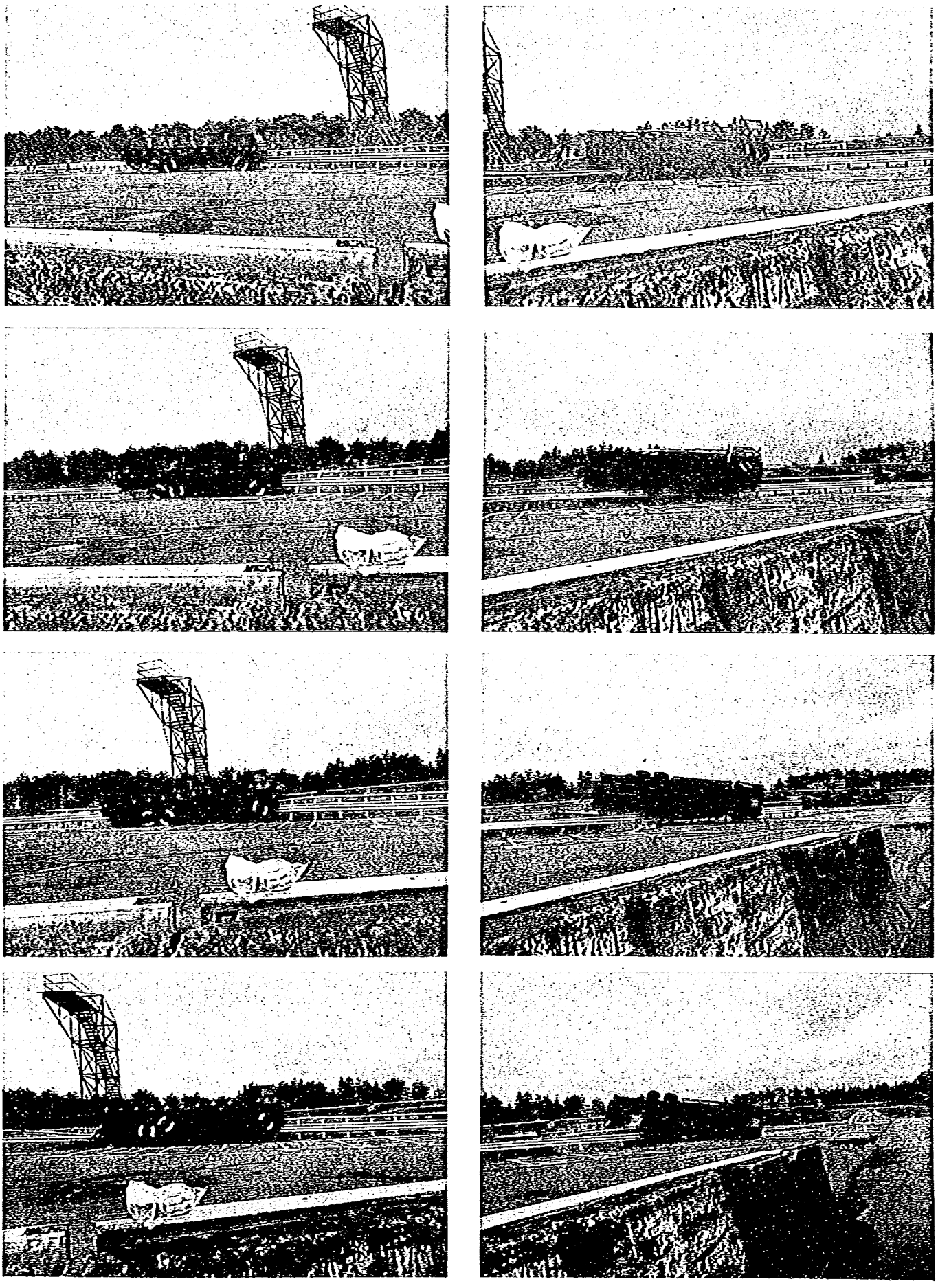
写真－６・６・７　損傷状況



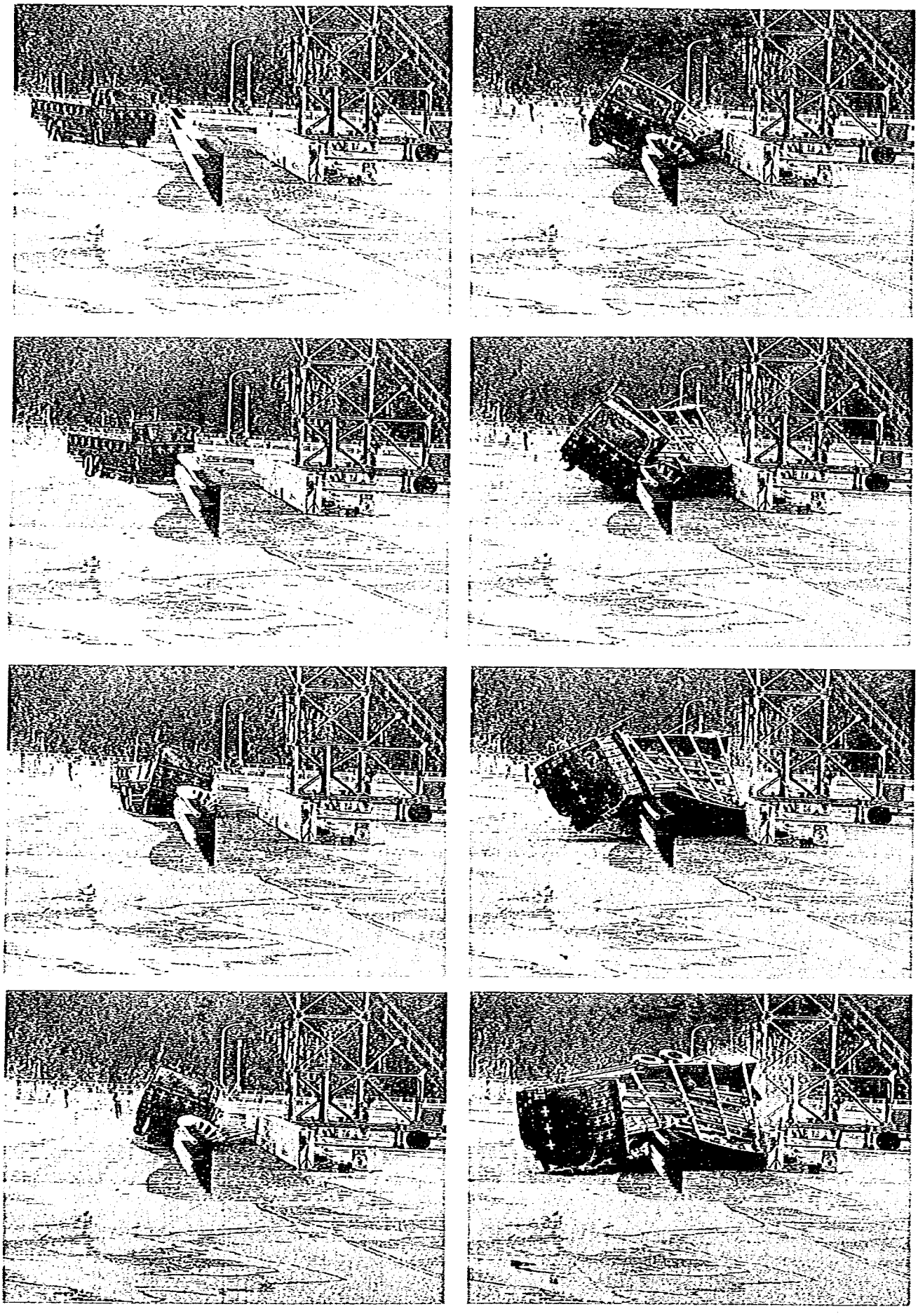
写真－６・６・８　衝突後の車両



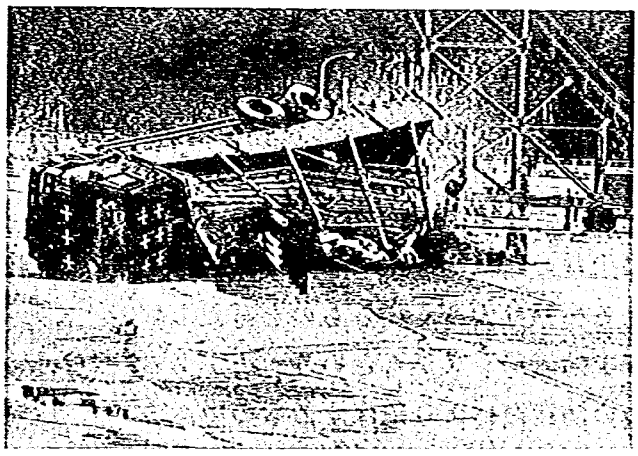
写真－６・６・９　衝突後の車両

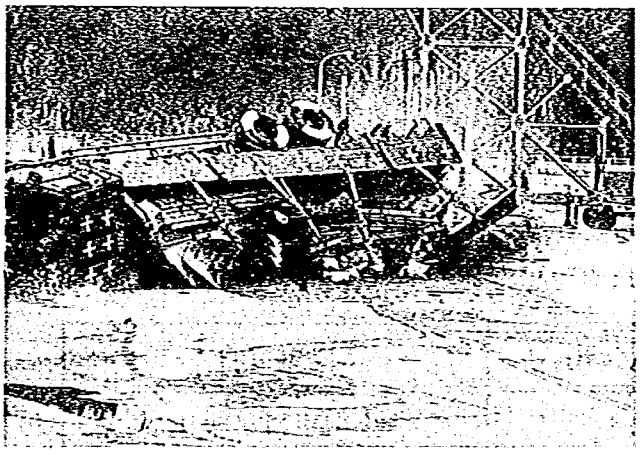


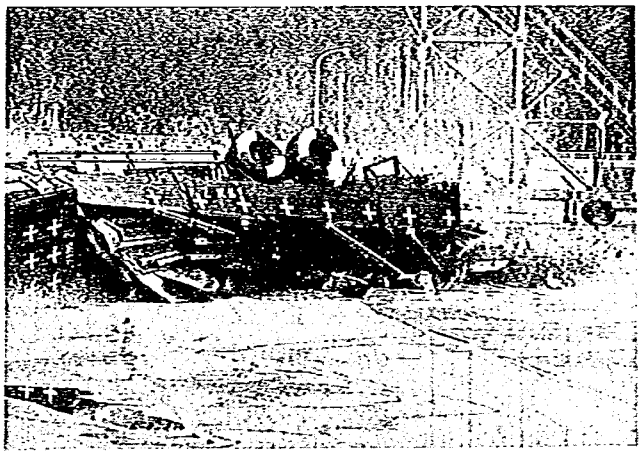
写真－6・6・10　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　改良３型）



写真－６・６・１１　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　改良３型）







６．７．Ｇｒ－Ａ’［実験７］

６．７．１．実験目的

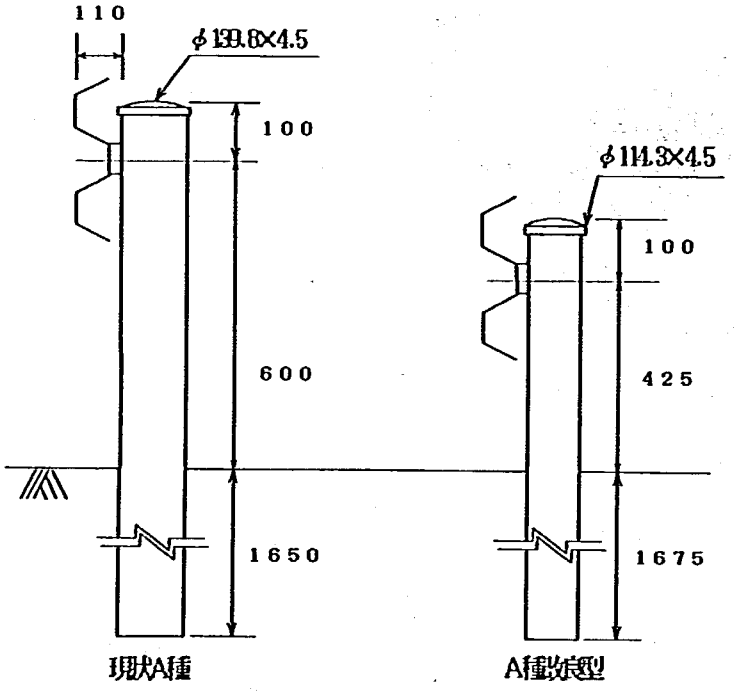
これまでの防護柵開発の基本的な考え方としては、大型車衝突の路外逸脱防止と小型車衝突時の乗員の安全性確保を一つの防護柵に求めてきた。今回の一連の高速化対応型防護柵の開発における衝撃度は非常に大きく、突破防止を考えると変形の少ない剛な構造となる。一方、このような剛性の高い防護柵構造では、小型車衝突時の乗員に与える衝撃は大きくなるものと考えられる。またこれに対して、ヨーロッパ等で実績のある２ステージ型防護柵システムというものがある。これは大型車突破防止と小型車の乗員の安全性を別々な２つの防護柵により確保するものである。

本実験は、小型車の衝突に対応するためＡ種ガードレールに若干の変更（下表、下図参照）を加えた供試体を用いて、小型車の高速度衝突(140km/h, 1.1ｔ, 15度)における車両の誘導性、防護柵の強度、乗員の安全性などを把握し、小型車用防護柵に関する基礎データを収集することを目的として行った。

改良点を以下の表－６・７・１、図－６・７・１に示す。

表－６・７・１　改良点の項目

改良項目	現行Ａ種	Ａ’型	変更目的
支柱	φ139.8×4.5	φ114.3×4.5	小型車衝撃緩和
ビーム中心高さ	600㎜	425㎜	小型車専用高さ



図－６・７・１　現行Ａ種からの変更点

6．7．2．衝突条件

衝突条件を以下の表－6・7・2に示す。

表－6・7・2　衝突条件

衝突車種	小型乗用車
車両車重	1.1 t
衝突速度	140km/h
衝突角度	15度
衝撃度	5.69t・m[56kJ]

6．7．3．供試体構造概要

供試体構造図を図－6・7・2に示す。

6．7．4．衝突シミュレーションによる検討

1）衝突シミュレーション結果

衝突シミュレーションで演算された結果を表－6・7・3に示す。

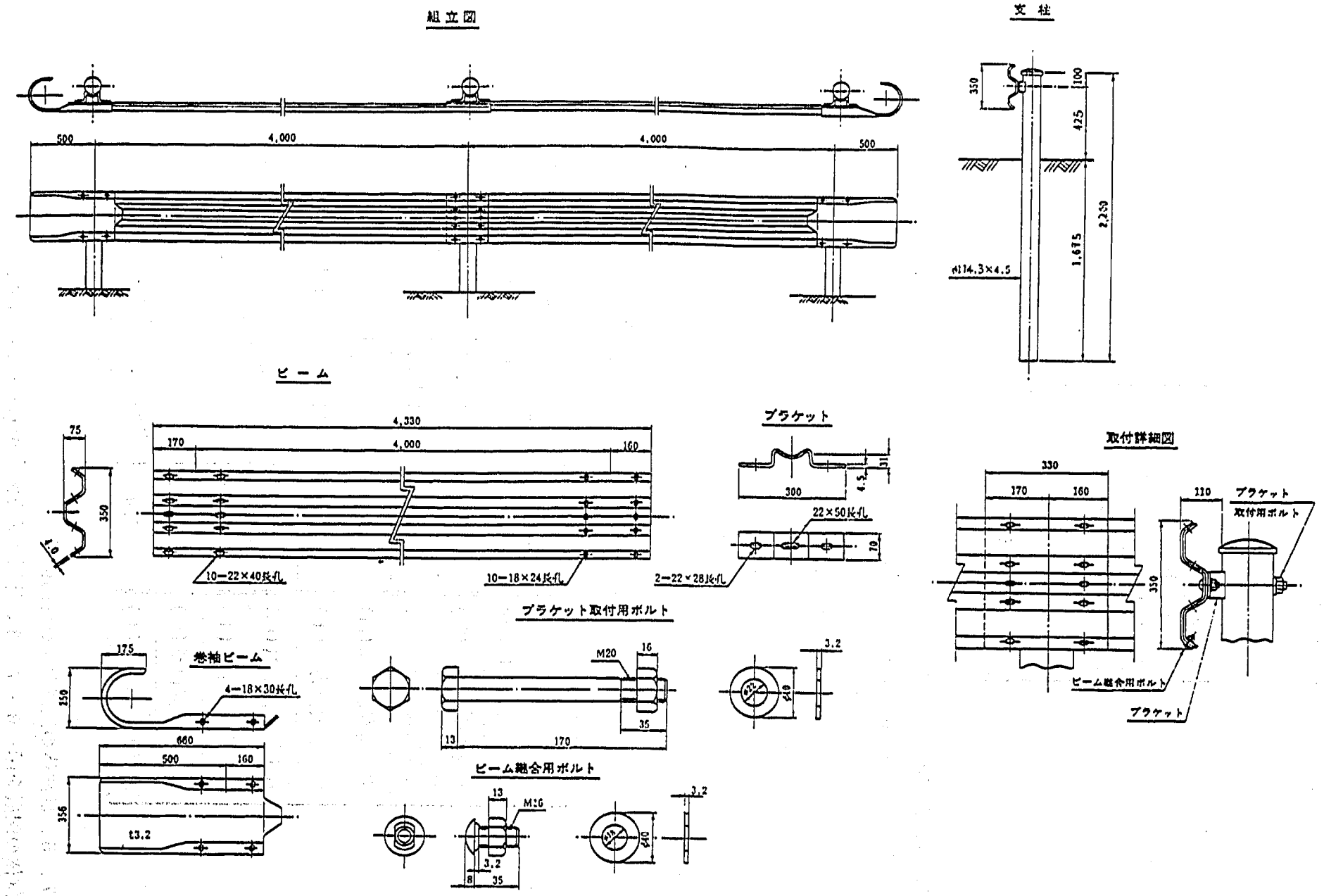
ビームに発生する張力、変形量、車両の最大進入行程は許容値以内であり強度的な問題はないと考えられる。

表－6・7・3　シミュレーション結果

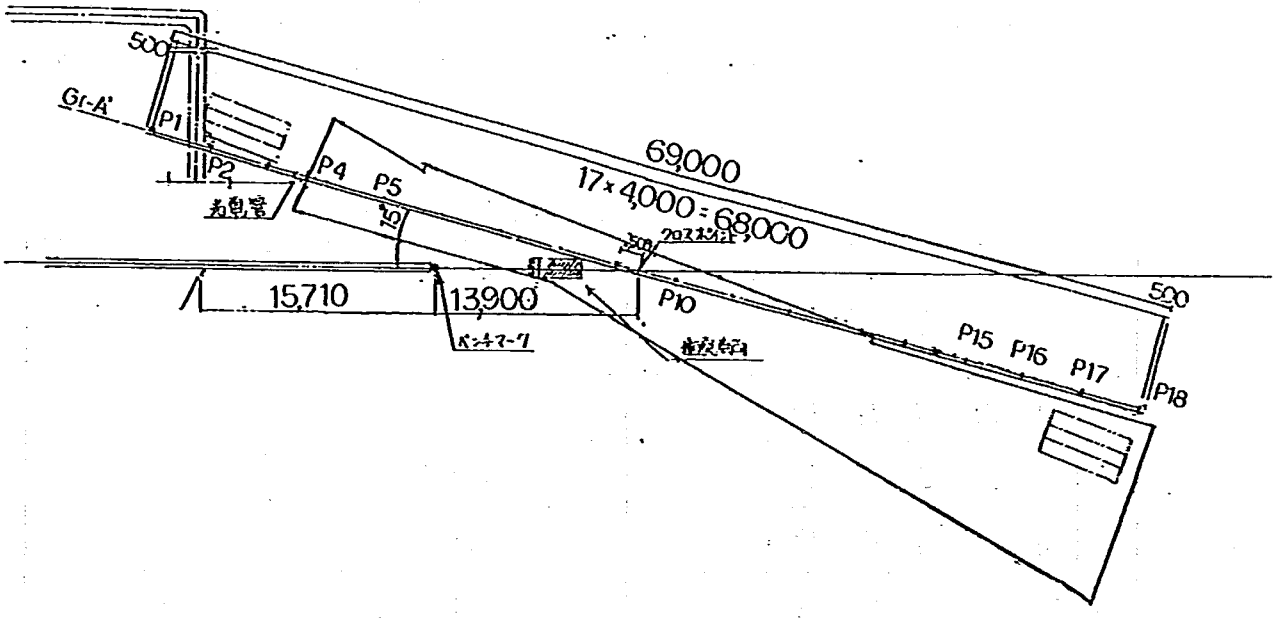
		シミュレーション値	許容値	評　価
離脱速度　(km/h)		128.2	120 以上	良好
離脱角度　(°)		15.4	9 以内	不良
最大進入行程　(mm)		770	1,100 以内	良好
防護柵変形範囲(m)		28		
ビーム	最大張力　(t)	22	38.0	良好
	最大変形量(mm)	770		
支柱	最大水平力(t)	1.5		
	最大変位量(mm)	707		
水平力　(t)		6.0		

6．7．5．供試体の配置および計測位置

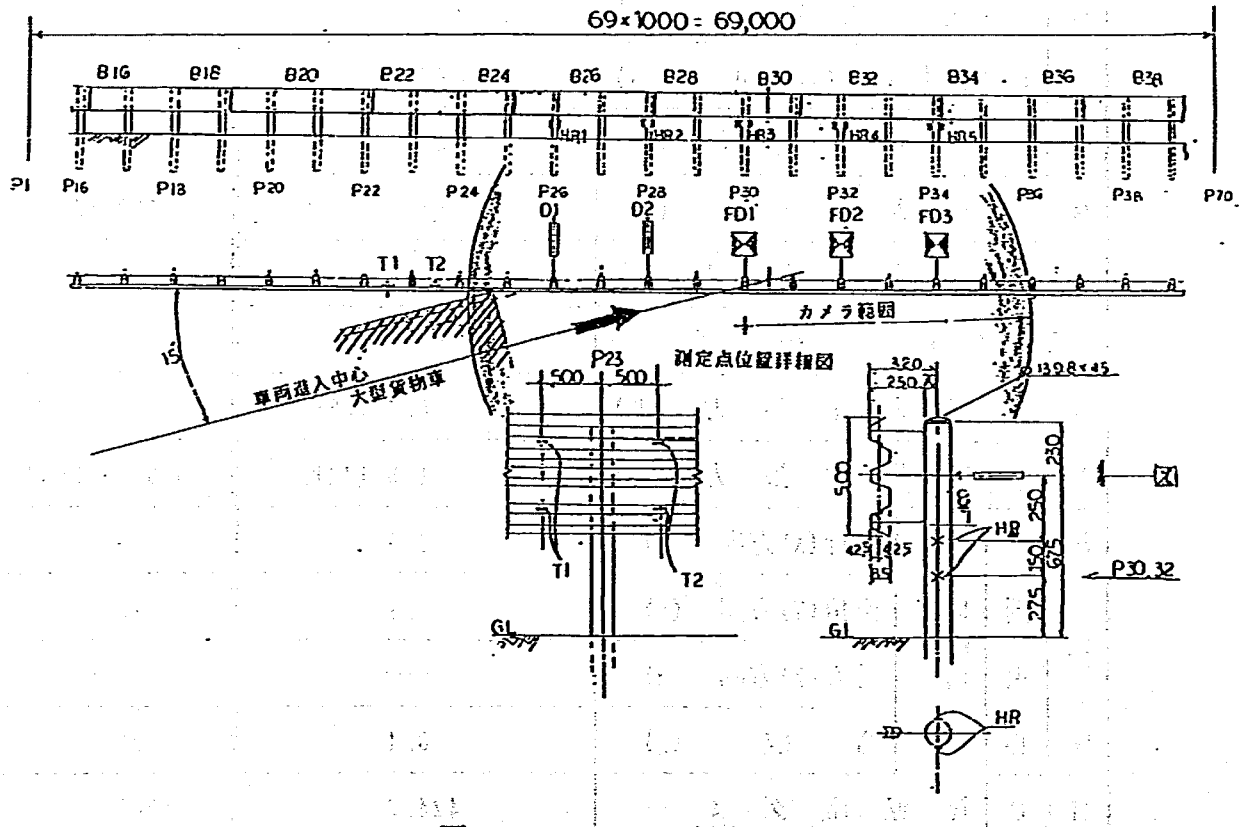
供試体の配置を図－6・7・3、計測関係を図－6・7・4に示す。


組立図
支柱
500
4,000
4,000
500
350
100
425
2,250
1,675
φ114.3×4.5
ビーム
75
350
10
4,330
170
4,000
160
10−22×40長孔
10−18×24長孔
ブラケット
300
4.5
31
22×50長孔
70
2−22×28長孔
取付詳細図
330
170
160
110
ブラケット
取付用ボルト
350
ビーム継合用ボルト
ブラケット
ブラケット取付用ボルト
M20
16
35
13
170
3.2
φ40
巻柱ビーム
175
150
4−18×30長孔
660
500
160
356
t3.2
ビーム継合用ボルト
13
M16
3.2
8
35
3.2
φ40

図－６・７・２　供試体構造図



図－6・7・3　供試体配置



図－6・7・4　計測位置

6．7．6．実験結果（概要説明）および考察

車両は、衝突後、供試体に沿って大きく飛び上がり、約16m滑空した。車両の損傷は大きく、自力走行は不可能であった。防護柵は最大750㎜(P10)変形していた。結果一覧表は、表－6・7・4に示す。

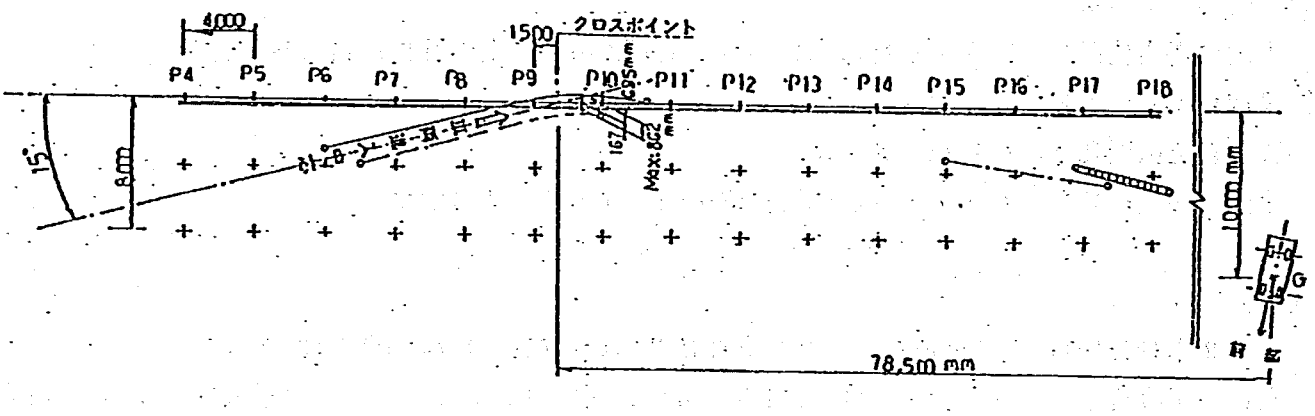
表－6・7・4　Gr－A'型　実験結果一覧表

					許容値
実験日				1990. 9.26	
実験番号				6	
衝突条件	車両重量（t）			1.1	——
	衝突速度（km/h）			138.5	——
	衝突角度（°）			15	——
	衝撃度（t・m）			5.6 [55kJ]	——
離脱速度（km/h）				滑空のため計測不能	120 以上
離脱角度（°）				滑空のため計測不能	9 以内
ビーム接触長（m）				11.3	——
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位（㎜）		750	——
		残留	直角(Y)方向（㎜）	680	——
			延長(X)方向（㎜）	63	——
	直角方向ビーム残留変位（㎜）			784	——
最大進入行程（㎜）				——	1,100 以内
車両最大傾斜角（°）	前端			——	——
	後端			——	——
支柱最大水平力（t）				5.4 [53kN]	——
ビーム最大張力（t）				4.5 [44kN]	38.0 [372kN]
加速度	車両重心	50㎳sec値	進行(X)方向（g）	3.3	25
			直角(Y)方向（g）	7.9	15
			垂直(Z)方向（g）	——	——
			合成（g）	8.4	25
HIC値	運転席ダミー			424.3	1,000
	助手席ダミー			535.7	1,000

1）車両誘導性

衝突車両は、速度138.5km/h、角度15度で衝突した。車両の左側は車幅の1/3以上がビームに食い込み進行したが、その際に支柱が車両の接触により折れ曲がったため柵高さの低下を招き、車両はビーム上に乗り上げ、約45° 傾いた状態で、高く浮き上がった。車両はそのまま滑空し、180° 回転し左側前部から落下し、前部をこすりながら進行し、回転して右側後輪、左側後輪の順に接地し、土嚢に衝突し停止した。

車両の軌跡を図－６・７・５に示す。



図－６・７・５　車両の軌跡

2）防護柵強度

（１）支柱

支柱の最大水平力は、衝突0.17秒後に車両側面から後部にかけての衝突時に直角方向に5.4ｔ(P10)発生していた。

支柱は変形状態（折れ曲がり）からみても強度不足であり、強化の必要があるものと考えられる。

支柱水平力を表－６・７・５に示す。

表－６・７・５　支柱最大水平力

支柱番号		P7	P8	P9	P10	P11
支柱最大水平力	(t) (kN)	-1.4 (-13.7)	2.4 (23.5)	4.4 (43.1)	5.4 (52.9)	2.8 (27.4)

（2）ビーム

ビーム張力は、B6で衝突0.17秒後の後部衝突時に2.7ｔ、B7で衝突0.24秒後に4.5ｔ発生していた。また、破断も無いことから、特に強度的な問題はないものと考えられる。

表－６・７・６にビーム張力を示す。

表－６・７・６　ビーム発生最大張力

ビーム番号	B6	B7
ビーム発生最大張力	2.7(ｔ) (26.5 kN)	4.5(ｔ) (44.1 kN)

3）防護柵損傷状況

車両の衝突位置は、P8から進行方向1.55ｍの位置であり、全接触長は11.35ｍ（前輪接触長6.4ｍ、後輪接触長8.55ｍ）であった。

残留変位区間長は、約12ｍであった。

車両の接触跡を図－６・７・６、残留変位を図－６・７・７に示す。

（1）支柱

支柱２本(P9,10)にタイヤ跡があった。支柱はGL275～265㎜の位置で折れ曲がっていた。

支柱の柵直角方向の残留変位はP8～P11の12ｍの範囲で生じており、支柱の最大残留変形量はY方向に680㎜(P10)、X方向に63㎜(P10)であった。

最大変位は表－６・７・７に示す。

表－６・７・７　支柱の動的最大変位（Ｙ方向）

支柱番号	P7	P8	P9	P10	P11
変位量(㎜)	-17	39	610	750	25

（2）ビーム

ビームはコルゲーションの断面変形があったが、孔あきや破断は無かった。

最大残留変形量は直角方向で784㎜（P9より進行方向3ｍの位置）であった。

（3）ブラケット

ブラケットは２箇所(P9,10)に潰れがあった。

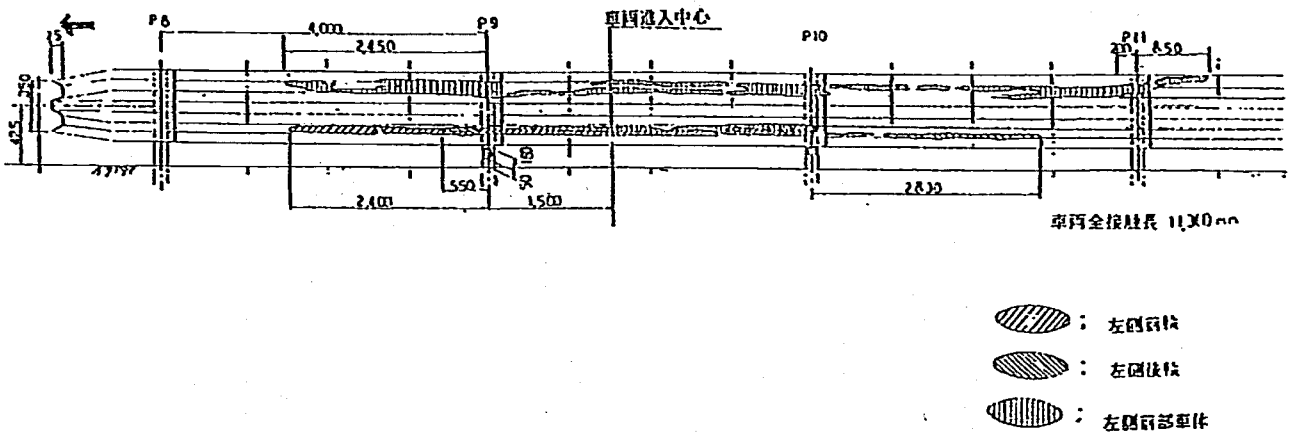
（4）ボルト及び接合部

接合部の最大ずれ量は、P10で27㎜であった。

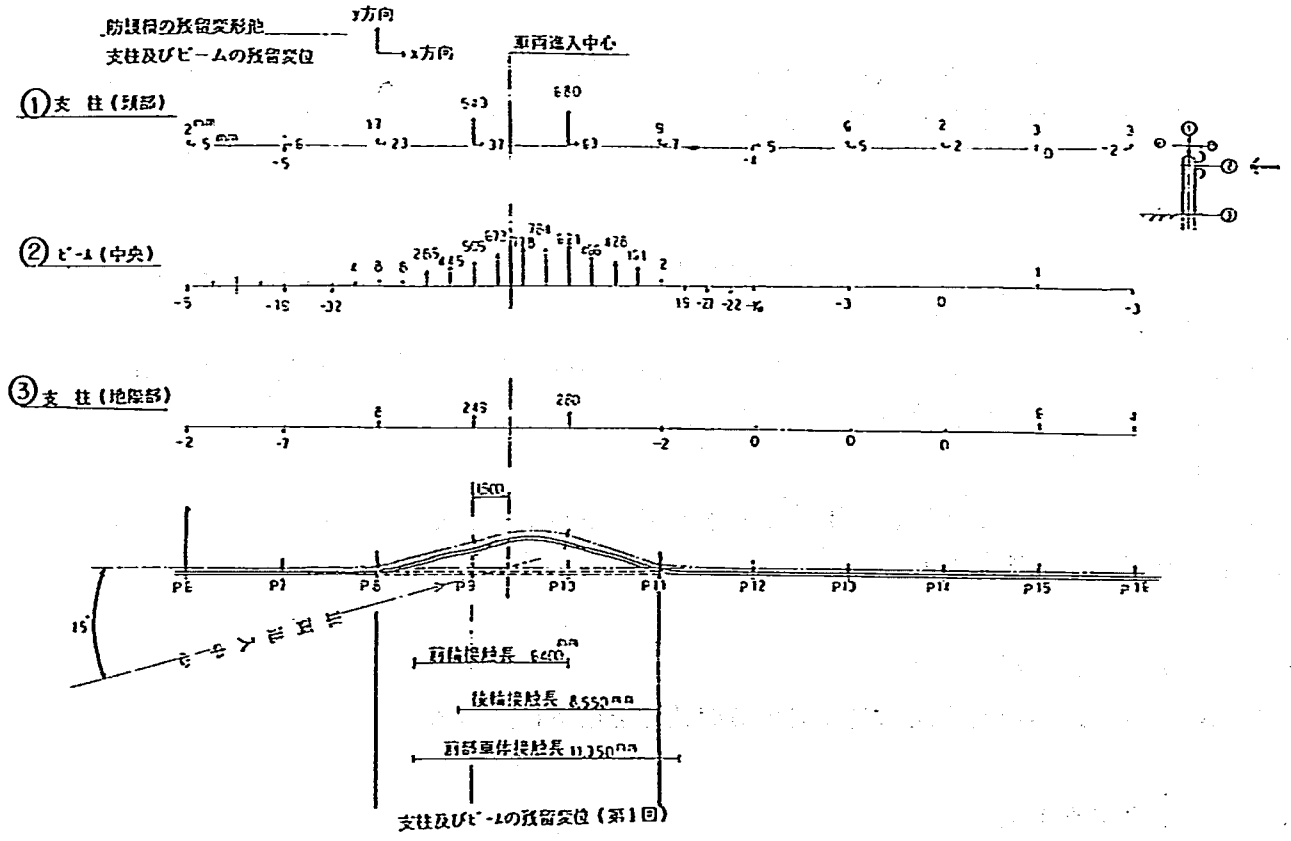
4）車両損傷状況

車両損傷状況は、左側前部フェンダーおよびバンパーが変形したほか左側前後輪タイヤがバーストした。また、右側アブソーバーの損傷、足廻りの変形があり、フロント、左サイドの窓ガラスが

破損していた。自力および、牽引走行は不可能であった。



図－６・７・６　車両の接触跡



図－６・７・７　防護柵の残留変形

5）乗員の安全性

衝突後車両は滑空して屋根から落下したため、車室の変形が大きかった。

また、加速度の値については、表－６・７・８に示すが、運転席および助手席ダミーは頭部を激打したものと考えられる加速度値を示していた。

表－６・７・８　加速度一覧表

測定箇所＼測定成分		X成分値	Y成分値	Z成分値	合成値	ＨＩＣ値
車両重心	(原波形)	8.6 g	17.1 g	——	17.1 g	—
	(50ms値)	3.3 g	7.9 g	——	8.4 g	—
	(有効値)	4.0 g	6.9 g	——	7.9 g	—
運転席ダミー	(頭部)	-21.1 g	98.4 g	——	100.3 g	424.3
	(胸部)	——	—	—	—	—
助手席ダミー	(頭部)	35.4 g	70.0 g	——	76.7 g	535.7
	(胸部)	—	—	——	—	—
運転席ダミー大腿部衝撃力		—— kg				

6）考察

今回の実験結果より、現行Ａ種を改良した今回の供試体に車両が高速度衝突した場合、良好に車両を誘導するためには以下の事項について検討する必要があることが判明した。

（１）ブロックアウト量

現状のブロックアウト量では、衝突車両が支柱に衝突して柵高さを低下させる可能性が高い。

（２）支柱支持力

小型車専用の場合においても、支柱単体の支持力が低いと、支柱が折れ曲がり柵高が低下し、誘導性を確保することができないことがわかった。

（３）ビーム接合部

ビーム接合部の継ぎ手孔は、施工性を考慮して、余裕が大きくなっている。そのため、衝突初期に発生した張力が隣接するビームへ伝達されにくいことがわかった。

６．７．７．検討事項および課題

今回の実験供試体の高速度衝突に対する問題点を以下に述べる。

1）ブロックアウト量

（１）車両の支柱踏みつけが、誘導性に悪影響を及ぼすことから、適正なブロックアウト量について検討することが必要である。

（２）ブロックアウト量を確保するための構造も検討することが必要である。

2）柵高さ

今回の供試体では、小型車用として柵高さを現行Ａ種より低くしたが、支柱支持力不足で支柱が折れ曲がり、極端な柵高低下をひき起こした。したがって、支柱支持力を考慮して適正な柵高さを

検討していくことが必要である。

本実験は２ステージ型防護柵（前面は小型車の衝突に対応、背面は大型車の突破防止）の前面用防護柵として、大型車衝突の際にすぐに倒れるような防護柵構造を検討することを目的として行った。しかし、小型車衝突に対応するために支柱を弱くしたが逆に悪影響をおよぼし柵高さが低下して、車両が柵に倒れ込むような状態になってしまった。

そこで、２ステージ型防護柵を実現する場合の課題を以下に述べる。

a　２段階の衝撃度レベルへの対応

小型車衝突時に防護柵を大きく安定してたわませることができるかどうか。

大型車衝突時に前面の防護柵が悪影響を与えず、良好に倒れ込むかどうか。

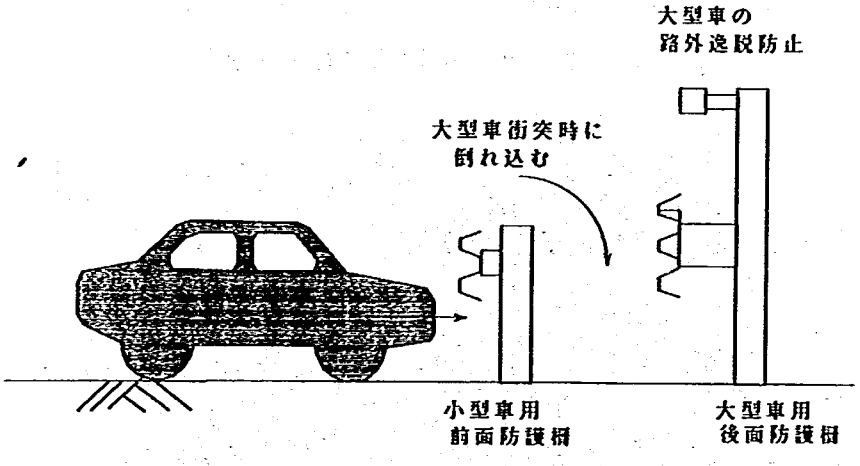
b　柵高さ

前面防護柵は、どの範囲の車種まで（軽自動車、乗用車、ワゴン、小型トラック）救済対象とするのか。

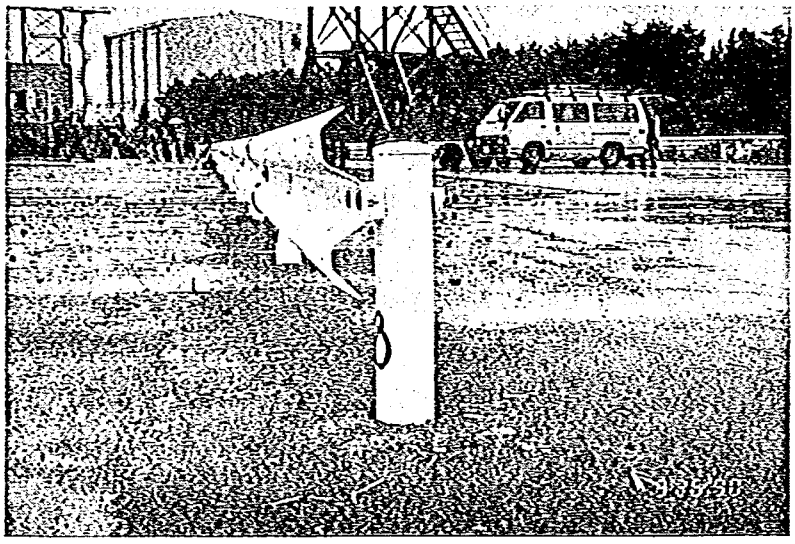
c　設置幅

小、大型車のそれぞれの衝突に対応する２ステージ型は、設置幅はどの程度必要か。

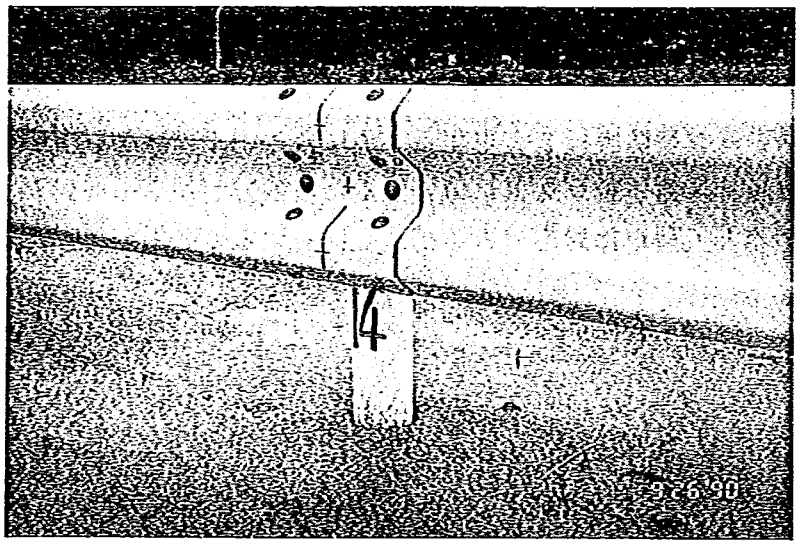
以上のように２ステージ型防護柵を実現するためには、多くの課題を克服することが必要である。特に設置幅については、道路建設コストに影響するため多方面からの検討が必要となる。したがって、当面一体で小型車と大型車に対応できる構造を検討することとした。



