

機械式疲労き裂補修工法の継手性能に関する実験的検証

(株) 横河ブリッジホールディングス 正会員 ○加藤健太郎 正会員 前田諭志
正会員 井口 進 正会員 石井博典
日之出水道機器 (株) 三井田祐樹 聖生守雄

1. はじめに

鋼構造物に発生した疲労き裂の補修方法として、き裂先端に円孔をあけ、き裂先端位置での応力集中を低減することでき裂の進展を抑制するストップホール法や、き裂部分に開先などを設けた上で肉盛り溶接することで補修を行う補修溶接法、そして機械式継手を設けて補修を行うメカニカルスティッチ工法（以下、MS工法）がある（図-1）。MS工法は、疲労き裂に金属製の補修部品（補強プレート、Sボルト）を挿入し、機械的に接合することで補修するものである。溶接補修とは異なり熱を与えないため材料の脆化がないこと、片面からの施工が可能であること、補修後の表面が平滑となることなどの特長がある。MS工法による疲労き裂の補修は、鋳物などの機械製品を中心に適用事例はあるものの、鋼橋など土木鋼構造物への事例はほとんどない。また、補修部品単体の強度特性は把握されているものの、継手としての性能についての検証は十分になされていない。そこで筆者らは、土木鋼構造物への適用を念頭に、MS工法により補修した鋼部材の継手としての性能を把握するために、引張試験と疲労試験を実施したので報告する。

2. MS工法の概要

MS工法は、き裂部分に沿ってSボルトを挿入した後、き裂に直角方向に補強プレートを打ち込み、疲労き裂を閉じるものである。Sボルトはねじ山の角度を工夫することで、締め付けることによって部材どうしを引き付ける力を生じさせることができる。補強プレートは大円と小円が連続する形状となっており、母材板厚の80%程度の深さまで打ち込むことで母材と機械的に接合し、き裂発生箇所の強度を補う。また、補強プレートの端部には特殊形状のTボルトを配置して、密着性の確保と抜け止めの機能を発揮する。

3. 引張試験

MS工法による補修を実施したMS工法試験体の継手としての引張強度特性を把握するために引張試験を実施した。用意した試験体は、同一ロールの鋼材から作成したJIS 1A号試験片とMS工法試験体（Sボルト有無の2種類）の計3体とした。母材の材質はSM490、板厚は12mmである。このうちMS工法試験体を図-2に示す。MS工法試験体は、あらかじめ疲労き裂を模擬した長さ45mmのスリットを加工し（図-2(a)）、このスリットに対して補強プレート3枚を用いたMS工

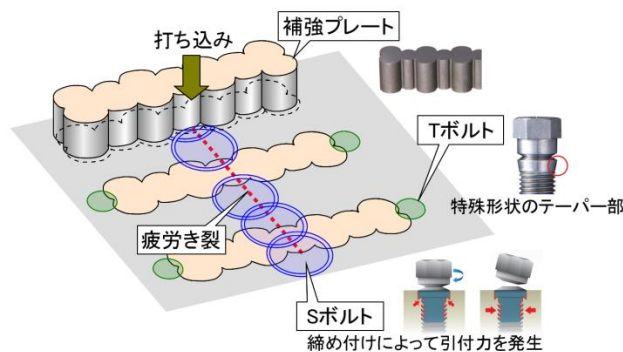
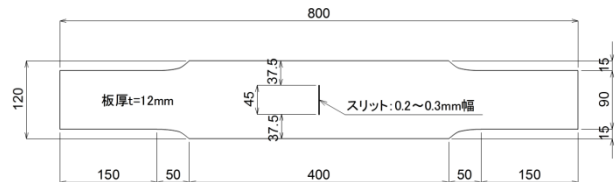
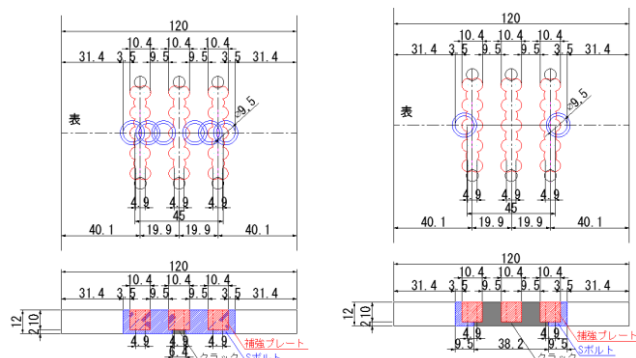


