

大阪大学および立命館大学における 縦型銃を用いた粒状物質への高速貫入実験

大阪大学大学院 基礎工学研究科
機能創成専攻 材料・構造強度学研究室

小林 秀敏 教授

立命館大学 理工学部
機械工学科 衝撃工学研究室

渡辺 圭子

高速衝突実験装置

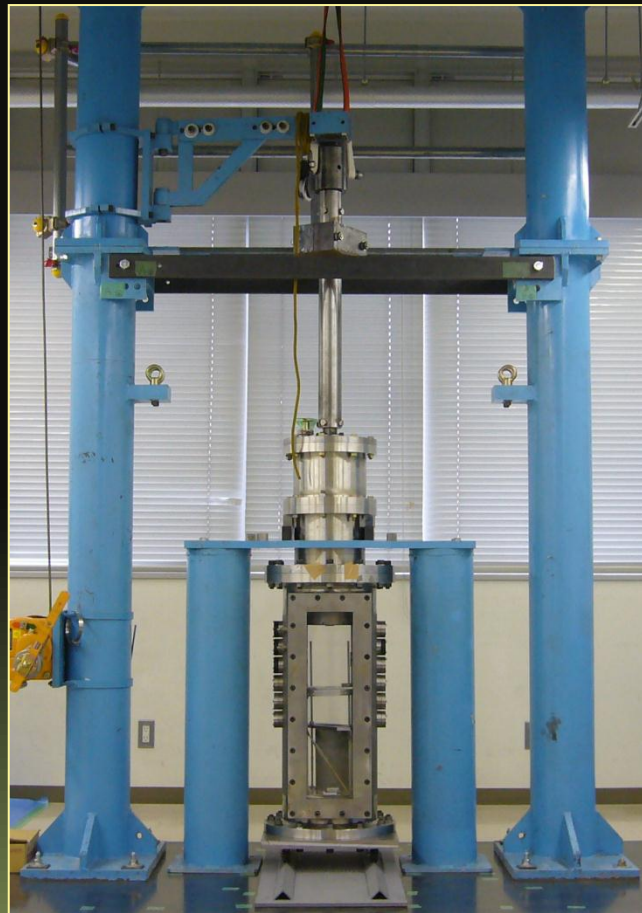
大阪大学

縦型火薬銃

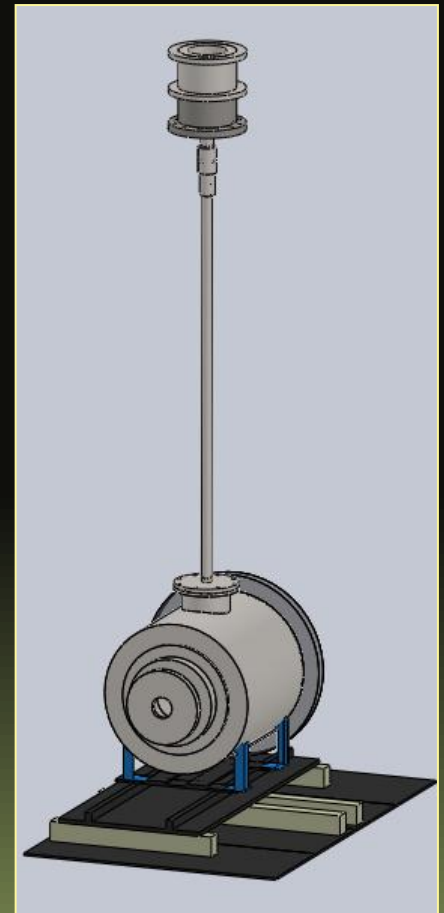


立命館大学

縦型火薬銃



縦型無隔膜ガス銃



高速衝突実験装置@大阪大学(基礎工)

縦型火薬銃



設置・運用開始:2007年

(岡山大学 可児弘毅先生より譲与
神戸大学 中村先生のガンと双子です)

発射管内径:15 mm

発射管長さ:1 m

速度範囲:0.3~2 km/s

速度計測法:コイル(誘導起電力を利用)

チャンバー内部: $\phi 390$ mm \times 430 mm

観測窓: $\phi 125$ mm(前後)

(大気圧の場合は、チャンバーを大きく
開放して撃つことが可能)

到達真空度:1 kPa程度

高速貫入実験@大阪大学(基礎工)

観測窓からの高速度カメラ撮影



高速貫入実験@大阪大学(基礎工)

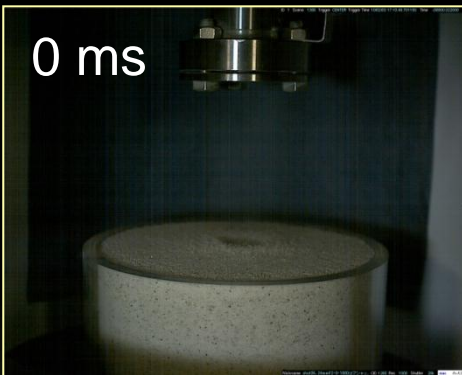
飛翔体貫入時の粒子噴出の様子

衝突速度: 350 m/s

高速度カメラ: NACイメージテクノロジー社製 MEMRECAMfx K3R

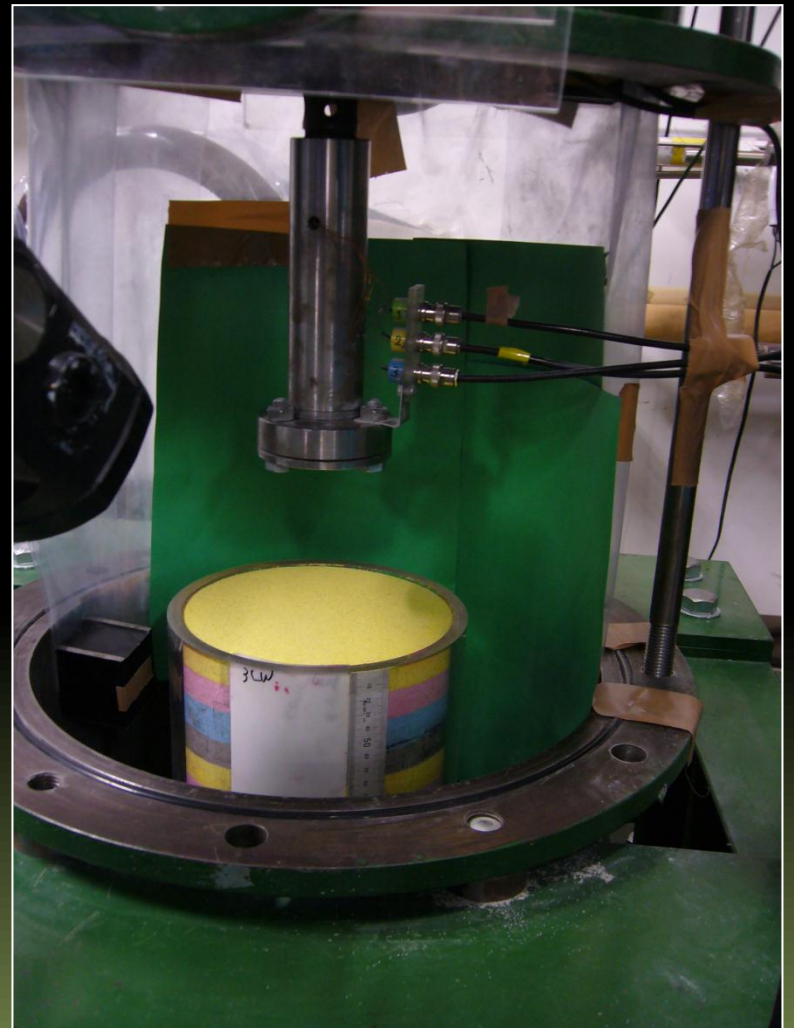
フレーム速度: 1,000 fps (5フレーム毎に表示)

