

## 衝突時の船体破壊強度の研究 (第2報)

安藤文隆\*・郷田国夫\*・有田喜久雄\*  
在田正義\*・竹本博安\*・島田尚信\*\*

### A Study on the Structural Strength of Ship in Collision (2nd Report)

By

Noritaka ANDO, Kunio GODA, Kikuo ARITA, Masayoshi ARITA,  
Hiroyasu TAKEMOTO and Naokoto SHIMADA

#### Abstract

The first report is concerned with the analyses of the results obtained in various series of static collapsing tests of ship side models compressed by rigid bow models. Important results are as follows:

- (a) There are two typical mechanisms of energy absorption in case of collapse of ship side models. They are buckling-type and encroaching-type.
- (b) Formulas to relate load with penetration and to relate absorbed energy with penetration are presented for two mechanisms respectively.

This second report is concerned with the dynamic collision tests carried out on two typical ship side models, namely buckling-type models and encroaching-type models.

Main purpose of the experiment is to make clear the effect of collision speed on the absorbed energy.

The automobile collision test apparatus was used. The car with rigid bow model on the leading edge was crashed on the ship side models which were fixed on the wall through load measuring pickups.

The analyses of the collision test results show that the absorbed energy of an actual ship at the time of collision is able to be estimated rather well based on the results of static analyses, in considering the fact that strength of the material becomes apparently higher when the strain rate becomes higher.

#### 1. ま え が き

前報<sup>1)</sup>では、船側構造を構造物試験機により静的に圧壊した場合について、その破壊形式、吸収エネルギーなどについて検討した結果を報告した。そこでは静的圧壊実験により、座屈型と食い込み型という2つの破壊形式があり、破壊形式は構造様式、部材寸法により決まることを明らかにし、さらに各破壊形式に対す

る吸収エネルギーの計算式を与えた。

本報告では、前報で明らかになった2つの破壊形式について、静的実験で無視された突入速度の影響を調べる目的で行なった動的衝突実験の結果を、静的衝突実験の結果と比較して報告する。模型は静的実験で用いたものと同種の船側模型であり、剛船首模型を先端につけた台車を走らせて、この船側模型に衝突させ、破壊状況、破壊形式、突入時の荷重変化、吸収エネル

\* 船体構造部

\*\* 船体構造部 (現 運輸省船舶局) 原稿受付: 昭和48年5月14日

ギーなどを調べたものである。

## 2. 動的実験を行なう方法の検討

動的実験には種々の方法が考えられるが、次のような方法について検討を行なった。

- (1) 水上における実験
  - (i) 海上における大型模型船による衝突実験
  - (ii) 試験水槽において模型船を衝突させる実験
- (2) 陸上実験
  - (i) 船首を落下させ船側模型に衝突させる実験
  - (ii) 船首を振子の先につけて船側模型に衝突させる実験
  - (iii) 船首をつけた台車を地上で走らせて船側模型に衝突させる実験

(1)-(i)の海上での大型模型船による衝突実験は、最も実船の衝突に近い現象が再現でき、衝突時の破壊状況、船体運動、各構造部材の挙動等が精度よく把握されると考えられるが、適当な場所の選定が困難なこと、船を走らせ回収する操作まで入れると極めて膨大な経費が必要なこと、また、種々パラメータを変えて実験するのは困難であることなどから、今回は実施不可能と考えた。

(1)-(ii)の試験水槽(400m水槽を想定)で被衝突船を水槽の長手方向に直角に浮べ、それに衝突船を自航あるいは曳航して衝突させる実験は、一応可能のように思われたが、さらに検討の結果、次の問題がでてきた。

- (a) 衝突船を被衝突船の船側に十分突入させるには、衝突船の長さ15m、排水量20ton、衝突速度4m/sec、フルード数が約0.3以上となり、このような実験は水槽で行なった経験がない。
- (b) 衝突船の走行中起る波により被衝突船が動いて精度のよい実験が難しい。また、被衝突船の動揺、転覆を防ぐ対策が必要である。
- (c) 衝突船の排水量、あるいは衝突速度を小さくすると、被衝突船の構造は極めて薄い板構造とする必要があり、模型を精度よく作ることは困難である。
- (d) 模型の大きさは極端に小さくなり、衝突そのものも、また、計測技術上から実験精度は非常に悪くなることが予想される。

以上の理由から水槽での実験は極めて難しいこと、また、衝突時の附加質量については、すでに水槽実験により研究が行なわれている<sup>2)</sup>ことなどから、水上での

衝突実験は行なうことを断念した。

(2)-(i)の船首を上方から落下させ、下に置いた船側模型に衝突させる実験は、原理的には非常に簡単であるが、新たに大がかりな実験装置を作る必要があるため採用しなかった。

(2)-(ii)の振子による方法は以前にすでに用いられた方法<sup>3)</sup>で、方法自身には技術上の困難さはないが、大きなエネルギーを与えるためには、大規模の施設が必要であり、また、既存の装置(大型シャルピー試験装置)は容量1.2ton-mであり、前報の静的実験で用いた船側模型では、15ton-m程度のエネルギーが必要なので、模型をかなり小型にしなければならず、静的実験との比較と実験整理上問題があることがわかった。

結局、本報告の実験は(2)-(iii)の方法で、船側模型を固定壁(衝突壁)に取り付け、船首模型を取りつけた台車をレール上で走らせて衝突させる方法を採用した。この場合、台車を走らせる方法として、斜面を転がり落すものと、重錘を落下させて、その力でワイヤを介して台車を引張る方法とがある。前者はドイツ<sup>4)</sup>、イタリア<sup>5)</sup>で行なわれた方法であるが、今回は、後者の方法による自動車の衝突実験装置が使用できたので、これに今回の研究目的に沿うような装置を製作、設置して実験を行なったものである。

## 3. 実験方法

### 3.1 実験装置

使用した衝突実験装置の要目は次のようなものである。

- (a) 鉄塔高さ16m 重錘有効落下高さ(最大)12m
- (b) 重錘 5ton, 3ton 鑄鉄製
- (c) 加速比(台車速度:重錘落下速度)2:1
- (d) 衝突壁 高さ3m, 幅5m, 鉄筋コンクリート製, 重量120ton
- (e) ガイドレール 中央に1本50m

この装置に被衝突船支持用の架構、台車走行用レールなどを取り付け、さらに試験体、台車を塔載して実験した。全体の配置状況を図-a、写真-a、bに示す\*。

図-aでトリガー(1)を切り離すと、衝突船船首を取りつけた台車が重錘により加速され、トリガー(2)で曳引ケーブルは台車から切り離され、試験体に衝突する。台車の重量と重錘の高さを変えることにより、所

\* 表、図、写真の番号に関して、アルファベットの小文字をつけたものは本文中に、算用数字をつけたものは本文のあとにまとめて示すことにする。

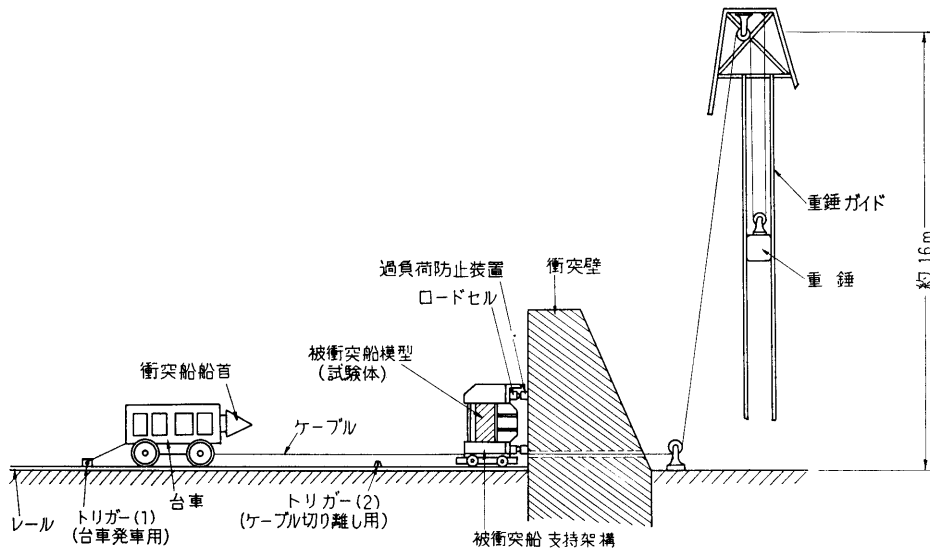


図-a 実験装置の配置

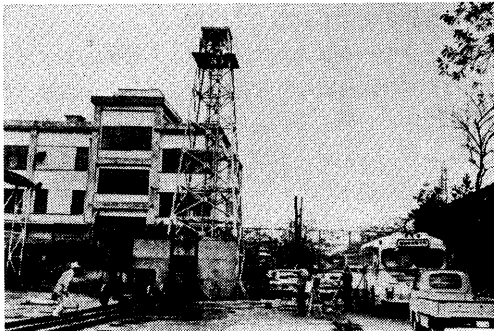


写真-a 衝突実験装置

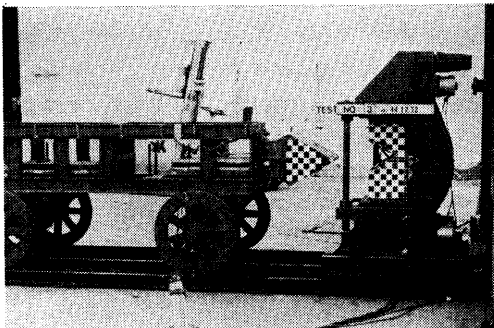


写真-b 台車と船側模型支持架構

60°, 先端半径 15 mm で、これは、静的圧壊実験に用いた代表的船首と同じである。台車だけの重量は、約 1.3 ton である。試験体は 図-1、写真-b に示すように支持架構に取りつけられる。この支持架構は、4つの容量 50 ton のロードセルと過負荷防止装置を介して衝突壁に接する。試験体の架構への取り付けは、静的実験の場合と同様である。(写真-1)

過負荷防止装置は鋼製の円筒で、その強度はロードセルの許容負荷 (120 ton) 以下にしてあり、ロードセルの破損を防ぐものである。この目的のために 4種 (A, B, C, D) の円筒を試作し、それぞれについて強度実験を行なった。その結果を、図-2 に示す。本実験では、C の円筒 (直径 101.5 mm, 高さ 110.0 mm, 板厚 5.0 mm, 最大荷重 63.6 ton) が最も適当と考えられたのでこれを使用した。

### 3.2 試験体

試験体は 2 枚の横隔壁にはさまれた船側外板と 2 層甲板をモデル化したもので、静的圧壊実験で用いたものと同様で、そのうち、静的圧壊実験で、典型的に食い込み型および座屈型の破壊形式を示したものを各 1 種類とった。図-3 が食い込み型、図-4 が座屈型の破壊形式を示したものである。破壊形式は、衝突速度の影響を当然受けるが、これらの試験体は「十分」食い込み型あるいは座屈型の破壊をする試験体の領域にあるため、動的 (ここで実施しようとしている程度の)

