

人体への影響を考慮した個人防護装備 の性能評価法について

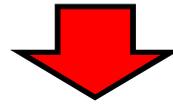
陸上装備研究所 弾道技術研究部 残存性解析研究室
防衛技官 阿曾沼 剛

発表内容

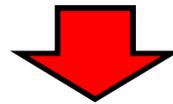
- 1 研究の背景
- 2 研究の内容
- 3 試験方法
- 4 試験結果
- 5 まとめ
- 6 今後の予定

1. 研究の背景 (1/3)

近年、防弾チョッキ・ヘルメットの個人装備の耐弾性が向上



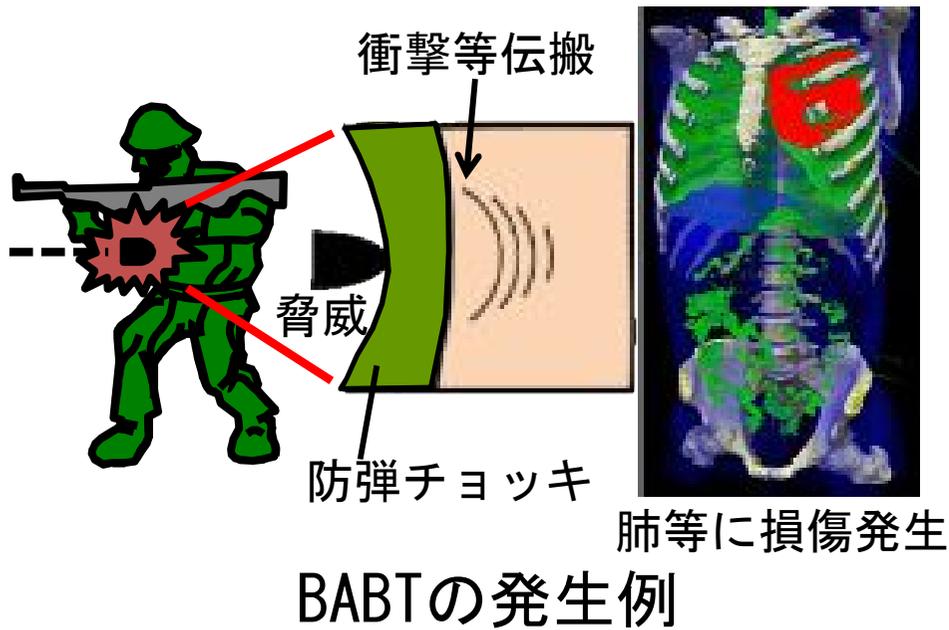
爆風や銃弾、破片等の飛翔体による出血等を伴うような直接的な外傷は減少傾向



より大きなエネルギーを人体で吸収することから、以下の症例が増えている

- 耐弾時鈍的外傷 (BABT: Behind Armor Blunt Trauma)
- 外傷性脳症 (TBI: Traumatic Brain Injury)

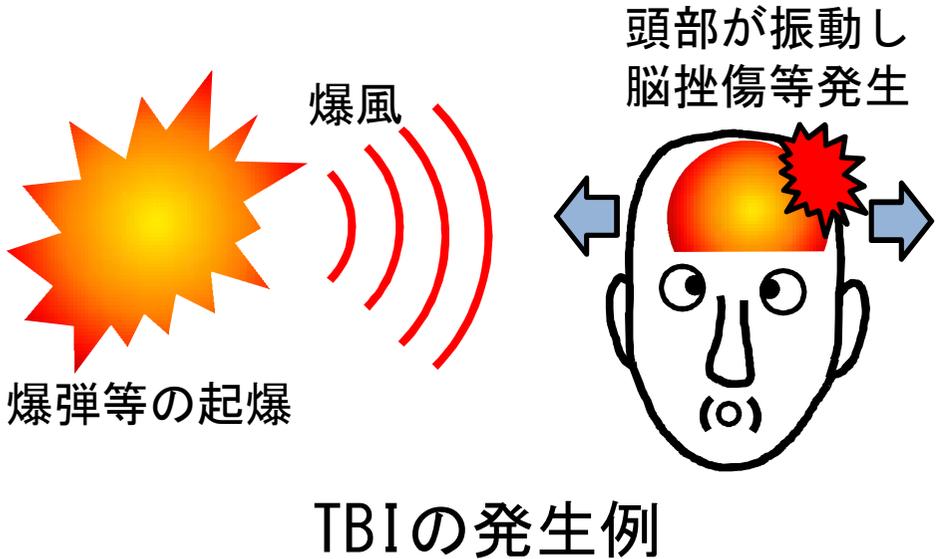
1. 研究の背景 (2/3)



防弾チョッキの前面では陥凹、後面では隆起。そこから衝撃等が体内に伝搬。



- 軽度なもの：皮膚の血腫
- 重篤なもの：骨折、内臓の挫傷や破裂・断裂等の傷害



- 頭部に物理的な衝撃
- 爆発に伴う衝撃波と圧力変化



- 著しい記憶障害やめまい、頭痛、集中力低下など

1. 研究の背景 (3/3)

人体を大別すると

- 人体軟組織 (皮膚・筋肉・内臓)
- 人体硬組織 (骨)

