



炭素鋼の衝撃引張に関する実験(第1報)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-08 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 内藤, 正鄰, 浜田, 恒平, 辺見, 宣弘 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3505

炭素鋼の衝撃引張に関する実験 (第1報)

内藤正鄰・浜田恒平・辺見宣弘*

Experiments in High Speed Impact Tensile Test of the Steel (Report I)

Masachika Naito, Kouhei Hamada and Norihiro Henmi

Abstract

Studies on the behaviours of materials under impulsive loading or under high rate of strain, which affects remarkably the strength and the deformation characteristics, are not only theoretically interesting but also important for practical purposes. The present authors designed and installed a high speed impact tensile testing machine with a large rotary disk, by which the testing speed up to 150 m/s could be obtained.

In this paper, the methods of measuring of impact stresses were examined and impact tensile properties of carbon steels at a room temperature under various conditions were reported from the experiment.

I. 緒 言

各種の金属材料の衝撃荷重下における挙動については、これまで多くの興味ある実験研究が行なわれて来た¹⁾。一般に衝撃荷重による引張試験において、材料の降伏、最大荷重、伸び等の測定については、静荷重の試験にくらべて、非常に困難である。これは衝撃的な荷重を受けた材料の応力状態が、応力波の伝播と共に変動し、これら応力波の透過、反射により、極めて短時間に材料の応力分布が不均一となり、かつ短時間に試験が完了するためである。そこで著者らは、鋼材の衝撃荷重下における挙動を調べるため、大型の回転円板式衝撃引張試験機²⁾を作製した。この試験機は衝撃速度 3 m/sec~150 m/sec までの試験に用いられるように設計した。しかし、現在までの所、試験機の据え付けられてる地盤等の問題もあり、最高 70 m/sec の速度までより実験を行なっていない。今回は主として、試験機の性能、荷重の測定等について報告する。なお本試験機は、試験片を取付けた状態で冷却、加熱が出来るようになってる。

II. 衝撃引張試験機

試験機の略図を図-1 に示す。円板①の重量は約 2.2 t, 最大回転数は 1500 r.p.m この時の円周速度(爪③の速度)は 150 m/sec である。円盤の駆動には、自動車用ガソリンエンジン④

* 三菱重工工業株式会社

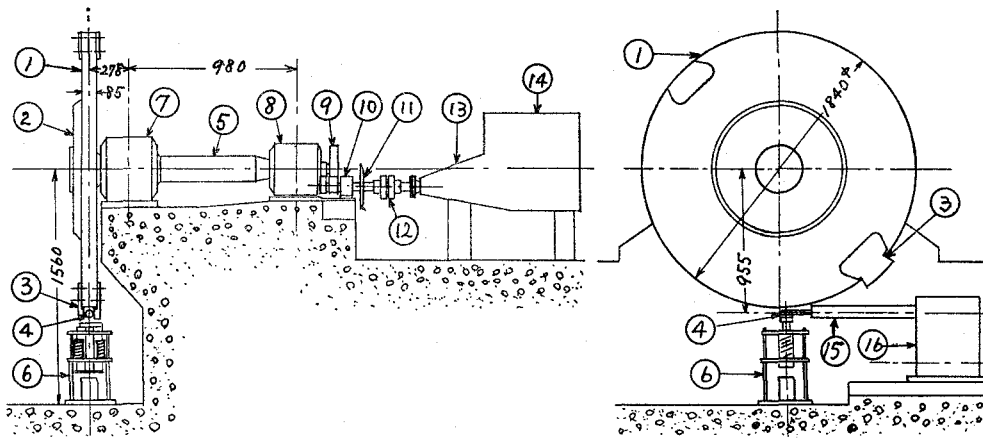


図-1 回転円板式衝撃引張試験機

- ① 回転円板 ② 中間円板 ③ 爪 ④ タップ, ヨーク ⑤ ヨーク打上げ装置 ⑥ 主軸受
 ⑦ 主 軸 ⑧ 副 軸 受 ⑨ 変速歯車 ⑩ 変速歯車軸受 ⑪ 回転数検出円板 ⑫ カップリング
 ⑬ 変速機 ⑭ エンジン ⑮ ロードセル ⑯ アンビル ⑰ アンビル移動レール ⑱ 試験片

