

複合管の耐震マトリックスについて

1. はじめに

昨年の7月末に6年ぶりに改定されたガイドラインが発刊されたことを受け、改定前のガイドラインから掲載されている「耐震計算マトリックス表」(以下、「マトリックス表」)に焦点を絞って解説を行うものである。

また、このマトリックス表は、更生工法による対策を講じる場合に必要な検討項目を「○」、「△」印等で示すことで業務の円滑化を図るものである。ここでは、今回の改定に伴って変更および修正がなされている箇所注目し、改定前と改定後によるマトリックス表の比較検証ならびに検討項目ごとの解説を行うものである。

2. マトリックス表の変更点

改定前のマトリックス表(平成23年12月発刊のガイドライン)と改定後のマトリックス表(2017年7月発刊のガイドライン)との変更点を大きく分けると次の通りとなる。

- 1) 改定前のマトリックス表は、円形管と矩形きよが別々の一覧表で作成されていたが、改定後のマトリックス表では、複合管の円形管と矩形きよ

- ：検討対象・強度計算により安全性を確認
- ◇：注釈にて対応・条件に応じて検討を実施
- △：原則別途検討・フレキシブルな構造等により安全性を確保

表2-1 更生工法耐震検討項目一覧表 (マトリックス表：複合管)

検討項目			構造形式		円形管		現場打ち矩形きよ・二次製品矩形きよ縦締めあり				二次製品矩形きよ縦締めなし					
					L1		L2		L1		L2		L1		L2	
			旧：改定前のガイドライン	新：改定後のガイドライン	旧	新	旧	新	旧	新	旧	新	旧	新	旧	新
重要な幹線など	マンホールと管きよの接続部	(地震動による)	屈曲角	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
			拔出し量	△	△	△	△	△	◇	△	◇	△	◇	△	◇	
	管きよと管きよの継手部	(地震動による)	屈曲角	□	◇	○	◇	□	◇	○	◇	□	◇	○	◇	
			拔出し量	□	◇	○	◇	□	◇	○	◇	□	◇	○	◇	
	鉛直断面の強度		耐荷力	○	○	○	○									
			応力度/耐力					○	○	○	○	○	○	○	○	
	管軸方向の強度		応力度					◇		◇		◇		◇		
	傾斜地(傾斜地盤)	(永久ひずみによる)	拔出し量			○	◇			○				○	○	
	地盤の硬軟急変化・急曲線等		拔出し量	□	◇	○	◇	□	◇	○	◇	□	◇	○	◇	
	液状化の判定 (FL値)			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
液状化地盤の場合 (FL値≤1.0)	(永久ひずみによる)	屈曲角			○	○										
		拔出し量			○	○			○	◇			○	○		
	(地盤沈下による)	屈曲角			○	○			○	◇			○	○		
		拔出し量			○	○			○	◇			○	○		
その他の管路	マンホールと管きよの接続部	(地震動による)	屈曲角	△	△			△	△			△	△			
			拔出し量	△	△			△	◇			△	△			
	管きよと管きよの継手部	(地震動による)	屈曲角	□	◇			□	◇			□	◇			
			拔出し量	□	◇			□	◇			□	◇			
	鉛直断面の強度		耐荷力													
			応力度/耐力					○				○				
	管軸方向の強度		管体ひずみ													
		応力度														
	傾斜地(傾斜地盤)	(永久ひずみによる)														
	地盤の硬軟急変化・急曲線等							◇				◇				
液状化の判定 (FL値)			○	○			○	○			○	○				

が併記にてまとめている。

- 2) 改定前のマトリックス表には、新設管と複合管が併記されていたが、改定後のマトリックス表では、新設管の表記は削除されている。
- 3) 改定後のマトリックス表の検討項目表示が「□：注釈にて対応」から「◇：条件に応じて検討を実施」に表記が変更されている。

