

I-276

発錆による耐候性鋼材の表面状態と疲労強度の変化

広島工業大学 正員 皆田 理・村中昭典
神戸大学 正員 西村 昭

1. まえがき 土木構造物は、そのほとんどが鋼構造、またはコンクリート構造によって建設されている。近年、これらの構造物に対する維持、管理法の確立が急務となってきた。すなわち、鋼構造物では安全性確保のうえで、錆の発生、及び腐食に対する対策が最重点課題となっている。これに対しては、現在多くの構造物が塗装で対処してきている。しかしながら、再塗装は予算、並びに工事の制約面から万全を期することは容易でない。このような観点から、近年維持管理の軽減化を目指した無塗装で使用可能な耐候性鋼材が注目され、わが国の各所で暴露状態の試験片、及び実橋について、長期にわたる調査・研究が実施されている。本報告は、7年間工場内（ただし屋根のみに）放置されていた耐候性鋼材（SMA50、H形鋼、及び鋼板）の疲労試験から得られた結果に基づき、腐食と強度との相関性を検討した結果である。

2. 供試体、及び試験要領 供試体の形状・寸法を図-1に示す。供試体鋼板（以下A、B、及びC鋼板と略称）は表-1のような腐食環境下に7年間置かれていたH形鋼のフランジ、及び鋼板より採取したものである。試験は静的引張試験、疲労試験、及び表面アラサ測定よりなる。また腐食による板厚減量は発錆の少ない鋼板より切り出した試片（ $100 \times 100 \times 11.8 \text{ mm}$ ）と同寸法の除錆後の腐食材との重量差より算定した。疲労試験は、下限荷重1t（ $\approx 2 \text{ t}$ ）の部分片振荷重で実施した。

3. 試験結果、及び考察 表-2は、A、B、及びC鋼板の化学成分分析結果である。JIS G3114に規定する溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材の化学成分と照合すると、A、及びC鋼板はSMA50W、B鋼板がSMA50Pに対応する。鋼板の表面に付着した錆を除去して実施した金属表面のアラサ測定結果、最大アラサ振幅は、A、B、及びC鋼板それぞれ大略40～100 μm 、150 μm 、及び100 μm であった。A鋼板は表-1に示すように工場併設室内に置かれていたもので錆の発生が遅く、部分的に錆の生じた位置と生じていない位置とがあり、この影響が表面アラサに現われた。これに対して、C鋼板は降雨による錆の洗い流しがあり、安定錆の生じやすい環境下にあったものである。A、及びC鋼板の表面アラサの最大値に差はない。一方、B鋼板は錆の洗い流しは、全くなく、ホコリの滞留の非常に大きい環境下に置かれていたものである。A、及びC鋼板の最大アラサに比して大きく、またアラサ曲線はC鋼板のものに比して凸凹は大きかった。錆やホコリの洗い流しの有無が鋼板表面のアラサに影響を与えていることが推定される。しかしながらA、C鋼板とB鋼板とでは化学成分、ことにCu、及びGの含有量に差があることから、これらの化学成分の相異が両者の腐食状態に影響を及ぼしていることが考えられる。なお、B鋼板はH形鋼フランジから採取したものであるが、別途腹板から採取した鋼板の表面アラサの最大値は、約250 μm となり、フランジの場合に比して約1.7倍程度大きい。耐候性鋼材を使用した実構造物において、鋼板の表面状態、塗膜劣化状態などの調査結果として、知多2号橋に関する報告がある。本橋は耐候性鋼材としてRiver ten 50 Aを使用し、架設後約19年を経過している。架設されて11年経過後の調査結果より、裸材として使用された主げたフランジの表面アラサの最大値は大略270 μm 、腹板では大略300 μm 程度である。本試験に使用した7年経過後の表面アラサの最大値は上記の結果に比して小さいが、両調査結

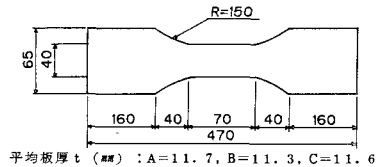


図-1 供試体の形状・寸法

表-1 鋼板の腐食環境条件

鋼板	経過年数 (年)	環境条件
A	7	工場併設室内、地上1m 地対角70° ホコリ滞留なし
B	7	工場内、地上3m 日照なし、ホコリ滞留大 降雨によるぬれなし
C	7	地上10cm、地対角70° 日照ほとんどなし、ホコリ滞留なし 降雨によるぬれあり、工場軒下

表-2 鋼板の化学成分(%)

化学成分 鋼板	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	V
A	0.10	0.41	0.34	<0.002	0.013	0.41	0.15	0.66	<0.10	0.042	<0.01
B	0.14	0.24	1.13	0.018	0.013	0.28	0.01	0.46	<0.10	0.017	0.04
C	0.11	0.40	0.34	<0.002	0.012	0.42	0.15	0.65	<0.10	0.043	<0.01

