

腐食桁におけるリベットの継手強度と高力ボルト置換に関する基礎的研究

Fundamentals study on shearing strength of corroded rivets and replacement by high-strength bolts

木村元哉*, 中山太士**, 松井繁之***
 Motoya Kimura*, Taishi Nakayama ** and Shigeyuki Matsui ***

*工修 西日本旅客鉄道㈱ (〒601-8411 京都市南区西九条北ノ内町 5-5)

** 西日本旅客鉄道㈱ (〒553-0006 大阪市福島区吉野町 3-2-12)

***工博 大阪工業大学 教授, 八幡工学実験場 (〒614-8289 京都府八幡市美濃山一ノ谷 4)

In Japan, most of the riveted girders in railway bridges are ageing more than 70 years. Therefore those riveted girders are suffering from much functional loss by severe deterioration due to long term environmental attacks and effective repair/strengthening methods are required.

However, it is very difficult to assess quantitatively the strength loss of a rivet joint caused by corrosion of steel plates and rivets. In this study, static loading tests on the strength of rivets were conducted on corroded rivets parts and replaced parts with high-strength bolt, which were obtained from a steel railway bridge that was removed from service and highway bridges.

Key Words: railway steel bridge, rivet joint, joint strength

キーワード: 鋼鉄道橋, リベット接合, 接合強度

1. はじめに

現在わが国の鋼鉄道橋には経年 100 年を越えるものも見られるようになり, 経年 70 年程度のリベット桁が多くを占めている. これらの桁は経年劣化による機能低下が懸念されるため, 効率的な補修・補強の手法を確立することが必要である. 既往の研究^{1), 2), 3)}によりリベット桁に著しい腐食が発生した場合, 腐食凹凸からの疲労亀裂発生の可能性が示唆され, 腐食部材の添接板補強を目的として, 腐食凹凸を有する接合面に接着剤を併用した高力ボルト接合の研究⁴⁾等が行われているが, リベット自体の腐食進行による継手の強度低下について定量的に評価できないことが問題点となっている.

また, リベット接合は動力工具を用いて, 赤熱した新しいリベットをリベット孔に完全に充填させることにより, 支圧接合として機能するため, 供用中, 何らかの原因によりリベットに弛みが生じると, 接合強度が低下する. 鋼鉄道橋においては, 主桁添接部等で一群のリベットの 30%以上に弛みが生じたものは健全度 AA, すなわち緊急に措置が必要としている⁵⁾.

リベットに弛みが生じた際, 近年ではリベットを打つ技能者がおらず, 打ち換えが困難なため, 高力ボルトで

置換する工法が日常的に用いられている. 一例を写真-1 に示す. 建設後数十年を経たリベット接合部材を高力ボルトで置換した場合, 接合強度はどの程度確保できているかを確認した事例は文献 6), 7) 等があり, 接合面の状態毎にすべり係数を求めている. ただし, 撤去された桁から試験体採取するため, 供試体数は少ない.

本研究では腐食が著しく進行し, 撤去されたリベット桁の部分を取り出して載荷実験を行い, 腐食したリベット接合部の継手強度の低下を調査し, さらにリベットを除去し, 高力ボルトで置換した場合の接合強度についても調査を行った.

2. 試験方法の検討

2.1 予備試験載荷

今日ではリベット構造物が新設されることがないため, リベット継手の入手は撤去された橋梁などからによるしかなく, リベット自体が希少であるといえる. 今回は撤去橋梁を入手する機会があり, これからリベット継手採取するにあたり, 限られた桁から極力数多くのリベット継手を供試体に仕上げるための検討を行うこととした.



写真-1 高力ボルト置換工法の例

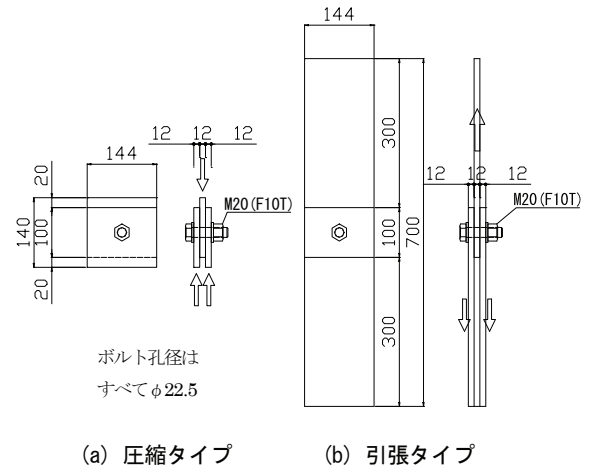
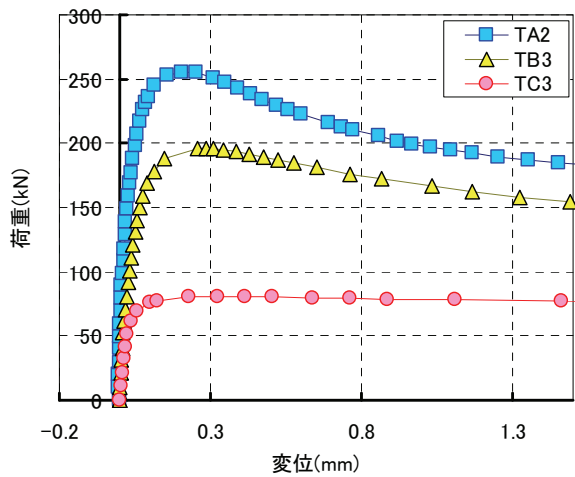
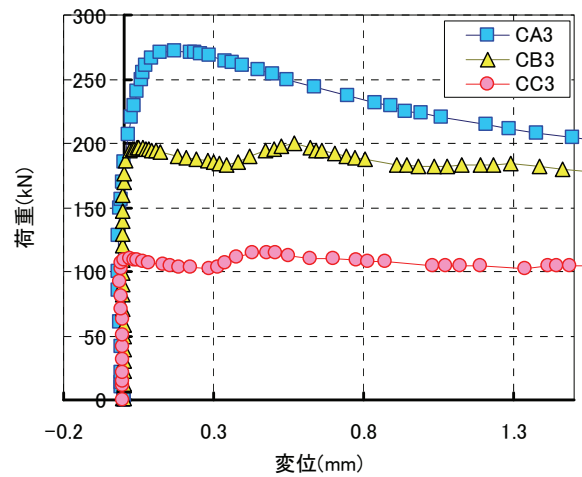


