

JAERI-M

9 1 9 1

模擬高レベル廃棄物ガラス固化体の安全性試験(Ⅲ)
(固化体の落下衝撃試験)

1980年11月

三田村久吉・妹尾 宗明・石崎寛治郎*・田代 晋吾
加藤 修**・馬場 恒孝・木村 英雄・降矢 喬***
野村 正之・荒木 邦夫

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

模擬高レベル廃棄物ガラス固化体の安全性試験 (Ⅲ)
(固化体の落下衝撃試験)

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

三田村久吉・妹尾宗明・石崎寛治郎*・田代晋吾・加藤 修**
馬場恒孝・木村英雄・降矢 喬***・野村正之・荒木邦夫

(1980年10月21日受理)

高レベル廃棄物ガラス固化体の衝撃破壊特性を明らかにするため、直径5 cmの模擬高レベル廃棄物ホウケイ酸ガラス固化体を用いて、最高9 mの落下衝撃試験を行った。さらに、落下衝撃を受けた試料について、100 °C、1 hの浸出試験を行い、Cs、Na浸出量と表面積との関係を調べた。この結果、単位衝撃エネルギー当たりの増加表面積として、 $6.2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{kg} \cdot \text{m}$ という値が得られた。また、浸出については、破壊の小さい領域では、Cs、Na浸出量と表面積の間に比例関係があり、破壊の大きな領域では、この比例関係が成り立たないことが分った。

* 外来研究員；秩父セメント（株）

** 外来研究員；ラサ工業（株）

*** 外来研究員；神戸製鋼（株）

JAERI-M 9191

Safety Evaluation of Simulated High-Level Waste Glass Products(III)
(Drop Impact Test of Products)

Hisayoshi MITAMURA, Muneaki SENOO, Kanjiro ISHIZAKI*,
Shingo TASHIRO, Osamu KATO**, Tsunetaka BANBA, Hideo KIMURA,
Takashi FURUYA***, Masayuki NOMURA and Kunio ARAKI

Division of Environmental Safety Research, Tokai Research Establishment,
JAERI

(Received October 21, 1980)

Borosilicate glass products containing simulated high-level waste were dropped onto an iron plate to examine mechanical strength against impact breakup. The products are 5cm in diameter and 2.5-10cm in height. The drop distances are less than 9m. Surface areas of breakup pieces were measured to clarify relationship between impact energy (potential energy before the drop test) and increase in the surface area of the products. The value of $6.2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{Kg m}$ was obtained for the increase per unit impact energy. Amounts leached of Na and Cs are proportional to the surface area on the occasion of the small breakup, while they are not on the occasion of the large breakup.

Keywords; Safety Evaluation, Simulated High-Level Waste, Borosilicate glass products, Mechanical Strength, Impact breakup, Surface area, Impact energy, Amounts leached of Na and Cs.

* On leave from Chichibu Cement Co. Ltd.

** On leave from Rasa Industry Co. Ltd.

*** On leave from Kobe Steel Works Ltd.

目 次

1. 序 論	1
2. 実 験	1
2.1 試料の調整	1
2.2 落下試験装置	2
2.3 分 級	2
2.4 表面積測定	3
2.5 浸出試験	3
3. 結果と考察	4
3.1 落下後試料の粒径分布	4
3.2 落下衝撃による表面積増加	4
3.3 Cs, Na 浸出量と表面積	5
4. 結 論	6
参考文献	7

Contents

1. Introduction	1
2. Experimental	1
2.1 Preparation of specimen	1
2.2 Drop impact testing equipment	2
2.3 Sieving	2
2.4 Measurement of surface area	3
2.5 Leaching test	3
3. Results and discussion	4
3.1 Particle size distribution of glass crushed by impact	4
3.2 Increased surface area of glass crushed by impact	4
3.3 Relationship between surface area and amounts of Cs and Na	5
4. Conclusion	6
Reference	7

1. 序 論

使用済核燃料の湿式再処理工程で発生する高レベル放射性液 (HLW) は、放射性核種を長期間にわたって生活圏から隔離するために、安定な固体化にして貯蔵・処分される。この1次バリヤ効果をもつHLW固体化としては、ホウケイ酸ガラス固体化が世界の主流となっており、¹⁾ このガラス固体化は、さらに、2次バリヤ効果をもつキャニスターに封入される。このキャニスターに封入されたHLWガラス固体化は、貯蔵・処分に際して移送される。その際、移動中のキャニスターの転倒や、輸送中の衝突事故及び積み替え中の落下事故によって、機械的衝撃力がHLWガラス固体化体に加わるものと想定される。この機械的衝撃力がHLWガラス固体化体の破壊強度を上回った場合、HLWガラス固体化体は破壊し、表面積増加が起こるものと考えられる。この点から、T. H. Smith と W. A. Ross は、キャニスター入りHLWガラス固体化体について衝撃試験を行っている。²⁾ また、W. J. Mecham, L. J. Jardine, M. J. Steindler は、ガラス固体化体自身の衝撃破壊表面エネルギーとガラス固体化体に加わったエネルギー密度の関係から、HLWガラス固体化体に衝撃エネルギーが加わった場合の表面積増加量を推定しようとしている。³⁾

機械的衝撃によってHLWガラス固体化体の破壊が起こり、キャニスターの破損や腐食によって2次バリヤが破れたときには、表面積増加による浸出量増加がもたらされることになる。本試験では、キャニスター入りHLWガラス固体化体の衝撃試験に先立ち、固体化体自身の衝撃破壊性を明らかにするため、模擬HLWホウケイ酸ガラス固体化体の5 cm φの小供試体を使用して最高9 mからの落下衝撃試験を行った。さらに、放射性核種の移行という観点から破碎した試料について浸出試験を行い、浸出量と表面積との関係を調べた。

2. 実 験

2.1 試料の調整

模擬HLWホウケイ酸ガラス固体化体の廃棄物含有率は10 wt%とし、HLWの模擬は表1に示すような14成分で行った。⁴⁾ また、固体化体素材としては表2に示すような組成のものを使用した。ここで、CsについてはKで模擬せずに文献値をそのまま取り入れた。⁵⁾ ガラス熔融炉に供給する試料の調整には、表1に示した成分試薬と表2に示した固化素材試薬を使用した。これらの試薬を容量5 lのV型混合器の中に投入して混合した後、ガラス熔融炉に供給した。熔融炉には金属熔融炉(主成分Cr/Fe/W; 59.3/33.7/5.35 wt%)を使い、連続最大出力20 KW, 周波数300 KHz ± 40 KHzの高周波誘導加熱によって試料を熔融した。試料は、1200 °Cで2時間保持する条件で熔融したのちフリーズバルブから流し出し、600 °Cに予熱した内径5 cmの円筒型黒鉛型枠(2分割型)内に受けた。固体化は550 °Cと500 °Cでそれぞれ30分以上保持した後、焼きなまし炉内で自然放冷させ、炉内が室温とほぼ同じになってから取り出した。

冷却後、黒鉛型枠から取り出した円筒状ガラス固化体を、ダイヤモンド砥石によって、2.5 cm, 5 cm, 10 cmの各長さに切断した。それぞれは、寸法比（長さLと直径Dとの比； L/D ）0.5, 1.0, 2.0に相当する。切断に際しては、回転治具を使い、切断面は研磨することなく切断面のまま使用した。切断後の試料は、水洗して自然乾燥した後、エチルアルコールで表面をふいて落下衝撃試験に供した。

2.2 落下試験装置

図1に示す三井造船（株）製作の固化体落下衝撃試験機を使用した。固化体が直接衝突する衝撃対象板は、縦150 cm×横150 cm×厚さ7 cmの鉄板で、この下には厚さ90 cmの鉄筋コンクリートを、さらにその下には厚さ5 cmの捨てコンクリートを敷き、さらにその下に基礎栗石を15 cmの厚さで敷いてある。昇降機構は、最大9 mまで上昇可能で、途中の落下位置は任意に設定できるようにしてある。落下試料の開放機構には、電磁石を利用した瞬時開放機構を採用した。固化体の保持は水平から垂直まで角度を6等分して7種の姿勢が取れるようにしてあるが、本試験では円筒ガラス固化体の軸方向が鉛直となる落下のみを行った。開放機構の治具には厚さ2 mmのゴムパッドを貼り、試料保持の際のガラス固化体の破損を防いだ。

2.3 分級

ふるい器には、西独 Retsch 社製の電磁式ふるい振とう器を使用した。ふるいには、黄銅製の目開き 38.1 mm, 19.1 mm, 9.52 mmのふるいと、ステンレス製の目開き 4.0 mm, 2.0 mm, 0.841 mm, 0.5 mm, 0.25 mm, 0.149 mm, 0.074 mm, 0.037 mmのふるいを使用した。ステンレス製ふるいの寸法は、内径 152 mm ϕ × 高さ 47 mm である。ふるい振とう器への装着に際しては、150 mm ϕ ふるい用アダプタを使用した。