(1500cc 70 馬力) を用いた。なお円盤の慣性モーメントは約 $1 \times 10^8 \text{ kg-m}$ である。又アンビル⑯の端面からヨーク④の端面までの長さが500~1000 mmまで試験することが出来る。又試験片に補助棒を用いることにより、高温又は低温における衝撃実験が可能である。

試験方法は、試験片を荷重測定部にしっかり組付け、これらをアンビル⑯に固定する。エンジンより変速機⑬を通して、円板を十分速い速度まで上昇させ、クラッチを切り、エンジンを停止する。円板の回転は計測用歯車⑩の動きを電磁ピックアップを用いてパルスに変換し、デジタルカウンターに表示する。円板が所定の回転速度になった時、この円板に同期した信号によりヨーク打上げ装置⑥の電源を遮断し、ここに内装されたスプリングコイルの伸びによってヨークを上方に押しあげる。その結果、円板の爪はヨークを介してタップと結合し、試験片に衝撃的に引張荷重を与えることが出来る。試験片に生じた応力の変化は、荷重測定部に接着した半導体ゲージ、ワイヤゲージ等を用いて、ホイートストンブリッジによって電圧変化に変換し、この電圧を入力信号として高感度差動型プリアンプ付2現象シンクロスコープに直接入れ、波形を観察、写真にて記録する。これらの波形の高さより応力を算出する。

III. 衝撃荷重の測定

1. ストレインゲージ及びシンクロスコープ

一般に衝撃荷重の測定には(a)圧電体(水晶, ロッシェル塩等), (b)ストレインゲージ(c), 動的光弾性等が利用出来るが, 本実験ではストレインゲージを用いることにした。本実験に用いた荷重測定回路を図-2に示す。

ホイートストンブリッジからシンクロスコープまでなどすべてのリード線は周波数特性を

考慮して同軸ケーブルを用いた。ここで $R_A=R_B=R_C=R_D$ のとき, R_A に ε の歪が生じたとすれば, こときのホイートストンブリッジに生ずる平衡電圧差 ΔE は近似的に

$$\Delta E \cong \frac{k_g \cdot E \cdot \varepsilon}{4}$$

E : ブリッジ電圧

k_g : ストレインゲージのゲージ率

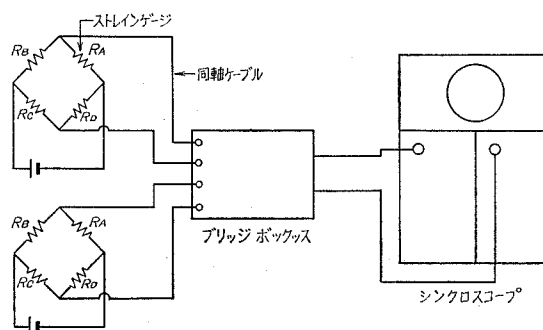


図-2 荷重測定回路

で与えられる。このときの ΔE が測定機 (シンクロスコープ) の入力電圧となるので, 出来るだけ高い方がのぞましい。又 ΔE は E に比例して増大するが, ストレインゲージには許容電流が定められているので, ホイートストンブリッジに加える電圧 E に限界がある。本実験に用いたストレインゲージは, 共和製半導体ゲージ (KSPC-1-350-E₄-11) と (KP-3-A₁) である。半導体ゲージの場合, ゲージ長 1 mm, ゲージ抵抗 $R=328, \Omega$ ゲージ率 $k_g=140$, 許容電流 20 mA であったので, ブリッジ電圧 $E=6 V$ とした。計測中の温度変化に対しては, 測定時間が数 ms くらいなので, この間の温度変化はほとんど無視出来るであろう。又, ストレインゲージの立上り時間 τ_r は大井³⁾ によれば

$$\tau_r < 0.8 L/C + 0.5 \mu S \tag{1}$$

で与えられる。ここで L =ゲージ長, C =ゲージを接着してある物体中の弾性縦波の速さである。

この立上り時間 τ_r とゲージのしゃ断周波数 f_c (ある瞬間における入力に対して $1/\sqrt{2}$ より少ない値を示す周波数) との間には次式のような近似的な関係が成立つ。

