

慣性質量を利用した衝突破壊試験における作用力測定法

藤井雄作（計量研究所），正 磯部大吾郎（筑波大学），学 齋藤聡（筑波大学）

Proposal for a crash testing method using inertial mass

Yusaku FUJII, National Research Laboratory of Metrology (NRLM), Umezono 1-1-4, Tsukuba 305-8563

Daigoro Isobe, University of Tsukuba

Satoshi Saito, University of Tsukuba

A method for determining the impact force in crash testing is proposed. In this method, a mass is made to collide with the object under test and the instantaneous value of the impact force is measured as the inertial force acting on the mass. To realize linear motion with sufficiently small friction acting on the mass, a pneumatic linear bearing is used, and the velocity and acceleration of the mass, the moving part of the bearing, are measured using an optical interferometer. The relative combined standard uncertainty in determining the impact force in a three point bending test is estimated to be 0.5×10^{-2} (0.5 %) of the maximum value of the impact force.

1. 背景

破壊試験，計装化シャルピー試験における力計測に代表される，変動する力や，衝撃力を計測することに対するニーズは強い．しかしながら，現状では，力センサーの動的校正方法としては，次に述べるようないくつかの限定された試みが為されている段階で，確立した方法は存在しない．力センサーの動的応答評価方法として，加振器と分銅の間に力センサーをセットし分銅の慣性力を既知の変動力として利用しようとする方法などが提案されている[1]．この方法では，力センサー自身をも振動させてしまうため，センサ自身の慣性力の補正，その他，測定（校正）環境の違いによる影響，などに問題点がある．また，衝撃応答のような過渡的現象に関して知りたい場合には，単一周波数の連続した振動における応答からそれをどこまで予測できるかという問題点も残る．本研究では，衝撃破壊試験における作用力を，慣性質量に作用する慣性力として直接に取り出すことを試みる．

2. 提案する方法に基づく実験

物体に作用する水平面方向の慣性力を，利用した，衝撃力の発生・計測方法を提案する[3]．地上において重力の影響を受けずに，摩擦などの外力の影響を小さく抑制するために，物体の支持に静圧空気直動軸受[4]を用いる．

Fig.1 に提案する方法を検証するために行った純アルミ丸棒の3点曲げ試験のための実験装置の配置を示す．Fig.2 に3点曲げ試験部の立体的模式図を示す．一つの金型（Die）は可動部の重心高さ付近に取り付けられ，残る2つの金型は約80mmの間隔でベースに固定される．使用した金型先端の曲率半径は0.5mm，刃先角は60度である．直径2mm

の純度99.7%の純アルミ丸棒は，支持台の上に置くのみで，固定はしない．

空気軸受の可動部は速度 v_1 m/s で試験体に衝突し，3点曲げの過程の終了後，速度 v_2 m/s で試験体から離れていく．可動部の速度は光波干渉計の信号光のドップラーシフト周波数 f_{Dopper} として周波数カウンター（アドバンテスト社製，Model: R5363）により測定される．

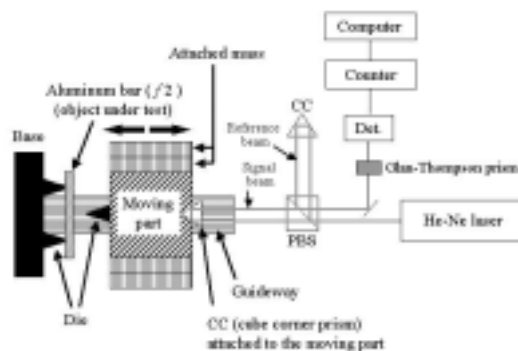


Fig.1 Schematic diagram of the experimental setup

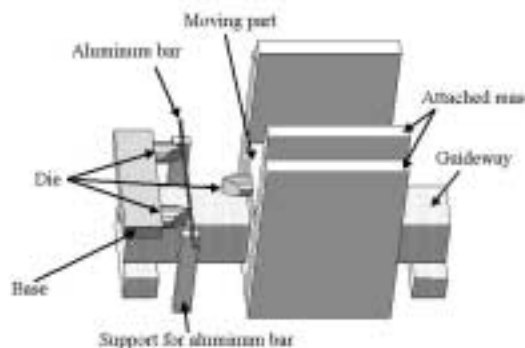


Fig.2 Solid figure around the crash point

ゼーマンタイプの2周波ヘリウムネオンレーザーが光源として持ちられる．信号光と参照光の差周波数は，ビート周波数， f_{beat} ，として検出器により電

気信号として取り出される。この差周波数は、可動部速度の変化に伴い、可動部が静止した状態における値、 f_{rest} 、である約 2.6GHz を中心に、変化する。加速度、 α (m/s^2)、および、位置、 x (m)、は、それぞれ、速度 v を、時間微分、あるいは、時間積分することにより求められる。可動部速度は以下のように、空気屈折率、 λ_{air} 、を用いて、ビート周波数より計算される。

