

工学院大学 正 ○小林 光男
工学院大学 北郷 薫

工学院大学 丹羽 直毅

1. まえがき

機械構造物の締結にはねじが常用されているが、この締結部が衝撃荷重を受ける場合、設計上安全性確保の面からボルトの耐衝撃性の検討が必要である。しかしながら、鉄道用レール、燃料や液体輸送用容器などの構造物のように、事故などにより衝撃荷重を受ける場合を想定したボルト締結体が比較的大きな衝撃を受ける場合の強度設計についての研究は十分ではない^{1, 2)}。更に近年ねじ締結においてボルトの弾性域を越えて締付けを行なう塑性域締結が注されている。この大きい締付け力がボルトに負荷されている場合、衝撃力に対する塑性伸び、座面陥没により初期締付け力の減少、ゆるみなどの締結機能としての破損現象が起こるなどねじ締結体として許容出来る最大負荷外力の問題等ボルトの衝撃挙動については不明な点が多く、ねじ締結体の衝撃設計についてはまだ広く用いられるに至っていない。

そこで著者らは上記の問題を解決するために、初め力が無い場合の通常ボルトと耐衝撃ボルトの強度特性比較³⁾、繰返し衝撃引張に対する塑性伸び特性⁴⁾及び通常ボルトの衝撃力に及ぼす初期締付け力の影響⁵⁾について検討してきた。本報告は、ねじ締結体の衝撃強度に関して、弾性域締結及び塑性域締結された場合の最大負荷外力について検討を行ったものである。

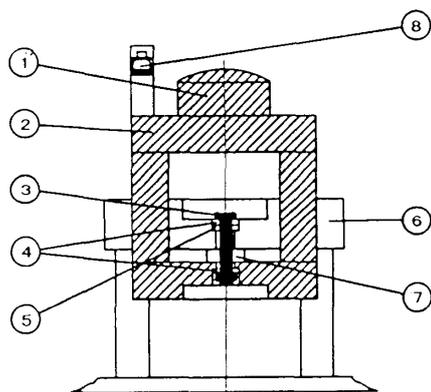


Fig. 1 Testing device (Sectional view)

Table 1 Mechanical properties of bolt materials

P. C.	σ_s (Mpa)	σ_B (Mpa)	ϕ (%)	Hv
4.8	397	578	14	172
8.8	966	1056	11	312
10.9	1186	1286	9	353

2. 実験方法

2.1 鋼製ボルト及びナット試験片 実験に用いた鋼製ボルト及びナットの材質は炭素鋼 S45C (ボルト: C:0.40, Si:0.21, Mn:1.52, P:0.19, S:0.18, ナット: C:0.43, Si:0.19, Mn:0.72, P:0.015, S:0.06 (wt%)) で、強度区分をボルトは8.8、ナットはボルトの強度区分に対応させた9Tを使用した。呼び径は、M10でボルトの形状及び寸法は、全長140mm、首下長さ130mm、ねじ部長さ30mmのフランジ付き六角ボルトである。これらの機械的性質を表1に示す。鋼製ボルト及びナットとも転造加工したもので精度はJIS級である。

2.2 衝撃試験機及び実験方法 本実験で使用した落錘式衝撃引張試験装置の主要部を図1に示す。ここで、①は直接落下衝撃を受けるヘッド、②は移動枠組み、③は試験片、④はワッシャ、⑤はリング型ロードワッシャ(キスラー社製:Type9051A)、⑥は固定枠組み、⑦は初期締付け力設定用センターホールロードセル、⑧は渦電流式非接触変位センサーである。落下重錘の重さは、98N (1kgf), 196N (20kgf), 294N (30kgf), 392N (40kgf) の4種類が使用でき、落下高さは最大3mまで自由に調節できる。

ボルト、ナットでリング型ロードワッシャ、ロードセル及びワッシャを挟んで②と⑥の枠に組み込み、ナットを締付けて所定の初期締付け力を与える。これを自由落下式の重錘 196N (20kgf) により、ヘッドに衝撃外力を作用させると、枠組みを介してボルト締結体には衝撃引張荷重が負荷されることになる。リング型のロードワッシャのセンターホールにボルトを通しボルト頭部でこれを受けているので、初期締付け力の負荷後のボルトに直接作用する衝撃荷重がそのままロードワッシャの荷重に相当する。初期締付け力と衝撃後のその減少(ゆるみ)は固定枠組⑥と移動枠組②に挟み込んだロードセルで、変位は渦電流式非接触変位センサーにより測定する。

