

# 港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 89      Sept. 1969

鉦さいの路盤材料等工事用材料としての性質について

浅	岡	邦	一
藤	本	憲	久
青	木	義	典

運輸省港湾技術研究所



**Properties of slags as construction materials such as the subbase**

**Kuniichi ASAOKA\***

**Norihisa FUJIMOTO\*\***

**Yoshinori AOKI\*\*\***

**Synopsis**

Following JIS with regard to testing aggregate for concrete and to testing soils, general physical properties and soil mechanical properties of slags were tested.

It has been confirmed that the blast-furnace slag has the satisfactory properties required for subbase or back filling of structures, and that slags can be used as aggregate for concrete as far as physical properties tested concern.

---

\* Member, Materials Laboratory, Structures Division  
\*\* Member, Yokohama Design and Investigation Office  
\*\*\* Chief, Materials Laboratory, Structures Division

# 鉋さいの路盤材料等工事用材料としての性質について

## 目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 試 験 方 法	4
2.1 使 用 材 料	4
2.2 試 験 方 法	4
3. 試験結果とその考察	6
3.1 鉋さいの一般的性質について	6
3.2 鉋さいの土質力学的性質について	10
3.3 鉋さいの路盤材料およびその他の工事用材料としての適用性について	11
4. あ と が き	12
参 考 文 献	13

# 鉱さいの路盤材料等工用材料としての性質について

浅 岡 邦 一\*  
 藤 本 憲 久\*\*  
 青 木 義 典\*\*\*

## 要 旨

鉱さいについて、土木学会規準（1967）および土質試験法に準じて、物理試験および土質力学的試験すなわち、比重、吸水量、単位容積重量、スリヘリ減量、安定性、粒度、CBR、突固め、塑性指数、圧縮強度および水硬性に関する試験を行なった。そして、これらの試験結果から鉱さいの工用材料としての性質とその適用性を考察した。今回の試験結果から、鉱さいは、路盤材料や裏込材料としての性質を十分そなえており、また、物理的性質はコンクリート用骨材にも利用できるものであることが確認できた。

## 1. ま え が き

鉱さいは、金属の精錬にともなって発生する「かす」である。土木工用に使われ、鉱さいと呼ばれているものの大部分は高炉さいバラスである。高炉さいは次のような過程で生成する。溶鉱炉に鉄鉱石、石灰石、マンガン鉱石およびコークスを装入して熱風により加熱すると、鉄鉱石中の鉄分は還元溶融して銹鉄となり、鉱石中の脈石やコークスの燃焼残分は石灰石と共に溶融して溶さいとなる。高炉内では鉱さいは銹鉄と分離してたまるから、これを取り出して鉱さい処理場に運び、放置徐冷する。冷却後、ブルドーザあるいはパワーショベルで掘り起し、破碎する。そのまま使用したり、これをさらに、クラッシャーにかけて粒度調整した上で使用する。また、高炉さいの他、製鋼過程で発生する転炉さい、平炉さいなども少量ではあるが使用されている。溶さいとして炉から取り出された後の処理の仕方は高炉さいの場合と同様であるが、炉に装入される原料が異なるなど生成の過程が違いため高炉さいと転炉さいなどとは表-1.1からわかる通り成分が違う。したがって、その性質も当然違ったものとなる。本資料でも高炉さいの他転炉さいについても一部試験を行なったので両者の試験結果を混同しないように注意する必要がある。鉱さいの成分は、表-1.1に示されている通りである。これらの成分の

うち、FeO、CaO および S は、含有量によっては鉱さいの安定性を阻害するが、我国の製鉄所から発生している高炉さいの成分では、その心配のないことがわかっている。

表-1.1 鉱さいの成分表 (%)

種 類	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO	MnO	S
高炉さい	32~35	13~19	38~42	4~8		0.5~ 1.5	1.3~ 0.7
転炉さい	10~20	5~6	47	5~6	6~20	5~6	

鉱さいは、鉄の精錬が始まった時からあったのであるが、工用材料として使われるようになったのは最近のことである。主として舗装用上下路盤材料として、または港湾構造物の裏込材料として一部使われ始めた。これは、工事量の増大にともない天然石材の供給量が逼迫してきたこと、および交通事情の悪化にともない輸送費が高くなったことなどにより、製鉄所の近辺では鉱さいが天然石材より安く入手できるようになったからである。鉱さいの使用法として、その他にコンクリート用骨材が考えられ、研究は進められているが、未だ工用に使わ

\* 構造部 材料施工研究室

\*\* 第二港湾建設局 横浜調査設計事務所

\*\*\* 構造部 材料施工研究室長

れた例はほとんどないようである。

本資料は、昭和38年度と昭和43年度に実施した鉱さいの工事用材料としての基本的な性質についての試験の結果をまとめ、天然石材または定められた規準と比べながら少々考察を加えたものである。試験結果の中に転炉さいに関するものが少々含まれている。転炉さいが工事用に使われることは少ないが、試験結果は参考のため挙げておいた。試験結果から、高炉さいは、路盤材料としての特性を十分そなえていること、良質の裏込材料であること、また物理的性質はコンクリート骨材として使ってさしつかえないものであることを確認できた。

本資料では、試験に供した試料および試験法を始めに述べ、次いで試験結果を項目ごとに述べた。最後にこれらの試験結果を総合的に判断して、工事用材料としての適用性を検討した。

