

高力ワンサイドボルト摩擦接合継手の基礎的特性 Basic Characteristic of High Strength Blind Bolted Friction Joints

鈴木 博之* 川辺 裕一** 藤永 政司*** ○中島 一浩****
Hiroyuki SUZUKI Yuichi KAWABE Masaji FUJINAGA Kazuhiro NAKAJIMA

ABSTRACT High strength blind bolts that can be constructed from one side is effective as the repair, the reinforcement of the close section, and friction joints of box column. However, fatigue durability of high strength blind bolted friction joints has not been verified up to now. In this thesis, we did the verification experiment of basic characteristic of high strength blind bolted friction joints. It was clarified to have the characteristic equal with high strength blind bolts. And, we report on the application experience of box column that uses high strength blind bolted friction joints.

Keywords: すべり係数, 疲労耐久性, リラクゼーション, 角形鋼管柱継手
Slip Coefficient, Fatigue Durability, Relaxation, Box Column Joints

1. はじめに

片側から施工が可能な高力ワンサイドボルトは、閉断面部材の補修・補強や角形鋼管の接合継手として有効なボルトである。現場溶接を行わずに部材を接合することにより、接合部の品質信頼性や施工性が向上し、安全性の確保や工期短縮が図れるといった利点がある。また、ボルトを外すだけで鉄骨のリサイクル・リユースが可能になり、環境に配慮した接合としても有効である。

近年、交通量の増大や車両の大型化、老朽化、耐震性向上に伴う鋼道路橋の補修・補強事例¹⁾²⁾が増加している。また、建築構造物の耐震補強工事においても、現場溶接に伴う養生やUT検査、溶接技能者資格などが不要となることから、現場溶接レス接合として高力ワンサイドボルトを用いた接合が採用される事例も多い。

高力ワンサイドボルトの摩擦接合としての基本性能や、接合部の構造特性については、建築構造物および鋼道路橋への適用の際に各種検証³⁾⁻⁵⁾が行われ、その有効性について明らかにされている。

一方、従来の鋼道路橋の設計においては、鋼床版や道路橋に軌道または鉄道を併用する場合などを除き、疲労の影響は考慮しなくてよいとされてきた。近年、鋼道路橋の様々な部位に疲労亀裂の発生が報告⁶⁾されていることや、将来的な疲労損傷の拡大が懸念されることから、2002年「鋼道路橋の疲労設計指針⁷⁾」が刊行された。これにより、鋼道路橋においても疲労設計が義務付けられることになったが、これまでは高力ワンサイドボルト摩擦接合継手の疲労耐久性については検証されていない。

本論では、高力ワンサイドボルト摩擦接合継手の基礎的特性である、すべり係数、軸力リラクゼーション、疲労耐久性について検証試験を行い、従来の高力ボルト継手と同等の基本特性を有することを明らかにした。さらに、疲労試験前後の引張強度についても確認試験を行った。

また、高力ワンサイドボルトを用いた摩擦接合継手の角形鋼管柱への適用事例やRC柱の耐震補強事例、および鋼道路橋の耐震補強・疲労対策事例を報告する。

*工博 明星大学理工学部建築学科教授 (〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1)
** ㈱ロブテックスファスニングシステム (〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-5-11)
*** ㈱ロブテックスファスニングシステム (〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-5-11)
****工修 ㈱ロブテックスファスニングシステム (〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-5-11)
本論文の一部は土木学会第62回年次学術講演会に発表予定

2. 高力ワンサイドボルトの概要

2. 1 高力ワンサイドボルトの特徴

高力ワンサイドボルトの部材構成を図-1に示す。部材裏側でボルト頭を形成するバルブスリーブ、バルブスリーブを支持するグリップスリーブおよびシャーワッシャー、グリップレンジを確保するベアリングワッシャー、特殊台形ねじおよびピンテール溝の付いたコアピン、ナットの6部品から構成されている。