また、検討項目についても改定後のガイドラインで変更された項目について、表2-1にてまとめ、変更および追加された項目については、太字表記とした。

3. 円形管マトリックス表の解説

3-1. 円形管の耐震設計検討項目

円形管の耐震設計は、「下水道施設の耐震対策指針と解説2014年版」(以下、「耐震指針」)における「差し込み継手管きよ(鉄筋コンクリート管・陶管)」の考え方に従い耐震設計を行うことを基本としており、改定後のガイドラインでは円形管の口径別によるマトリックス表を別途掲載している(下表2-2参照)。また、改定前のガイドラインでは、記述のみによる説明だったものをマトリックス表にまとめています。その内容としては、大きな変更はなくφ1000mm以上の口径では「管きよと管きよの継手部」の検討は必要なく、φ1000mm未満の口径では条件に応じて検討を行うことになっている。これは、「兵庫県南部地震の管径別クラック被害傾向」から、管径が小さいほど、管軸方向に発生するクラックの割合が多く、管径が大きいほど、円周方向のクラックの割合が多くなることから決定されている。

3-2. 検討項目の解説

(1) マンホールと管きよの接続部 (a)

大きな変更はなく、改定前と改定後のマトリックス表とも表記は「△」印となっており、フレキシブルな構造により対応することとなっている。今後は、

マンホール自体に耐震化を施した場合、その解析方法について検討する必要がある。

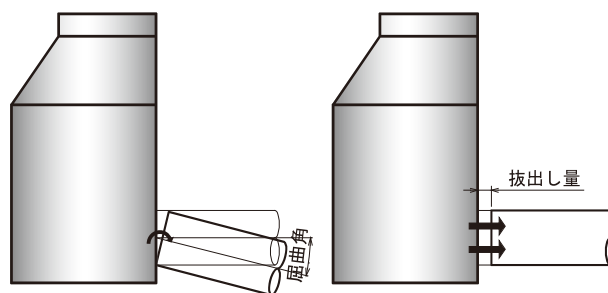


図3-1 マンホールと管きよ接続部(円形管)

(2) 管きよと管きよの継手部 (b)

レベル1は「□」から「◇」印に変更になったが、対応する注釈内容の変更はなかった。ここに、注釈内容の『レベル1地震動に対する照査値(使用限界)のうち、屈曲角、拔出し量は耐震実験等で確認され、公的審査証明機関による技術審査証明等で公表されていない』の意味は、レベル2に関しては、JSWAS A-1に準じた試験結果より許容値を求めているが、レベル1の許容値は、別途実験やレベル2の許容値の1/2を採用しているなど特別な規定や指定された実験がないことから、このような表現となっている。

レベル2は「○：検討対象」から「◇：条件に応じて検討を実施」に変更となっている。ここでの条件とは、表2-2の管径別による条件と判断してよい。

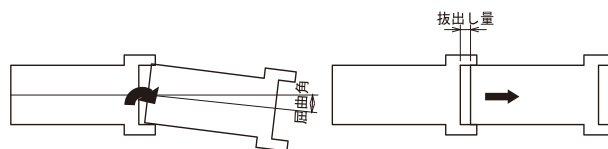


図3-2 管きよと管きよ継手部(円形管)

(3) 鉛直断面の強度 (c)

改定前と改定後で変更はない。しかし、円形管が「耐荷力」で矩形きよでは「応力度/耐力」になって

表2-2 円形管における管径別の更生工法耐震検討項目一覧表(マトリックス表)

検討項目	構造形式	φ(mm)<800		800≤φ(mm)<1000		1000≤φ(mm)		
		L1	L2	L1	L2	L1	L2	
マンホールと管きよの接続部	(地震動による)	屈曲角	△	△	△	△	△	△
		拔出し量	△	△	△	△	△	△
管きよと管きよの継手部	(地震動による)	屈曲角	◇	◇	◇	◇		
		拔出し量	◇	◇	◇	◇		
鉛直断面の強度		耐荷力			○	○	○	○
		応力度/耐力						
管軸方向の強度		応力度						

いることに関して、後述の「5.マトリックス表に関する問題点」で再検証を行う。

(4) 管軸方向の強度 (d)

改定前と改定後で変更はない。差し込み継手管きよの考え方では、管軸方向の強度照査を省略できることに倣って、複合管においても省略できるものとしている。

(5) 傾斜地 (傾斜地盤) (e)

レベル2は「○：検討対象」から「◇：条件に応じて検討を実施」へと変更になっている。ここでの条件とは、谷埋め盛土のような人工改変地盤において、地震時の斜面安定に懸念がある場合とする。

