

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

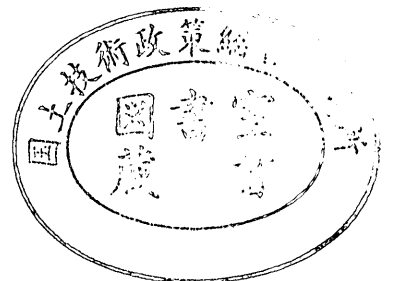
---

VOL. 11

NO. 4

DEC. 1972

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第11巻 第4号 (Vol. 11, No. 4), 1972年12月 (Dec. 1972)

## 目 次 (CONTENTS)

1. Vibratory Response of a Laterally Constrained Silty Clay Subjected to a Longitudinal Vibration.....Yasufumi UMEHARA..... 3  
(縦振動を受ける側方拘束粘土の振動応答.....梅原靖文)
2. 岩礁上の円柱の設計波力に関する研究  
.....合田良実・池田龍彦・笹田 正・岸良安治..... 45  
(Study on Design Wave Forces on Circular Cylinders Erected upon Reefs  
.....Yoshimi GODA, Tatsuhiko IKEDA, Tadashi SASADA and Yasuharu KISHIRA)
3. 砂分の多い粘性土の一軸圧縮強さ...中瀬明男・勝野 克・小林正樹..... 83  
(Unconfined compression strength of soils of intermediate grading between sand and clay.....Akio NAKASE, Masaru KATSUNO and Masaki KOBAYASHI)
4. 石灰による深層混合処理工法 (第2報)  
.....奥村樹郎・寺師昌明・光本 司・酒井正寛・吉田富雄.....103  
(Deep-Lime-Mixing Method for Soil Stabilization (2nd Report)  
.....Tatsuro OKUMURA, Masaaki TERASHI, Tsukasa MITSUMOTO,  
Tadahiro SAKAI and Tomio YOSHIDA)
5. 空港舗装における路盤の等価値に関する研究.....須田 潤・佐藤勝久.....123  
(Study on Layer Equivalencies of Bases in Airport Pavements  
.....Hiroshi SUDA and Katsuhisa SATO)
6. 地表における強震記録より推定した基盤の地震動の特性  
.....土田 肇・上部達生.....191  
(Characteristics of Base-Rock Motions Calculated from Strong-Motion Accelerograms at Ground Surface.....Hajime TSUCHIDA and Tatsuo UWABE)
7. 沈埋トンネルと地盤の相互作用に関する実験的研究  
.....青木義典・田淵民雄.....271  
(A experimental study on the interaction between trench type tunnels and soils  
.....Yoshinori AOKI and Tamio TABUCHI)
8. 沈埋トンネル耐震設計用スペクトルについて.....青木義典・丸山 浩.....291  
(Spectra for Earthquake Resistive Design of Trench type Tunnel  
.....Yoshinori AOKI and Hiroshi MARUYAMA)
9. 雑貨埠頭の上屋・倉庫のシステム設計 (第1報) .....工藤和男.....315  
(System Design of Transitsheds and Warehouses(Part-1) .....Kazuo KUDO)
10. スパッドに作用する衝撃荷重について  
.....平山 勇・菊谷 徹・小岩苔生.....337  
(Shock Forces on a Spud of Working Craft  
.....Isamu HIRAYAMA, Toru KIKUYA and Taisei KOIWA)

## 10. スパッドに作用する衝撃荷重について

平山 勇\*・菊谷 徹\*\*・小岩苔生\*\*\*

### 要 旨

この報告書はプラットホーム船のスパッドが海底に衝突した時に生じる衝撃荷重を知るために、スパッドの模型によって、砂、砂利、コンクリートおよび花崗岩の各底質に対する衝撃荷重の測定を行い、あわせて現有のプラットホーム船“黒潮号”(運輸省第二港湾建設局所属)について、水深15.0 m、波高1.0, 2.0, 3.0 m、周期4.0秒の波に対して船体が動揺する時に生じるスパッド衝撃荷重(スパッド軸方向の反力)の推定を試みたものである。

実験結果からスパッド静荷重に対するスパッド衝撃荷重の比は落下速度とスパッド荷重によって異なるが、実船で遭遇する衝突速度(船体の動揺速度)約1.0 m/sにおいてはほぼ1.0~2.0の間にあるものと思われる。これはまた土質により異なり、砂や砂利においては1.0に近く、硬くなるにつれて大きくなり、花崗岩についてはほぼ2.0となっている。この結果から、海底地盤が岩盤の場合、プラットホーム船が最大波高3.0 mにおいて同調横揺れしている時にスパッドが岩盤と衝突して生じる衝撃荷重はスパッド静荷重(船のロール、ヒープの横揺による水の附加質量を含む)のほぼ2.0倍程度にとればよいことがわかった。

---

\* 機材部 プラットホーム船主任研究官  
\*\* 機材部 特殊作業船研究室  
\*\*\* 機材部 特殊作業船研究室長

## 10. Shock Forces on a Spud of Working Craft

Isamu HIRAYAMA\*

Toru KIKUYA\*\*

Taisei KOIWA\*\*\*

### Synopsis

This paper reports the result of vertical shock forces on a spud of working craft for sand, gravel, concrete and granite, and also reports the calculation method of actual shock forces of the "KUROSHIO" in rolling and heaving under the wave heights, 1.0, 2.0 and 3.0m.

From the result of our test, the ratio of max. shock force to spud's static weight, different in dropping speed of spud, is between 1.0~2.0 for 1.0m/s dropping speed of spud.

This value is also different in soils. The ratio of max. shock force to spud's static weight is near to 1.0, for sand and gravel, and 2.0 for granite.

We propose that the max. shock force which occurs between spud and hard rocks should be taken the twice of spud's static weight (included added mass).

---

\* Senior Research Engineer, Machinery Division

\*\* Member of Working Craft Development Laboratory, Machinery Division

\*\*\* Chief of Working Craft Development Laboratory, Machinery Division

## 目 次

要 旨	337
1. ま え が き	341
2. 実験の概要	341
2.1 実験装置	341
2.2 実験の方法	342
3. 実験結果とその考察	343
3.1 スパッド荷重と落下速度を変えた場合の衝撃荷重	343
3.2 落下速度一定, スパッド荷重を変えた場合の衝撃荷重	346
4. 実船における考察	348
4.1 “黒潮号”の諸元と衝撃条件	348
4.2 動揺時の衝突速度	348
4.3 スパッド衝撃荷重の算定	349
5. あ と が き	350

## 1. まえがき

スパッドを有するプラットフォーム船が荒海中にて海底から立上る直前に船体の動揺によってスパッドが海底と衝突し衝撃力がスパッドおよび船体に作用する。この衝撃力を吸収するためにスパッド吊上げ用ワイヤロープの先端にショックアブソーバを設けたものもあるが、外力としての衝撃力がわかっていないために適正なショックアブソーバの決定が困難である。また、スパッドおよびスパッド固定装置の設計においても衝撃力を知る必要がある。このような要請からスパッドの模型によって、砂、砂利、コンクリートおよび花崗岩について、スパッド先端部の形状やスパッドの落下速度を変えて衝突時の荷重を測定した。また、スパッドが落下して、底質に衝突する直前に有する運動エネルギーと衝突した時に生じるスパッド軸方向の最大衝撃力の関係から、任意の落下速度、任意のスパッド静荷重に対する最大スパッド衝撃荷重を求める実験式を示した。実船の衝撃荷重は、プラットフォーム船が波高 1.0, 2.0, 3.0m において動揺（横揺または上下揺れ）している時の速度においてスパッド

が岩盤に衝突するものとして本実験から得られた結果に基いて衝撃荷重の算定を行った。

## 2. 実験の概要

### 2.1 実験装置

実験に使用したスパッドは写真-1および図-1に示すとおりで、先端部はネジを有し取はずし出来るようになっている。またスパッド上部にはウェイト保持部が二段に設けられていて、1個 40.0kg の円形の鋼板を30個支持できる。スパッドは上部フックを通してクレーンで吊下げられ適当な高さから落下させられるようになっている。スパッドの材質はS50Cで、外径 139.8mm、肉厚 6.6mm、長さ 2.0m となっている。スパッドが落下後に転倒しないように周囲に4角形の鋼板ガイドを設けた。