高力ワンサイドボルトは、橋梁補修や建築耐震補強・改築をはじめ、建築建方、プラント建設など、あらゆる鋼構造物に使用されている。現場環境や人的技能に左右されず、専用電動シャーレンチを使用することにより、片側からの部材締付けが完了する。

主な特徴は以下のとおりである。

- (1) 閉断面部の補強や部材接合を片側から施工可能
- (2) 現場溶接が不要となり安全性の確保と工期短縮が可能
- (3) 摩擦接合用高力ボルトとして F8T 相当の強度を確保



図-1 高力ワンサイドボルト部材構成

2. 2 締結メカニズム

高力ワンサイドボルトの締結概要を図-2に、締付け後の断面カット形状を写真-1に示す。締結手順は以下の通りである。

- (1) 高力ワンサイドボルトを下孔に挿入し、専用シャーレンチで締結を開始
- (2) 部材裏側でバルブスリーブが座屈変形し、バルジ(ボルト頭)を形成
- (3) シャーワッシャーが軸力によりせん断され、部材への軸力導入を開始
- (4) コアピンのピンテールが破断することにより、所定の軸力が導入され締結完了

バルブスリーブの座屈変形に要する軸力は、バルジ形成と同時にシャーワッシャーのせん断により一旦リリースされる。その後、トルシア型高力ボルトと同様に、ピンテールの破断により所定の軸力が部材へ導入される。高力ワンサイドボルトの軸力導入は、2段階の締結メカニズムとなっている。

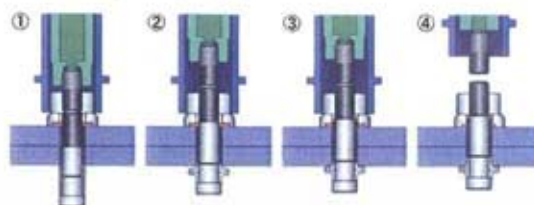


図-2 高力ワンサイドボルト締結概要図

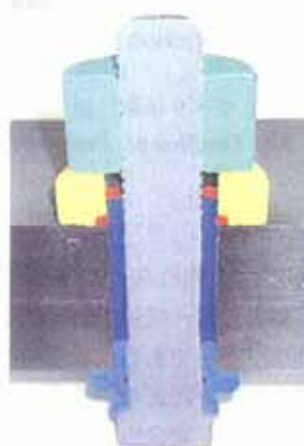


写真-1 高力ワンサイドボルト断面

3. すべり試験

3. 1 試験方法

試験体は角形鋼管柱の接合部を想定した図-3に示す二面摩擦接合とした。(t=22mm, SN490B)

摩擦面の処理方法は、ショットブラスト処理とグリットブラスト処理の2種類とし、表面粗さは50 μ mRz以上とした。また、高力ワンサイドボルト継手との比較のため、高力ボルト継手(M22・S10T)標準試験体についてもすべり試験を行った。

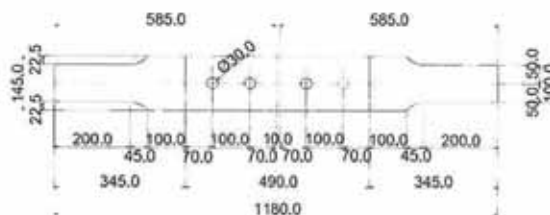


図-3 すべり試験体

すべり試験は、アムスラー型試験機を用いて引張载荷を行った。すべり荷重は、明瞭なすべり音を発したときの荷重を主すべり荷重とし、すべり試験体数は3体とした。

すべり係数を算出する標準ボルト軸力は、すべり試験に用いるボルトと同じロットの軸力測定値5本の平均値を用いた。(高力ワンサイドボルト=291kN, 高力ボルト=230kN)

3. 2 試験結果

表-1~3にすべり試験の結果を示す。高力ワンサイドボルト継手のすべり係数(3体の平均値)は、グリットブラスト0.62, ショットブラスト0.57, 高力ボルト継手のすべり係数は0.60(3体の平均値)となり、何れもすべり係数値0.45以上を得た。

適切な摩擦面の処理を施すことにより従来の高力ボルト摩擦接合継手と同等の性能を確保可能である。

表-1 高力ワンサイドボルト
(グリットブラスト)

