

# TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

船舶の衝突に対するペルプレン緩衝工の実用性に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2011-11-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 大和, 俊一郎 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/900">https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/900</a>

# 学 位 論 文

題 目 船舶の衝突に対するペルフレックス緩衝工の実用性に関する研究

---

指導教授 庄 司 邦 昭

---

商船学研究科 航海学 専攻

平成 5 年度入学

氏 名 大 和 俊 一 朗

---

平成 7 年 1 月 30 日提出



## 目次

章	項目	ページ
第1章	緒言	1 - 2
第2章	静的進入実験	
2. 1	実験概要	3 - 9
2. 2	実験結果	10 - 20
第3章	波力実験	
3. 1	実験概要	21 - 23
3. 2	実験結果	24 - 33
第4章	動的進入実験	
4. 1	実験概要	34 - 36
4. 2	実験結果	37 - 39
第5章	結論	
5. 1	静的進入実験	40
5. 2	波力実験	41
5. 3	動的進入実験	42
5. 4	ペルプレン緩衝工の実用性	43
	謝辞	44
	参考文献	44
	付録	45 - 71

## 第1章 緒言

現在、瀬戸大橋や東京湾横断道路等に代表されるように、船舶が輻輳する海域に巨大な橋梁が国内はもちろんのこと世界各地に建設されている。それに伴い船舶が橋梁に衝突する海難事故が残念ながら発生している。このような海難事故を防ぐために様々な安全対策が研究されている。その一つとして、船舶と橋梁との直接的な衝突を避け、衝突船の運動エネルギーを緩衝施設の圧壊エネルギー（鋼製緩衝工）、または弾性エネルギー（ペルプレン緩衝工）によって吸収しその被害を最小限にとどめるための緩衝施設として、緩衝工があり、現在瀬戸大橋等に取り付けられている鋼製の緩衝工が主流であり、その実用性は既に証明されている。

しかし、鋼製緩衝工には、いくつかの問題点もあげられる。その問題点をいくつか以下の①～③に示す。

### ① 腐食による緩衝性能の劣化

緩衝工は、主な設置場所が海水である。そのため、素材が鋼の緩衝工の場合、防食加工を施しても防ぐことは難しく、そのためのメンテナンスも必要とする。

### ② 圧壊変形

鋼製緩衝工の場合、圧壊変形によるエネルギーによって衝突エネルギーを緩和するため、確率は低いが、緩衝工を取り替える前に同じところに衝突した時、衝突エネルギーはそのまま橋梁にかかってくる。また現在、架橋を予定している船舶航行の難所である来島海峡においては、潮流が激しく、同じところに衝突する確率は無視できないと考えられる。

### ③ 衝突位置

瀬戸大橋に取り付けられている代表的な緩衝工は、鋼製格子状の緩衝工である。この緩衝工は、衝突位置の違いで圧壊荷重が違ふ、そのために緩衝施設としての信頼性が低下する。現在では、円筒形緩衝工等の開発により、大幅に改善させているが、まだ荷重は違っており、現在もなお、違う形状を研究中である。

以上3つの問題点をふまえた上で、本研究においては、鋼製緩衝工に変わる新素材緩衝工として、ゴムとプラスチックの中間の性能を有するペルプレンを用い、緩衝工モデルを作成し、第2章から第4章までの実験を行いその特性を調べ、その実用性を検討した。以下にその実験の目的を示す。

## 第2章 静的進入実験

船首モデルを緩衝工モデルに進入させ、緩衝工にかかる荷重を計測し、吸収エネルギー

---

をから、その緩衝工の特性、実用性を求める。

### 第3章 波力実験

緩衝工に働く波力を計測し、実際に取り付けられたときの波による影響を求める。

### 第4章 動的進入実験

緩衝工モデルに対して、模型船を進入させ、緩衝工にかかる荷重、模型船の速度・加速度・位置変化を計測し、衝突時の総合的な関係を求める。

尚、ペルprenとは、熱可塑性ポリエステルエラストマーの商品名であり、鋼製に比べ、反発弾性、耐塩性、耐候性、復元性に優れた素材であり、耐塩性、耐候性、をとると正に緩衝工として理想的な素材であり、復元性においても、頻度の高い衝突場所の緩衝工として有意義な素材であると言える。

---

第2章 静的進入実験

2. 1 実験概要

船舶技術研究所構造強度部のアムスラー型300ton構造物試験機において、平成5年11月から平成7年1月までに形状において改良1号(1P-150B)、2号(2P-150B)、改良2号(2Q-150B)、改良2号(リブ有り)(2CR-150B)、4号(4BR-150B)の5形状、材質をTABLE1に示すように、固さや曲げ弾性率の違うP-280BとP-150Bの2種類の材質において、計7つのモデルによって実験を行った。緩衝工が船舶に衝突したときの特性を調べるため、緩衝工モデルの底部にある内周板を橋脚模型に固定し、圧縮試験機の油圧ラムにより船首模型を徐々に進入させ、そのときの進入量と荷重の関係を調べた。船首模型はくさび型で、緩衝工に比べ十分に剛性が高いように厚さ16mmの鋼板で作成し、船首の水平開度は35度と30度、先端部は、半径50mmと30mmの丸みを持たせた2種類の船首模型で行った。橋脚模型は、船首模型と同様に緩衝工モデルに比べ十分に剛性が高いように厚さ16mmの鋼板で製作し、形状は半径2m円形部分模型とした。TABLE2にそれらの実験の組み合わせを示す。FIG.1に緩衝工モデルを橋脚模型に取り付けた状況、FIG.2に実験状況を示す。

	P-40H	P-70B	P-150B	P-280B
Specific Weight	1.07	1.17	1.23	1.26
Bending elasticity modulus (kgf/cm <sup>2</sup> )	230	1,100	2,950	5,040
Tenstile Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	140	310	390	375
Elongation (%)	820	550	500	500

T A B L E 1 Characteristics of pelprene

日付	緩衝工形状	緩衝工素材	緩衝工Scale	船首形状
平成5年11月	改良1号 (1P-150B)	P-150B	Full Scale	大船首
平成5年11月	改良1号 (1P-280B)	P-280B	Full Scale	大船首
平成5年12月	2号 (2P-150B)	P-150B	Full Scale	大船首
平成6年12月	改良2号 (2Q-150B)	P-150B	Full Scale	大船首
平成6年12月	改良2.1号 (2CR-150B)	P-150B	1/5 Scale	大船首
平成6年12月	4号(サン有り) (4BR-150B)	P-150B	1/5 Scale	大船首
平成6年12月	4号(サン無し) (4BR-150B)	P-150B	1/5 Scale	大船首
平成7年1月	改良2号 (2Q-150B)	P-150B	1/5 Scale	大船首
平成7年1月	改良2号 (2Q-150B)	P-150B	1/5 Scale	小船首

TABLE 2 静的進入実験内容

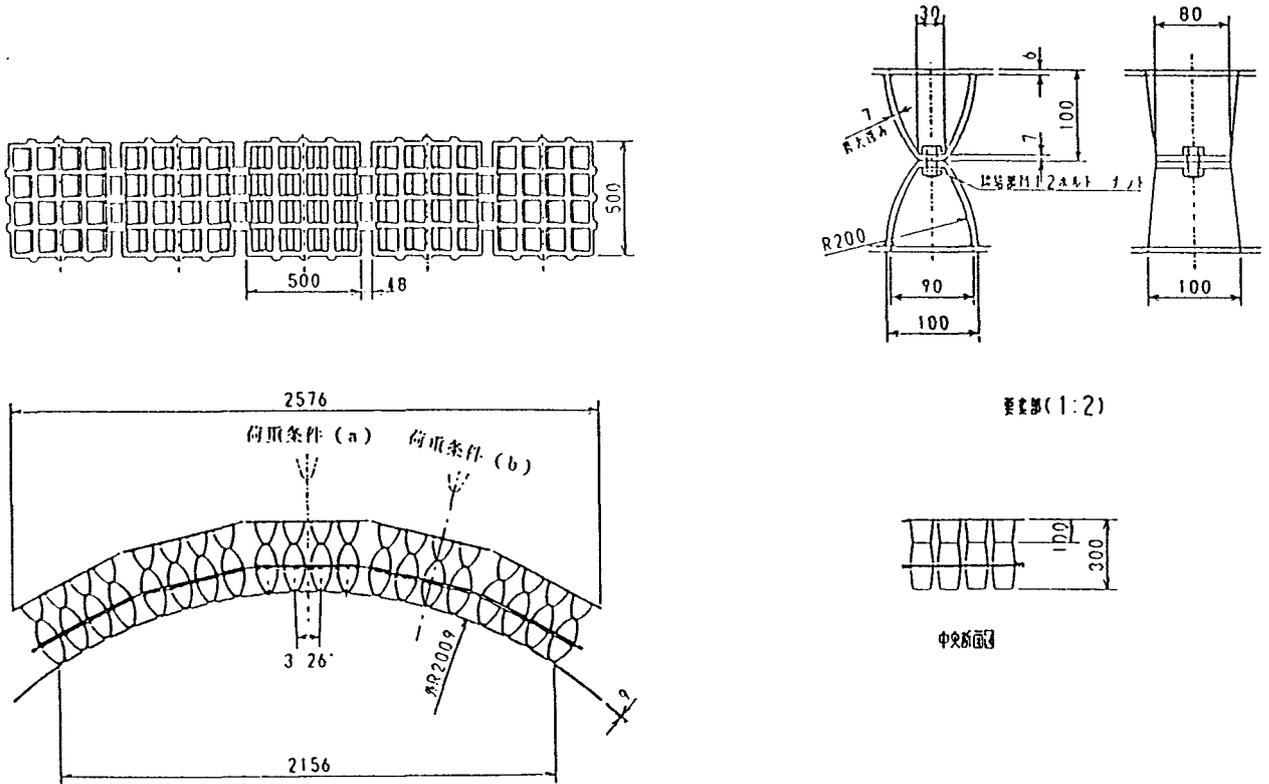


FIG. 1-(a) 改良1号緩衝工 (1P-150B, 1P-280B)

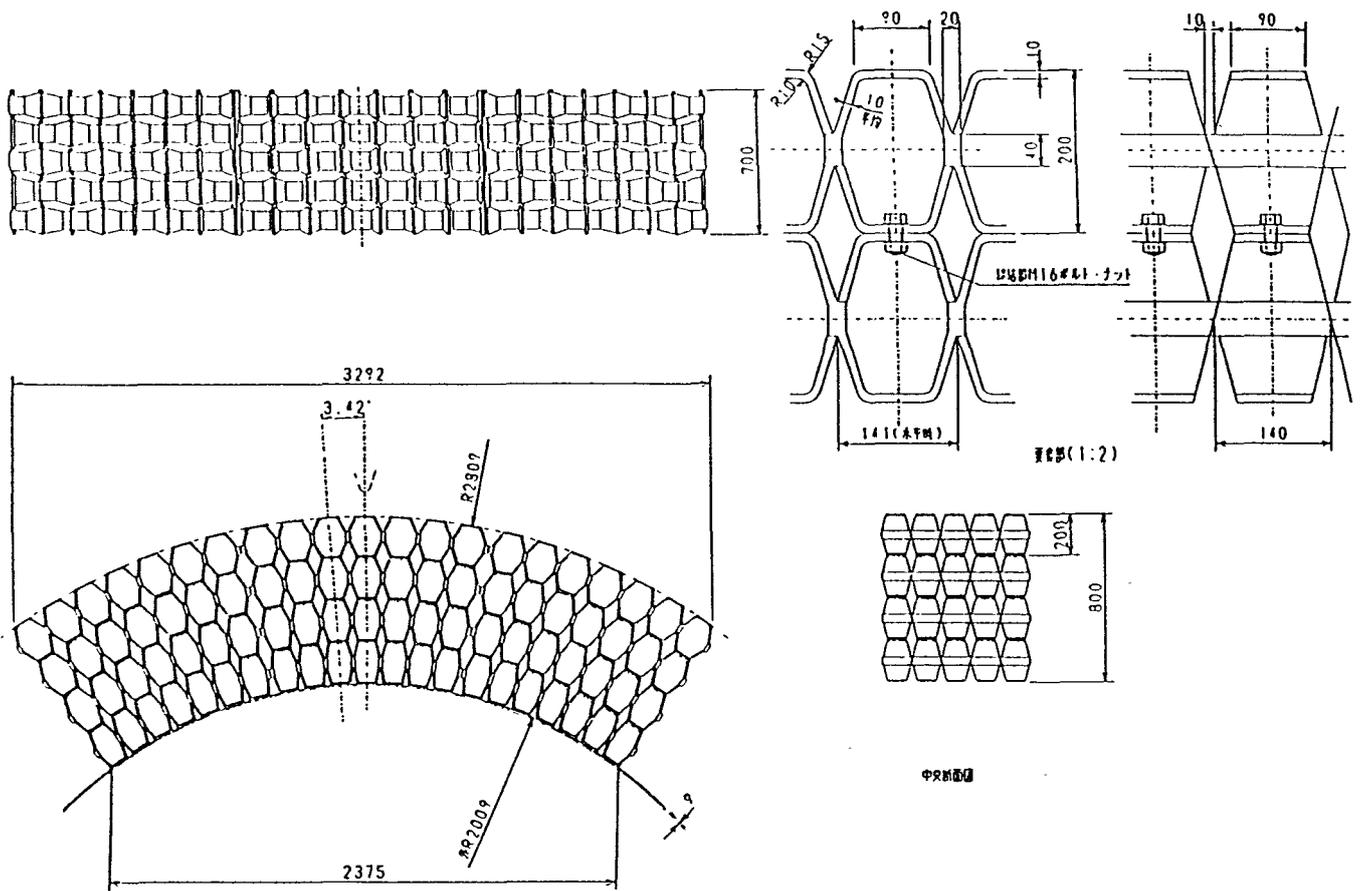


FIG. 1-(b) 2号緩衝工 (2P-150B)

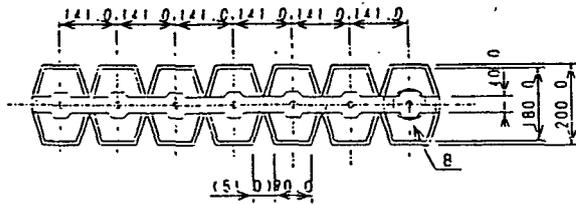
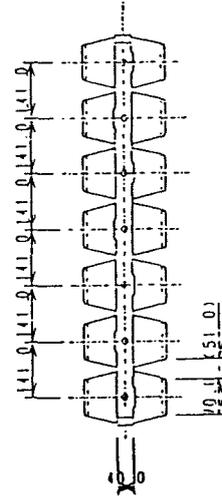
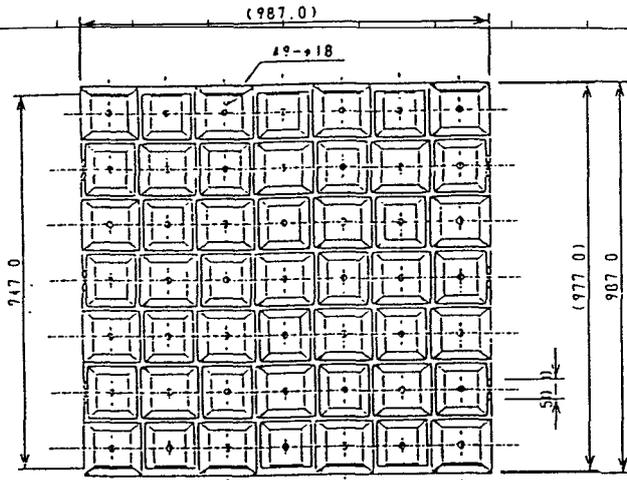


FIG. 1 - (c) 改良2号緩衝工 (2Q-150B)

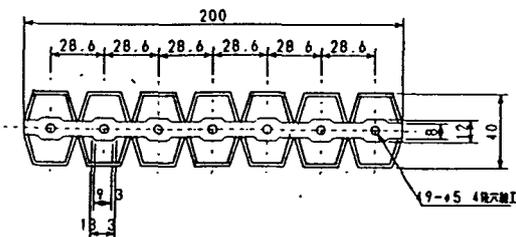
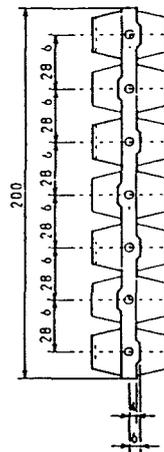
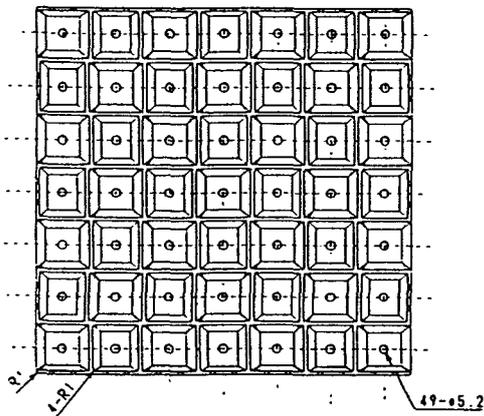


FIG. 1 - (d) 改良2.1号緩衝工 (2CR-150B)

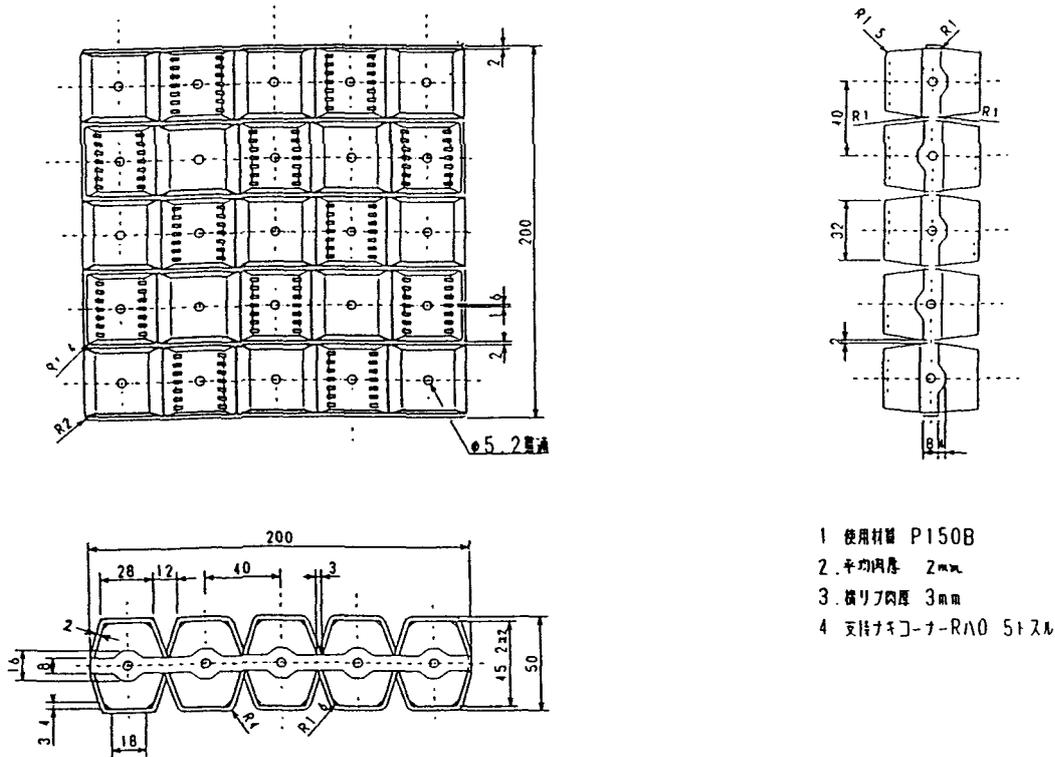


FIG. 1-(e) 4号緩衝工 (4BR-150B)

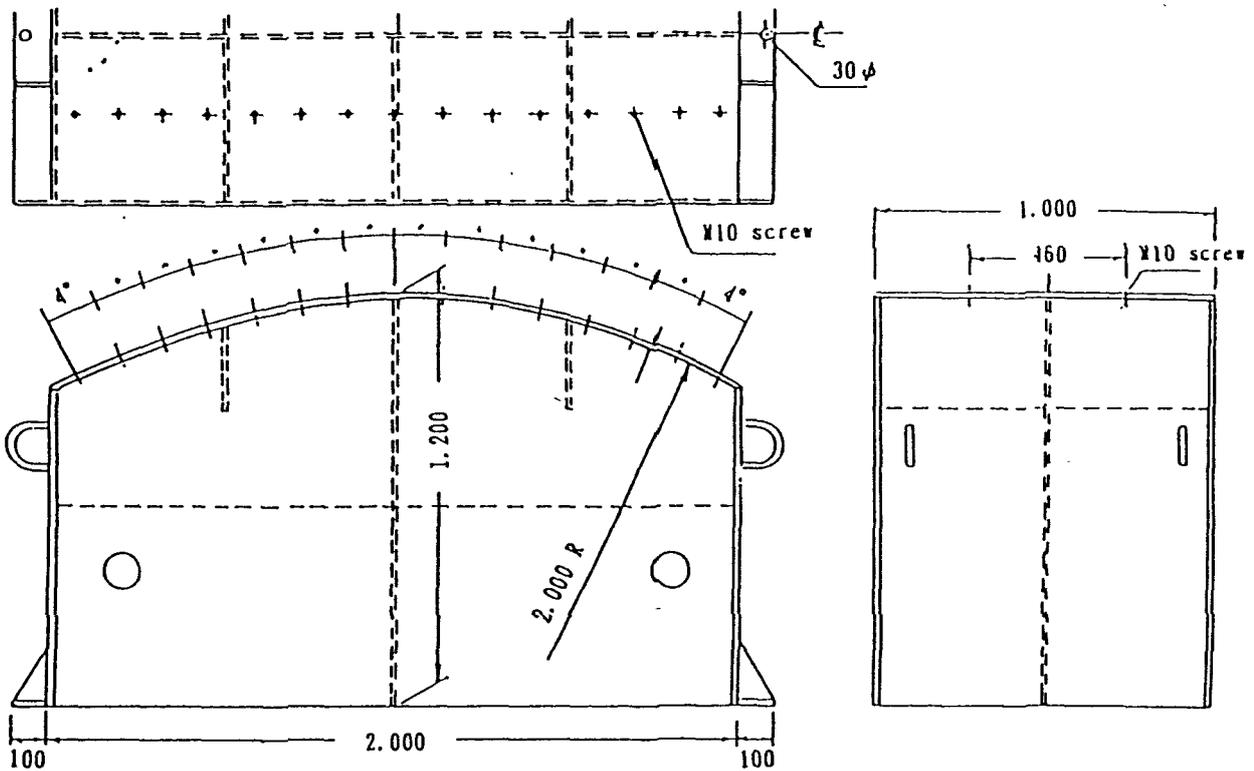
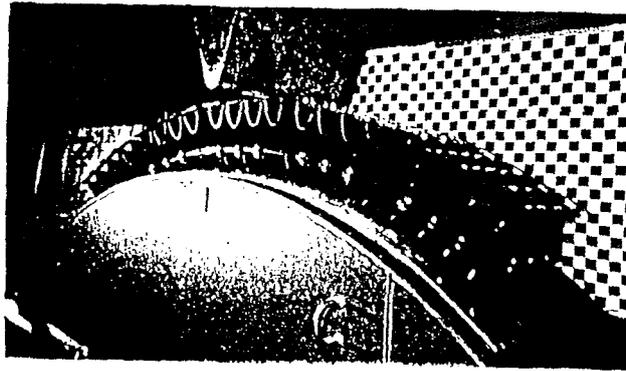
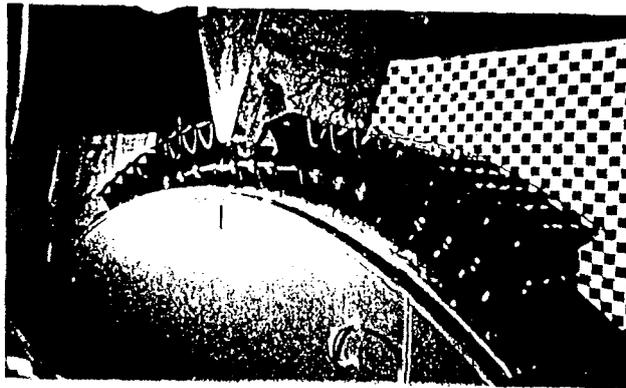


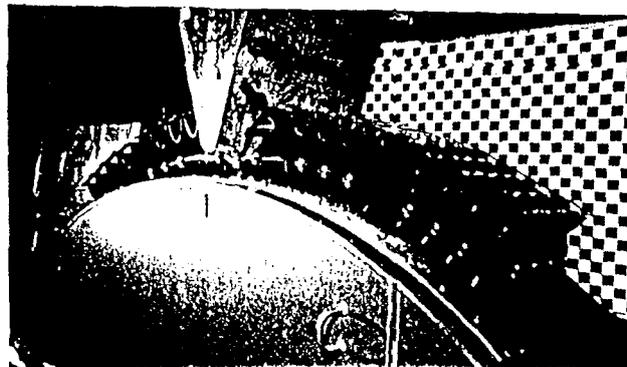
FIG. 1-(f) 橋脚模型



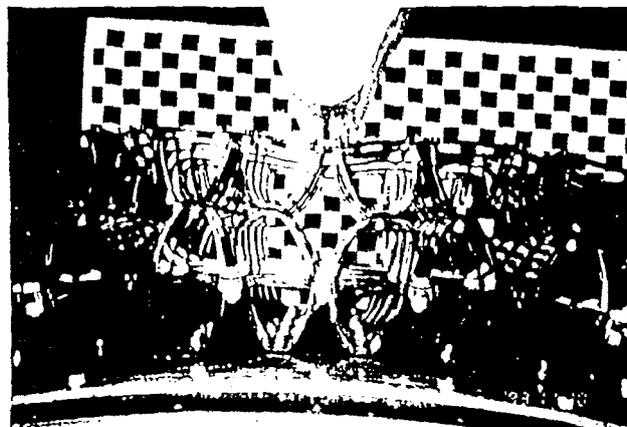
(1) 压缩前



(2) 4.0%压缩

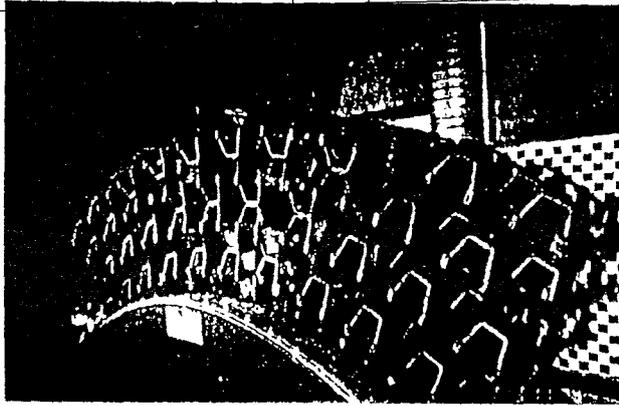


(3) 6.7%压缩

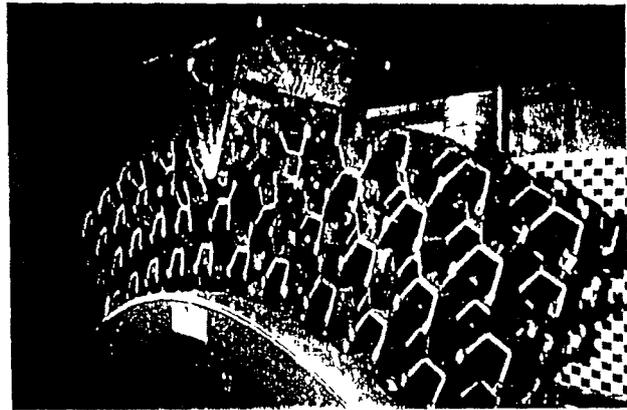


(4) 除荷後  
(復元 97%)

FIG. 2 (a) Experimental State of  
IP-150B



(1) 負荷前



(2) 40%圧縮



(3) 62%圧縮



(4) 除荷後  
(復元 96%)

FIG. 2 (b) Experimental State of  
2P-150B

## 2. 2 実験結果

FIG.3~10に5形状、9種類の緩衝工モデルに対する船首模型を静的に進入させる実験よりえられた、荷重-歪率曲線と吸収エネルギー-歪率曲線を示した。まず荷重-歪率曲線を見ると、ほとんどのモデルは、FIG.11に示すように、荷重の立ち上がり部分に続き平坦な部分へと続く、これはすなわち、線形弾性領域にとそれに続き荷重があまり変化を見せないプラトー (Plateau) 領域、そして再び荷重が立ち上がり上昇していく緻密化領域となるハニカム構造の変形機構の特徴が示されている。FIG.3~4の中の2つの曲線は船首模型と緩衝工モデルの衝突位置の違いによる特性と示す。

FIG.3の1P-150Bの緩衝工に対する実験では、CONDITION(a)の方が船首の進入に対する付近の緩衝工の要素の間隔が小さいために荷重が急に高くなる傾向が見られる。そのため変位の初期段階で吸収エネルギーは高くなるが、その部分を除くと荷重と吸収エネルギーに対する船首の衝突位置による違いによる差はほとんどなく、緩衝工の均一性は高いことがわかる。しかし、素材の強度を上げたFIG.4の1P-280Bにおいては、荷重-歪率曲線のプラトー領域において船首の衝突位置による差が見られるようになり、CONDITION(b)の方が吸収エネルギーは、大きくなっている。これは、プラトー領域がハニカムの柱としての、座屈強度に依存するため構成要素の壁の向きの違いによる差が出たものと考えられる。

FIG.5の4つの曲線はFIG.3~4のCONDITION(a)の曲線と以下に示す改良1号の近似式による値の曲線をそれぞれの素材で示したものである。材質の強度を上げることにより吸収エネルギーは大幅に改善されることがわかり、歪率0.67における吸収エネルギーで見ると1P-280Bのほうが1P-150Bに対して1.7倍程度高い値を示している。この値は、TABLE1に示す両者の曲げ弾性率の比  $\eta=5040/2950=1.7$ に相当している。

上記の近似式を以下の(1)から(4)に示す。

$$(1) \quad 0 < \delta_F < 0.05$$

$$\text{荷重} \quad P_F = 20 P_0 \delta_F$$

$$\text{吸収エネルギー} \quad E_F = 10 P_0 L_F \delta_F^2$$

$$(2) \quad 0.05 < \delta_F < 0.2$$

$$\text{荷重} \quad P_F = P_0$$

$$\text{吸収エネルギー} \quad E_F = P_0 L_F (\delta_F - 0.025)$$

$$(3) \quad 0.2 < \delta_F < 0.5$$

$$\text{荷重} \quad P_F = 5 P_0 \delta_F$$

$$\text{吸収エネルギー} \quad E_F = P_0 L_F (2.5 \delta_F^2 + 0.075)$$

(4)  $0.5 < \delta_F < 0.67$

$$\text{荷重} \quad P_F = 10P_0(\delta_F - 0.25)$$

$$\text{吸収エネルギー} \quad E_F = P_0 L_F (5\delta_F^2 - 2.5\delta_F + 0.7)$$

ただし、 $L_F$  : 緩衝工奥行き、 $\delta_F$  : 緩衝工変位量 (剛船首の進入量、歪率) [ $\delta_F = X_F / L_F$ ]とし、 $P_0$  (ton)は次式により求められる緩衝工の強度である。改良1号、2号においては、

$$P_0 = 0.048 D_F K_F$$

ここに、 $D_F$  : 緩衝工高さ、 $K_F$  : 曲げ弾性率 ( $kg/mm^2$ )である。

FIG.6の3つの曲線は、2P-150Bの同一場所における、1回目の荷重(CONDITION(1))と、2回目の荷重(CONDITION(2))の連続した荷重による特性と上式による近似式を示している。荷重-歪率曲線では、線形弾性領域とプラトー領域において、CONDITION(2)はCONDITION(1)の0.7倍に相当している。また緻密化領域においては、CONDITION(2)の方が大きくなっている。これらは、線形弾性領域、プラトー領域においては、1回目と2回目の荷重回数の違いによる曲げ弾性率の低下が原因と考えられる。緻密化領域による荷重の変化は、ハニカムの柱としての座屈強度か、1回目の荷重後の残存変形量における差による歪率の違いが考えられるが、残存変形量における差は、歪率にして、およそ0.05程度でこのようなおおきな差としては、考えにくいので必然的に座屈強度によるものと推定される。近似式とCONDITION(1)を見ると歪率0.5までは、大体同様な荷重曲線であり、このことにより改良1号と2号の差はあまり無いと考えてよい。エネルギー歪率曲線においては、荷重回数による差がそのままエネルギーの差となっている。また、近似値もCONDITION(1)と同様なエネルギー曲線を持っている。

FIG.7においては、改良2号と2号とそれぞれの近似値を示した。尚、緩衝工の強度を示す $P_0$ は改良2号において、

$$P_0 = 0.088 D_F K_F$$

とした。また、改良2号は、2号型に横棧を2号型の回りに取り付けたもので、この曲線により、その横棧の効果がみられ、改良2号とその近似値が、荷重、エネルギーともに同じような特性を持っていることから、改良2号は、2号型より横棧の効果で $0.088/0.048=1.83$ 倍の強度が増したことになる。

