

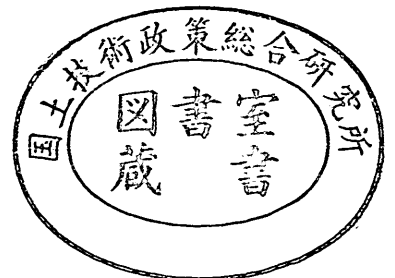
運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 10 NO. 2 June 1971

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。

報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the numbers of papers in concern.

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第 10 卷 第 2 号 (Vol. 10, No. 2), 1971年 6 月(June 1971)

目 次 (CONTENTS)

1. 島堤による波の反射および回折に関する研究
.....合田良実, 吉村知司, 伊藤正彦..... 3
(Reflection and Diffraction of Water Waves by an Insular Breakwater
.....Yoshimi GODA, Tomotsuka YOSHIMURA, Masahito Iro)
2. 漂砂の連続的な現地観測について
——海底地形変動に関する一考察——
.....入江 功, 天坂三朗..... 53
(On the Continuous Observation of Littoral Drift in the Field
—A Note on the Variation of the Sea Bottom Level—
.....Isao IRIE, Mitsuaki TENSUKA)
3. 新しい方法による波動の数値計算
——防波堤周辺の波高分布への適用——
.....伊藤喜行, 谷本勝利..... 97
(A New Method of Numerical Analysis of Wave Propagation
—Application to Wave Height Distribution along Breakwater—
Yoshiyuki Iro, Katsutoshi TANIMOTO)
4. 水面波の 2, 3 の性質について
.....浜田徳一..... 121
(On Some Properties of Water Surface Waves
.....Tokuichi HAMADA)
5. 河口侵入波におよぼす河口流の効果
.....金子安雄, 上野信行..... 147
(Experimental Study On Wave Height Damping Effects Due to Opposing Current
.....Yasuo KANEKO, Nobuyuki UENO)
6. 粗粒径土砂混合水による鋼材の摩耗特性について
.....宮崎昭児, 奥出 律, 津村悦夫..... 163
(Abrasion Properties of Steels against Coarse Solid-Water Mixtures
.....Shoji MIYAZAKI, Tadasu OKUDE, Etsuo TSUMURA)

6. 粗粒径土砂混合水による鋼材の摩耗特性について

宮崎 昭 児*・奥 出 律**・津 村 悦 夫***

要 旨

土砂混合水の流動により生ずる水力浚渫関係の部材の摩耗に関する基礎資料を得るために、粗粒径土砂混合水の流速と土砂粒子径が鋼材の摩耗に及ぼす影響を回転式摩耗試験機を用いて調べた。

試験は、平均粒径が5.3mm, 2.8mm, 0.84mmの3種の土砂を水と重量比で2.67:1の割合に混合した土砂水が0.83~2.08m/sの速度範囲で流動したときの、鋼材3種とゴム材2種の摩耗特性を検討したものであるが、本試験方法では、土砂混合水の流れ中に試験片を置くため後流による影響が著しく現われるので、試験片形状の摩耗試験に及ぼす影響についても言及した。

その結果、試験片の形状としては細いものが好ましく、その時、鋼材の摩耗量は土砂混合水速度の2.5乗に、またゴム材の摩耗量はその1.7乗に比例することがわかった。一方、土質による影響はほぼ粒子径に比例することを示唆する結果を得た。

試験片が土砂混合水の流れより受ける抵抗は、本試験方法においては、摩耗量表示の有効な1因子であることがわかり、それが土砂混合水速度のほぼ1乗に比例したので、結局摩耗量は抵抗の約2.5乗に比例する関係が得られた。

* 機材部浚渫ポンプ主任研究官

** 機材部流体輸送研究室

*** 機材部特殊作業船開発室

Abrasion Properties of Steels against Coarse Solid-Water Mixtures

Shoji MIYAZAKI* · Tadasu OKUDE** · Etsuo TSUMURA***

Synopsis

For the purpose of obtaining the fundamental data for the abrasive wear of materials employed in hydraulic dredging machineries, a laboratory experiment has been carried out on the abrasion of steel materials against coarse solid-water mixtures, and influences of the velocity of mixture and the grain size (or the kind of soil) on the abrasive properties have been examined by the abrasion testing machine with a rotating basin filled with a solid-water mixture.

Three kinds of steels and two kinds of rubbers were tested in the velocity range of 0.83m/s to 2.08m/s. The mixture consists of three kinds of soil with a mean grain diameter of 5.3mm, 2.8mm and 0.84mm respectively, each of which was mixed with water by 2.67 : 1 (weight).

In the testing method adopted here, the wear may be greatly affected by the wake which the specimen put in the flow of mixture generates. Therefore, an influence of the shape of specimen on the abrasive properties was further referred.

The test results revealed a slender type of specimen was preferable, and that the wear for steels was in proportion to the 2.5 power of the velocity of mixture, while for rubbers to the 1.7 power of that.

Resistance acting on the specimen was proved to be an available factor which might represent the abrasive properties and nearly proportional to the velocity of mixture. Therefore, the wear is in proportion to the 2.5 power of this resistance.

* Senior research Engineer, Machinery Division

** Member of Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division

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

目 次

1. ま え が き	165
2. 摩耗試験方法	165
2.1 回転式摩耗試験機と試験片	165
2.2 試験条件	166
3. 供試材料と試験の種類	166
3.1 試験片材質および研磨材	166
3.2 試験の種類	167
4. 試験結果と考察	167
4.1 摩耗面積と摩耗状況	167
4.2 試験片に作用する抵抗	168
4.3 土砂混合水速度による影響	170
5. ま と め	172
6. あ と が き	173
参考文献	173
附 図	174

1. ま え が き

浚渫船の浚渫用主要部材は作業下で常に摩耗環境にさらされている。特に水力浚渫関係の部品、例えばポンプ、カッター、排砂管あるいはドラグヘッドなどは、浚渫土砂粒子が部材表面を勢いよく摺動通過するためその部分の摩耗は著しく⁽¹⁾⁽²⁾、その対策に費やされる時間と労力と経費は毎年相当な額に達するといわれている。浚渫コストの経済性向上のためには、これら部品の寿命を延ばすことが必要であり、それには耐摩耗材質の開発、耐摩耗形状の研究などと共に摩耗量の適確な算定方法の確立もまた重要な課題のひとつである。これらはそのいずれを取上げるにしても、まず必要なことは、土砂混合水の流動により生ずる摩耗現象の基本的な機構の解明であろう。

