

鋼製橋脚地際部の腐食要因に関係する2つの実験検討—その2

宇都宮大学 学生員 ○ 葛西孝平

フェロー会員 中島章典

正会員 Nguyen Minh Hai 藤倉修一

1. はじめに

コンクリートフーチングなどに埋め込まれた鋼製橋脚地際部の腐食が問題¹⁾となっている。このような部位の腐食が生じる原因は、何らかの理由で地際部の鋼材の塗膜が剥離し、かつその部位の鋼材とコンクリートの接触面に隙間が生じ、腐食因子が侵入してしまうことが考えられる。

橋脚地際部の鋼材表面の塗膜が剥がれる理由として、鋼材表面に垂直方向の作用外力によりコンクリートが鋼材表面から剥がれる際に鋼材表面の塗膜も同時に剥がれることも考えられるため、そこで、種々の塗膜を有する鋼材表面と自然な付着状態を有するコンクリートとの接触面に対して、垂直方向の付着試験を行ってきた²⁾。しかし、十分なデータ数ではなかったため、再度同様の付着試験を試みた。

また、鋼製橋脚地際部の鋼コンクリート接触面境界部に隙間が生じる理由として、橋脚の振動に伴って橋脚地際部に隙間が生じるのかどうかを確認するために、そのような状態を模擬した模型試験体の静的載荷試験を行って地際部の隙間の計測を試みた。

2. 付着試験

(1) 付着試験概要

塗装を施した鋼板とコンクリートの付着試験体及びその試験方法の概要を図-1に示す。これらは著者らが2017年に行ったもの²⁾とほぼ同じであるため、その詳細は省略する。2017、2018年の付着試験体の鋼板の板厚は16mmであり、2016年の付着試験体の鋼板の板厚は12mmである。塗装は鋼板に無機ジンクリッチペイントを塗布したもの（以下、無機ジンクリッチ鋼板と呼ぶ）、無機ジンクリッチペイントの上にエポキシ樹脂塗料により封孔処理をしたもの（以下、ミストコート鋼板と呼ぶ）及びさらにその上にフッ素樹脂塗装を施したもの（以下、フッ素樹脂鋼板と呼ぶ）の3種類を用いた。

なお、付着試験はコンクリート打設後材齢2週および3か月後に行った。2016、2017年には基本的に鋼材の塗装状態ごとに3体の試験体を用い、2018年には鋼材の塗装状態ごとに5体の試験体を用いた。また、2016年の付着試験時のコンクリートの圧縮強度は、材齢2週で25.0N/mm²、材齢3か月で32.7N/mm²、2017年のものは材齢2週で29.6N/mm²、材齢3か月で36.4N/mm²、2018年のものは材齢2週で22.7N/mm²、材齢3か月で29.3N/mm²である。

(2) 付着試験結果

2018年に加えて、2017年、2016年の付着試験の材齢2週の結果を図-2に、材齢3か月について図-3に示す。これらの図において、縦軸が試験時の最大引張力を接触面積で除した付着強度に、横軸は鋼材の塗装状態に対応している。黒の棒グラフ、赤の棒グラフ及び青の棒グラフはそれぞれ2016、2017、2018年の結果である。これらの結果の中で、各年材齢2週の無機ジンクリッチ鋼板の平均付着強度はそれぞれ0.09、0.38、0.20N/mm²であり、各年の材齢3か月のフッ素樹脂鋼板の平均付着強度は0.52、0.05、0.06N/mm²

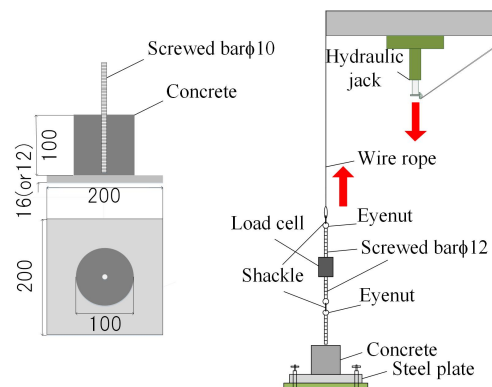


図-1 付着試験体及び試験方法

であり、いずれもばらつきが大きい。なお、ミストコート鋼板の付着強度は非常に弱く、また、2016年の付着試験では、試験実施前に既にコンクリート部分が鋼板から剥がれており付着強度を確認することができなかった。