定の運動エネルギーと速度が得られる。

台車と試験体支持架構の寸法を、図-1 に示す。台車に取りつけた衝突船首模型は剛構造で、船首角度

表-a 実験条件

食い込み型試験体	台車重量 (ton)	2	3	4
	台車エネルギー (ton·m)	14	14	14
	速度 (m/sec)	12	9	8
座屈型試験体	台車重量 (ton)	2	3	4
	台車エネルギー (ton·m)	8	8	8
	速度 (m/sec)	9	8	6

実験においても、静的と同一型式の破壊をするものと考えた。

使用した材料は静的実験での試験体に用いたのと同じ SS41 である。

### 3.3 実験条件

静的実験で行なったと同様、被衝突船の船側に直角に衝突船が衝突する場合のみを考えているので、衝突角度は 90° のみとした。

食い込み型および座屈型破壊をする船側模型の各々に対し、台車の運動エネルギーを一定とし、衝突速度を変える実験をした。実験条件の一覧表を、表-a に示す。食い込み型 6 点、座屈型 3 点である。台車の運動エネルギーは、大部分が試験体を破壊するエネルギーになると仮定し、静的圧壊実験の結果から、食い込み型では台車の運動エネルギーを最大 14 ton·m、座屈型で、8 ton·m としたが、実験上は安全を考えて、さらに小さい値とした。図-a で重錘は 5 ton のものを用いたが、この場合の台車重量をパラメータにした重錘落差と台車最終運動エネルギーおよび台車最終速度の関係は 図-5 のように計算され、これより表-a の実験条件を決めた。

### 3.4 計測項目および計測器

計測項目は ① 試験体が衝突の間に受ける荷重の変化、② 剛船首(台車)の試験体への突入量、③ 台車の衝突直前から停止までの速度変化、④ 台車および試験体支持架構の加速度変化、⑤ 試験体外板の応力変化、である。各記録を時間的に対応させるために、同時マークを記録中に挿入することにした。全計測器類の系統図を 図-6 に示す。

#### (a) 荷重

衝突時の荷重の時間的変化を市販のロードセルを用い、動的歪測定器を通じてデータレコーダに記録した。定格容量 50 ton のロードセルを 図-1 に示すよう

に 4 個、試験体支持架構の後面(衝突壁側)に左右、上下対称に取りつけた。ロードセルの受圧面は衝突壁に取りつけた過負荷防止用円筒の先端に接するようにした。写真-2 にこの様子を示す。

本実験は衝突現象であるので、検出器、増幅器、記録器の応答特性が問題となるが、ロードセル応答周波数は 2 kHz、動的歪測定器では 4 kHz、データレコーダでは 20 kHz である。現象の持続時間は約 0.05 sec と考えられるので、これらの計測器類の応答速度は十分この実験に耐えられると考えた。

データレコーダに入れた記録は、実験後、テープ速度を 1/20 の低速にして電磁オシログラフ記録紙上に再現して解析した。実験時には、モニターとしてシンクロスコープを用い、ポラロイドカメラにてブラウン管上の記録を撮影した。

#### (b) 突入量

16 mm 高速度カメラによる方法と、台車に取りつけた回転式変位計による方法とを併用した。

高速度カメラは試験体の真横(レールに直角方向)から毎秒 600~1000 コマで突入の状況を撮影した。船首にいちまつ模様が描いてあり(写真-4, 5)、この移動量を解析機で読み取った。なお、フィルムの縁に 1/100 秒ごとにタイムマークを入れた。

回転式変位計は、一方は台車に固定され、他方の硬質ゴム製の車輪はガイドレールの上面に押しつけられており、台車の速度で回転するゴム製車輪の回転を、回転型ポテンシオメータにベルトで伝え、ポテンシオメータの抵抗変化をデータレコーダに記録するものである。(写真-3) 本器は衝突時の加速度によってスリップを起すことがあり、記録に多少の誤差があった。

#### (c) 衝突速度

光電管式速度計、回転型変位計および高速度カメラにより測定した。光電管式速度計は一定標点距離をもって設置し、その光のビームを車輪が通過するとき、光の継続時間をカウンターで記録する。標点距離約

1m とし架構の直前で測った。

#### (d) 加速度

加速度ピックアップを衝突船船首に1ヶ取りつけ、船首の水平方向の加速度を測った。また、架構の振動状態をみるため、架構の垂直部材の midpoint にも加速度ピックアップを1ヶ取りつけ、その位置における水平方向の加速度を測った。

#### (e) 応力

試験体の船側外板の長さ方向の応力をワイヤストレーンゲージにより測った。また、参考のために船首取りつけ部での応力を測った。

#### (f) 同時マーク

上記の記録はすべて時間変化で測定しているの、相互間に時刻の基準が必要である。このために、**図-6**に示すようにパルス電圧を各データレコーダに同時に記録させた。高速度カメラへは同時マーク電圧でフラッシュバルブを発光させ、それを撮影することによりフィルムと電氣的記録の同期をとった。ただし、フラッシュの発光おくれのバラつきがかなり大きいため実際には役立たなかった。解析においては、フィルムを見て船首先端が試験体に接したとき、電気記録の変動開始の時刻とを対応させた。

### 3.5 静的圧壊実験

材料特性などの違いにより、構造が同一であっても荷重—突入量曲線に多少の違いが生ずるので、動的圧壊で用いたのと同一種類の板から作製した船側模型を用いて、静的圧壊実験をした。実験方法は、前報<sup>1)</sup>に述べた方法と同じである。

## 4. 実験結果

実験結果の一覧表を実験条件を含めて**表-1**に示す。

**図-7**は、各ロードセルにより検出した荷重を加算器を通して合計した値および回転式変位計による船首の突入量の記録例である。以下項目別に実験結果を述べる。

#### 4.1 荷重—時間曲線

**図-8**に実験結果の一例として TEST No. 4 について、各ロードセルにかかった荷重を時間に対して示す。ロードセルの上下位置で、荷重の絶対値に差が生じている。ロードセルは壁に均一に接触していたので、試験模型の長さ方向で、荷重のかかり方に多少差が出たと考えられる。時間のずれはそれほどみられなかった。

**図-9**に各ロードセルにかかった荷重を合計した全荷重と時間との関係を示す。実線は**図-8**における各ロードセルの読みを合計して得られた全荷重を、点線は加算器を通して合計された出力をあらわしている。荷重の絶対値もその形状も両者は良く一致している。

**図-10~17**に各実験の荷重—時間曲線を示す。荷重は、各ロードセルを読み取って合計したものと、加算器を通して得られたものとを比較して示してある。荷重に4~5のピークがみられる。この曲線の形状は、後に述べるように船側模型の支持架構の振動が入っていると考えられるので、実際の形とは差があると思われる。衝突速度によって、荷重—時間曲線の形がどのように影響されるか明らかでない。最初のピークの立ち上り時間は5msec程度で、食い込み型試験体と座屈型試験体とで差は認められない。現象持続時間（衝突時間あるいは突入時間と呼ぶことにする）は、食い込み型試験体で50~60msec、座屈型試験体では、それより長く80~110msecとなっている。

#### 4.2 突入量—時間曲線

**図-10~17**に、高速度カメラより読み取った突入量—時間曲線も示してある。突入量を回転式変位計によっても計測したが、硬質タイヤをつけた車輪と回転式変位計とをつないでいるベルトのスリップ等によって、かなり実際とずれがみられたので、突入量は高速度カメラによるものを採用することにした。

突入量—時間曲線の形は、最初は直線で、その後はその直線に接する時間 $t$ に関する2次曲線に近い形になっている。また、突入量—時間曲線において、時間 $t=0$ における勾配すなわち衝突直前の速度は、光電管によって求めた速度よりもやや低めにでている。

#### 4.3 荷重—突入量曲線

**図-18~25**に、**図-10~17**から読み取った突入量に対する荷重の関係を、静的実験結果と比較して示してある。動的実験の荷重—突入量曲線の形は、船側模型の支持架構の振動が入ったために静的実験結果とかなり異なったものになっている。しかし、架構の振動部分を除去して考えると（仮に、山、谷の平均をとってみた場合）、動的実験の場合も静的実験の場合と同様に、荷重は食い込み型試験体では次第に上り、座屈型試験体では、あるピークを境にして下っていく傾向がわずかにみられる。荷重の絶対値は、全体的に静的実験よりも高めにでている。

4.4 吸収エネルギー—突入量曲線

図-26~33 に荷重—突入量曲線を積分して求めた吸収エネルギー—突入量曲線を示す。同図において、実線は動の実験結果である。静的実験結果 (SS.E 曲線) および静的計算値<sup>1)</sup> (SS.C 曲線) も示してある。こ

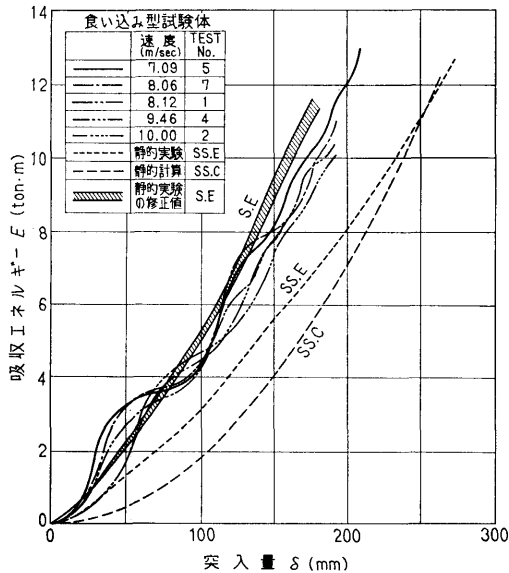


図-b 吸収エネルギー—突入量曲線 (食い込み型試験体)

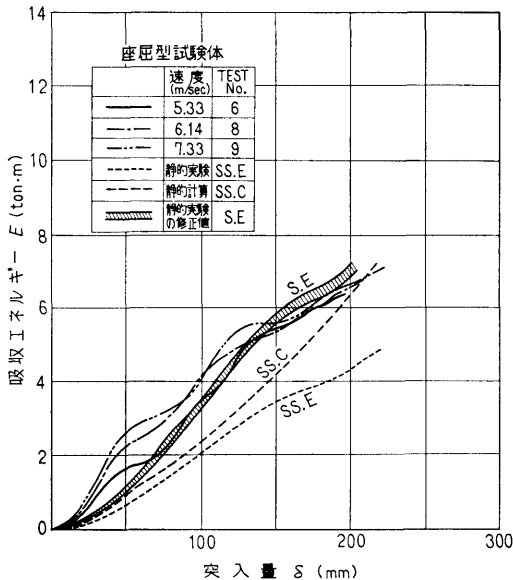


図-c 吸収エネルギー—突入量曲線 (座屈型試験体)

