

コークスの引張試験法の開発

深井 潤*・橋田 俊之*・鈴木 和哉*²
 三浦 隆利*・大谷 茂盛*

Tensile Test of Coke Piece

Jun FUKAI, Toshiyuki HASHIDA, Kazuya SUZUKI,
 Takatoshi MIURA and Shigemori OHTANI

1. 緒言

従来、コークスの材料試験法として間接引張試験法^{1)~4)}、共鳴振動法⁵⁾、硬さ試験法⁶⁾などが報告されているが、これらの方法ではコークスの弾性的な常数しか測定できず、その塑性挙動を把握することはできない。引張試験法は弾塑性挙動を測定する簡便な試験法であるが、コークス内に含まれる多くのき裂が構造欠陥として作用するため、コークスの引張試験は困難とされてきた。したがって、コークスの引張試験を行うためには、①乾留過程においてき裂生成の原因となる熱応力の発達を抑えるために、試料寸法を小さくすること、および②外力によるき裂の生長を抑えるために製造コークスから引張試験片への加工工程を省略すること、が必要となる。

本研究では、以上の観点から、試験片の形状に加工した容器内で石炭粒子層を乾留することによってコークスの試験片を製作し、常温における引張試験によって測定されたヤング率、ポアソン比および強度と4点曲げ試験結果とを比較・検討した。また、コークス破壊過程のアカースティック・エミッション(AE)波の測定は微小圧子を圧入しながら実施された例⁷⁾があるが、ここでは引張試験と同時に行った。

2. コークス試験片の製作

乾留過程において石炭層は軟化熔融し、再固化すると同時に収縮を開始する。したがって、コークス試験片を

製造する場合、乾留過程において生成したセミコークスが自由に収縮できる形状を与え、束縛による試験片の破損を防ぐ必要がある。すなわち、コークスの等方性収縮を仮定すれば、試料内各位置と中心(収縮方向)とを結んだ直線が試料片表面に交わらないような形状であればよい。この条件を満足するものとして、Fig. 1に示すようなテーパ形に加工した試料容器を製作した。試料容器は生成コークスが取り出せるように軸方向に対して二つ割れとなっている。ここで、引張試験のシミュレーションによつて、測定部とテーパ部との継目(断面積が変化する部分)に集中する応力が測定部中央の応力より小さくなるような曲率半径(20mm)を選んだ。

本研究で用いた南アフリカ産 Witbank 炭の主な分析結果を Table 1 に示す。本炭種を選んだのは、膨張性

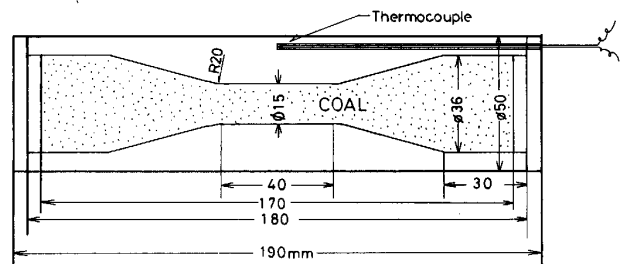


Fig. 1. Detail of vessel for producing tensile test piece.

Table 1. Analysis of Witbank coal.

Ultimate analysis [wt%, daf]	Gieseler plastometer analysis	Dilatometer analysis
C=83.6	Softening temp.=672 [K]	Softening temp.=671 [K]
H=5.1	Max. fluidity temp.=709 [K]	Dilatation=0 [%]
N=2.2	Resolidification temp.=729 [K]	Contraction=8 [%]
S=0.7	Max. fluidity=1.49 [log(ddpm)]	

昭和 63 年 1 月 6 日受付 (Received Jan. 6, 1988)

* 東北大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, Tohoku University, Aza-Aoba Aramaki Sendai 980)

*² 東北大学工学部 (Faculty of Engineering, Tohoku University)

Key words : coke ; tensile test ; bending test ; acoustic emission ; YOUNG' s modulus Strength ; POISSON' s ratio.