図-1 予備試験供試体形状



(a) 引張タイプ



(b) 圧縮タイプ

図-2 予備載荷試験結果(荷重－変位関係)

通常、リベット、ボルト等の継手強度試験は引張試験により行われる。しかし、引張試験の場合、つかみ部が必要であり、実験対象リベットに隣接するリベット数箇所を除去してつかみ部に仕上げなければならない。今回は入手困難な腐食リベットを最大限使用して実験を行うため、圧縮試験により載荷することを考えた。そこで、本試験に先立ち、2面せん断型の継手供試体を引張・圧縮のそれぞれのタイプについて作製し、引張試験および圧縮試験を実施した。

(1) 供試体

供試体形状は各々図-1 に示すとおりで、高力ボルト M20 (F10T) を使用しており、母材は SS400 である。引張りタイプと圧縮タイプにおいて接合面の寸法を一致させている。接合面はブラスト処理後、赤錆状態にて接合を行った。圧縮タイプは圧縮力を作用させることにより継手の2面せん断載荷としている。

供試体の分類を表-1 に示す。本項(3)に後述するとおり、圧縮タイプと引張タイプとでは作用する応力分布が

表-1 予備試験供試体の分類と数量

	導入ボルト軸力(N:設計荷重)			
	N	2/3・N	1/3・N	
引張型	3体(TA)	3体(TB)	3体(TC)	9体
圧縮型	3体(CA)	3体(CB)	3体(CC)	9体
合計				18体

異なることから、ポアソン効果の影響により板厚方向のひずみ分布も異なることが推定された。そこで、ボルト軸力の違いが接合強度にどのように影響するかを把握する目的から、ボルト軸力を変化させて載荷試験を行うことにした。文献 8) では、M20 の標準締め付け軸力を $N=182 \text{ kN}$ と規定しており、ボルト軸力を N 、 $2/3N$ 、 $1/3N$ の3種類に区分しボルト緊張を行った。

(2) 載荷試験結果

2000kN 万能試験機を使用し載荷試験を行った。荷重－変位関係の一例を図-2 に示す。このとき、載荷により

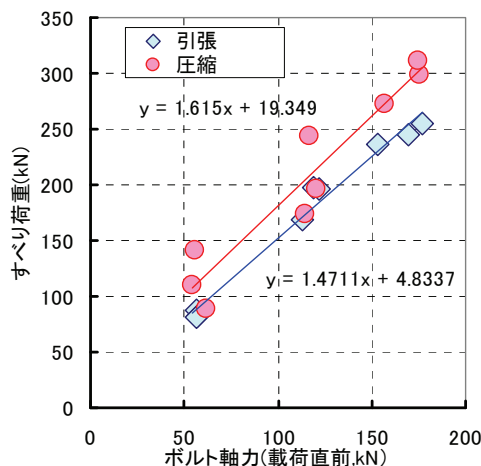


図-3 ボルト軸力とすべり荷重

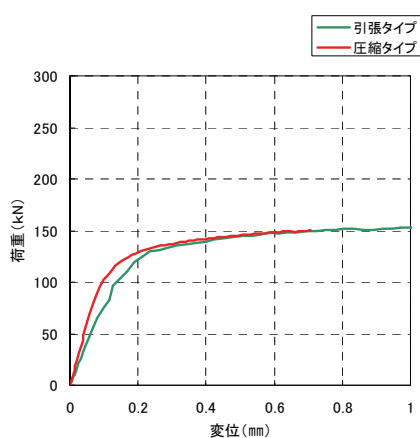


図-5 リベット接合の荷重-変位関係 (FEM 解析)

中央の板と両側の板との間のずれが急激に増加したときの荷重をすべり荷重として判定した。

これによると、軸力が大きい A シリーズでは引張型、圧縮型の両方とも、一旦荷重のピークを迎えてから荷重が低下する傾向がある。これは、今回の試験を 1 本ボルトで実施したことによるものと考えている。石原らの実験⁹⁾では目的こそ違うものの、1 本ボルトによる載荷試験を行い、ショットブラストによる接合面処理を行った試験体で、今回と同様にすべり以降荷重が低下する挙動を示している。通常ボルト接合の継手強度試験は、複数のボルトを有する継手で実施する。複数のボルト配置の場合、荷重増加に伴い、継手の端部から徐々にずれが生じ、ある限度を超えると、材片間の全摩擦抵抗に打ち勝ち、継手材片は全体的に相互にずれるといわれている¹⁰⁾。つまり複数ボルトの継手では各ボルト近傍で微小なずれが順次生じていった後、継手全体のすべりが発生するのに対し、1 本ボルトではこのボルトの静止摩擦状態からずれが生じる挙動自体が、継手全体の挙動として捉えられる。静止摩擦状態から動摩擦状態に移行するため、荷重低下が生じるのではないかと考えた。ただし、検

