結露に着目した鋼箱桁内の調査と熱流体解析

名古屋工業大学正会員○永田和寿国土 交 通 省牧耕司名古屋工業大学フェロー小畑誠名古屋工業大学フェロー後藤芳顯

1. はじめに

鋼材表面が降雨にさらされない箱桁内において,腐食現象の要因の一つである水分は主として結露として供 給される.そのため,鋼箱桁内における腐食環境を把握するためには桁内での結露現象を明らかにすることが 必要である.本研究では,都市内高架橋箱桁内における結露の発生を調査するとともに,汎用熱流体解析プロ グラムを用いて結露現象に関する解析を行い,結露解析の腐食環境評価への適用を試みた.

2. 箱桁内の結露調査

調査対象は名古屋市内にある3径間連続鋼箱桁橋(図1)であり2003年より観測を行っている¹⁾. 当該の箱 桁には一部にボルト接合部のウェブの上部と下部に小さい隙間と下フランジに排水孔がある. さらに,桁外の 計測のためにマンホールはわずかに開いている. そのため,少量ながら外気の流入があり桁内の壁面には結露 と考えられる跡が確認されている(図2). そこで測定項目は結露現象の把握を目的として,桁内の温度,湿 度,および桁表面の温度とし,10分間隔で計測を行った.桁内の各種センサの設置位置の例を図3に示す. さらに PHS を用いて IP 網に接続し遠隔モニタリングシステムを構築した.

計測結果の例を図4,5に示す.これらの図はそれぞれ桁下部と上部の温度変化に注目したものである.これ らの図において桁の温度が露点温度を下回ったときに結露が生じたと判定した.桁の温度計測は同一の桁の3 箇所の断面(図1の①~③)で行ったが,それぞれに有意な差がなかったため図1の断面②の結果を示し,検 討した.全体的には冬季に結露発生条件を満たす回数が多かった.桁内の部位についてみると,桁下部より桁 上部での回数が多くなっており,桁中央部で結露発生条件を満たすことはなかった.1日内の時間帯について 見ると,桁上部では日中の9:00~18:00での発生が多いのに対し,桁下部では逆に夜間の18:00~9:00にかけ て結露が生じ易く日中に結露発生条件を満たすことはなかった.これは,桁上部は熱容量の大きいスラブに接 しているために温度上昇が他の部位に比べて遅れるためである.一方,桁下部においては夜間の放射冷却のた めに桁下部の温度低下が進むためである.結露の有無は単に温湿度から予想されるだけでなく,同時に設置し



キーワード:鋼箱桁,結露調査,熱流体解析,腐食環境評価 連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学



3. 結露のシミュレーションと考察

次にこのような結露現象を数値解析により再現することを試みた.熱流体解析による結露現象については既 に著者らは微小水滴モデルによる手法を提示した²⁾.しかし,この水滴モデルでは桁との熱のやりとりの扱い がやや複雑になる.そこで,ここでは桁の内部の表面に水の薄膜を配置し,その薄膜の厚さの増減により水分 の結露および蒸発を表現する手法を採用した.これにより桁表面に生じる結露・蒸発および桁本体・水・空気 の熱移動と質量移動を一貫したモデルで解析することができる.数値解析の対象としたモデルを図6に示す.

図1の断面③を対象として2007年12月29日の12:00~13:00の現象を解析した結果を示す。桁内の温度と 絶対湿度については測定値をもとに時間変化させながら桁内に一様に与えた。また桁の温度については熱電対 の測定値をもとに連続的に時間変化させた。なお、液膜の初期厚さは10⁻⁶(m)とし、液膜の飽和水蒸気圧 *p*_v(Pa) は次式で与えている。数値解析には StarCDVer.3.26³⁾を用いた。

$$p_{\nu} = \exp\left(-6096 \times T^{-1} + 21.24 - 2.711 \times 10^{-2} \times T + 1.674 \times 10^{-5} \times T^{2} + 2.433 \times \ln(T)\right), \quad T(K)$$
(1)

図7に解析により得られた液膜厚さ分布を示し,図8に対応する結露発生箇所付近での腐食電流量の測定結 果を示す.図7からわかるように解析開始後3600秒後で桁上部において液膜厚さが増加し,桁下部では減少 している.そして桁上部に対応する箇所のACMセンサでは腐食電流量の増加が見られた(図8).他の例でも 解析を行ったが,液膜厚さと腐食電流量の増減がかならずしも対応していない場合もあった.結露は桁表面の 汚染状態にも影響していることが知られており,それが主な原因のひとつと考えられる.基本的にはこの種の 数値解析によって箱桁内の結露の局所性や結露の持続時間についてもシミュレーションが可能であることが 明らかになった.

本調査を実施するにあたり、名古屋高速道路公社に多大なご協力をいただいた. ここに記して謝意を表す.

参考文献

小畑誠他:熱流体解析による箱桁内の腐食環境シミュレーション,構造工学論文集 Vol.53A, pp.834-843, 2007
小畑誠他:固気2相流解析による飛来塩分の付着シミュレーション,構造工学論文集 Vol.54A, pp.590-598, 2008
3) CD-adapco: StarCD Version3.26 マニュアル, 2006