

3. 管路施設の長寿命化に関する調査

下水道研究室 室 長 藤生 和也
主任研究官 松宮 洋介
研 究 官 濱田 知幸

1. はじめに

我が国では下水道普及率の上昇に伴い、管渠総延長が 38 万 km（平成 16 年度末）に達しており¹⁾、今後、管路施設の適切な管理が、国民への良質な社会資本サービスの維持確保のためにも重要な課題となる。

管路施設の適正な管理とは、健全な状態を長く保つことで、貴重な資産をいかに効果的かつ経済的に利用するかが重要なポイントとなるが、昨今、管渠が本来有すべき耐用年数を満たすことなく劣化し更新される例が見受けられる。その劣化原因の一つが、硫化水素による管渠腐食である。工場排水やビルピット等の排水は、特に溶存硫化物を多く含む可能性があり、これらの排水が管渠内に流下すると、気相中へ硫化水素ガスが放散され、硫酸の形成により管渠が腐食する。気液界面の乱れが大きいほど硫化水素放散量も大きくなり、特に人孔の段差部など落差がある特殊な下水道施設では、下水が強く攪拌されるため、多量の硫化水素ガスが放散する。

このような排水の影響を検討する際、管渠が耐用年数期間内において、管路施設が腐食破壊しない許容硫化物濃度と、排水流入後の平均硫化水素濃度を比較することは、施設を適正管理する観点から重要である。許容硫化物濃度については、対象施設の仕様、耐用年数、施設の腐食速度、下水からの硫化水素飛散量および管内空気移動量等の様々な条件から設定すべきものであると考えられる。本調査は、これらの関係を明らかにすることを目的としている。本年度は、ヒューム管の仕様実態調査を行うとともに、腐食時の抵抗曲げモーメントを試算し、腐食による耐荷力への影響を調べた。

2. 腐食に伴う管渠耐荷力への影響

管渠が腐食すると管厚が減少し、これに伴いひび割れ抵抗曲げモーメントが著しく低下すると考えられる。ここでは、腐食時による管厚減少量とひび割れ抵抗曲げモーメントの関係を明らかにすることを目的として、ヒューム管の仕様に関する実態調査と耐荷力計算を行った。

2. 1 ヒューム管仕様実態調査

コンクリート構造物計算を実施するにあたり、ヒューム管の構造的諸元が必要となる。JSWAS（日本下水道協会規格）²⁾では、内径、管厚、管長、外圧強度、コンクリート圧縮強度について定めがあるものの、腐食時の構造計算を行う上で重要な鉄筋の配筋や材料については JIS 規格への適用を謳っているのみであり、メーカー毎に異なるのが現状である。

そこで、国内のヒューム管メーカー各社に対し、後述する耐荷力計算に必要な下記の緒元についてアンケート調査を行った。調査の結果、アンケート調査では企業秘扱いのものや試験を実施していないなど、データ入手が困難であったことから、全国ヒューム管協会へのヒアリング等で補足した（表－1 参照）。

表－１ アンケート・ヒアリング調査結果

調査諸元	アンケート調査結果	ヒアリング等による補足
コンクリートの曲げ引張り強度 Et (N/mm ²)	データ入手困難	外圧管・Ⅰ種管 4.21～7.95N/mm ²
		外圧管・Ⅱ種管 5.93～12.64N/mm ²
		推進管・Ⅰ類 4.21～7.95N/mm ²
		推進管・Ⅱ類 5.93～12.64N/mm ²
コンクリートの圧縮ヤング係数 Ec (N/mm ²)	データ入手困難	ヤング係数比は次の通り。 n =Et／Ec=0.5 m =Es／Ec=7.0
コンクリートの引張ヤング係数 Es (N/mm ²)	データ入手困難	
主鉄筋のヤング係数 (N/mm ²)	データ入手困難	
主鉄筋配筋方法 (単鉄筋・複鉄筋の別)	・ φ 800 mm以下で単鉄筋 ・ φ 900 mm以上で複鉄筋	—
主鉄筋径 (mm)	データ入手困難	鉄筋量算出に必要な諸元であるが、代わりに 文献４) の標準鉄筋比より鉄筋量を算出
主鉄筋ピッチ (mm)	データ入手困難	
主鉄筋被り (mm) (引張側と圧縮側)	・ 単鉄筋は管中央に配置 ・ 複鉄筋は被り 25 mm	—