$$v = \lambda_{air} (f_{Doppler})/2,$$

$$f_{Doppler} = f_{beat} - f_{rest},$$

衝突時に剛体としての可動部に作用する力、 F (N) は、可動部質量 M と可動部加速度 α の積 $M\alpha$ (kgm/s^2) として求められる。ここで、軸受内部の摩擦などに代表される外力が無視できる条件下では、この力は衝突点で作用した力と等しい。

$$F = M\alpha.$$

可動部を剛体と見なせない場合、すなわち、可動部の加速度分布が一様でない場合は、上式右辺を密度 ρ と加速度 α の積の空間積分 $\rho\alpha$ として表す必要がある。

Fig.3.3 にビート周波数 f_{beat} から計算される、速度 v 、加速度 α 、位置 x をまとめて示す。

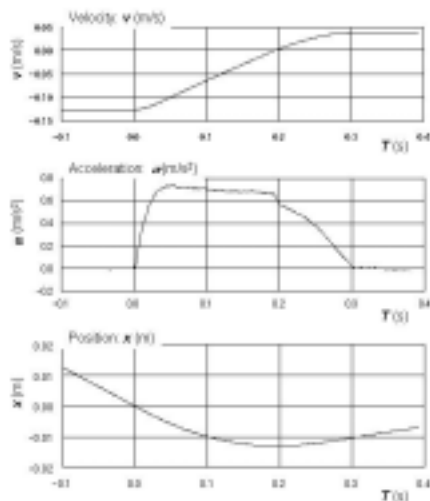


Fig.3 Change in velocity, acceleration and position

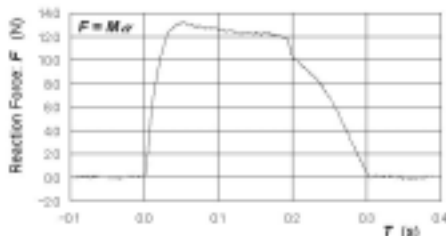


Fig.4 Change in reaction force with time

Fig.4 に加速度 α と、可動部質量 M の積として計算される作用力 F の時系列を示す。また、Fig.5 に作用力 F と押し込み位置 x の関係を示す。最初は

弾性変形進行とともに作用力が約 13N まで大きくなり、その後、左様力が徐々に低下する塑性変形が進行している様子が観測される。押し込み位置の最深部において、約 2N の左様力の落ち込みが観測され、その後、弾性変形による戻しが観測される。

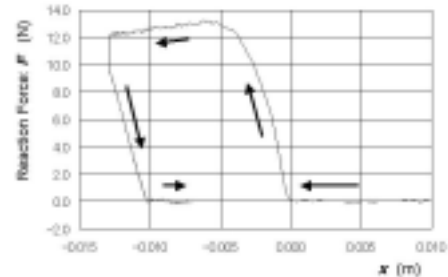


Fig.5 Change in reaction force with position

本 3 点曲げ試験における不確かさとして、サンプリング周期 0.15ms、平均時間 3ms での作用力の測定における結合標準不確かさは、0.06N と推定される。これは、Fig.4、Fig.5 に示される最大値 13N の約 0.5×10^{-2} (0.5%) に相当する。

ここで提案した方法は、力センサの動的校正[5]、無重力化で動作する質量測定器開発のための地上実験[6,7]などでも、利用されている。

会議当日、他の方法との関連、最新データを含めて発表を行う予定である。

引用文献：

- [1] R. Kumme, "Investigation of the comparison method for the dynamic calibration of force transducers", *Measurement*, **23**, pp.239-245 (1998)
- [2] R. Kumme and M. Dixon, "The results of comparisons between two different dynamic force measurement systems", *Measurement*, **10**, pp.140-144 (1992)
- [3] Y. Fujii, D. Isobe, S. Saito, H. Fujimoto and Y. Miki, "A method for determining the impact force in crash testing", *Mechanical Systems & Signal Processing*, (scheduled for July issue) (in print)
- [4] Y. Fujii and H. Fujimoto: Measurements of frictional characteristics of a pneumatic linear bearing, *Meas. Sci. Technol.*, **10**, pp.362-366, (1999)
- [5] Y. Fujii and H. Fujimoto, " Proposal for an impulse response evaluation method for force transducers", *Meas. Sci. Technol.*, **10**, pp.N31-33, (1999)
- [6] Y. Fujii, H. Fujimoto and S. Namioka, "Mass measurement under weightless conditions", *Rev. Sci. Instrum.*, **70**, pp.111-113 (1999)
- [7] Y. Fujii, H. Fujimoto, R. Watanabe and Y. Miki, "A balance for measuring mass under microgravity conditions", *AIAA Journal* (in print)