

mm 以下の粒子の乾燥状態における通過質量率

なお、水分値換算方法に関する研究の詳細については、付録 C を参照されたい。

水分値の換算結果を表 4.6 に示す。表の下端が、最大粒径 19 mm の試料に関する水分値の限界、即ち、荷崩れ限界水分値である。

4.4 代表円錐貫入力のクライテリア

水分値と代表円錐貫入力の関係を求めるため、最大粒径を 19 mm に調製した試料の水分値を変えて、各水分値の試料について、ニッケル鉍荷崩れ危険性評価試験法に基づき 3 回の円錐貫入試験を実施し、代表円錐貫入力、即ち、最大円錐貫入力の最低値を求めた。結果を図 4.13 に示す。

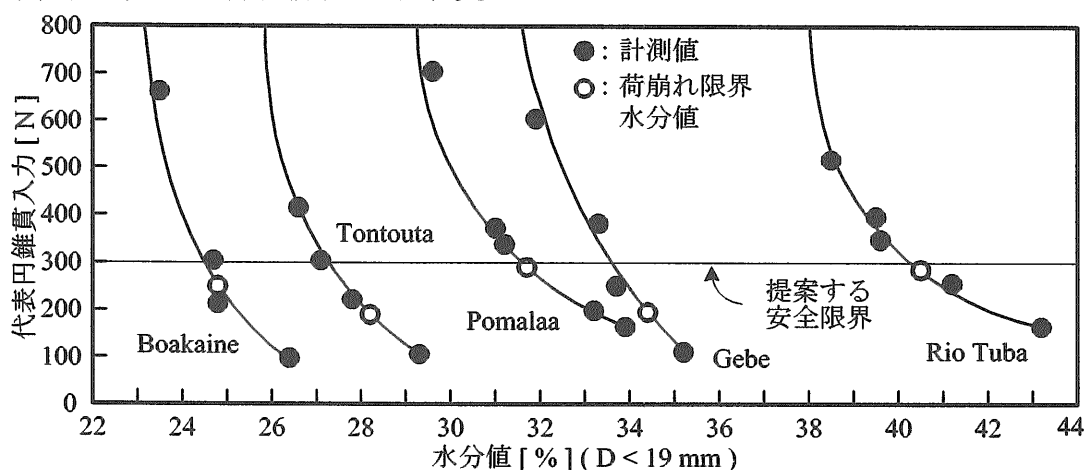


図 4.13 水分値と代表円錐貫入力の関係

図の横軸は最大粒径 19 mm 試料の水分値であり、縦軸は代表円錐貫入力である。図中の黒丸は計測値を示し、グラフは水分値と代表円錐貫入力の関係を意味する。白丸は、荷崩れ限界水分値及びこれに対応する代表円錐貫入力を示す。なお、試験結果の詳細については、付録 D を参照されたい。各試料の荷崩れ限界水分値に対応する代表円錐貫入力を表 4.7 に示す。

表 4.7 荷崩れ限界水分値に対応する代表円錐貫入力

| 試料 | Gebe | Tontouta | Rio Tuba | Pomalaa | Boakaine |
|--------------|------|----------|----------|---------|----------|
| 荷崩れ限界水分値 [%] | 34.4 | 28.2 | 40.5 | 31.7 | 24.8 |
| 代表円錐貫入力 [N] | 195 | 190 | 285 | 290 | 250 |

ここで、荷崩れ限界水分値に対応する代表円錐貫入力のばらつきについて考察する。

表 4.8 は、水分値の一次クライテリア (最大粒径 6.7 mm) に対応する剪断抵抗係数及び粘着力

表 4.6 水分値換算結果

| 試料 | Gebe | Tontouta | Rio Tuba | Pomalaa | Boakaine |
|--------------------------------------------|------|----------|----------|---------|----------|
| 通過重量百分率 (D < 6.7 mm in D < 19 mm, Dry) [%] | 90.8 | 87.6 | 84.3 | 88.7 | 81.7 |
| 6.7~19 mm 粒子の最大水分値 (計測結果) [%] | 18.7 | 16.6 | 24.7 | 15.2 | 14.7 |
| 水分値の一次クライテリア (D < 6.7 mm) [%] | 35.7 | 29.6 | 42.7 | 33.4 | 26.8 |
| 荷崩れ限界水分値 (D < 19 mm) [%] | 34.4 | 28.2 | 40.5 | 31.7 | 24.8 |

を示したものである。即ち、荷崩れ数値解析の結果、臨界安全率が 1.2 となる剪断強度を示したものである。

表 4.8 水分値の一次クライテリアに対応する剪断強度

| 試料 | Gebe | Tontouta | Rio Tuba | Pomalaa | Boakaine |
|-----------------------|------|----------|----------|---------|----------|
| 水分値の一次クライテリア [%] | 35.7 | 29.6 | 42.7 | 33.4 | 26.8 |
| 剪断抵抗係数 ($\tan\phi$) | 0.39 | 0.39 | 0.26 | 0.56 | 0.54 |
| 粘着力 (c) [kPa] | 23.5 | 24.5 | 28.5 | 16.5 | 17.5 |