※データ入手困難は、企業秘、データ数が少ない、未試験を含む。
※コンクリートの曲げ引張り強度のヒアリング値は、JSWAS のひび割れ荷重からの逆算による。

2. 2 ヒューム管耐荷力計算

鉄筋コンクリート管の耐荷力を計算するにあたり、一般的なコンクリート構造物計算方法ではコンクリートの引張強度を考慮しないが、円形の場合はコンクリートの引張応力負担分が大きく、この影響を考慮する必要がある。ここでは、コンクリートの弾性理論に基づき、下式によりヒューム管の断面計算を行うことで耐荷力を計算することとした。

$$Mr = \frac{I}{m(T-x)} \cdot \sigma_{bt}$$
-----(1)

$$x = \sqrt{\left(\frac{m \cdot b \cdot T + n(As + As')}{b(1-m)}\right)^2 + \frac{m \cdot b \cdot T^2 \cdot 2n(As \cdot d + As' \cdot d')}{b(1-m)}} - \frac{m \cdot b \cdot T + n(As + As')}{b(1-m)}$$
----- (2)

$$I = \frac{b}{3} (x^3 + m(T-x)^3) + n \cdot As (d-x)^2 + n \cdot As' (x-d') -$$
----- (3)

- ここに、Mr
- : ひびわれ抵抗曲げモーメント (N・m)
- x
- : 中立軸 (mm)
- I
- : 断面二次モーメント (mm⁴)
- T
- : 全管厚 (mm)
- d、d’
- : 鉄筋の位置における有効厚さ (mm) (d : 引張側、d’ : 圧縮側)
- As
- : 単位長さ当たり鉄筋断面積 (引張側)
- As’
- : " (圧縮側)
- b
- : 管の単位長
- Es
- : 鉄筋のヤング係数
- Ec
- : コンクリートの圧縮ヤング係数
- Et
- : コンクリートの引張ヤング係数
- m
- : Et/Ec
- n
- : Es/Ec
- σ_c
- : コンクリートの圧縮強度
- σ_{bt}
- : コンクリートの曲げ引張強度
- D
- : 鉄筋径 (As 及び As’ 算出用)
- ℓ’
- : 鉄筋ピッチ (As 及び As’ 算出用)

なお、計算に必要な諸条件については、先の仕様実態調査で得られたデータを基に表－２の通り設定した。

また、腐食断面の耐荷力は考慮せず、消失したものと仮定した。また、実際の管渠では、管頂部や吃水面で腐食が顕著であるが、本試算では管渠が均一に腐食するものとした。

表－２ 耐荷力計算の諸条件

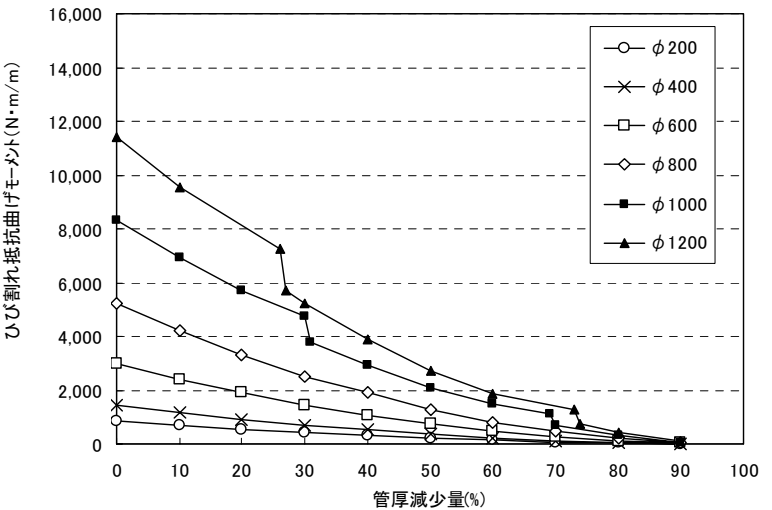
諸元	単位	規格	設定値	摘 要
管厚	mm		JSWAS A-1, A-2, A-6 に準拠	外圧管は呼び径 1350 以下 B 形、呼び径 1500 以上 C 形
コンクリートの曲げ引張強度	N/mm2	外圧管・1 種管	一律 6.08	4.21～7.95N/mm2 の中間値
		外圧管・2 種管	一律 9.29	5.93～12.64N/mm2 の中間値
		推進管・Ⅰ類	一律 6.08	4.21～7.95N/mm2 の中間値
		推進管・Ⅱ類	一律 9.29	5.93～12.64N/mm2 の中間値
ヤング係数比 m	—		0.5	ヒアリング結果
ヤング係数比 n	—		7.0	ヒアリング結果
鉄筋量：As、As′	mm2/m		標準鉄筋比に基づく	ヒューム管設計施工要覧標準 ⁴⁾ より推定
鉄筋被り(有効厚)：d、d′	mm	呼び径 800 以下	管厚中心とする	単鉄筋
		呼び径 900 以上	一律 25mm とする	複鉄筋