## 2. 試験方法

### 2.1 使用材料

試験に用いた鉱さいは、次の種類である。

#### イ) 未破碎1号

高炉より排出された溶融状態の鉱さいを処理場にひろげ放水して冷やしブルドーザにより圧砕したもので、大きさは数10cm角から、粉末状のものまで含まれる。

#### ロ) 高いバラス(A)

未破碎1号を40mmフルイでふるい分け40mm以上のものを除去したもの。

#### ハ) 高いバラス(B)

未破碎1号を破碎機で更に粉碎し、フルイによって粒径が5mm以下、25mm以下および25mm～5mmの3種に分類し粒度調整したもので最大粒径25mmのものから微粉末状のものまで含まれる。

#### ニ) 未破碎4号

転炉より排出された鉱さいを処理場で冷却し、これをブルドーザによって圧砕したもので数cm角以下のものが大部分である。

試料の総重量は、いずれも300～500kg程度でこれより各種の試験に必要な試料を4分法あるいは試料分取器によって採取し用いた。

### 2.2 試験方法

試験は、水硬性試験と安息角の測定および未破碎4号の圧縮強度試験を除いては、土木学会規準<sup>2)</sup>と土質試験法<sup>3)</sup>に準じて行なった。

1) 比重および吸水量については「細・粗骨材の比重および吸水量試験方法」(JISA 1109-1951, JISA 1110-

1951) に準じて行なった。すなわち、未破碎1号と未破碎4号については、採取後48時間105～110°Cで炉乾燥し、次いでこれを48時間20°Cの水中に浸漬して吸水させ、その表面の水を十分にふき取った状態をもって表面乾燥飽水状態とし比重を測定した。比重測定後同じ試料を105～110°Cの炉で48時間乾燥させ、その重量減少より吸水量を計算し、また、この状態の比重を求めて、これを炉乾燥状態比重(みかけ比重)とした。高いバラス(B)については、5mmフルイによりふるい分け、フルイを通過する骨材を細骨材、留まる骨材を粗骨材とした。試料は採取後24時間吸水させたのち、その表面の水をぬぐいとったいわゆる表面乾燥飽水状態と比重を測定し、吸水量については、表面乾燥飽水状態の試料を105～110°Cで定重量になるまで乾燥させ、その重量減少より測定した。

2) 単位容積重量は、「骨材の単位容積重量試験方法」(JISA 1104-1953, 1964)に従って行なった。ただし、未破碎1号と高いバラス(A)、未破碎4号は、JISA 1104-1953, 高いバラス(B)は JISA 1104-1964 によった。また、高いバラス(B)は、試料中の含水量が8.3%であったので含水量を考慮した値も求めた。

3) 有害物含有の判定は「砂の有機不純物試験方法」(JISA 1105-1953)に準じた。試料は、5mmフルイを通過したものについて実施した。

4) スリヘリ減量は、「ロサンゼルス試験機による粗骨材のスリヘリ試験方法」(JISA 1121-1954)に準じて行なった。

5) 安定性試験は、「骨材の安定性試験方法」(JISA 1122-1954)によって行ない、試験には硫酸ナトリウム溶液を用いた。試料は、10mmフルイに留まるものを粗骨材、通過するものを細骨材とした。

6) 粒度については、「骨材のフルイ分け試験方法」(JISA 1102-1953)、「土の粒度試験方法」(JISA 1204)に準じて行なった。

7) 圧縮強度は、「ASTMC-170 50, Test for compressive Strength of Natural Building Stone」(天然建築用石材の圧縮強度試験方法)に準じて行なった。すなわち、大塊の試料より呼び寸法10cm角の供試体をコンクリート切断機を用いて切り出し、これを表面乾燥飽水状態と炉乾燥状態の二通りで試験した。ただし、未破碎4号は極めて硬度が大きく、コンクリート切断機による強度試験供試体の成形が不可能であった。そこで適当な寸法の粒子をプレバックドコンクリートの粗骨材として用いその間隙を富配合のモルタルで填充し適当な材令でその圧縮強度を試験しその結果から転炉さいの強度を推定

することを試みた。この試験に用いたプレバッドコンクリートの配合その他については後述する。

8) 締固め試験は、「土の締固め試験方法」(JISA 1210-1950再改訂案第二方法 2・4)<sup>3)</sup> により行なった。

9) CBR は、「CBR 試験方法」(JISA 1211) によって試験を行ない、吸水膨張試験も行なった。

10) コンシステンシー試験は、「土の液性限界試験方法」(JISA 1205) および「土の塑性限界試験方法」(JISA 1206) によって行なった。

11) 水硬性を調べるための試験は、特別な規定がなく、独自の方法によって行なった。すなわち、炉乾燥状態の試料に、水を加えたもの3種類、水と普通ポルトランドセメントを加えたもの3種類および比較のために、川砂に水と普通ポルトランドセメントを加えたもの3種類の合計9種類の試料を作製した。供試体は、10×20cmの紙製型枠に3層に分けて打ち込み、締固めは棒突き方法により、各層25回突き固めた。温度21°C、湿度100%の空气中に28日間養生したのち、脱型し、圧縮強度試験を行なった。

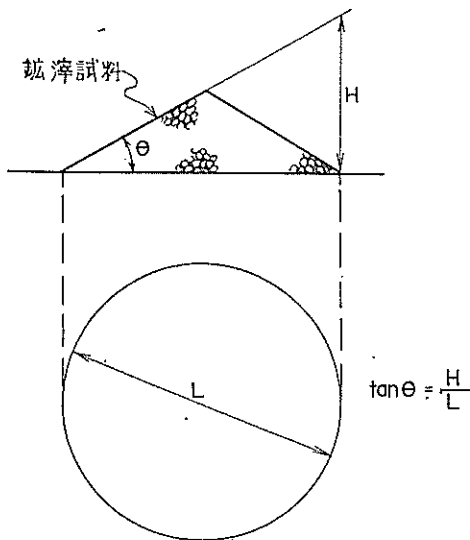


図-2.1 安息角の測定方法

表-2.1 未破砕4号の圧縮強度推定のため用いた各種粗骨材の諸性質

粗骨材の種類	産 地	原石強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	
		範 囲	平 均
未破砕1号	未破砕1号を破砕	354~512	418
蛇 紋 岩	神奈川県横須賀市	355~872	578
砂 岩	〃	92~134	107