表より、剪断抵抗係数 $\tan\phi$ 及び粘着力 c の組合せは、 $\tan\phi = 0.56$, $c = 16.5$ kPa 乃至 $\tan\phi = 0.26$, $c = 28.5$ kPa の幅があることが分かる。一方、試料の見かけの密度は、1,550 (Rio Tuba)~1,830 (Boakaine) kg/m^3 の範囲であり、剪断抵抗係数や粘着力と比較して、見かけ密度の差異は小さい。

貨物の見かけ密度を $1,700 \text{ kg/m}^3$ とし、4.3.2

節で述べた貨物パイルの形状及び横傾斜角度の条件下で、臨界安全率 1.2 に対応する剪断抵抗係数と粘着力を求めると、図 4.14 が得られる。図の横軸は剪断抵抗係数（摩擦係数）、縦軸は粘着力である。グラフは密度を $1,700 \text{ kg/m}^3$ とした場合の臨界安全率 1.2 に対応する剪断抵抗係数と粘着力の組合せ、黒丸は臨界安全率 1.2 に対応する各試料の剪断抵抗係数と粘着力（表 4.8 参照）、試料名と共に示した数値は、臨界安全率 1.2 に対応する代表円錐貫入力である。図は、臨界安全率 1.2 に対応する代表円錐貫入力、剪断抵抗係数と粘着力の組合せにより異なることを示唆している。

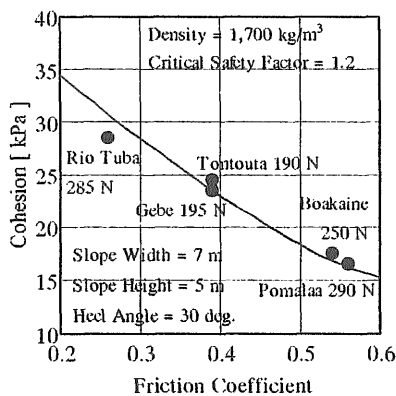


図 4.14 臨界安全率 1.2 に対応する剪断強度

このことから、荷崩れ限界水分値に対応する代表円錐貫入力が試料により異なるのは、荷崩れに関係する三つの物性値、即ち、見かけ密度、粘着力、剪断抵抗係数を、代表円錐貫入力という一つのパラメータで代表させることの限界にあると考えられる。

代表円錐貫入力に基づく荷崩れ危険性判定の限界及び本研究において試験していないニッケル鉱も多いことを考慮すれば、「試験により得られる代表円錐貫入力がこのクライテリアを超えれば安全である」という値を設定するのは妥当ではない。そのため、ニッケル鉱荷崩れ評価試験法の目的は「剪断強度が低いため（荷崩れの危険性があるため）船積みに適さない貨物を判別すること」とし、判定のための代表円錐貫入力のクライテリアは、表 4.7 に基づき、安全余裕を見込まずに最大値を丸めて、300 N とした。

5 結言

本研究により、荷崩れ危険性の観点からばら積み運送に適さないニッケル鉱を判別するためのニッケル鉱荷崩れ危険性評価試験法を開発した。この試験法を実施し、代表円錐貫入力が 300 N

未満であれば、そのニッケル鉱は荷崩れの危険性があるため、特別な対策を講じない限り、船積みに適さないと言える。

この試験法の開発により、従来は不可能であった荷役現場における貨物の剪断強度の評価が可能になった。このことにより、直ちにニッケル鉱の安全運送が達成されるものではないが、本試験法は安全運送に大きく寄与するものと考えられる。

本研究は、当所と日本海事検定協会との共同研究として実施したものである。日本海事検定協会における研究は、日本財団の支援を得て、IMO 対応委員会の審議に基づき実施された。試料の分析の一部は日本海事検定協会理化学研究所が実施した。揚荷役現場における試験及び実験用試料の手配に際しては、日本鉱業協会、住友金属鉱山株式会社、大平洋金属株式会社、株式会社日向製錬所及び日本冶金工業株式会社にご協力いただいた。また、当所装備部山尾崇氏（当時）には、揚荷役現場における試験にご協力いただいた。試験法のマニュアルの推敲に際しては、商船三井株式会社竹下修氏及び当所装備部宮田修氏にご協力いただいた。日本海事検定協会 IMO 対応委員会特殊貨物部関係者、日本鉱業協会、大平洋金属株式会社、日向製錬所株式会社、日本冶金工業株式会社、日本財団及び関係各位に謝意を表す。