れらの値を比較すると動の実験結果の値は静的実験結果の値よりも高めに出現している。同図には、後で述べるような歪速度の修正を静的実験結果および静的計算結果にした値 (SE, SC) も示してある。これから、動の実験結果は、この修正値に近い値を示していることがわかる。

図-b, c に、食い込み型試験体および座屈型試験体について、それぞれ吸収エネルギー—突入量曲線をまとめて示す。これからみると動の実験の吸収エネルギーの大きさは、今回の実験のように比較的大きな衝突速度の範囲では、衝突船首の速度に関係なく、大体歪速度による材料の降伏応力の上昇率程度に、静的実験結果より大きくなっていることがわかる。

図-34, 35 に吸収エネルギーと台車の重量との関係を、衝突速度をパラメータとして各突入量に対して示した。座屈型試験体においては、台車の速度が大きくなると、吸収エネルギーが増大する傾向がわずかにみられる。しかし、試験模型全体として、台車の速度の明瞭な影響はみられない。

4.5 外板の歪

図-36 に、外板の歪の計測結果の一例を示す。

5. 考 察

今回の動の実験で得られた結果のうち特に目立った特徴について考察を行なう。

5.1 荷重—突入量曲線について

前述のごとく、今回の実験では荷重—突入量曲線がいずれも大きく振動的に変動している。衝撃の現象として、ある程度の荷重の変動は存在するが、通常みられるものに比べて特に著しく、かつ、その周波数が大体一定なので、構造系の弾性振動によることが考えられたのでこの点を一応検討した。

荷重の時間的変化の計測記録を見ると、どの記録においても大体 10~15 msec 程度の時間間隔においてピークが現われている。これは船側模型支持架構の垂直部材の曲げ振動によるものと考えられる。図-37 は衝突時の架構垂直部材中点の水平方向加速度の記録である。図中の矢印は荷重のピークが現われた時刻を示す。この記録から、架構垂直部材中点が水平方向に振動していることはたしかである。その振動も、架構の構造、船首の突入位置と方向から考えて、架構垂直部材の曲げ振動によるものと考えるのが妥当であろう。図-37 において、荷重のピークと加速度のピークの時

刻が一致していることから、荷重—時間曲線における荷重の周期的変動は、架構垂直部材の曲げ振動によるものと考えられる。

なお、**図-38** に示したものは、試験体を取りつけない架構の垂直部材に、直接台車の船首を衝突させた時の部材中点の水平方向の加速度である。現象はすぐに減衰しているが、10 msec 程度の周期の振動がみとめられる。

このように、結局、荷重—突入量曲線が振動的に変動しているのは船側模型を支えている架構の振動のためであると推定されたが、これは、今回の目的である船側構造の吸収エネルギーには、実質的な影響を及ぼさないと考えられる。したがって、今回の実験の結論は、このことに左右されないと思われる。

## 5.2 破壊形式

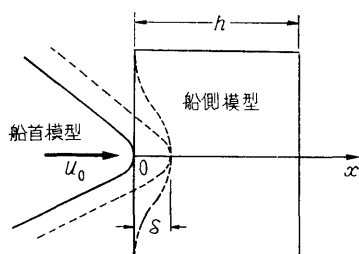
今回用いた被衝突船の船側構造は、静的実験において典型的な座屈型および食い込み型であった2種類である。これらの試験体を動的实验によって破壊させたところ、その破壊形式は静的実験と酷似し、破壊形式はもちろん破壊状況も同じようであった。**(図-39, 40 および 写真-4, 5)** このことは吸収エネルギーの絶対値を除けば、一連の静的実験によって、破壊機構の本質を把握できることを示唆しているものといえよう。

## 5.3 突入時間

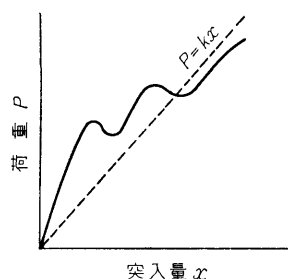
突入に要する時間は、結果の項で述べたように食い込み型と座屈型とでは明らかな差があり、座屈型の方が約 60% 長かかっている。これは破壊機構の本質的な差によるものと思われる。

突入時間は、次のような簡単な計算により、静的実験の荷重—突入量曲線から、その大体の値をきめることができる。

いま、**図-d** において、質量  $m$  の船首模型が船側に突入したときの運動方程式は



**図-d** 衝突時



**図-e** 荷重—突入量関係 (食い込み型)

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -p(x) \quad (1)$$

である。

(i) 食い込み型試験体においては、荷重—突入量曲線を

$$p = kx \quad (2)$$

で近似する。**(図-e)**

(1) 式および (2) 式から

初期条件

$$\left. \begin{aligned} t=0 \text{ のとき } x=0 \\ \frac{dx}{dt} = u_0 \text{ (衝突船首の速度)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

を入れて解くと、

$$x = u_0 \sqrt{\frac{m}{k}} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t \quad (4)$$

突入時間  $T$  は  $dx/dt=0$  になるまでの時間であるから

$$T = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (5)$$

であたえられる。実験に用いた試験体について計算すると

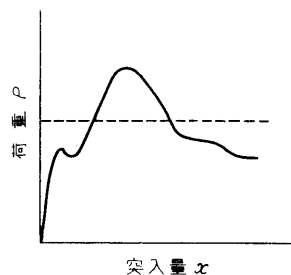
$$T = 34 \sim 51 \text{ msec}$$

になる。

(ii) 座屈型試験体においては、荷重—突入量曲線を

$$P = P_0 \text{ (一定)} \quad (6)$$

で近似する。**(図-f)**



**図-f** 荷重—突入量関係 (座屈型)

(1) 式および (6) 式から、食い込み型と同様にして解くと、突入時間  $T$  は

$$T = \frac{mu_0}{P_0} \quad (7)$$

になる。実験に用いた試験体について計算すると  $T=68 \sim 101$  m sec になる。

#### 5.4 吸収エネルギー

今回の実験は、座屈型、食い込み型ともに与えるエネルギーを大体一定におさえて、台車(衝突船に相当)の重量を変え、したがって、突入速度を変えたシリーズで行なったものである。その結果、船側構造の吸収エネルギーについては、今回のシリーズ相互間には有義的な差はみられず、静的実験の結果より 50% 程度大きくなった。そこで、動的な影響を次に述べるように定義した平均歪速度の影響と考えて静的実験の場合の値を修正した。

今回の模型実験に対する平均歪速度を次のように考えた。中央点(荷重直下)の突入速度  $v$  と時間  $t$  との関係

$$v = v_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (8)$$

ただし  $v_0$ : 衝突船初速度

$T$ : 衝突時間

と仮定<sup>3)</sup>すれば、中央点の撓み  $\delta$  は

$$\delta = \int_0^T v dt = v_0 \left(t - \frac{t^2}{2T}\right) \quad (9)$$

となる。光電管で計測した初速度を用いて (9) 式により計算した値の一例を 図-17 に示す。傾向的には、実験値と合っている。図-d において、中央点における歪  $\epsilon$  を

$$\epsilon = \frac{\delta}{h} = \frac{v_0}{h} \left(t - \frac{t^2}{2T}\right) \quad (10)$$

とおけば、歪速度  $\dot{\epsilon}$  は

$$\dot{\epsilon} = \frac{v_0}{h} \left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (11)$$

したがって、時間に対する平均値  $\bar{\dot{\epsilon}}$  は

$$\bar{\dot{\epsilon}} = \frac{v_0}{2h} \quad (12)$$

最終突入量を  $\delta_0$  とすれば、(9)式において  $t=T$  とおいて

$$\delta_0 = \frac{v_0 T}{2} \quad (13)$$

(12) 式および (13) 式より

$$(194)$$

$$\bar{\dot{\epsilon}} = \frac{\delta_0}{hT} \quad (14)$$

となる。(14)式を平均歪速度と定義する。

吸収エネルギーは材料定数に比例するという考え<sup>1)</sup>にしたがって、(14)式の平均歪速度に対する材料の降伏応力の上昇率を Manjoine の結果<sup>2)</sup>から求めて、この値によって静的実験結果を修正したものが、図-b, c に示す修正値である。

この結果、既述のごとく、動的実験結果と修正値が比較的良く合うことがわかった。しかし、この動的影響を歪速度だけの影響と考えることには理論的な直接の根拠はなく、特に座屈型の場合は、その破壊機構から考えて説明は困難であるが、今回の実験の範囲内で再現性も含めて実用上十分な結果が得られたことは、これに類似の船側構造に関しては、静的な解析結果をもとにして論議できる根拠を与えたものと思われる。

## 6. 結 言

前報においては、衝突時の船体構造の破壊機構を静実験結果をもとにして詳細に検討したが、本報告的においては、実際の衝突現象の動的影響をみるための実験を行なった。この結果、動的実験においても、心通りの破壊形式が明らかに存在し、吸収エネルギーについては、静的に荷重がかかったものに平均歪速度の影響を入れれば求められた。したがって、静的な破壊機構、吸収エネルギーを求めれば、十分な精度で実船にそのまま使える資料になることが明らかになった。

なお、より厳密に破壊形式の判別や吸収エネルギーの影響を求めるためには、さらに多くのシリーズ実験が必要で、かつ、非常に低速で衝突させる実験を行なう必要があるが、今回のような装置で実験を行なうのは極めて困難であろう。

終わりに、本研究は日本造船研究協会との共同研究として行なわれたものであることを付記し、実験の実施に当たって種々有益な討論をいただいた当協会 NSR 3 研究部会の秋田部会長はじめ委員の方々に深く感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 安藤, 有田, 在田: “衝突時の船体破壊強度の研究 (第1報)”, 船研報告, 第10巻, 第3号, 1973
- 2) 元良, 杉田, 藤野, 杉浦: “衝突時の等価付加質量について”, 日本造船学会論文集, No. 126, 1969
- 3) 日本原子力船研究会船体分科会: “原子力船の船体構造の設計に関する試験研究”, 原船協 40号,



- 日本原子力船研究協会, 1963
- 4) G. Woisin: "Kollisionsversuche mit Platten Hauptsächlich aus Schiffbaustahl bei zur Stoßrichtung Parallelen Ebenen Entsprechend z. B. Schiffsdecks" Schiffstechnik, Heft 79, 1968
  - 5) Franco Spinelli: "Sulla Protezione Anticollisione

- delle Navi a Propulsione con Energia Nucleare" Comitato Nazionale per L'energia Nucleare Estratto da: Technica Italiana, 1961
- 6) Nadai: "Theory of Flow Fracture of Solids", McGraw-Hill, 1950

