

下水道管渠の終局耐荷力に関する簡易評価法

日本工営（株）中央研究所 正会員 師 自海、中野 雅章
東京都下水道サービス株式会社 正会員 高橋 良文

1. はじめに

古くに埋設された規模の大きな下水道管渠の多くは鉄筋コンクリート造りである。この下水道管渠にひび割れや鉄筋腐食の発生などの老朽化が進み、その耐荷力を確保するために内面を被覆する更生工法が開発されている。更生した管渠の耐荷能力を評価するに際しては、既に管体にひび割れなどが発生していることから、終局耐荷力により設計することが実態を反映していると考えられる。しかし、終局耐荷力をもとめるための非線形数値解析は、メッシュ生成も含め長時間を要する。このため、鉄筋とコンクリートの複合作用を無視して引張鉄筋による終局耐荷力と無筋状態の下水道管渠による増加分を別々に簡易に計算し、その合計を終局耐荷力とする分離式耐荷力評価法を考えた。この方法によれば、有限要素法に基づく非線形数値解析は、無筋コンクリートを対象とするため大幅に計算時間を短縮できる。また、無筋状態の下水道管渠に関するメッシュの自動作成も容易となり、入出力処理を含めた計算の一括処理が可能となる。

2. 基本的な考え方

下水道管渠は鉄筋コンクリート構造物である。通常、このような地下構造物における鉄筋比は小さく（１％程度）、各部材（頂板、側壁及び底板）における主な破壊形態は鉄筋降伏に伴う曲げ引張破壊である。故に、曲げ引張破壊時における実際の応力状態（図 1 a）は引張鉄筋モデルによる応力成分（図 1 b）と無筋コンクリートによる応力の増加分（図 1 c）から成ると仮定できる。なお、曲げ引張破壊の終局耐荷力に及ぼす圧縮鉄筋の影響が小さいため、本簡易評価法では圧縮鉄筋を無視する。従って、図 2 に示すように、終局耐荷力 M_u の近似として次式より M'_u を計算することが可能である。

$$M'_u = M_{us} + \Delta M' = M_{us} + M_{uc} - M_{crack} \quad (1)$$

M_{us} に関しては、図 3 を参照し、次式より算出する。

$$M_{us} = pf_y \left(1 - 0.50 \frac{pf_y}{0.85 f'_c}\right) bd^2 \quad (2)$$

下水道管渠の場合には、通常 pf_y は 40 kg/cm^2 以下である。従って、式（２）から分かるように終局耐荷力 M_{us} に対するコンクリートの圧縮強度の影響は小さい。本簡易法は M_{us} と $\Delta M'$ を計算する際に、圧縮側のコンクリートの作用が重複しないように、現実にありえる最も低い圧縮強度 $f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$ を用いて、次式より M_{us} を計算する。

$$M_{us} = pf_y \left(1 - 0.50 \frac{40}{0.85 \times 100}\right) bd^2 = 0.76 pf_y bd^2 \quad (3)$$

ただし、鉄筋とコンクリートの複合作用を無視することにより、無筋状態の下水道管渠におけるひび割れの発生状況や破壊形態などは実際の状況と異なる。

通常、下水道管渠の終局耐荷力は、設計荷重に対する最大荷重係数 λ_u により評価している。以下、無筋状態の下水道管渠による最大荷重係数 λ_{uc} と引張鉄筋モデルによる最大荷重係数 λ_{us} の求め方について説明する。

3. 計算の流れ

a) 最大荷重係数 λ_{uc} : まず、無筋状態の下水道管渠に対し、ひび割れ解析により設計荷重に対するひび割れ発生荷重係数 λ_{crack} と最大荷重係数 λ_{uc} を求める。次に、最大荷重係数 λ_{us} を求めるために、断面力 M_{crack} を計算しておく。ただし、 $M_{crack} = f_t b h^2 / 6$ 。

b) 最大荷重係数 λ_{us} : M_{us} は式（３）より求める。次に、断面力と荷重との比例関係に基づき λ_{us} を計算する。

つまり、

$$\lambda_{us} = (M_{us} / M_{crack}) \lambda_{crack} \quad (4)$$

c) 最大荷重係数 λ_u : 最大荷重係数 λ_u は式(5)より算出する。

$$\lambda_u = \lambda_{us} + \lambda_{uc} - \lambda_{crack} \quad (5)$$

4. 実験による検証及び結論

既設管渠を対象とする四つの検討ケースを図4に、解析結果及び過去に行われた破壊実験の結果を表1に示す。表1から分かるように、減肉管を除く3ケースについては、実験値と良い一致を示したが、減肉管については、25%程度の誤差が見られた。これらの結果から、本検討ケースにおいては、簡易法による精度は凡そ良好であると言える。また、終局耐力における引張鉄筋モデルと無筋コンクリートによる耐力力の比は7:3~4:6となり、後者による貢献は決して無視できないことが分かる。ただし、現段階では、検討ケースが非常に少なく、今後更正管渠を対象とする複合管をも含めて本簡易評価法の適用性について更に検討する。