参考文献

- (1) 日本海事検定協会：「粘着性ばら積み貨物の安全運送に関する研究－総合報告書」、2000年3月
- (2) S.Ota, et al : "Study on Prevention of Sliding Failure of Nickel Ore in Bulk", 日本造船学会論文集第 186 号 pp301 - 307, 2000
- (3) International Maritime Organization : Code of Safe Practice for Solid Bulk Cargoes, 1998 Edition, 1998
- (4) S.Ota & T.Ura : "Determination of Upper Bound of Moisture Content of Nickel Ore in Bulk", International Association of Institute of Navigation 1994 ("Navigation" Vol.123 1995, 日本航海学会)
- (5) IMO document, Annex 2 of BC 33/3/2, 1994, "Upper Bound of Moisture Content Nickel Ore Based on Static Shear Strength", Submitted by Japan
- (6) IMO document, BC 32/3/16, 1993, "Precautions for Cargoes Containing Fine Particles such as Nickel Ore",

Submitted by Japan

- (7) 太田他：「ニッケル鉱ばら積み運送の安全評価」、日本航海学会論文集第 87 号、1992
- (8) 太田他：「ばら積み貨物の荷繰りガイドラインの研究」日本航海学会論文集第 83 号、1990
- (9) 日本海事検定協会 IMO 対応委員会、「危険物の海上運送に関する調査研究」平成 9 年度報告書、MAR. 1998

付録 A ニッケル鉱荷崩れ危険性
評価試験法マニュアル

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 have 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 cm³, 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 cm² (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.

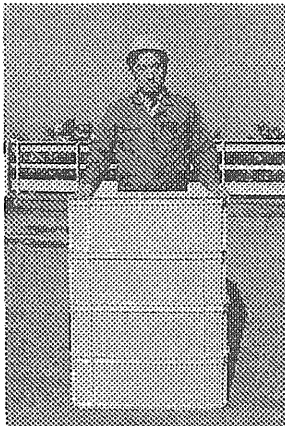


Photo 1 Containers for storage of sample and sieving

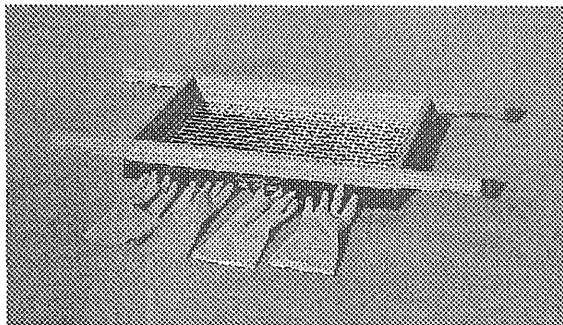


Photo 2 Sieve (mesh size 19 mm) and rubber gloves

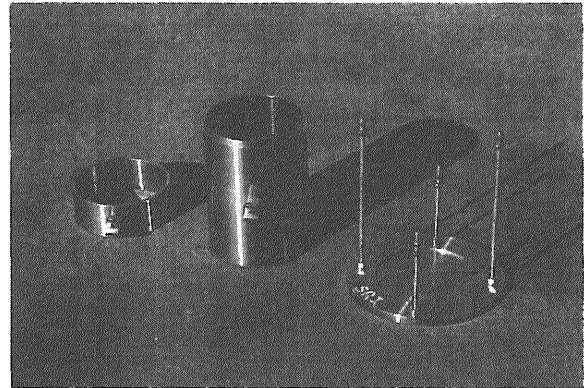


Photo 3 Mould (dismantled into three parts)