※Et：コンクリートの引張ヤング係数
※Ec：コンクリートの圧縮ヤング係数
※Es：鉄筋の圧縮ヤング係数

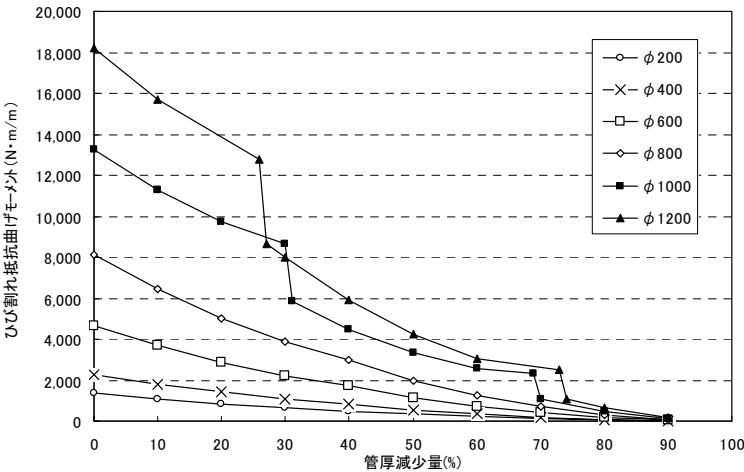
図－1、図－2 に試算結果を示す。抵抗曲げモーメントは、管厚の減少に伴い低下し、耐荷力が低下した。また、ヒューム管の腐食劣化状態による残存耐荷力を明らかにするため、腐食Aランク³⁾に相当する鉄筋露出状態と、腐食Bランクに相当する骨材露出状態の抵抗曲げモーメントについて各々算出した。なお、鉄筋露出状態は腐食が鉄筋まで達したとき、骨材露出状態は鉄筋被りの半部分が腐食したときと定義した。

計算の結果（表－3 参照）、主に小口径管渠（φ800 以下）に採用が多い単鉄筋管（外圧管 1 種）では、骨材露出状態で対新管比 56%、鉄筋露出状態で 25%まで抵抗曲げモーメントがほぼ一律に減少した。

一方、中大口径管渠に採用が多い複鉄筋管（外圧管 2 種）では、骨材露出状態で 72～93%、鉄筋露出状態で約 42～69%の範囲で抵抗曲げモーメントが減少し、同じ腐食劣化判定であっても管径により残存する耐荷力は異なる結果となった。