図－６・７・８　２ステージ型防護柵



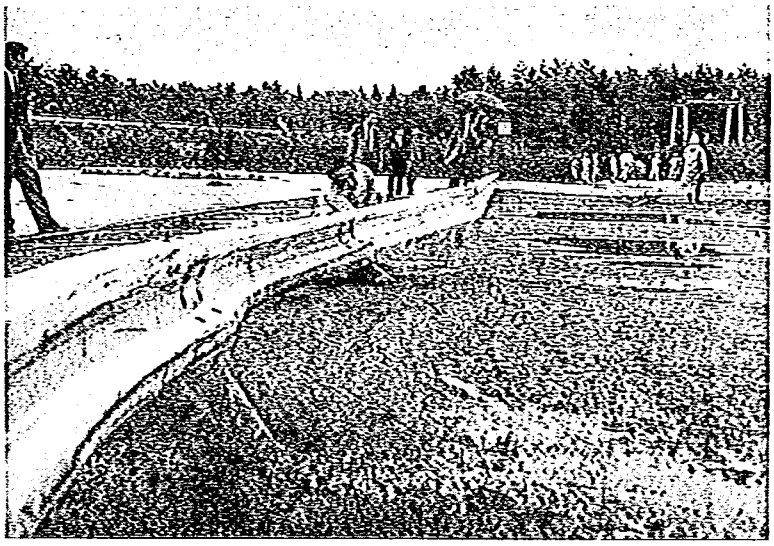
写真－６・７・１　供試体（Ｇｒ－Ａ’）



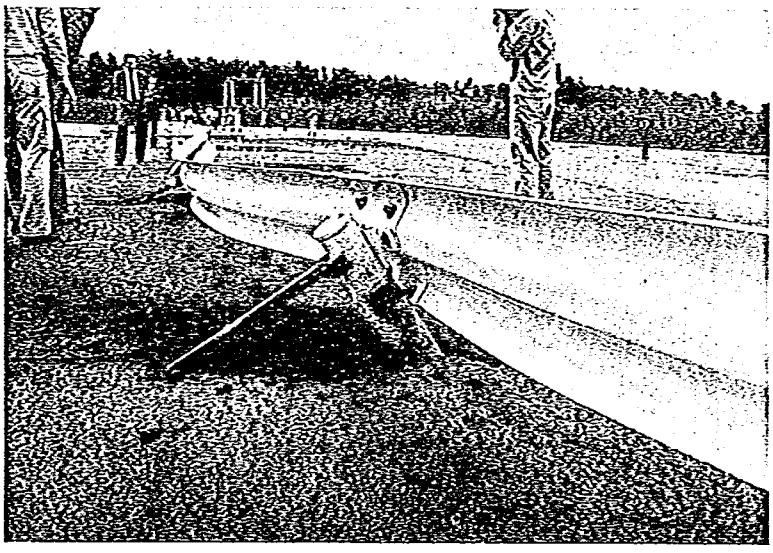
写真－６・７・２　供試体（Ｇｒ－Ａ’）



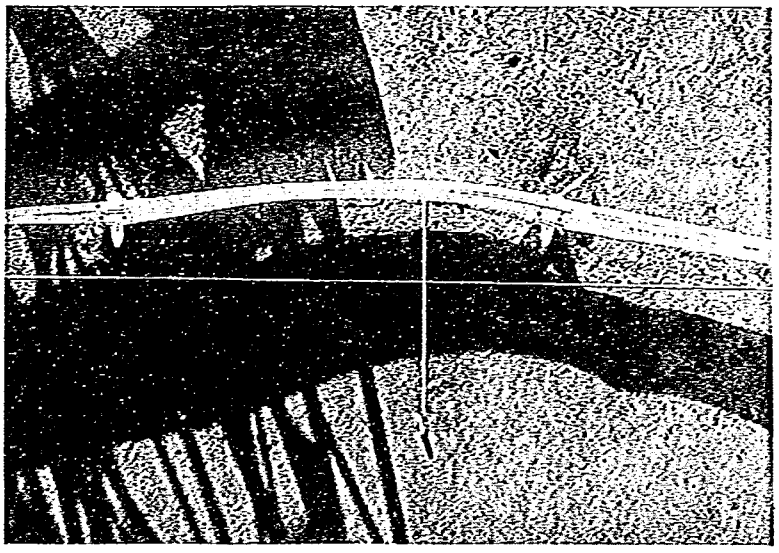
写真－６・７・３　衝突車両（小型乗用車）



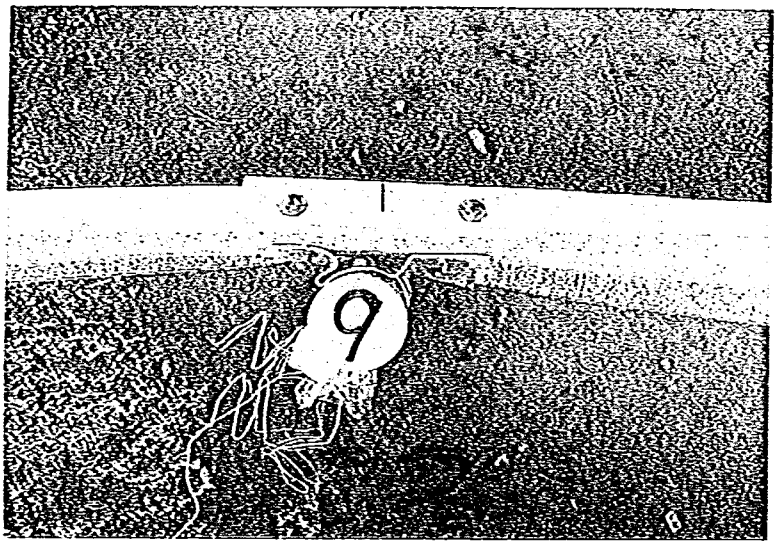
写真－６・７・４　衝突後の供試体（衝突面）



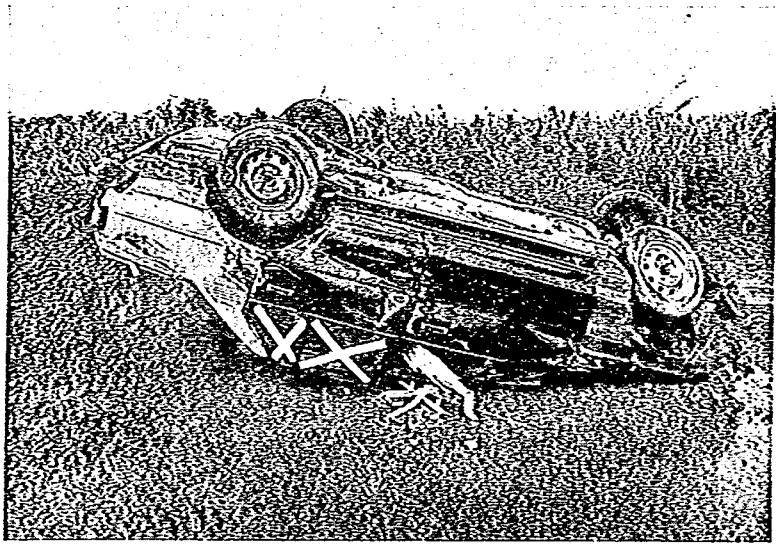
写真－６・７・５　衝突後の供試体（裏側）



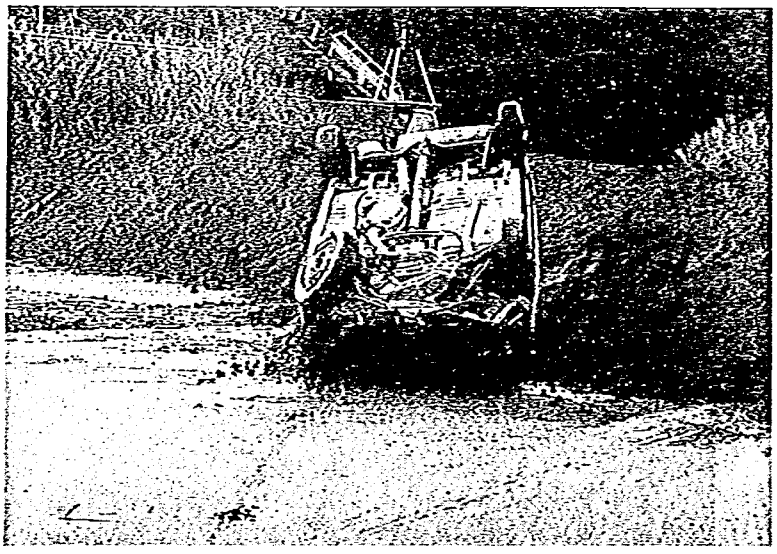
写真－６・７・６　衝突後の供試体（上部より）



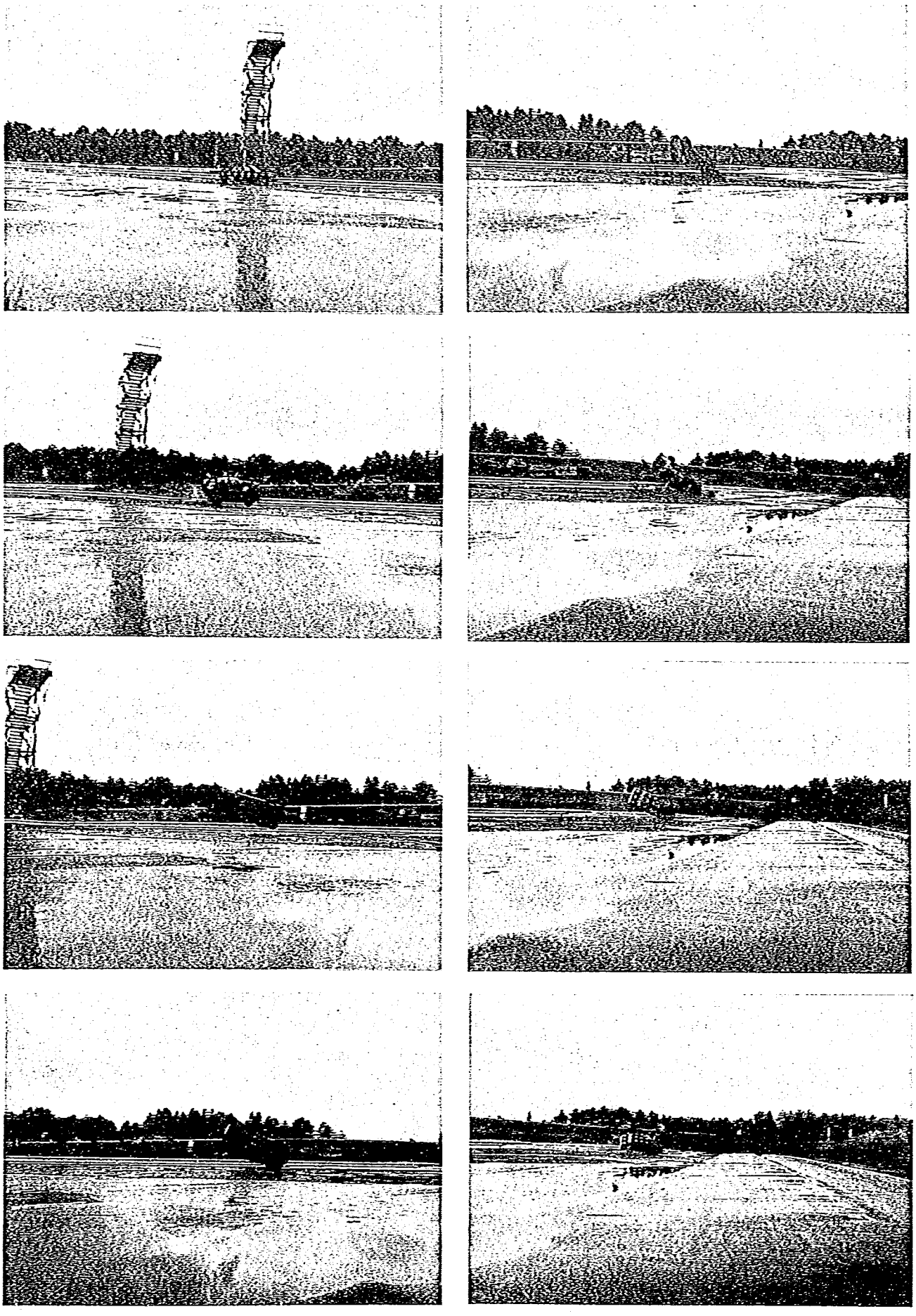
写真－６・７・７　ブラケットの変形状態



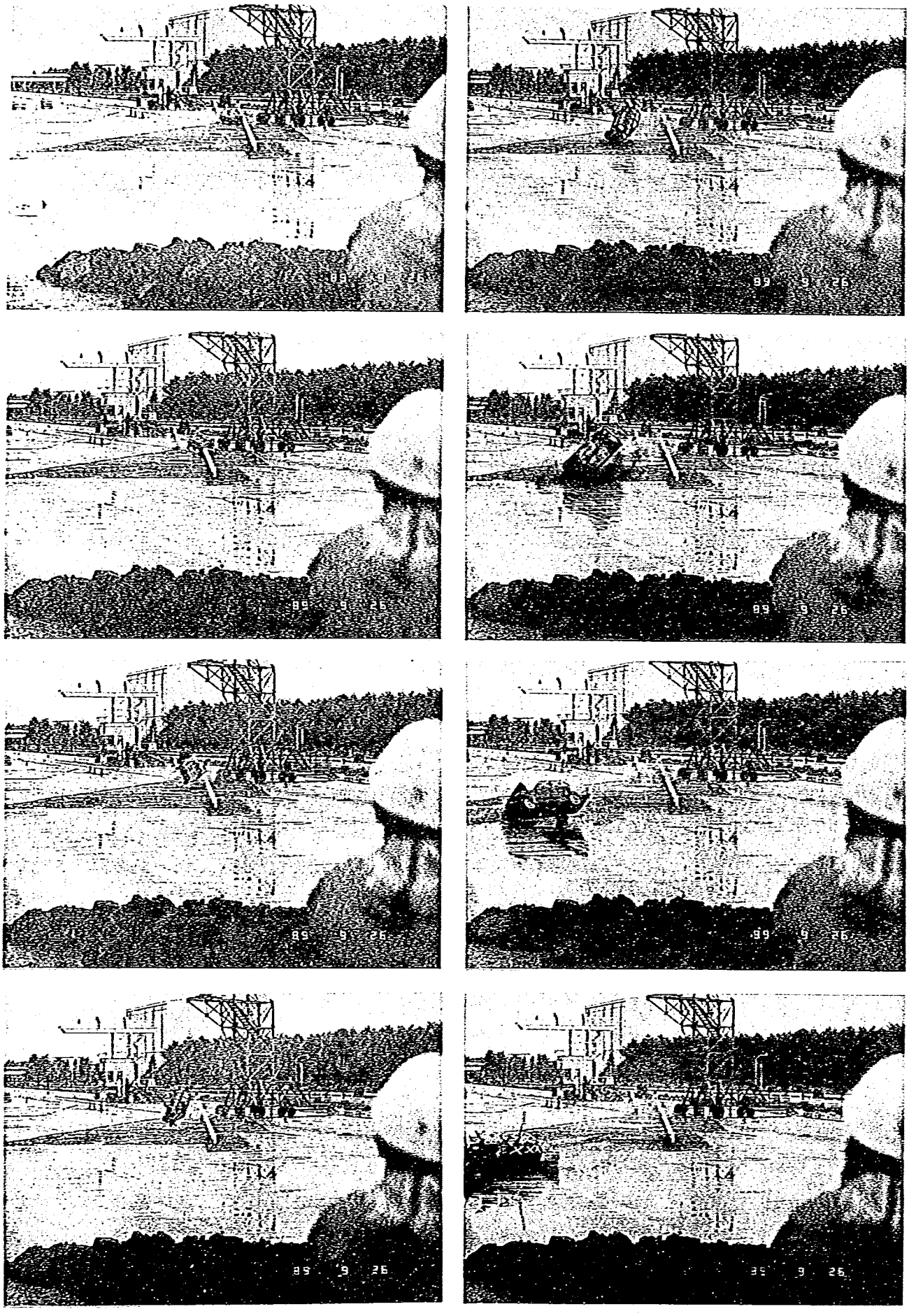
写真－６・７・８　衝突後の車両



写真－６・７・９　衝突後の車両



写真－6・7・10　衝突状況（Gr－A'）



写真－6・7・11　衝突状況（Gr－A'）

6．8．Ｇｒ－ＳＳ（小型乗用車）［実験８］

6．8．1．実験目的

本実験は、剛性の高いＧｒ－ＳＳの供試体を用い、小型乗用車を高速度で衝突させた場合の車両の挙動と乗員に与える影響を確認することを目的として行った。

6．8．2．衝突条件

衝突条件を表－６・８・１に示す。

表－６・８・１　衝突条件

衝突車種	小型乗用車
車両車重	1.1ｔ
衝突速度	140km/h
衝突角度	15度
衝撃度	5.69t･m[56kJ]

6．8．3．供試体構造概要

供試体構造図および部材表については図－６・８・１に示す。

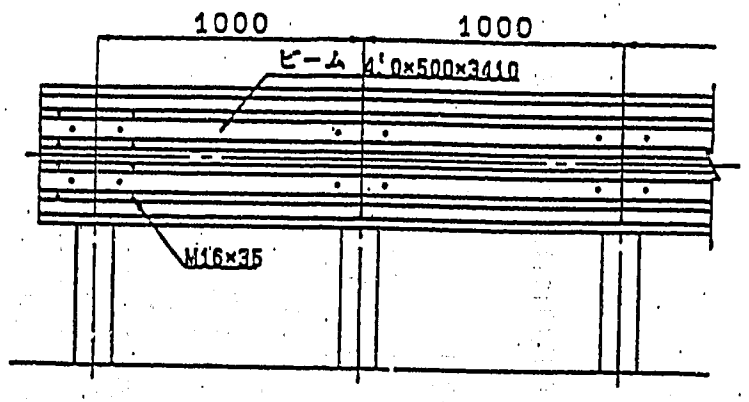
6．8．4．衝突シミュレーションによる検討

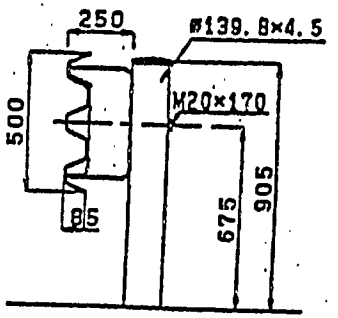
１）衝突シミュレーション結果

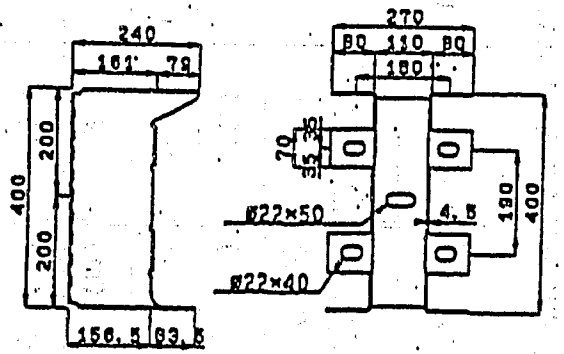
ビーム張力、最大変形量、車両の最大進入行程等の値は小さく強度的には問題ないものと考えられる。

表－６・８・２　シミュレーション結果

		ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値	許容値	評　価
離脱速度　(km/h)		121.2	120 以上	良好
離脱角度　(°)		13.1	9 以内	不良
最大進入行程　(mm)		280	1,100 以内	良好
防護柵変形範囲(m)		8		
ビーム	最大張力　(t)	15.4	64.0	良好
	最大変形量(mm)	250		
支柱	最大水平力(t)	4.0		
	最大変位量(mm)	236		
水平力　(t)		9.8		







ブラケット詳細図

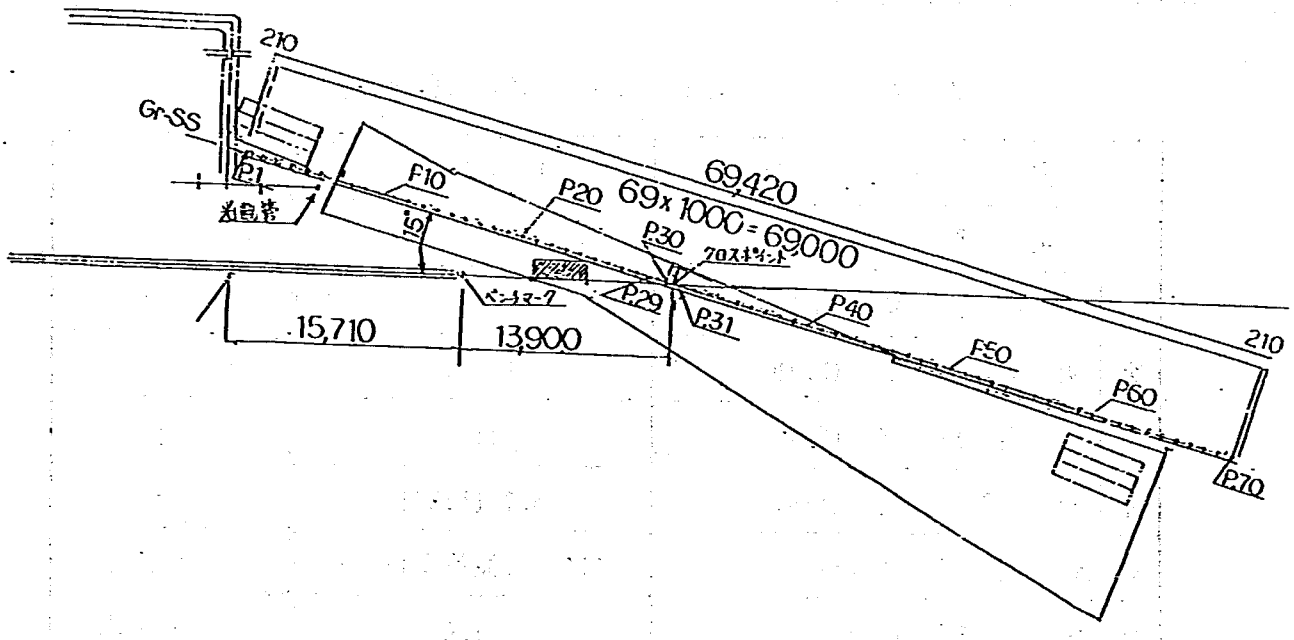
GR−SS構造断元

部材名	寸法(mm)	材質	単位重量(kg)
主ビーム	500×85×4×3410	SS400	83.5
支柱	φ−139.8×4.5×2560	STK400	38.4
ブラケット	[−270×4.5×400	SS400	8.85
ボルト・ナット	M16×50	6T	0.15
	M20×170	4T	0.57
単位重量	77.6kg/m		

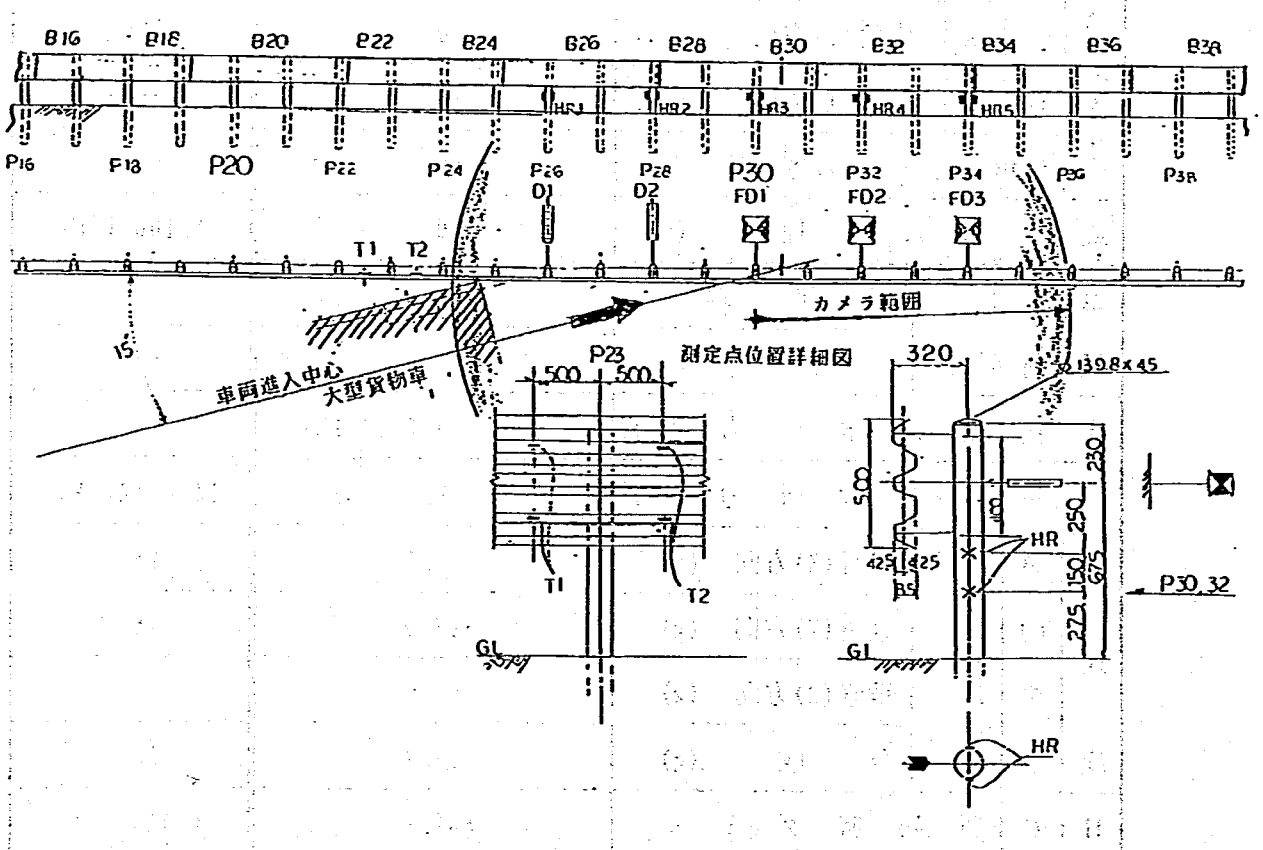
図−6・8・1　供試体構造図および部材表

6．8．5．供試体の配置および計測位置

供試体の配置を図－6・8・2、計測位置関係を図－6・8・3に示す。



図－6・8・2　供試体の配置



図－6・8・3　計測位置

6．8．6．実験結果および考察

車両は、衝突後跳ね返されるように離脱した。また、衝突後の支柱は接触跡はあるが曲がりがなく、ビームもほとんど変形しなかった。

実験結果を表－6・8・3に示す。

表－6・8・3　Gr－SS　実験結果一覧表

実験日					1990.10.24	許容値
実験番号					8	
衝突条件	車両重量 (t)				1.1	——
	衝突速度 (km/h)				139.5	——
	衝突角度 (°)				15	——
	衝撃度 (t·m)				5.7 [56kJ]	——
離脱速度 (km/h)					113.8 (減速率18%)	120 以上
離脱角度 (°)					7.0	9 以内
ビーム接触長 (m)					5.2	——
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位 (mm)			255	——
		残留	直角(Y)方向 (mm)		90	——
			延長(X)方向 (mm)		35	——
	直角方向ビーム残留変位 (mm)				80	——
最大進入行程 (mm)					160	1,100 以内
車両最大傾斜角 (°)	前端				——	——
	後端				——	——
支柱最大水平力 (t)					4.2 [41kN]	——
ビーム最大張力 (t)					8.0 [78kN]	64.0 [627kN]
加速度	車両重心	50 msec 値	進行(X)方向 (g)		3.2	25
			直角(Y)方向 (g)		-13.9	15
			垂直(Z)方向 (g)		——	——
			合成 (g)		13.9	25
HIC値	運転席ダミー				551.8	1,000
	助手席ダミー				1530.9	1,000

1）車両誘導性

衝突車両は、速度139.5km/h、角度15度で衝突した。衝突後、車両左側を浮き上がらせ、右側を沈み込ませるようにわずかに傾きながら、ガードレールに誘導され離脱した。

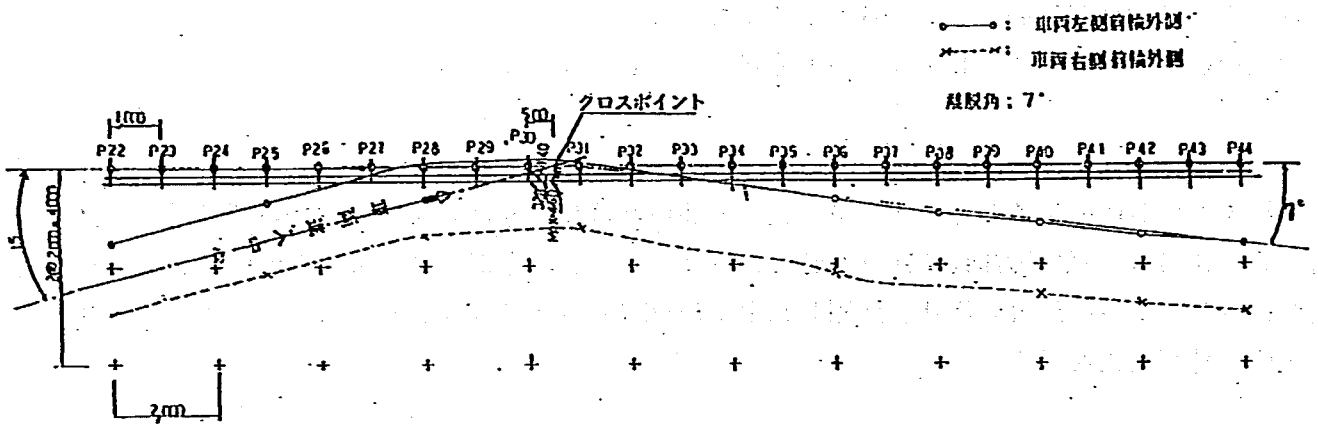
剛性が高いため、車両の浮き上がりもほとんど無く、跳ね返されるように離脱した。

離脱速度は113.8km/h、減速率は18%(1-113.8/139.5)であり、実離脱速度は120km/hを超えていたが、減速率は参考許容値(25%)以下であった。

離脱角度は7.0度であり、参考許容値10度および衝突角度の60%（９度）以内であった。

最大進入行程は0.46mで、防護柵設置要綱の規定1.1m以下であった。

車両の軌跡を図－６・８・４に示す。



図－６・８・４　車両の軌跡

2）防護柵強度

（１）支柱の水平力

支柱の最大水平力は、衝突から0.09秒後の車両側面から後部にかけての衝突時に4.2ｔ(P28)発生し、強度的な問題はないものと考えられる。表－６・８・４に支柱の発生最大水平力を示す。

表－６・８・４　各支柱の発生最大水平力

支柱番号		P26	P28	P30	P32	P34
支柱最大水平力	(ｔ) (kN)	3.1 (30.4)	4.2 (41.2)	3.5 (34.3)	0.9 (7.8)	-0.5 (-4.9)

（２）ビーム張力

ビームの発生最大張力を表－６・８・５に示す。

表－６・８・５　ビーム発生最大張力

ビーム番号	B24	B25
張　力	8.0(t) (78.4 kN)	5.5(t) (53.9 kN)

（３）ブラケット

ブラケットの変形は無かった。

３）防護柵損傷状況

車両の衝突位置は、P26で、全接触長は5.2m、前輪接触長2.5m、後輪接触長4.35m、前部車体接触長は4.77m、後部車体接触長は4.4mであった。

防護柵の残留変形区間は、P25～P32の７mであった。

車両の接触跡を図－６・８・５、残留変形を図－６・８・６に示す。

（１）支柱

支柱３本に前輪のタイヤ跡があるが、支柱の曲がりはなかった。支柱最大残留変形量は柵直角方向に90㎜(P28)、柵平行方向に35㎜(P29)であった。また、地際部では柵直角方向では40㎜(P29)の変位があった。支柱の最大変位は、計測した中でP26の255㎜（GL+675㎜）であった。表－６・８・６に変位の計測結果を示す。

表－６・８・６　支柱最大変位　（Y方向）

支柱番号	P26	P28	P30	P32	P34
変位量(㎜)	255	157	115	50	-10

（２）ビーム

ビームの潰れや変形は無く、ビームの最大残留変形量は、柵直角方向で80㎜であった。

（３）)ブラケット

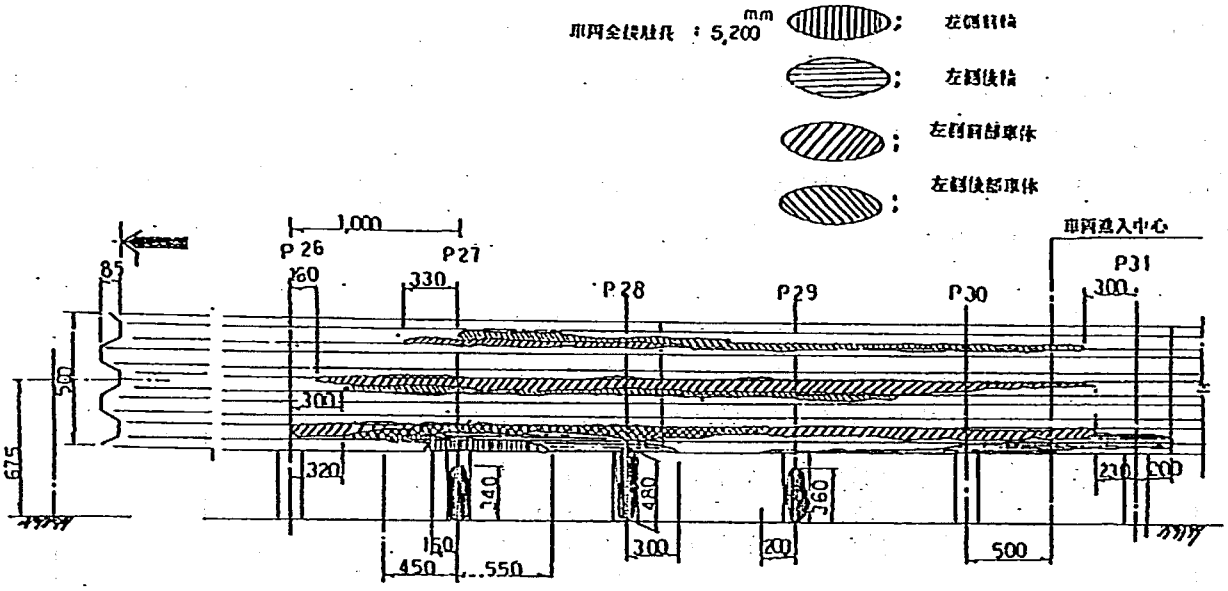
ブラケットの潰れや変形は無かった。

（４）ボルト及び接合部

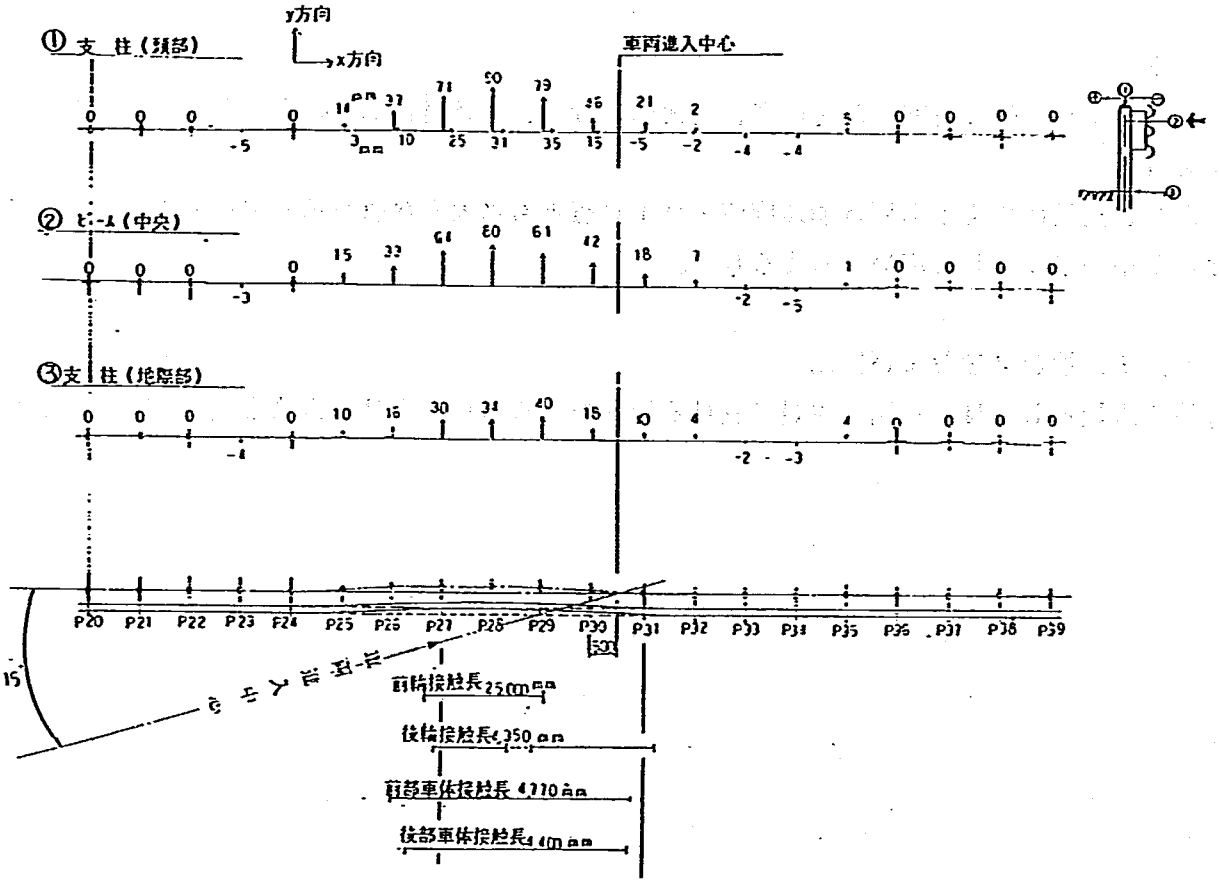
接合部での大きなずれはみられなかった。

４）車両損傷状況

左側下フェンダー、左側前部バンパーが変形し、車体左側の前から後ろにかけて３山ビームの圧痕跡があった。また、左側前部のホイールは変形し、同タイヤはバーストした。さらに左側前輪部の一部が変形していたが、衝突後の車両の自力走行は可能であった。



図－６・８・５　車両の接触跡



図－６・８・６　防護柵の残留変形

5）乗員の安全性

車室内の変形は少なかったが、車両重心加速度は、参考許容限界値以内であった。

ＨＩＣ値は、運転席ダミー頭部が551.8、助手席ダミー頭部が1530.9であり、助手席側のＨＩＣ値は参考許容値を超えていた。

運転席、助手席ダミーともに加速度の値から判断して、頭部を車室内に激しく衝突させたものと考えられる。表－６・８・７に加速度を示す。

表－６・８・７　加速度一覧表

測定箇所＼測定成分		X成分値	Y成分値	Z成分値	合成値	ＨＩＣ値
車両重心	(原波形)	6.7 g	-18.0 g	——	18.0 g	—
	(50ms値)	3.2 g	-13.9 g	——	13.9 g	—
	(有効値)	3.3 g	10.8g	——	11.2 g	—
運転席ダミー	(頭部)	73.4 g	95.8 g	——	120.7 g	551.8
	(胸部)	——	—	—	—	—
助手席ダミー	(頭部)	29.0 g	188.3 g	——	188.3 g	1530.9
	(胸部)	—	—	——	—	—
運転席ダミー大腿部衝撃力		380 kg				

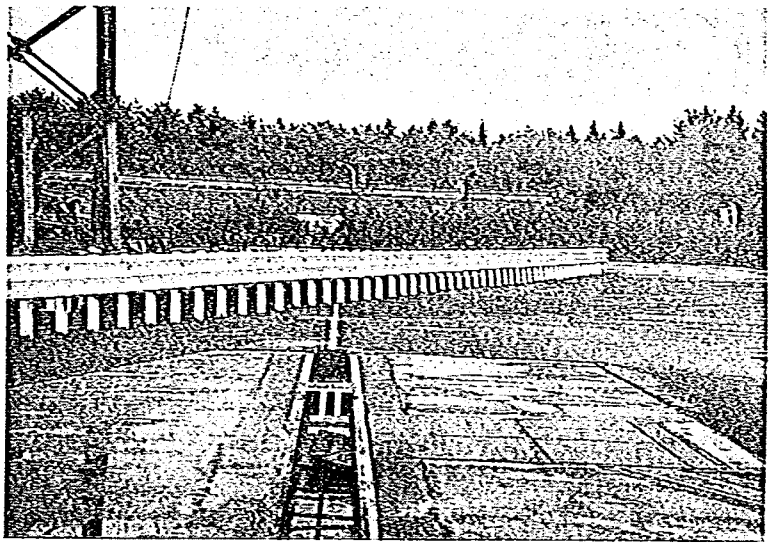
6）考察

実験結果より、離脱角度、離脱速度、最大進入行程、防護柵各部材強度などは問題はないものと考えられる。

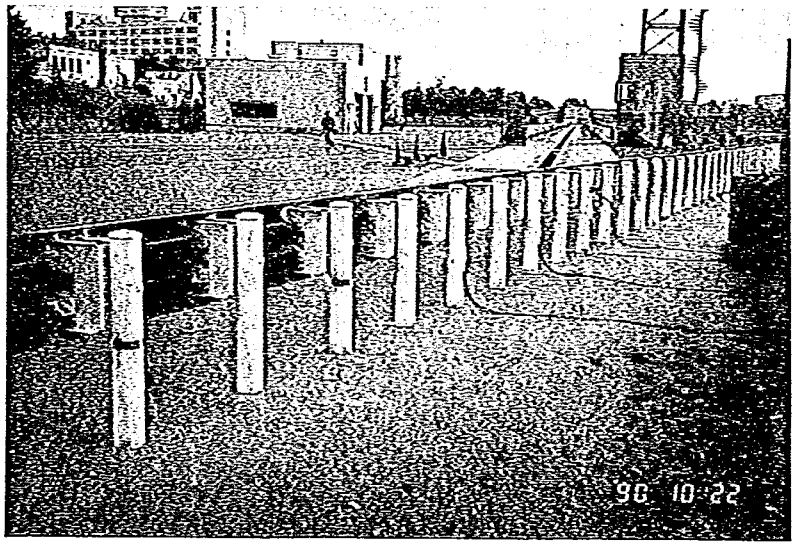
しかし、乗員に与える影響は加速度値・ＨＩＣ値ともに大きな値を示していることから、防護柵の剛性が小型車に対して高いと考えられる。