図-1 MS工法の概要



(a) 補修前



(b) Sボルトあり

(c) Sボルトなし

図-2 MS工法試験体

表-1 JIS 1A号試験片の試験結果(材料定数)

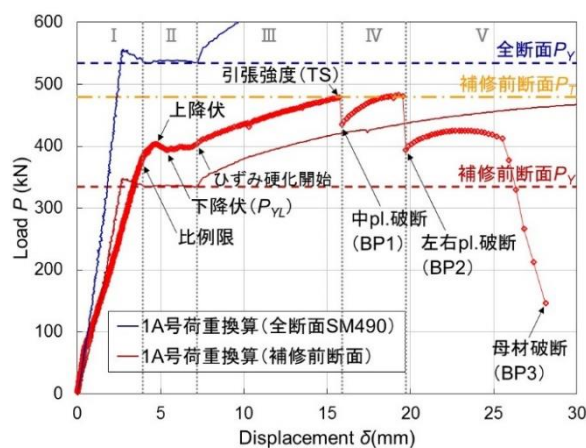
試験片	ヤング係数 E (MPa)	上降伏応力 σ_{YU} (MPa)	下降伏応力 σ_{YL} (MPa)	引張強度 σ_T (MPa)
JIS 1A号	203,000	386	371	533

法による補修を行った（図-2(b)，(c)）。これらの試験体を対象に2,000kN万能試験機にて引張試験を行った。

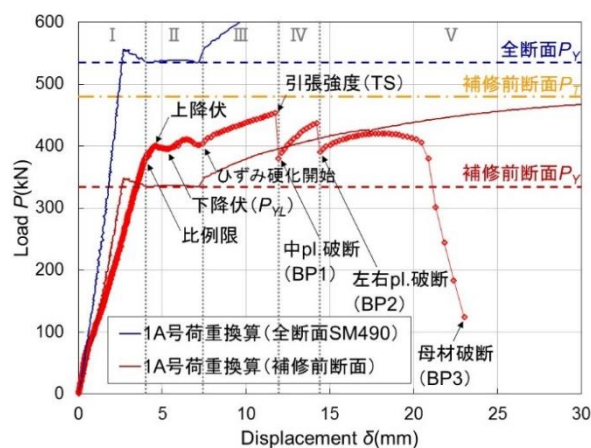
JIS 1A号試験片の試験結果を表-1に示す。また、MS工法試験体の引張試験結果を図-3に、試験機から得られた荷重と変位の関係として示す。図中には、継手の挙動として、領域Ⅰ：載荷開始から比例限界まで、領域Ⅱ：比例限界点からひずみ硬化開始まで、領域Ⅲ：

Keywords: MS工法, 疲労き裂, 機械継手, 引張試験, 疲労試験

連絡先: (株)横河ブリッジホールディングス 総合技術研究所 〒261-0002 千葉県美浜区新港 88 TEL: 043-247-8411 FAX: 043-247-8412



