

衝突標的物質への遠心力の 効果に関する実験的研究

山下靖幸

共同研究者：井上裕史、井上広大、中村昭子

1. 研究の背景：自転による遠心力の影響
2. 遠心力の効果に関する研究
3. 荷重をかけた標的物質への衝突実験
4. 実験結果：応力による破壊の度合いの変化
5. 実験結果：応力によるクラックの成長の違い

研究の背景

【小天体同士の衝突】

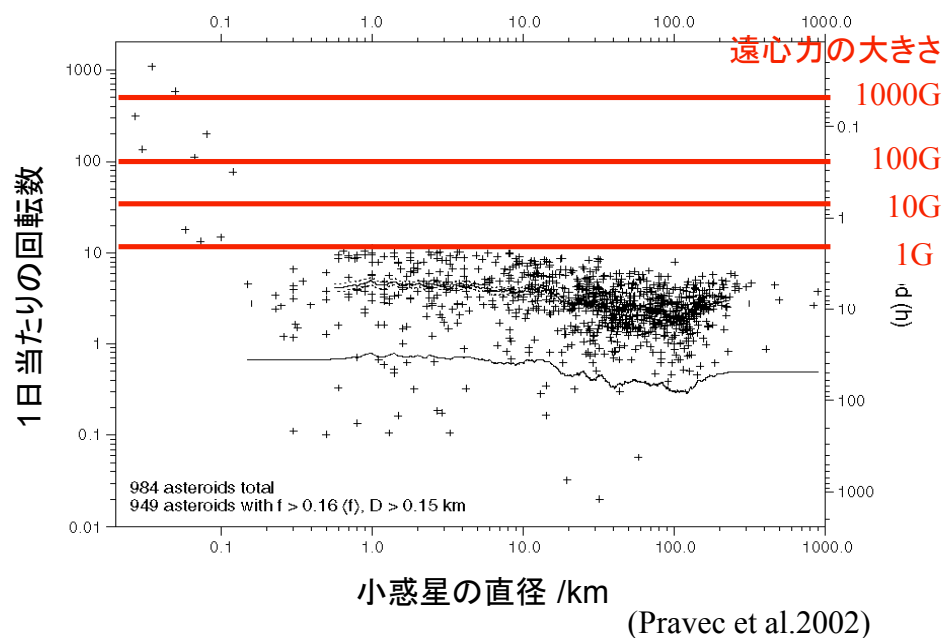
合体成長や破壊によるダストの生成等に関わる重要な現象

- ・観測—高速で自転する小惑星の発見
表面での遠心力>>表面重力
- ・探査—高空隙率の小惑星の発見
ラブルパイル構造(がれきの集まった様な構造)を示唆



【本研究の目的】

高空隙率の衝突標的物質に対する遠心力の影響を実験的に検証



小惑星イトカワ、空隙率は40%程度 ©JAXA

遠心力の効果に関する研究

先行研究: Housen et al. 2004

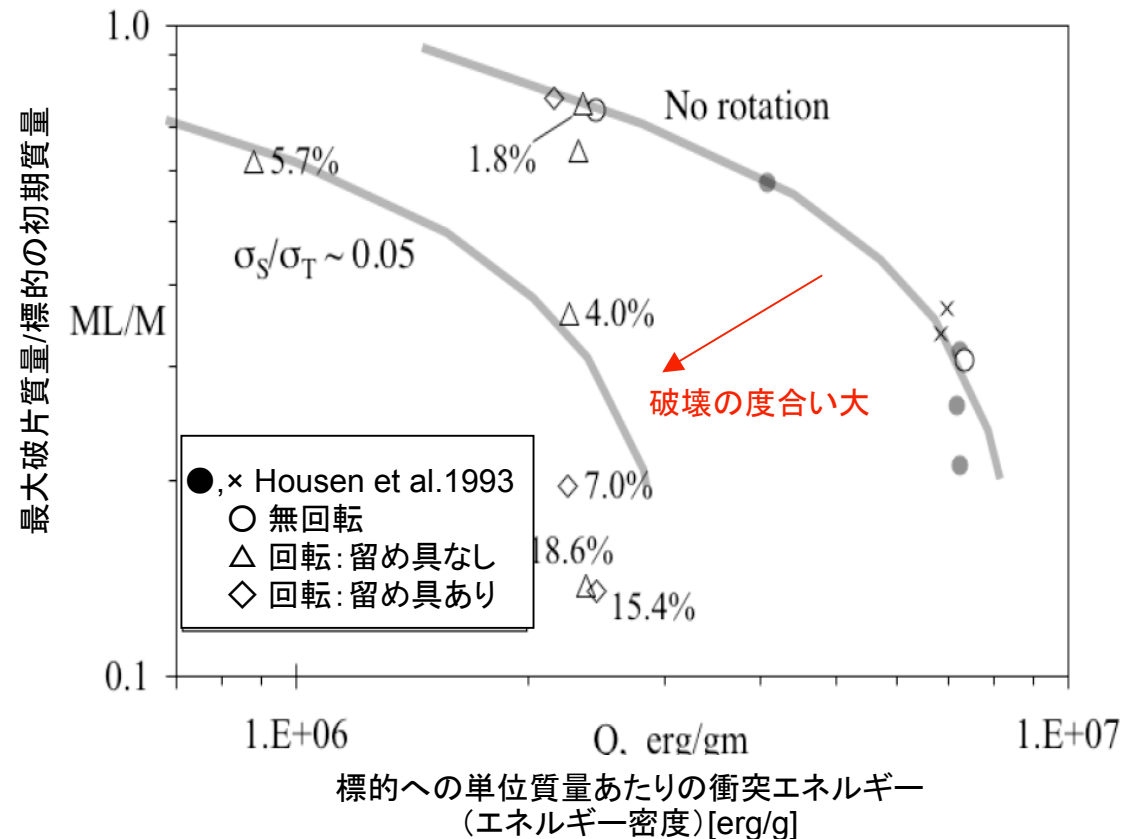
実際に回転標的への衝突実験を行い遠心力の影響を定量的に測定
回転による引張応力(σ_S)が標的の引張強度(σ_T)の5%程度
→衝突による最大破片質量が減少=破壊の度合いが増大

