

733 軸荷重を受ける角管の変形とエネルギー吸収性能

Deformation and energy absorption of corner tube to axial load

○正 久保田 義弘(第一工業) 正 小林 光男(工学院) 正 小久保 邦雄(工学院) 正 中村 保(静大工)

Kubota Yoshihiro, Daiichikogyo Co.,Ltd., 3-5-1 Oshimacho Hamamatsu, 431-3112

Kobayashi Mitsuo, Kogakuin University, 1-24-2 Nishishinjuku, Shinjuku, 163-8677

Kokubo Kunio, Kogakuin University, 1-24-2 Nishishinjuku, Shinjuku, 163-8677

Tamotsu Nakamura, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu, 432-8561.

Keywords: Forging Impact Load, Impact Energy, Impact Absorption, Strength and Deformation, Experiment

1. 緒言

近年、機械構造物の強度に関する安全性や信頼性への要求が高まり、従来の静的・動的強度に加え、衝撃に関する強度特性の解明が重要な課題となっている。しかし、衝撃に関する問題は、予期せぬ突発的な事故や地震災害などに見られる建物の崩壊などが発生したときに初めて認識される場合が多く、十分な設計指針が確立されているとは言えない。^{1), 2)}

また、自動車などの輸送機械の軽量化を図るため、構造部材にアルミ合金が多用されるようになり、衝突時の衝撃荷重を車体が効率よく圧潰することによって、運動エネルギーを吸収し、安全性が確保されるようになってきている。衝突時の衝撃エネルギーは、主に構造部材の座屈などの塑性変形によって吸収されるため、構造部材の形状や材質の違いが衝撃吸収性能に与える影響を正確に把握することが重要である。

本報告は、ASF(Aluminum Space Frame)を有する自動車車体で使用されるアルミ合金製押し出し管の軸方向に、静的荷重および衝撃荷重を負荷したときの衝撃吸収性について実験的に検討し、解析と比較した。

2. 実験方法

2.1 試験片

試験片は、硬さ HV78.5 の A5052-H32 アルミニウム合金製薄肉角管を用いた。Table1 に示すように、各試験片は、板厚 $t=2\text{mm}$ 、正方形断面の一辺の長さ $a=40\text{mm}$, 50mm 、高さ $h=50\text{mm}$, 100mm の 4 種類とした。

Table1 Dimensions of specimens

Specimen	Length a (mm)	Height h (mm)	Thickness t (mm)
A40h50	40	50	2
A40h100		100	
A50h50	50	50	
A50h100		100	

2.2 静的圧縮

静的圧縮は、万能試験機(最大容量:200kN, 東京衡機)を用い、各試験片を速度 $v=15\text{mm/min}$ で圧縮し、荷重と変位の関係を求める。試験片の両端は自由端とした。

2.3 衝撃圧縮

衝撃圧縮(座屈)は、筆者らが開発した落錘式衝撃引張り試験装置を用いた。Fig.1 に試験機の概略図を示す。①は直接落下する重錘を受けるヘッド、②はヘッドと一体の移動枠組、③は試験片、④は座面板、⑤はロードワッシャー(Type9051A:キスラー社)、⑥は固定枠組、⑦は固定枠に対し、移動枠の変位を計測する渦電流式非接触変位センサーである。試験片③は固定枠⑥と移動枠②に挟まれて設置され、試験片③に負荷される衝撃荷重は、ロードワッシャー⑤によって計測される。落下重錘⑧の重さ $w=196\text{N}$ 、落下高さを可変(1m および 2m)させて、試験片③に与える衝撃エネルギーを 196J および 392J とした。

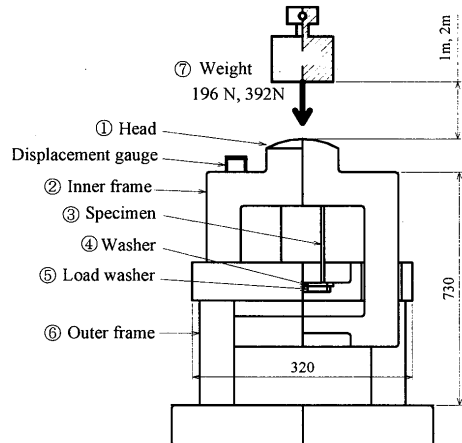


Fig.1 Schematic diagram of Impact testing equipment

2.4 静的圧縮の弾塑性 FEM シミュレーション

静的圧縮による変形モード解析に弾塑性 FEM シミュレーションを用いた。試験片は弾塑性体、上下圧板は剛体とした 3 体の接触問題とし、接触面の摩擦係数 $\mu=0.1$ 、圧板の移動速度 $v=1\text{mm/sec}$ とした。試験片材料の変形抵抗は、式(1)を用いた。

$$\bar{\sigma} = 220\bar{\epsilon}^{0.19}\dot{\bar{\epsilon}}^{0.1} + 86 \quad (1)$$

