

# 水滓の埋立材料としての1実験

鈴木 健夫・島 重章・中田 進一

## An Experiment for Reclamating Materials with Slag.

by Takeo SUZUKI, Shigenori SHIMA,  
Shinithi NAKATA

### 1. まえがき

わが国の工業は加工貿易方式という特殊性から、臨海地帯に立地するものが多くみられる。この臨海地帯の造成は多くの場合、埋立工事によって施工される関係から、近年、工業の発展と並行して埋立造成事業も増々活発になり、それに伴い臨海造成地における土木構造物の建設は避けられない事情にある。このような埋立地の地盤は強度のきわめて低い軟弱地盤層が深さ数10メートルにわたって分布し、埋立開始時点では施工機械の搬入はおろか、人間さえも歩行不可能な状態にある。このような場合の埋立工法は、軟弱地盤上に良質土砂をまき出してトラフィカビリティを確保しつつ、人間の歩行はもちろんのこと施工機械の搬入走行を可能にした後、サンドパイルやサンドドレーンおよびペーパードレーンなどの工法を実施して軟弱地盤の改良を行なっている。このような地盤改良用の良質砂として使用する天然砂は、需要の急激な伸びに伴って不足気味に推移し、大量入手することが困難になる傾向にあり、天然砂にかわりうる新材料が必要になってきている。そこで、鉄鋼を生産する過程で産出する水滓が砂に類似した特性をもつことから、地盤改良用の砂に適用することが可能であり、さらに水滓の特性である硬化作用を発揮させれば短期養生でかなりの地盤支持力が得られるものと考えられる。

以上のような観点から、本研究は水滓を用いて軟弱地盤の改良を行ない、圧縮試験、曲げ試験および平板載荷試験によって水滓の埋立材料としての適性を検討した。

### 2. 試料

銑鉄を生産する際に、溶鉱炉に投入された鉄鉱石中

のケイ酸およびその他の不純物と、還元用に加えられたコークスの成分が融剤として添加された石灰と結合して熔融状態の溶滓ができる。その溶滓を水で急冷すると非結晶のガラス質の水滓が生産される。水滓は、ゲレナイト、ケイ酸2石灰およびアーマナイトなどを主成分とし、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ あるいは $\text{NaOH}$ などのアルカリ塩類と反応して水和物を生成し、凝結および硬化反応を起こす性質を有している。これを潜在水硬性と呼んでいる<sup>1)</sup>。今回の試験に使用した水滓は砂状の多孔質で、粒径2.00mm以下の砂より軟弱で細粒化しやすいものである。水滓の有する潜在水硬性は単独では発現しにくいため、その作用を促進するために添加材として消石灰およびセメントを用いた。水滓と比較のために使用した砂は、一般に建設材料として市販されているものである。試料土として使用した粘性土は、広島市草津沖西部開発造成地内で採取した海成粘土である。なお、この試験で使用した水滓、砂および粘性土の物理的性質は図-1および表-1に示した。

### 3. 試験方法

実験室内において、水滓の潜在水硬性の促進効果を検討するために促進材として、消石灰( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )および普通ポルトランドセメントの配合量を変えて添加混合した。水滓に対して消石灰は15%、20%、25%および30%とし、セメントは5%、10%、15%および20%として添加し、 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ のモールドに3層に分けて突固め棒で25回づつ突き固めた。そして、供試体作製後水浸および非水浸で養生した。養生箱は温度 $20^\circ\text{C}$ 、湿度90%以上のものを使用し、また材令は7日、14日および28日として各々規定の養生後、曲げおよび圧縮試験を行なった。曲げ試験はミハエリス2重てこ形曲げ強さ試験機を用いて各材令ごとに各々3