特に生体の中でも人体軟組織において生じるBABTとTBIに注目



軟組織内における圧力の伝搬等を把握し、その影響を検討する必要があるが、その計測は困難だった

2. 研究の内容

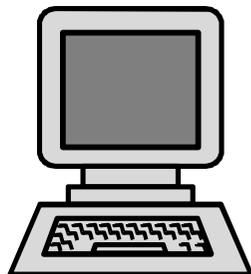
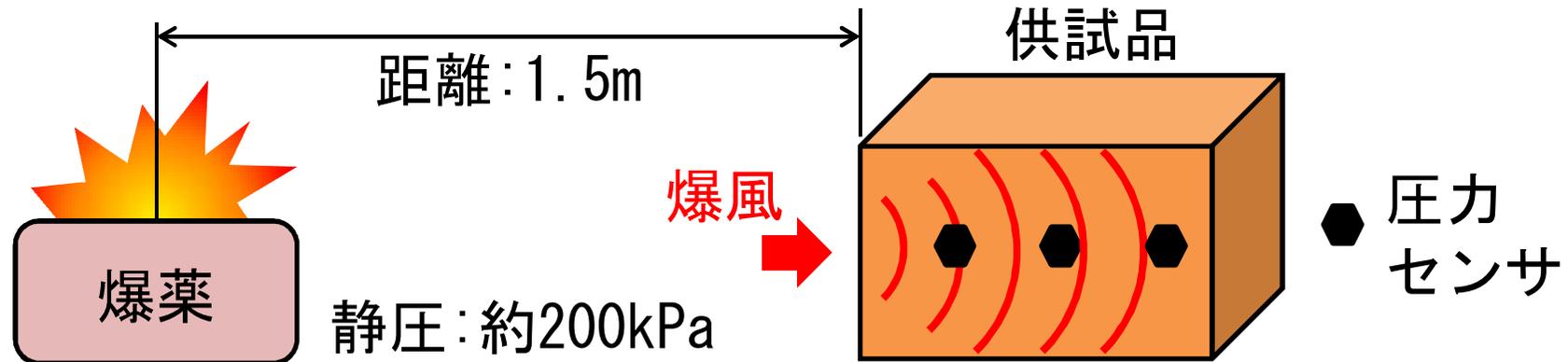
- 生体組織への影響を考慮した防護性能の評価法を検討するため、人体軟組織の材料力学的なモデル化を行い、**数値シミュレーション**と**静爆試験**により軟組織内の現象の再現を試みた。
- 特に、軟組織模擬物質内の爆風衝撃の伝搬を計測原理の異なる圧力センサを用いて計測した。