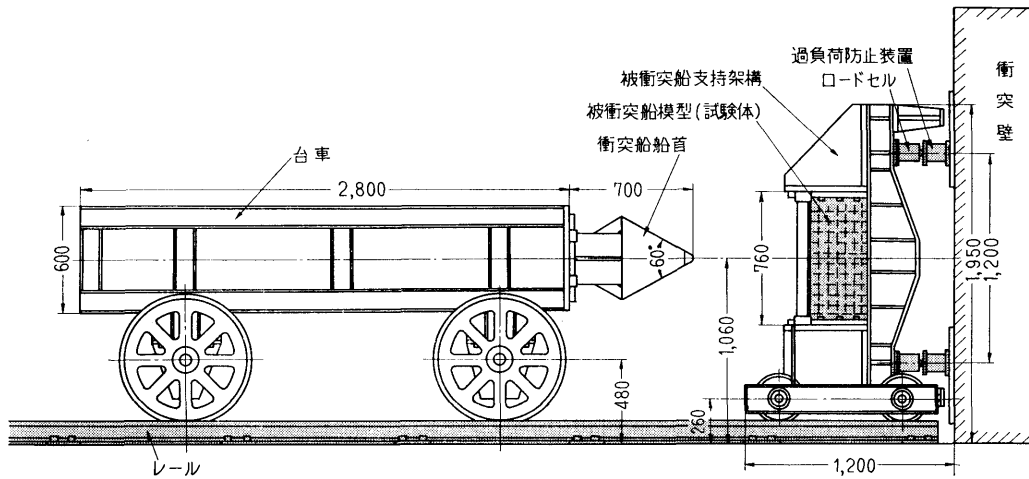


図-1 台車と被衝突船支持架構

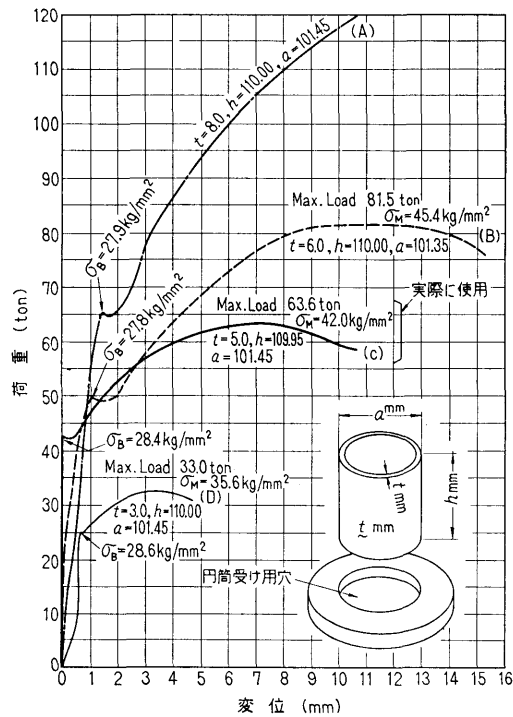


図-2 ロードセル過負荷防止用円筒圧壊試験

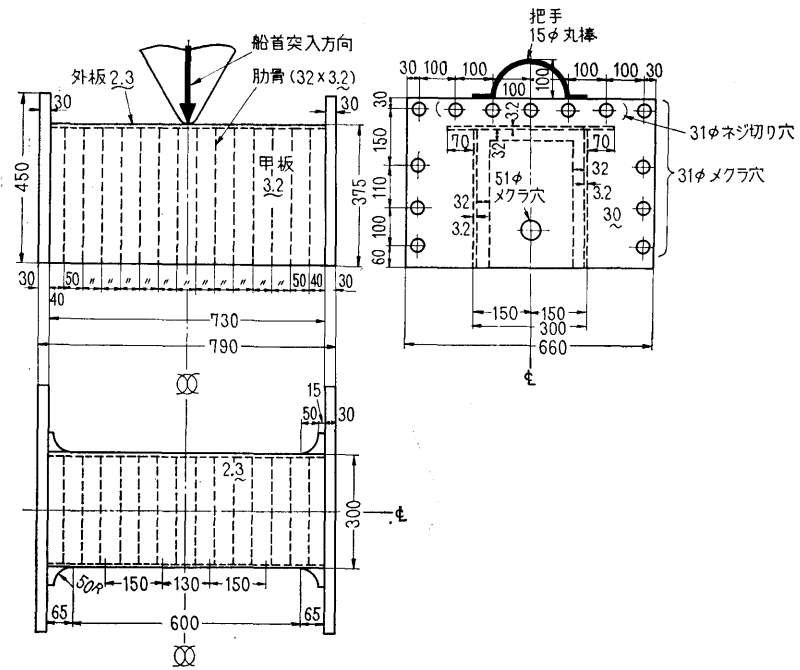


図-3 食い込み型試験体

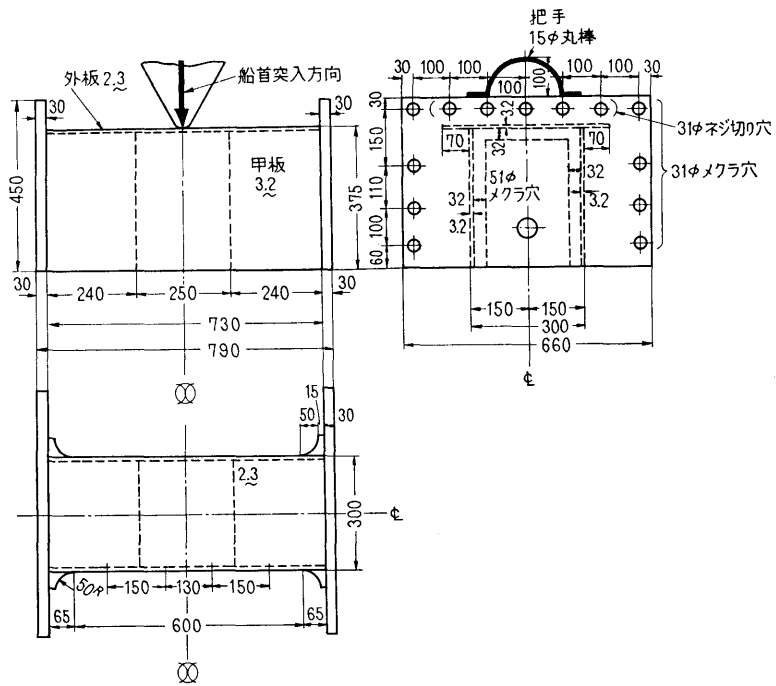


図-4 座屈型試験体

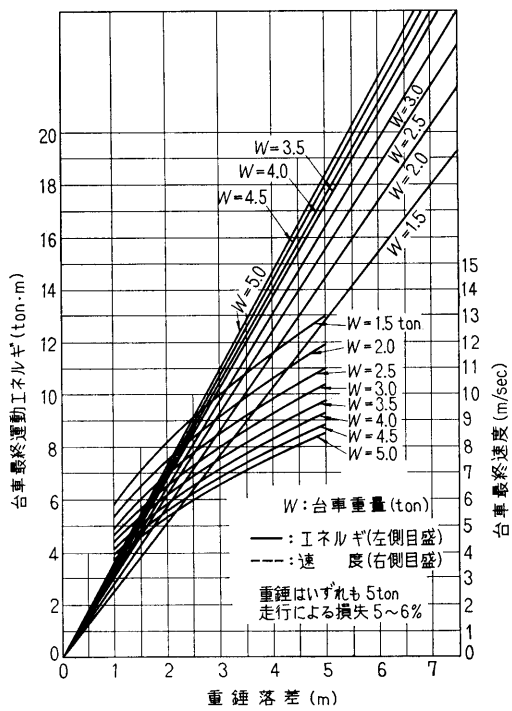


図-5 台車重量をパラメータとした重錘落差と台車運動エネルギーおよび最終速度との関係

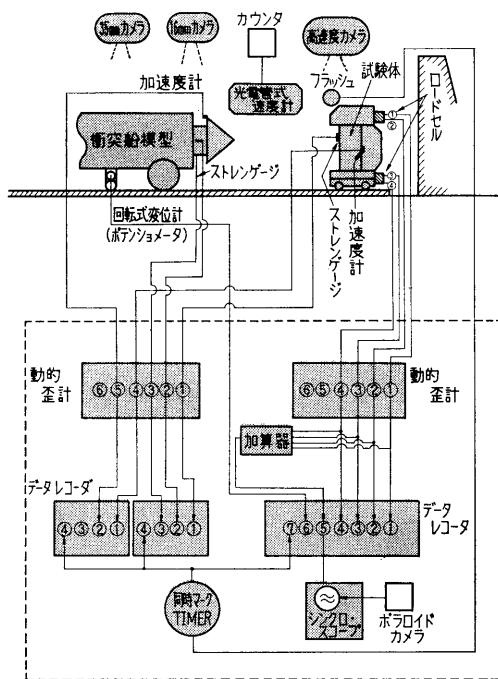


図-6 計測器系統図

表-1 実験結果一覧表

実験番号		1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
試験模型, 破壊形式		I食い込み型	I食い込み型	I食い込み型	I食い込み型	II座屈型	I食い込み型	II座屈型	II座屈型	I食い込み型	II座屈型
台車重量 (a) (ton)		1.46*	1.46	1.5028*	1.5028	1.5028	1.5028	1.5028	1.5028		
載荷重量 (b)		1.32	0.3498	0.5151	2.6020	2.6020	1.6203	1.6203	0.5220		
台車重量 $M=a+b$		2.78	1.81	2.018	4.1048	4.1048	3.1231	3.1231	2.0448		
重錘重量 (ton)		5	5	5	5	5	5	5	5		
台車走行距離 (m)		8.5	9.6	9.7	8.0	4.60	8.50	4.90	5.54		
衝突直前速度 (光电管式) (m/sec)		8.120	10.048	9.458	7.090	5.332	8.058	6.135	7.328		
エネルギー	重錘初期位置エネルギー ( $E_1$ )	21.25	24.00	24.25	20.00	11.50	21.25	12.25	13.85		
	台車運動エネルギー ( $E_2$ ) (ton-m)	9.35	9.32	9.21	10.53	5.95	10.35	6.00	5.60		
	台車車輪の回転エネルギー ( $E_3$ )	0.90	1.37	1.22	0.69	0.39	0.89	0.52	0.73		
	衝突直前エネルギー $E_2 + E_3$	10.25	10.69	10.43	11.22	6.34	11.24	6.52	6.33		
	試験模型の吸収エネルギー										
荷重-突入量曲線											
荷重-時間曲線											
突入量	① 回転式変位計による	—	—	$\delta_{max}=445$	$\delta_{max}=285$	$\delta_{max}=245$	$\delta_{max}=392$	$\delta_{max}=208$	$\delta_{max}=325$		
	② 高速カメラによる										
	③ 破断試験模型	156	192	188	202	196	203	212	212		
備考		* 仕切りを新設		* 仕切りの位置を変更						静的実験	静的実験