露光時間: 50 μ s



高速貫入実験@大阪大学(基礎工)

チャンバー開放による高速度カメラ撮影



高速貫入実験@大阪大学(基礎工)

飛翔体貫入初期の飛翔体および粒子の様子

衝突速度: 495 m/s

高速度カメラ: NACイメージテクノロジー社製 MEMRECAM GX-8

フレーム速度: 20,000 fps

露光時間: 1 μ s



高速貫入実験@大阪大学(基礎工)

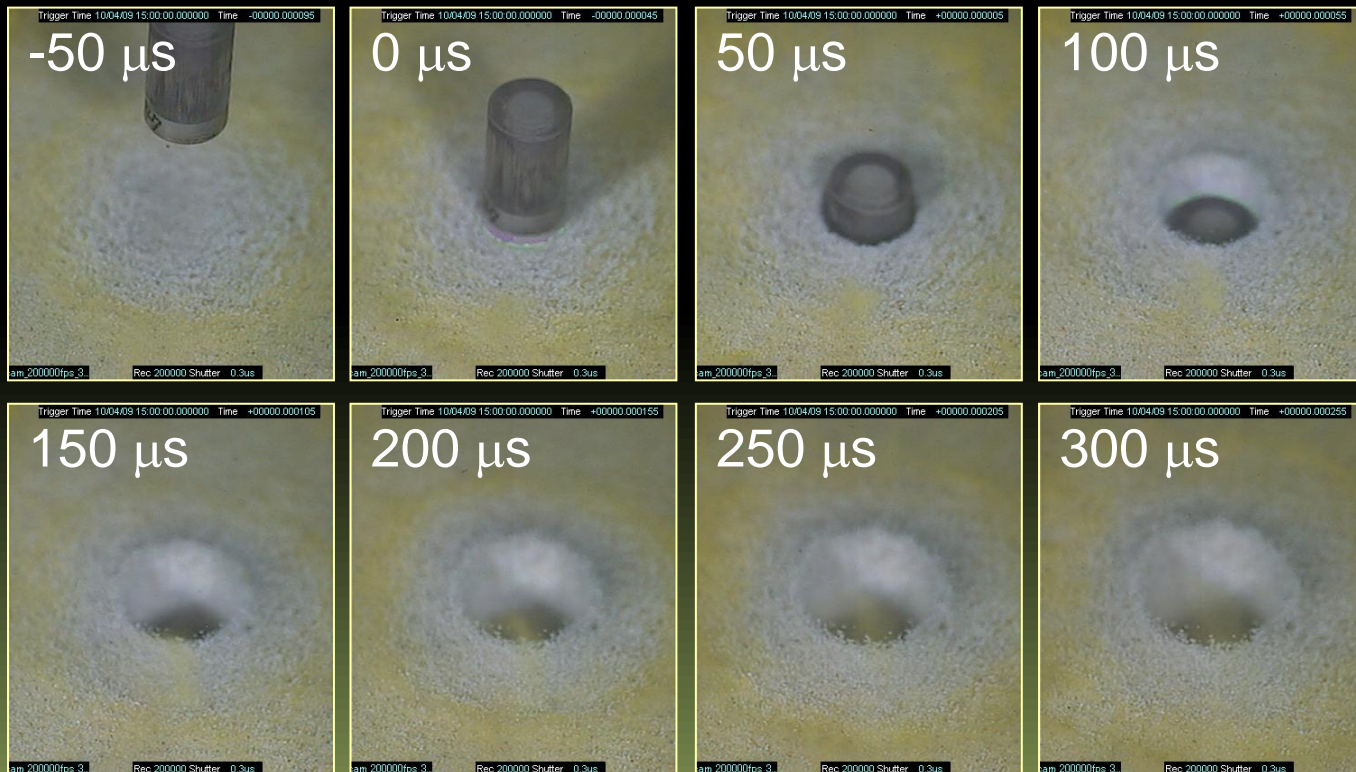
飛翔体貫入初期の飛翔体および粒子の様子

衝突速度: 495 m/s

高速度カメラ: NACイメージテクノロジー社製 ULTRA Cam HS-106E

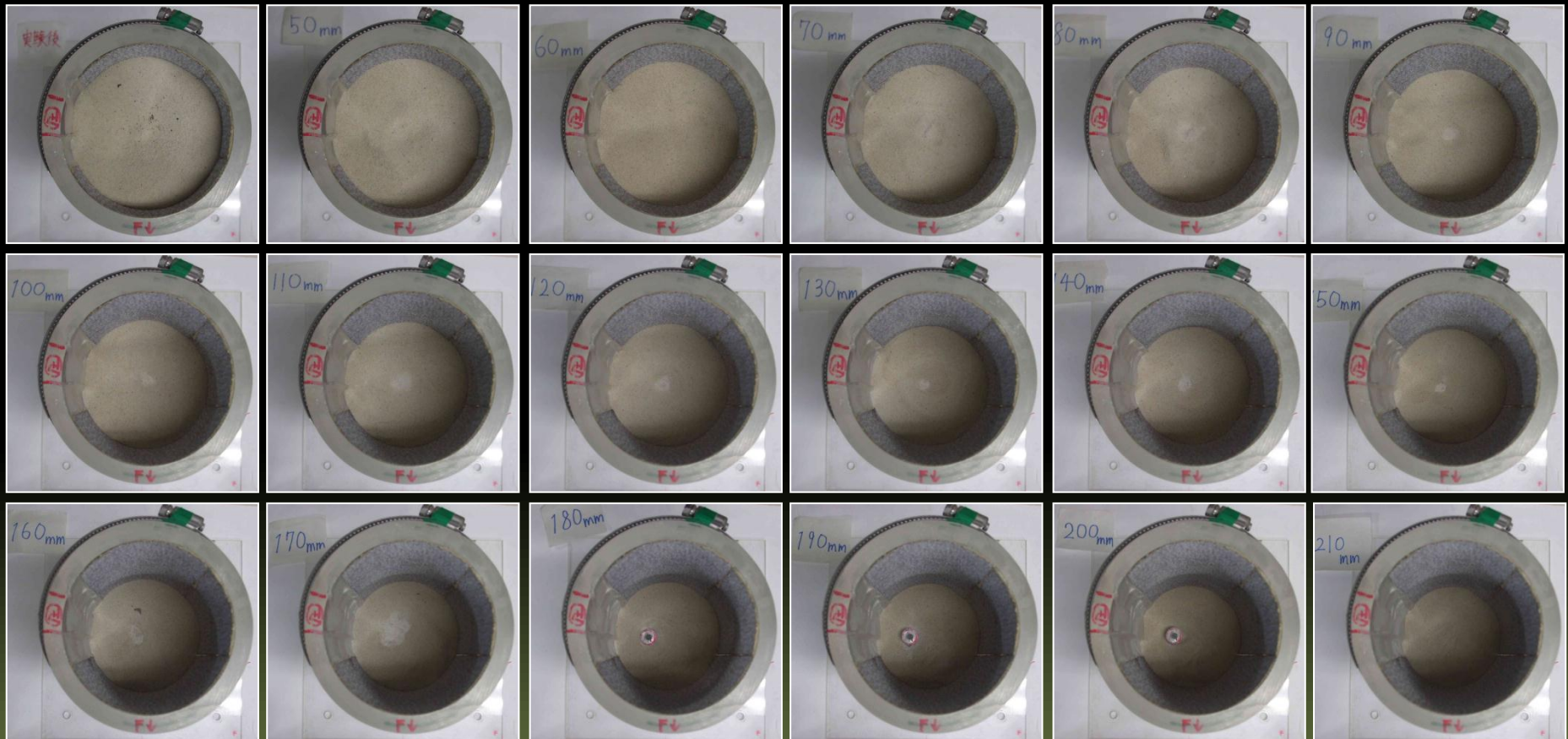
フレーム速度: 200,000 fps (10フレーム毎に表示)

