

## ANNEX B 液状化物質判別試験法

### B.1 試験法の目的及び前提条件

本試験法は、IMO - BC Code (Code of Safe Practice for Solid Bulk Cargoes, 2001 年版) において付録 A に記載されていない粒状物質（例えば鉱滓）に適用される。もし、荷送人または船長が、水分値によっては貨物が液状化するとの懸念を感じたときは、以下に述べる試験を当該貨物に適用することにより、当該物質が特殊貨物船舶運送規則第 16 条 (SOLAS 条約第 VI 章第 6 規則第 2 項または BC Code 第 7 節) であるところの「航海中に液状化する恐れのある貨物（液状化物質）」 ("cargoes which may liquefy") か否かを判定することが推奨される。

この試験法の基本原理は、船倉内のビルジが排出されるという一般的な航海の条件下において、物質が液状化を起こすような水分を含むことができない場合には、この物質は液状化の可能性が無いと判定するものである。もし、航海中に船倉内のビルジが排出されず、船倉の底部にウォーターベッドが形成された場合には、この方法により液状化物質では無いと判定された物質であっても、液状化する恐れがある。よって、航海中にビルジが適切に排出されるとの前提において本試験法が成り立っていることに留意されたい。

### B.2 装置

#### B.2.1 装置の構成

試験に必要な装置は以下の通り。

- (1) 液状化物質判別試験容器及びバケツ
- (2) 締固め用ランマー及びストレートエッジ
- (3) 排水用架台
- (4) 真空ポンプ
- (5) 天秤
- (6) 水分値計測に必要な装置及び用具（恒温乾燥機、バット）
- (7) 固体比重の計測に必要な用具（比重瓶、天秤等）

#### B.2.2 液状化物質判別試験容器及び水容器

液状化物質判別試験に用いる容器は、図 B.1 に示す通り、モールド、延長カラー及び蓋により構成される。モールドの底部中央には、直径 3.1 mm の孔を設け、この

孔は栓により気密にできるようにする。孔の栓を閉めた状態では、栓の頂部が僅かに底面より上になるようにすること。容器は、全て組み立てた状態では気密となり、内圧を下げるができるものであること。容器の写真を図 B.2 に示す。図 B.2 は容器を組み立てて真空ポンプへのホース及び水チューブを繋いだ状態である。水チューブのもう一端は注水したバケツ内の水につけること。