の低い炭種の方が密なコークスを得やすいためである。石炭粒子を真空乾燥した後、0-0.25, 0.25-0.59 および 0.59-1.19 mm の各粒度にふるい分けしたものを等重量ずつ混合して試料とした。生成コークスとの滑りを良くするために壁面にアルミ箔を張った充填部に試料を充填 (充填密度 = 780 kg/m³) し、電気炉内で任意の温度まで乾留した後、容器を電気炉から取り出し室温中で冷却した。ここで、試料内温度と試料容器内に設置した熱電対温度との関係をあらかじめ検定し、容器内の熱電対温度から試料内温度を決定した。

曲げ試験用試料片は、直方容器 (断面 15 × 15 mm, 長さ 110 mm) 内に石炭層を高さ 80 mm まで充填し、引張試験片の製作と同様な条件および方法で製作した。

3. 材料試験方法

引張試験片にテーパ形チャックを取り付けた際の詳細図を Fig. 2 に示す。チャックと試験片との接触圧力を均一化するために、接触部にシリコングリースを塗布した。測定部中央部に 2 軸歪みゲージを取り付け、クロスヘッド速度を 0.5 [mm/min] とした。この際、AE センサーをチャック部に取り付け、試験時に発生する AE 波を測定した。AE 波の増幅は 60 dB とし、8 段階 (0.04, 0.16, 0.36, 0.64, 1.0, 1.44, 2.25 および 4.0 [V²]) の各エネルギーレベル (E_{AE}) で発生するエネルギー波の個数 (n) を記録した。

4 点曲げ試験の概略図を Fig. 3 に示す。試験片下面中央部に 2 軸歪みゲージを取り付け、クロスヘッド速度を 0.1 [mm/min] とした。

4. 測定結果および考察

最高乾留温度 873 K で製造されたコークス片を引張試験した際に得られた変位-応力の関係および変位-AE エネルギーの積算値の関係を Fig. 4 に示す。ここに AE エネルギーの積算値は、測定された AE エネルギーの和 ($\sum n \cdot E_{AE}$) を各時間まで積分した値である。変位-応力の関係はほぼ直線性を保ちながら、変位約 0.67

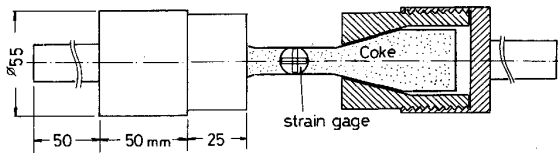


Fig. 2. Tensile test of coke piece.

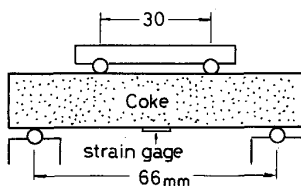


Fig. 3. 4-point bending test of coke piece.

mm で破断した。一方、AE エネルギーは変位約 0.5 mm までほとんど検出されず、その後急激に増加している。最高乾留温度が 773~1073 K のコークス試料片においても、Fig. 4 と同様な傾向が得られた。AE エネルギーの増加は、試料片内でき裂が伝播し弾性体の性質を失いつつあることを示している。これより、広い範囲 (AE エネルギーが増加する以前) でコークス内のき裂は進行しないことがわかる。その後、AE エネルギーは増加しているが、変位-応力の関係にき裂進行の影響は顕著に現れず、直線性を保つたままコークスは破断する。歪み (変位) - 応力の関係から判断すれば、常温におけるコークスの破断は脆性破壊であると見なせる。間接引張試験における強度測定では脆性破壊が前提となっているが²⁾、引張試験においてもそのことが確認された。

ヤング率 (E)、破壊強度 (σ_t : 引張強度, σ_{4b} : 4 点曲げ強度) およびポアソン比 (ν) と最高乾留温度 (θ) との関係を Fig. 5, 6 および 7 にそれぞれ示す。ヤング率およびポアソン比における引張試験結果と曲げ試験結果はばらつきの範囲内で一致している。一方、WEIBULL

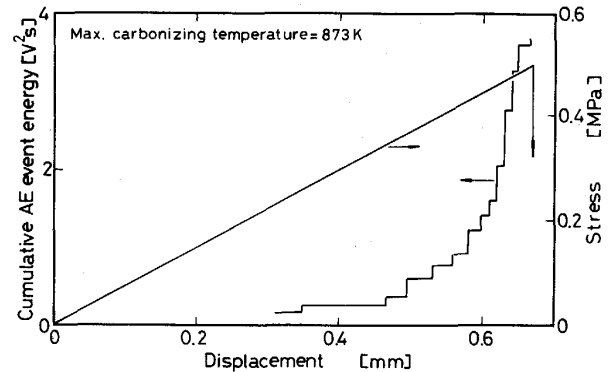


Fig. 4. Variations of stress and AE event energy with displacement.

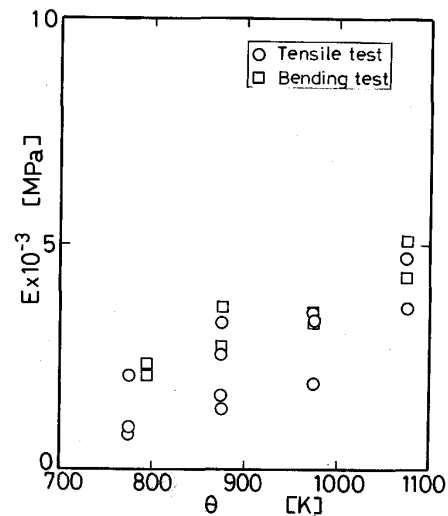


Fig. 5. Relation between YOUNG's modulus of coke piece and maximum carbonizing temperature.