実験は当研究所の大型波濤実験水槽（4.0m×4.0m×50.0m）にて4種類の底質（砂、砂利、コンクリートおよび花崗岩）について衝撃荷重を測定した。使用した砂の粒経加積曲線を図-2に示す。これは山砂（写真-2）で、水槽に2.0mの厚さに投入し、水締めした後、重錘を落下させて締めめN値3.5とした。砂利は自然におい

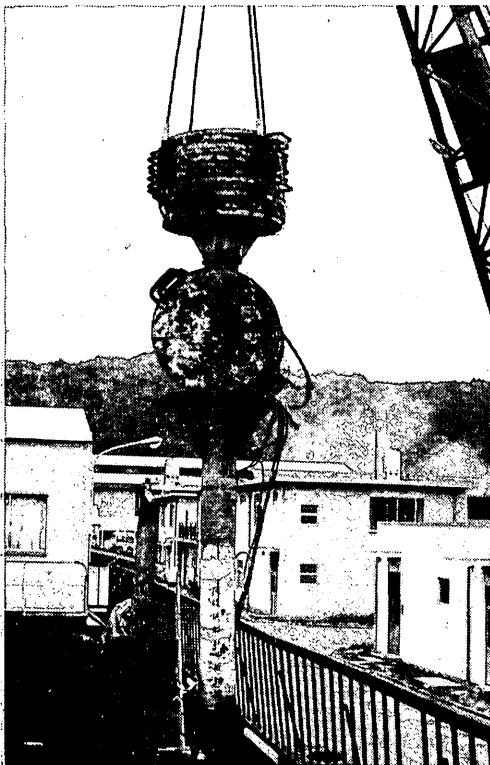


写真-1 使用スパッドおよび附加ウェイト

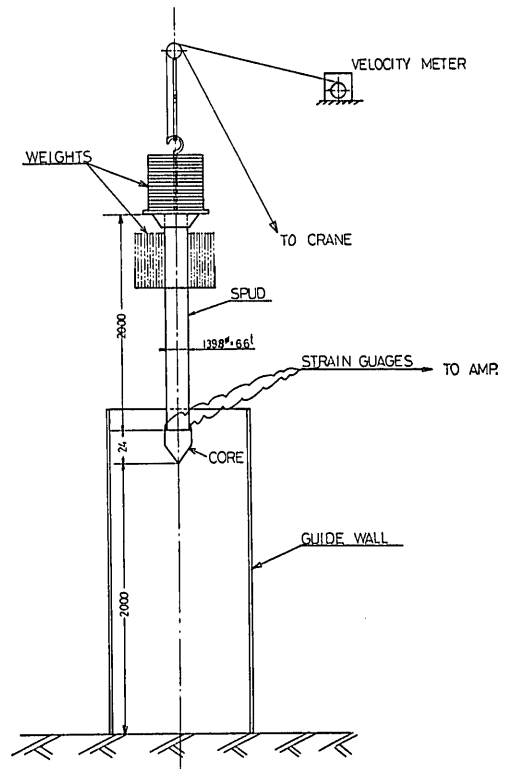


図-1 Experimental Device

た状態で、粒径3.0cm～8.0cmと不規則であるが平均粒径4.5cmのものでこれを写真-3に示す。コンクリートおよび花崗岩（写真-4）は寸法1.0×1.0×1.0mのも

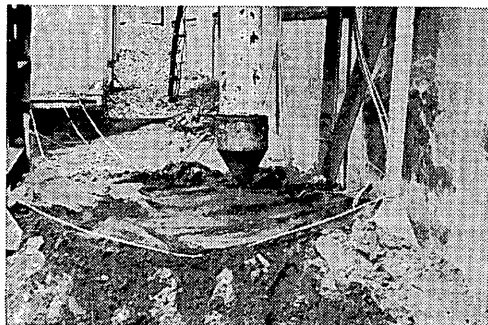


写真-2 砂

ので、圧縮強度はコアを取ってアムスラ試験機で測定し、コンクリート180kg/cm<sup>2</sup>、花崗岩1,300kg/cm<sup>2</sup>であった。コンクリートと花崗岩は砂地盤を固めた上に設置された。

## 2.2 測定方法

衝撃荷重はクレーンで吊下げたスパッドを落下させて底質と衝突した時にスパッドに生ずる歪量を測定することによって求めた。スパッドに生ずる歪量は先端部付近に貼ったストレンゲージによって測定した。使用したストレンゲージは二軸ポリエステルゲージで4ゲージ法とした。使用した振動子は横河電気製の4～4,000B-F(感度一様な周波数上限は2,000Hz)を用いた。

クレーンで吊下げられたスパッドを落下させる場合にクレーンドラムのブレーキをはづすことによって行われるが、その時の落下速度は、ドラムヤシープ等の抵抗が

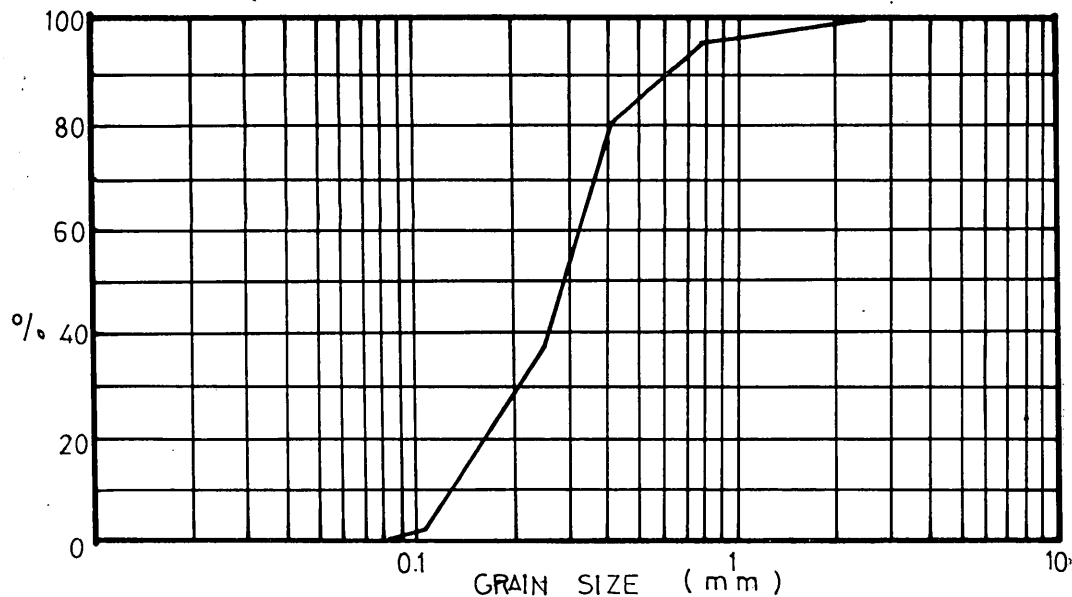


図-2 粒径加積曲線

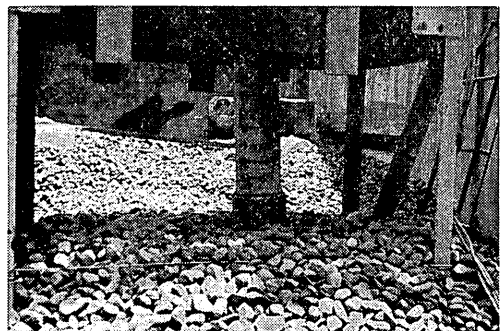


写真-3 砂 利



写真-4 花崗岩

スパッドに作用する衝撃荷重について

あるために真の自由落下の速度よりも低下するので、実験における落下速度はクレーンブーム上に設置した速度計によって測定された。スパッド上部のフックと速度計のリールとをピアノ線で結びスパッド落下時の刻々の速度を検出したもので、速度計のキャリブレーションのためにリール（直径6.0cm）回転数とオシログラフ記録を図-3に示した。リール回転速度がわかるので、これをもってスパッドの落下速度とした。

