

道路橋桁端部における腐食環境の評価と改善方法に関する検討

田中良樹* 村越 潤**

1. はじめに

道路橋の桁端部付近は狭隘な空間となっており、湿気がこもりやすい(図-1)。支承周囲の勾配が悪くと雨水などが滞水して湿気の原因となる。旧型(本文では排水型という)の伸縮装置の場合(写真-1)、路面から雨水や土砂などが流下して、水分を多く含んだ土砂の堆積が生じやすい(写真-2)。これらの点から、桁端部の腐食事例は他の部位に比べて多い傾向にある。その中には、鋼部材に著しい断面欠損が発生し(写真-3)、座屈や破断など、常時・地震時の安全性に影響を与えた事例もある¹⁾²⁾。特に、沿岸部の橋や凍結防止剤の散布が行われている橋では、主要な腐食因子である塩化物イオン(Cl⁻)が桁端部の腐食環境をより一層厳しくしていると考えられる。また、鋼部材のみならず、コンクリート桁や橋台、橋脚などにおいても、Cl⁻を含む排水に起因した、著しい塩害事例が見られる³⁾。既設道路橋の将来の維持管理の負担を軽減する上で、桁端部における腐食環境改善を推進していく必要がある。

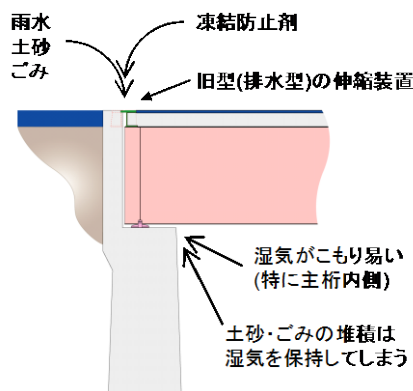


図-1 排水型伸縮装置を有する鋼道路橋の桁端部

本文では、桁端部の腐食環境を定量的に把握する試みとして、路面からの排水中のCl⁻量、及び桁端部に堆積していた土砂に含まれるCl⁻量を測定した結果を示すとともに、堆積土中Cl⁻のコンクリートへの浸透について調査した結果を示す。

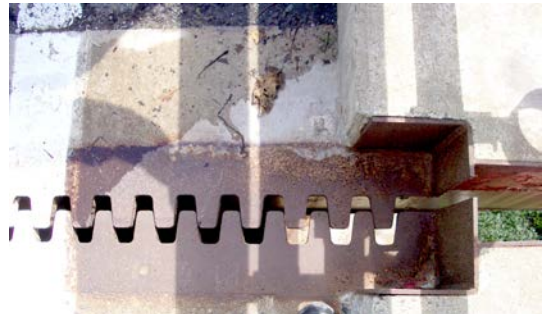


写真-1 旧型(排水型)の伸縮装置の例



写真-2 橋台上の土砂堆積と鋼桁端部の腐食



写真-3 鋼桁端部の著しい腐食の一例

また、腐食環境改善に向けた新しい取り組みの事例を紹介する。

2. 排水中のCl⁻量

海からの飛来塩の影響がない内陸におけるプレートガーダー橋において、写真-4に示すように、伸縮装置からの排水と排水管からの排水を合わせてタンクに収集し、毎月の排水中のCl⁻量の測定を行った⁴⁾。この橋の場合、桁間の伸縮装置はウレタンにより止水されていた。図-2に測定結果を、凍結防止剤(NaCl)の散布量と対比して示す。排水中のCl⁻量は、散布量に応じて増減していた。伸縮装置からの排水量と配水管からの

排水量の割合は必ずしも明確でないが、最初の1箇月でそれぞれの排水量をみたところ、両方ともに410リットルのタンクがオーバーフローするほどの量が流入していたことから、それぞれに路面排水が流下していたと推察される。この橋の場合、凍結防止剤中のCl⁻は排水とともに、桁端部、配水管の双方に流下していたと考えられる。路面に積雪が残ることはなかったため、凍結防止剤散布の時期を過ぎた5月以降は排水中のCl⁻量がほとんど零となった。