従来、金属材料の摩耗に関しては、いわゆる金属間の摩耗特性についての研究が多くなされている。しかしながら、その研究結果をそのまま土木、建設機械のように土砂や岩石を掘削したり、重荷重を受けながら土中を運動する機械の部品の摩耗に対して用いることは適切ではない。土や岩石を相手とした場合の金属材料の摩耗に関する研究は、乾燥土砂による摩耗を対象としたもの^{(3)~(6)}、砂粒混在の流水による摩耗を対象としたもの^{(9)~(10)}とに大別できるが、この分野の研究資料が少ないのは、相手となる土や岩石の種類が広範多岐にわたるため作業条件(あるいは接触条件)が少しでも異なれば同一材質の部材でも摩耗状況に著しい差異が生じ、その画一的な取扱いが難しいことにある、といっても決して過言ではなからう。換言すれば、材料の一般的な物理的性質とか機械的性質は、同じ材質に対しては試験機の種類が異なっても大略同一の測定値を示すか、あるいは適当な換算によってその間の関連を求めることができるのに対し、摩耗試験においては、試験機の形式あるいは試験方法により同一材質でも摩耗結果に著しい差が生じ、またその測定値間の相関関係についてもまだ十分明らかにされていない⁽¹¹⁾ということであり、したがって、摩耗試験でより、正確なつまりより実用的な資料を得ようとするれば、それぞれの材料の用途に応じ使用条件、使用状態により近い環境の下で試験を行なわなければならないとされている。

一般に、部材の摩耗機構は複雑で一見単純にみえる摩耗現象でも幾かの様式の摩耗機構が同時に生じている。本報告は、ポンプ浚渫船における部材摩耗の主たる摩耗機構といわれる研削摩耗⁽¹²⁾に関する一連の研究のひとつとして、土砂混合水中の土砂の粒子径(特に粗粒子)と

流速が鋼材の摩耗に及ぼす影響について、および試験片形状の摩耗試験に及ぼす影響について、回転式摩耗試験機を用いて検討した結果をまとめたものである。

2. 摩耗試験方法

2.1 回転式摩耗試験機と試験片形状

試験機の構造は図-1のごとく、土砂混合水を容れる

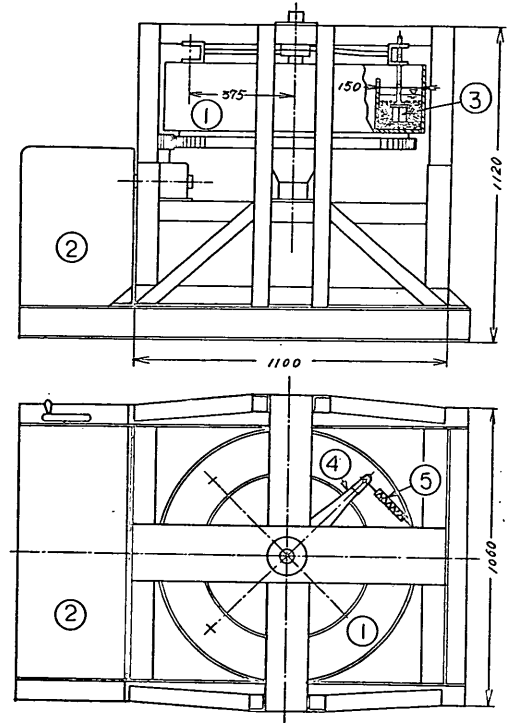


図-1 回転式摩耗試験機

回転容器①とその駆動装置②からなっている。試験片③はアーム④によって回転軸より375mmの位置に90°間隔に4本取付けられる。したがって、このときの試験片間距離は約590mmである。試験片が土砂混合水より受ける抵抗はアームを支えるばね秤⑤によって測定される。試験機は駆動部に無段変速機を備えており、試験片取付け位置すなわち半径375mmの円周上で0.83m/sから最高約2.5m/sまでの間の任意の速度を得ることができるが、容器の回転に伴い中の土砂混合水が遠心力を受け外周に片寄るため、周速が大きすぎると試験片に作用する土砂混合水の流れが一様でなくなる。予備実験によれば周速約2.1m/s以下であれば遠心力による影響も少なく、また試験片にも十分に土砂水が接触することが確

められたので、試験は0.83m/s～2.08m/sの範囲で行なうことにした。

流れの中に置かれた物体は、その形状と流れに対して置かれた状態によって受ける抵抗の大きさが異なる。この種の摩耗試験では、試験片形状が異なれば当然受ける抵抗も異なるからたとえ同一の試験条件であっても摩耗量に差異が生ずるのであろう。このため試験片の形状については予備的検討を行ない、試験機構造上の制約と試験片工作上の問題とを考慮し、今回の試験では円筒形状を採用することにした。試験はこの円筒の大きさが摩耗試験に及ぼす影響についても言及することにし、図-2に示した形状のもの3種類（Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型）を製作した。

試験片を試験機に取付けるとき、試験片底部と回転容器底との間隔の大小により試験片底面の摩耗量に著しい

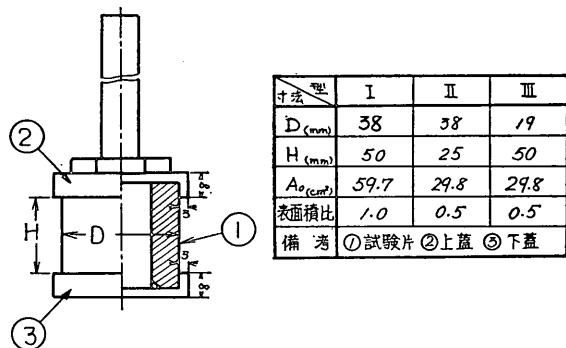


図-2 試験片の形状とその寸法

差異が生ずる。これはその間に土砂粒子が溜り込もうとするために摩擦力が大きくなるためと思われるが、この影響を除くために、試験片①の上下端に蓋②③（図2参照）を被せ、試験片の円筒側面にのみ摩耗が生ずるようにした。試験片の取付けは、全試験を通じ回転容器底と試験片下蓋との間が10mmになるようにした。

試験片の形状を円筒形としたのでその製作には旋盤を使用した。試験片の表面は旋盤仕上げのまま試験に供したが、そこは当然機械加工による表面硬化を受けているので、それが試験に及ぼす影響を少なくするために試験時間はできるだけ長くすることにした。

2.2 試験条件

摩耗量を試験片の重量変化で測定する場合、精度よい測定値を得るためには使用する測定天びんの最小目盛（今回の試験では0.01g）以上の摩耗量が必要である。摩耗量は試験片の材質、相手となる土砂（研摩材）の種類、またその流動速度などによって著しく異なるから厳