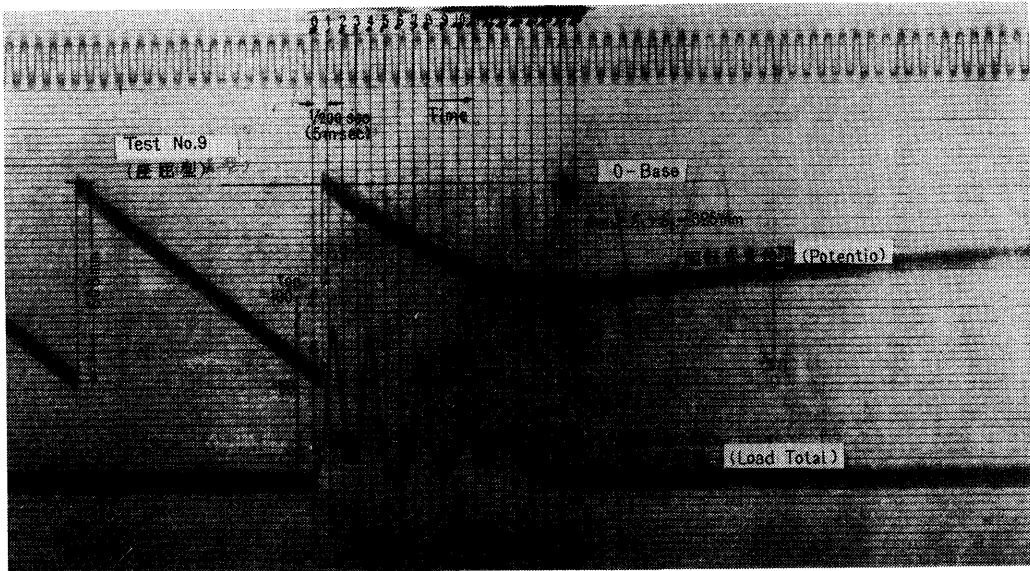


図-7 荷重と回転式変位計の記録例

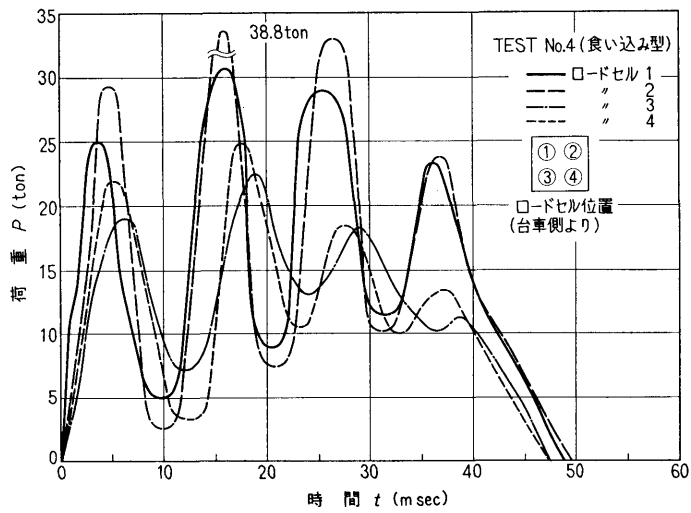


図-8 各ロードセルの荷重-時間曲線例

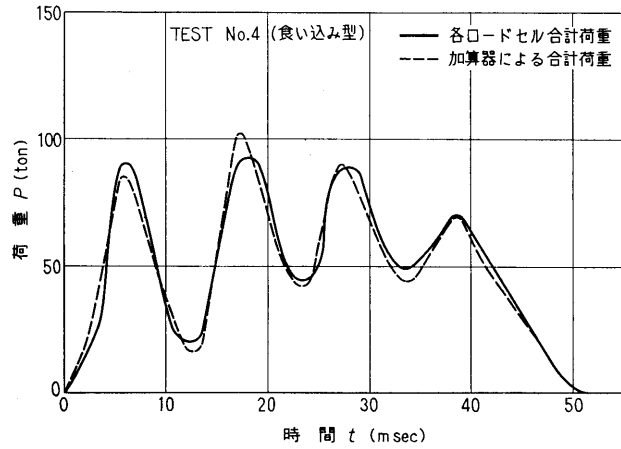


図-9 各ロードセルの合計荷重と加算器による合計荷重との比較例

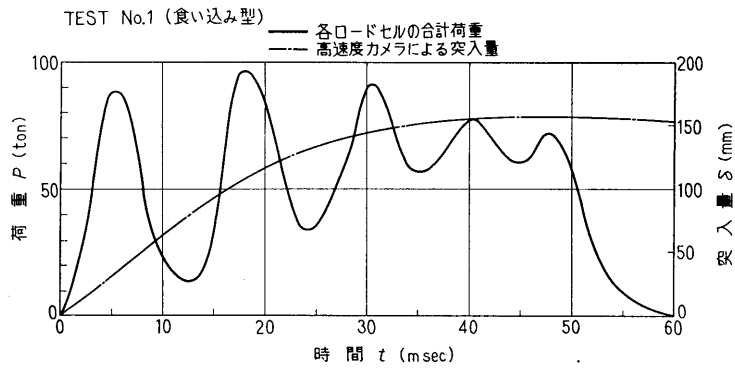


図-10 荷重, 突入量一時間曲線

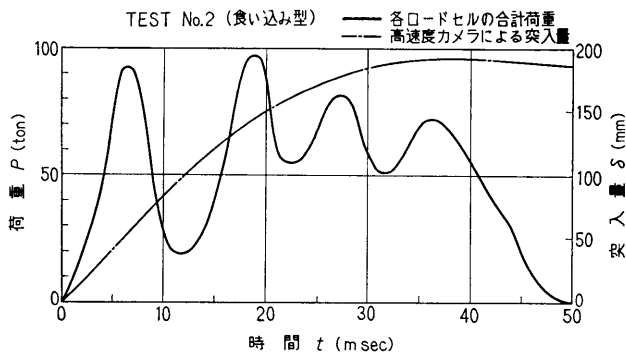


図-11 荷重, 突入量一時間曲線

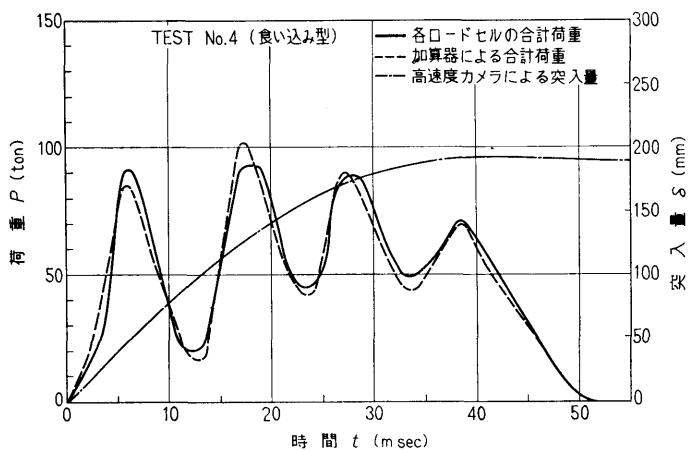


図-12 荷重, 突入量—時間曲線

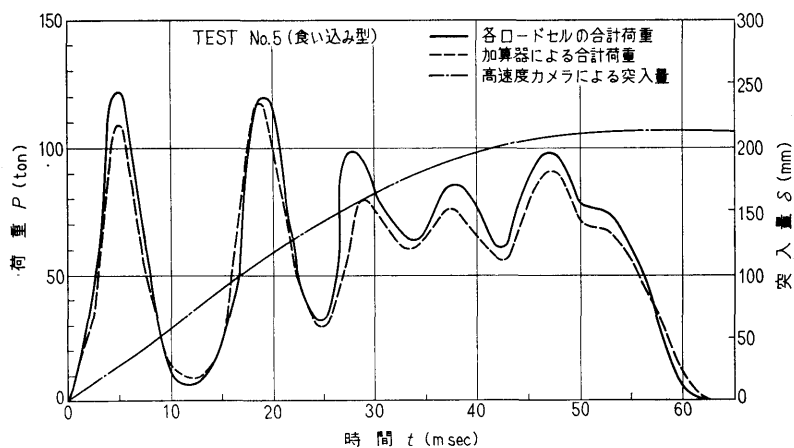


図-13 荷重, 突入量—時間曲線

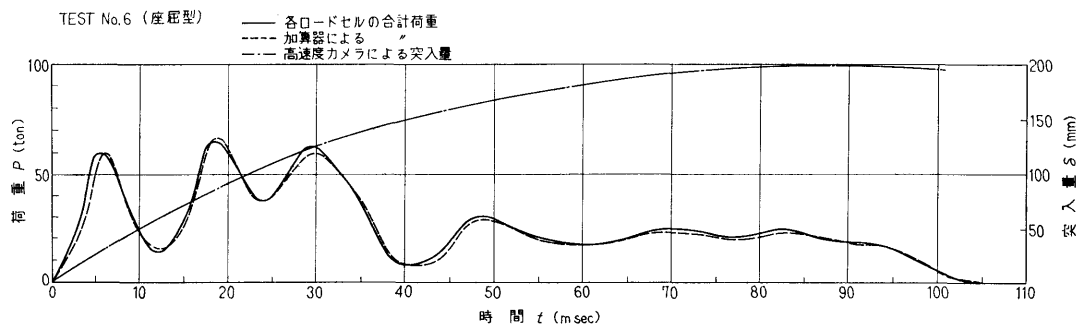


図-14 荷重, 突入量—時間曲線

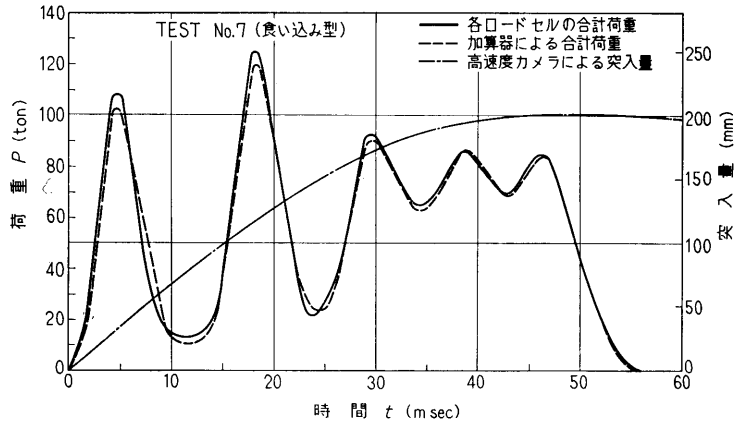


図-15 荷重, 突入量一時間曲線

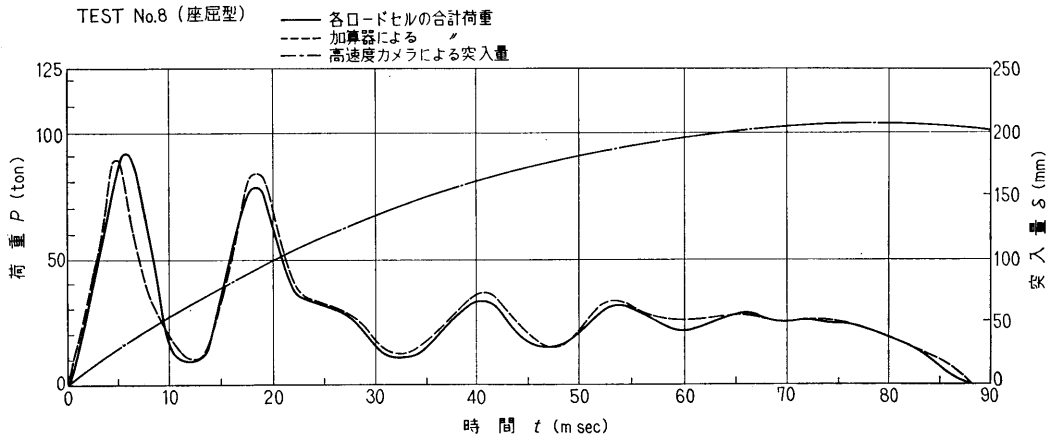


