



AMERICAN ACADEMY OF
FORENSIC SCIENCES



Development of Fracture Risk Evaluation Method by Computer Simulation that Reproduces Pressure Distribution on Bone Due to Compression and Striking

Sonoka Okura, Yasumi Ito, Tatsuya Fukuoka, Yuki Kunugi, Yasuyuki Takano, Ryuichi Yamada, Yoshiyuki Kagiya, Tetsuya Nemoto

1. University of Yamanshi, 2. National Center for Geriatrics and Gerontology
E-mail : yasumii@yamanashi.ac.jp, g20tm004@yamanashi.ac.jp

Abstract

本研究では、打撃により骨が受ける圧力分布を再現したFEMによる骨折リスク評価法を提案し、2つの事例に対して用いることで、有用性の検証を行った。

人体の負荷速度によって、静的外力の場合はpressure textile sensorを用いて、動的外力の場合は感圧紙を用いて骨に加わる最大圧力分布を測定することで、圧力分布を再現したFEMによる骨折リスク評価法を行うことが可能であることが示された。

また、骨の外力負荷面積全体に平均圧力を加える従来の解析方法では本研究で提案する手法よりも骨折リスクを低く算出していることが示された。

1. Introduction

- コロナ禍におけるストレスにより幼児虐待、DV、介護虐待など虐待事件が増加する危険性がある
- 虐待事件が発生したときに加害者の殺意を立証する手段として、被害者が受けた外力の定量的な評価が必要になる