露光時間: 0.3 μ s



高速貫入実験@大阪大学(基礎工)

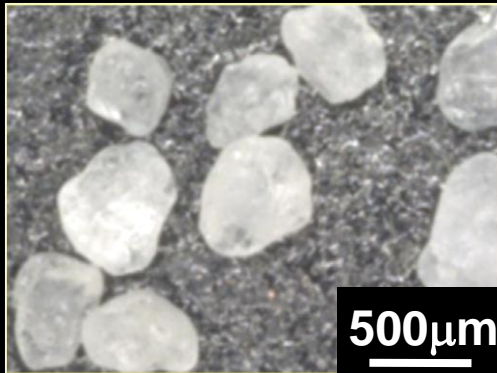
掘り返しによる粒子の破碎状況とその分布の観察



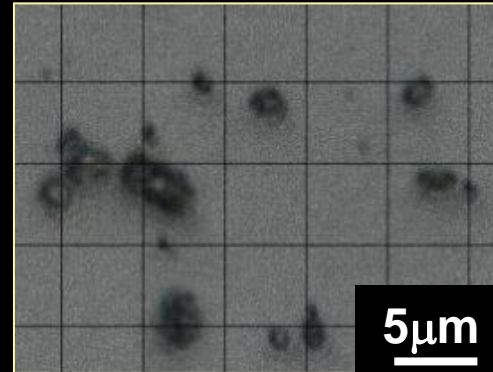
高速貫入実験@大阪大学(基礎工)

掘り返しによる粒子の破碎状況とその分布の観察

破碎粒子のサイズ

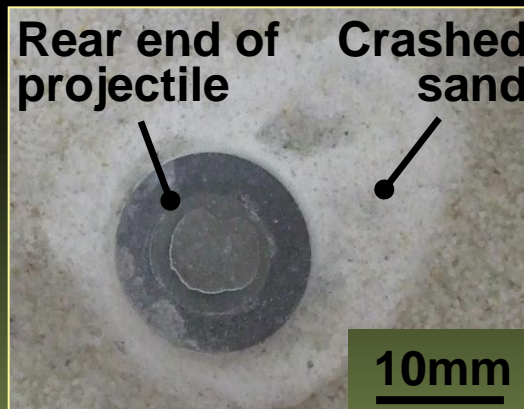


元の粒子

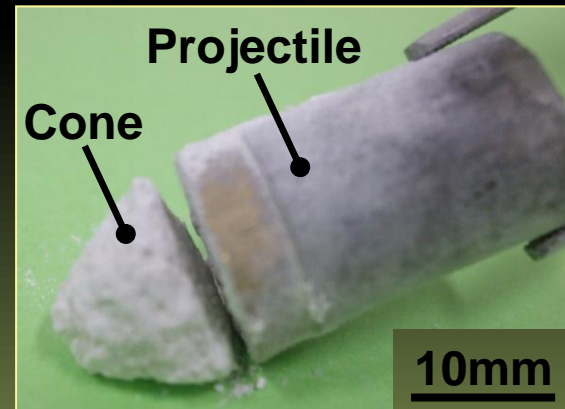


破碎粒子

破碎粒子の分布



飛翔体周方向の分布

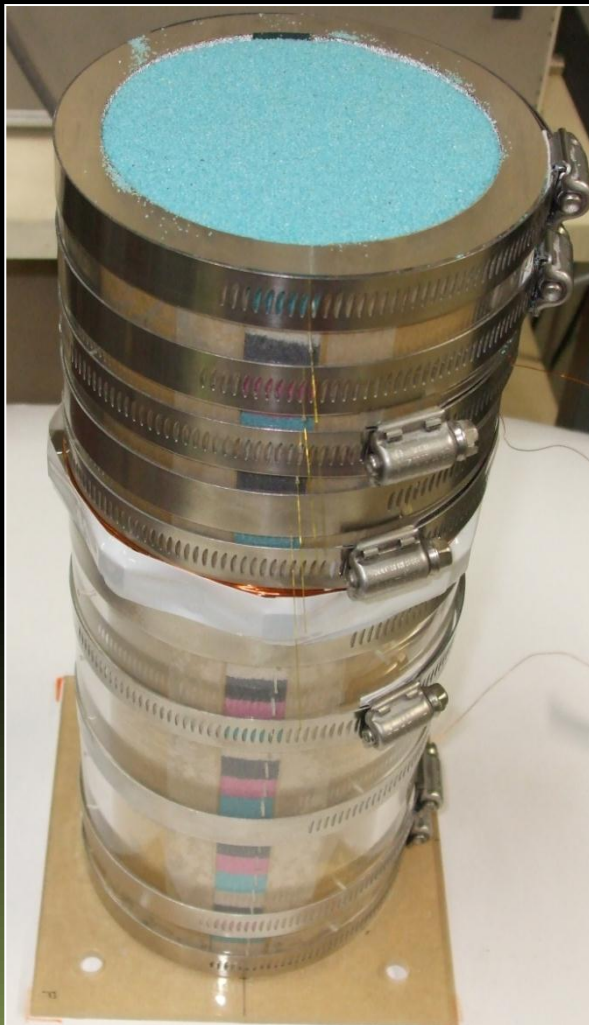


飛翔体前方の塊

高速衝突実験装置@大阪大学(基礎工)

色砂による凍結実験 一貫入軌道と砂の動きの観察

色砂の設置



貫入断面の観察



高速衝突実験装置@大阪大学(基礎工)

色砂による凍結実験 一貫入軌道と砂の動きの観察一

飛翔体の貫入状態&前方の破碎粒子の塊



高速衝突実験@大阪大学(基礎工)

マグネット・コイルゲージによる貫入速度計測

磁石搭載飛翔体

形状: 円柱 ($\phi 15 \times 26 \text{ mm}$)

先端形状: 平板

材質: 衝突部; SNCM439

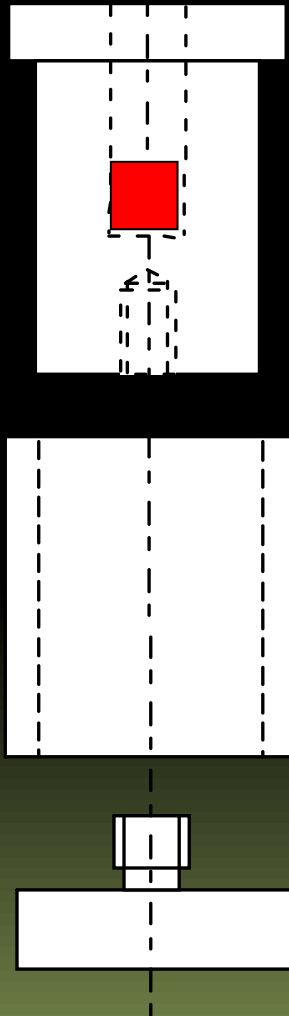
後部; A7075

スリーブ; ポリカーボネート

磁石: ネオジウム ($\phi 4 \times 4 \text{ mm}$)

