

## 学術論文

# 塩化ビニル管の視覚調査結果に対する判定基準 および緊急度の診断基準の提案

賀屋 拓郎\*  
末久 正樹\*\*\*\*

深谷 渉\*\*  
小川 文章\*\*\*\*\*

野澤 正裕\*\*\*

**要旨**：近年、道路陥没等の事故が多発しており、それらを未然に防止するためには、管きよの異常状態を正確に把握する必要がある。現在、管きよの異常状態の判定は、TVカメラによる視覚調査結果に対する判定基準に基づいて行うのが一般的であるが、この判定基準は主に鉄筋コンクリート管等の剛性管を対象に作られたものである。このため、全国の布設延長の約5割を占めているプラスチック系可とう管である塩化ビニル管については、従来の基準を用い正確に異常状態を把握することが困難である。このことを踏まえ、著者らは塩化ビニル管の異常状態および管体性能の低減状況を解明し、塩化ビニル管の視覚調査結果に対する判定基準および緊急度の診断基準の提案をした。

**キーワード**：下水道きよ、塩化ビニル管、視覚調査、判定基準、緊急度

## 1. はじめに

塩化ビニル管は、1974年の下水道協会規格（JSWAS K-1）制定以降急速に普及し、2012年度末現在、布設延長の約5割（図-1）を占めている。一方、維持管理の現状は、塩化ビニル管より先行して整備されたコンクリート管や陶管を対象とした長寿命化対策が中心であるが、近い将来、塩化ビニル管の高齢化時代が到来するとともに、塩化ビニル管の異常状態を適切に把握することが、より効果的な予防保全及び長寿命化対策の実施に繋がると考えられる。

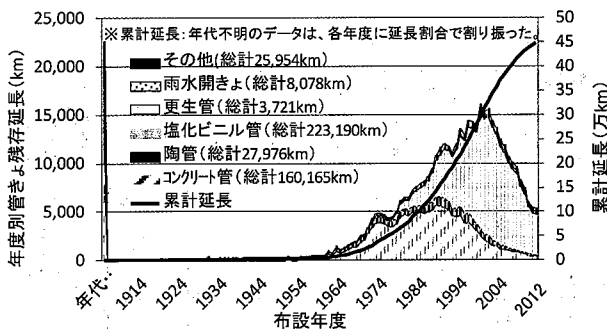


図-1 布設年度毎の管種別残存延長

しかし、塩化ビニル管は他管種と比べ整備開始からあまり時間が経過していないため、経年劣化やその他異常に関する知見が少なく、異常のメカニズムは不明な点が多い。また、管きよの異常状態の判定は、TVカメラによる視覚調査結果に対する判定基準<sup>1)</sup>（以下、「視覚判定基準」）に基づいて行うのが一般的であるが、

この判定基準は主に鉄筋コンクリート管等の剛性管を対象に作られたものである。このため、プラスチック系可とう管である塩化ビニル管にこの基準を用いることは適当でない。

このことを踏まえ、国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」）では、塩化ビニル管の異常状態および管体性能の低減状況を解明し、塩化ビニル管の視覚判定基準および緊急度の診断基準<sup>1)</sup>（以下、「緊急度診断基準」）を提案した。

## 2. 視覚判定基準の現状と課題

管きよの延長が増加し始めた1980年代から現在に至るまでの国内におけるTVカメラ等を用いた管きよの視覚判定基準の変遷について整理を行った。

現在、国内の主要な視覚判定基準には、下水道維持管理指針-2003-（社団法人日本下水道協会）、下水道管路施設維持管理計画策定の手引き（社団法人日本下水道管路管理業協会）、下水道管路施設災害復旧マニュアル（社団法人日本下水道管路管理業協会）、下水道管路施設の点検・調査マニュアル（案）（社団法人日本下水道協会）、ストックマネジメント手法を踏まえた下水道長寿命化計画策定に関する手引き（案）（国土交通省水管理・国土保全下水道部）などがある。しかし、これらには、通常の維持管理に用いられる可とう管の視覚判定基準が記載されていない。

## 3. 塩化ビニル管の実態

下水道では鉄筋コンクリート管や陶管等の剛性管と

塩化ビニル管等のプラスチック系可とう管が主に使用されており、両者は構造及び材質が大きく異なるため、発生する異常の特徴も異なる。例えば、鉄筋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。つまり、管体構造および管体材質を考慮した上で、埋設管に必要とされる管体性能を有しているか否かを定量的に判定する基準が必要となる。ここであげる管体性能とは、主として構造的異常に関する安定性（耐荷性等）・機能的異常に関する水密性・流下性能を示すこととする<sup>1)</sup>。

3.1 塩化ビニル管起因の道路陥没の現状

塩化ビニル管において発生した陥没の実態について調査するため、都道府県及び市町村組合を対象としたアンケートを平成22年度に実施し、塩化ビニル管（取付管を除く）起因の陥没の発生件数の現状を整理した。有効回答は全国の1444自治体であった。

アンケート結果より、塩化ビニル管のスパンにおいて1件/年以上の陥没の発生があったのは25自治体で（全体の2%）であり、塩化ビニル管起因の陥没はその他管種と比較すると少ないと言える<sup>2)</sup>。また、発生した塩化ビニル管起因の陥没の主要因は、転圧不足等の「初期不良」、「管の破損や接合不良」、地盤沈下や軟弱地盤等の「地盤の影響」であると分かった（図-2）。

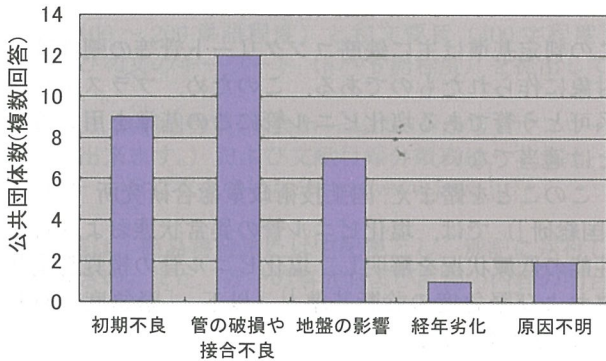


図-2 塩化ビニル管起因の道路陥没要因

これより、塩化ビニル管起因の陥没発生件数は少ないが、整備開始からの経過年数が少ない塩化ビニル管においても破損や浸入水が原因の道路陥没が生じていると言える。

3.2 塩化ビニル管の異常発生傾向

(1) 塩化ビニル管で確認された異常事例

塩化ビニル管に関する異常について、整理された情報が皆無であるため、自治体より異常状態を記録したTVカメラ調査結果を収集し、異常の発生傾向の整理および、注視すべき異常の抽出を行った。表-1は、国総研が公開している管渠劣化データベース（以下、「劣化DB」）および自治体から新たに収集した調査データに基づく、異常別の発生箇所数の集計表である。なお、異常の判定は、下水道維持管理指針の視覚判定基準に準拠して実施されたものである。

塩化ビニル管で発生している異常のうち、道路陥没の発生要因となりうる破損と浸入水は、ほぼ全ての自治体で発生しており、塩化ビニル管における代表的な異常項目と言える。また、たるみも多くの自治体で発生しているが、流下機能に支障がないCランクが大半であった（図-3）。

