

1103 衝撃荷重を受けるねじ締結体の強度

The Strength of the Bolted Joints Receives the impact Load

正 小林 光男(工学院大学), 保田 拓郎(東芝機械),

○ 青木 孝浩(工学院大学), 福田 勝己(東京高専), 堤 博貴(東京高専)

Mitsuo KOBAYASHI, Takahiro AOKI : kogakuin University, 2665, Nakano-cho, Hachioji-city, Tokyo.

Yasuda TAKURO : Toshiba Machine Co.Ltd, 2068-3, Ohoka, Numazu-city, Shizuoka.

Katsumi FUKUDA, Hirofuka TSUTSUMI : Tokyo National College of Technology, 1220-2, Kunugida-cho, Hachioji-city, Tokyo.

Key Words: Machine Element, Steel Bolt, Bolted Joint, Tightening of Elastic range, Impact Strength

1. 緒 言

機械構造物には多数の結合部分が存在しており、機械的結合方法として分解・組立てが容易でありリサイクル性及びメンテナンス性に優れたねじ部品による締結が一般的に広く利用されている¹⁾。近年、機械構造物に対する安全性、信頼性の確保に対する要求が厳しくなり、その構成要素である締結機能を持つねじについても、従来より一層優れた性能及び合理的な締結技術が要求されるようになってきている。

また、機械構造物のねじ締結体が事故などの何らかの外的要因により衝撃荷重を受ける場合、追加軸力による初期締付け力の挙動など、軸力低下や破壊など、本来の必要十分な機能を果たせなくなる可能性があり、衝撃荷重に対する軸力挙動の解明が設計上大きな問題となっている。例えば、鉄道用レール、核燃料や液体輸送用容器などの機械構造物では、ねじ部品の設計や利用法について比較的軽視されることが多く、ねじ締結体の耐衝撃性の検討については十分な研究が成されていない^{2,3)}。

本報告は、コンロッドボルトを用いて、弾性域締付けにおいて衝撃外力がねじ締結体の軸力挙動及ぼす影響について実験的に考察したものである。

2. 外力と軸力の関係

ねじ締結体に初期締付け力が与えられている場合、外力の全てがボルト軸部に負荷されるのではなく、そのうちの何割かがボルト軸部に負荷される。図1はねじの締付け線図で、ボルト・ナットで被締結体に初期締付け力 F_f を与えると、ボルトには λ の伸び、被締結体には δ の縮みが発生する。引張力と伸び及び圧縮力と縮みの各々が比例関係にあるとすれば次式となる。

$$F_f = K_t \lambda, \quad F_f = K_c \delta \quad (1)$$

ここで、 K_t はボルト系の引張ばね定数で、 K_c は被締結体の圧縮ばね定数である。そして、 F_f で締付けたねじ締結体に被締結体を引き離すような軸方向の外力 W が作用すると、ボルト軸部に追加軸力 F_t が生じ $F_f + F_t$ の軸力となり、ボルトの伸び、被締結体から圧縮力の損失 F_c が生じ、 $F_f - F_c$ の締

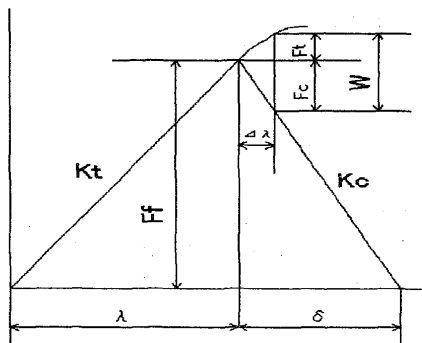


Fig.1 Tightening Diagram

付け力となり、これらの関係は次の関係式となる。

$$F_f + F_t = K_t (\lambda + \Delta\lambda)$$

$$F_f - F_c = K_c (\delta - \Delta\delta)$$

$$W = F_c + F_t \quad (2)$$

式(2)から内外力比 ϕ は次式となる。

$$\phi = F_t / W = K_t / (K_t + K_c) \quad (3)$$

ここで、内外力比 ϕ (内力係数とも言う) とは式(3)にあるように、ねじ締結体に作用する外力 W と、ボルトに作用する追加軸力 F_t との比を示す値であり、被締結体とボルト系の荷重分担の目安となる。内外力比 ϕ の値は K_t と K_c の大小関係によって変動し、これによって F_t と F_c の大きさも変わる⁴⁾。一般には F_c が大きいことによる被締結体部材の締付け力の減少よりも、 F_t が大きいことによるボルト系の破壊の方が危険であるため、内外力比 ϕ を小さくすることがねじ締結体の設計上重要事項とされている。