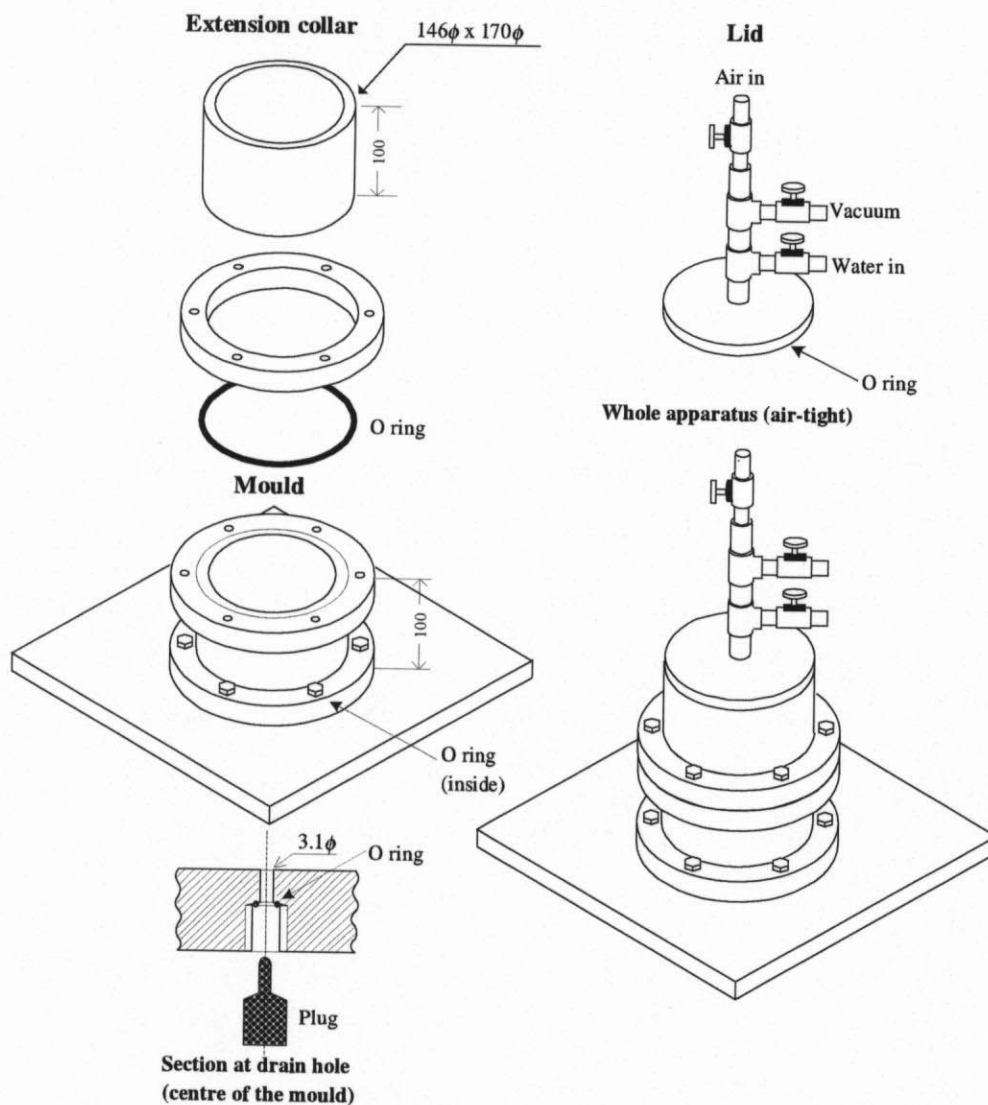


図 B.1 液状化物質判別試験容器

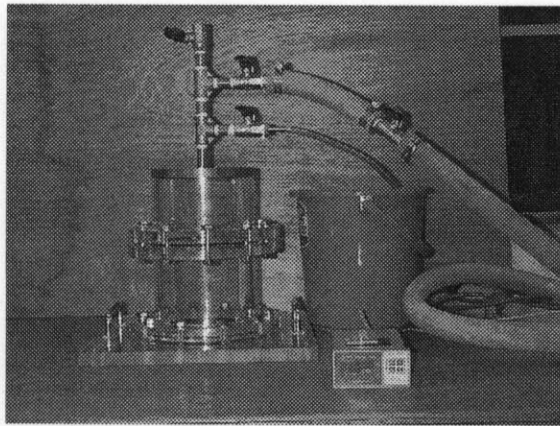


図 B.2 液状化物質判別試験容器等

#### B.2.3 締固め用ランマー及びストレートエッジ

突固めによる締固めに用いるランマーは、底面の直径 50 mm、質量 350 g のハンマーを高さ 0.2 m から繰り返し落下させることができるものであること（BC Code 付録 D、プロクター／ファガベリ試験参照）。ストレートエッジは、モールドの上の試料を除去するのに十分な長さ及び強度を有すること。

#### B.2.4 排水用架台

排水用の架台（スタンド）は、モールドを安定して水平に置けるもので、モールド底部の孔の栓の開閉操作が行え、且つ、モールド内の試料からの排水を妨げないものであれば、どのようなものでも良い。架台の例を図 B.3 に示す。

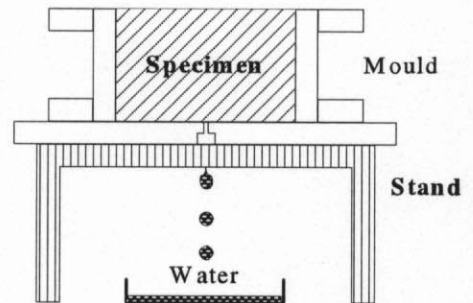


図 B.3 架台の一例

#### B.2.5 真空ポンプ及び天秤

真空ポンプは、毎分 100 リットル - 300 W 以上の容量のものが推奨される。天秤は、図 B.3 に示した飽和状態の供試体入りのモールドの重量を計測できるものであること。例えば、最大秤量 10 kgf、0.1 gf 目盛り。

#### B.2.6 水分値計測に必要な装置及び用具

供試体の水分値を計測するには、天秤、バット、恒温乾燥機を用いる。水分値計測には供試体の全量を用いるので、モールドの中に残る試料や水滴等もバットに移すため、ペーパータオルを用意すること。水分値計測の際に、モールドから取り出

した試料を確実に受けるため、バットは十分な大きさのものとすること。

### **B.2.7 固体比重の計測に必要な用具**

比重瓶、電熱器または減圧できるデシケータ、天秤、バット、乳鉢、ペーパータオル等、固体比重の計測に必要な用具を用意すること。

## **B.3 試験手順**

### **B.3.1 全体の手順**

全体の手順は以下の通り。

- (A) 固体比重の計測
- (B) モールドの容積（供試体の体積）及びモールドの空重量の計測
- (C) 試料の乾燥
- (D) 液状化物質判別試験容器の組み立て及び気密性の確認
- (E) 試料の挿入及び締固め
- (F) 飽和試料の作成及び供試体の形成
- (G) 供試体の重量計測（排水前）
- (H) 供試体からの排水
- (I) 供試体の重量計測（排水後）
- (J) 供試体の水分値計測
- (K) 飽和度等の解析
- (L) 液状化物質か否かの判定

以下、各手順の詳細について述べる。

### **B.3.2 固体比重の計測**

試料の固体比重の計測は、JIS A1202「土粒子の密度試験方法」（1999）などの適当な標準に従って実施すれば良い。固体比重の基本的計測手順は以下の通り。

- (A-1) 必要に応じて試料を乳鉢ですりつぶす。
- (A-2) 比重瓶の空重量を計測する。
- (A-3) 比重瓶に乾燥した試料と水を入れ、水を十分に沸騰させることにより、試料中の気泡を無くす。
- (A-4) 比重瓶の温度を所定の温度に合わせる。
- (A-5) 気泡が入らないように比重瓶を水で満たし、外側の水滴を拭き取って、