図-16 荷重, 突入量一時間曲線

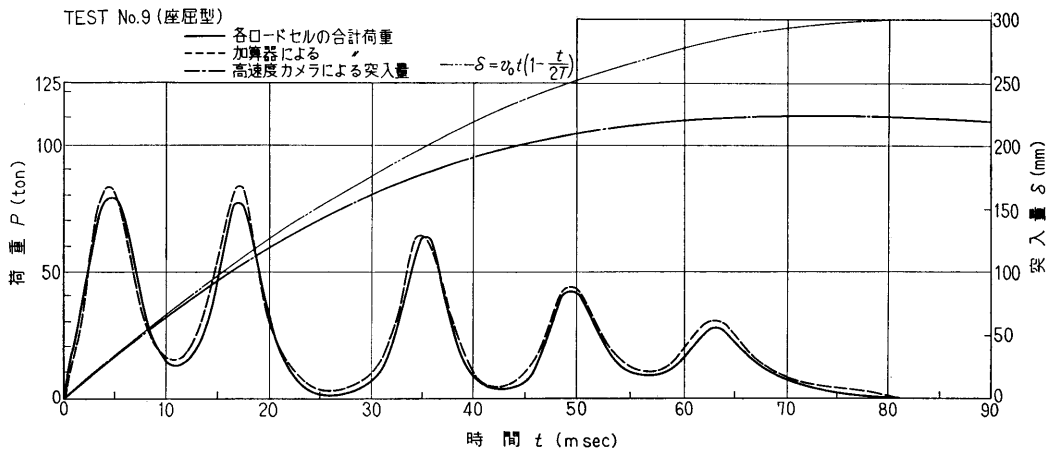


図-17 荷重, 突入量一時間曲線



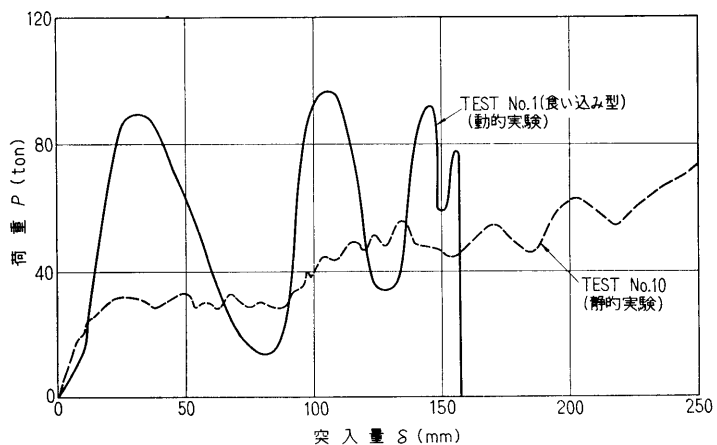


図-18 荷重—突入量曲線

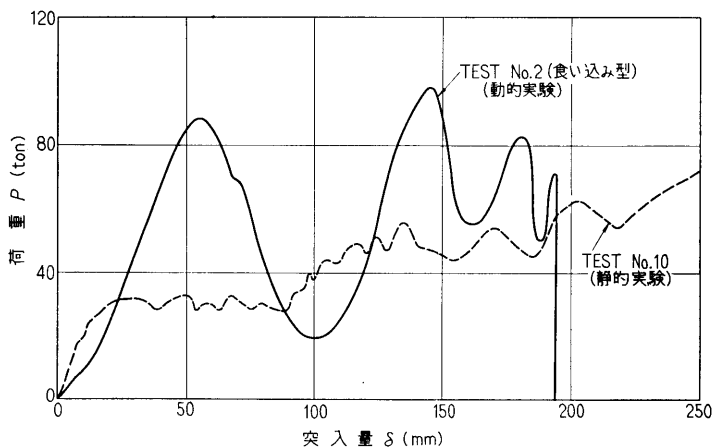


図-19 荷重—突入量曲線

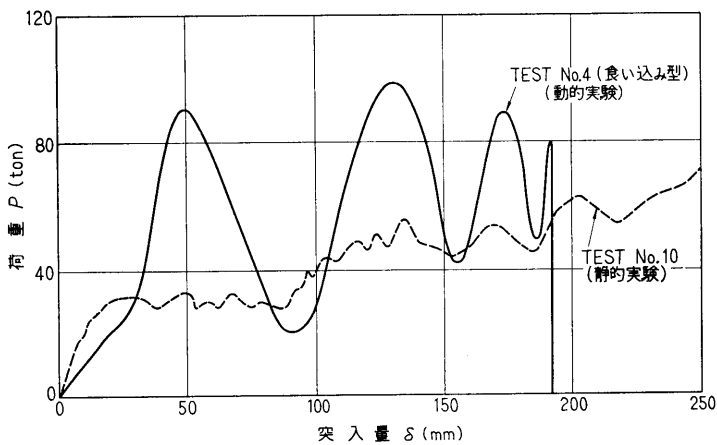


図-20 荷重—突入量曲線

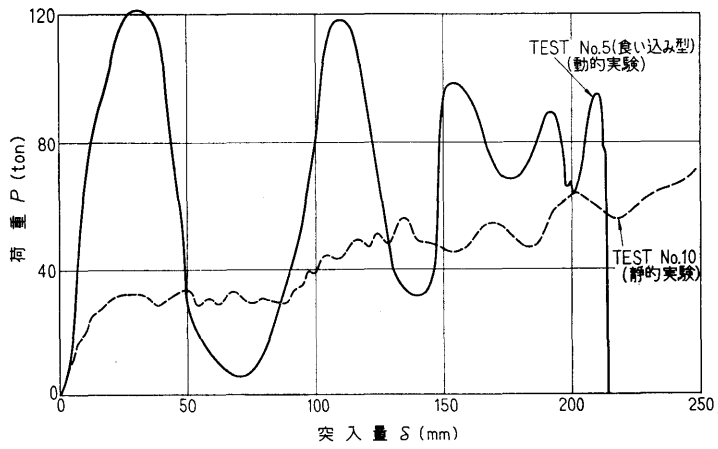


図-21 荷重—突入量曲線

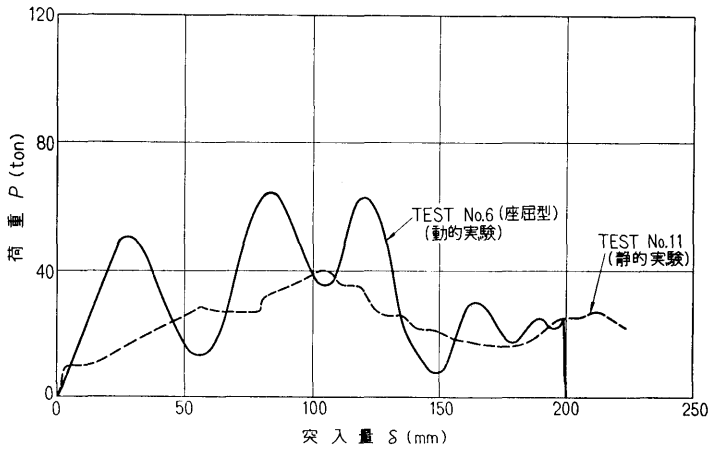


図-22 荷重—突入量曲線

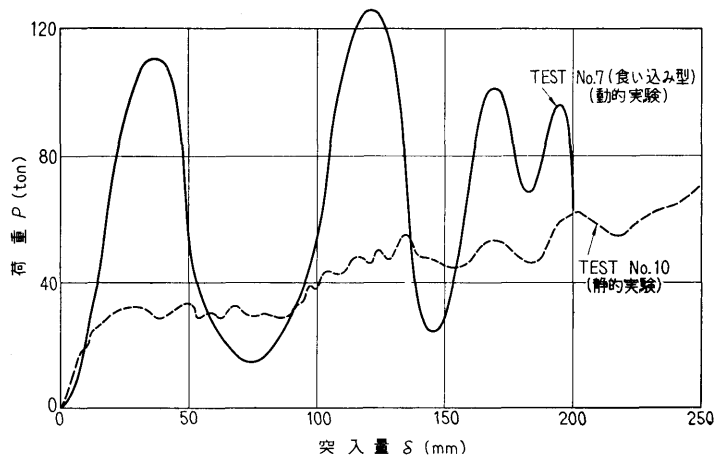


図-23 荷重—突入量曲線

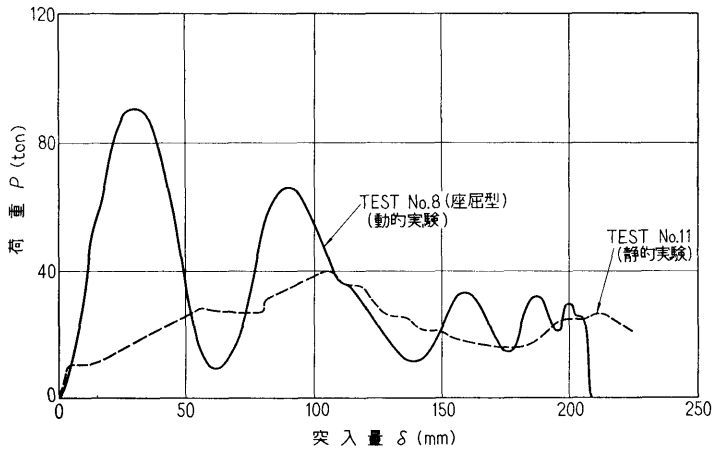


図-24 荷重—突入量曲線

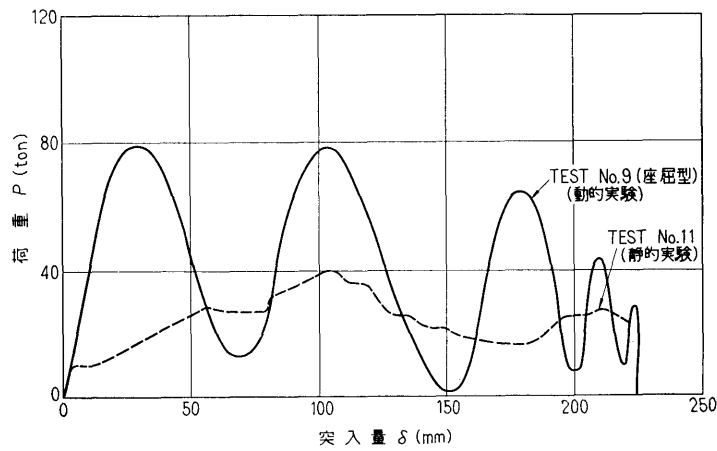


図-25 荷重—突入量曲線

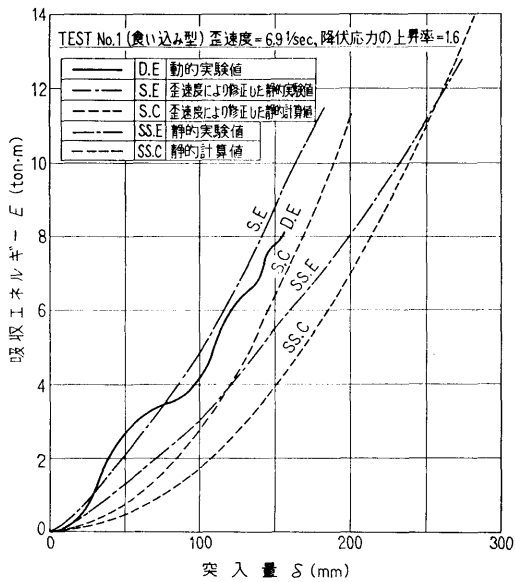


図-26 吸収エネルギー—突入量曲線