6．8．7．検討事項および課題

今後の課題としては、車両や乗員の受ける衝撃をさらに緩和させる方法を検討する必要がある。



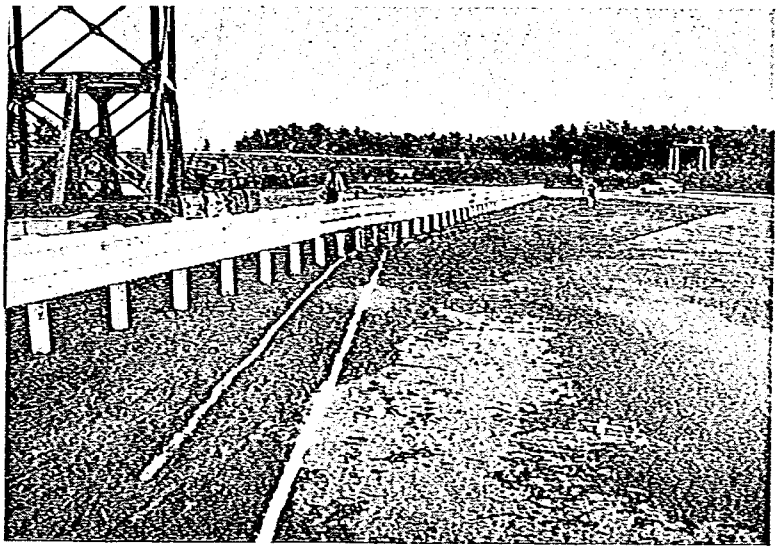
写真－６・８・１　供試体（Ｇｒ－ＳＳ）



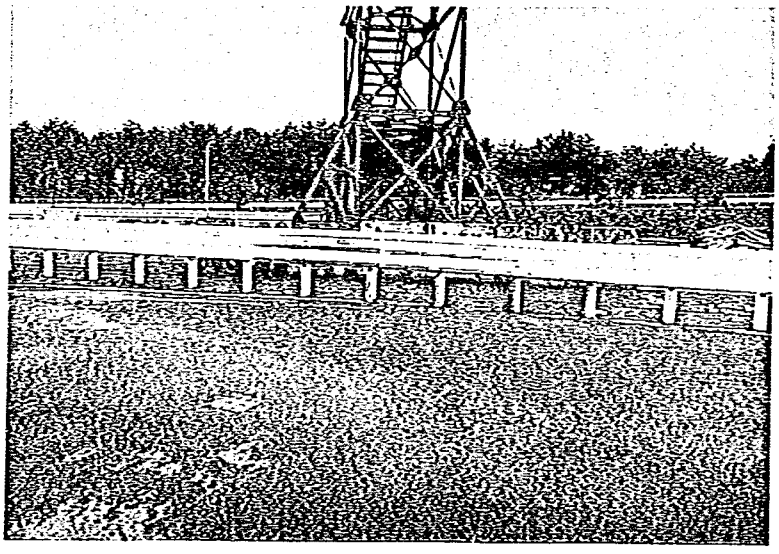
写真－６・８・２　供試体（Ｇｒ－ＳＳ）



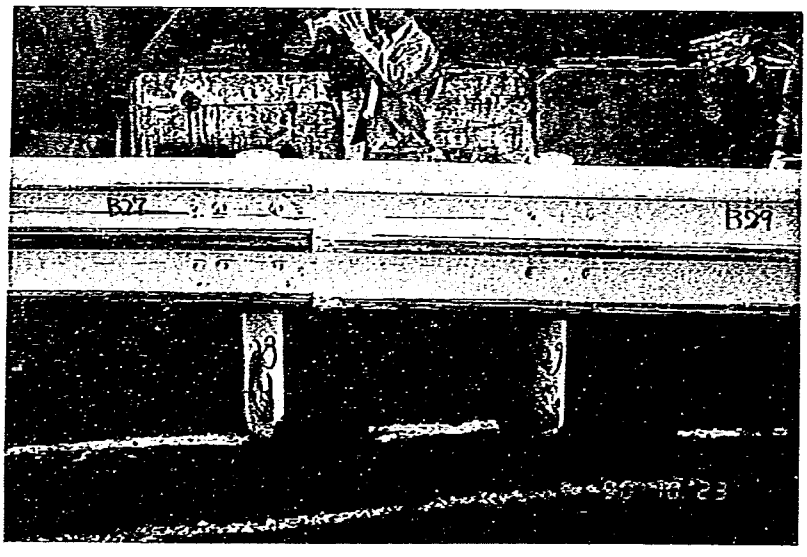
写真－６・８・３　衝突車両（小型乗用車）



写真－６・８・４　衝突後の供試体



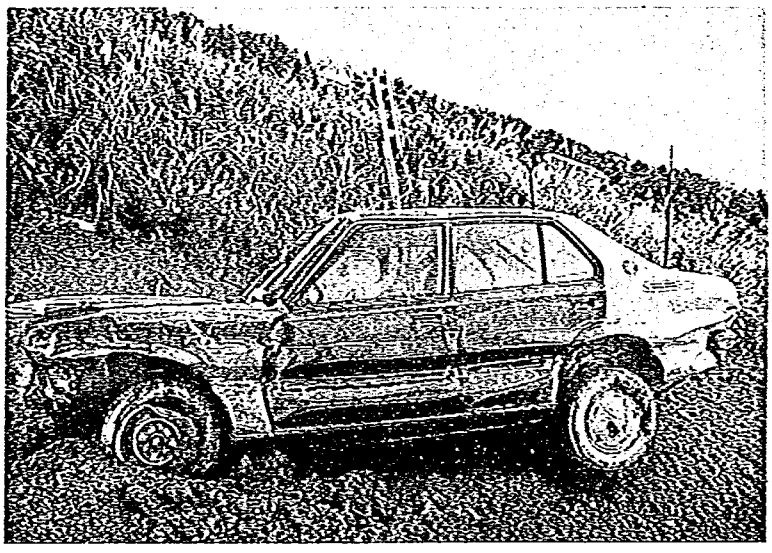
写真－６・８・５　衝突後の供試体



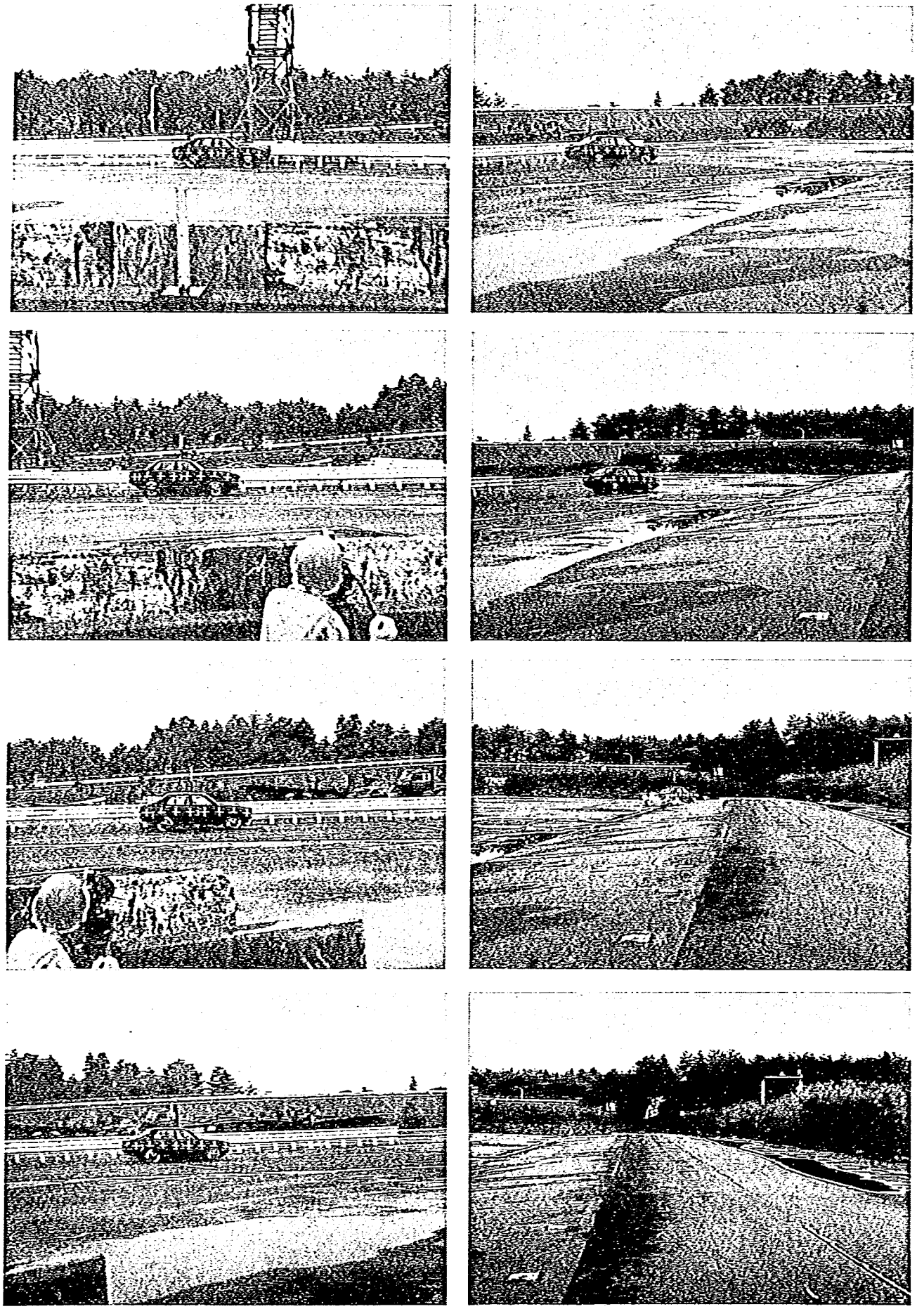
写真－６・８・６　衝突後の供試体



写真－６・８・７　衝突後の車両



写真－６・８・８　衝突後の車両



写真－6・8・9　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ）



写真－６・８・１０　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ）

６．９．Ｇｒ－ＳＳ改良２型（小型乗用車）［実験９］

６．９．１．実験目的

本実験は、Ｇｒ－ＳＳ改良２型の供試体を用い、小型乗用車を高速度で衝突させた場合の車両の挙動と乗員に与える影響を確認することを目的として行った。

６．９．２．衝突条件

衝突条件を表－６・９・１に示す。

表－６・９・１　衝突条件

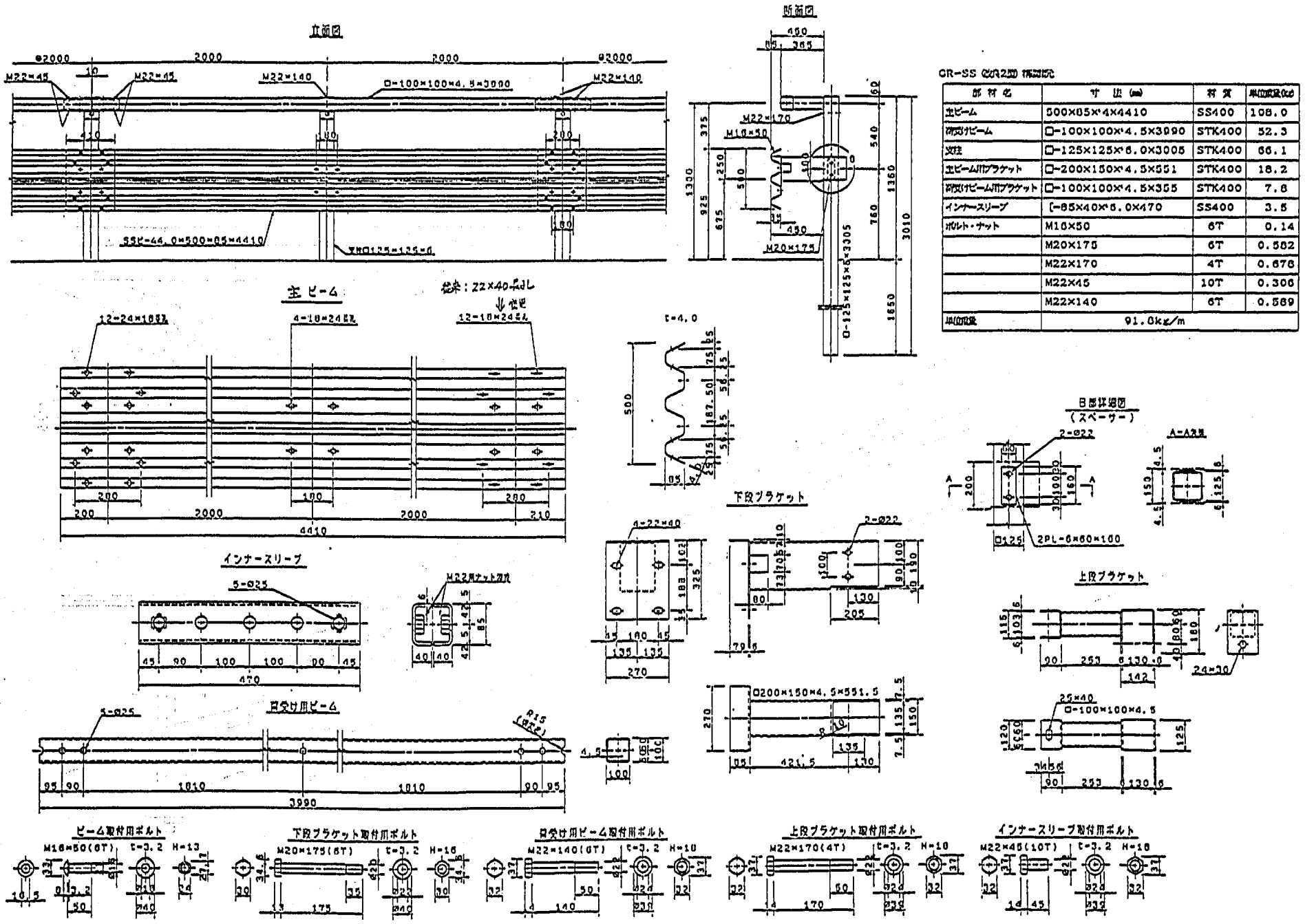
衝突車種	小型乗用車
車両車重	1.1 t
衝突速度	140km/h
衝突角度	20度
衝撃度	9.9t･m [97kJ]

６．９．３．供試体構造

供試体構造および部材表については図－６・９・１に示す。

６．９．４．供試体の配置および計測位置

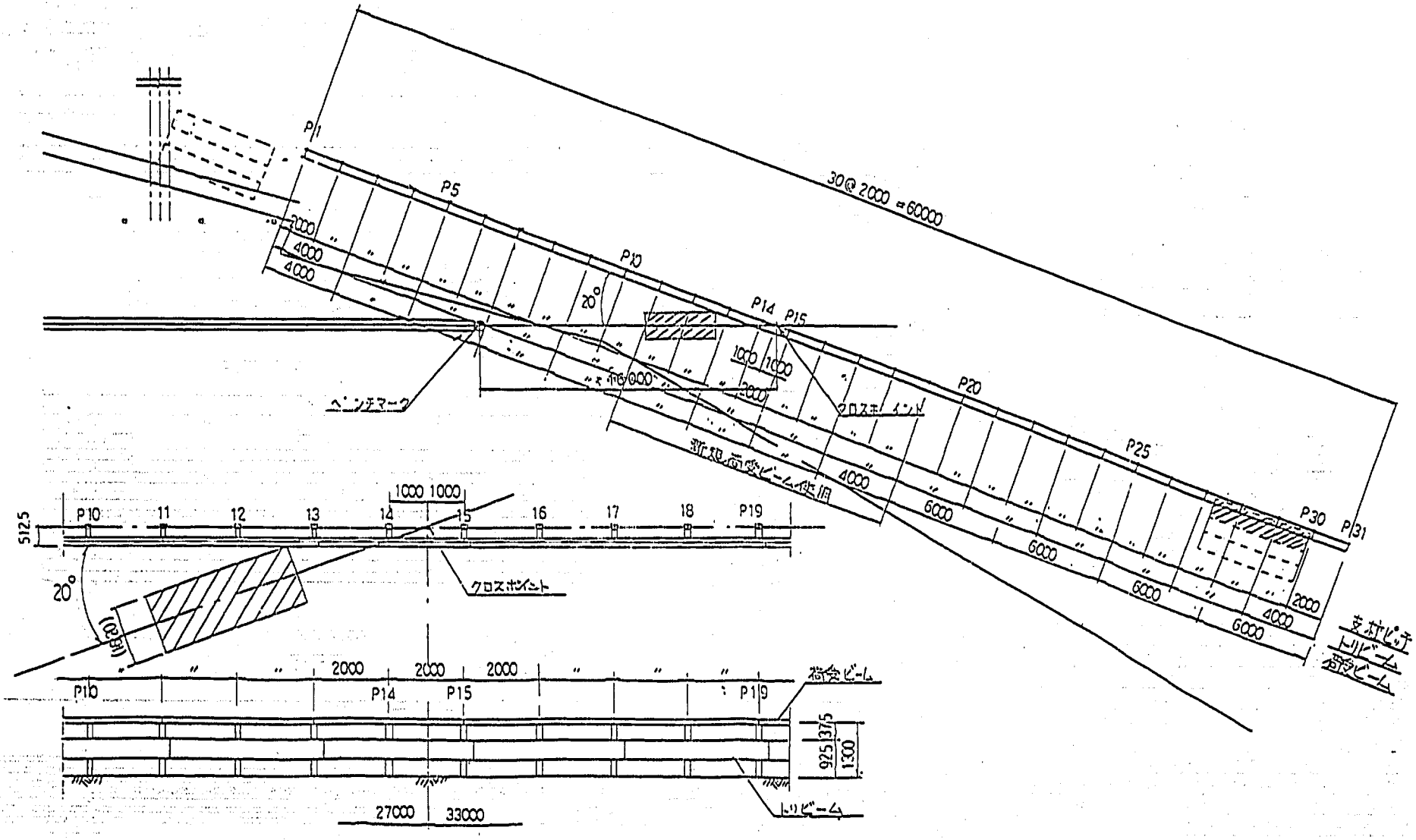
供試体の配置を図－６・９・２、計測位置を図－６・９・３に示す。



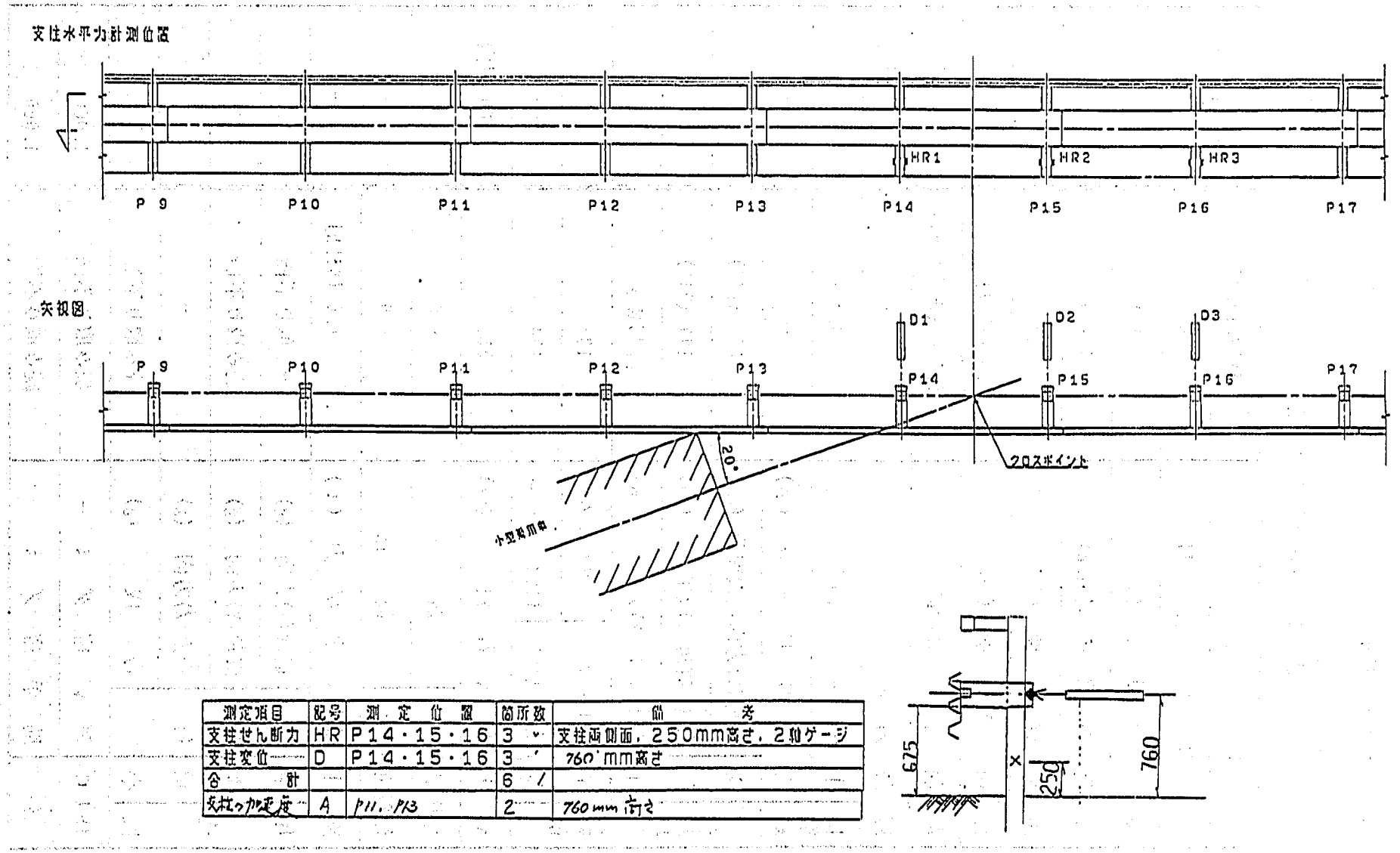
CR-SS 供試体 部材表

部材名	寸法 (mm)	材質	単位質量(kg)
主ビーム	500×85×4×4410	SS400	108.0
下段ブラケット	□-100×100×4.5×3090	STK400	52.3
支柱	□-125×125×6.0×3005	STK400	66.1
主ビーム用ブラケット	□-200×150×4.5×551	STK400	18.2
下段ブラケット用ブラケット	□-100×100×4.5×355	STK400	7.6
インナースリーブ	(-85×40×6.0×470	SS400	3.5
ボルト・ナット	M16×50	6T	0.14
	M20×175	6T	0.582
	M22×170	4T	0.678
	M22×45	10T	0.306
	M22×140	6T	0.589
単位質量	91.0kg/m		

図－６・９・１　供試体構造図および部材表


P1
P5
P10
P14
P15
P20
P25
P30
P31
30@2000=60000
2000
4000
4000
20°
ベンチマーク
1000 1000
2000
クロスモノレール
新規高架ビーム使用
4000
6000
6000
6000
6000
2000
4000
6000
支柱ビーム
トリビーム
高架ビーム
1000 1000
P10
11
12
13
14
15
16
17
18
P19
5125
20°
(H20)
クロスポイント
2000
2000
2000
高架ビーム
P10
P14
P15
P19
925
375
1300
トリビーム
27000
33000

図－６・９・２　供試体配置



測定項目	記号	測定位置	箇所数	備考
支柱せん断力	HR	P14・15・16	3	支柱両側面，250mm高さ，2軸ゲージ
支柱変位	D	P14・15・16	3	760mm高さ
合計			6	
支柱の加速度	A	P11，P13	2	760mm高さ

図－6・9・3　計測位置

6．9．5．実験結果および考察

車両は、はじき返されるように離脱誘導された。

実験結果を表－6・9・2に示す。

表－6・9・2　実験9結果一覧表

実験日				1992.10.23	許容値
実験番号				9	
衝突条件	車両重量（t）			1.1	——
	衝突速度（km/h）			139.5	——
	衝突角度（°）			20	——
	衝撃度（t・m）			9.9 [97kJ]	——
離脱速度（km/h）				115.0（減速率18%）	120 以上
離脱角度（°）				5.4	10 以内
接触長	主ビーム（m）			8.8	——
	荷受けビーム（m）			——	——
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位（mm）		367（P14）	——
		残留	直角(Y)方向（mm）	177（P13）	——
			延長(X)方向（mm）	計測せず	——
	Y方向ビーム残留変位（mm）		主ビーム	133	——
			荷受けビーム	174	——
最大進入行程（mm）				550	1,100 以内
車両最大傾斜角（°）			前端	9.0	——
			後端	9.0	——
支柱最大水平力（t）				6.6 [65kN]	——
加速度	車両重心	50msec値	進行(X)方向（g）	読み取り不能	25
			直角(Y)方向（g）	読み取り不能	15
			垂直(Z)方向（g）	——	——
			合成（g）	読み取り不能	25
HIC値	運転席ダミー			読み取り不能	1,000
	助手席ダミー			読み取り不能	1,000

1）車両誘導性

車両は、速度139.5km/h、角度20度で防護柵に衝突した。車両重量が1.1tで、衝撃度は9.9t･m であった。衝突後、車両は右側に傾きながら先頭をやや防護柵側に向けたまま、はじき返されるように離脱した。その際、ボンネットが全開した。

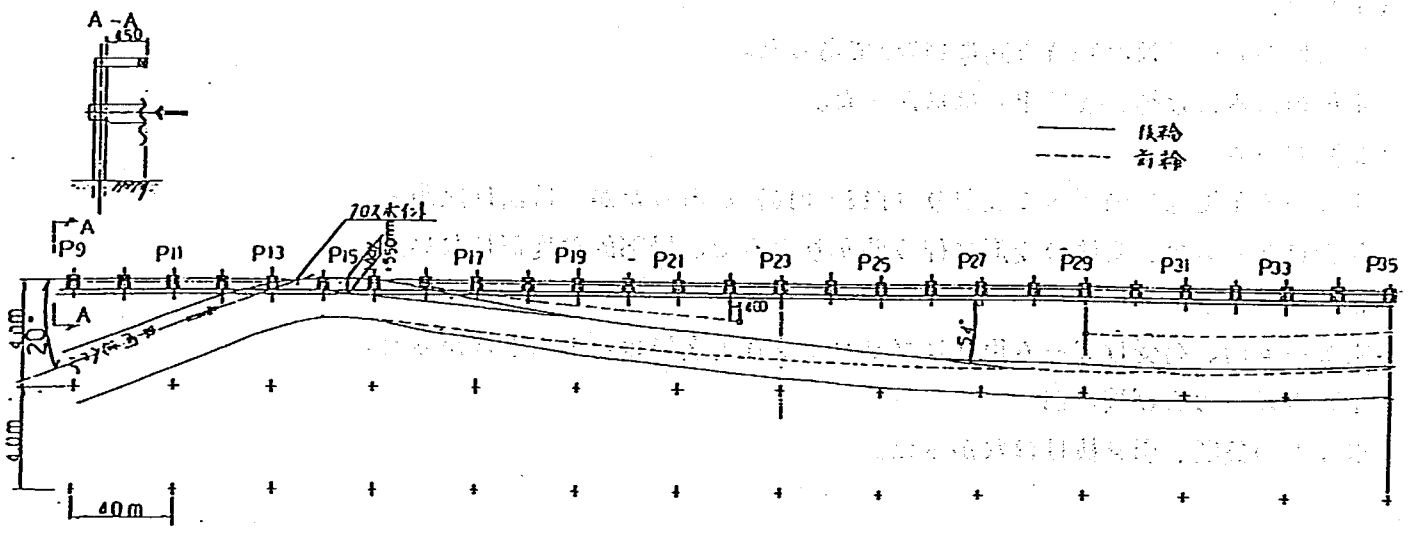
衝突速度が139.5km/hに対し離脱速度は115.0km/hで、減速率は18%であった。24.5km/hの減速値は参考許容値(20km/h)を越えているが、減速率18%は参考許容値(25%)以下であった。離脱角度は5.4度で、浅い角度であり、参考許容値以下であった。以上のことから、これらの結果より車両誘導性は確認された。

車両の最大進入行程は 550㎜であった。

車両軌跡図を図－６・９・４に示す。

表－６・９・３　車両の挙動

車両の最大傾き（度）	車両重心	9.0	前端	9.0	後端	9.0
車両の最大飛び上がり量（㎜）	前端部	右側	0	荷台後端部	右側	0
		左側	0		左側	0



図－６・４・５　車両の軌跡

2）防護柵強度

（1）支柱

支柱の柵直角方向最大変位量はP14の 367㎜であった。

支柱の水平力（防護柵直角方向）は、各支柱の根元で計測した。支柱の最大水平力はP14で6.6ｔ発生した。

表－6・9・4　支柱頭部の最大変位量（GL+760㎜）

支柱番号	P14	P15	P16
変位量　(㎜)	367	273	141

表－6・9・5　各支柱（根元）に作用した最大水平力

支　柱　番　号	P14	P15	P16
最大水平力　(ｔ) (kN)	6.6 (64.7)	3.8 (37.2)	3.3 (32.3)

3）防護柵損傷状況

車両と防護柵の接触長は、P12～P17 の 8.8mであった。

防護柵の残留変形が生じた区間は、P11～P17 の12mであった。

車両の接触跡を図－6・9・5、防護柵の残留変形を図－6・9・6に示す。

（1）支柱

最大残留変位量はP13でY方向に177㎜であった。

車輪の踏み付け跡、抜け出しはなかった。

（2）ビーム

主ビーム下端部に内側への曲がり（P13～P16）があったが、破断は無かった。

荷受けビームは、支柱の変形に伴う曲がりのみで、局部的な変形はない。

（3）ブラケット

主ビーム用、荷受けビーム用共にブラケット残留変形はほとんどなかった。

（4）ボルトおよび接合部

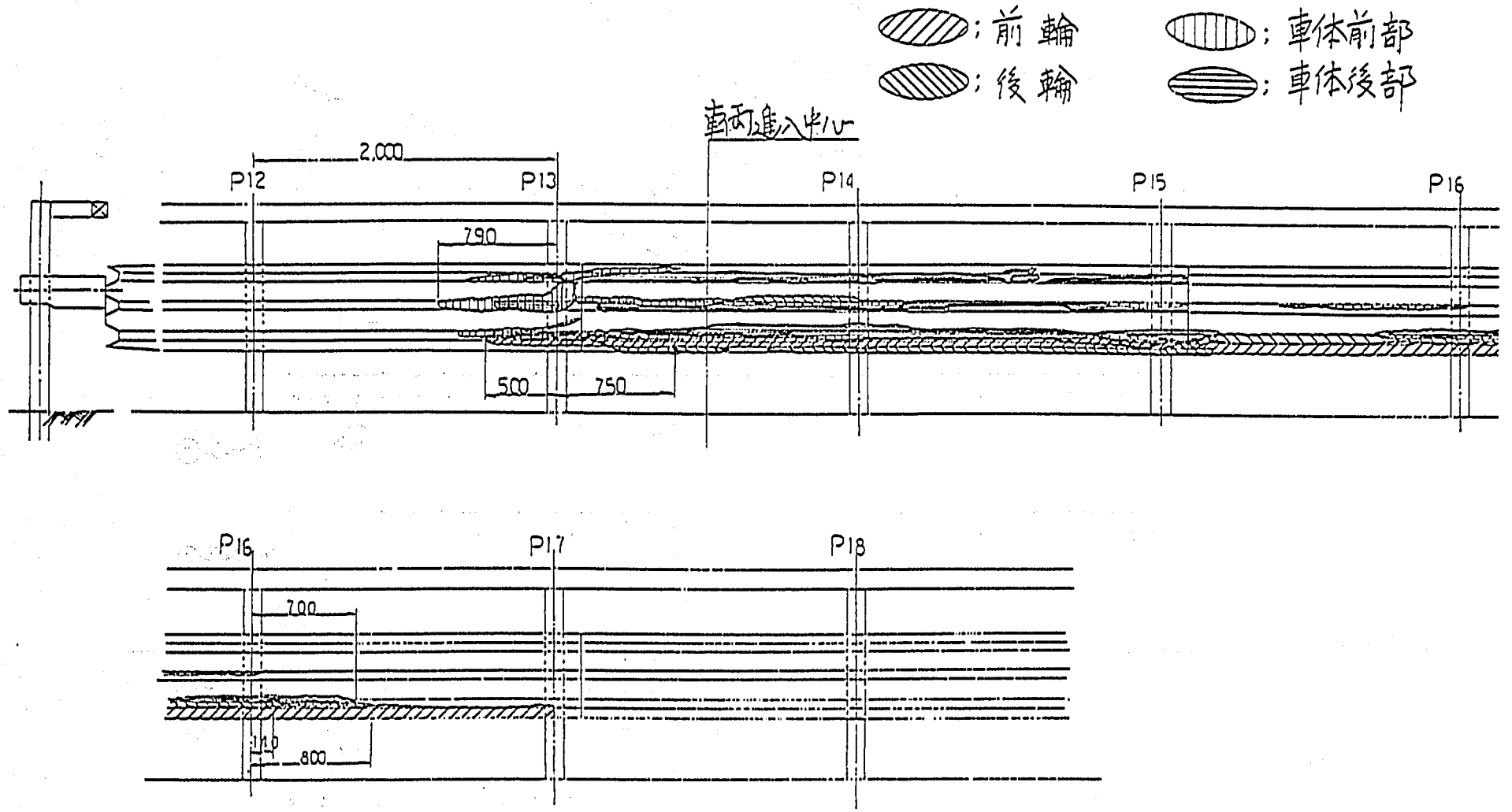
ボルトの破断、引き抜けはなかった。

4）車両損傷状況

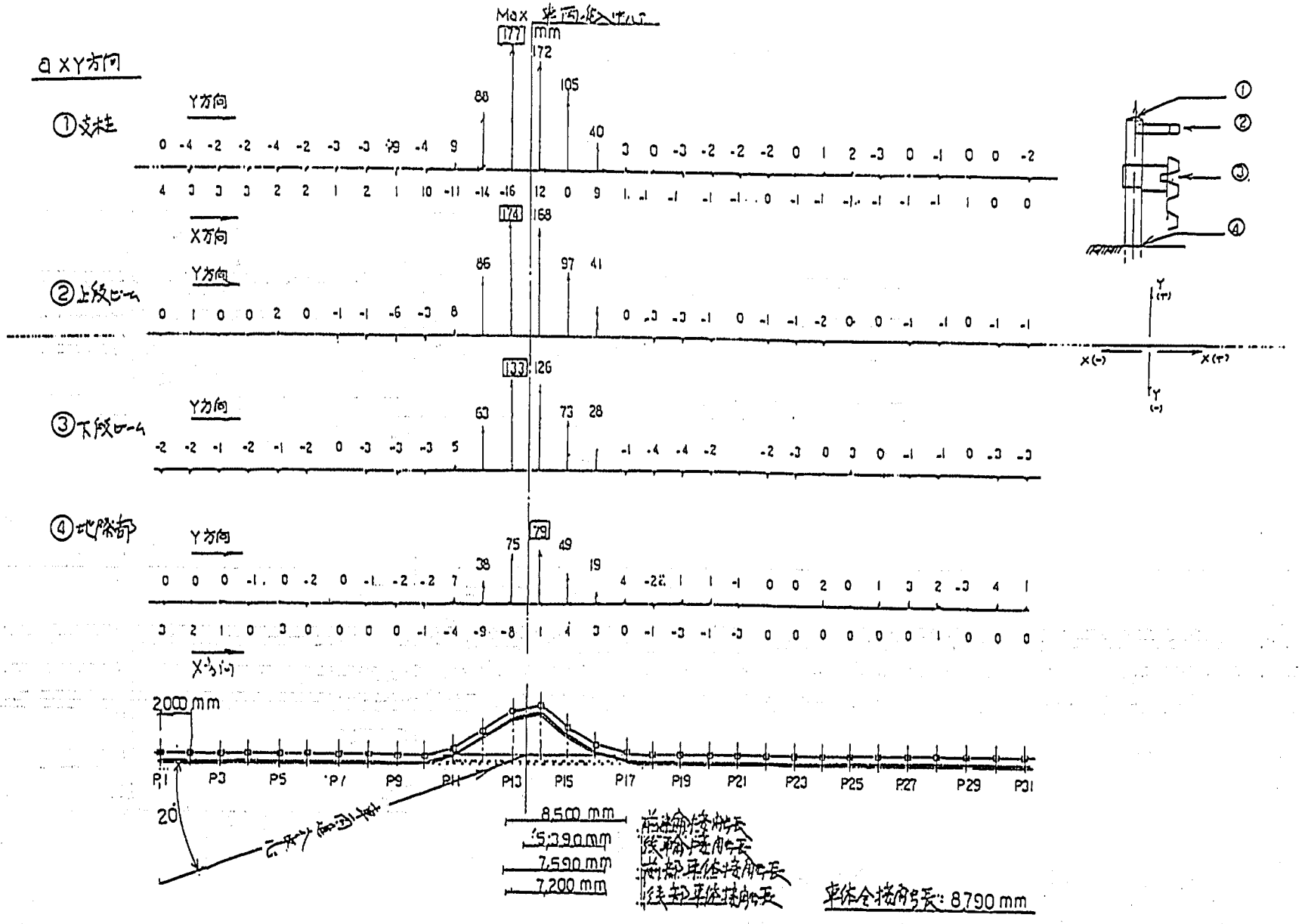
左側前部のフェンダーとバンパーが潰れ、ボンネットは開いたままになった。車体の左側には前から後ろにかけて3山ビームによる3条の凹みが生じていた。フロントガラス、リアガラスは全壊であった。

左側前輪が時計方向に約15度変形した。

自力走行は不可能であった。



図－6・9・5　車両の接触跡



図－6・9・6　防護柵の残留変形

5）乗員の安全性

車両重心の加速度については、計測器不良のため測定できなかった。

車室内は、左側のダッシュボード、左側前部のドアーの窓枠が変形していた。

ダミーは車室内を大きく移動していた。以上のことから、衝突時の衝撃がかなり大きかったものと考えられ、乗員の安全性の確保は困難であったと考えられる。

表－６・９・６　衝突時加速度（80Hzﾛｰﾊﾟｽﾌｨﾙﾀｰ処理）

測定箇所＼測定成分	X成分値	Y成分値	Z成分値	合成値	ＨＩＣ値
車両重心　（原波形）	8.2 g	28.2 g	-11.1 g	——	
（50ms値）	——	——	——	——	
（有効値）	——	——	——	——	
運転席ダミー（頭部）	-104.6 g	30.3 g	——	——	——
（胸部）	——	——	——	——	
助手席ダミー（頭部）	11.3 g	94.9 g	——	——	——
運転席ダミー大腿部衝撃力	—— kg				

6）考察

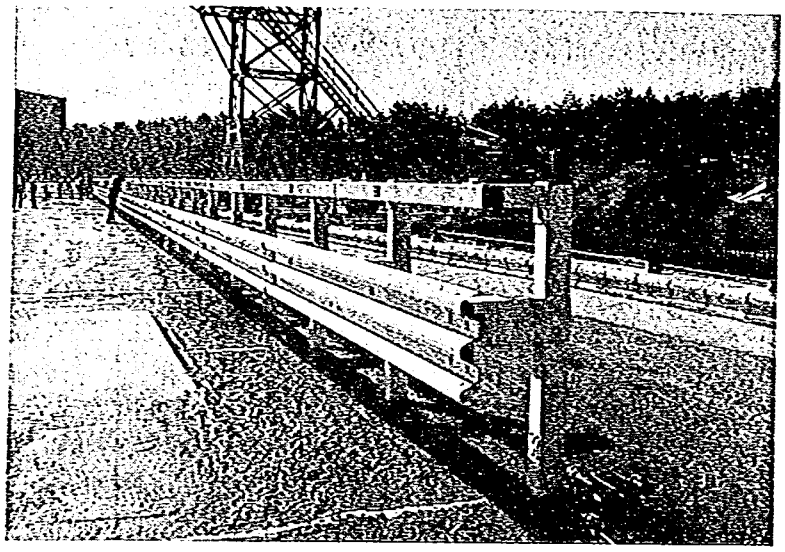
衝突時の車両の挙動より、車両誘導性は確認することができた。

計測器不良のため車両重心の加速度を測定することができなかった。そのため、当初の目的である、乗員に与える影響について客観的な考察を行うことができなくなった。

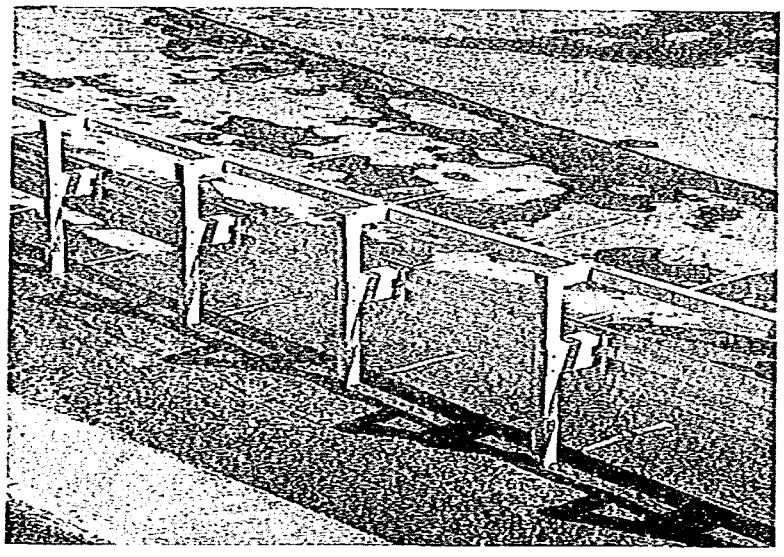
車両の損傷状況からみて、今以上の衝撃緩和機能をガードレールに持たせるために、ブラケットの改良等の対策を考える必要がある。

6．4．7．今後の課題

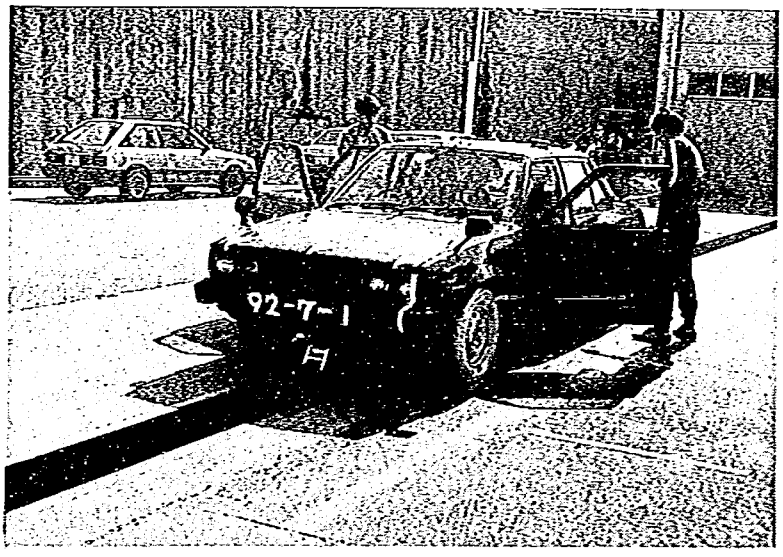
今回の実験で確認できなかった乗員の安全性に関する検証データを得るために再実験が必要である。