(a) S ボルトあり



(b) S ボルトなし

図-3 MS 工法試験

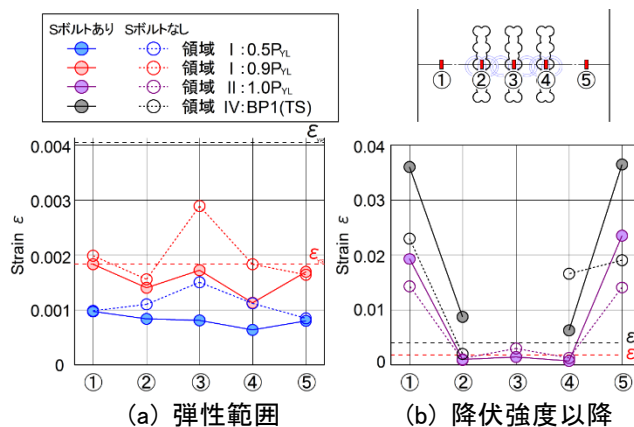
ひずみ硬化開始から中央の補強プレート破断 (BP1) まで、領域 IV: 中央の補強プレート破断から左右の補強プレート破断 (BP2) まで、領域 V: 左右の補強プレート破断から母材の破断までの範囲を併記している。また、図中の全断面有効とした場合の P_Y 、補修前断面の P_T 、補修前断面の P_Y は、表-1 に示した JIS 1A 号試験片の結果を用いて算出している。これらの図より、いずれの MS 工法試験体も JIS 1A 号試験片ほど明確ではないものの降伏点を示し、BP1 までは同様の挙動を示すことがわかる。MS 工法試験体は、降伏点が明確ではないラウンドハウス型の荷重変位曲線を描く。補強プレートを用いた複合断面となっているが、継手としては母材である普通鋼と同様の挙動を示している。

引張試験時の領域 I, II, IV における MS 工法試験体のひずみ分布を図-4 に示す。S ボルトがある場合のひずみ分布は、降伏強度付近まで母材と中央の補強プレートのひずみが同程度となるが、降伏強度以降は母材のひずみが大きくなる。一方、S ボルトがない場合のひずみ分布は、降伏強度付近まで中央の補強プレートのひずみが最大となるが、降伏強度以降は母材のひずみが最大となる。

4. 疲労試験

疲労試験は、MS 工法試験体 (S ボルト有無の 2 体) と、図-2(a) に示した MS 工法による補修前の試験体に対してスリット先端に $\phi 24.5\text{mm}$ ストップホール (SH) を施工した SH 試験体を対象に実施した。SH 試験体は、SH の壁面を #220 の砥石で仕上げた。疲労試験の条件は、公称応力範囲 $\Delta \sigma_n = 100\text{N/mm}^2$ 、応力比 $R=0$ とした。

疲労試験結果を表-2 に、MS 工法試験体 (S ボルトあり) の破断後の状況を図-5 に示す。疲労寿命は、MS 工法試験体 (S ボルトなし) と SH 試験体が同程度で、MS 工法試験体 (S ボルトあり) がそれらの 2 倍程度となった。MS 工法試験体は、中央の補強プレートが破断した後に、左右の補強プレートの破断、母材の破断の順で破断した。



(a) 弾性範囲

(b) 降伏強度以降

図-4 MS 工法試験体のひずみ分布

表-2 疲労試験結果

試験体	応力範囲 (N/mm^2)	応力比	疲労寿命 (回)	備考
SH試験体	200	0	1,280,273	壁面#220番仕上げ
MS工法 試験体 (Sボルトなし)	200	0	1,348,991	補強PL破断: 10万回, 55万回, 85万回
MS工法 試験体 (Sボルトあり)	200	0	2,596,247	補強PL破断: 85万回, 150万回, 255万回



図-5 疲労試験後の状況 (S ボルトあり)

5. 今後の予定

今後も引き続き、MS 工法の土木鋼構造物への適用を視野に継手性能の検証を進めるとともに、補強部品の配置など補強構造の合理化を図る予定である。

(参考文献) 1) 大村浩輔, 竹山清宏, 山本正幸, 藤田正則: 鋼材の亀裂補修工法の強度特性に関する研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 37 巻, pp.245-248, 2014.3