

第I部門

## 継手 (1)

2023年9月15日(金) 11:10 ~ 12:30 I-3 (広島大 東広島キャンパス総合科学部講義棟 K107)

### [I-266] リベット継手の新しいリベットへの取替え補修に関する研究 Study on Repair of Riveted Joints by Re-driving New Rivets

\*柴田 美希<sup>1</sup>、判治 剛<sup>1</sup>、館石 和雄<sup>1</sup>、清水 優<sup>1</sup>、長坂 康史<sup>2</sup>、竹淵 敏郎<sup>3</sup> (1. 名古屋大学、2. 川田工業株式会社、3. MKエンジニアリング)

\*Miki Shibata<sup>1</sup>, Takeshi Hanji<sup>1</sup>, Tateishi Kazuo<sup>1</sup>, Shimizu Masaru<sup>1</sup>, Nagasaka Yasushi<sup>2</sup>, Takebuchi Toshiro<sup>3</sup>  
(1. Nagoya university, 2. Kawada Industries, Inc., 3. MK Engineering,inc.)

キーワード：リベット、高周波誘導加熱、補修、疲労、有限要素解析

Rivet, High Frequency Induction Heating, Repair, Fatigue, Finite Element Analysis

かつて鋼橋の主流な接合方法であったリベットは、現在ほとんど施工されない技術となったものの、リベット継手が用いられた鋼橋は多く現存し、その維持管理は不可欠である。本研究では、劣化したリベットを、誘導加熱（IH）技術を用いて新たなリベットに取り替える補修に関する検討を行った。まず、IHを用いて製作したリベット継手の疲労試験を行い、その疲労性能を明らかにした。また、既設橋梁でのリベットの取替え補修を想定し、継手に荷重が作用した状態での取替え補修を再現した有限要素解析により、補修後の継手の荷重伝達機構や、取替え位置や順序が継手の力学的挙動に及ぼす影響を明らかにした。

## リベットによるリベット継手の補修に関する研究

名古屋大学 学生会員 ○柴田美希 正会員 判治剛 フェロー会員 舘石和雄 正会員 清水優  
川田工業 正会員 長坂康史 MK エンジニアリング 正会員 竹渕敏郎

**1. 研究の目的** リベット継手の補修では、劣化したリベットを摩擦接合用高力ボルトで置換することが一般的であるが、十分なすべり係数を確保できないことや、継手内に荷重伝達機構の異なる接合方法が混在することなどの課題がある。そこで本研究では、リベットをリベットにより取替えて補修することを考える。その際、施工性や安全性の向上のために、リベットの加熱は高周波誘導加熱(IH)により行うりこととする。これまでに、このIHにより製作された継手の疲労強度について検討した例はほとんどなく、また、既設リベット継手の補修を考えると、死荷重作用下でリベットの取替えを行う可能性があるが、リベットの取替えに伴う死荷重の再配分や取替え後の継手の力学挙動は明らかにされていない。本稿では、上記の課題に対して疲労試験および解析によって検討した結果を報告する。

**2. IH を用いて製作したリベット継手の疲労性能** 図-1 に示す1行3列のリベット継手に対して疲労試験を行った。供

試鋼材の機械的性質を表-1に示す。リベットの呼び径は19mmであり、孔径は20.5(=19+1.5)mmとした。IHを用いたリベット継手(F-N)の疲労強度に加え、実施工で生じ得る施工不良による欠陥の例として、孔への充填が不十分となる場合を想定し、未充填リベットが疲労強度に与える影響も検討した。図-2に示すように、F-O、F-Mの試験体では、それぞれ1本のリベットのみ、IHによる加熱条件を調整し、孔への充填が不十分となるように施工した。図-2はX線CTスキャンによる画像であり、リベット軸と孔壁の間に0.7mm程度の隙間があることを確認できる。疲労試験は一定振幅荷重下で行い、応力比はほぼ0とした。

疲労試験の結果、き裂はいずれも主板外側リベット位置から発生し、破断に至った。試験結果を図-3に示す。図中には、コークスによるリベット継手の疲労試験結果<sup>2)</sup>も併せて示している。F-Nのプロットは、コークスによる継手の試験結果と比較して高強度側に位置しており、IHによる継手は従来工法によるそれと同程度以上の疲労強度を有することがわかる。F-O、F-Mについても、過去のデータよりも比較的高い疲労強度を有しており、本試験で再現した程度の欠陥であれば、それによる継手の疲労への影響は小さいことが示された。