重量を計測する。

(A-6) バットの空重量を計測する。

(A-7) 比重瓶の中の試料を全てバットに出し、乾燥させ、乾燥した試料の入ったバットの重量を計測する。

(A-8) 比重瓶に所定の温度の水のみを入れた場合の温度を計測する。

試料の重量は、(A-6)及び(A-7)で計測した値より容易に求まる。比重瓶の空重量及び(A-5)で計測した値から求めた比重瓶を満たす試料及び水の重量から試料の重量を引いたものが、試料と水で比重瓶を満たした場合の水の重量である。一方、比重瓶を水のみで満たした場合の水の重量は計測されているため、試料が押しのけた水の重量が得られ、所定の温度の水の比重量より、試料の体積が計算でき、固体比重が得られる。

### **B.3.3 モールドの容積及びモールドの空重量の計測**

図 B.1 に示すモールドの容積（供試体の体積）及び重量は、モールドを正確に組み立てた上で、計測する必要がある。正確に組み立てた状態とは、底板の上に下部の円筒を乗せ、O リングを入れてこれを留め具及びボルトで固定することにより接続部の気密を保ち、且つ、底部中央の孔はO リングと栓で閉めた状態である。

(注) 栓を閉めた状態では、栓の半円形の頂部が容器の中に僅かに突出するが、突出部は直径 3.1 mm の半球であり、その体積は約  $2 \text{ mm}^3$  であるため、容器の体積の計測においては誤差無視して差し支えない。

### **B.3.4 試料の乾燥**

容器への挿入の前に試料を摂氏 105 度で乾燥させる。試料の量は、締固めを行わない状態で約 2.5 リットル程度が目安とする。

### **B.3.5 液状化物質判別試験容器の組み立て及び気密性の確認**

試料の挿入に先だって、容器を組み立て、蓋（Lid）をした状態で容器の気密を確認する。具体的な手順は以下の通り。

(D-1) モールドとカラーを組み立てる。

(D-2) 蓋の中の全ての水を除去し、蓋の全ての弁を閉めて水ライン（Water in）と真空引きライン（Vacuum）を接続する。

(D-3) 容器に蓋をする。真空ポンプを起動し、蓋の真空ポンプへの弁

(Vacuum) を開け、容器が気密であることを確認する。

(D-4) 真空ポンプへの弁を閉じ、外気への弁 (Air in) を開ける。

(D-5) 蓋を外し、外気への弁 (Air in) を閉める。

(注) この作業は、容器の気密が保たれないことによる実験のやりなおしを防ぐために実施する。気密を確認するには、真空引きを実施してみることが最も簡単で効果的である。試験を繰り返し実施する場合、ブロアー（圧縮空気による吹き出し）等を用いて容器の内部に水が残らないように作業するが、特に蓋の配管の中には、僅かな水が残る易い。こうした僅かな水を蒸発させ、真空引きを確実にを行うためにも、試料の挿入に先立って容器を完全に組み立てた状態で、真空引きを行うことが有効である。

#### B.3.6 試料の挿入及び締固め

試料の挿入及び締固めは、容器を組み立てて蓋を外した状態で行う。試料は 5 層に分けて挿入し、各層について、所定のランマーを用いて突固めによる締固めを行う。各層に対するランマーの落下回数は 42、42、43、43、43 回とする。締固めが終わった状態で、試料はモールド（カラーを除く部分）より 2～3 cm 程度上になるようにする。

#### B.3.7 飽和試料の作成及び供試体の形成

以下の手順で、試料を飽和状態にし、供試体を形成する。

(F-1) 容器（カラー）の上縁をペーパータオル等で拭いた後、容器に蓋をし、真空ポンプへの弁を開けることにより、容器内の空気を 15 分以上真空引きする。

(F-2) 真空ポンプへの弁 (Vacuum) を閉め、水への弁 (Water in) を開ける。水位が試料の上 3 cm 程度に達したら、水への弁 (Water in) を閉める。

(F-3) 外気への弁 (Air in) を開け、容器内部の圧力を回復させる。

(F-4) 蓋及びカラーを外す。

(F-5) ストレートエッジを用いて、モールド上の試料を除去する。

(注) 容器のカラーを外す際には、モールドの O リングの留め具やボルトに試料が降りかかると清掃に時間を要するため、予めウェス等で、清掃し易いように覆っておくと引き続く作業が容易である。

### B.3.8 供試体の重量計測（排水前）

モールドの外側の試料や水を取り去り、重量を計測する。

### B.3.9 供試体からの排水及び重量計測（排水後）

図 B.3 に示したように、架台に供試体が入ったモールドを乗せ、底部の栓を外すことにより、供試体から排水する。底部の孔の気密を保つための O リングも外す。

30 分経過したら、O リング及び栓を設置し、供試体からの排水を止める。

排水が終了したら、供試体が入ったモールドの重量を計測する。

### B.3.10 供試体の水分値計測

排水後の供試体は場所によって水分値が異なるため、水分値を計測する際は、供試体の全量を用いる。手順は以下の通り。

(J-1) 乾燥したペーパータオルを数枚用意し、空のバットと合わせて重量 ( $W_1$ ) を計測する。

(J-2) 適当な用具（吸水性のないもの）を用いて、モールド内の全試料をバットに移し替える。モールド内に残った水や試料、用具に付着した水や試料も、バットと合わせて重量を計測したペーパータオルでふき取る。