3. 試験方法

検討・確認事項

- 被弾損傷評価用の人体軟組織模擬物質の検討
- 人体軟組織における衝撃伝搬の定量的計測手法の検討
- 防護装備による爆風威力低減効果の確認

試験概要



静爆試験の事前・事後において、数値シミュレーションを実施

3. 試験方法—供試品(1/3)—

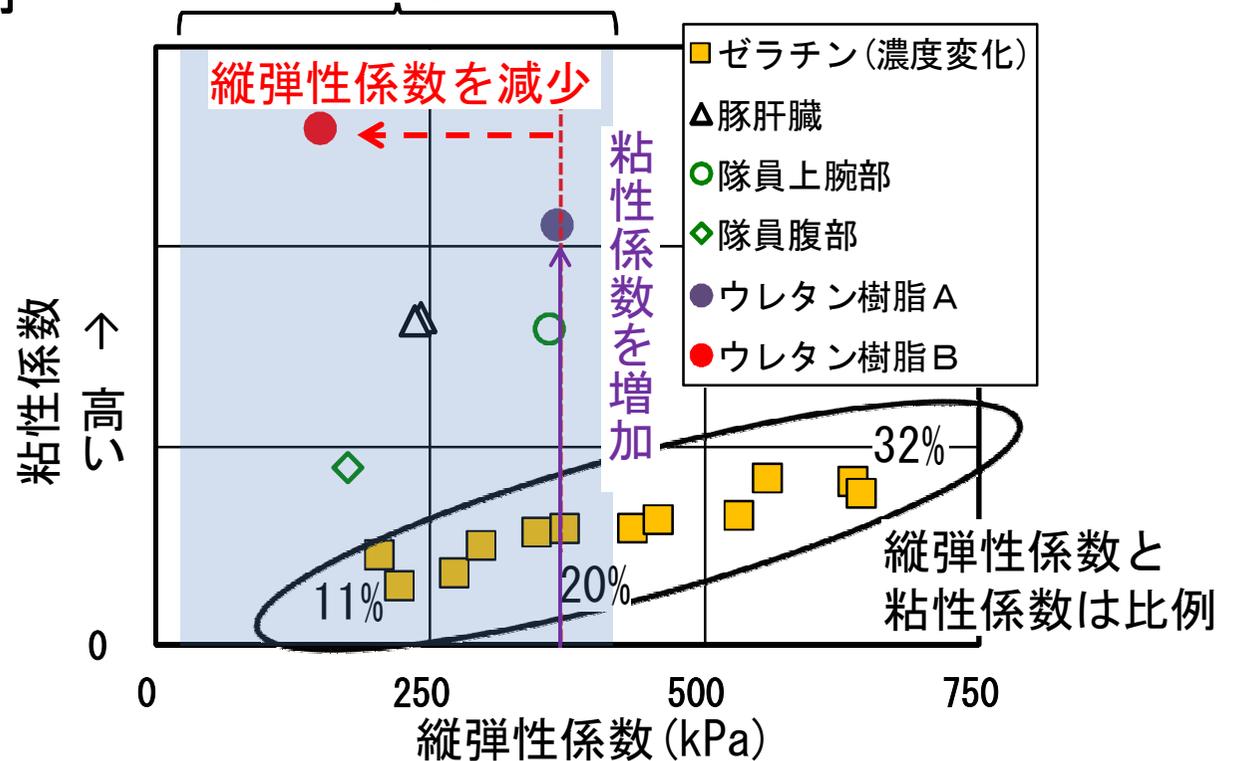
- 従来からゼラチンを用いて銃弾等の弾道の挙動を確認。

ゼラチンの問題点

- 粘性係数を高くできない
- 温度依存性が高い

正確な圧力測定は可能か？

人体軟組織の縦弾性係数範囲

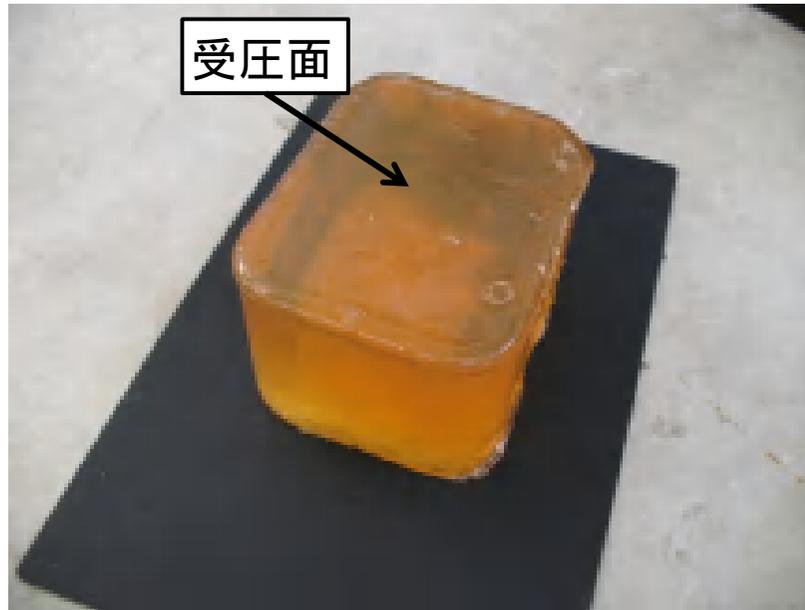


- ウレタン樹脂A(皮膚・筋肉用)は縦弾性係数が、ゼラチン(濃度20%)とほぼ同じで粘性係数が高い
- ウレタン樹脂B(内臓を想定)は縦弾性係数がウレタン樹脂Aより低い

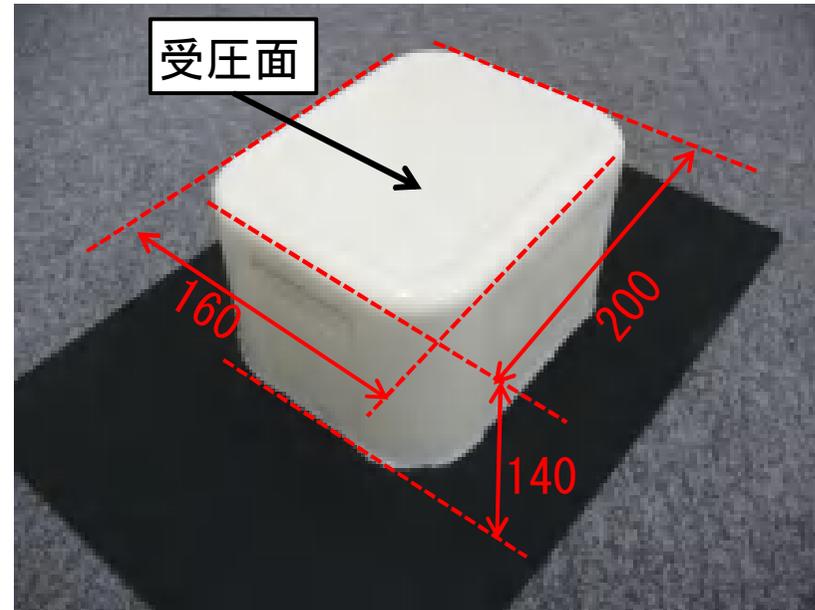
※粘性係数：物質のねばりの度合。流れに抵抗する内部摩擦の大きさを表す物性。

※縦弾性係数：材料の引張試験により得られた応力ひずみ線図における弾性域(の線形部)の傾き。

3. 試験方法—供試品(2/3)—



ゼラチン(濃度20%)
200×160×140(mm)

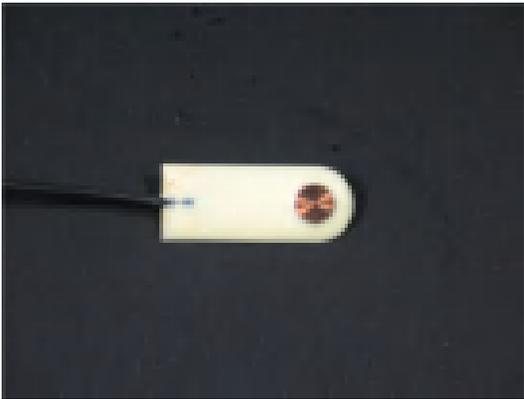
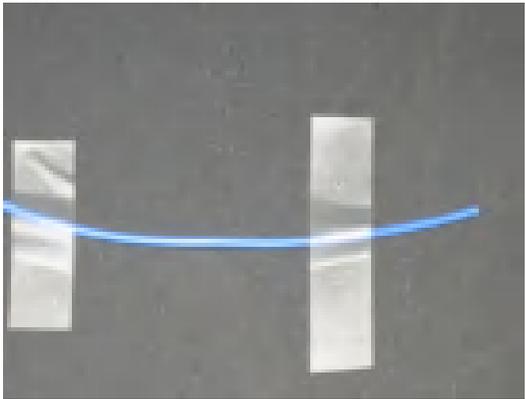


ウレタン樹脂A
200×160×140(mm)