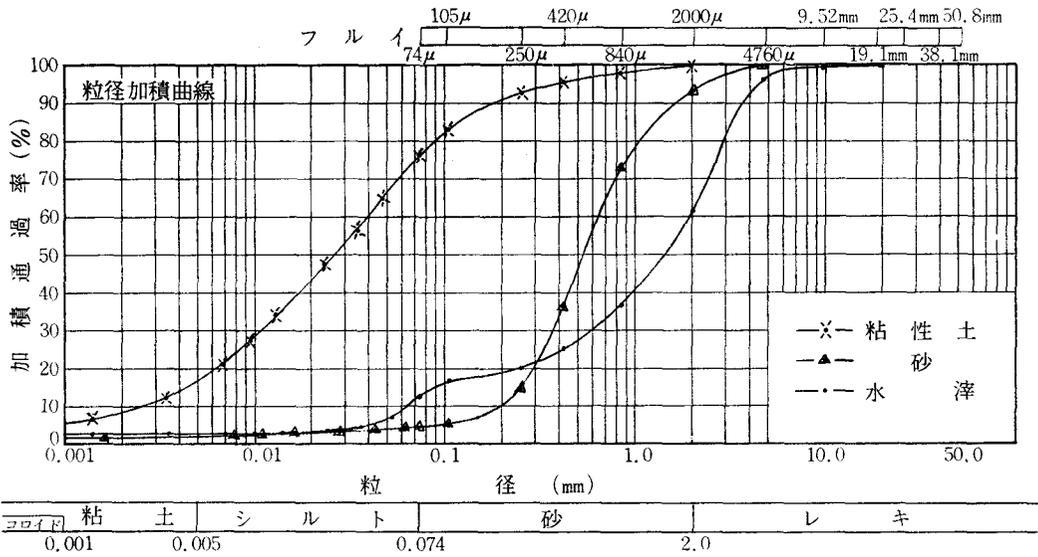


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理的性質

	水滓	粘土	砂
$G_s$	2.55	2.63	2.68
$w_L$ %	—	118.2	—
$w_P$ %	—	51.3	—
$I_P$	—	66.9	—
$U_c$	29.7	15.6	3.20
$U_c'$	2.86	1.24	1.07
$r_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	1.104	—	—
$w_{opt}$ %	34.5	—	—

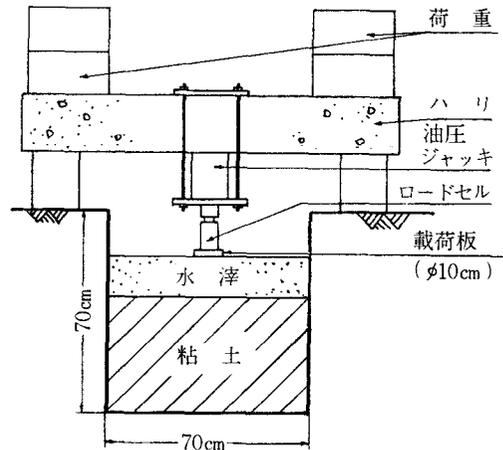
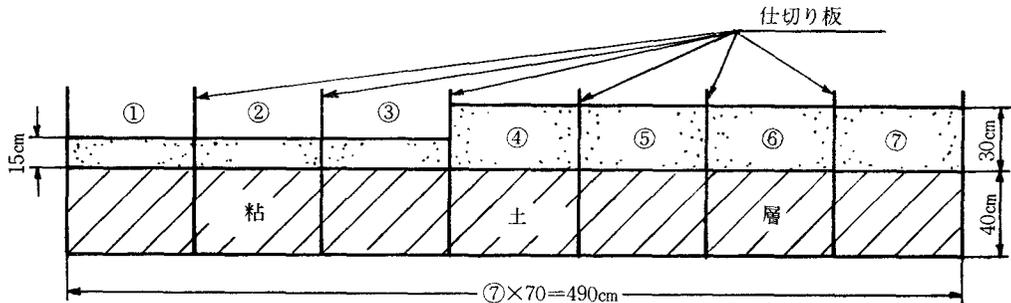


図-2 現場試験装置



- ① 水滓のみ 15cm
- ② 水滓+消石灰 15cm
- ③ 水滓+セメント 15cm
- ④ 水滓のみ 30cm
- ⑤ 水滓+消石灰 30cm
- ⑥ 水滓+セメント 30cm
- ⑦ 砂のみ 30cm

図-3 現場試験試料配置断面図

個の供試体について行ない、曲げ強さを測定した。圧縮試験は曲げ試験によって切断した各々6個の切片について各材令ごとに行ない、圧縮強さを求めた。

現場試験は、図-2に示す装置で行なった。すなわち広島工業大学3号館東側の造成地に0.7×0.7×4.9mの穴を掘り、粘性土を40cm厚になるように入れて軟弱地盤とし、その表面に砂、水溜、水溜+消石灰および水溜+セメントを図-3に示すように配置した。試料および材令期間の違いによる試料土層自体の硬化の進行状況を見るために、材令1ヶ月および2ヶ月経過後平板載荷試験により地盤支持力を求め比較検討した。