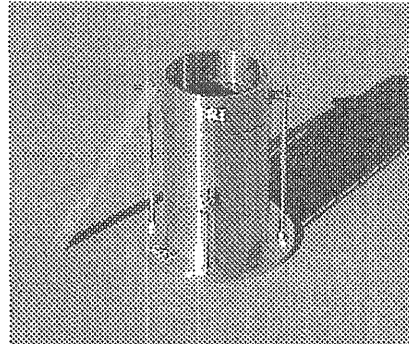


Photo 4 Mould (assembled) and straight edge

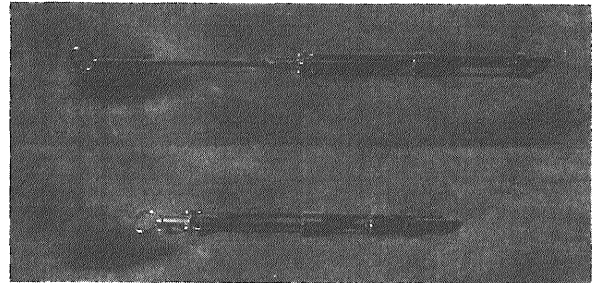


Photo 5 Compaction hammer

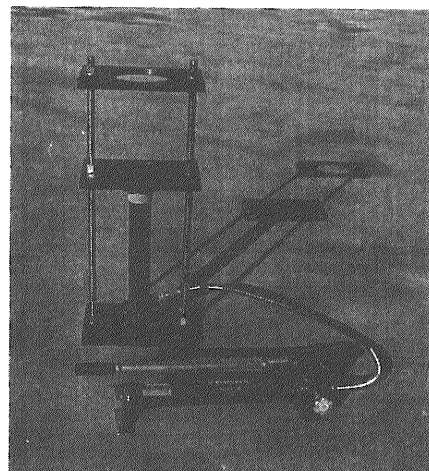


Photo 6 Sample removing apparatus

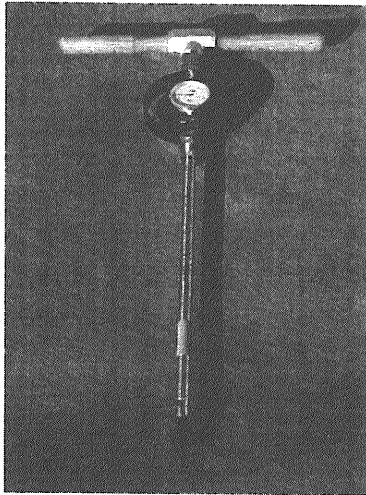


Photo 7 Cone-pemetrometer

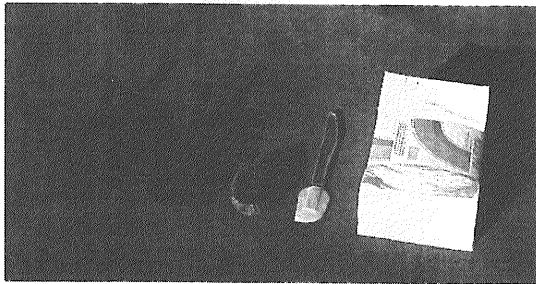


Photo 8 Scoop and cleaning tools
(scoops, brush, scraper, paper towels)

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 become 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)

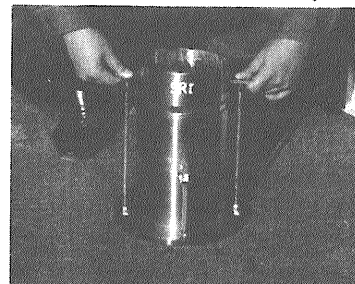


Photo 11 Removal of the collar of the mould

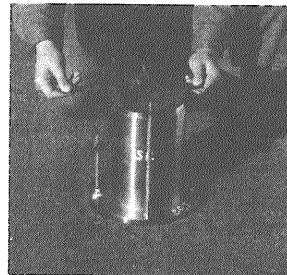


Photo 12 Leveling off the sample

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.

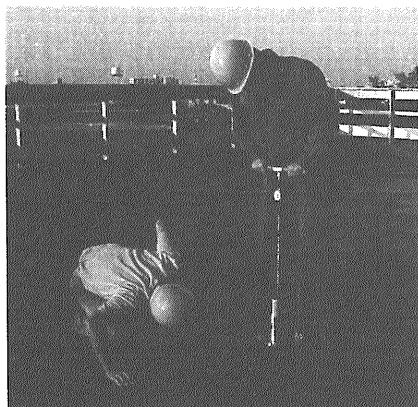


Photo 13 Cone penetration test

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.

付録 B 篩い分けの必要性に関する調査・検討

1 調査・検討の概要

何トンものニッケル鉱のパイルに登って円錐貫入試験を実施することにより、パイル全体を一つの試料として荷崩れの危険性を評価できれば、大量の貨物を試料として用いることになるため、代表試料の抽出の問題を回避できる可能性がある。一方、ニッケル鉱荷崩れ危険性評価試験法は、粒径分布その他の鉱石の性状によらずに適用できなければならない。よって、ニッケル鉱のパイ

ル上での円錐貫入試験を荷崩れ危険性評価試験法として採用できるか否かは、複数回の円錐貫入試験により得られる最大円錐貫入力データを適切に処理することにより、即ち、代表円錐貫入力を適切に定義することにより、試料によらない代表円錐貫入力のクライテリアを設定できるか否かによると言える。そのため、Pomalaa 鉱及び Boakaine 鉱について、ニッケル鉱の揚荷役現場で、数トンの試料を用意し、その水分値を調製しつつ、試料のパイル上で繰り返し円錐貫入試験を実施し、貨物のパイル上での評価試験方法の開発の可能性について調査・検討した。

基本的には、試料のパイル上での円錐貫入試験結果に基づき、別途決定される水分値の上限に対応する最大円錐貫入力の代表値を求め、試料によらないクライテリアが設定できるか否かを検討すれば良い。しかし、揚荷役現場での試験において予め準備された Boakaine 鉱の試料の水分値が高かったため、水分値の上限に対応する円錐貫入試験結果は得られなかった。そのため、揚荷役現場において最大粒径を 19 mm に調製した試料を作成し、容器を用いずに試料を塊にして供試体を形成し円錐貫入試験を実施した結果と、篩い分けを行わずに試料のパイル上で実施した円錐貫入試験の関係に基づき、篩い分けの必要性を判断した。その結果、試料により、篩い分けを行わない場合と行った場合の最大円錐貫入力の代表値の関係が異なることが分かり、篩い分けが必要と判断したので、以下に報告する。