一部供試品には、防護装備(セラミックスとFRPの積層板)を爆風受圧面に設置

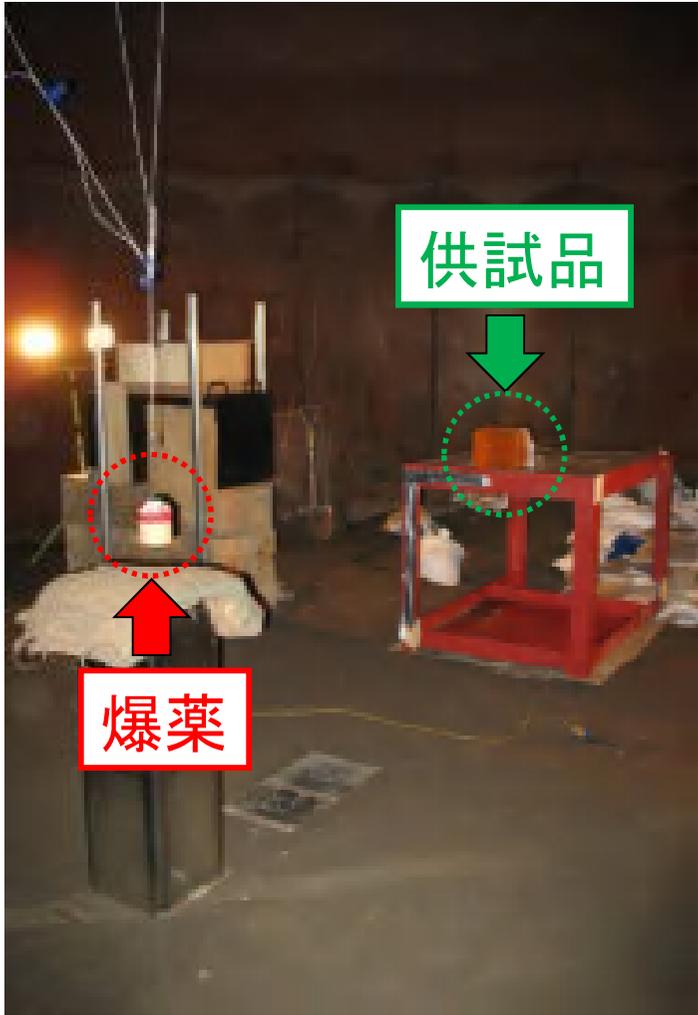
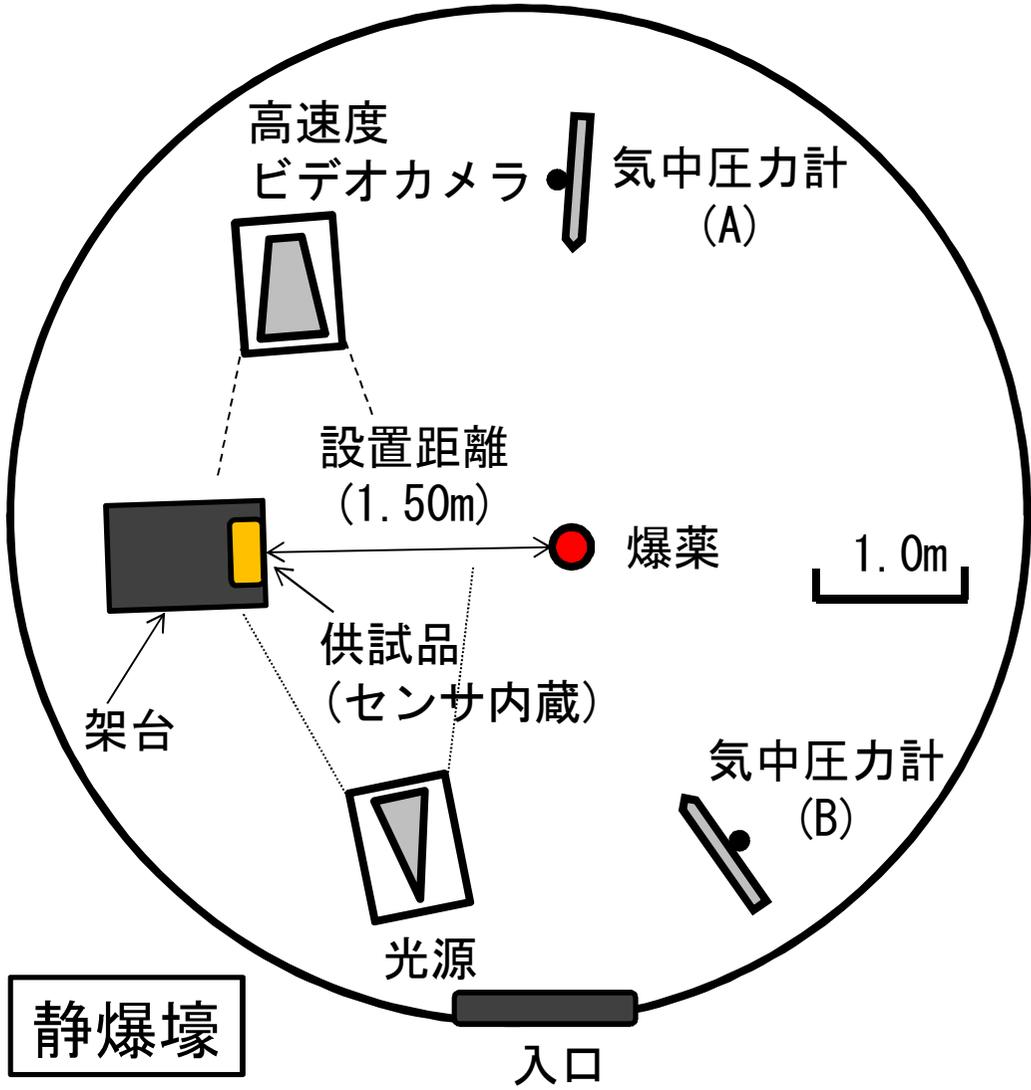
3. 試験方法－計測機器－