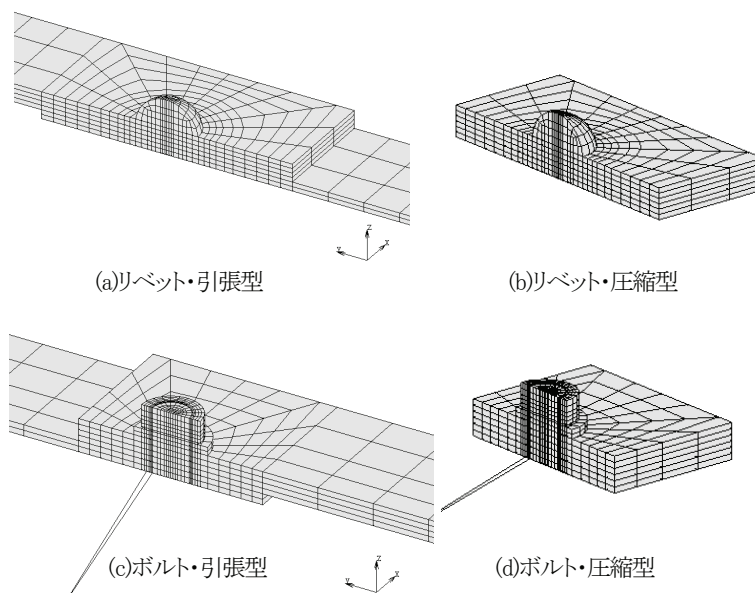


図-4 解析モデル

証を行っていないため、この考えは推測にとどまる。

ボルト軸力とすべり荷重の関係を図-3 に示す。この結果、圧縮タイプの方がすべり強度は若干高い傾向を示すが、ボルト軸力との関係はほぼ同じ勾配で線形関係が得られた。荷重-変位関係等もよく似たものであるが、圧縮の場合、すべり荷重まではほとんどずれがなく、すべりで急に変位が発生するバイリニアの性状を示した。なお、図-3 に示す関係から最小自乗法により引張型、圧縮型それぞれのすべり荷重とボルト軸力の関係を求めると、次式ようになる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{引張型} \quad P_y = 1.471N + 4.834 \\ \text{圧縮型} \quad P_y' = 1.615N + 19.349 \end{array} \right\} \quad (1)$$

ここに、 P_y, P_y' : すべり荷重 (kN)

N : ボルト軸力 (kN)

(3) 圧縮タイプ試験の妥当性検証

引張タイプと圧縮タイプの試験結果を解析的に検証するため、有限変位解析を実施した。解析には汎用有限要素解析ソフト MARC2004 を使用した。モデルはリベット接合の A シリーズおよび高力ボルト接合の B シリーズのそれぞれについて引張タイプと圧縮タイプを作成した。図-4(a)~(d)に要素分割図を示す。

モデルは 20 節点ソリッド要素を用い、対称性より 1/4 モデルとして作成した。リベット、ボルト、ワッシャおよび板材の部材の間では、互いの要素が接触し圧縮を受ける場合に力を伝達する接触解析を行った。母材と添

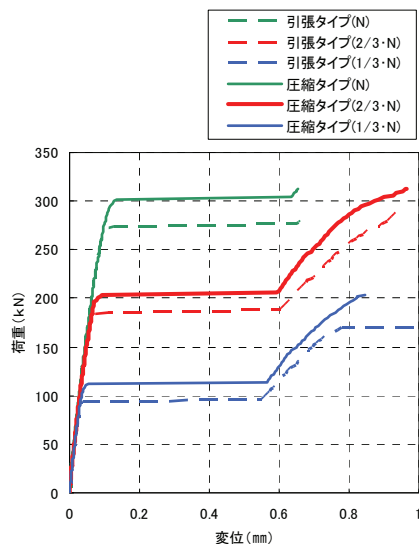


図-6 高力ボルト接合の荷重－変位関係
(FEM 解析)

表-2 すべり荷重比の比較

			導入ボルト軸力(N:設計軸力)		
			N (182kN)	2/3・N (121kN)	1/3・N (61kN)
式(1)から 求まる実験値	すべり荷重(kN)	引張型	272.6	183.3	94.1
		圧縮型	313.3	215.3	117.3
	すべり荷重比 (圧縮型／引張型)		1.15	1.17	1.25
解析値	すべり荷重(kN)	引張型	274	186	94
		圧縮型	302	204	112
	すべり荷重比 (圧縮型／引張型)		1.10	1.10	1.19

