

簡易型動的引張試験手法の開発

塚本光夫・中村昇二郎*・春本紀之**

Development of a Simplified Dynamic Tensile Test Method

Mitsuo TSUKAMOTO, Shojiro NAKAMURA* and Noriyuki HARUMOTO**

(Received September 1, 1999)

A new dynamic tensile test method was developed. The devices are made of steel plates and U-shape bolts on the market by using simple metal-works. This method is applied to various kinds of specimens. The specimen has a plate-shape, two holes for the applied load, and a parallel part. This test method used this specimen, a box-shape test device, two U-shape bolts, two extension bolts, and an explosive. An explosive of 6800m/s explosive speed and specimens of 10 or 20mm parallel part width were used. A high-speed video camera was used to observe the appearance of the deformed specimen. A narrow width of parallel part of the specimen, small areas near the holes for the applied load, and a large hole of the specimen gave a propagation of tensile stress wave in the specimen. This test method gives the tensile stress wave and the uniform strain rate to the specimen: 1.68m/s global deformation speed, e.g. $9.08s^{-1}$ strain rate.

Key words : tensile test, test method, dynamic load, impact tension, explosion

1. 緒 言

従来、機械構造物や建築構造物に対する衝撃荷重の危険性は経験的には知られていものの、衝撃荷重下での材料や構造物の挙動は複雑なため、観測や測定は複雑で、時間因子も含まれることから理論解析も容易ではない。そのため、衝撃負荷を受ける場合の強度特性の解明には種々の問題が残されている。しかし近年、機械の高速化にともなう衝撃力による損傷や破壊発生が問題視され、特に地震や自動車の衝突に対する安全面性確保の要望が高まっていることから衝撃荷重による材料の特性を知ることは重要な課題である。

材料の特性を知るためには、材料試験を行うことが必要で、荷重方向による分類では、引張試験、圧縮試験、せん断試験、ねじり試験等¹⁾があり、荷重の速度や形態による分類では静的試験、衝撃試験、疲労試験、クリープ試験²⁾がある。このうち引張試験が最も一般的かつ有用で、衝撃荷重による引張試験を行い、そこから得られた材料特性や耐破壊性能を用いて設計や施行の際の安全性確保に役立てることができる。しかしながら、これまで衝撃引張試験として広く用いられているホプキンソン棒法³⁾やシャルピー衝撃試験機を用いた引張試験法⁴⁾では、試験機の都合上、試験片形状が棒状や角棒状のものしか取り扱えず、試験片の寸法にも制約がある。また、シャルピー試験機の場合には落錘方式の構造上の制約から衝撃速度に限界がある。

* 熊本市立桜山中学校

** 熊本大学大学院教育学研究科

建築構造物や自動車の構成部材の大半は金属の板材であるため、板材の金属材料の衝撃特性を把握することができ、速度等の制約が少ない材料試験があれば、地震入力や衝突への安全性確保のためには極めて有用になる。

そこで試験片寸法形状や衝撃速度の制約が少なく簡便に取り扱える衝撃引張試験法を考案し、その試験手法の妥当性について検討を行った。本研究では試験片形状として板状のものを扱い、材料として軟鋼を取り扱った。衝撃力を与える手法としては、爆薬を用い、爆薬の量によって衝撃速度を変化させた。

本研究では、考案した衝撃引張試験法を用いて、以下のことを検討し、その有用性を明らかにすることを目的とする。

- 1) 入力波は試験片に適切に伝播するかどうか。
- 2) 試験片をどれくらいの速度で引張ることができるか。
- 3) 試験片や試験装置の寸法形状はどのようなものが適当か。

2. 実 験

2.1 供試材料と試験片

供試材料として、一般構造用圧延鋼材 JIS G3101 SS400 を用いた。Table 1 に供試材料の機械的性質と化学成分を示す。

JIS Z 2201 金属材料引張試験片の 13 号試験片³⁾をモデルとし、3 種類の板状試験片を製作した。Fig.1 (a), (b), (c) にそれぞれ 1 号試験片、2 号試験片、3 号試験片を示す。2 号試験片は 1 号試験片のつかみ部を主として変更し、3 号試験片は 2 号試験片の平行部幅を主として変更した。