従来使用してきた圧力センサの問題点：
質量、形状が大であり、軟組織内で相対運動、変形する。
→正確な値が計測できない

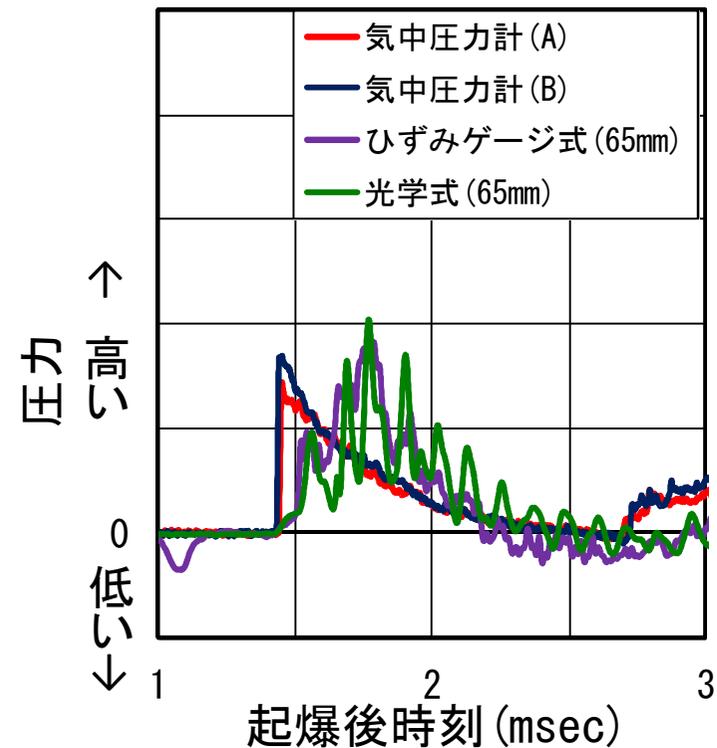
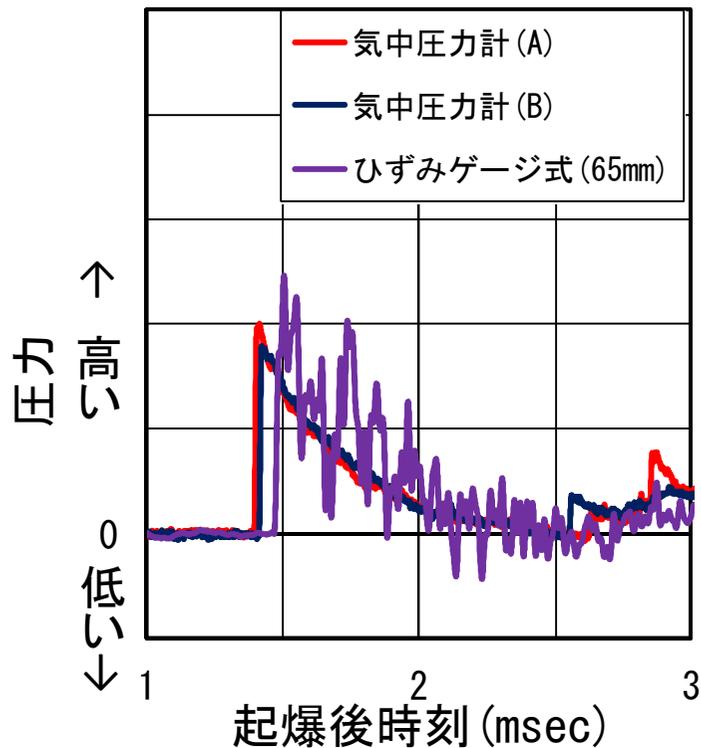
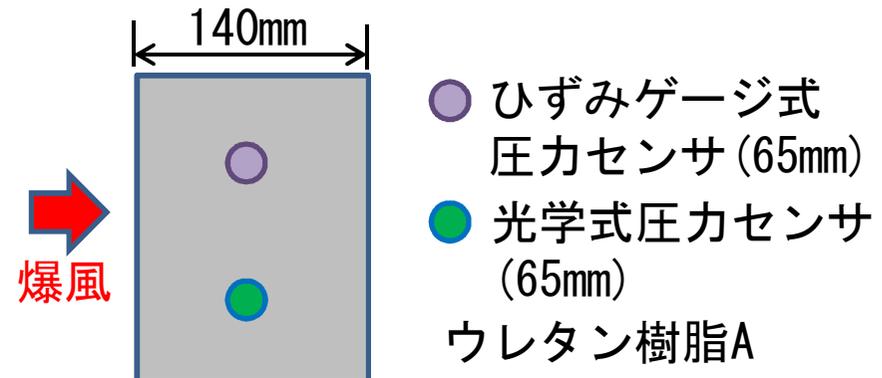
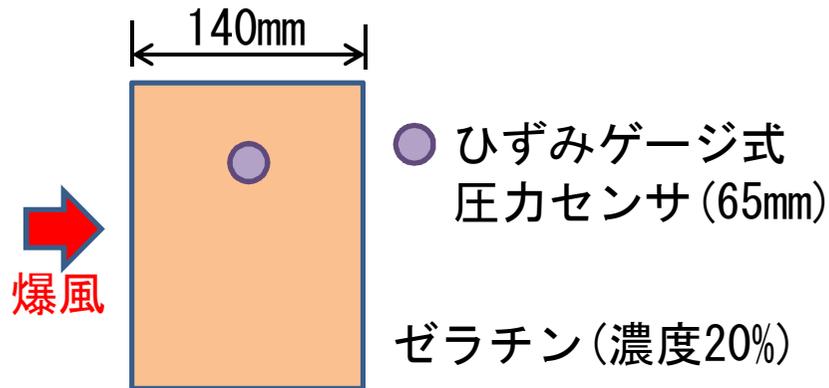
トルマリンゲージ	ひずみゲージ式	光学式
		