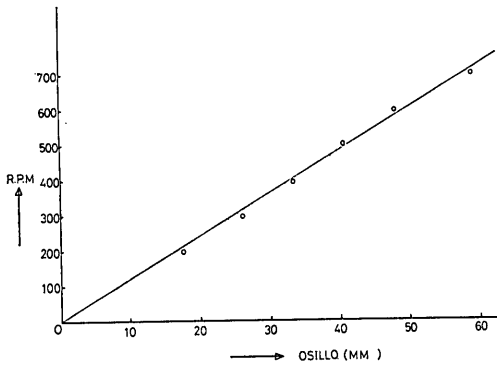


図-3 Cali, of Velocity Meter

砂と砂利の場合のスパッドの沈下量はスパッドに目盛を設けそれを読取った。

実験は2つに分かれていて、1つはスパッド荷重と落下速度を変えて衝撃荷重と沈下量を測定したもので、この時の測定内容を次に示す。

土質	衝撃荷重	落下速度	沈下量	ウエイト	コア
砂	*	~5.0m/s	*	270, 570, 870kg	No. 1
砂利	*	"	*	"	No. 1, No. 2
花崗岩	*	"	—	"	No. 1

ここでコア No. 1は先端角度90°のもので、コア No. 2は先端角度180°（平坦）のものを示す。砂利においてはスパッドのウエイト870kgについて両者のコアの形状による衝撃値の比較を行った。\*印は測定項目を示す。

上の実験からスパッド荷重と落下速度による衝撃荷重の一般的傾向を知ることが出来たので、次に実船で遭遇する落下速度についてさらにくわしく衝撃値の測定を行った。実船における船体の動揺速度はあまり大きいものではなくせいぜい1m/s程度であるので、スパッドの落下高さも  $V=1.0\text{m/s}$  の時の自由落下高さでもって次の項目を測定した。

土質	衝撃荷重	落下速度	沈下量	ウエイト	コア
砂	*	1.0m/s	*	50~1,200kg	No. 1
砂利	"	"	"	"	"
コンクリート	"	"	—	"	"
花崗岩	"	"	—	"	"

3. 実験結果とその考察

3.1 スパッド荷重と落下速度を変えた場合の衝撃荷重

これは土質に対する衝撃荷重の一般的傾向を知るために、砂、砂利、花崗岩について、スパッド荷重（スパッド自重+附加ウエイト）を270, 570, 870kgの三種、スパッド落下速度最大5m/sまでについて衝撃荷重、沈下量、落下速度を測定した。スパッド荷重870kgにおける各土質に対するオシログラフ記録例を図-4, A, B, Cに示した。図-4において落下速度がある巾をもって記録

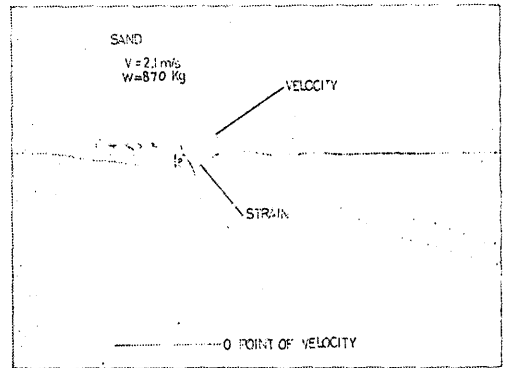


図-4-A Sand

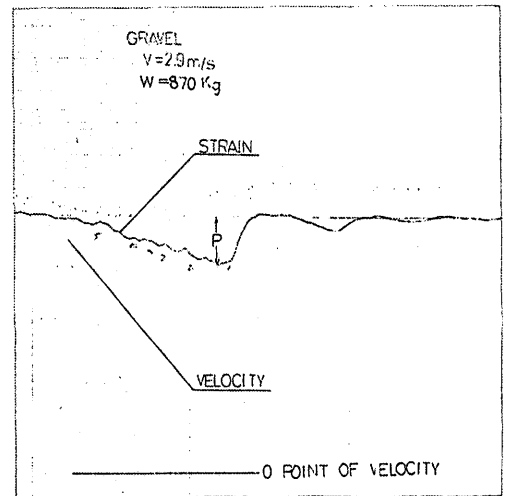


図-4-B Gravel



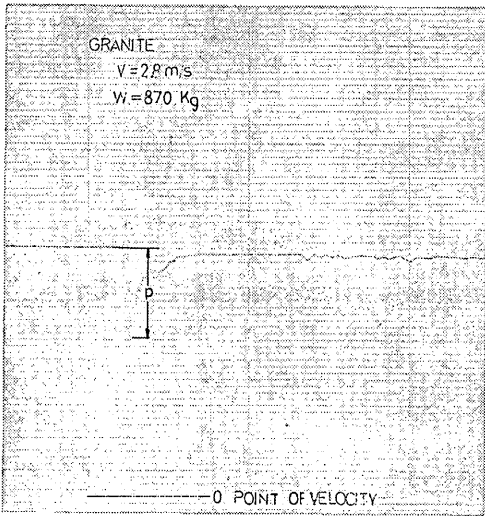


図-4-C Granite

されているのは、ピアノ線を巻いたリールの中心が少しずれているために生じたもので、速度はその中央を読み取り、さらにストップウォッチによって落下速度をチェックして使用したので特に問題はないものと思われる。

砂について最大衝撃荷重 ( $P$ ) とスパッド荷重 ( $W$ ) の比とスパッド落下速度 ( $V$ ) との関係を図-5に示す。スパッドの沈下量 ( $S$ ) と落下速度との関係を図-6に示す。図-5,6において  $P$  は衝撃荷重の最大値とスパッド荷重 (スパッド自重と附加荷重の和= $W$ ) とを合計したもので、 $S$  はスパッド先端から測った沈下量を示す (以下それぞれ  $P, W, S$  と表わす)。

図-5において、 $P$  は衝撃荷重とスパッド自重の和であるので、速度0においては衝突による衝撃荷重が0となり、 $P/W$  の値は1.0となる。 $P/W$  の値は各荷重において、落下速度が増加するにつれてほぼ直線的に増加する

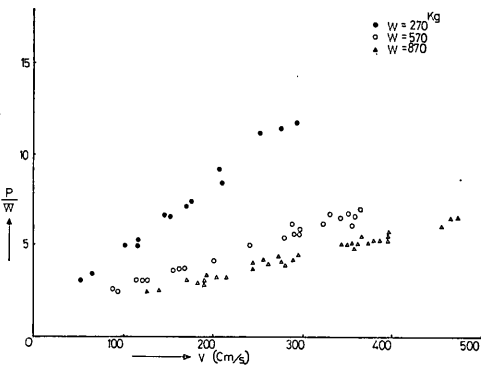


図-5 Sand

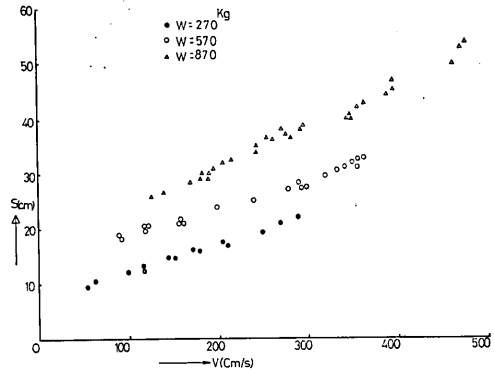


図-6 Sand

が、一方速度一定の点をみるとスパッド荷重が増加すると減少することが認められる。

砂利についてもほぼ同様の現象がみられ、 $P/W$  と  $V$  との関係および  $S$  と  $V$  の関係をそれぞれ図-7,8に示す。砂利の場合は  $W=870\text{kg}$  においてはコア No.1 と No.2