問題点

- ・高速回転では標的試料の固定が難しく結果として実験数が非常に少ない
- ・その後同様の研究はなく、逆に回転標的への衝突実験の困難さを提示



本研究では先行研究とは異なった方法で遠心力の効果調べるための2種類の実験を実施



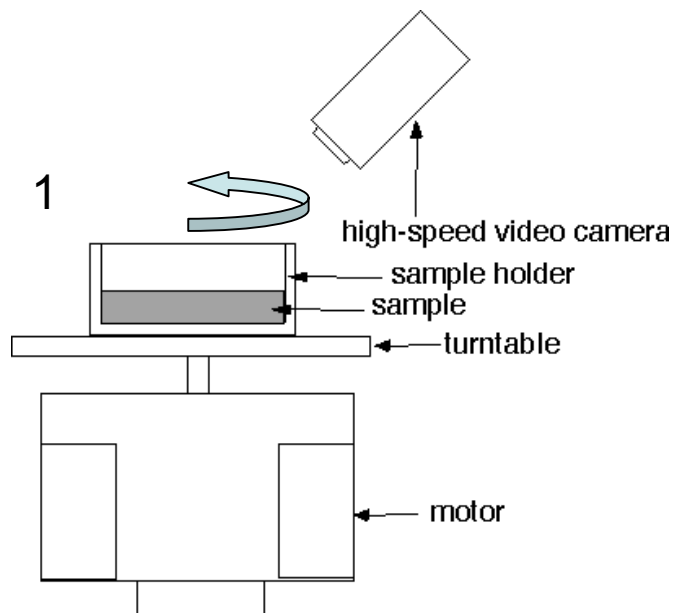
遠心力の効果を調べるための新たな実験

1. 粉体試料を用いた回転実験

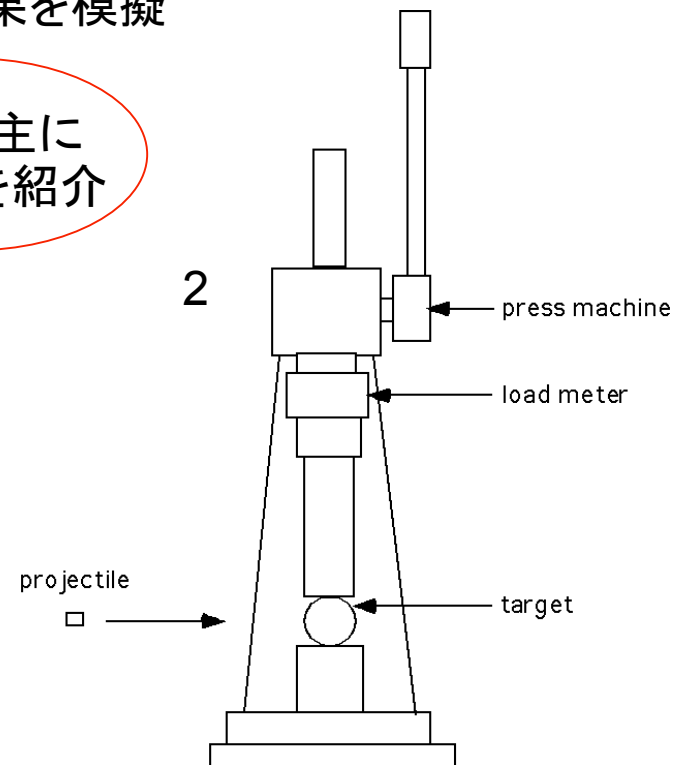