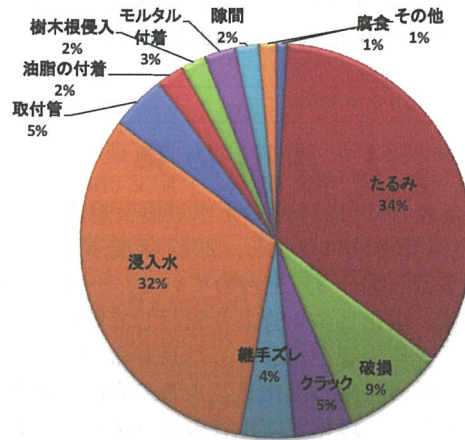


図-3 塩化ビニル管の異常割合（全ランク）

表-1 塩化ビニル管の各異常箇所数の集計表

自治体	塩ビ管使用開始年度	敷設年度	スパン数	点検結果(変状数)												1スパン当り不具合箇所数	1スパン当り不具合箇所数(たるみ除く)
				腐食	たるみ	破損	クラック	継手ズレ	浸入水	取付管	油脂の付着	樹木根侵入	モルタル付着	隙間	その他		
A市	1977年	-	151	0	42	0	3	1	14	17	0	0	0	0	17	0.6	0.3
B市	1983年	-	59	0	41	21	3	13	16	3	0	36	2	0	4	2.4	1.7
C市	1985年	1980年	150	0	70	6	1	3	1	1	9	0	0	0	0	0.6	0.1
D市	1978年	-	171	0	10	11	0	6	110	3	0	0	6	0	27	1.0	1.0
E市	1986年	-	148	0	464	3	1	0	88	0	0	0	1	34	5	4.0	0.9
F市	1980年	-	279	0	98	12	1	6	164	23	5	0	1	0	7	1.1	0.8
G市	1970年	1977年	306	0	379	132	2	0	199	1	0	0	3	0	0	2.3	1.1
H市	1986年	2006年	803	0	1	3	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
I市	1993年	-	347	0	517	10	1	29	39	14	0	0	2	0	15	1.8	0.3
J市	1956年	-	48	3	8	1	0	1	3	5	1	0	7	0	0	0.6	0.4
K市	1971年	1974年	653	0	362	51	6	34	246	194	7	40	26	132	84	1.8	1.3
L市	1964年	1974年	31	0	5	2	0	4	1	5	0	8	5	49	0	2.5	2.4
M市	1959年	1976年	33	0	0	6	1	0	0	7	0	0	0	1	0	0.5	0.5
N市	1956年	1981年	36	0	0	0	1	0	14	0	0	0	0	0	2	0.5	0.5
劣化DB	-	-	8,506	98	1,866	693	522	403	2,648	241	239	142	243	0	0	0.8	0.6
合計			11,721	101	3,863	951	542	500	3,630	514	261	226	296	216	161	1.0	0.6

※1 - 敷設年度が不明 ※2 たるみは変状箇所ではなく、変状区間の本数を記載

また、図-3よりAおよびBランクの異常のみを取り出した場合、発生している異常のうち、破損、クラック、継手ズレ、浸入水といった道路陥没の発生要因となりうる異常が約64%を占めていることが分かった(図-4)。

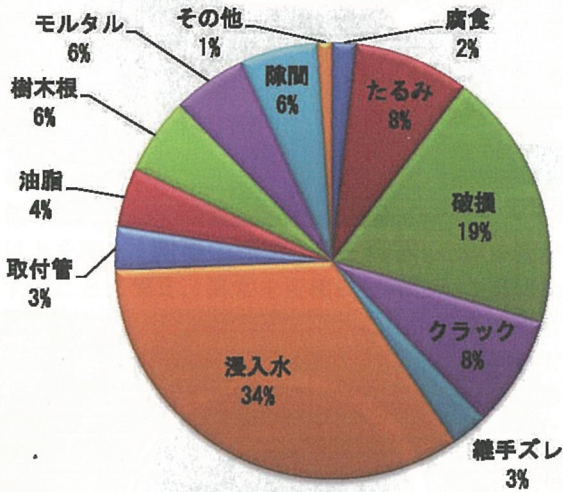


図-4 塩化ビニル管の異常割合 (A, B ランクのみ)

(2) 主な異常と布設経過年数の関係

管種別の主な異常(たるみ・破損・クラック・継手ズレ・浸入水・取付管の突出し)の異常発生率と布設経過年数との関係について整理した(図-5)。図中の縦軸の異常発生率は、調査したスパンのうちAおよびBランクの異常を有するスパン数を、調査した全スパン数で除したものであり、横軸は布設年度から調査年度までの経過年数を示す。

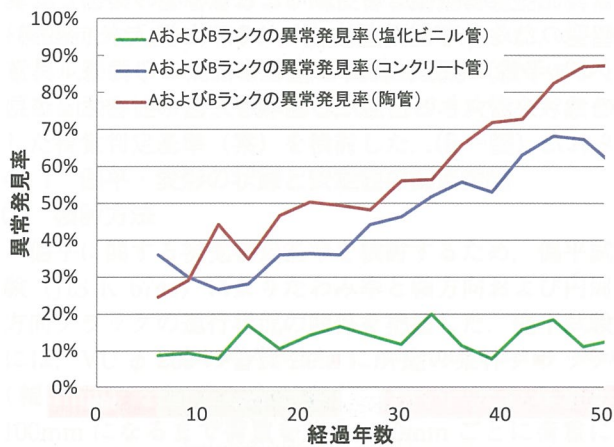


図-5 異常発生率の推移

管種別の異常発生率を比較すると、コンクリート管及び陶管は経過年数による異常発生率の上昇傾向及び異常発生率の値が大きいのに対し、塩化ビニル管では異常発生率の値が小さく、経過年数による上昇傾向も小さいことが分かる。この結果は、塩化ビニル管の経年劣化の影響が小さい、または現行の視覚判定基準では塩化ビニル管の異常を捉えきれないことを示唆している。

(3) 塩化ビニル管の異常箇所の整理

道路陥没の要因となる破損・クラックや浸入水といった異常の発生条件等を精査するために、国総研で収集したデータを基に、異常発生位置(取付管接続部・管口・本管・継手等)、円周方向の異常発生角度の整理を行った。異常の発生位置については、図-6に示す通り、破損・クラックおよび浸入水ともに、取付管接続部付近で最も発生していた。破損・クラックに関しては、約22%は接続部以外のその他(本管中心部)にも発生している傾向があった。発生角度は、各異常ともに取付管の接続がある管頂部および管側部に多く発生していた(図-7)。

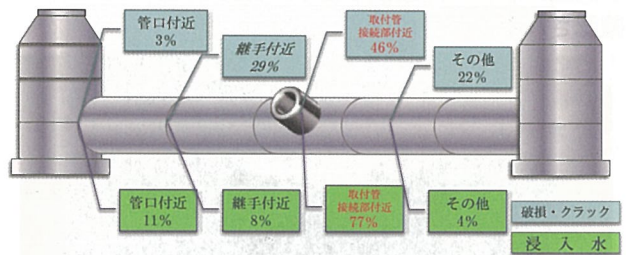


図-6 破損・浸入水の異常発生位置

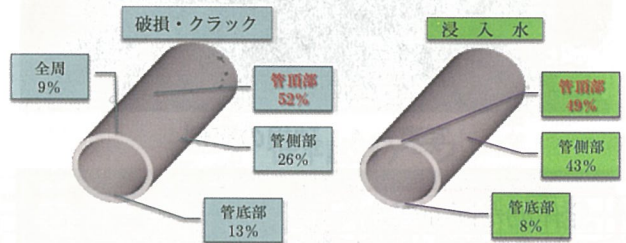


図-7 破損・浸入水の異常発生角度

3.3 塩化ビニル管特有の異常

国総研が所有する調査データは比較的新しい管きよを対象としたものが多く、また現行の維持管理指針に基づき集計されたデータであったため、塩化ビニル管特有の異常の実態が把握されていなかった。そこで、国総研は、塩化ビニル管が普及し始めた時期(1970~1980年頃)に布設された管きよ2.4km(4都市、115スパン)を対象にTVカメラ調査を実施し、塩化ビニル管特有の異常の実態を把握した。以下に、塩化ビニル管で確認された異常の事例を報告する。