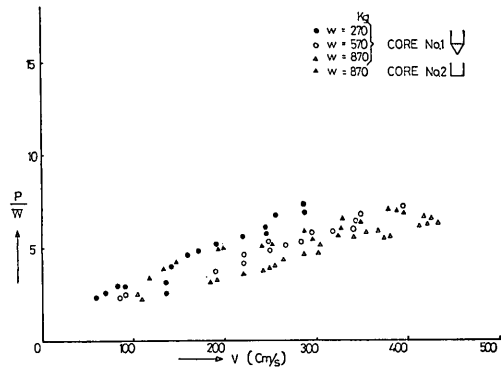


図-7 Gravel

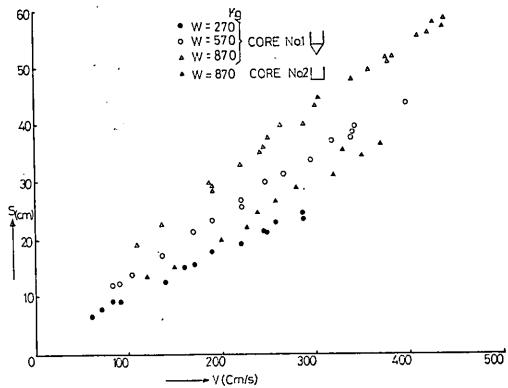


図-8 Gravel

スパッドに作用する衝撃荷重について

について  $P/W$ ,  $S$  の値を比較したが、図-7および8からコア No.2 は先端が平らであるため  $S$  はコア No.1 よりも小さいが、 $P/W$  の値は逆に大きくなっている。これは同一土砂、同一運動エネルギーに対して沈下量が小さいことは地盤の抵抗が大きいことを意味し、コア No.2 は No.1 よりも先端が平らであるために地盤抵抗が大きく、結果としてスパッドの歪量が增大したことによるものである。スパッドが落下時にもっている運動エネルギーはスパッドが土砂内へ沈下していく時のスパッドが土砂から受ける抵抗による沈下のためのエネルギーとスパッドの受ける反力（衝撃力）によってスパッド側が全長にわたって歪を起こさせる歪エネルギーとして消費される。従って同一土砂、同一運動エネルギーの下で衝撃荷重を小さくする点からみればスパッド先端部をシャープにし沈下量を大きくする構造が望ましいことはいうまでもない。しかし実際にはスパッドの長さ、強度および操作上の制約があるために長大な沈下量（長いスパッド）を許すことは実際的ではない。

砂と砂利の実験結果を比較してみると、 $W=270\text{kg}$  の時は両者の沈下量は各速度において等しいが、 $P/W$  の値は砂の方が砂利よりも大きくなっている。この理由は明らかではないが、砂の場合、重錘で締められた表面層が特に固く締まっていて衝撃荷重の最大値が特に大きく出たものと考えられる。 $W=570, 870\text{kg}$  においては砂と砂利の両者の  $P/W$  の値はほぼ同じ値となっているが、沈下量 ( $S$ ) は特に速度の大きい所では砂利の方が大きく出ている。これは  $W=270\text{kg}$  の時とは逆の現象であるが、砂と砂利のオシログラフ記録例（図-4, A, B）から推測されるように砂の衝撃荷重曲線はフラットで、砂利のそれはシャープに出ていて、最大衝撃荷重では砂利の方が砂よりも大きいことによるものである。実際の場合にはスパッドの受圧面が大きいので、砂と砂利が同一粒径と見なせるもので、両者の違いはそれ程問題にはならないと考えられる。

花崗岩について  $P/W$  と  $V$  との関係を図-9に示す。またスパッドのもつ運動エネルギーがすべてスパッドの歪エネルギーに変換されたとした場合の  $P/W$  の値を  $W=270, 570$  および  $870\text{kg}$  に対して(3)式から計算された値を図-9に実線で示した。花崗岩は非常に硬いので、沈下がほとんどなく落下時のスパッドの運動エネルギーがスパッド自身の歪エネルギーとなる割合が砂や砂利の場合より大きく、また衝撃荷重も大きいので  $P/W$  の値が大きくなる。図-9において各荷重に対する  $P/W$  の値は速度に比例して増加するがある速度以上になるといずれの

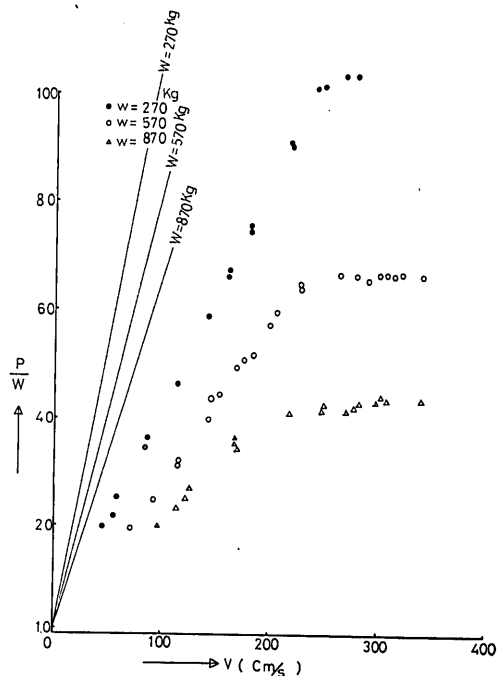


図-9 Granite

場合も一定値になってくる。これはスパッドの有する運動エネルギーは花崗岩の表面破壊にも消費されるが、衝撃荷重が大きいためにスパッド先端部が塑性変形することにも消費されるので、増加された運動エネルギーは花崗岩の破壊とスパッド先端部の塑性変形に分配されてしまうので、スパッド本体部の歪量は一定となり、結果として  $P/W$  が一定になるものと考えられる。花崗岩への衝突時に変形したスパッド先端部を写真-5に示す。

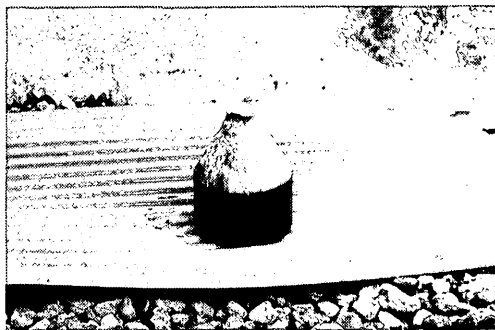


写真-5 変形したコア

スパッド先端部が塑性変形始める時の衝撃荷重は、先端部の断面積（受圧面積）を  $A_0$ 、衝撃荷重を  $P$  とすると、先端部の衝撃応力は  $\sigma_0 = P/A_0$  となり、これが先端部の降伏応力  $\sigma_y \leq \sigma_0$  となると、つまり、 $P \geq \sigma_y A_0$

となる時に先端部は塑性変形を起こす。先端部が塑性変形を起し始める状態は、先端部の形状、材質によって異なるが、本実験における先端部角度 $90^\circ$ 、材質 S50C のスチールのスパッドについて、スパッド先端部が塑性変形を始めた時の衝撃荷重を計算してみると、スパッド本体の応力  $\sigma_x = 1,340 \text{ kg/cm}^2$  であったから、これとスパッド本体（ストレングージを貼った部分）の断面積  $A = 27.6 \text{ cm}^2$ （外径 139.8mm, 内径 126.6mm）を掛け合わせると衝撃荷重  $P = \sigma_x \times A = 1,340 \times 27.6 \approx 37,000 \text{ kg}$  となる。これを運動エネルギーとして求めると図-9 から  $215 \text{ kg}\cdot\text{m}$  となる。スパッド先端部が塑性変形を起し始める時のスパッド本体の応力は  $1,340 \text{ kg/cm}^2$  であってこれは降伏点  $\sigma_y = 3,700 \text{ kg/cm}^2$  より小さいので、ストレングージにより測定される各衝撃荷重は部材の弾性域内に入っているため特に問題はないものと考えられる。

### 3.2 落下速度一定、スパッド荷重を変えた場合の衝撃荷重

3.1の実験結果から、 $P/W$  の値はスパッド落下時の速度を一定にした場合、スパッド荷重の増加につれて減少することが認められたので、ここでは実船で遭遇する船

体の動揺速度 ( $V = 1.0 \text{ m/s}$ ) において、スパッド荷重を増加させて衝撃荷重を測定した。対象土質は砂、砂利、花崗岩は 3.1 の実験と同じもので、これにコンクリートを追加した。各土質に対する  $P/W$  と  $WH$ （落下時の運動エネルギー）の関係を図-10に示す。図-10において横軸は落下時の運動エネルギーでこの場合の  $H$  は落下高さで自由落下の速度 ( $V$ ) から換算したものである。いずれの土質においても  $WH$  が増加すると  $P/W$  の値は直線的に減少し、最終的には 1.0 に近づくものと考えられる。実験装置の制約上、最大スパッド荷重  $1,200 \text{ kg}$  までについての測定しか出来なかったが、それ以上の荷重（或は  $WH$ ）については、実験範囲内と同じ条件（沈下量や表面破壊）が継続するものと仮定した場合の推定値である。