粉体が粒子同士の固着力が非常に小さな天体を模擬
低強度物質に遠心力が働いた場合の挙動を明らかにする

2. 荷重をかけた標的試料への衝突実験

円柱試料に荷重を掛けることにより引張応力を与える
強度をもった天体の衝突に対する遠心力の効果を模擬



今回は主に
実験2を紹介

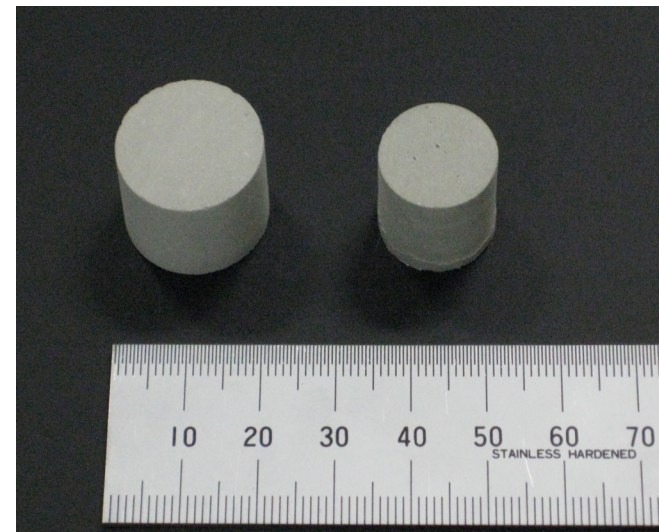
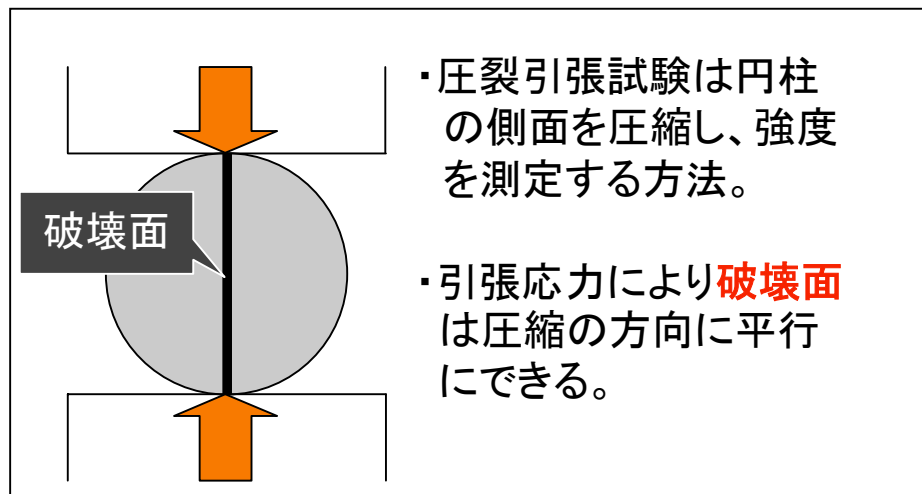