2.2 試験装置と試験方法

Fig.2 は本試験手法の概略図である。試験片両端にある貫通孔に U 字ボルトを通し、上側の U 字ボルトはアングルで作成した箱型の土台の上部にナットで接合し、下側の U 字ボルトを爆薬を載せた爆薬台とナットで接合する。爆薬に点火し、爆薬の爆発力によって爆薬台に下向きの衝撃荷重を加え、接合した U 字ボルトを介して試験片に応力波を伝播させる手法である。Fig.3 は試験装置の全体図である。

試験片が衝撃荷重を受ける状況を観察するために高速ビデオカメラで撮影した。爆破開始時の前後約 0.5 秒間（撮影時間 1.19 秒）を撮影コマ数 1000 コマ、シャッター速度 1/6000 s の条件で撮影し、映像を磁気媒体に保存する。保存した画像を等倍に拡大し、その画像から Fig.4 に示す試験片の標点距離間の伸びを計測する。

本研究では安価で簡易な試験を行うために、試験片を設置する土台の材料として Fig.5 に示すように断面が 40mm×40mm、板厚 3.6mm の市販のアングル材を、直径 10mm のボルトとナットを用いて接合した。土台は前方から試験片の変形状態を高速ビデオカメラで撮影することを考慮し、箱型形状とした。土台の上部には U 字ボルトを接合するための直径 10mm の貫通孔を設けたアングルを 2 本装備した。また爆薬の爆光により試験片の撮影は不可能となるため、爆光遮断用の遮光板を土台の下に取り付けた。試験片ならびに爆薬台を吊るすために、直径 9mm の U 字ボルトと延長ボルトを用いた。

爆薬を載せる爆薬台は鋼板で、爆薬台には U 字ボルトと接合用の貫通孔を設けた。板厚 2mm の

Table 1 Mechanical properties and chemical composition of material used

JIS	Yield stress (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Chemical composition (mass%)				
				C	Si	Mn	P	S
G3101								
SS400	284	444	37	0.17	0.02	0.50	0.013	0.011