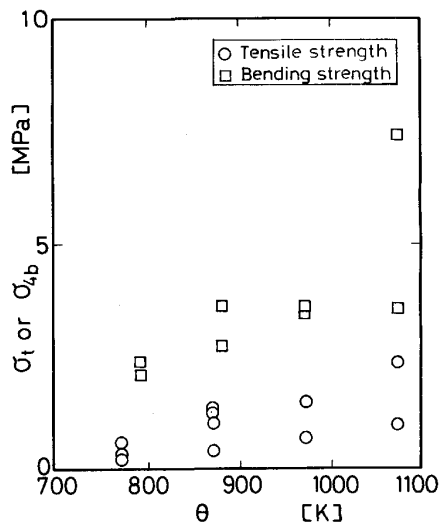


Fig. 6. Relation between strength of coke piece and maximum carbonizing temperature.

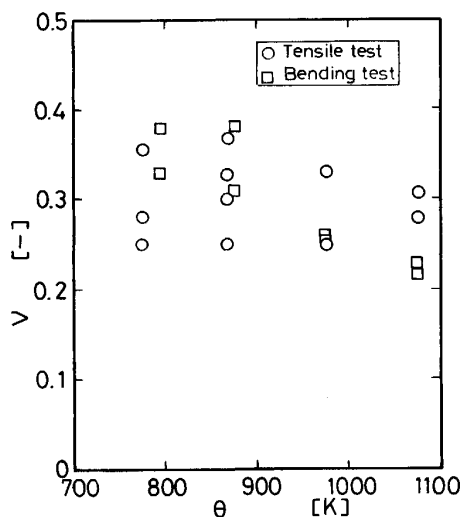


Fig. 7. Relation between Poisson's ratio of coke piece and maximum carbonizing temperature.

の最弱環理論⁸⁾によれば、曲げ強度は引張強度より大きいことが示され、本実験においても引張強度は曲げ強度より2~3倍程度小さい。強度およびヤング率は最高乾留温度と共に増加し、ポアソン比は逆の傾向を示してい

る。

以上のように、4点曲げ試験との比較から本引張試験結果はほぼ妥当であることがわかるが、いずれの測定結果も大きなばらつきを示している。この原因として、試料寸法を小さくすることによつてマクロき裂の発生を抑えることはできたが、コークスの異種組織間に発生する⁹⁾ようなミクロき裂を抑制できなかつたことが挙げられる。信頼性の高いデータを得るためには、測定回数を重ね統計的な処理を施す必要があると考えられる。

5. 結 言

本研究ではコークスの引張試験を行うために、コークス試験片の新たな製作法を提案し、曲げ試験結果との比較などにより、以下の知見を得た。

① 常温におけるコークスは、き裂の進行を伴わないほぼ完全な弾性挙動を示す範囲がある。また、破断直前からコークス内でき裂が伝播し始めるが、その影響は変位-応力の関係には現れず、常温におけるコークスは脆性破壊すると見なせる。

② 引張試験によるヤング率およびポアソン比は4点曲げ試験結果とほぼ一致し、引張強度は曲げ強度より2~3倍小さい。

本研究の研究費の一部は日本鉄鋼協会特定基礎研究会の援助によつていることを付記し、謝意を表す。

文 献

- 1) J. W. PATRICK and A. E. STACEY: Fuel, 51 (1972), p. 81
- 2) 宮川亜夫, 藤嶋一郎: 燃料協会誌, 54 (1975), p. 983
- 3) 八嶋三郎, 橋本 等: 石炭のコークス化特性部会報告書 (日本鉄鋼協会編) (1985), p. 154 (私信)
- 4) 杉辺英孝: 鉄と鋼, 71 (1985), S 18
- 5) 井上勝也, 谷 孝夫: 燃料協会誌, 33 (1954), p. 587
- 6) 白石 稔, 熊井順二郎, 木村英雄, 吉田雄次: 燃料協会誌, 46 (1967), p. 483
- 7) 木村脩七, 安田榮一: 石炭のコークス化特性部会報告書 (日本鉄鋼協会編) (1985), p. 131
- 8) R. W. DAVIDGE 著, 鈴木弘茂, 井関孝善訳: セラミックスの強度と破壊 (1984), p. 144 [共立出版]
- 9) 持田 勲, 前田恵子, 光来要三, 竹下健二郎: 燃料協会誌, 61 (1982), p. 986