実験試料

標的試料: 3種類の円柱形のセメントモルタルを使用

	直径 (mm)	長さ(mm)	密度 (g/cm ³)	質量比 (セメント:水)	空隙率 (%)	引張強度 (MPa)
試料A	20.01 ±0.03	15.00 ±0.05	1.35 ~1.51	8:5	44±3	3.01 ±0.12
試料B	16.01 ±0.04	14.99 ±0.05	1.35 ~1.51	8:5	44±3	3.06 ±0.29
試料C	20.00 ±0.06	14.99 ±0.05	1.28 ~1.38	4:3	52±2	2.01 ±0.05

圧裂引張試験による強度測定

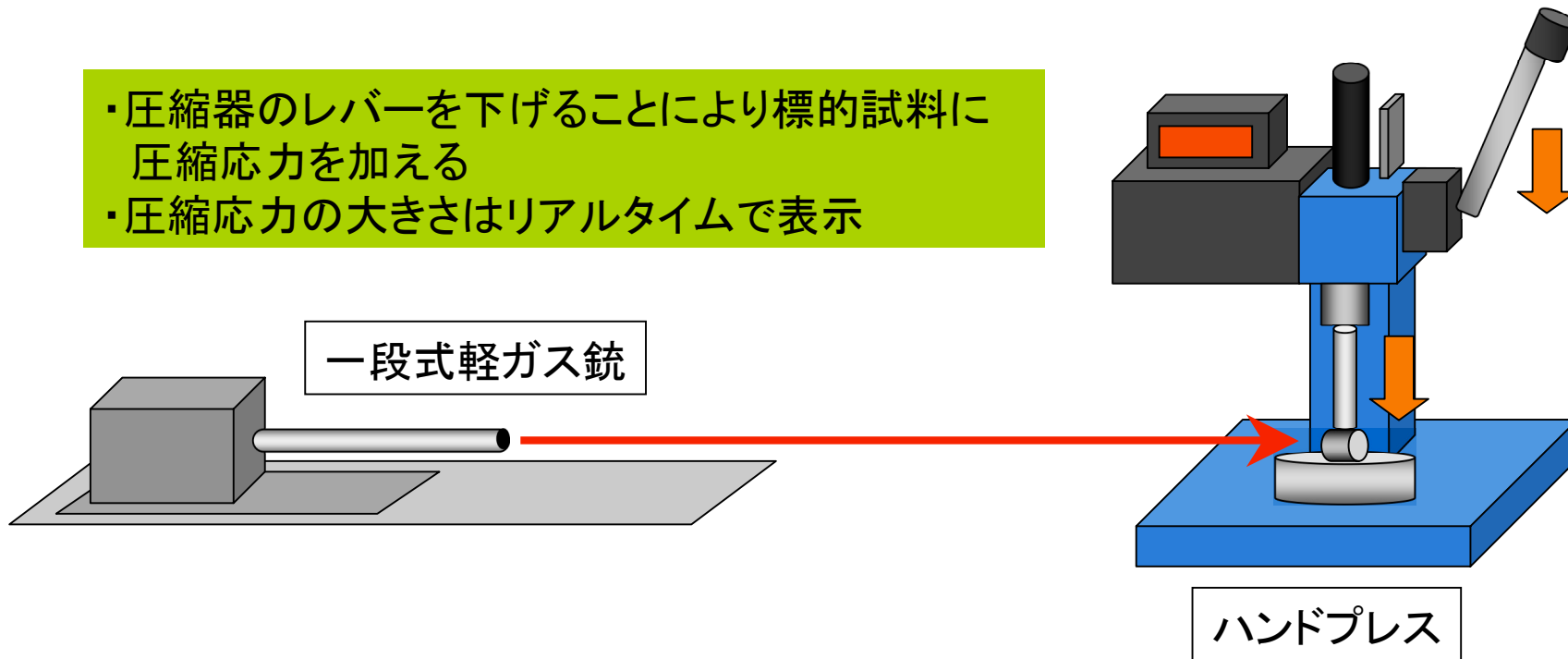


