

川崎製鉄(株) 正員 菊川春三
同 正員 村田勝弘
神戸大学 正員 西村 昭

1. まえがき

高力ボルト接合はボルトねじ部有効断面に JIS B 1186 に規定する最小降伏点の 82.5% の高応力の導入を一大特徴としている。このため、ボルトやナットねじ部のクリープ、ボルトのレラクセーション等に基づきボルト軸力の減少が懸念される。事実、一定期間ごとにリリ試験を行うことにより、軸力低下量を同接合に推測した試験例では、導入応力を σ_y と等しくした場合、締付けてから 11ヶ月後に軸力が締付け直後の 82% に低下したと報告されている。また、8年8ヶ月の暴露期間を経たボルトについて軸力解放前後のボルト縮み変化量から推定した例でも、F10T 級のボルトで 15% の軸力低下が観察されている。

上記の実験はいずれも数種の環境に暴露した継手模型を対象としており、継手には外力が作用していない。筆者らは完成後 3 年を経過した実構造物を対象に、耐力実検出法⁽¹⁾⁽²⁾により、締付け施工したボルトの残存軸力測定と、リリ試験による継手耐力の確認を行い、この、ボルトの軸力低下に関する現在のデータと裏付ける測定結果を得、かつ、継手の安全性に関する意見をも得たのでここに報告する。

2. 実験概要

実験対象は Fig. 1 に示す山形架構造組立柱のララス材継手 10ヶ所である。継手材は SMA 50A の H-150×150×7×10、高力ボルトは F10T M20×55 を使用している。これらはいずれも数ロットに分けて製造されているので、機械的性質はロット間の平均値とばらつきの形で Table 1 に示す。

実験は、まず、ララス材継手を組立柱から計 10 体切出し、継手の左右いずれか一方のボルト 10 本 (フランジ 8 本、ウェブ 2 本) の残存軸力を調査した。すなわち、

- ① ボルト頭頂部に 3 軸のひずみゲージを貼付して軸力解放時のひずみを計測する、② 材料試験機と引張治具を用いてボルト軸力と頭頂部ひずみの相関を求め、この方法により、軸力解放前のボルト残存軸

力を推定した。

次に、継手を Fig. 2 に示す形状に加工し、残存軸力未調査側の継手部ボルトの半数をゆるめ (Fig. 2 中の ●印)、リリ試験に供した。なお、軸力測定側は新しくボルトをへり替え、耐力実検出法にて締付けした。リリ量は、継手上下フランジと添板との相対ずれをクリップゲージ (800.4/mm) にて計測した。

Table 1 Mechanical properties of Specimens

Specimen	σ_y (kg/mm ²)	σ_{max} (kg/mm ²)	E. l. (%)	R. A. (%)	k^*
Bolt	103.6 ±1.48	110.3 ±1.49	17.9 ±0.95	63.2 ±9.46	0.131 ±0.003
H-shape	46.3 ±2.5	56.3 ±0.58	23.5 ±1.7	—	—

* Torque coefficient

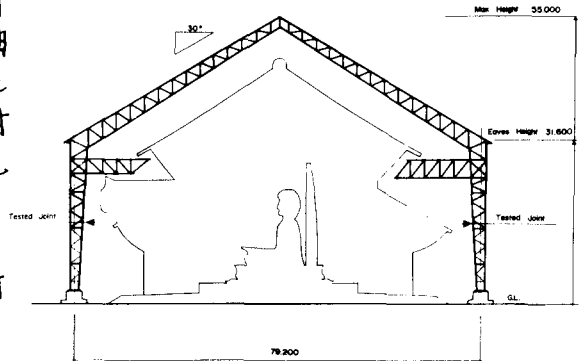


Fig. 1 Framing elevation

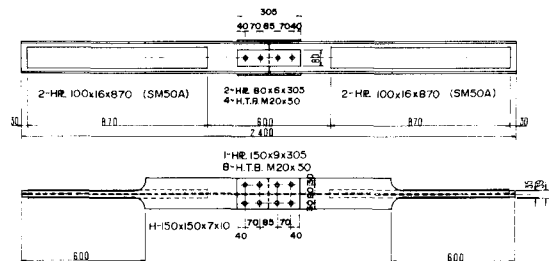


Fig. 2 Slip test specimen

3. 結果と考察

Table 2 Test results

Specimen	Clamping force*			Slip load(t)	Fracture load(t)
	Bm(t)	σ(t)	v(%)		
X-7-1	19.6	0.94	4.8	82.8	154.0
2	20.6	1.44	7.0	74.6	151.2
X-8-1	21.4	1.56	7.3	66.8	152.0
2	20.7	1.73	8.4	83.4	151.2
X-9-1	19.7	1.21	6.1	81.2	151.4
2	20.6	1.38	6.6	76.6	132.0
X-10-1	19.9	1.83	9.2	67.0	152.6
2	18.8	1.46	7.8	72.6	152.4
X-11-1	19.5	1.42	7.3	79.4	155.2
2	19.2	1.54	8.0	74.8	150.8
Total	20.0	1.58	7.9	75.9±5.97	150.3±6.57