果ともに腹板の表面アラサが大きく、錆安定化に有利な環境条件では表面アラサが小さくなる傾向がある。A, B, 及びC鋼板の錆層を光学顕微鏡で観測($\times 200$)した結果, A, C鋼板の錆層は比較的平坦なものであり, B鋼板のそれは凸凹の大きいものであった。錆厚さは, $B(67\mu m) > C(51.7\mu m) > A(21.5\mu m)$ であった。疲労試験に先立ち, A, B, 及びC鋼板の引張試験を実施した。表-3にその結果を示す。JIS G 3114に規定するSMA50の保証強度, 及び伸びはそれぞれ $\sigma_b = 37\text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_b = 50\text{ kgf/mm}^2$, 及び15%である。表-3に示すように, 3鋼板の静的強度は規定値をわずが下であるが下廻るところが見られる。図-2は, A, B, 及びC鋼板のS-N線である。縦軸の全応力振幅は板厚1.8mmとして算定したものである。図に見られるように3鋼板のS-N関係は腐食量の増加と共にほぼ平行を保って低下する。図-3は3鋼板の200万回疲労強度(以下疲労強度と略称)と腐食量との関係を見るために, 縦軸に疲労強度と降伏点との比(σ_b/σ_s), 横軸に平均腐食量(mg/cm^2)を取って示したものである。図中には, 無腐食材, 及び2~4年暴露材の平均疲労強度と平均腐食量との関係も併記してある。図に見られるように, 腐食後の σ_b/σ_s は, 腐食量の小さい範囲($0 < \delta < 100\text{ mg/cm}^2$)で低下が激しく, 腐食量の増加に伴って鈍化する。図中, 文献2より, 暴露2~4年では腐食量が 50 mg/cm^2 から 100 mg/cm^2 に増加しても σ_b/σ_s はほぼ一定値を保つ。さらに, 本実験結果では腐食量が 210 mg/cm^2 (0.53mm, 両面)程度に増加しても σ_b/σ_s の低下傾向はなお同等である。一定値に漸近したときの σ_b/σ_s は0.6~0.7程度となる。

表-3 静的試験結果

鋼板	降伏点強度 (kgf/mm ²)	引張強度 (kgf/mm ²)	伸び (%)
A	37.3	49.5	25.4
B	36.4	51.7	25.1
C	37.5	49.8	25.4

耐候性鋼材の暴露試験結果より, 腐食量の大きい臨海工業地帯での腐食は, 約5年程度から鈍化し, 約7年以降ではほぼ一定値, 0.5程度となる。従って鋼板表面に安定錆が生じた場合, 疲労強度はほぼ一定値に漸近することが推定される。また, 疲労強度の低下が一定値に漸近し始める鋼板表面アラサの最大値は大略 $100\mu m$ 程度と推定される。耐候性鋼材に安定錆が生じず腐食が進展した場合の疲労強度は図-4に示すように平均3.4mmで約 21.8 kgf/mm^2 ($\sigma_b/\sigma_s = 0.53$)となる。これは, 現行疲労許容応力度(15.3 kgf/mm^2)に対してなお十分な安全率を有している。従って, 耐候性鋼材を使用する構造物の疲労設計では, 鋼板表面に安定錆が生ずる場合, 鋼板自身の疲労強度劣化を考慮するよりも, 応力集中の大きい継手部等での疲労強度を考慮して設計を実施すればよいと考えられる。

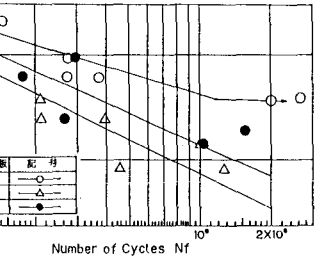


図-2 3鋼板のS-N線図

4. むすび 本報告は, 7年経過した耐候性鋼材を用いて, その腐食特性, 並びに疲労強度劣化傾向について検討した。構造物の供用期間を考慮した場合, さらに長月日を経過した耐候性鋼材, 並びに部材接合部の腐食特性の検討が重要と考えられる。本実験結果並びに報告された腐食量測定結果の範囲より, 耐候性鋼材に安定錆が生ずる場合, 母材の疲労強度(応力範囲)は10~12年後で降伏点応力の約60~70%を確保しているものと推定される。

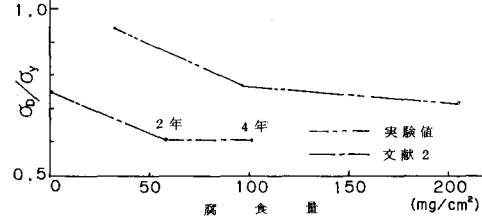


図-3 腐食量と疲労強度比との関係

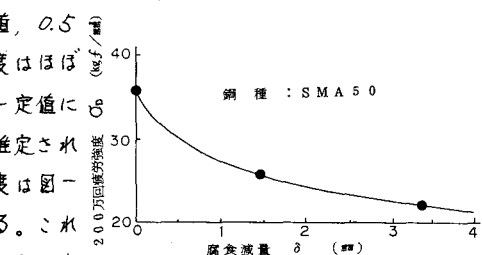


図-4 $\sigma_b - \delta$ の関係

参考文献

- ①耐候性鋼を用いた知多2号橋に関する調査: 川崎製鉄(株) 1979, ②建設省土木研究所資料, No. 729, 1972, ③鋼材の腐食防食に関する資料, 鋼材倶楽部, 1973, ④西村昭也: 腐食材の疲労強度, 土木学会, 中国支部講演概要集, 1985