3. 実験結果及び考察

3.1 衝撃波形 図2に初期締付け力がある場

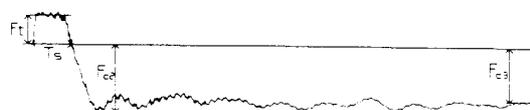


Fig. 2 Example of load-time diagram by impact

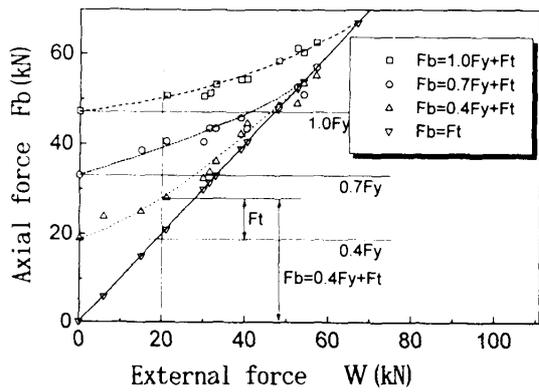


Fig. 3 Relation between axial force and impact load (External load) of P.C. 8.8

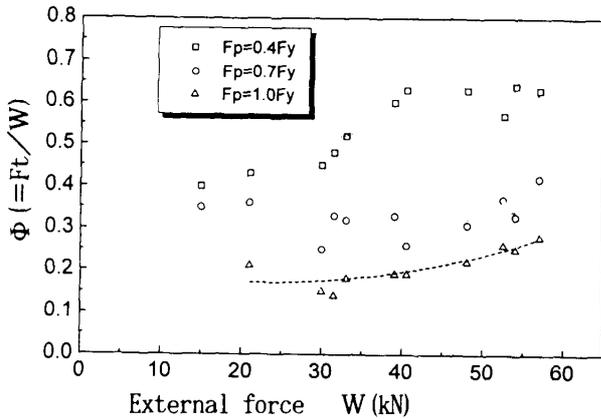


Fig. 4 Relation between $\Phi (=F_t/W)$ and impact load (External load) of P.C. 8.8

合の衝撃波形の実験例を示す。図で横軸の衝撃時間 T に対して、衝撃外力によるボルトの追加軸力 (F_t) と初期締付け力の軸力損失 (F_{c3}) を示している。

3. 2 衝撃外力とボルト軸力の関係 図3は縦軸にボルト軸力を、横軸に衝撃外力を示す。強度区分8.8のボルトに初期締付け力 F_f をボルト降伏点荷重の0%, 40%, 70%, 100%を与え、衝撃外力負荷時のボルト軸力の変化を示す。 F_f が0% (初期締付け力なし) では、 ∇ 印のように衝撃外力 W と軸力 F_b が等しく、 F_f を有する場合は、40%, 70%, 100%の各々の初期締付け力から衝撃外力の増加に対応してゆるやかな増加傾向を示し、 $F_f=0\%$ の直線に達している。

衝撃外力が小さい場合は初め直線的に変化し、衝撃外力が大きくなると、勾配 45degの直線に近付くと初期締付け力が低下し、被締付け物間の接合面における分離が始まり、直線上で完全に残留軸力が無くなり分離することになる。

3. 3 衝撃外力と内外力比の関係 衝撃外力 W とそれによる追加軸力 F_t の関係は次式により内外力比 Φ として表し、図3の結果から図4に示す。

$$\Phi = F_t / W \quad (1)$$

図より内外力比は、衝撃外力の増加に対してやや増加傾向を、また初期締付け力が増加すると低下する

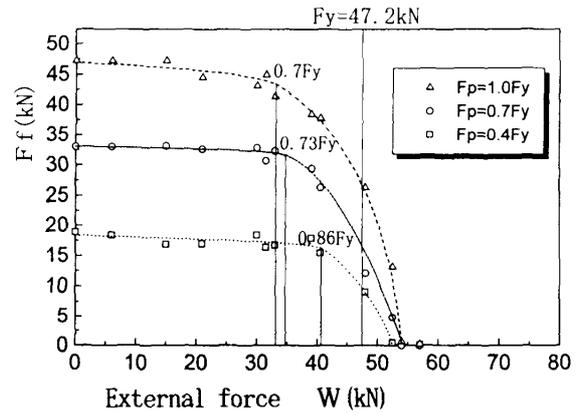


Fig. 5 Decrease of clamping force by the external force

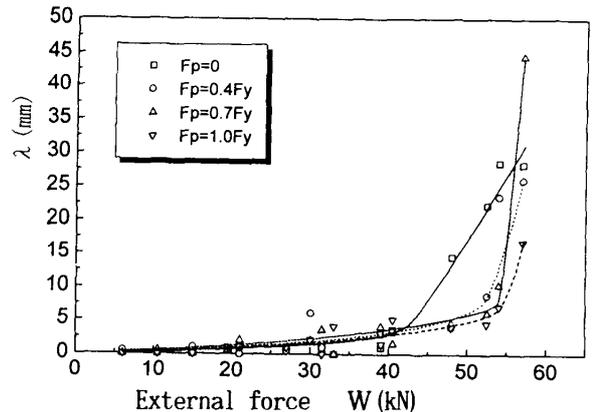


Fig. 6 Increase of λ_{max} by the external force

。ここで各初期締付け力について、例えば衝撃外力 $W=20\text{kN}$ における追加軸力 F_t 及び内外力比 Φ を求めると、(a) $F_f=0: F_t=W=20\text{kN}, \Phi=1$, (b) $F_f=0.4F_y: F_t=9\text{kN}, \Phi=0.45$, (c) $F_f=0.7F_y: F_t=5\text{kN}, \Phi=0.25$, (d) $F_f=1.0F_y: F_t=3\text{kN}, \Phi=0.15$ となり、初期締付け力が高くなると追加軸力が小さくなる。このことから初期締付け力を高くすれば衝撃強度も疲労強度⁷⁾と同様に有利であることになる。

3. 4 衝撃外力による残留軸力の低下及び最大許容外力の検討 図5に衝撃外力による初期締付け力の変化を示す。衝撃外力が比較的小さい場合は残留軸力の低下は殆ど認められず、降伏点締付け後の場合も衝撃外力負荷に対して弾性挙動を示す。なお外力の増加に従わずかの軸力低下が生じ、衝撃外力がボルトの降伏点荷重 F_y (47.2kN) の付近に達すると、ボルトの追加塑性伸び (図6) のため、残留軸力は急減する。図5を初期締付け力に対する残留軸力の割合で整理して考えると最大許容衝撃外力の検討が可能となる。初期締付け力の減少が10%になるまで許されると考えると、この時の衝撃外力が各締付け力とも約40kN以下であるならば、締付け力の減少は殆ど見られず、気密性とうのねじとしての締結機能は保持される事になる。

[まとめ 及び参考文献は省略]