図－1 外圧管 1 種のひび割れ抵抗曲げモーメント



図－2 外圧管 2 種のひび割れ抵抗曲げモーメント

表－３ 腐食劣化状態によるひび割れ抵抗曲げモーメントの変化

呼び径 (mm)	外圧管１種					外圧管２種				
	管厚 (mm)	腐食深さ (鉄筋露出) (mm)	Mr/Mn (%)	腐食深さ (骨材露出) (mm)	Mr/Mn (%)	管厚 (mm)	腐食深さ (鉄筋露出) (mm)	Mr/Mn (%)	腐食深さ (骨材露出) (mm)	Mr/Mn (%)
200	27.0	13.5	25.0	6.8	55.9	27.0	13.5	24.5	6.8	54.7
250	28.0	14.0	24.8	7.0	55.5	28.0	14.0	24.5	7.0	54.8
300	30.0	15.0	24.8	7.5	55.9	30.0	15.0	24.4	7.5	54.5
350	32.0	16.0	24.8	8.0	56.0	32.0	16.0	24.4	8.0	54.6
400	35.0	17.5	24.7	8.8	55.7	35.0	17.5	24.3	8.8	54.5
450	38.0	19.0	24.8	9.5	55.5	38.0	19.0	24.6	9.5	54.7
500	42.0	21.0	24.8	10.5	55.6	42.0	21.0	24.5	10.5	54.6
600	50.0	25.0	24.8	12.5	55.6	50.0	25.0	24.5	12.5	54.7
700	58.0	29.0	24.8	14.5	55.5	58.0	29.0	24.4	14.5	54.6
800	66.0	33.0	24.8	16.5	55.5	66.0	33.0	24.5	16.5	54.6
900	75.0	25.0	42.7	12.5	72.2	75.0	25.0	41.8	12.5	75.1
1000	82.0	25.0	45.8	12.5	74.9	82.0	25.0	44.1	12.5	77.4
1100	88.0	25.0	47.8	12.5	77.0	88.0	25.0	45.8	12.5	80.1
1200	95.0	25.0	50.0	12.5	78.8	95.0	25.0	47.6	12.5	81.8
1350	103.0	25.0	52.4	12.5	80.7	103.0	25.0	49.7	12.5	83.5
1500	112.0	25.0	54.8	12.5	82.2	112.0	25.0	51.7	12.5	85.0
1650	120.0	25.0	57.4	12.5	83.8	120.0	25.0	53.9	12.5	86.5
1800	127.0	25.0	58.6	12.5	84.7	127.0	25.0	55.0	12.5	87.2
2000	145.0	25.0	61.1	12.5	86.4	145.0	25.0	57.0	12.5	88.9
2200	160.0	25.0	63.8	12.5	88.0	160.0	25.0	59.3	12.5	90.2
2400	175.0	25.0	65.0	12.5	88.9	175.0	25.0	60.3	12.5	91.1
2600	190.0	25.0	66.2	12.5	89.7	190.0	25.0	61.7	12.5	91.6
2800	205.0	25.0	67.6	12.5	90.5	205.0	25.0	62.8	12.5	92.3
3000	220.0	25.0	69.0	12.5	91.3	220.0	25.0	64.0	12.5	93.0

Mr/Mn：新管のひび割れ曲げモーメント（Mn）に対する腐食時ひび割れ曲げモーメント（Mr）の比

3. まとめ

硫化水素によるヒューム管の腐食について、劣化と耐荷力の関係を明らかにするために、管渠緒元の実態調査並びに抵抗曲げモーメントの計算を行った。その結果、腐食等による管厚の減少に伴い耐荷力が減少すること、中大口径管渠に採用の多い外圧管２種では同じ腐食劣化判定であっても管径により抵抗曲げモーメント減少率が異なることが分かった。

以上の調査結果より、管渠を適正に管理する上で、劣化診断結果のみだけでなく、管径毎の残存耐力を考慮した更新計画の策定が、管渠の長寿命化を図る上で重要であることが明らかになった。

今後は、本調査結果を排水中の硫化物による管渠腐食速度の予測手法確立のために資するとともに、管渠を腐食させないための硫化物管理目標値の提案を行いたい。

【参考文献】

- 1) 日本下水道（平成 18 年）、社団法人日本下水道協会
- 2) 日本下水道協会規格 下水道用鉄筋コンクリート管（A－1）、社団法人日本下水道協会、平成 15 年 2 月
- 3) 下水道維持管理指針（前編）-2003 年版一、社団法人日本下水道協会、P124
- 4) ヒューム管設計施工要覧、全国ヒューム管協会(2000)