

衝撃荷重下における緻密骨の引張特性評価

Tensile Property Evaluation of Compact Bone under Impact Loading

○西野 孝紘 (室蘭工大院) 正 藤木 裕行 (室蘭工大) 正 臺丸谷 政志 (室蘭工大)

Takahiro NISHINO, Muroran Institute of Technology, Mizumoto-cho 27-1, Muroran-shi, Hokkaido

Hiroyuki FUJIKI, Muroran Institute of Technology

Masashi DAIMARUYA, Muroran Institute of Technology

Key Words: Tensile strength, Impact, Splitting test, Compact bone

1. 緒言

近年日本では高齢化が進み、国民の5分の1が65歳以上となり、2007年には超高齢社会となった。そのため老化に起因する病気が増加傾向にあり、その一つとして骨粗しょう症がある。この病気は骨中のミネラル成分が減少する病気で、これにより骨の微細構造に変化が生じ、骨の強度が低下し、大腿(たい)骨などの長管骨が骨折しやすくなる。

骨折の大半は外部からの衝撃が原因であるため、衝撃荷重下における骨の変形挙動が解明されれば、骨折を防ぐための対策を立てることができる。しかし、衝撃荷重下における長管骨の圧縮試験は多方面で行われている¹⁾が、引張試験については技術的に難しく、ほとんど研究がなされていないというのが現状である。

そこで本研究は、人間の骨と機械的性質が比較的近い牛大腿骨の緻密骨を使用し¹⁾、スプリット・ホプキンソン棒法²⁾を用いた衝撃試験装置により衝撃割裂試験を行い、衝撃荷重下における緻密骨の引張強度特性、変位速度依存性などについて調べることを目的とする。また、衝撃試験との比較のため静的・準静的割裂試験も実施する。さらに、圧縮試験も実施し比較・検討を行う。

2. 試験方法

2-1 割裂試験

割裂試験とは、主にコンクリート材等の脆性材料の引張強度を求める際に用いる、間接引張試験法である。

Fig.1(a)のように、牛大腿骨の緻密骨を直径6mm、高さ6mmの円柱状に加工した試験片を横向きに寝かせ、図のように試験片に対称な二方向から圧縮荷重をかける。この圧縮荷重により、Fig.1(b)のように荷重方向に対し垂直方向に一樣な引張応力が発生し、試験片が割裂を起こす。なお、この引張応力は図中の式で与えられる³⁾。本研究では、骨が脆性材料であり、直接の引張試験が難しいという点に着目し、この割裂試験法を適用した。

2-2 試験片

本研究では、Fig.2(a)のように骨軸方向に対し垂直方向に軸をもつように円柱の試験片を加工した。これにより試験片の軸を中心に角度を変えるだけで測定したい方向に引張応力を負荷させることが可能となる。本研究ではFig.2(b), (c)のように骨軸方向と引張応力の方向が一致している場合、および、垂直な場合をそれぞれ $\theta=0^\circ$ 、 $\theta=90^\circ$ と表すこととする。

3. 静的・準静的割裂試験

静的・準静的割裂試験は、万能材料試験機(INSTRON5566)を用いて行った。試験条件として、 $\theta=0^\circ$ 、 $\theta=90^\circ$ の二つの場合において、変位速度を0.2mm/min(静的試験)、20mm/min(準静的試験)の2条件で行った。Fig.3(a), (b)にそれぞれ $\theta=0^\circ$ 、 $\theta=90^\circ$ において静的・準静的試験で得られた応力-変位線図を示す。本研究ではFig.3(a)の試験片が破断した点での応力値Aを引

張強度、変位量Bを破断変位量とした。Fig.3(a)の $\theta=0^\circ$ については変位速度を変えても引張強度、破断変位量に関して差は見られなかったが、Fig.3(b)の $\theta=90^\circ$ においては、準静的試験の引張強度と破断変位量が静的試験のそれに比べ、それぞれ約1.5倍、1.3倍の値を示した。

