

下顎骨骨折条件下における下顎骨及び骨接合材料の応力解析 Stress analysis of the mandible and osteosynthesis materials in the mandible fracture condition

○富澤直毅*, 秋山孝夫*, 富塚謙一*, 深作達也*
○TOMIZAWA Naoki*, AKIYAMA Takao*, TOMITUKA Ken-ichi*
HUKASAKU Tatuya*
*山形大学
*Ymagata University

キーワード: Mandible fracture (下顎骨骨折), Stress analysis (応力解析)
Finite element method (有限要素法), Osteosynthesis (骨接合)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4 丁目 3-16
富澤直毅 tel.: 090-5799-0477, E-mail: t_nao8619@yahoo.co.jp

1. 緒言

事故などにより下顎骨を骨折した場合, 治療法としてプレート, スクリューを用いた骨折箇所の固定が行われている. ここで用いられる材料は, 生分解性高分子材料, 金属材料がある. 生分解性高分子材料は, 体内で加水分解されて水と二酸化炭素に分解されるため治癒後の除去手術の必要が無い. しかし, 金属と比べると比強度が低いという問題があり, 現在チタンなどの金属製材料が治療に多く用いられる傾向にある. しかしながら, 生分解性高分子製骨接合材料でも顎骨骨折の骨接合部が完治するまでの間, 十分な固定が得られるという報告がある.¹⁾

そこで本研究では, 下顎骨, プレート, スクリューの有限要素解析モデルを作成し, 生分解性高分子及び金属製の 2 種類のプレート, スクリューの固定性について有限要素解析を行い, その結果を比較検討することを目的とする.

2. 解析方法

2.1 有限要素解析モデル

下顎骨骨折好発部位の一つである下顎角部をプレート, スクリューで固定した下顎骨骨折モデルを作成する.

プレート, スクリューモデルは, 実際の臨床で用いられているものを基に作成し, 下顎骨モデルは, 一般成人男性の頭部 CT スライス画像から下顎骨及び歯の座標データを抽出し作成した. 作成した下顎骨モデルを Fig.1 に示す.

2.2 材料定数

生分解性高分子製骨接合材料のプレート, スクリューは, 生体内吸収性ポリ-L-乳酸 (以下 PLLA と略す) とし, 金属製骨接合材料は, プレートは純チタン, スクリューはチタン合金 (以下 Ti-6Al-4V とする) とし, Table .1 に材料定数を示す.

2.3 境界条件

骨折モデルの境界条件として, 咀嚼の際に働く筋肉に荷重をかけ, 関節部を完全拘束し, 歯を Z 軸方向に拘束した. このときの荷重の大きさと作用方向を Table.2 に示す. i, j, k は各軸方向の単位ベクトルを表す.

PLLA および純チタンそれぞれのプレートの固定性がどのように変化するか比較するために, プレート一本固定をそれぞれ解析する.

骨折モデルの境界条件を Fig.2 に示す.

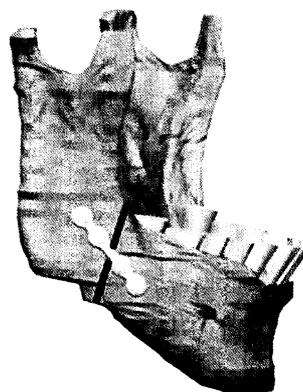


Fig.1 Finite element method model
(Fracture model)

Table.1 Material properties

Material	Young's modulus [MPa]	Poisson's ratio
Mandible	14000	0.30
Tooth	70000	0.39
PLLA	2075	0.35
Pure Titanium	105000	0.37
Ti-6Al-4V	104800	0.31

Table.2 Masticatory forces and directions

Masticatory muscle	Forces [N]	Directions
Masseter	58.8	+0.174i - 0.086j + 0.981k
Temporalis	47.04	+0.174i + 0.255j + 0.951k
Medial pterygoid	29.4	-0.500i + 0.000j + 0.866k
Lateral pterygoid	12.74	-0.342i - 0.936j - 0.082k