写真-1は破損の事例である。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と推測される。写真-2は、全体的な断面変化の事例である。布設後の重車両交通の増加や、管きよ布設時の転圧不足、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り、管体全体に断面変化が生じた例と考える。写真-3は、局所的な断面変化の事例である。管側部周辺に碎石等が存在し、施工時の転圧により応力集中が生じたことによる局所的な断面変化と推測される。

このように可とう管特有の異常事例と考えられる全

体的な断面変化や局所的な断面変化が確認された。以降、全体的な断面変化を「偏平」、局所的な断面変化を「変形」と定義する。写真-4は、継手ズレの事例である。継手ズレの大きさは一様に10～15cm程度見られた。日本下水道協会規格が制定される以前に布設されたもので、受口が長い接着接合(TS接合)であったと推測される。TS接合においては、ゼロポイント(管の挿入時に管外径と受口内径の寸法が一致する点)から受口長さの1/3まで挿入すれば、実用上十分な耐水圧強度が得られる構造となっており、継手ズレは生じているが水密性は確保されていると考える。

前述の国総研が実施した塩化ビニル管のTVカメラ調査において、破損と偏平が併発しているケースが確認された。



写真-3 変形の事例



写真-1 破損の事例

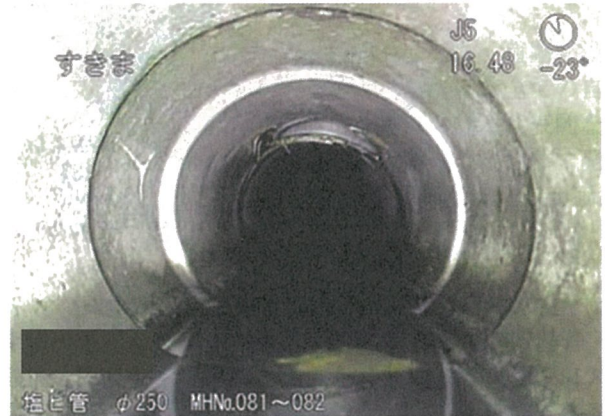


写真-4 継手ズレ(すきま)の事例

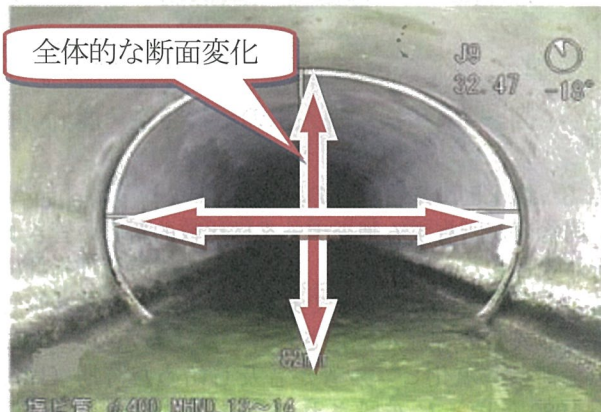
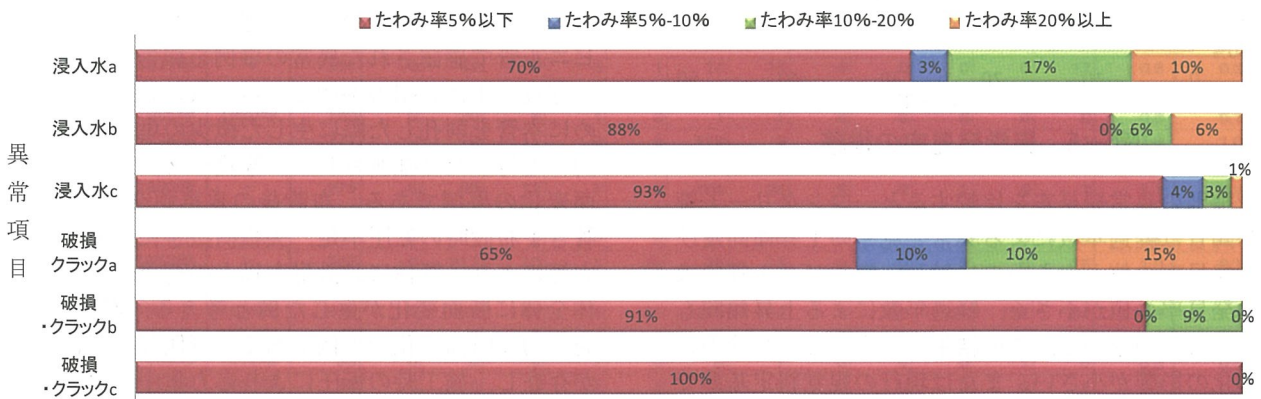


写真-2 偏平の事例

そこで、偏平とその他の異常(侵入水、破損・クラック)の関係を把握するため、自治体から収集したTVカメラ調査映像を用いて、可とう管特有の異常である偏平のたわみ率を測定し、たわみ率と浸入水、破損・クラックとの関係について整理した。この結果、異常のランクが大きいほどたわみ率が大きくなる傾向が見られた(図-8)。



各異常項目のたわみ率別の発生割合  
図-8 たわみ率と異常ランクの関係

また、塩化ビニル管の許容たわみ率は、管路機能保持の面から5%とされており（引用規格JSWAS K-1）、大半の偏平は、許容たわみ率の範囲内で発生していると言える。

### 3.4 まとめ

劣化DBおよびTVカメラ調査等からの塩化ビニル管の実態を以下にまとめる。

- 塩化ビニル管起因の道路陥没発生件数は少ないが、発生している内の主要因は、破損・クラックや継手ズレによるものである。
- 可とう管特有の異常である変形および偏平は、その他の異常と併発している場合が多い。

以上を踏まえ、今後、高齢化した塩化ビニル管が増大することに備え、異常を正確に把握しかつ適切な維持管理をしていくためには、塩化ビニル管を対象とした新たな基準が必要だと考える。そこで、国総研では塩化ビニル管の視覚判定基準（案）および緊急度診断基準（案）の作成を目的に研究を行った。その際に下記の3点に着目し検討した。

- 塩化ビニル管特有の構造的異常としては、偏平・変形について検討。
- 剛性管と共通の構造的異常としては、破損・クラックについて検討。
- 剛性管と共通の機能的異常としては、継手ズレについて、日本下水道協会規格を考慮し、検討。

## 4. 塩化ビニル管の視覚判定基準の検討

前述の通り、現行の視覚判定基準は、鉄筋コンクリート管等の剛性管を対象に作られたものである。そこで、本研究において、主として塩化ビニル管特有の構造的異常（偏平・変形）および剛性管と共通の構造的異常（軸方向クラック）による安定性の低下、また、塩化ビニル管継手の規格を考慮し機能的異常（継手ズレ）による水密性の低下を評価し、塩化ビニル管を対象とした視覚判定基準（案）を検討した。