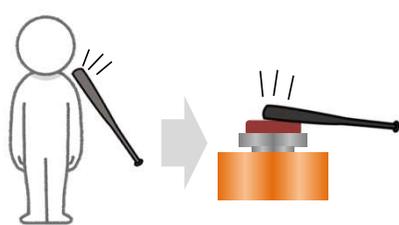


我々は実験とFEM解析を組み合わせ、骨折リスクを定量的に評価する手法を開発してきた。

骨折リスク評価法の開発

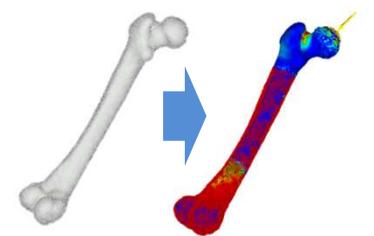
骨が受ける荷重の測定実験

人体が外力を受けた時に骨にかかる荷重を実験によって測定



FEM解析による骨折解析

CT画像を元に骨モデルを作成
実験で測定した荷重をモデル負荷し、
有限要素法による骨折解析を行う



課題点

人体が実際に受ける荷重は打撃物の先端形状によってその圧力分布が大きく異なるのにも関わらず
当手法では骨にかかる圧力分布が明らかにされていない

目的

打撃により骨が受ける圧力分布を再現したコンピュータシミュレーションによる骨折リスク評価法を提案し、
2つの事例に対して用いることで、有用性の検証を行った

2. FEMを用いた骨折解析手法

日本では医療としてFEM解析を用いた骨強度評価が用いられている

定量的CTを用いた有限要素法による骨強度予測評価

X線CT画像から検出した骨密度に基づいて、骨の三次元有限要素モデルを作成
現実の荷重条件を模擬した荷重・拘束条件を与えて応力・ひずみを解析し、破壊強度を計算する

医療機器承認番号
22800BZX00023000号

使用ソフトウェア Mechanical Finder



3. FEMを用いた骨折解析の法科学的応用

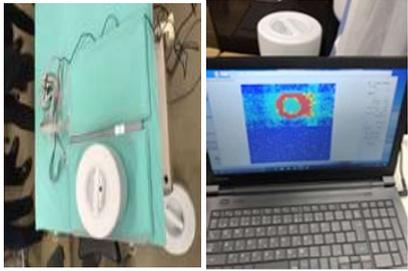
3.1. 静的荷重における骨折リスク評価

介護動作で高齢者の肋骨が折れるのか？

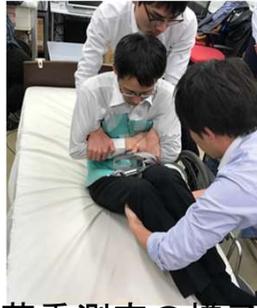
介護動作中に静的外力を受ける高齢者の肋骨を想定した骨折リスク評価を行う

介助動作時に肋骨にかかる外力推定実験

胸部に圧をかける介助動作を行い、圧力分布測定マットで介護者の肋骨にかかる荷重を測定



圧力分布測定マット

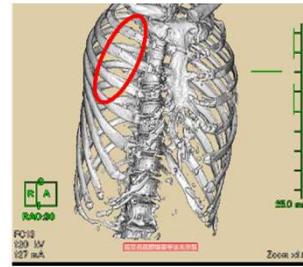


荷重測定の様子

FEM解析

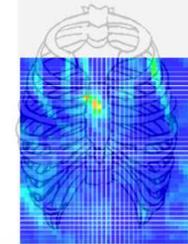
モデル作成

X線CTにより撮像された肋骨画像から骨モデルを作成

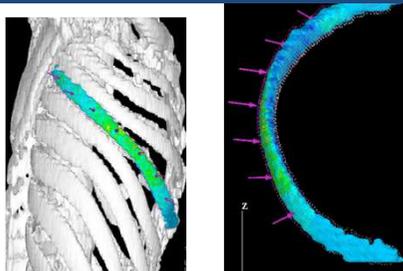


荷重負荷

測定された荷重値に倣い部分ごとに負荷荷重を設定
有限要素解析によって骨折判定



鑑定結果



解析結果コンター図

解析から介護動作中の被害者の骨はほぼ折れないことが明らかとなった。

骨折荷重/実験荷重比の表(一例)

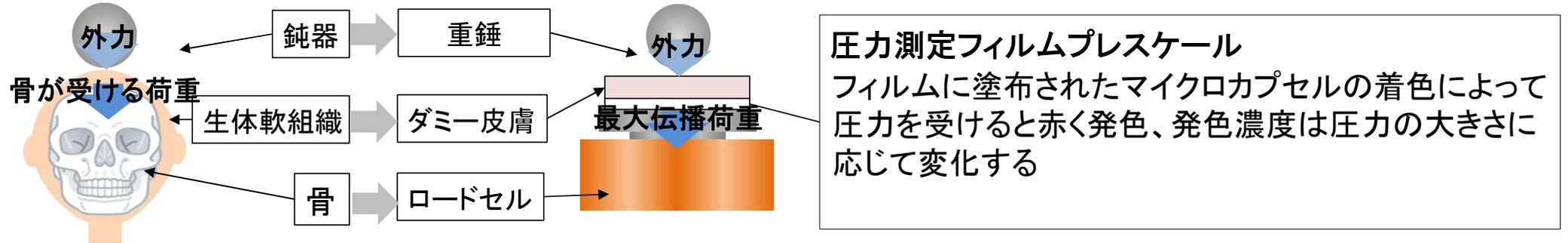
介助動作	骨にかかる荷重 [kgf]	骨折荷重/実験荷重比
車いすからベッドへの移乗動作	0.84~1.72	39
おむつ交換	0.05~0.73	100以上

