

限界状態設計法によるコンクリート充填鋼管柱の設計 －終局限界状態の検討－

(株)日本構造橋梁研究所	正会員	○澤田友治*
大阪工業大学工学部	正会員	栗田章光**
(株)ニーデック	正会員	新平信幸***
(株)橋梁コンサルタント	正会員	富山 毅****
中央復建コンサルタンツ(株)	正会員	中原正人*****

1. はじめに

近年、橋梁構造物の設計法は性能照査型設計法へ移行しつつあり、具体的な照査法として許容応力度法や限界状態法の考え方がある。すでに鉄道橋の設計は限界状態設計法によって行われており、また土木学会鋼構造委員会からは、合成構造物を対象にした限界状態設計法に基づく鋼構造物設計指針¹⁾が刊行されている。一方、ヨーロッパでは欧州規格であるユーロコード²⁾が整備されつつあり、その設計法として限界状態設計法が採用されている。このような背景のもと、本文では、コンクリート充填鋼管柱を対象に、上記に示した鋼構造物設計指針およびユーロコードを適用し、設計結果の比較検討を試みた。なお本文では、コンクリート充填鋼管柱の終局限界状態に対する検討結果について報告する。

2. 設計条件

計算は、図-1に示すような片側への張出が大きい橋脚を対象とした³⁾。当然ながら限界状態設計法では、各種の部分安全係数により計算結果が異なってくる。本検討では終局限界状態に着目したが、鋼構造物設計指針およびユーロコードの終局限界状態における各安全係数は異なっており、両規準によって算出した設計断面力、設計断面耐力についてもそれぞれ差異が発生する。ここで代表的な係数として、表-2に構造物係数 γ_i 、部材係数 γ_b 、および材料係数 γ_m を示す。

表-1 構造諸元

上部工形式	3径間連続非合成I桁橋 ($l=33\text{m}\sim 36\text{m}$)
柱構造	コンクリート充填矩形鋼管柱
支承条件	固定
設計水平震度	$k_h=0.22$
鋼材	SM490Y
充填コンクリート	$f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$

表-2 安全係数

適用規準	構造物係数 γ_i	部材係数 γ_b	材料係数 γ_m		
			鋼	コンクリート	鉄筋
鋼構造物設計指針	1.2	1.1~1.7 ($\phi_b=1/\gamma_b=0.6\sim 0.9$)	1.05	1.1 ($\phi_m=1/\gamma_m=0.9$)	1.0
ユーロコード	1.0	1.1~2.0 ($1/\gamma_b=0.5\sim 0.9$)	1.1	1.5	1.15

地震時：構造物係数 $\gamma_i=1.0$ 、()内は各安全係数の逆数

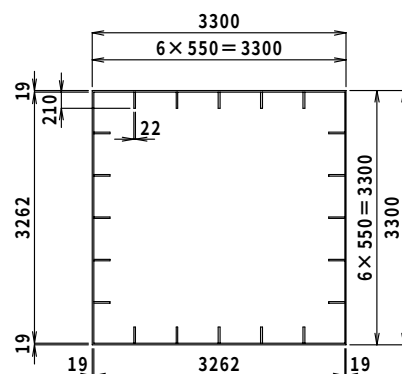
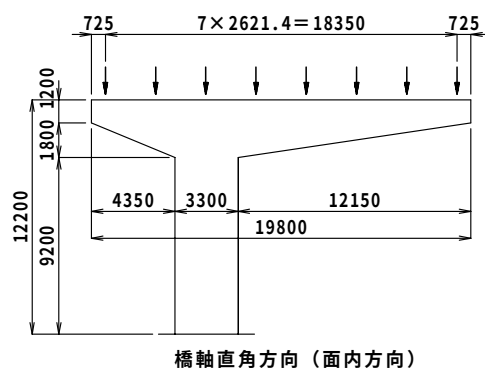


図-1 橋脚構造図 (mm)

Keywords：限界状態設計法，コンクリート充填鋼管柱，鋼構造物設計指針，ユーロコード

- * 〒541-0051 大阪府中央区備後町1丁目5番2号 TEL: 06-6203-2552, FAX: 06-6203-2558
- ** 〒535-8585 大阪府旭区大宮5丁目16番1号 TEL: 06-6954-4109, FAX: 06-6957-2131
- *** 〒532-0011 大阪府淀川区西中島3丁目23番9号 TEL: 06-6305-2305, FAX: 06-6305-2304
- **** 〒541-0059 大阪府中央区博労町1丁目7番2号 TEL: 06-6264-3681, FAX: 06-6264-3687
- ***** 〒533-0033 大阪府東淀川区東中島4丁目11番10号 TEL: 06-6160-2322, FAX: 06-6160-1205

表-2 において、部材係数 γ_b は各断面耐力の算出によってそれぞれ異なるため、範囲を持たせた表現となっている。また、コンクリートの材料係数は一般的に $\gamma_m=1.3$ であるが、鋼構造物設計指針では鋼管の拘束効果による強度増加を期待し、 $\gamma_m=1.1$ 程度を用いても十分安全であると規定している。したがって、本検討においてもこれに準拠することとした。他方、荷重係数については、特に鋼構造物設計指針において、決定的な値の提示がなされていないため、それらについては鉄道標準⁴⁾ならびにユーロコードを参考に設定した。

