

## B220 形状忠実な頭部物理モデルの構築と衝撃応答計測

Construction of a head physical model based on an actual head shape  
and measurement of its impact responses○学 穴田賢二（金沢大院）  
正 立矢 宏（金沢大）正 宮崎祐介（金沢大）  
正 放生明廣（金沢大）Kenji ANATA, Yusuke MIYAZAKI, Hiroshi TACHIYA, Akihiro HOJO  
Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa

Key Words : Impact Biomechanics, Brain Injury, Head Physical Model

## 1. 緒 言

現在、様々な事故において頭部外傷により多くの死傷者が発生している。例えば交通事故においては 2006 年の死者の原因の約半数が頭部外傷である。そこで頭部外傷発生メカニズムを解明することが重要となる。

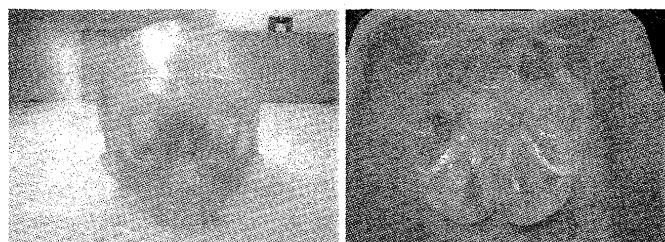
現在、衝撃を受ける頭部の外傷発生メカニズムを解明するため、主に頭部 FE モデルを用いた研究が行われている<sup>(1)</sup>。しかし、生体実験データの取得が困難であるため、その妥当性は十分に検証できていない。一方で、球体や円筒といった単純形状の物理モデルを用いた実験<sup>(2)</sup>も行われているが、実際に人体で起きる現象を把握できるとは言い切れない。

そこで、本研究では特定個体の医用画像よりラピッドプロトタイピング技術を利用することにより形状忠実な頭部物理モデルを構築するとともに、衝撃実験を行い、頭蓋内部の衝撃応答の計測を行うことを目的とする。

## 2. 頭部物理モデルの構築方法

本研究で構築した頭部物理モデルは頭蓋骨部物理モデルと脳部物理モデルの 2 つに分けられる。頭蓋骨部物理モデルの製作には成人男性の頭部 CT 画像より構築された頭蓋骨の三次元 CAD データを利用した<sup>(3)</sup>。この CAD データを、ラピッドプロトタイピング装置(SOUP II 600GS:シーメット)に読み込み、光造形法により頭蓋骨部物理モデルを製作した。頭蓋骨部物理モデルはエポキシ系樹脂(HS - 680:シーメット)で構成される。製作した頭蓋骨部物理モデルを図 1(a)に示す。

脳部物理モデルは、同一個体の MRI 画像より構築された脳の三次元 CAD データを利用した<sup>(3)</sup>。この CAD データからラピッドプロトタイピング装置により脳の型を製作し、それにシリコンゲル(KE-1052:信越シリコーン)を注入し、硬化させることで脳部物理モデルを製作した。製作した脳部物理モデル図 1(b)に示す。脳部物理モデルは右脳、左脳、



(a)Skull part

(b)Brain part

Fig.1 Physical model

小脳から成り立っている。

次に頭蓋骨部物理モデルを水平面で切断し、脳部物理モデルを挿入し、シリコーン系の接着剤を用いて頭蓋骨の接合を行った。最後に密閉した後に脳脊髄液の代わりに頭部物理モデル内を水で満たし脳を浮いた状態にし、頭部物理モデルの構築を行った。

## 3. 実験装置および方法

頭部衝撃実験装置を図 2 に示す。直径 50mm のスチールバーと頭部物理モデルをワイヤでフレームに吊るし、スチールバーを振り子運動させ、頭部物理モデルに衝突させた。スチールバーの衝撃面には衝撃時間を調整するために厚さ 10mm の発泡ゴムを貼り付けてある。衝撃方向は前頭部及び後頭部の 2 パターンとし、スチールバーの質量を 1kg から 5kg の 5 段階、速度を 1, 1.5, 2m/s の 3 段階に変化させ実験を行った。実験は各条件において 5 回ずつ行い、平均値と標準偏差の算出を行った。

