

数値解析モデルを用いた下水道管路施設における硫化水素腐食の予測解析

日本水工設計株式会社 武 憲司
○河内 隆秀

1. はじめに

下水道管路及び処理施設における硫酸によるコンクリート腐食現象は、メカニズムが複雑で、施設の腐食状況、事例に関して公開されている情報が極端に少ない状況にある。そのため、定性的評価に基づいた腐食対策となっているのが現状である。今後は、既存管路施設の耐久性を向上させ延命化を図ると共に、ライフサイクルコストの低減を目指した合理的な改修・改築計画の立案が極めて重要である。このような対症療法的ではない、合理的な設計・維持管理を行うには、基礎技術となるコンクリート構造物の劣化予測手法の確立が急務である。本稿では、コンクリート構造物の劣化予測手法を確立するために実施した検討結果についての報告を行う。

2. 検討概要

本調査で用いた解析モデルの採用理由等を表-1にまとめる。本検討は、これらの解析モデルを用いて、(1)～(5)に示す予測解析を行い、後段に続く合理的な改修・改築計画の立案に必要な基礎情報を入手するものである。

表 -1 解析モデルの採用理由

採用モデル	解析対象	採用理由
WATSモデル ^{1), 2), 3)}	圧送管・自然流下管での硫化物挙動予測	物質収支論に基づいた下水管内での基質変化の定量評価が可能 同一モデルで自然流下管、圧送管双方に採用が可能
吉本モデル ⁴⁾	硫酸によるコンクリート構造物の劣化予測	WATSモデルのアウトプットを直接利用可能 経過年数がパラメータとして組込まれているので、将来予測に対応可能

- (1) WATS モデルによる現況の解析
- (2) 既存設計図書による滞留時間推移予測
- (3) WATS モデルによる将来解析
- (4) 吉本モデルを用いたコンクリート構造物の劣化予測
- (5) 改築・更新計画基礎資料の入手

3. 調査箇所の概要

(1) 幹線概要

今回の調査対象は、A 中継ポンプ場～B 中継ポンプ場の区間であり、幹線概要は図-1の通りである。当幹線の特徴として、圧送管出口 (M73) から数スパンでの人孔段差が多い事が挙げられる (表 - 2 参照)。

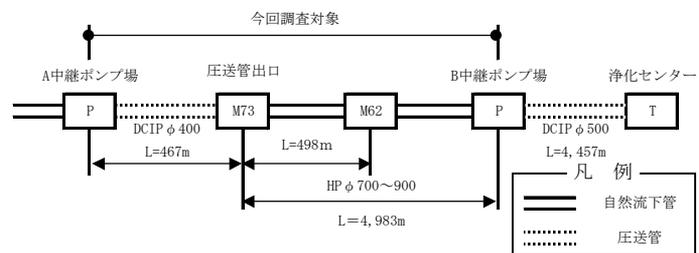


図 - 1 今回調査対象範囲 (幹線系統模式図)

表 - 2 管きよ概要

(2) 滞留時間の推移

現況の流入水量実績及び既存設計図書である年次別流入水量予測結果を用いて圧送管内 (A ポンプ場～M73 間) 最長滞留時間及び日平均滞留時間の推移を試算した結果を表-3にまとめる。

スパン名	流下形態	スパン延長 (m)	M73からの距離 (m)	段差 (m)
A中継ポンプ場～M73 (圧送出口)	圧送	467	—	—
M73～M72	自然流下	27	27	0.599
M72～M71		25	52	0.335
M71～M70		21	73	0.262
M70～M69		20	93	0.204
M69～M68		48	141	0.494
M68～M67		108	249	0.568
M67～M66		95	344	0.597
M66～M64		58	402	0.02
M64～M63		66	468	0.02
M63～M62		30	498	0.02

4. 現況のシミュレーション結果

図-2 に溶存酸素濃度と管きょ延長の関係を示す。水質調査結果とシミュレーション結果を比較すると、M-72 及び M-39 における測定値を $1\text{gO}_2/\text{m}^3$ 程度上回る結果となったが、それ以外は実測値と近い値を得ることができた。

当幹線は、圧送管出口から数スパンでの入孔段差が多いことから、好気状態への回復が早いことが解析により明らかとなった。このことから、高濃度の硫化水素ガス濃度の発生区間は、短いと推察できる。

図-3 に硫化水素ガス濃度と管きょ延長の関係を示す。硫化水素ガス濃度についても、実測値に近い解析結果が得られたといえる。シミュレーション結果から、M73～M62（自然流下管延長：約 498m）までで、硫化水素ガスの発生はほぼゼロとなることが分かる。これは、自然流下管における気相部酸素の溶解及び段差部での再曝気・硫化水素の放散の影響により溶存硫化物自体が殆ど存在していないためである。