写真-4 排水調査の状況



写真-5 橋台及び鋼桁上の土砂(12月に採取)



写真-6 鋼桁下フランジの腐食による著しい断面欠損

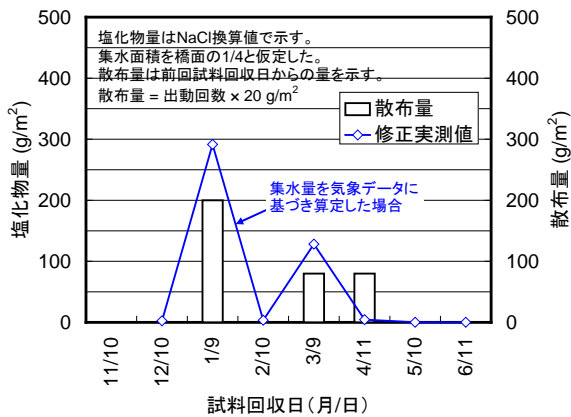


図-2 排水中のCl⁻量の経時変化

注) 集水量測定が適当でなかったため、気象データを用いた。



写真-7 排水管直下の試料採取位置

3. 堆積土のCl⁻含有量

凍結防止剤が散布される橋で、橋台天端と鋼桁下フランジ上に堆積していた土砂を採取して、土のCl⁻含有量を測定した。写真-5に採取位置の状況と測定結果を示す。分析方法は、地盤工学会基準 JGS0241-2000「土の水溶性成分試験方法」によった。単位は、乾燥土質量に対する比で表される。橋台上の土のCl⁻含有量が2.73mg/gであったのに対して、桁上では726mg/gと2桁異なる多量のCl⁻が堆積していた。この箇所の下フランジには著しい断面欠損が見られた(写真-6)。一方、

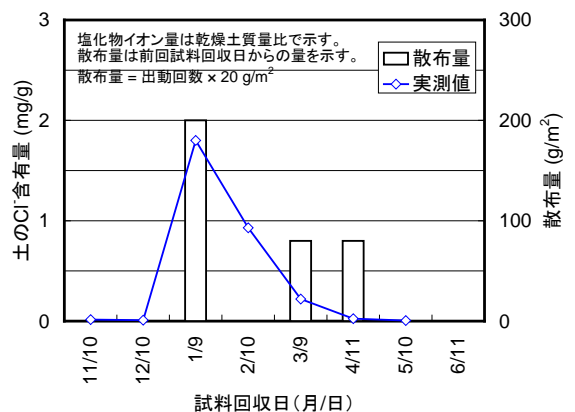


図-3 排水管直下における土のCl⁻含有量の経時変化

同橋で下フランジ上の堆積土のCl⁻含有量が5.12mg/gの箇所では、写真-6に見られるほどではないが、フランジや近傍のウェブに腐食が見られた。

参考として、写真-7に示す排水管直下の土のCl⁻含有量を測定した結果を図-3に示す（写真-4と同じ道路橋）。土のCl⁻含有量も凍結防止剤の散布とともに概ね増減する傾向にあり、散布時期が過ぎるとCl⁻含有量は雨水によって薄まるなどしてほとんどない状況に減少した。この排水管直下の例では、土のCl⁻含有量が数mg/gの範囲であり、写真-5の橋台上のCl⁻含有量と同程度であった。外桁外側の橋台上の土砂は雨に洗われやすい傾向にあるが、橋台上で跳ねた塩水がかかるなどにより、下フランジ上面に堆積したCl⁻は自然に洗われる機会が稀であるため、上記の橋台上と鋼桁上でのCl⁻含有量の顕著な差が現れたものと考えられる。