密には個々の材質に対し試験時間は変えるべきであろう。今回の試験では、最低速度0.83m/sのときの予備実験から1回の試験に20時間以上とれば試験片表面の加工硬化による影響も少なく、摩耗量もほぼ試験時間に対して一次的に比例する、つまり十分に定常摩耗領域にはいることが確認され、またこの場合研摩材の粒径の変化もあまりなかったので、この程度の試験時間を基準にとることにした。ただ摩耗試験では、研摩材の破碎摩滅という試験条件の変化による影響は非常に大きいから、試験時間そのものよりもむしろ走行距離を問題にすべきである。そこで、研摩材については、予備実験で求められた試験時間に相当する試験機の積算回転数に重点を置き、約2,000回転毎に土砂水を取替えることにした。

摩耗量の測定はこれとは別個に、試験片の摩耗状況を見て5～40時間毎に4～5回連続して行ない、累加的に処理した。

試験機には同時に同型4種（又は2種）の試験片を取付けて試験を行なった。試験機の回転速度は試験片取付け位置での周速で表示し、つぎの5速度とした。

試験速度 m/s	0.83	1.04	1.25	1.66	2.08
速度比	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5

土砂と水の混合比は全試験を通じ一定とし、その割合は土砂40kgに対し水15kgすなわち重量比で2.67:1とした。土砂混合水は試験機回転容器の中で液相の上層部と粒子間に水のはいった固一液相の下層部とに分離してしまうが、この割合に土砂をとれば、いずれの型の試験片に対しても十分な固一液相の深さが確保できた。

3. 供試材料と試験の種類

3.1 試験片材質と研摩材

ポンプ浚渫船の耐摩耗部品用材質としては一般に（特殊）鋳鋼が、また排砂管にはSS材が多く使用されている¹⁰⁻¹³。試験に使用した素材はこの中でも最も一般的なSS41, S20C, SNC1, の3鋼材とゴム材2種の計5種類である。鋼材3種の機械的性質はJISに定める範囲にあったのでここでは説明を省略し、ゴム材の特性のみを表-1にあげた。ゴムⅠ試験片の材質は耐摩耗材質としては適切とは思われなかったが、参考資料を得るという目的で試験に供した。

研摩材としては表-2にあげたA, B, C3種の土砂を使用し、いずれも供試前に規定の篩を通し粒径をそろえた。図-3はこの試料の粒径加積曲線である。試験機回転数約2,000回転後の回転容器内の土砂を上層部と下層

粗粒径土砂混合水による鋼材の摩耗特性について

表-1 ゴム試験片の素材特性

材料名	引張強さ kg/cm ²	伸び(%)	硬さ Hs	比重	素 材
ゴ ム I	80	685	57	1.16	天然ゴム, スチレンゴムおよびネオプレンのブレンド スチレンゴムとネオプレンのブレンド
ゴ ム II	190	350	68	1.20	

表-2 研摩材の種類

研摩材	名 称	粒 径 mm	d ₅₀ mm	真 比 重	形 状	産 地
A	砂 利	4.0~6.73	5.3	2.83	球ないし楕円	相 模 川
B	砂 利	2.0~4.0	2.8	2.81	球ないし楕円	相 模 川
C	粗 砂	0.25~2.0	0.84	2.64	角ばったもの	足 洗

表-3 試験の種類

試 験 片	研 摩 材	試 験 機 回 転 速 度 (m/s)				
		0.83	1.04	1.25	1.66	2.08
I	A	○	○	○	○	○
	B	○	○	○	○	○
	C	○	○	○	○	—
II	A	○	○	○	—	○
	B	○	○	○	—	○
	C	○	○	○	—	—
III*	A	—	○	○	○	○
	B	—	○	○	○	○

* S20C およびゴム材については試験せず。

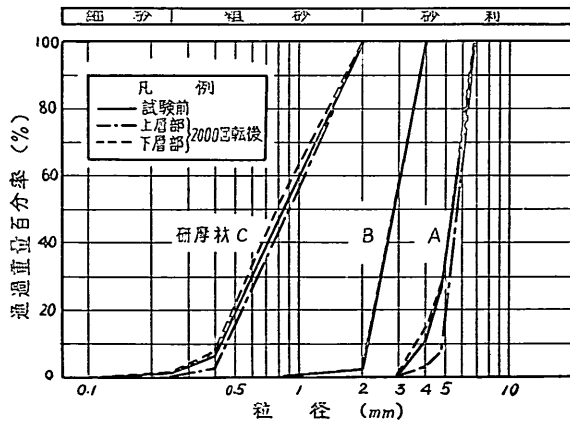


図-3 研摩材の粒径加積曲線

部とに分けて採取し、それぞれ篩分け分析した結果も同図に記入したが、上層部には比較的粗い粒子が下層部に

は細かい粒子が存在していた。

3.2 試験の種類

実施した試験の種類は、表-3 の如く試験片形状、研摩材の種類、および試験機回転速度（以下土砂混合水速度または流速と言う）の組合せで決まる。試験片 I 型による一連の試験で摩耗量と土砂混合水速度との相関が概略把握できたので、試験片 II 型と III 型については速度の種類をひとつ減らし 4 速度とした。

研摩材 C においては、試験中種々の不都合が生じてきたため、試験数を他の研摩材の場合よりも少なくした。

4. 試験結果と考察

4.1 摩耗面積と摩耗状況

一般に、単相流体の流れの中に物体を置くとそのうしろ側に過流領域が生ずる。土砂混合水の場合にもこれと同じ現象が生ずるが、土砂粒子の慣性があるため低流速のときでも試験片のうしろ側に全く土砂混合水

に接触しない部分ができる。その大きさは試験片の形状あるいは土砂粒子の大きさ、流速などによって異なるから、摩耗量としては単に減少した重量のみを問題にするのではなく、単位摩耗面積当りの摩耗量を考えなければならぬ。一般に、摩耗面積とは土砂粒子が接触した部分の面積を考慮することができるが、摩耗面を観察するとそこにおける摩耗量の分布は必ずしも一様でなく、流れに対する物体の形状、置かれた状態によって著しい差があることは、本試験における観察結果からも明瞭である(図-4)。このため単位摩耗面積当りの摩耗量ではまだ十分でなく、摩耗量の分布を考慮した単位摩耗面積当りの摩耗量でなければならないが、今回の試験はそこまで厳密に考えず、平均摩耗量という意味で前者の立場をとった。