注) 1) 試料はすべて表面乾燥飽水状態である。

2) 試料は、プレバッドコンクリートの粗骨材として使用した。

12) 安息角は次の方法によった。平坦な床版上に全試料(約300kg)をひろげこれをショベルで十分に切り返した後、円錐状に積み粗粒子が斜面を落下し安定した状態になった時、その斜面と床版とのなす角度θを測定した。測定は、図-2.1の如く底面直径Lと高さHについて行ない次式より安息角θを求めた。

$$\tan \theta = \frac{H}{L}$$

表-2.3 各種鉱滓別試験項目

試験項目	未破砕1号	高滓バラス(A)	高滓バラス(B)	未破砕4号
試験年度	38年度	38年度	43年度	38年度
比 重	★		★	★
吸 水 量	★		★	★
単位容積重量	★	★	★	★
有害物含有量			★	
スリヘリ減量			★	
安 定 性			★	
粒 度	★	★	★	★
C B R			★	
突 固 め			★	
液 性 限 界			★	
塑 性 限 界			★	
水 硬 性			★	
安 息 角	★	★		★
圧 縮 強 度	★			★

表-2.2 注入モルタルの配合と使用材料

F/(C+F) (%)	S/C (%)	W/C (%)	Al/C (%)	ポゾリス No.8/ C (%)	流出時間 (sec)	保 温 性 (%)	圧 縮 強 度 (σ <sub>28</sub> ) (kg/cm <sup>2</sup> )
0	100	445	0.015	0.25	20.4	73.0	435
セメント (C)	砂 (S)	水 (W)	混 和 剤		アルミニウム粉末 (Al)		
普通ポルトランド セメント	豊浦標準砂	水 道 水	ポゾリス No.8		福田金属粉工業株 式会社 (AA12)		

測定は、試料1種につき4箇所で行ないそれぞれについて得た4個の $\theta$ の平均を以て安息角とした。

13) 未破砕4号の圧縮強度試験は、未破砕4号を粗骨材としたプレパックドコンクリートの圧縮強度試験から推定した。比較試験に用いた粗骨材の種類と産地および原石の強度を表-2・1に示した。これらの粗骨材は、いずれもその寸法が15~25mmのもので表面乾燥飽水状態として用いた。プレパックドコンクリートに用いた注入モルタルの配合と使用材料は、表-2・2に示す通りである。

以上13項目の試験を行なったがそれぞれの試料について実施した試験項目を表-2・3に示した。

### 3. 試験結果とその考察

#### 3・1 鉱さいの一般的性質について

##### a) 比重および吸水量

比重および吸水量試験の結果を表-3・1に示す。また、各種石材の比重の大体の範囲を表-3・2<sup>a)</sup>に示す。未破砕1号の比重は小さめであるが、高さいパラス(B)の比重は、平均約2.60位で、平均比重2.65とされている普通コンクリート用砂および砂利または凝灰岩、軟質の砂岩を除いた他の石材とはほぼ同様である。すなわち、比重に関しては、高さいパラスも天然産の良質な石材と大差がないといえる。未破砕4号の比重は3.5以上で非常に大きい。

吸水率に関しては、岩石の吸水率を示す表-3・2と比較

表-3・1 比重および吸水量試験結果

試料	表乾比重	炉乾比重	吸水量(%)
未破砕1号	2.48 <sup>(1)</sup>	2.43 <sup>(2)</sup>	2.61 <sup>(2)</sup>
高さいパラス(B)	細骨材	—	4.26 <sup>(4)</sup>
	粗骨材	—	5.00 <sup>(4)</sup>
未破砕4号	3.56 <sup>(3)</sup>	3.54 <sup>(3)</sup>	0.58 <sup>(3)</sup>

- 注) (1) 16回の平均値  
(2) 8回の平均値  
(3) 6回の平均値  
(4) 2回の平均値

表-3・2 各種石材の比重と吸水率

石材の種類	比重	吸水率(%)
花こう岩	2.50~3.00	0.2~1.7
せん緑岩	2.61~2.73	0.2~0.8
安山岩	2.58~2.75	0.49~4.72
玄武岩	2.71~3.10	1.4~10.00
凝灰岩	1.98~2.43	8.20~19.8
砂岩	2.05~2.67	0.7~13.8
粘板岩	2.65~2.81	0.19~1.3

してみると、凝灰岩や軟質砂岩ほどではないが、未破砕1号、高さいパラス(B)は、比較的大きい。未破砕4号の吸水率は、非常に小さい。これは、未破砕1号および高さいパラス(B)は、有孔質のものを多量に含んでいる事による。

##### b) 単位容積重量

単位容積重量の試験結果を表-3・3に示す。また、各種石材の単位容積重量を表-3・4<sup>b)</sup>に示した。これらと比べると、高さいパラスの単位容積重量は、ほぼ川砂利または碎石と同程度であることがわかる。未破砕4号は2t/m<sup>3</sup>前後と大きくなっており未破砕1号の単位容積重量はやや小さい。