長さ117mm、 $\phi=9.5\text{mm}$	長さ30mm、 受圧面 $\phi=6.0\text{mm}$	受圧面 $\phi=0.5\text{mm}$

•センサ設置は供試品に切り込みを入れて挿入

3. 試験方法－静爆試験の器材配置－

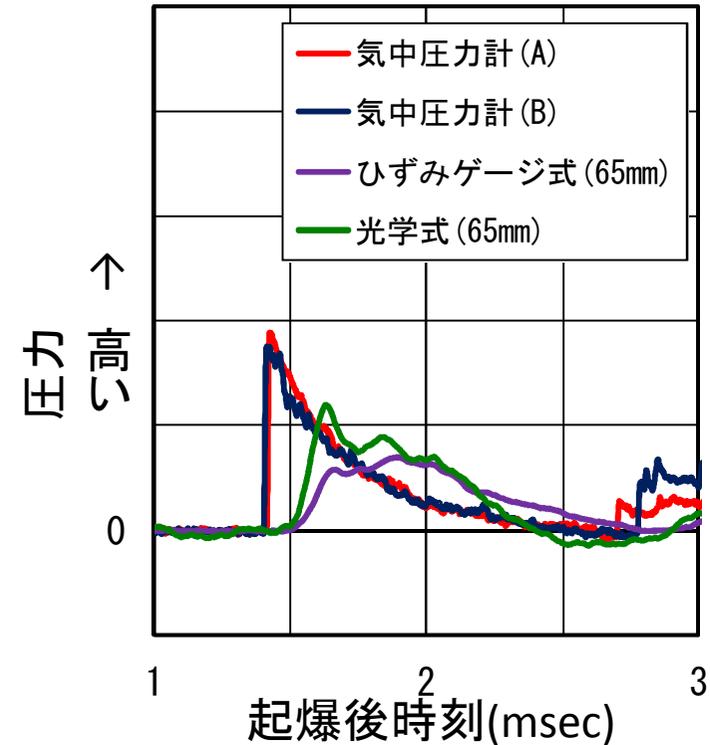
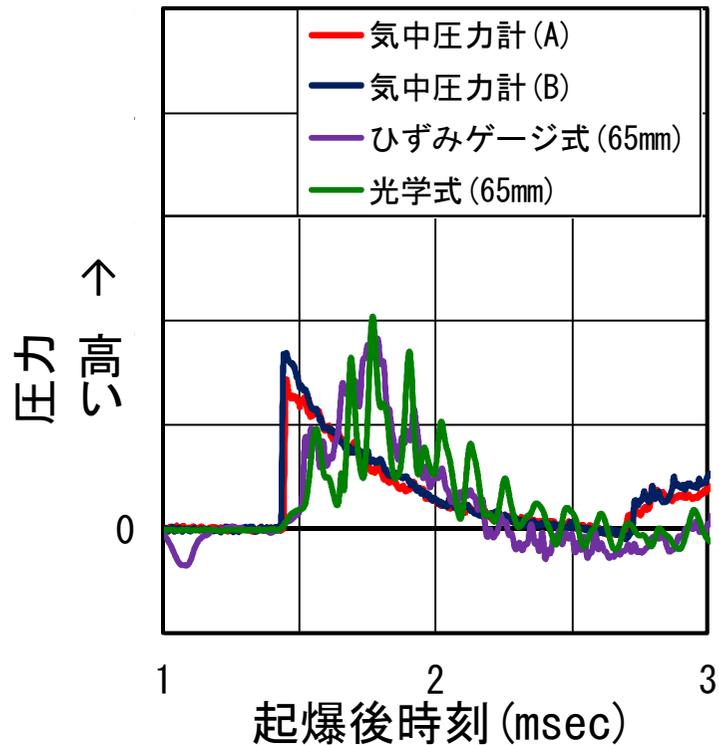
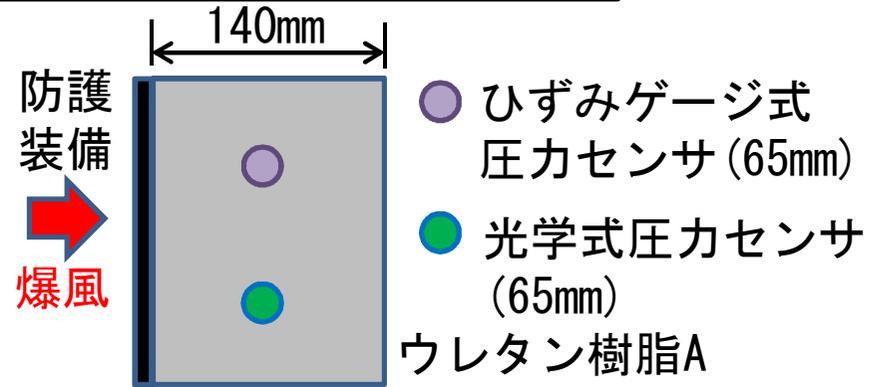
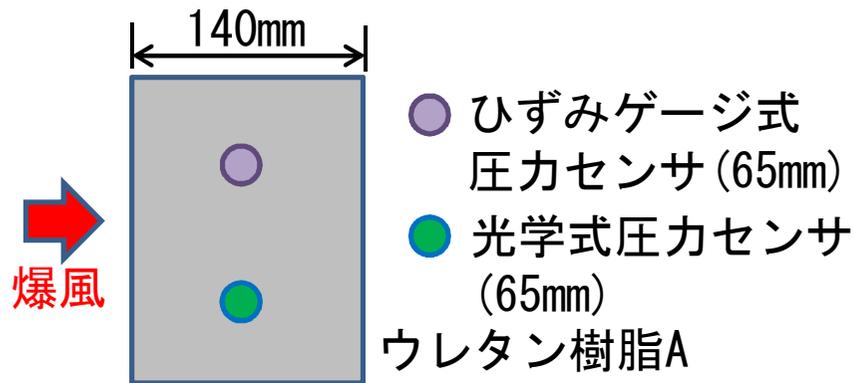