	試験体 No-1	試験体 No-2	試験体 No-3
P (kN)	710	759	707
μ	0.610	0.652	0.607

表-2 高力ワンサイドボルト
(ショットブラスト)

	試験体 No-1	試験体 No-2	試験体 No-3
P (kN)	682	622	698
μ	0.586	0.534	0.600

表-3 高力ボルト(ショットブラスト)

	試験体 No-1	試験体 No-2	試験体 No-3
P (kN)	575	550	531
μ	0.625	0.598	0.577

4. 軸力リラクゼーション試験

4. 1 試験方法

リラクゼーション試験における高力ワンサイドボルトの軸力は、コアピンに埋め込んだ軸力ゲージの軸方向ひずみを計測し、応力-ひずみ関係およびボルト断面積より換算した。軸力ゲージの埋め込み位置を図-4に、設置状況を写真-3に示す。

図-7に示す疲労試験体に対して、継手内側2本を締結した後、外側2本を締結した。高力ワンサイドボルトを試験体に締付けた後、14日経過までの軸力を計測した。

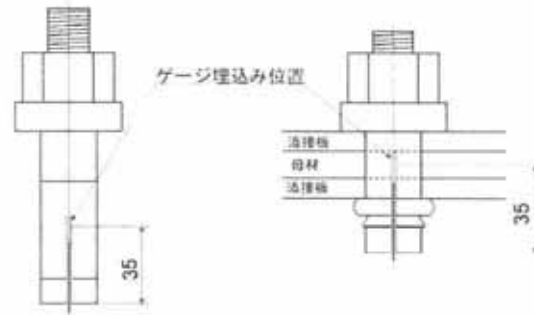


図-4 軸力ゲージ埋め込み位置

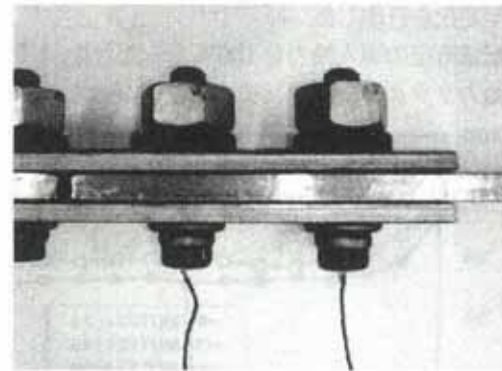


写真-3 軸力ゲージ設置状況

4. 2 試験結果(短期計測)

高力ワンサイドボルトの軸力と経過時間の関係を図-5に示す。ボルト軸力は、締付け後、約1日経過までは急激に低下し、その後緩やかに減少する。約1週間経過後には、ほぼ一定の軸力で安定し、14日経過後の軸力減少量は、締め付け時の軸力を100%とした場合、約4.5%である。

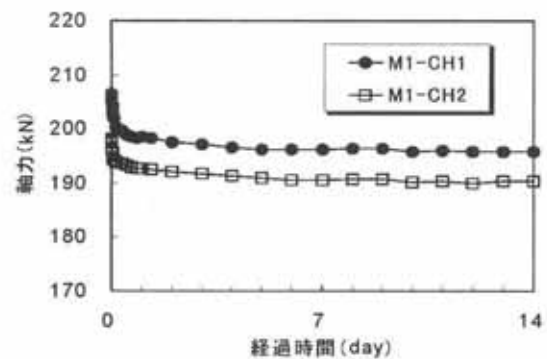


図-5 軸力リラクゼーション

導入軸力と軸力リラクセーションの間に約 5kN の差が生じている。これは導入軸力のばらつきその他、試験体のボルト締結方法（1次締めを省略）に起因しているが、試験結果は高力ワンサイドボルトの導入軸力規定値（184kN～215kN）内に収まっている。

4.3 試験結果（長期計測）

高力ワンサイドボルト長さによる軸力リラクセーションの影響と長期的なリラクセーション率を確認するため、4種類の高力ワンサイドボルトに対して1年間の長期計測を行った。