### 4.1 偏平・変形の状態と安定性の関係把握

#### (1) 検討方法

偏平に関する視覚判定基準を検討するため、偏平試験（JIS K 6741）によりたわみ率と軸方向および円周方向クラックの進行状況の関係を把握した。偏平試験には、VU φ 200の管長1.0mに所定の条件クラック（幅1mm）を加工した試験体を用い、たわみ量が100mmになるまで荷重を加え、10mmごとに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（写真-5 管体非拘束）と十分締め固まっている状態（写真-6 管体拘束）の2パターンについて、試験ケースを設定した。試験ケースを表-2、またクラック条件の定義を図-9に示す。

また、変形に関しては、TVカメラ調査結果から変形の実態を把握し判定基準を設定した。



写真-5 偏平試験状況（管体非拘束条件）

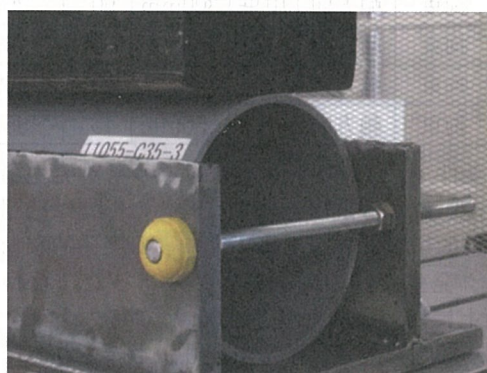


写真-6 偏平試験状況（管体拘束条件）

表-2 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°	33	拘束	軸方向	端	500mm	90°		
15	非拘束	軸方向	端	50mm	90°	34	拘束	軸方向	端	300mm	90°		
16	非拘束	軸方向	端	300mm	45°	35	拘束	軸方向	端	100mm	90°		
17	非拘束	軸方向	端	100mm	45°	36	拘束	軸方向	端	50mm	90°		
18	非拘束	軸方向	端	50mm	45°	37	拘束	軸方向	端	50mm	45°		
19	非拘束	軸方向	端	300mm	0°	38	拘束	軸方向	端	50mm	45°		
						39	拘束	軸方向	端	50mm	0°		

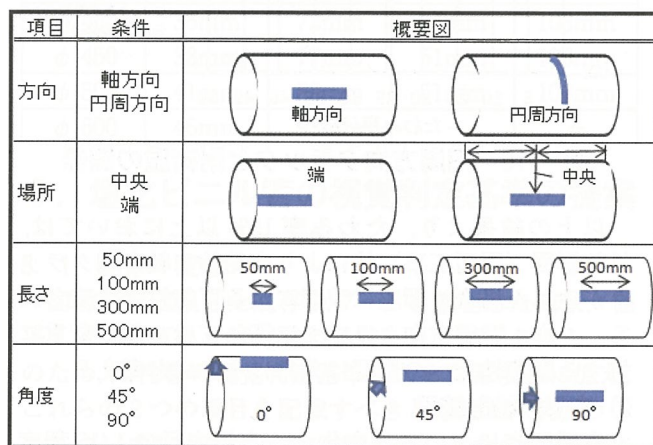


図-9 クラック条件の定義

(2) 検討結果

1) 偏平の検討結果

偏平試験の結果から、クラック方向条件が軸方向の場合、たわみ率が15%を超えると管体が破壊に至る事象が拘束・非拘束条件ともに確認された(表-3)。

表-3 クラック条件と管体破壊時のたわみ率

Case	側面拘束条件	クラック				破壊時のたわみ率
		方向	場所	長さ	角度	
12	非拘束	軸方向	端	500mm	90°	15%
13	非拘束	軸方向	端	300mm	90°	30%
29	拘束	軸方向	中央	500mm	90°	15%
30	拘束	軸方向	中央	300mm	90°	20%
34	拘束	軸方向	端	500mm	90°	15%
35	拘束	軸方向	端	300mm	90°	25%
38	拘束	軸方向	端	50mm	45°	35%

拘束条件、クラック長さおよびクラック発生場所の条件の違いによる破壊の発生有無への影響は確認されたが、外的影響(周辺工事)等による突発的な軸方向クラック発生条件の確認は困難であった。たわみ率15%以上においては、突発的な軸方向クラックの発生により即座に破壊に至る可能性が示唆される。

図-10は、円周方向クラックと耐荷重の関係を示している。縦軸は円周方向クラックを有するcase22,24,26の載荷重をクラック無しのcase1の載荷重で除した耐荷重比を表し、横軸はたわみ率を示している。これより、円周方向クラックの位置およびたわみ率に関わらず、載荷重がクラック無しのcase1と同等であり耐荷性能の低減がほぼ無いことが確認された。また、case23,25,27から円周方向クラック長さの影響も同様に評価し、耐荷性能に影響がほぼないことも確認された。

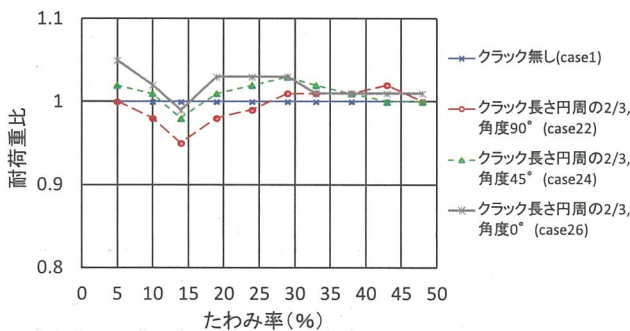


図-10 円周方向クラックと耐荷重の関係

以上の結果より、たわみ率15%以上においては、外的影響(周辺工事)等により突発的に軸方向クラックが生じた場合、即座に破壊に至る可能性が示唆される。一方、円周方向クラックに関しては、偏平荷重に対する耐荷性能への影響は非常に小さいと考える。

2) 変形の検討結果

実態調査において、白化かつ本管内径の1/10程度突出しが確認された。変形は、碎石等による一定歪

みが管体に生じている状態と想定される。白化の事象は塑性域で生じており、また一定歪み下で応力が発生しているため、応力緩和過程でストレスクラックが発生する可能性があると考え(写真-7)。



写真-7 変形

4.2 軸方向クラックの進行状況の把握

(1) 検討方法

破損・クラックのランクが大きいほどたわみ率が大きくなる傾向があることに着目し(図-8)、軸方向クラックに対する視覚判定基準を設けることを目的とする。そこで、たわみ率とクラック深さの条件設定に基づき、二次元非線形静的解析(CAE解析)を用いることで、偏平による軸方向クラック幅および発生する歪みを把握し、軸方向クラックの視覚判定基準を検討した。解析条件の概要は表-4の通りである。

表-4 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216mm 標準管厚7mm φ400 外径420mm 標準管厚12.6mm
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年経過管, 39年経過管の実測データ
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モデル化 対称境界条件により処理
荷重条件	偏平荷重のみ

モデル形状および解析結果例は図-11の通りである。モデル形状は、クラックを管頂内面からの非貫通クラックとし、また管体の対称性から右半分のみをモデル化した。また、荷重条件は偏平荷重のみとし、管頂部から荷重をかけ管体を偏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。

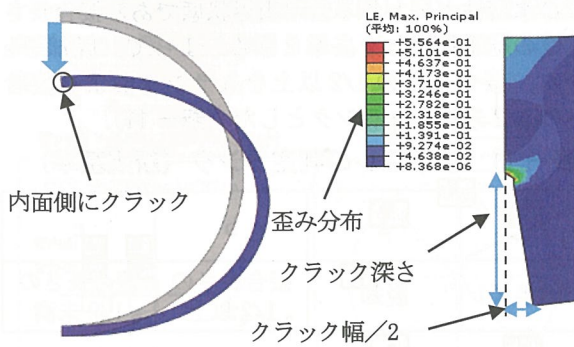


図-11 解析イメージ  
(左図：モデル形状，右図：解析結果例)