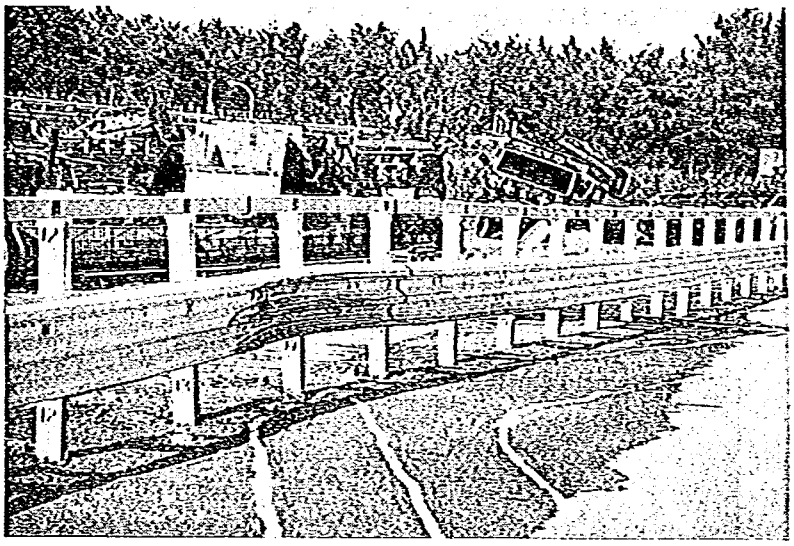
写真－６・９・１　供試体（Ｇｒ－ＳＳ改良２型）



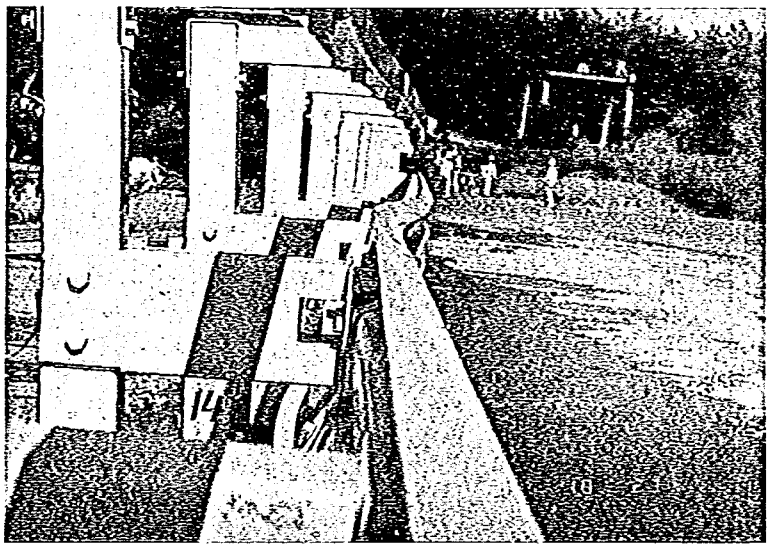
写真－６・９・２　供試体（Ｇｒ－ＳＳ改良２型）



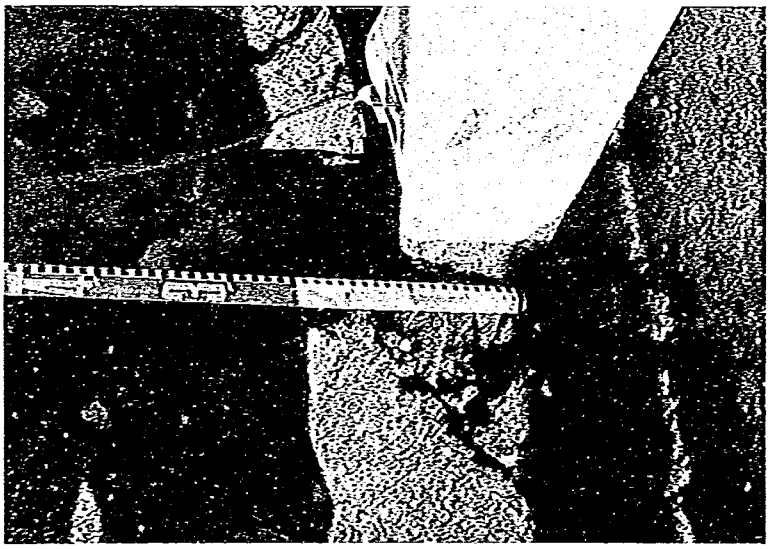
写真－６・９・３　衝突車両（小型乗用車）



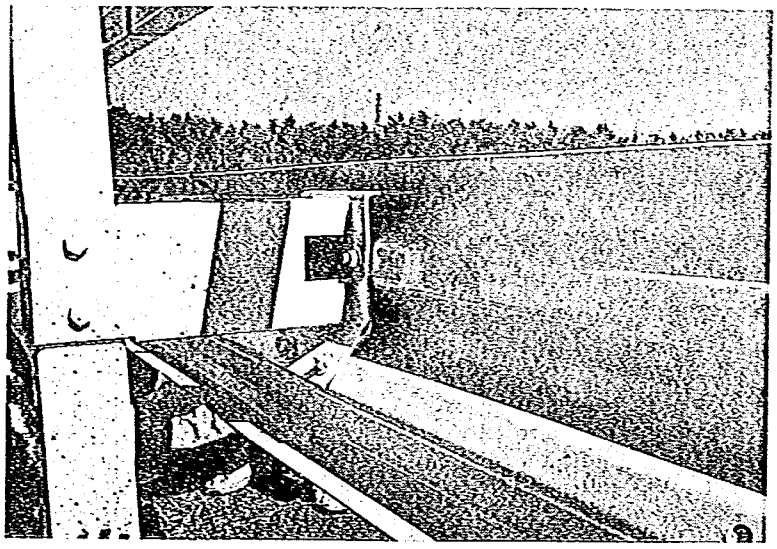
写真－６・９・４　衝突後の供試体



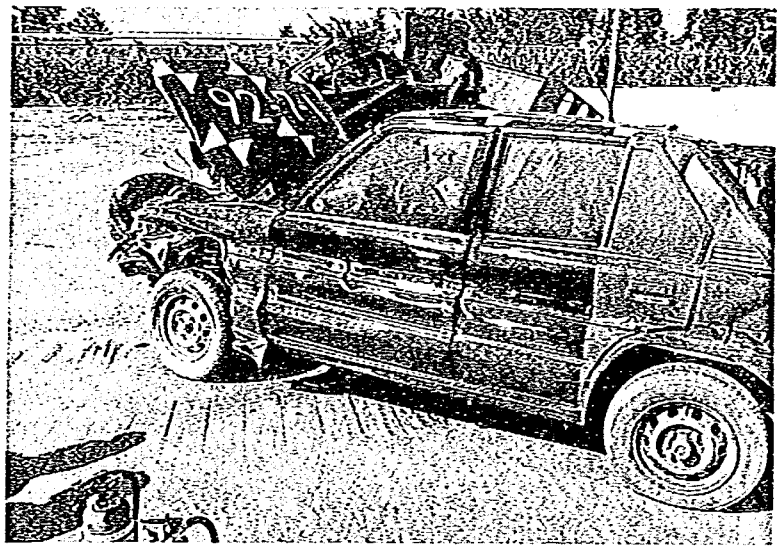
写真－６・９・５　衝突後の供試体



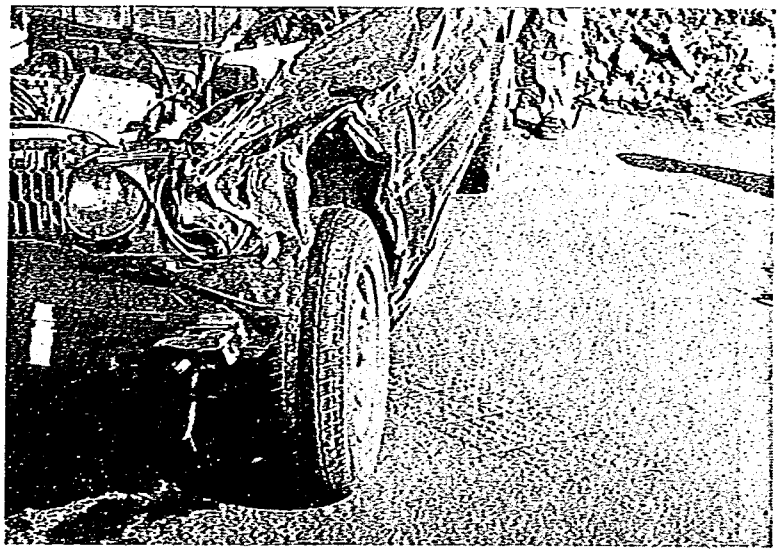
写真－６・９・６　支柱地際部の変位



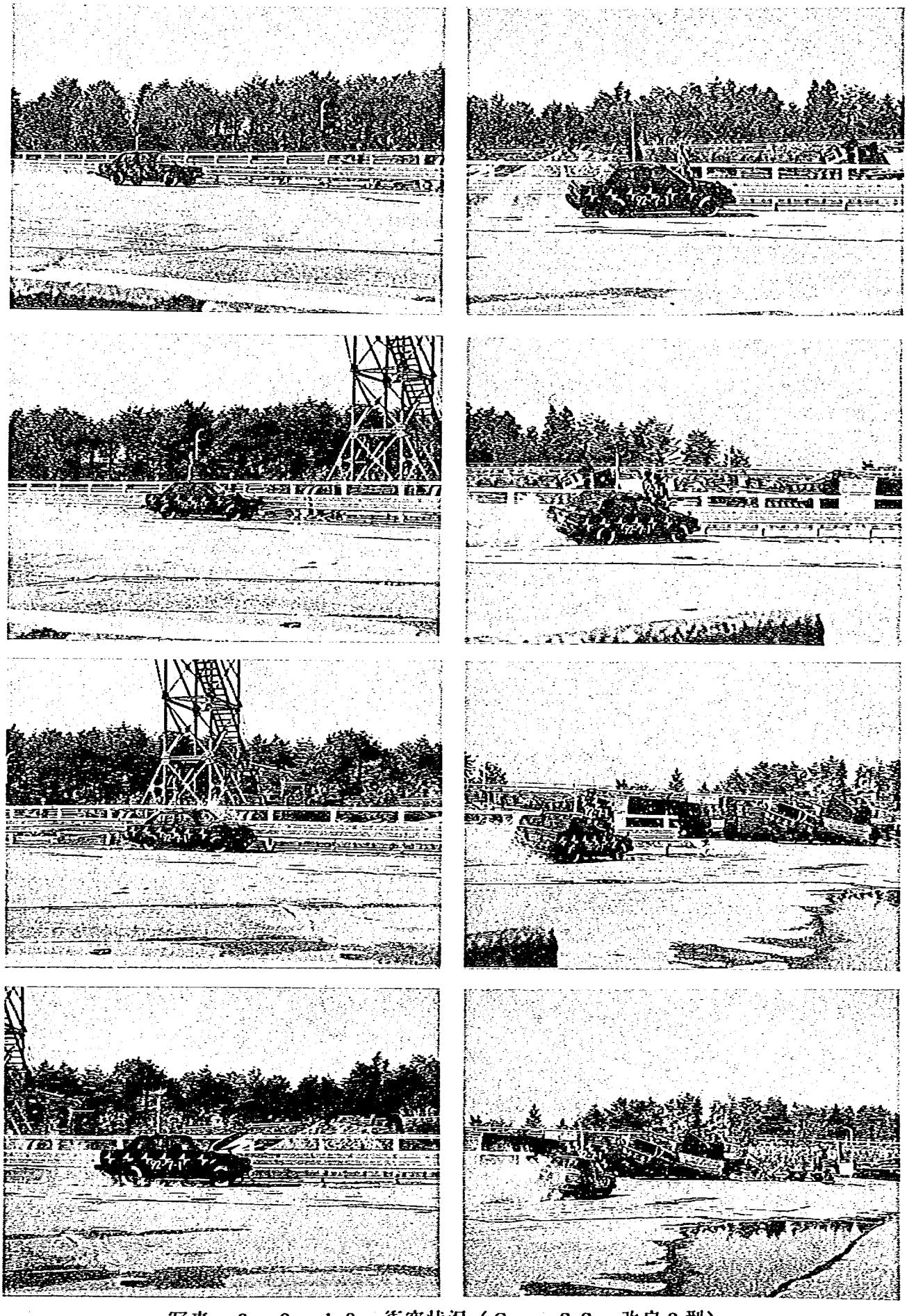
写真－６・９・７　ブラケットの変形状態



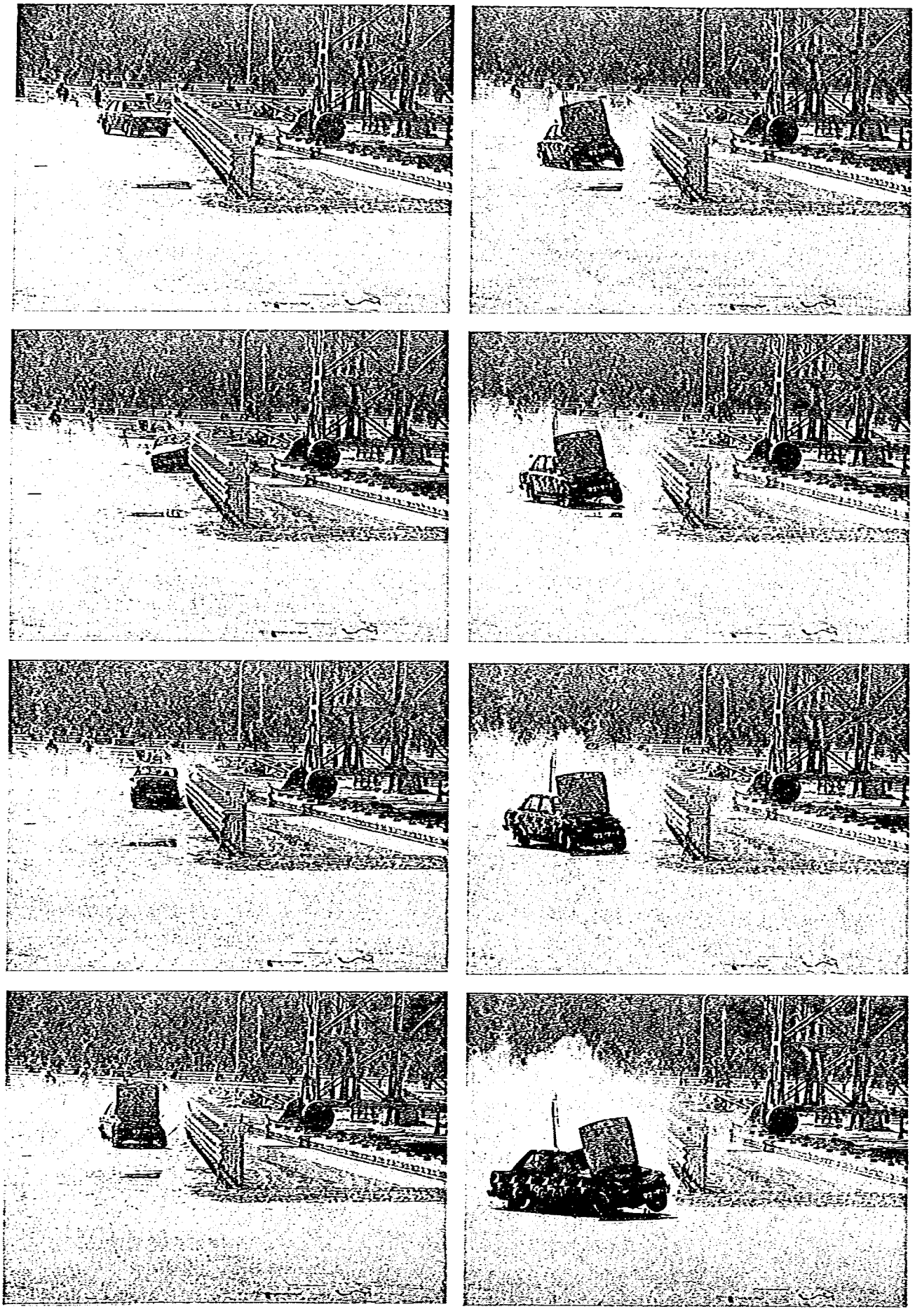
写真－６・９・８　衝突後の車両



写真－６・９・９　衝突後の車両



写真－6・9・10　衝突状況（Ｇｒ－ＳＳ　改良２型）

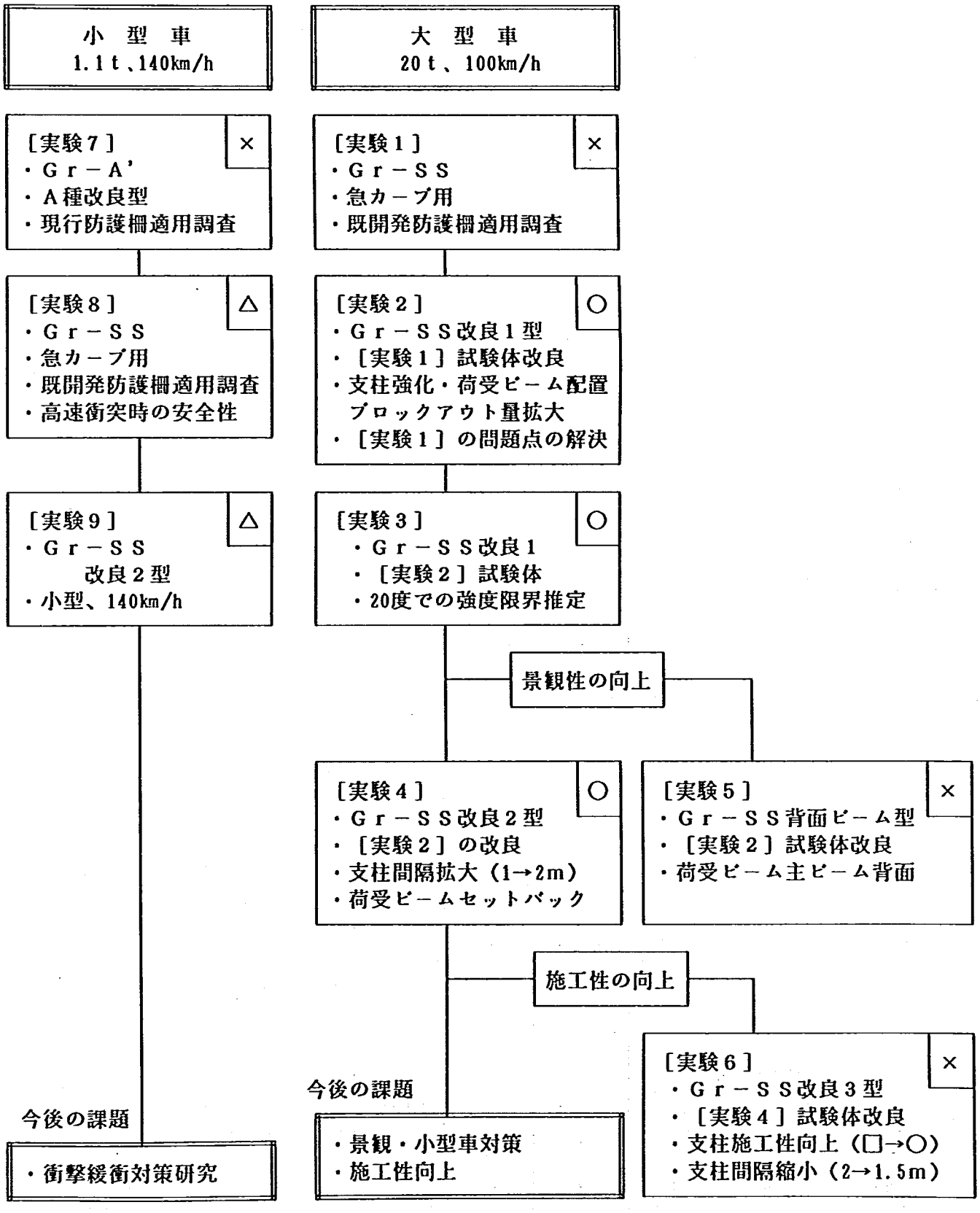


写真－6・9・11　衝突状況（Gr－SS　改良2型）

7．まとめおよび今後の課題

7．1．高速化対応型ガードレール実験結果まとめ

本研究に関する一連の経緯を図－7・1・1に、実験結果の一覧表を表－7・1・1に示した。



図－7・1・1　実験の経緯

表−7・1・1 実験結果一覧表

実験番号		実験 1	実験 2	実験 3	実験 4	実験 5	実験 6	実験 7	実験 8	実験 9
項　目		Gr−SS	Gr−SS 改良1型	Gr−SS 改良1型	Gr−SS 改良2型	Gr−SS 背面ビーム型	Gr−SS 改良3型	Gr−A'	Gr−SS	Gr−SS 改良2型
車　種		大型貨物車	大型貨物車	大型貨物車	大型貨物車	大型貨物車	大型貨物車	小型乗用車	小型乗用車	小型乗用車
衝突条件	車両重量 (t)	20.0	20.0	20.0	20.5	20.0	20.0	1.1	1.1	1.1
	衝突速度 (km/h)	100.1	100.0	100.0	100.0	99.6	100.0	138.5	139.5	139.5
	衝突角度 (度)	15	15	20	20	20	20	15	15	20
衝撃度 (t・m) (kJ)		52.7 517	52.7 517	92.1 903	94.4 925	91.4 896	92.1 903	5.6 55	5.7 56	9.9 97
離脱挙動後	離脱速度 (km/h)	計測不能	88.9	76.9	79.5	計測不能	計測不能	計測不能	118.5	118.5
	離脱角度 (度)	計測不能	6.2	9.8	7	計測不能	計測不能	計測不能	7	7
接触長 (m)	主ビーム	17.4	11.5	12.7	19.9	13.5	25.1	11.3	5.2	5.2
	荷受け・背面ビーム		14.5	16.1	21.8	29.0	26.6			
防護柵最大変位 (mm)	支柱残留変位 (Y)	1220	440	972	1178	−	1175	750	255	255
	残留変位 (Y)	1202	678	1086	1602	570	1832	680	90	90
	(X)	294	25	64	134	−	775	63	35	35
	主ビーム残留変位(Y)	1117	648	1082	1671	520	1565	784	80	80
	荷受けビーム残留変位		433	771	1260		1942			
最大進入行程 (mm)		−	240	550	1045	−	−	−	370	370
車両最大傾斜角 (度)	前端	−	4	8	25	−	−	−	−	−
	後端	−	9	22	41	−	−	−	−	−
各部材最大値 (t)	支柱水平力	6.0	8.6	8.3	16.4	9.5	9.7	5.4	4.2	4.2
	主ビーム張力	26.3	26.6	26.6	25.8	45.9	29.3	4.5	8.0	8.0
	荷受けビーム張力		14.5	12.3	24.4	10.5	37.5			
車両重心加速度 50ms (g)	進行方向 (X)	−4.4	1.8	2.0	1.6	−	−	3.3	3.2	3.2
	直角方向 (Y)	3.2	4.2	2.1	1.5	−	−	7.9	−13.9	−13.9
	垂直方向 (Z)	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	合　成	4.9	4.3	2.6	3.5	−	−	8.4	13.9	13.9
HIC値	運転席ダミー	14.9	6.5	50.5	8.3	−	−	424.3	551.8	551.8
	助手席ダミー	7.3	146	22.8	11.3	−	−	535.7	1530.9	1530.9
実験の評価	防護柵強度	高さ不足 柱強度不足 ブラケット強度とブロックアウト量不足	余裕大	余裕小	ほぼ限界	横高不足	支柱強度不足	ブロックアウト量不足	防護柵高性大	防護柵高性大
	車両挙動	突破横転	正常走行	正常走行	正常走行	路内横転	突破横転	滑空横転	正常走行	正常走行
	乗員の安全性	×	良	良	良	−	×	×	×	×
	展望性	良	×	×	△	良	△	−	−	−
総合評価		×	○	○	○	×	×	×	△	△

７．２．高速化対応型ガードレール構造について

７．２．１．最終構造の見通し

高速化対応ガードレール構造の前提とした衝突条件は、車両重量20ｔ、衝突速度100km/h、衝突角度20度であり、衝撃度は92.1t･mである。

各種実験検討より、高速化対応型ガードレール構造は、Ｇｒ－ＳＳ改良２型が基本的な構造モデルになるものと考えられる。

以下に、各構成部材の要求される機能条件と選択部材形状を示す。また、使用部材の材質は、汎用材料使用を原則にJISに定める一般構造用鋼材及び鋼管とする。

１）支柱

①要求機能

支柱は、衝撃力に対して十分抵抗する耐力を有するとともに変形後に地際部近傍で局部座屈等による急激な支持力低下を示さないことが必要である。支柱単体の平均支持力は、６ｔ程度必要である。

②選択部材形状寸法と間隔

・支柱は、断面係数 100cm³以上の角形鋼管または鋼管とする。
　当面推奨できる支柱形状・寸法は、□-125×125×t6である。
・支柱間隔は２ｍとする。
・材質はSTK400またはSTKR400とする。

２）　ビーム

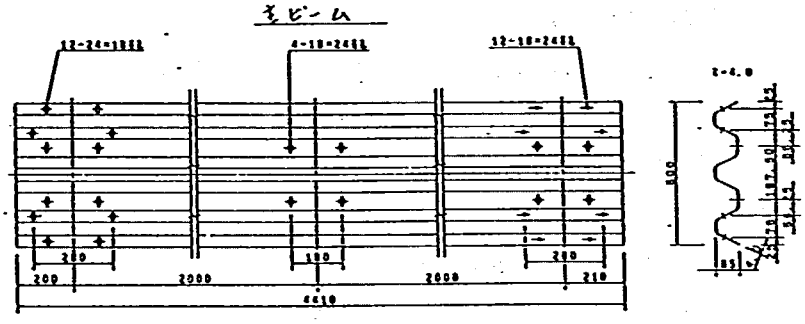
（１）主ビーム

①要求機能

主ビームは衝突時に引張材として機能させ、破断しないことが必要である。

②形状・寸法

ビーム断面積Ａは31.2cm²、断面係数Ｚは64cm³、曲げ剛性ＥＩは57.1t･m²　以上必要である。



図－７・２・１

当面推奨できるビームは、図－７・２・１に示す３山断面形状とし、寸法を500×85×4、材質はSS400とする。

③設置高さ

大型車と小型車の衝突に対して共用できる高さとしてビーム中心で675㎜とする。

④接合部

車両衝突の初期段階から主ビームに、引張材としての機能を発揮させるためには、接合部ボルト孔の横長孔部の寸法22×40を縦長孔の18×24に変更しクリアランスを16㎜小さくする。

（２）荷受けビーム

①要求機能

・大型貨物車の荷台を支持し、広い範囲の支柱へ荷重を分散させることが必要である。
・曲げ引張材としては、実験結果から断面積と曲げ剛性が主ビームの1/2以上必要であり、断面積

Aは16cm²、曲げ剛性ＥＩは29t·m²以上必要である。

②形状・寸法

実験から当面推奨できる形状は、□-100×100×4.5(A:16.67cm²、EI:52 t·m²)である。

③材質はSTKR400とする。

④設置高さ

平ボディー型の大型貨物車を対象とした場合の設置高さは1300㎜である。しかし、さらに高重心の車両については別途検討が必要である。

3)　ブラケットとブロックアウト量

①要求機能

・主ビーム部は、車両衝突による防護柵変形後も、車輪の支柱接触や踏み込みおよび柵高さの低下を防止するためには曲げ剛性の高いことが必要である。

・荷受けビーム部は、支柱への車輪接触はないが防護柵変形後の柵高低下を少なくさせるために、局部的な座屈を防止することが必要である。

②ブロックアウト量

・主ビーム部は車輪の支柱衝突を防止できる最低値として450㎜以上とする。

・荷受けビーム部は、初期衝突荷重の主ビームへの分担率を上げ、部材の軽量化および乗員の受ける圧迫感の軽減を図るために450㎜以下とすることが考えられる。しかし、当面推奨できる値は主ビームの幅(85㎜)だけセットバックした365㎜である。

③形状・寸法及び材質

高い曲げ剛性を有する部材として閉断面材を使用することとした。当面推奨できる部材は以下のとおりである。

・主ビーム部は□-200×100×4.5とする。

・荷受けビーム部は□-100×100×4.5とする。

・材質は共にSTKR400とする。

4）各接合部ボルトの形状と材質

（1）主ビーム　　：12-M16×50(6T)

（2）荷受けビーム　：2-M22×140(6T)と4-M22×45(10T)

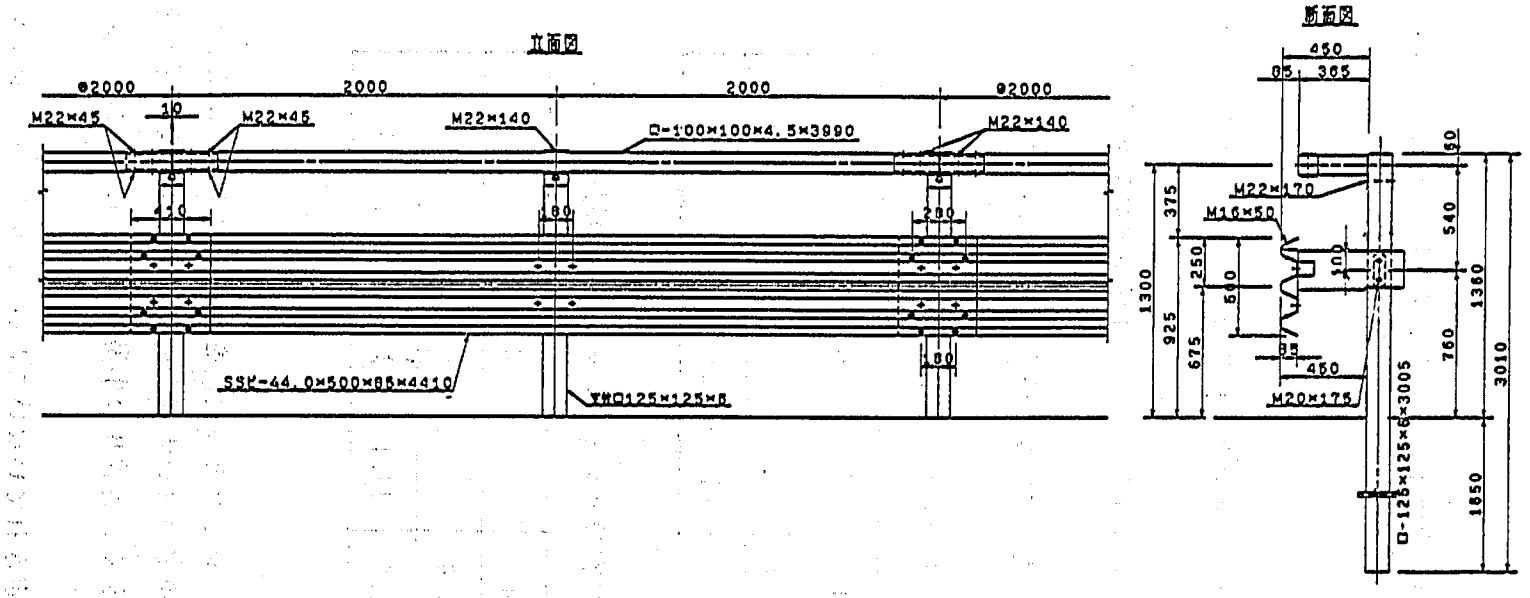
（3）支柱とブラケット：下段　2-M20×175(6T)

　　上段　1-M22×170(4T)

5）提案の基本構造概要

現時点で高速化対応ガードレールとして提案できる基本構造を図－7・2・2に示す。

この構造を基に多方面からの検討を加え、実用化構造を見い出していく予定である。



図－７・２・２　高速化対応型ガードレールの基本構造

7．3．衝突シミュレーションおよび車両横転検討について

衝突シミュレーションを検証するために、衝突実験時の衝突条件や、車両データを用いシミュレーションで計算し、衝突実験との比較、衝突シミュレーション計算結果を用いた車両横転検討との比較を行った。

7．3．1．衝突シミュレーションについて

衝突シミュレーションとの対比を下記に示すが、実験1、5、6、7は路外逸脱、あるいは正常な誘導がなされなかったので参考値として表記した。

1）離脱速度・角度

離脱速度と角度について、実験結果とシミュレーションとの比較を表－7・3・1、7・3・2に示す。

離脱速度については、衝突実験結果に対して、シミュレーション計算結果がやや大きい値を示すことがわかった。

離脱角度は、シミュレーション値が実験結果の約2倍程度の値を示すことがわかった。

表－7・3・1　離脱速度についての実験とシミュレーションの対比

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8
衝突実験	－	88.9	76.9	79.5	－	－	－	118.5
ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	89.6	88.8	85.5	80.8	81.8	81.2	127.0	121.4

表－7・3・2　離脱角度についての実験とシミュレーションの対比

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8
衝突実験	－	6.2	9.8	7.0	－	－	－	7.0
ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	15.5	15.2	20.1	18.9	19.1	18.8	15.1	12.9

2）ビーム最大張力

ビーム最大張力について実験結果とシミュレーションとの比較を表－7・3・3に示す。

衝突車両を大型車と小型車に分けると、大型車では（いずれも衝突対象；ＳＳ改良型2段張り）シミュレーション値の方が1.2から1.7倍程度大きく、実験8の小型車では、1.9倍大きい傾向となることがわかった。

なお、衝突実験では必ずしも最大張力点が測定されていないことから、シミュレーションの方が大きな値を示すものと考えられる。

また、ＳＳ改良型のように2段ビーム構造の場合、シミュレーション値では一体として計算されており上段・下段ビームに分けて発生張力を比較することは出来なかった。

表－７・３・３　ビーム最大張力についての実験とシミュレーションの対比

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8
衝突実験	26.3	26.6	23.7	25.8	49.5		4.5	8.0
		15.3	21.7	24.4	10.5			
ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	54.8	49.8	76.9	82.7	57.8	84.6	21.4	15.5
					31.0			

3）防護柵最大変形量

防護柵最大変形量について実験結果とシミュレーションとの比較を表－７・３・４に示す。

実験結果の値がシミュレーション値を同程度から1.5倍大きくなる傾向となった。

本来、実験値は残留変形値であることからシミュレーション値の動的最大値と比較するとシミュレーション値の方が上回ると思われた。しかし、シミュレーション値で演算される最大変形量の値は現行の防護柵600㎜高さの位置でのものと見られ、実験値では荷受けビーム1300㎜高さとかならずしも計測点が一致していないためだと思われる。

表－７・３・４　防護柵最大変形量についての実験とシミュレーションの対比

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8
衝突実験	1,117	648	1,082	1,671	506	1,565	784	
ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	790	630	890	1,120	780	1,160	760	250

4）支柱の最大変位量

支柱の最大変位量について実験結果とシミュレーションとの比較を表－７・３・５に示す。

これによると、実験結果とシミュレーション値は±150㎜以内であり、かなり近似していることがわかった。

表－７・３・５　支柱変位量についての実験とシミュレーションの対比

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8
衝突実験	1,220	440	972	1,178	570	1,175	750	255
ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	783	611	715	1,058	730	1,154	715	243

5）車両の最大進入行程

車両の最大進入行程について実験結果とシミュレーションとの比較を表－７・３・６に示す。

車両の最大進入行程は、シミュレーション値の方が実験結果と同程度かやや大きい値になる傾向

にあることがわかった。

表－７・３・６　支柱変位量についての実験とシミュレーションの対比

実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8
衝突実験	－	240	550	1,045	－	－	－	370
ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	660	540	760	1,030	760	1,060	760	210

７．３．２．車両横転検討について

車両横転については、前述（４．５．３．）に基づき計算し、表－７・３・７に結果を示す。

計算では、車両の荷台が防護柵に当たらないときには、荷台の移動を考慮し計算を行った。これまでの衝突実験で荷台が300～500㎜移動していたことから車両横転有無を判定するときは荷台の移動量を300㎜以上として計算した。

その結果、実験１から５までは衝突実験と同様な結果が得られたが、実験６では衝突実験結果（横転）と計算結果（誘導）に食い違いがみられた。

車両横転有無検討では、衝突シミュレーションの計算結果（防護柵最大変形量と防護柵反力）を用いていることや、車両横転計算方法でも車両の傾きを防護柵の傾きの50％としていたり、仮定条件が多くまた衝突条件等により傾向が違う等の問題があると考えられる。しかし、衝突実験に使用する供試体を選定するためには、このような計算を行って検討することが必要と考えられる。今後も、車両横転計算を改良すると共に、衝突シミュレーションの３次元化も望まれる。

表－７・３・７

実験番号	防護柵反力(t)	荷台移動量K (㎜)																	
		0			100			200			300			400			500		
		Mr	Mf	有無	Mr	Mf	有無	Mr	Mf	有無	Mr	Mf	有無	Mr	Mf	有無	Mr	Mf	有無
1	39.0	25.5	43.4	×	23.7	41.9	×	21.9	40.4	×	20.1	38.9	×	18.3	37.4	×	16.5	35.9	×
2	35.2	46.5	6.4	○															
3	50.9	44.2	17.1	○															
4	41.0	35.9	24.8	○															
5	50.1	28.9	48.6	×	27.0	46.8	×	25.1	45.0	×	23.2	43.2	×	21.3	41.4	×	19.4	39.6	×
6	40.1	34.2	26.5	○															

(注１) ○は車両誘導、×は横転を示す。
(注２) 斜線は、車両の荷台が防護柵に当たることを示す。

実験番号		1	
衝突条件	供試体名	Ｇｒ－ＳＳ	
	重量（t）	20	
	速度（km/h）	100.1	
	角度（°）	15	
	衝撃度（t・m）	52.7［517kJ］	
結果	分類	シミュレーション	衝突実験
	離脱速度（km/h）	89.6	—
	離脱角度（°）	15.5	—
	最大張力（t）	54.8	26.3
	最大変形量（mm）	790	1,117
	支柱 変位量（mm）	783	1,220
	支柱 水平力（t）	4.0	6.0
	最大進入行程（mm）	660	—

実験番号			2	
衝突条件	供試体名		Ｇｒ－ＳＳ改良１型	
	重量（t）		20	
	速度（km/h）		100	
	角度（°）		15	
	衝撃度（t・m）		52.7［517kJ］	
結果	分類		シミュレーション	衝突実験
	離脱速度（km/h）		88.8	88.9
	離脱角度（°）		15.2	6.2
	最大張力（t）	主ビーム	49.8	26.6
		荷受けビーム		15.3
	最大変形量（mm）		630	648（残留）
	支柱	変位量（mm）	611	440
	支柱	水平力（t）	6.0	11
	最大進入行程（mm）		540	240

実験番号			3	
衝突条件	供試体名		Ｇｒ－ＳＳ改良１型	
	重量（t）		20	
	速度（km/h）		100	
	角度（°）		20	
	衝撃度（t・m）		92.1 [903kJ]	
結果	分類		シミュレーション	衝突実験
	離脱速度（km/h）		85.5	76.9
	離脱角度（°）		20.1	9.8
	最大張力（t）	主ビーム	76.9	23.7
		荷受けビーム		21.7
	最大変形量（mm）		760	1,082
	支柱	変位量（mm）	715	972
		水平力（t）	6.0	8.3
	最大進入行程（mm）		760	550

実験番号			4	
衝突条件	供試体名		Ｇｒ－ＳＳ改良２型	
	重量（t）		20.5	
	速度（km/h）		100	
	角度（°）		20	
	衝撃度（t・m）		94.4 [925kJ]	
結果	分類		シミュレーション	衝突実験
	離脱速度（km/h）		80.6	79.5
	離脱角度（°）		18.9	7
	最大張力（t）	主ビーム	82.7	25.8
		荷受けビーム		24.4
	最大変形量（mm）		1,120	1,671
	支柱	変位量（mm）	1,058	1,178
		水平力（t）	6.0	16.4
	最大進入行程（mm）		1,030	1,045

実験番号			5	
衝突条件	供試体名		Ｇｒ－ＳＳ背面ビーム型	
	重量（t）		20	
	速度（km/h）		99.6	
	角度（°）		20	
	衝撃度（t・m）		91.4 [896kJ]	
結果	分類		シミュレーション	衝突実験
	離脱速度（km/h）		81.8	—
	離脱角度（°）		19.1	—
	最大張力（t）	主ビーム	57.8	49.5
		背面ビーム	31.0	10.5
	最大変形量（mm）		780	506
	支柱	変位量（mm）	730	570（残留）
		水平力（t）	6.0	9.5
	最大進入行程（mm）		760	—

実験番号			6	
衝突条件	供試体名		Ｇｒ－ＳＳ改良３型	
	重量（t）		20	
	速度（km/h）		100	
	角度（°）		20	
	衝撃度（t・m）		92.1 [903kJ]	
結果	分類		シミュレーション	衝突実験
	離脱速度（km/h）		81.2	—
	離脱角度（°）		18.8	—
	最大張力（t）	主ビーム	84.6	
		荷受けビーム		
	最大変形量（mm）		1,160	1,565（残留）
	支柱	変位量（mm）	1,154	1,175
		水平力（t）	4.0	9.7
	最大進入行程（mm）		1,060	—

実験番号			7	
衝突条件	供試体		Ｇｒ－Ａ'	
	重量（t）		1.1	
	速度（km/h）		138.5	
	角度（°）		15	
	衝撃度（t・m）		5.6 ［55kJ］	
結果	分類		シミュレーション	衝突実験
	離脱速度（km/h）		127	—
	離脱角度（°）		15.1	—
	最大張力（t）		21.4	4.5
	最大変形量（mm）		760	784
	支柱	変位量（mm）	715	750
		水平力（t）	1.49	5.4
	最大進入行程（mm）		760	—

実験番号			8	
衝突条件	供試体名		Ｇｒ－ＳＳ	
	重量（t）		1.1	
	速度（km/h）		139.5	
	角度（°）		15	
	衝撃度（t・m）		5.7 ［56kJ］	
結果	分類		シミュレーション	衝突実験
	離脱速度（km/h）		121.4	118.5
	離脱角度（°）		12.9	7
	最大張力（t）		15.5	8.0
	最大変形量（mm）		250	
	支柱	変位量（mm）	243	255
		水平力（t）	4.0	4.2
	最大進入行程（mm）		210	370

7．4．今後の課題

7．4．1．適正支柱の検討

今後、適正な支柱構造を提案するためには下記に示す項目についての検討が必要と考えられる。

1）支柱の衝撃荷重に対する力学特性の検討

・支柱の形状別に荷重の作用条件（動的、静的）の違いが、支持力特性に及ぼす影響について検討する。

・支柱の変形特性や間隔と設置地盤の強度やビームの力学特性や柵高さの有効な組み合わせに関する検討を行う。

・支柱の局部変形　（曲げ座屈など）によるから、支持機能の大幅低下を防止する形状選択や部分改良方法などについて検討する。

2）施工性向上の検討

鋼管の形状別に以下のような検討が必要である。

・角形鋼管を採用する場合では、建て込み時の方向修正が可能な治具や付属部品についてを検討する。

・現行の支柱径(φ139.8)を採用する場合では、厚肉成形部材の可能性や局部補強等について検討する。

・断面径の大きい鋼管を採用する場合では施工性に大きな問題はないが、乗員に与える圧迫感の軽減について検討する。

7．4．2．乗員の安全性

大型車を対象に部材構成された防護柵構造は、小型乗用車の衝突（重量1.1ｔ、速度140㎞/h、角度20度）に対して剛性が高いことから衝撃緩衝対策や部材配置などの検討が必要である。

1）衝撃緩衝対策

小型車衝突に対してブラケットが局部的に変形する構造の開発や、支柱の変形による衝撃吸収対策等について検討する。

2）主ビーム高さ

現在の主ビーム高さ(675㎜)は大型車・小型車双方を考慮しているが、上段に荷受けビームを配置することにより、小型車のために主ビームの設置高さを下げることも可能であり、車両の潜り込み防止等を主眼にしたビームの有効設置高さについて検討する。

7．4．3．景観対策

1）構成部材形状

部材の形状・寸法による圧迫感の低減について検討する。具体的には以下のようなことが考えられる。

・主ビームはコルゲーションに丸みをもたせる。

・荷受けビームに鋼管や線材（ワイヤロープやＰＣロッド）の可能性等を検討する。

2）部材配置

荷台受けビームの支柱間隔による圧迫感の低減について検討する。

具体的には主ビーム支柱間隔(２ｍ)に対し、荷受けビームは２倍の４ｍにする。

3）防護柵色彩

各構成部材の塗装色の変更による圧迫感の低減について検討する。

7．4．4．車両形式と横転防止対策

1）車両構造との関係

トラックとバスでは、車体構造が大きく異なっている。

トラック：シャーシ＋荷台　でシャーシと荷台の結合部が柔軟な構造。

バス　　：モノコック（一体化）構造

したがって、車体構造別の横転検討方法を提案し、車種と柵高さの関係について検討することが必要である。

2）高い重心車両に対する対策

・荷台受けビーム高さ1300㎜の車種適用限界について検討する。

・重心の高いバン型トラックや２階建てバスに対する防護柵の適正高さや救済車種範囲について検討する。

II編. 緩衝型防護柵

II 編。 緩衝型防護柵

1．目　的

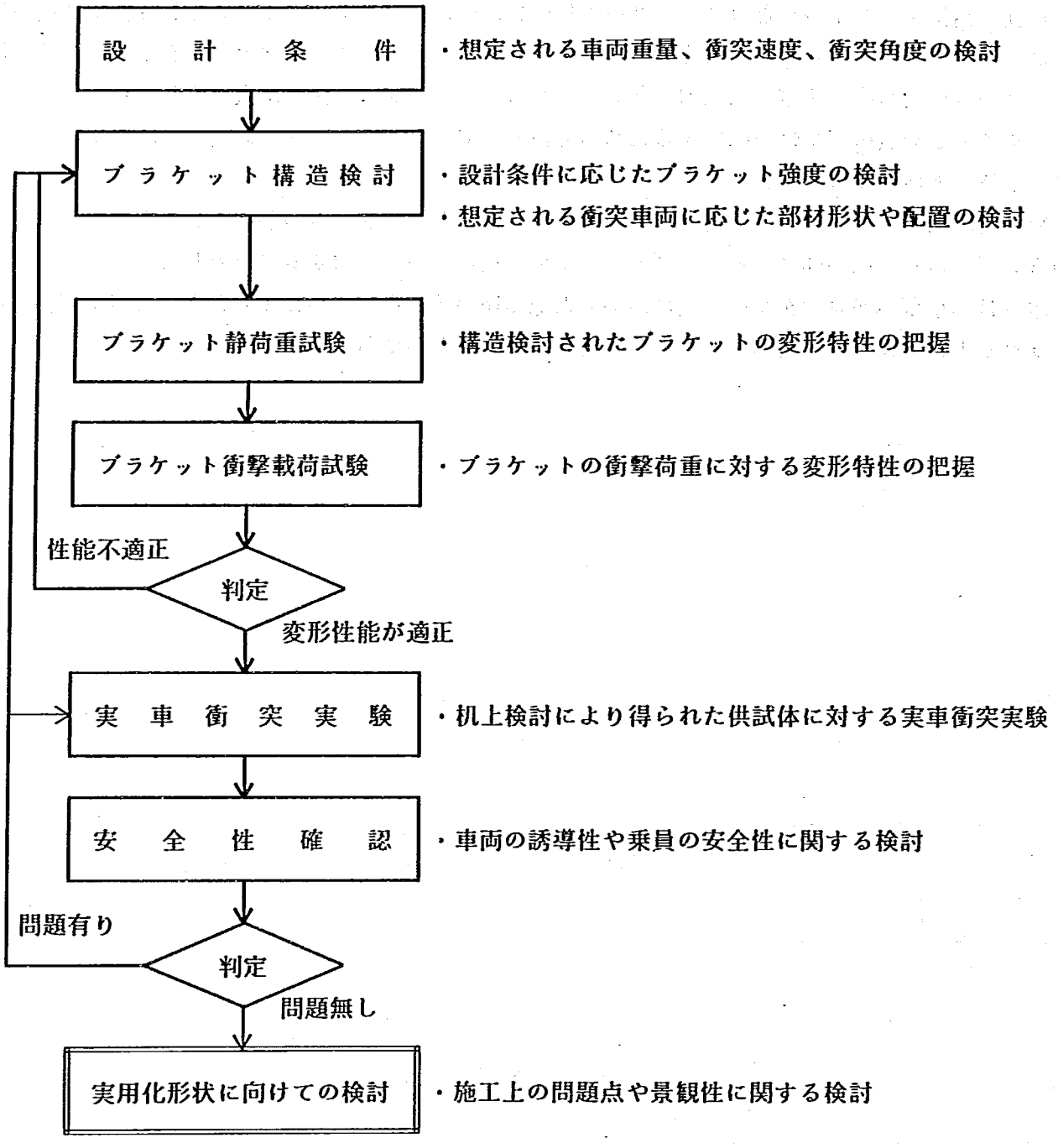
現在、橋梁・トンネルなどのコンクリート構造物区間にはガードレール等のたわみ性防護柵を設置しないのが通例である。しかし、今後の高速化を考慮すると、高架橋梁部のコンクリート製防護柵やトンネル等の構造物は衝撃吸収能力がないことから、高速衝突時の衝撃が大きくなることが予想される。そこで、乗員の安全性を確保するための方策として、コンクリート壁の前面に緩衝用の防護柵を設置することが考えられる。

