

下水道用塩化ビニル管の劣化事象と管体性能への影響評価 ～塩化ビニル管用視覚判定基準（案）の作成～

深谷 渉・賀屋拓郎・末久正樹・小川文章

1. はじめに

我が国の下水道管路総延長は平成24年度末で約45万km、経過年数が50年を超える管路は約1万kmある。既に整備のピークは過ぎ、施設の高齢化が急速に進行しており、老朽化に伴う道路陥没や閉塞による溢水等の市民生活や都市活動に影響を及ぼす事故が顕在化しつつある。

現在、施設の高齢化が進んでいるのは、コンクリート管や陶管等に代表される昭和40年代の高度経済成長期までに布設された剛性管であり、下水道を管理する地方公共団体では事故の未然防止及び施設延命化のため、劣化状況を把握すべく調査を鋭意実施している。

一方、高度経済成長期以降、コンクリート管や陶管より遅れて開発された塩化ビニル管が急速に普及し、平成24年度末現在、全国総延長の約5割を占めている。塩化ビニル管は整備開始からの経過年数が浅いため、経年劣化等に関する知見が少なく、劣化のメカニズムは不明な点が多い。このため、異常の早期発見・対処や近い将来到来する塩化ビニル管の改築時代に先駆けて、塩化ビニル管の劣化特性の把握及び劣化状況の適切な判定手法を確立する必要がある。

筆者らは、塩化ビニル管の劣化事象及び管体性能の低減状況を現地調査及び実験等で明らかにした上で、塩化ビニル管の視覚判定基準を提案したので、その結果について報告する。

2. 視覚判定基準の現状と課題

管路の劣化状況の判定は、下水道維持管理指針等に示されるTVカメラによる視覚調査結果に対する判定基準¹⁾（以下、「判定基準」）に基づいて行うのが一般的である。対象となる劣化事象は、腐食、たるみ、破損、クラック、継手ズレ、浸入水、取付管突出し、樹木根侵入、モルタル付着、油脂付着の10項目であり、劣化の程度に応じ、ランクa～c、劣化なしの4段階で判定する。

この判定基準は、主に鉄筋コンクリート管や陶管等の剛性管を対象にしており、塩化ビニル管等の可とう管の視覚調査結果に対する判定基準が存在しないため、塩化ビニル管の調査を実施する地方公共団体ではこの判定基準を流用しているのが現状である。しかしながら、剛性管と可とう管では、構造及び材質が大きく異なるため、発生する劣化事象も異なる。例えば、コンクリート管は高強度だが材質変化し易く、塩化ビニル管は材質変化し難いが形状変化し易い。

よって、塩化ビニル管の劣化状況を正確に判定するには、管体構造や材質を考慮した上で、埋設管に必要な管体性能を有しているか否かを定量的に判定する独自の劣化判定基準が必要となる。

3. 塩化ビニル管の劣化事象

塩化ビニル管の劣化判定基準確立のためには、塩化ビニル管の劣化事象を把握し、その事象による管体性能への影響を明らかにすることが重要である。そこで、実際の現場で生じている塩化ビニル管の劣化事象を把握するため、地方公共団体より塩化ビニル管を対象とした管路内調査結果を収集（32団体）した他、布設後30年以上経過した塩化ビニル管の管路内調査を独自に実施し（4団体）、劣化事象の把握及び維持管理上注視すべき劣化事象の抽出を行った。塩化ビニル管に生じている主な劣化事象は下記の通りとなった。

①破損、クラック、浸入水、継手ズレ

道路陥没の発生要因となる破損（軸方向クラック）、クラック（円周方向）、浸入水、継手ズレが多くの地方公共団体で確認された（図-1）。写真-1は破損の事例であり、取付管を接続するために本管を削孔した際に生じた微小の亀裂が、管軸方向に進行したものと推測される。