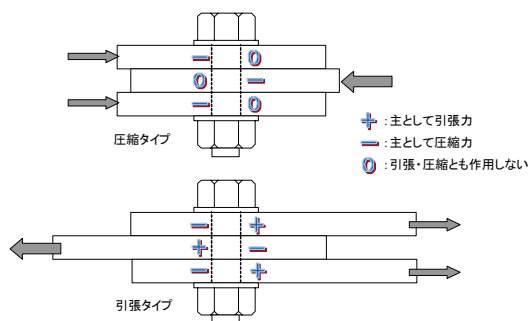


図-7 応力状態の違いの概念図

接板の摩擦接合面では摩擦も考慮した。ボルトの導入軸力は予備載荷試験と同じく N 、 $2/3N$ 、 $1/3N$ の3通りとした。荷重は図-1の載荷試験と同様に荷重制御で与えた。

A シリーズの荷重－変位関係を図-5に示す。これによると、圧縮タイプと引張タイプではすべり荷重にほとんど差異は見られなかった。

一方、B シリーズでは図-6に示すとおり、荷重－変位関係のグラフからは明らかに圧縮タイプの方がすべり荷重は高い結果となった。引張タイプでは供試体に引張力が作用する点からボルト位置までの間では母材や添接板に引張応力が作用する。(図-7)しかし、圧縮タイ

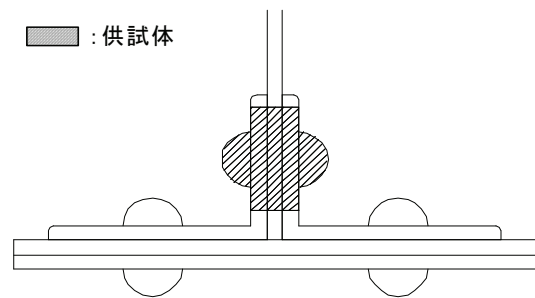


図-8 供試体採取位置

表-3 供試体数量

橋梁	リベット 充填	腐食 程度	供試体数(体)	
			リベット	HTB置換
a橋	不十分	aa	9	2
		a	26	4
b橋	充分	b	8	3
計			43	9

プではこれに相当する引張応力が作用しないため、ここにポアソン効果により板厚方向のひずみ、さらにはボルト軸力に差異が生じ、その結果、両者で摩擦接合としての接合強度に違いが生じたと推定できる。

実験結果から求めた近似式(1)と解析値のそれぞれについて、引張タイプと圧縮タイプのすべり荷重比を比較した結果を表-2に示す。これによると、実験と解析とはよい一致を示しており、圧縮タイプは引張タイプに比べて、すべり荷重が1.1～1.25倍程度大きくなることが分かる。このうち、通常の高力ボルト接合で導入される軸力 $N=182\text{kN}$ においては解析値で1.1倍、実験値で1.15倍という結果となるため、1.15倍を補正倍率として用いることとする。

以上をまとめると、リベット接合においては圧縮タイプと引張タイプとで接合強度に差異はなく、高力ボルト接合においては、若干圧縮タイプの方が高めの接合強度を示すことがわかった。そこで、今後圧縮タイプの試験から引張タイプでの接合強度を推定するには1.15で除した値に補正する必要があるといえる。ただし、この補正倍率は供試体寸法やボルト種別が異なる場合は合致しないこともあり得る。

3. 供試体および実験概要

3.1 供試体採取

長期間供用後、撤去された鉄桁を試験に使用した。使用した桁は1926年製の道路橋(以下、a橋と称す)および1931年製の鉄道橋(以下、b橋と称す)の2橋のものであり、a橋は海岸近くに位置し、腐食が著しくリベット頭部が腐食により完全に消失しているものもあった。これに対しb橋は経年に比して腐食はほとんどみられず、適切な塗替え塗装が施工されていたものと思われる。



図-9 荷重装置

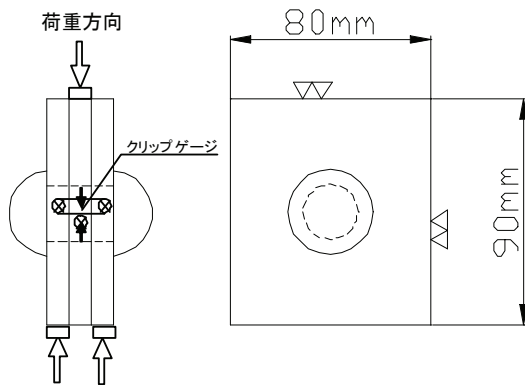


図-10 供試体

これらの鉄桁から図-8 に示すようにウェブとフランジ山形鋼との綴りリベット部を切り出して供試体に仕上げた。供試体数量は表-3 に示すとおりで、表中の腐食程度は後述する。

3.2 接合面観察

載荷することにより継手が変形すると、元々の母材とリベットの隙間や接合面の腐食状況などの載荷前の状況が分からなくなる。そこで、載荷試験を行う供試体と隣り合う供試体は載荷をせずにリベット軸を通る面で切断し、切断面の観察を行った。

3.3 載荷方法

2.において、圧縮タイプによる載荷試験が妥当と判断できたため、圧縮タイプより載荷試験を実施する。

リベット接合強度試験および高力ボルト置換強度試験に使用する載荷フレームを図-9 に示す。図中の機械式手動ジャッキとは通常、橋梁補修工事において桁扛上に使用するもので、簡易な電動工具あるいは手回しハンドルで軸を回転させ、減速ギアとくさびの動きにより載荷



図-11 相対ずれ計測状況

板を上昇させる仕組みのものである。性能は載荷能力1000kN、ストローク約10mmである。図-10 に供試体への載荷方法の詳細を示す。

図-10 中、クリップゲージと記した位置で、板間の相対ずれ量を計測した。(図-11)