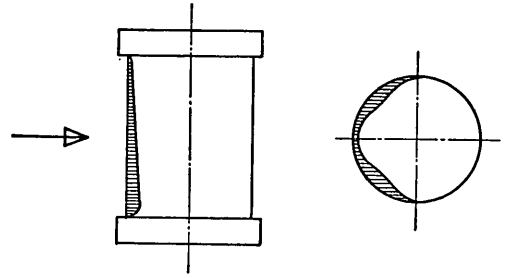


図-4 試験片の摩耗状況

境界が明瞭でないため測定時に誤差を含み易く、またその条件の下での測定値間にも大差はなかった(平均値の5%以内)、摩耗面積は3研摩材に対する各摩耗面積の平均値とした。

摩耗面積が渦流の影響を受けることは土砂混合水の速度が大きくなるとともに摩耗面積が減少してゆくことでも明瞭にわかる。特に2.08m/sでは、その面積は試験

片-4 は土砂混合水の速度に対する各試験片の摩耗面積の実測値である。同一速度でも土砂の種類によって摩耗面積は異なったが、摩耗を受けた面と受けない面との

表-4 土砂水速度と摩耗面積の関係

土砂水速度 m/s	試験片 I		試験片 II		試験片 III		A ₂ /A ₁	A ₃ /A ₁
	A ₁ cm ²	A ₁ /A ₀₁	A ₂ cm ²	A ₂ /A ₀₂	A ₃ cm ²	A ₃ /A ₀₃		
0.83	48.5	0.812	28.8	0.966	—	—	0.594	—
1.04	44.8	0.750	27.4	0.920	22.0	0.738	0.612	0.491
1.25	43.7	0.732	26.7	0.896	21.7	0.728	0.611	0.497
1.66	41.6	0.697	—	—	20.3	0.681	—	0.488
2.08	31.3	0.524	19.3	0.648	18.0	0.604	0.617	0.575
						平均	0.609	0.513

片側面積の約半分となり、うしろ半分は全く摩耗しない状態となった。

試験片Ⅱ型の摩耗面積が他に比べ多くなっているのは、試験片の高さがⅠ型、Ⅲ型の1/2であることによるものであろう。この場合試験片は土砂混合水中に深く入るため、試験片上部よりおおい被さる土砂粒子によって試験片の後側にも摩耗する部分が生ずるためと考えられる。

図-4にも示したように、試験片下部の摩耗は上部の摩耗よりも多く、また円周断面では、流れの正面より少し両側に沿ったところの摩耗が著しい。前者は土砂混合水の濃度が垂直方向で一様でない、つまり上層部は下層部よりも粗状態にあることを示唆するのであろう。これには土砂混合水の流動性の程度と後流による影響が原因していると思われるがこの点については後述する。

一方、後者の原因は試験片の正面に衝突した粒子が両側に分流する際回転容器側壁の影響を受けてその部分の土砂混合水の密度が局部的に大きくなり、その結果摩擦力が増大するためと思われる。

4.2 試験片に作用する抵抗

単相の流れの中に置かれた物体に作用する抵抗Dは、形状抵抗D_pと表面摩擦抵抗D_fとの和によって表わされる。

$$D = D_p + D_f \quad \dots\dots(1)$$

形状抵抗は物体の表面に作用する圧力による抵抗であり、表面摩擦抵抗は物体表面に働く摩擦応力に基づく抵抗である。この理論が土砂混合水という二相流の流動による物体の摩耗にまで拡張できるとすれば、前者は切削あるいはえぐり摩耗を生ずる要因であり、後者は主にひ

粗粒径土砂混合水による鋼材の摩耗特性について

つき摩耗を生ずる要因となると考えられる。

いま、土砂混合水の時に受ける抵抗を D_m とし、水のみのときに受ける抵抗を D_w とすれば、ば土砂粒子の混在による附加抵抗 ΔD は近似的に

$$\Delta D \doteq D_m - D_w \quad \dots\dots(2)$$

によって表わすことができる。 D_m 、 D_w は実測により知ることができるから、附加抵抗 ΔD は求められる。

ばね秤によって測定した抵抗値の中には、試験片とそれを支える棒や上下蓋に作用する抵抗もすべて含まれているが、水のみときに受ける抵抗もやはり同じ条件下で測定されたものであるから、両測定値の差が ΔD と考えても差支えない。

D_w の測定値は、最大となる試験片 I 型、速度 2.08m/s のときでも 0.3~0.35kg で、他の場合はほとんど $D_w \doteq 0$ とみなせる程小さな値であった（ばね秤の最小目盛 0.1 kg 以下）。

図-5 は、各試験片の研摩材 A, B, C に対する D_m の値を土砂混合水速度との関係で示したものである。これを $D_m \propto u^{b_1}$ で表わすとすれば、 b_1 の値は表-5 となる。

D_m の絶対値で比較すると、流速が一定ならば研摩材 C に対して D_m は最も大きく、ついで研摩材 A, B の順となっている。この順序は試験片形状が異なっても変わらない。乾燥砂と異なり土砂に水が加わると構成粒径（粒形）の相異によって土砂の締り程度に差が生ずる。砂質土は砂利などよりよく締まるし、同じ砂質土でも粗砂よ

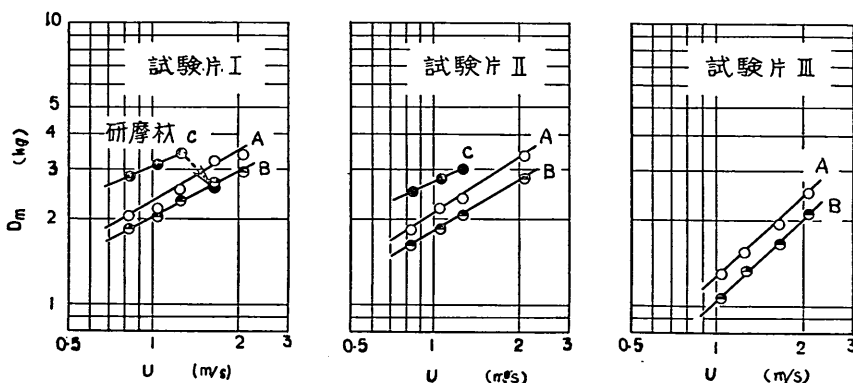


図-5 土砂混合水速度に対する試験片に作用する抵抗

表-5 $D_m \propto u^{b_1}$ における b_1 の値

研 摩 材	試験片 I	試験片 II	試験片 III
	b_1	b_1	b_1
A	0.58	0.65	0.99
B	0.56	0.64	0.97
C	0.44	0.50	—
A と B の平均	0.57	0.65	0.98

