

熱履歴を受けた高力ボルト摩擦接合の耐荷力に関する研究調査

広島工業大学
片山ストラテック（株）
広島工業大学

正員 ○村中 昭典
正員 石原 靖弘
正員 皆田 理

1 研究目的

構造物の経験する可能性のある温度範囲は非常に広く、極寒地の低温域から被火災時の高温域までが対象となる。本研究は鋼構造物の最大の弱点が熱に弱いこともあって、火災を対象とし、高温の熱履歴を受けた摩擦接合のすべり耐力を実験的に確認し、被災した鋼構造物の補修・補強対策のための資料を得ようとするものである。

高温を経験した摩擦接合のすべり耐力を実験的に確認した例はいくつか見られ、高温になるにしたがってすべり耐力の低下は著しくなると言う結果がある。しかし、鋼板接触面はブラスト処理の場合がほとんどであり、近年用いられている無機ジンクリッチペイント、また、ボルトにおいては F14T 等を用いた継手の熱履歴特性については未だ解明されていない。本研究はこれらの点に注目して一連の試験研究を実施するものである。

2 無機ジンクリッチペイント及び SM490Y の対熱反応

2. 1 無機ジンクリッチペイント 無機ジンクリッチペイントの耐熱性は 400℃とされている。これは、亜鉛の融点が 420℃であるため、400℃を超えた温度に長時間さらされると本来の塗膜構造が崩れ性能低下するためである。
2. 2 SM490Y（溶接構造用圧延鋼材 JIS G 3106） 加熱履歴の引張強さに与える影響は、500℃以上の高温になるにしたがって漸増する。650～750℃の加熱履歴を受けると引張強さは約 90%に低下する。また、降伏点に与える影響は引張強さの場合と同様の傾向を示し、650～700℃程度の加熱履歴の影響により、降伏点は約 90%に低下する¹⁾。

3 高強度トルシア形超高力ボルト「S.H.T.B」 高強度トルシア形超高力ボルト「S.H.T.B」は、従来の高力ボルトに比べ約 1.5 倍の耐力を持つ。F11T、F13T 等の高力ボルトは、静的な荷重下である時間経過した後突然ボルトが遅れ破壊を起こす現象がある。S.H.T.B は、この遅れ破壊の原因に着目して、鋼成分に工夫を加えたほか、応力集中を緩和できるボルト形状を採用し、その破壊現象は起こらないと言われている²⁾。ボルトの耐力は 14T クラスであるが、ねじ山形状が従来品より有効断面積を大きくしているため、設計耐力は 15T レベルとなっている

4 試験概要 図-1 に供試体の形状・寸法を示す。供試体の表面処理はブラスト処理と無機ジンクリッチペイントを施した。S10T、及び S14T のボルトを用いた高力ボルト摩擦接合継手を室温、350℃、及び 600℃の熱履歴を付与した後、引張試験を実施した。試験体の加熱方法は、1 時間に 100℃ずつ上昇させ、所定温度に達した時点でその温度を 3 時間保持し、その後、炉冷によって室温まで戻した。また、加熱後のボルト軸力の測定方法は、ボルト頭部にひずみゲージを貼り、ボルト軸力解除時のボルト頭部ひずみにより求めた。

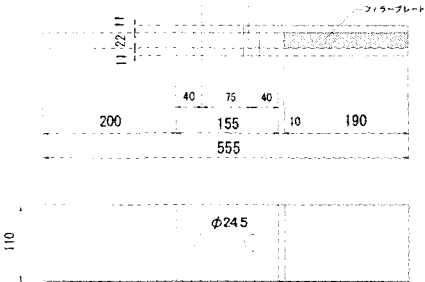


図-1 供試体の形状・寸法

5 実験結果

5.1 残留軸力 既往の研究では、火災のように短時間の熱履歴をうける場合の摩擦接合部のすべり耐力よりみた許容熱履歴温

表-1 残留軸力測定結果

	S10T				S14T			
	T=350℃		T=600℃		T=350℃		T=600℃	
	ブラスト	ジンク	ブラスト	ジンク	ブラスト	ジンク	ブラスト	ジンク
初期導入軸力(KN)	133.1	137.6	157.9	144.2	315.3	275.9	313.6	308.3
残留軸力(KN)	89.8	78.3	5.1	5.4	225.2	188.5	10.4	13.3
軸力低下率(%)	-32	-43	-97	-96	-29	-32	-97	-96

度は、350℃付近とされている³⁾。また、同じ熱履歴温度でも2時間以上の熱履歴時間、もしくは急冷を受けた場合、軸力が30%以上も失われる場合があるという。

今回の実験では、表-1に示すように350℃で3時間の熱履歴を加えた場合、軸力は平均30%程度低下した。すなわち、350℃を火災に関する許容熱履歴温度とすることはほぼ妥当である。また、600℃の熱履歴を加えた場合では、軸力は平均96%程度低下した。今回の実験においても既往の研究とほぼ同様の結果が得られた。