黄銅製のふるいについては、すべて手作業でふるいを行った。すなわち、目開き 9.52 mm のふるいに落下後試料を通過させ、そのふるい上に残った試料について、再度 38.1 mm, 19.1 mm, 9.52 mm のふるい目に試料が通るか通らないかを一片ずつ手作業で確認して分級を行った。この操作中に、新たな破壊が起こることはなかった。

9.52 mm のふるい目を通る細かい落下後試料に関しては、試料を8個重ねのふるい振とう器にかけ、ダイヤル 50, 15 分間の振とうによってふるいを行った。ここで採用した 15 分間の振とう時間は、目開き 4.0 mm のふるいを通過した落下後試料 188 g についてのふるい予備試験の結果（図2）から決めたものである。すなわち、図2から明らかのように、15 分間の振とうによって、0.074 mm より大きな試料片についてのふるい下重量分布は、2 時間振とうによるふるい下重量分布とほぼ同じ分布をしている。一方、ふるい時間が長くなると、振とうによる破壊量が多くなると考えられる。このため、妥当な振とう時間として 15 分間を採用した。

ふるい後の試料重量の測定において、9.52 mm 以上の試料片については、試料片を直接測定し、9.52 mm より小さな試料片については、ふるいごと測定した後に、ふるいの空重量を差引くことによって試料重量を求めた。

2.4 表面積測定

落下用試料の表面積測定

落下前試料の表面積は、寸法値から算出した。この寸法測定には、1/20 mm 精度のノギスを使用した。

落下後試料の表面積は、分級試片毎の表面積の総和から求めた。大きさが 9.52 mm 以上の試料片については、各試料片毎に表面積を求め、大きさが 9.52 mm 未満の試料片については、ふるい粒径間毎にあらかじめ求めておいた比表面積と、分級後に得られる試料重量とを乗じることによって、各ふるい粒径間毎の表面積を求めた。

重量法による粒径 9.52 mm 以上の試料片の表面積測定

試料の表面を厚さの様な紙で覆い、これに要した紙の重量と紙の比表面積から、試料の表面積を求めた。使用した紙は、十千万社製のトレース用 2 mm 目セクションペーパーで、紙の片面の比表面積は $1.93 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{g}$ であった。紙の比表面積を求める際には、紙の切断に大型カッターを用い、1/20 mm 精度のノギスで寸法測定し、0.1 mg 精度の天秤で重量測定を行った。

マイクロメータ法による粒径 2.0 ~ 9.52 mm の試料片の表面積測定

写真 1 のように、落下後試料片の形状は貝殻片状のものである。このため、1/100 mm 精度のマイクロメータを使い、試料の最長部と、これに直交するより長い部分の寸法を測定して、これらを対角線とするひし形を考え、このひし形の表と裏面の合計面積をもって、試料片の表面積とした。試料重量の測定には 0.1 mg 精度の天秤を用い、測定精度を上げるため、寸法測定後の試料片を適当個ずつまとめて秤量した。また、試料片の選び方によるばらつきを少なくするため、約 70 ~ 80 個の試料片についての測定の平均値から、このふるい粒径間の比表面積を求めた。

画像拡大法による粒径 0.25 ~ 2.0 mm の試料片の表面積測定

画像拡大機の試料台の上に試料片を置き、スクリーン上に投影した像の寸法を 1 mm 精度のものさしで測定した。この測定値を拡大倍率で割って実寸法に直し、前節のマイクロメータ法と同様な近似法で比表面積を求めた。ここで使用した拡大倍率は 10 倍と 20 倍である。試料重量の測定には 0.1 mg 精度の天秤を用い、測定精度を上げるため、寸法測定後の試料片を適当個ずつまとめて秤量した。

BET 法による粒径 0.25 mm 未満の試料片の表面積測定

島津製作所製オーア式比表面積・細孔分布解析装置 2100 D を使用した。吸着ガスにはクリプトンガスを使用し、空容積測定用ガスにはヘリウムガスを使用した。細かな試料片は確保できる量が少ないため、同一条件で調製・落下を行った母材のみからなるガラスの破片を適当量混合したものを試料に供した。試料の脱気は 200 °C で一昼夜以上行い、装置セル内の圧力変化によって脱気が十分なことを確認した後に測定を開始した。

2.5 浸出試験

100 °C, 1 h 保持のバッチ法で行い、浸出液にイオン交換水を使用して廃棄物中に含まれる Cs と主に母材中に含まれる Na の浸出量を測定した。

使用した装置を図3に示した。装置の材質には、Cs, Na を含まず、強度も十分にあるステンレスを使用した。

測定に使った試料は、分級・重量測定の後、全量を使用した。浸出試験は以下の操作で行った。すなわち、落下前試料容積の5倍のイオン交換水により浸出試験を行った。浸出試験時の加熱、保持、急冷は、図4に示すようなモードで行った。急冷に際しては、装置本体をできる限り手早く水道水で冷却した。水冷後の浸出液は、全量を回収して容量を測定し、この値を浸出液量とした。浸出液中のCsとNaの濃度は、原子吸光分析装置を使い、検量線法によって求めた。ここで、浸出容器表面へのCs, Naの吸着は無視した。Cs, Na含有量の調製試薬からの計算値を表3に示した。

3. 結果と考察

3.1 落下後試料の粒径分布

落下前試料重量に対する分級後試料片の重量百分率を対応するふるい目間隔で除した粒径分布強度と、ふるい目開きとの関係を図5～図7に示した。これらの図で、寸法比が2.0の場合、ふるい目開き4mmよりも細かい領域では、どのふるい目間隔でも、得られた試料片の粒径分布強度は落下高さが高くなるにしたがって大きくなる傾向が見られる。一方、寸法比が0.5, 1.0の場合、粒径分布強度と落下高さとの間に明確な相関が見られない。これは、試料の同一性の問題以外に、試料重量と寸法比から考えて、寸法比が2.0の場合以上に落下時の外乱を受け易く、衝突姿勢が必ずしも一定とならないことも影響しているものと考えられる。

図5～図7で、横軸を通常の座標に交換すると、囲まれる面積がその区間に入る試料片の重量百分率となる。従って、寸法比が2.0の場合、少くともふるい目開き4mm以下では、得られる試料片のふるい下重量百分率は落下高さが高くなるにつれて大きくなることが分る。この関係を、ふるい下重量百分率対ふるい目開きの図8に示した。この図に、各落下高さに対応して、落下前の位置エネルギーから計算した衝撃エネルギーを付記した。図8を、R. M. Wallace, J. A. Kelleyの結果⁶⁾と比較すると、対応する衝撃エネルギーについて本試験で得られた結果よりも1桁程度大きくなっている。これは、装置やガラス組成の違いなどが影響したものと推察している。また、図8において、各曲線の平行度はさほど明瞭ではない。これは、前述したように、本試験の場合は衝突姿勢が必ずしも同一でないため、このことが原因の一つとも考えられる。

3.2 落下衝撃による表面積増加

落下後試料の各ふるい目間において得られた比表面積を図9に示した。図中の直線は、各試料片が球体であると仮定したときの比表面積と粒径の関係である。この図で、マイクロメータ法および画像拡大法で求めた比表面積と球体モデルの比表面積は、ほぼ同じ値を示している。しかしながら、実際の試料片は厚みをもっているため、重量法で求めた比表面積の値からも予想される

ように、マイクロメータ法および画像拡大法領域の実際の試料片の比表面積は、ここで求めた値よりも大きくなるものと思われる。一方、BET法で求めた比表面積は、画像拡大法で求めた比表面積と比べて1桁程度大きくなっている。これは、マイクロメータ法や画像拡大法では、ガラス表面の細かな凹凸を無視しているため、小さな比表面積が得られたものと思われる。本試験では、0.25 mm以下のふるい粒径に対して、BET法で求めた比表面積を採用した。