5. 将来のシミュレーション結果

硫化水素ガスが発生する環境は、水量の増加と共に改善されていくと推察できる。ここで、H27 年度と全体計画時のシミュレーション結果を図-4 に示す。圧送管出口では、滞留時間の減少により、H27 年度で現況より 420ppm 程度低下すると予想される。全体計画時には、H27 年度よりもさらに 30ppm 程度低下すると予想される。しかし、滞留時間が最長となる時刻での硫化水素濃度は、現状よりも改善されるが、100ppm 以上検出される結果となっており、発生源対策等の導入が必要であるといえる。上記の解析結果から、当幹線においては将来に渡り、高濃度の硫化水素ガスの発生が予想される。

6. コンクリート腐食予測について

WATS モデルシミュレーションにより得られた、年度毎の年間平均硫化水素ガス濃度をインプットデータとし、吉本式を用いて算定した累積腐食深度を表-4 にまとめる。表-4 の算定結果は、発生源対策等を実施せずに無対策とした場合の予測値である。

今回、腐食が予想される M73～M62 は、 $\phi 700$ の遠心力鉄筋コンクリート B 形 1 種管であり、鉄筋までのかぶりは 35mm となっている。腐食深度とは、中性化深さを指しており硫酸の浸透深さは $1\sim 2\text{cm}$ 程度内部に達すると言われている。⁴⁾

硫酸が鉄筋に達した場合、鉄筋の膨張による内部からの劣化が促進される。この場合、予測式から得られる腐食速度以上に急激に腐食・劣化が進行することとなる。そこで、本検討では腐食深度が $15\sim 25\text{mm}$

表-3 最長滞留時間の推移予測結果

	現況(H14年度)	H27年度	全体計画時
水量($\text{m}^3/\text{日}$)	1,300	3,391	8,440
平均滞留時間(分)	65	25	10
日最長滞留時間(分)	290	130	110

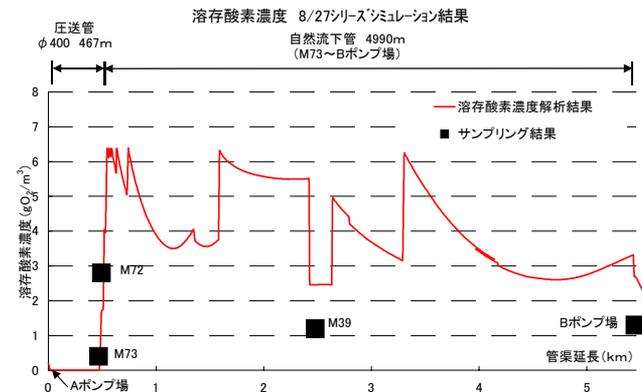


図-2 溶存酸素濃度解析結果

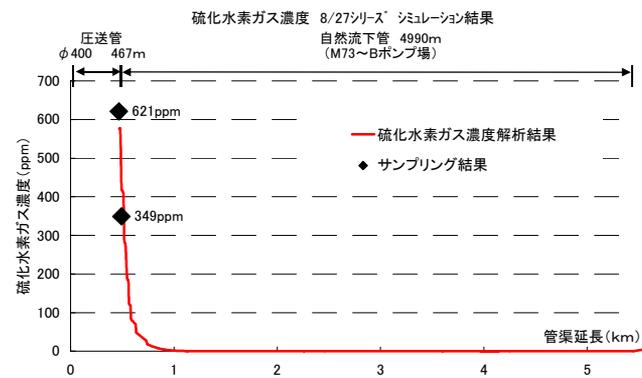


図-3 硫化水素ガス濃度解析結果

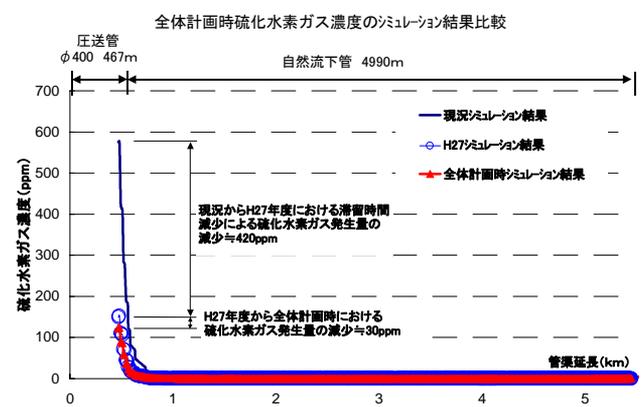


図-4 硫化水素ガス濃度将来解析結果

に達する時期を管きよの補修実施時期として設定した。ここで、平成 27 年度における管きよ腐食深度縦断図を図 - 5 に示す。図 - 5 から、M72～M69 の 3 スパンは、鉄筋まで確実に硫酸イオンが到達していることから、平成 27 年度以前に管きよの更生等の補修対策が必要となる。