#### 4. 試験結果および考察

室内試験の結果は、図-4、5、6および7に示した。図-4は、水溜に消石灰を添加して材令の経過ごとに圧縮試験を行なった結果の図である。この図から水溜に消石灰を添加するとその添加量の増加に伴い、また材令の経過に伴って圧縮強さは増加した。また供試体の養生において非水浸養生をした供試体の方が水浸養生をした供試体より圧縮強さが大きい。これは非水浸養生の場合、水溜自体に含まれている水に消石灰が反応して潜在水硬性を引き出し、また添加材の消石灰がフィラーの役目をしたものと思われる。すなわち、水溜だけでは供試体の作製は不可能であるが、消石灰を添加することによって材令7日では、10~20kg/cm<sup>2</sup>の圧縮強さを得、さらに材令14日および28日と経過するに伴って圧縮強さの増加を得た。水浸養生では材令7日から14日にかけてかなりの圧縮強さの増加を得たが、材令14日以降は非水浸養生に比べて圧縮強さの増加は少ない。これは供試体が高含水比となり、非水浸養生に比べて水溜の水硬性を低下させたのではないかとと思われる。

図-5は、水溜にセメントを添加して圧縮試験を行なった結果の図である。この図においても図-4と同様に、材令の経過およびセメントの添加量の増加に伴って圧縮強さの増加が見られた。また図-4の消石灰添加とは逆に、水浸養生の方が非水浸養生より圧縮強さが大きく表われた。これはセメントとの水和硬化作用によって、非水浸養生より水浸養生の方に強度の増加が表われたものと思われる。

図-6は、消石灰を添加した供試体の曲げ試験の結果を表わした図で、図-4と同様な傾向が得られた。

図-7は、セメントを添加した供試体の曲げ試験の結果を表わした図で、図-5と同様な傾向が得られた。

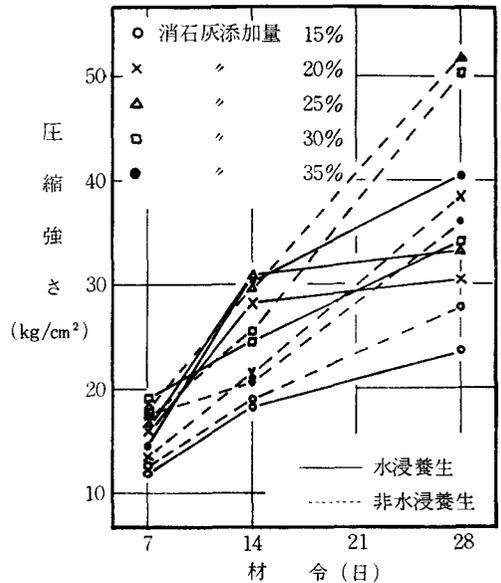


図-4 消石灰を添加した水溜の圧縮強さ

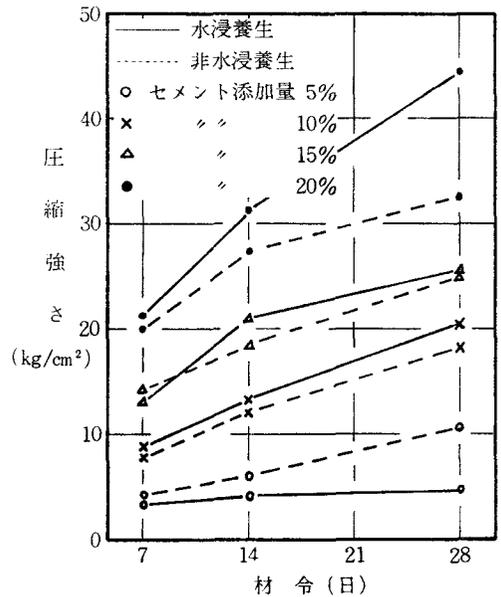


図-5 セメントを添加した水溜の圧縮強さ

が、いずれも添加量の少ないものほど材令7日では試験不可能によりデータが得られず、添加量の多いもののみ試験データが得られた。これは添加材のポゾラン反応による強度が曲げ強さとなって現われたものと思われる。