表-3・3 単位容積重量試験結果

試料	棒突試験	ジッキング試験	ショベル試験
未破砕1号	1525kg/m <sup>3</sup>	1425kg/m <sup>3</sup>	1305kg/m <sup>3</sup>
高さいパラス(A)	1682	1748	1566
〃(B)	1703 <sup>(1)</sup> 1567	—	—
未破砕4号	2123	2148	1950

注) (1) 試料の含水量8.3%のときの値

表-3・4 各種骨材の単位容積重量

骨材の種類	単位容積重量(kg/m <sup>3</sup> )
川砂利または碎石	1600~1700
軽石	400~800
凝灰岩	700~1400
膨張スラグ	600~1400
石炭燼	600~700
膨張頁岩	700~1000

##### c) 有機不純物

鉱さいは、その生成過程から推定して、有機物を含んでいるとは思えない。試験の結果は、白色ないし淡黄色であった。また、試験溶液の上澄液によるコンクリート用骨材としての良否の概略判定法を表-3・5<sup>b)</sup>に示す。

表-3・5 試験溶液の上澄液より砂の使用可否の概略判定法

上澄液色	適否
無色ないし淡黄色	良いコンクリートに使用できる
濃黄色	使用できる
赤黄色	コンクリートの強度が小さい場合に使用できる
淡赤褐色	使用できない
暗赤褐色	使用できない

これを参考にすると、高炉さいは、有機不純物含有の判定からはこれを使用して良質のコンクリートが期待できることがわかる。

d) スリヘリ減量

スリヘリ減量試験結果を表-3-6に示し、各種岩石のスリヘリ減量の値を表-3-7<sup>7)</sup>に示す。これらの値は、ダブル試験機によったものであるため、ロサンゼルス試験機によった表-3-6の値とは、直接比較することは出来ない。図-3-1にダブル試験機とロサンゼルス試験機によるスリ

表-3-6 スリヘリ減量試験結果  
(ロサンゼルス試験機による)

試料	粒度区分	スリヘリ減量 (%)
高滓パラス (B)	C	28.1 27.9
	D	36.5

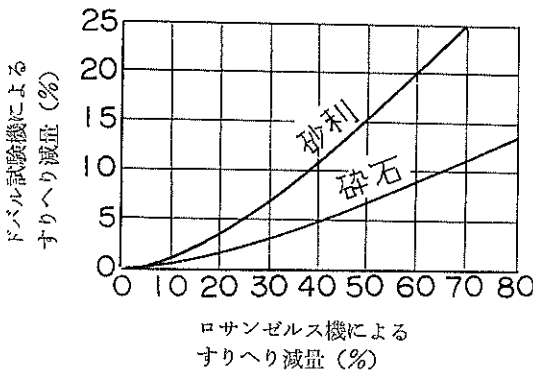


図-3-1 ダブル試験機とロサンゼルス試験機によるスリヘリ減量の比較

ヘリ減量の比較を示している<sup>8)</sup>。ほとんどの示方書、要綱等は、鉱さいのスリヘリ減量について、砕石の規準と同様に取り扱っているものが多いので、今回のロサンゼルス試験機による値を図-3-1の砕石の曲線を使って、ダブル試験機によるスリヘリ減量に換算すると、約5%程度となり、表-3-7に示されている鉱滓類の値とほぼ一致し、高炉さいのスリヘリ減量は他の石材の平均値より大きい値となることがわかる。

e) 安定性

表-3-7 各種岩石のスリヘリ減量

岩石の種類	ダブルスリヘリ減量 (%)	
	平均	範囲
花崗岩	3.2	4.8~2.0
石英閃緑岩	2.2	2.6~1.7
斑岩・玢岩	2.0	2.9~1.4
石英安山岩	3.8	5.8~3.2
安山岩・玄武岩	3.7	18.4~1.4
石灰岩	3.4	30.0~2.7
硬質砂岩	3.2	18.1~1.1
鉱滓類	4.8	11.4~2.2

表-3-8 安定性試験結果

試料	骨材種別	損失重量 (%)	許容損失重量 (%)
高滓パラス(B)	細骨材	3.6	<10
	粗骨材	2.0	<12

注) 1) 許容損失重量(%)は、土木学会制定コンクリート標準示方書(昭和42年版)の4示方書に規定されている値である。

表-3-9 骨材のふるい分け試験結果(フルイに留まる重量百分率)

試料 フルイ目の 寸法	未破砕1号			高滓パラス(A)			未破砕4号		
	①	②	平均	①	②	平均	①	②	平均
100	15.8	15.4	16	—	—	—	—	—	—
80	19.8	23.6	22	—	—	—	—	—	—
60	24.0	29.3	27	—	—	—	4.3	0	2
50	31.1	35.4	33	—	—	—	6.3	5.1	6
40	49.9	46.8	48	—	—	—	11.0	12.1	12
30	58.6	53.9	56	2.0	2.6	2	16.4	18.4	17
25	67.0	62.6	65	8.8	10.2	10	21.1	25.7	23
20	77.9	75.6	77	22.7	23.9	23	41.9	39.5	41
15	82.7	80.1	81	33.8	34.4	34	52.9	49.1	51
10	94.2	92.5	93	68.6	69.5	69	83.0	80.2	82
5	100.0	100.0	100	100.0	100.0	100	100.0	100.0	100
粗粒率	8.40			6.92			7.35		