これらの比表面積から求めた落下後試料の表面積と落下高さの関係を図10に示した。図中の各直線は、各寸法比毎の測定値から最小2乗法によって求めたものである。この図において、各直線を平行移動して切片を零に一致させると、縦座標は落下衝撃による増加表面積を表わすことになる。このとき、各落下高さにおける増加表面積と寸法比の関係は、ほぼ比例関係にある。今、落下試料は同じ径であるから、縦座標に落下衝撃による増加表面積をとり、横座標に衝撃エネルギーをとると、各測定値はほぼ同一直線上にくることが予想される。ここで、横座標には、本来ガラスに吸収されるエネルギーをとるのが適当と考えられるが、本試験では比例するものとして衝撃エネルギーを用いている。増加表面積と衝撃エネルギーとの関係を図11に示した。この図で、斜線で示したものは、各寸法比毎の確率誤差範囲を示したものである。ここで、確率誤差は、各寸法比毎の測定値から傾きの2乗平均誤差を出し、この誤差を0.674倍して求めた。⁷⁾ 図11において、寸法比の小さいものは測定値自体がばらついているため、同一の直線上に集まる傾向は必ずしも明瞭でない。これは、寸法比が小さくなるほど衝突姿勢の同一性に影響を受け易くなるため、測定値にばらつきが出たものと考えられる。寸法比の大きいものはほぼ同一直線付近に集まっている。図11において、確率誤差の小さい、つまり測定値のばらつきの少い寸法比2.0の結果から求めた単位衝撃エネルギー当たりの増加表面積は、 $6.2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{Kg} \cdot \text{m}$ であった。これを、W. A. Ross等の値⁸⁾と比べると、約2倍の大きさになっている。また、S. M. Wiederhornの求めたホウケイ酸ガラスの破壊表面エネルギー 4.5 J/m^2 ($2.2 \text{ m}^2/\text{Kg} \cdot \text{m}$)と比べると小さく、衝突エネルギーのうち有効に使われたものは3%弱となっていることが推定される。また、図11において、表面積が小さい領域では細かな破片も少く、ほぼ落下前の試料表面積に近いが、表面積の大きな領域では細かな破片が多くなり、この細かな破片による新たに生成した表面積が全体の表面積に大きく寄与している。

3.3 Cs, Na 浸出量と表面積

Cs, Na 浸出量と表面積との関係を示したものが図12である。ここで、浸出現象は、黒鉛型枠に接触していた面、新たに生成した面および切断面において同じものと仮定した。図12において、表面積の小さい領域では、測定値は一本の直線上にのっている。この領域で、単位表面積当たり、単位時間当たりの浸出量を求めると、Csについては $7.4 \times 10^{-5} \text{ g-Cs/cm}^2 \cdot \text{day}$, Naについては $7.4 \times 10^{-4} \text{ g-Na/cm}^2 \cdot \text{day}$ という値が得られ、Naの方がCsよりも10倍多くなっている。さらに、これらの値を表3に示す単位ガラス固化体中の各元素の含有量で除して浸出率¹⁾を求めると、Csについては $6.7 \times 10^{-3} \text{ g-glass/cm}^2 \cdot \text{day}$, Naについては $4.7 \times 10^{-3} \text{ g-glass/cm}^2 \cdot \text{day}$ という値が得られ、Cs, Naともほぼ同じ浸出率を示す。一方、表面積が大きくなると、測定値は前述の直線からずれ、浸出量が表面積の増加に比べて低下する傾向が見られ

る。

また、図 12 の結果から、落下衝撃試験後のガラス固化体の浸出量評価として、衝撃試験前の試料の浸出量と衝撃試験前後の表面積の増加比との積について評価する方法が考えられる。ただし、これについては、試料の均一性、浸出機構、浸出試験法の問題も含め、今後さらに検討すべき問題が残されている。

4. 結 論

以上のことから、次のことが分った。

- (1) 衝撃エネルギーが大きくなるに従って、ガラス固化体から生成する微細試料片の量が多くなった。
- (2) 落下衝撃による増加表面積と衝撃エネルギー ($< 4.65 \text{ Kg} \cdot \text{m}$) との間には直線関係が見られ、単位衝撃エネルギー当たりの増加表面積として $6.2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{Kg} \cdot \text{m}$ という値を得た。
- (3) 100°C 、1 h の煮沸法によるガラス固化体の浸出量と表面積の間において、破壊の小さい領域では比例関係が見られ、浸出率として、Cs について $6.7 \times 10^{-3} \text{ g-glass/cm} \cdot \text{day}$ 、Na について $4.7 \times 10^{-3} \text{ g-glass/cm} \cdot \text{day}$ という値を得た。また、衝撃による細かな試料片の生成が多くなる領域では、浸出量が表面積増加量に比べて相対的に少くなる傾向があった。

今後は、試料のスケール効果、キャニスター効果等も考慮した落下衝撃試験を行い、浸出挙動の検討も含めて安全評価の基礎資料を得る予定にしている。

謝 辞

本研究を進めるにあたって、快く装置を貸して下さった燃料安全第 3 研究室の皆様に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) "Characteristics of Solidified High-Level Waste Products", IAEA (1979)
- 2) T.H. Smith & W.A. Ross, "Impact Testing of Vitreous Simulated High-Level Waste in Canisters", BNWL-1903 (1975)
- 3) W.J. Mecham, L.J. Jardine & M.J. Steindler, "Preliminary Test Program for Impact Resistance of Solid Waste Forms", Trans. Am. Nuc. Soc., 33, p.419-p.421 (1979)
- 4) 三田村 等, "容器入りガラス固化体の安全性試験(I)", JAERI - M 8573 (1979)
- 5) H. Krause, KFK-2000, p.37-p.38 (1972)
- 6) R.M. Wallace & J.A. Kelley, "An Impact Test for Solid Waste Forms", DP-1400 (1976)
- 7) 一瀬 正己, "誤差論", 培風館 (1953)
- 8) W.A. Ross et al., "Annual Report on the Characterization of High-Level Waste Glasses", PNL-2625, p.9-p.12 (1978)
- 9) S.M. Wiederhorn, "Fracture Surface Energy of Glass", J. Am. Ceram. Soc., 52 (2) p.99-p.105 (1969)

Table 1 Recipe of simulated HLW

Component	Content(wt%)	Reagent
Cs_2O	11.65	CsNO_3
K_2O	0.54	KNO_3
SrO	4.06	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$
BaO	4.73	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$
Fe_2O_3	15.46	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
CaO	11.37	CaCO_3
TiO_2	11.16	TiO_2
MoO_3	16.14	$\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
MnO_2	2.36	$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
CoO	0.98	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
NiO	2.07	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
TeO_2	1.77	TeO_2
Cr_2O_3	2.86	$\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
Na_2O	14.86	NaOH

Table 2 Recipe of simulated HLW glass products

Component	Content(wt%)	Reagent
Waste(oxide)	10.00	Waste reagent
Zeolite(Oxide)	52.09	Natural zeolite
Na_2O	18.32	Na_2CO_3
B_2O_3	13.73	H_3BO_3
CaO	5.85	CaCO_3

Table 3 Content of Cs and Na in simulated HLW glass products

Cs: 10.99 (mg/g-glass)
Na: 156.21 (mg/g-glass)