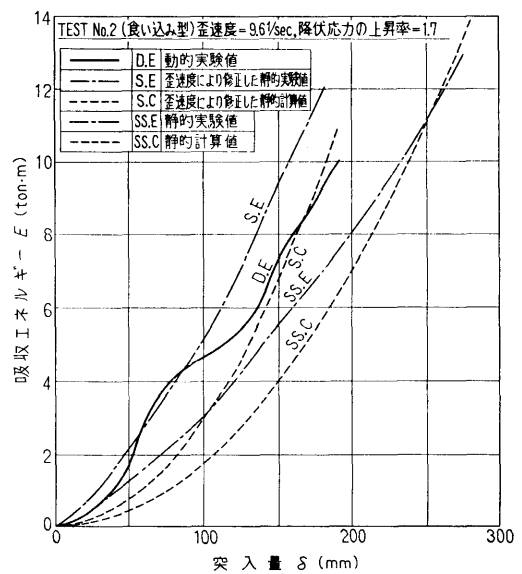


図-27 吸収エネルギー—突入量曲線

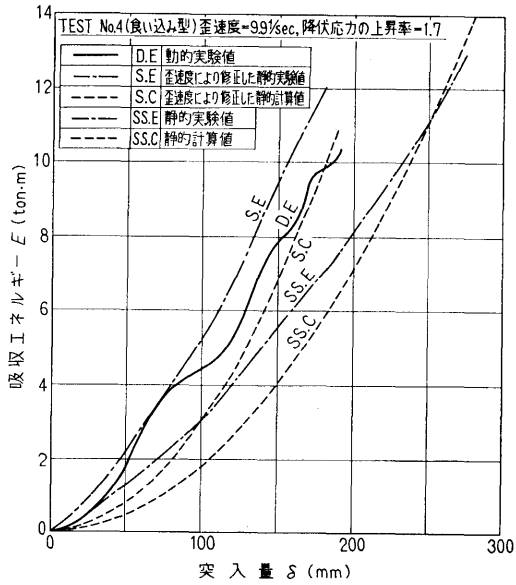


図-28 吸収エネルギー—突入量曲線

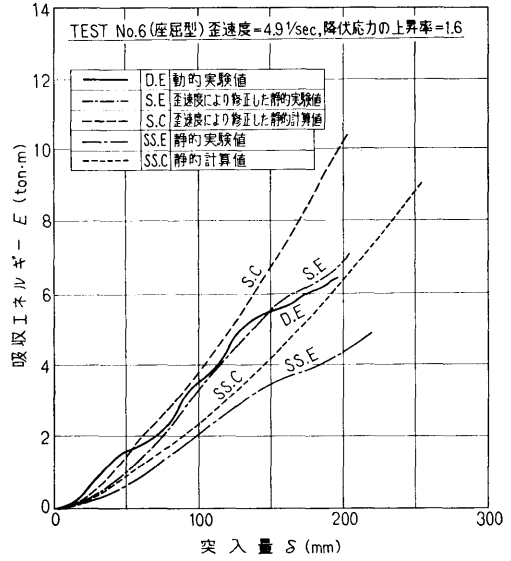


図-30 吸収エネルギー—突入量曲線

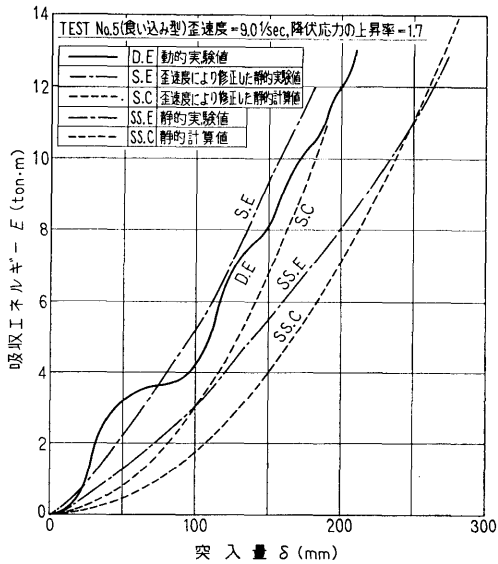


図-29 吸収エネルギー—突入量曲線

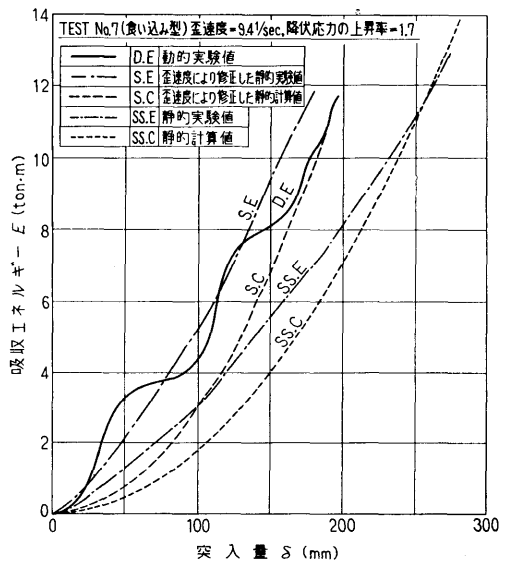


図-31 吸収エネルギー—突入量曲線

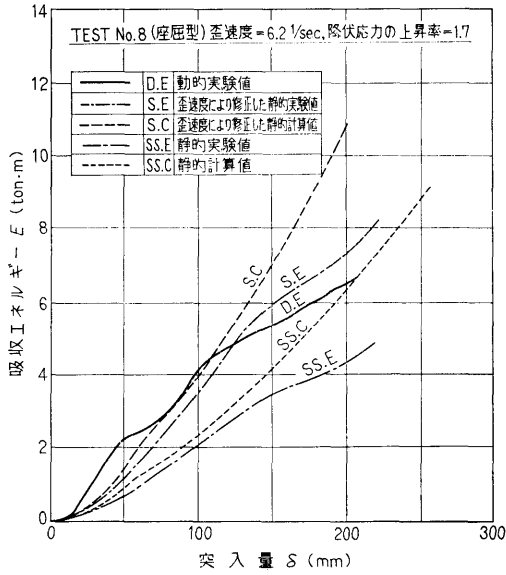


図-32 吸収エネルギー—突入量曲線

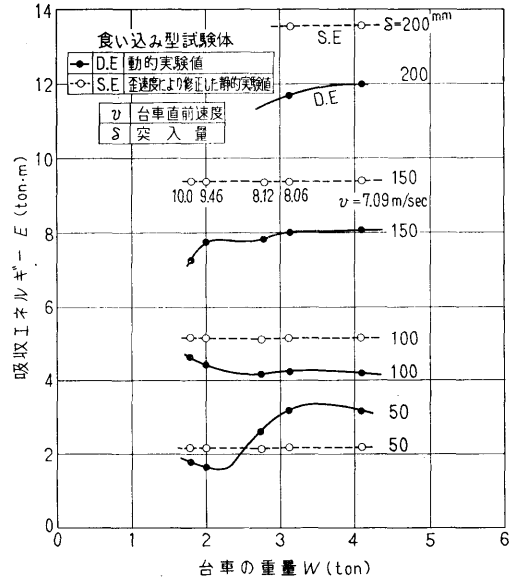


図-34 吸収エネルギー—台車の速度, 重量

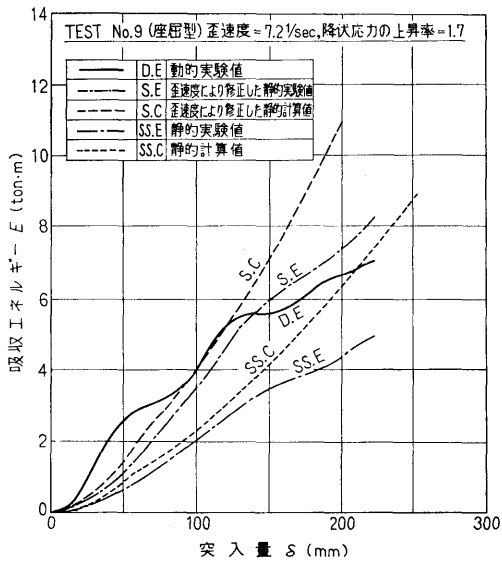


図-33 吸収エネルギー—突入量曲線

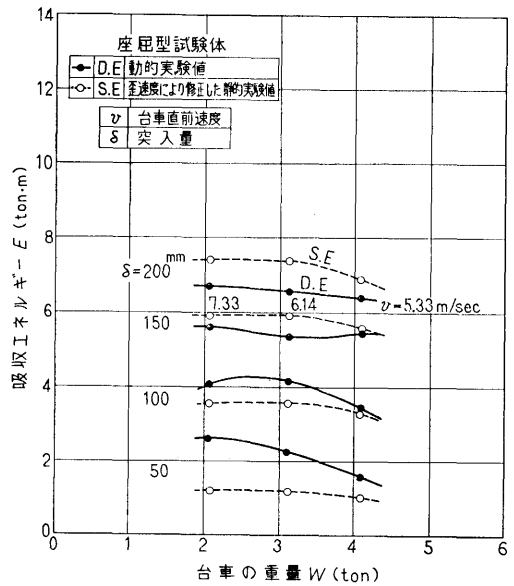


図-35 吸収エネルギー—台車の速度, 重量

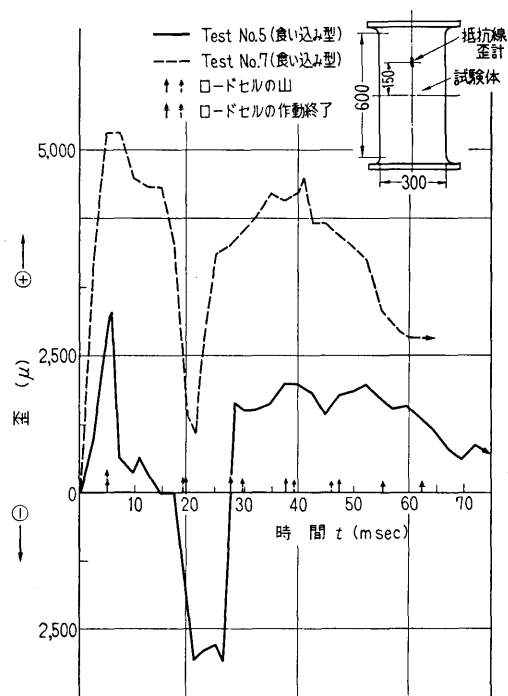


図-36 試験体の歪