り細砂の方が硬く締る。例えば予備実験に細砂を用いた時には非常に硬く締り、容量 10 kg のばね秤では測定が不可能な程大きな抵抗を示した。

この研摩材の締り具合による影響が図-5 のような結果となって現われたと考えられる。

一方、締り度が大きいということは流動性が小さくなったということを意味するから、一度そこに溝がつけられるともとの状態に戻るのに時間を要することになり、

もし完全にもとの状態に戻る迄につぎの試験片がくれば、そのときの抵抗は攪乱を受けていない場合より小さくなるはずである。この影響が顕著に現われたのが研摩材 C に対する場合で、他の研摩材に比べ b_1 の値が小さくなっている。特に $u=1.66\text{m/s}$ では試験片の幅に明らかな溝がついてしまい、その結果 D_m の値は激減した。(図5 試験片 I 参照)。

土砂混合水の流動性の大小による影響は、単に砂質土のみならず砂利における場合にも生じると考えなければならない。ひとつの試験片に衝突した粒子がつぎの試験片のところにくるまでの時間が短い高速時には、攪乱された粒子が完全にもとの状態に戻りえず、粗の状態ですぎの試験片に衝突するようになる。この傾向は土砂混合水の下層部より上層部において著しいから、この点を考慮すれば、流速の大きい領域での D_m の値は測定値よりも大きな値となろう。

試験片 I, II, III の順に b_1 の値が増加しているのは

試験片の大きさと関係がある。すなわち、試験片が小さければ土砂混合水を攪乱する割合が小さく、後流による影響もほとんどなくなるので b_1 の値は増大する。この傾向は試験片が細い形状ほど試験範囲の全領域で同一の試験条件を得ることが可能となることを意味する。本試験機で4個の試験片を同時に試験する場合には、試験片形状としてはⅢ型が最も好ましく、その場合試験片の受ける抵抗は粗粒径土砂混合水速度の約1乗(0.99~0.97乗)に比例した。

土砂混合水の流動度が大略同程度と思われる研摩材AとBとの間に D_m の絶対値の差がみられるのは、粒子の大きさのちがいで、粒子が試験片に衝突する際の運動量に差があるためであろう。

4.3 土砂混合水速度による影響

各試験の結果を試験機回転数 N と単位摩耗面積当りの摩耗量 W/A の関係として附図-1~附図-9に示した。両者の関係はほぼ1次式で表わすことができるが、これは試験機形式の異なる文献(6)の乾燥砂による各種金属材料の摩耗試験結果と同じ傾向を示している。今回の試験では特に初期摩耗から定常摩耗への過程については触れなかったが、この結果から、試験は定常摩耗の条件下で行なわれたと考えてよからう。

研摩材AとBに対する安定した摩耗過程に反し、研摩材Cに対しては非常に不安定なばらつきの多い試験結果を得た。附図-9はSS41材の研摩材Cに対する摩耗結

果であるが、研摩材A, Bで得られたような傾向はもたない。これは他の素材についても同様であった。この原因は、砂質土に対しこの試験方法を適用した場合、粒子の粉砕摩滅による粒形の鈍化が著しく、摩耗量が土砂混合水速度に比例しないためである。これは常に研摩材の処女面が試験片に接しない限り、換言すれば、頻繁に研摩材を取替えない限りこの試験方法の適用は不可能であるということを示唆する。今回の試験では、単に粒径の変化のみに重点を置き、粒形の変化を十分に考慮しなかったことがこのような結果となって現われたもので、このため、以後の解析からはこの研摩材Cに対する試験結果を除くことにした。

$N-W/A$ の関係より土砂混合水速度 u に対する摩耗量 $W/A/N$ の関係を求めたのが図-6である。同一流速で比較すると、研摩材Bに対するより研摩材Aに対する方が摩耗量が多いが、これは4.2でも述べた粒径のちがいによる粒子の運動量の差と見るべきであろう。同一研摩材について比較すれば、試験片Ⅲ型の摩耗量がⅠ型やⅡ型の摩耗量よりも多い。これも4.2で述べた試験片の受ける抵抗と関係があり、後流の影響の少ないⅢ型の摩耗が他の2試験片より多くなっているためである。

いま、図-6の関係を $W/A/N = a_2 u^{b_2}$ という式で表わすとすれば、 a_2, b_2 の値はそれぞれ表-6の値となった。

鋼材3種のみをみれば、摩耗量は土砂混合水速度の

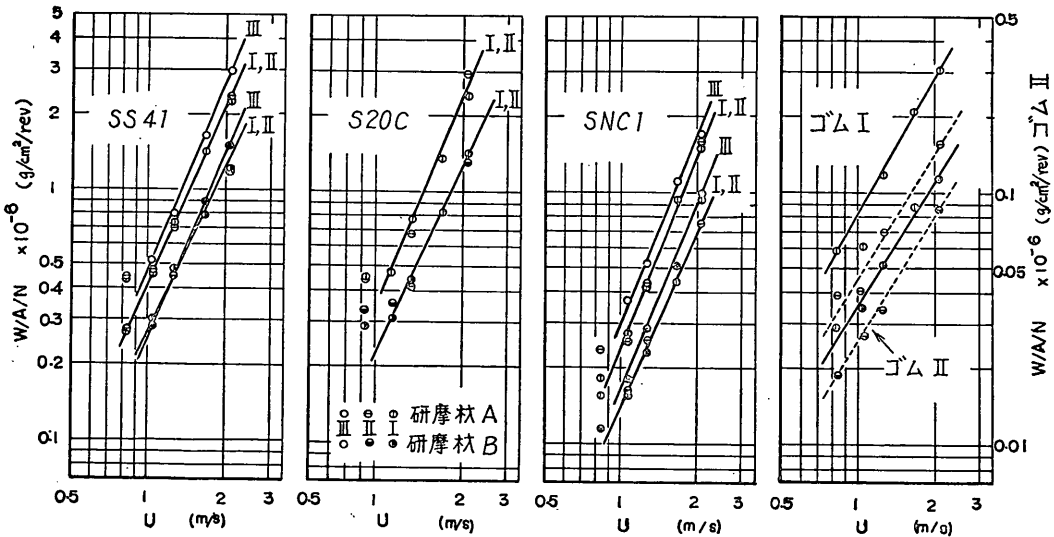


図-6 土砂混合水速度と摩耗量

粗粒径土砂混合水による鋼材の摩耗特性について

表-6 $W/A/N = a_2 u^{b_2}$ における a_2, b_2 の値

材質名	研摩材	試験片	$a_2 \times 10^{-6}$	b_2	平均	
					$a_2 \times 10^{-6}$	b_2
SS41	A	I, II III	0.40	2.39	0.44	2.45
			0.47	2.50		
S20C	B	I, II III	0.265	2.20	0.26	2.35
			0.250	2.49		
S20C	A	I, II III	0.42	2.52	0.42	2.52
			0.27	2.25		
SNC1	B	I, II III	0.240	2.49	0.15	2.41
			0.295	2.48		
ゴム	A	I II	0.80	1.82	—	1.74
			0.35	1.65		
ゴム	B	I II	0.044	1.70	—	1.70
			0.025	1.69		
鋼材3種平均				2.41		
試験片IIIの平均				2.49		