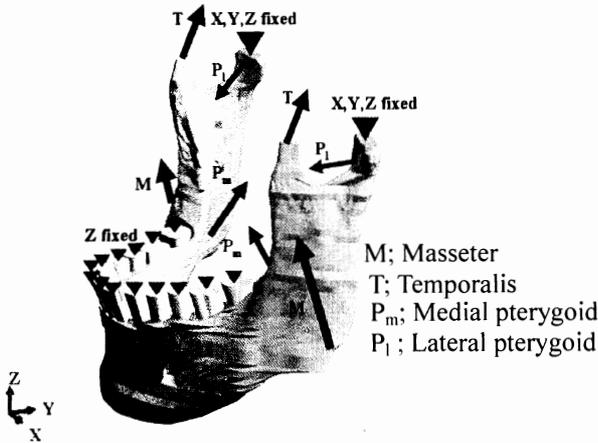


Fig.2 Boundary condition (Fracture model)

3.解析結果および考察

3.1 骨の離開距離

Fig.3,4 にそれぞれの骨接合材料での固定位置,プレート本数での骨折面の離開距離を示す.Fig.3,4 においての横軸 a,b,c,d は Fig.5 に示す骨折面での節点を示している.

PLLA と純チタンおよび Ti-6Al-4V を比較すると純チタンおよび Ti-6Al-4V での固定の方が骨の離開距離は小さく,固定性が高いことが示唆される.

純チタンおよび Ti-6Al-4V の骨接合材料はストレート型,L型共に下顎骨の離開距離は極めて小さく,十分な固定性があると考えられる.

PLLA 製骨接合材料は純チタン及び

Ti-6Al-4V と比較するとストレート型,L型共に離開距離は大きく固定材料として劣っているが離開距離は十分小さいものと考えられる.したがって,PLLA 製骨接合材料でも十分な固定性が得られると考えられる.

3.2 スクリュー

PLLA,Ti-6Al-4V の引張り強さ σ_M を 85MPa, 827.4MPa,安全率 S を 5 と仮定し,許容応力 σ_{Al} を式(3.1)から算出した.

$$\sigma_{Al} = \frac{\sigma_M}{S} \quad (3.1)$$

その結果,PLLA,Ti-6Al-4V の許容応力 σ_{Al} は,17MPa,165.48MPa となった.

また,PLLA,Ti-6Al-4V の降伏応力 σ_Y は,解析ソフト COSMOSWorks から,22.55MPa, 1050MPa とした.

Fig.6,7 にそれぞれの骨接合材料でのスクリューに発生した最大ミーゼス応力値を示す.Fig.6,7 においての横軸 1,2,3,4 は, Fig.8,9 に示すスクリューの位置に対応している.

PLLA 製スクリューはストレート型プレートを固定したものは許容応力,L型プレートを固定したものは許容応力,降伏応力の範囲を超えてしまった.Ti-6Al-4V 製スクリューはストレート型,L型を固定したものに許容応力,降伏応力を越える値を示さなかった.

ストレート型プレートを固定した場合,PLLA, Ti-6Al-4V 製スクリュー共に骨折線に近い位置 2 が他の位置と比べ最大ミーゼス応力値が高い値を示した.これは,骨折線に近い位置のスクリューが支点となり荷重を支えてしまうので応力集中が発生し,高い値を示したと考えられる.また,位置 1 は PLLA, Ti-6Al-4V 共に小さな値を示した.これは,骨折線に近い位置のスクリューが支点となり荷重を支えてしまったため小さな値を示したと考えられる.

L型プレートを固定した場合,PLLA 製スクリューは位置 3 が他の位置と比べ最大ミーゼス応力値が高い値を示した.これは,位置 3 のスクリューが支点となり荷重を支えてしまうことにより応力集中が発生し,高い値を示したと考えられる.