$$f_c \cdot \tau_r \cong 0.35 \tag{2}$$

この結果, $C=5.1 \text{ mm}/\mu S$ のとき, $L=1 \text{ mm}$ に対して, $f_c > 530 \text{ KHz}$, $L=3 \text{ mm}$ に対し, $f_c > 360 \text{ KHz}$ となる。一方この様な衝撃実験に用いるシンクロスコープについても, 適当な入力感度と, ゲージのしゃ断周波数と同様に式(2)を満足する特性の機器を選定しなければならない。本実験では, シンクロスコープ本体は岩崎通信機製 DS-5155, プリアンプ (SP-02 DFH-B) を用いた。

2. ロードセル

衝撃荷重をロードセルを用いて測定する時には, 次のような点に気を付けねばならない。それは, 衝撃的荷重を加えられた試料内部の応力状態は, 時間と共に変動するため⁴⁾, 試料を固定し

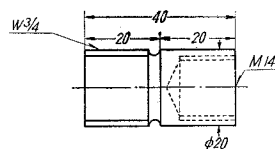


図-3 ロードセル

ているロードセル内部の応力状態もそれらに影響され変動する。それ故、ある瞬間に測定された応力と試料との関係を明確に示すことは非常にむずかしい。又試験片も含めた測定系の固有振動が、測定波形に何らかの影響を与えるようであった。この様な点を考慮して、なるべく固有振動数が高くなるように図-3に示すロードセルを設計した。又試験片に段付部を設け、ここにストレインゲージ(ゲージ長3mm)を2枚接着し、ロードセルの波形と段付部の波形を同時に記録し、比較検討した。なおロードセル、段付部にストレインゲージの接着された状態で静荷重による検定を行なった。

3. 試験片

実験に用いた試料は S 15 C, S 25 C, S 38 C, S 50 C, の4種類について、各々素材と熱処理材とについて、衝撃速度 3 m/sec~50 m/sec の範囲で行なった。

これらの試料についての化学成分を表-1に示す。又熱処理の条件を表-2に示す。

表-1 化学分析表

化学成分 材質	C	Si	Mn	P	S
S 15 C	0.15	0.20	0.38	0.017	0.020
S 25 C	0.24	0.25	0.53	0.008	0.022
S 38 C	0.38	0.25	0.63	0.013	0.021
S 50 C	0.50	0.26	0.70	0.018	0.011

表-2 熱処理条件

材 質	0.5 hr 加熱 後 炉 冷 (°C)
S 15 C	885
S 25 C	855
S 38 C	830
S 50 C	805

これらの試料に対して図-4に示す標準試験片を作り、静荷重下における機械的性質を調べた。結果を表-3に示す。又本実験に用いた試験片の形状を図-5に示す。

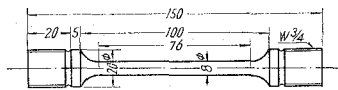


図-4 標準試験片

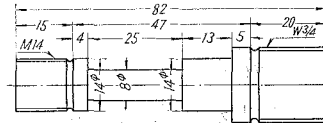


図-5 衝撃試験片

表-3 試料試験成績表

材 質	熱 処 理	降 伏 点 (kg/mm ²)	引 張 強 さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)	硬 度 (ロックウエル)
S 15 C	な し	29.6	44.4	31.9	72.1	59
	あ り	24.9	40.0	32.8	70.7	50
S 25 C	な し	29.4	48.5	30.9	64.7	64
	あ り	24.9	43.5	31.8	61.7	56
S 38 C	な し	40.8	62.1	22.8	52.2	80
	あ り	30.8	54.2	29.2	57.7	74
S 50 C	な し	40.7	72.9	20.3	47.8	87
	あ り	33.6	60.1	24.4	54.0	78