(6) 地盤の硬軟急変化・急曲線等 (f)

レベル2は「○：検討対象」から「◇：条件に応じて検討を実施」へと変更になっている。ここでの条件とは、推進工法を対象とし、開削工法などでは検討は省略できるとしている。

(7) 液状化の判定 (g)

改定前と改定後で特別な変更はない。

(8) 永久ひずみによる (h)

改定前と改定後で変更はないが、改定前の段階から屈曲角の項目に「○」印が記述されている。抜出し量の計算は規定の計算式で求められるが、屈曲角に対する計算手法が、現時点で確立されていないことを考えると問題があると考えられる。この問題については、後述の「5.マトリックス表に関する問題点」で再検証を行う。

(9) 地盤沈下による (h)

改定前と改定後で変更はないが、現状の検討方法に問題があるため、後述の「5.マトリックス表に関する問題点」で再検証を行う。

4. 矩形きよマトリックス表の解説

4-1. 矩形きよの耐震設計検討項目

矩形きよの耐震設計は、「耐震指針」における「矩形きよ (現場打ち・二次製品)」等の考え方に従って耐震計算を行うことを基本としている。既設矩形きよが現場打ちか二次製品 (縦締めの有無) かによって計算手法が異なるため、マトリックス表においても、そのように区分されている。

4-2. 検討項目の解説

(1) マンホールと管きよの接続部 (a)

改定前との変更点は、抜出し量の検討項目による「△：原則別途検討」から「◇：条件に応じて検討を

実施」へと改定された。しかし、マンホールと管きよの接続部をフレキシブルな構造を基本とすることは改定前と変わらない。

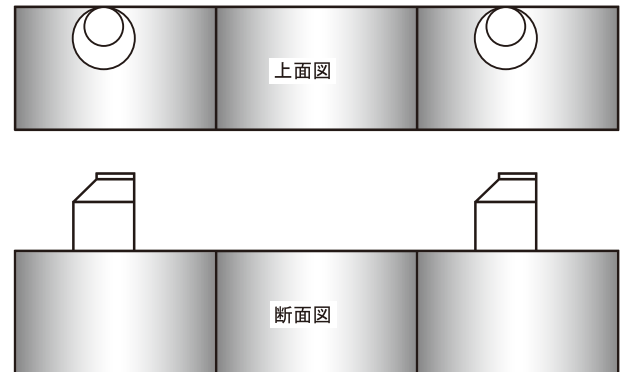


図4-1 マンホールと管きよ接続部 (矩形きよ)

(2) 管きよと管きよの継手部 (b)

レベル1およびレベル2の抜出し量の検討項目では、「□：注積にて対応」から縦締めありは「◇：条件に応じて検討を実施」、縦締めなしでは「○：強度計算により安全性を確認」に変更となっている。また、屈曲角に関しては、検討項目から除外となった。

(3) 鉛直断面の強度 (c)

改定前と改定後で変更はない。

(4) 管軸方向の強度 (d)

改定前では検討項目とし記載されていなかったが、改定後は「◇：条件に応じて検討を実施」へと改定された。ただし、更生材の水密性が保たれていることを前提条件とし、以下の理由の場合は省略できると記されている。

- 1) 既設管きよにクラックが生じても更生材 (かん合材) の水密性が確保されていることが実験などによって実証されていると判断した場合。
- 2) 「共同溝設計指針」に示している現場打ち矩形きよの諸元をもとに設定したモデルにて管軸方向の強度検証を行った結果、おおむね鉄筋の許容応力度を満足することが確認されている (内容は「改定後のガイドライン」の参考資料21を参照)。
- 3) 更生管の止水性能の実証は、JSWAS A-1 に準じた下図 (図4-2参照) の実験により、0.1MPaの水圧を3分間保持しても漏水や圧力変動がないことを確認できたかん合材であること。

(5) 傾斜地 (傾斜地盤) (e)

