

下水道コンクリートの硫化水素腐食深さの予測方法

藤生和也*

1. はじめに

コンクリートの耐用年数はこれを主要資材として使用する多くの社会基盤施設のストックマネジメントにおいて根幹的要素である。コンクリートは耐久性に優れていると言われてきたが、炭酸化、塩害、アルカリ骨材反応、化学物質による腐食など様々な劣化現象が報告されている。

これら劣化現象のうち、下水道施設のコンクリートについては化学物質による腐食の一つである、硫酸による腐食現象が問題となっている。この硫酸は下水中から気中へ放散された硫化水素ガスが微生物により酸化されて生成する。(写真-1、図-1) 硫化水素腐食のスピードは速く、数年で被りコンクリートが腐食されて鉄筋露出となることもある。側面は下水との接触、天端は結露により気相部でありかつ湿潤状態が維持され易いことが腐食の激しい原因と考えられる。

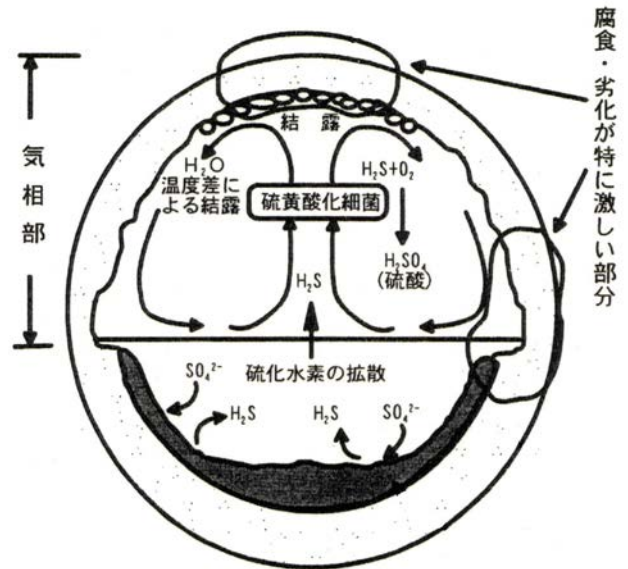


図-1 下水道コンクリート腐食概念図¹⁾

となっている。(図-2参照。同図は工場の作業時間中の排水の影響を強く受けると考えられる下水管渠マンホールでの測定データである。)

硫化水素腐食の既往研究については土木学会の報告書²⁾に詳しい。同報告書では、腐食コンクリート層の脱離の有無により腐食深さがそれぞれ時間比例 (t 則)、時間平方根比例 (\sqrt{t} 則) で進行すると結論づけられている。 \sqrt{t} 則は拡散方程式から導かれて実験値で確認されたものであり、古くは1972年に本誌に掲載された土木研究所地質化学部化学研究室の論文³⁾に出典を遡ることができる。

実験室ではコンクリート供試体を硫酸水溶液中に浸潤させて腐食させる工程を何か月も管理し、現場調査では現場に立ち入る前にポンプ停止、換気、洗浄清掃作業を行う必要があり、調査のための作業負担が大きい。このため、短期間あるいは単発の研究調査がほとんどであり、経年調査は極めて少ない。

そこで、比較的長期間を扱った数少ない研究調査を収集・解析したところ、実験室で半年程度、硫酸水溶液中で腐食した場合と、現場で硫化水素ガスに2年以上の長期間曝されて気相中で腐食し



写真-1 下水管内のコンクリート腐食状況
管の上半分の鉄筋が露出。サビ腐食が進行。

また、下水道現場の硫化水素ガス濃度は時間、週間、月間、年間の変動及び空間的ばらつきが非常に大きいので、年単位ないし十年単位で進行する腐食深さをどのように予測するかは難しい課題

た場合とでは腐食深さの経時推移に異なる傾向が見られたので以下に報告する。

2. データ収集と計算結果

既往研究で硫化水素又は硫酸によるコンクリート腐食深さを経時的に測定した文献等を収集し、実験室のものと下水道施設現場のものに分類する。

腐食深さの経時推移のデータを式(1)で最小二乗法により近似し、係数a、bを算出する。

$$d = at^b \quad (1)$$

ここで、

d : 腐食深さ (mm)

t : 経過年数又は施設年齢 (年)