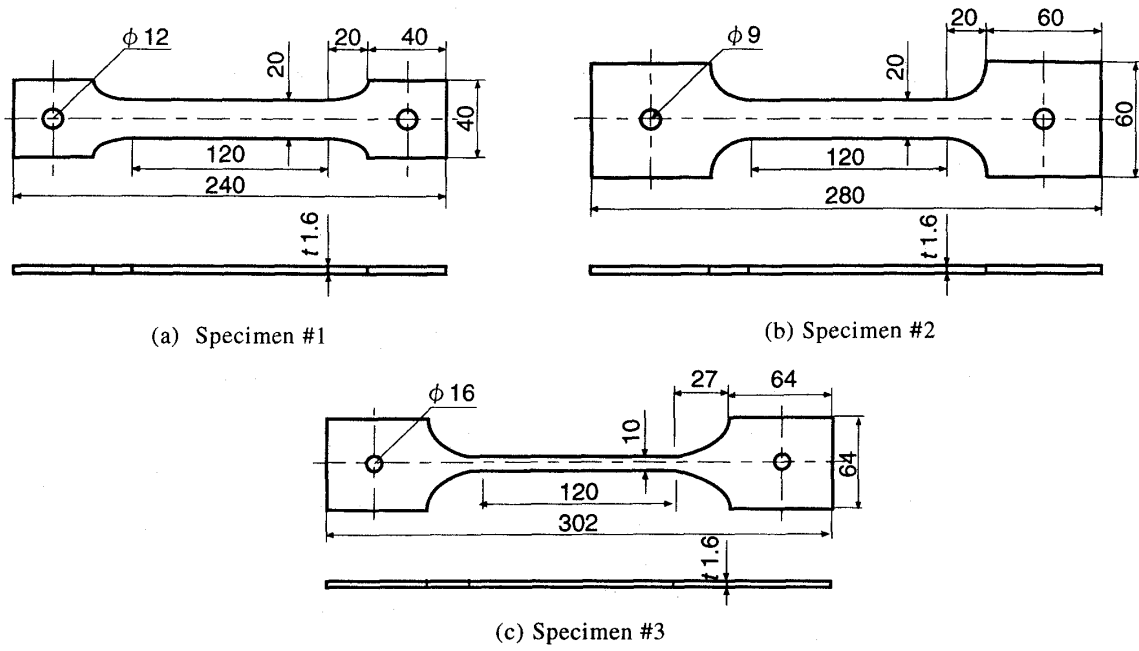


Fig. 1 Specimen geometries

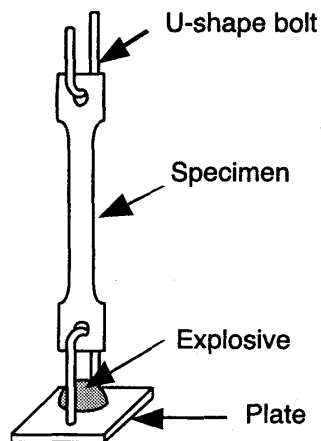


Fig. 2 Dynamic tensile test method proposed

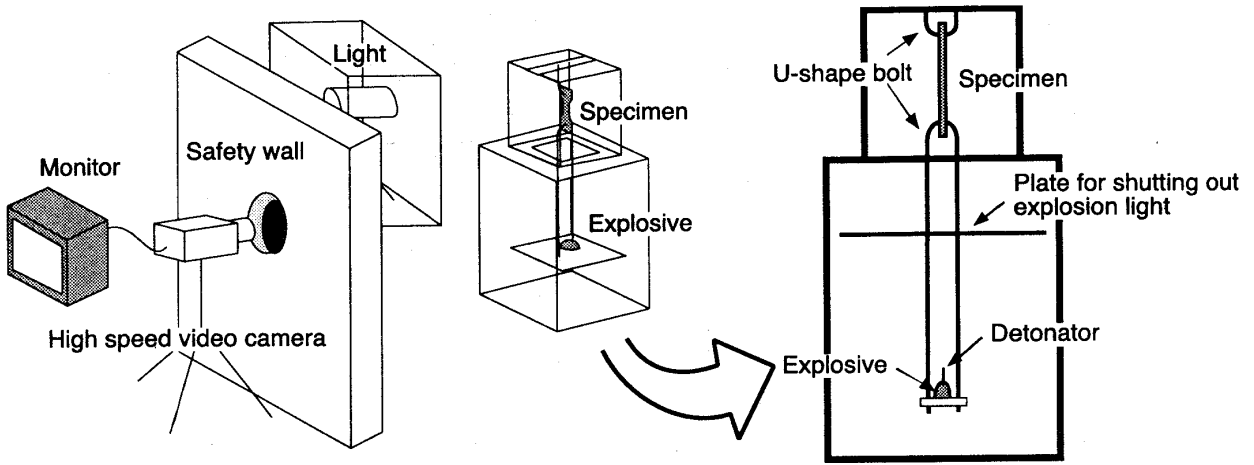


Fig. 3 Testing devices

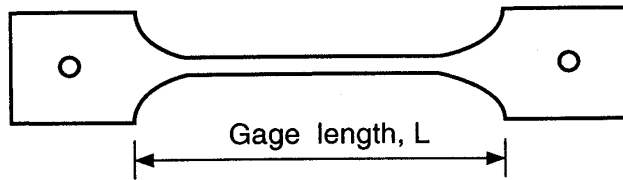
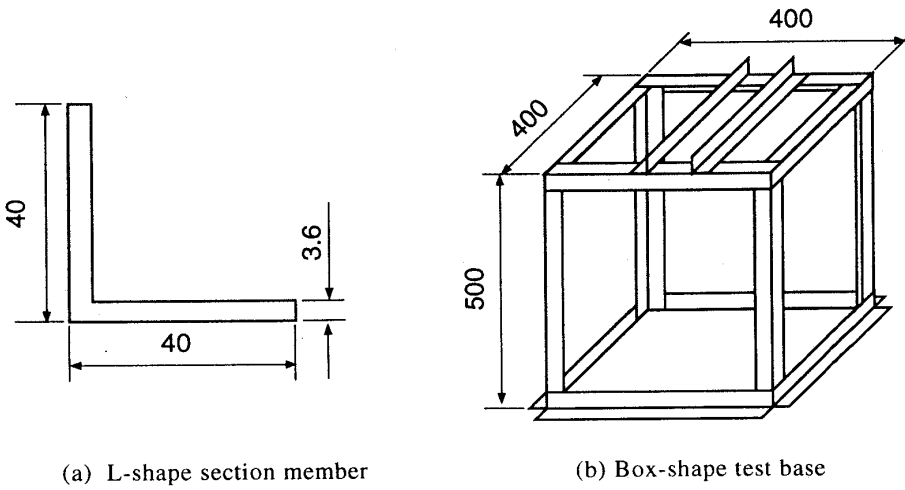