図-6に軸力リラクセーションの長期計測結果を示す。室温 20℃の恒温恒湿試験機内でボルト頭部にひずみゲージを貼り、ボルト軸方向ひずみの経年変化を計測した。

締結直後の導入軸力を 100%としたとき、1年後の軸力リラクセーション率は 2.1～4.9%であった。

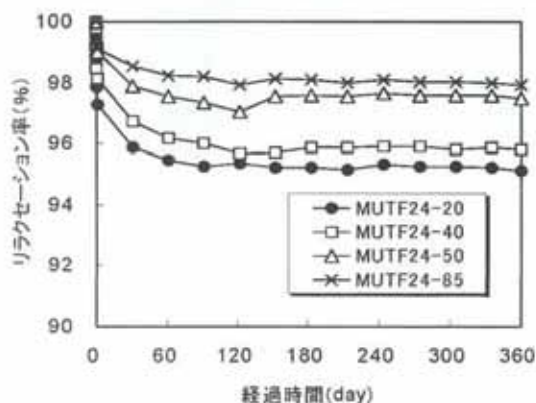


図-6 軸力リラクセーション

これらの結果から、高力ワンサイドボルトの軸力リラクセーションは、従来の高力ボルトにおけるリラクセーション試験結果と同様な傾向⁸⁾を示しており、設計軸力や導入軸力について特別な配慮は必要ないことが分かる。

5. 疲労耐久性試験

5.1 試験方法

試験体の形状は図-7に示すように、二面摩擦接合とし、試験体は3セット(M1,M2,M3)製作した。ボルト孔径はφ26.0mmとし、母材および添板の摩擦面はショットブラストを施した。母材端部から 215mm の位置にひずみゲージを設置し、疲労試験にて載荷する応力値を静的載荷試験によって計測した。

疲労設計指針⁷⁾では、高力ボルト摩擦接合継手の強度等級は B 等級、基本応力範囲は Δ 155MPa であるが、本試験は高力ワンサイドボルト摩擦接合継手の疲労耐久性を、従来の高力ボルト摩擦接合継手と比較ため、強度等級を 1 ランク上の A 等級に設定し、応力範囲 Δ 190MPa とした。

疲労試験は、写真-2に示す明星大学所有の電気油圧サーボ式疲労試験機を用い、片振引張疲労試験を行った。繰り返し速度は 6Hz とし、繰り返し数は 1,000 万回を上限として、母材が破断するまで試験を継続した。各鋼板の機械的性質を表-4に、高力ワンサイドボルトの材質およびコアピンの機械的性質を表-5および表-6に示す。



図-7 試験体形状

表-4 鋼板の機械的性質

	材質	板厚 (mm)	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
添板	SS400	9	311	442	29
母材	SM400A	12	333	458	30

表-5 高力ワンサイドボルトの材質

Core Pin	Nut	Washer
SCM440	SCM440	SCM430
Shear Washer	Grip Sleeve	Bulb Sleeve
SCM430	SCM430	AISI1018

表-6 コアピンの機械的性質

	耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	絞り (%)	伸び (%)
規格値	Min 1006	1118-1216	Min 40	Min 14
成績	1111	1195	54	16

5. 2 疲労試験結果

図-8に高力ワンサイドボルト摩擦接合継手の疲労試験結果を示す。図中には疲労設計指針⁷⁾より、従来の高力ボルト摩擦接合継手のS-N曲線(強度等級B)を示している。

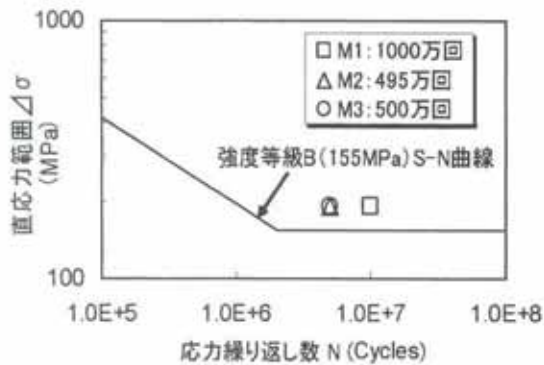


図-8 疲労試験結果

疲労設計指針⁷⁾式(3.1.1)より、高力ボルト摩擦接合継手の直応力範囲の比は、A等級($\Delta 190\text{MPa}$)とB等級($\Delta 155\text{MPa}$)では約1.8倍となる。応力範囲 $\Delta 190\text{MPa}$ に対して、繰り返し数は応力範囲の打切り限界200万回の約2.5倍以上という結果を得た。