この室内試験の結果から現場試験での水溜への添加

材の配合を決定するにあたって、まず消石灰では図-4において、材令28日の圧縮強さの平均値  $35\text{kg/cm}^2$  付近にある消石灰添加量20%を採用した。セメントの方も同様に、 $25\text{kg/cm}^2$  付近にあるセメント添加量15%を採用した。

現場試験における平板載荷試験の結果は、図-8、図-9および表-2に示した。図-8は、砂および水滓+消石灰処理地盤の支持力を表わした図である。この図において、砂と水滓+消石灰を沈下量1.5cmにおいて比較すると水滓+消石灰15cm厚が砂30cm厚

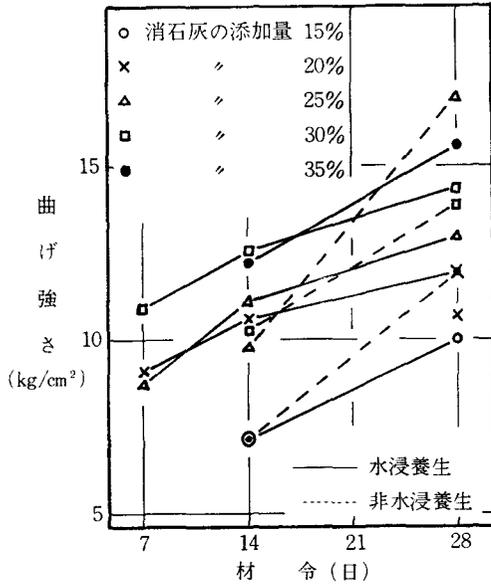


図-6 消石灰を添加した水滓の曲げ強さ

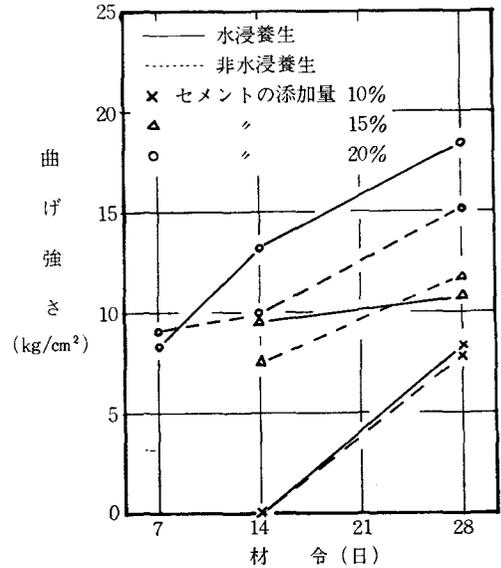


図-7 セメントを添加した水滓の曲げ強さ

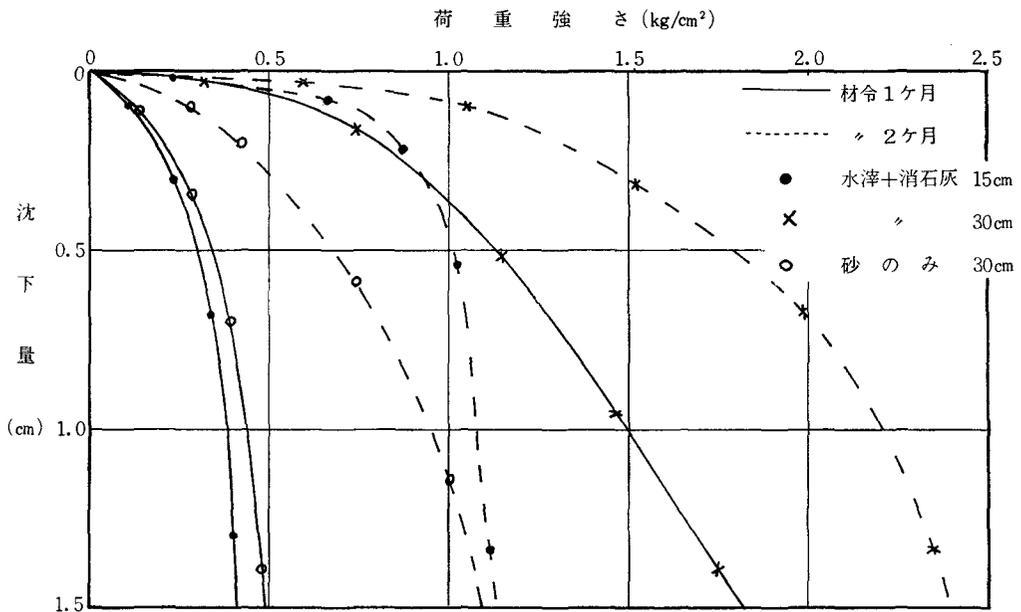


図-8 砂および水滓+消石灰処理地盤の支持力

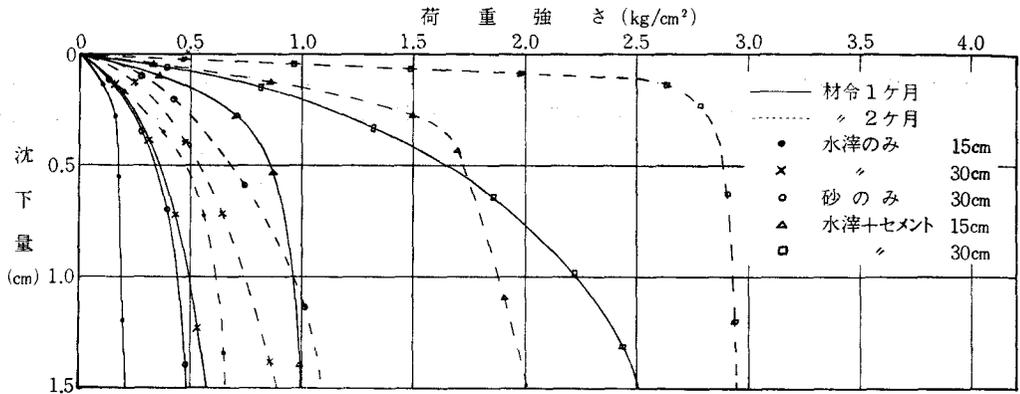


図-9 砂、水滓および水滓+セメント処理地盤の支持力

表-2 各試料の地盤係数の増加状況

試料名	地盤係数 $K_{10}$ (kg/cm <sup>2</sup> )					
	沈下量 0.125cm		沈下量 0.25cm		沈下量 0.5cm	
	材令1ヶ月	材令2ヶ月	材令1ヶ月	材令2ヶ月	材令1ヶ月	材令2ヶ月