一方、揚荷役現場における試験のため各精錬所を訪問した結果、貨物全体の性質を代表させるための試料の抽出方法については、荷送り人及び荷受け人が多くの知見を有することが分かった。そのため、試料抽出の問題は、開発したニッケル鉱荷崩れ危険性評価試験法の価値を損なうものでは無いと考えられる。

2 篩い分けを行わない円錐貫入試験結果

試料としては Pomalaa 鉱及び Boakaine 鉱を用いた。試料の粒径分布等については、本文 4.1 節を参照されたい。実験では、約 3 トンの試料を用意し、最初に最大粒径を 100 mm として水分値を計測するとともに、試料の採取量及び試料への加水量を管理し、また、最後にも水分値を計測した。Pomalaa 鉱及び Boakaine 鉱の試料重量及び水分値を表 B.1 及び表 B.2 に示す。表において、太字で示した数字は実測値、斜体で示した数字は計算値である。

表 B.1 Pomalaa 鉱の試料重量及び水分値
(D < 100 mm)

| 試料重量 [kgf] | 加水重量 [kgf] | 採取重量 [kgf] | 試料番号 | 水分値 [%] | | |
|----------------|---------------|---------------|------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | *1 | *2 | 平均 |
| 3425.29 | | | | 28.3 | 28.9 | 28.6 |
| <i>3400.74</i> | | 24.55 | 1 | <i>28.3</i> | <i>28.9</i> | <i>28.6</i> |
| <i>3379.85</i> | | 20.89 | 1 | <i>28.3</i> | <i>28.9</i> | <i>28.6</i> |
| <i>3395.28</i> | 15.43 | | | <i>28.6</i> | <i>29.2</i> | <i>28.9</i> |
| <i>3410.20</i> | 14.92 | | | <i>28.9</i> | <i>29.6</i> | <i>29.2</i> |
| <i>3385.56</i> | | 24.64 | 2 | <i>28.9</i> | <i>29.6</i> | <i>29.2</i> |
| <i>3365.62</i> | | 19.94 | 2 | <i>28.9</i> | <i>29.6</i> | <i>29.2</i> |
| <i>3380.24</i> | 14.62 | | | <i>29.2</i> | <i>29.9</i> | <i>29.6</i> |
| <i>3394.97</i> | 14.73 | | | <i>29.6</i> | <i>30.2</i> | <i>29.9</i> |
| <i>3375.87</i> | | 19.10 | 3 | <i>29.6</i> | <i>30.2</i> | <i>29.9</i> |
| <i>3359.95</i> | | 15.92 | 3 | <i>29.6</i> | <i>30.2</i> | <i>29.9</i> |
| <i>3374.67</i> | 14.72 | | | <i>29.9</i> | <i>30.5</i> | <i>30.2</i> |
| <i>3389.99</i> | 15.32 | | | <i>30.2</i> | <i>30.8</i> | <i>30.5</i> |
| <i>3369.57</i> | | 20.42 | 4 | <i>30.2</i> | <i>30.8</i> | <i>30.5</i> |
| <i>3348.60</i> | | 20.97 | 4 | <i>30.2</i> | <i>30.8</i> | <i>30.5</i> |
| <i>3363.46</i> | 14.86 | | | <i>30.5</i> | <i>31.1</i> | <i>30.8</i> |
| <i>3378.58</i> | 15.12 | | | <i>30.8</i> | <i>31.4</i> | <i>31.1</i> |
| <i>3356.86</i> | | 21.72 | 5 | <i>30.8</i> | <i>31.4</i> | <i>31.1</i> |
| <i>3338.00</i> | | 18.86 | 5 | <i>30.8</i> | <i>31.4</i> | <i>31.1</i> |
| <i>3352.75</i> | 14.75 | | | <i>31.1</i> | <i>31.7</i> | <i>31.4</i> |
| <i>3367.51</i> | 14.76 | | | <i>31.4</i> | <i>32.0</i> | <i>31.7</i> |

表 B.2 Boakaine 鉱の試料重量及び水分値
(D < 100 mm)

| 試料重量 [kg] | 加水重量 [kg] | 採取重量 [kg] | 試料番号 | 水分値 [%] | | |
|----------------|--------------|--------------|------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | *1 | *2 | 平均 |
| 3236.11 | | | | 22.2 | 22.9 | 22.6 |
| <i>3214.67</i> | | 21.44 | 1 | <i>22.2</i> | <i>22.9</i> | <i>22.6</i> |
| <i>3192.52</i> | | 22.15 | 1 | <i>22.2</i> | <i>22.9</i> | <i>22.6</i> |
| <i>3203.47</i> | 10.95 | | | <i>22.5</i> | <i>23.2</i> | <i>22.9</i> |
| <i>3209.31</i> | 5.84 | | | <i>22.6</i> | <i>23.3</i> | <i>23.0</i> |
| <i>3186.82</i> | | 22.49 | 2 | <i>22.6</i> | <i>23.3</i> | <i>23.0</i> |
| <i>3165.98</i> | | 20.84 | 2 | <i>22.6</i> | <i>23.3</i> | <i>23.0</i> |
| <i>3176.25</i> | 10.27 | | | <i>22.9</i> | <i>23.6</i> | <i>23.2</i> |
| <i>3182.46</i> | 6.21 | | | <i>23.0</i> | <i>23.7</i> | <i>23.4</i> |
| <i>3160.40</i> | | 22.06 | 3 | <i>23.0</i> | <i>23.7</i> | <i>23.4</i> |
| <i>3138.77</i> | | 21.63 | 3 | <i>23.0</i> | <i>23.7</i> | <i>23.4</i> |
| <i>3148.61</i> | 9.84 | | | <i>23.3</i> | <i>24.0</i> | <i>23.6</i> |
| <i>3156.11</i> | 7.50 | | | <i>23.5</i> | <i>24.2</i> | <i>23.8</i> |
| <i>3135.92</i> | | 20.19 | 4 | <i>23.5</i> | <i>24.2</i> | <i>23.8</i> |
| <i>3116.02</i> | | 19.90 | 4 | <i>23.5</i> | <i>24.2</i> | <i>23.8</i> |