<参考文献>

「コンクリート構造の限界状態設計法」: 岡村 甫、昭和59年、共立出版株式会社

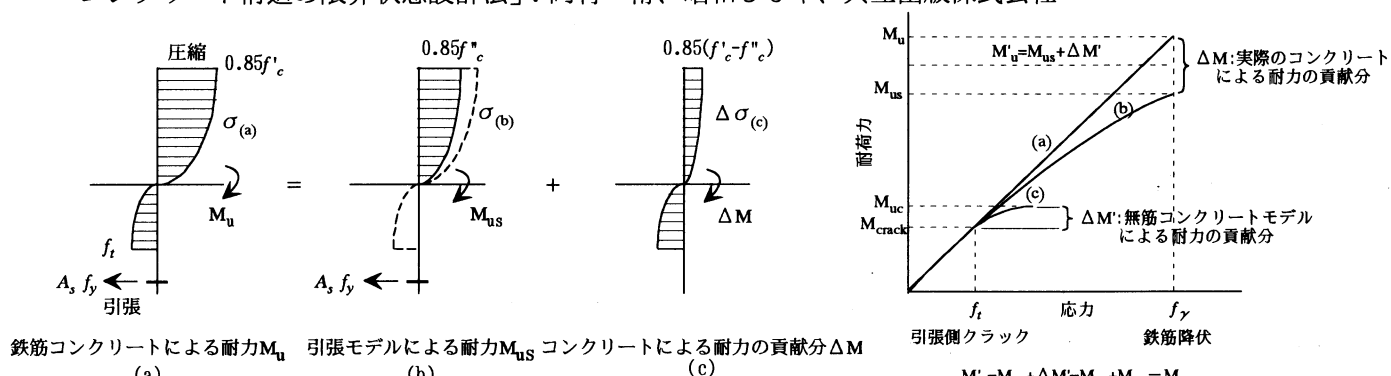


図1 曲げ引張破壊時における各応力成分

図2 簡便法による終局耐力 M_u の近似的な求め方

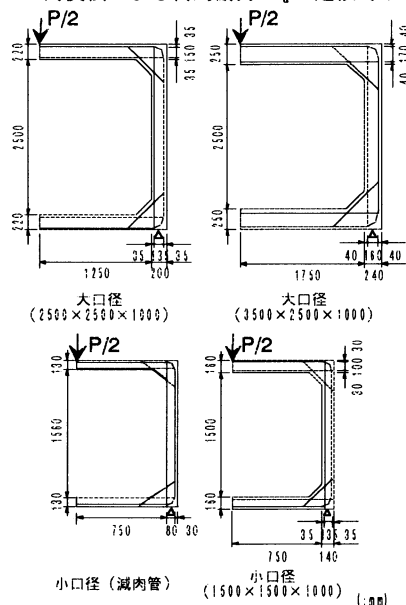


図4 耐力力実験による検討ケース

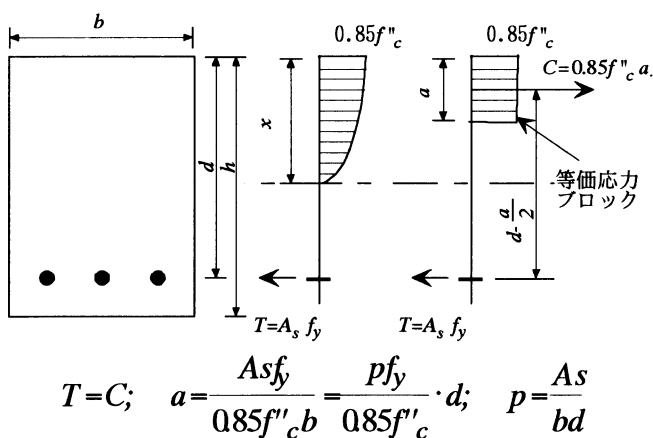


図3 引張鉄筋モデルによる M_{us} の計算

表1 解析結果一覧

解析ケース	ρf_y (kg/cm ²)	M_{us} (t·m)	M_{crack} (t·m)	荷重係数			破壊荷重		
				λ_{us}	$\Delta \lambda = \lambda_{uc} - \lambda_{crack}$	比 ($\lambda_{us} : \Delta \lambda$)	a:破壊試験 (t/m)	b:簡便法 (t/m)	比率 (b/a)
大口径(2500×2500)	25.6	6.66	3.20	18.7	24.8	4:6	43.70	43.53	1.00
大口径(3500×2500)	32.7	10.96	4.14	23.9	25.7	5:5	53.98	49.56	0.92
小口径(1500×1500)	35.9	4.61	1.63	19.7	15.0	6:4	37.10	34.73	0.94
小口径減肉管	35.9	4.61	1.08	21.3	10.3	7:3	25.60	31.64	1.24

注: $\lambda = P$ (t/m)