(2) 検討結果

表-5は、φ200の39年経過管の弾性率を用いた解析結果であり、発生する歪みの最大値を示している。縦方向は各クラック深さに対する歪みを表し、横方向は各たわみ率に対する歪みを表している。赤枠内は塩化ビニル管の破断歪み(15%)を超えた条件であることを示す。表-6は、前述の表-5における歪み時のクラック幅を示している。これらの結果は、たわみ率が5%を越えるとクラック深さ60%以上の非貫通クラックに発生する歪みは破断歪みに達し、貫通クラックに進行する可能性を示している(表-5)。また、クラック幅1mm未満の軸方向クラックが発見された場合においても、破断歪みに達している可能性があることを示している(表-6)。これらの傾向は、経過年数および管径に関わらず確認された。

表-5 発生歪み (%)

VU	200	クラック深さ (%)	たわみ率 (%)					
			0	5	10	20	30	40
		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-6 クラック幅 (mm)

VU	200	クラック深さ (%)	たわみ率 (%)					
			0	5	10	20	30	40
		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

4.3 継手ズレに対する視覚判定基準の検討

(1) 検討方法

塩化ビニル管と鉄筋コンクリート管・陶管では、継

手の構造が異なる(図-12)ため、一律の基準を適用することは不相当である。また、管種だけでなく、管径によっても継手の受け口寸法が異なる。ここでは、継手の抜き出し量に伴う水密性に着目して判定基準を設定する。

(2) 検討結果

継手の抜き出しによる水密性の低下については、採用の多いゴム輪受け口を基本に考えるものとする。ゴム輪受け口タイプの塩化ビニル管の水密性は、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。そこで、下水道施設耐震計算例-管路施設編-前編(社団法人日本下水道協会)<sup>3)</sup>に準拠する形でレベル1地震動の使用限界状態(接合長さの1/2)とレベル2地震動の終局限界状態(接合長さ)を基準に判定ランクを設定する必要があると考える(表-7)。

<コンクリート管> 隙間 ↓ 受口深さ ↓	φ150 B形 受口深さ : 65mm 隙間 : 2mm
<陶管> 隙間 ↓ 受口深さ ↓	φ150 受口深さ : 60mm 隙間 : 17mm
<塩ビ管(ゴム輪受口)> 隙間 ↓ 受口深さ ↓ 接合長さ ↓	φ150 受口深さ : 165mm 接合長さ : 53mm 隙間 : 0.45mm
<塩ビ管(接着受口)> 隙間 ↓ 受口深さ ↓	φ150 受口深さ : 80mm 隙間 : 0.7mm

図-12 管種による継手構造の違い

表-7 塩化ビニル管継手の使用限界・終局限界の抜き出し量

管径	JSWAS K-1 JSWAS K-7		JSWAS K-13	
	使用限界	終局限界	使用限界	終局限界
φ 150	26mm	53mm	30mm	61mm
φ 200	27mm	54mm	30mm	61mm
φ 250	28mm	57mm	34mm	69mm
φ 300	31mm	62mm	38mm	77mm
φ 350	33mm	67mm	38mm	77mm
φ 400	36mm	72mm	51mm	103mm
φ 450	38mm	77mm	51mm	103mm
φ 500	41mm	82mm	51mm	103mm
φ 600	46mm	93mm	-	-

5. 塩化ビニル管の視覚判定基準の提案

5.1 偏平・変形

国総研で収集した既存のデータを整理した結果、偏平・変形は可とう管特有の異常として確認された。そのため、剛性管の視覚判定基準にある異常項目に加え、これらの2つの項目を記載すべきと考える。判定ランクについては、偏平試験の結果から、たわみ率15%以上では軸方向クラックが生じた際に管体破壊に至る

可能性があるため a ランクとした。また、JSWAS K-1 規格でたわみ率 5% 未満を許容たわみ率としていることから、たわみ率 5% 以上を b ランクとした。(表-8)

表-8 偏平の判定ランク (新規基準)

項目 \ ランク	a	b	c
偏平	たわみ率 15% 以上	たわみ率 5% 以上	-

変形の実態調査において、白化かつ本管内径の 1/10 程度の突出しが確認されている。本事象では、白化が生じているため、一定歪み状況下での塑性変形と考える。そのため、応力緩和過程でストレスクラックが生じる可能性がある。よって、変形の判定ランクについては、本管内径の 1/10 以上の内面突出しを a ランク、本管内径の 1/10 未満を b ランクとした。(表-9)

表-9 変形の判定ランク (新規基準)

項目 \ ランク	a	b	c
変形	本管内径の 1/10 以上の内面に突出し	本管内径の 1/10 未満の内面に突出し	-

5.2 破損

現行の視覚判定基準においては、「破損」は軸方向クラック、「クラック」は円周方向クラックを表している。非線形解析結果から、軸方向クラック幅が 1mm 未満においても破断歪みに達している可能性があると言えるが、幅が 1mm 未満のクラックを TV カメラ調査等の視覚調査により正確に計測し判定することは困難であると考え、よって、軸方向クラックの判定ランクについては、視覚調査により軸方向クラックと判別された時点で管体破損の可能性が有ると考え、a ランクとした。また、軸方向だけでなく、多方向にクラックが発生している(以下、「亀甲状に割れている」)ケースも存在し、本ケースも軸方向クラックと同等の危険性があると考え、a ランクとした。(表-10)

表-10 塩化ビニル管における破損の判定ランク (新規基準)

項目 \ ランク	a	b	c
管の破損	亀甲状に割れている 軸方向クラック	-	-

5.3 継手ズレ

管種により、継手構造は異なる。そこで、塩化ビニル管における継手ズレの判定ランクについては、JSWAS K-1 規格を基に、終局限界状態にある脱却

および水密性が失われる使用限界状態である接合長さの 1/2 の継手抜出しを基準とする。よって、脱却を a ランク、接合長さの 1/2 以上を b ランクおよび接合長さの 1/2 未満を c ランクとした(表-11)。

表-11 継手ズレの判定ランク (新規基準)

項目 \ ランク	a	b	c
管の継手ズレ	脱却	接合長さの 1/2 以上	接合長さの 1/2 未満

5.4 その他の異常項目

塩化ビニル管は、耐薬品性に優れた材質(有機溶剤等を除く)であるため、腐食については考慮する必要がないと考える。たるみは、土砂の堆積を誘発する異常であり、剛性管の視覚判定基準を準用することとする。円周方向クラックに関しては、偏平試験の結果から耐荷性能にはほぼ影響がないと言える。しかし、円周方向クラックからの土砂流入等の観点から現行通りのクラック幅の基準を設けることとする<sup>4)</sup>。また、浸入水・取付管突出し・油脂付着・樹木根侵入・モルタル付着に関しては、管種により異なる現象ではないと考えるため、現行基準通りとする。

6. 塩化ビニル管の緊急度診断の検討

下水道管きよの維持管理を実施するにあたり、第4・5章で検討を行った異常箇所ごとの視覚判定基準に加え、人孔間のスパン全体に対する緊急度診断基準が必要である。そこで、塩化ビニル管を対象に新たに視覚判定基準に追加する「偏平」と「変形」を考慮し、構造的異常と発生する歪みの関係を試験により明らかにした。さらに、「偏平」と「耐荷性に関わるその他の構造的異常」が併発した場合の緊急度の重み付けを検討した。