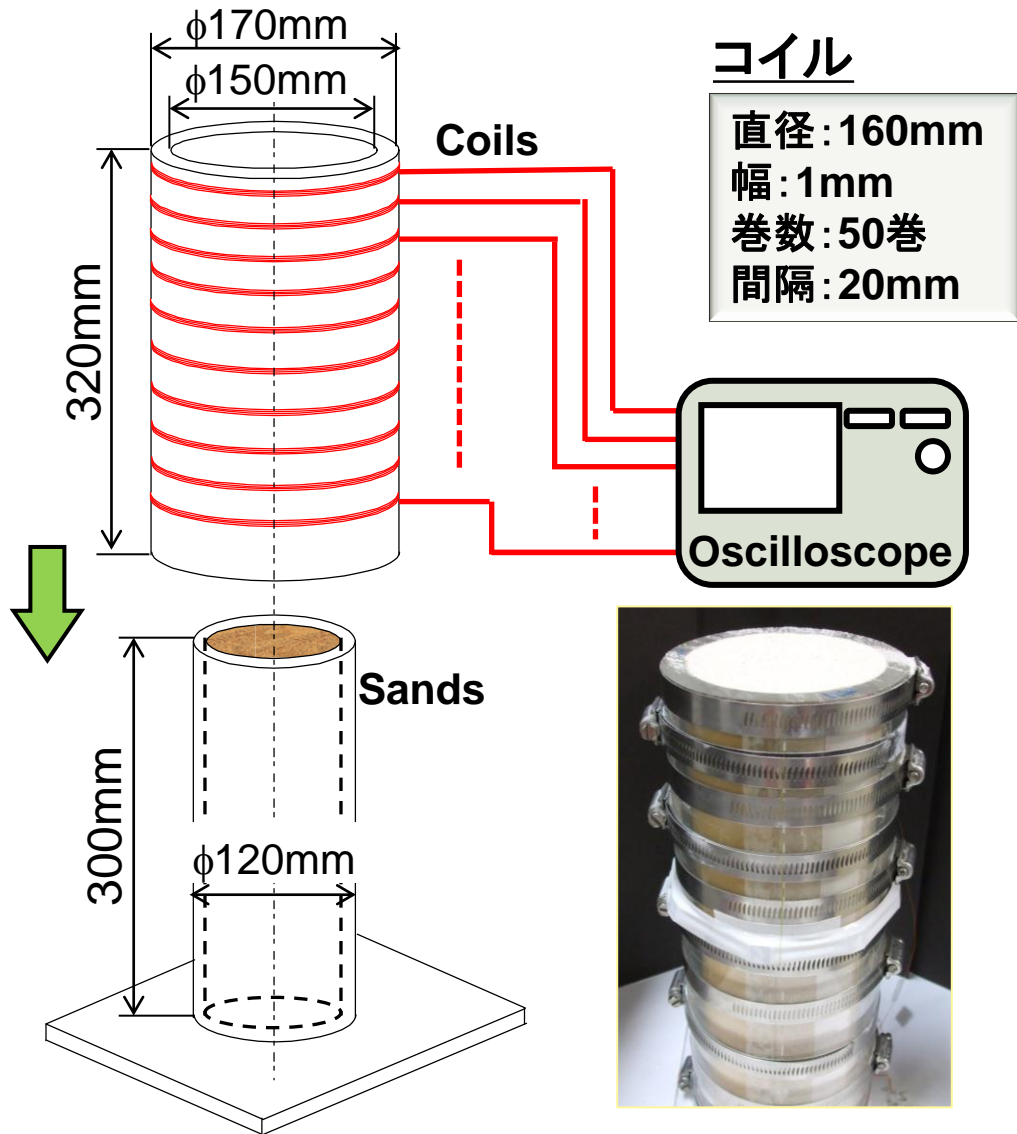
重心位置: 前方 10 mm

総質量: 約 16 g



高速衝突実験@大阪大学(基礎工)