図-10において砂と砂利の  $P/W$  の値は、スパッド荷重の小さい領域では砂の方が砂利よりも大きいですが、荷重が  $750 \text{ kg}$  以上になると砂利の方が大きくなっている。これは砂利の粒径や形状、締り具合によって変わるものでその理由は明確ではないが、いずれにせよスパッド荷重が大きくなると砂や砂利の  $P/W$  の値は小さくなるので実

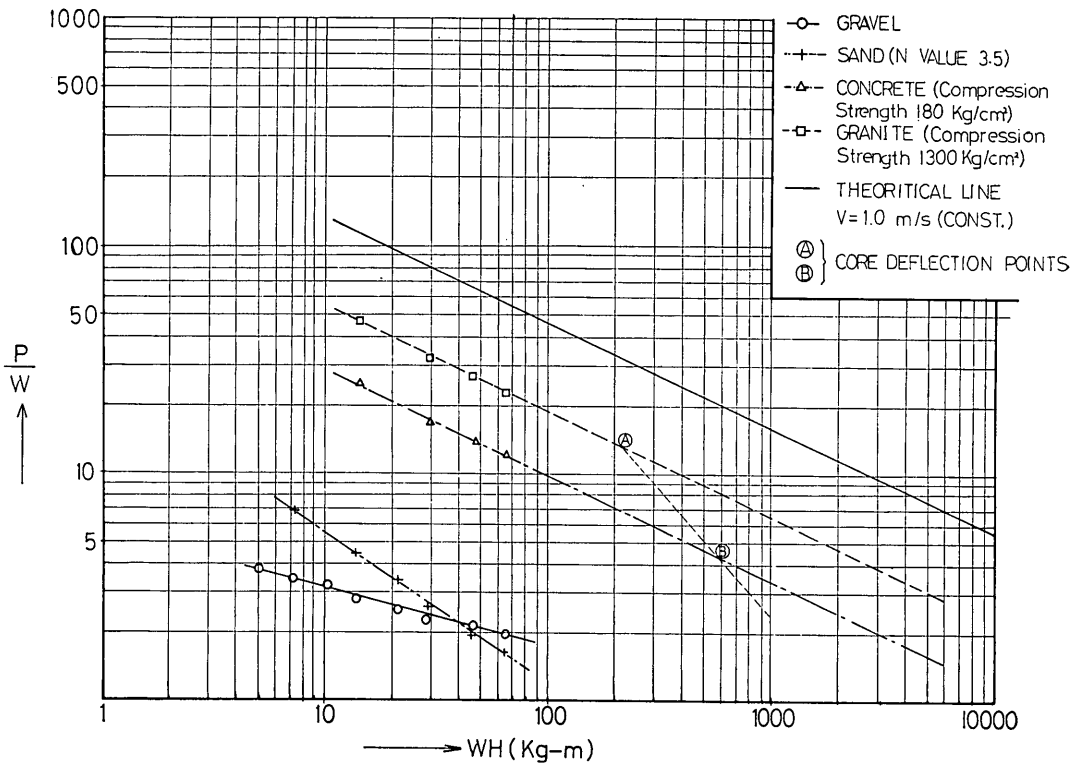


図-10  $P/W$  For Energy ( $WH$ )

スパッドに作用する衝撃荷重について

際の衝撃の点では特に問題ないものと思われる。コンクリートと花崗岩の場合の  $P/W$  の値が大きいのでこれについて考察を加えることにする。実験では落下速度  $V=1.0\text{m/s}$  と一定にして行われたので落下速度が小さくコンクリート、花崗岩においても実験範囲内の荷重についてはスパッド先端部の塑性変形は認められなかったが、荷重がさらに増加すると  $WH$  が増加しスパッド先端部は塑性変形を起すものと考えられるので、3.1の実験で花崗岩においてスパッド先端部が変形し始めた運動エネルギーと同一エネルギーとすれば、 $WH=215\text{kg}\cdot\text{m}$  で変形が始まる。この点を図-10にコア変形点④で示した。コンクリートにおいては花崗岩よりも破壊量が大きいので、スパッド先端部のコアの変形は  $WH=580\text{kg}\cdot\text{m}$  の点で塑性変形が起りこれを⑤で示した。 $P/W$  の値はこれらの④、⑤点から  $P$  が一定値になるため急に小さくなる。この点はスパッド先端部の形状、材質によって異なるもので材質が硬く変形の起りにくい形状の先端部であれば、④、⑤点はさらに右方へ移動するものである。

図-10の実線(Theoretical Line)はスパッド落下時の運動エネルギーがすべてスパッドの歪エネルギーに変わるものとし、かつスパッドの衝撃荷重に対する抵抗が静荷重の場合と同様にフックの法則に従うものと仮定して得られた  $P/W$  の値を示したもので、これは次のようにして求めた。

スパッドの断面積を  $A$ 、長さ  $l$ 、衝撃時に生ずる応力を  $\sigma$ 、ヤング率を  $E$  とすると、スパッドにたくわえられる歪エネルギー  $U$  は(1)式で与えられる。

$$U = \frac{\sigma^2}{2E} Al \dots\dots\dots(1)$$

スパッド荷重を  $W$ 、落下高さを  $H$  とすると運動エネルギーは  $WH$  となりこれが(1)式のスパッドの歪エネルギーと等しいから、

$$U = WH = \frac{\sigma^2}{2E} Al$$

となる。

これから衝撃応力  $\sigma$  はスパッド自重による応力も含めると(2)式ようになる。

$$\sigma = \sqrt{2EWH/Al} + \frac{W}{A} \\ = \frac{W}{A} (1 + \sqrt{2EAH/Wl}) \dots\dots\dots(2)$$

ここでスパッド荷重を含む最大衝撃荷重を  $P$  とすると、最大衝撃応力  $\sigma_{\max} = P/A$  となり、これと(2)式とを等しく取り  $P/W$  を求めると(3)式が得られる。

$$\frac{P}{W} = 1 + \sqrt{2EAH/Wl} \dots\dots\dots(3)$$

(3)式において、 $H=0$  の時は落下高さが0であり、右

辺第二項は0となり、 $P/W=1.0$  となる。またスパッド荷重 ( $W$ ) を一定にすると  $P/W$  の値は  $\sqrt{H}$  (自由落下速度でいえば  $V$ ) に比例して増加する。これらの現象はすでに3.1の実験結果に示されたとおりである。また、(3)式から落下高さ  $H$  を一定にすると  $P/W$  の値は  $1/\sqrt{W}$  に比例することがわかる。図-10に示された実線は  $H=5.0\text{cm}(V=1.0\text{m/s})$  を一定にして  $W$  を変えて得られた理論値を示す。

ここでスパッド静荷重を含まない純粹の衝撃荷重 ( $P'$ ) のみについて  $P'/W$  の値と、運動エネルギーが全部スパッドの歪エネルギーとして貯えられるものとして得られた(3)式の右辺  $\sqrt{2EAH/Wl}$  の値を比較してみると、図-9、図-10から両者の比は、スパッド荷重、落下速度に関係なく一定値になることがわかった。花崗岩について、

$$\frac{P'/W(\text{実測値})}{\sqrt{2EAH/Wl}} = 0.325$$

が成り立つ。

コンクリートについて、

$$\frac{P'/W(\text{実測値})}{\sqrt{2EAH/Wl}} = 0.208$$

となった。

従って、花崗岩、コンクリートについて任意のスパッド荷重、落下速度に対して  $P/W$  の値はそれぞれ(4)、(5)式で与えられる。

岩崗岩について、

$$\frac{P}{W} = 1.0 + 0.325\sqrt{2EAH/Wl} \dots\dots\dots(4)$$

コンクリートについて、

$$\frac{P}{W} = 1.0 + 0.208\sqrt{2EAH/Wl} \dots\dots\dots(5)$$

但し、(4)および(5)式は、本実験で用いたスパッド断面積 ( $A$ )/スパッド長さ ( $l$ ) = 0.177 の値をもつスパッドについて、また本実験で用いた圧縮強度をもつ花崗岩、コンクリートについての実験式である。