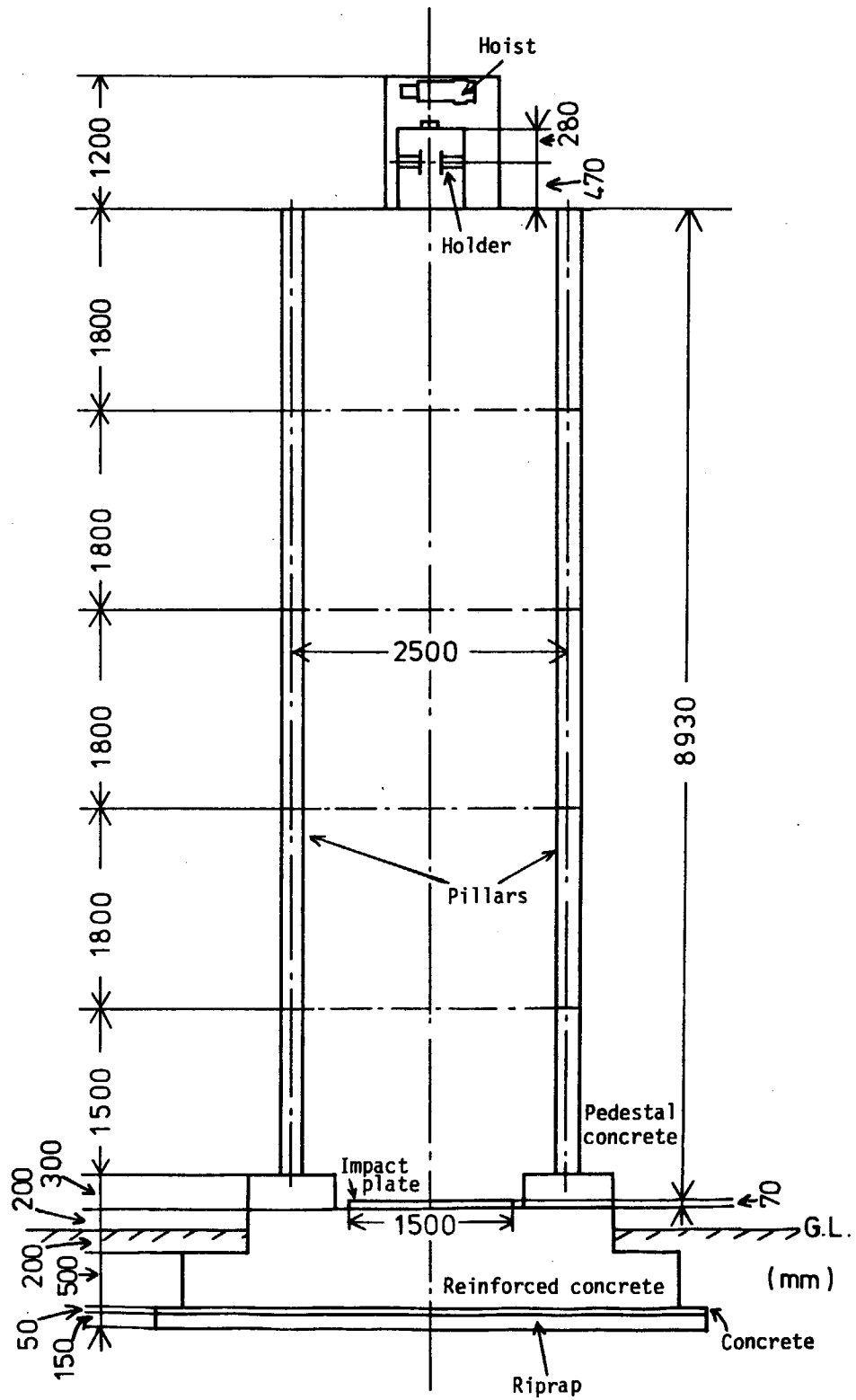


Fig.1 Drop impact testing equipment

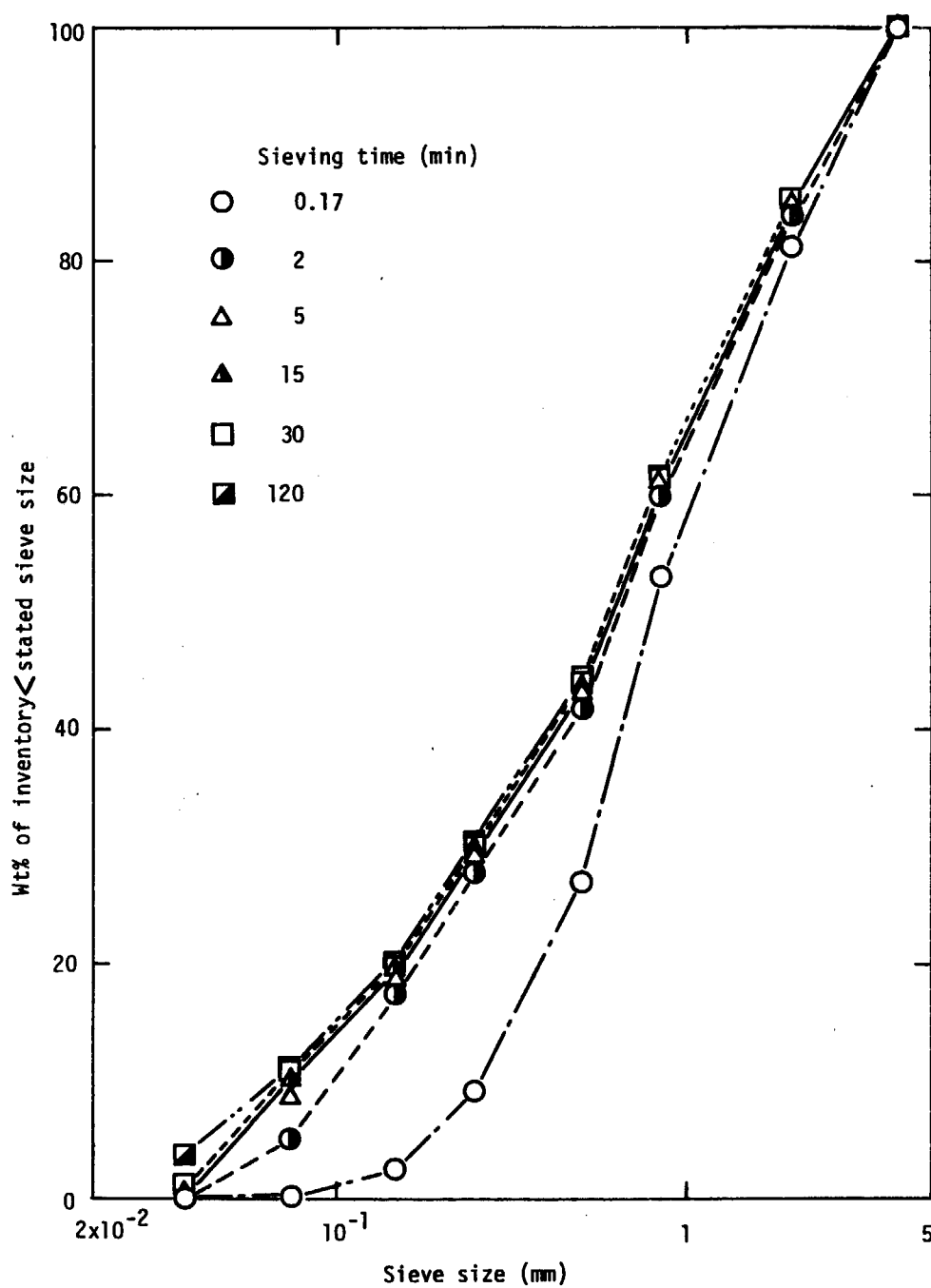


Fig.2 Effect of sieving time (sample weight 188g,dial 50)