3.4 高力ボルト置換試験

3.1 で示したものと同一橋梁から採取した供試体を用い、リベットを除去して高力ボルトで置換した後、載荷試験を行い、高力ボルト置換継手の接合強度も測定することとした。供試体形状は 3.3 継手強度試験と同じで、リベットのみを高力ボルトに置換した。

リベット撤去にあたり、まず片側のリベット頭部をガス切断で慎重に除去した。その後、板材がリベット撤去により分解しないよう、板材の四隅を固定した状態でプレスによりリベット軸を押し抜いた。

高力ボルトはM20(F10T)を使用し、導入軸力は文献(8)における標準締め付け軸力である $N=182\text{kN}$ とした。

導入軸力の管理はボルト頭部に貼付しておいた2軸ひずみゲージが所定の値になるまでボルトを締めるけることにより行った。この所定の値とは、予め、同種の高力ボルトを用いてボルト頭部に2軸のひずみゲージを、ボルト軸部に軸方向に単軸のひずみゲージをそれぞれ貼付して、ボルトに軸力を導入し、ボルト軸ひずみが標準締め付け軸力に達したときのボルト頭部ひずみの値である。

4. 実験結果と考察

4.1 接合面観察

(1) a 橋

a 橋から採取した供試体では腐食が著しく、接合面にも厚みをもった錆がみられる。a 橋は海岸近くの河川に架かる橋梁であり、潮位によっては下フランジが海水に浸漬されることもあった。このため、下フランジの腐食は他の部位に比べて著しく、一部の下フランジではリベット頭部が腐食によりほとんど消失している。一例を図

ー12に示す。

また、新設時のリベット施工の品質が悪く、リベットの充填は十分でない。詳細に観察するとa橋ではコーン状に広がるリベット孔の形状から打抜きにより孔があけられていることが判断できる。この形状が図-12においてもリベットと母材や添接板との隙間として確認できる。図-13はa桁供試体のリベットをはずして各板に分解した時の、リベット孔付近の拡大写真である。打抜きにより孔あけをしたため、せん断での切り口特有の「だれ」「かえり」と呼ばれる現象¹⁾が生じているのが分かる。

(2) b橋

一方b橋から採取した供試体ではほとんど腐食はなく、図-14に示すとおりリベットは完全に充填されている。切断面観察からは接合面の腐食はみられない。リベット接合強度試験でのずれ変形により露出した接合面を見ても、表面に腐食凹凸は見られなかった。

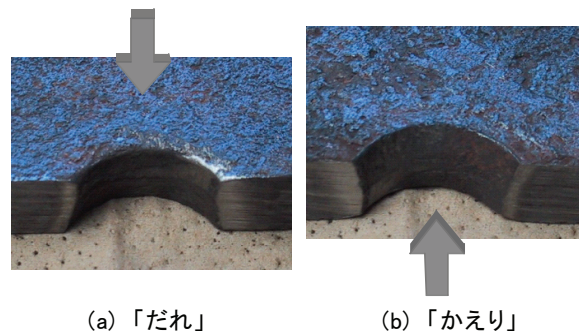
(3) 建設当時の製作規定書

当時の鋼橋製作にかかわる規定としては道路橋を対象

としたものはまだなく、大正14年の鋼鉄道橋製作示方書があるのみ¹²⁾である。この示方書のうちリベットの孔あけに関する項目は表-3のとおりであり、今回のような板厚10mmではフルサイズパンチであっても問題はない。ただし、孔縁の処理は必要となっている。