これらの実験式を用いることによって、本実験では測定できなかったスパッド荷重の大きい範囲についても最大衝撃荷重を推定することができる。1例として、 $W=100$  トン、スパッド落下速度  $V=1.0\text{m/s}$  (自由落下高さ  $5.0\text{cm}$ )、 $A/l=0.177$  のスパッドについて花崗岩の海底地盤に対して(4)式から、

$$\frac{P}{W} = 1 + 0.325\sqrt{2 \times 2.1 \times 10^6 \times 0.177 \times 5/10^5}$$

$$= 1 + 1.98 = 2.98$$

$$P = 2.98 \times W = 2.98 \times 100 = 298 \text{ トン}$$

となる。コンクリートについて(5)式より、

$$\frac{P}{W} = 1 + 0.208(6.1) = 2.27$$

$$P = 2.27 \times W = 227 \text{ トン}$$

となる。

$W=100$ トン,  $V=1.0$ m/s は運動エネルギー  $WH$  で表わすと  $WH=100 \times 10^3 \times 0.05=5,000$ kg-m となり, これに対する  $P/W$  の値は図-10においてもほぼ同じ値を示すことがわかる。

一般の  $A/l$ , 圧縮強度の岩質についての実験式は種々の  $A/l$  をもつスパッドと強度の異なる岩質について本実験と同様に  $P/W$  を測定することによって容易に得られるものと思われる。

#### 4. 実船における考察

“黒潮号”は4本のスパッドを有し, 船体を海面から持上げることのできる典型的なプラットホーム船であるので, 黒潮号について, 適当な波浪条件, 水深を仮定し, これに対する船体のロール, ヒープの動揺によってスパッドが海底岩盤に衝突した時に生じると考えられる衝撃荷重の推定を試みた。

##### 4.1 “黒潮号”の諸元と衝撃条件

黒潮号の主要諸元は次のとおりである。

長さ(垂線間)	$L: 21.0$ m
巾	$B: 18.5$ m
深さ	$D: 3.5$ m
満載吃水	$d: 1.8$ m (平均)
排水量(満載時)	625 t
スパッド長さ	$l: 27.5$ m
“ ” 重量	$W_0: 18.0$ t
横メタセンタ高さ	$GM: 13.45$ m

一般に船の横揺固有周期 ( $T_0$ ) は(6)式で与えられる。

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{GM \cdot \Delta \cdot g}} = \frac{2\pi K}{\sqrt{GM \cdot g}} \dots\dots(6)$$

ここに,  $K$ : 見掛質量を含む環動半径

$$K = C \cdot B \quad \text{箱型船の場合} \quad C = 0.4$$

$$K = 0.4 \cdot 18.5 = 7.4 \text{ m}$$

固有周期  $T_0 = 2\pi \cdot 7.4 / \sqrt{13.45 \times 9.8} = 4.0$ sec となる。

船本が Rolling している時のスパッド間隔は図-11に示すように14.0mである。

水深は15.0mとし, 波浪条件は次のとおりとする。

波高  $H_W: 1.0, 2.0, 3.0$ m

波周期  $T: 4.0$ 秒

波周期4.0秒は本船の Rolling の固有周期と一致するもので, これは Rolling の同調状態を示す。なお, 海

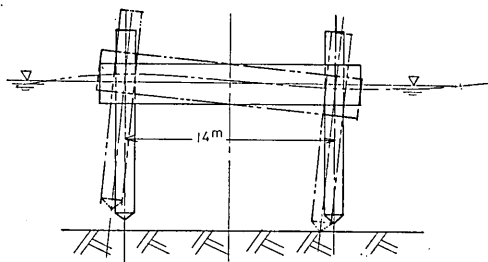


図-11 Platform Ship with Spuds

底地盤は花崗岩とする。

##### 4.2 動揺時の衝突速度

船体がローリングとヒービングの連成運動を行っている時の合成速度でもって衝突時のスパッド速度とする。

船体がローリングしている時の速度は, 波によって船体に生ずるモーメントを単位復元力で除して, 横揺角度を求め, スパッドの位置における変位量と横揺周期から計算した。

船体が横揺れしている時のモーメントは波形を正弦波として波による浮力のモーメントとして次の式から求めた。

$$M_R = \rho \cdot L \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} \frac{H_W}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x - \frac{2\pi}{T} t\right) x dx$$

$$= \frac{\rho}{4\pi^2} L \cdot H_W \cdot B^2 \left\{ \left(\frac{\lambda}{B}\right)^2 \sin\left(\frac{B}{\lambda} \pi\right) - \pi \left(\frac{\lambda}{B}\right) \cos\left(\frac{B}{\lambda} \pi\right) \right\} \cos \frac{2\pi}{T} t \dots(7)$$

ここで,  $M_R$ : 横揺モーメント

$\rho$ : 海水の単位体積重量

$H_W$ : 波高

$L$ : 船長

$B$ : 船巾

$\lambda$ : 波長

$T$ : 波の周期

$x$ : 直角座標のX軸方向の距離

$t$ : 時間

(7)式の横揺モーメントの最大値を単位復元力 ( $W \cdot GM \cdot \pi / 180$ ) で除すれば, 最大横揺角  $\theta_R$  が得られる。

$$\theta_R = \frac{180 \cdot B \cdot H_W}{4\pi^2 d \cdot GM} \gamma_R \dots\dots(8)$$

ここで,  $\gamma_R = \left(\frac{\lambda}{B}\right)^2 \sin\left(\frac{B}{\lambda} \pi\right) - \pi \left(\frac{\lambda}{B}\right) \cos\left(\frac{B}{\lambda} \pi\right)$  で, これは  $(\lambda/B)$  の関数で有効波傾斜係数といわれ図-12に示す曲線となる。

図-12から  $\gamma_R$  の値は  $\lambda/B=1.5, \lambda=28.0$ m の時に最大となり, その値は  $\gamma_R=4.3$  となる。正弦波から  $\lambda=$

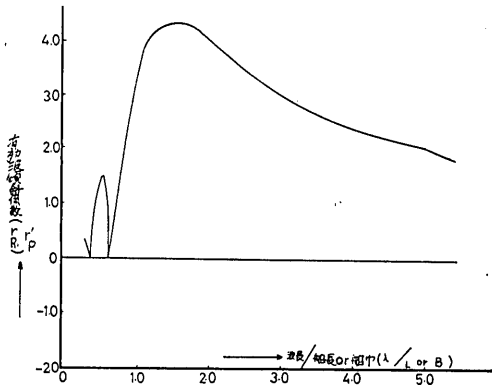


図-12 有効傾斜係数

28.0m の波長に対する周期は4.3秒となるが、これは本船の固有周期 (4.0秒) とほぼ一致するので、以下においては周期4.0秒の波について計算を行った。

図-12および(8)式によって、波高1.0, 2.0, 3.0m, 周期4.0秒の波浪中で横揺れしている時の最大横揺角 ( $\theta_R$ ) および横揺れ速度 ( $V_R$ ) (スパッドの位置で) を表-1に示す。

表-1 横揺角度および速度

	波 高 ( $H_W$ )		
	1.0m	2.0m	3.0m
$\theta_R$ (度)	5.06	10.12	15.18
$V_R$ (m/s)	0.29	0.58	0.884

ヒービング (上下揺れ) の大きさは、船体が浮力によって上下に運動するものと仮定して得られた浮力を単位ヒービング荷重 ( $\rho LB$ ) で除して求めた。ヒービングを行っている時の浮力 ( $F_z$ ) は、波形を正弦波として次の式から求めた。

$$F_z = \rho \cdot L \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} \frac{H_W}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t\right) dx$$

$$= \frac{\rho}{2\pi} \cdot L \cdot \lambda \cdot H_W \sin\left(\frac{B}{\lambda}\pi\right) \sin\frac{2\pi}{T}t \dots (9)$$