FIG.8は、改良2.1号と4号、改良2号近似値を示す。FIG.1に示すように、改良2.1号は、改良2号より横棧の数を増やし、緩衝工の肉厚を増やした形状で、4号は、改良2.1号の1つのプレートに対する山の数を7つから5つにしたものである。この曲線により、横棧をさらに増やしたときの効果と肉厚を増やしたときの効果、さらに山の数による影響がわかる。これより、改良2.1号においては、吸収エネルギーで、改良2号の1.4倍高い性能を示している。4号においては、改良2.1号より山の数を25/49にしたところ吸収エ

---

エネルギーで0.56倍になった。これは、緩衝工のペルプレンの密度によるものと考えられ、緩衝工の山の数の比とも近い値を示している。

FIG.9の4つの曲線は、棧がある場合と棧を60%にした場合の荷重とエネルギー曲線であるが、4つの曲線は、緩衝工の同一場所を連続的に荷重をかけた場合であるので、サンなし1回目、サンなし2回目は、連続荷重3回目と4回目となる。しかし、このペルプレン緩衝工では、2回目の荷重以降は、さほど荷重に変化は見られないことから、サン有り2回目とサンなし1回目の吸収エネルギーで比較すると、サンを60%にした場合に約0.79倍になった。これはほとんどがサンによる影響と考えてよい。

FIG.10は、船首形状の与える影響を調べたものであり、これにより、その影響が顕著にわかる。

---

FIG. 3 (a) 荷重-歪率曲線 (1P-150B)

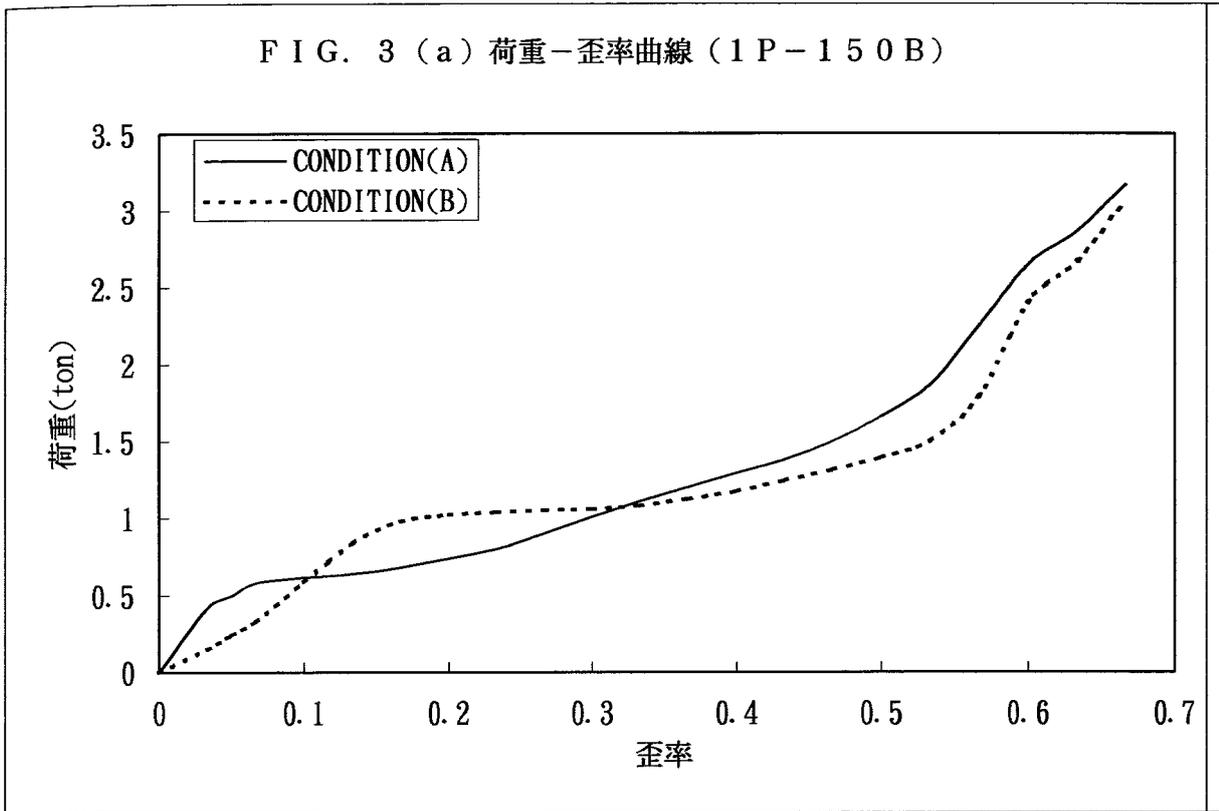


FIG. 3 (b) エネルギー-歪率曲線 (1P-150B)

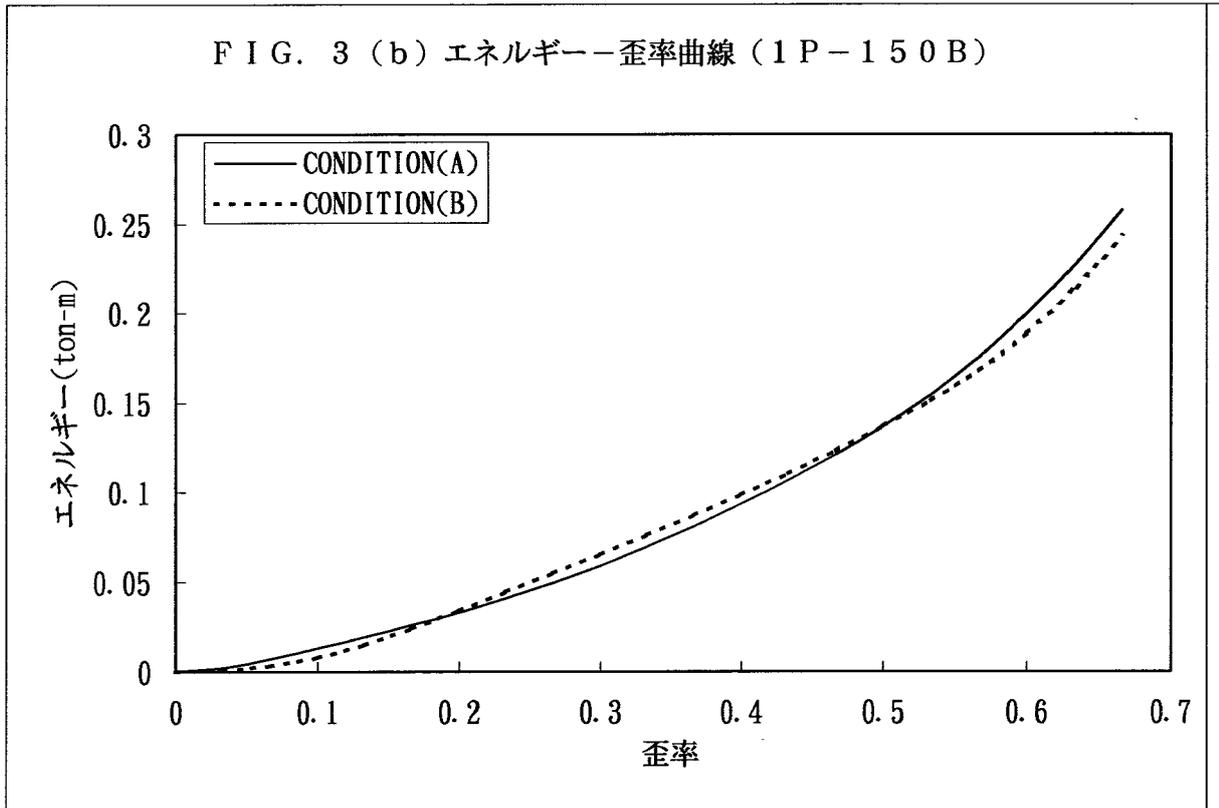


FIG. 4 (a) 荷重-歪率曲線 (1P-280B)

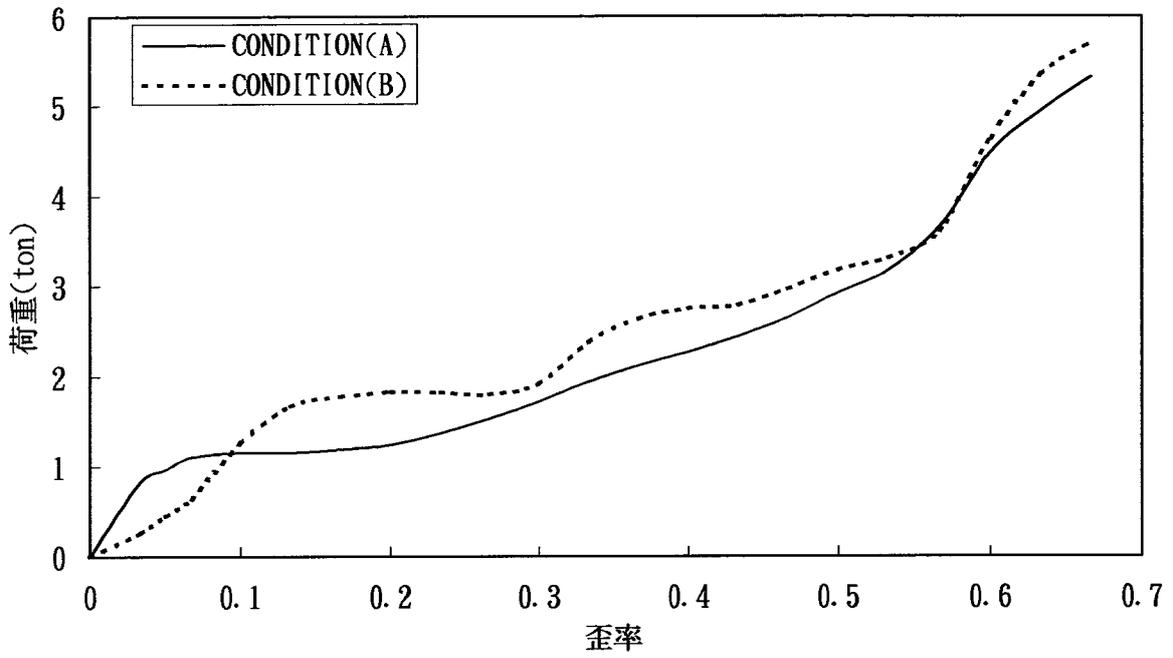


FIG. 4 (b) エネルギー-歪率曲線

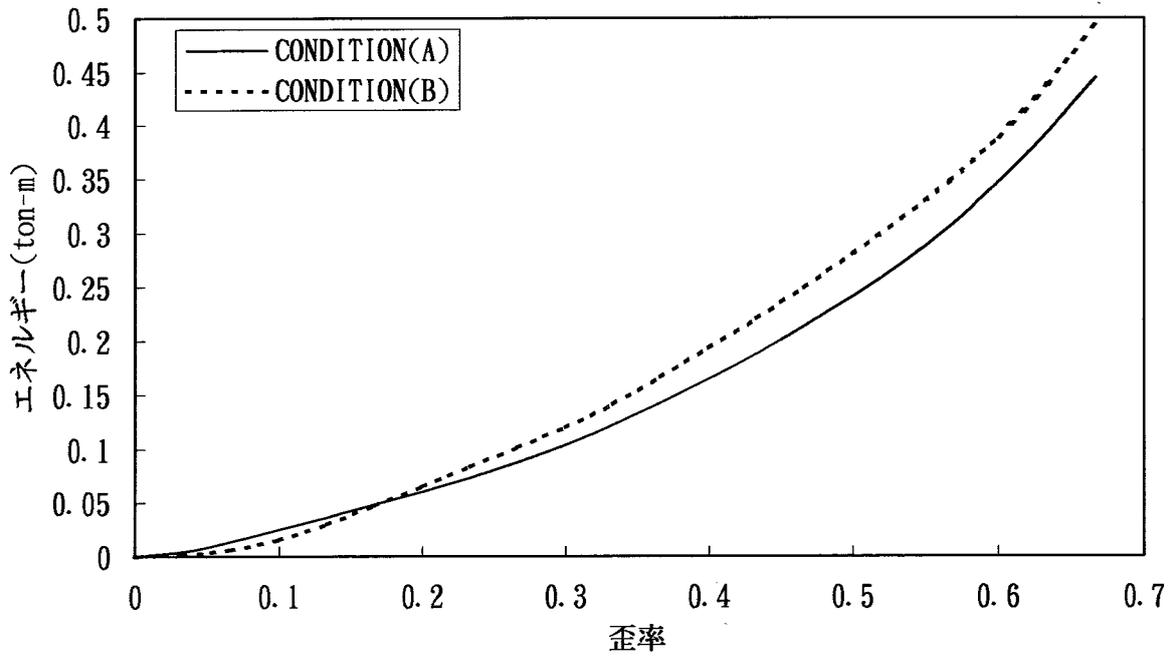


FIG. 5 (a) 荷重-歪率曲線(1P-150B, 1P-280B)

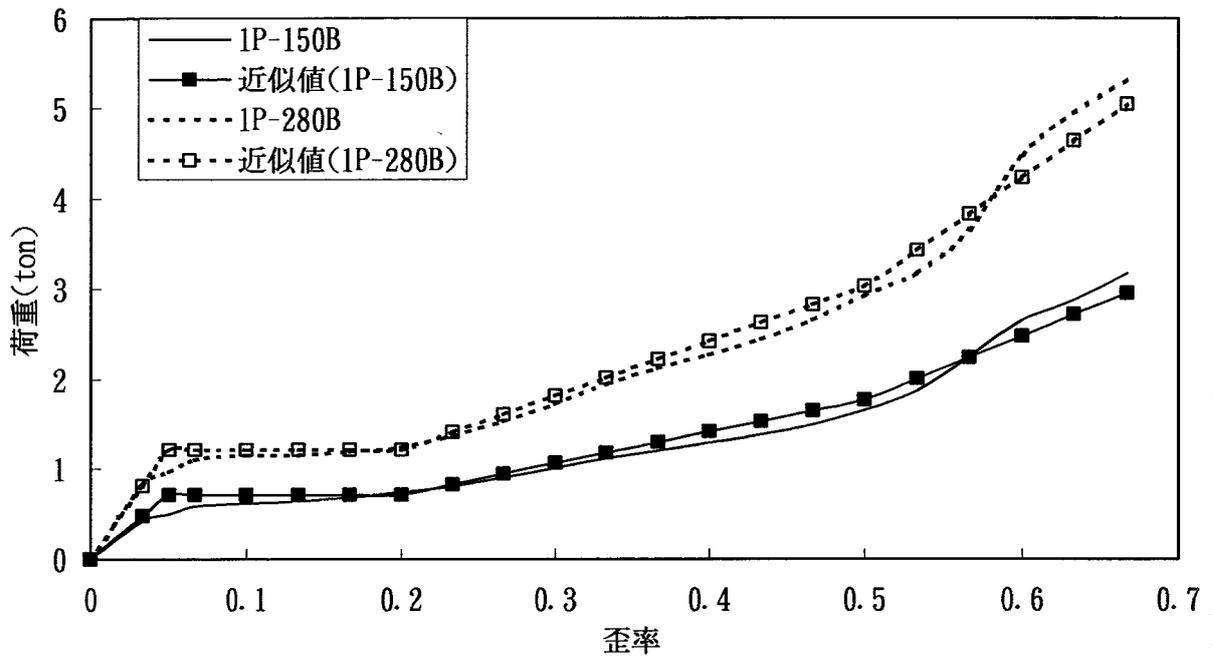


FIG. 5 (b) エネルギー-歪率曲線(1P-150B, 1P-280B)

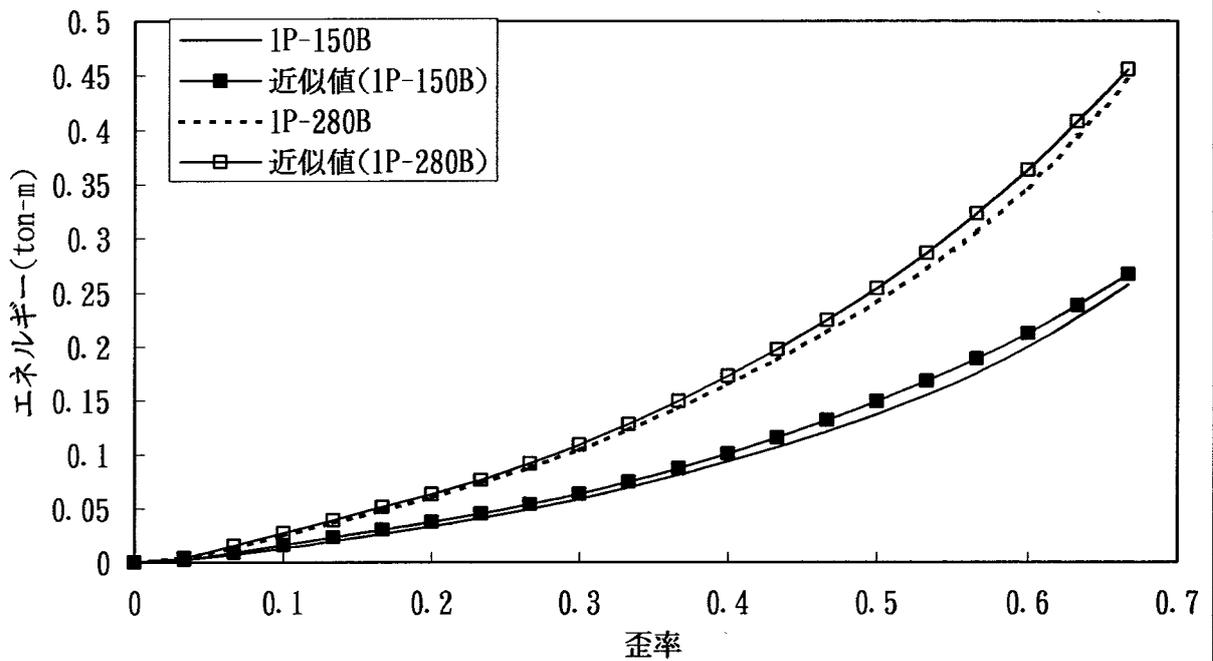


FIG. 6 (a) 荷重-歪率曲線 (2P-150B)

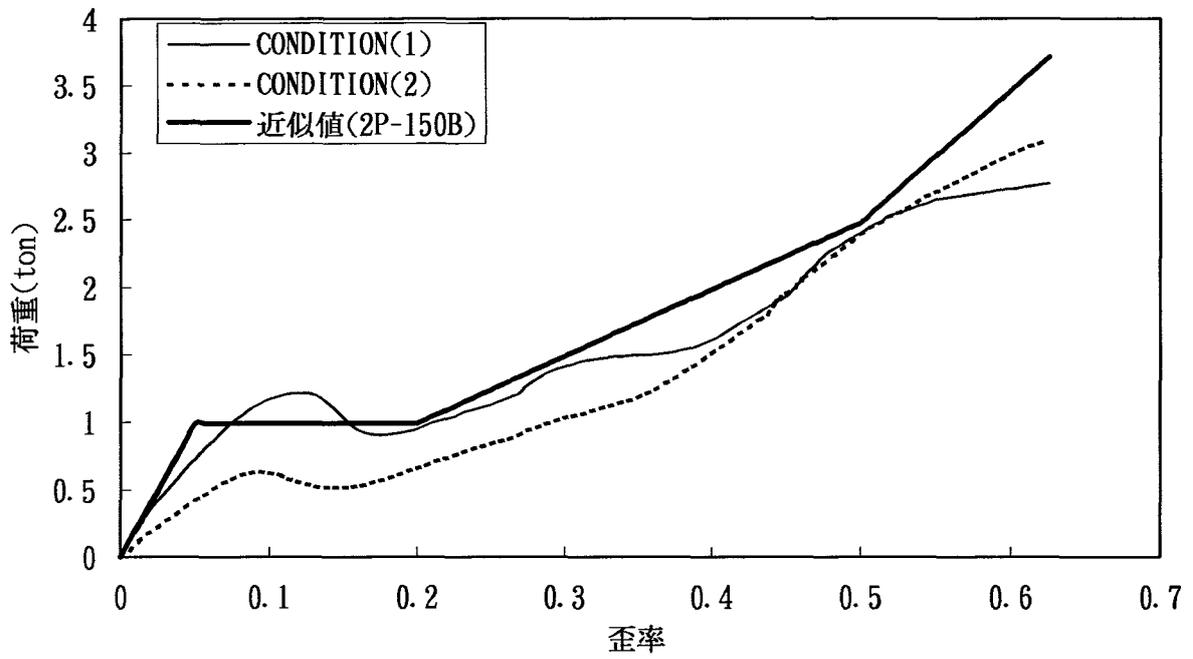


FIG. 6 (b) エネルギー-歪率曲線 (2P-150B)

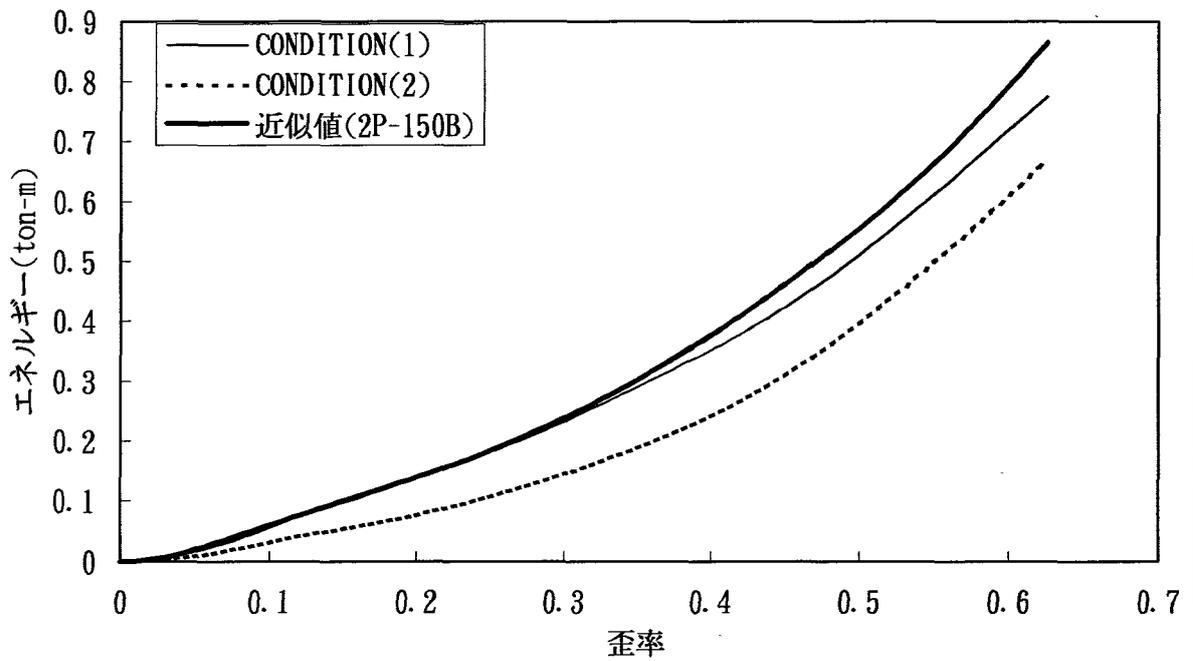


FIG. 7 (a) 荷重-歪率曲線(2Q-150B, 2P-150B)

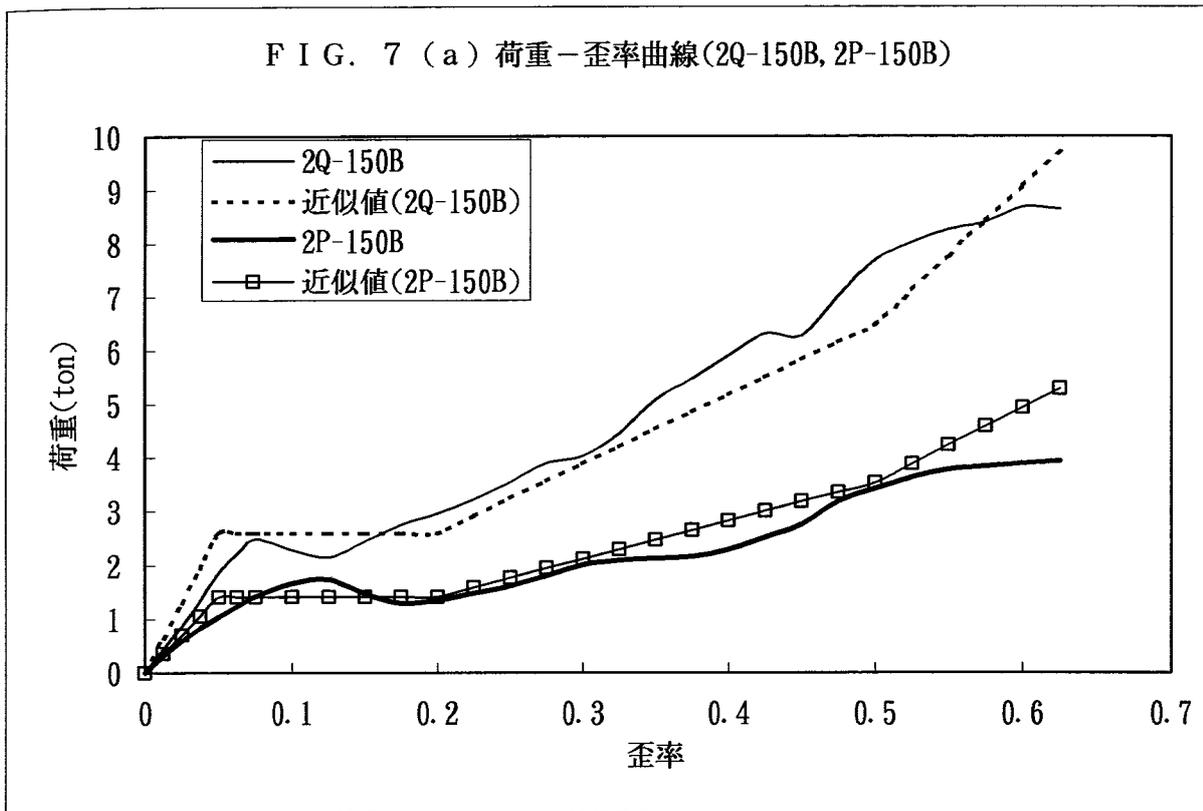


FIG. 7 (b) エネルギー-歪率曲線(2Q-150B, 2P-150B)

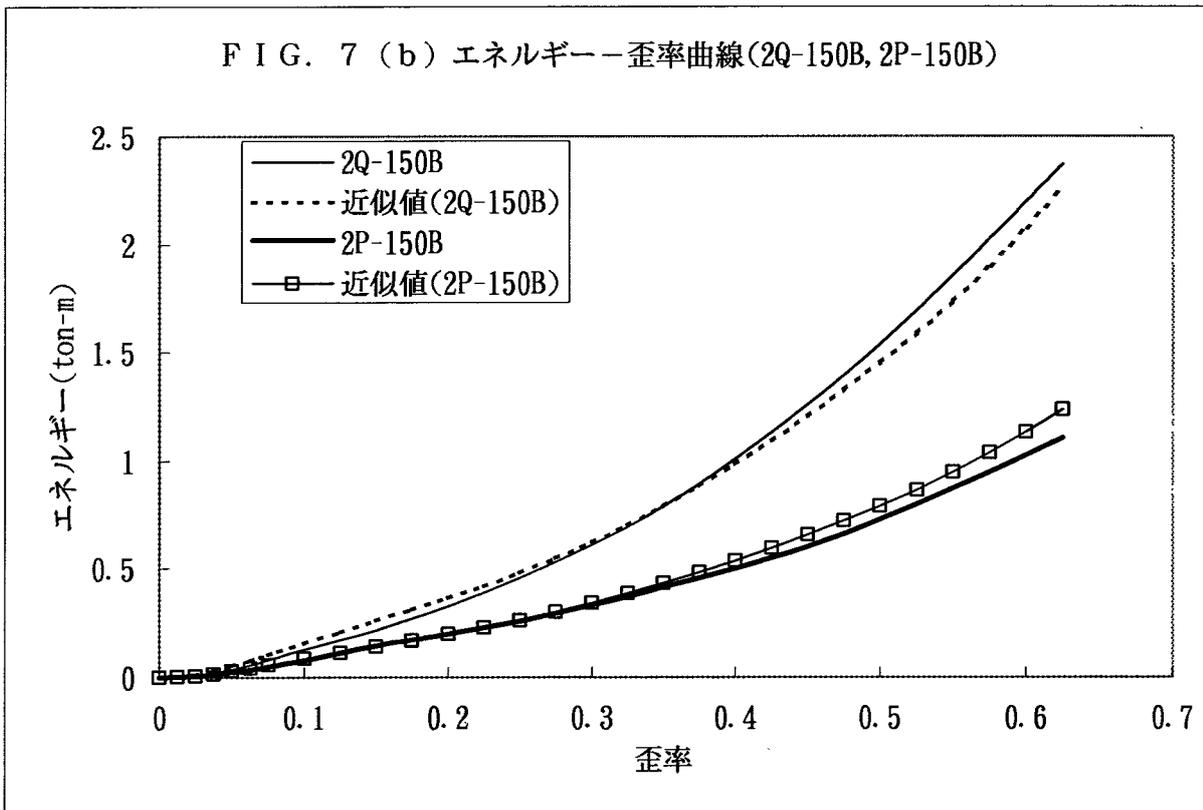


FIG. 8 (a) 荷重比-歪率曲線(2CR-150B, 4BR-150B)

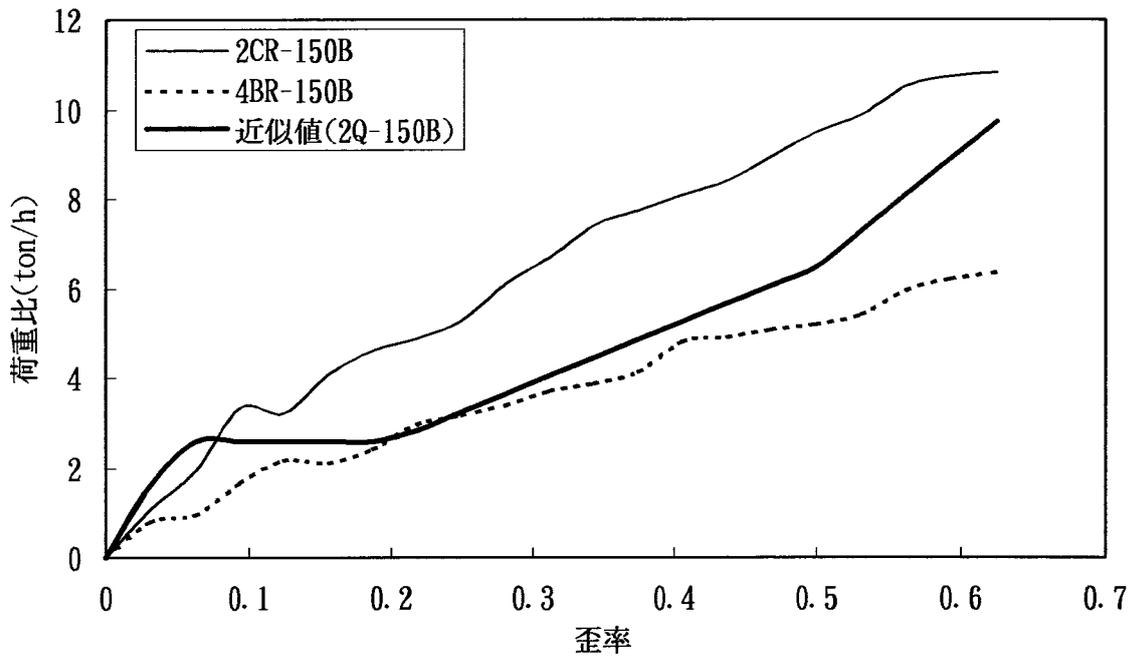


FIG. 8 (b) エネルギー比-歪率曲線(2CR-150B, 4BR-150B)

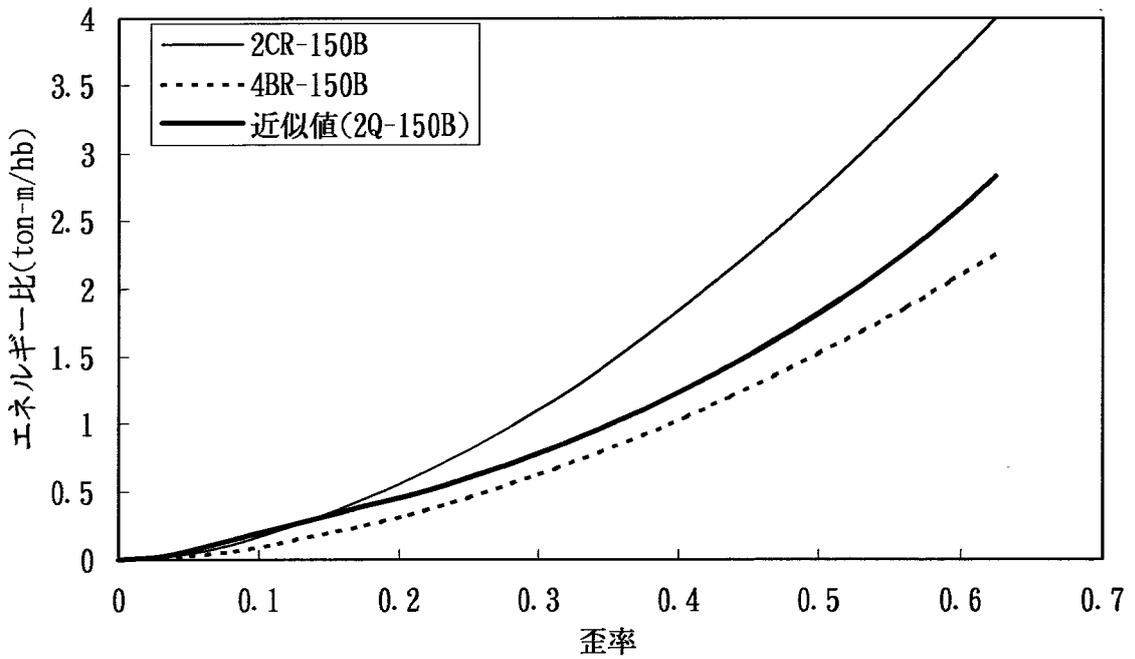


FIG. 9 (a) 荷重-歪率曲線(4BR-150B)