(J-3) 試料及びペーパータオルを乗せたバットの重量 ( $W_2$ ) を計測する。

(J-4) バットを摂氏 105 度で十分な時間乾燥する。

(J-5) 乾燥後の重量 ( $W_3$ ) を計測する。

水分値は全水分値とし、次の式で計算する。

$$M_c^{105} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \quad (1)$$

### B.3.11 飽和度等の解析及び判定

排水前及び排水後の供試体の重量は、作業(B)で計測されるモールドの空重量、作業(G)で計測される重量及び作業(I)で計測される重量より計算でき、排水前後の供試体の重量変化、即ち排水された水の量  $\Delta W$  も計算できる。これらの値に、作業(A)で求められる試料の固体部分の単位体積重量、作業(J)で求められる排水後の試料の水分値より、試料の間隙比、排水前の試料の水分値及び排水前並びに排水後の試料の飽和度は、以下の通り計算できる。なお、水の単位体積重量は  $1,000 \text{ kgf/m}^3$  と仮定し、空気の重量は無視する。

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s} = \frac{W_T^{DR} \cdot (1 - M_C^{DR})}{\gamma_s} \quad (2)$$

$$V_v = V_T - V_s \quad (3)$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (4)$$

$$V_w^{DR} = \frac{W_w^{DR}}{\gamma_w} = \frac{W_T^{DR} \cdot M_C^{DR}}{\gamma_w} \quad (5)$$

$$S_r^{DR} = \frac{V_w^{DR}}{V_v} \quad (6)$$

$$V_w^{SR} = \frac{W_w^{SR}}{\gamma_w} = \frac{W_T^{DR} \cdot M_C^{DR} + \Delta W}{\gamma_w} \quad (7)$$

$$S_r^{SR} = \frac{V_w^{SR}}{V_v} \quad (8)$$

ここで、記号は以下の通り

$\gamma$  : 単位体積重量

$W$  : 重量

$M_C$  : 水分値

$e$  : 間隙比

$S_r$  : 飽和度

また、下付の記号及び上付きの記号は以下の通り。

$S$  : 固体部分

$W$  : 水

$T$  : 供試体全体

$V$  : 空隙

$SR$  : 排水前

$DR$  : 排水後

(6)式で得られる排水後の供試体の飽和度が 70 %以上であれば液状化物質と判定し、70 %未満であれば液状化物質では無いと判定する。但し、(8)式で得られる排水前の飽和度が 95 %未満である場合は、試料は、本試験の適用対象外とする。即ち、本試験により、液状化物質か否かを判定しない。



## ANNEX C

### Test procedure for evaluating danger of sliding failure of nickel ore

#### 1 Scope

When nickel ore contains much moisture, its shear strength becomes low and piles of nickel ore formed in cargo holds of bulk carriers may slide. To prevent sliding failure, nickel ore containing much moisture should not be accepted for shipment. The shear strength of nickel ore can be evaluated by this test procedure in view of the danger of sliding failure.

If a shipper or a master of the ship has doubts that the sliding failure of nickel ore may take place during the voyage, it is recommended to apply this test procedure to the cargo, prior to shipment. For the evaluation, it is assumed that the cargo pile is trimmed as level as practicable. The assumed width and height of remaining slopes of the cargo pile after trimming at each side are 7 m and 4 m, respectively. The assumed rolling condition is static heel at 30 degrees.

This test procedure should not be applied to solid bulk cargoes other than nickel ore.

#### 2 Terminology

For the purpose of explanation of the test procedure, the following terms are used with the following meanings:

- .1 *Original sample* means a sample of nickel ore without sieving;
- .2 *Sieved sample* means a sample obtained by sieving of which the maximum diameter is 19 mm;
- .3 *Sample* means original sample and sieved sample;
- .4 *Specimen* means a sieved sample filled and tamped in the mould and leveled off along the brim of the mould without collar;
- .5 *Sieve* is the sieve described in paragraph 3.2;
- .6 *Mould* is the mould described in paragraph 3.3;
- .7 *Collar* is the removable extension piece of the mould;
- .8 *Cylinder* is the cylindrical part of the mould other than the collar;
- .9 *Bottom plate* is the bottom plate of the mould;
- .10 *Compaction hammer* is the tool for compaction described in paragraph 3.4;
- .11 *Hammer* is the part of compaction hammer;
- .12 *Straight edge* is a flat bar for leveling off the sample piled up above the brim of the mould in order to control the volume of specimen;
- .13 *Sample removing apparatus* is the apparatus for removing the sieved sample in the mould described in paragraph 3.5;
- .14 *Cone-penetrometer* is the apparatus described in paragraph 3.6;
- .15 *Cone* is the part of the cone-penetrometer;
- .16 *Penetration depth* is the depth from the brim of the mould without collar to the tip of the cone, during penetration of the cone into the

specimen;

- .17 *Cone penetration test* is the test described in paragraph 4.5.2;
- .18 *Cone penetrating force* is the force required to penetrate the cone into the specimen during the cone penetration test;
- .19 *Maximum cone penetrating force* is the maximum value of cone penetrating force obtained by single cone penetration test; and
- .20 *Representative cone penetrating force* means the lowest value of the three figures of the maximum cone penetrating force, which are obtained through cone penetration tests of three times for a sieved sample.