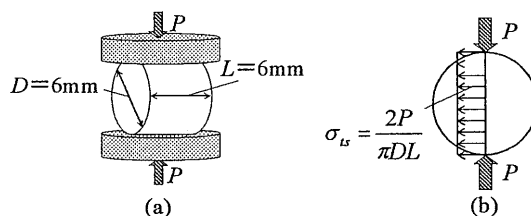


Fig.1 Principle of splitting test

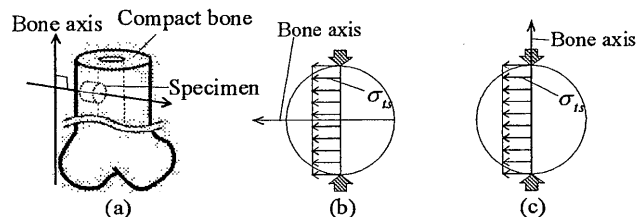


Fig.2 Specimen orientation

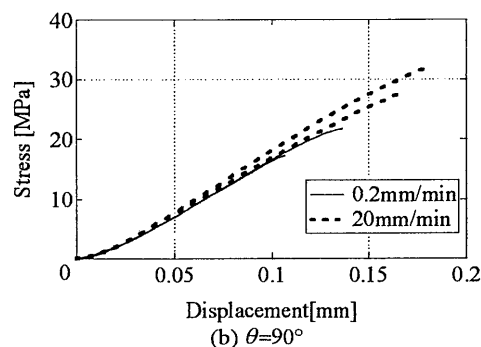
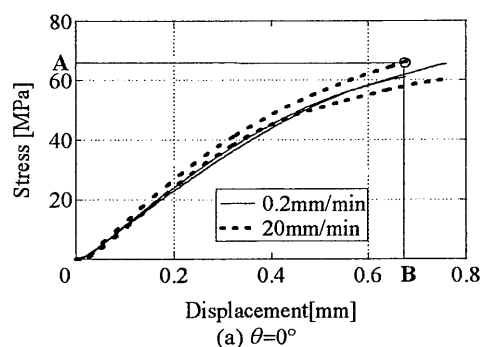


Fig.3 Tensile stress-displacement curves of static and quasistatic test

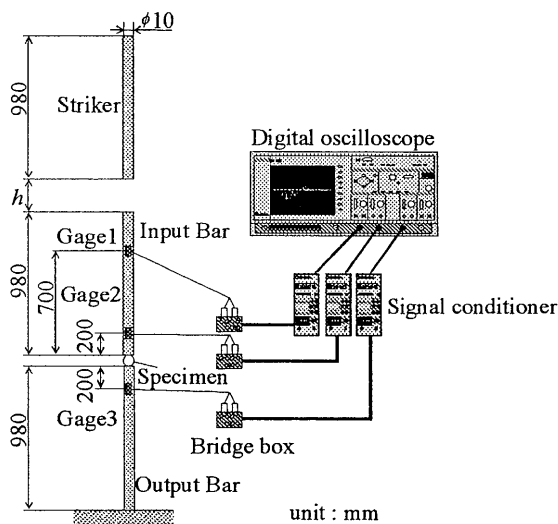


Fig.4 Experimental setup of impact test by split Hopkinson bar

4. 衝撃割裂試験

4-1 衝撃試験装置

Fig.4 に本研究で使用したスプリット・ホプキンソン棒法の衝撃試験装置の概略図を示す。ここで衝撃棒、入・出力伝達棒は直径10mm、長さ980mmのステンレス製のものを使用した。また入力伝達棒には箔ひずみゲージを軸対象に2枚ずつ、試験片との接触面から700mmと200mmの位置にGage1, Gage2を、出力伝達棒には200mmの位置にGage3として計6枚貼付した。応力波は、ブリッジボックスと動ひずみ計を通し、オシロスコープに記録した。また、落下高さ h を変化させることによって試験片に与える衝撃応力を調整した。

4-2 衝撃割裂試験の結果

2種類の試験片 $\theta=0^\circ$, $\theta=90^\circ$ について、同条件下における試験が完了していないため、ここでは、 $\theta=0^\circ$ における落下高さが $h=1500\text{mm}$, $\theta=90^\circ$ では $h=250\text{mm}$ の場合について報告する。Fig.5(a), (b) に衝撃割裂試験によって得られた応力-変位線図を試験片の角度ごとに示す。なお、応力、変位はスプリット・ホプキンソン棒法理論に基づく算定式より算出した。また、比較のために静的試験の結果も載せる。まず引張強度についてだが、静的引張強度に対する衝撃引張強度は、 $\theta=0^\circ$ の場合ではほとんど差がみられなかったのに対し、 $\theta=90^\circ$ の場合ではおよそ2倍の値を示した。次に、静的試験時の破断変位量に対する衝撃試験時の破断変位量は、 $\theta=0^\circ$ の場合は1/3以下の値を示し、 $\theta=90^\circ$ の場合では2/3程度の値を示した。