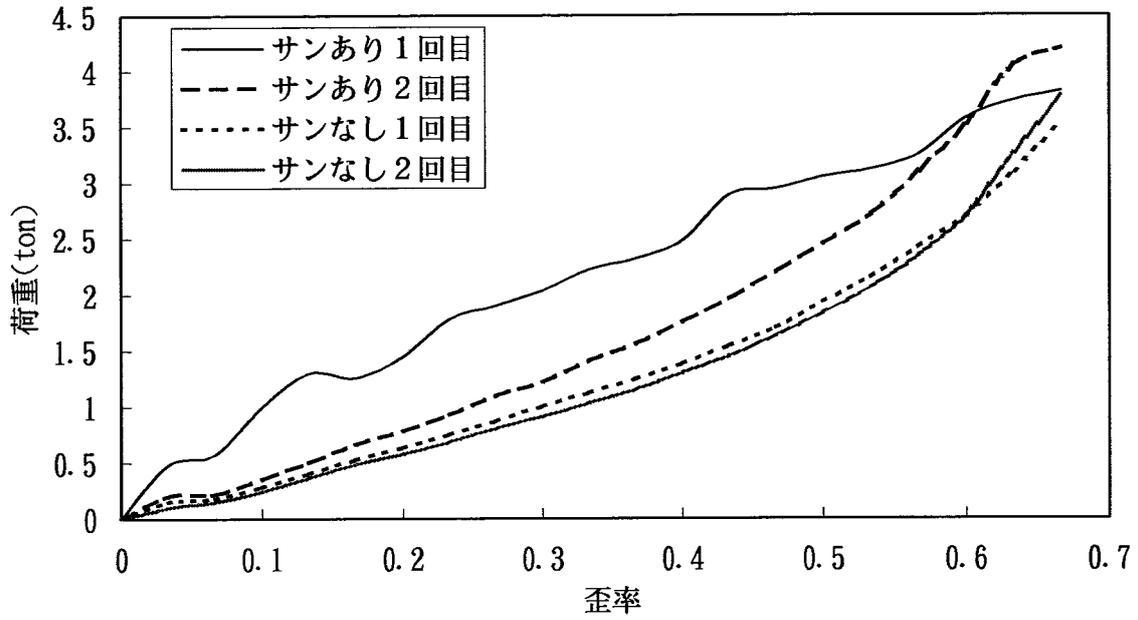


FIG. 9 (b) エネルギー-歪率曲線(4BR-150B)

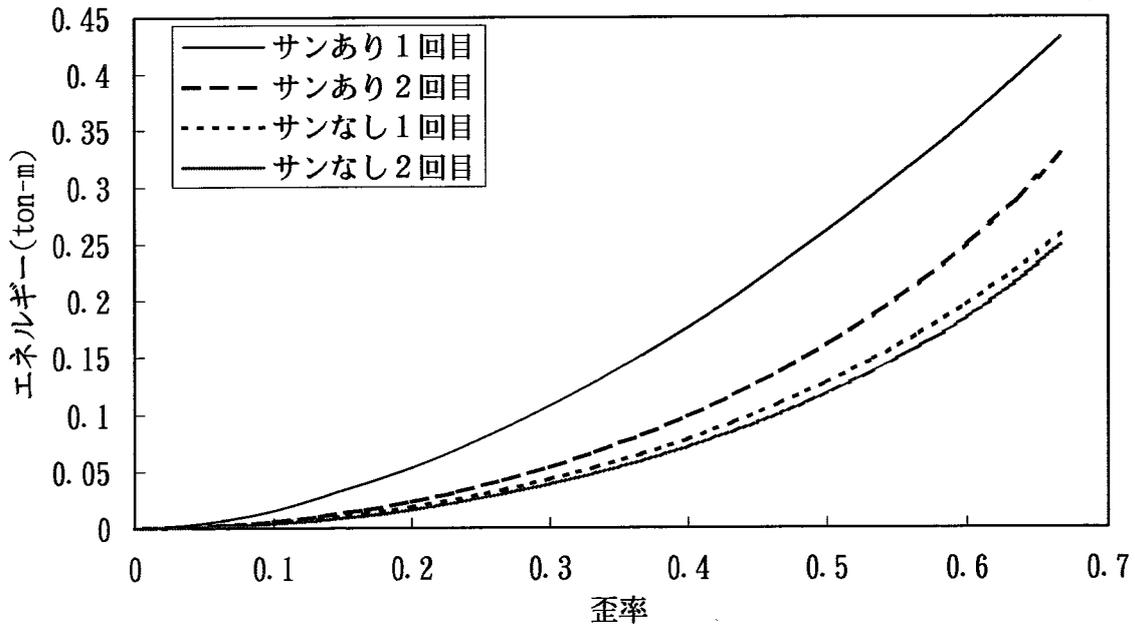


FIG. 10 (a) 荷重-歪率曲線(2Q-150B・1/5Scale)

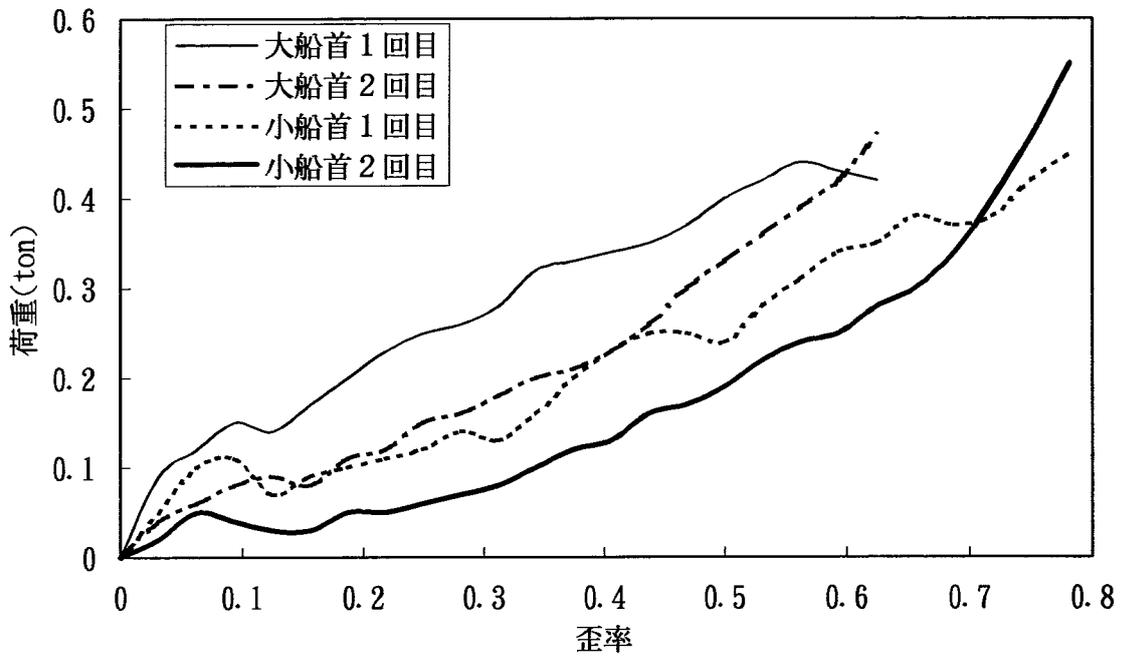
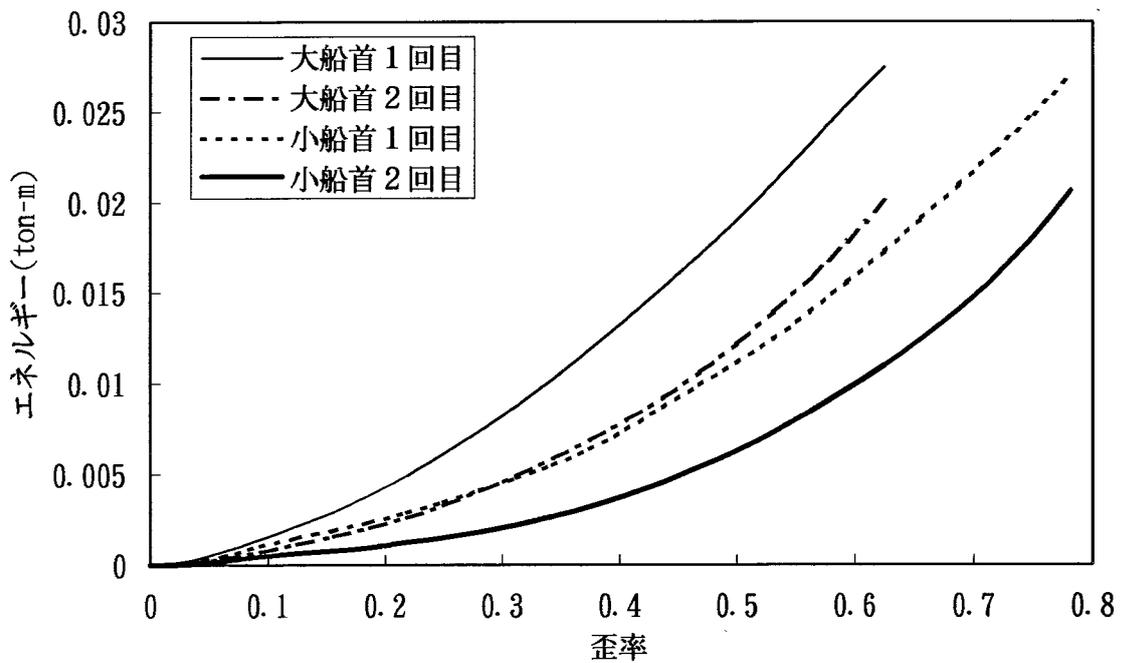


FIG. 10 (b) エネルギー-歪率曲線(2Q-150B・1/5Scale)



### 第3章 波力実験

#### 3.1 実験概要

平成6年10月東京商船大学船舶運航性能実験水槽において、改良2号(Full scale)、4号(4AR-150B・1/5scale)の計2種類によって実験を行った。緩衝工が、橋脚などに実際に取り付けられた時の波力をはかるために、緩衝工単体と後面に壁を設置したとき、また、緩衝工の深さや奥行きを2倍にしたときの4つの状態に対し緩衝工に掛かる波力を三分力計により計測した。また、TABLE.3に実験内容を、TABLE.4に三分力計の定格負荷量、FIG.11に実験状況を示す。

模型形状	Scale	波高(mm)	計測方向
改良2号(2Q-150B)	Full Scale	30,60	F <sub>x</sub> ,F <sub>y</sub> ,M <sub>z</sub>
4号(4AR-150B)	1/5 Scale	12,30	F <sub>x</sub> ,F <sub>z</sub> ,M <sub>y</sub>
深さ2倍	1/5 Scale	30	F <sub>x</sub> ,F <sub>z</sub> ,M <sub>y</sub>
奥行き2倍	1/5 Scale	30	F <sub>x</sub> ,F <sub>z</sub> ,M <sub>y</sub>
45度回転	1/5 Scale	30	F <sub>x</sub> ,F <sub>y</sub> ,F <sub>z</sub>
箱形模型	1/5 Scale と同等	12	F <sub>x</sub> ,F <sub>z</sub> ,M <sub>y</sub>

TABLE3 波力実験内容

三分力計	F <sub>x</sub> (kg)	F <sub>y</sub> (F <sub>z</sub> ) (kg)	M <sub>z</sub> (M <sub>y</sub> ) (kg-m)	使用 Scale
50kg ロードセル	50	50	20	Full Scale
5kg ロードセル	5	(5)	(2)	1/5 Scale

\*カッコ内の数値は、5kg ロードセルの場合である。

TABLE4 三分力計

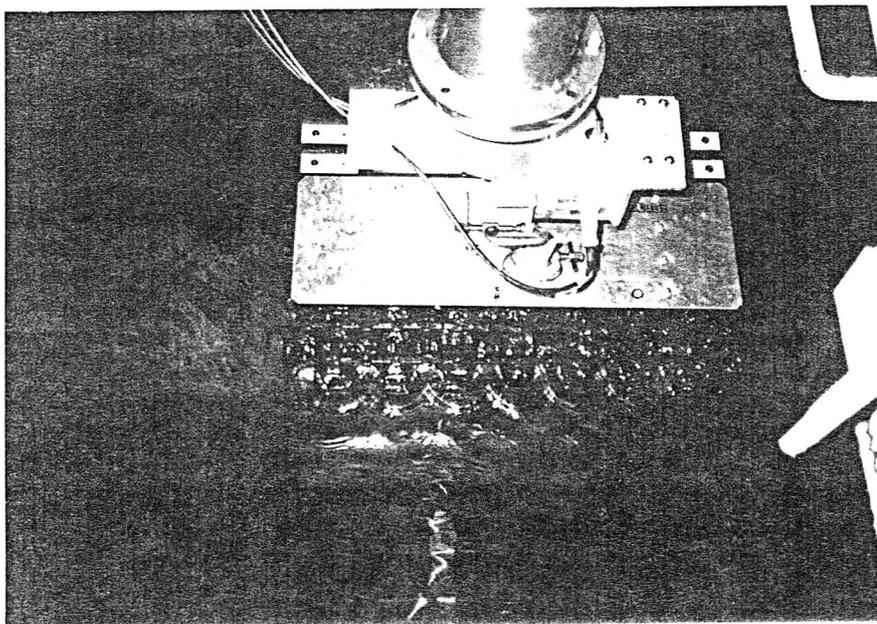
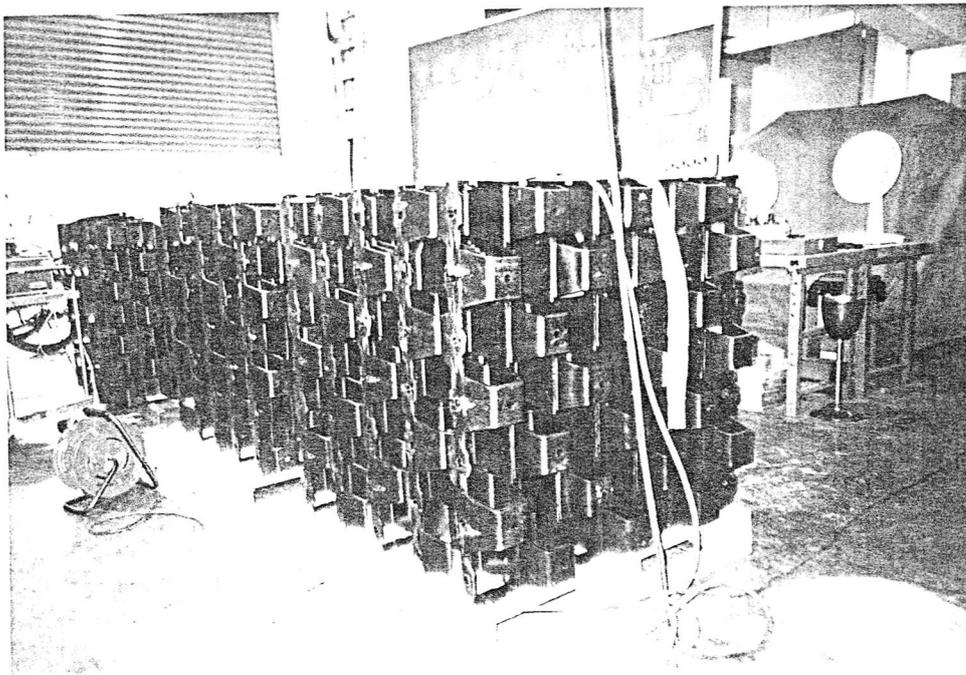


FIG. 11 - (a) 実験状況

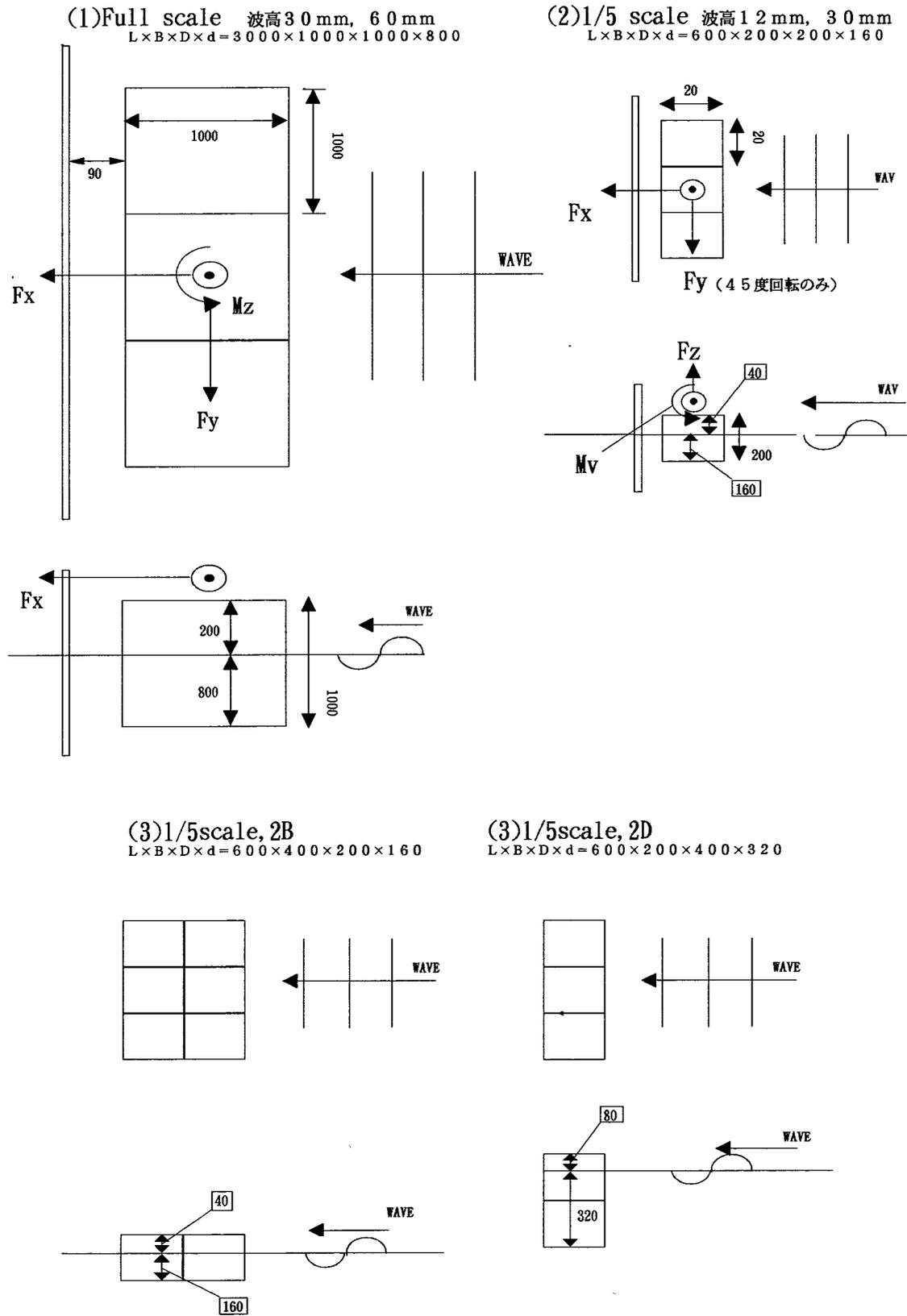


FIG. 11 - (b) 波力実験状況図

### 3. 2 実験結果

FIG.12～20 に波力実験により求められたそれぞれの方向に対する無次元化した曲線を示す。以下に無次元化の式をそれぞれ示す。

(1) F<sub>x</sub> 方向

$$C_X = \frac{F_X}{\rho g L B h_0}$$

(2) F<sub>y</sub> 方向

$$C_Y = \frac{F_Y}{\rho g L B h_0}$$

(4) M<sub>y</sub> 方向

$$C_{M_y} = \frac{M_Y}{\rho g L^2 B h_0}$$

(3) F<sub>z</sub> 方向

$$C_Z = \frac{F_Z}{\rho g L B h_0}$$

(5) M<sub>z</sub> 方向

$$C_{M_z} = \frac{M_Z}{\rho g L^2 B h_0}$$

尚、 $\rho$  : 水の粘性 ( $kg \text{ sec}^2 / m^4$ )、 $g$  : 重力加速度 ( $m / \text{sec}^2$ )、 $L$  : 緩衝工長さ ( $m$ )、 $B$  : 緩衝工奥行き ( $m$ )、 $h_0$  : 波高 ( $m$ ) である。

FIG.12 は、Full Scale 無次元値の波高  $h_0=30\text{mm}$  の壁による影響を示したもので、この曲線で F<sub>x</sub> 方向では、ピークにおいて約 2 倍壁有りの方が高い値を示している。これは、ピーク付近において壁による反射波の影響と考えられ、またピークより波長比が短い場合、入射波と反射波による消波が影響しているものと考えられる。波長が長い場合その影響は顕著にでていないと考えられる。F<sub>y</sub> 方向では常に壁有りが高い値を示している。M<sub>z</sub> 方向においては、波長比 1.5 付近でピークが見られ、壁による影響が最もでていると考えられる。

FIG.13 は FIG.12 の波高  $h_0=60\text{mm}$  の場合である。この場合においても同様な結果が得られている。

FIG.14 では、1/5Scale 無次元値の波高  $h_0=30\text{mm}$  の壁による影響を示したもので、F<sub>x</sub> 方向において、波長比が長い場合には、壁による影響はあまり見られない。F<sub>z</sub> 方向においては、壁なしの場合波長比による変化は見られないのに対し、壁有りでは、波長比 20～25 付近においてピークのある緩やかな曲線となっている。M<sub>y</sub> 方向においては、ほぼ F<sub>x</sub> 方向と同じような関係が示されている。

FIG.15 は、1/5 Scale の壁有りの無次元化で波高  $h_0=30\text{mm}$  と波高  $h_0=12\text{mm}$  の場合を示しており、これによって、波高  $h_0$  に対する無次元化の信頼性の証明になる。F<sub>x</sub> 方向、F<sub>z</sub> 方向、M<sub>z</sub> 方向ともにほぼ同じ曲線になっていることから波高  $h_0$  に対する無次元化の信頼性は高いことがわかる。

FIG.16 では、1/5 Scale の緩衝工模型とほぼ同じサイズの箱形の模型を使って、鋼製緩衝工とペルプレン緩衝工の波力を比較してみた。Fx 方向においては、波長比 5 において箱形模型に大きなピークがみられ、箱形模型に比べるとペルプレン緩衝工模型のほうが波による影響を受けにくいことがわかる。Fz 方向の箱形模型においては、波長比が大きくなるにつれて無次元値 Cz も大きくなっている。これは、箱形模型が水密の水槽のため、浮力の調整のウェイトが大きく影響していると考えられる。My 方向においては、箱形模型は、ペルプレン緩衝工模型に対し、かなり大きな Cmy を持つことがわかる。

FIG.17 では、1/5Scale の緩衝工模型の深さ(D)と張り出し量(D)を二倍にした場合の影響を示す。Fx 方向では、2B、2D 共に標準模型より、無次元値 Cx は小さい値を示している。これは、深さや張り出し量が増すことによる緩衝工内部の透過波による干渉が影響しているものと考えられる。Fz 方向、My 方向ともに深さを 2 倍にした 2D が、強く波力を受けているがこれは無次元化によるものである。

FIG.18 は 1/5 Scale を 45 度回転させたときの影響を示している。Fx、Fz ともに 45 度回転の方が比較的小さな値を示しているが、これは波の向き (Fx 方向) に対する緩衝工の波を受ける面積の違いと考えられる。

FIG.19 は、壁ありの 1/5 Scale と Full Scale の Fx 方向を示している。FIG.20 は、壁なしの 1/5Scale と Full Scale の Fx 方向の比較を示しており、FIG.19 も FIG.20 とも 1/5Scale と Full Scale はほぼ同じような曲線になっている。

これらの結果、実際にとりつけられるであろう海域の最大波高 5m、改良 2 号緩衝工の張り出しを 4m としたところ緩衝工の山の部分にかかる力は、最大で 160kg である。これは、緩衝工の曲げ弾性率 2950 より小さな値であり全く影響を受けないと考えられる。

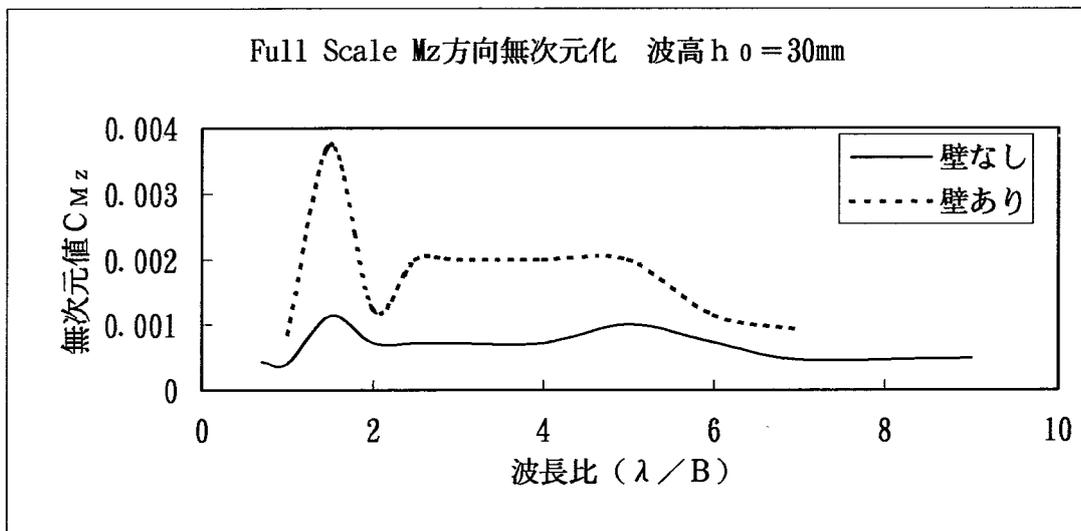
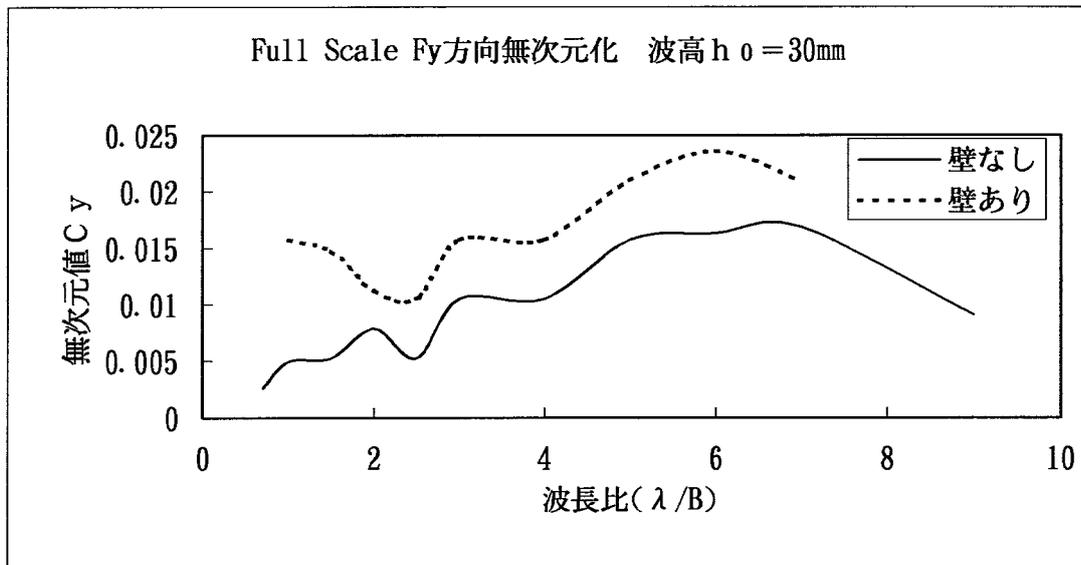
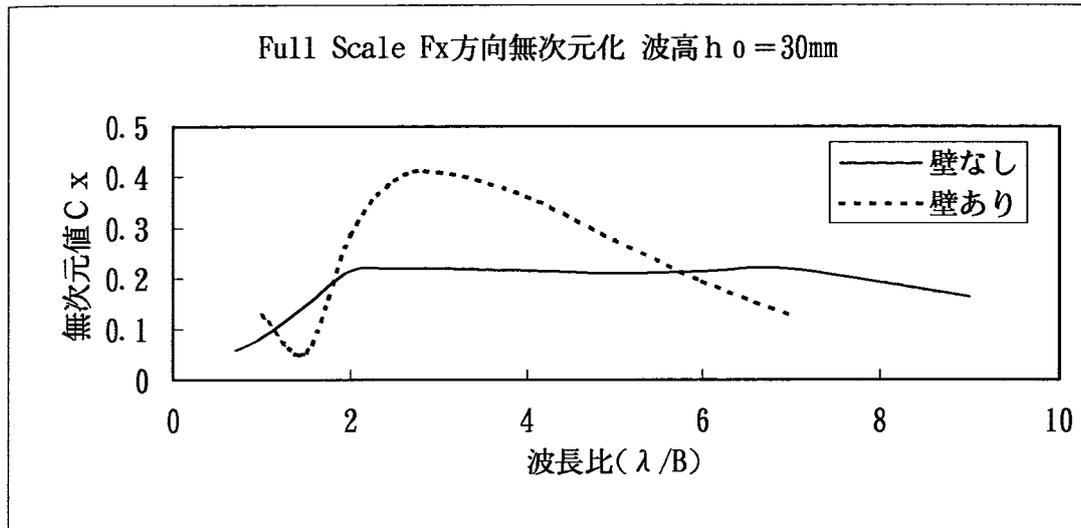


FIG. 12 波高  $h_0 = 30\text{mm}$  壁による影響 (Full Scale)