②たるみ

管勾配が変化することにより流下能力低下や土砂堆積による閉塞を引き起こす「たるみ」が多くの地方公共団体で確認された。

③ 偏平

写真-2は、全体的な断面変化（偏平）の事例であり、剛性管では発生しえない可とう管特有の事象である。布設後の重車両交通の増加や、管路布設時の締固め転圧不足、矢板引抜きによる土圧の増大等により、管体に設計耐力以上の荷重がかかることにより発生したものである。また、図-2に示すように、浸入水や破損は、偏平と併発している例が多く、偏平の程度（たわみ率）が大きいほど浸入水や破損の

異常の程度も悪くなる傾向にある。なお、図中の浸入水 a/b/c は、a：水が噴きだしている状態、b：（壁面を）流れている状態、c：滲んでいる状態を指し、破損・クラック a/b/c は、a：クラック幅5mm以上、b：同2～5mm、c：同2mm未満で、「破損」が軸方向クラック、「クラック」が円周方向クラックを指す。

④ 変形

既存のTVカメラ調査結果から変形の実態を把握したところ、白化かつ本管内径の1/10程度の突出しを確認された。写真-3は、局所的な断面変化（変形）の事例である。管の外側に砕石等が存在し、施工時の転圧により応力集中が生じたことが原因として考えられる。この事象も、可とう管特有のものである。

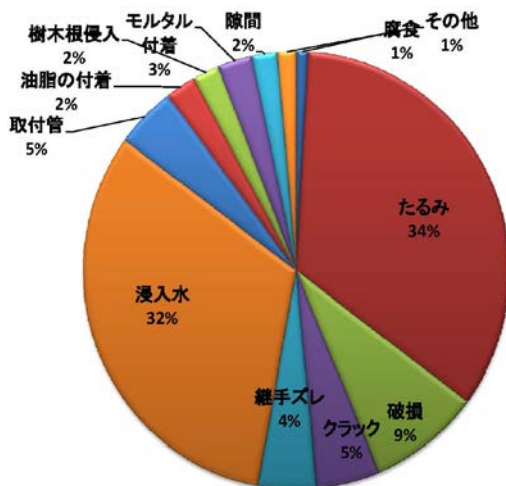


図-1 塩化ビニル管の劣化事象発生割合（偏平、変形は調査対象外）

4. 劣化事象の管体性能への影響評価

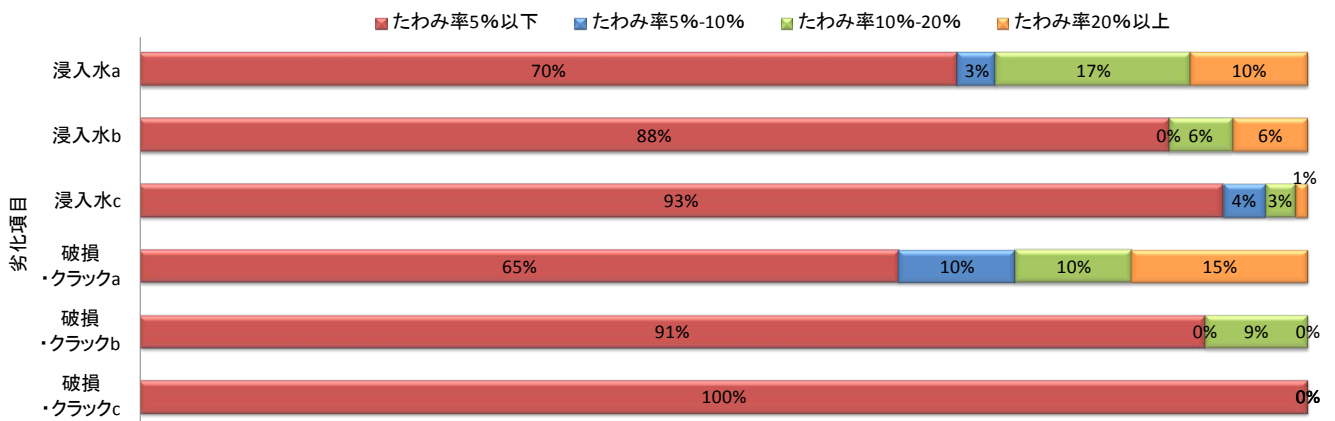
塩化ビニル管に多く見られる劣化事象（破損、クラック、継手ズレ、たるみ、偏平、変形）が管体性能に与える影響を把握するために、FEM解析の一種であるCAE解析及び劣化事象を再現した模擬管を用いた偏平試験を実施した。