3. 実験結果および考察

3.1 静的圧縮

Fig. 2 は、各試験片の静的圧縮における荷重と変位の関係を示す。試験片の断面積が小さく高さ h が高いほど、圧縮ばね定数が低下し、最大荷重 F_{max} に到達するまでの変形量が大きくなる。また最大荷重 F_{max} に到達すると、各試験片とも急激に荷重が低下し変形が進行するが、蛇腹状に塑性変形するため、その後荷重は上下動を繰り返す。

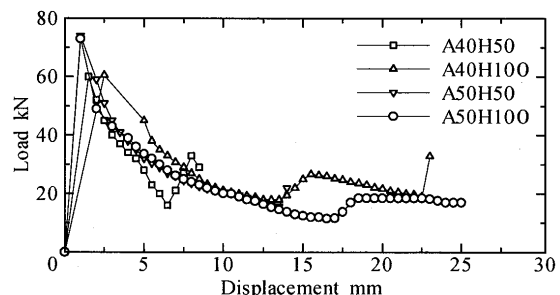


Fig. 2 Relationship between compression load and displacement to axial direction

Table 2 は、各試験片の最大荷重 F_{max} 、各断面積で割った最大応力 σ_{max} および細長比 λ を示す。試験片 A40h100 の細長比 λ が最も高く、 $\lambda=6.4$ となるが、座屈が発生するような数値ではなく、据込みによる塑性変形をした。各試験片とも最大圧縮応力 σ_{max}

は $\sigma_{max}=190\sim199\text{MPa}$ とほぼ同じで、試験片の高さ h にはよらない。

Table. 2 Result of static compression to axial direction

Specimen	Ultimate load (kN)	Maximum stress (MPa)	Slenderness ratio
A40h50	60.0	197	3.2
A40h100	60.5	199	6.4
A50h50	74.0	193	2.5
A50h100	73.0	190	5.1

3.2 衝撃圧縮

Fig. 3は、衝撃エネルギー196J(重錘196Nを高さ1mから落下)の場合の各試験片の軸方向衝撃圧縮における衝撃荷重と衝撃時間の関係を示す。各試験片は、およそ0.003(sec)の間に衝撃波形の第一波中にピークを迎え、その時間内に圧縮変形をする。試験片A40h50およびA50h50の最大衝撃荷重 F_{max} は、第一波の一山目で発生するのに対し、試験片高さ h が2倍のA40h100およびA50h100は、いずれも四山目で発生し、比較的大きな衝撃荷重が持続する。また、衝撃波形の第一波の終了後、衝撃荷重が0kNとなるが、これは、試験片がバウンドしているためである。試験片高さ h を高くすることによって、最大衝撃荷重 F_{max} を若干低下させることが可能であり、圧縮変形量が増加するため、衝撃吸収量は増加する。

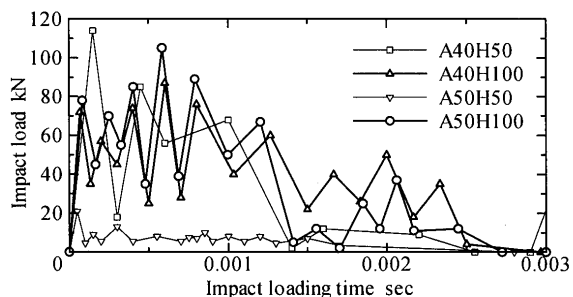


Fig. 3 Relationship between impact compressive load and Impact time to axial direction (196J)

Table 3は、軸方向衝撃圧縮の結果である。最大衝撃荷重 F_{max} は、静的軸圧縮の二倍弱となり、衝撃波形が消えるまでの時間は、およそ0.008(sec)であった。A50h50は、他の試験片と比べ、最大衝撃荷重 F_{max} は21.0(kN)と極めて低い結果となった。特異な形状から来る特性であると考えている。