4. 堆積土中Cl⁻のコンクリート中への浸透

堆積土のCl⁻含有量がコンクリート構造物に及ぼす影響を調べるため、Cl⁻を含む土砂を堆積させたコンクリートコアの塩分浸透試験を実施した。直径100mm×高さ200mmのコンクリートコアの上面（打設面）に土砂を堆積させるとともに（堆積高さ50mm）、一部の供試体は、人工降雨として週1回、5リットルのイオン交換水を流した（写真-8）。比較のため、1体は3%NaCl水溶液に浸漬した。表-1にコンクリートの配合を示す。また、表-2に試験条件を示す。山砂は、一旦、炉乾燥（105℃、24時間）させてから、表-2に示したNaCl濃度の水溶液に浸漬した後、水を切り、表乾状態（80℃で6時間乾燥後、自然乾燥）にしてから堆積させた。暴露前後の堆積土のCl⁻含有量を上記と同じJGS0241により定量した（表-2に合わせて示す）。供試体数は各試験条件につき1体とした。暴露期間は17週間とした。暴露後のコンクリートは上面から10mm間隔で切断して、それぞれのCl⁻量の分析を日本コンクリート工学協会JCI-SC4（全塩分）により行った。

得られたコンクリートの上面からのCl⁻量分布をフィックの拡散式にあてはめ、表面Cl⁻量（ここでは塩分環境の指標として示す）とコンクリートの拡散係数を定量した。図-4に表面Cl⁻量と堆

積土のCl⁻含有量の関係を示す。降雨なしの場合、土のCl⁻含有量が多いほどコンクリート中のCl⁻量も多い傾向が見られた。一方、降雨ありの場合は、暴露初期における土のCl⁻含有量とコンクリート中のCl⁻量の間には明確な傾向は見られなかった。図-5に、コンクリートのCl⁻拡散係数と土のCl⁻含有量の関係を示す。拡散係数は土のCl⁻含有量とほとんど相関が見られなかった。降雨なしの拡散係数は、3%NaCl水溶液に浸漬した場合に比べて大きい傾向が見られた。また、降雨ありの拡散係数は、降雨なしの結果に比べて小さかった。これらの結果より、Cl⁻を含む堆積土は、降雨で洗われることがない場合、湿気とCl⁻を長期に保持するだけでなく、コンクリート中へのCl⁻の拡散浸透を促進する傾向があることがわかった。



写真-8 堆積土中Cl⁻のコンクリート中への浸透試験

表-1 コンクリートの配合及び打設記録

W/C	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				スランプ (cm)
			W	C	S	G	
55	4.3	45	165	300	813	1020	11.1

セメント：普通ポルトランドセメント、
 混和剤：AE減水剤750ml、AE剤3.0ml、
 最大粗骨材寸法G_{max} = 20mm
 圧縮強度37.5 N/mm²（28日標準養生、3本の平均値）

表-2 試験条件

No.	暴露方法*	人工降雨	土中Cl ⁻ (mg/g)	
			試験前	試験後
1	3% NaCl水溶液	—	—	—
2	山砂 (0.5%)	なし	1.1	0.34
3	" (1%)	なし	2.3	1.0
4	" (2%)	なし	4.6	4.0
5	" (3%)	なし	6.8	5.0
7	山砂 (0.5%)	あり	1.1	0.002
8	" (1%)	あり	2.3	0.0012
9	" (2%)	あり	4.6	0.0013
10	" (3%)	あり	6.8	0.0013