安定性試験による損失量を表-3・8に示す。骨材の安定性試験による損失量の許容最大値の値も同時に示した。<sup>1)</sup>この値から、今回の実験値を比較すると、安定性の点では、高矽さいがコンクリート骨材として十分に満足な値であることがわかる。

f) 粒度および粒径

土木学会規準<sup>1)</sup>によるふるい分け試験結果を表-3・9に、また、土質試験法<sup>2)</sup>による粒度試験結果を表-3・10に示す。表-3・11では高さいパラス(B)の粒度組成を示している。その結果、2,000 $\mu$ フルイ通過試料の粒度による分類は、砂に分類される。図-3・2に粒径加積曲線を示した。また、空港規定案<sup>3)</sup>およびアスファルト舗装要綱<sup>10)</sup>に示されている路盤材料に要求される粒度組成の範囲を同時に示した。これを見ると、高さいパラスの試験値は、ほぼこれらの範囲内にあった。高さいパラスは、人工的に製造し粒度調整するため粒度分布は任意に調整で

表-3・10 フルイ分け試験結果 (高さいパラス(B))

フルイ目	フルイを通過する重量百分率(%)
40	100
25	100
20	100
10	85
5	67
2.5	47
0.074	6

表-3・11 粒度組成

レキ	58%	60% 径	mm 3.8	74 $\mu$ フルイ通過率	6%
砂	36%	10% 径	m 0.17	最大粒径	10mm
シルト	6%	2000 $\mu$ フルイ通過率	11%	均等係数	22.4
粘土		420 $\mu$ フルイ通過率	17%	分類 (三角座標)	砂

きる。川砂利等とちがってそれ程問題にはならない。また、鉱さいの粒径については、砂利などのように自然に出来上がった骨材は、丸みを帯びているが、砕石や鉱さいは、角があるのが特徴で表面もほとんど粗面である。

g) 水硬性

鉱さいの特異な性質としての水硬性に関する試験結果を表-3・12に示す。高さいパラスIについては、水のみを表中に示してある割合で混入し28日間放置したものである。供試体は脱型作業時にくずれてしまった。すなわち、材令28日の供試体では、水硬性の効果はみられなかった。材令28日以上の試験を行なわなかったのでこの試験から鉱さいの水硬性に関する結果は得られなかった。高さいパラスIIの値は、水とセメントを表に示した割合で加え28日間放置したものについての圧縮強度試験結果である。材令28日で5~26kg/cm<sup>2</sup>の圧縮強度がでることが分かった。また、比較のために川砂を用いて、高さいパラスIIと同配合の水とセメントを加えて作った供試体について行なった試験結果である。高さいパラスIIのもの川砂のものを比べると明らかに高さいパラスを使

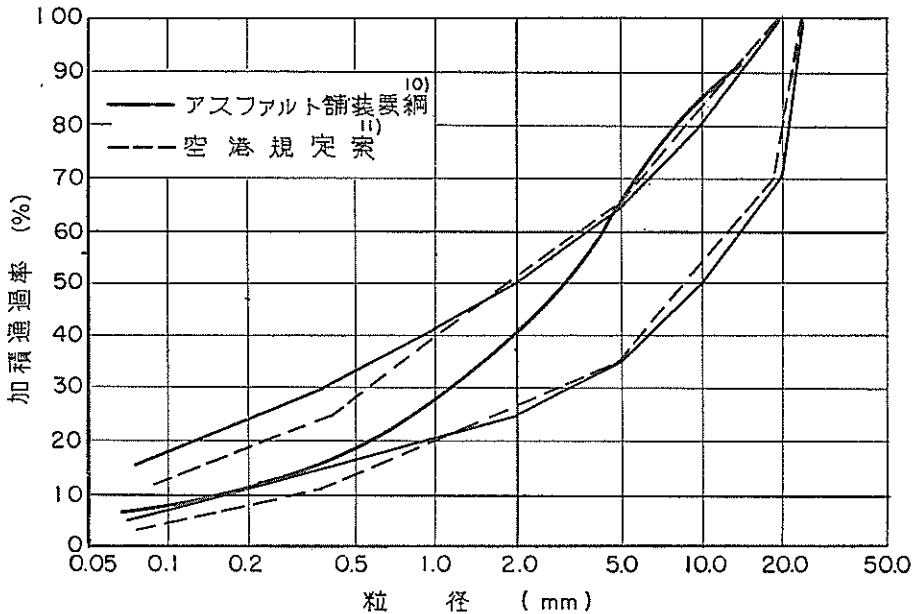


図-3・2 粒径加積曲線

表-3-12 水 硬 性 試 験 結 果

試料番号		配 合 <sup>(3)</sup> (%)		試 験 結 果
		水 <sup>(1)</sup>	セメント <sup>(2)</sup>	
高圧パラス(B) I	1	20	—	脱型時に、供試体を指で軽くおしたらかんたんにくずれてしまった。 同 上 同 上
	2	10	—	
	3	5	—	
高圧パラス(B) II	1	10	6	破壊荷重 2.01 t 圧縮強度 25.7kg/cm <sup>2</sup>
	2	10	4	破壊荷重 1.28 t 圧縮強度 16.4kg/cm <sup>2</sup>
	3	10	2	破壊荷重 0.37 t 圧縮強度 4.7kg/cm <sup>2</sup>
川 砂	1	10	6	脱型後、木づちで軽くたたいた程度でくずれた。 脱型後、指で押すと数cmの固まりでくずれたが供試体の下半分は、 やや固結していた。 脱型時にくずれてしまった。
	2	10	4	
	3	10	2	

注)

- (1) 水道水を使用した。
- (2) 普通ポルトランドセメントを使用した。
- (3) 配合は試料の炉乾重量を基本とした。

表-3-13 圧 縮 強 度 試 験 結 果 (未破砕1号)