Fig. 4 Gage length



(a) L-shape section member

(b) Box-shape test base

Fig.5 Test base

Table 2 Condition of explosive

No.	Specimen	Weight of explosive (g)	Shape of explosive
1	#1	20	Half-sphere
2-1	#2	10	Half-sphere
2-2	#2	20	Half-sphere
2-3	#2	20	Column
2-4	#2	40	Column
3-1	#3	20	Half-sphere
3-2	#3	40	Half-sphere
3-3	#3	40	Column

軟鋼板の爆薬台を用いた予備試験では、爆薬の衝撃により爆薬台に貫通孔が生じ、試験片に荷重が伝播しなかった。板厚を18mmにしたところ、スポーリング現象をおこしたものの貫通孔は生じなかった。したがって、爆薬台の寸法を145mm×145mm×18mmと設定し、この寸法により爆薬の爆破によって生じる衝撃荷重を試験片に伝えることが可能である。

3. 各試験片による変形状況

本研究では試験片形状・寸法の他、爆薬の重量と形状を種々変化させて試験を実施した。それらの条件をTable 2に示す。

1号試験片を用いた実験では、爆薬としてSEP⁴⁾とPETN⁴⁾を混合させた爆速6800m/sのものを20g用い、その形状を半球状にした。Fig.6に示すように試験片は試験片端部に設けた貫通孔から破壊が生じて爆薬台が脱落した。試験片平行部には何の変化も見られず、試験片中央部に荷重が伝播しなかった。

そこで、2号試験片では貫通孔周辺の幅を40mmから60mmに、貫通孔直径を12mmから9mmに変更し、爆薬の量と形状を変え計4回試験を行った。

半球状の爆薬の量を10gと20gとした実験を行った結果、試験片の貫通孔周辺は破壊されなかったが、試験片にほとんど変化が見られなかった。これは爆薬の量が少ないか、爆薬の形状が半球状であったため、下方向へ有効に力が作用しなかったためと考えられる。

そこで、下方向へ力が作用するように、爆薬の形状を円柱状にした10gと20gの実験を行った結果、Fig.7に示すような変形が生じた。これはU字ボルトが貫通孔端部に激突し、その反動で試験片に圧縮力が生じ座屈が生じたものと考えられる。

さらに、貫通孔の直径を6mmから16mmへ、試験片周辺部を60mmから66mmへ、平行部の幅を20mmから10mmへ変更した3号試験片を用い、爆薬の量と形状を変えて、計3回試験を行った。

半球状の爆薬20gの実験を行った結果、貫通孔周辺での破壊は生じなかったものの、試験片に変化が見られなかった。半球状の爆薬の量を2倍の40gとして試験を行った結果、中心部付近からFig.7のように変形した。さらに、下方向へ有効に力が作用するように爆薬の形状を球から円柱に変え実験を行った。最終的にはFig.7のような変形が生じたものの、半球状の爆薬を用いた試験に比べて伸びが大きくなった。したがって、爆薬を円柱形状にすることで効果的に試験片に応力が伝播することが明らかになった。