2.2~2.52乗(平均2.41乗)に比例するが、試験片I型とII型は後流による影響を受けているので実際よりは小さい値を示していると考えなければならない。したがって、土砂混合水速度の鋼材の摩耗に及ぼす影響は試験片III型の試験結果とみるべきで、そのとき摩耗量は流速の2.49乗に比例した。

ゴム材における摩耗の傾向も、研摩材に対しては鋼材の場合と同様であるが、流速による影響は1.65~1.82乗と鋼材の場合よりも小さい値を示した。砂利のように角のない丸味をおびた粒子の場合は、粒子がある速度をもってゴム表面に衝突してもその運動量の一部が吸収されるため、えぐり摩耗の発生が鋼材の場合より少なくなるためと考えられる。ゴムIとIIとは摩耗量の絶対値で約20倍近く差があるが、これがゴム材の硬度によるものか、あるいは引張強さ等によるものか今回の試験範囲ではわからない。いずれにしてもゴム材の場合は、素材の特性によって耐摩耗性の差異が鋼材の場合より顕著に現われるようである。

本試験で得られた b_2 の値は、文献(1)の2.21乗、文献(4)の2.13乗よりも大きい、これは両者の試験がいずれ

も管路において行なわれたものであるから、えぐり摩耗による影響が本試験方法よりも少ないためであると解される。

摩耗機構の相異による摩耗量の変化については文献(12)、(13)によっても知られる。これは曲率半径をもつ曲面壁に沿って砂粒混在流水が流動した場合の曲面壁の摩耗を論じたものであるが、これによると摩耗量は流速の2.91乗に比例すると報告されている。本試験方法はこの噴流による摩耗試験ほど衝突あるいはえぐり摩耗が多くないから、ここで得られた b_2 の値はほぼ妥当なものと思われる。

つぎに鋼材材質と摩耗量について考察すると、SS41材の摩耗量を1としたとき、S20CおよびSNC1はそれぞれ1と0.6という比率になっている(b_2 が同じであるとみなし、 a_2 の比より求めた)。この比率は研摩材の種類が変わってもほぼ同一であるが、研摩材による差つまり土砂粒子径による差は研摩材AとBで約1:0.6の比率で、これは両者の粒径比(1:0.53)に非常に近い。

図-5と図-6より試験片に作用する抵抗 D_0 と摩耗量 $W/A/N$ との関係を求めたのが図-7である。図は摩耗

量は粒径、流速に関係なく $W/A/N \propto D_m^{0.6}$ で表わされることを示している。試験片に作用する抵抗 D_m は、摩擦に大きな影響を及ぼす2因子、つまり粒径と流速を含んだ値である。換言すれば、 D_m は土砂混合水のもつ摩擦エネルギーともいべき値と考えることができるから、少なくとも本試験方法においては、摩擦量表示の有効な1因子となり得よう。

図-7 では、試験片形状の摩擦に及ぼす影響が一層顕著に現われた。後流の影響がないⅢ型の摩擦が最も大きく、ついでⅡ型、Ⅰ型の順になっている。本図は試験片4個を同時に試験機に取付けて試験した場合の結果であるが、もしⅡ型、Ⅰ型を用いて試験する場合、取付ける試験片の個数を減らせば、試験片間の距離が長くなるので後流の影響もそれだけ減少しⅢ型の傾向に近づくこと

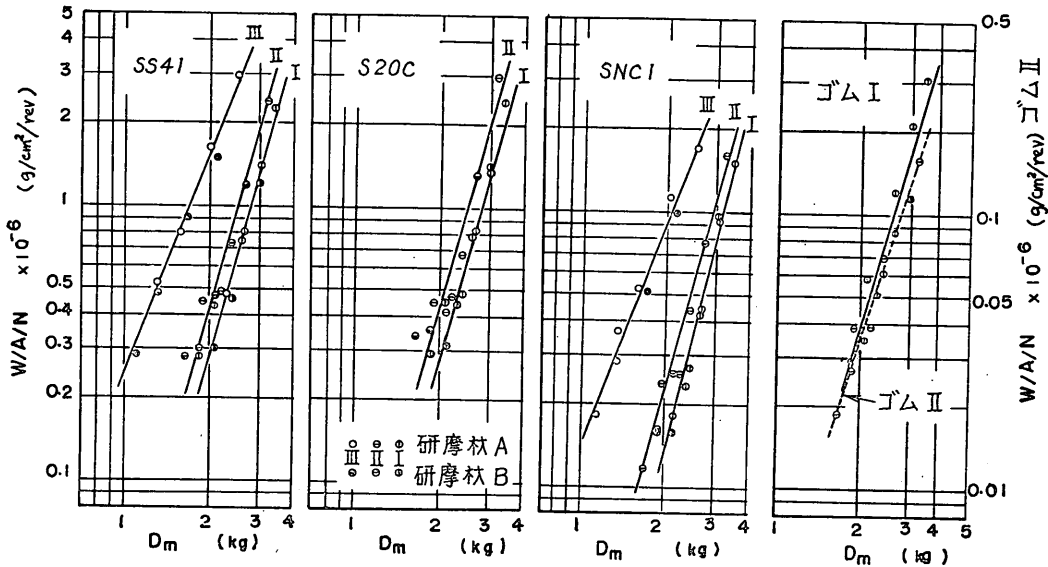


図-7 試験片に作用する抵抗と摩擦量の関係

になる。

摩擦量は粗粒径土砂混合水速度の約2.5乗に比例し、試験片が土砂混合水より受ける抵抗が流速の約1乗に比例したから、結局図-7のごとく摩擦量はこの抵抗の約2.5乗に比例することになる。

5. まとめ

回転式摩擦試験機により粗粒径土砂混合水による鋼材の摩擦特性を調べた。摩擦試験機の構造上、試験した土砂混合水速度は0.83~2.08m/sの小さな範囲に限られ、また土砂混合水の濃度も重量比で土砂2.67:水1の1種類だけであったが、土砂の粒径、流速の摩擦に及ぼす影響が明らかになった。この種の摩擦試験においては、試験片の形状が摩擦に大きな影響を及ぼすと思われるのでその点についても言及し、本摩擦試験機によって摩擦試験を行なう場合のその実用性を調べた。試験結果をまとめるとつぎのようになる。