頭蓋骨部の前頭部と後頭部に圧力計(PDB-200KPAS:東京測器研究所)を埋め込み、衝撃側及び対側の圧力応答を計測した。また、スチールバーに取り付けた加速度計(ARE-1000A:東京測器研究所)より加速度応答を計測し、スチールバーの質量を乗じて頭部に作用する荷重を算出した。

## 4. 実験結果

図 3 に実験結果の例として、スチールバーの質量を 5kg、衝撃速度を 1.5m/s とし前頭部および後頭部に衝突させた場合の前頭部および後頭部の圧力応答の波形を示す。表 1、表 2 に前頭部および後頭部衝撃において、スチールバーの質量 5kg で衝撃速度を変化させた時の頭部物理モデルに作用する衝撃荷重および前頭部・後頭部における最大圧力応答の平均値と標準偏差の値を示す。

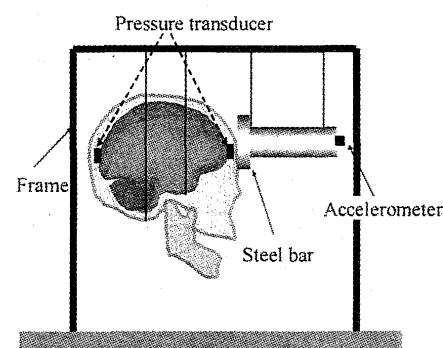


Fig.2 Experimental apparatus

図3および表1、表2より衝撃直下側で正圧が発生し、衝撃対側で負圧が発生していることが分かる。また、衝撃持続時間はおよそ10ms程度であった。さらに、表1より前頭部衝撃においては衝撃直下側に発生する正圧の方が衝撃対側の後頭部に発生する負圧よりも高いことが分かる。一方で、表2より後頭部衝撃においては衝撃直下側の後頭部で発生する正圧よりも衝撃対側の前頭部で発生する負圧の方が高くなるという結果を得た。

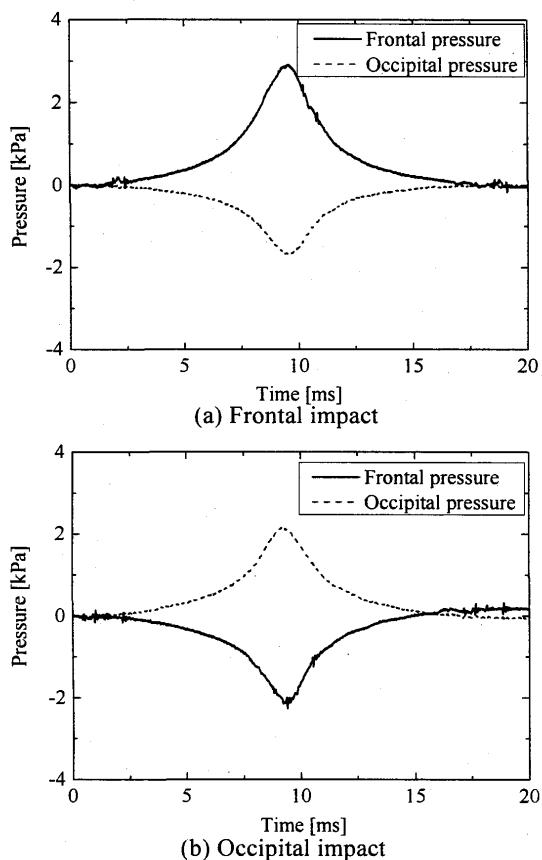


Fig.3 Intracranial pressure responses measured in case of 5kg mass steel bar and 1.5m/s velocity