3. FEMを用いた骨折解析の法科学的応用 3.2. 動的荷重における骨折リスク評価

虐待事件に見られる鈍器の打撃で幼児の頭蓋骨が動的な外力を受ける状況を想定した骨折リスク評価を行う

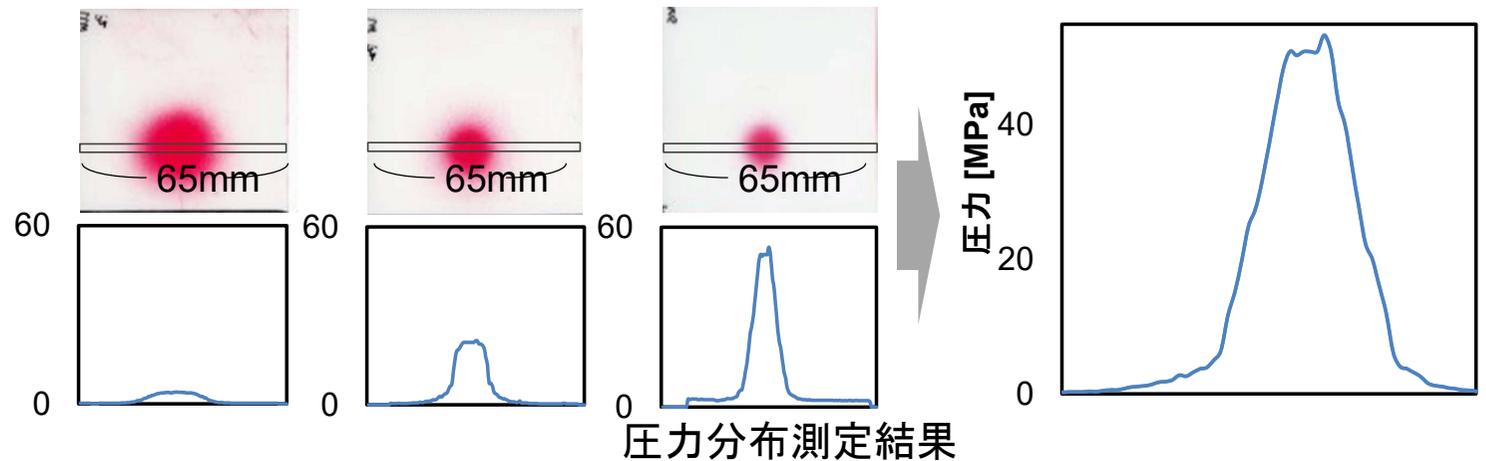
① 骨が受ける圧力分布の測定

ロードセルに鉄球を落下させ、ダミー皮膚を介した荷重を測定することによって打撃時に骨にかかる荷重を測定



測定結果

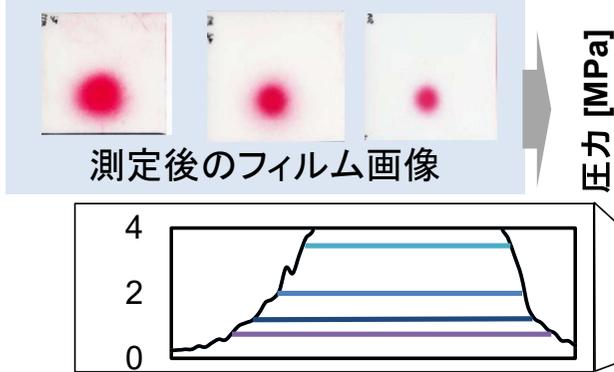
3種類のプレスケールを使用して
2.5~50MPaの衝突部位の圧力分布が測定できた