マグネット・コイルゲージによる貫入速度計測

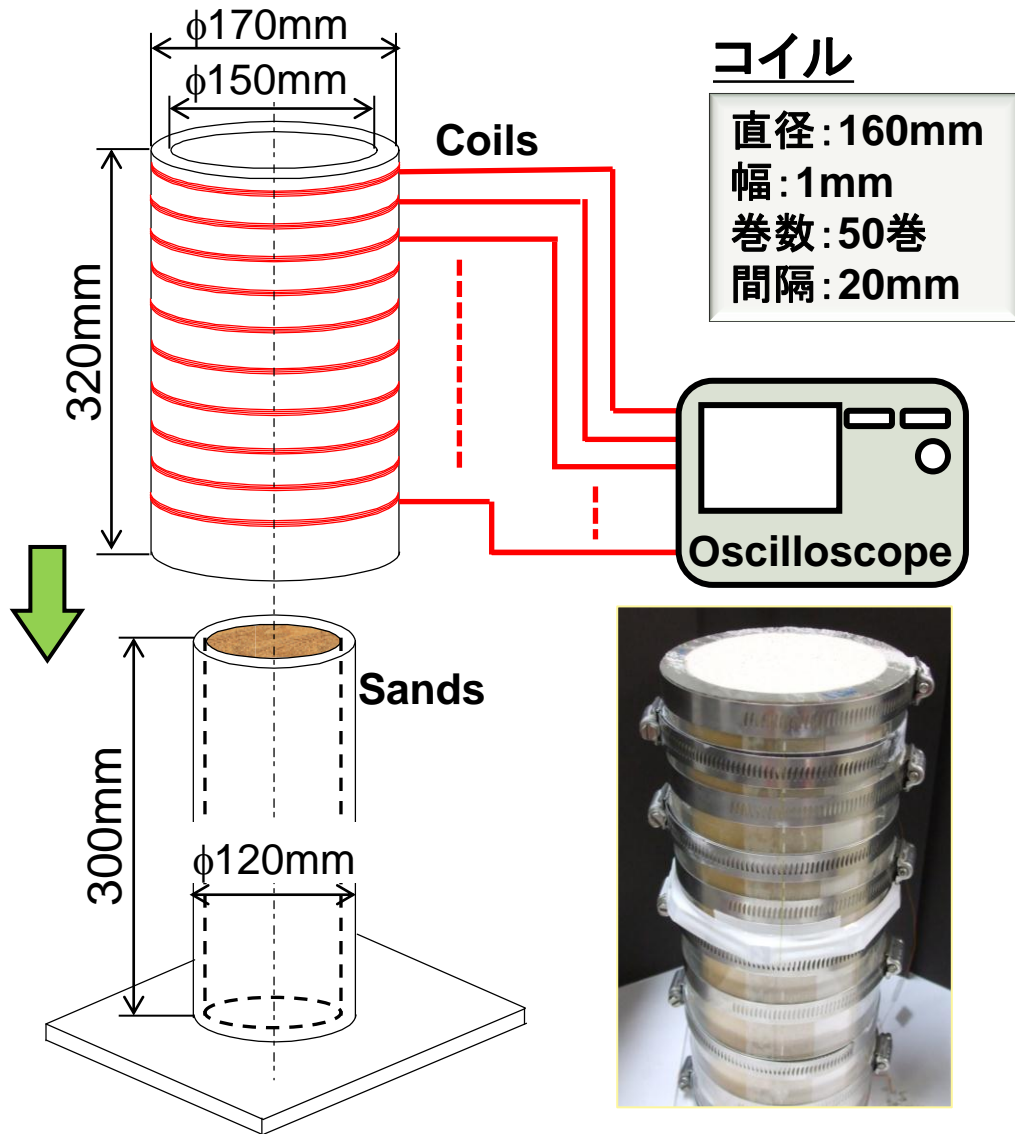


システム設置写真

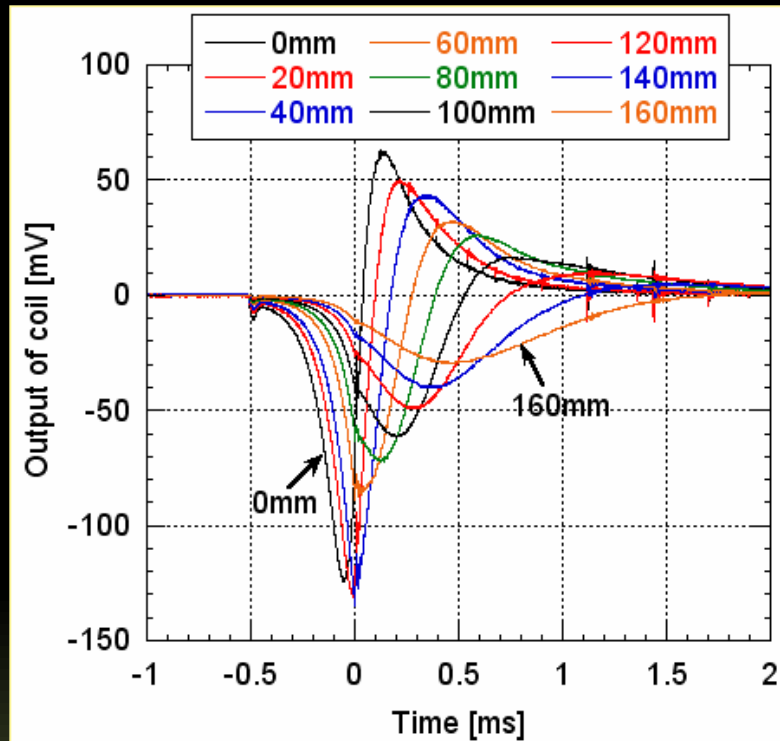


高速衝突実験@大阪大学(基礎工)

マグネット・コイルゲージによる貫入速度計測



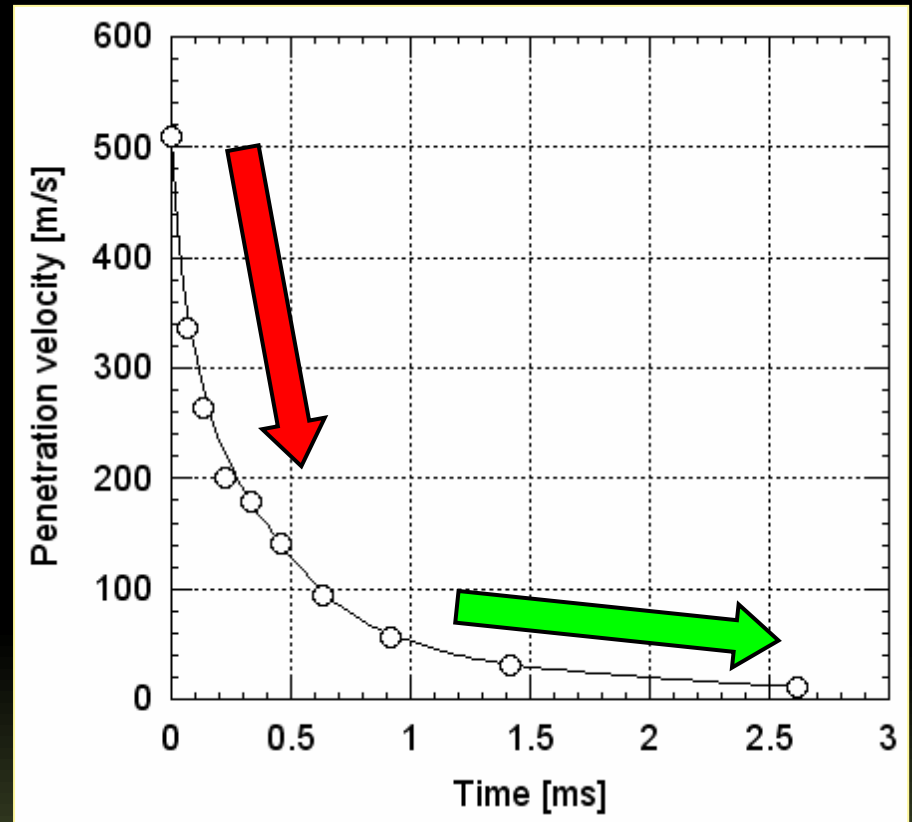
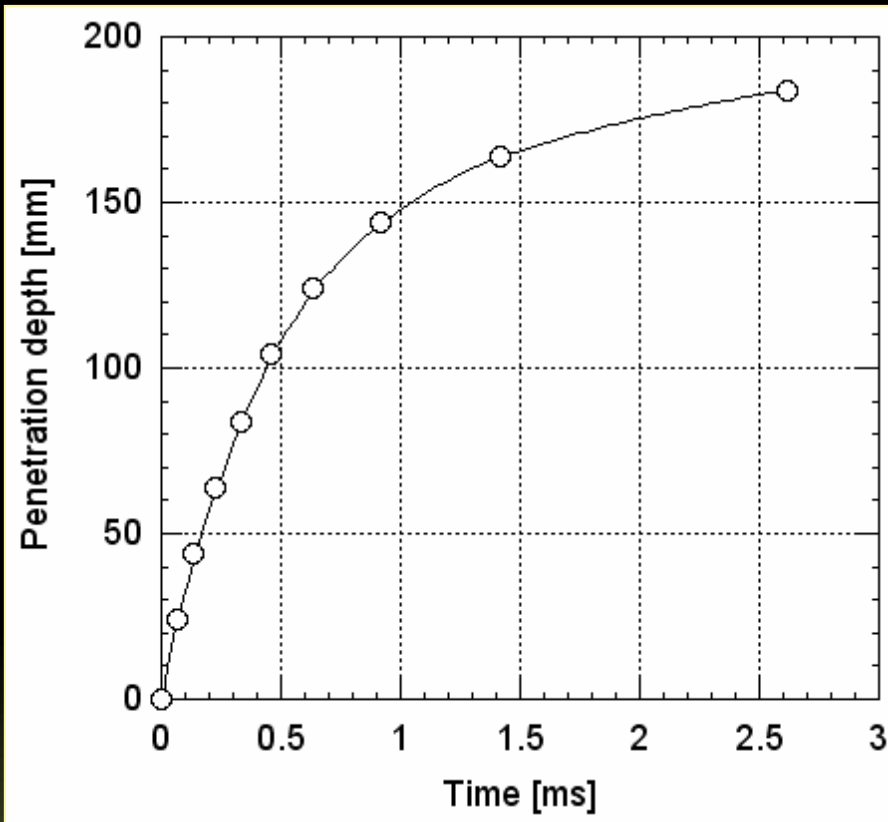
コイルからの信号



衝突速度: 510 m/s
最終貫入深さ: 182.6 mm
 $t=0$: 飛行体が砂表面に
衝突した瞬間の時刻

高速衝突実験@大阪大学(基礎工)

マグネット・コイルゲージによる貫入速度計測



貫入初期: **急激**な減速

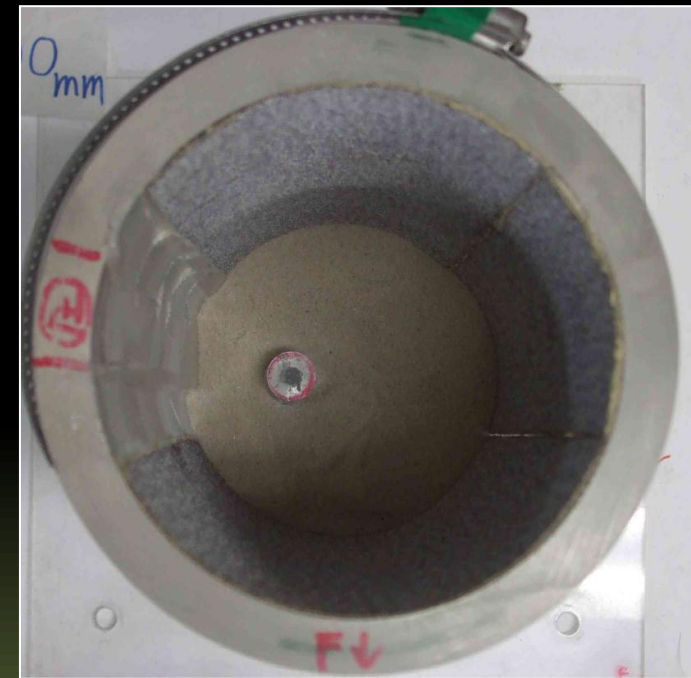
貫入後期: **緩やか**な減速

高速衝突実験@大阪大学(基礎工)

マグネット・コイルゲージによる貫入軌道の計測?