これらの結果から、高力ワンサイドボルト摩擦接合継手は、従来の高力ボルト接合⁷⁾と同等以上の疲労耐久性を有していることが明らかとなった。

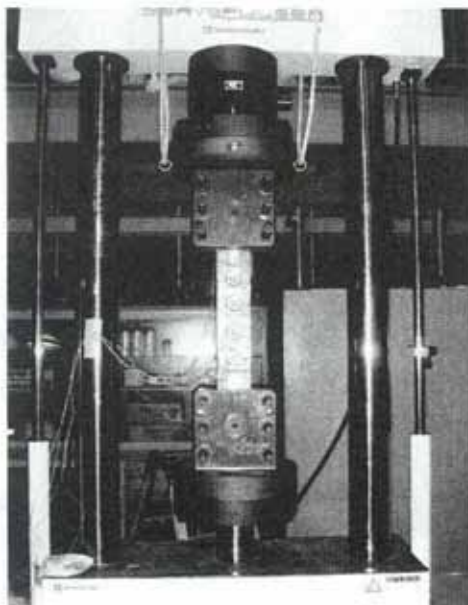


写真-2 疲労試験状況

5. 3 試験体破断状況

試験体M1は繰り返し数1,000万回まで母材破断せず、試験を打ち切った。試験体M2は繰り返し数約495万回、M3は約500万回でボルト孔周辺から板幅方向へ母材破断した。M2およびM3の破断直後の状況を写真-3および写真-4に示す。

M2、M3とも高力ワンサイドボルトの頭側(バルジ側)からナット側へ斜め方向に破断している。高力ワンサイドボルト締結後のバルジ外径は約38mm、ワッシャー外径は47.5mmであり、頭側とナット側の寸法差が従来の高力ボルトに比べて大きい。高力ボルトM24(S10T)のボルト頭外径は43mm、ワッシャー外径は48mmである。バルジ側とナット側の母材へ伝わる軸力分布の差が、斜め方向への破断という結果に表れていると考えられる。

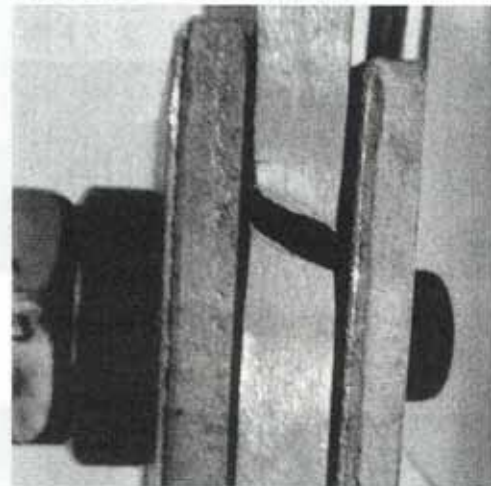


写真-3 母材破断状況 (M2)

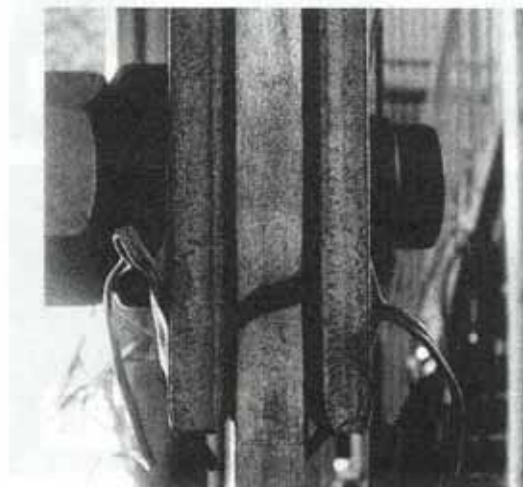


写真-4 母材破断状況 (M3)