*1: 円錐貫入試験前に計測した水分値及びそれに基づいて計算した水分値

*2: 円錐貫入試験後に計測した水分値及びそれに基づいて計算した水分値

以下、試料の水分値は、表の右の欄に示した平均水分値で代表させることとする。

篩い分けを行わずに試料のパイルに登って円錐貫入試験を実施した。円錐貫入試験における円錐貫入速度及び深さは、ニッケル鉱荷崩れ危険性

評価試験法と同じである。試験において使用した装置の円錐貫入力の測定範囲が 50 kgf であったため、円錐貫入力が 50 kgf を超えたものは"over"として記録した。試料調製の際にはショベル等による締固めを行わず、円錐貫入試験を実施する箇所について、質量 10 kg、底面の直径 10 cm の鋼製の円筒(把手付き)を同一地点に高さ約 30 cm から 10 回落とすことにより締固めを実施した。円錐貫入試験は、各試料各水分値について 30 回実施した。試験結果を表 B.3 及び表 B.4 に示す。表に示した最大円錐貫入力は、小さいほうから順に並べたものである。

表に示したデータの代表値としては、最小値を用いる方法及び小さい方のデータの平均値を用いる方法が考えられる。30 データのうち、最小値及び小さい方から 3 (全データの 1/10)、6 (1/5)、10 (1/3)、15 (1/2) データの平均値を表 B.5 及び表 B.6 に示す。

表 B.3 Pomalaa 鈹円錐貫入試験結果

| 試料番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|---------------|------|------|------|------|
| 水分値 | 28.6 | 29.2 | 29.9 | 30.5 | 31.1 |
| 番号 | 最大円錐貫入力 [kgf] | | | | |
| 1 | 33.3 | 24.3 | 21.4 | 17.4 | 16.0 |
| 2 | 34.0 | 26.7 | 22.1 | 18.8 | 16.2 |
| 3 | 35.7 | 29.3 | 24.3 | 21.9 | 17.4 |
| 4 | 36.7 | 30.7 | 24.3 | 22.4 | 17.9 |
| 5 | 37.9 | 31.4 | 25.7 | 23.3 | 18.1 |
| 6 | 38.1 | 31.9 | 26.2 | 24.3 | 18.3 |
| 7 | 40.5 | 32.9 | 27.4 | 24.5 | 18.6 |
| 8 | 40.5 | 33.1 | 28.6 | 25.7 | 18.8 |
| 9 | 41.2 | 33.8 | 28.8 | 25.7 | 20.0 |
| 10 | 41.2 | 35.2 | 29.0 | 26.0 | 20.5 |
| 11 | 42.6 | 36.2 | 30.0 | 26.2 | 20.5 |
| 12 | 43.1 | 36.4 | 31.9 | 26.7 | 20.7 |
| 13 | 45.2 | 37.4 | 32.9 | 27.9 | 21.2 |
| 14 | 45.7 | 38.8 | 33.3 | 28.6 | 21.2 |
| 15 | 46.4 | 39.3 | 33.3 | 28.6 | 21.4 |
| 16 | 46.7 | 40.5 | 35.2 | 29.8 | 22.6 |
| 17 | 47.1 | 41.2 | 38.6 | 29.8 | 23.3 |
| 18 | 47.1 | 42.4 | 45.7 | 30.5 | 24.0 |
| 19 | 47.9 | 42.9 | 47.6 | 30.5 | 25.0 |
| 20 | 49.5 | 42.9 | 47.6 | 31.4 | 27.1 |
| 21 | over | 43.8 | 48.3 | 32.9 | 29.3 |
| 22 | over | 45.2 | over | 32.9 | 29.3 |
| 23 | over | 45.7 | over | 33.3 | 36.2 |
| 24 | over | 47.1 | over | 39.0 | 38.6 |
| 25 | over | 48.1 | over | 40.5 | 48.8 |
| 26 | over | over | over | over | over |
| 27 | over | over | over | over | over |
| 28 | over | over | over | over | over |
| 29 | over | over | over | over | over |
| 30 | over | over | over | over | over |