試料の状態		表面乾燥飽水状態			炉乾燥状態		
		支圧面積 (cm <sup>2</sup> )	破壊荷重 (ton)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	支圧面積 (cm <sup>2</sup> )	破壊荷重 (ton)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
供試体番号	1	59.9	30.3	506	38.4	6.5	169*
	2	39.1	7.5	192 <sup>D)</sup>	107.1	35.4	331
	3	82.4	29.2	354	55.9	40.8	730
	4	107.1	45.9	429	74.2	55.1	743
	5	79.7	28.4	356	114.1	48.7	427
	6	102.0	39.4	386	39.1	9.7	248*
	7	109.1	41.3	379	90.2	56.5	626
	8	92.1	47.2	512	148.7	88.7	597
平均強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		—	—	418	—	—	576

注) (1) 平均値はこれを除外して計算した。

たつ供試体の強度が大きいことがわかる。

h) 圧縮強度

未破砕1号に関する圧縮強度試験結果を表-3-13に示す。また、各種石材の圧縮強度を表-3-14<sup>D)</sup>に示す。これからみると未破砕1号の圧縮強度は、岩石と比べて大きいとはいえないが、軟質の砂岩よりは一般に大きいといえる。

未破砕4号については、§2で述べたように、供試体の製作が不可能であったため、これを粗骨材として用いたプレバッキングコンクリートの強度から圧縮強度を推定した。比較試験に用いた石材を粗骨材としたプレバッキングコンクリートの圧縮強度試験結果を表-3-15に示す。この時の供試体の破壊状況を観察すると、砂岩の場合

表-3-14 各種石材の圧縮強度

石材の種類	圧 縮 強 度 (kg/cm <sup>2</sup> )
花 ころ 岩	631~3040
せ ん 緑 岩	971~2338
安 山 岩	565~2338
玄 武 岩	467~2716
凝 灰 岩	86~372
砂 岩	226~2380
粘 板 岩	425~1640

は、骨材自体が破壊しているのに対し、他の場合は、いづれも、モルタルと骨材の付着面で破断しており骨材自体の破断は認められない。

未破砕4号を除く、原石強度に対するプレパックドコンクリート強度の比を求めると表-3-16の通りである。ここで、比較試験に用いた骨材の表面をみると、蛇紋岩は平滑であり、砂岩は粗面である。未破砕1号も比較的粗面であるが、未破砕4号は、蛇紋岩同様平滑である。

このことから、未破砕4号の圧縮強度は少なくとも369kg/cm<sup>2</sup>以上である。また、全ての場合、コンクリートの圧縮強度は、骨材自身の圧縮強度より小さくなっており、未破砕4号の場合も、コンクリートの圧縮強度である369kg/cm<sup>2</sup>より大きいと考えることが出来る。この点を考慮してももう少しだいたんに推定すれば次のようになる。コンクリートの圧縮強度と骨材圧縮強度の比を表-3-16にみられる強度の平均約70%とする事は、安全側にあると思われる。故に未破砕4号の推定圧縮強度は、次式で求める。

$$\text{未破砕4号推定圧縮強度} = 369 \div 0.70 \approx 530 \text{ kg/cm}^2$$

すなわち、未破砕4号の表面乾燥飽水状態における圧縮強度は、530kg/cm<sup>2</sup>以上と推定される。

#### i) 安息角

安息角の測定結果を表3-17に示す。未破砕1号、高さいバラス(A)の安息角は30~35度、未破砕4号は30度以下であることがわかった。

表-3-17 安息角測定結果

鉱滓種類	未破砕1号		高さいバラス(A)		未破砕4号		
	tan θ	θ (度)	tan θ	θ (度)	tan θ	θ (度)	
測定回数	1	0.6963	34	0.5809	30	0.5694	29
	2	0.7293	36	0.6493	32	0.5782	30
	3	0.7015	35	0.6822	34	0.5313	27
	4	0.7121	35	0.5859	30	0.5764	29
平均		35		32		29	

### 3-2 土質力学的性質について

#### a) 突固め

高さいバラス(B)の突固め試験の結果を表-3-18に示した。表3-18から得られた乾燥密度と含水比の乾燥密度・含水比曲線を求めたのが図-3-3である。これから最大乾燥密度は1,918g/cm<sup>3</sup>、最適含水比は9.45%であった。最大乾燥密度の95%密度を求めると1,822g/cm<sup>3</sup>となる。また、この時の湿潤密度は2,099g/cm<sup>3</sup>であった。図-3-3には飽和曲線も入れておいた。

#### b) CBR

CBR試験の結果を表-3-19に示した。この時のCBR値は、2回の測定結果でいずれも5mm貫入のCBRが2.5mmよりも大きくなったので、5mm貫入時の値

表-3-15 プレパックドコンクリート圧縮強度試験結果(1) (kgc/cm<sup>2</sup>)

原石	モルタル	砂岩	蛇紋岩	未破砕1号	未破砕4号	
圧縮強度	1	428	90	281	355	343
	2	402	83	285	—	366
	3	—	79	295	342	398
平均強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	415	84	287	352	369	
標準偏差 (kg/cm <sup>2</sup> )	9.4	4.6	5.9	3.0	22.5	
変動係数 (%)	2.28	5.42	2.05	0.85	6.11	
原石強度	—	107	578	418	—	

注) (1) φ10×20cm 供試体による材令28日の値

表-3-16 原石強度に対するプレパックドコンクリート強度の比率

原石種類	プレパックドコンクリート強度	原石強度	プレパックドコンクリート強度 / 原石強度
蛇紋岩	287 kg/cm <sup>2</sup>	578 kg/cm <sup>2</sup>	50%
未破砕1号	352	418	84
砂岩	84	107	76
平均	—	—	70