緩衝型防護柵のビーム材は、前後の連続性を考慮すると同一形状のものが望ましいと考えられることから、ビームと壁面の間に挟み込むブラケットの構造について検討することとした。

本編は、小型車がコンクリート壁に衝突した際の衝撃特性を明らかにするとともに緩衝型防護柵のブラケット構造について提案することを目的としているものである

2．研究方法

2．1．研究手順



２．２．衝突条件について

緩衝型防護柵は、特に小型車の安全性を確保することを目的としているため、衝突対象車種に小型乗用車を想定した。また、衝突条件は現行の速度を超えるような高速衝突を想定し、角度についてはより危険な状態を再現するため20度とした。以上のようなことから、具体的な衝突条件を示すと表－２・２・１となる。

表－２・２・１　緩衝型防護柵の衝突条件

車両重量	1.1 t
衝突速度	140 km/h
衝突角度	20 度
衝撃度	9.9 (97kJ)

3．コンクリート製壁式防護柵の衝撃特性

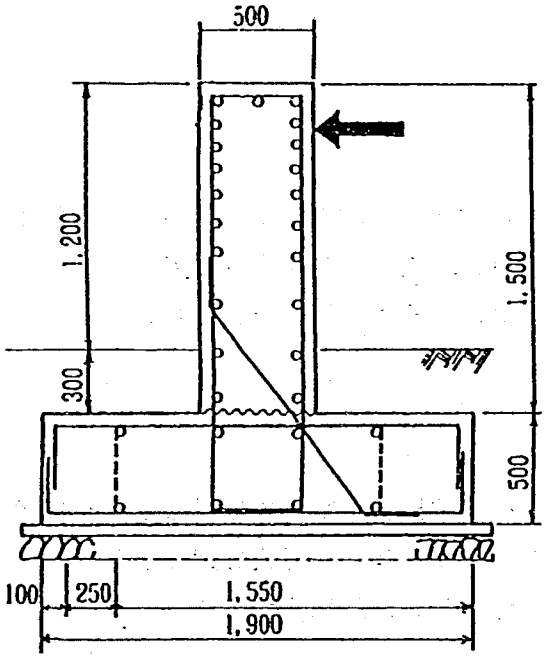
コンクリート壁に対する小型乗用車の衝突実験結果を表－３・１に示す。３回の実験とも小型乗用車は横転することなく浅い角度で離脱し、車両の誘導性は良好であった。なお、各実験の供試体の形状図は図－３・１に示す。

車両の損傷については左側前端部の潰れ、左側全体に摺痕があったが、いずれも車室内の変形は少なく乗員の生存空間は確保されていたものと考えられる。

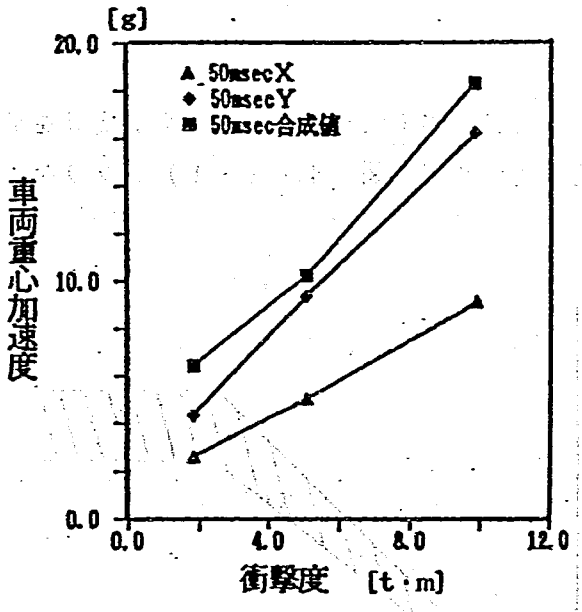
コンクリート壁衝突時の衝撃度と車両の加速度(50msec値)の関係を示したものが図－３・２である。これによると、衝撃度と加速度はほぼ比例的な関係にあることや、現行の走行速度（100km/h)以下でコンクリート壁に衝突した場合は、米国の基準値によると乗員の安全性に問題ないものと考えられる。しかし、現行を超える 140km/h衝突時には車両の加速度も高く、特に直角方向（Y）が許容値を超えており何らかの緩衝対策が必要であるものと考えられる。また、助手席ダミーが助手席側の窓ガラスを突き破ってコンクリート壁（高さ 120cm）に直接当たってＨＩＣ値が1000を超えたことから、コンクリート壁の高さは乗用車の窓ガラスより低いこと（90cm程度）が望ましいものと考えられる。また、減速率が大きいことから壁面の摩擦を低くするような対策も検討していくことが必要であると考えられる。

表－３・１　コンクリート壁式防護柵に対する小型車衝突実験結果

			実験Ｃ－１ (89. 9.18)	実験Ｃ－２ (91.10.18)	実験Ｃ－３ (91. 1.16)	許容値
衝突車両			小型乗用車	小型乗用車	小型乗用車	
車両重量			1.1 t	1.1 t	1.1 t	
衝突速度			60.0 km/h	100.0 km/h	139.5 km/h	
衝突角度			20 度	20 度	20 度	
衝撃度			1.8 t･m (18kJ)	5.1 t･m (50kJ)	9.9 t･m (97kJ)	
離脱速度			47.0 km/h	73.8 km/h	102.9 km/h	
減速率			21.7 %	26.2 %	26.2 %	25以下
離脱角度			8.0 度	6.8 度	6.6 度	10以下
接触長さ			1.6 m	3.2 m	4.3 m	
加速度	車両重心 50ms	進行X	2.6 g	5.0 g	9.1 g	25以下
		直角Y	4.3 g	9.3 g	16.2 g	15以下
		合成	6.4 g	10.2 g	18.3 g	25以下
	ﾀﾞﾐｰ HIC	運転席	84	836	490	1000 以下
		助手席	385	---	1132	



図－３・１　供試体構造図



図－３・２　衝撃度－車両重心加速度　相関図

4．剛壁緩衝用防護柵ブラケットの開発

4．1．過去の研究経緯

剛壁緩衝用防護柵のブラケットに関連した国内の研究開発は、1969年に『レール付きコンクリート高欄の実験的研究』として高速道路調査会より報告されている。報告書では開発した六角形状のブラケット（下図）を用いて乗用車による衝突実験を実施し、

①…乗用車の受ける加速度

②…高欄に生じる応力

③…離脱角度

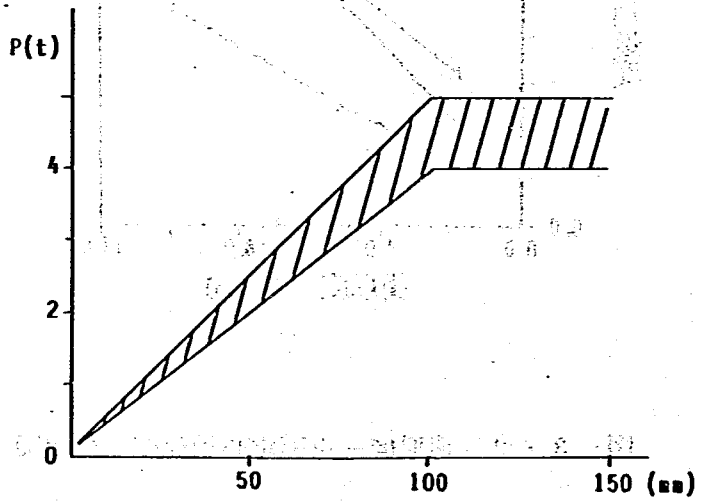
の３項目について検証している。その結果、①②の２項目は効果が確認できたが、③の離脱角については、ブラケットの変形によるポケッティング現象を起こすため、高欄への直接衝突時より大きくなると報告され実用化には至っていないのが現状である。

4．2．供試体構造の検討

現状の建築限界外にとれる設置幅250㎜内に収まる緩衝用防護柵の開発を行うこととした。したがって、本章では限られた空間を有効活用するために、ブラケットを構造物に直接取り付け、ブラケットの変形機能により衝撃を吸収できるような構造の検討を行った。

4．2．1．変形モデル曲線

ブラケットの変形挙動のモデルを見い出すために、一連の衝突実験を分析した結果、Ｇｒ－ＳＳ種［実験８］における支柱の荷重変形曲線（図－４・２・１）をブラケットの変形挙動モデルとして採用することにした。



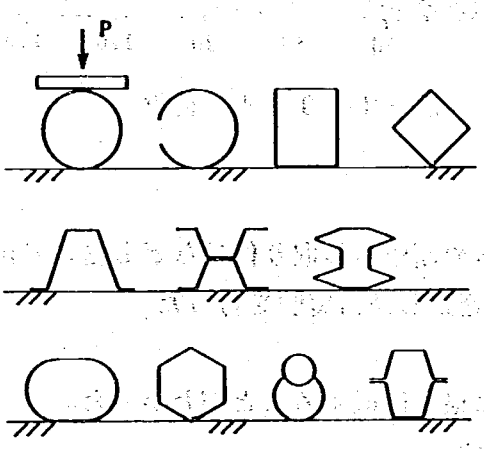
図－４・２・１　荷重－変形の挙動モデル

4．3．静的載荷試験

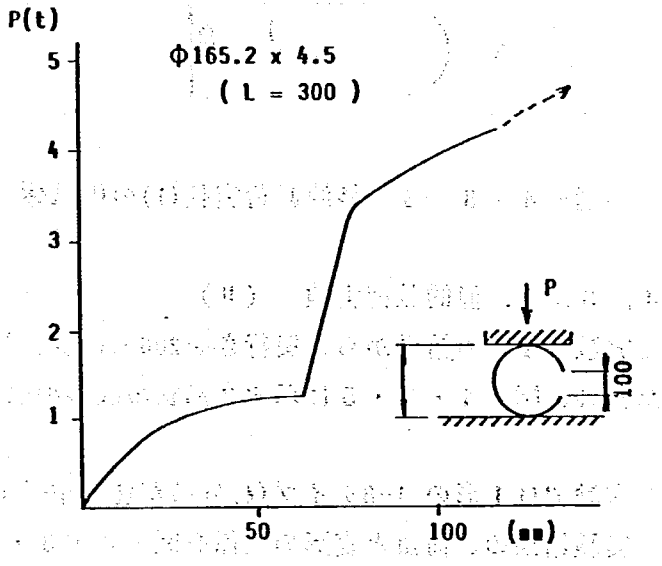
4．3．1．予備静的試験

図－4・2・1の変形挙動モデルに近似する構造を求める足掛かりとして、即入手可能な材料（鋼管・角形鋼管やその加工品、折り曲げ板など）を基に約30種類の供試体を製作し予備的な載荷実験を行った。

図－4・3・1に供試体形状の例、図－4・3・2に代表的な荷重－変形の例を示す。実験から、図－4・3・2に示すようにC型に似た開断面形状が変形挙動モデルに比較的近似することがわかった。



図－4・3・1　予備実験の供試体形状例



図－4・3・2　荷重－変形の挙動図の例

4．3．2．静的載荷実験　（I）

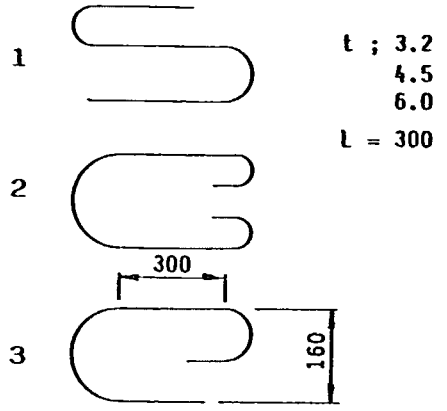
予備実験で得られた個々の形状の挙動の中から、変形挙動モデルに近似するであろうと考えられる曲げ加工タイプの3形状（図－4・3・3）を供試体候補とし、形状設計の条件として以下の2項目を考慮した。

①ブラケット前・後面には、ビームおよび壁面との取り付け部が必要。

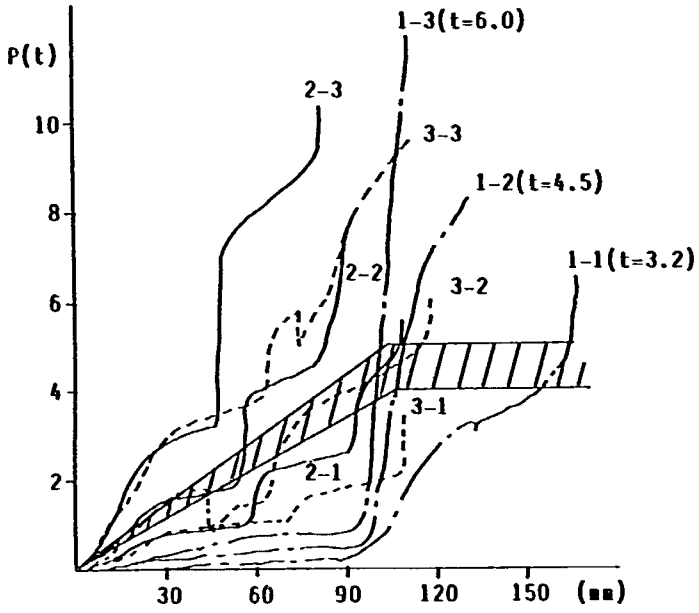
②奥行きは道路の建築限界から160㎜前後とし、高さはビーム幅を考慮して300㎜とする。

実験では、板厚や折り曲げ部の影響で当初期待した変形量が得られなかった。

実験結果の、荷重と変形の関係を図－4・3・4に示す。



図－４・３・３　静的載荷実験(1)の供試体



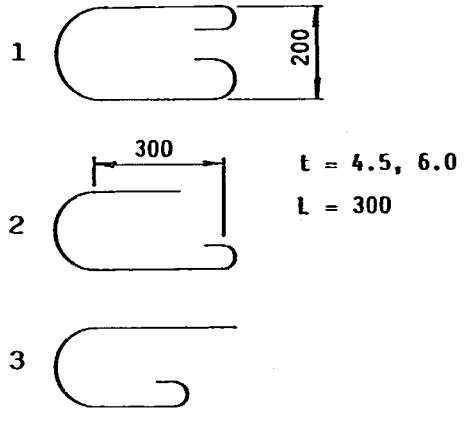
図－４・３・４　荷重－変形

４．３．３．静的載荷実験　（Ⅱ）

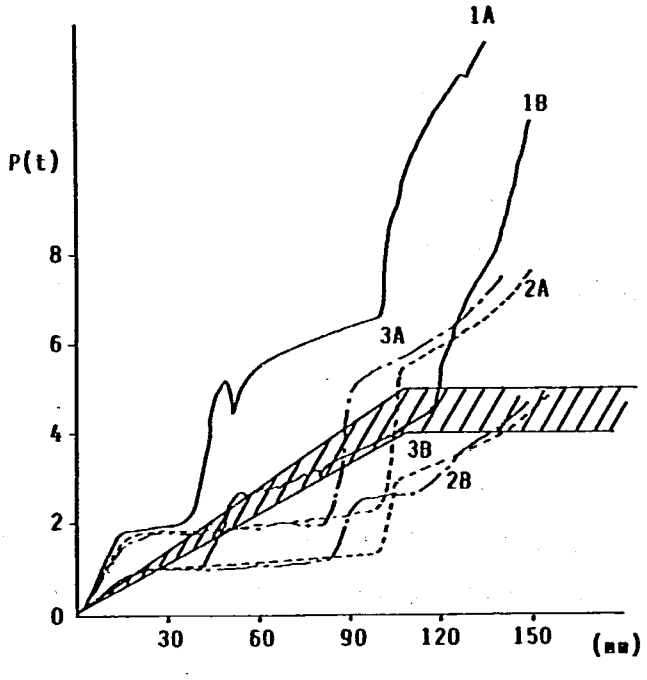
実験（Ⅰ）の結果から、奥行きを200㎜に変更しビームや剛壁への取り付けなども含めて再検討した結果、図－４・３・５に示す３形状の改良型供試体を選定し載荷実験を行った。

実験では１形の 1-Bタイプ(4.5㎜)が変形挙動モデルに最も近似することがわかった。

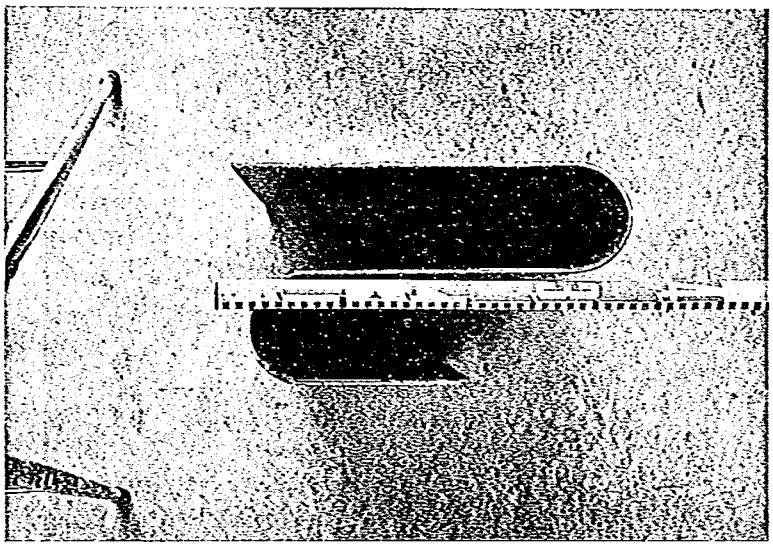
実験結果の、荷重と変形の関係を図－４・３・６に示す.



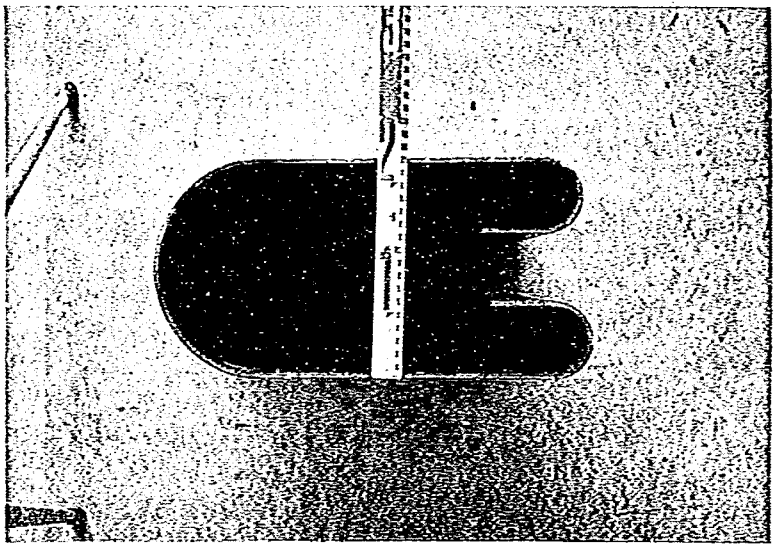
図－４・３・５　静的載荷実験(2)の供試体



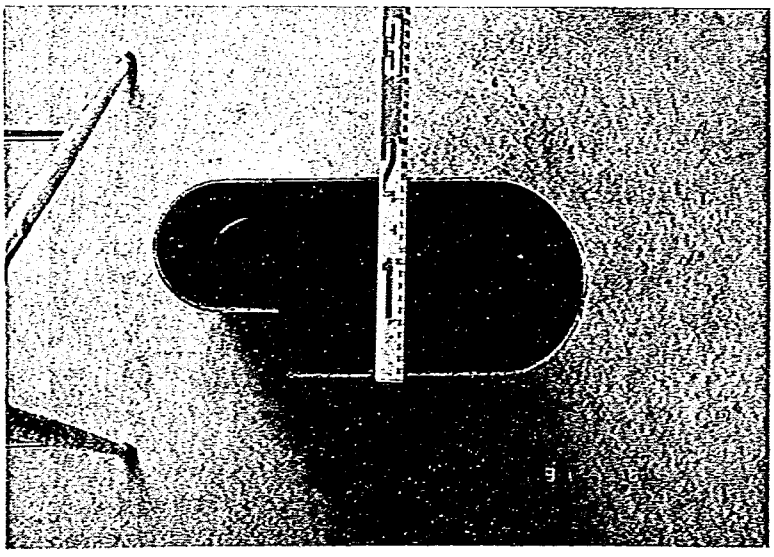
図－４・３・６　荷重－変形



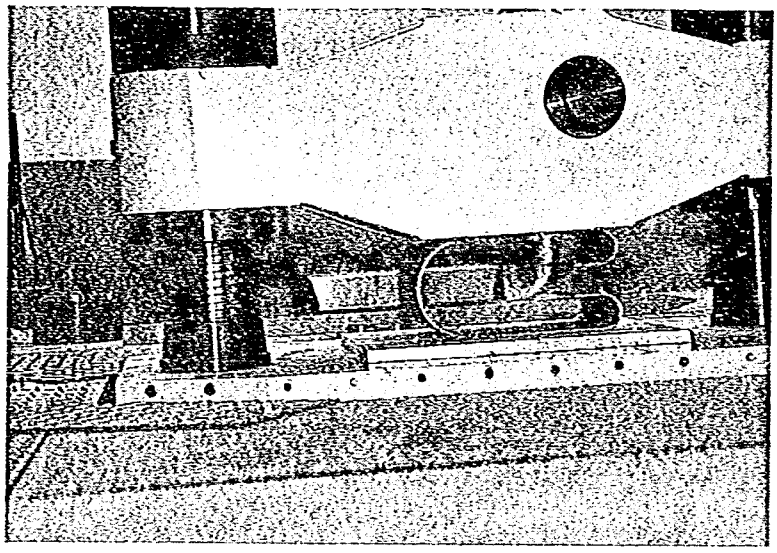
写真－４・３・１　静的載荷実験(No.1)供試体（１型）

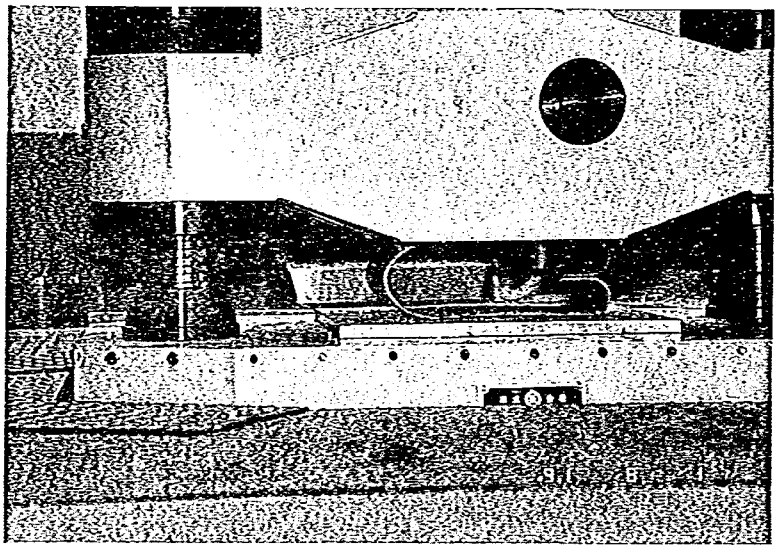


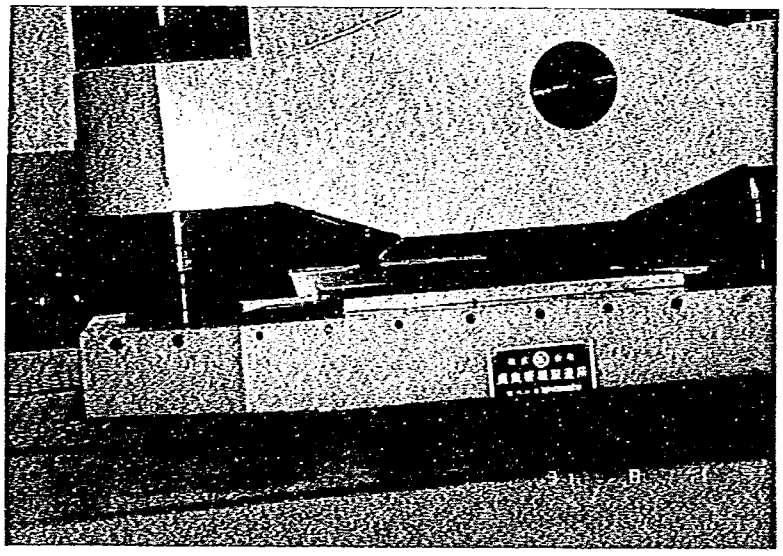
写真－４・３・２　静的載荷実験(No.1)供試体（２型）



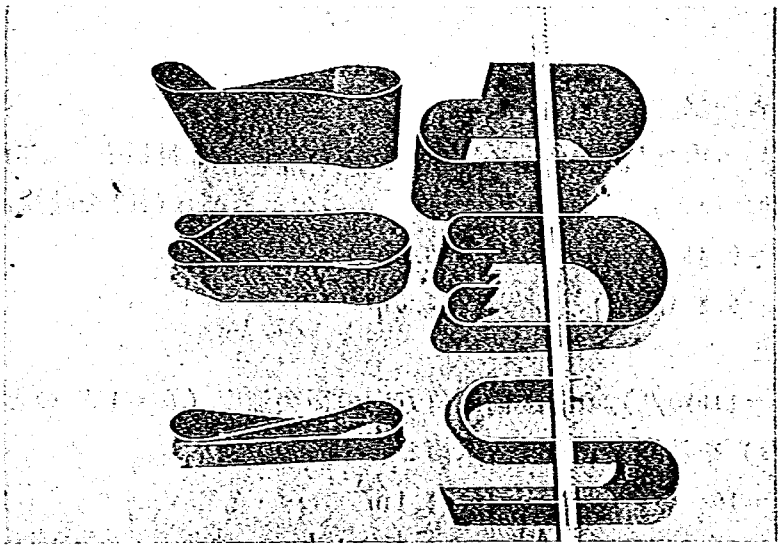
写真－４・３・３　静的載荷実験(No.1)供試体（３型）



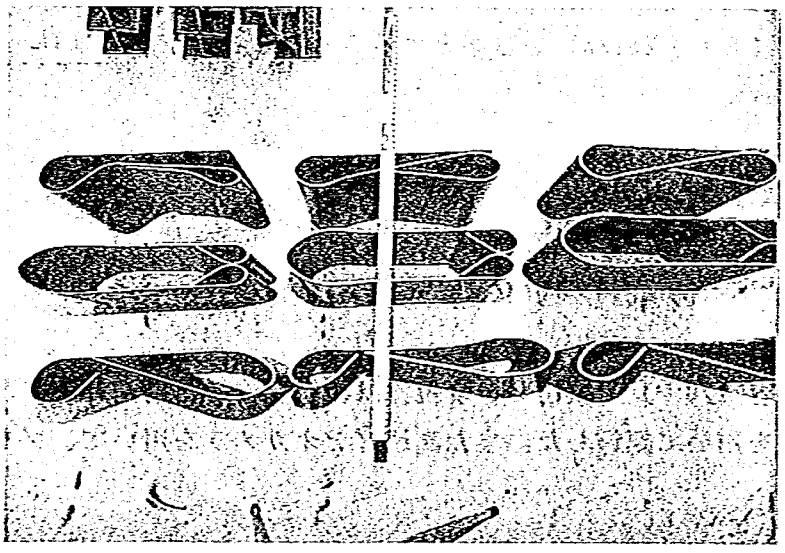




写真－４・３・４　載荷変形例（２型）



写真－４・３・５　各タイプ(4.5㎜)の変形状況



写真－４・３・６　全種類の変形状況

４．４．動的載荷実験

４．４．１．重錘高さと衝撃度

実験装置に付属している重錘(500kg)をブラケット上に落下させ目標とする衝撃度（$\theta=15°$ のときE＝0.45t･m、$\theta=20°$ のときE＝0.8t･m）を得るための重錘高さ(H)を計算より求めると

E＝0.45t･m のとき　H＝0.9m

E＝0.8 t･m のとき　H＝1.6m

となる。

一方、衝突速度（v＝140km/h）の防護柵直角方向の衝突速度（$\theta=15°$ のときv＝10m/s、$\theta=20°$ のときv＝13.3m/s）を基準としてHを求めると

v＝10 m/s のとき　H＝5.1m

v＝13.3m/s のとき　H＝9.0m

となる。

したがって、衝突速度から求めた落錘実験も必要であるが設備能力（Hmax＝5.0m）の制約から、本実験は前述の衝撃度（E＝0.45t･m）を基準とすることとし、落下高さはH＝0.9mを若干上回る以下の条件で実験を行った。

・落錘重量　0.5t

・落下高さ　1.0m

・落錘エネルギー　W･H＝0.5×1.0＝0.5t･m

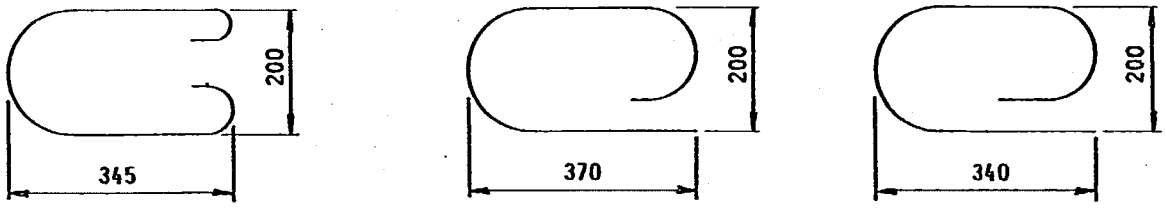
・衝突時の落錘速度　$V=\sqrt{(2gH)}=\sqrt{(2\times9.8\times1.0)}=4.4$m/sec

・計測および記録

荷重はロードセル（容量20t）で検出し、変位量は棒状変位計と動歪計、および電磁オシログラフとデータレコーダーを用いて記録した。また高速ビデオカメラを用いて、ブラケットの変形状況を解析した。

４．４．２．供試体ブラケット

ブラケットは先に実施した静的実験の結果、図－４・４・１の３形状とし、板厚は6.0mm（A）と4.5mm（B）の２種とした。



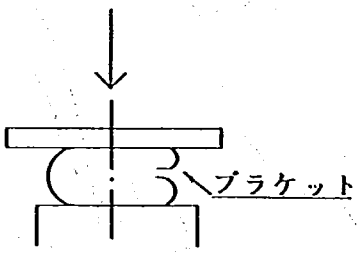
図－４・４・１　供試体ブラケット

１）供試体の構成

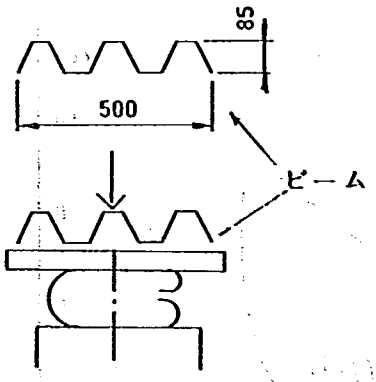
・ブラケット単体に載荷したした場合（図－４・４・２）

・ビームを取り付けた場合（図－４・４・３）

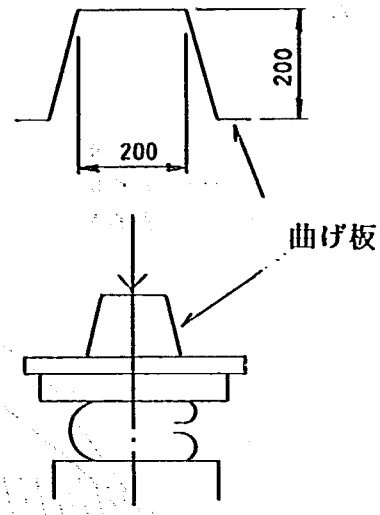
・ビーム上に小型乗用車のボディを想定し厚さ1.6mmの曲げ板を追加した場合（図－４・４・４）



図－４・４・２



図－４・４・３



図－４・４・４

４．４．３．実験結果

実験結果の一覧表を表－４・４・１に、荷重－変形曲線を図－４・４・５，４・４・６に示す。

表－４・４・１　実験結果

No	試験体	重錘エネルギー (t·m)	最大値 荷重 (t) P1	最大値 到達時間 (秒) t1	最大値 加速度 (g)	最大値 到達時間 (秒)	最大値 平均変形量 (cm) δ1 δ2	全衝撃作用時間 (秒) t2
1	1－イ－B	0.5	8.67	0.045	計 12.5 縦 23.0	0.042	132.5	0.068
2	2－イ－A	0.5	8.13	0.057	計 20.5 縦 15.0	0.011	117.3	0.074
3	2－イ－B	0.5	8.40	0.057	計 32.0 縦 18.0	0.006	158.0	0.077
4	3－イ－A	0.5	－	－	－	－	－	－
5	1－ロ－A	0.5	7.33	0.036	計 23.5 縦 9.5	0.006	70.8	0.067
6	1－ロ－B	0.5	8.40	0.062	計 32.5 縦 17.5	0.007 0.058	122.0	0.099
7	2－ロ－A	0.5	6.60	0.053	計 16.0 縦 20.0	0.040	108.0	0.073
8	3－ロ－B	0.5	10.13	0.058	計 16.5 縦 19.5	0.044	135.0	0.090
9	1－ハ－A	0.5	6.93	0.032	計 3.5 縦 14.0	0.074	48.8	0.120
10	2－ハ－B	0.5	5.07	0.118	計 2.0 縦 9.5	0.115	136.5	0.153
11	3－ハ－A	0.5	5.87	0.107	計 3.0 縦 11.5	0.067	82.7	0.150
12	3－ハ－B	0.5	6.00	0.114	計 2.0 縦 11.5	0.079	118.0	0.155
13	4－ハ－B	0.75	11.67	0.075	計 2.5 縦 21.5	0.075	93.3	0.097

注）試験体記号説明
○－○－○
ブラケット板厚 A;6.0cm B;4.5cm
載荷形式 イ;ブラケットのみ ロ;ブラケットに改良ビーム載荷 ハ;ロの緩衝材無し載荷
ブラケット数

１）形状による比較

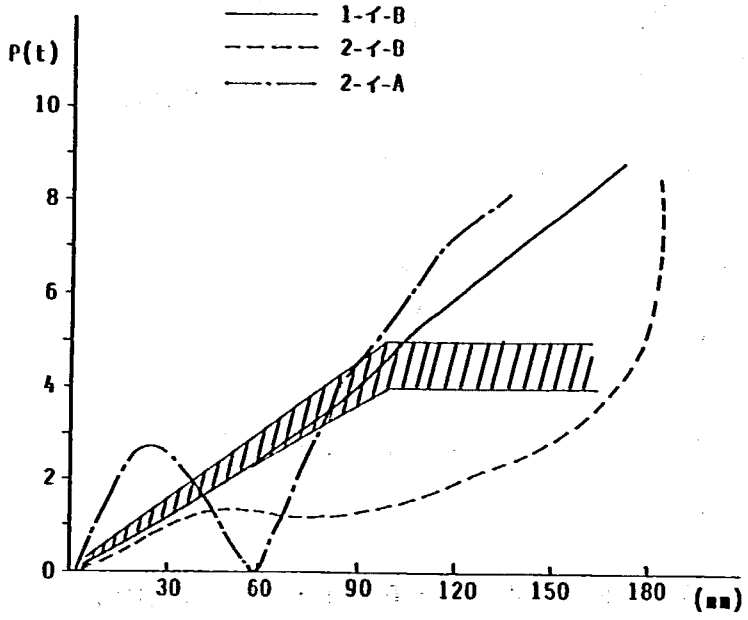
１形が衝突初期から比較的安定した挙動を示した（別紙資料）。

２）板厚の影響

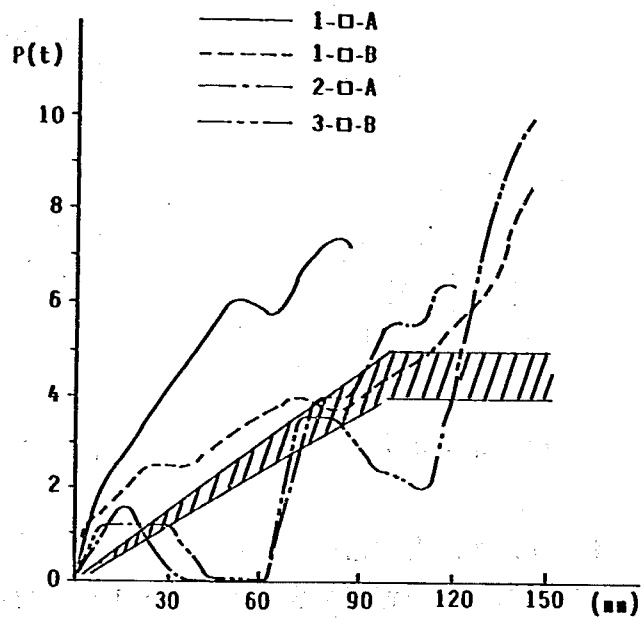
静的載荷実験で荷重は剛性の高い板厚６cmが一貫して4.5cmを上回り、動的載荷実験でもその傾向が見られたが、最大荷重への板厚の影響は認められなかった。

最大変位量については、動的載荷時および残留時共に板厚の影響がみられ、板圧６cmの変形領域は4.5cmに比べて約25～30％狭くなった。加速度についてはバラツキがあり板厚の差による特性はみ

られなかった。



図－４・４・５　荷重－変形曲線



図－４・４・６　荷重－変形曲線

３）ビームおよび曲げ板を付けた場合

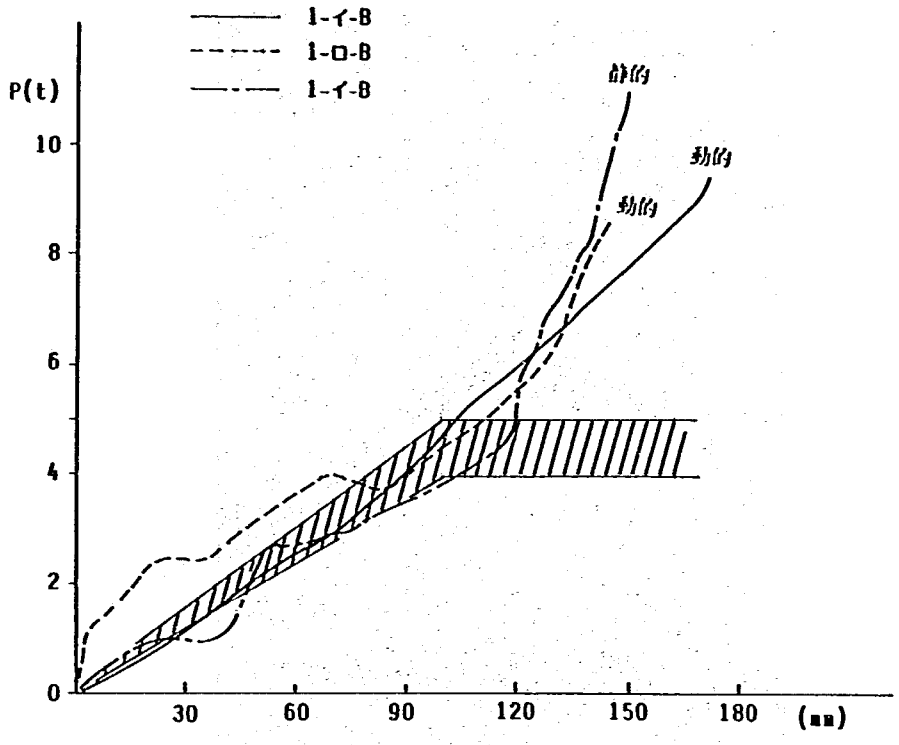
ビームはコルゲーションの効果で剛性が高く、載荷してもブラケットのみが変形した。ブラケット単体の結果と比較してもビームの影響は認められなかった。

曲げ板付きは、特に衝突初期の荷重が低くなり、衝撃を吸収することがわかった。加速度も他のケースに比べ低い値が得られた。

４）静的実験結果との比較

１形の板厚4.5㎜について、静的実験結果と動的実験結果を比較し図－４・４・７に示す。

双方の挙動が全体的に良く相関しているため、静荷重実験から動的な挙動予測の可能性について検討したが、データ数が少ないことや、他の供試体では相関性がみられないことから今後の課題とした。



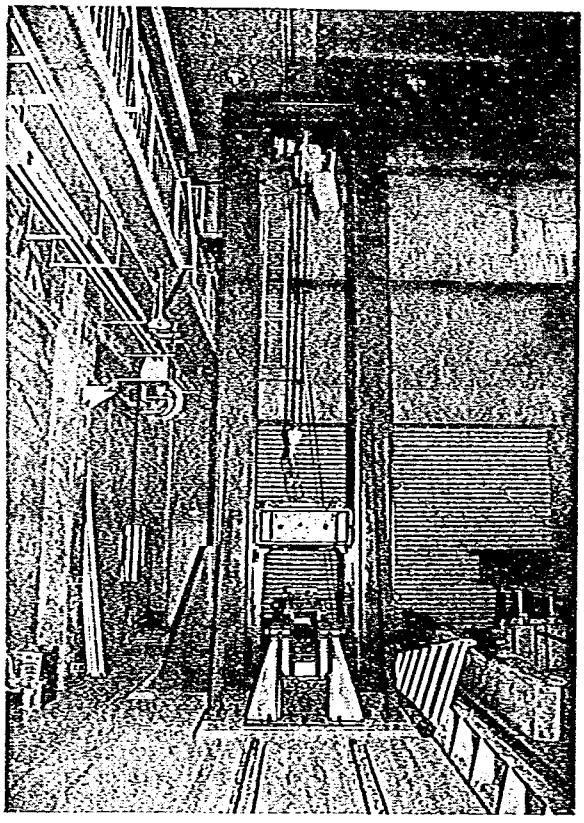
図－４・４・７　静的・動的実験結果の比較例

４．４．４．ブラケットの選択

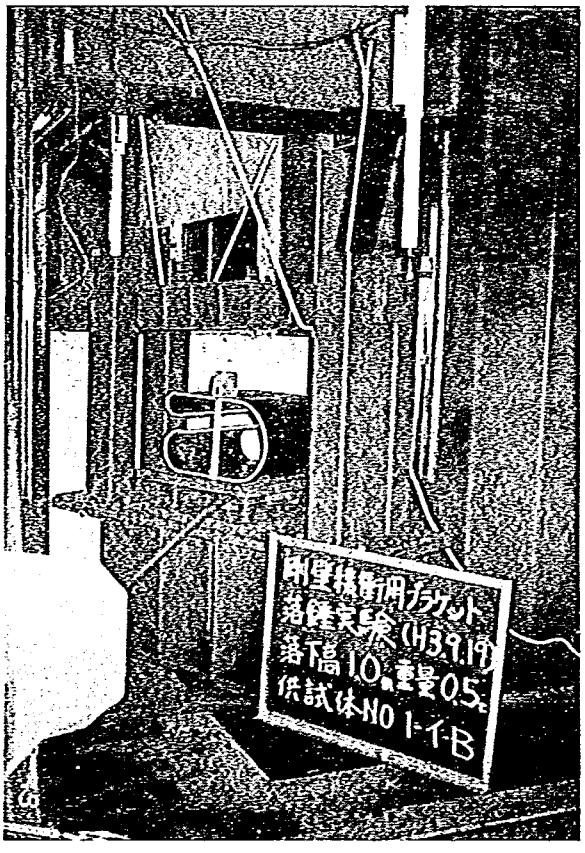
実験結果を防護柵支柱の荷重変形モデル（図中の斜線内）に重ね合せると、図－４・４・５では１－イ－Ｂ、図－４・４・６では１－ロ－Ｂの挙動が近似した．したがって、供試体のブラケットには１－Ｂタイプを選択し衝突実験で検証することにした．

４．４．５．計測方法の課題

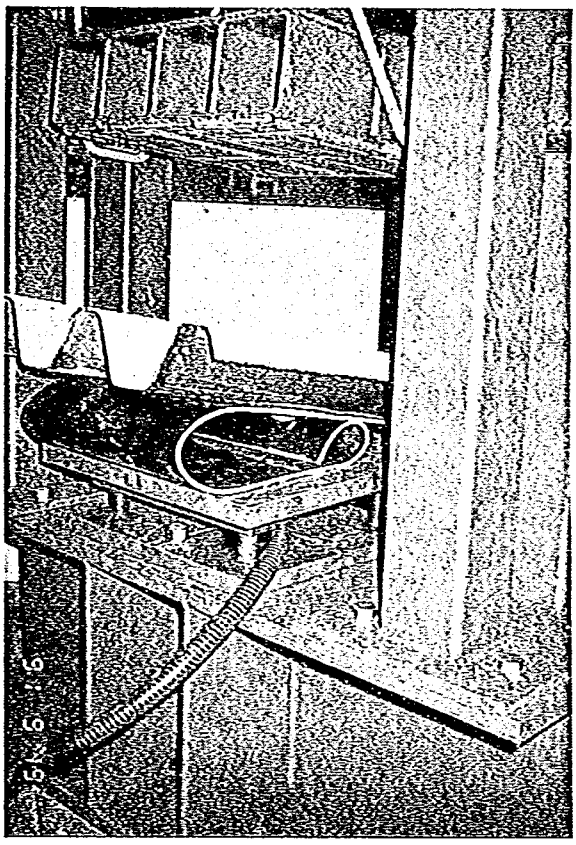
変位量の測定は衝突実験に使用する棒状変位計を使用したが、弾性体のブラケットに重錘を落下させると重錘が予想以上に振動し、変位計端部が損傷したりデータの不良が多発した。このため、高速ビデオからの類推値を一部採用したが、変位計や機器の選定など実験方法の改善が必要と考えられる．