3. FEMを用いた骨折解析の法科学的応用 3.2. 動的荷重における骨折リスク評価

② 骨が受ける圧力分布を再現した解析

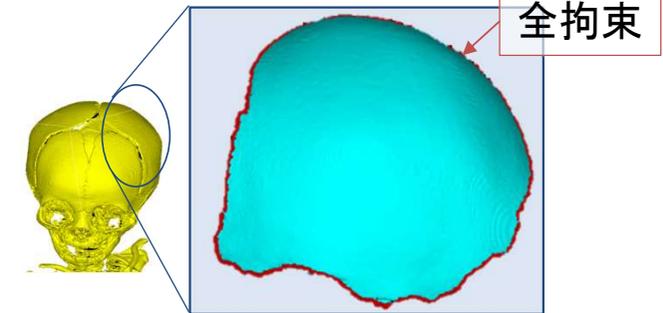
圧力測定フィルム測定結果



フィルム画像から算定した圧力分布図

使用モデル

乳児頭蓋骨左側の一部分を切り取りモデル化

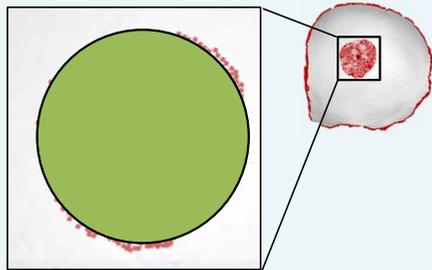


使用モデル

負荷荷重条件

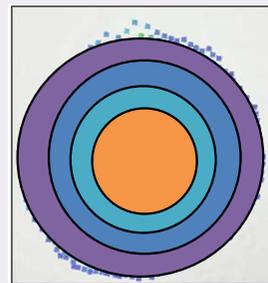
従来手法

圧力分布を考慮せず
一様荷重を負荷

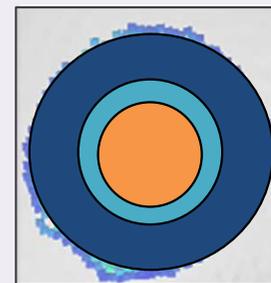


ケース0

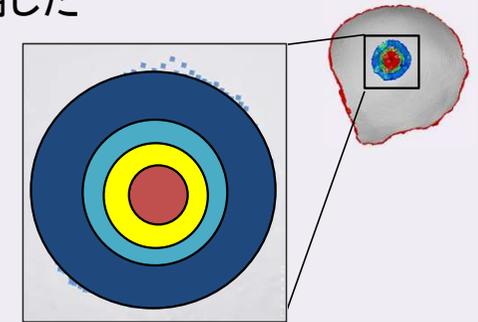
測定した圧力分布を再現した荷重負荷条件を採用した



Case1 (低圧力域を精密に再現)



Case2 (三分割の簡単な再現)



Case3 (高圧力域を精密に再現)

3. FEMを用いた骨折解析の法科学的応用 3.2. 動的荷重における骨折リスク評価

結果・考察

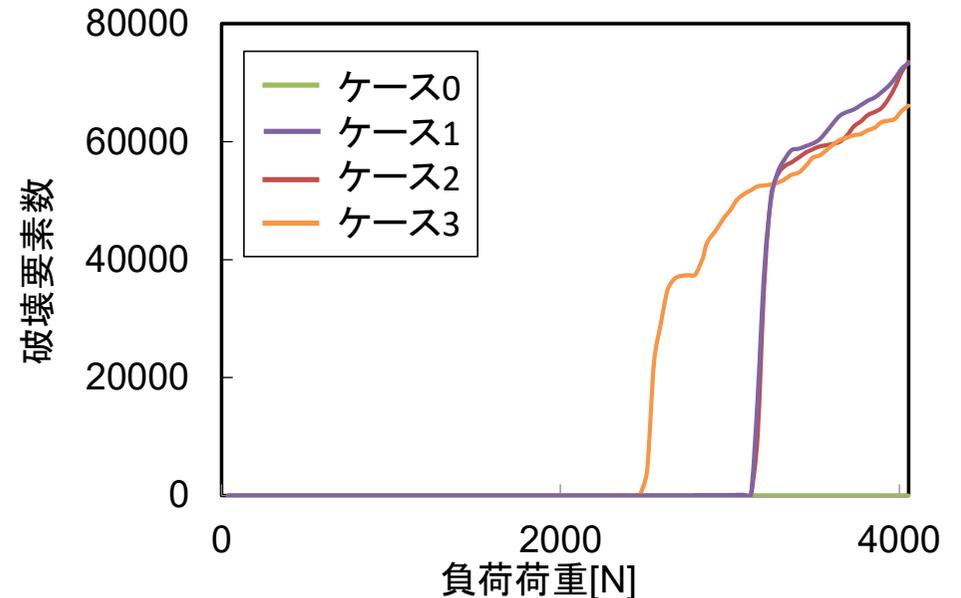
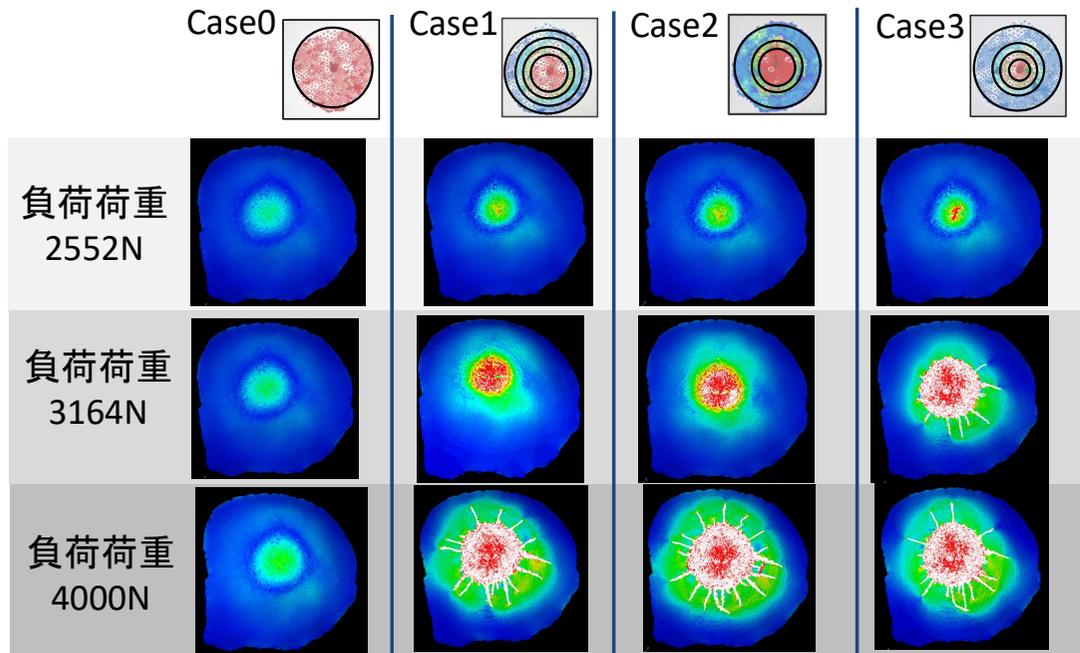
負荷荷重による解析結果の比較