### **3 Apparatus**

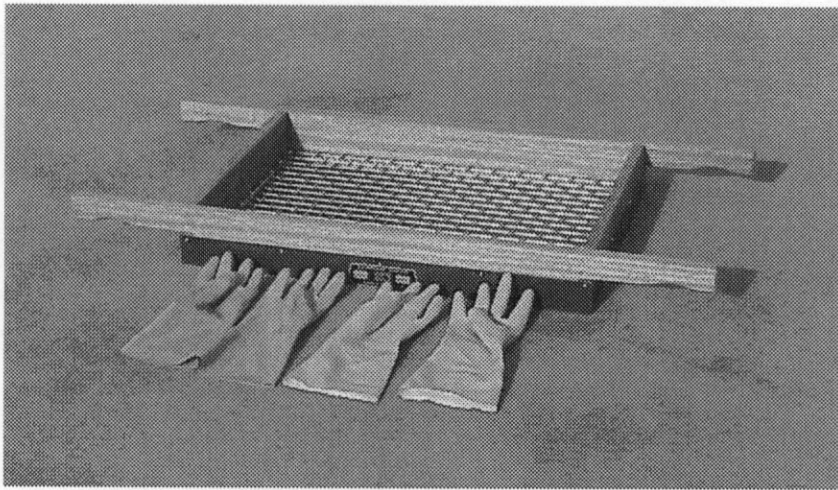
The following apparatus and tools are used in the test:

- .1 Containers of suitable size for temporary storage of sample and for sieving (see photo 1);
- .2 A sieve having mesh size of 19 mm (see photo 2) and rubber gloves;
- .3 A cylindrical iron mould of which the inner diameter and the capacity are 150 mm and 4,000 cm<sup>3</sup>, respectively, with a removable extension piece, and a straight edge for the mould (see photo 3 and 4);
- .4 A compaction hammer specified by JIS-A1210 of which the mass of hammer and height of drop are 4.5 kg and 0.45 m, respectively (see photo 5);
- .5 An apparatus for removing the sieved sample from the cylinder of the mould (see photo 6); and
- .6 A cone-penetrometer, of which the maximum measurable load is not less than 500 N, with the cone, of which the base area is 6.45 cm<sup>2</sup> (see photo 7).

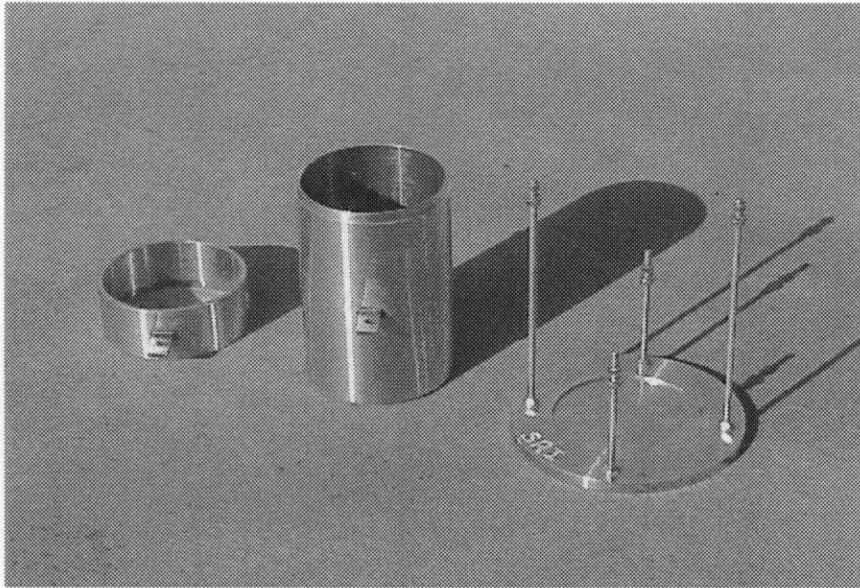
For convenience, it is recommended to have a scoop for inserting the sample into the mould and suitable cleaning tools for the apparatus (see photo 8). It is preferable that the cone-penetrometer is able to indicate the maximum load during the penetration of the cone into specimen. The test can be conducted without a weighing instrument. It is, however, recommended to prepare a weighing instrument of which the maximum measurable weight is more than 150 N, in order to check the quantity of the sample.