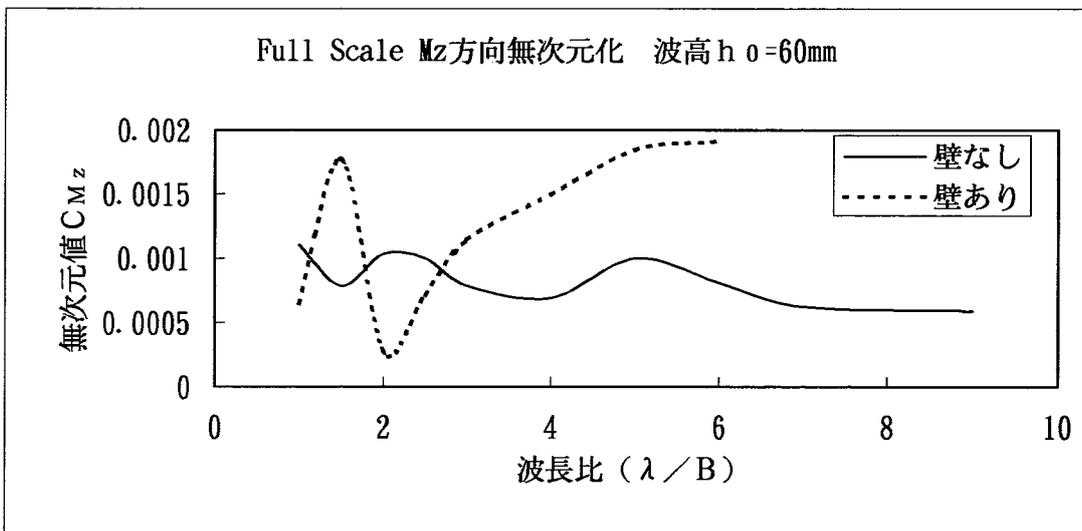
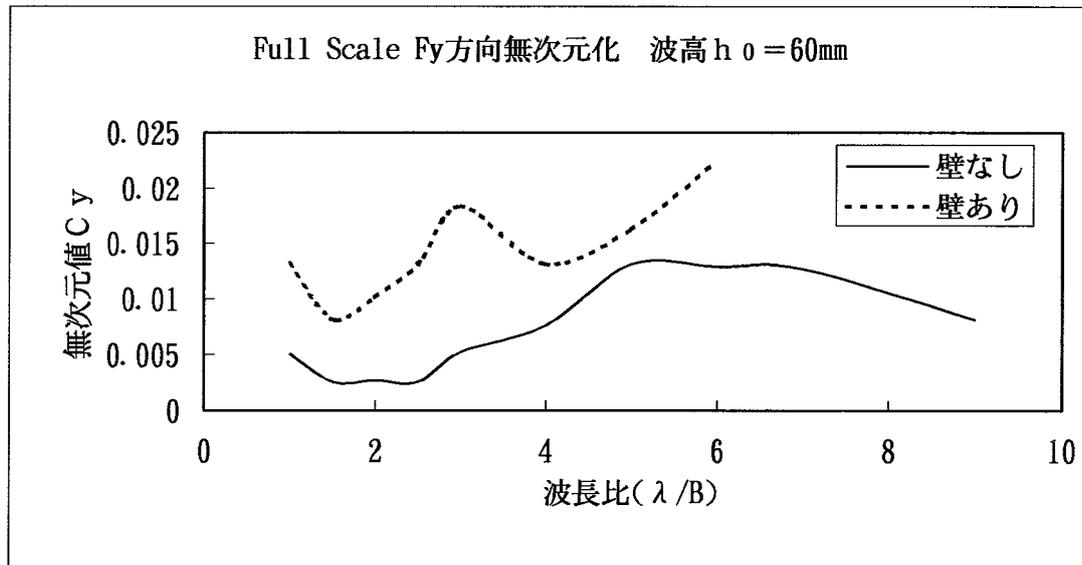
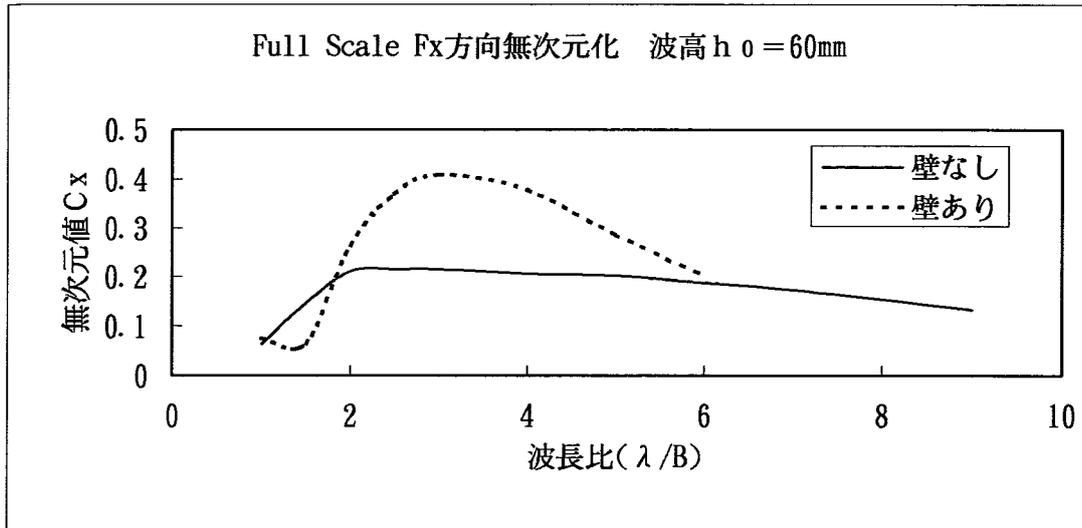


FIG. 13 波高  $h_0 = 60\text{mm}$  壁による影響 (Full Scale)

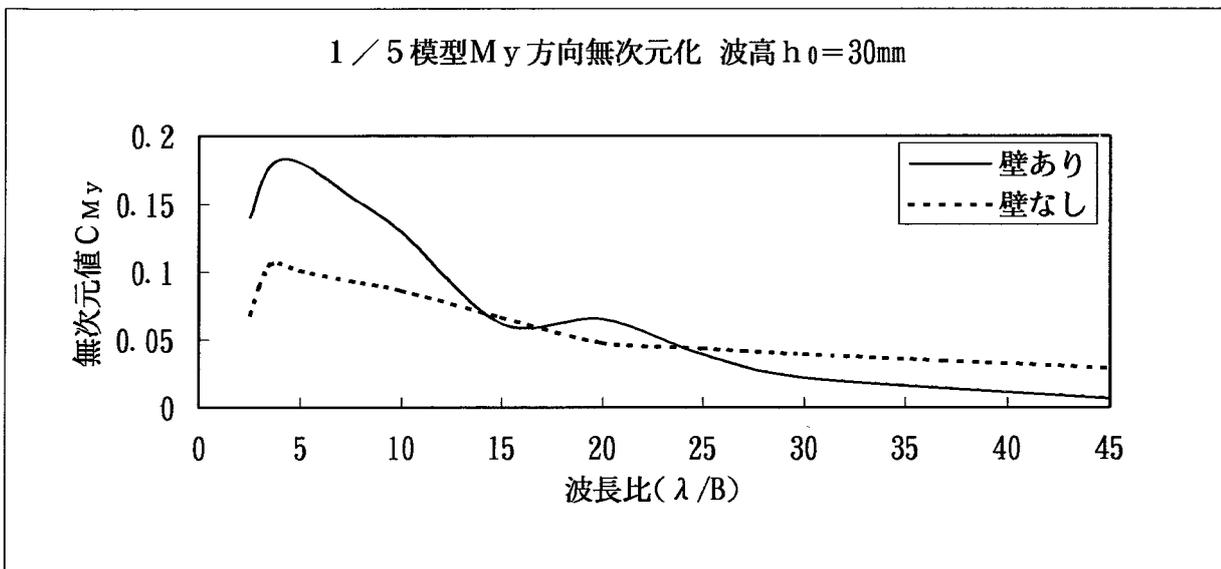
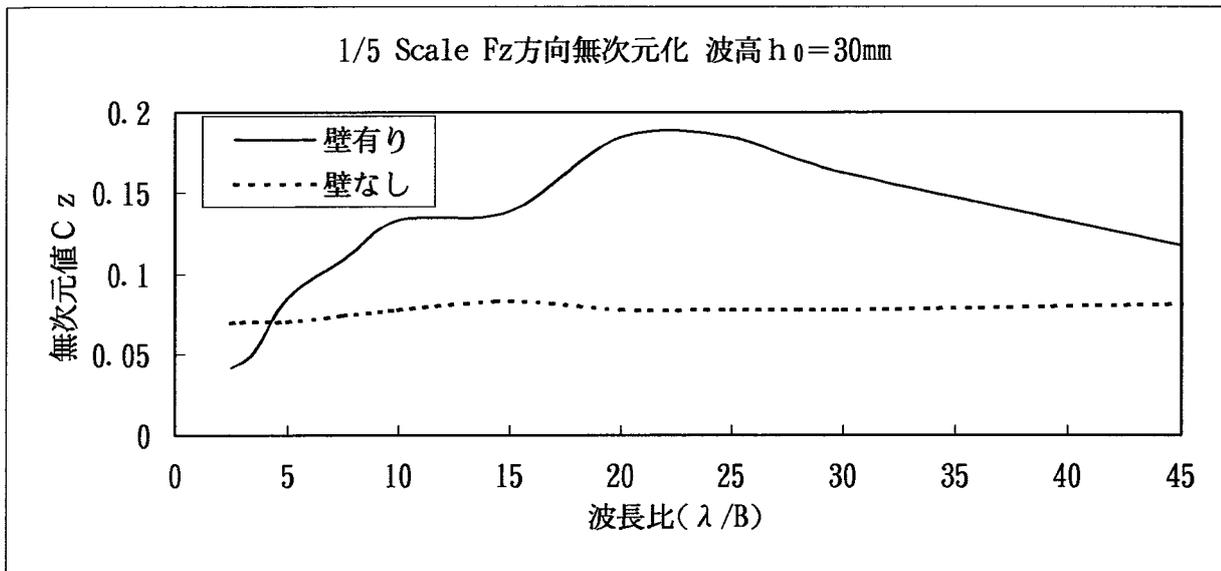
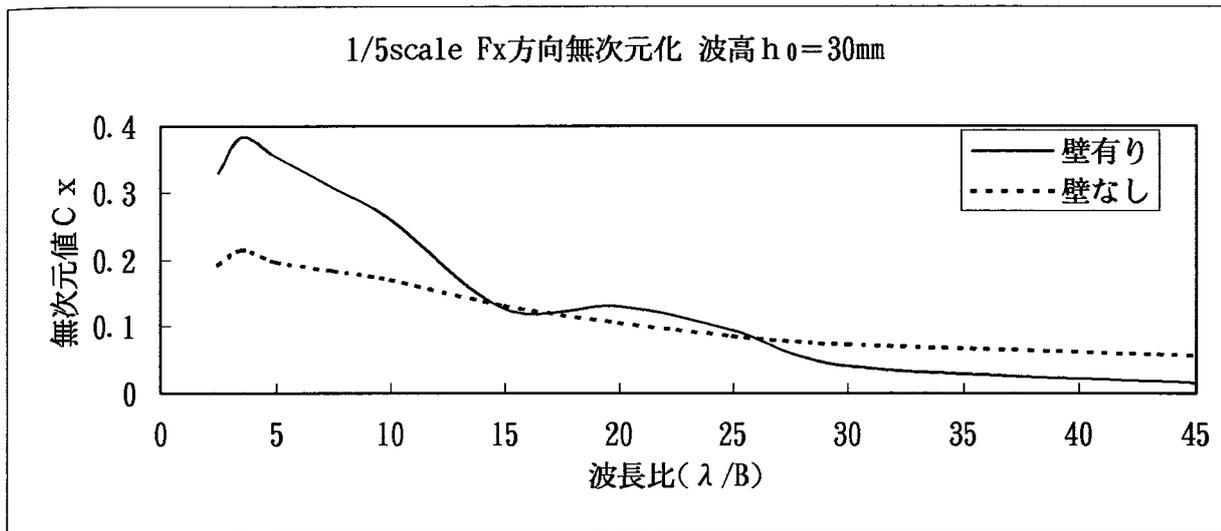


FIG. 14 波高30mm 壁による影響(Full Scale)

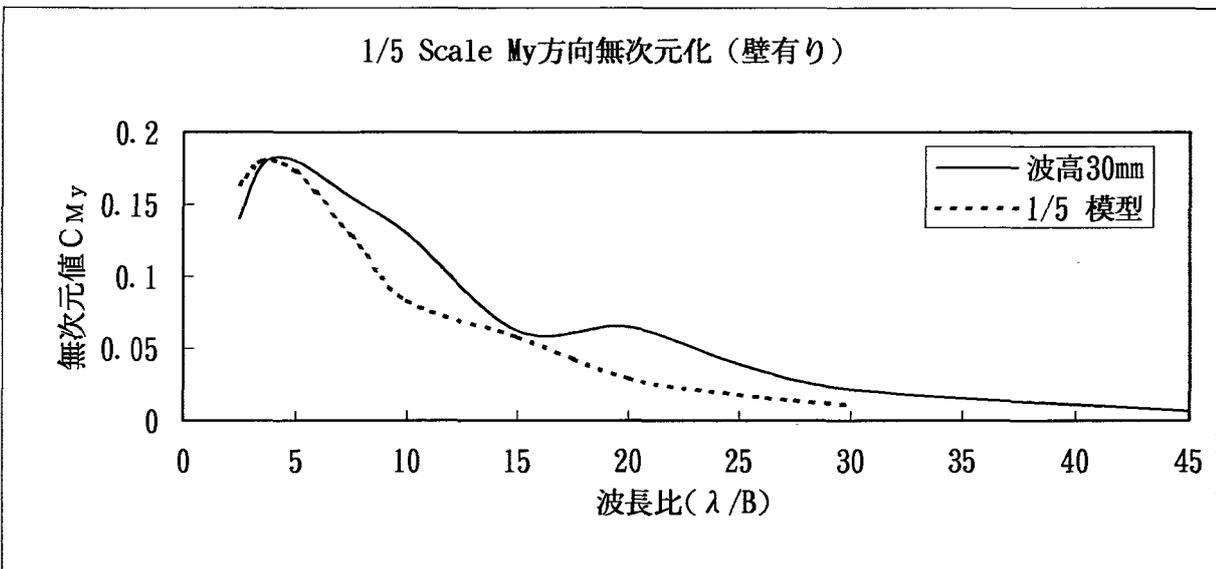
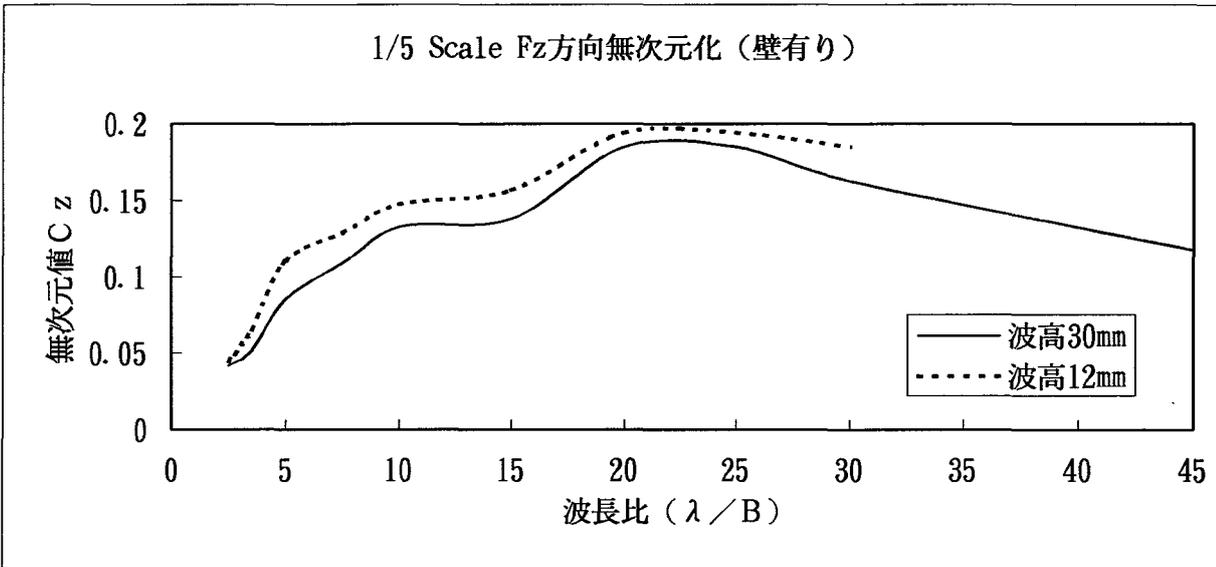
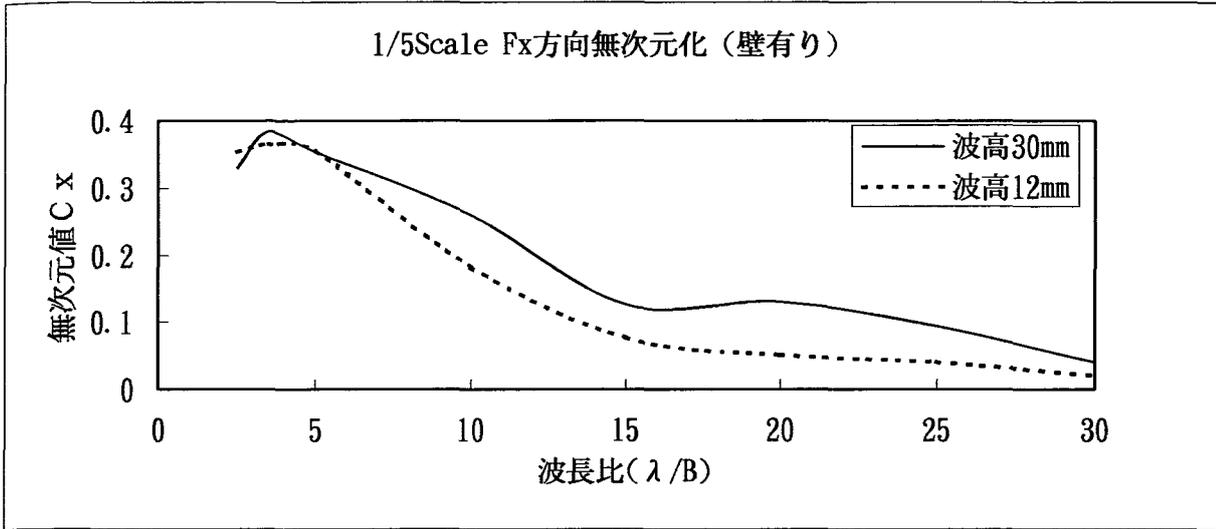


FIG. 15 波高における無次元化の証明

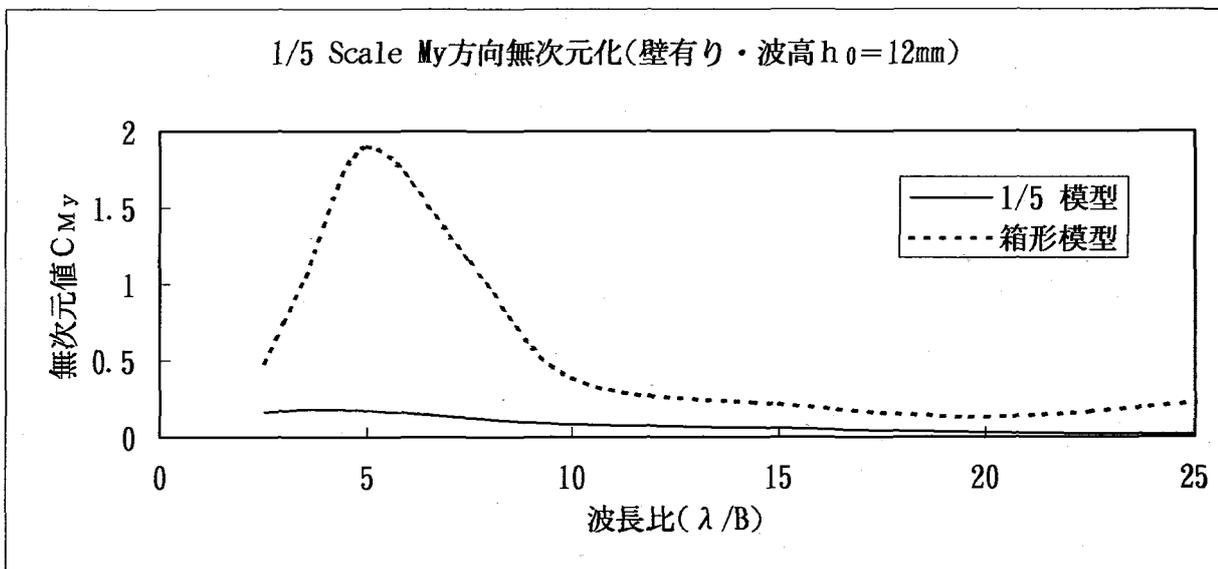
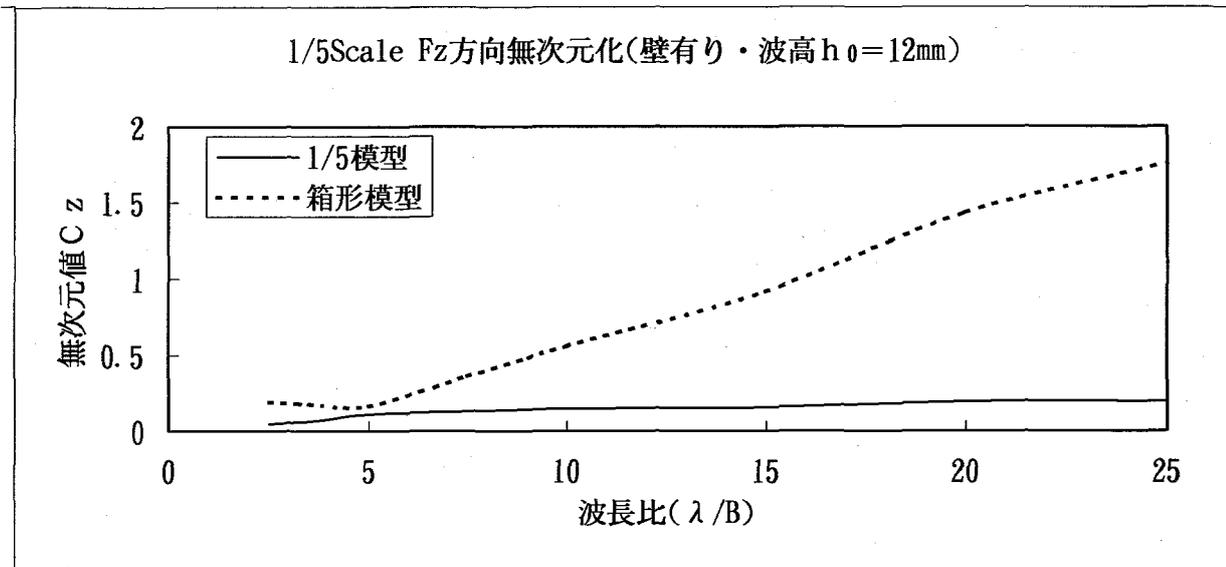
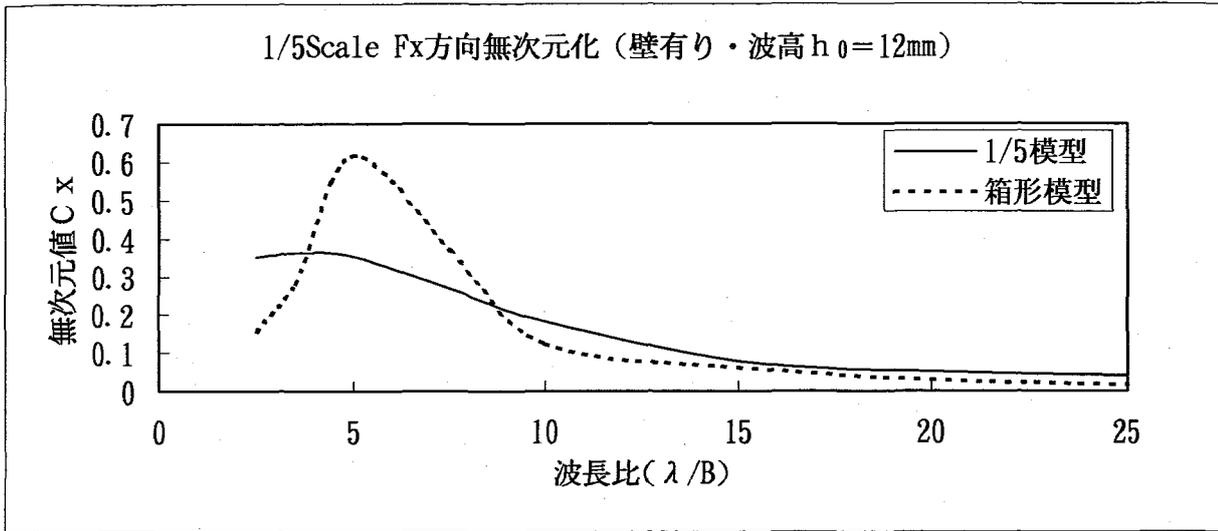


FIG. 16 箱形模型(鋼製緩衝工)との比較

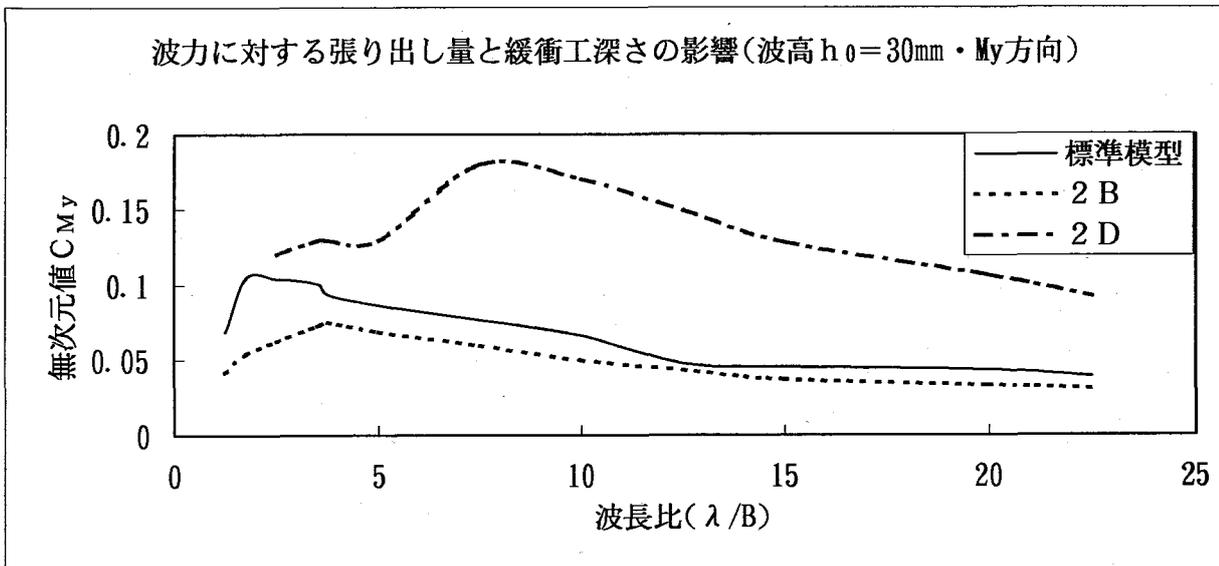
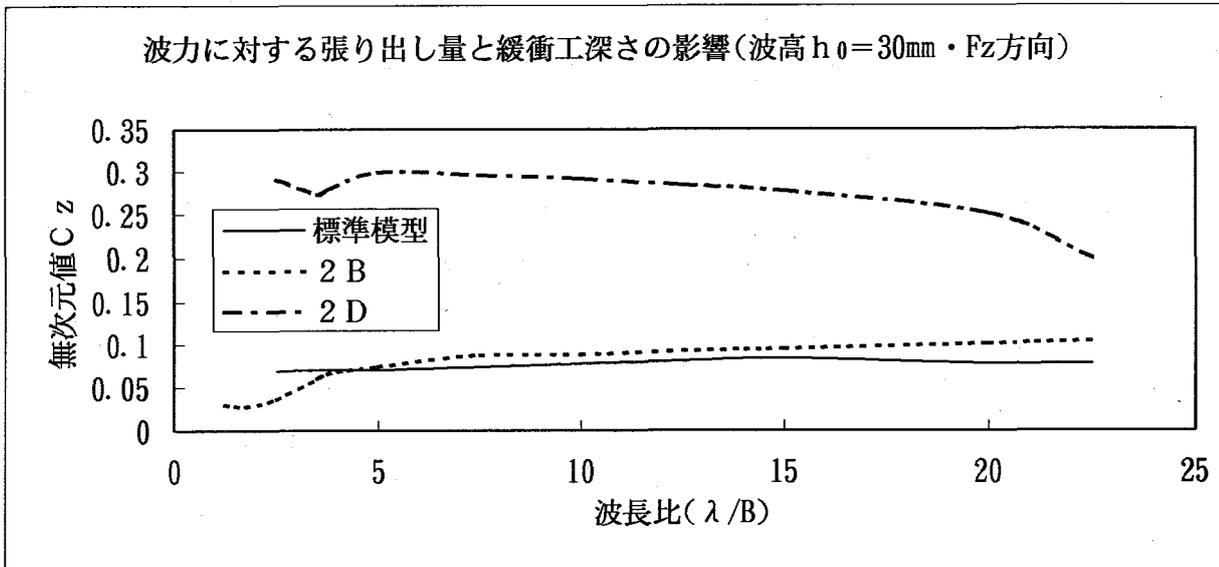
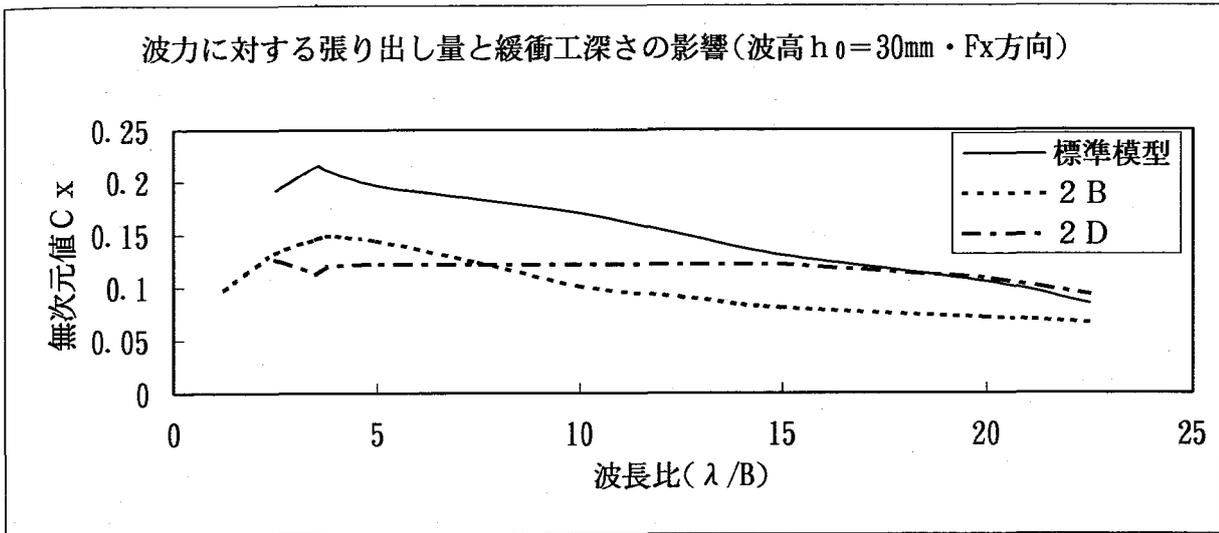
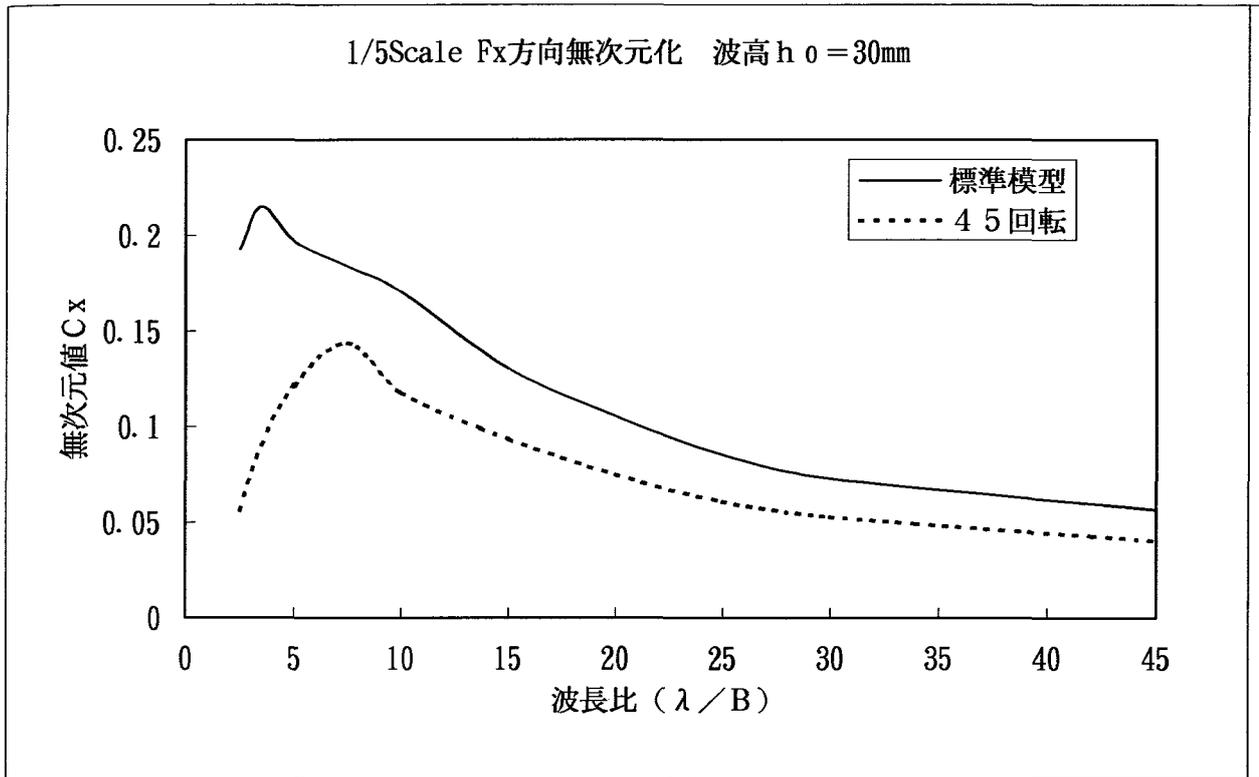