(9)式における記号はすべて(7)式のそれと同じものである。 $F_z$ は波による浮力の大きさで、その最大値を単位浮力で除して上下変位量 $z$ が得られる。上下変位量 $z$ は(10)式で与えられる。

$$z = \frac{H_W}{2\pi} \cdot \delta_h \dots (10)$$

ここで、 $\delta_h = \frac{\lambda}{B} \sin\left(\frac{B}{\lambda}\pi\right)$  となり、 $\lambda/B$  の函数で

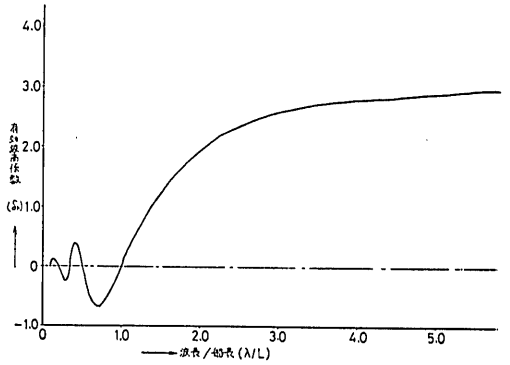


図-13 有効波高係数

有効波高係数といわれこれを図-13に示す。

ローリングと同じ周期 (4.0秒) で船体が上下揺れしているものと仮定すれば、図-13から  $\lambda/L=1.5$  のとき  $\delta_h=1.4$  となる。これと(10)式から波高  $H_W=1.0, 2.0, 3.0$  mの波に対するヒービング量 ( $z$ ) およびヒービング速度 ( $V_z$ ) を計算した値を表-2に示す。

表-2 ヒービング量および速度

	波 高 ( $H_W$ )		
	1.0m	2.0m	3.0m
$z$ (m)	0.446	0.92	1.38
$V_z$ (m/s)	0.103	0.215	0.321

### 4.3 スパッド衝撃荷重の算定

本船の排水量は625トンであるが、船体が動揺する時まわりの水も船体と共に動くので、この附加水の重量が加わるので船体重量は見掛上さらに大きくなる。附加水の重量を船体排水量の50%増しと仮定すれば、スパッド1本の静荷重として  $W=1.5 \times$  船の排水量 (625) トン / 2.0 = 468トンと取ることができる。 $W$  はスパッドの自重をも含むものとする。

衝突時の速度は船体が周期4.0秒の波浪中で同調横揺れしている状態で、同じ周期で上下揺れも同時に起っているものと仮定してヒーブとロールの合成速度でもって表わした。実際にはロールとヒーブが必ずしも同じ周期で同じ位相で発生するものではないが、ここでは計算を簡単にするために両者の動揺の周期、位相を等しく取った。

海底地盤は花崗岩とし、波高1.0, 2.0, 3.0mに対する最大衝撃値を(4)式によって計算した値を表-3に示す。

表-3 最大衝撃荷重

項 目		波 高( $H_w$ )		
		1.0m	2.0m	3.0m
スパッド静荷重( $W$ )(t)		468	468	468
速 度	Roll ( $V_R$ )(m/s)	0.29	0.58	0.884
	Heave( $V_h$ )(m/s)	0.103	0.215	0.321
	$V_R+V_h$ (m)	0.393	0.795	1.205
	$(V_R+V_h)^2$ (m <sup>2</sup> )	0.154	0.630	1.44
落下高さ $H=(V_R+V_h)^2/2g$ (m)		$0.785 \times 10^{-2}$	$3.22 \times 10^{-2}$	$7.35 \times 10^{-2}$
$0.325\sqrt{2EAH/Wl}$		0.363	0.736	1.11
$P/W$		1.363	1.736	2.11

表-3から  $P/W$  の値は波高が増加するにつれて増加するがこれは波高の増加につれて動揺速度が増加（或は運動エネルギーの増加）することによるもので、波高3.0mにおいて  $P/W=2.11$  となる。スパッドに作用する最大衝撃荷重は  $P=2.11 \times W=2.11 \times 468t \approx 990$  トンで、運動エネルギーは  $WH=468 \times 7.4 \times 10^{-2}=34.7T\cdot m$  となる。

5. あとがき

今回の実験からプラットホーム船が波浪中で動揺している時に海底地盤に衝突して生ずる最大衝撃荷重を推定することができた。実船における考察で示したように、「黒潮号」においては、スパッド軸方向の最大衝撃荷重は波高3.0m、周期4.0秒の波、花崗岩の海底地盤に対してスパッド静荷重（水の附加重量を含む）のほぼ2倍程度になるものと思われる。しかしこれはあくまでスパッドと船体が剛接された場合であって、黒潮号のスパッドはワイヤロープで吊られ、さらにワイヤロープ先端に油圧式ショックアブソーバを有しているので、実際の衝撃荷重はワイヤロープとショックアブソーバによってエネ

ルギーが吸収されるために非常に小さい値となるだろう。

船体の排水量が黒潮号よりもさらに大きい船にあっては、図-10に示すように  $WH$  が増加すると速度一定であれば  $P/W$  の値はしだいに小さくなるが、実際に遭遇する衝突速度も考慮して  $P/W$  の値はほぼ2.0附近に取ればよいであろう。

今回の実験ではプラットホーム船のスパッドを対象にし、 $A/l$  が比較的小さく、しかも大荷重、低速度衝突という限られたスパッドにおける衝撃荷重を測定したもので、一般のスパッドおよび衝撃条件に対してはさらに多くの実験を行わなければならない。これは今後に残された課題であるが、今回の実験はそれらの問題に対しても1つの実験方法的示唆を与えるものであると考えられる。例えば、砕岩棒によって岩石の破壊を行う場合、砕岩効果を高めるために砕岩棒の落下時の運動エネルギーを増加（砕岩棒の自重、或は落下高さの増加）させることが考えられるが、砕岩棒自身の塑性変形を超える運動エネルギーを与えても砕岩棒自体が変形するだけで砕岩効果は期待できない。従って砕岩棒の運動エネルギーには自ら限界があるはずである。この砕岩棒の限界運動エネルギーを求める問題に対しても本実験は何らかの参考になるであろう。(1972年9月30日受付)

参 考 文 献

- 1) 古川英一：振動および衝撃測定
- 2) 小岩苔生・大平勝・平山勇・白鳥保夫：プラットホーム船の波浪による動揺実験，港湾技研資料，No. 87，1969年9月。
- 3) 岩田尚生・高砂忠：浚渫土質の判定についての二、三の実験，港湾技研資料，No. 94，1969年12月。
- 4) 合田良実，竹田英章：海の波の波長および波速の計算表，港湾技研資料，No. 12，1964年7月。

# 港湾技術研究所報告 第11巻 索引

論文名・著者

巻号 頁

## 水工部

- 風洞におけるウインドスクリーンの模型実験……………加藤 始・佐野喜久雄…………11 1 23~ 66
- 直立壁および混成堤直立部に働く波圧に関する実験的研究  
……………合田良実・福森利夫…………11 2 3~ 45
- 不規則な海の波の屈折および回折の計算……………永井康平…………11 2 47~119
- 横波を受ける船舶の繋船岸への衝突力に関する実験  
……………伊藤喜行・木原 力・久保正則・山本庄一…………11 2 121~135
- 浮防波堤の水理に関する近似理論と応用……………伊藤喜行・千葉 繁…………11 2 137~166
- 来島海峡潮流模型実験(第2報)  
……………木村久雄・宮原英治・須藤 茂・柴山煒彦・浜田徳一…………11 2 167~241
- 円柱の動揺に伴う造波抵抗 ——杭の波力応力応答と円形浮体の挙動への応用——  
……………伊藤喜行・木原 力…………11 3 37~ 58
- 柱状構造物の波力応答計算……………伊藤喜行・谷本勝利・小舟浩治…………11 3 59~ 86
- 波向線交差領域における波高分布 ——数値波動解析法の応用——  
……………伊藤喜行・谷本勝利・山本庄一…………11 3 87~109
- 斜め入射部分重複波による質量輸送速度の分布に関する研究  
……………田中則男・入江 功・小笹博昭…………11 3 111~140

