

V-17 穴あきU型側溝の土圧による応力解析

高知県

正員

○道倉 直樹

高知工業高等専門学校建設システム工学科

フェロー

多賀谷 宏三

1. はじめに

近年の建設産業は、現場施工の省力化及びコスト縮減から鉄筋コンクリート既製品が多く用いられている。中でも、既製品U型側溝は従来から使用率が高く種々のタイプがあるが、現在では軽量化のため側壁部材厚を薄くする傾向が著しい。しかし、現場での側壁開口作業が生じた場合、開口部の大きさ限度基準はほとんどが経験的判断によるもので、力学的根拠に基づく強度評価はなされておらず、部材厚を薄くした側壁への応力集中による影響が問題となる。当解析は、実物モデルの水平載荷試験結果とソリッドモデルの弾性 FEM 解析（以下、FEM 解析という。）との整合性を受けて、実荷重（クーロン土圧）下での開口諸元（大きさ・形状）を変えたパラメトリック FEM 解析を行い、簡便な実設計法の導入に必要な開口部付近の応力集中予測法を検討した。

2. 解析概要

2.1 解析諸元

モデル製品に開口部を設け、同一荷重条件によりパラメータ FEM 解析を実施し開口部付近の応力集中を把握する。なお、本解析は線形弾性材として弾性解析理論に基づくものとした。

モデル製品 構造：溝幅×深さ×長さ＝ $W \times h \times L = 1000 \times 1000 \times 2000 \text{mm}$

荷重：T-25 荷重（等分布荷重）クーロン土圧

FEM 解析 コンクリート壁は三次元体要素（ソリッド要素）、鉄筋は棒要素として全体をモデル化するが、構造が左右対称であるため解析は半分で行う。

2.2 正方形開口パラメータスタディ

当解析は、モデル製品の側壁に正方形の開口部を設け、大きさ・位置を変化させることによって、それぞれ開口部付近の応力を求め応力集中を把握することとした。（表-1）

表 1 解析ケース一覧

	開口形状	開口幅 b_0 又は D_0	開口下縁高さ $h_0 = h_2 - b_0/2$	開口中心高さ h_0	ケース名称	備 考
ケース スタディ	正方形	300		150	□30+0	基準(底部)正方形開口： 基準応力集中率 γ_{B0} の評価
	正方形	500		250	□50+0	
	正方形	660		330	□66+0	
	正方形	800		400	□80+0	
	正方形	300	240	390	□30+24	
	正方形	500	140	390	□50+14	
	正方形	660	60	390	□66+6	

3. 解析結果による考察

3.1 解析結果による定義

パラメトリック FEM 解析結果では、開口下縁コーナー部と側壁最下部のアール止り部の2箇所に応力集中（それぞれ $\sigma_{0\max}$ 、 $\sigma_{B\max}$ と定義する）が発生する。上記両箇所の梁理論応力を基準応力（それぞれ σ_0 、 σ_B と定義する）として次の応力集中率を定義する。

開口（下縁）応力集中率： $\gamma_0 = \sigma_{0\max} / \sigma_0$

底部（アール止り）応力集中率： $\gamma_B = \sigma_{B\max} / \sigma_B$

開口下縁が側壁最下部（アール止り）にある場合（開口下縁高さ $h_L = 0$ のケース）は、 $\gamma_0 = \gamma_B$ であり、応力集中も最大となる。