M69～M64 の 4 スパン 309m は、累積腐食深度が 15～25mm に達している。適切な補修や管理による道路陥没等のリスク管理や管きよの延命化によるライフサイクルコストの低減を考慮すると、硫化水素発生抑制対策や管更生等の補修対策の早期実施が望まれる。

表-4 年間平均硫化水素ガス濃度と累積腐食深度の関係

年度	経過 年数	計画汚水 量(m ³)	M72～M71		M71～M70		M70～M69		M69～M68		M68～M67		M67～M66		M66～M64		M64～M63		M63～M62	
			ガス濃度	腐食深度																
H14	8	1739	42	19	36	17	32	16	21	13	14	10	10	9	8	8	7	7	6	7
H15	9	1951	43	20	38	18	33	17	22	14	15	11	11	9	8	9	7	8	6	7
H16	10	2074	43	21	39	20	34	19	23	15	15	12	12	10	8	9	7	9	6	8
H20	14	2442	36	26	40	24	34	23	24	19	16	15	13	13	8	11	8	11	7	10
H24	18	3012	30	30	38	29	32	27	23	22	16	18	14	15	8	13	8	13	7	12
H27	21	3391	23	32	35	31	28	29	22	24	15	20	11	17	7	15	7	14	6	13
M72からの距離(m)			0	25	25	46	46	66	66	114	114	222	222	317	317	375	375	441	441	471

7. まとめ

(1) 本検討のまとめ

既往モデルを組み合わせることによって、下水道施設のコンクリート腐食を評価する手法を構築した。その成果は以下の通りである。

- ・ 下水中の各種水質成分の任意位置での濃度把握が可能となり、劣化の主原因である硫化水素ガスの発生状況を概ね評価可能である事が示唆された。
- ・ 将来時の硫化水素ガス発生状況が把握できることから、場当り的な対策ではなく、維持管理も含めた合理的な改善対策の立案が可能となる。

(2) 今後の課題

- ・ コンクリート腐食プロセスのうち、①硫黄酸化細菌による硫酸の生成プロセス、②硫酸によるコンクリート腐食プロセスは理論的に解明されていないため、硫化水素ガス濃度と腐食深度に関する経験式を用いた評価に留まっている。

[参考文献]

- 1) Thorkild Hvitved-Jacobsen(2001):Sewer Processes Microbial and Chemical Process Engineering of Sewer Networks, Technomic Pub Co
- 2) Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J., and Tanaka, N. (1998): Wastewater quality changes during transport in sewers-An integrated aerobic and anaerobic model concept for carbon and sulfur microbial transformations, Water Science & Technology, Vol39, N0.2, 242-249.
- 3) Tanaka, N., Hvitved-Jacobsen, T., Horie, T.: Transformations carbon and sulfur wastewater components under aerobic-anaerobic transient conditions in sewer systems, Water Environment Research, Vol72, No.6, 651-664.
- 4)「下水道管路施設腐食対策の手引き(案)」(社)日本下水道協会 (平成 14 年 5 月)

問合せ先：日本水工設計株式会社 東京支社 第二技術部 武 憲司、河内 隆秀

〒104-0053 東京都中央区勝どき 3-12-1 フォアフロントタワー (電話 03-3534-5523)

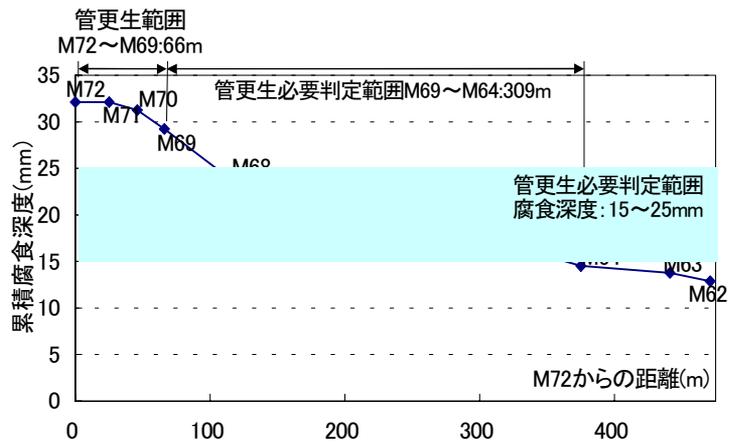


図 - 5 H27 年度における腐食深度解析結果