左: 試料A 右: 試料B

衝突実験

- 加速器：一段式軽ガス銃（速度：260m/s）
- 標的：セメントモルタル
- 弾丸：ステンレス球 SUS440C（直径：3.2mm 密度：7.75g/cm³）
- 圧縮機：ハンドプレス（荷重表示機能付属）

- ・ 圧縮器のレバーを下げることで標的試料に圧縮応力を加える
- ・ 圧縮応力の大きさはリアルタイムで表示

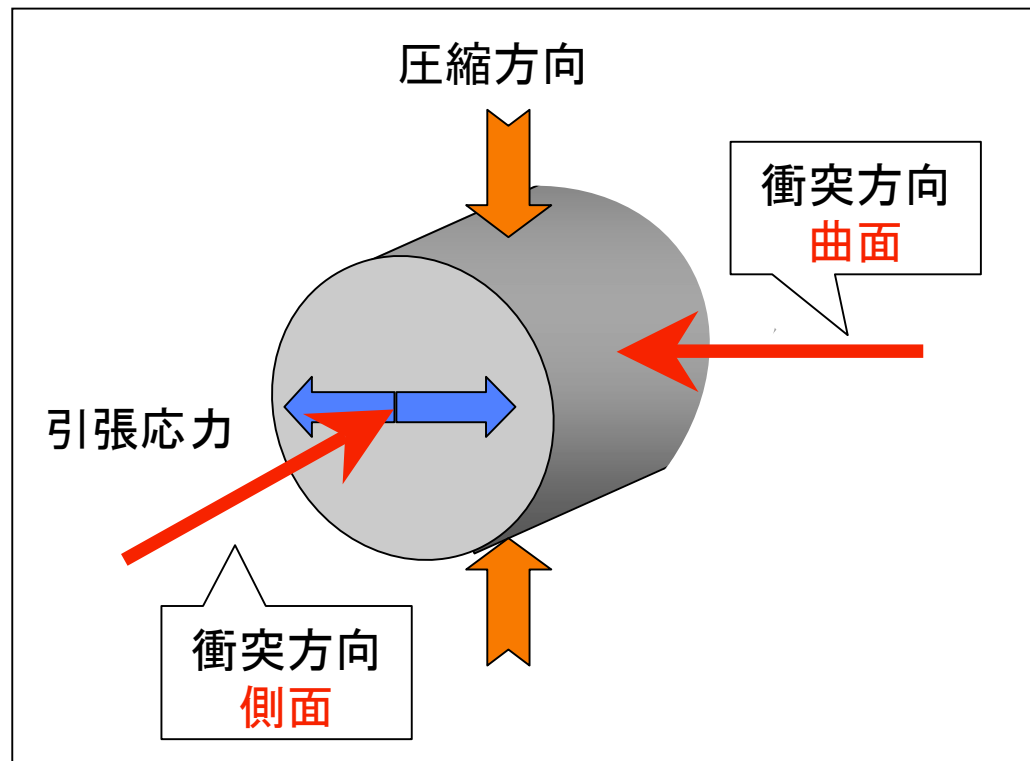


標的試料への衝突方向

ターゲットの向きを変えることで衝突が引張応力の方向に対して

- ・平行な場合(曲面方向)
- ・垂直な場合(側面方向)