解析の結果、荷重条件によって骨折リスクが大きく異なった。

圧力分布を再現した荷重条件下(ケース1、ケース2、ケース3)では一定荷重負荷後に大きく骨破壊を起こしたが、従来の条件(ケース0)では骨破壊を起こさなかった。

高圧力域を細かく分割した条件(ケース3)下では他条件(ケース1、ケース2)と比較して低い負荷荷重でも骨破壊が発生することが確認できた。

各荷重負荷条件における骨折挙動



各荷重負荷条件における破壊要素数

Conclusions

人体の負荷速度によって、静的外力の場合はpressure textile sensorを用いて、動的外力の場合は感圧紙を用いて**骨に加わる最大圧力分布**を測定することで、圧力分布を再現したFEMによる骨折リスク評価法を行うことが可能であることが示せた。

また、骨にかかる圧力分布を考慮しない従来の評価法では骨折リスクを低く見積もっていたことが確認できた。従来手法では骨折が発生しなかった荷重でも、圧力分布を考慮した評価法上では骨折が発生する可能性がある。そのため、骨折リスク評価において、圧力分布を考慮することは必要であると考える。

今後は圧力分布の再現精度と骨折リスクの関係を調査することで、本評価法を実用的かつ高精度なものにしていく。

Outlook

- **加害者の個人特性や被害者の挙動を考慮した骨折リスク評価手法**

剛体モデルによる人体挙動解析と組み合わせることによって加害者や被害者の挙動も含めた骨折リスク評価法が期待される。より精度の高い法医学鑑定が可能

- **医療・福祉分野における骨折リスク評価法の応用**

転倒・落下した際、大腿骨が床に衝突する時の骨折リスク評価安全床の開発に応用可能

謝辞

長寿医療研究開発費「介護ロボット利用時における外力による障害リスクのコンピュータシミュレーションの助成」をご提供いただきました国立長寿医療研究センターに感謝申し上げます。