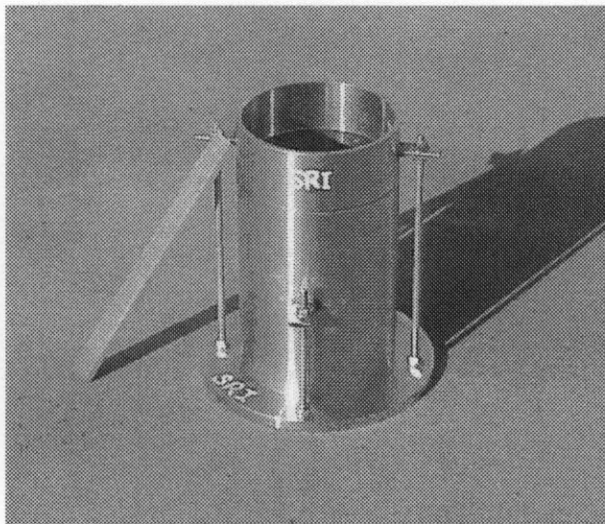
**Photo 1 Containers for storage of sample and sieving**



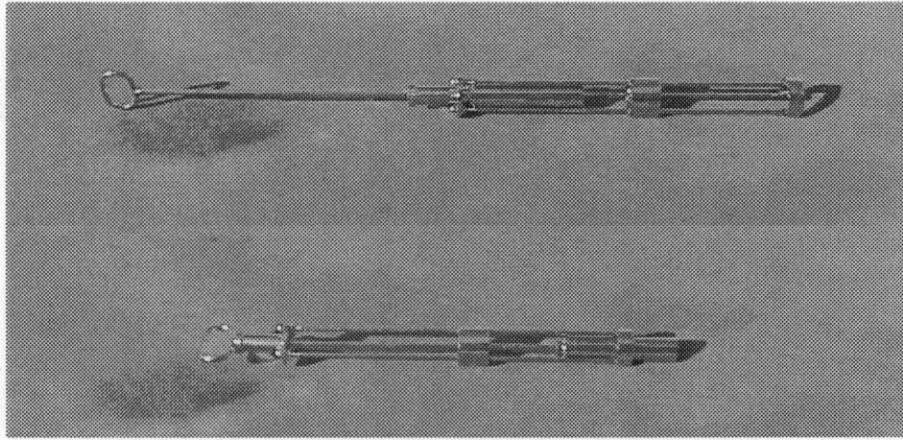
**Photo 2 Sieve (mesh size 19 mm) and rubber gloves**



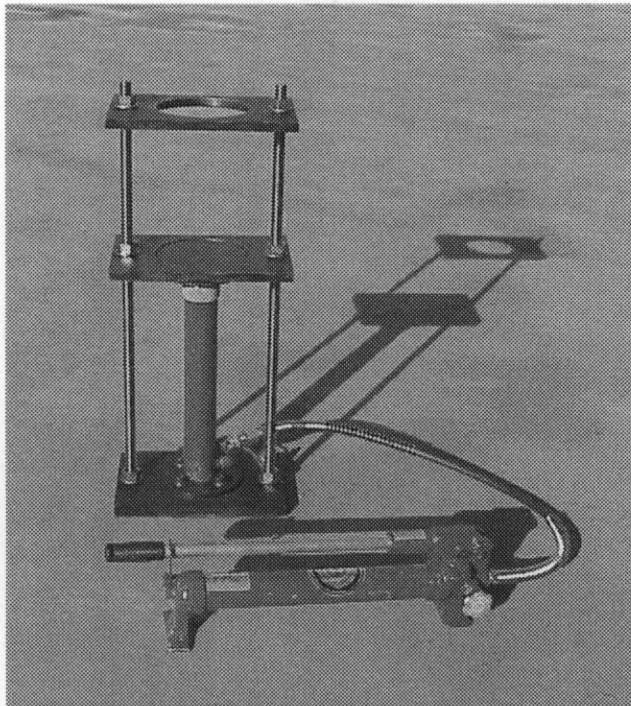
**Photo 3 Mould (dismantled into three parts)**



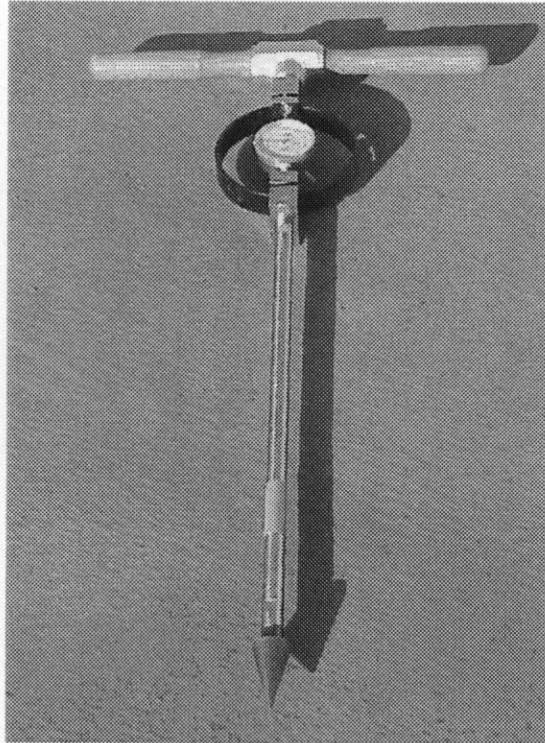
**Photo 4 Mould (assembled) and straight edge**