4. 試験結果－圧力値 (1/2)



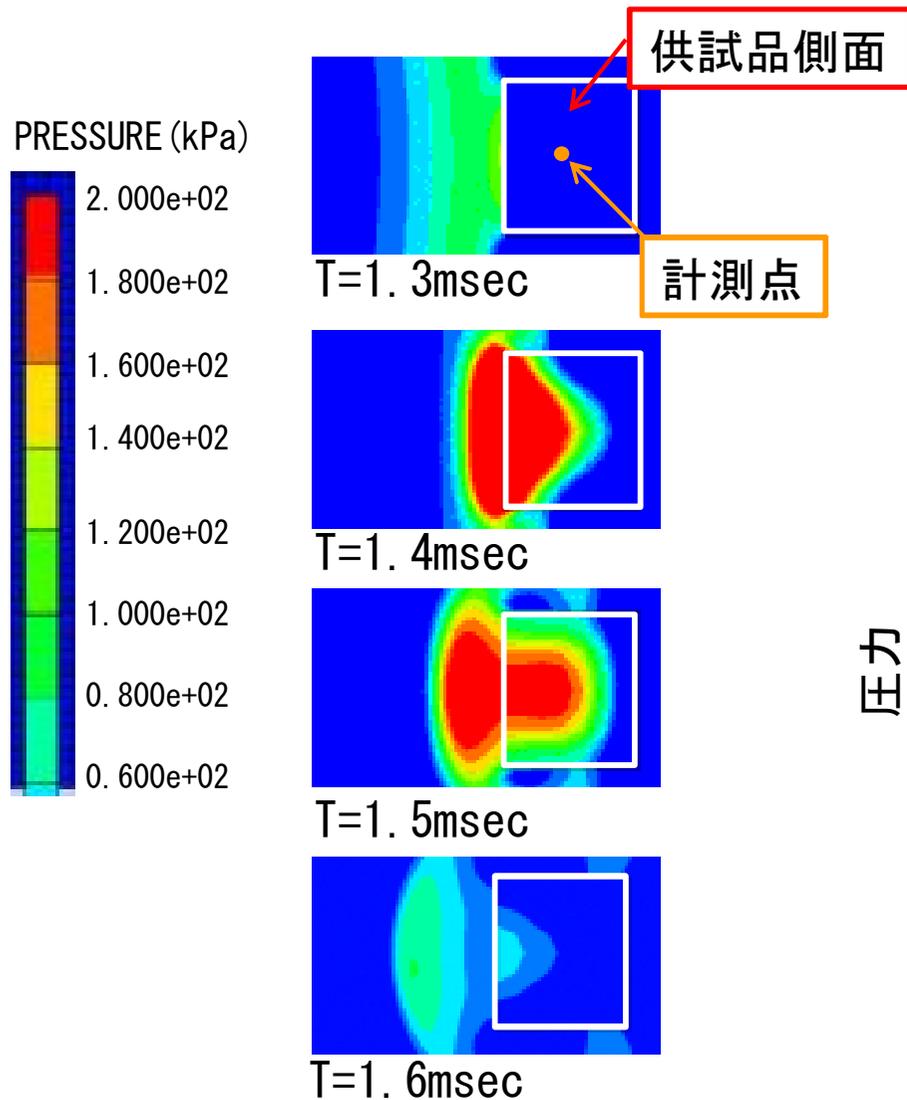
模擬物質の違いにより供試品内の圧力の立ち上がりが異なる 12

4. 試験結果－圧力値 (2/2)



