

I-283

ボックスカルバートに対する安全性指標の試算結果

東京電力㈱ 正員 下川 洋司
東電設計㈱ 正員○栗原美津雄
鹿島建設㈱ 正員 磯岩 和夫

1. まえがき

本報告は、“ボックスカルバートに対する部分安全係数設定方法について”で報告された解析フローに従って、砂質土地盤に設置されるボックスカルバートを対象として具体的に解析を実施した結果の概要を示すものである。検討手順としては、まず、曲げ破壊及びせん断破壊各々に対して現行の許容応力度設計法により最適断面（つりあい断面）を決定し、土木学会コンクリート標準示方書（昭和61年度版）の荷重・耐力評価式を用いて信頼度解析を実施し、曲げ破壊及びせん断破壊に対する安全性指標 β を算出する。その後、荷重及び耐力の部分安全係数を算出することを目的として各種設計パラメータの β に及ぼす影響を分析し、設計上意味のあるパラメータ毎に目標安全性指標 β_T を設定した。

2. 解析条件

解析結果は、設計基準作成に反映させることになるので、解析に用いる諸条件は従来の設計事例を参考として下記のように設定した。

- 土質条件：砂質土地盤（ $\gamma = 1.6 \text{ tf/m}^3$, $\gamma' = 1.0 \text{ tf/m}^3$ ），
地下水位（GL- 1.0m）
- 使用材料：コンクリート（ $\sigma_{ck} = 210 \text{ kg/cm}^2$ ）、鉄筋（SD30A）
- 荷重条件：常時荷重のみを考慮した。
永久荷重として、躯体自重、土圧、水圧を、
変動荷重として、活荷重を考慮した。
- 検討ケース：地中線ボックスカルバートとして今後とも使用される
可能性の高い表-1に示す9ケースを設定した。

表-1 検討ケース一覧表

case	土 被 り D (m)	内 空 巾 B (m)	内 空 高 H (m)	備 考
1	2.5	2.0	2.0	基本ケース
2	1.5			
3	3.5	2.0	2.0	土被りD 変更
4	5.5			
5		1.5		
6	2.5	2.5	2.0	内空巾B 変更
7		3.0		
8	2.5	2.0	2.5	内空高H 変更
9			3.5	

3. 荷重・耐力の不確実性評価

信頼度解析を実施するにあたり、表-2, 3に示す荷重作用及び耐力に関する設計変数を確率変数として設定した。設定にあたっては原則的には実測データに基づくものとしたが、データの得られない場合については既往の文献より引用した。

表-2 荷重作用の計算に用いた統計量

設 計 変 数 名	破壊モード		確率変数の統計的性質	
	曲 げ	せん断	平均 値 μ	標準 偏差 σ
土の単位体積重量（湿潤） γ	○	○	1.6 (kgf/cm ³)	0.1 (kgf/cm ³)
土の単位体積重量（水中） γ'	○		1.0 (kgf/cm ³)	0.1 (kgf/cm ³)
静止土圧補正係数 N_s	○		1.0	0.92
静水圧補正係数 N_w	○	○	-0.7	1.6
R/Cの単位体積重量 γ_c	○	○	2.45 (kgf/cm ³)	0.02 (kgf/cm ³)
活荷重（トラック荷重） q	○	○	設計値	0.34×設計値

4. 最適断面の設定

表-1に示す9ケースの標準断面に対し、現行設計法により曲げ破壊及びせん断破壊検討用の最適断面を設定した。即ち、曲げについては（ $\sigma_c = \sigma_{ca}$, $\sigma_s = \sigma_{sa}$ ）となるようなつりあい断面を、せん断については（ $\tau = \tau_a$ ）となるようなせん断補強を必要としない断面を設定した。検討の結果、曲げについては、頂版、側壁、底版各々の断面高さは17～27cm、18～26cm、18～28cm（かぶり 7cm）となり、せん断については各々20～38cm、20～32cm、22～40cmとなった。

表-3 耐力の計算に用いた統計量

設 計 変 数 名	破壊モード		確率変数の統計的性質	
	曲 げ	せん断	平均 値 μ	標準 偏差 σ
鉄筋の降伏強度 SD30A f_s	○	○	3690 (kgf/cm ²)	210 (kgf/cm ²)
鉄筋のヤング係数 E_s	○		1.95×10^6 (kgf/cm ²)	0.02×10^6 (kgf/cm ²)
コンクリートの圧縮強度 $f_{ck} = 210 \text{ kg/cm}^2$	○	○	289 (kgf/cm ²)	38 (kgf/cm ²)

