

鋼構造物のトリプルコンタクトポイント部に着目した暴露試験

報告

Outdoor exposure tests on corrosion mechanism of triple contact point of steel structure

○谷口 望* 樋原 弘貴** 西 弘***
佐々木 巖**** 大西 弘志*****

Nozomu TANIGUCHI Hirotaka HAZEHARA Hiroshi NISHI
Iwao SASAKI Hiroshi ONISHI

ABSTRACT Recently, corrosion damages are problematic, despite the maintenance being done. Significant corrosion damage occurs at "triple contact points" where steel, concrete and oxygen contact. Therefore, in this research, corrosion damage of "triple contact point" which is an important issue of the structure in recent years is experimentally examined. In this study, outdoor exposure tests are carried out on test specimens simulating civil engineering structures and this will be reported.

Keywords: 腐食, トリプルコンタクトポイント, 屋外暴露試験

Corrosion, Triple contact point, Outdoor exposure tests

1. はじめに

近年、鋼構造物の経年による腐食損傷が多くみられる。腐食損傷は従来から見られる現象であり、様々な予防保全が行われているにもかかわらず、大きな問題となる事例がみられる。その中でも、鋼、および、コンクリートと大気がそれぞれ同時に接触する「トリプルコンタクトポイント」において、重大な腐食損傷が生じる事例が多い。この事象の例として挙げられる最も有名な事例である、2007年国道23号木曾川大橋で発見された斜材破断例である¹⁾。これは、コンクリート床版とトラス斜材部分に腐食損傷が発生し、破断したものである。また、この事象以外にも鋼製橋脚基部に生じる腐食もある。橋脚基部の事例では、根巻きコンクリートと鋼製橋脚の界面に、防水・防食の目的でシール材が設置されていても、このシール

材の内面に腐食損傷が生じているケースがある²⁾。これらの損傷は、目視検査時に目の届きにくい部位となる場合も多く、構造物の維持管理上の重大な崩壊につながる可能性がある。

この部位の腐食に関する研究としては、貝沼ら³⁾は酸素濃度の影響によるマクロセル腐食に関する研究を実施している。一方、中島ら⁴⁾は鋼材とコンクリートの境界面に侵入する大気や水に関する研究が行われている。つまり、局部腐食の要因には、鋼材とコンクリートの付着界面から腐食因子である水や塩化物イオン、酸素等の侵入によるもの以外にも、コンクリートの収縮や熱伝導率の違いによって鋼材とコンクリートの付着力が低下する恐れや、コンクリートに埋設されている鋼材部と界面部の酸素濃度の違い等によって生じる電位差によっても腐食が進行すると考えられるが、

*博士(工学) 前橋工科大学 社会環境工学科 准教授

(〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1) 第二種正会員

**博士(工学) 福岡大学 工学部 社会デザイン工学科 助教

(〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1)

***CORE技術研究所 東京支店 (〒111-0053 東京都台東区浅草橋 3-8-5)

****博士(工学) 土木研究所 先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ 主任研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