(4) 腐食状況による分類

接合面観察結果より、今回採取したリベットの腐食状況は3段階に大別できる。そこで、後述するリベット接合強度試験において、リベットの腐食程度を「aa」「a」



矢印は打抜き方向を示す。

図-13 リベット孔形状

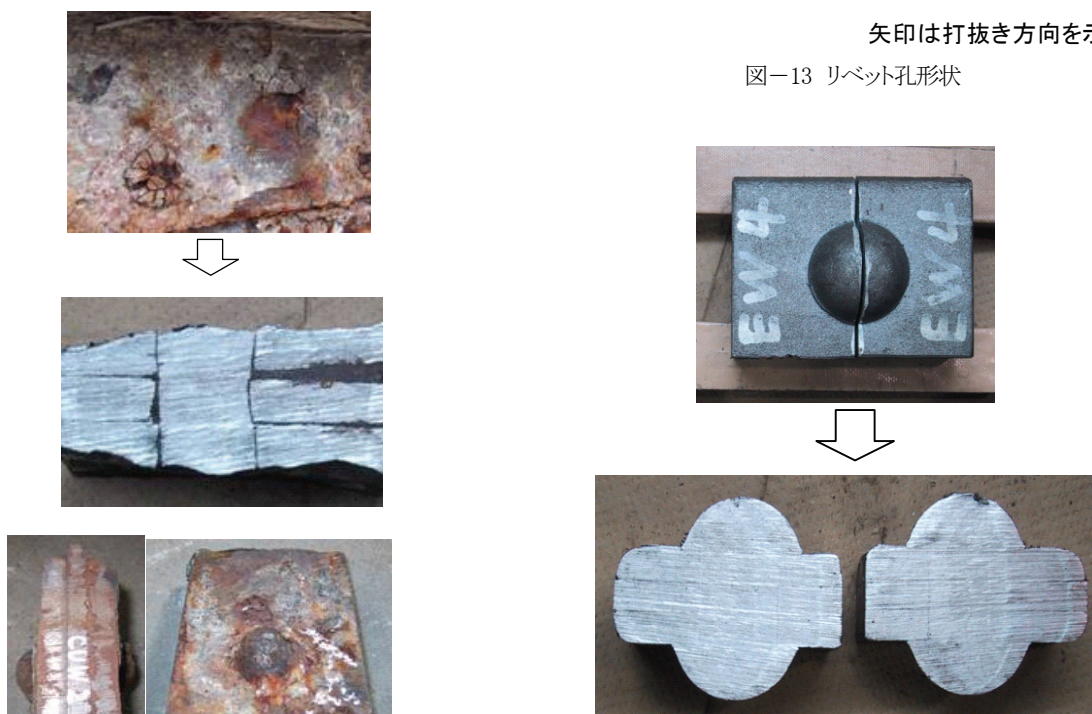


図-14 供試体状況(b橋)

表-3 建設当時の製作示方書

項目	内容
孔あけ法	重要部分 フルサイズパンチまたはドリル使用
縦桁床桁の接続部	同上
t ≥ 20	予備孔パンチ後リーミング、またはフルサイズドリル
孔径	≤ d + 1.6
整孔	組立後のリーミング可、ドリフトピンによる拡孔は不可、孔縁のマクレは削除のこと、外板の孔縁は1.5mm角落しのこと

大正14年 鋼鉄道橋製作示方書



図-12 供試体状況(a橋)

「b」に区分して考察に用いることとする。区分は以下のとおりである。

「aa」：a 橋（リベット充填＝不十分）のうち頭部欠損しているもの

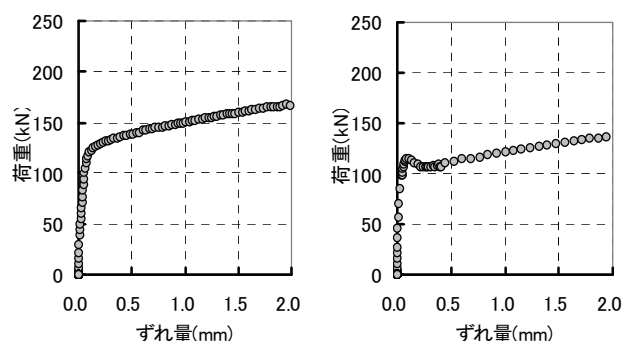
「a」：a 橋（リベット充填＝不十分）のうち、ほとんど頭部欠損していないもの

「b」：b 橋（リベット充填＝十分、腐食なし）

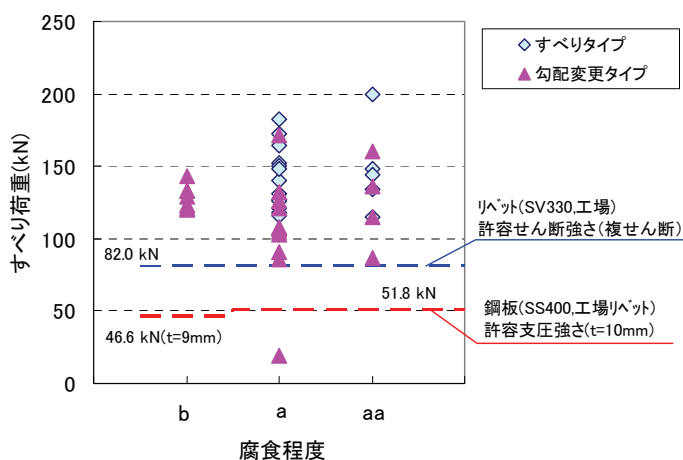
4.2 腐食程度とリベット継手強度

図－15 は載荷荷重と板間のずれ量の関係を表したものの一例である。図中に「すべりタイプ」「勾配変更タイプ」と記しているのは、ずれの急激な増加が発生した直後に荷重が一旦低下するものを「すべり」、荷重は増加傾向を保つものを「勾配変更」とパターン分類ができたためである。

載荷により中央の板と両側の板との間のずれが急激に増加したときの荷重をすべり荷重と考え、すべての供試体のすべり荷重を腐食程度ごとにまとめたものが図－16 である。「すべりタイプ」ではすべる寸前の最大荷重をとり、「勾配変更タイプ」は変曲点前後の測点に接線を引き、その交点とした。この図によると、腐食程度「a」および「aa」ではすべり荷重にバラつきが大きく、すべ



図－15 荷重とずれ量の関係



図－16 腐食程度とすべり荷重の関係

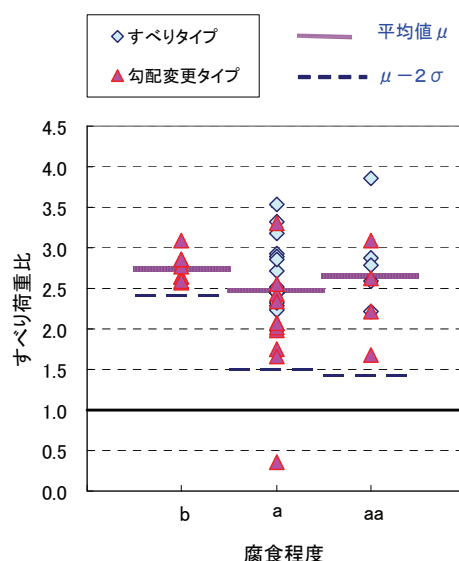
り時の荷重－変位挙動も「すべりタイプ」と「勾配変更タイプ」が混在している。a 桁ではリベット充填状況がわるく、母材との間に隙間が生じているものが多かったため、載荷方向と隙間の位置関係により、両タイプに分かれたと考えられる。一方、b 桁から採取した腐食程度小のリベット部はリベットがよく充填されており、すべり荷重のバラつきは少なく、「すべりタイプ」の挙動をした供試体はなかった。