IV. 測定結果及び考察

記録された波形の一例として、S 25 C, 素材, 衝撃速度 5 m/sec~50 m/sec までの波形を図-6に示す。ここで2つの波形のうち, 上側の方がロードセルで測定された波形で, 下側が段付部の波形である。この2つの波形を比較してみると, ロードセルの波形は 10 m/sec の時, すでに最大応力付近に大きな振動が見られる。これは試験片平行部で生じた応力波が段付部, 取付ねじ等で入反射をくり返しながらいロードセルの方に透過して来るためではないかと思われる。又測定系全体の固有振動にも関係があるだろう。一方段付部は平行部に最も近く, かつねじ部もないため, 振動の少ない波形が得られるのではないか。又段付部は, 平行部にくらべて, 4倍の断面積を有しているのので, 平行部の最大応力に対しても一応塑性変形が生じないとすれば, この段付部もロードセルと考えることも出来る。ただ試験片の平行部が長ければ, 見

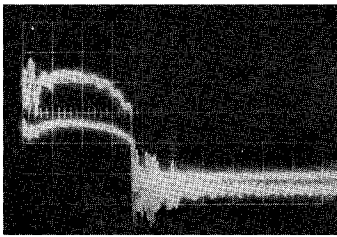


図-6.1 $V=5$ m/sec
 $t: 500 \mu$ S/cm

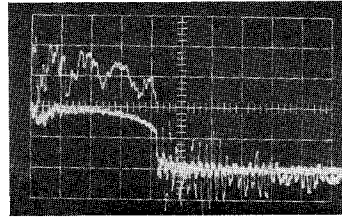


図-6.2 $V=10$ m/sec
 $t: 200 \mu$ S/cm

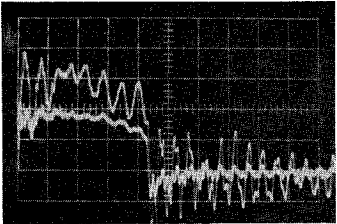


図-6.3 $V=20$ m/sec
 $t: 100 \mu$ S/cm

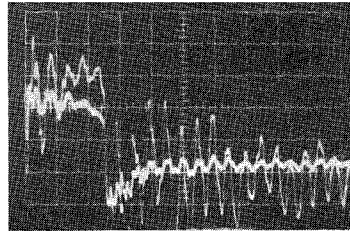


図-6.4 $V=30$ m/sec
 $t: 100 \mu$ S/cm

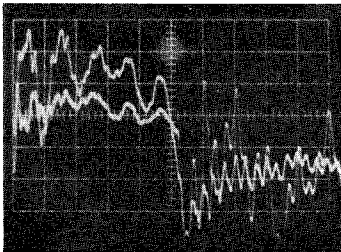


図-6.5 $V=40$ m/sec
 $t: 50 \mu$ S/cm

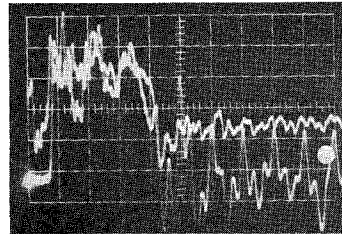


図-6.6 $V=50$ m/sec
 $t: 50 \mu$ S/cm

掛上, 歪速度が遅くなるため, ロードセルを用いた測定でも, 割合乱れの少ない波形が得られる。しかし, 段付部の波形も, 40 m/sec を越えると, 最大応力付近に大きな振動が生じて来る。それ故, この様な測定法による実験は, 衝撃速度 40 m/sec 付近までより適用することが出来ないのではないかと思われる。