表 B.4 Boakaine 鈹円錐貫入試験結果

| 試料番号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---------------|------|------|------|
| 水分値 | 22.6 | 23.0 | 23.4 | 23.8 |
| 番号 | 最大円錐貫入力 [kgf] | | | |
| 1 | 17.9 | 15.7 | 11.2 | 8.6 |
| 2 | 18.8 | 16.2 | 12.4 | 9.3 |
| 3 | 21.0 | 16.7 | 13.1 | 10.0 |
| 4 | 21.2 | 18.1 | 13.6 | 11.7 |
| 5 | 21.4 | 18.6 | 14.8 | 11.9 |
| 6 | 23.8 | 21.0 | 16.2 | 12.4 |
| 7 | 23.8 | 21.9 | 17.1 | 12.4 |
| 8 | 24.3 | 22.1 | 17.1 | 13.8 |
| 9 | 25.2 | 22.1 | 17.4 | 15.5 |
| 10 | 25.7 | 22.1 | 17.6 | 15.7 |
| 11 | 26.2 | 23.1 | 19.0 | 18.3 |
| 12 | 26.4 | 23.3 | 22.1 | 18.8 |
| 13 | 28.6 | 23.6 | 26.2 | 20.5 |
| 14 | 29.0 | 23.8 | 26.2 | 20.5 |
| 15 | 30.0 | 24.3 | 31.0 | 21.0 |
| 16 | 32.1 | 26.9 | 44.0 | 21.9 |
| 17 | 33.3 | 28.1 | over | 22.1 |
| 18 | 33.3 | 31.0 | over | 22.1 |
| 19 | 36.2 | 35.0 | over | 24.3 |
| 20 | 37.9 | 35.0 | over | 27.9 |
| 21 | 38.1 | 36.2 | over | 28.6 |
| 22 | 39.8 | 41.9 | over | 34.5 |
| 23 | 41.7 | 44.0 | over | 40.5 |
| 24 | 45.2 | 47.6 | over | 48.1 |
| 25 | over | over | over | over |
| 26 | over | over | over | over |
| 27 | over | over | over | over |
| 28 | over | over | over | over |
| 29 | over | over | over | over |
| 30 | over | over | over | over |

表 B.5 最大円錐貫入力の代表値 - Pomalaa (単位: kgf)

| 水分値 [%] | 28.6 | 29.2 | 29.9 | 30.5 | 31.1 |
|---------|------------|------|------|------|------|
| Minimum | 33.3 | 24.3 | 21.4 | 17.4 | 16.0 |
| 平均値 | 3/30 data | 34.3 | 26.8 | 22.6 | 19.4 |
| | 6/30 data | 36.0 | 29.1 | 24.0 | 21.4 |
| | 10/30 data | 37.9 | 30.9 | 25.8 | 23.0 |
| | 15/30 data | 40.1 | 33.2 | 27.9 | 24.5 |

表 B.6 最大円錐貫入力の代表値 - Boakaine (単位: kgf)

| 水分値 [%] | 22.6 | 23.0 | 23.4 | 23.8 |
|---------|------------|------|------|------|
| Minimum | 17.9 | 15.7 | 11.2 | 8.6 |
| 平均値 | 3/30 data | 19.2 | 16.2 | 12.2 |
| | 6/30 data | 20.7 | 17.7 | 13.6 |
| | 10/30 data | 22.3 | 19.5 | 15.1 |
| | 15/30 data | 24.2 | 20.8 | 18.3 |

3 最大粒径を 19 mm に調製した円錐貫入試験結果

揚荷役現場における試験においては、その場で試料を抽出し、最大粒径が 19 mm となるように篩い分けを行い、容器を用いずに試料を固めることにより供試体を形成し、円錐貫入試験を実施し

た。試料は、表 B.1 及び表 B.2 の「試料番号」に示した各状態において抽出し、篩い分けしたものをを用いた。水分計測の結果を表 B.7 に示す。

表 B.7 最大粒径 19 mm 試料の水分値

| Pomalaa | | Boakaine | |
|---------|---------|----------|---------|
| 試料番号 | 水分値 [%] | 試料番号 | 水分値 [%] |
| 1 | 31.4 | 1 | 26.5 |
| 2 | 31.2 | 2 | 27.0 |
| 3 | 32.1 | 3 | 27.4 |
| 4 | 32.3 | 4 | 27.6 |
| 5 | 32.7 | | |