実験室、現場それぞれについて、文献等データを式(1)で近似した状況を図-3、4に例示する。

各文献等の最大腐食深さをこれに対応する経過年数で除して平均腐食速度を算出し、この大きさの順に丸数字で番号を割り当てる。係数a、bを座標軸として各文献等データをプロットしたものを図-5に示す。参考文献と丸数字との対応を表-1に示す。

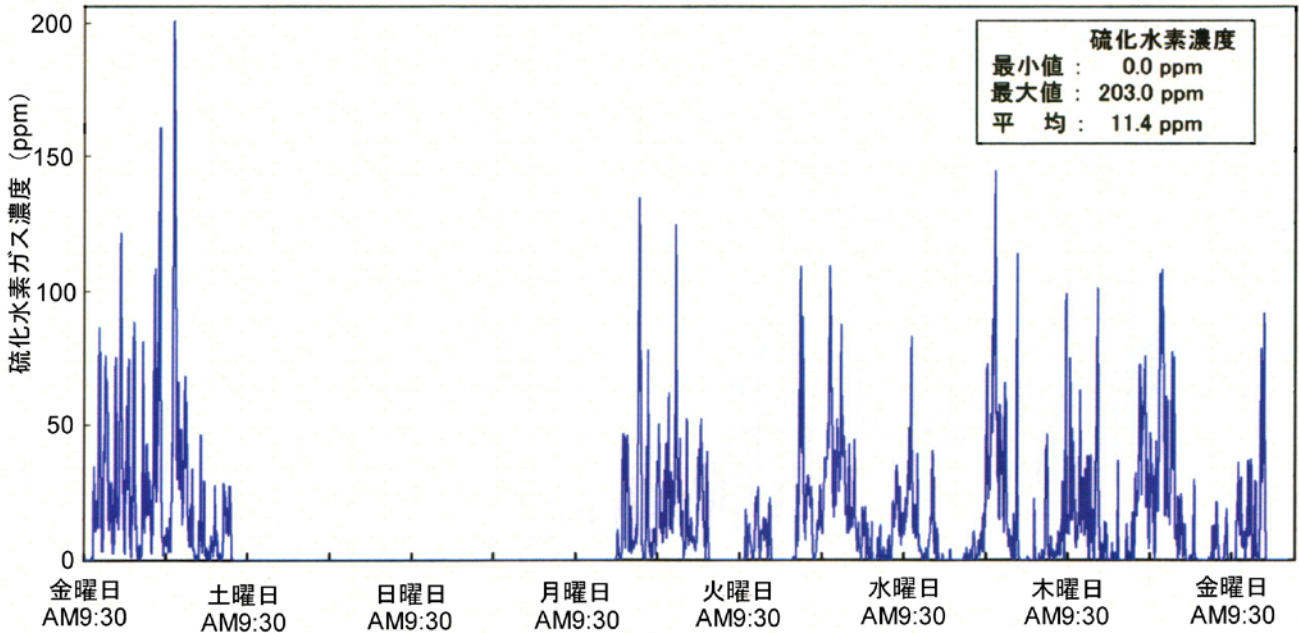


図-2 下水管渠マンホールでの硫化水素ガス濃度の連続測定事例

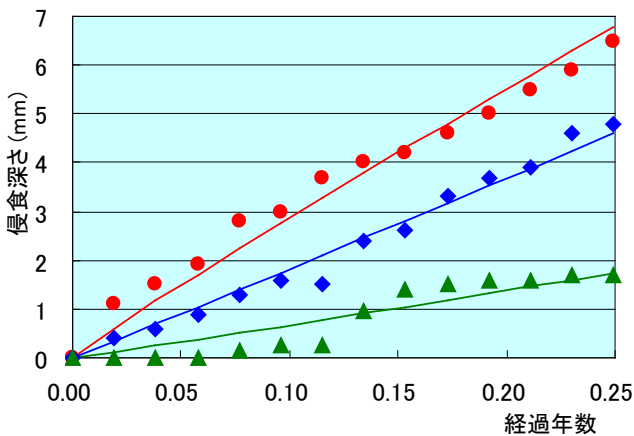


図-3 参考文献⁴⁾

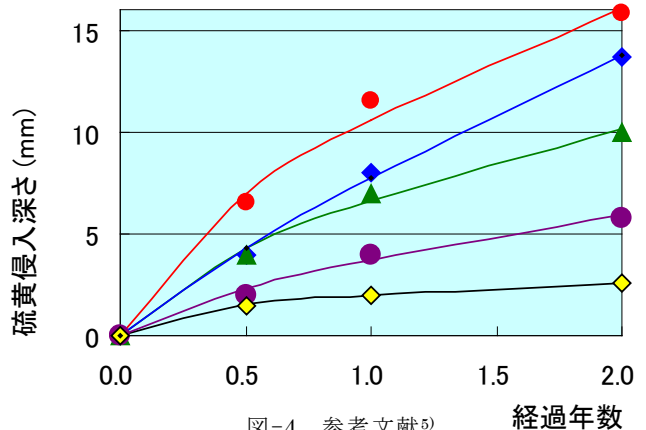