以上の結果より, 荷重の測定は段付部で行なった。測定された波形のうち S 15 C, S 50 C

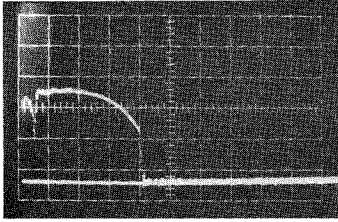


図-7.1 S 15 C $V=5$ m/sec
 $t: 500 \mu$ S/cm

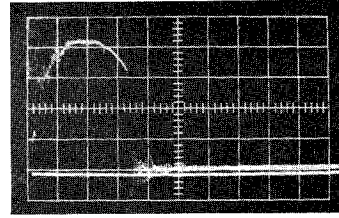


図-7.2 S 50 C $V=5$ m/sec
 $t: 500 \mu$ S/cm

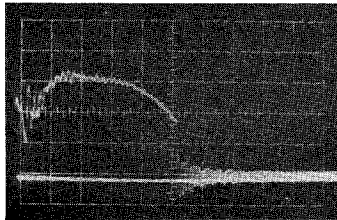


図-7.3 S 15 C $V=10$ m/sec
 $t: 200 \mu$ S/cm

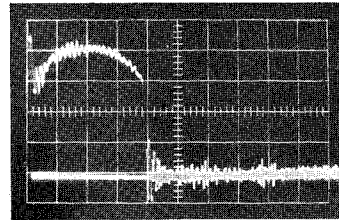


図-7.4 S 50 C $V=10$ m/sec
 $t: 200 \mu$ S/cm

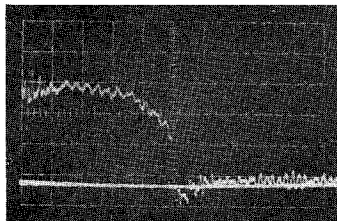


図-7.5 S 15 C $V=20$ m/sec
 $t: 100 \mu$ S/cm

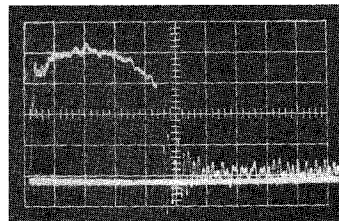


図-7.6 S 15 C $V=20$ m/sec
 $t: 100 \mu$ S/cm

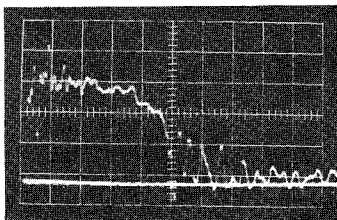


図-7.7 S 15 C $V=40$ m/s
 $t: 50 \mu$ S/cm

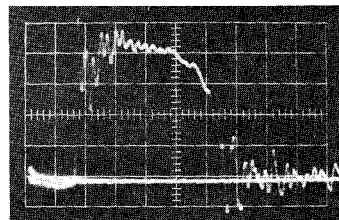


図-7.8 S 50 C $V=40$ m/s
 $t: 50 \mu$ S/cm

の熱処理材の衝撃速度 5 m/sec~40 m/sec までの波形を図-7 に示す。この様な波形より、最大荷重を読み取った。なお最大荷重として、波形の最も高い所の振動の平均を用いた。これらより衝撃速度と最大応力との関係を図-8 に示す。この図からわかるように、衝撃速度の増加と共に最大応力も増加し、静荷重にくらべて 16~43% 増加がみられる。

又、衝撃速度と伸びの関係については図-9 に示す。今回の実験の範囲では、各材料共、

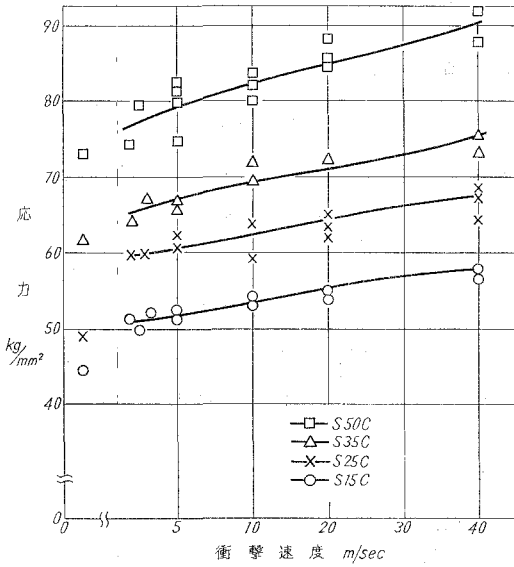


図-8.1 衝撃速度—最大応力関係 (素材)

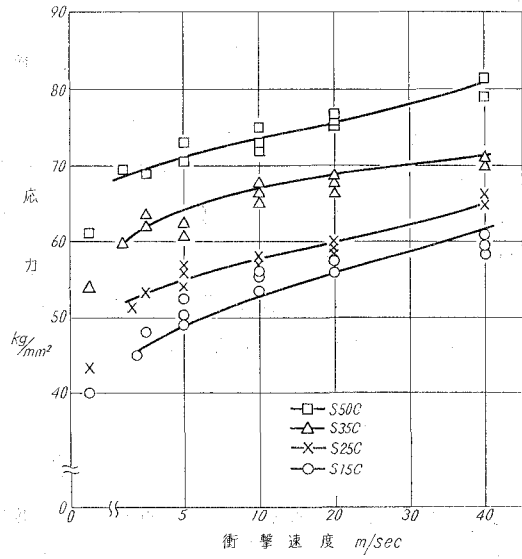


図-8.2 衝撃速度—最大応力関係 (熱処理材)