改定前では、縦締めありのレベル2について「○：

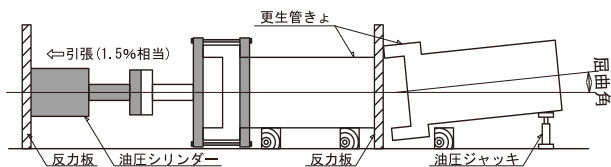


図4-2 抜き試験方法及び曲げ試験方法

検討対象」となっていたが、改定後は検討項目から除外となっている。

(6) 地盤の硬軟急変化・急曲線等 (f)

縦締めありの場合は「◇：条件に応じて検討を実施」、縦締めなしでは「○：強度計算により安全性を確保」となっている。しかし、既設矩形きょが開削工法で埋設された場合は、埋戻し材に置き換えられていることから、検討は省略できる。

(7) 液状化の判定 (g)

改定前と改定後で特別な変更はない。

(8) 地盤沈下による

縦締めありの場合は「◇：条件に応じて検討を実施」、縦締めなしでは「○：強度計算により安全性を確保」となっている。ただし、地盤沈下については、マンホールの沈下を推測できる場合は沈下による検討を考慮してもよいが、現状では確立された解析手法もないことから、管きょと同様にフレキシブルな構造を基本としている。

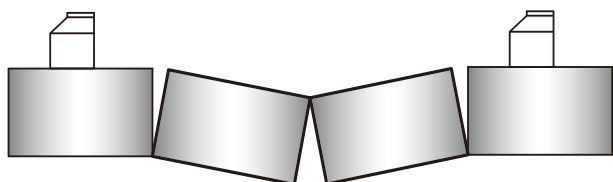


図4-3 矩形きょによる地盤沈下模式図

5. マトリックス表に関する問題点

5-1. 鉛直断面の強度に関する問題点

改定前より円形管が「耐荷力」、矩形きょでは「応力度/耐力」と異なった検討項目となっている案件に関して考察する。耐荷力とは断面崩壊などに至らない耐力を付与する構造（ひび割れ・破壊保証モーメント）、応力度とは発生する応力度が、その構造物の終局限界状態内とする構造（終局限界状態）と定義される。現在、複合管による計算は円形管および矩形きょとも常時およびレベル2に関しては、終局限界状態、レベル1に関しては使用限界状態や許容応力度法が採用されている。改定前では新管と複合

管が併記されていたため、新管の計算方法のひび割れ保証モーメント（耐荷力）が、そのまま採用されていたことが原因と考えられる

5-2. 永久ひずみに関する問題点

地盤の永久ひずみによる抜き量の計算は、通常の計算式で求められるが、屈曲角に関しては計算手法が存在しない問題がある。また、「耐震指針」に記載されている耐震計算マトリックス表（P123参照）においても屈曲角の検討項目がないことから、屈曲角の検討項目は必要ないと考えられる。

5-3. 液状化による地盤沈下に関する問題点

円形管の液状化による地盤沈下の検討において、対象スパンが短い場合に許容値を超える事案が多くなる傾向がある。

イメージ図（図5-1参照）のような極端な状況において、現状の解析手法では対応できない問題がある。

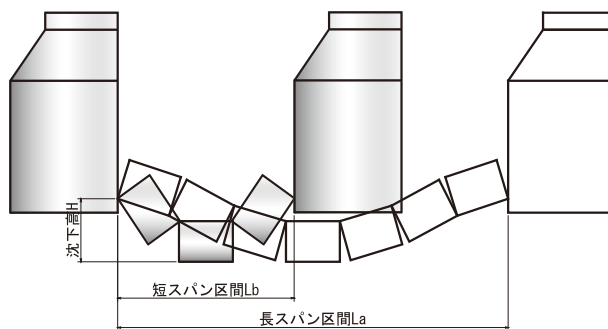


図5-1 円形管による地盤沈下模式図

6. おわりに

改定後のガイドラインのマトリックス表の表題には（参考）と表記されているように、今後も内容の改定があるものと考えられる。しかし、マトリックス表は管更生に従事しているものにとっては必要不可欠な指標でもある。そのためにも、埋設された状態による既設管の挙動の解明やその挙動に対応する実験や解析手法の早急な開発が望まれる。

【参考図書】

- 1) 「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン(案)」(平成23年12月)
- 2) 「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン -2017年版-」
- 3) 「下水道施設の耐震対策指針と解説 -2014年版-」