FIG. 17 波力に対する張り出し量と緩衝工深さの影響



無次元値  $C_x$

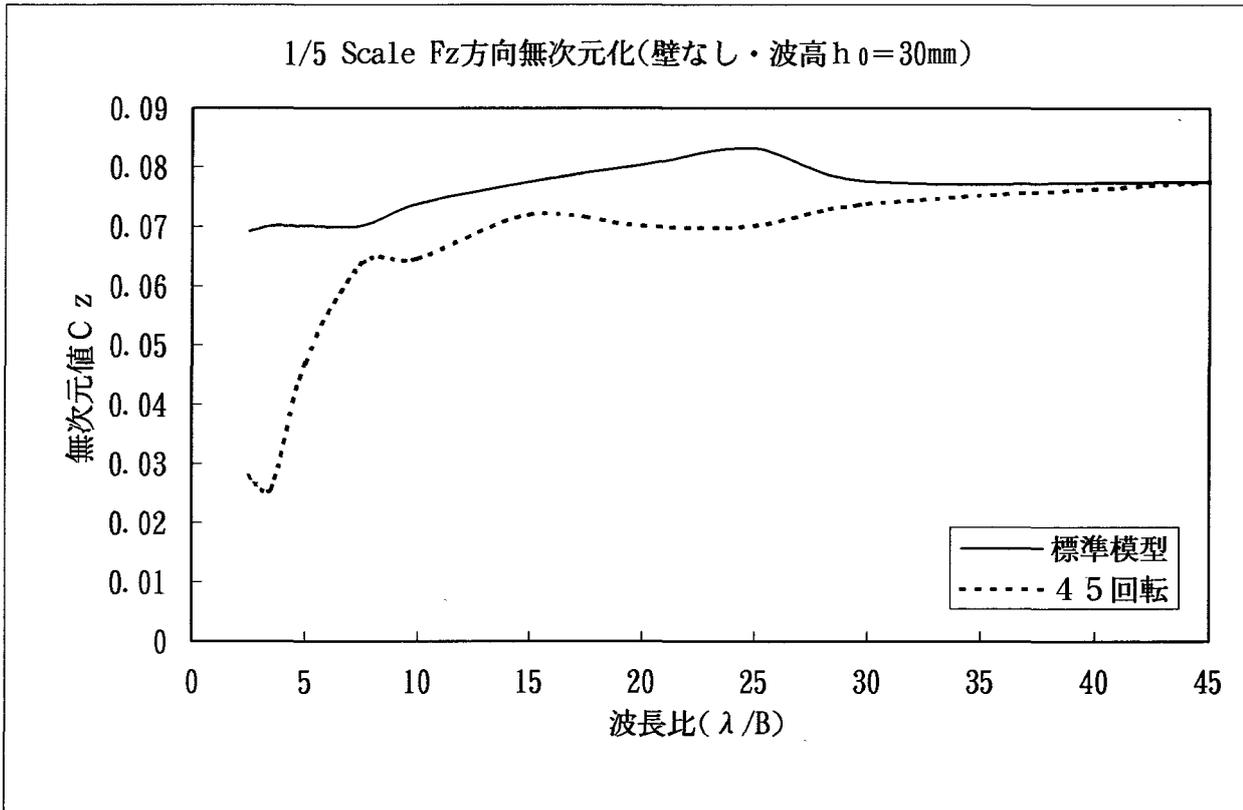


FIG. 18 波向による影響

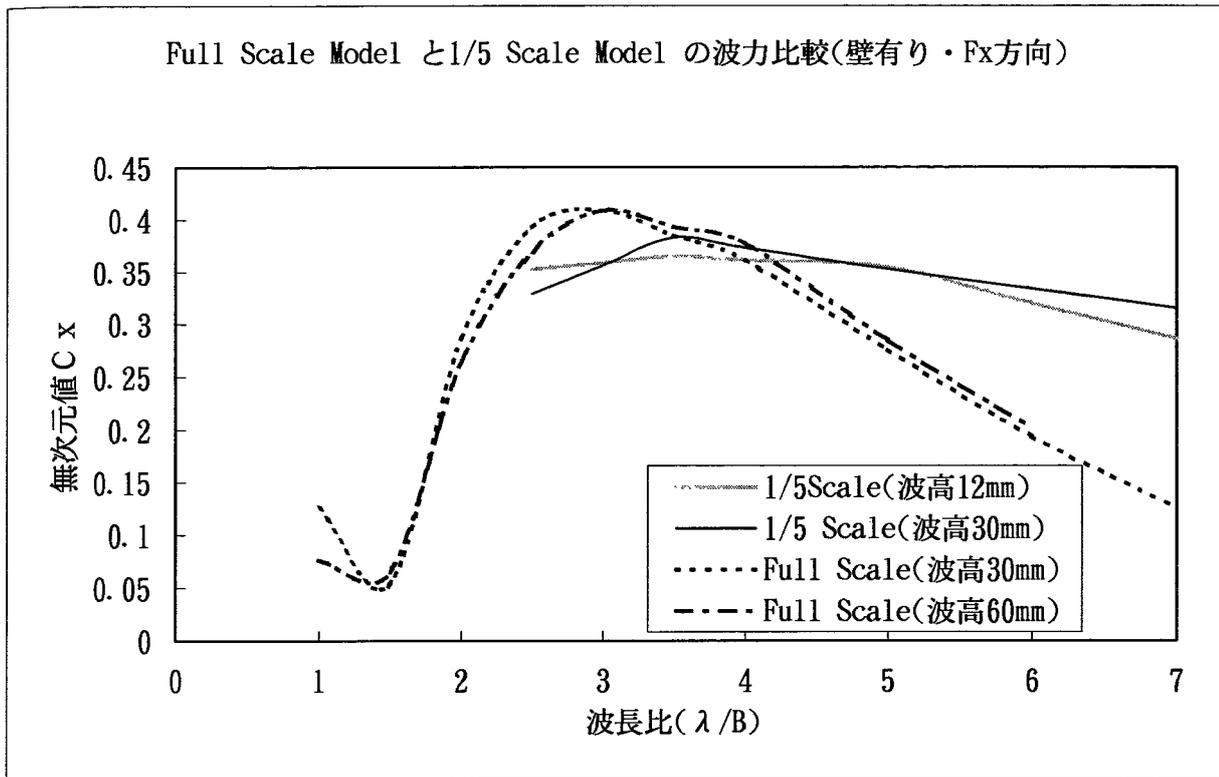


FIG. 19 1/5 Scale とFull Scaleの比較 (壁あり)

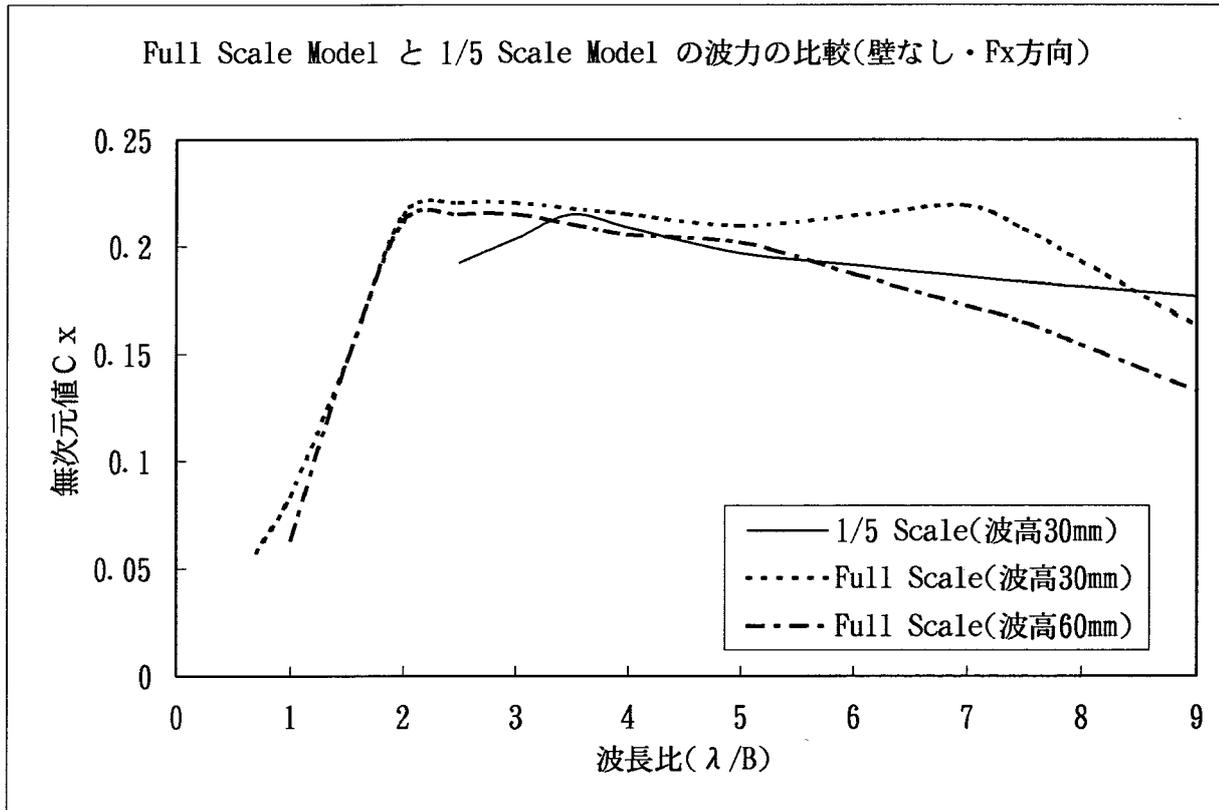


FIG. 20 1/5 Scale とFull Scaleの比較 (壁なし)

第4章 動的進入実験

4. 1 実験概要

平成6年11月船舶運航性能実験水槽において、形状は4号(4AR-150B・1/5scale)、材質は、P-40H、P-70Bの2種類と模型船の船首部(傾斜船首、三角柱船首)2種類によって、模型船を緩衝工モデルに衝突させ、緩衝工にかかる荷重、模型船の変位、速度、加速度をはかり、船舶が緩衝工に衝突するときの総合的な関係を求める。緩衝工モデル上端中央部に3分力計(Fx方向のみ)、模型船に加速度計を取り付け、速度と変位は、模型船を動かすために使用したプーリーの回転数より求めた。また、動的進入実験の比較として、平成7年1月に滋賀県大津市の東洋紡総合研究所樹脂センターの圧縮試験機により動的進入実験と同様な船首模型緩衝工モデルを使って圧縮実験を行い船首模型の進入量における荷重を求めた。FIG.21に実験状況図、TABLE.5に模型船の寸法を示す。

	模型船(2m)	実 船
全長(LPP)	200cm	75m
全幅(BREDTH)	36.8cm	13.8m
深さ(DEPTH)	17.333cm	6.85m
喫水(DRAFT)	11.693cm	4.385m
自重	14.35kg	
ウェイト	52.5kg	
総重量	66.85kg	
総トン数		698.19ton

TABLE.5 模型船寸法

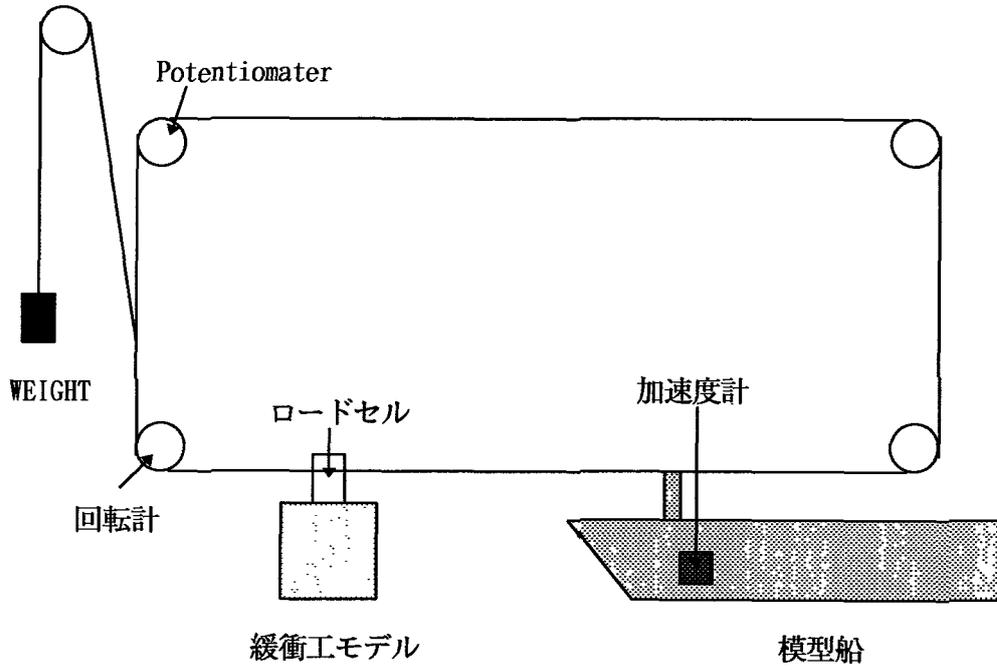


FIG. 21 - (a) 実験状況図

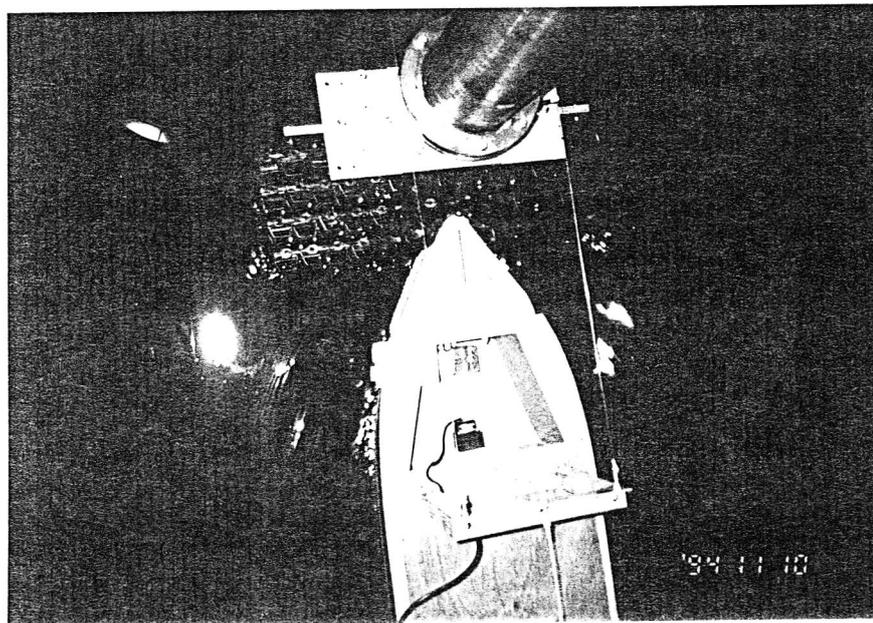
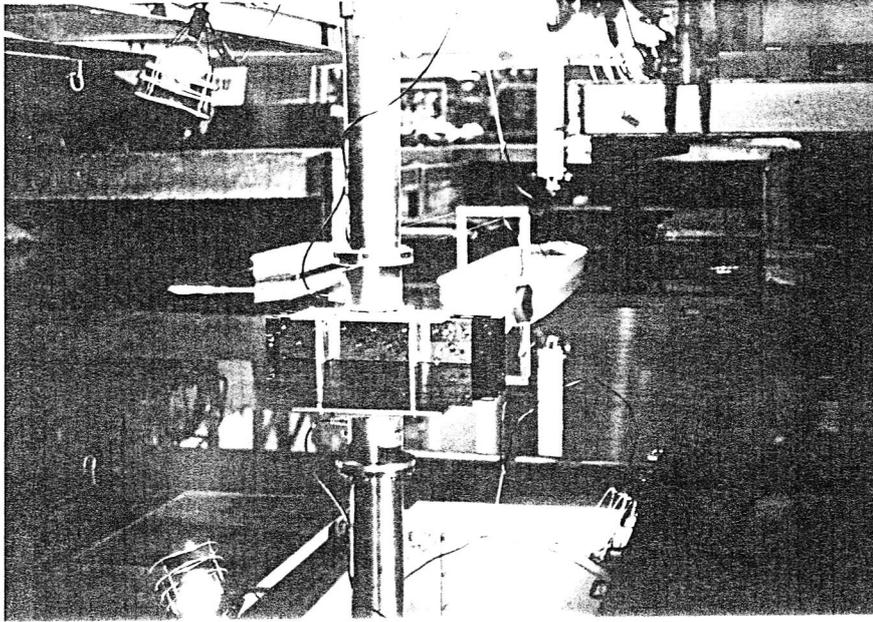


FIG. 21 - (b) 実験状況

#### 4. 2 実験結果

FIG.22～FIG.24 に動的進入実験とその比較として静的進入実験より求めた荷重－歪率曲線を示す。FIG.22 では、三角船首における P-40H の動的進入実験と静的進入実験を示したもので、両者の曲線はほぼ一致している。FIG.23 は、三角船首における P-70B の場合であるがこれも両者の曲線はほぼ一致していると言える。

FIG.24 では、傾斜船首の場合における動的と静的の比較である。三角船首の場合と違って、動的進入実験と静的進入実験の値の差が歪率が大きくなるにつれて増加している。

FIG.25 では、速度に対する荷重曲線を傾斜船首と三角船首、2つの場合について示している。両者の曲線は速度が増すことによってどうよな荷重の上昇を見せている。

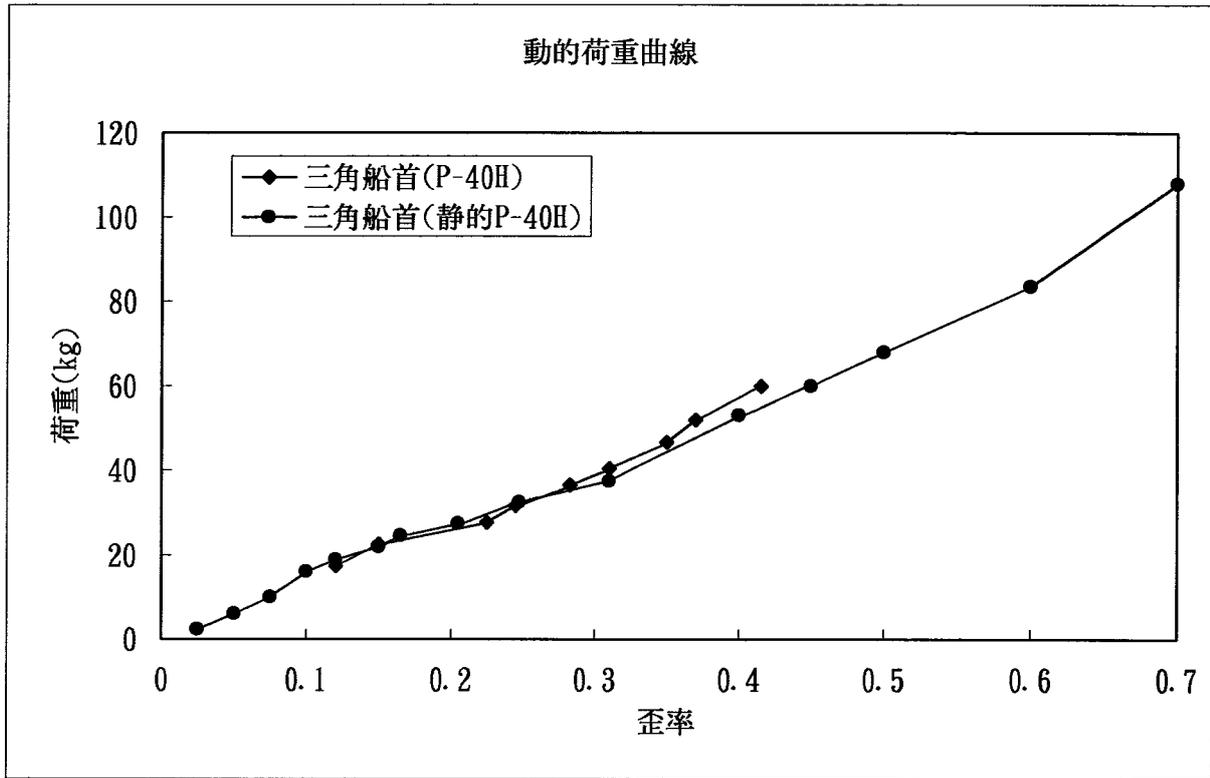


FIG. 22 動的進入実験と静的進入実験の比較 (三角船首・P-40H)

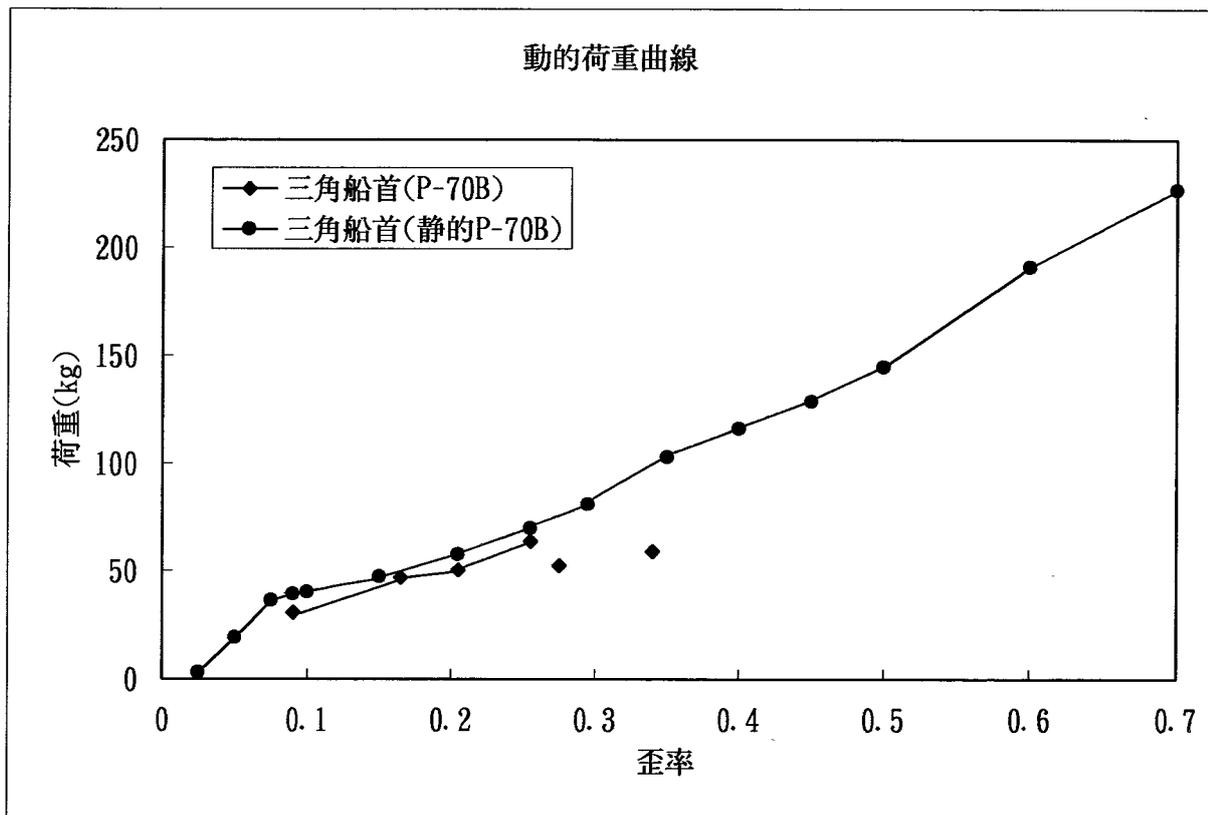
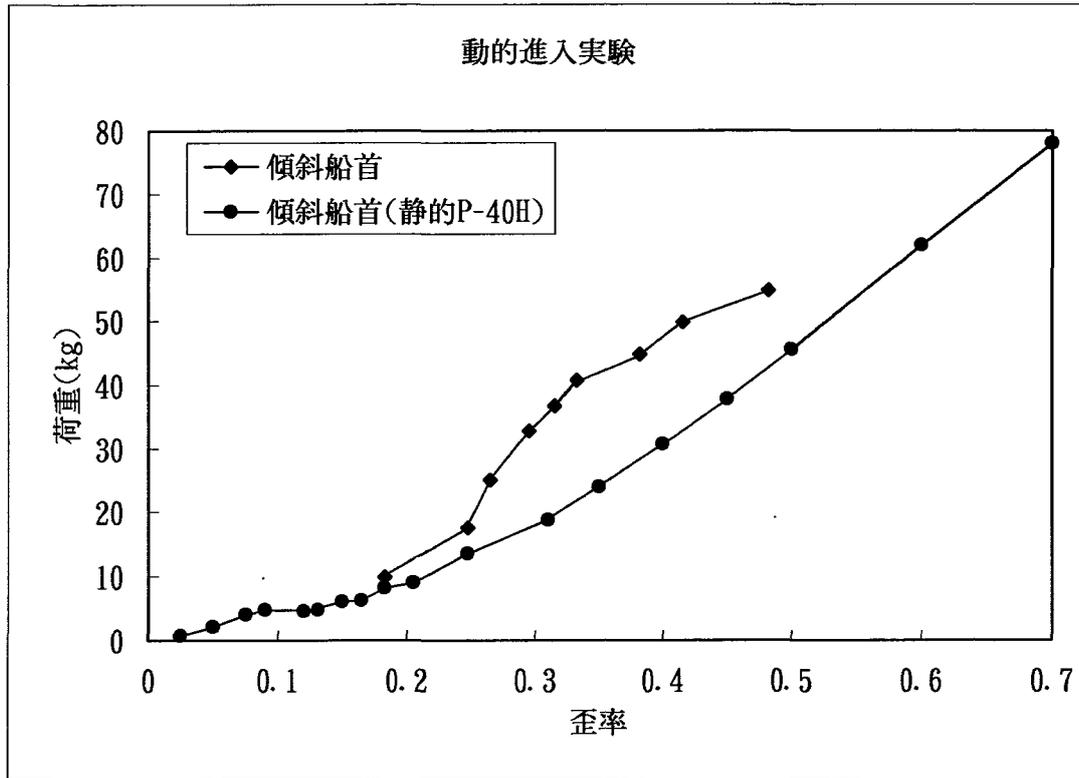
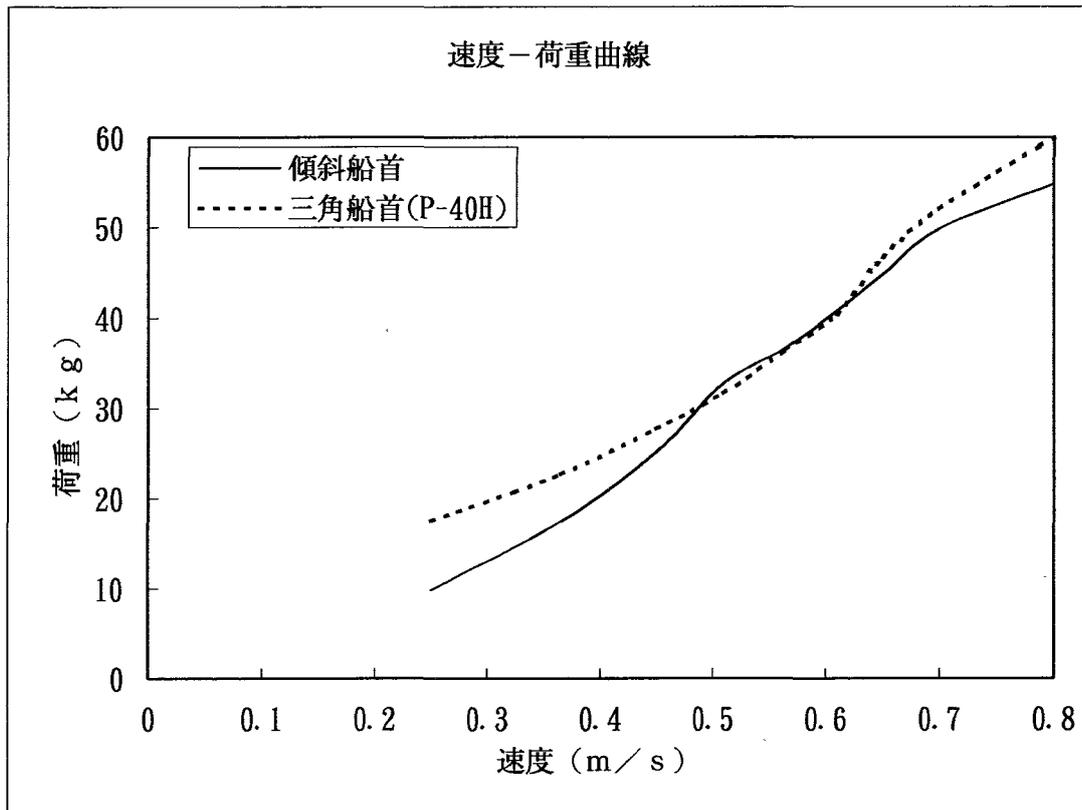


FIG. 23 動的進入実験と静的進入実験の比較 (三角船首・P-70B)



F I G. 2 4 動的進入実験と静的進入実験の比較 (傾斜船首・P-40H)



F I G. 2 5 速度-荷重曲線 (P-40H)

---

## 第5章 結論

### 5. 1 静的進入実験

ペルプレン緩衝工の基本的な性能を求めるために、船首模型による静的な圧縮を5つのモデルによって9種類の実験を行った。改良1号において緩衝工の性能を示す吸収エネルギーは、曲げ弾性率に起因していることが分かったが、改良2号、改良2. 1号、4号型においては、セル壁を利用した復元性はそのままに棧などを追加することによって、吸収エネルギーの増加させることができた。改良2号においては、2号より1. 83倍強度を増した。改良2. 1号においては、改良2号の1. 4倍吸収エネルギーが増加し、4号では、山の数を25/49にしたことにより改良2. 1号の0. 56倍、と強度的には落ちたが、2号と比較した場合においては、1. 43倍となっている。これらの結果、改良2号、改良2. 1号、4号、の3つのモデルにおいて、鋼製緩衝工と同等の強度を持っており、船舶の衝突に対する吸収エネルギーにおいても使用に耐えるものであると考えられる。

また鋼製緩衝工と比べ、構造がハニカム構造のため、衝突位置の違いによって荷重の変化はみられない。

---

## 5. 2 波力実験

ペルプレン緩衝工を実際に橋脚に取り付けられたときに、緩衝工が常時受けるであろう波力を計測した。この結果、壁がある場合と緩衝工単体では、全体的に壁がある方が波力を受けやすいが、波長によってはあまり影響を受けにくいところがあることが分かった。

また、緩衝工単体とその深さを2倍にしたものと張り出し量を2倍したものでは、 $F_x$ 方向では、2倍したものの方が波力を受けにくい、 $F_z$ 方向、 $My$ 方向においては、深さを2倍にしたものが、他の2つより大きな値を示しているが、これは、無次元化の式に深さ方向(D)が含まれていないせいで、それらの条件を満たすと3つの曲線はほぼ同じくらいの値を示すであろう。よって $F_z, My$ 方向とも張り出し量深さにはあまり影響しないと言える。

鋼製緩衝工のモデルとして箱形模型を使って実験を行ったが、 $F_x$ 方向以外の $F_z$ 方向、 $My$ 方向においては、ウェイトの影響で、信頼性があるものとは言えないが、 $F_x$ 方向においては、全体的にみて、箱形模型方が若干波力を受けやすいことが分かった。

実体においては、壁ありと壁なしの両者のみについて実験を行ったが、FIG.20などの結果から実体についても上記のような結果が得られると予想される。

### 5. 3 動的進入実験

静的進入実験によって得られた結果がどのように実際に船舶が衝突したときのそれに対応するかを調べるために模型船を使った衝突実験を行った。FIG.23,24 の三角船首の場合、静的進入実験と動的進入実験の結果はほぼ一致していると言える。よって、三角船首の場合は、静的進入実験の結果で実際の衝突にかかる荷重や緩衝工の吸収エネルギーを算出しても実際の衝突とほぼ同様な結果が得られると推測される。また、FIG.25 の傾斜船首の場合、歪み率が増すごとに、静的進入実験と動的進入実験との差が広がっている。これは、歪率は速度が増すことにほぼ比例しているから、速度が増すごとに、差が広がっていると考えてよい。従って、静的進入実験においては、毎秒 20mm の速度で圧縮を行うが、動的進入実験のように短時間の圧縮においては、緩衝工の反発弾性が高くなると考えられ、その結果、荷重が高くなることになる。また、実際の衝突においも、速度がある程度ある場合の短時間の圧縮においては、荷重が静的実験より求めた結果より高い値を示し、それに伴い、吸収エネルギーも高くなると考えられる。これは、緩衝工として、有利な結果といえる。

#### 5. 4 ペルプレン緩衝工の実用性

静的進入実験、波力実験、動的進入実験の3つの実験を行ったが、静的進入実験より改良2号や改良2.1号では、既に第2章で述べているように既に実用化されている鋼製緩衝工と比べても同様な結果を得ていることから、実用性はあると考えられる。また山の数を減らして緩衝工の成形手間や材料の量を減らしてコストダウンした4号においても改良2号や改良2.1号に比べると吸収エネルギーにおいては下回るが、改良1号や2号より性能は上がっているといえる。しかし4号においては今後の研究に期待したい。

緩衝工を橋脚に取り付ける時、緩衝工の山の部分をボルトにより取り付ける。この部分が強度的に弱い部分であり、その強度と緩衝工が受ける波力との関係が波力実験の主な目的ではあるが、緩衝工が受ける波力は全く影響無いと言える。

動的進入実験により静的進入実験と比較において、三角船首においては、ほぼ同じ結果となっている。また、傾斜船首の場合（ほとんどの船舶箱の形状に近い形状である）、強度は、静的進入実験より強くなり、傾斜船首の方が緩衝工の性能として有利であると言える。