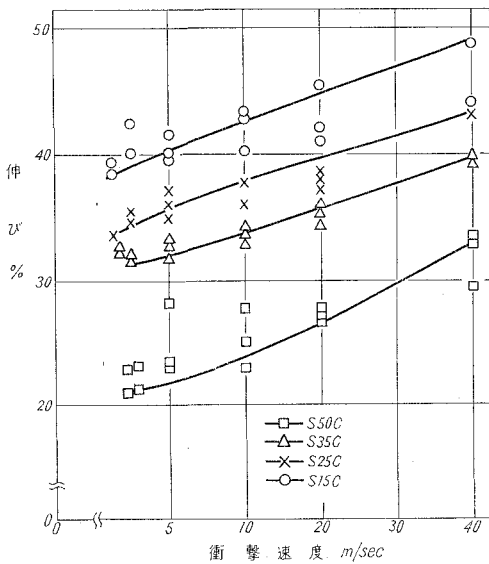


図-9.1 衝撃速度—伸び関係 (素材)

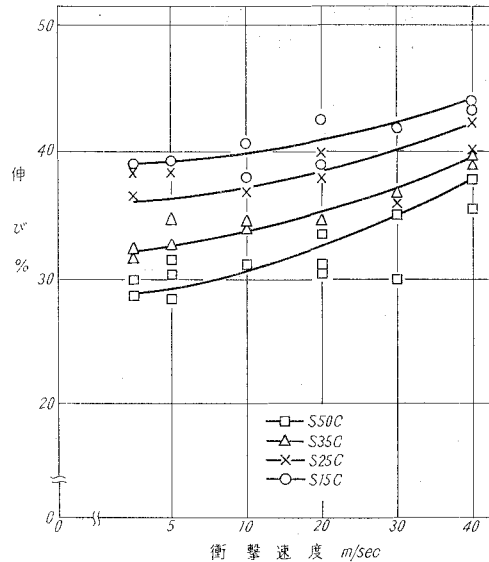


図-9.2 衝撃速度—伸び関係 (熱処理材)

静荷重時に比して9~27%の伸びを示した。従来、低炭素鋼においては、臨界衝撃速度を越えれば材料の伸びが低下するとされているが⁵⁾今回はそのような傾向はみられなかった。これは臨界衝撃速度⁶⁾の算出が、静的応力-歪線図を用いてるため、又歪速度の影響等によるものと思われる。降伏点の測定については、今回得られた波形から求める事は、非常に困難である。この点については、試験片平行部に直接ストレインゲージを接着し、降伏点の測定を試みている。

V. 結 論

以上より、ロードセルと段付部の波形を比較すれば、段付部の波形の方が乱れが少なく、この測定方法による衝撃速度の限界は、大体40 m/secくらいまでで、それ以上の速度に対しては、測定方法を工夫する必要がある。伸びの測定は、一応、円板の慣性が大きいので衝撃開始から終了まで回転が一定と考えれば、測定波形よりただちに読取ることが出来る。又この方法による降伏点の測定は非常に困難である。降伏点の測定については、直接ストレインゲージを接着する方法、ロードセルを頭部に付ける方法等を検討中であり大体的見通しを得ている。

(昭和45年5月20日受理)

文 献

- 1) たとえば：日本機械学会衝撃破損研究分科会報告書(1967. 2).
- 2) D. S. Clark: ASME, E. Sep., 243 (1948).
- 3) 大井光四郎：日本機械学会誌, 69 (575), 1602 (1966).
- 4) たとえば, 中原一郎・松本浩之：日本機械学会誌, 69 (575), 1634 (1966).
- 5) 強度設計データブック編集委員会：強度データブック, p. 102 (1962).
- 6) Th. V. Karman: J. Appl. Phys., 21, 987 (1950).