*****博士(工学) 岩手大学 理工学部 システム創成工学科 准教授

(〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

本報告の一部は、土木学会全国大会 2017 研究討論会で公表

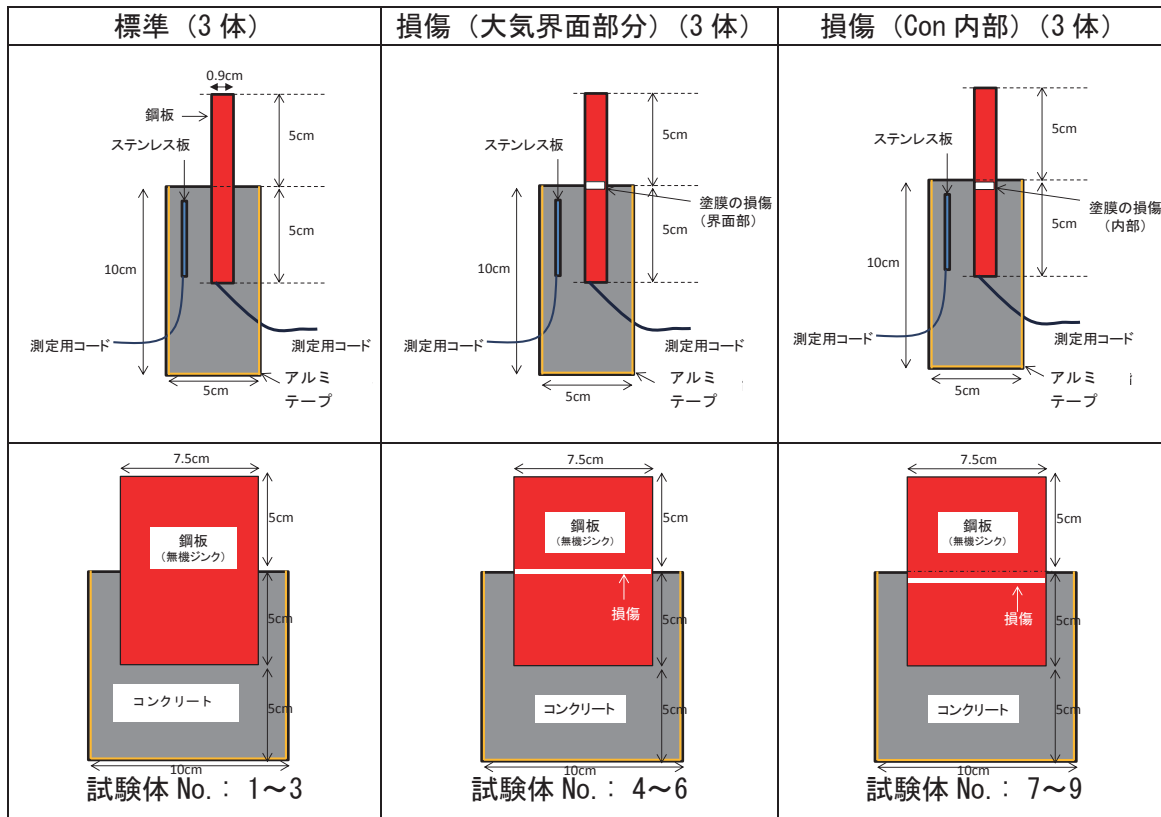


図1 鋼コンクリート試験体の種類と概要

これらが鋼材腐食に与える影響については十分に明らかにされていない。

そこで本研究では、近年構造物の重要な課題となっている、鋼、および、コンクリートと大気が接触する「トリプルコンタクトポイント」の腐食損傷に対するメカニズム解明を目的とする。研究計画の一つとして、土木構造物を模擬した試験体での、屋外暴露試験と室内塩水噴霧試験を行っており、この報告を行う。本実験的研究は、「土木学会 複合構造委員会 維持管理を考慮した複合構造の防水・排水に関する調査研究小委員会」(大西弘志委員長)において、実施しているものである。

2. 試験概要

試験体は、図1に示す様に10cm×10cm×5cmの角柱モルタル内に10cm×7.5cm×0.9cmの鋼板を高さ5cmまで埋め込んだものを作製した。セメントには普通ポルトランドセメント、細骨材に海砂(密度2.58g/cm³)を使用して表1に示す配合でコンクリート部を模擬してモルタルで作製した。一方の、鋼板には、無機ジンクを塗装して、自然

表1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/c	単位量 (kg/m ³)		
		W	C	S
55	3	271	493	1478



写真1 屋外暴露試験の状況

電位を測定するための測定用コードを接続させた。試験体の水準は、損傷がないものを標準供試体とし、界面部に市販のカッターナイフでコンクリートとの界面部に1mm幅以下の損傷を与え、その損傷が大気中に出ているものを損傷(大気界面部分)、モルタル内に存在するものを損傷(Con内部)として、それぞれ6体作製した。また、コン