6.1 複合的な構造的異常と発生歪みの関係把握

(1) 検討方法

まず、たわみ率と歪みおよび応力の関係を把握するため、長さ 400mm の VU φ 200 の管体中央部に幅 1mm のクラックおよび変形形状を所定の条件(図-13)に基づき加工した試験体を用い、JIS K 6741 硬質ポリ塩化ビニル管の偏平試験を実施した。クラック部および管体周方向に歪みゲージを配置し管体に発生する歪みを計測した(図-14)。また、変形の試験

項目	条件	概要図
クラック 周方向位置	管頂部、中間部、管側部	
クラック方向	軸方向、斜方向、周方向	
クラック長さ	管長の 1/5、7/20、1/2	
変形形状	内径の 1/10 以上の凸形状 内径の 1/10 未満の凸形状	

図-13 クラック条件概要



ケースにおいては、管体周方向は図-14と同様に、変形部には図-15の通り歪みゲージを配置し計測を実施した。

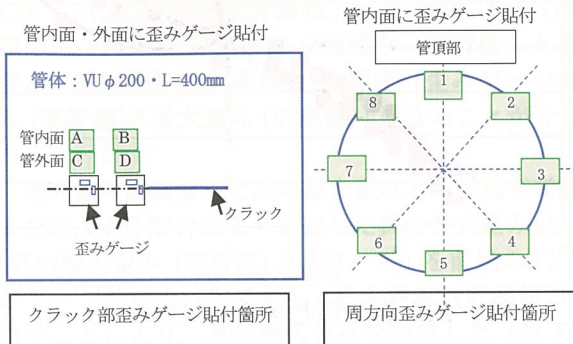


図-14 クラック部の歪みゲージ貼付位置

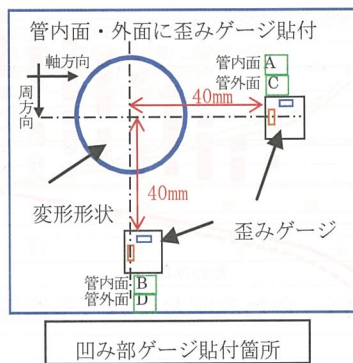


図-15 変形部の歪みゲージ貼付位置概要

次に、歪みと各属性（たわみ率、クラック周方向位置、クラック方向、クラック長さ）との関係を見るために、偏平試験で得た歪みのデータを基に、統計解析手法（数量化I類）を用いて、発生する歪みに対する各属性の関連度合い（カテゴリーレンジ・カテゴリースコア）を算定し、これらの大小関係や増減関係から、歪みと各属性との関係性を検討した。

(2) 検討結果

1) 偏平試験結果

a) クラック

図-16は、クラック周方向位置を管頂部、クラック長さを管長の1/5として、クラック方向を軸方向・周方向・斜方向に加工した各試験体（3ケース）に発生する歪み（縦軸）の傾向をたわみ率（横軸）ごとに示している。なお、クラック部および周方向の歪みはたわみ率5%の時点で最大値を記録した歪みゲージの測定結果をプロットしている。各試験体におけるクラック部ゲージの測定結果を比較すると、軸方向クラックを加工した試験体のみがクラック部に歪みが集中していることが分かる。また、各試験体およびブランク試験体の周方向歪みゲージによる測定結果を比較すると、歪み最大値の発生箇所および最大値はほぼ等しいことが分かった。さらに、周方向クラック部および斜方向クラック部の歪みはブランク試験体に発生した歪みよりも小さかった。本事象は、各試験体における偏平試験結果からクラック周方向位置およびクラック

ク長さに関わらず同じ傾向が見られた。これより、軸方向クラック以外のクラックは管体の耐荷性能への影響が小さいと考える。

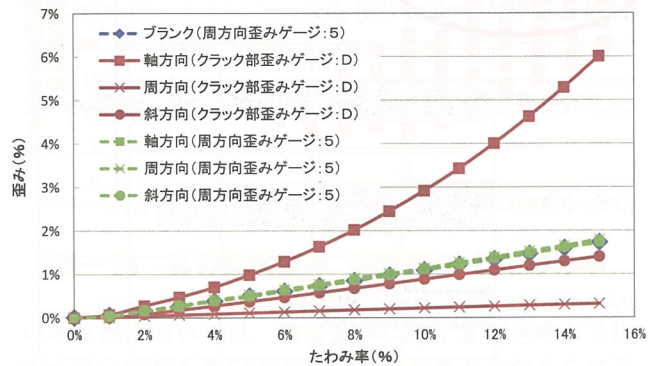


図-16 クラック方向と歪みの関係  
(クラック周方向位置：管頂部、クラック長さ：管長1/5)

b) 変形

本偏平試験において、変形後の歪みは応力緩和により残存歪みがほぼないと仮定した上で、変形形状によるたわみ率ごとの歪み発生傾向の差異を把握した。図-17は、変形形状および周方向位置を変えた3ケースの試験体における発生歪みを図-16同様に示している。変形部の歪みゲージによる測定結果はブランク試験体における歪み測定結果よりも小さい。また、各試験体およびブランク試験体における周方向歪みゲージの測定結果を比較すると、歪み最大値の発生箇所および最大値はほぼ等しいことが分かった。

これより、変形形状および周方向位置に関わらず、変形はたわみ率と歪みの発生傾向に対して影響はほぼ無いと言える。

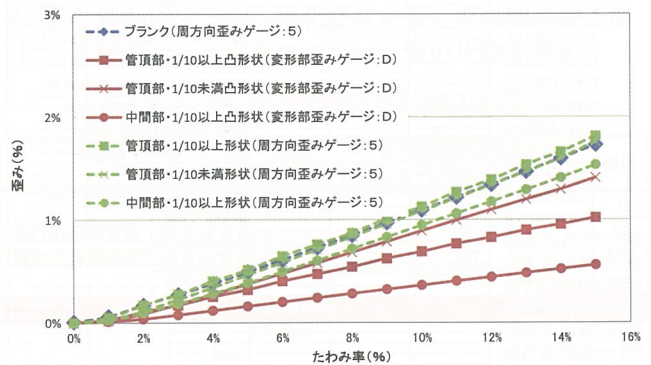


図-17 変形と歪みの関係

2) 数量化I類を用いた統計解析結果

偏平試験結果より、変形と偏平が併発した場合には、変形部への歪みが集中しないことを確認した。一方、クラックと偏平が併発している事象は、歪みの発生傾向に大きく影響を与えていると言える。そこで、各クラックと偏平が併発した際に発生する歪みを対象にした解析結果を以下に示す。

国総研で行った既往の研究より、塩化ビニル管の弾性域は歪みが1.2%程度まで、降伏点の歪みは4.0%程度と想定される<sup>5)</sup>。弾性域と塑性域では歪みの発生傾

向が異なるため、本解析では塑性域である歪み1.2%以上を解析対象とした。図-18は各属性のカテゴリーレンジを示しており、たわみ率とクラック方向は歪みに対し影響が大きいと分かる。