3. 実験

3.1 試験片 本研究では同形状で三種類の強度(強度区分 8.8, 10.9, 12.9)のコンロッド・ボルトを試験片として使用した。その形状及び寸法を図2に示す。材料は低合金鋼クロムモリブデン鋼(SCM440H)でありボルト材として広く用いられる。

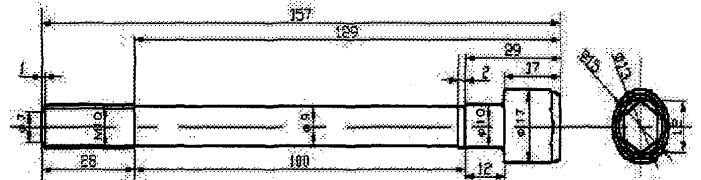


Fig. 2 Bolt Products

3.2 衝撃試験機 本実験で使用した試験機は落錘式衝撃引張試験機で、図3にその主要部を示す。使用した落錘の重量は 196 N (20 kgf) 一定で、ボルト試験片③により移動枠組み②と固定枠組み⑥の間に初期締付け力用ロードセル⑦と試験片頭部側に衝撃力測定用ロードワッシャー⑤を締付けねじ締結体とする。与える初期締付け力は、ボルト耐力

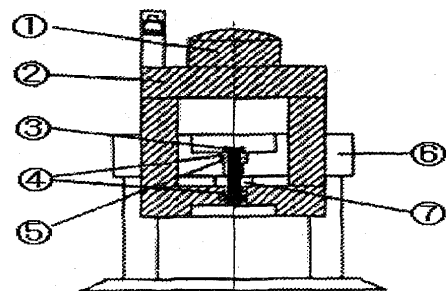


Fig. 3 Testing device (Sectional view)

の40%,60%,80%で、ヘッド①に衝撃外力を与え、軸力挙動を測定する。

4. 実験結果及び考察

4.1 内外力比

強度区分12.9と10.9の試験片における外力 W に対する内外力比 ϕ の変化を図4及び図5に示す。初期締付け力が40%締付けの場合の内外力比の値は0.20近辺に分布し、60%締付けの場合には0.16近辺に分布し、80%の場合では0.11付近に分布していることが確認できる。そして初期締付け80%の場合には強度区分の違いによらず3種類とも0.1近辺の平均値となり、他の強度区分の場合においてもほぼ同じ傾向が見られる。以上から、他の強度区分の場合においても初期締付け力の増加に伴って内外力比の値が低下する傾向にあることが言え、弾性域締付けにおいてボルトにかかる荷重が軽減される傾向があるという事が言える。

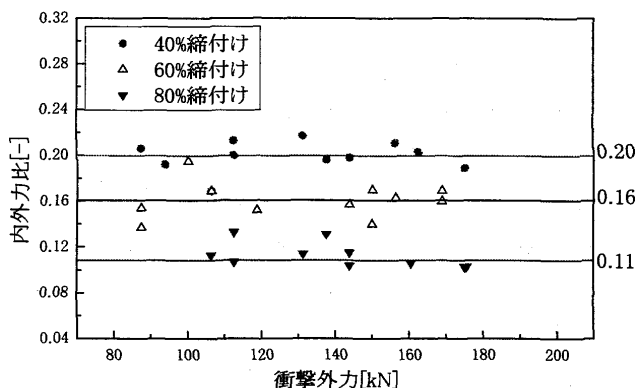


Fig. 4 Relation between external force of impact and ϕ -Value(P.C. 12.9)

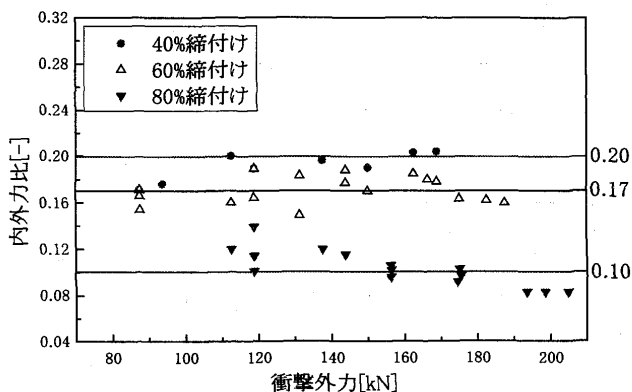


Fig. 5 Relation between external force of impact and ϕ -Value(P.C. 10.9)