3.3 プレート

純チタンの引張り強さ σ_M ,降伏応力 σ_Y を解析ソフト COSMOSWorks から,344MPa,370MPa とし,安全率 S を 5 と仮定する.許容応力 σ_{Al}

を式(3.1)から算出すると、68.8MPa となった。

Fig.10,11 にそれぞれの固定材料でのプレートに発生した最大ミーゼス応力を示す。

PLLA 製ストレート型プレートでは許容応力と降伏応力, L型プレートでは許容応力を越える値を示した.純チタン製プレートはストレート型,L型共に許容応力を越える値を示した.これは,プレートの穴周りで応力集中が発生し,最大ミーゼス応力が高い値を示したと考えられる。

下顎骨の側面でプレートを用いて固定を行う際には,骨とプレートが十分に接触できないような位置では,プレートの破損の原因となると考えられるため,避けるべきであると考えられる。

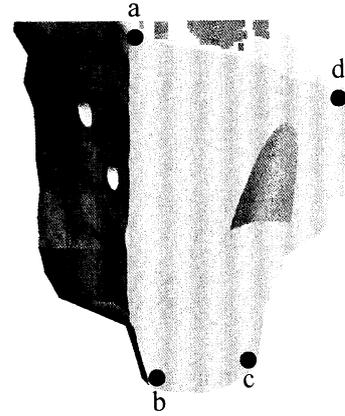


Fig.5 Node on the bone fracture side

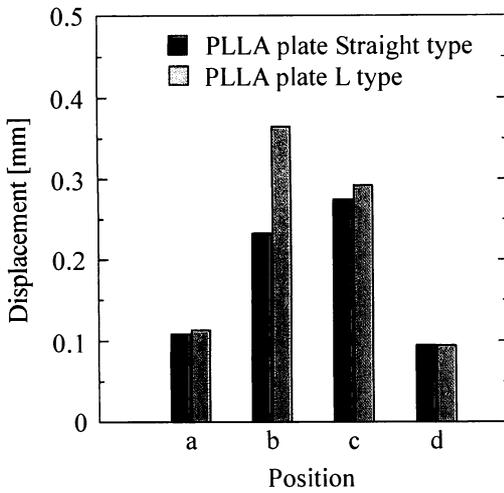


Fig.3 Comparison of the displacement on the bone fracture side (PLLA plate)

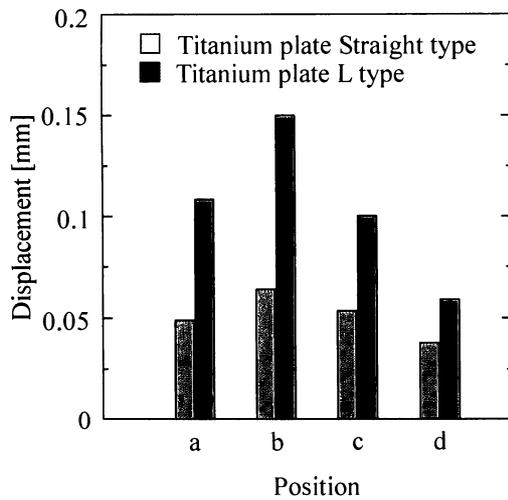


Fig.4 Comparison of the displacement on the bone fracture side (Titanium plate)

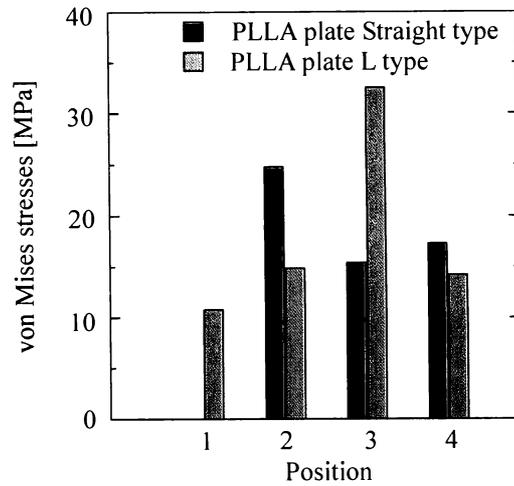


Fig.6 Comparison of the maximum von Mises stresses obtained from the PLLA screws

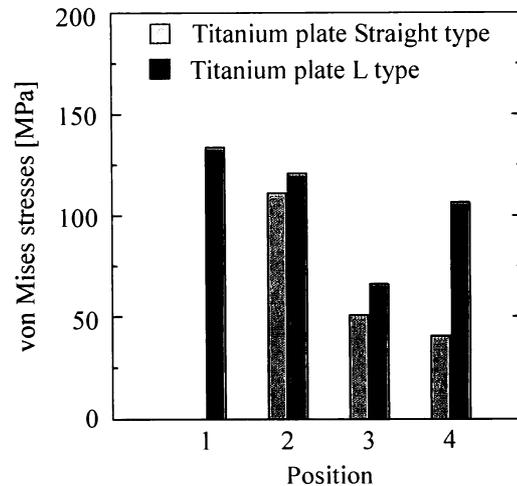


Fig.7 Comparison of the maximum von Mises stresses obtained from the titanium screws