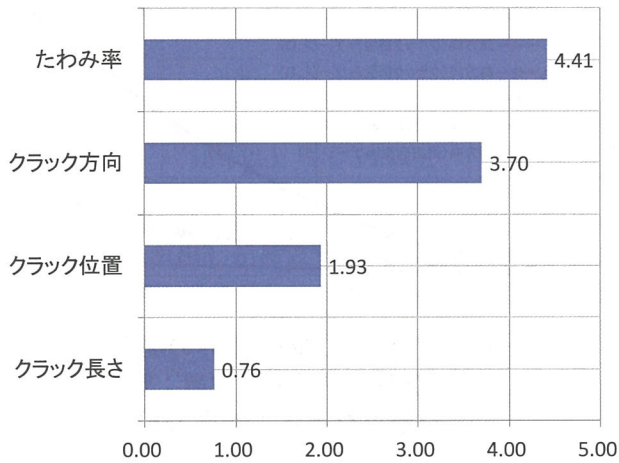


図-18 カテゴリーレンジ

また、クラック方向のカテゴリースコアの大小関係から軸方向クラックが特に歪みに大きな影響を与えると言える(図-19)。図-20は、x軸を実測値歪み、y軸をカテゴリースコアからの予測値歪みとした散布図を示す。実測値および予測値が4%を越えるのは軸方向クラックのみであった。また、図-20で示す予測値から得られる寄与率は0.91であり、解析結果は妥当であると考えられる。図-21は、各カテゴリースコアに基づき予測したたわみ率と歪みの関係を示しており、軸方向クラックが発生している場合はたわみ率が9%以上で歪みが4%以上になると推定される。

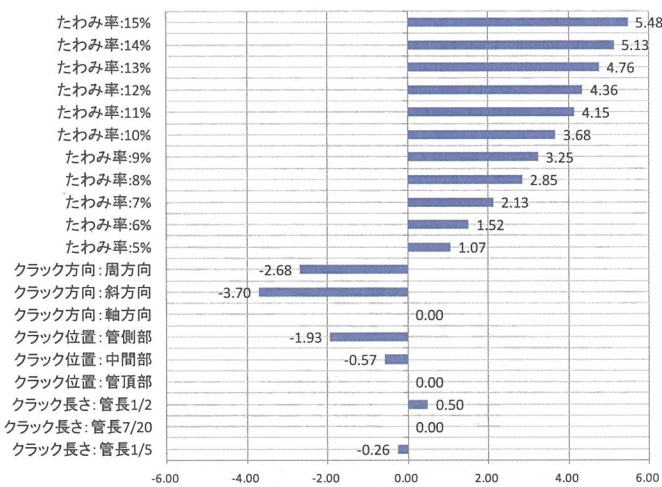


図-19 カテゴリースコア

なお、寄与率とは解析結果の確からしさを表しており、1に近いほど確からしい。カテゴリーレンジは、各属性の最大カテゴリースコアと最小カテゴリースコアの差であり、この値が大きい程、歪みに対する影響が大きい属性と言える。カテゴリースコアは、各属性のカテゴリー(例:たわみ率15%、たわみ率14%、周方向など)ごとのスコアを表し、各カテゴリーの歪みに対する影響の大きさを示す。

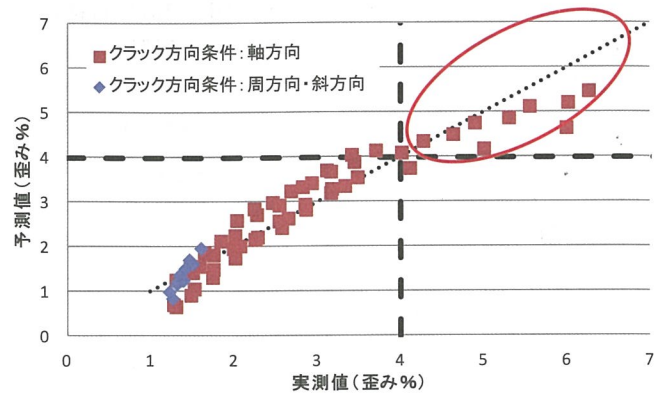


図-20 実測値と予測値(歪み%)

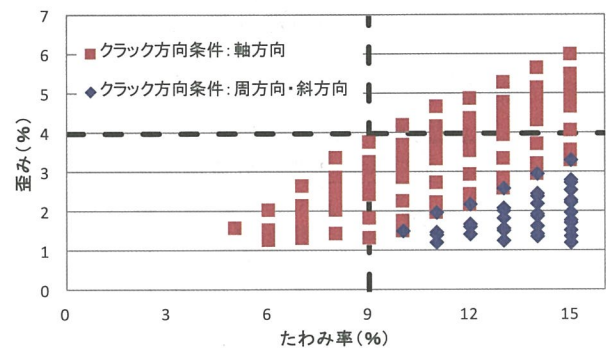


図-21 たわみ率と歪み(予測値)

(3) 真のクラック先端部最大歪みの推定値

上記6.1(2)の検討結果は、試験体に貼り付けた歪みゲージによる計測値を用いている。しかし、歪みゲージの貼り付け位置の制約上、クラックの最先端から数mm離れた位置に貼り付けているため、クラックの最先端に発生している実際の最大歪み(以下、「真の最大歪み」)を計測しているわけではない。そのため、歪みゲージによる計測値は、真の最大歪み値を表していない。そこで、二次元非線形静的解析(CAE解析)を用いることで、真の最大歪みを推定したい。

1) 推定方法

6.1(2)の検討結果から周方向、斜方向クラックおよび変形は、真の最大歪みへの影響は小さいと考える。そのため、軸方向クラックに関してのみ検討を行った。

下記の①・②のケース(表-12)において、CAE解析による歪みゲージ貼り付け位置における歪み(以下、「歪みゲージ部歪み(解析値)」)と6.1(2)の検討結果を比較した上で、真の最大歪みを推定した。

表-12 真の最大歪み推定ケース

ケース	項目	条件
①	クラック周方向位置	管頂部
	クラック方向	軸方向
	クラック長さ	管長の1/5
②	クラック周方向位置	管側部
	クラック方向	軸方向
	クラック長さ	管長の1/5

2) 推定結果

各たわみ率における、歪みゲージ部歪み（解析値）とクラック先端部の歪みゲージが計測した最大歪み（以下、「最大歪み（計測値）」）を比較した（図-22）。これより、歪みゲージ部歪み（解析値）と最大歪み（計測値）の比率は、1.2程度（歪みゲージ部歪み（解析値）/最大歪み（計測値））になることが分かった。

最大値（計測値）と真の最大歪みとの乖離を考慮するため、CAE解析により算出した真の最大歪み（以下、「真の最大歪み（解析値）」）（図-22）を前述の1.2（歪みゲージ部歪み（解析値）/最大歪み（計測値））で除すことにより、真の最大歪みを推定した（以下、「真の最大歪み（推定値）」）。推定結果を下記の表-13に示す。

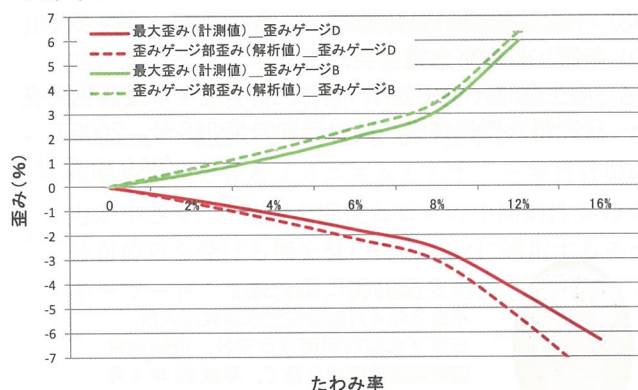


図-22 最大歪みとたわみ率（ケース①）

表-13 真の最大歪み（推定値）と最大歪み（計測値）の関係

ケース	たわみ率	最大歪み（計測値）	真の最大歪み（推定値） =真の最大歪み（解析値）/1.2	比率
①	4%	1.23%	5.81%	4.7
	8%	3.01%	15.2%	4.9
	12%	5.97%	26.3%	4.4
②	4%	0.89%	4.22%	4.7
	8%	1.98%	11.3%	5.7
	12%	3.51%	20.0%	5.7