## 海洋水理部

- 岩礁上の円柱の設計波力に関する研究  
……………合田良実・笹田 正・岸良安治・池田龍彦…………11 4 45~ 81

## 土質部

- 石灰による深層混合処理工法(第1報)  
……………奥村樹郎・光本 司・寺師昌明・酒井正寛・吉田富雄…………11 1 67~106
- 多層系路盤面上におけるK値の推定方法に関する研究…須田 熙・佐藤勝久…………11 1 107~150
- 粘土の非排水せん断強度と変形係数  
……………中瀬明男・小林正樹・兼近明男…………11 2 243~259
- 航空機荷重の路床・路盤への伝達機構に関する一研究  
——巨人機の設計荷重——……………佐藤勝久・須田 熙…………11 3 141~165
- 縦振動を受ける側方拘束粘土の振動応答(欧文)……………梅原靖文…………11 4 3~ 43



砂分の多い粘性土の一軸圧縮強さ……………	中瀬明男・勝野克・小林正樹…………	11 4	83~102
石灰による深層混合処理工法（第2報） ……………	奥村樹郎・光本司・寺師昌明・酒井正寛・吉田富雄…………	11 4	103~121
空港舗装における路盤の等価値に関する研究……………	須田 熙・佐藤勝久…………	11 4	123~189

## 構造部

沈埋トンネルの野外模型振動実験……………	青木義典・土田 肇・林 聡…………	11 2	261~307
地表における強震記録より推定した基盤の地震動の特性 ……………	土田 肇・上部達生…………	11 4	191~270
沈埋トンネルと地盤の相互作用に関する実験的研究…………	青木義典・田淵民雄…………	11 4	271~290
沈埋トンネル耐震設計用スペクトルについて……………	青木義典・丸山 浩…………	11 4	291~314

## 設計基準部

M/G/S タイプの待ち合せモデルの平均待ち時間の実用的な取扱法（欧文） ……………	工藤和男…………	11 1	3~21
ブロック式けい船岸の設計について ——非線形計画法による最適設計—— ……………	高力健次郎…………	11 3	167~220
雑貨埠頭の上屋・倉庫のシステム設計（第1報）……………	工藤和男…………	11 4	315~336

## 機材部

剛性マトリックス組立の有効な一方法……………	岩崎峯夫…………	11 1	151~162
懸濁粒子の沈降挙動と超音波の反射吸収特性……………	木原純孝…………	11 2	309~328
平板による土の掘削抵抗について……………	石塚浩次…………	11 2	329~351
水平管路における土砂水力輸送の解析 ……………	八木得次・奥出 律・宮崎昭児・是石昭夫…………	11 3	3~35
スパッドに作用する衝撃荷重について…………	平山 勇・菊谷 徹・小岩苔生…………	11 4	337~350

# Index of Report of P.H.R.I. Vol. 11

Vol. No.    pp.

## Hydraulic Engineering Division

- A Model Experiment of Wind-Screen in a Wind Tunnel  
 .....Hajime KATO and Kikuo SANO.....11 1 23~ 66
- Laboratory Investigation of Wave Pressures Exerted upon Vertical and  
 Composite Walls..... Yoshimi GODA and Toshio FUKUMORI.....11 2 3~ 45
- Computation of Refraction and Diffraction of Irregular Sea.....Kohei NAGAI.....11 2 47~119
- A Model Experiment on the Impact Force upon a Wharf Due to a Moored  
 Ship Subjected to the Beam Sea .....Yoshiyuki ITO,  
 Tsutomu KIHARA, Masanori KUBO and Shoichi YAMAMOTO.....11 2 121~135
- An Approximate Theory of Floating Breakwaters  
 .....Yoshiyuki ITO and Shigeru CHIBA.....11 2 137~166
- A Model Experiment on a Tidal Current at the Kurushima Strait (2nd Report)  
 .....Hisao KIMURA, Hideharu MIYAHARA, Shigeru SUDO,.....11 2 167~241  
 Akihiko SHIBAYAMA and Tokuichi HAMADA
- Wave Making Resistance due to Oscillation of Circular Cylinder  
 .....Yoshiyuki ITO and Tsutomu KIHARA.....11 3 37~ 58
- Dynamic Response of an Offshore Platform to Random Waves  
 .....Yoshiyuki ITO, Katsutoshi TANIMOTO and Koji KOBUNE.....11 3 59~ 86
- Wave Height Distribution in the Region of Ray Crossings—Application  
 of the Numerical Analysis Method of Wave Propagation—  
 .....Yoshiyuki ITO, Katsutoshi TANIMOTO and Shoichi YAMAMOTO.....11 3 87~109
- A study on the velocity distribution of mass transport caused by diagonal  
 partial standing waves.....Norio TANAKA, Isao IRIE and Hiroaki OZASA.....11 3 111~140

## Marine Hydrodynamics Division

- Study on Design Wave Forces on Circular Cylinders Erected upon Reefs  
 ...Yoshimi GODA, Tatsuhiko IKEDA, Tadashi SASADA and Yasuharu KISHIRA...11 4 45~ 81

## Soils Division

- Deep-Lime-Mixing Method for Soil Stabilization (1st Report)  
 .....Tatsuro OKUMURA, Tsukasa MITSUMOTO, Masaaki TERASHI,.....11 1 67~106  
 Tadahiro SAKAI and Tomio YOSHIDA

Study on the Presumption of K Values on Multi-Layer Subbasa Systems .....Hiroshi SUDA and Katsuhisa SATO.....	11	1	107~150
Undrained Shear Strength and Secant Modulus of Clays .....Akio NAKASE, Masaki KOBAYASHI and Akio KANECHIKA.....	11	2	243~259
A Study on Aircraft Load Distribution through Bases to a Subgrade —Design Load of a Jumbo Jet—.....Katsuhisa SATO and Hiroshi SUDA.....	11	3	141~165
Vibratory Response of a Laterally Constrained Silty Clay Subjected to a Longitudinal Vibration.....Yasufumi UMEHARA.....	11	4	3~ 43
Unconfined compression strength of soils of intermediate grading between sand and clay.....Akio NAKASE, Masaru KATSUNO and Masaki KOBAYASHI.....	11	4	83~102
Deep-Lime-Mixing Method for Soil Stabilization (2nd Report) .....Tatsuro OKUMURA, Masaaki TERASHI, Tsukasa MITSUMOTO,..... Tadahiro SAKAI and Tomio YOSHIDA	11	4	103~121
Study on Layer Equivalencies of Bases in Airport Pavements .....Hiroshi SUDA and Katsuhisa SATO.....	11	4	123~189

### Structures Division

Out-Door Dynamic Model Test of Trench Type Tunnel .....Yoshinori AOKI, Hazime TSUCHIDA and Satoshi HAYASHI.....	11	2	261~307
Characteristics of Base-Rock Motions Calculated from Strong Motion Accelerograms at Ground Surface .....Hajime TSUCHIDA and Tatsuo UWABE.....	11	4	191~270
A experimental study on the interaction between trench type tunnels and soils.....Yoshinori AOKI and Tamio TABUCHI.....	11	4	271~290
Spectra for Earthquake Resistive Design of Trench type Tunnel .....Yoshinori AOKI and Hiroshi MARUYAMA.....	11	4	291~314

### Design Standard Division

A Practical Approach to the Average Waiting Time of M/G/S Type Queuing Models.....Kazuo KUDO.....	11	1	3~ 21
The application of SUMT to the Optimum Design of the block quay .....Kenjiro KORIKI.....	11	3	167~220
System Design of Transitsheds and Warehouses (Part-1).....Kazuo KUDO.....	11	4	315~336

### Machinery Division

An Effective Method to Assemble Stiffness Matrixces of Finite Flements .....Mineo IWASAKI.....	11	1	151~162
---	----	---	---------

Effect of Behavior of Settling Suspension Particles on Reflection and Absorption Characteristics of Ultrasonic Waves .....Sumitaka KIHARA.....	11	2	309~328	
A Study on Excavation Forces by a Plane Blade.....	Koji ISHIZUKA.....	11	2	329~351
An Analysis of the Hydraulic Transport of Soils in Horizontal .....Tokuji YAGI, Tadasu OKUDE, Shoji MIYAZAKI and Akio KOREISHI.....	11	3	3~ 35	
Shock Forces on a Spud of Working Craft .....	Isamu HIRAYAMA, Toru KIKUYA and Taisei KOIWA.....	11	4	337~350