をとった。吸水膨張および貫入時の載荷重は5kgで行なった。表-3-19から最大乾燥密度の95%密度をとり修正CBRを求めたのが図3-4で修正CBRは106%であった。道路舗装要綱<sup>10)</sup>や空港規定案<sup>9)</sup>で路盤材料に要求している値と比べてわかる通り高さいバラス(B)は十分なCBR値を持っているといえる。また、CBR試験と同時に高さいバラス(B)の吸水膨張試験も行なった。試験の結果は、吸水時間96時間で膨張量は0%であった。

#### C) コンシステンシー

液性限界試験、塑性限界試験を行なったが、鉱さいは、粗粒の土いわゆる砂質土と同じような粒度組成をしているため粘性がなく前述の試験は不可能であった。したがって、塑性指数は0である。

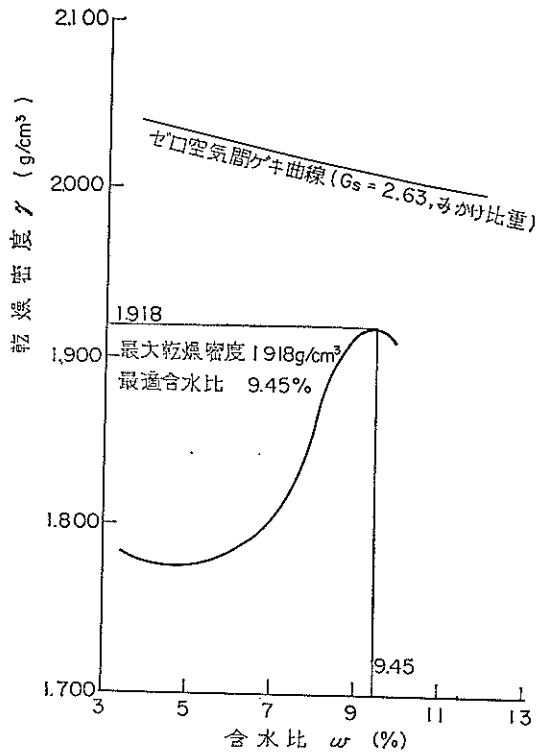


図-3-3 乾燥密度・含水比曲線

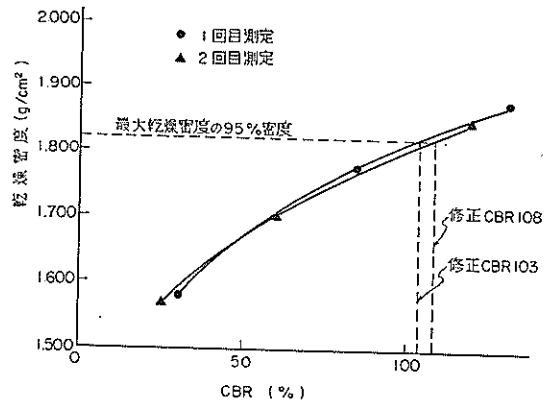


図-3-4 乾燥密度・CBR曲線

3-3 鈇さいの路盤材料およびその他の工事用材料としての適用性について

a) 路盤材料

今回行なった各種試験結果から、鈇さいの路盤材料(上, 下層路盤材料)としての適用性を検討すると、大体次の様である。

表-3-20に鈇さいの物理的性質を表-3-21に土質試験の結果をまとめた。これらの表中には同時に舗装要綱<sup>10)</sup>に定められた規準のあるものについてはその値も載せてあ

表-3-18 突 固 め 試 験 結 果

測定番号	1	2	3	4	5	6
湿潤密度(g/cm³)	1.844	1.869	1.936	1.997	2.089	2.100
含水比(%)	3.48	5.41	7.16	7.91	9.09	9.96
乾燥密度(g/cm³)	1.782	1.773	1.807	1.851	1.915	1.910

表-3-19 CBR 試験測定結果

試験回数	項目	55回	25回	10回	修正CBR(%)	平均(%)
1	含水比(%)	9.56	9.56	9.56	130	106
	乾燥密度(g/cm³)	1.876	1.773	1.577		
	CBR(%)	131.0	84.2	30.5		
2	含水比(%)	9.89	9.89	9.89	108	
	乾燥密度(g/cm³)	1.849	1.701	1.567		
	CBR(%)	119.2	60.1	26.1		

表-3-20 鈇さいの物理的性質

試験項目	未破碎1号	高澤バラス(A)	高澤バラス・	未破碎4号	備考
比重	2.48	—	2.69~2.50	3.56	2.50以下
吸水量(%)	2.61	—	4.26~5.00	0.58	3.0以下
単位容積重量(kgm³)	1525	1682	1703	2123	1200以上
スリヘリ減量(%)	—	—	28.0~36.5	—	40以下

る。高炉さい特に高いバラスの比重は、碎石の比重とはほぼ同程度の値であるから問題はない。高いバラスの吸水量がやや大きい値となっているが一般には致命的な欠かんではない。スリヘリ減量についても、舗装要綱<sup>10)</sup>では、ロサンゼルス試験機による場合の限度は40%となっているのに対して高いバラスでは約30%前後で十分限度内にある。上層路盤用として用いる時の単位容積重量の規定は、舗装要綱<sup>10)</sup>によると、 $1.2t/m^3$ 以上となっているが、高いバラスの場合、これを上まわる平均 $1.5t/m^3$ 前後の値が得られた。路盤材料の強度特性を表