**3. リベット継手の取替え補修に関する有限要素解析** 解析モデルの一例を図-4に、解析対象の形状とパターンを図-5、表-2、3に示す。リベット継手の降伏限界には、リベットの支圧降伏、せん断降伏、母材純断面の降伏の3種類があるが、解析対象はリベットの支圧降伏が先行する継手である。解析コードにはABAQUS 2021を用いた。対

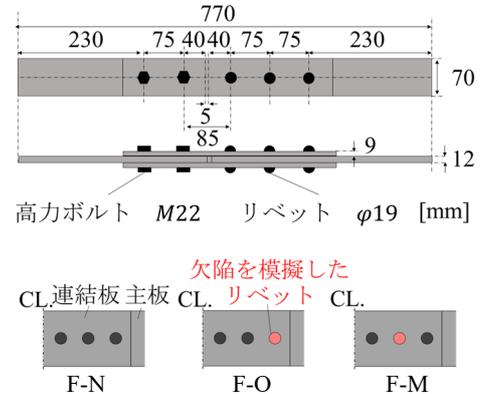


図-1 試験体

表-1 材料の機械的性質

材料	規格	降伏強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強度 [N/mm <sup>2</sup> ]
主板	SS400(12 mm)	312	461
連結板	SS400(9 mm)	323	454
リベット	SV330	195	330
高力ボルト	F10T, M22×70	1022	1076

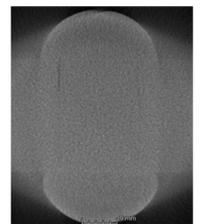


図-2 欠陥を模擬したリベット

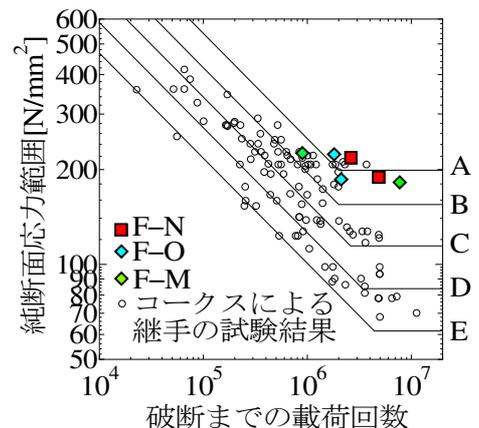


図-3 S-N線図

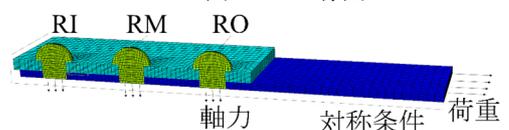


図-4 解析モデル

キーワード リベット継手, 高周波誘導加熱, 補修, 疲労, 有限要素解析

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL052-789-4620

称性を考慮して1/8モデルとし、対称面には対称条件を設定した。材料の降伏強度と構成則は文献3)を基に与えた。摩擦係数は、主板と連結板の接合面で0.25、その他の接合面では0.001とした。リベット軸力は、軸部の下端部に強制変位を与えることで導入し、大きさは降伏軸力の約75%<sup>4)</sup>とした。既設橋梁での取替え補修を想定し、リベットに軸力を導入したのち、継手に死荷重を想定した静的な引張力を作用させ、それを維持しながら継手内のリベット

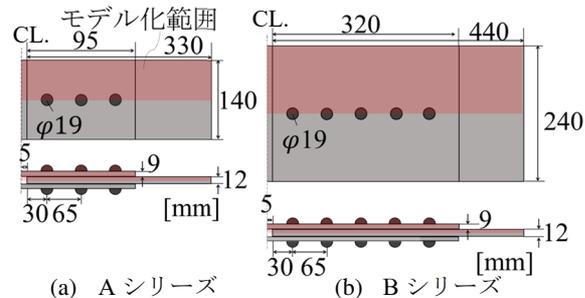


図-5 試験体寸法

を除去した。その後、新たなりベットを挿入してさらに荷重を増加させた。取替え時点での静的荷重は継手の降伏耐力<sup>4)</sup>の約半分とし、Aシリーズで60kN、Cシリーズで100kNとした。Aシリーズでは1本のリベットを取り替え、Bシリーズでは2本のリベットを、順序を変えて取り替えた。