円錐貫入試験は、一つの供試体について 7 回行った。結果を表 B.8 及び表 B.9 に示す。

表 B.8 最大粒径 19 mm 試料に関する円錐貫入試験結果 - Pomalaa

| 試料番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|---------------|------|------|------|------|
| 水分値 | 31.4 | 31.2 | 32.1 | 32.3 | 32.7 |
| 試験番号 | 最大円錐貫入力 [kgf] | | | | |
| 1 | over | 33.1 | 28.8 | 20.7 | 23.3 |
| 2 | 40.5 | 33.8 | 24.0 | 19.5 | 17.1 |
| 3 | 36.9 | 34.3 | 30.0 | 22.1 | 14.8 |
| 4 | 39.3 | 35.2 | 24.8 | 20.0 | 17.4 |
| 5 | 失敗 | 32.4 | 28.1 | 20.5 | 16.9 |
| 6 | 42.9 | 36.9 | 23.3 | 20.7 | 18.3 |
| 7 | 35.7 | 34.8 | 26.7 | 20.0 | 17.6 |
| 平均 | 39.0 | 34.4 | 26.5 | 20.5 | 17.9 |

表 B.9 最大粒径 19 mm 試料に関する円錐貫入試験結果 - Boakaine

| 試料番号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------|---------------|------|------|------|
| 水分値 | 26.5 | 27.0 | 27.4 | 27.6 |
| 試験番号 | 最大円錐貫入力 [kgf] | | | |
| 1 | 16.2 | 10.2 | 9.0 | 8.3 |
| 2 | 13.8 | 11.4 | 9.3 | 7.6 |
| 3 | 15.0 | 15.5 | 9.0 | 10.5 |
| 4 | 13.6 | 11.4 | 11.2 | 10.2 |
| 5 | 14.3 | 11.2 | 9.0 | 10.7 |
| 6 | 15.2 | 11.9 | 9.0 | 8.3 |
| 7 | 12.4 | 10.5 | 10.0 | 8.8 |
| 平均 | 14.4 | 11.7 | 9.5 | 9.2 |

篩い分けを行わない試料の場合と比較すれば、最大円錐貫入力のバラツキは小さいため、試験結果は最大円錐貫入力の平均値で代表させる。但し、Pomalaa 鉞に関する実験のうち、水分値が最も低い状態では、円錐貫入力が"over"を示したデータ及び途中で供試体が割れたため有意な最大円錐貫入力が計測できなかったデータが含まれているため、この試料については、残りの 5 データの平均値を実験結果の代表値とする。水分値と最大円錐貫入力の平均値の関係を図 B.1 及び図 B.2 に示す。

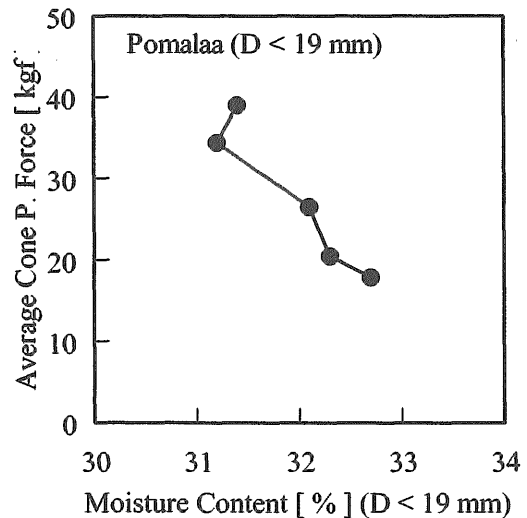


図 B.1 最大粒径 19 mm 試料に関する平均円錐貫入力 - Pomalaa

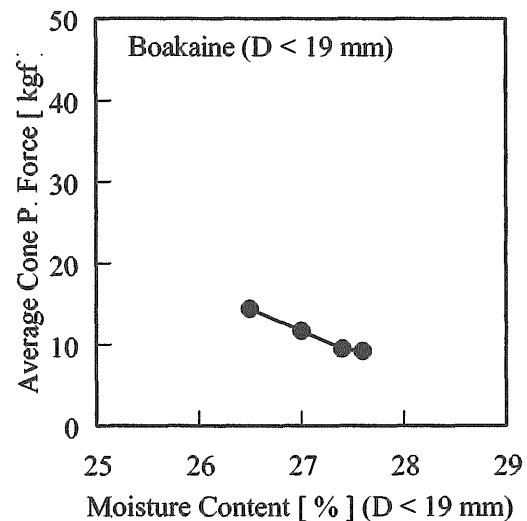


図 B.2 最大粒径 19 mm 試料に関する平均円錐貫入力 - Boakaine

4 篩い分けの有無と代表円錐貫入力

表 B.5 及び表 B.6 に示した篩い分けを行わない試料の円錐貫入力の代表値と、表 B.8 及び表 B.9 に示した最大粒径 19 mm の試料の平均円錐貫入力の関係を図 B.3 及び図 B.4 に示す。図の横軸は、最大粒径が 100 mm の場合の水分値であり、最大粒径 19 mm の試料については、試料を抽出した元の試料の水分値（対応する試料番号の水分値）に基づいてグラフを作成した。図中、記号の無い太線は最大粒径 19 mm の試料の平均円錐貫入力、記号付きのものが篩い分けを行わない試料の代表円錐貫入力であり、下から順に最小値、30 データのうち小さい方から 3、6、10、15 データの平均値である。