

腐食鋼板の接着剤補修における性能回復効果の定量的把握

広島大学大学院
学生会員
森田 和也

○森下 太陽
学生会員
森田 和也

広島大学大学院
正会員
コニシ株式会社
東電設計株式会社

正会員
藤井 堅
若原 直樹
フェロー会員
中村 秀治

1. 背景・目的

腐食は鋼構造物の損傷の中でも最も代表的なものであり、部材の安全性や耐久性に影響する重要な損傷である。もし重大な腐食損傷が確認された場合、その構造物の性能を保証するために、適切な維持管理の下で、補強・補修を行わなければならない。

補強法の一つとして、筆者らは、接着剤を用いた当て板補強が腐食鋼板の強度回復に効果的であることを確認した。このとき、接着剤は、腐食鋼板から当て板へのスムーズに応力を伝達する役割を担っているようである。

本研究では、板厚および大きさの異なる当て板を用いて接着剤補修した腐食鋼板に対して引張試験を行い、腐食鋼板の性能回復効果を調べることを目的とする。このとき、実験供試体には、複数の鋼板上に同じ腐食表面を人工的に作成した腐食供試体を作成した。これにより、条件の異なる補強法による性能回復効果を定量的に調べることが可能になった。

2. 実験概要

腐食鋼板(母材)のサイズは、長さ 1000mm、幅 100mm、板厚 11.7mm で、その中心部に長さ 400mm、幅 100mm の腐食表面を削孔して作成した。腐食表面は、腐食部の中央付近に集中的に腐食を再現した局所型、全体的に腐食を再現した一様型の 2 種類のモデルを作成した。なお、母材および当て板ともに、鋼種は SS400 である。作成した腐食鋼板の腐食部の各統計量を表-1 に、板厚等高線を図-1 に示す。

当て板の板厚 t は、(1)式に示すように、母材の最小断面積位置の減肉断面積を補う板厚を基準とし、局所型は、それを補うもの($t=3.1\text{mm}$) と補わないもの($t=2.3\text{mm}$) の 2 種類、一様型では、補うもの($t=2.3\text{mm}$) の 1 種類とし、当て板の長さ(補強区間)は、両者とも、腐食部を十分に覆うもの($L=500\text{mm}$) と部分的に覆うもの($L=200\text{mm}$) の 2 種類とした(表-2)。

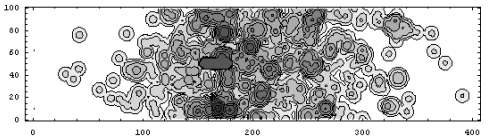
当て板の板厚
$$t \geq \frac{t_0 - t_{\text{mini}}}{2} \dots\dots(1)$$

当て板は、その中央を腐食鋼板の最小断面積位置に合わせて母材の両面に接着した。接着剤は、2 液混合型金属接着用エポキシ樹脂系接着剤である。この接着剤は常温硬化型で接着強さが大きい。今回は恒温恒湿(温度：20 度、湿度 50%)の部屋にて約 1 週間の養生を行った。

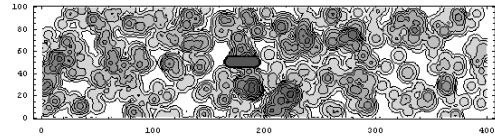
供試体の寸法(例：B-1 供試体)を図-2 に示す。

表-1 腐食部の各統計量

		最小断面積	最小板厚	平均板厚	標準偏差
		(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)
局所型	B-1	567.7	2.67	9.83	1.74
	B-2	581.6	2.20	9.85	1.74
	B-3	570.6	2.47	9.74	1.73
	B-4	569.8	2.29	9.76	1.77
	B-5	574.1	2.48	9.84	1.74
一様型	C-1	748.5	4.19	9.44	1.46
	C-2	750.7	4.19	9.49	1.47
	C-3	742.8	4.09	9.44	1.48



a) 腐食鋼板(局所型)



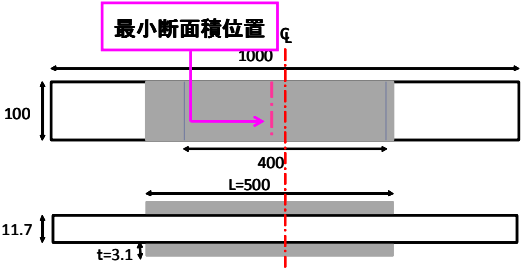
b) 腐食鋼板(一様型)



図-1 板厚等高線

表-2 供試体概要

供試体名称	腐食状況	補強法	当て板	
			板厚(mm)	長さ(mm)
A	無腐食	—	—	—
B-1	局所型	無補強	—	—
B-2		接着剤 + 当て板	3.1	500
B-3			3.1	200
B-4			2.3	500
B-5			2.3	200
C-1	一様型	無補強	—	—
C-2		接着剤 + 当て板	2.3	500
C-3			2.3	200



B-1 供試体

図-2 供試体寸法

3. 引張試験結果

試験結果を表-3、荷重-ひずみ曲線、ひずみ分布(B 供試体)をそれぞれ図-3 と図-4 に、試験後の破壊状態(例: B-4 供試体)を図-5 に示す。表中の低下率は、A 供試体(無腐食)からの低下率である。図-3 のひずみは、供試体全体の伸びを試験機のつかみ部間の距離($L=800\text{mm}$)で除したものである。