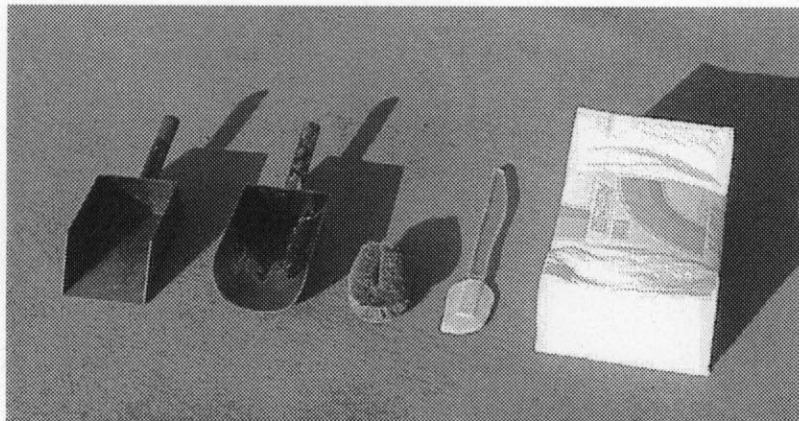
**Photo 5 Compaction hammer**



**Photo 6 Sample removing apparatus**



**Photo 7 Cone-pemetrometer**



**Photo 8 Scoop and cleaning tools**  
**(scoops, brush, scraper, paper towels)**



## **4 Test procedure**

### **4.1 Precautions for the test**

During the test, care should be taken to prevent unnecessary change of moisture contents of sample. Especially, the following precautions should be considered:

- .1 The test should be conducted in a sheltered place away from direct sun shine or rain;
- .2 All apparatus and tools contacting sample should be kept as clean and dry as practicable; and
- .3 All procedures should be conducted as quickly as possible.

Great care should be paid while taking the original sample from cargo to be tested.

### **4.2 Outline of the test procedure**

The test procedure consists of the following steps:

- Step 0 : Preparation of apparatus and tools;
- Step 1 : Preparation of original sample and sieving;
- Step 2 : Measurement of maximum cone penetrating force; and
- Step 3 : Judgment.

Step 2 consists of the following steps which are repeated three times.

- Step 2.1 : Forming specimen in the mould using sieved sample by tamping;
- Step 2.2 : Cone penetration test for the specimen formed by step 2.1; and
- Step 2.3 : Removal of sieved sample from the mould.

### **4.3 Preparation of the test (Step 0)**

The following procedures should be carried out prior to conduction of the test:

- (1) Check the method for using the sample removing apparatus by using the empty mould;
- (2) Become skilled in dismantling and assembling the mould; and
- (3) Check the method for using the compaction hammer.

Prior to the conduction of the test, all relevant apparatus and tools should be ready for use. The cone-penetrometer should be assembled.

### **4.4 Preparation of original sample and sieving (Step 1)**

#### **4.4.1 Preparation of original sample**

Original sample is prepared in a container. The quantity of original sample required for the test will vary depending on the grain size distribution. Enough quantity of original sample should be prepared to obtain more than 8 kg of sieved sample. After removing large lumps such as a head of infant from original sample, 15 kg is enough, in general.

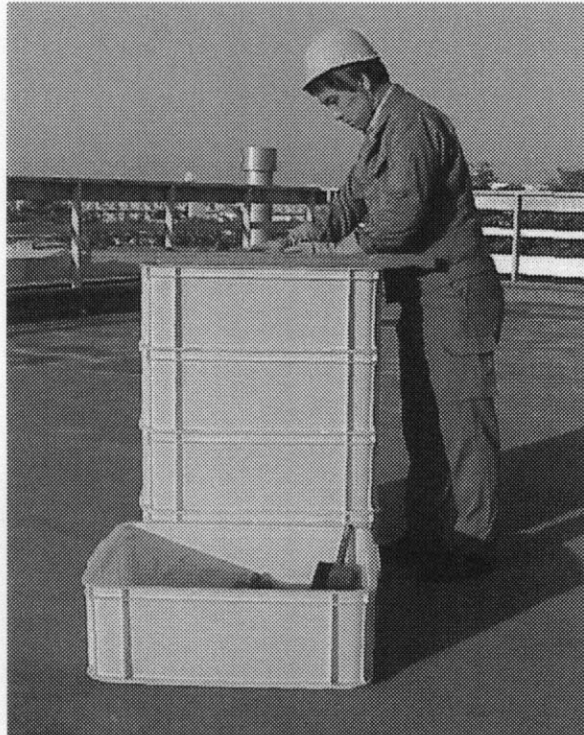
#### **4.4.2 Sieving (see photo 9)**

The sieve is prepared at the top of stacked containers and rubber gloves are put on

hands. The container including original sample should not be stacked. The original sample is put on the sieve and sieved sample is stored in the container by being passed through the sieve manually.

