

PVC と充填モルタルから成る複合セグメント部材を用いた老朽下水道管渠の更生設計

日本工営 (株) 正会員 ○中野雅章, 非会員 師 自海
 3SICP 技術協会 正会員 伊藤浩一, 磯 陽夫
 3SICP 技術協会 非会員 角田智成, 島田敬次

1. はじめに

近年, 老朽下水道管渠の改築・修繕が必要とされる中で, 多くの更生工法が実用化されている. 中でも, 老朽既設管の残存耐力を期待し, その内面の更生部材が一体となって外力に抵抗する複合管として更生する工法は, 更生部材単独で外力に対抗する場合に比べて更生厚を薄くすることができるため, 設計流下能力保持の観点から合理的な工法といえる. 複合管の設計は, 限界状態設計法を原則とするが¹⁾, 既設管の老朽度や各工法独自の更生材料等を踏まえた複合構造の耐荷力評価は複雑であり, 統一的な評価法が無いのが実情である. 本稿では, 3Sセグメント工法(図-1)による複合管を例に, 分布ひび割れモデルを用いた二次元非線形解析結果に基づく複合管の設計法について提示する.

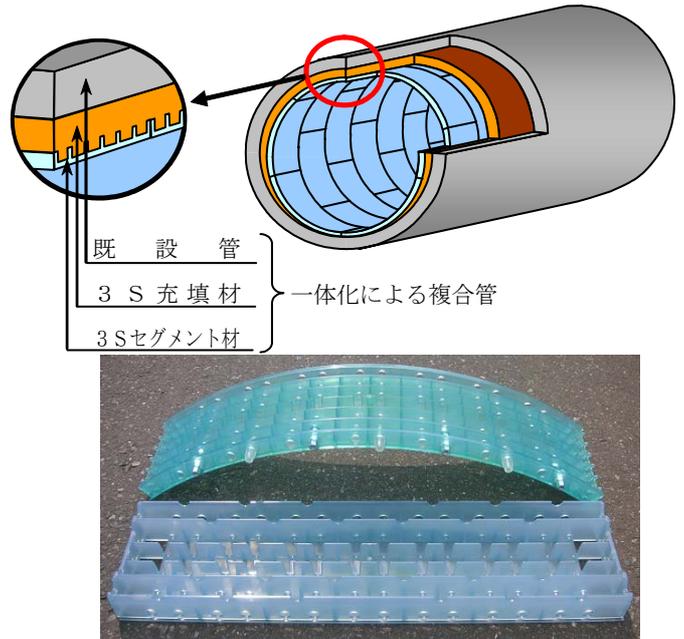


図-1 3Sセグメント工法とPVC製セグメント

3Sセグメント工法は, 更生部材が透明なPVC製のセグメントとセメント系材料による充填モルタルから成る複合セグメント部材であるところに特徴がある. 更生部材である複合セグメント部材は高い破壊エネルギー値を有し, 引張曲げ破壊に対しての材料靱性が高く²⁾, 実管渠サイズの更生管破壊試験でも老朽管を新管と同等以上の耐荷力に回復する効果が確認されている³⁾.

2. 設計の考え方

3Sセグメント工法による更生管の安全性を確保するために, 対象とする限界状態は, 終局限界および使用限界とする. 構造解析は分布ひび割れモデルを用いた二次元非線形FEM解析を適用し, 交通荷重を対象とする増分荷重によって挙動解析を行う. 挙動解析に基づく設計の流れを図-2に示す.

使用限界状態に関する照査においては, 設計荷重下で新たなひび割れの発生を許容しないことで照査を行う. 具体的にはひび割れ発生時の荷重増分係数が1.0を上回ることを確認する.

終局限界状態に関する照査においては, 最大荷重時の応力状態から部材断面力を求め, それに部分安全係数を考慮することで, 設計断面耐力とした. 同様にして, 荷重係数を考慮した設計荷重下における断面力も求め, これを設計断面力とし, 先の設計断面耐力と比較して照査する. つまり, 一般的な限界状態設計法との相違は, 断面耐力を非線形FEM解析によって算出することにある.