そこで、この場合の応力集中を $\sigma_{B0\max}$ 、そして梁理論応力を σ_{B0} と呼ぶと共に、次の応力集中率を定義する。

基準（底部開口）応力集中率： $\gamma_{B0} = \sigma_{B0\max} / \sigma_{B0}$

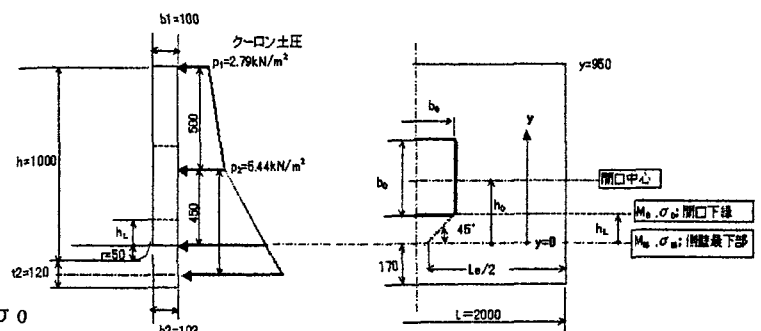


図 1 構造諸元と定義

3.2 解析結果による考察

基準応力集中率 γ_{B0} ($h_L=0$) は、表 2・図 2 に示されるように開口幅 (b_0) の関数で表される事がわかる。

表 2 FEM 解析結果を応力集中率 γ_{B0} (単位: mm、N/mm²)

	解析モデル ケース名称	開口実形状				底部開口応力(Mpa)		基準応力集中率 $\gamma_{B0}(b_0)$
		開口幅 b_0 又は D_0	開口率 b_0/L	開口下縁高さ h_L	開口中心高さ h_0	FEM σ_{B0max}	基準応力 σ_{B0}	
開口無し		0	0				1.21	$= \sigma_{B0max} / \sigma_{B0}$
基準底部 正方形開口	□30+0	300	0.15	0	150	2.38	1.38	1.71
	□50+0	500	0.25	0	250	2.54	1.44	1.78
	□66+0	660	0.33	0	330	2.66	1.43	1.86
	□80+0	800	0.40	0	400	2.50	1.36	1.84

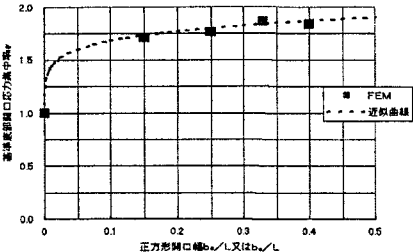


図 2 応力集中率 $\gamma_{B0} = \sigma_{B0max} / \sigma_{B0}$

また、一般開口モデル($h_L > 0$ と b_0 の二つのパラメータが有る場合)の応力集中率 γ_0 及び γ_B は、開口部が $h_L = 0$ である基準応力集中率 γ_{B0} (開口幅 b_0 の関数) でそれぞれ除した α 及び β でもって、 h_L と相関している事がわかる。(表 3、図 3、4)

表 3 FEM 解析結果を応力集中率 γ_0 、 γ_B (単位: mm、N/mm²)

	解析モデル		正方形開口			開口部応力				底部応力			
	ケース名称	開口形状	開口幅	開口率	開口基準応力高さ	FEM	基準応力	応力集中率	$\alpha(h_0)$	FEM	基準応力	応力集中率	$\beta(h_0)$
			b_0	b_0/L	h_L	σ_{0max}	σ_0	$\gamma_0 = \sigma_{0max}/\sigma_0$	$= \gamma_0/\gamma_{B0}$	σ_{Bmax}	σ_B	$\gamma_B = \sigma_{Bmax}/\sigma_B$	$= \gamma_B/\gamma_{B0}$
基準底部正方形開口					0				1				1
正方形開口	□30+24	正方形	300	0.15	240	1.35	0.67	2.01	1.18	1.10	1.15	0.96	0.58
	□50+14	正方形	500	0.25	140	1.92	0.95	2.02	1.15	1.12	1.17	0.96	0.54
	□66+6	正方形	660	0.33	60	2.41	1.19	2.03	1.09	1.44	1.28	1.13	0.60