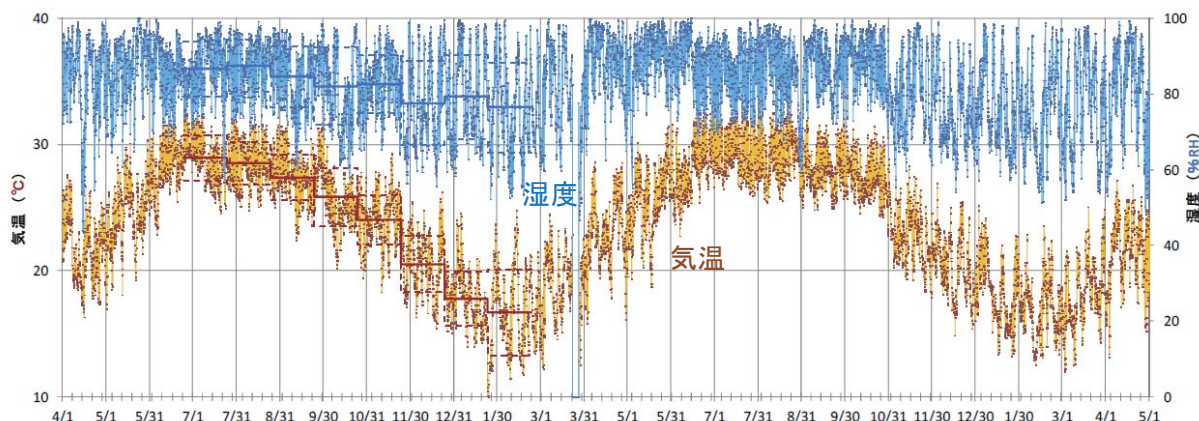


図2 屋外暴露試験場の気温と湿度（暴露試験場現地計測データより）

クリート埋め込み部には、分極抵抗を測定するためにステンレス版を鋼板と並行して埋設した。試験体の作製後は、コンクリート部を湿布して18日間の養生を行った後に、各種環境下に供した。

試験体の腐食促進環境は、室内塩水噴霧試験と海洋大気中への暴露とした。塩水噴霧試験は、10%の塩化ナトリウム水溶液を40°Cの環境下で5日間の噴霧を行った後に、湿度60%・温度20°Cの環境下で2日間の計7日間を1サイクルとし、20サイクルまで行った。20サイクル終了後は、3体のうち1体を解体してコンクリート埋込部への塩化物イオンの浸透状況および鋼板の腐食状況を調査した。残る供試体は、25サイクル時に噴霧器の不具合が生じたため、その代わりとして、塩化ナトリウム水溶液3%を染込ませた吸水シートで覆う工程を5日間、湿度60%・温度20°Cの環境下で2日間を1サイクルとして、現在60サイクル目まで促進を実施中である。

一方、海洋大気中での暴露試験は、写真1に示す沖縄県の沿岸部に供試体を設置して、6カ月ごとに現地で自然電位および分極抵抗の測定を行っており、現在は18カ月まで調査を実施してきている。図2には、参考までに暴露環境における2017年4月～2018年5月までの年間の温度と湿度の経時変化を示す。さらに、作製した試験体以外にも、塗装無し鋼板および無機ジंकを塗装した鋼板、塗装鋼板にカッターナイフで損傷を与えた鋼板も併せて暴露を行っている（鋼板サイズはいずれも7.5cm×10cm×0.9cm）。

3. 経過報告と考察

3.1 室内塩水噴霧試験による腐食状況

写真2には、一例として60サイクルまでの各種供試体の外観変化を示す。鋼板の腐食は、試験サイクル数が増加するに従って、いずれの試験体も進行していることが分かる。60サイクル時の腐食状況は、いずれもコンクリートと鋼材の界面部および鋼材の隅角部にて腐食が進行している。問題に挙がっている界面部における腐食の程度は、損傷をコンクリート内部に与えたものが最も大きく、次に標準試験体となっている。意外にも、界面部に損傷を与えたものは、腐食の進行が最も小さかった。また、隅角部における腐食は、無機ジंक塗装厚が他よりも薄くなっていることも一因と考えている。

次に、20サイクル時に各3体の試験体の内1体を解体し、モルタル内部の腐食状況の調査結果を写真3に示している。埋込部の鋼板腐食は、標準試験体としたものが最も進行していたのに対し、損傷を与えたものは、損傷部で明確な腐食が確認されず、埋込部にて多数の点錆びであった。図3には、各種試験体の腐食面積率、図4には、埋込部における鋼材との接触面におけるモルタル表層の全塩化物イオン量分布を界面からの深さ方向で示す。鋼材の腐食面積率は、無機ジंकを損傷させたものよりも標準試験体のものが大きかった。また、標準および損傷（大気界面部）の試験体においては、大気中よりもモルタル内部の腐食が大きかったのに対し、損傷（Con 内部）では、

写真 2 各種供試体の外観変化 (室内塩水噴霧試験)