Table 1 Mean and S.D. value of the impact force, the peak of intracranial pressure responses in frontal and occipital region in the case of frontal impact in 5kg mass steel bar

Impact velocity [m/s]	Impact force [N]	Peak pressure responses [kPa]	
		Frontal	Occipital
1.0	24.9±0.8	0.78±0.03	-0.43±0.01
1.5	88.1±1.3	2.81±0.06	-1.66±0.02
2.0	239±5.3	7.42±0.25	-5.02±0.19

Table 2 Mean and S.D. value of the impact force, the peak of intracranial pressure responses in frontal and occipital region in the case of occipital impact in 5kg mass steel bar

Impact velocity [m/s]	Impact force [N]	Peak pressure responses [kPa]	
		Frontal	Occipital
1.0	24.0±2.5	-0.64±0.05	0.57±0.01
1.5	85.5±3.4	-2.15±0.10	2.13±0.09
2.0	266±7.8	-6.78±0.17	6.53±0.20

## 5. 考察

実験結果より衝撃直下側では正圧が、衝撃対側では負圧が発生していることが分かる。Nahumらが屍体を用いて行った前頭部衝撃実験<sup>(4)</sup>では、衝撃直下側(前頭部)で正圧、衝撃対側(後頭部)で負圧が発生している。この結果は本研究で得られた結果と傾向が一致している。つまり、本研究で構築した頭部物理モデルは人体で起こりうる現象を再現できていると言える。

さらに本研究では衝撃方向に関わらず後頭部よりも前頭部において高い圧力が発生するという現象を観測した。この現象は、従来の研究で用いられてきた球体や円筒のような対称形状の物理モデルでは厳密に観測されなかつた現象である。さらに実際の事故時には前頭部に衝撃を受けると衝撃側で脳挫傷が発生するが、後頭部に衝撃を受けても衝撃側と反対の前頭部に脳挫傷が発生することが知られている<sup>(5)</sup>。これは本研究で得られた圧力応答の傾向と一致し、本実験装置により、これまで解明されなかつた頭部外傷メカニズムの因子を実験的に観測することができた。これは前頭部周辺の曲率が後頭部周辺の曲率に比べて大きいことが理由であると考えられる。のことより、頭部外傷発生メカニズムの解明には本モデルのように頭蓋内の複雑形状を十分に再現したモデルを用いることが必要であると言える。

## 6. 結言

本研究では、特定個体の頭部医用画像よりラピッドプロトタイピング技術を利用して人体の頭部形状に忠実な頭部物理モデルの構築を行い、衝撃実験により頭蓋内部の圧力応答の計測を行った。その結果、得られた圧力応答は屍体を用いた衝撃実験で得られた結果と傾向が一致することから、本研究で構築した頭部物理モデルを用いた衝撃実験装置の有用性を確認することができた。また、実際の事故データの傾向と一致し、従来の単純形状の物理モデルでは計測されない現象を計測することができた。のことより、本モデルの必要性を示すことができた。

## 参考文献

- (1)S.Kleiven and H. von Holst, Consequences of head size following trauma to the human head, Journal of Biomechanics, 35, pp.153-160(2002)
- (2)青村茂ほか、外部衝撃の入力時間に着目した脳挫傷のメカニズムについて、日本機械学会2006年度年次大会講演論文集, Vol.5, pp.73-74(2006)
- (3)Jonas A. Pramuditaほか、並進及び回転衝撃を受ける脳の応答と頭部形状個体差の影響、日本機械学会2006年度年次大会講演論文集, Vol.5, pp.71-72(2006)
- (4)Nahum A.M. et al., Intracranial Pressure Dynamics during Head Impact, Proc. The 21st Stapp Car Crash Conference, SAE Paper 77092, pp.339-366(1977)
- (5)藤原敏ほか、脳損傷の生成機序に関する研究の進捗について、日本法医学会誌, Vol.47, No.5, pp.387-397(1993)