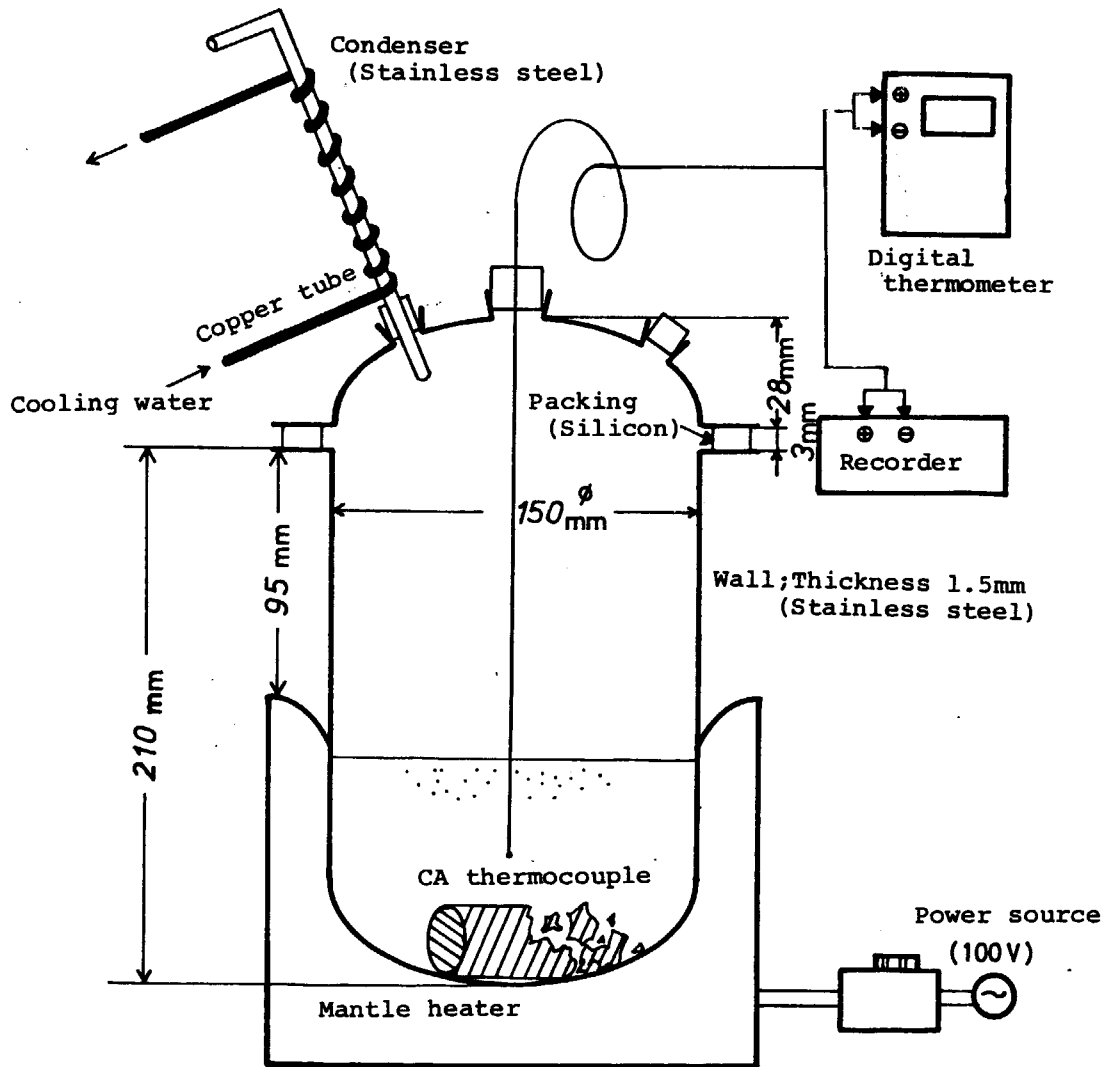


Fig.3 Leaching test apparatus

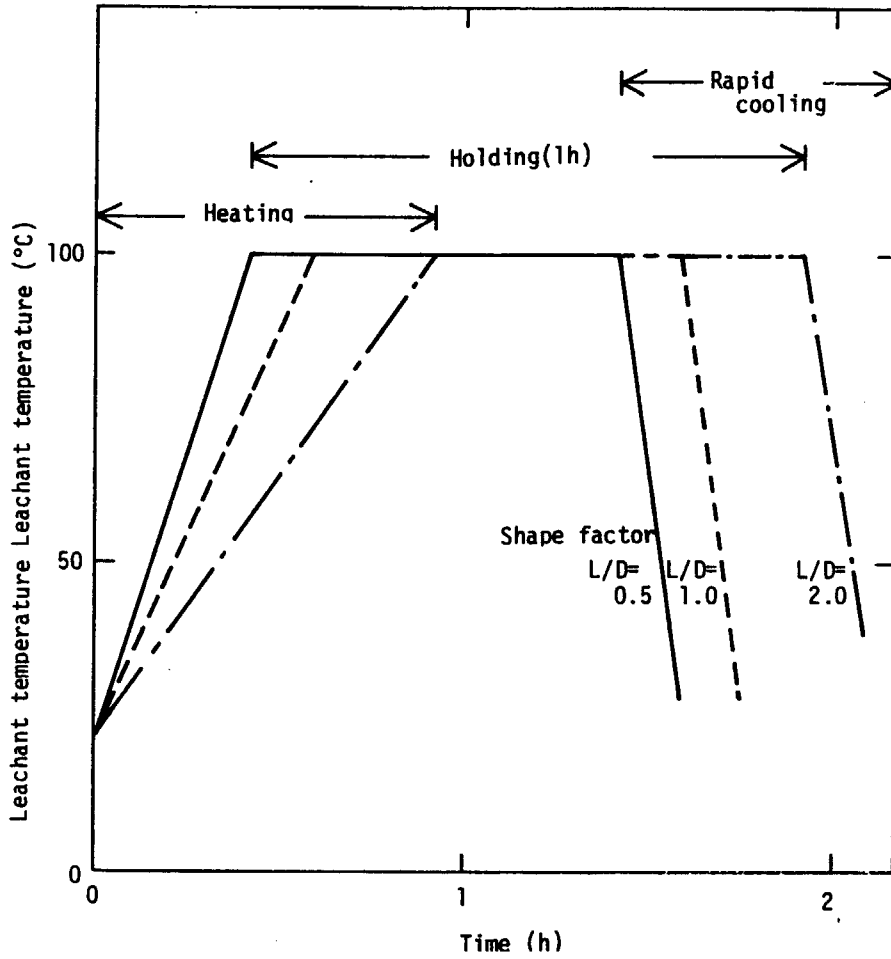


Fig.4 Leachant temperature in leaching test

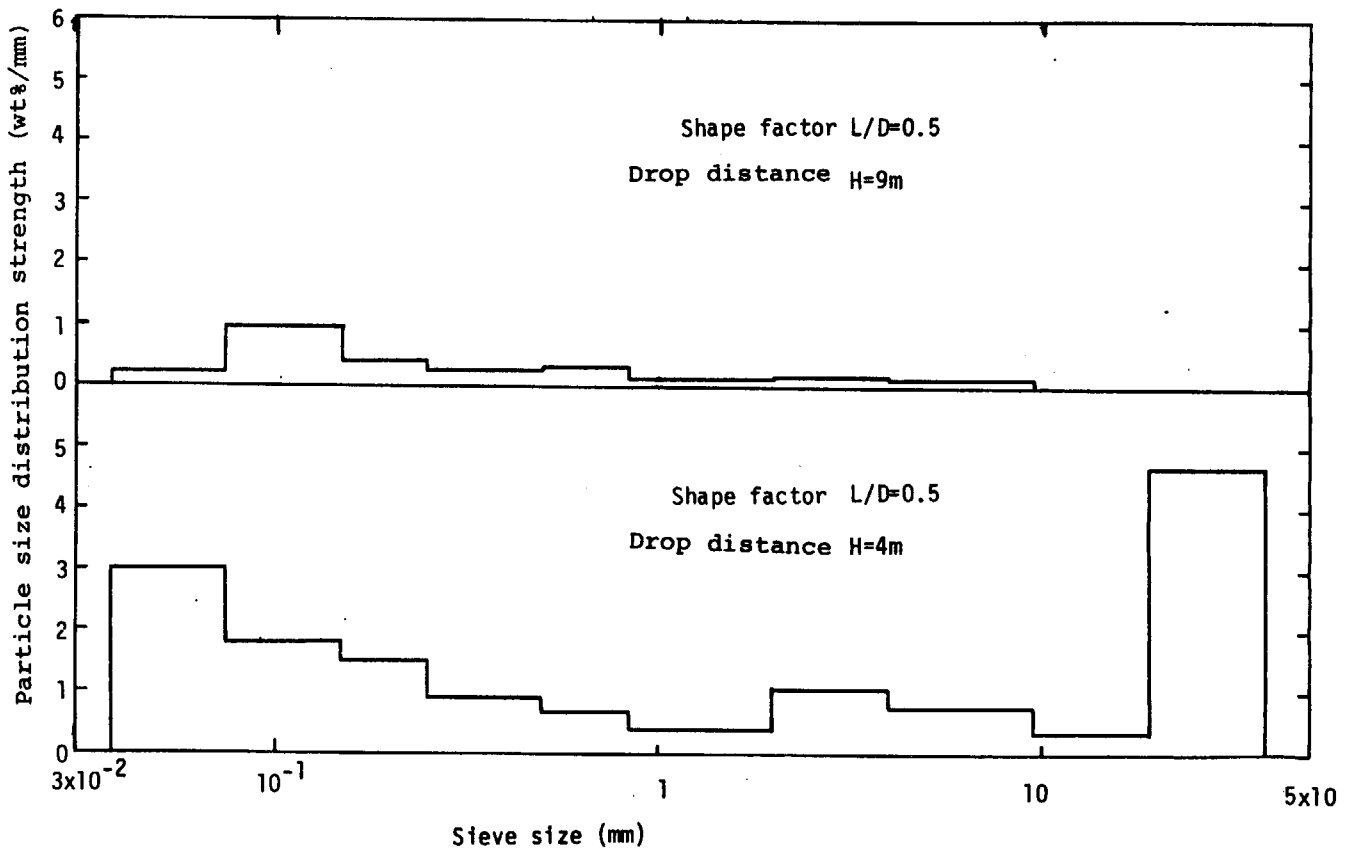


Fig.5 Particle size distribution of broken sample

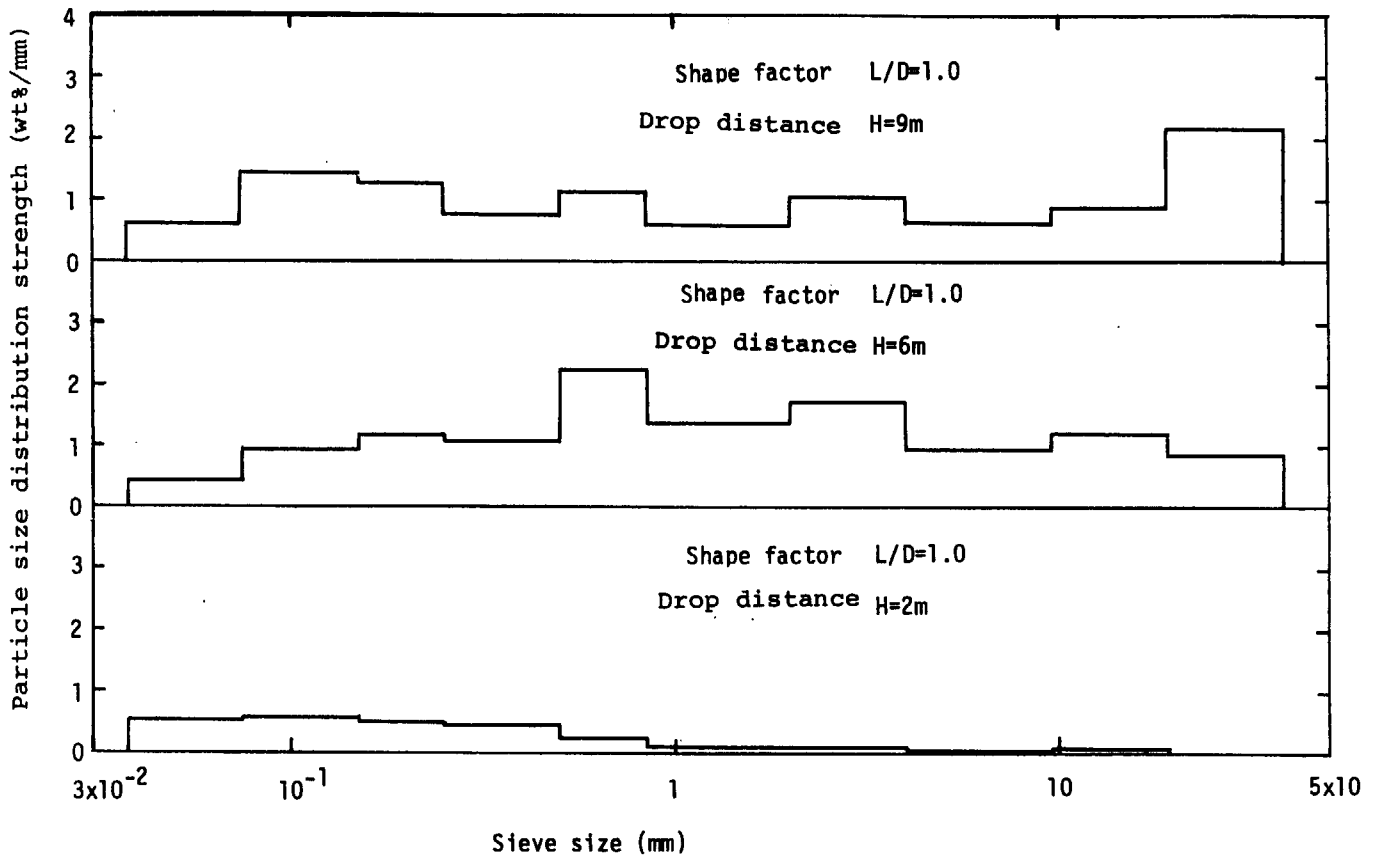