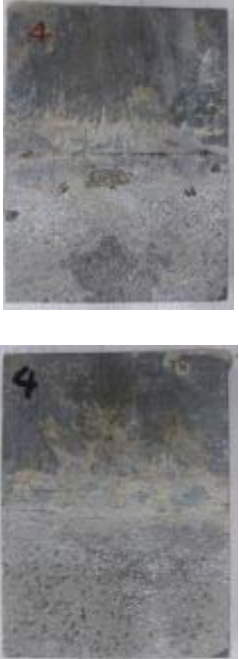

	促進試験前	20 サイクル	60 サイクル
標準			
損傷 大気 界面			
損傷 Con 内部			

写真 3 20 サイクル解体時のモルタル内部の腐食状況

標準 (前面と後面)	損傷・大気界面部 (前面と後面)	損傷・con 内部 (前面と後面)
		

大気中の腐食の方が大きかった。また、図 4 の全塩化物イオン量の結果を見ても試験体間で塩化物イオンの浸透状況には、大差がないことから損傷の有無や位置の違いによって、腐食メカニズムが異なると予想された。現時点では、より詳細な考察が難しいため、今後も継続して、解体調査を行っていき腐食の進展の違いについて検討していく予定である。

3. 2 海洋大気中への暴露

写真 4 には、一例として、海洋環境下に暴露した供試体の界面部の腐食状況を示す。いずれの試験体種類も 3 体ずつ暴露しており、目視で試験体種類ごとに最も腐食が見られたものを示している。その結果、外観での腐食状況は、標準および損傷 (Con 内部) のものが大きく、界面部に損傷があるものは、腐食の程度は小さく、他よりも腐

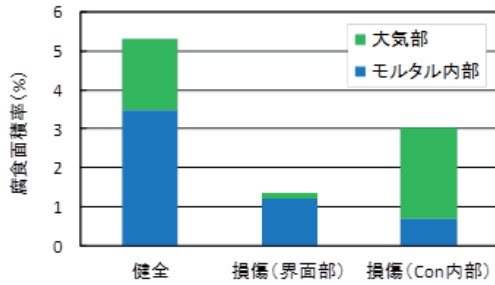


図3 腐食面積率 (20 サイクル解体時)

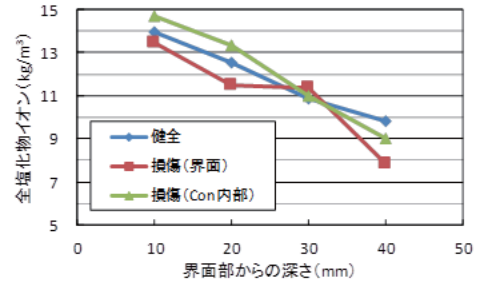


図4 塩化物イオンの浸透状況 (20 サイクル解体時)

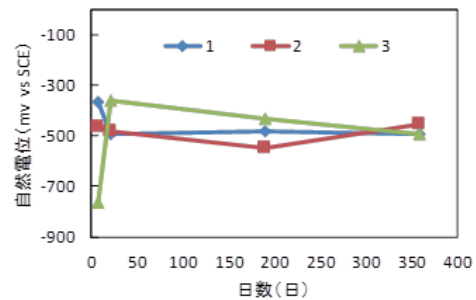
写真4 各種供試体の外観変化 (海洋大気暴露試験, No.は図1の試験体 No.に相当)

	暴露前	暴露 190 日	暴露 360 日
標準 (No. 1)	写真なし		
損傷・界面 (No. 6)	写真なし		
損傷・内部 (No. 9)			

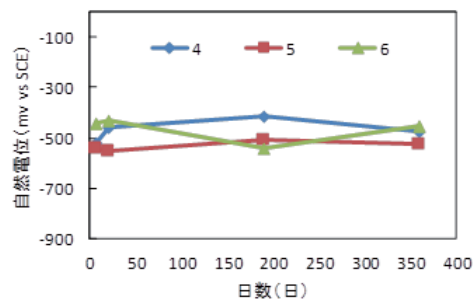
食が小さい点で、塩水噴霧試験の結果と一致していた。また、海洋大気中に暴露した試験体は、塩水噴霧試験の腐食状況と比較すると腐食が進行していることが分かる。海洋大気中は、湿潤期間よりも乾燥期間が卓越していると考えられることから、腐食は、乾燥と湿潤が明確であるほど進行しやすいものと予想される。

図5には、埋込部における鋼板の自然電位の経時変化を示している。無機ジンクが塗装されているため、鋼板の自然電位を表しているものではないが、いずれの試験体においても概ね-500mV程度を示している。また、暴露開始から自然電位にあまり変化していないことや、試験体による差が小さいことから埋込部の鋼板での腐食は、あまり進展していないと思われる。