防護装備を用いることで、供試品内の圧力伝搬の様相が変化

4. 試験結果－数値シミュレーション(1/2)－

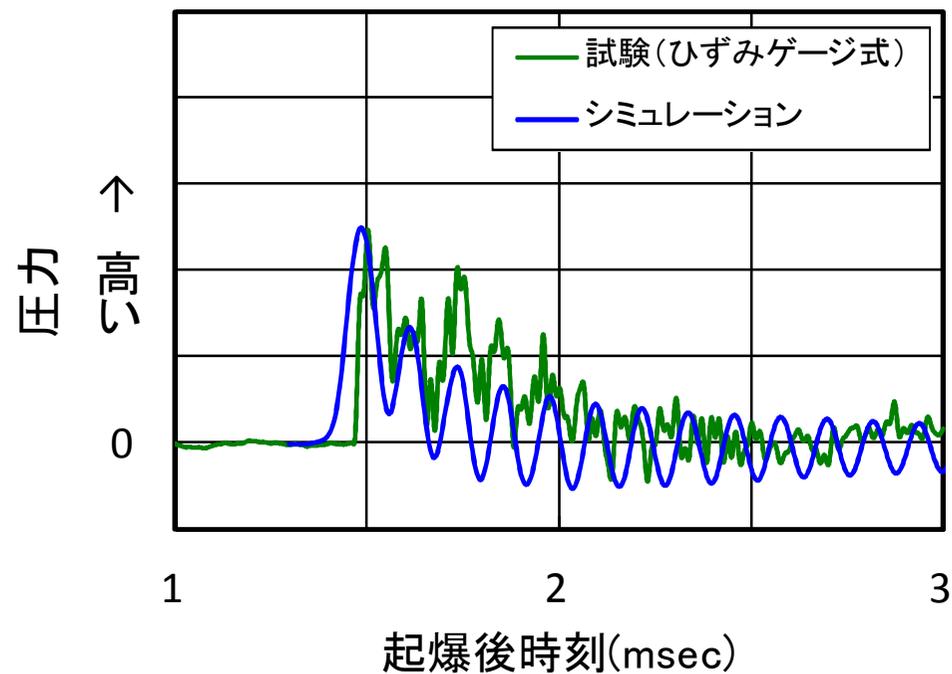


ゼラチン供試品

計測点：前方から65mm

メッシュサイズ：空気5mm、供試品10mm

メッシュ数：約70万



解析コード：AUTODYN-3D
Ver. 13を使用

圧力の最大値や振動する挙動がほぼ一致

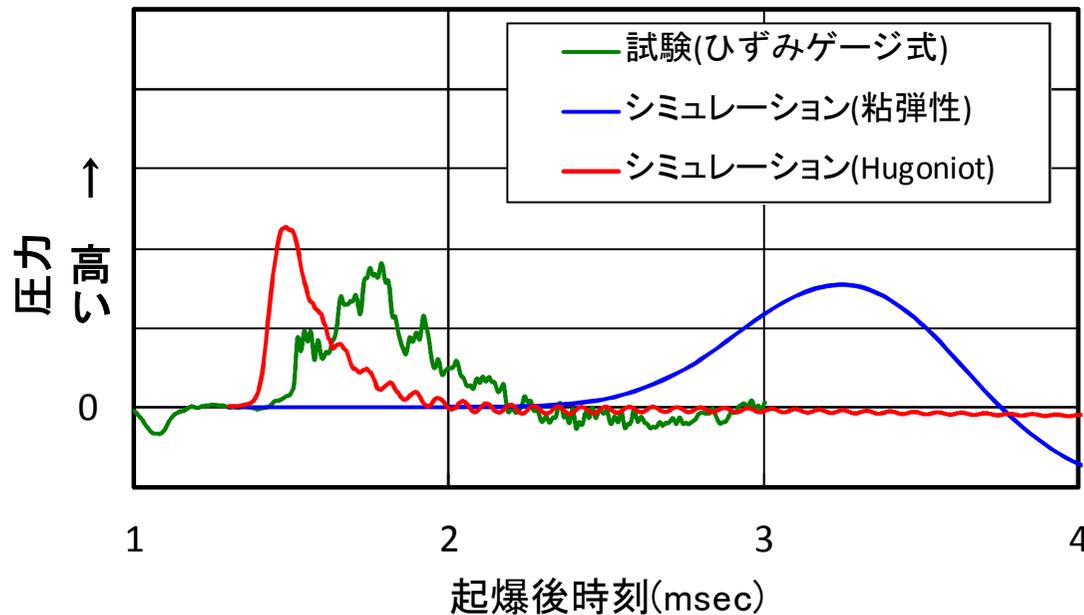
4. 試験結果－数値シミュレーション(2/2)－

ウレタン樹脂A供試品

計測点：前方から65mm

メッシュサイズ：空気5mm、供試品10mm

メッシュ数：約70万



解析コード：AUTODYN-3D
Ver. 13を使用

高速現象時には、粘性係数の緩和時間効果のため、
高速変形時に見かけの粘性係数が減少することをモデル化
できていないことが原因

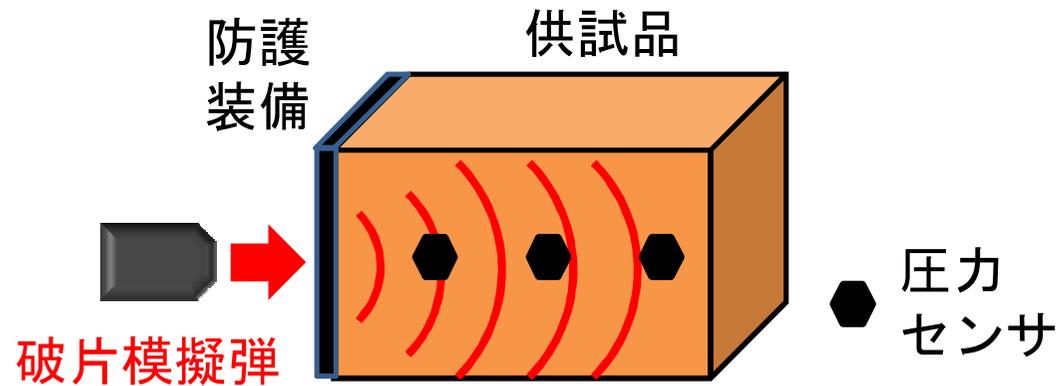
→緩和時間を考慮した材料モデルの構築が必要

5. まとめ

- ひずみゲージ式及び光学式圧力センサを使用して、軟組織模擬物質内でも圧力測定が可能であることが確認できた。
- 防護装備を用いることで軟組織模擬物質内に伝搬する圧力に様相変化が生じることが確認できた。
- ゼラチン供試品の数値シミュレーションについて、精度良く再現できることが確認できた。

6. 今後の予定

射撃試験において、
破片模擬弾を使用



その他実施事項：

1. 軟組織模擬物質（ウレタン樹脂等）の材料モデルの精緻化
2. AUTO-DYN、LS-DYNA等の数値シミュレーションによる人員損傷モデル化の検討

➡ BAPTとTBIを評価可能な手法の構築を目指す。