4.2 残留軸力

外力が与えられた後にボルト試験片が保持している軸力を残留軸力と呼ぶ。残留軸力が0となる場合、ボルト試験片から軸力が無くなり、ねじ締結体としての機能が全く果たせない状態になる。初期締付け力 F_f に対し残留軸力 F_r が占める値を軸力保持率(F_r/F_f)とし、80%締付けそれぞれの強度区分毎の衝撃外力に対する変化を図5に示す。まず、80%締付けにおいて、ボルト試験片の強度の増加に伴い、軸力の保持能力も向上することが図5より確認できる。内外力比の考慮のみでは強度区分の違いによる軸力挙動は変化ないように見えたが、軸力の損失を考えると違いは明らかである。

これについては材料の降伏、及び塑性変形が大きく影響していると考えられる。外力と軸力の関係に従い、初期締付け力 F_f に衝撃荷重による追加軸力 F_t が加わり、瞬間的に F_{max} という軸力がボルト試験片に作用すると仮定すると以下のような式が成り立つ。

$$F_f + F_t = F_{max} \quad (4)$$

このとき F_{max} がボルト試験片の単純引張りにおける降伏点荷重 F_y を上回る、即ち、

$$F_{max} \geq F_y \quad (5)$$

となるとき、試験片の塑性ひずみが増大し塑性変形(伸び)が生じる為、残留軸力 F_r の低下が著しくなると考えられる。図5にある3本の縦線(破線、細線、太線)はそれぞれ8.8, 10.9, 12.9の3つの強度区分において、 F_{max} と F_y がほぼ等しくなる衝撃外力 W の値(P.C. 8.8で100kN, P.C. 10.9で135kN, P.C. 12.9で160kNである。)を示しており、この値以降でボルト試験片の軸力保持率の低下が顕著であることが確認できる。

強度区分8.8のボルト試験片については全体的に軸力保持率の低下が比較的大きいため、強度が低く変形が大きい材料は、衝撃荷重に対しての軸力保持には向いていないということが言える。

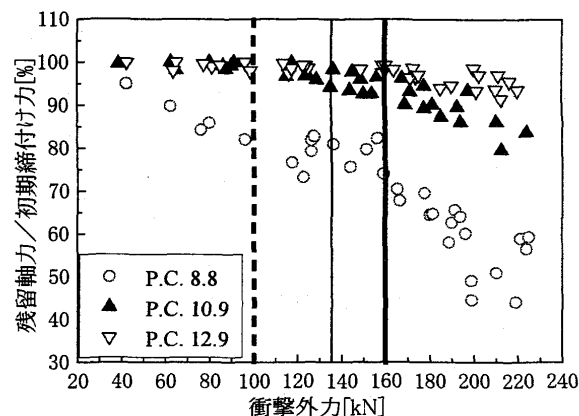


Fig. 6 Decrease ratio of clamping force by the external force of impact (80% of tightening yield point)

5. 結 言

実験結果から、主な結論をまとめ以下に示す。

- (1) 衝撃外力を受けるねじ締結体の内外力比は、初期締付け力を増加させることで低下させることができる。
- (2) 初期締付け力の増加に伴って内外力比の値が低下する事から、初期締付け力の増加に伴って衝撃外力に対する吸収性能が高まると言える。
- (3) ねじ締結体の衝撃外力に対する軸力挙動の変化は、主にねじ部の塑性変形が原因と考えられる。
- (4) ボルトの強度を上げることにより、外力に対するねじ締結体の軸力低下を軽減できる。

参考文献

- 1) 吉本勇 編：ねじ締結体設計のポイント[1992]日本規格協会。
- 2) 小林光男, 丹羽直毅, 伊藤興一, 北郷薫：ねじ締結体の衝撃強度に及ぼす初期締付け力の影響[1997]材料試験技術Vol.42。
- 3) 小林光男, 越智保雄, 丹羽直毅, 北郷薫：衝撃荷重を受けるねじ締結体の軸力挙動, JCOSAR-2003, Vol.5(2003)。
- 4) 北郷薫 編：ねじ締結ガイドブック(強度編)日本ねじ研究協会(1982)。