2種類の実験を行い、両者の破壊の度合いの違いを比較



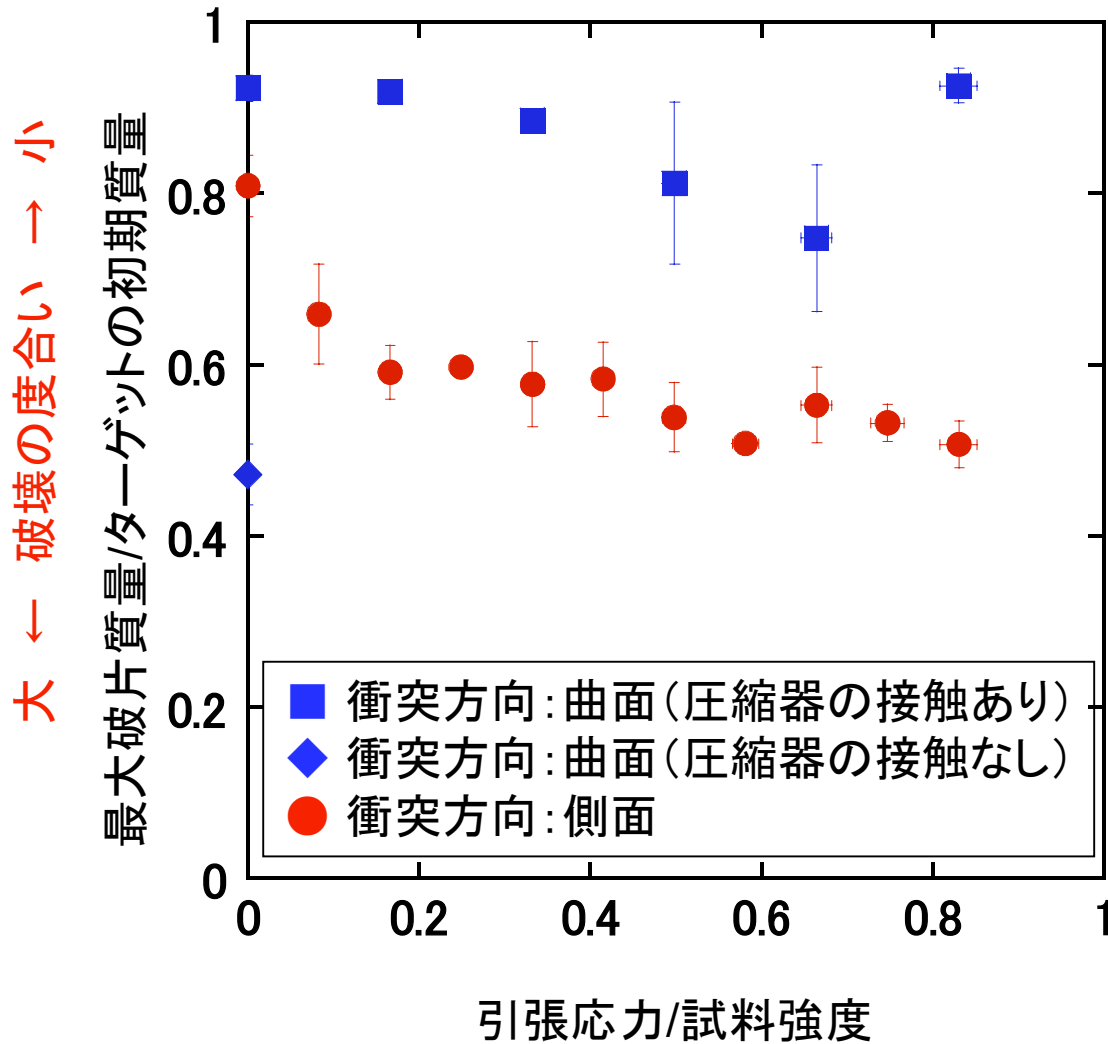
実験結果の概要

	実験回数	破壊の様子
試料A 曲面	14	ほとんど破壊は起こらず
試料B 曲面	7	試料内部の引張応力による破壊の度合いに違いは見られず
試料C 曲面	19	破壊現象は見られたが、応力による破壊の度合いに明瞭な違いは見られず
試料C 側面	23	破壊現象が見られ、応力による破壊の度合いに明瞭な違い