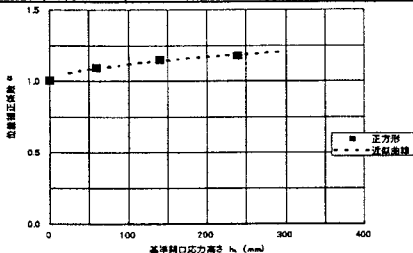


図 3 位置補正係数 $\alpha(h_L) = \gamma_0 / \gamma_{B0}$

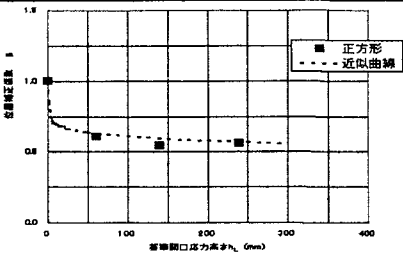


図 4 位置補正係数 $\beta(h_L) = \gamma_B / \gamma_{B0}$

よって、任意の b_0 及び h_L を有する正方形開口の応力集中度は次式で表すことができる。

開口部 (開口下縁コーナー) の応力集中度 ; $\sigma_{0max} = \sigma_0 \gamma_{B0}(b_0) \alpha(h_L)$ (N/mm²)

底部 (アール止まり) の応力集中度 ; $\sigma_{Bmax} = \sigma_B \gamma_{B0}(b_0) \beta(h_L)$ (N/mm²)

3.3 応力集中率の関数近似とそれによる予測精度

3.2 に示した応力集中度予測式から、開口による応力集中を求めることができるが、 $\gamma_{B0}(b_0)$ と $\alpha(h_L)$ 及び $\beta(h_L)$ を関数近似すればより一般化される。図 2、3、4 のとおり、 $\gamma_{B0}(b_0)$ と $\alpha(h_L)$ 及び $\beta(h_L)$ は $x=0$ で $y=1$ となる点に着目して対数関数を作成した。この近似関数を用いて予測した結果と精度について表 4 に示すが良好な結果が得られた。

対数関数式 $\gamma_{B0}(b_0) = y$ $y = 2 \cdot (1 - X \cdot 0.4) \exp(-x \cdot 0.2)$ $x = b_0/L$
 $\alpha(h_L) = y$ $y = 2 \cdot (1 - X \cdot 0.5) \exp(-x \cdot 0.9)$ $x = h_L/10000$
 $\beta(h_L) = y$ $y = \exp(-x \cdot 0.15)$ $x = h_L/10000$

表 4 対数関数式による応力集中予測 (単位: mm、N/mm²)

項目	ケース名称	正方形開口				開口部応力(開口下縁部)				底部応力(側壁最下部アール止まり)			
		開口幅 b_0	開口率 b_0/L	開口基準応力高さ h_L (mm)	基準応力 σ_{B0}	基準応力 σ_0	$\alpha(h_L)$	予測値	FEM σ_{0max}	基準応力 σ_B	$\beta(h_L)$	予測値	FEM σ_{Bmax}
基準底部 正方形開口	□30+0	300	0.15	0	1.73	1.38	1.00	2.39	2.38	1.38	1.00	2.39	2.36
	□50+0	500	0.25	0	1.80	1.44	1.00	2.59	2.54	1.44	1.00	2.59	2.54
	□66+0	660	0.33	0	1.84	1.43	1.00	2.63	2.66	1.43	1.00	2.63	2.65
	□80+0	800	0.40	0	1.87	1.36	1.00	2.54	2.50	1.36	1.00	2.54	2.50
正方形開口	□30+24	300	0.15	240	1.73	0.67	1.18	1.37	1.35	1.15	0.58	1.12	1.10
	□50+14	500	0.25	140	1.80	0.95	1.14	1.94	1.92	1.17	0.59	1.24	1.12
	□66+6	660	0.33	60	1.84	1.19	1.09	2.38	2.41	1.28	0.63	1.48	1.44

4. 結論及び今後の課題

当解析による予測式により、現場開口作業による応力集中評価が定量的に行えるものとする。しかし、今回の解析では、標準的な既製品 U 型水路断面を対象としたために、形状の大幅な変化、開口形状及び荷重条件に対しての適用範囲が不明確である。今後は、これらの点を踏まえてデータ蓄積を行うことが課題となるが、種々の構造形式への適用が可能であり、より構造的に安全で合理的な設計ができることが期待できる。