傾き

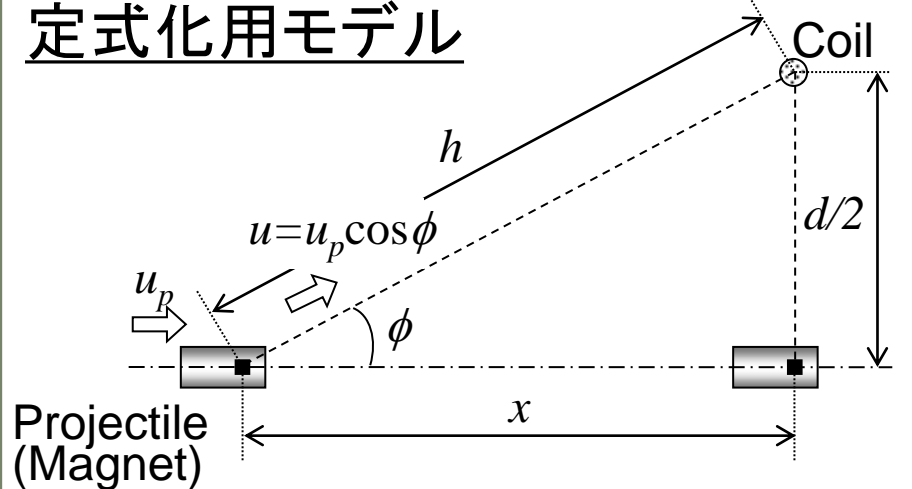


偏心

高速衝突実験@大阪大学(基礎工)

マグネット・コイルゲージによる貫入軌道の計測?

定式化用モデル



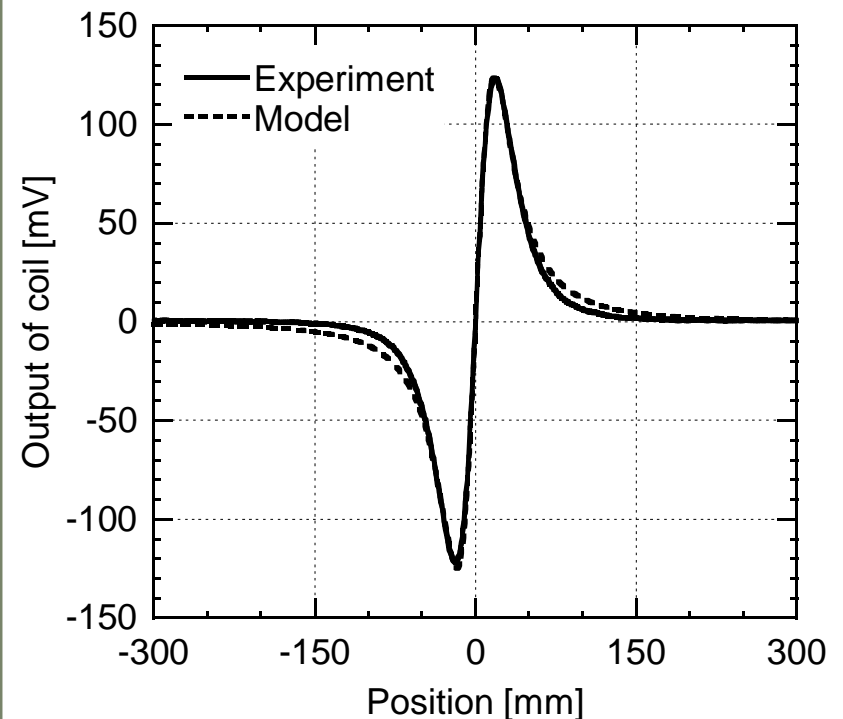
$$E = \frac{n \times m \times u}{h^2}$$

$$E = \frac{n \times m \times u_p \times x}{\left(x^2 + \frac{d^2}{4}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

- E : 誘導起電力、 n : コイル巻数 (固定値)
 m : 磁界強度を含む値 (固定値)
 u_p : 飛翔体速度、 u : 飛翔体速度のコイル方向成分
 h : 磁石中心からコイルまでの距離
 d : コイル直径 (固定値)、 x : 磁石中心位置

モデルと実験との波形比較

$$u_p = 739.4 \text{ m/s}, n = 10 \text{ 巻}$$
$$d = 76.2 \text{ mm}, m = 0.085$$

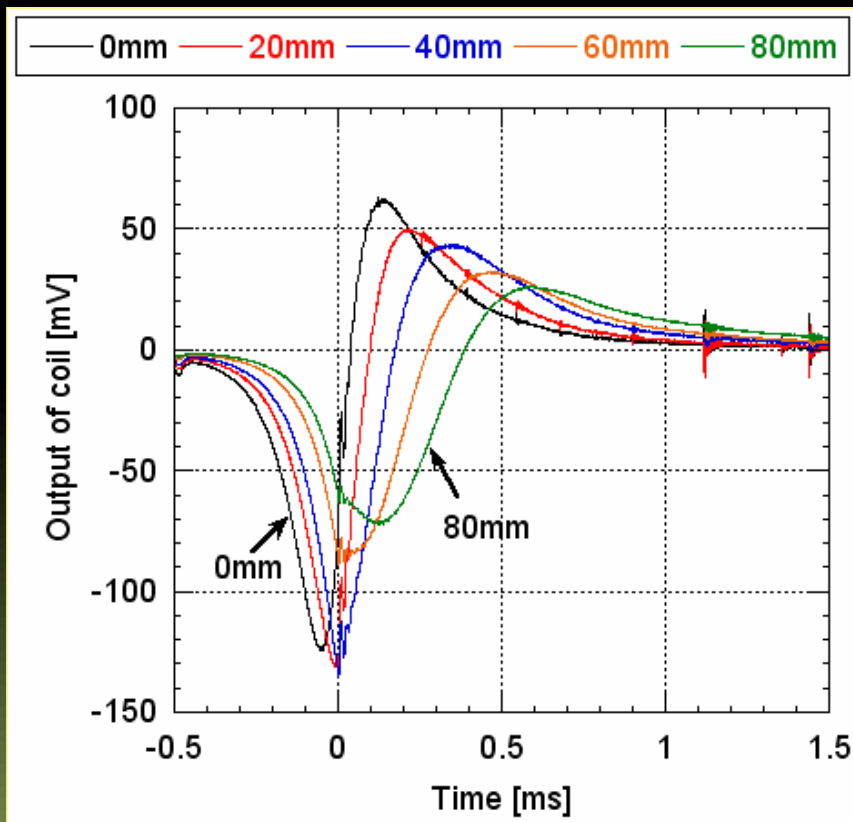


高速衝突実験@大阪大学(基礎工)