*) カッコ内は山砂を浸漬した水溶液のNaCl濃度を示す。
 使用した山砂：土粒子密度2.69g/cm³、最適含水比17.0%

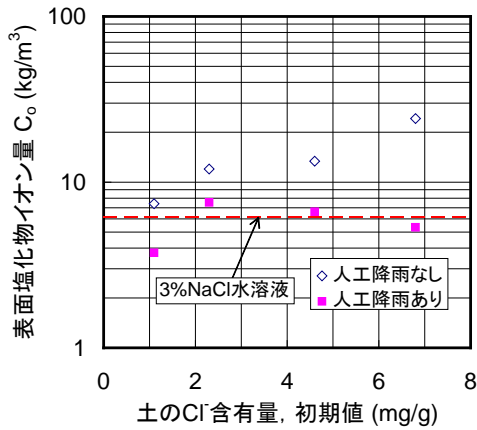


図-4 試験後のコンクリート表面Cl量

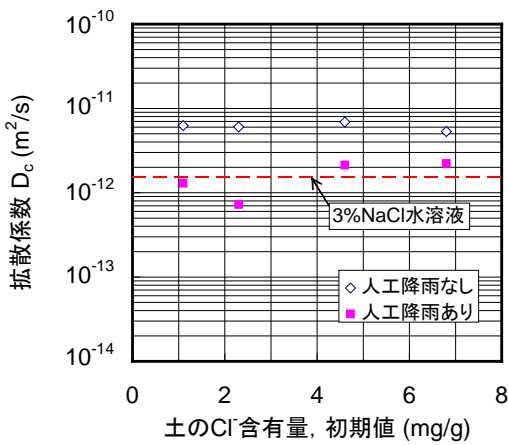


図-5 コンクリートのCl拡散係数

5. 既設橋桁端部の腐食環境改善の検討例

道路橋の腐食環境改善策としては、部材の定期的な洗浄が挙げられ、ニューヨーク州などで既に数十年続けられている事例が報告されている⁵⁾。日本においてもその効果や方法などについて検討され、実施事例が報告されるようになってきているが、まだ試行的段階を出ていない状況にある。今回の調査を踏まえると、桁端部の土砂を排除するだけでも定期的に洗浄・清掃することの効果は大きいと考えられる。桁端部に関しては、東北地方整備局において、予防保全マニュアルを作成して、定期的な洗浄を行うなど、従来の維持管理に加えて、維持工事でできる点に着目した予防保全の取り組みがある⁶⁾。桁端部の腐食環境改善に効果的な方法と考えられ、今後はこうした取り組みが継続されるためのしくみづくりが重要である。その効果説明のひとつとして、本文で示した結果や調査方法も参考になるものとする。

水密性の高い伸縮装置（非排水型伸縮装置）への交換は従来どおり有効な改善策の一つであると

考えられる。しかし、防水機能の低下が見られる場合もあることから、防水機能の改善あるいはウレタンなどの取り換えを容易にするなど、さらに現場のニーズに応じた検討事項が残されている。

また、非排水型伸縮装置への移行までの間、桁端部は厳しい腐食環境に置かれ続け、その間に著しい腐食に至る事例が多いものと考えられる。このような状況を改善する方法として、写真-4に示したように、ポリエチレン製の排水装置を橋台や伸縮装置下面に簡易に取り付け、路面排水を桁端部からバイパスさせることを考えた⁴⁾。この例では、試験的に設置して約2年になるが、今のところ良好に機能している。現時点では、桁端部腐食に対する応急処置と考えており、効果が上がることを期待している。

謝 辞

本調査にご協力いただいた関係事務所、出張所の担当者の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 名取暢、西川和廣、村越潤、大野崇：鋼橋の腐食事例調査とその分析、土木学会論文集、No.668、pp.299-311、2001.1
- 2) 接合面にエポキシ樹脂を塗布したボルト継手に関する検討、土木研究所資料、4091号、2008.3.
- 3) 例えば、渡辺暁央、小保田剛規、河野成弘：凍結防止剤による下部工の塩化物イオンの浸透性に関する考察、コンクリート工学年次論文集、30-1、pp.741-746、2008.7
- 4) 田中良樹、村越潤：簡易排水装置を用いた桁端部の腐食環境改善、第27回日本道路会議、2007.11
- 5) 磯光夫、勝俣盛、渡辺喜紀、安江哲、三田村浩、藤野陽三：橋梁洗浄技術に関する研究、土木建設技術シンポジウム論文集、土木学会、pp.321-327、2005.7
- 6) 簡単な予防保全による橋梁延命化、予防保全マニュアル、国土交通省東北地方整備局東北技術事務所、2007.10

田中良樹*



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター主任研究員
Yoshiki TANAKA

村越 潤**



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター上席研究員
Jun MURAKOSHI