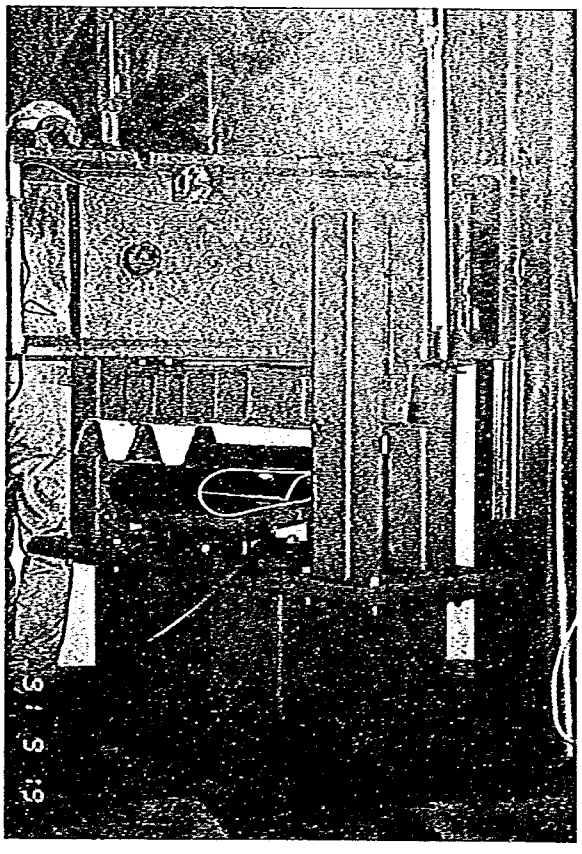
写真－４・４・１　動的載荷装置



写真－４・４・２　載荷治具



写真－４・４・３　載荷後のブラケットの一例



写真－４・４・４　載荷後のブラケット一例

〈付録〉

4.3.2　静的載荷実験　（Ⅰ）

・日時 平成 3年 8月 1日

・場所 土木研究センター(筑波技術研究所)内　200ｔ圧縮試験器

・供試体の選定

4.3.3　静的載荷実験　（Ⅱ）

・日時 平成 3年 8月29，30日

・場所 土木研究センター(筑波技術研究所)内　200ｔ圧縮試験器

・供試体の選定

4.4　落錘による動的載荷実験

・日時　平成 3年 9月19日

・場所　土木研究所 構造実験棟

・落錘試験装置

能力…重錘重量0.5ｔ・1.0ｔ　　落下高さmax5.0m

5．実車衝突実験

5．1．実験目的

今回の実車衝突実験は、前述の静的および動的実験より得られたブラケット構造の衝撃力緩衝効果、およびその時の車両の挙動を確認することを目的として行った。

5．2．衝突条件

衝突条件を表－5・2・1に示す。

表－5・2・1　衝突条件

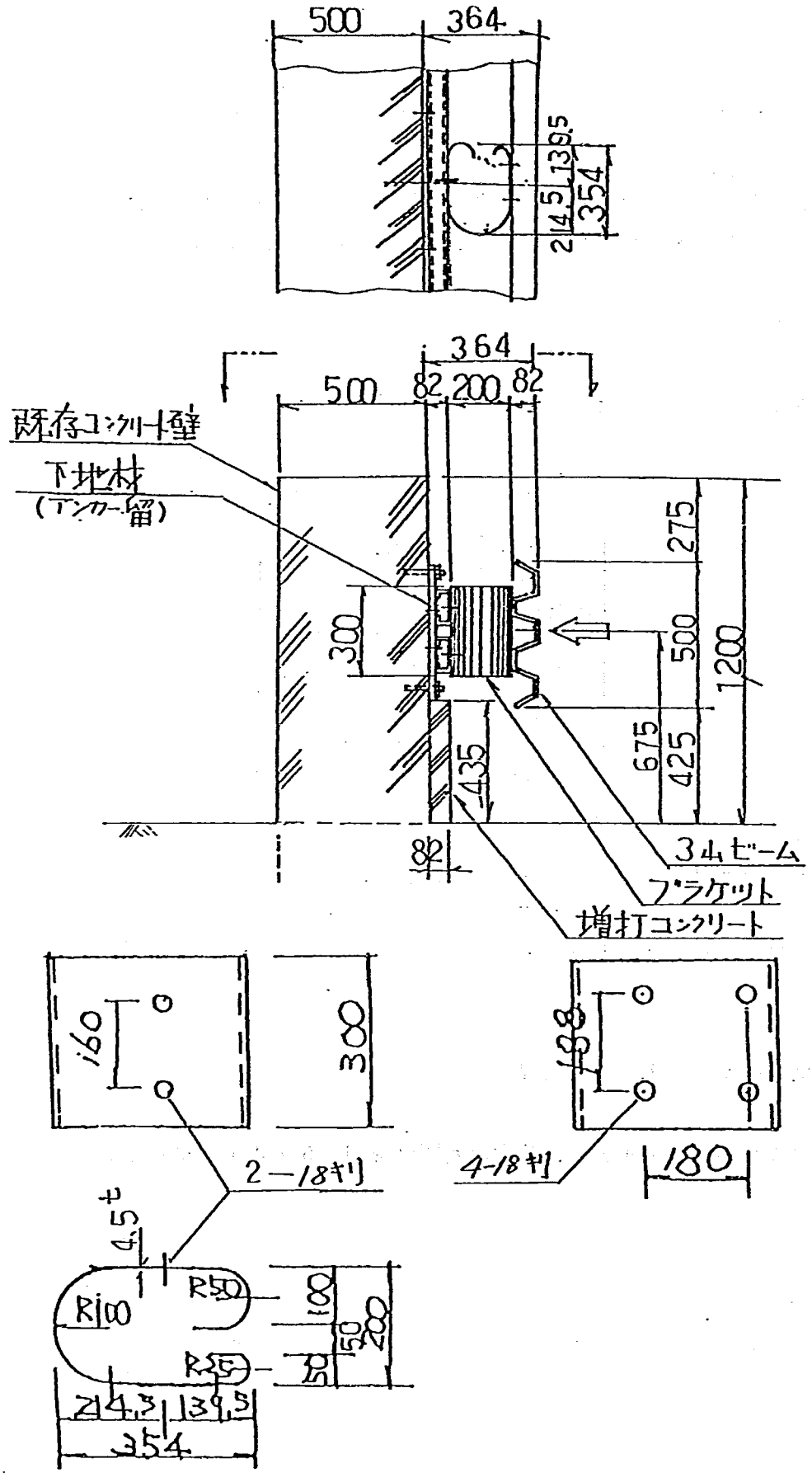
衝突車種	小型乗用車
車両重量	1.1 t
衝突速度	140km/h
衝突角度	20度
衝撃度	9.93t·m[97 kJ]

5．3．供試体構造概要

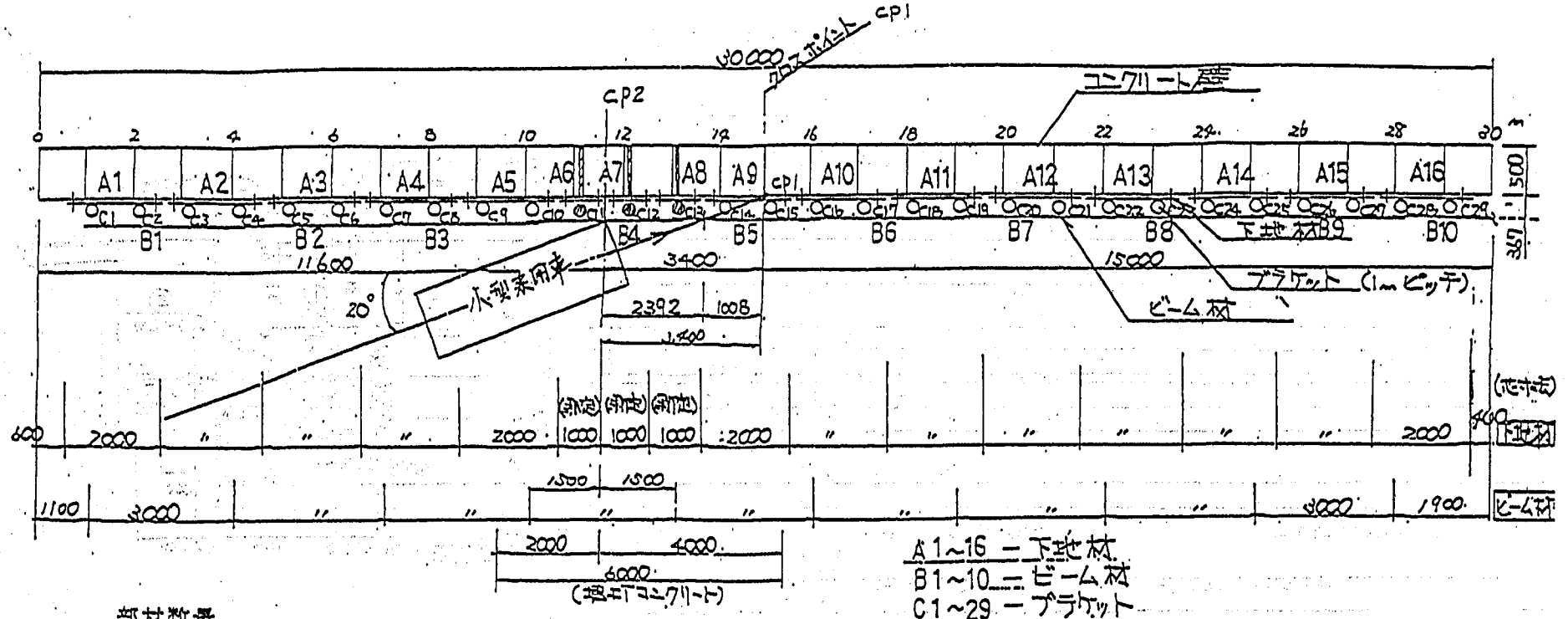
供試体構造を図－5・3・1に示す。

5．4．供試体の配置および計測位置

供試体の配置を図－5・4・1、計測位置関係を図－5・4・2に示す。


500
364
139.5
354
214.5
364
500
82
200
82
既存コンクリート壁
下地材
(アンカー留)
275
500
1200
300
675
425
435
82
34ビーム
ブラケット
増打コンクリート
160
300
138
2-18ヰ
4-18ヰ
180
45
R100
R50
R50
180
150
200
214.5
139.5
354

図－５・３・１　供試体構造



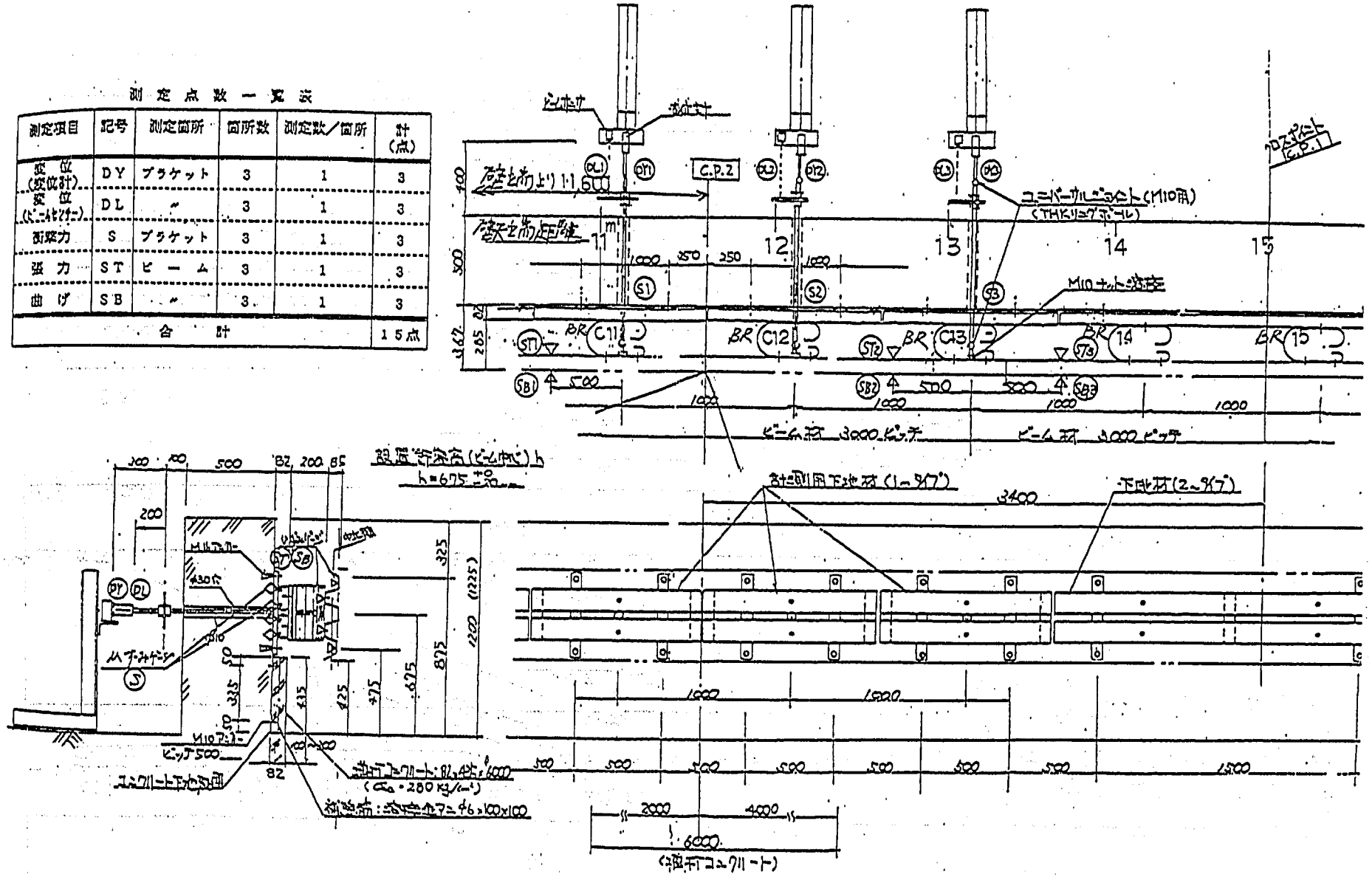
部材数量

名称	寸法	数量	備考
ブラケット	354x200xt4.5xL300	26	一般部
〃	〃	3	測定部（現地加工有り）
ビーム	500x85xt4.0xL3410	10	
ボルトナット	M16x50x(6T)	108	ビーム継手部
〃	〃	104	ビーム取付部
〃	〃	58	下地材取付（6角頭）
下地材	1mタイプ	3	測定用
〃	2mタイプ	13	一般部
アンカー	M16用（めねじタイプ）	64	ホークカットアンカー

図－5・4・1　供試体の配置

測定点数一覧表

測定項目	記号	測定箇所	箇所数	測定数／箇所	計（点）
変位（変位計）	DY	ブラケット	3	1	3
変位（ﾚﾍﾞﾙﾋﾟｯﾁｬｰ）	DL	〃	3	1	3
断面力	S	ブラケット	3	1	3
張力	ST	ビーム	3	1	3
曲げ	SB	〃	3	1	3
合計					15点



図－５・４・２　計測位置

5．5．実験結果および考察

衝突車両は、速度141.2km/h、進入角度20度で衝突し、そのときの衝撃度10.1t・mであった。離脱時にボンネットが開いたまま、角度4度、離脱速度114.9km/hで離脱した。衝突後、車両は自力走行可能な状態であり、防護柵は大きな変形が無かった。

実験結果を表－5・5・1に示す。

表－5・5・1　緩衝用防護柵　実験結果一覧表

					1991.11.13	許容値
実験番号					剛壁緩衝用防護柵	
衝突条件	車両重量（t）				1.1	——
	衝突速度（km/h）				141.2	——
	衝突角度（°）				20	——
	衝撃度（t・m）				10.1	——
離脱速度（km/h）					114.9	105 以上
離脱角度（°）					4	12 以内
ビーム接触長（m）					5.79	——
防護柵最大変位	支柱	直角(Y)方向最大変位（mm）			164	——
		残留	直角(Y)方向（mm）		——	——
			延長(X)方向（mm）		——	——
	直角方向ビーム残留変位（mm）				84	——
最大進入行程（mm）					——	1,100 以内
車両最大傾斜角（°）	前端				5.0	——
	後端				5.0	——
支柱最大水平力（t）					——	——
ビーム最大張力（t）					10.75 [105kN]	64.0 [627kN]
加速度	車両重心	50msec	進行(X)方向（g）		8.2	10
			直角(Y)方向（g）		14.8	5
			垂直(Z)方向（g）		——	——
			合成（g）		16.8	12
HIC値	運転席ダミー				113.5	1,000
	助手席ダミー				338.9	1,000

1）車両誘導性

離脱速度は114.9km/hで、減速度は26.3km/h(141.2-114.9)であり、減速率は19%(1-114.9/141.2)で、参考許容値以下であった。

離脱角度は4度であり、参考許容値の10度以下及び進入角度の60%以下（9度以下）であった。

車輪の最大浮き上がり量は右後輪が10㎜、車体の最大傾斜角は前後端ともに防護柵側へ5度であった。

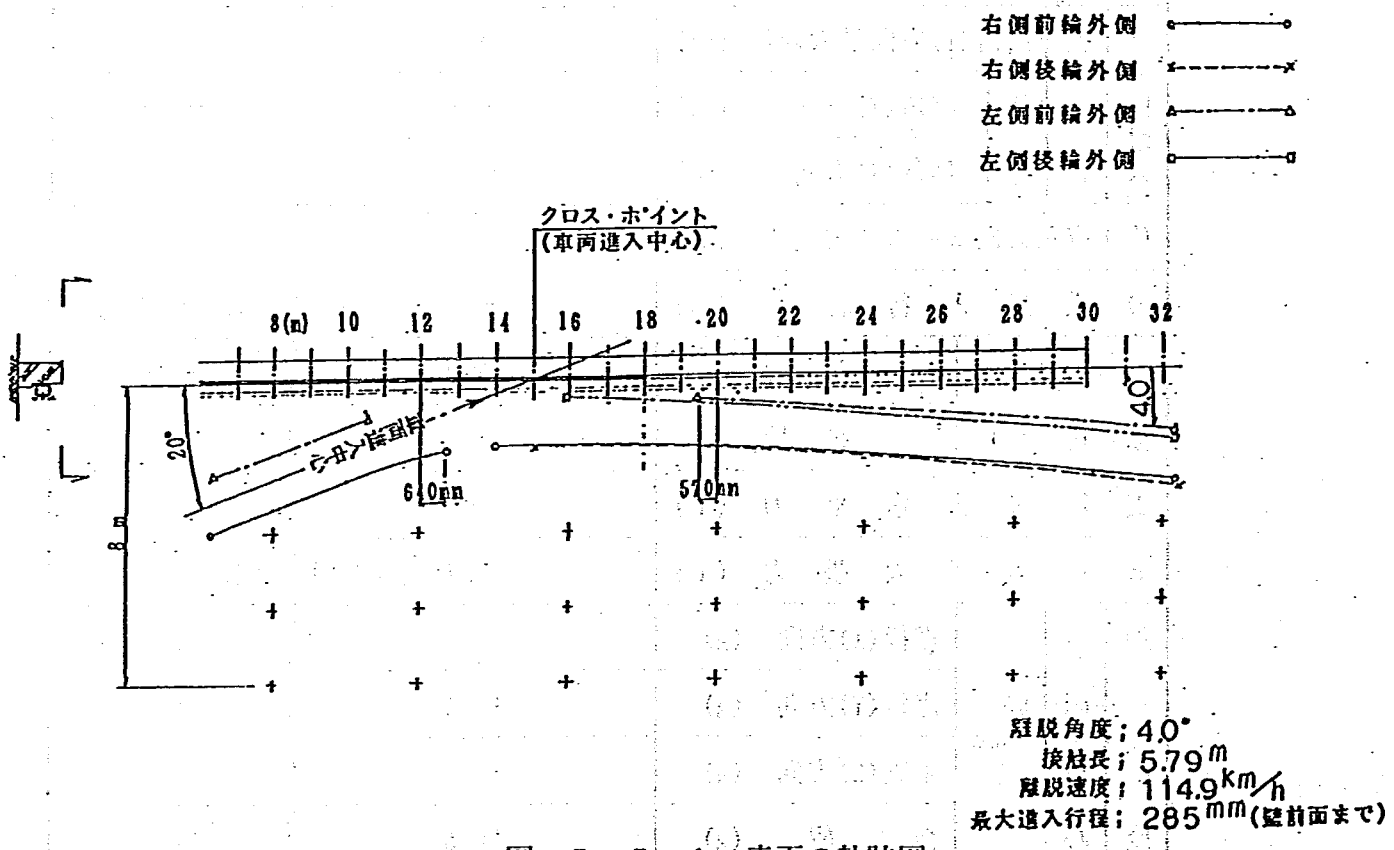
車両の衝突後の挙動は、同一条件のコンクリート直壁に比べて車体の傾き、車輪の浮き上がり量ともに小さく、進行方向へ円滑に方向転換し、小さな角度で離脱した。

表－5・5・2に今回の実験結果と、同一衝突条件で行われたコンクリート剛壁の衝突実験結果の比較を示す。

車両の軌跡を図－5・5・1に示す。

表－5・5・2　コンクリート壁との比較

	離脱速度(km/h)	減速度(km/h)	減速率(%)	離脱角度(°)	浮き上がり量
今回	114.9	26.3	18.6	4.0	右後輪10㎜ 前後輪とも5°
剛性	102.9	36.6	26.2	6.1	右後輪27㎜ 前後輪とも13°



図－5・5・1　車両の軌跡図

2）防護柵強度

ビームの最大発生張力は、0.043秒後にST2(No.12.6)で-10.75tであった。

ブラケットに作用した衝撃力は衝突0.048秒後の前輪衝突時にS3(No.13.1･･･C13)で4.9ｔであった。
表－５・５・３にビーム張力を　表－５・５・４にブラケットの水平力を示す。

表－５・５・３　ビームの張力

測定番号		ST1	ST2	ST3
*)ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄからの距離		+4.5m	+2.5m	+1.5m
張力	(t) (kN)	-4.32 (-42.3)	-10.75 (-105.3)	8.65 (84.8)
測定番号		SB1	SB2	SB3
*)ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄからの距離		+4.5m	+2.5m	+1.5m
曲げ応力	(t･m) (kN･m)	1.12 (10.9)	1.17 (11.5)	2.23 (21.9)

*)クロスポイントまでの距離は、進入側を－、離脱側を＋とした。

表－５・５・４　ブラケットの水平力

測定番号		S1	S2	S3
ｸﾛｽﾎﾟｲﾝﾄからの距離		-4m	-3m	-2m
衝撃力	(t) (kN)	0.7 (6.5)	3.1 (30.8)	4.9 (48.0)

３）防護柵損傷状況

車両の初期衝突位置は、車両進入中心（クロスポイント）手前2.45mであり、全接触長は5.79mであった。

ブラケットの最大変位は、衝突0.075秒後の前輪衝突時にC3で164㎜生じており、ブラケットの最大残留変形位置に一致していた。

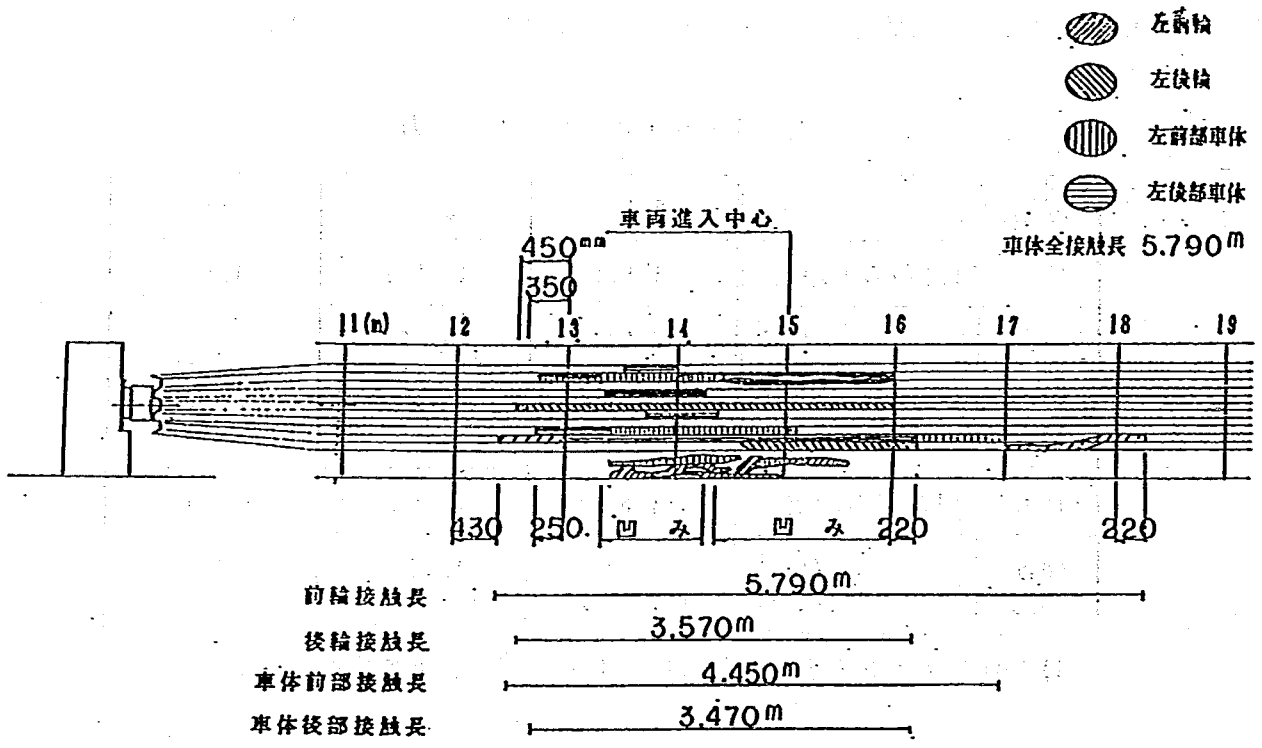
ボルトの破断、取付ボルトの外れ等は生じなかった。

車両の接触跡を図－５・５・２に防護柵の残留変形を図－５・５・３に示す。

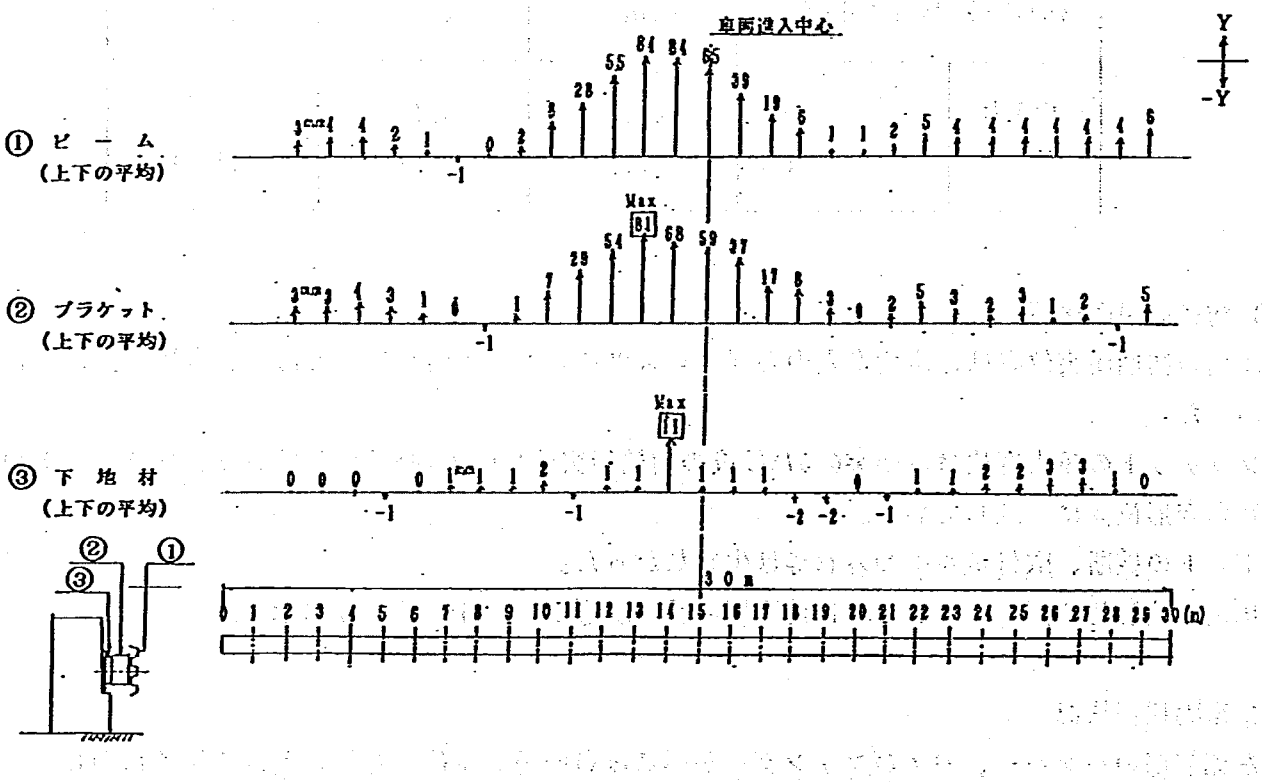
４）車両損傷状況

左側前部のバンパー、およびフェンダーがへこみ(10cm)、車体の左側に前から後ろにかけて３山ビームによる３条のへこみ（平均15cm）が生じていた。また、窓枠が３山ビーム上端凸部により変形したためにフロントガラス、サイドガラス前後が衝突時に損傷した。

足廻りについては、左側前輪がサスペンションの変形のため取りはずれ、自力走行は不可能であった。



図－５・５・２　車両の接触跡



図－５・５・３　防護柵の残留変形

5）乗員の安全性

車両重心の最大加速度は、車両進行方向(X)、同直角方向(Y)ともに、衝突0.055秒後にそれぞれ13.6g、26.2gであった。

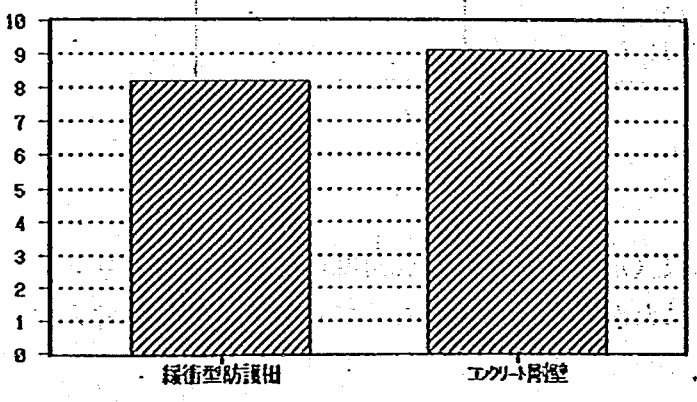
運転席ダミー頭部の最大加速度は、進行方向、直角方向ともに衝突0.1秒後にそれぞれ51.6g、32.3gであった。

一方助手席ダミー頭部の最大加速度は進行方向が衝突0.12秒後に34g、同直角方向が衝突0.09秒後に77.3であった。

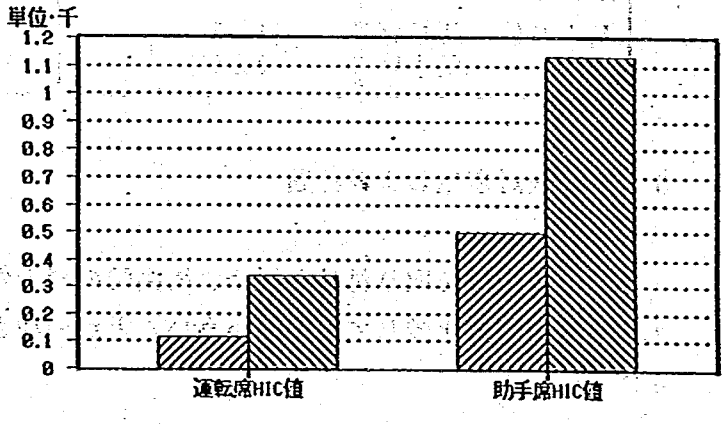
車両重心50msec平均合成値(16.8g)は、基準推奨値の合成値25g以下であった。また、運転席および助手席ダミー頭部のＨＩＣ値（運転席：114、助手席：339）はともに評価値(1,000)以下であり、緩衝材を取り付けたことにより、乗員の安全性は確保された。表－５・５・５にコンクリート剛壁と今回の加速度の一覧表を示す。さらに、グラフ化したものを図－５・５・４、図－５・５・５に示す。

表－５・５・５　加速度一覧表

		X成分値		Y成分値		合成値		ＨＩＣ値	
		今回	剛壁	今回	剛壁	今回	剛壁	今回	剛壁
車両重心	(原波形)	13.6	14.3	26.2	30.1	29.4	30.1		
	(50ms)	8.2	9.1	14.8	16.2	16.8	18.3		
	(有効値)	8.1	9.5	14.5	20.8	16.5	22.7		
運転席ダミー（頭部）		51.6	64.8	32.3	29.6	58.8	68.1	113.5	496.3
助手席ダミー（頭部）		34.0	119.2	77.3	118.2	77.4	159.8	338.9	1131.6
運転席ダミー大腿部					－ kg				



図－５・５・４　車両重心加速度(50ms)の比較



図－５・５・５　ＨＩＣ値の比較

6）考察

この実験結果より、コンクリート直壁に緩衝材を取り付けたことによる衝撃の低減率は、車両重心の原波形合成最大値で3.3%(1-29.4/30.1)、50msec平均合成値で8.2%(1-16.8/18.3)であった。

運転席及び助手席ダミー頭部ＨＩＣ値の低減率は、それぞれ77.2%(1-114/500)、30.0%(1-340/1,132)であった。したがって、本供試体ブラケットを取り付けたことにより緩衝効果が得られることがわかった。

衝突時にフロントガラス、サイドガラスが割れたが、これは車両の窓枠が３山ビームの上端凸部に衝突したためであり、これを防ぐためにはビーム高さを多少下げることが必要と考えられる。

ビーム張力は最大で約11ｔ発生した。３山ビームの耐力は64.0ｔであり、ビームの強度は十分であると考えられる。離脱角度は、同じ衝突条件のコンクリート直壁の実験と比較して、約２度減少し、誘導性は良好であることが確認された。

表－５・５・６　実験結果の比較

	緩衝用防護柵	直壁(ｺﾝｸﾘｰﾄ)	1969の実験(No.7)
車種	小型乗用車	小型乗用車	小型乗用車
車両重量（ｔ）	1.1	1.1	1.3
衝突速度（km/h）	141.2	139.5	87
衝突角度（°）	20	20	20
衝撃度　(t･m)	10.10	9.86	4.54
離脱角度（°）	4.0	6.1	14
離脱速度（km/h）	114.9	102.9	－
接触長　(m)	5.79	4.33	－
車両重心　X(g) (50ms)　Y(g)	8.2 14.8	9.1 16.2	5.5 7.0
ＨＩＣ値　運転席 助手席	113.5 338.9	496.3 1,131.6	－ －

５．６．検討事項および課題

今回の緩衝材を取り付けた場合、衝突時の緩衝効果（加速度値）、離脱角度、離脱速度などコンクリート直壁と比較して安全性が高いことが確認されたが、今後の課題としては以下の項目が考えられる。