Fig.6 Particle size distribution of broken sample

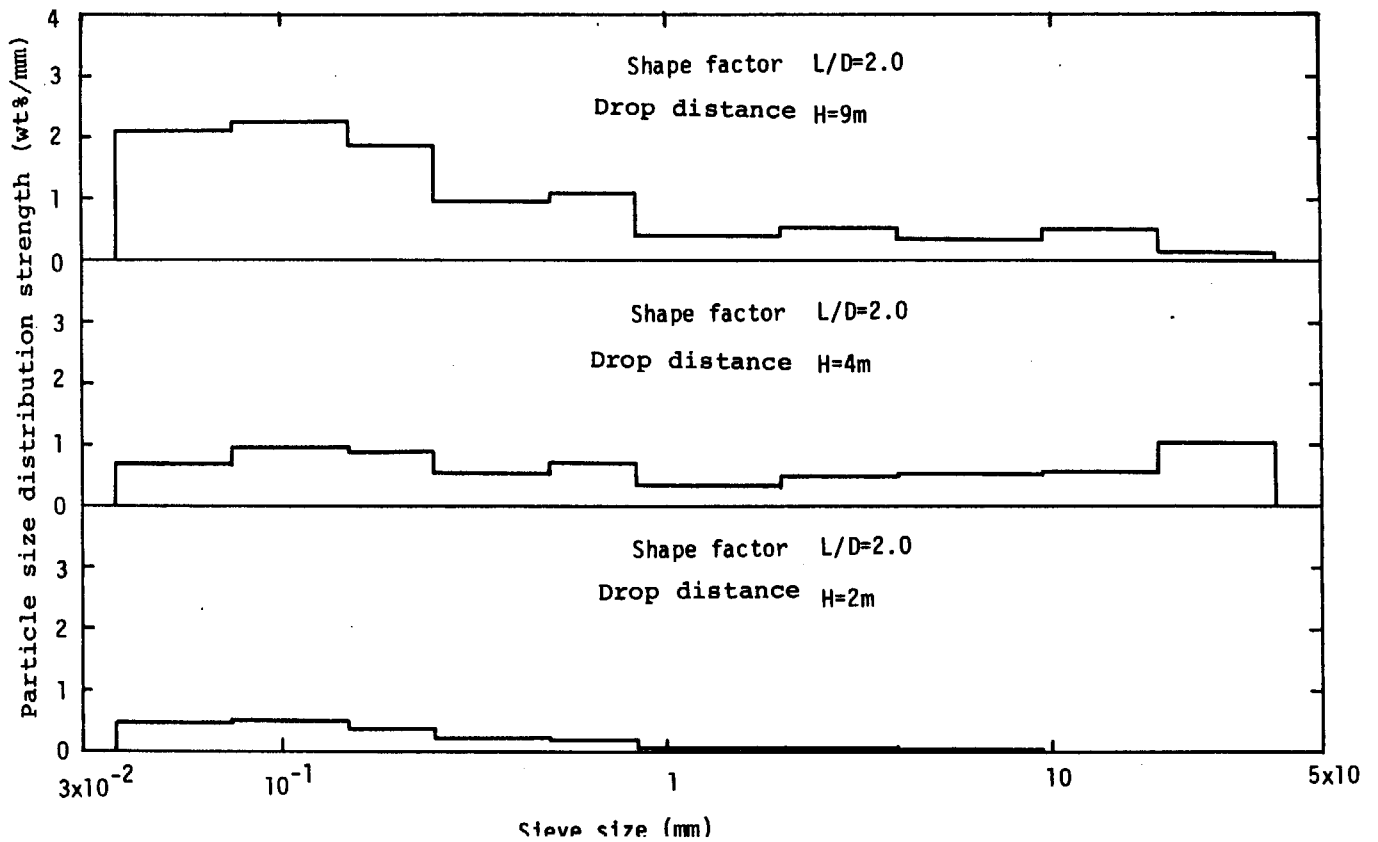


Fig.7 Particle size distribution of broken sample

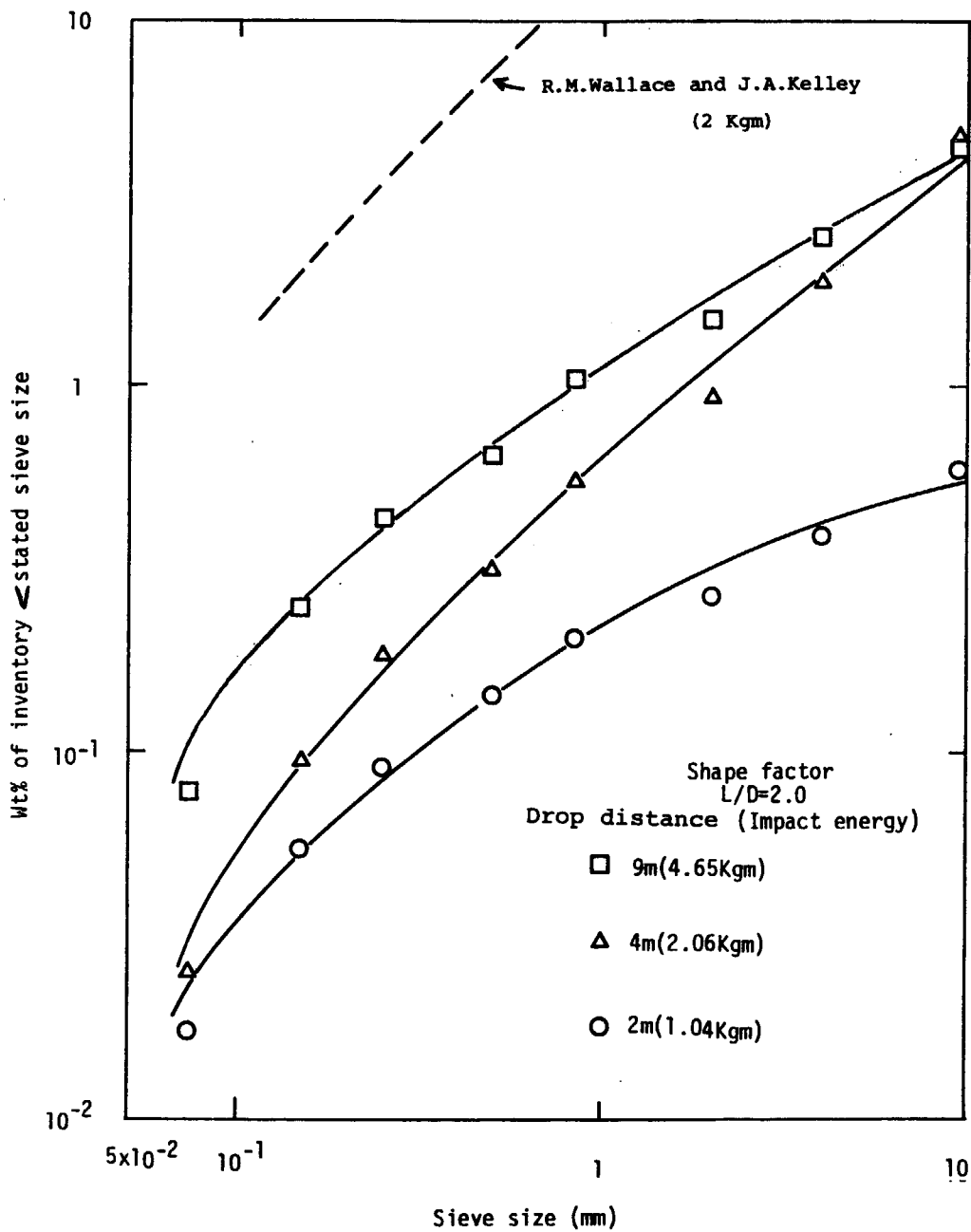


Fig.8 Wt% of inventory <stated sieve size vs. sieve size