また、図－16 にはSV330 工場リベットの許容せん断強さ（複せん断）、および許容支圧強さ（ $t=9\text{mm}$ および 10mm ）を併せて描いている。これにより、腐食程度「aa」「a」の供試体においても、設計上の許容強さを確保していることが分かる。しかし、強度のバラツキが大きいいため、統計的に所定強度が確保されているかの検討を行った。

図－17 は図－16 の縦軸を許容支圧強さで除した値すなわち次式で示されるすべり荷重比に置き換えている。

$$\text{すべり荷重比} = \frac{\text{すべり荷重}}{\text{許容支圧強さ}} \quad (2)$$

図中には腐食程度ごとに平均値と正規化したときの $\mu - 2\sigma$ の値を表示している。これによると、腐食程度「b」では $\mu - 2\sigma = 2.4$ となり、強度のバラツキを考慮しても十分に設計上の強度は確保されていることが分かる。これに対し、腐食程度「a」「aa」では $\mu - 2\sigma$ は 1.5、および 1.4 となり、十分とはいえない。ただし、平均値 μ は 2.4 以上と充分余裕があるレベルであり、リベットは群として力を負担することを考慮すると、実用上の問題はないと考えられる。



図－17 腐食程度とすべり荷重比の関係

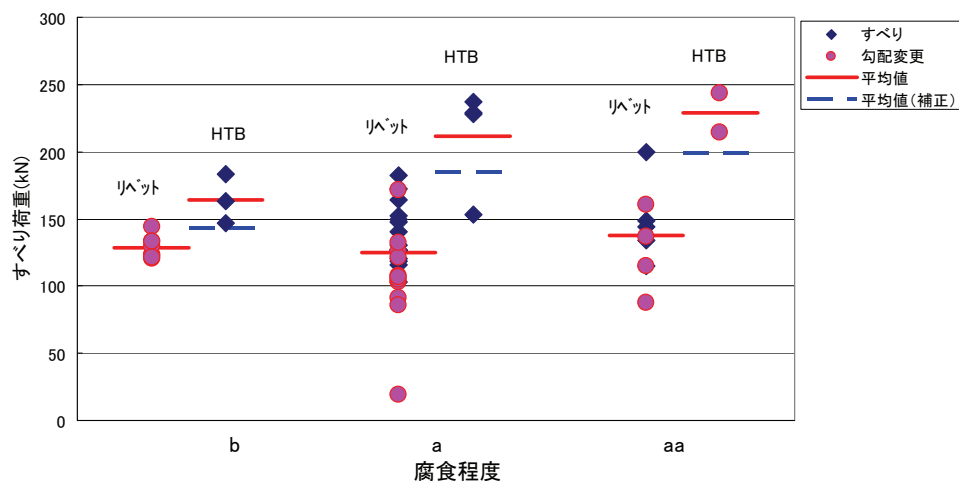


図-18 HTB 供試体とリベット供試体のすべり荷重

表-4 HTB 供試体のすべり係数

供試体名	腐食程度	軸力 (kN)	補正すべり荷重 (kN)	すべり係数	すべりタイプ
ALW18	a	183.0	199.23	0.54	すべり
ALW21	a	179.2	206.16	0.58	すべり
ALW5	a	183.3	133.10	0.36	すべり
CLW6	aa	179.4	186.63	0.52	勾配変更
CLW9	aa	179.0	211.61	0.59	勾配変更
CUW8	a	188.5	197.97	0.53	すべり
FW1	b	175.5	159.13	0.45	すべり
FW5	b	181.8	142.13	0.39	すべり
GW3	b	179.0	127.85	0.36	すべり

4.3 高力ボルト置換継手の強度

リベット接合強度試験と高力ボルト置換強度試験のすべり荷重を比較した結果を図-18に示す。図中に破線で示した「平均値(補正)」は2.1(3)での検討結果により、圧縮型の載荷試験によるすべり荷重の補正を行ったものであり、圧縮型載荷のすべり荷重を1.15で除した値で補正した。供試体の腐食程度別およびリベット/ボルト別に分類し、すべり荷重をプロットしている。これによると、高力ボルト供試体のすべり荷重の方が全体的に大きくなっており、高力ボルトの締め付けが有効に働いていることが推定できる。また、腐食程度が「a」および「aa」のほうが「b」よりもすべり荷重は大きくなっている。b橋はほとんど腐食しておらず、接合面を観察した結果、腐食凹凸はなく平滑であり、錆色を呈しているものの鉛丹層が幾分残存しているように見える。これに対しa橋は板の間でも腐食が進み、接合面には腐食による凹凸が確認された。つまり、平滑であるが鉛丹層が残存している腐食程度「b」では接合面での摩擦係数が小さく、相対的に接合強度は低くなり、腐食程度「a」「aa」では接合面に適度に錆が発生していることから相対的に接合強度が高くなったと考えられる。ただし、今回の試験はそれぞれ2~3体ずつしか行っていないため、より多くの試験を行うことにより、腐食程度「a」「aa」で見られた接合面の腐食凹凸の影響により接合強度は平