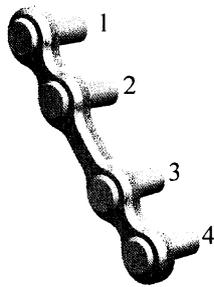


Fig.8 Screw positions (Straight type)

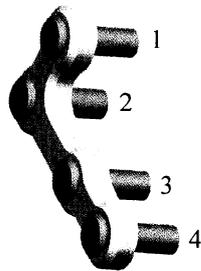


Fig.9 Screw positions (L type)

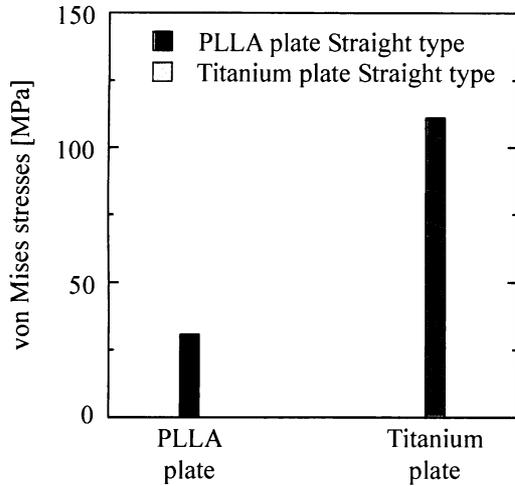


Fig.10 Comparison of the maximum von Mises stresses obtained from the PLLA and titanium plates (Straight type)

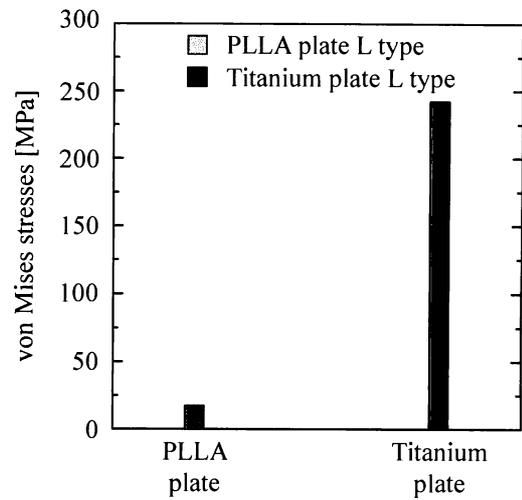


Fig.11 Comparison of the maximum von Mises stresses obtained from the PLLA and titanium plates (L type)

4.結言

PLLA,Ti 及び Ti-6Al-4V 製骨接合材料の固定性について応力解析を行った. 得られた解析結果の要約を以下に示す.

- (1) Ti-6Al-4V 製骨接合材料は下顎角部骨折の固定において十分な固定性がある.
- (2) PLLA,Ti 製骨接合材料は下顎角部骨折の固定において十分な固定性が得られなかった.

参考文献

- 1) 早坂喜憲, 口腔外科用 PLLA 骨接合材の固定性評価, 修士学位論文, 山形大学, (2007)
- 2) 山口勇史, 口腔外科用ミニプレートの固定性評価, 修士学位論文, 山形大学, (2005)
- 3) 田中千元, 荒川友久, 篠原壽和, 片田英憲, 山口秀晴, 下顎側方偏位の三次元有限要素法による解析, 歯科学報, 103(2), 2003, PP.169-180
- 4) 伊能教夫, 藤原宏, 梅谷陽二, 顎骨の生物工学的研究-力学モデルの構成と応力解析, バイオメカニズム学会誌, 12(4), 1988, PP.185-191