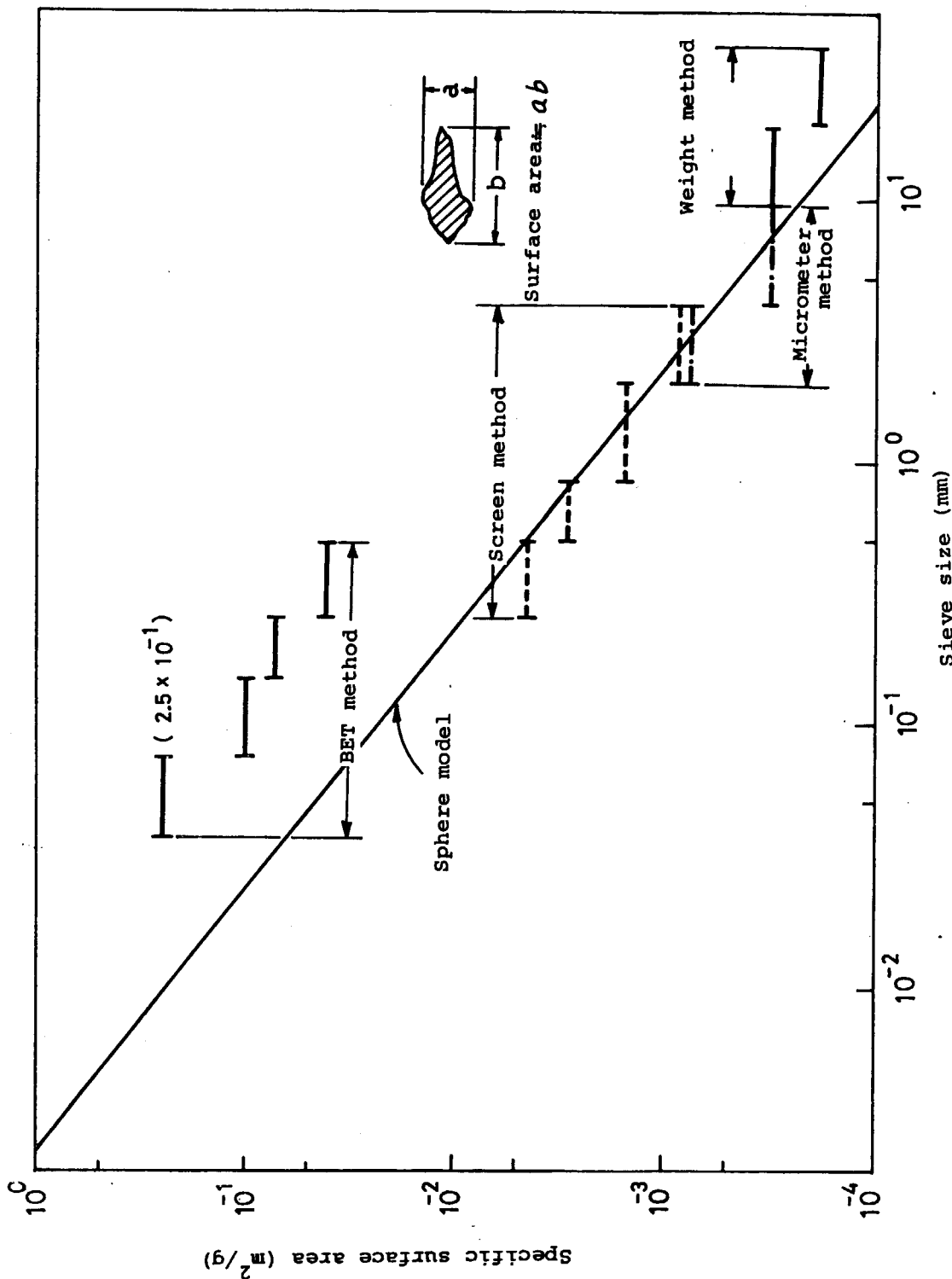


Fig.9 Specific surface area vs. sieve size

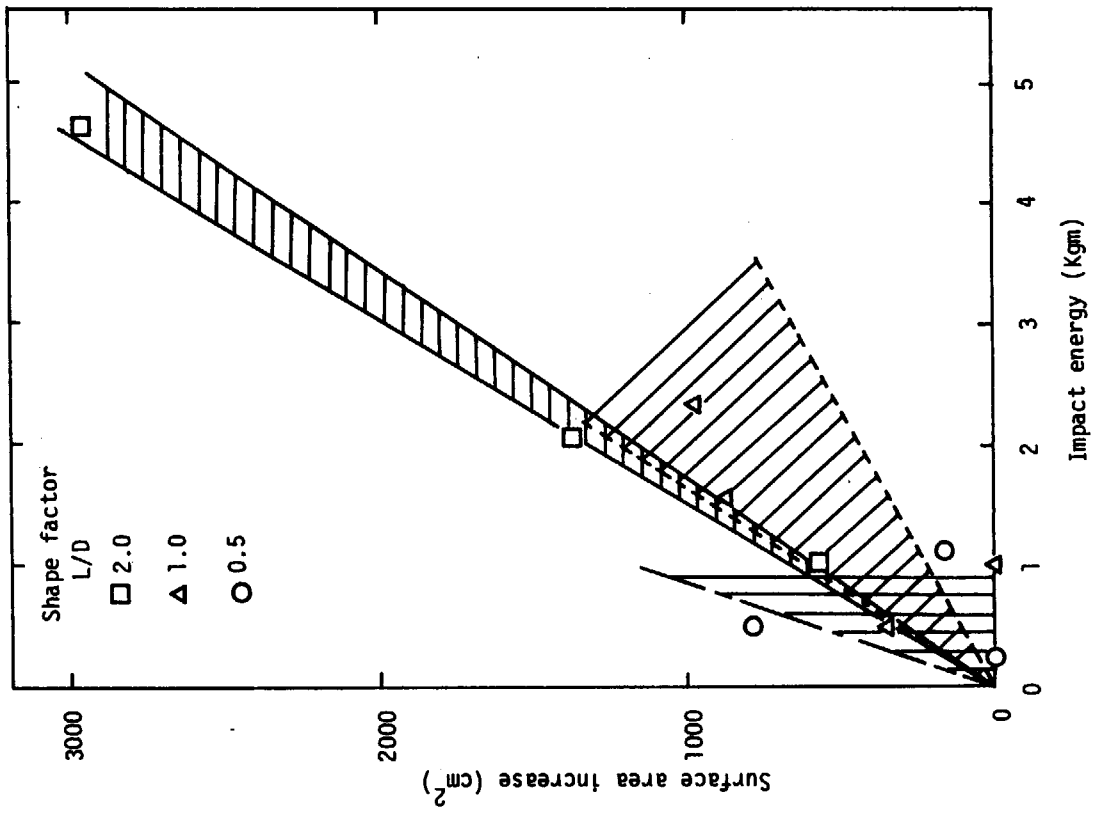


Fig.11 Surface area increase vs. impact energy

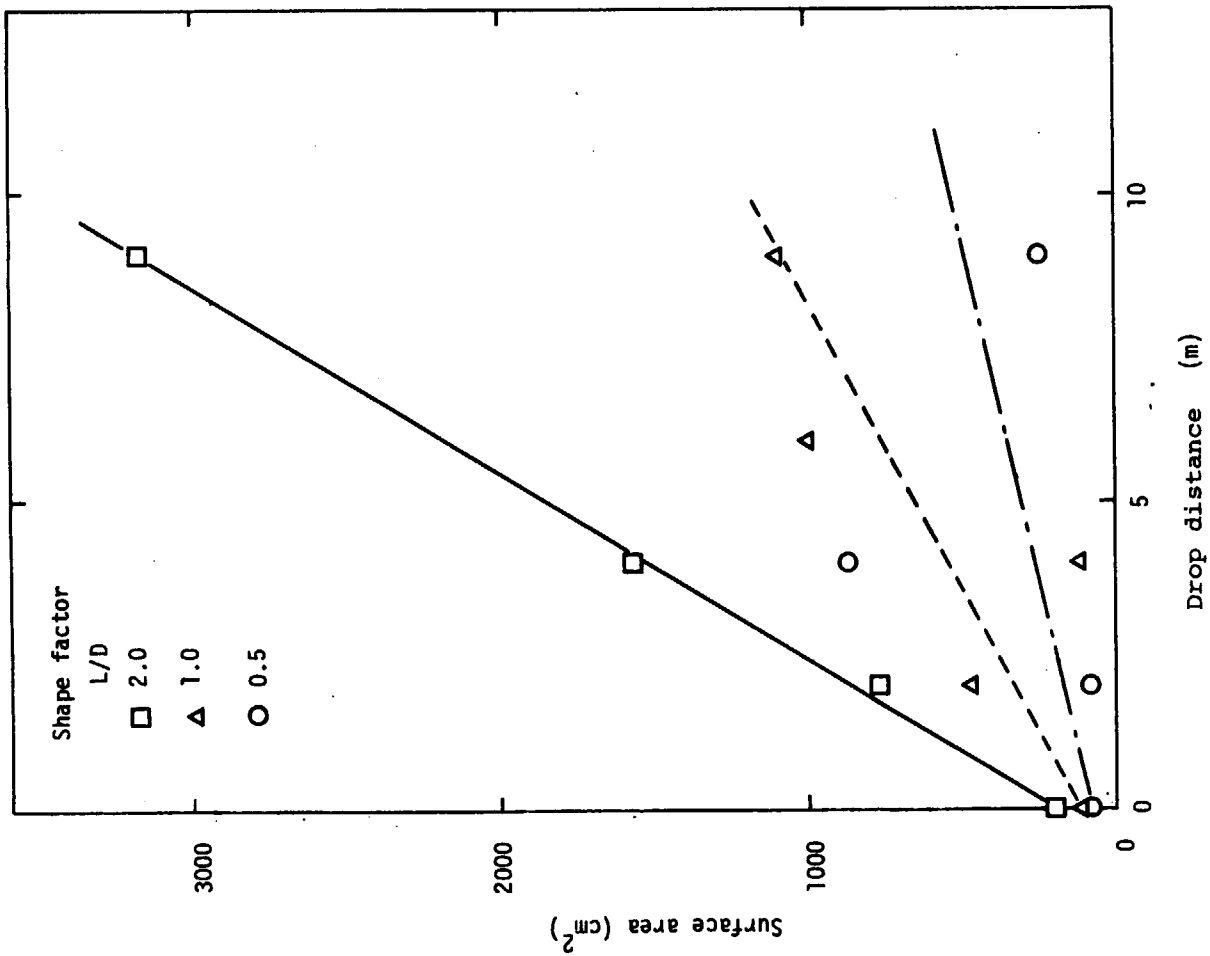


Fig.10 Surface area vs. drop distance

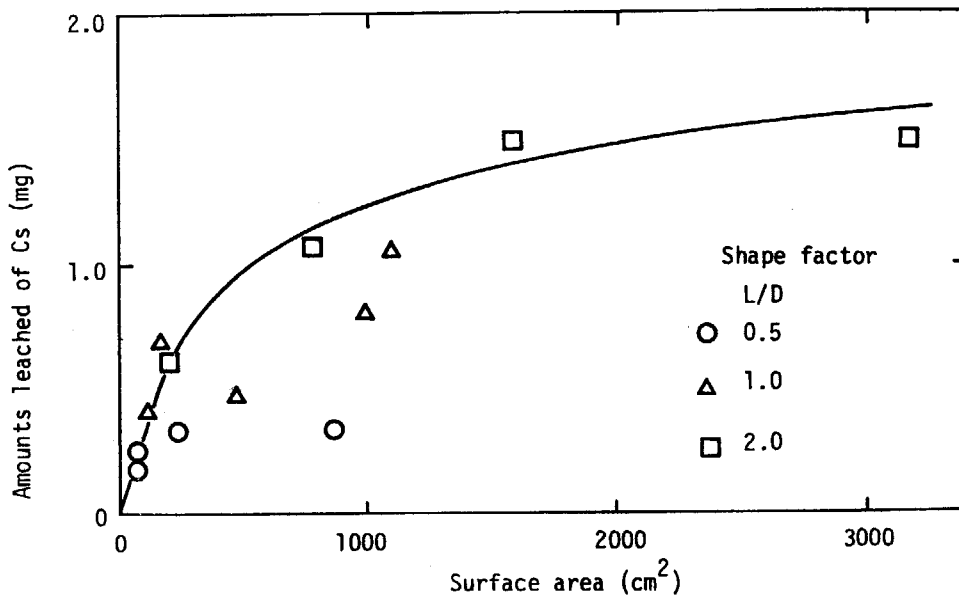