均的にもう少し低くなる可能性がある。

高力ボルト供試体のすべり係数をまとめたものを表-4に示す。表中の軸力は導入直後のボルト軸力をひずみゲージで直接測定したものをを用い、「補正すべり荷重」はすべり荷重を1.15で除した値である。

以上より、高力ボルト置換継手の接合強度としては、許容値を大きく上回るもので、今回の試験結果からは高力ボルト置換工法による、古いリベットの取替えは可能といえる。

5. 結論

本研究により得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 希少なリベット継手を効率的に供試体に加工して載荷試験を行うため、圧縮試験により載荷する方法を採用し、試験方法としての妥当性を確認できた。
- (2) 圧縮型と引張型とを比較したところ、リベット接合では両者のすべり荷重に差異はなく、今回の供試体寸法では高力ボルト接合では圧縮試験のすべり荷重が1.15倍程度大きくなることが分かった。
- (3) 今回の調査では、頭部が腐食欠損したリベットの継手強度が低下するという結果は得られなかった。従来いわれているとおり、リベットは弛みが生じない限り継手強度は低下しないことを裏付ける結果となった。
- (4) 製作品質不良によりリベット充填が不十分であった桁ではすべり荷重にばらつきが大きく、よく充填されている桁ではばらつきが小さかった。
- (5) リベット充填が不十分な桁でも、今回の桁の場合、すべり荷重の平均値が十分大きく、実用上の問題はないレベルであった。
- (6) 接合面に鉛丹さび止めが若干残存する桁を用いて高力ボルト置換継手の載荷試験を行ったところ、すべり係数は0.36~0.45の値を示し、接合面に腐

食凹凸が認められた桁ではすべり係数は 0.36～0.59 の値であった。

- (7) 高力ボルト置換継手に対する載荷試験の結果、今回のように著しく腐食が進行したリベット接合部においても、高力ボルト置換工法による補修・補強工法の妥当性が確認できた。

6. あとがき

使用した桁のうち2つの桁から採取したリベットでは、リベットの孔あけ方法がパンチによる打抜きであることが分かった。建設当時の製作技術では打抜きをしたリベット孔は孔縁の処理を行うが、これらの桁ではされていない。このため、リベットが十分に充填されず隙間を生じ、この結果、載荷試験ではリベット継手強度がバラついた。今回の試験では継手強度自体は大きく、問題がないレベルであったが、製作品質の程度によっては継手強度の平均値が下がり、絶対的な継手強度不足となっていることも懸念される。ところが、リベット内部の充填状況を直接確認することはできず、さらに内部に隙間があるリベットでも頭部は密着しているものが多い。ため、供用開始後、桁製作時のリベット孔加工の品質、特にリベット充填が充分かどうかの推定をすることは困難である。ただし、リベット接合桁は近年新設されており、新しいものでも建設後 40 年程度経過しており、これまでにリベット弛みが多く発生したような桁は、このような孔加工がされている可能性があり、注意が必要である。

わが国の鋼鉄道橋では数多くのリベット接合橋が現存しており、今後も適切な維持管理を行うことにより、未永く供用することが可能と考える。そのためにも、今回採用した試験を活用し、リベット接合橋の効果的な維持

管理手法を追究してゆきたい。

参考文献

- 1) 阿部英彦, 稲葉紀昭, 江口保平: 腐食鋼材の疲労強度, 構造物設計資料, No.34, 1973.6.
- 2) 三木千壽, 森猛, 坂野昌弘: 70 年間使用された鋼鉄道橋縦桁の疲れ強さ, 東工大土木工学科研究報告, No.37, 1987.4.
- 3) 宮武洋之: 長年月供用されたリベット接合鉄道橋の疲労特性と残存寿命評価に関する研究, 九州大学学位論文, 1992.2.
- 4) 名取暢, 西川和廣, 村越潤, 大野崇: 腐食部材の添接板補強に関する研究, 土木学会論文集 No.682, I -56, pp.207-224, 2001.7.
- 5) (財)鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)一鋼・合成構造物, 2007.1.
- 6) 佐々木秀弥: 腐食鋼材の疲労強度ならびに古材に設けた高力ボルト継手に関する文献調査, 駒井技報, Vol.8, 1989.
- 7) 阿部允, 小芝明弘, 杉本一朗, 杉館政雄: 鋼橋の補修・補強に用いる古材の継手試験, 鉄道総研報告, Vol.5, No.12, 1991.12.
- 8) (財)鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説一鋼・合成構造物, 1992.10.
- 9) 石原靖弘, 小林剛, 皆田理, 村中昭典: 高力ボルト摩擦接合継手の動的すべり試験, 片山技報, No.19, 1999.
- 10) 田島二郎: 高力ボルト接合概説, 技報堂, 1966.5.
- 11) 大田孝二, 深沢誠: 橋と鋼, 建設図書, 2000.2.
- 12) 日本鋼構造協会接合小委員会編, (社)鋼材倶楽部: 鋼構造接合資料集成, 技報堂出版, 1977.3.

(2008 年 9 月 18 日受付)