1) 試験片を土砂混合水流れの中に置くため、土砂粒

子の慣性による剥離領域が試験片後側に著しく生じ、その部分は全く摩擦しなくなる。よって、摩擦量としては、単位摩擦面積当りの摩擦量を考慮すべきである。

2) 試験片が土砂混合水より受ける抵抗は、流速、研摩材の種類、試験片形状等によって異なるが、後流の影響を受けない細い円筒形試験片(本試験におけるⅢ型)の場合、抵抗はほぼ流速の1乗に比例する。

3) 鋼材の摩擦量は流速の約2.5乗(試験片Ⅲ型の場合)に比例する。この値は管路による摩擦試験結果より大きく、噴流による試験結果よりも小さい。この差は、試験方法の相異による摩擦機構の影響と思われる。

4) SS41, S20C, SNC1の摩擦量はおよそ1:1:0.6であった。この比率は土砂の種類が異なっても変わらないが、土砂の粒径と摩擦量の関係は大略粒径に比例するようである。

5) ゴム材は土砂粒子が衝突する際そのエネルギーの一部が吸収されるため、流速が増しても摩擦量は鋼材ほど増大せず、流速の約1.7乗に比例する。

6) 試験片が粗粒径土砂混合水より受ける抵抗を摩耗量表示の1因子にとれば、粒径、流速に関係なく表示でき、 $W/A/N \propto D_m^{2.5}$ (試験片Ⅲ型のとき) という関係が得られた。

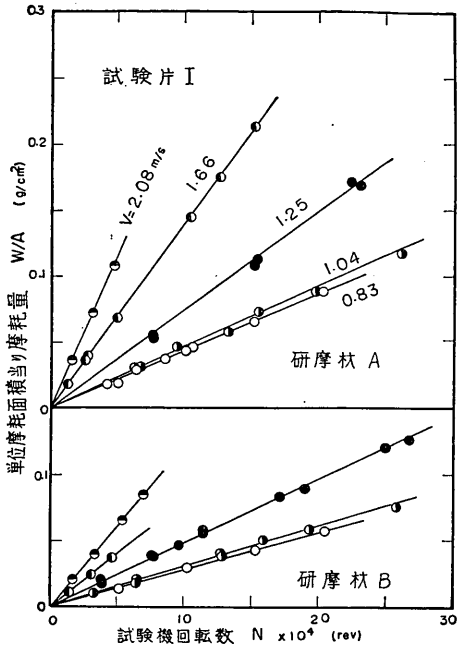
6. あとがき

本試験は、水力浚渫用摩耗部材の摩耗特性を解明することを目的とした一連の研究のひとつとして、土砂混合水の流速および土砂粒径が鋼材（および参考としてゴム材）の摩耗に及ぼす影響を調べたものである。回転式摩耗試験機による本試験結果がより実用的な値であるかどうかは今後引続いて行なう予定の幾つかの試験結果、更には現場における実際の部材の摩耗状況との比較をまたねばならないであろう。より正確な摩耗量の算定式を得るために、更に広範囲な試験研究を行ないたいと思っている。

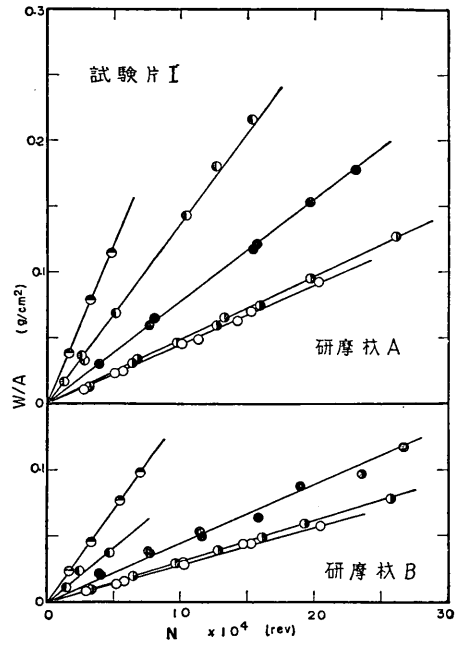
参 考 文 献

- 1 日本作業船協会、「ポンプ浚渫船の摩耗機構について」作業船, 第58号
- 2 広津, 他, 「サンドポンプの摩耗について」日本機械学会誌, 第70巻, 第578号
- 3 大塚, 「土岩に対する金属の摩耗について(その1)」建設の機械化, 第108号
- 4 大塚, 同上(その2), 第109号
- 5 大塚, 同上(その3), 第110号
- 6 砂本, 他, 「金属材料の土砂に対する摩耗」新三菱重工業技報, Vol. 6, No. 1
- 7 前田, 他, 「表面硬化肉盛部の摩耗試験」石川島播磨技報, 第5巻, 第23号
- 8 大塚, 「建設機械の摩耗と表面硬化肉盛溶接」日本機械学会誌, 第72巻, 第603号
- 8 山下, 「砂粒混在の流水による金属平板の摩耗について」日本機械学会論文集, 第23巻, 第133号
- 10 山下, 「砂粒混在の流水による金属材料の摩耗に及ぼす影響について」日本機械学会論文集, 第23巻, 第133号
- 11 山下, 「砂粒混在の流水による金属材料の摩耗に及ぼす金属面の仕上げ状態の影響について」日本機械学会論文集, 第24巻, 第141号
- 12 山下, 「砂粒混在の流水によるわん形水受の摩耗について(その1)」日本機械学会論文集, 第20巻, 第93号
- 13 山下, 同上(その2), 第20巻, 第97号
- 14 草間, 他, 「砂の水力輸送におけるパイプの摩耗」日本機械学会前刷集, No. 43
- 15 日本作業船協会, 「ポンプ浚渫船の摩耗」作業船, 第52号
- 16 日本作業船協会, 同上(続), 第56号
- 17 宮崎, 「排砂管の摩耗調査」作業船, 第38号
- 18 宮崎, 同上(その2), 作業船, 第42号
- 19 朝倉書店, 「材料強度工学ハンドブック」, 摩耗
- 20 日本作業船協会, 「ポンプ浚渫船を対象とした摩耗機構と試験機」作業船, 第41号