表-2 Aシリーズ

Case	取替え位置	取替え順
B-N	CL. 連結板 主板 RIM RMO RI RM RO	取替えなし
B-O-MO	CL. 取替え位置 RIM RMO RI RM RO	① RO ② RMO
B-MO-O	RIM RMO RI RM RO	① RM ② RO
B-O-M	CL. RIM RMO RI RM RO	① RO ② RM
B-M-O	RIM RMO RI RM RO	① RM ② RO

表-3 Bシリーズ

表-4 降伏限界とリベット降伏時の荷重

Case	限界状態時の荷重[kN]					
	降伏限界	リベットの降伏				
		RI	RIM	RM	RMO	RO
A-N	224	224	-	216	-	208
A-O	220	218	-	203	-	225
A-M	225	223	-	223	-	203
A-N	225	235	-	208	-	198
B-N	373	391	366	366	356	343
B-O-MO	369	379	356	343	379	369
B-MO-O	369	382	343	343	356	382
B-O-M	368	385	356	368	343	368
B-M-O	379	381	356	369	343	379

荷重変位関係の例を図-6に示す。図中には継手の降伏限界点と各リベットの降伏時点も示している。また表-4に、降伏限界点と各リベットが降伏した時点の荷重を示す。取り替えたリベットは太字で示しており、朱書きの荷重は、継手内のリベットで最後に降伏したものを表している。降伏限界点は、Slope factor法<sup>5),6)</sup>を参考にし、荷重変位関係の勾配が初期勾配の1/5となった時点とした。リベットの降伏は、リベットの支圧作用面の要素が降伏点以上の応力となった時点とした<sup>3)</sup>。

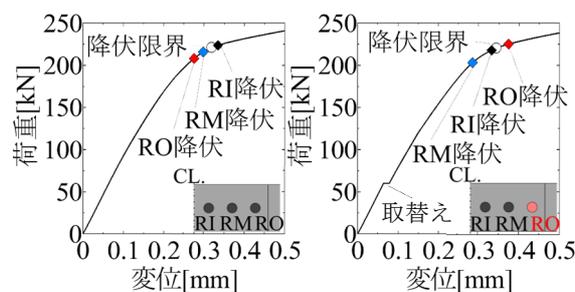


図-6 荷重変位関係

両シリーズとも、取り替えないケースではリベットは継手外側から順に降伏するのに対し、取替えを行うケースでは、新しいリベットは取替え時に作用している荷重を分担しないため、リベットの降伏順序が変化した。その一方で、荷重変位関係や降伏限界点は、取替えの有無によらずほとんど差がないことを確認できる。

分担荷重および荷重伝達割合と継手変位の関係を図-7に例示する。荷重伝達割合とは、各リベットが分担する荷重を継手全体に作用する荷重で除したものであり、主板断面内の軸力の変化から求めた<sup>4)</sup>。A-Oでは、ROが除かれた時点で残存するRMとRIに荷重が再配分され、一時的にそれら2本の分担割合が大きくなるものの、取替え後、さらに荷重が加わると新しく挿入されたROの分担量が増加していき、継手の降伏限界付近ではA-Nとほぼ同様の分担状況となるのがわかる。

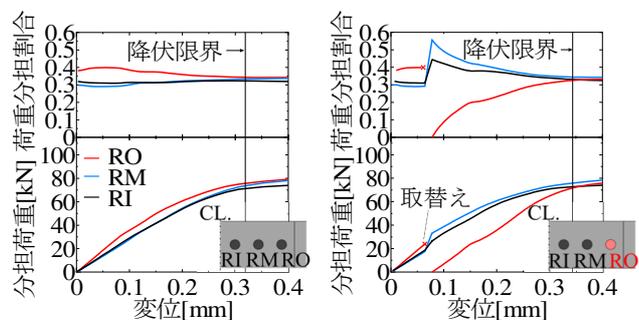


図-7 荷重分担割合

参考文献

- 1) 長坂ら：構造工学論文集, Vol.69A, 2023
- 2) 三ツ木ら：土木学会論文集, 第404号, I-11, pp435-441, 1989
- 3) 橋本ら：構造工学論文集, Vol.54A, pp.555-562, 2008
- 4) 判治ら：土木学会論文集, Vol.77, No.3, pp489-508, 2021
- 5) 高井ら：構造工学論文集, Vol.65A, pp.365-376, 2019
- 6) 平井ら：日本建築学会構造系論文集, Vol.66, No.542, pp.179-186, 2001