図-4 参考文献⁵⁾

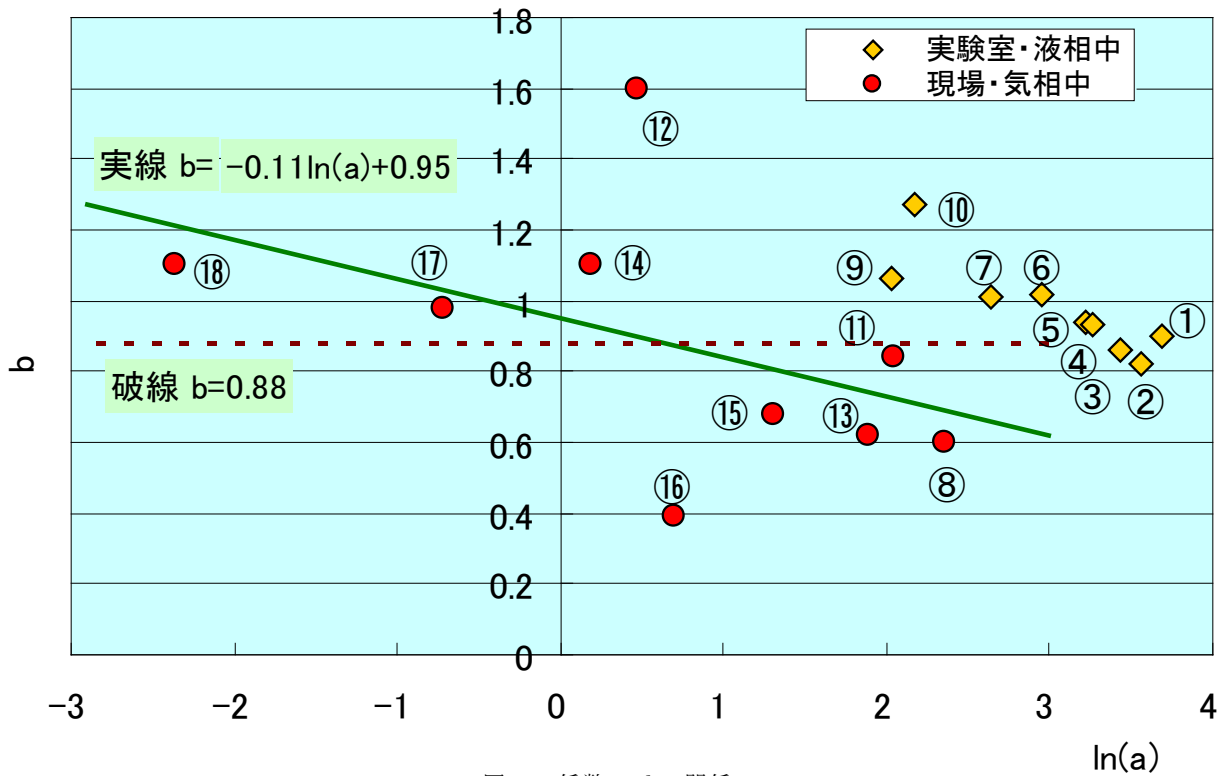


図-5 係数a, bの関係

表-1 参考文献と丸数字の対応

腐食環境	実験室・液相中			現場・気相中				実	
参考文献番号	4)			5)				6)	
丸数字	⑤	⑥	⑨	⑧	⑪	⑬	⑮	⑯	③
腐食環境	実験室・液相中			現場・気相中					
参考文献番号	7)		8)		9)		-		
丸数字	②	①	④	⑦	⑩	⑫	⑭	⑰	⑱

実： 実験室・液相中

3. 考察

図-5で、データプロットは大きく実験室データ群と現場データ群に分かれ、いずれの群でも平均腐食速度の大きいものから順に、すなわち丸数字の順に概ね右下から左上へ向かって並ぶ傾向が見られる。