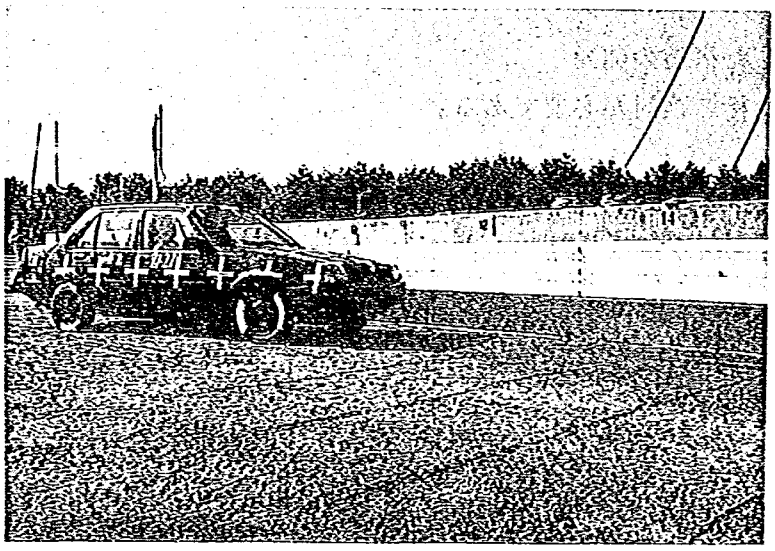
1）緩衝効果の高い構造の開発

今回の実車衝突実験により、緩衝材を設置したときの効果は確認できたが、より緩衝効果の高い

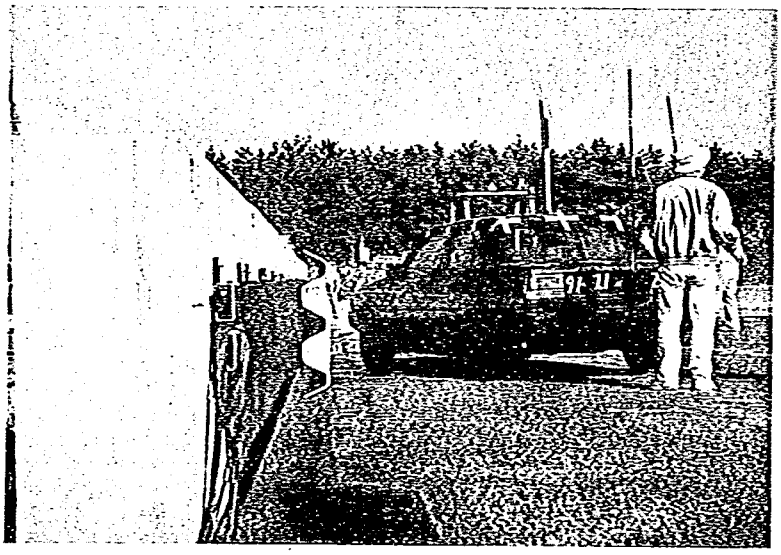
構造が望まれる。

2）施工性を考慮した構造の開発

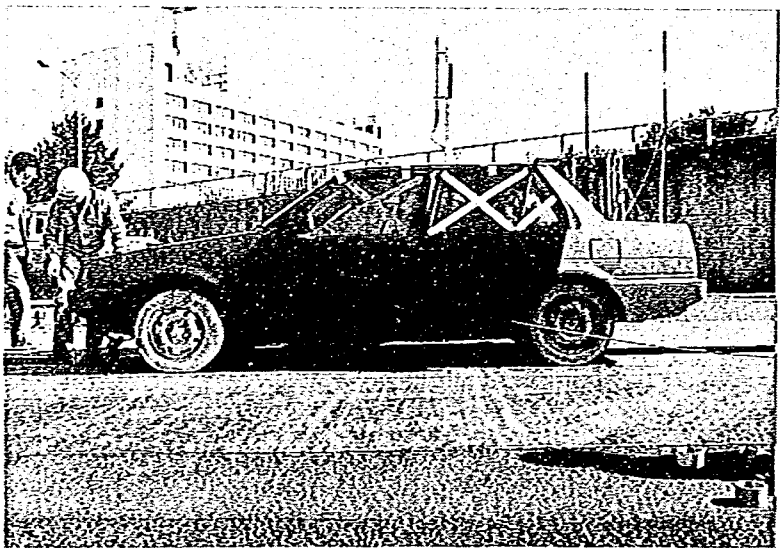
施工性を考慮した構造検討が必要である。



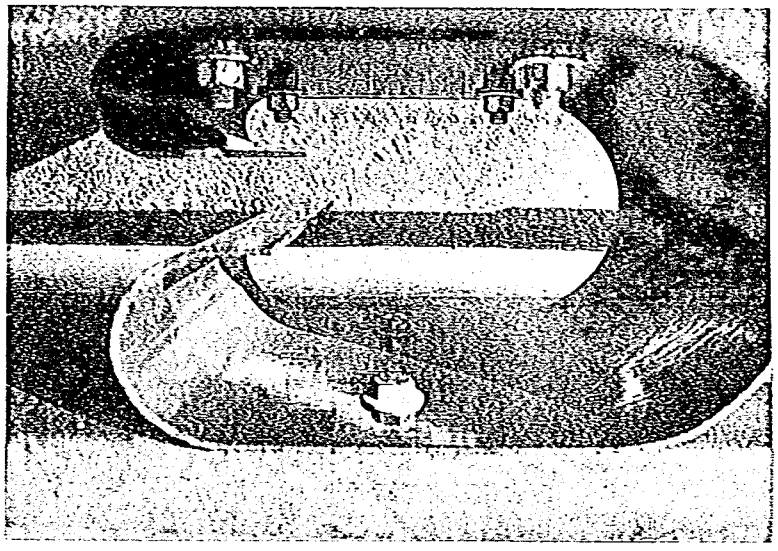
写真－５・１　供試体（緩衝用防護柵）



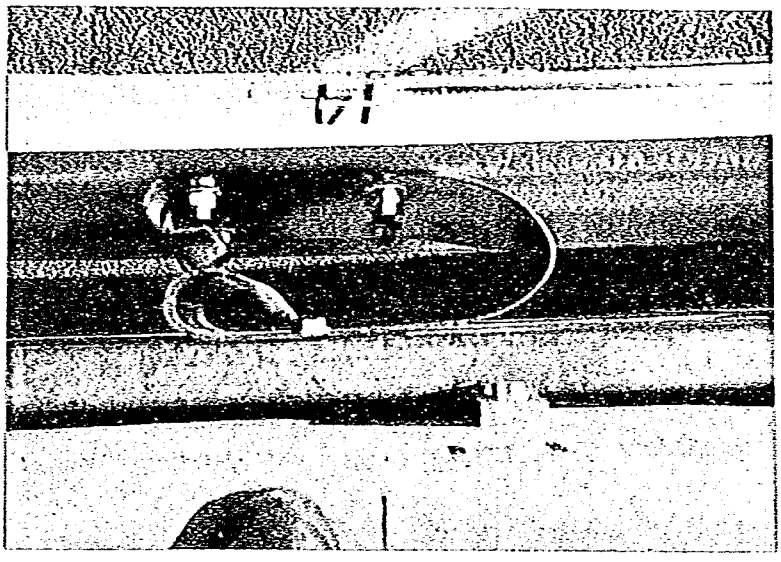
写真－５・２　供試体（緩衝用防護柵）



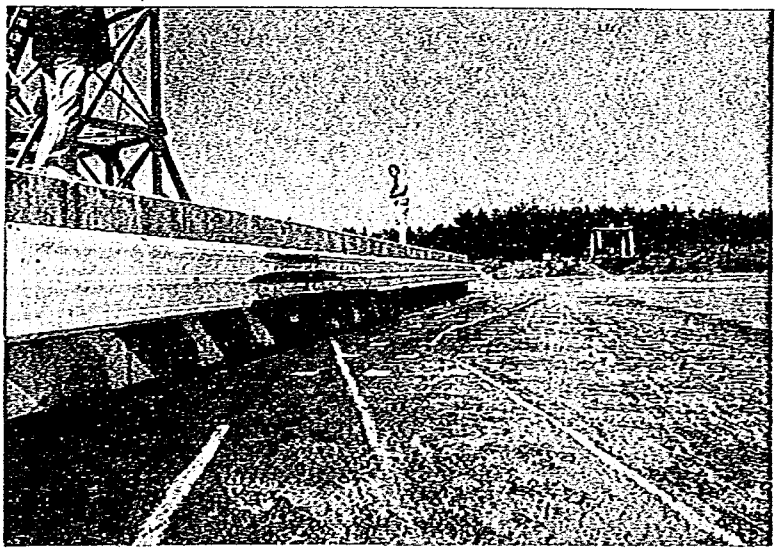
写真－５・３　衝突車両（小型乗用車）



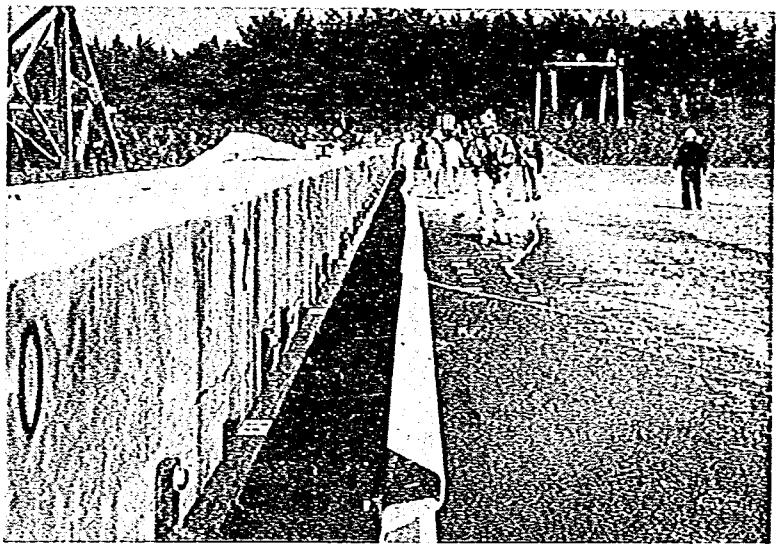
写真－５・４　緩衝用ブラケット衝突前



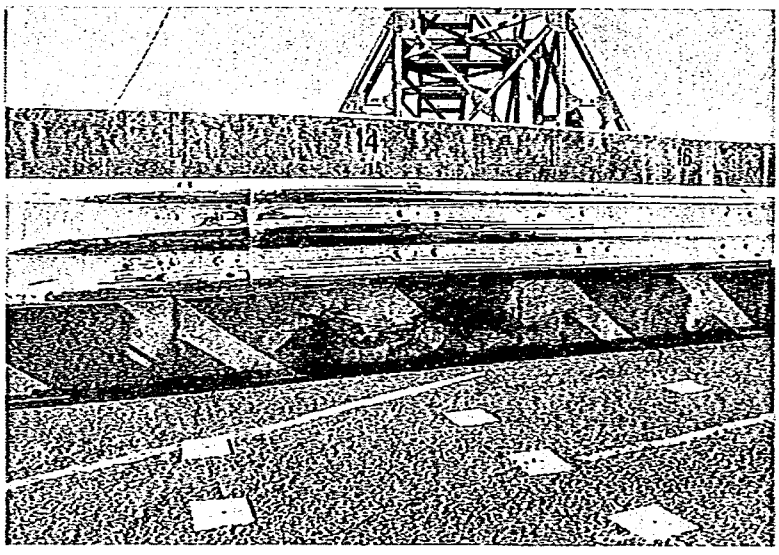
写真－５・５　緩衝用ブラケット衝突後



写真－５・６　衝突後の供試体



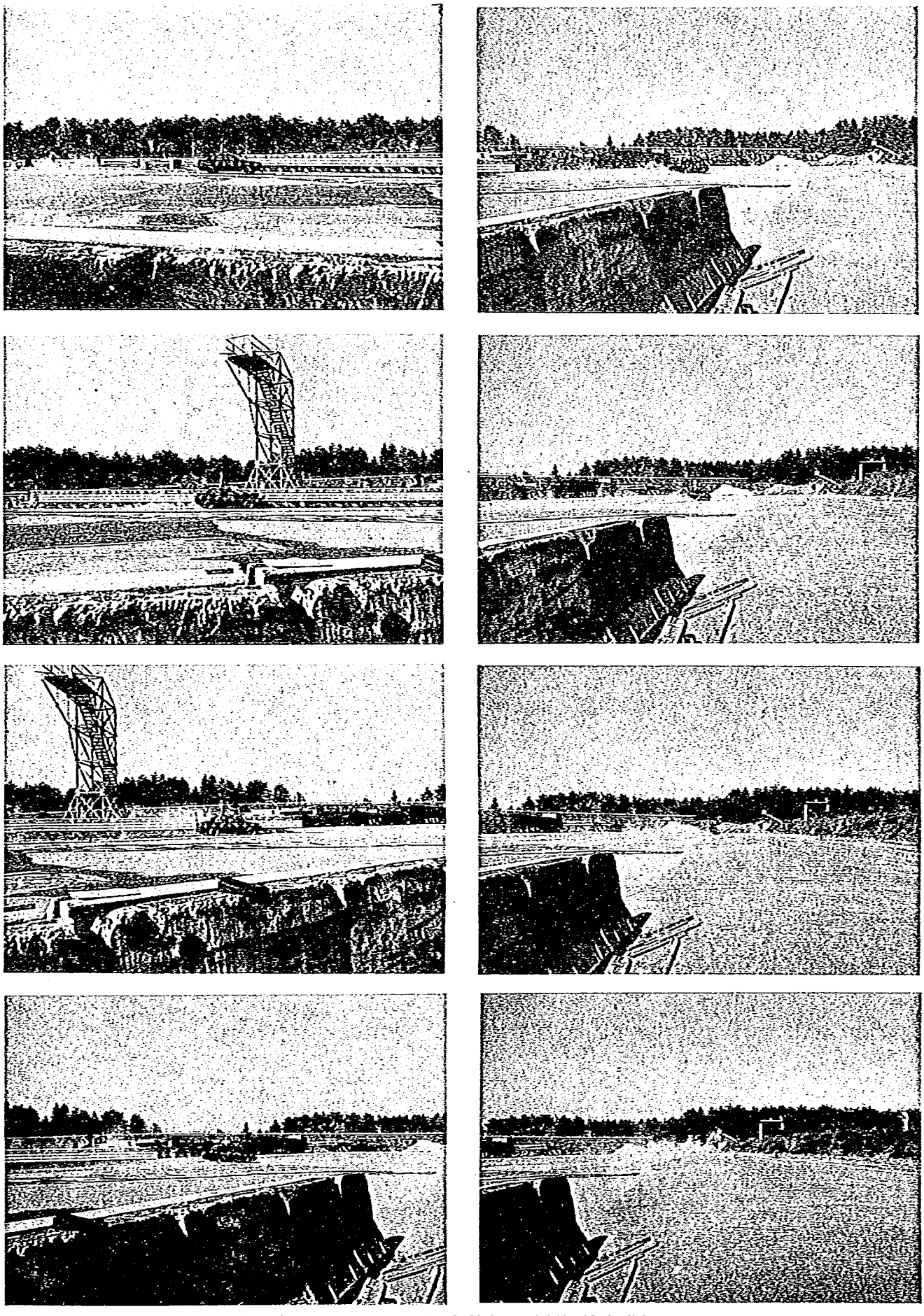
写真－５・７　衝突後の供試体



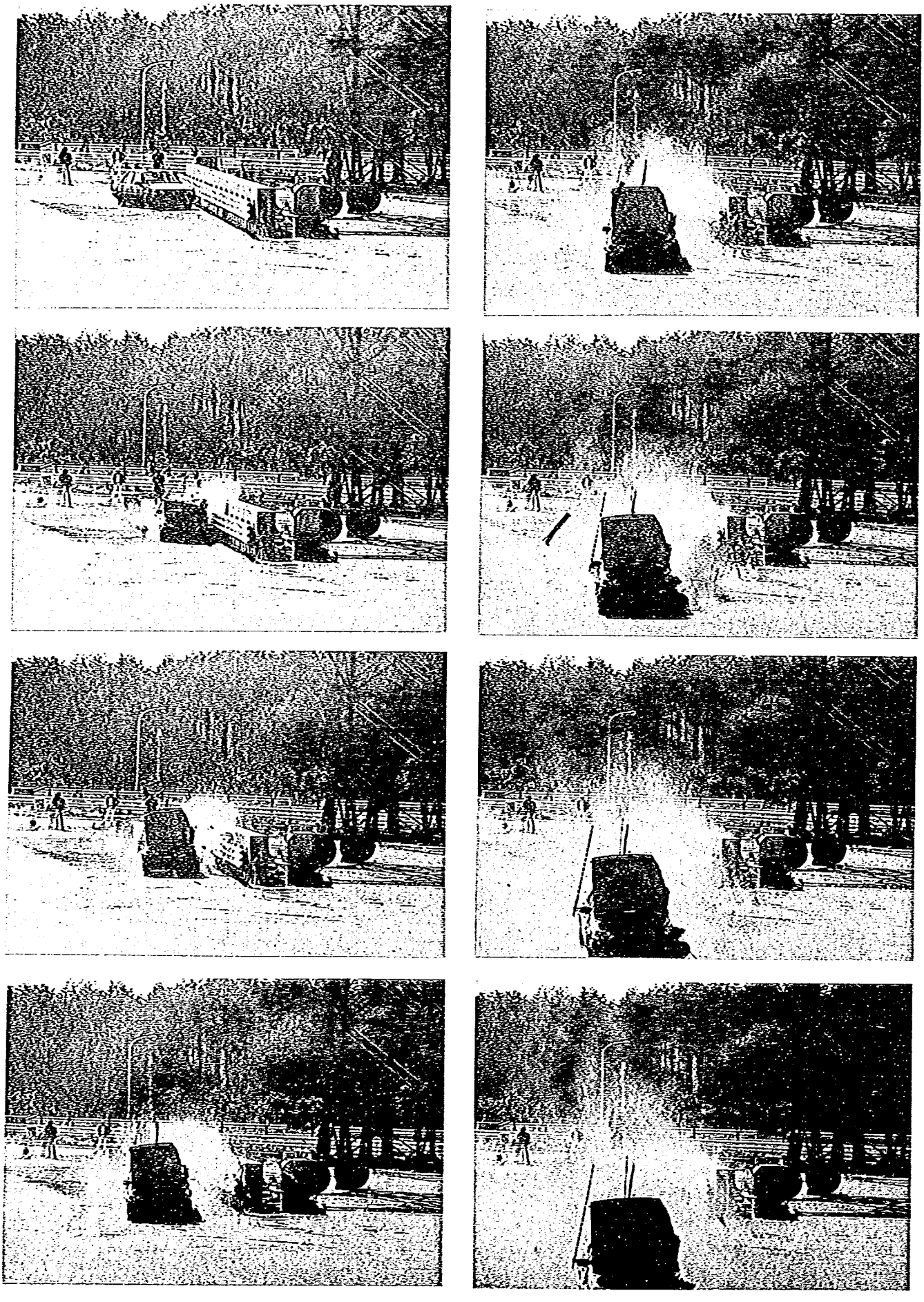
写真－５・８　衝突後の供試体



写真－５・９　衝突後の車両



写真－５・１０　衝突状況（緩衝型防護柵）



写真－５・１１　衝突状況（緩衝型防護柵）

6．まとめおよび今後の検討課題

6．1．緩衝型ガードレール実験結果まとめ

今回開発した緩衝型防護柵は、コンクリート製壁式防護柵に直接衝突する場合に比べて、全ての評価項目で安全側の結果が得られ、安全性が高いことが確認された。

表－6・1・1　評価項目についての緩衝型ガードレールとコンクリート剛壁の比較表

評価項目				緩衝型ガードレール	コンクリート剛壁
離脱速度 (km/h)				114.9（減速率 26.2%）	102.9（減速率 18.6%）
離脱角度 (°)				4.0 （9° 以内）	6.1 （9° 以内）
加速度	車両重心	50 msec 値	進行(X)方向 (g)	8.2	9.1
			直角(Y)方向 (g)	14.8	16.2
			合成 (g)	16.8	18.3
HIC 値		運転席ダミー		113.5	496.3
		助手席ダミー		338.9	1131.6

6．2．衝突シミュレーションについて

剛壁緩衝用防護柵の衝突実験時の値と衝突シミュレーション値とを比較したものを表－6・2・1に示す。以下にシミュレーション値の傾向を示す。

表－6・2・1　実験値とシミュレーション値との比較

項目		①実験値	②ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ値	②／①
離脱速度(km/h)		114.9	101.6	0.88
離脱角度(°)		4	19.2	4.8
動的変位(mm)		164	240	1.46
ﾋﾞｰﾑ最大張力(t)		10.8	14.8	1.37
加速度	進行方向(g)	13.6	17.4	1.28
	直角方向(g)	26.2	22.0	0.84

離脱速度のシミュレーション値は、実験値に比較し-12%であった。Ⅰ編の高速化対応ガードレールでは、 0～+10%の範囲でシミュレーション値の方が大きく、この傾向とは逆であった。

離脱角度のシミュレーション値は、Ⅰ編では対実験値で約２倍程度だったものが、剛壁緩衝用防護柵では、約５倍となった。

防護柵の動的変位は、緩衝装置であるブラケットの幅が200㎜であることから、変形可能な範囲は200㎜以下であるはずだが、シミュレーションでの変形量の設定は無限大であることから200㎜を越える結果となった。

ビーム発生最大張力は、約 1.4倍程度シミュレーション値の方が大きいが、これは実験値として挙げている値が計測の関係上ビーム全体を計測出来ず、ある一部について計測した値であるので、実験値は必ずしも張力の最大値を示していないと考えられる。

車両加速度のシミュレーション値は、対実験比で進行方向は+28%、直角方向は-16%となった。

今回の剛壁緩衝型防護柵は、設置に際して既設構造物区間の建築限界を侵すことが出来ないため変形可能な範囲を約200㎜と想定した。しかし、現在の衝突シミュレーションでは変位を制限することは難しく、変位は従来通り無限大として演算を行った。そのため、実際の衝突実験結果や第Ⅰ編の高速化対応型防護柵の傾向性とは異なり、このような計算結果になったと考えられる。

６．３．今後の課題

今後の課題としては以下のようなことが考えられる。

・衝突時のフロントガラス、サイドガラスの損傷を防止するためにビーム高さを多少下げる
・より緩衝効果の高い構造
・施工性を考慮した構造

あとがき

本研究報告書は、主に平成２～３年度の２年間に行われた高速化対応型鋼製防護柵の研究内容についてとりまとめたものである。車両の高速化・重量化に対応する防護柵として設定した設計条件は、従来の条件とは比べものにならないほど大きく、過去の衝突実験からは予想出来なかった現象も発生し、高エネルギー衝突におけるさまざまな問題点が明らかになった。その問題点を解決するため、支柱実験、衝突シミュレーション、構造計算といった基礎的な検討を行った。以上のようなことから、高エネルギー衝突と防護柵構造の関係について一応の結論が得られた。本研究報告書は、中間報告であるが、これまで得られた成果は、今後の防護柵研究に非常に重要な資料となると考えられる。

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

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

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）日本道路協会　「防護柵設置要綱・資料集」　昭和６１年７月
3）日本道路協会　「道路構造令の解説と運用」　昭和５８年２月
4）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
5）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
6）建設省土木研究所　「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」
共同研究報告書第４１号　昭和４７年３月
7）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
8）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３０４７号
平成４年２月
9）建設省土木研究所　「防護柵衝突実験結果報告書」　土木研究所資料第３１０８号
平成４年２月
10）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
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２４５０号
昭和６２年２月
12）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
13）土木研究センター　「欧州防護柵技術調査報告」　平成元年３月
14）鋼材倶楽部　「欧州道路安全施設調査報告書」　平成５年１月
15）日本道路公団　「設計要領」第４集
16）自動車技術会　「１９９０年度版自動車諸元表」　平成２年４月
17）LOCATION SELECTION, AND MAINTENANCE OF HIGHWAY TRAFFIC BARRIERS.
NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 118.
HIGHWAY RESEACH BOARD. 1971
18）RECOMMENDED PROCEDURES FOR THE SAFETY PERFORMANCE EVALUATION OF HIGHWAY APPURTENANCE.
NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 230.
TRANSPORTATION RESEACH BOARD .1981
19）FEDERAL MORTOR VEHICLE SAFETY STANDARD NO.208.
NATIONAL HIGHWAY SAFETY ADMINISTRATION. SEPTEMBER 1986

付録1　資料編

付．1．1　衝突シミュレーション
付．1．2　支柱実験データ
付．1．3　供試体の設計図面
付．1．4　実験結果総括表

付．１．１　衝突シミュレーション

実験1

実験日：'90.10.11　防護柵：Ｇｒ－ＳＳ　車両：日野ＫＦ７６６

項目		数値	項目		数値	項目		数値
コントロールデータ	KIND	2	防護柵関係	NHON	10	防護柵関係	ADISP1	0.002
	M	50		EI	57.12		2	0.02
	IPRT	0		MO	1.60		3	0.2
	NOUT			CFK	280.		4	0.5
	ITMAX			CRK	0.		5	0.7
	JUMP			PX	0.5		6	0.8
	NCSP	1		DP	1.		7	0.9
	ICHK	100		PFM	4.00		8	1.0
	H	0.02		MHON	0		9	1.1
	HANKEI	2000.		RAILK	0.		10	
	EPS1			THADAN	150.		11	
	EPS2			PTANB	4.00		12	
衝突車関係	L1	4.4565		RCOL	1.6		13	
	L2	1.5085		ACOL	0.25		14	
	A1	5.8665		DELTV	1.6		15	
	A2	5.0585		TINTAL		衝突条件	V	100.0
	B1	1.245		PDELT1	4.00		TH	15.0
	B2	1.245		2	4.00			
	W1	1.00		3	4.00			
	W2	0.9350		4	4.00			
	WR	0.4623		5	0.089			
	DU	4.3945		6	1.998			
	R2	11.700		7	1.999			
	CW	20.0		8	2.0			
	CK1	50.0		NL	2			
	CK2	100.0		ND	9			
	CK3	50.0		AFR				
	CK4	50.0		AKD				
	FWC	0.1		ABACK				
	FWC2	0.2		ALENG1	0.			
	FM	0.7		2	0.5			
	TETAS			3				
	TETAF			4				
	C1	5.8665		5				
	C2	3.9942		6				
	C3	0.4112		7				
	C4	2.6058		8				
				9				
				10				

実験2

実験日：'91. 2. 6　防護柵：Ｇｒ－ＳＳ改良１型　車両：日野Ｋ－ＫＦ７６７

項目		数値	項目		数値	項目		数値
コントロールデータ	KIND	2	防護柵関係	NHON	14	防護柵関係	ADISP1	0.002
	M	50		EI	109.41		2	0.02
	IPRT	0		MO	2.85		3	0.2
	NOUT			CFK	300.		4	0.5
	ITMAX			CRK	0.		5	0.7
	JUMP			PX	0.5		6	0.8
	NCSP	1		DP	1.		7	0.9
	ICHK	100		PFM	6.00		8	1.0
	H	0.02		MHON	0		9	1.1
	HANKEI	2000.		RAILK	0.		10	
	EPS1			THADAN	200.		11	
	EPS2			PTANB	6.00		12	
				RCOL	1.6		13	
				ACOL	0.45		14	
				DELTV	1.6		15	
				TINTAL		衝突条件	V	100.0
				PDELT1	6.00		TH	15.0
				2	6.00			
				3	6.00			
				4	6.00			
				5	0.133			
				6	1.998			
				7	1.999			
				8	2.0			
				NL	2			
				ND	9			
				AFR				
				AKD				
				ABACK				
				ALENG1	0.			
				2	0.5			
				3				
				4				
				5				
				6				
				7				
				8				
				9				
				10				
衝突車関係	WR	0.4250						
	DU	4.7220						
	R2	11.150						
	CW	20.0						
	CK1	50.0						
	CK2	100.0						
	CK3	50.0						
	CK4	50.0						
	FWC	0.1						
	FWC2	0.2						
	FM	0.7						
	TETAS							
	TETAF							
	C1	5.8720						
	C2	3.9997						
	C3	0.3697						
	C4	2.5640						

実験3

実験日：'91. 3.12　防護柵：Ｇｒ－ＳＳ改良１型　車両：日野Ｋ－ＫＦ５６５

項目		数値	項目		数値	項目		数値
コントロールデータ	KIND	2	防護柵関係	NHON	14	防護柵関係	ADISP1	0.002
	M	50		EI	109.41		2	0.02
	IPRT	0		MO	2.85		3	0.2
	NOUT			CFK	300.		4	0.5
	ITMAX			CRK	0.		5	0.7
	JUMP			PX	0.5		6	0.8
	NCSP	1		DP	1.		7	0.9
	ICHK	100		PFM	6.00		8	1.0
							9	1.1
	H	0.02		MHON	0		10	
	HANKEI	2000.		RAILK	0.		11	
	EPS1			THADAN	200.		12	
	EPS2			PTANB	6.00		13	
				RCOL	1.6		14	
衝突車関係	L1	4.4320		ACOL	0.45		15	
	L2	1.5330		DELTV	1.6	衝突条件	V	100.0
	A1	5.8420		TINTAL			TH	20.0
	A2	5.4680						
	B1	1.245		PDELT1	6.00			
	B2	1.245		2	6.00			
	W1	1.00		3	6.00			
	W2	0.9350		4	6.00			
				5	0.133			
	WR	0.4620		6	1.998			
	DU	4.6920		7	1.999			
	R2	11.578		8	2.0			
	CW	20.0						
	CK1	50.0		NL	2			
	CK2	100.0		ND	9			
	CK3	50.0		AFR				
	CK4	50.0		AKD				
				ABACK				
	FWC	0.1						
	FWC2	0.2		ALENG1	0.			
	FM	0.7		2	0.5			
	TETAS			3				
	TETAF			4				
				5				
	C1	5.8420		6				
	C2	3.9697		7				
	C3	0.8980		8				
	C4	3.0926		9				
				10				

実験4

実験日：'91.12.19　防護柵：Ｇｒ－ＳＳ改良２型　車両：ニッサンディーゼルＰ－ＣＤ４６Ｕ

項目		数値	項目		数値	項目		数値
コントロールデータ	KIND	2	防護柵関係	NHON	14	防護柵関係	ADISP1	0.002
	M	50		EI	109.41		2	0.02
	IPRT	0		MO	2.85		3	0.2
	NOUT			CFK	300.		4	0.5
	ITMAX			CRK	0.		5	0.7
	JUMP			PX	1.0		6	0.8
	NCSP	1		DP	2.		7	0.9
	ICHK	100		PFM	6.00		8	1.0
							9	1.1
	H	0.02		MHON	0		10	
	HANKEI	2000.		RAILK	0.		11	
	EPS1			THADAN	200.		12	
	EPS2			PTANB	6.00		13	
				RCOL	1.6		14	
衝突車関係	L1	4.6120		ACOL	0.45		15	
	L2	1.5680		DELTV	1.6	衝突条件	V	100.0
	A1	6.0720		TINTAL			TH	20.0
	A2	5.4180						
	B1	1.245		PDELT1	6.00			
	B2	1.245		2	6.00			
	W1	1.01		3	6.00			
	W2	0.9300		4	6.00			
				5	0.133			
	WR	0.4623		6	1.998			
	DU	6.3563		7	1.999			
	R2	12.500		8	2.0			
	CW	20.0						
	CK1	50.0		NL	2			
	CK2	100.0		ND	9			
	CK3	50.0		AFR				
	CK4	50.0		AKD				
				ABACK				
	FWC	0.1						
	FWC2	0.2		ALENG1	0.			
	FM	0.7		2	1.0			
	TETAS			3				
	TETAF			4				
				5				
	C1	6.0720		6				
	C2	4.1497		7				
	C3	0.4557		8				
	C4	2.6803		9				
				10				

実験5

実験日：'92. 1.30　防護柵：Ｇｒ－ＳＳ背面ビーム型　車両：いすずＳＳＭ６８０

項目		数値
コントロールデータ	KIND	1
	M	50
	IPRT	0
	NOUT	
	ITMAX	
	JUMP	
	NCSP	1
	ICHK	100
	H	0.02
	HANKEI	2000.
	EPS1	
	EPS2	
衝突車関係	L1	4.5101
	L2	1.5899
	A1	6.0701
	A2	5.5799
	B1	1.245
	B2	1.245
	W1	1.00
	W2	0.9200
	WR	0.4623
	DU	4.5968
	R2	12.510
	CW	20.0
	CK1	50.0
	CK2	100.0
	CK3	50.0
	CK4	50.0
	FWC	0.1
	FWC2	0.2
	FM	0.7
	TETAS	
	TETAF	
	C1	6.0701
	C2	4.0478
	C3	0.4776
	C4	2.7022

項目		数値
防護柵関係	NHON	14
	EI	57.12
	MO	1.60
	CFK	280.
	CRK	150.
	PX	0.50
	DP	1.0
	PFM	6.00
	MHON	0
	RAILK	0.
	THADAN	200.
	PTANB	6.00
	RCOL	1.6
	ACOL	0.45
	DELTV	1.6
	TINTAL	
	PDELT1	6.00
	2	6.00
	3	6.00
	4	6.00
	5	0.133
	6	1.998
	7	1.999
	8	2.0
	NL	2
	ND	8
	AFR	
	AKD	
	ABACK	
	ALENG1	0.
	2	0.50
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	

項目		数値
防護柵関係	ADISP1	0.002
	2	0.20
	3	0.5
	4	0.7
	5	0.8
	6	0.9
	7	1.0
	8	1.1
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
衝突条件	V	100.0
	TH	20.0

実験6

実験日：'92. 4.16　防護柵：Ｇｒ－ＳＳ改良３型　車両：ニッサンディーゼルＫ－ＣＤ４５Ｕ

項目		数値	項目		数値	項目		数値
コントロールデータ	KIND	2	防護柵関係	NHON	14	防護柵関係	ADISP1	0.002
	M	50		EI	109.41		2	0.02
	IPRT	0		MO	2.85		3	0.2
	NOUT			CFK	300.		4	0.5
	ITMAX			CRK	0.		5	0.7
	JUMP			PX	0.75		6	0.8
	NCSP	1		DP	1.5		7	0.9
	ICHK	100		PFM	4.00		8	1.0
							9	1.1
	H	0.02		MHON	0		10	
	HANKEI	2000.		RAILK	0.		11	
	EPS1			THADAN	200.		12	
	EPS2			PTANB	4.00		13	
				RCOL	1.6		14	
衝突車関係	L1	4.6400		ACOL	0.45		15	
	L2	1.5400		DELTV	1.6			
	A1	6.1000		TINTAL		衝突条件	V	100.0
	A2	5.3900	防護柵関係				TH	20.0
	B1	1.245		PDELT1	4.00			
	B2	1.245		2	4.00			
	W1	1.01		3	4.00			
	W2	0.9300		4	4.00			
				5	0.089			
	WR	0.4852		6	1.998			
	DU	4.6266		7	1.999			
	R2	12.620		8	2.0			
	CW	20.0						
	CK1	50.0		NL	2			
	CK2	100.0		ND	9			
	CK3	50.0		AFR				
	CK4	50.0		AKD				
				ABACK				
	FWC	0.1						
	FWC2	0.2		ALENG1	0.			
	FM	0.7		2	0.75			
	TETAS			3				
	TETAF			4				
				5				
	C1	6.1000		6				
	C2	4.1548		7				
	C3	0.4048		8				
	C4	2.6752		9				
				10				

実験7

実験日：'90. 9.26　防護柵：ＧＲ－Ａ'　車両：トヨタカローラ１．５ＧＬ

項目		数値	項目		数値	項目		数値
コントロールデータ	KIND	2	防護柵関係	NHON	8	防護柵関係	ADISP1	0.002
	M	50		EI	25.64		2	0.02
	IPRT	0		MO	1.51		3	0.2
	NOUT			CFK	170.		4	0.5
	ITMAX			CRK	0.		5	0.7
	JUMP			PX	2.		6	0.8
	NCSP	1		DP	4.		7	0.9
	ICHK	100		PFM	1.49		8	1.0
	H	0.02		MHON	0		9	1.1
	HANKEI	2000.		RAILK	0.		10	
	EPS1			THADAN	100.		11	
	EPS2			PTANB	1.49		12	
				RCOL	1.6		13	
				ACOL	0.18		14	
				DELTV	1.6		15	
				TINTAL		衝突条件	V	138.5
衝突車関係	L1	1.2004		PDELT1	1.49		TH	15.0
	L2	1.1996		2	1.49			
	A1	1.8874		3	1.49			
	A2	2.1626		4	1.49			
	B1	0.805		5	0.05			
	B2	0.805		6	1.998			
	W1	0.66		7	1.999			
	W2	0.675		8	2.0			
	WR	0.2932		NL	2			
	DU	0.368		ND	9			
	R2	1.624		AFR				
	CW	1.1		AKD				
	CK1	50.		ABACK				
	CK2	100.		ALENG1	0.			
	CK3	50.		2	2.			
	CK4	50.		3				
	FWC	0.1		4				
	FWC2	0.2		5				
	FM	0.7		6				
	TETAS			7				
	TETAF			8				
	C1	2.7541		9				
	C2	0.9072		10				
	C3	0.9064						
	C4	1.4928						

実験8

実験日：'90.10.24　防護柵：Ｇｒ－ＳＳ　車両：トヨタカローラ１４００ＤＸ

項目		数値	項目		数値	項目		数値
コントロールデータ	KIND	2	防護柵関係	NHON	10	防護柵関係	ADISP1	0.002
	M	50		EI	57.12		2	0.02
	IPRT	0		MO	1.60		3	0.2
	NOUT			CFK	280.		4	0.5
	ITMAX			CRK	0.		5	0.7
	JUMP			PX	0.50		6	0.8
	NCSP	1		DP	1.0		7	0.9
	ICHK	100		PFM	4.00		8	1.0
							9	1.1
	H	0.02		MHON	0		10	
	HANKEI	2000.		RAILK	0.		11	
	EPS1			THADAN	150.		12	
	EPS2			PTANB	4.00		13	
				RCOL	1.6		14	
衝突車関係	L1	1.0740		ACOL	0.25		15	
	L2	1.2906		DELTV	1.6	衝突条件	V	139.5
	A1	1.7684		TINTAL			TH	15.0
	A2	2.2266	防護柵関係	PDELT1	4.00			
	B1	0.785		2	4.00			
	B2	0.785		3	4.00			
	W1	0.65		4	4.00			
	W2	0.6425		5	0.089			
	WR	0.2923		6	1.998			
	DU	0.4197		7	1.999			
	R2	1.7010		8	2.0			
	CW	1.1						
	CK1	50.0		NL	2			
	CK2	100.0		ND	9			
	CK3	50.0		AFR				
	CK4	50.0		AKD				
				ABACK				
	FWC	0.1						
	FWC2	0.2		ALENG1	0.			
	FM	0.7		2	0.50			
	TETAS			3				
	TETAF			4				
				5				
	C1	1.7684		6				
	C2	0.7862		7				
	C3	0.9974		8				
	C4	1.5838		9				
				10				

付．１．２　支柱実験データ

支柱実験強度比較

支柱形状寸法	断面係数 Z cm³	最大荷重 Pmax (t) 静的 *80cm	*60cm	動的(載荷時速) 20km	30km	40km	平均支持力 Pw (t) 静的 *80cm	*60cm	動的(載荷時速) 20km	30km	40km	バネ常数 Pk (t／m) 静的 *80cm	*60cm	動的(載荷時速) 20km	30km	40km
φ139.8xt4.5	62.7	4.12	3.30	4.60	4.40	5.70	3.25	2.70	2.10	3.90	-	65	-	30.0	43.3	30.4
載荷高：760mm	cm³	3.47	2.80	4.60	4.90	5.00	2.95	2.25	3.45	4.05	3.65	42	-	38.3	45.0	46.3
			3.25	4.90	5.70	4.00		2.40	4.10	5.02	3.70		-	58.6	86.7	
平均値		3.8t	3.1t	4.7t	5.0t	4.9t	3.1t	2.5t	3.2t	4.3t	3.7t	54		42.3	58.3	38.4
(KN)		37.3	30.4	46.1	49.0	48.1	30.4	24.5	31.4	42.2	36.3	530		415	572	377
□-125x125xt6	103	4.65			5.90		3.25			5.80		54			48.3	
載荷高：760mm	cm³	5.45			6.10		3.35			6.05		66			46.5	
		5.25			6.00		3.50			5.95		83			45.8	
平均値		5.1t			6.0t		3.4t			5.9t		68			46.9	
(KN)		50.0			58.8		33.3			57.9		667			460	
□-125x125xt6	103				4.40					-					-	
載荷高：1300mm	cm³				5.90					4.00					36.4	
					5.80					2.90					25.6	
平均値					5.40					3.50					31.0	
(KN)					53.0					34.3					304	

注）*80cm, *60cm：Pmax, Pw値算定時の変形量の上限値。

静的支柱実験結果一覧表

番号	載荷方法	供試体	供試体NO.	断面係数 Z cm^3	載荷高 H mm	載荷時速 V km/h	最大支持力 Pmax t	最大支持力 Pmax KN	平均支持力 Pw t	平均支持力 Pw KN	変位 δ mm	バネ常数 Pk t/m	バネ常数 Pk KN/m	折れ曲り深さ mm	備考
1	静	φ139.8x4.5	0-1	62.7	675	-	3.30	32.3	2.70	26.5	600	-	-	430	欠損率 0 %
2	静	φ139.8x4.5	0-2	62.7	675	-	2.80	27.5	2.25	22.1	600	-	-	320	0 %
3	静	φ139.8x4.5	0-3	62.7	675	-	3.25	31.9	2.40	23.5	600	-	-	320	0 %
4	静	φ139.8x4.5	1-1	53.3	675	-	3.35	32.9	2.55	25.0	600	-	-	350	15 %
5	静	φ139.8x4.5	1-2	43.9	675	-	2.90	28.4	2.25	22.1	600	-	-	400	30 %
6	静	φ139.8x4.5	1-3	34.5	675	-	2.60	25.5	2.05	20.1	600	-	-	400	45 %
7	静	φ139.8x4.5	2-1	53.3	675	-	2.95	28.9	2.65	26.0	600	-	-	600	15 %
8	静	φ139.8x4.5	2-2	43.9	675	-	2.55	25.0	2.25	22.1	600	-	-	600	30 %
9	静	φ139.8x4.5	2-3	34.5	675	-	1.90	18.6	1.80	17.7	600	-	-	600	45 %
10	静	φ139.8x4.5	3-1	34.5	675	-	2.90	28.4	2.30	22.6	600	-	-	360	45 %
11	静	φ139.8x4.5	3-2	25.0	675	-	3.40	33.3	3.00	29.4	600	-	-	800	60 %
12	静	φ139.8x4.5	2A	62.7	760	-	* 4.12	40.4	3.25	31.9	800	65.0	637	465	
13	静	φ139.8x4.5	2A	62.7	760	-	* 3.47	34.0	2.95	28.9	800	42.0	412	515	
14	静	φ139.8x4.5	2B	62.7	760	-	* 3.62	35.5	3.15	30.9	800	54.0	530	1800	補強t9x500x400
15	静	φ139.8x4.5	2B	62.7	760	-	* 3.38	33.1	2.80	27.5	800	66.0	647	185	補強t9x500x400
16	静	φ139.8x4.5	2B	62.7	760	-	* 3.40	33.3	2.80	27.5	800	83.0	814	180	補強t9x500x400
17	静	φ139.8x4.5	2C	62.7	760	-	* 3.37	33.0	2.90	28.4	800	48.0	471	180	補強t9x500x800
18	静	φ139.8x4.5	2C	62.7	760	-	* 3.47	34.0	2.95	28.9	800	59.0	579	180	補強t9x500x800
19	静	φ139.8x4.5	2C	62.7	760	-	* 3.47	34.0	2.90	28.4	800	72.0	706	180	補強t9x500x800
20	静	□-125x125x6.0	3A	103	760	-	4.65	45.6	3.25	31.9	800	54.0	530	微小	
21	静	□-125x125x6.0	3A	103	760	-	5.45	53.4	3.35	32.9	800	67.0	657	無	
22	静	□-125x125x6.0	3A	103	760	-	5.25	51.5	3.50	34.3	800	48.0	471	無	
23	静	□-125x125x6.0	3B	103	760	-	**5.10	50.0	4.05	39.7	800	62.0	608	微小	補強t9x500x400
24	静	□-125x125x6.0	3B	103	760	-	* 4.75	46.6	4.10	40.2	800	105.0	1030	微小	補強t9x500x400
25	静	□-125x125x6.0	3B	103	760	-	* 5.05	49.5	4.25	41.7	800	71.0	696	無	補強t9x500x400
26	静	□-125x125x6.0	3C	103	760	-	**6.32	62.0	4.80	47.1	800	80.0	785	微小	補強t9x500x800
27	静	□-125x125x6.0	3C	103	760	-	* 5.44	53.3	4.30	42.2	800	71.0	696	微小	補強t9x500x800

注）* は試験体の最大耐力 、** は引張金具破断

動的支柱実験結果一覧表

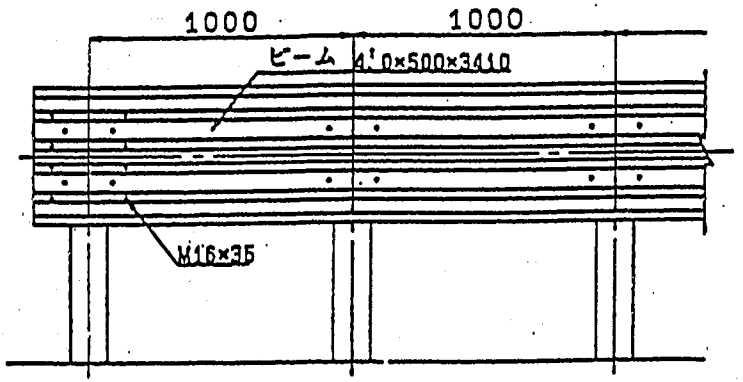
番号	載荷方法	供試体	供試体NO.	断面係数 Z	載荷高 H	載荷時速 V	最大支持力 Pmax		平均支持力 Pw		変位 δ	バネ常数 Pk		折れ曲り深さ	備考
				cm^3	mm	km/h	t	KN	t	KN	mm	t/m	KN/m	mm	
1	動	φ139.8x4.5	A11	62.7	675	20	4.60	45.1	2.10	20.6	500	30.0	294	148	
2	動	φ139.8x4.5	A11	62.7	675	20	4.60	45.1	3.45	33.8	500	38.3	376	289	
3	動	φ139.8x4.5	A11	62.7	675	20	4.90	48.1	4.10	40.2	500	58.6	575	140	
4	動	φ139.8x4.5	A12	62.7	675	30	4.40	43.1	3.90	38.2	500	43.3	425	393	
5	動	φ139.8x4.5	A12	62.7	675	30	4.90	48.1	4.05	39.7	500	45.0	441	342	
6	動	φ139.8x4.5	A12	62.7	675	30	5.70	55.9	5.20	51.0	500	86.7	850	362	
7	動	φ139.8x4.5	A13	62.7	675	40	5.70	55.9	-	-	500	-	-	196	
8	動	φ139.8x4.5	A13	62.7	675	40	5.00	49.0	3.65	35.8	500	30.4	298	202	
9	動	φ139.8x4.5	A13	62.7	675	40	4.00	39.2	3.70	36.3	500	46.3	454	351	
10	動	φ139.8x6.0	B12	87.8	675	30	7.40	72.6	-	-	500	-	-	376	
11	動	φ139.8x6.0	B12	87.8	675	30	6.30	61.8	-	-	500	-	-	312	
12	動	φ139.8x6.0	B12	87.8	675	30	6.10	59.8	6.05	59.3	500	75.6	741	303	
13	動	φ139.8x6.0	B21	87.8	760	20	5.60	54.9	4.75	46.6	500	76.6	751	445	
14	動	H-100x100x6x8	C22	76.5	760	30	4.40	43.1	-	-	500	33.0	324	179	
15	動	H-100x100x6x8	C22	76.5	760	30	4.20	41.2	-	-	500	53.0	520	250	
16	動	H-100x100x6x8	C22	76.5	760	30	3.80	37.3	-	-	500	-	-	322	
17	動	H-125x125x6.5x9	D32	136	1300	30	4.10	40.2	-	-	500	53.6	526	125	
18	動	H-125x125x6.5x9	D32	136	1300	30	-	-	-	-	500	-	-	173	
19	動	H-125x125x6.5x9	D32	136	1300	30	4.80	47.1	-	-	500	-	-	162	
20	動	□-125x125x4.5	E12	80.9	675	30	5.90	57.9	4.90	48.1	500	42.6	418	482	
21	動	□-125x125x4.5	E12	80.9	675	30	-	-	-	-	500	-	-	464	
22	動	□-125x125x4.5	E12	80.9	675	30	6.5	63.7	-	-	500	100.0	981	423	
23	動	□-125x125x4.5	E21	80.9	760	20	5.6	54.9	-	-	500	-	-	415	
24	動	□-125x125x4.5	E21	80.9	760	20	5.4	53.0	-	-	500	-	-	446	
25	動	□-125x125x4.5	E21	80.9	760	20	5.6	54.9	-	-	500	-	-	511	
26	動	□-125x125x4.5	E22	80.9	760	30	-	-	-	-	500	-	-	472	
27	動	□-125x125x4.5	E22	80.9	760	30	5.8	56.9	4.25	41.7	500	77.3	758	445	
28	動	□-125x125x4.5	E22	80.9	760	30	6.2	60.8	4.95	48.5	500	76.2	747	463	
29	動	□-125x125x4.5	E23	80.9	760	40	6.3	61.8	-	-	500	76.9	754	486	
30	動	□-125x125x4.5	E23	80.9	760	40	-	-	-	-	500	-	-	462	
31	動	□-125x125x4.5	E23	80.9	760	40	6.1	59.8	5.15	50.5	500	54.2	532	413	

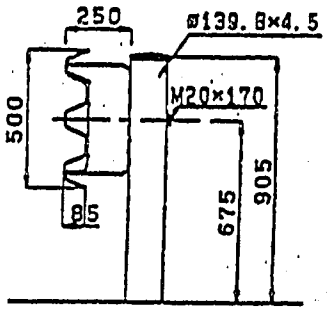
32	動	□-200x100x4.5	F32	133	1300	30	7.7	75.5	-	-	500	-	-	373	

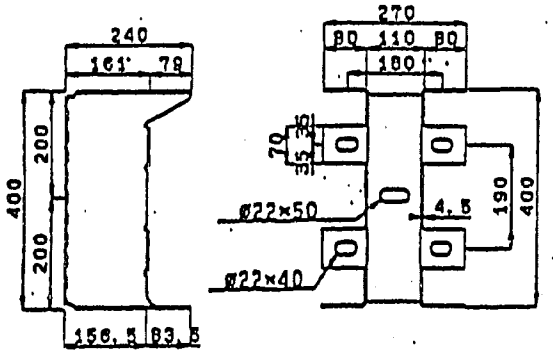
33	動	□-200x100x4.5	F32	133	1300	30	6.2	60.8	4.65	45.6	500	58.1	570	510	
34	動	□-200x100x4.5	F32	133	1300	30	6.2	60.8	2.80	27.5	500	35.0	343	無	
35	動	□-200x100x4.5	F31	133	1300	20	6.75	66.2	3.35	32.9	500	54.9	538	0	
36	動	□-125x125x6.0	G22	103	760	30	5.9	57.9	5.80	56.9	500	48.3	474	421	
37	動	□-125x125x6.0	G22	103	760	30	6.1	59.8	6.05	59.3	500	46.5	456	443	
38	動	□-125x125x6.0	G22	103	760	30	6.0	58.8	5.95	58.3	500	45.8	449	475	
39	動	□-125x125x6.0	G32	103	1300	30	4.4	43.1	-	-	500	-	-	168	
40	動	□-125x125x6.0	G32	103	1300	30	5.9	57.9	4.00	39.2	500	36.4	357	158	
41	動	□-125x125x6.0	G32	103	1300	30	5.8	56.9	2.90	28.4	500	25.6	251	233	