<挙動解析>		
荷重STEP	<解析結果>	
荷重STEP1: 死荷重+静止土圧		
荷重STEP2: 破壊に至るまで 活荷重を増分 (λ*:活荷重に関する 荷重増分係数)	設計荷重 : $P_{gd} = \lambda P_{gd}$ $\lambda = 1.0$	応力状態から断面力を算出 ⇒ 設計断面力: $S_d (= \gamma_a \gamma_f V$ および $\gamma_a \gamma_f M)$ V, M: 挙動解析から求められる設計荷重時の断面力 γ_a, γ_f : 構造解析係数および荷重係数
	ひび割れ発生荷重 : $P_{gc} = \lambda_c P_{gd}$ λ_c : ひび割れ発生時の 荷重増分係数	ひび割れ発生時の 荷重増分係数 λ_c を抽出
	破壊荷重 : $P_{gu} = \lambda_u P_{gd}$ λ_u : 破壊荷重係数	応力状態から断面力を算出 ⇒ 設計断面耐力: $R_d (= \gamma_m \gamma_b V_u$ および $\gamma_m \gamma_b M_u)$ V_u, M_u : 挙動解析から求められる破壊時の断面力 γ_m, γ_b : 材料係数および部材係数
<照査>		
照査の目的	更生管の耐荷力評価: 更生設計	
使用限界状態	$\lambda_c > 1.0$	λ_c : ひび割れ発生荷重増分係数
終局限界状態	$\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0$	γ_i : 構造物係数 S_d : 設計断面力 R_d : 設計断面耐力

図-2 挙動解析に基づく設計の流れ

キーワード: 下水道管渠, 複合管, 限界状態設計法, 3Sセグメント工法

連絡先: 〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304 Tel.0298-71-2032 Fax.0298-71-2022

3. 設計事例

設計対象事例を以下に示す。対象は図-3に示すボックスカルバート(新管寸法:1800mm×1200mm)とし、土かぶり0.5mで埋設されているものとする。既設管は老朽化に伴い、頂版のかぶりコンクリートが剥落、鉄筋断面積が50%減少している状態とする。既設管底版は健全状態と仮定し、照査は頂版と側壁を対象とする。設計活荷重はT-25活荷重とし、頂版の中央部に管を横断する方向で後輪荷重が作用することとした。表-1に解析で使用した諸材料条件を示す。図-4に有限要素法に基づく解析結果から得られた部材の発生最大断面力とその発生位置、表-2に考慮した安全係数および照査結果について示す。同表より、本更生管は使用限界状態ならびに終局限界状態に対して要求安全性能を満足し、十分な耐力を有すると判断される。

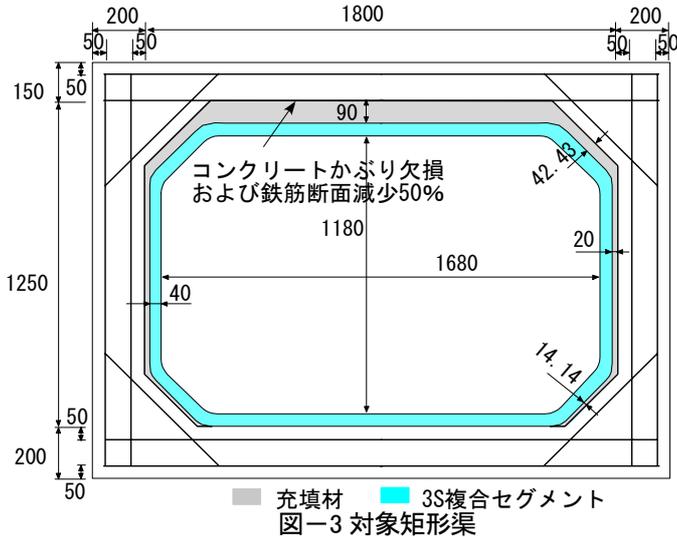


図-3 対象矩形渠

表-1 諸材料条件

管種	材料	項目	数値	単位	
既設管材料	コンクリート	圧縮強度	24.0	N/mm ²	
		引張強度	1.91	N/mm ²	
		弾性係数	25.0	kN/mm ²	
		破壊エネルギー	84.3	N/m	
		ポアソン比	0.2		
更生管材料	鉄筋	降伏強度	295	N/mm ²	
		弾性係数	210	kN/mm ²	
		圧縮強度	35.0	N/mm ²	
		引張強度	2.39	N/mm ²	
		弾性係数	17.8	kN/mm ²	
3S複合セグメント (充填材+PVC)	充填材	破壊エネルギー	19.3	N/m	
		ポアソン比	0.2		
		3S複合セグメント	圧縮強度	20.6	N/mm ²
			引張強度	10.46 (母材) 1.45 (接合部)	N/mm ²
			弾性係数	3.3 0.04 (接合部)	kN/mm ²
		破壊エネルギー	5900.0	N/m	
		ポアソン比	0.45		