When much fine particles remain on the sieve, the moisture content of sieved sample becomes lower. During sieving, therefore, particles finer than the mesh size remaining on the sieve should be as little as practical, not to decrease the moisture content of the sieved sample.

The quantity of sieved sample stored in the container should be more than 8 kg.



**Photo 9 Sieving**

#### **4.5 Measurement of maximum cone penetrating force (Step 2)**

The procedures described in this paragraph are repeated three times for a sieved sample.

##### **4.5.1 Forming specimen in the mould (Step 2.1)**

Prior to cone penetration test, the specimen is formed in the mould by the following sub-steps:

- .1 The mould is assembled by connecting the bottom plate, the cylinder and the collar, properly (see photo 4);
- .2 The sieved sample is filled and tamped in the mould being divided into five layers. Approximately one fifth of the whole sieved sample to be filled in the mould is inserted into the mould and the increment is tamped uniformly over the surface of the increment. Tamping is



executed by dropping the hammer 60 times through the guide, 0.45 m each time, for each increment (see photo 10). The dropping height, 0.45 m, is achieved by pulling up the handle of hammer to the end of the guide and releasing the handle while the bottom of the guide is put on the surface of the sieved sample. The performance is repeated for all five layers, respectively; and

- .3 When the last layer has been tamped, insert a suitable flat bar or the straight edge between the sieved sample and the collar of the mould and move the flat bar along inside the collar, to separate the sieved sample from the collar. After separating the sieved sample from the collar, the collar is removed (see photo 11). Then the sieved sample is leveled off along the brim of the mould using the straight edge (see photo 12), to adjust the volume of specimen. Removed sieved sample is put back in the container for the sieved sample.

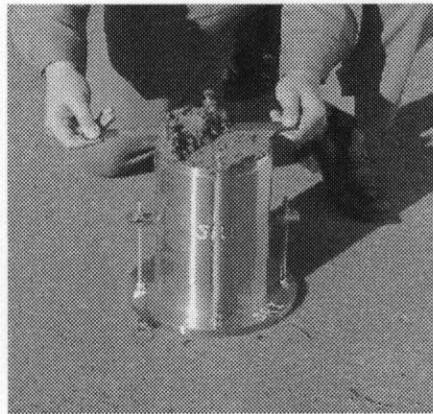
The quantity of each increment, that is the sieved sample for each layer, is around 1.6 kg. To control the total amount of sieved sample inserted in the mould, it is recommended to fill the sieved sample along the brim of collar by pushing the sieved sample manually without tamping, at the insertion of the sieved sample for the last (5th) layer.



**Photo 10 Tamping (compaction)**



**Photo 11 Removal of the collar of the mould**



**Photo 12 Leveling off the sample**

#### **4.5.2 Cone penetration test (Step 2.2)**

Two persons are needed for cone penetration test. One person (the tester) penetrates the cone into the specimen and the other person observes the penetration depth and notice the penetration depth to the tester. The maximum cone penetrating force is measured by the following sub-steps.

- .1 The tip of the cone is set on the surface of the specimen approximately at the center;
- .2 The cone is penetrated into the specimen vertically at the speed of 1 cm per second until the penetration depth reaches to 15 cm (see photo 13); and
- .3 The maximum cone penetrating force during the operation of the cone-penetrometer is read and recorded.

In order to control the speed of penetration as accurate as practical, it is recommended to count the seconds from "one" to "fifteen" during the penetration. It is also recommended to fix the arms to the body and push the cone-penetrometer by utilizing the weight of the tester, during the penetration, in order to reduce the

fluctuation of speed of penetration.

When the cone-penetrometer does not have the function for indicating the maximum cone penetrating force, the tester should observe cone penetrating force continuously and read the maximum value.



**Photo 13 Cone penetration test**

#### **4.5.3 Removal of sieved sample from the mould (Step 2.3)**

After the cone penetration test, the sieved sample forming specimen is put back in the container for sieved sample and the apparatus are cleaned by the following sub-steps:

- .1 The mould with specimen is dismantled into two parts, that are the cylinder and the bottom plate;
- .2 The sieved sample in the cylinder is removed by using the sample removing apparatus (see photo 14) and put back in the container;
- .3 The residual sieved sample on the bottom plate is also put back in the container; and
- .4 The cone and rod of the cone-penetrometer and all parts of the mould are cleaned and water on them is wiped.

The sieved sample removed from the mould can be used for the repeated test procedures in step 2 after divided into small lumps and mixed with the other sieved samples.



**Photo 14 Removing the sample from the mould**

#### **5 Judgment (Step 3)**

After the maximum cone penetrating forces are measured three times for a sieved sample, the minimum value of the three lowest cone penetrating forces is selected as the representative cone penetrating force.

In the case that the representative cone penetrating force is less than 300 N, that is 30.6 kgf, it is judged that the shear strength of the original sample is not enough to prevent sliding failure during voyage.

The shortage of shear strength of original sample means that the original sample contains too much moisture to be accepted for loading. In other words, the shortage of shear strength of original sample means that sliding failure of the cargo pile may take place during voyage when moisture content of a certain proportion of the cargo is equal to or more than the moisture content of the original sample.