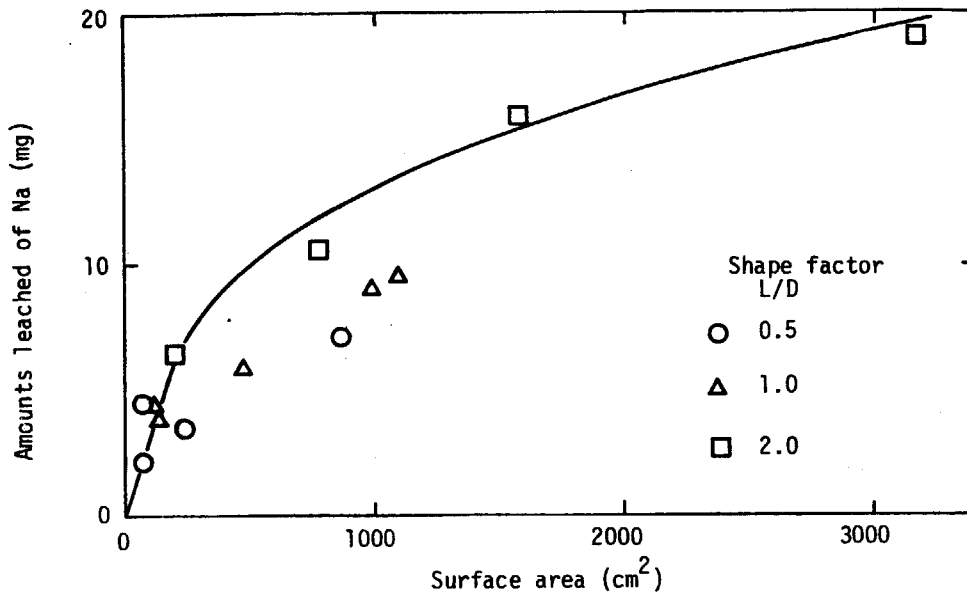
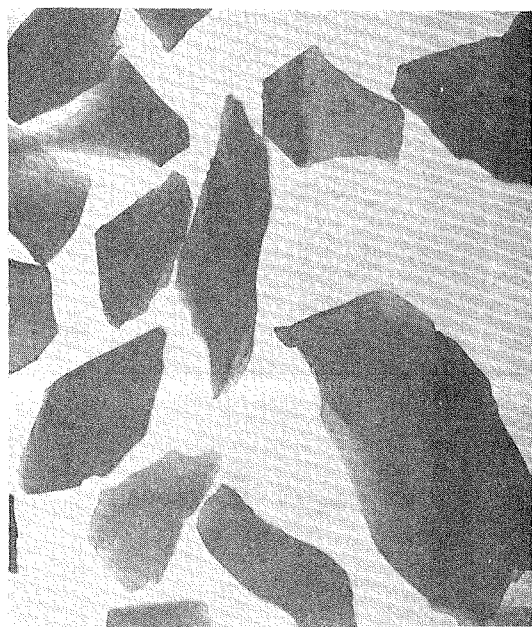


Fig.12 Amounts leached of Na and Cs vs. Surface area

Photo.1 Shape of particles



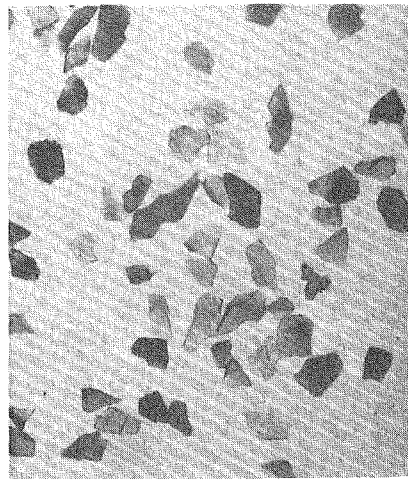
Size 2mm—4mm



Size 0.847mm—2mm



Size 0.5mm—0.847mm



Size 0.25mm—0.5mm