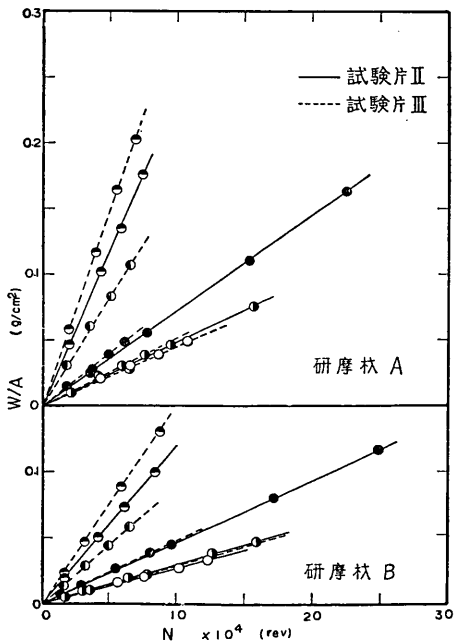
(1971. 3. 31受付)



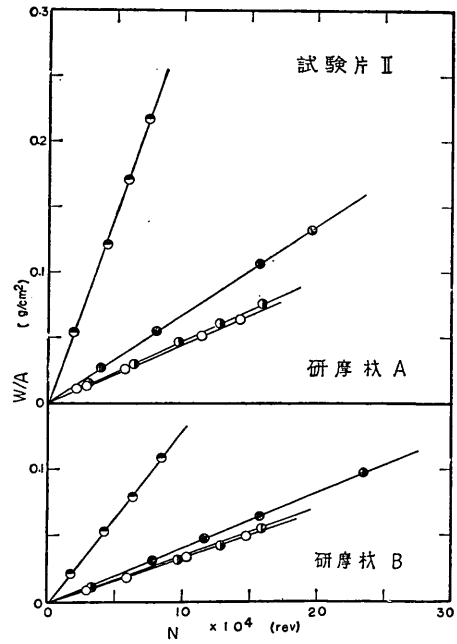
付図-1 SS41 (試験片 I) の磨耗量



付図-3 S20C (試験片 I) の磨耗量

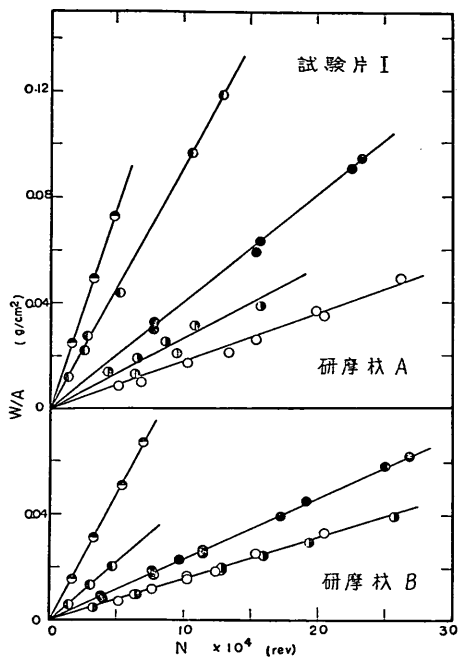


付図-2 SS41 (試験片 II, III) の磨耗量

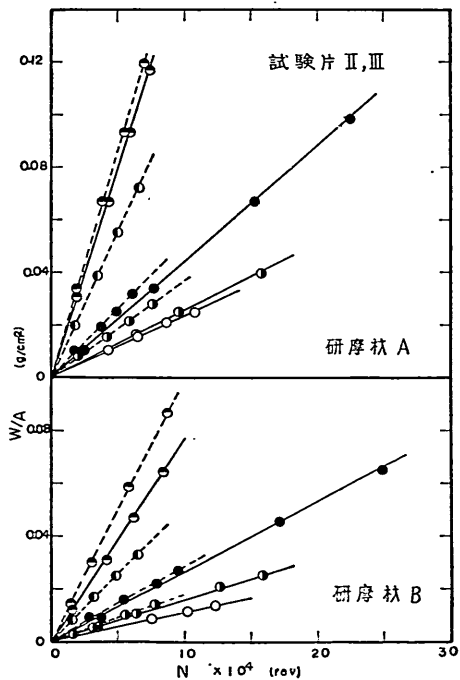


付図-4 S20C (試験片 II) の磨耗量

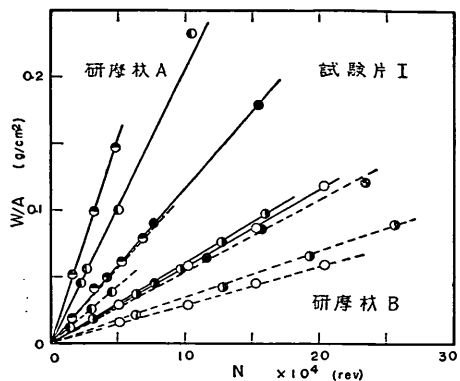
粗粒径土砂混合水による鋼材の摩耗特性について



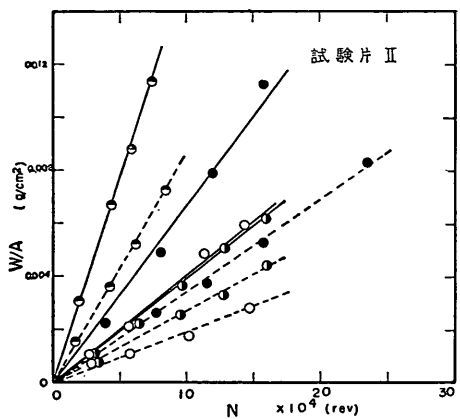
付図-5 SNC1 (試験片 I) の摩耗量



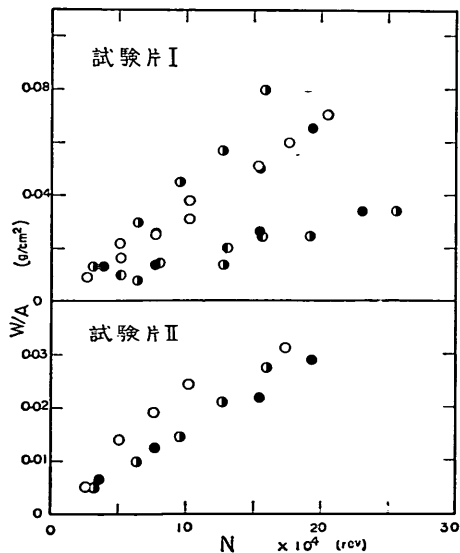
付図-6 SNC1 (試験片 II, III) の摩耗量



付図-7 ゴム I の摩耗量



付図-8 ゴム II の摩耗量



付図-9 SS41 の研摩材 C に対する摩耗量