付着試験後の鋼板表面の状況も異なる結果となった。具体的に、2016年では、付着試験後の無機ジンクリッチ鋼板の無機ジンクリッチペイントは剥がれなかったが、2017、2018年では、無機ジンクリッチ鋼板の無機ジンクリッチペイントが一部剥がれていた。付着試験後の無機ジンクリッチ鋼板表面は凝集破壊と界面破壊が混在していると言える。一方で、2016、2017、2018年の付着試験後のフッ素樹脂鋼板表面のフッ素樹脂塗料は剥がれず、界面破壊であると言える。付着強度のばらつきは塗装の膜厚差や付着試験体の打設の不確実さなどが考えられる。

3. 橋脚模型の静的載荷試験

(1) 橋脚模型試験体及び静的載荷試験概要

ここではコンクリートフーチングに埋め込まれた鋼製橋脚縮小模型の静的載荷試験を行い、橋脚の変形に伴い、橋脚地際部に隙間が生じるかどうかを確認した。試験体の概要を図-4に示す。橋脚部材の断面は20×12mmの平鋼であり、橋脚部の高さは555mmとした。また、橋脚部材は厚さ100mmのフーチング底面まで埋め込んだ。静的載荷試験に際しては、図-4のようにチャンネル鋼材と全ねじを用いてフーチングを固定した。橋脚地際部の鋼材表面とコンクリートの隙間を計測するため、フーチング上面から10mm位置の橋脚両側の水平方向変位を高感度変位計（CDP）で計測した。また、載荷荷重は上鋼板に取り付けたアイボルトから伸びるロードセルで計測した。

橋脚基部で計測した変位応答から、橋脚地際部において、鋼材表面と周辺コンクリートの間に隙間が生じたのかを調べた。静的載荷試験では、橋脚基部の応力が降伏応力より幾分小さくなる程度の範囲の荷重0.2kNを上限とし、5サイクルの載荷除荷を繰り返した。なお、静的載荷試験時のコンクリートの圧縮強度は43.8N/mm²、引張強度は3.3N/mm²である。