付．１．３　供試体の設計図面

Ｇｒ－ＳＳ　（実験１、８）





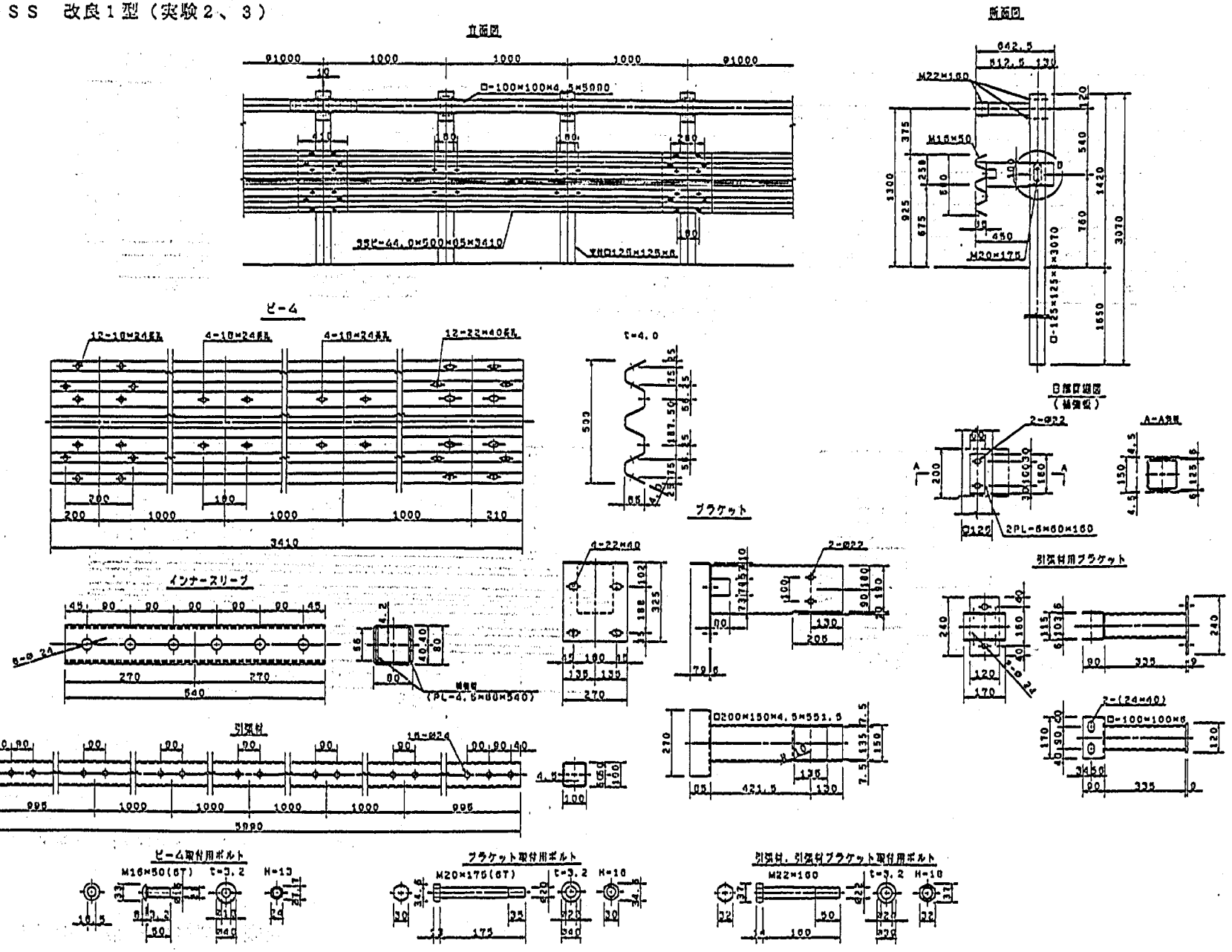


ブラケット詳細図

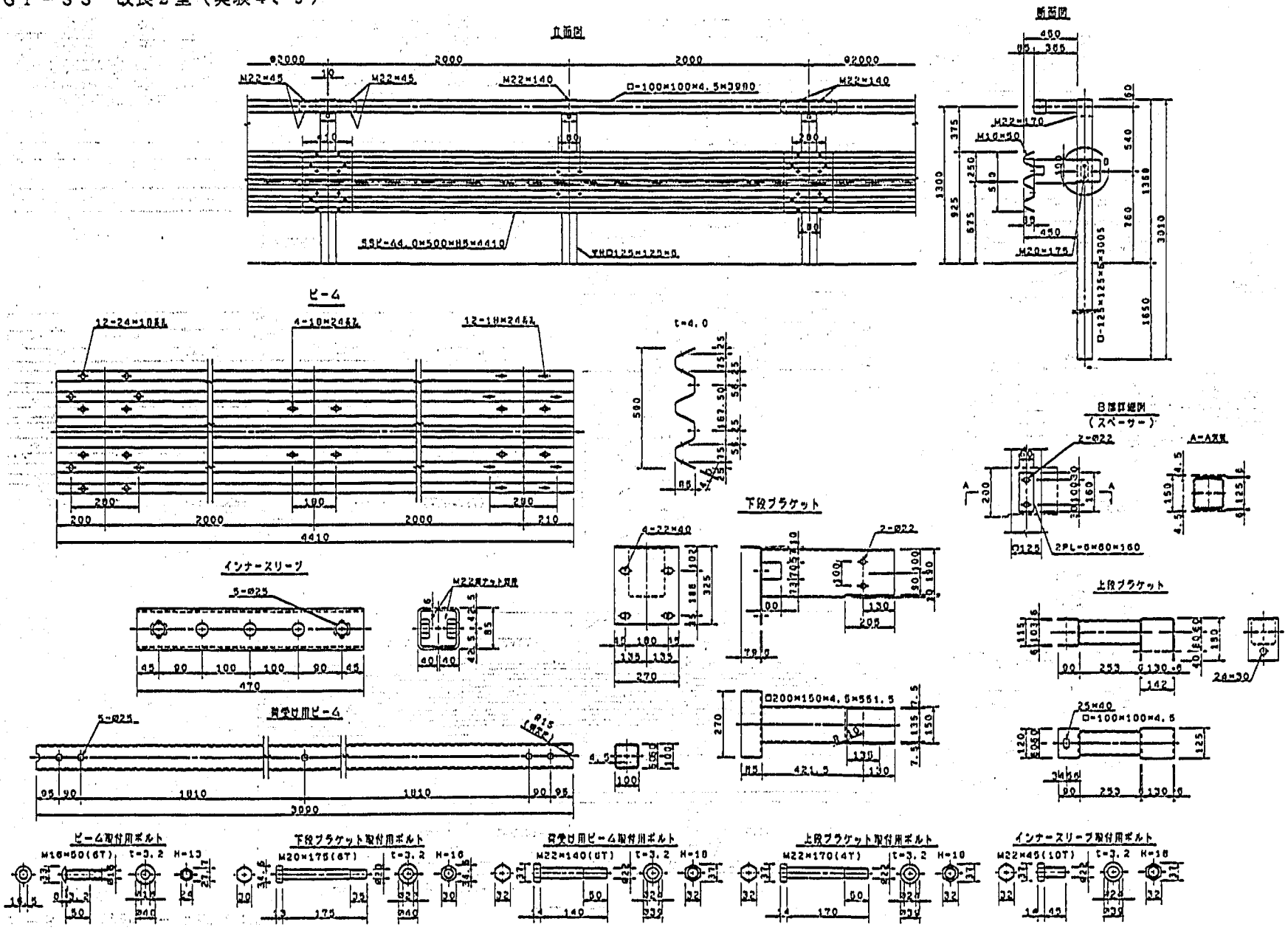
GR－SS構造諸元

部材名	寸法(mm)	材質	単位重量(kg)
主ビーム	500×85×14×3410	SS400	83.5
支柱	φ－139.8×4.5×2560	STK400	38.4
ブラケット	[－270×4.5×400	SS400	8.85
ボルト・ナット	M16×50	6T	0.15
	M20×170	4T	0.57
単位重量	77.6kg/m		

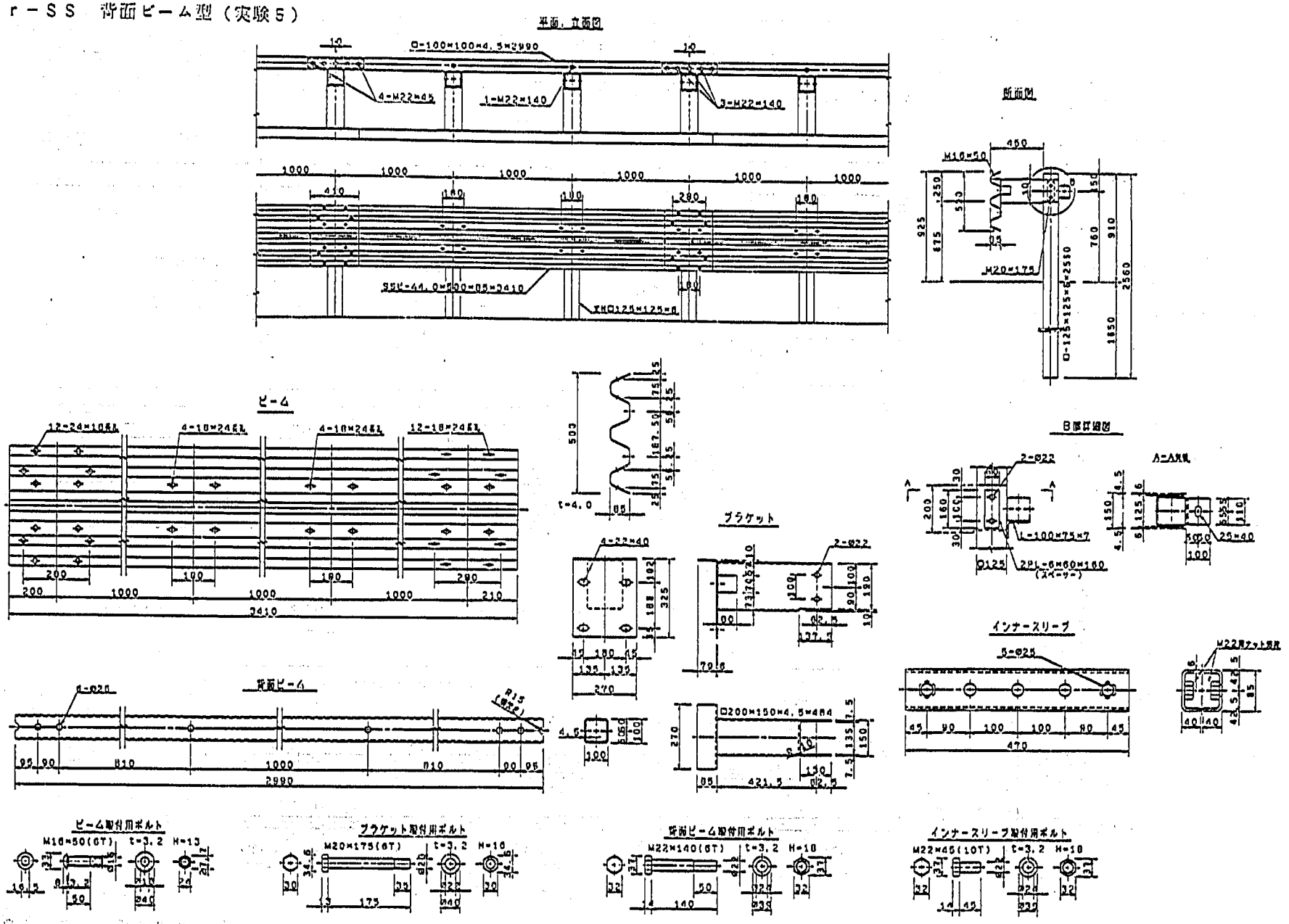
Ｇｒ－ＳＳ　改良１型（実験２、３）



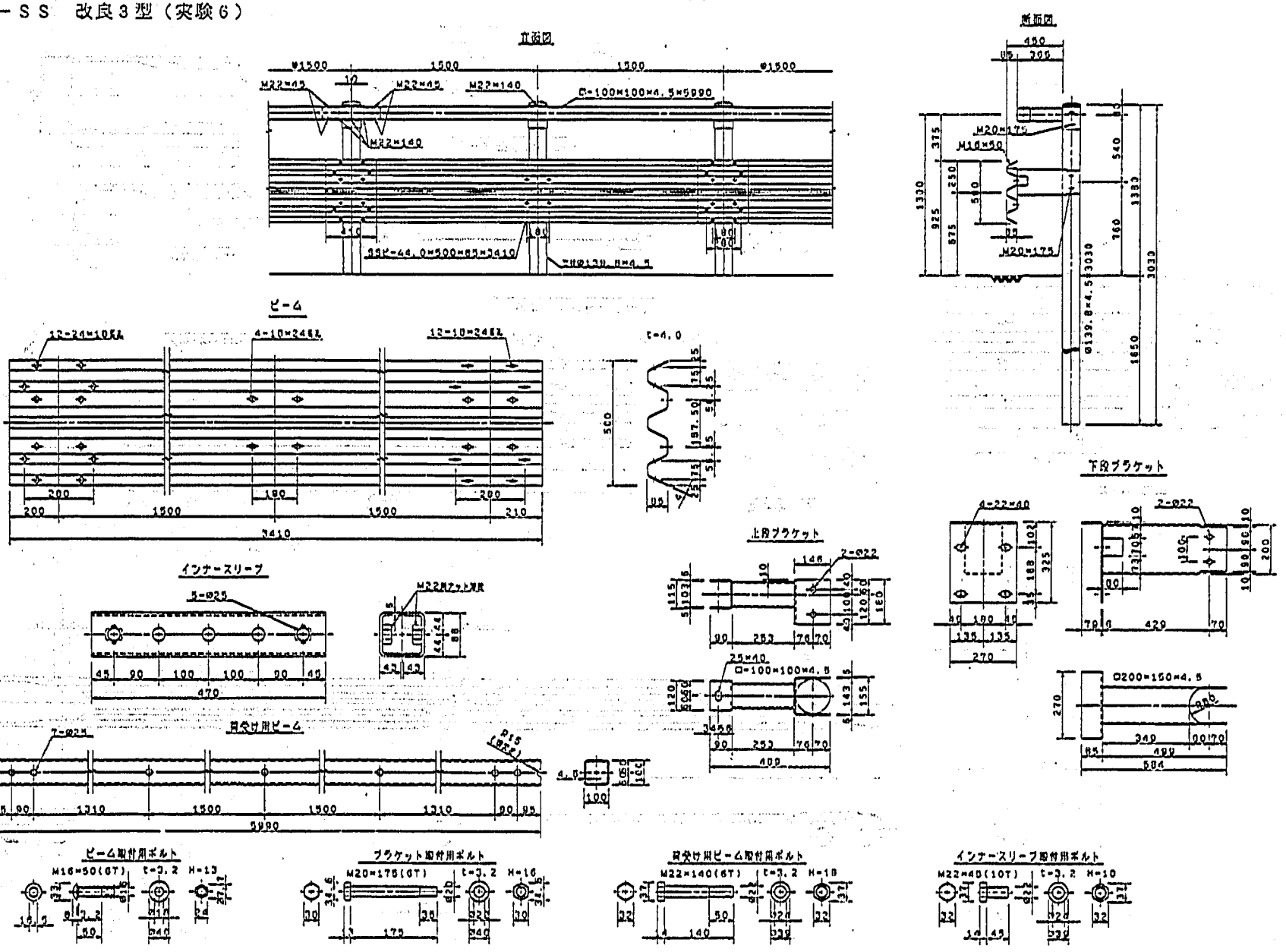
Ｇｒ－ＳＳ　改良２型（実験４、９）

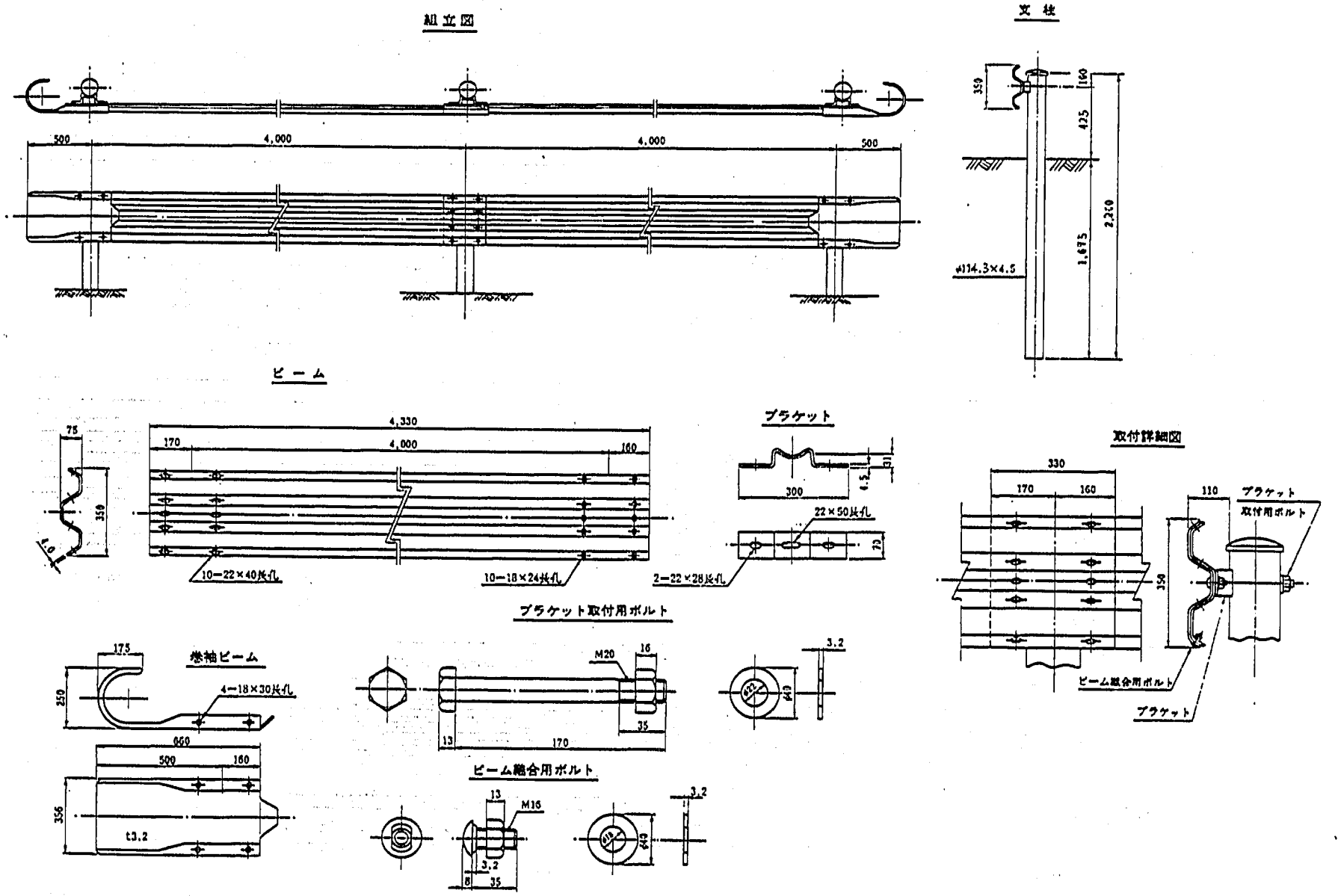


Ｇｒ－ＳＳ　背面ビーム型（実験５）



Ｇｒ－ＳＳ　改良３型（実験６）





図－６・７・２　供試体構造図および部材表

付．１．４　実験結果総括表

実験結果総括表

実験番号 防護柵形式	車種	実験条件及び結果 重量(t)	速度(km/h)	角度(度)	衝撃度(t・m)	離脱速度(km/h)	離脱角度(度)	車両の最大傾斜角 前端(度)	後端(度)	車両－防護柵接触長(m)	車両の最大進入行程(mm)	車両最大加速度(g)			防護柵の変位量 支柱方向(mm)	最大残留変位量(mm) 支柱 Y方向	支柱 X方向	ビーム Y方向	防護柵応力 支柱最大水平力(t) Y方向	ビーム力 張力(t)	損傷状況 防護柵	車両
実験１ ＳＳ種 90-2 平成２年 10/11	大型貨物車	20.0	100 [100.1]	15	52.7 [52.7]	－	0	防護柵で2回上転		17.4 (P24～P42)	－	車両重心	X	-6.0	(GL+675)	頂部	頂部		P26 6.0		・支柱10本にタイヤの跡有り、18本が大きく曲がる。完全な抜出し無し。 ・支柱(平均GL-110mm～-350mm)で曲形状変形、(平均-160mm)で破断(P30)。 ・ビーム上下端に波形状変形、孔開き、コネクション面は破断よるが、破断は無し。 ・ブラケットの一部に変形有り。	・左側前バンパー、同下フェンダーが大きく潰れた。 ・左側前後タイヤの取外れ。 ・左側後輪内側の板ハネ取外れ。 ・荷台左右ロアクロスメンバーが変形、荷台フロアが前後に曲がり、荷台左右あおりが放れた。 ・運転席の生存空間は確保。 ・自力走行、牽引走行不可。
													Y	9.0								
													Z	◎1.0	P26 396	1,202 (P33)	294 (P33)	1,117 (P34)				
												運転席ダミー(頭部)	X	4.0					★P28 5.8 踏付け曲がり			
													Y	5.0	P28 656							
													Z	◎-1.0		1,020 (P31)	672 (P31)			B22	
												運転席ダミー(胸部)	X	◎-4.5	★P30 1,220				★P30 6.0 踏付け曲がり			26.3
													Y	◎0.5								
													Z						★P32 5.2 踏付け曲がり			
													脚力	◎45(kg)	★P32 1,128							
												助手席ダミー(頭部)	X	3.0					★P34 5.0 踏付け曲がり		※二次接触(P58)で車両は進行方向ブレて外れ、側方ほぼねにた。	※停止時の車両は後輪の位置は後輪の内に有り後輪の内に有る防護柵の後輪の位置は後輪の内に有り後輪の内に有る防護柵の後輪の位置は後輪の内に有り後輪の内に有る防護柵の

実験結果総括表

実験番号 防護柵形式	車種	実験条件及び結果 重量(t)	速度(km/h)	角度(度)	衝撃度(t・m)	離脱速度(km/h)	離脱角度(度)	車両の最大傾斜角 前端(度)	後端(度)	車両－防護柵接触長(m)	車両の最大進入行程(mm)	車両最大加速度(g)			防護柵の変位量 支柱X方向(mm)	最大残留変位量(mm) 支柱Y方向	支柱X方向	ビームY方向	防護柵応力 支柱最大水平力(t) Y方向		ビーム引張力(t)	損傷状況 防護柵	車両
実験3 SS種 改良1型 91-8 平成3年3/12	大型貨物車	20.0	100 [100]	20	92.1 [92.1]	76.9	9.8	8 防護柵側へ 車輪沈上(cm) 左 右 前輪 0 10 後輪 0 32	22	主ビーム 12.7 荷受けビーム 16.1	850 P35 後輪外側	車両重心	X	3.5	(GL+760) P28 323	頂部 1,084 (P34)	頂部 64 (P31)	TR 1,082 (P35) MB 771 (P34)	TR MB (P28) 4.7 3.0 Σ 6.2 (P30) 5.7 10.3 Σ 8.1 (P32) 5.2 7.9 Σ 7.4 (P34) 3.7 6.2 Σ 7.0 (P36) 4.1 7.2 Σ 5.8 Σ 11.6 13.9 Σ 21.0	T1 (T24) 19.0 Mb1: 0.85 (t・m) T2 (T25) 21.7 Mb2: 1.30 (t・m) T3 (B24) 21.5 T4 (B25) 23.3	・支柱4本(P33～P36)にタイヤの引跡有り.16本がく抜けの手し曲がる.完全な抜け出しは無し. ・支柱GL-100mm～-300mm(平均-213mm)で曲がり. ・主ビーム下端が波形状に変形.孔開き2ヶ所(P31付近)有り. ・荷受けビームに2～4mmのへこみ(T29～T37)有り. ・ラケット一箇所(P34)に局部破断有り. ・後輪部: 荷受けビームのズレ 17.9mm(T31) 主ビームのズレ 8.5mm(B31) 引抜け無し.	・左側前バンパー、同下フェンダーが潰れ、車体床下迄変形した.(客室大) ・車体左側の前から後ろにかけて、荷受けビームによる擦り傷. ・フロント・アクスル右側へ移動(約10cm). ・左側前輪ステップ完全に潰れた. ・左サイド・ガラス破損. フロントガラス左側隅角部ひびわれ. ・運転席手側ダミーは左側に転倒. ・車室内の変形小さい. ・自走および牽引走行不可能.
													Y	4.0									
													Z	*－									
												運転席ダミー(頭部)	X	6.0									
													Y	5.0	P30 521								
													Z	*－									
												運転席ダミー(胸部)	X	*－	★ P32 954								
													Y	*13.0									
													Z	* 6.4									
													脚力	*－(kg)	★ P34 972								
												助手席ダミー(頭部)	X	6.0									
													Y	18.0	★ P36 894								
												助手席ダミー(胸部)	X	* 5.5									
													Y	* 6.0									
実験4 SS種 改良2型 91-22 平成3年12/19	大型貨物車	20.0 [20.5]	100 [100]	20	92.1 [94.4]	79.5	7.0	24.7 重心:32.5 防護柵側へ 車輪沈上(cm) 左 右 前輪 － 58 後輪 － 120	41.2	主ビーム 20.0 荷受けビーム 21.3	1,345 P19 後輪外側	車両重心	X	2.6	(GL+760) P14 469	頂部 1,602 (P20)	頂部 134 (P25)	TR 1,671 (P20) MB 1,260 (P20)	TR MB (P14) 5.3 2.8 Σ 4.4 (P15) 7.0 5.8 Σ 6.1 (P16) 7.4 9.2 Σ 8.8 (P17) -6.5 16.4 Σ 12.1 (P18) -5.1 16.0 Σ 4.6 (P19) 0.3 9.9 Σ 9.5 13.1 39.7 Σ 40.8	T1 17.0 T2 18.0 T3 24.4 T4 21.9 B1 17.8 B2 23.7 B3 25.8 (T5,T6 B4,B5, B6は不明)	・支柱2本(P18,P19)にタイヤの引付け跡有り.10本のうち(P16～P25)がく抜けの手に曲がる.完全な抜け出しは無い. ・支柱GL-190mm～-270mm(平均-240mm)で曲がり. ・主ビーム上下端が波形状に変形.コルゲーション断面変形(B15～B22) ・荷受けビームの前面に切断荷受け有り(T8,T9,T11). ・荷受けビーム支柱間に円弧状残留変形(B15～B23)有り. ・後輪部: 荷受けビームのズレ 19mm(T8,T9) 主ビームのズレ 10mm(B8,B9)	・左側前バンパー、同下フェンダーが潰れ、車体床下迄変形した.(客室大) ・車体左側の前から中央にかけて、荷受けビームによる擦り傷. ・左側前輪(アルミ製)脱落. ・左側前輪ステップ潰れ有り. ・左側テールゲート外端突出部切断有り. ・左サイド・ガラス破損. ・車室内の変形小さい. ・自走可能. ・土嚢飛散(一袋約20kg) 全530袋中 走路内に 28袋 走路外に 215袋
													Y	7.7									
													Z	◎ 4.8									
												運転席ダミー(頭部)	X	3.6									
													Y	4.8	P15 542 (621)								
													Z	◎ 7.5									
												運転席ダミー(胸部)	X	◎ 7.9	P16 881								
													Y	◎ 5.2									
													Z	*－	P17 988 (886)								
													脚力	◎ 92(kg)									
												助手席ダミー(頭部)	X	3.9	P18 1,049								
													Y	12.7									
												助手席ダミー(胸部)	X	*－	P19 1,178 (956)								
													Y	*－									

備考

1) 〔 〕内は、実験結果を位置補正したものを示す。
2) 後輪、加速度、MB：主ビーム、Mb：ブラケットの各々を示す。
3) 左右、上下、前後の方向を示す。
4) 速度はY方向を示す。
5) 加速度、変位、荷重、応力、曲げモーメントの値は、ボルトのヒズミ、テープレコーダー不良、テレメーク（プリモ）FM特性不良の為判読不可を示す。
6) 加速度、変位、荷重、応力、曲げモーメントの値は加速度分析結果時（50mSEC平均値等）の原波形値（ローパスフィルター80Hz処理）である。
また値は、ヒズミ、テープレコーダー不良、テレメーク（プリモ）FM特性不良の為判読不可を示す。
また値は、－印はセンサーに異常があった値を示す。
また値は、（ ）内の数値はカセットテープレコーダーによるものである。
また値は、T：張力、Mb：曲げモーメント、Σ：TR＋MBの合計（各々最大値を示す）
MBは支柱根元（全体）の力ではなく、主ビームからの分担荷重を示している。

実験結果総括表

実験番号 防護柵形式	車種	実験条件及び結果 重量(t)	速度(km/h)	角度(度)	衝撃度(t・m)	離脱速度(km/h)	離脱角度(度)	車両の最大傾斜角 前端(度)	後端(度)	車両－防護柵接触長(m)	車両の最大進入行程(mm)	車両最大加速度(g)			防護柵の変位量 支柱方向(mm)	最大残留変位量(mm) 支柱 Y方向	支柱 X方向	ビーム Y方向	防護柵応力 支柱最大荷重 Y方向(t)	ビーム張力(t)	損傷状況 防護柵	車両
実験5 SS種 背面ビーム型 平成4年 1/30	大型貨物車	20.0	100 [99.6]	20	92.1 [91.4]	転覆のため不能 計測	同左	未計測		主ビーム 13.5	―	未計測			未計測	頂部 570 (P34)	未計測	主ビーム 506 (P35)	主ビーム 9.5 (P33,34)	主ビーム 45.9 (B30) 背面ビーム 10.5 (T35)	・支柱頭部に車両接触による変形有り. (P34～P52) ・主ビームに荷台接触による傷有り.(B45～B47) ・主ビーム下部の波形変形. (B30～B38) ・上部ヘこみ(B31～B36) ・主ビームの孔開き(B34) ・ボルト抜け一ヶ所(B63とB64のジョイント部) ・背面ビームの上部に接触跡有り.(T41～T69) ・ブラケット前頭下端部の折れ曲がり有り. (P29～P41) ・ブラケット上部に孔開きと50mm程度の切れ目有り.	・タイヤ全輪バンクなし. ・車体の左側面ドア下部分切断.の左側面パネルがはね有り、左下前部曲がり有り. ・荷台の左半分がシール上部荷台の荷材部分で切断. ・前輪軸の曲がり小.
実験6 SS種 改良3型 91-24 平成4年 4/16	大型貨物車	20.0	100	20	92.1	転覆のため不能 計測	同左	防護柵上縁で計測		主ビーム 25.1 荷受けビーム 26.6	―	車両重心	X	＊18.2	(GL+760) P20 519	頂部 1,832 (P26)	頂部 775 (P36)	TR 1,942 (P26) MB 1,565 (P26)	TR / MB (P20) 2.1; 6.2 Σ 4.1 (P21) 3.1; 6.0 Σ 4.1 (P22) -3.3; 7.3 Σ 4.1 (P23) -5.4; 9.7 Σ 5.0 (P24) -4.3; 8.5 Σ -10.5 (P25) -3.9; -4.3 Σ -2.3 -7.9; -27. Σ 28.4	T1 35.1 T2 37.5 B1 18.9 (T3,T4 T5,B2, B3,B4, B5 は測定不可)	・支柱8本(P22～P29)にタイヤの踏付け跡有り.28本(P18～P47.但しP43,P44は除外)がくの字に曲がる.完全な抜け出しは無い. ・支柱GL+30mm～-365mm(平均-186mm)で曲がり. ・主ビーム上下端が波形状変形.コルゲーション断面変形(B19～B27) ・ブラケット上段、支柱取付部8ヶ所、溶接部の取外れ(P31～P38) ・ブラケットのビーム取付プレートボルトの頭抜けが7個所(P34,P36～P38,P40～P42)有り. ・継手部: 荷受けビームのズレ 20mm(T6) 主ビームのズレ 15.5mm(B23)	・左側前バンパー、同下フェンダーが潰れた. ・左側(前輪後部のあおり(アルミ製)取外れ.(P35頂部で左側前輪軸取付けボルト破損有り. ・自走不可. ・土煙飛散
													Y	＊―								
													Z	◇6.6								
												運転席グミー(頭部)	X	＊―	P21 806							
													Y	＊―								
													Z	◇4.4								
												運転席グミー(胸部)	X	◇2.7	P22 932 (865)							
													Y	◇4.7								
													Z		P23 955 1,136)							
													脚力	◇31(kg)								
												助手席グミー(頭部)	X	＊―	P24 1,175							
													Y	＊―								
												助手席グミー(胸部)	X	◇3.1	P25 1,106 1,215)							
													Y	◇―								

備考

1) 〔 〕内は、実験結果をそれぞれ一★印、ムを示す。
2) 後、加傾度、測定を位置を示す。
3) 荷、左右、上下方向を示す。
4) 速度は、車両重心の速度を示す。
5) X、Y、Zは、それぞれ車両重心の加速度分析結果のそれぞれの方向を示す。
6) ＊印は、データ収録装置(50mSEC平均値等)の原波形値(ローパスフィルター80Hz処理)である。
7) ◇印は、テレメーター(プリセ)による値である。
8) 支柱番号記入は板ビーム、MB:主ビーム、T:張力、Mb:曲げモーメント、Σ:TR+MBの合計(各々最大値を示す)
9) 支柱荷重はY方向のみ記録、Z方向は不良のため判読不可を示す。
10) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
11) 加速度は、一定値を示す。
12) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
13) 加速度は、一定値を示す。
14) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
15) 加速度は、一定値を示す。
16) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
17) 加速度は、一定値を示す。
18) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
19) 加速度は、一定値を示す。
20) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
21) 加速度は、一定値を示す。
22) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
23) 加速度は、一定値を示す。
24) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
25) 加速度は、一定値を示す。
26) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
27) 加速度は、一定値を示す。
28) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
29) 加速度は、一定値を示す。
30) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
31) 加速度は、一定値を示す。
32) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
33) 加速度は、一定値を示す。
34) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
35) 加速度は、一定値を示す。
36) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
37) 加速度は、一定値を示す。
38) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
39) 加速度は、一定値を示す。
40) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
41) 加速度は、一定値を示す。
42) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
43) 加速度は、一定値を示す。
44) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
45) 加速度は、一定値を示す。
46) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
47) 加速度は、一定値を示す。
48) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
49) 加速度は、一定値を示す。
50) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
51) 加速度は、一定値を示す。
52) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
53) 加速度は、一定値を示す。
54) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。
55) 加速度は、一定値を示す。
56) 加速度分析結果の( )内の値はデータ収録装置(テレメーター)の不良、ドリセ)ドMの特性不良のため判読不可を示す。

MBは支柱根元(全体)の力ではなく、主ビームからの分担荷重を示している。

実験結果総括表

実験番号 防護柵形式	車種	実験条件及び結果 重量(t)	速度(km/h)	角度(度)	衝撃度(t・m)	離脱速度(km/h)	離脱角度(度)	車両の最大傾斜角 前端(度)	後端(度)	車両－防護柵接触長(m)	車両の最大進入行程(mm)	車両最大加速度(g)			防護柵の変位量 支柱の方向(mm)	最大残留変位量(mm) 支柱 Y方向	支柱 X方向	ビーム Y方向	防護柵応力 支柱最大水平力(t) Y方向	ビーム張力(t)	損傷状況 防護柵	車両
実験7 A′種 90-1 平成2年9/26	小型乗用車	1.1	140 [138.5]	15	5.69 [5.56]	滑空のため計測不能	同左	1回転半		11.3 (P8～P12)	－	車両重心	X	12.5	(GL+425)	頂部	頂部		P7 -1.4		・支柱2本(P9,P10)にﾀｲﾔ跡有り。また、同2本の支柱GL-275mm、-265mmで曲がり。 ・ﾋﾞｰﾑ上下端に波形状変形、ｺﾙｹﾞｰｼｮﾝ断面変形。 ・ﾌﾞﾗｹｯﾄ2箇所(P9,P10)に擦れ有り。	・左側前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ、同下ﾌｪﾝﾀﾞｰが大きく潰れた。 ・右側ﾌﾛﾝﾄﾊﾞﾝﾊﾟｰ破損、足廻り変形。 ・左側前後輪ﾀｲﾔﾊﾞｰｽﾄ。 ・ﾌﾛﾝﾄ左ｻｲﾄﾞ(前方)の窓ｶﾞﾗｽ破損。 ・運転席の生存空間確保。 ・自力走行不可。
													Y	20.0								
													Z	◎－	P7 -17	680 (P10)	63 (P10)	784 (P9+3/4)				
												運転席ダミー(頭部)	X	-24.0					P8 2.4			
													Y	10.0	P8 39							
													Z	◎－					★ P9 4.4			
												運転席ダミー(胸部)	X	◎－	★P9 610				跳付け 曲がり	B6		
													Y	◎－						2.7		
													Z	◎－					★ P10 5.4			
													脚力	◎－(kg)	★P10 750				跳付け 曲がり			
												助手席ダミー(頭部)	X	32.5					★ P11 2.8	B7		
													Y	55.0	★P11 25					4.5		
												助手席ダミー(胸部)	X	◎－					Σ P 9.1			
													Y	◎－								
実験8 SS種簡易改良型 90-3 平成2年10/24	小型乗用車	1.1	140 [139.5]	15	5.69 [5.65]	113.8	7	道路側に		5.2	460 P30 後輪外側	車両重心	X	9.0	(GL+675)	頂部	頂部		P26 3.1		・支柱3本に前輪のﾀｲﾔ跡有り。 ・ﾋﾞｰﾑ、ﾌﾞﾗｹｯﾄなどの潰れ、変形はない。	・左側前ﾊﾞﾝﾊﾟｰ、同下ﾌｪﾝﾀﾞｰが潰れた。 ・車体左側の前から後ろに掛けて、3山ﾋﾞｰﾑの圧痕有り。 ・左側前輪ﾎｲｰﾙ変形、同ﾀｲﾔﾊﾞｰｽﾄ。 ・左側前ｽﾃｱﾘﾝｸﾞ一部変形 ・左助手席ﾀｯｼｭﾎﾞｰﾄ擦れ。 ・ﾊﾝﾄﾞﾙ中央部一部破損。 ・運転席の生存空間確保。 ・自力走行不可。
													Y	-20.0								
													Z	＊－	P26 255	90 (P28)	31 (P28)	80 (P28)				
												運転席ダミー(頭部)	X	45.0					P28 4.2			
													Y	64.0	P28 157							
													Z	＊－					P30 6.0			
												運転席ダミー(胸部)	X	＊－		79 (P29)	35 (P29)			B24		
													Y	＊-17.5	★P30 115				P32 5.2	8.0		
													Z	＊－								
													脚力	＊380(kg)	★P32 50				P34 5.0			
												助手席ダミー(頭部)	X	24.0						B25		
													Y	145.0	★P34 -10				Σ P 10.0	5.5		
												助手席ダミー(胸部)	X	＊25.0								
													Y	＊21.2								

※ 車両位置は、画面へ向かって右側の路面上に停車し、車両前面が路面の車線中心から、防護柵(Y)方向に10m離れた位置にある。

備考
1) [ ] 内は、実験結果を示す。
2) X, Y, Zは、それぞれ車両の前後、左右、上下方向を示す。
3) ＋, －は、それぞれ加速度、減速度を示す。
4) ◎印はプリモのテレメータの値をカセットテープレコーダから読みとった値を示す。また、－印はカセットテープレコーダ不良、テレメータ(プリモ)FM特性不良の為判読不可を示す。
5) ＊印はプリモのテレメータの値を波形処理(50mSEC平均値等)の原波形値(ローパスフィルター80Hz処理)である。
6) 支柱Y方向の変位量の★印は変位測定板から読みとった値である。

実験結果総括表

実験番号 防護柵形式	車種	実験条件及び結果 重量(t)	速度(km/h)	角度(度)	衝撃度(t・m)	離脱速度(km/h)	離脱角度(度)	車両の最大傾斜角 前端(度)	後端(度)	車両－防護柵接触長(m)	車両の最大進入行程(mm)	車両最大加速度(g)			防護柵の変位量 最大残留変位量(mm) 支柱 Y方向	支柱 X方向	ビーム Y方向	防護柵応力 支柱最大永久ひずみ Y方向(t)	損傷状況 防護柵	車両
実験9 SS種 改良2型 92-7 平成4年 10/23	小型乗用車	1.1	140 [139.5]	20	9.93 [9.86]	115.0	5.4	9 重心：9	9	8.79	550	車両重心	X	8.2	頂部 177 (P13)	未測定	TR 174 (P13) MB 133 (P13)	P14 6.63 P15 3.84 P16 3.27 ΣP 16.48	・支柱の残留変形は5本(P12～P16)ある。 ・主ビーム前面の傾き、下端部の内側への曲がり有り。(B13～B16)	・左側前バンパー、同フェンダーが脱れた。 ・車体左側の前から後ろにかけて、3山ビームの圧痕跡有り。 ・フロントリアガラス破損。 ・衝突後ボンネットが開く。 ・衝突前後輪が時計方向に約15度傾く。 ・左側フェンダーが左側前輪の先端に食い込む。 ・左側フロント下端部格子変形。 ・自力走行不可。
													Y	28.2						
													Z	-11.1						
												運転席グミー(頭部)	X	-104.6	P14 367					
													Y	30.3						
													Z		P15 273					
												運転席グミー(胸部)	X	－						
													Y	－						
													Z		P16 141					
													脚力							
												助手席グミー(頭部)	X	11.3						
													Y	94.9						
												助手席グミー(胸部)	X							
													Y							

車輪浮上(cm)

	左	右
前輪	－	0
後輪	－	0

備考
1) [ ] 内は、実験結果を示す。
2) X、Y、Zは、それぞれ前後、左右、上下方向を示す。
3) 加速度の＋、－は、それぞれ加速度、減速度を示す。また、値は収録器による10mSECの原波形値である。－印はテレメーク（プリモ）によるものだが、FM特性不良の為判読不可を示す。

実験結果総括表

実験番号 防護柵形式	車種	実験条件及び結果 重量(t)	速度(km/h)	角度(度)	衝撃度(t・m)	離脱速度(km/h)	離脱角度(度)	車両の最大傾斜角 前端(度)	後端(度)	車両－防護柵接触長(m)	車両最大加速度(g)			取付部材の最大変位(残留含む)、応力 取付位置 端部より	変位(Y)(mm) 変位計	ビームセンサー	ブラケットに作用した衝撃力(t)	ビーム 張力(t)	ビーム 曲げ応力(t・m)	ビーム・ブラケットの残留変位(Y)(mm)	損傷状況 防護柵	損傷状況 車両
Ⅱ編 剛壁緩衝型防護柵 91-21 平成3年11/13	小型乗用車	1.1	140 [141.2]	20	9.93 [10.1]	114.9	4.0	5.0	5.0	5.79	車両重心	X	13.6	10.6m				-4.32 (ST1)	1.12 (SB1)	・ビーム84(平均) (No13.5) ・ブラケット81(平均) (No13)	・ビーム、ブラケット共にボルトの破断、頭抜け等なし。 ・ビームの溝れ、変形区間 ※No10～18(5mm以上) ・ビーム継手部のズレは3mm。(J4・・・No13) ※壁端からの記号でNo10は10mの位置を示す。	・左側前バンパー、同フェンダーが潰れた。 ・車体左側の前から後ろにかけて、3山ビームによる3条の凹み。 ・フロント、サイドガラス前後が窓枠変形の為破壊。(トップビーム上端による) ・ダッシュボード、運転席アクセサリー取外れ。 ・車室内の変形小。 ・左側前輪サスペンション変形、脱輪の為、自力走行不可。
												Y	26.2									
												Z	＊－									
											運転席ダミー(頭部)	X	51.6	11.1m	52 (DY1)	51 (DL1)	0.66 (S1) C11					
												Y	32.3	12.1m	75 (DY2)	65 (DL2)	3.14 (S2) C12					
												Z	＊－									
											運転席ダミー(胸部)	X	＊－	12.6m				-10.75 (ST2)	1.17 (SB2)			
												Y	＊－									
												Z	＊－	13.1m	164 (DY3)	127 (DL3)	4.9 (S3) C13					
												脚力	＊－(kg)									
											助手席ダミー(頭部)	X	34.0	13.6m				8.65 (ST3)	2.23 (SB3)			
												Y	77.3									
											助手席ダミー(胸部)	X	＊－									
												Y	＊－									

車輪浮上(cm)

	左	右
前輪	0	0
後輪	0	1

着地角度 2.9度

備考

1) [ ]内は、実験結果を示す。
2) X、Y、Zは、それぞれ前後、左右、上下方向を示す。
3) 加速度の＋、－は、それぞれ加速度、減速度を示す。また、値は加速度分析結果(ローパス・フィルター80HZ)時の原波形値を示す。
4) ＊印はプリセンサーのテレメータの値を示す。また、－印はテレメータ(プリセンサー)FM特性不良の為判読不可を示す。
5) 取付部材の最大変形、応力等は、テープ入力よりデジタイザー処理値(サンプリング間隔 0.0025秒)の各々最大値を示す。

高速化対応型防護柵の開発に関する共同研究報告書

土木研究所共同研究報告書第94号
平成5年10月　(1993)

建設省土木研究所
日本道路公団
鋼製防護柵協会

近年、道路交通の高速化や車両の大型化に伴い、防護柵衝突時の衝撃度も増加しているのが現状である。一方高速道路の延長も5000kmを超え、本格的な高速道路時代を迎えている。また、第二東名、名神のようなさらに高速化を想定した道路も計画されている。このようなことから、今後の高速化に対応した防護柵の開発が望まれている。本報告書は、高速化対応型ガードレールおよびコンクリート壁緩衝型防護柵の形状や安全性について検討した結果について述べたものである。

キーワード：防護柵、高速道路、衝突実験、鋼製防護柵、ガードレール

郵便はがき

3 0 5 - □ □

切手をはって下さい。

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所

交通安全研究室　御中

No. 016

No. 016

配布先氏名

配布先住所

○

共同研究報告書第　94　号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住 所）

氏　名　　㊞

共同研究報告書第　94　号