水滓のみ 15cm厚	0.80	1.28	0.60	1.16	0.36	0.96
〃 30cm〃	1.20	2.00	1.16	1.52	0.72	1.08
水滓+消石灰 15cm〃	1.04	6.32	0.84	3.60	0.60	2.20
〃 30cm〃	5.60	9.28	3.48	5.60	2.26	3.58
水滓+セメント 15cm〃	3.52	6.88	2.68	5.76	1.72	3.44
〃 30cm〃	5.84	21.04	4.52	11.20	3.30	5.76
砂のみ 30cm〃	1.28	2.56	0.96	1.84	0.68	1.34

とはほぼ同等の値を示した。これが、水滓+消石灰30cm厚になると約2.5倍の値を示している。図-9は、砂、水滓および水滓+セメント処理地盤の支持力を表わした図である。この図においても図-8と同様に検討すると、水滓のみ15cm厚が砂30cm厚よりも低い値を示しているが、水滓のみ30cm厚ではほぼ同等の値を示し、水滓+セメント15cm厚では約2倍となり、水滓+セメント30cm厚では材令1ヶ月で約5倍および材令2ヶ月では約3倍の値を示した。

表-2において用いた地盤係数の計算は、荷重強さを一定の沈下量で除して求められるが、その際に用いる基準沈下量として道路を例とすると、舗装の種類によって異なりセメントコンクリート舗装で0.125cm、アスファルトコンクリート舗装で0.25cmあるいは0.5cmの値が一般に用いられているので、これらを使用した。また、荷重板は一般に直径30cmを使用す