写真-5, 6に M2, M3 試験体解体後のナット側およびバルジ側の母材破断状況を示す。

母材破断は孔周辺部から進展しており、繰返し荷重による表面損傷(フレッチング)が認められる。孔周辺の表面損傷部から疲労き裂が進展し母材破壊に至ったと考察できる。

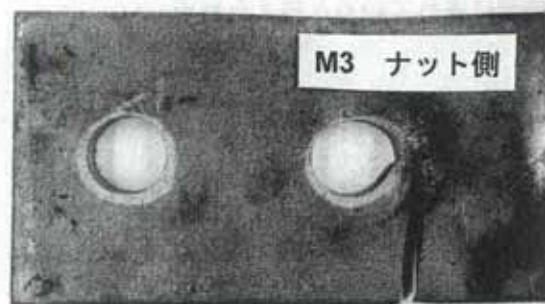
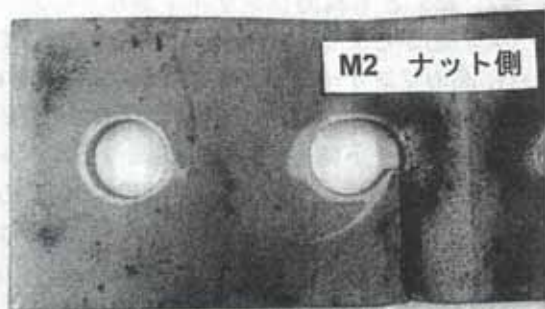


写真-5 母材破断状況 (ナット側)

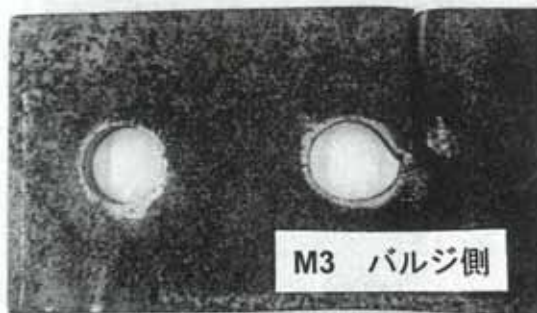
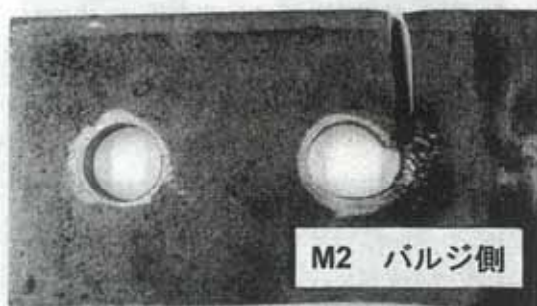


写真-6 母材破断状況 (バルジ側)

6. 引張試験

高力ワンサイドボルトの疲労試験後の強度を確認するために、試験体 M2 および M3 を解体し、高力ワンサイドボルトの引張試験を行った。

工場出荷時と疲労試験後の高力ワンサイドボルトの引張試験結果を表-7に、写真-7, 8にボルト破断状況を示す。

高力ワンサイドボルトの引張試験後の破断位置は、全てボルトのねじ部で破断しており、座屈変形したバルジ部(ボルト頭部)は十分な強度を有していることが分かる。

疲労試験前後の引張強度に差異はなく、約 500 万回の繰返し荷重を受けた後でも、高力ワンサイドボルトの強度低下は全くないことを確認した。

表-7 疲労試験前後の引張試験

	最大 (kN)	最小 (kN)	平均 (kN)
疲労試験前 (n=10)	270.9	269.2	269.9
疲労試験後 (n=8)	270.8	269.2	270.0