以上の3つの実験の結果により、静的進入実験で実用性にある改良2号、改良2.1号で素材がP-150Bでは波力実験、動的進入実験においても実用性があると言える。

---

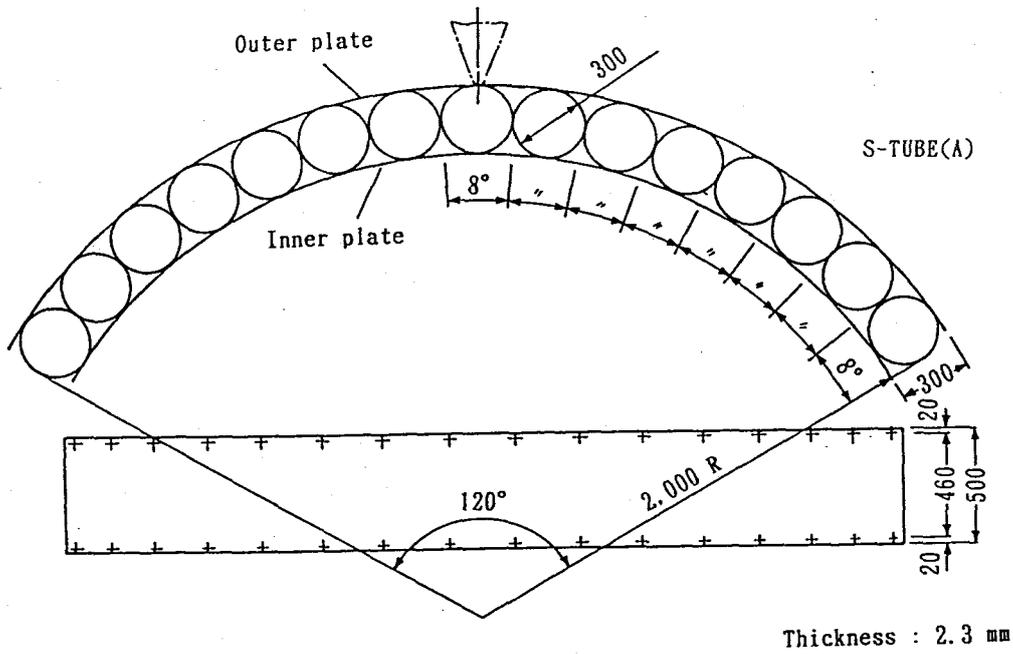
## 謝 辞

本研究静的進入実験において、多大なるご指導、ご協力をいただいた運輸省船舶技術研究所構造強度部の有田喜久雄氏、構造強度部の方々、波力実験、動的進入実験において、多大なるご指導、ご協力をいただいた東京商船大学船舶運航性能性能実験水槽の武井幸雄講師、三田重雄助手、橋本一明助手、またすべての実験においてご協力、本研究の緩衝工模型を惜しみなく提供いただいた東洋紡総合研究所樹脂技術センターの国分外喜雄氏、また樹脂センターの方々、実験にご協力いただいた東京商船大学大学院生の杉田崇他学部学生これらの方々に深く感謝致します。

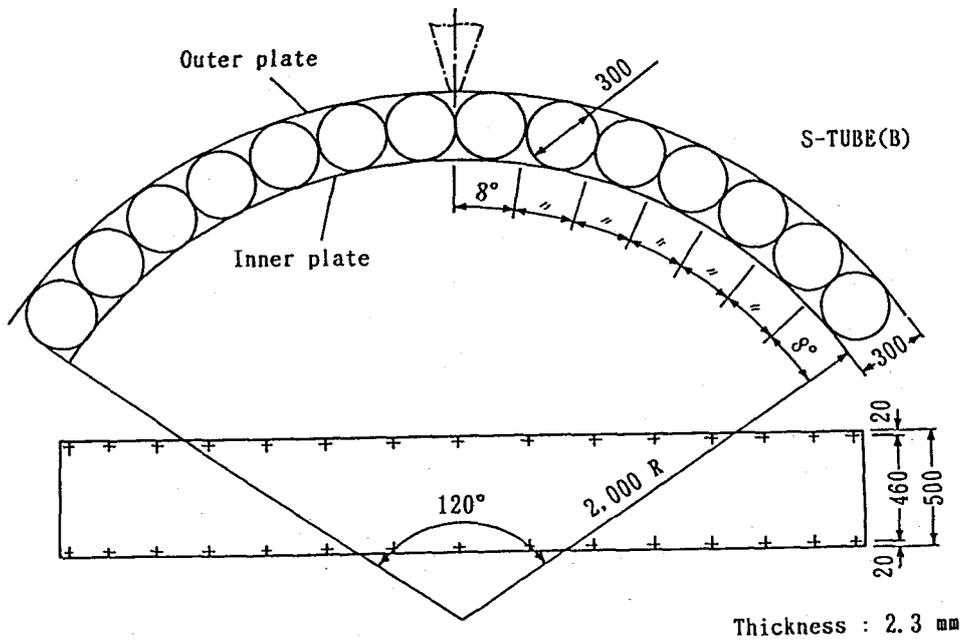
また本研究全般において、暖かいご指導をいただいた東京商船大学の庄司邦昭教授に謝意を表します

## 参考文献

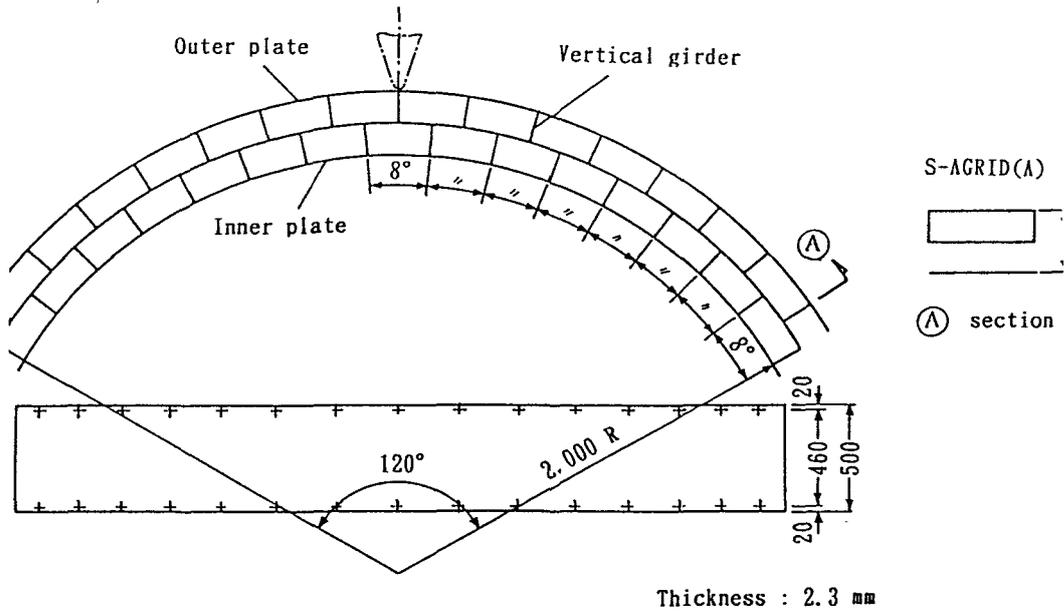
- 1) 本四公団、日海防：平成4年度本州四国連絡橋航行安全調査報告書
  - 2) 本四公団、日海防：平成5年度本州四国連絡橋航行安全調査報告書
  - 3) 永井荘七郎・小田一紀：橋脚による流況変化が航行船舶に及ぼす影響に関する研究（その1）、第23回海岸工学講演会論文集
  - 4) 永井荘七郎・小田一紀・岩井聰・庄司邦明：橋脚による流況変化が航行船舶に及ぼす影響に関する研究（その2）、第24回海岸工学講演会論文集
  - 5) 庄司邦明：船舶衝突防護施設について（2）、第680号日本造船学会誌
  - 6) 庄司邦明：橋梁に対する船舶衝突事故とその安全対策、  
東京商船大学第34回学術講演会論文集
-



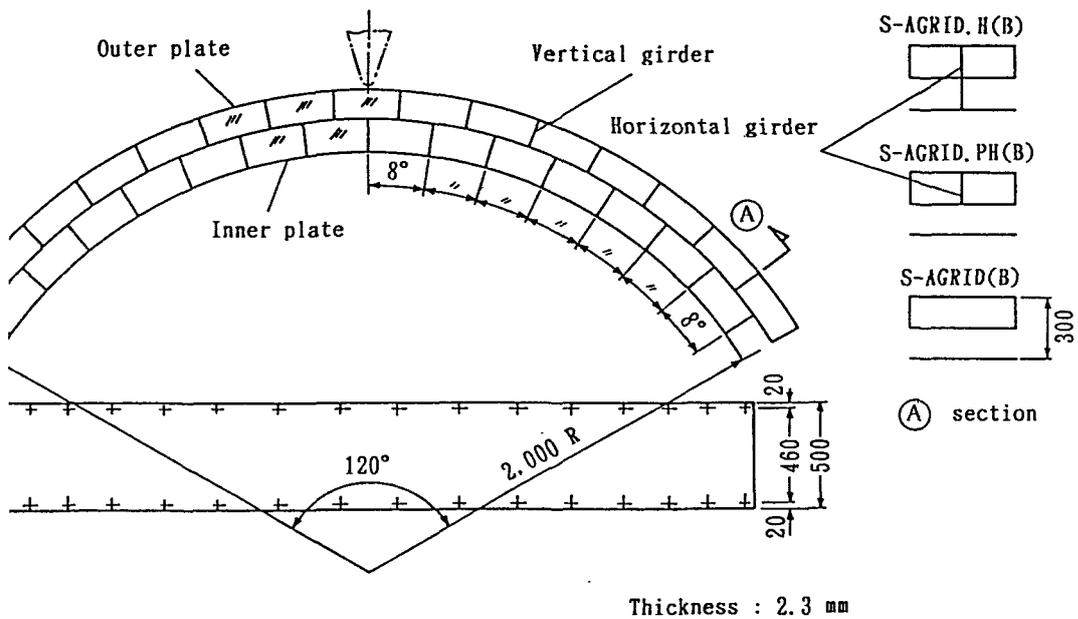
円筒連結型模型 (その1)



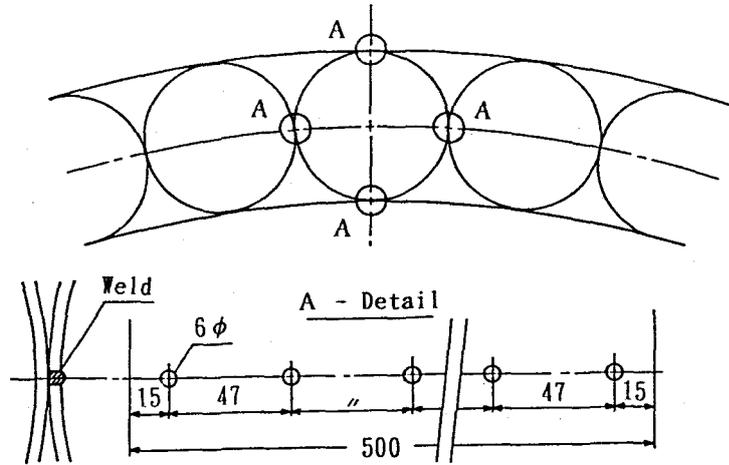
円筒連結型模型 (その2)



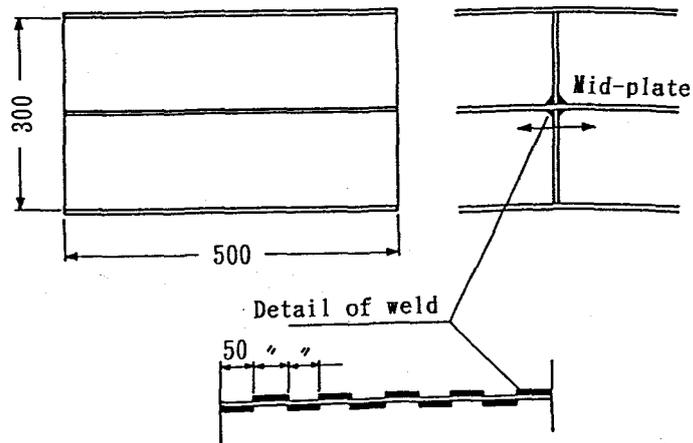
格子型模型 (その1)



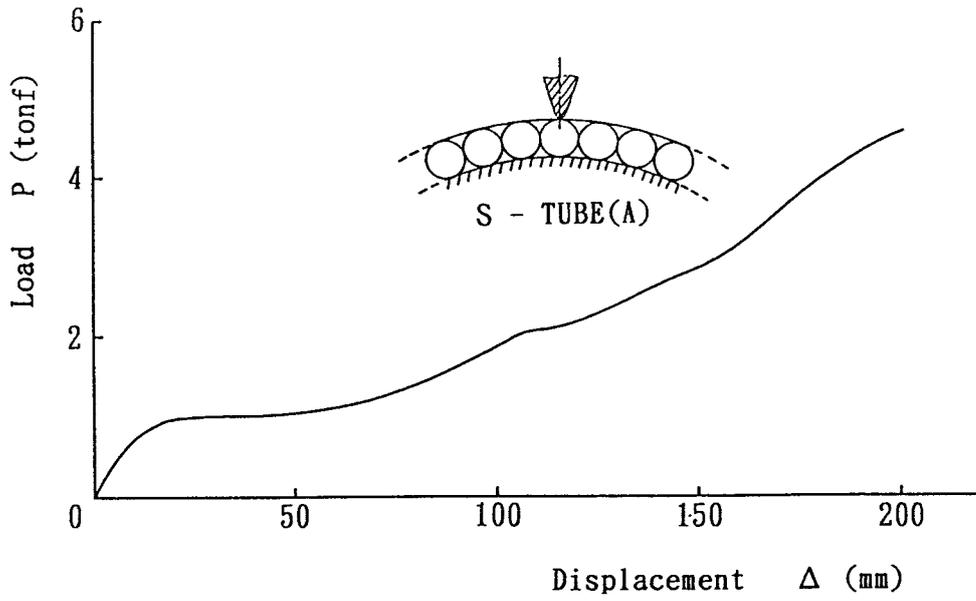
格子型模型 (その2)



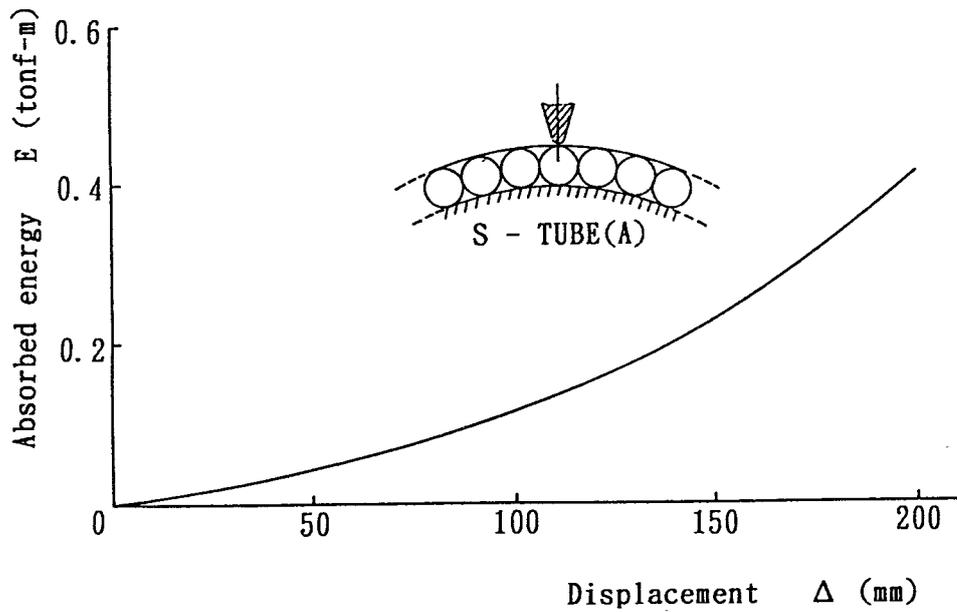
接合部詳細〔円筒連結型〕



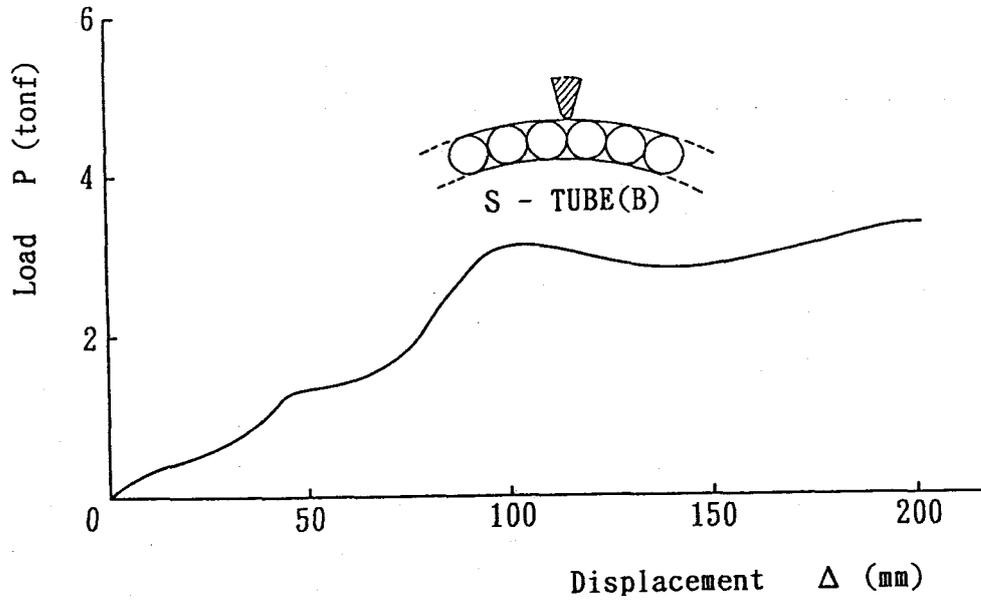
接合部詳細〔格子型〕



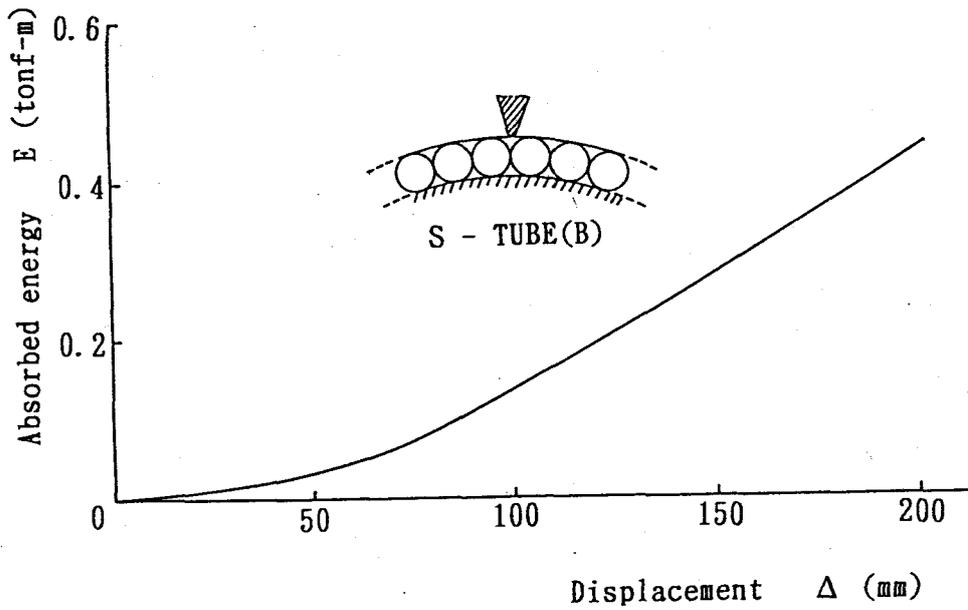
荷重 - 変位曲線 [ S-TUBE(A) ]



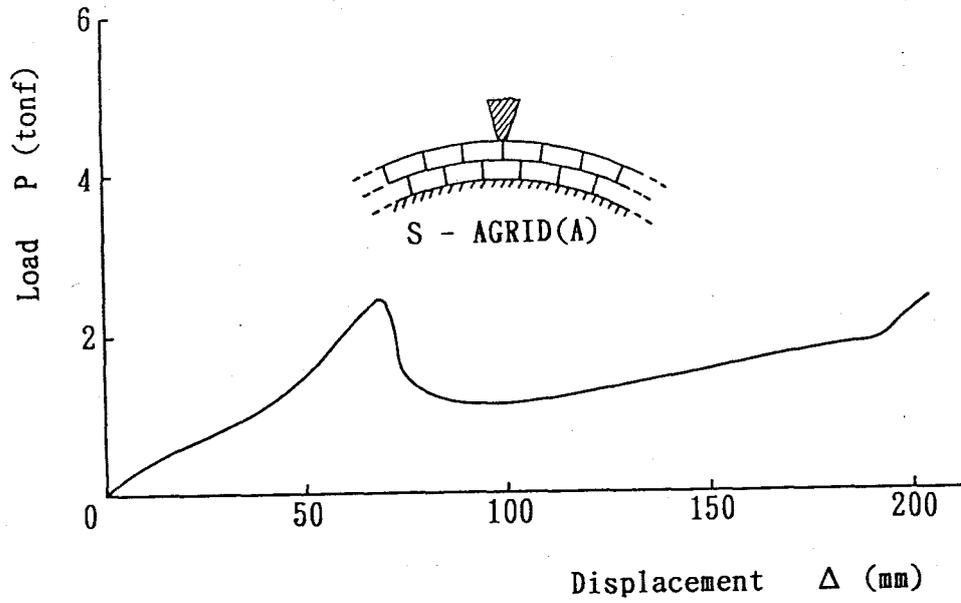
吸収エネルギー - 変位曲線 [ S-TUBE(A) ]



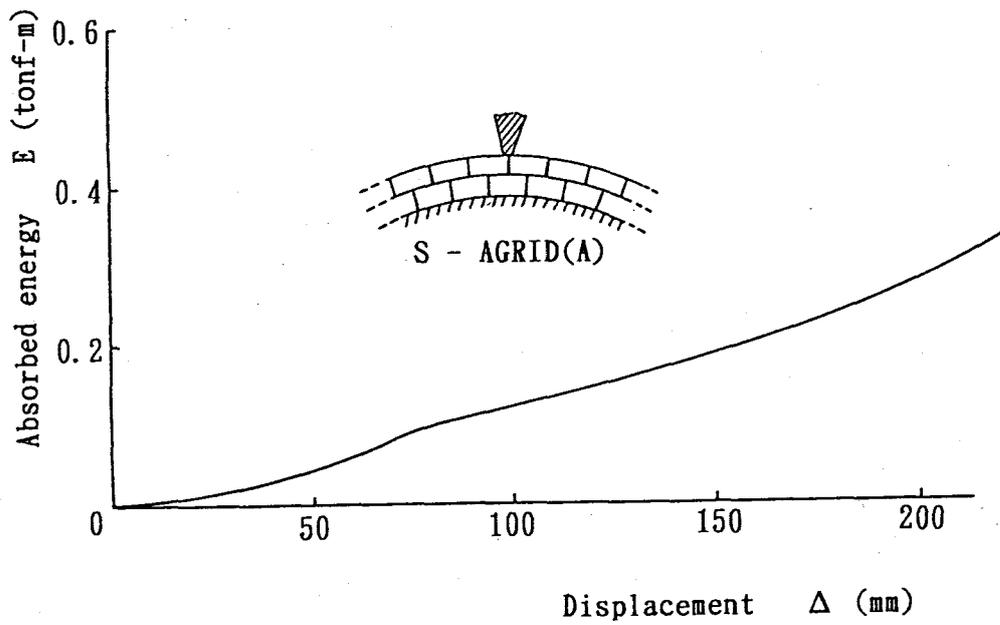
荷重-変位曲線 (S-TUBE(B))



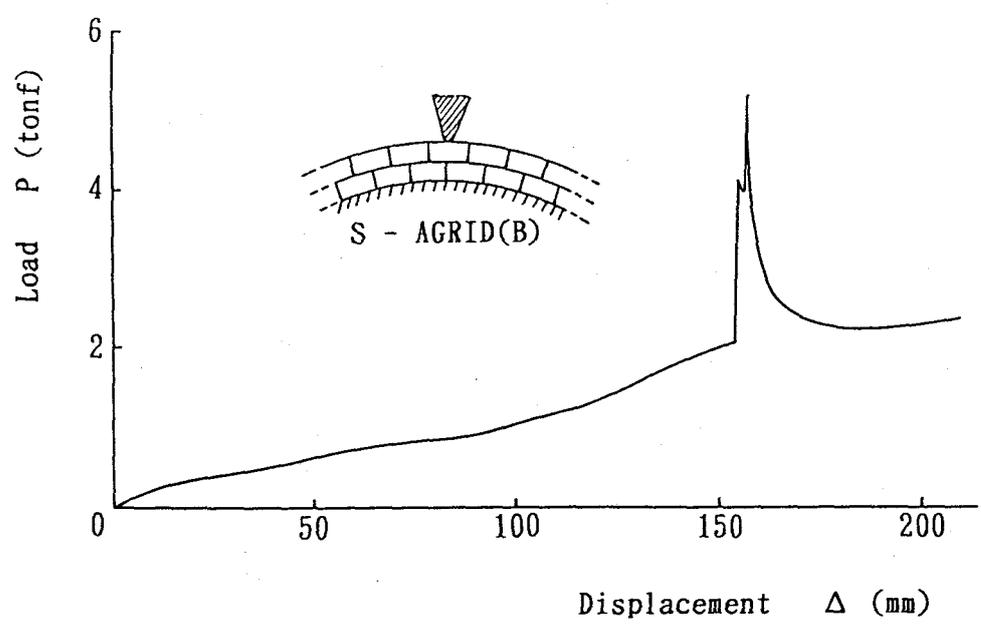
吸収エネルギー-変位曲線 (S-TUBE(B))



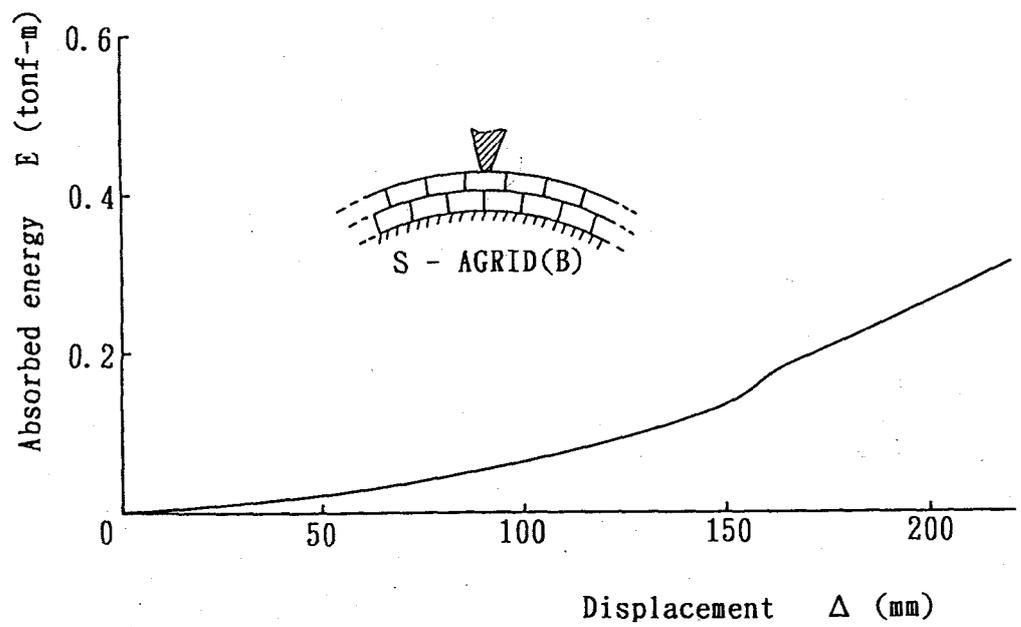
荷重-変位曲線 (S-AGRID(A))



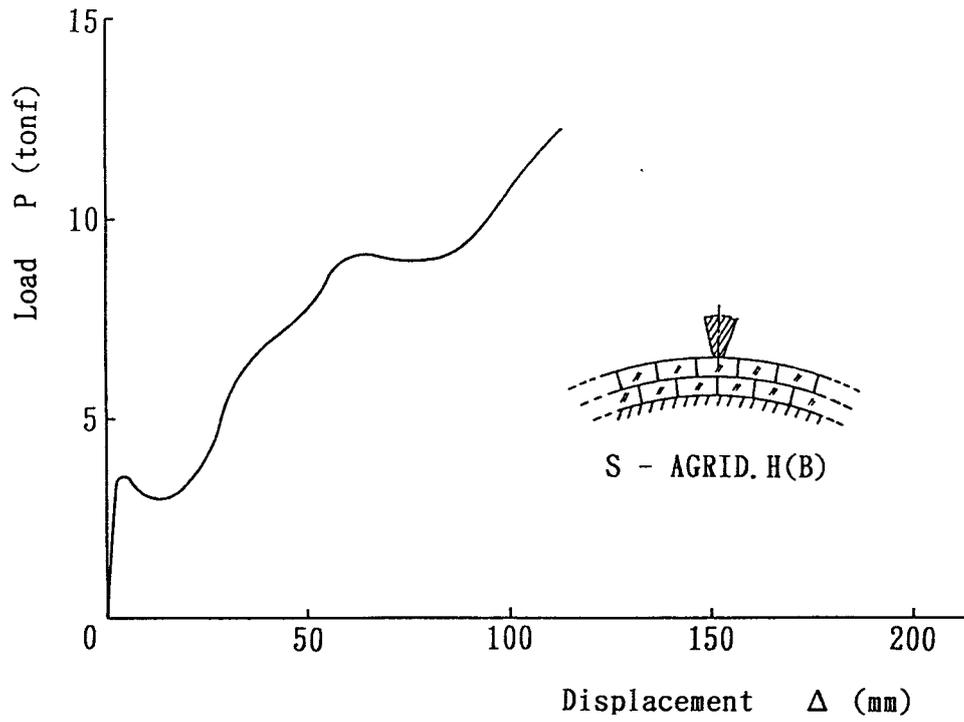
吸収エネルギー-変位曲線 (S-AGRID(A))