写真-1 破損の事例

写真-2 偏平の事例

写真-3 変形の事例



各劣化項目毎のたわみ率別の発生割合

図-2 浸入水・破損の劣化ランクとたわみの関係

(1)破損・クラックの管体性能への影響評価

塩化ビニル管は剛性管と異なり、管材の肉厚が薄く、補強鉄筋もないため、クラックの発生は、即、管体性能に影響を及ぼすと考えられる。また、塩化ビニル管は可とう性（外力に追従して材質が変形する性質）を有しており、クラック幅は、上載荷重の影響を過敏に受ける（上載荷重の増加によりクラック幅が容易に拡大する）こととなる。

このため、管体性能に影響を与える危険なクラック幅の閾値を把握するために、扁平（たわみ率）とクラック深さをパラメータとした二次元非線形静的解析（CAE解析）を実施した。解析条件を表-1に、モデル形状及び解析イメージを図-3に示す。モデル形状は管体の対称性から右半分のみをモデル化し、荷重条件は扁平荷重のみとし管頂部から荷重をかけ管体を扁平させて解析を行い、たわみ率ごとに発生する歪みとクラック幅を算出した。

表-2は管径φ200mmの扁平時（39年経年管の弾性率）における発生歪み（最大値）、表-3は同条件におけるクラック幅であり、赤枠内は破断歪み（≧15）を超えていることを示す。これらの結果は、たわみ率が5%を超えると非貫通クラックに発生する歪みが破断歪みに達し貫通クラックに進行する可能性や、クラック幅1mm未満の軸方向クラックでも破断歪みに達する危険性をはらんでいる。これらの

表-1 CAE解析条件

項目	条件
解析種類	二次元非線形静的解析
管径	φ200 外径216 mm 標準管厚 7 mm φ400 外径420 mm 標準管厚 12.6 mm
クラック発生位置	管頂内面
ポアソン比	塩ビ管の一般値 0.38 (0.37~0.39 の中間値)
試験材料の弾性率・破断歪み	新管、14年経年管、39年経年管の実測データ
たわみ率	5% 10% 20% 30% 40% 50%
クラック深さ	管体肉厚の10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90%
モデル形状	管頂内面からの非貫通クラック 対称性より右半分のみのモデル化 対称境界条件により処理
荷重条件	扁平荷重のみ

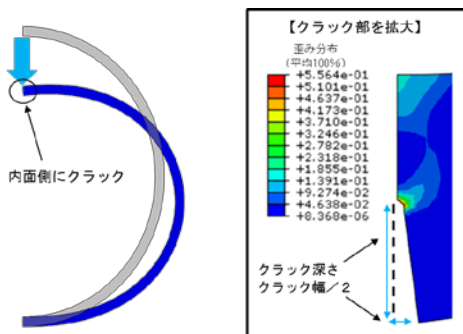


図-3 解析イメージ

表-2 CAE解析結果（発生歪み）

	真歪み(%)	たわみ率(%)					
		5	10	20	30	40	50
VU 200	0	0.68	1.33	2.68	3.40	3.66	6.89
	10	1.58	3.44	10.08	14.22	14.91	15.13
	20	2.20	5.27	14.74	22.96	27.03	29.07
	30	2.82	7.22	22.54	39.98	53.41	62.06
	40	3.56	9.44	35.93	64.03	82.39	94.45
	50	4.44	13.69	54.42	81.16	99.89	114.10
	60	5.54	20.20	64.01	88.53	107.30	122.50
	70	7.06	25.59	64.13	87.03	105.10	120.60
	80	7.74	23.04	53.18	74.47	90.49	104.70
	90	6.17	16.27	35.61	50.84	63.25	75.37