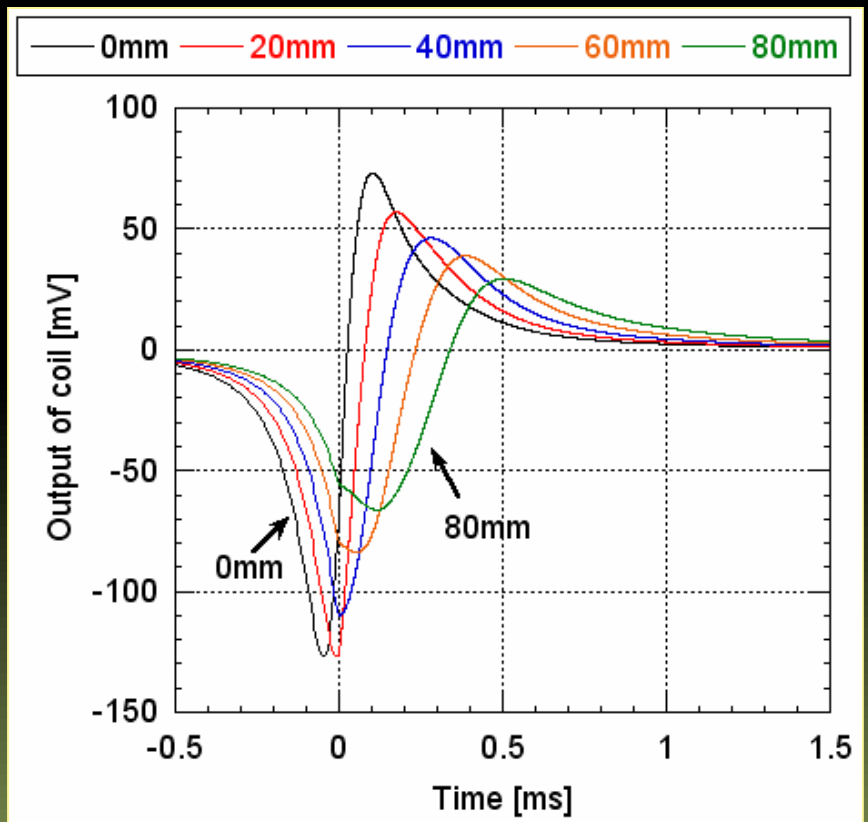
マグネット・コイルゲージによる貫入軌道の計測?

$n=50$ wraps, $m=0.085$, $d=160$ mm

Experimental



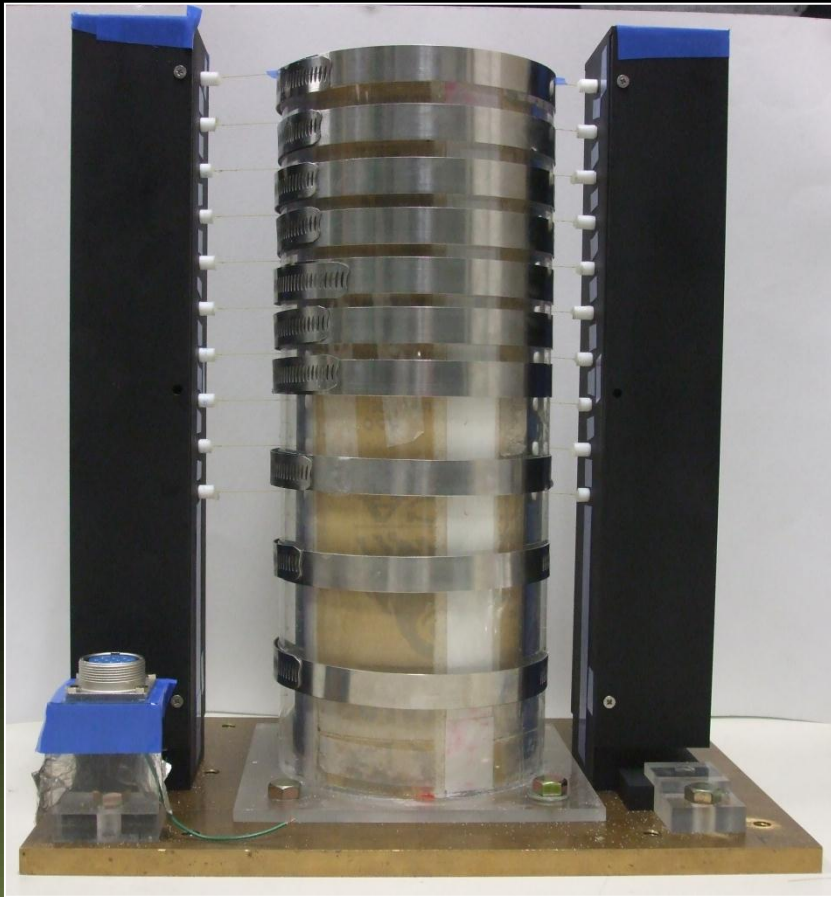
Theoretical



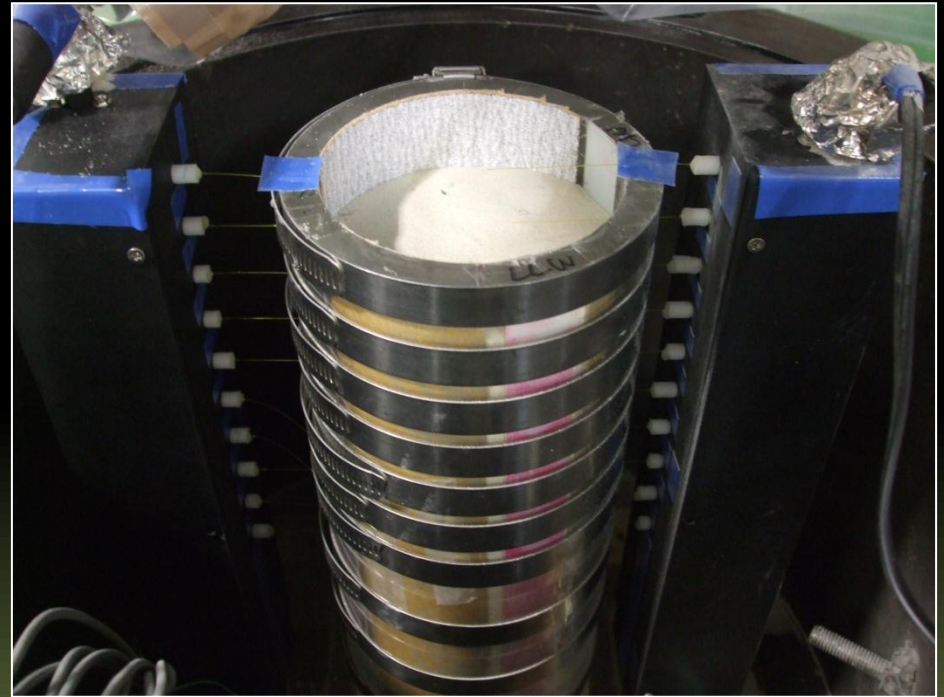
高速衝突実験装置@大阪大学(基礎工)

ファイバーカット法による砂の挙動の推測

ファイバーカットシステム



チャンバー内へのシステム設置



高速衝突実験装置@立命館大学

縦型火薬銃



設置: 2011年12月7日

(東北大学 高山和喜先生より譲与)

発射管内径: 15 mm

発射管長さ: 1.5 m

速度範囲: 0.5~2.2 km/s

速度計測法: レーザーカット

チャンバー内部: $\phi 250$ mm \times 560 mm

観測窓: 150 mm \times 600 mm (前後2面)