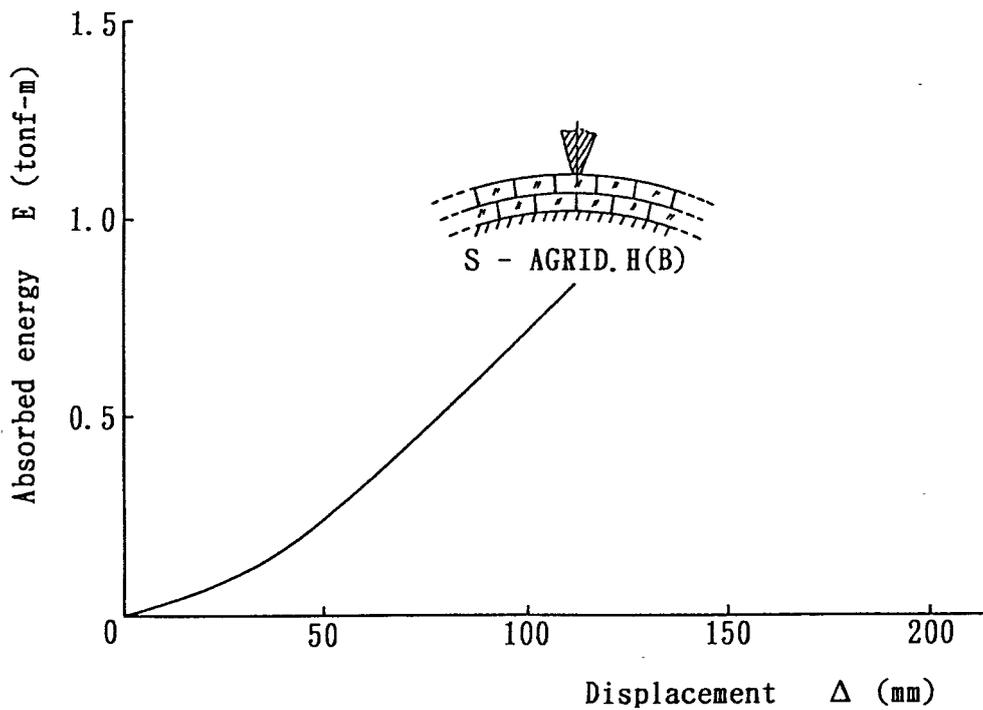
荷重-変位曲線〔S-AGRID(B)〕



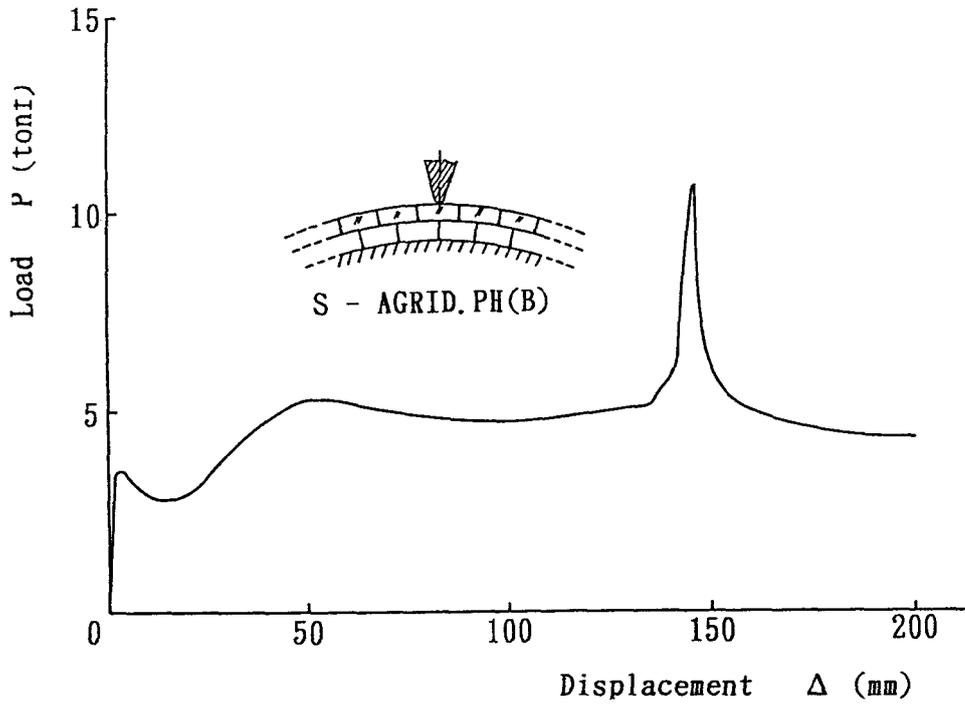
吸収エネルギー-変位曲線〔S-AGRID(B)〕



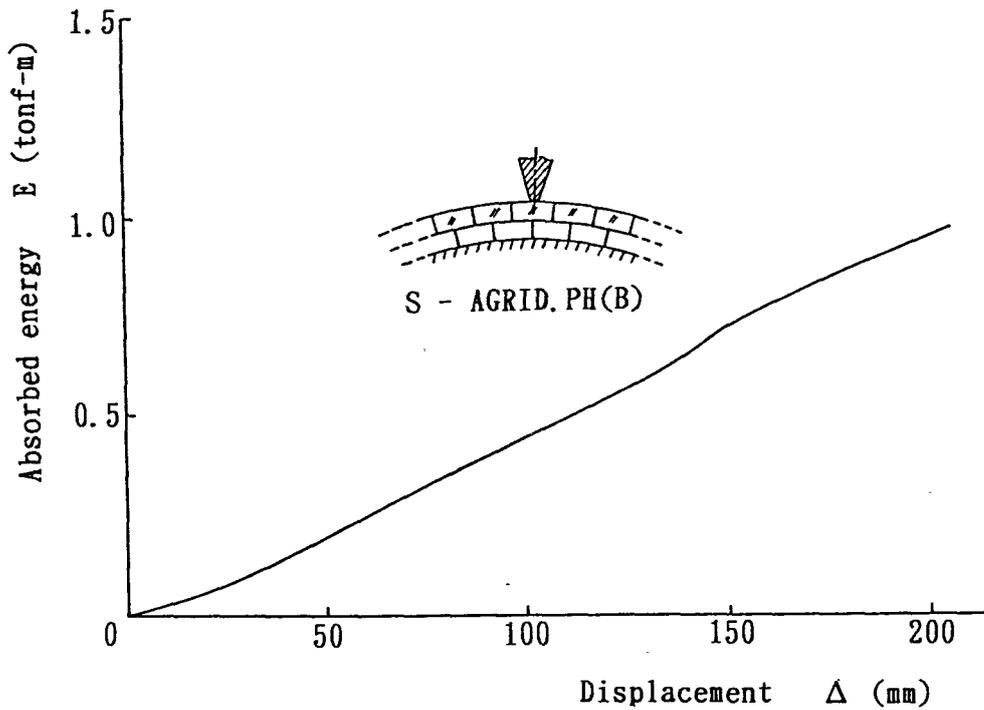
荷重 - 変位曲線 (S-AGRID.H(B))



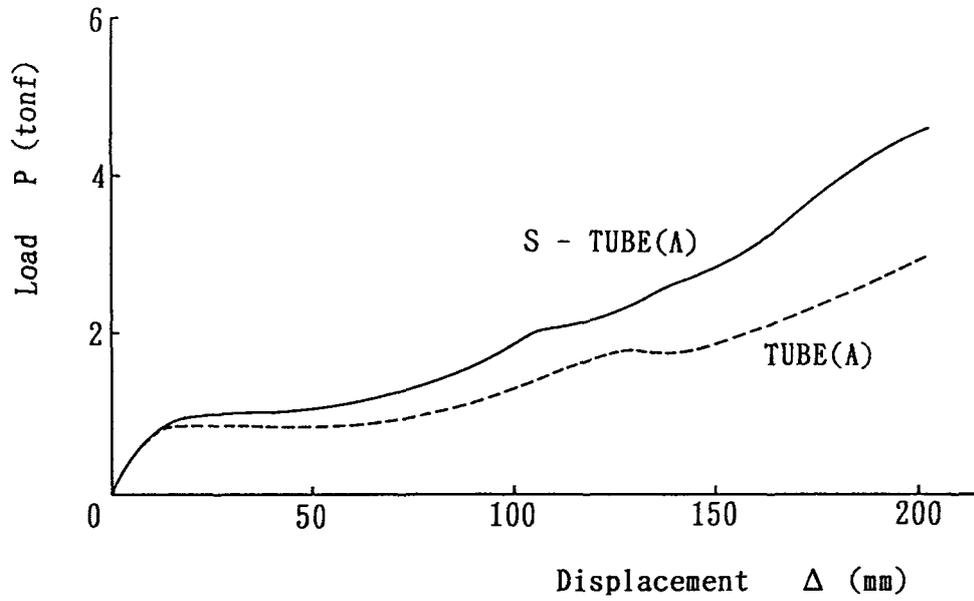
吸収エネルギー - 変位曲線 (S-AGRID.H(B))



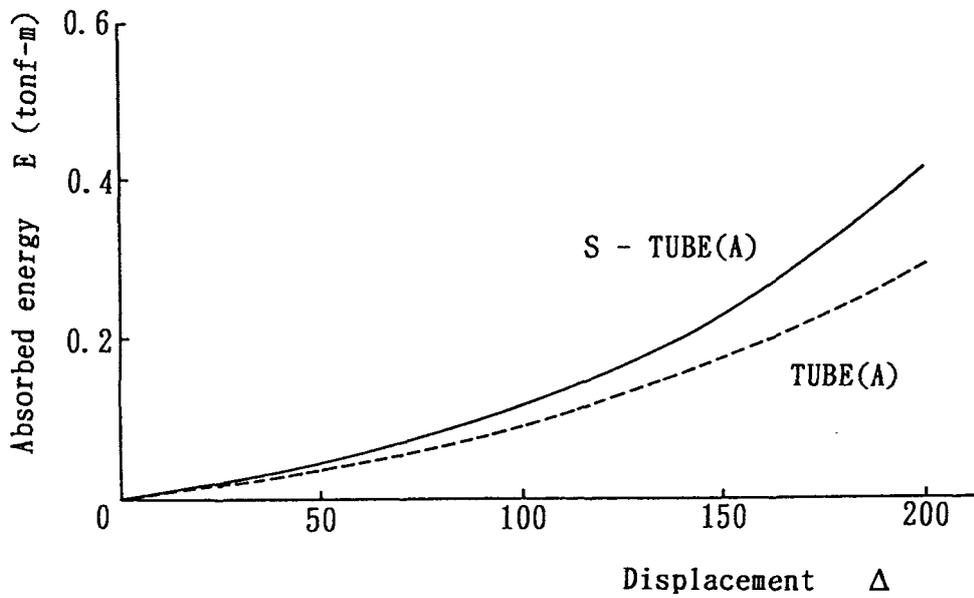
荷重-変位曲線 (S-AGRID.PH(B))



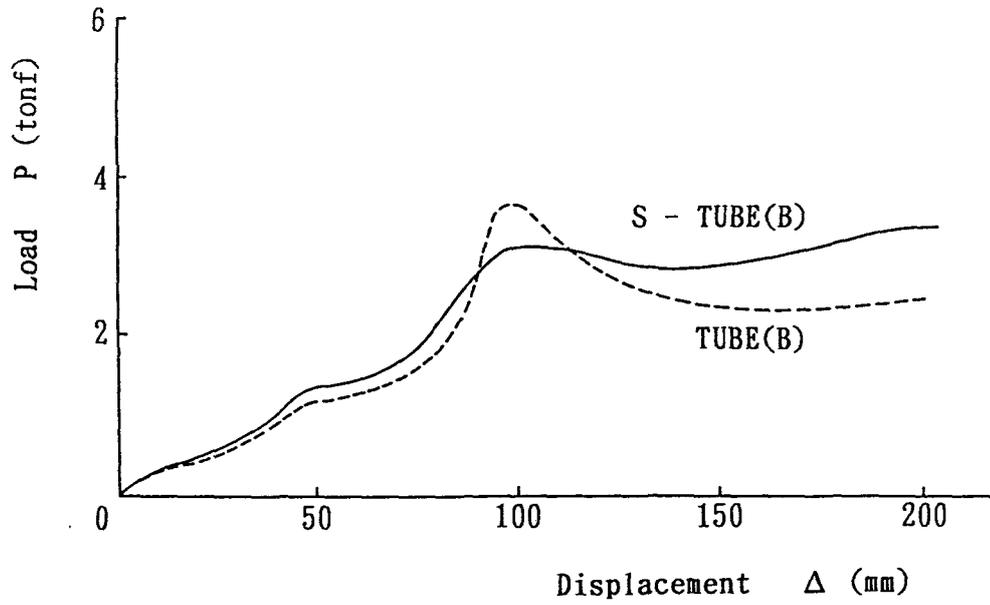
吸収エネルギー-変位曲線 (S-AGRID.PH(B))



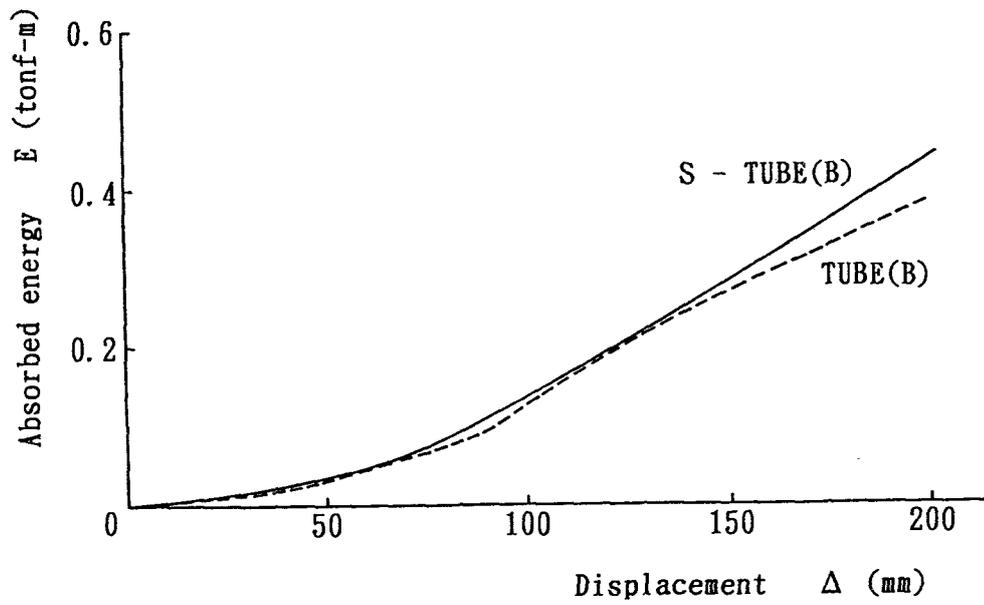
荷重-変位曲線〔S-TUBE(A)とTUBE(A)との比較〕



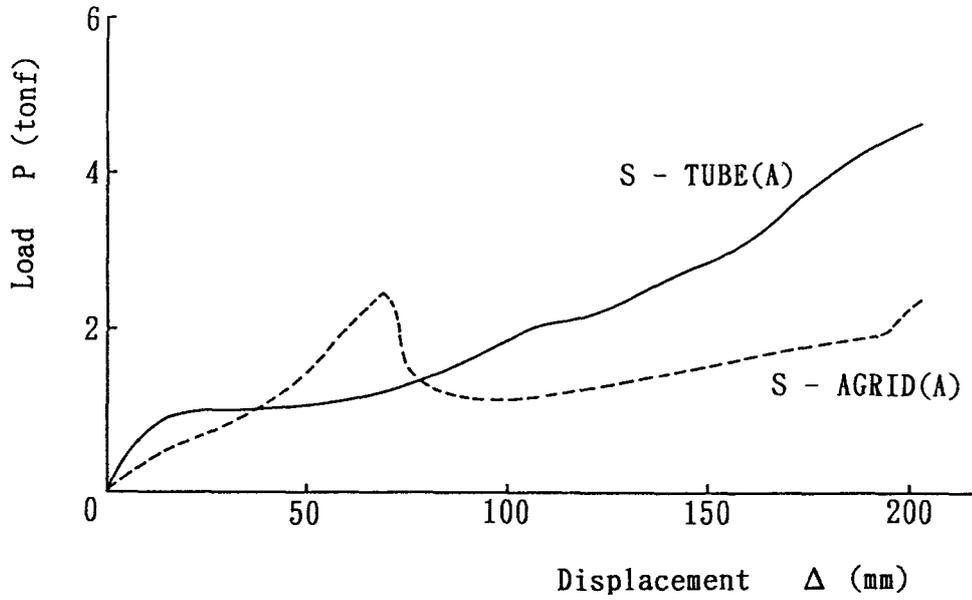
吸収エネルギー-変位曲線〔S-TUBE(A)とTUBE(A)との比較〕



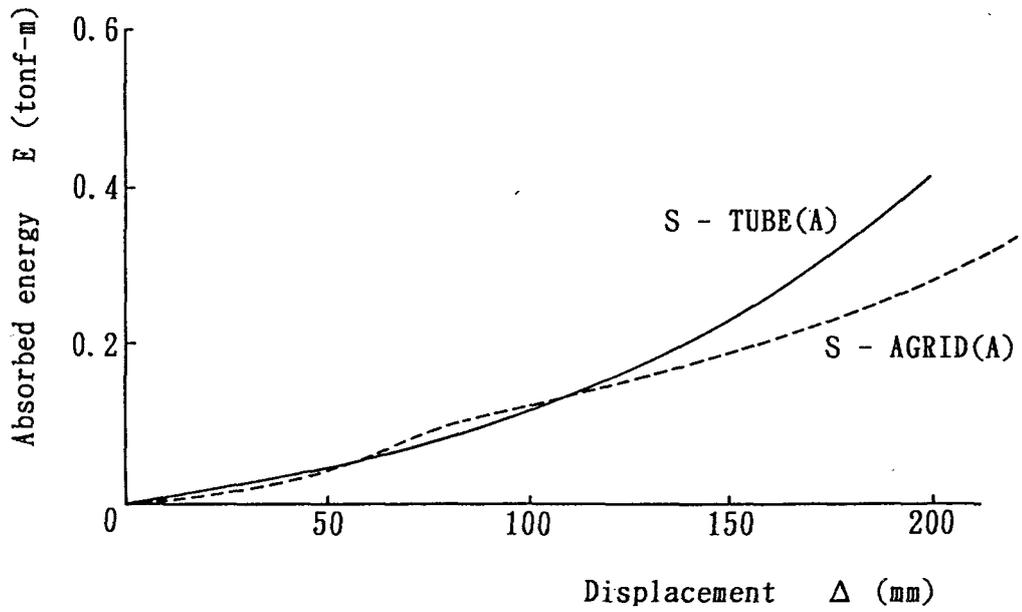
荷重-変位曲線〔S-TUBE(B)とTUBE(B)との比較〕



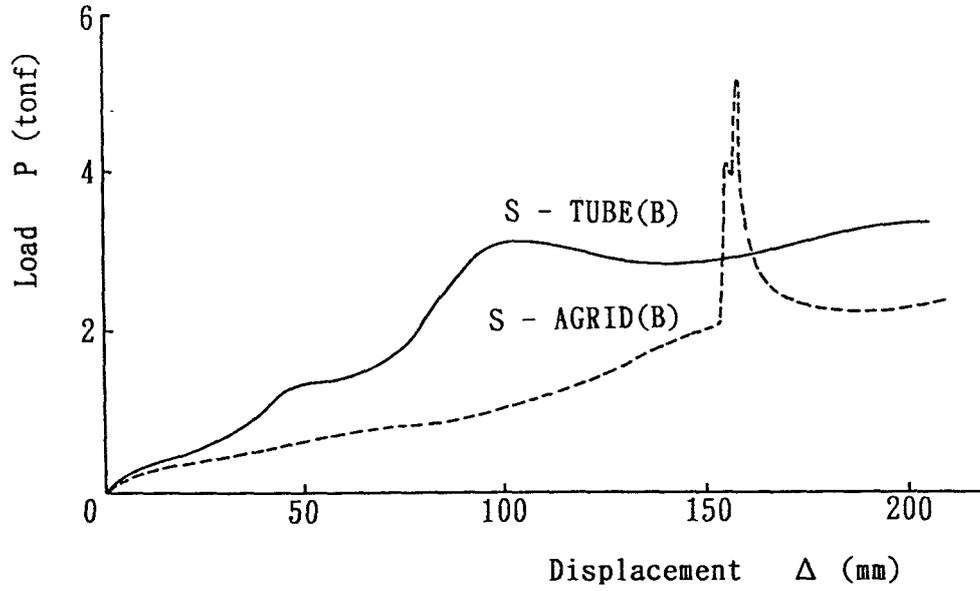
吸収エネルギー-変位曲線〔S-TUBE(B)とTUBE(B)との比較〕



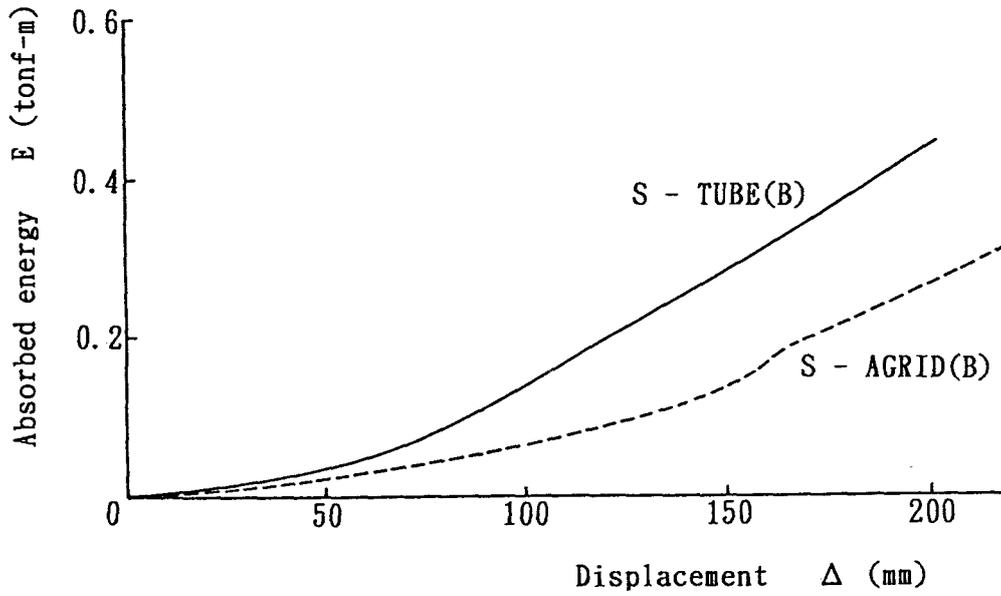
荷重-変位曲線(TUBEとGRIDとの比較(その1))



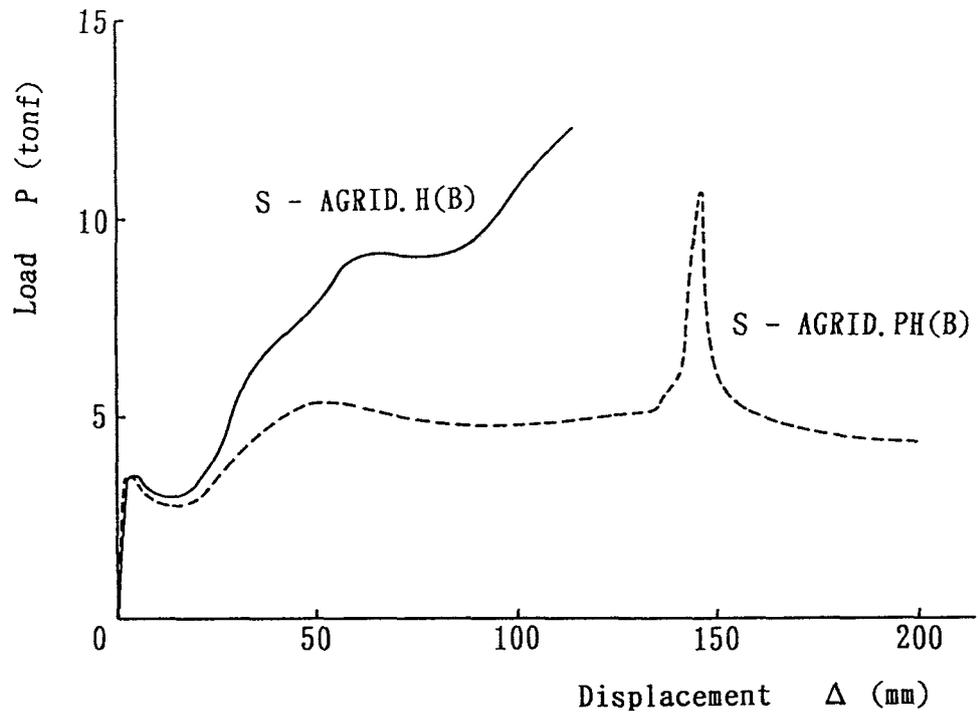
吸収エネルギー-変位曲線(TUBEとGRIDとの比較(その1))



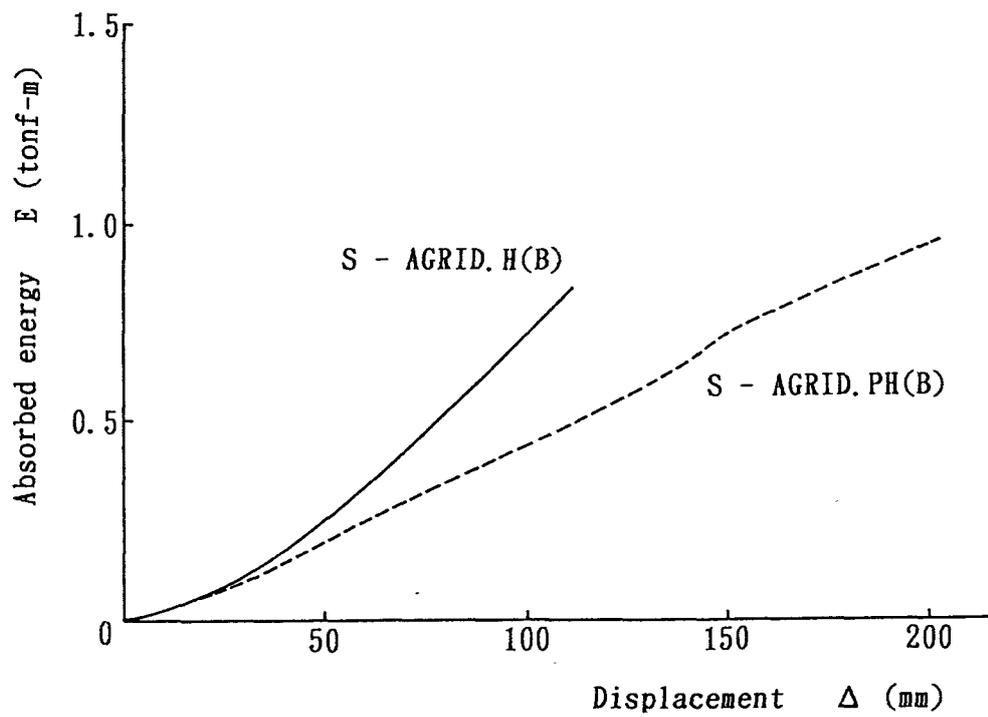
荷重-変位曲線(TUBEとGRIDとの比較(その2))



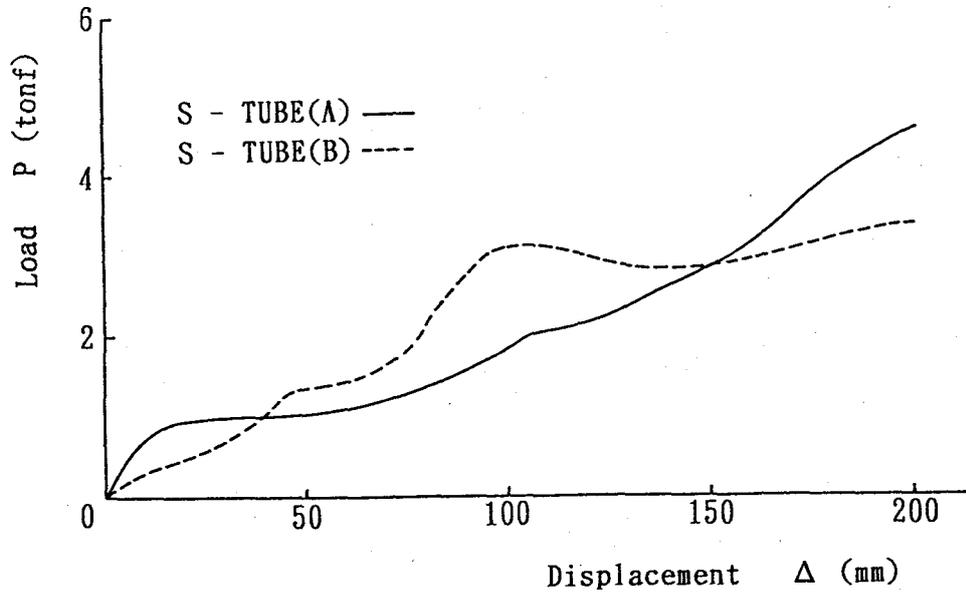
吸収エネルギー-変位曲線(TUBEとGRIDとの比較(その2))



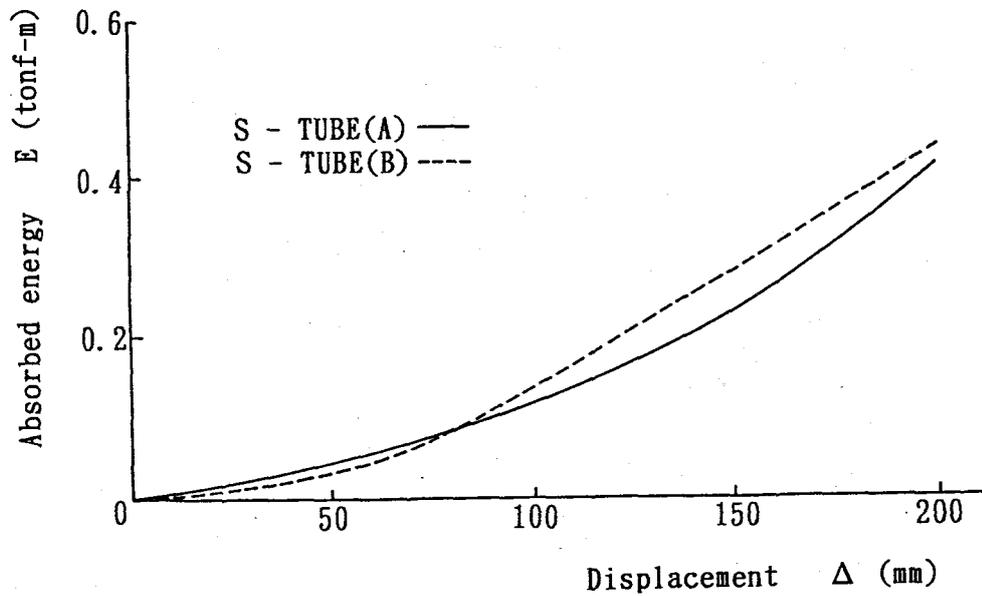
荷重—変位曲線(部分水平桁と全水平桁との比較)



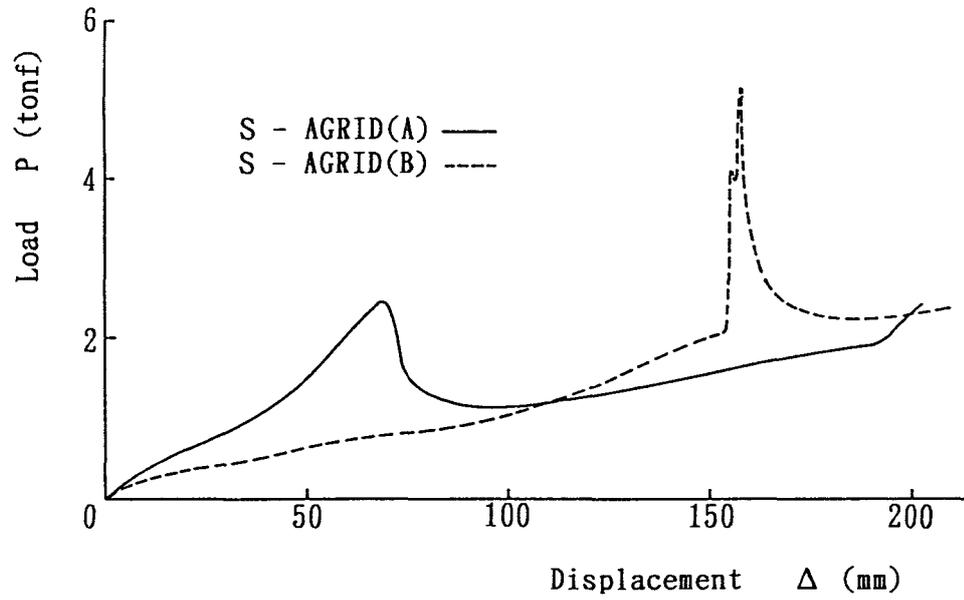
吸収エネルギー—変位曲線(部分水平桁と全水平桁との比較)



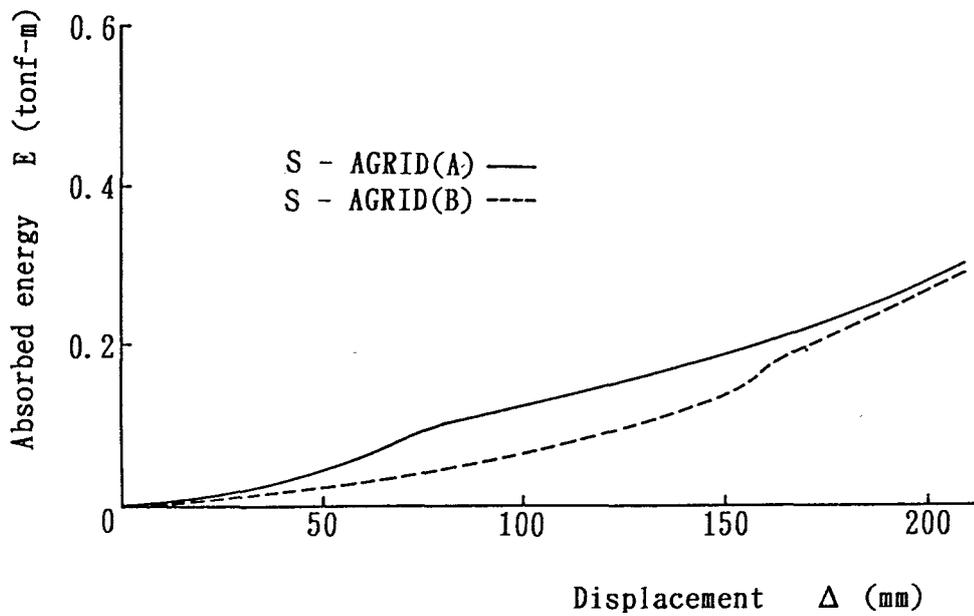
荷重-変位曲線〔S-TUBE:荷重条件の比較〕



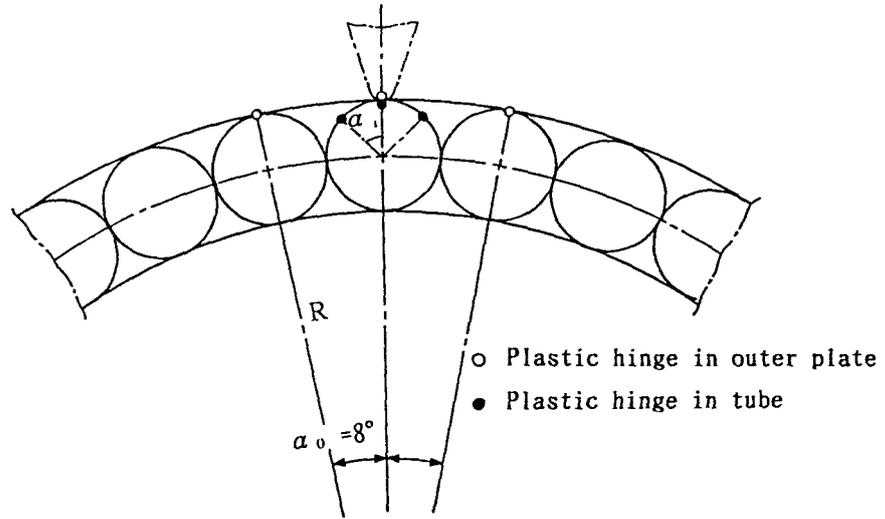
吸収エネルギー-変位曲線〔S-TUBE:荷重条件の比較〕



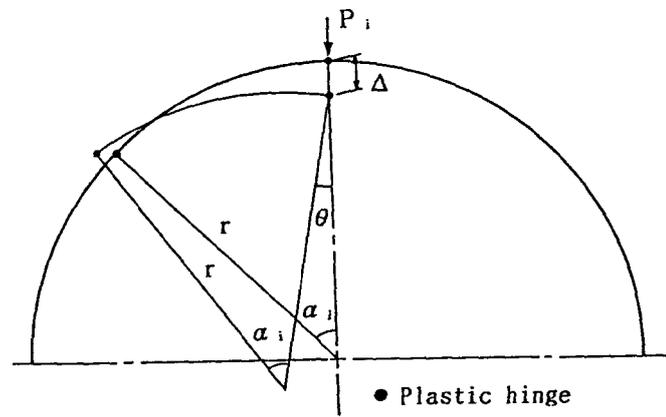
荷重-変位曲線〔S-AGRID: 荷重条件の比較〕



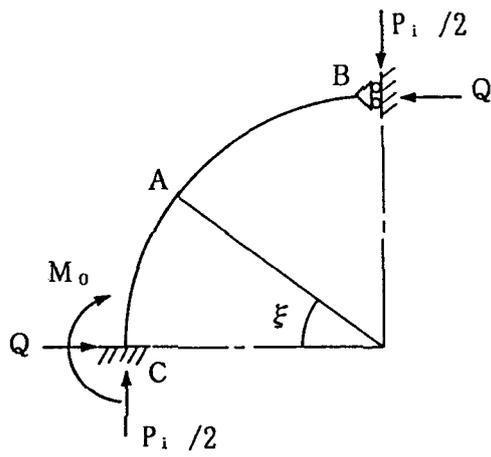
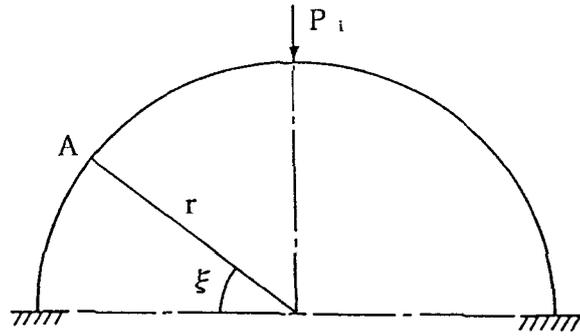
吸収エネルギー-変位曲線〔S-AGRID: 荷重条件の比較〕