3. 検討結果と考察

表-3 設計断面力(曲げ最大時)

表-3 に検討に用いた各規準による設計断面力を示す。なお、表-3 の設計断面力は、終局限界状態の荷重組合わせ後に最大となったケースの設計断面力 ($S_d = \gamma_i \cdot \gamma_a \cdot S(\gamma_f \cdot F_k)$) である。表-4 に各項目に対する照査結果を示す。

適用規準	荷重方向	橋軸直角方向 (面内)		橋軸方向 (面外)	
		M (kNm)	S (kN)	M (kNm)	S (kN)
鋼構造物 設計指針	一軸曲げ	100137	581	—	—
	二軸曲げ	37232	0	26671	5667
ユーロコード	一軸曲げ	92756	484	—	—
	二軸曲げ	37232	0	26671	5667

表-4 照査結果一覧表

項 目		鋼構造物設計指針		ユーロコード	
		照 査 式	照 査 値	照 査 式	照 査 値
軸力と 一軸曲げ	面内	$\frac{M_y}{M_{uy}(1-P_v/P_{crv})} \cdot \frac{1}{\psi}$	$0.746 < 1$	$\frac{M_y}{\mu \cdot M_{uy}/\gamma_b}$	$0.780 < 1$
	面外	$\frac{M_y}{M_{uy}(1-P_v/P_{crv})} \cdot \frac{1}{\psi}$	$0.203 < 1$	$\mu \cdot M_{uy}/\gamma_b$	$0.233 < 1$
軸力と 二軸曲げ		$\frac{M_{vy}}{M_{uy}(1-P_v/P_{crv})} \cdot \frac{1}{\psi_y} + \frac{M_{vz}}{M_{uz}(1-P_v/P_{crvz})} \cdot \frac{1}{\psi_z}$	$0.486 < 1$	$\frac{M_{vy}}{\mu_y \cdot M_{uy}} + \frac{M_{vz}}{\mu_z \cdot M_{uz}}$	$0.503 < 1$
せん断	面内	$\frac{S}{S_u}$	$0.168 < 1$	$\frac{V_{sd}}{V_{pl,Rd}/\gamma_b}$	$0.224 < 1$
	面外	$\frac{S}{S_u}$	$0.368 < 1$	$\frac{V_{sd}}{V_{pl,Rd}/\gamma_b}$	$0.488 < 1$

表-4 より、曲げ、せん断の照査ともにユーロコードの照査値が鋼構造物設計指針に比べて若干厳しい結果であることがわかる。両規準における結果の差異は、各安全係数ならびに断面耐力の算出方法の違いに起因しており、以下に各要因について考察する。

(1) 設計断面力

本文では示していないが、荷重係数 γ_f はユーロコードの方が大きく、構造物係数 γ_i は鋼構造物設計指針の方が大きい。鋼構造物設計指針の構造物係数 γ_i は、鉄道標準に基づき $\gamma_i=1.2$ としており、その結果、一軸曲げ作用時の設計断面力は鋼構造物設計指針の方がユーロコードに比べて約 1.08 倍と大きくなった。

(2) 設計曲げ耐力

部材係数 γ_b を考慮した設計曲げ耐力は、鋼構造物設計指針の方が大きく、ユーロコードに比べて約 1.13 倍となった。ここで部材係数 γ_b は、鋼構造物設計指針では $\gamma_b=1.2$ 、ユーロコードでは $\gamma_b=1.1$ である。一方、材料係数 γ_m はユーロコードの方が大きく、鋼構造物設計指針に比べて設計材料強度を低く評価することになる。断面耐力の算出においては、随所に考慮されている設計材料強度の影響が大きく反映されることから、ユーロコードにおける設計材料強度の低評価がユーロコードの設計曲げ耐力の低下に起因している。

(3) 設計せん断耐力

部材係数 γ_b を考慮した鋼構造物設計指針の設計せん断耐力は、ユーロコードの設計せん断耐力に対して約 1.33 倍となった。ここで部材係数 γ_b は座屈の影響を考慮して算出される低減係数をも含めた値であり、鋼構造物設計指針では $\gamma_b=1.7$ 、ユーロコードでは $\gamma_b=2.0$ であった。ユーロコードの設計せん断耐力の低下は、これら部材係数 γ_b による影響、ならびに前項同様に、鋼構造物設計指針に比べて設計材料強度が低く評価されていることによる影響が大きい。

最後に今後の課題としては、限界状態設計法における適切な部分安全係数の設定があげられる。

なお本稿は、大阪工業大学の鋼・コンクリート複合橋梁研究会にて行った調査研究結果について報告したものである。

1)土木学会：鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物 [平成9年版]，鋼構造シリーズ⑨B，平成9年9月。

2)CEN：Eurocode4，Design of composite steel and concrete structures，April 2000。

3)合成柱研究会：合成橋脚とその計算例・解説—コンクリート充填方式合成柱の応用，平成4年7月。

4)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物，平成10年7月。