(2) 静的載荷試験結果及び理論値との比較

橋脚基部で計測された荷重—変位関係を図-5に示す。縦軸は荷重を、横軸は変位である。図左側は圧縮側（CDPが

Key Words: 鋼製橋脚地際部、腐食、付着試験、隙間

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6208

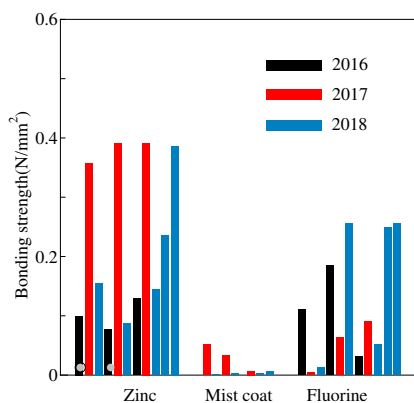


図-2 付着強度（材齢 2 週）

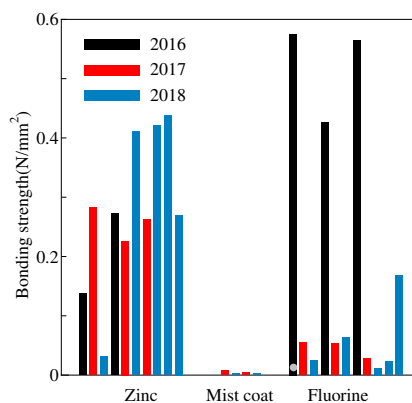


図-3 付着強度（材齢 3 か月）

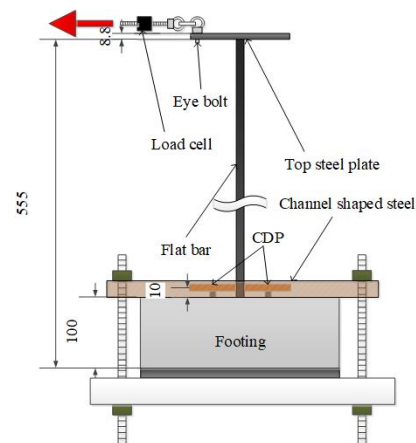


図-4 静的載荷試験体

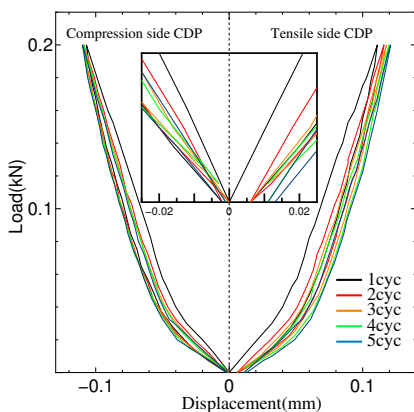


図-5 荷重-変位関係

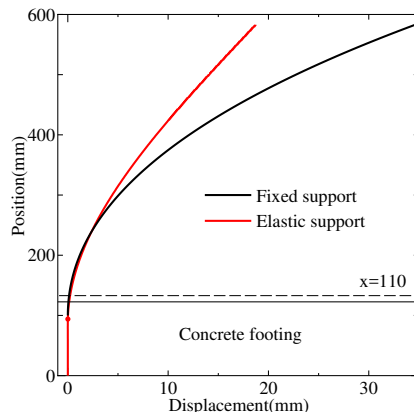


図-6 たわみ曲線の理論値

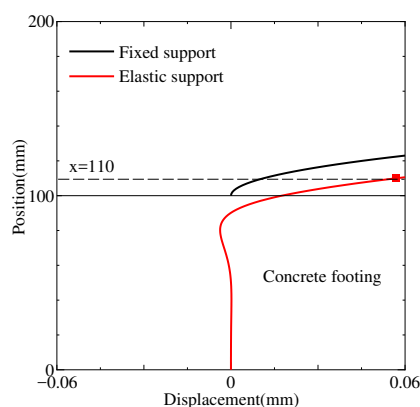


図-7 たわみ曲線の拡大図（理論値）

押込まれる側），また図右側は引張側（CDP が伸びる側）を表す．この図から同じ荷重レベルでは圧縮側より引張側の CDP の変位がわずかに大きいことが分かる．また，載荷するごとに引張側の変位が漸増的に残留している．これに対し，コンクリートを押込む圧縮側の残留変位はほとんどないことが分かる．

荷重 0.2kN 載荷時において，橋脚基部を固定とした片持ち梁およびフーチングを弾性支持とした片持ち梁のたわみ曲線の理論値を図-6 に示す．黒線は片持ち梁，赤線は弾性支持とした梁の結果である．黒い水平線はフーチング上面の位置を表している．また，図-7 には橋脚基部付近の拡大図を示し，図中の黒破線は CDP による水平変位計測位置である．静的載荷試験において 1 サイクル目の荷重 0.2kN 時の CDP の変位は引張側で 0.111mm，圧縮側で 0.107mm である．これに対して，基部固定の片持ち梁および弾性支持片持ち梁の同位置の変位は図-7 に示すように 0.011mm および 0.057mm である．つまり，どちらかと言えば計測値は後者の値に近いと言える．

(3) 静的載荷試験後のインク滴下

静的載荷試験後に鋼製橋脚基部に赤いインクを滴下し，24 時間後にコンクリートフーチングを破壊し，赤いインクが染みこんでいるか確認した．その結果，引張側コンクリートには 5mm 程度赤いインクが浸透し，圧縮側のコンクリートにはほとんど赤いインクが染みこんでいなかった．この結果から引張側コンクリートに隙間が形成されたと考えられる．なお，上述した弾性支持梁の場合，コンクリート中の支圧ばねから求められる応力がコンクリートの引張強度よりも大きくなる範囲はフーチング上面から 6mm 程度の

範囲である．そのため，赤いインクが引張側の地際部に浸透したと考えられる．

4. まとめ

鋼製橋脚地際部の鋼材の腐食が生じる要因として，鋼材表面に垂直方向に作用する何らかの外力によりコンクリートが鋼材表面から剥がれる際に鋼材表面の塗膜も同時に剥がれることが関係すると考え，種々の塗膜を有する鋼材表面と自然な付着状態を有するコンクリートとの接触面に対して，垂直方向の付着試験を行った．付着試験の結果としては，ミストコート鋼板では付着強度が非常に弱く，無機ジンク鋼板やフッ素樹脂鋼板はばらつきが多かった．また，付着試験後の鋼板を観察するとフッ素樹脂鋼板では塗膜の剥がれはなく界面破壊であった．よって鋼材の埋め込み部はフッ素樹脂塗料が望ましいと考える．

また，鋼製橋脚地際部に隙間が生じる理由の 1 つとして，橋脚の変形に伴って橋脚地際部に隙間が生じるかどうかを確認するために，そのような状態を模擬した模型試験体の静的載荷試験を行った．その結果，静的載荷試験後の赤いインクの滴下によって引張側地際部に赤いインクの浸透が確認されることから橋脚の変形によって橋脚地際部に隙間が形成される可能性を示した．

参考文献

- 1) 貝沼ら：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，pp.97-114，2005.1.
- 2) 葛西ら：鋼製橋脚地際部の腐食要因に関係する 2 つの実験検討，土木学会第 73 回年次学術講演会，CS6-029，2018.9.