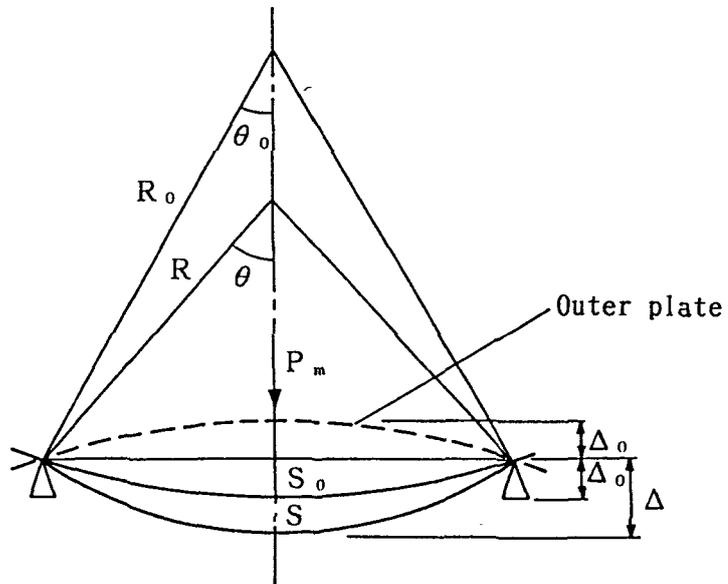
緩衝工模型の塑性関節〔S-TUBE(A)〕



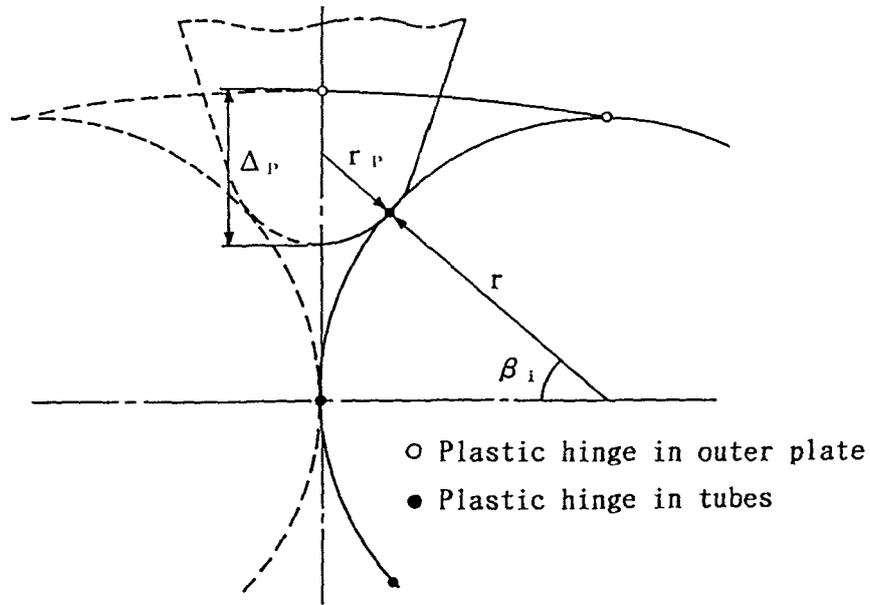
円筒部分の変形〔S-TUBE(A)〕



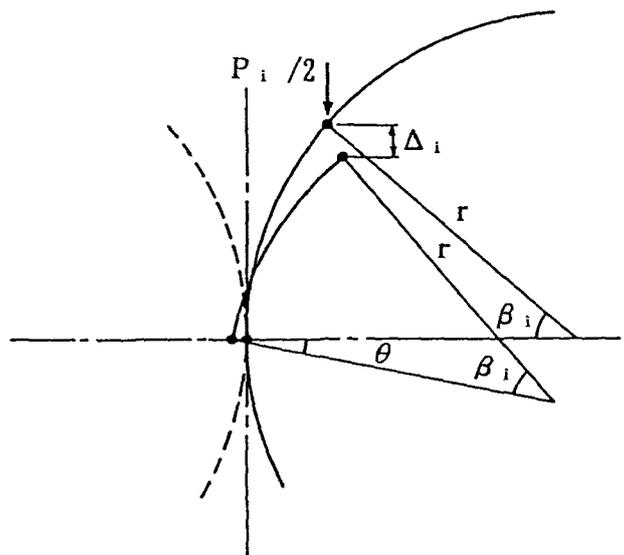
中央載荷



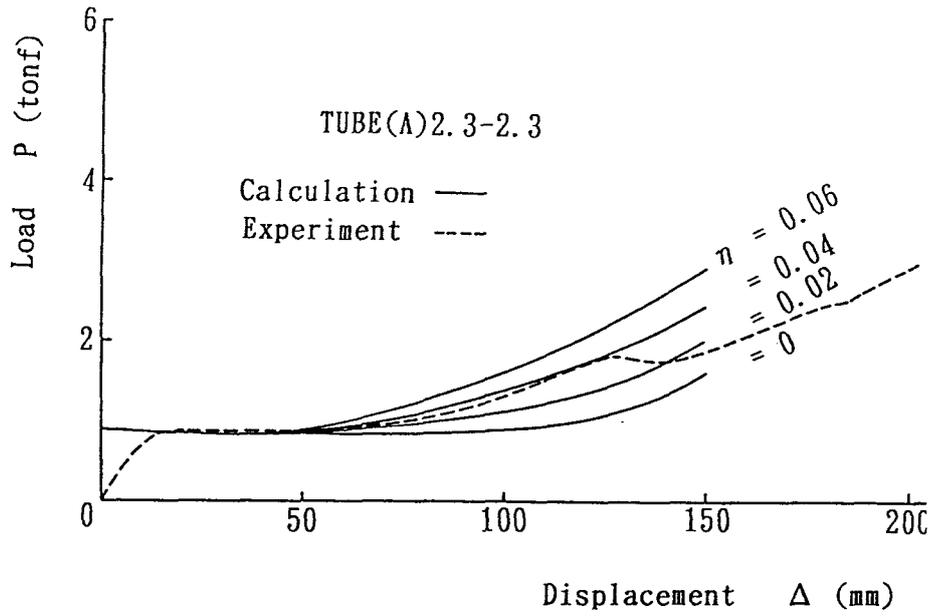
外周板の変形



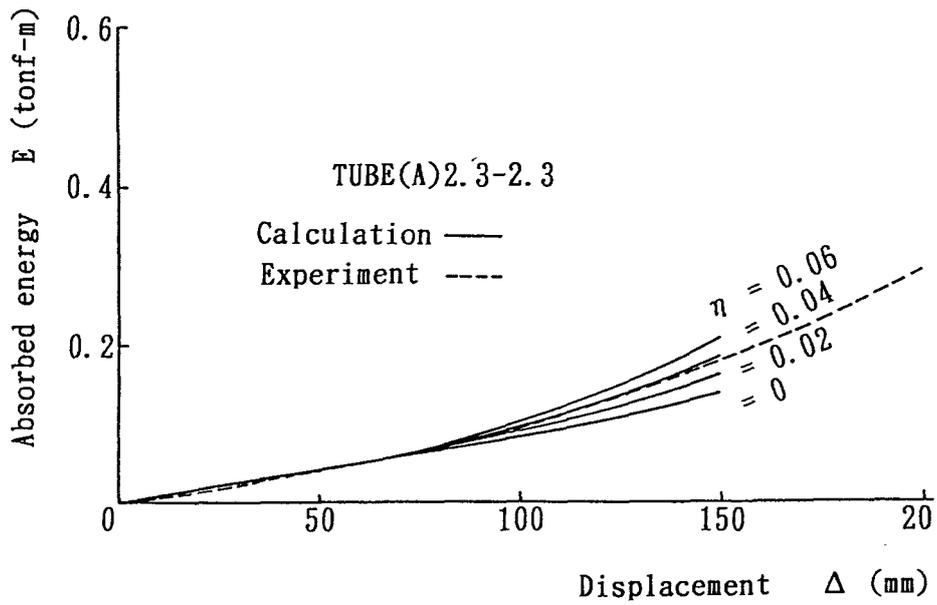
緩衝工模型の塑性関節〔S-TUBE(B)〕



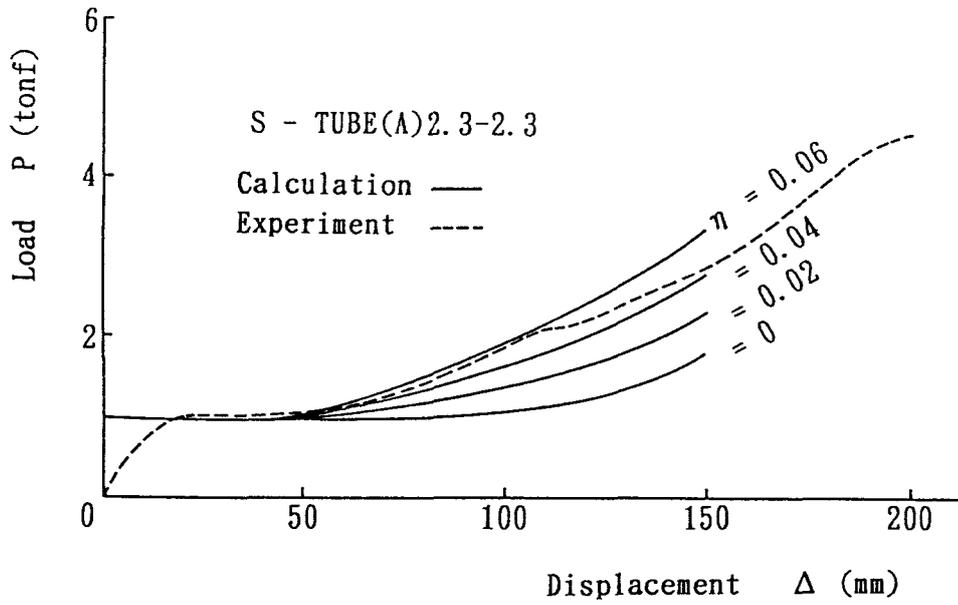
船首接触後の円筒部分の変形〔S-TUBE(B)〕



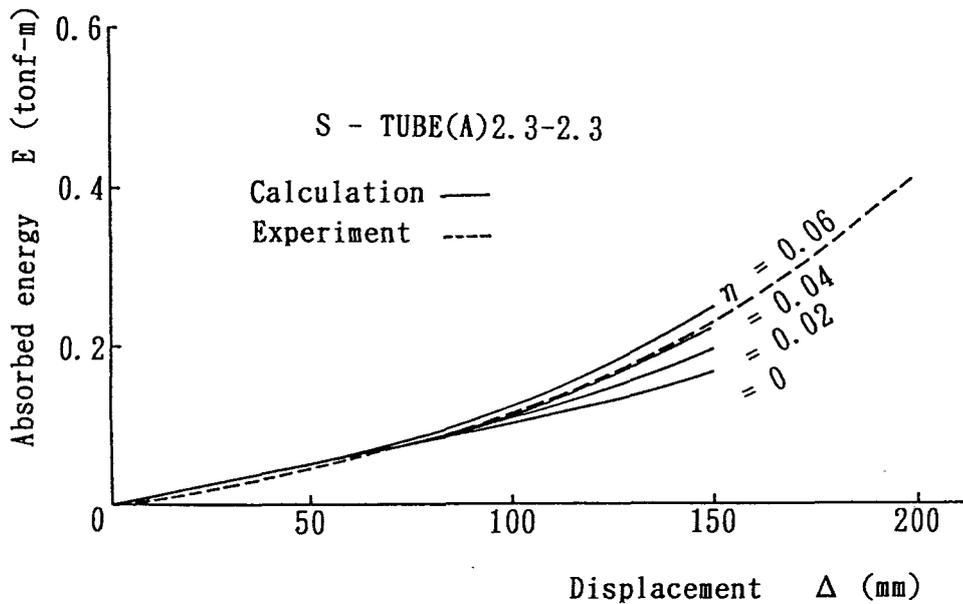
荷重-変位曲線の計算値と実験値の比較〔TUBE(A)〕



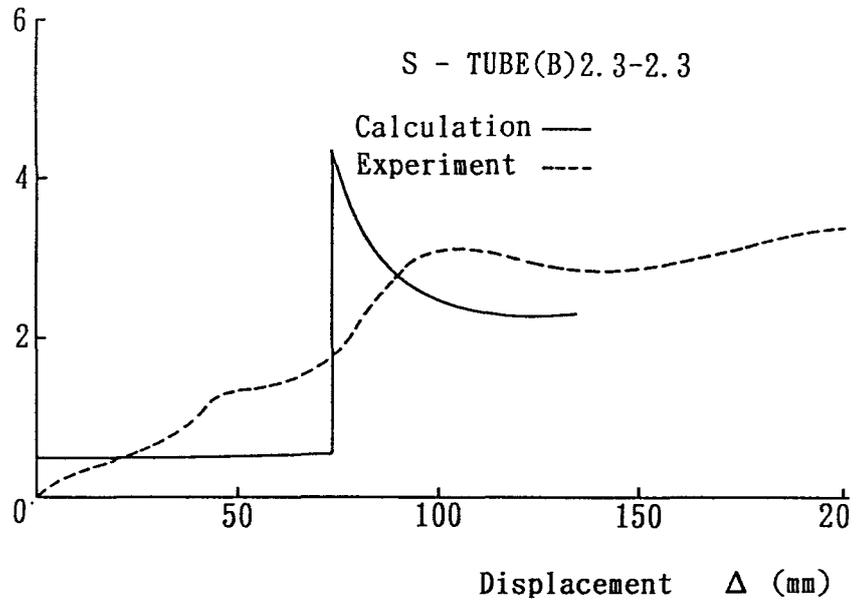
吸収エネルギー-変位曲線の計算値と実験値の比較〔TUBE(A)〕



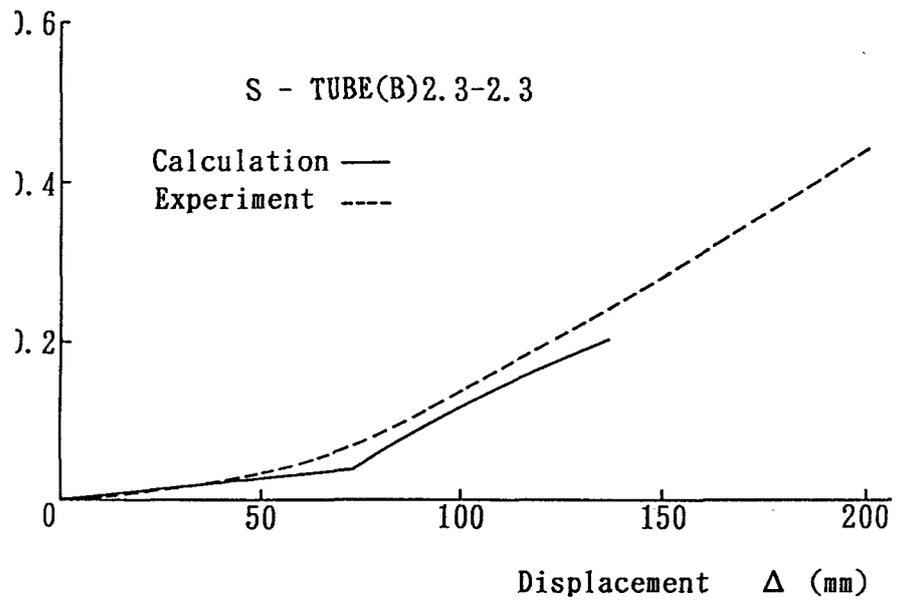
荷重-変位曲線の計算値と実験値の比較〔S-TUBE(A)〕



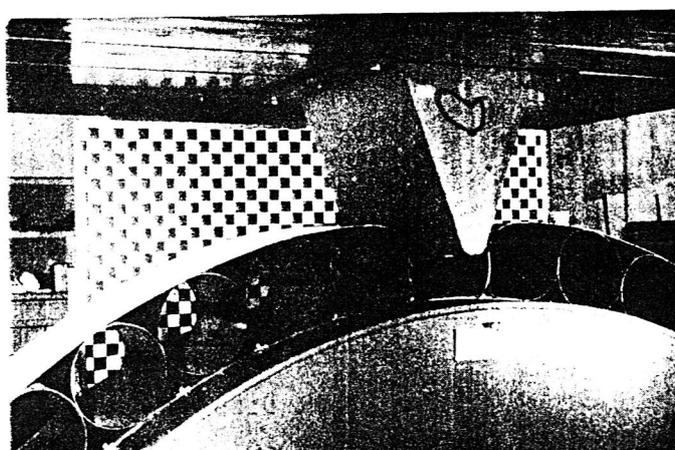
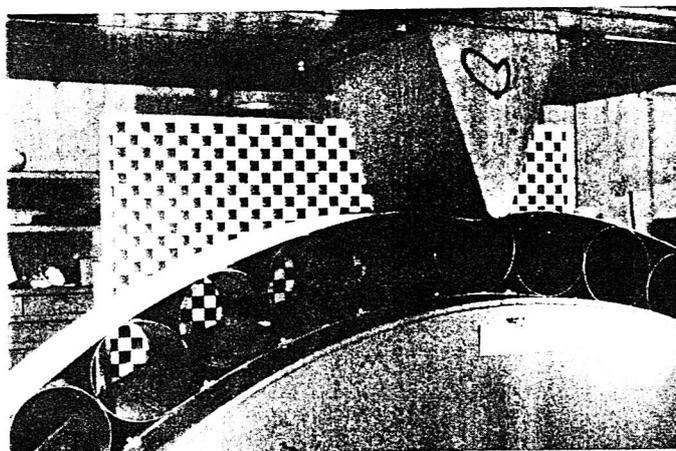
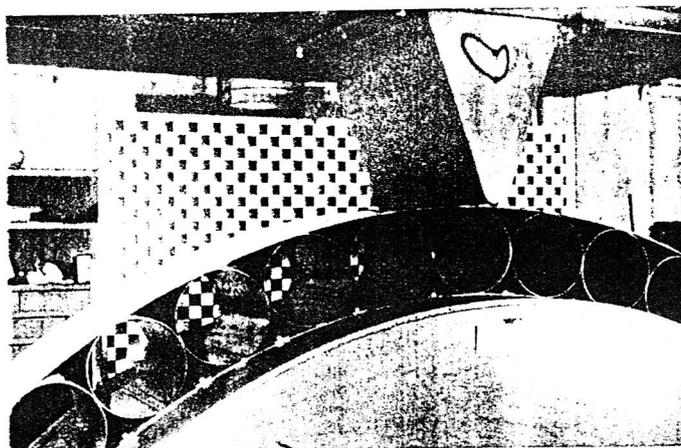
吸収エネルギー-変位曲線の計算値と実験値の比較〔S-TUBE(A)〕



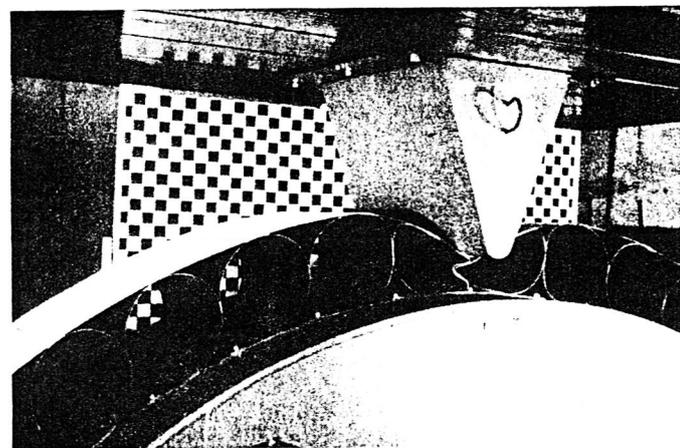
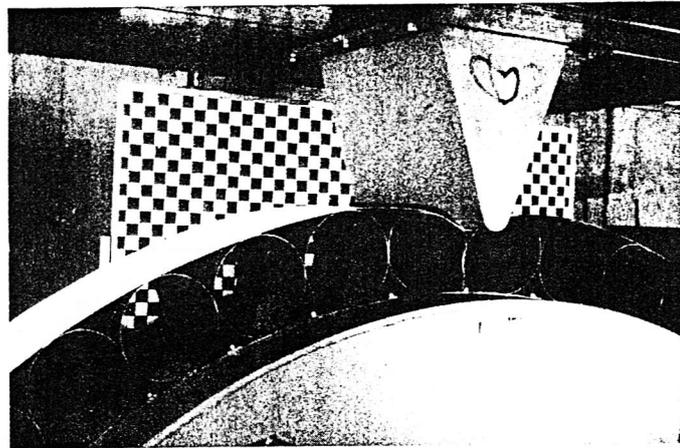
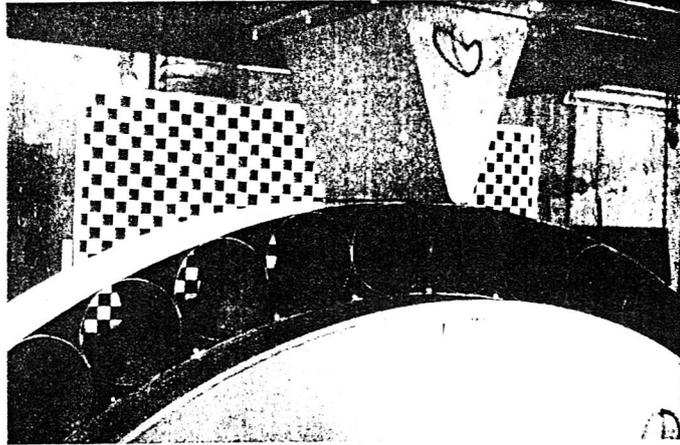
荷重-変位曲線の計算値と実験値の比較(S-TUBE(B))



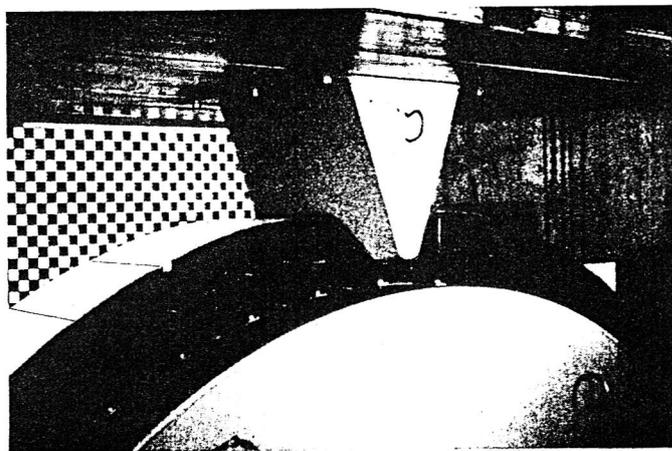
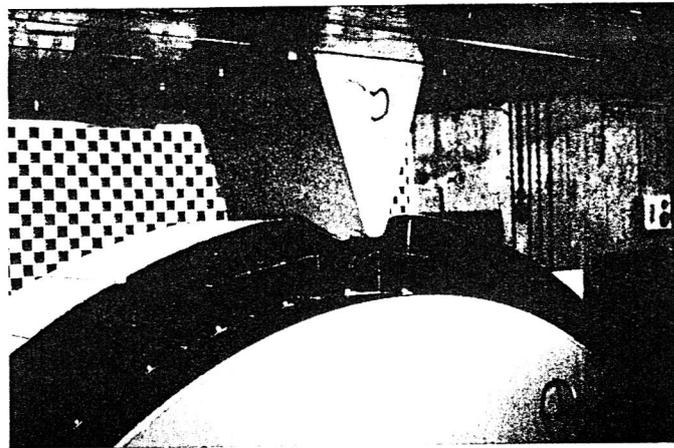
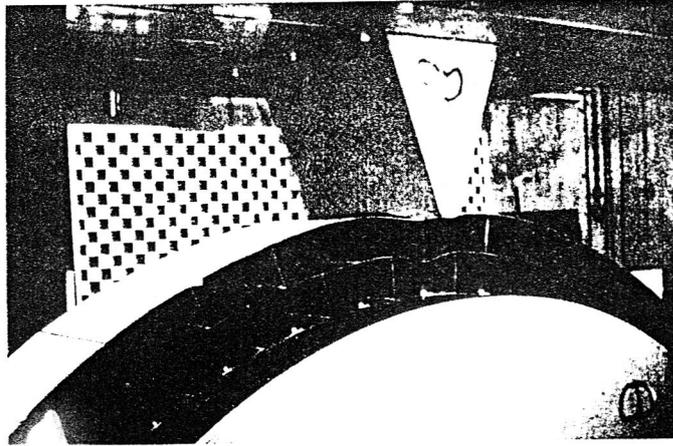
吸収エネルギー-変位曲線の計算値と実験値の比較(S-TUBE(B))



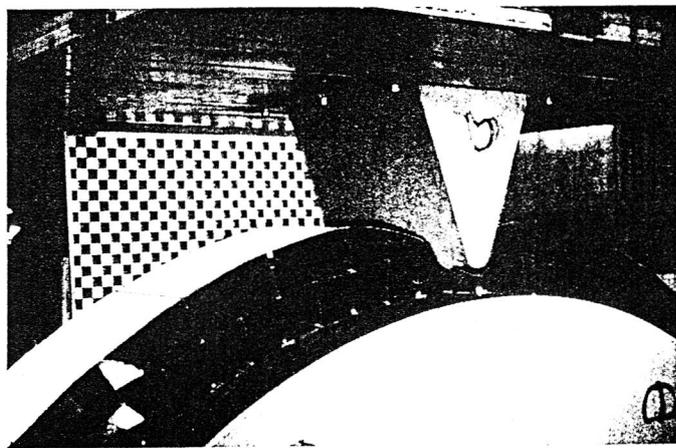
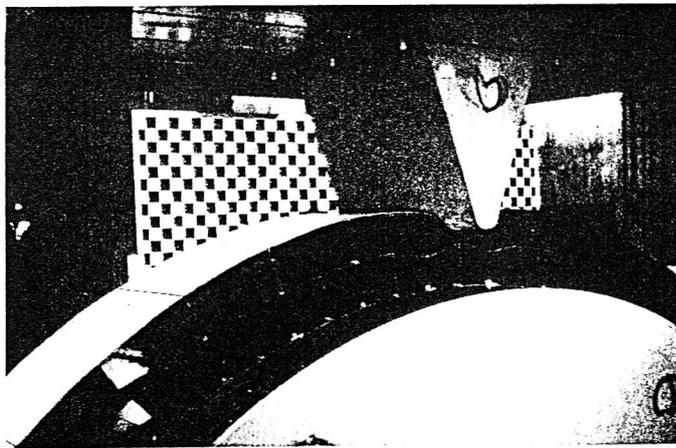
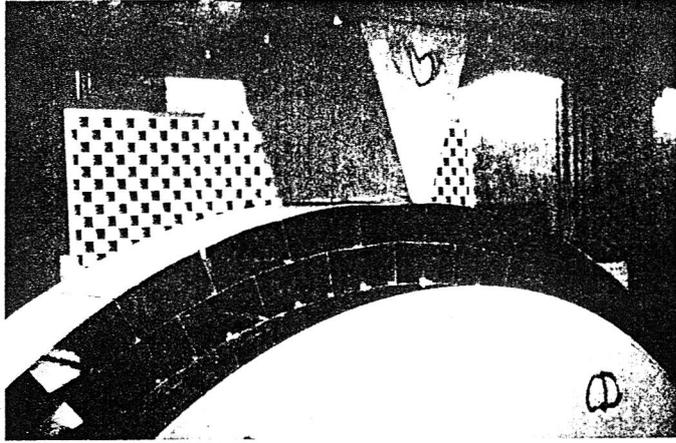
実験状況 [ S-TUBE(A) ]



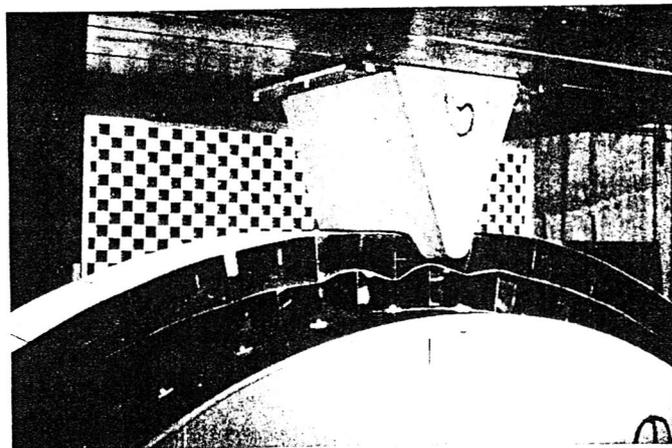
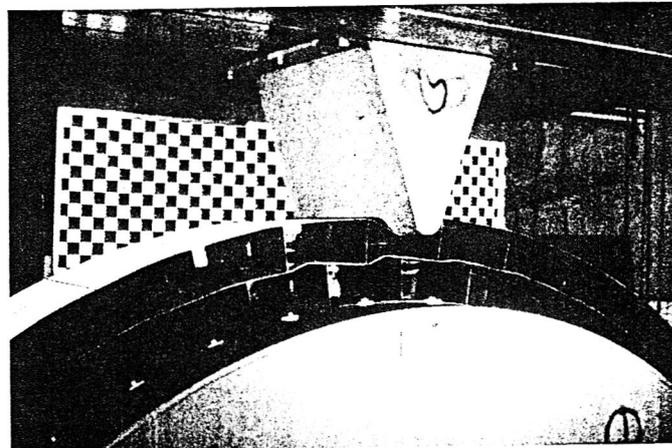
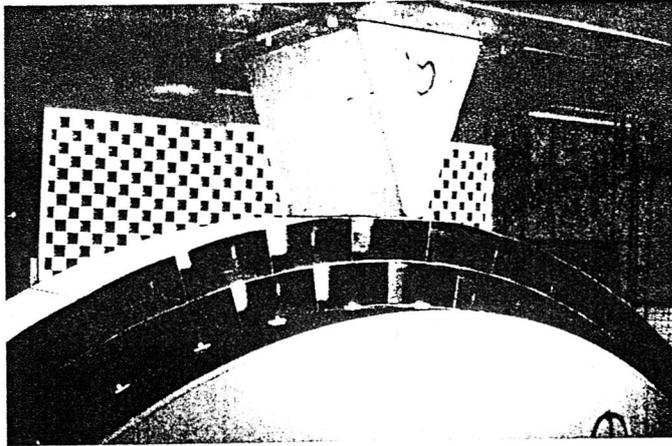
実験状況 [ S-TUBE(B) ]



実験状況 [S-GRID(A)]



実験状況 [ S-GRID(B) ]



実験状況 [S-GRID. H(B)]