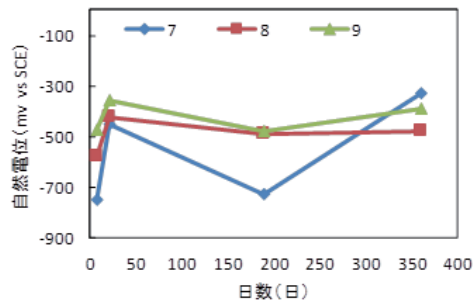
写真5は、塗装なし鋼板と無機ジンクを塗装した鋼板を併せて設置させた腐食状況である。塗装なし鋼板は、鋼板全体が既に腐食が確認できるのに対し、無機ジンクを施したものは、損傷有無に関わらず、腐食は確認されていない。無機ジンクの防錆効果は、カッターナイフ程度の損傷においても十分に機能している。ただし、コンクリートに埋め込んだ場合には、無機ジンクを施しても腐食が界面部に確認されていることから、電気化学的に腐食が生じていると考えることができる。



(a) 標準試験体



(b) 損傷・大気界面試験体

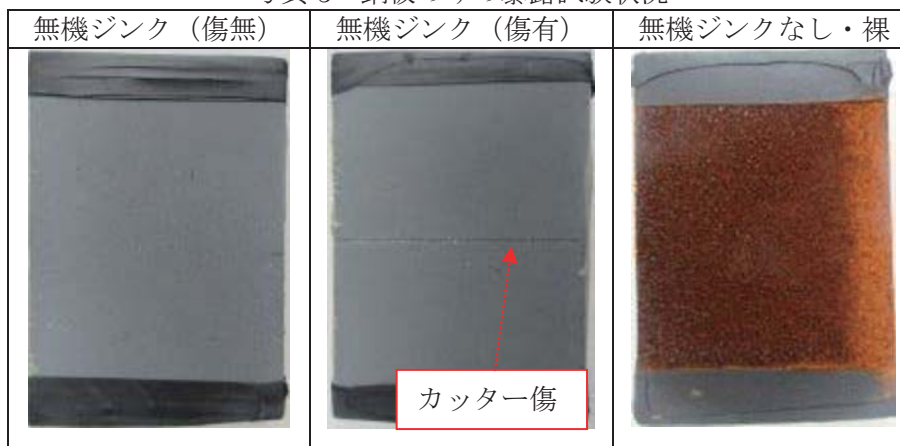


(c) 損傷・Con内試験体部

図5 自然電位の経時変化

(凡例の番号は図1の試験体 No.に相当)

写真5 鋼板のみの暴露試験状況



4. まとめ

損傷の有無や損傷位置により腐食発生箇所や進展状況が異なる結果となった。また、界面部に損傷があるものが、傷の無い鋼板よりも腐食が進展し難い状況が塩水噴霧や暴露試験の両者において確認されてきている。この原因については、より詳細な検討が必要であるため、試験体の腐食状況と定期的な解体調査によって、長期的にその違いを明らかにしていきたいと考えている。さらに、トリプルコンタクト部のより詳細な腐食メカニズムを明らかにするため、本報告を基に新たに詳細調査用の試験体を設ける予定である。具体的には、塩化物イオンの浸透状況や埋込部の乾燥湿潤に伴う水分分布の変化等の環境要因の影響、大気部と埋込部の間に生じる電位差や腐食電流、無機ジンクと鋼板との間に流れる防錆電流を計測して、腐食メカニズムを明らかにしていきたいと考えている。

【謝辞】

本研究の実施にあたり、川田工業 溝江慶久氏に鋼材等の手配に協力をいただいた。また、試験の実施や評価にあたっては、宇都宮大学 中島章典教授をはじめとする、土木学会 複合構造委員会 維持管理を考慮した複合構造の防水・排水に関する調査研究小委員会のメンバーから様々なアドバイスをいただいた。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 大西弘志, 谷口望, 樋原弘貴, 佐々木巖, 溝江慶久ほか: 複合構造物を対象とした防水・排水技術の現状, 複合構造レポート 07, 土木学会, 2013.
- 2) 貝沼重信, 細見直史, 金仁泰, 伊藤義人: 鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的な腐食挙動に関する研究, 土木学会論文集 No. 780/ I-70, 土木学会, pp. 97-114, 2005.
- 3) 中島章典, 倉持弥奈, 出川佑莉, 磯光夫: 鋼コンクリート接触面の腐食の発生・進展に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol. 58A, 土木学会, pp. 889-896, 2012.