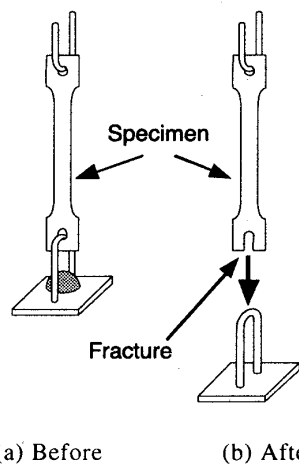


Fig.6 Fracture behavior for dynamic tensile test

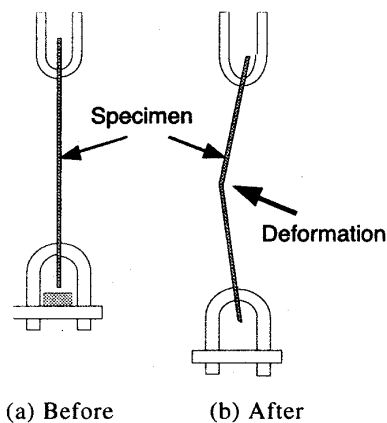


Fig.7 Deformed specimen for dynamic tensile test

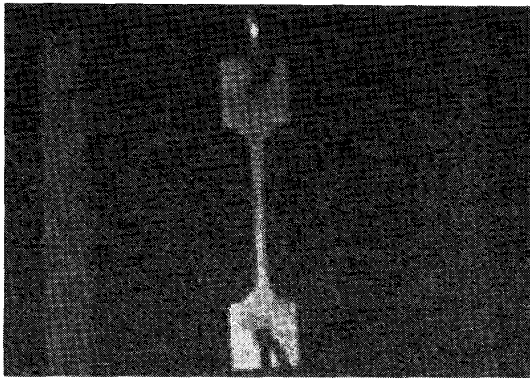
4. 試験片に与えられるひずみ速度

高速ビデオカメラを用いて試験片の変化状況の撮影を行った。試験片として3号試験片を用い、爆薬は40gの円柱状のSEPを用いた。

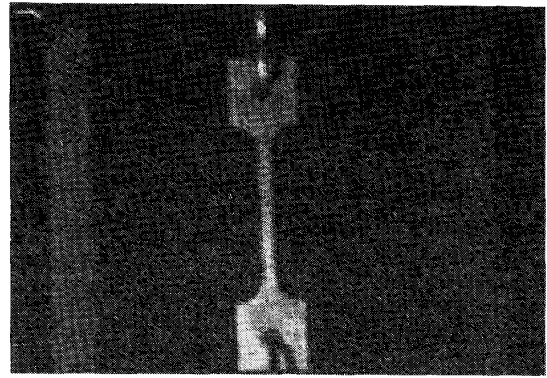
Fig.8は試験片に応力伝播が開始するときからの時間経過にともなう試験片外観の変化を示したものである。Fig.8(a)は試験片に応力伝播が生じる直前を示し、Fig.8(b)は開始後 1.19×10^{-3} 秒、Fig.8(c)は開始後 2.38×10^{-3} 秒、Fig.8(d)は開始後 3.57×10^{-3} 秒経過した時の試験片の様相である。なお、Fig.8(c)、(d)の試験片下部の貫通孔周辺の画像の乱れは下方から飛来した爆薬の粉塵等によるものである。

試験片に応力が伝播すると、時間経過にしたがって試験片に伸びが生じ、Fig.8の図の下方に変形しており、この試験手法により正しく一軸引張が行われていることがわかる。

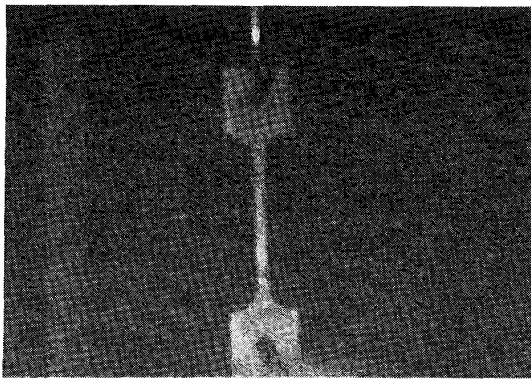
試験片の伸びと試験片に応力伝播が開始したときからの時間の関係をFig.9に示す。伸びと時間の関係は直線関係を示し、その傾きは一定となっている。この傾きより試験片に生じる変形速度が求められ、その値は 1.68m/s で一定となり、ひずみ速度にすると 9.08 s^{-1} である。したがって、この試験手法により一定ひずみ速度で試験片に衝撃荷重を負荷することができる。