表-3 CAE解析結果（クラック幅）

	クラック幅(mm)	たわみ率(%)					
		5	10	20	30	40	50
VU 200	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	0.03	0.05	0.12	0.16	0.16	0.17
	20	0.06	0.11	0.24	0.34	0.40	0.42
	30	0.10	0.20	0.43	0.67	0.86	0.99
	40	0.15	0.31	0.75	1.22	1.62	1.94
	50	0.24	0.50	1.28	1.98	2.62	3.19
	60	0.36	0.81	1.95	2.90	3.79	4.63
	70	0.54	1.26	2.71	3.92	5.05	6.15
	80	0.80	1.73	3.45	4.91	6.25	7.55
	90	1.06	2.13	4.08	5.74	7.24	8.70

傾向は、経過年数及び管径に関わらず同様であった。

次に、扁平時における軸方向及び周方向クラックの進行状況を把握するために扁平試験（JIS K 6741）を実施した。試験は、管径φ200mmの試験体に任意の貫通クラック（幅1mm）を加工し、たわみ量10mmごとに荷重を加え（100mmに達するまで）、荷重による塩化ビニル管の状態を観察した。なお、埋設条件を考慮し、管側部が転圧不足の状態（管体非拘束）と十分転圧されている状態（管体拘束）の2パターン実施した。試験ケースを表-4に、クラック条件の定義を図-4に示す。

図-5は、円周方向クラック（case22,24,26）によるたわみ率と耐荷重比（各実験ケースの耐荷重÷クラック無し（case1）の対荷重）の関係を示す。円周方向クラックによる載荷重は、クラック位置及びたわみ率に関わらずクラック無しと同等であり、耐荷性能の低減は小さい。また、円周方向クラック長さ（case23,25,27）も耐荷性能に影響がなかった。これらの結果より、たわみ率15%以上において軸方向クラックが生じると、即座に破壊に至る可能性が示唆された他、周方向クラックは、扁平荷重に対する耐荷性能への影響が非常に小さいと考えられた。

(2)変形による管体性能への影響

変形は、碎石等による一定歪みが管体にかかっている状態である。変形に伴う管材表面の白化は、塑性域かつ一定歪み下での応力発生に伴うもので、

表-4 偏平試験ケース

Case	側面拘束	クラック				Case	側面拘束	クラック			
		方向	場所	長さ	角度			方向	場所	長さ	角度
1	非拘束	なし	なし	なし	なし	20	非拘束	軸方向	端	100mm	0°
2	非拘束	軸方向	中央	500mm	90°	21	非拘束	軸方向	端	50mm	0°
3	非拘束	軸方向	中央	300mm	90°	22	非拘束	円周方向	中央	2/3	90°
4	非拘束	軸方向	中央	100mm	90°	23	非拘束	円周方向	中央	1/4	90°
5	非拘束	軸方向	中央	50mm	90°	24	非拘束	円周方向	中央	2/3	45°
6	非拘束	軸方向	中央	300mm	45°	25	非拘束	円周方向	中央	1/4	45°
7	非拘束	軸方向	中央	100mm	45°	26	非拘束	円周方向	中央	2/3	0°
8	非拘束	軸方向	中央	50mm	45°	27	非拘束	円周方向	中央	1/4	0°
9	非拘束	軸方向	中央	300mm	0°	28	拘束	なし	なし	なし	なし
10	非拘束	軸方向	中央	100mm	0°	29	拘束	軸方向	中央	500mm	90°
11	非拘束	軸方向	中央	50mm	0°	30	拘束	軸方向	中央	300mm	90°
12	非拘束	軸方向	端	500mm	90°	31	拘束	軸方向	中央	100mm	90°
13	非拘束	軸方向	端	300mm	90°	32	拘束	軸方向	中央	50mm	90°
14	非拘束	軸方向	端	100mm	90°	34	拘束	軸方向	端	500mm	90°
15	非拘束	軸方向	端	50mm	90°	35	拘束	軸方向	端	300mm	90°
16	非拘束	軸方向	端	300mm	45°	36	拘束	軸方向	端	100mm	90°
17	非拘束	軸方向	端	100mm	45°	37	拘束	軸方向	端	50mm	90°
18	非拘束	軸方向	端	50mm	45°	38	拘束	軸方向	端	50mm	45°
19	非拘束	軸方向	端	300mm	0°	39	拘束	軸方向	端	50mm	0°