5. 試験結果の考察

$\theta=90^\circ$ での静的試験、準静的試験および衝撃試験では引張強度に大きな差がみられたが、 $\theta=0^\circ$ では引張強度にほとんど差はみられなかった。この原因として、 $\theta=0^\circ$ の静的・準静的試験時における加圧板と試験片の接触点における変形量が大きいことが考えられる。元々、割裂試験は試験体が少ない変形で破壊する際に適用できる試験方法である。だが、今回の $\theta=0^\circ$ の静的試験のように変形が大きくなると、荷重が点ではなく面で作用してしまい、等分布荷重が作用している状態に近くなってしまふ。そのため、試験片が割裂を起こしにくい状態になる可能性が考えられる。この影響を調べるため、試験片の加圧板との接触面をやすりで削り、試験の始めから等分布荷重がかかるようにして試験を行った。そして、それにより得られた破壊荷重 P を Fig.1(b) の式に代入した結果、通常の $\theta=0^\circ$ における静的割裂試験の応力値に比べ大きい値を示した。つまり、変形が大きくなることにより本来割裂を起こすべき応力では割裂を起こさず、引張強度の値が大きくなってしまふと考えられる。

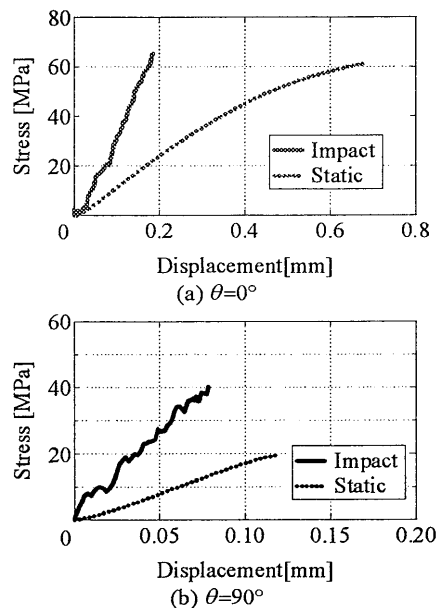


Fig.5 Tensile stress-displacement curves of impact and static test

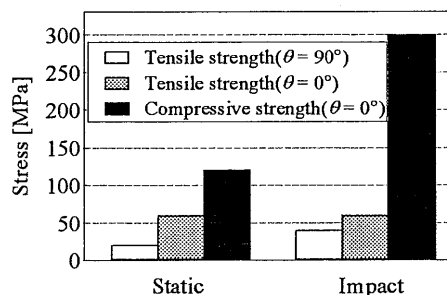


Fig.6 Comparison of tensile and compressive strength

また、この大きな変形は加圧板接触部における試験片の局所的な塑性変形を意味しており、この場合厳密には Fig.1(b) の式が適用できなくなる。その根拠として変形量が大きい Fig.3(a) で徐々にグラフの傾きが緩やかになっていることが挙げられる。

次に Fig.6 に静的・衝撃荷重下における引張強度と圧縮強度を比較したグラフを示す。衝撃試験においてはひずみ速度が異なるため詳細な比較はできないが、いずれの試験条件でも引張強度は圧縮強度に対しあきらかに低い値を示した。これは緻密骨の脆性を顕著に表した結果であるといえ、骨の強度評価にはより低い限界値となる引張強度の考慮が必要であることがわかる。

6. 結言

牛大腿骨の緻密骨に対し、各条件で割裂試験を行うことにより以下の結論を得た。

- (1) $\theta=90^\circ$ のとき、衝撃引張強度は静的引張強度のおよそ2倍の値を示した。また、衝撃荷重下での破断変位量は静的荷重下での破断変位量の2/3程度となった。
- (2) 衝撃荷重下における圧縮強度の値に対する引張強度の値は、 $\theta=0^\circ$, $\theta=90^\circ$ においてあきらかに小さい値を示し、緻密骨の脆性が確認された。
- (3) $\theta=0^\circ$ における静的・動的試験について、割裂試験が適していない可能性があり、今後検討していく必要がある。

参考文献

- (1) 立石哲也, 白崎芳夫, 木下好司, 立石和雄: ち密骨の衝撃圧縮特性, 日本機械学会論文集(B編), (1980), pp438-448.
- (2) 林卓夫, 日刊工業新聞社. 衝撃工学, (1988), p7-15.
- (3) 川本眺万, 応用弾性学, 共立出版株式会社, (1968), p98-100.