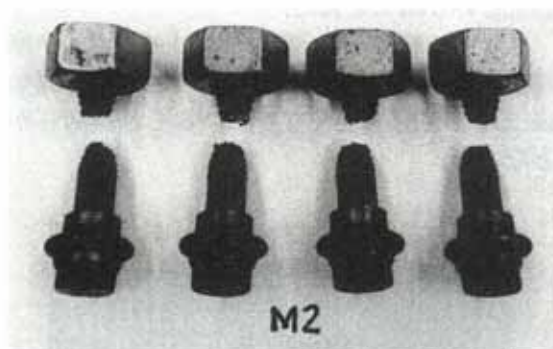


写真-7 引張試験後の破断状況 (M2)

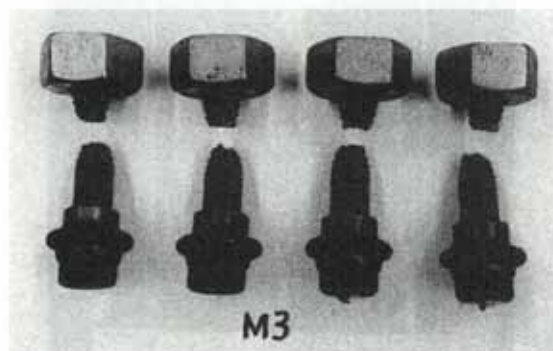


写真-8 引張試験後の破断状況 (M3)

7. 高力ワンサイドボルトの適用事例

従来、閉断面となる角形鋼管の柱継手は現場溶接が行われているが、片側施工が可能な高力ワンサイドボルトを用いることで、摩擦接合継手が可能になる。

高力ワンサイドボルト摩擦接合継手の角形鋼管柱への適用事例を写真-9に示す。

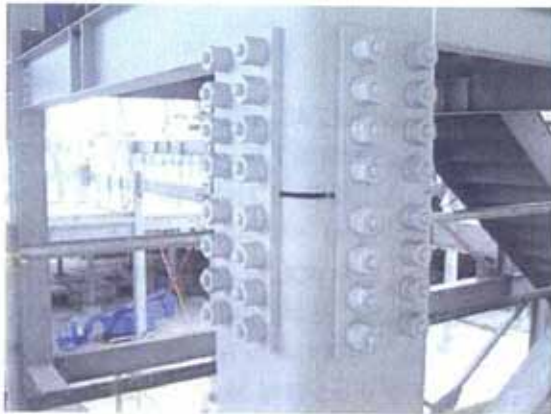


写真-9 角形鋼管柱継手

また、RC柱への鋼板巻き立てや耐震ブレース設置などの耐震補強工事においても、現場溶接レスの接合法として応用が可能である。

RC柱への鋼板巻き立て接合部に高力ワンサイドボルトを用いた事例を写真-10に示す。



写真-10 RC柱鋼板巻き補強

鋼道路橋の補修・補強においては、施工上の制約から高力ワンサイドボルトを用いるケースが多いが、近年、アーチ橋やトラス橋など比較的大規模な橋梁の耐震補強に採用される事例が増えている。