Table. 3 Result of Impact compression to axial direction (196J)

Specimen	Ultimate impact load (kN)	Maximum stress (MPa)	Impact Time (sec)
A40h50	114.0	375	0.00815
A40h100	87.0	286	0.00770
A50h50	21.0	55	0.00745
A50h100	105.0	273	0.00700

Fig. 4は、衝撃エネルギー392J(重錘196Nを高さ2mから落下)の場合の各試験片の軸方向衝撃圧縮における衝撃荷重と衝撃時間の関係を示す。各試験片の衝撃波形は、衝撃エネルギー196Nの場合と同じ傾向であり、およそ0.003(sec)の間に衝撃波形の第一波中にピークを迎え、その時間内に圧縮変形をした。試験片A40h50およびA50h50の最大衝撃荷重 F_{max} は、第一波の一山目で発生するのに対し、試験片高さ h が2倍のA40h100およびA50h100は、いずれも中央付近で発生し、比較的大きな衝撃荷重が持続する。衝撃エネルギーが2倍となっても、最大衝撃荷重 F_{max} は増加することなく、試験片の圧縮変形によって

衝撃エネルギーは吸収される。

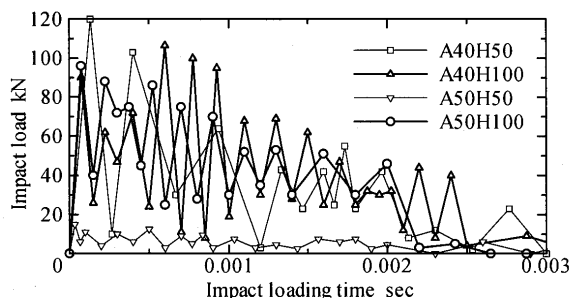


Fig. 4 Relationship between impact compressive load and impact time to axial direction (392J)

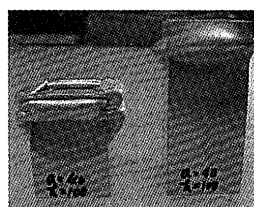
Table 4は、衝撃エネルギー392J 軸方向衝撃圧縮の結果である。最大衝撃荷重 F_{max} は、静的圧縮の2倍弱となり、衝撃波形が消えるまでの時間は、およそ0.008(sec)であった。A50h50は、他の試験片と比べ、最大衝撃荷重 F_{max} は15.0(kN)と極めて低い結果となった。特異な形状から来る特性であると考えている。

Table. 4 Result of impact compression to axial direction (392J)

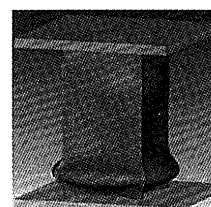
Specimen	Ultimate load (kN)	Maximum stress (MPa)	Impact Time (sec)
A40h50	120.0	394	0.00810
A40h100	106.5	350	0.00745
A50h50	15.0	39	0.00795
A50h100	96.0	250	0.00805

3.3 弾塑性 FEM シミュレーションによる変形モード解析

Fig. 5は、静的圧縮後の試験片A40h50の写真およびシミュレーション結果を示す。試験片は据込まれ、試験片高さ h の中央部、または端面側が半径方向に張り出された後は、試験片全体が潰されるまで逐次蛇腹状に圧潰される。この蛇腹状圧潰によって、圧縮荷重が増加することなく、衝撃荷重が負荷される場合でも、衝撃荷重が効率良く吸収されるものと考えられる。



(a) Photo of A40H100



(b) Result of FEM simulation

Fig. 5 Deformation of each specimen after impact compression

4. 結言

A5052-H32 アルミニウム合金製薄肉角管の静的・衝撃圧縮を行い、以下に示す結論を得た。

1. 静的荷重では、角管が蛇腹状に塑性変形し、荷重は上下動しながら変形が進行する。
2. 衝撃荷重では、衝突側の角管端面が塑性変形し、最大衝撃荷重 F_{max} は静的荷重の約2倍となり、与える衝撃エネルギーの大きさには因らない。

参考文献

- 1) 谷村真治, 三村耕司, 水内充, 斉藤年正: 橋脚の衝撃的破壊挙動に関する一考察, 機構論 No.964-1(1996)176
- 2) 兵庫県南部地震による道路橋の震災に関する調査報告書, 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会(1995)12