以上より、真の最大歪み（推定値）と最大歪み（計測値）との比率は4.7～5.7程度（真の最大歪み（推定値）/最大歪み（計測値））であると言える。前述の比率を一律5.7とし、この比率を6.1(2)2)で検討した歪み（予測値）に乗ずることにより、たわみ率と真の最大歪み（推定値）の関係を検討した（図-23）。

製品により若干の差異があるが、硬質塩化ビニルの破断歪みは40～80%（塩ビ工業・環境協会 HP 参照）と言われている。図-23よりたわみ率9%以上において真の最大歪みが20%を超えると推定されることから、軸方向クラックとたわみ率9%以上が併発して

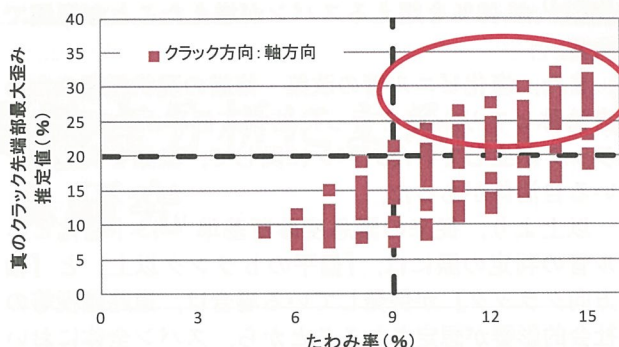


図-23 真の最大歪み（推定値）とたわみ率

いる状況においては、破断歪みに対する安全率が2に満たない場合も想定され、軸方向クラックがさらに進行し、管体の破壊を引き起こす可能性があると考えられる。

7. 塩化ビニル管の緊急度診断の提案

軸方向クラックの場合、たわみ率が9%以上で発生歪みが20%以上となり管体の破壊を引き起こす可能性が考えられる。よって、5.1で提示した扁平の判定基準に基づき、扁平のbランク以上と軸方向クラックが併発している場合は緊急度が高いと考え、スパン全体に対する緊急度診断においてAランクとした。

10自治体から入手した塩化ビニル管1138スパンの調査データ（集計表・調査記録表・映像データ）から緊急度Ⅰ・Ⅱ・Ⅲのスパン（405スパン）を抽出し、5.1で新たに提案した塩化ビニル管の視覚判定基準に基づき緊急度診断を実施した結果を以下に示す。

表-14は、現行の剛性管の緊急度診断基準（以下、「従来の緊急度基準」）により診断した各緊急度のスパン数と新たに提案する塩化ビニル管の緊急度診断基準により診断した各緊急度のスパン数の比較を表す。

表-14 緊急度診断結果の比較

		塩化ビニル管の緊急度診断基準(案)				総計
		緊急度Ⅰ	緊急度Ⅱ	緊急度Ⅲ	劣化なし	
現行の剛性管の緊急度診断基準	緊急度Ⅰ	1				1
	緊急度Ⅱ		72	5		77
	緊急度Ⅲ		30	297		327
	劣化なし				733	733
総計		1	102	302	733	1138

従来の緊急度基準により診断した緊急度Ⅱは全スパンの約7%（77スパン）に対し、新たに提案する塩化ビニル管の緊急度診断基準により診断された緊急度Ⅱは全スパンの約9%（102スパン）であった。

これは、従来の緊急度基準では緊急度Ⅲと診断されていたスパンが、新たに提案する塩化ビニル管の緊急度診断基準では緊急度Ⅱと診断された結果である。これは、従来の視覚判定基準では軸方向クラックb・cランクと判定された管体が、塩化ビニル管の視覚判定基準ではaランクと判定されたこと、また緊急度Ⅰ・Ⅱ・Ⅲのうち約23%において扁平および約3%において変形を併発しており、aランク+bランクの不良発

生率<sup>1)</sup>が40%を超えるスパンが増えたことが原因である。

また、塩化ビニル管の改築・修繕の現状把握のため自治体ヒアリングを行った結果、偏平かつ軸方向クラックが生じていたスパンに関して、改築を実施している自治体があった。

以上より、従来の緊急度診断基準<sup>1)</sup>に「塩化ビニル管の判定の際には、『偏平のbランク以上』と『軸方向クラック』が併発している場合は、道路陥没等の社会的影響が想定されることから、スパン全体においてAランクとする」の内容が、改定された下水道維持管理指針（社団法人日本下水道協会）の中に記載された。

## 8. おわりに

塩化ビニル管の調査量は、現時点においてはコンクリート管および陶管と比較すると非常に少ないのが現状である。しかし、塩化ビニル管に対しても、幾分かの異常が確認されている。現在、管きよの布設延長の5割程度は塩化ビニル管が占めており、今後において

適切な下水道管きよの維持管理をしていく上で塩化ビニル管を対象とした視覚判定基準および緊急度診断基準が必要不可欠である。本稿では、塩化ビニル管特有の変状および偏平とその他の異常が併発した際の緊急度に着目し、視覚判定基準と緊急度診断基準を提示した。これにより、相当の延長の塩化ビニル管を布設しているが、基準がないため維持管理を実施していない自治体等が、塩化ビニル管の予防保全型維持管理に向けて前進して頂ければ幸いである。

### 〈参考文献〉

- 1) 下水道維持管理指針 前編 - 2003年版 -, 日本下水道協会, 2003.12
- 2) 下水道管路施設に起因する道路陥没の現状, 国総研資料第668号, 2012.2
- 3) 下水道施設耐震計算例 - 管路施設編 - 前編 2001年版, 日本下水道協会, 2001.4
- 4) 藤生和也, 浜田知幸: 平成17年度下水道関係調査研究年次報告書集, 国総研資料第323号, 2006.1 (26.9.10 受付)



\* (かや たくろう)  
平成25年4月より株式会社アスコから国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室に部外研究員として着任



\*\* (ふかたに わたる)  
平成3年4月建設省土木研究所入所  
日本下水道事業団東京支社, 近畿地方整備局建政部等を経て, 平成23年4月より現職



\*\*\* (のざわ まさひろ)  
平成23年4月~平成25年3月  
国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室に部外研究員として着任  
現株式会社アスコ



\*\*\*\* (すえひさ まさき)  
平成18年4月国土交通省入省, 近畿地方整備局, 本省下水道部等を経て平成24年7月より現職



\*\*\*\*\* (おがわ ふみあき)  
平成5年4月建設省入省, 福山市, 近畿地方整備局都市調整官等を経て平成25年4月より現職

## Abstract

### The visual criterion for TV camera investigation and the diagnostic criterion for degree of urgency for PVC pipe

Takuro KAYA\*, Wataru FUKATANI\*\*, Masahiro NOZAWA\*\*\*, Masaki SUEHISA\*\*\*\*, Fumiaki OGAWA\*\*\*\*\*

These days Japan's sewage infrastructure is getting older. As a result, the chance of problems such as road cave-in occurring is increasing. So we need to accurately figure out the condition of sewage pipes in order to prevent the problems occurring. Currently we investigate the sewage pipes with TV camera on the basis of a certain visual criterion. But this criterion is made for the rigid pipe. Therefore this criterion isn't suitable for figuring out the condition of the PVC pipe which is the flexible pipe.

Considering these, we figured out the PVC pipe deterioration and the depression of the quality and suggested the visual criterion for TV camera investigation and the diagnostic criterion for degree of urgency.