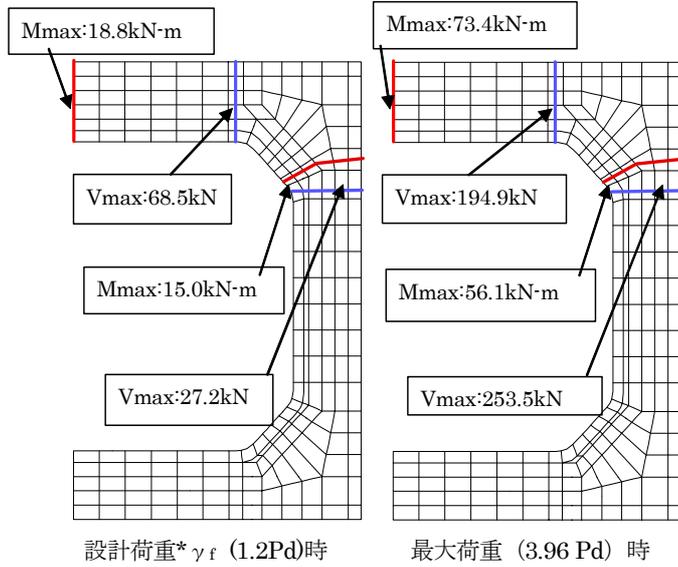


図-4 解析結果(発生断面力)

表-2 考慮した安全係数および照査結果(終局限界状態)

使用限界状態に関する照査				
ひび割れ発生荷重係数		1.8		
照査		> 1.0 (OK)		
終局限界状態に関する照査		頂版	側壁	
曲げモーメント	($\gamma_f \times$ 設計荷重)時の発生断面力	M	18.8	15
	構造解析係数	γ_a	1.1	1.1
	設計断面力	Md	20.7	16.5
	最大荷重時の発生断面力	Mu	73.4	56.1
	材料係数	γ_m	1.5	1.5
	部材係数	γ_b	1.3	1.3
	設計断面耐力	Mrd	37.6	28.8
	構造物係数	γ_i	1.1	1.1
	照査	$\gamma_i M_d / M_{rd}$	0.60	0.63
			< 1.0 (OK)	< 1.0 (OK)
せん断力	($\gamma_f \times$ 設計荷重)時の発生断面力	V	68.5	27.2
	構造解析係数	γ_a	1.1	1.1
	設計断面力	Vd	75.4	29.9
	最大荷重時の発生断面力	Vu	194.9	253.5
	材料係数	γ_m	1.5	1.5
	部材係数	γ_b	1.3	1.3
	設計断面耐力	Vrd	99.9	130.0
	構造物係数	γ_i	1.1	1.1
照査	$\gamma_i V_d / V_{rd}$	0.83	0.25	
		< 1.0 (OK)	< 1.0 (OK)	

4. まとめ

複合管は複合構造であり、既設管の老朽度や更生材料も様々であるため、その終局耐力を評価する上では非線形FEM解析のような数値解析手法の適用が望ましい。そこで、非線形FEM解析結果から複合部材の断面耐力を求め、限界状態設計法の流れの中で複合管を設計する方法を提示した。このような考え方は複合管の耐震性能照査においても適用可能であり、統一的な更生効果の評価法としても応用できるものと思われる。

参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会、: 管更生の手引き (案), 2001. 6
- 2) 中野ら: PVCとセメント系材料による複合セグメント部材に関する破壊特性評価試験, 土木学会第61回年次学術講演概要集, 2006.
- 3) (財) 下水道新技術推進機構: 建設技術審査証明 (下水道技術) 報告書-製管工法-3Sセグメント工法, 2006. 3.