試料Cの結果について詳細に検討

応力による破壊の度合いの変化



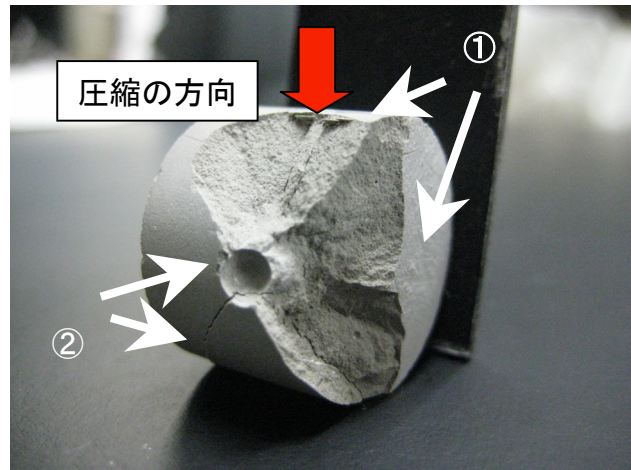
【曲面への衝突実験】

- ・引張応力の違いによる明瞭な依存性は見られず
- ・圧縮器が接触の有無により破壊の度合いが大きく変化
→ 接触点を介して衝突で発生した応力波が試料外へ伝わって破壊以外にエネルギーが使われた可能性

【側面への衝突実験】

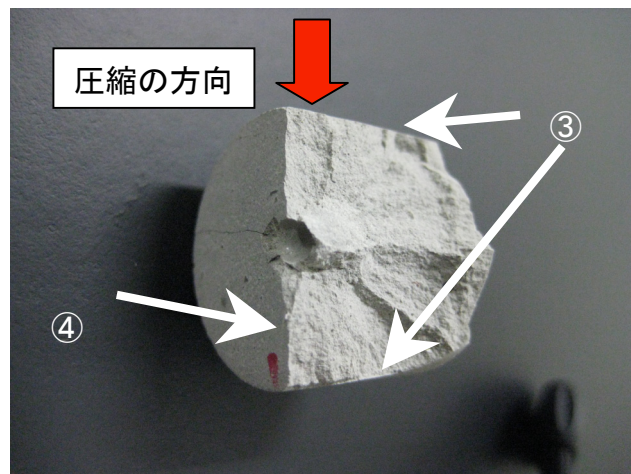
- ・引張応力の増大と共に破壊の度合いが増大
- ・特に引張応力がターゲット強度の20%程度までは破壊の度合いは急激に増加

標的試料の破壊とクラックの成長



曲面への衝突(加重:標的強度の約50%)

- ① 衝突点から放射状に伸びるクラックの成長を圧裂引張試験に見られる破壊面が妨害
- ② 衝突点から4方向にX字形のクラックが卓越しクラック間が剥がれるように破片が形成



側面への衝突(加重:標的強度の約50%)

- ③ 圧裂引張試験で見られる破壊面の方向に衝突点からのクラックがのびるため、その成長が促進され、衝突反対点まで容易に到達
- ④ 破壊面と平行な方向のクラックが卓越し、衝突反対点まで達して圧裂引張試験に似た破片が形成

- ・破壊の度合いは引張応力と共に増加
- ・衝突方向の違いによる破壊の度合いの差異はクラックの成長から説明可能

強度の20%程度の内部引張応力でも破壊の度合いは大きく異なるので遠心力による内部引張応力の効果は衝突破壊において無視できない

まとめ

- ・破壊の度合いが内部引張応力に依存していることを実験的に確認
側面への衝突: 引張応力が增大するほど破壊の度合いも増加
引張応力がターゲット強度の20%程度でも大きな差異
先行研究(Housen *et al* 2004)と同様の傾向
→遠心力による引張応力の影響は無視できない事を示唆
- ・衝突方向の違いによっても破壊の度合いに大きな違い
クラック成長と圧裂引張試験に見られるような破壊面の関係を考慮することにより説明可能
- ・圧縮器の接触の有無は破壊の度合いに大きく影響
先行研究(Housen *et al* 2004)でも試料支持の影響
→今後回転標的での実験の際には十分に考慮する必要