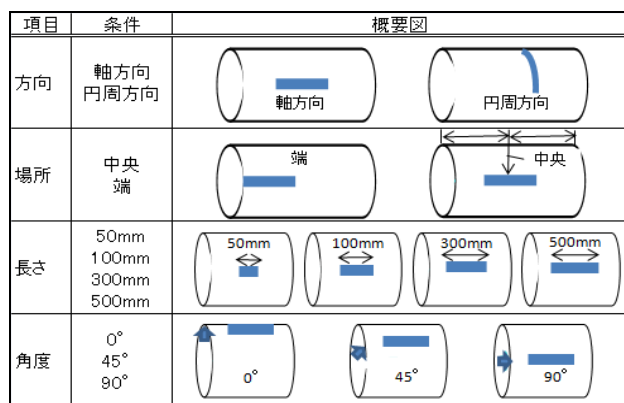


図-4 クラック条件

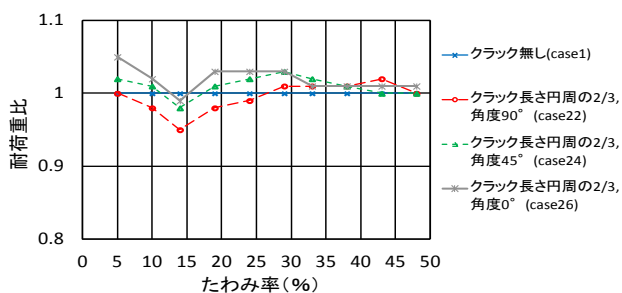


図-5 円周方向クラックによるたわみと耐荷重の関係

表-5 塩化ビニル管判定基準(案)
(新規、変更項目のみ抜粋)

ランク	a	b	c
項目			
管の破損	亀甲状に割れている 軸方向クラック	-	-
継手ズレ	脱却	接合長さの 1/2以上	接合長さの 1/2未満
偏平	たわみ率 15%以上	たわみ率 5%以上	-
変形	本管内径の1/10以上 内面へ突出し	本管内径の1/10未満 内面へ突出し	-

※材料の白化が伴う変形はaランクとする。

応力緩和過程でストレスクラックが発生する可能性が高く危険な状態である。

(3) 継手ズレによる管体性能への影響

継手ズレ(拔出し)は、水密性の低下をもたらす。採用の多いゴム輪受口タイプの水密性は、ゴム輪による止水機能に依存しており、接合長さによって決まる。下水道施設耐震計算例-管路施設編-前編²⁾では、レベル1地震動の使用限界状態は接合長さの1/2とされており、性能低下の閾値として用いる。

5. おわりに

劣化の実態が不明であった塩化ビニル管について、現地で実際に生じている劣化事象を把握し、それらの事象が管体性能に与える影響を評価した。この結果、管体性能上危険と判断される閾値が明らかとなった。この閾値は、劣化診断等を目視にて行う際の視覚判定基準(案)として整理したうえで、下水道維持管理指針2014年版³⁾に反映された(表-5)。

塩化ビニル管の適切な劣化診断により、事故の未然防止や施設延命化が図られることを期待したい。

参考文献

- 1) 下水道維持管理指針2003年版、下水道協会
- 2) 下水道施設耐震計算例-管路施設編-、下水道協会
- 3) 下水道維持管理指針2014年版、下水道協会

深谷 渉



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究室 主任研究官
Wataru FUKATANI

賀屋拓郎



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究室 部外研究員
Takuro KAYA

末久正樹



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究室 研究官
Masaki SUEHISA

小川文章



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究室 研究員
Fumiaki OGAWA