また、実験室データ群は概ね $b=1$ 近辺に分布し、 t 則に従っているものと考えられる。現場データ群は \sqrt{t} 則の $b=0.5$ と実験室データ群の概ね中間に位置し、比較的広範囲に分布する。

これらのことから、実験室での腐食と現場での

腐食はメカニズムに差異があることが考えられる。原因としては前述のように液相中と気相中の違い、腐食環境条件の一定と時間変動の違い、腐食時間・酸強度の違いが考えられる。ただし、酸強度については、実験室で使用される程度の $pH1.0$ よりも強い酸性である $pH0.43$ の現場測定値も報告されており¹⁰⁾、原因でないことも考えられる。

現場データ群について、通常の回帰直線と傾きをゼロとした直線の二つの直線近似を考案する。近似直線式の係数は図中に記載したとおり算出される。前者 $b=-0.11\ln(a)+0.95$ は実用式となりうるが、物理的意味は不明である。現場ごとの1回の測定データで式(1)と回帰式を連立させて係数 a 、 b を算出できる。

後者 $b=0.88$ は、近似性が前者に劣るが、係数 a をコンクリート品質や腐食環境条件に関係させ、係数 b を腐食メカニズムに関係させて考えることができる。また、腐食メカニズムが t 則と \sqrt{t} 則の中間の 0.88 乗則となることを示し、係数 a を現場ごとに1回の測定データで式(1)により算出できる。

腐食の現場状況の観察からも、下水管壁面の粘土ないし泥状の腐食層は必ずしも脱離してはならず、硫化水素ガスを未腐食コンクリート面から遮断するほど密着してもおらず、中間的と考えられる。

コンクリート腐食深さの予測式は、下水道ストックマネジメントのうちマイクロマネジメントとして有力なツールである。個々の地点や施設で改築更新時期の予測を可能とするだけでなく、施設群全体でいつ頃、どれだけ改築更新事業量が発生するかを積み上げで予測することが可能となる。統計解析によるマクロマネジメント予測手法と併用すれば、さらに精度向上が期待される。

4. まとめ

現場コンクリートの硫化水素腐食深さの進行に関し、既往文献等を解析し、図-5中の二つの推定式を考案した。今後、長期間現場の腐食深さの経年推移を追跡したデータにより検証される必要がある。

なお、本稿の詳細は、文献¹¹⁾に示されているのでご参考にされたい。

参考文献

- 1) 日本下水道事業団 技術評価委員会：下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書、日本下水道事業団、p.1、2001/3/21
- 2) 土木学会コンクリート委員会化学的侵食・溶脱研究小委員会（323委員会）：コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状、2003/6
- 3) 坂本浩行：セメントモルタルの耐酸性に関する実験、土木技術資料、Vol.14、No.8、pp.38-44、1972

- 4) 蔵重勲、魚本健人：硫酸腐食によるセメント硬化体の侵食メカニズム、セメント・コンクリート論文集、(社)セメント協会、No.55、pp.459-460、2001
- 5) 日本下水道事業団 技術評価委員会：下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書、日本下水道事業団、pp.72-75、2001/3/21
- 6) 大西宏二、澤邊則彦、稲毛克俊：湿潤接着性が向上した耐硫酸モルタルの開発について、第43回下水道研究発表会講演集、(社)日本下水道協会、p.87、2006/6
- 7) 高橋俊之、新藤竹文、稲毛克俊：従来コンクリートの10倍以上の耐硫酸性を有する材料の開発、第43回下水道研究発表会講演集、(社)日本下水道協会、p.80、2006/6
- 8) 青柳直樹、吉田祐介、渡邊秀光、三浦尚：硫酸環境下におけるコンクリートの劣化性状と内部強度分布に関する研究、コンクリート工学論文集、(社)日本コンクリート工学協会、Vol.15、No.1、p.39、2004/1
- 9) 澤邊則彦、平野義信、大西宏二、佐田国康彦、稲毛克俊、須賀雄一：下水道腐食環境下に3年間暴露した耐硫酸性補修モルタルの性状、第42回下水道研究発表会講演集、(社)日本下水道協会、p.105、2005/6
- 10) 古賀みな子：腐食対策は腐食しない環境づくりから、月刊下水道、Vol.30、No.9、p.42、2007/8
- 11) 藤生和也：下水道現場コンクリートの硫化水素腐食に対する耐用年数、下水道協会誌 Vol.45、No.547、pp.104-113、2008/5

藤生 和也*



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究官
Kazuya FUJII