るが、この試験では載荷板に直径10cmを使用したため  $K_{10}$  値として表した<sup>2)</sup>。

図-8、図-9および表-2から、水滓と砂の埋立材料としての支持力を比較検討すると、材令1ヶ月経過後に水滓のみ30cm厚で沈下量0.125cmの時  $K_{10} = 1.20 \text{ kg/cm}^2$  であり、砂のみ30cm厚で  $1.28 \text{ kg/cm}^2$  とほぼ同等の値を示し、これがさらに消石灰を添加した場合は、同じ30cm厚で  $5.60 \text{ kg/cm}^2$  を示し、セメントを添加した場合は、同じ30cm厚で  $5.84 \text{ kg/cm}^2$  となった。

以上のように水滓に添加材を加えて使用すれば砂に充分変りうることを示している。さらに、現場試験の主目的である埋立地への施工機械の搬入走行の是非について考察するにあたって、施工機械の例として、最も多く用いられているブルドーザーのデーターを基礎にしてその接地圧のみについて検討し

た。まず重量20トン程度のものであれば、接地圧は $0.7\text{kg}/\text{cm}^2$ で、湿地用ブルドーザーを使用すれば、接地圧 $0.3\sim 0.4\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度である。<sup>3)</sup> この値を図-8および図-9において比較すると、沈下量 $0.125\text{cm}$ 時に圧縮強さが $0.4\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上になる場合は、水淬に添加材を混入したもので水淬+消石灰 $15\text{cm}$ 厚(材令2ヶ月以上)および $30\text{cm}$ 厚と水淬+セメント $15\text{cm}$ 厚および $30\text{cm}$ 厚が該当し、また $0.7\text{kg}/\text{cm}^2$ に対しては、水淬+消石灰 $15\text{cm}$ 厚および $30\text{cm}$ 厚の材令2ヶ月以上のものと水淬+セメント $15\text{cm}$ 厚および $30\text{cm}$ 厚の材令2ヶ月以上のものが該当した。すなわち、地盤係数 $0.125\text{cm}$ 沈下については2ヶ月目で砂および水淬のみの場合に $30\text{cm}$ 厚で $2.30\text{kg}/\text{cm}^3$ 程度、水淬+消石灰の場合に $9.82\text{kg}/\text{cm}^3$ および水淬+セメントの場合に $21.04\text{kg}/\text{cm}^3$ となり、さらに材令およびまき出し厚を増せばトラフィカビリティーは良好になると思われる。

## 5. むすび

以上の室内試験と現場試験の結果から、水淬の埋立材料としての効果についてまとめると次のようである。

(1) 水淬の強度は2~3ヶ月位の期間では砂と同様に低いが、消石灰やセメントを添加すれば材令の経過とともに増加の傾向を示す。

(2) 水淬に消石灰やセメントなどの添加材を加えた場合、曲げ試験では材令7日で試験不可能なものが多いが、材令14日で $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度の曲げ強さを示し、さらに材令の経過により曲げ強さは増加の傾向を示す。

(3) 水淬に消石灰やセメントなどの添加材を加えた場合、圧縮試験では材令28日で $15\sim 20\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度の圧縮強さを得ることができるが、養生方法によって水淬の潜在水硬性の発現に差が現われた。しかし、材令の経過に伴い圧縮強さは増加した。

(4) K値が零の軟弱地盤に水淬をまき出せば砂と同等の支持力を示すが、添加材混入の水淬で処理すれば材令の経過とともに2~5倍の支持力の増加を示した。

(5) まき出し地盤のトラフィカビリティーは、 $30\text{cm}$ 厚さで1ヶ月以上、 $15\text{cm}$ 厚さでは2ヶ月以上の材令を必要とし、さらにまき出し厚を増せば良好となる。

二、三の試験結果から若干の考察を行なったが、不明な点が多いので、今後さらに研究を続け、水淬の埋立材料としての適応性を検討してゆきたい。

最後に、この研究にあたり試験に協力いただいた本学卒業生の河田秀一君(現、倉敷市役所)および沢田真一君(現、電々公社)に感謝いたします。さらに、水淬の提供を戴いた広畑鋳造加工(株)に深謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 沢田, 田中, 中江: 鋳造の鋳物学的基礎研究. 九州鋳造学会誌第36巻第5号(昭和43年5月)
- 2) 南雲, 瀬戸, 山下, 佐島: 道路舗装に関する試験. 道路建設講座(12)(昭和50年8月)
- 3) 建設材料・工法ハンドブック編集委員会編: 建設材料・工法ハンドブック. 建設産業調査会(昭和47年3月)