Bm: Mean value, σ: Standard deviation

* v: Coefficient of variation

残留軸力測定ならびに繰り試験の結果を Table 2 に、また、軸力の累積相対度数を正規確率紙上にプロットした結果を Fig. 3 に示すが、現場締付けの際に実施した実験結果では、導入軸力の平均値が 23.4t であり、このことから、残圧近傍での締付けを行う場合、締付け終了後 3~4 年で軸力は 15% 低下すると推定され、本実験結果は現在の実験結果を裏付けるものといえよう。また、本実験で得られた軸力のばらつき 7.9% は前回の導入軸力調査時に得られた 3.5% を大きく上回っているが、耐力実験出法による締付け精度が高いことやボルト強度のばらつきが僅少であることを考慮すれば、ボルト軸力の弛緩現象はボルト孔周辺の応力状態や肌さき、目違い等の施工精度の影響を強く受けると考えられる。

一方、軸力 B は正規分布 $B(\mu_B, \sigma_B)$ に従うと見做しうることから (Fig. 3 参照)、繰り係数 μ もまた正規分布 $\mu(\mu_\mu, \sigma_\mu)$ に従うと仮定することによって、以下に定義する繰り荷重式から、 μ_μ, σ_μ を求めることができる。

$$P_s = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} f_{ij} B_{ij} \mu$$

こゝに、 P_s : 繰り荷重

f_1 : 摩擦面, $f_1 = 1$ (フランジ面)

$f_2 = 2$ (ウェブ面)

となれば、

$$\mu_\mu = \mu_{P_s} / (1.4 + 2.1) \mu_B \approx 0.63$$

$$\sigma_\mu = \{ (4 \sigma_{P_s} - \sigma_B^2 \mu_\mu) / (\sigma_B^2 + \mu_\mu^2) \}^{1/2} \approx 0.06$$

これより、 μ_{P_s}, σ_{P_s} はそれぞれ繰り荷重の平均値と標準偏差である。

導入軸力調査時に実施した繰り試験では $\mu = 0.46$ を得ており、繰り係数は経年変化を受けて 37% も上昇したことがわかる。したがって、経年変化により、継手は軸力減少と繰り係数の増加といふ相反する現象作用を受け、この結果、繰り耐力が上昇すると結論付けられる。

4. あとがき

実使用された構造物の高力ボルト残留軸力と繰り

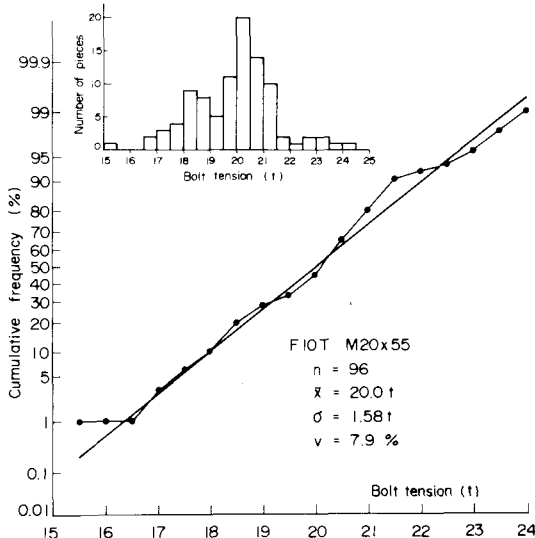


Fig. 3 Cumulative frequency of bolt tension

り係数を調査した結果、 σ_μ を目標に締付けした場合、軸力は 15% 程度低下すること、反面、繰り係数の増加率は軸力の減少率を大巾に上回り、この結果、継手耐力は経年変化により上昇すること、等の加算が見られる。なお、軸力低下現象についてはトルク法と耐力実験出法との比較で室内実験で追跡中であり、追って報告の予定である。おわりに、本実験は清水建設(株)ならびに日本フラスター工業(株)の関係各位の全面的御協力をいれ、こゝに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 田島二郎: 高力ボルト継手組立後の経過時間と繰り荷重, 第 20 回年次学術講演会講演集 I-83,
- 2) 日本鋼構造協会技術小委員会報告: 「高力ボルトの遅れ破壊」, JSSC, 15(153), 1979
- 3) 田村昭也: 密着した軸力を得る高力ボルト締付け機について, 第 29 回年次学術講演会講演集 I-98, 1979
- 4) J. W. Fisher et al., "Field Installation of High-Strength Bolts in North America and Japan" IABSE PERIODICA V/1979
- 5) 耐力実験出法に関する委員会, 「新しい高力ボルト締付け法」, 建築技術, (297), 1976