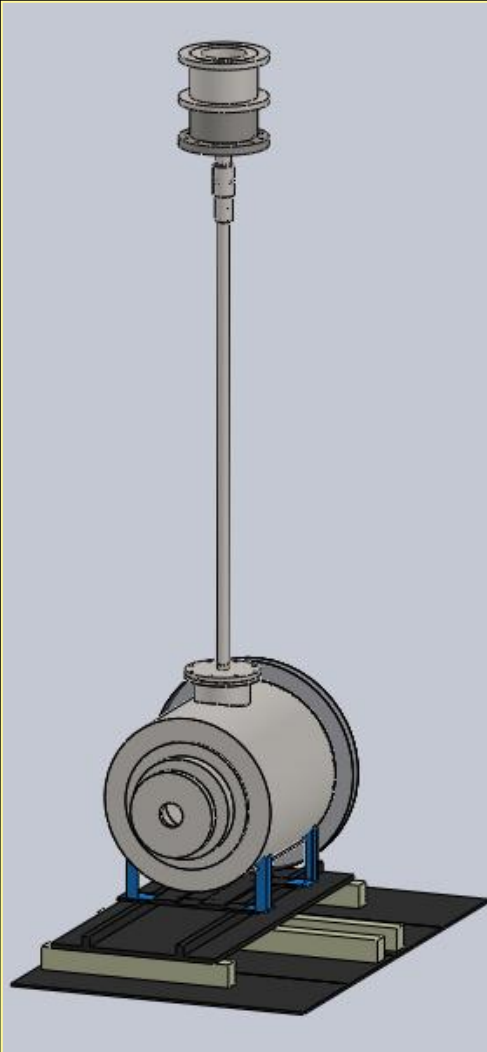
到達真空度: ?

二段式軽ガス銃を火薬銃として利用

(天井高さの制約による)

高速衝突実験装置@立命館大学

縦型無隔膜ガス銃



設置・運用開始予定: 2012年(開発中)

全高: 3.6 m

発射管内径: 15 mm

発射管長さ: 2 m

速度範囲: ~600 m/s

速度計測法: コイル(誘導起電力を利用)

チャンバー内部: 400 mm × 600 mm × 300 mm

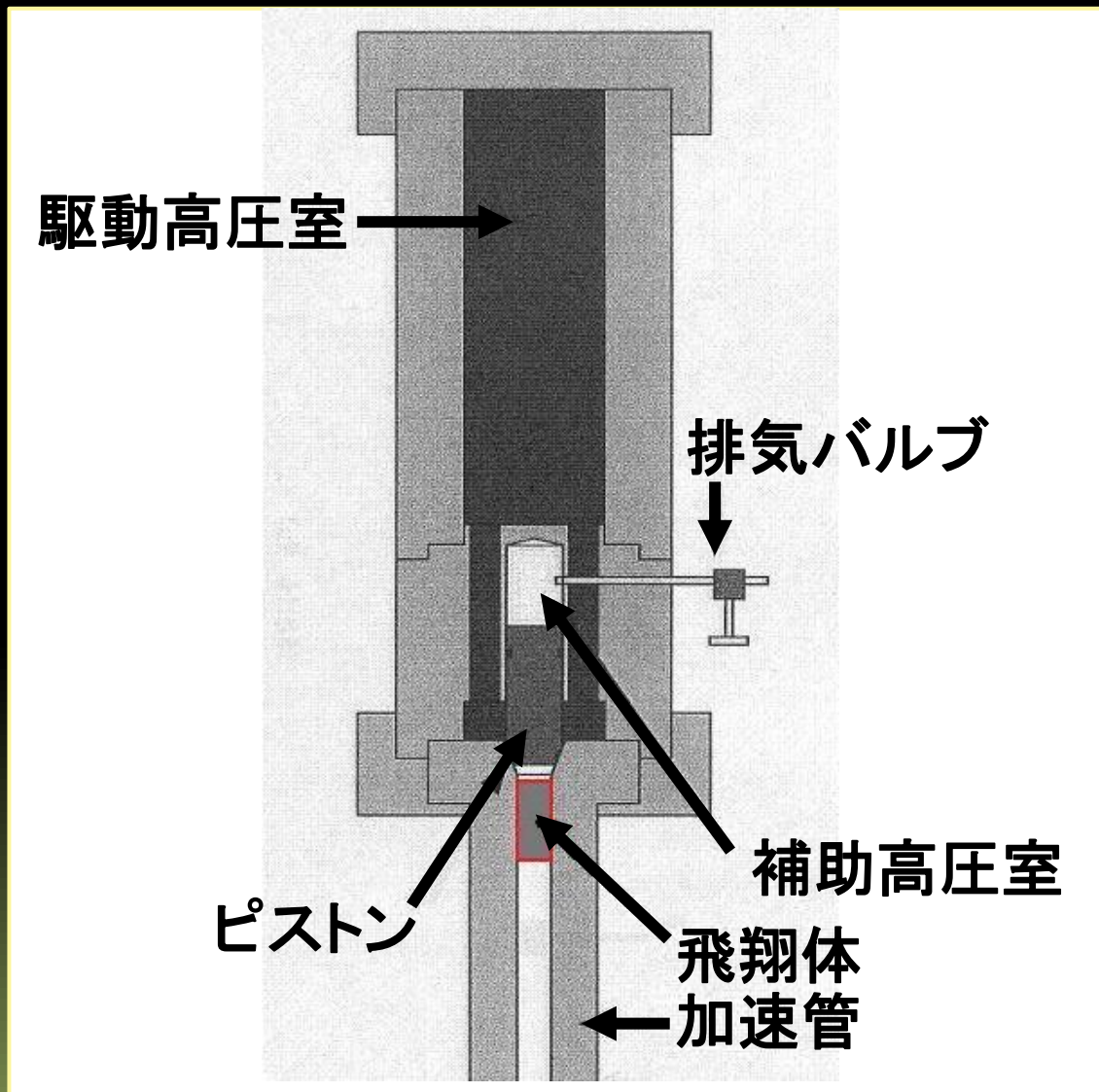
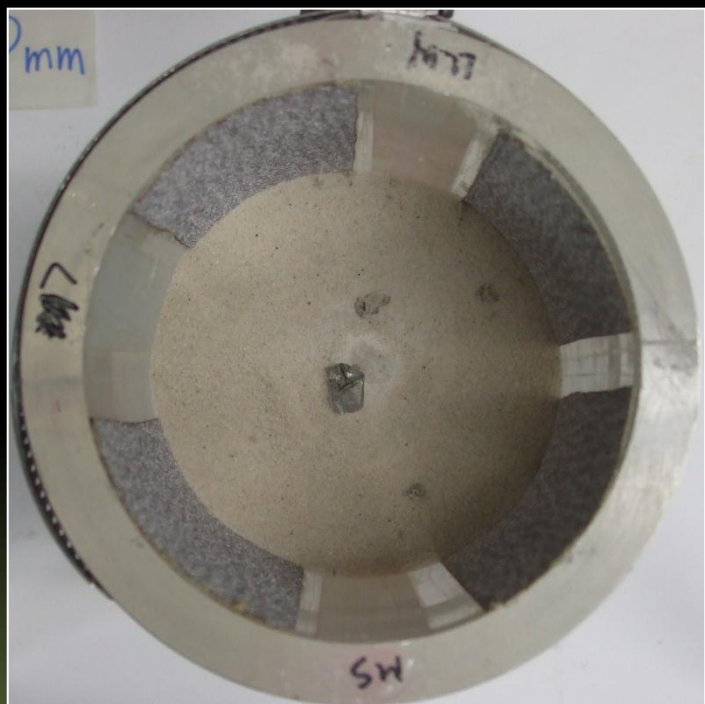
観測窓: 直径160 mm (直径200 mm)

観測窓までの高さ: 400 mm

到達真空度: 10^{-3} Pa程度

高速衝突実験装置@立命館大学

縦型無隔膜ガス銃



高速衝突実験装置@立命館大学

縦型無隔膜ガス銃