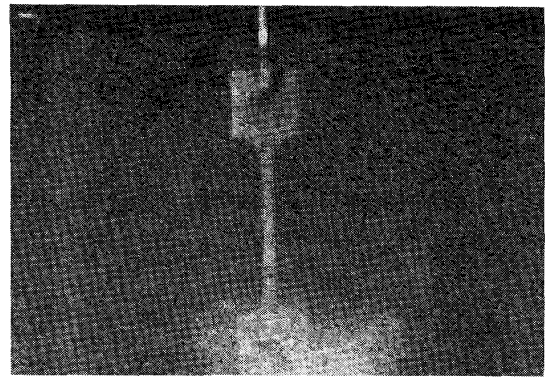
(a) Start of stress transmission



(b) 1.19×10^{-3} s after start of stress transmission



(c) 2.38×10^{-3} s after start of stress transmission



(d) 3.57×10^{-3} s after start of stress transmission

Fig.8 Views of specimen subjected by impact load as time

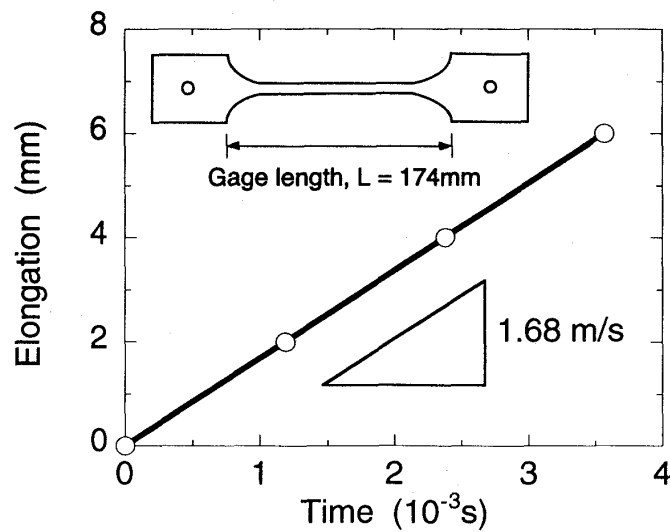


Fig.9 Deformation behavior of specimen

5. 結 論

本研究では、板状の試験片を用い、爆薬の爆破による衝撃波を伝播させる引張試験、すなわち簡易型衝撃試験法を考案し、その有効性について検討することを目的とした。そのために、アングル材で作成した箱型の試験装置と爆薬を用い、試験片の変形状況を観察・測定した。以下に本研究で得られた結論を述べる。

- 1) 爆薬取り扱い上の安全性確保は必要であるものの、アングル材とボルト等の市販材料を簡単に加工するだけで試験装置を製作することができ、試験片の寸法・形状に容易に適合させることができる。
- 2) 試験片の平行部幅が大きいと、計測可能な応力伝播が生じない。試験片に負荷を与える貫通孔周辺の面積が小さいと、貫通孔周辺で破壊が生じ、平行部に応力伝播が生じない。試験片に負荷を与える貫通孔が小さいと、平行部に引張応力波が伝播する以前にU字ボルトが貫通孔上部に衝突し、圧縮応力波が伝播して、試験片に座屈変形が生じる。
そこで、試験片の平行部の幅を小さく、試験片に負荷を与える貫通孔周辺の面積を大きく、負荷を与える貫通孔の大きさを大きくすることで、試験片に引張応力波を伝播させることができる。本研究では、平行部の長さ 120mm、平行部の幅 10mm、肩部丸味半径 27mm、貫通孔の周辺部 64mm×64mm、貫通孔の直径 16mm とすることで、これを実現した。
- 3) 試験装置としてアングルで作成した箱型の土台にU字ボルトを用いて試験片を連結し、さらにもう一方の貫通孔に、鋼板で作成した爆薬台を連結したものを製作した。そして試験片の片側に爆薬を用いた衝撃荷重を加え、試験片に引張応力波を伝播させ、その様子を高速ビデオカメラで撮影した。この実験ではアングル土台は爆破による衝撃に耐えることが可能であった。
- 4) 爆速 6800m/s の爆薬を円柱状にし、その量を 40g にすることで、伸びが確認され、試験片中央に応力が伝播することがわかった。この場合、爆薬が試験片に与える変形速度は 1.68m/s で一定で、ひずみ速度にすると 9.08s⁻¹ である。
- 5) 本試験法は板状の試験片に対して衝撃荷重を負荷することができ、取り付け方法の工夫により各種形状の試験片を取り扱うことが容易で、爆薬の種類、量、形状をかえることにより、ひずみ速度を大きくすることも期待できる。したがって、本研究で考案した試験法は衝撃引張特性を把握するものとして有望であることが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) 葉山房夫：金属材料および試験法，コロナ社，1984.
- 2) 林卓夫，田中吉之助：衝撃工学，日刊工業新聞社，1988.
- 3) 財団法人 日本規格協会：JISハンドブック鉄鋼，日本規格協会，1985.
- 4) 社団法人工業火薬協会：新・発破ハンドブック，山海堂，1989.