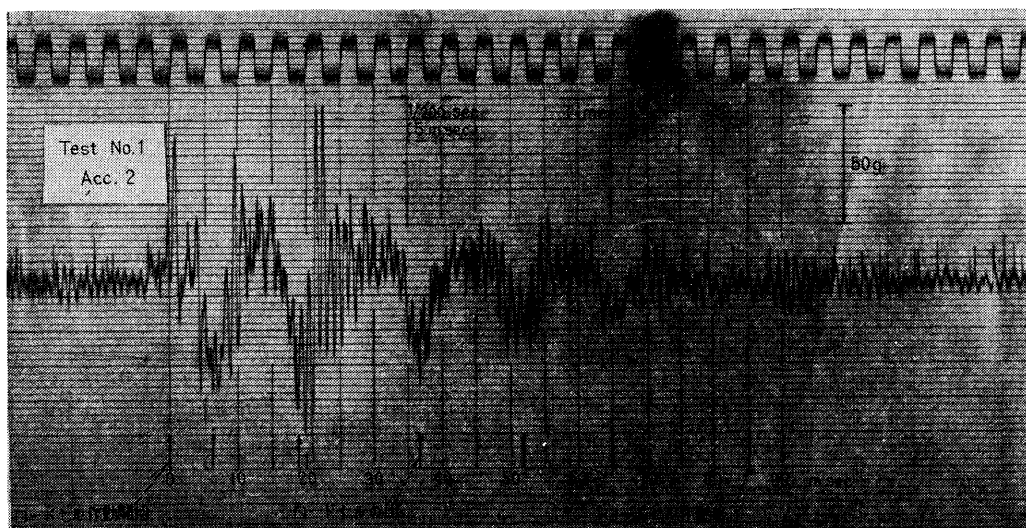


図-37 被衝突船支持架構の衝突時加速度記録例

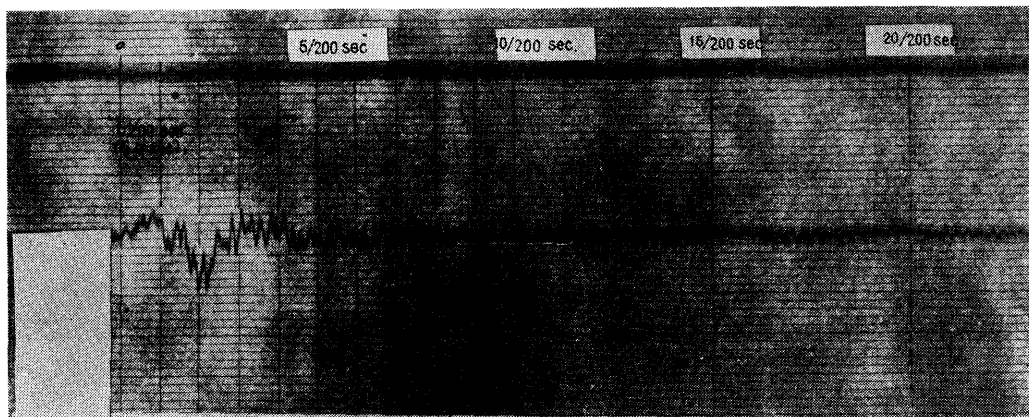


図-38 被衝突船支持架構振動試験記録例

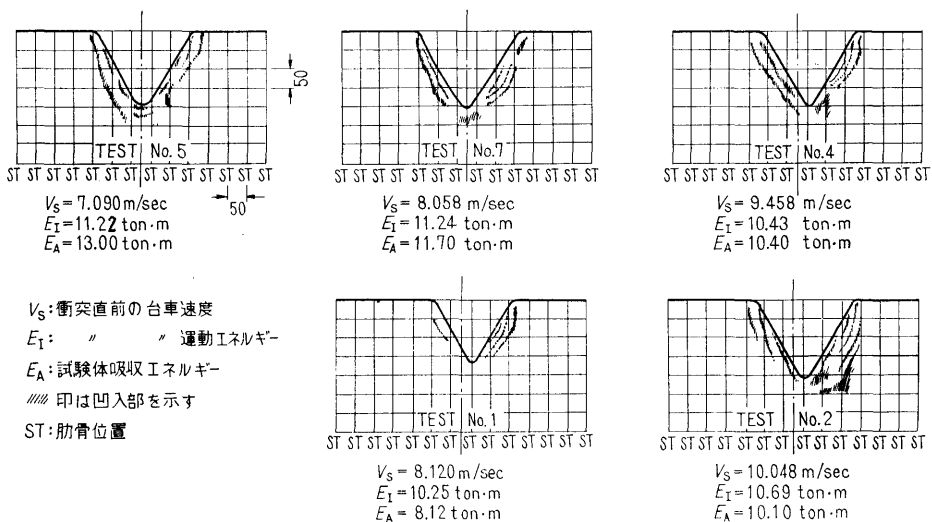


図-39 衝突終了後の試験体の変形（食い込み型）

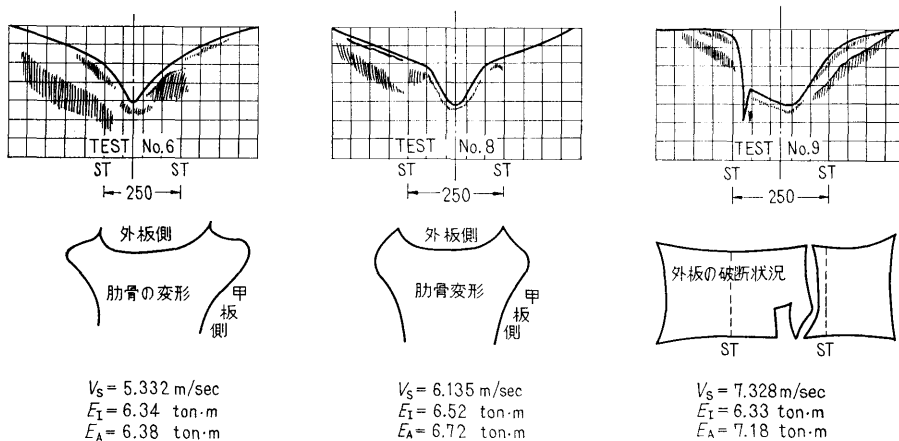


図-40 衝突終了後の試験体の変形（座屈型）

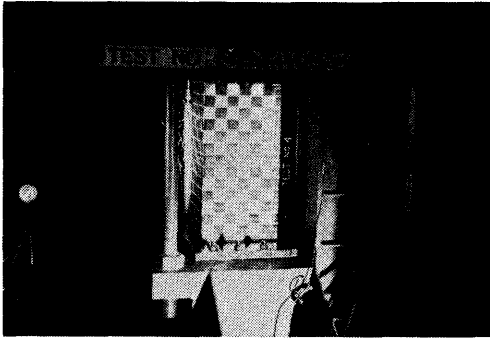


写真-1 船側模型の取り付け状態

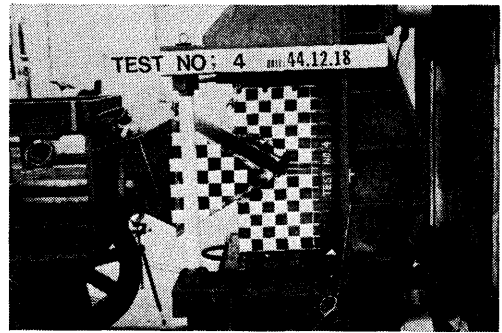


写真-4 衝突直後の状態 (食い込み型)

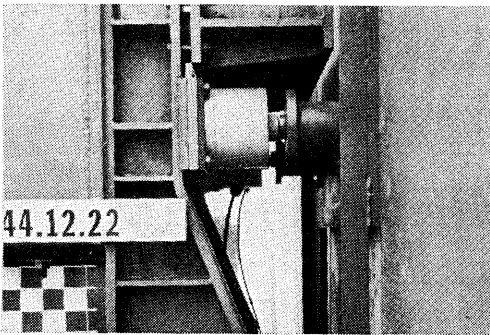


写真-2 ロードセル(左)と過負荷防止用円筒(右)

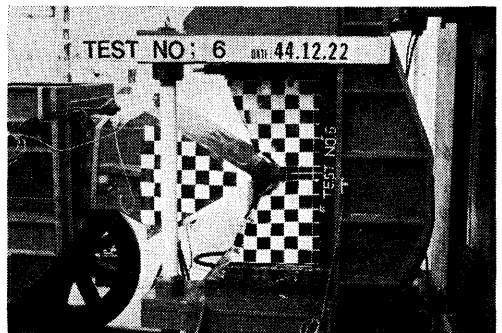


写真-5 衝突直後の状態 (座屈型)

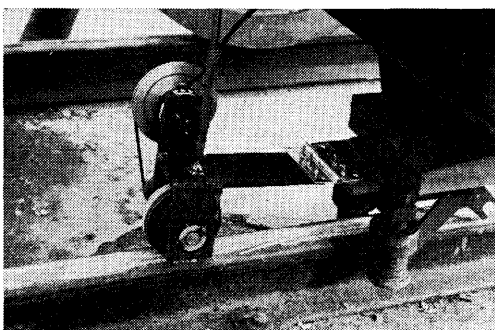


写真-3 回転式変位計

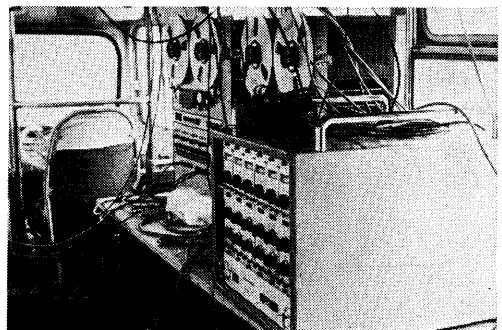


写真-6 計測器