その一例としてアーチリブの角補強事例¹⁾⁴⁾を写真-11に示す。



写真-11 鋼アーチ橋補強

また、最近の研究では、鋼床版のUリブと横リブ交差部の疲労き裂補強に採用される事例⁹⁾もある。

鋼床版Uリブ下面の補強部材を高力ワンサイドボルトで接合した事例を写真-12に示す。

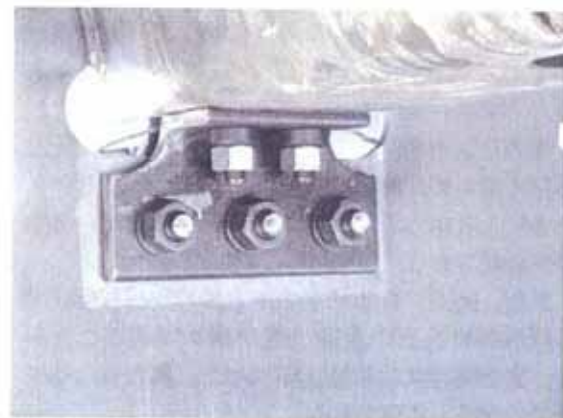


写真-12 鋼床版Uリブ補強

8. 結論および今後の課題

高力ワンサイドボルト摩擦接合継手の基礎的特性である、すべり係数、軸力リラクゼーション、疲労耐久性についての検証試験および、疲労試験後の引張強度について確認試験を行った。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 摩擦面の処理としてショットブラスト、グリットブラストについてすべり試験を行い、何れもすべり係数値 0.45 以上を得た。適切な摩擦面の処理を施すことにより従来の高力ボルト摩擦接合継手と同等の性能を確保可能である。
- (2) 軸力リラクゼーションは約 5%程度であり、従来の高力ボルトにおけるリラクゼーション特性と同様な傾向を示した。設計軸力や導入軸力について特別な配慮は必要ない。
- (3) 高力ボルト継手の約 1.8 倍の応力範囲に対して、繰返し数は約 500 万回となり、応力範囲の打切り限界 200 万回の約 2.5 倍という結果を得た。従来の高力ボルト接合と同等以上の疲労耐久性を有している。
- (4) 疲労試験前後の引張試験を行い、約 500 万回の繰返し荷重を受けた後でも、高力ワンサイドボルトの強度低下は全くないことを確認した。

本論では高力ワンサイドボルト摩擦接合継手について、疲労耐久性の検証を主たる目的としており、繰返し荷重下の軸力変動および疲労試験後のすべり試験については別途試験を継続中である。

高力ワンサイドボルトの施工においては、既設部材に対して片側から補強部材を接合するケースが多いことから、一面摩擦接合試験体を用いた検証が必要である。

また、高力ワンサイドボルトのバルジを形成する既設部材裏面の表面状態が様々であることから、表面処理状態や塗装種別など、異なった条件下での検証も必要である。

尚、これらの課題について検証試験を計画中である。

・謝辞

今回の試験を実施するにあたりご協力頂いた、明星大学理工学部建築学科鋼構造研究室の皆様へ感謝致します。また、高力ワンサイドボルトの提供および引張試験に協力して頂いた、株式会社フセラシの関係各位に御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 吉津宏夫, 藤井恒二郎: 鋼逆ランガー橋の補強設計, 土木技術 59 巻 7 号, pp.55-62, 2004.7
- 2) 橋本保則, 亀山誠司, 広村修: ワンサイドボルトによる鋼床版 U リブ突合せ溶接部の添接補強, 技報たきがみ VOL.23, pp.87-96, 2005.11
- 3) 大野崇, 名取暢, 松本好生: トルクコントロール型片面施工用高力ボルトを用いた摩擦接合工法, 横河ブリッジ技報 No.26, pp.236-240, 1997.1
- 4) 松村政秀, 北田俊行, 吉津宏夫, 木地谷充良, 村本和之: ワンサイドボルトによる矩形鋼製断面柱の角補強効果に関する実験的研究, 第 9 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.207-212, 2006.2
- 5) 田中剛, 田淵基嗣, 古海賢二, 村山 稔, 松原洋一: ワンサイドボルト引張接合による仕口増厚角形鋼管柱・梁接合部に関する研究, 鋼構造年次論文報告集第 3 巻, pp.355-362, 1995.11
- 6) 高田 佳彦, 平野 敏彦, 坂野 昌弘: 阪神高速道路における鋼床版の疲労損傷状況報告, 土木学会第 61 回年次学術講演会, pp.1067-1068, 2006.9
- 7) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 2002.3
- 8) 土木学会: 鋼構造シリーズ 15 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 2006.12
- 9) 平野 敏彦, 高田 佳彦, 松井 繁之, 坂野 昌弘: 鋼床版の U リブと横リブ交差部の疲労き裂に着目した移動輪荷重試験報告, 土木学会第 61 回年次学術講演会, pp.1125-1126, 2006.9