5.2 摩擦接合の静的引張試験

表-2に引張試験結果を示す。

同表より、室温におけるS10TとS14T継手のすべり荷重を比較するとブラスト処理の場合が約1.5

倍、無機ジंकリッチペイントの

場合が約1.4倍となった。この結果はS14T継手が従来の高力ボルトに比べ約1.5倍の耐力（引張強度）を持つことを考慮するとほぼ妥当な結果と言える。すべり係数は、ブラスト処理の場合、S10T、及びS14T継手でそれぞれ $\mu=0.50$ となった。また、無機ジंकリッチペイントの場合は、S10T、及びS14T継手でそれぞれ $\mu=0.66$ 、及び0.62となりボルトの引張強度が違っていてもあまり変わらなかった。

T=350℃の場合、S10TとS14T継手のすべり荷重比はブラストの場合は約1.6倍程度、無機ジंकリッチペイントの場合は約1.4倍程度となった。また、すべり係数はブラストの場合、S10T、及びS14T継手でそれぞれ $\mu=0.55$ 、及び0.62となった。無機ジंकリッチペイントの場合はS10T、及びS14T継手でそれぞれ $\mu=0.69$ 、及び0.68となった。すべり係数は熱影響を加えていない場合に比して若干上昇傾向を示しているがばらつきを考慮するとほぼ同等と考えられる。しかし、ボルト軸力が30%前後低下しているにもかかわらず、すべり耐力も熱影響を加えていない時とほぼ変わっていないということは、鋼材表面が熱履歴によって変化し、実際のすべり係数は増加しているのではないかと推測される。

T=600℃の場合、S10TとS14T継手のすべり荷重比はブラストの場合で約2.4倍程度、無機ジंकリッチペイントの場合は約2.6倍程度となった。また、すべり係数はブラストの場合、S10T、及びS14T継手でそれぞれ $\mu=0.08$ 、及び0.13となり、無機ジंकリッチペイントの場合は、S10T、及びS14T継手でそれぞれ $\mu=0.10$ 、及び0.17となった。軸力低下を考慮して計算すると、ブラストの場合でS10T、及びS14T継手でそれぞれ $\mu=0.51$ 、及び0.66となり、無機ジंकリッチペイントの場合は、S10T、及びS14T継手でそれぞれ $\mu=0.50$ 、及び0.62となった。このことより、熱履歴による摩擦面の変化は見られないと考えられる。そこで、熱履歴（T=600℃）を受けた供試体に新しいボルトを用いて、再度締め付け、引張試験を行った結果、S10T、及びS14T継手のすべり荷重比は、ブラストの場合で約1.3倍程度、無機ジंकリッチペイントの場合は約1.5倍となった。次に、すべり係数は、ブラストの場合でS10T、及びS14T継手で $\mu=0.80$ 、及び0.72、無機ジंकリッチペイントの場合は、S10T、及びS14T継手で $\mu=0.62$ 、及び0.64となり、室温時と同等な値に復帰することが分かった。

6 結論 本研究は、高温の熱履歴を受けた高力ボルト摩擦接合の耐力を実験的に確認し、被災した鋼構造物の補修・補強対策のための資料を得ることを目的として実施した一連の試験研究である。本研究で得られた主な結論は次の通りである。

- ① 熱履歴による軸力の低下はS14TもS10Tと同じような挙動を示した。
- ② すべり係数はボルトの引張強度が違っていても同じ試験条件であればあまり変わらないことが確認できた。
- ③ 室温、350℃、及び600℃の熱履歴においては、S14T継手の最大耐力はS10T継手の約1.5倍程度となった。
- ④ 軸力低下を考慮してすべり係数を計算すると熱履歴によるすべり係数の変化はあまり見られなかった。
- ⑤ 600℃の熱履歴を受けるとすべり耐力が大幅に低下するが、新しいボルトに締め付け直すことによって当初のすべり耐力とほぼ同等な値に復帰することが分かった。

＜参考文献＞ 省略

表-2 引張試験結果

供試体名		室温		T=350℃		T=600℃	
		すべり荷重(KN)	すべり係数(μ)	すべり荷重(KN)	すべり係数(μ)	すべり荷重(KN)	すべり係数(μ)
S10T	ブラスト	405.3	0.50	444.2	0.55	63.7	0.08
	ジंक	532.1	0.66	517.7	0.64	78.4	0.10
S14T	ブラスト	589.0	0.50	555.7	0.69	150.4	0.13
	ジंक	726.7	0.62	662.0	0.67	203.8	0.17