表-3 の降伏強度をみると、母材が降伏するまでは、当て板の板厚に応じた強度回復が確認できる。また、母材の降伏後、当て板は最小断面積位置付近まで徐々に剥がれ、その後母材が破断した。これは、降伏後は母材の塑性変形に接着剤の変形が追従せず、当て板の端部に応力集中が生じたためと考えられる。B 供試体において、当て板の長さに関係なく、当て板の板厚が 3.1mm の供試体の方が、 2.3mm の供試体よりも早い段階で当て板が剥がれた。このため、最高荷重は、それぞれの当て板の長さにおいて、当て板の板厚が薄い供試体の方が大きくなっている。これは、当て板の板厚が厚い方が、当て板端部に生じる応力集中が大きくなるためと考えられる。このことは、当て板の板厚を大きくすれば強度回復効果が大きくなるとは必ずしも言えないことを示しており、接着剤による当て板補強をする場合には、例えば端部の板厚を薄くするなどの、当て板端部の応力集中を小さくする工夫が必要であることを示している。

図-3 を見ると、荷重が段階的に低下している箇所が見られるが、これは当て板が母材から部分的に剥がれたことを示しており、当て板が母材の最小断面積位置付近まで剥がれた後は、B, C 供試体ともに無補強の供試体と同じ曲線を描いている。最終的には図-5 a)のような状態まで剥がれた。図-5 b), c)は試験後に当て板を剥がして確認したものであり、赤く囲った範囲が試験中に当て板が剥がれた範囲である。これらのことから、当て板が母材の最小断面積位置付近まで剥がれた後は当て板補強の効果が発揮できていないことがわかる。

図-4 を見ると、最小断面積位置と当て板の端部では当て板のひずみより母材のひずみが大きくなっている。最小断面積位置では、母材の板厚が小さいために、また当て板の端部付近では、補強区間以外やその境界付近の母材の伸びが大きくなり、応力集中が生じたと考えられる。この位置以外では、母材と当て板のひずみはほぼ一致しており、一体となって挙動していることが確認できる。

4. 結論

- (1) 母材が降伏するまでは、腐食部を十分に覆うような当て板で補強した供試体では、当て板の板厚に対応する強度回復が可能であることを確認した。また、応力集中が生じる最小断面積位置と当て板の端部を除いて、母材と当て板はほぼ一体となって挙動していることが確認できた。
- (2) 母材の降伏後は、母材の塑性変形に接着剤の変形が追従せず、無腐食の引張強度までは強度回復はできなかった。
- (3) 板厚が大きい当て板で補強した供試体は、板厚が小さい当て板で補強した供試体より当て板の端部に生じる応力集中が大きく、早い段階で当て板が剥がれる。

表-3 試験結果

供試体名称 (当て板 板厚, 長さ)	最高荷重		降伏強度	
	実験値 (tf)	低下率 (%)	実験値 (tf)	低下率 (%)
A	49.52	—	31.74	—
B-1	28.21	43.04	12.94	59.23
B-2 (3.1, 500)	35.90	27.50	31.87	-0.41
B-3 (3.1, 200)	28.14	43.17	28.14	11.34
B-4 (2.3, 500)	38.65	21.96	26.62	16.13
B-5 (2.3, 200)	29.10	41.23	26.85	15.41
C-1	34.13	31.08	20.23	36.26
C-2 (2.3, 500)	36.35	26.60	—	—
C-3 (2.3, 200)	34.31	30.71	31.17	1.80

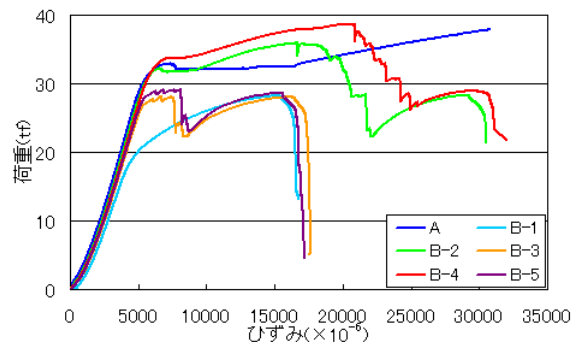


図-3 荷重 - ひずみ曲線

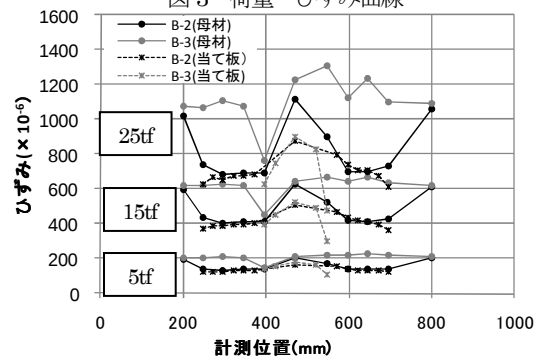


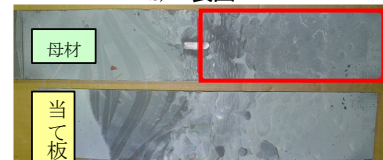
図-4 B-2, B-3 (板厚 3.1mm) 供試体のひずみ分布



a) 側面



b) 表面



c) 裏面

図-5 破壊状態(B-4 供試体)

参考文献

- 1) 森下ら：腐食鋼材の接着剤補修における性能回復効果の定量的把握。鋼構造年次論文報告集文, Vol.17, 637-642, 2009.
- 2) Taiyo Morishita and Katashi Fujii: On Rehabilitation of Corroded Steel Plates by Using Adhesive, Proc. of 10th Japan-Korea Joint Symposium on Steel Bridge, 2009.