表-3-21 鉱さいの土質試験結果

試験項目	高炉バラス・	備考
修正CBR (%)	106	45~70
最適含水比 (%)	9.45	
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.918	
湿润密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.099	
膨張量	0	
液性限界	N.P	
塑性限界	N.P	

表-3-23 鉱さいの各種試験結果

試験項目	未破砕1号	高炉バラス(A)	高炉バラス・	未破砕4号	備考
比重	2.48	—	{2.69 2.50	3.56	
吸水量 (%)	2.61	—	{4.26 5.00	0.58	
単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	1525	1682	1703	2123	1,100 以上
有機不純物	—	—	白色および淡黄色	—	無色および淡黄色
スリヘリ減量 (%)	—	—	{28.0 36.5	—	40%以下
安定性 (%)	—	—	{細骨材 3.6 粗骨材 2.0	—	細骨材 <10 粗骨材 <12
圧縮張度 (kg/m <sup>2</sup> )	418	—	—	530 以上	
安息角 (度)	35	32	—	29	

わす修正CBR値は、今回の高いバラスについての試験結果では、平均106%であった。これは路盤材料として十分な値である。また、吸水膨張試験による体積変化の膨張量は高いバラスの場合0であり問題はない。粒度に関しては§3・3で検討してある通り問題とはならない。以上、全体でいえることは、水硬性があるといわれていることも考え合わせて今回試験を行なった範囲で高いバラスが、碎石、川砂利などの材料に比較して、力学的には、路盤用材料として悪くないものと思われる。

#### b) その他の工事用材料

コンクリート用骨材に対する各種試験を鉱さいについて行なった結果は表-3-22に示す通りである。表中に参考のため標準的な値や判定も合わせて示してある。これらの結果から、骨材そのものの性質としては別に問題はないようである。しかし、鉱さいのコンクリート骨材としての応用に関する研究<sup>11),12),13)</sup>によると、鉱さいを骨材として用いたコンクリートは、普通の砂利を骨材としたコンクリートとはかなり異なったものとなるようであるから、ここに得られた結果からコンクリートの骨材に鉱さいを用いることについては直ちに判断することはできない。

その他鉱さいの用途として、港湾構造物の裏込めがあ

る。裏込め材料としては、圧縮強度やスリヘリに対する抵抗性が十分であり、あまり単位重量の大きくないものが要求される。今回の試験結果によるとこれらの点で、高炉さいは裏込め材料に使用して問題のないことがわかる。裏込め材料を設計する場合、材料の内部摩擦角を知らなければならないが、今回は安息角を測ったにすぎないので、内部摩擦角がどの程度かについて判断することは出来ない。横浜調査設計事務所の試験結果<sup>14)</sup>によると割石と同程度(40°)の値が得られている。

#### 4. あとがき

以上、鉱さいに関して行なった種々の試験結果を述べて来たが、今回の試験結果から次の様なことがいえると思われる。

- 1) 高いバラスの比重、単位容積重量は、ほぼ普通碎石と同程度であること。
- 2) 高炉さいの中には、有孔質のものが含まれているので、吸水量がやや大きく、圧縮強度も石材と比べて小さめであり、スリヘリ減量も平均でみると大きめであること。
- 3) 土質力学試験の結果をみると、高いバラス(B)の修

正CBRが106%であり、96時間の吸水膨張試験においても膨張量は0であるところから判断して、これを路盤材料等に使用した場合は、十分な支持力が得られ問題がないと思われる。

#### 参 考 文 献

- 1) 土木学会; コンクリート標準示方書, 1967年5月
- 2) 工質工学会; 土質試験法, 1967年7月
- 3) 土質工学会試験法改訂委員会; 土質試験法の改訂案 2種 (突固めによる土の締固め試験方法, 土と基礎, pp. 35~38, 1967年11月)
- 4) 岡田清他; 土木材料学, pp. 77~89, 1966年2月
- 5) 近藤泰夫他; コンクリートハンドブック, p. 98, 1965年10月
- 6) 国分正胤; 土木材料実験, pp. 70~71, 1969年2月
- 7) 土木材料ハンドブック編集委員会; 土木材料ハンドブック, pp. 282~283, 1968年10月
- 8) 国分正胤; 土木材料実験, p. 74, 1969年2月
- 9) 空港舗装設計基準委員会 (仮称); 空港アスファルト舗装構造設計基準 (第一次案), 1968年7月
- 10) 日本道路協会; アスファルト舗装要綱, 1963年6月
- 11) 吉田弥智; 高炉スラブを粗骨材として用いたコンクリートの強度に関する基礎研究, セメントコンクリート, pp. 20~26, 1968年10月
- 12) 江口辰五郎他; 高炉スラグ碎石のコンクリート骨材への利用 (その1), セメントコンクリート, pp. 120~127, 1957年11月
- 13) 栗山俊治他; 高炉スラグ碎石のコンクリート骨材への利用 (その2), セメントコンクリート, pp. 127~131, 1957年11月
- 14) 木村恵雄; コンクリート用骨材としての鉄滓ガラスの実験, 神戸大学, 1955年6月
- 15) 第二港湾建設局横浜調査設計事務所; 裏込め材の内部摩擦角の測定試験結果報告書, 1969年 (1969.7.7 受付)

港 湾 技 研 資 料      No. 89

1 9 6 9 . 9

編集兼発行人      運輸省港湾技術研究所

発 行 所      運輸省港湾技術研究所  
                 横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所      ヨシダ印刷株式会社亀戸工場  
                 東京都江東区亀戸4丁目52番12号

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.