5. 安全性指標 β 算出結果

(1) 曲げ破壊

図-1より曲げ破壊に対する安全性指標 β は一部 2.0を下回るが、概ね $\beta = 2 \sim 6$ の範囲に分布している。2.0以下の β は鉄筋比 ρ が 0.2%以下の場合のものであり（図-2参照）、実構造物では構造細目の最小鉄筋比 0.2%をカバーすることになるので、曲げ破壊に対する β としては除外できる。

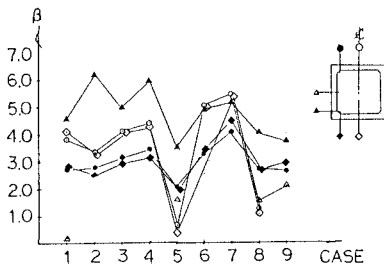


図-1 曲げ破壊の β （ケース別）

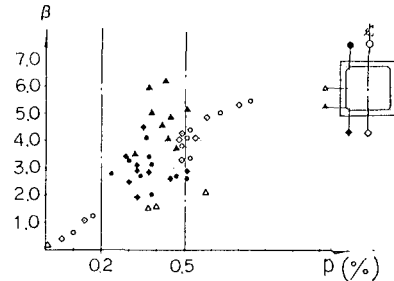


図-2 曲げ破壊の β と鉄筋比 ρ との関係

(2) せん断破壊

図-3より、せん断破壊に対する安全性指標 β は水平部材である頂版と底版が 3.1～ 6.6の範囲でほぼ同様の傾向を示すのに対して、側壁は 1.7～ 2.8とやや低めの値となっている。この理由としては、耐力の変動は各部材ともほぼ一定であるのに対し、側圧の荷重（土圧、水圧）のバラツキが鉛直荷重のバラツキに比較して大きいことから生じた結果と考えられる。

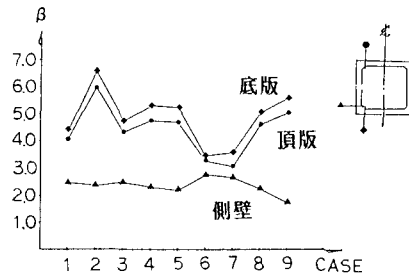


図-3 せん断破壊の β （ケース別）

6. 目標安全性指標 β_T の設定

標安全性指標 β_T は、 β 群の平均値を採用することとした。また、設計の無駄をなくし合理的なものとするため、層別を行うのが妥当と考えられるので、今回層別パラメータとして、部材の種類（頂版、側壁、底版）、部位（中央部、隅角部）、内空寸法比 (B/H)、土被り (D)、鉄筋比 (ρ) を取上げ層別した。その結果を表-4に示す。同表より、曲げ破壊については内空寸法比 B/H の大きさの影響が顕著であり、せん断破壊については部材の種類（側壁、頂版及び底版）の影響が大きい。

これより、目標安全性指標 β_T は各種パラメータの内、部材の種類及び内空寸法比によって変化させることが妥当と考えられる。但し、部分安全係数を両者で別々に与えるのは設計が繁雑となり、間違いを生じ易くなると思われるので、実設計レベルでは内空寸法比 (B/H) だけで β_T を層別するのがよいと考えられる。

7. あとがき

今後は、設定された目標安全性指標に基づき、部分安全係数を算定し、試設計によりその妥当性の確認を行う。また今回、砂質土地盤に埋設されたボックスカルバートを対象としたが、粘性土地盤についても引き続き検討する予定である。

表-4 β_T 算定結果一覧

層別モード		曲げ破壊	せん断破壊
層別パラメータ			
全データ対象		3.3	3.9
部材の種類	頂版	3.2	4.4
	側壁	3.7	2.4
	底版	3.2	4.9
部位	中央部	3.0	—
	隅角部	3.6	—
内空寸法比 B/H	$B/H < 1.0$	2.2	4.1
	$B/H \geq 1.0$	4.0	3.3
土被り D (m)	$D < 3.0$	3.3	4.3
	$D \geq 3.0$	4.0	4.0
鉄筋比 ρ (%)	$0.2 \leq \rho < 0.5$	3.6	—
	$\rho \geq 0.5$	4.1	—